

## 17. 気候変動と適応策に関する市民意識構造分析

植本琴美<sup>1</sup>、那須清吾<sup>1\*</sup>、小池俊雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高知工科大学社会マネジメントシステム研究センター

〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\*E-mail:nasu.seigo@kochi-tech.ac.jp

<sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3-1

IPCC第4次評価報告によれば、大雨の頻度が増え、渇水の影響を受ける地域が拡大することが予測されている。四国および吉野川の水資源量、生活用水、水環境や洪水調節機能、また、経済活動にまで大きな影響を与えることが懸念され、水資源政策によってどの様に気候変動に適応できるかを定量的に把握することが喫緊の課題である。そこで、気候変動の影響を考慮した水循環、水利用、水環境の自然現象から社会現象に至る統合シミュレーションモデルにより、水資源の変化や洪水・干ばつなどの自然現象とその社会経済への影響および適応策の効果に関する情報を創造し、四国4県の市民に提供した。市民の意識構造ロジックモデルを構築し、情報提供による意識変化をカーネル法を応用して確認する方法を試行した。

**Key Words :** 気候変動適応策、意識構造ロジックモデル、カーネル法、水資源政策、地域経営

### 1. 気候変動適応策研究の概要

本研究は、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの全国12プロジェクトの一つとして推進している。気候変動予測の成果を都道府県あるいは市区町村などの地域規模で行われる気候変動適応策立案に科学的知見として提供するために必要となる研究開発である。将来の気候変動影響を考慮した適応策の立案には科学的根拠となる気候変動予測情報が不可欠となるが、現在の気候変動予測の空間解像度は地域規模の検討に使用するには粗いなどの課題も指摘されており、気候変動予測の時間的、空間的な分解能を向上させることや、予測に含まれる不確実性を低減することが必要である。また、全球規模の気候変動予測成果を利用する気候変動適応シミュレーションは、対象地域の社会的な実情を十分に考慮することによって、効果的な適応策立案に必要な科学的知見を政策決定者や利害関係者に提供できるものと期待される。

本研究は、全国12プロジェクトの一つである「気候変動下における四国の水資源政策決定支援システムの開発（研究代表：高知工科大学・那須清吾）」であり、気候変動による水資源の変化や洪水・干ばつなどの自然

現象と、その社会経済への影響に対して適切な適応策を選択し、地域が納得する方法で水資源政策を決定するため、「気候変動予測モデル」、「水資源量および変動量を予測する水文モデル」、「社会科学的なインパクトの評価モデル」、「適応策オプションの評価および選択システム」の統合シミュレーションモデルを四国・吉野川流域において構築する。さらに、この統合シミュレーションモデルによって提案される適応策（政策）により、行政と市民、利害関係者の相互理解と政策調整に基づいて実現する地域経営システムのプロトタイプを構築することを目的としている。研究のプロセスとしては、以下のとおりである。

#### (1) 地域・流域スケール水循環に関する気候変動予測の不確実性の定量的評価と改善

吉野川流域の地域スケールにおける気候変動による水循環の変化を、不確実性の定量的評価を含めてシミュレーション出来る「気候変動予測モデル」および「水資源量および変動量を予測する水文モデル」を構築する。

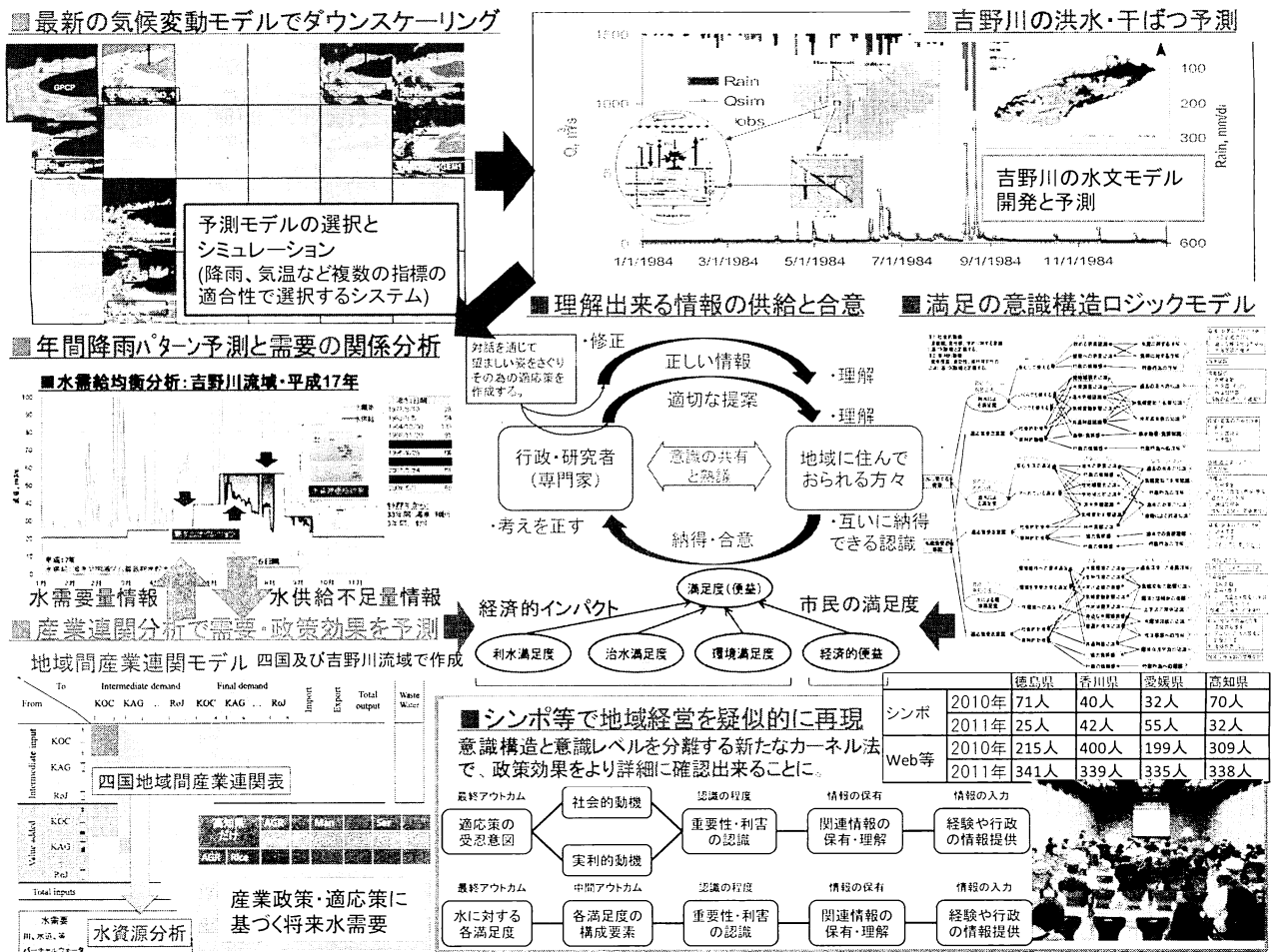


図-1 気候変動影響・適応シミュレーションの全体構造

## (2)気候変動が地域・流域スケールの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響評価

気候変動が四国・吉野川流域スケールでの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響、社会経済や市民意識に与える影響を評価する為、水質評価モデル、市民の意識構造ロジックモデルおよび産業連関表などで定量的な評価が可能な利害構造ロジックモデル、これらを統合したアウトカム指標を提案し、これらに基づく気候変動の社会経済的影響を総合的に評価する「社会科学的なインパクトの評価モデル」を構築する。

## (3)不確定性を考慮した社会的便益を最大化するオプション選択システムの構築

気候変動の影響予測の不確定性の定量化情報を考慮した社会的便益を最大化する「適応策オプションの評価および選択システム」の研究を実施する。適応策の時間的制約と気候変動の不確定性の関係を分析し、将来の適応策に関わる便益の期待値に基づき現時点の政策を決定し、社会的便益を最大化する為の機能設計を行う。

## (4)気候変動への適応策の実施のための地域経営システムプロトタイプの構築

気候変動への適応策シミュレーションによる地域での政策決定および実装を支援するための地域経営システムの臨床的研究を実施する。(1)～(4)の成果である「気候変動予測モデル」、「水資源量および変動量を予測する水文モデル」、「社会科学的なインパクトの評価モデル」、「適応策オプションの評価および選択システム」の統合シミュレーションモデルによる、気候変動の影響および適応策(政策)の評価情報に対して、市民の意識構造モデルを構築することでその反応を評価し、統合シミュレーションモデルにフィードバックする。このマネジメントサイクルにより、臨床的に気候変動の統合シミュレーションモデルを検証し、修正する地域経営システムのプロトタイプを構築する。

2. 市民意識構造の調査概要

(1) 意識構造ロジックモデルの構築

「気候変動が地域・流域スケールの干ばつ・水害・水質汚染に与える影響評価」は、気候変動による水資源等への影響だけではなく、市民の意識を考慮する必要がある。また、社会的便益を最大にする水資源政策を検討する場合、水資源配分に対する市民の認識を把握しなければならない。したがって、水資源政策の評価は、市民の意識に基づく必要があり、評価の枠組みは、水資源に対する市民の満足度となる。しかし、我々日本人は、蛇口をひねればいつでも安全な水を利用することができる環境にあるため、水資源と市民の満足度について理解することは難しい。本稿では、平成23年度に構築した市民の意識構造ロジックモデルに基づきシンポジウム、インターネットで実施したアンケート調査結果を、共分散分析およびカーネル多変量解析により分析した。その結果に基づき、水資源、治水、環境に関わる市民の意識の強さおよび意識の構造を個々に評価出来る意識構造ロジックモデルによる満足度評価モデルを構築した。また、アンケート調査結果により水資源、治水、環境に関わる便益の大きさの相対比率をAHPにより計測し、利水、治水、環境に関わる満足度の定量化モデルを構築した。

意識構造ロジックモデルは、環境保全、水プロジェクトに従事する行政職員やそれらの活動に参加した経験のある市民を対象とし、四国各県5人、計20名に対するインタビューに基づき水に関連する満足の認知マップを作成し、そこから利水、治水、環境に関わる満足度を論理として構成する意識要素を抽出した。満足度は、様々なサブ満足度で構成されるが、それは事柄に対する認識の度合いで決定される。更に、その認識度合は、関連する要素の知識量や理解度に依存するが、それは過去の体験や与えられる情報によって変化すると仮定した。

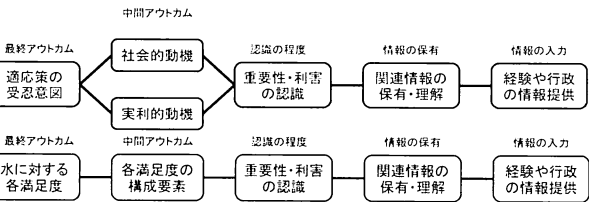


図-2 意識構造ロジックモデルの構造

更に、水資源等に対する政策の市民の受け入れ意図(適応策の受忍意図)は、社会利益の為に受け入れる社会的動機、及び、個人の利益の為に受け入れる実利的動機に依存すること、これらの動機は満足度と同様に事柄に対する認識の度合いに依存すると仮定した。市民の適応策の受忍意図をモデル化することで、水資源政策の選択に関わる基準となるとともに、市民の受け入れやすい適応策の検討に資する。

水に対する満足に関わる意識構造ロジックモデル

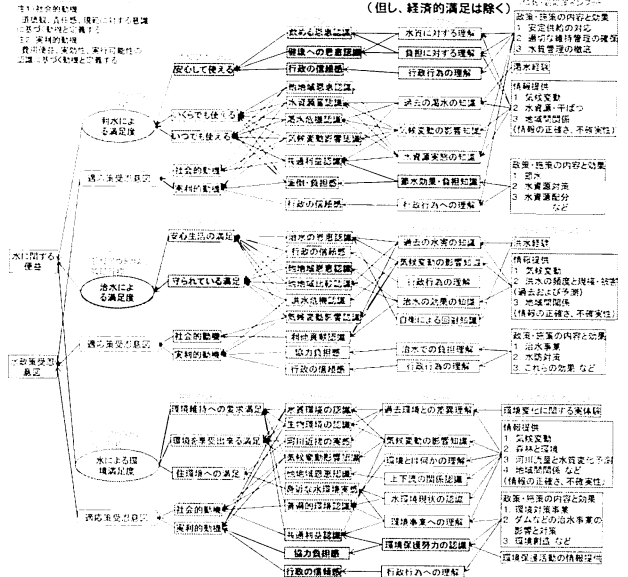


図-3 利水・治水・環境に対する意識構造ロジックモデル  
(気候変動に着目したモデル案)

(2) 情報提供による意識変化の把握実験

市民の意識構造モデルに基づいて、気候変動による生活や環境の変化に対する市民の意識を把握していくため、アンケート調査を実施した。アンケート調査は、定量化のためのものであり、水資源に対する満足度が情報提供によってどのように変化したかを把握するものである。2010年度同様に、2011年度も対話（シンポジウム及びWebアンケート）を通して、水に対する現在の意識調査である事前アンケートと講演後の事後アンケートを実施した。また、気候変動モデルのダウンスケーリングは、吉野川流域を対象としていることから、2011年度は、この流域に特に関わりのある四国中央市においてもシンポジウムを開催した。アンケートの回収状況を2010年度と併せて示す。図中のカッコ内の人数は、2010年度参加し、2011年度も参加して下さった方である。よって、情報提供による意識の変化のみならず、初年度である2010年度と次年度の2011年度の両シンポジウムに参加したサンプルにおいては、経年変化を把握することもできるようになっている。

表-1 意識調査の概要

|          |        | 徳島県             | 香川県             | 愛媛県             | 高知県            | 四国中央市 |
|----------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|
| シンポジウム   | 2010年度 | 71人             | 40人             | 32人             | 70人            | -     |
|          | 2011年度 | 25人<br>(内14人)   | 42人<br>(内18人)   | 30人<br>(内12人)   | 32人<br>(内15人)  | 25人   |
| Webアンケート | 2010年度 | 183人            | 178人            | 181人            | 171人           | -     |
|          | 配布     | 132人            | 222人            | 81人             | 138人           |       |
|          | 2011年度 | 341人<br>(内111人) | 339人<br>(内122人) | 335人<br>(内120人) | 338人<br>(内94人) |       |

本研究において2011年度に実施した情報提供は、気候変動の仕組み、四国および吉野川で生じる気候変動の影響予測の結果である。

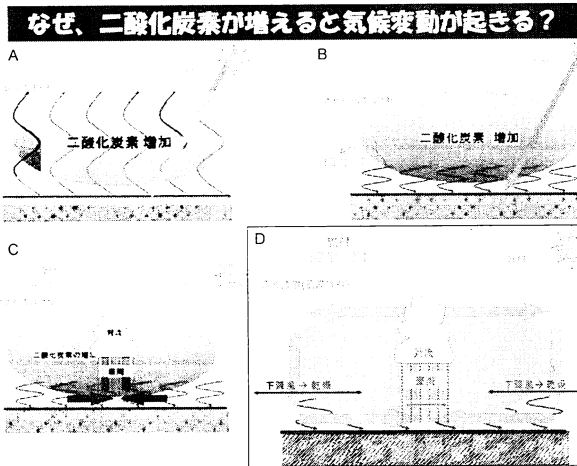


図4 温室効果ガスで気候変動が生じる仕組み

気候変動は、基本的には太陽からの日射に到達しその赤外放射が二酸化炭素の増大により地上に戻されることから、水の蒸発を促すことで生じる。湿った空気は軽いので上空に上昇し、そこに周辺の湿った空気が集まり更に上昇する。その結果、湿った空気が地域的に狭い範囲に集中し上空で放熱することで液体となり豪雨となる一方、乾いた空気は重い温度が高いのでゆっくり周辺に広がり下降気流となることで広い範囲で乾燥する。これが、狭い範囲で集中豪雨を発生させ、広い範囲で乾燥を助長する。

このような現象をシミュレーション出来る世界中で開発された25のGCMから四国地方を含むアジアモンスーン地方の気候を良く再現するモデルを抽出し、四国地方の気候変動の将来予測を実施し、その概要を市民に情報提供した。

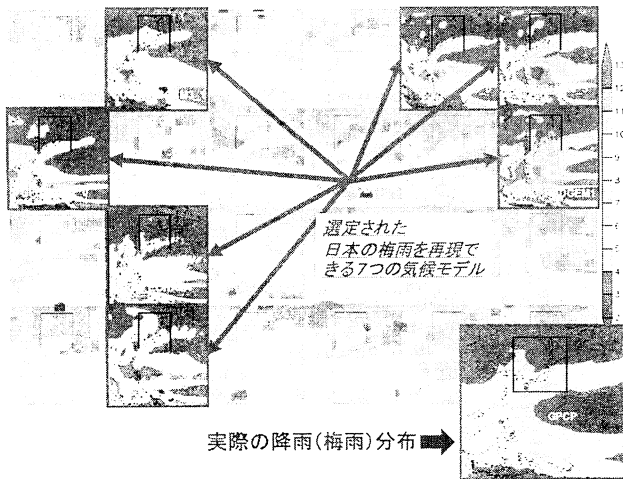


図5 気候変動予測モデルの選択

気候変動を予測するためのモデルは膨大な計算を必要とし、水循環や海の流れの動き、大気や二酸化炭素の排出量、雲の動きやその特徴、山地などの地形など、様々な情報に基づいて予測する。理想的な計算を行うためには、現在最も優れたスーパーコンピューターの100倍

以上の能力が必要なので、現状では出来る限り気候変動現象を再現出来る様に特徴をモデル化することで計算せざるを得ない。その結果、計算精度には限界があり不確実性があることを含めて情報提供を行った。

### 3.カーネル法による市民意識変化の分析方法

#### (1) カーネル法の応用

背後の因果関係つまり、隠れた構造をいかに取り出すかという問題は、データマイニングと呼ばれ、近年研究が進められている。この中で使われている強力な道具の一つがカーネル法である。カーネル法は、複雑なデータA,Bがあったとき、それらの間の関係を $k(A,B)$ という実数値関数(カーネル関数)によって要約し、すべてを数値の世界に持ち込んで処理することから、データの複雑さに煩わされることなくデータ処理の手法を設計することが可能となっている。例えば、 $d$ 個の数値を並べた変数 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$ と、 $\mathbf{y}$ という変数の組を考え、入力 $\mathbf{x}$ から $\mathbf{y}$ を出力する関数を推定するとき、サンプルデータとして、 $\mathbf{x}$ と $\mathbf{y}$ の組を $n$ 個持っているとする。線形モデルの場合、 $\mathbf{x}$ の各成分 $x_m$ に $\omega_m$ という重みを掛けて足したものになっている。

$$\mathbf{y} = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \mathbf{x}_m$$

これは、原点を通る直線をあてはめることに相当する。より一般に、何か定まった非線形変換を施して高次元空間に写像することを特徴抽出と呼ぶ。非線形変換というフィルタを介してのいろいろな特徴量を取り出すイメージである。特徴抽出された空間において線形モデルを考えたと下式のように書ける。

$$f_{\omega}(\mathbf{x}) = \omega^T \cdot \phi(\mathbf{x}) = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \phi_m(\mathbf{x})$$

また、データを高い次元の特徴空間に射影することで、非線形問題を線形問題に置き換えることができる。しかし、計算量が増えるため、カーネル法では、射影された高次元のデータを直接計算するのではなく、任意の個体 $\mathbf{x}, \mathbf{x}'$ を変換した $\phi(\mathbf{x}) \cdot \phi(\mathbf{x}')$ の内積のような処理をかりて、間接的に高次元のデータについて計算処理を行う。このようなデータの変換と内積のような演算を組み合わせた関数をカーネル関数と呼び、 $K(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \phi(\mathbf{x}) \cdot \phi(\mathbf{x}')$ のように表記する。 $\phi(\mathbf{x})$ とパラメータの内積である上記の式は、十分多くの $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots$ を適切に選ぶことにより、 $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \sum_i \alpha_i \cdot \mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x})$ の形でいくらかでも近似できる。与えられた $\mathbf{x}$ に対して、各サンプル $\mathbf{x}_i$ との近さを測った $\mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x})$ を一つの成分と見て、それらを $\alpha_i$ という重みで足し合わせたモデルとなっている。カーネル関数は、

特徴ベクトルの内積、

すなわち  $k(x_i, x) = \phi(x_i)^T \cdot \phi(x)$  で定義されることから、

$$f(x) = \sum_i \alpha_i \phi(x_i)^T \cdot \phi(x) \quad \text{と書ける。}$$

これは、パラメータを  $\omega = \sum_i \alpha_i \phi(x_i)$  という形に限定してよいということを意味している。

ここで、カーネル関数として特徴ベクトル間の内積としても表現でき、正定性も満たすガウスカネルを用いることにした。なお、 $\beta$  はパラメータである。

$$k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2)$$

(2) ガウスカネルによる分析

市民の満足度を階層構造としたモデルに基づき、カーネル関数による多変量解析を行うこととした。「利水による満足度」を評価する場合、安心して使える  $s_i$ 、いくらでも使える  $q_i$ 、いつでも使える  $a_i$ 、値段  $c_i$  の4つの説明変数を取りうることから、カーネル関数  $x_i = (s_i, q_i, a_i, c_i)$  は、下記式で示されることとなる。

$$\begin{aligned} y &= \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k(x, x') = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi(x_i)^T \cdot \phi(x') \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{m=1}^4 \phi_m(x_i) \cdot \phi_m(x) = \sum_{m=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi_m(x_i) \cdot \phi_m(x) \right\} \end{aligned}$$

ここで、 $\omega_m = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi_m(x_i)$  より、特徴抽出された空間における線形回帰式は下記で表される。

$$f(x) = \sum_{m=1}^4 \omega_m \cdot \phi_m(x)$$

前述の過程を踏むことによって、従属変数である利水の満足度と4つの説明変数との上下の意識の相関関係を考慮した回帰結果が得られることになる。全サンプルの傾向から、利水の満足度を予測することができる回帰式となっている。4つの説明変数の選択結果を入力すれば、利水による満足度を求めることができる。情報提供前後の各回帰式を通して、例えば、説明変数である4つの回答（意識レベル）が情報提供前と後で同じだったとしても、情報前後で利水による満足度に違いが生じている。この違いは、意識構造の変化として説明する。

4. 気候変動情報提供による意識構造・レベル変化

情報提供前と後での意識構造の変化をパラメータ  $\beta$  の変化として定義する。なぜなら、情報提供前後において、パラメータ  $\beta$  の値が変化するということは、分布

の形状が変化したことを意味している。このとき、パラメータ  $\beta$  は、実測値と予測値との差である残差が最小となる  $\beta$  としている。なお、 $\beta$  は、あらかじめ適当に決めておくパラメータであり、とりうる範囲は定義されていない。そのため、 $\beta$  の範囲は、残差が最小となりうる区間を想定し、その範囲内で乱数を発生させている。なお、ここで用いているガウスカネルは、パラメータ  $\beta$  の値を小さくすると、分散の大きな幅の広いガウスカネルをあてはめた場合となり、なめらかさが増す分布となる。パラメータ  $\beta$  の値を情報提供前後で比較すると、「安心して使える」は、情報を提供した後に、 $\beta$  の値が大きくなっていることから、正規分布の形状は、情報提供後、分散が小さく細く尖った形に変化したことになる。つまり、情報提供によって、「安心して使える」ことに対する危機感が高まった、あるいは、上位の意識レベルに対応する対応度が高まったと解釈できる。それに対し、「いくらでも使える」「いつでも使える」は、情報提供後  $\beta$  の値が小さくなっており、なめらかさを増した正規分布に変化していることから、関心はあっても上位の意識に対する対応度が鈍化したといえる。

実際に、「利水の満足度」に対する「安心して使える」におけるガウスカネルを示す。図-6（上図）は、横軸に各変数の選択肢  $x - x'$  を取ったときの  $k(x, x')$  をプロットしたものである。情報提供後のパラメータ  $\beta$  の値が大きくなっている「安心して使える」は、情報後の分布は情報前のそれよりも尖ったものになっている。逆に、パラメータ  $\beta$  の値が情報提供後、小さくなった「いくらでも使える」を見ると、情報後の方が幅の広い分布になっていることが分かる。

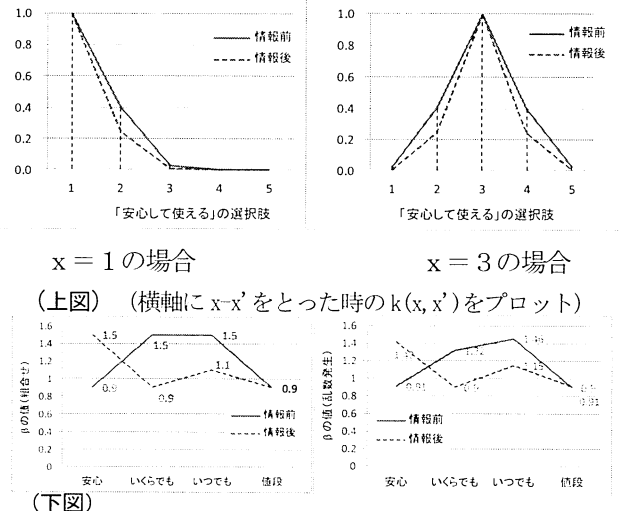


図-6 ガウスカネル関数の分布事例と  $\beta$  の変化

図-6（下図）は、「利水の満足度」を説明する4つの変数に対して、情報提供前後での各パラメータ  $\beta$  の値を検討する0.9~1.5の範囲において、4つの変数で取

りうるパラメータ  $\beta$  の総組み合わせ ( $7^4=2,401$  通り) で計算した場合と、パラメータ  $\beta$  の範囲で 1 万回乱数を発生させた場合の結果を下图に示した。計算時間を節約する為の試みであったが、良好な結果を得ている。

また、この解析結果からは「利水の満足度」に対して「安心」の対応度は高まったが、「いくらでも」および「いつでも」の対応度が下がったことが確認された。気候変動に関わる情報提供の前後で各説明変数で若干意識レベルが平均として低下し、分散も小さくなる傾向の中で、説明変数間で、上位の「利水の満足度」に対する対応度あるいは意識構造が違った変化を示したことを確認出来た意義は大きいと考える (図-6(下图)、表- 2 参照)。

表-2 情報提供前後での統計変化

|      |     | 安心   | いくらでも | いつでも | 値段   |
|------|-----|------|-------|------|------|
| 平均   | 情報前 | 4.60 | 4.41  | 4.62 | 3.42 |
|      | 情報後 | 4.53 | 4.36  | 4.53 | 3.43 |
| 標準偏差 | 情報前 | 0.74 | 0.91  | 0.75 | 1.05 |
|      | 情報後 | 0.68 | 0.81  | 0.70 | 0.95 |

5. 今後の課題

カーネル関数においては、ガウスカーネルに含まれるパラメータ  $\beta$  に加え、正則化パラメータ  $\lambda$  がある。意識構造の変化をパラメータ  $\beta$  の変化として定義することで、実測値と予測値との差である残差が最小となる  $\beta$  を定めた。このとき、正則化パラメータ  $\lambda$  を 0.01 と一定にしている。ガウスカーネルの分布形状は、 $\beta$  を増やすのと  $\lambda$  を減らすのが同じような振る舞いを示すことが分かっている。このようなことから、カーネル関数の汎化能力を評価する CV 誤差を一つの尺度とし、CV 誤差が最小となる  $\beta$  と  $\lambda$  を検討していく必要がある。これらの過程を繰り返すことによって、人間の意識を表現する関数を模索していかなければならない。課題は計

算時間であり、提案した残差最小となる  $\beta$  と  $\lambda$  を分析する方法はスーパーコンピュータに近い計算速度を要するレベルに達しつつある。

カーネル法においては、カーネル関数の自由度がデータ数と比較して大きい場合、 $\lambda$  を大きくすることで実質的に自由度を下げる効果を期待する。しかし、本研究において、データ数は十分に大きいので、今後、様々な上位意識要素と下位意識要素、下位意識要素の数と組み合わせによる変化を確認することで、残された課題を解明する予定である。また、本研究の成果は市民の利水、治水、環境に対する満足度の理解或いは気候変動適応策に対する市民の受忍性に関する理解に基づく地域経営には重要な情報を与えるとともに、適応策の企画立案に資すると思われる。

参考文献

1)「カーネル多変量解析」 (2008 年 11 月 27 日)  
赤穂昭太郎

2)「木造家屋の耐震補強実施に関する判断要因の構造化とそれに基づく施策インパクトの定量的評価手法の提案」, 中川善典, 森田絵里, 斉藤大樹, 山口修由, 那須清吾, 社会技術論文集 Vol. 7 , 232-246, 2010

3)「介護負担感の構造分析」, 植本琴美, 中川喜典, 那須清吾, 医療経済学会第 3 回研究大会 2008 年 7 月 19 日, 京都大学

4)「政策・施策の立案に関する方法論と行政経営システムの構築」, 68-77 刈谷剛, 中川善典, 那須清吾, 社会技術研究論文集 Vol. 5, Mar. 2008

5)「気候変動下における四国の水資源政策決定支援システムの開発」那須 清吾 (高知工科大学)  
[http://www.mextisacc.jp/staticpages/index.php/rep  
ort\\_nasu\\_j](http://www.mextisacc.jp/staticpages/index.php/rep ort_nasu_j)

Citizens Consensus Analysis for Adaptation to Minimize Climate Change impact

Kotomi UEMOTO<sup>1</sup>, Seigo NASU<sup>1</sup> and Toshio KOIKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Social Management Systems Research Center, Kochi University of technology

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, The University of Tokyo

Shikoku has water shortage despite of high-risk flooding. The environment will be possibly tougher with climate change. Current urgent and crucial concern is to evaluate the impacts on water utilization, flood and aquatic environment, and to recognize ways to adapt the variations quantitatively by water-resource policy. We build an integrated simulation model of the following: "climate change prediction model," "hydrological model to predict reserves and variation of water," "evaluation model of social scientific impact" and "evaluation and selection system of adaptation options." The goal is to supply information good enough for planning adaptations of natural phenomena such as water resource variation and floods/drought, and of their effects on social economy for watershed of Yoshino River in Shikoku. This research is to investigate New Methodology of Regression Analysis, which is able to analyze peoples' Mental state by dividing consciousness level and consciousness structure by deploying Kernel Method.