

# 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>2\*</sup>

(受領日：2013年5月7日)

<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

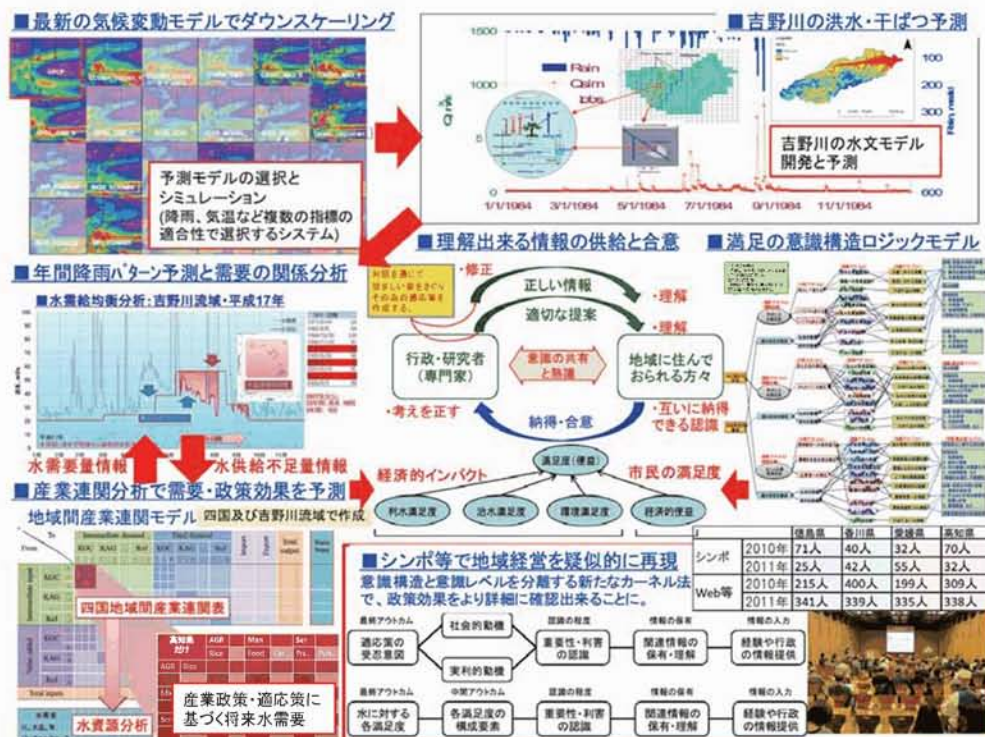
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

<sup>2</sup>高知工科大学 マネジメント学部マネジメント学科

〒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

要約：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おり、気候変動による降雨量や降雨パターンの変化は、ただでさえ厳しい四国および吉野川の水資源量を変化させることで、経済活動や生活用水としての利水のみならず、水環境や洪水調節機能にも大きな影響を与えることが懸念されている。気候変動が、利水、洪水、水環境にどのような影響を与えるかを評価し、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となっている。これらの課題を克服するため、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の開発によって、四国および吉野川における水資源管理面での気候変動の適応策の合意形成に資する定量的情報、および、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の効果に関する情報を、四国4県の市民に提供する実験結果について分析した。市民の意識構造ロジックモデルを構築し、その構成要素に関わる情報提供による意識変化を確認した。本研究では、カーネル法を応用して、カーネル関数の係数変化から意識構造の変化を確認する方法を試行したものであり、将来の地域経営システムのプロトタイプの構築に資する情報を得るために実施した研究成果を紹介するものである。





## 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定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、不確定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。

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。①～③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

### 2.1 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



一ネー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。

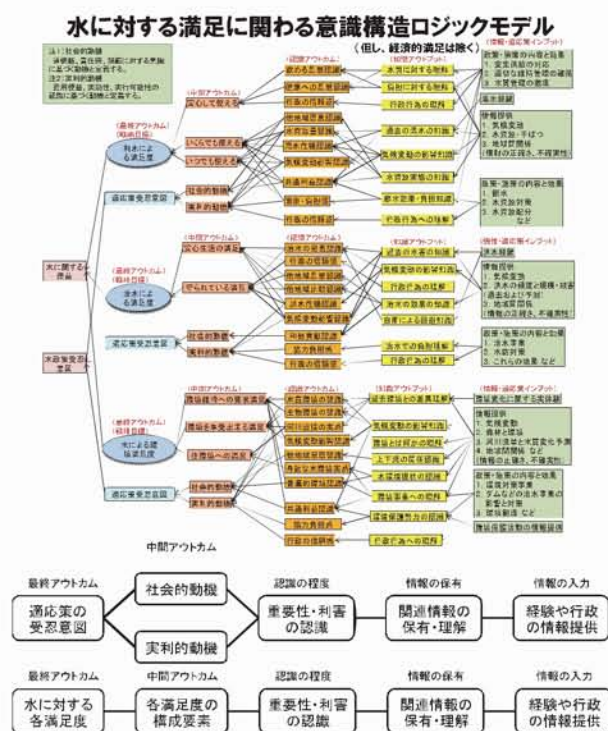


図 1. 意識構造ロジックモデル

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と考える。

## 2.2 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。初年度同様に、今年度も対話（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、今年度は、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初年度と併せて示す。図中のカッコ内の人数は、昨年度（2010 年度）参加し、今年度（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 年度と今年度の 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 (内14人)	42人 (内18人)	30人 (内12人)	32人 (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 (内111人)	339人 (内122人)	335人 (内120人)	338人 (内94人)	-

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

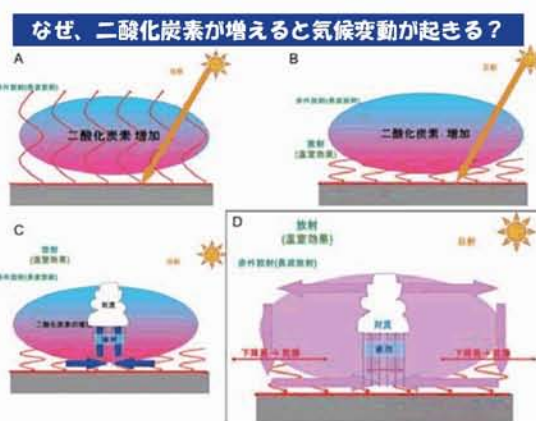


図 2. 温室効果ガスで気候変動が生じる仕組み

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するので、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。

この様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。

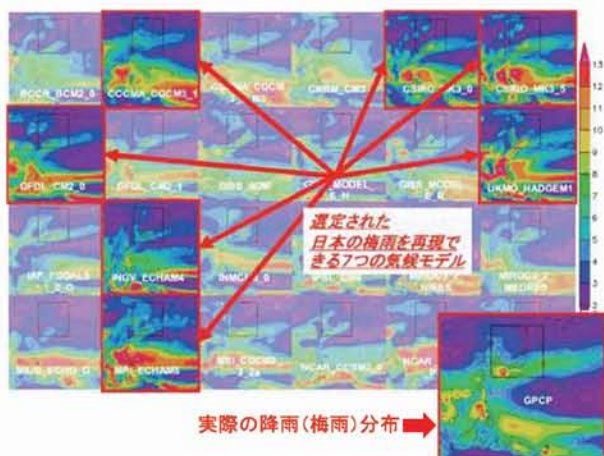


図 3. 気候変動予測モデルの選択

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、水循環や海の海流の動き、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. 市民意識変化の分析

#### 3.1 重回帰分析の限界

アンケート調査は、例えば、「利水による満足度」に対する質問文は、「普段の生活で、水が利用できることに満足していますか？」であり、5 件法(かなり満足=5、やや満足=4、どちらとも言えない=3、やや不満=2、かなり不満=1)で実施しており、同様の質問を講演(情報提供)前後で行っているため、意識モデルの各要素間を関数の変化として分析することができる。水が利用できることによる満足度は、好きな時に好きなだけ利用できるかどうかによって左右されると考えられる。この好きな時に好きなだけというのは、いつでも利用できること、いくらでも

利用できるという2つの変数の動きによって左右されるものである。この関係を具体的な数式で表すために、階層構造で整理した水資源に対する市民の満足度の意識モデルに基づき、上位要素を従属変数、下位要素を説明変数とする重回帰分析を行った。

2010 年度に実施した重回帰分析により、シンポジウム参加者とその他(配布及び Web アンケート)とのアンケート結果の比較を行った。また、回答者の地域特性による影響を考慮するために県別のサンプルにおいても実施し、単純集計で顕著に現れていた「水資源量」や「渇水危機」の認識に関する香川県の特徴は、偏回帰係数においても他県と比べて高い寄与率となっていたなど、地域特性によって水に対する意識の相違が生じていることを示した。重回帰分析では、各説明変数が 1 変化した時に目的変数がいくつ変化するかを表す値である情報提供前後の偏回帰係数を比較することで、目的変数に与える影響の強さの変化を読み取ることができる。下記は、全サンプルでの「利水による満足度」に対する情報提供前後の重回帰分析の結果である。

表 2. 「利水による満足度」の重回帰分析

情報前				情報後			
回帰統計				回帰統計			
重相関 R	0.801			重相関 R	0.717		
重決定 R <sup>2</sup>	0.641			重決定 R <sup>2</sup>	0.514		
修正 R <sup>2</sup>	0.640			修正 R <sup>2</sup>	0.513		
標準誤差	0.407			標準誤差	0.448		
観測数	1692			観測数	1630		
	係数	標準誤差	t		係数	標準誤差	t
切片	0.975	0.069	14.183	切片	1.111	0.086	12.988
安心	0.485	0.019	25.531	安心	0.307	0.020	15.315
いくらでも	0.036	0.017	2.179	いくらでも	0.026	0.021	1.226
いつでも	0.248	0.022	11.501	いつでも	0.391	0.027	14.750
総数	0.044	0.010	4.372	総数	0.059	0.012	4.814
(*0.05, **0.01, ***0.001)				(*0.05, **0.01, ***0.001)			

情報前における「利水による満足度」は、「安心して使える」ことが大きく関与していた。しかし、情報提供によって、「いつでも使える」ことに対して「利水による満足度」が寄与するように変化していることが分かる。また、寄与率も情報提供前後で、「安心して使える」に関しては、半減しているのに対し、「いつでも使える」は倍増している。気候変動による水資源への影響を知ることにより、「安心して使える」ことよりも「いつでも使える」ことの方が重要との認識の変化が生じているといえる。なお、重回帰分析は、実績値と理論値とが近くなるように関係式の係数を見つける手法であり、従属変数と説明変数との関係から作成した関係式を用いて、下記のことを明らかにすることができた。

- ・各説明変数の目的変数に対する貢献度を把握することができる
- ・標準回帰係数とすることによって、全ての説明変数の中での重要度ランキングを把握することができる
- ・導かれた関係式を用いて、予測することができる

このように、重回帰分析を用いることで、要因と結果の関連付けを、簡易に求めることができる。しかし、重回



帰分析で得られた予測値と実績値の相関図を見ても分かるように、現象に対する理解はできても、各説明変数との相互関係を読み取ることはできない。重回帰分析では、グラフ上に楕円の形で表しているように、細長ければ相関が強く、円に近ければ相関が弱い結果となる。情報提供によって、「利水による満足度」は全体的に向上しているにも関わらず、分析の精度を表す決定係数は低く評価される。

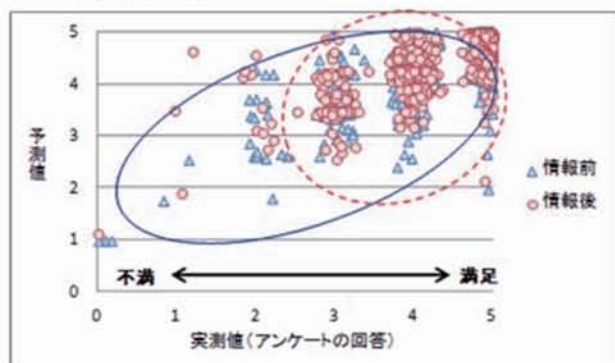


図4.「利水による満足度」の実測値／予測値相関

### 3.2 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  $A, B$  があつたとき、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  $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$  と、 $y$  という変数の組を考え、入力  $x$  から  $y$  を出力する関数を推定するとき、サンプルデータとして、 $x$  と  $y$  の組を  $n$  個持っているとする。線形モデルの場合、 $x$  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。

$$y = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot x_m$$

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ると下式のように書ける。

$$f_{\omega}(x) = \omega^T \cdot \varphi(x) = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \varphi_m(x)$$

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  $x, x'$  を変換した  $\varphi(x) \cdot \varphi(x')$  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、 $K(x, x') = \varphi(x) \cdot \varphi(x')$  のように表記する。 $\varphi(x)$  とパラメータの内積である上記の式は、十分多くの  $x_1, x_2, \dots$  を適切に選ぶことにより、 $f(x) = \sum_i \alpha_i \cdot k(x_i, x)$  の形でいくらかでも近似できる。与えられた  $x$  に対して、各サンプル  $x_i$  との近さを測った  $k(x_i, x)$  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  $k(x_i, x) = \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(x)$  で定義されることから、 $f(x) = \sum_i \alpha_i \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(x)$  と書ける。これは、パラメータを  $\omega = \sum_i \alpha_i \varphi(x_i)$  という形に限定してよいということの意味している。なお、カーネル関数は特徴量で見たときの  $x$  と  $x'$  の類似度を表していると考えることができる。つまり、正定値性をもてば、カーネル関数として使用できる。ここで、ある関数  $k(x_i, x)$  が正定値性を持つとは、任意の  $n$  個の点  $x_1, x_2, \dots, x_n$  からなるグラム行列  $K$ 、任意の  $n$  次元ベクトル  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)^T$  で、行列の二次形式が常に非負、すなわち  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_i \alpha_j K_{ij} \geq 0$  が任意の  $n$  次元ベクトル  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)^T$  について成り立つことである。

ここで、カーネル関数では、特徴抽出および内積計算が必要であった。しかし、正定値性が分かっている関数では、内積計算が不要となるだけではなく、無限次元の特徴ベクトル間の内積も簡単な関数になる場合がある。正定値性をカーネル関数と定義すれば、計算量を減らすことができるため、カーネルトリックと呼ばれている。ガウスカーネルは特徴ベクトル間の内積としても表現でき、正定値性も満たすことから、ガウスカーネルを用いることにした。なお、 $\beta$  はパラメータである。

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

### 3.3 ガウスカーネルによる分析

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  $s_i$ 、いくらかでも使える  $q_i$ 、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。

$$y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot k(x, x') = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(x')$$



$$= \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{m=1}^4 \varphi_m(x_i) \cdot \varphi_m(x) = \sum_{m=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \varphi_m(x_i) \right\} \cdot \varphi_m(x)$$

ここで、 $\omega_m = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \varphi_m(x_i)$  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。

$$f(x) = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot \varphi_m(x)$$

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ことができる。

### 3.4 意識構造の変化

ここで、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事は、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。「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 $\beta$ の値を検討する場合は、0.9～1.5の範囲をとっている。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）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図に示す。

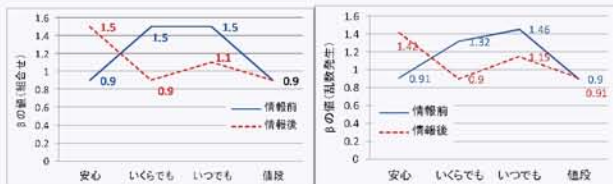


図 5. 各説明変数のパラメータ $\beta$

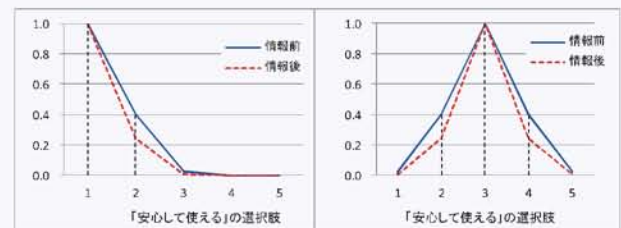
（右：組合せによる、左：乱数による）の値

総組み合わせによるパラメータ $\beta$ の値と、乱数によって得られたパラメータ $\beta$ の値とは、似通った値の結果が得られている。なお、乱数の発生回数について検討した

結果、500個の乱数の中で組合せと同程度の結果が得られていることが分かった。以降、パラメータ $\beta$ の検討においては、とりうる範囲内で500個の乱数を発生させることによって検討を行っている。このような方法論を取らざる得なかった理由は、そもそもカーネル法では人間の意識構造の様に情報提供で変化する現象を考えていないことにある。つまり、対象とする事物や現象はある特徴を有するものであり、それを導出する場合の計算は1回で済むからである。しかし、今回の様に意識構造変化をとらえようとする場合、最適な $\beta$ の組み合わせの変化を模索する必要がある。

ここで用いているガウスカーネルは、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ー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」におけるガウスカーネル  $k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2)$  を示す。図6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。



$x=1$ の場合

$x=3$ の場合

図 6. ガウスカーネルの例

（横軸に  $x - x'$  をとった時の  $k(x, x')$  をプロット）

重回帰分析では、偏回帰係数によって「利水による満足度」への貢献度を解釈することはできたが、各説明変数の情報提供前後での回帰係数の比較はできない。カ



カーネル関数によって、意識モデルの項目間の関係や強さの変化を分布の形状の変化として解釈することができるようになった。つまり、意識構造ロジックモデルの各意識要素間の関係性の変化を意識レベルとは別に構造的に把握することが出来る様になった。

### 3.5 意識レベルの変化

カーネル関数を適用することによって、「利水による満足度」に対して影響を及ぼす度合いの変化を分布の形状の変化として把握できるようになった。これと併せて、情報の提供を行うことによって生じた認識の変化すなわち、選択肢(回答)の変化を把握する。これは、回答の平均および標準偏差から把握することができる。「利水の満足度」を説明する4つの変数における情報提供前後での基本統計量は下表となっている。

表3. 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

アンケートで用いた5件法は、かなり満足=5点、やや満足=4点、どちらとも言えない=3点、やや不満=2点、かなり不満=1点のように得点化している。情報提供前後において、平均、標準偏差ともに値が小さくなっていることが分かる。変動しているデータの代表値である平均値、データの散らばり度合いである標準偏差から情報提供によって、集団のデータの変動が小さくなっていることが言える。しかし、4つの説明変数が「やや満足」だったとしても、その満足度は各説明変数によって異なっている。集団の中における個々のデータの位置を把握する場合、平均値と標準偏差を考慮した評価を行う必要がある。本ケースのように情報提供前後で平均値、標準偏差が異なる集団のデータを比較する場合は、偏差得点を標準偏差で割った値によって評価を行うことができる。偏差得点とは、得点(選択肢)－平均値である。下図は、情報前後で同じ選択肢を回答した場合、情報前後での相対的価値の結果である。例えば、情報前後において同じ選択肢1を回答したとしても、平均値、標準偏差を考慮すると情報前の方が「利水による満足度」に対する評価が高いことが分かる。情報後の方が情報提供前より評価が高くなっている選択肢4および5において、情報提供の効果があつたと言える。

表4. 「利水による満足度」の標準得点÷標準偏差

選択肢	1	2	3	4	5	平均値	標準偏差
情報前	-5.40	-3.93	-2.45	-0.98	0.50	4.66	0.68
情報後	-5.59	-4.03	-2.47	-0.91	0.64	4.59	0.64

### 3.6 カーネル法による決定係数の変化

カーネル法を適用することによって、各説明変数の目的変数に対する対応度の変化を分布の形状の変化として把握し、意識レベルの変化と別途評価することができるようになった。つまり、情報を提供することによる効果を意識構造と意識レベルの2つから解釈できる。

「安心して使える」に対する危機感(意識構造)あるいは上位意識への対応度も高まり、相対的価値(意識レベル)も高い。一方で、「いくらでも使える」は、意識構造は上位意識への対応度が鈍化しているが、意識レベルは高まっていることが分かる。ここで、カーネル関数によるモデルの当てはまりの精度について、実測値と予測値がどれだけ近いのか、実測値と予測値との単相関係数で調べた。この相関係数の2乗を決定係数とし、カーネル関数を用いることによる精度の改善度合いを重回帰分析の決定係数と比較した。

カーネル法で期待したのは、意識構造の下位要素が上位要素に対応する関係性をカーネル関数で表現することで、データ分布に依存しない解析結果が得られることであつた。カーネル関数が上位要素に対する下位要素の関係性を写像関数として表現出来れば、データ分布の偏りに関係せずに決定係数が安定すると考えた。結果として情報提供後にデータ分布が偏った場合、重回帰分析と同様に決定係数が小さくなったことから、カーネル関数の選択に課題が存在すること、或いは、カーネル関数(写像関数)によるモデル化に限界がある可能性が残った。

表5. 各分析による決定係数

決定係数 $R^2$	情報前	情報後
重回帰分析	0.64	0.51
カーネル関数	0.85	0.54

## 4. 今後の課題

カーネル関数を適用した場合の決定係数は、情報前で改善されているものの情報後においてはあまり変化が見られない。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 $\lambda$ を減らすのと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、本研究においては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。

## 5. 今後の研究の予定

### ■ 社会科学的なインパクトの評価モデル

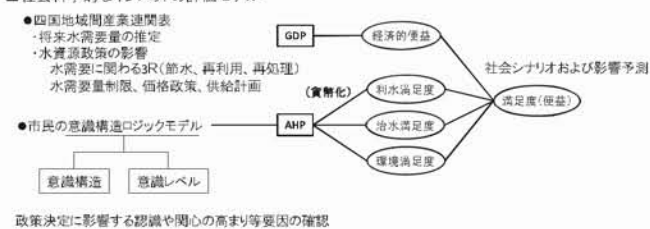


図 7. 研究成果の地域経営への応用

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考える。

### [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.mext-isacc.jp/staticpages/index.php/report\\_nasu\\_j](http://www.mext-isacc.jp/staticpages/index.php/report_nasu_j)
- 6) “The structure of satisfaction for water resources of citizens”, Journal of Society for Social Management Systems 2010, (Peer-reviewed) Kotomi UEMOTO, Seigo NASU
- 7) 「意識構造モデルを用いた情報提供による気候変動の適応策に関する効果把握」, 土木学会論文集 (投稿中) 植本琴美, 那須清吾



# **Citizens Consensus Analysis for Adaptation to Minimize Climate Change Impact**

**Kotomi Uemoto<sup>1</sup>, Seigo Nasu<sup>2\*</sup>**

(Received: May 7th, 2013)

<sup>1</sup> Research Center for Social Management Systems, Kochi University of Technology  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782-8502, JAPAN

<sup>2</sup> School of Management, Kochi University of Technology  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782-8502, JAPAN

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

**Abstract:** 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'f Mental state by dividing consciousness level and consciousness structure by deploying Kernel Method.



