

【5-1304】湖沼のブラックボックス負荷「底泥溶出」の定量評価に関する研究（H25～H27；累計予算額 96,368 千円）

今井 章雄（国立研究開発法人国立環境研究所）

1．研究実施体制

（1）湖沼のブラックボックス負荷「底泥溶出」の定量評価に関する研究（国立研究開発法人国立環境研究所）

2．研究開発目的

本研究では、霞ヶ浦等を対象として、(i)有機物、窒素およびリンに係る底泥溶出量(フラックス)の季節的・地点別の長期的変動を定量的に算定する、(ii)フィールド調査や室内実験等を駆使して、溶出フラックスと底泥での物質濃度・組成(有機物、糖類、窒素、リン、鉄、イオウ等)と微生物群集構造(バクテリア、藻類等)の関係を評価することにより、底泥溶出メカニズムを明らかにする、(iii)霞ヶ浦流域における長期に渡る気象・水温データ等を用いて熱収支モデル解析を実施して、気温上昇等の変化が底泥温度に及ぼす影響を評価する、(iv)湖沼三次元モデル解析等により、有機物、栄養塩について底泥溶出の寄与を定量評価する、さらに底泥溶出に係る効果的な対策シナリオを提言すること、を目的としている。

3．本研究により得られた主な成果

(1)科学的意義

- 1．霞ヶ浦における有機物(溶存有機物、DOM)、窒素(NH₄-N)およびリン(P₀₄-P)に係る底泥溶出量(フラックス)の長期変動(12～19年間)、季節的・地点別変動を定量評価した。これだけの長期トレンドを報告した研究例は国内外で皆無であり、得られたデータは学術的に非常に貴重なものである。底泥溶出現象の「非ブラックボックス化」を達成した。
- 2．霞ヶ浦において、栄養塩、特にNH₄-Nの底泥溶出メカニズム(2006年以降)を明らかにした。珪藻類の増殖がトリガーとなり、当該藻類の沈降・堆積、底泥の嫌気化、底泥細菌群集構造の変化、タンパク質分解活性の高い細菌属(Firmicutes 門)の優占、結果として、間隙水NH₄-N濃度、溶出フラックス、湖水NH₄-N濃度の上昇、アオコ発生、そしてアオコ藍藻類の底泥への沈降・堆積と連動・連鎖していると示唆された。この連動が「負のサイクル」として周回する度に溶出フラックスとアオコ発生量が増大して、2011年の大規模なアオコ発生に至ったと結論された。
- 3．底泥間隙水DOM、NH₄-N、P₀₄-P濃度は顕著に経月・経年変化することが明らかとなった。特に間隙水NH₄-N濃度が劇的に急上昇する現象を捉え、その原因を明らかにしたことは重要な発見・進展であった。
- 4．底泥におけるユスリカの巣穴構造やガス胞の構造を、各々、MRI撮影とX線CT撮影によって世界で初めて定量的に明らかにした。底泥をMRIやCTで撮影した報告例は皆無である。学術的新規性は極めて高い。
- 5．底泥のリンはMnと非常に高い正の相関を示した。FeやAlとも正の相関が認められた。一方、深さ4-6cm層まではリンとSの間に負の相関が見られた。リンとFe、Al、Sの関係は想定内であったが、Mnとの高い相関は新しい発見であった。
- 6．底泥酸素要求量(SOD)に係る現場型の簡易的測定法を独自に開発した。バイアル瓶に底泥の層構造を壊さないように挿入して、密閉後に、バイアル瓶内部に貼付した蛍光式酸素センサーを使ってDO濃度の変化を測定することによってSODを決定した。従前の測定法の煩雑な作業が払拭された。
- 7．底泥間隙水DOMの分子サイズ分布を全有機炭素(TOC)検出で初めて明らかにした。分子量

- 35,000 Da 以上で UV 吸収能がほとんどない高分子 DOM 画分が存在することがわかった。この知見はこれまでに国内外で報告されたことはない。得られたデータの学術的価値はとても高い。
- 8．海中の溶存有機物 (DOM) の分子サイズ分布を全有機炭素 (TOC) として世界で初めて明らかにした。海水 DOM でも陸水 DOM と同様に、1 万 Da 以上の高分子と 2 千 Da 以下の低分子ピークから成ることがわかった。
 - 9．間隙水 NH₄-N の急激な濃度上昇は、底泥細菌群集での Firmicutes 門 Bacillus 属の急激な優占化して、同 Bacillus 属が持つ npr 遺伝子によるタンパク質分解が活性化したためと示唆された。底泥溶出と底泥細菌群集の間に密接な関係が具体的に示唆された。学術的な意義は高い。
 - 10．開発した熱収支モデルを使って、霞ヶ浦の長期 (30 年間) 水温計算を実施した。結果として、湖水温や底泥表層の泥温は上昇傾向にあることが確認された。

(2)環境政策への貢献

- 1．環境省湖沼水環境調査検討会 (平成 25 年度) において、本研究の成果 (底泥間隙水での DOM や栄養塩濃度の変化、底泥微生物群集構造、物質収支モデル解析等) は当該検討会資料「難分解性有機物に関する検討について」において多数引用された。
- 2．本研究の底泥溶出に係る成果・知見は、八郎湖、十和田湖等の湖沼を管理する県の湖沼水質保全計画の作成等に活用された。
- 3．研究で開発・確立された底泥酸素要求量 (SOD) の現場型簡易測定法は、底層 DO と密接に関係する SOD を比較的簡単に測定できることを明示することで、迫る底層 DO の環境基準への導入にあたり、環境行政に貢献したと言える。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 1．研究において底泥溶出フラックスの長期に渡る定量的なデータが得られた。今後の湖沼管理では定量的な底泥溶出フラックスデータが求められる。当該データは湖沼環境保全計画や対策を立案する際に大いに活用が見込まれる。
- 2．本研究では、底泥溶出削減やアオコ発生抑制に係る湖沼水質保全対策を、夏季よりは冬季・春季に実施したほうが有効であることが示された。従って、この知見が活用されれば、当該対策の実施の在り方が抜本的に変更される可能性が高い。
- 3．本研究で開発された SOD の現場型簡易測定法は、底層 DO に係る管理・制御に対して有用なデータをもたらす。底層 DO に係る行政対策立案に大いに活用されると想定される。

4．委員の指摘及び提言概要

霞ヶ浦底泥溶出のフラックスやメカニズムに関して多面的アプローチで調査研究を行い、学術的価値の高い知見を多く得ている。一方では、底泥溶出負荷量の測定と変動要因解析、では多くのデータが示されながら、「変動要因」については議論がなされていない、などの課題も残されている。今後は、底質の上層水と底質間隙水との濃度勾配の算出法や拡散係数の温度依存性等を詳細に吟味し、溶出フラックスに関する定量性を高めていく必要もあると思われる。

5．評点

総合評点：A