

2004年9月

COE 研究成果報告書

COE 研究員 石川俊之

研究題目：熱帯泥炭湿地湖沼とその流域における生物多様性の機能と、物質循環機構の解明

研究題目担当教官：岩熊敏夫・甲山隆司・藏崎正明

研究活動概要

本研究題目では、次の3つを解明することを目標としている。

- 1) 泥炭湿地湖沼における生物多様性の機能
- 2) 泥炭湿地湖沼における食物網解析と物質流
- 3) 陸上生態系から湖沼生態系への物質供給とその行方

2003年8月よりインドネシアカリマンタン島での現地調査を行い、次の各項目を実施した。

- 1) 生物多様性機能——サイズ分画による植物プランクトン生物量の測定、湖沼定期観測調査の確立、湖盆形状の測定、水温・水位自動観測システムの構築
- 2) 食物網解析と物質流——植物プランクトンの光—光合成曲線の測定による一次生産量の算出、安定同位体解析用サンプルの収集、水量観測システムの構築
- 3) 陸上から湖沼への物質供給——リタートラップの設置、リター供給量の観測、落葉リター分解の予備実験

現在得られている主な研究成果は、次の4つである。

1. 植物プランクトンによる一次生産：一次生産と酸素消費のバランス

カリマンタン島の三日月湖では、植物プランクトンによる一次生産は表層1mより浅い層に限られ、その量は $150\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 程度であった。これは生物群集の酸素消費量 ($600\text{mg C m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ ：水深1m以内)よりはるかに小さかった。このことから、湖内の生物群集は、湖外からの有機物供給に大きく依存していることが明らかになった。

2. 植物プランクトンのサイズごとの生物量

植物プランクトンは微小サイズ(20 μm 以下)のものが優占しており、その多くは鞭毛を持つ種であった。光合成に必要な光が得られるわずかな層に分布する能力が必要なのだろう。優占

する微小サイズの植物プランクトンを観測するためには、プランクトンネットによる採集では問題がある。現地で実施している湖沼生物多様性の観測体制の改善を行った。

3 . 湖畔林からの落葉リター供給

モンスーン熱帯域特有の激しい雨季により、湖の湖畔林は長期間水没する。水没により、湖畔林での落葉リターの生産が湖に供給される。そこで、浮遊式のリタートラップを製作し、落葉リター供給量の観測を行った。その結果、落葉リター供給量は、湖内の一次生産と比べてきわめて高く、生物群集を支えるのに十分な量であった。湖畔林からの落葉供給が湖の有機物供給源をとして機能している可能性が高いといえる。

4 . 光による溶存有機物の利用性の変化

湖水中の溶存有機物（DOC）の大半を占める腐植物質は、難分解性であり湖の生物群集に利用されにくいと考えられてきた。しかし光に暴露をするとDOCの性質が変化し、バクテリアが利用しやすくなることを実験によって示した。これは、湖や集水域での光環境の改変が、DOCを起点とした生物生産を通じて湖沼生態系に影響を与えることを意味する。

この4つの研究成果から、熱帯三日月湖生態系について次のことがいえる。

熱帯三日月湖生態系は外来性有機物の供給に大きく依存している。その供給源である陸上生態系、特に湖畔林の消失は、湖生態系の物質循環を劇的することが予測される。また、湖畔林や湿地林の消失は水域の光環境を変化させる。光環境の変化は溶存有機物の利用が促進し、湖沼生態系の生産構造が大きく変化すると予測される。

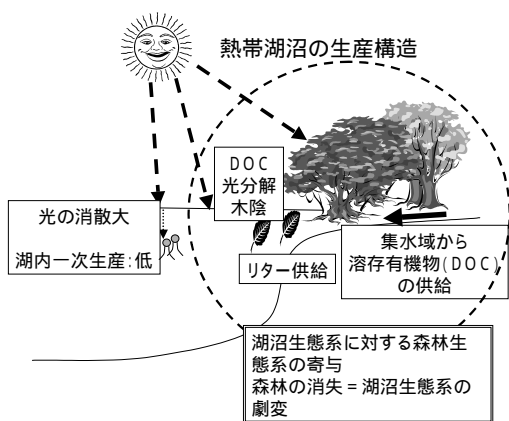


Fig.1 Structure of carbon input in lake ecosystem and importance of riparian forest

これまで得られた結果に加え、2004年度内に、湖盆図、水温・水位・水量変動データの解析、安定同位体用試料の分析をすすめる。これまで実施した内容に加えて、落葉リターの分解実験、DOCの分解に対する紫外線の影響を評価する実験、湖沼沿岸部での付着藻類による一次生産の測定を行う予定である。

研究成果の詳細

1. 植物プランクトンによる一次生産：一次生産量と呼吸量のバランス

インドネシアの泥炭湿地湖沼では、高い溶存有機物濃度と土壌粒子の影響で透明度が50cm以下となる。さらに、総クロロフィル量がそれほど高くないため、一次生産は低いものと考えられてきた。ところが、実際に一次生産の測定を試みるとなかなかうまくいかない。その理由は、1) pHが4程度と低く炭酸塩を使うのが困難である。2) 溶存有機物の非生物的な分解と思われる酸素消費がおこるため、明暗瓶の酸素濃度変化から光合成量の算出ができない。という2点が考えられた。そこで、非生物的な酸素消費量を実験的に求め、これを用いて光合成量の補正を行い、一次生産量の算出を行った。

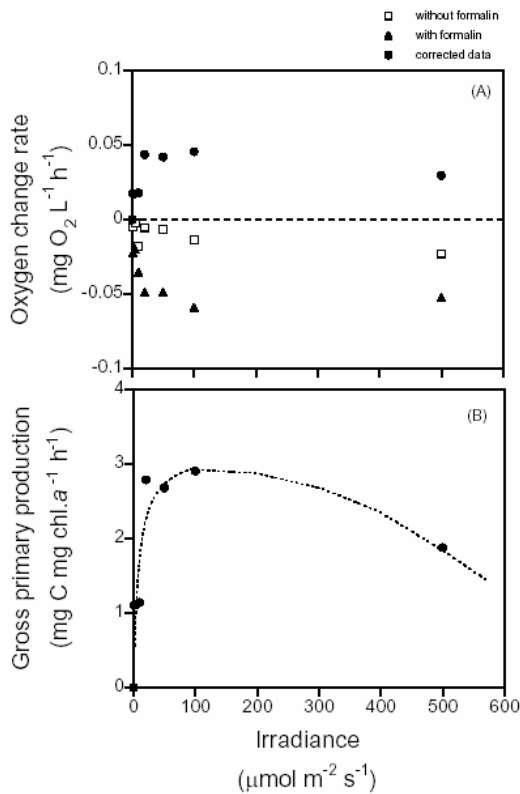


Fig.2(A)はBatu湖の表面25cmから採水した水を用いて得た酸素消費量と、光—光合成曲線である。湖水にホルマリンを添加した場合の酸素消費量(▲)は、湖水のみの酸素消費量(□)より大きくなった。この差(●)が、生物活動による酸素濃度変化であると考えられる。この値とクロロフィル量を用いて求めたP-I曲線が(B)である。このP-I曲線と光強度の日変化を用いて計算した日総生産量は $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ となった。同時に測定した群集呼吸量が1m以内で $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であり、生産・呼吸量比が0.25となった。低い生産・呼吸量比は、植物プランクトンによる光合成がおこるわずが1mの層に限っても、一次生産量は群集呼吸量を支えるには十分ではないことを示す。このことから、湖内の生物群集は、湖外からの物質供給に強く依存していることが明らかになった。

2. 植物プランクトンのサイズ分画ごとの生物量

インドネシアの三日月湖では動物プランクトンとしてワムシ類が優占する。ワムシ類は比較

的小型のプランクトンが多く、小さな植物プランクトンでなければ利用できない。そこで、湖水をナイロンメッシュで分画してからクロロフィル量の測定を行った。Batu湖では41 μm 以上の大型藻類が総クロロフィル量の25%であるのに対し、10 μm 以下の藻類は67%であった。Batu湖の他にも6つの湖沼で同様の分析を行ったところ、総クロロフィル量に対する小型藻類の寄与が大きいという同様の結果が得られた。小型藻類が量的に多いことは、植物プランクトンの一次生産がワムシ類に利用されうることを示す。現在、顕微鏡用試料の解析を行っているが、概して鞭毛を持つ種が多い。きわめて薄い有光層をもつ泥炭湿地湖沼では、有光層に定位する能力を持つ種が優占できると考えてよいだろう。また、今回の解析により、従来行われてきたプランクトンネットによる採集ではプランクトンの大半が採集できないことを示してきた。現在、改善した採集方法を用いて、現地研究者と共同で植物プランクトンの観測を続けている。

3. 湖畔林からの落葉リター供給量

一次生産と酸素消費のバランスで示したように、カリマンタン島の三日月湖では湖外からの有機物供給が湖内の生物生産を支える。その供給源として湖畔林からの落葉リター供給に注目した。熱帯域特有の雨季・乾季の雨量差は大きな水位変動を生み出し、高水域には湖畔林が広く水没し、落葉リターが湖に供給されるのである。実際、落葉リターを利用するユスリカ類、それを捕食する魚類が多く出現し、落葉リターを起点とした食物連鎖がみられるのである。

ここでは、湖畔林からの落葉リター供給量を浮遊式のリタートラップによって定量した。その結果をFig.3に示す。リター供給量は、高水位で水没する地点 (High position)、低水位では水没しない地点 (Middle Position)、低水位でも水没する地点 (Low position) の順に高かった。また、雨季に入る10月以降はそれ以前に比べてリター供給量が増加した。リターの炭素含量

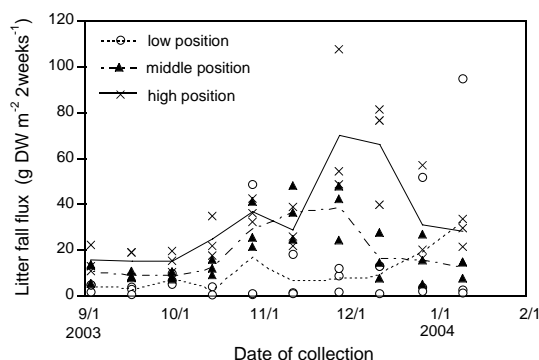
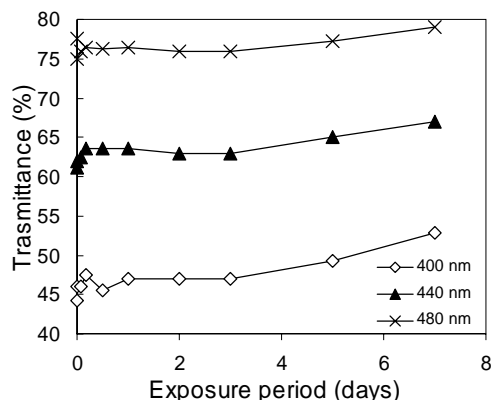


Fig 3. Seasonal changes in litter fall at different elevation from shoreline at Lake Batu.

33%(Rahojoe 2003)を用いると、ここで得られた面積あたりのリター供給量は200 mg C m⁻² day⁻¹程度である。高水位期に水没する湖畔林の面積は湖の数倍はあると見当されるため、湖畔林からのリター供給は湖への有機物供給として量的に大きなものといえる。今後、落葉リター量の観測を継続していくとともに、湖岸の測量を実施し、湖畔林から湖へ供給される全リター量を算出する予定である。

4. 光による溶存有機物の利用性の変化

一次生産の測定を行った際に、光強度によって変化する非生物的な酸素消費が観測された。この原因として溶存有機物の光分解が考えられるため、溶存有機物の分解と生物利用性の変化に対する光の影響をみる実験を行った。



実験は、泥炭湿地から採取した水をろ過(0.2 μ m)して生物を取り除いた後、野外に数時間~7日間設置して光暴露を行った。暴露時間は、アルミホイルによって遮光された容器を、順次取り除くことによって調節した。実験終了後、試水から光学的特性や溶存有機物濃度(DOC)の測定の試料を採取した。溶存有機物の生物利用性は、同じ用水路から採取しGF/Fフィルターでろ過した水(バクテリアのみが存在)と光暴露をした水を1対1で混合した水の酸素消費速度として測定

した。また、栄養塩の添加処理のあるなしで酸素消費に対する栄養塩の影響を検討した。

酸素消費速度は、光暴露時間が1~4時間の場合、光暴露なしの試水の2倍程度の上昇が見られた。しかし、光暴露時間が2~3日間の場合、酸素消費速度は、光暴露なしの試水とほぼ同じであった。ところが、光暴露時間を7日間としたものでは、酸素消費量が光暴露なしの3倍になった。また、栄養塩の添加が酸素消費にあたる影響は見られなかった。

光に暴露した試水の性質の一例として400-480nmの透過度の変化を図に示す。透過度の上昇は、光暴露が数時間と数日間と二つの時間スケールで観察された。このことから、溶存有機物の分解には、数時間スケールのもとの、数日スケールの二段階でおこなっているのではないかと考えている。現在、光暴露を行った試水のDOCの性質についてさらなる分析を行っている。

溶存有機物の供給源である湿地林の伐採は、湿地への日射量を増加させる。また、森林火災による煙霧の発生は日射量を減少させる。このような光環境変化は、溶存有機物の利用性を通して湖沼生態系に影響を与えるだろう。熱帯三日月湖では光合成による酸素供給が少ない。溶存有機物の利用性が上昇し、生物による酸素消費量増加することにより、溶存酸素濃度が低下するだろう。これは、多くの生物に負の影響を与えるかもしれない。今後は、生物群集全体への影響や、分解メカニズムにおける紫外線の効果などについて実験的に解明する予定である。

業績リスト

論文：査読有り

- Ishikawa T., Narita T., Urabe J. (2004): Long-term changes in the abundance of *Jesogammarus annandalei* (TATTERSALL) in Lake Biwa. *Limnol. Oceanogr.* **49**: 1840-1847.
- Ishikawa T., Yurenfri, Ardianor, Iwakuma T. (2004): Primary productivity of phytoplankton in tropical oxbow lakes in Central Kalimantan, Indonesia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **29**: (in press).
- Ishikawa T. & Urabe J.: Vertical distribution of an endemic amphipod, *Jesogammarus annandalei*, in Lake Biwa, Japan. *Arch. Hydrobiol.* (in submitting).

論文：査読なし

- Ishikawa T., Yurenfri, Ardianor, Iwakuma T. (2004): Estimation of primary production and litter fall flux in Lake Batu, Sigi village, Central Kalimantan. *Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystem in Southeast Asia- Annual Report for April 2003-March 2004* p.178-184.
- 辻彰洋 唐崎千春 神松幸弘 山本俊哉 平澤理世 石川俊之 村山恵子 野崎健太郎 (2003): 中池見湿地における水質環境と生物群集(1) 湿地植生の保全における水環境の重要性 - 福井県敦賀市 中池見湿地総合学術調査報告. *国立環境研究所研究報告* 第176号 p.79-95.
- 野崎健太郎 辻彰洋 神松幸弘 石川俊之 山本敏哉 (2003): 中池見湿地における水質環境と生物群集(2) 浮遊藻群落の季節遷移とその特徴 - 福井県敦賀市 中池見湿地総合学術調査報告. *国立環境研究所研究報告* 第176号 p.96-108.
- 平澤理世・石川俊之 (2003): 中池見湿地の水棲動物相(1) 中池見湿地の底生動物相 - 福井県敦賀市 中池見湿地総合学術調査報告. *国立環境研究所研究報告* 第176号 p.119-125.

国際学会・シンポジウム

- Ishikawa T., Yurenfri, Ardianor, Iwakuma T. (2004): Primary productivity of phytoplankton in tropical oxbow lakes in Central Kalimantan, Indonesia. *Societas internationalis limnologie 24th congress*, Lahti, Finland, August.
- Gumiri S., Ardianor, Wulandari L., Veronica E., Ishikawa T., Iwakuma T. (2003): Local community participation on the management of aquatic ecosystem in lowland wetland of Central Kalimantan. *Human dimension on the management of peatlands in Southeast Asia*, University of PalangkaRaya, Indonesia, December.

国内学会・シンポジウム

- 石川俊之・Yurenfri・Trisliana・岩熊敏夫 (2004): 熱帯淡水域における溶存有機物の利用性に

対する光の影響 日本陸水学会第69回大会 新潟大学9月.

- ・ 石川俊之, Yurenfri, Ardianor, 岩熊敏夫 (2004): 中央カリマンタン州の Batu 湖における、植物プランクトンの一次生産と落葉供給の比較. 東南アジアにおける土地管理と生物多様性 2004 拠点大学交流ワークショップ 北海道大学6月.
- ・ 石川俊之・成田哲也・占部城太郎 (2003): 琵琶湖固有種・アナンデルヨコエビの生息密度の長期変化 日本陸水学会第68回大会 岡山理科大学9月
- ・ 石川俊之 (2003): 琵琶湖深底部に生息するアナンデルヨコエビ (*Jesogammarus annandalei*) の生息密度の長期変化 (1966 - 2000) アジアモンスーン地域における陸水環境の保全にむけて-長期的研究プロジェクトの現状とこれから- 総合地球環境学研究所7月

研究助成金交付

- ・(財)クリタ水・環境科学振興財団 研究助成 2004年10月—2005年9月
湖畔林の伐採が熱帯三日月湖生態系に与える影響の評価
- ・ UNESCO Japanese Funds-in-Trust: MAB-IHP Joint Programme 2004年9月—2006年3月
トンレサップ湖生物多様性維持機構調査 若手研究者育成のための助成金