

環境共生都市の都市空間形態に関する研究

松 橋 啓 介

東京大学審査学位論文
(平成12年度)

環境共生都市の都市空間形態に関する研究

松 橋 啓 介

目次

第一章 研究の背景と目的	1
1 研究の背景	1
1.1 環境共生都市の現状	1
1.2 既存の環境共生都市の提案における問題点	2
1.3 環境共生都市に関する基本認識	3
2 環境共生都市の都市空間形態に関する研究課題	6
2.1 都市のコンパクト性に関する研究の動向	6
2.2 職住配置に関する研究の動向	7
2.3 土地利用密度と交通エネルギーに関する研究の動向	7
2.4 環境共生都市に関する環境評価項目の動向	9
2.5 研究課題のまとめ	10
3 研究の目的	11
4 論文の構成	12
参考文献	14
第二章 都市内空地を考慮した省エネルギー型都市の立体都市空間形態	17
1 はじめに	17
2 移動エネルギー	18
2.1 移動エネルギーの現状	18
2.2 移動エネルギーの考え方	18
3 用途床配置モデル	19
3.1 モデルの仮定	19
3.2 配置の流れ	21
3.3 モデルの注意点	23
4 平面都市における職住再配置	25

4.1	ブロック数の設定	25
4.2	トリップの設定	25
4.3	エネルギー原単位の設定	26
4.4	結果	26
5	立体都市空間モデルにおける職住床配置	28
5.1	ブロック数の設定	28
5.2	トリップの設定	29
5.3	エネルギー原単位の設定	29
5.4	密度を可変とした場合の結果	29
6	道路・公園を考慮した立体都市空間モデル	32
6.1	オープンスペースによる階数の制約	32
6.2	オープンスペースを考慮した結果	37
7	まとめ	41
	参考文献	43

第三章 多基準意思決定分析を用いた環境共生都市の都市空間形態の検討 45

1	はじめに	45
2	研究の設定条件と方法	46
2.1	研究対象と研究の設定条件	46
2.2	多基準意思決定分析	46
3	環境共生都市空間形態モデル	48
3.1	都市空間形態の考え方	48
3.2	決定変数	50
3.3	環境に関する目的変数の選び方	50
3.4	目的変数	51
4	環境負荷の小さい土地利用密度の検討と結果	53
4.1	データ設定	53
4.2	操作と出力	55
4.3	プロセスの例	56
5	まとめ	61
	参考文献	63

第四章 環境問題の整理と重要度比較に関する研究 65

1	はじめに	65
---	------------	----

2	環境の総合評価.....	65
2.1	環境総合評価に関する背景	65
2.2	研究の目的.....	66
3	研究の方法.....	67
3.1	既存の評価手法における統合化.....	67
3.2	Comparative Risk.....	68
3.3	問題領域と保護対象の設定	69
3.4	会議実験	70
4	問題領域と保護対象の整理	71
4.1	整理の方法.....	71
4.2	問題領域の整理のプロセスおよび結果.....	74
4.3	保護対象の特定のプロセスおよび結果.....	76
4.4	問題領域－保護対象の整理に関する考察	78
4.5	専門家による評点付け.....	78
5	市民の価値観を反映する重み付けの試み	82
5.1	市民参加の重み付けを行う前提.....	82
5.2	重み付けの方法	82
5.3	重み付けのプロセスと集計結果.....	86
5.4	重み付けに関する考察.....	87
6	枠組みの利用可能性	89
6.1	総合評価手法の枠組み.....	89
6.2	重みの数値.....	89
6.3	価値判断の主体	90
7	環境共生都市の目標の位置づけ	90
8	まとめ	91
	参考文献.....	93

第五章 京阪神都市圏のトリップ・エネルギーと都市空間形態に関する研究 95

1	はじめに	95
2	背景と目的.....	95
3	トリップ・エネルギー算出の枠組み.....	96
3.1	トリップ・エネルギー.....	96
3.2	データおよび対象範囲.....	97
3.3	トリップの概況	98
4	トリップ・エネルギーの算出.....	99

4.1	距離を用いた TE の計算	99
4.2	所要時間を用いた TE の計算	100
4.3	距離と所要時間を用いた TE の計算	100
4.4	内々トリップに関するゾーン間距離の加工.....	101
4.5	乗車率	103
5	地域別 TE の計算結果と考察	104
5.1	地域別 TE の計算結果	104
5.2	地域別 TE に関する考察	109
6	地域特性とトリップ・エネルギーの関係	110
6.1	密度指標とトリップ・エネルギー	111
6.2	手段分担率とトリップ・エネルギー	112
6.3	密度指標と手段分担率.....	113
6.4	土地利用密度と交通エネルギーの関係	114
7	京阪神都市圏の環境共生型都市空間形態	115
8	まとめ	117
	参考文献.....	118
 第六章 結論		121
1	本論文の主な成果と結論	121
2	環境共生都市の実現施策	123
2.1	都市計画	124
2.2	土地利用計画と交通計画のリンク	125
2.3	市民参加型の基本計画の作成支援	126
2.4	エネルギー削減策	126
3	今後の研究課題.....	127
	参考文献.....	129
 関連論文		131
 謝辞		133

図表一覧

図 1-1 論文の構成

- 図 2-1 旅客輸送エネルギー消費量の推移
- 図 2-2 地区外からの従業人口と事務所床
- 図 2-3 ブロック間に発生するトリップの概念図
- 図 2-4 ブロック配置のフローチャート
- 表 2-1 東京都区部に関するトリップの構成比
- 図 2-5 密度一定の場合の業務地および居住地の再配置の例
- 表 2-2 東京都区部の業務ブロック数および居住ブロック数
- 表 2-3 目的別エネルギー原単位
- 図 2-6 密度を考慮した再配置
- 図 2-7 オープンスペース増加による階数変化の概念
- 図 2-8 公園面積算出のフロー
- 図 2-9 道路面積算出のフロー
- 図 2-10 土地利用密度と建物階数
- 図 2-11 東京都区部の職住配置形態
- 図 2-12 都市内空地を考慮した再配置
- 図 2-13 移動目的および移動手段の構成比と職住配置形態
- 図 2-14 条件設定と職住配置形態

- 図 3-1 ハードな基準とソフトな基準の概念
- 図 3-2 床面積の配置形態の概念
- 図 3-3 都市全体の空間形態の概念
- 図 3-4 変数間の関係図

表 3-1	入力データ
図 3-5	床面積当たりの各種土地利用面積（東京都区部，1986）
図 3-6	初期状態
図 3-7	要望水準と最小要求値を再設定するプロセス（Step.1）
図 3-8	要望水準と最小要求値を再設定するプロセス（Step.2）
図 3-9	要望水準と最小要求値を再設定するプロセス（Step.3）
図 3-10	要望水準と最小要求値を再設定するプロセス（Step.4）
表 3-2	各ステップの目的変数の値と土地利用構成
図 4-1	環境問題の因果関係のフローからみた問題領域と保護対象の切り出し方の例
図 4-2	各種の評価手法における統合化の方法
図 4-3	CR プロジェクトの流れ
表 4-1	会議実験の概要
表 4-2	会議実験参加者の構成
図 4-4	問題領域を分類する際の基準
表 4-3	第 1 回会議における問題領域リスト作成のプロセス
図 4-5	問題領域リストの改訂内容
表 4-4	第 2 回会議における保護対象の整理のプロセス
表 4-5	各種の評価手法における保護対象の例
表 4-6	第 2 回会議で選択した 4 つの保護対象
表 4-7	問題領域－保護対象のマトリクス
図 4-6	第 2 回会議の専門家による問題領域－保護対象の重み付け結果グラフ
表 4-8	第 2 回会議の専門家による問題領域－保護対象の重み付け結果表
図 4-7	第 3 回会議実験の階層図
図 4-8	情報シート（人の生存・健康への影響）
図 4-9	情報シート（生産・生活基盤への影響）
図 4-10	情報シート（生物・生態系への影響）
図 4-11	情報シート（不安・不公平感等の精神的影響）
図 4-12	質問の形式
表 4-9	第 3 回会議における重み付けのプロセス
図 4-13	問題領域間の重み付け集計結果
表 5-1	代表交通手段別および目的分類別のトリップ構成とトリップ・エネルギー
表 5-2	交通手段別エネルギー原単位

- 図 5-1 ゾーン別距離帯別平均速度
- 図 5-2 内々トリップ補正距離の分布
- 図 5-3 地域別 TE (発生, kcal/trip)
- 図 5-4 業務 TE (発生, kcal/trip)
- 図 5-5 通勤 TE (発生, kcal/trip)
- 図 5-6 通勤 TE (集中, kcal/trip)
- 図 5-7 鉄道 TE (発生, kcal/trip)
- 図 5-8 乗用車 TE (発生, kcal/trip)
- 図 5-9 夜間人口密度 (人/km²)
- 図 5-10 離散度と集中 TE
- 図 5-11 徒歩・自転車の分担率と発生 TE
- 図 5-12 鉄道駅周辺人口比率と鉄道分担率
- 図 5-13 夜間人口密度と乗用車分担率
- 表 5-3 地域別 TE と離散度等の相関係数

第一章 研究の背景と目的

1 研究の背景

1.1 環境共生都市の現状

1990 年代初頭、地球環境問題に対する国際的な取り組みの進展をきっかけとして、日本国内の官庁や学会は、環境共生都市に類する提案を次々と出した。建設省によると、環境共生都市とは、環境負荷を軽減し、自然との共生を図りながら、高いアメニティを実現する都市のことであり、環境面を重視した都市整備のビジョンとして提唱されたものである（伊藤 他, 1993）。

1990 年代前半に、少なくとも 5 省庁から環境共生都市に類する提案がされている。その中で、省エネルギー・省資源に重点を置いた提案は、通産省のエコ・エネルギー都市（棚橋, 1993）である。一方で、林野庁（1993）は、森林都市構想において自然環境と都市との共生を提案している。環境庁（1989）のエコポリスは、省資源・省エネルギーと自然環境との共生の双方に配慮している。さらに建設省の環境共生都市（エコシティ）や国土庁（1993）のアースコンシャスシティは、省資源・省エネルギーによる環境負荷の削減および自然環境との共生に「アメニティの創出」や「地域資源を生かした産業振興」といった独自の目標を加えている。最近では、日本建築学会（1999）で、環境共生都市に向けた自治体レベルの取り組みと課題が議論されている。これらの動向を踏まえて、本論文では、これ以降、特段の断りのない限り、環境面の要素として環境負荷の低減と自然との共生の二つに配慮した都市を、環境共生都市と呼ぶことにする。類似の概念に環境調和型都市（内藤, 1993）があるが、アメニティとエコロジーのバランスに配慮した都市を指すものとして区別する。

建設省のホームページによると、環境共生モデル都市として指定を受けている自治体は、

2000 年夏の時点で、20 都市である。しかし、環境共生都市の実現に向けた施策の内容は、河川・道路・緑地整備や地域冷暖房・ゴミ発電の導入といった事業が中心であり、都市形態に関連する施策は、中心市街地の活性化を目指す浜松市と、新交通システムを延伸した北九州市等がある程度である。一方、自治体の総合計画においては、環境負荷の低減や自然環境の保全、活気あるまちづくり等を目指して、青森市や神戸市が都市構造のコンパクト化を提示する動きが見られるようになってきている。

環境共生都市に関する施策は、その目標期間によって二つに分類できる。一つは、気候変動防止枠組み条約における二酸化炭素等の温室効果ガス排出削減目標の達成等といった比較的短期的な成果を狙った提案であり、もう一つは、環境問題全般への関心の高まりを受けて、中長期的な社会経済システムのあり方を再検討するものである。前者は、太陽光パネル、コジェネレーションシステム、住宅断熱、屋上緑化などの低環境負荷型の技術的な施策の集合体であり、環境共生都市に関する施策のほとんどは、これに含まれる。リサイクルや水循環等のシステム整備は、総体的に見ると中期的対策であるが、具体的な施策の内容はほとんどが技術的対策となっていることから、ここでは前者に分類する。後者には、都市形態での環境負荷の軽減（建設省、1994）が当てはまる。すなわち、環境共生都市は、「環境面を重視した都市整備のビジョン」として提案されているにも関わらず、都市の空間形態に関連する施策は少なく、都市空間形態を所与とした上での、技術的な対応の寄せ集めが中心となっている。また、都市空間形態に関する提案は、短期的な環境負荷低減の達成という観点からはあまり有効ではなく、中長期的な社会経済システムの方向性を示すものと位置づけることができる。

国外では、欧州を中心として「持続可能な都市」の概念が注目を集め、都市のあるべき姿に関する提案が活発に行われている（例えば、OECD, 1996a; Newman & Kenworthy, 1999; Capello et al., 1999）。定性的な議論が多い中で、土地利用と持続可能な交通に関する会合（例えば、Gorham, 1998）では、土地利用と交通に関する環境評価指標の基礎的な検討が行われている。国内でも、土地利用・都市構造に関する方策の検討と、土地の多機能・コンパクト利用の環境改善効果の推計について、将来的な課題として議論が行われている。しかしながら、具体的な土地利用形態を明確にする段階には至っていない。

1.2 既存の環境共生都市の提案における問題点

環境共生都市に関する提案の現状を踏まえて、二つの問題点を指摘することができる。

特に国内の提案において、個別技術の導入に関心が集中し、総合的な都市計画や都市空間形態のあるべき姿の検討がほとんどなされていない点が問題である。そのため、環境基

本計画や都市マスタープラン（基本計画）の策定において、総論で環境にやさしいまちづくりを盛り込んでも、具体的な土地利用計画には、環境共生都市の考え方はほとんど反映されていないのが現状である。

もう一つの問題点は、都市形態の検討において、環境負荷の削減と自然環境との共生が別々の目的ととらえられ、それぞれに異なるモデル都市が提示されている点である。例えば、乗用車がさまざまな環境負荷の原因であるとして、移動距離の短縮を目指したコンパクトな都市が提示されている。その一方で、自然および田園と都市との調和を目指して、両者を混合した結果として低密度の都市が提示されている。これらの目的の一方を満たすことが環境共生都市の要件であるならば、大多数の都市は容易に環境共生都市となりうる。しかし、それでは現状の都市と何も変わらず、何も提案していないのと同じことである。Breheny（1992）が指摘しているように、環境負荷の削減と自然との共生の二つの条件を同時に満たす中間の都市空間形態に関する議論を深める必要があると考えられる。また、考慮する環境負荷の内容によっても都市像は異なってくるため、環境負荷として扱う項目の選択を慎重に行う必要があると考えられる。

1.3 環境共生都市に関する基本認識

近年、環境に対する世間の関心は日増しに高まっており、自治体の総合計画においても、環境が一つのキーワードとなることが多い。筆者は、環境共生都市のコンセプトを中長期的な都市計画に反映させるために、環境負荷の低減と自然環境との共生を両立させる都市空間形態を明らかにする必要があると考えている。また、中長期的な都市計画のビジョン作りにおいては、市民の参加が求められるようになってきているため、多様な主体の参加の下での計画を支援する手法を開発することが課題となると考えている。

これまでの提案では、提案者の専門分野や嗜好に応じて、特定の側面だけを取り上げた検討が行われる傾向が見られた。しかし今後は、計画策定への市民参加が進むことが予想されるため、市民の多様な要望に応える必要があると考えられる。また、複数の評価軸がトレードオフ関係にある場合には、特定の評価軸だけを意思決定の根拠とするのではなく、複数の評価軸間の重み付けを変えながら検討を行う必要があると考えられる。複数の評価軸を扱う計画支援手法を用いることで、結果として、都心部、郊外部、大都市、地方中核都市、中小都市、集落といった地域特性に応じた環境共生都市の提案が可能になると考えられる。

以下には、環境共生都市を検討するにあたって、関連する主要な議論に対して筆者の認識を整理しておく。

1.3.1 拠点分散型都市

既に、都市的サービスの効率化による環境負荷の低減と自然環境へのアクセス確保を同時に満たす都市空間形態の概念として、拠点分散型の都市が提案されている。生活に必要な施設を公共交通機関の駐車場の周辺に効率的に立地させ、適当な間隔に配置したそれらの拠点を公共共通機関で結ぶ計画方法である（例えば、Calthorpe Associates, 1990 ; Department of the Environment, 1994）。しかしながら、そこでは、拠点内の土地利用密度、拠点間の距離すなわち都市内の拠点の密度、それらを総合した都市全体の土地利用密度等といった都市空間形態と、環境評価項目との関係は明確にされていない。また、近隣レベルに自然環境の空間を広く確保するための方法として、建物を低密のままに分散配置させる方法の他に、建物を高層にする方法も考えられるが、そうした建物形態についても考慮されていない。環境共生都市の空間形態を明らかにするためには、建物、敷地、地域、都市、都市圏といった各々のレベルにおけるひとまとまりの都市的空間の規模や密度を検討する必要があると考えられる。

1.3.2 地域循環型社会

ところで、環境共生都市の提案の中には、コンパクト・シティとは全く反対方向を向いたものがある。土地利用を低密度にして、再生可能エネルギーや自然循環をできるかぎり活用する地域循環型社会を目指す提案である。しかし、現状では地方都市郊外部における商業施設や住宅地の分散化傾向が自動車による環境負荷の増加を生んでいる実態を踏まえると、都市的サービスの提供が求められる都市部においては、移動の効率化を目指すことが妥当と考えられる。また、日本の国土面積が狭いことから、都市の低密度化は望ましくない可能性がある。たとえば、日本人全体の消費のエコロジカル・フットプリント（ある特定の地域の経済活動、またはある特定の物質水準の生活を営む人々の消費活動を永続的に支えるために必要とされる生産可能な土地および水域面積の合計）を国土面積比で見ると、農地・牧草地・森林地に 1.57 倍、生産能力阻害地に 0.16 倍、二酸化炭素吸収地に 5.62 倍、合計で陸地に 7.35 倍の土地が必要とされ、海洋淡水域を加えると、国土面積比 13.55 倍の土地が必要とされている（和田, 1998）。地域循環型社会を実現するためには、再生可能エネルギーの利用促進や自然循環の活用と共に、大量消費型社会を改めることがまず重要であろう。一方、都市的な活動を行う部分の空間形態に関しては、必ずしも低密度である必要は無く、コンパクト化の可能性を検討する必要があると考えられる。

1.3.3 技術革新による変化

環境負荷の低減等の対策として、都市空間形態の変更は時間がかかる割に大きな成果が得られず、技術革新の方が大きな成果が期待できるとする意見がある。しかし、技術開発に依存する改善策は、技術革新に関する不確実性が大きく、予測が困難な点に問題がある。

例えば、自動車からの環境負荷を大幅に改良する技術として、燃料電池自動車に期待が集まっている。しかし、燃料改質と軽量化に難点があるため、広く普及するのはずっと先になると予想されている。特に、購買力が相対的に低い途上国において燃料電池自動車が普及することはずっと遠い未来になると考えられる。また、温室効果ガスや大気汚染物質の経年変化の要因分析によると、ここ数年の傾向として、自動車単体の燃費改善は、購入車両の大型化や走行距離の増加に打ち消されている。これらのことから、技術革新のみに依存せず、都市計画の面からも改善策を検討しておく必要があると考えている。

一方、技術の進歩による改善は、現在多く利用されている自動車だけに限らない。路面電車等の代替交通機関にも軽量化等による効率向上が期待されている。また、コジェネレーションシステムによる熱供給や、回生電力の回収の可能性を考慮すると、バッテリーや燃料タンクを車上に搭載しない電力利用の軌道系交通手段の優位性はほとんど低下しないと考えられる。

また、交通システム全体の効率を考えると、土地利用が高密度であり、公共交通機関や徒歩や自転車が利用可能なことが望ましい状態と考えられる。移動距離が短い場合、徒歩および自転車の利用が容易になり、交通エネルギーを根本的に減らすことができる。また、路面電車等の公共交通機関は、各個の駐車スペースが大幅に少なくて済み、都市中心部における土地利用の分散化が避けられることから、徒歩との相性も良い(例えば、伊藤, 1994)。たとえ燃料電池自動車が普及しても、それに匹敵する効果を挙げることは難しいと考えている。

1.3.4 情報化による変化

情報技術の発展に伴って、都市が分散すると考えられるが、情報技術はもともと予測困難な要因でもある(ジェームズ・トレフィル, 1994)。しかし、現状の情報産業の立地に関する限り、都心周辺部までの分散にとどまっている。また、高齢化に伴って社会サービスの提供機会が増加するなどの別の要因を考慮すると、近距離移動や物流の発生頻度の大幅な減少は短期的には起こりそうもない。もし仮に移動の構造が変化した場合でも、その場合の数値に基づいて、環境共生の観点から望ましい姿を新たに検討することができると考えている。

1.3.5 環境共生以外の側面

都市計画の立案においては、環境以外にも、経済的、社会的、歴史的側面等のバランスを考慮する必要がある。そのため、環境面からの評価を行っても、それだけで都市空間形態を決定することは当然できない。しかし、環境総合評価を行い、環境面から見て望ましい都市空間形態を示すことで、他の側面を考え合わせた合理的な意思決定が容易になると考えられる。そこに、環境共生都市のあるべき都市空間形態について論じる意味があると

考えている。

2 環境共生都市の都市空間形態に関する研究課題

前節では、環境負荷の低減と自然環境との共生を両立させる都市空間形態の明確化と、複数の環境評価項目を取り入れた計画支援手法の開発を、環境共生都市の実現に関する課題として認識した。本節ではそれを踏まえて、既存研究の整理と研究課題の明確化を行う。以下の通り、既存研究を、総移動距離の短縮の観点から都市空間形態を論じたコンパクト・シティに関する検討を始めとして、移動の中でも通勤交通と業務交通に注目して業務地と居住地の立地を論じた研究、さらに土地利用密度が交通エネルギーに与える影響に関する議論へと整理する。また同時に、環境評価項目の選択に関する課題整理を行う。最後に、全体を俯瞰したまとめにおいて、課題の明確化を行う。

2.1 都市のコンパクト性に関する研究の動向

都市空間形態のコントロールによる都市の環境負荷の低減可能性を包括的に検討した注目すべき試みは、コンパクト・シティ（ダンツィク・サアティ，1973）である。コンパクト・シティは、二次元的に広がってしまった都市を上下方向に積み重ね、居住者の活動時間をずらすことにより都市活動の飛躍的な効率化を目指す提案である。たとえば二百万人を半径 5km の都市域に集積させることで、土地の占有量および移動にかかるエネルギー等を削減し、資源を他地域や次世代のために残すことができるとしている。コンパクト・シティは、オペレーションズ・リサーチを始めとするトータルシステム・アプローチを用いて、都市の理想型を提示することにより、都市空間形態の考え方に大きな影響を与えた。しかし、人工地盤を積層させた巨大建築物であることが引き起こす問題点－都市の外側に面する住宅に住む約 40%の居住者を除いては自然の日照を直接得ることができないこと、自然の空気に触れるためには屋上庭園か周辺の田園地帯に出なければならないこと－を、一般の市民が受け入れることは困難と考えられる。

同様の試みとして、日本国内では、鈴木（1993）が上下方向を含む都市の総移動エネルギーの効率化に着目し、望ましい都市形態の3次元的な空間イメージを示している。腰塚（1995）は、直方体の都市を仮定し、総移動時間または総移動エネルギーを最小化する都市形態の厳密解を求めている。いずれも、床面積あたりの移動の発生密度を一定とし、床の相互間に発生する総移動量の最小化を行った研究であり、相当に高密度な都市空間形態を解として導いている。

田頭（1998）は、移動エネルギーの他に、民生エネルギー削減に寄与するシステム技術の導入可能性を考慮して、都市のコンパクト化が環境負荷低減に役立つ方向にあるか否かを検討している。その結果、低密度都市でも、移動距離が長くない場合には、太陽光発電システムを取り入れることで省エネルギー型都市になりうることを示している。ただし、長距離の移動が伴う大規模な都市では、土地利用を高密度化させて、公共交通機関と地域冷暖房を導入することが望ましいとしている。

2.2 職住配置に関する研究の動向

土地や床の相互間の総移動量を最小化する代わりに、土地利用もしくは床利用を居住用途と業務用途に分類し、通勤交通および業務間交通等を最小化する観点から、職住配置の最適化を試みた研究が展開されている。

Ogawa & Fujita（1980）は、線状都市を仮定し、各主体の交通費と地代から見た効用を最大化する居住地と業務地の分布密度の均衡解を求めている。クロスコミューティングは無いと仮定し、業務地、居住地、職住混在の三種類の土地利用種別に土地利用密度を求めると、通勤交通に対する業務交通の比に応じて、職住近接、業務集中、両者の混合の三パターンの都市空間形態となることを示している。また、田淵（1987）は、通勤交通、業務交通、建て替えの3種類の費用の観点から、線状都市が発展する過程における職住配置の市場均衡解を求めている。両者とも簡単化のため線状都市を仮定しているため、二次元平面に適用する際には、中心部と周辺部での面積の違いを考慮する必要がある。宮武 他（1995）は、道路混雑による燃料消費量の増加を考慮し、自動車の燃料消費量を最小にする居住地、業務地、道路配置を示している。しかし、居住地と業務地のネット人口密度をそれぞれ一定としており、高層化等によってネット人口密度が増加する可能性を考慮していない。

鈴木・田頭（1997）は、居住地密度を一様としたとき、望ましい業務立地は、通勤に対する業務移動発生率が0.8より小さい場合には完全分散、大きい場合には一極集中となっている。他に、鈴木（1994）は、職住分布を変更する代わりに、職住割当を最適化してクロスコミューティングをなくすることで東京大都市圏の平均通勤距離を約30%、エネルギー消費も約5割削減できるとしている。

2.3 土地利用密度と交通エネルギーに関する研究の動向

コンパクト・シティの環境負荷削減効果に対する反論もある。エネルギー消費、特に自動車の燃料消費量等と、土地利用密度の関係性について、激しい議論が交わされている。

Newman & Kenworthy（1989）は、世界各地の都市の実証的比較分析を行い、高密度な都

市ではガソリン消費量が少ないことを示し、燃料消費量の削減には政策による土地利用の高密度化と公共交通の誘導が必要と結論づけている。例えば、都市のグロス人口密度が 30～40 人/ha あれば公共交通機関を導入でき、100 人/ha あれば徒歩を中心とした生活が可能としている。

それに対して Gordon & Richardson (1989) は、自由市場主義の立場から、成長管理と交通システム整備の効果に疑問を投げかけている。また、文化的・政治的背景が異なる地域を比較していること、都市の内部構造を無視して平均密度を用いていること、移動の目的や手段を無視していることへの批判に加えて、都市全体の土地利用密度の変更は困難であり、交通エネルギー削減策としては、ミクストユース、街路パターンの変更、プライシング等のより効率的な手段が他にあるとする反論も数多い(例えば, Breheny, 1995 ; Handy , 1996 ; Gorham, 1998)。それに対して, Newman & Kenworthy (1992) は、政府が経済的手法の導入に消極的である以上、高密度化の促進を含む土地利用計画の果たす役割は依然として重要であると反論している。

土地利用密度を上げると、トリップ距離が短縮される他にも、モーダルシフトおよびトリップ頻度増加といった交通行動の変化が起こるとされており、交通分野を中心に詳細な議論が行われている。トリップ短縮効果について、Hanson (1982) は、高密度な土地利用は社会的移動とレジャー目的の移動を除くトリップの平均距離および総移動を減らすとしている。しかし、Levinson & Kumar (1994) は、土地利用が低密度になっても、職場と住居が合理的に再配置される結果、移動距離は変わらないとしている。一方、Spence & Frost (1995) は、職住配置が変わっても通勤交通の性質は変わらず、低密度になると平均的な移動距離は長くなるとしている。

土地利用密度が上がると自家用車から公共交通や自転車や徒歩へのモーダルシフトが起こるという一般的な見解に対しても、反論がある。自家用車は個人的かつ快適な移動手段であり、ドアツードアで荷物と一緒に座って動け、限界費用が公共交通よりも安く、ステータスシンボルでもある等の理由から、自家用車への依存が続いており、これからも続くとされている(例えば, Knight, 1996)。また、レジャー目的の交通は、モーダルシフトに関しても、トリップ距離と同様に、都市の土地利用密度にほとんど影響を受けないといわれている。

トリップ頻度増加について、グラビティ・モデルを適用するならば、近距離ではトリップ頻度が増加することとなる。しかし、Hanson (1982) は、買い物等の近距離移動の頻度は近隣の土地利用密度の高さに関係するけれども、そうしたトリップはほとんど徒歩で行われるし、トリップ全体で見ると土地利用密度がトリップの発生頻度に与える影響は小さいとしている。

2.4 環境共生都市に関する環境評価項目の動向

環境共生都市の環境負荷の項目には、エネルギー消費量がもっともよく使われている。エネルギー消費量は、燃料使用量に発熱量を乗じることで容易に求められること、燃料消費量が把握しやすいこと、燃料種の違いに関わらず比較可能な数値であること、また、都市の活動量や他の環境負荷項目にも関係が深いことなどの理由から、しばしば利用されると考えられる。一方、気候変動防止の観点からは、温室効果ガスの中でも特に二酸化炭素（CO₂）排出量が使われる。都市空間形態に応じて変わる環境負荷として自動車の燃料消費の寄与が大きいと考えられる現状では、どちらの評価項目を用いても結果にほとんど違いはない。しかし、電力の CO₂ 排出原単位は原子力発電等の構成比に依存するため、電車や電気自動車を考慮するときは、評価結果に差が出る（近藤 他, 1996）。そのため、原子力発電に対する反発が強い場合や、気候変動防止よりもエネルギー資源の保全を重視する場合には、環境負荷にエネルギーを用いる方がより適切と考えられる。

他の環境評価項目としては、まず、OECD（1996b）が持続可能な都市交通のために 2030 年に達成すべき基準として CO₂ に加えて示した、窒素酸化物（NO_x）、揮発性有機化合物（VOCs）、浮遊粒子状物質（PM₁₀）、騒音、土地占有等が考えられる。また、コンパクト・シティに関する議論においては、土地利用を高密度化させることに伴って、生活の質（QOL, Quality of Life）が低下する恐れのあることが指摘されている。こうした観点から、例えば、都市内緑地面積や天空率等を評価項目に取り入れる提案がされている。一方、複数の評価項目を用いる場合には、都市内の緑地を開発することで都市外部の自然地を守ることができるといったトレードオフ関係が起こる可能性がある。そのため、望ましい都市空間形態を明らかにするためには、項目間の重み付けが必要になると考えられる。

ここまで都市の側から見た環境評価項目の例を挙げたが、環境の側からの整理も行われている。環境指標がその例であり、多種多様な環境指標群が地域ごとに作成されている（社会調査研究所, 1997）。環境指標とは、常識的な表現を用いるならば、「環境に関するある種の状態を可能な限り定量的に評価するための物差し」と表現される（内藤 他, 1986）。環境指標は、計画・施策の評価や立案に利用されるが、個別指標のリストを一覧して環境の良し悪しを判断することは不可能である。そこで、比較可能な単一もしくは少数の指標となる環境総合指標の開発が必要とされている。

他方、製品やサービスの生産から廃棄までの環境負荷を評価するライフサイクルインパクトアセスメント（LCIA）の分野でも、CO₂ 等の個別の評価項目の集まりから総体的な「環境へのやさしさ」を把握するために、DtT（Ahbe et al., 1990）、パネル法（永田・藤井, 1996）、貨幣換算（Steen, 1996）等の統合化手法が試されている。しかし、複数の LCIA のソフト

ウェアを用いて、同じ排出量データを用いて評価すると違う結果が得られている（寺園，1998）。環境総合評価や LCIA の分野では、評価する対象範囲の違い、予想されるインパクトの違い、評価基準の違い、評価基準に与える重み付けの違い等が課題となっており、評価手法が確立しているとは言い難い状況にある。そのため、環境共生都市の空間形態を検討するためにも、環境評価項目の選択方法と重み付け手法の改善が必要である。

2.5 研究課題のまとめ

第 1 節第 3 項に述べた環境共生都市に関する基本認識から、二つの研究課題を抽出することができる。一つは、中長期的な都市計画に環境共生都市のコンセプトを反映させるように、環境負荷の低減と自然環境との共生を両立させる都市空間形態を明らかにすることである。もう一つは、地域特性や住民の価値観を計画に取り入れられるように、複数の環境評価項目の重み付けを変えながら都市空間形態を検討することである。

さらに、既存研究の整理を踏まえた上での研究課題を加え、次に示すように研究課題をまとめることができる。

■ 環境負荷の低減と自然環境との共生を両立させる都市空間形態を明らかにすること

都市規模を一定とする場合、環境負荷低減の観点からは、総移動距離を短縮するコンパクトな都市空間形態が望ましい。しかし、自然環境との共生を考慮しない場合、極度に高密度な非現実的な都市空間形態が導かれるため、一般に受け入れられにくいという問題が起こる。そこで、都市レベルの空間形態を検討する際には、都市内に自然環境等のオープンスペース（空地）を確保することが妥当と考えられる。すなわち、都市内空地を確保した上で移動エネルギーを最小化させる都市空間形態について検討する必要があると考えられる。

● 土地利用密度と同時に建物形態を考慮すること

都市内の空地を確保するためには、土地利用密度を抑制する方法と建物を集合化させる方法が考えられる。特に最近では、超高層住宅等、建物形態の自由度が高くなっていることから、建物形態と空地量の関係について考慮する必要性が強まっている。また、都市的サービスを提供する床相互間の総移動距離を最小化するという仮定は、都市レベルの空間形態の検討には不適切である。居住床と業務床を分けて床相互間の移動頻度に重みを付けることで、より現実的な都市空間形態を求めることができる。

■ 複数の環境評価項目の重み付けを変えながら都市空間形態を検討すること

意思決定主体の価値観の違いや対象とする都市周辺の地域特性を都市空間形態に反

映させるために、複数の環境評価項目を選択し、トレードオフ関係にある評価項目間の重み付けを行い、都市空間形態の変化の様子を分析する必要があると考えられる。

- 環境の目標の選び方、重み付けの方法を改善すること

既存研究や地域環境指標の事例に基づいて移動エネルギーの削減を始めとする環境共生の目標を選択する一方で、意思決定主体の価値判断や地域特性に合う環境共生の目標を選択するための方法を提示する必要があると考えられる。環境分野においても、環境総合指標や統合評価手法は開発途上にあるため、環境に関する評価項目の選択や重み付けに関する検討を行う必要があると考えられる。

- 土地利用密度と交通エネルギーの関係を検証すること

都市空間形態が交通エネルギーに与える影響については、異なる見解が出されている。交通分野の専門家は、文化的・経済的・物理的状況や個人の嗜好、周辺環境などの関係因子に基づく行動分析が必要としているが、今のところ、十分なデータが得られないため、行動分析の結果を異なる都市空間形態に外挿することは困難と考えられる。そこで、環境共生都市の空間形態に関する基礎的検討を行うために、土地利用密度によってトリップ長のみが変化し、交通手段やトリップ頻度は変化しないとする仮定を採用することが考えられる。その場合、実際の都市空間形態と交通エネルギーのデータを用いて、仮定に基づく考察の妥当性を検証する必要があると考えられる。

3 研究の目的

本研究では、環境共生都市のコンセプトを中長期的な都市計画に反映させることを目標として、環境の観点から望ましくかつ一般的に受け入れられる都市空間形態について論じる。そのために、次の観点からアプローチする。

- 都市内空地を考慮したコンパクトシティの都市空間形態

移動にかかるエネルギーの削減のみならず、都市内オープンスペースの確保や建設エネルギーを考慮した場合に望ましい居住床および業務床の配置密度および建物形態を明らかにする。

- 地域特性を反映できる決定プロセス

複数の環境評価項目の希望達成水準を満たす土地利用密度と建物形態を求める意思決定支援手法を、地域特性や計画主体の価値観を都市空間形態に反映させるプロセスとして提案する。その手法を用いて、環境評価項目と都市空間構造の関係を分

析する。

- 環境問題の全体像と相対的な重要性の把握

環境問題の全体像の整理と、環境問題観の重要度の相対比較を行うことにより、環境共生の目標となる環境評価項目の選択方法に関するガイドラインを与える。

- 大都市圏の都市空間形態と環境負荷の関係

都市空間形態と交通エネルギーの関係を、実際の大都市圏のデータを用いて検証する。また、他の議論を踏まえて、望ましい都市空間形態に向けた施策を提案する。

4 論文の構成

本論文では、全六章を通じて、環境共生都市の都市空間形態を都市計画に反映させるための基礎的検討を行う。論文の構成を図 1-1 に示す。本章における研究の背景および目的の説明に続いて、第二章では、移動エネルギーの削減を目指すコンパクト・シティの考え方に、職住床の区分、都市内空地面積、建設エネルギー等を考慮に加えたシミュレーションを行うことにより、生活実態を反映した都市空間形態が提示可能であることを示す。第三章では、環境共生都市の空間形態の計画に住民の価値観や地域特性を反映させる計画支援手法として多基準意思決定分析を応用することを提案し、その手法を用いて、複数の環境評価項目と都市空間形態の関係について分析する。第二章と第三章は、都市空間形態と環境評価項目の詳細な表現がそれぞれ可能であり、互いに補完し合う関係にある。第四章において、環境問題の全体像を明確化し、個々の環境問題の位置づけを明らかにすることで、第三章の手法で用いる環境評価項目の選択方法に関するガイドラインを与える。第五章では、京阪神都市圏を対象にして、第二章と第三章で仮定した都市空間形態と交通エネルギーの関係の検証および第二章と第三章で提案される都市空間形態の妥当性の検証を行う。最後に、六章の結論において、環境共生都市の都市空間形態のあり方についてまとめる。

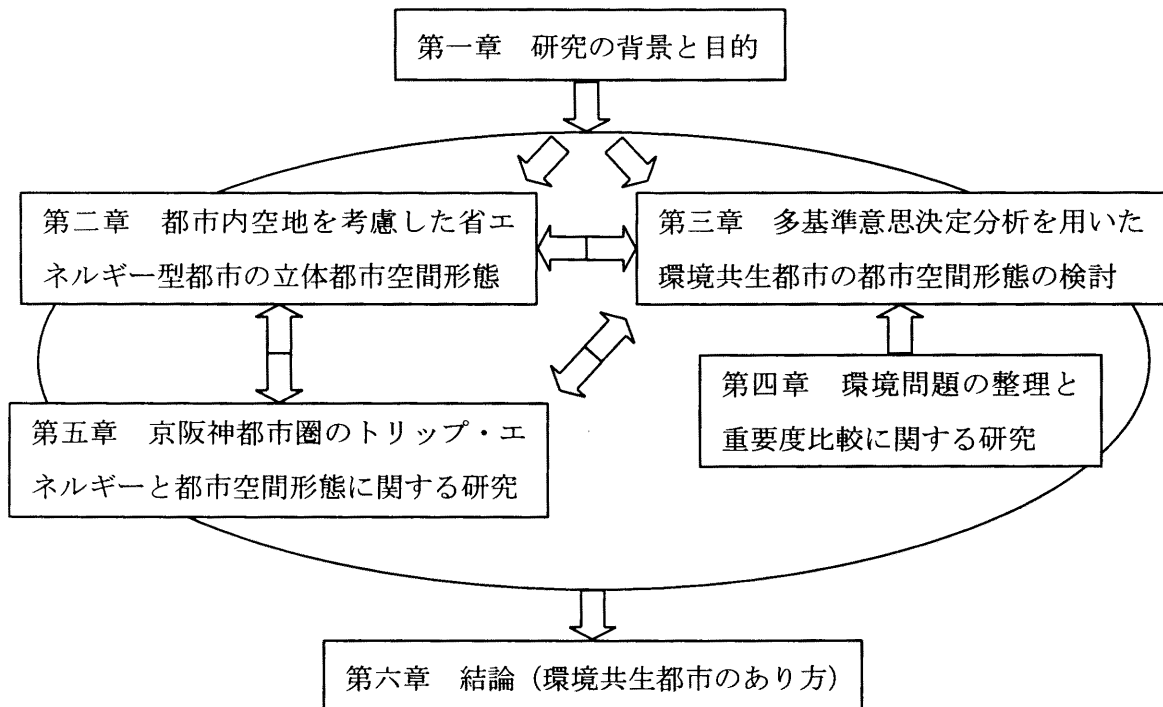


図 1-1 論文の構成

参考文献

- 伊藤 滋・高橋潤二郎・尾島俊雄 監修(1993) 環境共生都市づくり. ぎょうせい.
- 伊藤 滋 編著(1994) 都電型都市空間のすすめ. 彰国社.
- 環境庁 編(1989) 環境白書平成元年度版. 大蔵省印刷局.
- 建設省都市局都市計画課(1994) 環境都市のデザイン. ぎょうせい.
- 国土庁地方振興局(1993) アースコンシャスシティ研究会報告書.
- 腰塚武志(1995) コンパクトな都市のプロモーション. 都市計画論文集, 30, pp.499-514.
- 近藤美則・森口祐一・清水 浩(1996) 電気自動車 IZA とガソリン車とのライフサイクル CO2 量の比較. エネルギー・資源, 17(5), 76-82.
- ジェームズ・トレフィル(1994) ビルはどこまで高くできるか. 翔泳社.
- 社会調査研究所(1997) 日本および海外の地域環境指標の動向, MiC 環境レポート, 6.
- 鈴木 勉(1993) コンパクトな立体都市空間形態に関する考察. 都市計画論文集, 28, 415-420.
- 鈴木 勉(1994) 職住割当の最適化による通勤交通エネルギーの削減効果. オペレーションズ・リサーチ, 39(5), 243-248.
- 鈴木 勉・田頭直人(1997) 都市交通の視点から見た省エネルギー型都市構造とは?. オペレーションズ・リサーチ, 42(1), 14-19.
- 田頭直人(1998) 都市の空間構造とエネルギーに関する一考察. 都市計画論文集, 33, 61-66.
- 棚澤一郎(1993) エコエネルギー都市構想. サンシャインジャーナル, 13(2), 8-11.
- ダンツィク G.B.・サアティ T.L. (1973) コンパクト・シティ. 日科技連.
- 寺園 淳(1998) 異種の環境問題間の重み付け. 環境科学会誌, 11(2), 194-195.
- 内藤正明・西岡秀三・原科幸彦(1986) 環境指標. 計画行政叢書, 2, 日本計画行政学会 編, 学陽書房.

- 内藤正明(1993) 環境調和型都市づくりへの道筋. 環境調和型都市, エッソ石油.
- 永田勝也・藤井美文(1996) 技術のライフサイクルアセスメント手法. 人間活動による環境インパクトの定量化手法, 文部省科学研究費重点領域研究「人間地球系」E11 計画研究班, 39-58.
- 宮武昌史・秋澤 淳・茅 陽一(1995) 運輸エネルギー消費を最小化する最適都市構造の評価. 電学論B, 115(6), 617-623.
- 林野庁国有林野総合利用推進室 監修(1993) 21世紀の森林都市生活 II. 森林都市づくり研究会.
- 和田喜彦(1998) 地球の環境収容能力. 地球環境対策, 堀内行蔵 編, 有斐閣.
- Ahbe, S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R.(1990) Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung. BUWAL, Bern.
- Breheny, M.J.(ed.)(1992) Sustainable Development and Urban Form. Pion, London.
- Calthorpe Associates(1990) Transit-Oriented development design guidelines. Calthorpe Associates, Sacramento County Planning and Community Development Department.
- Capello, R., Nijkamp, P. and Pepping G.(1999) Sustainable Cities and Energy Policies. Springer.
- Department of the Environment and Department of the Transport: UK(1994) Planing Policy Guidance 13: Transport. HMSO, London.
- Fouchier, V.(1997) Les Densités Urbanies et le Développement Durable: Le Cas de l'Île-de France et des Villes Nouvelles. Paris: Secretariat Général du Groupe Central des Villes Nouvelles.
- Gordon, P. and Richardson, H.W.(1989) Gasoline consumption and cities: A Reply. Journal of the American Planning Association, 55(3), pp.342-346.
- Gorham, R.(1998) Land-Use Planning and Sustainable Urban Travel. prepared for the OECD-ECMT Workshop on Land-Use for Sustainable Urban Transport in Linz, OECD, Paris.
- Handy, S.(1996) Methodologies for Exploring the Link Between Urban Form and Travel Behavior. Transportation Reserch-D, 1(2), 151-165.
- Hanson, S.(1982) The Determinant of Daily Travel-Activity Patterns: Relative Location and

- Sociodemographic Factors. *Urban Geography*, 3, 179-202.
- Knight, C.(1996) Economic and Social Issues. *The Compact City*(eds M. Jenks, E. Burton, K. Williams), E & FN SPON.
- Levinson, D. and Kumar, A.(1994) The rational locator: why travel times have remained stable. *Journal of the American Planning Association*, 60(3), pp.319-332.
- Newman, P. and Kenworthy J.(1989) *Cities and Automobile Dependence. An International Sourcebook*, Aldershot, U.K.
- Newman, P. and Kenworthy J.(1992) Is there a role for physical planners?. *Journal of the American Planning Association*, 58(3), pp.353-362.
- Newman, P. and Kenworthy, J.(1999) *Sustainability and Cities*. ISLAND PRESS.
- OECD(1996a) *Innovative Policies for Sustainable Urban Development*. OECD, Paris.
- OECD(1996b) *Environmentally Sustainable Transport*. OECD, Paris.
- Ogawa, H. and Fujita, M.(1980) Equilibrium Land Use Patterns in a Nonmonocentric City. *Journal of Regional Science*, 20(4), 455-475.
- Spence, N. and Frost, M.(1995) Work travel responses to changing workplaces and changing residences. *Cities in competition: Productive and Sustainable Cities for the 21st Century*(eds J. Brotchie), Longman, Melbourne, pp.359-381.
- Steen, B.(1996) *EPS - Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources*, Version 1996. Swedish Environmental Research Institute Report AFR report 111.

第二章 都市内空地を考慮した省エネルギー型都市 の立体都市空間形態

1 はじめに

本章では、都市空間を表すブロックを再配置するシミュレーションを通じて、環境負荷の低減と自然環境との共生を両立させる都市空間形態を明らかにすることを目指す。自然環境を都市内に取り入れるために、床面積当たり一定量の公園等の面積を確保することを前提条件とし、コンパクト・シティの考え方において環境負荷を代表する指標としてしばしば利用されている交通エネルギー消費量を最小化することを目的とするシミュレーションを行う。

都市のコンパクト性に関する研究として、鈴木（1993）は全地域間の垂直方向を含めた移動距離を最小化する都市形態を示している。つづいて腰塚（1995）は、体積一様の仮定の下に最適地区形態の厳密解を求めている。両者とも、垂直方向の移動距離を考慮することでコンパクト性は無限の高密度とは異なることを明らかにしている。しかしながら、これらの結果をそのまま都市レベルの土地利用と移動距離へ拡張すると、非常に高層高密な都市が導かれる点が問題である。実際の都市においては、全地域間の近接性は必ずしも要求されていないため、トリップ発生頻度の低い土地利用は相対的に見て都市の外側に立地していると考えられる。また、都市レベルでは、密度の上昇にしたがって道路や公園が多く必要となることから、見かけ上の建物形態が高層化する一方で、グロスで見た土地利用密度は強い制約を受けることとなり、密度としては、あまり高密度化しないと考えられる。

これらの既存研究を踏まえて、本章では、都市を業務と居住の用途床に分けて表現した上で、通勤交通と業務間交通にかかる移動エネルギーを最小化する立体用途床配置形態について考察し、省エネルギー型都市の一側面を示すことを目的とする。その際に、公園や道路など、床面積に応じて必要になる土地利用面積についても考慮することが特徴である。

2 移動エネルギー

2.1 移動エネルギーの現状

本項では、日本の最終エネルギー消費量に占める移動関連のエネルギーの現状を概観し、エネルギー消費量の中に占める移動エネルギーの重要性を述べる。

1997 年において、日本の最終エネルギー消費量全体に対する運輸部門のエネルギー消費量は 24.7%, 旅客輸送部門だけで 15.7%, 乗用車のエネルギー消費量だけで 13.7% に相当し、近年それぞれ増加の傾向を見せ続けている (EDMC, 1999)。図 2-1 で旅客輸送部門のエネルギー消費量の推移を見ても、乗用車のエネルギー消費量の伸びが著しいことが分かる (運輸省, 1999)。乗用車のエネルギー消費量の伸びは、長距離化、大型化、モーダルシフトが、順に大きな原因となっていると分析されている (EDMC, 1999)。

2.2 移動エネルギーの考え方

都市空間のコンパクト化は、主にトリップ距離の短縮とモーダルシフトによって、移動エネルギーの削減を期待する観点から議論されている。しかし、ここでは簡単のため、移動エネルギー増加に対する寄与がもっとも大きいトリップ距離の変化のみを対象としたコンパクト化の検討を行う。すなわち、コンパクト化によって、モーダルシフトや頻度の変化は起こらず、距離の短縮化だけが起こると仮定する。または、コンパクト化による移動エネルギーの削減を、距離の短縮効果に代表させると解釈することもできる。都市の空間形態とモー

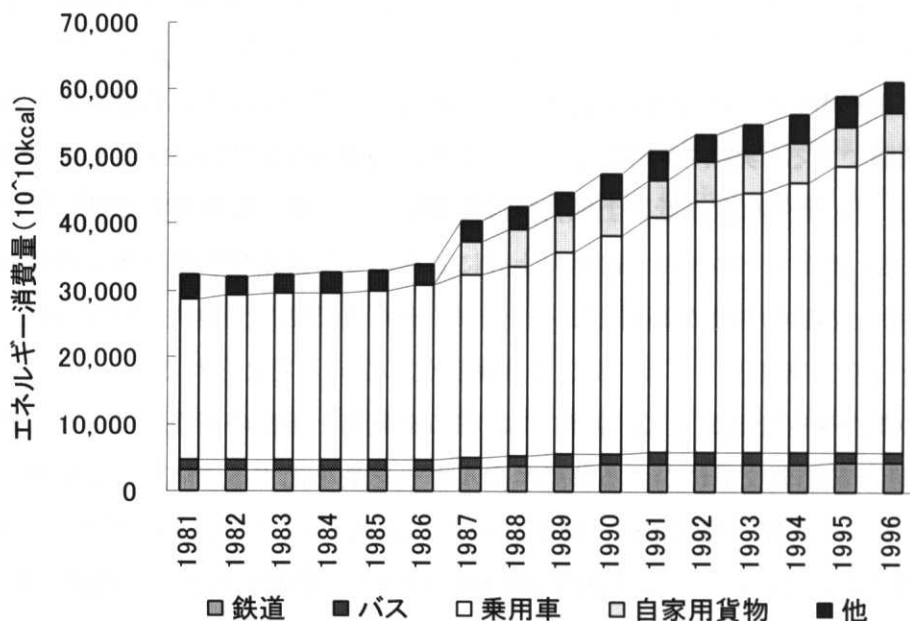


図 2-1 旅客輸送エネルギー消費量の推移

ダルシフトの関係の実態については、第五章で検証する。

3 用途床配置モデル

3.1 モデルの仮定

本項では、都市を業務と居住の用途床に分けて表現した上で、通勤交通と業務間交通にかかる移動エネルギーを最小化する立体用途床配置形態について考察するために、以下の仮定に基づくモデル化を行う。

3.1.1 業務と居住の二種類の単位床

2km 四方の広がり、一階分 3m の高さを持つ単位床ブロックを設定する。一ブロックは駅まで徒歩で約 15 分の駅勢圏と考え、その内部における水平方向の移動は徒歩や自転車などエネルギーを必要としない手段によるものと仮定する。図 2-2 に、東京都区部を対象に、東京都土地利用現況調査(1986)の区別事務所床メッシュ数と国勢調査(1985)の区外から通勤してくる従業者数をプロットすると、事務所床面積と地区外からの従業者数の相関が強いことがわかる。ここで区別事務所床メッシュ数とは、25m メッシュの格子点において、事務所用途であるメッシュの階数を区全体について合計した「延べ床メッシュ数」である。図 2-2 から、事務所床面積に対応する量のブロックを業務ブロックとし、その他の床面積を居住ブロックとすることとする。その際に、純粋な床面積の部分のみを空地から切り離したブロックを設定すると、相互の距離を短縮させるために床面積が過剰に集積し、全ての空地は

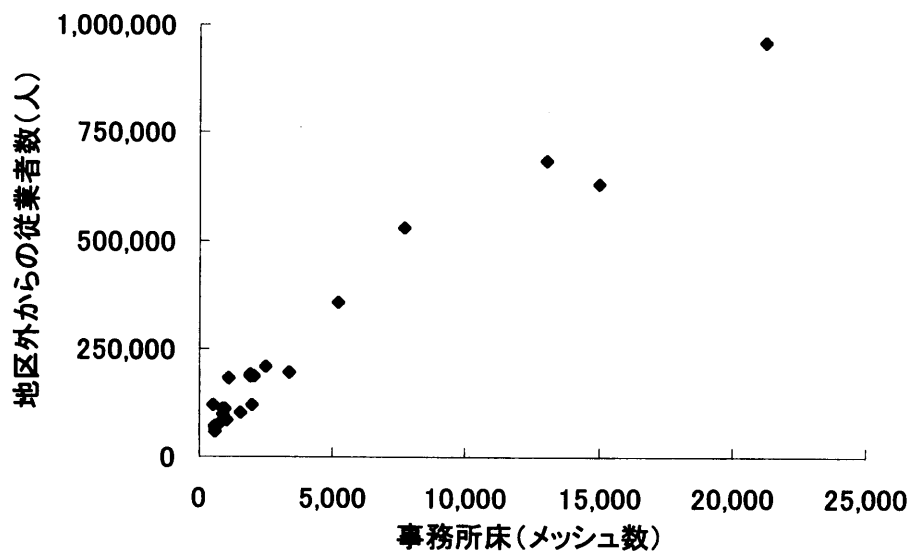


図 2-2 地区外からの従業人口と事務所床

都市の外側に追いやられる結果となることが予想される。こうした仮定は、非現実的な都市空間形態を招くため、望ましくないと考えられる。ここでは、東京都区部の平均的な河川や林などの大規模空地については各ブロックが内包すると考え、グロス建ぺい率を約 30%と設定する。都市域をメッシュに分けたフィールド上にこれらのブロックが分布することで、都市空間形態が表現される。また、都市規模つまり総ブロック数は一定とする。

3.1.2 ブロック間にトリップが発生

図 2-3 に示すように、居住ブロックから業務ブロックへ通勤交通、業務ブロック間に業務間交通、同メッシュ上の居住ブロック間に近隣交通が発生し、いずれの移動も必ず地上を経由するとする。また、それぞれの移動の発生頻度は初期値として与え、ブロック間の距離による移動頻度は変化しないとする。

通勤交通と業務間交通を検討する際には、その発生頻度や利用交通手段の違いに加えて、居住地と従業地の割当、すなわち職住割当を考える必要がある。鈴木 (1994) は、任意の職住ペアが等確率で起こる均等割当、居住地と従業地の交換により無駄な通勤を無くしたミニサム割当 (最適割当)、ある従業地に対する居住地分布が Tanner-Sherratt 型分布等に従う期待割当の 3 つを提示している。しかし本研究では、各種の割当に基づく試算を踏まえて、そうした手法とは別に、業務ブロックの一つずつ、一番近い居住ブロックを順次割り当てていく (順次割当) 方法を用いることとする。

割当方法による違いを試算したところ、均等割当の場合は相対的に高密度な用途床配置が導かれる傾向が強かった。実際には通勤先に合わせた居住地選択がある程度行われることを考慮して、均等割当は採用しないこととした。最適割当を前提とした既存研究として、Ogawa & Fujita (1980) は、通勤交通と業務間交通の比率が特定の範囲にある場合、都心に釣り合う量の職住が近接立地し、その周囲に通勤を要する業務地が立地し、さらにその周辺にその業務地に通勤する居住地が立地する職住配置が均衡パターンとなるとしている。そこでは最適割当を前提とするため、職住近接と通勤を要する地域を完全に分離して、各用途内の密度を一定としているが、本研究では各用途内の土地利用密度を可変とすることで、より望まし

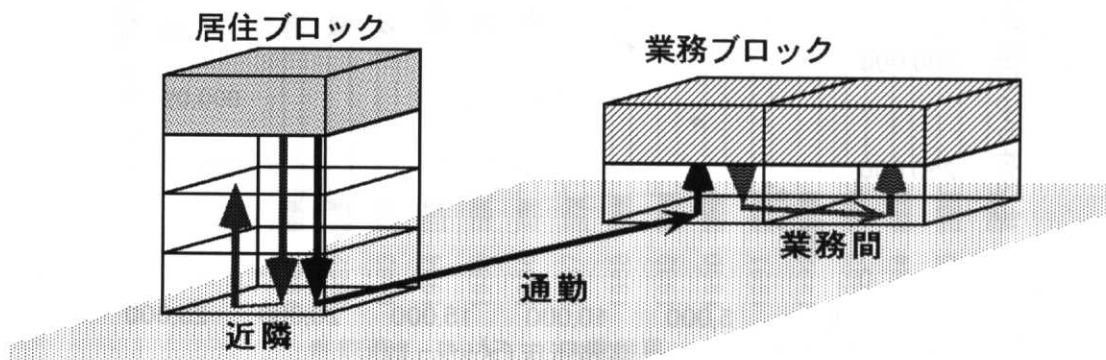


図 2-3 ブロック間に発生するトリップの概念図

い職住配置パターンを求めることを目指している。本研究でも、順次割当を行った後で、割当を交換して余分な通勤を無くすことで、総通勤距離が最小になる最適割当とすることができ。ただし、割当を最適化するプロセスを追加的に取り入れる場合にはシミュレーションにかかる時間が数十日に達することから、職住を最適割当とすることは困難と判断した。期待割当については、予測される分布が現実的な人口分布と良く一致することが指摘されているが、理論的な根拠に乏しい。業務地等が先に立地することで居住地等が立地できなくなる制約を考慮する本研究のような場合には、順次割当を用いたシミュレーション結果のように、特定の分布形よりもやや郊外方向に偏った人口分布になると考えられる。これらを勘案して、ここでは順次割当を用いた検討を行うこととする。

3.1.3 エネルギー距離による評価

水平移動距離はブロックの中心点間の直線距離で代表する。同じメッシュ内では、エネルギーを使わない徒歩や自転車といった手段で水平移動することとする。垂直方向の移動は、エレベータを用いて、一階分の高さ3mに「階数マイナス1」を乗じた距離を移動する。トリップ目的別に交通発生頻度の重みづけを行う。水平移動についてはさらに目的別交通手段構成に応じたエネルギー原単位の重みづけも行う。

3.2 配置の流れ

本章では、総エネルギー量が最小になるブロック配置のシミュレーションを行う。このモデルは、解析的に最適解を求めることができない。そのため、図2-4に示すフローにしたがってブロックを置き換えて評価する反復計算により、逐次的改善を行って、最終的な解を求めることとした。

3.2.1 初期配置

モデルの諸条件を設定するにあたって、東京都区部の土地利用データ（東京都都市計画局、1986）を参考にした。ここでは東京都区部の業務床、居住床の分布に基づく初期配置の設定方法について述べる。ブロックは、3.1.1に述べたとおり、2km四方の広がり一階分3mの高さを持ち、建築床の周囲に河川や森林といったような固定的なオープンスペースを約70%含むものとする。まず、各区のブロック数として、各区の「地区面積×平均階数」に比例した数のブロックを割り振った。地区面積は、各区の25mメッシュの個数（敷地メッシュ数）から算出し、平均階数は、地区内の全メッシュの階数の総和（延べ床メッシュ数）を建物存在メッシュ数で除したものである。次に各区のブロックを、用途別延べ床メッシュ数に応じて業務ブロックと居住ブロックに分けた。具体的には、区別に合計延べ床メッシュ数に対する事務用途延べ床メッシュ数の比率を求め、その比率を業務ブロックとし、残りを

居住ブロックとした。こうして求めた業務ブロック数は、整数にする際の端数の関係から、都区部全体で業務ブロック数を求める場合に比較して、総数が少なくなった。事務所の中には長距離の通勤を要しないタイプの事務所も含まれていることを考慮して、総数がやや少なくなるが、ここでは区別に求めた業務ブロック数を用いることとした。その結果、全体のブロック数は、都区部全体で業務ブロック数を求める場合に比較して約3%少ないこととなる。初期配置では、区域と見立てた 30km(15 メッシュ)四方のフィールド内に、区の位置関係に合わせて、それらの用途別ブロックを配置した。

3.2.2 繰り返し計算

相当な数の場合の組み合わせについて繰り返し計算を行う。初期配置を元にして、まず、ある業務ブロック B_i を暫定的に移動することを考える。15 メッシュ四方の全メッシュが暫定的な移動の検討対象となる。各々の場合の業務配置のセットについて、次の居住ブロック配置と距離計算を行う。居住ブロック R_j については、全て取り払った状態から、一つずつ配置することを考える。ここでも 15 メッシュ四方の全メッシュが配置の検討対象となる。距離計算の結果、最も総距離が短くなる場所 (v_j, w_j) に居住ブロックを配置する。その際、順次割当では、従業員となる業務ブロックを順に一つずつ割り当てる。全ての居住ブロックを配置したときの総距離が、業務ブロックの暫定的な移動先の評価値となる。全メッシュについて試行した中から最も総距離を短くするメッシュ (x_i, y_i) に業務ブロックを移動させる。これをすべての業務ブロックについて繰り返し、総距離が変わらなくなったら終了とする。

(x_i, y_i) : 業務ブロック B_i の座標

(v_j, w_j) : 居住ブロック R_j の座標

3.2.3 距離計算

水平方向の移動距離の目的別平均値を \bar{s} 、垂直方向の移動距離の用途床種類別平均値を \bar{u} 、トリップ発生頻度（片道）を f 、移動エネルギー原単位を E と表すとき、評価値となる総距離 D は、次の式で求められる。添字は、業務間交通 g 、通勤交通 t 、近隣交通 k 、業務床 bus 、居住床 res 、垂直方向の移動 v を表す。

$$D = f_g E_g \bar{s}_g + f_t E_t \bar{s}_t + E_v ((2f_g + f_t) \bar{u}_{bus} + (f_t + 2f_k) \bar{u}_{res})$$

ただし、

$$\bar{s}_g = \frac{2}{N_{bus}(N_{bus} - 1)} \sum_{i=1}^{N_{bus}} \sum_{j=1}^i s(B_i, B_j)$$

$$\bar{s}_t = \sum_{n=0}^{N_{rb}} \sum_{i=1}^{N_{bus}} s(B_i, R_{nN_{bus}+i})$$

$$s(A_i, A_j) = s(A_i(x_i, y_i), A_j(x_j, y_j)) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

N_{bus} : 業務ブロック数

N_{res} : 居住ブロック数

N_{rb} : 業務ブロック当たり居住ブロック数 (N_{res}/N_{bus}) を超えない整数

$$\bar{u}_{bus} = \frac{1}{N_{bus}} \sum_{x=1}^{N_{wid}} \sum_{y=1}^{N_{wid}} H_{bus}(x, y) \cdot (H_{bus}(x, y) - 1) / 2$$

$$\bar{u}_{res} = \frac{1}{N_{res}} \sum_{x=1}^{N_{wid}} \sum_{y=1}^{N_{wid}} H_{res}(x, y) \cdot (H_{res}(x, y) + H_{bus}(x, y) - 1) / 2$$

$H_{bus}(x, y)$: そこに立地する業務ブロックの数

$H_{res}(x, y)$: そこに立地する居住ブロックの数

N_{wid} : 対象区域のメッシュ数 (ここでは 15)

水平方向の移動は、ブロック間の水平距離に、目的別に異なるエネルギー原単位およびトリップ発生頻度を乗じて評価する。一方、垂直方向の移動は、用途床種類別の垂直移動距離と、一律のエネルギー原単位および目的別トリップ発生頻度を用いて評価する。なお第5節の方法で \bar{u} を計算する際には、高さを表す($H_{bus}(x, y) - 1$)と($H_{res}(x, y) + H_{bus}(x, y) - 1$)のブロック数については階数に変換したものを用いて計算する。

3.3 モデルの注意点

この手法は漸進的であるため、求められる解は極小値となり、最小値とはならないことに注意する必要がある。そのため、極端な初期値を与えたシミュレーションの結果を、適宜、比較する必要がある。以下のシミュレーションでは、初期値による結果の違いはほとんど見られなかった。特に業務ブロックが一塊になる場合には、安定した解が得られた。モデルが離散的なため、ブロックひとつ分の分布のずれは起こりやすい傾向にあるが、総距離の評価値はほぼ同じであった。当モデルを用いた結果は、細部の信頼性は低いものの、都市レベルのボリュームを示す目的には利用できると考えられる。

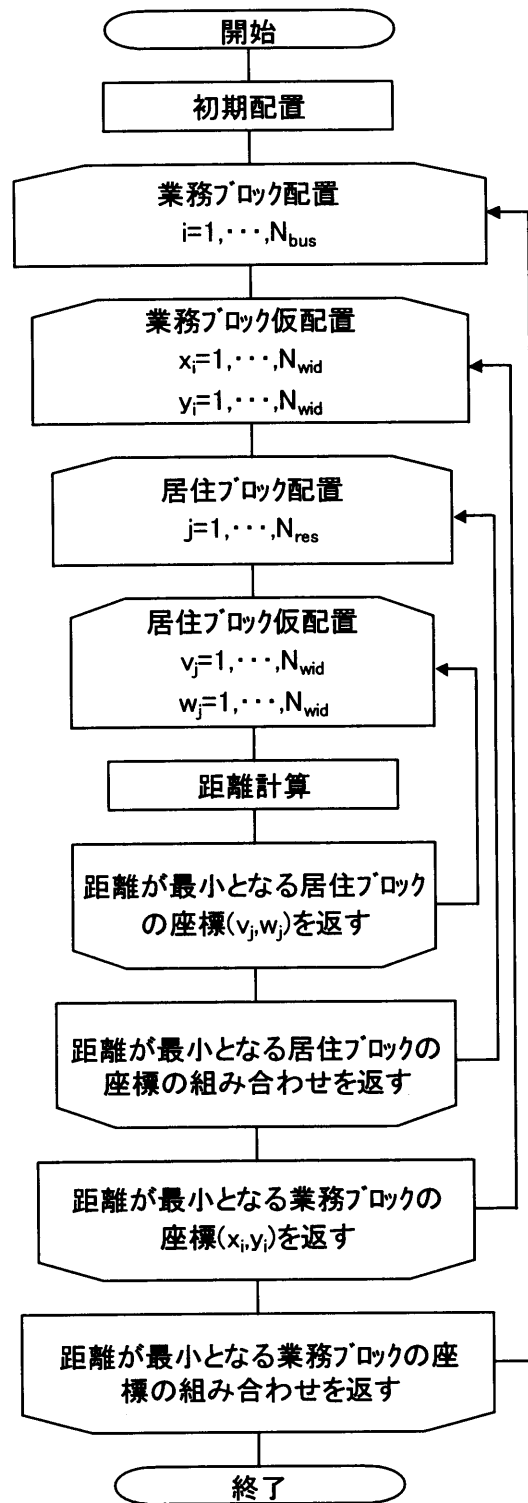


図 2-4 ブロック配置のフローチャート

4 平面都市における職住再配置

本節では、密度の違いを考慮しない場合の業務地と居住地を配置を検討する。このとき、一つのメッシュには密度一定のブロックが一つだけ入ると考える。すなわち、あるブロックが立地することにより、他のブロックはそこに立地する機会を奪われ、近接できないブロックへ到達するための距離が長くなる。

4.1 ブロック数の設定

東京都区部の区毎の用途別建築面積を元にとすると、業務ブロック 10 個、居住ブロック 142 個となる。現状に合わせて配置すると、図 2-5(a)のようになる。濃い色が業務ブロックでその周辺が居住ブロックである。右上が東京湾であり、都区部を西南西方向から見た図となっている。用途別に土地利用密度は一様であるため、平面上のブロック配置として表現される。

4.2 トリップの設定

表 2-1 に、『平成元年版 パーソントリップ調査』の東京都区部への集中トリップ数および発生・集中トリップ数を整理した。まずエネルギーをほとんど使わない「徒歩および二輪によるトリップ」を取り出し、残りの「自動車および鉄道などによるトリップ」を通勤、通学、自宅-業務、業務間（業務-業務）、その他、帰宅に分類したものである。これを見ると、帰宅交通とその他を除いて、通勤交通がもっとも多く、業務間交通が続くことが分かる。

これを元に、モデルのトリップ頻度を設定する。ここでは、徒歩や二輪によるトリップを近隣交通と見なし、それ以外の交通手段による帰宅交通を通勤交通の頻度と見なすことにする。すると、発集トリップで見ると、近隣交通は通勤交通の約 2 倍となる。また、通勤交通に対する業務間交通のトリップ数の比は、東京都区部への集中トリップで見ると 0.59、発集トリップで見ると 0.68 となる。これを近隣交通や通勤交通と同じく片道分で見ると 0.30、0.34 となる。

表 2-1 東京都区部に関するトリップの構成比

		集中	発集
徒歩・二輪		41%	41%
	通勤	19%	14%
鉄道・バス・ 自動車など	通学	4%	3%
	自宅-業務	2%	2%
	業務-業務	9%	9%
	その他	9%	9%
	帰宅	16%	22%

ところで、田頭（1994）は、片道分でみた東京都市圏の業務間／通勤トリップ比の推計値を 0.24～0.77 と幅を持たせている。パーソントリップの調査票への実際の記入において、一連の業務活動を 1 トリップとしたか、目的地毎に 1 トリップと数えたかによって、この値は変化する可能性がある。また、エネルギーを必要としない徒歩や自転車によるトリップの扱い方によっても、この値は異なる。以降のシミュレーションでは、特に断りのない場合、片道分で見ても 0.3 を業務間／通勤トリップ比の設定値とすることにする。これは、通勤交通 1 回につき、業務間交通が 0.6 回（ただし、片道分のみ）発生する頻度に当たる。

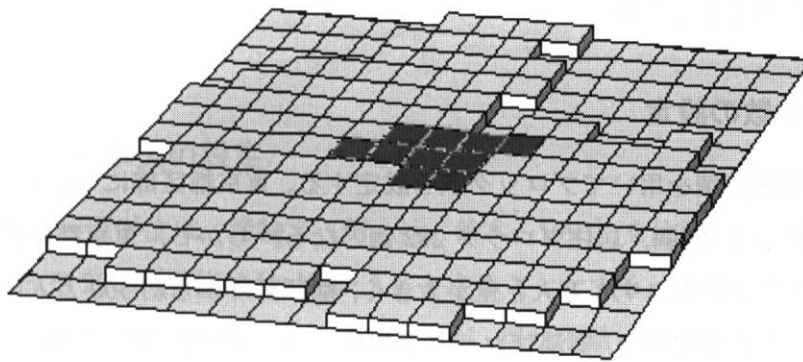
4.3 エネルギー原単位の設定

業務交通は自動車の手段分担率が約 5 割と、通勤交通に比べて大きいいため、エネルギー原単位を通勤 140 に対して業務 350（単位は kcal/km・人）と、目的別に水平移動エネルギーに重みを付ける。近隣交通については、2km 四方のメッシュ内の移動と考え、水平移動エネルギーを 0 とする。目的別エネルギー原単位の詳細については、垂直方向の移動に用いるエレベータのエネルギー原単位と併せて第 5 節で述べる。

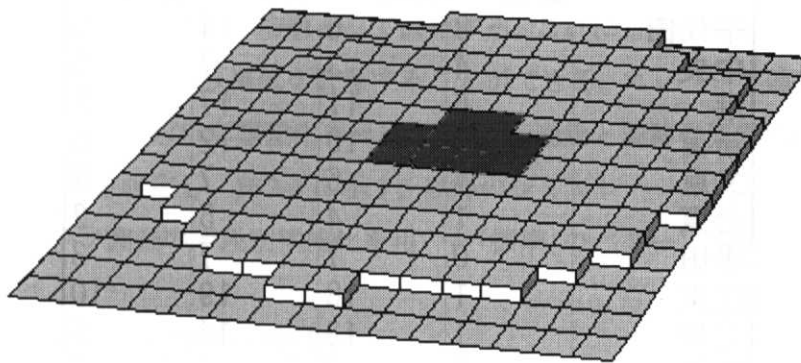
4.4 結果

業務間／通勤トリップ比が 0.4 よりも大きい場合には、図 2-5(b)に示すように、業務地が都心に集中して一塊となり、居住地がその周辺を取り囲む都市形態となった。業務交通の頻度を 0.2 に下げると、図 2-5(c)に示すように都心部に居住地が入るようになる。さらに業務間交通の交通手段構成比を通勤並に変更し、エネルギー原単位を低くすると、業務地は居住地の範囲内にほぼ均等に分散した。ちなみに、業務間交通の交通手段構成比を通勤並に変更することは、業務間／通勤トリップ比の数値を 0.4 倍に変更することに相当する。

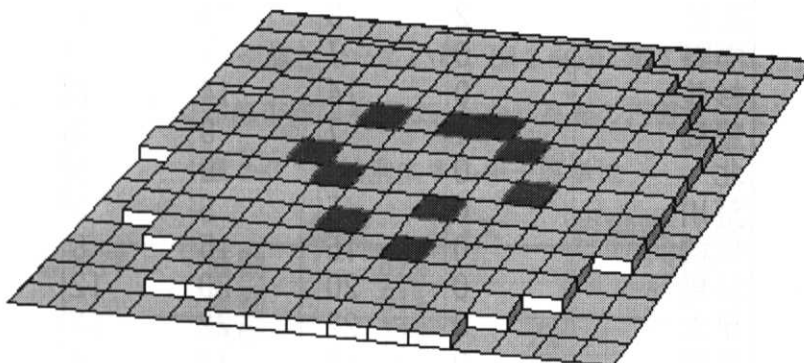
本節では、業務間／通勤トリップ比に応じて望ましい平面上の都市形態が変化する様子を観察することができた。都心に居住地が入り込むと、通勤距離は減少するが業務間距離が増大することとなる。業務間／通勤トリップ比が現状の 0.3 より大きいときは、業務ブロックは集中立地することが望ましいが、その値が少し小さくなると分散型が望ましくなることが分かった。



(a) 東京都区部の職住配置パターン（現状）



(b) 業務間／通勤比が 0.4 の場合



(c) 業務間／通勤比が 0.2 の場合

図 2-5 密度一定の場合の業務地および居住地の再配置の例

5 立体都市空間モデルにおける職住床配置

本節では、前節を踏まえて、密度の違いを考慮に入れた職住床の配置を行う。すなわち、ここでは、同じメッシュに複数のブロックが重なって立地することが可能となる。居住ブロックが都心に立地しても、業務ブロックの立地を妨げることにならないため、業務間距離の増加が避けられることとなる。

5.1 ブロック数の設定

区毎の用途別床面積を用いてブロック数を設定する。東京都区部について、表 2-2 に示す通り、業務ブロック 28 個、居住ブロック 282 個となる。しかし、東京都区部では就業人口 513 万人に対して従業人口 773 万人と差が大きく、都区部外から約 300 万人の従業者が通勤してきている。この設定では、業務ブロックが居住ブロックに比較して多い状態にあると考

表 2-2 東京都区部の業務ブロック数および居住ブロック数

	業務	居住	合計	敷地
千代田	8	6	14	3
中央	4	3	7	3
港	6	11	17	5
新宿	2	10	12	5
文京	1	6	7	3
台東	1	4	5	2
墨田	0	7	7	3
江東	1	18	19	10
品川	1	13	14	6
目黒	0	7	7	3
大田	1	26	27	13
世田谷	0	26	26	15
渋谷	2	8	10	4
中野	0	7	7	4
杉並	0	14	14	8
豊島	1	7	8	3
北	0	9	9	5
荒川	0	5	5	3
板橋	0	15	15	8
練馬	0	20	20	12
足立	0	22	22	13
葛飾	0	14	14	9
江戸川	0	20	20	12
合計	28	282	310	152

えられる。従業人口に見合った居住ブロック数を用いる場合、就業人口の内で他地区で就業する者の割合を東京都区部と同様の 46%とすると、東京都区部外に必要な居住ブロック数は 358 個、合計で 640 個と求められる。

5.2 トリップの設定

本節では、垂直方向の移動エネルギーを評価に加える。通勤交通に対する業務間交通の発生頻度は 0.3 とする。同じメッシュ上の居住ブロック間に発生する近隣交通の発生頻度は 2.0 とする。

5.3 エネルギー原単位の設定

手段別エネルギー原単位は、諸論文（例えば、鈴木，1993）を比較して、鉄道 100、自動車 650、エレベータ 2000（単位は kcal/km・人）とすることとする。東京の鉄道では乗車効率がいため、約 70kcal/km・人程度とする説もあるが、現状の酷い通勤ラッシュを緩和するための増発等を行った状態が、鉄道そのものの輸送エネルギー原単位として妥当と考えて、この数値を用いることとする。自動車やエレベータに関しても、乗車人員によって数値は異なると考えられるが、都市全体の平均値として設定する。これに目的トリップ別の手段構成比を乗じ、目的別のエネルギー原単位を計算することができる。エレベータ効率の変化もしくは手段構成の変化に伴う都市形態変化を考察するため、通勤と業務の原単位比が等しい 3 パターンの原単位の組を設定し、表 2-3 に示す。以降のシミュレーションでは、断りのない限り、パーソントリップ調査の手段別構成比を用いた「標準」のパターンを用いた結果を示す。

5.4 密度を可変とした場合の結果

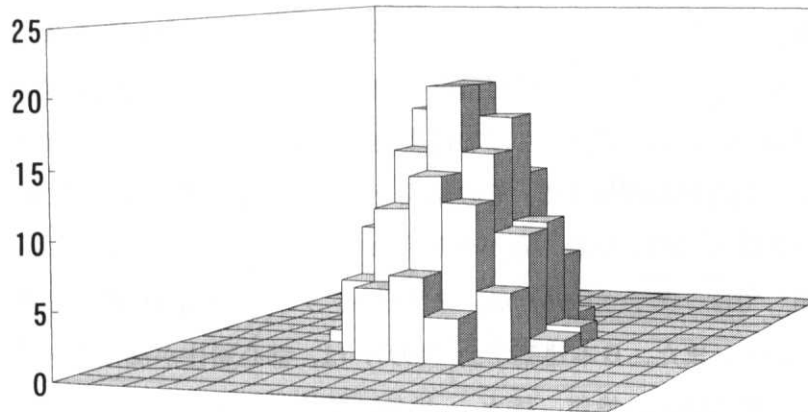
ブロックの重なりを許し、密度を可変とした場合の結果を図 2-6 に示す。詳細な分布を示すため、高さ方向を半階分に分けたブロックを用いている。図 2-6(b)に示すとおり、業務床は広がりを持つひとまとまりの形態となっている。図 2-6(a)に示す居住床は、立体的に集積している。双方を合わせた立体都市空間形態は、かなり高層の円錐状になり、中心部では平

表 2-3 目的別エネルギー原単位

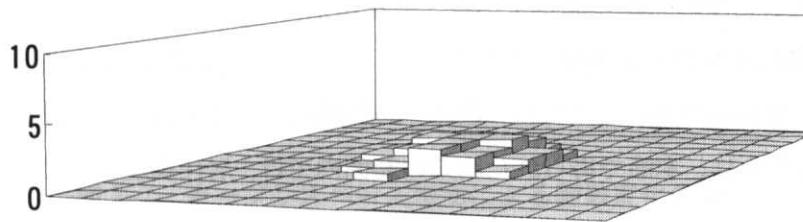
		鉄道	バス	自動車	原単位
鉄道依存	通勤	82%		3%	100
	業務	51%		30%	250
標準	通勤	73%	2%	10%	140
	業務	31%	1%	49%	350
自動車依存	通勤	55%		30%	255
	業務			100%	650

均階数が 20 階を超えることが分かった。図 2-6(c)に、中心付近を通る断面図を示す。居住床と業務床については各々のブロック数を積み上げ棒グラフで表示し、都市形態は、建物の高さを線で表示している。この断面に示される都市空間形態の輪郭の傾斜は、垂直移動と水平移動のエネルギー原単位の比率に応じて変化することが予想される。ここでは、都区部内の 282 個の居住ブロックを用いた図を示したが、東京都区部外を含む 640 個の居住ブロックを用いた場合も同様に、中心部の平均階数は 30 階を超える。一方、業務間／通勤トリップ比を 0.5 とする場合には、中心部の業務ブロックは 3 段だったものが 8 段程度にまで集積する。

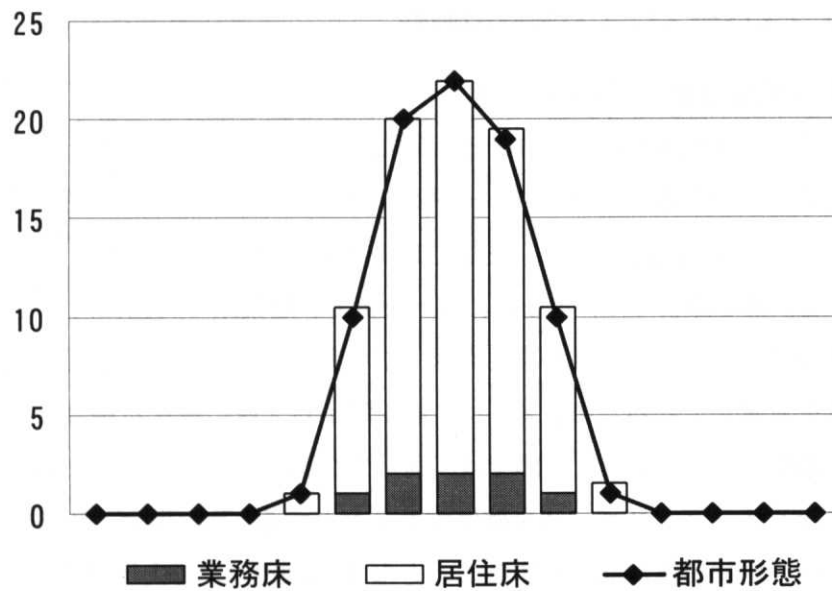
これらの場合の地区居住環境がどのようなになっているかは想像しがたい結果となっている。こうした結果が導かれるのは、シミュレーションの条件から移動エネルギー以外の要素を取り払っているためである。



(a) 居住床の配置



(b) 業務床の配置



(c) 断面図

図 2-6 密度を考慮した再配置

6 道路・公園を考慮した立体都市空間モデル

本節では、あるメッシュに立地する用途床面積の量に応じて追加的に必要になるオープンスペースを考慮にいったシミュレーションを行う。ここでは、生活環境を保持するための各種機能を持つ都市内空地として、道路面積と公園および小中学校の面積を考慮する。この場合、床面積の増加に応じて、建物高さは加速度的に増加する。すなわち、高さ方向の移動に必要なエネルギー消費量が増加する。その結果として、空地の考慮は、一つのメッシュに立地可能なブロック数の制約となることが予想される。

居住密度に関しては、奥平（1976）が、フラット、タワー形式の住棟形式と住宅密度の関係を定式化している。また、日本建築学会（1997）は、都心居住が満たすべき居住環境基準を整理し、採光、騒音防止、換気、排水、排熱、開放感、プライバシー、日照、通風、眺望、耐震、落下物対策、類焼防止、避難といった性能、さらには地域にとって適正な交通とエネルギーと人口密度の水準を満たすべきことを指摘している。しかしその一方で、技術的には相当な高密度立地が可能となっており、香港の超高層団地など非常に高密度な住宅も現実に存在しているため、ここでは、道路・公園面積を居住密度を制約する要因に用いることとする。ちなみに、本節で得られた結果の範囲内では、居住環境性能は達成可能と考えられた。

6.1 オープンスペースによる階数の制約

6.1.1 追加的に必要なオープンスペース

オープンスペース（空地）は、河川など固定的なオープンスペースと、上述の道路・公園など床面積に応じて増えるオープンスペースの二種類に分けて考えることとする。本章では、図 2-7 上段に示すような、2km 四方、縦方向 1 階分 3m のブロックを用いたシミュレーションを行っている。第 5 節までは、第 3 節に述べた通り、建築床の周囲に河川や森林といったような固定的なオープンスペースを含んだ図 2-7 中段に示すブロック形態を考えてきた。固定的空地のみを考慮しているため、ブロックが 1 段から 2 段に重なる場合には、ブロック個数がそのまま階数となっていた。本節では、図 2-7 の下段に示すように、床面積に応じて追加的に必要になるオープンスペースを確保することとする。その場合、追加的空地分の床面積は上へ重なって建物形態が高層化することとなり、結果として、土地利用の過度の集積は、上下方向の移動にかかるエネルギー消費量の増加の観点から、非効率であることを考慮に入れることができるようになると考えられる。このとき、初期状態のブロックは、公園、学校、道路の面積を取り外した状態で設定される必要がある。本節の結果と比較可能とするため、第 5 節でも、同じ数の居住および業務ブロックを用いている。

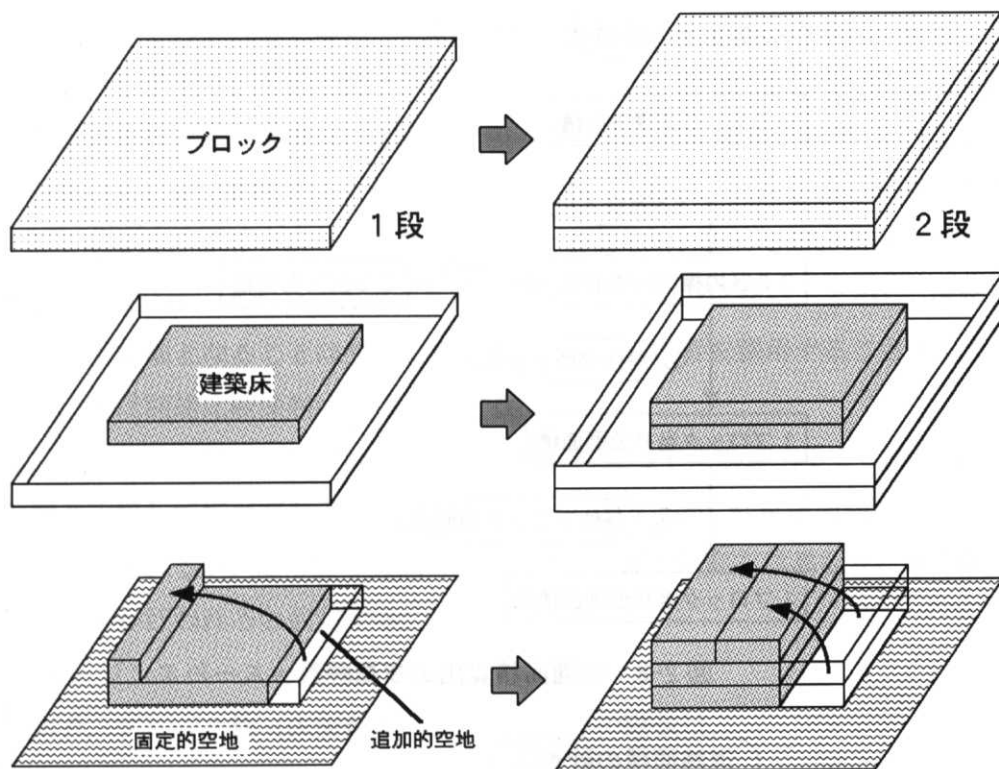


図 2-7 オープンスペース増加による階数変化の概念

6.1.2 公園および学校面積の算出

都市公園（街区公園，近隣公園，地区公園，総合公園）の標準面積および誘致圏を参考にして，居住人口一人当たり公園面積を 5m^2 と仮定する。図 2-8 のフローにしたがって公園面積を計算すると，居住ブロック面積に対する空地率は公園のみを考慮した場合で 0.04 となる。これは，1986 年の現状よりも約 25%多い公園面積を仮定することになる。次に，町田市宅地開発指導要綱を参考にして戸当たり学校面積を約 20m^2 と仮定し，学校面積を含む空地率を求めると 0.09 となる。実際には，都市部において，浄水場の上部を利用した公園や，校庭を含めた学校の高層化および他の施設との複合化等が行われているが，ここでは，立体的な利用はしないものと仮定する。なお，業務ブロックについては，公園等の面積を必要とせず，道路面積のみを考慮することとする。

6.1.3 道路面積の算出

地区から外部に出るために必要な幹線道路量を求める算定式（田中 他，1989）を元にして，区画道路も考慮に入れた道路面積を，図 2-9 のフローにしたがって求める。まず用途別床面積当たり交通発生原単位から用途別ブロック当たり交通発生原単位を求め，メッシュ内に立地するブロック数を乗じて交通量 t を求める。

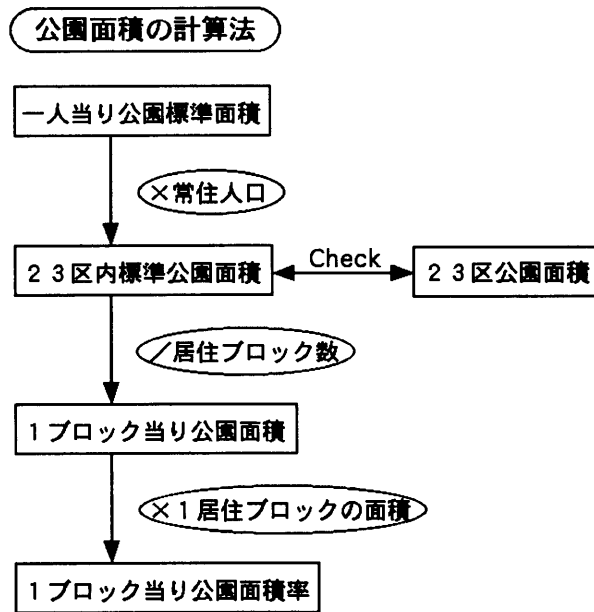


図 2-8 公園面積算出のフロー

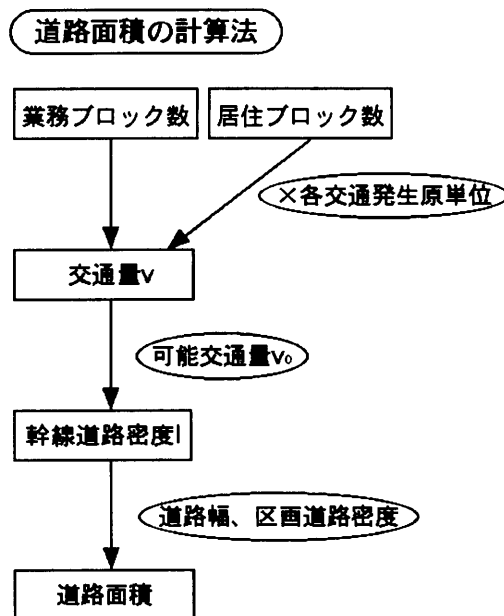


図 2-9 道路面積算出のフロー

$$t = 10891 \cdot H_{bus} + 19101 \cdot H_{res} - 3230$$

そこから、 1km^2 当たりの必要幹線道路の線密度が次式により求められる。

$$d = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{t}{t_0}}$$

ただし、幹線道路交通容量 $t_0 = 2500$ (台/h)

幹線道路を 25m 幅員とし、幹線道路の間に 16m 幅員の補助幹線道路が 1 本と、8m 幅員

の区画道路がいくらか入ると考えて、道路面積を求めた。区画道路の数については、幹線道路密度に関わらず 100m 間隔に設ける方法と、幹線道路と補助幹線道路の間に 4 本設ける方法の 2 種類を検討した。後者は、業務ブロックが 2 段の際に道路面積率 28% となり、現状の道路面積に近いが、業務ブロック数がさらに増加した際に、区画道路の間隔が非常に狭くなり、道路面積率が上昇する点が不自然である。そもそも、ここで用いた道路面積の算出方法自体が、通過交通に必要な幹線道路面積を考慮するものではないことから、道路面積についてやや過小評価となることはやむを得ないと判断し、前者を採用することとした。後者の場合については別途比較検討することとする。

一方、上下方向の移動に必要なエレベータ面積は、空地率に換算すると 0.001 未満となり、道路面積と比較して桁が落ちるため、考慮しないこととする。駐車場面積は無視できない量になると考えられるが、都市部の実態を踏まえて、公園や校庭とは異なり、地下駐車場等の立体的な利用が行われると仮定する。

6.1.4 オープンスペースと建物高さ

空地率 P 、ブロック数（床面積率） Y とするときの階数は、

$$H = \frac{1}{1 - PY}$$

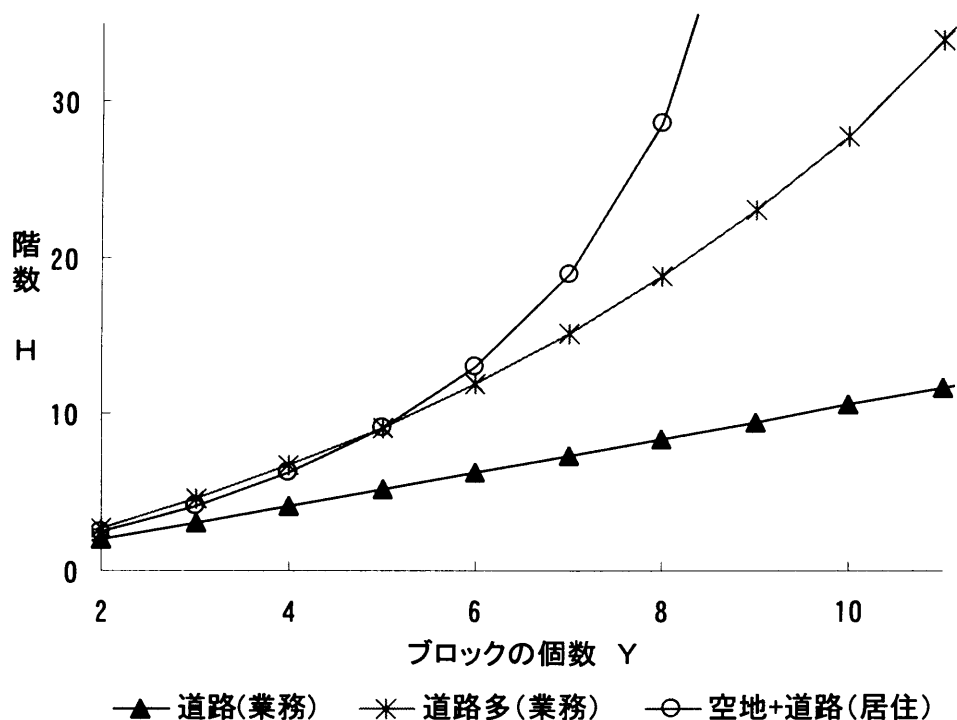


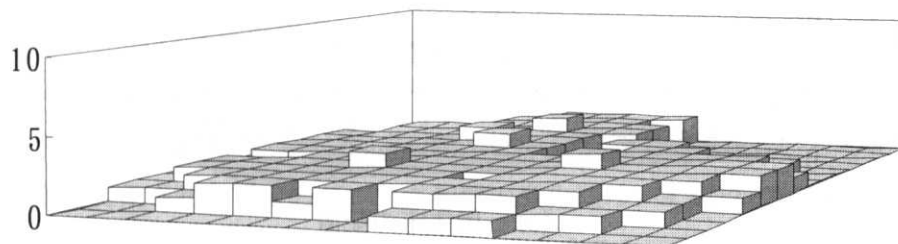
図 2-10 土地利用密度と建物階数

となる。居住ブロックの個数と階数の関係を図 2-10 に示す。公園と学校と道路の面積を考慮する居住ブロックでは、ブロック 7 個程度から非常に傾きが大きくなり、やがて階数Hは爆発的に増加する。これは、居住に伴って必要となる空地を平面上に確保するとした場合の居住床密度の限界を示している。業務ブロックについては、公園や学校面積は考慮せず、道路の必要面積を考慮する。区画道路を多く取る場合の階数の変化について「道路多(業務)」に示したが、ここでは、階数に対する影響はあまり大きくない「道路(業務)」の計算式を用いたシミュレーションを基本として行う。

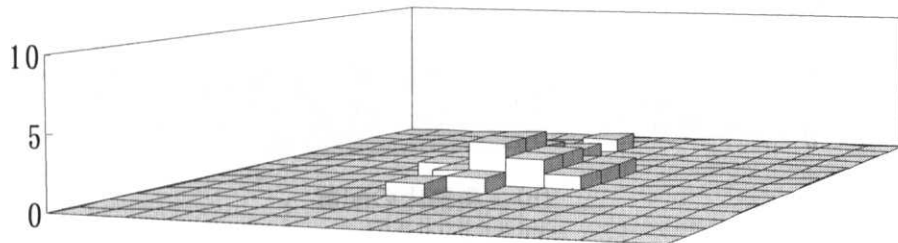
6.2 オープンスペースを考慮した結果

東京都区部の業務床と居住床の都市空間形態を図 2-11 に示し、それを元にしてオープンスペースを考慮したシミュレーションを行った結果を図 2-12 に示す。

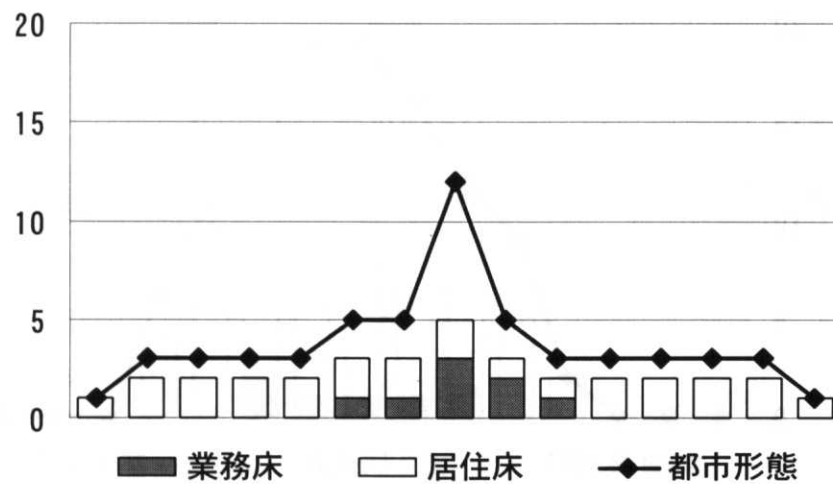
現状の職住床配置について通勤を順次割当した場合に対して、居住床を再配置することにより約 23%、業務床を再配置することによりさらに約 4%、合わせて約 27%の移動エネルギー



(a) 居住床の配置



(b) 業務床の配置

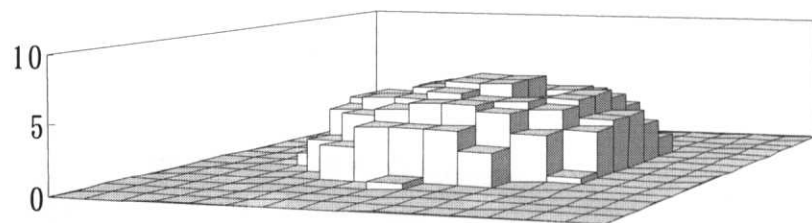


(c) 断面図

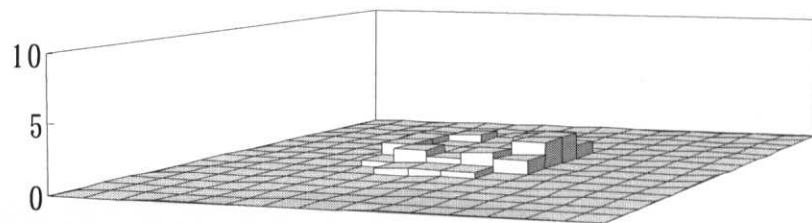
図 2-11 東京都区部の職住配置形態

一が削減された。ただし、現状配置では全移動エネルギーの 3.5%に過ぎなかった垂直移動は、再配置後には 12.6%を占めることに注意する必要がある。垂直方向の移動エネルギーを無視して水平方向の移動エネルギーの効率化だけを評価すると、この再配置によって約 4 割の改善ができるように見える恐れがあるが、全体的に見ると 3 割弱の削減である。

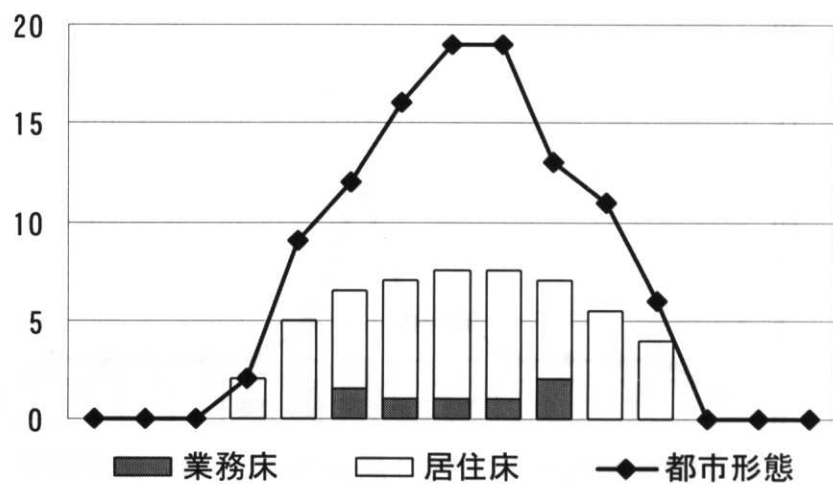
都市内空地を考慮することにより、居住床の最高密度は、空地を考慮しないモデルの約 3



(a) 居住床の配置



(b) 業務床の配置



(c) 断面図

図 2-12 都市内空地を考慮した再配置

分の1に抑えられた。そのため、都心部に立地する居住床は相対的に減少し、居住床のみの集積も出現している。都市形態は、ブロック数に比較して非常に大きくなっており、図2-6と比較して、高密度な地域の平均階数は、20階程度とほとんど差異のない結果となっている。

都心部で業務ブロックがやや少ないのは、居住ブロックの立地に伴うオープンスペースを確保するために、建物階数が高くなる結果、業務ブロックの立地が難しくなることと、周辺部の居住ブロックからの通勤距離を短くするために業務ブロックが分散することが理由と考えられる。東京都区部の現状と比較すると、都心居住が進み、現状の3倍程度の居住密度となることで、移動エネルギーの観点から見て望ましいと考えられる。業務集積に関しては、副都心へとやや分散されることが望ましいと考えられる。建坪率については、現状の都区部平均が約30%であるのに対して、都心部では約12%となることが望ましいと考えられる。

次に、諸設定を変化させた場合のブロック配置の変化について図2-13、2-14に示す。ここまで0.3としていた業務間/通勤トリップ比を0.5とすると、業務ブロックが集中し、業務ブロックのみのメッシュが出現する。反対に、業務間/通勤トリップ比が0.2の場合、業務ブロックが全面的に均等に分散する形態に向かう。なお、業務間交通に用いられる交通手段のエネルギー原単位が大きい場合は、業務間/通勤トリップ比が大きい場合と同様の結果

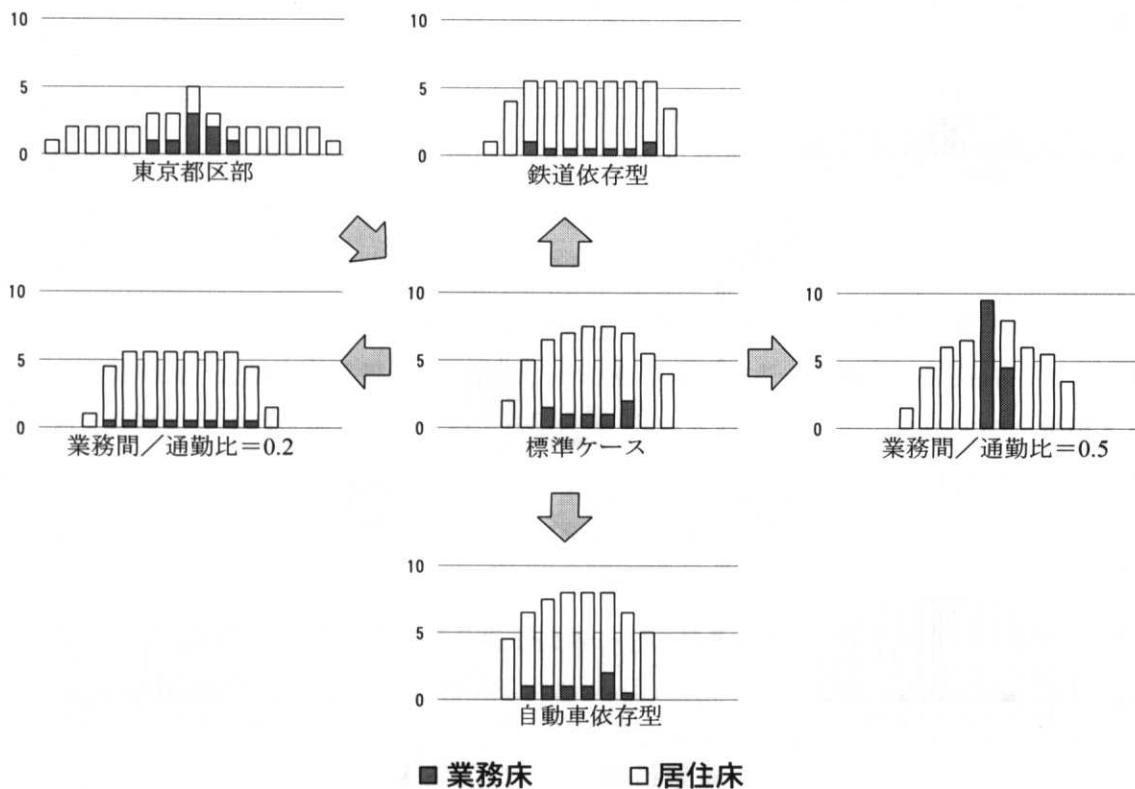


図2-13 移動目的および移動手段の構成比と職住配置形態

をもたらす。一方、業務間交通と通勤交通の交通手段を表 2-3 に示したパターンにしたがって変更した場合の変化を見た。鉄道依存型の目的別エネルギー原単位を用いると、水平移動のエネルギー消費の制約が相対的に弱まるため、全体的に分散した職住配置形態となる。反対に、通勤交通と業務間交通の双方に自動車依存型のエネルギー原単位を用いると、全体的に集中した職住配置形態となる。

図 2-14 に示すとおり、6.1.3 で設定した道路面積を、区画道路を多く取る場合に変更すると、業務ブロックが全体的に分散し、居住ブロックの集積も低下する。また、従業人口に見合うだけの居住ブロックを追加し、640 個の居住ブロックを配置する場合は、居住ブロックの最高密度はほとんど変わらず、都市空間形態が水平方向に拡大する。なお、図には示していないが、公園等面積から学校面積を除いて、床面積当たりの公園等面積を 0.4 とする場合、居住ブロックが 10 段まで集積する。

最後に、建物形態に応じて変化する都市のエネルギーとして、建築物に関するエネルギーを考慮した。科学技術庁資源調査会（1994）のデータによると、 100m^2 の木造軸組低層住宅の建設・維持・廃棄にかかるエネルギーは、年間で約 3500Mcal、 100m^2 の鉄骨鉄筋造中層住宅では約 5900Mcal とされる。日本建築学会（1999）では、木造住宅は、耐用年数を 30 年とすると、年間約 4400Mcal、SRC は、耐用年数を 60 年とすると年間約 6300Mcal とされ

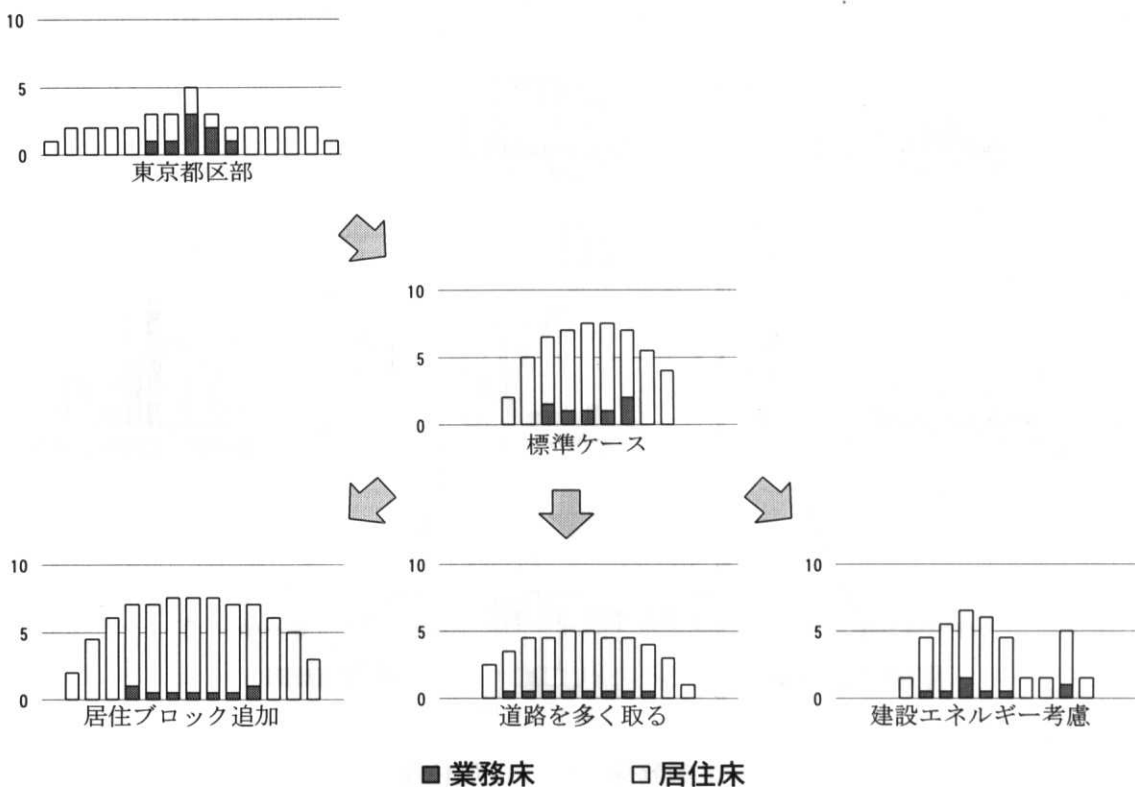


図 2-14 条件設定と職住配置形態

ている。ここでは、建物階数によって構造が変化すると考え、2階までは約 3500Mcal、3階は約 4700Mcal、4階以上は約 5900Mcal を 100m^2 の住宅建設等にかかる年間エネルギーとして採用し、年間 250 日分の移動エネルギー量との和が最小となる都市空間形態をシミュレーションで求めた。その結果、一部の業務ブロックが中心から離れて立地し、同じメッシュに4段程度の居住ブロックが立地して7～8階の平均階数となり、それを1～2階の居住ブロックが取り巻く都市空間形態が観察された。ただし、こうした分散型の都市空間形態が導かれる場合には、特に、ブロックの区切り方によって分散する業務拠点の数が異なる可能性があること、および本章で用いた逐次改善型シミュレーションの結果は局所解に過ぎないことに留意する必要がある。

7 まとめ

本章では、公園等の都市内空地を考慮に入れて居住床と業務床の立体的再配置のシミュレーションを行った結果、総移動エネルギーの短縮を狙ったコンパクト・シティが、現実的な都市空間形態として提示可能であることを明らかにした。東京都区部を元にしたシミュレーションの例では、都市内空地を考慮することで、高密度地域における建物の平均階数は約 20 階とあまり変わらないが、居住床密度は約 3 分の 1 に抑えられ、用途床の配置変更により、移動エネルギーを約 3 割削減できることが分かった。そのとき、垂直移動エネルギーは、総移動エネルギーの 1 割以上を占め、現状と比較して無視できない量になることも確認した。その際の都市空間形態としては、低層階が業務用途で、中層階が居住用途となる混合用途の地区が広がる形態が望ましい。このとき、業務床配置は、現状とよく似ており、居住床については、都心部に現状より約 3 倍に集積させた都市空間形態となっている。

ただし、この都市空間形態は、通勤交通に対する業務間交通の比率、利用交通手段の構成、職住の床面積比、公園や道路等の空地面積、その他のエネルギー消費量等の条件によって変化する。業務間交通の比率を高くすると、業務床が都心に集中し、周辺に居住床が集積する都市空間形態が望ましいこととなる。居住床は都市内空地を多く必要とするため、業務床と混在立地すると、業務床に関連するトリップ距離が大きくなることから、この場合、居住床は都心業務地の周辺に立地することが望ましくなると考えられる。他に、水平移動の交通手段を変更すると、鉄道依存型の手段分担では中心部の建物階数が 10 階程度であるのに対して、自動車依存型では 24 階程度となる。自動車は、道路や駐車場等に多くのスペースを必要とすることからも、建物を高層化させ、エネルギー消費量を増大させやすい交通手段であると考えられる。

建物の建設・維持等にかかるエネルギーを考慮に入れると、一部に低層の居住地を含む分散型の都市空間形態となることが省エネルギーの観点から望ましいこととなる。この結果から、環境共生都市の空間形態を検討する際には、様々な観点から見た総合的な評価が必要となることが分かる。ただし、本章で用いた職住床の再配置シミュレーションは、局所解に陥りやすいことから、より複雑な条件設定の下で望ましい都市空間形態を検討する手法としては、不適切と考えられた。そこで次章では、職住の区分や都市内の床の細かい配置について考慮しない代わりに、本章では設定条件として与えた都市内空地面積や建設等エネルギーやその他の複数の環境評価項目を目的変数に加えることとし、都市全体として見た土地利用密度や建物高さの構成比との関係について論じる。

参考文献

EDMC 編(1999) エネルギー・経済統計要覧. 省エネルギーセンター.

運輸省運輸政策局情報管理部 編(1999) 平成 10 年版 運輸関係エネルギー要覧. 大蔵省印刷局.

奥平耕造(1976) 都市工学読本. 彰国社.

科学技術庁資源調査会(1994) 家庭生活におけるエネルギーの有効利用に関する調査報告.

腰塚武志(1995) コンパクトな都市のプロモーション. 都市計画論文集, 30, pp.499-514.

鈴木 勉(1993) コンパクトな立体都市空間形態に関する考察. 都市計画論文集, 28, 415-420.

鈴木 勉(1994) 職住分布構造と通勤距離の分布についての理論的考察. 都市計画論文集, 29, 505-510.

田頭直人(1994) 通勤と業務交通からみた最適なオフィス分布について. 都市計画論文集, 29, 511-516.

田中清剛・松尾俊雄・飯田祐三・後藤正明(1989) 土地利用と幹線道路の配置密度. 都市計画論文集, 24, 319-324.

東京都都市計画局(1986) 東京都土地利用現況調査.

日本建築学会(1997) 都心居住の環境設計. 丸善.

日本建築学会(1999) 建物のLCA指針(案). 丸善.

Ogawa, H and Fujita, M.(1980) Equilibrium Land Use Pattern in a Nonmonocentric City. *Journal of Regional Science*, 20(4), 455-475.

第三章 多基準意思決定分析を用いた環境共生都市 の都市空間形態の検討

1 はじめに

第二章では、移動エネルギーを最小化する都市空間形態について論じ、床面積あたりに一定面積の都市内空地を確保することを条件に入れることで、現実的な範囲で望ましい環境共生都市の姿を示すことができた。しかし、望ましい都市内緑地の量を検討したり、移動エネルギー以外の環境負荷項目を考慮することには限界があった。本章では、多基準意思決定分析(Multi-Criteria Decision Analysis)を用いることで、エネルギー消費量と都市内空地面積および他の環境の目標を目的変数として、それらの目的変数の組に対して求められる都市空間形態を確認しながら、環境の目的変数の達成すべき水準を変更し、望ましい目的変数と都市空間形態を決定していく計画支援手法を提案する。この手法を改良することで、中長期的な都市のマスタープランを策定する際に、環境共生都市の空間形態のあるべき姿を検討するためのツールとして利用できると考えている。

本研究では、当初は、環境負荷の低減と自然環境との共生を環境共生都市の目標として定義し、環境負荷の削減と自然環境との共生を代表する指標としてエネルギー消費量と都市内空地面積をそれぞれ採用してきた。しかし、本章で複数の環境評価項目を選択するにあたって、考慮すべき環境負荷の内容やそもそもの環境共生の定義について再検討する必要性を認識した。まず本章では、既存の環境指標が、現時点における一般的な環境の目標を代表しているものと考え、地域の環境指標を網羅的に整理した文献(社会調査研究所, 1997)に基づいて目的変数を選択することとした。後に、第四章においては、環境問題の整理と比較評価を踏まえて、環境問題全体におけるそれらの目的変数の位置づけを明らかにする。実際の計画プロセスにおいては、第四章の成果を踏まえて、独自の目的変数を選択することが望ましいと考えている。

2 研究の設定条件と方法

2.1 研究対象と研究の設定条件

床面積の配置形態については、用途床の構成比率や相対的な位置関係は考慮せず、建物高さとグロス容積率のみで説明することとする。土地利用密度の変化に影響を受ける環境負荷としては、移動および建設に関するエネルギー消費量、公園等の面積、都市的土地利用の面積、大気汚染を対象とする。その詳しい選択方法については、3.3 に述べる。

2.2 多基準意思決定分析

多基準意思決定分析は、計画問題のすべての面をバランスの取れた解に到達させるために用いられる手法である（ネイキャンプ他，1989）。複数の制約条件を、固定的な定数でなく、幅を持つソフトな目的変数で表現することができるため、複雑な問題の妥協解を求める際

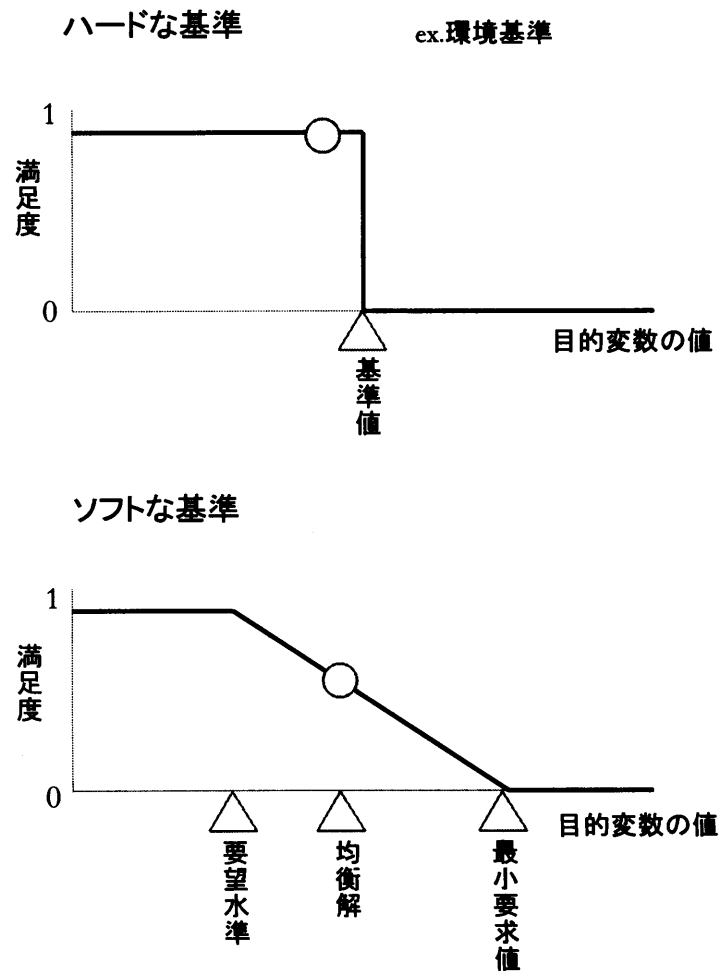


図 3-1 ハードな基準とソフトな基準の概念

に特に有効とされている。図 3-1 に、ハードな（固定的な）基準とソフトな基準の概念を示す。たとえば環境基準はハードな基準の一例であるが、ある基準値をクリアすれば価値の評価値（例えば、満足度、到達度）は 1 となり、クリアできなければ 0 となる。その場合、意思決定者の関心は数値が基準値をクリアするか否かに集中するため、目的変数値をより望ましい方向へ改善するためのインセンティブが働かないことが問題として指摘されている。それに対して、ソフトな基準では、最低限必要な水準と十分に充足する水準等の複数の基準点を設けることで、中間的な価値の評価値を取ることができるため、目的変数値の改善のインセンティブが一定範囲について働くことが期待できる。後者の考え方は、悪いことが起こる確率を表すリスク概念や、公園等のプラスの価値を持つ評価項目を扱う場合にも適していると考えられる。本研究では、複数の目的変数をバランスさせる均衡解を求めるためにソフトな基準を利用する。

2.2.1 相互作用的多基準意思決定分析のプロセス

相互作用的多基準意思決定分析は、意思決定主体が、それぞれの目的変数に重みを付け、その重み付けに基づいて求められた妥協解を見て再び重み付けを繰り返すプロセスを行う手法である。意思決定主体は、重み付けの際に、最低限確保したい「最小要求値」とできれば達成することが望ましいと考える「要望水準」の二つを決める。もし、ある代替案がすべての目的変数において要求水準を達成する均衡解を導くならば、意思決定主体は、要求水準をより厳しくする方向に見直して再計算することができる。同じように、もし、ある代替案が目的変数の最小要求値を一つも満足しないのならば、意思決定主体は、最小要求値を緩和する方向に見直さなければならない。いずれに当てはまらない場合にも、意思決定主体は、各目的変数の均衡解を見て、最小要求値と要望水準を再検討することができる。

この相互作用のプロセスを通じて、意思決定主体は、トレードオフ関係にある目的変数のバランスが取れる妥協解を探し出すことができる。同時に、その解を達成する決定変数が暗黙的に決定される。さらに、意思決定主体が本質的に抱いている要望水準と最小要求値を明確化する役割も持っている。このプロセスでは重み付けが結果に重要な影響を与える点など、分析手法というよりも評価手法としての特徴を多く備えている。本章では、多基準意思決定分析を用いることにより、トレードオフ関係にある複数の目的変数をバランス良く満たす土地利用密度を求めることを目指している。

2.2.2 ソフトウェア

多基準意思決定分析のツールとして、各種のソフトウェアがインターネット経由で配布されている。本研究では、その中から、国際的なプロジェクト評価に適用された（Fischer & Antoine, 1994）実績のある MCMA (Multiple Criteria Model Analysis)（Granat & Makowski,

1998) というソフトウェアを選択した。

2.2.3 環境負荷の小さい都市計画への適用事例

多基準意思決定分析の都市計画への適用を検討した既存研究があり（例えば、Nijkamp, 1983), 最近も都市の概略図を描くためのツールとして類似の手法が提案されている（Lin & Feng, 1997)。しかし、都市の土地利用密度とその環境負荷への影響に特に着目して多基準意思決定分析を用いた研究は見られない。

3 環境共生都市空間形態モデル

本節では、複数の環境共生の目標と都市空間形態の関係を探るため、多基準意思決定分析を適用するモデルを作成する。多変数を扱うことがこの手法の特長だが、環境負荷に関係する変数の内、土地利用密度や建物形態といった都市空間形態に応じて変化する変数の種類はあまり多くない。都市空間指標、環境負荷指標は、個別には存在しているけれども、相互に関連するデータはほとんど整備されていないため、入手できるものは少ない。こうした背景を踏まえて、本研究では、主要な変数の相互関係を明らかにすることに焦点を絞り、変数を数個に限定したモデルを作成することとする。

3.1 都市空間形態の考え方

都市の土地利用密度を取り扱う場合、人口密度や地区容積率を用いて考えることが多い。その際に、建物の形態を表す高層～低層が、人口密度や地区容積率を表す高密度～低密度と混同されるケースがしばしば見られる。前者は「床面積／建築面積」の平均階数であり図 3-2 の縦軸の違いとして示すことができる。後者は床面積で言えば「床面積／地区面積」のグロス容積率であり図 3-2 の横軸方向の変化に相当する。他に、地区スケールでは、「床面積／敷地面積」のネット容積率や、分母の敷地面積に隣接道路の半分の面積を含めたセミグロス容積率など、土地利用密度の表現方法にはさまざまな種類がある。都市空間形態の表現に当たっては、これらの土地利用密度や建物形態の指標の使い分けに注意する必要がある。

また、土地の面積を基本にした密度の考え方は、本研究の場合にはふさわしくない。土地面積を一定とすると、密度変化に応じて、一定面積の土地に含まれる床面積や人口の総量が増えるため、規模の変化が起こるためである。土地面積を一定としたために、都市の高密度化による弊害を都市の大規模化による弊害と混同するケースがしばしば見られる。こうした混同を避けるように注意する必要がある。

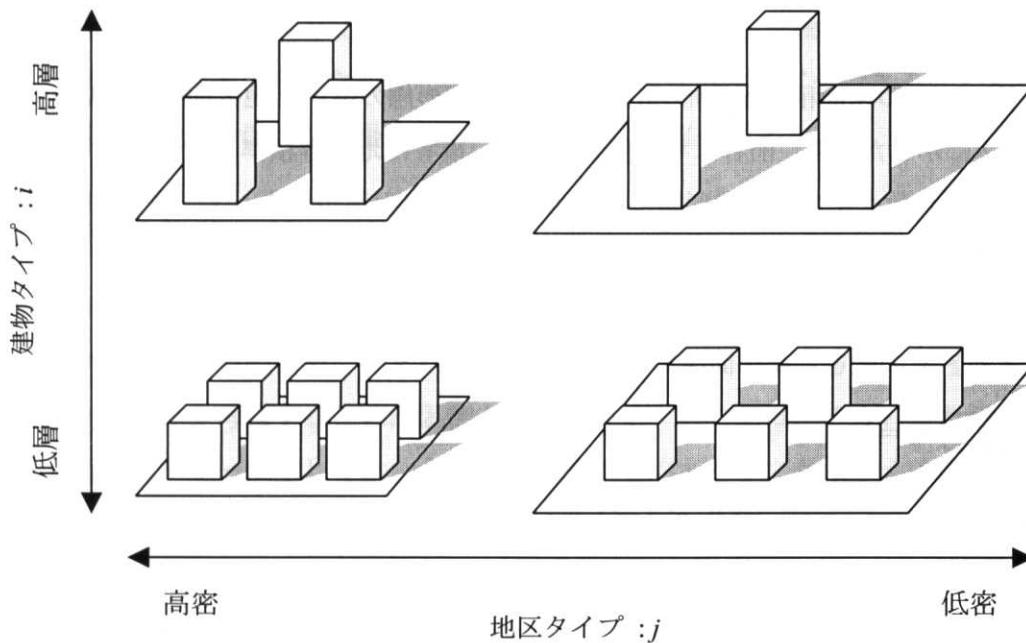


図 3-2 床面積の配置形態の概念

そこで、本研究では、床面積を都市の活動量を代表する基本的な量と考え、床面積当たりの建築面積と床面積当たりの地区面積の双方を土地利用密度の説明変数として同時に扱うことにする。前者は平均階数の逆数、後者はグロス容積率の逆数である。敷地面積については、環境負荷に影響しないと判断して、今回は注目しない。また、簡単化のため、一人当たりの床面積を一定とする。

具体的には、一定規模の総床面積から、あるボリュームの床面積を順次取り出し、それをどのような建物形態でどのくらいの広さの地区に建てるか、またそのタイプの都市空間形態をどのくらいの構成比率でミックスさせて都市全体の空間形態を構成させるかを考えていく。図 3-3 に示すとおり、都市的土地利用の範囲を明確にすることで、後で都市内空地と都市外の自然系土地利用を区別する。建物タイプや地区タイプの位置関係は考慮しない。

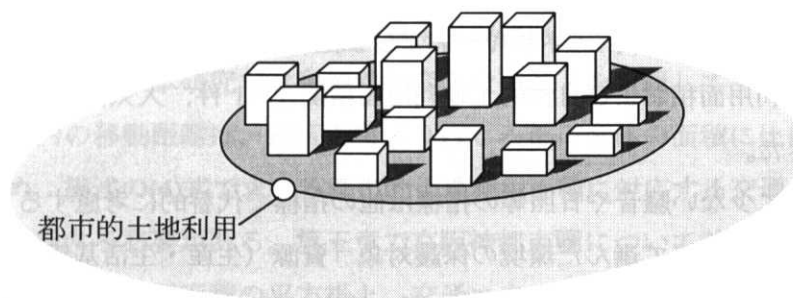


図 3-3 都市全体の空間形態の概念

3.2 決定変数

あるボリュームの床面積の配置形態について、建築形態の違いと地区面積の違いを考慮する。図 3-2 に示した通り、前者は平均階数であり、後者は地区容積率と言い換えることができる。それぞれ数タイプの配置形態に割り当てられた床面積が集まって、図 3-3 に示すように都市全体の空間形態を構成すると考える。

すなわち、地区タイプ j の地区に建物タイプ i の建物として割り当てられる床面積 x_{ij} を決定変数とする。そのとき、総床面積を一定として、

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad (1)$$

が制約条件となる。 I, J は、建物タイプと地区タイプそれぞれのタイプ分けの数である。総床面積を一定とすることで、以下の目的変数を床面積当たりの値で表現することが容易になる。

3.3 環境に関する目的変数の選び方

環境への負荷や影響を測る評価項目にはさまざまな種類がある。二酸化炭素排出量等の代表値を選ぶこともあれば、多数の指標を羅列した指標群を提示することもある。前者は、対象外の負荷が無視される点が問題であり、後者は、指標間の相互関係が分かりにくい点が問題である。環境の評価軸の選び方および指標間の統合化の手法については、第四章において別に詳しく議論することとする。実際の計画の場合は、第四章の成果を踏まえて、意思決定主体が独自の目的変数を選ぶことが望ましい。ただし、本章では、できるだけ標準的な環境の目標を採用することとし、既存の環境指標が環境の目標を代表すると考えて、複数の主要な環境指標を目的変数として抽出することにする。

ここでは、社会調査研究所（1997）による地域環境指標に関するレビューの中から、土地利用密度に影響を受ける指標を選び出す作業を行った。土地利用密度の変化に影響されない汚染物質の排出等の指標や対策を評価する指標を除くと、決定変数とした土地利用密度そのものに関する指標 35 件、エネルギーおよび二酸化炭素関連 65 件、都市内緑地関連 45 件、都市的土地利用面積および自然的土地利用面積関連 71 件、大気汚染関連 58 件に分類することができた。

件数が相対的に少ない騒音や日照等の指標は他の指標で代替的に考慮することとし、環境問題の専門家が議論を経て選んだ環境の保護対象「資源（生産・生活基盤）、やすらぎ（不安・不公平感等の精神的影響）、生態系、人間の健康」（松橋 他，1998）との対応も念頭に置きながら、最終的に、後述する 4 つの目的変数を選定した。ここでは、建築の基本性能

である採光や通風等に関しては、都市内緑地等の空地が一定量確保される範囲内においては、容積率や建坪率に応じた適切な設計を行うことによりクリアできることと考えたが、都市内空地を十分確保しない場合には、別途検討する必要がある。

3.4 目的変数

本章で使用する多基準意思決定分析のツールには、目的変数が線形でなければならないという条件がある。そのため、例えば交通エネルギーをモデル化する際に、床の用途や位置関係、交通網等を考慮することは困難と考えられる。ここでは、そういった要素を考慮せず、交通エネルギーに関しては、土地利用密度が平均トリップ長に与える影響だけを考慮することとする。

以下に、採用した4つの目的変数について説明する。

3.4.1 土地利用密度によって変化するエネルギー消費量

土地利用密度によって変化するエネルギー消費量として、交通と建設にかかるエネルギーを、

$$Energy = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} e_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$e_{ij} = c_i + t_j$$

で表す。I, J は建物タイプと地区タイプそれぞれのタイプ分けの数である。ここで c_i は、建物タイプつまり建築物の高さに依存するエネルギー消費原単位である。例えば建築物の建設エネルギーや共用エレベータ等の運用エネルギーがこれにあたる。

一方 t_j は、地区タイプつまり地域の面積に依存するエネルギー消費原単位である。例えば交通エネルギーがこれにあたる。他に、道路や下水道を始めとするインフラストラクチャーの建設と維持にかかるエネルギーが該当する。ここでは、地域面積の拡大によるトリップ長の変化のみから起こる交通エネルギーの増加のみを考慮するように単純化する。つまり、地区タイプ j の交通エネルギーは、床面積当たり地区面積 u_j の平方根に比例すると考える。実際には、距離に応じて、利用交通手段の構成比やトリップ頻度そのものが変化すると言われているが、本研究では利便性を変えないことを重視して、これらを不変とする。また、都市内の移動距離は、地区面積よりむしろ都市全体の面積に比例すると考えられる。そのため、後述の(4)式で求める都市的土地利用面積に対応する交通エネルギーと比較して違いを確認する必要がある。第五章で京阪神都市圏について計算した限りでは、小地域の単位人口当たり地区面積の平方根と、交通エネルギーの間には正の相関が見られたことから、この仮定はラフな検討のためには妥当と考えられる。

気候変動防止および資源保全の観点から、エネルギー消費量は小さい方が望ましい目的変数として扱うこととする。

3.4.2 都市内空地面積

都市内空地面積とは、地区面積から交通用地面積と建築面積をのぞいたものの総面積であり、

$$OpenSpace = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (u_j - r_j - 1/h_i) x_{ij} \quad (3)$$

で表す。 u_j は床面積当たりの地区面積、 h_i は建築面積当たりの床面積である。言い換えると、前者は容積率の逆数、後者は容積率を建坪率で除した平均階数である。 r_j は床面積当たりの交通用地面積である。

この目的変数には、都市生活の快適性に寄与する広場・公園等の他に、自然資源として元からそこにある河川・湿地等、および敷地内で建築面積以外の植え込み等の空間を含む。一方、プロティや屋上緑化等は含まない。床面積に応じて必要量が決まる道路および駐車場等の交通用地は、平面上に確保すると仮定する。自然資源の面積等は自由に増減できないが、ここでは大きい方が望ましい目的変数として扱う。

将来的には、自然地や公園、植え込みといった空地の質の違いに応じて重みを付けることも考えられる。

3.4.3 都市的土地利用面積

都市的土地利用面積とは、所与の床面積を配置する地区の総面積であり、

$$UrbanArea = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} u_j x_{ij} \quad (4)$$

で表す。国土全体にしめる都市的土地利用面積を小さくすることは、耕作可能な土地や生物の生息地といった資源を保全することにつながる。特に日本のように平地の面積が小さい国では、都市的土地利用面積の制約を考慮する必要性が潜在的に高いと考えられる。以降の分析では小さい方が望ましい目的変数として扱う。

この目的変数は、(3)式の目的変数とトレードオフの関係にある。具体的には、身近な緑とのふれあいを重視して都市内の公園を大きく取ると、都市の面積が広がって間接的に田園や自然地域を狭める結果につながる。

3.4.4 大気汚染曝露

大気汚染も土地利用密度によって変化する主要な環境負荷の一つである。影響を軽減する観点に立ち、大気汚染濃度ではなく、大気汚染曝露人口を目的変数とする。

大気汚染曝露人口は、

$$AirPollution = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} a_j x_{ij} \quad (5)$$

で表す。 a_j は地区容積率に依存する係数である。主に自動車由来の都市大気汚染を対象に、地区容積率が上がると、移動距離が短縮される分だけ汚染物質の総排出量は減り、発生源密度が上がる分だけ濃度が上がり、人口密度が上がる分だけ曝露人口が増えると考えた。これ以降の分析では、小さい方がよい目的変数として扱う。将来的には、土地利用の高密度化を制約する要因として騒音や採光も取り入れた係数も含めることが望ましい。

本節で定義した決定変数と目的変数の相互関係を図示すると、図 3-4 の様になる。

4 環境負荷の小さい土地利用密度の検討と結果

本節では、第 3 節で作成した関係式に現在入手可能なデータを与えて、環境負荷の小さい土地利用密度の検討を行う。

4.1 データ設定

土地利用密度と環境負荷との実態を表すデータはほとんど存在しないため、主に東京都のデータを加工して、モデルに入力するデータを作成した。その数値を表 3-1 に示す。このモデルは特定の都市の実態を表すものではないが、データ設定に当たっては東京都 23 区もしくは日本の平均的な都市の環境を念頭に置いた。以下に、入力データの根拠を示す。

決定変数である建物階数と床面積当たり地区面積については、東京都区部の土地利用現況調査の結果を参考にした。床面積当たりの各種土地利用面積の値を図 3-5 に示す。建物階数

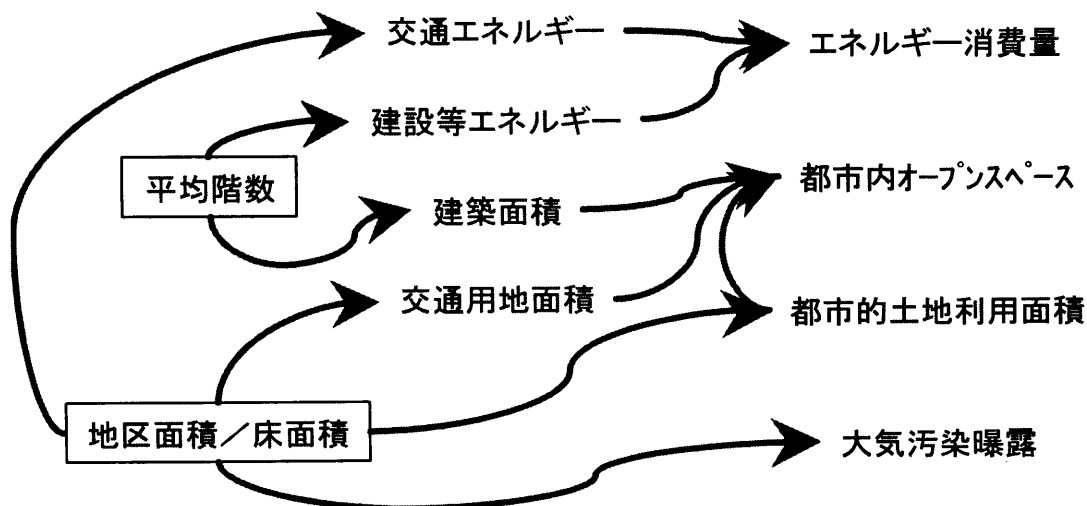


図 3-4 変数間の関係図

表 3-1 入力データ

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
c_i	3.84	4.17	4.51	4.87	5.25	5.65	6.07	6.50	6.96	7.43	7.92

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
u_j	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
t_j	1.60	1.96	2.26	2.53	2.77	3.00	3.20	3.40	3.58	3.76	3.92
r_j	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52
a_j	14.70	8.00	5.20	3.72	2.83	2.24	1.84	1.54	1.31	1.14	1.00

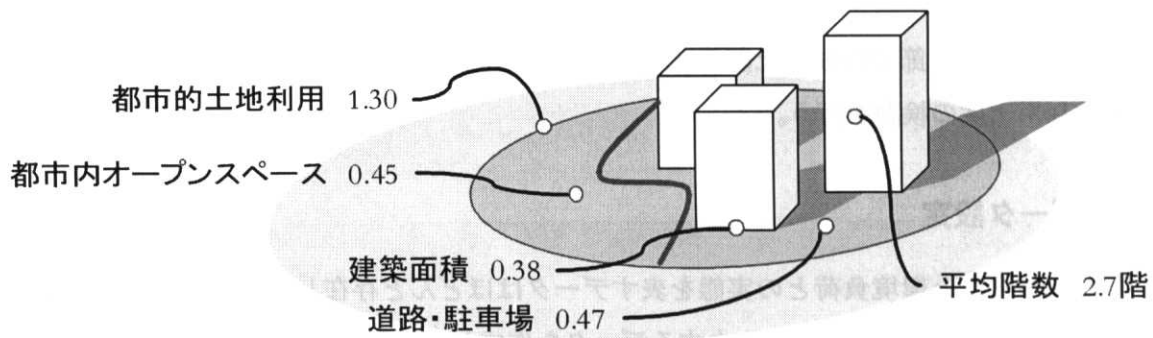


図 3-5 床面積当たりの各種土地利用面積（東京都区部，1986）

は、区別用途別平均階数から、1～11 階を 1 階刻みに 11 タイプとした。床面積当たり地区面積は、区別の床面積当たり地区面積を元にして、0.4～2.4 を 0.2 刻みに 11 タイプとした。これは、地区容積率で見ると 42～250%となる。ちなみに、平均階数が 2 の場合の地区建坪率で見ると 21～100%, 平均階数が 10 の場合の地区建坪率では 4～25%の範囲をカバーする。

建物形態によって異なるエネルギーについては、住宅の建設を考えた。住宅の建設エネルギーは階数ではなく構造に応じて変化するが、平均階数の変化に伴って住宅の構造の構成比が変化することを通じて、建設エネルギーが変化すると仮定した。軽量鉄骨造の 2 階建て戸建てと鉄骨鉄筋コンクリート造の 11 階建て集合住宅との建設エネルギーの違い（資源協会，1994）を元に、耐用年数一年当たりの床面積当たり建設エネルギー c_i は平均階数に比例して増えると仮定して 3.84～6.91 とした。これに、一人一日平均 2.5 トリップ、輸送効率 2000kcal/人 km を仮定して求めたエレベータの消費エネルギーを足し合わせ、 c_i を 3.84～7.92 とした。単位は、10Mcal/m² である。断熱性能や生活レベルに関わるエネルギーは、建物の形態に必ずしも直接関係しないので考慮しないこととした。

地区面積によって変わるエネルギーについては、交通エネルギーを考えた。地区面積が変

わると、トリップの平均距離が変化し、同時に距離の変化によってトリップ頻度および利用交通手段の構成比が変化すると考えられる。これらの要因をすべて考慮して土地利用密度の変化による交通エネルギーの変化を定式化することは困難であるが (Boarnet & Sarmiento, 1996), 実際の都市では密度が高いほど交通エネルギーは小さい傾向にあると考えられる。ここでは簡単化のため、交通エネルギーはトリップの平均距離に比例すると仮定することにした。この仮定の妥当性については、第五章で議論する。ここではトリップ頻度は不変とし、交通手段は乗用車を前提とした。一人当たり 30m^2 の住宅用途床に対して 1/3 台の乗用車を持つとする場合、資源協会 (1994) の試算から 78.4Mcal/m^2 が求められる。ここでは、上の試算で用いられた年間走行距離 1 万 km の内の半分を都市内移動と考えることとした。これは、一日当たり 20km の移動を 250 日分行うことになる。また、床面積当たり地区面積の平方根がトリップの平均距離に比例すると考えた。これらの仮定に基づいて、床面積当たり地区面積 2.4 をベースとして、年間の床面積当たり交通エネルギー t_j を 1.60 ~ 3.92 と設定した。単位は、 10Mcal/m^2 である。都市内空地面積を求める際の交通用地率については、床面積当りに必要な幹線道路 (田中 他, 1989) と駐車場の面積を考え、 r_j を 0.45 ~ 0.52 とした。

大気汚染曝露人口については、大気汚染曝露人口は、移動距離、発生源密度、人口密度にそれぞれ比例すると仮定した。つまり、密度が上がると、移動距離が短縮される分だけ汚染物質の総排出量は減り、発生源密度が上がる分だけ濃度が上がり、人口密度が上がる分だけ曝露人口が増えると考えた。移動距離は密度の逆数の平方根に比例すると見なし、後者二つは、密度に比例すると考えた。これらを掛け合わせ、最も低密度のケースを 1 とし、地区容積率の $3/2$ 乗に比例する係数 a_j を与えた。ここでは、影響の発生には閾値がないものと仮定した。

4.2 操作と出力

線形計画問題として作成した低環境負荷型土地利用密度モデルを MCMA ソフトウェアに読み込み、目的変数を選択すると、最低値と理想値と妥協解が自動的に計算される。初期設定の状態を図 3-6 に示す。横軸の目盛りに付けた印は、東京都区部の値を参考として示したものである。この画面を用いて、相互作用的多基準意思決定分析のプロセスを行うことができる。

図 3-7 ~ 10 の各ステップ内の 4 つのグラフは 4 つの目的変数に対応する。縦軸は満足度を表す指数、横軸は目的変数の値である。点 0 ~ 3 は、step.0 ~ 3 の解であり、白丸は各ステップの解を示す。解の値は、表 3-2 にもリストとして示す。

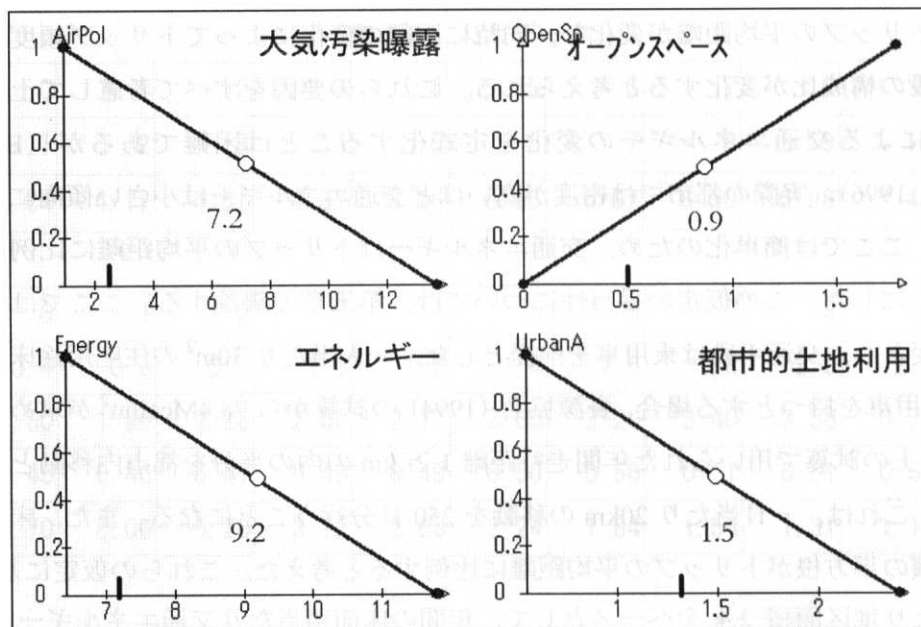


図 3-6 初期状態

初期状態は、表 3-2 の step.0 と図 3-6 で表される。最低値と理想値は目的変数が取りうる値の範囲であり、図 3-7～10 の横軸の両端も同様である。理想値が最低値より小さい目的変数は、最小化が望ましい目的変数であり、図の直線は左肩上がりの対角線になる。理想値が最低値より大きい都市内空地の目的変数は右肩上がりとなる。初期状態において目的変数をバランスさせる妥協解は、図中では点 0 の横軸の値で示される。

分析プロセスでは、ウィンドウ上をクリックして直線の両端を移動させることで、各目的変数の最小要求値と要望水準を入力する。それぞれ直線の下端と上端の横軸の値となる。step.1～4 は、目的変数の挙動を考察するために、最小要求値および要望水準を順に変えていったプロセス例である。表 3-2 の左半分の列にその重みと解の値を示す。

表 3-2 の右半分の列は、それぞれの解をなす建物タイプおよび地区タイプの構成比率である。例えば step.1 の $x_{1,0}$ の行は、全体の約 37%の床面積を、床面積当たりの地区面積が 0.4 の地区（地区タイプ 0）に平均階数が 2.0 の建物（建物タイプ 1）として配置することを表す。

4.3 プロセスの例

画面上で、最小要求値と要望水準を変えていったプロセス例を示す。

step.1 では、エネルギー消費量（Energy）の最小要求値を厳しく、すなわち直線の傾きをきつくする方向に下端を動かした。その結果、エネルギー消費量は大幅に削減された。同時に、都市内空地（OpenSpace）が減り、都市的土地利用（UrbanArea）が増えた。土地利用構成では、平均階数が大きく下がった。エネルギー消費量を抑えるために、建物が低層

になったことが分かる。ここで改めて、建物の低層化は地区面積の増加とは必ずしも一致しないことに注意してほしい。step.1 では、交通エネルギーを抑えるために、地区面積の増加が抑えられ、代わりに都市内空地が減少していることを読みとることができる。

都市的土地利用面積は、地区面積 u_j の都市全体での平均値となる。step.1 のように地区面積が大小両極端に分かれる場合、交通エネルギー消費量の推計値は地区面積が均一な場合の推計値より最大で約9%小さくなる。これは、建物形態によって異なるエネルギーの約0.5

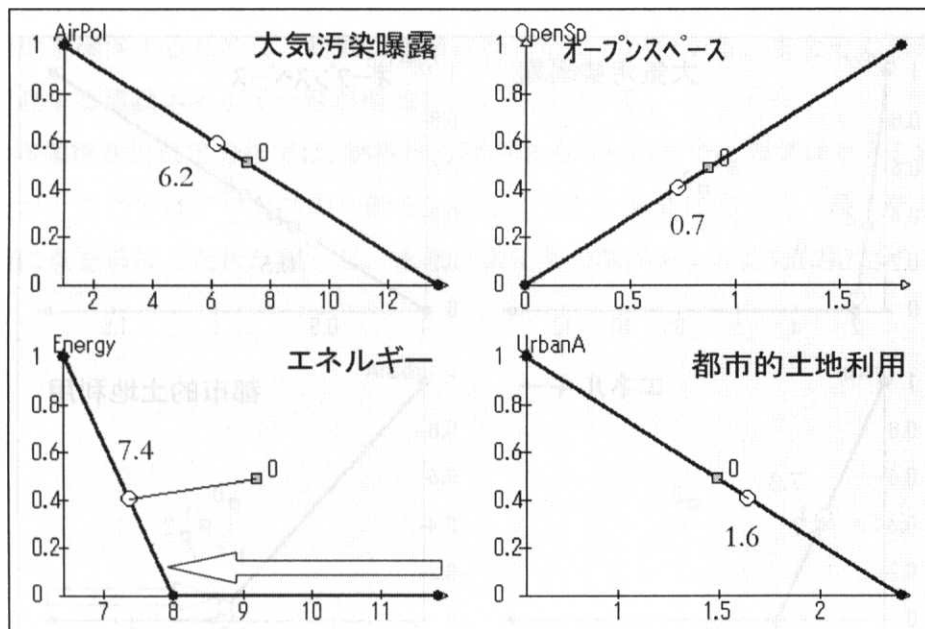


図 3-7 要望水準と最小要求値を再設定するプロセス (Step.1)

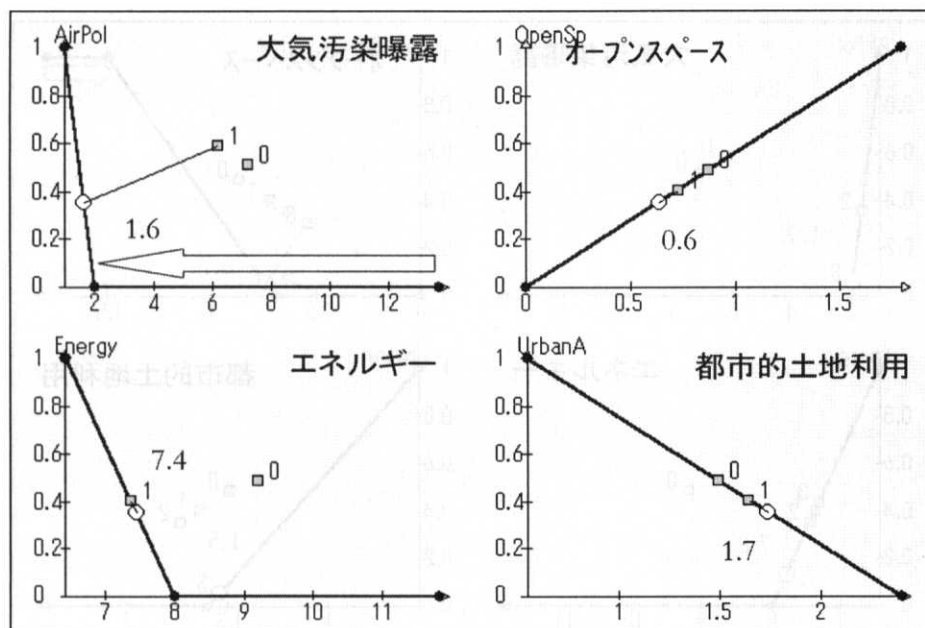


図 3-8 要望水準と最小要求値を再設定するプロセス (Step.2)

階分に相当する。地区面積が大小両極端に分かれやすいのは、このためである。地区面積が大小両極端に分かれている場合には、交通エネルギーが小さく見積もられていることに留意する必要がある。地区面積の結果は都市全体の平均値で見の方が良いと考えられる。

引き続いて step.2 では、大気汚染曝露（AirPollution）への最小要求値を厳しくし、大気汚染曝露を大幅に削減させた。他の目的変数への影響は小さい。土地利用構成は、全体的に見た平均値はほとんど変化しないが、大気汚染曝露を増加させないようにするために、極度に高密度な地区が見られなくなった。

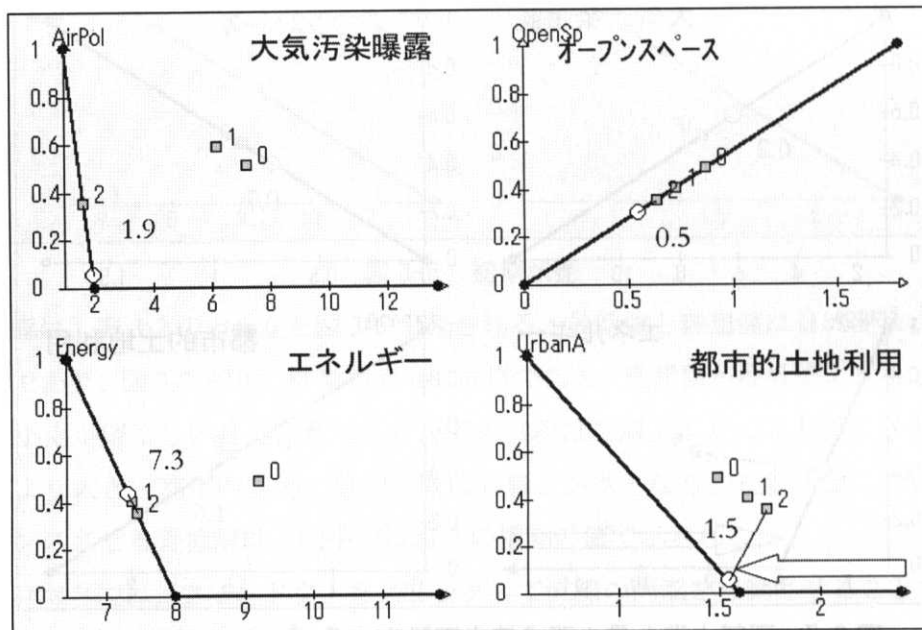


図 3-9 要望水準と最小要求値を再設定するプロセス (Step.3)

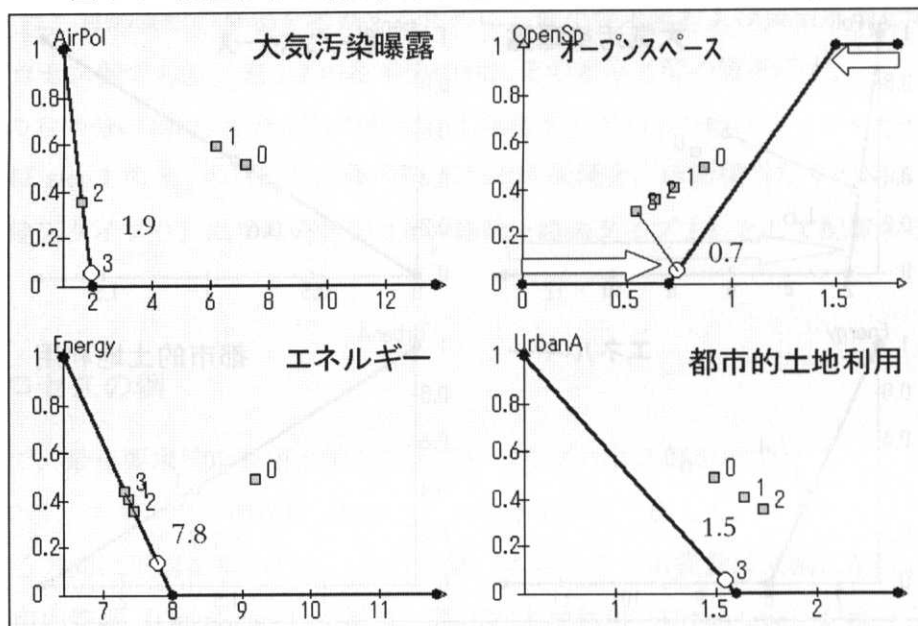


図 3-10 要望水準と最小要求値を再設定するプロセス (Step.4)

step.3 では、都市的土地利用の最小要求値を厳しくして、都市的土地利用を減少させた。同時に、都市内空地とエネルギーがやや減少し、大気汚染曝露が増加した。土地利用構成も、地区面積が減少するだけで建物形態はほぼ変わっていない。この step.3 の状態が、東京都区部の現状の値に最も近い解の組み合わせとなっている。

最後に step.4 では、都市内空地への最小要求値を上げて、都市内空地を増加させた。同時に、エネルギー消費量が増加した。この都市内空地は、東京都区部の一人当たり約 4m^2 の公園等を約 16m^2 にする量に相当する。土地利用構成を見ると、平均階数が上がっている。都市内空地を確保するために、建物が高層になったことが分かる。またその結果、建物の高さに関連する建設エネルギー等が増加したことが分かる。

本来の多基準意思決定分析では、納得行く解が求められるまでこのプロセスを繰り返すこととなるが、ここではプロセスの一例を示した。また、必要に応じて、最小要求値と要望水準の間に点を追加した折れ線とし、水準と満足度の関係をより詳細に指定することも可能である。

表 3-2 各ステップの目的変数の値と土地利用構成

<i>step. 0</i>	Uto.	Com.	Nad.		h_i	u_j	構成比
Energy	6.4	9.2	11.8	$x_{6,0}$	7.0	0.4	39%
OpenSpace	1.8	0.9	0.0	$x_{6,10}$	7.0	2.4	1%
UrbanArea	0.5	1.5	2.4	$x_{7,0}$	8.0	0.4	7%
AirPollution	1.0	7.2	13.7	$x_{7,10}$	8.0	2.4	53%
				平均	7.6	1.5	100%

<i>step. 1</i>	Asp.	Val.	Res.		h_i	u_j	構成比
Energy	6.4	7.4	8.0	$x_{1,0}$	2.0	0.4	37%
OpenSpace	1.8	0.7	0.0	$x_{1,10}$	2.0	2.4	20%
UrbanArea	0.5	1.6	2.4	$x_{2,0}$	3.0	0.4	1%
AirPollution	1.0	6.2	13.7	$x_{2,10}$	3.0	2.4	42%
				平均	2.4	1.6	100%

<i>step. 2</i>	Asp.	Val.	Res.		h_i	u_j	構成比
Energy	6.4	7.4	8.0	$x_{0,6}$	1.0	1.6	7%
OpenSpace	1.8	0.6	0.0	$x_{0,7}$	1.0	1.8	12%
UrbanArea	0.5	1.7	2.4	$x_{1,6}$	2.0	1.6	42%
AirPollution	1.0	1.6	2.0	$x_{1,7}$	2.0	1.8	20%
				$x_{1,8}$	2.0	2.0	19%
				平均	1.8	1.7	100%

<i>step. 3</i>	Asp.	Val.	Res.		h_i	u_j	構成比
Energy	6.4	7.3	8.0	$x_{1,5}$	2.0	1.4	27%
OpenSpace	1.8	0.5	0.0	$x_{1,6}$	2.0	1.6	73%
UrbanArea	0.5	1.5	1.6	平均	2.0	1.5	100%
AirPollution	1.0	1.9	2.0				

<i>step. 4</i>	Asp.	Val.	Res.		h_i	u_j	構成比
Energy	6.4	7.8	8.0	$x_{2,5}$	3.0	1.4	14%
OpenSpace	1.5	0.7	0.7	$x_{2,6}$	3.0	1.6	49%
UrbanArea	0.5	1.5	1.6	$x_{3,5}$	4.0	1.4	13%
AirPollution	1.0	1.9	2.0	$x_{3,6}$	4.0	1.6	24%
				平均	3.4	1.5	100%

Nad : 最低値, Com : 妥協解, Uto : 理想値, Asp : 要望水準, Val. : 解の値,
Res. : 最小要求値, $x_{i,j}$: 決定変数(建物タイプ i , 地区タイプ j)

5 まとめ

本章では、多基準意思決定分析を用いて、エネルギー消費量、都市内空地面積、都市的土地利用面積、大気汚染曝露等の環境の目標と都市空間形態の関係について論じた。環境共生型の都市空間形態は、使用するデータや目的変数への重み付けに応じて変わるため、本研究で一つの普遍的な解を示すことはできない。しかしながら、方向性を示すことはできると考えている。東京都区部のデータを元にしたこの分析では、総合的に見て環境負荷が小さいのは、中層の建物が比較的高密度に立地する都市であることが示唆された。第二章で空地を考慮した図 2-12 と比較すると、建物階数が半分以下、都市面積が 2 倍以上であり、東京都区部の実態に近い都市空間形態である。ただし、第二章のモデルでも、職住区分を考慮せず、建設エネルギーを考慮に入れることで、本章に近い都市空間形態が得られる。本章では、さらに、駐車場面積の考慮、公園面積の確保、大気汚染曝露の考慮等を行うことで、都市面積が相対的にやや広い都市空間形態となった。

本章の他の成果として、都市内空地を小さくすることが、交通や建設にかかるエネルギー消費量の削減に役立つことを確認した。このことから、自動車中心の交通体系は、直接消費するエネルギーが多だけでなく駐車場や道路のための空間を多く必要とする点からも、環境共生都市にはふさわしくない交通手段であると考えられた。また、自然と日常的に触れ合うために低密度な都市に居住することは、都市活動に伴う移動を制限しない限り、環境の面からは必ずしも好ましくないと考えられた。

この手法は、土地利用密度を条件として与えて環境負荷量を求める手法が多い中で、達成したい環境負荷量を条件として与えて、それを満たす土地利用密度を示す点が特徴である。プロセスを通じて、各目的変数の達成可能性と相互間のトレードオフ関係を把握し、各目的変数のバランス点と、そのときの都市空間形態を求めることができた。異なる価値観を持つ主体が参加して、環境共生都市のあるべき都市空間形態を検討する際には、このような相互作用的なアプローチが有効であると考えられる。ただし、本章の分析では、第二章と異なり、都市内の職住分布等に関する知見が得られない点が欠点である。

本章では、既存の地域環境指標で採用数の多いものを集約して標準的な目的変数と見なしたが、実際の計画では、グループインタビューやパネルを行って目的変数の選択そのものに関係者の合意を得ておくことが望ましい。類似の手法では、先験的に環境評価項目を与えている場合が多い。しかし、評価項目の選択は、都市空間形態に影響する重要な判断であるため、慎重に行う必要がある。本研究では、次章を割いて、環境に関する全体像の整理と、評価項目の選択方法の枠組みの提示、重要な環境問題の選択プロセスの試行について論じたい。本来的には、多様な主体からなる意思決定者が、独自の評価項目を選択する

ことが望ましい。

実際の計画に応用するためには、土地利用密度に関連する環境負荷のデータ収集や、個別のモデルの改良が必要である。今後の展開では、特に、インフラストラクチャーのライフサイクル評価や大気汚染等の影響予測が重要と考えている。また、都市規模の縮小やライフスタイルの変更等に伴う利便性の低下を目的変数に含めることも検討したい。

参考文献

- 社会調査研究所(1997) 日本および海外の地域環境指標の動向. MiC 環境レポート 6.
- 資源協会(1994) 生活資源のライフサイクルエネルギーに関する調査. 69-121.
- 田中清剛・松尾俊雄・飯田祐三・後藤正明(1989) 土地利用と幹線道路の配置密度. 都市計画論文集, 24, 319-324.
- P.ネイカンブ, ヴァン・デルフト, P.リートヴェルト(1989) 多基準分析と地域的意思決定. 日本交通政策研究会研究双書 5, 3-27.
- 松橋啓介, 寺園淳, 森口祐一(1998) LCIA の”Valuation”における環境問題領域と影響の行き着く先の検討. 第3回エコバランス国際会議講演集, 73-76.
- Boarnet, M. & Sarmiento, S.(1996) Can Land Use Policy Really Affect Travel Behavior? Working Paper UCTC342, UC Berkeley.
- Fischer, G. & Antoine, J.(1994) Agro-Ecological Land Resources Assessment for Agricultural Development Planning - A Case Study of Kenya - Making land use choices for district planning. World Soil Resources Reports, FAO.
- Granat, J. & Makowski, M.(1998) ISAAP-Interactive Specification and Analysis of Aspiration-based Preferences. Interim Report IR-98-052, IIASA.
and <http://www.iiasa.ac.at/~marek/soft/>
- Lin, J. & Feng, C.(1997) A New Method to Generate Sketch Map for Urban Planning. Proceedings of International Symposium on City Planning 1997, 日本都市計画学会中部支部, 407-416.
- Nijkamp, P.(1983) Soft Multi-Criteria Analysis as a Tool in Urban Land Use Planning. Diskussienota, VRIJE UNIVERSITEIT.

第四章 環境問題の整理と重要度比較に関する研究

1 はじめに

本章では、環境影響の総合評価手法の開発に資する重み付け手法の改善を行い、同時に、環境問題の整理と重み付けへの多様な主体の参加を通じて、日本において重要と判断される環境問題を明らかにする。その結果を用いて、第三章で選択した目的変数の環境問題全体における位置づけを知ることができる。また、本章では環境影響というネガティブな影響の観点から環境問題を選択したが、ポジティブな影響を含む観点へと拡張することにより、環境共生の目標を選択する方法としても、利用可能と考えられる。そのようにして選択した環境共生の目標と、多様な主体による重み付けの結果は、第二章の条件設定にも利用可能と考えている。

2 環境の総合評価

2.1 環境総合評価に関する背景

近年の環境問題はますます多様化、複雑化しており、都市大気汚染や交通騒音といった旧来の公害問題に加えて、地球温暖化をはじめとする地球環境問題、廃棄物焼却に伴うダイオキシン問題、内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）問題などが広く話題に上っている。危険性の疑われる問題に対して、科学的な調査研究の結果を待たず、手遅れになる前に徹底的に対処すべきであるとするマスコミの論調は理解できる。しかし、特定の問題のみに集中的な対策を取ることのトレードオフとして、他の問題が悪化したり、軽視されるようなことがあってはならない。予算や人材に限りがある条件下で効果的な環境対策を行うためには、科学的知見が不十分な問題を含めて多種多様な環境問題による影響の

大きさや質を系統的に比較して、それらの相対的な重要性を把握しておく必要があると考えられる。

一方、ISO14000 シリーズ国際規格化の動きとともに、ある製品やサービスがその生涯のすべてにわたってもたらす環境負荷を定量的に評価するライフサイクル・アセスメント（LCA）の手法開発が進められている。LCA を用いて環境影響の大きさを単一もしくは少数の指標で表すためには、地球温暖化、有害物質による健康影響、自然破壊といった異なる環境問題の間に重み付けを行う統合化が必要である。統合化は、インベントリー分析で得られる環境負荷に基づいて環境影響の重要度を分析・評価するライフサイクル・インパクトアセスメント（LCIA）で試みられているが、確立された手法はない。例えば、これまで提案されている複数の LCIA 手法では、考慮すべき環境問題や影響を列挙したインパクトカテゴリーがそれぞれ異なっている。また、同一の環境負荷に対する環境影響を求めると、手法間で異なる評価結果が得られることが指摘されている（寺園，1998）。

そもそも、社会的・文化的状況の相違から、国や地域によって問題として認識される環境問題や避けたい環境への影響が異なる。このため、環境影響の総合評価においては、評価主体は、対象地域に適合したインパクトカテゴリーを選ぶ必要があると考えられる。しかし、専門家が選んだインパクトカテゴリーをガイドラインとして提示した環境毒性学・化学学会（SETAC : Society of Environmental Toxicology and Chemistry）の例はあるが（稲葉 他，1998）、インパクトカテゴリーの選択方法について検討した例はほとんど見られない。本章では、アメリカ環境保護庁（U.S.EPA，1987）が解決すべき環境問題をリストアップした事例にならって、環境問題全体を包括するようにインパクトカテゴリーを選択する方法について検討した。

なお、統合化は主観を反映する可能性が高いプロセスであり、作業にあたって十分な配慮と結果の慎重な利用が望まれる。例えば、LCIA の統合評価に重み付けを取り入れることの是非には議論がある。また、専門家と非専門家では重要と判断する環境問題が異なるとされている（U.S.EPA，1987）。

2.2 研究の目的

本章では、環境影響の総合評価手法を開発するために、複雑に絡み合った環境問題の全体像を、問題として認識されている領域のまとまり（（環境）問題領域）と、まもるべき環境の本質と考えられている対象（保護対象）からなるマトリクスで包括的に整理する枠組みを提案する。従来インパクトカテゴリーとして括られていた環境問題は、図 4-1 に示すように、問題領域と保護対象に分類される。問題領域とは、個別の環境問題を相互の関連性

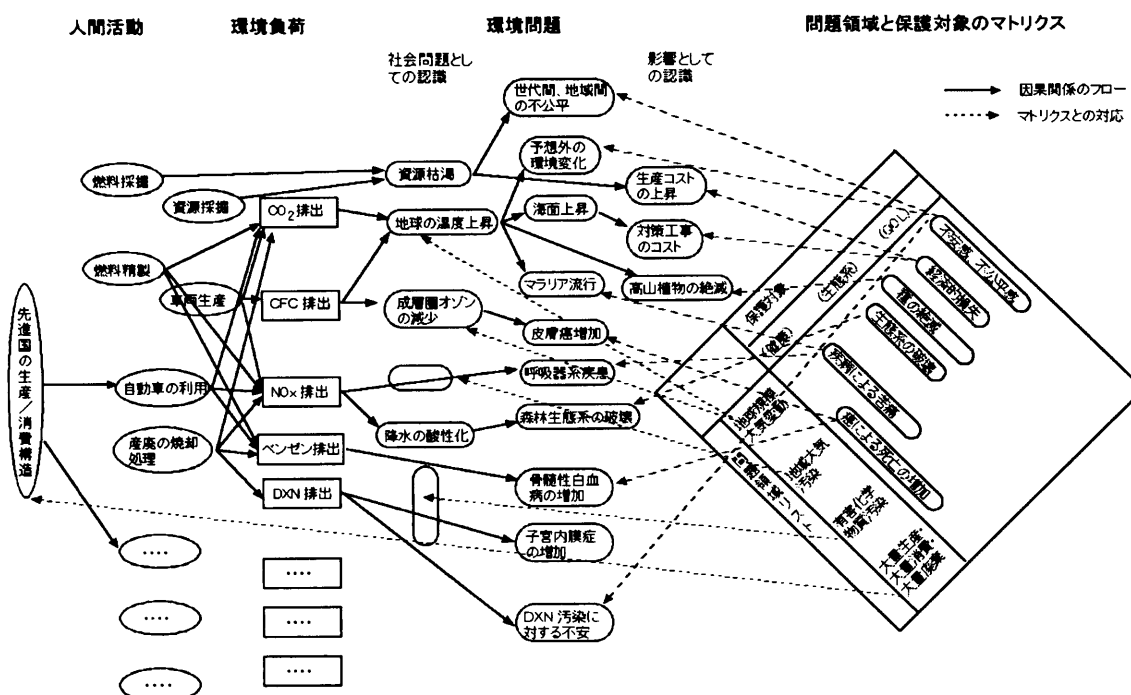


図 4-1 環境問題の因果関係のフローからみた問題領域と保護対象の切り出し方の例

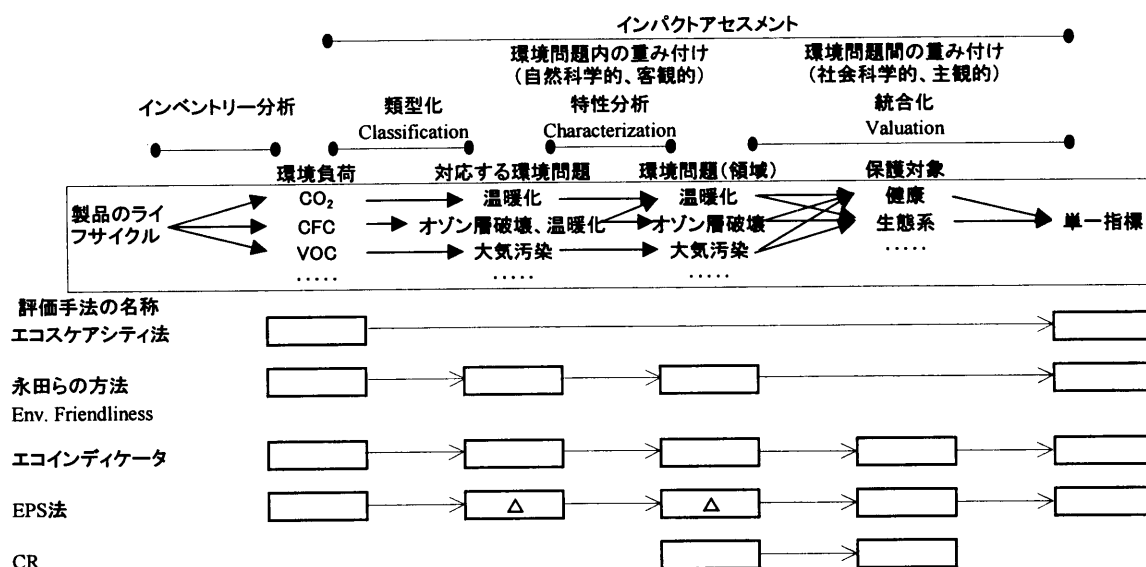
に基づいて分割および結合し、対象地域の環境問題全体を重なりや漏れがなく包括するように 10～20 種類のまとまりへと整理したものである。保護対象とは、環境問題による影響が及ぶことを避けたい対象を、少数の普遍的・本質的なまとまりへと整理したものであり、既存の LCIA 手法の一つである EPS 法（Steen, 1996）で Safeguard Subject と名付けられたものに相当する。

さらに、得られた枠組みを用いて、市民を含む主体の参加を得て、科学的知見や参加者間の討論を踏まえながら問題領域間および保護対象間の重み付けを行うプロセスを通じて、環境問題間の重みの値を求めるとともに、環境問題を整理する枠組みや重み付け手法の改善を目指す。環境問題間の重みの結果から、前章で選択した目的変数が環境問題全体に占める相場観を知ることができる。

3 研究の方法

3.1 既存の評価手法における統合化

既存の評価手法における、異なる環境負荷を単一の指標で比較可能とするための重み付け（統合化）の方法を図 4-2 に整理する。エコスケアシティ法（Aube et al., 1990）のように、環境負荷を、現状値とそれぞれに設定されている目標値の隔たりを用いて直接に比較・統



△：温暖化、オゾン層の破壊、光化学スモッグ、酸性化に限っては、環境問題間の重み付けを行う。

図 4-2 各種の評価手法における統合化の方法

合する方法、永田らの方法(永田・藤井, 1996)および Environmental Friendliness 指標(Puolamaa et al., 1996)のように環境問題間の重みを直接比較し、別に環境負荷と環境問題に対応させる(図 4-2 の類型化および特性分析)方法、エコインディケータ(Goedkoop, 1995)のようにさらに保護対象別の環境問題の比較と保護対象の比較の階層構造をとる方法に分類できる(寺園, 1996)。

環境負荷と環境問題の対応までは、自然科学的知見に基づく客観的な重み付けが行われるのに対して、統合化では、パネルやアンケート等を用いて、判断主体の価値観を反映した主観的な重み付けが行われる。エコスケアシティ法は、目標値の達成度（DtT: Distance to Target）という共通尺度で統合化を行うため、一見すると客観的な統合化手法に見える。しかし、目標値の設定水準や、異なる項目について設定された目標値が同一の価値を保つと見なすかどうかに関して、専門家による価値判断が不可欠であり、その点において主観性を排し切ることはできていない。

3.2 Comparative Risk

これら一連の LCIA の手法開発とは別に、環境問題に優先順位を付けるための手法として、CR (Comparative Risk) がある。CR は、連邦・地方・州・市などの環境部局に限られた予算や人材を各環境問題に有効に配分する際のツールとして、アメリカ合衆国環境保護庁 (U.S.EPA) が開発した手法である (U.S.EPA, 1987)。CR の成果が予算編成に直接的な影響を与えた事例は報告されていないものの、ほぼ全ての州で、将来の環境像を描くためのツールとして CR プロジェクトが行われた (Davies, 1996)。

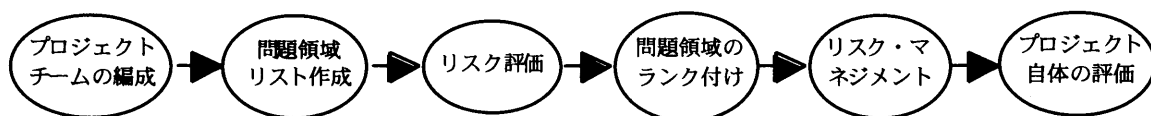
CRのプロセスでは、図4-3のように、プロジェクトの目的設定とチーム編成の後、標準的な問題領域リストを参考にして、市民と行政の共同作業により、対象地域の環境問題全体を網羅するように問題領域リストを作成する。次に、リスク評価段階で専門家が収集した科学的知見を元にして、保護対象に相当する健康へのリスク、生態系へのリスク、生活の質（QOL）へのリスクの3つの観点から、各問題領域に高・中・低等のランクを付ける。ここまでのCRのアセスメント段階である。U.S.EPAは、3つの保護対象ごとにつけたランクを単一の総合指標へ統合することを推奨していない。統合化を進める結果、科学的知見よりも価値判断の色合いが濃くなりすぎることを避けるためである。リスク以外の政策的な実行可能性等の要素を考慮に加える優先順位付けは、マネジメント段階で行う（U.S.EPA, 1993）。

CRは、不確実性が大きいデータや定性的な科学的知見を活用し、多様な主体の価値観を常に取り入れるオープンなプロセスを取ることで、包括的なインパクトカテゴリーを設定し、総合的な評価値を求めることができる点が特徴である。

3.3 問題領域と保護対象の設定

図4-2で統合化を伴う評価手法をレビューした結果を踏まえて、本章の研究では、環境問題（問題領域）を明示することで、総合評価のプロセスを、環境負荷と環境問題を対応させる段階と問題領域間の重み付け段階へと分ける方法を採用することとした。これは、客観的な重み付けが可能な段階と、統合化の主観的な重み付けが必要な段階に区別するためである。

問題領域間の重み付けは、問題の多様性や複雑性のために容易ではなく、主観的になりがちである。そこで、保護対象別に問題領域間の重み付けを行った後で保護対象間の重み付けを経て単一の指標を求める階層構造を採用することとした。このように評価対象と評価基準からなる階層構造を用いる方法は、価値判断を伴う重み付けに適した方法とされ、後述する階層分析プロセス（AHP：Analytic Hierarchy Process）（Saaty, 1980）という意味決定支援手法の基本概念となっている。こうして、問題領域と保護対象からなるマトリクスを総合評価手法の枠組みとすることを基本方針として決めた。



（U.S.EPA, 1993 を元に作成）

図4-3 CRプロジェクトの流れ

マトリクスの作成には、CR を参考にすることとした。既存の LCIA 手法では、定量的なインベントリーデータがある範囲での評価に止まる場合が多い。CR のインパクトカテゴリーは、包括的だが、保護対象がリスクの観点に偏っている。また、既存のマトリクスには、我が国に適したものがない。そこで CR を参考としながら、我が国に適した包括的なマトリクスを作ることとした。

3.4 会議実験

CR を参考にして 3 回の会議実験を開催し、問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み作りと、日本における重要な環境問題を明らかにする重み付けを試行した。その概要を表 4-1 に、参加者の構成を表 4-2 に示す。第 1 回と第 2 回の会議では、総合評価を行う枠組みづくりを目的として、環境問題専門家が、環境問題として認識している事象を

表 4-1 会議実験の概要

	第 1 回	第 2 回	第 3 回
開催期日	H9.1.31～2.1	H10.2.10～2.11	H10.9.15～9.16
会議時間	9 時間	10 時間半	11 時間半
目的	問題領域リストの作成	保護対象の再検討	多様な主体による重み付け
内容	今後 50 年に日本で問題になりそうな環境問題を包括する日本版問題領域リストを作成する	影響の行き着く先をリストアップし、それらを包括する保護対象を決める	専門家の講演、影響を整理した情報シートおよび参加者の討論を踏まえて、重み付けを行う
主な成果	15 種類の問題領域	4 つの保護対象 重要と判断される問題領域	市民および専門家が重要と判断する問題領域
評価手法	15 種類の問題領域を CR の 3 つの保護対象別にランク付け	15 種類の問題領域を 4 つの保護対象別に評点付け	6 種類の問題領域を 4 つの保護対象別に AHP で重み付け

表 4-2 会議実験参加者の構成

	第 1 回	第 2 回	第 3 回
国立環境研究所	13	11	10
環境庁	5	4	2
自治体	6	5	1
大学教官	3	3	1
民間など	4	2	3
専門家小計	31	25	17
市民	-	-	32
合計	31	25	49

問題領域へまとめ、環境影響の行き着く先を保護対象へと整理し、日本の環境問題と影響の全体を包括するマトリクスを作成した。第3回の会議では、手法の検証と総合評価の試行を目的として、市民を含む約50名の参加者が、現在の科学的知見に関する専門家からの情報提供と参加者の間での意見交換を踏まえて投票による評価を行った。会議で得られた知見を元にして次の会議実験を計画したため、開催は1年に1回のペースとなった。

4 問題領域と保護対象の整理

4.1 整理の方法

問題領域と保護対象の整理は、CRと同様にブレインストーミングと合意形成を繰り返す方法で行った。時間的制約を考慮し、事前に参加者に対する予備調査を行って問題領域および保護対象の私案を集め、会議当日には、ワークショップ手法として実績のあるKJ法（川喜田，1967）を用いて、類似の項目をまとめる作業を行った。

その際に対象とする空間および時間のスケールは、LCIAや環境指標等の対象として最も利用しやすく、また評価のイメージが得やすいという理由から、日本全体、二世代に相当する約50年間と条件を設定した。

4.1.1 問題領域の整理方法

CRでは、1)他のプロジェクトで作成された環境問題領域リストを修正して用いる方法と、2)複雑に錯綜する環境問題を、共通性等の観点から整理・分類し、新たな環境問題領域リストを作成する方法を提示している。日本にはCRに類似した先例が無いことから、本章の研究では、CRのガイドブックの標準的なリストを参考にしながらも、基本的には新たに問題を整理し直す方針にした。

図4-4に示すように、環境問題を分類する基準によって、異なる問題領域が切り分けられる。「原因、負荷、影響」の系統性といった単一の基準で一貫して分類すると簡潔な環境問題領域リストとなるが、その一方で、それぞれの環境問題を認識しやすい基準を複数組み合わせると分かりやすい問題領域リストを作成できるという面もある。以降の作業では、簡潔かつ分かりやすい環境問題領域リストを作成するために、系統性に基づく整理を中心にしながら複数の基準を組み合わせ、問題領域を決めるものとした。

筆者らは主催者として、予備調査で集まった延べ200種類以上の問題領域を、原因となる活動および発生源、環境に対する負荷、引き起こされる影響といった系統性にしながら平面上に配置した資料を作成した。また、影響が類似の系統をまとめ、それに問題の内容

を分かりやすく示す問題領域名をつける方法で、問題領域リストの原案を作成した。

4.1.2 保護対象の整理方法

本章の研究では、環境影響の総合評価手法の枠組み作りとして、定量的に測定できるか否かにとらわれずに、人々がまもりたいと考える対象や環境問題による影響が及ぶことを避けたい対象を少数の普遍的・本質的な影響の行き着く先へと整理し、保護対象として特定することとした。

初めに、関連する評価手法で使われる保護対象の例を整理した。また、先に作成した問題領域について、引き起こされる環境影響が行き着く先をリストアップした。次に、影響を整理する際の基準について検討した後、関連する影響の行き着く先をグルーピングして全体で3～5個の保護対象とする検討作業を行った。

	発生源	負荷物質	影響を受ける環境
水	都市と工場の排水 非点放出源 農業活動 廃棄物処分場	栄養物, BOD, 汚濁	河川・湖沼 海岸 河口 地下水汚染 上水汚染
大気	固定発生源 移動発生源（自動車）	有毒気体 基準大気汚染物質 気候変動 オゾン層破壊 酸性降水物 光化学ガス	室外大気 室内大気
有害物質	農薬 工場プラント 家庭内	鉛 農薬 アスベスト ラドン ダイオキシン PCB 塩素系製品	
その他	家庭廃棄物 製造段階の廃棄物 小売段階の廃棄物	微生物 物理的圧力 熱汚染 有害有機物 有害無機物	農地の表土流出 特別生息域 希少種 都市 オープンスペース

廃棄物（敷地）
閉鎖した有害廃棄物処分場
使用中の有害廃棄物処分場
都市ゴミ
産業廃棄物

凡例

○ : 基準の例

□ : 施策分野に沿った定義

経済部門
交通
軽工業
重工業
商業開発
住宅開発
エネルギー生産
廃棄物処理業
リゾート産業
道路建設
林業
農業
軍隊
政府

地理的空間
大水域
流域
大気圏
都市
郊外
保護地域

(U.S.EPA, 1993 を元に作成)

図 4-4 問題領域を分類する際の基準

4.2 問題領域の整理のプロセスおよび結果

専門家による第1回目の会議では、表4-3の手順で作業を行い、日本の環境問題を包含する改訂版問題領域リストを作成した。原案と改訂版の問題領域の変化を図4-5に示す。会議の参加者は、生活者の視点からは発生源での整理、行政の視点からは対策での整理、評価者の視点からは影響での整理が理解しやすいなど、問題領域を作成する目的によって、定義の基準および問題領域リストが変わってくることを指摘した。しかし、本章の目的の一つは総合評価手法の開発であるから、主に影響の類似性を定義の基準として問題領域を切り分けることを全体討論で確認した。

ただし、有害化学物質汚染については、最終的な影響の類似性で定義するのではなく、環境問題としての社会的な認識を重視して、多様な負荷物質が環境を汚染する一次的な影響をとらえて定義した。また、大量生産・大量消費・大量廃棄については、原案にあった資源枯渇のような問題を想定しながらも、個別の影響のみでは考慮できない本質的な問題として、他の多くの問題領域の原因となる社会活動の構造そのものを問題領域とした。その他の主な変更点は、空間スケールの類似性から地球規模大気変動を一つにまとめたこと、事故による不慮の放出を各々対応する問題領域に含めたこと、自然生態系関連の問題領域を増やしたことである。原案で分類できなかった項目も、環境問題とするには不適切と判断された食糧不足を除いて、適当な問題領域へと分類した。こうして、個別の問題の切り分け方について検討を重ねた結果、17種類の問題領域を最終的に15種類の問題領域に再編した。

最後に、参加者は、健康、生態系、QOLというCRのリスクの分類（保護対象に相当す

表4-3 第1回会議における問題領域リスト作成のプロセス

予備調査 (3週間前)	たたき台の材料集めとトレーニングのために、参加者に問題領域リスト案を提出してもらった。1) 参考として、U.S.EPA, アリゾナ州, 筆者による環境問題領域リストの3例を示した上で、2) 「日本の環境問題」として考え得る限りのキーワードを書き出してもらい、3) 性格の類似したもの同士をグループ化し、全体を10~20個の問題領域にまとめてもらった。
原案作成 (1週間前)	予備調査を元に、原案を作成した。1) 提出された問題領域を並べたたたき台を主催者が検討し、意見を出し合い、2) 出された意見に従って問題領域を再整理した。3) 研究所内のミーティングで意見を聞き、17種類の問題領域からなる原案を決定した。
グループ討論 (当日)	参加者は3グループに分かれて集中的に討論を行った。原案を眺めながら、問題領域の整理の方針、個別の問題領域の切り方、その他について、意見を出し合い、論点を明らかにした。
全体討論	グループの代表が討論の内容を発表し、参加者は他のグループの論点について見解を述べ、互いにグループ討論の論点を共有した。
問題領域リストの完成	参加者全体で、提出された論点を整理しながら、KJ法を用いて問題領域を再編成した。最後は、主催者が中心となって15種類の問題領域からなる改訂版問題領域リストを完成した。

る)に従って、3つの分類ごとに改訂版問題領域に0～3のランクを記入した。そのプロセスで、QOLについては、その定義があいまいなためランクを判断しにくいことが指摘された。問題領域だけでなく、保護対象も独自に定義する必要があることを認識した。

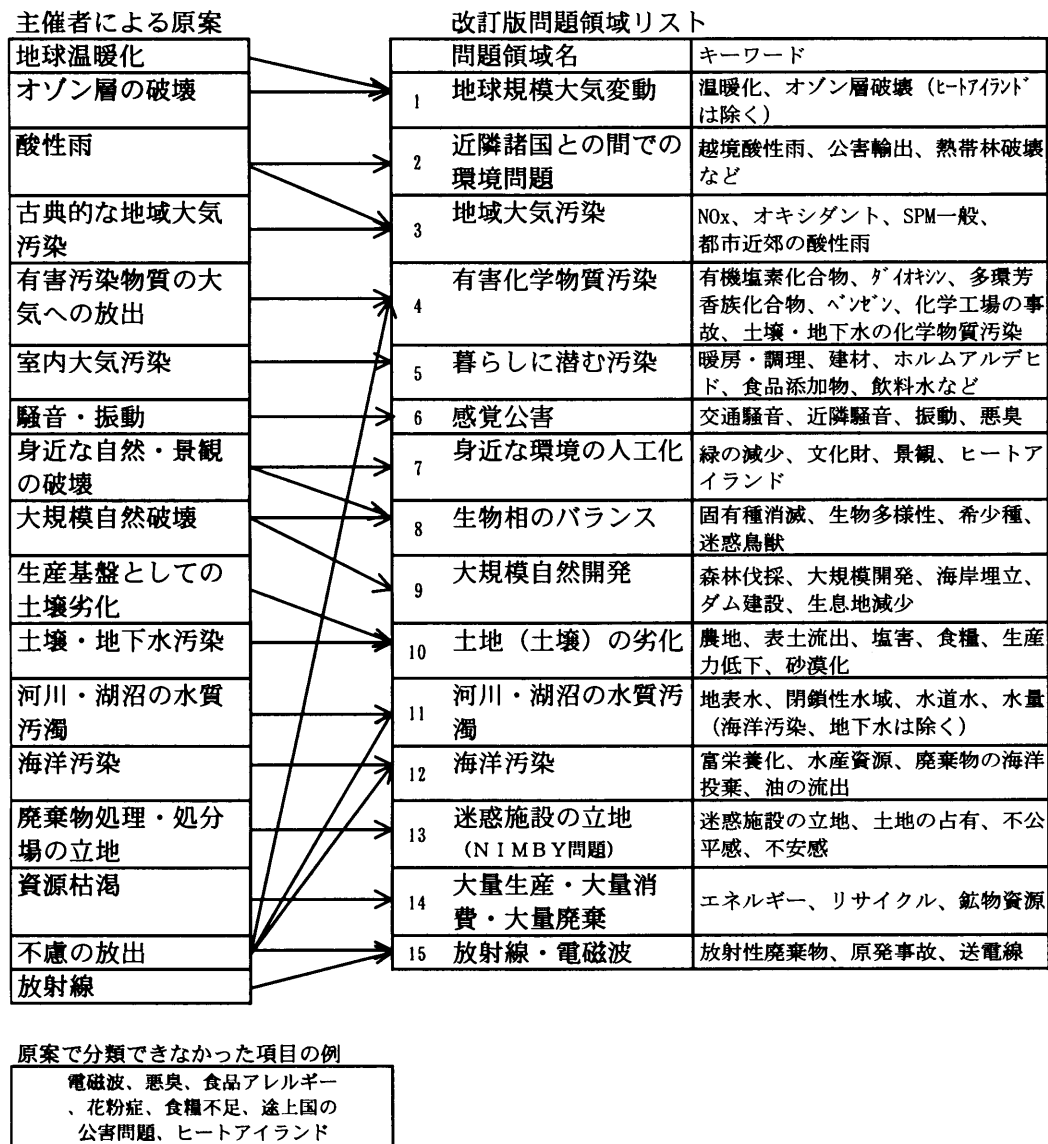


図 4-5 問題領域リストの改訂内容

4.3 保護対象の特定のプロセスおよび結果

第2回専門家会議では、表4-4に示すプロセスで保護対象を決定し、問題領域と保護対象のマトリクスを作成した。まず筆者らはLCAにおける保護対象の最近のレビュー(Beltrani, 1997)を参考にして表4-5の星取り表を作成した。表4-5を見ると、評価主体である人間の死亡および健康と、人間の健康では評価できない環境の健全性を表す生態系の二つが、すべての評価手法において保護対象となっている。それ以外の影響をカバーする保護対象については、資源や社会的な豊かさなど、手法によって異なる観点から選ばれている。

グループ討論では、3グループがそれぞれに保護対象を作成した。グループ1は、「人の生命・健康の保全」、資源や生息地に関連する「人間・生物の生存基盤の確保」、物的損失に関連する「生活基盤の確保」、不安やレクリエーションに関連する「精神的やすらぎと満

表4-4 第2回会議における保護対象の整理のプロセス

予備調査 (2週間前)	議論のたたき台を作るために、参加者に影響の行き着く先の例を提出してもらった。1)先に作成した各問題領域が引き起こす影響の行き着く先を列挙し、2)評価が定量的なものを左に、定性的なものを右に整理してもらった。3)その際に、主催者が考えた影響の行き着く先と関連手法で使われた保護対象の事例を提示した。
原案の作成 (1週間前)	主催者が、予備調査で集めた影響の行き着く先を、行方向は問題領域、列方向は類似の影響の行き着く先のマトリクスの形に整理した。また、影響の行き着く先を数種類の保護対象にまとめる際の方針を検討した。
グループ討論 (当日)	参加者は3つのグループに分かれて、独自のやり方で保護対象を検討した。影響の行き着く先を列挙し、いくつか選んだ整理の軸に沿って並び替え、保護対象の境界を切り分けるという作業の流れはほぼ共通していた。
全体討論	グループで決めた保護対象および整理の視点を発表し、論点を共有した。全体で討論して保護対象を切り分け、問題領域を関係する保護対象に貼り付けた。
問題領域－保護対象マトリクスの作成	予備調査で集めた問題領域が引き起こす影響の行き着く先を、作成した保護対象に分類し、評点付けに使用する配点記入表の資料を作成した。

表4-5 各種の評価手法における保護対象の例

著者・団体	手法名	人の健康	生態系	資源	豊かさ
U.S.EPA (1987)	Unfinished Business	ガン／非ガン	○		○
U.S.EPA (1993)	Comparative Risk	○	○		QOL
Consoli, etc. (1993)	SETACのLCA	○	○	○	
Goedkoop (1995)	エコインデイクター95	死亡／健康	○		
SCOPE (1995)	SCOPEの環境指標	複合的汚染	○	○	○
Steen (1996)	EPS法	○	生物多様性	○	生産能力 ／(美的価値)

足の確保」、不公平感に関連する「社会正義の確保」の5つの保護対象を提案した。グループ2は、時間の観点からの整理を試みて、影響が出るまでの時間、影響が即効性か蓄積性か、影響から回復するまでの時間の3軸にしたがって影響を分類することを提案した。グループ3は、「身体・健康」、「生態系」、資源やレクリエーションに関連する「社会・経済」、不快感や不公平感に関連する「精神的 Well-being (健全性)」の4つの保護対象を提案した。

全体討論では、いろいろな整理の方法があることを認識した上で、影響を整理する作業に取り組み、表4-6に示す4つの保護対象を特定した。保護対象を特定するプロセスで初めに採用することに合意されたのは、人の生存・健康への影響であった。関連する精神的 Well-being や社会的 Well-being のどこまでを健康に含むかについては、後に他の保護対象との関係で整理した。

生物・生態系への影響については、たとえば環境中に広範囲に渡って放出された有害物質が、食物連鎖に従って生物体内に濃縮し、食物として人の身体に入り込むなどして、人の健康に影響を与えることが最終的な影響の行き着く先であるとする案を検討した。その場合、生物の権利や人の生存基盤としての利用価値、自然破壊への罪悪感などについては他の保護対象で考慮することになる。しかし、生態系の面的な喪失や種の絶滅など、生態系そのものに価値を置く考え方が広く認知されていることを考慮して、一つの保護対象とすることを決定した。

生産・生活基盤への影響については、上の二つの保護対象では考慮されない社会・経済的影響を、主に物的な側面から整理した。具体的には、鉱物・エネルギー資源や農林水産業の生産能力等の生産基盤と、景観悪化やレクリエーション機会等の生活基盤への影響をとらえる保護対象として定義した。

不安・不公平感等の精神的影響については、他の保護対象に重なる部分が多いが、科学的にとらえることが困難な影響をまとめて定義した。不公平感に注目した社会正義と、不安感と快適性に注目した精神的やすらぎを分ける案も検討されたが、細分化により他の保

表4-6 第2回会議で選択した4つの保護対象

保護対象	説明
人の生存・健康への影響 [健康]	死亡する人の数が増えること、病気になる人の数が増えることおよび病気による身体的・精神的苦痛が増すこと
生産・生活基盤への影響 [生産]	鉱物やエネルギーや水など有限な資源の減少、建造物の劣化や農作物の被害などの物的損害、景観やレクリエーションを楽しむ場の喪失、資産価値の低下など
生物・生態系への影響 [生物]	生物個体の変異・死、生物数の減少、生物種数の減少、生息地の破壊、生態系の変化など。希少種や貴重種に対する人の価値観を考慮する
不安、不公平感等の精神的影響 [精神]	影響についてよく分からない、問題の解決が難しい、影響が深刻であること等による不安とおそれ。自分が影響を受けることへの不満や、他者を傷つけることへのうしろめたさ等の不公平感など

護対象に比較して影響の重みが小さくなり過ぎると判断したため、それらを精神的影響として一つにまとめることにした。

保護対象の数を多くすれば、個別の保護対象を評価軸とした問題領域の比較評価はやりやすくなるが、その反面で、保護対象の間の統合が難しくなる。その後の重み付けにかかる時間も考慮して、保護対象の数を3～5個に絞り込む方針でまとめの作業を進めた。また、保護対象の作成にあたっては、環境問題の本質に関わる議論が行われるため、合意形成に達するまでには長い時間が必要になる。当会議では、時間制約のため、保護対象への絞り込みや影響の行き着く先の分類の段階では、主催者主導で作業を進行せざるを得なかった。

4.4 問題領域－保護対象の整理に関する考察

問題領域リストや保護対象を作成する際に、参加者同士で議論することにより、各参加者の環境問題全体への理解が深まった。問題領域については、多くの参加者は、環境問題の全体を網羅したわかりやすい問題領域リストができたと評価した。保護対象については、影響の行き着く先を突き詰めた結果、既存の評価手法の保護対象にリスク認知要因を加えた包括性に優れた保護対象になった。

ここで定義した不安・不公平感等の精神的影響を、リスク認知に心理的影響を与える要因として知られる「恐怖しさ」と「未知性」を測定する7つの尺度（Slovic, 1987）に対応させると、不安感「制御可能性、恐怖しさ、結果の重大性、観察可能性、予測可能性」に、不公平感「結果の公平性、受動性・能動性」に相当する。精神的影響については、科学的知見を情報として与えることが難しいため、保護対象とすることに異論もあると考えられる。しかし、リスク認知要因の評価軸を別に用意することで、他の保護対象での評価をより客観的に行うことができると判断して、あえて保護対象に採用した。

4.5 専門家による評点付け

ここまでの作業を元にして、表4-7に示す通り、縦に問題領域が15種類並び横に保護対象が4つ並ぶマトリクスを作成した。各セルに影響の行き着く先を例示した表を、重み付けの前提として考慮すべき内容を示す資料として用いた。また、各セルを空白にしたものを配点記入表として用いて、参加者一人一人が、保護対象別に、問題領域同士を比較した評点付け（例えば0～10の間の点数を直接付ける方法）を行った。資料を参考にして評点付けをした後、どういう基準で点を付けたかグループ内で意見交換をし、もう一度評点付けをするという作業を行った。同様に、保護対象の間にも重みを付けた。保護対象ごとの

表4-7 問題領域－保護対象のマトリクス

エンドポイント群 問題領域名	人間の生存基盤・健康(日本人 の現世代および近未来)	人間の生産・生活基盤(日本人 の現在および近未来)	生物(場としての生態系、個とし ての生物、人間の価値の対象 (貴重さ、罪悪感など)を含む)	不安、不公平感などの精神的影 響(自然科学的定量化になじま ないもの)
1 地球規模大 気変動	皮膚ガン、疫病、災害多発によ る人的損失、飢饉、マラリアの拡 大、新たな疾病、栄養失調	CO2対策費用、海面上昇・災害 への対策費用、食糧生産、漁獲 量、資産価値の低下、土地・空 間の喪失、可住地面積の減少	大規模破壊、生物種数、希少種	気候変化、将来世代、将来世代 の生産基盤の劣化、子供や孫の 健康、途上国の不公平感、対策 の立ち後れ、異常気象、食糧不 足、国際関係の不安定化、急激 な変化、混乱などへの不安感
2 近隣諸国と の間の環 境問題		酸性雨による樹木被害、自然災 害による損失、生産基盤の劣化	森林・生態系の劣化、生態系資 源	ごみによる景観破壊、地域の経 済的社会的自立性、つけ回しに よる不公平感、地球が煙突の中 のような状態になること、未知 のウイルス出現、国際紛争、公害 輸出による相手国での健康被害 に対する罪悪感
3 地域大気汚 染	ガン、呼吸器系疾患、アレルギー、花粉症、疾患による精神 的苦痛、さわやかさの損失(注: 精神的影響と境界領域)	呼吸器疾患による治療費増大、 コンクリート腐食による損失、資 産価値の低下、景観悪化、視程 の悪化、洗濯物の汚れ、窓の開 放の制限、	動植物被害、生態系の変化	受動的なことへの不公平感
4 有害化学物 質汚染	ガン、疾患による肉体的苦痛、ホル モン攪乱による健康被害、臓 器障害、疾患、出産異常、体調 不良、障害・不妊による苦痛(食 物連鎖や飲料水を通じた曝露に よるものを含む)	障害による経済的負担、汚染浄 化費用、資産価値の低下	生態系の攪乱	将来世代、子供や孫の健康、情 報不足による不安、食料や飲料 水の安全性への不安、精神的不 安、長期的影響への不安
5 暮らしに潜む 汚染	ガン、トリハロメタンによる発ガ ン、疾患による肉体的苦痛、臓 器障害、体調不良、ストレス、疾 患、出産影響、化学物質過敏症	浄水装置の設置費用		企業や行政に対する不信感、情 報不足による不安、リスクの誤 認による不安、利便の裏で高ま る不安
6 感覚公害	ストレス、自律神経失調、体調不 良、不眠症、精神的不安定、不 快感	体調不良の原因追究にかかる 時間と費用、資産価値の低下		通過交通等への不公平感、加害 者・被害者の係争、社会関係の 不安定
7 身近な環境 の人工化	熱による健康被害、暑さ等によ るストレス、オートメーション化が もたらすストレス、精神的苦痛	空調費用(人工環境管理費用、 環境調節機能の代替)、資産価 値の増減、観水空間の減少、景 観悪化、文化財破壊、	生物の減少、生物種の減少、	価値あるものの喪失感、暑さ等 による不快感、見えないもの・不 確定なものへの不安、やすらぎ の喪失
8 生物相のバ ランス	飢饉、疫病	迷惑鳥獣による農作物の被害、 対策費、生産力低下	生物の絶滅、生物種数の減少、 自然海岸減少、生物種の変化特 定種の絶滅確率	人間に快適な動植物の減少 (注:生物との境界領域)、景観・ 自然遺産、生物駆除の罪悪感、 バランスの変化
9 大規模自然 開発	疫病、自然災害における人的被害	自然災害による損失、自然災害 からの修復、資産価値の低下、 環境浄化機能の代替費用、土 地・空間の喪失	自然破壊、海洋資源の減少、生 息場である自然海岸の消失、物 質循環の破壊	景観破壊、心の豊かさ、うるお い、将来世代、未知のウイルス 出現、定常状態の破壊による変 化
10 土地(土壌) の劣化	食料不足による栄養失調	土壌回復費用、食糧不足対策 費、農業生産力、建造物倒壊・ 対策、最終処分場管理費、資産 価値の低下、農漁村の生活基盤 浄化費用、浸没費用、水質改善 調査研究費、水不足、水産資源 の減少	水生生物の減少、水循環の劣 化、淡水資源の減少	土地表面の人工化、将来世代、 農作物の安全性、遺伝子組み替 え作物への依存、食糧不足への 不安
11 河川・湖沼の 水質汚濁	生物毒による発ガン、生物毒に よる疾病、水産物摂取による、寄 生虫による健康被害		生物の減少、水生生物相、水循 環の阻害、水辺地、生物種の変 化	景観の変化、生命の源である水 に対する不信感(不安感?)
12 海洋汚染	流出油の気化による頭痛・吐き 気	流出油等の汚染浄化費用、被害 損失、現状回復費用、漁獲高の 減少、観光産業の被害、レクリ エーション機能の損失	海の生態系の破壊、海洋生物相 の変化、生物種の変化	景観の変化、海の変色
13 迷惑施設の 立地(NIMBY 問題)		資産価値の低下、補償金、土地 資源の占有、空間の喪失		行政等に対する不信感、交通混 雑による利便性低下、運転状況 に不信感、広域施設を引き受け ること、自分たちだけが損をする ことへの不公平感、社会関係の 不安定、子孫たちへの心配、紛 争の激化、施設立地への不安
14 大量生産・大 量消費・大量 廃棄		枯渇性資源の逼迫による採掘 費用の増加・資源価格の高騰、廃 棄物処理費用、処分場による空 間占有		さまざまな問題を引き起こす悪 循環への不健全感、将来世代や 途上国との分配の不公平に対す る罪悪感、資源枯渇による社会 の変化への不安、問題解決が難 しいことへの不安
15 放射線・電磁 波	ガン、機能障害	資産価値の低下、廃棄物貯蔵設 置の費用、管理コスト、土地資源 の超長期的な占有	生態系の変化	将来世代、子供や孫の健康、見 えないものや人工施設への不 安、危機管理能力の欠如への不 安、破壊的影響への恐れ、情報 提供不足への不満、電気製品か ら出る電磁波への不安感

問題領域の重要性に、保護対象の重要性の重みを掛け合わせると、環境問題全体に対する特定の問題領域－保護対象の組み合わせの重大さを知ることができる。

評価値の合計を1に基準化した個人の回答から集団の平均を求めた結果を図4-6と表4-8に示す。重み付けの結果を見ると、有害化学物質汚染による人の生存・健康への影響が最

も重要と判断されたことが分かる。続いて、地球規模の大気変動が幅広い面で重要と判断され、大量生産・大量消費・大量廃棄が生産・生活基盤への影響と不安・不公平感等の精神的影響の面から重要と判断された。大量生産・大量消費・大量廃棄の重みは他の問題領域とは異なる独特のパターンを示しており、資源枯渇や廃棄物処理・処分の将来世代への付け回しを評価したものと考えられる。

重み付けの結果は、少数の専門家が判断した値に過ぎないが、より詳細な評価を行うべき環境問題を特定するためのスクリーニングとしては利用可能である。また、この重みの値に合意が得られれば、LCA においてインベントリーと環境問題を対応づける類型化や特性分析を通じて、異なる環境負荷の比較評価に応用することができると考えられる。参加者自らが特定しなおした保護対象を用いて重み付けを行うことで、問題領域間の比較がやりやすくなったとのコメントが寄せられた。また、この枠組みにしたがったプロセスは、問題領域間の重み付け手法として利用可能であるとの反応を得た。

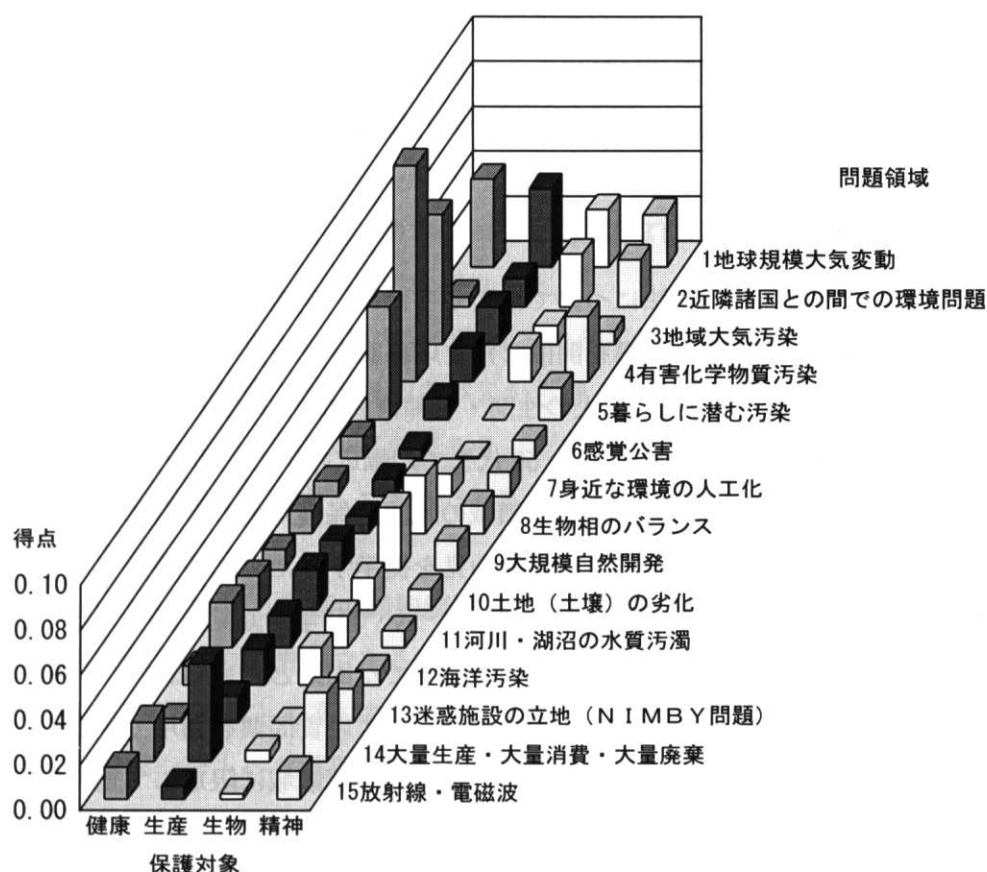


図 4-6 第 2 回会議の専門家による問題領域－保護対象の重み付け結果グラフ

表 4-8 第 2 回会議の専門家による問題領域－保護対象の重み付け結果表

	健康	生産	生物	精神	合計
1地球規模大気変動	0.04 (0.11)	0.04 (0.15)	0.03 (0.14)	0.02 (0.11)	0.12
2近隣諸国との間での環境問題	0.00 (0.01)	0.01 (0.05)	0.02 (0.12)	0.02 (0.09)	0.06
3地域大気汚染	0.06 (0.16)	0.02 (0.07)	0.01 (0.04)	0.01 (0.03)	0.09
4有害化学物質汚染	0.10 (0.27)	0.02 (0.07)	0.02 (0.08)	0.03 (0.13)	0.16
5暮らしに潜む汚染	0.05 (0.14)	0.01 (0.04)	0.00 (0.00)	0.01 (0.07)	0.07
6感覚公害	0.01 (0.03)	0.00 (0.02)	0.00 (0.00)	0.01 (0.04)	0.02
7身近な環境の人工化	0.01 (0.02)	0.01 (0.03)	0.01 (0.05)	0.01 (0.05)	0.03
8生物相のバランス	0.01 (0.03)	0.01 (0.03)	0.03 (0.14)	0.01 (0.06)	0.06
9大規模自然開発	0.01 (0.03)	0.01 (0.06)	0.03 (0.15)	0.01 (0.06)	0.07
10土地（土壌）の劣化	0.01 (0.04)	0.02 (0.08)	0.01 (0.07)	0.01 (0.04)	0.05
11河川・湖沼の水質汚濁	0.02 (0.06)	0.01 (0.06)	0.01 (0.08)	0.01 (0.03)	0.06
12海洋汚染	0.01 (0.02)	0.02 (0.07)	0.02 (0.09)	0.01 (0.03)	0.05
13迷惑施設の立地（NIMBY問題）	0.00 (0.01)	0.01 (0.05)	0.00 (0.00)	0.02 (0.07)	0.03
14大量生産・大量消費・大量廃棄	0.02 (0.05)	0.04 (0.19)	0.00 (0.02)	0.03 (0.14)	0.10
15放射線・電磁波	0.01 (0.04)	0.01 (0.03)	0.00 (0.01)	0.01 (0.06)	0.04
合計	0.36 (1.00)	0.23 (1.00)	0.19 (1.00)	0.22 (1.00)	1.00

括弧内は保護対象毎の問題領域間の評価値

5 市民の価値観を反映する重み付けの試み

5.1 市民参加の重み付けを行う前提

多様な主体による重み付け手法について検討するため、新聞で市民の参加を募り、市民参加で重み付けを行う第3回の会議を開催した。応募数が少なかったため、市民参加者の選考は行わなかった。参加希望者32人の性別・年齢構成は、50代女性がおらず40代女性が8人と多かったが、男女とも10代から60代までの幅広い年代であった。

会議に初めて参加する市民との間で問題領域の範囲や保護対象の定義に関して認識を共有し、かつ重み付けの判断材料として科学的知見を提示するために情報シートを活用することとした。しかし、15種類の問題領域の全てについて科学的知見を提示することや、市民がそれらを理解して回答することは、短い時間内では困難と考えられた。評価対象の数を減らすことで、一対比較法を用いた比較的回答しやすい質問票を利用できることも考慮して、第2回会議で専門家が重要と判断した6種類の問題領域に限定して重み付けを行うこととした。

5.2 重み付けの方法

5.2.1 重み付けの枠組み

第2回までの会議で作成した枠組みに基づいて、図4-7に示す4つの保護対象の観点から6種類の環境問題の重要性を比較した。

問題領域の比較を行う際には、保護対象別に見た評価の有無が結果に影響するか否かを見るために、二通りの評価を行うこととした。一つは保護対象に関係なく、問題領域の総合的な評価を会議の冒頭と終了前の計2回実施し、後者を「総合評価値」とした。もう一つ

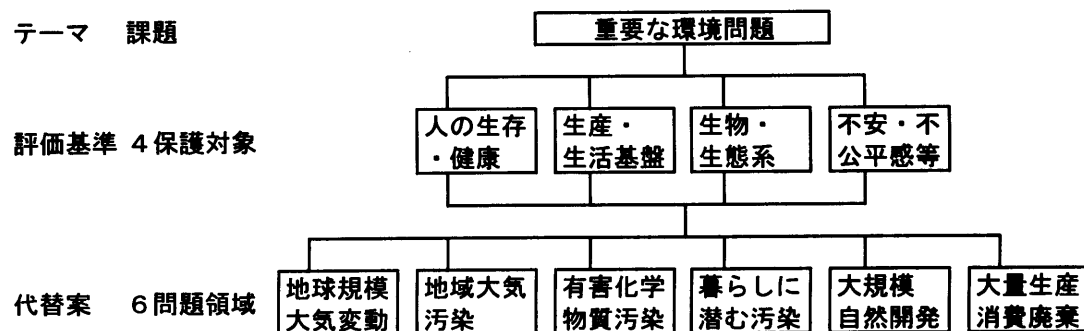


図4-7 第3回会議実験の階層図

は、4つの保護対象別に見た評価をそれぞれグループ別討論の前後に計8回と、保護対象間の統合を行うための保護対象の評価を実施し、保護対象別のグループ討論後の評価と保護対象間の評価から「積み上げ評価値」を求めた。

5.2.2 科学的知見の提供

6種類の問題領域に関する最新の科学的知見を、講演および図4-8～11に示す情報シート（ファクトシート）の形式で、参加者に提供した。

講演では、国立環境研究所および大学の研究者の6人が一人一問題領域を担当して、各問題領域の概要について説明した。参加者が元から持っている価値観を調査するにしても、評価対象について最低限の説明が必要であり、その一方で、講演者が聴衆に与えるイメージが問題の重要度評価に反映することをできるだけ避けるため、各20分間で問題領域の概要を紹介することとした。

情報シートについては、6種類の問題領域を比較する際の前提となる科学的知見を提供するために、各問題領域の専門家である講演者にヒアリングを行って、事前に主催者が作成した。今後50年間で最も高い確率で起こりそうなシナリオに基づく影響を、保護対象別に計4枚の情報シートへと整理した。理解の容易さと、不確実性の表現方法に配慮しながら、主要な数項目の影響を統一的なフォーマットで記述した。会議では、保護対象別に問題領域とその影響を詳細に比較検討する際に約30分間かけて情報シートの解説を行い、また質問票に記入する際に回答の参考として利用した。

ファクトシート「人の生存・健康への影響」

死亡する人の数が増えること、病気になる人の数が増えることおよび病気による身体的・精神的苦痛が増すこと。自分が影響を受ける場合だけでなく他人や次世代が影響を受ける場合も想像する。確率、人数、苦しみや恐れや悲しみや不快感の強さで表す。

a. 地球規模の大気変動

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
マラリア		気温の上昇	不確実性大
熱中症		気温の上昇	地域差が大きい
皮膚ガン		紫外線の増加	

b. 地域大気汚染

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
目がちかちかする等の急性影響	数百人に1人	オゾン（光化学スモッグ） SPM（浮遊粒子状物質） CO（一酸化炭素）	
呼吸器系疾患等の慢性影響（ぜんそく等）	約千人に1人	SPM（浮遊粒子状物質） SO ₂ （硫黄酸化物） NO _x （窒素酸化物）	

c. 有害化学物質汚染

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
ガン	数千人に1人 数万人に1人 数千人に1人	大気の汚染（ベンゼンなど） ダイオキシン汚染 地下水の汚染（トリクロロエチレンなど）	
肝臓障害（次世代影響）	数千人に1人	環境ホルモン汚染	不確実性大

d. 暮らしに潜む汚染

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
呼吸器系疾患		室内空気汚染（タバコ副流煙、ストーブ排気など）	燃焼由来
ガン	数百人に1人 数万人に1人 数千人に1人 数万人に1人	室内空気汚染（建材など） 飲料水汚染（トリハロメタンなど） 食品汚染（残留農薬）	揮発性物質
化学物質過敏症		室内空気汚染（建材など）	

e. 大規模な自然開発

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
特に影響無し			

f. 大量生産・消費・廃棄

影響の種類	影響の程度* アメリカの例	負荷	補足
特に影響無し			

*影響の程度の計算法

・ガンの影響の程度（アメリカの例）は、アメリカにおける物質別年間発ガン数の予測値に寿命として70年を掛け、総人口で割って求めた。意味は一生の内にガンになる確率である。
・その他の影響の程度（アメリカの例）は、アメリカにおける見積りを使って求めた。
$$\Sigma (\text{曝露人口} / \text{総人口}) \times (\text{曝露濃度} / \text{許容摂取量に当たる濃度}) \times (1/50) \times (1/100)$$

〔1/50は、無反応で50人に1人が発症すると仮定した係数〕
〔1/100は、許容摂取量が安全係数100を用いて厳しくされていることを補正する係数〕
意味は、一生の内に発症する確率である。

図4-8 情報シート（人の生存・健康への影響）

ファクトシート「生産・生活基盤への影響」

鉱物やエネルギーや水など有限な資源の減少、建造物の劣化や農作物の被害などの物的損害、景観やレクリエーションを楽しむ場の喪失、資産価値の低下など。主にお金に換算して表す。

a. 地球規模の大気変動

影響の種類	金額	負荷	説明
農業生産被害		気候変動	世界的な被害が、日本の食糧供給に影響する
レクリエーション機会の喪失		海面上昇	砂浜が減る。観光産業に経済的損失
水害の増加		降雨の変化	地域差が大きい
渇水の増加			

b. 地域大気汚染

影響の種類	金額	負荷	説明
建造物の劣化	200億\$*	NOx (窒素酸化物) SOx (硫黄酸化物) 粒子状物質	コンクリートのひび割れ、窓ガラスや壁面の汚れ、文化財への影響
洗濯物の汚れ		粒子状物質	
視程の悪化		粒子状物質	視界が悪くなり、山(筑波山や富士山)などが見えにくくなる
農業生産被害		オキシダントなど	野菜に斑点ができる

c. 有害化学物質汚染

影響の種類	金額	負荷	説明
農業生産被害		土壌の汚染	農地の劣化、収穫物の汚染
漁業生産被害		河川、湖沼、海洋の汚染	魚の現存量の減少、魚介類の汚染
レクリエーション機会の喪失			釣りなど。観光産業に経済的損失
資産価値の低下		土壌・地下水の汚染	

d. 暮らしに潜む汚染

影響の種類	金額	負荷	説明
資産価値の低下		有害建材の使用	譲渡時の価格の低下

e. 大規模な自然開発

影響の種類	金額	負荷	説明
漁業生産被害		生息地の物理的破壊 食物連鎖の破壊	魚の現存量の減少
レクリエーション機会の喪失		自然環境の破壊	釣り、水泳、山歩きなど。観光産業に経済的損失
地元民に価値ある景観の喪失			裏山、屋敷林、海岸の喪失
水害の増加		保水機能の低下	
渇水の増加			

f. 大量生産・消費・廃棄

影響の種類	金額	負荷	説明
利用可能な土地の不足		廃棄物の増加	処分場建設による利用可能な国土の減少
資源の絶対量の不足		枯渇性資源・エネルギーの大量使用	一部の金属資源、石油などのエネルギー資源が高騰したり、手に入らなくなる
資源・エネルギー価格の高騰			
水不足		水の大量使用	

* アメリカにおける試算例

図 4-9 情報シート（生産・生活基盤への影響）

ファクトシート「生物・生態系への影響」

生物個体の変異・死、生物数の減少、生物種数の減少、生息地の破壊、生態系の変化など。希少種や貴重種に対する人の価値観を考慮する。原因となる活動は日本国内に限るが、影響を与える地域は世界で考える。面積や個体数や種数、回復可能性、貴重さで表す。

a. 地球規模の大気変動

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
陸上生態系の著しい変化	数十年～数百年	気温上昇	100年後に気温が1.0℃～3.5℃の上昇
湿地生態系の変化・消失	数年～数千年	海面上昇、気温上昇	100年後に海面が15～95cmの上昇
生物に悪影響		紫外線の増加	

b. 地域大気汚染

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
生態系の機能低下	数十～数百年	地域的な酸性雨	症状は樹木が弱るだけだが、影響は長い
樹木の枯れ死	数年～数十年	オキシダント	負荷を取り除き、他の木を植える場合、数年～数十年で回復する

c. 有害化学物質汚染

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
生態系の破壊	数百～数十万年	食物連鎖による曝露、食物連鎖の破壊	難分解性有害物質は長期間環境に残留する
河川生態系の損傷	数ヶ月	農業汚染	毎年、農業散布の季節に起こる
生殖（繁殖）への影響	回復困難	環境ホルモン汚染	種の絶滅に結びつく可能性がある

d. 暮らしに潜む汚染

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
特に影響無し			

e. 大規模な自然開発

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
生態系の破壊	数十年	生息地の物理的破壊	近隣に生態系が保全され、負荷が取り除かれた場合数十年で回復
貴重生物の絶滅	回復不可能		地域に固有の種が絶滅した場合、回復不可能
河川生態系の変化	～数十年	流量・流況の変化	
閉鎖水域生態系の変化	～数十年	栄養塩類供給量の変化	

f. 大量生産・消費・廃棄

影響の種類	回復可能性	負荷	補足
山林の生態系の破壊	生態系が戻るには数十年～数百年	生息地の物理的破壊	鉱物の採掘や処分場の建設
干潟の生態系の破壊	種の絶滅は回復不可能		オオタカや渡り鳥が生息できなくなる

図 4-10 情報シート（生物・生態系への影響）

ファクトシート「不安・不公平感等の精神的影響」

影響についてよく分からない、問題の解決が難しい、影響が深刻であること等による不安とおそれ。自分が影響を受けることへの不満や、他者を傷つけることへのうしろめたさ等の不公平感。その他精神的な影響。言葉で表す。

a. 地球規模の大気変動

影響の種類		説明
不安 おそれ	不明確	影響を正確に予測することができない
	困難	どんな波及的な影響があるか分からない
	深刻	回復が難しい
	破滅的	地球全体に甚大な影響を与える可能性
不公平感	不満	CO2排出が多い国と被害を受ける国が異なる
	不公正	将来世代になって問題が顕在化する

b. 地域大気汚染

影響の種類		説明
不安		自分に影響が及んでもおかしくない
不公平感	不満	便益を得る人と被害を受ける人が異なることが多い
	不公正	

c. 有害化学物質汚染

影響の種類		説明
不安 おそれ	不明確	多くの化学物質の毒性がよく分かっていない
		環境中の詳細な濃度が分からない
		他国で規制されていない物質が流れてくる可能性
	困難	使用される化学物質の種類と量が増え続けている
	深刻	環境中で分解に時間がかかる物質がある
	破滅的	人類や生態系に甚大な影響を与える可能性
不公平感	不公正	子孫に悪影響を残す可能性

d. 暮らしに潜む汚染

影響の種類		説明
不安 おそれ	不明確	因果関係が分からないものがある
	困難	何が含まれているか分からない
	困難	社会生活を送る上で避けることが難しい

e. 大規模な自然開発

影響の種類		説明
不安 おそれ	不明確	自然の持つ機能の喪失により何が起るかわからない
	困難	自然の持つ機能を完全に代替することはできない
	深刻	種の絶滅など、回復不可能な影響につながる可能性
不公平感	不公正	将来世代が利用できる自然が少なくなる
その他		自然を変えることに対する畏れ

f. 大量生産・消費・廃棄

影響の種類		説明
不公平感	不公正	将来世代が利用できる資源が少なくなる
	不満	他の国・地域が利用できる資源が少なくなる
	不公正	
不安 おそれ	不明確	現在の廃棄物処分法が不適切である可能性
	困難	利便性を手放す選択をするのは難しい

図 4-11 情報シート（不安・不公平感等の精神的影響）

5.2.3 討論と投票

保護対象別の重み付けでは、情報シートを用いた解説の直後と、グループ討論と1度目の集計結果の提示を挟んだ後の、二度の重み付けを行った。このように、質問と結果の提示と意見交換の繰り返しで合意可能な解に収束させるアプローチはデルファイ法と呼ばれる。元々は、上位四分位値および下位四分位値をつけた人に意見を述べさせるなどして系統的な会議を行うための手法である。本章の研究では、回答を即時集計する準備ができなかったこと、議論に慣れていない市民が指名されて発言するのは難しいことを考慮して、司会進行役の専門家を中心に十数人からなるグループを3つ作り、情報シートへの質問・疑問や集計結果への感想など意見の共有を図るグループ討論を約30分間設ける形を取った。

5.2.4 AHPによる重み付け

重み付けの投票では、階層分析プロセス(AHP)に従って、図4-7に示す階層図の通りに、相対的な重要度をたずねた。回答は図4-12に示す記述的な目盛に印をつける形式にした。総当たりで一対比較するため、問いの数は、1枚の質問票につき、問題領域の場合は15問、保護対象の場合は6問となっている。

投票結果の集計では、図4-12に示す記述的な目盛を{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9}の数値に置き換え、それを問題領域間の相対的な重みとみなした。行列を用いた繰り返し計算を行うことにより、6種類の問題領域それぞれの相対的な影響の重みと、回答の一貫性を示す整合比を求めることができる。その結果、総合的に見た問題領域*i*の重み X_i （以

下「総合評価値」), 保護対象 j に関する問題領域 i の重み X_{ij} , 保護対象 j の重み Y_j がそれぞれ得られた。後者二つの重み付け和 X_i' が, 積み上げ方式による問題領域間の重み (以下「積み上げ評価値」) である。

$$\begin{aligned} \sum_i X_i &= 1 & X_i' &= \sum_j X_{ij} Y_j \\ \sum_j X_{ij} &= 1 & (i &= 1, 2, 3, 4, 5, 6) \\ \sum_j Y_j &= 1 & (j &= 1, 2, 3, 4) \end{aligned}$$

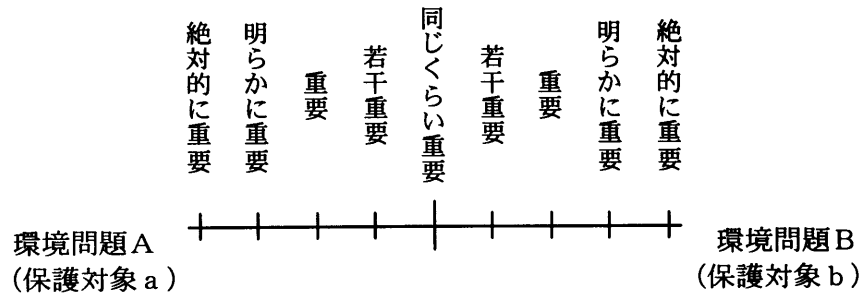


図 4-12 質問の形式

5.3 重み付けのプロセスと集計結果

表 4-9 に示すプロセスで, 重み付けを行った。

グループ討論では, 情報の共有により理解を平均化することが本来の目的であったが, 司会進行をつとめた専門家と市民の質疑応答に多くの時間が割かれた。結果的に, 専門家からの情報提供を補完する役割を果たしたと考えられる。

保護対象別にグループ討論の前後 2 回たずねた結果を比較すると, 後の方で整合性が向上し, 多くの場合, 分散が減少する傾向にあった。AHP では, 整合比が基準値を超えるまで質問を繰り返すことを勧めているが, 以下の分析では断りのない限り, 二回目で整合比が 1.0 以下の回答のみを集計対象とした。ちなみに整合比が 1.0 以下の回答群と整合比が 1.0 を超えた回答群との間に評価値の差は見られなかった。

図 4-13 に示した重み付けの集計結果で(c)や(d)を見ると, 第 2 回会議の結果(a)と同様に, 有害化学物質汚染による人の生存・健康への影響がもっとも重要と判断されたことが分かる。

分散を見ると, 大規模自然開発については, 評価の個人差が特に大きかった。市民と専門家を比較すると, 専門家の方が分散が小さかった。平均値の差を見ると, 暮らしに潜む汚染の総合評価値が, 会議の後で減少した。

表 4-9 第 3 回会議における重み付けのプロセス

講演	6 種類の環境問題の概要について各一名の専門家が説明した。
問題領域の総合的評価 1	講演を踏まえた上で、総合的に見て、どの問題領域を重要と考えるか質問した。
問題領域の保護対象別評価	下記のプロセスを、人の生存・健康への影響、生物・生態系への影響、生産・生活基盤への影響、不安・不公平感等の精神的影響の 4 つの保護対象について繰り返した。
情報シートを用いた解説	該当する保護対象に各問題領域が与える影響について解説した。
問題領域の評価 1	影響に関する科学的知見を踏まえ、この保護対象からみて、どの問題領域を重要と考えるか質問した。
グループ討論と全体討論	意見交換、質疑応答を行った。同時に、評価 1 の集計結果を示した。グループ討論の内容を全体討論で発表し、全体で共有した。
問題領域の評価 2	評価 1 の集計結果と討論を踏まえ、この保護対象からみて、どの問題領域を重要と考えるか質問した。
保護対象の評価	影響全体から見て、どの保護対象を重要と考えるか質問した。
問題領域の総合的評価 2	これらの作業を踏まえた上で、総合的に見て、どの問題領域を重要と考えるか質問した。

図 4-13(c)と(d)を見ると、専門家と市民の間に有意差があったのは、専門家は、生産・生活基盤への影響で有害化学物質汚染に低い重みを付けた一方で大量生産・大量消費・大量廃棄に高い重みを付けたこと、保護対象間の比較で人の生存・健康への影響に高い重みを付けたこと、大規模自然開発への重みが低いことの 4 点であった。

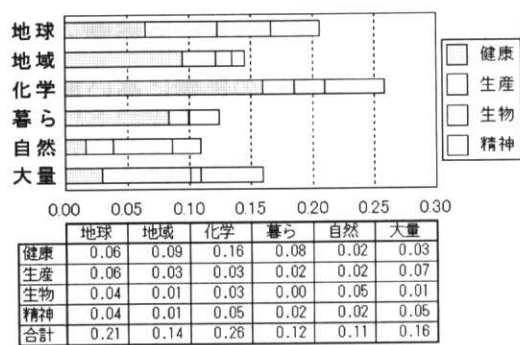
5.4 重み付けに関する考察

各前後 2 回の重み付けを比較すると、1 度目の重み付けの結果を提示し、科学的知見に関する質疑応答や意見交換を行うことで、市民の判断が専門家の判断に影響され、評価値が収束に向かう傾向が観察された。図 4-13 では、2 回目に個人がつけた重みの算術平均を集団の重みとしたが、図 4-13(b)に見られるように集団の分散すなわち個人差は大きい。この重みの値を集団の代表値として採用するためには、さらに討論し、集計値に合意を得る必要があるかもしれない。しかし、このままでも、CR で求められる 3 段階のランクのように大まかな傾向を把握するためには利用できると考えられる。

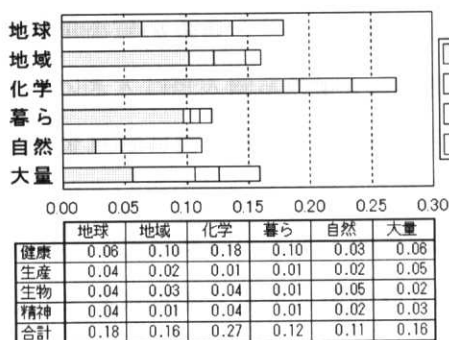
個人別の集計を見ると、問題領域に総合的につけた総合評価値と保護対象別に考えた積み上げ評価値が一致している人は、問題領域－保護対象の枠組みに納得して評価できたと考えられる。反対に、両者が大きく食い違う人は、問題の重要度の評価にこの保護対象以外の要素を考慮したと考えられる。問題領域別には、図 4-13(b)と(d)に見られるとおり、地域大気汚染は積み上げ評価値で高く、大量生産・大量消費・大量廃棄は総合評価値で高い

重みとなる傾向があった。参加者のコメントから推測すると、前者は、具体的な影響が良く知られているものの既に対策が進んでいること、反対に後者は、影響の行き着く先で考えた保護対象の枠組みでは評価できない対策面での重大性を反映したものと考えられる。大量生産・大量消費・大量廃棄については、保護対象別の直接的な影響だけから評価すると過小評価されてしまうとの懸念が、会議全体を通してしばしば表明されていたことも結果に影響したと考えられる。

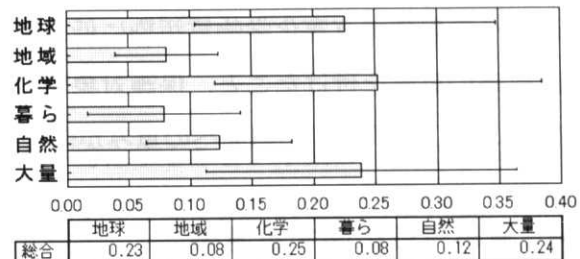
個人の最初の総合評価および最後の総合評価と積み上げ評価の相関係数を比較すると、最後の総合評価の方が積み上げに一致する傾向が見られた。4つの保護対象別に詳細に検討した結果、総合評価における価値判断が変化したと考えられる。



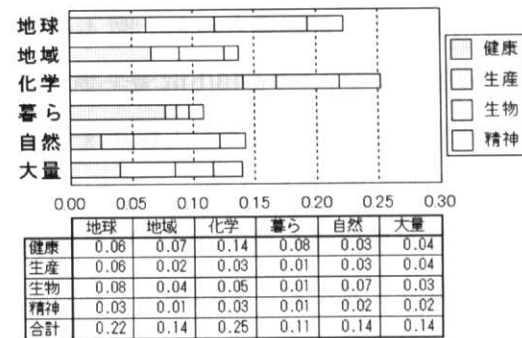
(a)専門家(第2回会議/積み上げ評価)



(c)専門家(積み上げ評価)



(b)市民(総合評価)



(d)市民(積み上げ評価)

凡例： 地球（地球規模大気変動）、地域（地域大気汚染）、化学（有害化学物質汚染）、
暮らし（暮らしに潜む汚染）自然（大規模自然開発）、大量（大量生産・大量消費・大量廃棄）
注：(a)は、第2回会議の評価値を、6種類の主要な問題領域の合計値が1となるように基準化したもの
(b)に線で示す範囲は標準偏差を示す

図 4-13 問題領域間の重み付け集計結果

6 枠組みの利用可能性

6.1 総合評価手法の枠組み

本章では、問題領域－保護対象に整理したマトリクスを、価値判断の構造が明白な統合化の枠組みとして提案した。理想的な枠組みを画定することは難しいと考えられるが、この枠組みを改良していくことでより良い総合評価に利用可能であるとの手応えが得られた。第3回の会議では多くの市民が、その枠組みに沿って環境問題全体を包括的にとらえ、問題の重要性を比較評価することができた。ただし、どれも重要そうに見える問題を比較することは困難であるとのコメントも市民から複数寄せられた。

6.2 重みの数値

ある環境負荷を他の環境負荷と比較するときに、対応する問題領域にそれらの環境負荷が寄与する比率をそれぞれ求め、本章のプロセスで求めた問題領域間の重みを乗じることによって、環境負荷相互間の換算係数を求めることができる。第2回会議の重みが、個人の暮らし方を評価する「エコポイント」の計算に応用された（高月，1999）。しかし、本章のプロセスを用いて求めた重みの数値を本格的に利用するためには、プロセスへの参加者や利用者が結果に合意している必要がある。また、数値で示された結果は実際以上に確実性が高いものに見える傾向があることに留意して、重みの値を他に応用する場合には、数値だけを示すのではなく、その重みを求めた前提とプロセスを参照できるように併記しておくことが望ましい。

死亡率と罹患率、生息地面積と種の絶滅確率といった自然科学的かつ定量的なデータが得られれば、それらの重み付けを行うだけで問題領域間の重みを計算することができる。本章のように包括的な評価を行う場合、定量的データが得られない環境問題も評価対象にするため、重みは総合的判断で決めざるを得ない。しかし、少しでも客観的な重みの値を求めるため、定量的な科学的知見をできる限り収集し、分かりやすく伝達する努力が必要である。

なお本章では、単に質問票を用いてアンケートを取る代わりに、判断の元になる共通の科学的知見を与えてその解釈について互いに意見交換した上で、重み付けを行った。このプロセスは、異なる立場を持つ参加者にとって、合意しやすい重みの値を求めるために有効であると考えられ、今後同様の試みが積み重ねられることによって、我が国の一般的判断基準が見えてくる可能性もある。

6.3 価値判断の主体

市民と専門家の間の重み付けの違いは、従来言われていた（U.S.EPA，1987）ほどには大きくなかった。しかし、討論のプロセスでは、多くの市民は自ら行える対策に重点を置こうとし、行政官はまだ対策の取られていない問題を重視しようとする意向が見られた。本章では、このような参加者の立場を離れて、純粹に影響の観点からの重み付けを徹底するように強調した。

参加者ごとに異なる立場から環境問題の重要性を考える場合には、重み付けの結果は異なるものになったと考えられる。このような点から、総合評価を行う目的と重み付けの立場の関係に十分注意する必要があると考えられる。

観点を統一することで市民と専門家の評価値に差異がなくなるとしても、専門家だけで重み付けをしてよいことにはならない。一般に、多様な主体が参加してさまざまな立場の意見を交換することで、見落としや偏りが減少し、環境問題への理解が包括的になることが期待される。一方、結果が同じであっても、匿名の人々が密室で非公開の議論を経て決めた重みより、市民が開かれたプロセスを経て決めた重みの方が市民にとって説得力を持つことは明白である。しかし、市民の全員参加は、かかる労力が多大である上、議論を十分に尽くすことが難しいという欠点がある。現実的には、多様な主体の代表が参加し、情報を十分に知らされた上で重み付けを行う方法は、説得力のある評価値を求めるための効率的な手段になりうると考えられる。

会議形式の総合評価手法への参加人数は、意見集約のプロセスと会議の運営方法を考慮すると、一回の会議に数十人程度が限界と考えている。この程度のサンプル数では、数万人の市民の代表性を統計的に言うことはできない。広く合意される総合評価値を求めるためには、その目的に応じて、大人数を対象とするアンケートと会議形式の重み付けプロセスの使い分けが必要である。

7 環境共生都市の目標の位置づけ

第三章では、土地利用密度によって変化するエネルギー消費量、都市内空地面積、都市的土地利用面積、大気汚染曝露の4つの目的変数を選択した。これらを、3.3で述べたとおり4つの保護対象に対応させると、健康に相当する大気汚染曝露がもっとも重要であり、残りの3つの目的変数は同等の重要性を持つと考えられる。一方、これらの目的変数を環境問題領域に対応させて、環境問題全体における位置づけを確認することもできる。本章では、表4-8に示すとおり有害化学物質汚染がもっとも重要と評価された。この環境問題は、

工場や廃棄物処理・処分場等の立地として都市計画と関係するが、本研究では、居住地域に悪影響を与えないような適切な処理と配置が行われるべきであると考え、都市空間形態の検討対象とはしないこととする。それに続いて重要とされた地球規模大気変動や大量生産・大量消費・大量廃棄は、エネルギー消費量と関係が深い。さらに、次に重要とされた地域大気汚染は、大気汚染曝露とほぼ一致する。都市的土地利用面積は、大規模自然開発に結び付き、生物や生態系の保護の観点から、重要視されている。都市内空地面積については、身近な環境の人工化がもっとも関係が深いと考えられるが、環境問題全体から見ると、それほど重要視されていない。これは、本章の評価が環境影響の観点からなされており、公園の確保といったプラスの面が評価されていないためと考えられる。すなわち、第三章の目的変数の内、エネルギー消費量、大気汚染曝露、都市的土地利用面積は、有害化学物質汚染を除く主要な環境問題に対応することから、環境共生の目標の内、環境負荷の低減を代表する指標として妥当と考えられる。一方、都市内空地面積は、環境負荷や環境影響といった観点からは重要視されていないが、都市的土地利用面積の削減と共に、自然環境との共生を表す指標と考えられる。実際に環境共生都市を計画する際には、本章と同様の整理と重み付けのプロセスを通じて、環境共生都市に関する目標の選択を行うことが望ましい。

8 まとめ

本章では、問題領域－保護対象のマトリクスを用いた環境問題の整理の枠組みを提案し、これを使って、日本における重要な環境問題を明らかにした。また、市民を含むさまざまな主体が環境問題全体を包括的にとらえ、さまざまな環境問題と環境影響に関する情報を理解し、相互に比較して重み付けをする試みを行った。

本研究では、第三章で既存の環境指標群から環境共生の目標を整理する一方で、本章において、それらの目標の環境問題全体における位置づけを確認し、また、新規に環境共生の目標を設定する手法としても利用可能な方法を示した。重み付けの結果は、第二章のエネルギー最小化や、コンパクト・シティへの批判として度々指摘されている過度に人工的な環境への反感が、環境問題の全体においてどの程度の割合を占めているのかといった相場観を知るためにも役立つ。また、重要な環境問題を判断するプロセスは、第三章の多基準決定分析による検討に用いる環境評価項目を選択する手法として有効と考えられる。第三章の方法に依らない場合でも、環境問題全体の包括的な整理は、環境共生都市や持続可能な都市の目標を明確化するために役立つと考えられる。

参考文献

稲葉 敦・松野泰也・M. Finkbeiner・C. Siegenthaler(1998) ライフサイクルアセスメント(LCA)の最近の動向. 日本エネルギー学会誌, 77(10), 962-973.

川喜田二郎(1967) 発想法—創造性開発のために. 中央公論社, 東京.

高月 紘(1999) 自分の暮らしがわかるエコロジー・テスト. 講談社, 東京, 81pp.

寺園 淳(1996) ライフサイクルアセスメント. 安全工学 35(6), 399-409.

寺園 淳(1998) 異種の環境問題間の重み付け. 環境科学会誌, 11(2), 194-195.

永田勝也・藤井美文(1996) 技術のライフサイクルアセスメント手法, 人間活動による環境インパクトの定量化手法, 文部省科学研究費重点領域研究「人間地球系」E11 計画研究班, 39-58.

Ahbe, S., Braunschweig, A., Müller-Wenk, R.(1990) Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern.

Beltrani, G.(1997) Safeguard Subject : The Conflict Between Operationalization and Ethical Justification. Int. J. LCA 2(1), 45-51.

Consoli, F., et al.(1993) Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Sesimbra.

Davies, J. C.(Ed.)(1996) Comparing Environmental Risks. Resources for the Future, Washington D.C., 21pp.

Goedkoop, M.(1995) The Eco-indicator 95, final report, NOH report 9523, Amersfoort.

Puolamaa, M., Kaplas, M. and Reinikainen, T.(1996) Index of Environmental Friendliness. Statistics Finland, Helsinki.

Saaty, T. L.(1980) The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

SCOPE(1995) Indicators of Sustainable Development in Decision-making. Conclusions of a Workshop held in Ghent, January 1995, 8pp.

Slovic, P.(1987) Perception of risk. Science 236, 280-285.

Steen, B.(1996) EPS - Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources, Version 1996. Swedish Environmental Research Institute Report AFR report 111.

U.S.EPA(1987) Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems Overview Report U.S.EPA (PB88-12704). Washington D.C., 100pp.

U.S.EPA(1993) A Guidebook to Comparing Risks and Setting Environmental Priorities. U.S.EPA (230-B-93-003).