環境科学と陸水学*

桜井 善雄

Limnological Studies in Environmental Sciences

Yoshio SAKURAI

Abstract

Environmental science has been recently developed to present some scientific basis for relieving the undesirable effects of artificial environmental changes on human life. Limnologists who make studies in this field should endeavor to disclose the mechanisms of such environmental changes and contribute towards keeping inland waters from undesirable changes. For this purpose, they must have a broad understanding of the related fields of science and social problems.

Limnological works so far carried out in Lake Suwa have presented many valuable results which are applicable to environmental management. These results should be brought into the administrative practice of water pollution control. Extensive studies of this lake on the effects of the construction of sewage systems and other affairs on the limnological environments would be a significant contribution towards the control of eutrophication in this lake.

1. はじめに

“環境科学”という研究分野の性格と内容については、かなりニュアンスの違った2つの考え方がある。そのひとつは、この研究分野を、生物および人類の生存環境と人類社会の生産環境に関する総合科学とみる立場である。この場合、研究対象は広範な領域にわたるが、基礎科学的研究態度が優先している。これに対して、第2の立場では、人類の諸活動によってひき起こされた生活環境および生産環境の劣化の原因、機構および影響を解明することによってそれを改善する方策を究明するとともに、環境を人類のために最も有効に活用する方策を見出すための実用科学と考える。

近年において環境科学が1つの研究分野として社会一般や科学者の間に認められるようになってきた経緯をみると、第2の考え方に対してかなり共通の理解が存在したとみてよい。文部省の科学研究費補助金による研究課題として「環境科学特別研究」が取り上げられた理由も、ここにあると考えられ、この研究プロジェクトの研究広報 No. 1 (1977) は次のように述べ

ている。

「環境科学とは、人類の生存と環境との間に生ずる諸問題を適確にとらえ、その解決策を探り、新しい調和をもたらそうとすることを目的とする科学である、とすることが最も適切であると思われる」。

したがって、このような科学の領域においては、研究成果を環境問題の実際面に生かすことを重要視するならば、時には自然科学的研究の枠からはみ出す仕事をも容認しなければならないことになる。

陸水が地球上の環境を構成する主要な場の一つである以上、これを扱う陸水学も当然環境科学に深いかわりをもつ。ここでは、筆者がこれまで扱ってきた諏訪湖の汚濁問題やその他2、3の問題を通して、環境科学領域における陸水学的研究の問題点について考察をおこなうことにする。

2. 陸水学における環境科学的研究の在り方について

環境問題の解決を志向する陸水域の研究において、まず必要とされることは、陸水学の領域を超えた広い知識と物の考え方および自然科学以外の分野をも含む関連分野との研究上の提携である。これは次の3点か

* 1979 年日本陸水学会大会シンポジウム“陸水学と環境科学の接点における諸問題”講演。

ら考えて当然のことである。

1) 水圏という環境媒体の性格は、陸圏、大気圏、ならびにこれら3圏の中における生物および人間の活動と不可分である。

2) 陸水環境に限らず、発生した環境問題の背後には、常に社会・経済的な原因と過程が存在し、さらに問題解決の対策もまた社会・経済的条件に著しく影響される。

3) 陸水の環境問題を解決するためには、陸水学の理論のほか、他の科学、技術の諸分野の協力、および行政、企業、住民などの能動的な参加が必要である。

したがって、陸水学の研究者が環境科学の研究活動の中に上の考え方を生かすことは、その研究者の世界観にかかわるほどの重大さを持つことになる。

3. 諏訪湖研究の意義と役割

1977年から開始された環境科学特別研究における諏訪湖の研究では、「諏訪湖水域生態系に及ぼす広域下水道整備の影響」というテーマの下に、26名の研究者が、湖沼、河川、陸上の3つの対象について研究をすすめている。

この研究では、諏訪湖流域における広域下水道の建設を、湖の富栄養化防止に対する社会的実験としてとらえ、集水域を含めた湖の生態系とこのような人間活動との相互関係を解析し、下水道整備の効果を評価するとともに、湖を若返らせる方策を見出すことを目的としている（諏訪湖集水域生態系研究経過報告 No. 1, 1978）。

公共下水道の整備は、下水を収集した地域に存在する水系の有機汚濁防止に対しては、たしかに効果的である。さらに、いわゆる三次処理によって栄養塩の除去が可能であれば、処理水を受ける下流水系の富栄養化防止も可能になる。しかし、公共下水道の建設・運転には、極めて多額の社会的負担が必要である。1978年現在、公共下水道の建設費は、全国平均で計画処理人口1人当たりおよそ32万円とされている。長い管渠をもつ流域下水道ではさらに多額となり、諏訪湖流域下水道では約52万円となる。

一方、公共下水道の効果については、例えば工場廃水の受け入れに伴う重金属汚染の問題があり、また生活系廃棄物については資源の再利用などの問題も提起されている。このような諸点から、諏訪湖研究の課題は大きな社会的意義と責任をもつことになる。

4. 諏訪湖汚濁の特性

諏訪湖では、1969年以降、公共用水域の水質汚濁

防止を目的とした諸法令にもとづく、流域の事業所の排水の水質規制や、湖の沿岸帯の底泥の浚渫がすすめられている、また、公害対策基本法にもとづき、水質の環境基準の設定などの施策がおこなわれ、1972年以降は水質汚濁防止法にもとづく湖内6定点における水質の定期測定が実施されている。それらの測定結果（長野県, 1974, 1976, 1977）のうち、湖水の有機汚濁の指標である化学的酸素要求量（COD）および浮遊けい濁物（SS）の測定値をまとめて Fig. 1 および Fig. 2 に示した。諏訪湖水質の環境基準は湖沼の A 類型、すなわち COD については 3 mg/l 以下、SS については 5 mg/l 以下とされているが、図にみられるように、湖水の COD は毎年夏季を中心に著しく

Fig. 1. Chemical oxygen demand (COD) of the surface water of Lake Suwa (drawn from the reports of Nagano Pref., 1974, 1975, 1976, 1977).

Fig. 2. Amount of suspended solids (SS) in the surface water of Lake Suwa (drawn from the reports of Nagano Pref., 1974, 1975, 1976, 1977).

Fig. 3. Seasonal changes of COD fractions and chlorophyll-a content in the surface water of Lake Suwa. (SAKURAI, 1979). T-COD; total COD of lake water, D-COD; COD of filtrate of lake water, S-COD; COD of suspended solids in lake water.

高い値を示しており、年間を通して環境基準を満足することはきわめて少ない。SS についても同様である。COD 値の季節変化は SS のそれとかなり良く対応しており、この湖の SS の大部分を占める植物プランクトン、すなわち湖内で生産された有機物が、湖水の COD を上昇させる主因であることを示唆している。筆者 (1979) は 1977 年に、年間を通して、湖水全体の COD (T-COD)、SS を除いた COD (D-COD)、およびクロロフィル量の変化を測定した。その結果 (Fig. 3) からわかるように、湖水の高い COD は湖水中の浮遊けん濁物 (SS) に依存しており、また、浮遊けん濁物による COD は湖水のクロロフィル-a 量と極めて高い相関を示している。湖水から浮遊けん濁物を除いた濾液の COD (D-COD) は、年間を通してほとんど一定で、環境基準に近い値を示している。長野県 (1977) が 1975 年、水の華の発生時に行なった測定結果 (Fig. 4) も上記と同様の傾向を示す。

諏訪湖において、湖水の COD が著しく増加する初夏から初秋にかけての植物プランクトンの優占種は、*Microcystis* sp. である。湖水を静置し表面に集まったものをとるという操作を数多くかえして、ほぼ純

Fig. 4. Relation between T-COD and D-COD of the surface water of Lake Suwa in the season of heavy algal bloom by *Microcystis* sp., Sept.-Oct., 1975 (drawn from the report of Nagano Pref., 1977).

Fig. 5. Relation between S-COD and chlorophyll-a content in the surface water of Lake Suwa. Mar. 1977 to Mar. 1978 (SAKURAI, 1979)

粋にした諏訪湖産 *Microcystis* sp. の細胞について、クロロフィル-a 量と COD の関係を検討し、次の結果を得た。

$$\text{Microcystis COD (mg)} = \text{Chl.-a (mg)} \times 55.4$$

Table 1. Parameters which are desirable to adopt into the administrative works of Lake Suwa.

	Total	Suspended matter	Dissolved matter
Organic carbon	Total organic carbon	Organic carbon in suspended matter	Organic carbon in filtrate
COD	Total COD	COD of suspended matter	COD of filtrate
Phytoplankton		Chlorophyll-a	
Nitrogen	Total Nitrogen	Organic nitrogen in suspended matter	Organic nitrogen in filtrate NH ₄ -N NO ₂ -N NO ₃ -N
Phosphorus	Total phosphorus	Phosphorus in suspended matter	Organic phosphorus in filtrate PO ₄ -P

1977年に年間測定した湖水中の浮遊けん濁物に依存するCODとクロロフィル-aの関係をFig. 5に示す。

以上のように、諏訪湖の著しい有機汚濁は、その大部分が湖内で増殖した植物プランクトンに起因すると見做すことができる。したがって、このような水域の有機汚濁の防止は、湖外からのCOD負荷の削減を考えるだけでは、ほとんど効果が望めないことがわかる。

5. 諏訪湖における汚濁制御のパラメータ

以上のように、諏訪湖の現在の有機汚濁の防止対策は、湖内における植物プランクトン増殖の制御が中心課題である。したがって、水質環境のパラメータとしては、現在、湖沼の環境基準で重要視されているCODは、むしろ副次的なものになる。主要なパラメータとしては、湖内で生産される有機物である植物プランクトン量、特にその指標であるクロロフィル-a、および湖内の有機物生産を支配する主要な因子である窒素およびリンをとりあげねばならない。水質汚濁防止法による湖沼の水質の測定項目に新たに採用されることが望ましい事項をTable 1に示した。

このような提案は決して新しいことではない。すでに1960年頃から内外の陸水生態学者によって直接、間接に強調されてきたところである。このことは、陸水域の自然科学的な研究成果が、水界環境保全の実際に生かされていない一つの具体的な例であろう。行政の側の積極的な姿勢もさることながら、研究者の側にも、陸水学の成果を水界の環境保全に積極的に生かそうとする努力が、さらに要請される場所である。

6. 諏訪湖研究の課題

1977年以来、諏訪湖の研究成果は着実に上っているが、下水道整備との関連における湖の富栄養化防止の根本的な方策の提示は、最終的なまとめにまたなければならない。一方、流域下水道の整備も次第に進捗し、1979年10月にはその一部が稼動を開始した。さらに二次処理水からの栄養塩除去を目的とした三次処理の検討も、行政機関によってすすめられている。このような事情の中で、諏訪湖研究は特に次のような諸点に留意する必要がある。

1) この湖の汚濁防止に対する流域下水道の効果を正しく評価できるような、湖の環境諸要因および生物群集に関するデータを集積・整理すること。

2) 湖の汚濁を支配している諸機構の中で、汚濁防止のために最も容易で確実に制御できる部分を見出し、それを汚濁防止対策に生かす方法を示唆すること。

3) 現在とられている公共下水道以外の汚濁防止対策や湖の環境に直接影響を及ぼしている主要なできごとを研究課題として取り上げ、検討を加えること。前者では、沿岸帯の浚渫、干拓、および護岸工事、後者としては水生植物群落の消失、工場廃水の処理、湖内におけるコイの網生質繁殖、公共下水道処理水の放流地点および三次処理の方法などがあげられよう。

以上の2)と3)の課題の検討については、この湖の汚濁防止施策を担当する長野県および地元市町村、ならびに行政機関の研究者との体系的な交流も大いに必要である。

7. 研究成果を生かすための努力

筆者は身近な研究者と協力しながら、過去数年以上、長野県下やその他の地域において、陸水学と環境科学の接点に関係あるいくつかの調査研究に関係してきた。しかし、調査・研究の成果が、幸い地方自治体の条例や環境保全施策に生かされたものはごく一部であって、多くは意見の表明だけに終わっている。環境の保全・改善に関係ある調査・研究、あるいは提言をしたことのある研究者であれば、おそらく誰でもそのような経験を持っているであろう。

陸水学を通して環境科学的な問題の解決に寄与しようとする場合、その実際の効果の面で共通して感ずることは、そのような問題が発生した背後には、網の目のような社会的要因が関連しており、またその解決のためにも、多くの分野の参加を必要とするが、われわれが解明した事実とそれにもとづく提言は一局部にしか届かず、しかもそれは複雑な社会的要因の軋轢の中に揉み消されてしまう場合が多いということである。

最初に述べたように、環境科学が問題解決のための実用科学であるとすれば、その研究成果や理論は、直接にせよ、間接にせよ、現実の環境改善に生かされなければ意味がない。現在のわが国では、環境を支配する最大の力を持っているものは企業と政府、あるいは地方自治体である。若干の時間的遅れは仕方ないにしても、これらが動かなければ、環境問題の解決は望めない。つまり、環境科学的研究にもとづいておこなわれる提言は、法令化または実施予算化されない限り、単に研究成果がえられたということに終わってしまう。研究者がそこまで配慮する必要はないという意見も当然あるだろう。しかし、研究活動に環境科学を標榜するからには、この面への配慮も当然必要なことといわねばならない。

8. 環境科学における研究活動の性格について

以上述べたことから、環境科学における研究活動は、次のような性格をもつと考えられる。

1) 問題解決のために何が必要かということ、およびその成果は環境の保全、改善の中に生かされるべきものであるという観点が常に要求される。したがって、時には学問的な興味を犠牲にしなければならないこともありうる。

2) 自ら手を下す課題は部分的であっても、環境保全の全体的な戦略の中におけるその位置づけについての認識を常に持たなければならない。

3) 環境科学の対象となるような問題は、陸水学の理論の単純な延長の上では解決できない場合が多い。むしろそれから先に、他の自然科学の分野や技術と提携し、かつその枠を越えた、環境科学本来の総合的な取り組みを展開しなければならない。

4) 関連する分野の自然科学および社会科学の研究者、市民、行政などとの積極的な連けいを深めること。しかしそれは無思慮、無方針であってはならない。

5) 環境科学的な研究は常に総合的なものである。その研究組織に参加している研究者個人の意志と研究成果はもちろんすべての基礎となるものであり、尊重されなければならないが、自分の専門領域や研究成果のプライオリティーを第一義とする個人プレーの単純な寄せ集めでは、その目的を達することはできない。

9. む す び

諏訪湖に関する問題にも一部ふれながら、環境科学分野における陸水学的研究の性格や研究活動の在り方について私見を述べた。これらのことは、環境科学の名のもとに研究活動がおこなわれる場合に、是非考えておかねばならない一側面であると思われる。環境科学における総合研究は、わが国の陸水学研究者に対して、これまであまり馴染みのなかった新しい研究態度を求めるものであろう。このような研究を通して、新しい研究態度や方法が、わが国の陸水学の中にも定着することを望むところである。

摘 要

環境科学は、人間の生存にとって好ましくない環境上の問題を解決するために、近年になって発達した研究領域である。したがってこの分野における陸水学的研究は、直接、間接、水界の保全に寄与するものでなければならない。そのため研究者には、問題解決に関係ある広い分野への見識と、自然科学の枠を越えた努力も要請される。諏訪湖の汚濁防止については、現在の行政的施策の中に、これまでに得られた陸水学的研究の成果を取り入れる必要がある。また諏訪湖の流域に建設された広域下水道の効果に関する生態学的な評価は、湖の富栄養化防止と下水道の役割を考える上で、重要な社会・経済的意義と責任をもつものである。

引 用 文 献

環境科学総合班 (1977) : 特別研究「環境科学」発足の経緯と計画概要. 「環境科学」研究広報, No. 1.
長野県生活環境部公害課 (1975) : 昭和 48 年度公共用水域水質測定結果.

長野県生活環境部公害課（1976）：昭和49年度公共用水域水質測定結果.

長野県生活環境部公害課（1977）：昭和50年度公共用水域水質測定結果.

諏訪湖集水域研究班（1978）：諏訪湖集水域生態系研究経過報告, No. 1.

桜井善雄（1979）：諏訪湖汚濁の特性と汚濁防止対策の経過. 諏訪湖集水域生態系研究報告, No. 3:

87-102.

（著者：桜井善雄，信州大学繊維学部生態学研究室，上田市常田 3-15-1; Laboratory of Applied Ecology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Ueda 386).

1980年4月10日 受理