

湖沼水質管理における自動測定データの活用手法

Application Method of Automatically Measured Data for Lake Water Quality Management

天野 耕二* 原田 正彦**

Koji Amano*, Masahiko Harada**

*立命館大学理工学部 **滋賀県草津土木事務所

*Ritsumeikan University, **KUSATSU Public Works Office, Shiga Pref.

琵琶湖南湖において自動測定されたデータを用いて、DO (Dissolved Oxygen、溶存酸素) と DIC (Dissolved Inorganic Carbon、溶存無機炭素) の 1 時間ごとの変化量から湖沼内部の呼吸量と光合成量を評価する上で生じる実湖沼独特のランダムな変動を取り除くデータ処理を試みた。呼吸量の推定時に「12 時間平均値」を用い、計算前に「重み付けを考慮した隣接 5 項間の移動平均」を用いることで、通常ありえないデータの出現率を 4~5%改善し、植物プランクトンなどの生物代謝特性を十分に評価できることがわかった。

自動測定データ、溶存酸素、溶存無機炭素、移動平均

automatically measured data, dissolved oxygen, dissolved inorganic carbon, moving average

1. はじめに

自動測定が可能な水質項目を連続的に測定して DO(Dissolved Oxygen、溶存酸素)および DIC(Dissolved Inorganic Carbon、溶存無機炭素)の変化量から光合成、呼吸量を推定する方法は Free water method などと呼ばれている。この手法は、水域全体での生物活動が評価できること、連続測定を行えば生物活性を短い時間間隔で測定できることなどの長所がある。本研究では、琵琶湖の連続測定データを用いてそのデータのばらつきの特性を分析し、移動平均法などいくつかのデータ解析手法を組み合わせることで実湖沼における自動測定データの活用手法を検討する。また、複数年度にわたるデータ解析により単年度だけではわかりにくい琵琶湖南湖における水質の中長期的な変動傾向を分析する。また、自動測定により得られる情報が従来型の手分析による有機汚濁指標とどの程度関連性があるのかという点についても分析を行い、実湖沼における自動測定データの位置づけを整理する。

2. 琵琶湖南湖における水質自動測定データ

本研究では、琵琶湖南湖の湖心(唐崎 - 伊佐々川中央部、草津川沖合 1.5km)の水質自動測定局においてほぼ一時間間隔で連続的に観測され、滋賀県立衛生環境センターが取りまとめているデータ¹⁾を使用した。水質自動測定局は、採水設備、測定機器、テレメータ装置から構成されており、表層水をポンプ吸引により採水した後、各種センサーや機器により水質を測定している。測定項目は、水質 9 項目、気象 6 項目、水象 3 項目である。このうち、光合成量、呼吸量の推定計算に使用する指標は、水温、pH、DO、風速の 4 項目である。水中の DIC を算定するために必要となるアルカリ度については、水質試験年報²⁾に記載されている毎月の平均値を内挿して時間値の算定に用いた。大気中の CO₂ 濃度に関しては、つくば山のモニターデータ³⁾から月平均値を用い、アルカリ度と同様に内挿することで算定した。また、風速に関してのみ風速計の劣化を考慮した風速データ補正を行った。本研究で解析したデータは、1990 年 8 月 1 日から 1997 年 3 月 31 日までの 6 年 8 ヶ月間(2435 日・58440 時間)のものである。

3. 自動測定データを用いた水域内の光合成・呼吸の活性度の推計手法⁴⁾について

湖沼内部では光合成や呼吸といった生物学的な現象により、DO や DIC が連続的に増減を繰り返している。本研究では、琵琶湖南湖湖心の水深が 2.5~4m と非常に浅いため、琵琶湖南湖が 1 つの完全混合のボックスと考えた。そして DO, DIC について (1) ボックス内での濃度は等しい (2) 一時間という短時間では流入・流出による変化量は非常に小さいと仮定することで、拡散や移流による影響が無視できると考えた。したがって、生物活動による変化量 B (M/h) は全変化量から大気交換による変化量を差し引くことで算定した。日光のない夜間の生物現象は光合成が行われず、その活動のほとんどが呼吸・分解であると考え、各日 20 時から翌日朝 4 時までの 8 時間における生物現象による変化量の平均値(M/h)を R (各日の一時間あたりの呼吸による変化量(M/h)) と定義した。さらに、呼吸速度が昼間も夜間も変化しないと仮定して、各日 8 時から 16 時までの 8 時間における生物現象による変化量の平均値(M/h)から前夜の R を差し引くことで、 P (各日の一時間あたりの光合成による変化量(M/h)) を求めた。

4. 琵琶湖南湖における DO と DIC の変動について

自動測定された連続データをそのまま用いて前述した計算を行い、 R -DO(呼吸による DO 変化量)、 R -DIC(呼吸による DIC 変化量)、 P -DO(光合成による DO 変化量)、 P -DIC(光合成による DIC 変化量)をそれぞれ求めた。夜間・昼間の平均値を計算する際に平均値計算に該当する 8 時間のデータがすべて欠測であった場合、その日の呼吸による変化量、光合成による変化量は欠測扱いとした。欠測日の比率は R -DO で 9.0%、 R -DIC で 4.1%、 P -DO で 10%、 P -DIC で 4.6%と DO の変化量のほうが欠測の多い結果となっている。

R を求めた 20 時から 4 時という夜間は、日光がまったくないため湖沼内部では呼吸・分解活動のみが行われているはずである。したがって、その間 DO は減少し、DIC は増加することが考えられる。しかしながら、 R -DO が正の値をとる場合(夜間に DO が増加する場合)が 16.7%、 R -DIC が負の値をとる場合(夜間に DIC が減少する場合)が 18.9%という生物学的には考えにくいという逆パターンが部分的に観測された。このような、呼吸による DO の増加や DIC の減少という矛盾した推計を避けるため、逆パターンは欠測扱いとして除外する必要がある。その結果、欠測日の比率は R -DO で 24.2%、 R -DIC で 22.3%、 P -DO で 25.1%、 P -DIC で 22.7%となり、2 割以上のデータが欠測扱いとなった。

5. 実湖沼における自動測定データの特徴とフィルタリング手法について

自動測定データを評価する場合、夜間の逆パターンの存在や、それに伴う測定データの使用率低下などの問題点に対処しなければならない。本研究では、特に測定間隔と測定値のばらつきの問題に対して効果的であると思われるデータ解析手法（フィルタリング手法）を提案し、それぞれの手法の効果を考察する。

まず、夜間のデータをどのような時間帯で評価するかについて考えてみよう。前節では、完全に日射がないと思われる 20 時から 4 時までを夜間と考えて、その 8 時間の生物状態は呼吸活動が支配的であるという仮定のもと計算を行った。ここでは、22 時から 2 時までの 4 時間平均（真夜中のみ）、18 時から 6 時までの 12 時間平均（夕方、早朝を含む）による呼吸量 R についても計算してみる。 P は従来どおり朝 8 時から夕方 16 時までの 8 時間平均を利用するものとする。

次に、pH、DO、水温、風速といった DO、DIC 変化量の計算に利用される測定値をそのまま使うのではなく、前後の測定値を含む移動平均を取ることで測定データを滑らかにしてから計算を行うという手法を試みる。移動平均法としては、隣接 3 項間の単純移動平均法（移動平均 A 法）、隣接 5 項間の単純移動平均法（移動平均 B 法）、隣接 5 項間の重み付けを考慮した移動平均法（移動平均 C 法）の 3 種類を考慮する。

フィルタリングによる効果を定量的に評価するために、「 R の逆パターン出現比率の改善率」という指標に着目してみる。逆パターン出現比率の改善率とは、フィルタリング手法の利用により R の逆パターンの出現確率がどれだけ低下したかを表すものである。正值をとるときは逆パターンの出現確率が低下、すなわち改善されていると考えることができる。

夜間の時間間隔と移動平均法の組み合わせによる逆パターン出現確率の改善効果をまとめたものを表 1 と表 2 に示す。表の項目から改善率が最も高い組み合わせは「12 時間平均」と「移動平均 C」の組み合わせであり、 R -DO で 4.4%、 R -DIC で 4.8% の改善がみられた。また「12 時間平均」と「移動平均 A」の組み合わせも R -DO で 4.3%、 R -DIC で 4.7% と、こちらも高い改善率が得られている。一方、移動平均 B は 8 時間平均のときは他の移動平均に比べ高い改善率を示したが、12 時間平均との組み合わせではあまり改善率が向上しなかった。この原因としては、移動平均 B は 12 時間平均を求める際に 5 項間の単純移動平均であったため、18 時や 6 時といったデータに対して前後 2 時間の昼間データの影響が強くなってしまったことなどが考えられる。

表 1 フィルタリング手法の組み合わせによる R -DO の逆パターン改善効果

R-DO Percentage of Negative Pattern		代表値の選択方法			
		8時間平均値	8時間中央値	4時間平均値	12時間平均値
元データの平滑化手法	移動平均なし	基準	-13.0%	-6.1%	4.2%
	移動平均A (単純 3項間)	1.5%	-0.3%	-3.5%	4.3%
	移動平均B (単純 5項間)	2.7%	1.5%	-0.8%	4.2%
	移動平均C (5項間重み付け)	2.4%	2.0%	-2.1%	4.4%

表 2 フィルタリング手法の組み合わせによる R -DIC の逆パターン改善効果

R-DIC ネガティブ・パターン改善率		代表値の選択方法			
		8時間平均値	8時間中央値	4時間平均値	12時間平均値
元データの平滑化手法	移動平均なし	基準	-30.4%	-10.1%	4.6%
	移動平均A (単純 3項間)	1.5%	-4.6%	-5.7%	4.7%
	移動平均B (単純 5項間)	3.4%	0.7%	-2.1%	4.5%
	移動平均C (5項間重み付け)	2.8%	0.7%	-3.7%	4.8%

6. 実湖沼の水質管理における自動測定データの有用性

図 1 は R -DO、 R -DIC、 P -DO、 P -DIC の絶対値の変動（「 R 12 時間平均」と「移動平均 C（5 項間の重み付けを考慮した移動平均法）」の組み合わせによるフィルタリング済み）と各月の COD 値（水質年表 5）に掲載された琵琶湖南湖の測定点、全 19 地点の平均値）をグラフ化したものである。1991 年の DIC の項目を除き、ほとんどの項目において COD と連動した変動をしていることがわかる。年度ごとにそれぞれの項目ごとの相関係数を求めた結果、すべての項目において有意な相関（危険率 1%）

が確認できた。水域の植物プランクトンの状態を表現しているとされている Chl-a と R, P との関係についても、同様の結果が得られた。COD と同じ傾向として、R よりも P の方が、DIC よりも DO の方が強い関係があることが確認された。

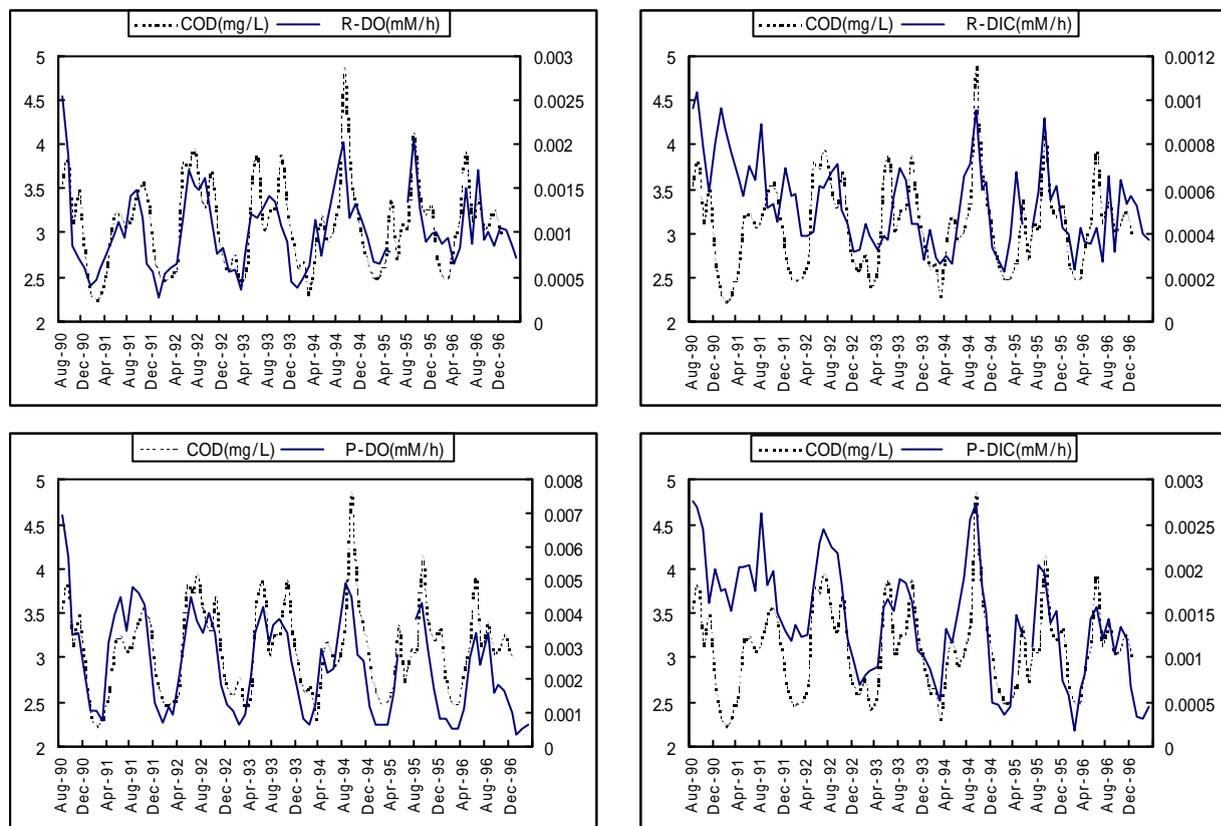


図1 R、PとCODとの関係

7. おわりに

本研究で提示したデータ分析手法により、自動測定データから得られる P, R といった光合成や呼吸による変化を評価した指標が、季節変動も含めた中長期的な観点において水域の生物活性および物質循環の状態を十分モニターすることが示された。pH, DO などの連続監視によって COD 等の有機物指標をある程度代替するという可能性があると言える。データ処理上の問題は若干残っているが、自動測定項目として比較的成本の低い pH, DO を用いた P や R によって COD, Chl-a を代替的に推計することが、水質モニタリングという行政的制約のかかる管理部門に関しては有効ではないかと考える。

また、自動測定データを利用する上で最も有用であるのは、月一回という定期的な測定では把握することが困難である短期的な変動をモニターするという点である。プランクトンの急激な増加や、種の変遷といった突発的な変化は、何らかの形で連続測定データの結果に影響しているものと思われる。今後プランクトンデータも含め詳細の分析を進めていく必要があると思われる。

参考文献

- 1) 滋賀県環境衛生センター(1992-1998)、水質常時測定データ集
- 2) 滋賀県企業庁(1992-1998)；水質試験年報
- 3) 環境庁大気保全局；国設大気測定網測定結果
- 4) 福島武彦、松重一夫、R.S.J. Weisburd(1995)；DO, pH の連続測定による気液ガス交換、光合成、呼吸速度の推定方法について、水環境学会誌、18、279-289.
- 5) 建設省(1992-1998)；水質年表