

2008 年度 修士論文

ストック、フロー別CO<sub>2</sub>評価システムを用いた低炭素都市像の研究  
A study of a low-CO<sub>2</sub> society using the CO<sub>2</sub> assessment systems  
based on "stock-CO<sub>2</sub>" and "flow-CO<sub>2</sub>"

伊藤 友隆  
Ito Tomotaka

東京大学新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻

# 目次

## 0 はじめに

---

- a.研究をするにあたって ... 5
- b.研究室での議論から得た示唆—コンパクトシティの三つの形態 ... 5
- c.低炭素都市像の環境負荷を評価するシステムの提案 ... 6
- d.長岡市の概要 ... 7
- e.各都市のCO<sub>2</sub>排出量比較 ... 9
- f.本論の流れ ... 10

## 1 序論

---

### 1-1 研究の目的・背景 ... 13

- a.環境問題に向けた対応としての都市形態の改変と改編を評価する推計システムの必要性
- b.都市形態の改変を考える上で考えるべきこと—今後の人口減少について

### 1-2 既往研究、既往研究の論点 ... 14

- a.都市システムへの LCA 適用には問題がある
- b. LCA 研究の動向—個別のインフラ研究は進んでいるが都市システムとして複合できていない
- c.都市システムの LCA に関する既往研究の整理と問題点
- d.課題の抽出—都市システムへの LCA 適用には「境界設定」が重要

### 1-3 本研究方法の確立 ... 18

- a.環境負荷の評価手法について —「境界設定」に注意し ELCEL 手法を導入
- b.既往の研究事例と本研究の特徴—一番の違いはコンパクトシティに対する考え方
- c.評価対象範囲、対象施設—施策によって変化しない項目も算入
- d.評価対象施設の平均寿命と耐用年数—家屋とインフラで廃棄の考え方が異なる
- e.評価システムへの建物コーホートモデルの導入—経年での廃棄率を導入して計算を行う
- f.適用する LCI 手法—既存の方法と本研究で独自の方法を組み合わせている

## 2 現状の長岡市のCO<sub>2</sub>排出量の算出

---

### 2-1 現状の長岡市での CO<sub>2</sub> 排出量について ... 23

- a.フローCO<sub>2</sub>について—フローCO<sub>2</sub>とは一年間都市で排出されるCO<sub>2</sub>
- b.評価期間
- c.計算方法
- d.計算に用いる原単位
- e.計算に用いる建設工事費デフレーター
- f.計算に用いるライフサイクルに占める構築、維持・修繕、解体の割合
- g.建物コーホートモデルによる 2058 年における既存家屋の残存面積の算出
- h.インフラのLCO<sub>2</sub>排出量を計算するために必要な出来高ベース工事金額の算出
- i.道路工事費、下水道工事費に占める新設改良費と維持費の割合
- j.計算
- k.計算結果

### 2-2 現状の長岡市の CO<sub>2</sub> 排出量に対する考察（影響の大きい項目など） ... 35

- a.建築・土木維持とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量のグラフ化
- b.建築・土木維持とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量に対する考察

### **3 2050年までの人口、床面積の推計と都市像の検討**

---

#### **3-1 2050年までの人口・世帯数推計 ... 38**

- a. 「推計人口」と「封鎖人口」
- b. 人口推計システムの説明
- c. 「封鎖人口」推計を算出する際の仮定について
- d. 「封鎖人口」推計の結果
- e. 「封鎖人口」推計結果のまとめと考察
- Cf. 「推計人口」の試算

#### **3-2 2050年までの床面積推計 ... 48**

- a. 現在の長岡市と全国平均との一人当たりの床面積の比較
- b. 床面積の推移

#### **3-3 2050年に向けた低炭素都市像の検討 ... 49**

- a. 問題点の整理
- b. 二酸化炭素という指標
- c. コンパクトシティという解決策
- d. コンパクトシティという戦略をとる上で注意すべき点
- e. 2050年の3つの代表的な都市像の検討

#### **3-4 各都市像案での市域の計算 ... 54**

- a. 市域の減少を検討する上で
- b. 2050年での既存家屋の残存率
- c. 2050年での各都市像案における市域の計算
- d. 各都市像案での市域の比較

### **4 2050年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察**

---

#### **4-1 2050年に向けた各都市像案の事前考察 ... 59**

#### **4-2 各案の完成にかかるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と結果（建設量一定の場合） ... 60**

- a. 2008年から2050年までの間に建設された分の残存率の試算
- b. 各都市像での2008年から2050年の新規建設量の計算
- c. 各都市像での移行時の家屋の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算
- d. 各都市像での移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算
- e. 各都市像での移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめと考察

#### **4-3 各案の2050年でのフローCO<sub>2</sub>の計算方法と結果 ... 78**

- a. 評価期間・評価対象について
- b. 各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算
- c. 各都市像での建築のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめ
- d. 各都市像での土木のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算
- e. 各都市像でのランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算
- f. 各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめ
- g. 各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果の考察

#### **4-4 建設時とフローでのCO<sub>2</sub>排出量を比較することによる**

##### **CO<sub>2</sub>における優位性の比較 ... 91**

- a. 建設時とフローでのCO<sub>2</sub>排出量の比較
- b. 単心案を基準とした場合の多心案、市場案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間

## **5 2050 年に向けた都市変革におけるコストの算出及び考察**

---

- 5-1 各案の移行時の建設・廃棄コストの計算方法と結果 ... 94
  - a. 移行時の建設・廃棄コストの計算方法
  - b. 移行時の建設・廃棄コストの計算結果
  - c. 移行時の建設・廃棄コストの計算結果に対する考察
- 5-2 各案の完成系維持コストの計算方法と結果 ... 98
  - a. 完成系での土木の維持コストの計算結果
  - b. 完成系での建築コストの計算結果
  - c. 完成系での建築・土木でのコストの計算結果のまとめ
  - d. ランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出量の計算
- 5-3 各案一人当たりの土木工事費負担額と公共事業許容量に対する維持コストの割合の比較 ... 102
  - a. 一人当たりの土木工事費負担額の比較
  - b. 公共事業許容量に対する土木工事費の比較
- 5-4 移行時及び完成系維持コストを比較することによるコストにおける優位性の比較 ... 104

## **6 各種施策による都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量への影響分析**

---

- 6-1 省エネ化、長寿命化によるCO<sub>2</sub>排出量計算結果に対する影響評価 ... 105
  - a. 省エネ化「電力消費が50%された場合」
  - b. 省エネ化・交通での単位トリップ長あたりの排出CO<sub>2</sub>が半分になった場合
  - c. 「電力消費が50%、「交通での単位トリップ長あたりの排出CO<sub>2</sub>が半分」の場合
  - d. 家屋の長寿命化「寿命2倍」
  - e. インフラの長寿命化「寿命2倍」
  - f. 家屋、インフラの長寿命化「寿命2倍」
  - g. 省エネ化と家屋、インフラの長寿命化の両方が達成された場合
- 6-2 施策によるCO<sub>2</sub>排出量の削減の把握 ... 115
  - a. 市域縮小分を廃棄処分しなかった場合
  - b. 市域縮小分の緑地化

Cf. 長岡市の森林によるCO<sub>2</sub>固定効果について
- 6-3 市域で家屋築年数の分布を考慮した時の建設量の計算と考察 ... 120
  - a. 築年数分布の違いによる残存率の差
  - b. 移行時の二地区の建設・廃棄量
- 6-4 漸次縮退と強制縮退 ... 123
- 6-5 移行期のフローによる単心案の建設・廃棄量のCO<sub>2</sub>排出量の回収 ... 124
  - a. 都市像ごとの経年でのフローの変化

## **7 最適な低炭素都市像の考察**

---

- 7-1 完成にかかるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と結果 ... 125
  - a. 移行時の建築の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量
  - b. 移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量
  - c. 移行時の建築、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量

## 7-2 2050年でのフローCO<sub>2</sub>の計算方法と結果 ... 127

- a. フローの建築におけるCO<sub>2</sub>排出量
- b. フローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量
- c. フローのランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出量
- d. フローにおけるCO<sub>2</sub>排出量

## 7-3 理想形の考察 ... 130

- a. 市域を小さくすることによる強制廃棄の発生
- b. 理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定
- c. 理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定 (X=0.1 のときに宅地造成が 100%になると考えた場合)
- d. 理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定 (単心案の値を  $X^2=1$  と定義し  $X^2=1$  に達した時点からすべて新規開発と仮定した場合)
- e. 考察

## 8 低炭素都市像に対する定性的考察

---

### 8-1 長岡市のインフラの整備状況と考察 ... 134

- a. 主要道路、鉄道軌道と建物配置の関係
- b. 下水道整備と建物配置の関係

### 8-2 各都市像の定性的評価 ... 136

- a. 人口分布からみる三案の評価
- b. 密度分布から見る三案の評価
- c. 規制でのコンパクト化推進の問題
- d. 誘導でのコンパクト化推進

## 9 全体のまとめ

---

### 9-1 今後の研究に向けての問題点整理 ... 139

### 9-2 全体のまとめ ... 141

### 9-3 終りに ... 144

## A 参考資料

---

### A-1 消費財の製造とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量について ... 145

- a. 消費財の製造時とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算
- b. 家屋の製造時とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算
- c. 考察

## B 計算方法

---

... 150

## C 参考文献

---

... 179

結び ... 181

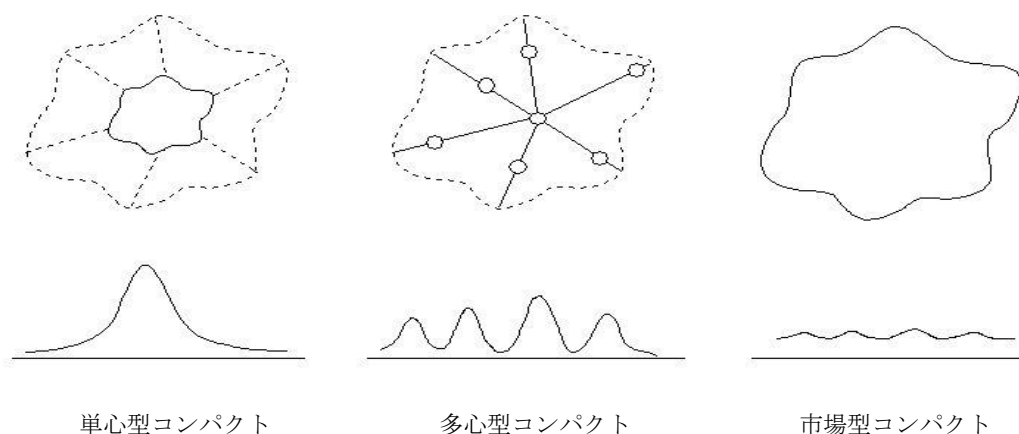
## 0 はじめに

**a.研究をするにあたって**

はじめに本研究（の一部）は、環境省の地球環境研究総合推進費（Hc-088）の支援により実施された。その推進費のもと中村勉氏をはじめとする建築、都市にかかわる様々な専門をもつ先生方が5都市を対象敷地として「低炭素社会実現に向けた研究」を行っている。5都市とは土浦市、福生市、長岡市、北九州市、柏市であり、その5都市の研究をすることで、地方都市の大体の都市のタイプモデルとなることを狙いとしている。そういった中で、本研究室においても低炭素社会実現に向けた研究の一つとして「長岡市」を対象に2050年にむけた低炭素都市像を検討している。

**b.研究室での議論から得た示唆—コンパクトシティの三つの形態**

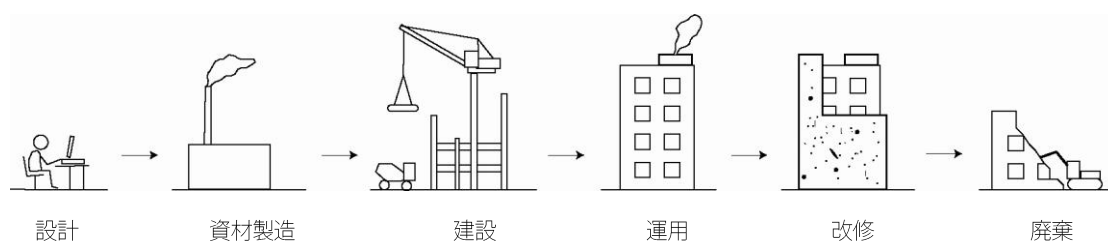
本研究室では2006年に「ファイバーシティ2050」という東京における人口縮小社会の都市像をまとめたものを発表しており、今回の長岡でのプロジェクトはその地方都市版としての位置づけにもなっている。研究室の中で議論された結果として、徹底的にコンパクトにする「単心案」、現状になにも政策を打たず、なりいきのままにしておく「市場案」、その両者の間の「多心案」という三つの都市像について長岡市では考えられるのではないかという示唆を頂いた。（三つの詳しい話についてはあとで説明をすることにする）そのような経緯の中で、本研究は都市の構造変化によるCO<sub>2</sub>、コスト面の評価を定量的に行うことを目的としている。元来、代表的な都市像の提案においては、定性的、ビジュアル的なことを軸として提案される場合が多かった。そういった中で、実際数値化して評価を行ったら都市の構造変化をどういう風に評価できるかということに焦点があたった。本研究をやるにあたっては、環境負荷やコスト面の評価を行うことに対して無知な状況からのスタートであった。そういった中で本研究をやるにあたって、既往論文から得た理解に頼るところが大きい。本研究と既往の都市システムの研究との比較については後ほどにも出てくるが、一番の大きな違いは都市のコンパクト化に関する考え方である。既往の論文を整理したところ、コンパクトに対する捉え方はすべてといってもいいほど、徹底的にコンパクトにする「単心案」であった。確かにコンパクトシティというからには徹底的にコンパクトにするという風に考えるだろうし、実際に様々な有識者の議論においてもコンパクトシティといったら「単心案」についての議論が多く行われている。そのような状況の中で都市のデザインを得意とする研究室では都市の問題を幅広い視点からとらえることで「単心案」にとらわれない都市の姿を模索することとなった。そういった点で今回の研究は都市のLCCO<sub>2</sub>研究の中に新しい視点を取り入れられた研究となっていると考えている。



図：コンパクトシティのモデルタイプ（従来の議論の中心は単心型である）

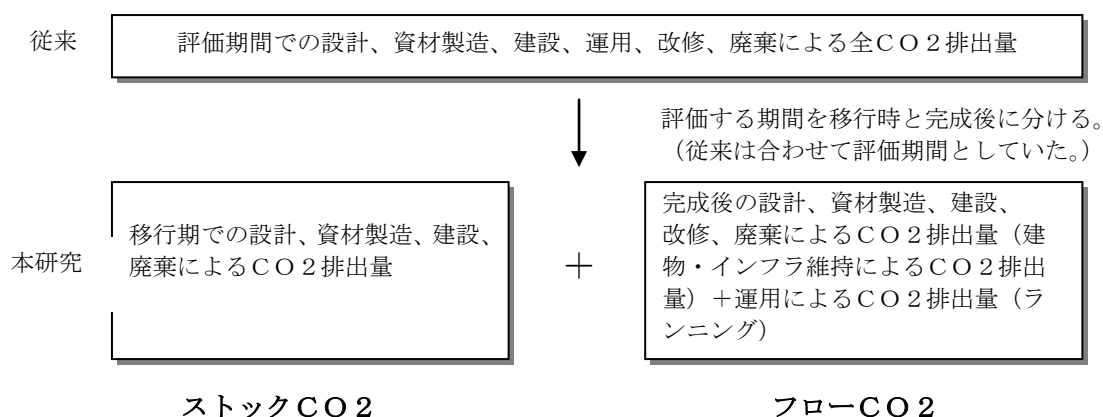
### c.低炭素都市像の環境負荷を評価するシステムの提案

評価システムについては既往論文の整理を中心とする既の評価システムの体系化をすることで、既往のシステムを用いながら、今回の研究において評価を行いやすいように組み立てた。この評価システムについても都市の  $LCCO_2$  とは違う切り口を取り入れた。それは、これまでの都市システムについての  $LCCO_2$  研究では都市像の移行までの建設・廃棄で排出される  $CO_2$  とランニングで排出される  $CO_2$  をまとめて評価することが多いが、本研究では都市像の移行までの建設・廃棄で排出される  $CO_2$  と一年間に建築・インフラの維持で排出される  $CO_2$  とランニングで排出される  $CO_2$  を合わせたものを切り離して考えている。本研究では前者をストック  $CO_2$  と呼び、後者をフロー  $CO_2$  と定義した。本研究ではこの両者を切り離すことで都市形態の合理性を評価しやすい枠組みを作っている。



図：LCCO<sub>2</sub>における評価対象範囲

従来のコンパクトシティについての  $LCCO_2$  研究では上のような評価対象に対してすべてをひっくるめて積算することで、施策に対する影響評価を行っていた。しかし従来の方法ではどれくらいが移時の建設・廃棄による  $CO_2$  排出量で、どれくらいが完成してからの維持や運用での  $CO_2$  排出量であるかがわからなかった。そこで本研究では下記のように都市像の移行までの建設・廃棄で排出される  $CO_2$  と一年間に建築・インフラの維持で排出される  $CO_2$  とランニングで排出される  $CO_2$  を合わせたものを切り離して考えたのである。切り離すことで移行時の建設・廃棄による  $CO_2$  排出量と完成してからの維持や運用での  $CO_2$  排出量を区別でき、従来わかりにくかった移行時での  $CO_2$  排出量、コストがわかりやすくなった。さらに、完成系のフロー部分が全体に組み込まれないことで、どの案が形態としては一番合理的でその差がどれほどかということも判断できる。また、フローとストックがどれほどのオーダーの差があるかも明白になる。このように区別することで各案の利点をよりよくつかむことができるのである。



図：従来と本研究での評価の分けの違い

#### d.長岡市の概要

##### 人口・土地

人口は約28万2千人であり、新潟県下で2位である。国から特例市に指定されている。

面積は約840km<sup>2</sup>である。

長岡地方中核都市圏を形成する、中越地方および長岡都市圏の中心都市である。都市圏人口としては栃木県の小山地方中核都市圏に次いで全国39位に位置する。

##### 歴史

旧長岡市は、江戸時代には長岡藩の城下町として栄えた。戊辰戦争と第二次世界大戦（長岡空襲）の二度にわたって市街は壊滅的被害を受けるが、不撓不屈の精神により復興を遂げ、現在に至る。

花火王国として有名であり、市の中心を流れる信濃川では、毎年8月1～3日に長岡まつり（長岡大花火大会2、3日）が開かれている。

この地域は元内閣総理大臣 田中角榮の地盤であり、現在でも一部で影響が残っている。

##### 地理

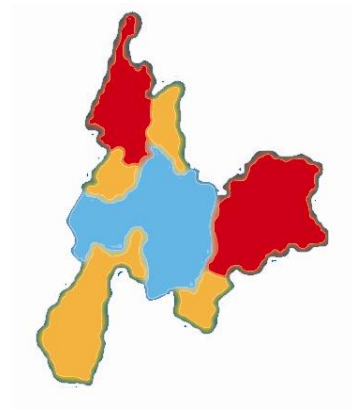
上越新幹線で東京から約80分、関越自動車道で東京から約3時間の位置にあり、特に経済面において関東地方との結びつきも強い。

元来の都市としての長岡は内陸の都市であるが、2005年と2006年の二回に渡る大規模合併以降、行政区画としての長岡市は日本海に面する自治体となっている。

南北に信濃川が縦断し、中心部では川の両岸に市街地が発展している。一方は長岡城跡に発展した現在の長岡駅を中心としたエリアと、もう一方は近年大型開発によって発展してきた千秋が原地区を中心としたエリアである。そのエリアを中心に郊外に行くほど近年に開発されているという全国的な特徴は同じである。また工場地域が多く、その工業地域の大体が埋まっているという状況で、工業も順調である。丘陵部分では天然ガスがとれ、市内のガス使用の大部分をまかなっている。

##### 気象

人口30万人級の都市としては、世界的に見ても



図：市域の変遷



駅前の風景



水系



市街地周辺の田園風景



珍しい程の豪雪地帯であり、過去に記録的な豪雪を何度も経験している。市街には雁木（がんぎ）が整備されているほか、市では「無雪都市」を宣言し、長岡駅前大手通り（旧国道8号等）には、雁木を改造した大規模なアーケードが設置されている。又、道路には消雪パイプが設置され、国道・県道・市道や公共施設の敷地内に至るまで広い範囲で散水消雪を行う。寺泊地域や和島地域は、海岸部または海岸に近いため比較的積雪が少ない。

地理的に、大部分が盆地で占められており、冬は寒く、夏は暑い傾向がある。信濃川流域には遮蔽物が少なく、夏ごろは突風が吹くため、洗濯物などは非常に早く乾く一方、強風により洗濯物が空を飛んでいる光景も目にする。

### 人口推移

国立社会保障人口問題研究所が発表した2006年の12月に発表した最新の予測では、2055年に日本の総人口は8900万人、高齢化率は40%とされている。

それに対して、長岡市ではどうか。国立社会保障人口問題研究所の人口推計ソフトを用いて社会流動を考慮せず合計特殊出生率を最近の値で2050年まで延長して推計したところ以下のような人口推移となった。現在の約28万人が19万人ほどにまで減少し、高齢者比率は35%ほどである。（推計の詳細についてはあとの章で示している。）全国的に人口は少し減少傾向が強く、高齢者比率は全国よりは少し低いといったところで、おおむね全国と同じと考えられる。



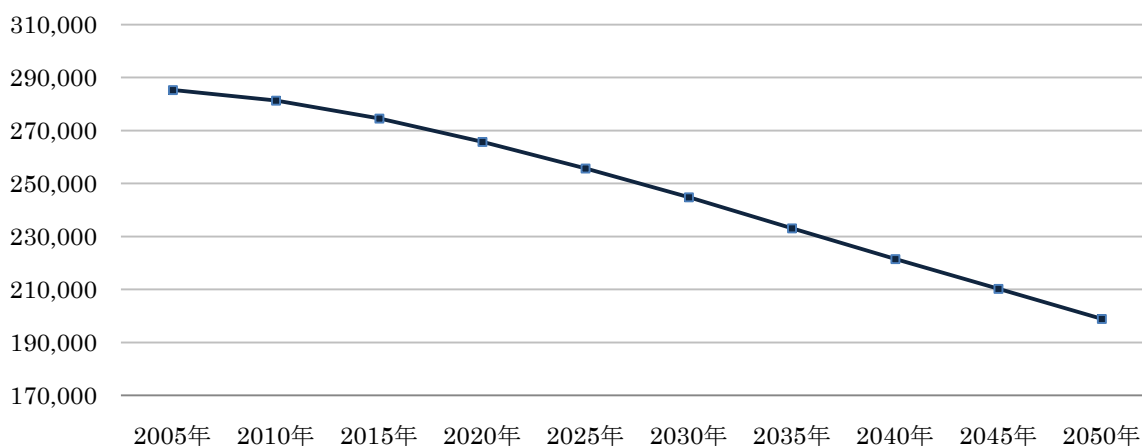
住宅地



郊外



ショッピングセンター



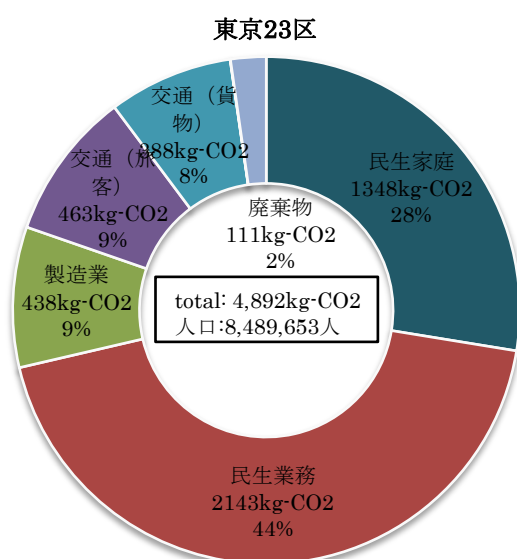
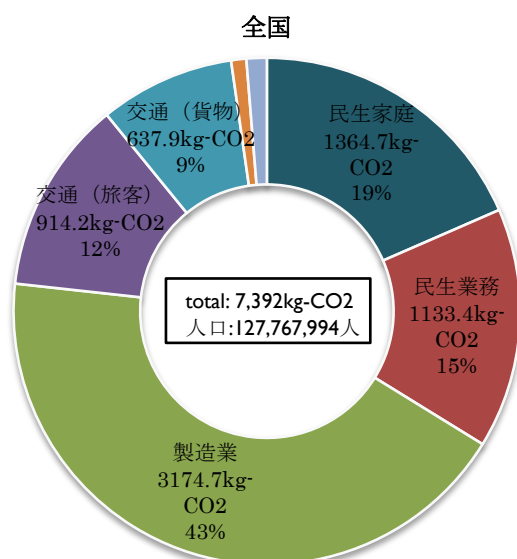
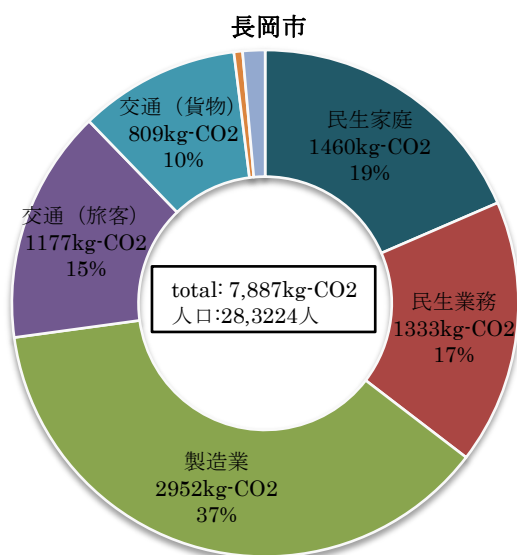
図：長岡市の人口推移予測

### e.各都市のCO<sub>2</sub>排出量比較

左の図は環境自治体会議の「2003年度市町村別温室効果ガス排出量の推計」をもとに、長岡市と全国平均、東京23区における一人当たりの部門別のCO<sub>2</sub>排出量をグラフ化したものである。これを見ると長岡市の二酸化炭素排出量の内訳は全国平均の内訳とおおよそ同じであることが見て取れる。一人当たりの二酸化炭素量において長岡市では交通（旅客）部門が全国平均や東京23区に比べて大きい。これは長岡市の主な移動手段が自動車（トリップ分担率約80%）であることや、冬には雪が積もる豪雪地帯である地域特性から車での移動が不可欠であることによるものと思われる。全国平均から比べて交通でのCO<sub>2</sub>排出量が多い分、市域を小さくすることでのCO<sub>2</sub>排出量削減効果が期待できる。また一人当たりの総量が全国平均に比べて大きいのは長岡市が雪国であるため暖房によるCO<sub>2</sub>排出量が多いためであると考えられる。長岡市は冬、寒冷である分建物の断熱性能を上げることで、冬の暖房によるCO<sub>2</sub>排出量が大きく削減できると考えられる。また長岡市は水系に恵まれている。夏にはこの水系で冷えた風を家屋の中に引き込むことで夏の冷房によるCO<sub>2</sub>排出量を削減することができる。そのようにして夏も冬も快適な住環境を作り出していくことができる。

再び各都市のCO<sub>2</sub>排出量の話に戻るが、東京での一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少ない。これは、大きな排出量がある製造部門が東京23区内にはあまりないということに由来すると考えられる。また交通部門においては東京では自動車によるトリップ分担率が低く、鉄道の分担率が高い。鉄道のほうが単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量小さい。また東京23区は比較的區域が小さくトリップ長も減る。そのためCO<sub>2</sub>排出量が他地域に比べ低くなっていると考えられる。

このようにCO<sub>2</sub>排出量からその都市の特性を読み取ることができる。このような見方をしても長岡市はある程度全国を平均するような都市構造をもっていると言える。



## f. 本論の流れ（要約）

## 1 章 序論（本研究と他研究との評価システムの違いや視点の違いについて）

- ・本研究では長岡市の2050年に向けた都市構造改革のCO<sub>2</sub>、コスト面の評価を行う。
- ・本研究の既往研究との一番の違いはコンパクトシティに対する視点の違いである。
- ・本研究では都市構造変革に得られう波及的効果（交通トリップの減少、住宅のエネルギー効率の向上）についても評価を行っている。
- ・本研究では都市構造変化の移行期の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量をストックCO<sub>2</sub>、完成系での一年あたりの建築・インフラ維持によるCO<sub>2</sub>排出量とランニングによるCO<sub>2</sub>排出量を合わせてフローCO<sub>2</sub>と定義し、その二つを別々に算出し、評価を行っている。（LCIを応用した評価手法である）

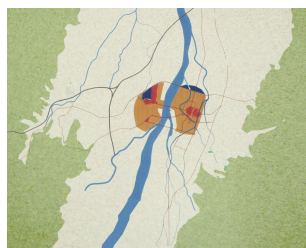
2 章 現状の長岡市のCO<sub>2</sub>排出量

- ・CO<sub>2</sub>排出量の計算方法についての記述や評価対象の耐用年数及び平均寿命についての記述
- ・本研究では住宅の建設・廃棄量の計算にコーホート法を用いている。つまり建物の経年での残存率を考慮して建物の廃棄量を計算している。インフラについては耐用年数をもって廃棄されるとしている。
- ・現状の長岡市におけるCO<sub>2</sub>排出量における建物、インフラ維持によるCO<sub>2</sub>とランニングによるCO<sub>2</sub>排出では4倍の差がある。



## 3 章 2050年までの人口、床面積の推計と都市像の検討

- ・2050年の長岡市の人口は推計で19.8万人で現在の約69%である。これは全国平均より少し大きい減少率である。高齢者比率については約35%で、全国平均より小さい割合である。
- ・長岡市の現在の一人当たりの床面積は48㎡である。これは全国平均の38㎡よりかなり大きいため、2050年においても一人当たりの床面積は増えないとした。
- ・コンパクトシティのモデルタイプとして長岡市に適応する形で三つのモデルを検討した。
  - ・単心案：一つの中心を中心にした一定の市街区域内にすべての都市的活動を集中させる。理念的なコンパクトシティに近いパターンを目標とする。
  - ・多心案：郊外の存在も認め、現状の市街地に既に散在して立地する、いくつかの市民生活の拠点（ショッピングモール、大規模病院、駅、市役所、学校など）を核に、ゆるやかな多心型の都市構造に再編成する、というものである。
  - ・市場案：現状の日本の都市政策の延長上にあるが、より徹底して市場原理が働き、経済的に合理的な土地利用に落ち着く様に、政策的介入を最小限にする。



単心案



多心案



市場案

4 章 2050年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

- ・ストックとフローに分けて計算を行った。ストックにおいては単心案が最もCO<sub>2</sub>排出が多く12,000（千t-CO<sub>2</sub>）に達する。ストックにおいて最小なのは多心案で8,900（千t-CO<sub>2</sub>）である。市場案に対してインフラでの建設・廃棄が少ない分、わずかに市場案のストックCO<sub>2</sub>を下回った。

#### 4章 2050年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

- ・フローにおいては単心案が最小で1,810（千t-CO<sub>2</sub>）である。最大なのは市場案で1,995（千t-CO<sub>2</sub>）一年間に排出される。ストックと比較すると単心案は市場案に対して移行後20年で移行時における単心案と市場案との建設・廃棄のCO<sub>2</sub>排出量の差を回収することができることがわかった。一方、多心案に対しては約90年の回収期間が必要であることがわかった。都市の形態は歴史上それほど長くは維持されないで90年間という回収期間は長すぎると考えられる。
- ・今までコンパクトシティについての議論の中心であった「単心案」はなるべく政策を施さない「市場案」に対してみると確かに有効である。しかし「多心案」という違うタイプのコンパクトシティも考えると移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の回収期間を考えると「単心案」より「多心案」のほうが合理的であると言える。※集合住宅のエネルギー効率を戸建て住宅の70%として試算。交通での自動車、バスのトリップ分担率は約80%。単心案の移行時のインフラの強制廃棄分を市域の50%に設定。



#### 5章 2050年に向けた都市変革におけるコストの算出及び考察

- ・ストックにおけるコストは単心案が最大で約3兆5千億円である。移行時のコストは生産者ベースで多心案と単心案で9,000億円の差がある。多心案と市場案では500億円の差である。単心案とその他2案では約1兆円ほど移行時でコスト差が出るのである。
- ・フローでのコストにおいては単心案が最小で1,360億円である。単心案と多心案では17億円、市場案とでは164億円の差がある。単心案が市場案との移行時の建設・廃棄コストの差を回収するには55年ほどかかり、多心案に対しては500年ほどかかる計算になる。
- ・コストについてはCO<sub>2</sub>排出量ではかる以上に単心案の多心案に対する歩が悪い。
- ・CO<sub>2</sub>排出量、コストの両面から見ても多心案は合理的である。
- ・公共事業許容費に対する維持にかかる土木工事費の割合の経年変化を試算した。単心案でも多心案でも約30年ほどで維持にかかる土木工事費が公共事業許容費の100%に達する。2050年には市場案では200%になり、事実上インフラを維持していけないことがわかる。（多心案では150%、単心案で140%と試算された。）
- ・今後市域を縮小しないと、インフラ維持費の負担が増していき、都市を維持する資金繰りが困難になる。また、都市の移行を進める資金がなくなってしまう。



#### 6章 各種施策による都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量への影響分析

- ・省エネ化により家庭でのエネルギー効率が良くなるとフローで移行時における他案との建設・廃棄のCO<sub>2</sub>排出量の差を回収する単心案は、その回収する期間が大幅に伸びることになる。
- ・省エネ化により自動車の燃費やエネルギー効率が良くなるとフローで移行時における他案との建設・廃棄のCO<sub>2</sub>排出量の差を回収する単心案は、その回収する期間が大幅に伸びることになる。
- ・建物が長寿命化すると原単位が木造に比べ倍ほど大きいRC造の建物が多い単心案にとって優位に働く。
- ・インフラの長寿命化は市域の小ささによるインフラ維持によるCO<sub>2</sub>排出量の小ささを生かせなくなり単心案にとって不利になる。
- ・省エネ化、長寿命化が進むと総合的にフローで回収する単心案の回収期間が伸びることにつながる。近年、全産業でCO<sub>2</sub>排出削減に取り組んでいる中、省エネ化、長寿命化は今後格段に進むと考えられるので、単心案はますます不合理である。
- ・市域の縮小分を植林した場合のCO<sub>2</sub>固定効果を試算した。CO<sub>2</sub>としては一年あたり多心案で50（千t-CO<sub>2</sub>）、単心案で72（千t-CO<sub>2</sub>）の固定効果があり、かなりの効果が得られる。緑化をおこなうことで単心案の多心案に対する回収期間は70年に縮まる。CO<sub>2</sub>排出権取引の価格に直すと、それぞれ一年あたり61億円、87億円である。
- ・市域の縮小分のインフラを廃棄しなかった場合のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果は多心案では310（千t-CO<sub>2</sub>）、単心案では364（千t-CO<sub>2</sub>）である。これはCO<sub>2</sub>固定効果に換算すると長岡市の市域を超える1,000㎡分に匹敵する。コストの削減効果は多心案では739（億円）、単心案では864（億円）である。今後人口減少に伴い税収が減り公共事業や福祉費にあてるお金のねん出が難しくなることを考えると大きな削減効果である。



## 6章 各種施策による都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量への影響分析

- 地域別の家屋築年数を考慮した場合の移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を算出した。その結果、長岡市については地域別の家屋築年数を考慮した場合でもしない場合とあまり変わらないことが確認された。
- 移行でのCO<sub>2</sub>排出に対して家屋の占める割合は大きい。移行の期間を短くすると多心案の寿命を待たない家屋の強制廃棄が発生し、単心案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差が縮まるので、家屋の平均寿命（長岡市では45年程度）以上の移行期間をとったほうがいい。
- 移行期の各案のフローでのCO<sub>2</sub>排出量を算出した。その結果に基づくと移行期の間のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の差で移行後の移行期の建設・廃棄のCO<sub>2</sub>排出量の回収期間20年分のCO<sub>2</sub>排出量を回収できることがわかった。移行期も考慮すると単心案は多心案に対して移行期の建設・廃棄のCO<sub>2</sub>排出量を約70年間で回収できる。それでも回収までのは相当な期間を要し、多心案のほうが合理的であるという大勢は変わらない。



## 7章 最適な低炭素像の考察

- 戸建て住宅と集合住宅の割合をX：（1－X）にした場合のストックとフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量を算出した。
- 単心案の移行時の建設・廃棄量の回収期間が最も長くなる戸建て住宅と集合住宅の割合は70:30のときで、このとき回収期間は約105年になった。（現在の戸建て住宅と集合住宅の割合は95:5）
- 70:30の時、単心案に対するカウンタープロポーザルとしては最も有効であるが、この割合が60:30や80:20でもかなり効果を得られる。したがって、集合住宅（RC高層）と戸建て住宅（木造低層）の割合はある程度の幅をもって有効であり、途中で70:30を完全に達成しなくてもよい、柔軟さがある。
- 理想形での2050年でのフローは現在比64%、1990年度比で約90%で、京都議定書での決まりの－6（%）の約2倍の削減に値する。



## 8章 低炭素像に対する定性的な考察

- 道路や下水道の整備状況、さらには人口密度などの項目について図化した。
- 図と各案とを見比べた時に多心案のほうが現状によりスムーズに移行できる形態であることがわかった。現状のインフラを生かしながら、新規開発をなるべくしないように誘導していくほうがCO<sub>2</sub>排出量が減る。
- 既存道路に周辺に誘導する形でコンパクト化し、他市町村まで続くように市域を形成したほうが良い。そのことで域外へのトリップによる環境負荷を下げるができる。
- 政策で誘導するよりも、交通戦略によって都市を誘導する。



## 9章 全体のまとめ

- 条件などを整理し、全体の結果をまとめた。
- 今回の研究結果をまとめると今すぐ理想形（住宅更新において戸建て住宅：集合住宅の割合が70:30の場合）の多心案に向けて、建物の寿命に合わせたペースで都市の再編を進めるべきである。そうしないと、近い将来コンパクト化にむけた資金繰りが困難になるに留まらず、都市を維持することができなくなる。早急な検討と実施が求められる。
- 実施したほうがよい施策についても言及。
- 参考資料で消費財と建築の製造と使用時のCO<sub>2</sub>排出量について比較し、建物は建設時のCO<sub>2</sub>排出が大きいいため現在の寿命では建設時のCO<sub>2</sub>量をランニングでペイできないということを確認している。

## 1 序論

## 1-1 研究の目的・背景

a.環境問題に向けた対応としての都市形態の改変と改編を評価する推計システムの必要性

近年地球温暖化問題を背景に、CO<sub>2</sub>削減が叫ばれるようになってきた。これに対する試みとして、環境負荷の少ない都市空間構造に関する幾つかの提案が従来からなされている。例えば、Dantzig らによる 200 万人が居住可能な直径 2,650m、8 階建てのコンパクトシティや、尾島による高さ 1,000m、一辺 100m のハイパービルディング、イギリス都市計画協会による都市規模別の環境負荷の少ない都市形態の提案がそれである。しかし、それらの提案においては、都市形成後の環境負荷削減が可能かどうかが主に議論されており、そのような都市へ移動する過程で発生する環境負荷、つまり新規施設や既存施設廃棄による膨大な環境負荷・建設廃棄物の発生については必ずしも考慮されていない。現実の都市を提案された都市形態に移行することを考えると、この両者がかなり異なった形態であることから、移行に伴う環境負荷は無視しがたい量になることが確実である。したがって、環境負荷の少ない都市空間構造に関して検討するためには、都市の完成後のみならず、変化の過程での環境負荷を含めた長期的推計が必要である。また同時に移行する時の経済的な負担も環境負荷と同様に無視できない。経済と環境の両側面の合理性があってはじめて新たな都市に移行していけるイニシアティブが得られると考える。

そこで本研究では、長期的な都市空間構造改変施策実施に伴う環境負荷やコストの変化を推計するためのシステムの構築を行い、CO<sub>2</sub>排出量とコストを分析することで、**都市像の完成形の合理性と都市像への移行の際における環境性、経済性の評価をし、低炭素社会実現に向けどのような都市像が一番有効でどのように移行すればいいかの知見を得ることである。**

b. 都市形態の改変を考える上で考えるべきこと—今後の人口減少について

都市形態を考える前提として環境以外にもう一つ考えるべきことがある。それは人口減少である。人口減少の方は環境問題より予測が易しい。日本では、今後長期にわたって、人口減少と人口の高齢化が同時に進行する。その様な状況は当分変わることなく続く。つまり、大半の都市の活動規模の縮小、つまり都市の生産能力の減退が避けられない。これまで都市は成長することがあっても長期にわたって縮小するなどということは誰も考えなかった。それが日本では現実になる。世界的に見ても、人口減少は先進諸国で顕著であり、既に世界の 1/3 の国々が人口維持に必要な出生率を下回っているという。一方、地球全体として人口は増えているが、出生率の高い地域も、ひとたび生活レベルが向上し教育コストが高くなり女性の自己実現の欲求が高まると、出生率は低下する傾向にある。だから人口減少は局地的な問題というより、グローバルな問題になりつつある。より豊かな生活を求める結果が人口減少を普遍的な問題にしている。

人口減少、高齢化、環境問題といった大きな問題を考慮に入れながら総合的なシステムとして未来の都市像を考えていく必要がある。そこで本研究では推計システムの中に人口減少も含めてより現実的に今後の都市像を考えていき、さらに高齢化や市民の公共費負担など未来に抱える問題を多岐にわたって考察していく。本論の最後には総合的にどのような街にしていけば人々がよりよく住め、人口が減っても維持していける、環境負荷の少ない街にしていけるかということを提案する。

また、本研究では長岡市を対象として計算を行う。長岡市は人口 28 万人で経済や人の移動が比較的市域の中で納まった閉領域として捉えられる都市である。また工業、農業などの産業もしっかりしており、山間部において農村があることや河川、各地の観光名所など地方都市の特徴を大体兼ね備えている。そのような点を踏まえると長岡市の研究を行うことで他の都市にもつながる示唆が得られると考えている。

## 1-2 既往研究、既往研究の論点

### a. 都市システムへのLCA適用には問題がある

都市・社会資本・交通システムといった、都市システムへのLCA適用は、1990年代以降、主に土木環境システムの分野で多数研究されており、ニュータウンや輸送機関といった様々な対象に適用されている。しかし、工業製品とは異なる特徴を有するがゆえの課題が多く存在している。本章は、都市システムにLCAを適用するにあたっての諸課題を整理することを目的とする。

### b. LCA研究の動向—個別のインフラ研究は進んでいるが都市システムとして複合できていない

インフラや建築物を対象としたLCAは、日本で際だって研究が行われてきた分野であり、SETACやISOにおける検討がベースとなっている工業製品分野のLCAとはやや異なった発展経過をたどってきている。これは、インフラや建築物は長い耐用年数を有するために、従来、費用や効果影響に関してライフサイクル的な分析が実施されてきていた実績があり、それらがベースとなったためである。

建築物に関しては、省エネ住宅のような建設段階と運用段階のトレードオフが問題となる場合や、長寿命住宅のような使用年数の検討といった観点からの検討においてライフサイクルコスト(LCC)分析が用いられ、これに環境の視点を加えるためにLCAが導入されるという流れであった。日本建築学会では1990年からLCAに関する検討を進め、現在ではインベントリに使用する原単位データベースが整備されるとともに、官庁施設や建築物を対象としたLCA手法が標準化されるに至っている。

土木分野においても、インフラを対象としたLCA研究が1990年代に精力的に行われた。建設プロジェクトでは一種のLCA的評価手法として、環境影響評価(環境アセスメント)が従前から実施されていたが、これは立地場所の周辺環境を評価する手法であった。そこで、地球環境問題への対応を加える必要性からLCA研究が進められた。土木学会では、インベントリ分析のためのCO<sub>2</sub>排出原単位として「学会推奨値」を整備し、さらに建設業へのLCA適用の考え方について整理を行った。

また、各種のインフラを対象としたLCA研究も進み、90年代の間に一通りの研究が出そろった。これらの研究は建築分野と異なり、建設段階における、材料の遡及的排出も含めたCO<sub>2</sub>排出・エネルギー消費を推計し、それを削減するための材料・構造・工法の選択を検討することが主な目的である。これは、インフラの場合、建設段階、特に主な材料である鋼やコンクリートの分が卓越するためである。建設段階におけるインベントリ分析は、各材料の使用量にその環境負荷原単位を乗じるというものであり、建設費の積算と同様に(建設単価を内包環境負荷原単位に置き換えればよい)ことから、原単位データベースの整備に伴ってソフトウェア開発も進んできている。

都市開発や交通機関整備といった、多数のインフラとそれを利用して行われる活動から構成される都市システムのLCAは、これらのインフラLCA研究の成果をベースに行われてきている。その際、多数のインフラや活動の環境負荷を推計し、とりまとめる必要があることから、各インフラについて標準的な構造を設定し、そのLCIを実施して、インフラに伴う環境負荷量の原単位として利用する「概略LCI」の手法が提案され、そのための環境負荷原単位データベースを構築したり、推計のためのモデルシステムを構築したりといった工夫が行われている。

しかし、土木計画の対象である、都市開発や交通機関整備といった、多数のインフラとそれを利用して行われる活動から構成される都市システムを評価する場合には、整備の態様がその後の活動を規定し、活動に伴う環境負荷を変化させることに注意が必要である。その負荷は建設段階に比べ決して小さくないため、単に建設段階のインベントリ分析を行うだけでは不十分であると言える。また、イ

インフラの複合システムになっていることから、その相互関係によって環境負荷が規定されることを考慮する必要もある。

### c.都市システムのLCAに関する既往研究の整理と問題点

#### ①既往研究

ここでは、インフラ単体を対象とするLCA研究でなく、多数のインフラが支える都市システムを対象とするLCA研究について概観する。表にまとめるように、それは大きく交通システムと都市・地域を対象とするものに分けられる（ほかにも上下水道システムなどが存在するが、ここでは取り扱わない）。いずれについても既に様々な研究事例が存在している。多数のインフラや活動の環境負荷を推計しとりまとめる必要があることから、各インフラ・活動に関する環境負荷のデータベースを構築し活用したり、推計のためのモデルシステムを構築したりといった工夫が行われている。

#### ②適用における問題点

以上の既往研究から、都市システムが工業製品とは異なる特徴を有しているが故のLCA適用の困難さが、以下のように列挙できる。

##### a) ライフタイム（耐用年数）

維持管理の仕方によっては、半永久的に存在し続けるものもあり、ライフタイムの設定が容易でない。将来の技術革新や老朽化による更新・淘汰（寿命）の考慮が難しい。しかも、都市システムの場合にはライフタイムの異なる多数のインフラ・製品から構成されており、その間の関係も考慮しなければならない。

##### b) 生産

インフラは一品生産であり、試作ということがない。正確なインベントリ分析を行うには、個々のケースに従って詳細データを入手し推計を行う必要がある一方で、計画段階（詳細設計のない段階）では、データ制約により仮定が多くなり、結果の信頼性が低下する。設計・施工段階での仕様変更によって環境負荷が大きく変化する可能性も高い。

##### c) 波及効果

都市システムの改変は広範囲な波及効果を及ぼすため、それらを包括した評価バウンダリとする必要がある。加藤らは、評価範囲をシステム自体の環境負荷（SyLCEL: System Life Cycle Environmental Load）にとどまらず、波及効果が生じる範囲まで拡張したELCEL（Extended Life Cycle Environmental Load: 拡張ライフサイクル環境負荷）概念を提案しているが、実際にそのバウンダリ特定は困難である。小さくとれば波及効果の捕捉は過小となる。大きくとれば膨大なデータを必要とし、推計が困難となる上、結果の信頼性も低下してしまう。

##### d) 社会への影響

都市システム変化によって人間の行動が変化し、例えば、輸送総量や機関分担率が経年的に変化することで環境負荷も変化する。しかし、事前評価の場合、その精度は需要予測の結果に依存してしまう。加えて、工業製品のLCAにも共通する課題として以下の点が挙げられる。

##### e) 経済的視点

LCA結果を企業活動や事業の評価としての費用対効果分析の中に取り入れるためには、経済的視点が欠かせないが、環境を貨幣価値に換算することに関して、議論の余地が残されている。



## f) 時間的視点

使用段階の環境負荷が卓越している対象ほど、ライフタイムの設定によって、ライフステージ別シェアは大きく左右される。また、評価が長期間になるほど技術革新や産業構造変化の影響を受けるようになる。

**d.課題の抽出ー都市システムへのLCA適用には「境界設定」が重要**

都市システムのLCA研究を概観し、課題を整理した結果、「時間境界の設定」「空間境界の設定」(とデータ制約・影響波及範囲との関係)、および推計結果の「評価指標の設定」に大別されることが示された。

表-1：論点の整理

出典	対象地域のスケール	対象建築物・ インフラ・活動	評価指標	概要
伊藤武美, 花木啓祐, 谷口孚幸, 有浦幸隆: ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究, 環境システム研究, Vol.23, pp.190-197, 1995.	ニュータウン	建築物 交通施設 上下水道 公園	SyLC-CO2	ニュータウン建設・供用の環境負荷評価、概略LCA手法の提案、工法の代替案効果分析
伊藤武美, 花木啓祐, 本多博: 二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用, 環境システム研究, Vol.24, pp.250-271, 1996.				
伊藤武美, 花木啓祐, 本多博: ニュータウン建設における二酸化炭素排出量の概略推計方法の検討, 環境システム研究, Vol.25, pp. 379-384, 1997.				
林良嗣, 加藤博和, 北野恭央, 喜代永さち子: 都市空間構造改変施策に伴う各種環境負荷のライフサイクル評価システム, 土木学会環境システム研究論文集, Vol.28, pp.55-62, 2000.	大都市の建物群+交通システム	建築物 交通施設 上下水道 公園 廃棄物処理施設	SyLC-CO2 ほか計 10 種類の環境負荷	都市域マネジメントによる環境負荷削減効果の評価

表-2：論点の整理

出典	対象地域のスケール	対象建築物・インフラ・活動	評価指標	概要
松本亨, 左健: 都市基盤の再構築における LCA の役割: 都市生活排水・廃棄物処理システムを事例として, 土木学会第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.195-202, 2004.	都市生活排水 廃棄物処理システム	下水道 廃棄物処理施設	SyLC-CO2 SyLC-TOD	LCC も含めた統合評価の考え方、時間経過を考慮したライフサイクルシミュレーション
栗島英明, 瀬戸山春輝, 玄地裕, 稲葉敦: 施設誘致型の社会基盤整備に対する LCA 手法の研究 三重県クリスタルタウンのケーススタディ, 土木学会第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.215-221, 2004.	ニュータウン	道路 商業施設 住宅 ホテル 医療施設	SyLC-CO2 SyLC-SOX SyLC-NOX 煤塵 固形廃棄物	施設運用による環境負荷を詳細に検討
加藤博和, 後藤直紀, 柴原尚希, 加知範康: 建築物の立地が環境負荷に及ぼす影響に関する考察, 日本 LCA 学会誌, Vol.4, No.1, pp.44-50, 2008.	地方都市	建築物 (住宅) 交通施設 (道路) 処理施設 公園	SyLC-CO2	4 次メッシュ単位での試算

### 1-3 本研究方法の確立

#### a.環境負荷の評価手法について —「境界設定」に注意し ELCEL 手法を導入

前章を踏まえて本研究での評価手法を検討する。

本研究では都市空間構造改変策を分析対象とするため、それによって変化が見込まれる土地利用変化と、波及的・長期的に影響が生じる交通、生産・生活活動を扱う必要がある。それらは互いに及ぼしあっており、例えば土地利用の変化によって交通状況が変化し、それによって生活活動も変化する。さらに、都市の生活活動や交通活動は、社会基盤施設や建築物といった都市ストックによって支えられている。社会基盤施設や建築物のライフサイクル環境負荷に関しては、既往研究によって LCA 手法の整備が進んでいるが、そのほとんどは評価対象を施設や建築物自体に限定している。しかし、都市ストックの態様は、それ自体のライフサイクルにわたる環境負荷(Life Cycle Environmental Load<LCEL>)を規定するとともに、その上で行われる都市活動に伴う環境負荷を波及的・長期的に変化させる要因ともなる。そこで本研究では、加藤による「**Extended Life Cycle Environmental Load(ELCEL)**」の概念を適応する。これは、対象とする施設・建築物自体のライフサイクルでの環境負荷に加え、供用段階での間接的・波及的な影響を考慮した環境負荷を推計することにより、対象が環境に及ぼす原因をより包括的に評価するための概念である。すなわち、土地利用変化や都市内施設・建築物の建設・維持管理・廃棄に伴う環境負荷と、それらを利用する生活活動に伴う環境負荷、そして交通に伴う環境負荷が ELCEL に該当する。さらに、都市全体の ELCEL を、その集合体を構成する各施設・建築物の ELCEL の総和として定義し、これを推計するためのモデルを構築することが必要である。

本研究では、社会基盤施設や建築物の ELCEL のシステム境界として、立地変更施策の実施に伴う交通活動への影響、及び戸建て住宅から集合住宅への変化によるエネルギー効率への影響までを扱うものの、それに伴って波及的に生じる工業・商業施設等の立地変化や、さらに社会経済全般に及ぶ影響に関しては扱っていない。これらの検討を行うためには、立地変化予測モデル等を新たに導入する必要がある。

人口予測にしばしば用いられるコーホートモデルの手法を家屋の残存面積の推計に適応するなど、既存の LCA システムと違う手法も取り入れたモデルシステムとなっている。

#### b.既往の研究事例と本研究の特徴—一番の違いはコンパクトシティに対する考え方

複数の社会基盤施設・建築物に対する最初の LCA 研究事例としては、花木らによるニュータウンを対象とした研究がある。これは、ニュータウンの土地造成・建設工事・供用までを扱い、効率的なエネルギー利用のための施設配置変更や各工事の工法への代替案の効果分析を行っている。これは、従来の単体構造物・建築物に対する LCA の延長線上にある研究といえる。

盛岡らは、大阪市の都心（中之島地区）を対象として都市施設の LCA を行い、CO<sub>2</sub> と廃棄物の現況発生量を推計するとともに、施策実施による都市活動の変化による発生負荷変化の推計を行っている。この研究は、単体構造物・建築物を対象とした LCA を、それらの集合体として都市に応用し、空間計画の立場から負荷削減施策の分析を行った最初の事例である。また、既存の都市を対象として、その再開発に伴う環境負荷を ELCEL の考え方によって評価している点も特徴的である。ただし、分析の基本単位が構造物・建築物となっているため、都市全体を表現するためには膨大なデータの収集・管理が必要となることや、土木計画・交通計画の分野で従来から蓄積されてきた交通需要や都市内立地変化を予測するモデルでは分析単位を主にゾーン（地区）とするため、構造物・建築物を分析単位とするモデルとの整合がとれず、立地や交通に関する諸施策の実施効果の分析にあたって既往モデルの知

見を生かすことが困難であるという問題点がある。

一方、LCAを用いていないものの、都市から生じる環境負荷をゾーンベースで推計した例として、黒田らの神戸市を対象とした研究がある。現状のCO<sub>2</sub>発生量と、土地利用・交通・エネルギーに着目した都市政策シナリオによるCO<sub>2</sub>削減量の推計を行い、施策間のCO<sub>2</sub>排出へのトレードオフを考慮して排出量最小化施策の組合せを決定している。しかし、LCAを用いていないために、施策実施に必要な追加設備のLCELが考慮されておらず、施策導入による負荷削減量が過大に推計されていることや、CO<sub>2</sub>排出量が最小となる土地利用に至る過程で発生する負荷発生が考慮されていないなどの問題がある。

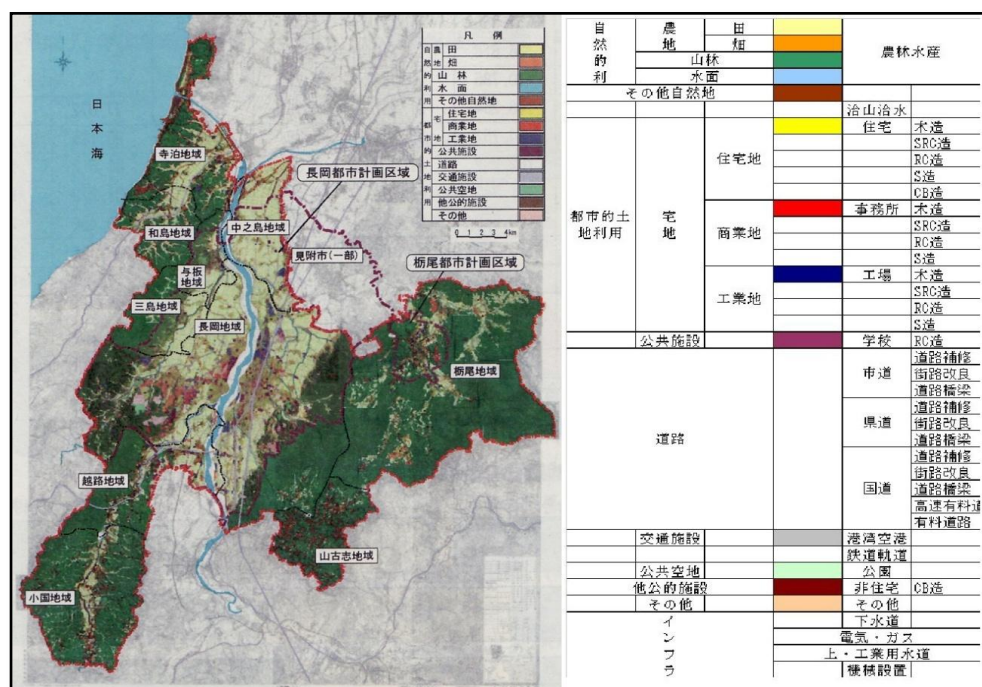
林らは名古屋市全域を対象にELCEL概念を導入することによって、既往LCA研究で一般に行われてきた同一機能の代替案比較にとどまらず、さらに都市空間を変化させる施策の実施に伴う環境負荷変化の推計を可能としている。しかし、都市空間構造に対する施策が主要駅付近への住宅誘導に限られており従来のコンパクトシティの議論に留まっている。またコンパクト化の効果が交通に限られており集合住宅化するメリットが算入されていない。

そこで本研究ではELCEL概念を導入しつつ、いくつかのコンパクトシティ化の施策を対象に分析を行うこととし、さらに集合住宅化するメリットも参入することでより波及効果を含めた評価を行うこととする。

c.評価対象範囲、対象施設一施策によって変化しない項目も算入

対象範囲は長岡市全域とする。

本研究では、建築物・インフラの複合体である都市を「都市システム」として捉え、そのシステムを構成する建築物・インフラがライフサイクルで発生する環境負荷はもとより、これらの上で行われる諸活動に伴い生じる環境負荷も評価範囲として扱う。評価対象とする建築物・インフラの種類を次の図に示す。建築物については住宅、事務所、工場をそれぞれ木造、SRC造、RC造、S造、CB造（住宅のみ）に区分し、商業施設は事務所として算入した。インフラについては道路、港湾空港、



図：長岡市を構成する要素の都市計画図に基づいた分類図

鉄道・上下水道、公園、電気・ガスを扱う。林らの研究では施策の対象にならないものを算入していないが、本研究では全体に占める割合など総合的に分析する目的で施策によって変化しない項目も算入した。

#### d. 評価対象施設の平均寿命と耐用年数—家屋とインフラで廃棄の考え方が異なる

家屋の平均寿命については結果的に木造家屋と非木造家屋の2種類に分類して算出した。平成11年度から平成20年度分までの市の統計資料の家屋の新增分調べを参照し、既存延べ床面積/一年ごとの増加床面積を算出し、それを平均することで平均寿命を算出した。

2種類についてはそれぞれ住宅木造と住宅RCの平均寿命であり、これは住宅が母数として他の用途に比べ大きいため、他の用途も含めて平均寿命を算出するより妥当な数値が得られると考えたためである。

それぞれの10年間の計算結果は以下表dの通りである。

インフラの平均寿命については電力中央研究所の「都市インフラストラクチャーの構築におけるCO2排出量」から数値を引用した。

- ・下水道、上・工業用水道：土木構造物の数値を用い50年
- ・道路：アスファルト舗装の数値を用い30年
- ・都市ガス：導管系の数値を用い50年

とした。港湾空港と公園については修繕で対応するものとして寿命は設定していない。

家屋については数値が大きいため数値の精度を上げる意味で残存率をもとに改築、廃棄を考えるが、インフラについては平均寿命に一回つくりなおされると近似した。

表：新增分調べから算出した平均寿命（単位：年）

	平成20	平成19	平成18	平成17	平成16	平成15	平成14	平成13	平成12	平成11	平均
木造	45	41	44	57	51	53	49	47	41	43	47
非木造	25	25	44	263	47	36	40	27	32	32	57

表：家屋の平均寿命とインフラの耐用年数（単位：年）

	木造	非木造		下水道	道路	上・工業用水道	都市ガス	港湾空港	公園
平均寿命	47	57	耐用年数	50	30	50	50	修繕のみ	修繕のみ

#### e. 評価システムへの建物コーホートモデルの導入—経年での廃棄率を導入して計算を行う

黒田らの研究では、環境負荷削減施策実施に伴う効果を実施後のある時間断面で推計している。しかし、実際には施策実施による都市空間構造変化の過程で、建物の更新を中心とした環境負荷が発生するため、それを考慮することが重要である。そのため、本研究では家屋を対象とした建物コーホートモデルを構築し、経年での建物更新や更新建物の立地変化による負荷の変化を扱う。

本研究ではコーホートモデルを長岡市内の住宅に適用している。推計に必要な変数のうち残存率は住宅の残存率の経年変化率は全国的ほぼ同じと考え、変形KM法（竣工記録に基づいた事務所建物の寿命調査、日本建築学会計画系論文集 第565号 pp.317-322 2003年3月）を参照し、ここでの値を上で求めた平均寿命分に引き延ばす形で残存率を推計した。

※コーホート：特定の期間に出生、結婚などの人口事象を経験した人々のグループのこと。ここでは出生コーホート、すなわち同じ時期に出生した人々のグループを指していて、「世代」と言い換えることができる。

## f.適用するLCI手法—既存の方法と本研究で独自の方法を組み合わせている

本研究で対象とする各都市内施設・建築物に適用するLCI(Life Cycle Inventory)は組み合わせ法で、既存の各施設・建築物の建設・維持管理の原単位と電力中央研究所の「都市インフラストラクチャーの構築におけるCO<sub>2</sub>排出量」を用いて算出したLCCO<sub>2</sub>に占める廃棄の割合を使ってそれに床面積や出来高ベース工事金額を乗じることで各項目のCO<sub>2</sub>排出量を算出し、それを積み上げることで総和を算出した。使用する原単位は伊香賀らによる1990年の産業連関表を基にした多項目内包環境負荷原単位を用い、金額ベースでの原単位が出されているものに対しては、工事金額を国土交通省が公表している建設デフレーターを用いて1990年価格に変換して算入した。

ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量については環境自治体会議の「市町村別温室効果ガス排出量の推計」を用いて計算を行った。林らの研究では交通活動に伴う環境負荷を、各ゾーンの立地量から交通需要予測モデルを用いて各道路・鉄道区間の交通量および燃料・電力消費量を求め、さらに内包環境負荷原単位を乗じて環境負荷を推計している、つまりは積み上げ式で算出しているが、本研究では全体の排出量から差し引きを行うことで削減効果を算出している点で大きく異なる。

ランニングでの各案の違いによって計算結果に影響が及ぶ項目としては民生家庭と交通部門となっている。民生家庭でのCO<sub>2</sub>排出量は家庭における冷暖房や給湯、厨房（コンロ）、照明、動力他（家電機器等）の使用によるCO<sub>2</sub>排出量である。住宅は木造戸建て住宅からRC造集合住宅に変わることによってエネルギー効率が70%になる。このことから市域の削減に伴う住宅の高層化によって住宅でのCO<sub>2</sub>排出量の減少が見込まれる。また交通についてはCO<sub>2</sub>排出量は、1人年間旅客交通起源環境負荷排出量[kg-X/人年]、環境負荷排出原単位[kg-X/人km]、平均トリップ長[人km/trip]、トリップ手段分担率[trip/trip]、トリップ生成原単位[trip/人日]を掛け合わせることで求められる。よって市域の減少により平均トリップ長が短くなりCO<sub>2</sub>排出量は削減される。トリップ手段分担率において自動車はその約80%を占める。自動車の分担率が大きい分、市域の減少によってCO<sub>2</sub>排出量が大きく減少する。他の研究を調べたところ、市域の減少による交通でのCO<sub>2</sub>排出量削減効果を見ているものは多いが、民生家庭部門での集合住宅化によるエネルギー効率の違いを考慮して計算を行っているものはほとんどなかった。それは民生家庭での集合住宅にすることによるエネルギーの効率化の影響がどの範囲まで及ぶかの推計が困難であるためであると考えられる。しかし、住宅の数が多くエネルギー効率の違いによる全体に対するCO<sub>2</sub>排出量削減効果も無視できないと考えたため、本研究ではエネルギーの効率化による利点を最も得られる単心案側に数値を安全にとる形で計算を行うこととした。



図：ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量削減について

次の表は本研究と他の研究での各項目の算出方法の違いをまとめたものである。本研究と他研究における各項目についての計算方法をまとめている。考察では本研究と他研究で項目での計算方法が違っている場合、なぜ本研究での計算方法をとったかなどを記述している。

※考察の波及効果の考慮が困難というのは各案による変化に伴うエネルギーの効率化などの影響がその項目のどの範囲までどれくらいの量で及ぶかの推計が困難であるということである。

表：本研究と他研究での各項目の算出方法の違い

		本研究	他研究	考察
建築	建設・改築	伊香賀らの1990年産業 連関表から算出された 原単位に床面積を乗じ て算出	伊香賀らの1990年産業連関表か ら算出された原単位に床面積を乗 じて算出または建物単位当たりの 原材料を出しそれに原材料の原単 位を乗じて算出	
	設備維持管理			
	建物維持管理			
	廃棄	電力中央研究所発行資 料の建築物の廃棄/建設 のCO <sub>2</sub> 量の割合から 原単位を算出し、それに 原単位を乗じて算出	建設時に使用した資材が廃棄され るものとして、その重量から発生 負荷を算出	建設時に使用した資材がす べて廃棄されるわけではな く、それが考慮された電力 中央研究所の資料を用いた ほうが妥当と判断
土木	建設	電力中央研究所発行資 料の建築物の建設/修繕 のCO <sub>2</sub> 量の割合修繕 でのCO <sub>2</sub> に乗じて算 出	出来高工事金額を伊香賀らの1990 年産業連関表から算出された原単 位に乗じて算出または単位当たり の原材料を出しそれに原材料の原 単位を乗じて算出	
	修繕	出来高工事金額を伊香 賀らの1990年産業連関 表から算出された原単 位に乗じて算出	出来高工事金額を伊香賀らの1990 年産業連関表から算出された原単 位に乗じて算出または単位当たり の原材料を出しそれに原材料の原 単位を乗じて算出	
	廃棄	電力中央研究所発行資 料の建築物の廃棄/修繕 のCO <sub>2</sub> 量の割合修繕 でのCO <sub>2</sub> に乗じて算 出	建設時に使用した資材が廃棄され るものとして、その重量から発生 負荷を算出	建設時に使用した資材がす べて廃棄されるわけではな く、それが考慮された電力 中央研究所の資料を用いた ほうが妥当と判断
民生家庭		環境自治体会議発行資 料の民生家庭の項目に 増減割合を乗じて算出	都市空間構造を扱う論文では扱わ れていない。建築単体としては各 電気製品からのCO <sub>2</sub> を積み上げ て算出	空調などに波及効果を限る ことで算入可能と判断
交通		環境自治体会議の交通 の項目に増減割合を乗 じて算出	パーソントリップを用いて積み上 げ式で算出	環境自治体会議の数値は積 み上げ式で出されているの で根本的には変わらない 積み上げと差し引きの差。
民生業務		環境自治体会議の項目 をそのまま算入	都市空間構造を扱う論文では扱わ れていない。	波及効果の考慮が困難
製造業		環境自治体会議の項目 をそのまま算入	都市空間構造を扱う論文では扱わ れていない。	波及効果の考慮が困難
農業		環境自治体会議の項目 をそのまま算入	都市空間構造を扱う論文では扱わ れていない。	波及効果の考慮が困難
廃棄物		環境自治体会議の項目 をそのまま算入	都市空間構造を扱う論文では扱わ れていない。	波及効果の考慮が困難



## 2 現状の長岡市のCO<sub>2</sub>排出量の算出

### 2-1 現状の長岡市でのCO<sub>2</sub>排出量について

#### a. フローCO<sub>2</sub>についてーフローCO<sub>2</sub>とは一年間都市で排出されるCO<sub>2</sub>

フローCO<sub>2</sub>は建物、インフラの維持と建物の運用やインフラの供用などのランニングによるCO<sub>2</sub>排出量を合わせたものである。

ランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出は家庭での電力消費や農作物生産時のCO<sub>2</sub>排出量などを指し、環境自治体会議の「平成17年度 地方公共団体の二酸化炭素排出量推計手法検討調査報告書」の中の市町村別温室効果ガス排出量の推計で用いられている分類を用いる。

本研究では都市形態によってCO<sub>2</sub>排出量がどのように違うかを把握するという目的のもと、算出の上で積み上げた項目分けが都市形態による影響を反映させやすい分類になっていたことと、算出の形式に信頼性があると考えたため、ここで環境自治体会議のデータを引用した。

表：ランニングCO<sub>2</sub>の項目

ランニング	民生家庭	家庭における冷暖房や給湯、厨房（コンロ）、照明、動力他（家電機器等）の使用
	民生業務	業務用建物における冷暖房や給湯、厨房、照明、動力他（家電機器等）の使用
	製造業	製造業
	交通	自動車、鉄道
	農業	農作物・畜産生産の際のエネルギー使用
	廃棄物	一般廃棄物処理

- ・環境自治体会議の「市町村別温室効果ガス排出量の推計」に基づく
- ・製造業については建設業に関わるものも一部含まれていると考えられるが、それを抜き出すことは境界条件等も考えなければならず相当困難である。また建設業分についてはストックの計算で含まれているので、製造業は都市像の変化に基本的に関係しないと考えると、建設業分が製造業に二重計上されていたとしても総和としては都市像にあって数値が変動するので、無理をして抜き出す必要はないと考えた。

#### b. 評価期間

評価期間は50年とする。評価期間は評価対象の寿命などを考慮して決定する必要がある。現状では建物の寿命は約50年であり、またインフラも耐用年数の長いもので50年なので50年間あれば現状の建物及びインフラは概ね建て替わることになり、評価期間はな寿命より長いほど精度高く評価できるがそれほど差はないので評価期間としては十分であると考えている。

#### c. 計算方法

現状の長岡市の一年間のCO<sub>2</sub>排出量（現状でのフローCO<sub>2</sub>）を次の計算対応表の項目を足し合わせることで算出する。それぞれの項目の計算方法については下記に示す。大きく分けて建築とインフラで計算方法が異なる。計算に用いた資料としては、建築、インフラの原単位もとである「伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11」「建物のLCA指針、日本建築学会、pp.98, 1999.11」と構築物別のLCCO<sub>2</sub>中の建設・修繕・廃棄の割合がわかる「都市インフラストラクチャーの構築におけるCO<sub>2</sub>排出量、電力中央研究所」、金額を補正するのに用いた「建設デフレーター、国土交通省」、



「建築年別構造用途別床面積資料、1999年～2008年、長岡市」「土木工事費、1999年～2008年、長岡市」があげられる。

フロー部分については環境自治体会議の「平成17年度 地方公共団体の二酸化炭素排出量推計手法検討調査報告書」の中の市町村別温室効果ガス排出量の推計を引用した。

### 計算式

$$a : CO_2 = 1990 \text{ 年度産業連関表を用いた建設原単位}^{*1} \times \text{既存構造用途別延べ床面積 (市の統計)} \times \{ (1 - 50 \text{ 年間での残存率}^{*6}) + (1 - 2008 \text{ 年} \sim 2058 \text{ 年に建設される分の} 2058 \text{ 年時点の残存率}^{*6}) \} \div \text{評価期間}$$

注：文献によると  $CO_2 = \text{建設原単位} \times \text{一年平均の家屋着工面積}$  で求めることが一般的であるが、都市像を比較する際に50年後の家屋の現存面積などを用いなければ移行時のCO2排出量の比較ができないため、本研究においては上記のような計算方法をとった。

$$b : CO_2 = \text{建替周期} 50 \text{ 年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクル} CO_2 \text{ 排出量}^{*1} \times \text{既存構造用途別延べ床面積 (市の統計)}$$

$$c : CO_2 = a : CO_2 \text{ の値} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル} CO_2 \text{ 排出内訳}^{*4} \text{ (電力中央研究所の資料) から算出した維持/建設の値}$$

$$d : CO_2 = a : CO_2 \text{ の値} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル} CO_2 \text{ 排出内訳}^{*4} \text{ (電力中央研究所の資料) から算出した廃棄/建設の値}$$

$$e : CO_2 = f : CO_2 \text{ の値} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル} CO_2 \text{ 排出内訳}^{*4} \text{ (電力中央研究所の資料) から算出した建設/維持の値} \times \text{評価期間/平均寿命}^{*5}$$

$$f : CO_2 = 1990 \text{ 年度産業連関表を用いた 改修・補修原単位}^{*2} \times \text{建設工事費デフレーター}^{*3} \text{ (国土交通省)} \times \text{出来高ベース工事金額}^{*3}$$

$$g : CO_2 = f : CO_2 \text{ の値} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル} CO_2 \text{ 排出内訳}^{*4} \text{ (電力中央研究所の資料) から算出した廃棄/維持の値} \times \text{評価期間/平均寿命}$$

50年間での残存率、出来高ベース工事金額は資料をもとに算出しなければいけない。その結果を以下の g.建物コーホートモデルによる 2058 年における既存家屋の残存面積の算出、h.インフラのLCCO2排出量を計算するために必要な出来高ベース工事金額の算出 の項目で示す。さらに工事金額は建設・維持・廃棄をすべて含んだものであるため建設・維持・廃棄に金額を振り分けることを i.道路工事費、下水道工事費に占める新設改良費と維持費の割合で行った。

原単位、建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳については文献からの引用で d.計算に用いる原単位、e.計算に用いる建設工事費デフレーター、f.計算に用いるライフサイクルに占める構築、維持・修繕、解体の割合で示す。

表：計算対応表

							新築・改築	維持管理		廃棄
								設備	建物	
建築	都市的 土地利 用	宅地	住宅地		住宅	木造	a	b	c	d
						SRC 造	a	b	c	d
						RC 造	a	b	c	d
						S 造	a	b	c	d
						CB 造	a	b	c	d
			商業地		事務所	木造	a	b	c	d
						SRC 造	a	b	c	d
						RC 造	a	b	c	d
						S 造	a	b	c	d
			工業地		工場	木造	a	b	c	d
						SRC 造	a	b	c	d
						RC 造	a	b	c	d
						S 造	a	b	c	d
		公共施設				学校	RC 造	a	b	c
							新設	修繕	廃棄	
土木	自然的 利用	農地	田		農林水産	e	f	g		
			畑			e	f	g		
		山林					e	f	g	
		水面					e	f	g	
	その他自然地				治山治水	e	f	g		
	道路				道路	e	f	g		
	交通施設				港湾空港	e	f	g		
					鉄道軌道	e	f	g		
	公共空地				公園	e	f	g		
	他公的施設				非住宅	CB 造	a	b,c	d	
	その他				その他	e	f	g		
	インフラ				下水道	e	f	g		
					都市ガス	e	f	g		
					上・工業用水道	e	f	g		
					機械設置	e	f	g		
	ランニング	民生家庭						環境自治体会議の値を参照		
		民生業務						環境自治体会議の値を参照		
製造業						環境自治体会議の値を参照				
交通						環境自治体会議の値を参照				
農業						環境自治体会議の値を参照				
廃棄物						環境自治体会議の値を参照				

※対応表内のアルファベットが計算式のアルファベットに一致する。建築では新築・改築、設備維持管理、建物維持管理、廃棄の4つに区分され、土木では新設、修繕、廃棄に区分される。表中央の色分けは都市計画図に一致している。この表を埋めることで都市全体のCO2排出量を求めることができるようになっている。

## d.計算に用いる原単位

建築物の環境負荷評価（LCA：ライフサイクルアセスメント）の手法は、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、住宅・建築省エネルギー機構、建設省（現、独立行政法人）建築研究所、建設省（現、国土交通省）大臣官房官庁営繕部等で取り組まれている。今回使った原単位は「伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11」から引用したもので特徴として輸入品からの排出を含んでいることや固定資本形成成分を含んでいるなどシステム境界がほかの原単位に比べて広いということがあげられる。

表：aとbの計算で用いた1990年度産業連関表に基づいた原単位

			単位：kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	単位：kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ・年
			新築・改築	設備維持管理
	住宅	木造	383.7	7.43
		SRC造	1172.1	
		RC造	943.6	
		S造	791.9	
		CB造	516.8	
	事務所	木造	342.1	17.84
		SRC造	1139.7	
		RC造	907.9	
		S造	652.6	
	工場	木造	200.6	7.74
		SRC造	703.6	
		RC造	706	
		S造	439.4	
	学校	RC造	793.9	11.14

表：fの計算で用いた原単位

			単位：kg-CO <sub>2</sub> /千円
	農林水産	農林関係公共事業	4.68
	治山治水	治水	4.85
	道路	道路改良	4.1
	港湾空港	港湾漁港	4.87
	鉄道軌道	鉄道軌道	5.07
	公園	公園	4.29
	その他	その他	4.58
インフラ	下水道	下水道	4.3
	都市ガス	電気通信施設	3.11
	上・工業用水道	上・工業用水道	5.1
	機械設置	機械設置	2.39
	宅地造成	宅地造成	4.7

出典：伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11

## e. 計算に用いる建設工事費デフレーター

デフレーターとはある経済量の金額表示の値を、時間的に、その数量だけの変動として比較できるように、その間の価格変動による影響を取り除いた数値に直すために用いられる価格指数のことである。データとしては平成12年度を基準とした各年の物価指数があり、その1990年の指標を、2005年の指標で割ることでデフレーターを算出した。2005年を使っているのはデータが2005年分が最新であり、土木工事費データの2008年度分に最も近いからである。この値を用いて現在の出来高工事金額を1990年度での出来高工事金額に補正している。

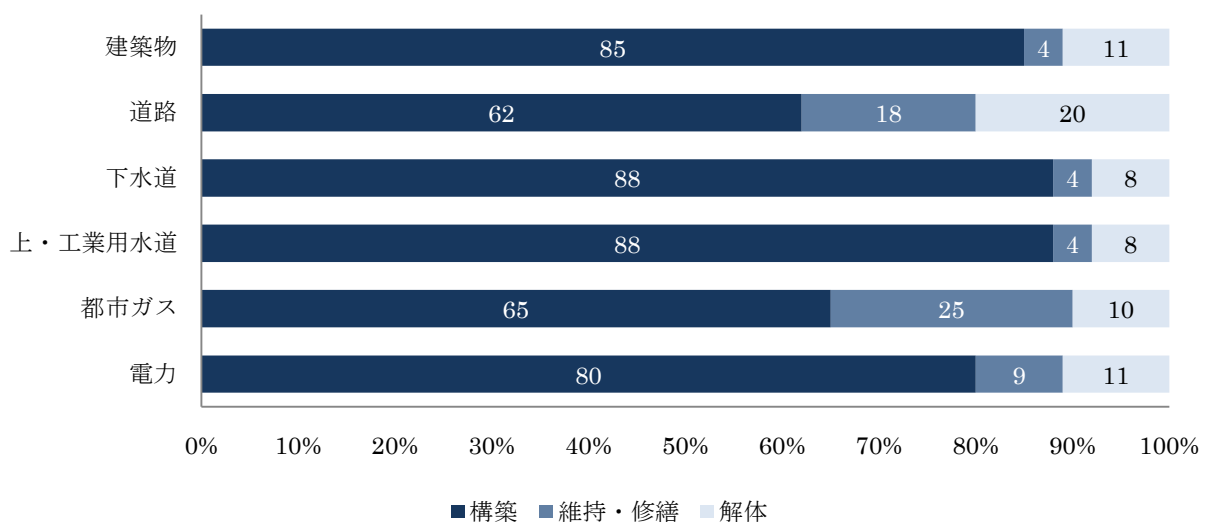
表：fの計算で用いた建設工事費デフレーター

	農林水産	0.9541376
	治山治水	0.9604967
	道路	0.954334
	港湾空港	0.9668573
	鉄道軌道	0.9730399
	公園	0.9686008
	その他	0.9669996
インフラ	下水道	0.9624278
	都市ガス	1.0027762
	上・工業用水道	0.9582808

出典：建設工事費デフレーター（国土交通省）

## f. 計算に用いるライフサイクルに占める構築、維持・修繕、解体の割合

次の表は都市インフラストラクチャー整備の構築、維持・修繕、解体別のライフサイクルCO2排出量を割合に変換したもので電力中央研究所から引用した。原単位の中で廃棄の原単位は算出されていない。それは廃棄方法が地域によって異なることや、標準的な廃棄を見積もることができないためである。しかし、本研究では都市像への移行時の廃棄によるCO2排出量は無視できない。そこで構築、維持・修繕、解体別のライフサイクルCO2排出量の比を用いて、まず建設や維持のCO2排出量を求め、それに廃棄の比をかけることで廃棄のCO2排出量を求めることとした。この方法をとったのは他の出典から廃棄の原単位だけを引用するより、先の原単位を用いながら比で廃棄のCO2排出量を出す方が、同じ基準でCO2排出量を求めることができると考えたからである。



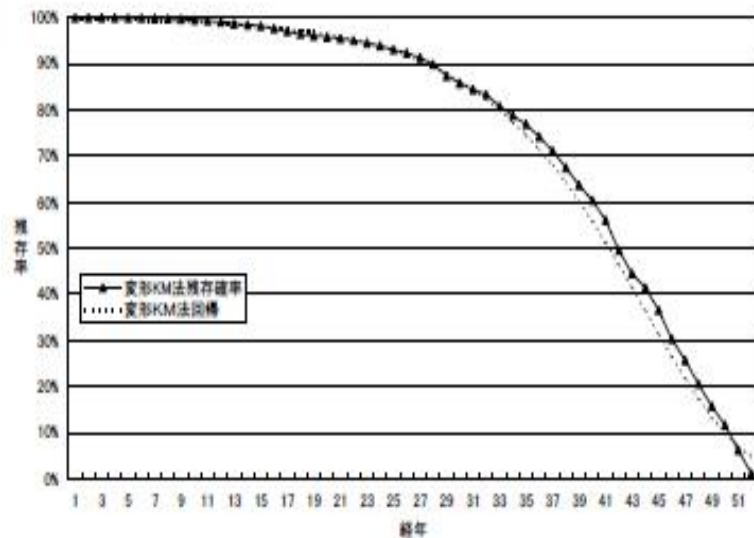
図：ライフサイクルに占める構築、維持・修繕、解体の割合（電力中央研究所）

## g.建物コーホートモデルによる2058年における既存家屋の残存面積の算出

## ①残存率の計算

変形KM法（竣工記録に基づいた事務所建物の寿命調査、日本建築学会計画系論文集第565号 pp.317-322 2003年3月）を参照し、ここでの値を上で求めた平均寿命分に引き延ばす形で残存率を推計した。

推計した結果、経年と家屋の残存率との関係は以下の表のようになった。平均寿命の時、50%が解体され31年経過時点では木造住宅は31%、非木造住宅は38%が解体されているという表の見方である。



図：変形 KM 法による残存率（平均寿命 40.25 年のもの）

表：経年での残存率（単位：年）

	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	平均寿命
木造家屋	31	37	41	44	47	49	52	54	57	47
非木造家屋	38	45	50	54	57	60	63	66	69	57

## ②2058年での残存面積の算出

上で分析した残存率をもとに長岡市の建築年次別床面積から2058年での既存家屋の残存率と2008年から2058年に建設される家屋の2058年での残存面積を計算した。（今回の残存率の計算は延べ床面積が現状のままという前提で行っている。）

次の図は面積を計算した結果をまとめたものである。

この結果、木造家屋は  $74,529 \div 14,787,594 \div 5\%$ 、非木造家屋では  $1,768,210 \div 8,318,041 \div 21\%$  が2058年に残存することが推計された。

廃棄床面積分が2058年まで均等に建設されるという仮定のもと、建設分のうち2058年までにもう一度改築される分を算出した。

その結果、木造家屋は現状の11%分、非木造家屋では現状の5%分が2058年までに建設され、廃棄され、再び建設されることがわかった。

以上より床面積が現状と変わらないとすると2058年までの50年間のうちに木造家屋は現状の10.6%分が、非木造家屋では現状の8.4%分が建設されることが推計された。

$$\text{Cf. } 50 \text{ 年} \div 47 \text{ 年} \times 100 = 10.6\%$$

$$50 \text{ 年} \div 57 \text{ 年} \times 100 = 8.7\%$$

表：2058年での既存家屋の残存面積（単位：㎡）

建築年次	木造家屋	築年数	残存率	2058年面積	非木造家屋	残存率	2058年面積
～S38.1.1	2,553,010	45^	0	0	131,958	0	0
S38.1.2～	509,360	42^45	0	0	115,390	0	0
S41.1.2～	735,085	39^42	0	0	225,638	0	0
S44.1.2～	925,159	36^39	0	0	461,099	0	0
S47.1.2～	886,774	33^36	0	0	393,156	0	0
S50.1.2～	1,002,165	30^33	0	0	455,152	0	0
S53.1.2～	1,024,079	27^30	0	0	580,582	0	0
S56.1.2～	782,157	24^27	0	0	584,261	0	0
S59.1.2～	688,092	21^24	0	0	579,847	0	0
S62.1.2～	805,160	18^21	0	0	777,384	0.1	77,738
H2.1.2～	887,142	15^18	0	0	896,335	0.2	179,267
H5.1.2～	922,847	12^15	0	0	746,470	0.3	223,941
H8.1.2～	908,298	9^12	0.1	90,830	763,980	0.4	305,592
H11.1.2～	709,133	6^9	0.2	141,827	508,626	0.5	254,313
H14.1.2～	580,507	3^6	0.3	174,152	413,544	0.6	248,126
H17.1.2～H20.1.1	868,626	0^3	0.4	347,450	684,619	0.7	479,233
合計	14,787,594			754,259	8,318,041		1,768,210

#### h.インフラのLCCO2排出量を計算するために必要な出来高ベース工事金額の算出

建設総合年度報の新潟県の年度工事費に対して新潟県の各市町村、県の土木費の合計に対する長岡市の土木費の割合を乗じて長岡市の年度工事費を算出した。

注：長岡市は近年2度にわたり市町村合併をし、今の市域になっている。そのため、過去十年間にわたり、旧市町村それぞれの土木工事費データを集めることが困難であった。そこで土木工事費全体の額については長岡市のデータを用い、その内訳については長岡市に一番近いと思われる新潟県の土木工事費内訳と同じ割合で出すこととした。

表：新潟県の土木工事費（単位：百万円、出典：建設総合年度報 1998年～2007年）

	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	平均
土 木 計	620,087	609,059	801,607	694,296	721,563	886,813	1,021,336	981,966	1,120,696	1,255,268	871,269
治 山 ・ 治 水	101,484	104,152	113,812	108,080	115,464	134,410	147,743	177,329	190,257	205,764	139,850
農 林 水 産	55,910	55,037	71,704	96,985	112,375	126,607	146,403	138,403	156,294	191,338	115,106
道 路	171,573	152,562	170,140	161,630	202,121	254,457	378,342	287,438	324,971	378,581	248,182
港 湾 ・ 空 港	13,270	15,582	12,843	19,823	29,606	32,613	34,482	51,268	61,794	54,021	32,530
下 水 道	84,024	104,671	109,257	111,750	107,169	162,802	148,681	147,989	158,083	170,370	130,480
公 園	7,791	10,506	6,835	11,079	8,485	10,239	27,370	33,324	24,272	19,477	15,938
災 害 復 旧	52,048	69,501	184,598	67,034	19,353	26,139	23,950	24,230	49,386	54,839	57,108
土 地 造 成	4,925	11,749	20,542	11,411	14,534	16,646	20,456	22,911	18,288	15,570	15,703
鉄 道 ・ 軌 道	24,693	26,103	48,011	47,764	45,425	32,787	19,134	19,001	14,368	17,622	29,491
電 気 ・ ガ ス	4,883	1,654	0	0	0	69	5	16	189	54	687
上 ・ 工業用水道	85,816	39,137	3,731	4,446	5,248	11,585	11,894	10,243	8,639	8,242	18,898
廃 棄 物 処 理	1,196	2,710	38,943	38,040	46,756	49,710	34,162	38,145	67,098	91,407	40,817
維 持 補 修	5,757	5,340	4,422	3,874	5,444	4,700	5,950	6,756	6,501	4,588	5,333
そ の 他	6,716	10,356	16,770	12,381	9,582	24,047	22,754	24,887	40,516	43,327	21,134

長岡市の決算書により長岡市の18年度の土木工事費は31,134百万円。近年、長岡市は合併を繰り返しているので現在の長岡市の規模での土木工事費を手に入れるのが困難であった。そのようなことがあり、本研究では手に入るもので最新の18年度分の土木工事費を用いた。

新潟県の土木工事費の内訳と同じ割合で長岡市の土木工事費の内訳を出した結果が右の表である。

Cf.計算例

長岡市の治山・治水工事費

=長岡市の土木工事費×新潟県の

治山・治水工事費/新潟県の土木工事費

=31,134(百万円)×139,850(百万円)/871,269  
(百万円)

≒4,997(百万円)

表：長岡市の土木工事費内訳

	百万円
土木計	31,134
治山・治水	4,997
農林水産	4,113
道路	8,869
港湾・空港	1,162
下水道	4,663
公園	570
災害復旧	2,041
土地造成	561
鉄道・軌道	1,054
電気・ガス	25
上・工業用水道	675
廃棄物処理	1,459
維持補修	191
その他	755

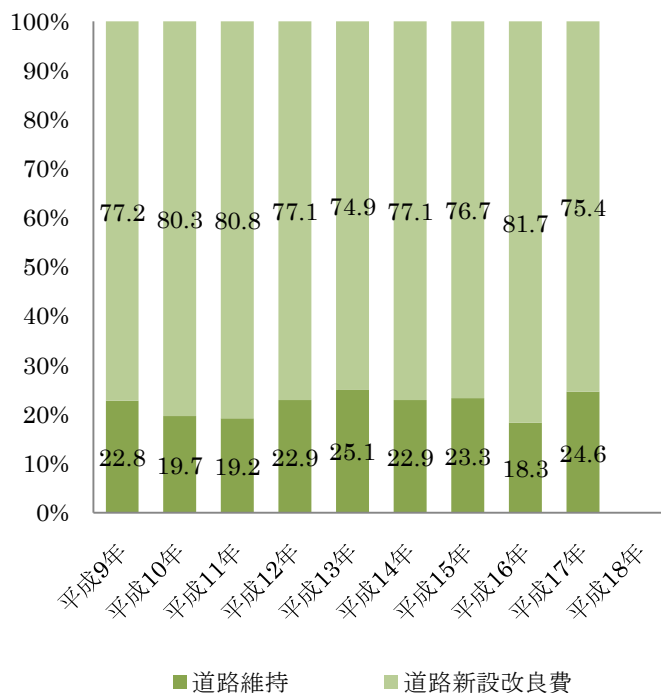
#### i.道路工事費、下水道工事費に占める新設改良費と維持費の割合

道路工事費に占める新設改良費と維持費の割合は下の通りである。

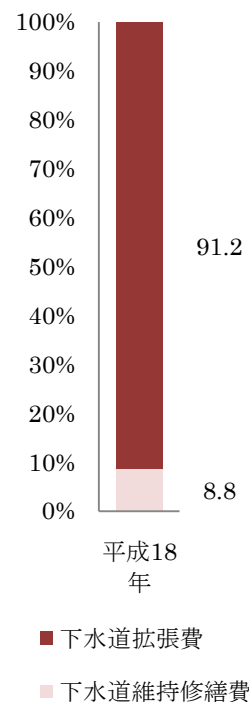
10年間の平均で道路工事費に占める道路維持の割合は22.1%である。この22.1(%)が現在の長岡市の道路を維持するのに充てられていると考え計算を行う。

次に、下水道工事費に占める新設改良費と維持費の割合は下に示す。

図：長岡市の道路工事費に占める道路維持と新設改良の割合の推移（長岡市決算をもとに作成）



図：下水道工事費に占める維持費と拡張費の割合の推移（長岡市決算をもとに作成）



下水道工事費に占める下水道維持の割合は8.8%である。この8.8%が現在の長岡市の下水道を維持するのに充てられていると考え計算を行う。また上水道については下水道と同じ割合で維持費が充てられていると近似して以下で計算を行った。

電気ガスについては工事費が小さく全体としての影響が小さいと考え電力中央研究所の都市ガスの建設・維持・廃棄の割合で工事費を割り当てた。

## i. 計算

### 建築でのCO2排出量の計算

#### 住宅木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO2排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2008\text{年} \sim 2058\text{年に建設される分の2058年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\
 &= 384(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 11,512,098(\text{m}^2) \times 1.06 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{93,718(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO2排出量} &= \text{建設・改築でのCO2排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 93,718(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{4,410(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO2排出量} &= \text{建設・改築でのCO2排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 93,718(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{12,128(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO2排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO2排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 11,512,098(\text{m}^2) \\
 &= \underline{85,535(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

以上のように他の構造用途の建築についても計算した結果は以下の通りになる。

表：長岡市の建築での一年間のCO2排出量（単位：t-CO2/年）

			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	93,718	85,535	4,410	12,128
		SRC造	3,074	1,160	145	398
		RC造	16,681	7,815	785	2,159
		S造	12,990	7,254	611	1,681
		CB造	105	89	5	14
	事務所	木造	2,056	5,059	97	266
		SRC造	4,150	3,866	195	537
		RC造	8,109	9,484	382	1,049
		S造	13,187	21,444	621	1,707
	工場	木造	1,538	2,794	72	199
		SRC造	1,043	682	49	135
		RC造	3,608	2,355	170	467
		S造	20,772	21,799	978	2,688
	学校	RC造	4,786	3,997	225	619



## 土木でのCO2排出量の計算

## 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO2排出量} &= \text{道路の改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの道路工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \\
 &\quad \text{道路工事費に占める道路維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\
 &= 4.38(\text{kg-CO2/千円}) \times 8,869(\text{百万円/年}) \times 0.954334 \times 0.221 \times 62/18 \times \\
 &\quad 30(\text{年}) \div 50(\text{年}) \\
 &\approx \underline{16,932(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO2排出量} &= \text{道路の改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの道路工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \\
 &\quad \text{道路工事費に占める道路維持の割合} \\
 &= 4.38(\text{kg-CO2/千円}) \times 8,869(\text{百万円/年}) \times 0.954334 \times 0.221 \\
 &\approx \underline{8,193(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO2排出量} &= \text{道路の改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの道路工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \\
 &\quad \text{道路工事費に占める道路維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\
 &= 4.38(\text{kg-CO2/千円}) \times 8,869(\text{百万円/年}) \times 0.954334 \times 0.221 \times 20/18 \times \\
 &\quad 30(\text{年}) \div 50(\text{年}) \\
 &\approx \underline{5,462(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

## 下水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO2排出量} &= \text{下水道の原単位} \times \text{1年あたりの下水道工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{下} \\
 &\quad \text{水道工事費に占める下水道維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\
 &= 4.3(\text{kg-CO2/千円}) \times 4,663(\text{百万円/年}) \times 0.9624278 \times 0.088 \times 88/4 \times 50 \\
 &\quad (\text{年}) \div 50(\text{年}) \\
 &\approx \underline{37,360(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO2排出量} &= \text{下水道の原単位} \times \text{1年あたりの下水道工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{下} \\
 &\quad \text{水道工事費に占める道路維持の割合} \\
 &= 4.3(\text{kg-CO2/千円}) \times 4,663(\text{百万円/年}) \times 0.9624278 \times 0.088 \\
 &\approx \underline{1,698(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO2排出量} &= \text{下水道の原単位} \times \text{1年あたりの下水道工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{下} \\
 &\quad \text{水道工事費に占める道路維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\
 &= 4.3(\text{kg-CO2/千円}) \times 4,663(\text{百万円/年}) \times 0.9624278 \times 0.088 \times 8/4 \times \\
 &\quad 50(\text{年}) \div 50(\text{年}) \\
 &\approx \underline{3,396(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

## 上・工業用水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO2排出量} &= \text{上・工業用水道の原単位} \times \text{1年あたりの上・工業用水道工事費} \times \text{建設工事費デフ} \\
 &\quad \text{レーター} \times \text{上・工業用水道工事費に占める上・工業用水道維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO2排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \\
 &\quad (\text{年}) \div \text{評価期間} \\
 &= 5.1(\text{kg-CO2/千円}) \times 675(\text{百万円/年}) \times 0.9582808 \times 0.088 \times 88/4 \times 50 \\
 &\quad (\text{年}) \div 50(\text{年}) \\
 &\approx \underline{6,387(\text{t-CO2/年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{上・工業用水道の原単位} \times \text{1年あたりの上・工業用水道工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{上・工業用水道工事費に占める道路維持の割合} \\ &= 5.1 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 675 (\text{百万円/年}) \times 0.9582808 \times 0.088 \\ &\div \underline{290 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{上・工業用水道の改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの上・工業用水道工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{上・工業用水道工事費に占める上・工業用水道維持の割合} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\ &= 5.1 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 675 (\text{百万円/年}) \times 0.9582808 \times 0.088 \times 20/18 \times 50 (\text{年}) \div 50 (\text{年}) \\ &\div \underline{581 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 都市ガス

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{都市ガスの原単位} \times \text{1年あたりの都市ガス工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{都市ガス工事費に占める都市ガス建設の割合} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\ &= 3.11 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 25 (\text{百万円/年}) \times 1.0027762 \times 0.65 \times 50 (\text{年}) \div 50 (\text{年}) \\ &\div \underline{51 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{都市ガスの改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの都市ガス工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{都市ガス工事費に占める都市ガス維持の割合} \\ &= 3.11 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 25 (\text{百万円/年}) \times 1.0027762 \times 0.25 \\ &\div \underline{19 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{都市ガスの改修・補修原単位} \times \text{1年あたりの都市ガス工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \times \text{都市ガス工事費に占める都市ガス廃棄の割合} \times \text{耐用年数(年)} \div \text{評価期間} \\ &= 3.11 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 25 (\text{百万円/年}) \times 1.0027762 \times 0.1 \times 50 (\text{年}) \div 50 (\text{年}) \\ &\div \underline{8 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 治山治水

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{治山治水の原単位} \times \text{1年あたりの治山治水工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \\ &= 4.85 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 4,997 (\text{百万円/年}) \times 0.9604967 \\ &\div \underline{23,278 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 農林水産

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{農林水産の原単位} \times \text{1年あたりの農林水産工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \\ &= 4.68 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 4,113 (\text{百万円/年}) \times 0.9541376 \\ &\div \underline{18,366 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 港湾空港

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{港湾空港の原単位} \times \text{1年あたりの港湾空港工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \\ &= 4.87 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 1,162 (\text{百万円/年}) \times 0.9668573 \\ &\div \underline{5,471 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 公園

$$\begin{aligned} \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{公園の原単位} \times \text{1年あたりの公園工事費} \times \text{建設工事費デフレーター} \\ &= 4.29 (\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 570 (\text{百万円/年}) \times 0.9686008 \\ &\div \underline{2,369 (\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

### 災害復旧

修繕でのCO2排出量＝災害復旧の原単位 × 1年あたりの災害復旧工事費 × 建設工事費デフレーター ×  
 災害復旧工事費に占める道路維持の割合  
 ＝5.37(kg-CO2/千円) × 2,041 (百万円/年) × 0.9447261  
 ≒10,354 (t-CO2/年)

### 土地造成

修繕でのCO2排出量＝土地造成の原単位 × 1年あたりの土地造成工事費 × 建設工事費デフレーター  
 ＝4.71(kg-CO2/千円) × 561 (百万円/年) × 0.9400928  
 ≒2,571(t-CO2/年)

### 鉄道軌道

修繕でのCO2排出量＝鉄道軌道の原単位 × 1年あたりの鉄道軌道工事費 × 建設工事費デフレーター  
 ＝5.07(kg-CO2/千円) × 1,054 (百万円/年) × 0.9730399  
 ≒5,200(t-CO2/年)

### その他

修繕でのCO2排出量＝その他の原単位 × 1年あたりのその他工事費 × 建設工事費デフレーター  
 ＝4.58(kg-CO2/千円) × 2,405 (百万円/年) × 0.9669996  
 ≒10,651 (t-CO2/年)

## k.計算結果

以上の計算の結果を表にまとめたものが以下である。

表：現状の長岡市における一年間の項目別 CO2 排出量（単位：t-CO2）

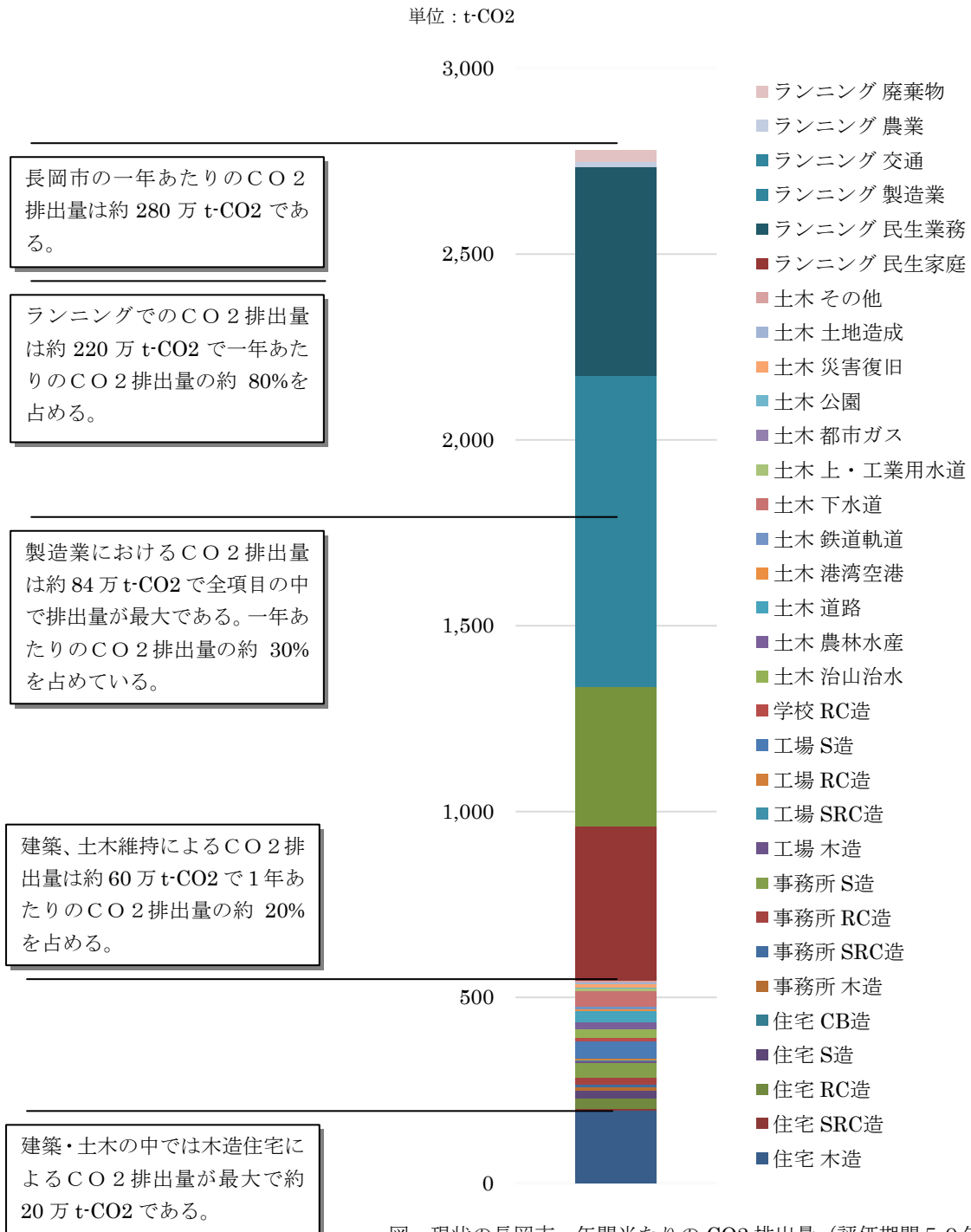
	建設	修繕	廃棄
土木	治山治水	23,278	
	農林水産	18,366	
	道路	8,193	5,462
	港湾空港	5,471	
	鉄道軌道	5,200	
	下水道	1,698	3,396
	上・工業用水道	290	581
	都市ガス	19	8
	公園	2,369	
	災害復旧	10,354	
	土地造成	2,571	
	その他	5,200	
民生家庭	413,497		
民生業務	377,473		
製造業	836,128		
交通	562,603		
農業	12,228		
廃棄物	31,841		

※農林水産については民間部門の工事が算入されていない。機械設置については消雪装置が主なものとしてあげられるが民間分の設置が多く把握が難しいので割愛した。

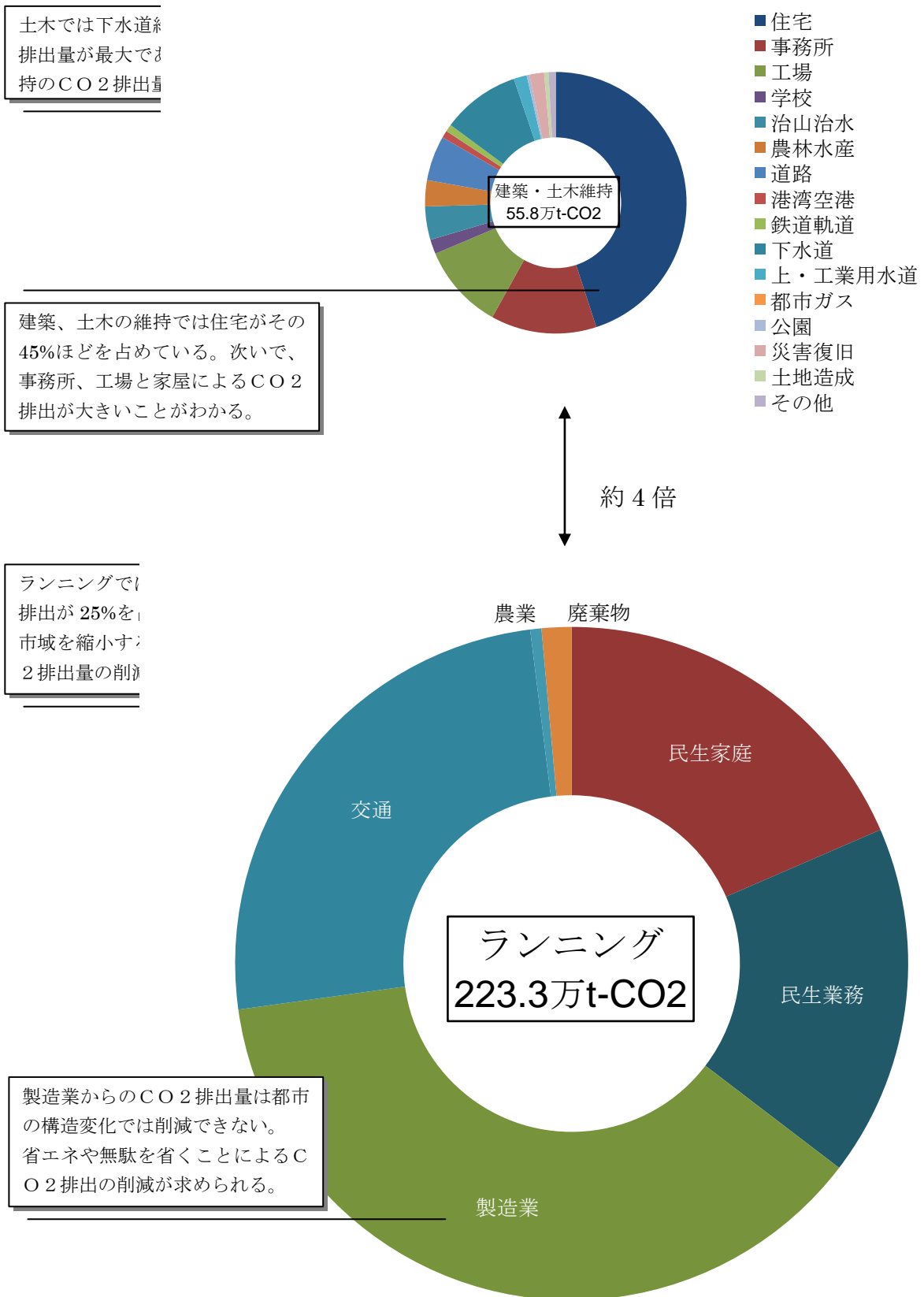
## 2-2 現状の長岡市のCO2排出量に対する考察（影響の大きい項目など）

## a. 建築・土木維持とランニングでのCO2排出量のグラフ化

計算結果に基づくストックとフローを合わせた積算グラフは以下の通りである。



図：現状の長岡市一年間当たりのCO<sub>2</sub>排出量（評価期間50年）



図：建築・土木維持とランニングでのCO<sub>2</sub>量の比較

b. 建築・土木維持とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量に対する考察

- ・ 建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量に対してランニングでのCO<sub>2</sub>排出量は4倍ほどのCO<sub>2</sub>排出量がある。しかし、人間の生活活動全体（食料や呼吸などは除かれるが）の1/4のCO<sub>2</sub>量が建築やインフラの維持から排出されていると考えると建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量はそれなりに大きいとも思われる。建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量の削減を考えることはフロー全体のCO<sub>2</sub>削減を考える上で切り離せない。
- ・ 建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量においては住宅でのCO<sub>2</sub>排出が40%以上を占めており、住宅の省エネルギー化が建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量でのCO<sub>2</sub>排出量削減には最もよい戦略であることがわかる。
- ・ 建築・土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量においては建築が3/4を占めており、インフラはそれほど大きな割合を占めていないことがわかる。
- ・ 土木分野では道路と下水道が大きな割合を占めており、土木分野の3分の1を占める。
- ・ 治山・治水分野も無視できないCO<sub>2</sub>排出量がある。現在までに山間部は整備されてきて、昔に比べればかなり災害が少なくなった。しかし、人口が多い時には治山・治水費も一人当たり直せばそれほどの負担にならないが、今後は人口が減り、しかも労働層の割合も減るとなると、税収も相当減り、税収で現在の水準で治山治水のための整備を維持することがかなり困難になると考えられる。そうした時、どこかの山間地域は撤退して、山間部の整備地域を縮小するということも検討しなければならないかもしれない。治山治水のための整備を続ければ一人当たりの負担額が増え、整備をなくせば、山間部の地域と市街地の間の物流や人の移動が困難になることや河川周りの建物に被害がおこるなどのことが考えられ、逆に整備を続ければなぜ負担が増えてまで山間部や河川の整備を続けたいかといけないう不満が増えるといったことが考えられる。そうするとやはり、どこかの地域は撤退するなど撤退地域と残す地域の選択が求められると言える。
- ・ ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量においては民生部門が1/3ほど占め、家屋の高性能化がCO<sub>2</sub>排出量削減に大変有効であることがわかる。
- ・ 交通はランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の1/4を占め市域のコンパクト化が大きなCO<sub>2</sub>削減につながることを示唆する。
- ・ 製造業はランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の1/3以上を占め、製造業は都市構造改革によってCO<sub>2</sub>量は直接的には変化しないが、近年のエネルギーの効率化、省エネ化などの動きがさらに進むことで製造業のランニングに占める割合減ることが予想されるので、都市構造変革によって影響が出る項目（民生家庭、交通）のランニングに占める割合が大きくなり、今後さらなるCO<sub>2</sub>削減を目指す時には、都市構造改革によるCO<sub>2</sub>削減は重要度を増す。
- ・ 建築・土木の維持におけるCO<sub>2</sub>排出量では事務所に比べ、住宅からのCO<sub>2</sub>排出量がかかなり大きい。しかしランニングの部分では業務が家庭部門に肉薄しており、面積あたりのCO<sub>2</sub>排出量は事務所、商業施設のほうが圧倒的に大きいことがわかる。あとの参考資料に出てくるが製造段階と使用段階のCO<sub>2</sub>は住宅では1：3.2で、事務所では1：10である。事務所は製造段階に比べ使用段階でのCO<sub>2</sub>排出量が大きく、建物を建て替え性能を上げることでライフサイクルでのCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が期待できる。

### 3 2050年までの人口、床面積の推計と都市像の検討

#### 3-1 2050年までの人口・世帯数推計

##### a. 「推計人口」と「封鎖人口」

この章では2050年の都市像を描くうえで前提となる人口の推計を行う。人口推計の出し方としては社会的流動のあり、なしや推計の幅を高位推計、中位推計、低位推計などに分けて行うやり方が一般的である。

推計される人口として、「推計人口」と「封鎖人口」がある。

「推計人口」とは国立社会保障・人口問題研究所の予測に代表されるもので直近5年間の人口移動の傾向が今後も続くという仮定のもとで地域間の移動を加味して予測した人口である。

一方、「封鎖人口」とは地域間の人口移動をないとした場合の予測値である。

「推計人口」については今後の政策次第で地域間移動量が変わる可能性が大きく、それは政策努力次第ということもあるので、本研究では「封鎖人口」を用いて将来人口を仮定することとする。

##### b. 人口推計システムの説明

以下に推計システムの推計方法が示されている。

ここでの推計には出発点（2時点必要）となる年次の男女・年齢5歳階級別人口（これは基準人口と呼ばれる）と、将来の各年次間（5年間隔）の合計特殊出生率の仮定値が必要である。

##### ※合計特殊出生率

ある年次において、女性の年齢別出生率を15～49歳にわたって合計した数値である。「普通出生率（粗出生率）」のように親世代の年齢構成の違いの影響を受けることがないので、出生力の期間指標として用いられている。またその値は、理論的には一人の女性が当該の年齢別出生率に従って子どもを生んでいった場合に、生涯の間に生む子ども数の平均値と一致するが、実際には年齢別出生率は年々変化していることが普通なので、そうした状況下では、ある年の合計特殊出生率を女性の生涯の平均出生子ども数と見なすことはできない。

##### 基準人口（1995年、2000年における男女・年齢5歳階級別人口）

市区町村には、1995年と2000年国勢調査結果による人口データが推計の基準人口として用意されている。一方、任意人口の推計の場合には、例（デフォルト）として1995年と2000年国勢調査結果による全国人口を1,000で除したものが表示されているが、これにならってユーザが目的の人口を入力することになる。いずれの場合も年齢不詳欄に表示ないし記入された人口が、推計に先立って全年齢階級に按分される。以下は市区町村等の場合の基準人口について説明である。

上述のように市区町村等の基準人口は国勢調査結果を用いているが、1995年の人口は2000年国勢調査までの間に行われた市区町村の廃置分合・境界変更・名称変更にもなう人口の変更が反映されるよう組み替えたものである。したがって、市区町村の名称、および境界は2000年10月1日現在のものである。

##### 合計特殊出生率の仮定

将来の各年次間の出生数を推計するためにその時期の合計特殊出生率を仮定して用いる。本システムでは、出発点（2000年）における合計特殊出生率の値とユーザが指定した推計最終年次の同指標の値を直線補間して各時期の合計特殊出生率を求めている。2000年の市区町村別合計特殊出生率は、デ

フォルトとして厚生省大臣官房統計情報部が公表した1998～2002年市区町村別合計特殊出生率（ベイズ推定値）が表示している（この推定値についての詳細は、『平成10～14年 人口動態保健所・市区町村別統計』（厚生統計協会発行）を参照）。なお、2002年1月～2004年5月の間は暫定として、説明と共に1993～1997年市区町村別合計特殊出生率（ベイズ推定値）が表示されていた。

### 将来の年齢別人口の計算

将来の各年次の人口は、上述の基準人口と合計特殊出生率の仮定値によって以下の様に算出される。年齢「5～9歳」以上の人口と「0～4歳」人口とは算出方法が異なるので、以下では別々に説明する。

#### <年齢「5～9歳」以上の人口>

1995～2000年間のコーホート変化率を将来も一定として計算する。たとえば、1995年に0～4歳のコーホートは2000年には5～9歳になっているが、この人口は死亡の分だけ減り、移動の分だけ増減しているはずである。この変化前と変化後の二つの人口の比率をコーホート変化率と呼ばれる。推計システムでは「5～9歳」以上の各年齢階層について、1995～2000年間のコーホート変化率が将来も変わらないと仮定して人口を求めている。

#### ※コーホート

特定の期間に出生、結婚などの人口事象を経験した人々のグループのこと。ここでは出生コーホート、すなわち同じ時期に出生した人々のグループを指していて、「世代」と言い換えることができる。

#### ※コーホート変化率

たとえば、ある年に0～4歳のコーホートは5年後には5～9歳になっているが、その人口はこの間の移動・死亡により変化（増減）しているはずである。後者人口の前者人口に対する比率をコーホート変化率と呼ぶ。本システムでは将来の5歳以上の人口は、1995～2000年に観察されたコーホート変化率が年齢階級ごとに将来も一定であるとして計算される。

#### <年齢「0～4歳」人口>

この年齢層の人口は推計する年次に先立つ5年間に新たに生まれた人口である（正確には生まれて生存している人口）。出生数は母の年齢別出生率と母親世代の人口の大きさで決まるが、ここでは年齢別出生率は判らず合計特殊出生率のみが仮定されている。また、母親世代の人口も産み盛りの年齢層とそうでない年齢層があるので、年齢構成を考慮しなくてはならない。そこで本システムでは出生数は次の三つの要素から算出することにする。

①合計特殊出生率の推計値( $T'$ )

②女子15・49歳人口( $F'$ ) ... ただし期間平均人口である

③女子の年齢構成によって決まる係数( $E'$ ) ... 産みざかり年齢層の比重を表す

そして出生数は以下の式で求める（この式は詳しくは①②③の説明をした後に説明する）。

出生数 =  $(T'^{\beta_1}) \cdot (F'^{\beta_2}) \cdot (E'^{\gamma})$  ...  $\beta_1, \beta_2, \gamma$ は定数(補正係数)、また、 $^{\wedge}$  はべき乗を表す

なお、ここでは0・4歳人口について説明しているが、0・4歳人口と出生数は補正係数によって互いに変換可能なので（後述）、以下では出生数として説明する。



以下は、①②③の説明である。

#### ① 合計特殊出生率の推計値(T')

上述のように、特定年次の合計特殊出生率は、推計の基点である2000年と最終年次（ユーザ指定）の2時点の合計特殊出生率を直線補間して求める。

#### ② 女子15-49歳人口(F')

女子15-49歳人口は、上述した5-9歳以上人口の推計方法によって先に推計された10-14歳～50-54歳女子人口を元に、当該期間の年齢階級別平均人口を計算して合計する。すなわち、F(2000,15-19)を2000年の15-19歳女子人口、F(2005,15-19)を推計された2005年の15-19歳女子人口などとする、2000-2005年の期間の15-19歳平均女子人口 F'(2000-2005,15-19)は、

$$F'(2000-2005,15-19) = \{F(2000,10-14) + F(2000,15-19) + F(2005,15-19) + F(2005,20-24)\} / 4$$

そして推計に必要となる女子15-49歳の期間平均人口 F'(2000-2005,15-49)は、これらの合計、  
 $F'(2000-2005,15-49) = F'(2000-2005,15-19) + F'(2000-2005,20-24) \dots + F'(2000-2005,45-49)$   
 となる。

#### ③ 女子の年齢構造によって決まる係数(E')

出生に関わる女子の人口は②で求めたが、15-49歳の中には産み盛りの年齢層とそうでない年齢層があるので年齢 構成を考慮しなくてはいけない(産み盛り年齢層の構成比が高ければより多くの出生が見込まれる)。ここではそれをひとつの係数で表す。以下に係数の算出方法を示す。

②で算出した各年齢階級の女子平均人口 F'(2000-2005,15-19)などを用い、それらの年齢階級の合計であるF'(2000-2005,15-49)に占める割合(fとする)を求める。すなわち、

$$f(2000-2005,15-19) = F'(2000-2005,15-19) / F'(2000-2005,15-49)$$

$$f(2000-2005,20-24) = F'(2000-2005,20-24) / F'(2000-2005,15-49)$$

$$f(2000-2005,45-49) = F'(2000-2005,45-49) / F'(2000-2005,15-49)$$

これらに対して定数 c(15-19)～c(45-49)との積和を計算したものが求める係数(E')である。すなわち、  
 $E'(2000-2005) = c(15-19) * f(2000-2005,15-19) + c(20-24) * f(2000-2005,20-24)$   
 $\dots + c(45-49) * f(2000-2005,45-49)$

そして、c(15-19)～c(45-49)の値は各年齢層女子の出生に対する平均的な寄与の強さを表す係数で、全国1995-2000年平均の 合計特殊出生率に占める各年齢別出生率のシェアを用いている。すなわち、

$$c(15-19) = 0.01620, c(20-24) = 0.14328, c(25-29) = 0.38391, c(30-34) = 0.33971, c(35-39) = 0.10482, c(40-44) = 0.01178, c(45-49) = 0.00030$$

以上①②③により、たとえば 2005年の0-4歳人口(男女総数)P(2005,0-4)は、三つの定数 $B_1, B_2, Y$ (補正係数)を用いて、

$$P(2005,0-4) = \{T'(2000-2005)^{B_1}\} * \{F'(2000-2005,15-49)^{B_2}\} * \{E'(2000-2005)^Y\}$$

により算出する（^ はべき乗を表す）。

ただし、補正係数は地域タイプ（全国、都道府県、政令指定市区、市、町村の5タイプ）により異なる値を用意している(前述のように出生数でなく、0～4歳を表すように値を選んでいる)。

	(1) 町 村	(2) 市	(3)制令市区	(4)都道府県	(5)全国レベル
$\beta_1$	0.951918	1.037617	1.337263	1.102227	1.000000
$\beta_2$	1.022957	0.984984	0.987202	0.980929	1.000000
$\gamma$	1.083248	0.945285	1.027554	0.893674	1.000000

最後に求めた0-4歳人口(男女総数)を0-4歳性比(一定値1.0495=2000年国勢調査全国0～4歳性比)を用いて男女に分ける。

以上で全年齢階級の人口が推計できた。各期ごとに前期の人口を元にして上記の推計手順を最終年まで繰り返していく。

#### <市区町村以外(郡・支庁などの集合地域、あるいは任意人口)の推計の際の2000年合計特殊出生率の推定法>

2000年については、①0～4歳人口(P(0-4))、②女子15-49歳人口(F)、③女子の年齢構造によって決まる係数(E)、がすべてわかるので、上記0～4歳人口を求めたのと逆の手順で合計特殊出生率(T)を推定する。すなわち、 $b_1, b_2, c$ を補正係数として、

$$T(2000) = \{P(2000,0-4)^{b_1}\} * \{F(2000,15-49)^{b_2}\} * \{E(2000)^c\}$$

やはり、補正係数は地域タイプ(全国、都道府県、政令指定市区、市、町村の5タイプ)により異なる値を用意しており、郡部・郡・支庁では(1)町村の値を、市部では(2)市の値を、政令指定都市では(3)政令市区の値を、それぞれ用いている(任意人口ではユーザが地域タイプを指定)。

	(1) 町 村	(2) 市	(3)政令市区	(4)都道府県	(5)全国レベル
$b_1$	0.694055	0.778857	0.663782	0.824155	1.000000
$b_2$	-0.718120	-0.773004	-0.663618	-0.813585	-1.000000
$c$	-0.865406	-0.806967	-0.742956	-0.788710	-1.000000

#### c. 「封鎖人口」推計を算出する際の仮定について

以上の推計システムをもった国立社会保障・人口問題研究所の社会流動を含まない市町村別の推計ソフトによって2050年の長岡市の旧市町村別(プログラムが現在の長岡市になっておらず、旧市町村別に分かれていたため)の人口を算出した。推計プログラムには各市町村別で合計特殊出生率を入れる必要があり、この推計では、現在の合計特殊出生率をそのままの値で算出した。つまり、2005年から2050年まで今と同じ合計特殊出生率のままで経過し、社会流動も含めずに算出した推計結果である。

2005年現在の市町村別の合計特殊出生率を以下に示す。

表：2005年での長岡市の合計特殊出生率

	合計特殊出生率
長岡市	1.55
栃尾市	1.52
中之島町	1.49
越路町	1.46
三島町	1.54
与板町	1.57
和島村	1.56
寺泊町	1.54
山古志村	1.55
小国町	1.59

出典：国立社会保障・人口問題研究所

d. 「封鎖人口」推計の結果

2005年現在の旧市町村別の市町村別人口を以下に示す。  
算出した長岡市の2050年での「封鎖人口」が下の表である。

表：2005年の長岡市の人口（旧市町村別）（単位：人）

	長岡市	栃尾市	中之島	越路町	三島町	与板町	和島村	寺泊町	山古志	小国町
年齢	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年	2005年
総数	195,105	22,979	12,778	14,188	7,904	7,411	4,641	11,646	1,931	6,742
0-4歳	9,675	844	547	560	301	311	164	413	51	210
5-9	9,420	854	626	634	405	378	201	486	58	239
10-14	9,190	1,018	733	723	409	420	258	612	70	313
15-19	9,913	1,080	745	763	376	366	233	616	74	321
20-24	11,030	941	685	647	325	272	195	515	83	232
25-29	13,808	1,085	780	817	426	342	230	513	70	253
30-34	14,947	1,128	772	831	472	471	234	566	72	289
35-39	13,054	1,006	711	746	415	464	206	575	86	297
40-44	11,845	1,130	823	760	460	449	249	686	60	347
45-49	11,660	1,443	888	937	520	445	328	821	95	452
50-54	13,757	1,864	1,106	1,116	570	576	385	885	157	494
55-59	15,317	2,024	990	1,196	603	603	407	862	161	483
60-64	12,002	1,582	637	865	399	480	290	702	132	451
65-69	10,979	1,634	696	798	423	435	310	712	180	532
70-74	9,891	1,657	668	880	504	414	350	814	185	629
75-79	8,513	1,719	700	794	488	434	289	749	177	573
80-84	5,402	1,082	389	596	410	275	178	526	126	334
85歳以上	4,702	888	283	525	398	278	135	593	92	293

表：長岡市の旧市町村別「封鎖人口」（単位：人）

	長岡市	栃尾市	中之島	越路町	三島町	与板町	和島村	寺泊町	山古志	小国町
年齢	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年	2050年
総数	149,144	7,709	9,180	9,931	9,538	4,418	1,850	5,052	330	18,055
0-4歳	5,330	205	279	319	362	105	54	138	6	31
5-9	5,613	245	322	382	422	121	64	156	8	36
10-14	6,031	280	343	413	431	147	71	173	11	43
15-19	6,257	260	327	378	389	148	68	168	11	45
20-24	6,248	194	295	290	319	111	52	154	8	34
25-29	6,766	224	359	343	413	129	64	166	8	43
30-34	7,479	247	440	437	490	152	78	186	8	48
35-39	8,404	289	505	517	539	187	88	200	11	54
40-44	9,273	338	534	537	551	225	93	209	13	65
45-49	9,542	370	525	527	532	248	97	226	15	79
50-54	9,461	370	566	546	629	302	112	257	16	92
55-59	9,093	441	656	596	642	325	142	316	17	120
60-64	9,679	548	745	713	646	321	142	363	21	151
65-69	10,570	685	807	785	693	332	170	376	32	175
70-74	11,652	748	797	837	686	366	173	388	31	178
75-79	10,708	759	654	677	624	433	143	395	36	193
80-84	7,365	544	437	524	467	301	100	330	30	157
85歳以上	9,673	963	589	1,112	701	465	140	850	48	261

国立社会保障・人口問題研究所の推計ソフトをもとに筆者が算出

#### d. 「封鎖人口」推計結果のまとめと考察

前項で算出した人口をまとめたものが以下で人口推移と2005年時点を100とした人口指数を示している。

2005年の長岡市の人口総数は28万5千人である。算出した2050年の長岡市の「封鎖人口」総数は19万9千人である。

結果2050年には2005年に比べ

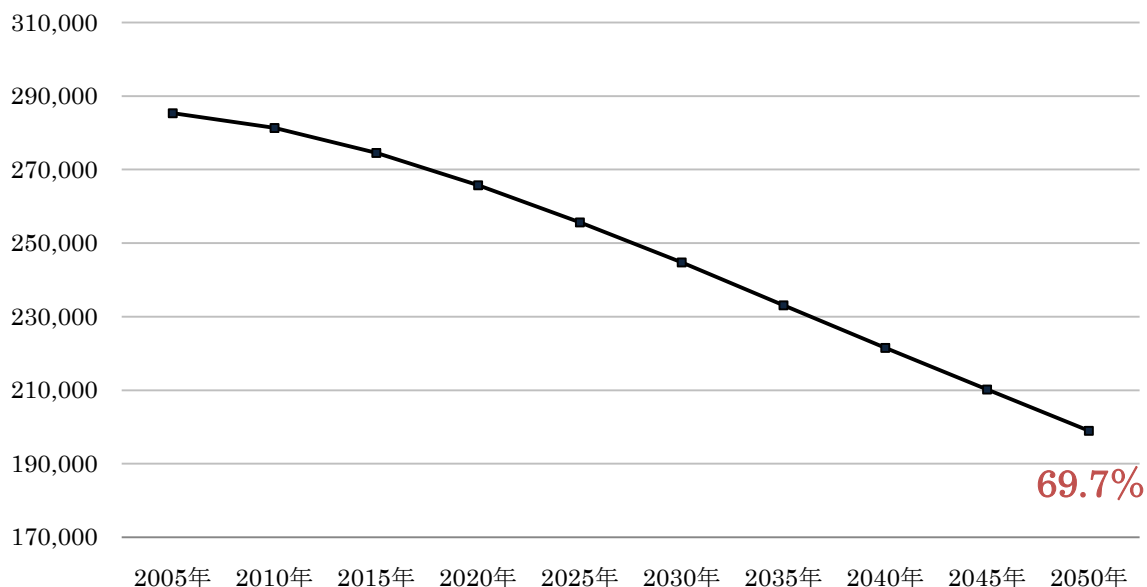
$19.9 \text{ 万人} \div 28.5 \text{ 万人} \times 100 \approx 69.7\%$

に人口減少するということになる。

国立社会保障人口問題研究所が発表した2006年の12月に発表した最新の予測では、2055年に日本の総人口は8900万人、高齢化率は40%とされている。全国平均的にも70%ほどの減少と見込まれていて、封鎖人口で考えた場合の長岡市の人口減少は全国的なトレンドを反映した平均的な結果と言える。

表：長岡市の「封鎖人口」の推移

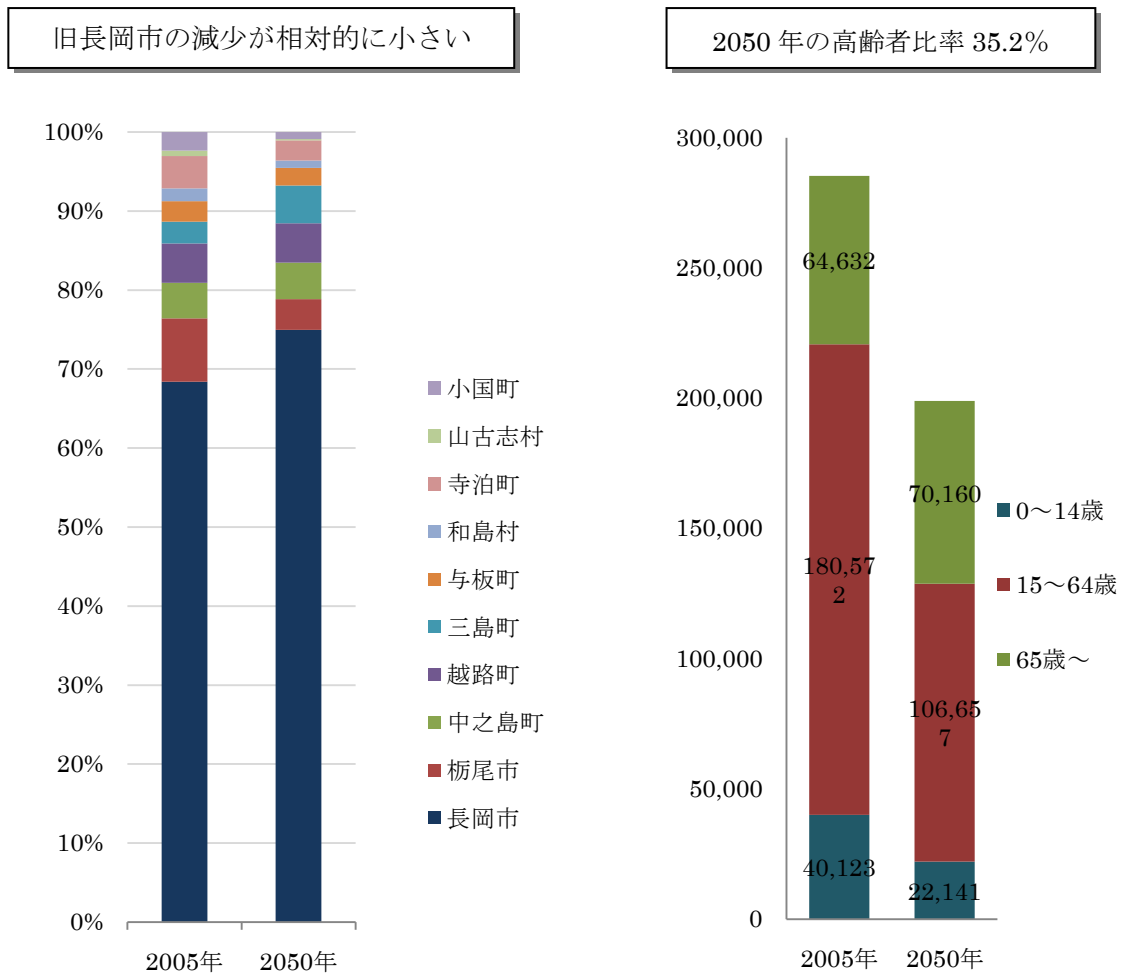
単位：人	人口指数	人口総数
2005年	100	285,325
2010年	98.6	281,323
2015年	96.2	274,559
2020年	93.1	265,722
2025年	89.6	255,645
2030年	85.8	244,786
2035年	81.7	233,112
2040年	77.6	221,512
2045年	73.7	210,225
2050年	69.7	198,957



図：「封鎖人口」での長岡市の人口推移（単位：人）

#### 総人口に占める旧市町村人口の割合から見る2050年の都市像

次の図は2005年と2050年の長岡市総人口に占める旧市町村人口の割合である。下の図によると旧長岡市が全体に占める割合は今後さらに大きくなり、中之島町と三島町を除いて他の旧市町村はすべて相対的には割合が小さくなるということがわかり、人口的な面からすると長岡市の周縁部は縮小するということになる。これを考えると周縁部は撤収して市街中心部に移したほうがいいとも考えられるが、周縁部の人口が減る場合でも、その場所の価値を高めることができれば旧市町村における人口減少率は変わるということも考慮しなければならない。逆に周縁部の人口密度を高めるようにして周縁部のインフラを減少させれば、インフラへの一人当たりの負担は減少するので、それはそれでいいということになる。そのあたりの施策についてはやはりCO2やコストとのバランスを考えて検討する必要があるということになる。



図：旧市町村別の長岡市に占める割合の変化

図：人口区分別割合の推移

## 高齢者人口

右上の図は2005年と2050年での人口構成を表した図である。

2050年の65歳以上の人口は7万人であり

$7 \text{ 万人} \div 19.9 \text{ 万人} \times 100 \div 35.2\%$

という高齢者比率である。これは全国平均からすると若干低い値である。

将来を見ると、長岡市のような地方都市は既に高齢者人口が相対的に多いため今後の高齢化は鈍いともとれるが、2005年での高齢者比率は22.7%なので大幅に高齢者比率が高まるということがわかり高齢化の進行は避けられない。絶対数的にも2050年の高齢者人口は現在よりも多く、例えば年金支給額の絶対量も多くなるということを意味する。

15～64歳の労働層の割合は総数的には60%にまで減少し、比率としては63%から54%に下がり労働層の減少が深刻であることもわかる。労働層の割合が60%に減少ということは、GDP（国民総所得）が単純にいけば60%に減少し、その分税金も下がるということになると今のインフラを維持するにも限界が来ることは明白である。したがって、2050年までに何らかの政策をとって市域を減少することは不可欠である。

旧長岡市内でも地域によって人口減少の度合いが異なる。郊外のニュータウンなどは今後急激に高齢化が進むこれは、新興地域に特有の現象である。年齢層の偏った地域が出来上がることは社会的にも好ましくなく、高齢層を支える若年層がいないというのは大きな問題である。郊外部分の高齢化した地域を福祉的に支える制度が今後求められそうである。

## 世帯数

2005年での世帯数は9.5万世帯である。

世帯数の変化を国立社会保障・人口問題研究所の世帯数推計の新潟県の2030年までの推移のトレンドにのっとり筆者が推計を行ったものが下のグラフである。

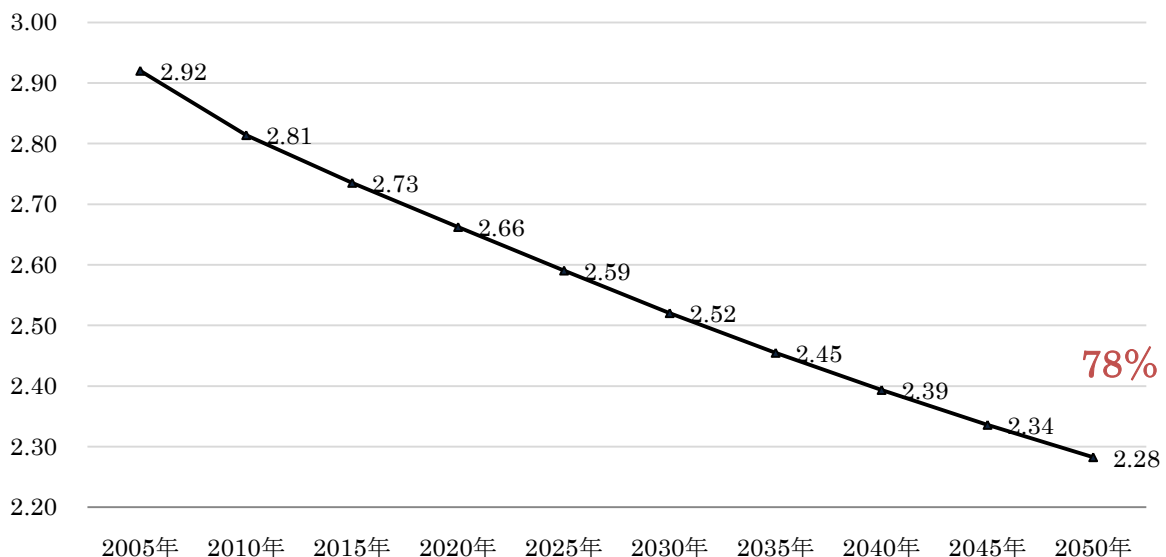
下の平均世帯数の変化から2050年の平均世帯人員は2.28人/世帯であり、

2050年での世帯数は19.9万人÷2.28人/世帯≒8.7万世帯である。

そのことから世帯数の合計は2005年から2050年に向けて

$8.7万世帯 \div 9.5万世帯 \times 100 \approx 92\%$

に減少するが、人口が69%に減少するのに比べ世帯数はほとんど減らないことがわかる。このようなことから考えると、世帯当たりの人数が少ないということは世帯当たりの床面積は減少すると考えられ、現在と同じ戸建て住宅の床面積では過剰になると考えられる。また世帯に対して広すぎる床面積をもつことは経済負担的にも厳しい。そして既存の戸建て住宅には世帯人数の多い世帯が移り住むというようなシフトも必要かもしれない。今後は更新の過程で戸建ての建物を減少させ、集合住宅を増加させたほうがこれからの世帯構成にはあっていると言えるかもしれない。そのようなことも見据えた政策が求められる。



図：平均世帯人員の変化（単位：人/世帯）

※2005年の長岡市の平均世帯年数に新潟県の平均世帯数の変化に合わせて補正して算出

## Cf.「推計人口」の試算

推計システムをもった国立社会保障・人口問題研究所の社会流動を含む市町村別の推計ソフト（小地域簡易将来推計人口）によって2050年の長岡市の旧市町村別（プログラムが現在の長岡市になっておらず、旧市町村別に分かれていたためと旧市町村別で合計特殊出生率を算入することでより正確な推計を行うことができる）の人口を算出した。推計プログラムでは2030年までの人口推計が可能であるが、30年以降については自分で試算する必要がある。本研究では「推計人口」は比較対象なので、30年以降を2025年から2030年のトレンドをそのまま2050年まで延長している。つまり、2030年から2050年まで同じ社会流動で同じ合計特殊出生率で推移した場合の推計結果となっている。

推計結果の旧市町村別の人口推移の表にしたものが以下である。

表：長岡市の「推計人口」（単位：人）

	総人口（人）									
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
長岡市	195,767	196,821	196,537	194,705	191,488	187,309	183,188	179,158	175,217	171,362
栃尾市	23,031	21,350	19,673	18,048	16,477	14,970	13,608	12,369	11,244	10,221
中之島町	12,809	12,702	12,458	12,178	11,819	11,394	10,984	10,588	10,207	9,840
越路町	14,096	13,783	13,338	12,778	12,140	11,418	10,744	10,110	9,514	8,953
三島町	7,806	7,782	7,559	7,286	6,995	6,683	6,382	6,095	5,821	5,559
与板町	7,461	7,346	7,158	6,918	6,635	6,317	6,014	5,725	5,450	5,189
和島村	4,704	4,474	4,248	4,013	3,780	3,550	3,333	3,130	2,939	2,760
寺泊町	11,759	11,207	10,629	10,051	9,490	8,944	8,425	7,937	7,476	7,043
山古志村	1,973	1,764	1,587	1,419	1,261	1,121	997	886	788	700
小国町	6,838	6,299	5,766	5,220	4,711	4,241	3,817	3,435	3,092	2,783
合計	286,244									224,408

2030年までは国立社会保障・人口問題研究所の資料に基づく。

2030年以降については2030年の人口指数が2050年まで維持されるという仮定の下で算出した。

### 「推計人口」の考察

次に旧市町村別の推計結果をまとめて合併後の長岡市の人口を算出したものが次のグラフである。

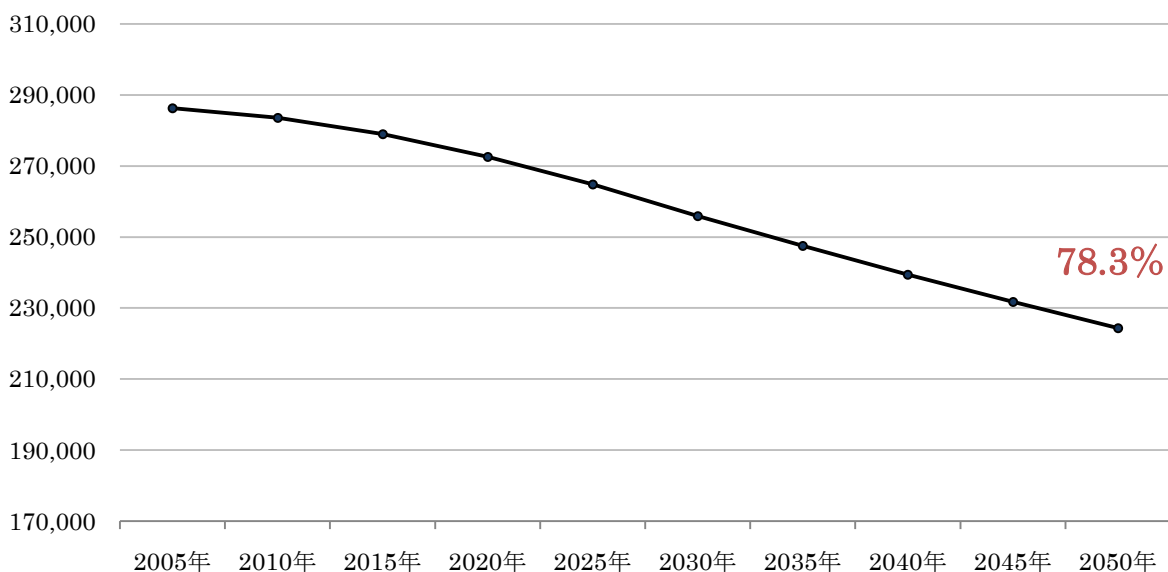
推計人口では

$$22.4 \text{ 万人} \div 28.6 \text{ 万人} \times 100 \div 78.3\%$$

に人口減少するという結果になる。

封鎖人口に比べて減少率が低いということになり、推計においては長岡市には今後、流出よりも流入が多くなるとみなされていることがわかる。

先にも示したように全国平均での人口推計は現在に比べ70%というものなので全国的に見ても長岡市は人口が大幅に増えるという現在のトレンドになっていることがわかる。



図：「推計人口」での長岡市の人口推移（単位：人）

### 「推計人口」での世帯数

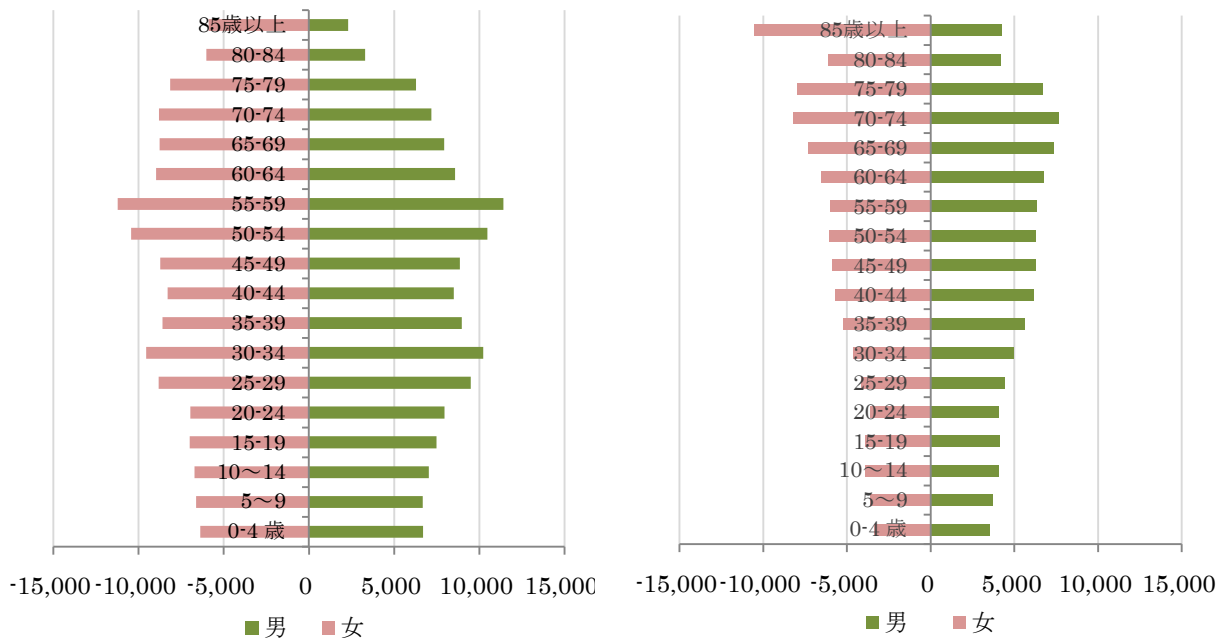
世帯数は  $22.4 \text{ 万人} \div 2.25 \text{ 人/世帯} = 9.95 \text{ 万世帯}$  であり

$9.95 \text{ 万世帯} \div 9.5 \text{ 万世帯} \times 100 = 105\%$   
と現状より世帯数が増加すると推定される。

### 人口構成

人口構成の変化は、産業立地にも影響を与えることが予測されるので、これまでの傾向の単純な外挿で地方都市の人口を予測することは難しい。

### Cf. 「封鎖人口」での人口ピラミッド



図：2005年人口ピラミッド

図：2050年人口ピラミッド

上に2005年と2050年の人口ピラミッドを示した。これを見ると人口構成の変化が明白である。2050年で一番人数の多い年齢層は70～74歳でこれは現在の団塊のジュニア世代あたりにあたる。65歳以上の高齢層を見ると総数的には現在とほとんど変わらない。それに対して15～64歳の労働層の割合は総数的に60%にまで減少する。これまでは寿命が短く、しかも常に人口が増加してきた分、労働層が高齢層に対して常に十分多いという計算がなりたったが、これからは寿命が延び、出生数が低い分労働層が高齢層に対して常相対的にはかなり小さくなる。年金のような社会福祉制度は今後成り立たなくなることは明白である。そのような観点からすると市に対する税金は少なくなるのに対して、福祉に対する補助金は多くなることが考えられ、税金以外の収入源の模索や、政策による支出の減少が求められる。人口減少を見据えた都市のコンパクト化は人数の多いときに初期投資を行い、人口が減った時の支出を抑える政策である。つまり人口が減って税収が減ってからではもはや、都市の構造改革を行うお金が捻出できない。都市の構造改革は今まさに始めるべき政策であると言える。

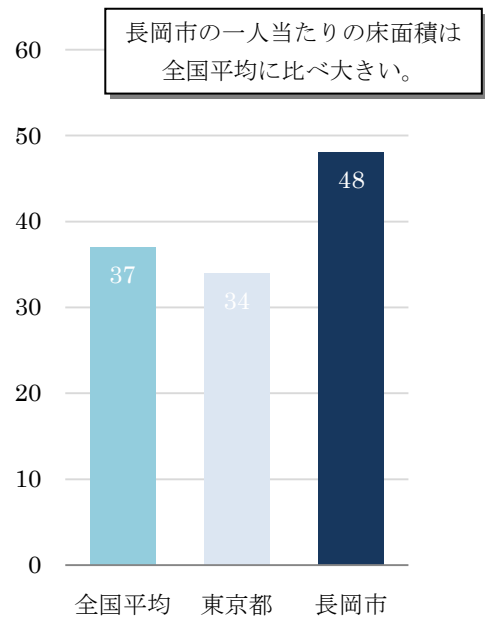


## 3-2 2050年までの床面積推計

## a. 現在の長岡市と全国平均との一人当たりの床面積の比較

次に示す図は長岡市と全国平均、東京都との一人当たりの床面積の比較である。

東京都と全国平均では3㎡しか変わらないのに対して長岡市は全国平均より11㎡も床面積が大きい。これは長岡市の一人当たりの床面積が全国より相当大きいと考えられ、実際東京の一人暮らしのワンルームが20㎡くらいであることを考えると11㎡は相当大きな差であると考えられる。そこで、現状の長岡市の一人当たりの床面積は全国と比べて大きく、一人当たりの床面積が大きいという地方都市に住むメリットが既に確保されているので、今後、延べ床面積を増やす必要性に迫られないと考えられ、2050年まで一人当たりの床面積は変化しないものと仮定する。つまり世帯人数が減少すれば必要な建物の延べ床面積も減少するということになり、既存のストックでは今後の世帯像には合わなくなってくる。



図：現状の一人当たりの床面積の比較 (単位: ㎡)

## b. 床面積の推移

次に示すのは一人当たりの床面積が変わらない場合の家屋延べ床面積の推移である。仮定にのっとって人口推移に合わせて床面積の推移を算出する。つまり、住宅、業務、工場と用途に限らず、人口指数と床面積の各年での指数が一致するように算出している。業務、工場に関しては労働人口の減少に合わせて床面積が減少するとも考えられ、労働人口に比例させて算出するべきとも思われるが、将来は現在の労働人口の設定年齢である65歳以上の人も働くかもしれないことや、工場の床面積が人だけに影響されるわけでないということを考慮すると、純粋に労働人口に比例するとも考えられないので、今回は住宅の床面積と同じように総人口に比例させて計算した。公共施設についても人口が減少してもそれと同じ割合で公共施設は減少しないであろうと考えられるので、今回は住宅の床面積と同じように総人口に比例させて計算した。つまり全用途とも総床面積が現在の69.7%となると設定していることになる。

表：長岡市の家屋延べ床面積推計 (単位: 万㎡)

	2005年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年	2050年
指数	100.0	98.6	96.2	93.1	89.6	85.8	81.7	77.6	73.7	69.7
住宅合計	1,353	1,334	1,302	1,260	1,212	1,161	1,105	1,050	997	943
業務合計	228	225	219	212	204	196	186	177	168	159
工場合計	351	346	338	327	314	301	287	272	259	245
公共	36	35	35	34	32	31	29	28	27	25
合計	1,968	1,940	1,894	1,833	1,762	1,689	1,607	1,527	1,451	1,372

### 3-3 2050年に向けた低炭素都市像の検討

#### a.問題点の整理

これまでにまとめると、考えるべき大きな問題は三つに大きく分けられる。それは**人口減少**、**高齢化**、**環境問題**である。

これらを踏まえた上で言えることは、21世紀の問題である環境問題も人口問題も「縮小」というキーワードを共有しているということである。縮小するから必ず人間が不幸になるかと言えばそうではない。成長期より人を幸福にするのは難しいかもしれないが、不可能ではない。そのためには、縮小期には膨張期とは異なる新たな運営方法が経済にも都市にも求められる。21世紀の都市計画には、「縮小」が都市の活力の低下を招かないようにする対策が求められる。「縮小」のインパクトを少なくするだけでなく、「縮小」を利用して都市における生活環境の改善や都市の魅力の増強に結びつけていくことができないかと考えている。

#### b.二酸化炭素という指標

最初に、三つのシナリオを二酸化炭素排出量から評価してみよう。二酸化炭素排出から評価することは直接的には、地球温暖化の主要因と見なされている二酸化炭素の排出を抑制し（環境的に）持続可能な都市形態を探ろうということである。しかし、同時に、二酸化炭素排出量は物質的消費の量と強い相関があることから、都市活動に伴う物質消費の量を評価していることになる。つまり、多種多様な都市活動に必要な物質消費を測ることは複雑で困難であるが、二酸化炭素という指標を得て一元的に評価できる。つまり、都市の効率性の評価ができるのである。

#### c.コンパクトシティという解決策

人口減少や高齢社会、そして環境問題。これらの問題群に都市形態で解決する方法として、近年コンパクトシティが注目されている。コンパクトシティは、もともとは欧米で構想された。それは20世紀型の都市に対するアンチテーゼとして提案され、日本でも大いなる関心をもって迎えられている。コンパクトシティとは、自家用車の使用を前提として郊外に拡散（スプロール）した都市の対抗案である。つまり、都心部に人々が高密度に集って住み、公共交通が主役となり、住まいの近くに日常生活に必要な小店舗が集まり、歩いて用が足せるような街である。そのような街は自ずから交通総量が減り、化石燃料の使用も少ない。また、コンパクトであれば、基盤施設の総長も短くなり都市経営が効率的になる。スプロールした郊外住宅地では希薄になりがちな人と人のふれあいも増え、小さい子供や高齢者を地域が見守るというかつての近隣社会の機能の復活も期待されている。しかも、市域が小さくなり、都市周辺には田園地帯が広がり、まとまった緑地が確保できる。これがコンパクトシティの描くイメージである。

コンパクトシティモデルは、欧米では中世や開拓期の小さなコミュニティ像に繋がり、日本で言えば1960年代までの地方都市のようにスプロールする以前の都市の姿を思い起こさせる。日本では、各地で旧来の都心商店街の凋落が問題になり始め、都心部に高齢者が取り残される問題に対する解決策を模索しているときにコンパクトシティが登場し、格好のモデルとして受け入れられた側面がある。

#### d.コンパクトシティという戦略をとる上で注意すべき点

このようにコンパクトシティには様々な長所がある。しかし、現実の地方都市の多くは、公共交通は貧弱で、生活は自動車に大きく依存し住宅地と商業施設は郊外部に拡散したうえに、行政自ら公共

施設を郊外部に整備したことも追い打ちを掛け、大なり小なり中心部は廃れてしまっている。もし、コンパクトシティ化を目指して中心部に再集中させようとするれば、既存の中心部の建築物を大幅に作り替え、郊外に住んでいる人達を収容する住宅や学校や、医療施設、場合によってはそれに対応した道路の拡幅もしなければならなくなる。一方、コンパクト化で引き上げることになる郊外に立つ住宅や付随する学校などの公共施設は廃棄しなければならない。そのような大改造は大規模な投資を必要とし、同時に多大な建設と廃棄は少なからざる経済的無駄を生ずる。もし、コンパクト化が低炭素都市を目指すのであれば、その過程で膨大な二酸化炭素の排出を招くという矛盾も言わなければならない。

20世紀型の思考では、革新性が好まれる。時代遅れのモデルは廃棄し最新モデルに取り替えるべきだと皆考える。これが、20世紀の爆発的経済発展の基礎となり環境問題を引き起こす原因になる。コンパクトシティに向かって都市を改変すべきだという主張にすら同様な志向性が図らずも現れている。つまり、スプロールが駄目ならコンパクトだと言うのである。21世紀に生きる我々は完成した理想型の良さの評価だけでなく、同時に、それをどう作るかという過程の評価を同時におこなわなければならない。二酸化炭素排出で言えば、常時の運用から排出される二酸化炭素の削減だけでなく、それを作り替えるときの建設と廃棄に関わる二酸化炭素排出の最小化も同時に考え、両者の合計つまり「ライフサイクルCO2」で評価しなければならない。

それらの点を踏まえながら以下で、代表される三つの都市像をあげる。

#### e. 2050年の3つの代表的な都市像の検討

大きく考えると2050年の都市像として両極端の二つをあげると、現在の市街中心地を中心として市域を小さくする単心型のコンパクトシティと、まったく政策的に手をつけず自然のままに市街地が歯抜けになっていく都市像の二つがあげられる。そこで、その間の状態を考えれば、2050年の代表的な都市像として考えられる。

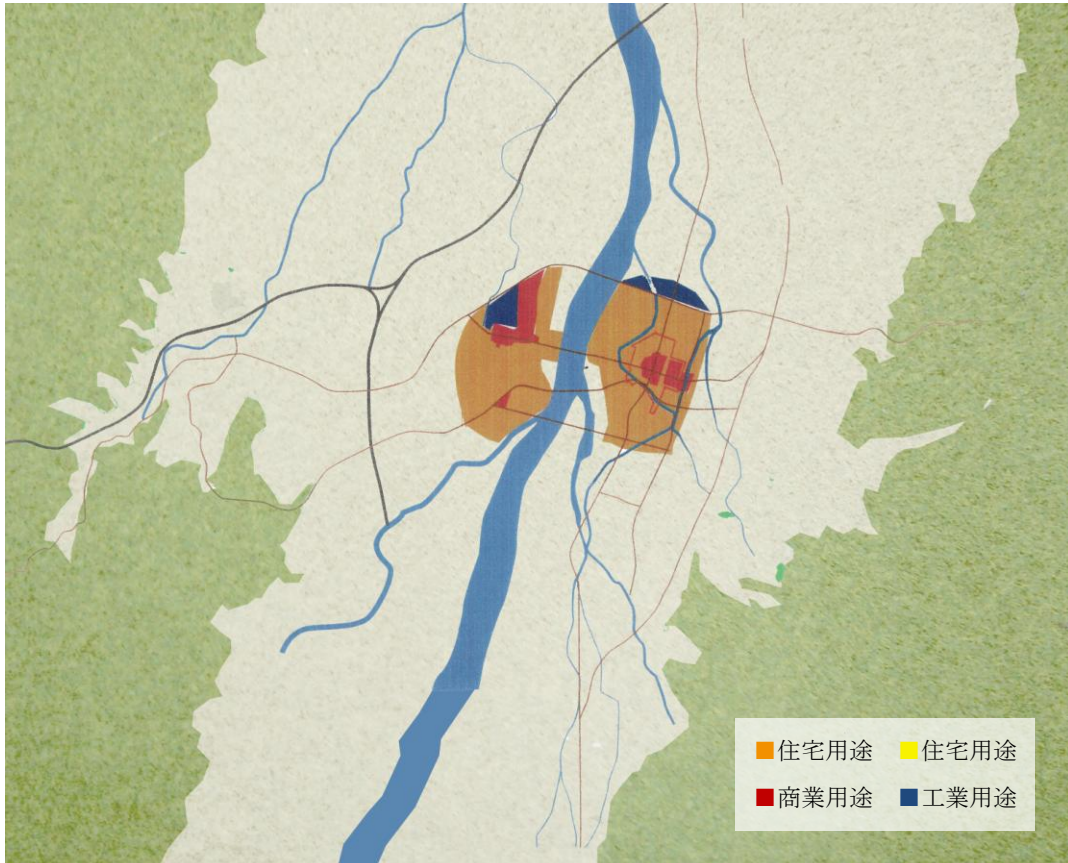
##### 単心案：単心でコンパクトな市街地

このシナリオでは、一つの中心を中心にした一定の市街区域内にすべての都市的活動を集中させる。理念的なコンパクトシティに近いパターンを目標とする。

この再編成を実現するためには、行政あるいはそれに代わる組織が中心部の土地を順次買い取り、高層住宅を建設してゆくことになる。強い公的イニシアティブが必須である。現在、既に空き地化した駐車場は開発の種地になるが、自然発生の空地は小さな単位で散在しているので統合しなければならないところも多い。大都市に比べて、地方都市では都心住まいに利益のある世帯が少ないので、彼らの住宅購入が一段落すると、別のインセンティブを与えて移住を促さないとコンパクトシティが完成しないかもしれない。

このシナリオの長所は、市街地の凝集が徹底するので、あらゆる面で効率的な都市ができることである。更に市街地の凝集を徹底するためには住宅の中高層化が必然であり、集合住宅化によって住戸毎のエネルギー効率も上がるという効果も期待できる。

一方、郊外にまとまって発生する空地はどうするのか。農地に転換することが候補になり得る。ただ一度市街化された土地を農地にするためには、既存の建築物や道路構造物、基盤設備などの撤去、水路など農業インフラの整備、土壌の改良など転換のコストは相当に上る。農業生産で賄えなければ、ここでも公的支援が必要になるかもしれない。もう一つの転換法は、森にすることである。費用は農地にすること場合に比べると格段に安く、都市を森で囲むことによる、ヒートアイランドの緩和、防風・防雪林的な役割も期待出来る。



図：単心案：単心でコンパクトな市街地

### 多心案：多心的でコンパクトな市街地

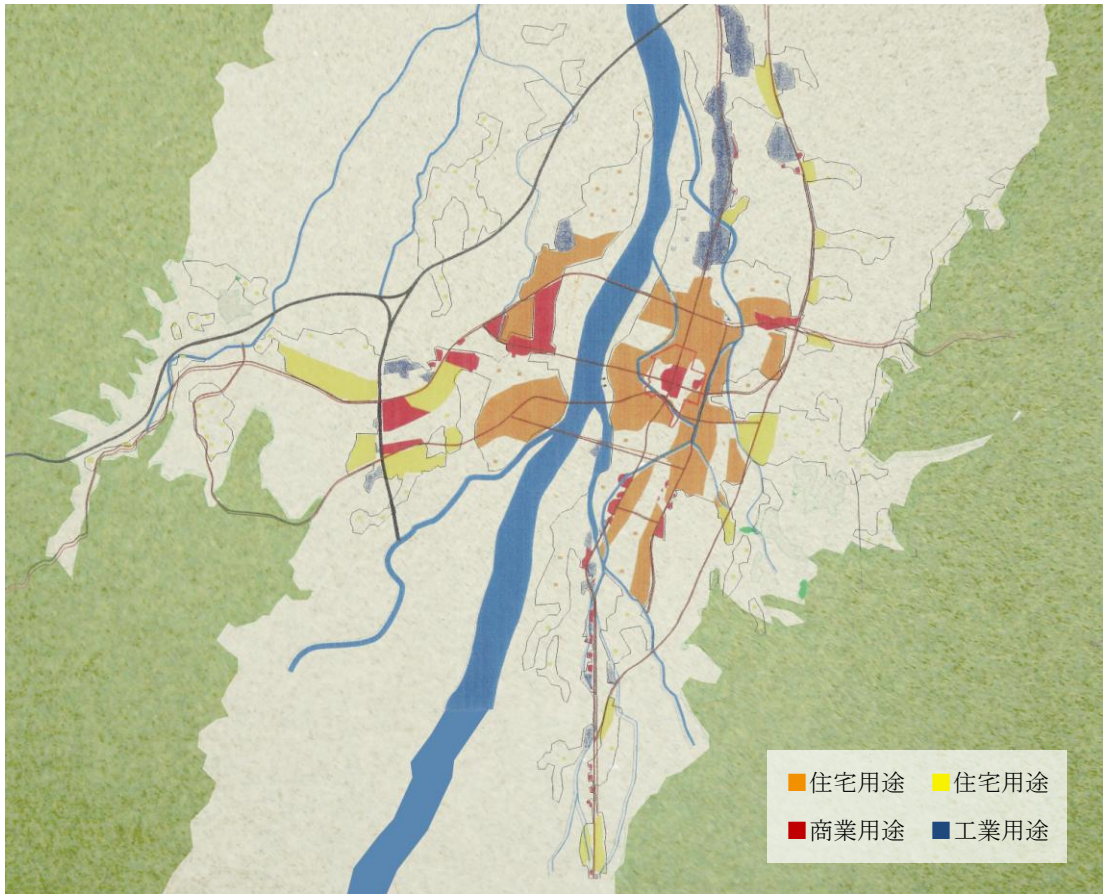
単心案は、見方を変えると郊外を無くすことを目標に置いているのだが、この多心案は郊外の実在も認め、現状の市街地に既に散在して立地する、いくつかの市民生活の拠点（ショッピングモール、大規模病院、駅、市役所、学校など）を核に、ゆるやかな多心型の都市構造に再編成する、というものである。つまり、この案は、郊外に移転した公共施設や大型商業施設を事実として受け入れ、現状がそうである様に都市の多数の中心として見なそうというものである。例えば公的病院が郊外に移転している例は多いが、それらは既に周辺に薬局なども立地しており都市の構成要素として根を下ろしているから、簡単には移動することはできない。このように、多心案は単心案と現状の中間的な位置にあると言って良い。

この考え方は、日本の郊外は北米や豪州などに比べて宅地が狭小で、既に相当コンパクトであるという認識に基づいている。日本の都市は郊外に拡大することでようやく満足のゆく住宅の水準に達したのである。日本の都市の最大の問題は拡散したことにはなく、20世紀の拡散を十分な計画もなく放置したと考えるべきであろう。ここで、再び、都心に再集中させ、10年や20年単位で都市計画の大方針を改めることは朝令暮改のそしりを免れず、都市計画に対する信頼を失う。このシナリオは人口減少をきっかけに、20世紀の負の遺産つまり、非合理的な住宅地の配置を、縮小を機に見直し、無秩序な郊外を解消して良好な市街地形成をはかることに主眼を置こうというものである。

このシナリオの長所は、第一に、郊外という都市形態やゾーニングなど現状の制度を根本的に否定することなく、漸進的再編成をするので、市民に受け入れやすいことであろう。第二に、移転の量が少ない分、都市改造のコストが単心案に比べて安いこともある。発生する空地の扱いとしては、



空地の規模が小さいので、小規模な市民農園的な利用以外は農地の方向は無いと考えられる。基本的には、森に転換して都市の微気候の改善に役立てるのが最良であろう。また、この森は将来の再成長のときに備えた事業用地として確保することも考えられる。



図：多心案：多心的でコンパクトな市街地

#### 市場案：散在する空地をもつ市街地

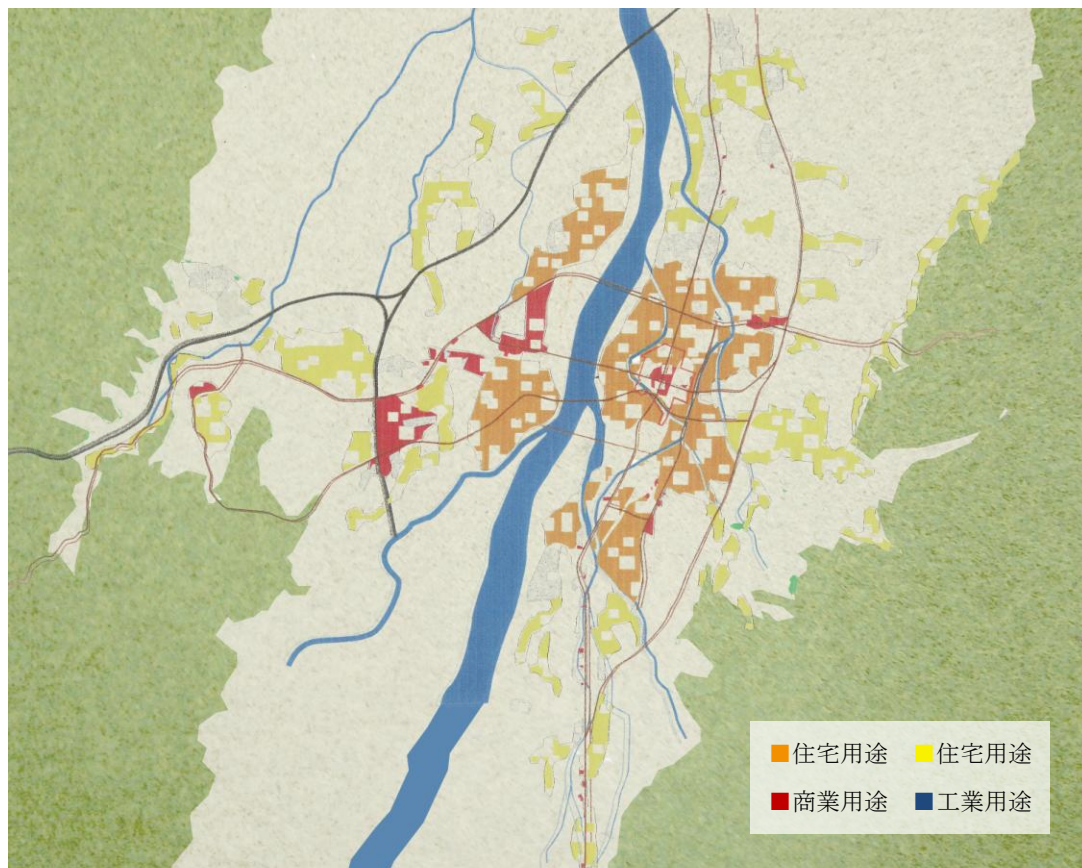
この案は、現状の日本の都市政策の延長上にあるが、より徹底して市場原理が働き、経済的に合理的な土地利用に落ち着く様に、政策的介入を最小限にする。

この案では、前述の様に日本の郊外は、欧米に比べ宅地が狭小で十分コンパクトであることから、敢えてコンパクト化策を取る必要はないと考える。また、なにより、前二案のように、都市形態の理想形を設定して、それに向かって誘導することの困難性を考えて、市場原理という分かりやすい原理に期待しようというものである。都市の土地利用の流動性を高めるために、市民が自由に選択できるような環境（場所に関する情報の開示、公的補助の削減、適正な公共料金体系など）を整えることが必須である。都市開発は民間セクターに任せるので、行政の役割は自由な参入がしやすい環境づくりに専心することになると考えられる。

この案の長所は経済的な合理性と公的負担の少なさである。ただ、公的負担の少なさには十分吟味が必要である。この案は当然、市民の貧富が都市空間に反映し外部不経済性を多数生み出す可能性が高い。例えば、都市全体としての経済力が低下し市場価値が薄れ、新規投資が途絶えたとき、残った住民の最低限の生活を維持するためには結局公的介入せざるを得ない場面が考えられるからである。

市場案によって発生する空地は、基本的に宅地単位で都市内に随所に散在することになるので、

形態的には農地や森には適さない。居住者の菜園、庭園等の利用が中心となるのであろう。そのような需要があれば市内に散在する形態は好都合である。



図：市場案：散在する空地をもつ市街地

### 各案とその評価

以上のように三案はそれぞれ長所と短所を併せ持つ。それらの優劣差は定性的には甲乙を付けがたいものがある。そこで物質的消費の量と強い相関がある二酸化炭素排出量を計算し比較することで、都市活動に伴う物質消費の量を評価し、三案を定量的な側面から分析する必要が生じる。さらに、コスト面から経済的合理性もはかり、その上で定性的な評価を重ね合わせたい。仮にCO<sub>2</sub>的には優劣の差がついたとしても、その差が小さければ定性的に見た時のメリットを考えたらCO<sub>2</sub>的な優劣とは逆の優劣になる可能性がある。CO<sub>2</sub>排出量の差が大きければその差を活かして、CO<sub>2</sub>排出権取引などによって利点を得ることや、コスト差が大きければそのコスト差で何ができるかを考えることで様々な福祉や公共事業での施策を考えることができ、それらと先に書いた三つの定性的な特徴を併せ持つと三案に対して総合的な評価を行うことができる。CO<sub>2</sub>排出量やコストの差もその大きさが重要であり、どれくらい差があるかで話が変わってくる。これまでの都市像の提案はそのような定量的な評価が行われることがなかったので、議論も集約できない部分が多かった。そのような状況に対し、今回定量的な比較も行うことで都市の提案に対するまた違った議論ができる。CO<sub>2</sub>排出量、コストの定量的評価とそれに付随する検討を様々な考慮すると、いろいろなことが見えてくる。またCO<sub>2</sub>、コストの計算を行ったあと、以上のそれぞれの特徴にもう一度立ち戻って、計算結果とそれぞれの定性的評価さらには計算結果から浮き出てきた様々な事象を比較、検討することで再び総合的な議論を行っていきたいと考えている。

### 3-4 各都市像案での市域の計算

#### a.市域の減少を検討する上で

市域が減少することで交通トリップの減少、基盤施設の総長も短くなり都市経営が効率的になるなどの効果が見込まれる。そのような観点から市域の減少を検討することが求められる。上記の2050年に向けての各都市像案の市域を試算する。ここでは建物の築年数を考慮したコーホートモデルによって算出された残存率にのっとり、2050年での残存面積を計算し、それを2050年に求められる総床面積から引くことで2050年までに建設する必要のある床面積量を計算し、それを各案の施策（例えば単心案ではRC造の高層建物だけで新規建設を行い、できるだけ市域を小さくするなど）に合わせて残存面積に加算するという手順で計算を行う。以下は市域を計算する上での各案に対する設定である。

**単心案：**RC造の高層集合住宅だけで新規建設を行うことでできるだけ市域を縮小する（寿命を待たない強制廃棄あり）

**多心案：**新規建設の半分をRC造の高層集合住宅で行い、半分を木造の低層戸建て住宅でおこなうことでバランスのとれた都市像を目指す。（寿命を待たない強制廃棄なし）

**市場案：**現在と変わらない用途構造別の割合になるように新規建設が行われる。（寿命を待たない強制廃棄なし）このシナリオでは市域を減少させるような誘導はなく市域はそのまま歯抜けの街になっていく。

#### b.2050年での既存家屋の残存率

長岡市の現状での一年間あたりのCO<sub>2</sub>排出量を求めた時と同じように、住宅を対象としたコーホートモデルを構築し、経年での建物更新を分析する。

表：2050年での既存家屋の残存面積（単位：㎡）

建築年次	木造家屋	築年数	残存率	2050年面積	非木造家屋	残存率	2050年面積
～S38.1.1	2,553,010	45 <sup>+</sup>	0	0	131,958	0	0
S38.1.2～	509,360	42 <sup>+</sup> 45	0	0	115,390	0	0
S41.1.2～	735,085	39 <sup>+</sup> 42	0	0	225,638	0	0
S44.1.2～	925,159	36 <sup>+</sup> 39	0	0	461,099	0	0
S47.1.2～	886,774	33 <sup>+</sup> 36	0	0	393,156	0	0
S50.1.2～	1,002,165	30 <sup>+</sup> 33	0	0	455,152	0	0
S53.1.2～	1,024,079	27 <sup>+</sup> 30	0	0	580,582	0.1	58,058
S56.1.2～	782,157	24 <sup>+</sup> 27	0	0	584,261	0.2	116,852
S59.1.2～	688,092	21 <sup>+</sup> 24	0	0	579,847	0.3	173,954
S62.1.2～	805,160	18 <sup>+</sup> 21	0	0	777,384	0.4	310,954
H2.1.2～	887,142	15 <sup>+</sup> 18	0.1	88,714	896,335	0.5	448,168
H5.1.2～	922,847	12 <sup>+</sup> 15	0.2	184,569	746,470	0.6	447,882
H8.1.2～	908,298	9 <sup>+</sup> 12	0.3	272,489	763,980	0.7	534,786
H11.1.2～	709,133	6 <sup>+</sup> 9	0.4	283,653	508,626	0.75	381,470
H14.1.2～	580,507	3 <sup>+</sup> 6	0.6	348,304	413,544	0.8	330,835
H17.1.2～H20.1.1	868,626	0 <sup>+</sup> 3	0.7	608,038	684,619	0.85	581,926
合計	14,787,594			1,785,767	8,318,041		3,384,885



この結果、木造家屋は  $1,785,767 \div 14,787,594 \times 100 \approx 12\%$ 、  
非木造家屋では  $3,384,885 \div 8,318,041 \times 100 \approx 41\%$  が 2050 年に残存することが推計された。

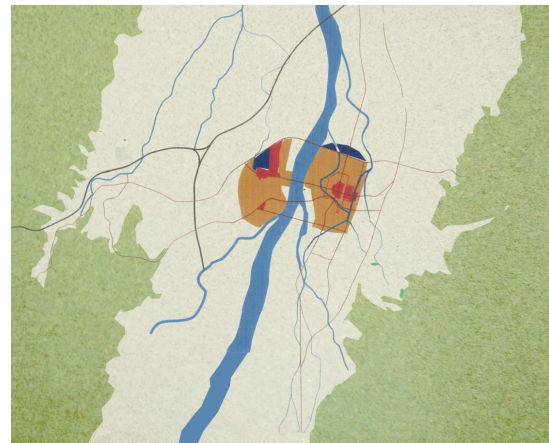
既存家屋の 2050 年での廃棄率は  
木造家屋で 88%、非木造家屋で 59% となる。

### c. 2050年での各都市像案における市域の計算

上記をもとに各都市像案での市域を計算する。

#### 単心案：単心でコンパクトな市街地

上記をもとに築年数別床面積に残存率をかけ、それを足し合わせることで、既存の家屋の残存面積をだし、それを既存の床面積から引くことで新築する面積を導き、さらにそれをもとに容積率から土地面積を割り出しまとめたものが以下の表である。以下の表を見ることで、各案の用途構造での容積率、床面積がいくりに設定されているかがわかる。土地面積に公園緑地、道路率を掛けることで市域が算出できる。



表：単心案：単心でコンパクトな市街地での残存面積と新築面積、新築土地面積の算出結果

2050 年の長岡市の総延べ床面積の設定（単位㎡）				単心型				
	2007	2050	既存	新築		床面積	容積	土地面積
住宅合計	13,708,387	9,554,746	2,259,968	7,294,778	新集合住宅 R C	7,294,778	200%	3,647,389
					新戸建木造	0	50%	0
					既存住宅	2,259,968	50%	4,519,936
業務合計	2,233,876	1,557,012	814,153	742,859	新業務	742,859	150%	495,239
					既存業務	814,153	50%	1,628,306
工場合計	3,569,742	2,488,110	1,326,831	1,161,279	新工場	1,161,279	50%	2,322,558
					既存工場	1,326,831	50%	2,653,662
学校	359,406	250,506	143,762	106,744	新学校	106,744	50%	213,488
					既存学校	143,762	50%	287,524
							合計	15,768,102

※市域を縮小するという施策を反映し、新集合住宅RC造の容積率を200%、新業務の容積率を150%に設定した。既存については現状を考慮してすべて50%に設定している。新築集合住宅はすべてRC造の集合住宅で建築される。色の濃淡部がそれぞれ対応している。

以上より新築床面積と既存床面積から容積率で割って、土地面積を算出したものを足し合わせることで算出した土地面積の項目を見ると

建物に必要な面積は 15.8 km<sup>2</sup>

であることがわかる。(現在、建物に必要な面積は 39.7 km<sup>2</sup>である。)



公園緑地、道路を 30% とすると、土地面積にその公園緑地、道路率をかけ

$$15.8 \text{ km}^2 \times 1.3 \div 20.5 \text{ km}^2$$

と算出され、この値が市域面積にあたる。

現状の市域が 58.7 km<sup>2</sup>で、単心案の市域は 20.5 km<sup>2</sup>なので

$$20.5 \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \div 35\%$$

単心案では現状の市域の 35% に縮小することになる。人口減少が 70% 程度なので、面積当たりの人口密度は現在の 2 倍ほどの街になる。

### 多心案：多心的でコンパクトな市街地

・パターン1（集合住宅：戸建住宅＝1：3の場合）

単心案の場合と同じように多心案に対して計算を行う。ここでは集合住宅と戸建て住宅の割合が 1：3 の場合の市域を計算する。集合住宅の割合が多いほど高容積となり、高利用化される。また、集合住宅が増えることでエネルギー効率の高い街となる。この案では新築の戸建て住宅の割合が高くどちらかといえば市場案に近い案となる。



表：多心案：多心的でコンパクトな市街地での残存面積と新築面積、新築土地面積の算出結果

2050 年長岡市の総延べ床面積の設定（単位㎡）				多心 型	集合住宅：戸建＝１：３			
	2007	2050	既存	新築		床面積	容積	土地面積
住宅 合計	13,708,387	9,554,746	2,259,968	7,294,778	新集合ＲＣ	1,823,695	100%	1,823,695
					新戸建木造	5,471,084	50%	10,942,167
					既存住宅	2,259,968	50%	4,519,936
業務 合計	2,233,876	1,557,012	814,153	742,859	新業務	742,859	150%	495,239
					既存業務	814,153	50%	1,628,306
工場 合計	3,569,742	2,488,110	1,326,831	1,161,279	新工場	1,161,279	50%	2,322,558
					既存工場	1,326,831	50%	2,653,662
学校	359,406	250,506	143,762	106,744	新学校	106,744	50%	213,488
					既存学校	143,762	50%	287,524
							合計	24,886,575

※強制廃棄がない分大きな開発がないということで、新集合住宅RC造の容積率を 100%、新業務の容積率を 150% に設定した。既存については現状を考慮してすべて 50% に設定している。新築住宅はRC造の集合住宅と木造戸建て住宅が 1：3 の割合で建築される。色の濃淡部がそれぞれ対応している。

以上より、新築床面積と既存床面積から容積率で割って、土地面積を算出したものを足し合わせることで算出した土地面積の項目を見ると

建物に必要な面積は 24.9 km<sup>2</sup>

となる。(現在、建物に必要な面積は 39.7 km<sup>2</sup>である。)

公園緑地・道路を 30%とすると、土地面積にその公園緑地、道路率をかけ

$$24.9 \text{ km}^2 \times 1.3 \div \underline{32.4 \text{ km}^2}$$

と算出され、この値が市域面積にあたる。

現状の市域が 58.7 km<sup>2</sup>で、多心案の市域は 30.9 km<sup>2</sup> なので

$$32.4 \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \div \underline{55\%}$$

現状の市域の 55%に縮小することになる。人口減少が 70%程度なので、面積当たりの人口密度は現在の 1.3 倍ほどの街になる。

・パターン 2 (集合住宅：戸建住宅 = 1 : 1 の場合)

この案では新築の戸建て住宅の割合が同じで単心案と市場案の間のような案となる。

表：多心案：多心的でコンパクトな市街地での残存面積と新築面積、新築土地面積の算出結果

2050 年長岡市の総延べ床面積の設定（単位㎡）				多心 型	集合住宅：戸建＝１：１			
	2007	2050	既存	新築		床面積	容積	土地面積
住宅 合計	13,708,387	9,554,746	2,259,968	7,294,778	新集合ＲＣ	3,647,389	100%	3,647,389
					新戸建木造	3,647,389	50%	7,294,778
					既存住宅	2,259,968	50%	4,519,936
業務 合計	2,233,876	1,557,012	814,153	742,859	新業務	742,859	150%	495,239
					既存業務	814,153	50%	1,628,306
工場 合計	3,569,742	2,488,110	1,326,831	1,161,279	新工場	1,161,279	50%	2,322,558
					既存工場	1,326,831	50%	2,653,662
学校	359,406	250,506	143,762	106,744	新学校	106,744	50%	213,488
					既存学校	143,762	50%	287,524
							合計	23,062,880

※強制廃棄がない分大きな開発がないということで、新集合住宅 R C 造の容積率を 100%、新業務の容積率を 150%に設定した。既存については現状を考慮してすべて 50%に設定している。新築住宅は R C 造の集合住宅と木造戸建て住宅が 1 : 1 の割合で建築される。色の濃淡部がそれぞれ対応している。

以上より、新築床面積と既存床面積から容積率で割って、土地面積を算出したものを足し合わせることで算出した土地面積の項目を見ると

建物に必要な面積は 23.1 km<sup>2</sup>

となる。(現在、建物に必要な面積は 39.7 km<sup>2</sup>である。)

公園緑地・道路を 30%とすると、土地面積にその公園緑地、道路率をかけ

$$23.1 \text{ km}^2 \times 1.3 \div \underline{30.0 \text{ km}^2}$$

となる。この値が市域面積にあたる。

多心案の市域は 30.0 km<sup>2</sup>、現状の市域は 58.7 km<sup>2</sup>なので

$$30.0 \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \div \underline{51\%}$$

現状の市域の51%に縮小することになる。人口減少が70%程度なので、面積当たりの人口密度は現在の1.4倍ほどの街になる。

多心案で戸建て住宅と集合住宅の比が1:3の場合と1:1の場合では市域は55%と51%の違いである。市域的には割合を変えてもそれほど大きな差は生まれないことがわかる。集合住宅の市域が35%で市場案の市域が100%なので、その二つとの比較を行うことを考えれば、55%と51%というのは大きな差でない。そこで、ここでは単心案と市場案の間という意味合いも含めて戸建て住宅と集合住宅の比が1:1の場合で計算を行うこととする。その場合現在との人口密度が単心案、多心案、市場案で2倍、1.4倍、0.7倍となり比較するには適度な差となっている。人口密度は住空間に大きな影響を与えるのでそれくらいの差で検討することでCO<sub>2</sub>排出面と住空間とのイメージが結び付けられる比較となると考えた。

### 市場案：散在する空地をもつ市街地

市場案については、市域は変わらないものとし現状の市域に対して100%の市域のままである。人口減少が70%程度なので、面積当たりの人口密度は現在の0.7倍ほどの街になる。新築住宅は現在の構造用途別の構成割合と同じ割合で建築されることとする。現在の長岡市の集合住宅の割合は5%ほどのなので、出来上がった街も集合住宅の割合が5%の街のままである。



### d.各都市像案での市域の比較

以下に以上の計算結果をまとめた市域の比較表を示す。

表：市域の比較

	現状	単心	多心	市場
市域面積	58.7 k m <sup>2</sup>	19.7 k m <sup>2</sup>	28.8 k m <sup>2</sup>	58.7 k m <sup>2</sup>
割合	100%	35%	51%	100%

多心案では現状に対して約半分の市域になり、単心案では35%の市域になるという結果となった。単心案の場合にはモデルケースとして新規集合住宅の容積率を現在の長岡の平均的な容積率の4倍ほどに当たる200%に設定して、長岡市全域の家屋が中心部に集まっているという仮定のもとで計算を行っているので大幅な市域の減少ができています。

多心案は市街地だけに集まっているわけではなく、郊外部まで伸びていって、新規集合住宅の容積率も単心案に比べて小さい150%で設定しているので、総合的には単心案より15%ほど大きい、現状の半分ほどの市域で納まっている。

市場案では他の案と床面積は変わらないのに、市域の大きさでは大きく違う。現在の街が歯抜けになっていき、その結果まとまっていない小さな空地ばかりが増え、さまざまな用途に転用しにくい空地ができていってしまうのである。後に空地を緑化した場合のCO<sub>2</sub>排出量の固定効果などにも触れているが、細切れの空地ではそういった緑化も行いにくい。

## 4 2050 年に向けた都市変革における CO2 排出量の算出及び考察

## 4-1 2050 年に向けた各都市像案の事前考察

これまでの結果をもとに CO2 を計算する前に各シナリオの事前考察を行う。以下は各都市像に対する各項目への影響度の大小を比較した表である。

表：各シナリオの指標ごとのインパクト予想

	廃棄量	新設量	インフラ維持	交通	完成系の運用 CO2	移行時コスト	完成系維持コスト
多心案	中	中	中	中	中	中	中
単心案	大	大	小	小	小	大	小
市場案	小	小	大	大	大	小	大

単心型では移行時の建設・廃棄が多く CO2 排出量が大きくなり、移行後は市域が縮小するため交通トリップが減少することや集合住宅が多くなることでエネルギー効率の改善からランニングでの CO2 排出量が小さくなると考えられる。

一方、市場案では、特に政策を施さないので移行時の CO2 排出量は小さいが、移行後は市域が減少しない分、インフラの維持が多いことや木造建物が多いのでエネルギー効率が悪くランニングの CO2 排出量は大きいと考えられる。

その両者の中間に位置するのが多心型で移行時の CO2 排出量と移行後のランニングの CO2 排出がどういったバランスをとるかが CO2 排出量削減という意味では重要な指標となると考えられる。

市域を減少させるための建設・廃棄による CO2 排出が予想以上に大きければ、完成後いくらフローが低くても、移行時の建設・廃棄による CO2 排出量を回収できないということになるし、またその逆もあり得る。今までそのような評価があまり明らかにされてこなかったもので、そこを明らかにすることで、コンパクトシティについての議論がさらに広がると考える。

また、移行時において市域が減少する分単心案は徐々にインフラ工事量が減っていくと考えられ、一方、市場案は無理な廃棄はないものの、最後までインフラの工事量が減ることはない。そのあたりもバランスがどうなっているか分かりにくいですが、評価期間でみると単心案の方が建設・廃棄量が少なくなることも十分に考えられる。

以上のようなことを視野に入れながら次から計算を行っていく。

## 4-2 各案の完成にかかるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と結果（建設量一定の場合）

### a. 2008年から2050年までの間に建設された分の残存率の試算

前章では既存の家屋の2050年での残存率を計算したが、ここではさらに2008年から2050年までの間に建設された分の2050年での残存率を計算する。

前章でも示した通り、既存家屋の2050年での廃棄率は、木造家屋で88%、非木造家屋で59%となる。

2008年から2050年の間に建設される合計量を42とし、それが42年間の間一定の割合で建設されると仮定した場合、建設されるもののうちで廃棄される量の割合を求める。以下は2008年から2050年の間に建設される分の2050年での残存面積をコーホレート法により推計したものである。各築年数での残存率については前に示したものと同様である。

表：2008年から2050年のうちに建設されるものの残存面積

建築年次	木造家屋	築年数	残存率	2050 年面積	非木造家屋	残存率	2050 年面積
2009 年～2011 年	3	39^42	0.7	2.1	3	0.85	2.55
2012 年～2014 年	3	36^39	0.8	2.4	3	0.9	2.7
2015 年～2017 年	3	33^36	0.85	2.55	3	1	3
2018 年～2020 年	3	30^33	0.9	2.7	3	1	3
2021 年～2023 年	3	27^30	1	3	3	1	3
2024 年～2026 年	3	24^27	1	3	3	1	3
2027 年～2029 年	3	21^24	1	3	3	1	3
2030 年～2032 年	3	18^21	1	3	3	1	3
2033 年～2035 年	3	15^18	1	3	3	1	3
2036 年～2038 年	3	12^15	1	3	3	1	3
2039 年～2041 年	3	9^12	1	3	3	1	3
2042 年～2044 年	3	6^9	1	3	3	1	3
2045 年～2047 年	3	3^6	1	3	3	1	3
2048 年～2050 年	3	0^3	1	3	3	1	3
合計	42			39.75	42		41.25
				95%			98%

この結果、2008年から2050年に建設されたもののうち  
木造家屋は  $39.75 \div 42 \times 100 \approx 95\%$ 、  
非木造家屋では  $41.25 \div 42 \times 100 \approx 98\%$  が2050年に残存することが推計された。

よって  
2008年から2050年に建設されたものの2050年での廃棄率は  
木造家屋で5%、非木造家屋で2%である。

## b.各都市像での2008年から2050年の新規建設量の計算

各都市像での2008年から2050年の新規建設量を計算する。まず既存家屋の2050年までの廃棄量を既存家屋の2050年での残存率から計算し、その値を2050年で必要な床面積から差し引くことで、2050年までに必要な新規開発の総床面積を計算する。その総床面積を各都市像に合わせてRC造と木造に振り分け、その値が現状の床面積に対して何割かを計算することで各構造用途別で現在の床面積に対する床面積の比を求めることができる。以下はその途中経過である。

### 2008年から2050年に建設される家屋面積の計算方法

廃棄面積は既存家屋のうち2050年までに廃棄される分の面積を出したもので、各シナリオで違はない。

$$\begin{aligned}\text{木造家屋の廃棄面積 (m}^2\text{)} &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times (1 - \text{木造家屋の残存率}) \\ &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times 0.88\end{aligned}$$

で求められ

$$\begin{aligned}\text{非木造家屋の廃棄面積 (m}^2\text{)} &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times (1 - \text{非木造家屋の残存率}) \\ &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times 0.59\end{aligned}$$

で求められる。

残存面積は既存家屋のうち2050年まで残っている分の面積で

$$\text{残存面積 (m}^2\text{)} = \text{既存家屋面積 (m}^2\text{)} - \text{廃棄面積 (m}^2\text{)}$$

で求められる。

既存に対する割合とは2008年から2050年に建設される家屋量(2050年での家屋面積が2008年に比べ69.8%になるという前提のもと)の既存家屋面積に対する割合である。既存に対する割合の算出方法は各シナリオで異なる。

$$\text{2008年から2050年に建設される家屋量 (m}^2\text{)} = \text{既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 - \text{残存面積 (m}^2\text{)}$$

で求められる。

### 各構造用途別の現存床面積に対する新規建設床面積の比の算出

ここでは計算の途中が長くなるのを避けるため多心案だけの計算過程を記載する。単心案と市場案の計算途中についてはあとの章で別途記載している。計算方法については、各案で計算方法は変わらない。

#### 多心案 (集合：戸建＝1：1の場合)

##### 住宅木造

既存に対する割合

$$= ( \text{住宅既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{住宅残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)}$$

$$= \{ (11,512,098 + 2,196,289) \times 0.698 \div 2 - (1,381,452 + 900,478) \} \\ \div 11,512,098 \\ \approx \underline{0.316}$$

#### 住宅非木造

既存に対する割合

$$= ( \text{住宅既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{住宅残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{住宅非木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ = \{ (11,512,098 + 2,196,289) \times 0.698 \div 2 - (1,381,452 + 900,478) \} \\ \div 2,196,289 \\ \approx \underline{1.659}$$

#### 事務所木造

既存に対する割合

$$= ( \text{事務所既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{事務所残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ = \{ (283,561 + 1,950,315) \times 0.698 \div 2 - (34,027 + 799,629) \} \\ \div 283,561 \\ \approx \underline{1.279}$$

#### 事務所非木造

既存に対する割合

$$= ( \text{事務所既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{事務所残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{事務所非木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ = \{ (283,561 + 1,950,315) \times 0.698 \div 2 - (34,027 + 799,629) \} \\ \div 1,950,315 \\ \approx \underline{0.186}$$

#### 工場木造

既存に対する割合

$$= ( \text{工場既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{工場残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ = \{ (360,952 + 3,208,790) \times 0.698 \div 2 - (43,314 + 1,315,604) \} \\ \div 360,952 \\ \approx \underline{1.569}$$

#### 工場非木造

既存に対する割合

$$= ( \text{工場既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 \div 2 - \text{工場残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{工場非木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ = \{ (360,952 + 3,208,790) \times 0.698 \div 2 - (43,314 + 1,315,604) \} \\ \div 3,208,790 \\ \approx \underline{0.177}$$

.....

単心案、市場案についても同様に計算し、各都市像での2050年までの建設量を求める。



次に示すのは先ほど計算した各都市像での2050年までの建設量を表にまとめたものである。

図：各都市像での2050年までの建設量

		多心	単心	市場
住宅	木造	0.316	0	0.578
	非木造	1.659	3.318	0.288
事務所	木造	1.279	0	0.578
	非木造	0.186	0.372	0.288
工場	木造	1.569	0	0.578
	非木造	0.177	0.353	0.288
学校	非木造	0.225	0.225	0.225

※この表の見方としては例えば単心での住宅非木造の3.318というのは2050年までに現在の非木造の床面積分の3.318倍分の床面積が建設されるということを意味する。単心案では木造家屋の建設は行われないため各用途の木造部分が0になっている。

2008年から2050年までの間の廃棄量については以下のような式で求めることができる。

次の項目では前述の2008年から2050年に建設される家屋量と次の2008年から2050年に廃棄される家屋量の計算式を用いて計算を行う。

$$\text{2008年から2050年に廃棄される家屋量} = (1 - \text{家屋の残存率}) \times \text{2008年から2050年に建設される家屋量} \times \text{2008年から2050年に建設される家屋の2050年での廃棄率}$$

### c.各都市像での移行時の家屋の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算

以下では各都市像での移行時における家屋の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を計算している。上で求めた2050年までの建設量と2008年から2050年の間に建設された分の2050年での廃棄率を組み合わせることでCO<sub>2</sub>排出量を求めている。ここでは計算の途中が長くなるのを避けるため多心案だけの計算過程を記載する。単心案と市場案の計算途中についてはあとの章で別途記載している。計算方法については、各案で計算方法は変わらない。

#### 多心案（集合：戸建＝1：1の場合）

##### 住宅木造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ &= 384 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.316 \times (1 + 0.05) \div 1,000 \\ &\div \underline{1,468,963 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ &= 54 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.316 \times 0.05) \div 1,000 \\ &\div \underline{556,892 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$



### 住宅SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 1,172 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.659 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{309,574 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 165 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 1.659 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{16,052 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 住宅RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 944 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.659 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{1,680,039 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 133 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 1.659 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{87,178 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 住宅S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\
 &\quad \text{に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 792 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.659 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{1,308,328 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\
 &\quad \text{家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 1.659 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{68,143 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 住宅CB造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 519 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.659 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{10,563 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = \text{住宅CB造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times$$

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

$$\begin{aligned} & (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(住宅非木造)}) \times 2008 \\ & \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 73 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 1.659 \times 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{547 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

##### 事務所木造

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ & (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所木造)}) \times 2008 \\ & \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 48 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 283,561 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0) \div 1,000 \\ \div & \underline{11,978 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

##### 事務所SRC造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ & \times \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設} \\ & \text{されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 1,140 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{86,243 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ & \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times \\ & 2008 \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 161 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{20,843 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

##### 事務所RC造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ & \times \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設} \\ & \text{されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 908 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{168,516 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\ & \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times \\ & 2008 \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\ = & 128 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{40,652 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

##### 事務所S造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ & \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設され} \\ & \text{たものの2050年での廃棄率}) \\ = & 653 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{274,032 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = \text{事務所S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times$$

---

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

$$\begin{aligned}
 & (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times 2008 \\
 & \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 92 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{66,069 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

##### 工場木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\
 & \text{に対する割合(工場木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたもの} \\
 & \text{の2050年での廃棄率}) \\
 = & 201 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times 1.569 \times (1 + 0.05) \div 1,000 \\
 \div & \underline{119,535 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\
 & \text{家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(工場木造)}) \times \text{2008年から} \\
 & \text{2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 28 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 1.569 \times 0.05) \div 1,000 \\
 \div & \underline{9,687 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

##### 工場SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 & \times \text{既存に対する割合(工場非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設さ} \\
 & \text{れたものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 704 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{11,175 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 & \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(工場非木造)}) \times \\
 & \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 99 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{5,180 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

##### 工場RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 & \text{既存に対する割合(工場非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設され} \\
 & \text{たものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 706 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{38,669 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 & (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(工場非木造)}) \times \text{2008} \\
 & \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 = & 100 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{18,057 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

##### 工場S造

$$\text{建設でのCO}_2\text{排出量} = \text{工場S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既}$$

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

$$\begin{aligned} & \text{存に対する割合（工場非木造）} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたもの} \\ & \text{の } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ = & 439 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 2,816,402 (\text{m}^2) \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{222,601 (\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場S造の廃棄原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{工場S造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合（工場非木造）} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ = & 62 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 2,816,402 (\text{m}^2) \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{103,640 (\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

#### 学校（RC造）

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{学校の建設原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{学校の既存家屋面積} (\text{m}^2) \times \text{既存に対する割合（学校非木造）} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ = & 794 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 358,780 (\text{m}^2) \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{82,043 (\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{学校の廃棄原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{学校の既存家屋面積} (\text{m}^2) \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合（学校非木造）} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ = & 112 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 358,780 (\text{m}^2) \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\ \div & \underline{23,708 (\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

.....

表：各シナリオでの家屋の廃棄面積および建設、廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量

多心		建設原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	既存家屋面積(m <sup>2</sup> )③	廃棄面積(m <sup>2</sup> )④	残存面積(m <sup>2</sup> )⑤	既存に対する割合	建設CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )⑦	廃棄CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )
住宅	木造	384	11,512,098	10,130,646	1,381,452	0.316	1,468,963	556,892
	SRC	1,172	156,112	92,106	64,006		309,574	16,052
	RC	944	1,051,832	620,581	431,251		1,680,039	87,178
	S	792	976,316	576,026	400,290		1,308,328	68,143
	CB	519	12,029	7,097	4,932		10,563	547
	合計		2,196,289	1,295,811	900,478	1.659	3,308,504	171,920
事務所	木造	342	283,561	249,534	34,027		0	11,978
	SRC	1,140	216,694	127,849	88,845		86,243	20,843
	RC	908	531,595	313,641	217,954		168,516	40,652
	S	653	1,202,026	709,195	492,831		274,032	66,069
	合計		1,950,315	1,150,686	799,629	0.372	528,791	127,564
工場	木造	201	360,952	317,638	43,314	1.569	119,535	9,687
	SRC	704	88,164	52,017	36,147		11,175	5,180
	RC	706	304,224	179,492	124,732		38,669	18,057
	S	439	2,816,402	1,661,677	1,154,725		222,601	103,640
	合計		3,208,790	1,893,186	1,315,604	0.177	272,445	126,877
学校	RC	794	358,780	211,680	147,100		82,043	23,708

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

単心		建設原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /㎡)	既存家屋面積(㎡)	廃棄面積 (㎡)	残存面積 (㎡)	既存に対する割合	建設CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )	廃棄CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )
住宅	木造	384	11,512,098	10,130,646	1,381,452		0	547,055
	SRC	1,172	156,112	92,106	64,006		569,617	16,907
	RC	944	1,051,832	620,581	431,251		3,091,272	91,820
	S	792	976,316	576,026	400,290		2,407,324	71,770
	CB	519	12,029	7,097	4,932		19,436	576
	合計		13,708,387	11,426,457	900,478	3.318	6,087,649	181,073
事務所	木造	342	283,561	249,534	34,027		0	11,978
	SRC	1,140	216,694	127,849	88,845		86,243	20,843
	RC	908	531,595	313,641	217,954		168,516	40,652
	S	653	1,202,026	709,195	492,831		274,032	66,069
	合計		1,950,315	1,400,220	799,629	0.372	528,791	127,564
工場	木造	201	360,952	317,638	43,314		0	8,894
	SRC	704	88,164	52,017	36,147		20,561	5,211
	RC	706	304,224	179,492	124,732		71,151	18,164
	S	439	2,816,402	1,661,677	1,154,725		409,585	104,257
	合計		3,569,742	2,210,824	1,315,604	0.353	501,297	127,632
学校	RC	794	358,780	211,680	147,100	0.225	82,043	23,708

市場		建設原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /㎡)	既存家屋面積(㎡)	廃棄面積 (㎡)	残存面積 (㎡)	既存に対する割合	建設CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )	廃棄CO <sub>2</sub> (t-CO <sub>2</sub> )
住宅	木造	384	11,512,098	10,130,646	1,381,452	0.578	2,682,890	565,021
	SRC	1,172	156,112	92,106	64,006		53,747	15,346
	RC	944	1,051,832	620,581	431,251		291,683	83,343
	S	792	976,316	576,026	400,290		227,148	65,145
	CB	519	12,029	7,097	4,932		1,834	523
	合計		2,196,289	1,295,811	900,478	0.288	574,412	164,357
事務所	木造	342	283,561	249,534	34,027	0.578	58,856	13,324
	SRC	1,140	216,694	127,849	88,845		72,568	27,762
	RC	908	531,595	313,641	217,954		141,795	54,147
	S	653	1,202,026	709,195	492,831		230,579	88,000
	合計		1,950,315	1,150,686	799,629	0.288	444,942	169,909
工場	木造	201	360,952	317,638	43,314	0.578	44,031	9,893
	SRC	704	88,164	52,017	36,147		18,233	6,946
	RC	706	304,224	179,492	124,732		63,094	24,209
	S	439	2,816,402	1,661,677	1,154,725		363,205	138,953
	合計		3,208,790	1,893,186	1,315,604	0.288	444,532	170,108
学校	RC	794	358,780	211,680	147,100		82,043	23,708

以上の計算結果をまとめた表が上の表である。既存に対する割合は現状の構造用途別床面積に対する新規建設される床面積の割合を示したものである。その割合から新規の建設量と廃棄量を割り出し、その量から建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を算出している。

#### d.各都市像での移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算

各都市像での移行時のインフラの建設、廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

#### 各都市像での移行時のインフラの建設・廃棄量の計算

##### 多心案

##### 耐用年数50年のもの

多心案では寿命を待たずに廃棄されるということがなく、寿命に応じて廃棄、建設される

今までのものが今後平均的に廃棄されるとすると

耐用年数が50年のものは

$$42(\text{年}) \div 50(\text{年}) \times 100 = \underline{84\%}$$

カバー率は16%であり

$$51\% - 16\% = \underline{35\%}$$

の新規建設が必要となる。



図：多心案での移行前後の市域の比較

##### 耐用年数30年のもの

耐用年数が30年のものは2050年の30年前以前に建設されたものは2050年までに廃棄される。

そこで2008年から2020年までに廃棄、建設される量を求めると

$$(2020 \text{ 年} - 2008 \text{ 年}) \div 30 \text{ 年} \times 100 = \underline{40\%}$$

が廃棄されることがわかる。

2050年での多心案の市域は51%であり、2020年まで一定の割合で縮小していくとすると、2020年の市域は、

$$100\% - (100\% - 51\%) \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} = \underline{85.3\%}$$

40%廃棄されると残りは60%なので、

$$85.3\% - 60\% = \underline{25.3\%}$$

の新規建設が必要となる。

さらに2050年までに2008年以前にあったものの残り60%も廃棄される。

最終的な市域は49%なので2020年から2050年までに建設される量は

$$51\% - 25.3\% = \underline{25.7\%}$$

さらに2020年までに建設された25.4%分がもう一度廃棄、建設されるので

$$\text{建設量} = 25.3\% + 25.7\% + 25.3\% = \underline{76.3\%}$$

$$\text{廃棄量} = 40\% + 60\% + 25.3\% = \underline{125.3\%}$$

#### 公園

公園については修繕のみを考えているので、耐用年数での廃棄はなく、市域の減少分だけ廃棄され、

$$100\% - 51\% = \underline{49\%}$$

が廃棄される。

表：多心案に移行する際のインフラの現状に対する建設・廃棄量

道路	1	0.763	1.253
公園	1	0	0.49
下水道	1	0.35	0.84
上・工業用水道	1	0.35	0.84
都市ガス	1	0.35	0.84
宅地造成	1	0.06	0

#### 単心案

単心案は他案と違って移行時のインフラの強制廃棄分を評価している。これは移行時において家屋の寿命に合わせて市域を小さくしていくことに由来する。多心案では家屋を移行させる際にもインフラを廃棄することはないが単心案において市域を小さくするために高層の集合住宅に置き換えるため新規建設には宅地開発が伴う。その際既存のインフラを廃棄して新たなインフラを整備する必要がある。さらに移動する際には寿命を待たない廃棄が発生し、評価期間での寿命による廃棄・建設量は増す。その強制廃棄分を単心案の市域分×1.5と見積もって約50%とした。

#### 耐用年数50年のもの

単心案での建設廃棄量を寿命分と強制廃棄分に分けて計算する。

今までのものが今後平均的に廃棄されるとすると耐用年数が50年のものは寿命分については、

$$42(\text{年}) \div 50(\text{年}) \times 100 = \underline{84\%}$$

カバー率は16%であり、

$$35\% - 16\% = \underline{19\%}$$

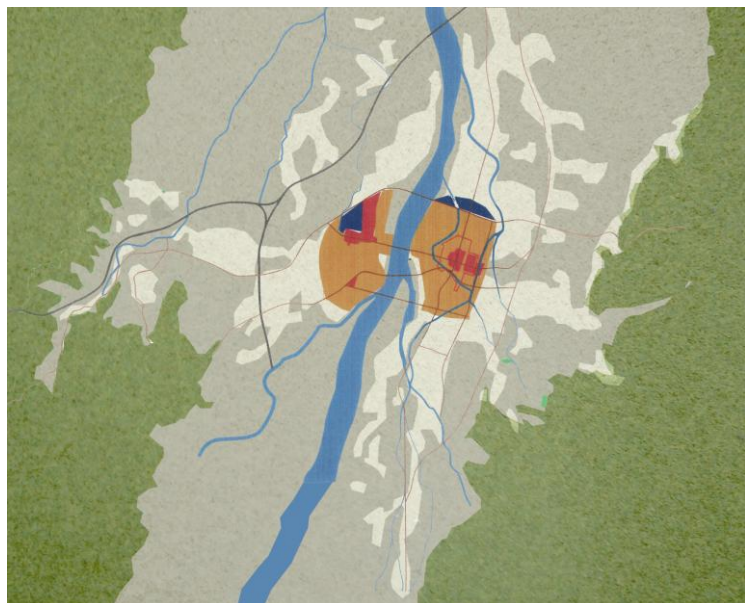
の新規建設が必要となる。

さらに強制廃棄分を市域の半分とすると50%の廃棄、建設を要し

$$\text{建設量} = 19\% + 50\% = \underline{69\%}$$

$$\text{廃棄量} = 84\% + 50\% = \underline{134\%}$$

となる。



図：単心案での移行前後の市域の比較



### 耐用年数30年のもの

耐用年数が30年のものは2050年の30年前以前に建設されたものは2050年までに廃棄される。  
そこで2008年から2020年までに廃棄、建設される量を求めると

$$(2020 \text{ 年} - 2008 \text{ 年}) \div 30 \text{ 年} \times 100 = \underline{40\%}$$

が廃棄されることがわかる。

2050年での多心案の市域は34%であり、2020年まで一定の割合で縮小していくとすると、2020年の市域は、

$$100\% - (100\% - 35\%) \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} \div \underline{80.5\%}$$

40%廃棄されると残りは60%なので、

$$80.5\% - 60\% = \underline{20.5\%}$$

の新規建設が必要となる。

さらに2050年までに2008年以前にあったものの残り60%も廃棄される。

最終的な市域は49%なので2020年から2050年までに建設される量は

$$35\% - 20.5\% = \underline{14.5\%}$$

さらに2020年までに建設された20.5%分がもう一度廃棄、建設されるので

$$\text{建設量} = 20.5\% + 14.5\% + 20.5\% = \underline{55.5\%}$$

$$\text{廃棄量} = 40\% + 60\% + 20.5\% = \underline{120.5\%}$$

さらに強制廃棄分を市域の半分とすると

$$\text{建設量} = 20.5\% + 14.5\% + 20.5\% + 50\% = \underline{105.5\%}$$

$$\text{廃棄量} = 40\% + 60\% + 20.5\% + 50\% = \underline{170.5\%}$$

### 公園

公園については修繕のみを考えているので、耐用年数での廃棄はなく、市域の減少分だけ廃棄され、

$$100\% - 35\% = \underline{65\%}$$

が廃棄される。

さらに強制廃棄分を市域の半分とすると、

$$65\% + 50\% = \underline{115\%}$$

建設分は85%

新規に宅地化される量は現状に対して、

$$10.3 \div 39.7 \div \underline{0.26}$$

新規に開発される部分は26%であり、宅地建設量は26%となる。

表：単心案での新規建設分の床面積

単位：m <sup>2</sup>	床面積
住宅	7,294,778
事務所	495,239
工場	2,322,558
学校	213,488
合計	10,326,063



表：単心案に移行する際のインフラの現状に対する建設・廃棄量

道路	1	1.055	1.705
公園	1	0.35	1.15
下水道	1	0.69	1.34
上・工業用水道	1	0.69	1.34
都市ガス	1	0.69	1.34
宅地造成	1	0.26	0

## 市場案

市場案では寿命を待たずに廃棄されるということがなく、寿命に応じて廃棄、建設される。

### 耐用年数50年のもの

今までのものが今後平均的に廃棄されるとすると、耐用年数が50年のものは

$$42(\text{年}) \div 50(\text{年}) \times 100 = \underline{84\%}$$

$$\text{カバー率は } 16\% \text{ であり、 } 100\% - 16\% = \underline{84\%}$$

の新規建設が必要となる。

### 耐用年数30年のもの

耐用年数が30年のものは2050年の30年前以前に建設されたものは2050年までに廃棄される。  
そこで2008年から2020年までに廃棄、建設される量を求めると

$$(2020 \text{ 年} - 2008 \text{ 年}) \div 30 \text{ 年} \times 100 = \underline{40\%} \text{ が廃棄されることがわかる。}$$

2050年での市場案の市域は100%であり、40%廃棄されると残りは60%なので

$$100\% - 60\% = \underline{40\%}$$

の新規建設が必要となる。

さらに2050年までに2008年以前にあったものの残り60%も廃棄される。  
最終的な市域は49%なので2020年から2050年までに建設される量は

$$100\% - 40\% = \underline{60\%}$$

さらに2020年までに建設された25.4%分がもう一度廃棄、建設されるので

$$\text{建設量} = 40\% + 60\% + 40\% = \underline{140\%}$$

$$\text{廃棄量} = 40\% + 60\% + 40\% = \underline{140\%}$$

表：市場案に移行する際のインフラの現状に対する建設・廃棄量

道路	1	1.4	1.4
公園	1	0	0
下水道	1	0.84	0.84
上・工業用水道	1	0.84	0.84
都市ガス	1	0.84	0.84
宅地造成	1	0	0

以上により既存インフラ量に対する移行時の建設・廃棄量の割合が求められた。この表は例えば 1.4 の場合、既存インフラ総量の 1.4 倍分の量が建設または廃棄されるということを意味している。市場案では市域の縮小がないので寿命による更新が市域分丸々になり、結果的に建設量は多心案、単心案より多くなる。多心案は無理な廃棄もなく、市域を縮小しているため 3 案の中で最もインフラの建設、廃棄量が少なくなっている。

#### 各都市像での移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算

以上の既存インフラ量に対する移行時の建設・廃棄量の割合から各案の移行時のインフラ建設、廃棄による CO<sub>2</sub> 排出量を求める。ここでは計算の途中が長くなるのを避けるため多心案だけの計算過程を記載する。単心案と市場案の計算途中についてはあとの章で別途記載している。計算方法については、各案で計算方法は変わらない。

#### 多心案

##### 道路

建設での CO<sub>2</sub> 排出量＝現状における道路修繕の一年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出内訳から算出した建設/維持の値 × 耐用年数 × 現状の道路総量に対する建設総量の割合  

$$= 8,193(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 62/18 \times 30(\text{年}) \times 0.763$$

$$\approx 645,963(\text{t-CO}_2)$$

廃棄での CO<sub>2</sub> 排出量＝現状における道路修繕の一年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出内訳から算出した廃棄/維持の値 × 耐用年数 × 現状の道路総量に対する廃棄総量の割合  

$$= 8,193(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 20/18 \times 30(\text{年}) \times 1.253$$

$$\approx 342,194(\text{t-CO}_2)$$

##### 都市ガス

建設での CO<sub>2</sub> 排出量＝現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出内訳から算出した建設/維持の値 × 耐用年数 × 現状の都市ガス総量に対する建設総量の割合  

$$= 19(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 65/25 \times 50(\text{年}) \times 0.35$$

$$\approx 865(\text{t-CO}_2)$$

廃棄での CO<sub>2</sub> 排出量＝現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出内訳から算出した廃棄/維持の値 × 耐用年数 × 現状の都市ガス総量に対する廃棄総量の割合  

$$= 8,193(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 10/25 \times 50(\text{年}) \times 0.84$$

$$\approx 319(\text{t-CO}_2)$$

##### 下水道

建設での CO<sub>2</sub> 排出量＝現状における下水道修繕の一年あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出内訳から算出した建設/維持の値 × 耐用年数 × 現状の下水道総量に対する建設総量の割合  

$$= 1,698(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 88/4 \times 50(\text{年}) \times 0.35$$

$$\approx 653,730(\text{t-CO}_2)$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の} \\ &\quad \text{ライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \\ &\quad \text{現状の下水道総量に対する廃棄総量の割合} \\ &= 1,698 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 8/4 \times 50 \text{ (年)} \times 0.84 \\ &\div \underline{142,632 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

#### 上・工業用水道

$$\begin{aligned} \text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、} \\ &\quad \text{解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用} \\ &\quad \text{年数} \times \text{現状の上・工業用水道総量に対する建設総量の割合} \\ &= 290 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 88/4 \times 50 \text{ (年)} \times 0.35 \\ &\div \underline{111,650 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、} \\ &\quad \text{解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用} \\ &\quad \text{年数} \times \text{現状の上・工業用水道総量に対する廃棄総量の割合} \\ &= 290 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 8/4 \times 50 \text{ (年)} \times 0.84 \\ &\div \underline{24,360 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

#### 公園

現状の公園の総面積は 203.17(ha)  $\div$  2,031,700(m<sup>2</sup>)

公園の建設、廃棄のコストは宅地造成に近似して計算を行う。

1 m<sup>2</sup>あたりの宅地造成コストを 2 万円とすると、公園の建設コストは

$$2,031,700 \text{ (m}^2\text{)} \times 2 \text{ (万円)} = \underline{40,634,000 \text{ (千円)}}$$

と算出される。この値をもとに公園の廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量を算出すると

$$\begin{aligned} \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{公園の原単位} \times \text{宅地造成コスト} \times \text{現状の公園総量に対する廃棄総量の} \\ &\quad \text{割合} \\ &= 4.71 \text{ (kg-CO}_2\text{/千円)} \times 40,634,000 \text{ (千円)} \times 0.49 \times 8/88 \\ &\div \underline{8,525 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

#### 宅地造成

多心案の市域は 51 (%) であり、この時現状に対する市域内の密度は  $1 \div 0.51 \times 0.7 \div$  1.37

単心案の市域は 34 (%) であり、この時現状に対する市域内の密度は  $1 \div 0.34 \times 0.7 \div$  2.06

現状の空き家を満たした場合の密度が  $1 \div 0.88 \div$  1.14

現状の空き家を満たした場合、新規の宅地開発がなく、単心案の場合すべて新規宅地化される仮定すると、多心案での宅地造成量は単心案に対して

$$(1.37-1.14) \div (2.06-1.14) = \underline{0.25}$$

となる。単心案の場合新築分がすべて新規宅地化されるという仮定のもとで宅地量は現状の宅地に対して 0.26 なので

多心案での宅地造成量は、先ほど求めた多心案の単心案に対する宅地造成量の割合を単心案の宅地造成量にかけて

$$0.26 \times 0.25 \div \underline{0.06}$$

と求められる。この宅地造成量をもとに、宅地造成によるCO<sub>2</sub>排出量を算出すると

$$\begin{aligned} \text{宅地造成での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{宅地造成の原単位} \times \text{宅地造成単価} \times \text{現状の宅地面積} \times \text{現状の宅} \\ &\quad \text{地総量に対する廃棄総量の割合} \\ &= 4.71(\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 20 (\text{千円}/\text{m}^2) \times 39.7 (\text{k m}^2) \times 0.06 \\ &\doteq 224,384(\text{t-CO}_2) \end{aligned}$$

#### e.各都市像での移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめと考察

以上の各案における移行時の建築・土木による建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量の計算結果をまとめたものが下の表である。

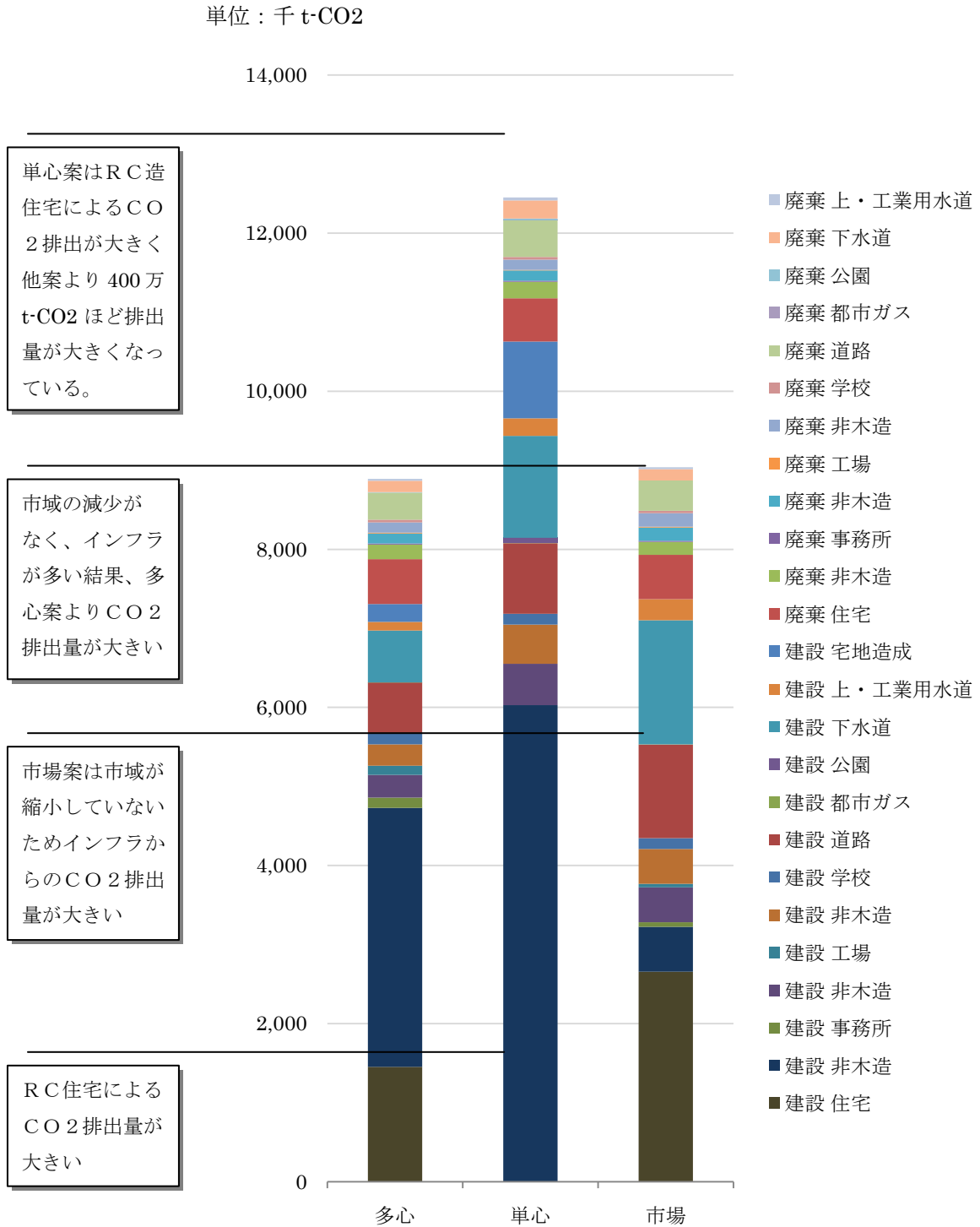
表：各低炭素都市像への移行時における建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

		多心	単心	市場
建設	住宅	1,454,973	0	2,657,339
	非木造	3,276,068	6,027,966	568,780
	事務所	0	0	58,295
	非木造	523,607	523,607	440,578
	工場	118,396	0	43,612
	非木造	269,773	496,384	440,174
	学校	136,738	136,738	136,738
	道路	645,963	893,174	1,185,254
	都市ガス	865	1,704	2,075
	公園	0	66,985	0
	下水道	653,730	1,288,782	1,568,952
	上・工業用水道	111,650	220,110	267,960
	宅地造成	224,384	972,332	0
廃棄	住宅	566,729	547,055	561,428
	非木造	185,649	208,531	163,563
	事務所	11,978	11,978	13,245
	非木造	129,948	129,948	169,295
	工場	10,480	8,894	9,835
	非木造	128,010	129,896	169,491
	学校	32,549	32,549	32,549
	道路	342,194	465,636	382,340
	都市ガス	319	509	319
	公園	8,525	20,183	0
	下水道	142,632	227,532	142,632
	上・工業用水道	24,360	38,860	24,360

※事務所においては単心案と多心案は同様に更新分はすべてRC造で建設し、市域縮小につなげている。

各低炭素都市像への移行時における建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の比較

以上の各案における移行時の建築・土木による建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量の計算結果をまとめた表を積算して表したものが次の図である。

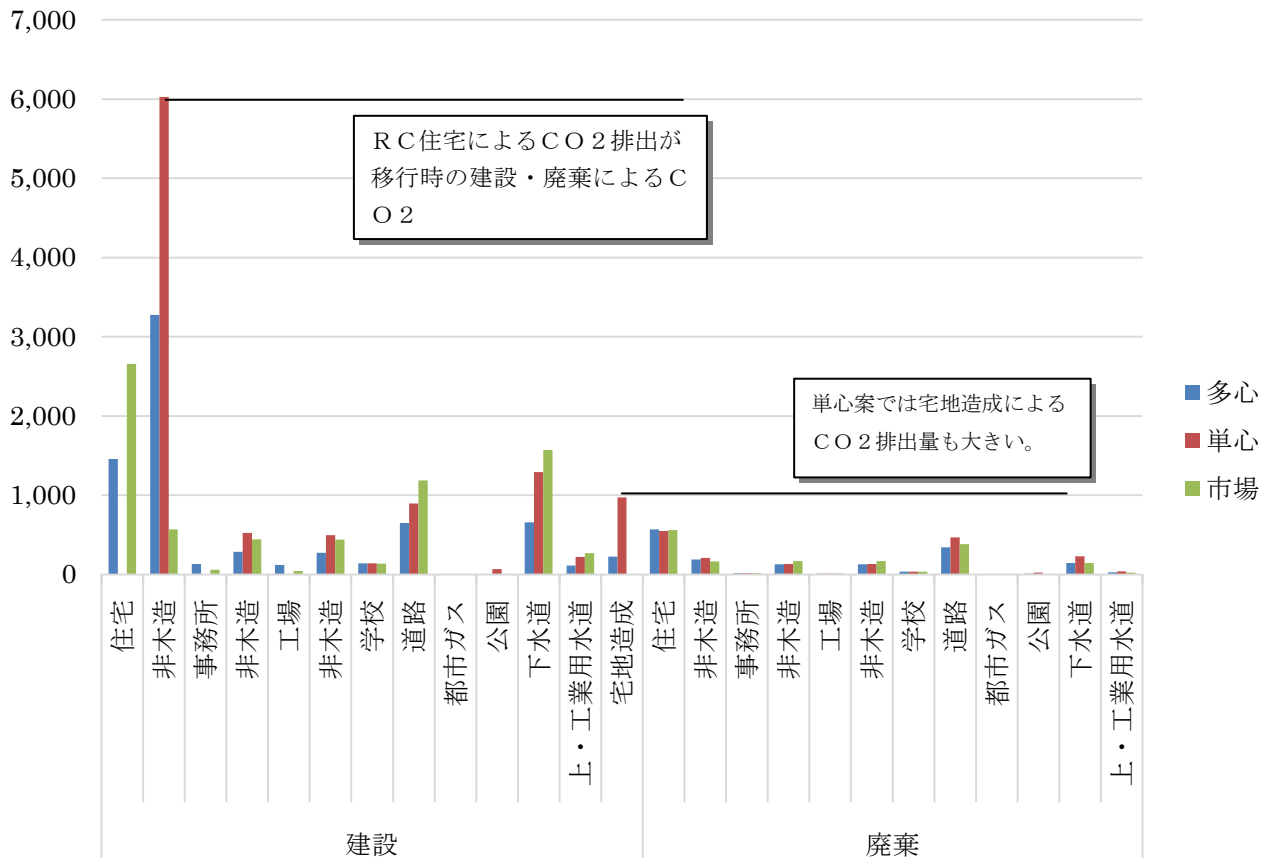


図：移行時の建設・廃棄におけるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

### 各低炭素都市像への移行時における建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の項目ごとの比較

先ほどの各案における移行時の建築・土木による建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量の計算結果をまとめた票をもとに用途別にグラフ化したものが次の図である。

単位:千 t-CO<sub>2</sub>



図：移行時の用途別建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量

### 各低炭素都市像への移行時における建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量に対する考察

以上のグラフをもとに各低炭素都市像への移行時における建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量に対して考察を行う。

- ・ 単心案は住宅の高層化が伴うため、RC住宅が多く建設され、その分突出したCO<sub>2</sub>排出量となっている。
- ・ 単心案は市域を小さくするのに伴い、大幅な都市再編を伴うため、宅地造成の項目についても大きな値となっている。
- ・ 移行時にはインフラからも大きなCO<sub>2</sub>排出が見込まれ、市域がある程度コンパクトで、無理な再編も行わない多心案に有利に働いている。
- ・ 市場案は市域を縮小しないことから維持に伴う建設量が多くなり、他案に比べインフラでのCO<sub>2</sub>排出が大きくなっている。
- ・ インフラの中では下水道、道路のCO<sub>2</sub>排出量が大きい。市場案では下水道の再整備に全CO<sub>2</sub>排出量の15%ほどのCO<sub>2</sub>排出量になる。それほど市域の減少は後に影響を与えるのである。このようなインフラでのCO<sub>2</sub>排出量の大きさによってトータルとして何も政策を施さない市場案はバランス良く都市を効率化する多心案よりCO<sub>2</sub>排出量が大きくなっている。

### 4-3 各案の2050年でのフローCO<sub>2</sub>の計算方法と結果

次にフロー分について計算を行う。フローとは都市活動を維持することによるCO<sub>2</sub>排出量をまとめたもので、大きくは都市の家屋、インフラなど**都市基盤を維持**（建物維持管理、建物設備維持管理、寿命による廃棄・改築）**することで発生するCO<sub>2</sub>**と都市基盤のもとで**生活を行う上で発生するCO<sub>2</sub>**の二つに分けられる。後者はいわゆるランニングによるCO<sub>2</sub>排出量で家庭でのエアコン使用や自動車からの排気CO<sub>2</sub>などがそれにあたる。含まれているものについては前に示したのでここでは割愛する。この二つをまとめて**フローと呼んでいる**。二酸化炭素排出の原単位には、一義的には生産活動に伴う一般管理費や設計費などの人的費用に関しては、生産現場である事務所の建設や冷暖房費として評価されている。一方、生物としての人間の呼吸は評価されていないから、**純粋に人間の知的生産の部分は含まれていない**。これは経済指標としては不十分でも、今後の社会が目指すべき方向が、豊かさの源泉を物質消費に求めないで、むしろ人間の知的消費を増やすのだとすれば、人間の知的労働の部分を除いて、物質的消費の削減を工夫することはむしろ理に叶っている。

#### a.評価期間・評価対象について

評価対象・評価期間については**2-1 現状の長岡市でのCO<sub>2</sub>排出量について**と同様である。

対象範囲は長岡市全域とする。

評価対象とする建築物については住宅、事務所、工場をそれぞれ木造、SRC造、RC造、S造、CB造（住宅のみ）に区分し、商業施設は事務所として算入した。インフラについては道路、港湾空港、鉄道・上下水道、公園、電気・ガスを扱う。林らの研究では施策の対象にならないものを算入していないが、本研究では全体に占める割合など総合的に分析する目的で施策によって変化しない項目も算入した。評価期間は50年である。

#### b.各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算

前項目で算出した既存家屋の2050年での残存率をもとに2050年での構造用途別床面積は右の表の通りである。

表に記載されている家屋面積は移行時の過程で一定の割合で建設されてきたという仮定のもとで、計算された結果である。そのことに基づいてフローでの家屋の一年の廃棄・建設量を、平均して建設された場合の残存率を用いて算出し、その廃棄・建設量から各都市像案での家屋の寿命による廃棄・改築CO<sub>2</sub>排出量を求める。

以下は計算の途中を示したものである。ここでは計算の途中が長くなるのを避けるため多心案だけの計算過程を記載する。

表：2050年での構造用途別床面積

		多心	単心	市場
住宅	木造	5,024,714	1,381,452	8,035,444
	SRC造	64,006	64,006	108,966
	RC造	4,074,513	7,717,775	734,179
	S造	400,290	400,290	681,469
	CB造	4,932	4,932	8,396
事務所	木造	34,027	34,027	197,926
	SRC造	88,845	88,845	151,252
	RC造	943,543	943,543	371,053
	S造	492,831	492,831	839,014
工場	木造	609,695	43,314	251,944
	SRC造	36,147	36,147	61,538
	RC造	691,113	1,257,494	212,348
	S造	1,154,725	1,154,725	1,965,849
学校	RC造	250,070	250,070	250,070



単心案と市場案の計算途中についてはあとの章で別途記載している。

## 多心案

### 住宅木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\
 &= 384(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 5,024,714(\text{m}^2) \times 1.06 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{40,905(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 40,905(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{1,925(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 93,718(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{5,294(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 5,024,714(\text{m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{37,334(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

以上のように他の構造用途の建築についても計算した結果は以下の通りになる。

表：各都市案での家屋改築・維持・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

多心案			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	40,905	37,334	1,925	5,294
		SRC 造	1,260	476	59	163
		RC 造	64,619	30,274	3,041	8,362
		S 造	5,326	2,974	251	689
		CB 造	43	37	2	6
	事務所	木造	247	607	12	32
		SRC 造	1,702	1,585	80	220
		RC 造	14,393	16,833	677	1,863
		S 造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	2,598	4,719	122	336
		SRC 造	539	280	25	70
		RC 造	10,344	5,349	487	1,339
		S 造	10,747	8,938	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

単心案			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	11,246	10,264	529	1,455
		SRC 造	1,260	476	59	163
		RC 造	122,398	57,343	5,760	15,840
		S 造	5,326	2,974	251	689
		CB 造	97	37	5	13
	事務所	木造	247	607	12	32
		SRC 造	1,702	1,585	80	220
		RC 造	14,393	16,833	677	1,863
		S 造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	185	335	9	24
		SRC 造	539	280	25	70
		RC 造	18,821	9,733	886	2,436
		S 造	10,747	8,938	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431

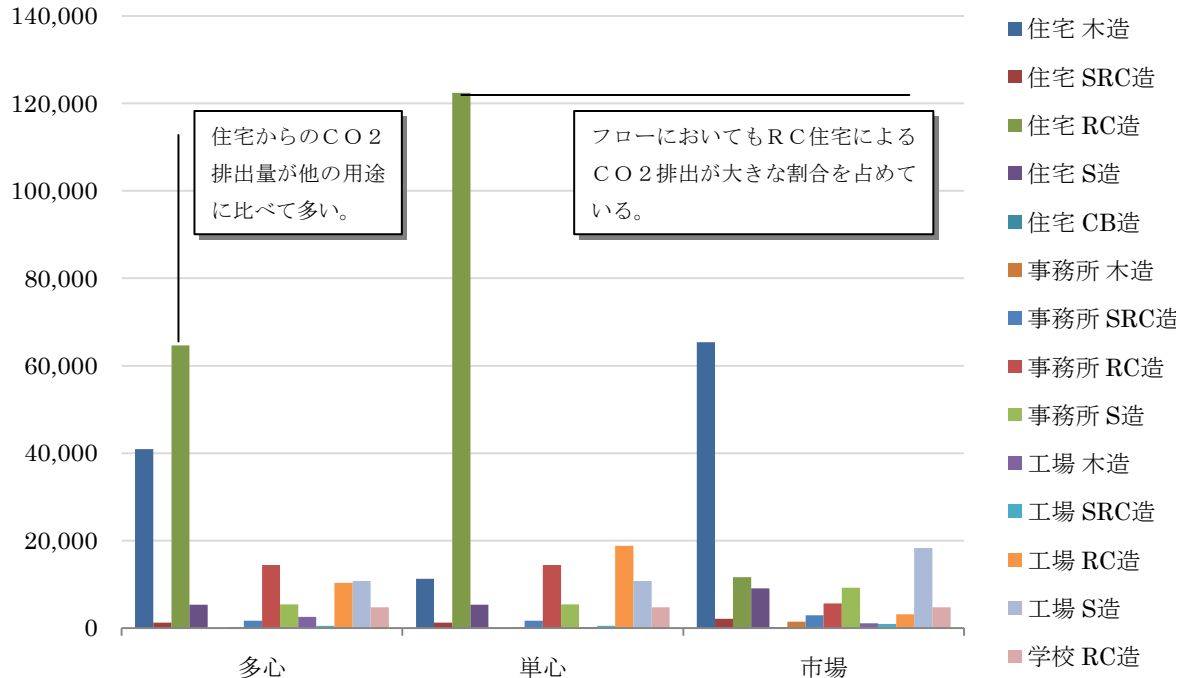
市場案			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	65,415	59,703	529	1,455
		SRC 造	2,146	810	59	163
		RC 造	11,643	5,455	5,760	15,840
		S 造	9,067	5,063	251	689
		CB 造	165	62	5	13
	事務所	木造	1,435	3,531	12	32
		SRC 造	2,897	2,698	80	220
		RC 造	5,660	6,620	677	1,863
		S 造	9,204	14,968	254	700
	工場	木造	1,074	1,950	9	24
		SRC 造	918	476	25	70
		RC 造	3,178	1,644	886	2,436
		S 造	18,296	15,216	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431

#### c.各都市像での建築のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめ

下に計算結果をもとに構造用途別でまとめた建築物のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の図がある。

- ・RC像の原単位は木造に比べ大きいので単心案では建築のフローでのCO<sub>2</sub>排出量が大きくなっている。
- ・建築のフローでのCO<sub>2</sub>排出量で最小なのは市場案で、これは木造家屋の割合が他案より高いことによる。
- ・市場案では現状の構造用途の割合で改築が行われていくので、各用途別で最もCO<sub>2</sub>を排出している項目が異なる。住宅では圧倒的に木造でのCO<sub>2</sub>排出が多いが工場ではS造が大きくなっている。

- ・単心案の住宅RC造でのCO<sub>2</sub>排出量は120千t-CO<sub>2</sub>にもおよび、多心案や市場案での全CO<sub>2</sub>排出量分に匹敵する排出量がある。つまりRC住宅は維持するのにCO<sub>2</sub>排出量が多いということである。このRC造での維持でのCO<sub>2</sub>排出量の不利さをエネルギー効率の向上によるランニングでのCO<sub>2</sub>排出削減で補えるかが問題となってくる。



図：構造用途別建築のフローでのCO<sub>2</sub>排出量 (単位：t-CO<sub>2</sub>)

#### d.各都市像での土木のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算

道路、下水道、上・工業水道、都市ガス、公園、宅地造成は市域に比例し、治山治水、農林水産、港湾空港、鉄道軌道、災害復旧、その他は現在と変わらないという仮定のもと計算を行う。以下は計算の途中を示したものである。

##### 多心案

##### 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路建設でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 16,932(\text{t-CO}_2) \times 51(\%) \\
 &= \underline{8,635(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路修繕でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 8,193(\text{t-CO}_2) \times 51(\%) \\
 &= \underline{4,178(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路廃棄でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 5,462(\text{t-CO}_2) \times 51(\%) \\
 &= \underline{2,786(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

その他の項目についても同等に計算した結果が以下である。

表：各都市案での土木改築・維持・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

多心案	建設	修繕	廃棄
土木	治山治水	23,278	
	農林水産	18,366	
	道路	8,635	4,178
	港湾空港	5,471	
	鉄道軌道	5,200	
	下水道	19,054	866
	上・工業用水道	3,257	148
	都市ガス	26	10
	公園	1,208	
	災害復旧	10,354	
	土地造成	1,311	
	その他	5,200	

単心案	建設	修繕	廃棄
土木	治山治水	23,278	
	農林水産	18,366	
	道路	5,926	2,868
	港湾空港	5,471	
	鉄道軌道	5,200	
	下水道	13,076	594
	上・工業用水道	2,235	102
	都市ガス	18	7
	公園	829	
	災害復旧	10,354	
	土地造成	900	
	その他	5,200	

市場案	建設	修繕	廃棄
土木	治山治水	23,278	
	農林水産	18,366	
	道路	16,932	8,193
	港湾空港	5,471	
	鉄道軌道	5,200	
	下水道	37,360	1,698
	上・工業用水道	6,387	290
	都市ガス	51	19
	公園	2,369	
	災害復旧	10,354	
	土地造成	2,571	
	その他	5,200	

### e.各都市像でのランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算

次にランニングでのCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

#### 民生家庭

2008 年時点での集合住宅の全住宅に占める割合を 5 % とし、集合住宅を戸建て住宅のエネルギー効率の 70 % のエネルギー効率であるという仮定のもとで各案での集合住宅の割合を算出することで民生家庭部門について計算を行う。

$$\begin{aligned} & \text{RC 造集合住宅単位面積当たりの家庭部門での CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \\ & = \text{木造戸建住宅単位面積当たりの家庭部門での CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 70(\%) \end{aligned}$$

現状の民生家庭部門に占める集合住宅と戸建て住宅からのCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

現状の民生家庭部門に占める集合住宅からのCO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} & = \text{現状の民生家庭部門の CO}_2 \text{ 排出量(t-CO}_2\text{)} \times \text{集合住宅の住宅に占める割合}(\%) \times \text{集合住宅/戸建て住宅} \\ & \quad \text{のエネルギー効率} \times (\text{戸建住宅の住宅に占める割合} + \text{集合住宅の住宅に占める割合} \times \text{集合住宅/戸} \\ & \quad \text{建て住宅のエネルギー効率}) \\ & = 413,497(\text{t-CO}_2) \times 0.05 \times 0.7 \times (0.95 + 0.05 \times 0.7) \\ & = \underline{14,255(\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

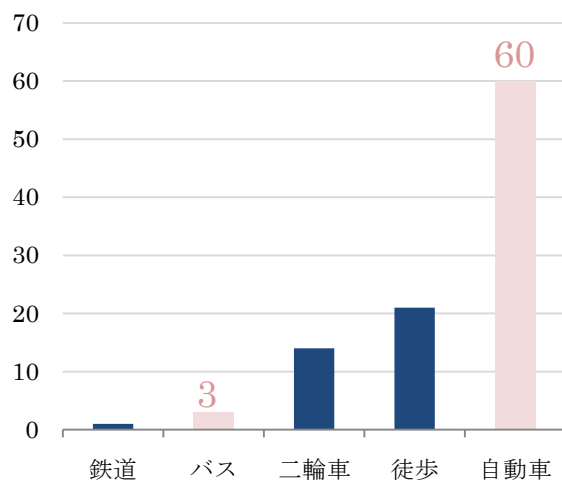
現状の民生家庭部門に占める戸建て住宅からのCO<sub>2</sub>排出量(t-CO<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} & = \text{現状の民生家庭部門の CO}_2 \text{ 排出量(t-CO}_2\text{)} \times \text{戸建て住宅の住宅に占める割合}(\%) \times (\text{戸建住宅の住宅に} \\ & \quad \text{占める割合} + \text{集合住宅の住宅に占める割合} \times \text{集合住宅/戸建て住宅のエネルギー効率}) \\ & = 413,497(\text{t-CO}_2) \times 0.95 \times (0.95 + 0.05 \times 0.7) \\ & = \underline{386,930(\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

この結果をもとに以下で民生家庭部門の各案でのCO<sub>2</sub>排出量を求める。

#### 交通

以下のような交通活動によるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法で計算がおこなわれることで交通活動でのCO<sub>2</sub>排出量は求められている。式からするとすべては掛け算なので人口と市域が減少すると平均トリップ長が減少し、交通活動でのCO<sub>2</sub>排出量が減少すると考えられる。長岡市での自動車とバスを合わせた交通分担率(徒歩を除く)は81%である。フローで回収する単心案に不利のないように単心案側にとって安全な数値を取った。長さは面積の平方根に比例するので、**平均トリップ長は市域の平方根で**



図：トリップ分担率 (単位：%)

計算する。以上から人口と市域の割合に比例すると考える。

#### Cf.交通活動によるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法

旅客交通活動に伴う環境負荷発生量を1人・1年あたりの原単位として整備する。  
全国パーソントリップ調査(PT調査)の結果から、各4次メッシュにおけるトリップ生成原単位、交通手段分担率、交通手段別トリップ長を推計し、それらを式(1)に代入して旅客交通環境負荷発生量原単位とする。この値に、各メッシュ居住人口を乗じて、対象メッシュの旅客交通起源環境負荷発生量が推計される。

$$[e_{trans}(X)_i] = \sum e(X)^k I_i^k s_i^k c_i^k \cdot 365.25 \quad (1)$$

$e_{trans}(X)$ : 1年間旅客交通起源環境負荷排出量[kg-X/人年]

$e(X)$ : 環境負荷排出原単位 [kg-X/人km]

$I$ : 平均トリップ長 [人km/trip]

$s$ : トリップ手段分担率 [trip/trip]

$c$ : トリップ生成原単位 [trip/人日]

$k$ : 交通手段(鉄道・バス・自動車・自動二輪・自転車・徒歩)

$i$ : メッシュ番号

.....

#### ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算

以上をもとにランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。ここでは計算の途中が長くなるのを避けるため多心案だけの計算過程を記載する。単心案と市場案の計算途中についてはあとの章で別途記載している。計算方法については、各案で計算方法は変わらない。

#### 多心案

新設分と残存分を考慮して計算した結果、多心案での戸建て住宅と集合住宅の割合は 58:42 となる。  
(現在の戸建て住宅：集合住宅の比は 5:95 である。)

$$\begin{aligned} \text{民生家庭(戸建)でのCO}_2\text{排出量} &= \text{現状の民生家庭(戸建)でのCO}_2\text{排出量} \div \text{現状の戸建て住宅の割合} \times \\ &\quad 2050\text{年の2008年に対する床面積の割合} \times \text{多心案での戸建て住宅の割合} \\ &= 386,930(\text{t-CO}_2) \div 95(\%) \times 69.7(\%) \times 58(\%) \\ &= \underline{164,653(\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{民生家庭(集合)でのCO}_2\text{排出量} &= \text{現状の民生家庭(集合)でのCO}_2\text{排出量} \div \text{現状の集合住宅の割合} \times \\ &\quad 2050\text{年の2008年に対する床面積の割合} \times \text{多心案での集合住宅の割合} \\ &= 14,255(\text{t-CO}_2) \div 5(\%) \times 69.7(\%) \times 42(\%) \\ &= \underline{83,460(\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{交通でのCO}_2\text{排出量} &= (\text{現状の交通でのCO}_2\text{排出量} \times \text{自動車、バス以外の交通分担率} + \text{現状の交通でのCO}_2 \\ &\quad \text{排出量} \times \text{自動車、バスの交通分担率} \times 2050\text{年での市域の割合}) \times 2008\text{年人口に対す} \\ &\quad \text{る2050年の人口の割合} \\ &= \{562,603(\text{t-CO}_2) \times 20(\%) \times 562,603(\text{t-CO}_2) \times 80(\%) \times \sqrt{51(\%)}\} \times 69.7(\%) \\ &= \underline{298,022(\text{t-CO}_2)} \end{aligned}$$

多心案については郊外までつながるように縮小していくため域外への交通も上記に含まれていると見込んでいる。よって上記のような計算方法で求められる。

他の項目については製造業、民生業務、廃棄物は現在の各部門でのCO<sub>2</sub>排出量の69.7%とし、農業に関しては単純に人口減少と関係しないと考え現況と同じとした。

.....

単心案での戸建て住宅と集合住宅の割合は18:82である。市場案での戸建て住宅と集合住宅の割合は現状と変わらない。この戸建て住宅と集合住宅の割合によって単心案、市場案についても民生家庭部門のCO<sub>2</sub>排出量の計算を行った。

交通部門でのCO<sub>2</sub>排出量については市場案についても郊外までつながるように縮小していくため域外への交通も上記に含まれていると見込んでいる。よって多心案と同じ算出方法で計算を行っている。単心案については、徹底的にコンパクトにする分、域外への交通はないものと設定して計算には含まない。(単心案が不利にならないように設定している。)

他の項目については多心案の場合と同じようにして計算を行った。

次の表は以上の設定と計算式をもとに各案について計算をおこない、その計算結果をまとめた表である。

表：各案でのランニングによるCO<sub>2</sub>排出量(単位：t-CO<sub>2</sub>)

	多心案	単心案	市場案
民生家庭（戸建）	164,653	51,099	269,690
民生家庭（集合）	83,460	162,946	9,936
民生業務	263,098	263,098	263,098
製造業	582,781	582,781	582,781
交通	298,022	266,651	392,134
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193

民生家庭部門では単心案が最小で214(千t-CO<sub>2</sub>)である。多心案は248(千t-CO<sub>2</sub>)、市場案は279(千t-CO<sub>2</sub>)となっており、それぞれ単心案との差は34(千t-CO<sub>2</sub>)、65(千t-CO<sub>2</sub>)となっている。50年間での差は1,700(千t-CO<sub>2</sub>)、3,250(千t-CO<sub>2</sub>)となり、フローで最小の単心案でのトータルのフローが1,700(千t-CO<sub>2</sub>)程度なので、大体50年で多心では1年間、市場案では2年間のフロー分にあたるCO<sub>2</sub>排出量になるようなCO<sub>2</sub>排出量を削減できていることになる。

一方、交通でも単心案が最小で267(千t-CO<sub>2</sub>)である。多心案は298(千t-CO<sub>2</sub>)、市場案は392(千t-CO<sub>2</sub>)となっており、それぞれ単心案との差は31(千t-CO<sub>2</sub>)、94(千t-CO<sub>2</sub>)となっている。50年間での差は2,200(千t-CO<sub>2</sub>)、7,700(千t-CO<sub>2</sub>)となり、フローで最小の単心案でのトータルのフローが1,700(千t-CO<sub>2</sub>)程度なので、多心案に対しては大体50年で1年間のフロー分にあたるCO<sub>2</sub>排出量になるようなCO<sub>2</sub>排出量を削減でき、単心案に対しては大体50年で7年間のフロー分にあたるCO<sub>2</sub>排出量になるようなCO<sub>2</sub>排出量を削減できていることになる。

以上を見ると民生家庭部門、交通部門を合わせると、単心案や多心案は市場案に対して相当なCO<sub>2</sub>排出量削減が見込めるということがわかる。両方合わせると、単心案では市場案との差が7年で1年間のフロー分にあたるCO<sub>2</sub>排出量になる。またこの計算では製造業、民生業務、廃棄物は現在の各部門でのCO<sub>2</sub>排出量の69.7%となっている。農業に関しては単純に人口減少と関係しないと考え現況と同じにしている。



f.各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果のまとめ

以上の建築・土木の維持により排出されるCO<sub>2</sub>と計算結果をもとにフローとしてまとめたものが以下に続く。まずは多心案についてまとめた表である。

表：多心案でのフローのCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	40,905	37,334	1,925	5,294
		SRC 造	1,260	476	59	163
		RC 造	64,619	30,274	3,041	8,362
		S 造	5,326	2,974	251	689
		CB 造	43	37	2	6
	事務所	木造	247	607	12	32
		SRC 造	1,702	1,585	80	220
		RC 造	14,393	16,833	677	1,863
		S 造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	2,598	4,719	122	336
		SRC 造	539	280	25	70
		RC 造	10,344	5,349	487	1,339
		S 造	10,747	8,938	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431
			建設	修繕		廃棄
土木	治山治水			23,278		
	農林水産			18,366		
	道路		8,635	4,178	2,786	
	港湾空港			5,471		
	鉄道軌道			5,200		
	下水道		19,054	866	1,732	
	上・工業用水道		3,257	148	296	
	都市ガス		26	10	4	
	公園			1,208		
	災害復旧			10,354		
	土地造成			1,311		
	その他			5,200		
ランニング	民生家庭（戸建）		164,653			
	民生家庭（集合）		83,460			
	民生業務		263,098			
	製造業		582,781			
	交通		298,022			
	農業		12,228			
	廃棄物		22,193			
合計			1,849,555			

※治山・治水、農林水産、港湾空港、鉄道軌道、公園、災害復旧、土地造成、その他については寿命による建設・廃棄を考慮せず、修繕のみを考慮している。

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

次に単心案でのフローによるCO<sub>2</sub>排出量についてまとめた表である。

表：単心案でのフローのCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	11,246	10,264	529	1,455
		SRC 造	1,260	476	59	163
		RC 造	122,398	57,343	5,760	15,840
		S 造	5,326	2,974	251	689
		CB 造	97	37	5	13
	事務所	木造	247	607	12	32
		SRC 造	1,702	1,585	80	220
		RC 造	14,393	16,833	677	1,863
		S 造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	185	335	9	24
		SRC 造	539	280	25	70
		RC 造	18,821	9,733	886	2,436
		S 造	10,747	8,938	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431
			建設	修繕		廃棄
土木	治山治水			23,278		
	農林水産			18,366		
	道路		5,926	2,868		1,912
	港湾空港			5,471		
	鉄道軌道			5,200		
	下水道		13,076	594		1,189
	上・工業用水道		2,235	102		203
	都市ガス		18	7		3
	公園			829		
	災害復旧			10,354		
	土地造成			900		
	その他			5,200		
ランニング	民生家庭（戸建）		51,099			
	民生家庭（集合）		162,946			
	民生業務		263,098			
	製造業		582,781			
	交通		266,651			
	農業		12,228			
	廃棄物		22,193			
合計			1,810,400			

※治山・治水、農林水産、港湾空港、鉄道軌道、公園、災害復旧、土地造成、その他については寿命による建設・廃棄を考慮せず、修繕のみを考慮している。

#### 4 2050 年に向けた都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出及び考察

次は市場案でのフローによるCO<sub>2</sub>排出量についてまとめた表である。

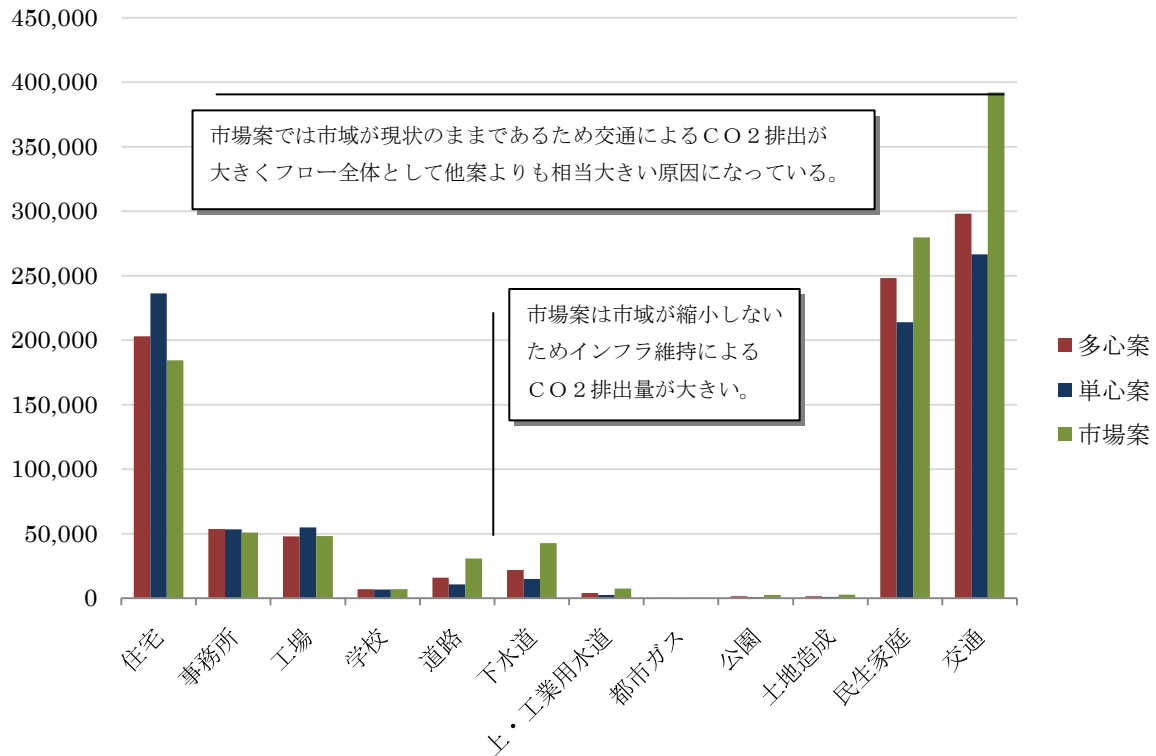
表：市場案でのフローのCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	65,415	59,703	529	1,455
		SRC 造	2,146	810	59	163
		RC 造	11,643	5,455	5,760	15,840
		S 造	9,067	5,063	251	689
		CB 造	165	62	5	13
	事務所	木造	1,435	3,531	12	32
		SRC 造	2,897	2,698	80	220
		RC 造	5,660	6,620	677	1,863
		S 造	9,204	14,968	254	700
	工場	木造	1,074	1,950	9	24
		SRC 造	918	476	25	70
		RC 造	3,178	1,644	886	2,436
		S 造	18,296	15,216	506	1,391
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431
			建設	修繕		廃棄
土木	治山治水			23,278		
	農林水産			18,366		
	道路		16,932	8,193		5,462
	港湾空港			5,471		
	鉄道軌道			5,200		
	下水道		37,360	1,698		3,396
	上・工業用水道		6,387	290		581
	都市ガス		51	19		8
	公園			2,369		
	災害復旧			10,354		
	土地造成			2,571		
	その他			5,200		
ランニング	民生家庭（戸建）		269,690			
	民生家庭（集合）		9,936			
	民生業務		263,098			
	製造業		582,781			
	交通		392,134			
	農業		12,228			
	廃棄物		22,193			
合計			1,995,199			

※治山・治水、農林水産、港湾空港、鉄道軌道、公園、災害復旧、土地造成、その他については寿命による建設・廃棄を考慮せず、修繕のみを考慮している。

g.各都市像でのフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果の考察

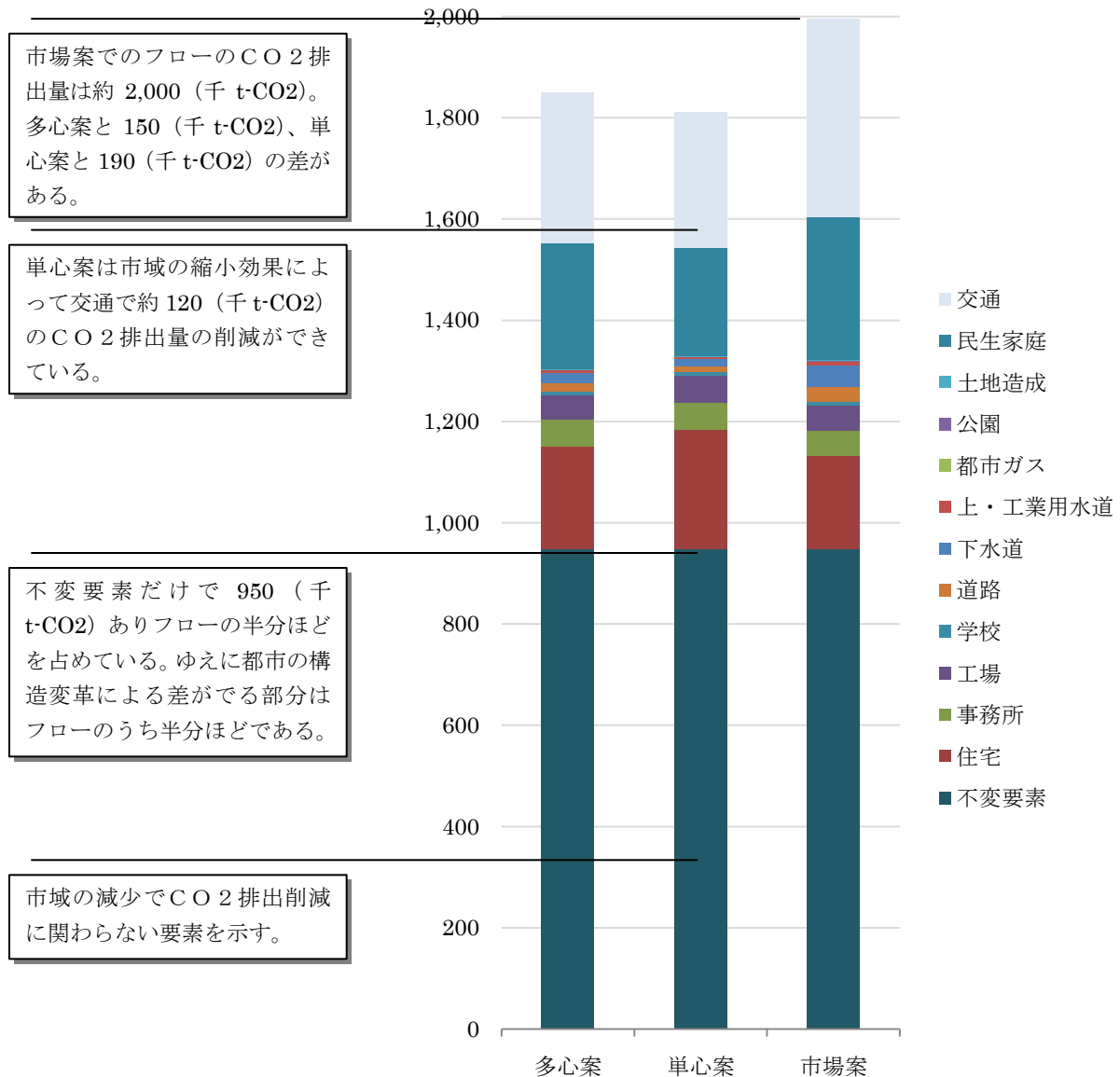
以下に各都市像のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果を項目ごとで表した図を示す。



図：各都市像での各項目別のフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量（単位:t-CO<sub>2</sub>）

フローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算結果の考察

- ・ 単心案では原単位の大きいRC造の住宅が多く建設されるため他案に比べ住宅でのCO<sub>2</sub>排出が多い。
- ・ 建築物に比べインフラは総CO<sub>2</sub>排出量に占める割合が小さく、単心案での市域のコンパクト化が全体的に見れば大きな効果を得ることができないことがわかる。
- ・ 民生家庭や交通といったランニングの部分はCO<sub>2</sub>排出量に占める割合が大きく市域を小さくすることで単心案は大きくCO<sub>2</sub>排出量を削減することができる。
- ・ 民生家庭での多心案と単心案の差は、住宅での多心案と単心案の差に対してそれほど小さくなく、集合住宅化することでそれほど効果を得られていないことがわかる。
- ・ 市域を小さくすることで得られる最大の効果は交通でのCO<sub>2</sub>排出量の削減であるが、車のエネルギー効率化が起これば市域の縮小の効果は薄れることに注意する必要がある。
- ・ 多心案は交通において大きなCO<sub>2</sub>排出量の削減ができている。移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量は単心案より圧倒的に小さいので効率的に効果を得られているということになる。
- ・ 市場案は市域を縮小できていない分、インフラの量が多く、フローにおいてCO<sub>2</sub>排出が大きい。特に道路と下水道での他案との差が値として大きい。
- ・ フローでの建築でのCO<sub>2</sub>排出量は事務所、工場においては3案ともほとんど変わらない。住宅では単心案が大きいですが、インフラ（道路、下水道）の差を合わせた差とほとんど変わらない。



図：フローのCO<sub>2</sub>排出量 (単位：千 t-CO<sub>2</sub>)

- 市場案でのフローのCO<sub>2</sub>排出量は約 2,000 千 t-CO<sub>2</sub> で三案の中で最大である。多心案は約 1,850 千 t-CO<sub>2</sub>、単心案で約 1,810 千 t-CO<sub>2</sub> であり、それぞれ市場案との差は 150 千 t-CO<sub>2</sub>、190 千 t-CO<sub>2</sub> でフローの 10%ほどにあたり単心案、多心案においては都市構造変革によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が得られている。
- 単心案においては市域の削減によるCO<sub>2</sub>排出量が交通で約 120 千 t-CO<sub>2</sub> 削減できている。交通でのCO<sub>2</sub>排出量の削減がフローの削減効果の中でもっとも大きい。
- 住宅の集合住宅化により民生家庭でもCO<sub>2</sub>排出量が削減できているがRC住宅化したことによるフローでのCO<sub>2</sub>排出量の増加と一緒に考えると集合住宅化の効果はごくわずかである。集合住宅化と長寿命化を組み合わせないとライフサイクルで初期の建設分を回収できない。
- 都市の構造に影響を受けない項目でのCO<sub>2</sub>排出量を積算すると 950 千 t-CO<sub>2</sub> に及ぶ。これらの不変部分は都市構造の変化ではCO<sub>2</sub>排出量を削減できないので省エネ化や無駄をなくすことによる削減が求められる。

#### 4-4 建設時とフローでのCO<sub>2</sub>排出量を比較することによるCO<sub>2</sub>における優位性の比較

これまで計算を行ってきた移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量とフローでのCO<sub>2</sub>排出量を比較してみる。以下は移行時におけるCO<sub>2</sub>排出量とフローでのCO<sub>2</sub>排出量をまとめた表である。フローに関しては全項目をまとめて表示している。

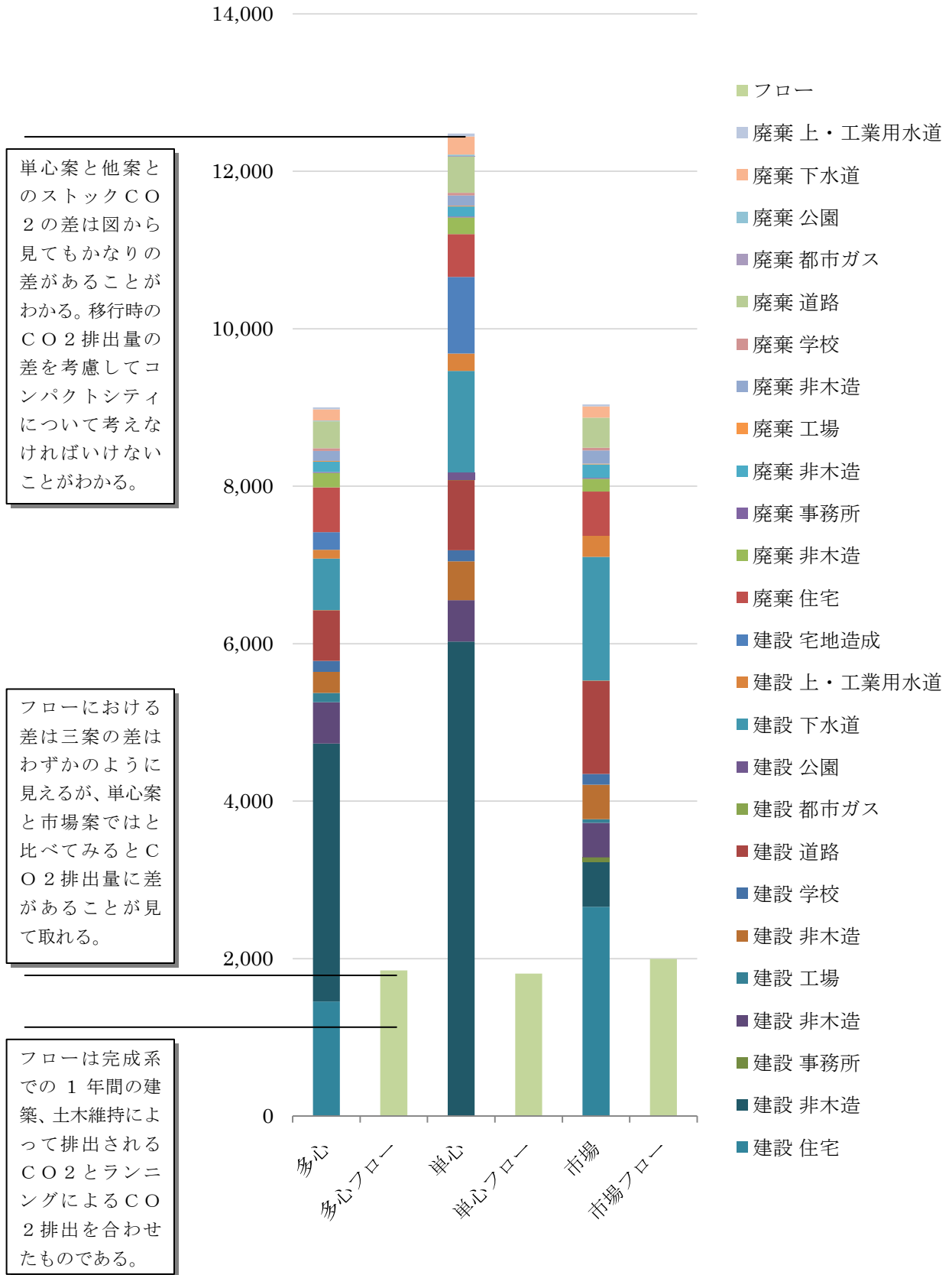
表：移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量とフローでのCO<sub>2</sub>排出量（単位：千t-CO<sub>2</sub>）

移行時		多心	単心	市場
建設	住宅	1,455	0	2,657
	非木造	3,276	6,028	569
	事務所	0	0	58
	非木造	524	524	441
	工場	118	0	44
	非木造	270	496	440
	学校	137	137	137
	道路	646	893	1,185
	都市ガス	1	2	2
	公園	0	67	0
	下水道	654	1,289	1,569
	上・工業用水道	112	220	268
	宅地造成	224	972	0
廃棄	住宅	567	547	561
	非木造	186	209	164
	事務所	12	12	13
	非木造	130	130	169
	工場	10	9	10
	非木造	128	130	169
	学校	33	33	33
	道路	342	466	382
	都市ガス	0	1	0
	公園	9	20	0
	下水道	143	228	143
	上・工業用水道	24	39	24
移行時合計		8,999	12,452	9,038
フロー合計		1,850	1,810	1,995

※フローに関しては建築、土木の維持によるCO<sub>2</sub>排出量とランニングによるCO<sub>2</sub>排出量が合計されている。

移行時における各案のCO<sub>2</sub>排出量の差とフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量の差では一桁から二桁のオーダー差がある。フロー全体としては5年分が移行時におけるCO<sub>2</sub>排出量に匹敵し、普段の活動におけるCO<sub>2</sub>排出量の大きさがうかがえる。

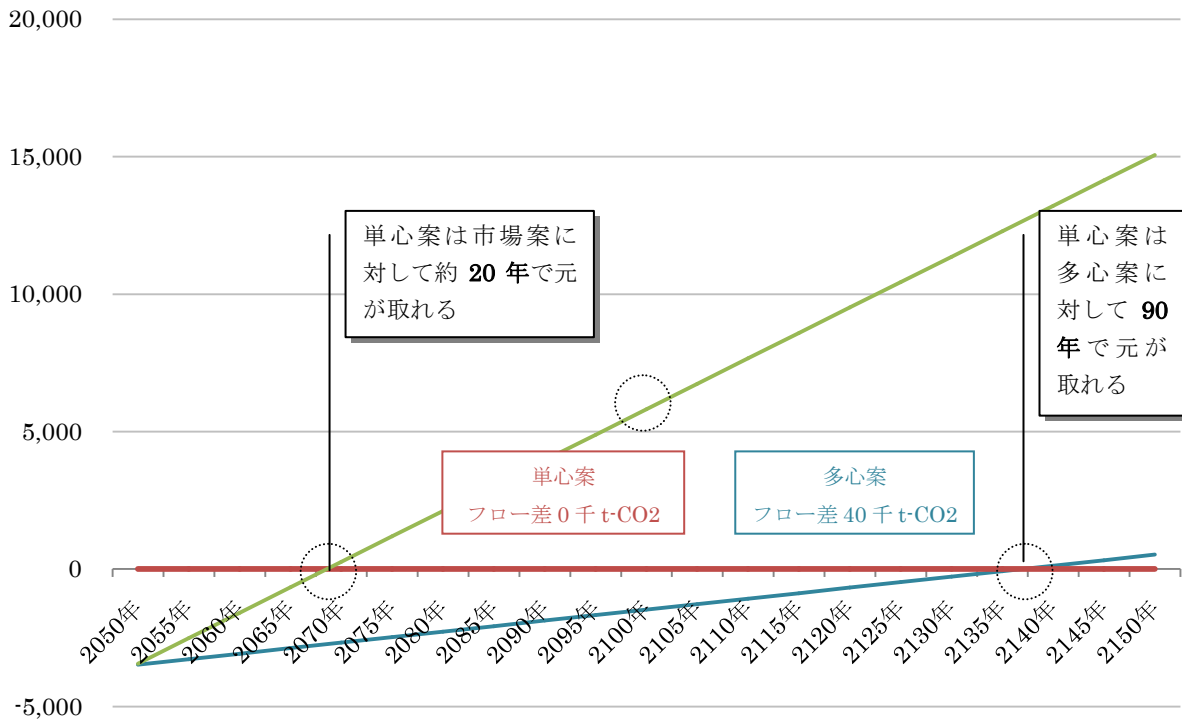
建設時とフローでのCO<sub>2</sub>排出量の比較





### 単心案を基準とした場合の多心案、市場案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間

単心案は移行時におけるCO<sub>2</sub>排出量が最も大きく、逆にフローでのCO<sub>2</sub>排出量は最も小さい。そこで単心案を基準としてその他の案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差を何年で回収できるかを考察してみる。次の図は単心案を基準とした場合のフローでの差の縮まりを示したものである。単心案と他の案との交点が移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の差が埋まるのにかかる期間と見ることができる。



図：移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量のフローでの回収期間（単位：千 t-CO<sub>2</sub>）

- ・ 単心案は移行時のCO<sub>2</sub>排出が大きいですが単心案に対しては 20 年ほどで移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差を埋めることができる。フローの変動要素だけで見ると単心案は市場案の 67% のCO<sub>2</sub>排出である。
- ・ 多心案は木造住宅が多く建築建設によるCO<sub>2</sub>排出量が少ないだけでなく市域縮小でインフラが減るので結果的に市場案よりストックCO<sub>2</sub>が少なくなっている。
- ・ 多心案は移行時のCO<sub>2</sub>排出量が比較的小さい割に、市域のコンパクトによるフローのCO<sub>2</sub>排出量の削減も見込むことができる。
- ・ 単心案は 3 案の中で最もフローでのCO<sub>2</sub>排出量が小さく同時に移行時のCO<sub>2</sub>排出量ももっとも大きい。
- ・ 単心案は多心案よりトータルのCO<sub>2</sub>排出で優位になるのに 90 年かかる。これまでの都市の理念史を顧みるならば、90 年の回収期間は長過ぎる。近代になってからは都市の理想の寿命が意外と短く、コンパクトシティという理想を維持しつつ、数十年のプロジェクトを完遂出来るかという問題である。
- ・ 市場案は 2100 年（移行後 50 年）にはストックCO<sub>2</sub>の 1.5 倍近くのCO<sub>2</sub>排出量の差がつく。無政策で放っておくと環境負荷が相当大きいことがわかり、都市の縮小は環境的には不可欠な課題であると言える。

## 5 2050 年に向けた都市変革におけるコストの算出及び考察

## 5-1 各案の移行時の建設・廃棄コストの計算方法と結果

## a. 移行時の建設・廃棄コストの計算方法

移行時の建設・廃棄コストは移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を用いた時と同じ原単位（「伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11」）で移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を割ることで算出する。つまりは下記のような計算で算出できる。

$$\text{移行時の建設・廃棄コスト（千円）} = \text{移行時の建設・廃棄によるCO}_2\text{排出量（kg-CO}_2\text{）} \\ \times \text{コスト原単位（千円/kg-CO}_2\text{）}$$

下は用いた原単位である。建設と廃棄で同じ原単位を使っているのは移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を算出した際に、すでに廃棄については原単位が建設に対して小さくなっているためコスト差が反映されているためである。

・・

Cf.建設原単位と廃棄原単位、建設コストと廃棄コストの関係

木造住宅の単位面積当たりの建設のCO<sub>2</sub>排出量は 383.7 (kg-CO<sub>2</sub>) である。（原単位と同じ）

木造住宅の単位面積当たりの廃棄のCO<sub>2</sub>排出量＝木造住宅の単位面積当たりの建設のCO<sub>2</sub>排出量  
×ライフサイクルCO<sub>2</sub>のうちの廃棄/建設の割合

で求められ、

$$383.7 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \times 11/85 = \underline{49.66 \text{ (kg-CO}_2\text{)}}$$

である。

一方、「伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11」出典の生産者価格あたりの木造住宅の建設のCO<sub>2</sub>排出量は 2.62 (千円/kg-CO<sub>2</sub>) である。

木造住宅の単位面積当たりの廃棄コストは

$$49.66 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \div 2.62 \text{ (千円/kg-CO}_2\text{)} = \underline{18.95 \text{ (千円)}}$$

となり、木造住宅の平均解体コストにほぼ一致する。

上記の移行時の建設・廃棄コストの出し方で道路の廃棄工事費を出す場合について考察する。道路において建設工事費 1,000 円のと看、廃棄工事費は

$$1,000 \text{ 円} \times 20/62 \text{ (ライフサイクルCO}_2\text{における廃棄/建設の割合)} \approx \underline{323 \text{ (円)}}$$

である。同じように下水道では建設工事費 1,000 円に対して

$$1,000 \text{ 円} \times 8/88 \text{ (ライフサイクルCO}_2\text{における廃棄/建設の割合)} \approx \underline{91 \text{ (円)}}$$

である。これらはいずれも土木施工単価に記載されている平均的な施工単価での建設と廃棄のコストの比と大体一致する。

このようにライフサイクルに占めるCO<sub>2</sub>排出量の建設、廃棄の割合は、ある程度コストにおける建設、廃棄の割合に一致する。これは二酸化炭素排出量が、物質的消費の量と強い相関があることによる。以上の考察から上記の計算方法でコストを算出することでおおむね正しい各案でのコスト比較が可能であると考えられる。

・・

表：CO<sub>2</sub>排出量に対するコスト原単位

建設	千円/kg-CO <sub>2</sub>	廃棄	千円/kg-CO <sub>2</sub>
住宅	0.382	住宅	0.382
非木造	0.279	非木造	0.279
事務所	0.361	事務所	0.361
非木造	0.274	非木造	0.274
工場	0.346	工場	0.346
非木造	0.249	非木造	0.249
学校	0.267	学校	0.267
道路	0.214	道路	0.214
都市ガス	0.322	都市ガス	0.322
公園	0.233	公園	0.233
下水道	0.196	下水道	0.196
上・工業用水道	0.196	上・工業用水道	0.196
宅地造成	0.212		

※コスト原単位（千円/kg-CO<sub>2</sub>）＝1÷建設原単位（kg-CO<sub>2</sub>/千円）、建設原単位については先のCO<sub>2</sub>排出量を計算した原単位と同じである。建設原単位の出典：伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第3回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11

以上の計算方法と原単位をもとに行った計算についていくつか例を示す。ここでは多心案の住宅木造と道路の建設・廃棄コストについて示す。

### 多心案

#### 住宅木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設コスト（百万円）} &= \text{住宅木造の建設によるCO}_2\text{排出量（t-CO}_2\text{）} \times \text{コスト原単位（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &= 1,454,973 \text{（t-CO}_2\text{）} \times 0.382 \text{（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &\asymp \underline{555,800 \text{（百万円）}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄コスト（百万円）} &= \text{住宅木造の廃棄によるCO}_2\text{排出量（t-CO}_2\text{）} \times \text{コスト原単位（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &= 566,729 \text{（t-CO}_2\text{）} \times 0.382 \text{（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &\asymp \underline{216,490 \text{（百万円）}}
 \end{aligned}$$

#### 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設コスト（百万円）} &= \text{道路の建設によるCO}_2\text{排出量（t-CO}_2\text{）} \times \text{コスト原単位（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &= 645,963 \text{（t-CO}_2\text{）} \times 0.214 \text{（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &\asymp \underline{138,236 \text{（百万円）}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄コスト（百万円）} &= \text{道路の廃棄によるCO}_2\text{排出量（t-CO}_2\text{）} \times \text{コスト原単位（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &= 342,194 \text{（t-CO}_2\text{）} \times 0.214 \text{（百万円/t-CO}_2\text{）} \\
 &\asymp \underline{73,230 \text{（百万円）}}
 \end{aligned}$$

以上のような計算を他の項目についても行った。

## b. 移行時の建設・廃棄コストの計算結果

以上をもとに移行時の建設・廃棄コストを算出した結果が以下である。

表：移行時の建設・廃棄コストの計算結果（単位：十億円）

		多心	単心	市場
建設	住宅	555	0	1,014
	非木造	915	1,684	159
	事務所	0	0	21
	非木造	144	144	121
	工場	41	0	15
	非木造	67	124	110
	学校	37	37	37
	道路	138	191	254
	都市ガス	0	1	1
	公園	0	62	0
	下水道	128	253	308
	上・工業用水道	22	43	53
	宅地造成	106	426	0
廃棄	住宅	216	209	214
	非木造	52	58	46
	事務所	4	4	5
	非木造	36	36	46
	工場	3	3	3
	非木造	32	32	42
	学校	9	9	9
	道路	73	100	82
	都市ガス	0	0	0
	公園	27	54	0
	下水道	28	45	28
	上・工業用水道	5	8	5
合計		2,620	3,521	2,571

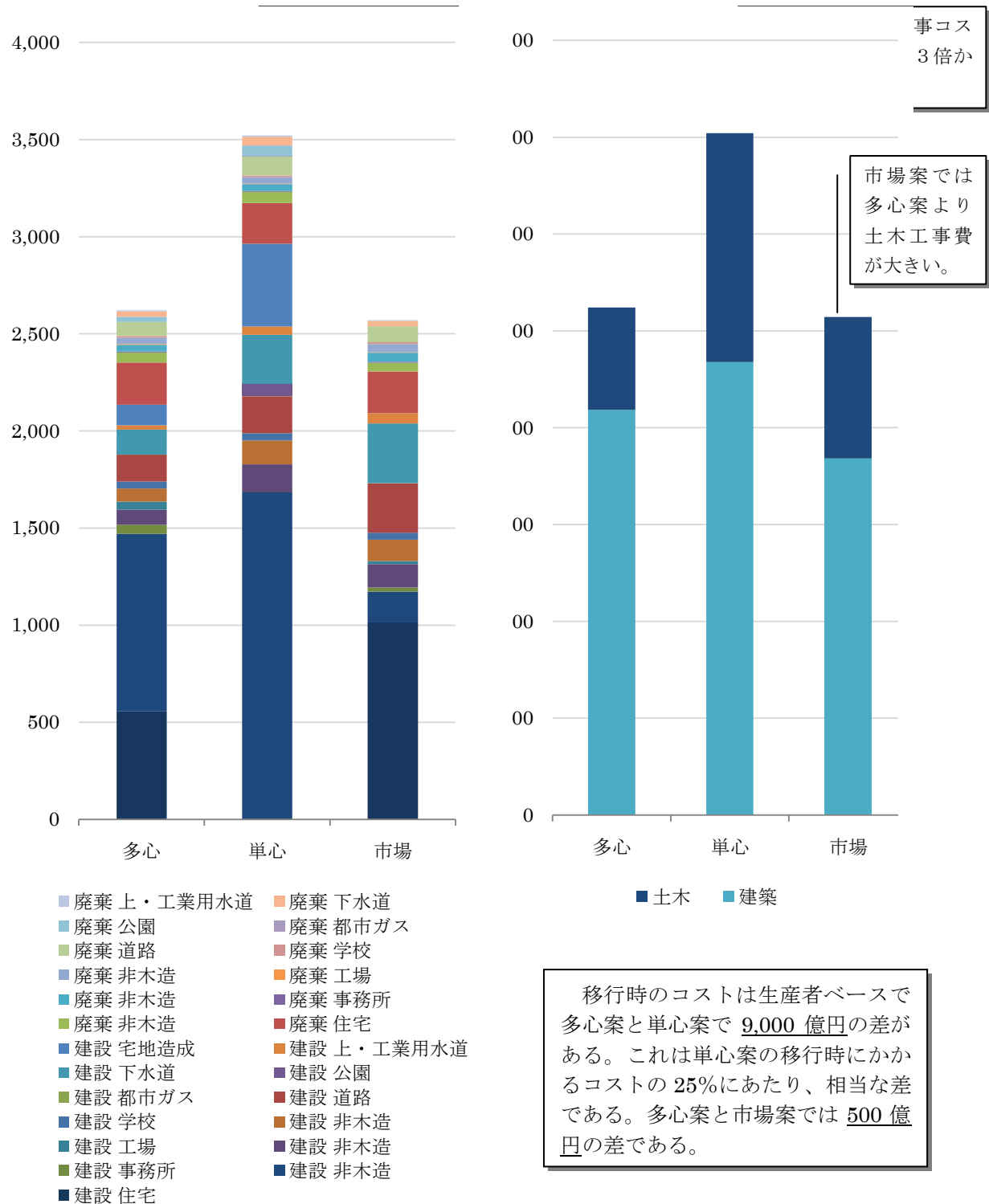
## c. 移行時の建設・廃棄コストの計算結果に対する考察

移行時のコストは生産者ベースで多心案と単心案で 9,000 億円 の差がある。多心案と市場案では 500 億円 の差である。建築と土木で内訳を示したのを見てみると多心案は土木での移行時のコストが小さいことがわかる。これは、多心案が無理な廃棄、建設がなく、しかも市域が減ることで寿命による更新量が削減できていることによる。一方、単心案は市域の減少による更新量の削減は見込めるものの移行時の寿命を待たない無理な廃棄、建設が多く、結果的に一番コストがかかっている。移行時のコストは各案とも半分以上で建築によるものであるが、単心案においては 1/3 ほど土木が占めており、土木の移行時のコストも大きいことがわかる。

2008 年の長岡市の土木工事費は 311 億円であり、単心案での 1 兆 2 千億円の土木工事費はその約 3 8 倍にあたる。土木工事費を市場案は 7 千億円の土木工事費が必要で約 2 3 倍にあたる。市場案での土木工事費は現状を維持した時の場合なので今後、現在のインフラを維持しようとした時に必要となる額である。その市場案と比較しても約 1. 6 倍の土木工事費が必要とされ、大きな負担となることがわかる。多心案は 5 千億円であり、市場案の約 0. 7 倍である。公共投資の部分では多心案が最も少ないということになる。

先の人口推計から 2050 年までの累積の人口を算出し、そこから 2008 年から 2050 年までの平均人口を出すと 24 万 7 千人で、人口指数でいうと 86.6%である。

よって現状と同じインフラ工事の水準で行くと考えれば現状維持の市場案でも一人当たりの土木工事費用負担は大きくなり単心案では現在の 2 倍の負担が要することになる。一方多心案では一人当たりの負担は土木工事費に関しては現在よりも少なく済むことがわかる。



## 5-2 各案の完成系維持コストの計算方法と結果

次に完成系での維持コスト（フローでのコスト）について計算を行う。フローでの維持コストは都市経営コストと考えることができる。都市経営コストでもインフラの維持は公共事業として税金によって負担されるコストである。ここではそのような視点で一人当たりのインフラ維持コストも出すことで、2050年に各案でどれだけの負担があるかの検討も行う。

フローでのコストの算出方法は次の通りである。原単位については移行時の建設・廃棄コストを用いた時の原単位と同様である。

$$\text{フローでのコスト（千円）} = \text{フローでのCO}_2\text{排出量（kg-CO}_2\text{）} \div \text{原単位（kg-CO}_2\text{/千円）}$$

### a. 完成系での土木の維持コストの計算結果

以下に完成系での土木の維持コストの計算結果をまとめた。土木の維持コストは市場案が最大で約300億円である。単心案が最小で最大の市場案とは100億円の差で、市場案の2/3程度となっている。

表：完成系でのインフラの維持コストの計算結果  
（単位：百万円）

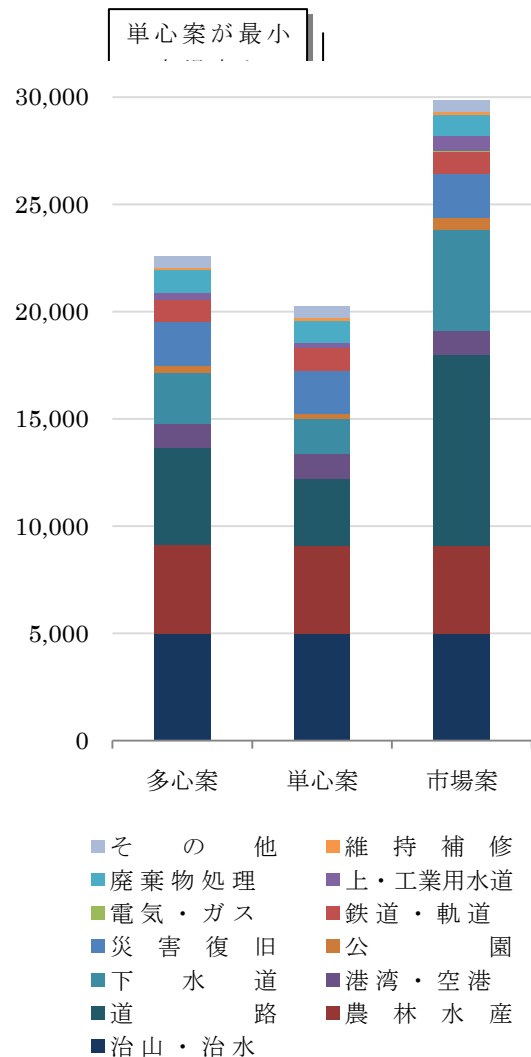
	多心案	単心案	市場案
治山・治水	4,997	4,997	4,997
農林水産	4,113	4,113	4,113
道路	4,523	3,104	8,869
港湾・空港	1,162	1,162	1,162
下水道	2,378	1,632	4,663
公園	291	200	570
災害復旧	2,041	2,041	2,041
鉄道・軌道	1,054	1,054	1,054
電気・ガス	13	9	25
上・工業用水道	344	236	675
廃棄物処理	1,017	1,017	1,017
維持補修	133	133	133
その他	526	526	526
合計	22,592	20,224	29,845

計算結果を内訳別に積算したものが右の図である。市場案のCO<sub>2</sub>排出量の差はほとんどが道路と下水道の維持費の差によるものである。道路と下水道は現状において維持費が大きく、その分市域縮小による削減効果大きい。

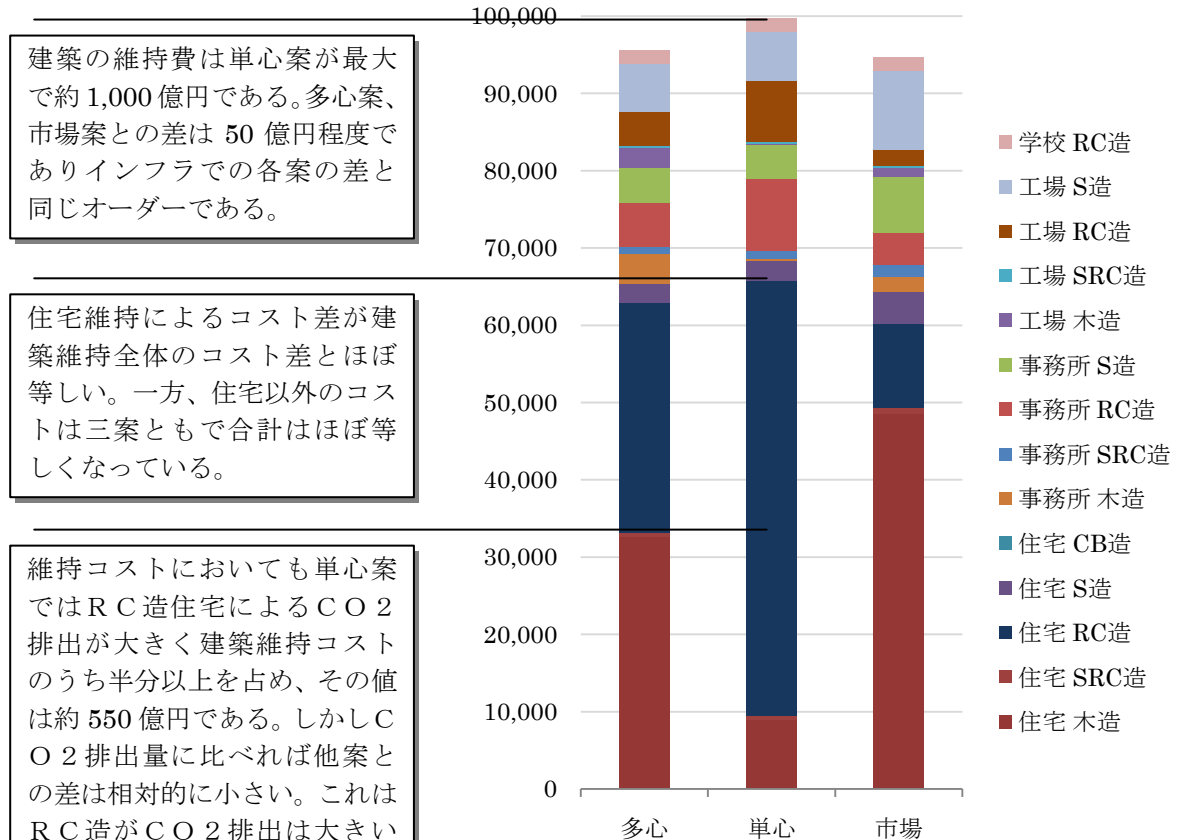
### b. 完成系での建築コストの計算結果

次に完成系での建築の維持コストについての計算結果をまとめた。

建築の維持費は市場案で 947億円 である。  
多心案とは 10億円、単心案とは 50億円 の差である。



図：完成系でのインフラの維持費  
（単位：百万円）



図：2050年での建築の維持費（単位：百万円）

### c.完成系での建築・土木でのコストの計算結果のまとめ

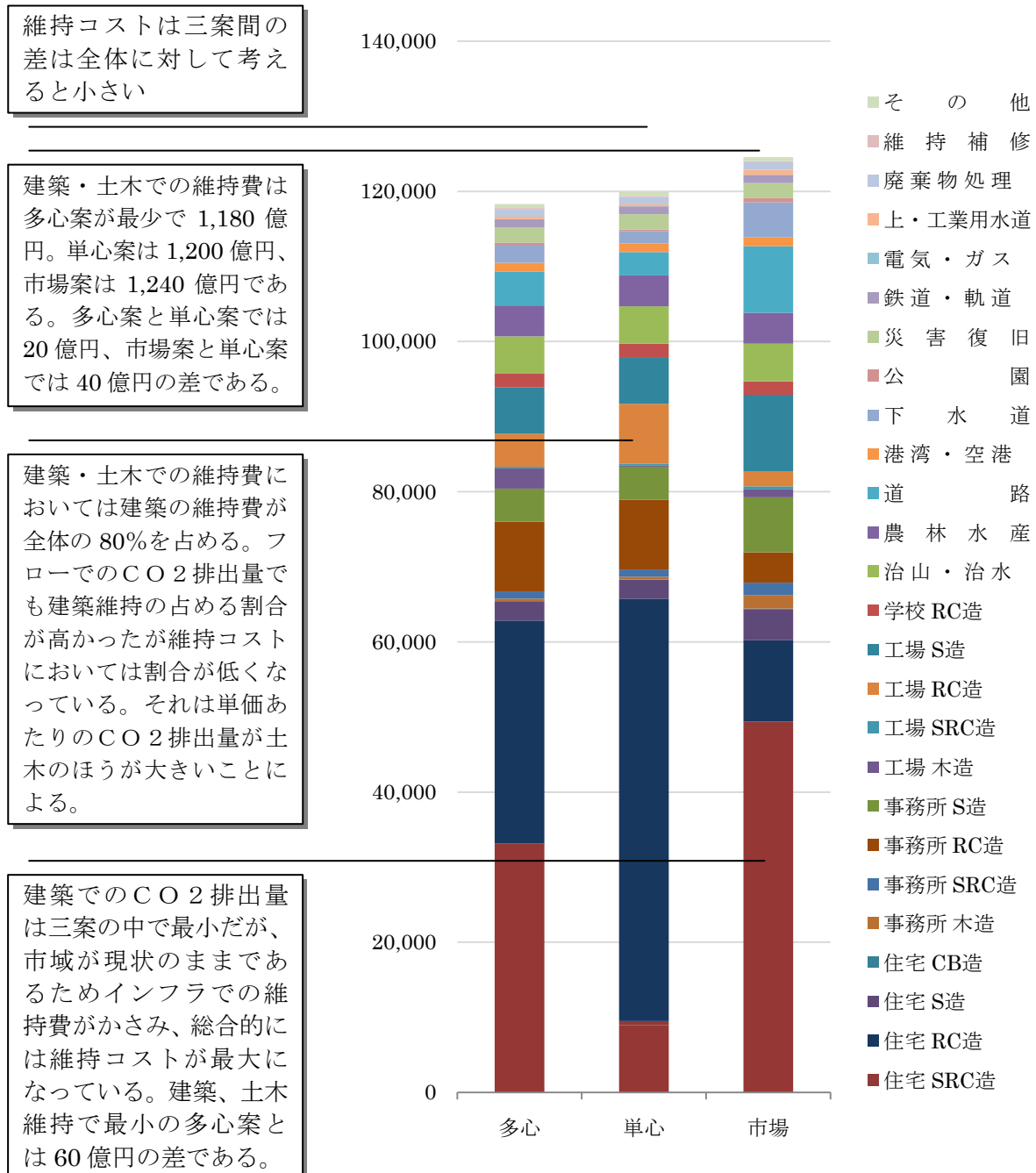
次に完成系での建築の維持コストは計算結果と前の土木の維持コストを合わせることで建築・土木での維持コストをまとめた。

表：完成系での建築・土木の維持コストの計算結果（単位：百万円）

		多心	単心	市場		多心	単心	市場
住宅	木造	32,617	8,968	48,513	治山・治水	4,997	4,997	4,997
	SRC造	542	542	880	農林水産	4,113	4,113	4,113
	RC造	29,691	56,240	10,810	道路	4,523	3,104	8,869
	S造	2,553	2,553	4,163	港湾・空港	1,162	1,162	1,162
	CB造	24	41	66	下水道	2,378	1,632	4,663
事務所	木造	324	324	1,809	公園	291	200	570
	SRC造	994	994	1,633	災害復旧	2,041	2,041	2,041
	RC造	9,251	9,251	4,060	鉄道・軌道	1,054	1,054	1,054
	S造	4,418	4,418	7,325	電気・ガス	13	9	25
工場	木造	2,691	191	1,058	上・工業用水道	344	236	675
	SRC造	243	243	395	廃棄物処理	1,017	1,017	1,017
	RC造	4,369	7,949	2,031	維持補修	133	133	133
	S造	6,201	6,201	10,175	その他	526	526	526
学校	RC造	1,794	1,794	1,794	合計	118,303	119,932	124,556



以上の結果をもとに項目別に積算した図が次の図である。



図：2050 年での建築・土木での維持費（単位：百万円）

建築・土木での維持費は多心案が最少で 1,180 億円。単心案は 1,200 億円、市場案は 1,240 億円である。移行時の建設コストは市場案が最小で多心案と 500 億円、単心案と 9,500 億円の差であり、CO<sub>2</sub> 排出量の場合と同じく三案の移行時の建設・廃棄によるコストと完成系の建築、土木の維持費での差はオーダー的に一桁から二桁異なる。ここでも CO<sub>2</sub> 排出量の場合と同じく移行時のコストの議論抜きにはコンパクトシティについて議論できないことが把握できる。また単位量当たりのコストと CO<sub>2</sub> 排出量の比が建築とインフラでは違うなどの理由から CO<sub>2</sub> 排出量のときとは傾向の違う部分がコストにはあるので CO<sub>2</sub> 排出量とコスト両面から検討していく必要がある。

d.ランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出量の計算

次にランニングにおける各案のコスト差を計算する。CO<sub>2</sub>排出量の算出を行う際には都市構造変化によって左右されない項目も積算したが、ここでは製造業など都市構造変化によって左右されない項目の各案のコスト差や総コストを出すのが困難なので、都市構造変化によって左右される民生家庭部門と、交通部門の各案のコスト差のみを算出する。

## 光熱費の試算（民生家庭）

民生家庭部門でコスト削減される部分は光熱費である。よって光熱費の削減量を算出することで、民生家庭部門におけるコスト削減量を求める。次に示すのは一人当たりの光熱費の統計である。

表：1人当たりの1カ月の光熱費の推計（単位：円/月）

	平成6年	平成7年	平成8年	平成9年	平成10年	平成11年	平成12年	平均
光熱費	4,179	4,335	4,469	4,632	4,615	4,539	4,720	4,499

出典：住宅統計ハンドブック

2005年時点での人口は28.5万人であり

$$\begin{aligned}
 \text{長岡市での年間での光熱費} &= \text{長岡市の人口（人）} \times \text{一年、一人当たりの光熱費（円/年）} \\
 &= 28.5 \text{（万人）} \times 4,500 \text{（円/月）} \times 12 \text{（月）} \\
 &\div 154 \text{（億円）}
 \end{aligned}$$

民生家庭で現状の多心案では59%、単心案では47%、市場案では70%にCO<sub>2</sub>排出量が削減される。光熱費が使用エネルギー量に比例しているとして、CO<sub>2</sub>排出量と光熱費が比例すると各案でのコストは91億円、72億円、108億円となる。コストは単心案が最小である。単心案と多心案では約20億円、単心案と市場案では約35億円の差があり、建築、土木での維持費の各案の差と同じオーダーである。単心案と多心案の建築維持においては多心案のほうが20億円ほど小さいので集合住宅化にしたことによるコスト削減効果はほとんどないと言える。

## 交通活動におけるランニングコストの試算

次に交通部門でのコスト削減量を算出する。交通部門での実際の燃料使用の内訳はわからないので、ここではトリップ分担率が80%と最大の自動車、バスに合わせる形で、CO<sub>2</sub>排出量をすべてガソリンでのCO<sub>2</sub>排出量として、コストを試算した。

国立環境研究所の環境負荷原単位データブックによるとガソリンの原単位は2.75 (kg-CO<sub>2</sub>/l) 交通でのCO<sub>2</sub>排出量は562,603 (t-CO<sub>2</sub>) である。

これをガソリンの消費量に換算すると  $562,603 \text{ (t-CO}_2\text{)} \div 2.75 \text{ (kg-CO}_2\text{/l)} \div 2 \text{ (億 l)}$

ガソリン価格を120円/lとすると  $2 \text{ (億 l)} \times 120 \text{ (円/l)} = 240 \text{ (億円)}$

になる。

交通で現状の多心案では53%、単心案では47%、市場案では70%のCO<sub>2</sub>排出量である。CO<sub>2</sub>排出量と交通費が比例すると各案でのコストは127億円、113億円、168億円となる。単心案と多心案では約14億円、単心案と市場案では約55億円の差があり、建築、土木での維持費さらには民生家庭での各案の差と同じオーダーである。しかし単心案と市場案の約55億円のコスト差は他の項目での差の中ではかなり大きなコスト差である。市域の縮小によるコスト削減効果が大きいことがわかる。

## e.ランニングコストでの各案のコスト差

以上において計算を行った建築、土木での維持コスト、民生家庭、交通部門でのコストを積算してランニングコストを算出する。以下はその計算結果である。単心案が最小で多心案と 17 億円、市場案と 164 億円の差がある。

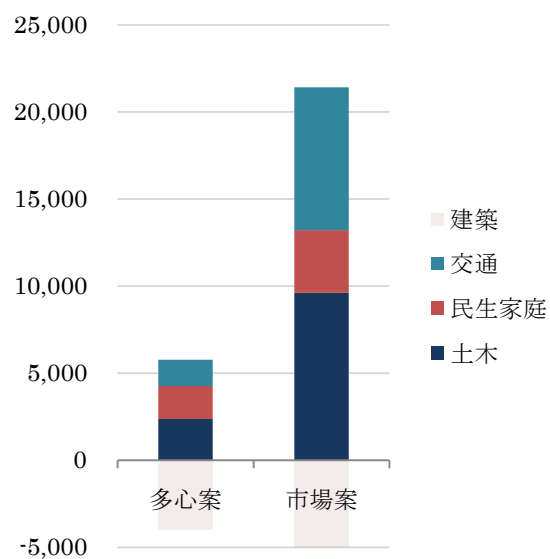
表：フローコスト（単位：百万円）

	多心	単心	市場
フローコスト	140,103	138,432	152,156

※製造業や民生業務など都市構造変化によって影響を受けない項目については計算に含めていない。

右の図は単心案に対する多心案と市場案のコスト差の要因を図化したものである。

単心案は多心案に対しては建築の維持コストが 40 億円ほど大きい、土木、民生家庭、交通で多心案よりコストが低いためトータルとしては 17 億円フローコストが低くなっている。一方、市場案に対しては同じで、建築維持コストで単心案のほうが 50 億円ほど大きい、他の 3 項目で市場案のほうが、コストがかかっているため、総合的には単心案のほうが、172 億円ほどフローコストが小さい。市場案でコストが大きい要因は交通と、土木のコストの大きさでこれらはどちらも市域が縮小しないことによっている。集合住宅化による維持コストの差はほとんど見られない。

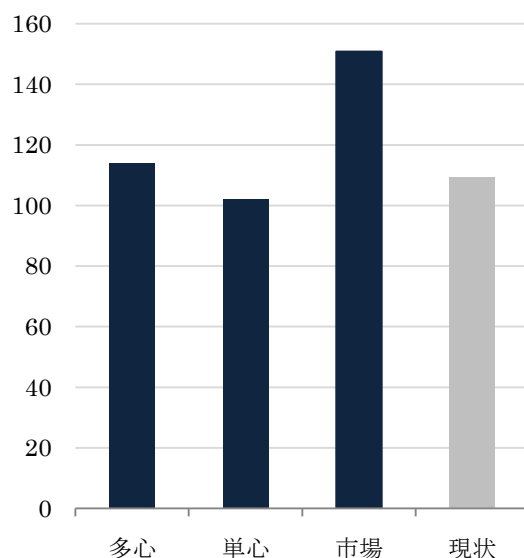


図：フローコスト差の内訳（単位：百万円）

## 5-3 各案一人当たりの土木工事費負担額と公共事業許容量に対する維持コストの割合比較

## a.一人当たりの土木工事費負担額の比較

土木維持コストの計算結果をもとに 2050 年の長岡市の人口一人当たりの土木工事費負担額を算出した。それを比較した図が右の図である。現状では一人あたり 11 万円ほどの負担額である。多心案では現状と一人当たりの負担額はほとんど変わらない。単心案では市域を減少させることによって負担額をわずかながら現在より小さくできている。市場案では 15 万円ほどになり、現在の 1.4 倍ほどの負担が市民にかかることになる。よって今後は市域を縮小しなければ市民の公共負担が増していくことがわかる。市域の縮小は不可欠な戦略であると言える。近年では年金制度の今後が危惧されてい



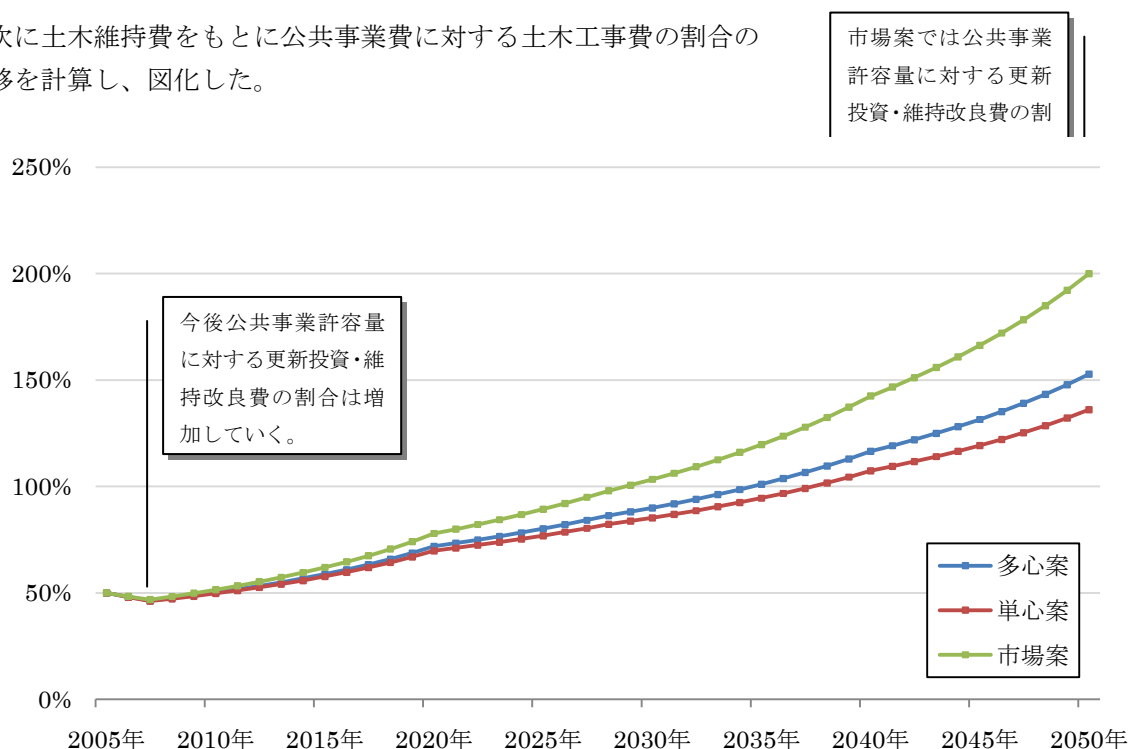
図：一人当りの土木工事費負担額の比較（単位：千円）

る。今後労働層の人口が減って、高齢者が増えると年金の支給額を下げるか、年金負担額を増すかのどちらかである。年金支給額は生活最低限を保証する金額が必要なので、必ず労働者にしわ寄せが来ると考えられる。そのような状況を考えると、土木工事費負担額が増加することはまさに泣き面に蜂であり、今後の人々の負担は計り知れない。そのような観点からもコンパクトシティ化は進められなければならないと考えられる。

※前の一人当りの土木工事費負担額の比較は治山治水、農業等を現状と同じ値で参入しているので現実的には各案ともこの結果より小さくなることが予想される。ある山間部の集落が撤退して市街中心部に移行した時、山間部と市街地を結ぶ山道の治山を行わなくてもいいという風になりえる。しかし、実際どれくらいの治山工事が減少するかについては厳密に推定できない。そのため今回は計算をしなかった。治山治水の工事費は大きいので一部の集落は市街中心部に移行するなどの政策が実施されることでフローでのコストが結構な大きさに削減できる。

### b. 公共事業許容量に対する土木工事費の比較

次に土木維持費をもとに公共事業費に対する土木工事費の割合の推移を計算し、図化した。

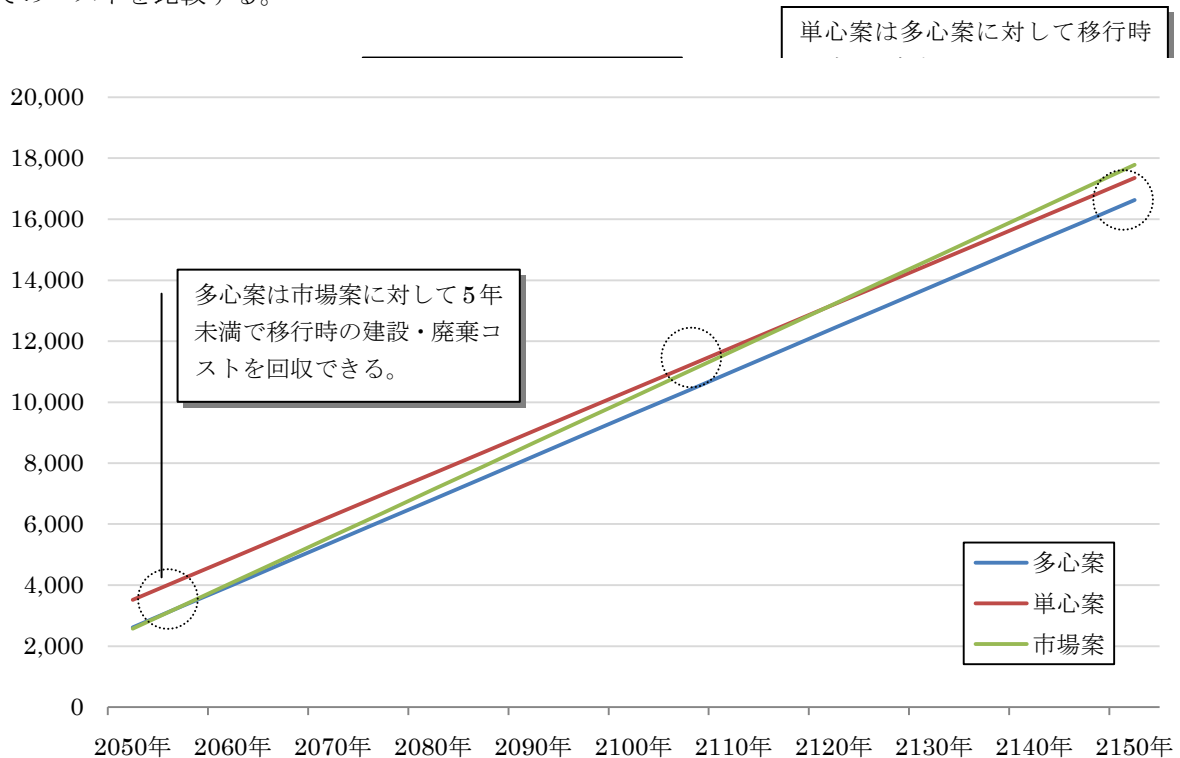


図：公共事業許容量に対する更新投資・維持改良費の割合

公共事業費は今後縮小し、全国平均での予想によると 2030 年には 2002 年の 47%になると見込まれている。（※松谷明彦、人口減少経済の新しい公式 参照）その予想に基づいて各案の公共事業許容量に対する更新投資・維持改良費の割合を算出した。市場案では 2030 年までには更新投資・維持改良費が公共事業許容量を上回り、2050 年には 200%になる。多心案でも 150%、単心案でも 140%ということがわかり、2050 年においては市域を縮小しインフラを削減させても更新投資・維持改良が難しいということがわかる。そのような考察からすると、市域の縮小に合わせてインフラの長寿命化などの施策を実施していかなければならないことがわかる。公共事業許容量に対する更新投資・維持改良費の割合から見ても長岡市の人口一人当たりの土木工事費負担額を考察したものと同一ように、今後の市民の負担が増すことが簡単に推測される。

## 5-4 移行時及びフローでのコストを比較することによるコストにおける優位性の比較

以上までをもとに移行時及びフローでのCO<sub>2</sub>排出量を比較したのと同じように移行時及びフローでのコストを比較する。



図：移行時の建設コストの回収期間（縦軸単位：十億円）

単心案が移行時の建設コストを回収するには市場案に対しては65年、多心案に対しては500年かかる。よって経済的には単心案はかなり負荷のかかる戦略であり、完成後も回収が難しいということがわかり、経済的には不合理である。単心案と多心案では移行時の建設・廃棄コストの差が9,000億円もあり、これは長岡市の1年分の予算に匹敵する値である。それに対してフローでは単心案は多心案と17億円しか変わらない。移行時の建設・廃棄コストの差に比べれば相当小さい値であり、回収するのにとても時間がかかる。市場案に対しては移行時の建設・廃棄コストの差は多心案の場合と変わらないが、フローで138億円の差があるため、65年で回収できるが、それでも65年は長すぎる。一方多心案は、市場案に対して移行時の建設・廃棄コストの差を5年未満に回収できる。改修後2100年には市場案は多心案より1兆円もかさむことになり経済的に見ても多心案のほうが合理的である。コスト面からみると確かに都市をコンパクトにしなければいけないが、単心案では初期のコストがかかりすぎてしまう。コスト面からは明らかに多心案が合理的であると言わざるを得ない。

この章を振り返ると、土木工事費の一人当たりの負担額や公共事業許容費に占める更新投資・維持改良費の割合からして明らかにコンパクトにしなければいけない。そうしなければ今後、インフラを維持できないばかりか、人々への負担が増して行き、生活がおぼつかないような事態に陥る。土木工事費の一人当たりの負担額や公共事業許容費に占める更新投資・維持改良費の割合でみると単心案が最も良い結果になる。これは市域が最も小さく、インフラ量が少ないためだが、最終的に移行時の建設コストとフローの関係をみると、単心案の移行時の建設コストはナンセンスであり、現実的ではない。移行時の建設コストとフローの関係からは多心案がよい結果になり、土木工事費負担額や公共事業許容費などからみても多心案は単心案に肉薄しており、バランスのとれた現実的な案と言える。

6 各種施策による都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量への影響分析6-1 パラメーターの変化によるCO<sub>2</sub>排出量計算結果に対する影響評価

前章まででは、2050年の都市像として考えられる三つの像についてCO<sub>2</sub>排出量、コストの面で比較した。前章までの比較はすべて現在の原単位をもとに行ったので、2050年までの間に原単位が変化することや長寿命化などの要素を算入していない。これは本研究が、都市形態ごとのCO<sub>2</sub>、コスト面での優劣の差を評価することが主な目的であり、また2050年までの都市像ごとのCO<sub>2</sub>排出量を精密に算出することが目的ではないことによる。しかし、一方で今後、全産業分野で省エネ化、環境負荷削減が目指されている中で、そのような要素も検討しなければ実際に2050年まで推移した場合に各都市像案の優劣が覆らないかがわからない。そこで本章では、省エネ化や長寿命化が進んだ場合に各案のCO<sub>2</sub>排出量がどうなるかを分析する。

## a. 省エネ化「電力消費が50%された場合」

ここでは省エネにより、家庭や業務、製造部門での消費電力が削減された場合のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては民生家庭、製造業、民生業務の分野でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。

表の結果をもとに電力消費が50%削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。単心案を基準とし、単心案を常に軸としている。削減される場合とされない場合の傾きの違いから削減効果が読み取れる。

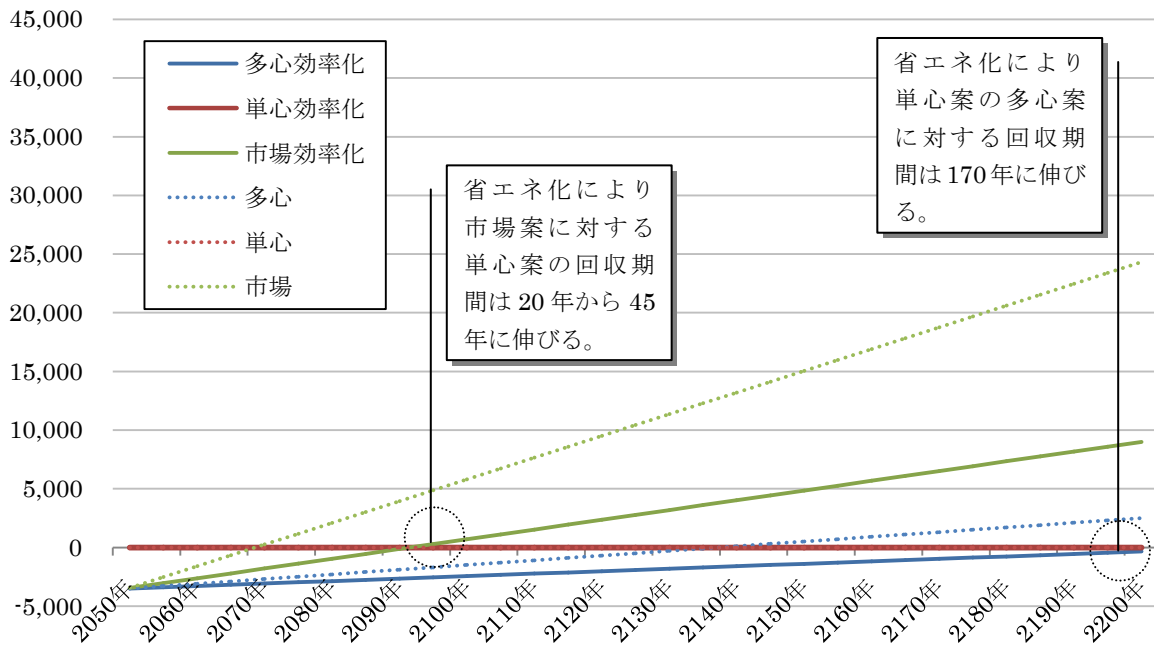
電気効率が50%になると民生家庭、民生業務、製造業でCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。その中で民生業務と製造業は三案で等しい。三案に違いがでるのは民生家庭においてである。市場案においてはその他の項目においての他案との差が大きいため単心案が優位になるのが20年から30年に延びるに過ぎない。

一方、多心案と単心案はもともとフローの差が小さい上でさらに差が縮まることになり、相対的に効果が大きく、単心案が優位になる期間が約90年から約170年まで広がる結果となっている。100年を超す回収期間となり省エネ化がフローで移行時の建設によるCO<sub>2</sub>排出量を回収する単心案にとっては厳しい状況になる。

表：電気効率を50%にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	203,038	236,185	184,294
事務所	49,987	53,403	50,851
工場	47,790	54,923	48,097
学校	6,710	6,710	6,710
道路	15,599	10,705	30,587
下水道	21,652	14,859	42,454
上・工業用水道	3,702	2,540	7,258
都市ガス	40	27	78
公園	1,208	829	2,369
土地造成	1,311	900	2,571
民生家庭	121,654	97,384	144,104
交通	298,022	266,651	392,134
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	291,391	291,391	291,391
民生業務	131,549	131,549	131,549
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200





図：電気効率50%の場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

## 考察

- 電気効率が良くなることで単心案の移行時の建設によるCO<sub>2</sub>排出量の他案との差量の回収期間が長くなり、電気の効率化はフローのCO<sub>2</sub>排出の少なさを生かす単心案にとって不利に働く。
- 市場案では相対的に電気効率による削減量が多心案より小さく、回収期間の変化は小さいが、多心案にとっての影響は大きく、電気消費が50%に削減された場合、削減されない場合に対して2倍ほど回収期間が伸びる。電気の効率化は多心案にとって一番優位に働くパラメーターである。

### b.省エネ化・交通での単位トリップ長あたりの排出CO<sub>2</sub>が半分になった場合

ここでは省エネにより、交通部門での単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合（車で言うと燃費の向上など）のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。

表：交通効率を50%にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	203,038	236,185	184,294
事務所	49,987	53,403	50,851
工場	47,790	54,923	48,097
学校	6,710	6,710	6,710
道路	15,599	10,705	30,587
下水道	21,652	14,859	42,454
上・工業用水道	3,702	2,540	7,258
都市ガス	40	27	78
公園	1,208	829	2,369
土地造成	1,311	900	2,571
民生家庭	248,113	214,045	288,207
交通	149,011	133,326	196,067
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	582,781	582,781	582,781
民生業務	263,098	263,098	263,098
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200

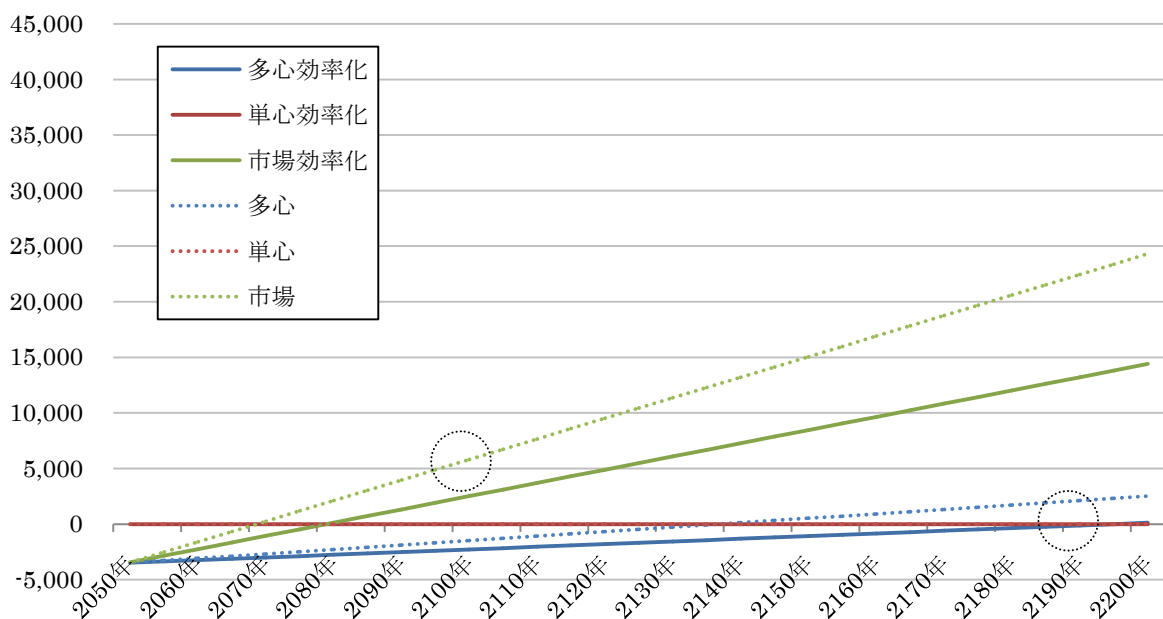


実際の計算としては交通の分野でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が前の表にまとまっている。

表の結果をもとに交通部門での単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

交通効率が50%になると交通でCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。市場案においては他案の市域の縮小によるCO<sub>2</sub>排出削減での差が小さくなるため、単心案が優位になるのが20年から30年ほどに伸びる。

一方、多心案と単心案はもともとどちらも市域での交通のCO<sub>2</sub>削減量が見込まれていて、その差は市場案と他案よりかは小さい。単心案が優位になる期間が約90年から約140年まで広がる結果となっている。



図：交通効率50%の場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

## 考察

- ・交通効率が良くなることで単心案の移行時の建設によるCO<sub>2</sub>排出量の他案との差量の回収期間が長くなり、交通の効率化はフローのCO<sub>2</sub>排出の少なさを生かす単心案にとって不利に働く。
- ・市場案にとっては市域の大きさによる不利が小さくなるので、回収期間が2倍くらいに広がるが、それでも回収期間はライフサイクル以内である。
- ・交通が単心案と各案とのフローとの差を大きく生んでいるので、市域が小さくなっている多心案でも交通効率が良くなることで回収期間が90年から140年まで広がる。

### c. 「電力消費が50%、「交通での単位トリップ長あたりの排出CO<sub>2</sub>が半分」の場合

ここでは省エネにより、家庭や業務、製造部門での消費電力が削減され、さらに交通部門での単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合（車で言うと燃費の向上など）のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては、民生家庭、製造業、民生業務、交通の分野でのフロー

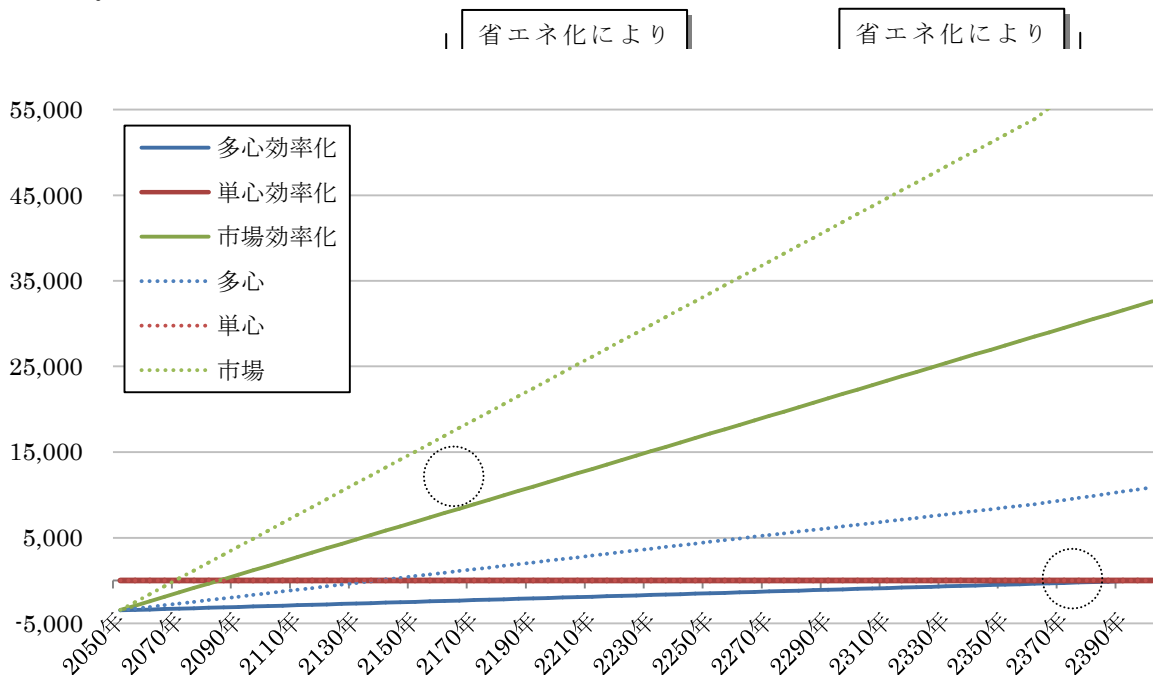
CO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。表の結果をもとに電力消費が50%削減され、交通部門での単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

電気、交通効率が50%になると民生家庭、民生業務、製造業、交通とでCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。その中で民生業務と製造業は三案で等しい。三案に違いがでるのは民生家庭と交通においてである。市場案が単心案より優位になるのが20年から40年ほどに伸びる。

一方、多心案と単心案はもともとどちらも市域での交通のCO<sub>2</sub>削減量が見込まれていて、その差は市場案と他案よりかは小さい。単心案が市場案より優位になる期間が約90年から約350年まで広がる結果となっている。省エネ化がいろいろな分野で達成されると単心案のフローでの回収は難しくなる。

表：電気、交通効率を50%にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	203,038	236,185	184,294
事務所	49,987	53,403	50,851
工場	47,790	54,923	48,097
学校	6,710	6,710	6,710
道路	15,599	10,705	30,587
下水道	21,652	14,859	42,454
上・工業用水道	3,702	2,540	7,258
都市ガス	40	27	78
公園	1,208	829	2,369
土地造成	1,311	900	2,571
民生家庭	121,654	97,384	144,104
交通	149,011	133,326	196,067
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	291,391	291,391	291,391
民生業務	131,549	131,549	131,549
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200

図：電気、交通効率50%の場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

## 考察

- ・電気、交通効率が良くなること両方が単心案にとって不利に働くため、単心案の初期建設でのCO<sub>2</sub>排出の回収期間は大きく伸びる。
- ・単心案が多心案とのCO<sub>2</sub>排出量の差を回収するには350年もかかることになる。電気、交通効率化は産業分野において活発に行われているので、実質的に単心案のフローでの回収を見込むことは大変困難である。

## d.家屋の長寿命化「寿命2倍」

ここでは長寿命化により、家屋の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては、住宅、事務所、工場、学校の項目でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。

表の結果をもとに家屋の長寿命化でCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

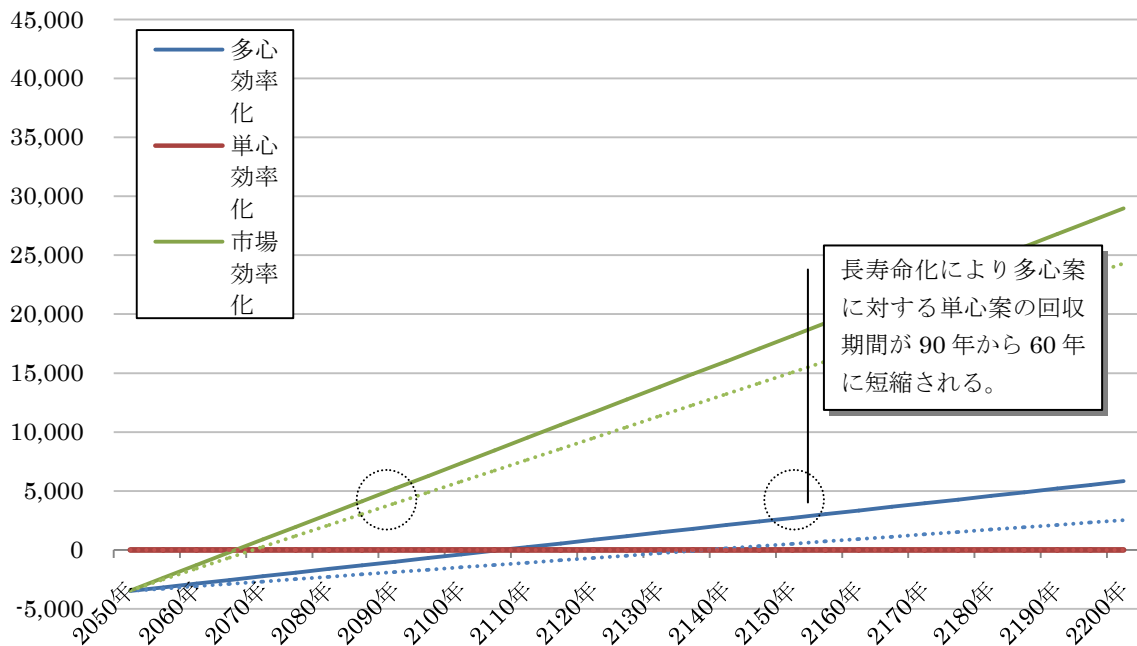
家屋の寿命が2倍になると住宅、事務所、工場、学校でCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。家屋の長寿命化は他の効率化とは逆に単心案にとって有利な条件である。これは単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の大きさが無理な建設・廃棄によって膨らんでいるためで、建設・廃棄分の差異が他の案と縮まることで単心案にとって優位になる。その結果、単心案が多心案より優位になる期間が約90年から約60年まで縮まる結果となっている。

表：家屋寿命を2倍にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	101,519	118,092	92,147
事務所	24,993	26,701	25,426
工場	23,895	27,462	24,049
学校	3,355	3,355	3,355
道路	15,599	10,705	30,587
下水道	21,652	14,859	42,454
上・工業用水道	3,702	2,540	7,258
都市ガス	40	27	78
公園	1,208	829	2,369
土地造成	1,311	900	2,571
民生家庭	248,113	214,045	288,207
交通	298,022	266,651	392,134
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	582,781	582,781	582,781
民生業務	263,098	263,098	263,098
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200

## 考察

- ・家屋が長寿命化することは単心案にとって有利に働くため、単心案の初期建設でのCO<sub>2</sub>排出の回収期間は縮まり、回収期間が90年から60年になる。
- ・家屋が長寿命化によって単心案の多心案、市場案に対する回収期間は短縮されるが、その効果は省エネに比べれば小さい。これは家屋でのCO<sub>2</sub>排出総量が民生家庭部門や交通部門に比べれば小さいためである。
- ・単心案はもともとRC住宅の維持が多いため他案よりCO<sub>2</sub>排出が大きかったが、その差が長寿命化によって縮まることで、回収期間が短縮される。



図：家屋寿命2倍の場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

#### e.インフラの長寿命化「寿命2倍」

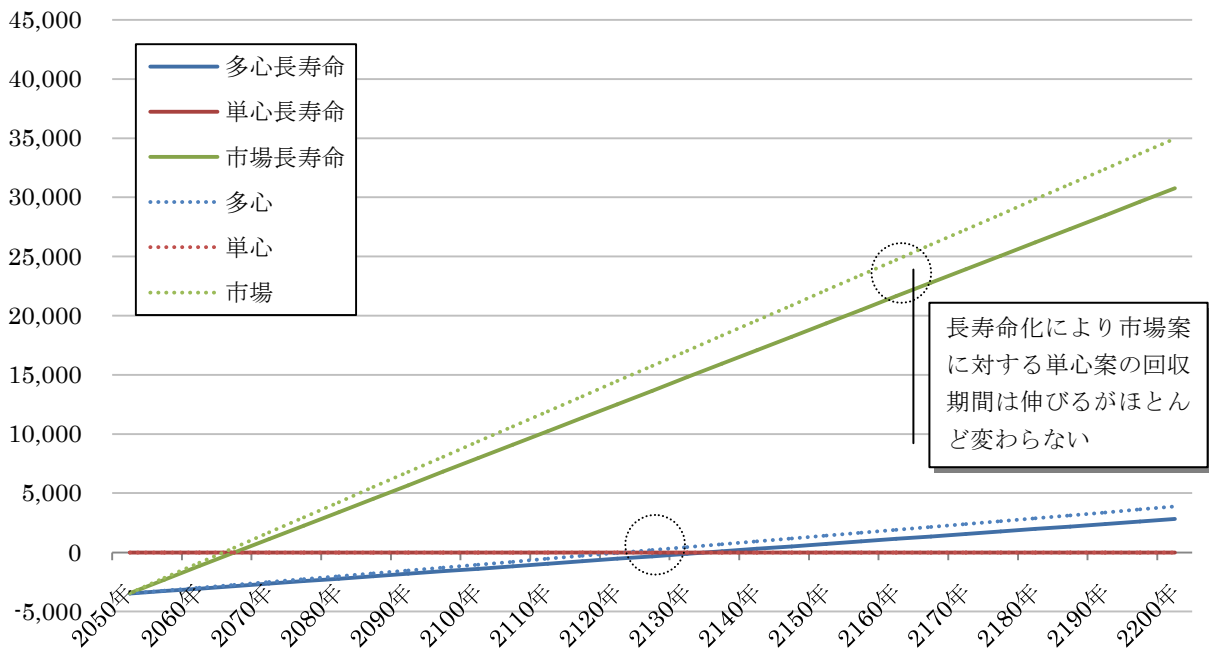
ここでは長寿命化により、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては、道路、下水道、上・工業用水道、都市ガス、公園、土地造成の項目でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。

表の結果をもとにインフラの長寿命化でCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

インフラ寿命が2倍になると道路、下水道、上・工業用水道、都市ガス、公園、土地造成でCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。インフラの長寿命化は単心案にとって不利な条件である。これは単心案が最も市域が小さくインフラ量が少ないためである。特に市域が大きい市場案にとっては優位に働く。しかし全体の割合に占めるインフラ建設・廃棄の割合が小さいため回収期間はほとんど変わらないという結果になっている。

表：インフラ寿命を2倍にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	203,038	236,185	184,294
事務所	49,987	53,403	50,851
工場	47,790	54,923	48,097
学校	6,710	6,710	6,710
道路	7,800	5,353	15,294
下水道	10,826	7,429	21,227
上・工業用水道	1,851	1,270	3,629
都市ガス	20	14	39
公園	604	415	1,185
土地造成	656	450	1,286
民生家庭	248,113	214,045	288,207
交通	298,022	266,651	392,134
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	582,781	582,781	582,781
民生業務	263,098	263,098	263,098
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200



図：インフラ寿命2倍の場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

#### 考察

- ・ インフラが長寿命化することは単心案にとって有利に働くため、単心案の初期建設でのCO<sub>2</sub>排出の回収期間は縮まり、回収期間が90年から伸びるがその伸びはごくわずかである。
- ・ 市域が大きくインフラ量が多い市場案は他の施策に比べてインフラの長寿命化による回収期間の長期化が期待できるが、実際にはインフラからのCO<sub>2</sub>排出が小さいため、ほとんど変わらない結果となる。

#### f.家屋、インフラの長寿命化「寿命2倍」

ここでは長寿命化により、家屋、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては、住宅、事務所、工場、学校、道路、下水道、上・工業用水道、都市ガス、公園、土地造成の項目でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にす

表：家屋・インフラ寿命を2倍にした場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	101,519	118,092	92,147
事務所	24,993	26,701	25,426
工場	23,895	27,462	24,049
学校	3,355	3,355	3,355
道路	3,900	2,676	7,647
下水道	5,413	3,715	10,614
上・工業用水道	925	635	1,815
都市ガス	10	7	20
公園	302	207	592
土地造成	328	225	643
民生家庭	248,113	214,045	288,207
交通	298,022	266,651	392,134
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	582,781	582,781	582,781
民生業務	263,098	263,098	263,098
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200

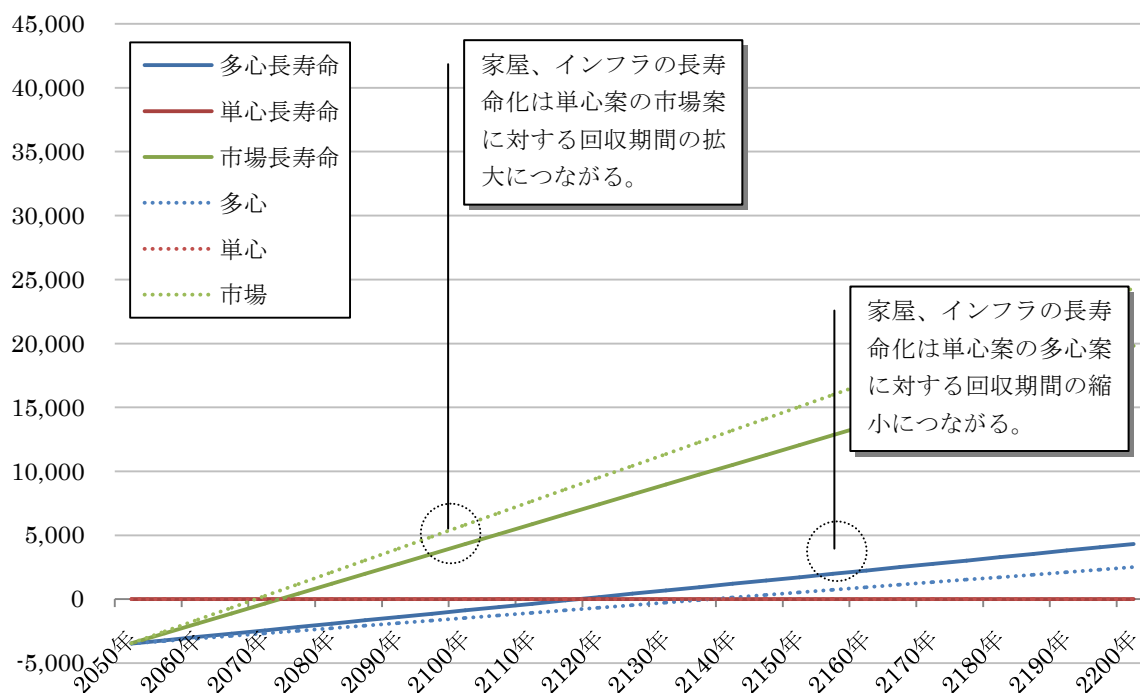
るという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。

表の結果をもとに家屋、インフラの長寿命化でCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

家屋、インフラでの寿命が2倍になると住宅、事務所、工場、学校、道路、下水道、上・工業用水道、都市ガス、公園、土地造成でCO<sub>2</sub>排出量の削減を見込むことができる。家屋、インフラの長寿命化は多心案にとって不利な、市場案にとっては有利な条件である。これは家屋の長寿命化は単心案にとって有利であるが、インフラの長寿命化は単心案にとって不利である。それらを重ね合わせた結果、家屋、インフラの長寿命化は多心案にとって不利な、市場案にとっては有利な条件となる。

## 考察

- ・ 家屋、インフラの両方で寿命がのびると単心案の多心案に対する回収期間は縮小し、市場案に対する回収期間はのびる。これは家屋の長寿命化の単心案にとる有利さと、インフラの長寿命化の単心案にとる不利さのバランスによって生じている。市場案はインフラの長寿命化で単心案とのフローの差を大幅に縮めることができ、それが家屋での単心案と市場案のフローの差の縮まりより大きいいため、総合的に市場案に対する回収期間はのびる。多心案はインフラの長寿命化で単心案とのフローの差を市場案ほど縮めることができない。その結果、家屋での単心案と市場案のフローの差の縮まりよりインフラの長寿命化によるフローの差の縮まりのほうが小さいため、総合的に多心案に対する回収期間は縮まる。
- ・ これは家屋とインフラの寿命をどちらも二倍に伸ばした場合の結果である。家屋とインフラの長寿命化のバランスによって単心案の他案に回収期間が伸びるかどうかが決まる。インフラの長寿命化が小さくなれば家屋の長寿命化によるフロー差の縮まりのほうが相対的に大きくなり、市場案への多心案の回収期間は縮まることになる。



図：家屋、インフラを長寿命化した場合とそうでない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間



## g.省エネ化と家屋、インフラの長寿命化の両方が達成された場合

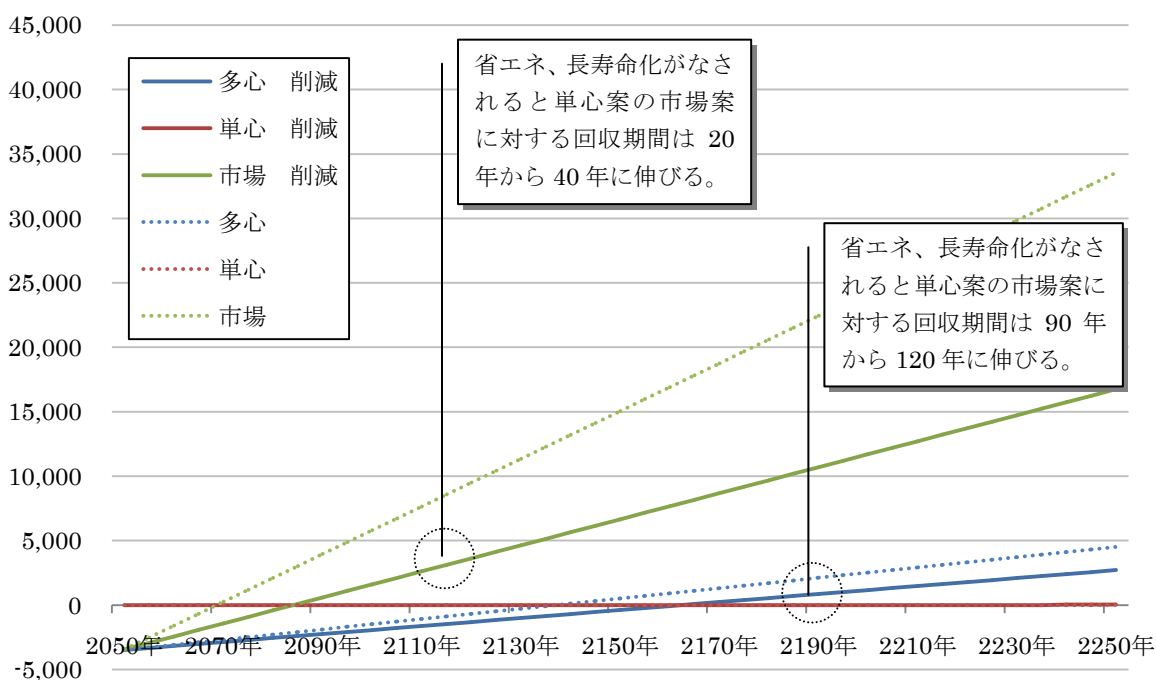
ここでは省エネルギー化により家庭や業務、製造部門での消費電力が削減され、さらに交通部門での単位トリップ長あたりのCO<sub>2</sub>排出量が削減され、長寿命化により、家屋とインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。実際の計算としては、住宅、事務所、工場、学校、道路、下水道、上・工業用水道、都市ガス、公園、土地造成の項目、民生家庭、製造業、民生業務、交通の分野でのフローCO<sub>2</sub>を各都市像で50%にするという算出方法で計算を行った。その結果が以下の表にまとまっている。

表の結果をもとに省エネ化、長寿命化でCO<sub>2</sub>排出量が削減された場合とそうでない場合の単心案の他案との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間の変化を次の図に示した。実線が削減される場合で、点線が削減されていない場合である。

総合的には単心案の他案に対する回収期間は大幅に伸びる。多心案に対する回収期間は90年から120年に、市場案に対する回収期間は20年から40年となる。

表：省エネ化、長寿命化した場合のフローCO<sub>2</sub>

	多心案	単心案	市場案
住宅	50,760	59,046	46,073
事務所	12,497	13,351	12,713
工場	11,947	13,731	12,024
学校	1,678	1,678	1,678
道路	1,950	1,338	3,823
下水道	2,706	1,857	5,307
上・工業用水道	463	318	907
都市ガス	5	3	10
公園	151	104	296
土地造成	164	112	321
民生家庭	121,654	97,384	144,104
交通	149,011	133,326	196,067
農業	12,228	12,228	12,228
廃棄物	22,193	22,193	22,193
製造業	291,391	291,391	291,391
民生業務	131,549	131,549	131,549
災害復旧	10,354	10,354	10,354
港湾空港	5,471	5,471	5,471
鉄道軌道	5,200	5,200	5,200
治山治水	23,278	23,278	23,278
農林水産	18,366	18,366	18,366
その他	5,200	5,200	5,200

図：効率化した場合と効率化しない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間



## 考察

- ・ 省エネルギー化、長寿命化によって総合的には単心案の他案に対する回収期間は大幅に伸びる。多心案に対する回収期間は90年から120年に、市場案に対する回収期間は20年から40年となり、どちらも二倍以上に回収期間が伸びることが分かる。
- ・ 回収期間の拡大は省エネルギー化が寄与する部分大きい。先ほど出てきたように家屋、インフラの長寿命化による回収期間の変化はほとんどなかった。それに対して、省エネルギー化では大幅な回収期間の変化があった。よって省エネルギー化のほうがフローを大きく左右するポテンシャルを持っているということになる。
- ・ 省エネルギー化、長寿命化を総合的に見た時に単心案の他案に対する回収期間は大幅に伸びた。近年、全産業分野において省エネ化が高性能化による環境負荷削減が叫ばれている中、省エネルギー化、長寿命化は今後ますます加速すると考えられる。その動きの先として省エネルギー化、長寿命化が達成された場合、単心案が移行後フローで移行時におけるCO<sub>2</sub>排出量を回収することは市場案に対してはライフサイクル内で行えるが、多心案に対しては相当困難になる。そういった面からすると、市場案以外のコンパクト化は有効であり、中でも多心案が将来の省エネルギー化、長寿命化を考慮した場合にももっとも合理的な案であると言えることになる。

### Cf.買い換えによるランニングでのCO<sub>2</sub>排出量回収について

住宅を買い替えてもランニングで買い替えた分のCO<sub>2</sub>排出量を回収できるか考察する

民生家庭での一年あたりのCO<sub>2</sub>排出量は413,497 (t-CO<sub>2</sub>) である。

住宅の総面積は13,708,387 (m<sup>2</sup>) なので単位面積当たりの一年間のCO<sub>2</sub>排出量は 30 (kg-CO<sub>2</sub>)  
長岡市の住宅の平均寿命は約50年なので総ランニングCO<sub>2</sub>は 1,500 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

構造別面積割合を考慮した長岡市の住宅の原単位は465 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

(住宅の構造別の原単位と構造別床面積をもとに筆者が試算)

住宅に50年住むと考えた場合に、25年で住宅を買い替えるケースについて考察する。

住宅の製造コストとしては

$$\begin{aligned} \text{買い替える際の製造コスト} &= \text{買い替え前の製造コストの残り年数分} + \text{買い換える家屋の製造コスト} \\ &= \text{製造コスト} \times (1 + 25 \text{ 年} / 50 \text{ 年}) \\ &= 465 \times 1.5 = \underline{698 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)}} \end{aligned}$$

前の住宅が25年住んだことで家屋の性能が80%になったと仮定すると一年間当たりのCO<sub>2</sub>排出量は 30 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) ÷ 0.8 = 38 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} &\text{買い替え時のCO}_2\text{排出量を残り25年で回収するには、} \\ &38 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} - 698 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \div 25 \text{ 年} = \underline{10 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)}} \end{aligned}$$

となり、エネルギー効率を現在の1/3にする必要があることがわかる。実際民生家庭部門の中のかかなりの割合が住宅のエネルギー効率化では変動しない予想であるから、実質的に買い替えを行った場合にフローで回収することは難しい。

よって、移行する際に無理な廃棄・建設を行うと、ランニングで回収できないので環境負荷が増すことにつながる。純粋に寿命を待って高性能なものにすることで総合的なCO<sub>2</sub>排出量削減につながるのである。

6-2 施策によるCO<sub>2</sub>排出量の削減の把握

## a. 市域縮小分を廃棄処分しなかった場合

ここでは市域縮小分を廃棄しなかった場合のCO<sub>2</sub>削減量を計算する。市域を縮小することで郊外にまとも発生する空地の処理は重要である。農地に転換することが候補になり得る。ただ一度市街化された土地を農地にするためには、既存の建築物や道路構造物、基盤設備などの撤去、水路など農業インフラの整備、土壌の改良など転換のコストは相当に昇る。農業生産で賄えなければ、ここでも公的支援が必要になるかもしれない。もう一つの転換法は、森林にすることである。費用は農地にすること場合に比べると格段に安く、都市を森で囲むことによる、ヒートアイランドの緩和、防風・防雪林的な役割も期待出来る。ここでは廃棄分のCO<sub>2</sub>排出量とコストの削減効果をみる。

## 市域縮小分を廃棄処分しなかった場合、する場合の廃棄量の比較

次に示すのは市域減少分のインフラを廃棄した場合としなかった場合の現状のインフラ量に対する廃棄量の割合である。

表：各都市像に移行する際のインフラの現状に対する建設・廃棄量

多心	廃棄あり	廃棄なし
道路	1.253	0.506
公園	0.49	0
下水道	0.84	0.35
上・工業用水道	0.84	0.35
都市ガス	0.84	0.35

単心	廃棄あり	廃棄なし
道路	1.705	0.91
公園	1.16	0.5
下水道	1.34	0.66
上・工業用水道	1.34	0.66
都市ガス	1.34	0.66

市場	廃棄あり	廃棄なし
道路	1.4	1.4
公園	0	0
下水道	0.84	0.84
上・工業用水道	0.84	0.84
都市ガス	0.84	0.84

以上により市域減少分を廃棄しなかった場合の各都市像のCO<sub>2</sub>削減量を計算した結果は次の表のようにまとめられる。なお計算式は次の通りである。

$$\text{CO}_2 \text{削減量 (kg-CO}_2\text{)} = (\text{廃棄ありの場合の建設・廃棄量} - \text{廃棄なしの場合の建設・廃棄量}) \times \text{単位量当たりの各インフラのCO}_2 \text{排出量 (kg-CO}_2\text{)}$$

よって、多心案では 310 (千 t-CO<sub>2</sub>)、単心案では 364 (千 t-CO<sub>2</sub>)、市場案では 0 (t-CO<sub>2</sub>) のCO<sub>2</sub>排出量の削減が見込まれる。

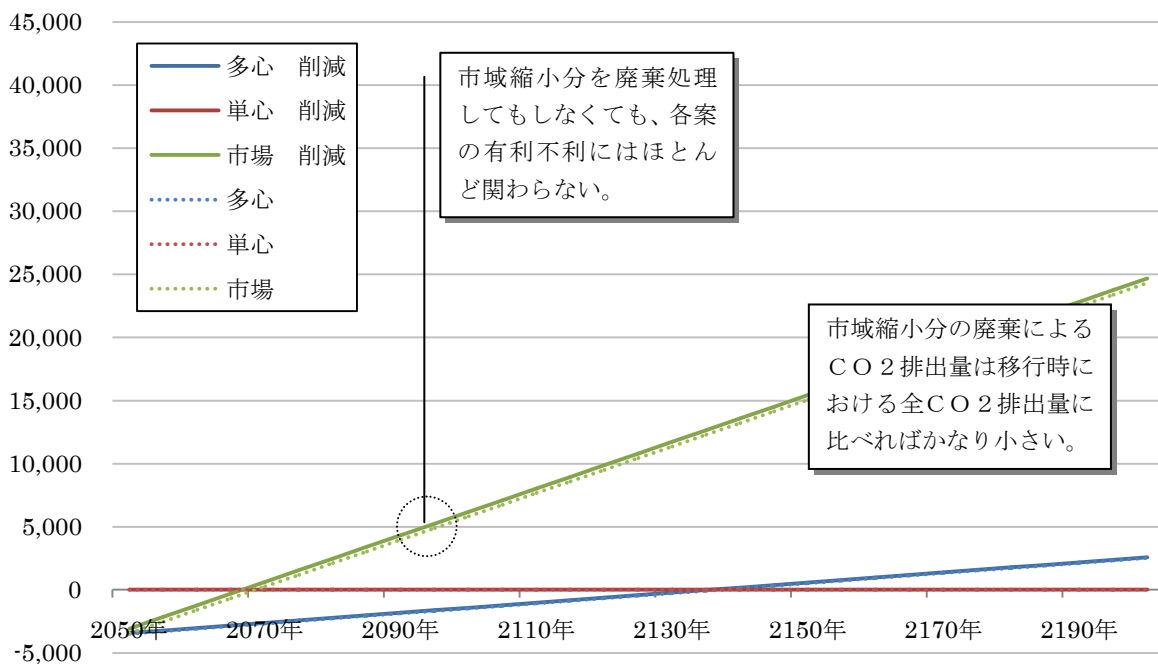
移行時におけるCO<sub>2</sub>排出量は単心案で12,000（千t-CO<sub>2</sub>）であるから、その量と比べると廃棄しなかった場合の各都市像のCO<sub>2</sub>削減量は少ないと言える。

表：各都市像における廃棄しなかった場合のCO<sub>2</sub>削減量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

単位：t-CO <sub>2</sub>	多心	単心	市場
道路	204,006	217,115	0
都市ガス	186	258	0
公園	8,525	11,483	0
下水道	83,202	115,464	0
上・工業用水道	14,210	19,720	0
合計	310,129	364,040	0

### 市域縮小分を廃棄処分しなかった場合のCO<sub>2</sub>削減量の計算結果

廃棄処分しなかった場合、単心案と多心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差が縮まる。それによってどれくらい回収期間が変わるかを以下に示している。実線が廃棄処分しなかったときで、点線が廃棄処理を行った場合である。



図：廃棄する場合としない場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

以上のように廃棄しても廃棄しなくても回収期間にほとんど変化がない。これは廃棄分が建設分に比べ廃棄量の総量が少ないことによる。CO<sub>2</sub>排出量の回収期間を縮めるという効果からすると市域縮小分を廃棄せずそのままにしておくというのはあまり有効な戦略ではないが、削減総量からすると長岡市の市域841k m<sup>2</sup>を超える1,000k m<sup>2</sup>分の一年分のCO<sub>2</sub>固定効果に匹敵するので相当な量とも言える。そういう意味で市域縮小分を廃棄せずそのままにしておく戦略は有効である。

※ここでは市域縮小分を廃棄しなかった場合のCO<sub>2</sub>排出量の削減効果のなので、また別に市域減少分を農地にするといった場合にはCO<sub>2</sub>排出がさらに増すということに注意しなければいけない。

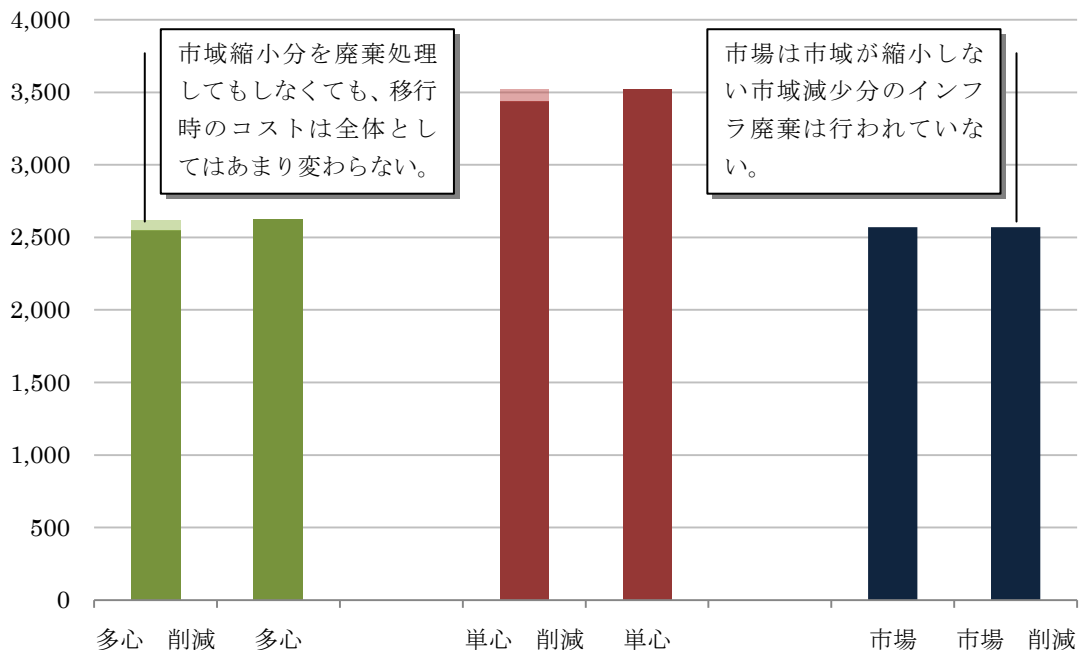
## 市域縮小分を廃棄処分しなかった場合のコスト削減量の計算結果

次にCO<sub>2</sub>の場合と同じようにコスト削減量を求め、まとめた結果が以下である。

表：各都市像における廃棄しなかった場合のコスト削減量

単位：百万円	多心	単心	市場
道路	49,758	52,955	0
都市ガス	60	83	0
公園	1,987	2,677	0
下水道	19,349	26,852	0
上・工業用水道	2,786	3,867	0
合計	73,940	86,433	0

よって、多心案では 739 (億円)、単心案では 864 (億円)、市場案では 0 (円) のコストの削減が見込まれる。これもCO<sub>2</sub>の場合と同様で、移行時のコストに対する割合と比べれば相当小さい値である。



図：廃棄する場合としない場合の各案の初期建設・廃棄コストの削減量比較 (単位：十億円)

単心案の多心案に対する初期コストの回収期間は 450 年から 370 年に縮小するものの、優劣の大勢は変わらない。これは削減量の差が初期コストに比べ小さいことによる。初期コスト差の回収期間を縮めるという効果からすると市域縮小分を廃棄せずそのままにしておくのはあまり有効な戦略ではないが、削減総量からすると約 800 億円削減でき、医師の年収を 2000 万円としても 4000 人を一年間雇える計算になる。現在の長岡市の医師数が 400 人なので、長岡市の全医師を 10 年間も雇える計算になり、高齢化が進み医師不足に陥った場合には相当な公的補助を行うことができる。そういう意味で市域縮小分を廃棄せずそのままにしておく戦略は有効である。

まとめると、市域縮小分を廃棄処理しないことは移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量全体からすればあまり変わらないが、今後の公的補助などの政策も合わせると有効な戦略であると言える。

## b.市域縮小分の緑地化

宅地であった部分を緑地にするとした時のCO<sub>2</sub>固定効果を試算する。

「市村恒士、岡田孝幸、柳井重人、丸田頼一：都市公園における樹木の二酸化炭素固定効果に関する研究、第34回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.1-6,1999.」によると緑地によるCO<sub>2</sub>固定効果は一年あたり面積1haあたり30t-CO<sub>2</sub>である。

現状の宅地面積は39.7k m<sup>2</sup>、多心案では23.1k m<sup>2</sup>、単心案では15.8k m<sup>2</sup> これらをhaになおすと、それぞれ3,970ha、2,310ha、1,580haである。

現状に対して多心案では  $3,970 \text{ (ha)} - 2,310 \text{ (ha)} = \underline{1,660 \text{ (ha)}}$ 、

単心案では  $3,970 \text{ (ha)} - 1,580 \text{ (ha)} = \underline{2,390 \text{ (ha)}}$

のまとまった空地を得られることになる。

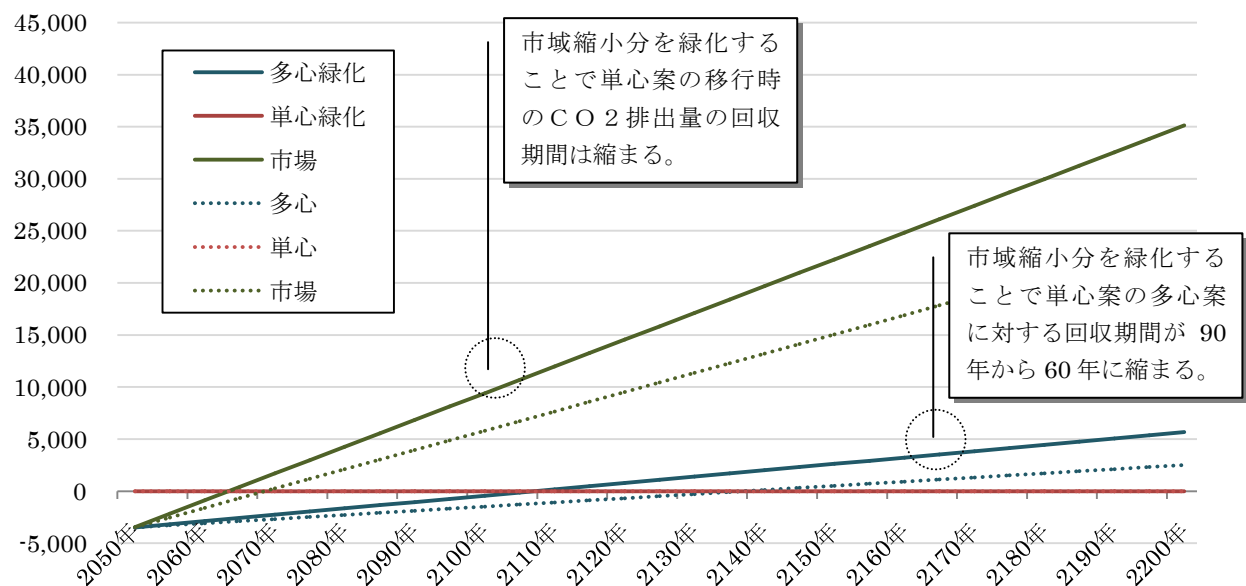
よってCO<sub>2</sub>固定効果としては多心案では  
 $1,660 \text{ (ha)} \times 30 \text{ (t-CO}_2\text{)} \div \underline{50 \text{ (千 t-CO}_2\text{)}}$   
 単心案では  
 $2,390 \text{ (ha)} \times 30 \text{ (t-CO}_2\text{)} \div \underline{72 \text{ (千 t-CO}_2\text{)}}$   
 が期待できる。

表：フローでのCO<sub>2</sub>排出量  
 (単位：千 t-CO<sub>2</sub>)

	多心	単心
合計	1,850	1,810

フローにおけるCO<sub>2</sub>排出量と比べるとCO<sub>2</sub>固定効果で得られるCO<sub>2</sub>吸収量3%ほどにあたり、それなりの割合である。緑化した場合、単心案と多心案のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の差が広がる。それによってどれくらい回収期間が変わるかを以下に示している。実線が緑化を行ったときで、点線が緑化を行わなかった場合である。市域を緑化する施策を行うことで単心案の多心案に対する移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の回収期間を90年から60年に縮めることができる。単心案の市場案に対する回収期間は20年から15年ほどに縮まる。

よって市域縮小分を緑化することによって、フローでのCO<sub>2</sub>排出量を単心案のほうがより削減でき、多心案とのフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量の差が広がる。これまで検討してきた施策では基本的に多心案に有利になる傾向があったが、単心案は緑化を施すことで大きな長所を得ることになる。



図：市域縮小分を緑化した場合としなかった場合の各案の初期建設CO<sub>2</sub>排出の回収期間

次に市域縮小分を緑化することによるコスト削減効果を試算する。

環境省の報告によると「自主参加型排出権取引制度」で取引された排出権の平均価格は1tあたり1,212円である。

これをもとに多心案、単心案での排出権の価格を算出すると一年あたりのコスト削減額は

多心案では  $50 \text{ (千 t-CO}_2\text{)} \times 1,212 \text{ (円)} \div 61 \text{ (億円)}$

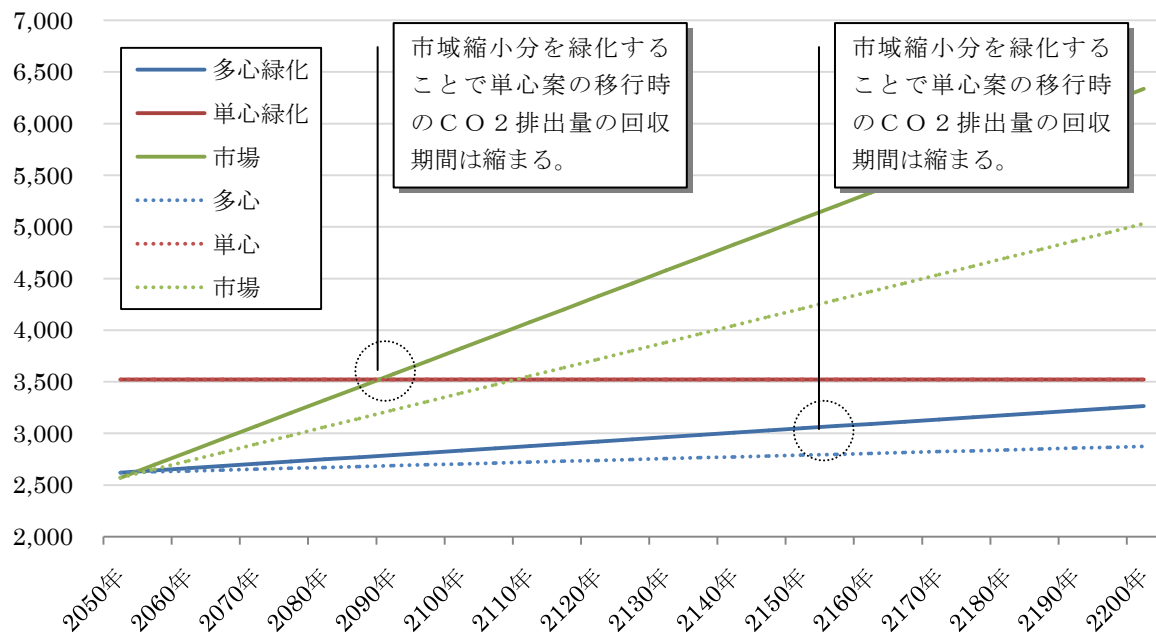
単心案では  $72 \text{ (千 t-CO}_2\text{)} \times 1,212 \text{ (円)} \div 87 \text{ (億円)}$

となる。

フローでの多心案と単心案の差は17億円であり、価格ベースでは緑化による単心案と多心案の差は大きいと言える。

緑化した場合、単心案と多心案のフローでのコストの差が広がる。それによってどれくらい回収期間が変わるかを以下に示している。実線が緑化を行ったときで、点線が緑化を行わなかった場合である。市域を緑化する施策を行うことで単心案の多心案に対する移行時の建設・廃棄によるコストの回収期間を450年から209年に縮めることができる。単心案の市場案に対する回収期間は60年から40年ほどに縮まる。CO<sub>2</sub>排出量においては緑化することで単心案にとってかなり有利となったが、コスト面においては、緑化を施しても経済面の合理性を得るには程遠い結果である。

よって緑化はCO<sub>2</sub>排出面ではかなり有効な施策であり、実施したほうがよい戦略と言えるが単心案と多心案の優位性を覆すほどではないとまとめられる。



図：市域縮小分を緑化した場合としない場合の各案の初期建設コストの回収期間

#### Cf.長岡市の森林によるCO<sub>2</sub>固定効果について

現状の森林の総面積は  $218,636,000 \text{ (m}^2\text{)} = 21,864 \text{ (ha)}$

一年あたりのCO<sub>2</sub>固定効果は

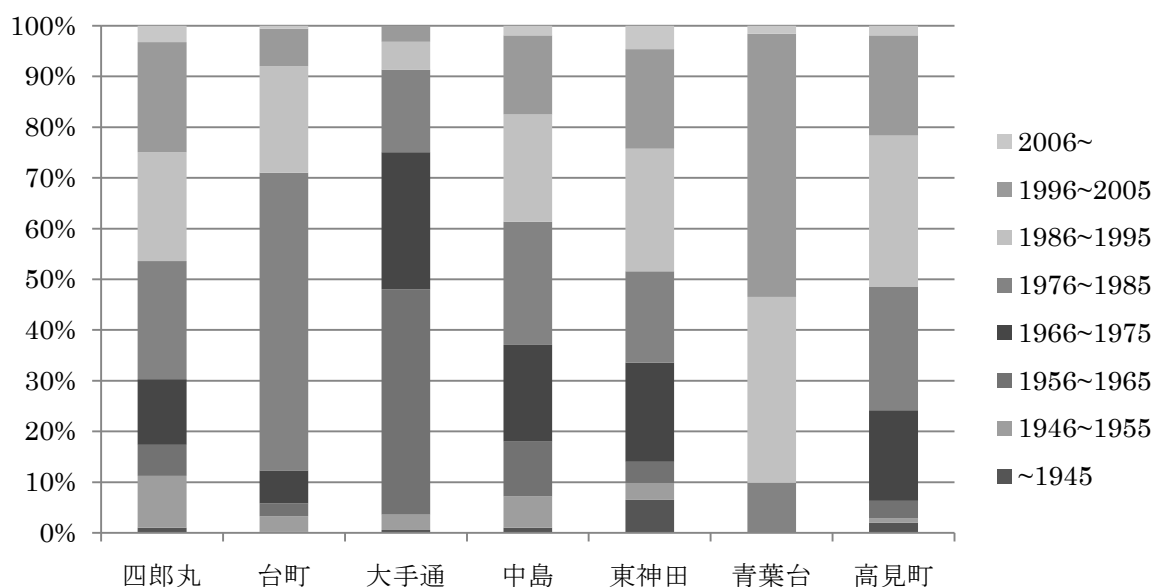
$21,864 \text{ (ha)} \times 30 \text{ (t-CO}_2\text{)} \div 656 \text{ (千 t-CO}_2\text{)}$

長岡市の排出権ポテンシャル排出権価格 =  $656 \text{ (千 t-CO}_2\text{)} \times 1,212 \text{ (円)}$

= 795 (億円)

### 6-3 市域で家屋築年数の分布を考慮した時の建設量の計算と考察

前章まででは家屋の築年数分布が市域全体で均質であるという仮定のもとで計算を行っていた。しかし、下の図からわかるように実際には長岡市においては長岡駅まわりに築年数の古いものが多く、郊外に行くにつれて築年数の浅いものが割合高く分布しているという特徴をもっている。そこでここでは築年数の分布の違いによって評価期間における建設・廃棄量がどれくらい変化するかを考察してみる。全地区データを用いて分析するのは困難なのでここではモデル的に古いものが多く分布している地域と新しいものが多く分布している地域の二つを取り、その二つを比較することで全体を考察することにする。



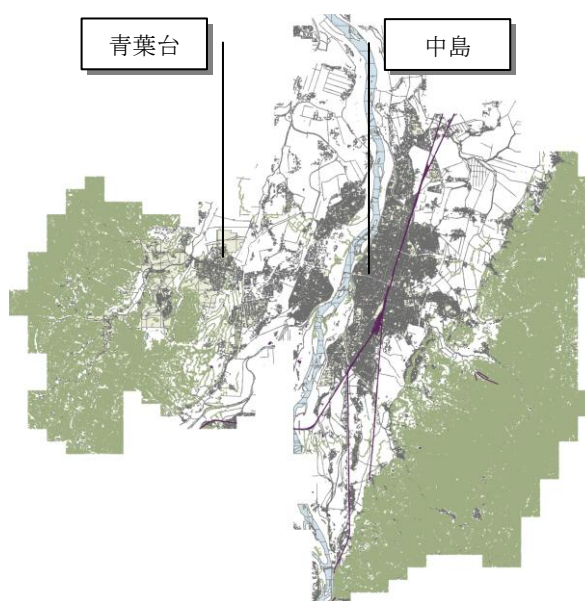
図：地域別築年数による家屋数区分

#### 築年数分布の違いによる残存率の差

二つの地区として中島と青葉台を例にとる。中島は長岡駅近くの古くから発達している地域で、青葉台は典型的な郊外のニュータウンである。立地と新旧の割合からこの2地区を選択した。

モデルとしてそれぞれ同じ総面積で2050年の残存率を計算する。木造の総面積に占める割合を84%、非木造を16%（長岡市の現在の木造住宅と非木造住宅の割合）に設定して計算している。

次の表より中島では木造の残存率が10%、非木造で29%であり、青葉台では木造の残存率が27%、非木造で61%と大きく残存率が異なるようになる。このことが移行時の建設・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量にどのような影響を与えるか分析する。



図：長岡市地図



6 各種施策による都市変革におけるCO<sub>2</sub>排出量への影響分析

表：中島での2050年の残存率

建築年次	木造家屋	残存率	2050年面積	非木造家屋	残存率	2050年面積
～S38.1.1	22,276	0	0	4,209	0	0
S38.1.2～S41.1.1	22,276	0	0	4,209	0	0
S41.1.2～S44.1.1	22,276	0	0	4,209	0	0
S44.1.2～S47.1.1	13,444	0	0	2,561	0	0
S47.1.2～S50.1.1	13,444	0	0	2,561	0	0
S50.1.2～S53.1.1	13,444	0	0	2,561	0	0
S53.1.2～S56.1.1	8,078	0	0	1,539	0.1	230
S56.1.2～S59.1.1	8,078	0	0	1,539	0.2	460
S59.1.2～S62.1.1	8,078	0	0	1,539	0.3	691
S62.1.2～H2.1.1	2,727	0	0	519	0.4	801
H2.1.2～H5.1.1	2,727	0.1	1051	519	0.5	1001
H5.1.2～H8.1.1	2,727	0.2	2103	519	0.6	1201
H8.1.2～H11.1.1	1,581	0.3	2331	301	0.7	1036
H11.1.2～H14.1.1	1,581	0.4	3108	301	0.75	1110
H14.1.2～H17.1.1	1,581	0.6	4663	301	0.8	1184
H17.1.2～H20.1.1	0	0.7	1962	0	0.85	454
合計	149,138		15218	28,407		8168
残存率			10%			29%

表：青葉台での2050年の残存率

建築年次	木造家屋	残存率	2050年面積	非木造家屋	残存率	2050年面積
～S38.1.1	0	0	0	0	0	0
S38.1.2～S41.1.1	0	0	0	0	0	0
S41.1.2～S44.1.1	0	0	0	0	0	0
S44.1.2～S47.1.1	0	0	0	0	0	0
S47.1.2～S50.1.1	0	0	0	0	0	0
S50.1.2～S53.1.1	0	0	0	0	0	0
S53.1.2～S56.1.1	4,893	0	0	932	0.1	93
S56.1.2～S59.1.1	4,893	0	0	932	0.2	186
S59.1.2～S62.1.1	4,893	0	0	932	0.3	280
S62.1.2～H2.1.1	18,242	0	0	3,475	0.4	1,390
H2.1.2～H5.1.1	18,242	0.1	1,824	3,475	0.5	1,737
H5.1.2～H8.1.1	18,242	0.2	3,648	3,475	0.6	2,085
H8.1.2～H11.1.1	25,779	0.3	7,734	4,910	0.7	3,437
H11.1.2～H14.1.1	25,779	0.4	10,312	4,910	0.75	3,683
H14.1.2～H17.1.1	25,779	0.6	15,468	4,910	0.8	3,928
H17.1.2～H20.1.1	2,396	0.7	1,677	456	0.85	388
合計	149,138		40,663	28,407		17,207
残存率			27%			61%

※築年数に対する残存率は先に用いた残存率と同じものを使用している。

## 移行時の二地区の建設・廃棄量

均質に考えた場合、木造の残存率が12%、非木造で41%、木造と非木造を合わせると16.7%が残存することになる。先ほどまでの計算ではこの残存分で、しかも新しい都市像での市域外分は6%とわずかなので強制廃棄せず残しておくという施策がとれたが、実際には郊外部分のほうが、築年数が浅く、青葉台では木造と非木造を合わせて全体の32.4%が残ることになり、強制廃棄せずには都市像を実現できない。そこで均質に考えた場合と同じ水準で新市域外に建物が残ってもいいという考えのもとで現在の市域の中心から82%までが中島、残りの外18%が青葉台というモデル（トータルで考えた場合に木造と非木造を合わせると16.7%\*が残存する割合）の場合で単心案の移行時の建設・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量を計算してみる。多心案については郊外部の残存率が高くても柔軟に対応できる案なので、違いは起こらないと考える。※木造の残存率12%、非木造の残存率41%をもとに現在の長岡市の木造、非木造の床面積の割合をかけて試算）

次の表は域外と域内とでの質に考えた場合と同じ水準にするための必要または廃棄すべき床面積の量である。下に計算例の一部を示す。

$$\begin{aligned} \text{計算例.市域外木造残存率} &= \text{市域外での中島モデルの割合} \times \text{中島モデルの木造残存率} + \text{市域外での青葉台モデル} \\ &\quad \text{の割合} \times \text{青葉台モデルの木造残存率} \\ &= (82\% - 35\%) \times 0.1 + 18\% \times 0.27 \\ &\approx \underline{0.0956} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{市域外非木造残存率} &= \text{市域外での中島モデルの割合} \times \text{中島モデルの非木造残存率} + \text{市域外での青葉台モデルの} \\ &\quad \text{割合} \times \text{青葉台モデルの非木造残存率} \\ &= (82\% - 35\%) \times 0.29 + 18\% \times 0.61 \\ &\approx \underline{0.2461} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{市域外残存面積量} &= \text{総量に占める木造の割合} \times \text{市域外木造残存率} \times \text{市域外木造残存率} + \text{総量に占める非木造の割} \\ &\quad \text{合} \times \text{市域外非木造残存率} \times \text{市域外非木造残存率} \\ &= 0.84 \times 0.0956 + 0.16 \times 0.2461 \\ &\approx \underline{0.1197} \end{aligned}$$

表：必要または廃棄すべき床面積の量

	市域外木造残存率	市域外非木造残存率	面積量	市域内木造残存率	市域内非木造残存率	面積量
モデル	0.0956	0.2461	0.1197	0.035	0.1015	0.0456
均等	0.078	0.2665	0.1082	0.042	0.1435	0.0582
差			0.012			-0.012

表から域外では家屋量の1.2%分の廃棄、域内では1.2%の建設が必要であることがわかる。長岡市の全家屋の平均原単位は496 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)、全家屋面積は19,870,785 m<sup>2</sup>なので

$$\begin{aligned} \text{追加建設CO}_2\text{排出量} &= \text{全家屋の平均原単位} \times \text{全家屋面積} \times \text{必要建設量} \\ &= 496 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 19,870,785 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.012 \\ &\approx \underline{118 \text{ (千 t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{追加廃棄CO}_2\text{排出量} &= \text{全家屋の平均原単位} \times \text{全家屋面積} \times \text{必要建設量} \times \text{廃棄/建設} \\ &= 496 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 19,870,785 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.012 \times 11/85 \\ &\approx \underline{15 \text{ (千 t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

よって合わせて 133 (千 t-CO<sub>2</sub>) に単心案の移行時の建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量に加算されることになる。

多心案と単心案のフローの差は 40 (千 t-CO<sub>2</sub>) なので、築年数の分布の違いを考慮することで単心案の移行時の建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間が約 3 年伸びることになる。単心案の多心案に対する移行時の建設・廃棄CO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間は 90 年なので、その値に対しては相当小さく、前の計算で長岡市全域を均質な築年数の分布として扱っていたことがおおむね妥当であることが確認できた。

モデルの単純化については問題があると考えられるが、長岡市の都市構造を考え、中心部に古くからの街があり、郊外は徐々に開発されてきたことを考えると、大まかには妥当なモデル設定ができていると考えられる。

#### 6-4 漸次縮退と強制縮退

ここでは2050年という移行期間の妥当性を検証する。そのために、本研究では後藤らによる都市域縮退策による環境負荷削減可能性検討のための推計システムを参照する。

後藤らの推計システムでは豊田市を対象に現状において居住人口あたり環境負荷発生量が大きく、かつ市街化調整区域やスプロールしている地域の居住者を都心付近に移転させている。都市域縮退策を実施した場合の環境負荷削減効果を分析している。

施策実施プログラムとして2つのシナリオを設定している。2005～09年の期間に、供用年数が何年であろうと全住宅・インフラを解体・移転する「①強制縮退シナリオ」と、2005年以降の各期に更新時期を迎える住宅を順次解体・移転していく「②漸次縮退シナリオ」（評価期間50年）である。

移転地区メッシュにおいては、住宅と非幹線系の道路・下水管渠・水道管を解体・廃棄する。集結地区では、施策実施時期における、その地区の居住人口あたり住宅延べ床面積・インフラ量を一定として、人口増加の割合に合わせて、新規に住宅や各インフラの整備量を決定する。

住宅はRC造集合住宅に居住すると仮定し、移転者はその土地の旅客交通関連指標(トリップ生成原単位・交通手段分担率・手段別平均トリップ長)を基に交通活動を行うものとする。

移転地区における廃棄に伴う環境負荷発生量と、集結地区における新規建設に伴う環境負荷を考慮し、かつ移転後の環境負荷発生量の推移を推計することで、施策効果を比較・分析している。

各期の環境負荷発生量の累積値を用いて、移転時に発生する環境負荷を、移転後の供用段階における環境負荷削減量をもって、何年で回収できるかを判断している。

施策を実施した場合(with)の累積環境負荷値と、しなかった場合(without)の累積環境負荷値の差を示し、②漸次縮退シナリオでは、回収に約25年の歳月を要するものの、建築物のライフタイム以内に回収可能であるという結果を得ており、また、旅客交通よりも住宅起源の環境負荷の方が縮退による削減効果が大きいと、累積環境負荷でみると、耐用年数に達していない住宅を更新させる①強制縮退シナリオは、②漸次縮退シナリオよりも累積環境負荷削減量が小さい。という結果を得ている。

この研究からわかるように**寿命を待たない縮小は余計なCO<sub>2</sub>排出を生み出すことにつながり、単心案、多心案に問わず、得策でない**。また寿命を超す移行期間をとることは建設時のCO<sub>2</sub>排出量では余計なCO<sub>2</sub>排出量はでないが、市域の縮小が遅くなることからフローのCO<sub>2</sub>排出量が増加する。よって、寿命にそって移行していくのがよいと考えられ、**2050年を移行完了期とするのは妥当である**と考えられる。

そのようなことから、移行期間を変化させても、トータルのCO<sub>2</sub>排出量の増加を及ぼすだけなので、本研究では移行期を変えた時の三案のストックとフローのCO<sub>2</sub>排出量を算出し、考察することを行わない。

6-5 移行期のフローによる単心案の建設・廃棄量のCO<sub>2</sub>排出量の回収

## 都市像ごとの経年でのフローの変化

ここでは移行時のフローによる各都市像のCO<sub>2</sub>排出量の差を大まかに計算する。都市像が人口変動に沿って順調に変わっていくものとして人口指数に合わせてフローが変化すると考える。(たいがいの住宅地はある程度区画で開発されてできているため、地域ごとで建築寿命が大体あっている。そのためある区画を丸ごと移転させ、その地区のインフラを撤去して市域を徐々に小さくできる。)

次の表は人口指数に合した場合のフローの推移である。

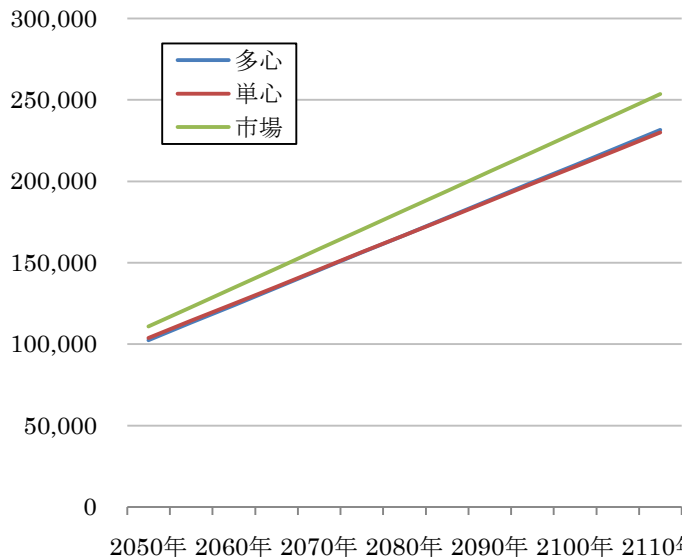
表：都市像ごとの経年でのフローの変化（単位：千 t-CO<sub>2</sub>）

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	合計
多心案	2,791	2,748	2,673	2,577	2,468	2,350	2,223	2,095	1,974	1,850	118,742
単心案	2,791	2,746	2,668	2,568	2,454	2,331	2,199	2,066	1,940	1,810	117,858
市場案	2,791	2,754	2,691	2,610	2,518	2,418	2,310	2,203	2,100	1,995	121,949

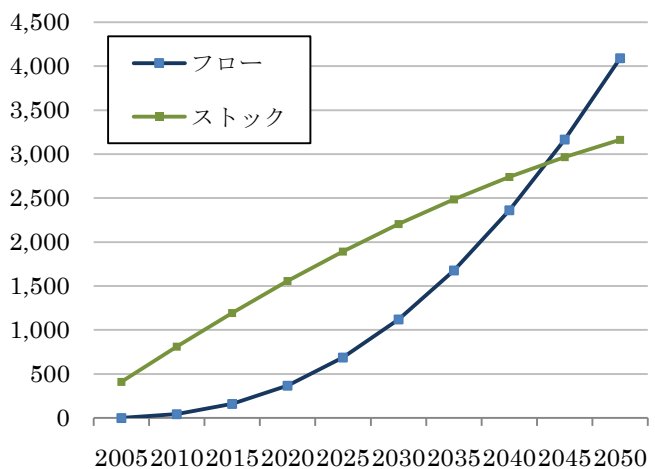
この結果から移行期の間、単心案は多心案より 884 (千 t-CO<sub>2</sub>) CO<sub>2</sub> 排出が少ない。これは完成後のフローの差、約 21 年分にあたり単心案の移行期のCO<sub>2</sub>排出量の回収期間が短くなることを意味するが、それでも多心案との差は2050年から70年たたないと回収できないということになる。

単心案と市場案の回収期間について右下図に示す。右下図は単心案と市場案のストックとフローでの経年での差の総和を示したものである。つまり2050年の値が2050年での単心案と市場案の差の合計値となっている。ここでは移行が人口減少と同じ割合で進行すると設定して計算を行っている。

はじめは単心案が市場案よりストックでCO<sub>2</sub>排出の多く、フローでは両者の差がないため、緑の線が青の線を上回っている。しかし、徐々にフローで単心案がストックでの差を回収し、45年で青の線が緑の線を上回り、ストック分のCO<sub>2</sub>排出量が回収されることがわかる。よって単心案でもライフサイクル以内で市場案に対して移行時のCO<sub>2</sub>排出量を回収できる。多心案については多心案と市場案ではストックにおいて多心案のほうが少なくフローでも多心案のほうが小さいので政策を始めた段階から多心案のほうが優位である。



図：移行期のフローを考えた時の単心案の回収期間

図：経年でのストックとフローの差の合計（単位：千 t-CO<sub>2</sub>）

## 7 最適な低炭素都市像の考察

### 7-1 完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果

前章までで多心案が単心案に比べてCO<sub>2</sub>排出量、コスト面で現実的には合理性があることが把握できた。そこで次にどのような多心案が一番効率的であるかを試算することにする。計算方法については先の各都市像を計算した場合と同じ計算方法で計算を行う。

詳しい計算過程は後の計算方法の部分に載せているので、ここでは計算途中は割愛していく。

#### a. 移行時の建築の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量

新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとすると、移行時の建築でのCO<sub>2</sub>排出量は建設、廃棄で以下ようになる。

##### 建築

$$\text{建設でのCO}_2\text{排出量} = -4,299,119 \times X + 7,736,673 \text{ (t-CO}_2\text{)}$$

$$\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = -109 \times X + 1,004,196 \text{ (t-CO}_2\text{)}$$

#### b. 移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量

さらに、新築面積と土地面積をまとめた表は以下ようになる。

表：木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を（1-X）とした時の必要土地面積

2050 年長岡市総延べ床面積の設定（単位㎡）					理想型	集合住宅：戸建＝(1・X)：X			
	2007	2050	既存	新築		床面積	容積	土地面積	
住宅	13,708,387	9,554,746	2,259,968	7,294,778	新集合ＲＣ	7,294,778×(1・X)	100%	7,294,778 × （1・X）	
					新戸建木造	7,294,778×X	50%	14,589,556 × X	
					既存住宅	2,259,968	50%	4,519,936	
業務	2,233,876	1,557,012	814,153	742,859	新業務	742,859	150%	495,239	
					既存業務	814,153	50%	1,628,306	
工場	3,569,742	2,488,110	1,326,831	1,161,279	新工場	1,161,279	50%	2,322,558	
					既存工場	1,326,831	50%	2,653,662	
学校	359,406	250,506	143,762	106,744	新学校	106,744	50%	213,488	
					既存学校	143,762	50%	287,524	
						合計	19,415,491 + 7,294,778 × X		

上の土地面積をもとに、市域面積をだし、そこから移行時のインフラの建設・廃棄量の現在総量に対する割合を出してまとめたものが次の表である。

$$\begin{aligned}
 \text{市域の減少率} &= \text{土地面積} \times \text{道路、公園率} \div \text{現在の市域} \times 100 \\
 &= (19,415,491 + 7,294,778 \times X / 1000000) \times 1.3 \div 58.7 \text{ (k m}^2\text{)} \times 100 \\
 &= \underline{43 + 16.2 \times X \text{ (\%)}}
 \end{aligned}$$

表：移行時のインフラの建設・廃棄量の現在総量に対する割合

	現状	建設	廃棄
道路	1	$0.658+0.21 \times X$	$1.229+0.049 \times X$
公園	1	0	$0.571-0.162 \times X$
下水道	1	$0.269+0.162 \times X$	0.84
上・工業用水道	1	$0.269+0.162 \times X$	0.84
都市ガス	1	$0.269+0.162 \times X$	0.84
宅地造成	1	0.1	0

以上をもとに移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

### c.移行時の建築、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量

移行時の建築、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算結果をまとめた結果は以下のよう  
にまとめられた。

表：移行時の建築、インフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

t-CO <sub>2</sub>		
建設	家屋	$-4,299,119 \times X + 7,736,673$
	学校	82,043
	道路	$557,069 + 177,788 \times X$
	都市ガス	$664 + 400 \times X$
	公園	0
	下水道	$502,438 + 302,584 \times X$
	上・工業用水道	$85,811 + 51,678 \times X$
	宅地造成	$972,332 \sim 0 \quad (0 \leq X \leq 1)$
廃棄	家屋	$-109 \times X + 1,004,196$
	学校	23,708
	道路	$335,640 + 13,382 \times X$
	都市ガス	319
	公園	$9,929 - 2,816 \times X$
	下水道	142,632
	上・工業用水道	24,360

注：宅地造成については、以下で示すが市域によって正比例でなく変化すると考えた。またインフラについてはある一定以上集合住宅化して市域を縮めると強制廃棄が生じると考えられる。その考え方について詳しくは、**7-3 理想形の考察、a.市域を小さくすることによる強制廃棄の発生**の部分で記述している。

表の結果を合計した結果、

建設・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量＝ $10,505 - 3,756 \times X$  (千 t-CO<sub>2</sub>) (宅地造成除く)

となる。

すべて戸建て住宅で更新を行った場合、建設・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量＝ $6,749$  (千 t-CO<sub>2</sub>)である。

7-2 2050年でのフローCO<sub>2</sub>の計算方法と結果a. フローの建築におけるCO<sub>2</sub>排出量

ここでも先に計算した各都市像案のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を(1-X)とした場合のフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量を計算する。以下はフローの建築におけるCO<sub>2</sub>排出量を計算しまとめた表である。

表：フローの建築におけるCO<sub>2</sub>排出量

単位：t-CO <sub>2</sub>			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	11,290 + 59,230*X	10,305+54,058*X	531+2,787*X	1,461+7,665*X
		SRC造	1,260	476	59	163
		RC造	122,410 - 115,571*X	57,349-54,145*X	5,760-5,439*X	15,841-14,956*X
		S造	5,326	2,974	251	689
		CB造	43	37	2	6
	事務所	木造	247+5,259*X	607+12,940*X	12+ 247*X	32+681*X
		SRC造	1,702	1,585	80	220
		RC造	14,392 - 11,067*X	16,832-12,943*X	677-521*X	1,863-1,432*X
		S造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	185+4,827*X	335 + 8,767*X	9+227*X	24 + 625*X
		SRC造	428	280	20	55
		RC造	14,952-13,473*X	9,757-8,792*X	704-634*X	1,935 -1,744*X
		S造	8,516	8,938	401	1,102
	学校	RC造	3,336	2,786	157	431

以上の計算結果を合計すると

建築の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量=344 - 74 × X (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

となる。

すべて戸建て住宅の場合、建築の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量=270 (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

単心案の351 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) に比べ、約8割になっている。

b. フローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量

次に道路、下水道、上・工業水道、都市ガス、公園、宅地造成は市域に比例し、その他は現在と変わらないという仮定のもと、**b.移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量**で算出した市域を使って、フローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。以下はフローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量を計算しまとめた表である。

以下の表の計算結果を合計すると

土木の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量=105+ 14 × X (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

となる。

すべて戸建て住宅の場合、建築の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量=119 (千 t-CO<sub>2</sub>/年)



単心案では 98 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) である。すべて戸建て住宅の場合、建築では単心案の場合に比べ 81 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) 小さく、土木では 21 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) 大きいので合わせると単心案のほうが 60 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) 大きくなっている。市域を小さくするより、市域は大きくなっても木造住宅を増やしたほうが建築、土木維持のフローを減らすには得策である。

表：フローのインフラにおける CO<sub>2</sub> 排出量

単位：t-CO <sub>2</sub>		建設	修繕	廃棄
土木	治山治水		23,278	
	農林水産		18,366	
	道路	7,269+2,740×X	3,517+1,326×X	2,345+884×X
	港湾空港		5,471	
	鉄道軌道		5,200	
	下水道	16,039+ 6,046×X	729+ 275×X	1,458 + 550× X
	上・工業用水道	2,742+ 1,034×X	124 + 47×X	249 + 94×X
	都市ガス	22+8×X	8+3×X	3+X
	公園		1,017+383×X	
	災害復旧		10,354	
	土地造成		1,104+416×X	
	その他		5,200	

### c. フローのランニングにおける CO<sub>2</sub> 排出量

次にランニングでの CO<sub>2</sub> 排出量を計算する。ここでも先に計算した各都市像案のフローでの CO<sub>2</sub> 排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合を X、RC 造集合住宅の割合を 1 - X とした場合のフローのランニングにおける CO<sub>2</sub> 排出量をもとめる。以下はフローのランニングにおける CO<sub>2</sub> 排出量の計算結果をまとめたものである。

表：フローのランニングにおける CO<sub>2</sub> 排出量 (単位：t-CO<sub>2</sub>)

民生家庭 (戸建)	227,108×X + 51,099
民生家庭 (集合)	162,946 - 158,972×X
民生業務	263,098
製造業	582,781
交通	78,427+313,707 × $\sqrt{(25.2+9.5 \times X)}/58.7$
農業	12,228
廃棄物	22,193

以上の計算結果を合計すると

ランニングでの CO<sub>2</sub> 排出量 =  $1,173 + 68 \times X + 314 \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X)}/58.7$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

となる。

すべて戸建て住宅の場合、ランニングでの CO<sub>2</sub> 排出量 = 1,483 千 t-CO<sub>2</sub>/年

単心案の 1,361 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) に比べ、122 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) 大きい。建築、土木維持での差は 60 (千 t-CO<sub>2</sub>/年) 単心案のほうが大きいというものだったので、戸建て住宅を増やすとトータルではフローが大きくなることがわかる。



d.フローにおけるCO<sub>2</sub>排出量

すべて合わせるとフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量は以下のようにまとめられる。

建築の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量 =  $344 - 74 \times X$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

土木の建設・維持・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量 =  $105 + 14 \times X$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量 =  $1,173 + 68 \times X + 314 \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X)/58.7}$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

となり、これらを合計すると

フローでのCO<sub>2</sub>排出量 =  $1,622 + 8 \times X + 314 \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X)/58.7}$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年) となる。

表：フローにおけるCO<sub>2</sub>排出量（単位：t-CO<sub>2</sub>）

単位：t-CO2			建設・改築	設備維持管理	建物維持管理	廃棄
建築	住宅	木造	11,290 + 59,230*X	10,305 + 54,058*X	531+2,787*X	1,461+7,665*X
		SRC造	1,260	476	59	163
		RC 造	122,410 −115,571*X	57,349 − 54,145*X	5,760−5,439*X	15,841−14,956*X
		S 造	5,326	2,974	251	689
		CB 造	43	37	2	6
	事務所	木造	247+ 5,259*X	607 + 12,940*X	12 + 247*X	32+681*X
		SRC造	1,702	1,585	80	220
		RC 造	14,392−11,067*X	16,832−12,943*X	677 − 521*X	1,863+1,432*X
		S 造	5,407	8,792	254	700
	工場	木造	185+ 4,827*X	335 + 8,767*X	9 + 227*X	24+625*X
		SRC造	428	280	20	55
		RC 造	14,952 − 13,473*X	9,757 −8,792*X	704 − 634*X	1,935−1,744*X
		S 造	8,516	8,938	401	1,102
	学校	RC 造	3,336	2,786	157	431
			建設	修繕	廃棄	
土木	治山治水			23,278		
	農林水産			18,366		
	道路		7,269+2,740×X	3,517+1,326×X	2,345+884×X	
	港湾空港			5,471		
	鉄道軌道			5,200		
	下水道		16,039+ 6,046×X	729+ 275×X	1,458 + 550× X	
	上・工業用水道		2,742+ 1,034×X	124 + 47×X	249 + 94×X	
	都市ガス		22+8×X	8+3×X	3+X	
	公園			1,017+383×X		
	災害復旧			10,354		
	土地造成			1,104+416×X		
	その他			5,200		
民生家庭（戸建）			227,108×X + 51,099			
民生家庭（集合）			162,946−158,972×X			
民生業務			263,098			
製造業			582,781			
交通			78,427+313,707 × √(25.2+9.5×X)/58.7			
農業			12,228			
廃棄物			22.193			

### 7-3 理想形の考察

先に計算したように

移行時の建設・廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量 =  $10,505 - 3,756 \times X$  (千 t-CO<sub>2</sub>) (宅地造成除く)

フローでのCO<sub>2</sub>排出量 =  $1,622 + 8 \times X + 314 \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X) / 58.7}$  (千 t-CO<sub>2</sub>/年)

である。

これをもとに理想形の新規の建設での木造戸建て住宅とRC造集合住宅の割合を検討していく。

#### a. 市域を小さくすることによる強制廃棄の発生

旧長岡市の空き家率は12(%)ほどである。

これらの空き家にも全部住むとすると  $1 \div 0.88 \approx 1.136$  (倍) 密度が高くなる。

多心案での戸建て住宅と集合住宅の割合を  $X:(1-X)$  に設定した場合の市域は  $(25.2 + 9.5 \times X) \div 58.7 \times 100$  (%) で示され、市域が最大の場合は  $X=1$  の場合で 59.1(%)

市域が59(%)になり、家屋面積が70(%)になった場合の現状に対する密度は

$1 \times 0.7 \div 0.59 \approx 1.186$  (倍)

である。

よって59(%)以下に市域を変化させようとした場合には新規に高層の建物を建てないといけなことになる。

単心案の市域34%の場合には  $1 \times 0.7 \div 0.34 \approx 2.06$  (倍) の密度となり市域内での床面積を2倍にあげないといけなことになる。

市域を小さくする時、市域を小さくしようとするほど寿命を待たない廃棄を多く生むと考えられ、その廃棄量は市域の縮小に対して比例よりかは  $X^2$  の関数に近いと考えられる。

厳密ではないが50%と100%の値に合わせて  $X^2$  の関数を当てはめてみる。

ここでは100%のとき前述のように無理な廃棄はなく  $X^2=0$  と定義できる。

また単心案の時はすべて新規開発と仮定しているので  $X^2=1$  とできる。

戸建て住宅と集合住宅の割合がある値を超えるとあとはすべて新規開発となる値があると予想されるがここでは0%の時はじめて  $X^2=1$  となるとして計算を行う。

#### b. 理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定

以上のように他の構造用途の建築についても計算した結果は以下の通りになる。

$X=0$  のときに宅地造成が100%になると考えた場合で試算する。戸建て住宅と集合住宅の割合がある値を超えるとあとはすべて新規開発となる値があると予想される。そのある値を  $X=0$  のときと設定した場合についての試算である。計算した結果は右表の通りになる。

以上をもとにフローでのCO<sub>2</sub>排出量と合わせて単心案の理想形との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係をまとめた表が以下である。赤い部分が単心案の値を超えた最初の年を示している。

表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と移行時のCO<sub>2</sub>排出量の関係

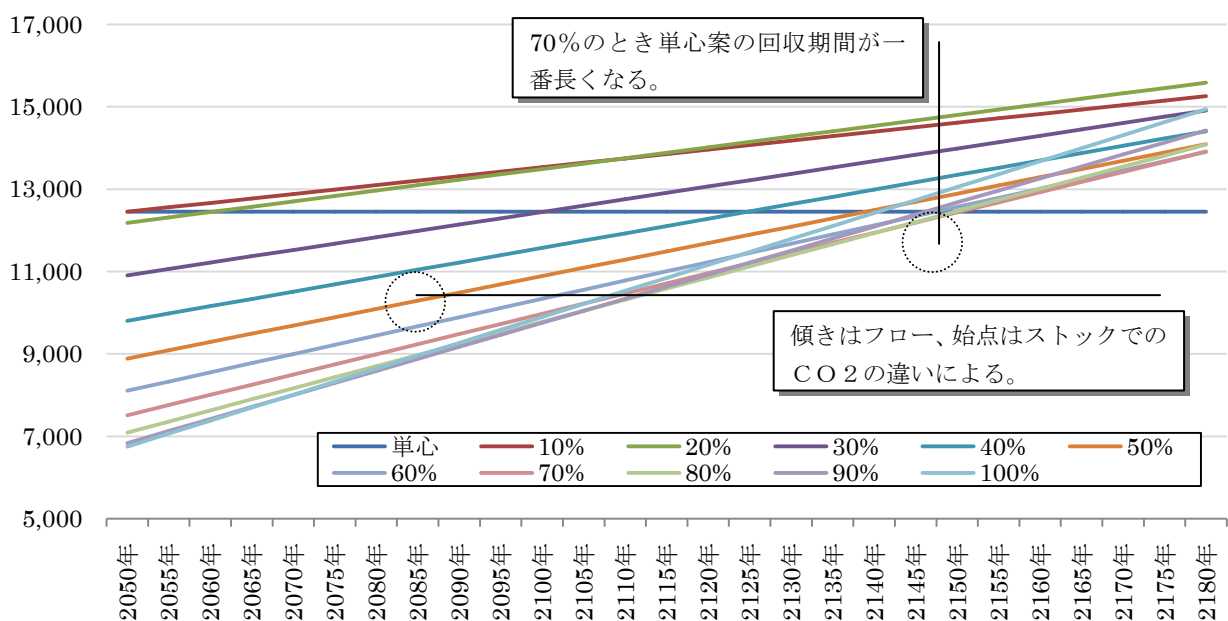
割合	比率	CO <sub>2</sub>
10%	0.81	13,683
20%	0.64	12,227
30%	0.49	10,943
40%	0.36	9,831
50%	0.25	8,889
60%	0.16	8,119
70%	0.09	7,519
80%	0.04	7,091
90%	0.01	6,835
100%	0	6,749

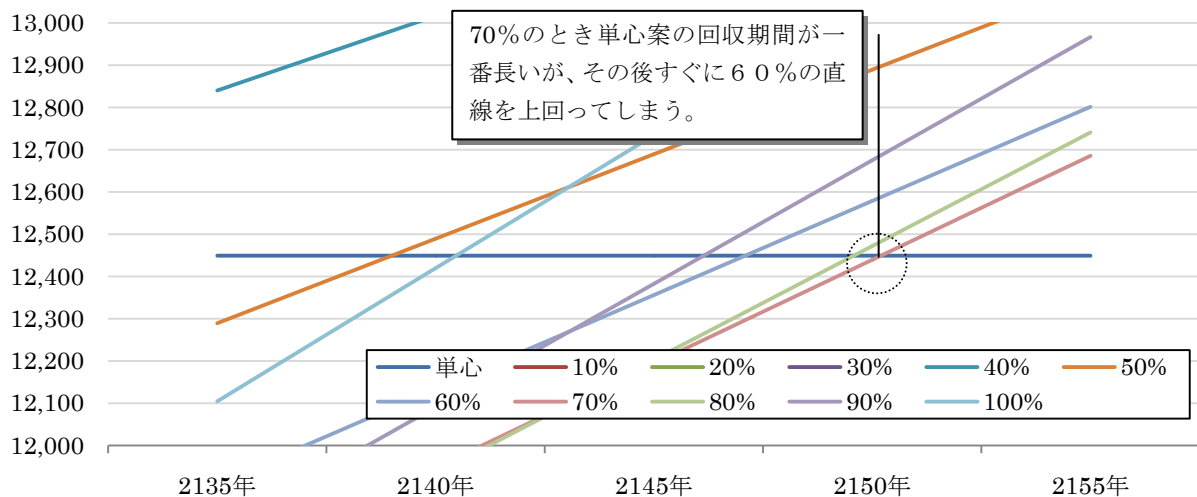
表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係

	2050年	2110年	2115年	2120年	2125年	2130年	2135年	2140年	2145年	2150年	2155年	2160年	2165年
単心	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449
10%	13,683	14,979	15,087	15,195	15,303	15,411	15,519	15,627	15,735	15,843	15,951	16,059	16,167
20%	12,227	13,799	13,930	14,061	14,192	14,323	14,454	14,585	14,716	14,847	14,978	15,109	15,240
30%	10,943	12,791	12,945	13,099	13,253	13,407	13,561	13,715	13,869	14,023	14,177	14,331	14,485
40%	9,831	11,955	12,132	12,309	12,486	12,663	12,840	13,017	13,194	13,371	13,548	13,725	13,902
50%	8,889	11,289	11,489	11,689	11,889	12,089	12,289	12,489	12,689	12,889	13,089	13,289	13,489
60%	8,119	10,795	11,018	11,241	11,464	11,687	11,910	12,133	12,356	12,579	12,802	13,025	13,248
70%	7,519	10,471	10,717	10,963	11,209	11,455	11,701	11,947	12,193	12,439	12,685	12,931	13,177
80%	7,091	10,319	10,588	10,857	11,126	11,395	11,664	11,933	12,202	12,471	12,740	13,009	13,278
90%	6,835	10,339	10,631	10,923	11,215	11,507	11,799	12,091	12,383	12,675	12,967	13,259	13,551
100	6,749	10,529	10,844	11,159	11,474	11,789	12,104	12,419	12,734	13,049	13,364	13,679	13,994

上の表の結果によると戸建て住宅と集合住宅の割合が70:30の場合単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間が最も長くなることがわかる。よって単心案に対するカウンタープロポーザルとしては戸建て住宅と集合住宅の割合が70:30で都市像を形成することが有効であることがわかる。

次に表の結果をグラフにまとめたものをのせた。直線の視点はストックに対応しており、傾きはフローに対応している。回収期間が一番長くなる部分に関してはたくさんの直線が入り混じっている。そのことから、目標を最短の戸建て住宅と集合住宅の割合が70:30に設定し、実施していった、途中で60:40や80:20になってもそれほど効果は変わらないという融通が利くということがわかる。しかし、その値から外れすぎると効果は劇的に下がることをわかる。

図：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係

図：戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係（拡大版）

### c.理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定(X=0.1のときに宅地造成が100%になると考えた場合)

次にX=0.1のときに宅地造成が100%になると考えた場合で試算する。戸建て住宅と集合住宅の割合がある値を超えるとあとはすべて新規開発となる値があると予想される。そのある値をX=0.1のときと設定した場合についての試算である。計算した結果は右表の通りになる。

右表をもとにフローでのCO<sub>2</sub>排出量と合わせて単心案の理想形との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係をまとめた表が以下である。この場合も戸建て住宅と集合住宅の割合が70:30の場合単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間が最も長くなる。

表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と移行時のCO<sub>2</sub>排出量の関係

割合	比率	CO <sub>2</sub>
10%	1.00	13,708
20%	0.79	12,247
30%	0.60	10,924
40%	0.44	9,811
50%	0.31	8,906
60%	0.20	8,141
70%	0.11	7,514
80%	0.05	7,097
90%	0.01	6,819
100%	0.00	6,749

表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係

	2050年	2110年	2115年	2120年	2125年	2130年	2135年	2140年	2145年	2150年	2155年	2160年	2165年
単心	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449
10%	13,708	15,004	15,112	15,220	15,328	15,436	15,544	15,652	15,760	15,868	15,976	16,084	16,192
20%	12,247	13,819	13,950	14,081	14,212	14,343	14,474	14,605	14,736	14,867	14,998	15,129	15,260
30%	10,924	12,772	12,926	13,080	13,234	13,388	13,542	13,696	13,850	14,004	14,158	14,312	14,466
40%	9,811	11,935	12,112	12,289	12,466	12,643	12,820	12,997	13,174	13,351	13,528	13,705	13,882
50%	8,906	11,306	11,506	11,706	11,906	12,106	12,306	12,506	12,706	12,906	13,106	13,306	13,506
60%	8,141	10,817	11,040	11,263	11,486	11,709	11,932	12,155	12,378	12,601	12,824	13,047	13,270
70%	7,514	10,466	10,712	10,958	11,204	11,450	11,696	11,942	12,188	12,434	12,680	12,926	13,172
80%	7,097	10,325	10,594	10,863	11,132	11,401	11,670	11,939	12,208	12,477	12,746	13,015	13,284
90%	6,819	10,323	10,615	10,907	11,199	11,491	11,783	12,075	12,367	12,659	12,951	13,243	13,535
100	6,749	10,529	10,844	11,159	11,474	11,789	12,104	12,419	12,734	13,049	13,364	13,679	13,994

**d.理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の回収期間の変化の測定（単心案の値を  $X^2=1$  と定義し  $X^2=1$  に達した時点からすべて新規開発と仮定した場合）**

次に単心案の移行時の建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の値を  $X^2=1$  と定義し、 $X^2=1$  に達した時点からすべて新規開発と仮定した場合について試算する。つまり、多心案の端を単心案であると考えた場合である。計算した結果は右の表の通りになる。

以上をもとにフローでのCO<sub>2</sub>排出量と合わせて単心案の理想形との移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係をまとめた表が以下である。戸建て住宅と集合住宅の割合が 70:30 の場合単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間が最も長くなることがわかる。

表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と移行時のCO<sub>2</sub>排出量の関係

割合	比率	CO <sub>2</sub>
10%	1.00	12,449
20%	0.95	12,179
30%	0.73	10,906
40%	0.54	9,803
50%	0.38	8,889
60%	0.24	8,106
70%	0.13	7,513
80%	0.06	7,088
90%	0.01	6,834
100%	0.00	6,749

表：理想形の戸建て住宅と集合住宅の割合と単心案の移行時のCO<sub>2</sub>排出量の差の回収期間との関係

	2050年	2110年	2115年	2120年	2125年	2130年	2135年	2140年	2145年	2150年	2155年	2160年	2165年
単心	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449	12,449
10%	12,449	13,745	13,853	13,961	14,069	14,177	14,285	14,393	14,501	14,609	14,717	14,825	14,933
20%	12,179	13,751	13,882	14,013	14,144	14,275	14,406	14,537	14,668	14,799	14,930	15,061	15,192
30%	10,906	12,754	12,908	13,062	13,216	13,370	13,524	13,678	13,832	13,986	14,140	14,294	14,448
40%	9,803	11,927	12,104	12,281	12,458	12,635	12,812	12,989	13,166	13,343	13,520	13,697	13,874
50%	8,889	11,289	11,489	11,689	11,889	12,089	12,289	12,489	12,689	12,889	13,089	13,289	13,489
60%	8,106	10,782	11,005	11,228	11,451	11,674	11,897	12,120	12,343	12,566	12,789	13,012	13,235
70%	7,513	10,465	10,711	10,957	11,203	11,449	11,695	11,941	12,187	12,433	12,679	12,925	13,171
80%	7,088	10,316	10,585	10,854	11,123	11,392	11,661	11,930	12,199	12,468	12,737	13,006	13,275
90%	6,834	10,338	10,630	10,922	11,214	11,506	11,798	12,090	12,382	12,674	12,966	13,258	13,550
100	6,749	10,529	10,844	11,159	11,474	11,789	12,104	12,419	12,734	13,049	13,364	13,679	13,994

## 考察

以上をまとめた結果、新築の割合が戸建：集合＝70:30 の時が単心案に対するカウンタープロポーザルとしては最も有効である。

また単心案のカウンタープロポーザルとしては最も有効だけでなく移行後 85 年がたつまでは最小の案ということになり、歴史上一つの都市形態がそれほど長く持続されなかったことを考えると最も有効な案であると言える。

新築の割合が戸建：集合＝70:30 の時、市域は  $(25.2 + 9.5 \times 0.7) \div 58.7 \approx 54.3 (\%)$   
この時全体の戸建て住宅と集合住宅の割合は 74:36 である。

フローでのCO<sub>2</sub>排出量＝1797（千t-CO<sub>2</sub>）で現状の 2,778（千t-CO<sub>2</sub>）に対して 64.7(%)の状態となる。現状が 1990 年度の CO<sub>2</sub> 排出量の 1.4 倍なので 1990 年度比は約 90 (%)

また、新築の割合が戸建：集合＝60:40 の時でも回収期間は戸建：集合＝70:30 の時とほとんど変わらない。そしてその後はフローの小さい戸建：集合＝60:40 のほうが合理的なので、実際には戸建：集合＝60:40 の時が一番有効であるとも考えられる。しかし 60:40 を目標とし、進めることで、途中で 60:40 や 80:20 になってもそれほど効果は変わらなく、政策を達成することができる。

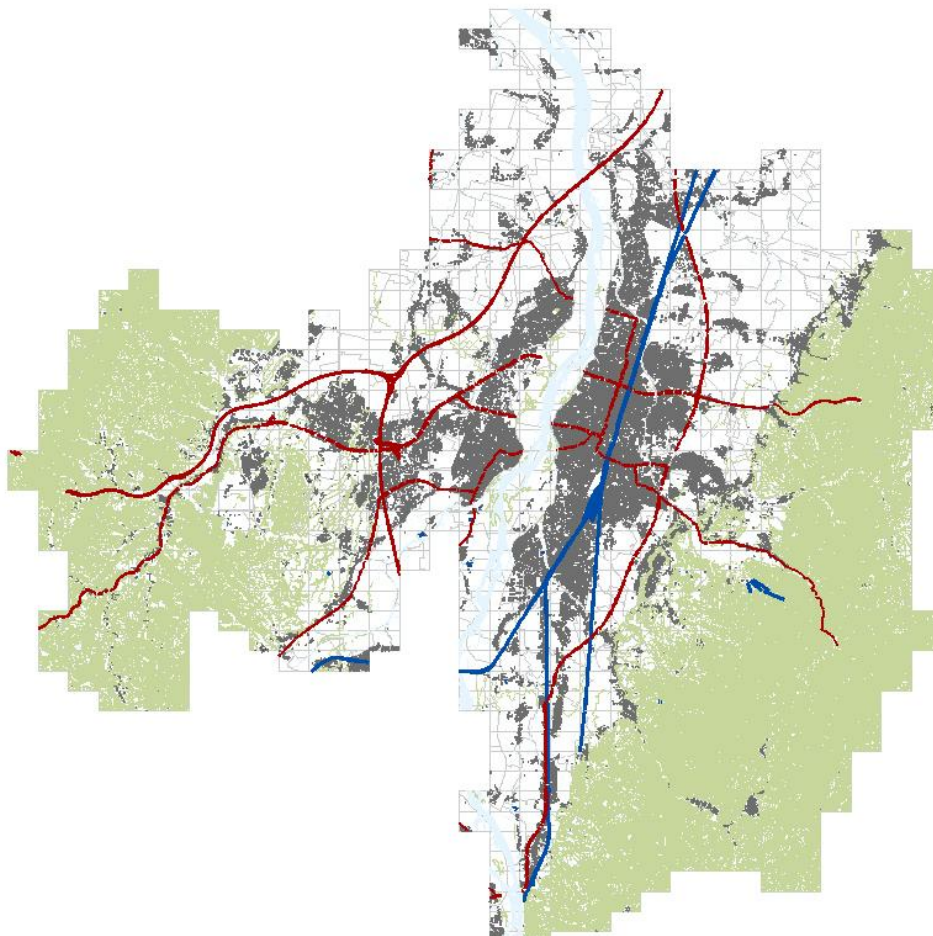
## 8 低炭素都市像に対する定性的考察

### 8-1 長岡市のインフラの整備状況

#### a. 主要道路、鉄道軌道と建物配置の関係

次に示す図は長岡市の主要道路、鉄道軌道と建物配置の関係を示した図である。川の東側では主要道路の近くに建物が分布していることが見て取れ、川の西側の高速道路沿いには建物があまり面していない。一方で高速道路のインターチェンジ近くには物流が集積しており、長岡市の基盤となっている。この道路の分布状況からすると単心案の場合国道の大部分が不要になる。しかし、国道は生活基盤として重要な役割を果たしており、多くのトリップを支えていることを考えると単心案の場合市内に大きな道路を整備する必要が出てくることがわかる。それを考えると実際には単心案は先に示した結果以上に道路整備が求められることも考えられる。逆に多心案では現存する道路沿いにうまく誘導することで整備された基盤を生かしながら都市を編成していくことができる。

また県道や国道は、他市への移動の重要な部分を担っており、いくら単心案にしたとしても、市外へのトリップが生じる。4章の三案の比較においては単心案のトリップを考えていないので、この域外へのトリップを考慮すると実際にはもっと単心案が不利になることになる。多心案では域外への主要道路を残しながらコンパクト化することができ、その点でも多心案は合理的である。



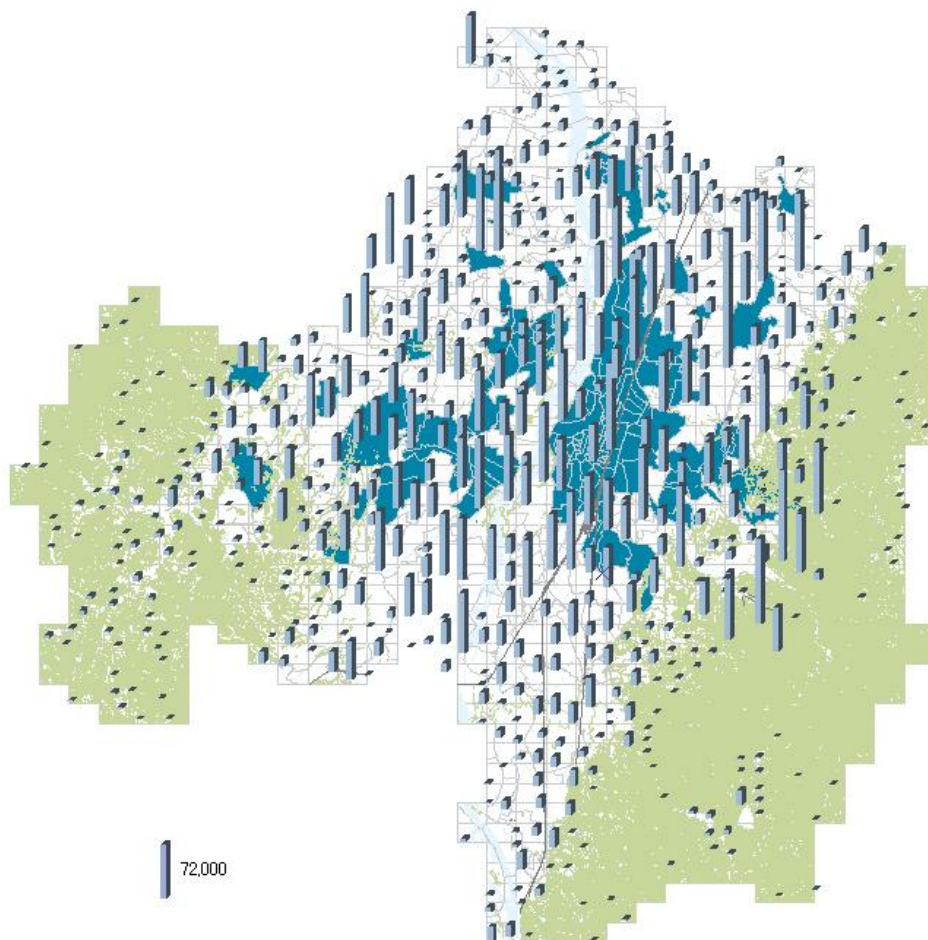
図：建物密度と主要道路の関係（GISデータと長岡市の都市計画を元に作成）



## b. 下水道整備と建物配置の関係

次に示す図は長岡市の下水道整備と建物配置の関係を示した図である。下水道は建物の密度が高い所に整備されている。また長岡駅、千秋が原を中心としたエリアから放射線状に延びているようにも見える。この分布状況からすると単心案の場合下水道の大部分が不要になる。いくら単心案をすすめて中心部に建物を誘導したとしても必ず郊外部に建物が残る。そういう場合にはそのような建物に住む人には公共衛生的な面で十分な対応ができないということになる。逆に多心案では柔軟に都市の形態を変えるながら都市構造改革を進めることができるので整備された基盤を生かしながら都市を編成していくことができる。

また長岡市では長岡駅近くで下水道整備が整っている。住宅がその中心部のエリアに移ってくるときは、想定としては建築の寿命がきたときである。単心案では郊外の住宅が中心部に移ってくるとき、集合住宅化するのに合わせてインフラを再整備する必要がある。住宅が寿命に達した時と、インフラの寿命はエリアが違う分、同じように寿命に達しているとは限らず、多くの寿命に達していないインフラの強制廃棄が生じると考えられる。そのような強制廃棄が起こるライフサイクルとして CO2 排出が増加する。またインフラを長寿命化して更新することでライフサイクルでの CO2 排出を抑えられるという案もあるかもしれないが、強制廃棄せず長寿命化したほうが CO2 排出は少ない。道路を改良してフロー面を下げればよいという案もあるが、こちらも次の参考資料で示しているように建築や土木物は改良しても製造時の CO2 排出が大きすぎて、フローでは回収できないという特性を持っているので難しいということになる。よって多心案のように既存インフラに沿いながらコンパクトしていくほうが合理的なのである。



図：建物密度と下水道整備の関係（GIS データと長岡市の都市計画を元に作成）



## 8-2 各都市像の定性的評価

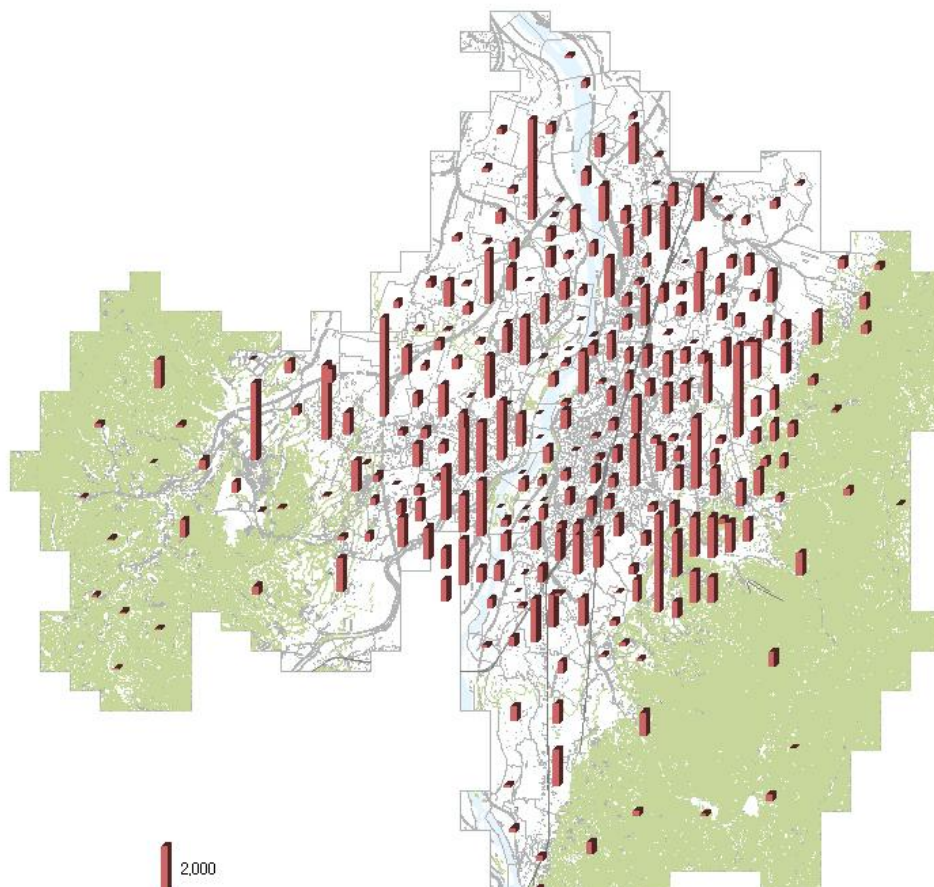
### a.人口分布からみる三案の評価

人口分布で見ると長岡駅や千秋が原といった市街郊外部も意外と人口が多い。そのエリアの人々を中心部に移すことは相当困難なことである。

単心案のように、多くの人を移動させることには根本的な難しさがある。利権関係が複雑になり、政策を打ち出しても、多くの反対者が出るであろうし、その地から動きたくないというような人々も多く出てしまう。また家屋の移行を政策で行えば、その移行のための費用が膨大な金額になる。単心案は CO2 排出量の問題より移行の難しさが一番の問題点である。

それに対して多心案ではあとにも示すように既存インフラを生かした人を誘導する戦略を打ち出せる可能性がある。また基本的には今の街を保ちながら、コンパクト化するので受け入れやすいとも言える。また郊外部分でも人口が多い地区を残し、人口を少ない所を撤退させるといったことが可能で街に柔軟に対応できる点も長所である。単心案では人口の大小に関係なく一律に中心部に移動させるので、インフラの無駄な廃棄、建設が多く生じるのである。また中心部に集めることで農地などを住宅に転用する必要があり、宅地開発などでも CO2 排出が多くなる。また単心案は徹底的にコンパクト化しなければフローが低くならないので、そのような事態が避けられないのである。

このように人口分布との状況をみても、単心案にはいろいろな問題が生じる。多心案も様々な問題はあるが単心案よりはたやすいといえることができる。市場案は今のまま何の政策も打ち出さないものなので移行自体は可能であるが、CO2 排出の多さや、インフラ維持コストが高いことなど違う面で多くの問題がある。

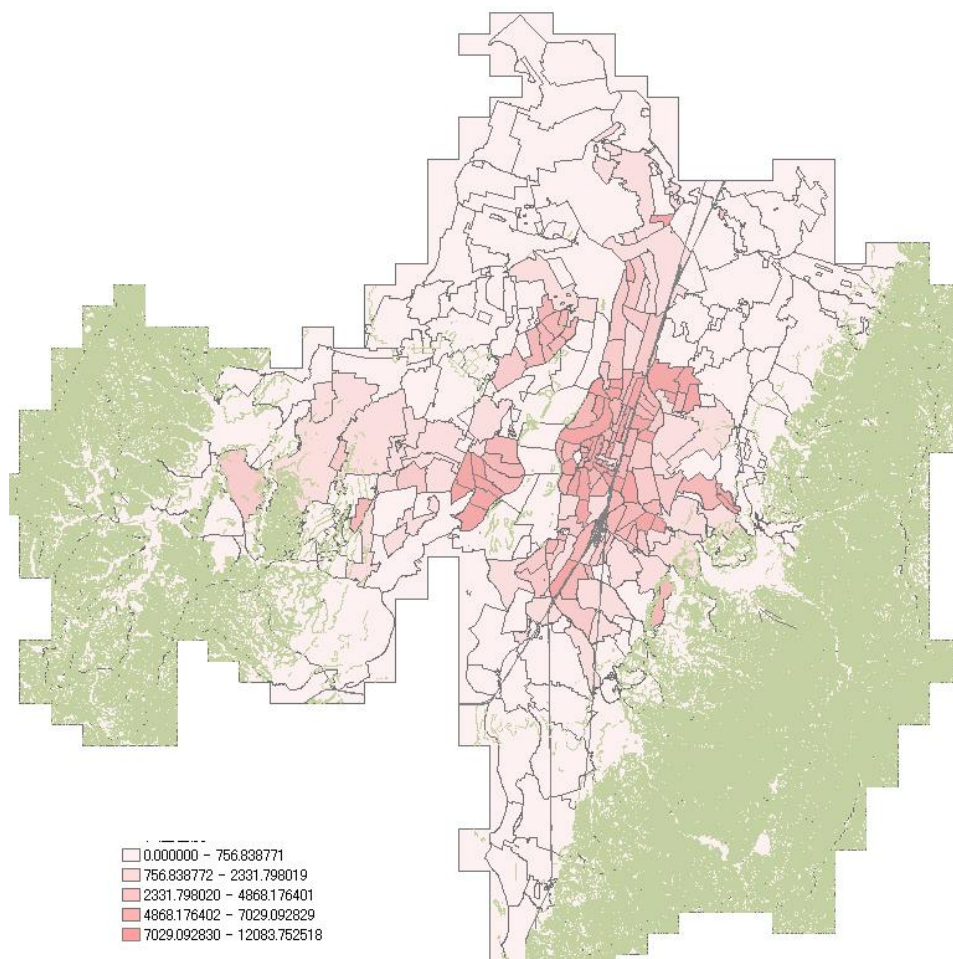


図：町丁目別人口（長岡市統計年鑑を元に GIS で作成）

### b. 密度分布から見る三案の評価

下の図は長岡市の人口密度を示したものである。これを見ると中心部で人口密度が高いことは明らかである。中心部の人口密度が高いということから単心案の問題点が浮かんでくる。単心案では郊外部の人口を中心部に移動させるため、容積率を上げることが不可欠である。そうすると集合住宅化が必須となり、中心部では比較的大きな敷地を多く要することとなる。しかし、実際には中心部では戸建て住宅が多く、一つ一つの敷地は小さい。そのため中心部では多くの敷地統合を行わなければならないのである。そうすると先ほどの郊外部からの人口移動を行うための利権関係の調整にさらに敷地を統合するという利権関係の調整が必要となってくる。さらに建物の減価償却を待って廃棄を行うとするとどうしても移行が遅れてしまい、フローの削減が遅くなり、ますます、多心案に対してコスト面、CO2面で劣ってしまう。ここでも多心案では人口密度のインフラが整っていて人口密度が低い所に人を誘導させ、全体の密度を均質化する方向にすれば、無理な開発なく、人々を移行することができる。そのとき人口密度が低い郊外部の大きな敷地には集合住宅をつくり、中心部では集合住宅化が難しい時には戸建てで人口密度を上げるといった臨機応変な戦略を立てられる。

このように人口密度の点からもやはり単心案はなかなか難しい問題を多く抱えていると言わざるを得ない。最終的にコスト、CO2排出が少なくてもそれに移行する段階で頓挫すれば意味がないのである。市場案では誘導などの問題はないが問題になるのは生活環境の維持である。市場案では誘導がないので、人口密度が激減する場所もでてくると考えられる。そういった場合にはそういう場所からは商業や公共の施設は撤退していくので歯抜けになって、人々が取り残されることになる。



図：人口密度（長岡市統計年鑑を元に GIS で作成）

### c. 規制でのコンパクト化推進の問題

単心案は言うまでもなく、コンパクト化の程度低い多心案にしても、既存の市街地をコンパクトにするために、現在の郊外の居住地の一部を非市街地に変えて行かなければならない。つまり極端なダウンゾーニングすることになる。市街地から外されることになる郊外に土地を求め、住宅を建てたり店を出したりした人は、不要な移転とそれに伴う膨大な出費を強いられて大きな経済的、精神的損失を被る。その一方で、今は空洞化し地価も下がり続けている中心部に人為的に需要を作り出すことになり、都心の地主は漁夫の利を得る。市街化地域を狭く定め直す規制的方法でコンパクト化を実現するためには、一方の利益を他方の不利益に転換する仕組みが必須である。従来 of 代表的な方法では公共が買収する方法、つまり税金で補填する方法はもっとも考えやすいが、買収価格を合理的に決める市場的論理がないため政策価格になり、モラルハザードを起こしやすく、かつ地価が高止まりし、結局市民の利益にならない。コンパクト化による都市全体の利益増大を上手に吸い上げ、それを合理的な方法で地権者に配分するシステム、例えば土地の所有権の債券化などを検討する必要がある。それがなければ、結局市場に都市形態を任せる市場案「散在する空地をもつ市街地」を選ばざるを得ない。

また、工場、流通施設等もコンパクトシティのなかに集中させないと交通量を減らすことができないが、一方で用途の過度の混合は公害等の問題を発生する危険性を増すという矛盾にぶつかる。

### d. 誘導でのコンパクト化推進

規制的方法の他に、コンパクト化が自然におこるように、つまり、多くの市民にとって、どこかに住む方が有利で快適な状況を作り出すことも考えるべきである。魅力の無い都市は持続可能ではない。では、地方都市で集中がメリットを生む芯とは何であろうか。それは市役所や、病院や、ショッピングモールなど単体の施設では芯になり得ない。そうかといって、日本の大都市圏と違って、鉄道駅は地方中小都市では中心性をもてない。大都市圏の住宅地や周辺の中小都市では、鉄道駅が市民の日常生活の通勤や買い物などの欠かせない足となっているので、駅近くに住むことは確実に「便利」であり、多くの人にとって他の居住条件を犠牲にしても住みたい場所の一つとなっている。つまり、市場原理に任せても駅周辺の高密居住が実現されるという意味での中心性をもっている。現代都市においてける交通の重要性は言うまでもない。移動手段によって都市形態が決定されていることを改めて確認しなければならない。

地方都市では、自家用車の普及が都市形態の拡散を押し進めているのである。しかし、自家用車しか移動手段が選べない状況は、地球環境問題を別にしても、社会的弱者、特に低収入層や高齢者にとっては極めて深刻な状況である。もし、地方都市で革新的に充実した公共交通が整備されれば、路線沿道の地区が、他の地区に対して優位性をもつことになり、コンパクトな人口配置を誘導すると考えられる。コンパクトな人口配置と公共交通のシステムの間の関係は鶏と卵の関係である。

ただし、現在人気のある軌道系は設置費が高価であること、そして、今後の縮小を考えた時、機動的な対応がしにくいことなどを考えると不利である。日本では過小評価されているが、やはり、可能性があるのはバスだろうと思われる。通常バスは軌道系に比して不便とされるが、それは比較が同じ条件でなされていないからではないか。これまでの交通システムとしてのバスには、軌道系に比べて余りに投資がなされず利用しにくいものであった。軌道系に匹敵する専用レーンの設置、連接バスなどの導入による輸送力の確保、駅施設の充実による乗降時間の短縮と待ち合い時間の快適化などを果たせば同等になる言える。しかも、軌道系にはできないオンデマンド運行等、運行の柔軟性において優れている。また、現在は内燃機関で動いているバスも今後の電気自動車や燃料電池の発達によって環境問題は克服出来る。バスの利用率が低いのはバスの問題でなく、バスの扱いである。ブラジルのクリチバ市などの先進事例が示す様にそれなりの投資をすれば効果が現れるのである

## 9 全体のまとめ

---

### 9-1 今後の研究に向けての問題点整理

今後都市におけるCO<sub>2</sub>排出量またはその他環境負荷に関する研究する上で問題となるべき点をあげる。

#### a. 原単位の未整備

CO<sub>2</sub>排出量に関する研究についての問題として原単位の未整備があげられる。現在建設のみが原単位として整備されている。廃棄については、地域ごとに廃棄物処理の仕方が異なることや廃棄の境界（リサイクルを行うかなど）を設定するのが難しいなどの問題があり、原単位が整備されていない。しかし今回のような、都市の再編を問題とした研究を行う場合には、廃棄活動によるCO<sub>2</sub>排出もばかにならない。そのようなことから廃棄の原単位の整備を行うことで、今後の都市の再編に関する研究をより正確に、より精密に行うことができる。

※今回は、ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量に占める建設、維持、廃棄の内訳を示している「都市インフラストラクチャーの構築におけるCO<sub>2</sub>排出量（電力中央研究所）」をもちいて原単位を分析した。しかし、やはり同じ基準で建設も廃棄もインベントリ分析された原単位を用いたほうがより正確に、結果を算出できる。

#### b. 都市に関する事象の複雑さ

今回のような都市の再編に関する研究を行う場合、都市再編による様々な波及効果を算出する必要がある。例えば市域の減少によりトリップ長の短縮が起きると考えられるが、実際市域の短縮でどれだけトリップ長が減るかなどは把握が困難である。また都市再編によって人々のライフサイクルにも影響を与えると考えられる。例えば公共交通の改善で自動車の使用が減り、公共交通のトリップ分担率が高まるなどである。また集合住宅化でエネルギー効率以外にもどれほど波及効果があるかなど、波及効果の境界設定も難しい。そうした点から、都市の再編に関する研究を行うためには様々な都市現象を理解するための研究がおこなわれる必要があり、さらにそれらを統合する形で都市の再編について議論がなされる必要があるのである。

※本論では、都市再編の波及効果を①市域の縮小による平均トリップ長の短縮②集合住宅化によるエネルギー効率の向上、の2点だけを扱った。これはある程度波及効果のおおまかな把握が行え、さらに効果としておおきなもので、これらの効果を取り入れなければ、都市の再編を評価できないと考えたからであり、実際にはこれら以外の波及効果が多くあると考えられる。それらを取り入れて、評価できればより都市の再編を多面的に考察できると考えられる。

#### c. 仮定の設定の難しさ

今回は様々な仮定を設定しながら、都市の再編に関する研究を行った。そこにも都市というものが多い要素で構成されており、複雑なものであるがために設定が難しい点も多くあった。そのあたりについて考察する。例えば人口推計があげられる。都市の再編は人口や世帯の増減に大きく左右される。人口によって、必要な床面積が判断でき、床面積がわかれば都市のイメージが見えてくる。そのように人口は都市を大きく左右する。人口推計は国立人口問題研究所によって研究が進められているが、それはある程度正確であるとは考えられるが、実際のところ外人の流入や、都市間の社会的流動

などの把握はかなり困難である。

他に先にあげた波及効果の設定などがあげられる。先にあげていない要素で言うと、市域縮小による強制廃棄の量があげられる。市域を小さくしていく時、特に集合住宅化していく時には多くの強制廃棄が生じる。しかし実際にどれくらいの強制廃棄が生じるかを厳密に算出することは難しい。このように、設定の難しさが今後の都市再編の研究には付きまとう。そのため、多くの基礎研究が求められる。

※今回は国立人口問題研究所の中位推計をもとに都市再編を評価した。もっとも一般的なデータであると判断したからである。低位推計、高位推計についても検討すればよりよかった。強制廃棄については、考えられる量を定めた。実際、強制廃棄量によって単心案は左右されるので、強制廃棄量のより正確な算出方法の開発が求められる。

#### **d.資料について**

今回は研究を行う上で、さまざまな資料を用いた。そこで、また難しさがある。例えば土木の建設による CO2 排出量を算出するのに土木工事費が必要であった。そのため、土木工事費のわかる、長岡市の決算書を用いた。都市の定常状態を把握するためには 10 年ほどの資料が要する。しかし、長岡市は過去 10 年の間に大幅な市町村合併を行った。そのため、過去をさかのぼってのデータを把握することが困難であった。このように資料を手に入れようと考えても、入手が困難であることが都市の研究には付きまとう。また、土木工事の中で宅地造成などは市や県のデータでは把握できないため、平均施工単価などを用いて計算を行った。そこには、根拠があるが、それでも土木工事による CO2 排出量を求めるなかで、そのもとになる資料の出典が統一できないのは、多少正確さがおちると考えられる。

#### **e.精度について**

本研究では様々な資料を用い、いくつかの仮定を設定し、CO2 やコストの評価システムを構築し、評価を行った。その中で、注意する必要があるのは、計算結果の精度は、資料や仮定の中のもっとも精度の低いものにあってしまう点である。つまり、すべての資料の精度をそれえなければ精度が上がらないということである。その点に注意して資料を集め、仮定を設定する必要がある。

#### **f.市の統合と枠組み**

今回は長岡市全域を扱った。前述したように長岡市は近年、二度の合併を繰り返した。そのため、旧市町村を統合した資料が手に入れにくかった。また今回の研究では、時間の問題もあり都市をある程度均質化、モデル化して評価することになった。実際、さまざまな特徴をもった地域で市が構成されているので、さらに地域差をもっと正確に取り入れて検討することでより、地域に根ざした結果を生みさせたかもしれない。

#### **g.評価する視点の多様性**

本研究では主に CO2 排出量、コストの面から人口減少、高齢化、環境問題をテーマにした都市の再編について評価を行った。その中で、CO2 排出量とコストを基にただ数字の比較だけでなく政策面も考えながら評価を行い、さまざまな示唆を得た。しかし都市の再編を扱うにはもっと様々な検討や提案が求められる。多心案に誘導するための戦略や、コンパクト化で取り残された集落に対するサポートの提案など、都市像を強化するための様々な提案や研究が求められる。



## 9-2 全体のまとめ

今回の研究成果をコンパクトにまとめると

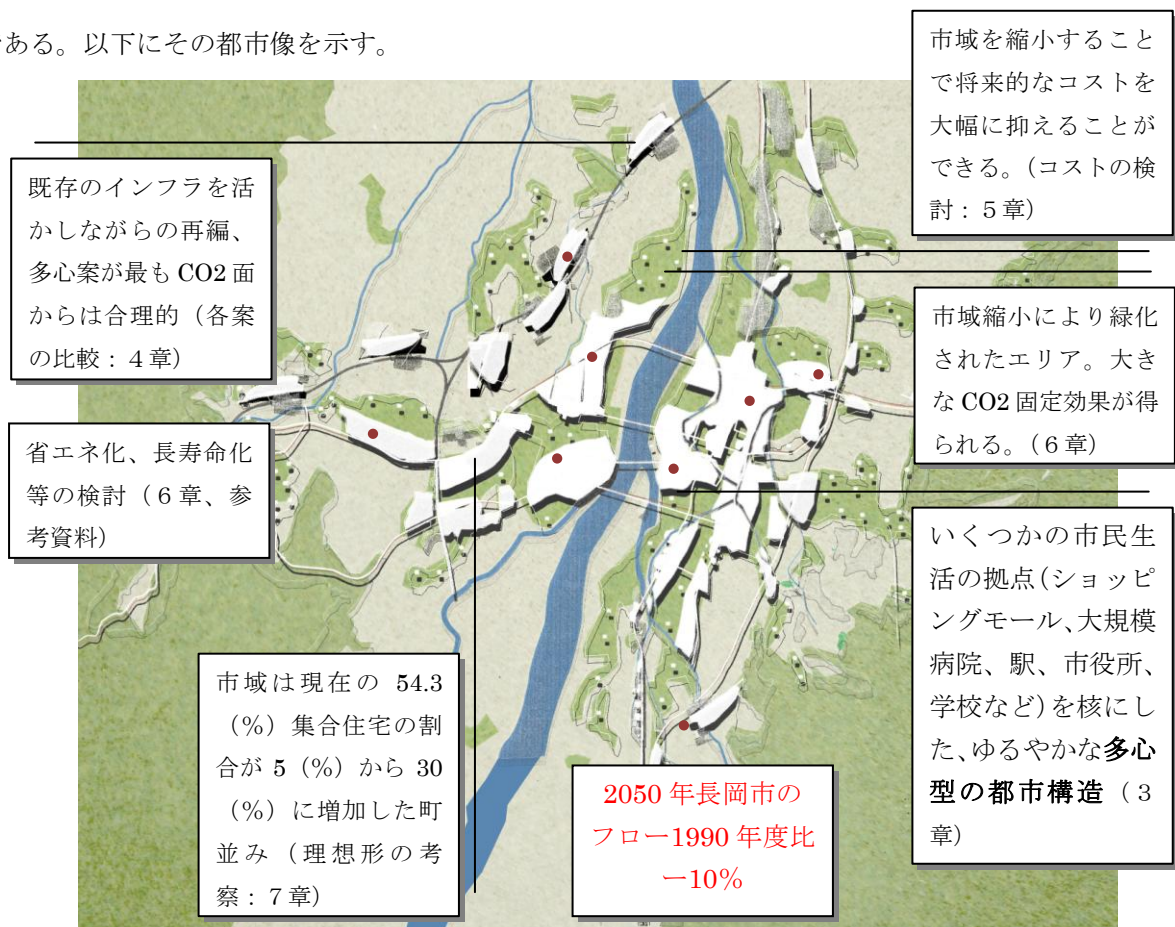
**今すぐ理想形（住宅更新において戸建て住宅：集合住宅の割合が 70:30 の場合）の多心案にむけて、建物の寿命に合わせたペースで都市の再編を進めるべきである！**

ということである。

その案にさらに加えたほうが施策として、以下があげられる。

- ①市域の縮小によって生じた空地进行緑化すべきである。緑化することで大きな CO2 固定効果が得られる。
- ②建物やインフラの高性能化、長寿命化をしながら、建物の更新を行っていくべきである。それにより、大幅にフローでの CO2 排出量を抑えられる。
- ③既存道路に周辺に誘導する形でコンパクト化し、他市町村まで続くように市域を形成したほうが良い。そのことで域外へのトリップによる環境負荷を下げるができる。
- ④強制廃棄を少なくするように、建物を移転すべきである。強制廃棄の量でライフサイクルでの CO2 排出量はかなり変わる。
- ⑤空地に合わせて、建物の種別を決定すべきである。集合住宅化するために寿命の残っている建物を廃棄してまで集合住宅化することは得策でない。郊外の低密度の部分で大きな敷地があるような宅地に集合住宅を建てて、なるべく全体の密度を平均化しながら、コンパクト化していくことで、移行時の CO2 排出量を減らすことができる。

である。以下にその都市像を示す。



図：2050 年の長岡市の都市像（多心型）

## 結果のまとめ



単心案

多心案

市場案

各章で得られた結果をまとめる。得られた結果を導き出す過程で設定した仮定をまずまとめる。

- ・ 2050 年の人口指数は 69.7 で人口は 19.8 万人（現在は 28 万人）（3 章）
- ・ 床面積の減少は人口指数の減少に一致すると設定した。つまり 2050 年でも一人当たりの床面積は変わらない。（長岡市の一人当たりの床面積は 48 m<sup>2</sup>で全国平均に比べて十分大きい）（3 章）
- ・ 単心案：R C 造の高層集合住宅だけで新規建設を行うことでできるだけ市域を縮小する（寿命を待たない強制廃棄あり）（3 章）
- ・ 多心案：新規建設の半分を R C 造の高層集合住宅で行い、半分を木造の低層戸建て住宅でおこなうことでバランスのとれた都市像を目指す。（寿命を待たない強制廃棄なし）（3 章）
- ・ 市場案：現在と変わらない用途構造別の割合になるように新規建設が行われる。（寿命を待たない強制廃棄なし）このシナリオでは市域を減少させるような誘導はなく市域はそのまま歯抜けの街になっていく。（3 章）
- ・ 多心案（更新の際、集合住宅：戸建て住宅 1:1 のとき）では強制廃棄はない。単心案（更新の際、すべて集合住宅）ではインフラでの強制廃棄分を市域の 50%分見込んでいる。（4 章）
- ・ 交通での CO<sub>2</sub> 排出量は市域の平方根に比例する。自動車、バスを合わせたトリップ分担率は 8 1（%）（4 章）
- ・ 集合住宅は戸建て住宅の 7 0（%）のエネルギー消費である。（4 章）
- ・ 緑地の CO<sub>2</sub> 固定効果は 1ha あたり 30t・CO<sub>2</sub>/年（6 章）
- ・ 家屋の平均寿命は木造で 47 年、非木造で 57 年。耐用年数は道路で 30 年。下水道、上工業用水道、都市ガス 50 年。公園、港湾空港、修繕のみ。（1 章）

次に結果をまとめたものを示す。

- ・ 多心案や単心型のほうが完成系でのフローは小さいが、移行時の CO<sub>2</sub> 排出量を補うのには 90 年ほどかかることがわかった。（多心案が集合住宅：戸建て住宅=1:1 の場合）（4 章）
- ・ また多心型でも集合住宅（R C 高層）と戸建て住宅（木造低層）の割合が 70:30 の時、単心案に対しては最も有効でその時単心案の多心案に対する移行時の建設・廃棄による CO<sub>2</sub> 排出量を回収するのに 105 年を要することがわかった。またひとつの都市形態が長い間持続されることは歴史的にほとんどないことを考えると、この案が最も有効であると考えられる。（7 章）



- ・ 集合住宅（ＲＣ高層）と戸建て住宅（木造低層）の割合が 70:30 の時、単心案に対するカウンタープロポーザルとしては最も有効であるが、この割合が 60:30 や 80:20 でもかなり効果を得られる。したがって、集合住宅（ＲＣ高層）と戸建て住宅（木造低層）の割合はある程度の幅をもって有効であり、移行途中で 70:30 を完全に達成しなくてもよい、柔軟さがある。（7 章）
- ・ コスト的にみてもフローでは単心案が最小であるが移行時でのコストを回収するのにはＣＯ２の回収期間より長い期間かかることがわかった。また移行時の建設・廃棄によるコストは多心案が一番低く、多心案は経済的には合理的であることがわかる。（5 章）
- ・ 市域の減少分を廃棄せずに置いておくことはＣＯ２排出量で言うと約 300（千 t-CO2）にあたり森林のＣＯ２固定効果に換算すると長岡市の市域 841 k m<sup>2</sup>を超える 1,000 k m<sup>2</sup>分の効果に匹敵する。しかし、市域の差による廃棄量の差で単心案の多心案に対する移行時のＣＯ２排出量の差を埋める回収期間への影響はあまりない。またコスト的には多心案と、単心案では約 600 億円の効果が得られ、移行時全体の建設・廃棄コストからすれば小さいが、その分で医師 80 人（現在の長岡市の医師数は 400 人）を 50 年間雇える計算になり高齢化した時の公的資金としての役割としては十分な大きな額である。（6 章）
- ・ 市域の減少分を、植林して得られるＣＯ２固定効果はかなり大きい。多心案で 50（千 t-CO2）、単心案で 72（千 t-CO2）の一年間あたりの CO2 固定効果が得られる。これらは完成後のフロー（ランニングと建築、土木維持の合計）での CO2 排出量の 3（%）ほどを占める。この施策を行った場合、単心案の多心案に対する回収期間は 70 年になる。また CO2 排出権ではいくらになるかを試算した。（6 章）
- ・ エネルギー効率がよくなるとフローで移行時のＣＯ２排出量の差を埋める単心案にとっては不利になる。（省エネ化で単心案の多心案に対する回収期間が長くなる。）（6 章）
- ・ 移行でのＣＯ２排出に対して家屋の占める割合は大きい。移行の期間を短くすると多心案の寿命を待たない家屋の強制廃棄が発生し、単心案との移行時のＣＯ２排出量の差が縮まるので、家屋の平均寿命（長岡市では 45 年程度）以上の移行期間をとったほうがいい。（6 章）
- ・ 長岡市の住宅の地域別の築年数を考慮すると築年数の小さい郊外部を縮小する単心案はますます不利になる。しかし、地域別の築年数を考慮した場合の建設・廃棄量は全体に対して相対的に小さいのでその差はあまり効いてこない。（6 章）
- ・ エアコンなどの消費財の一部は製造時のＣＯ２排出量をランニングのＣＯ２排出量で短期間にペイできる。それに対して建物は建設時のＣＯ２排出が大きいので現在の寿命では建設時のＣＯ２量をランニングでペイできない。そのため、強制廃棄を行うことはＣＯ２排出削減にとって不利になる。（参考資料）
- ・ 移行期間中（市域の縮小を人口減少と同じ割合で縮小していった場合について検討）のフローでの回収を考慮すると単心案の多心案に対する回収期間は 70 年になる。（6 章）
- ・ CO2 の面でも経済の面でも、また既存の長岡市との関係など多角的な面からいって多心案は他の 2 案より合理的である。（5 章）

- ・ 今後は市域を縮小してもインフラ維持費などの個人への負担が増す。早く移行していかなければ、移行を行うための資金が枯渇してコンパクト化できなくなるばかりか、今後都市を維持できなくなる。(5章)
- ・ 理想形の集合住宅(RC高層)と戸建て住宅(木造低層)の割合が70:30の場合、フローでのCO<sub>2</sub>排出量は1,797(千t-CO<sub>2</sub>)で現在のフローの64.7(%)である。現在が1990年に対して1.4倍のCO<sub>2</sub>排出量になっていると言われているので、1990年度比は約90%で京都議定書の-6(%)の二倍ほどCO<sub>2</sub>排出を削減できている都市である。(7章)

### 9-3 終りに

今後、40-50年の間に人口が3/4から2/3に減少するとなると、消滅する都市も確実に発生するであろう。そのような荒波を乗り越え、環境的にも社会的にも持続可能な都市を目指さなければならない。そうしなければ都市を維持できなくなるのは、インフラ維持費の検討など本研究からも明らかである。人口が縮小すれば当然経済力も縮小せざるを得ないのだから、これまでのように、都市への投資が人口増、経済力の強化に結びつくと考えるのは極めて危険な戦略となる。企業と同じ様に、都市も身の程を越えた投資をすれば設備過剰によって必ず都市経営を圧迫し、衰退の道を却って早める。投資を適切にコントロールして活動規模に相応しい都市形態に導き、その過程で、これまで日本の都市では軽んじられてきた「都市に住む喜び」や「快適に暮らせる」という価値を高める工夫が必要である。こうすることで初めて都市の持続能力が高まる。コンパクトシティは環境問題の解決であると同時に都市経営の重なる戦略として位置づけられなければならない。放っておくと、何も手を打てない状況に陥ってしまう。都市の縮小に向けた早期の計画検討並びに実行が求められる。

## A 参考資料

A-1 消費財の製造とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量について

ここでは消費財の製造時とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量を求め、それを比較することで消費財が省エネ化されたときに製造時のCO<sub>2</sub>排出量をランニングのCO<sub>2</sub>量の小ささで回収できるかを検証し、さらに都市構築物と消費財のCO<sub>2</sub>排出の違いを考察する。

a.消費財の製造時とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量の計算

計算の仕方としては、はじめにランニングでの総CO<sub>2</sub>排出量を消費電力と消費財の寿命から算出する。そのあと使用段階のCO<sub>2</sub>排出量に対する製造段階のCO<sub>2</sub>排出量の比から製造時のCO<sub>2</sub>排出量を算出する。

使用段階のCO<sub>2</sub>排出量 (kg-CO<sub>2</sub>) = 総消費電力 (kwh) × 電力のCO<sub>2</sub>原単位 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh)

製造段階のCO<sub>2</sub>排出量 (kg-CO<sub>2</sub>) = 使用段階のCO<sub>2</sub>排出量 (kg-CO<sub>2</sub>)

× 製造段階/使用段階のCO<sub>2</sub>排出量の比

電力のCO<sub>2</sub>原単位は全国10電力会社平均単価である0.41(kg-CO<sub>2</sub>/kWh)、1kWh=22円を使用する。素材製造段階と使用段階でのCO<sub>2</sub>排出量の比と各消費財の性能データについては環境省が公表しているものを使用する。

表：消費財別素材段階と使用段階のCO<sub>2</sub>排出量の比（出典：環境省）

	蛍光灯	エアコン	テレビ	パソコン
素材製造段階CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
使用段階CO <sub>2</sub>	180	39	25	2

## 蛍光灯

次に示す表は比較する蛍光灯の性能データを示したもので赤色部分が計算に使用する部分である。

表：新旧蛍光灯の性能データ

サブカテゴリ	直管型	直管型
製品名	1 (旧型)	2 (新型)
型式	基準モデル	基準モデル
点灯方式	高周波点灯専用型	高周波点灯専用型
光色	昼白色	昼白色
色温度[K]	5000	5000
全光束[lm]	4000	4000
定格寿命[時間]	9000	9000
寸法 (幅・径) [mm]	φ16	φ16
寸法 (長辺) [mm]	380	380
寸法 (短辺) [mm]	340	340
大きさ[形]	34	34
重量[g]	150	150
定格消費電力[W]	48	43
エネルギー消費効率[lm/W]	83.3	93.8

定格寿命

定格寿命使った時の総消費電力は製品 1 で  $48 \times 9000 \div 1000 = \underline{432(\text{kWh})}$

製品 2 で  $43 \times 9000 \div 1000 = \underline{387(\text{kWh})}$

それぞれの使用段階での CO<sub>2</sub> 排出量は

製品 1 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{177(\text{kg-CO}_2)}$

製品 2 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{159(\text{kg-CO}_2)}$

素材製造段階での CO<sub>2</sub> 排出量は

製品 1 の CO<sub>2</sub> = 使用段階での CO<sub>2</sub> × 蛍光灯の素材製造段階での CO<sub>2</sub> / 使用段階での CO<sub>2</sub> の割合  
 $= 177(\text{kg-CO}_2) \times 1/180$   
 $\div \underline{0.98(\text{kg-CO}_2)}$

製品 2 の CO<sub>2</sub> =  $159(\text{kg-CO}_2) \times 1/180$   
 $\div \underline{0.88(\text{kg-CO}_2)}$

よって製品 1 と製品 2 の使用段階での 1 時間当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の差は

$18(\text{kg-CO}_2) \div 9000 (\text{時間}) = \underline{2(\text{g-CO}_2/\text{h})}$

製品 2 の製造段階の CO<sub>2</sub> をペイするには

$880(\text{g-CO}_2) \div 2(\text{g-CO}_2/\text{h}) = \underline{440(\text{h})}$

440 時間、製品 2 を使用すれば製品 2 に買い替えたほうが、CO<sub>2</sub> が削減できるという結果になる。

コスト的には製品 1 と製品 2 の総消費電力の差は  $45(\text{kWh})$  で  $1(\text{kWh})$  あたり 22 円の電気代がかかるので寿命を満たすと製品 2 のほうが  $22 (\text{円}) \times 45(\text{kWh}) = \underline{990 (\text{円})}$  得することになるが、蛍光灯の元値が 2,000 円程度なので、コスト的にはペイできないことになる。

## エアコン

次に示す表は比較する蛍光灯の性能データを示したもので赤色部分が計算に使用する部分である。

表：新旧エアコンの性能データ

製品名	1 (新型)	2 (旧型)
型式	基準モデル	基準モデル
電源	単相-100V	単相-100V
部屋の広さ[畳]	おもに 10 畳	おもに 10 畳
通年エネルギー消費効率 (APF)	—	—
冷房能力[kW]	2.8	2.8
暖房能力[kW]	5.8	5.4
冷暖房平均 COP	6.1	4.9
年間消費電力量[kWh/年]	894	1065
年間消費電力費用[円/年]	19668	23430
製造：使用	1:34	1:45

10 年間

10 年使った時の総消費電力は製品 1 で  $894 \times 10 = \underline{8,940(\text{kWh})}$

製品 2 で  $1,065 \times 10 = \underline{10,650(\text{kWh})}$

それぞれの使用段階での CO<sub>2</sub> 排出量は

製品 1 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{3,665(\text{kg-CO}_2)}$

製品 2 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{4,367(\text{kg-CO}_2)}$

素材製造段階での CO<sub>2</sub> 排出量は

製品 1 の CO<sub>2</sub> = 使用段階での CO<sub>2</sub> × エアコンの素材製造段階での CO<sub>2</sub> / 使用段階での CO<sub>2</sub> の割合

$$= 3,665(\text{kg-CO}_2) \times 1/34 \\ \div \underline{108(\text{kg-CO}_2)}$$

製品 2 の CO<sub>2</sub> =  $4,367(\text{kg-CO}_2) \times 1/45$

$$\div \underline{97(\text{kg-CO}_2)}$$

よって製品 1 と製品 2 の使用段階での 1 年当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の差は

$$702(\text{kg-CO}_2) \div 10 (\text{年}) = \underline{70(\text{kg-CO}_2/\text{年})}$$

製品 1 の製造段階の CO<sub>2</sub> をペイするには

$$108(\text{kg-CO}_2) \div 70(\text{kg-CO}_2/\text{年}) = \underline{1.5(\text{年})}$$

1 年半、製品 1 を使用すれば製品 2 に買い替えたほうが、CO<sub>2</sub> を削減できるという結果になる。

コスト的には製品 1 と製品 2 の総消費電力の差は 1,710(kWh) で 1(kWh) あたり 22 円の電気代がかかるので寿命を満たすと製品 2 のほうが

$$22 (\text{円}) \times 1,710(\text{kWh}) = \underline{37,620 (\text{円})}$$

得することになるが、エアコンの新規購入価格ともとのエアコンの価格の分も考えるとペイできるとは言えない。

## パソコン

次に示す表は比較する蛍光灯の性能データを示したもので赤色部分が計算に使用する部分である。

4 年使った時の総消費電力は製品 1 で  $500 \times 4 = \underline{2,000(\text{kWh})}$

製品 2 で  $380 \times 4 = \underline{1,520(\text{kWh})}$

それぞれの使用段階での CO<sub>2</sub> 排出量は

製品 1 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{820(\text{kg-CO}_2)}$

製品 2 の CO<sub>2</sub> = 総消費電力 × 電力の CO<sub>2</sub> 原単位  $\div \underline{623(\text{kg-CO}_2)}$

素材製造段階でのCO<sub>2</sub>排出量は

$$\begin{aligned} \text{製品1のCO}_2 &= \text{使用段階でのCO}_2 \times \text{パソコンの素材製造段階でのCO}_2 / \text{使用段階でのCO}_2 \text{の割合} \\ &= 820(\text{kg-CO}_2) \times 1/2 \\ &\div 410(\text{kg-CO}_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{製品2のCO}_2 &= 623(\text{kg-CO}_2) \times 1/2 \\ &\div 312(\text{kg-CO}_2) \end{aligned}$$

よって製品1と製品2の使用段階での1年当たりのCO<sub>2</sub>排出量の差は

$$312(\text{kg-CO}_2) \div 4(\text{年}) = 49(\text{kg-CO}_2/\text{年})$$

$$\text{製品1の製造段階のCO}_2 \text{をペイするには } 156(\text{kg-CO}_2) \div 49(\text{kg-CO}_2/\text{年}) \div 6.4(\text{年})$$

製造分のCO<sub>2</sub>排出量をランニングの効率でペイできないという結果になる。

コスト的には製品1と製品2の総消費電力の差は480(kWh)で1(kWh)あたり22円の電気代がかかるので4年使用すると製品2のほうが22(円)×480(kWh)=10,560(円)得することになるが、エアコンの新規購入価格ともとのエアコンの価格の分も考えるとペイできるとは言えない。

表：新旧パソコンの性能データ

サブカテゴリ	ノート	ノート
製品名	1 (旧型)	2 (新型)
型式	基準モデル	基準モデル
幅[mm]	1200	1100
奥行き[mm]	1100	900
高さ[mm]	35	30
重量[kg]	5	4
CPU名	Pentium3	celeron
クロック周波数[GHz]	1.1	1.4
ハードディスク容量[GB]	40	60
メモリ容量[MB]	128	256
ディスプレイ	液晶	液晶
ディスプレイサイズ	15型	15型
付属機能 (ドライブ)	CD-R/RW、DVD-ROM	CD-R/RW、DVD-ROM
付属機能 (その他)	—	—
周辺機器	マウス	マウス
バッテリー駆動時間	1	1
消費電力[W]	70	60
最大消費電力[W]	30	20
待機時消費電力[W]	10	10
年間消費電力量[kWh/年]	500	380
製造：使用	1：2	1：4

1日2時間365日、4年間

## b. 建物の製造とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量について

次に建物の製造とランニングでのCO<sub>2</sub>排出量について計算を行う。計算の仕方としては民生家庭でのCO<sub>2</sub>排出量を住宅の総床面積で割ることで使用段階一年あたりのCO<sub>2</sub>排出量を求めることができる。それに平均寿命をかけることで使用段階のCO<sub>2</sub>排出量を求める。製造段階は構造別面積割合を考慮した長岡市の住宅の原単位を用いる。

### 住宅

民生家庭での一年あたりのCO<sub>2</sub>排出量は 413,497 (t-CO<sub>2</sub>) である。  
住宅の総面積は 13,708,387 (㎡) なので単位面積当たりの一年間のCO<sub>2</sub>排出量は 30 (kg-CO<sub>2</sub>)  
長岡市の住宅の平均寿命は約 50 年なので総ランニングCO<sub>2</sub>は 1,500 (kg-CO<sub>2</sub>/㎡)

構造別面積割合を考慮した長岡市の住宅の原単位は 465 (kg-CO<sub>2</sub>/㎡)  
(住宅の構造別の原単位と構造別床面積をもとに筆者が試算)

よって製造段階と使用段階のCO<sub>2</sub>排出量の比は 1 : 3.2

### Cf. 事務所

民生業務での一年あたりのCO<sub>2</sub>排出量は 377,473 (t-CO<sub>2</sub>) である。  
住宅の総面積は 2,233,876 (㎡) なので単位面積当たりの一年間のCO<sub>2</sub>排出量は 169 (kg-CO<sub>2</sub>)  
長岡市の住宅の平均寿命は約 50 年なので総ランニングCO<sub>2</sub>は 8,450 (kg-CO<sub>2</sub>/㎡)

構造別面積割合を考慮した長岡市の住宅の原単位は 826 (kg-CO<sub>2</sub>/㎡)  
(住宅の構造別の原単位と構造別床面積をもとに筆者が試算)  
よって製造段階と使用段階のCO<sub>2</sub>排出量の比は 1 : 10

注：民生業務の中には建物の性能に関係ないCO<sub>2</sub>消費が住宅よりはるかに多く含まれているため、建物の性能を上げることで削減できる使用段階のCO<sub>2</sub>排出量はずっと少ないと考えられる。

## c. 考察

以上の計算結果をまとめると住宅は消費財で言うパソコンタイプであり製造段階におけるCO<sub>2</sub>排出量が他の消費財に比べて高くランニングでの省エネ化により製造段階のCO<sub>2</sub>排出量を回収できにくい仕組みになっている。

これが住宅の建て替えによって、ランニングのCO<sub>2</sub>排出量の削減効果で建設時のCO<sub>2</sub>排出量をペイできない理由である。よって都市構造を考えるとときには移行時の建設、廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量について考慮して戦略を打ち出さなければいけないのである。

消費財においては性能のいいものを買替えることによって、ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量削減の耐用年数での総和が、買い換えた分の製造段階のCO<sub>2</sub>排出量より大きくなることで、買い換えたほうがCO<sub>2</sub>排出量の総量が小さくなる製品がある。同時に買い替えても製造段階でのCO<sub>2</sub>排出量をペイできない消費財もある。その両者の差は、製造段階と使用段階のCO<sub>2</sub>排出量の比による。使用段階のCO<sub>2</sub>排出量が製造段階のCO<sub>2</sub>排出量より相当大きい場合、製造段階でのCO<sub>2</sub>排出量をペイできる。



## B 計算方法

## 各案の完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果

ここでは 4-2 各案の完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果（建設量一定の場合）の

## b.各都市像での 2008 年から 2050 年の新規建設量の計算

各構造用途別の現存床面積に対する新規建設床面積の比の算出の部分の計算を行っている。

## 2008 年から 2050 年に建設される家屋面積の計算方法

廃棄面積は既存家屋のうち 2050 年までに廃棄される分の面積を出したもので、各シナリオで違いはない。

$$\begin{aligned}\text{木造家屋の廃棄面積 (m}^2\text{)} &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times (1 - \text{木造家屋の残存率}) \\ &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times 0.88\end{aligned}$$

で求められ

$$\begin{aligned}\text{非木造家屋の廃棄面積 (m}^2\text{)} &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times (1 - \text{非木造家屋の残存率}) \\ &= \text{既存家屋面積(m}^2\text{)} \times 0.59\end{aligned}$$

で求められる。

残存面積は既存家屋のうち 2050 年まで残っている分の面積で

$$\text{残存面積 (m}^2\text{)} = \text{既存家屋面積 (m}^2\text{)} - \text{廃棄面積 (m}^2\text{)}$$

で求められる。

既存に対する割合とは 2008 年から 2050 年に建設される家屋量（2050 年での家屋面積が 2008 年に比べ 69.8% になるという前提のもと）の既存家屋面積に対する割合である。既存に対する割合の算出方法は各シナリオで異なる。

$$\text{2008 年から 2050 年に建設される家屋量 (m}^2\text{)} = \text{既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 - \text{残存面積 (m}^2\text{)}$$

で求められる。

## 単心案（新規は集合住宅のみ）

## 住宅非木造

既存に対する割合

$$= ( \text{住宅既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 - \text{住宅残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{住宅非木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)}$$

$$= \{ (11,512,098 + 2,196,289) \times 0.698 - (1,381,452 + 900,478) \}$$

$$\div 2,196,289$$

$$\approx 3.318$$

## 事務所非木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{事務所既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{事務所残存面積 (㎡)} ) \div \text{事務所非木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= \{ (283,561 + 1,950,315) \times 0.698 - (34,027 + 799,629) \} \\
 &\quad \div 1,950,315 \\
 &\div \underline{0.372}
 \end{aligned}$$

#### 工場非木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{工場既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{工場残存面積 (㎡)} ) \div \text{工場非木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= \{ (360,952 + 3,208,790) \times 0.698 - (43,314 + 1,315,604) \} \\
 &\quad \div 3,208,790 \\
 &\div \underline{0.353}
 \end{aligned}$$

#### 市場案

##### 住宅木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{住宅木造既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{住宅木造残存面積 (㎡)} ) \div \text{住宅木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= (11,512,098 \times 0.698 - 1,381,452) \\
 &\quad \div 11,512,098 \\
 &\div \underline{0.578}
 \end{aligned}$$

##### 住宅非木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{住宅非木造既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{住宅非木造残存面積 (㎡)} ) \div \text{住宅非木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= (2,196,289 \times 0.698 - 900,478) \\
 &\quad \div 2,196,289 \\
 &\div \underline{0.288}
 \end{aligned}$$

##### 事務所木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{事務所木造既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{事務所木造残存面積 (㎡)} ) \div \text{事務所木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= (283,561 \times 0.698 - 34,027) \\
 &\quad \div 283,561 \\
 &\div \underline{0.578}
 \end{aligned}$$

##### 事務所非木造

既存に対する割合

$$\begin{aligned}
 &= ( \text{事務所非木造既存家屋面積 (㎡)} \times 0.698 - \text{事務所非木造残存面積 (㎡)} ) \div \text{事務所非木造の既存家屋面積 (㎡)} \\
 &= (1,950,315 \times 0.698 - 799,629) \\
 &\quad \div 1,950,315
 \end{aligned}$$

$$\div 0.288$$

### 工場木造

既存に対する割合

$$= ( \text{工場木造既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 - \text{工場木造残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)}$$

$$= (360,952 \times 0.698 - 43,314)$$

$$\div 360,952$$

$$\div 0.578$$

### 工場非木造

既存に対する割合

$$= ( \text{工場非木造既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times 0.698 - \text{工場非木造残存面積 (m}^2\text{)} ) \div \text{工場非木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)}$$

$$= (3,208,790 \times 0.698 - 1,315,604)$$

$$\div 3,208,790$$

$$\div 0.288$$

## 建築

次の計算は **4-2 各案の完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果（建設量一定の場合）**

**c.各都市像での移行時の家屋の建設・廃棄による CO2 排出量の計算** の部分の計算である。

以下では各都市像での移行時における家屋の建設・廃棄による CO2 排出量を計算している。

4-2 で求めた 2050 年までの建設量と 2008 年から 2050 年の間に建設された分の 2050 年での廃棄率を組み合わせることで CO2 排出量を求めている。単心案については新規は集合住宅のみで住宅を建て替えるため住宅木造の建設の項目はない。

### 単心案（新規は集合住宅のみ）

#### 住宅木造

$$\begin{aligned} \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{住宅木造の廃棄原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\ &= 54 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0) \div 1,000 \\ &\div 547,055 \text{ (t-CO2)} \end{aligned}$$

#### 住宅SRC造

$$\begin{aligned} \text{建設での CO2 排出量} &= \text{住宅SRC造の建設原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\ &= 1,172 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ &\div 569,617 \text{ (t-CO2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{住宅SRC造の廃棄原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\ &= 165 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times 0.02) \div 1,000 \end{aligned}$$

$$\div \underline{16,907 \text{ (t-CO}_2\text{)}}$$

### 住宅RC造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ &\quad \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設された} \\ &\quad \text{ものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 944 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{3,091,272 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ &\quad (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \\ &\quad \text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 133 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{91,820 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

### 住宅S造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\ &\quad \text{に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたも} \\ &\quad \text{の } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 792 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{2,407,324 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\ &\quad \text{家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \text{ 年か} \\ &\quad \text{ら } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{71,770 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

### 住宅CB造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ &\quad \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設された} \\ &\quad \text{ものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 519 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{19,436 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ &\quad (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times 2008 \\ &\quad \text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 73 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{576 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

### 事務所木造

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\ &\quad (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所木造)} \times 2008 \\ &\quad \text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 48 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 283,561 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0) \div 1,000 \\ &\div \underline{11,978 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

事務所SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設} \\
 &\quad \text{されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 1,140 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{86,243 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times \\
 &\quad 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 161 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{20,843 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

事務所RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設} \\
 &\quad \text{されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 908 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{168,516 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times \\
 &\quad 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 128 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{40,652 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

事務所S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設され} \\
 &\quad \text{たものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 653 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.372 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{274,032 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times 2008 \\
 &\quad \text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 92 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{66,069 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

工場木造

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既} \\
 &\quad \text{存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場木造)}) \times 2008 \text{ 年から} \\
 &\quad 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 28 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.353 \times 0.05) \div 1,000 \\
 &\div \underline{8,894 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

工場SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\times \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 704 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{86,243 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times \\
 &\quad 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 99 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{20,843 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

工場RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 706 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{168,516 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &(\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \\
 &\text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 100 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{40,652 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

工場S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \\
 &\times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 439 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{409,585 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} \\
 &+ \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 62 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{104,257 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

学校 (RC造)

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{学校の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (学校非木造)} \\
 &\times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 794 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{82,043 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = \text{学校の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋}$$

$$\begin{aligned}
& \text{の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (学校非木造)} \times \text{2008 年から 2050} \\
& \text{年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率)} \\
& = 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\
& \div \underline{23,708 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

市場案についても先ほどまでの計算方法と同じように計算を行う。

## 市場案

### 住宅木造

$$\begin{aligned}
\text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\
&\text{に対する割合 (住宅木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設されたもの} \\
&\text{の 2050 年での廃棄率}) \\
&= 384 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.578 \times (1 + 0.05) \div 1,000 \\
&\div \underline{2,682,890 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\
&\text{家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times \text{2008 年から} \\
&\text{2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
&= 54 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.578 \times 0.05) \div 1,000 \\
&\div \underline{565,021 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

### 住宅SRC造

$$\begin{aligned}
\text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
&\times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設さ} \\
&\text{れたものの 2050 年での廃棄率}) \\
&= 1,172 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{53,747 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
&\times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \\
&\text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
&= 165 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{15,346 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

### 住宅RC造

$$\begin{aligned}
\text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&\text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設され} \\
&\text{たものの 2050 年での廃棄率}) \\
&= 944 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{291,683 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{住宅RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&(\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008} \\
&\text{年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
&= 133 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{83,343 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$



住宅S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 792 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{227,148 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{65,145 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

住宅CB造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 519 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{1,834 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 73 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{523 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

事務所木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (事務所木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 342 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 283,561 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.578 \times (1 + 0.05) \div 1,000 \\
 &\div \underline{58,856 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所木造)} \times \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 48 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 283,561 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.578 \times 0.05) \div 1,000 \\
 &\div \underline{13,324 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

事務所SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 1,140 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{72,568 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times \\
 &\quad \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率)} \\
 &= 161 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 216,694 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{27,762 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 事務所RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設} \\
 &\quad \text{されたものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 908 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{141,795 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\quad \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times \\
 &\quad \text{2008年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率)} \\
 &= 128 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 531,595 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{54,147 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 事務所S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad \text{既存に対する割合 (事務所非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設され} \\
 &\quad \text{たものの2050年での廃棄率}) \\
 &= 653 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{230,579 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\quad (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (事務所非木造)}) \times \text{2008} \\
 &\quad \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率)} \\
 &= 92 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{88,000 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既} \\
 &\quad \text{存に対する割合 (工場木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたもの} \\
 &\quad \text{の2050年での廃棄率}) \\
 &= 201 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.578 \times (1 + 0.05) \div 1,000 \\
 &\div \underline{44,031 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既} \\
 &\quad \text{存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場木造)}) \times \text{2008年から} \\
 &\quad \text{2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率)} \\
 &= 28 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.578 \times 0.05) \div 1,000 \\
 &\div \underline{9,893 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\times \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 704 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{18,233 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 &\times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times \\
 &\quad 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 99 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{6,946 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &\text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 706 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{63,094 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 &(\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \\
 &\text{年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 100 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{24,209 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\
 &\text{に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたもの} \\
 &\text{の } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 439 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.288 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{363,205 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\
 &\text{家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \text{ 年か} \\
 &\text{ら } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\
 &= 62 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.288 \times 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{138,953 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 学校 (RC造)

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{学校の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する} \\
 &\text{割合 (学校非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \\
 &\text{年での廃棄率}) \\
 &= 794 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\
 &\div \underline{82,043 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{学校の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋} \\
 &\text{の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (学校非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 & = 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\
 & \div \underline{23,708 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

## 土木

次の計算では **4-2 各案の完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果（建設量一定の場合）**

**d.各都市像での移行時のインフラの建設・廃棄による CO2 排出量の計算**の部分の計算を行っている。

既存インフラ量に対する移行時の建設・廃棄量の割合から各案の移行時のインフラ建設、廃棄による CO2 排出量を求める。ここでは先ほどの多心案だけの計算過程を記載して省いていた、単心案と市場案の計算途中について記載している。計算方法については、各案で計算方法は変わらない。

## 単心案

### 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \\
 & \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 8,193 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 62/18 \times 30 \text{ (年)} \times 1.055 \\
 & \div \underline{893,174 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \\
 & \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 8,193 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 20/18 \times 30 \text{ (年)} \times 1.705 \\
 & \div \underline{465,636 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

## 都市ガス

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 19 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 65/25 \times 50 \text{ (年)} \times 0.69 \\
 & \div \underline{1,704 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 8,193 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 10/25 \times 50 \text{ (年)} \times 1.34 \\
 & \div \underline{509 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

## 下水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 1,698 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 88/4 \times 50 \text{ (年)} \times 0.69 \\
 & \div \underline{1,288,782 \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} = \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO}_2 \text{ 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサ}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{イクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に} \\
 & \text{対する廃棄総量の割合} \\
 & = 1,698 \text{ (t-CO2/年)} \times 8/4 \times 50 \text{ (年)} \times 1.34 \\
 & \div \underline{227,532 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

### 上・工業用水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の} \\
 & \text{ライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・} \\
 & \text{工業用水道総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 290 \text{ (t-CO2/年)} \times 88/4 \times 50 \text{ (年)} \times 0.69 \\
 & \div \underline{220,110 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の} \\
 & \text{ライフサイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・} \\
 & \text{工業用水道総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 290 \text{ (t-CO2/年)} \times 8/4 \times 50 \text{ (年)} \times 1.34 \\
 & \div \underline{38,860 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

### 公園

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{公園の原単位} \times \text{建設コスト} \times \text{現状の公園総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 4.71 \text{ (kg-CO2/千円)} \times 40,634,000 \text{ (千円)} \times 0.35 \\
 & \div \underline{66,985 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{公園の原単位} \times \text{廃棄コスト} \times \text{現状の公園総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 4.71 \text{ (kg-CO2/千円)} \times 40,634,000 \text{ (千円)} \times 1.16 \times 8/88 \\
 & \div \underline{20,183 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

### 宅地造成

単心案の場合新築分がすべて新規宅地化されるという仮定のもとで宅地量は現状の宅地に対して 0.26

$$\begin{aligned}
 \text{宅地造成での CO2 排出量} &= \text{宅地造成の原単位} \times \text{宅地造成単価} \times \text{現状の宅地面積} \times \text{現状の宅地総量に対} \\
 & \text{する廃棄総量の割合} \\
 & = 4.71 \text{ (kg-CO2/千円)} \times 20 \text{ (千円/㎡)} \times 39.7 \text{ (k ㎡)} \times 0.26 \\
 & \div \underline{972,332 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

市場案についても単心案と同じように計算を行う。

### **市場案**

#### 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイ} \\
 & \text{クル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \\
 & \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 8,193 \text{ (t-CO2/年)} \times 62/18 \times 30 \text{ (年)} \times 1.4 \\
 & \div \underline{1,185,254 \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

$$\text{廃棄での CO2 排出量} = \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイ}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{クル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \\
 & \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 8,193(\text{t-CO2/年}) \times 20/18 \times 30(\text{年}) \times 1.4 \\
 & \div \underline{382,340(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

### 都市ガス

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフ} \\
 & \quad \text{サイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総} \\
 & \quad \text{量に対する建設総量の割合} \\
 & = 19(\text{t-CO2/年}) \times 65/25 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{2,075(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフ} \\
 & \quad \text{サイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総} \\
 & \quad \text{量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 8,193(\text{t-CO2/年}) \times 10/25 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{319(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

### 下水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサ} \\
 & \quad \text{イクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に} \\
 & \quad \text{対する建設総量の割合} \\
 & = 1,698(\text{t-CO2/年}) \times 88/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{1,568,952(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサ} \\
 & \quad \text{イクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に} \\
 & \quad \text{対する廃棄総量の割合} \\
 & = 1,698(\text{t-CO2/年}) \times 8/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{142,632(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

### 上・工業用水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の} \\
 & \quad \text{ライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・} \\
 & \quad \text{工業用水道総量に対する建設総量の割合} \\
 & = 290(\text{t-CO2/年}) \times 88/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{267,960(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の} \\
 & \quad \text{ライフサイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・} \\
 & \quad \text{工業用水道総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 290(\text{t-CO2/年}) \times 8/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{24,360(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

## 理想形の検討

次は **7-1 完成にかかる CO2 排出量の計算方法と結果** の部分についての計算を記述している。  
CO2 排出量の計算方法については前述の各案での CO2 排出量の計算方法と同じである。

**a. 移行時の建築の建設・廃棄による CO2 排出量**

各都市像案の移行時での建設・廃棄による CO2 排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合を X、RC 造集合住宅の割合を 1 - X とした場合の各都市像案の移行時での建設・廃棄による CO2 排出量を計算する。

住宅木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{住宅木造の建設原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 &= 384 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.633 \times X \times (1 + 0.05) \\
 &\div 1,000 \\
 &\Rightarrow \underline{2,937,926 \times X \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{住宅木造の廃棄原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅木造)} \times \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 &= 54 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 11,512,098 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 0.633 \times X \times 0.05) \\
 &\div 1,000 \\
 &\Rightarrow \underline{547,055 + 17,966 \times X \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

住宅SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{住宅SRC造の建設原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 &= 1,172 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
 &\div 1,000 \\
 &\Rightarrow \underline{619,149 - 619,149 \times X \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{住宅SRC造の廃棄原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 &= 165 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 156,112 \text{ (m}^2\text{)} \times \{ 0.59 + 3.318 \times (1-X) \times 0.02 \} \div 1,000 \\
 &\Rightarrow \underline{16,907 - 1,709 \times X \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$

住宅RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{住宅RC造の建設原単位 (kg-CO2/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 &= 944 \text{ (kg-CO2/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
 &\div 1,000 \\
 &\Rightarrow \underline{3,360,079 - 3,360,079 \times X \text{ (t-CO2)}}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&\quad (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008年} \\
&\quad \text{から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
&= 133 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,051,832 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times (1-X) \\
&\quad \times 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{91,820 - 9,283 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

### 住宅S造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存} \\
&\quad \text{に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設されたも} \\
&\quad \text{の2050年での廃棄率}) \\
&= 792 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
&\quad \div 1,000 \\
&\div \underline{2,616,656 - 2,616,656 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存} \\
&\quad \text{家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008年} \\
&\quad \text{から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
&= 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 976,316 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times (1-X) \times \\
&\quad 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{71,770 - 7,255 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

### 住宅CB造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&\quad \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設された} \\
&\quad \text{ものの2050年での廃棄率}) \\
&= 519 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.318 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
&\quad \div 1,000 \\
&\div \underline{21,127 - 21,127 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{住宅CB造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{住宅CB造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&\quad (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (住宅非木造)} \times \text{2008} \\
&\quad \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
&= 73 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 12,029 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 3.318 \times (1-X) \times \\
&\quad 0.02) \div 1,000 \\
&\div \underline{576 - 58 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

### 事務所木造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{事務所木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
&\quad \text{既存に対する割合 (事務所木造)} \times (1 + \text{2008年から2050年までに建設された} \\
&\quad \text{ものの2050年での廃棄率}) \\
&= 342 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 283,561 \text{ (m}^2\text{)} \times 2.559 \times X \times (1 + 0.05) \div \\
&\quad 1,000 \\
&\div \underline{260,559 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
\end{aligned}$$

$$\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = \text{事務所木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{事務所木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times$$

$$\begin{aligned}
& (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所木造)}) \times 2008 \\
& \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
= & 48 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 283,561 (\text{m}^2) \times (0.88 + 2.559 \times X \times 0.05) \\
& \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{11,978 + 1,741 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

### 事務所SRC造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所SRC造の建設原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \\
& \times \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設} \\
& \text{されたものの2050年での廃棄率}) \\
= & 1,140 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 216,694 (\text{m}^2) \times 0.372 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
& \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{93,743 - 93,743 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所SRC造の廃棄原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所SRC造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \\
& \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times \\
& 2008 \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
= & 161 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 216,694 (\text{m}^2) \times (0.59 + 0.372 \times (1-X) \times \\
& 0.02) \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{20,843 - 259 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

### 事務所RC造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所RC造の建設原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所RC造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \\
& \times \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設} \\
& \text{されたものの2050年での廃棄率}) \\
= & 908 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 531,595 (\text{m}^2) \times 0.372 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
& \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{183,169 - 183,169 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所RC造の廃棄原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所RC造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \\
& \times (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times \\
& 2008 \text{年から2050年までに建設されたものの2050年での廃棄率}) \\
= & 128 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 531,595 (\text{m}^2) \times (0.59 + 0.372 \times (1-X) \times \\
& 0.02) \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{40,652 - 506 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

### 事務所S造

$$\begin{aligned}
\text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所S造の建設原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所S造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \times \\
& \text{既存に対する割合(事務所非木造)} \times (1 + 2008 \text{年から2050年までに建設され} \\
& \text{たものの2050年での廃棄率}) \\
= & 653 (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 1,202,026 (\text{m}^2) \times 0.372 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
& \div 1,000 \\
\Rightarrow & \underline{297,861 - 297,861 \times X (\text{t-CO}_2)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{事務所S造の廃棄原単位} (\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \text{事務所S造の既存家屋面積} (\text{m}^2) \times \\
& (\text{既存家屋の2050年での廃棄率} + \text{既存に対する割合(事務所非木造)}) \times 2008
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 92 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 1,202,026 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.372 \times (1-X) \times \\
 & 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{66,069 - 823 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場木造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既} \\
 & \text{存に対する割合 (工場木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から 2050 年までに建設されたもの} \\
 & \text{の 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 201 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times 3.138 \times X \times (1 + 0.05) \div \\
 & 1,000 \\
 \div & \underline{239,069 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場木造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場木造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既} \\
 & \text{存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場木造)} \times 2008 \text{ 年から} \\
 & 2050 \text{ 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 28 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 360,952 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.88 + 3.138 \times (1-X) \times \\
 & 0.05) \div 1,000 \\
 \div & \underline{8,894 + 1,586 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場SRC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 & \times \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から 2050 年までに建設さ} \\
 & \text{れたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 704 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
 & \div 1,000 \\
 \div & \underline{22,349 - 22,349 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場SRC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場SRC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \\
 & \times (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times \\
 & 2008 \text{ 年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 99 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,164 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times (1-X) \times \\
 & 0.02) \div 1,000 \\
 \div & \underline{5,211 - 61 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

### 工場RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場RC造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 & \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から 2050 年までに建設され} \\
 & \text{たものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 706 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\
 & \div 1,000 \\
 \div & \underline{77,338 - 77,338 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} = & \text{工場RC造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場RC造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \\
 & (\text{既存家屋の 2050 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \\
 & \text{年から 2050 年までに建設されたものの 2050 年での廃棄率}) \\
 = & 100 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 304,224 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times (1-X) \times 0.02) \\
 & \div 1,000
 \end{aligned}$$

$$\div \underline{18,164 - 215 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}}$$

### 工場S造

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 439 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.353 \times (1-X) \times (1 + 0.02) \\ &\div 1,000 \\ &\div \underline{445,202 - 445,202 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{工場S造の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{工場S造の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (工場非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 62 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 2,816,402 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.353 \times (1-X) \times 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{104,257 - 1,233 \times X \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

### 学校(RC造)

$$\begin{aligned} \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{学校の建設原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times \text{既存に対する割合 (学校非木造)} \times (1 + 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 794 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.177 \times (1 + 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{82,043 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{学校の廃棄原単位 (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times \text{学校の既存家屋面積 (m}^2\text{)} \times (\text{既存家屋の } 2050 \text{ 年での廃棄率} + \text{既存に対する割合 (学校非木造)} \times 2008 \text{ 年から } 2050 \text{ 年までに建設されたものの } 2050 \text{ 年での廃棄率}) \\ &= 112 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 358,780 \text{ (m}^2\text{)} \times (0.59 + 0.177 \times 0.02) \div 1,000 \\ &\div \underline{23,708 \text{ (t-CO}_2\text{)}} \end{aligned}$$

### b.移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量

各都市像案の移行時での建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとした場合の各都市像案の移行時での建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

### インフラ建設・廃棄量

各都市像案の移行時での建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとした場合の各都市像案の移行時での建設・廃棄量を計算する。

### 市域の算出

$$\begin{aligned} \text{建物に必要な面積は} & (19.4 + 7.3 \times X) \text{ km}^2 \\ \text{公園緑地・道路を } 30\% \text{ とすると、} \\ & (19.4 + 7.3 \times X) \text{ km}^2 \times 1.3 \div (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{多心案の市域は} & (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \\ \text{現状に対する市域の割合は} & \underline{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2} \end{aligned}$$

多心案では寿命を待たずに廃棄されるということがなく、寿命に応じて廃棄、建設される  
今までのものが今後平均的に廃棄されるとすると

耐用年数が 50 年のものは

$$42(\text{年}) \div 50(\text{年}) \times 100 = \underline{84\%}$$

カバー率は 16%であり

$$\{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2\} \times 100\% - 16\% \\ = \underline{(26.9 + 16.2 \times X) \%}$$

の新規建設が必要となる。

耐用年数が 30 年のものは

2050 年の 30 年前以前に建設されたものは 2050 年までに廃棄される。

そこで 2008 年から 2020 年までに廃棄、建設される量を求めると

$$(2020 \text{ 年} - 2008 \text{ 年}) \div 30 \text{ 年} \times 100 = \underline{40\%}$$

が廃棄されることがわかる。

2050 年での多心案の市域は 51%であり、2020 年まで一定の割合で縮小していくとすると、2020 での市域は

$$\underline{100\% - [100\% - \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2\} \%] \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年}}$$

40%廃棄されると残りは 60%なので

$$\underline{100\% - [100\% - \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2\} \%] \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} - 60\%}$$

の新規建設が必要となる。

さらに 2050 年までに 2008 年以前にあったものの残り 60%も廃棄される。

最終的な市域は  $\underline{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \times 100\%}$ なので 2020 年から 2050 年までに建設される量は

$$\underline{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \% - 100\% - [100\% - \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2\} \%] \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} - 60\%}$$

さらに 2020 年までに建設された 25.4%分がもう一度廃棄、建設されるので

$$\begin{aligned} \text{建設量} &= \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2\} \times 100\% + [100\% - [100\% - \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \\ &\quad \text{km}^2\} \times 100\%] \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} - 60\%] \\ &= 10 + 1.3 \times (25.2 + 9.5 \times X) \div 58.7 \times 100\% \\ &= \underline{(65.8 + 21 \times X) \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄量} &= \underline{100\% + [100\% - [100\% - \{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \times 100\} \%] \times 12 \text{ 年} \div 40 \text{ 年} - 60\%]} \\ &= \underline{(122.9 + 4.9 \times X) \%} \end{aligned}$$

公園については修繕のみを考えているので、耐用年数での廃棄はなく、市域の減少分だけ廃棄され

$$100\% - (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \times 100\% = \underline{(57.1 - 16.2 \times X) \%}$$

が廃棄される。

新規に開発される部分は 10%であり、宅地建設量は 10%となる。

### インフラ建設・廃棄によるCO2排出量

各都市像案の移行時での建設・廃棄によるCO2排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとした場合の各都市像案の移行時での建設・廃棄によるCO2排出量を計算する。

道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \\
 &\quad \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する建設総量の割合} \\
 &= 8,193(\text{t-CO2/年}) \times 62/18 \times 30(\text{年}) \times (0.658+0.21 \times X) \\
 &\approx \underline{557,069 + 177,788 \times X (\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における道路修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \\
 &\quad \text{耐用年数} \times \text{現状の道路総量に対する廃棄総量の割合} \\
 &= 8,193(\text{t-CO2/年}) \times 20/18 \times 30(\text{年}) \times (1.229+0.049 \times X) \\
 &\approx \underline{335,640 + 13,382 \times X (\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

都市ガス

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総量に対する建設総量の割合} \\
 &= 19(\text{t-CO2/年}) \times 65/25 \times 50(\text{年}) \times (0.269+0.162 \times X) \\
 &\approx \underline{664 + 400 \times X (\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における都市ガス修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の都市ガス総量に対する廃棄総量の割合} \\
 &= 8,193(\text{t-CO2/年}) \times 10/25 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 &\approx \underline{319(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

下水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に対する建設総量の割合} \\
 &= 1,698(\text{t-CO2/年}) \times 88/4 \times 50(\text{年}) \times (0.269+0.162 \times X) \\
 &\approx \underline{502,438 + 302,584 \times X (\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO2 排出量} &= \text{現状における下水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の下水道総量に対する廃棄総量の割合} \\
 &= 1,698(\text{t-CO2/年}) \times 8/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 &\approx \underline{142,632(\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

上・工業用水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設での CO2 排出量} &= \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクル CO2 排出内訳から算出した建設/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・工業用水道総量に対する建設総量の割合} \\
 &= 290(\text{t-CO2/年}) \times 88/4 \times 50(\text{年}) \times (0.269+0.162 \times X) \\
 &\approx \underline{85,811 + 51,678 \times X (\text{t-CO2})}
 \end{aligned}$$

$$\text{廃棄での CO2 排出量} = \text{現状における上・工業用水道修繕の一年あたりの CO2 排出量} \times \text{建設、維持、解体別の}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ライフサイクル CO}_2 \text{ 排出内訳から算出した廃棄/維持の値} \times \text{耐用年数} \times \text{現状の上・} \\
 & \text{工業用水道総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 290(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 8/4 \times 50(\text{年}) \times 0.84 \\
 & \div \underline{24,360(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

## 公園

現状の公園の総面積は 203.17(ha)  $\div$  2,031,700(m<sup>2</sup>)  
 公園の建設、廃棄のコストを宅地造成に近似して計算を行う。  
 1 m<sup>2</sup>あたりの宅地造成コストを 2 万円とすると

$$2,031,700(\text{m}^2) \times 2 (\text{万円}) = \underline{40,634,000 (\text{千円})}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄での CO}_2 \text{ 排出量} &= \text{公園の原単位} \times \text{廃棄コスト} \times \text{現状の公園総量に対する廃棄総量の割合} \\
 &= 4.71(\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 40,634,000 (\text{千円}) \times \{1 - (25.2 + 9.5 \times X) \div 58.7\} \times 8/88 \\
 &\div \underline{9,929 - 2,816 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

## 宅地造成

多心案の市域は 51 (%) であり、この時現状に対する市域内の密度は  $1 \div 0.51 \times 0.7 \div 1.37$   
 単心案の市域は 34 (%) であり、この時現状に対する市域内の密度は  $1 \div 0.34 \times 0.7 \div 2.06$

現状の空き家を満たした場合の密度が  $1 \div 0.88 \div 1.14$   
 であり単心案の場合新築分がすべて新規宅地化されるという仮定のもとで宅地量は現状の宅地に対して 0.26

$$\text{多心案での宅地造成量は } 0.26 \times (1.37 - 1.14) \div (2.06 - 1.14) \div \underline{0.06}$$

宅地造成での CO<sub>2</sub> 排出量 = 宅地造成の原単位  $\times$  宅地造成単価  $\times$  現状の宅地面積  $\times$  現状の宅地

$$\begin{aligned}
 & \text{総量に対する廃棄総量の割合} \\
 & = 4.71(\text{kg-CO}_2/\text{千円}) \times 20 (\text{千円}/\text{m}^2) \times 39.7 (\text{k m}^2) \times 0.06 \\
 & \div \underline{224,384(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

次は 7-2 2050年でのフローCO<sub>2</sub>の計算方法と結果の部分についての計算を記述している。

## a. フローの建築におけるCO<sub>2</sub>排出量

ここでも先に計算した各都市像案のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとした場合のフローにおけるCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

### 建築

木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1-Xとした場合の一年間の建築維持により排出されるCO<sub>2</sub>排出量を計算する。

住宅木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2 \text{ 排出量} &= 1990 \text{ 年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積 (市の統計)} \times \{(1 - 50 \text{ 年間での残存率}) + (1 - 2050 \text{ 年} \sim 2092 \text{ 年に建設される分の } 2092 \text{ 年時点の残存率})\} \div \text{評価期間}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= 384(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times (1,381,452 + 11,512,098 \times 0.633 \times X)(\text{m}^2) \times 1.06 \div 50(\text{年}) \\
&\div 1,000 \\
&= \underline{11,290 + 59,230 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

建物維持管理でのCO<sub>2</sub>排出量＝建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出内訳から算出した維持/建設の値

$$\begin{aligned}
&= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
&= \underline{531 + 2,787 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量＝建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出内訳から算出した廃棄/建設の値

$$\begin{aligned}
&= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
&= \underline{1,461 + 7,665 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

設備維持管理でのCO<sub>2</sub>排出量＝建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量 × 既存構造用途別延べ床面積（市の統計）

$$\begin{aligned}
&= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times (1,381,452 + 11,512,098 \times 0.633 \times X)(\text{m}^2) \div 1,000 \\
&= \underline{10,305 + 54,058 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

## 住宅SRC造

建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量＝1990年度産業連関表を用いた建設原単位 × 既存構造用途別延べ床面積（市の統計） × {(1－50年間での残存率) + (1－2050年～2092年に建設される分の2092年時点の残存率)} ÷ 評価期間

$$\begin{aligned}
&= 1,172(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 64,006(\text{m}^2) \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
&= \underline{1,260(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

建物維持管理でのCO<sub>2</sub>排出量＝建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出内訳から算出した維持/建設の値

$$\begin{aligned}
&= 1,260(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
&= \underline{59(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量＝建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量 × 建設、維持、解体別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出内訳から算出した廃棄/建設の値

$$\begin{aligned}
&= 1,260(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
&= \underline{163(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

設備維持管理でのCO<sub>2</sub>排出量＝建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量 × 既存構造用途別延べ床面積（市の統計）

$$\begin{aligned}
&= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 64,006(\text{m}^2) \div 1,000 \\
&= \underline{476(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

## 住宅RC造

建設・改築でのCO<sub>2</sub>排出量＝1990年度産業連関表を用いた建設原単位 × 既存構造用途別延べ床面積（市の統計） × {(1－50年間での残存率) + (1－2050年～2092年に建設される分の2092年時点の残存率)} ÷ 評価期間

$$\begin{aligned}
&= 944(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \{431,251 + 2,196,289 \times 3.318 \times (1-X)\}(\text{m}^2) \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
&= \underline{122,410 - 115,571 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2 \\
 &\quad \text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= (122,410 - 115,571 \times X) (\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{5,760 - 5,439 \times X (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳} \\
 &\quad \text{から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= (122,410 - 115,571 \times X) (\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{15,841 - 14,956 \times X (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\quad \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times \{431,251 + 2,196,289 \times 3.318 \times (1-X)\} (\text{m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{57,349 - 54,145 \times X (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

## 住宅S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市} \\
 &\quad \text{の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim \\
 &\quad 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 792(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 400,290(\text{m}^2) \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{5,326 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2 \\
 &\quad \text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 5,326(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{251 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳} \\
 &\quad \text{から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 5,326(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{689 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\quad \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.43(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 400,290(\text{m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{2,974 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

## 住宅CB造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市} \\
 &\quad \text{の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim \\
 &\quad 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 519(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 4,932 \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{43 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2 \\
 &\quad \text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 43(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{2 (\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 43 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 11/85 \\
 &= \underline{6 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.43 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2 \cdot \text{年)} \times 4,932 \text{ (m}^2\text{)} \div 1,000 \\
 &= \underline{37 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

## 事務所木造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 342 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times (34,027 + 283,561 * 2.558 * X) \text{ (m}^2\text{)} \times 1.06 \div 50 \text{ (年)} \div 1,000 \\
 &= \underline{247 + 5.259 * X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= (247 + 5.259 * X) \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 4/85 \\
 &= \underline{12 + 247 * X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= (247 + 5.259 * X) \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 11/85 \\
 &= \underline{32 + 681 * X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 17.84 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2 \cdot \text{年)} \times (34,027 + 283,561 * 2.558 * X) \text{ (m}^2\text{)} \div 1,000 \\
 &= \underline{607 + 12.940 * X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

## 事務所SRC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 1,140 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times 88,845 \text{ (m}^2\text{)} \times 0.84 \div 50 \text{ (年)} \div 1,000 \\
 &= \underline{1,702 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 1,702 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 4/85 \\
 &= \underline{80 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 1,702 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 11/85 \\
 &= \underline{220 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\quad \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 17.84 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2 \cdot \text{年)} \times 88,845 \text{ (m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{1,585 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

## 事務所 RC 造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &\quad \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\
 &= 908 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2) \times \{ 217,954 + 1,950,315 \times 0.372 \times (1-X) \} \text{ (m}^2) \times 0.84 \div 50 \text{ (年)} \div 1,000 \\
 &= \underline{14,392 - 11,067 \times X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= (14,392 - 11,067 \times X) \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 4/85 \\
 &= \underline{677 - 521 \times X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= (11,290 + 59,230 \times X) \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 11/85 \\
 &= \underline{1,863 + 1,432 \times X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\quad \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 17.84 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2 \cdot \text{年)} \times \{ 217,954 + 1,950,315 \times 0.372 \times (1-X) \} \text{ (m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{16,832 - 12,943 \times X \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

## 事務所 S 造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &\quad \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\
 &= 653 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2) \times 492,831 \text{ (m}^2) \times 0.84 \div 50 \text{ (年)} \div 1,000 \\
 &= \underline{5,407 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 5,407 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 4/85 \\
 &= \underline{254 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 5,407 \text{ (t-CO}_2\text{/年)} \times 11/85 \\
 &= \underline{700 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \\
 &\quad \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 17.84 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^2 \cdot \text{年)} \times 492,831 \text{ (m}^2) \div 1,000
 \end{aligned}$$

$$= \underline{8,792(\text{t-CO}_2/\text{年})}$$

## 工場木造

$$\begin{aligned} \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\ &= 201(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times (43,314 + 360,952 \times 3.138 \times X)(\text{m}^2) \times 1.06 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\ &= \underline{185 + 4,827 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\ &= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\ &= \underline{9 + 227 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\ &= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\ &= \underline{24 + 625 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\ &= 7.74(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times (43,314 + 360,952 \times 3.138 \times X)(\text{m}^2) \div 1,000 \\ &= \underline{335 + 8,767 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

## 工場SRC造

$$\begin{aligned} \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{ (1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の2092年時点の残存率}) \} \div \text{評価期間} \\ &= 704(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 36,147(\text{m}^2) \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\ &= \underline{428(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\ &= 539(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\ &= \underline{20(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\ &= 539(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\ &= \underline{55(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期50年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\ &= 7.74(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 36,147(\text{m}^2) \div 1,000 \\ &= \underline{280(\text{t-CO}_2/\text{年})} \end{aligned}$$

## 工場RC造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の}2092\text{年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 706(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times \{124,732 + 3,208,790 \times 0.354 \times (1-X)\} \text{m}^2 \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{14,952 - 13.473 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{704 - 634 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= (11,290 + 59,230 \times X)(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{1,935 - 1,744 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期}50\text{年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.74(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times \{124,732 + 3,208,790 \times 0.354 \times (1-X)\} \text{m}^2 \div 1,000 \\
 &= \underline{9.757 - 8.792 \times X(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

## 工場S造

$$\begin{aligned}
 \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} &= 1990\text{年度産業連関表を用いた建設原単位} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \times \{(1 - 50\text{年間での残存率}) + (1 - 2050\text{年} \sim 2092\text{年に建設される分の}2092\text{年時点の残存率})\} \div \text{評価期間} \\
 &= 439(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2) \times 1,154,725(\text{m}^2) \times 0.84 \div 50(\text{年}) \div 1,000 \\
 &= \underline{8,516(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{建物維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した維持/建設の値} \\
 &= 10,747(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 4/85 \\
 &= \underline{401(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建設・改築でのCO}_2\text{排出量} \times \text{建設、維持、解体別のライフサイクルCO}_2\text{排出内訳から算出した廃棄/建設の値} \\
 &= 10,747(\text{t-CO}_2/\text{年}) \times 11/85 \\
 &= \underline{1,102(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{設備維持管理でのCO}_2\text{排出量} &= \text{建替周期}50\text{年の建築設備の延床面積あたり年平均ライフサイクルCO}_2\text{排出量} \times \text{既存構造用途別延べ床面積（市の統計）} \\
 &= 7.74(\text{kg-CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \times 1,154,725(\text{m}^2) \div 1,000 \\
 &= \underline{8,938(\text{t-CO}_2/\text{年})}
 \end{aligned}$$

**b.フローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量**

道路、下水道、上・工業水道、都市ガス、公園、宅地造成は市域に比例し、その他は現在と変わらないという仮定のもと、**b.移行時のインフラの建設・廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量**で算出した市域を使って、フローのインフラにおけるCO<sub>2</sub>排出量の計算を行う。

## 道路

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路建設でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 16,932(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{7,269 + 2,740 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路修繕でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 8,193(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{3,517 + 1,326 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での道路廃棄でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 5,462(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{2,345 + 884 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

## 下水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での下水道建設でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 37,360(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{16,039 + 6,046 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での下水道修繕でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 1,698(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{729 + 275 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での下水道廃棄でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 3,396(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{1,458 + 550 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

## 上・工業用水道

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での上・工業用水道建設でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 6,387(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{2,742 + 1,034 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{修繕でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での上・工業用水道修繕でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 290(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{124 + 47 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での上・工業用水道廃棄でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 581(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{249 + 94 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$

## 都市ガス

$$\begin{aligned}
 \text{建設でのCO}_2\text{排出量} &= \text{2008年での都市ガス建設でのCO}_2\text{排出量} \times \text{2050年での市域/2008年での市域} \\
 &= 51(\text{t-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\
 &= \underline{22 + 8 \times X(\text{t-CO}_2)}
 \end{aligned}$$



修繕でのCO<sub>2</sub>排出量＝2008年での都市ガス修繕でのCO<sub>2</sub>排出量 × 2050年での市域/2008年での市域

$$= 19(t\text{-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\ = \underline{8 + 3 \times X (t\text{-CO}_2)}$$

廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量＝2008年での都市ガス廃棄でのCO<sub>2</sub>排出量 × 2050年での市域/2008年での市域

$$= 8(t\text{-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\ = \underline{3 + X (t\text{-CO}_2)}$$

公園

修繕でのCO<sub>2</sub>排出量＝2008年での公園修繕でのCO<sub>2</sub>排出量 × 2050年での市域/2008年での市域

$$= 2,369(t\text{-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\ = \underline{1,017 + 383 \times X (t\text{-CO}_2)}$$

土地造成

修繕でのCO<sub>2</sub>排出量＝2008年での土地造成修繕でのCO<sub>2</sub>排出量 × 2050年での市域/2008年での市域

$$= 2,571(t\text{-CO}_2) \times (25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 \\ = \underline{1,104 + 416 \times X (t\text{-CO}_2)}$$

### c.フローのランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出量

ランニングでのCO<sub>2</sub>排出量を計算する。ここでも先に計算した各都市像案のフローでのCO<sub>2</sub>排出量の計算方法と同じように新規の建設での木造戸建て住宅の割合をX、RC造集合住宅の割合を1－Xとした場合のフローのランニングにおけるCO<sub>2</sub>排出量をもとめる。

#### ランニング

2008年時点での集合住宅の全住宅に占める割合を5%とし、集合住宅を戸建て住宅のエネルギー消費の70%のエネルギー消費であるという仮定のもとで民生家庭部門について計算を行う。

新設分と残存分を考慮して計算した結果、多心案での戸建て住宅と集合住宅の割合は80\*X+18.82-80\*X

$$\text{民生家庭（戸建）でのCO}_2\text{排出量} = \text{現状の民生家庭（戸建）でのCO}_2\text{排出量} \div \text{現状の戸建て住宅の割合} \times \\ 2050\text{年の2008年に対する床面積の割合} \times \text{多心案での戸建て住宅の割合} \\ = 386,930(t\text{-CO}_2) \div 95(\%) \times 69.7(\%) \times (0.8 \times X + 0.18) \\ = \underline{227,108 \times X + 51,099(t\text{-CO}_2)}$$

民生家庭（集合）でのCO<sub>2</sub>排出量＝現状の民生家庭（集合）でのCO<sub>2</sub>排出量 ÷ 現状の集合住宅の割合 ×

$$2050\text{年の2008年に対する床面積の割合} \times \text{多心案での集合住宅の割合} \\ = 14,255(t\text{-CO}_2) \div 5(\%) \times 69.7(\%) \times (0.82 - 0.8 \times X) \\ = \underline{162,946 - 158,972 \times X(t\text{-CO}_2)}$$

交通でのCO<sub>2</sub>排出量は人口と市域の割合の平方根に比例すると考える。

交通でのCO<sub>2</sub>排出量＝現状の交通でのCO<sub>2</sub>排出量 × 2008年人口に対する2050年の人口の割合 2050年での市域の割合

$$= \{ 562,603(t\text{-CO}_2) \times 80(\%) \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X) \text{ km}^2 \div 58.7 \text{ km}^2 + 562,603(t\text{-CO}_2) \times 20(\%)} \} \\ \times 69.7(\%) \\ = \underline{78,427 + 313,707 \times \sqrt{(25.2 + 9.5 \times X) / 58.7(t\text{-CO}_2)}}$$

## C 参考文献

**a. 計算を行うのに用いた資料**

- ・ 建物の LCA 指針（日本建築学会、pp.98、1999.11）
- ・ 伊香賀俊治、外岡 豊、本藤祐樹：建築物のライフサイクルアセスメント用データベースの開発、第 3 回エコバランス国際会議論文集、pp.365-368, 1998.11
- ・ 平成 17 年度 地方公共団体の二酸化炭素排出量推計手法検討調査報告書、環境自治体会議
- ・ 都市インフラストラクチャーの構築における CO2 排出量、電力中央研究所
- ・ 都市公園における樹木の二酸化炭素固定効果に関する研究、市村恒士、岡田孝幸、柳井重人、丸田 頼一、第 3 4 回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.1-6,1999.
- ・ 人口減少経済の新しい公式、松谷明彦、日本経済新聞社、2004
- ・ 消費財別素材段階と使用段階の CO2 排出量、環境省
- ・ 全国 10 電力会社平均単価
- ・ 自由取引における排出権取引の平均価格、環境省報告
- ・ 竣工記録に基づいた事務所建物の寿命調査、日本建築学会計画系論文集 第 565 号 pp.317-322 2003 年 3 月
- ・ 標準施工単価

**b. 統計資料**

- ・ 長岡市決算（平成 9 年度～平成 18 年度）、長岡市
- ・ 長岡市統計年鑑（平成 18 年度）、長岡市
- ・ 長岡市家屋新增分調べ（平成 9 年度～平成 18 年度）、長岡市
- ・ 地域別家屋建設年別家屋床面積（平成 18 年度）、長岡市
- ・ 新潟県土木工事費（平成 9 年度～平成 18 年度）、新潟県
- ・ 建設総合年度報（平成 18 年度）、国土交通省
- ・ 建設デフレーター、国土交通省
- ・ 住宅産業ハンドブック 2002 年度版
- ・ 建設物価ハンドブック

**c.統計プログラム**

- ・市町村別人口簡易推計ソフト、国立人口・問題研究所
- ・人口推計システムの説明、国立人口・問題研究所

**d.都市システムに関する既往論文**

- ・伊藤武美、花木啓祐、谷口孚幸、有浦幸隆：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、環境システム研究、Vol.23、pp.190-197、1995.
- ・伊藤武美、花木啓祐、本多博：二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用、環境システム研究、Vol.24、pp.250-271、1996.
- ・伊藤武美、花木啓祐、本多博：ニュータウン建設における二酸化炭素排出量の概略推計方法の検討、環境システム研究、Vol.25、pp. 379-384、1997.
- ・藤田壮、盛岡通、村田昭人：都市集積地区から派生するライフサイクル二酸化炭素の評価の都市マネジメントへの展開についての考察、環境システム研究、Vol.27、pp.355-364、1999.
- ・林良嗣、加藤博和、北野恭央、喜代永さち子：都市空間構造改変施策に伴う各種環境負荷のライフサイクル評価システム、土木学会環境システム研究論文集、Vol.28、pp.55-62、2000.
- ・松本亨、左健：都市基盤の再構築におけるLCAの役割：都市生活排水・廃棄物処理システムを事例として、土木学会第32回環境システム研究論文発表会講演集、pp.195-202、2004.
- ・栗島英明、瀬戸山春輝、玄地裕、稲葉敦：施設誘致型の社会基盤整備に対するLCA手法の研究 三重県クリスタルタウンのケーススタディ、土木学会第32回環境システム研究論文発表会講演集、pp.215-221、2004.
- ・後藤直紀、柴原尚希、加知載康、加藤博和：都市域縮退策による環境負荷削減可能性検討のための推計システム、2008
- ・加藤博和、柴原尚希、土木計画へのライフサイクルアセスメント適用に関する諸課題、第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集、pp.72-75、2008

**e.参考文献**

ニッポンの地域力、藻谷浩介、日本経済新聞出版社、2007

## 結び

本研究を行うにあたっては、研究室の大変お力を頂きました。東京を対象とした縮小時代の都市像の提案である **Fiber City** の考えの延長のもと、今回の3案を比較し、これまでのコンパクトシティの議論とは違うコンパクトシティの在り方を検討し、コンパクトシティに対する既存の考え方とは違う結果を導き出せたと感じております。

お力とご指導を頂きました大野秀敏先生、副指導をしてくださった清家剛先生、並びに日高先生、和田先生、ありがとうございました。

また、2年間研究室の皆さま、ありがとうございました。

研究をする上で貴重な時間を割いて資料を提供してくださいました、長岡市の職員の方々、本当にありがとうございました。資料を頂いた結果、このようにまとめることができました。

なお、本研究（の一部）は、環境省の地球環境研究総合推進費（Hc-088）の支援により実施されました。このような機会を下さった、中村勉先生はじめ低炭素委員会の先生方、ありがとうございました。