

3.2 群馬県前橋市における畜産業の現状および家畜排せつ物処理状況

3.2.1 群馬県前橋市の畜産業

前橋市では赤城山山頂からなだらかな斜面に沿って、農業構造が変化している。畜産業は主に赤城山中腹から麓にかけて盛んに営まれている(Fig.3-8 に図化)。

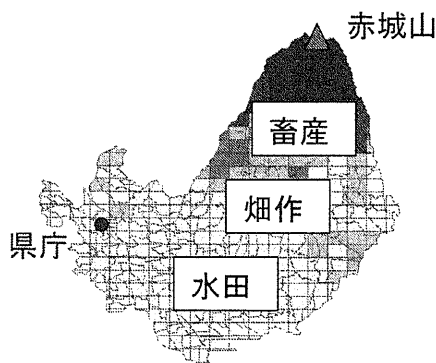


Fig.3-8 前橋市における農業活動の概要

前橋市の畜産物生産額は、群馬県全体の畜産物生産額の約 20.9%を占めており、群馬県の中で最も畜産業が盛んな地域である。また畜産計農業算出額は全国市町村別第 3 位であり、全国的に見ても前橋市は畜産が盛んな市町村であると言える(Table 3-1)。

Table 3-1 前橋市の畜産算出額の内訳(2003 年度)^[7]

農業算出額(億円)	群馬県全体	前橋市	前橋市が群馬県に占める割合(%)	全国の市町村との比較
畜産計	833	174	20.9	全国市町村別第3位
(内) 乳用牛	100	22	22.0	全国市町村別第15位
(内) 肉用牛	264	54	20.5	全国市町村別第18位
(内) 豚	278	68	24.5	全国市町村別第3位
(内) 鶏	173	28	16.2	

前橋市においても、畜産業は特に重要な役割を果たしており、畜産物生産額は農業生産額全体の約 58.1%を占めている(Fig.3-9)。

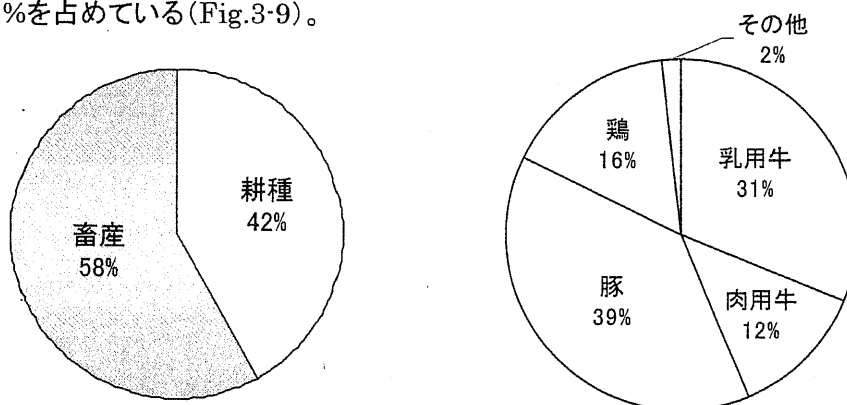


Fig.3-9 (左図)前橋市における部門別農業算出額の内訳(2003 年度)^[7]

(右図)前橋市における畜産部門農業算出額の内訳(2003 年度)^[7]

特に豚の飼養が盛んに行われており、飼養頭数は全国市町村別第2位である。前橋市における各家畜の飼養頭数と、群馬県全体に占める割合を Table 3-2 に示す。

Table 3-2 前橋市の家畜飼養頭数の内訳(2004 年度)^[7]

家畜飼養頭数 (頭・羽)	群馬県全体	前橋市	前橋市が群馬県に 占める割合(%)	全国の市町村 との比較
(内) 乳用牛	47400	10020	21.1	全国市町村別第3位
(内) 肉用牛	68100	16190	23.8	全国市町村別第12位
(内) 豚	607300	148080	24.4	全国市町村別第2位
(内) 鶏	4413	728	16.5	

全国的にみても飼養頭数の多い前橋市において、家畜排せつ物の発生量は、前橋市における全廃棄物発生量の実に約 41%を占めている。

3.1 章で示したように、前橋市では農地に対して家畜排せつ物の発生量が非常に多いため、家畜排せつ物が供給過剰状態にあると推測された。そこで、農地における肥料需要量の指針となる窒素・リン・カリウム成分に関して、需給バランスを試算した(Fig.3-10)。

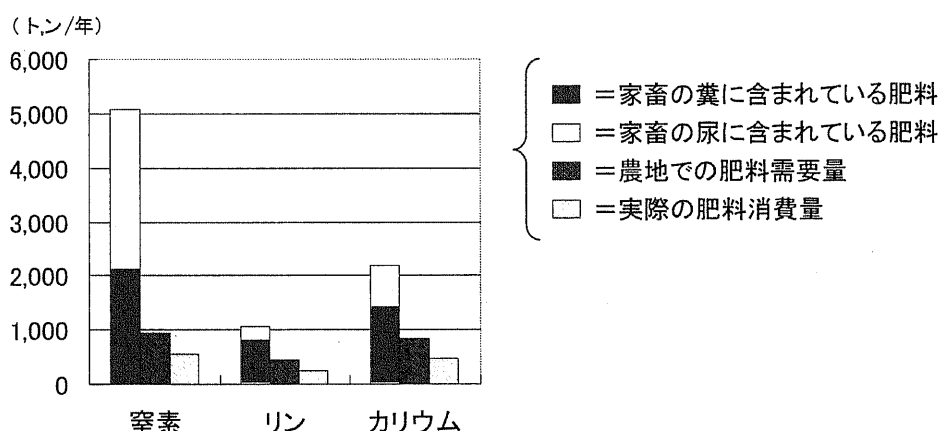


Fig.3-10 前橋市における各肥料成分需給バランス^{[1][3][5][9]}

その結果、農地における肥料需要を大幅に上回る家畜排せつ物が発生していることが明らかとなった。実際には化学肥料も農地に施肥されていると考えられるため、相当量の家畜排せつ物が供給過剰状態にあると考えられた。

3.2.2 群馬県前橋市における家畜排せつ物処理状況

前橋市における正確な家畜排せつ物処理状況は把握されていない。しかしながら、群馬県全体における処理状況に類似していると仮定すると、Table 3-3 に示す処理が一般的には行われていると考えられる。

Table 3-3 群馬県における家畜排せつ物処理の内訳(1998 年度)^[8]

(ただし、* の処理方法は家畜排せつ物法(1999 年)により現在禁止されている)

処理方法	糞の処理量(万トン)				
	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	ブロイラー
堆肥舎	17.0	20.4	22.7	6.9	1.7
強制発酵施設	5.9	1.4	13.2	8.2	1.5
乾燥施設	6.0	1.1	4.2	1.7	0.0
堆肥盤*	3.8	7.0	2.6	0.2	0.0
野積み*	48.8	31.2	19.3	2.4	1.0
焼却処理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
廃棄物処理業者委託	0.0	0.9	0.7	1.6	0.0
合計処理量	81.5	62.1	62.7	20.8	4.2

処理方法	尿の処理量(万トン)		
	乳用牛	肉用牛	豚
貯留槽	5.2	0.0	11.5
液肥化施設	0.5	0.0	7.6
素掘り*	6.0	0.0	42.7
浄化処理	0.0	0.0	16.0
合計処理量	11.8	0.0	77.6

糞の堆肥盤・野積みおよび尿の素掘りは、1999 年度に施行された家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律(通称 家畜排せつ物法)により禁止されている。畜産農家にとって最も楽な処理方法は堆肥化処理および尿貯留であるため、法施行後は堆肥舎および強制発酵施設における処理量や、貯留槽における処理量が増加していると予想される。また、肉用牛の尿処理量が0トンとなっているのは、肉用牛排せつ物は糞も尿も畜舎敷料に吸収された状態で排出されるため、全量を糞として表記しているためである。

このように、糞の大部分は堆肥化され、尿の大部分は貯留か浄化処理されていると考えられた。

3.2.1 章で示した肥料成分需給バランスを考慮すると、堆肥化された糞や貯留された尿は供給過剰状態にあると考えられる。実際に堆肥や尿の供給過剰状態が起こっているのか否かを調査するために、群馬県中部県民局によりアンケート調査が行われた(Table 3-4)。

Table 3-4 堆肥利用に関するアンケート調査結果(2005 年度)^[9]

		新前橋市(%)			
		旧前橋市	大胡町	宮城村	粕川村
堆肥の処理について	全量処理できており問題ない	77	100	71	85
	現在は問題ないが、今後余剰堆肥の処理が問題になると思う	16	0	25	8
	堆肥の流通が進まないため困っている	5	0	2	0
地域内の農地への堆肥散布について	地域内の農地に堆肥を散布できる	29	7	23	23
	条件によっては地域内の農地に散布できる	31	21	21	0
	地域内の農地には散布できない	37	64	48	62

アンケート調査結果によると、堆肥の供給過剰問題は、地域外への堆肥販売によって回避していることが示唆された。ただし、アンケートの調査対象の約 7 割は酪農農家であったため、比較的堆肥を販売しやすい状況が反映されていると考えられた。堆肥として人気の低い豚堆肥は、約 2 割程度しか販売できていないとの報告もある^[9]。

地域内の農地に堆肥を散布できない理由としては、労力がない、マニュアルプレッター（堆肥散布機）を所有していない、混住化が進み散布しにくい状況にあるなどの意見が寄せられていた^[9]。しかしながら、2000 年に実施された堆きゅう肥需要量調査によると、農地への投入可能量の上限まで堆肥が利用されているわけではないことが明らかとなった^[9]。このため、畜産農家と耕種農家の連携を強化し、堆肥への理解を深めることによって、現在以上に堆肥利用率は向上すると考えられた（Table 3-5）。

Table 3-5 堆きゅう肥需要量調査結果（2000 年度）^[9]

(t/y)	旧前橋市	大胡町	宮城村	粕川村	合計 (新前橋市)	新前橋市における 堆肥利用率(%)
堆肥生産量	104,394	36,459	91,990	15,019	247,862	
実際の堆肥消費量	42,176	11,128	28,650	10,008	91,962	37.1
農地における投入可能量	97,462	14,655	25,371	16,458	153,946	

本研究では前橋市における実地調査も行った。

乳用牛の飼養農家では、つなぎ飼い式畜舎が一般的であり（Fig.3-11）、糞と尿は分離した状態で回収される。回収された尿は、貯留タンクで約半年間自然発酵または強制発酵（曝気機能付の貯留タンクの場合）され、その後液肥として畜産農家が所有する農地（飼料用農地やその他耕作農地）に施肥される。

回収された糞の処理は、天日乾燥した後堆肥化する場合と、水分調整剤を添加し堆肥化する場合の2つに大きく分けられる。天日乾燥した後堆肥化する場合、水分調整剤を添加しない場合が多い。また、製造された堆肥は糞投入時よりも含水率が低下しているため、これを水分調整剤として利用したり、畜舎の敷料として利用する場合もある。この堆肥は一般的に戻し堆肥と言われる。近年、戻し堆肥には家畜の疫病発症率を低下させる効果が報告されており、この方式を導入する農家が増加している。また、水分調整剤の市場価格の高騰も増加の背景にあるとみられる。

水分調整剤を添加し堆肥化する方式は、最も古典的な方式であり、大部分の農家ではこの方式が導入されている。水分調整剤として最も多いのはおが屑で、バーク、籾殻、稲わらと続く。しかしながら、近年は林業の衰退によりおが屑価格が高騰しているため、他の水分調整剤を検討している農家が多い。水分調整剤に何を使用するかによって、生産堆肥の需要や価格は変動するため、選択肢は多岐に渡る。

肉用牛の飼養農家では、稲わらやおが屑を敷料としたつなぎ飼い式畜舎が一般的である。その

ため、糞尿は全量敷料に吸収された状態で排出される。この敷料を含む糞尿は、含水率が低い
ため水分調整剤を添加せずに、そのまま堆肥化する方式が一般的である。堆肥化方法は乳用牛
糞の堆肥化と同様である。

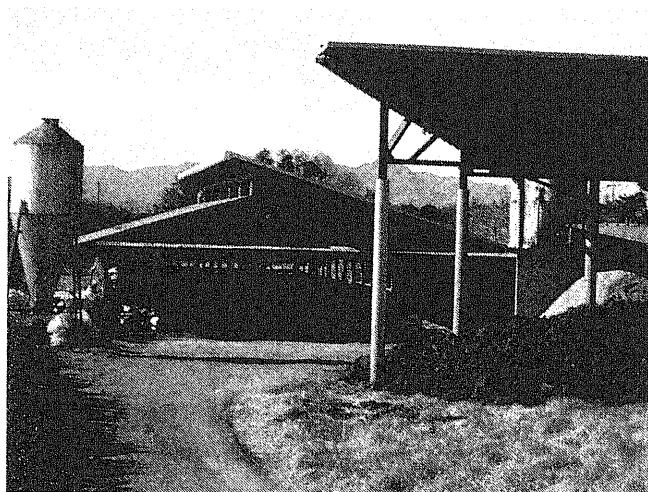


Fig.3-11 前橋市における乳用牛畜舎

豚の飼養農家では、スノコを敷いた畜舎とおが屑を敷いた畜舎が一般的である。おが屑を敷いた畜舎では糞尿は全ておが屑に吸収されるため、選択される処理は堆肥化のみである。堆肥の生産量が増えてしまう一方で、家畜の飼育環境が良くなり病気が減少するという長所がある。また、悪臭の発生抑制効果も持つ。近年、おが屑を敷いた畜舎が増加している。これは、畜産農家と一般住居の混住化が進む中で、地域との協調のために悪臭発生の少ないおが屑舎の需要が伸びているためであると考えられる。

スノコを敷いた畜舎で、糞尿はスノコの間を通して地下の糞尿貯留槽へ落下する。よって、糞と尿は混合したスラリー状態で排出される。スラリー状態の糞尿は、固液分離にかけられ、固体分は堆肥化处理(Fig.3-12 右図)、液体分は一般的には污水浄化处理(Fig.3-12 左図)される。これは、大部分の豚飼養農家は農地を持っておらず、糞尿を利用する土地がないためである。堆肥化により糞尿を出来る限り減量し、液体分は浄化处理する方法が豚飼養農家の経営状況に適している。

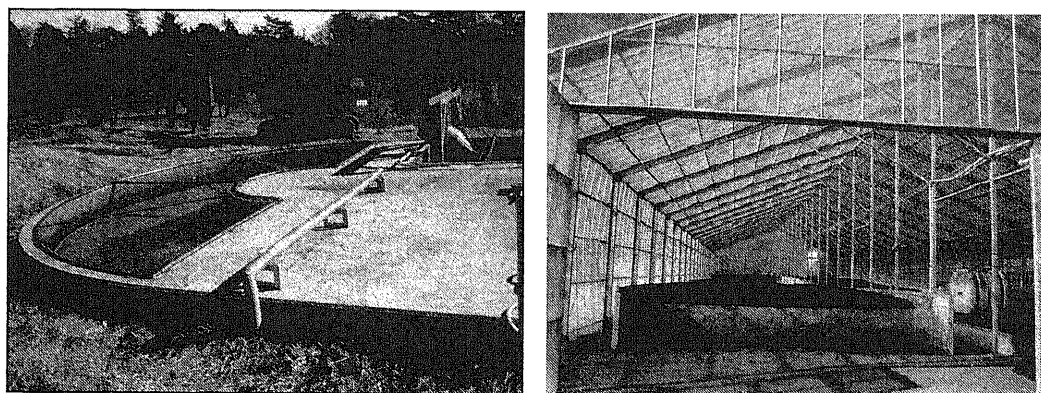


Fig.3-12 前橋市における堆肥化处理施設(右図)と污水浄化处理施設(左図)

近年新たな家畜排せつ物処理・利用法として注目されているメタン発酵処理施設も前橋市では導入されている(Fig.3-13)。旧宮城村の豚飼養農家では、スノコ式畜舎で回収された糞尿を固液分離し、固体分は堆肥化処理し、液体分をメタン発酵処理していた。

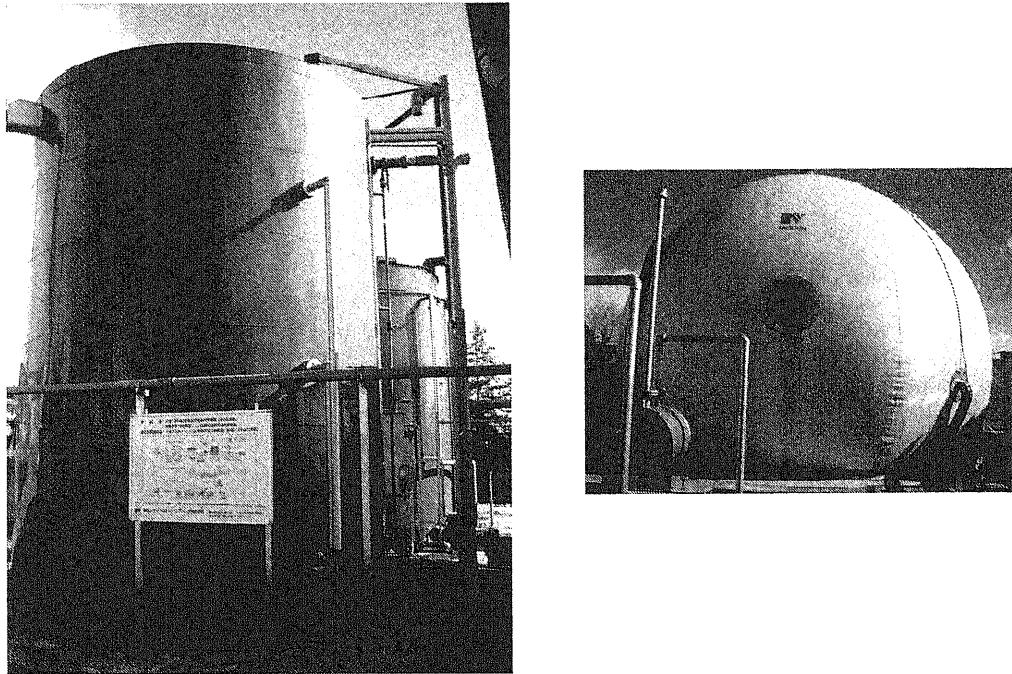


Fig.3-13 (左図)前橋市におけるメタン発酵処理装置
(右図)発生したメタンの貯留タンク

3.3 前橋市において適用可能な家畜排せつ物対策の抽出

3.3.1 前橋市における家畜排せつ物過剰問題に対する取り組み

3.2 章で明らかとなった家畜排せつ物過剰問題に対する、ケーススタディーの対象地域の取り組みを調査した。

前橋市は、独自に「前橋市地域農業マスタープラン」を作成し、農業における各種問題の改善を図っている。「前橋市地域農業マスタープラン」は、市内農業生産の維持・増大と効率的かつ安定的な農業経営が農業生産の相当部分を担う農業構造を確立することを目指し、平成 16 年度を目標年次とする中期的な経営・生産対策ビジョンや年度活動計画を定めたものである。

「前橋市地域農業マスタープラン」の目的とすることは、競争力のある農家の育成と、後継者の確保にあると読み取れる。競争力のある農家とは、単に経済的に安定しているだけではなく、法を遵守していることも含まれる。つまり、家畜排せつ物への対応が適正であることが条件として含まれている。そのため、「前橋市地域農業マスタープラン」に基づき、以下に示す家畜排せつ物過剰問題への各種対応が積極的に行われた。多くは群馬県との協調や農林水産省との協調により策定された対策である。

- 自給飼料栽培支援・・・

「酪農および肉用牛生産の近代化を図るための基本方針(2005 年)」農林水産省

「群馬県酪農・肉用牛生産近代化計画(2005 年)」群馬県

「飼料自給率特別プロジェクト」農林水産省

「耕畜連携推進対策」農林水産省

「飼料増産受託システム確立対策事業(2006 年)」(独)農畜産業振興機構

「酪農飼料基盤拡大推進事業(2006 年)」(独)農畜産業振興機構

「認定農業者制度」農林水産省

- 田畑での肥料利用促進支援・・・

「耕畜連携推進対策」農林水産省

「エコファーマー認定制度」農林水産省

- 家畜排せつ物処理施設(堆肥化・浄化処理施設)設置支援・・・

「畜産環境緊急特別対策事業(2006 年)」(独)農畜産業振興機構

「簡易堆肥保管庫設置支援補助事業(2006 年)」前橋市

- 家畜排せつ物処理施設(メタン発酵処理施設)設置支援・・・

「地域新エネルギー導入促進事業(2006 年)」NEDO:(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

なお、家畜排せつ物の炭化处理および焼却処理に関する支援策としては、NEDO((独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)による「地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業(2006 年)」が挙げられるが、畜産農家が設置する場合の補助金支援とはならない。

3.3.2 前橋市において適用可能な家畜排せつ物対策の抽出

3.2.1 を踏まえて、前橋市において実際に適用可能な対策を抽出した。

第 2 章で構築した「家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル」で設定可能な家畜排せつ物対策は以下の通りである。

- 家畜頭数削減策
- 家畜用飼料の地域内生産支援策
- 田畑での肥料利用促進策
- 汚水浄化处理施設の設置支援策
- 焼却処理施設の設置支援策
- 炭化处理施設の設置支援策
- メタン発酵処理施設の設置支援策

3.2.1 を踏まえて、焼却および炭化处理施設の設置支援策以外の対策は前橋市において実施可能であると判断された。

よって、本ケーススタディーにおいて予算配分の対象とする家畜排せつ物対策は以下に示す5対策とした。

- 家畜頭数削減策
- 家畜用飼料の地域内生産支援策
- 田畑での肥料利用促進策
- 汚水浄化处理施設の設置支援策
- メタン発酵処理施設の設置支援策

3.4 第三章のまとめ

第三章では、第2章で構築した「家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル」を、現実の地域に適用させたケーススタディーの実施を検討した。

まず 3.1 では、ケーススタディーの対象地域の選定を行った。本モデルは家畜排せつ物過剰供給問題の解決策として開発したため、この問題が特に顕著に顕れている地域を抽出した。具体的には、畜産業が盛んで家畜排せつ物の発生量が多く、家畜排せつ物中の肥料成分供給量が農地における肥料需要量よりも多い傾向が顕著に見られる地域を抽出し、さらにその中でも自給飼料作物栽培への意欲が低い地域を抽出した。その結果、本研究では群馬県前橋市をケーススタディーの対象地域とした。

3.2 では、群馬県前橋市における畜産業の現状および家畜排せつ物の処理状況を解説した。前橋市は日本でも有数の畜産地域であり、家畜排せつ物が農地に対して大幅に過剰状態にあることを示した。また、家畜排せつ物の大部分が堆肥化处理や液肥化处理されており、依然として肥料生産型処理を続けていることが明らかとなった。よって前橋市では家畜排せつ物処理・利用システムの再構築が急務であることが示された。

3.3 では、家畜排せつ物過剰問題に対する前橋市の取り組みを示した。さらに、2.1 で設定した各家畜排せつ物対策の中で、前橋市に適用可能な対策を抽出した。その結果、本研究においては家畜頭数削減策、家畜用飼料の地域内生産支援策、田畑での肥料利用促進策、污水浄化処理施設・メタン発酵処理施設の設置支援策に対する最適予算配分の検討を行うことを示した。

第四章 群馬県前橋市を対象地域とした

ケーススタディーの実施

～物質フロー評価サブモデルバックグラウンドデータの整備～

第4章 群馬県前橋市を対象地域としたケーススタディーの実施 ～物質フロー評価サブモデルバックグラウンドデータの整備～

本章では、第3章で設定したケーススタディーの実施地域である群馬県前橋市を対象とした物質フロー評価モデルの作成を目的とした。物質フロー評価モデルの基本的な計算式は2.2に示した通りである。物質フロー評価モデルにおいて地域性が反映されるのは、モデルのバックグラウンドデータベースである(Fig.2-1)。

バックグラウンドデータベースは、2.2における物質フロー評価サブモデルの構成に合わせて、(1)畜産業部門 (2)農業部門 (3)必要資材の輸入部門 の3部門に分けて解説する。

まず、(1)畜産業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を4.1に示す。

次に、(2)農業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を4.2に示す。

最後に、(3)必要資材の輸入部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を4.3に示す。

以上のバックグラウンドデータベースを入力することによって、家畜排せつ物処理・利用物質フローを表現することが可能になる。このモデルを用いて、2.1.1で設定した各家畜排せつ物対策の実施に伴う環境負荷排出量や費用などを出力するためには、2.1.2で設定した各環境・社会影響指標(Fig.2-1におけるInventory)値と、各家畜排せつ物対策の実施コストに関するデータベースが必要となる。

4.4では、2.2.3で解説した各環境・社会影響指標値の算出に必要なバックグラウンドデータベースおよび作成方法を示す。

4.5では、2.2.3で解説した各家畜排せつ物対策の実施コストの算出に必要なバックグラウンドデータベースおよび作成方法を示す。

バックグラウンドデータベースの中には、2.2.2章で設定したブロックごとのデータが必要なものも含まれている。本研究では、群馬県前橋市を農業集落単位でブロック分割した。前橋市における農業集落数は174であるため、ブロック番号 r は $r=1\sim 174$ で示される。

4.1 物質フローサブモデルのバックグラウンドデータ整備(畜産業部門)

畜産業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベース項目を4つに大別し、データベース作成方法とその結果を示す。

4.1.1 家畜の飼養頭数関連バックグラウンドデータ

● 現在の飼養頭数(農業集落単位データ)

各農業集落の乳用牛・肉用牛・豚・採卵鶏飼養頭数データを整備した。前橋市における農業集落の行政界をGIS(Geographical Information System)に読み込ませるための「2000年農業集落地図データ」に対して、2000年世界農林業センサス(群馬県版)における農業集落単位の各家畜飼養頭数が収録された「2000年農家調査一覧表」データを結合させた。

「2000年農家調査一覧表」に記載されている各家畜飼養頭数には欠落箇所もあるが、農業集落単位での合計家畜頭数が一致するように、欠落箇所の飼養頭数を補った。

Fig.4-1に作成した各家畜飼養頭数分布(2000年度)を示す。

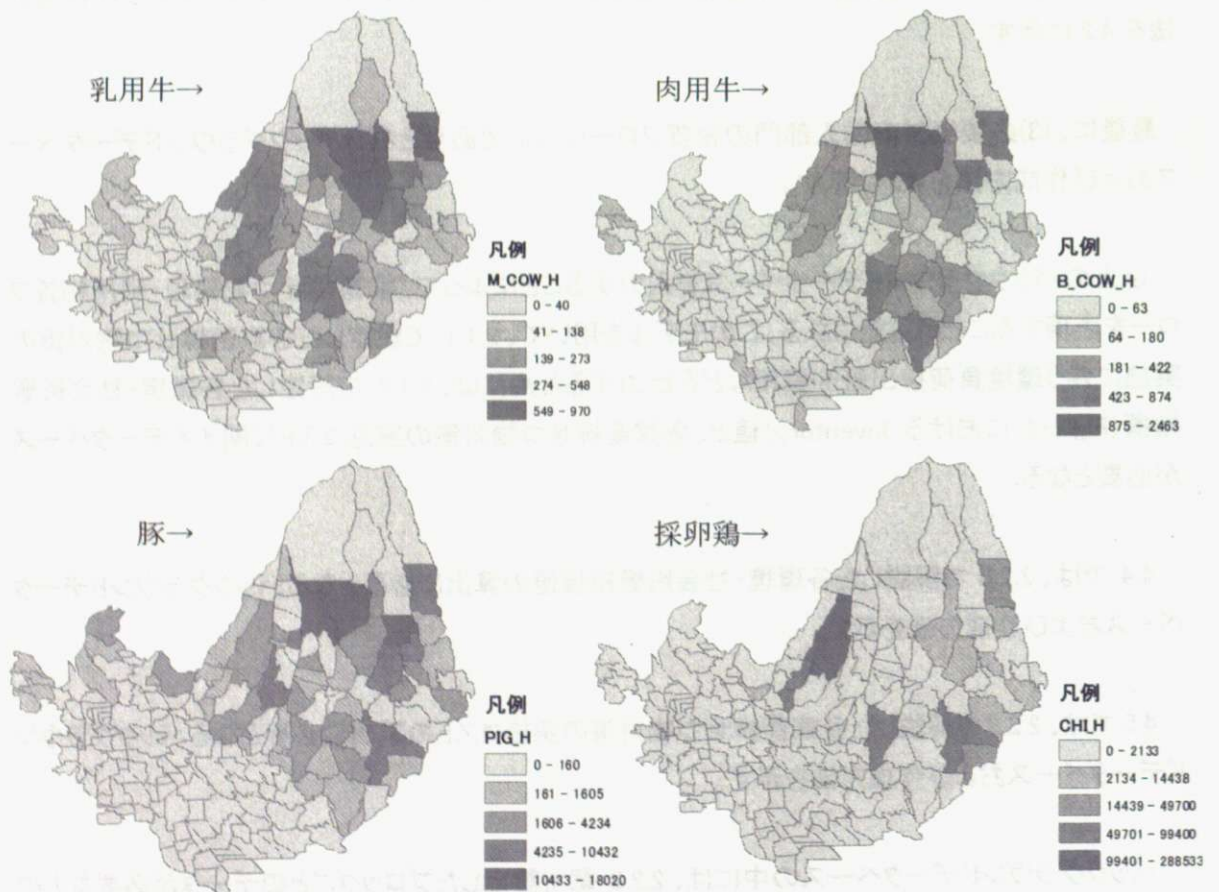


Fig.4-1 家畜飼養頭羽数分布(2000年度)
(左上:乳用牛 右上:肉用牛 左下:豚 右下:採卵鶏)

4.1.2 家畜排せつ物発生量関連バックグラウンドデータ

● 各家畜の糞・尿発生原単位および各肥料成分(窒素・リン・カリウム)含有量原単位

家畜排せつ物の詳細な成分データは各種文献において明らかとされている^{[1][2]}。具体例をTable 4-1に示す。

Table 4-1 家畜排せつ物の詳細な成分データ例(乳用牛)

乳用牛	経産牛		未経産牛	
	搾乳牛	乾乳牛	2歳以上	2歳未満
糞量(kg/day/頭)	47.94	29.70	29.70	13.97
糞の含水率(%)	85.00	80.00	78.00	78.00
糞中N(現物%)	0.34	0.13	0.13	0.47
糞中P(現物%)	0.09	0.05	0.05	0.08
糞中K(現物%)	0.22	0.29	0.32	0.32
尿量(kg/day/頭)	14.07	6.09	6.09	5.45
尿の含水率(%)	99.30	99.30	99.30	99.30
尿中N(現物%)	1.13	0.95	0.95	1.01
尿中P(現物%)	0.01	0.06	0.06	0.02
尿中K(現物%)	0.51	0.51	0.51	0.51

しかしながら、前橋市における各家畜の月齢別飼養頭数は明らかにされていないため、本研究では群馬県全体の月齢別飼養頭数割合^{[3][4]}と、前橋市における割合は同じであると仮定した。この月齢別飼養頭数割合とTable 4-1から、標準的な各家畜排せつ物成分データベースを構築した(Table 4-2)。

Table 4-2 標準的な各家畜排せつ物成分データベース

			乳用牛原単位	肉用牛原単位	豚原単位	採卵鶏原単位
糞	発生量	kg/d・頭	36.88	16.78	2.98	0.11
	N量	kg/d・頭	0.121	0.067	0.012	0.003
	P量	kg/d・頭	0.033	0.013	0.009	0.000
	K量	kg/d・頭	0.088	0.054	0.010	0.001
	水分量	kg/d・頭	30.9	13.1	2.1	0.1
	含水率	%	83.7	78.0	72.0	70.0
尿	発生量	kg/d・頭	10.81	6.60	7.00	
	N量	kg/d・頭	0.119	0.059	0.036	
	P量	kg/d・頭	0.002	0.001	0.003	
	K量	kg/d・頭	0.056	0.034	0.005	
	水分量	kg/d・頭	10.7	6.6	6.9	
	含水率	%	99.3	99.3	98.0	
糞尿合計	発生量	kg/d・頭	47.69	23.38	9.98	
	N量	kg/d・頭	0.240	0.126	0.048	
	P量	kg/d・頭	0.034	0.014	0.013	
	K量	kg/d・頭	0.143	0.088	0.016	
	水分量	kg/d・頭	41.6	19.6	9.0	
	含水率	%	87.2	84.0	90.2	

4.1.3 飼料関連バックグラウンドデータ

● 各家畜のTDN需要原単位およびNDF需要原単位

まず、家畜排せつ物中の全乾物含有量(Table 4-2より算出)を、家畜の乾物消化率^[5]で除することにより、家畜の飼料による乾物摂取推定量を月齢別に算出した。具体例をTable 4-3に示す。

Table 4-3 飼料乾物摂取推定量例(乳用牛)

乳用牛	経産牛		未経産牛	
	搾乳牛	乾乳牛	2歳以上	2歳未満
糞尿中全乾物含有量(kg/day/頭)	7.29	5.98	6.58	3.11
飼料消化率%	60	60	60	65
推定飼料摂取量(乾物kg/day/頭)	12.15	9.97	10.96	4.79

各家畜の標準的な飼料組成(乾物重量%)^[5]とTable 4-3により、各家畜の月齢別組成別推定飼料摂取量(乾物量)を算出した。具体例をTable 4-4に示す。

Table 4-4 月齢別組成別推定飼料摂取量例(乳用牛)

乳用牛 (乾物kg/day/頭)	経産牛		未経産牛	
	搾乳牛	乾乳牛	2歳以上	2歳未満
とうもろこし	2.43	1.99	2.19	0.96
脱脂大豆	0.97	0.80	0.88	0.38
魚粉	0.00	0.00	0.00	0.00
ふすま	0.73	0.60	0.66	0.29
脱脂米ぬか	0.00	0.00	0.00	0.00
その他	0.73	0.60	0.66	0.29
アルファルファ	0.00	0.00	0.00	0.00
乾草	7.29	5.98	6.58	2.87

前橋市における各家畜の月齢別飼養頭数割合とTable 4-4により、各家畜の標準的な組成別飼料摂取量(乾物量)を算出した(Table 4-5)。

Table 4-5 各家畜の標準的な組成別飼料摂取量

(乾物g/day/頭)	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏
とうもろこし	2,007	3,045	688	26
脱脂大豆	803	381	115	6
魚粉	0	0	57	2
ふすま	602	381	172	0
脱脂米ぬか	0	0	57	0
その他	602	544	57	6
アルファルファ	0	0	0	0
乾草	6,022	1,088	0	0

Table 4-5における「その他」の飼料成分は推定不可能であることから、本研究では飼料需要から除くこととした。アルファルファの摂取量も0であるため、以降記述しない。

「日本飼養標準」記載の各飼料成分表^[5]を用いて、各飼料のTDNおよびNDF含有量をTable 4-6のように設定した。

Table 4-6 各飼料の TDN および NDF 含有量

	含水率(原物%)	TDN(原物%)	NDF(原物%)
とうもろこし	13.5	79.9	7.6
脱脂大豆	11.7	76.6	12.6
魚粉	7.8	73.94	0
ふすま	13	62.9	33.8
脱脂米ぬか	13.1	55.9	27.4
乾草	14.3	47.9	52.0

Table 4-5とTable 4-6により、各家畜の標準的なTDNおよびNDF必要量を推定した(Table 4-7)。

Table 4-7 各家畜の標準的な TDN および NDF 必要量

	TDN需要	NDF需要
乳牛	6.356	4.180
肉牛	4.027	1.130
豚	0.943	0.162
採卵鶏	0.031	0.003
	(kg-TDN/day・頭)	(kg-NDF/day・頭)

● 既に自給栽培されていた飼料によるTDN供給量およびNDF供給量

前橋市では、既にTable 4-8に示す飼料作物が栽培されている^[6]。

Table 4-8 前橋市で栽培されている飼料作物

	生産量(原物t/y)	「日本飼養標準」における適用項目
牧草	30,400	(生)イタリアングラス
青刈りとうもろこし	62,200	トウモロコシ(S)・東日本・黄熟期
ソルゴー	209	ソルガム(S)・子実型・糊熟期
青刈りエンバク	5,220	エンバク(S)・黄熟期(えん麦)

「日本飼養標準」記載の各飼料成分表に基づく各飼料のTDNおよびNDF含有量をTable 4-8に乘じることにより、現状において栽培されている飼料作物によるTDNおよびNDF供給量を推定した(Table 4-9)。

Table 4-9 前橋市で栽培されている飼料作物による TDN および NDF 供給量

	TDN生産量	NDF生産量
牧草	4,516	4,549
青刈りとうもろこし	11,445	8,273
ソルゴー(ソルガム)	37	26
青刈りエンバク	1,075	987
合計供給量	17,073	13,834
	(t-TDN/y)	(t-NDF/y)

● 自給飼料栽培事業における対象飼料作物の1haあたりのTDN生産量原単位およびNDF生産量原単位

本研究では、自給飼料栽培事業における対象飼料作物として、とうもろこし(デントコーン)・青刈りトウモロコシ・青刈りエンバク・飼料稲・ソルゴー・牧草の6種類を選択肢とした。まず、各作物の収量(1haあたりの収穫量)を算出した(Table 4-10)。

Table 4-10 本研究における自給飼料栽培事業における対象飼料作物の収量

	収量(t/ha・y)	「日本飼養標準」における適用項目
とうもろこし	12.0	濃厚飼料トウモロコシ
青刈りとうもろこし	74.1	トウモロコシ(S)・東日本・黄熟期
青刈りエンバク	31.1	エンバク(S)・黄熟期(えん麦)
飼料稲	28.0	イネ(S)・黄熟期
ソルゴー(ソルガム)	52.3	ソルガム(S)・子実型・糊熟期

次に、「日本飼養標準」記載の各飼料成分表に基づく各飼料作物のTDNおよびNDF含有量をTable 4-10に乘じることにより、自給飼料栽培事業における対象飼料作物の1haあたりのTDN生産量原単位およびNDF生産量原単位を推定した(Table 4-11)。

Table 4-11 自給飼料栽培事業における対象飼料作物の1haあたりのTDN生産量原単位およびNDF生産量原単位

	TDN換算収量	NDF換算収量
とうもろこし	9.6	
青刈りとうもろこし	13.6	9.9
青刈りエンバク	6.4	5.9
飼料稲	5.8	5.1
ソルゴー(ソルガム)	10.8	6.5
牧草	9.6	9.7
	(t-TDN/ha・y)	(t-NDF/ha・y)

● 自給飼料栽培事業における対象飼料作物1ha栽培時の各家畜糞・尿利用量原単位

Table 4-10に示した全ての飼料作物に関して、栽培時の施肥基準が記載されているわけではない。そのため本研究では、現在前橋市において最も栽培量の多い青刈りトウモロコシの施肥基準を、他の全ての飼料作物肥料需要量に適用することとした。

前橋市における青刈りトウモロコシの施肥基準は、窒素:200(kg/10a)、リン:78.6(kg/10a)、窒素:166(kg/10a)である。飼料へ施肥する家畜排せつ物は、無処理状態の糞尿混合スラリーとした。各家畜の糞尿スラリー中肥料成分と、糞尿スラリーの肥効率から、施肥基準を満たすために必要となる糞尿スラリー量を成分ごとに算出した。具体例をTable 4-12に示す。

Table 4-12 自給飼料栽培における家畜排せつ物必要量例(乳用牛)

	N(窒素)	P(リン)	K(カリウム)	
青刈りとうもろこし	200	79	166	(kg/10a)
肥料効率	0.55	0.60	0.95	
乳牛糞尿必要量	72.4	181.9	58.1	(糞尿t/ha)

Table 4-9によると、乳用牛糞尿スラリーを飼料作物栽培に利用する場合、58.1(t/ha)を施肥した時点で飼料作物に必要なカリウム成分がまかなわれる。これ以上施肥すると、カリウム成分が供給過剰となり、作物の生長に障害を来す恐れがある。そのため、乳用牛糞尿スラリーの場合は58.1(t/ha)が利用量上限値となる。この利用量を、糞と尿の発生量比率に合わせて分割することで、自給飼料栽培事業における対象飼料作物1ha栽培時の乳用牛糞・尿利用量原単位を作成した。同様にして他の家畜排せつ物に関しても糞・尿利用量原単位を作成した(Table 4-13)。ただし、採卵鶏飼養農家がTable 4-10に示した飼料作物を栽培することはないと考えられるため(どの飼料も、採卵鶏の飼料とはならないため)、自給飼料栽培には採卵鶏糞は利用されないものとした。

Table 4-13 自給飼料栽培事業における対象飼料作物 1ha 栽培時の
各家畜糞・尿利用量原単位

乳牛糞必要量	45.0	(糞t/ha・y)
乳牛尿必要量	13.2	(尿t/ha・y)
肉牛糞必要量	33.4	(糞t/ha・y)
肉牛尿必要量	13.1	(尿t/ha・y)
豚糞必要量	33.0	(糞t/ha・y)
豚尿必要量	77.3	(尿t/ha・y)

● 耕作放棄地面積(農業集落単位データ)

本研究では、自給飼料栽培事業は耕作放棄地で行われるものと設定した(2.1章参照)。

各農業集落における耕作放棄地面積データを整備した。前橋市における農業集落の行政界をGIS(Geographical Information System)に読み込ませるための「2000年農業集落地図データ」に対して、2000年世界農林業センサス(群馬県版)における農業集落単位の耕作放棄地面積が収録された「2000年農家調査一覧表」データを結合させた。

Fig.4-2に作成した耕作放棄地分布(2000年度)を示す。

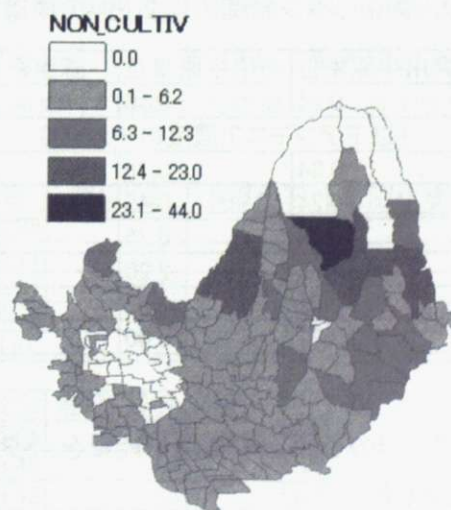


Fig.4-2 耕作放棄地分布(2000 年度)

4.1.4 家畜排せつ物処理関連バックグラウンドデータ

● 家畜排せつ物のメタン発酵用尿添加上限

本研究で設定している中温メタン発酵処理では、処理物のアンモニア濃度が3000(mg/L)以上になると発酵が阻害されることが知られている^[7]。そのため、アンモニア濃度に注意して投入物を調整する必要がある。投入物は通常含水率90%以上となるように水分調整も行われる。家畜糞を対象としてメタン発酵処理を行った場合の添加水量およびアンモニア濃度を推算した(Table 4-14)。

Table 4-14 糞メタン発酵時のアンモニア濃度

	乳用牛原単位	肉用牛原単位	豚原単位	採卵鶏原単位	
糞の水分量	0.84	0.78	0.72	0.70	(t/t)
アンモニア含有量 (含有窒素は全量 アンモニア窒素であると 仮定した)	2.70	3.30	3.22	20.12	(kg/t)
添加水量 (含水率90%となる まで水分調整)	0.63	1.20	1.80	2.00	(t/t)
合計投入量	1.63	2.20	2.80	3.00	(t/t)
アンモニア濃度 (3kg/t以上で発酵阻害)	1.66	1.50	1.15	6.71	(kg/t)

採卵鶏糞のみがアンモニアによる発酵阻害が懸念され、メタン発酵処理に不向きであることが示唆された。通常、水を添加する代わりに家畜尿を添加することで、処理費用を抑える手法が用いられている。しかしながら、家畜尿のアンモニア濃度はどれも3000(mg/L)を超えているため、全添加水量を尿で代替できるわけではない。そのため、アンモニア濃度が3000(mg/L)以下となる尿添加可能量を推算した(Table 4-15)。

Table 4-15 糞 1t メタン発酵処理あたりの尿添加可能量

	乳用牛原単位	肉用牛原単位	豚原単位	
添加可能な尿量	0.24	0.45	1.22	(t/糞t)
(以下アンモニア濃度のチェック)				
糞の水分量	0.84	0.78	0.72	(t/糞t)
尿添加量	0.24	0.45	1.22	
水添加量	0.39	0.75	0.58	
合計投入量	1.63	2.20	2.80	
アンモニア含有量	4.89	6.60	8.40	(kg)
アンモニア濃度	3.00	3.00	3.00	(kg/合計投入量t)

各家畜糞1tメタン発酵処理あたりの各家畜尿添加可能量を、メタン発酵処理物質フローにおける制約条件としてモデルに記述した。

● 堆肥生産率

堆肥化处理では、家畜糞中に含まれている有機物の一部が好気性微生物により分解される。また、分解に伴って熱が発生し、家畜糞中に含まれていた水分の多くは蒸発する。その結果、得られる堆肥の重量は投入時の家畜糞重量より大幅に減量される。

本研究では、「堆肥化施設設計マニュアル」^[9]に基づき各家畜糞1tから得られる堆肥の量を推算した(Fig. 4-3)。ただし、水分調整剤として籾殻を使用するものとし、堆肥化投入時目標含水率は65%とした。

	糞尿含水率	有機物含有量	有機物分解率	有機物分解量	水分蒸発量
乳牛	83.7	0.14	30	0.04	0.21
肉牛	78.0	0.19	30	0.06	0.29
豚	72.0	0.24	30	0.07	0.36
採卵鶏	70.0	0.20	25	0.05	0.25
	(%)	(kg/糞1kg)	(%)	(kg/糞1kg)	(kg/糞1kg)
* 有機物分解熱は、4500(kcal/kg)、水分蒸発熱は900(kcal/kg)とした。					

	籾殻添加量	有機物含有量	有機物分解率	有機物分解量	水分蒸発量
乳牛	0.35	70.40	45	0.32	1.06
肉牛	0.25				
豚	0.13				
採卵鶏	0.09				
	(kg/糞1kg)	原物%	(%)	(kg/籾殻kg)	(kg/籾殻kg)
* 有機物分解熱は、3000(kcal/kg)、水分蒸発熱は900(kcal/kg)とした。					

	堆肥化後重量
乳牛	0.61
肉牛	0.56
豚	0.52
採卵鶏	0.67
	(kg/糞1kg+籾殻)

Fig. 4-3 糞 1t から得られる堆肥の量

● 堆肥中の窒素・リン・カリウム含有量原単位

堆肥化处理において、投入物に含まれていた窒素成分の6割程度はアンモニア(NH₃)や亜酸化窒素(N₂O)の形で大気中に揮発する。リンとカリウムは投入物含有量がそのまま堆肥中へ移行する。よって、窒素の揮発率を考慮して堆肥中の窒素・リン・カリウム含有量を推算した(Fig. 4-4)。

	糞中N量	糞中P量	糞中K量	N揮発率	堆肥化後N量	堆肥化後P量	堆肥化後K量
乳牛	3.27	0.88	2.38	13.7	3.09	1.15	2.91
肉牛	4.01	0.77	3.21	13.7	3.64	0.95	3.58
豚	3.91	3.17	3.46	24.2	3.06	3.27	3.66
採卵鶏	24.43	4.15	7.72	51.5	11.92	4.22	7.86
	(g/糞1kg)			(%)		(g/糞1kg)	

	堆肥生産率	堆肥N成分	堆肥P成分	堆肥K成分
乳牛	61.3	5.04	1.87	4.74
肉牛	56.4	6.46	1.69	6.35
豚	51.7	5.92	6.33	7.07
採卵鶏	66.8	17.85	6.32	11.77
	(%)		(g/堆肥1kg)	

Fig. 4-4 堆肥中の窒素・リン・カリウム含有量

4.2 物質フローサブモデルのバックグラウンドデータ整備(農業部門)

農業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースは、堆肥および液肥の窒素・リン・カリウム需要量のみである。各需要量データを、農業集落単位に整備した。

● 耕種農家における堆肥および液肥の肥料(窒素・リン・カリウム)需要分布

前橋市における農業集落の行政界をGIS(Geographical Information System)に読み込ませるための「2000年農業集落地図データ」に対して、2000年世界農林業センサス(群馬県版)における農業集落単位の各農作物作付面積が収録された「2000年農家調査一覧表」データを結合させた。「2000年農家調査一覧表」に記載されている各農作物作付面積には欠落箇所もあるが、農業集落単位での合計作付面積が一致するように、欠落箇所の作付面積を補った。これにより、各農業集落における農作物(全41種)作付面積をGIS上で表示することが可能となった。

各農作物で標準的に必要とされる肥料成分量は、施肥基準に記載されている。本研究では、群馬県施肥基準に基づき、各農作物栽培における肥料需要量を整備した。具体例をTable 4-16に示す。

Table 4-16 各農作物栽培における肥料需要量(N:窒素 P:リン K:カリウム)

施肥基準(kg/ha)	N(元肥)	N(追肥)	P(元肥)	P(追肥)	K(元肥)	K(追肥)
水稻	55	20	39	0	58	17
陸稻	40	18	35	0	58	0
小麦	70	25	57	0	91	0
二条大麦	60	0	52	0	83	0
六条大麦	55	25	52	0	83	0
そば	30	0	22	0	42	0
ばれいしょ	80	30	109	0	66	25
かんしょ	20	0	26	0	133	0
大豆	35	30	39	0	75	0
小豆	35	0	39	0	75	0
葉たばこ	0	0	0	0	0	0
茶	0	460	0	113	0	249
こんにゃくいも	90	30	35	11	75	25

元肥とは、通常農作物の栽培前に用いる肥料であり、堆肥が多く利用される。肥料の効き目が遅くかつ長期に渡るため、土壌改良目的で利用される肥料である。本研究では、この元肥需要量が堆肥需要量と一致するものと仮定した。

追肥とは、通常農作物の栽培中に用いる肥料であり、化学肥料や液肥が多く利用される。肥料の効き目が早くかつ短期集中的に施肥することができるため、農作物の成長促進や調整目的で利用される肥料である。本研究では、この追肥需要量が液肥需要と一致するものと仮定した。

GIS上で表示可能となった各農業集落における農作物(全41種)作付面積に、各農作物栽培における元肥(堆肥)および追肥(液肥)需要量原単位を乗じることによって、各農業集落における堆肥および液肥の肥料(窒素・リン・カリウム)需要分布を作成した(Fig.4-5)。

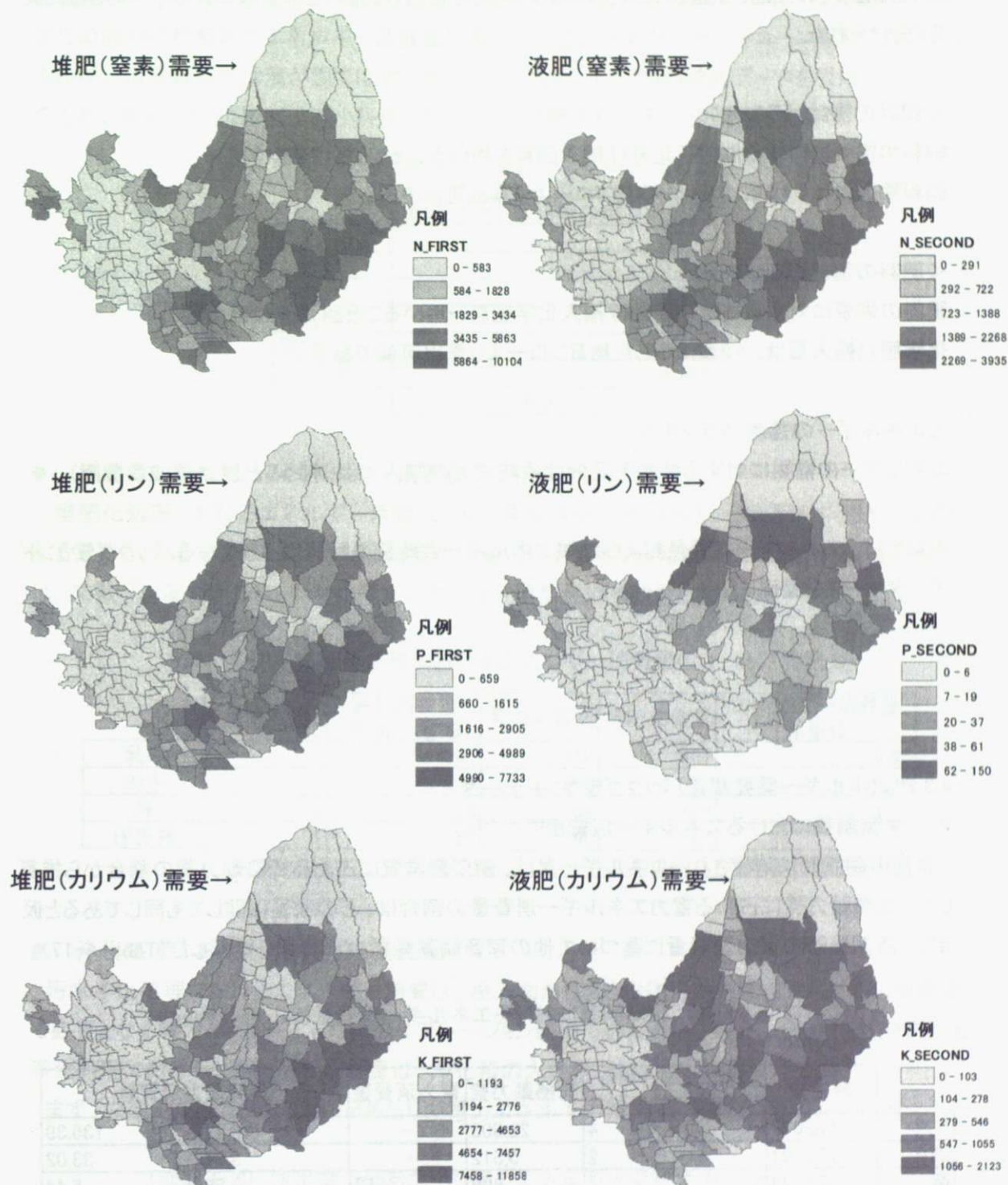


Fig.4-5 肥料(上から窒素・リン・カリウム)需要分布(kg/y) (2000 年度)

(左図:堆肥需要量 右図:液肥需要量)

4.3 物質フローサブモデルのバックグラウンドデータ整備(必要資材購入部門)

地域内生産だけでは需要を満たすことのできない資材は、地域外から購入する必要がある。本研究の評価範囲において購入が必要な資材は、家畜用の飼料、農業生産用の肥料、そして畜産業(自給飼料の生産、家畜排せつ物の処理・利用を含む)において必要なエネルギーの3点に大きく分けられた。

<飼料の需給バランス>

飼料の需要に対する供給不足分は輸入飼料を用いることとした(2.2章参照)。

飼料輸入量は、4.1章に示した物質フローより算出可能である。

<肥料の需給バランス>

肥料の需要に対する供給不足分は輸入化学肥料を用いることとした(2.2章参照)。

化学肥料輸入量は、4.2章に示した物質フローより算出可能である。

<エネルギーの需給バランス>

エネルギーの需要に対する供給不足分は系統電力の購入により補うこととした(2.2章参照)。

本章では、エネルギー需要量および地域エネルギー供給量の計算に必要なバックグラウンドデータベースを整備した。

4.3.1 エネルギー需要関連バックグラウンドデータ

● 家畜飼養におけるエネルギー消費量^{[9] [10] [11]}

家畜の飼養時に消費されるエネルギー量は、畜産経営費に占める光熱動力費の割合から推算した。光熱動力費に占める電力エネルギー消費量の割合は、どの家畜に関しても同じであると仮定し、豚飼養時の電力消費量に基づいて他の家畜飼養時電力消費量を推算した(Table 4-17)。

Table 4-17 家畜飼養におけるエネルギー消費量(MJ/day/head)

	経営費	経営費に占める 光熱動力費の割合	光熱動力費	電力消費量	年間電力消費量	
乳牛	565077	4	22,603	-	13,727	135.39
肉牛	275591	2	5,512	-	3,347	33.02
豚	22723	4	909	552	552	5.44
採卵鶏	-	3	48	-	29	0.03
	(yen/head)	(%)	(yen/head)	(kWh/head)	(kWh/head)	(MJ/day)/head

● 自給飼料栽培におけるエネルギー消費量

Table 4-10に示した全ての飼料作物に関して、栽培時のエネルギー消費量が調査されているわけではない。そのため本研究では、現在前橋市において最も栽培量の多い青刈リトウモロコシの栽培体系と非常に似ていると考えられるデントコーン栽培におけるエネルギー消費量を、他の全ての飼料作物栽培時エネルギー消費量に適用した(Table 4-18)。デントコーン栽培におけるエネルギー消費量統計は我が国では取られていないため、アメリカの統計データを引用した^[12]。そのため、本データに関しては過小評価となっている可能性があることを注記しておく。

Table 4-18 自給飼料栽培におけるエネルギー消費量(MJ /y/ha)

デントコーン栽培時の燃料消費量	
軽油	3,210
ガソリン	1,246
LPガス	1,616
天然ガス	1,579
電力	1,031
合計	8,682
(MJ/ha)	

● 堆肥化処理におけるエネルギー消費量

堆肥化処理におけるエネルギー消費は、投入家畜排せつ物を攪拌したり通気する際に必要となる電力と、フォークリフトなどによる堆肥の運搬時に必要となる軽油などに起因する。本研究では、文献^[13]に基づきTable 4-19に示すエネルギー消費量原単位を設定した。

Table 4-19 堆肥化処理におけるエネルギー消費量(MJ /day/堆肥 t)

	糞処理量	燃料消費量 (軽油・A重油)	電力消費量	堆肥生産量	エネルギー消費量 原単位
乳牛	1	237	310	637	0.86
肉牛	1	237	310	637	0.86
豚	1	195	254	415	1.08
採卵鶏	1	189	246	327	1.33
	(t/day)	(MJ/day)		(t/day)	(MJ/day)/生産堆肥t

● 浄化処理におけるエネルギー消費量

汚水浄化処理におけるエネルギー消費は、投入物から大きな固形物を除去するための振動櫛が必要となる電力と、曝気するためのエアレーション装置で必要となる電力に起因する。そのため、浄化処理におけるエネルギー消費量は、浄化槽の大きさに比例すると考えられる。

まず、文献^[2]に基づき浄化槽1m³あたりの電力エネルギー消費量を算出した(Table 4-20)。

Table 4-20 浄化槽 1m³あたりの電力エネルギー消費量(MJ /day/m³)

浄化処理におけるエネルギー消費量		
振動櫛(50W for 240m ³)	0.0025	(kWh/day・m ³)
エアレーター(0.75kW for 240m ³)	0.0375	
合計	0.0400	
	0.144	(MJ/day・m ³)

曝気による有機物分解効率を高めるため、浄化処理へのBOD容積負荷が $0.15(\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day})$ となるまで、家畜尿は希釈されてから処理される。希釈後の容積が、すなわち浄化槽の容積となる (Table 4-21)。

Table 4-21 家畜尿 1t の浄化処理に必要な浄化槽容積($\text{m}^3/(\text{投入 kg}/\text{day})$)

	尿のBOD含有量	振動櫛のBOD除去率	分離液中のBOD量	BOD容積負荷	必要浄化槽容積
乳用牛(尿)	31.74	10.000	28.57	0.150	0.19
肉用牛(尿)	53.49		48.14		0.32
豚(尿)	7.16		6.45		0.04
	($\text{kg}/\text{尿t}$)	(%)	($\text{kg}/\text{尿t}$)	($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$)	($\text{m}^3/(\text{投入kg}/\text{day})$)

Table 4-20およびTable 4-21より、各家畜尿を浄化処理する場合に必要なエネルギーを推算した (Table 4-22)。

Table 4-22 浄化処理におけるエネルギー消費量($\text{MJ}/\text{day})/(\text{投入 kg}/\text{day})$)

	浄化時エネルギー消費量原単位	
乳用牛(尿)	0.0274	$(\text{MJ}/\text{day})/(\text{投入kg}/\text{day})$
肉用牛(尿)	0.0462	
豚(尿)	0.0062	

● 堆肥輸送におけるエネルギー消費量

本研究では、堆肥流通事業は畜産農家ではなく第3者が事業として実施することとしたため、堆肥の輸送に用いる車輛は10tトラックとした。文献^[14]に基づき、10tトラックが1tの堆肥を積載して1km走行する時に消費されるエネルギー量を $1.63(\text{MJ}/\text{t}/\text{km})$ とした。物質フロー評価サブモデルにおいて、堆肥輸送時の全エネルギー消費量はこの原単位($1.63(\text{MJ}/\text{t}/\text{km})$)に堆肥輸送量と輸送距離を乗じることにより算出される。

輸送距離のデータベースは、GISにおけるブロック間距離とした。具体的には、GISの解析ツールを用いて各ブロックの重心座標を出力し、座標間距離を実際の距離に変換することで算出した。具体例をTable 4-23に示す。ブロック番号の設定に関しては、2.2章を参照されたい。

Table 4-23 輸送距離データベース例(km)

		肥料需要地のブロック番号 r'				
(km)		1	2	3	4	5
畜産農家の ブロック番号 r	1	0.00	3.72	5.65	4.11	4.46
	2	3.72	0.00	2.20	7.74	4.70
	3	5.65	2.20	0.00	9.75	6.74
	4	4.11	7.74	9.75	0.00	6.22
	5	4.46	4.70	6.74	6.22	0.00

4.3.2 エネルギー供給関連バックグラウンドデータ

● メタン発酵処理および発電による電力供給量

メタン発酵処理によって生産されたバイオガスは、通常ガスエンジンやマイクロタービンによってエネルギー変換されている。また、燃料電池に変換される事業も試験的に行われている。最もエネルギー効率が高い利用方法は、既存のガス(都市ガス・プロパンガス)の代替燃料としての利用だが、生産バイオガスのメタン濃度は通常約60%程度であるため、濃縮されなければ直接利用が困難な状況にある(Table 4-24)。

Table 4-24 メタン発酵処理からのメタン生産量 (m³/t)^[7]

	乾物量	乾物中 有機物含有量	有機物量	バイオガス 発生原単位	バイオガス 発生量	メタン濃度	メタン発生量
乳牛(糞)	0.16	87	0.142	250	35.43	60	21.26
肉牛(糞)	0.22	87	0.191	250	47.85	60	28.71
豚(糞)	0.28	86	0.241	450	108.36	60	65.02
	(t/糞t)	(%)	(t/糞t)	(m ³ /有機物t)	(m ³ /糞t)	(%)	(m ³ /糞t)

	乾物量	乾物中 有機物含有量	有機物量	バイオガス 発生原単位	バイオガス 発生量	メタン濃度	メタン発生量
乳牛(尿)	0.01	87	0.006	250	1.52	60	0.91
肉牛(尿)	0.01	87	0.006	250	1.52	60	0.91
豚(尿)	0.02	86	0.017	450	7.74	60	4.64
	(t/尿t)	(%)	(t/尿t)	(m ³ /有機物t)	(m ³ /尿t)	(%)	(m ³ /尿t)

そこで本研究では、生産されたバイオガスは最も発電効率の高いガスエンジンによりエネルギー変換されるものとした。発電効率を30%と設定した場合の発電量から、施設における消費電力エネルギーを差し引いたものが、メタン発酵処理による電力供給量であるとした(Table 4-25)。なお、メタン発酵処理される尿の量はアンモニア制約により糞処理量から従属的に決定されるため、施設における消費電力量は糞からの発電量から差し引いた。

Table 4-25 メタン発酵処理および発電による電力供給量 (MJ/day/t)

	メタン発生量	生産メタンからの発電量	内部電力消費量	電力供給量
乳牛(糞)	0.84	0.25	117.28	135.89
肉牛(糞)	1.14	0.34	158.40	183.54
豚(糞)	2.58	0.77	201.60	572.74
	(MJ/kg)	(MJ/kg)	(MJ/day)/(投入糞t/day)	(MJ/day)/(投入糞t/day)

	メタン発生量	生産メタンからの発電量	電力供給量
乳牛(尿)	0.04	0.01	10.88
肉牛(尿)	0.04	0.01	10.88
豚(尿)	0.18	0.06	55.31
	(MJ/kg)	(MJ/kg)	(MJ/day)/(投入尿t/day)

4.4 物質フローサブモデルのバックグラウンドデータ整備(環境・社会影響指標値の算出)

環境・社会影響指標値の算出において必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を示す。

(1) 水質汚染指標関連バックグラウンドデータベース

● 堆肥からの無機窒素溶脱原単位

堆肥などの肥料に含まれている窒素成分が降雨によって地下水へ溶脱する量の算出には、土壌中の複雑な微生物活動メカニズムの解明が必要となる。そのため本研究では、土壌の種類・肥料の種類・対象地域の気温や降水量といったデータから、窒素分解量を推測するシミュレーションモデル「土壌窒素収支推定システム^[15]」を活用した。

上記モデルに、必要となる前橋市の土壌・気候基礎データの他に、前橋市で生産される堆肥中の窒素成分データ(4.1.4章参照)を入力して得られた、予想される堆肥からの無機窒素溶脱量をTable 4-26に示す。

Table 4-26 堆肥からの無機窒素溶脱原単位

	無機窒素溶脱量
乳牛	0.67
肉牛	0.86
豚	0.95
採卵鶏	6.12
	(kg-N)/(堆肥t)

(2) 土壌汚染関連バックグラウンドデータベース

● 堆肥・液肥およびリン酸化学肥料のカドミウム含有量

家畜排せつ物に含まれているカドミウムの量に関する文献^[13]に基づき、前橋市で生産される堆肥および液肥(4.1.4章参照)中のカドミウム含有量を推定した(Table 4-27)。また、リン酸化学肥料に含まれるカドミウムの量は文献値^[13]を用いて、286.42(mg-Cd/kg-P)とした。

Table 4-27 堆肥および液肥のカドミウム含有量

	液肥のカドミウム濃度	堆肥のカドミウム含有量
乳牛	38.82	0.073
肉牛	38.82	0.066
豚	21.77	0.138
採卵鶏	20.74	0.131
	(mg-Cd/kg-P)	(mg-Cd/堆肥1kg)

(3) 大気汚染関連バックグラウンドデータベース

● 家畜飼養時アンモニア排出量

家畜飼料時に畜舎から排出される窒素揮散率に関する情報^[13]に基づき、平均的な各家畜飼養畜舎からの窒素揮散率を算出した(Table 4-28)。

Table 4-28 平均的家畜舎からの窒素揮散率

	畜舎からのN揮散率
乳牛	9.15
肉牛	6.40
豚	14.91
採卵鶏	8.40
	(%)

畜舎から排出される窒素は全てアンモニアであると仮定し、前橋市における各家畜排せつ物窒素成分とTable 4-28から、家畜飼養時のアンモニア排出量を推算した(Table 4-29)。

Table 4-29 家畜飼養時アンモニア排出量

	糞尿中窒素含有量	畜舎からのアンモニア揮散量
乳牛	8.16	27.16
肉牛	2.93	9.75
豚	2.59	8.63
採卵鶏	0.08	0.28
	(kg-N/y・頭)	(g-NH ₃ /day・頭)

● 堆肥化時アンモニア排出量

堆肥化処理時に排出されるアンモニア揮散率に関する情報^[13]と、前橋市における各家畜排せつ物窒素成分から、堆肥化処理時のアンモニア排出量を推算した(Table 4-30)。

Table 4-30 堆肥化処理時アンモニア排出量

	堆肥化処理における 糞中アンモニア窒素 (NH ₃ -N)揮散率	糞中窒素含有量	堆肥化処理からの アンモニア揮散量
乳牛	12.95	3.27	0.51
肉牛	12.95	4.01	0.63
豚	23.45	3.91	1.11
採卵鶏	50.75	24.43	15.06
	(%)	(kg/糞t)	(kg-NH ₃ /糞t)

● 液肥化時アンモニア排出量

尿は半年以上貯留される間に好気発酵が進み、液肥として利用できるようになる。主に酪農において尿の貯留・液肥化処理は多く用いられている。貯留されている間にアンモニアが揮散する。文献^[16]によると、アンモニア揮散率は全窒素の10%(乳・肉牛尿)～20%(豚尿)とされている。

そのため本研究においても文献^[16]に基づき、前橋市における各家畜排せつ物窒素成分から、液肥化処理時のアンモニア排出量を推算した(Table 4-31)。

Table 4-31 液肥化処理時アンモニア排出量

	液肥化処理における 尿中アンモニア窒素 (NH ₃ -N) 揮散率	尿中窒素含有量	堆肥化処理からの アンモニア揮散量
乳牛	10	11.00	1.34
肉牛	10	8.87	1.08
豚	20	5.15	1.25
	(%)	(kg/尿t)	(kg-NH ₃ /尿t)

(4) 食糧自給率関連バックグラウンドデータベース

食糧自給率指標は物質フロー評価サブモデル内計算式によって出力されるため、バックグラウンドデータを必要としない。

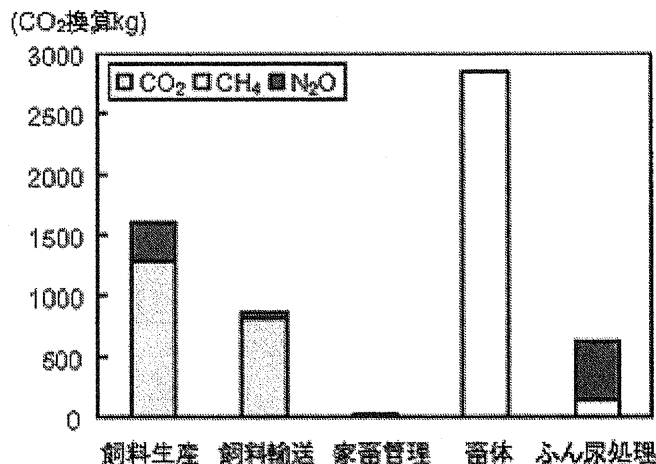
(5) エネルギー自給率関連バックグラウンドデータベース

エネルギー自給率指標は物質フロー評価サブモデル内計算式によって出力されるため、バックグラウンドデータを必要としない。

(6) 温暖化指標(GHG)関連バックグラウンドデータベース

● 家畜飼養時温室効果ガス排出量

家畜飼養時に排出される温室効果ガスとしては、家畜の反芻に由来するGHGと、飼養時の消費エネルギーに由来するライフサイクルGHGが挙げられる。しかしながら、消費エネルギーの内訳(燃料の種類)を明らかにすることは困難であり、文献^[17]によると家畜の反芻と比較してGHG排出量は非常に少ないと考えられたことから(Fig. 4-6)、本研究では家畜の反芻に由来するGHGのみを考慮した。

Fig. 4-6 肉用牛 1 頭あたりのライフサイクル GHG 排出量^[17]

反芻家畜(乳用牛・肉用牛)は第一胃の中に嫌気性微生物を共生させており、草木をこの微生物の働きによって分解している。しかしながら、嫌気性微生物は活動と同時にメタンを排出するた

め、反芻家畜は“げっぷ”の形で胃の中に溜まったメタンを大気中に放出している。このメタン排出量に関しては数多くの計測値があるため、本研究では文献値^[16]に基づいて反芻によるメタン排出量を推算した(Table 4-32)。なお、反芻家畜ではない豚および採卵鶏からのGHG排出量は0とした。

Table 4-32 家畜飼養時温室効果ガス排出量

			反芻による メタン排出量	前橋市におけ る	平均メタン排出量	GHG換算排出量
乳用牛	経産牛	搾乳牛	116.4	63.7	101.4	2,331.7
		乾乳牛	66.6	9.2		
	未經産牛	2歳以上	116.4	4.8		
		2歳未満	69.7	22.3		
肉用牛	肉用種	メス(1歳未満)	47.3	2.0	76.1	1,750.5
		メス(1歳)	65.0	2.4		
		メス(2歳以上)	65.0	8.3		
		オス(1歳未満)	47.3	2.3		
		オス(1歳)	65.0	2.9		
		オス(2歳以上)	65.0	9.8		
		乳用種	81.4	72.3		
				(kg-CH ₄ /y・頭	(%)	(kg-CH ₄ /y・頭)

● 自給飼料栽培時温室効果ガス排出量

4.3.1章と同様に、アメリカにおけるデントコーン栽培時におけるエネルギー消費統計^[12]を引用した(Table 4-33)。

Table 4-33 自給飼料栽培時温室効果ガス排出量

	デントコーン栽培時 の燃料消費量
軽油	254
ガソリン	108
LPガス	102
天然ガス	93
電力	69
合計	625
(kg-CO ₂ -eq/ha)	

● 堆肥化処理時温室効果ガス排出量

堆肥化処理において、堆積された処理物の内側まで十分に通気が行われた場合は好気発酵が促進することによって亜酸化窒素が排出される。また、内側まで通気が行われなかった場合には嫌気状態となり、メタンが排出される。このように、堆肥化処理では処理状況によって両者の温室効果ガスが混在した状態で排出される。

メタン排出量は投入物の有機物あたりの排出量原単位が整備されており、亜酸化窒素排出量は投入物の窒素含有量あたりの排出量原単位が整備されている。本研究では、これらの文献値^[12]と、前橋市における各家畜排せつ物窒素成分から、堆肥化処理時のGHG排出量を推算した(Fig. 4-7)。

CH ₄			
	メタン排出原単位	糞の有機物含有量	糞1t処理あたりメタン排出量
乳牛	3.30	0.14	0.468
肉牛	3.30	0.19	0.632
豚	13.00	0.24	3.130
採卵鶏	13.00	0.20	2.574
	(kg-CH ₄ /有機物t)	(有機物t/糞t)	(kg-CH ₄ /t)

N ₂ O			
	亜酸化窒素排出割合	糞の窒素含有量	糞1t処理あたり亜酸化窒素排出量
乳牛	0.75	3.27	0.077
肉牛		4.01	0.094
豚		3.91	0.092
採卵鶏		24.43	0.576
	(%/全N)	(kg-N/糞t)	(kg-N ₂ O/t)

GHG換算排出量	
乳牛	33.60
肉牛	42.49
豚	99.30
採卵鶏	229.67
	(kg-CO ₂ -eq/糞t)

Fig. 4-7 堆肥化処理時温室効果ガス排出量

● 余剰堆肥(余剰家畜糞)からの温室効果ガス排出量

物質フロー評価サブモデルにおいて、供給過剰となり利用先が見つからない堆肥は余剰堆肥として蓄積される設定とした。しかしながら実際には、供給過剰となることが明らかでありながら、費用と労力を費やして十分な通気による堆肥化処理が行われるとは考えにくい。

そのため、過大評価となる恐れはあるが、過剰堆肥は好気発酵が十分に行われないものと仮定した。そのため、蓄積されている堆肥の内部は嫌気状態となり、未分解有機物の嫌気微生物による分解に伴いメタンが排出されるものとした。本研究では、貯留状態にある糞および尿からのメタン排出原単位^[12]および亜酸化窒素排出原単位^[12]を用いて余剰堆肥からのGHG排出量を推算した。結果をTable 4-34に示す。算出方法は堆肥化処理時のGHG排出量と同じであるため省略した。

Table 4-34 余剰堆肥からの温室効果ガス排出量

	GHG換算排出量
乳牛	53.06
肉牛	68.75
豚	172.97
採卵鶏	415.95
	(kg-CO ₂ -eq/糞t)

● 堆肥輸送温室効果ガス排出量

4.3.1章で設定したように、堆肥は10tトラックで輸送するものとした。文献^[14]に基づき、10tトラックが1tの堆肥を積載して1km走行する時のGHG排出量を0.17(kg-CO₂/t/km)とした。

● 糞・尿のメタン発酵+売電による温室効果ガス削減量

4.3.2章で設定したように、メタン発酵処理における余剰電力供給は、系統電力消費の削減に貢献する。すなわち、系統電力の製造時に排出されたGHGを削減したことと同義であると言える。系統電力のGHG排出原単位は122.2(kg-CO₂/GJ)であるため、Table 4-25で得られた余剰電力量に乘じることにより、メタン発酵・売電による温室効果ガス削減量を推算した(Table 4-35)。

Table 4-35 メタン発酵・売電による温室効果ガス削減量

	糞	尿
乳牛	16.61	1.33
肉牛	22.43	1.33
豚	70.00	6.76
	(g-GHG/day)/(投入糞kg/day)	(kg-GHG/day)/(投入尿kg/day)

● 液肥化处理時温室効果ガス排出量

貯留状態にある尿からのメタン排出原単位^[16]および亜酸化窒素排出原単位^[16]を用いて液肥化处理におけるGHG排出量を推算した。結果をTable 4-36に示す。算出方法は堆肥化处理時のGHG排出量と同じであるため省略した。

Table 4-36 液肥化处理時温室効果ガス排出量

	GHG換算排出量
乳牛	76.76
肉牛	61.96
豚	35.95
	(kg-CO ₂ -eq/尿t)

● 浄化处理時温室効果ガス排出量

尿浄化处理におけるメタン排出原単位^[16]および亜酸化窒素排出原単位^[16]を用いて、浄化处理におけるGHG排出量を推算した。結果をTable 4-37に示す。算出方法は堆肥化处理時のGHG排出量と同じであるため省略した。

Table 4-37 浄化处理時温室効果ガス排出量

	GHG換算排出量
乳牛	1,228
肉牛	991
豚	574
	(kg-CO ₂ -eq/尿t)

● 輸入飼料のTDN・NDF1tあたりのライフサイクル温室効果ガス排出量

輸入飼料のLCA研究報告^[13]には、各種輸入飼料のライフサイクルGHG排出量が記載されている。このライフサイクルGHG排出量には、アメリカ・オーストラリア・中国における飼料栽培、日本への海上輸送および日本国内での前橋市までの輸送における全工程で排出されたGHGが考慮されている。

本研究では、TDNを多く含む濃厚飼料の代表であるデントコーンのライフサイクルGHG排出量から、TDN1tあたりのライフサイクルGHG排出量を算出した。また、NDFを多く含む粗飼料の代表である乾草（イタリアングラスとヘイキューブ）のライフサイクルGHG排出量の平均値から、NDF1tあたりのライフサイクルGHG排出量を算出した。結果をTable 4-38に示す。

Table 4-38 輸入飼料のライフサイクル温室効果ガス排出量

輸入飼料中TDN1tあたりのLCGHG排出量	0.45	(kg-CO ₂ -eq/kg-TDN)
輸入飼料中NDF1tあたりのLCGHG排出量	0.58	(kg-CO ₂ -eq/kg-NDF)

● 輸入化学肥料（窒素・リン・カリウム）のライフサイクル温室効果ガス排出量

輸入化学肥料のLCA研究報告^{[13][18]}には、各種肥料（窒素・リン酸・カリウム肥料）のライフサイクルGHG排出量が記載されている。このライフサイクルGHG排出量には、肥料原料である鉱石の採掘あるいは空気中窒素の固定段階と日本への海上輸送段階で排出されたGHGが考慮されている。

本研究では、これらの文献値を引用した^{[13][18]} (Table 4-39)。

Table 4-39 輸入化学肥料のライフサイクル温室効果ガス排出量

窒素化学肥料LCGHG排出量原単位	1.362	(kg-GHG/kg-N)
リン化学肥料LCGHG排出量原単位	0.848	(kg-GHG/kg-P)
カリウム化学肥料LCGHG排出量原単位	0.603	(kg-GHG/kg-K)

(7) 酸性化指標関連バックグラウンドデータベース

● 自給飼料栽培時酸性化物質排出量

4.3.1章と同様に、アメリカにおけるデントコーン栽培時におけるエネルギー消費統計^[12]を引用し、各燃料消費における酸性化物質排出原単位^[13]を乗じることにより、自給飼料栽培時における酸性化物質排出量を推算した (Fig. 4-8)。

デントコーン栽培時			
軽油	83.3	(L/ha)	
ガソリン	35.4		
LPガス	32.2		
天然ガス	38.5	(m ³ /ha)	
電力	94.2	(kWh/ha)	

	NOx	SOx	
軽油	18.30	6.34	(g/L)
ガソリン	8.20	0.00	
LPガス	2.42	0.08	(g/kg)
天然ガス	4.20	0.00	
電力	0.29	0.22	(g/kWh)

	NOx	SOx
飼料栽培時 酸性化物質 排出量	2.00	0.55
	(kg-NOx/ha)	(kg-SOx/ha)

Fig. 4-8 自給飼料栽培時酸性化物質排出量

● 輸入飼料のTDN・NDF1tあたりのライフサイクル酸性化物質排出量^[19]

輸入飼料のライフサイクル酸性化物質排出量は、飼料栽培段階・栽培国内輸送段階・日本への海上輸送段階に分けて推算した。まず、飼料栽培段階における酸性化物質排出量は、アメリカにおけるデントコーン栽培時の排出量^[13]を用いた。濃厚飼料はアメリカ1国からのデントコーン輸入に代表されるものとし、粗飼料はオーストラリア1国からの乾草輸入に代表されるものとした。これらの仮定に基づき、各国国内輸送段階および日本への海上輸送段階における酸性化物質排出量を推算した(Table 4-40)。

Table 4-40 輸入飼料のライフサイクル酸性化物質排出量

		NOx	SOx
栽培時	トウモロコシ	250.5	69.1
	乾草	158.7	43.7
国内輸送時	トウモロコシ	967.5	712.2
	乾草	207.6	15.1
海上輸送時	トウモロコシ	8,441.7	6,216.2
	乾草	6,331.3	4,662.1
合計	トウモロコシ	9.7	7.0
	乾草	6.7	4.7
		(g-NOx/輸送kg)	(g-SOx/輸送kg)

Table 4-40と、各飼料のTDN,NDF成分量から、輸入飼料のTDN・NDF1tあたりのライフサイクル酸性化物質排出量を推算した(Table 4-41)。

Table 4-41 輸入飼料の TDN・NDF1t あたりのライフサイクル酸性化物質排出量

	NOx	SOx	
輸入飼料中TDN1tあたりのLC酸性化物質排出量	12.09	8.76	(g-NOx,SOx/kg-TDN)
輸入飼料中NDF1tあたりのLC酸性化物質排出量	14.69	10.35	(g-NOx,SOx/kg-NDF)

(8) 枯渇性資源保護指標関連バックグラウンドデータベース

枯渇性資源保護指標は物質フロー評価サブモデル内計算式によって出力されるため、バックグラウンドデータを必要としない。

4.5 物質フローサブモデルのバックグラウンドデータ整備(家畜排せつ物対策実施コスト)

各家畜排せつ物対策実施コストの算出において必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を示す。

(1) 家畜頭数削減策

本研究では、「家畜頭数削減策」の実施コストとして、家畜の販売で本来得られるはずであった所得の全額補助を行政予算から捻出する設定とした。

畜産業による所得は、農林水産省「畜産物生産費統計」に記載されている。ただし採卵鶏の飼養で得られる所得は記載されていないため、他の文献^[20]を参照した。設定コストを Table 4-42 に示す。

Table 4-42 「家畜頭数削減策」実施コスト原単位

乳牛(2005年度)	239,452	(円/y・頭)
肉牛(2005年度)	67,143	(円/y・頭)
豚(2005年度)	7,607	(円/y・頭)
採卵鶏(2001年度)	715	(円/y・羽)

以上の検討により、「家畜頭数削減策」の実施コスト算出式を式(4-5-1)とした。

「家畜頭数削減策」実施コスト

$$= \sum_{r,m} (\text{「家畜頭数削減策」実施コスト原単位}) \times (\text{削減頭数})_{r,m} \quad \dots \text{式(4-5-1)}$$

ただし、r = 畜産農家ブロック番号、m = 家畜の種類 とした。

(2) 家畜用飼料の地域内生産支援策

本研究では、「家畜用飼料の地域内生産支援策」として、自給飼料の生産事業全体で必要となる費用の 1/4～1/2 を行政予算から捻出する設定とした。

自給飼料生産事業で必要となる全ての費用を考慮した。具体的には、材料費、固定財費、草地費、人件費を含めて事業費とした。各費用は農林水産省「農業経営統計調査報告書」における「牛乳生産費(牧草の費用価)」調査(2005年度)で明らかとされている。また、飼料稲の栽培に関する統計調査は記載されていないため、他の文献^[21]を参照した。設定コストを Table 4-43 に示す。

Table 4-43 「家畜用飼料の地域内生産支援策」実施コスト原単位

	栽培事業費 (円/ha・y)
とうもろこし	666,382
青刈りとうもろこし	479,300
青刈りエンバク	630,250
飼料稲	350,000
ソルゴー(ソルガム)	438,280
牧草	316,070

以上の検討により、「家畜用飼料の地域内生産支援策」の実施コスト算出式を式(4-5-2)とした。

「家畜用飼料の地域内生産支援策」実施コスト

$$= (\text{補助率}) \times \sum_{r,s} (\text{「飼料生産支援策」実施コスト原単位}) \times (\text{各飼料の作付面積})_{rs}$$

…式(4-5-2)

ただし、r = 畜産農家ブロック番号、s = 飼料作物の種類 とした。

(3) 田畑での肥料利用促進策

本研究では、「田畑での肥料利用促進策」として、堆肥の運搬・散布の代行事業全体で必要となる費用の1/4～1/2を行政予算から捻出する設定とした。

堆肥の運搬・輸送費は地域によって様々であるため、本研究では文献^[13]に基づき以下の式で表される堆肥輸送費から事業費を推算した。

$$\text{堆肥輸送費(百万円/y)} = 3.06Nt + Ct \times Nt + 0.477 \times 10^{-6}Gt \times Lt$$

ただし、

$$\left\{ \begin{array}{l} Nt = \text{トラック必要台数(台)} \\ Ct = \text{人件費(百万円/人/y)} \\ Gt = \text{軽油単価(円/L)} \\ Lt = \text{トラック走行距離(km/y)} \end{array} \right.$$

このように輸送費はトラック走行距離の関数となるが、本研究ではプログラム設定上の問題から、堆肥1tを1km輸送するのに必要なコストを算出する必要があった。そのため、前橋市における最大堆肥輸送量および最長・最短輸送距離データを用いて、堆肥1tを1km輸送するのに必要なコストの上限値および下限値を算出した(Fig.4-9)。なお、トラックは10tトラック、輸送人員は1(人/台)、人件費は450(万円/y)、そして軽油単価は99(円/L)とした^[13]。

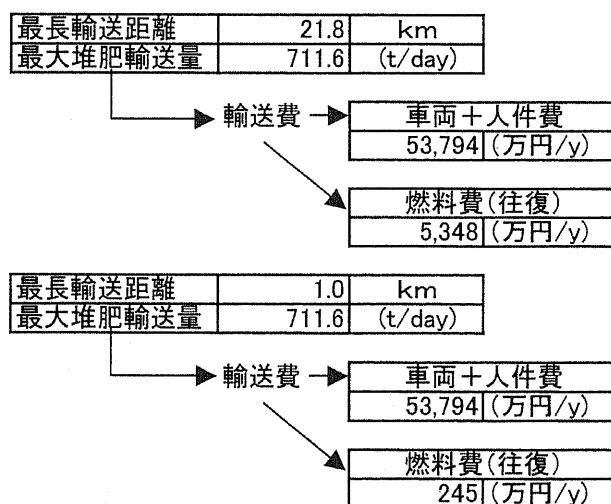


Fig. 4-9 堆肥輸送コストの推算手順

Fig. 4-9 に示した検討結果から、堆肥の運搬・散布の代行事業費の上限値および下限値を算出した(Table 4-44)。

Table 4-44 「田畑での肥料利用促進策」実施コスト原単位

堆肥輸送コスト下限値	0.052	(千円/y)/(t・km)
堆肥輸送コスト上限値	1.139	(千円/y)/(t・km)

以上の検討により、「田畑での肥料利用促進策」の実施コスト算出式を式(4-5-3)とした。

「田畑での肥料利用促進策」実施コスト

$$= (\text{補助率}) \times \sum_{r, r', m} (\text{「肥料利用促進策」実施コスト原単位}) \\ \times (\text{ブロック } r \text{ からブロック } r' \text{ への堆肥の配送量})_{r, r', m} \times (\text{ブロック } r-r' \text{ 間距離})_{r, r'} \quad \dots \text{式(4-5-3)}$$

ただし、 r = 畜産農家ブロック番号、 r' = 耕種農家ブロック番号 m = 家畜の種類 とした。

(4) 污水浄化処理施設の設置支援策

本研究では、「污水浄化処理施設の設置支援策」として、污水浄化処理施設の設置費用の 1/4 ~ 1/2 を行政予算から捻出する設定とした。

設置するのは低コストな簡易型回分式活性汚泥法処理施設とした。この処理施設の建設・運営コストは文献値^[22]を使用し、1 年あたりの建設コストに換算するために、残存率 10%、償却年数 15 年として減価償却費として算出した。なお、浄化槽の規模は投入物の BOD 濃度に依存するため、投入 BOD あたりの処理施設建設コストの算出を行った。その結果、5.37 ((万円/y)/(投入 BOD-kg/day)) と推算された。

この処理施設建設コスト原単位と、Table 4-21 に示した各家畜尿処理時の浄化槽容積から、家畜尿 1kg 処理あたりの浄化処理施設の建設・運営合計コスト(人件費含まない)を算出した(Table 4-45)。

Table 4-45 「污水浄化処理施設の設置支援策」実施コスト原単位

	污水浄化処理費
乳牛(尿)	0.153
肉牛(尿)	0.258
豚(尿)	0.035
	(万円/y)/(投入kg/day)

以上の検討により、「污水浄化処理施設の設置支援策」の実施コスト算出式を式(4-5-4)とした。

「汚水浄化処理施設の設置支援策」実施コスト

$$= (\text{補助率}) \times \sum_{r,m} (\text{「汚水浄化処理施設設置支援策」実施コスト原単位}) \times (\text{尿浄化処理量})_{rm}$$

…式(4-5-4)

ただし、 r = 畜産農家ブロック番号、 m = 家畜の種類 とした。

(5) メタン発酵処理施設の設置支援策

本研究では、「メタン発酵処理施設の設置支援策」として、メタン発酵処理施設の建設・運営コストの1/4～1/2を行政予算から捻出する設定とした。

メタン発酵処理施設の建設コストを、1年あたりの建設コストに換算するために、残存率10%、償却年数15年として減価償却費として算出した(Fig.4-10)。建設コストは、立地条件などによって大きく変わるため本研究では文献^[13]に基づき推算した。

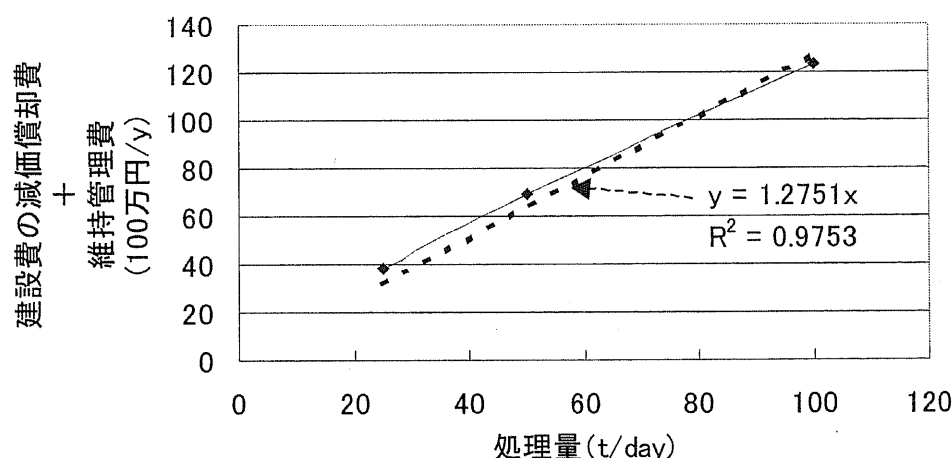


Fig. 4-10 メタン発酵処理施設の建設・運営コストの推算手順

アンモニア制約があることから、メタン発酵処理量は家畜糞の処理量のみで決定する(4.1.4 章参照)。そのため、家畜糞 1kg 処理あたりのメタン発酵処理施設の建設・運営合計コスト(人件費含む)を算出した(Table 4-46)。

Table 4-46 「メタン発酵処理施設の設置支援策」実施コスト原単位

	メタン発酵処理費
乳牛	0.253
肉牛	0.341
豚	0.435
	(万円/y)/(投入糞kg/day)

以上の検討により、「メタン発酵処理施設設置支援策」の実施コスト算出式を式(4-5-5)とした。

「メタン発酵処理施設の設置支援策」実施コスト

= (補助率) $\times \sum_{r,m}$ (「メタン発酵処理施設設置支援策」実施コスト原単位)

\times (糞メタン発酵処理量)_{rm}

・・・式(4-5-5)

ただし、r = 畜産農家ブロック番号、m = 家畜の種類 とした。

4.6 第四章のまとめ

第四章では、ケーススタディーの実施地域である群馬県前橋市を対象とした「物質フロー評価モデル」の作成を目的とした。「物質フロー評価モデル」において地域性が反映されるのは、モデルのバックグラウンドデータベースである。第4章では、バックグラウンドデータベースを畜産業部門、農業部門、必要資材の輸入部門の3部門に分けて、作成方法を解説した。

まず 4.1 では、畜産業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を解説した。具体的には、前橋市における家畜(乳用牛・肉用牛・豚・採卵鶏)飼養頭数および耕作放棄地面積を農業集落単位で把握し、GISデータとして作成した。また、各家畜の排せつ物発生量および詳細成分の設定、飼料生産効率と各家畜の飼料需要量の設定、そして各種家畜排せつ物処理における物質フローの設定を行った。

4.2 では、農業部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を解説した。具体的には、前橋市における肥料需要量を把握し、GISデータとして作成した。肥料需要量は、各種作物作付面積と施肥基準(群馬県が定める標準的な肥料施肥設計)に基づき、即効性および緩効性肥料の窒素・リン・カリウム成分(肥料の三大要素)に関して推算した。

4.3では、必要資材の輸入部門の物質フローにおいて必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を解説した。本研究の評価範囲において購入が必要な資材は、家畜用の飼料、農業生産用の肥料、そして畜産業(自給飼料の生産、家畜排せつ物の処理・利用を含む)において必要なエネルギーの3点に大きく分けられた。飼料および肥料の需要に対する供給不足分は輸入飼料・輸入化学肥料により補うものとした。エネルギーの需要に対する供給不足分は系統電力の購入により補うこととした。さらに、家畜飼養時、自給飼料栽培時、家畜排せつ物処理時におけるエネルギー消費量の設定を行った。

4.4 では、各環境・社会影響指標値の算出に必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を解説した。具体的には、家畜飼養時、自給飼料栽培時、輸入飼料生産・輸送時、家畜排せつ物処理時、肥料地域内配送時、輸入化学肥料生産・輸送時における、硝酸性窒素溶脱量、カドミウム循環量、アンモニア排出量、二酸化炭素排出量、メタン排出量、亜酸化窒素排出量、窒素酸化物排出量、硫酸酸化物排出量の各種原単位を作成した。

4.5 では、各家畜排せつ物対策の実施コストの算出に必要となるバックグラウンドデータベースおよび作成方法を解説した。「家畜頭数削減策」の実施コストは、家畜の販売で本来得られるはずであった所得の全額補助を行政予算から捻出する設定とした。「家畜用飼料の地域内生産支援策」の実施コストは、自給飼料の生産事業全体で必要となる費用の $1/4 \sim 1/2$ を行政予算から捻出する設定とした。「田畑での肥料利用促進策」の実施コストは、堆肥の運搬・散布の代行業者全体で必要となる費用の $1/4 \sim 1/2$ を行政予算から捻出する設定とした。「汚水浄化処理施設の設置支援策」の実施コストは、汚水浄化処理施設の設置費用の $1/4 \sim 1/2$ を行政予算から捻出する設定とした。また、「メタン発酵処理施設の設置支援策」の実施コストは、メタン発酵処理施設の設置費用の $1/4 \sim 1/2$ を行政予算から捻出する設定とした。以上の設定に基づき、各実施コストの算出に必要となるデータを示した。

第五章 群馬県前橋市を対象地域とした

ケーススタディーの実施

～前橋市住民アンケートに基づく総合評価値の設定～

第5章 群馬県前橋市を対象地域としたケーススタディーの実施 ～前橋市住民アンケートに基づく総合評価値の設定～

総合評価値を算出するためには、物質フロー評価サブモデルから算出される Indicator(達成度指標)と、住民アンケートに基づく各便益の Weight(重み)が必要となる(2.6 参照)。

$$Improvement\ Factor(総合評価値) = \sum_{i=1}^8 Weight_i \times Indicator_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Weight_i = Impact\ Category\ の重み(ウェイト) \\ Indicator_i(達成度指標) = \frac{(対策実施によるImpact\ Categoryの变化分)_i}{(Impact\ Categoryの目標値)_i - (Impact\ Categoryの現状値)_i} \\ i = Impact\ Category(水質汚染、土壌汚染、大気汚染、食糧自給率、エネルギー自給率、酸性化、地球温暖化、枯渇性資源の保全: i = 1 \sim 8) \end{array} \right.$$

ただし、

- 「対策実施による Impact Category の変化分」は、「Impact Category 指標値(変数)」から「Impact Category の現状値」を差し引いて算出される。
- 「Impact Category の目標値」は、予算制約条件下における Impact Category 指標の最小値(食糧・エネルギー自給に関しては最大値)とした。

Impact Category の現状値および目標値を、物質フロー評価サブモデルへ入力することによって、Indicator(達成度指標)の出力が可能となる。

そこでまず、Indicator(達成度指標)の算出に必要な各 Impact Category の現状値を算出した。詳細を 5.1 に示す。

次に、Indicator(達成度指標)の算出に必要な各 Impact Category の目標値を算出した。詳細を 5.2 に示す。

最後に、Weight(重み)を算出するために、群馬県前橋市の住民に対してアンケート調査を行った。詳細を 5.3 に示す。

5.1 Impact Category の現状における評価値の算出

各 Impact Category(水質汚染、土壌汚染、大気汚染、食糧自給率、エネルギー自給率、酸性化、地球温暖化、枯渇性資源の保全)の評価値を、前橋市における実測値から直接算出することは困難である。例えば、地球温暖化指標となる二酸化炭素・メタン・亜酸化窒素の実測値は採られていないため、評価値の算出は不可能である。

Impact Category の現状における評価値を算出するために、本研究では第 4 章で作成した群馬県前橋市を対象とした物質フロー評価モデルを用いた。

具体的には、物質評価フローモデルにおける家畜排せつ物処理費用の総額が最小となる時の処理フローおよび堆肥流通が、現実にもっと近いと仮定し、各 Impact Category の評価値を算出した。ただし、現状の前橋市における家畜排せつ物処理状況に適合させるため、浄化処理量および堆肥流通量に制約条件を設定した。

目的関数 = Minimize (家畜排せつ物処理費用の総額)

ただし、

(家畜排せつ物処理費用の総額)

= (堆肥化処理費用) + (メタン発酵処理費用) + (液肥化処理費用) + (污水浄化処理費用)

<制約条件>

(豚尿浄化処理量) \geq (豚尿全処理量) $\times 0.21$

(乳牛糞堆肥の流通量) \geq (乳牛糞堆肥生産量) $\times 0.355$

(肉牛糞堆肥の流通量) \geq (肉牛糞堆肥生産量) $\times 0.386$

家畜排せつ物処理費用合計値の最小化シミュレーションを NUOPT(2.6 章参照)にて行った。その結果、各家畜排せつ物処理の内訳は現状とほぼ一致した。これは、堆肥化および尿液肥化(貯留)処理における費用が他と比較して低いためである。そして豚尿浄化処理量に関する制約条件によって、実際の前橋市における浄化処理量と一致させることができた(Table 5-1)。

Table 5-1 家畜排せつ物処理費用合計値の最小化シミュレーション結果

(kg/day)	糞堆肥化	糞メタン発酵	尿メタン発酵	尿貯留	尿浄化
乳牛	449,120	0	0	131,662	2
肉牛	253,900	0	0	99,880	1
豚	457,017	0	0	847,235	225,214
採卵鶏	86,970	0	0	0	0

この時の各種堆肥の販売・流通状況および過剰堆肥発生状況を Fig. 5-1 に示す。地域間輸送を含む堆肥の利用量は、堆肥生産量の約 27%に留まり、残り約 73%の堆肥は利用先が無く、地域内に過剰に蓄積される結果となった(Table 5-2)。堆肥の輸送量が低く留まった原因は、堆肥のカリウム成分が多く、農地におけるカリウム需要上限に達したためであった。堆肥の地域間流通が行われたのは、肉牛堆肥と豚堆肥のみであった。

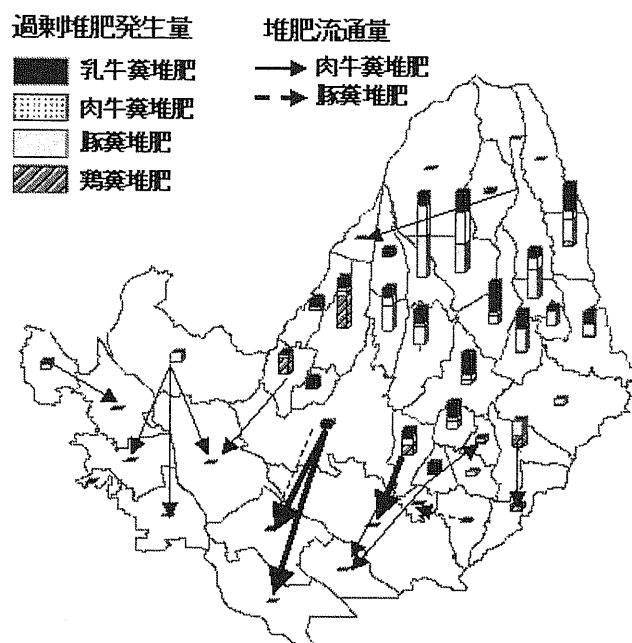


Fig. 5-1 堆肥販売・流通状況および過剰堆肥発生状況シミュレーション結果

Table 5-2 シミュレーション結果における堆肥の流通量と供給過剰量

	堆肥生産量	堆肥流通量	堆肥過剰量	
	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(対生産量%)
乳牛	275.4	97.9	177.5	64.5
肉牛	143.2	55.3	87.9	61.4
豚	236.4	42.3	194.1	82.1
採卵鶏	58.1	0.1	58.0	99.8
合計	713.2	195.6	517.6	72.6

前橋市の堆肥流通量に関するアンケート調査結果(3.2.2 章参照)と、本シミュレーション結果を比較し、シミュレーション結果の妥当性を検討した。

前橋市における堆肥消費量調査結果は、家畜種別ごとではないため、全堆肥量に関して両者を比較した(Table 5-3)。

Table 5-3 アンケート調査結果と、シミュレーション結果の比較

	(t/y)	旧前橋市	大胡町	宮城村	粕川村	合計 (新前橋市)
アンケート調査 結果	堆肥生産量	104,394	36,459	91,990	15,019	247,862
	堆肥消費量	42,176	11,128	28,650	10,008	91,962
シミュレーション 結果	堆肥生産量	111,889	34,284	83,927	30,205	260,305
	堆肥消費量	55,457	3,923	5,051	6,959	71,390

このように、本シミュレーションで算出された堆肥消費量は、実際の堆肥消費推定量よりも少なく見積もられたことが示唆された。しかしながら、シミュレーション結果では既にカリウム成分が需要の上限に達していたため、実際の前橋市における堆肥流通は、既に供給過剰状態にあることが示唆された。つまり、家畜排せつ物対策として 3.3.2 章で設定した「田畑での肥料利用促進策」は、実施不可能であると考えられた。

以上の検討結果から、本ケーススタディーにおいて予算配分の対象とする家畜排せつ物対策は以下に示す4対策とした。

- 家畜頭数削減策
- 家畜用飼料の地域内生産支援策
- 污水浄化処理施設の設置支援策
- メタン発酵処理施設の設置支援策

このように、アンケート調査結果とシミュレーション結果には相違が見られるものの、アンケート調査結果は必ずしも現状を正確に表現しているとは考えにくく、両者の全体量はほぼ一致していたことから、前橋市における現状の家畜排せつ物処理状況を再現できたと仮定した。

よって、この時の各 Impact Category 評価値を現状値とした(Table 5-4)。

Table 5-4 各 Impact Category の「現状」における評価値

Impact Category	指標値の単位	Impact Categoryの現状値
水質汚染	(kg-PO ₄ -eq/day)	10,641
土壌汚染	(mg-Cd/day)	256,592
大気汚染	(kg-NH ₃ /day)	5,569
温暖化	(kg-GHG/day)	37,735,800
酸性化	(kg-SO ₂ -eq/day)	16,139
枯渇性資源保	(kg-P/day)	8,465
エネルギー自給率	($\times 10^{-7}$)	3.33
食料自給率	-	681

5.2 Impact Category 評価値の目標値の算出

「Impact Category の目標値」は、前橋市における家畜排せつ物対策予算制約条件下における Impact Category 指標の最小値(食糧・エネルギー自給に関しては最大値)と設定した。

5.2.1 前橋市における家畜排せつ物対策予算

2007 年度の前橋市における家畜排せつ物対策関連予算を Table 5-5 に示す。

Table 5-5 前橋市における家畜排せつ物対策関連予算(2007 年度)^[1]

新事業用 予算	飼料生産事業	1,000	(万円/y)
	堆肥流通事業	5,253	
	堆肥利用事業	303	
	低環境負荷事業	140	
	農村地域づくり事業	685	
現状維持 予算	地域新エネ事業	850	
	堆肥流通支援費	935	
	浄化処理施設支援費	7,798	
合計予算		16,964	

Table 5-5 に基づき、本研究における家畜排せつ物対策予算設定は年間 16,964(万円)とした。この予算額は、家畜排せつ物対策に割くことの出来る予算最低額といえる。前橋市において畜産業に割かれる予算の合計額は、総務省「市町村別決算状況調」に基づき推算したところ、年間 50,458(万円)であった。現実的とは言えないものの、家畜排せつ物対策に畜産部門から割くことの出来る予算最高額といえる。

5.2.2 Impact Category の目標値の算出

前橋市における家畜排せつ物対策予算(年間 16,964(万円))制約条件下で、Impact Category 指標値の最小化シミュレーション(食糧・エネルギー自給に関しては最大化シミュレーション)を行い、各 Impact Category 指標値の最小値(食糧・エネルギー自給に関しては最大値)を算出した。ただし、「家畜頭数削減策」以外の対策事業への行政補助率は事業費の 1/2 とした。

Impact Category の目標値の算出と目的としたシミュレーションの目的関数を以下に示す。

$Objective\ Function = Minimize (Impact\ Category\ 指標値)i$

ただし、

$i = Impact\ Category(水質汚染、土壌汚染、大気汚染、酸性化、地球温暖化、枯渇性資源の保全: i = 1 \sim 6)$

$Objective\ Function = Maximize (Impact\ Category\ 指標値)i'$

ただし、

$i' = Impact\ Category(食糧自給率、エネルギー自給率)$

また、予算に関する制約条件(Constraint)を以下に示す。

$$Budget \geq \sum_{j=1}^5 BudgetDistribution_j$$

ただし、

$Budget$ = 前橋市における家畜排せつ物対策予算(年間 16,964(万円))

$BudgetDistribution_j$ = 各家畜排せつ物対策の実施コスト(4.5 章参照)

j = 家畜排せつ物対策(家畜頭数削減対策、家畜用飼料の地域内生産支援対策、田畑での肥料利用促進対策、汚水浄化処理施設の設置支援、メタン発酵処理施設の設置支援:
 $j = 1 \sim 5$)

以上の条件設定に基づき、各 Impact Category 指標値の最小値(食糧・エネルギー自給に関しては最大値)が算出された(Table 5-6)。

Table 5-6 各 Impact Category 指標値の最小値(最大値)

目的関数	Impact Category	指標値の単位	シミュレーション結果	
			最小値	最大値
最小化	水質汚染	(kg-PO ₄ -eq/day)	8,042	
	土壌汚染	(mg-Cd/day)	237,549	
	大気汚染	(kg-NH ₃ /day)	4,627	
	温暖化	(kg-GHG/day)	33,570,454	
	酸性化	(kg-SO ₂ -eq/day)	14,368	
	枯渇性資源保	(kg-P/day)	7,543	
最大化	エネルギー自給率	($\times 10^{-7}$)		3.44
	食料自給率	-		963

各 Impact Category 指標値の最小時(食糧・エネルギー自給に関しては最大時)における家畜排せつ物対策予算の配分結果を Table 5-7 に示す。

Table 5-7 各 Impact Category 指標値の最小値(最大値)

目的関数	Impact Category	最適予算配分結果(万円/y)				
		家畜頭数削減策	飼料地域内生産策	肥料利用促進策	浄化処理設備設置策	メタン発酵処理
最小化	水質汚染	0	0	453	16,511	0
	土壌汚染	0	154	454	3,899	12,457
	大気汚染	0	0	16	16,948	0
	温暖化	0	0	453	3,899	12,612
	酸性化	0	0	16	16,948	0
	枯渇性資源保	180	12,413	479	3,893	0
最大化	エネルギー自給率	13,501	0	16	3,447	0
	食料自給率	0	12,413	917	3,589	45

シミュレーション結果の妥当性に関する考察を行った。

- 水質汚染 …… 供給過剰状態にある堆肥や液肥からの水質汚染物質排出量が水質汚染指標に計上される。そのため、水質汚染指標を小さくするためには堆肥・液肥の過剰供給量を減少させる対策を実施すればよい。浄化処理設備の設置以外にも、頭数削減策や自給飼料生産策によって、供給過剰は解消可能である。これら3つの対策の中で最も費用対効果が高かった浄化処理設備の設置策が、水質汚染指標最小化シミュレーションによって選択されたと考えられた。なお、本研究においてメタン発酵処理は、消化液を全量液肥として利用する設定となっているため、堆肥・液肥の過剰供給量削減策とはならなかった。
- 土壌汚染 …… 土壌へのカドミウム負荷は、家畜排せつ物よりもリン酸化学肥料の方が大きい。そのため、土壌汚染指標を小さくするためには、リン酸化学肥料消費量を減少させる対策を実施すればよい。シミュレーション結果によると、肉用牛糞尿をメタン発酵させ、その液肥を有効利用することによってリン酸化学肥料消費量が削減されていた。具体的には、液肥化(貯留)処理による供給液肥中のリン量と、メタン発酵消化液による供給液肥中のリン量の合計が、農地におけるリン需要量の上限にちょうど一致するように、メタン発酵処理量と処理糞尿の種類は調整されていた。そして、余った予算は、リン酸化学肥料消費量削減対策として2番目に費用対効果の高かった「自給飼料の地域内生産対策」へ配分された。以上の理由から、土壌汚染指標最小化のための最適予算配分は、「メタン発酵処理施設の設置」と「自給飼料の地域内生産」対策の組み合わせとなったと考えられた。
- 大気汚染 …… アンモニア排出量の削減対策として最も費用対効果の高い対策は浄化処理施設の設置策であった。液肥化(貯留)処理されていた尿からのアンモニア排出量は、家畜飼養時や堆肥化時における排出量よりも多い。そのため、液肥化(貯留)処理されていた尿を浄化処理することにより、アンモニア排出量を削減する対策が最も有効であると考えられた。
- 温暖化 …… 温室効果ガスの排出は、家畜の飼養・排せつ物処理・肥料流通、そして飼料や化学肥料の輸入段階に至るまで、幅広い排出源からのGHG排出量が計上されている。そのため、シミュレーション結果の簡易な解説は困難である。しかしながら、「メタン発酵処理施設の設置」策に全予算が配分されたのは、①メタン発酵に伴う発電によりエネルギー購入量が減少した結果、エネルギー製造時のライフサイクルGHG排出量が削減されるため②過剰な家畜排せつ物は、堆肥(未処理)状態よりも液肥状態にした方がGHG排出負荷は小さくなるためであると考えられた。
- 酸性化 …… 酸性化原因物質の中でもアンモニアの酸性化寄与が最も大きいため、酸性化指標を小さくするためには、アンモニア排出量を減少させる対策を実施すればよい。つまり、大気汚染指標と酸性化指標は、どちらもアンモニア排出量の削減によって減少すると言える。そのため、酸性化指標最小化シミュレーション結果は、大気汚染指標最小化シミュレーション結果と同じ結果となった。
- 枯渇性資源保護 …… 評価範囲全体におけるリン資源消費量が、枯渇性資源保護指標に計上される。そのため、リン酸化学肥料の削減により、枯渇性資源保護指標値を小さくする

点で、土壤汚染指標と同様の条件となる。しかしながら、土壤汚染指標で対象としていた、対象地域内でのリン酸化学肥料消費よりも、輸入飼料栽培時における対象地域外でのリン酸化学肥料消費の方が大きかったため、「メタン発酵処理施設の設置」ではなく「自給飼料の地域内生産対策」が選択されたと考えられた。本研究では、自給飼料栽培は耕作放棄地においてのみ実行可能であるという制約条件を設けたため、耕作放棄地面積制約の上限値までしか「自給飼料の地域内生産対策」は導入されない。そして、余った予算は、輸入飼料栽培時におけるリン酸化学肥料消費量削減対策として 2 番目に費用対効果の高かった「家畜頭数削減対策」へ配分された。以上の理由から、枯渇性資源保護指標最小化のための最適予算配分は、「自給飼料の地域内生産対策」と「家畜頭数削減対策」の組み合わせとなったと考えられた。

- エネルギー自給率 …… メタン発酵の導入によりエネルギー生産が可能のため、メタン発酵処理施設の設置に予算が配分されたと考えられたが、最も費用対効果の高い対策は「家畜頭数削減対策」であった。これは、家畜の数自体を減らすことによる、家畜飼養時・排せつ物処理・肥料流通、そして飼料や化学肥料の輸入段階に至るまで、幅広い段階におけるエネルギー消費量の削減効果の方が、メタン発酵によりエネルギー生産効果よりも大きかったためであると考えられた。
- 食糧自給率 …… 食糧自給率指標の向上には、「家畜頭数削減対策」を実施せず、「自給飼料の地域内生産対策」を導入した方がよい。そのため、耕作放棄地面積制約の上限値まで「自給飼料の地域内生産対策」が導入された。余った予算の利用方法は、何を選択しても本指標値への影響はないため、特別な意味を持っていない。

5.3 Impact Category の重み (Weight) の算出

2.4 章および 2.5 章で述べたように、本研究では AHP における統合化手法を採用し、各グループ内(Fig. 5-2)の便益の重み付けには、配点法を用いた。

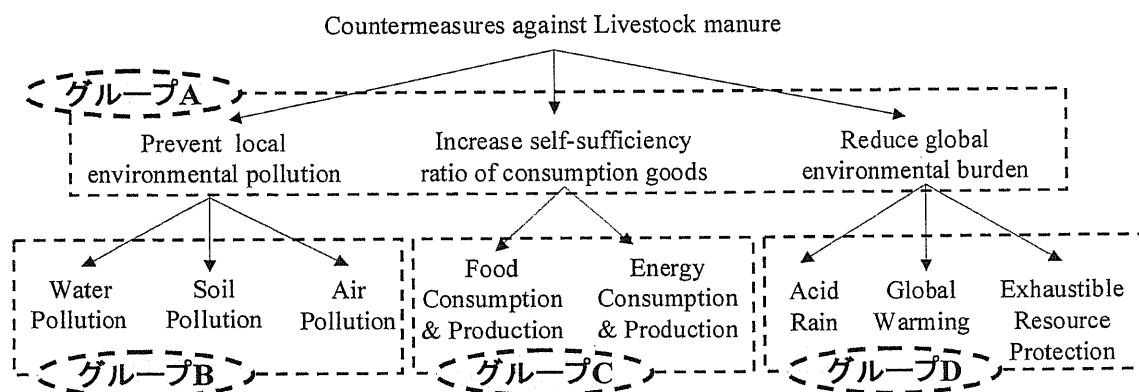


Fig. 5-2 配点法実施グループ分け

実施した前橋市住民に対するアンケート調査の概要を以下に示す。

- 調査対象： 前橋市住民 998 名(無差別抽出)
- 調査方法： 郵送
- 調査期間： 2007 年 1 月 26 日(金)～2007 年 2 月 5 日(月)
- 回答数： 208 件(有効回答 201 件。有効回答率 20.8%)

作成したアンケート用紙は付録 2 に示す。

アンケートでは、グループごとに 10 点配点法による重み付けをしてもらう方式で行った。回収したアンケート結果の各グループにおける解析結果を Table 5-8～5-11 に示す。

Table 5-8 地域・地球環境便益および社会便益に対する重み付け結果(グループ A)

	自給率	地域環境	地球環境
平均	3.053	3.906	3.041
標準誤差	0.085	0.100	0.088
標準偏差	1.210	1.419	1.248
分散	1.463	2.013	1.557
信頼区間(95.0%)	0.168	0.197	0.174

Table 5-9 地域環境便益に関する重み付け結果(グループ B)

	水質	土壌	悪臭
平均	4.328	3.133	2.538
標準誤差	0.092	0.075	0.101
標準偏差	1.310	1.079	1.447
分散	1.717	1.164	2.095
信頼区間(95.0%)	0.180	0.149	0.199

Table 5-10 社会便益に関する重み付け結果(グループ C)

	食料	エネルギー
平均	5.541	4.459
標準誤差	0.094	0.094
標準偏差	1.353	1.353
分散	1.830	1.830
信頼区間(95.0%)	0.185	0.185

Table 5-11 地球環境便益に関する重み付け結果(グループ D)

	温暖化	酸性雨	資源枯渇
平均	4.667	2.386	2.947
標準誤差	0.092	0.060	0.079
標準偏差	1.317	0.852	1.131
分散	1.734	0.725	1.280
信頼区間(95.0%)	0.182	0.118	0.157

AHPにおける統合化手法と同様に(2.4.2 章参照)、階層間の重み(グループ A)をグループ B～D における重みに乗じることにより、各 Impact Category の重み(Weight)を算出した。結果を Table 5-12 に示す。合計 10 点となるように、各 Impact Category に重み付けされた場合に最も近い結果であると考えられた。Table 5-12 をグラフ化したものを Fig.5-3 に示す。

Table 5-12 各 Impact Category の重み(Weight)の算出結果

グループB	水質汚染軽減	土壌汚染軽減	悪臭軽減
	1.691	1.224	0.992
グループC	食料自給率の向上	エネルギー自給率の向上	
	1.692	1.361	
グループD	地球温暖化の軽減	酸性雨の軽減	枯渇性資源の保全
	1.419	0.726	0.896

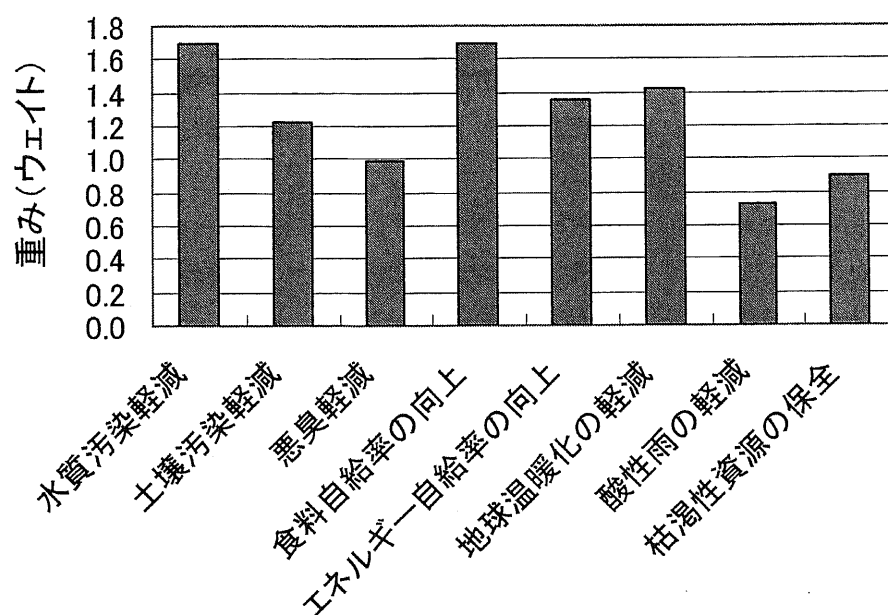


Fig.5-3 各 Impact Category の重み (Weight) の算出結果

このアンケート調査結果から、前橋市住民の一般的な意見として、水質汚染の軽減と食糧自給率の向上に貢献する対策の実施が期待されていることが示唆された。特に水質汚染の軽減を望む意見は、前橋市特有であると考えられる。前橋市は利根川上流に位置しており、東京を含む大都市地域へ綺麗な水を提供する使命感が一般住民にまで浸透している。大都市の水源地としての自負を持っており、地下水・河川水の浄化に努めている地域である。本アンケート調査結果はこのような住民意識を的確に反映できたと考えられた。

5.4 第五章のまとめ

第五章では、「家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル」の目的関数および制約条件の設定に必要なデータの作成方法を解説した。総合評価値を算出するためには、「物質フロー評価サブモデル」から算出される Indicator(達成度指標)と、住民アンケートに基づく各便益の Weight(重み)が必要となる。

まず 5.1 では、Indicator(達成度指標)の算出に必要な各 Impact Category の現状値を算出した。具体的には、物質評価フローモデルにおける家畜排せつ物処理費用の総額が最小となる時の処理フローおよび堆肥流通が、現実にもっと近いと仮定し、各 Impact Category の評価値を算出した。その結果、各家畜排せつ物処理の内訳は群馬県全体の処理内訳とほぼ一致し、モデルの妥当性が確認された。また、堆肥の生産量および消費量の結果を前橋市で過去に実施されたアンケート調査結果と比較したところ、若干差異は見られたもののほぼ一致したと言える結果が得られた。よって、最も現状に近い各 Impact Category の評価値を推算できたことが示唆された。

5.2 では、Indicator(達成度指標)の算出に必要な各 Impact Category の目標値を算出した。具体的には、前橋市における家畜排せつ物対策予算制約条件下における Impact Category 指標の最小値(食糧・エネルギー自給に関しては最大値)を算出した。

5.3 では、Weight(重み)を算出するために行った、前橋市住民に対するアンケート調査と調査結果を解説した。前橋市住民約 998 人を対象に郵送方式で行ったアンケート調査により、前橋市の住民がどのような環境・社会便益を公共事業に期待しているのか、定量的に明らかにした。その結果、特に水質汚染の軽減と食糧自給率の向上に貢献する対策の実施が期待されていることが示唆された。調査結果は、畜産・農業地域であり利根川水系水源地域でもある前橋市住民の意向を的確に反映したと考えられた。

第六章 群馬県前橋市版 家畜排せつ物対策

に対する自治体予算配分最適化モデル

第6章 群馬県前橋市版家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル

最終的に構築された、群馬県前橋市を対象とした家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデルの概要を6.1にまとめた。

構築した家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデルを用いて、地域住民が望ましいと感じるバランスで環境・社会便益をもたらす家畜排せつ物対策の提案を行った。具体的には、総合評価値最大化シミュレーションにより、各家畜排せつ物対策への行政予算最適配分を求めた。シミュレーション結果および結果の考察を6.2に示す。

6.1 群馬県前橋市版家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデルの概要

第3章から第5章にかけて、前橋市を対象地域とした家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデルを構築するために必要となるデータベースを整備した。本章では、最終的に構築された前橋版自治体予算配分最適化モデルの目的関数および制約条件をまとめた。

<目的関数>

Objective Function = Maximize (Improvement Factor)

ただし、

$$\text{Improvement Factor (総合評価値)} = \sum_{i=1}^8 \text{Weight}_i \times \text{Indicator}_i$$

$i = \text{Impact Category (水質汚染、土壌汚染、大気汚染、食糧自給率、エネルギー自給率、酸性化、地球温暖化、枯渇性資源の保全: } i = 1 \sim 8)$

$\text{Weight}_i = \text{Impact Category の重み (ウェイト) (Table 6-1-1)}$

Table 6-1 各 Impact Category の重み (Weight) の算出結果

Impact Category	Weight
水質汚染	1.69
土壌汚染	1.22
大気汚染	0.99
温暖化	1.42
酸性化	0.73
枯渇性資源保	0.90
エネルギー自給率	1.36
食料自給率	1.69

$$\text{Indicator}_i (\text{達成度指標}) = \frac{(\text{Impact Category 評価値})_i - (\text{Impact Category の現状値})_i}{(\text{Impact Category の目標値})_i - (\text{Impact Category の現状値})_i}$$

Table 6-2 各 Impact Category の目標値、現状値およびその差

Impact Category	Impact Category の目標値	Impact Category の現状値	(目標値－現状値)
水質汚染	8,042	10,641	-2,599
土壌汚染	237,549	256,592	-19,043
大気汚染	4,627	5,569	-942
温暖化	33,570,454	37,735,800	-4,165,346
酸性化	14,368	16,139	-1,771
枯渇性資源保	7,543	8,465	-922
エネルギー自給率	3.44	3.33	0.11
食料自給率	963	681	282

<制約条件>

$$Budget \geq \sum_{j=1}^5 BudgetDistribution_j$$

ただし、

$Budget$ = 前橋市における家畜排せつ物対策予算(年間 16,964(万円))

$BudgetDistribution_j$ = 各家畜排せつ物対策の実施コスト(4.5 章参照)

j = 家畜排せつ物対策(家畜頭数削減対策、家畜用飼料の地域内生産支援対策、田畑での肥料利用促進対策、污水浄化処理施設の設置支援、メタン発酵処理施設の設置支援:
 $j = 1 \sim 5$)

前橋版自治体予算配分最適化モデルの構造は、Fig.2-1 で示したモデル構造と同じである。
バックグラウンドデータベースは前橋市の統計情報などに基づき作成した(第 4 章参照)。

本モデルでは、2.6 章で説明した NUOPT を用いて最適化計算を行った。NUOPT の特徴として、バックグラウンドデータベースを Microsoft Excel から入力することができ、最適化計算を NUOPT-GUI で行った後、Microsoft Excel へ出力することができる。コンピュータ上におけるモデルの外観を Fig.6-1 に示す。

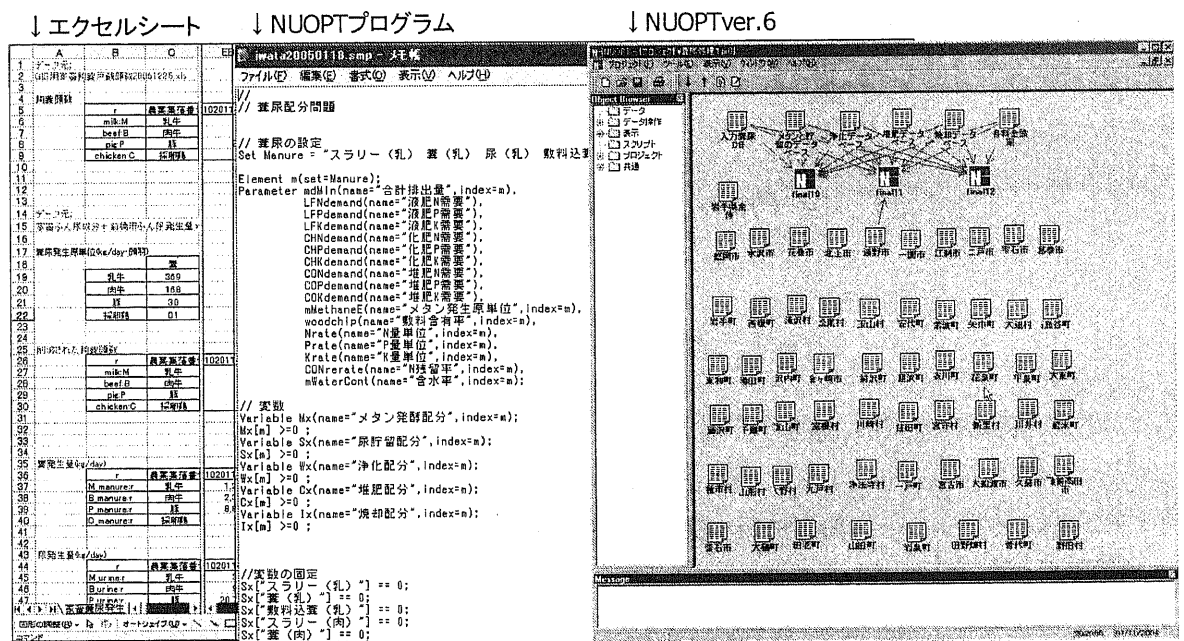


Fig. 6-1 コンピュータ上におけるモデルの外観

前橋版自治体予算配分最適化モデルにおける最適化計算時間は、モデル変数の数に依存する。さらに、モデル変数の数はモデル内で設定している地域分割ブロック数に依存する。

バックグラウンドデータベースは、前橋市における農業集落単位データとして整備した(第4章参照)。前橋市における農業集落数は117集落である。モデルにおける地域分割ブロック数が117の場合、モデル変数は133,812変数となり、計算時間は膨大となる。Fig. 6-2に地域分割ブロック数と変数の関係を、Fig. 6-3に地域分割ブロック数と最適化計算時間の関係を示す。

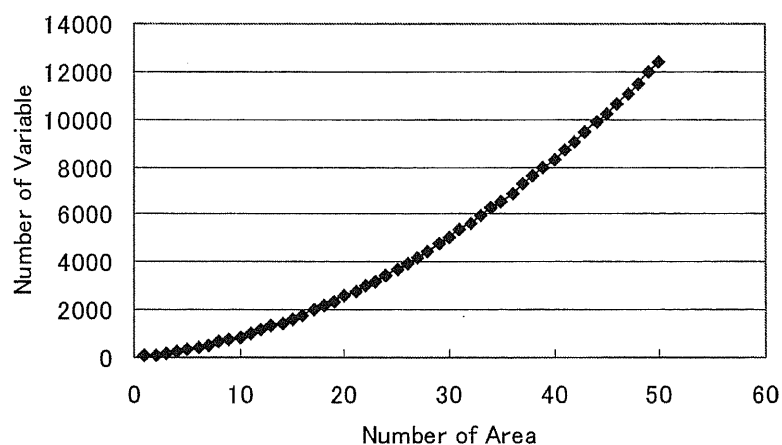


Fig. 6-2 地域分割ブロック数と変数の関係

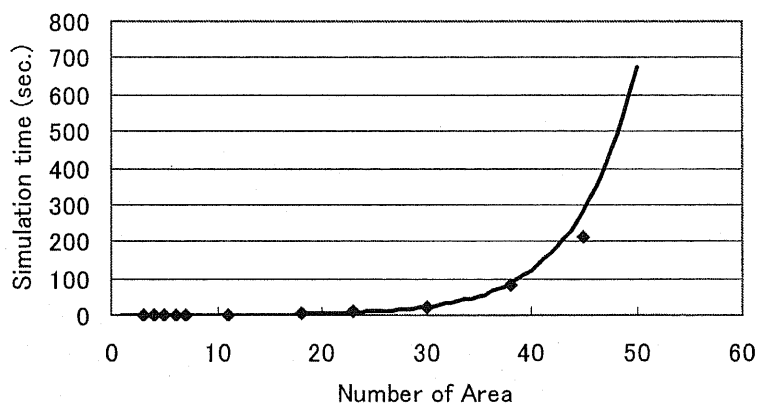


Fig. 6-3 地域分割ブロック数と最適化計算時間の関係

そのため本研究では、畜産業が盛んな地域の分割は農業集落単位とする一方で、畜産業がほとんど行われていない地域の分割は旧市区町村単位で行った。その結果、ブロック数は全部で43ブロックとした。この時のモデル変数は8002変数となり、最適化計算時間(解の収束時間)は約5分であった。

6.2 前橋市版家畜排せつ物対策予算配分最適化モデルのシミュレーション結果

6.2.1 総合評価値最大化シミュレーション結果

本章では、前橋住民による各便益の重み付け結果が考慮された、家畜排せつ物対策予算配分最適化シミュレーション結果を示す。まず、各家畜排せつ物対策への最適予算配分結果を Table 6-3 に示す。

Table 6-3 家畜排せつ物対策への最適予算配分結果

対策	最適予算配分結果
頭数削減	2,105
耕畜連携	463
飼料増産	10,918
浄化設置	3,477
メタン設置	0
合計	16,964
	(万円/y)

本モデルの目的関数である Improvement Factor (総合評価値) の最大値は、約 4.64 となった。

この時の Impact Category 評価値および Indicator (達成度指標) を Table 6-4 に示す。また、現状における各 Impact Category 評価値を1とした場合の、最適予算配分時 Impact Category 評価値結果をレーダー図に示した (Fig. 6-4)。

Table 6-4 Impact Category 評価値および Indicator (達成度指標)

Impact Category	指標値の単位	Impact Category 評価値結果	達成度指標値結果(%)
水質汚染	(kg-PO ₄ -eq/day)	9,808	32.1
土壌汚染	(mg-Cd/day)	251,945	24.4
大気汚染	(kg-NH ₃ /day)	5,375	20.5
温暖化	(kg-GHG/day)	34,152,452	86.0
酸性化	(kg-SO ₂ -eq/day)	16,060	4.4
枯渇性資源保	(kg-P/day)	7,618	91.8
エネルギー自給率	($\times 10^{-7}$)	3.33	4.4
食料自給率	-	924	86.5

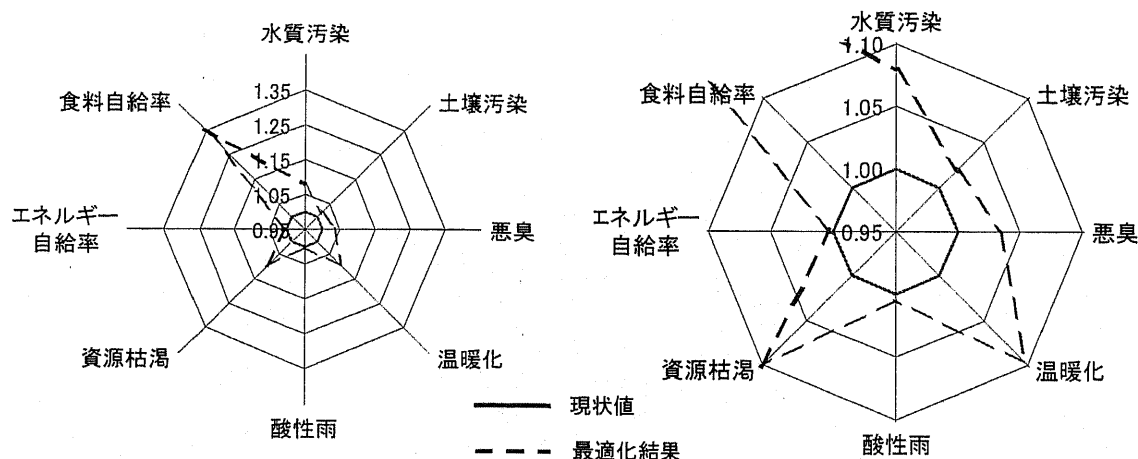


Fig. 6-4 現状と予算配分最適時における Impact Category 評価値の比較(右図は左図の拡大図)

Fig.6-4 により、本シミュレーションにより得られた最適予算配分を行った場合、全ての便益項目に関して現状よりも向上効果が期待されることが示された。特に食糧自給率指標の向上効果が大幅に期待されることが示された。

最適予算配分下における家畜排せつ物処理状況を Table 6-5 に示す。

Table 6-5 最適予算配分下における家畜排せつ物処理状況

(kg/day)	糞堆肥化	糞メタン発酵	尿メタン発酵	尿貯留	尿浄化
乳牛	449,120	0	0	131,663	0
肉牛	253,900	0	0	99,881	0
豚	407,622	0	0	755,665	200,873
採卵鶏	86,970	0	0	0	0

現状と比較しても、最適予算配分下における家畜排せつ物処理はほとんど変化していない。糞は全量堆肥化され、尿は液肥化(貯留)処理される。浄化処理されている尿は、現状における処理状況と一致させるために設けた制約条件による影響である。

この時の各種堆肥の販売・流通状況および過剰堆肥発生状況を Fig. 6-5 に示す。地域間輸送を含む堆肥の利用量は、堆肥生産量の約 28%に留まり、残り約 72%の堆肥は利用先が無く、地域内に過剰に蓄積される結果となった。堆肥の輸送量が低く留まった原因は、堆肥のカリウム成分が多く、農地におけるカリウム需要上限に達したためであった。堆肥の地域間流通が行われたのは、肉牛堆肥と豚堆肥のみであった。この結果は、現状の堆肥流通システムとほとんど変わっていないかった(Table 6-6)。つまり、本研究において家畜排せつ物対策の一つとして検討した「田畑での肥料利用促進策」は、既に飽和状態にある前橋市の堆肥流通システムにおいて実施する意味がなく、また予算配分してもほとんど便益を得ることができないことが示された。ただし、本研究において現状としている堆肥流通システムは、畜産農家におけるコスト最小化シミュレーション結果を代用しているため、実際の前橋市では堆肥流通の余地が残されている可能性があることを注記しておく。

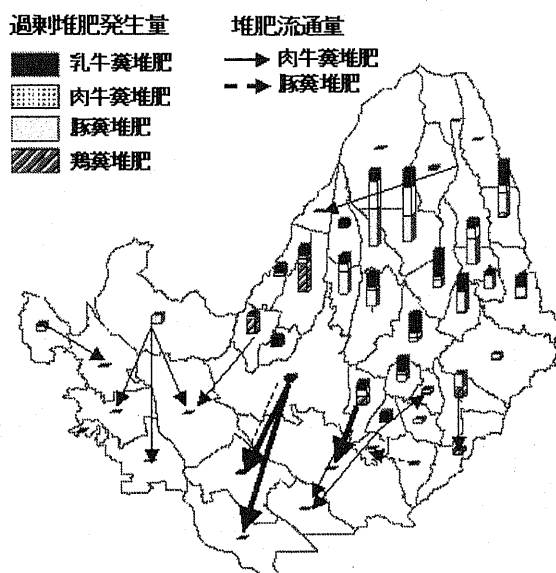


Fig. 6-5 堆肥販売・流通状況および過剰堆肥発生状況

Table 6-6 最適予算配分下における堆肥の流通量と供給過剰量

	堆肥生産量	堆肥流通量	堆肥過剰量	
	(t/day)	(t/day)	(t/day)	(対生産量%)
乳牛	275.4	97.9	177.5	64.5
肉牛	143.2	55.3	87.9	61.4
豚	210.9	42.5	168.4	79.9
採卵鶏	58.1	0.0	58.1	100.0
合計	687.6	195.7	492.0	71.5

Table 6-3 に示した各家畜排せつ物対策への予算配分によって、家畜の飼養頭数および自給飼料栽培量が変化した。「家畜頭数削減対策」で削減対象となった家畜は豚で、全豚飼養頭数の約 1.8(%)の削減(2768 頭)が提案された。豚の削減頭数と削減ブロックを Fig.6-6 に示す。

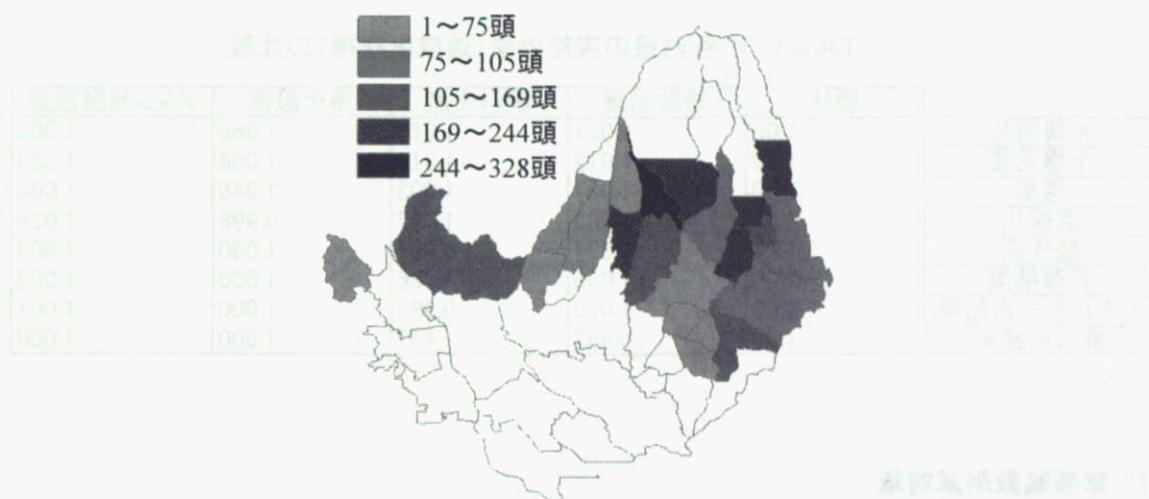


Fig. 6-6 「家畜頭数削減対策」の実施による豚飼養頭数削減マップ

「自給飼料の地域内生産対策」による青刈リトウモロコシの作付面積は、前橋市全体で 456(ha)となり、全耕作放棄地面積 518(ha)の約 88%を有効利用することが提案された(Fig. 6-7)。

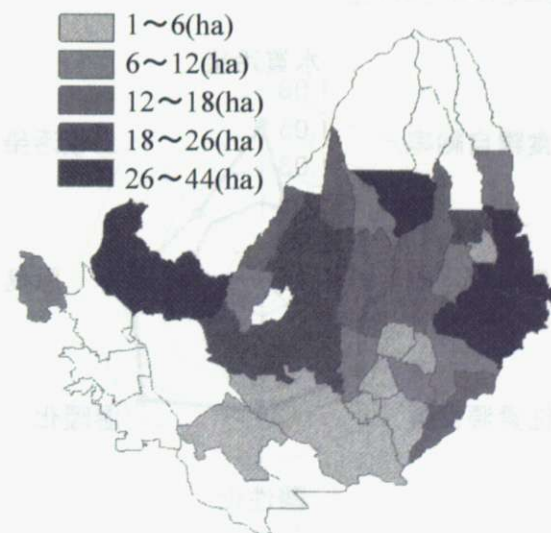


Fig. 6-7 「自給飼料の地域内生産対策」の実施による飼料新規栽培マップ

6.2.2 家畜排せつ物対策予算配分最適化シミュレーション結果の考察

本シミュレーションでは、肥料に関する制約条件が 3 種類(窒素・リン・カリウム)あり、各対策への配分予算によって肥料の需要量・供給量ともに変化するため、非常に複雑な非線形計画法となっている。そこで、本シミュレーション結果において、予算の 12.4%が「家畜頭数削減策」に、2.7%が「田畑での肥料利用促進策」に、64.4%が「家畜用飼料の地域内生産支援策」に、そして 20.5%が「污水浄化処理施設の設置支援策」に配分される時に、なぜ総合評価値が最大となったのかを検証するために、まず各対策の実施効果を個別に検証した。具体的には、各対策にそれぞれ同額の予算(8231(万円/年))が配分される制約条件を設けた時の総合評価値最大化シミュレーションを行った。その結果から、各対策がもたらす各 Impact Category の達成度指標を算出した(Table 6-7)。

Table 6-7 各対策の実施効果(達成度指標)の比較

	現状	頭数削減	飼料生産	浄化設置	メタン発酵設置
水質汚染	1.00	1.051	1.011	1.069	1.004
土壌汚染	1.00	1.012	1.018	1.008	1.025
悪臭	1.00	1.037	1.003	1.046	1.004
温暖化	1.00	1.062	1.017	0.998	1.026
酸性雨	1.00	1.037	0.994	1.030	1.003
資源枯渇	1.00	1.035	1.036	1.000	1.003
エネルギー自給率	1.00	1.020	0.999	1.000	1.001
食料自給率	1.00	0.982	1.137	1.000	1.000

(1) 家畜頭数削減対策

Table 6-7 は、「家畜頭数削減対策」の実施によって、「食糧自給率」を除く全ての Impact Category を改善することができることを意味している(Fig.6-8)。頭数が削減されると食糧自給率は低下するため、妥当な結果であるといえる。Table 6-7 により、他の家畜排せつ物対策と比較した場合、Impact Category「温暖化」、「酸性化」、「エネルギー自給率」に関して最も高い費用対効果で改善することができることが示された。

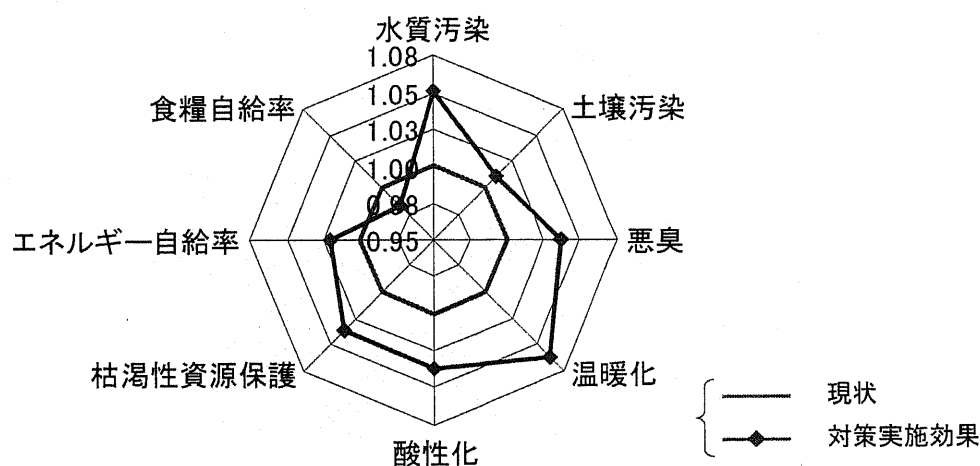


Fig. 6-8 「家畜頭数削減対策」の実施による各 Impact Category の達成度指標

(2) 家畜用飼料の地域内生産支援策

Table 6-7 は、「家畜用飼料の地域内生産支援策」の実施によって、「酸性化」と「エネルギー自給率」を除く全ての Impact Category を改善することができることを意味している (Fig.6-9)。Table 6-7 により、他の家畜排せつ物対策と比較した場合、Impact Category「枯渇性資源保護」および「食糧自給率」に関して最も高い費用対効果で改善することができることが示された。

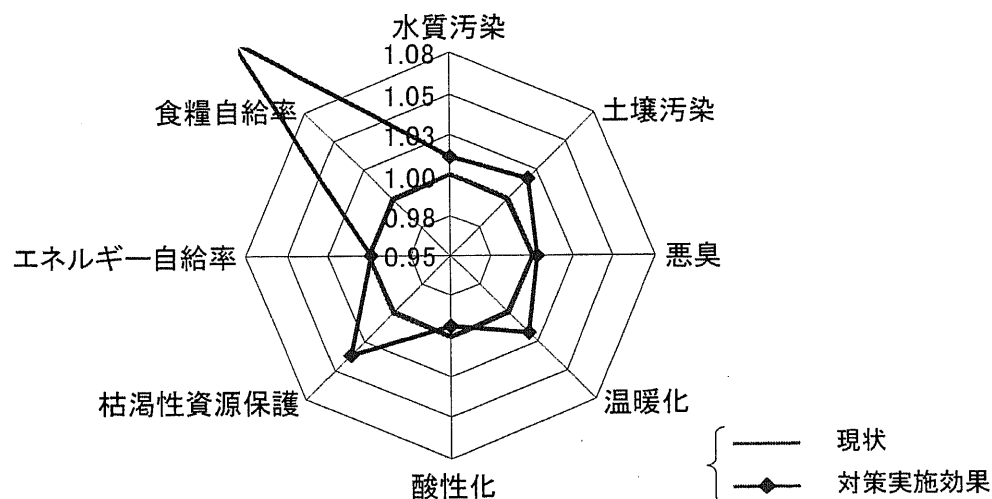


Fig. 6-9 「家畜用飼料の地域内生産支援策」の実施による各 Impact Category の達成度指標

(3) 污水浄化処理施設の設置支援策

Table 6-7 は、「污水浄化処理施設の設置支援策」の実施によって、「温暖化」、「食糧自給率」、「エネルギー自給率」を除く全ての Impact Category を改善することができることを意味している (Fig.6-10)。Table 6-7 により、他の家畜排せつ物対策と比較した場合、Impact Category「水質汚染」および「大気汚染」に関して最も高い費用対効果で改善することができることが示された。

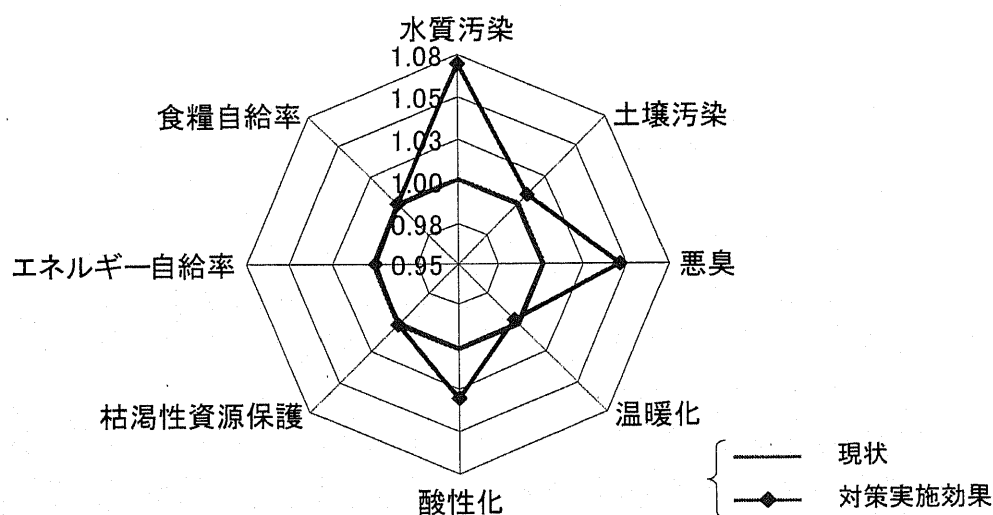


Fig. 6-10 「污水浄化処理施設の設置支援策」の実施による各 Impact Category の達成度指標

(4) メタン発酵処理施設の設置支援策

Table 6-7 は、「メタン発酵処理施設の設置支援策」の実施によって、「食糧自給率」を除く全ての Impact Category を改善することができることを意味している (Fig.6-11)。Table 6-7 により、他の家畜排せつ物対策と比較した場合、Impact Category「土壌汚染」に関して最も高い費用対効果で改善することができることが示された。

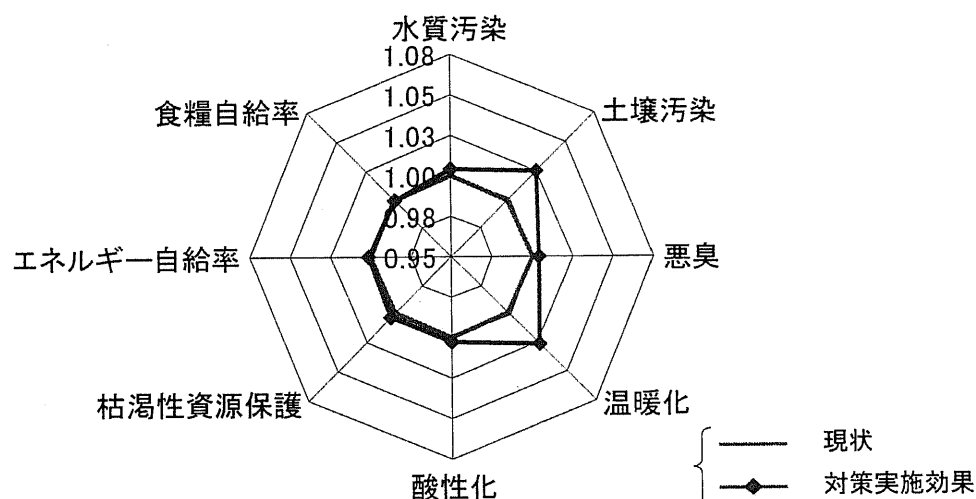


Fig. 6-11 「メタン発酵処理施設の設置支援策」の実施による各 Impact Category の達成度指標

(1)～(5)に示した各対策の実施効果をまとめると、以下のことが示された。

- 「家畜頭数削減対策」は食糧自給率指標の低下を招くものの、他の便益に関しては全体的に他の対策よりも期待される効果が大きかった。
- 「家畜用飼料の地域内生産支援策」は食糧自給率指標を大幅に向上させることができるが、酸性化指標とエネルギー自給率指標は低下した。これは、自給飼料作物栽培時における酸性化物質排出量およびエネルギー消費量の増加量が、輸入飼料の削減による両項目の削減量を上回ったためであった。
- 「污水浄化処理施設の設置支援策」は水質汚染と悪臭の軽減効果が、4つの対策の中で最も大きかった。
- 「メタン発酵処理施設の設置支援策」は期待されたエネルギー自給率指標の向上効果が実際には小さかった。これは、畜産業や飼料・化学肥料輸入時のエネルギー消費量が非常に大きく、評価範囲全体でのエネルギー消費量と比較するとメタン発酵によって得られるエネルギー量は非常に小さいためであった。また、土壌汚染の軽減効果は4つの対策の中で最も大きいものの、他の便益に関しては全体的に他の対策よりも期待される効果は小さかった。

以上の検討結果と最適化シミュレーション結果における各 Impact Category の達成度指標 (Fig. 6-4) を比較したところ、シミュレーション結果では「家畜用飼料の地域内生産支援策」が重点的に導入されたものの、酸性化指標とエネルギー自給率指標の悪化が「家畜頭数削減対策」の導入

により改善されたと考えられた。

そこで、達成度指標に各 Impact Category の重みを乗じて得られる総合評価値について、その内訳を明らかにすることにより、「家畜用飼料の地域内生産支援策」と「家畜頭数削減対策」の組合せが導入された理由をさらに詳細に検討した。具体的には、「家畜用飼料の地域内生産支援策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入された場合の総合評価値の内訳と、最適予算配分時の総合評価値の内訳を比較することにより、「家畜用飼料の地域内生産支援策」が耕作放棄地面積の約 88%までしか導入されず、「家畜頭数削減対策」が組合せられて導入された理由を検討した。

まず、「家畜用飼料の地域内生産支援策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入された場合の総合評価値の内訳を明らかにした。具体的には、自給飼料栽培面積と、栽培面積制約の上限値(合計耕作放棄地面積)が一致するという制約条件を付け加えた予算配分最適化シミュレーションを行った。その結果、飼料栽培面積の上限値まで「自給飼料の地域内生産対策」が導入され、残りの予算は全て「家畜頭数削減策」に配分された(Table 6-8)。また、この時の各 Impact Category の達成度および総合評価値(「総合評価値A」とした)の内訳を Table 6-9 に示す。

Table 6-8 飼料栽培面積制約下における最適予算配分結果

対策	最適予算配分結果
頭数削減	514
耕畜連携	501
飼料増産	12,413
浄化設置	3,532
メタン設置	4
合計	16,964
	(万円/y)

Table 6-9 飼料栽培面積制約下における各 Impact Category の達成度および総合評価値

Impact Category	指標値の単位	Impact Category評価値結果	達成度指標値結果(%)
水質汚染	(kg-PO ₄ -eq/day)	9,881	29.26
土壌汚染	(mg-Cd/day)	251,551	26.47
大気汚染	(kg-NH ₃ /day)	5,410	16.83
温暖化	(kg-GHG/day)	34,447,694	78.94
酸性化	(kg-SO ₂ -eq/day)	16,214	-4.23
枯渇性資源保護	(kg-P/day)	7,567	97.42
エネルギー自給率	($\times 10^{-7}$)	3.32	-8.72
食糧自給率	-	962	99.50

Impact Category	達成度指標値結果(%)	重み (Weight)	総合評価値A
水質汚染	29.26	1.69	0.49
土壌汚染	26.47	1.22	0.32
大気汚染	16.83	0.99	0.17
温暖化	78.94	1.42	1.12
酸性化	-4.23	0.73	-0.03
枯渇性資源保護	97.42	0.90	0.88
エネルギー自給率	-8.72	1.36	-0.12
食糧自給率	99.50	1.69	1.68

次に、「家畜用飼料の地域内生産支援策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入された場合の総合評価値の内訳(総合評価値A)と、最適予算配分時の総合評価値の内訳(「総合評価値B」とした)を比較した(Table 6-10 および Fig. 6-12)。当然のことながら、最適予算配分時の総合評価値の方が総合評価値Aよりも大きかったが、本節ではその内訳を明らかにした。

Table 6-10 「家畜用飼料の地域内生産支援策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入された場合の総合評価値の内訳(総合評価値A)と、最適予算配分時の総合評価値の内訳(「総合評価値B」とした)の比較

Impact Category	総合評価値A	総合評価値B
水質汚染	0.49	0.54
土壌汚染	0.32	0.30
大気汚染	0.17	0.20
温暖化	1.12	1.22
酸性化	-0.03	0.03
枯渇性資源保護	0.88	0.83
エネルギー自給率	-0.12	0.06
食糧自給率	1.68	1.46
合計	4.51	4.64

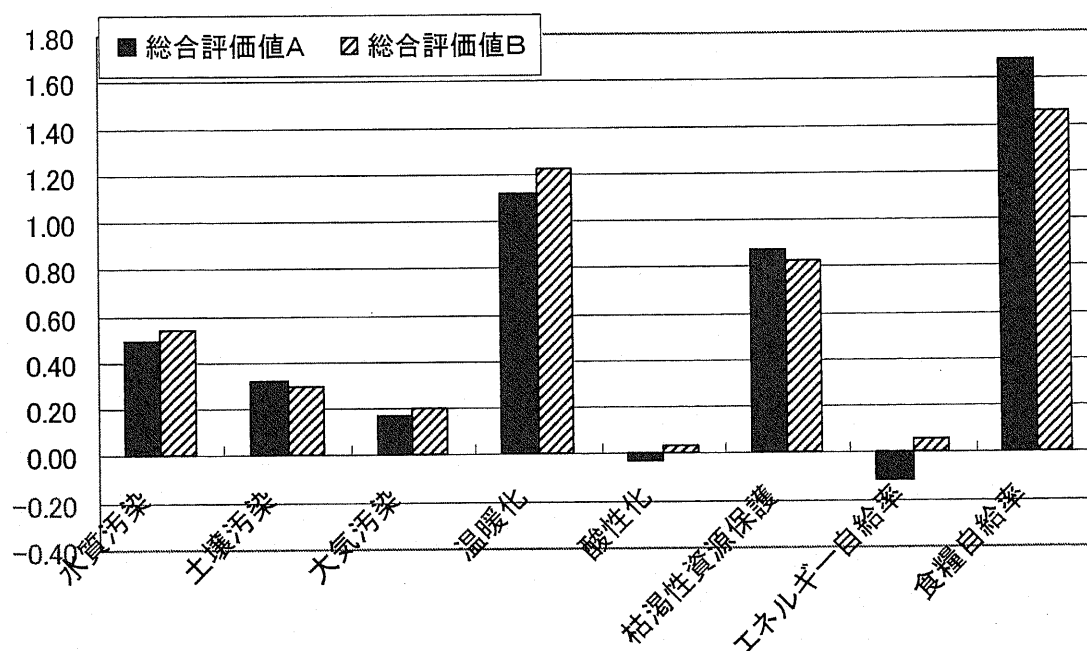


Fig. 6-12 総合評価値Aと総合評価値Bの比較

両者を比較した結果、「家畜用飼料の地域内生産支援策」を飼料栽培面積制約の約 88%までしか導入せずに「家畜頭数削減対策」を組合せる(最適予算配分:総合評価値B)ことにより、水質汚染、悪臭(大気汚染)、温暖化、酸性化への負荷軽減便益およびエネルギー自給率の向上便益をより一層得られることが示された。土壌汚染、枯渇性資源保護および食糧自給率に関しては、

「家畜用飼料の地域内生産支援策」を飼料栽培面積制約の上限値まで導入した方が得られる便益は大きいものの、失う便益の合計値の方が大きかったため、最適化シミュレーションでは選択されない予算配分策であることが明らかとなった。

このように、「家畜用飼料の地域内生産支援策」と「家畜頭数削減対策」は互いに短所を補うことで、より大きな便益を得ていたことが示された。

6.2.3 総合評価値最大化シミュレーション結果と Impact Category の重みの関係

次に、住民アンケートに基づく重み付けと本シミュレーション結果の関係について検討した。具体的には、Impact Category の重みが全て同じ値である場合の予算配分最適化シミュレーションを行い、重みと予算配分を定量的に検討した。

まず、Impact Category の重みが全て同じ値である場合の予算配分最適化シミュレーション結果を示す(Table 6-11)。

Table 6-11 Impact Category の重みが全て同じ値である場合の最適予算配分結果

対策	最適予算配分結果
頭数削減	13,049
耕畜連携	453
飼料増産	0
浄化設置	3,462
メタン設置	0
合計	16,964
	(万円/y)

この時の Impact Category 評価値および Indicator(達成度指標)を Table 6-12 に示す。

Table 6-12 Impact Category 評価値および Indicator(達成度指標)

Impact Category	指標値の単位	Impact Category評価値結果	達成度指標値結果(%)
水質汚染	(kg-PO ₄ -eq/day)	9,778	33.2
土壌汚染	(mg-Cd/day)	251,786	25.2
大気汚染	(kg-NH ₃ /day)	5,245	34.4
温暖化	(kg-GHG/day)	34,031,594	88.9
酸性化	(kg-SO ₂ -eq/day)	15,194	53.4
枯渇性資源保	(kg-P/day)	7,999	50.5
エネルギー自給率	($\times 10^{-7}$)	3.43	96.7
食料自給率	-	662	-6.9

「家畜頭数削減策」に全予算が配分されたことにより、「食糧自給率」以外の Impact Category 達成度指標は増加した。この結果は Fig. 6-8 に示した「家畜頭数削減策」の効果から妥当な結果であるといえた。

仮に、Table 6-11 に示す予算配分で対策を実施した場合に、Impact Category の重みが住民アンケートに基づく重みであれば、得られる Improvement Factor (総合評価値) は約 4.51 であった。6.2.1 章のシミュレーション結果と比較すると、やはり Table 6-11 に示す予算配分で対策を実施した場合の方が、総合評価値が低くなることが示された。

Impact Category の重みが全て同じ値である場合の予算配分最適化シミュレーション結果は、各 Impact Category の達成度指標値の合計値に対して最大化シミュレーションを行ったことと同義である。つまり、環境・社会便益が客観的な観点から最大となる予算配分は、全額「家畜頭数削減策」に投じた場合であると言える。住民の意見を反映しない状況下では、食糧自給率の低下を招くとしても、全体的な便益向上のためには最良の選択となることが示された。

しかしながら、行政による施策実施の原動力となるのは住民の要望であり、住民の意見が反映されない施策は合意形成を行うことができず、満足な結果を得ることができない。

そこで本章では、Impact Category の重みの変化がシミュレーション結果にどのような変化をもたらすのか検討した。具体的には、「自給飼料の地域内生産対策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入されたわけではなく、全耕作放棄地面積 518(ha) の約 88% を有効利用するに留まった理由と、「食料自給率の重み」との関連性について検討を行った。

Impact Category の重みが全く同じ場合には、Table 6-11 のように「自給飼料の地域内生産対策」が導入されることはない。しかしながら、食糧自給率の重みが他の Impact Category の重みと比べて大きくなると、ある重みを境に「自給飼料の地域内生産対策」に対して予算が配分され始める。つまり総合評価値の最大化において、「自給飼料の地域内生産対策」を導入した方が、総合評価値が大きくなると判断されたことにより、予算が配分され始めたと言える。

しかしながら、飼料生産量は栽培面積制約の上限値まで導入されるわけではなく、「家畜頭数削減策」と予算を分け合いながら導入量を増やすことが感度分析により示された (Fig.6-13)。

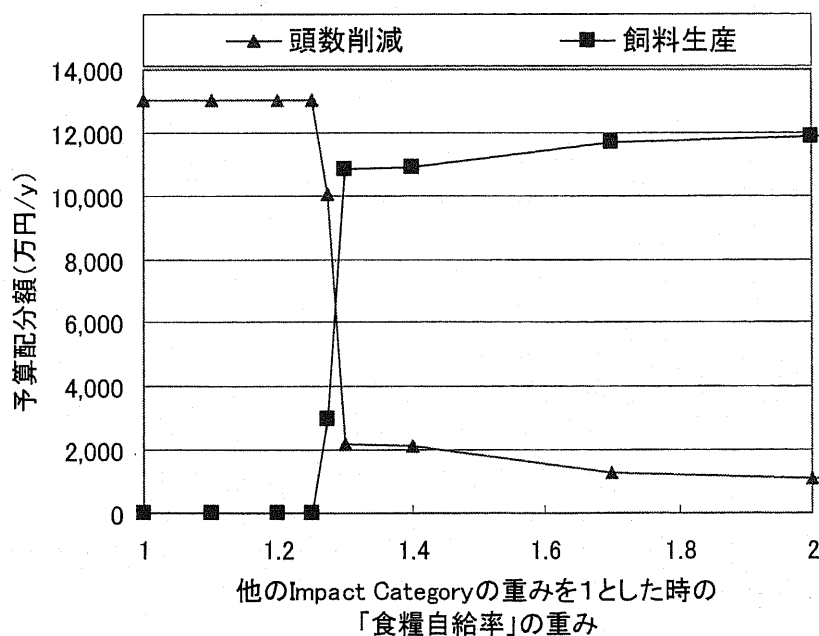


Fig. 6-13 「食料自給率の重み」と最適予算配分の関係

しかしながら、Table 6-3 で示したように、「自給飼料の地域内生産対策」が飼料栽培面積制約の上限値まで導入されるわけではなく、全耕作放棄地面積 518(ha)の約 88%を有効利用するに留まる状態と全く同じ状態が Fig. 6-13 で示されていると言える。この理由を明らかにするために、Fig. 6-13 で示した感度分析において総合評価値の変化を加えて検討を行った(Fig. 6-14)。

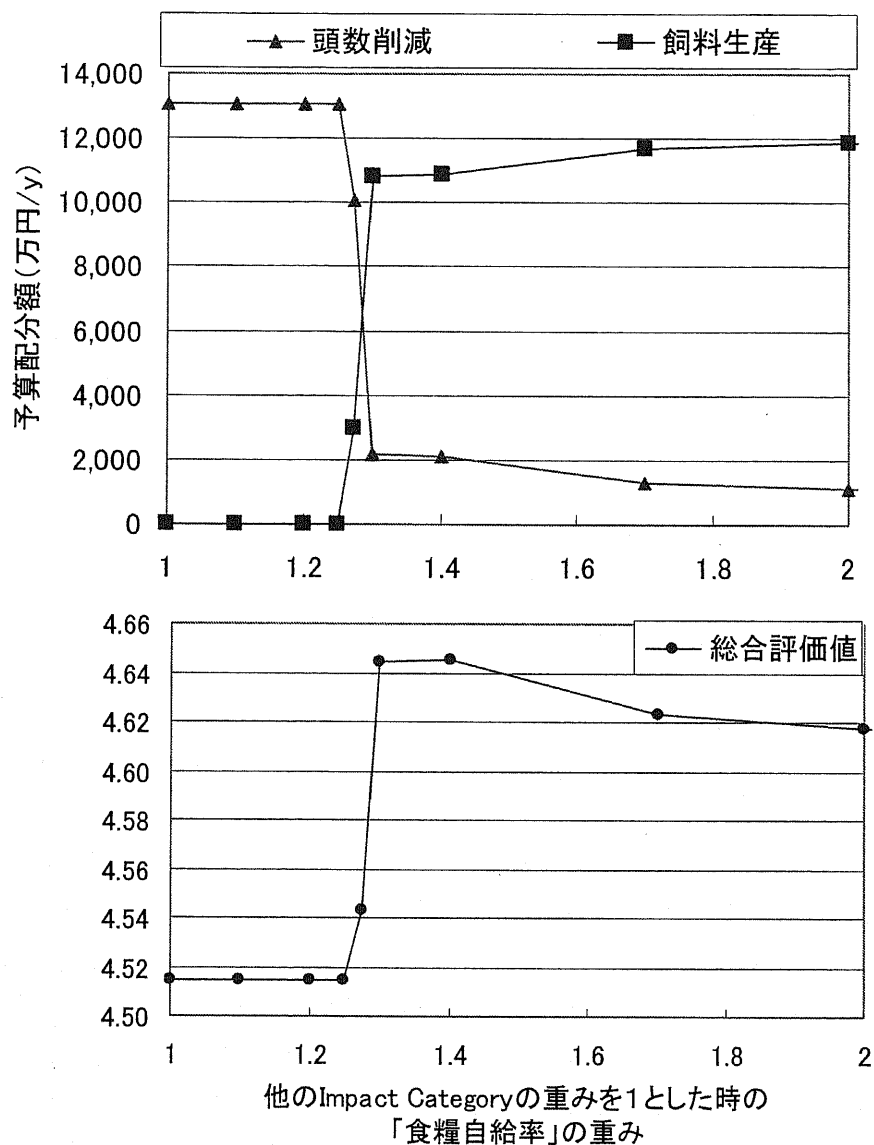


Fig. 6-14 「食料自給率の重み」と総合評価値の関係

このように、総合評価値は凸となり、最大値を持つことが示された。Table 6-3 で示したシミュレーション結果は、Fig. 6-13 で示す最大値における最適予算配分結果と同じ予算配分となっていた。直感的には「食料自給率の重み」が大きくなるほど、家畜頭数をあまり削減することなく飼料生産量を増やした方が、総合評価値は大きくなると感じられる。しかしながら、その傾向を顕著にするほど総合評価値は低下することが示された(Fig. 6-14)。

6.3 第六章のまとめ

第六章では、「家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル」と前橋市版各種バックグラウンドデータベースを用いて、前橋市住民が望ましいと感じるバランスで環境・社会便益をもたらす家畜排せつ物対策の提案を行った。具体的には、総合評価値最大化シミュレーションにより、各家畜排せつ物対策への行政予算最適配分を求めた。

まず 6.1 では、最終的に構築された「前橋版家畜排せつ物対策に対する自治体予算配分最適化モデル」の目的関数および制約条件をまとめた。最適化計算時間を短縮するために、前橋市の地域分割数を 43 ブロックまでまとめるための工夫を行ったことを示した。

6.2 では、シミュレーション結果を示した。前橋市において最適な家畜排せつ物対策は、現状維持のための「田畑での肥料利用促進策」と「汚水浄化処理施設設置支援策」への予算配分と、「家畜頭数削減策」と「家畜用飼料の地域内生産支援策」の組み合わせであることが示された。具体的には、予算の 12.4%が「家畜頭数削減策」に、2.7%が「田畑での肥料利用促進策」に、64.4%が「家畜用飼料の地域内生産支援策」に、そして 20.5%が「汚水浄化処理施設の設置支援策」に配分された。「家畜頭数削減策」の対象となった家畜種は豚で、前橋市における全豚飼養頭数の約 1.8(%)の削減(2768 頭)が提案され、削減対象地域がGIS上で示された。また、「家畜用飼料の地域内生産支援策」は全耕作放棄地面積の約 88%(456 ha)を対象に実施されることが提案され、栽培対象地域がGIS上で示された。シミュレーション結果で得られた最適な予算配分の実施により、全ての環境・社会便益項目に関して便益の向上が期待されることが示された。特に、食糧自給率指標の向上が顕著であった。

さらに、シミュレーション結果の妥当性を検討した。具体的には、各家畜排せつ物対策が環境・社会便益の向上にどの程度貢献するのかを明らかにし、シミュレーション結果で得られた対策の組合せの妥当性を検討した。「家畜頭数削減策」は他の対策と比較して食糧自給率指標を除く全ての便益項目に関して大きな向上効果が示された。「家畜用飼料の地域内生産支援策」は食糧自給率の向上効果が大きく期待されるが、酸性化とエネルギー自給率に関しては現状よりも悪化することが示された。「田畑での肥料利用促進策」は前橋市において大きな導入は不可能であった。これは、現状において既に堆肥中のカリウム供給量が農地における需要を満たしているためであった。「汚水浄化処理施設設置支援策」は水質汚染の軽減に関して大きな向上効果が示された。「メタン発酵処理施設設置支援策」は期待されたエネルギー自給率の向上効果が小さく、全ての便益項目に関して向上効果が小さいことが示された。これは、評価範囲におけるエネルギー消費量(家畜飼養時や家畜排せつ物処理時などにおけるエネルギー消費量の合計)がメタン発酵処理により得られるエネルギーと比較して非常に大きいためであった。予算配分最適化シミュレーション結果では、全ての環境・社会便益項目に関して便益の向上が示されたことから、「家畜頭数削減策」と「家畜用飼料の地域内生産支援策」を組み合わせることにより、酸性化とエネルギー自給率の悪化を防ぎ、かつ全体として大きな便益を得ることができると示唆された。以上の検討により、シミュレーション結果において「家畜用飼料の地域内生産支援策」が耕作放棄地面積制約の上限値まで導入されず約 88%に留まり、一部の予算が「家畜頭数

削減策」に導入された理由が明らかにされた。

また、シミュレーション結果に大きな影響を与えたと予想される食糧自給率指標の重みを変化させて予算配分結果の感度分析を行った。その結果、全ての指標の重みが同じ値とした場合、予算の大部分は「家畜頭数削減策」に配分され、「家畜用飼料の地域内生産支援策」には導入されなかった。しかし、食糧自給率指標の重みが他指標の重みの約 1.27 倍になると「家畜用飼料の地域内生産支援策」に予算が配分され始め、総合評価値も上昇した。さらに、食糧自給率指標の重みが他指標の重みの約 1.4 倍になると総合評価値は最大となり、その後食糧自給率指標の重みをさらに大きくしても総合評価値は下降した。これは、食糧自給率指標の向上によって得られる便益よりも、「家畜用飼料の地域内生産支援策」の導入により悪化する酸性化とエネルギー自給率の便益低減効果の方が大きくなるためであった。以上の検討により、前橋市における家畜排せつ物対策への予算配分には最適解が存在し、各対策は互いに短所を補うことでより大きな便益を得ていたことが示された。

第七章 結論

第7章 結論

経済性向上を目的とした畜産業の集約化と輸入飼料への依存により、畜産農家が処理すべき家畜排せつ物の量は近年急増している。さらに、家畜排せつ物の利用者であった耕種農家においても家畜排せつ物堆肥から化学肥料への転換が浸透した結果、家畜排せつ物堆肥の需要量は大幅に減少し、家畜排せつ物供給過剰状態に拍車をかけている。

しかしながら、家畜排せつ物問題に関して複数提案されている対策を体系化し、各対策が社会面・環境面におよぼす影響を総合的に評価した上で、限られた自治体予算を地域の要求に合わせて効果的に配分するための手法は未だ確立していない。

そこで本研究では、詳細な畜産・耕種農家間物質フローモデルと、多基準分析手法を応用した社会的意思決定手法を組合せることにより、住民合意を考慮した家畜排せつ物処理・利用対策に対する自治体予算配分最適化モデルの構築を行った。さらに、開発したモデルを用いた群馬県前橋市を対象地域としたケーススタディーを行い、具体的な対策の提案を行った。

まず、環境省や経済産業省などが個別に提案している家畜排せつ物対策や欧州で実施されている対策を含めた、家畜排せつ物対策の体系化を行った。家畜排せつ物の供給過剰問題の解決方法を大きく3つに分け、現実に関国・各省庁で行われている家畜排せつ物対策を分類した。その結果、家畜排せつ物の排出量自体を抑制する対策として欧州で実施されている「家畜頭数削減策」が挙げられた。次に、家畜排せつ物の肥料としての需要量を増加させる対策として、「家畜用飼料の地域内生産支援策」と「田畑での肥料利用促進策」が挙げられた。また、エネルギー資源としての需要量を増加させる対策として、「メタン発酵処理施設の設置支援策」が挙げられた。最後に、家畜排せつ物を利用せず環境基準を満たすように処理する対策として、「汚水浄化処理施設の設置支援策」、「焼却処理施設の設置支援策」および「炭化処理施設の設置支援策」が挙げられた。本研究で構築した「家畜排せつ物処理・利用対策に対する自治体予算配分最適化モデル」で検討可能な対策は、以上7対策とした。

各家畜排せつ物対策を実施した場合に得られる効果は、社会面および環境面における便益向上に貢献すると考えられている。しかしながら、各対策が具体的にどのような便益の向上に貢献するのか議論した例はない。そこで、パネル法を用いて家畜排せつ物対策の実施により、期待される環境・社会便益項目の抽出を行った。その結果、地域環境便益として水質・土壌・大気汚染の軽減効果が抽出され、地球環境便益として酸性雨原因物質・地球温暖化原因物質の軽減効果および枯渇性資源の保全効果が抽出され、そして社会便益として食糧・エネルギー自給率の向上効果が抽出された。

次に、期待される環境・社会便益向上効果の定量化を行った。輸入飼料・化学肥料の削減効果を含めて家畜排せつ物対策の実施効果を定量化するために、ライフサイクルアセスメント的評価方法を用いて畜産・耕種農家間の物質収支をモデル化した「物質フロー評価サブモデル」を構築した。さらに、「物質フロー評価サブモデル」で得られた環境負荷排出量および物流変化量が、抽

出された各環境・社会便益項目に対して与える影響を、本研究では可能な限り特性化係数を用いて定量化した。具体的には、窒素溶脱量とリン過剰量から水質汚染負荷量を算出し、二酸化炭素・メタン・亜酸化窒素排出量から地球温暖化負荷量を算出し、アンモニア・窒素酸化物・硫黄酸化物排出量から酸性化負荷量を算出した。その他の便益は指標として表現した。具体的には、土壌汚染負荷量は土壌へのカドミウム投入量から算出し、大気汚染負荷量は大気中へのアンモニア排出量から算出し、枯渇性資源の保全効果はリン酸化学肥料削減量から算出した。また、食糧自給率指標は家畜削減頭数と自給飼料生産量から算出し、エネルギー自給率指標はエネルギー消費量から算出した。

各家畜排せつ物対策は、異なる項目・異なる尺度で環境・社会便益の向上に貢献する。そのため、どの環境・社会便益項目の向上をどの程度重視するかによって、自治体が行うべき予算配分は異なることになる。尺度の異なる項目に対して重要度を重みとして定量化し、単一指標で比較評価を行う手法に多基準分析手法がある。本研究では多基準分析手法の一つである目標達成法を用いた。具体的には、各環境・社会便益の重要度に重み付けし、対策実施による各便益向上効果（現状比）に乗じることで、単一指標である「総合評価指標」に統合化した。「総合評価指標」が高いほど、重視して欲しい環境社会便益を多く得られる家畜排せつ物対策が実施されたことを意味する。そこで、本研究では「総合評価指標」の最大化を目的関数とする「家畜排せつ物処理・利用対策に対する自治体予算配分最適化モデル」を開発した。家畜排せつ物対策の評価において目標達成法を用いた例はなく、農業分野全体における研究でも環境・社会両面への便益を考慮した評価は行われていない。また、複数の対策を対象として予算配分を検討するために多基準分析が用いられた例はない。

本研究では、構築した「家畜排せつ物処理・利用対策に対する自治体予算配分最適化モデル」を家畜排せつ物供給過剰問題が指摘されている群馬県前橋市に適用し、前橋市における具体的な家畜排せつ物対策を検討した。本モデルにおいて地域性が反映されるのは「物質フロー評価サブモデル」の入力データと、各環境・社会便益の重要度に対する重み付け結果である。

「物質フロー評価サブモデル」の入力データは、可能な限り前橋市の統計情報などを用いて作成し、GIS（地理情報システム）データとして整備した。GISを用いることにより、地域内の堆肥輸送シミュレーションも同時に行うことを可能にした。

各環境・社会便益の重要度に対する重みは、前橋市住民を対象としたアンケート調査により定量化した。その結果、特に食糧自給率の向上と水質汚染の軽減が重要な項目であることが明らかとなった。水質汚染の軽減に対する重みが大きかったのは、前橋市が利根川水系の水源地であり、住民に水源環境保護の意識が浸透している状況が反映された結果であるといえた。

「家畜排せつ物処理・利用対策に対する自治体予算配分最適化モデル」を用いて、前橋市における最適な家畜排せつ物対策案の検討を行った結果、予算の12.4%が「家畜頭数削減策」に、2.7%が「田畑での肥料利用促進策」に、64.4%が「家畜用飼料の地域内生産支援策」に、そして20.5%が「污水浄化処理施設の設置支援策」に配分される時、「総合評価値」が最大となることが示された。「家畜頭数削減策」の対象となった家畜種は豚で、前橋市における全豚飼養頭数の約

1.8(%)の削減(2768 頭)が提案され、削減対象地域がGIS上で示された。また、「家畜用飼料の地域内生産支援策」は全耕作放棄地面積の約 88%(456 ha)を対象に実施されることが提案され、栽培対象地域がGIS上で示された。シミュレーション結果で得られた最適な予算配分の実施により、全ての環境・社会便益項目に関して便益の向上が期待されることが示された。特に、食糧自給率指標の向上が顕著であった。

さらに、シミュレーション結果の妥当性を検討した。具体的には、各家畜排せつ物対策が環境・社会便益の向上にどの程度貢献するのかを明らかにし、シミュレーション結果で得られた対策の組合せの妥当性を検討した。「家畜頭数削減策」は他の対策と比較して食糧自給率指標を除く全ての便益項目に関して大きな向上効果が示された。「家畜用飼料の地域内生産支援策」は食糧自給率の向上効果が大きく期待されるが、酸性化とエネルギー自給率に関しては現状よりも悪化することが示された。「田畑での肥料利用促進策」は前橋市において大きな導入は不可能であった。これは、現状において既に堆肥中のカリウム供給量が農地における需要を満たしているためであった。「污水浄化処理施設設置支援策」は水質汚染の軽減に関して大きな向上効果が示された。「メタン発酵処理施設設置支援策」は期待されたエネルギー自給率の向上効果が小さく、全ての便益項目に関して向上効果が小さいことが示された。これは、評価範囲におけるエネルギー消費量(家畜飼養時や家畜排せつ物処理時などにおけるエネルギー消費量の合計)がメタン発酵処理により得られるエネルギーと比較して非常に大きいためであった。予算配分最適化シミュレーション結果では、全ての環境・社会便益項目に関して便益の向上が示されたことから、「家畜頭数削減策」と「家畜用飼料の地域内生産支援策」を組合せることにより、酸性化とエネルギー自給率の悪化を防ぎ、かつ全体として大きな便益を得ることができると示唆された。以上の検討により、シミュレーション結果において「家畜用飼料の地域内生産支援策」が耕作放棄地面積制約の上限値まで導入されず約 88%に留まり、一部の予算が「家畜頭数削減策」に導入された理由が明らかにされた。

また、シミュレーション結果に大きな影響を与えたと予想される食糧自給率指標の重みを変化させて予算配分結果の感度分析を行った。その結果、全ての指標の重みが同じ値とした場合、予算の大部分は「家畜頭数削減策」に配分され、「家畜用飼料の地域内生産支援策」には導入されなかった。しかし、食糧自給率指標の重みが他指標の重みの約 1.27 倍になると「家畜用飼料の地域内生産支援策」に予算が配分され始め、総合評価値も上昇した。さらに、食糧自給率指標の重みが他指標の重みの約 1.4 倍になると総合評価値は最大となり、その後食糧自給率指標の重みをさらに大きくしても総合評価値は下降した。これは、食糧自給率指標の向上によって得られる便益よりも、「家畜用飼料の地域内生産支援策」の導入により悪化する酸性化とエネルギー自給率の便益低減効果の方が大きくなるためであった。以上の検討により、前橋市における家畜排せつ物対策への予算配分には最適解が存在し、各対策は互いに短所を補うことでより大きな便益を得ていたことが示された。

本研究により、家畜排せつ物対策がどのような環境・社会項目にどの程度影響を及ぼしているのか、また、対策間にどのような相互影響が存在しているのか定量的な議論が可能となっただけ

でなく、複数の対策に対する最適な予算配分の検討が可能となった。

本研究では、現状の家畜排せつ物問題に対する打開策の提案手法として、予算配分最適化モデルを構築した。そのため、物質フロー評価サブモデルは静的モデルとして作成した。しかしながら、農業人口の将来的な変化やエネルギー価格・飼料価格の変化、枯渇性資源需給の変化などに代表される動的な変化をモデルに反映させることによって、長期的視野を持った家畜排せつ物問題への取り組みが可能になると考えられる。また、自治体予算を投入するだけでなく、一般住民による環境改善や社会的便益向上のための支払い意志を生かした施策のあり方、あるいは環境教育のあり方を検討することにより、地域が一体となった家畜排せつ物問題への取り組みが可能になると考えられる。ある特定の地域内だけで家畜排せつ物問題を解決しようとするのではなく、周辺地域や海外との協力を想定した問題解決方法の検討により、費用効率性を高めた取り組みが可能になる可能性も考えられる。

今後更なる検討を加えることで、本研究で提案した手法が、住民と行政の間の合意形成を円滑に行いながら実際の予算配分を決定するための一助となることを期待する。

参考文献

第一章

- [1] 農林水産省「畜産統計(2004 年度)」
- [2] 環境省「一般廃棄物の排出及び処理状況等(2004 年度)」
- [3] 環境省「産業廃棄物の排出及び処理状況等(2004 年度)」
- [4] 農林水産省「農作物作付(栽培)延べ面積及び耕地利用率(2004 年度)」
- [5] 近畿農政局「食糧自給率のページ」In
http://www.kinki.maff.go.jp/introduction/kikaku/kikakuchou/jikyuritsu/jikyuritsu_nani.htm
- [6] 農林水産省「食料需給表一品目別累年統計」
- [7] 農林水産省「畜産統計一家畜別累年統計」
- [8] 農林水産省「飼料需給表累年統計」
- [9] WTO (World Trade Organization)「International Trade Statistics(2006)」
- [10] 財務省「貿易統計(2006 年度)」
- [11] 農林水産省生産局畜産部畜産振興課「飼料をめぐる情勢(2007 年度)」
- [12] 農林水産省「農業物価指数」
- [13] 猪股 敏郎「堆肥施用の現状と今後の利用促進」畜産環境情報, 16 号, 2002 In
http://leio.lin.go.jp/tkj/tkj16/tokus1_16.html
- [14] 環境省「平成 17 年度悪臭防止法施行状況調査」 In
http://www.env.go.jp/air/akushu/kujou_h17/all.pdf
- [15] 環境省「地下水水質測定結果(1999～2002 年度)」 In
http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h14/z05.pdf
- [16] 環境省「1999 年度の温室効果ガス排出量について」 In
<http://www.env.go.jp/earth/report/h13-03/01.pdf>
- [17] 和木 美代子ら「畜産廃棄物処理技術の LCA 評価手法の検討」第 3 回エコバランス国際会議講演集, 1998, pp. 601-604
- [18] 羽賀 清典ら「肥育牛のふん尿堆肥化におけるエミッションの LCA」農林水産省農業環境技術研究所編「農業におけるライフサイクルアセスメント」養賢堂, 東京, 2000, pp. 116-125
- [19] 泉澤 啓ら「畜産系堆肥化施設の LCA による評価について」宮城県保護環境センター年報, No.20, 2002, pp. 98-102
- [20] 田中 康男ら「畜産環境対策施設のコスト・環境影響評価プログラム」農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2005 In
<http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2004/nilgs/ch04057.html>
- [21] 小林 久「施肥に関連する流出負荷低減策のライフサイクル分析 —環境保全型農業に対するライフサイクルアセスメント(LCA)適用の試み—」環境情報科学, Vol.31, 2002, pp. 77-85

- [22] Ohmura, M., "Problem shifting and system boundary in the LCA for rural agricultural activities", Proceedings of The Fifth International Conference on EcoBalance, 2002, pp.167-168
- [23] 増田 清敬「わが国の農業分野における LCA 研究の動向」北海道大学農経論合叢, Vol.62, 2006, pp.99-115
- [24] 伊坪 徳宏ら「ライフサイクル環境影響評価手法—LIME-LCA、環境会計、環境効率のための評価手法・データベース」産業環境管理協会, 2005
- [25] The Swiss Federal Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL)" Weighting in Ecobalances with the Ecoscarcity Method - Ecofactors 1997" In <http://www.e2mc.com/BUWAL297%20english.pdf>
- [26] PRé Consultants "Eco-indicator 95, Final Report" In <http://www.pre.nl/download/EI95FinalReport.pdf>

第二章

- [1] 稲葉 敦「LCA の実務」産業環境管理協会, 2005
- [2] Marjoleine C. Hanegraaf, Dirk Jan den Boer「Perspectives and limitations of the Dutch minerals accounting system (MINAS)」European Journal of Agronomy, Volume 20, Issues 1-2, December 2003, Pages 25-31
- [3] Erwin Schmid and Franz Sinabell「On the choice of farm management practices after the reform of the Common Agricultural Policy in 2003」Journal of Environmental Management, Volume 82, Issue 3, February 2007, Pages 332-340
- [4] 山本朱美ら「ブタにおける低タンパク質飼料へのリンゴジュース粕の添加による尿中窒素排泄量およびスラリーからのアンモニア発生量の低減」Animal Science Journal, 73 (4), pp.301-304, 2002
- [5] 古谷 修ら「アミノ酸添加低蛋白質飼料の給与による肉豚における窒素排出量の低減」日本養豚学会誌 34 巻 1 号, pp.15-21, 1997
- [6] 恒川磯雄「米政策転換下の飼料用稲生産の課題」2004 年度日本農業経済学会論文集, pp.53-57
- [7] 農林水産省「農作物作付延べ面積及び耕地利用率累年統計」
- [8] 農林水産省「畜産統計(2004 年度)」
- [9] 農林水産省「農作物作付(栽培)延べ面積及び耕地利用率(2004 年度)」
- [10] 紙谷 貢「日本における農政改革の 10 年—戦後農政からの脱却を目指して」農林統計協会, 2002
- [11] 田代 洋一「戦後農政の総決算の構図 — 新基本計画批判」筑波書房, 2005
- [12] 農林水産省「農林水産情報交流ネットワーク事業全国アンケート調査」家畜排泄物たい肥

- の利用に関する意識・意向調査結果」2004
- [13] 農林水産省「食料・農林水産業・農山漁村に関する意向調査「地域バイオマスの積極的な利活用に関する意向調査結果」2005
- [14] 環境省生産局畜産部畜産企画課畜産環境対策室「家畜排せつ物の管理の現状と対策について」2004 In http://www.env.go.jp/council/09water/y097-03/mat08_2.pdf
- [15] 「家畜ふん尿処理・利用の手引き」畜産環境整備機構, 1998
- [16] 陳嬌ら「炭化を含むバイオマス循環利用技術の開発に関する基礎的研究」平成16年度農業土木学会資源循環研究部会研究発表会発表要旨集, pp.87-96., 2004
- [17] 小宮山宏ら「バイオマス・ニッポン 日本再生に向けて」日刊工業新聞社, 2003
- [18] NEDO 調査報告書「廃棄物発電導入技術調査等産業廃棄物発電調査」2000
- [19] Council On Environmental Quality Executive Office of the President “Considering Cumulative Effects under the National Environmental Policy Act” U.S., Jan.1997
- [20] Department of the Environment “Policy Appraisal and the Environment”1991
- [21] (独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター「製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発 H14 度報告書」
- [22] 環境省「地下水水質測定結果(1999～2002 年度)」In http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h14/z05.pdf
- [23] 農林水産バイオリサイクル研究システム化サブチーム「バイオマス利活用システムの設計と評価」2006
- [24] 環境省「平成17年度悪臭防止法施行状況調査」In http://www.env.go.jp/air/akushu/kujou_h17/all.pdf
- [25] 農林水産省「食料需給表一品目別累年統計」
- [26] IEA「Energy Balances of OECD Countries 2000-2001」
- [27] Bussink, D.W. and Oenema, O. “Ammonia Volatilization from dairy farming systems in temperate areas : a review” Nutrient Cycling in Agroecosystems, 51, pp.19-33, 1998
- [28] John. E. Tilton「持続可能な時代を求めて—資源枯渇の脅威を考える」オーム社, 2006
- [29] D. W. Pennington “Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice” Environment International, Volume 30, Issue 5, July 2004, pp.721-739
- [30] CML “Characterisation factors from LCA handbook” CML, Leiden, In <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>
- [31] 木下 栄蔵「AHP とコンジョイント分析」現代数学社, 2004
- [32] 木下 栄蔵「入門 AHP—決断と合意形成のテクニック」日科技連出版社, 2000
- [33] パシフィックコンサルタンツ株式会社「H14 社会基盤投資における多基準分析手法に関する調査」2004 In <http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/kibantoushi/>
- [34] (株)数理システム「NUOPT マニュアル (Version 6)」2003

第三章

- [1] 「家畜ふん尿処理・利用の手引き」畜産環境整備機構, 1998
- [2] 農林水産省「農作物作付(栽培)延べ面積及び耕地利用率(2004 年度)」
- [3] 「群馬県土壌・施肥管理指針」群馬県, 1997
- [4] 群馬県前橋市ホームページ In <http://www.city.maebashi.gunma.jp/>
- [5] 国土交通省「国土数値情報土地利用メッシュ群馬県」1997
- [6] (財)農林統計協会「農林水産統計(前橋市)」2000
- [7] 群馬県前橋市「地域農業マスタープラン総合評価調書」2005
- [8] 群馬県畜産課畜産基盤グループ提供資料(非公開)
- [9] 群馬県中部県民局「堆肥の処理と散布に関するアンケート調査結果」2005

第四章

- [1] 生雲 晴久「畜産統計」に基づく家畜排せつ物中の窒素・リン・カリウム排泄量の推定」畜産技術 2002 年1月号
- [2] 「家畜ふん尿処理・利用の手引き」畜産環境整備機構, 1998
- [3] 群馬県農林水産統計年報
- [4] 農林水産省「畜産統計(2000 年度)」
- [5] 「日本飼養標準(乳牛・肉牛・豚)」中央畜産会, 1999
- [6] 農林水産省「農作物作付(栽培)延べ面積及び耕地利用率(2000 年度)」
- [7] 「廃棄物発電導入技術調査等産業廃棄物発電調査」NEDO 調査報告書, 2000
- [8] 「堆肥化施設設計マニュアル」中央畜産会, 2000
- [9] 農林水産省「農林水産業における省エネルギー対策について」2004, In <http://www.meti.go.jp/committee/downloadfiles/g40520a40j.pdf>
- [10] 農林水産省「農業経営部門別統計」
- [11] 北海道長沼町「長沼町新エネルギービジョン」 In <http://www.maoi-net.jp/gyosei/newenergy2/>
- [12] Linda Foreman"Characteristics and Production costs of U.S. Corn Farms" United States Department of Agriculture, 2001
- [13] 農林水産バイオリサイクル研究システム化サブチーム「バイオマス利活用システムの設計と評価」2006
- [14] (財)省エネルギーセンター「燃料消費効率化改善に関する調査報告書(1998)」
- [15] 菅原幸治ら「インターネットで利用できる畑土壌窒素収支推定システムの開発」中央農業総合研究センター研究報告, Vol. 3, pp.99-105, 2003
- [16] 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会「H14年度 温室効果ガス排出量算定方法検討会 農業分科会報告書」2002

- [17] 荻野暁史「ライフサイクルアセスメント手法等を用いた畜産環境影響評価法の検討」2003 In
http://www.affrc.go.jp/seika/data_nilgs/h15/ch03037.html
- [18] 磐田朋子ら「再生製品の需給バランスを考慮した家畜糞尿処理最適化モデルの開発」日本エネルギー学会誌, 第 85 巻第 7 号, pp.531-541, 2006
- [19] (社)環境情報科学センター「ライフサイクルアセスメントの実践」化学工業日報社
- [20] 木南 章「採卵鶏経営の現状」 In
<http://jlia.lin.go.jp/cali/db/kumi/html/m-analyze/2002/egg2002.pdf>
- [21] 恒川磯雄「米政策転換下の飼料用稲生産の課題」2004 年度日本農業経済学会論文集, pp. 53-57
- [22] 岡田直子「回分式活性汚泥浄化処理施設について」In
http://leio.lin.go.jp/tkj/tkj30/shingi_30.pdf

第五章

- [1] 群馬県前橋市ホームページ In <http://www.city.maebashi.gunma.jp/>

謝辞

本研究は、平成 19 年度東京大学博士論文として、島田莊平助教授の指導の下で行われたものです。研究を進めるに当たり、東京大学准教授工学博士島田莊平先生には非常に熱心に指導して頂きました。感謝すると共に御礼申し上げます。

ご多忙の中、本研究の審査委員を引き受けて下さった松橋教授、大島教授、藤田教授、山路教授、そして吉田准教授には予備審査を通して大変貴重なご意見をいただきました。特に、博士論文を仕上げるにあたり、松橋教授、吉田准教授には大変熱心にご指導頂きました。感謝すると共に御礼申し上げます。

また、本研究を行うにあたり、大変多くの方にご協力いただきました。

群馬県前橋市農政課の天田様、勝山様には、前橋市で公開している畜産・農業関連データを提供して頂いただけでなく、住民アンケートに関する貴重なご指摘も頂きました。

群馬県畜産研究所の高橋様、山田様には家畜排せつ物処理の現状および対策の有効性に関して、専門家の立場から貴重なご意見を頂きました。

群馬県前橋市宮城支局の下田様には、前橋市で最も畜産業が盛んな地域の畜産課担当者として、現在の取り組みや課題など、親しみを持って教えて頂きました。

前橋市民の方から返信して頂いたアンケートには、本研究に対する賛同、ご意見など、様々な角度からご指摘頂きました。

以上の方々の貴重なご意見を元に本研究を進めることができましたことを、感謝すると共に御礼申し上げます。

本研究で使用した最適化ソフトおよび地理情報システムソフトは(独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターからお借りしました。修士の頃からのご支援に感謝すると共に御礼申し上げます。

最後に、3 年強の時間を共に費やし、たくさんの意見と活力を与えてくれた研究室の後輩達に心から感謝します。

付録資料1 前橋市住民に対する

アンケート調査用紙

アンケート調査へのご協力をお願い

東京大学大学院環境システム学島田研究室では、住民の意志を反映した行政施策のあり方に関する研究を行っております。

この度、調査研究の一環として、前橋市にお住まいの皆様にご協力頂き、アンケート調査をさせて頂くこととなりました。

ご多忙のところ大変恐縮ではございますが、
ご協力のほどを何卒よろしくお願い致します。

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻

島田莊平研究室 博士課程3年：磐田 ^{いわた} ^{ともこ} 朋子

調査にあたって

- (1) ご回答いただいた内容は、上で述べた調査研究以外に利用されることはありません。
- (2) ご回答いただいた内容には、統計的な処理をほどこし、個人が特定されるような形でのデータの公表は、一切致しません。
- (3) アンケート用紙は、**平成19年2月5日（月）**までに、同封いたしました封筒にてご返信ください。
- (4) アンケート調査を記入する上でのご質問などがございましたら、下記の連絡先までご連絡ください。

お問い合わせ先： 東京大学大学院 島田莊平研究室（磐田 ^{いわた} ^{ともこ} 朋子）

電子メール：kk47710@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

電話番号・FAX：04-7136-4730

今、地方自治体は限られた予算の中で、①地域が抱えている問題 ②日本が抱えている問題 ③世界が抱えている問題 に対処するための施策を実施していくことが求められています。

今回のアンケートでは、

- ① 前橋市の地域環境汚染問題（地域が抱えている問題）
- ② 食料やエネルギーの自給率問題（日本が抱えている問題）
- ③ 地球規模の環境汚染問題（世界が抱えている問題）

に対処するための施策について、住民の皆様の意識調査を行いたいと思います。

もし仮に、前橋市がこれらの問題に対処するための施策を実施しようと考えているとしたら、あなたはどの問題を重視して欲しいと思いますか。

以下の例にならって、次ページの 問1～4 にお答えください。

アンケートの答え方（例）

あなたがお米を買う時、価格・銘柄・産地 の中では、どれを重視しますか。
合計が10点になるように、重視する度合いを配点してください。

価格	銘柄	産地
3	5	2

←合計が10点となるように配点してください

↑
四角い枠の中に、合計点が10点となるように
重視する度合いを記入してください。

アンケート回答用紙 1 (ご記入の上、返信して下さい)

問1. 前橋市の地域環境汚染問題について、以下3つの中では、どの環境汚染問題を重視した施策を実施すべきだと思いますか。

合計が10点になるように、重視する度合いを配点してください。

水質汚染問題	土壌汚染問題	悪臭問題

←合計が10点となるように
配点してください

- * 水質汚染問題 → 地下水を飲み水として利用できなくなったり、河川の生物が減少する状態
- * 土壌汚染問題 → 重金属(カドミウム)が土壌に蓄積し、農作物に被害がでる状態
- * 悪臭問題 → 家畜や糞尿処理から排出される、悪臭(アンモニア臭)問題。

問2. 食料やエネルギーの自給率問題について、以下2つの中ではどちらの自給率を重視した施策を実施すべきだと思いますか。

合計が10点になるように、重視する度合いを配点してください。

食料自給率	エネルギー自給率

←合計が10点となるように
配点してください

- * 現在の日本の食料自給率は、約 40% (カロリーベース)です。
- * 現在の日本のエネルギー自給率は、約 20% (原子力を除くと、約 5%)です。

問3. 地球規模の環境問題について、以下3つの中では、どの環境問題を重視した施策を実施すべきだと思いますか。

合計が10点になるように、重視する度合いを配点してください。

地球温暖化	酸性雨	資源の枯渇

←合計が10点となるように
配点してください

- * 地球温暖化 → 地球規模で気温が上昇し、洪水や異常気象などを引き起こします。
- * 酸性雨 → 酸性の雨が降ると、森林が枯れ、土壌の劣化などを引き起こします。
- * 資源の枯渇 → 石油などの化石燃料も、化学肥料に使われているリン鉱石も枯渇性です。
(石油は約 40 年～80 年、リン鉱石は約 50 年～150 年で枯渇の恐れ)

付録資料2 群馬県前橋市版 家畜排せつ物
対策に対する自治体予算配分最適化モデル
のプログラム

```
//予算配分問題
```

```
//地域の設定
```

```
Set SupplyArea; //糞尿発生エリアの集合
Element r(set=SupplyArea);
```

```
Set DemandArea; //堆肥需要エリアの集合
Element f(set=DemandArea);
```

```
Set Livestock; //畜種の集合
Element m(set=Livestock);
```

```
// パラメータの設定
```

```
Parameter X1(name="頭数削減費", index=m);
Parameter X2(name="青刈りとうもろこし糞需要原単位", index=m);
Parameter X3(name="青刈りとうもろこし尿需要原単位", index=m);
Parameter X4(name="糞発生原単位", index=m);
Parameter X5(name="尿発生原単位", index=m);
Parameter X6(name="浄化処理費", index=m);
Parameter X7(name="メタン発酵アンモニア制約", index=m);
Parameter X8(name="メタン発酵処理費", index=m);
Parameter X9(name="飼料TDN需要原単位", index=m);
Parameter X10(name="飼料NDF需要原単位", index=m);
Parameter X11(name="尿中N原単位", index=m);
Parameter X12(name="尿中P原単位", index=m);
Parameter X13(name="尿中K原単位", index=m);
Parameter X14(name="糞中N原単位", index=m);
Parameter X15(name="糞中P原単位", index=m);
Parameter X16(name="糞中K原単位", index=m);
Parameter X17(name="堆肥生産率", index=m);
Parameter X18(name="堆肥中N原単位", index=m);
Parameter X19(name="堆肥中P原単位", index=m);
Parameter X20(name="堆肥中K原単位", index=m);
```

```
Parameter GHG1(name="飼養時GHG原単位", index=m);
Parameter GHG2(name="堆肥化GHG原単位", index=m);
Parameter GHG3(name="糞メタン発酵GHG原単位", index=m);
Parameter GHG4(name="尿メタン発酵GHG原単位", index=m);
Parameter GHG5(name="貯留GHG原単位", index=m);
Parameter GHG6(name="浄化GHG原単位", index=m);
Parameter GHG7(name="余剰堆肥GHG原単位", index=m);
```

```
Parameter Cd1(name="堆肥Cd含有量", index=m);
Parameter Cd2(name="液肥Cd含有量", index=m);
```

```
Parameter FS1(name="現状飼養頭数", index=m);
```

```
Parameter EP1(name="糞売電量", index=m);
Parameter EP2(name="尿売電量", index=m);
Parameter EP3(name="家畜飼養時エネルギー消費量", index=m);
Parameter EP4(name="浄化エネルギー原単位", index=m);
Parameter EP5(name="堆肥化エネルギー原単位", index=m);
```

```
Parameter NH3_1(name="飼養時アンモニア排出量", index=m);
Parameter NH3_2(name="堆肥化時アンモニア排出量", index=m);
Parameter NH3_3(name="貯留時アンモニア排出量", index=m);
```

```
Parameter PO4_1(name="無機窒素溶脱原単位", index=m);
```

```
// 予算配分 (万円/y)
```

```
Expression a1(name="頭数削減", index=(r,m));
a1[r,m] >=0 ;
Expression a2(name="耕畜連携", index=(r,m));
a2[r,m] >=0 ;
Expression a3(name="飼料増産", index=(r,m));
a3[r,m] >=0 ;
Expression a4(name="浄化設置", index=(r,m));
```

```

model.smp

a4[r,m] >=0 ;
Expression a5(name="メタン設置", index=(r,m));
a5[r,m] >=0 ;

// 飼養頭数の設定
Parameter head(name="飼養頭数", index=(r,m));

// 頭数削減対策
Variable a1_head(name="削減頭数", index=(r,m));
0 <= a1_head[r,m] <= head[r,m];
a1[r,m] = a1_head[r,m] * X1[m];

// 飼料増産対策(kg-TDN, NDF/day)と(ha)と(kg/day)
Variable aogari_area(name="青刈りとうもろこし作付け面積", index=(r,m));
aogari_area[r,m] >= 0;
a3[r,m] = aogari_area[r,m] * 47.930;

Expression aogari_manure(name="青刈りとうもろこし糞需要量", index=(r,m));
aogari_manure[r,m] = aogari_area[r,m] * X2[m];
Expression aogari_urine(name="青刈りとうもろこし尿需要量", index=(r,m));
aogari_urine[r,m] = aogari_area[r,m] * X3[m];

//飼料用地制約
Parameter Nonculti_area(name="耕作放棄地", index =r);
sum(aogari_area[r,m] ,m) <= Nonculti_area[r];

// 糞尿発生量(kg/day)
Expression manure(name="糞発生量", index=(r,m));
manure[r,m] = (head[r,m] - a1_head[r,m]) * X4[m] - aogari_manure[r,m];
Expression urine(name="尿発生量", index=(r,m));
urine[r,m] = (head[r,m] - a1_head[r,m]) * X5[m] - aogari_urine[r,m];

// 糞尿処理技術選択(kg/day)
Variable manure_compost(name="糞堆肥化", index=(r,m));
manure_compost[r,m] >=0 ;
Variable manure_methane(name="糞メタン発酵", index=(r,m));
manure_methane[r,m] >=0 ;
Variable urine_methane(name="尿メタン発酵", index=(r,m));
urine_methane[r,m] >=0 ;
Variable urine_stock(name="尿貯留", index=(r,m));
urine_stock[r,m] >=0 ;
Variable urine_purify(name="尿浄化", index=(r,m));
urine_purify[r,m] >=0 ;

// 処理に関する変数設定
manure_compost[r,m] + manure_methane[r,m] == manure[r,m];
urine_methane[r,m] + urine_stock[r,m] + urine_purify[r,m] == urine[r,m];
manure_methane[r,"採卵鶏"] ==0 ;
urine_methane[r,"採卵鶏"] ==0;

// 汚水浄化処理施設の設置対策
a4[r,m] = urine_purify[r,m] * X6[m];
urine_purify[r,"豚"] >= urine[r,"豚"] * 0.21;

// メタン発酵処理施設の設置対策
urine_methane[r,m] <= manure_methane[r,m] * X7[m];
a5[r,m] = manure_methane[r,m] * X8[m];

//飼料需給バランス(kg-TDN, NDF/day)
Expression feed_TDN(name="飼料TDN需要量", index=(r,m));
feed_TDN[r,m] = (head[r,m] - a1_head[r,m]) * X9[m];
Expression feed_NDF(name="飼料NDF需要量", index=(r,m));
feed_NDF[r,m] = (head[r,m] - a1_head[r,m]) * X10[m];

Expression product_TDN(name="TDN生産量", index=(r,m));

```

```

model.smp
product_TDN[r,m] = aogari_area[r,m] * 37.4;
Expression product_NDF(name="NDF生産量", index=(r,m));
product_NDF[r,m] = aogari_area[r,m] * 27.0;

Variable import_TDN(name="輸入飼料中TDN");
import_TDN >=0;
sum(feed_TDN[r,m], (r,m)) == import_TDN + sum(product_TDN[r,m], (r,m)) + 46775;
Variable import_NDF(name="輸入飼料中NDF");
import_NDF >=0;
sum(feed_NDF[r,m], (r,m)) == import_NDF + sum(product_NDF[r,m], (r,m)) + 37903;

Expression Cost_Feed(name="年間輸入飼料購入費用");
Cost_Feed = (import_TDN*0.004 + import_NDF*0.0072) *365;

// 液肥制約(kg-NPK/day)
Parameter DLF_N(name="液肥N需要", index=r);
Parameter DLF_P(name="液肥P需要", index=r);
Parameter DLF_K(name="液肥K需要", index=r);

Variable methane_DLF(name="メタン発酵消化液の利用割合", index=(r,m));
0 <= methane_DLF[r,m] <=1;
Variable stock_DLF(name="尿貯留液の利用割合", index=(r,m));
0 <= stock_DLF[r,m] <=1;
Expression LF_N_supply(name="液肥N供給量", index=(r,m));
Expression LF_P_supply(name="液肥P供給量", index=(r,m));
Expression LF_K_supply(name="液肥K供給量", index=(r,m));
LF_N_supply[r,m] = (urine_stock[r,m]*stock_DLF[r,m] + urine_methane[r,m]*methane_DLF[r,m])*X11[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*methane_DLF[r,m]*X14[m]/1000;
LF_P_supply[r,m] = (urine_stock[r,m]*stock_DLF[r,m] + urine_methane[r,m]*methane_DLF[r,m])*X12[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*methane_DLF[r,m]*X15[m]/1000;
LF_K_supply[r,m] = (urine_stock[r,m]*stock_DLF[r,m] + urine_methane[r,m]*methane_DLF[r,m])*X13[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*methane_DLF[r,m]*X16[m]/1000;

Expression LF_N_excess(name="液肥N過剰量", index=(r,m));
Expression LF_P_excess(name="液肥P過剰量", index=(r,m));
Expression LF_K_excess(name="液肥K過剰量", index=(r,m));
LF_N_excess[r,m] = (urine_stock[r,m]*(1-stock_DLF[r,m]) +
urine_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m]))*X11[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m])*X14[m]/1000;
LF_P_excess[r,m] = (urine_stock[r,m]*(1-stock_DLF[r,m]) +
urine_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m]))*X12[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m])*X15[m]/1000;
LF_K_excess[r,m] = (urine_stock[r,m]*(1-stock_DLF[r,m]) +
urine_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m]))*X13[m]/1000 +
manure_methane[r,m]*(1-methane_DLF[r,m])*X16[m]/1000;

Expression LF_N(name="液肥用N化学肥料購入量", index=r);
Expression LF_P(name="液肥用P化学肥料購入量", index=r);
Expression LF_K(name="液肥用K化学肥料購入量", index=r);
LF_N[r] = DLF_N[r]/0.55 - sum(LF_N_supply[r,m], m);
LF_P[r] = DLF_P[r]/0.60 - sum(LF_P_supply[r,m], m);
LF_K[r] = DLF_K[r]/0.95 - sum(LF_K_supply[r,m], m);
LF_N[r] >=0;
LF_P[r] >=0;
LF_K[r] >=0;

// 堆肥需給制約(kg-NPK/day)と田畑における需要促進対策
Parameter distanceStoD(name="ポリゴン間距離", index=(r,f));
Parameter DCF_N(name="堆肥N需要", index=f);
Parameter DCF_P(name="堆肥P需要", index=f);
Parameter DCF_K(name="堆肥K需要", index=f);

Variable compost_DCF(name="堆肥の利用割合", index=(r,m));
0 <= compost_DCF[r,m] <=1;
Expression product_compost(name="堆肥生産量", index=(r,m));
product_compost[r,m] = manure_compost[r,m]* X17[m];
Expression compost_excess(name="堆肥過剰量", index=(r,m));
compost_excess[r,m] = product_compost[r,m] * (1-compost_DCF[r,m]);

Variable StoD_CF(name="堆肥の配送量", index=(r,f,m));
StoD_CF[r,f,m] >=0;
sum(StoD_CF[r,f,m], f) == product_compost[r,m] * compost_DCF[r,m];

```

```

model.smp
Expression CF_N(name="堆肥用N化学肥料購入量", index=f);
Expression CF_P(name="堆肥用P化学肥料購入量", index=f);
Expression CF_K(name="堆肥用K化学肥料購入量", index=f);
CF_N[f] = DCF_N[f]/0.3 - sum( sum(StoD_CF[r, f, m], r)*X18[m], m);
CF_P[f] = DCF_P[f]/0.6 - sum( sum(StoD_CF[r, f, m], r)*X19[m], m);
CF_K[f] = DCF_K[f]/0.9 - sum( sum(StoD_CF[r, f, m], r)*X20[m], m);
CF_N[f] >= 0;
CF_P[f] >= 0;
CF_K[f] >= 0;

a2[r, m] = sum(StoD_CF[r, f, m] * distanceStoD[r, f], f) * 0.0052;

// 現状の堆肥利用量設定
Parameter compost_rate(name="最低堆肥利用率", index=m);
sum(StoD_CF[r, f, m], (r, f)) >= sum(product_compost[r, m], r) * compost_rate[m];

// 化学肥料購入
Expression Cost_CF_LF(name="液肥用化学肥料購入費用", index=r);
Cost_CF_LF[r] = (LF_N[r]*0.0231 + LF_P[r]*0.0684 + LF_K[r]*0.0136)*365;
Expression Cost_CF_CF(name="堆肥用化学肥料購入費用", index=f);
Cost_CF_CF[f] = (CF_N[f]*0.0231 + CF_P[f]*0.0684 + CF_K[f]*0.0136)*365;

Expression ChemicalF_N(name="合計N化学肥料購入量");
ChemicalF_N = sum(LF_N[r], r) + sum(CF_N[f], f);
Expression ChemicalF_P(name="合計P化学肥料購入量");
ChemicalF_P = sum(LF_P[r], r) + sum(CF_P[f], f);
Expression ChemicalF_K(name="合計K化学肥料購入量");
ChemicalF_K = sum(LF_K[r], r) + sum(CF_K[f], f);

// GHG排出量(kg-GHG/day)
Expression GHG_livestock(name="飼養時GHG");
GHG_livestock = sum( (head[r, m] - a1_head[r, m]) * GHG1[m], (r, m));

Expression GHG_feed_product(name="自給飼料栽培GHG");
GHG_feed_product = sum( aogari_area[r, m]*625.3/365, (r, m));

Expression GHG_compost(name="堆肥化GHG");
GHG_compost = sum( manure_compost[r, m]*compost_DCF[r, m]*GHG2[m], (r, m));

Expression GHG_methane(name="メタン発酵GHG");
GHG_methane = (-1)* sum( manure_methane[r, m]*GHG3[m] + urine_methane[r, m]*GHG4[m], (r, m));

Expression GHG_stock(name="貯留GHG");
GHG_stock = sum( urine_stock[r, m]*GHG5[m], (r, m));

Expression GHG_purify(name="浄化GHG");
GHG_purify = sum( urine_purify[r, m]*GHG6[m], (r, m));

Expression GHG_feed_import(name="輸入飼料GHG");
GHG_feed_import = import_TDN*0.45 + import_NDF*0.58;

Expression GHG_LF_fertilizer(name="液肥用化学肥料GHG");
GHG_LF_fertilizer = sum( LF_N[r]*1.362 + LF_P[r]*0.848 + LF_K[r]*0.603, r);

Expression GHG_LF_excess(name="過剰液肥GHG");
GHG_LF_excess = sum( (urine_stock[r, m]*(1-stock_DLF[r, m]) + urine_methane[r, m]*(1-methane_DLF[r, m])) * GHG5[m], (r, m));

Expression GHG_CF_excess(name="過剰堆肥GHG");
GHG_CF_excess = sum( compost_excess[r, m] * GHG7[m], (r, m));

Expression GHG_CF_fertilizer(name="堆肥用化学肥料GHG");
GHG_CF_fertilizer = sum( CF_N[f]*1.362 + CF_P[f]*0.848 + CF_K[f]*0.603, f);

Expression GHG_CF_transport(name="堆肥輸送時GHG");
GHG_CF_transport = sum( sum(StoD_CF[r, f, m]/1000*distanceStoD[r, f], f) * 0.174, (r, m));

// リン資源消費量(kg-P/day)
Expression P_feed_import(name="輸入飼料P");
P_feed_import = import_TDN*0.0236 + import_NDF*0.03;

```



```

Expression P_fertilizer(name="購入化学肥料P");
P_fertilizer = sum(LF_P[r], r) + sum(CF_P[f], f);

// (水系への) 富栄養化物質排出量(kg-P04-eq/day)
Expression P04_CF_excess(name="過剰堆肥富栄養化");
P04_CF_excess = 0.42* sum(compost_excess[r,m]/1000*P04_1[m], (r,m)) + 3.06 *
sum(compost_excess[r,m]*X19[m], (r,m));

Expression P04_LF_excess(name="過剰液肥富栄養化");
P04_LF_excess = 0.42* sum(LF_N_excess[r,m], (r,m)) + 3.06 * sum(LF_P_excess[r,m], (r,m));

// 悪臭(kg-NH3/day)
Expression NH3_Livestock(name="飼養時アンモニア");
NH3_Livestock = sum(head[r,m] - a1_head[r,m]*NH3_1[m], (r,m));

Expression NH3_compost(name="堆肥化時アンモニア");
NH3_compost = sum(manure_compost[r,m]/1000 *NH3_2[m], (r,m));

Expression NH3_stock(name="貯留時アンモニア");
NH3_stock = sum(urine_stock[r,m]/1000 *NH3_3[m], (r,m));

// (大気への) 酸性化物質排出量(kg-SO2-eq/day)
Expression S02_Livestock(name="飼養時酸性化物質");
S02_Livestock = NH3_Livestock *1.88;

Expression S02_aogari_feed(name="自給飼料栽培時酸性化物質");
S02_aogari_feed = sum(aogari_area[r,m] * (0.7*2.0 + 1*0.55), (r,m));

Expression S02_import_feed(name="輸入飼料LC酸性化物質");
S02_import_feed = (import_TDN*(0.7*12.1 + 1* 8.8)+ import_NDF*(0.7*14.7 + 1*10.4))/1000;

Expression S02_compost(name="堆肥化時酸性化物質");
S02_compost = NH3_compost *1.88;

Expression S02_stock(name="貯留時酸性化物質");
S02_stock = NH3_stock *1.88;

Expression S02_trans(name="輸送時酸性化物質");
S02_trans = sum(StoD_CF[r,f,m]/1000*distanceStoD[r,f], (r,f,m)) * (0.7*0.416 + 1* 0.0302)/1000;

// (地域土壌への) カドミウム流入量(mg-Cd/day)
Expression Cd_CF_excess(name="堆肥によるCd量");
Cd_CF_excess = sum(product_compost[r,m] * Cd1[m], (r,m));

Expression Cd_LF_excess(name="液肥によるCd量");
Cd_LF_excess = sum((LF_P_supply[r,m] + LF_P_excess[r,m]) * Cd2[m], (r,m));

Expression Cd_CF(name="化学肥料によるCd量");
Cd_CF = (sum(LF_P[r], r) + sum(CF_P[f], f)) * 286.42;

// エネルギー生産量(MJ/day)
Expression EP_methane(name="メタン発酵によるエネルギー生産量");
EP_methane = sum(manure_methane[r,m]*EP1[m] + urine_methane[r,m]*EP2[m], (r,m));

Expression EC_Livestock(name="飼養時エネルギー");
EC_Livestock = sum(head[r,m] - a1_head[r,m]*EP3[m], (r,m));

Expression EC_feedproduction(name="自給飼料栽培時エネルギー消費量");
EC_feedproduction = sum(aogari_area[r,m] * 8682/365, (r,m));

Expression EC_trans(name="堆肥輸送時エネルギー消費量");
EC_trans = sum(StoD_CF[r,f,m]/1000*distanceStoD[r,f], (r,f,m))/1000 * 1.63;

Expression EC_compost(name="堆肥化時エネルギー消費量");
EC_compost = sum(product_compost[r,m]/1000 * EP5[m], (r,m));

Expression EC_purify(name="浄化処理時エネルギー消費量");
EC_purify = sum(urine_purify[r,m] * EP4[m], (r,m));

```

```

model.smp
Expression EC_LCE_importfeed(name="輸入飼料LCエネルギー消費量");
EC_LCE_importfeed = import_TDN*7.17 + import_TDN*11.06;

Expression EC_LCE_importCF(name="輸入化学肥料LCエネルギー消費量");
EC_LCE_importCF = sum( LF_N[r]*73.6 + LF_P[r]*13.3 + LF_K[r]*9.2 , r ) + sum( CF_N[f]*73.6 + CF_P[f]*13.3 + CF_K[f]*9.2 , f );

// 評価項目のまとめ
Expression GHG(name="合計GHG排出量");
GHG = GHG_livestock + GHG_feed_product + GHG_compost + GHG_methane + GHG_stock + GHG_purify +
GHG_feed_import + GHG_LF_excess + GHG_CF_excess + GHG_CF_transport + GHG_LF_fertilizer +
GHG_CF_fertilizer;

Expression P(name="合計P消費量");
P = P_feed_import + P_fertilizer;

Expression P04(name="合計P04排出量");
P04 = P04_CF_excess + P04_LF_excess ;

Expression NH3(name="合計アンモニア排出量");
NH3 = NH3_livestock + NH3_compost + NH3_stock;

Expression S02(name="合計酸性化物質");
S02 = S02_livestock + S02_aogari_feed + S02_import_feed + S02_compost + S02_stock + S02_trans;

Expression Cd(name="合計Cd投入量");
Cd = Cd_CF_excess + Cd_LF_excess + Cd_CF;

Expression EC(name="エネルギー自給率指標");
EC = 1/ ((EC_livestock + EC_feedproduction + EC_trans + EC_compost + EC_purify) - EP_methane);

// 食料自給率(no unit)
Expression SF_livestock(name="畜産物自給率指標");
SF_livestock = 1000 * sum( sum( (head[r,m] - a1_head[r,m]) , r ) / FS1[m] , m ) * ((sum(product_TDN[r,m]
, (r,m)) + 46775)/289607) ;

// 目的関数の定義 (統合化)
Objective AHP(name="総合評価指標", type=maximize);
AHP = (37735800-GHG)/4165346*1.42 + (8465-P)/922*0.9 + (10641-P04)/2599*1.69 + (5569-NH3)/942*0.99 +
(16139-S02)/1771*0.73 + (256592-Cd)/19043*1.22 + (3006626-EC)/96823*1.36 + (SF_livestock-681)/282*1.69;

// 予算制約 (「頭数削減策」以外の対策は事業費半額補助)
Parameter Budget(name="予算");
sum(a1[r,m], (r,m)) + 0.5*sum(a2[r,m] + a3[r,m] + a4[r,m] + a5[r,m], (r,m))<= Budget;

showSystem();
options.maxitn = 800;

// 求解
solve();

// Excelに出力
GHG.val.dump();
P.val.dump();
P04.val.dump();
NH3.val.dump();
S02.val.dump();
Cd.val.dump();
EC.val.dump();
SF_livestock.val.dump();
AHP.val.dump();
damy.val.dump();

```

```

Cost.val.dump();
Cost_Feed.val.dump();

aogari_area[r,m].val.dump();
import_TDN.val.dump();
import_NDF.val.dump();

a1[r,m].val.dump();
a2[r,m].val.dump();
a3[r,m].val.dump();
a4[r,m].val.dump();
a5[r,m].val.dump();

a1_head[r,m].val.dump();
manure[r,m].val.dump();
urine[r,m].val.dump();
manure_compost[r,m].val.dump();
manure_methane[r,m].val.dump();
urine_methane[r,m].val.dump();
urine_stock[r,m].val.dump();
urine_purify[r,m].val.dump();

methane_DLF[r,m].val.dump();
stock_DLF[r,m].val.dump();
compost_DCF[r,m].val.dump();

product_compost[r,m].val.dump();
StoD_CF_cow[r,f].val.dump();
StoD_CF_beef[r,f].val.dump();
StoD_CF_pig[r,f].val.dump();
StoD_CF_chicken[r,f].val.dump();
ChemicalF_N.val.dump();
ChemicalF_P.val.dump();
ChemicalF_K.val.dump();

GHG_livestock.val.dump();
GHG_feed_product.val.dump();
GHG_compost.val.dump();
GHG_methane.val.dump();
GHG_stock.val.dump();
GHG_purify.val.dump();
GHG_feed_import.val.dump();
GHG_LF_fertilizer.val.dump();
GHG_LF_excess.val.dump();
GHG_CF_excess.val.dump();
GHG_CF_transport.val.dump();

P_feed_import.val.dump();
P_fertilizer.val.dump();

P04_CF_excess.val.dump();
P04_LF_excess.val.dump();

NH3_Livestock.val.dump();
NH3_compost.val.dump();
NH3_stock.val.dump();

S02_Livestock.val.dump();
S02_aogari_feed.val.dump();
S02_import_feed.val.dump();
S02_compost.val.dump();
S02_stock.val.dump();
S02_trans.val.dump();

Cd_CF_excess.val.dump();
Cd_LF_excess.val.dump();
Cd_CF.val.dump();

EC_Livestock.val.dump();
EC_feedproduction.val.dump();
EC_trans.val.dump();
EC_compost.val.dump();
EC_purify.val.dump();
EC_LCE_importfeed.val.dump();

```

```
EG_LCE_importCF.val.dump();  
EP_methane.val.dump();
```

model.smp