

ファクト情報を選別するために

三田村 緒佐武*

はじめに

陸水学と環境学を研究していた現職のとき、研究者の資質「誰のための研究か、何のための研究か」に悩んでいた。自由の身になったとき、その一つを解決したく、水環境とその環境問題を理解しようとして実践している住民グループに加わった。そのとき、住民が水環境調査で勘違いによる失敗を繰り返す、誤った環境観を学んでいることに気づいた。彼らの勘違いと間違いは自分史とも重なる。学徒の自然観に多大なる影響を及ぼす学術研究者や行政研究者の誤発信の罪は大きい。

研究者が、何のために誰のために成果を発信するのかを深く考え実践することを怠ると、人がなぜ学習するのかの学観も失う。その結果、環境活動の基点とも言うべき健全な環境を次世代に継承することも困難になる。「科学は冷たくて暗い」「科学技術が人類の滅亡時を早める」を熟考しない研究者は、ある意味での虚学者・オープンハイマーのごとく「倫理なき科学者」を内省する人生に陥る。

そこで、多くの研究者が勘違いと間違いに陥る原因を明らかにし、正しい水環境測定方法を探った。本研究は、水環境研究者の指針とも言える。陸水・海洋で測定した結果の正しさを検証するとともに、科学観を問い直すことを願う。

ここでは、止水系の湖沼と流水系の河川の環境調査における情報の収集と、透明度、電気伝導度、pH、溶存酸素の測定で陥る勘違いと間違いを述べる。

I. 研究は水系の特徴を知ることから始まる水環境調査の心得

水系で生じる現象は、自然的要因と、人為的要因が複雑に絡み合っている。調査は、調査地の気象、水系、形態、水質、底質、水生生物、人間社会、そして他水系のこれらの違いなどのおよそを机上で勉強しておくことが必須である。これらの要素が総体で機能していると考え、場所と時を選ぶ必要がある。水域生態系の環境は生物に影響を与えると同時に、生物も環境に影響を与える。湖や川の調査点のみを対象とした調査、あるいは個別学による調査を行えば、勘違いと間違いに陥りやすく、研究の最終目標に到達できなくなる。

フェイク情報を見抜く

調査地の自然と人間活動の情報収集は研究の基本である。その一つ、湖の規模と形状を示す湖盆形態は、調査地の特徴を知る基礎である。しかし、学徒が入手する湖盆形態のいくつかは、科学的根拠に乏しい。たとえば、湖の形状を表す琵琶湖の長軸と最大幅は、湖盆計測の定義に従っていない。そして、最小幅は意味不明である。琵琶湖の島数を5あるいは4とするのは、海上保安庁、国土地理院、国連の島の定義とも異なる。

河川の流域平均幅（流域面積と河川の長さとの比）と流域形状係数（流域平均幅と河川の長さとの比）は、水循環の一端を理解するときに役立つとともに、治水と利水と環境保全に有用である。日本の主要河川の形状係数は低く、細長い河川であることが解る。しかし、理科年表に記載された淀川の流域平均幅と流域形状係数は異常に高い。これは、淀川本川の全長を測っていないからであ

*滋賀県立大学名誉教授

ろう。信じるべき正しい数値と疑わしい数値が混在する理科年表を発刊する国交省の責任は大きい。新河川法が定める淀川水系の治水と利水と環境の総合的な河川制度の整備の運用が適正かを疑いたくなる。

琵琶湖の水は、流入水が湖水を押し出すとする「ところてん方式」の計算では、約5年で入れ替わる。流水性の南湖水の滞留時間は、ところてん方式でおよその値を求めることができる。しかし、止水性の琵琶湖北湖では、流入水が湖水を希釈（あるいは濃縮）して入れ替わるとする必要がある。この「希釈方式」で計算した琵琶湖水の交換時間は、湖水の95%が入れ替わる時間で20年近くを要する。大湖・琵琶湖の環境復元は、負荷を削減しても長い時が必要になり容易ではない。

管理者が発信する琵琶湖環境の平均像に疑問を抱き、碁盤の目の測点で湖全域の表面水を調査した。この調査で得た結果は、管理者のモニタリング調査に供すべき多くの知見を得た。調査方法を改善すると、湖環境が異なって診えることを痛感した。

これらを公称値として公表し続ける環境白書など行政刊行書は、読者の科学思考を妨げる。国土管理を担う国土交通省、環境省、自治体の関係者は、誰のために何のために情報を発信しているのだろうか。

発信者の意図が見え隠れする図やイラストにも注意したい。学徒は、書籍や論文の読解力と、正しい情報を見抜く力が試されている。いかなる情報を信じて勉学すべきだろうか。研究者から学者を志す者は、「好奇心が新奇性を造る」と同時に「建設的批判が創造的研究を可能にする」を心すべきである。上意下達で益を求める組織には、研究者は多いが、学者は希だと言われる。盲目的に隷従しない学者に成長したい。

II. 水環境調査の勘違いと間違い

1) 透明度の測定で陥る間違いを正す

透明度を測ると何が解るのか

透明度から湖水が澄んでいるか濁っているかを知ることができる。水が澄んでいる貧栄養湖や外洋水でも透明度の値が得られる。光は水そのもので減衰するからである。透明度は、「水そのもの」、「溶存有機物」、「動・植物プランクトン」、「非生物セストン」などに影響される。透明度に及ぼすこれらの寄与率は、溶存物質で低く粒状物質が高い。

集水域が広く浅い湖の透明度は、狭く深い湖よりも、非生物セストンの寄与率が高くプランクトンの寄与率が低くなる。湖面積が広く深い湖の沖帯は、プランクトンの寄与率が高くセストンの寄与率が低い。たとえば、琵琶湖北湖の沖帯で測る透明度は、セストンよりもプランクトンによる濁りが多い。琵琶湖南湖や沿岸帯の透明度は、プランクトンとセストンの寄与率が自然変動や人間活動の大小に左右されることになる。

透明度を測ると、①透明度の深度は相対水中照度の15%とほぼ一致する。②年間の透明度の平均値は車軸藻の生育限界の深さとおよそ一致する。③透明度の2~2.5倍の深度は補償深度とほぼ一致する。④透明度から推定した臨界深度から、富

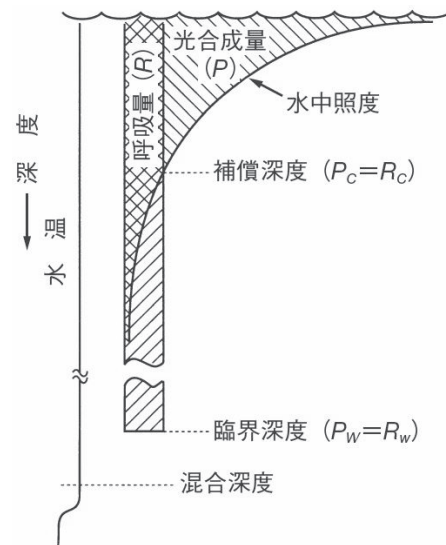


図1. 補償深度と臨界深度と混合深度との関係（西條八東・三田村緒佐武, 2016）

栄養湖になりやすい湖か、なりにくい湖かが解る(図1)。⑤透明度は湖沼型と密接に関係する。⑥透明度は湖沼遷移を考える基になる。など湖沼生態系の構造と機能の多くが解る。

透明度の測定を誤らないために

透明度の測定は、昼間の太陽高度の高いときに、透明度板をできるだけ鉛直に吊り下げ、透明度板から水面までの距離を読む。透明度板のロープが水中で斜めになったとき、値をロープの傾角で補正しない。ただし、透明度の深度まで懸濁物質が均一に分布している場合である。透明度板が湖底や河床に着いたときでも、透明度の測定をあきらめなくてよい。透明度板のロープを斜めに張って、ロープの長さを読めばよい。

2) 電気伝導度の測定で陥る間違いを正す

電気伝導度は何を測っているのか

湖や川のイオン成分量のおよそを知るために、しばしば電気伝導度を測定する。しかし、各イオンの当量電導度とイオン量に支配される電気伝導度は、主要化学成分の多少のめやすの量を測ったにすぎない(表1)。電気伝導度は、水系や水塊

の判別に役立ち、流域の地質を知る手がかりにもなる。しかし、電気伝導度値は、イオン成分が異なっても、同じ値になるときも異なる値になることもある。

電気伝導度は水温で変化する

電気伝導度の値は、水温が1℃上昇すると約2%増加する(表2)。同じ水でも、水温が異なると電気伝導度値が異なるため、ふつう25℃の値に換算している。現場水温における電気伝導度値は、25℃で表示された電気伝導度計の値から式を用いて求めることができる。各イオンの25℃における温度計数は約0.02である。温度係数は、水温によりわずかに変化するが、塩濃度にほとんど変化しない。

電気伝導度から、湖沼と河川の水域間で水質を論じるとき、これらの勘違いを避けなければならない。

3) pHの測定で陥る間違いを正す

pHは水温と塩濃度で変化する

水分子は、一部が水素イオンと水酸化物イオンに電離している。水のイオン積は、25℃、1気圧

表1. イオン成分の等量電導度(半谷高久・小倉紀雄, 1995)

イオン	Λ^∞ 無限希釈度における値 [10^{-4} S·m ² /mol]	当量伝導率 Λ [10^{-4} S·m ²]			α_{25} 25℃における温度係数 [K ⁻¹]
		0.001 M	0.01 M	0.1 M	
H ⁺	350	345	339	323	0.0139
Na ⁺	50.1	48.4	46.4	41.1	0.02
K ⁺	73.5	71.7	69.5	63.7	0.02
1/2Mg ²⁺	53.1	49.7	45.2	36.4	0.02
1/2Ca ²⁺	59.5	56.3	51.5	41.7	0.02
OH ⁻	199	196	192	181	0.018
Cl ⁻	76.4	74.3	72.0	65.7	0.02
1/2 SO ₄ ²⁻	80.0	75.0	43.3	34.5	0.02
NO ₃ ⁻	71.4	69.3	67.1	60.4	0.02
1/2 CO ₃ ²⁻	72	68.2	61.6	44.2	0.02
HCO ₃	44.5	—	—	—	0.02

表2. 塩化カリウム溶液の電気伝導度と温度変化

温度 [℃]	0	10	20	25	30
電気伝導率 [mS/m]	77.6	102.0	127.8	141.3	155.2
比率(25℃の値を100とする)	54.9	72.2	90.4	100	110

表 3. 純水の pH と温度 (半谷高久・小倉紀雄, 1995)

温 度 (°C)	K_w^*	pH
0	0.113×10^{-14}	7.47
5	0.185 ♪	7.37
10	0.292 ♪	7.27
15	0.450 ♪	7.17
20	0.681 ♪	7.08
25	1.008 ♪	7.00
30	1.468 ♪	6.92
35	2.089 ♪	6.84
40	2.917 ♪	6.77

* $K_w=[H^+][OH^-]$

の下ではきわめて低い。酸性度あるいは塩基性度（アルカリ性度）を示す水素イオン濃度（正しくは水素イオン活量）は広範囲に変化する。したがって、これに代わって、水 1L 中の水素イオンのモル数の逆数を常用対数で表した値を pH 値として酸性度の指標にしている。

pH は、水温が高くなれば低くなり、水温が低くなれば高くなる（表 3）。一般に、 $pH < 7.0$ の水を酸性、 $pH > 7.0$ の水をアルカリ性、そして $pH = 7.0$ の水を中性と呼んでいるが、これは水温が 25°C にきわめて近いときである。たとえば、水温 30°C になる夏の中性 pH は 6.9 であるが、水温 10°C に低下する冬の中性 pH は 7.3 になる。中性 pH は、水温に関わらず pH 7.0 であると勘違いしてはならない。pH 7.0 よりわずかに低い水を弱酸性、pH 7.0 よりわずかに高い水を弱アルカリ性であると言うのも早計である。

陸水は水系の地質と接触反応して物質を溶かすため、pH 値は水に溶解しているイオン成分とその量に影響を受ける。塩湖など塩水では、pH 変動が小さくなるように緩衝作用が働く。水素イオン濃度の活量係数は、純水は 1 であるが塩水では 1 より低い。

自然水の pH を測る

ふつう、湖水と河川水は、pH 6~pH 9 の範囲にある。淡水では、全炭酸化合物のイオン積の影

響が大きくなり、これが pH に影響を及ぼしている。

湖で測る pH 値は、大気と湖水が十分混合して全炭酸が飽和状態になったときの pH (RpH) と、生物過程が駆動させた pH (ここでは BpH と記す) を加えたものである。RpH 値は、試水固有の pH 値と考えてよい。湖の生産層では、昼間に光合成が呼吸・分解を上回ると pH が上昇するが、分解層と夜間の生産層では、呼吸・分解が光合成を上回り pH が下降する。

川の中流域などに、浅くて流れが速い「早瀬」、深くて流れが遅い「ふち」、分離され沼状態になっている「たまり」が見られる。早瀬で測る pH は RpH である。たまりで測る pH は、BpH の変動の程度によって RpH より高いことも低いこともある。

理解する目的で pH の測定方法が異なる

pH を測定するとき、湖や川の酸性水質あるいはアルカリ性水質を知りたいのか、水生生物の光合成と呼吸・分解の程度を知りたいのかを理解しておかなければならない。目的の違いによって、RpH を測定するのか、BpH (pH と RpH の差) を見積もるのが決まる。

水固有の pH 値を知りたいときは、調査場の標高における大気中の二酸化炭素で飽和させた RpH を測定することになる。同じ湖で、異なる

深さの水の pH を測定したとき、その値が異なっているにもかかわらず RpH は等しいことが多い。これは、生物過程が pH を変化させたことを意味する。

pH の平均値を求める

pH の平均値を求めたいとき、pH 値を水素イオン濃度に戻し、この水素イオン濃度の平均値を pH に表現する必要がある。pH の数値を平均したものを平均 pH 値としたいとき、算術平均値（あるいは相加平均値）と付記しなければならない。ただし、塩濃度が異なる水の pH、水温が異なる水の pH、pH と RpH が混在した値は、平均値として表示できない。

4) 溶存酸素の測定で陥る間違いを正す

溶存酸素は水温と塩濃度と大気圧と生物過程で変化する

淡水湖と塩湖と汽水湖、山地の湖と平地の湖、川水が流れているところと淀んでいるところ、夏と冬あるいは昼と夜で溶存酸素を測ると、溶存酸素量がなぜ異なり変動するのかが解る。たとえば、昼間の生産層では水生植物の光合成による酸素の供給が水生生物の呼吸・分解による酸素の消費を卓越し、夜間と分解層では呼吸・分解過程が酸素を消費している。有機汚濁が激しい都市河川などでは有機物分解に伴って貧酸素になることがある。

水温が低くなれば溶存酸素量は増加し、高くなれば減少する。したがって、湖や川の溶存酸素量は寒帯域で高く、熱帯域で低い。夏の溶存酸素量は冬より低い。

水に溶解する酸素量は、大気中の酸素分圧に依存する。標高の高い湖や川の溶存酸素量は平地より低くなる。ふつう、高地の陸水の水温は低地のそれよりも低い。湖や川の溶存酸素量が高いか低いかは、水温と水面の標高と水の塩濃度と水生生物の活性の影響の大小の差によって決まることになる。

溶存酸素を水温と塩濃度と標高で補正する簡易方法

現場で溶存酸素量を測定したとき、溶存酸素の飽和量と飽和度が判れば速やかに発展的調査に移ることができる。試水の水温 (T ; °C) と塩化物イオン濃度 (C ; g Cl L⁻¹) を測ると、溶存酸素飽和量 (DO_T ; mg O₂ L⁻¹) を次の近似式で求めることができる。

$$DO_T = 14.16 - 0.394T + 0.00771T^2 - 0.000065T^3 - C(0.152 - 0.0046T + 0.000068T^2)$$

この式の塩補正の項 (C に続く式) は、塩湖と汽水湖の溶存酸素飽和量を求めるときに用いる。塩補正の塩化物イオン濃度は、電気伝導度計で測定した塩分に 0.55 を乗ずればおよその濃度を求めることができる。

山地の水の飽和度は、気圧補正が必要になる。気圧補正係数 (f)、すなわち調査地の標高の気圧 (B ; mm Hg) と標準大気圧 (B_0 ; 760 mm Hg) との比は、調査地の標高 (H ; m) を入力した次式で近似できる。

$$f = B/B_0 = 1 - 1.19 \times 10^{-4}H + 5.63 \times 10^{-9}H^2 - 1.21 \times 10^{-13}H^3$$

標高が高い湖や川で、溶存酸素の飽和度を求めるとき、気圧補正しなければならない。琵琶湖 (標高 84 m) の溶存酸素飽和度は、気圧で補正する必要がある。

溶存酸素の単位表現で勘違いが生じる

溶存酸素のデータを記載するとき、注意が必要である。湖や川の溶存酸素量は、重量濃度、体積濃度、飽和度で表示している。しかし、溶存酸素をガス成分とする体積濃度は、水域の環境動態を理解することが難しく適切でない。そして、溶存酸素濃度の百万分率 (ppm) は、重量濃度の百万分率か、体積濃度の百万分率かが不明であり避け

たい。

Ⅲ. 勘違いと過ちを防ぐ基本とは

教科書を真似るな。教科書で学べ

生徒が読む書物は、「現社会で科学的事実としている」、「科学の発達によって過去の事実が変わった」、「現科学で説明できないため、論考あるいは推論の域をでない」、「科学的根拠に乏しいが合理性がある」内容が混在している。そして、「科学的に間違っただ情報」、「勉強不足が招いた勘違いの情報」、「社会の要求を優先した曖昧な情報」などもある。生徒の勘違いと間違いは、「人から聞いた」、「マスメディアが発表する」、「広報記事に書いてある」、「書籍に記載している」からこの思考は事実であるとの思いこみとともに、実践で「測れる項目の測定結果のみから、これは事実である」とすることに起因する。

書物の質の選別と活動結果の正しさを判定する方法は、「何人からの影響をも受けずに真実を解明し発現する能力を有する学者が執筆した科学書を精読して、これを理解したから、測定結果と考察は事実であろう」、あるいは「自らの活動で科学観を研鑽したから、この結果と考察はおそらく事実であろう」とともに「己を育てた自然こそが学ぶべき科学書である」にしたい。勘違いを防ぐ基本は、建設的科学的批判の学習である。

勘違いと間違いは科学的思考の欠如から生じる

環境学は、自然科学から人文・社会科学までを含む広い分野である。環境調査の勘違いと過ちは誰もが陥る。環境活動に完璧な者はほとんどいない。

調査水域は、虫が見る二次元の自然でも、鳥が見る三次元の自然でもない。そして、生徒が見た環境は、動的自然を静的に見たにすぎない。二次元を這いつくばって生活する人は、三次元の見えない世界を想像し、さらに四次元の目を鍛えようと、水域生態系の生物とその環境の動態が診える。四次元の自然観が欠如した者は、連続した動的平衡

の総体系を診る視点を失い、勘違いの調査を続ける。自然観を修得するために、たゆみない勉強が求められる。

合意形成のブレインストーミングが勘違いと間違いを防ぐ

勘違いと過ちを防ぐ方法は、参加者全員が調査対象水域の概略を机上で理解しておくとともに、ブレインストーミングによる水環境を正確に読みとる研究活動である。ブレインストーミングの要点は、「調査目的」「調査場所と調査時」「測定項目」「仮想スケジュール」「調査の準備」「予備調査と本調査」「成果の公表」を確認する作業である。個人の思いこみを参加者全員の合意形成で克服することができる。これが環境人に成長する道の一つである。

おわりに

琵琶湖を再生させるために

琵琶湖生態系は、それを構成する生物と環境のすべての要素間と総体の中で動的循環平衡を維持していることを学んだであろうか。琵琶湖水系は、自ら環境劣化を修復して再生しようとしていることを学んだであろうか。

「琵琶湖は琵琶湖自らが造る。人は琵琶湖の自然力の手伝いに徹することのみ許される」が、琵琶湖を修復・復元して再生させた湖を保全する作業の基点である。人が琵琶湖と、共生が困難でも、共存するためには、人の活動総量に適正規模がある。持続可能社会とは、現社会で生きる者がさらなる物欲の富を持続することではなく、数万年後に生きる者まで、自然の富を持続させることである。自然に生かされ命を繋ぐ人類は、自然の万物が持続されることが必須である。水環境をなぜ復元して再生しなければならないのかを自問する生徒の志高い環境観とその活動が、望ましい琵琶湖環境を次世代へ継承できる。

参考文献

- Endoh, S., I. Tsuji, M. Kawashima & Y. Okumura (2008): A new method for temperature compensation of electrical conductivity using temperature-fold dependency of fresh water. *Limnology*, **9**: 159–161.
- 藤永薫・大嶋俊一・菅原省吾・杉山裕子・千賀有希子・向井浩・山田佳裕 (2017) : 陸水環境化学. 共立出版, pp. 131.
- 半谷高久・小倉紀雄 (1995) : 水質調査法. 丸善株式会社, pp. 335.
- 国立天文台 (2014) : 理科年表・第 88 冊. 丸善株式会社, pp. 1092.
- 三田村緒佐武 (2021) : 水環境調査で失敗しないために—琵琶湖環境の復元と再生に向けて—. 滋賀県立大学環境ブックレット 9, サンライズ出版. pp. 105.
- 三田村緒佐武・安積寿幸・後藤直成 (2016) : 琵琶湖とその周辺内湖の湖盆形態の特徴. *陸水研究*, **3** : 21–34.
- 三田村緒佐武・石川聡子・石田典子・後藤直成・橘淳治・丸尾雅啓 (2014) : びわ湖内湖・西の湖における水環境教育. *陸水研究*, **1** : 5–15.
- Mitamura, O., Y. Seike, K. Kondo, N. Goto, K. Anbutsu, T. Akatsuka, M. Kihira, T. Quing, Tsering & M. Nishimura (2003): First investigation of ultraoligotrophic alpine Lake Puma Yumco in the pre-Himalayas, China. *Limnology*, **4**: 167–175.
- 成田哲也・遠藤修一・三田村緒佐武・奥村康昭・芳賀裕樹・中島拓男・上田孝明・小板橋忠俊 (2003) : 琵琶湖全域一斉陸水調査—日本陸水学会 100 年記念行事—. *陸水学雑誌*, **64** : 39–47.
- 岡本巖 (1992) : 琵琶湖調査ノート. 人文書院, pp. 235.
- 西條八東・三田村緒佐武 (2016) : 新編湖沼調査法第 2 版. 講談社, pp. 263.
- 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課 (2019) : 滋賀の環境 2018 (平成 30 年版環境白書). 滋賀県, pp. 88.
- Stumm, W. & J.J. Morgan (1996): *Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., pp. 1022.
- Tundisi, J.G. & Y. Saijo, eds. (1997): *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Science, São Paulo, pp. 513.
- Wetzel, R.G. & G.E. Likens (2000): *Limnological Analyses*. Third ed., Springer-Verlag, pp. 429.