

4. 社会資本形成における下水道投資戦略に関する調査

下水道研究室 室 長 森田 弘昭
 研 究 官 吉田 敏章
 研 究 官 山縣 弘樹

1 研究の目的

閉鎖性水域における COD の環境基準の達成率は東京湾で 68%、伊勢湾で 56%、瀬戸内海で 74%、湖沼で 45.8%と低い状況にあり¹⁾、公共用水域の水質改善は、今後の下水道事業の大きな目的の一つである。さらに、環境ホルモンなど微量化学物質への対応、生態系の保全等の新たな要求も生じている。このように、公共用水域の水質をどのレベルまで改善すべきかという問題は、高度処理の導入等の多額の事業費が必要となるため、費用を負担する地域住民の合意形成が必要となる。そこで、望ましい水質改善レベルを決定するためには、地域住民が水質の改善により得られる便益 (Benefit) と、それを達成するために必要な事業費 (Cost) を比較する費用効果分析 (Cost Benefit Analysis) を適用することが有効であると考えられる。

下水道事業による公共用水域の水質改善効果は、レクリエーション等による直接的な利用価値、生態系保全等直接的利用を伴わない非利用価値に分類される。非利用価値を含めた水質改善効果の経済評価方法として仮想評価法 (Contingent Valuation Methods, CVM) があるが、わが国での適用事例はまだ少なく、汎用的な適用手法の確立が求められている。一方、CVM を環境評価において先進的に採用してきたアメリカでは、水浄化法 (Clean Water Act) による全米の水質改善効果の経済評価のために、全米 61 箇所でも CVM 調査を行い、その結果得られた支払意思額 (WTP) 原単位を全国民に適用するという便益移転 (Benefit Transfer) の手法が採用されている²⁾。わが国においても、便益移転の手法を確立することにより、全国での公共用水域の水質改善効果の経済評価が可能になると考えられるが、便益移転について確立された方法はまだない。そこで、本調査は、わが国における便益移転の手法を検討することにより、公共用水域の水質改善効果の汎用的な経済評価手法を提示することを目的とする。

2 研究の方法

下水道研究室では、平成 10~13 年度に「下水道整備による環境改善効果に関する調査」を実施し、CVM による周辺環境の改善、公共用水域の水質改善の効果の計測について、モデル地区を対象としたケーススタディを実施してきた³⁾。その調査で得られた CVM 調査手法に関する知見を前提とし、本調査 (平成 14~17 年度) 全体の枠組みを以下のように考えた。このうち初年度である平成 14 年度は、(1)(2)を実施した。

(1) 便益移転手法のレビュー

国内外での WTP の便益移転事例をレビューし、わが国の水質改善効果において便益移転手法を適用する際の課題について考察する。

(2) 望ましい水質改善レベルと地域・個人属性の関係の検討

水質をどのレベルまで改善すべきかに関する国民の認識は、居住地域や個人属性等により差があると考えられ、便益移転の際はそのような多様な意識を反映する必要がある。そこで、国土交通省が平成 13 年度に実施した全国アンケート「みなさんの声を写す下水道へ」のデータを用い、居住地域、利用状況等と水質改善レベルの関係を検討する。

(3) 全国調査方法の検討

便益移転を前提とした CVM 調査票、調査対象地域の設定、WTP の解析手法について検討する。

(4) プレ調査の実施

全国調査のための CVM 調査票について、モデル地区を対象にプレ調査を実施し、調査方法の問題点を抽出する。

(5) 全国調査の実施

全国の調査対象地域において、便益移転を前提とした CVM アンケート調査を実施する。

(6) 便益移転手法の検討

全国 CVM 調査で得られた結果を基に、便益移転手法を検討する。

3 便益移転手法のレビュー

3.1 便益移転手法の概要

便益移転とは、環境改善による便益等の評価額の政策的利用に際して、過去の研究において推計された既存の評価額をいま問題となっている場に適用することを指す。便益移転は、財政的・時間的制約から新たな便益評価を行うことが困難な場合に採用される妥協案であり、便益移転により既存評価地より精度の高い評価額が得られることは期待できない。したがって、移転された便益評価額を安定的に信用できるものにしていくためには、便益移転の条件を含め、統一した体系的な手続きを制度化する必要があると指摘されている⁴⁾。

便益移転の方法には、過去の研究例ですでに得られている1人あたり平均評価額を移転する方法（原単位法）と、地域特性を変数とする便益関数移転による方法（便益関数移転法）がある。原単位法の場合、既調査地域と新たな評価対象地域が類似の地域的特性を有することが求められる。一方、便益関数移転法の場合、原単位法より正確な便益移転を期待できると考えられるが、便益関数の変数や関数型等の設定の違いにより評価結果が異なるため、より正確な評価額を得られる便益関数を如何に設定するかが課題となる。

3.2 米国における水浄化法による水質改善便益評価の事例²⁾

EPAは、1972年に制定された水浄化法（Clean Water Act）による全米の水質改善効果について経済評価を行い2000年に公表した²⁾。ここでは原単位法による便益移転が採用されている。その概要を以下に示す。

(1) 水浄化法による水質改善への影響の把握

全米の河川を対象に、全国水質改善評価モデル（National Water Pollution Control Assessment Model）を用い、水浄化法に基づく対策あり・なしの各ケースについて、表-1の水質に基づき利用用途に関するランク（Swimming, Fishing, Boating, NonSupport）に区分した。その結果、水浄化法に基づく対策の実施により、水利用可能な河川延長が増加したことが示された（表-2）。

表-1 利用用途に基づく水質ランク²⁾

Beneficial Use	BOD (mg/L)	Total Suspended Solids (mg/L)	Dissolved Oxygen (% saturated)	Fecal Coliforms (MPN/100 mL)
Swimming	1.5	10	0.83	200
Fishing	2.4	50	0.64	1,000
Boating	4.0	100	0.45	2,000

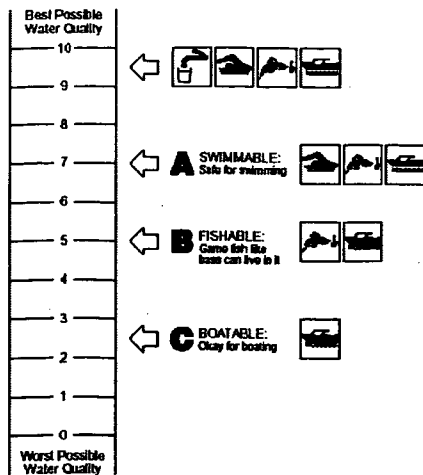
表-2 水利用可能な河川延長
（水浄化法あり・なしの比較:1990年代中盤²⁾）

Highest Use Supported	Without-CWA Conditions (miles)	With-CWA Conditions (miles)	Increase in Use Support	
			Miles	Percent of Maximum Increase ^a
Swimmable	222,120	238,627	16,507	49.5%
Fishable	399,999	424,712	24,713	57.8%
Boatable	454,038	475,894	21,856	59.4%
Nonsupport	178,514	156,658	-21,856	59.4%

^a Maximum defined by difference between without-CWA scenario and zero PS discharge scenario.

(2) CVMによる水質改善に対する支払意思額の調査

水質改善効果を経済評価するために、1983年に全米61箇所を対象にCVM調査が実施された。被験者は、全米の主要な河川・湖沼のすべてをSwimmable, Fishable, Boatableのいずれかの水質（図-1）に改善することへの1世帯あたりの支払意思額（WTP）を表明するように求められ、表-3に示すWTPが得られた。また、WTPのうち、自らの居住する州での目標達成のために支出する金額と、全米での目標達成のために支出する金額の配分についても尋ねられた。その結果、WTPのうち州の占める割合は平均67%であり、全米での水質改善のために使ってもよい割合は33%であった。



図—1 CVM 調査で提示された水質ランク²⁾

表—3 水質改善に対する年・世帯あたり支払意思額²⁾

	Mean Annual Household Values, 1983 ^a		Mean Modified Household Values, 1996 ^b	
	Total	Incremental	Total	Incremental
Swimmable: WTP to raise all subswimmable water quality to swimmable	\$241	\$78	\$491	\$159
Fishable: WTP to raise all subfishable water quality to fishable	\$163	\$70	\$332	\$143
Boatable: WTP to maintain boatable water quality	\$93	\$93	\$189	\$189

^aMitchell, R.C., and R.T. Carson. 1986. *The Use of Contingent Valuation Data for Benefit/Cost Analysis in Water Pollution Control*. CR-810224-02. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Planning and Evaluation. Washington, DC.

^bScaled Mitchell and Carson values based on real income growth and price changes over 1983 to 1996 period.

(3) 便益移転による全米の水質改善便益の推定

1990 年米国統計調査に基づき設定された全米の居住地区 (Populated Place) ごとに、その中に位置する河川について、水質ランクごとの WTP 原単位 (表-3) に地区世帯数を乗じることにより、その河川の属地的便益 (Local/In-Place Benefits) を求めた。

また、WTP のうち 33% は非属地的・存在便益 (Nonlocal/Existence Benefits) であると考え、全国の河川の水質ランクごとの割合と、全米の世帯数を乗じることにより、非属地的便益を求めた。

属地的便益と非属地的便益を合計し、全米の水質改善便益を求めた結果、水浄化法により年間約 111 億ドルの便益が生じているという結果が得られた (表-4)。

表—4 水浄化法の年間便益額推定値 (1990 年代中盤)²⁾

Use Attainment	Local/In-Place Benefits	Nonlocal/Existence Benefits	Total Benefits
Boatable	\$4,192	\$784	\$4,977
Fishable	\$3,043	\$512	\$3,556
Swimmable	\$2,356	\$216	\$2,572
Total	\$9,592	\$1,513	\$11,105

(4) 便益移転における課題

① 水質が改善する河川の延長と WTP の関係

Mitchell and Carson (1986)⁹⁾ は、同じ水質ランクでも、水質が改善する河川の延長が長いほど WTP は高く表明されると指摘し、河川延長に応じた係数で WTP を補正することを提案した。しかし、本事例では、水浄化法により水質改善が進んだのは延長が長く重要度の高い河川であると考え、同係数は 1 と設定されている。河川の重要度と WTP の関係については、検討の必要があると考えられる。

② 属地的便益と非属地的便益の配分

水質改善効果の及ぶ範囲は、利用価値については一定の地域に限定されると考えられるが、非利用価値についてはより広域に及ぶと考えられる。したがって、本事例のように、属地的便益と非属地的便益のそれぞれの WTP を求めることは重要である。しかし本事例では WTP を属地的便益と非属地的便益に配分する方法の理論的根拠がないため、検討の必要がある。

③ 属地的便益の及ぶ範囲の設定

本事例では、ある河川の属地的便益は、居住地区 (Populated place) 内のみに及ぶと仮定し、WTP に該当居住地区の世帯数を乗じることにより属地的便益を求めている。これは、属地的便益が州全域に及ぶと仮定した場合、便益を過大評価するおそれがあるためである。属地的便益の及ぶ範囲の設定方法については、検討の必要があると考えられる。

④ 所得による WTP の補正方法

本事例では、1983 年に実施された CVM 調査での WTP について、評価対象年次である 1996 年での貨幣価値に修正するために、所得の変化が用いられている。しかし、所得と WTP の関係については検討されていない。

3.3 便益関数に関する検討事例

(1) 寺脇(2002)⁶⁾

寺脇⁶⁾は、平成11年度の農林水産省水環境整備事業新規採択希望地区において行われた24地区のCV調査データを用い、便益関数が地区間で移転されるかどうかを尤度比検定により分析した。

CV調査は、二段階二項選択方式で行われ、各地区ごとに、回答者の個人属性(性別・年齢・所得・職業・提示額)を変数とする支払行動関数(便益関数)が推定された。各地区は、事業施設(ダム、ため池、用排水路)、農業地域類型(都市的地域、平地農業地域、中間農業地域、山間農業地域)に応じたカテゴリ(計12)に分類された。そして、同一カテゴリ内の複数の地区間で便益関数が移転可能かどうかについて、式1に示す尤度比検定統計量LRを求め、カイ2乗検定を行い、有意水準10%で仮説検定を行った。その結果、一部のカテゴリでは、個人属性のみによる便益関数移転が可能であることが示された。

$$LR = -2 \left[\ln L(\hat{\theta}_r) - \sum_{g=1}^G \ln L(\hat{\theta}_g) \right] \quad (式1)$$

$\ln L(\hat{\theta}_r)$: 複数地区を同一とした場合に得られるパラメータ $\hat{\theta}_r$ によって評価された対数尤度

$\ln L(\hat{\theta}_g)$: 各地区 g において得られるパラメータ $\hat{\theta}_g$ によって評価された対数尤度

G : 地区数

$\hat{\theta}_r$: 複数地区を同一とした場合の尤度方程式 $\partial \ln L_r(\theta) / \partial \theta = 0$ の解

$\hat{\theta}_g$: 複数地区を同一とした場合の尤度方程式 $\partial \ln L_g(\theta) / \partial \theta = 0$ の解

$$\ln L_r(\theta) = \sum_{i=1}^{N_r} \left[d_i^{yy} \ln \{1 - F(B_i^r; \theta)\} + d_i^{yn} \ln \{F(B_i^r; \theta) - F(B_i; \theta)\} + d_i^{ny} \ln \{F(B_i; \theta) - F(B_i^d; \theta)\} + d_i^{nn} \ln \{F(B_i^d; \theta)\} \right]$$

$$\ln L_g(\theta) = \sum_{i=1}^{N_g} \left[d_i^{yy} \ln \{1 - F(B_i^g; \theta)\} + d_i^{yn} \ln \{F(B_i^g; \theta) - F(B_i; \theta)\} + d_i^{ny} \ln \{F(B_i; \theta) - F(B_i^d; \theta)\} + d_i^{nn} \ln \{F(B_i^d; \theta)\} \right]$$

$$F(B; \theta) = F(-\alpha - x_i \beta - \beta_{bid} \ln B)$$

$d_i^{yy}, d_i^{yn}, d_i^{ny}, d_i^{nn}$: 2段階の提示額に対して、(yes, yes), (yes, no), (no, yes), (no, no)と回答したとき1, それ以外のときに0をとる二値定義変数

B_i : 第1段階の提示額, B_i^r : 第1段階の提示額に対してyesと回答した時に提示されるより高い金額, B_i^d : 第1段階の提示額に対してnoと回答した時に提示されるより低い金額

x_i : 被験者 i の属性ベクトル, β : x_i の係数パラメータ, β_{bid} : $\ln B$ の係数パラメータ

(2) 大野(2001)⁷⁾

大野⁷⁾は、伊勢湾のCVM調査(1998)で得られたWTPについて、環境資源の各価値(利用価値、オプション価値、代位価値、遺贈価値、存在価値、生態系価値)ごとの内訳を推定するために、同時に質問した環境資源の各価値(利用価値、オプション価値、代位価値、遺贈価値、存在価値、生態系価値)に対する評価(「非常に感じる」～「全く感じない」の5段階)を基に、コンジョイント分析の手法を適用して各価値の内訳額を推定する手法を提案した。

家計の効用関数は式2のとおり定義される。そして、アンケートデータを基に、最尤法によりパラメータ $\alpha_k, \beta_k, \gamma$ を推定する。式2を全微分し、 $dV=0$ とすると、式3が成立する。すると、式3は水質改善に対する家計の限界的な支払意思額となり、その値が各環境価値(式4)に分配できることが示される。

$$V = \left(\sum_{k=1}^6 (\alpha_k r_k + \beta_k s_k) x_k \right) z + \gamma p \quad (式2)$$

V : 伊勢湾の環境資源に対する家計の部分効用, Z : 水質浄化事業ダミー(事業あり=1, 事業なし=0), p : 家計の負担金

x_k : k 番目の環境価値ダミー(認識有り=1, 認識なし=0) ($k=1$: 利用価値, $k=2$: オプション価値, $k=3$: 代位価値, $k=4$: 遺贈価値, $k=5$: 存在価値, $k=6$: 生態系価値)

r_k, s_k : k 番目の環境価値に対する認識度ダミー(非常に感じる=(1,1), やや感じる=(0,1), 感じない=(0,0))

$\alpha_k, \beta_k, \gamma$: 未知のパラメータ

$$\frac{dp}{dz} = - \sum_{k=1}^6 \frac{(\alpha_k r_k + \beta_k s_k) x_k}{\gamma} \quad (式3)$$

$$k \text{ 番目の環境価値: } M_k = - \frac{(\alpha_k r_k + \beta_k s_k) x_k}{\gamma} \quad (式4)$$

3.4 まとめ

EPAの事例は、水質改善効果に関する便益移転を行った先進的なものであり、その考え方の枠組みはわが国での便

益移転手法の検討に際し参考となると評価できる。しかし、同事例では、原単位法を採用しているため、水域の水質レベル以外の特徴（水域の大きさ、回答者の個人属性等）を無視している点、属地的便益と非属地的便益の配分方法について理論的な根拠があいまいな点などの問題がある。そこで、前者への対処としては、便益関数移転法の採用が望ましいと考えられ、その際は寺脇の方法等により便益関数の移転の妥当性を統計的に検証することが求められる。また、後者への対処としては、コンジョイント分析を用いた大野の手法で便益の配分額が理論的に導出可能である。

4 望ましい水質改善レベルと地域・個人属性の関係の検討

4.1 目的

既往の便益移転事例のレビューでも見られたように、水質改善効果の便益評価にあたっては、便益の及ぶ範囲と、受益者が望ましいと考える水質改善レベルを把握することが必要である。便益の及ぶ範囲については、地理的条件などから検討する必要があるが、望ましい水質改善レベルについては、個人の意識により異なると考えられるため、本来はアンケート調査により個人の意識を直接把握する必要がある。もし、個人の属性や居住地域と望ましい水質改善レベルへの意識との間に統計的に有意な関係が確認できれば、その都度アンケート調査を行わずに、原単位や便益関数の移転により便益評価が可能になる。

そこで、国土交通省都市・地域整備局下水道部が平成 13 年度に実施した全国アンケート調査「みなさんの声を写す下水道へ」⁹⁾のデータを用い、地域や個人属性と、望ましい水質改善レベルの関係について考察する。

4.2 方法

アンケートデータは、国土交通省都市・地域整備局下水道部より借用した。サンプル数は4,642である。WTPに関する設問はないが、水環境保全の重要度に関する意見について、以下の選択肢から一番近い意見を選択する設問がある。

- ・ A 意見:「家の周りから臭いドブがなくなったり、蚊やハエがいなくなったり、生活環境の向上が重要だと思う。」
- ・ B 意見:「いつも見かける川や海がきれいであることに越したことはないけど、いやなにおいが少ない程度であれば、少しは汚れていてもいいと思う。」
- ・ C 意見:「子供たちが安心して遊べる。そんな水辺を取り戻すような取り組みが重要だと思う。」
- ・ D 意見:「近くの川や海で、気軽に釣りや水遊びができる。そんな水環境があるといいと思う。」
- ・ E 意見:「近くの川だけでなく、下流の海の水質や生態系を守るなど、広域的な環境の保全も重要ですね。」

回答者が回答した選択肢 A, B, C, D, E を水質レベルが良い順番に並べると、E>C>D>A>B となる。そこで、A, B, C, D, E について、それぞれ1, 0, 2, 2, 3 の重み付けを行い、各回答者の水質レベルに関する指標（以下、「水環境保全の重要度」とした。そして、水環境保全の重要度について、回答者の属性（性別、年齢、職業、下水道利用の有無、下水道使用料の認知、水辺とのふれあいの有無、水辺に行く頻度、水辺で気になること、水辺ですること）及び居住地（都道府県）との関係について、クロス集計を行い、属性ごとの平均値及び95%信頼区間（式5）を求め、95%信頼区間が全国平均から外れている属性は、水環境保全の重要度に影響を与えていると判断することにした。

$$(95\% \text{信頼下限値, 平均値, 95\% 信頼上限値}) = \left(\sum_{j=1}^5 \alpha_j \left\{ P_{ij} - 1.96 \sqrt{P_{ij}(1-P_{ij})/n_i} \right\}, \sum_{j=1}^5 \alpha_j P_{ij}, \sum_{j=1}^5 \alpha_j \left\{ P_{ij} + 1.96 \sqrt{P_{ij}(1-P_{ij})/n_i} \right\} \right) \quad (\text{式5})$$

- i: 属性 j: 選択肢(1~5)
- α_j : 選択肢jの重み係数(1,0,2,2,3)
- P_{ij} : 属性iのうち選択肢jの選択確率
- n_i : 属性iの標本数

4.3 結果

水環境保全の重要度について、属性ごとの平均値及び95%信頼区間を図-2、図-3、図-4に示す。

その結果、個人属性のうち、性別、年齢、職業、水辺とのふれあいの有無、水辺に行く頻度について（図-2）

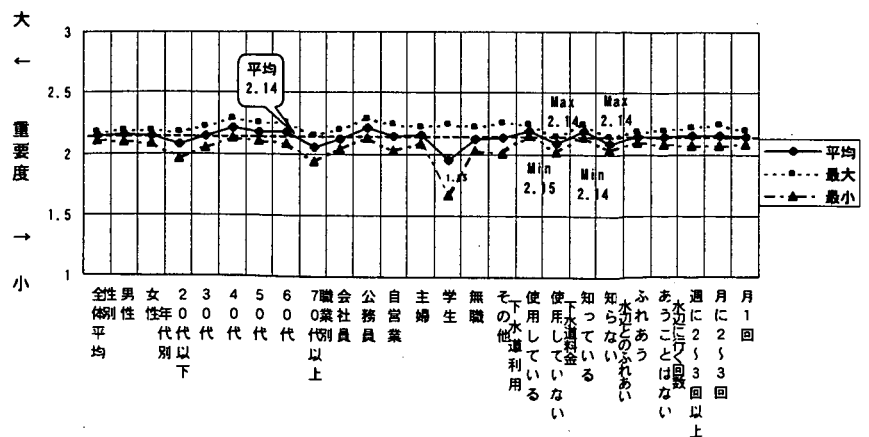


図-2 水環境保全の重要度—回答者の属性(95%信頼区間)

は、水環境保全の重要度への影響はなかったが、下水道利用の有無、下水道料金への認知属性の違いにより水環境保全の重要度が異なることが示された。

また、水辺で気になることについて(図-3)は、生き物、周囲の景観を挙げた回答者の水環境保全の重要度が全国平均より高いことが示された。また、水辺ですることの違いによる水環境保全の重要度の違いはないことが示された。

地域の違いによる水環境保全の重要度への影響について(図-4)は、一部の県(図中F・I)での重要度が全国平均の重要度に比べ高いことが示された。

このように、個人属性については、下水道使用の有無、下水道使用料の認知の有無、水辺での生き物・周囲の景観への認識の有無が、望ましい水質レベルに影響を与えていることが示された。また、都道府県で望ましい水質レベルが異なることが示された。

5 まとめ

本年度は、わが国における水質改善便益評価について、便益移転の方法による汎用的な方法を開発することを

目的とし、国内外の便益移転事例のレビューを行い、EPAの手法の適用性について検討した。そして、全国での汎用的な便益関数を求めるうえで配慮すべき個人属性や地域属性を国土交通省の全国アンケートデータ(平成13年度)を用いて示した。今後、今年度の検討結果を基に、便益移転のためのCVM調査の方法について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 環境省：平成13年環境白書
- 2) Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency: A Benefits Assessment of Water Pollution Control Programs Since 1972: Part 1, The Benefits of Point Source Controls for Conventional Pollutants in Rivers and Streams Final Report, Jan. 2000
- 3) 下水道研究室：「下水道整備による環境改善効果に関する調査」、『下水道関係調査研究年次報告書集』(土木研究所資料第3661号【平成10年度】、同第3755号【平成11年度】、国総研資料第10号【平成12年度】、同第64号【平成13年度】)
- 4) 竹内憲司：環境評価の政策利用 CVMとトラベルコスト法の有効性、劉草書房、p.63-73、1999
- 5) Mitchell, R.C., and R.T. Carson: The Use of Contingent Valuation Data for Benefit/Cost Analysis in Water Pollution Control. CR-810224-02. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Planning and Evaluation. Washington, DC. 1986.
- 6) 寺脇拓：農業の環境評価分析、劉草書房、2002.
- 7) 大野栄治：コンジョイント分析による伊勢湾の環境価値の経済評価、日本沿岸域論文集、No.13, pp.65-74, 2001.
- 8) 松井宏樹・原田一郎：一般市民を対象とした下水道事業のPI(パブリックインボルブメント)について、第40回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、pp.271-273、2003

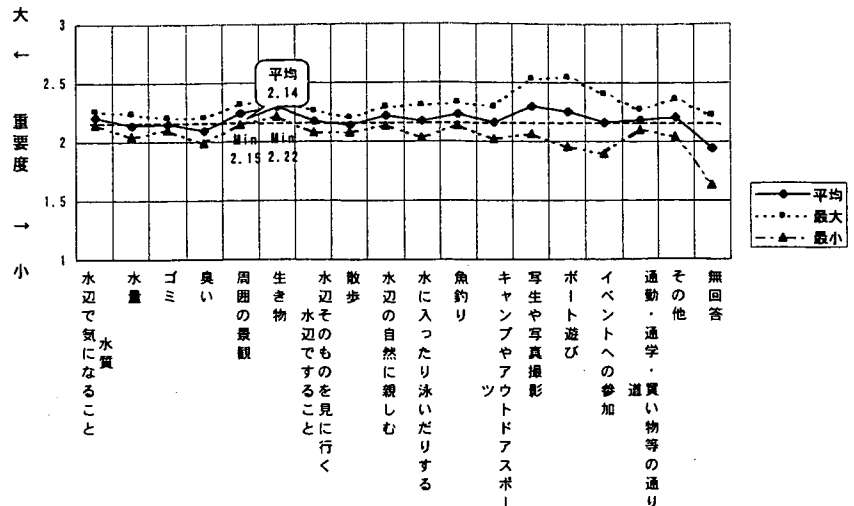


図-3 水環境保全の重要度-回答者の属性(2) (95%信頼区間)

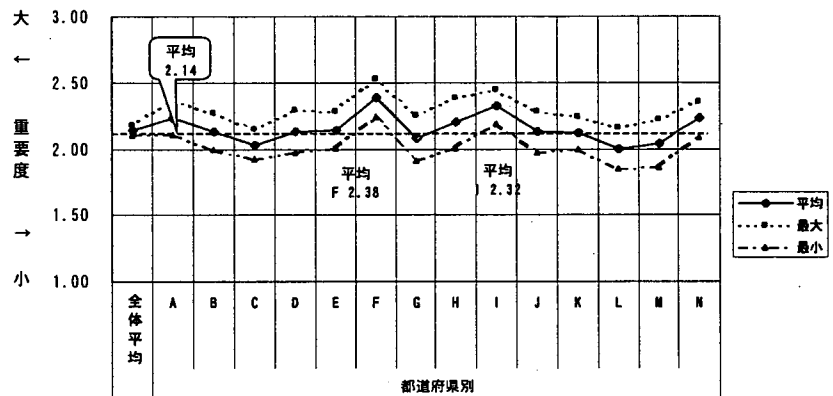


図-4 水環境保全の重要度-居住地(95%信頼区間)