

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20570013

研究課題名(和文) 湖沼沿岸生態系食物網の解析的研究：浮遊系食物連鎖と底生系食物連鎖の連結

研究課題名(英文) ANALYTICAL STUDY ON FOODWEB OF COASTAL ECOSYSTEM OF LAKE: CONNECTION BETWEEN PLANKTONIC AND BENTHIC FOOD CHAINS

研究代表者

菊地 永祐 (KIKUCHI EISUKE)

東北大学・東北アジア研究センター・名誉教授

研究者番号：00004482

研究成果の概要(和文)：

ラムサール条約の登録湿地である伊豆沼を対象として、炭素・窒素同位体比解析を用いて、その食物網の全容をとらえ、浮遊系と底生系食物連鎖の混じり合いや高次消費者(魚類)への寄与を調べた。その結果、伊豆沼の食物網を支える主要な一次生産者は植物プランクトン(浮遊系食物連鎖)と付着藻類(底生系食物連鎖)であること、高次消費者(魚類)の殆どは植物プランクトンと付着藻類の両方の起源の餌を食べており、それらが両食物連鎖を連結していることがわかった。

研究成果の概要(英文)：

We investigated the whole-lake food web in Lake Izunuma, which was one of the Ramsar sites, using carbon and nitrogen stable isotope analysis, and thereby the contributions of pelagic and benthic prey to animals with high trophic position (fish consumers) and the connection between pelagic and benthic food chain in the food web. In Lake Izunuma, the main producers of the food web were phytoplankton (pelagic food chain) and attached algae (benthic or littoral food chain) and most fish consumers had intermediate carbon isotope ratios between phytoplankton and attached algae, indicating they foraged broadly across pelagic and benthic food chains, thereby linking pelagic and benthic food chains.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：食物網、湖沼沿岸帯、安定同位体比解析、浮遊系食物連鎖、底生系食物連鎖、餌資源解析

1. 研究開始当初の背景

近年、生態系の食物網や動物の餌資源の解析に炭素・窒素安定同位体比を天然のトレーサとして用いる手法が一般的に採用される

ようになっている。これは生産者や消費者の炭素・窒素安定同位体比を調べることにより、その餌物質や栄養段階での位置を推定できることによる。研究代表者は底生系の物質循

環に関わる底生動物の役割を主な研究テーマのひとつとして、主に汽水性干潟を対象として研究を続けてきた。底生系の食物連鎖においては、生産者と高次の消費者をつなぐ一次消費者として、堆積物食および懸濁物食の底生動物が重要となるが、その餌となる堆積物および懸濁有機物はデトリタスや微生物が主体であり、従来用いられてきた消化管内容物の観察による研究手法では餌の起源となる生産者の特定は困難であったことから、研究代表者は炭素・窒素安定同位体比による解析が有効と考え、早くより同位体比による解析を導入し、多くの成果をあげてきている。また、近年、本研究の連携研究者鹿野秀一とともに、ロシアの塩水湖チャニー湖沼群を対象として、浮遊系食物連鎖、とくに一次消費者である動物プランクトンを中心とした低次の食物連鎖についても研究を広げ、複雑な地形の浅い大きな湖の浮遊系食物連鎖が水平的に分離していることを見いだしている。そしてさらに、単純湖沼系である強酸性湖沼をモデル生態系として、水圏の生産者として重要な微小藻類の炭素・窒素同位体比をきめる要因や動物によるその選択的消化の問題について精密な解析を行い、同位体比による食物網解析に関わる基礎的な知見をも得てきている。本研究では複雑系である沿岸湖沼生態系としてラムサール登録湿地である宮城県伊豆沼生態系を対象に取り上げ、その食物網解析を高次の消費者にまで拡張して、沿岸食物網の全容、そして浮遊系と底生系食物連鎖の関係を明らかにすることを意図している。

2. 研究の目的

湖の食物網については、安定同位体比を用いた解析によって、植物プランクトン（懸濁態有機物）が基点となる浮遊系の食物連鎖と大型植物や底生・付着性微細藻類が基点となる底生（沿岸）系の食物連鎖が混合して存在することが明らかとなりつつある。しかし、これらの研究は高次の消費者である魚類に関して、多くの湖からの研究データを集め、それを解析することによって予想しているもので、ひとつの湖で生産者から高次の消費者までの炭素・窒素同位体比を全体的に測定することによって食物網を総合的に調べ、浮遊系と底生系食物連鎖の分離の程度、高次の消費者への寄与を詳しく解析した研究はまだほとんどなされていない。本研究の目的はひとつの湖を対象としてそこに生息する生物や餌起源物質の炭素・窒素同位体比を網羅的に測定することによって、その食物網の全容をとらえ、浮遊系と底生系食物連鎖の混じり合いや高次消費者への寄与を明示することにある。

食物網解析を食物網全体に広げることを

意図したとき、魚類などの高次の消費者は密度が低く、遊泳力も大きいため、そのサンプルを得ることの難しさが大きなネックとなる。伊豆沼では、近年外来種オオクチバスの各成長段階での駆除がはかられており、その過程で他の魚種も混獲されるので、より高次の消費者である多くの魚種についてしかも成長段階の異なるサンプルを得ることができ、食物網の総合的な解析が可能となる。また、大きな深い湖では、沿岸帯と沖帯、浅部と深部で、水平的・垂直的に湖の食物網が分離する傾向があることが知られており、食物網を湖全体としてひとつのものとして捉えることは難しいが、伊豆沼は最大水深が1 mほどで浅く、全体が沿岸域に相当する点も、伊豆沼を本研究の対象地とした理由である。

これまでの予備的調査によれば、同じ懸濁物食者でも動物プランクトンと底生二枚貝類では同位体比に違いがあり、懸濁態有機物のなかの異なる成分を選択的に消化利用していることが示唆されており、さらに基本的には雑食性と考えられる魚種の間でも同位体比により食性の違いが示唆されている。本研究では、食物網の頂点に位置し、浮遊系・底生系食物連鎖を統合する役割をもつオオクチバスの成長段階に応じた食性の変化を、また同様の食性をもつ懸濁物食者や雑食魚の間の食性の違いを調べ、これらの動物の食物網に占める役割について詳細に解析することを目的とした。

3. 研究の方法

宮城県栗原市に位置する伊豆沼を対象として、食物連鎖の基点となる水生植物や懸濁態有機物（植物プランクトン）、底生珪藻などの生産者、動物プランクトンや底生動物などの低次消費者そして魚類などの高次消費者を採集し、その炭素・窒素安定同位体比を測定し、その結果を基にして伊豆沼生態系の食物網を構築する。魚類の中ではとくにブラックバスについて、成長にともなう食性の違いをそのサイズとの関連で調べる。

(1) 同位体比サンプルの採集と調整

① 浮遊系低次栄養段階（懸濁態有機物と動物プランクトン）：懸濁態有機物（植物プランクトン）はガラスフィルター（ワットマン GF/F）上に集め乾燥保存、動物プランクトンは400 μ 目のプランクトンネットで採集し、できるだけ種毎に分け、乾燥保存する。

② 底生系低次栄養段階（大型底生動物と堆積物）：底生動物はエクマンバジ探泥器で採集、1 mm目の篩を通して、篩に残った動物を種毎採集し、約24時間水中で糞を排出させた後、乾燥保存する。堆積物は表層部をそのまま乾燥保存する。貝類などの密度の低い底生動物は随時手網などで採集する。

③ 付着系低次栄養段階（水草およびその付

着物、付着生物)：ハス、ヒシ、などの水草を採集し、乾燥保存し、またその付着物質や付着生物も採集し、乾燥保存する。

④ 高次栄養段階(魚類)：オオクチバスの産卵および孵化の時期(5～6月)には手網ついで引き網を用いて各種当歳魚を採集し、同時に刺し網で大型魚類を採集する。その後、定置網を設け、各種魚類を採集する。採集した魚は種毎、サイズ毎に分け、背側の筋肉を同位体比分析のサンプルとして採集、凍結保存する。また、ヤゴなどの肉食性昆虫類も魚類を採集する際に混獲されるので、それを採集し、種毎に乾燥または冷凍保存する

(2) 同位体比の測定

保存サンプルを質量分析計により、炭素・窒素同位体比を測定する。なお、懸濁態有機物、堆積物、付着物質は酸処理により無機炭素を除き、また動物はメタノールとクロロホルム混液処理で脂肪を除き、凍結乾燥後粉末にして測定する。

4. 研究成果

(1) 伊豆沼の1次消費者の餌起源候補物質

伊豆沼における1次消費者の主な餌起源候補物質としては、懸濁態有機物(植物プランクトン)、堆積有機物、付着物(付着藻類)、底生藻類、沈水植物のフサモが考えられた。それらの物質の炭素安定同位体比は、懸濁態有機物で $-29.3 \pm 1.3\text{‰}$ (平均値 \pm 標準偏差)、堆積有機物では $-27.2 \pm 0.6\text{‰}$ 、付着藻類で $-25.1 \pm 3.1\text{‰}$ 、フサモでは $-19.6 \pm 2.4\text{‰}$ であった。また、窒素同位体比は懸濁態有機物で $7.7 \pm 1.5\text{‰}$ 、堆積有機物では $8.2 \pm 0.7\text{‰}$ 、付着藻類で $9.2 \pm 3.7\text{‰}$ であった。底生珪藻については、その走行性を利用して堆積物から分離することを試みたが、分離できなかった。伊豆沼は浅いものの、透明度が極めて低いため、水底まで達する光量は少なく、そのため底生珪藻の密度が低かったためと考えられる。

炭素同位体比は餌とそれを食べた動物の値が同様の値を取る。ここでフサモの炭素同位体比は他の生産者と比べて約5%以上も高く、伊豆沼に生息する動物の炭素同位体比の値よりも大きく外れていた。また、伊豆沼の堆積有機物の主体は難分解性のデトリタスと考えられ、動物はこれを消化することはできないため、堆積有機物は懸濁物食者や魚類が同化できる餌とは考えられなかった。これらのことから伊豆沼での動物の主な餌候補物質としては懸濁態有機物と付着藻類の2つが考えられた。

(2) プランクトン・ベントスの餌資源

動物プランクトンの炭素同位体比は、ミジンコ類(シダ、オナガミジンコ)では $-31.3 \pm 1.3\text{‰}$ 、カイアシ類(エオヒゲナガケンミジンコ、ケンミジンコ亜科の1種)では -31.7

$\pm 1.0\text{‰}$ と、懸濁態有機物よりも低い値を示している。おそらく、伊豆沼の懸濁態有機物には湖底から巻き上がった泥やデトリタスが含まれており、動物プランクトンは懸濁態有機物の中から炭素同位体比の低い植物プランクトンを選択的に同化しているためと考えられる。

窒素同位体比は、栄養段階が1段階上がる毎に3～4%程上昇することが知られているので、動物の栄養段階の指標となる。動物プランクトンの窒素同位体比を見てみると、カイアシ類(エオヒゲナガケンミジンコ $12.9 \pm 0.8\text{‰}$; ケンミジンコ亜科 $13.3 \pm 1.0\text{‰}$)はミジンコ類($10.2 \pm 0.9\text{‰}$)より3%程高い窒素同位体比を示したため、ミジンコ類は懸濁態有機物を食べる1次消費者、カイアシ類はより小型の動物プランクトンを捕食する、どちらかと言えば2次消費者と考えられる

ベントスのうち最も個体数の多いオオユスリカ幼虫は、炭素同位体比が $-51.3 \sim -27.8\text{‰}$ 、窒素同位体比は $5.0 \sim 15.6\text{‰}$ と個体間でそれぞれ23.5%、10.6%もの差が見られ、極端に低い値を示す個体も見られた。嫌気的な堆積物中で発生するメタンは、通常炭素同位体比が $-60 \sim -80\text{‰}$ と低く、それを炭素源とするメタン酸化細菌をオオユスリカが摂食・同化することで、低い炭素同位体比を示したと考えられる。同様の現象は、琵琶湖やヨーロッパの湖沼などでも報告されている。

懸濁物食2枚貝としては、カラスガイ(炭素同位体比 $-28.4 \pm 0.9\text{‰}$ 、窒素同位体比 $14.8 \pm 0.5\text{‰}$)が優占していた。その炭素同位体比をみると、懸濁態有機物起源の有機物を多く同化していることが分かるが、窒素同位体比は懸濁態有機物よりも7%も高く、2次消費者の値を示していた。

アメリカザリガニは少数しか採集されなかったが、その同位体比は、炭素同位体比が -25.5 ± 1.0 、窒素同位体比は $13.6 \pm 1.1\text{‰}$ であった。アメリカザリガニは付着藻類起源の有機物を食べており、藻類から動物まで広く食べる雑食性と考えられる。

(3) 魚類の餌資源

伊豆沼における非魚食性の小型魚類は、その同位体比から、ワカサギ(炭素同位体比 $-30.5 \pm 1.1\text{‰}$ 、窒素同位体比 $15.3 \pm 1.4\text{‰}$)は動物プランクトン食、カネヒラ(炭素同位体比 $-26.5 \pm 1.7\text{‰}$ 、窒素同位体比 $12.1 \pm 1.0\text{‰}$)は主に付着藻類食、タモロコ(炭素同位体比 $-28.2 \pm 1.2\text{‰}$ 、窒素同位体比 $15.8 \pm 1.6\text{‰}$)、モツゴ(炭素同位体比 $-28.2 \pm 1.3\text{‰}$ 、窒素同位体比 $14.8 \pm 1.2\text{‰}$)、ヌマチチブ(炭素同位体比 $-27.8 \pm 0.8\text{‰}$ 、窒素同位体比 $15.2 \pm 1.4\text{‰}$)、ゼゼラ(炭素同位体比 $-27.4 \pm 2.3\text{‰}$ 、窒素同位体

比:13.2±0.8‰)は動物プランクトンと付着藻類の混合食と、以上の3つの食性グループに分けることができる。モツゴ、タモロコの消化管内からユスリカ類の頭部も見つかったが、安定同位体比の結果からそれほど餌としては重要でないと考えられる。

オオクチバス当歳魚は孵化後、最初は動物プランクトン食で、その後魚食に移行するが、当歳魚個体群の炭素同位体比を個別に見ると、産卵期直後の6月から越冬前の11月まで小さな個体は動物プランクトンと同様の、そして大きな個体は小型魚類と同様の値を示した。これは当歳魚個体群のうち小さな個体は冬までに魚食に移行できなかったことを示している。その後オオクチバスはサイズ(全長)が大きいほど炭素同位体比が大きくなる傾向が見られた。100~200mmの個体(炭素同位体比 ^{13}C :-28.5±0.7‰, 窒素同位体比 ^{15}N :16.7±1.1‰)では、体高の低いモツゴ、タモロコ、ゼゼラ、ヌマチチブを主に捕食していると思われる個体が多いが、200~300mmの個体では炭素同位体比が-27.0±1.5‰(窒素同位体比:16.3±1.9‰)、300mm以上の個体では-25.4±1.3‰(窒素同位体比:16.9±1.4‰)とさらに高くなることから、カネヒラとアメリカザリガニを主に捕食していると思われる。

(4) 浮遊系食物連鎖と底生系食物連鎖

今回の結果から、伊豆沼の食物網を支える主要な一次生産者、すなわち食物連鎖の基点となる餌資源は、植物プランクトン(懸濁態有機物)と付着藻類であることがわかった。すなわち、植物プランクトンを基点とする浮遊系食物連鎖と付着藻類を基点とする底生系(沿岸系)食物連鎖が共存している。浮遊系食物連鎖としては、植物プランクトン→動物プランクトン(ミジンコ類→カイアシ類)→ワカサギの連鎖が存在していたが、浮遊系食物連鎖上に位置する動物種は少なく、一方、付着藻類から始まる底生系食物連鎖の近傍には、カネヒラやアメリカザリガニが位置していたが、底生系食物連鎖を構成する動物種も少ない。伊豆沼に生息する高次消費者(魚類)のほとんどは、炭素同位体比が浮遊系食物連鎖と底生系食物連鎖の中間に位置し、植物プランクトンと付着藻類の両方の起源の餌を食べており、両食物連鎖を連結している。また、食物網の最上位捕食者であるオオクチバスは、大型個体が食物網全体の頂点に位置するのではなく、成長に伴って、孵化直後の浮遊系食物連鎖(動物プランクトン食)から移行期(魚食)を経て底生系食物連鎖(カネヒラまたはアメリカザリガニを食べる)へと、すなわち浮遊系食物連鎖の最上位から底生系食物連鎖の最上位へと位置を変えることがわかった。

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7件)

- ① 安野翔、山中寿朗、嶋田哲郎、鹿野秀一、菊地永祐、伊豆沼におけるオオユスリカ幼虫の餌資源推定：炭素安定同位体比と脂肪酸組成による解析、伊豆沼・内沼研究報告、査読有、Vol. 5、2011、印刷中
- ② J. Okano, E. Kikuchi, O. Sasaki, The role of particle surface texture on case material selection and silk lining in caddis flies, Behavioral Ecology, 査読有, Vol. 21, 2010, 826-835
- ③ E. Doi, E. Kikuchi, S. Takagi, S. Shikano, Differences in nitrogen and carbon stable isotopes of planktonic and benthic microalgae, Limnology, 査読有, Vol. 11, 2010, 185-192
- ④ 安野翔、千葉友紀、嶋田哲郎、進東健太郎、鹿野秀一、菊地永祐、伊豆沼の栄養状態とユスリカ科幼虫を中心とした底生動物群集の変化、伊豆沼・内沼研究報告、査読有、Vol. 3、2009、pp. 49-63
- ⑤ J. Okano, E. Kikuchi, The effects of particle surface texture on silk secretion by the caddisfly *Goera japonica* during case construction, Animal Behaviour, 査読有, Vol. 77, 2009, 595-602
- ⑥ H. Doi, E. Kikuchi, Conservation and research in extreme environments, Frontiers in Ecology and the Environments, 査読有, Vol. 7, 2008, 239
- ⑦ G. Kanaya, S. Takagi, E. Kikuchi, Dietary contribution of the microphytobenthos to infaunal deposit feeders in an estuarine mudflat in Japan. Marine Biology, 査読有, Vol. 155, 2008, 543-553

[学会発表](計11件)

- ① 菊地永祐・安野翔・進東健太郎・嶋田哲郎・高木優也・鹿野秀一：淡水二枚貝カラスガイの成長に伴う安定同位体比の変化。日本生態学会第58回大会，札幌コンベンションセンター。2011年3月9日
- ② 岡野淳一・菊地永祐・佐々木理・大井修吾：可携巣トビケラにおける鉱物組成が及ぼす砂巣材選択の学習への影響。日本生態学会第58回大会，札幌コンベンションセンター。2011年3月9日
- ③ 金谷弦・木村妙子・菊地永祐：河口域に発達したヨシ原に生息するベントスの餌利用について。2010年日本プランクトン・日本ベントス学会合同大会，東京大学(柏キャンパス)。2010年10月9日
- ④ 岡野淳一・菊地永祐：可携巣トビケラの巢

材選好性の“地質的”変異. 日本生態学会第57回大会. 東京大学(駒場キャンパス). 2010年3月17日

⑤金谷弦・鈴木孝男・菊地永祐: 仙台湾の干潟に生息する外来性移入種サキグロタマツメタの餌利用推定. 2009年日本プランクトン・日本ベントス学会合同大会, 北海道大学. 2009年10月17日

⑥安野翔・山中寿朗・嶋田哲郎・鹿野秀一・菊地永祐: 動物プランクトンより高い懸濁態有機物の $\delta^{13}\text{C}$ はデトリタスの混入で説明可能か? 日本陸水学会第74回大会, 大分大学(旦野原キャンパス). 2009年9月15日

⑦安野翔・山中寿朗・鹿野秀一・菊地永祐: 炭素安定同位体比の異なるオオユスリカ幼虫個体間の脂肪酸組成の違い. 日本生態学会第56回大会, 岩手県立大学. 2009年3月18日

⑧安野翔・鹿野秀一・嶋田哲郎・進東健太郎・菊地永祐: 炭素・窒素安定同位体比を用いた浅い富栄養湖伊豆沼の底生動物の餌資源解析. 日本生態学会第56回大会, 岩手県立大学. 2009年3月18日

⑨安野翔・千葉友紀・進東健太郎・藤本康文・嶋田哲郎・鹿野秀一・菊地永祐: 炭素・窒素安定同位体比を用いた浅い富栄養湖伊豆沼の食物網解析. 日本陸水学会第73回大会, 北海道大学. 2008年10月13日

⑩安野翔・鹿野秀一・村岡歩・嶋田哲郎・原浩太・佐藤洋介・菊地永祐: オオユスリカ幼虫へのメタン食物連鎖の寄与の季節変化. 日本陸水学会第73回大会, 北海道大学. 2008年10月11日

⑪鹿野秀一・菊地永祐・嶋田哲郎・進東健太郎: 伊豆沼・内沼のハス群集の生育拡大状況. 日本陸水学会第73回大会, 北海道大学. 2008年10月11日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊地 永祐 (KIKUCHI EISUKE)
東北大学・東北アジア研究センター・名誉教授
研究者番号: 00004482

(3) 連携研究者

鹿野 秀一 (SHIKANO SHU-ICHI)
東北大学・東北アジア研究センター・准教授
研究者番号: 70154185