

## 1. はじめに

本講演では筆者が取り組んできた琵琶湖の水質形成機構解明に関する研究を例に、主に湖における水環境研究とシミュレーションとの関係について紹介する。

## 2. 琵琶湖水質調査

これまでに琵琶湖において非常に多くの水質調査が行われてきたし、現在も行われている。しかし、琵琶湖が非常に大きいということも理由の一つであるが、琵琶湖全域を対象とした調査は1962～1965年に実施された琵琶湖生物資源調査と1992年に実施された水環境現況総合調査の2つしか見あたらない。さらに、季節変動や時間方向での平均的水質を把握するために一定期間継続したものとなると、前者の琵琶湖生物資源調査のみとなる。

琵琶湖のように規模の大きい湖沼でこそ、空間方向での水質分布の違いを把握することが重要なのであり、なおかつ琵琶湖が関西圏1,400万人に各種用水を供給し、農・漁業の場、観光の場としても重要な存在であることから、継続的なモニタリングが実施されてしかるべきであるが、現実にはそのような調査はほとんど行われてこなかった。

これまで比較的清澄な水質を維持してきた琵琶湖北湖において、CODの上昇やアオコの発生など水質悪化を懸念させる現象が報告がなされている。さらにピコプランクトンの大量発生、チオプロローカの発見など生態系の変化を示す報告もあり、琵琶湖の水質がどのような過程を経て形成され、どのような方向に変化しつつあるのかを把握することは非常に重要な課題であると考えた。

そこで、筆者ら京都大学水環境研究室のグループは建設省(当時)、(財)琵琶湖・淀川水質保全機構のご協力のもと、立命館大学と共同で琵琶湖全域を対象とした水質調査を実施した。調査は1995年4月から2000年1月までの約5年間、3ヶ月に1度の頻度で湖内75の地点において測定するというものであった。概要を図1に示す。

このような湖全域を対象とした継続的な調査により、図2に示すような水質の分布特性およびその季節変化が明らかとなった他、後述する湖内物質存在量の推定が可能となるなど、水質形成機構の一部を解明することが可能となった。

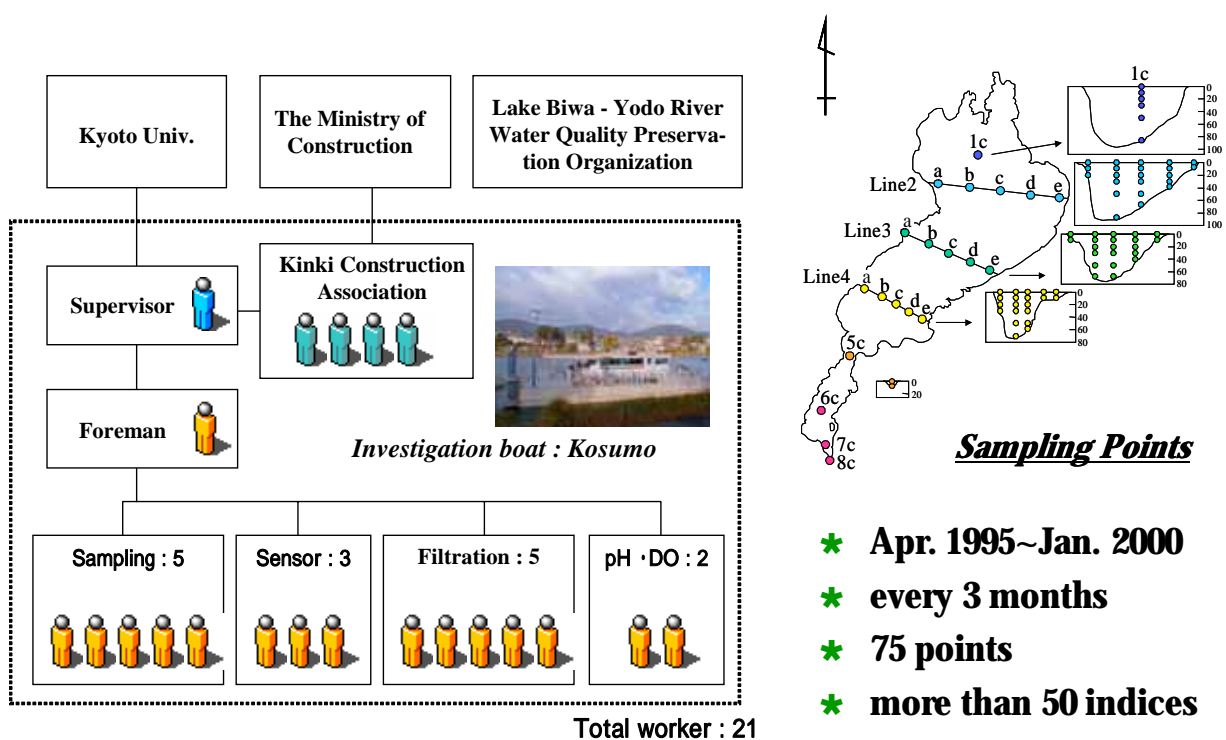


図1 琵琶湖水質調査の概要

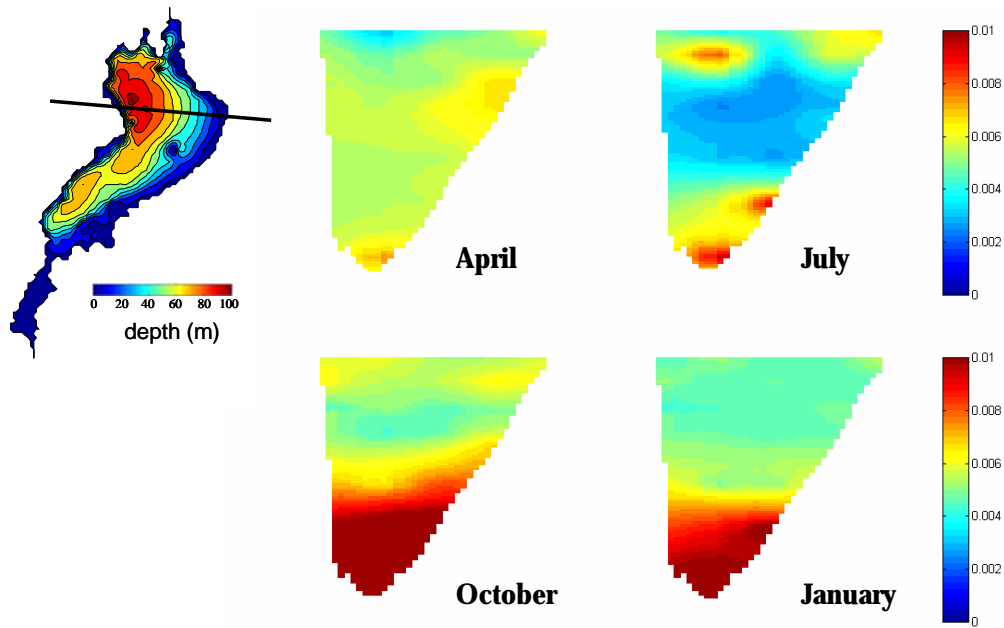


図2 琵琶湖の溶存態窒素濃度分布（季節平均）

### 3. 琵琶湖内物質収支の評価

湖沼の水質問題を考える際、対象湖沼に関する物質収支を評価することで湖沼水質形成過程に関し多くの知見を得ることができる。そこで、我々は物質収支の観点から琵琶湖の水質形成過程を把握することを目的に、先の水質調査の結果をもとに琵琶湖水中内の物質存在量推定を試みた。

湖水中の物質存在量は濃度と水量の積として計算される。しかし、特に琵琶湖のように規模の大きな湖沼においては物質が三次元的に不均一に分布する一方、湖内水質分布を高い空間分解能で観測することが事実上不可能であるため、何らかの方法により、少数の観測データから水質濃度の分布状況を推定することが存在量計算の精度向上に不可欠である。

筆者らは次のような方法により詳細な湖内水質分布を推定した：1) 琵琶湖を500m × 500m × 1mのメッシュに分割する、2) 調査で得られた75地点の濃度測定値をもとに各メッシュの濃度値をスプライン法により補

間推定する。

このようにして得られた湖内水質分布から湖内存在量を計算すると、調査期間の平均では窒素は約  $11 \times 10^4$  tonN、リンは約 230 tonP 存在していたことが分かった。この量は、文献より推定した1年間の流入負荷量 ( $7.9 \times 10^3$  tonN/yr, 830 tonP/yr) に比較し、1.4倍（窒素）、0.3倍（リン）の大きさである（図3を参照）。琵琶湖においてはリンの回転が速いことが分かる。また、各調査時のリン存在量も大きく変動していた。

### 4. 水質の短期変動成分にと降水との関係

琵琶湖では窒素/リン比が40(gN/gP)程度と高く、リンが一次生産を制限していると考えられる。なおかつ、先に示したように湖内のリン量は時間的に大きく変動していた。では、なぜリン量に変化するのだろうか？ また、リン量の短期的な変化は一次生産に影響を及ぼすのだろうか？

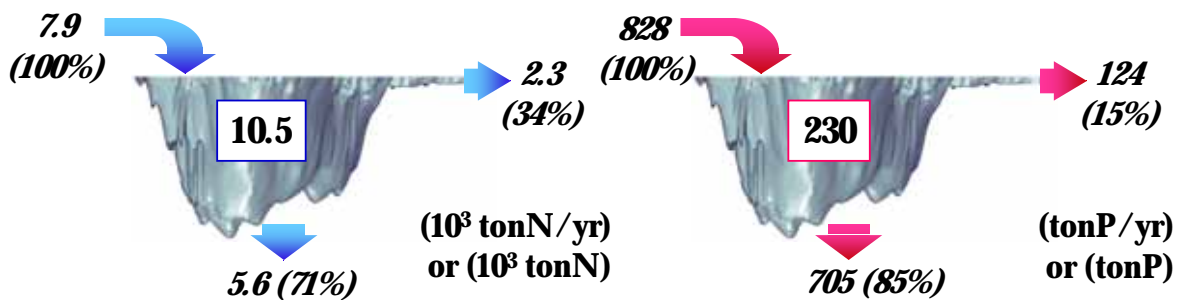


図3 琵琶湖における窒素（左）、リン（右）の収支

先に示した筆者らの水質調査は3ヶ月に1度の頻度で実施していた。全域を対象としており空間的には密な調査であるが、時間的にはそうとも言えない。特に、一次生産のように日～週という時間オーダーで変化が起こる現象を考える上では時間密度が不十分である。

そこで、滋賀県が実施している水深別水質調査の結果をもとに、先の疑問について考察を行った。この調査は月に2回、北湖の最深部付近（今津沖中央）にて実施されているもので、他のものに比べ測定間隔が短いという特長がある。

筆者はまず、この調査で得られた全リン、クロロフィルa、SSの時系列データをフーリエ変換により3つの変動成分に分解した。3つの成分とは、1) 長期成分、2) 周期成分、そして3) 短期成分である。全リンの結果を図4に示す。周期成分とは毎年同じ変化を繰り返す変化を意味している。琵琶湖の場合、表層では1月から6月の間、濃度は徐々に上昇し、その後低下していく。この変化が基本パターンであり、これに長期成分、短期成分が加わったものが実際に観測される変化となる。長期成分とは1年以上の周期を持つ、ゆったりとした変化であり、短期成分はそれ以外のもの、すなわち、1年未満の変動成分である。

次に、ここで得られた短期成分と彦根气象台で観測された降水量との相互相関係数を評価した。湖へ流入するリン負荷の多くは降雨時に流入することが分かっており、筆者はリンの湖内存在量の変動が降雨時の流入によるものではないかと考えたからである。

結果を図5に示す。全体的に相関係数は低い。これは今回用いた水深別水質調査の頻度が月に2回と他の調査に比べればよいものの、今回のような解析においてはまだ時間密度が大きすぎることで、集水域から北湖中央部への到達経路は複数存在し、その各々が異なる

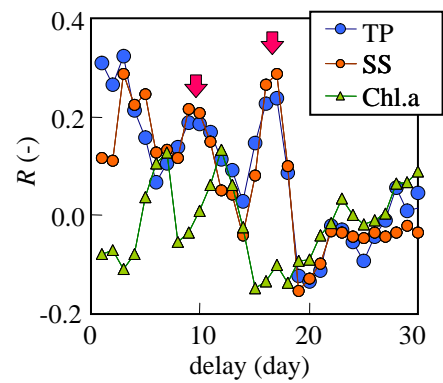


図5 水質の短期変動成分と降水量との相互相関係数

時間遅れを有すること、負荷の流出・輸送が非線形な現象であることによる。

相関係数が小さいながらも、いくつか興味深い結果が得られている。まず、全リン（TP）の結果で10日目および17日目付近においてピークが現れていることである。次に、全リンとSSで傾向がほぼ同じであること。この2点から、集水域に降った雨により、懸濁物質に付着したリンが10～20日程度の後、北湖の中央まで到達していると推定される。

ところが、同図中に示したクロロフィルa（Chl.a）の結果は他の2つとは変化が異なる。リンが到達して数日の後に一次生産が活発化する場合には、全リンの変化に遅れ、同じような傾向でクロロフィルaの変化が現れるはずである。しかし、今回の結果でははっきりとそのような傾向を読み取ることは出来ない。

以上の結果より、湖内リン存在量の変動は降雨にともなう集水域からの懸濁態リンの流入の寄与が大きいこと、その一方で、北湖中央部では懸濁態リン流入に伴う一次生産の明らかな増加は認められないことが分かった。

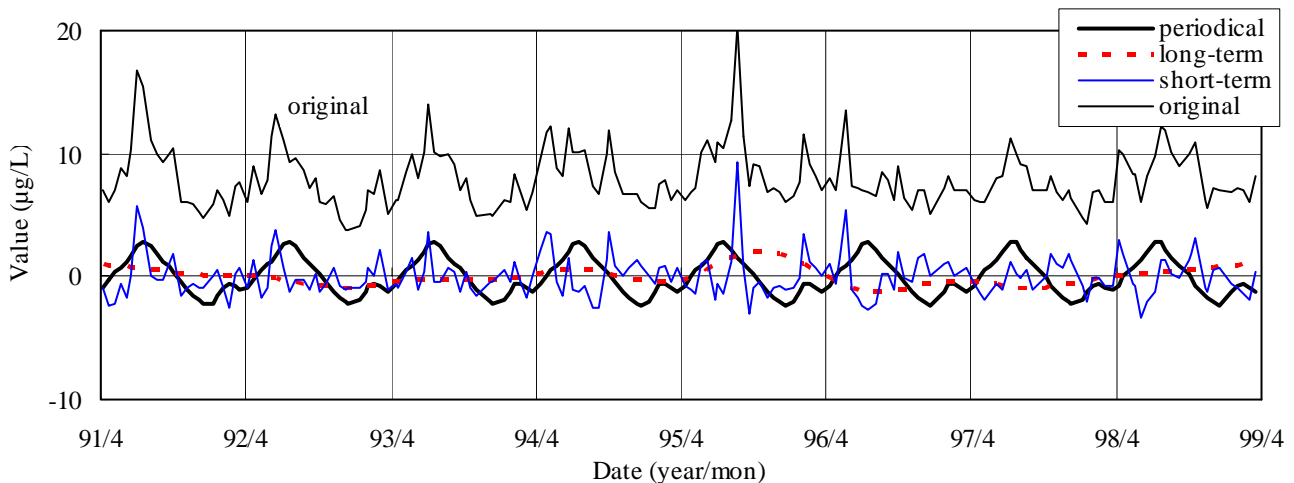


図4 フーリエ変換による水質成分の分解結果（水深10m）

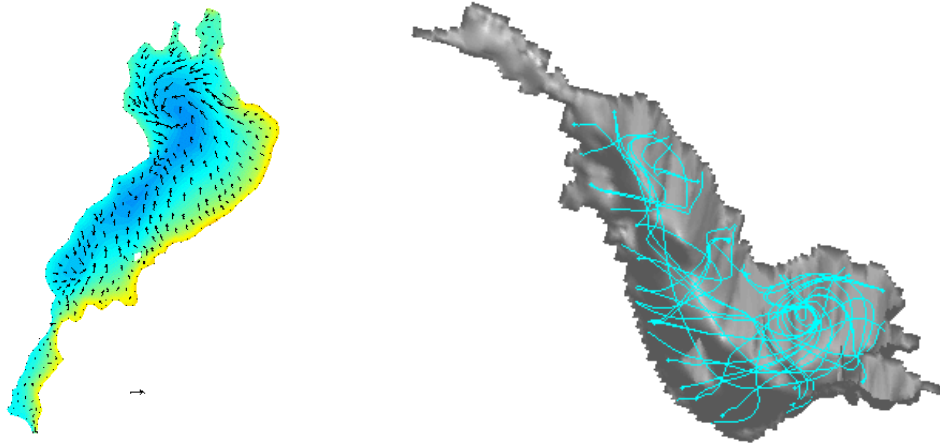


図5 流動モデルの計算結果（左：水面での温度分布と流動状況、右：琵琶湖の北東方向上空から眺めた三次元での流動状況）

## 5. 今後の展開

4. に示した解析では、湖へ入ってから北湖中央部に至る経路については全く無視し、その上で10～20日の遅れがあるなどの議論を行っていた。しかし、現実には起きている現象は非常に複雑であり、その過程を正しく評価していく必要がある。

筆者は、琵琶湖内の水の動きをコンピューター上に再現するモデルを構築し、湖内移動過程における水質の変化過程を把握していこうと考えている。このモデルは琵琶湖を26の層、全9,805のブロックに分割し、水の流向・流速および水温の変化を計算するものである。結果の一例を図5に示す。現在までに、このモデルを用い冬期の気象が融雪期の湖内流動状況に及ぼす影響に関する評価を行った。今後はさらに計算期間を延ばし、かつ対象とする物質を増やし、詳細な水質形成の過程を把握していくつもりである。

また、微生物量の変化を計算するシミュレーションにおいても、従来のものとは異なるものを検討していきたいと考えている。

従来のモデルは微生物の個体数の変化を計算するのが一般的であった。このモデルでは構造が簡単であり、計算量が少なく、コンピューターにかかる負担も小さかった。しかし、近年のコンピューターの能力向上により、より複雑な計算も可能となっている。

現在考えているモデルで計算された結果の一例を図6に示す。このモデルは、ある空間における植物プランクトン・動物プランクトンの各固体の位置と増殖・死滅を計算するものである。計算結果では時間とともにプランクトンの位置が変化しながら、量が増減している様子が見て取れる。このようなシミュレーションにより従来とは異なる知見を得られるのではないかと期待している。

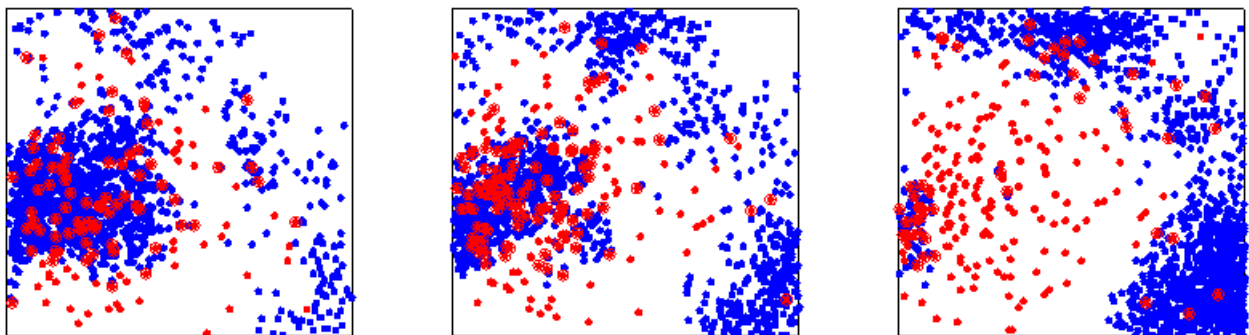


図6 微生物のマルチ・エージェントシミュレーション

四角の枠が計算領域、各点がプランクトン1個体を表す。3つの図は異なる時間におけるプランクトンの分布を表しており、左から右の方向へ時間が進行している。