

## 7. 解析モニタリング 2

水環境モニタリングの最適化に関する解析モニタリング（平成 20～22 年度（2008～2010 年度））：中間報告

# 水環境モニタリングの最適化に関する解析モニタリング ～多目的を考慮した琵琶湖水質モニタリング地点の最適配置～

佐藤祐一・原口和也<sup>1)</sup>・岡本高弘・北川典孝・古角恵美

## 要約

琵琶湖の水質モニタリング地点は単に平面的にメッシュに切った地点設定をしているため、琵琶湖の水質状況を的確に把握できていない可能性がある。本研究では、湖沼を中心とした水質モニタリング地点の空間的な最適配置を決定する方法論として、モニタリングの多様な目的を明示的に考慮し、それらを価値関数により統合化して多目的最適化を行う手法を提案し、それを琵琶湖に適用した。その結果、モニタリング地点の継続性をあまり重視しないのであれば、30 地点程度までは削減できる可能性があること、現行モニタリング地点は南湖のモニタリング地点数がやや多いこと、新たにモニタリング地点を設置する場合には、汚濁の進んだ湖東沿岸帯や、北湖の清澄な水域に置くことが望ましいことなどが明らかになった。

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景と目的

全地球上の水のうち、人間が使いやすい河川・湖沼の水はわずか 0.01% であり、その中で湖沼の水は 98% 程度を占める（The United Nations, 2006）。今後人口の増加や水需要原単位の増加により、2025 年には世界人口の 47% が水ストレスにさらされるとも言われており（マルク・ド・ヴィリエ、2002）、湖沼の水文・水質状況を定期的にモニタリングし、地域への適切な配分や水質改善のための対策等に活用することは国際的に喫緊の課題である。

日本においても、琵琶湖は滋賀県および近畿 1,400 万人の生存と経済的発展のための重要な淡水資源である反面、人間活動の影響を非常に受けやすく、その保全と利活用には河川など他の水資源とは異なる対応が必要となる。現在の琵琶湖の水質モニタリングの体制（頻度・地点・分析項目等）は、1979 年に始まって以来ほぼ同様の形で進められてきているが（図 1）、これまで以下のような課題が指摘されている（滋賀県琵琶湖環境部、2005）。

- ① 環境基準等の水質評価の枠組みによる、表層での COD、TN、TP 等各種項目の濃度測定を主眼としたものであるため、必ずしも水質形成機構の解明に有効に寄与するようになっていない。
- ② 水環境を巡る物質収支を把握していないことから、流域における汚濁負荷削減対策と水質の関係が把握できておらず、適切な対策立案と実施、対策の効果の評価に対し

て十分な活用ができていない。

- ③ 環境基準点 11 地点に対し、全体で 47 地点で定期的な水質調査を実施しているが、単に平面的にメッシュに切った地点設定をしているため、琵琶湖の水質状況、さらに

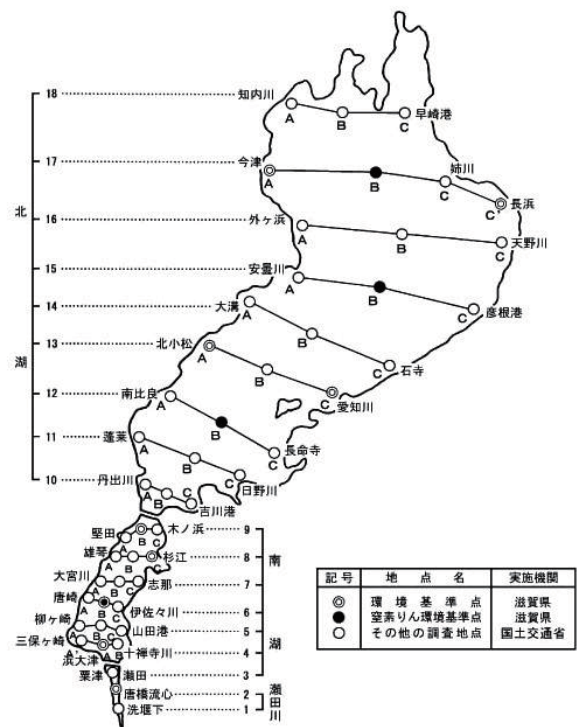


図 1 琵琶湖の水質モニタリング地点

1) 石巻専修大学 理工学部

は水環境状況を的確に把握するといった視点から現在のモニタリング地点および数が適切であるかどうかの検証がなされていない。

このことより、琵琶湖の水質形成機構の解明や物質収支の把握などの観点から現在のモニタリング体制の評価を行い、より効果的・効率的なモニタリングのあり方について検討することが必要である。

そこで本研究では、湖沼を中心とした水質モニタリング地点の空間的な最適配置を決定する方法論を提案し、それを琵琶湖に適用することを目的とする。

## 1.2 既往研究

水質モニタリングの時間的・空間的配置の最適化に関する既往研究としては、松岡ら（1983）が広範にレビューを行っている。これによれば、

- ① 観測データの検討が中心の「モデルを使用しないもの」
  - ② データ間の独立性を仮定するか、時間的・空間的相関を考慮する「統計モデルを使用するもの」
  - ③ フィルター理論等の「物理モデルを使用するもの」
- の3つに大別される。湖沼を対象とした空間的配置の研究としては、松岡ら（1983）が霞ヶ浦を対象として統計的内挿法により最適監視地点位置を求めたもの、藤原ら（1985）が琵琶湖南湖を対象としてスプライン法により削減可能測定点を求めたものなどがある。

しかしながらこれらのほとんどは、水質の推定分散や面的分布の再現性など、水質値の推定精度を論じたものであり、実際にモニタリング地点検討の際に重要となる利水目的の監視や過去からのモニタリングの継続性、地点配置のバランスなど多目的な要素を考慮してモニタリング地点の最適配置を検討したものは、筆者らの知見の範囲では存在しない。

本研究では多目的を考慮したモニタリング地点の最適配置を検討する手法として、その目的を把握する手法や目的間の尺度の統一化、それらを考慮した最適な地点配置の導出方法などについて検討するものとする。

## 2. 方法

本研究で提案する水質モニタリング地点最適化の方法は、以下の3つのプロセスにより構成される。

- ① 水質モニタリングの目的の整理と指標の抽出
- ② 価値関数決定のアンケート実施
- ③ 多目的最適化の実施

以下では各項目についてその方法の詳細と、琵琶湖において実施した調査内容等について述べる。

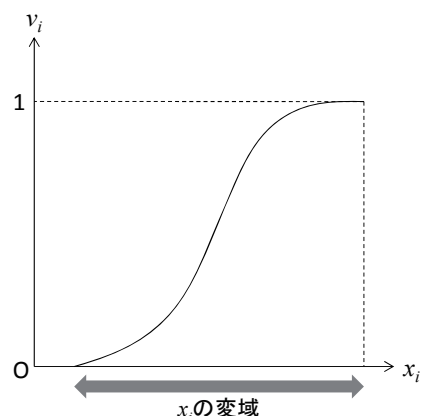


図2 価値関数の例

## 2.1 水質モニタリングの目的の整理と指標の抽出

水質モニタリングに関する多様な目的を把握するためには、調査担当者などの関係者にヒアリングを行い、目的を体系的に整理することが必要となる。しかし定期的なモニタリングは法で定められた事項として行政で実施されていることがほとんどで、対象水域の特性に応じた目的が体系的にまとめられていることは少なく、またまとめられていても、本来把握したい事項からすると現状のモニタリングでは不十分であることも多いと考えられる。

そこで調査担当者に個別にヒアリングを実施するのではなく、関係者が集まってブレインストーミングを行い、新しい着眼点を掘り起こす方法論であるKJ法（川喜田、1967）を採用する。

一方、こうして整理されたモニタリングの目的は定性的な表現であることがほとんどであり、モニタリング地点配置の適切さを定量的に把握するためには、これらを測る指標を抽出する必要がある。したがって、目的と指標の関係をマトリックスで整理しつつ、目的の達成を測る指標の抽出を行う。

琵琶湖を対象とした調査としては、主に環境基準点の定期モニタリングを実施する滋賀県（琵琶湖再生課・琵琶湖環境科学研究センター）の調査担当者6名と、主に環境基準点以外の地点の定期モニタリングを実施する国土交通省琵琶湖河川事務所・（独）水資源機構の調査担当者4名に対し、それぞれKJ法による目的の把握を行った（それぞれ2008年6月と7月に実施）。その後、その目的の達成を測るための指標の抽出を行った。

## 2.2 価値関数決定のアンケート実施

2.1により抽出された指標 $i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )の評価値を $x_i$ としたとき、 $x_i$ は $i$ により単位が異なるため、多様な目的を総合的に評価するためには、共通の尺度への変換が必要である。この方法として価値関数を用いる方法があり、

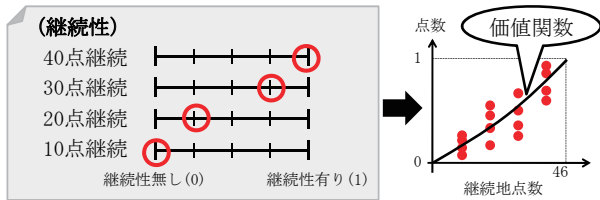


図3 価値関数の関数形を決定するアンケートの例

これは評価値  $x_i$  を何らかの価値関数  $f_i$  によって価値量  $v_i$  に変換するものである (図2)。

$$v_i = f_i(x_i) \quad (1)$$

Keeney et al. (1993)は価値関数の関数形を決定する方法として、価値中点 ( $v_i = 0.5$  となる点) を回答者に直接尋ねることを提案しているが、この質問は分かりにくく正確な回答が得られない可能性が指摘されていること (佐藤ら、2004) から、本研究ではいくつかの  $x_i$  に対応する  $v_i$  の値を直接回答者に尋ねることとする。

琵琶湖に関する価値関数決定の方法としては、2.1により抽出された各指標に関し、滋賀県の技術担当職員14名 (水質調査やその結果の活用に関与する7部局) にアンケートを実施した (2009年8月)。設問内容は以下の2点である (アンケート原本についてはAPPENDIXを参照)。

- ① 各指標  $i$  の評価値  $x_i$  の事例を4つ提示し、それぞれについて5段階で評価してもらおう。例えば「継続するモニタリング地点数」という指標についてであれば、現行47地点のうち40、30、20、10地点継続するという4つの事例を提示し、それぞれについて「十分継続性がある」から「全然継続性がない」までの5段階で評価してもらおう (図3)。
- ② 各指標  $i$  について、モニタリング地点を検討する際の重要性を「重み」として評価してもらおう。具体的には、100点という評価を各指標に割り振り、指標間の重要性に重みをつけてもらう。

これらのアンケート結果から価値関数を設定する方法として、まず5段階の評価は、価値量  $v_i$  の0、0.25、0.5、0.75、1に対応させ、14名分のデータとの二乗誤差が最小となるよう関数形を決定した。また指標の重みについては、合計100点の評価を全て1/100にし、次節で述べる指標の総合化の際に利用した。

### 2.3 多目的最適化の実施

2.2により、価値量  $v_i$  の次元がどの項目も同一にできれば、これと重み  $w_i$  から総合評価値  $V$  が次式で求められる。

$$V = F(w_i, v_i), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$F$  の関数系は様々な形が考えられるが、最も簡単な線形和によって表せば以下ようになる。

$$V = \sum_{i=1}^m w_i v_i, \quad \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (3)$$

この  $V$  を最大化するようなモニタリング地点の配置  $S$  を求めることが目的であるが、制約条件として、以下の3つを考慮する。

- ① モニタリング候補地点の集合を  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  とする。
- ② モニタリング地点の合計数を一定値  $c$  とする (これは予算制約等から決められるものとする)。
- ③ 重要な地点では調査を継続することが強く望まれると考えられ、そのような候補地点の集合を  $S_0$  とする。

これより、モニタリング地点の最適配置問題は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \max \quad & V = \sum_{i=1}^m w_i v_i \\ \text{subject to} \quad & S_0 \subseteq S \subseteq P, \quad |S| = c \end{aligned} \quad (4)$$

この問題を解く方法として、本研究では反復局所探索法 (iterated local search: ILS法) (柳浦ら、2001) に基づいた以下のアルゴリズムを与える (Haraguchi et al., 2010)。このアルゴリズムは  $T$  回の局所探索 (local search: LS) を行い、探索中に得られた最良の解を出力する。1回のLSでは、適当な初期解  $S \subseteq P$  から始め、その近傍内に  $V(S') > V(S)$  を満たす改善解  $S' \subseteq P$  が存在すれば  $S' \leftarrow S$  と移動する操作を、近傍内に改善解が存在しなくなるまで反復する。

パラメータ  $\delta \in N$  を用いて、解  $S$  の近傍  $N_\delta(S)$  を次のように定義する: 任意のサンプル点  $p_j \in S$  を、マンハッタン距離が  $\delta$  以内のメッシュに動かすことで得られるすべての解の集合 (すなわち  $\delta$  は近傍のサイズを制御する)。近傍内の解はランダムな順序で探索し、改善解  $S' \subseteq P$  を発見すればすぐに移動するものとする。最初のLSでは、サイズ  $c$  の適当なサンプル点集合を初期解とする。2回目以降のLSでは、それまでの探索で得られた最良の解 (暫定解)  $S_{opt} \subseteq P$  を変形することによって得られる解を初期解とする。

上記アルゴリズムを琵琶湖に適用する際、以下のように条件を設定した。

- ① モニタリング候補地点の集合  $P$  を、琵琶湖表層を1kmメッシュに区切った677メッシュとし ( $n = 677$ )、モニタリング地点は各メッシュの表層から高々1つしか選ばれないものとした (なおこの条件により、現在モニタリングが行われている47地点のうち2地点については同一メッ

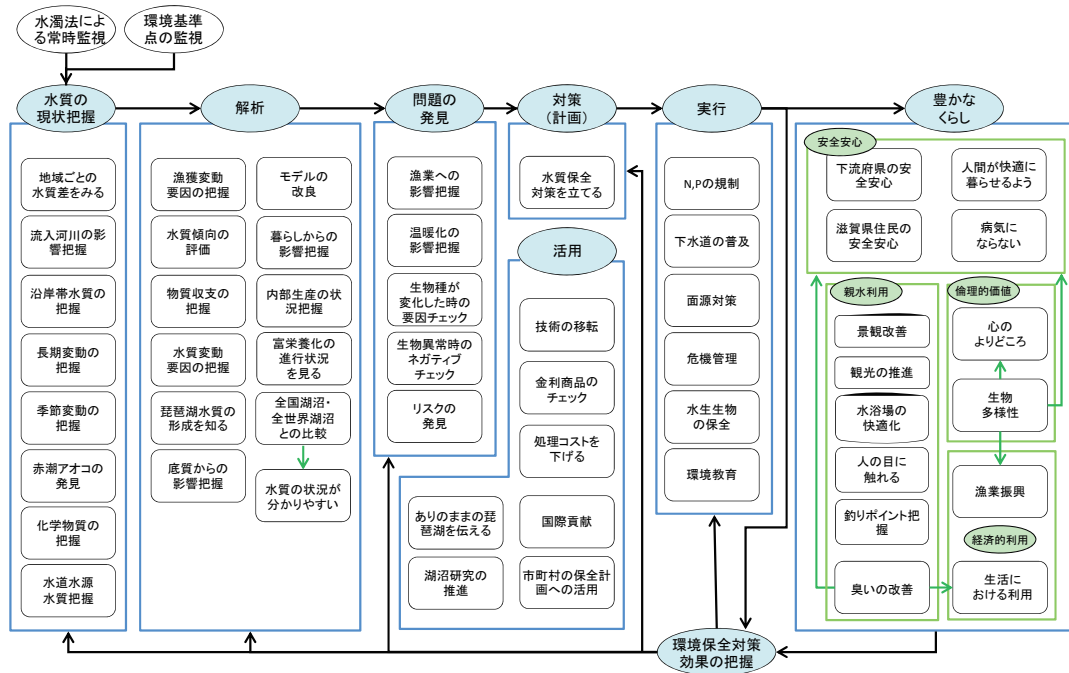


図4 水質モニタリングの目的の整理（滋賀県調査担当者6名）

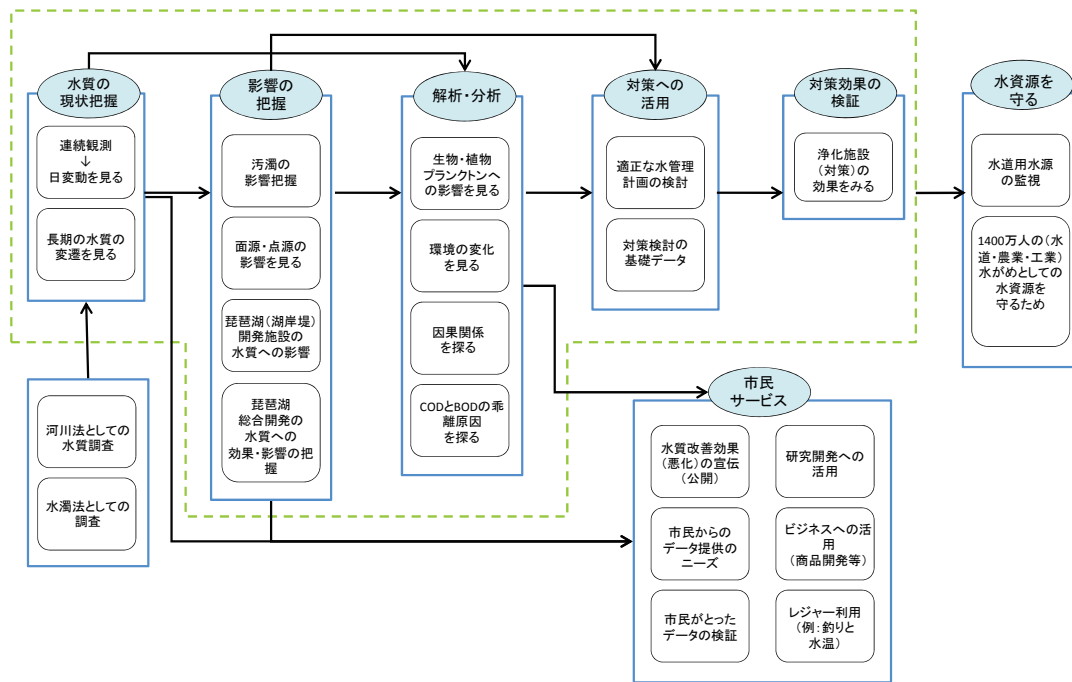


図5 水質モニタリングの目的の整理（国土交通省琵琶湖河川事務所・(独)水資源機構調査担当者4名）

シユに含まれるため、解析上は現行の観測メッシュ数が46として扱われることになる。

② 継続調査が望まれるモニタリング地点集合  $S_0$  については、現行の環境基準点と水深別調査を実施している合計12地点とした。

③ モニタリング地点の合計数  $c$  は、40、30、20地点の3パターンについて検討した。

④ 考慮する水質項目としては、琵琶湖の生態系形成の上で最も重要であると考えられるTPを対象とした。また各メッシュにおける年間平均値のみを評価の対象とした。

表1 水質モニタリングの目的とその達成を測る指標の関連

モニタリングの目的		提示されたWS		目的の達成を測る指標(○:指標の向上が目的の達成につながる)							
項目	内容	県	国	面的分布の再現性	モニタリング地点の継続性	水道用水源における観測	沿岸帯における観測	汚濁地点における観測	観測頻度	観測項目(リスク物質の監視など)	鉛直方向の観測
水質の現状把握	地域ごとの水質差をみる	○		○							
	沿岸帯水質の把握	○					○				
	長期変動の把握	○	○		○						
	季節変動の把握	○							○		
	赤潮・アオコの発見	○					○	○			○
	化学物質の把握	○						○	○	○	
	水道水源水質把握	○	○				○				
解析・影響把握	連続観測による日変動の把握		○						○		
	流入河川の影響把握	○					○				
	漁獲変動要因の把握	○		○	○		○	○	○	○	○
	水質傾向の評価	○			○						
	物質収支の把握	○		○	○		○	○	○		
	水質変動要因の把握	○		○	○		○	○	○		
	琵琶湖水質の形成を知る	○		○	○		○	○	○	○	
	底質からの影響把握	○					○				○
	モデルの改良	○		○			○	○	○		○
	暮らしからの影響把握	○					○	○			
	内部生産の状況把握	○		○	○		○		○		
	富栄養化の進行状況を見る	○		○			○	○	○		
	全国湖沼・全世界湖沼との比較	○		○	○		○	○	○	○	○
	点源・面源汚染の影響把握		○				○	○	○	○	○
	生物・植物プランクトンへの影響を見る		○	○	○		○	○	○	○	○
環境の変化を見る		○	○	○		○	○	○	○	○	
因果関係を探る		○	○	○		○	○	○	○	○	
CODとBODの乖離原因を探る		○	○	○		○	○	○		○	
問題の発見	漁業への影響把握	○		○	○		○	○	○	○	○
	温暖化の影響把握	○			○				○		○
	生物種が変化したときの要因チェック	○		○	○		○	○	○	○	○
	生物異常時のネガティブチェック	○		○	○		○	○	○	○	○
	リスクの発見	○					○	○	○	○	
対策の計画・実行・効果把握	N,Pの規制	○			○	○	○	○			○
	下水道の普及	○		○	○	○	○	○			○
	面源対策	○		○	○	○	○	○			○
	危機管理	○				○			○		
	水生生物の保全	○		○	○		○	○	○	○	○
	環境教育	○		○	○	○	○	○	○	○	○
	琵琶湖開発施設(湖岸堤)の水質への影響把握		○				○				
	琵琶湖総合開発の水質への影響把握		○	○	○	○	○	○	○	○	
	適正な水管理計画の検討		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	対策検討の基礎データ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
浄化施設の効果を見る		○	○	○	○	○	○			○	

【目標】豊かな暮らし・水資源を守る

⑤  $\delta = 3$  とし、 $T = 10$  回の LS を初期解を変えて 50 回繰り返した。

### 3. 結果

#### 3.1 水質モニタリングの目的と指標

KJ 法により水質モニタリングの目的を整理した結果を

図 4・5 に示す。国が近畿 1,400 万人の水がめとしての水資源の確保と水道用水源としての監視を目的として観測を行っているのに対し、県ではその他生物多様性や親水利用、経済的利用など琵琶湖の多様な価値の向上を目的として観測を行っているという特徴の違いが見られた。一方で、「水質の現状把握」「解析」「問題発見」「対策(計画)」「実



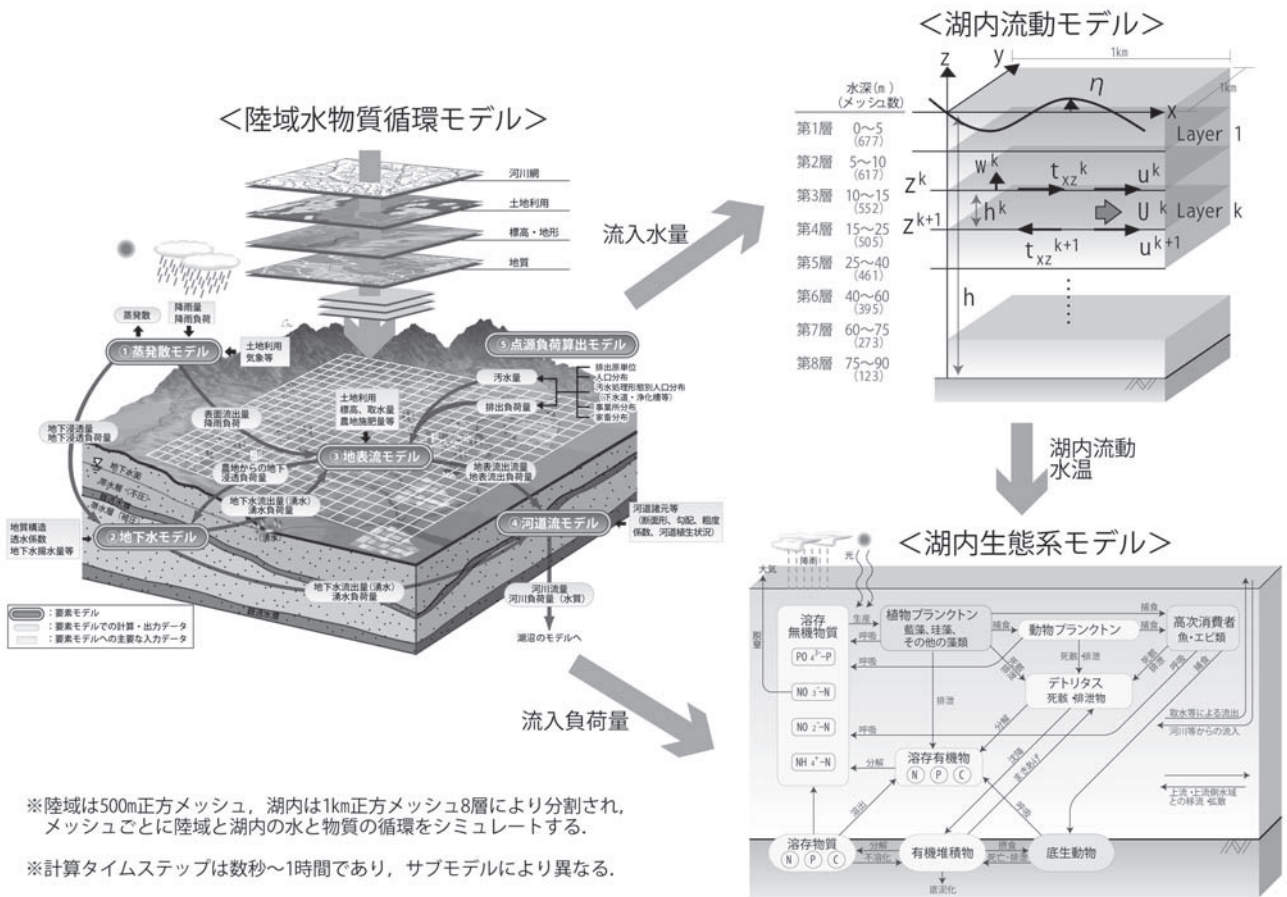


図6 琵琶湖流域水物質循環モデルの概要

行「対策効果把握」などからなるPDCAサイクルの中で観測を位置づけていることが共通点として浮かび上がった。

次に、提示された水質モニタリングの目的からその達成を測る指標を抽出するため、8つの指標を考え、目的との関連性を整理した(表1)。水質モニタリングの目的と指標は必ずしも1対1対応するものではなく、1つの指標が複数の目的を表現したり、1つの目的の達成を測る指標が複数存在したりすることがほとんどであるが、表1によれば、図4・5で提示された目的は概ね8つの指標で測っていくことができると考えられる。しかしながら本研究は、琵琶湖表層のTPのモニタリング地点配置を検討することが目的であるため、「観測頻度」「観測項目」「鉛直方向の観測」の3指標については指標として採用せず、残りの5指標について検討を行うものとした。

5指標を数値化する手法については以下の通りとした。

① 面的分布の再現性

限られた地点におけるモニタリングの結果から対象とする水域全体の面的分布を推定するために、一般に何らかの内挿補間が行われる(例えば、巾乗型移動平均法、スプライン法、Kriging法など(松岡ら、1983))。しかし、補

間された結果が実際の分布をどの程度再現できているかは、実際の分布が分からなければ評価することができない。藤原ら(1985)はスプライン法により推定された面的分布からできるだけ誤差が小さくなるようなモニタリング地点を間引く方法を採用しており、現在の地点を削除していく上では有効であるが、新たなモニタリング地点の設置を検討するにはこうした手法を用いることができない。

そこで本研究では、実際の分布として「琵琶湖流域水物質循環モデル」(図6)(佐藤ら、2009)の2004年度におけるTPの出力結果を用い、琵琶湖や多数の水域で適用事例のある張力付きスプライン法(大西、1975)で推定された補間値との誤差を、面的分布の再現性を表す指標とした。具体的には、以下の式により表現する。

$$x_1 = \sum_{p_j \in P} (d^*(p_j) - d(p_j))^2 \quad (5)$$

ここで、

$d^*(p_j)$ : 地点  $p_j$  における実際の水質値(琵琶湖流域水物質循環モデルの出力値)

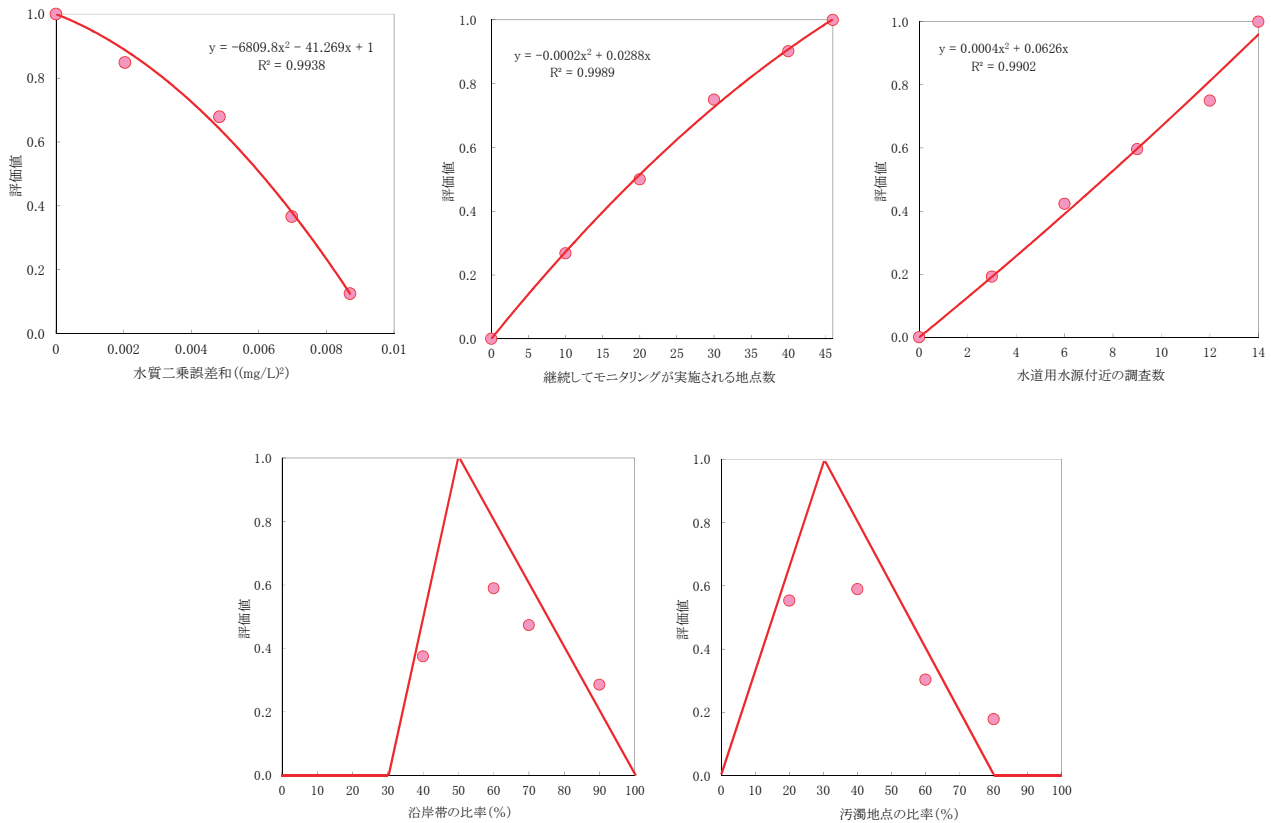


図7 5つの指標に対応する価値関数

$d^*(p_j)$  : 地点  $p_j$  において内挿補間された水質値

② モニタリング地点の継続性

現在モニタリングが行われている46メッシュのうち、継続してモニタリングが実施される地点数  $x_2$  を、継続性を表す指標とした。

③ 水道用水源における観測

2.2で実施したアンケートの結果より、水道用水源の監視を目的とした場合、取水口から平均300m以内でモニタリングを実施する必要があると判断された。このことより、現在琵琶湖を直接の取水源とする14の浄水場が取水しているメッシュと同一メッシュにおいてモニタリングが実施される地点数  $x_3$  を、水道用水源における観測を表す指標とした。

④ 沿岸帯における観測

ここでは陸域に接する湖内のメッシュを沿岸帯と定義し(合計214メッシュ)、モニタリング地点のうち沿岸帯にある比率  $x_4$  を、沿岸帯における観測を表す指標とした。

⑤ 汚濁地点における観測

2.2で実施したアンケートの結果より、TPが平均0.011mg/L以上である場合に汚濁されていると判断された。このことより、TPが0.011mg/L以上のメッシュを汚濁地点と定義し、モニタリング地点のうち汚濁地点にある比率  $x_5$  を、沿岸帯における観測を表す指標とした。

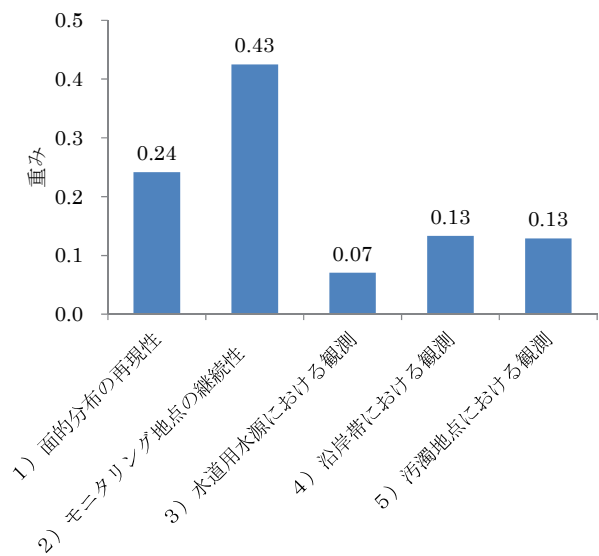


図8 5つの指標の重み

3.2 各指標の価値関数

2.2で実施したアンケートの結果より、5つの指標に対応する価値関数を以下のように設定した(図7)。

① 面的分布の再現性

$$v_1 = -6809.8x_1^2 - 41.269x_1 + 1 \quad (6)$$

② モニタリング地点の継続性

表 2 モニタリング地点数ごとの最適配置の指標値

地点数	総合評価値	二乗誤差	継続(個)	水源(個)	沿岸帯(%)	汚濁地点(%)
20	0.716	0.00222	20	2	50.0	30.0
30	0.808	0.00167	28	4	50.0	30.0
40	0.854	0.00151	33	5	50.0	30.0
現況(46地点)	0.875	0.00173	46	4	63.0	37.0

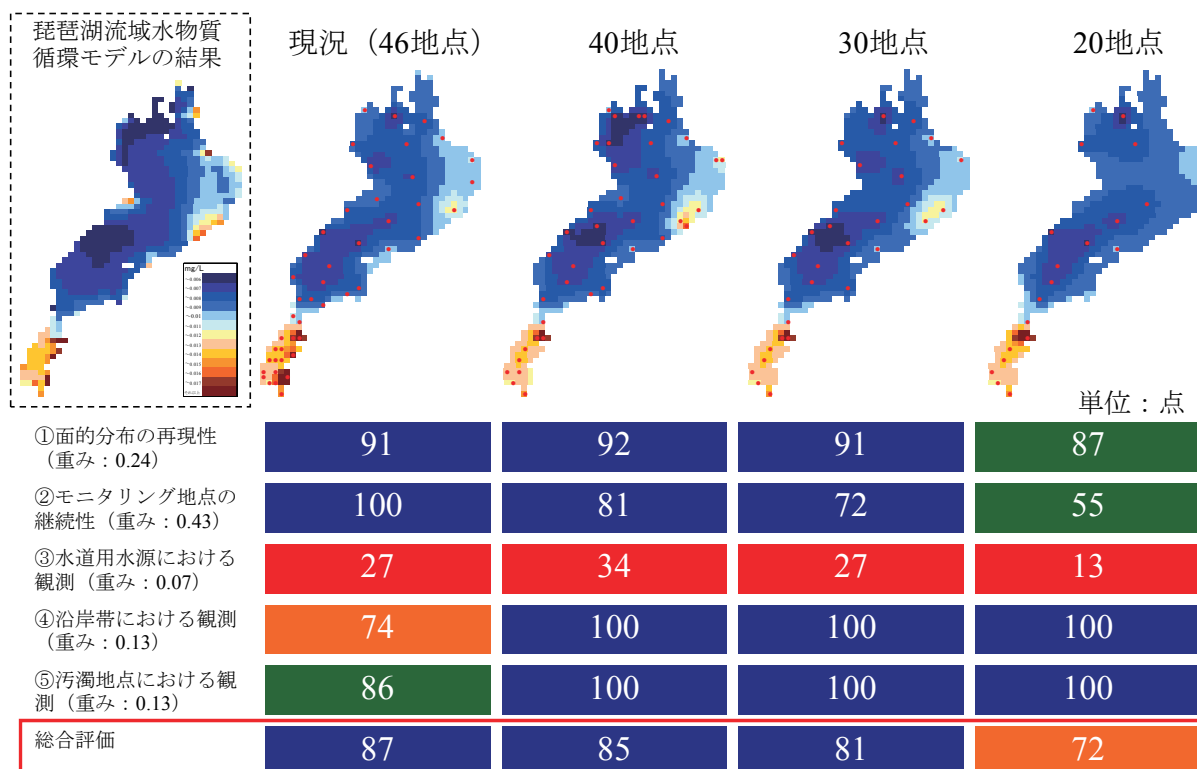


図 9 観測地点数ごとの最適配置と評価値 (グラビア 5 頁参照)

$$v_2 = -0.0002x_2^2 + 0.0288x_2 \quad (7)$$

③ 水道用水源における観測

$$v_3 = 0.0004x_3^2 + 0.0626x_3 \quad (8)$$

④ 沿岸帯における観測

$$x_4 < 30 \text{ のとき } v_4 = 0$$

$$30 \leq x_4 < 50 \text{ のとき } v_4 = 0.05x_4 - 1.5 \quad (9)$$

$$50 \leq x_4 \text{ のとき } v_4 = -0.02x_4 + 2$$

⑤ 汚濁地点における観測

$$x_5 < 30 \text{ のとき } v_5 = x_5 / 30$$

$$30 \leq x_5 < 80 \text{ のとき } v_5 = -0.02x_5 + 1.6 \quad (10)$$

$$80 \leq x_5 \text{ のとき } v_5 = 0$$

また各指標に対する重みの結果は図 8 の通りとなり、モニタリング地点の継続性を最も重視し、次に面的分布の再現性を重視する傾向が明らかになった。

### 3.3 多目的最適化の結果

モニタリング地点の合計数  $c$  を 40、30、20 地点とした

場合の最適配置について、現行の 46 地点の場合と指標値を比較した結果を表 2 に示す。3.2 に示したように、継続性の重みが大きいため、地点数を減らした場合には総合評価値も減少する傾向が見られるが、面的分布の再現性については 30 地点まで減らしても現況以上により結果が得られることが明らかになった。

またモニタリング地点の最適配置の結果と、指標値を価値関数から評価値に直し、分かりやすいよう 100 点満点で表示したものを図 9 に示す。現行の 46 地点から 40 地点に減らした場合、南湖のモニタリング地点が優先的に削減され、一方で北湖の汚濁地点や水質のよい地点に密に観測点が配置される結果となった。また地点数を 20 地点まで減らすと、総合評価が急激に悪くなることが分かった。水道用水源における観測は、重みが小さいため最適化の過程でもあまり重視されず、いずれのケースでも得点が低い結果となった。



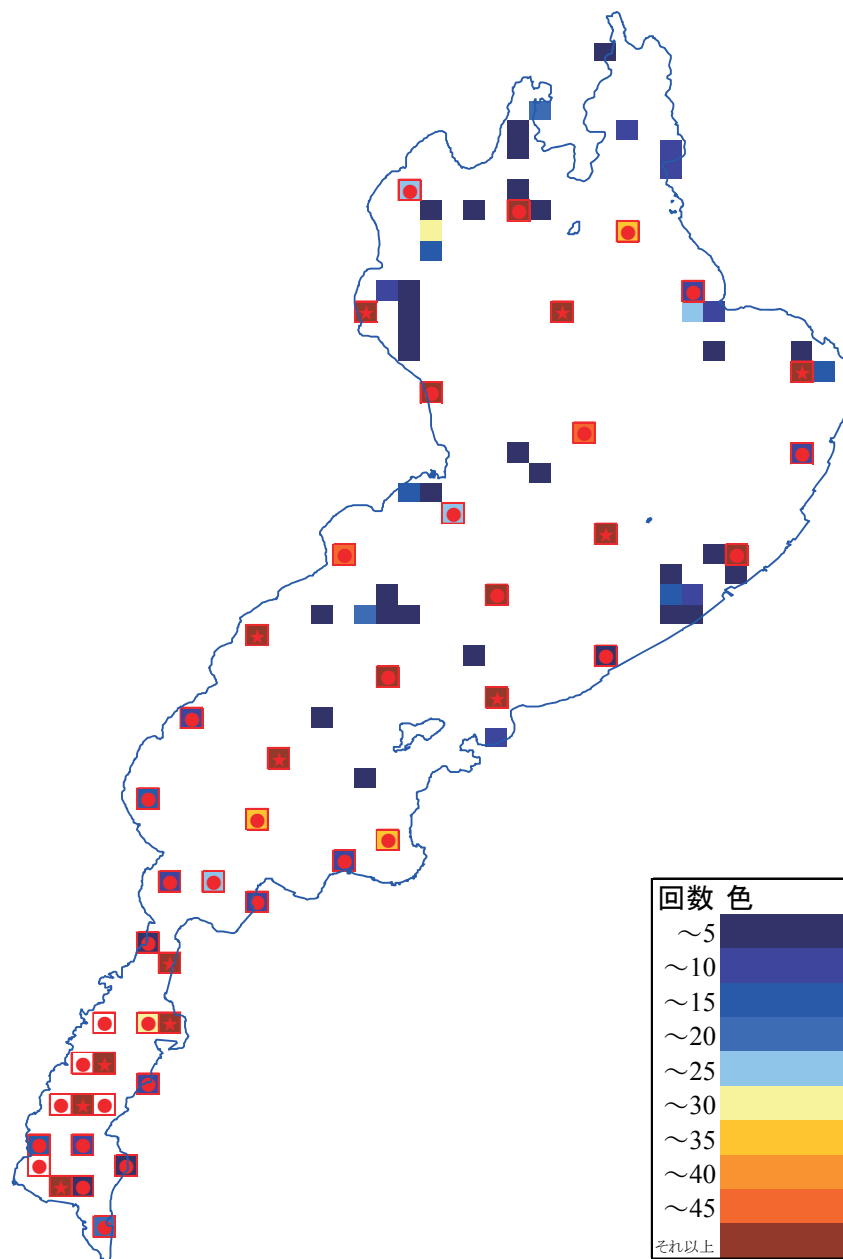


図 10 50 回の繰り返し計算のうちモニタリング地点として選択された回数（★は環境基準点もしくは水深別調査が実施されている地点、●はそれ以外の現行モニタリング地点）（グラビア 6 頁参照）

#### 4. 考察

3.3 の結果から、現行モニタリング地点の特徴や今後の地点配置のあり方として以下のようなことが考察される。

- ① 地点数を 40 程度に削減した場合に、南湖のモニタリング地点数が現行の 18 から 9 に半減することから、地点数を削減する際には南湖から優先的に検討することが望まれる。このことは表 2 より、現行のモニタリング地点が沿岸帯や汚濁地点においてやや多いことも関連している。
- ② 水道用水源における観測が少ないことも特徴的であり、水道用水源監視の目的からは現行のモニタリング地点

は十分機能していない可能性がある。しかしながら、取水された水の分析は別途浄水場内で定期的に行われていることや、水道用水源における観測の重みが相対的に低いことから、公共用水域での観測においては他の目的に注力した配置となること自体は合理的である。

- ③ 継続性も考慮した総合評価では現行のモニタリング地点配置の得点が最も高く、費用制約等の要請がない限りは現状を維持するのが望ましい。一方で、継続性をあまり重視しないのであれば、30 地点程度までは削減できる可能性がある。



## 5. まとめ

本研究では、湖沼を中心とした水質モニタリング地点の空間的な最適配置を決定する方法論として、①水質モニタリングの目的の整理と指標の抽出、②価値関数決定のアンケート実施、③多目的最適化の実施、の3つのプロセスを提案した。またこれを琵琶湖のモニタリング地点の最適配置に適用し、以下のことが明らかになった。

① モニタリングの目的の達成を測る指標として、「面的分布の再現性」「モニタリング地点の継続性」「水道用水源における観測」「沿岸帯における観測」「汚濁地点における観測」の5つが抽出された。またこのうち、「モニタリング地点の継続性」が最も重視されることが分かった。

② 5つの指標とそれらの重みを考慮して多目的最適化を実施した結果、総合評価では現行のモニタリング地点配置の得点が最も高くなったが、継続性をあまり重視しないのであれば、30地点程度までは削減できる可能性があることを示した。

③ 現行モニタリング地点の特徴として、南湖のモニタリング地点数がやや多いこと、また水道用水源に観測が少ないことが明らかになった。

④ 新たにモニタリング地点を設置する場合には、汚濁の進んだ湖東沿岸帯や、北湖の清澄な水域に置くことが望ましい。

今後の課題としては、まず、結果に大きく影響する琵琶湖流域水物質循環モデルや価値関数の精度を高めていくことが必要である。特に価値関数のうち、沿岸帯や汚濁地点における観測は、その比率の変化に対する感度がかかなり高い関数形となっている。沿岸帯や汚濁地点における観測比率は、「〇%がよい」というような絶対的な基準があるものではなく、むしろ「高すぎず、低すぎず、〇%～〇%の間でバランスのとれたものがよい」という認識を調査担当者が抱いていると考える方が妥当である。その場合、この2つの指標については、式(4)の目的関数ではなく、制約条件として組み込むことが必要となる。

また本研究では、琵琶湖表層のTPの年間平均値の分布からモニタリング地点の最適配置を算出しているが、他の水質項目やモニタリングの頻度、鉛直方向の調査についても今後検討が必要である。

平成21年度末からは、図11で「新たに調査することが望まれる地点」として示した3地点において試行的に水質調査を実施している。今後は調査結果も合わせて考慮しつつ、水質モニタリングのあり方を提言していく予定である。

## 6. 謝辞・引用文献

### 6.1 謝辞

本研究を実施するにあたり、KJ法によるモニタリング

の目的把握にご協力いただいた国土交通省琵琶湖河川事務所・(独)水資源機構・滋賀県の皆様、またアンケート調査にご協力いただいた滋賀県の皆様に感謝申し上げます。

### 6.2 引用文献

藤原正弘・宗宮功・津野洋・藤井滋穂(1985):水質汚濁濃度分布パターンのスプライン法による推定と合理的測定点配置の検討. 水質汚濁研究, 8(2):pp. 100-109.

Haraguchi, K. and Sato, Y. (2010): Sampling Site Location Problem in Lake Monitoring Having Multiple Purposes and Constraints. Journal of Operations Research Society of Japan, 2010, submitted.

川喜田二郎(1967):発想法. 中公新書.

Keeney, R. L. and H. Raiffa(1993): Decisions with Multiple Objectives. Cambridge University Press: pp. 66-130.

マルク・ド・ヴィリエ著、鈴木主税・佐々木ナンシー・秀岡尚子訳(2002):ウォーター—世界水戦争—. 共同通信社.

松岡譲・内藤正明(1983):水質観測点の適正配置に関するシステム解析. 国立公害研究所研究報告, 48.

大西行雄(1975):スプライン法を用いた2次元補間について. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 31:pp. 259-264.

佐藤祐一・萩原良巳(2004):住民意識に基づく河川開発代替案の多目的評価モデルに関する研究. 土木学会環境システム研究論文集, 32:pp. 117-126.

佐藤祐一・大久保卓也・金再奎・小松英司・永禮英明・湯浅岳史・上原浩(2009):琵琶湖流域水物質循環モデル(その2)モデルの構造 計算事例. 第12回日本水環境学会シンポジウム講演集:pp. 36-37.

滋賀県琵琶湖環境部(2005):琵琶湖および流域の水環境モニタリングのあり方について.

The United Nations(2006):Water a shared responsibility, World Water Development Report 2.

柳浦睦憲・茨木俊秀(2001):組合せ最適化～メタ戦略を中心として～、朝倉書店.

# 水環境モニタリングの最適化に関する アンケート

## アンケート回答にあたっての注意事項

- (1) このアンケートは、琵琶湖環境科学研究センターの試験研究「水環境モニタリングの最適化に関する解析モニタリング」の一環として行うものです。アンケートの結果は、上記研究以外の目的では一切使用いたしません。
- (2) アンケートは無記名で行い、皆様の回答は全て統計的に処理しますので、個人の答えが他人に知られることやご迷惑をおかけすることは一切ありません。
- (3) 所属としての意見ではなく、個人としての印象から、あまり深く考えずにお答え下さい。

内容に関する問い合わせ先：

琵琶湖環境科学研究センター 総合解析部門 研究員 佐藤

TEL：077-526-4044 FAX：077-526-4803

E-MAIL：sato-y@lberi.jp

平成21年8月

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

## はじめに（研究の背景とアンケートの目的）

環境基準の達成状況、水質変動を把握するため、琵琶湖では、定点を北湖 28 点、南湖 19 点、合計 47 点（その他瀬田川 2 点）設定し、調査を滋賀県、国土交通省、水資源機構と協力して実施しています。琵琶湖水質調査では、琵琶湖の平常水質の把握を目的としているため、沿岸部の調査定点は北湖では 500m 沖、南湖では 100m 沖に設定し、河川からの流入水が湖水と均一に混じり合った地点で調査を実施しています。

しかし、琵琶湖表層（水深 50cm）の水質調査地点については、以下のような問題が挙げられています。

- (1) 単に平面的に切った地点設定になっている
- (2) 必ずしも水質形成機構の解明に有効に寄与するようになっていない
- (3) 適切な対策立案と実施、対策効果の評価に十分活用されていない

そこで、できるだけ効果的・効率的に琵琶湖の状況を把握できる水質調査地点について検討するため、琵琶湖水質調査の目的の整理や、シミュレーションモデルを使った最適な地点設定に関する研究を進めています。このアンケートは、調査地点を新たに設定するとしたとき、どのようなことに配慮が必要なのか、皆様のご意見を伺うことを目的としています。

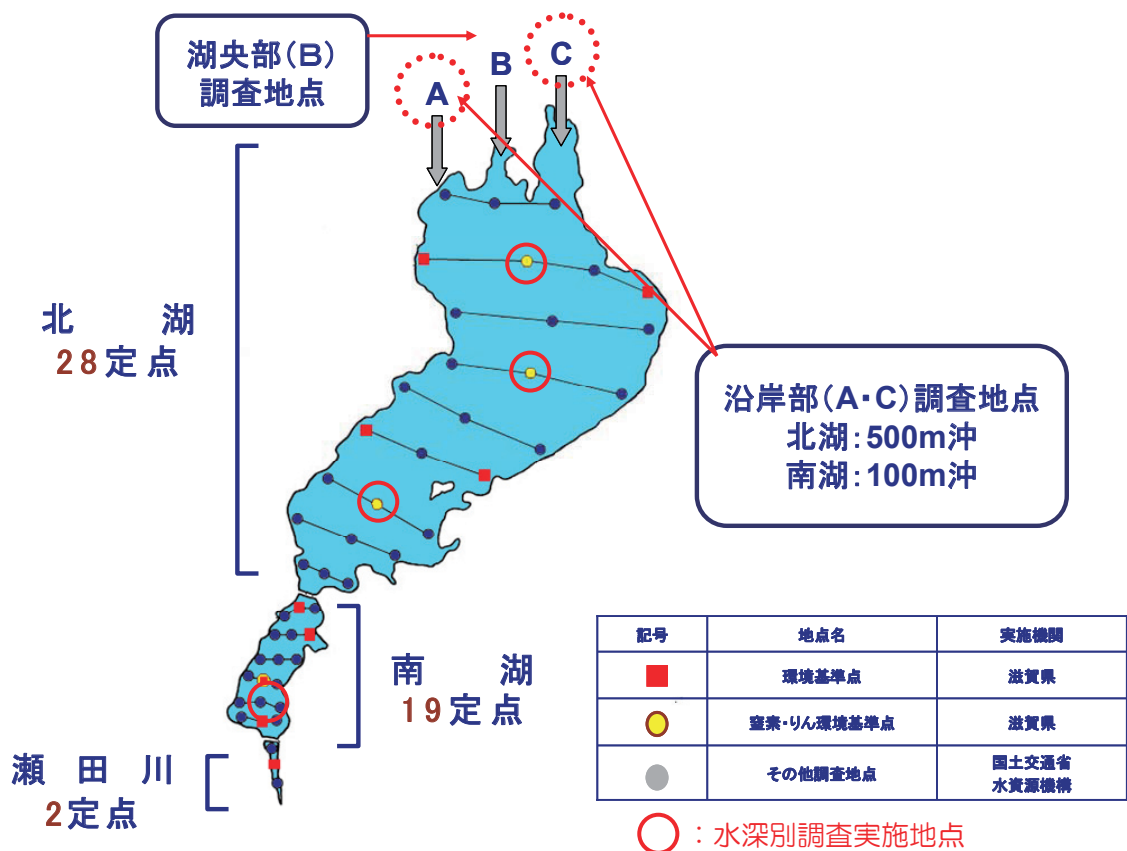


図 琵琶湖水質調査地点（表層）

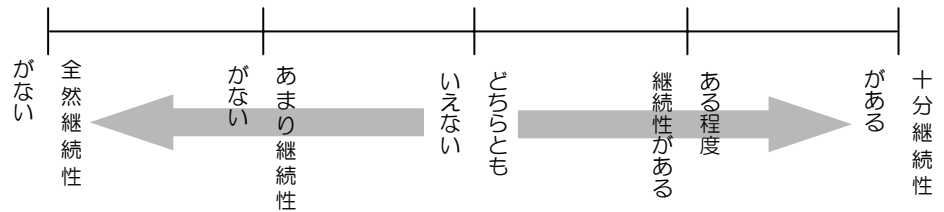


## 1. 水質調査地点の継続性について

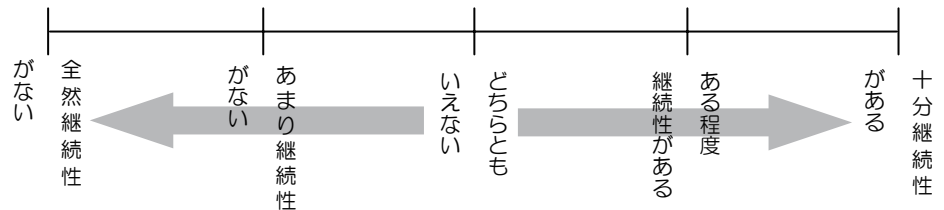
新たに水質調査地点を設定する場合でも、過去約 30 年に及ぶデータの蓄積を活用していくためには、できるだけこれまでの調査地点を継続的に調査していくことが望まれます。琵琶湖で現在水質調査が行われている 47 定点のうち、どの程度継続していくべきなのか、あなたの考えを教えてください。

(1) 下記に記した地点数を継続するとした場合、琵琶湖水質調査に過去からの継続性があると言えるかどうかについて、あなたの考えに最も近い目盛りに○印を付けてください。

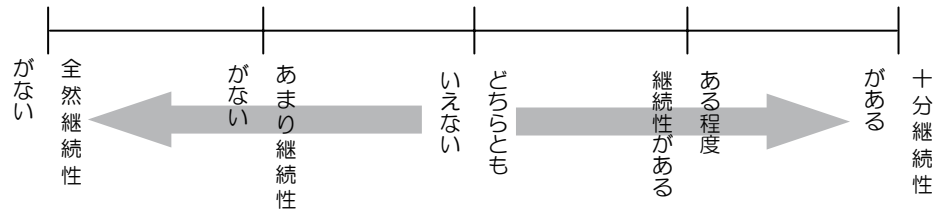
1) 40 地点継続する



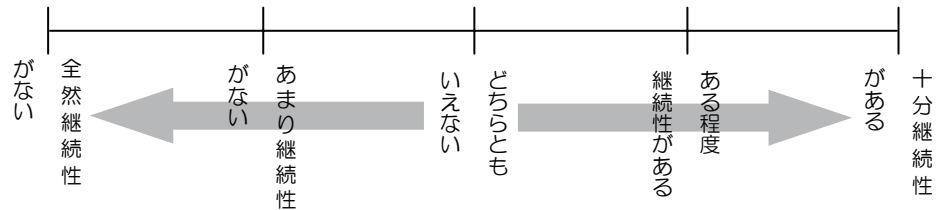
2) 30 地点継続する



3) 20 地点継続する



4) 10 地点継続する

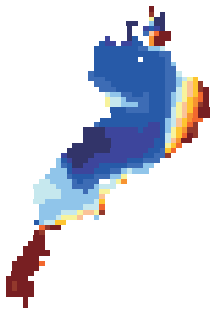


(2) 下記のうち、水質調査地点として必ず継続する必要があると考えられるものがあれば、( ) 内に○印を付けてください (○はいくつでも)。

- ( ) 水深別調査を実施している地点
- ( ) 環境基準点 (COD)
- ( ) 環境基準点 (窒素、りん)

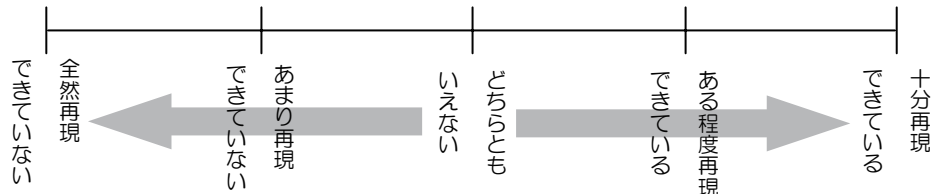
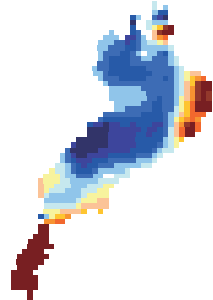
## 2. 水質の面的分布の再現性について

水質調査の結果から琵琶湖全体のような広いエリアの水質を面的に評価する場合には、調査されていない地点の水質を調査された地点の結果から予測（補間）するというを行います。そのため、予測された水質の面的分布が実際の面的分布に近くなるように、調査地点を設定する必要があります。水質の面的分布について、どの程度まで予測することができればよいか、あなたの考えを教えてください。

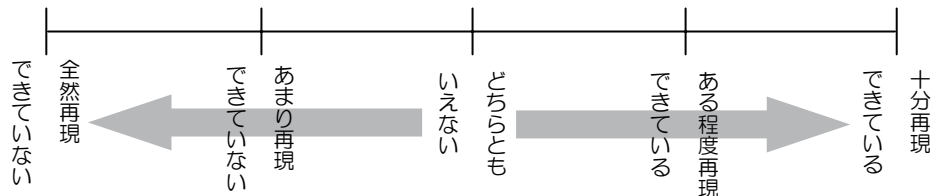
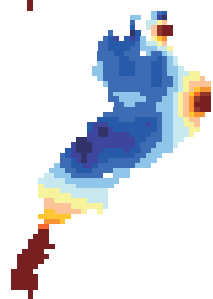


琵琶湖の真の水質分布が左図のようであったとします。ところが水質調査地点における結果から予測（補間）したときに下図のような分布であると想定された場合、水質の面的分布が再現されていると言えるかどうかについて、あなたの考えに最も近い目盛りに○印を付けてください。

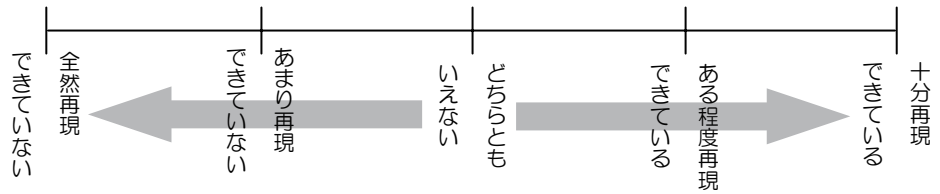
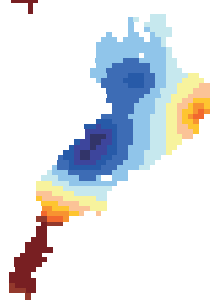
1)



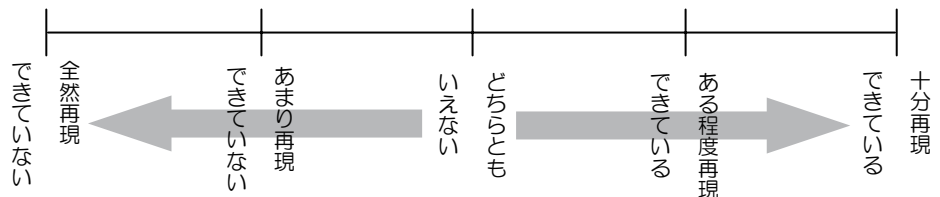
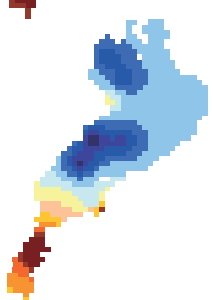
2)



3)



4)



### 3. 汚濁地域における調査について

水質が汚濁された地域を監視し、対策の効果を検証するためには、汚濁地域における観測が重要になります。一方で現在はきれいでも将来的に汚濁される可能性があるため、こうした地点の観測も必要です。琵琶湖ではどの程度汚濁地域における調査を重視すべきなのか、あなたの考えを教えてください。

(1) 2004 年度における琵琶湖の水質の平面分布を参考に、「汚濁されている」と判断される濃度をお答え下さい。

COD : (                    ) mg/L 以上

全窒素 : (                    ) mg/L 以上

全りん : (                    ) mg/L 以上

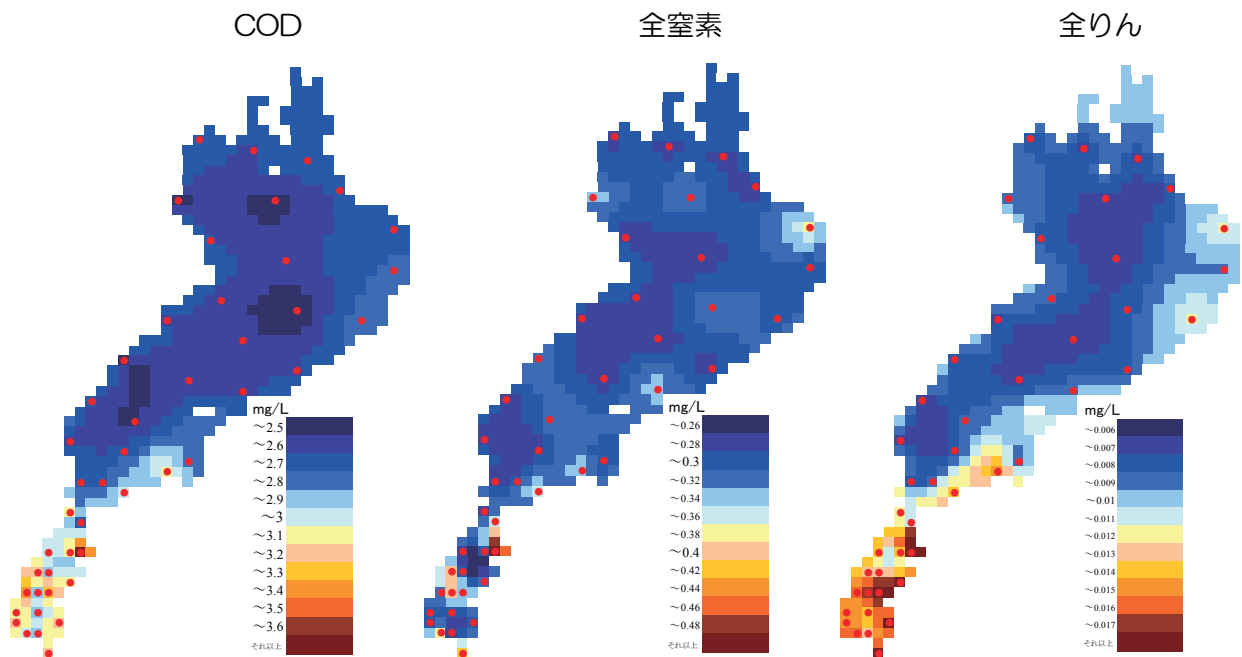
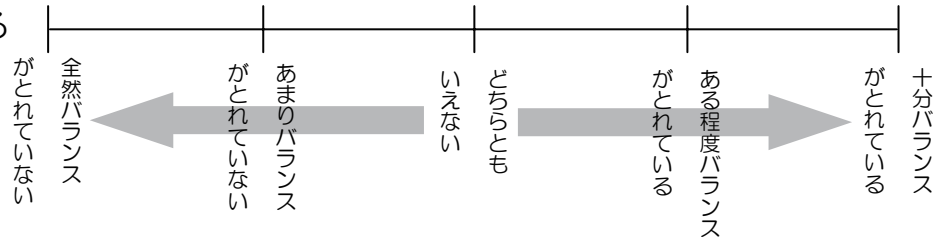


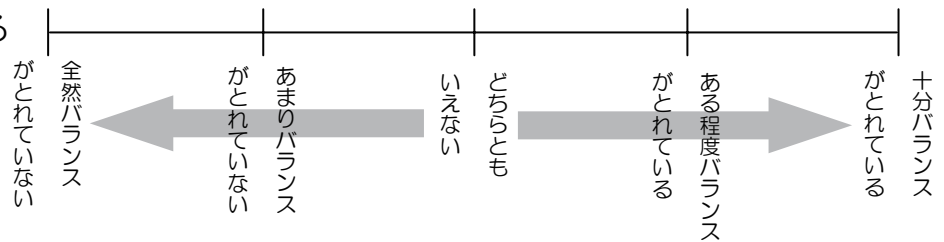
図 琵琶湖水質の平面分布 (2004 年度平均、赤丸は観測地点)

(2) 次に、(1) でお答えいただいた汚染地域における水質調査地点の割合を、47 地点（表層）のうち下記のようにした場合、汚染地域ときれいな地域の調査のバランスについて、あなたの考えに最も近い目盛りに○印を付けてください。（なお参考までに、現在比較的汚濁の進んでいる南湖における水質調査地点は、全体の約 40%です。）

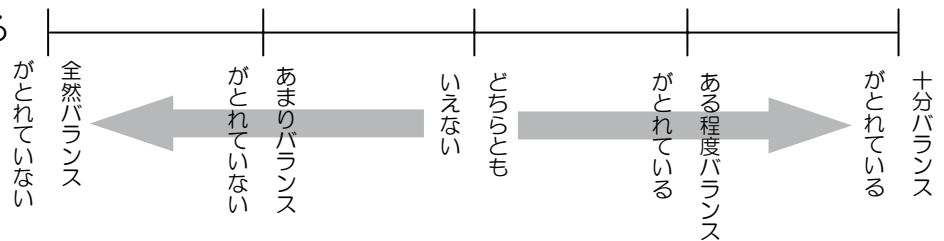
1) 80%汚染地域にする



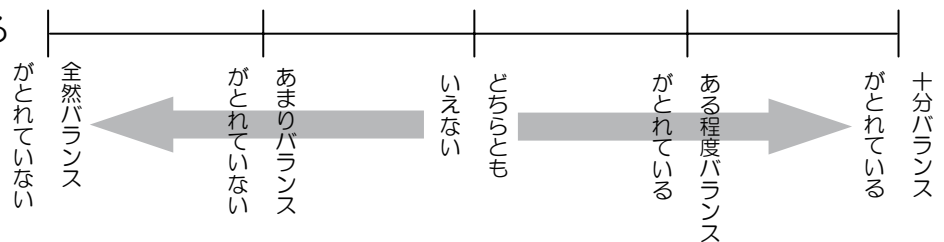
2) 60%汚染地域にする



3) 40%汚染地域にする



4) 20%汚染地域にする

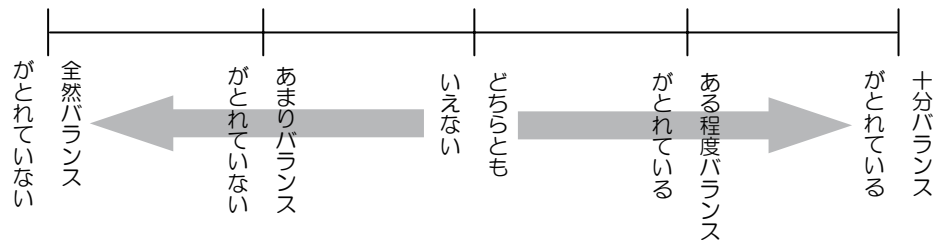


## 4. 沿岸部における調査について

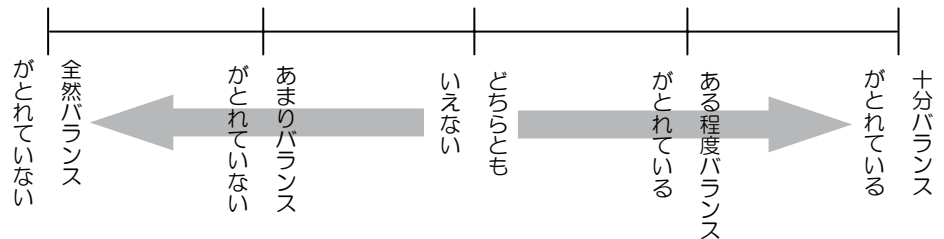
琵琶湖を沿岸部（ここでは北湖で 500m 沖まで、南湖で 100m 沖までを指す）と沖帯に分けた場合、水の容量は圧倒的に沖帯の方が多いですが、最も人の目に触れるのは沿岸部であるため、沖帯だけではなく沿岸部における観測も重要になります。琵琶湖ではどの程度沿岸部の調査を重視すべきなのか、あなたの考えを教えてください。

現在琵琶湖水質調査を実施している 47 地点（表層）のうち、沿岸部にあたる地点は 31 地点、つまり全体の約 66%になります（p.1 図参照）。この割合を下記のようにした場合、琵琶湖における沿岸部と沖帯の重要性や水質分布（p.4 図参照）を考慮したときの沿岸部と沖帯の調査のバランスについて、あなたの考えに最も近い目盛りに○印を付けてください。

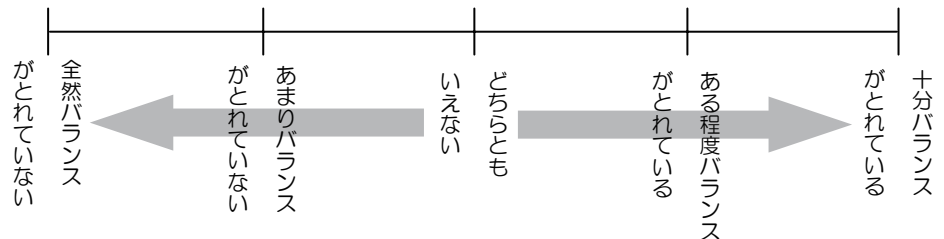
1) 90%沿岸部にする



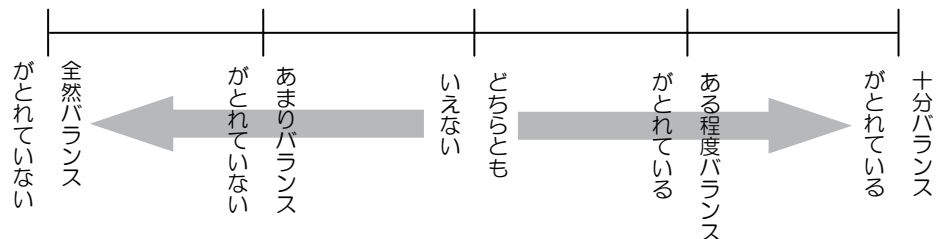
2) 70%沿岸部にする



3) 60%沿岸部にする



4) 40%沿岸部にする





## 5. 水道用水源付近における調査について

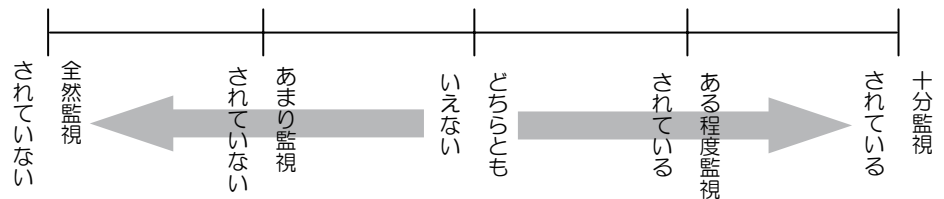
琵琶湖から取水した水は一般家庭の水道用水としても利用されており、琵琶湖の水質変化が水道用水源に与える影響を監視する意味からできるだけ取水口に近い地点で水質調査を行うことが望まれます。琵琶湖ではどの程度取水口付近の調査を実施すべきなのか、あなたの考えを教えてください。

- (1) 琵琶湖の水質変化が水道用水源に与える影響を監視する場合、通常の原水調査の他、取水口からどの程度の範囲内で琵琶湖の水質調査を行うことが必要と考えられるか、その距離をお答え下さい（流れの上流側で実施するものとします）。

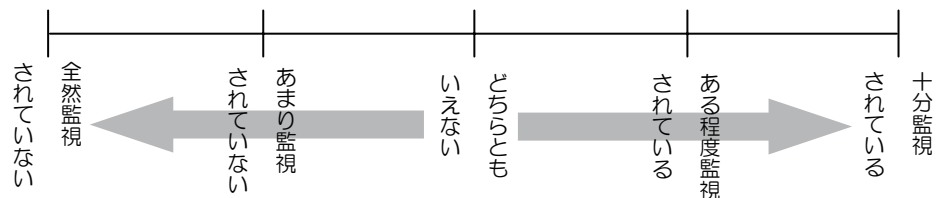
およそ（                      ）m以内

- (2) 現在琵琶湖を直接の原水とする浄水場は 14 施設ありますが、そのうち下記に記した施設数において、(1)でお答えいただいた範囲内で水質調査を行うとした場合、水道用水源監視の観点から十分と言えるかどうかについて、あなたの考えに最も近い目盛りに○印を付けてください（給水人口の多さなど、重要度の高いものから順に監視すると考えてください）。

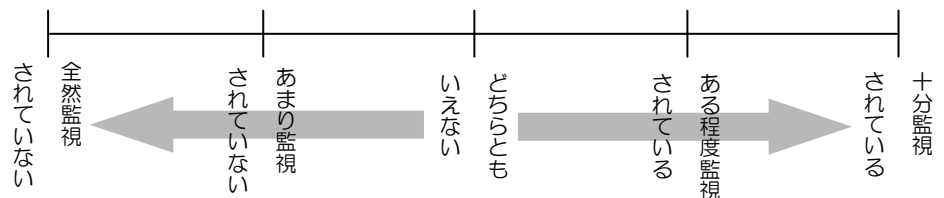
1) 12 施設監視する



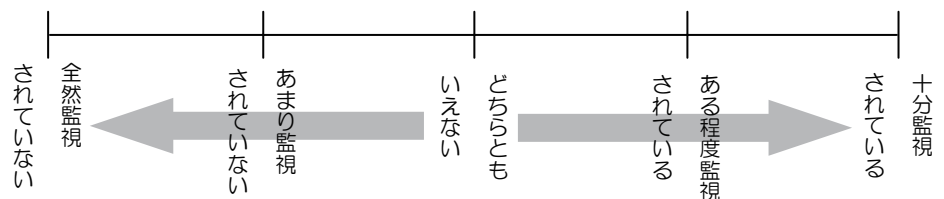
2) 9 施設監視する



3) 6 施設監視する



4) 3 施設監視する



## 6. 指標間の重要性の違いについて

---

上記では、琵琶湖水質調査地点を考えるにあたり、5つの指標を提示しました。しかし水質調査地点をこれらの指標から評価した場合、あちらが立てばこちらが立たずという、いわゆるトレードオフの問題が起きることも考えられるため、総合的な見地から判断を下すことも必要と考えられます。

そこで、「100点」という評価を各指標に割り振り、あなたの考えるそれらの重要性の違いについて教えて下さい。

水質調査地点の継続性	( ) 点
水質の面的分布の再現性	( ) 点
汚染地域ときれいな地域の調査のバランス	( ) 点
沿岸部と沖帯の調査のバランス	( ) 点
水道用水源付近における調査	( ) 点
<hr/>	
合計	100 点

(回答例)

水質調査地点の継続性	(40) 点
水質の面的分布の再現性	(25) 点
汚染地域ときれいな地域の調査のバランス	(10) 点
沿岸部と沖帯の調査のバランス	(20) 点
水道用水源付近における調査	( 5) 点
<hr/>	
合計	100 点

100点を各指標に割り振り、  
指標間の重要性に重みを付  
けてください

アンケートはここまでです。ご協力どうもありがとうございました。