

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630223

研究課題名(和文) 安定同位体を用いた湖沼一次生産の新計測法開発と藻類生態解析への展開

研究課題名(英文) Primary production estimation in lakes by the use of stable isotope and application to ecological modeling

研究代表者

梅田 信 (Umeda, Makoto)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10447138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：富栄養化した湖沼である伊豆沼においては、湖内植生のうち大型高等植物としてハスを対象とした現存量を含めた季節的な消長や栄養塩循環についての観測を行った。この観測結果を基として湖沼の水質・植生環境の解析モデルを構築した。また、貧栄養湖の支笏湖および倶多楽湖と中栄養湖の琵琶湖を対象に、溶存酸素の三酸素同位体組成を使って総一次生産速度を定量し、硝酸の三酸素同位体組成を使って新生産速度(硝酸同化速度)を定量し、それらの差から再生産速度を計算できないか試み、一次生産が最も活発な時期であると考えられる春先から夏までの間の各速度を見積もった。

研究成果の概要(英文)：In Lake Izunuma, which is highly eutrophic, we conducted field measurements on the dominant macrophyte of lotus (*Nelumbo nucifera*) in this lake with regard to seasonal biomass change and nutrient cycling. Based on those data, we developed a numerical model to analyze water quality and vegetation in the lake. By the use of triple oxygen isotopes of dissolved oxygen, gross primary production was estimated in an oligotrophic lake, Lake Shikotsu and Lake Kuttara, and in a mesotrophic lake, Lake Biwa. By the use of triple oxygen isotopes in nitrate nitrogen, new production rate was also estimated. By considering the difference between those factors, regeneration production was estimated.

研究分野：水工学

キーワード：湖沼環境

1. 研究開始当初の背景

湖沼やダム貯水池は、水資源として重要なものであり、水質管理の必要性は論を俟たない。一方で、閉鎖性水域の水質改善は十分進んでおらず、我が国の水環境管理における課題となっている。特に近年、飲料水への異臭味発生を代表例として、藻類が原因となる水質障害が国内で頻発している。しかし、原因藻類や増殖環境の特定について、未解決な部分が多い(例えば木村ら 2012)。

その理由の一つに、実際の貯水池内での藻類増殖速度(一次生産)についての把握が不十分なことが挙げられる。従来法として、室内・現場での培養実験や明暗ビン法などがあるが、実際の現地増殖条件を反映しきれないことや、時空間的な分解能が不十分といった課題があった。

一方、同位体分析技術が近年、急速に発展し、これまで測定が困難だった三酸素同位体(^{16}O , ^{17}O , ^{18}O)を活用し、一次生産量や物質循環の計測が可能となりつつある。この方法は、現在のところ海洋分野で多少の事例(Luz and Barkan, 2000, Konno et al., 2010 など)があるが、湖岸等の境界条件が複雑であり、藻類の種構成が異なる陸水環境に対しては、解析方法を再検討する必要があると考えられた。

2. 研究の目的

我が国の主要な水資源となっているダム貯水池など閉鎖性水域の水質管理では、藻類(植物プランクトン)が起因して生じる問題(代表的にはアオコや、飲料水への異臭味発生)の解決が大きな課題である。解決に至る一つの鍵は、藻類増殖による一次生産量について、現場における詳細な時空間的把握にあると考えられる。本研究では、新しい天然トレーサーとして注目されつつある三酸素同位体を用いて、閉鎖性水域における一次生産の計測方法を開発する。その上で、積分的な環境効果を反映する安定同位体による解析と、微分的な解析が可能な湖水流動・藻類生態シミュレーションを併用し、閉鎖性水域における藻類生態・物質循環像の解明に寄与する解析手法の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1)湖沼の一次生産に関する現地計測実験

湖沼や海洋といった水環境における総一次生産速度は、光合成による総炭素固定速度を示す指標であり、個々の水環境を代表する基本パラメータである。総一次生産速度は、硝酸やアンモニアといった固定態窒素の供給速度によって制限されている水環境が多いことから、総一次生産速度は窒素循環とリンクさせて評価されることが多い。例えば、総一次生産速度を窒素源によって大きく2つに分け、大気や深層から有光層内へ供給される硝酸や分子状窒素を利用した一次生産速度を「新生産速度」、有光層内の生物活動

に伴って放出されたアンモニアや溶存態窒素化合物を利用した一次生産速度を「再生生産速度」と呼んで、水環境中の物質循環を区別して評価する。総一次生産速度やこれに関連したパラメータは、酸素明暗瓶法や炭素同位体(^{13}C 又は ^{14}C)濃縮試薬添加法、窒素同位体(^{15}N)濃縮試薬添加法といった培養に依拠した手法によって定量するのが最も一般的である。しかし、このような人工的な培養環境で見積もられた速度は、実際の水環境の速度を正しく反映していない可能性がある。また、これらの手法で得られる速度はあくまでも観測時点における瞬間速度であるため、平均速度との間に速度の時間変化に起因する誤差が生じる。本研究では、湖沼水に溶存している物質の自然同位体組成から、培養に頼らずにこれらパラメータを評価できないかの検討を実施した。地球上の大部分の含酸素化合物中の三酸素同位体の存在比は、質量依存同位体分別則に従った一定の関係を保った値を持つが、大気中のオゾンの生成反応はその関係から大きく逸脱した同位体分別を示す。そのため、オゾンが生成過程などに関与する大気中の酸素分子や硝酸の三酸素同位体組成は、水中の光合成によって生成される酸素分子や有機物の分解過程によって生成される硝酸の三酸素同位体組成とは異なる値を示す。この三酸素同位体組成は一般的な反応では変化せず、異なる三酸素同位体組成を持つ分子同士の混合によるみ変化することから、一方の流入速度が決まれば他方の流入速度も決まるという具合に、水環境における酸素分子や硝酸の循環速度の定量に用いることができる可能性がある。こうして求められる速度は観測日間の平均値であり、従来の瞬間値を求める手法に比べて簡便でかつ確度の高い手法となる可能性がある。

(2)湖沼の一次生産シミュレーション

シミュレーションモデルの構築は、宮城県北部にある浅く富栄養化した湖である伊豆沼を対象とした。伊豆沼においては、ハス(*Nelumbo nucifera*)が湖内植生としては優占している。この繁茂が富栄養化現象として寄与が大きいと考えられたことから、ハスを対象とした解析を実施した。ハスの葉と地上茎(「地上部」とする)および枯死体の現存量動態のモデル化を行った。枯死体に関しては、易分解の枯死体と難分解の枯死体に分けて計算した。また、出水後に生じた枯死体は、季節的に枯れるものとは分解速度が異なるとして扱った。地上部および枯死体の現存量は以下の式で表した。

$$\frac{dB}{dt} = (P - R - E - N)B$$

$$M = M_1 + M_2 + M_3$$

$$\frac{dM_1}{dt} = rNB - D_1M_1$$

$$\frac{dM_2}{dt} = (1-r)NB - D_2M_2$$

$$\frac{dM_3}{dt} = -D_3M_3$$

ここで、 B : 地上部の現存量 [g/m^2], P : 成長率 [$1/d$], R : 呼吸率 [$1/day$], E : 分泌率 [$1/d$], N : 枯死率 [$1/d$], M : 枯死体の現存量 [g/m^2], M_1 : 易分解枯死体量 [g/m^2], M_2 : 難分解枯死体量 [g/m^2], M_3 : 出水時の枯死体量 [g/m^2], D_1 : 易分解枯死体の分解率 [$1/d$], D_2 : 難分解枯死体の分解率 [$1/d$], r : 易分解枯死体の比率, D_3 : 出水時枯死体の分解率 [$1/d$] である。計算時間間隔は 10 日間とした。気温は築館地点のアメダスのデータ, 日射量は仙台管区気象台におけるデータをそれぞれ 10 日毎に平均したものを与えた。

4. 研究成果

(1) 湖沼の一次生産に関する現地計測実験

対象とした水環境試料は、貧栄養湖の支笏湖と俱多楽湖, および中栄養湖の琵琶湖であり, それぞれ同一年内に 2 回 (春と夏) 試料採取を行い, その間における湖水中の溶存酸素および硝酸の三酸素同位体組成の鉛直分布とその変化から一次生産が最も活発な時期であると考えられる春先から夏までの間の各速度を見積もった。その結果, 貧栄養湖の方が中栄養湖に比べて新生産の割合 (f-ratio) が低く, 特にリン制限の極貧栄養湖である俱多楽湖の一次生産の大部分は再生生産によることが分かった。

(2) 湖沼の一次生産シミュレーション

枯死体の分解による湖内への栄養物質負荷と, 湖外からの流入および流出による栄養物質負荷量の比較を行い, ハスの湖沼環境に対する影響の推定を試みた。計算期間中の地上部および枯死体の窒素・リン・炭素含有率は, 観測データから与えた。すなわち, 地上部の窒素とリン含有率については, 観測結果を時間的に 10 日間で直線補間した。これに対して, 地上部の炭素含有率と, 枯死体のリン・窒素・炭素含有率は, 季節的な変化がほとんどないことから, 観測データを平均した値で一定として与えた。河川からの流入量については, 既往研究を参考に, 流出率 57% を仮定して, 集水面積と日降水量から, 月毎の流量を算出した。このような計算に基づいて得られた結果として, 表に年間の流入負荷量, 流出負荷量および枯死体からの負荷量を示す。ハスの枯死体からのリン, 窒素, 炭素負荷量の推定結果は, いずれも流入・流出負荷量と比較して大きい。特に炭素は, ハスからの負荷量が流入・流出負荷量の十倍以上の差が見られた。一方, 観測データによると, 水質に関しては湖内の TOC と流出の TOC はほとんど差が無く, 底質については炭素含有率

の季節変化が見られなかった。本研究の計算結果によると, 晩秋以降にハスが枯れ, 枯死体量が増加するが, 翌年の夏期には増加した枯死量とほぼ同程度の量が分解しているといった結果が得られる。このような本研究の結果について, 水質・底質・生物 (植生, 生態系) の総合的な観点から, さらに検証を行い, その上で水環境改善の対策を検討していく必要があると考えられる。

表 栄養物質の年負荷量推定結果

	流入負荷量 [t/年]	流出負荷量 [t/年]	枯死体からの 負荷量 [t/年]
リン	2.2	3.0	7.8
窒素	3.4×10	2.9×10	7.3×10
炭素	1.6×10^3	1.9×10^2	2.8×10^3

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

(1) 梅田信, 仲田信也, 嶋田哲郎, 藤本泰文: 伊豆沼における湖内植生の観測と解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72, I_643-I_648, 2016, 査読有。

(2) 梅田信, Le Thi Thanh Thuy, Nguyen Trung Viet: ベトナムハノイの浅い富栄養湖における水質環境計測, 東北地域災害研究, 52, 109-114, 2016, 査読無, http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp/tohoku_nds//ndsjournal/volume52/52-19.pdf.

〔学会発表〕(計 6 件)

(1) F. Nakagawa, U. Tsunogai, D. D. Komatsu, T. Ohyama, T. Miyachi, H. sakuma, M. Umeda, A. Tanaka: In situ estimation of new and regenerated production rate in lakes using triple oxygen isotopes as tracers, AOGS 12th Annual Meeting, 2015 年 8 月 2 日, Suntec Convention Centre, Singapore (Singapore).

(2) 中川書子, 角皆潤, 小松大祐, 大山拓也, 宮内貴規, 佐久間博基, 南翔, 蓼沼雪衣, 梅田信, 田中敦: 三酸素同位体組成を用いた湖沼における新生産量および再生生産量の定量, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 2015 年 5 月 24 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県・千葉市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅田 信 (UMEDA, Makoto)
東北大学 大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10447138

(2) 研究分担者

中川 書子 (NAKAGAWA, Fumiko)
名古屋大学 大学院環境学研究科・准教授
研究者番号：70360899

(3) 連携研究者

()

研究者番号：