

総合モデルを用いた地域環境問題のソフト分析

Soft Analysis of Regional Environmental Problems by Using an Integrated Model

河野 小夜子*, 領家 美奈*, 中森 義輝*

Sayoko Kawano, Mina Ryoke, Yoshiteru Nakamori

ABSTRACT: This study utilizes an environment framework model which is one of the integrated models to treat both environmental problems and human activities. When we think of regional environmental problems, we need a regional management theory in which all problems a region has are treated comprehensively. To accomplish this aim, utilization of the framework model is quite useful. There is a limit to using only 'hard data', namely numerical data when we grasp the whole environmental problems with this model, because 'hard data' cannot cover with all environmental items. Then, this paper proposes a method to analyze regional environmental problems with 'soft data' which means subjective data such as peoples' feeling and knowledge. Results of a questionnaire survey to residents are used as soft data.

KEYWORD: Environmental problems, framework model, soft analysis

1 はじめに

近年、環境問題が大きな社会問題となり、その解決を模索する研究が様々な分野において行われている。各分野で学問の細分化が進むのに相反して、環境問題においては諸問題を総合的に扱う研究が必要不可欠となっている。なぜなら、環境問題は一つではなく相互作用を及ぼし合って複数存在する問題群で、観察者であり当事者である人間が加わって構成されているため、非常に複雑で大規模であるという性質を持つからである。また、環境問題は経済、政策、自然をサブシステムとして成り立つ社会システムの上に存在しており、これらサブシステムについて理解した上でサブシステムとの関わりを考慮する必要がある。

環境問題の総合的なアプローチによる研究の先行例として、各種総合モデルを利用した地球温暖化のモデリングとシミュレーションがある ([1][2] 他)。これらのいくつかは、実際の政策形成に反映された社会的意義のある研究である。

本研究の目的は、総合モデルを用いて自治体レベルの地域環境問題を取り扱うための手法を提案することである。対象とする自治体は、本大学が位置する石川県である。県で重要視されている環境問題には、水質汚濁（河川、湖沼）、ごみ問題がある。また、環境ビジネス促進のための政策を積極的に行い始めている。環境問題と要素との関係を把握し、それを踏まえて将来予測を行うことは、県の環境政策策定の支援を行なうための方法論と手法を開発することに繋がる。総合モデルとしては「環境フレームワークモデル」を用いる。このモデルを扱った既存研究では、主として統計データによるパラメータ同定と、シナリオ分析によるシミュレーションを行っている [3][4]。

既存の環境問題に関するデータには、以下のような問題点が挙げられる。ここで、指定された項目について実測した数値データを“ハードデータ”、人間の感覚や感性で対象を捉えた主観的なデータを“ソフトデータ”と呼ぶものとする。

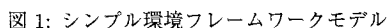
1. ハード・ソフトデータ共に数が多く、かつまとめられていない部分が多いために、環境問題の実状を理解するのが困難であること

*北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

- これらを改善すべく、“ハードデータ”に加えて“ソフトデータ”を利用したシステムモデリング手法を実施するためにはどのようなソフトデータが必要で、それらをどうモデルに取り込むのかを以下で検討する。

2.1 モデルの概要

このモデルでは、プロセスが複雑でブラックボックス化せざるを得ない部分がある。例えば、環境については、変化、他の問題との関係、他の問題に与える、または受ける影響という3つのプロセスを持っているが、これらを全て捉えることは専門家でも非常に難しいであろう。そこで本研究では、プロセスを少し簡略化したモデルを用いるものとする。



各プロセスは以下のような役割を果たす。プロセス内の基本構造はオリジナルモデルと同じとする。

人口と県内総生産から生産活動（第一次産業、第二次産業、第三次産業）に必要な額を計算する。

上で得た生産額と生産に必要な要素との関係を決める。ここでは要素を、労働力、資本、土地、エネルギーとしている。

生産活動を行なうことによって生成される廃棄物の量を計算する。

廃棄物の量及び環境状態と対策の関係を示す。法令や規制など既に行われた施策というテキストデー

タや、専門家の知識データを指標として用いる。

5. 環境プロセス

環境の状態、変化を示す。現在の環境状態をハードデータ及びソフトデータから把握し、対策によってどのように変化するかを同定する。環境問題には石川県で重視されている、大気汚染・水質汚染・土壌汚染・森林減少・酸性雨・温暖化の6つの問題を考える。

6. 調整プロセス

対策や環境によって人間の意識や行動が変化し、次のステップでどのように調整されているかを示す。

2.2 数式モデルによるパラメータ同定法

前述の8つのプロセスのうち、数値データが存在する基本生産、生産要素、廃棄物の各プロセスには、数値データを用いてパラメータを同定できる。計算方法を以下に示す。

コブ・ダグラス型関数を用いて、式(1)を立てる。

$$y = Ax_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} \quad (1)$$

ここで、 y は出力、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ は入力、 $A, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ はパラメータである。式(1)の対数を取って式(2)を得、式(3)を用いて、式(4)を得る。

$$\log y = \log A + \alpha_1 \log x_1 + \dots + \alpha_n \log x_n \quad (2)$$

$$Y = \log y, \alpha_0 = \log A, X_k = \log x_k (k = 1 \dots n) \quad (3)$$

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \dots + \alpha_n X_n \quad (4)$$

式(4)は、最小二乗法及び式(5)を用いて式(6)で表される。この式(6)によってパラメータが計算される。

$$X = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1n} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix}, \mathbf{y} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_m \end{pmatrix}, \boldsymbol{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\alpha} = (X^t X)^{-1} X^t \mathbf{y} \quad (6)$$

既に、石川県の過去30年間のデータを当てはめてモデル式を取得済みである[6]。

2.3 ソフトデータによる後半プロセスの分析手法の提案

前章で述べた数式によるパラメータ同定手法は、数値で表されるデータ、すなわちハードデータが存在しないプロセス（ここでは対策、環境、調整の各プロセス）では利用できない。そのため、ソフトデータを用いたモデリングを行うことを検討する。

本章では、これらの各プロセスにおいて、どのようなデータを用い、どのようなアプローチでモデリングを行おうとしているかを説明する。

(1) ソフトデータの収集

ソフトデータとしてはまず、行われた施策などのテキストデータがある。その他に専門家や住民の知識が考えられる。後者のデータを得るために、2000年に石川県住民への環境問題意識調査を行っている。

調査は、2000年12月に石川県加賀地方の4市13町5村（金沢市、小松市、加賀市、松任市及び江沼郡、能美郡、石川郡、河北郡の全町村）の住民を対象に、郵送方式で行った。回答者のうち2000名は予備調査地の河北潟周辺五市町から、1000名はそれ以外の市町村から各市町村内の地区（字）の数に比例して地区毎に回答者数を定め、電話帳から無作為抽出した。回答者数/調査票送付数は、1081/3000、回収率は36%であった。回答者属性に関わる質問以外で一問でも答えていない質問があればその回答者の回答を無効回答としたので、最終的な有効回答数は900となった。

アンケートは全質問を選択回答式とし、回答者属性以外の質問は5択式である。質問内容は、回答者の身近にある水質及び大気質に対する評価、廃棄物及びその対策に対する意識と行動、石川県内の環境問題の重要度、各種エコマーク及び環境政策に対する認知度となっている。水質、大気質については、個別質問と総合評価の2種類の質問がある。質問は、既存の意識調査と予備調査の結果を経て決定した。

（2）各プロセスの同定手法

1) 対策プロセス

廃棄物や生産の状態によってどのような環境対策が講じられるか、そしてその対策が廃棄物量や環境に対してどのような効果をもたらすのか、すなわち下記の関係を求めたいプロセスである。

If 生産 is A_t , then 廃棄物 is B_t and 環境対策 is C_t .

If 環境対策 is C_{t+1} , then 廃棄物 is B_{t+1} and 環境 are D_{t+1} .

石川県の環境対策予算が数値データとして存在するが、最近統計が取られ始めたため本プロセスで使用するにはデータ不足である。

環境対策の一つとして、廃棄物に対するものが近年様々な形で実施されている。アンケートでは廃棄物とその対策について質問しており、「Q1. 指定ごみ袋の有料化がごみの減量化につながる」「Q2. ごみの分別の種類を現在よりもっと多くしたほうが良い」をこのプロセスに関するものとして用いる。

これらの各質問の回答結果を市町村毎に平均値を取り、これと各市町村の一人当たりのごみの排出量（可燃ごみ及び可燃、不燃、資源ごみの合計）、ごみの分別の種類数を比較している。後者二つのハードデータは市町村に一つデータが存在するため、前者のソフトデータも同じ数のデータを用意するために市町村毎に平均値を取っている。

有料ごみ袋制度については、この制度を導入したことで一時的にごみが減少することはあっても、それが持続することはほとんどないことがごみ排出量のグラフから読み取れた。制度を導入しているしていない、あるいは市町村の規模や特色に関わらず、Q1の回答結果では効果がないと考える住民がやや多いことが現れていた。分別の種類の数についても、分別の種類の数とごみの排出量、分別の種類の数とQ2の回答結果のそれぞれに関係は見られなかった。

以上より、有料ごみ袋制度及びごみの分別数のごみ排出量減少に直接的に及ぼす効果は薄いことが推測できる。但し、ハードデータとソフトデータではなく、ソフトデータ同士で強い関係が現れていることがある。例えば、有料ごみ袋制度を行っていない市町村の場合、Q1とQ2の相関係数は0.89と非常に高くなり、全市町村のデータで見ても同係数は0.59となった。

2) 環境プロセス

これらのプロセスでは、環境が生産や廃棄物、対策からどのような影響を受けてどのように変化し、変化させた各問題間でさらにどのように相互作用を及ぼしあうかを表すものである。ここには2.1節で述べた通り、石川県で重要視されている大気汚染・水質汚染・土壌汚染・森林減少・酸性雨・温暖化の各問題を当てはめる。

If 廃棄物 is B_t and 環境対策 is C_t , then 環境影響・変化 is D_t .

If 環境影響・変化 is D_t , then 環境相互作用 is E_{t+1} .

これらのプロセスは、数値データが存在する項目とそうでない項目が半々程度である。また、数値データが存在していても1章で挙げた問題点があり、環境対策プロセス同様、専門家の知識及び住民のアンケート調査結果を用いることを必要とする。

アンケートでは、身の回りの水質・大気質を評価してもらう質問があり、このうち水質については、BOD値(生物化学的酸素要求量: Biochemical Oxygen Demand [mg/l])の測定地点毎にアンケートデータを対応させたモデルの作成と[7]、クラスタ分割した地域[8]毎に住民の水質評価と水質評価を構成する個別評価を対応させたモデルの作成[9]を行った。しかし、ソフトデータを多く必要とするためにこうしたモデル作成法を他の問題に適用することは難しく、また各問題について詳しいモデルを作ることもさりながら、問題群として捉えてモデルに組み込む手法を開発することも必要である。

異なる環境問題を評価する方法として、ライフサイクル・インパクトアセスメント(LCIA)手法がいくつか提案されている[10]。アンケート調査では対策を早急に必要とすると考えた環境問題を住民に尋ねているので、その結果によって問題に重みづけを行い、ハードデータとソフトデータによる環境負荷を加えて評価する、[11]を参考にした手法を用いてこのプロセスを同定することを考えている。

アンケート調査で住民が評価している環境は局所的なものである。判断基準と判断主体が違う各地域に対する評価をまとめて県全体の評価とするには、感性データの解析手法[12]をさらに発展させた理論も用いてデータを分析することも重要であると考えられる。

3) 調整プロセス

環境対策や環境の変化を受けて、人間がどのように活動を調整して、次の段階の生産を行う(人間の活動が変化する)かを同定するプロセスである。

If 環境対策 is C_t and 環境影響・変化 is D_t , then 調整 is F_t .

ここも環境対策プロセス同様、アンケート調査の中でごみ問題について問うた結果を用いる。意識を量るものとして「Q3. ごみをたくさん出す人がより多くのお金を払うのは当然である(受益者負担)」、行動を量るものとして「Q4. ごみを決められた分別をして出している」「Q5. 過剰包装は断ることにしている」を用いる。対策プロセスに同じく、市町村毎に平均値を取っている。Q4は、ごみ問題に対して意識が高い人が肯定する傾向にあると考えられる。Q4は(比較的行うことがたやすい)規則を守るかどうかを、Q5は自主的な環境配慮行動をするかどうかを判断できる質問である。

Q3は8割が肯定し、Q4は9割以上が「している」と答えている。しかし、Q5を行っている割合は半数程度であった。決められたことに対しては決まりを守って行動するが、自主的な環境配慮行動はあまり行われていないことがわかる。なお、対策プロセス分析の際に示した「Q1. 有料化」の質問とQ5の相関係数は0.75、「Q2. 分別の種類」とQ5の相関係数は0.58で、かなり高い値を示している。このことから、環境問題(ごみ問題)に対する意識はその人の行動にも影響を及ぼしている可能性が高いことが言える。

これらの意識と行動の関係は、市町村毎のマクロな分析だけでなく、どういったタイプの人がどういった意識と行動のパターンを持つのかについて、ミクロレベルでの分析も必要となるだろう。こうしたパターンは人によって様々であるので、住んでいる地域や年齢も考慮してパターンをいくつかに分類し、パターンA→パターンBに変化すると次のステップで環境に配慮した行動をする人が多くなる、などのルールを発見することを本プロセスの解析の一つの結果としたい。

3 おわりに

本稿では、地域環境問題を把握するために用いる環境フレームワークモデルについて、概要を説明し、数式モデルのパラメータ同定方法を提示し、ソフトデータによる分析手法を提案をした。

今後は、数式モデルと合わせてモデル全体がどのように動くのかを示すために、引き続きソフトデータによる分析手法の開発と分析を進め、大会当日に結果を報告する予定である。

謝辞

本研究は、2001年度公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の助成を受けて遂行しているものである。ここに謝意を表する。

参考文献

- [1] Y.Matsuoka, M.Kakinuma, and T.Morita., Scenario Analysis of Global Warming Using the Asian Pacific Integrated Model (AIM), Energy Policy, Vol.23, No.4/5, pp.357-371, 1995.
- [2] W.D.Nordhaus, The DICE Model, Cowles Foundation Discussion Paper, Yale Univ, 1992.
- [3] 楠部孝誠・中森義輝・森田恒幸・西岡秀三・内藤正明, 環境政策分析支援のためのフレームワークモデル, 環境科学会誌, Vol.11, No.1, pp.17-29, 1998.
- [4] 萩原和昌・中森義輝, シナリオ分析に基づく環境予測シミュレーション, 日本シミュレーション&ゲーミング学会第9回全国大会発表論文抄録集, pp.102-103, 1997.
- [5] S. Nishioka, T.Morita, et al, Paper for ECO ASIA Workshop Meeting 1995, 1995.
- [6] S. Kawano and Y. Nakamori, Environment Knowledge Management Using the Framework Model, Proceedings of International Symposium on Knowledge and Systems Sciences, pp.111-116, 2000.
- [7] 釈迦戸美由規・河野小夜子・領家美奈・中森義輝, 住民意識を用いた地域環境のソフト予測, 第11回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, 114-117, 2001.
- [8] 武田雄一・領家美奈・中森義輝, 環境属性による地域のクラスタリング, 第11回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, 110-113, 2001.
- [9] S. Kawano, M. Shakato, M. Ryoke and Y. Nakamori, Soft Data Analysis for Evaluating Regional Environment, Proceedings of Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, pp.116-121, 2001.
- [10] 松橋啓介・森口祐一・寺園淳・田辺潔, 問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み, 環境科学会誌, Vol.13, No.3, pp.405-419, 2000.
- [11] 永田勝也・藤井美文, 技術のライフサイクルアセスメント手法, 人間活動による環境インパクトの定量化手法, 文部省科学研究費重点領域研究「人間地球系」E11計画研究班, pp.39-58, 1996.
- [12] 中森義輝・領家美奈, 感性評価データに対するファジィ回帰モデル, 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.1, pp.127-132, 2000.