

〈論文〉

琵琶湖の今後の汚濁負荷対策に関する研究者間の意見分布の把握

井手 慎 司¹⁾, 中 居 圭 佑²⁾

¹⁾ 滋賀県立大学 環境科学部環境政策・計画学科 (〒522-8533 滋賀県八坂町2500 E-mail: ide@ses.usp.ac.jp)

²⁾ 滋賀県立大学 環境科学部環境政策・計画学科 (〒522-8533 滋賀県八坂町2500)

概 要

本研究では、アンケート調査によって、琵琶湖における今後の汚濁負荷対策に関する研究者間の意見分布とその構造を把握することを試みた。その結果、研究者の多くが点源負荷対策より面源負荷対策を重要視していること、その一方で、費用対効果の観点から評価が分かれるのも面源負荷対策であること、また値を「より減少させるべき」とする回答割合は有機汚濁指標(COD, BOD, TOC)よりも富栄養化指標(T-N, T-P)の方が高いこと、ただし、T-Pに関しては値を「より増加させるべき」と考える研究者も少数ながら存在することなどが明らかになった。

キーワード：水質汚濁、共分散分析、比率の差の多重比較、因子分析

原稿受付 2014.6.16 原稿受理 2014.8.30

EICA: 19(2・3) 83-91

1. はじめに

滋賀県では、1960年代後半から琵琶湖集水域での工場立地が進み、人口が急激に増加した。その結果、大量の工場排水や生活排水が琵琶湖に流れ込むようになり、湖の水質は悪化した。そのため、県行政は1979年に「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」を制定して工場排水等の規制を行うとともに、1982年からは湖南中部処理区での下水道の供用を開始¹⁾、1986年からは湖沼水質保全計画²⁾を策定するなど、汚濁負荷対策(以下、負荷対策)を中心に琵琶湖の水質の改善を図ってきた。

その結果、陸域からの汚濁負荷(特に点源負荷)は着実に削減され、現在は昭和40年代前半レベルにまで低減しているという³⁾。それによって、富栄養化の進行も抑制されてきている。しかし、それにもかかわらず、湖の主要な生活環境基準は、北湖の全りん以外は未だに達成されておらず、さらに、化学的酸素要求量(COD)は1985年から2000年頃にかけて漸増して以降、依然として減少の兆しを見せていない³⁾。

このように、これまでの負荷対策の結果が必ずしも水質の改善に結びついていないことから、従来とは異なる負荷対策の実施が求められている⁴⁾。しかし、琵琶湖の今後の負荷対策に関しては、研究者の間ですら意見の一致をみていない。さらに、どのように意見が異なっているのかも明らかになっていないのが現状である。したがって、今後の負荷対策を検討していくためには、まず研究者間の意見分布を把握することが必要であると考えられる。さらに、研究者の属性間や負

荷対策間、水質項目間においてどのように意見分布が異なっているかといった意見分布の構造を把握することや、意見分布とその構造とを生み出している要因を明らかにすることが有用であると考えられる。

一方、琵琶湖の負荷対策に関する先行研究としては、点源負荷対策や面源負荷対策、湖内対策の削減効果を評価しようとしたもの⁵⁻⁸⁾や、水質汚濁メカニズムを明らかにしようとしたもの^{9,10)}などは多数みられる。しかし、琵琶湖の負荷対策に関する研究者間の意見分布を把握しようとした研究は著者らの知る限り存在しない。

そこで本研究では、今後の琵琶湖における汚濁負荷対策に関する、研究者間の意見分布とその構造を把握するとともに、意見分布とその構造とを生み出している要因を考察することを目的とする。

本研究の目的を達成することができれば、琵琶湖の負荷対策に関する論点を整理することができ、水質基準の変更や流出水対策の導入といった新しい施策を実施する際の資料として役立つと考えられる。

2. 研究 方 法

2.1 調査対象者の選定とアンケート調査の実施

本研究では、関連する学術論文の著者(研究者)を意見分布を把握する対象者とする。具体的にはまず、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター(以下、琵琶湖センター)の図書文献検索システム¹¹⁾(約15,900件の滋賀県や琵琶湖に関する学術論文を収録)を用い、Table 1に示す条件に該当する学術論文を検索する。表に示

Table 1 学術論文の検索条件

発行年月	2004年1月～2013年12月
検索対象	論文のタイトルと検索システムへの論文登録時に琵琶湖センターが付与したキーワード
日本語 キーワード (or 検索)	汚濁, 負荷, 対策, 水質, 窒素, りん, COD, BOD, TOC, 難分解性, 北湖, 南湖, 溶存酸素
英語 キーワード (or 検索)	pollution, loading, measure, water quality, nitrogen, phosphorus, COD, BOD, TOC, refractory organic, north basin, south basin, dissolved oxygen

Table 2 アンケート調査の概要と回答状況

調査期間	2013年8月～12月
調査方法	メールまたは郵送による調査票の送付と回収
回収数	53件 (全送付数117件, 回収率45%)
有効回答数	53件
質問項目	<ul style="list-style-type: none"> ・問1: 主な専門分野 (最大2つまで) ・問2: 今後の負荷対策^{12), 13)} (点源負荷対策 [1] 生活排水対策, 2) 畜産排水対策, 3) 産業系排水対策, 面源負荷対策 [4] 発生負荷対策, 5) 排出負荷対策, 6) 流達負荷対策, 7) 湖内対策, 8) その他) の重要度について5段階の選択肢: 「全く重要でない」「あまり重要でない」「現在と同程度」「より重要である」「非常に重要である」による回答とその選択肢を選んだ理由 (自由記述) ・問3: 今後の水質項目 (1) COD, 2) BOD, 3) T-N, 4) T-P, 5) SS, 6) TOC, 7) 透明度, 8) DO, 9) その他) の数値の増減について (DOを除き, 北湖と南湖について) 5段階の選択肢: 「大きく減少させるべき」「少し減少させるべき」「現状維持」「少し増加させるべき」「大きく増加させるべき」による回答とその選択肢を選んだ理由 (自由記述)

注) 発生負荷対策: 市街地や農地, 森林等において主に人為活動により発生する負荷に対する対策 (人為活動による負荷の発生防止等)。排出負荷対策: 発生負荷が, 降水等に伴い水路や河川等に流れ出る負荷に対する対策 (雨水流出の制御や排出水の浄化等)。流達負荷対策: 排出負荷が, 河川等を通じて湖沼等に流達する負荷に対する対策 (河口部における一時貯留等)。湖内対策: 湖底の底泥からの有機物や栄養塩類等の溶出に対する対策 (浚渫や覆砂等)¹²⁾。

すように, 論文は過去10年間に発行されたものとする。なお, キーワードとしては, 近年の関連論文に頻出している語を選定した。

次に, 検索条件に一致した学術論文の著者の連絡先を, インターネット検索や滋賀県職員名簿で確認するなどの方法で調べ, 連絡先が判明した研究者を対象に琵琶湖の今後の負荷対策に関する意見分布とその構造を把握するためのアンケート調査を実施する。同調査の概要を回答状況とともに Table 2 に示す。

2.2 回答結果の集計・分析の方法

アンケート調査の回答に対して次のような集計と分析を実施する。

- ① 単純集計: 負荷対策と水質項目ごとに選択肢の回答割合を求める。また, 自由記述の回答は, 内容によって分類し, 集計する。
- ② クロス集計: 回答者の属性によるクロス集計を行う。属性分けは, 回答者の所属または専門分

野ごとに, なるべく人数が等しくなるように2つのサンプルに分けて行う。具体的には, 属性1): 「滋賀県職員/大学教員」, 属性2): 「水環境を専門とする研究者/専門としない研究者」, 属性3): 「工学または化学を専門とする研究者/専門としない研究者」の3種類の属性分けによってクロス集計を行う。

- ③ 相関分析: 負荷対策と水質項目 (北湖・南湖間を含む) に関する全ての選択肢回答間について相関分析を行う。なお, 相関分析とこれ以降の分析を行うために, アンケートの間2と問3の5つの選択肢をとともにそれぞれ1～5の数量データに変換して用いる。
- ④ 共分散分析 (二元配置を含む): 負荷対策間あるいは水質項目間, 水質項目の北湖・南湖間それぞれについて, アンケートの選択肢回答に母平均の差がみられるかどうかを検定するために共分散分析を実施する。
- ⑤ 比率の差の多重比較: どの負荷対策あるいは水質項目の意見分布の間に統計的に有意な差がみられるかを明らかにするために比率の差の多重比較を行う。ここで比率の差の多重比較とは, 3つ以上の比率の間の有意差を検定する手法である。なお比率としては, 負荷対策と水質項目ごとの選択肢間の回答者数の比率を用いる。
- ⑥ 因子分析: 負荷対策と水質項目それぞれの回答者全体の選択肢回答に対して因子分析を行う。なお, 水質項目の北湖と南湖では, 後述するように, 回答選択肢間の相関が高く, 比率差の多重比較においても統計的に有意な差がみられなかったことから, データを結合して (両者の数量データの平均値を用いて) 分析する。また, 因子負荷量としては0.40以上のものを採用する。

なお, ③から⑥の統計分析には, 統計ソフトRを用いる。また, 集計・分析結果を考察する際には, 過去10年間の滋賀県環境審議会¹⁴⁾の総会 (2004～2013年度の9回) とその下の水環境部会 (2004～2008年度の13回) と水・土壌・大気部会 (2009～2013年度の15回) (以下, 環境審議会等) の議事録を参考に用いる。

3. 調査分析の結果

3.1 調査対象者の選定結果

Table 1 の条件で検索した結果, 819編の学術論文とその著者370人 (重複を含めない) を特定することができた。次に, 同著者の連絡先を調べた結果, 118人について連絡先が判明した。本研究では, このうち

本稿の著者1人を除く117人をアンケートの対象者とすることにした。

3.2 アンケート調査の結果概要

(1) 調査票の回収結果

Table 2に示すように、調査票を117件送付した結果、回収数は53件(回収率は45%)となった。また、回収された全件が有効回答であった。

(2) 回答者の所属と専門分野

回答のあった53件に関して、送付時の連絡先をもとに回答者の所属の集計を行った。2人以上の回答者があった所属と所属別の人数をTable 3に示す。表に示すように、回答者の所属としては滋賀県庁(琵琶湖センターと滋賀県水産試験場を含む)と京都大学が飛びぬけて多く、両機関で回答者の半数以上を占める結果になった。

なお、アンケート対象者117人うち滋賀県庁所属の職員は31人であった。したがって、滋賀県職員のアンケート回答率が68%(31人中21人)であったのに対して、それ以外の対象者の回答率は37%(86人中32人)に止まった。琵琶湖の今後の負荷対策に関するアンケート調査のため、滋賀県職員の回答率が高くなったと考えられる。後述するアンケート結果の考察ではこの回答率の違いに留意することとする。

アンケート調査では問1において、回答者の主な専門分野を尋ねた。ただし、回答のあった専門分野が非常に多岐にわたったことから、細かな専門分野ごとに

回答者数を集計することは困難であった。したがって、後述するクロス集計において、専門分野に関しては大きく2種類、それぞれ回答者を最初に記入のあった主な専門分野の内容によって2つに分けて集計することとした。

3.3 単純集計

問2と問3について、負荷対策と水質項目ごとに選択肢の回答割合を求めた。それぞれの集計結果をFig. 1とFig. 2に示す。

(1) 負荷対策(問2)

Fig. 1に示すように、対策によって回答割合に違いが見られた。特に回答(重要度の評価)が分かれたのが湖内対策である。また、図において「現在と同程度」と「より重要である」の回答割合の合計に着目すると1)から3)の点源負荷対策がそれぞれ84.9, 83.0, 83.0%, 4)から6)の面源負荷対策がそれぞれ69.8, 62.3, 66.0%と、点源と面源の負荷対策間でそれぞれ意見分布が類似しているように見える。「より重要である」と「非常に重要である」の回答に着目すると、それらを合計した割合は4)から6)の面源負荷対策の方が1)から3)の点源負荷対策より大きかった。ただし、評価が分かれたのも面源負荷対策である。点源負荷対策は、回答の大半が「現在と同程度」であったのに対して、面源対策は「現在と同程度」から「非常に重要」まで評価が分かれた。

問2においては、選択肢を選んだ理由の回答を自由記述で求めた。記述のあった選択理由をその内容によって分類したところ、大きく「費用対効果の問題」「効果への疑問」「更なる対策の必要性」「その他」の4つに分けることができた。

分類の結果に基づき、負荷対策と選択肢ごとに選択理由を集計した結果をTable 4に示す。表に示すように、選択理由の回答数としては生活排水対策と湖内対策に関するものがそれぞれ18件と16件でもっとも多かった。負荷対策の中でも、両対策を今後どうするかに関する回答者の関心がもっとも高かったためと考

Table 3 アンケート回答者の主な所属と所属別人数

所属	人数
滋賀県庁 (うち琵琶湖センターと水産試験場)	21 (15と2)
京都大学	11
大阪工業大学	2
東京大学	2
立命館大学	2
滋賀県立大学	2
その他すべての大学	13
計	53

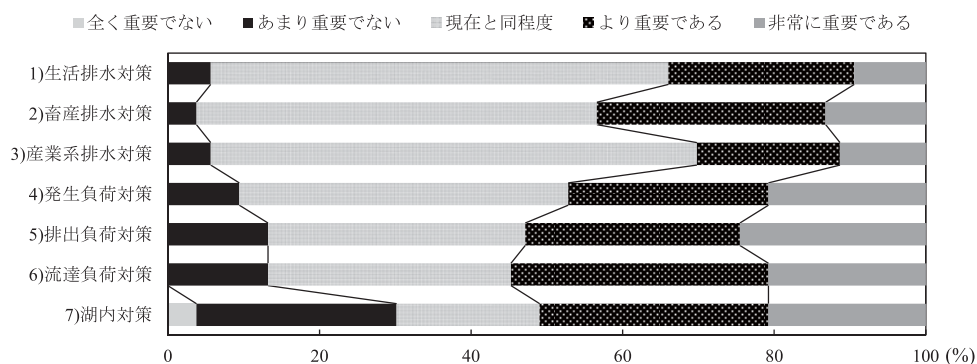


Fig. 1 今後の負荷対策の重要度を5段階で尋ねた質問の回答割合 (n=53)

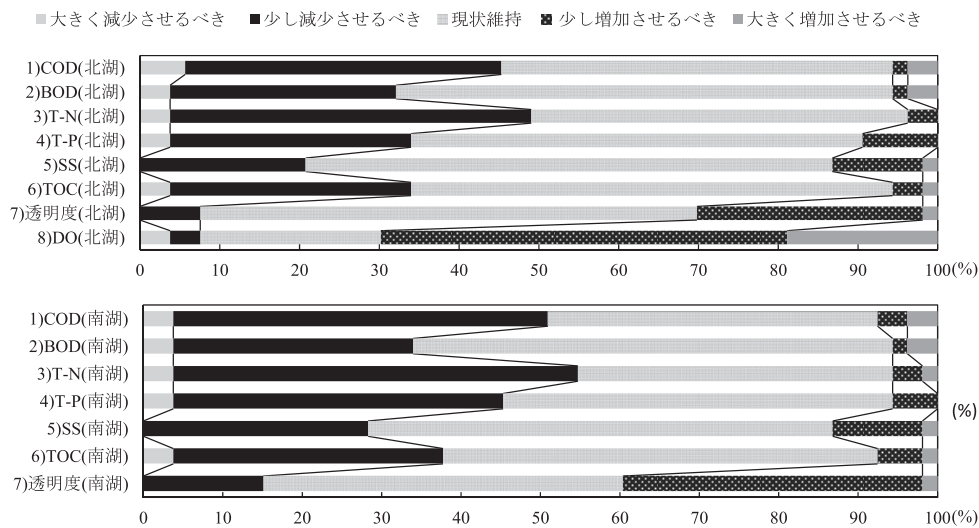


Fig. 2 水質項目の数値の増減を5段階で尋ねた質問の回答割合 (n=53)

Table 4 問2に関する選択理由の集計結果 (回答数 30/53 件のべ70件)

対策	選択肢	全く重要でない	あまり重要でない	現在と同程度	より重要である	非常に重要である
1) 生活排水対策			△	●●●● □□□△ △△△△	□□△	□□
2) 畜産排水対策			△	△	□□□	□□□□
3) 産業系排水対策				●		□□□
4) 発生負荷対策			●	●●●□ △	□□□	□□□△
5) 排出負荷対策			◆	□		□□
6) 流達負荷対策			□		□□□	□□
7) 湖内対策		●	●●△	◆△	□□□□ □□	□□□□

注) ●費用対効果の問題, ◆効果への疑問, □更なる対策の必要性, △その他

えられる。また、当然ではあるが、「費用対効果の問題」「効果への疑問」は「全く重要でない」「あまり重要でない」「現在と同程度」の選択肢に、「更なる対策の必要性」は「現在と同程度」「より重要である」「非常に重要である」の選択肢に回答が集中していた。

問2においては、8) その他として、1) から7) 以外で重要と考える負荷対策があれば、その記入を求めた。その結果、11件の回答があった。具体的には「陸域負荷と湖内汚濁メカニズムの関係の解明」「各種負荷削減対策の組合せ、ベストミックス」「琵琶湖沿岸帯の再生(2件)」「人工護岸域の見直し」「湖岸対策」「社会変革」「農業排水対策」「湖内全般の対策」「物質収支対策」「大気降下物対策」である。なお、複数の回答者から寄せられた湖岸に関する対策の追加理由は、生態系保全の観点からというものであった。

(2) 水質項目 (問3)

Fig. 2 に示すように、同一の水質項目ならば、北湖と南湖で両者の回答傾向が類似していた。ただし、1) から6) までの水質項目に関しては北湖より南湖のほうが「大きく/少し減少させるべき」、透明度に関して

は「少し/大きく増加させるべき」(いずれも値をより改善すべき)との回答が多かった。値を「より改善すべき」とした回答割合(北湖と南湖の平均)は、高い順にDO、T-P、T-N、COD、TOC、透明度、BOD、SSであった。特にDOに関しては「改善すべき」とした回答が約7割を占めた。ただしその一方で、T-P(北湖)とSS(北湖・南湖)のように、約一割あるいはそれ以上の回答者が「少し/大きく値を増加させるべき」と回答した項目も見られた。

問3においても、選択肢を選んだ理由の回答を自由記述で求めた。記述のあった選択理由をその内容によって分類したところ、大きく「水質の改善/基準値の達成」「生態系の保全」「指標としての有用性」「制御不能」「指標としての疑問」「その他」の6つに分けることができた。

分類の結果に基づき、水質項目(北湖・南湖)と選択肢ごとに選択理由を集計した結果をTable 5に示す。

表に示すように、選択理由の回答数としてはCODとDOに関するものがそれぞれ18件と16件でもっとも多かった。両項目の値の増減に対する回答者の関心が高かったためと考えられる。なお、この結果は、環境審議会等における、ここ10年間の議論が、有機汚濁についてはCOD濃度の増加とその原因と考えられる難分解性有機物に関するものが中心であり、また、DOについては湖の特に深層部における濃度の低下が近年問題視されるようになっていたことと符合する。

また、選択理由と選択肢の関係に着目すると、「水質の改善/基準値の達成」を選択理由に挙げた回答者の回答選択肢は「現状維持」または値を「より改善すべき」に集中しており、「指標としての疑問」の回答選択肢はすべて(現行の指標の数値としては)「現状

Table 5 問3に関する選択理由の集計結果(回答数25/53件, のべ91件)

項目	選択肢	大きく減少させるべき	少し減少させるべき	現状維持	少し増加させるべき	大きく増加させるべき
		1) COD	北湖 ●	●●●■△	◆□◇△	◆
	南湖 ●	●●●■△	◆□◇△	◆		
2) BOD	北湖		□	●□◇		
	南湖		□	◆□◇		
3) T-N	北湖		●◆□	●●◆		
	南湖		●●◆□	●◆		
4) T-P	北湖				◆◆	
	南湖				◆◆	
5) SS	北湖			●●◆		
	南湖			●●◆		
6) TOC	北湖	■△		◆◇◇△		
	南湖	■△		◆◇◇△		△
7) 透明度	北湖			●●●●		
	南湖		●	●◆	●●■	
8) DO			◆	●◆	●●◆◆◆◆	◆◆□□

注) ●水質の改善/基準値の達成, ◆生態系の保全, ■指標としての有用性, □制御不能, ◇指標としての疑問, △その他

維持」であった。一方、項目の値を「少し増加させるべき」とした選択肢の選定理由はCODとT-P、透明度とDOだけに限定されており、透明度を除く選定理由の多くが「生態系の保全」のためであった。

問3においても、9)その他として、1)から8)以外で重要と考える水質項目があれば、その記入を求めた。その結果、「農業濁水による濁り」との回答が1件のみあった。

3.4 クロス集計

次に、属性1)：「滋賀県職員(21人)/大学教員(32人)」, 属性2)：「水環境を専門とする研究者(水環境科学, 水圏物質循環, 水環境工学, 水圏化学など24人)/専門としない研究者(環境システム工学, 地球化学, 陸水生物学, 環境微生物学など29人)」, 属性3)：「工学または化学を専門とする研究者(水環境工学, 水圏化学, 環境システム工学, 地球化学など26人)/専門としない研究者(水環境科学, 水圏物質循環, 陸水生物学, 環境微生物学など27人)」の3種類の属性によってクロス集計を行った。なお、以下の本文とTable 6から8において「滋賀県職員」「水環境を専門とする研究者/専門としない研究者」「工学または化学を専門とする研究者/専門としない研究者」はそれ

Table 6 属性2)×3)のクロス集計結果

属性3)	属性2)	計	水環境		非水環境	
			人数	割合(%)	人数	割合(%)
工化学		26	19**	73.0	7//	27.0
非工化学		27	5//	18.5	22**	81.5
計		53	24	45.2	29	54.8

** 極端に大きい, //極端に小さい(99%以上有意)

ぞれ「県職員」「水環境/非水環境」「工化学/非工化学」と略して示す。

最初に、これら3つの属性間で人数の割合をクロス集計して調整残差を求めた。その結果、属性2)と属性3)の間にのみ、統計的に有意な違いがみられた。属性2)を属性3)によってクロス集計した結果をTable 6に示す。表に示すように「水環境」のうち「工化学」である人数は26人中19人(73.0%)と「非工化学」の27人中5人(18.5%)と比べて人数の割合が相対的に高かった。逆に「非水環境」のうち「非工化学」である人数の割合は「工化学」に比べて人数割合が相対的に高かった。この結果から、「工化学」は「非工化学」に比べて、「水環境」の割合が相対的に多いことが、逆に「非工化学」は「工化学」に比べて、「非水環境」の割合が相対的に多いことがわかった。このことをクロス集計の結果を考察するときには留意することとする。

アンケートの各負荷対策または水質項目に関する回答を属性1)~3)別にクロス集計した結果、調整残差R≥1.96で95%以上の確率で回答割合が有意に大きいと判定された対策と項目のみをまとめたものをTable 7とTable 8に示す。なお回答割合に属性の違いによる有意な差がみられなかった対策や項目あるいは選択肢はこれらの表から割愛している。

これらの表の見方として、たとえば、Table 7の「1)生活排水対策」の行において「非常に重要である」の列とクロスしたセルに「大学教員・工化学」とあるが、これは、「県職員」に比べて「大学教員」「非工化学」に比べて「工化学」の方が、同対策をそのように評価した回答者割合が有意に大きかったことを表している。また、表からは割愛しているが、このことは

Table 7 負荷対策に関するクロス集計のまとめ

対策	選択肢	より重要である	非常に重要である
1) 生活排水対策			大学教員*・工化学*
3) 産業系排水対策			水環境*
4) 発生負荷対策			工化学*
5) 排出負荷対策		県職員*	大学教員*・水環境*
6) 流達負荷対策			大学教員**

** 極端に大きい(99%以上有意), *(95%以上有意)

Table 8 水質項目に関するクロス集計のまとめ

項目	選択肢	少し減少させるべき	現状維持	少し増加させるべき
3) T-N(北湖)		非工化学*		
3) T-N(南湖)		非工化学**		
4) T-P(北湖)		非工化学**	工化学*	
4) T-P(南湖)		非工化学**	工化学*	
5) SS(南湖)			水環境*	
7) 透明度(北湖)				非工化学**
7) 透明度(南湖)			工化学*	非工化学*

** 極端に大きい(99%以上有意), *(95%以上有意)

同時に、同対策をそのように評価した逆の属性の回答者割合が有意に小さかったことも意味している。

属性1)からみていくと、Table 7 から「大学教員」の一部は「県職員」より、生活排水対策と排出負荷対策、流達負荷対策を重要視していることがわかる。前述したように「大学教員」のアンケート回答率が「県職員」より低かったことを考慮すると、調査対象候補者全体を想定した場合のこれら対策に関する評価は本研究のアンケートの単純集計の結果 (Fig. 1) よりも「非常に重要である」とする回答割合が高くなる可能性が示唆された。また、「県職員/大学教員」といった所属の違いによる回答割合の違いは負荷対策に関してのみでみられ、Table 8 の水質項目ではみられなかった点が興味深い。

負荷対策に関して、環境審議会等では（事務局の発言から）、流入負荷をこれ以上減らすことは困難であると県行政は認識していると推察された。したがって、上記のように「大学教員」が「県職員」より負荷対策を相対的に重要視しているように見える理由の一つとしては、「県職員」の負荷対策に対する考え方が県行政の認識に近く、対策に対する評価が「大学教員」と比べて相対的に低い可能性が考えられる。

次に、属性2)では「水環境」の一部が「非水環境」より、産業系排水対策と排出負荷対策を、同様に属性3)では「工化学」の一部が「非工化学」より、生活排水対策と発生負荷対策を重要視していることがわかる。前述したように、「工化学」は「非工化学」に比べて「水環境」の割合が相対的に多かった。したがって、対策に多少の違いはみられるが、「工化学」と「水環境」でこのように回答傾向が似ている理由は、この2つの属性に関して、重複している回答者が多かったためと推察される。

なお、Table 7 と Table 8 に示すように、もっとも多くの対策あるいは項目で回答割合に有意な違いがみられたのが属性3)の「工化学/非工化学」であった。

3.5 統計分析

(1) 相関分析

統計分析としてまず、すべての負荷対策と水質項目に関する選択肢回答を用いて相関分析を行った。分析の結果を Table 9 に示す。表では、他の対策あるいは項目との間に相関係数が ± 0.7 以上の強い相関がみられた対策あるいは項目のみを表示している。また、 ± 0.7 以上の相関係数を網掛けで示している。

Table 9 からは、負荷対策間では、点源負荷対策である産業系排水対策と生活排水対策との間と、面源負荷対策である排出負荷対策と発生負荷対策との間に強い相関関係があることがわかる。一方、水質項目間では、すべての項目において北湖と南湖の間に強い相関関係がみられた。

(2) 共分散分析 (二元配置を含む)

次に、相関分析と同じデータを用いて共分散分析 (二元配置を含む) を実施した。分析の結果、回答者間では、負荷対策、水質項目、水質項目 (北湖・南湖) それぞれについて P 値 0.039, 0.040, 0.031 と有意な違いがみられた。しかし、それ以外の負荷対策間 (点源負荷・面源負荷・湖内対策間を含む) や水質項目間 (北湖・南湖間と有機汚濁指標・富栄養化指標間を含む) には有意な母平均の差がみられなかった。個人による回答のバラつきがあまりに大きいため、対策間や項目間に有意な差がみられなかったものと考えられる。そのため、回答者個々の回答データを用いるのではなく、回答者数の比率を用いて比率の差の多重比較を行うこととした。

(3) 比率の差の多重比較

次に、比率の差の多重比較を行った。検定の帰無仮説は「各グループごとにデータの割合 (比率) が同一」である。

負荷対策間と水質項目間において比率の差の多重比較を行った結果を Table 10 に示す。同表では、他の対策あるいは項目との間に有意水準 5% 以下で統計的に有意な比率差がみられた対策・項目名のみを示している。また「-」は多重比較の最初の過程である「Holm の方法」において比率の差が無いと判断され

Table 9 相関分析の結果

	生活排水対策	発生負荷対策	COD (北湖)	BOD (北湖)	T-N (北湖)	T-P (北湖)	SS (北湖)	TOC (北湖)	透明度 (北湖)
産業系排水対策	0.711	—	—	—	—	—	—	—	—
排出負荷対策	0.394	0.808	—	—	—	—	—	—	—
COD (南湖)	-0.435	-0.300	0.924	0.684	0.556	0.262	0.217	0.522	0.064
BOD (南湖)	-0.257	-0.340	0.643	0.983	0.552	0.216	0.251	0.389	0.154
T-N (南湖)	-0.281	-0.349	0.628	0.607	0.738	0.514	0.272	0.567	-0.059
T-P (南湖)	-0.208	-0.235	0.489	0.232	0.620	0.858	0.123	0.501	-0.251
SS (南湖)	-0.205	-0.119	0.252	0.274	0.335	0.124	0.920	0.158	-0.013
TOC (南湖)	-0.092	-0.485	0.563	0.448	0.441	0.314	0.169	0.944	-0.121
透明度 (南湖)	-0.010	-0.033	0.158	0.237	0.035	-0.153	-0.009	0.008	0.784

Table 10 負荷対策間と水質項目(北湖・南湖)間の比率差の多重比較の結果

	1) 生活排水対策	2) 畜産排水対策	3) 産業系排水対策	4) 発生負荷対策	5) 排出負荷対策	6) 流達負荷対策	7) 湖内対策
7) 湖内対策	*	*	*	**	0.1542	0.1667	-

**有意水準1%, *有意水準5%で統計的に有意

て多重比較が行われなかったことを、数値のところは、比率の差はあると判断されたが、統計的に有意な差(0.05以下)ではなかったことを表わす。

Table 10 に示すように、湖内対策に関して、生活排水対策と畜産排水対策、産業系排水対策との間に有意水準5%、発生負荷対策との間に有意水準1%で統計的に有意な比率差がみられた。しかし、それ以外の、他の対策間や水質項目(北湖・南湖)間に関しては、いずれも統計的に有意な差はみられなかった。

(4) 因子分析

統計分析の最後に、負荷対策と水質項目それぞれの選択肢回答を用いて因子分析を行った。なお、水質項目の南湖と北湖に関しては、前述したように、データを結合して(両者の数量化データの平均値を用いて)分析した。負荷対策と水質項目に関する因子分析の結果をそれぞれ **Table 11** と **Table 12** に示す。

Table 11 に示すように、負荷対策に関する因子の寄与率は第3因子までで73.2%であった。因子の解釈を行うと、第一因子は発生負荷対策、排出負荷対策、流達負荷対策で構成されていることから「面源負荷対策」と解釈された。同様に、第二因子は生活排水対策、

Table 11 負荷対策に関する回答の因子分析の結果

	第一因子	第二因子	第三因子
寄与率 (%)	30.3	22.6	20.3
累積寄与率 (%)	30.3	52.9	73.2
4) 発生負荷対策	0.844	-	-
5) 排出負荷対策	0.954	-	-
6) 流達負荷対策	0.640	-	-
1) 生活排水対策	-	0.849	-
2) 畜産排水対策	-	0.797	-
3) 産業系排水対策	-	0.797	-
7) 湖内対策	-	-	0.996

Table 12 水質項目に関する回答の因子分析の結果

	第一因子	第二因子	第三因子	第四因子
寄与率 (%)	23.6	22.5	12.0	11.2
累積寄与率 (%)	23.6	46.1	58.1	69.3
1) COD	0.873	-	-	-
2) BOD	0.528	0.234	-0.193	0.321
6) TOC	0.771	-	0.129	-0.194
3) T-N	-	0.974	-	-0.121
4) T-P	0.177	0.466	-	-0.315
8) DO	-	-	0.987	0.142
7) 透明度	-	-	0.251	0.479
5) SS	-	0.337	-	-

畜産排水対策、産業系排水対策で構成されていることから「点源負荷対策」と、第三因子は湖内対策で構成されていることから「湖内対策」と解釈された。このように、求められた3つの共通因子は負荷対策の大きな分類と完全に一致する結果となった。

次に、**Table 12** に示すように、水質項目に関する因子の寄与率は第4因子までで69.3%であった。因子の解釈を行うと、第一因子はCOD, BOD, TOCで構成されていることから「有機汚濁指標」と、第二因子はT-N, T-Pで構成されていることから「富栄養化指標」、第三因子はDOで構成されていることから「DO」、第四因子は透明度で構成されていることから「透明度」と解釈された。このように、求められた4つの共通因子は水質項目の大きな分類と完全に一致する結果となった。

4. 結果のまとめと考察

前章までの結果を踏まえて、本研究で明らかとなった研究者間の意見分布とその構造を確認するとともに、意見分布とその構造とを生み出している要因について考察する。

4.1 負荷対策

Fig. 1 に示したように、重要度に関する評価が他の対策と大きく異なり、もっとも評価の分かれたのが湖内対策であった。対策間での比率の差の多重比較の結果もこのことを支持するものであった。これは、**Table 4** に示したように、同対策に関する評価が研究者間でも「更なる対策の必要性」と「費用対効果の問題」「効果への疑問」との間で二分されているためと考えられる。湖内対策については、このように研究者間でも評価が分かれるためか、環境審議会等における事務局の報告によれば、近年、水草の刈り取り以外の対策はほとんど実施されていなかった。

また、点源負荷対策間と面源負荷対策間でそれぞれの意見分布が類似していた。相関分析と因子分析の結果もこのことを支持するものであった。多くの研究者が個々の対策の重要度を点源負荷対策か面源負荷対策かの大きな枠組みで評価しているためと考えられる。

次に、回答者は面源負荷対策を点源負荷対策より重要視していた。これは、**Table 4** に示すように、前者に関しては「更なる対策の必要性」を考えた回答者が多かったのに対して、後者は「費用対効果の問題」を考えた回答者が相対的に多かったためと考えられる。その一方で、点源負荷対策に比べて、評価が分かれたのも面源負荷対策であった。面源負荷対策は「非常に重要」から「現在と同程度」まで評価が分かれた。**Table 11** に示した因子分析でも、寄与率が一番大き

な第一因子を4)から6)の面源負荷対策が占める結果となった。これは、研究者間でも同対策に関する評価が「更なる対策の必要性」と「費用対効果の問題」との間で二分されているためと考えられる。

4.2 水質項目

Fig. 2に示したように、多くの回答者は北湖と南湖の水質を独立したものは考えていなかった。相関分析と比率の差の多重比較の結果もこのことを支持するものであった。研究者の多くが、北湖と南湖という違いよりも、項目による違いを問題にしているためと考えられる。

次に、北湖よりも南湖の方が項目の値を「より改善すべき」とする回答が多かった。これは、研究者の多くが、北湖よりも南湖の方が水質が悪いと認識しているためと考えられる。また値を「より改善すべき」とした回答割合は有機汚濁指標 (COD, BOD, TOC) よりも富栄養化指標 (T-N, T-P) の方が高かった。多くの研究者が、前者よりも後者の方を問題視しているためだと考えられる。

ただし、富栄養化に関する環境審議会等における議論は「りんと窒素 (湖水中の濃度) をもっと減らすべき」から近年は「りんと窒素をただ減らせればいいというものではない。どこまで減らすべきかを考える必要がある」というように、ここ10年間で大きく論点が変化してきていた。アンケートにおいても、特にT-P (北湖) に関しては、値を「より増加させるべき」と回答した研究者が一割近くいたことに留意する必要がある。

一方、DOに関しては値を「より増加させるべき」とした回答が約7割を占めた。これは、前述したように、琵琶湖の特に深層部におけるDO濃度の低下が近年問題視されるようになったためと考えられる。

4.3 研究者間の回答のばらつき

Table 10に示したように、湖内対策を除くと、それ以外の負荷対策間や水質項目間において回答比率に有意な差はみられなかった。これは個人による回答のばらつきがあまりに大きかったためであるが、その原因としては、それぞれの対策や項目に対する研究者の視点 (回答の選択理由) が大きく異なっているためと考えられる。さらに、いずれの視点に立つかについては、クロス集計の結果が強く示唆するように、研究者の属性 (所属や専門分野) による考え方の違いの影響が大きいと推察された。

4.4 今後の負荷対策の検討に向けて

琵琶湖における今後の負荷対策を検討していくためには、湖として目指すべき水質、すなわち重視すべき

水質項目とその目標値の設定が先ず必要になると考えられる。特に水質項目の見直しや生態系の保全を目指した水質に関する議論が今後はより重要になっていくであろう。その上で、負荷対策については、費用対効果の問題に留意しながら、今後のあり方に関して議論を深めていく必要がある。湖岸沿岸帯の再生を含めた、新たな対策の検討も危急の課題だろう。これらの議論において、できるだけ幅広い属性の研究者の参加が望まれることは言うまでもない。一方、研究者間の意見分布があまりに広がった背景としては、滋賀県の環境審議会等で議論されているような内容 (問題意識) が、必ずしも同湖を研究する研究者すべての共有するところとはなっていない可能性も高い。琵琶湖や負荷対策の現状や課題に関する、県行政から研究者に対する積極的な情報提供が今後はより重要になっていくと考えられる。

5. 今後の課題

本研究では、上記のようなことが明らかになった一方で、課題として残ったものも多い。それらを整理すると次のようになる。

一点目は、意見分布やその構造を生み出している要因を明確には特定できていない点である。本研究で考察した要因はあくまで、アンケート調査の集計や分析の結果から、あるいは記述のあった選択理由から著者が類推したものであり、各回答者の各回答に関する選択理由がすべて把握できているわけではないため、要因に関しては特定できたわけではない。また、表層的な選択理由の把握とともに、なぜそのような選択理由に至ったのかという、より本質的な要因を明らかにすることも今後の課題として残されている。

二点目は、アンケートの回答者が偏ってしまった点である。滋賀県職員に比べて大学教員の回答率がかなり低い結果となった。考察の段階では、このことを考慮には入れたが、大学教員の回答率ももっと高かった場合、同じような意見分布とその構造が得られたかは不明である。アンケートのサンプル数をさらに増やし、回答者の属性が偏らないよう調節した上で分析をやり直すことで、本研究で得られた結果を検証することが今後の課題となる。

以上のようにいくつかの課題は残されたが、本研究によって、今後の琵琶湖における負荷対策に関する、研究者間の意見分布と分布の構造を把握することができ、意見分布とその構造とを生み出している要因についてもある程度考察することができたのではないかと考えられる。本研究の成果が、琵琶湖における今後の負荷対策を考える上での資料として役立つことができれば幸いである。

参考文献

- 1) 琵琶湖総合開発協議会：琵琶湖総合開発25年のあゆみ(1997)
- 2) 滋賀県・京都府：琵琶湖に係る湖沼水質保全計画(第6期)(2012)
- 3) 国土交通省都市・地域整備局：平成22年度 琵琶湖の総合的な保全のための計画調査業務 報告書(2011)
- 4) 滋賀県：琵琶湖総合保全整備計画 マザーレイク21計画〈第2期改定版〉(2010)
- 5) 大久保卓也他：面源負荷とその削減対策に関する政策課題研究, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, (6), pp. 46-57 (2009)
- 6) 中菌孝裕, 久岡夏樹, 鈴木 稔：流域の汚濁負荷対策が湖沼の底質に及ぼす影響, 環境技術, 38(12), pp. 884-891 (2009)
- 7) 濱 武英, 中村公人, 三野 徹：循環灌漑による濁水負荷削減効果, 農業土木学会論文集, 74(5), pp. 39-45 (2006)
- 8) 春木二三男他：底質改善の効果実証実験, 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報, 6, pp. 1-16 (2004)
- 9) 一瀬 諭：琵琶湖における湖内生産および分解の変化と難分解性有機物を考慮した有機汚濁メカニズムについて, 環境保全・公害防止研究発表会 講演要旨集, 35, pp. 31-32 (2010)
- 10) 池田将平他：琵琶湖の植物プランクトンの長期変動と水質汚濁メカニズムの解明について, 全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会講演要旨集, 24, pp. 26-27 (2010)
- 11) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター：図書文献検索システム〈<http://www.lberi.jp/lx/crssch.asp>〉, 2013-11-1 (注：2014年度から外部への公開を停止)
- 12) 国土交通省：湖沼水質のための流域対策の基本的考え方～非特定汚染源からの負荷対策～〈http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kosyo/main.pdf〉, 2013-5-5
- 13) 國松孝男, 村岡浩爾：河川汚濁のモデル解析, pp. 97-100, 技報堂出版(1990)
- 14) 滋賀県：滋賀県環境審議会〈<http://www.pref.shiga.lg.jp/shingikai/kankyo/>〉, 2014-12-30

Spectrum of Opinions Among Researchers on Future Control Measures for Reducing Pollutant Loads into Lake Biwa

Shinji Ide^{1)†} and Keisuke Nakai¹⁾

¹⁾ School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture

† Correspondence should be addressed to Shinji Ide :

(School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture
E-mail : ide@ses.usp.ac.jp)

Abstract

In this study, the authors tried to comprehend with a questionnaire survey the spectrum and structure of opinions among researchers on future control measures for reducing pollutant loads into Lake Biwa. As the results, it was illustrated that a larger number of researchers regarded pollution control of non-point sources (NPS) be more important than point sources while being divided in evaluating NPS pollution control; and the concentrations of T-N and T-P be more decreased than the ones of organic pollutants such as COD, BOD, and TOC although a few researchers believed the one of T-P be more increased.

Key words : water pollution, analysis of covariance, multiple comparison test, factor analysis