

意識変容の把握による水資源政策の合意形成

植本 琴美¹・那須 清吾²

¹正会員 高知工科大学 地域連携機構 (〒782-0003 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

E-mail:uemoto.kotomi@kochi-tech.ac.jp

²正会員 高知工科大学教授 マネジメント学部 (〒782-0003 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

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

政策決定においては、どのように合意を図っていくか問題となる。特に、不確実性を含む事象を取り扱う場合は情報の共有化が重要となってくる。今後の水資源政策においては、温暖化など気候変動による降雨パターンの変化が生じており、不確実性を考慮する必要がある。私どもは、不確実性を踏まえた情報の共有化による対話を通して、利害調整の方法論の提案を試みている。実際に、四国在住者を対象とし、気候変動による水資源への影響について情報提供するとともに、水資源政策における市民の満足度を階層構造としたモデルに基づき水資源に関する意識調査を情報提供前後で実施している。そして、情報提供前後における市民の満足度に関して、カーネル関数による多変量解析を通して得られた新たな知見について述べる。

Key Words : *climate change, recognition map, logic model, kernel method*

1. はじめに

IPCC第4次評価報告によって、気候変動の進捗とともに、渇水、豪雨の激しさが増すことが指摘された。国内においては全国平均と比較して深刻な干ばつや洪水被害が発生している吉野川流域および四国においても、将来の気候変動による極端現象の頻度や程度の増大を懸念している。特に、干ばつ問題は深刻であり、水資源量やその配分による社会的便益量やその帰着先および気候変動の将来における影響を定量的に把握することで、四国全体の最重要課題として解決することが期待されている。

私ども高知工科大学では東京大学と連携し、「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」について研究を進めている。本研究を通して、利害関係者間の利害調整、情報共有による相互理解増進などの支援を具体的に行うことで、全体の社会的便益の期待値を最大化する選択肢の判断材料となる水資源政策決定支援システムの開発を目指している。特に、地域が納得する方法で水資源政策を決定していくことが必要不可欠であることから、合意形成に資する定量的情報の提供を行う必要がある。なぜなら、水資源政策の決定においては、気候変動による干ばつ・洪水の頻度や降雨量の変化を考慮した水資源の供給体制のみならず、需要側である市民においても負担なく受け入れてもらえる政策判断をしなければならない。本稿では、水資源政策における市民の満足

度の定量化を目的とする。このとき、気候変動による水資源の影響に関する情報の提供前後において、市民の意識がどのように変化するかについて考察する。

2. 研究プロセス

本研究では、気候変動による水資源の変化に適応するために、気候変動における「予測の科学」、「影響評価」、適応策の「策定」と「実施」に関わる基本的課題の解決が必須であるという認識にたち、新たに自然地理的条件と人文地理的条件を反映させた「理学的な気候変動モデルから、工学的な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評価モデル」の統合モデル（いわゆる、End to End Model）を四国・吉野川流域において構築する為、下記の4つの研究項目を臨牀的に調査研究するとともに統合する。

- (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
- (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
- (3) 不確実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
- (4) 気候変動への適応策の実施のための地域経営システ

ムの提案

(1)～(3)の統合モデルにより立案される気候変動に対する適応策（政策）の適用により、新たに気候変動と干ばつ・洪水や水資源量の変化、社会経済的インパクトと適応策の間の相互作用をシミュレーションし、適応策（政策）の総便益とその帰着先を均衡分析により評価するシステムを構築する。また、(4)の「地域経営システム」により、地域への適応策（政策）の適用を受けた利害関係者間の相互理解や相互利益調整の仕組みを構築するとともに、実際に四国・吉野川流域で実装するプロセスをモニタリングすることで、統合モデルの精度や地域経営システムの有効性を検証する。

(1) 本稿の位置づけ

水資源の需要供給における均衡分析を行うためには、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する必要がある。研究項目(2)の影響評価は、洪水・干ばつなどによる工学的影響評価に加えて、市民の意識構造分析に基づく水資源量配分に関わる便益評価、産業連関モデルによる経済的影響評価を実施することで、治水・利水・環境の総便益を評価することを意味している。そこで、市民の意識を把握するために、気候変動による干ばつ・洪水の頻度や降雨量の変化を予測する「気候変動予測モデル」を情報として提示する(図中①)。また、気候変動による降雨量の変化等が、市民生活や社会・経済活動に及ぼす影響について報告する(図中②)。これら研究成果を情報として提供する対話を通して、気候変動による水資源の影響に対して、市民意識の変化について本稿では把握する(図中③)。

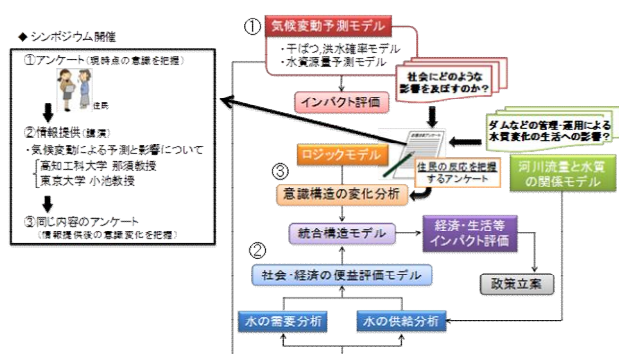


図-1 本研究における本稿の位置づけ

このような対話（シンポジウム）を通して、市民の意識の変化をモニタリングしていく。またこの中で、地域間あるいは利害関係者間の調整を試行し、水資源の需要供給均衡分析に基づく政策評価システムとしてマネジメントサイクルを通して適用可能なシステムに改善していく。

3. 水資源に対する市民の満足度

水資源政策を検討するにあたり、気候変動による水資源への影響だけではなく、水資源に対する市民の意識を考慮する必要がある。

(1) ヒアリングによるモデル構築

社会的便益を最大にする政策の選択とは、水資源配分に対する市民の認識を把握することでもある。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である。しかし、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。そこで、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名にインタビューを実施した。

水資源に対する市民の満足度とは何から構成されているか、インタビューを通して抽出された要素を洗い出し、要素とその関係をつなぐ認知マップとして整理した。例えば、私たちは、水を利用したいときに、利用したいだけ、水を利用することができる。これは、利水による満足度として認知マップに存在している。水は、私たちの生活に必要な不可欠な資源である一方で、洪水や土砂崩れを引き起こす危険性をはらんでいる。治水に対する満足度の要素として、洪水から守られている、災害を気にすることなく生活できているなどがある。水資源に対する市民の満足度は、「利水、治水、環境」の3つの項目で構成されている。以下では、「利水に対する満足度」を例とし、水資源に対する市民の満足度について述べる。

認知マップは、市民が水資源について感じていることを理解するための方法である。この認知マップを用いて、水資源に対する満足度を一般的な論理モデルにする。認知マップ上には、渇水経験の有無といった属性や、洪水被害に陥りやすい地理的条件などが含まれている。渇水経験があることや井戸があることなどは、節水に対する意識の度合いに影響を及ぼす要素であるが、これは属性である。水資源に対する満足度を構成する要素は、一般的な項目で構成される。ここでは、渇水に対する危機感だったり、節水に対する効果の認識として表現しなおされる。図2は、「利水による満足度」の意識モデルである。

「利水による満足度」は、「安心」「いくらでも」「いつでも」で構成されており、中間アウトカムとして位置付けた。この中間アウトカムもまた、下位要素である認識アウトカムによって構成されるという階層構造と

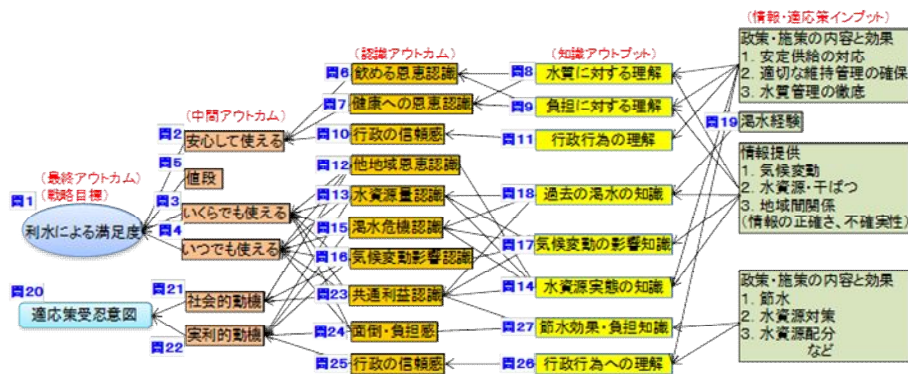


図2 「利水による満足度」の意識モデル

してモデル化した。我々は、同じ情報を持っていた場合でも、知識やその理解度によって認識の相違が生じることから、知識のアウトプットを末端に位置づけた。なお、政策の重要性を理解していたとしても（社会的動機）、実際に政策を受忍するか否かは、各自の費用便益など実利的動機によって受け入れない場合がある。このようなことを踏まえて、構造モデルは、満足度とそれを受け入れるかどうかの2つの概念を持つ、共通の要素で構成されている。

(2) 情報提供による意識変化の把握

この意識モデルに基づいて、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、定量化のために実施するアンケート調査は、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ことを目的としている。そのため、対話（シンポジウム及びWebアンケート）の中で実施するアンケート調査は、まず情報提供となる講演を行う前に事前アンケートとして水に対する現在の意識調査を行い、その後、講演を挟み、再度事後アンケートとして水に対する意識調査を行った。このようにアンケートは講演前の事前アンケートと講演後の事後アンケートの2回実施し、両アンケートともに意識モデルの各要素に対応した項目について質問を行った。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）で実施した。なお、地域特性によって知識や情報が異なるため、漏水経験などについても問いを設けている。

4. 意識モデルの要素間の多変量解析

アンケート調査は、同様の質問を講演（情報提供）前後で行っており、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。

(1) 重回帰分析の限界

例えば、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、多変量解析の一手法である重回帰分析によって分析を行った。多変量解析とは、多くの変数を取扱い、変数相互の関係を表す関係式を作成し、因果関係の解明や予測値を算出する手法である。本稿では、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。下記は、「利水による満足度」に対する情報提供前後の結果である。

▲情報前				●情報後			
回帰統計				回帰統計			
重相関 R	0.901			重相関 R	0.725		
重決定 R ²	0.841			重決定 R ²	0.526		
補正 R ²	0.840			補正 R ²	0.924		
標準誤差	0.407			標準誤差	0.450		
観測数	1652			観測数	1637		
	係数	標準誤差	t		係数	標準誤差	t
切片	0.975	0.069	14.183	切片	1.103	0.064	13.209
安心して使える	0.485	0.019	25.531	安心して使える	0.296	0.020	15.105
いくらでも使える	0.036	0.017	2.179	いくらでも使える	0.026	0.021	1.246
いつでも使える	0.248	0.022	11.501	いつでも使える	0.404	0.026	15.429
値段	0.044	0.010	4.372	値段	0.059	0.012	4.881

図3 「利水による満足度」の重回帰分析の結果

重回帰分析によって、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。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、「利水に対する満足度」が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。このようなことから、我々は、結果に対して影響の大きい要因を探るとともに、その背後にある因果関係も把握できればと考えている。

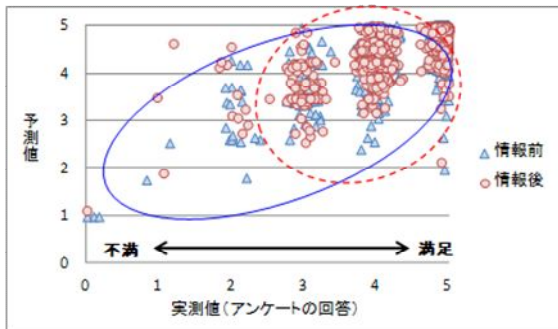


図4 「利水による満足度」の実測値と予測値の相関図

(2) カーネル法の利用

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おり、そのために使われ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 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$ 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 ω_m という重みを掛けて足したものになっている。

$$\mathbf{y} = \sum_{m=1}^d \omega_m \cdot x_m \quad (1a)$$

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、 \mathbf{x} 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 \mathbf{x} 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。

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

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 $\varphi(\mathbf{x}), \varphi(\mathbf{x}')$ の内積 $\varphi(\mathbf{x}) \cdot \varphi(\mathbf{x}')$ 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、

$K(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \varphi(\mathbf{x}) \cdot \varphi(\mathbf{x}')$ のように表記する。

$\varphi(\mathbf{x})$ とパラメータの内積である式(1b)は、十分多くの x_1, x_2, \dots を適切に選ぶことにより、 $f(\mathbf{x}) = \sum_i \alpha_i \cdot k(x_i, \mathbf{x})$ 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 x_i との近さを測った $k(x_i, \mathbf{x})$ を一つの成分と見て、それらを α_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 $k(x_i, \mathbf{x}) = \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(\mathbf{x})$ で定義されることから、

$$f(\mathbf{x}) = \sum_i \alpha_i \cdot \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(\mathbf{x}) \quad \text{と書ける。これは、パラメ}$$

ータを $\omega = \sum_i \alpha_i \cdot \varphi(x_i)$ 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 \mathbf{x} と \mathbf{x}' の類似度を表していると考えられる。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 $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ 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。ガウスク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、本稿では、ガウスクーネルを用いることとする。なお、 β はパラメータである。

$$k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2) \quad (1c)$$

(3) ガウスクーネルによる分析

水資源政策における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。例えば、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項目が説明変数となる。このように、変数が4つあるカーネル関数 $x_i = (s_i, q_i, a_i, c_i)$ は、下記式で示されることとなる。

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

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。

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

上記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。

a) 意識構造の変化

本稿では、情報提供前後での意識構造の変化をパラメータ β の変化として定義する。ガウスクーネルを用いていることから、パラメータである β の値が情報前後で変わるということは、分布の形状が変わったということである。そこで、実測値と予測値との差である残差が最小となる β を求めることにした。利水の満足度を説明する4つの変数における各パラメータ β の残差が最小となる情報前後での各値を図5に示す。なお、 β は、0.9～1.5の範囲とし、4つの変数で取りうる総組み合わせ（ $7^4 = 2,401$ 通り）から検討している。

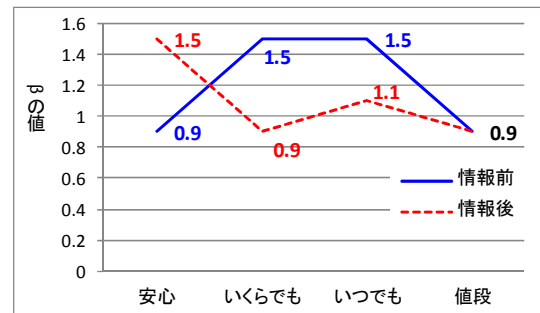


図5 各説明変数のパラメータ β の値

「安心して使える」ことに関して、情報を提供した後に、 β の値が大きくなっている。これは、情報提供後、正規分布の形状が、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 β 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、関心が鈍化したといえる。

実際に、「安心して使える」と「いくらでも使える」におけるガウスクーネル $k(x, x') = \exp(-\beta \|x - x'\|^2)$ を示す。図6は、横軸に各変数の選択肢3のときの $x - x'$

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 β 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 β 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、

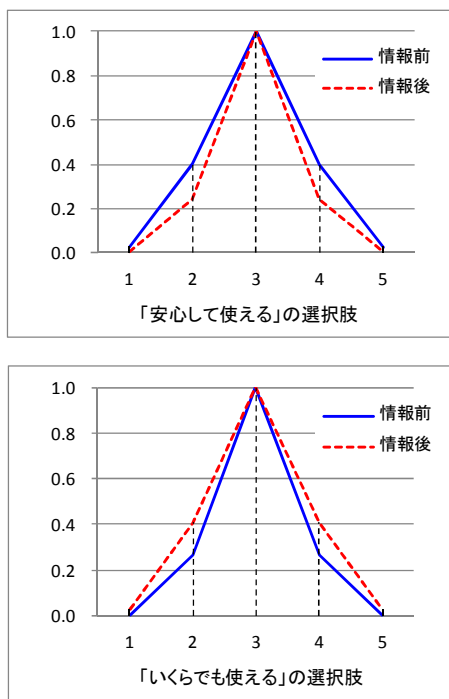


図-6 ガウスクーネルの例

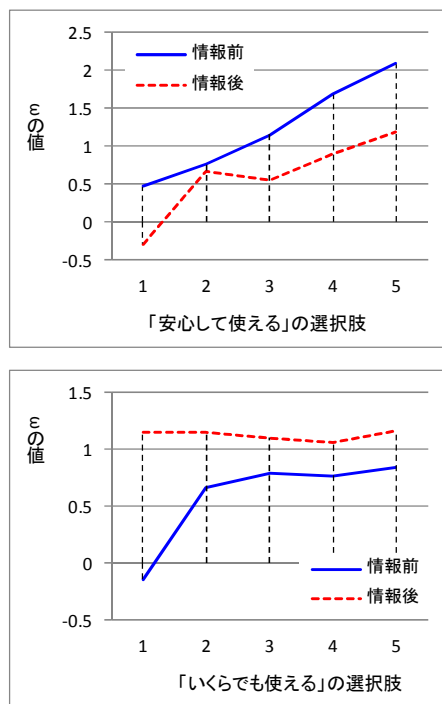


図-7 カーネル関数のパラメータ ω の値

情報後の方が幅の広い分布になっていることが分かる。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。

b) 意識レベルの変化

カーネル関数により、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読み取ることが分かった。次に、気候変動による水資源への影響について、情報を提供することによる認識の変化について把握を試みる。本稿では、情報提供前と後での意識レベルの変化をカーネル関数のパラメータ ω の変化として定義する。つまり、情報提供による重みの変化を認識の変化として定義する。

カーネル関数のパラメータ ω は、「利水による満足度」を評価する場合、4つの変数（安心して使える a_i 、いくらでも使える q_i 、いつでも使える s_i 、値段 c_i ） $x_i = (a_i, q_i, s_i, c_i)$ を入力していたことから、パラメータ ω_m ($m = 1 \sim 4$)も各々算出されることになる。「安心して使える」と「いくらでも使える」におけるパラメータ ω の値を図7に示す。

$$\omega_m = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \varphi_m(x_i) \quad (1f)$$

情報提供前後でパラメータ ω という重みが変わっていることが分かる。「安心して使える」は、意識構造の変化(図6)においては、情報提供によって、危機感が高まったと解釈できた。しかし、各説明変数の重みであるパラメータ ω では、情報提供によって、重要度が下がっている。一方で、「いくらでも使える」ことに対する重みは、情報提供後増加していることが分かる。仮に、情報提供前後で「いくらでも使える」について、かなり不満(選択肢1)と回答した場合においても、「いくらでも使える」ことに対する重みは、情報提供前の-0.1から1.15と大きく増加している。このように、情報提供前と後で同じ回答を行っていたとしても、重み付けが変化すなわち認識の変化として解釈することができる。

5. おわりに

情報提供前後における市民の満足度を、カーネル関数による多変量解析により意識構造モデルの項目間の関係や強さの変化(意識構造)と、情報提供による認識の変化(意識レベル)を分離して説明できることが分かった。しかし、本稿では、正定値性と対称性を有するガウスクーネルを適用し、誤差を最小とするパラメータ β によって、解釈を行ってきた。今後の課題は、いかに意識モデルに適合するカーネル関数を選択するかである。

参考文献

- 赤穂昭太郎：カーネル多変量解析，pp.2-39，岩波書店，2008。