

流域圏でのシナリオ誘導型の施策立案と評価を 支援する地理情報システムに関する研究

丹治 三則¹・盛岡 通²・藤田 壮³

¹ 工修 大阪大学大学院 工学研究科 環境工学専攻 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

² 博士(工学) 大阪大学大学院教授 工学研究科 環境工学専攻 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

³ 博士(工学) 東洋大学教授 工学部 環境建設学科 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100

自然共生型の流域圏におけるシナリオ誘導型の施策立案を行うための地理情報システムを用いた施策評価システムの設計を行った。本研究で得られた成果として、第1に流域圏の将来シナリオを描き各シナリオ下で多様な個別施策から施策プログラムを立案させる枠組みを提示した。第2に有機循環政策に焦点をあてその計画と評価を行うために、必要な地域情報を統合化し有機廃棄物の発生分布量を算定するプロセスを構築した。第3に廃棄物の発生、回収、資源化、副産物供給の各プロセスをGIS上で取り扱うアルゴリズムを構築した。最後に武庫川流域圏において開発したツールを適用するために、2つのシナリオと施策オプションを設定し、同流域における有機廃棄物の発生分布、地域ごとの家計の熱需要に対する供給可能熱量の分布、回収・資源化・供給の処理プロセスにおけるエネルギー投入量及び二酸化炭素排出量を明らかにした。

Key Words : *Geographic Information System Sustainable Management of Basin Region, Muko River Basin,*

1. 研究の背景及び目的

20世紀の急速な産業化と都市化は、流域に大量生産と大量消費のシステムをもたらした。物質と水の代謝構造を大きく変えてきた。開発によって水の流出や保水に変調が生じ、人間活動に由来する水系の汚濁の進行と廃棄物の処理が深刻な都市問題となった。それに対処するために水処理や廃棄物焼却の環境施設を圏域の外縁部に建設し、処理したのちの環境負荷を外部に排出することで解決を図ってきた。その一方で水需要の増大に対応するためのダムの建設や廃棄物等の埋立ては、自然環境への大きなインパクトをもたらした。また、開発事業の結果として流域内の農地や森林の喪失は回復が困難な水準まで達しつつある。現在の流域での経済活動及び生活は、海外を含む圏域外からの大量の物質とエネルギーの移入に支えられている一方で、水質の汚濁や廃棄物の処理等、都市活動を通じて発生した負荷の目に見えるインパクトを軽減しながらも、窒素、燐の流出や二酸化炭素の排出等によって自然への環境的な圧力を加え続けている。すなわち流域上流の自然環境資源の劣化や閉鎖系水域での汚濁の蓄積、さらには温室効果ガスをはじめとする地球的な環境負荷の発生などで見えない環境負荷を与えていて、本質的には持続可能性を欠いた構造となっている。

1) 流域圏で自然生態系との水循環、物質循環の秩序ある健全な関係を再構築して、自然共生型の都市再生を進めることは持続可能社会を目指す上で重要な課題である。

流域圏は水・大気・土壌を媒体として構成さ

れる空間場と、その間を移動する水・物質と生息する生物・動物(人間を含む)の相互関係から成り立つシステムであり、物質循環や生態系を捉え環境管理を行う上でまどりの良い空間であるが、都市・農地・森林・湖沼等の構成要素の多様性と適用施策の複雑さから持続可能な流域圏を目指した施策を体系的に立案することが困難である。よって個別の施策について評価を行うのではなく流域圏に対する将来シナリオを設定し各シナリオの状況下で有意となる施策を立案させる「シナリオ誘導型」のアプローチが有効となる。また地域ごとに適切な施策を設計して、その環境負荷低減効果や住民に与える便益をスケール(地区、市区町、流域、地球規模)ごとに評価するためには、GISを基盤として評価システムの整備を行う必要がある。

本研究では第1に流域圏の環境管理に関わる多様な政策領域を視野にいれつつ、複数の将来シナリオにおいて有意となる施策プログラムを設計する「シナリオ誘導型の施策設計」について枠組みを示す。

第2に政策領域の中での有機物質循環制御に焦点をあて、その現状を分析して施策プログラムの構築と評価を行うために、流域の地理情報システムを基盤としてデータベースの構築を行う。

第3に有機循環において発生、回収、資源化、副産物供給のそれぞれのプロセスを、GIS上で取り扱うアルゴリズムを構築する。

第4に構築した有機循環の政策評価システムの検証を行うために、武庫川流域を対象として2つのシナリオについて施策プログラムを構築

して、地域ごとの熱供可能給量と処理プロセスにおけるエネルギー投入量及びCO₂排出量について評価を行う。

2. シナリオ誘導型の流域マネジメントにおける政策の計画と評価の枠組み

2. 1 シナリオ誘導型の政策立案

対象とする地域の将来像をシナリオによって描き出し、それに添った施策を立案させる研究はIPCCの地球温暖化統合評価モデル分析において多く行われている。IPCCのシナリオアプローチでは、気候変動において社会構造・経済発展など外生的要因をシナリオとして定性的に記述し、一方で定量的に記述する数値モデルを一貫性をもって結合することで、複雑な気候変動における施策決定の情報提示を行っている。2)

またWorld Water Vision³⁾では水資源管理の将来における政策課題を明らかにするために、現状の政策と水資源管理、開発計画が進行する「Business as Usual」、民間主導で施策が進行する「Technology, economics, and private sector」シナリオ、発展途上国の政策に重点をおいた「Values and lifestyles」シナリオを設定し分析を行っている。

WBCSDの「Exploring Sustainable Development ~WBCSD Global Scenarios 2000~2050 Summary Brochure」⁴⁾では、持続可能な開発に適した社会システムを明らかにするために、環境問題を無視し経済活動が現状のまま推移する「FROG シナリオ」、社会全体が環境保全のために協力的になる「Jazz シナリオ」、環境問題が危機的状況に達した時に現状のシステムを環境配慮型にシフトさせる「GEO polity」の三つのシナリオを描いている。

地域・圏域スケールでシナリオを設定し施策の立案を行った例として、イギリスのマンチェスターにおける「City-Region2020; 持続可能な環

境を実現する統合的な計画システム」⁵⁾が知られている。ここでは一人あたりの施設需要やエネルギー消費が増加しつづける「Business as usual シナリオ」、技術革新により施設や装置の環境効率が改善される「技術シナリオ」、ライフスタイルも環境配慮型にシフトして都市構造も住区単位でクラスター化が進む「持続可能開発(Sustainable-Development)シナリオ」、さらに居住者の消費への需要も制御される「ディープグリーンシナリオ」を描き、それぞれの異なるシナリオで、多様な施策領域から代替可能な形で政策構築を行っている。(表1)

シナリオアプローチでの政策立案では、対象とする施策を網羅的に把握すること、次に社会を特徴づける根本要因を選び出し対極的な将来像を描き出すこと、最後に各シナリオに添った施策オプションを選定しその環境負荷改善効果についてモデル分析を行うとともに、多様な将来シナリオ下においてRobustな政策立案を行うことを目的としている。

2. 2 シナリオ誘導型の施策立案の枠組み

本研究では自然共生型流域圏を目指すシナリオ誘導型の施策立案の枠組みを以下のように設定した。

まず流域圏の長期的な目標を設定する。自然共生型流域圏を実現するためには人為の物の流れを健全なものに転換することによって、自然の営みを保全し、循環共生の流域を構築することが第一の目標となる。また流域が持続可能であるために同時に産業活動と生活の質も維持安定する政策を実現することが必要である。さらにこれらの目標を達成するための社会システムを同時に描くことが目標となる。目標施策を実現するためには複数の政策ドメイン(領域を統合的に組み合わせるとともに、その際には異なるアプローチがあることに注目する必要がある。すなわち現状のまま推移する「BAUシナリオ」、

表1：既存研究におけるシナリオアプローチの概略

既存事例	シナリオ名	概略
World Water Vision ³⁾	Business as Usual	現状の政策と水資源管理が進行する。世界的・地域的な水資源危機が発生する
	Technology, economics, and private	民間が主導で水資源対策の研究開発をすすめるが、グローバルゼーションにより
	Values and lifestyles	経済は成長し、発展途上国の問題は解決されない。政策を発展途上国の対策に重点化し、持続可能な開発をすすめる。世界的な水資源危機を回避するために注力する。また人々のライフスタイルが環境配慮型に社会問題や環境問題を無視し経済活動の発展と技術開発が進行する。社会が持続可能な開発を志向できない。
WBCSD Global Scenarios 2000~2050 Summary Brochure ⁴⁾	FROG!	環境問題が危機的状況に達し、現状のシステムを環境配慮型にシフトさせる。問題を解決するために国際的に政策決定の枠組みが統制される。
	GEO polity	社会全体が環境保全と社会的価値の向上のために協力的になる。持続可能な開発のために市場経済が抑止される。
	Jazz	一人あたりの施設需要やエネルギー消費が増加しつづける
City-Region 2020 ⁵⁾	Business as Usual	技術革新により基礎施設や装置の環境効率が改善される
	Technology	ライフスタイルが環境配慮型にシフトし、都市構造も住区単位でクラスター化が進
	Sustainable Deep Green	居住者の消費への需要が制御される

廃棄物焼却場や下水処理場等の end-of-pipe の分野を中心とした技術を高度化する「技術高度化シナリオ」、流域の土地利用誘導制御や処理システムの集中型から分散型への転換により流域の構造を転換するシナリオも視野にいれるべきとなる。さらにより幅の広い議論に応えられるためには、生活水準や経済活動を抑制する「Deep Ecology シナリオ」のシナリオまで描く必要がある。これらのシナリオに基づいて降雨流出制御、水質改善、有機物質循環、土地利用制御を主要な施策領域として代替的な施策プログラムを構築するフレームを図 1 のように描いている。

自然共生型の流域圏のマネジメントを行う場合政策ドメインは、都市流域における健全な水物質循環の再生と、生物多様性に支えられる環境を目標としていることから、「洪水流出制御」、「水質改善」、「廃棄物管理」、「土地利用」の四つを設定した。また四つの各施策領域について取り扱う政策オプションと本研究で限定的に対象とした有機循環に関する政策オプションを図 2 に示す。

3. 流域圏の有機循環制御のための地理情報データベースの構築

3.1 GIS をベースとしたシステムの構築
有機廃棄物循環施策の評価を行った研究は、市区町レベルのデータソースを対象としていくつかの市区町を統合した広域的な計画立案を行ったものと 8) 7)、下水処理場や廃棄物焼却施設等の個別の処理施設に関して、現在の処理実績をデータソースとして施策の検討を行ったものがある 8) 9)。田畑らは 10) 愛知県の古紙の発生分布量を地理情報システムで、3 次メッシュケールで簡便に推計し可視化できる手法を開発することで、資源化施設の立地場所と建設数を操作変数として、回収の距離と資源化施設あたりの処理量を算定している。また高木らは 11) GIS をベースとして水環境保全施策を対象としてメッシュごとに施策を操作できるモデルを

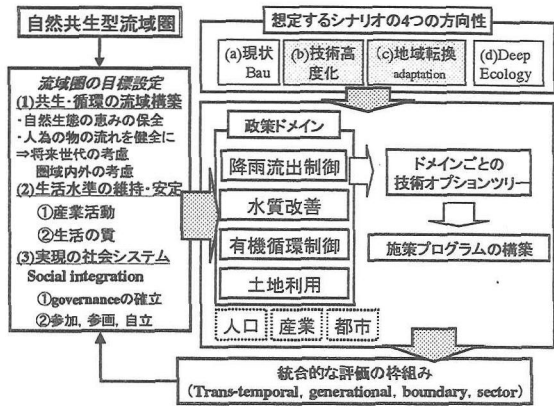


図 1：シナリオ誘導型の施策の立案の枠組み

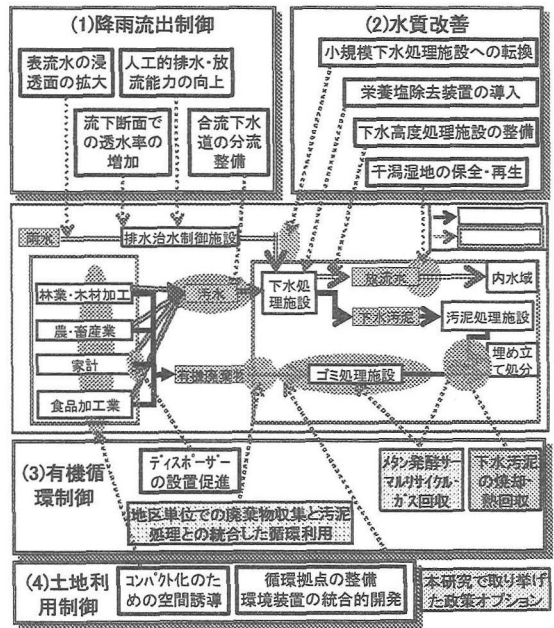


図 2：各ドメインと政策オプション

表 2：廃棄物処理計画の評価に関する既存研究

著者名	対象	データソース	施策オプション		評価 スケール	評価指標
			回収	転換技術		
岡村, 井村 2002 6)	●事業系生ゴミ ●家計系生ゴミ	●将来推計人口 ●世帯数の将来推計	●ディスプレイ	●焼却 ●コンポスト ●生ゴミ処理機	●北九州市	●単位処理にかかるCO ₂ 排出量 (kg-C/t) ●単位処理にコスト(円/t)
市江ら 2001 7)	●家庭排水 ●家庭生ゴミ		●生ゴミの分別回収 ●ディスプレイ	●焼却 ●メタン発酵	●名古屋市	●システムの運営費用(円/年)
三浦ら 1999 8)	●一般廃棄物 ●下水	●廃棄物年間 ●下水処理場発生汚泥実績値		●廃棄物発電 ●メタン発酵-ガスエンジン	●モデル都市	●エネルギー消費量(Gcal/年) ●CO ₂ 排出量(t-C/年) ●NOx排出量(kg/年) ●SOx排出量(kg/年)
羽原ら 2002 9)	●一般廃棄物	●国勢調査地域メッシュ統計	●直接輸送 ●中間輸送	●焼却●埋立て ●堆肥化●RDF化	●中心都市と 周辺自治体	●廃棄物処理コスト(千円/t) ●エネルギー消費(Mcal/t)
田畑ら 2002 10)	●古紙	●事業所数, 生産額 (紙, パルプ, 出版, 印刷業)	●最短経路選択	●古紙リサイクル施設	●愛知県	●輸送トンキロ(t-km) ●一施設あたりの平均廃棄物処理量(t/再資源化施設設置数)

構築し、より地域の状況に即した施策の立案と経済評価を行っている。(表2)

本研究では有機循環制御に焦点をあて流域の地域データベースの構築に着手した。有機物循環には下水道をはじめとして水質浄化と廃棄物処理の政策分野で統合的に施策プログラムを構築することによる環境改善効果が期待できる。本研究での取組みをその他の施策領域に展開して、シナリオ誘導型の施策立案と評価のシステムを構築する。

システム構築の方針を以下に示す。

- ① 資源化施設とその回収領域を設定した際に、廃棄物の回収、処理、再資源化、副産物の比較検討を行うことができる
- ② 生活や産業等の活動分布と基盤施設の特性に応じた最適な領域設定と選択が可能である。
- ③ 評価のスケールをミクロな地区スケールから意思決定の主体に応じて流域にまで選択可能にする。

よって3次メッシュを基本スケールとして構築した。なおシステムは「SIS」を用いて構築し、メッシュ統計などデジタル化情報を中心として

利用することで、算出の手法に汎用性をもたせるようにした。

3. 2 有機廃棄物分布の推定

有機廃棄物の発生源として、家計、食品製造業、食品流通業、林業、畜産業、農業、都市緑地の7つのセクターを設定した。算定対象とした廃棄物の分類を図3に示す。

物質フローの算定についてはセクターの拡大や対象とする物質を増やすことに容易に対応できるシステムを構築している。

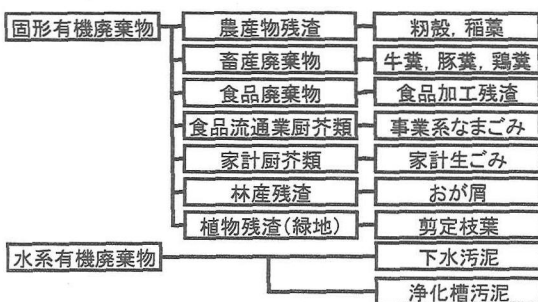


図3：対象とした有機廃棄物



図4：固形有機廃棄物算出の構造

1 Spatial information system informatix 社の GIS ソフト

図4に各セクターから発生する固形有機廃棄物、図5に水系有機廃棄物（排水処理を行った際に発生する汚泥）について算出フローを示す。

固形廃棄物はメッシュ統計等から得られた活動立地量から生産量を算出し、単位生産量あたりの廃棄物の排出率をかけ、排出量を算定する構造である。また水系有機廃棄物は活動立地量

から汚水の排出量を算定し、各メッシュが帰属する下水処理場の汚泥発生率をかけることで算出を行う。

算出の枠組みに汎用性を持たせるために算出に用いる排出原単位や各廃棄物の含水率を等のパラメータを、算出する地域にあわせて変更できるように構築している。

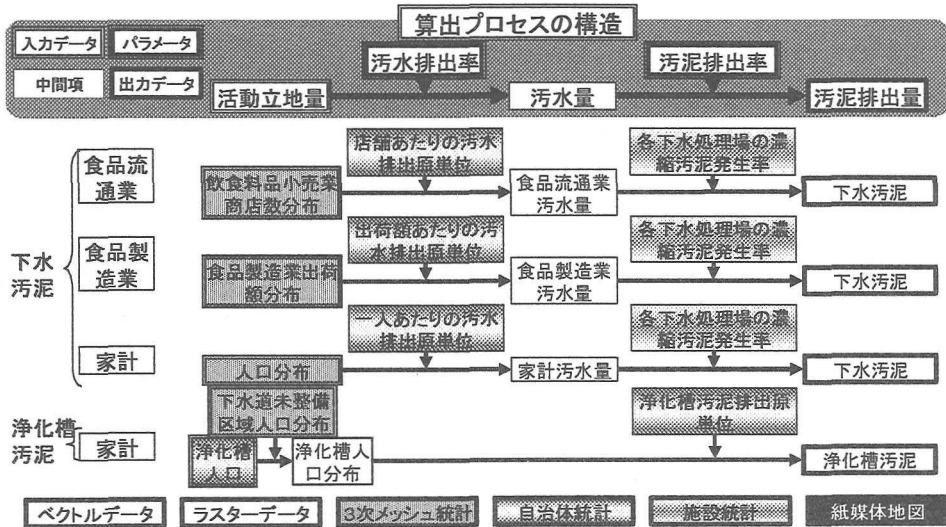


図5：水系有機廃棄物算出構造

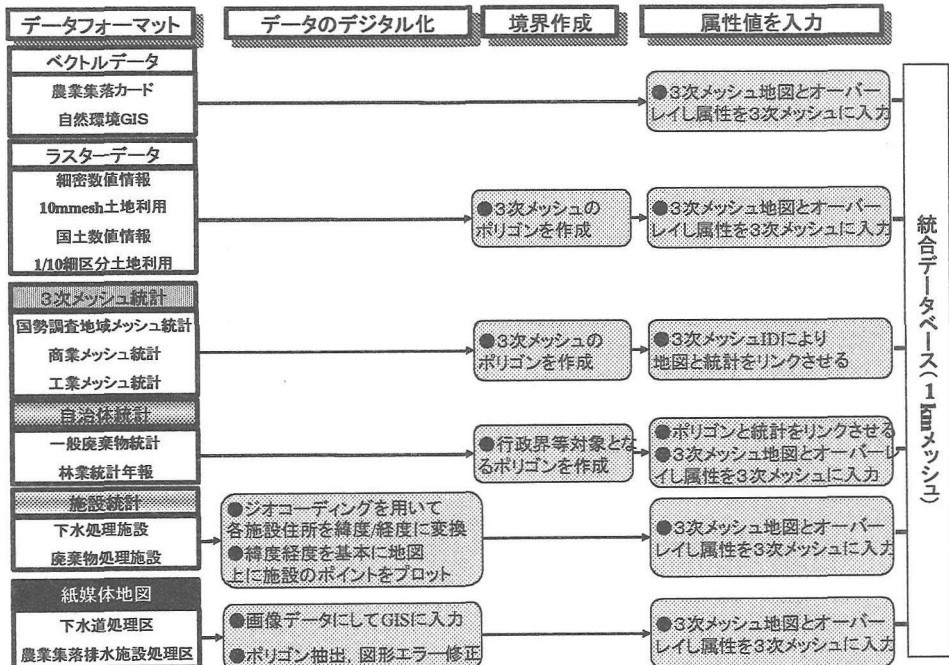


図6：データフォーマットごとの3次メッシュへの統合化プロセス

3. 3 データソースごとの統合化手法

有機廃棄物の発生分布量の算定を行う際に、データソースを3次メッシュに統合化を行う必要がある。そのプロセスを図6に示す。データはフォーマットに従って6分類しており、既にデジタル化され利用が容易な「ベクトルデータ」から、スキャナ/デジタイザを用いて手動でデジタル化を行わなければならない「紙媒体地図」がある。

統合化は次の三段階のプロセスから構成される。第1にデータのデジタル化を行い、使用するGISソフトに入力する。第2に統計情報の収録単位である市区町や農業集落等の領域を作成し、統計情報地図とリンクさせる。第3に対象となる地図を3次メッシュと重ね合わせ（オーバーレイ）、情報を入力する。以上のプロセスから必要なデータソースや原単位を3次メッシュに蓄積した。

4. 物質移動を表現するアルゴリズムの構築

4. 1 基本式

有機循環の政策立案においては、既存の処理施設の循環型技術への転換だけでなく、物質を既存の市区町より小さいスケールで循環させる空間操作が行う施策が重要である。そこで回収の領域や施設立地を操作変数として自由度の高いシステム構築し、回収のパウンダリ（以下循環区と定義）と立地を施策として設定した際に、各循環区内で有機廃棄物の発生分布量と資源化施設で回収できる量をGIS上で算定エネルギー供給のプロセスをベクトル計算を用いて表現し、

一貫して算定することができるシステムを構築した。基本式を説明する。

任意の流域圏を設定し、その流域圏が n 個の3次メッシュから構成されているとする。

流域圏で有機廃棄物の発生量を表現する負荷発生ベクトル En 、番号が i メッシュにおける廃棄物の発生量を ei と定義すると。

$$En = (e1, \dots, en) \quad \dots (1)$$

これを負荷発生分布ベクトルと定義する。次に流域圏が d 個の循環区から構成されるとする。

$$(D1, D2, \dots, D1, \dots, Dd) \quad \dots (2)$$

任意の循環区 k に含まれるメッシュ数を Pk とすると

$$N = \sum_{k=1}^d Pk \quad \dots (3)$$

循環区 Dj における最初のメッシュ番号を l と定義すると

$$lj = 1 + \sum_{i=1}^{j-1} Pi \quad \dots (4)$$

循環区 Dj における負荷発生ベクトルは

$$Enj = (e_{lj}, e_{lj+1}, \dots, e_{lj+Pj}) \quad \dots (5)$$

循環区 Dj における資源化施設立地点のメッシュ番号を $l_j + m$ とする。

循環区 Dj での資源化施設に有機廃棄物が集中する構造を表現するための負荷移動ベクトルを Mj とすると

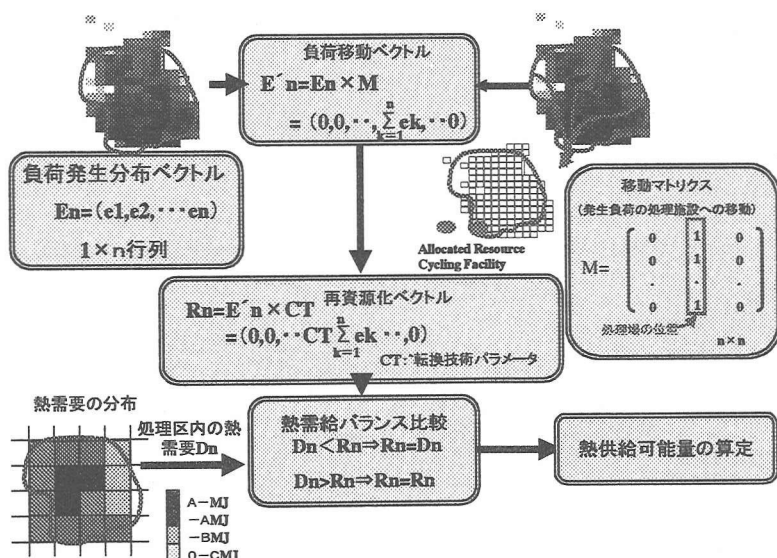


図7: ベクトルを用いて各プロセスの算定を行うアルゴリズム

$$Mj = \begin{bmatrix} 0 \cdots 1 \cdots 0 \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \\ 0 \cdots 1 \cdots 0 \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots (6)$$

ここで Mj の“行”は廃棄物が発生するメッシュを表現し“列”は物質が集中するメッシュを表現している。物質が集中するメッシュを“1”その他のメッシュを“0”とする。ここでは資源化施設をメッシュ番号の $l_j + m$ に設定しているので、 $l_j + m$ 列がすべて1となる。

循環区 Dj における資源化施設での廃棄物の回収量を負荷移動ベクトル $E'nj$ と定義すると(5)式によって循環区内のメッシュごとの廃棄物の発生量が定義され(6)式によってその集中構造が表現しているので、 $E'nj$ は(7)式で定義される。

$$E'nj = Enj \times Mj = (0, 0, \dots, Ej, \dots, 0, 0) \quad \cdots \cdots (7)$$

ただし Ej は

$$Ej = \sum_{i=l_j}^{l_j+p_j} ei \quad \cdots \cdots (8)$$

以上の式により流域圏において有機廃棄物の資源化施設を設定した際に、その回収の領域である循環区内で発生する廃棄物と資源化施設に集中する廃棄物量を表現することができる。また回収の領域と施設立地を操作したときに発生する物質ごとの輸送プロセスを評価可能になった。

4. 2行列式を用いた有機物処理プロセスにおける環境負荷の算定手法

4.1で示した基本式を用いて発生、回収、資源化、供給の算定する枠組みを図7に示し、各プロセスの算定について説明する。尚本研究で対象としたのは有機性廃棄物の発生・回収・処理・副産物供給におけるライフサイクルの分析である。

① 輸送プロセスの算定

回収車輛の積載量を設定することで負荷発生分布ベクトルから各メッシュへの廃棄物年間の回収回数を求める。次に各メッシュと資源化施設までの距離を算出し各メッシュに入力する。回収回数と距離が既知であるので年間の総走行距離が算出され、これに車輛の燃費等を設定することで、燃料の使用量及びCO₂の排出量を算出する。なおここでは積み込みや回収に掛かる時間を無視し、また回収車の走行速度に関わらず燃費は一定とし、輸送車輛の燃料は軽油を

使用しているとしている。

また水の輸送に関しては、任意の処理区に含まれるメッシュの排水が、その処理区の領域内で敷設されている下水管により、下流に設置された下水処理施設に輸送される。本論分では各処理区に含まれるメッシュとその処理区の下水処理場の関係を既存の下水処理区図から対応させることで、排水は下水管路を通過するとした。ただし水の輸送のために使用されるポンプ場の稼動エネルギーは算定に含んでいる。

② 資源化プロセス算定

資源化施設に集積する廃棄物の量は(7)式によって定義されている。これを用いて施策オプションの転換パラメータを設定することにより、処理に必要なエネルギーや副産物供給量を算定する。循環区 Dj における再資源化量を Rnj とすると(7)式を用いて

$$Rnj = E'nj \times CT \\ = (0, \dots, CT \sum_{k=l_j}^{l_j+p_j} e_k) \quad \cdots \cdots (9)$$

ここでCTは転換技術のパラメータであり、廃棄物投入量あたりの発電量や発熱量、残渣発生量を意味する。

③ 熱電需給バランス算定

再資源化施設で発生した余剰電力・熱の需要に対するバランスを地域ごとに算定する。熱需給の比較を行うために3次メッシュで熱需要を算定し、一方で(9)式によって算出された熱供給を比較して充足率を算定した。

尚熱輸送インフラの取り扱いについては、本

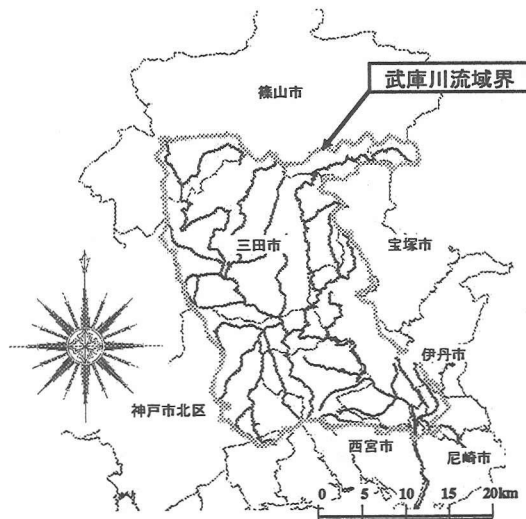


図8：武庫川流域の全体図

研究では資源化施設で発生した熱は下水処理分区内では減衰せず可以使用と仮定して発生熱の下水処理分区内での熱需給のポテンシャルを算定し、熱供給の対象としたのは家庭部門の熱需要のみである。

5. 武庫川流域におけるケーススタディ

5. 1 武庫川流域の概要

対象地としては武庫川流域を設定した。武庫川流域の概要図を図8に示す。

武庫川流域は兵庫県篠山市を源流として三

田市、宝塚市、尼崎市、西宮市を流下し瀬戸内海に注ぐ河川である。流域面積は 496 km²、流路延長 260km の二級河川である。

5. 2 武庫川流域における有機廃棄物の分布

武庫川流域において有機廃棄物の発生分布量を乾燥重量で換算し推計を行った結果を図9に示す。固形有機廃棄物、水系有機廃棄物ともに西宮市や尼崎市などの都市部で優位になっている。また 1970 年代と 2000 年代を比較して生活基盤と産業活動が郊外化したといえる。下水汚

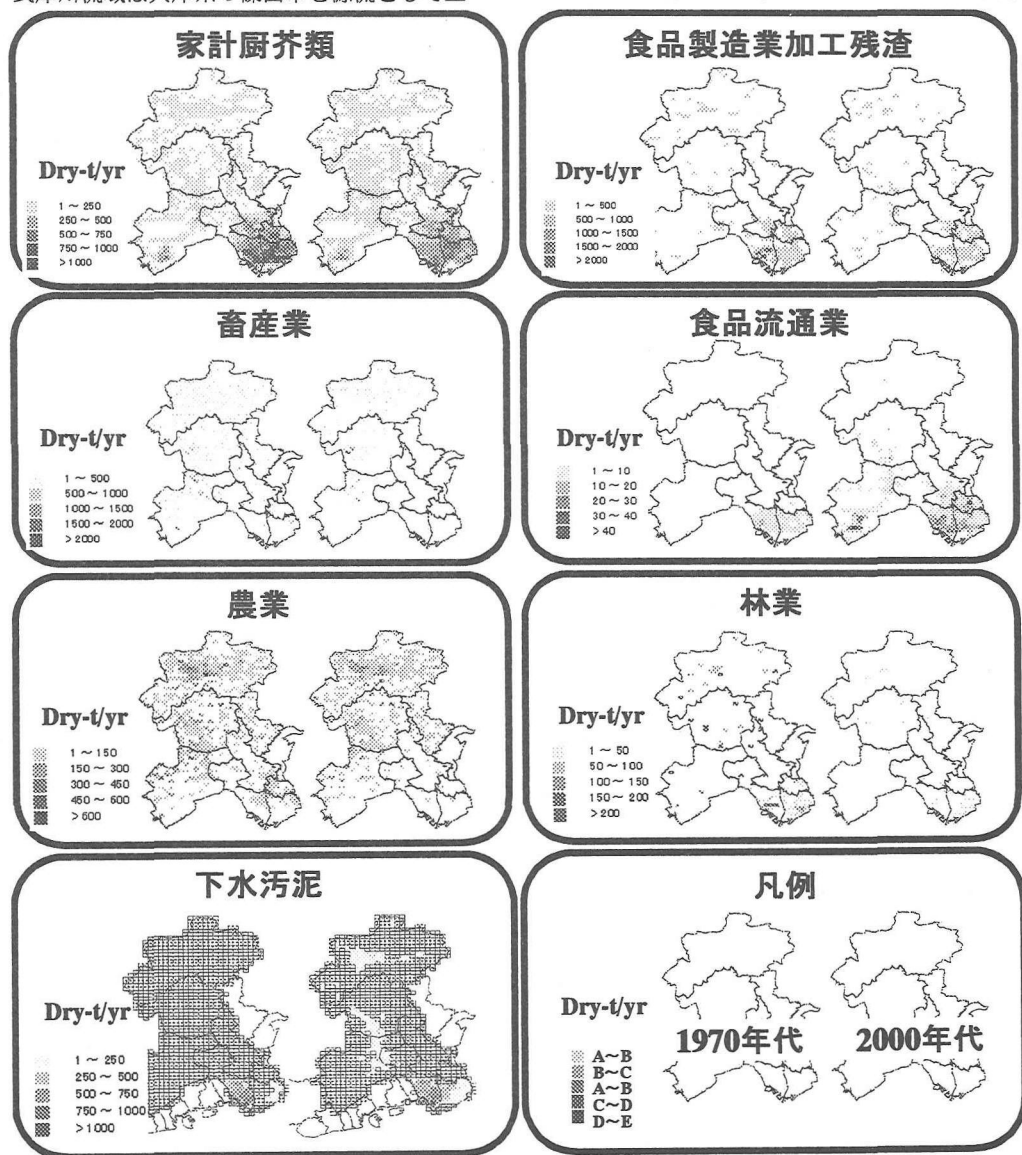


図9：武庫川流域における有機性廃棄物発生分布量の算定結果

表3：設定したシナリオの概要

	概要
シナリオ1 現状維持シナリオ	焼却処理を中心とした処理施設を維持するシナリオ
シナリオ2 地域転換シナリオ	下水処理場を処理場ごとに分散化させて設置し、各循環区で資源化施設の建設と維持更新を行なう

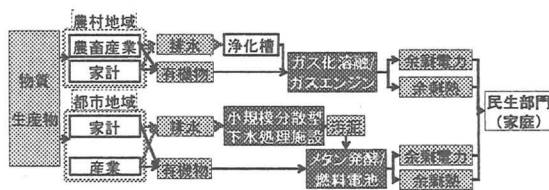


図10：シナリオ2での施策オプションの位置づけ

表4：対象とした廃棄物の含水率

対象とする廃棄物	含水率	ガス化溶融投入時の含水率
下水汚泥(生汚泥)	0.97	0.40
浄化槽汚泥(生汚泥)	0.97	0.40
脱水汚泥	0.80	0.40
畜産業(家畜糞尿)	0.81	0.40
家計生ゴミ(厨芥類)	0.65	0.40
食品製造業(食品加工残渣)	0.48	0.40
食品流通業(厨芥類)	0.65	0.40
緑地系(剪定枝)	0.39	0.39
農業(作物系)	0.12	0.12
木材加工残渣(おが屑)	0.30	0.30

表5：輸送車輛の燃費

	燃料
車輛輸送	4.5(km/l)

※燃料は軽油換算値

表6：ポンプ場の稼働でのエネルギー投入量

	燃料	電力	参考資料
ポンプ場	0.001(l/m³)	0.789(kwh/m³)	(13)

表7：廃棄物処理施設の処理プロセスにおける投入エネルギー

	燃料	電力	その他	残差発生量	備考	参考資料
し尿処理施設	305(MJ/kl)	557(MJ/kl)	113(MJ/kl)	3(kg/kl)	し尿処理1klあたりの値	(14)
焼却	340(l/t)	100(kwh/t)	~	0.145(t/t)	廃棄物1tあたりの値	(15)
メタン発酵	600(MJ/t)	288(MJ/t)	~	0.2(t/t)	廃棄物1tあたりの値	(16)

※(燃料はA重油換算値)

泥は流域の流域下水道が整備され上流地区に拡大している。事実と合致している。さらに農林業、畜産業等の第一次産業は分布範囲が縮小しつつ総量も減少している。

5. 3 武庫川流域で設定したシナリオと施策オプション

本研究ではシナリオ誘導型施策立案の枠組みで示した「現状維持シナリオ」、「技術高度化シナリオ」、「地域転換シナリオ」、「Deep Ecology シナリオ」のうち2つのシナリオを設定した。有機循環施策について設定したシナリオ概要を表3に示す。

シナリオ1：現状維持シナリオ

固形有機廃棄物は焼却を、下水処理は汚泥焼

表8：水処理プロセスにおけるエネルギー投入量

	燃料	電力	その他	参考資料
水処理		1.85(Mcal/m³)		(17)
汚泥濃縮		0.101(Mcal/m³)		
汚泥脱水		0.126(Mcal/m³)		
汚泥焼却		245(Mcal/m³)		

表9：メタン発酵における廃棄物ごとのメタン発生量

対象セクター	含水率(%)	メタンガス発生量(Nm³/t)
下水汚泥	97	15
浄化槽汚泥	97	15
家畜系廃棄物	81	95
家計系(厨芥)	80	100
食品製造業	80	100
食品流通業	80	100

表10：コージェネレーションシステム発電/発熱効率

	発電効率	発熱効率	参考資料
燃料電池	40%	40%	(18)
ガスエンジン	37%	29%	

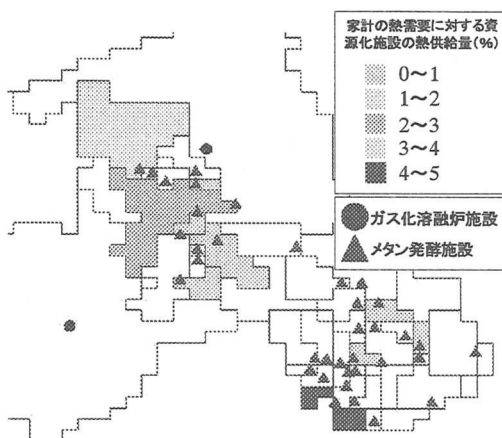


図 11：地域ごとの熱需給バランス

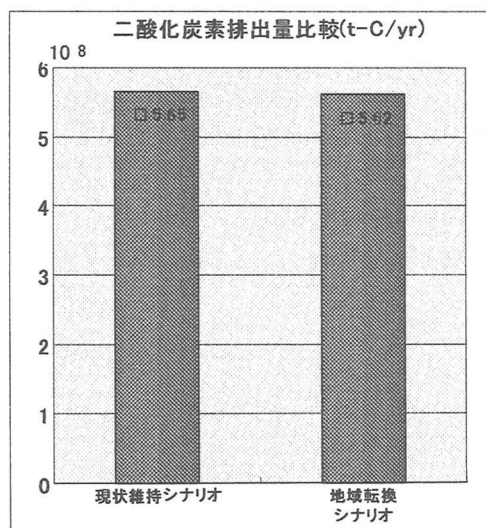


図 12：民生部門（家計）の二酸化炭素削減効果

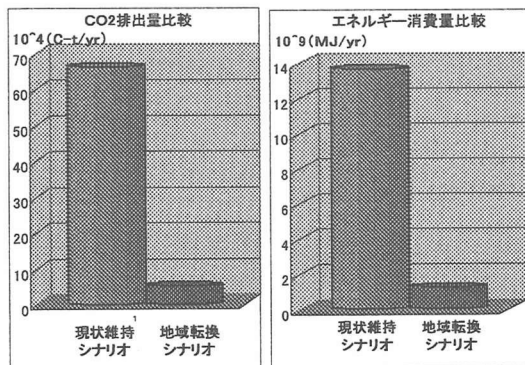


図 13：処理プロセスにおけるシナリオごとの算定結果

却処理を基本とした現状維持型の技術シナリオである。現状処理を維持した場合の運用時の実績値を評価する。

シナリオ 2：地域転換シナリオ

既存の循環を地区単位で行い、メタン発酵施設やガス化溶融炉施設を中核と位置付けて、新規の施設建設と既存の処理施設を更新するシナリオである。下水道整備地区は処理区分ごとに水処理施設およびメタン発酵施設を設置した。施設立地は処理区分内のポンプ場か、ポンプ場が無い場合には処理区分内の標高の最低地点に設置した。下水道未整備地区においては焼却場ごとにガス化溶融炉を設置し熱電供給を行えるように設定した。

シナリオ 2 の政策を検討した意義は、現状維持型と対極的な物質循環の規模を小さくする政策である点と、長期的な施設更新や処理範囲の改善の分析を行うことでシステムの有効性を検証するためである。シナリオ 2 で用いた政策オプションの位置づけを図 10 に示す。また各シナリオの分析において使用したパラメータを表 4 ～表 10 に示す。

5. 4 シナリオ分析結果

地域転換シナリオにおいて処理区分ごとに設置したメタン発酵施設及び焼却場ごとに設置したガス化溶融炉施設から発生する余剰エネルギーと家計の熱需要（暖房、給湯）とのバランスで比較を行った。（図 11）処理区分のいくつかの地区で熱供給の可能性がある。熱供給を行えない地区は有機物に占める下水汚泥の割合が大きいため、発電量、発熱量が小さい上に処理プロセスに必要なエネルギーが多くなるためである。

次に民生部門（家庭）への熱電供給により削減された CO₂ 排出量を図 12 に示す。電力と熱を民生家計部門に供給できたとして、同部門における CO₂ 削減量は 0.4% であることがわかった。なお CO₂ 量の算定に当たっては、熱は家計の都市ガスを代替するものとし、電力は全ての発電方式の平均値による CO₂ の排出原単位を用いて算定を行っている。地域単位で有機廃棄物の再資源化を行うことで、各地区の民生部門（家庭）の熱需要に熱供給を行えるようになり現状維持のシナリオよりも民生部門（家庭）での CO₂ 削減効果認められた。

図 13 に各シナリオにおける処理プロセスのエネルギー及び CO₂ 削減効果を示す。ここで対象としている処理プロセスは廃棄物回収、水処理、汚泥処理、焼却、再資源化を算定に含めている。算定結果ではエネルギー使用量において 90% の削減効果、CO₂ 排出量において 92% の削減効果が確認された。

6. まとめ

本研究でえられた成果及び今後の課題を列挙する。本研究では持続可能な流域管理を目指して、シナリオ誘導型の計画立案の枠組みを示し、地理情報システムをベースとした施策プログラムの評価システムを構築した。その結果、3次元メッシュでの有機廃棄物の発生分布量の推計を可能にし、回収、資源化、副産物供給のプロセスにおいてベクトル計算をもちいて表現するアルゴリズムを構築した。また流域圏の有機循環政策における政策を限定的に対象とした施策オプションへ選定しケーススタディを行った。これにより流域圏における有機性循環施策を対象として、廃棄物発生、回収、処理、副産物供給の領域設定と技術設定、施設立地に対して、施策立案をするためのシステム構築を行った。

自然共生型の流域圏を目指す施策の立案と評価を行うには水質改善、洪水流出制御、土地利用制御の他の政策ドメインを含めた施策プログラムの立案と評価を行う必要がある。対象とする施策ドメイン同士を媒介する変数を明らかにし、統合的な評価システム開発へ拡張を目指すことが課題である。

参考文献

- 1) Tsuyoshi FUJITA・Tohru MORIKA Integrated Planning and Evaluation System for Scenario-driven Policy Programs for Ecosystem-friendly and Cycle-oriented Basin Management Japan Society of Civil engineering proceeding paper p4~p6
- 2) 高橋 潔 温暖化影響評価のシナリオ分析 1~2
- 3) World water council World Water Vision A water secure world Vision for water Life and the Environment
- 4) WBCSD Global Scenarios 2000-2050 Summary Brochure Exploring Sustainable development
- 5) Joe Raverz City Region 2020 Integrated Planning for Sustainable Environment
- 6) 岡村実奈, 井村秀文 都市の有機物資源循環構造のモデル化と将来予測シミュレーションに関する研究 2002 環境システム研究論文発表集 251~254
- 7) 市江達也, 馬籠信之, 森杉雅史, 井村秀文 有機物中資源循環を目指した都市環境インフラシステムの設計に関する研究 2001 環境システム論文発表集 183~189
- 8) 三浦浩之, 中野加都子, 和田安彦, 村岡治, 藤井亨 年循環システムにおけるエネルギーネットワークの構築 土木学会論文集 No.636/VII-13 47~59
- 9) 羽原浩史, 松藤敏彦, 田中信壽, 井上真智子 コスト及びエネルギー消費量による一般廃棄物の広域化シナリオの比較に関する研究 2002 環境システム研究論文発表集 323~332
- 10) 田畑智博, 後藤尚弘, 藤江幸一, 井村秀文, 薄井智貴 発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究 2002 環境システム論文発表集 315 ~322
- 11) 高木朗義, 武藤慎一, 村松穂高 GIS データベースに基づいた水環境保全策の経済評価手法の開発 2002 環境システム論文集 161~169
- 12) 盛岡通 1991 分散多様水システムの統合管理 現代水問題の諸相 233~266
- 13) 尼崎市土木局下水道部 維持管理実績 H13 年度より
- 14) し尿浄化槽汚泥等の液状廃棄物処理のライフサイクルインベントリ分析 2002 土木学会論文集 No.706/VII-23
- 15) 兵庫県の一般廃棄物処理事業実態 H11 年
- 16) 地域循環産業研究会 廃棄物のメタン発酵
- 17) 鶴牧峰夫 環境調和性を考慮した排水処理システムの評価手法に関する研究
- 18) 堂脇清志, 皆川農弥, 松橋隆治, 石谷久, 製材工業における廃材を利用したガス化コージェネレーションプラントシステムの評価 2002 エネルギー学会誌 第 81 巻 4 号

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TO SUPPORT POLICY PLANNING AND EVALUATION SYSTEM FOR SCENARIO-DRIVEN CYCLE-ORIENTED BASIN MANAGEMENT

Kazunori TANJI, Tohru MORIOKA and Tsuyoshi FUJITA

Research framework to evaluate alternative scenarios characterized by pollution abatement facilities, infrastructures, activity management, and land use control are firstly presented. Flowingly, structures of integrated regional GIS database and simulation system in basin-wide region are presented for a pilot survey in Muko River Basin in Hyogo prefecture. Thirdly Policy Options and their Environmental Evaluation by CO2 Emissions and Solid Wastes of Landfill and tentative policy recommendations are proposed in concluding chapter.