

## 「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」

COE 研究員 石川俊之

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つを明らかに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) 泥炭湿地湖沼に供給された落葉リターの分解速度に環境要因が与える影響

この3つの課題を遂行するため、2003年7月～9月、12月～2004年1月、3月の計3回のインドネシア・カリマンタン島での現地調査を実施した。

2003年度は研究計画のうち、

- 1) 生物多様性の機能の解明 植物プランクトン生物量の測定(クロロフィル量測定)、植物プランクトンの光合成曲線の測定による一次生産量の見積もり、湖盆形状の測定、水位観測システムの構築、水量観測システムの構築
- 2) 食物網解析と物質流の定量 リタートラップの設置、リター供給量の観測、安定同位体解析用サンプルの収集
- 3) 落葉分解の観測 落葉リター分解速度観測の予備実験を実施した。

現在、得られている研究成果は、つぎの4つである。

1. 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群集呼吸量よりはるかに小さかった。このことは、湖の生物群集が湖外からの有機物供給に依存していることを示す。
2. 植物プランクトンは微小サイズ(20 $\mu$ m以下)のものが優占することが明らかになった。この結果は、これまでの研究で使用していたプランクトンネットでの採集では定量採集に問題があることを示しており、湖沼生態系のモニタリング方法の改善を行った。
3. 湖岸林からの落葉供給は、湖に相当量の有機物供給源として機能することがあきらかになった。
4. 湖水を光に暴露することにより、プランクトン群集の呼吸量が増大することが観察された。このメカニズムとして、溶存有機物(DOC)の光分解がおこりバクテリアが利用しやすい有機物が生成される可能性を指摘した。

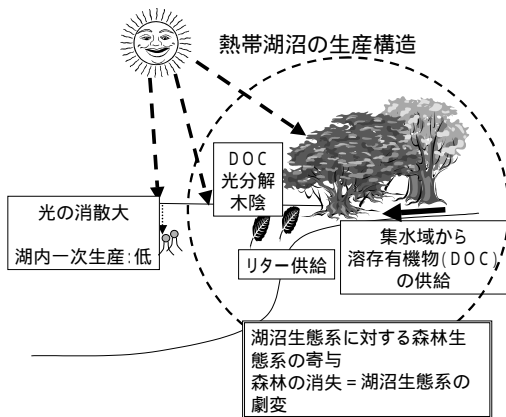


Fig.1 Structure of carbon input in lake ecosystem and importance of riparian forest

この4つの結果は次のことを示唆する。すなわち、カリマンタン島の三日月湖では、

湖生態系は外来性有機物の供給に強く依存しており、その供給源と考えられる陸上森林生態系の変化は湖生態系の物質循環を劇的に変化させる。また、湖畔林の消失は炭素供給源のみならず光環境の改変をおこし、湖の生産構造に大きなインパクトを与える。

2004年度の調査では、さらに湖盆図・水位変動、水量変動データが得られている。今後水理学的な解析を実施する予定である。

## 研究成果の詳細

### 1. 植物プランクトンの一次生産量と群集呼吸量のバランス

中央カリマンタン州パラカラヤ周辺の湖沼では、湖水は著しく茶褐色を呈する。これは、高い溶存有機物濃度のためである。さらに、河川水の供給を受ける湖では河川由来の土壌粒子が水中に懸濁するため、湖水の透明度は50 cm程度と非常に低い。Fig.2 は水中での可視光強度を鉛直的に示したものである。わずか1 mの浅い層で表面光の99%以上が減衰してしまう。Fig.3 は、表面30cmから採水し、光条件を擬似現場法、光合成速度を酸素法によって求めた、光合成曲線である。光が直ちに減衰する環境のため、弱光下で効率的に光合成がおけると予想していたが、ここで得られた光合成曲線は、 $50 \mu\text{mol}^{-1} \text{s}^{-2}$  で最大光合成量

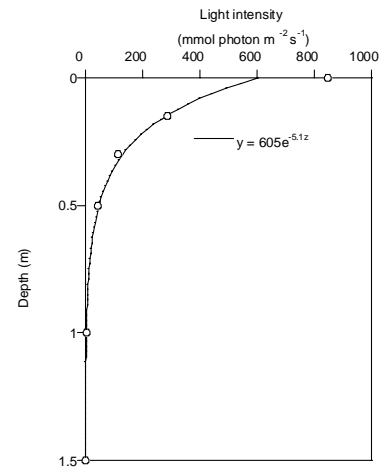


Fig 2. Light attenuation profiles in the water at Lake Batu, January 2004.

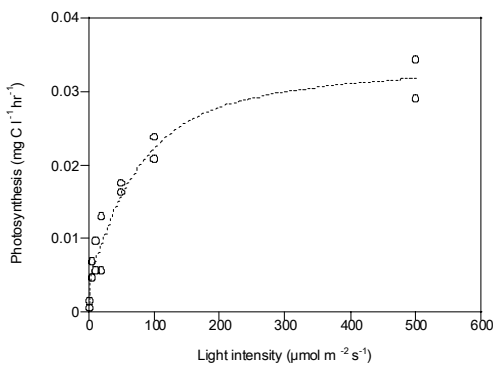


Fig. 3 Photosynthesis-light curves in Lake Batu on January 2004

の半値をとるため、特に弱光適応しているとは認めがたい。また、植物プランクトンで一般的にみられる、強行阻害の影響は認められなかった。これは、2項で述べるとおり、微小サイズのプランクトンが優占していることと関係があるだろう。微小サイズの植物プランクトン種には鞭毛をもち遊泳能力をもつものが多い。このような種は適度な光条件の層に分布することが可能である。そのため、植物プランクトンは、極端な光条件に対応した生理活性

をもたなくてよいのかもしれない。

光 - 光合成曲線と深度ごとの光強度を用いて日光合成速度を計算した結果をFig.4に示す。同時に測定した群集呼吸量が、 $0.274 \text{ mgO}_2 \text{ l}^{-1} \text{ h}^{-1}$  すなわち、 $2470 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  であった（呼吸商1と仮定）。このことは、植物プランクトンによる光合成がおこるわずか1mの層においても、その生産量は群集呼吸量を支えるためには十分でないことを示す。このことは、湖の表層ですら生物群集が湖外からの物質供給に強く依存していることを示す。

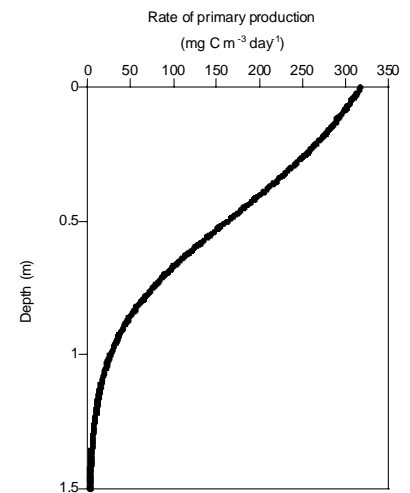


Fig 4. Estimation of daily gross primary production in Lake Batu on January 2004.

## 2. 植物プランクトンのサイズ分画ごとの生物量

水界生態系の生産構造を解き明かす上で、有機物のサイズごとの現存量を把握することは非常に重要である。

**Table 1** Chlorophyll concentration according to particle size in Lake Batu, Central Kalimantan

Lake Batu	total	<41 $\mu\text{m}$	<20 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$
chlorophyll <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	14.16	9.47	10.21	8.45
phaeopigment ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	-0.96	0.32	0.85	0.48
Chl. <i>a</i> + Phaeo ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	13.20	9.79	11.06	8.92

なぜならば、二次生産者の多くはその餌となる有機物のサイズが限られているからである。また、植物プランクトンでは、そのサイズが生態的、生理的な特徴に関係がある。たとえば、微小サイズの種は鞭毛を持つものが多く、好適な層へ能動的に分布す

る。また、大型の種は沈降速度が速く、湖底への有機物の供給源として機能することがある。

ここでは、湖水をナイロンメッシュを用いて分画したのちクロロフィルの測定を行い、サイズごとの生物量の指標とした。Table1 は前項と同じBatu湖で得られたクロロフィル量である。41 $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ 以下の微小藻類は67%であった。Batu湖の他に6つの湖沼で同様の分析を行ったが、同じように総クロロフィル量に対する微小藻類の寄与が大きいという結果が得られた。きわめて薄い有光層をもつ研究対象湖沼では、有光層に定位する能力を持つような微小な種が優占していると考えられる。これまで、インドネシアでの湖沼植物プランクトンの研究ではプランクトンネットによる採集が行われてきたが、メッシュサイズが20 $\mu\text{m}$ 程度であった。今回の研究結果により、既存の研究では相当量の微小藻類が見落とされていたことが明らかになった。そこで、湖沼モニタリングにおける植物プランクトンの採集方法を改善した。

## 3. 湖畔林からの落葉リター供給量について

植物プランクトンの一次生産が低い研究対象湖沼では、湖外からの有機物供給が湖の生産を支える。既存の研究における魚類の消化管解析では底生生物が多く出現している。湖底には大量の落ち葉由来の有機物が堆積

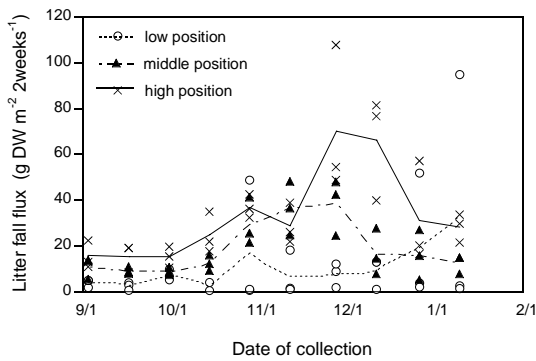


Fig 5. Seasonal changes in litter fall at different elevation from shoreline at Lake Batu.

していることから、“落葉リター 底生生物 魚”という物質流が湖の生産構造の一端を担っていると予想される。そこで、湖外の有機物供給として湖畔林からの落葉リター供給に注目した。ここでは、湖畔林からの落葉リター供給量をリタートラップを用いて定量した。その結果をFig.5に示す。リター供給量は、湖畔林の内部（High position）、湖畔林の湖に近い場所（Middle Position）、湖岸（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。1項で示したように、湖の群集呼吸量は $2470 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ である。既存の研究によるリターの炭素含量（33%, Rahoje 2003）を用いると、面積あたりのリター供給量は $200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 程度である。しかし、熱帯特有の大きな水位変動のため、湖に直接リターを供給できる林の面積は湖の数倍はありと予想される。2004年度は湖岸の測量を行い湖へ供給されるリターの総量を算出する計画である。

#### 4. 群集呼吸量に対する光の影響

湖外からの有機物供給源は、湖畔林からの落葉リターの供給にだけでなく、集水域からの溶存有機物（DOC）の供給も考えられる。DOCを利用できるのはバクテリアであるが、バクテリアがすべてのDOCを利用できるわけではない。特に、熱帯の三日月湖では難分解性のDOCが量的に多いことが指摘されている。DOCの一部は光によって分解され、低分子の有機物になりバクテリアに利用されやすい形態になりうる。そこで、湖水をさまざまな光条件に暴露し、酸素消費量を測定することにより、光分解の可能性を検討した。Table2は、3つの湖沼の表層から1mまでカラムサンプラーで採集した湖水を異なる光条件に暴露し、12時間後に溶存酸素濃度を測定して求めた酸素消費量である。光を照射しつつづけているので、ここで求めた酸素消費量は光合成量による酸素供給量の総和である総酸素消費量である。弱光下では純酸素消費量が光合成量より低いいため、総酸素消費量は負の値になる。光が強くなると、光合成による酸素供給量が高くなるはずだが、総酸素消費量も高くなった。これは強光下では、純酸素消費量が弱光下に比べて高くなることを意味する。植物プランクトンの強光阻害の影響も考えられるが、暗ビンよりも多い酸素消費量は強行阻害だけでは説明

できない。これを説明するメカニズムとして、光により溶存有機物が分解されバクテリアに利用されやすい画分の有機物が生成された可能性があ

Table.2 Respiration rate under different light intensity

Light intensity ( $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	0	1	5	10	20	50	100	500
Batu ( $\text{mgO}_2 \text{ l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	0.017	-0.003	-0.016	-0.011	0.001	0.027	0.011	0.018
Takapan ( $\text{mgO}_2 \text{ l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	0.018	-0.006	-0.001	0.001	0.001	0.017	0.026	n.a.
Tehang ( $\text{mgO}_2 \text{ l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	0.008	-0.001	-0.005	0.000	0.006	0.007	0.011	0.029

るだろう。このことは、湖畔林の伐採、異常気象や火災など大気の状態の変化など、湖の光条件を改変するインパクトがあると、湖の代謝に大きく影響を与えることを意味する。2004年度は、光のなかでも分解能力の高い紫外線に着目し、溶存有機物の光分解が湖の酸素代謝に与える影響をより詳しく検討する予定である。

業績リスト 2003年度

#### 論文：査読有り

- ・ Long-term changes in the abundance of *Jesogammarus annandalei* (TATTERSALL) in Lake Biwa. *Limnology & Oceanography* (accepted) T. Ishikawa, T. Narita, J. Urabe

#### 論文：査読なし

- ・ 中池見湿地の水棲動物相 (1) 中池見湿地の底生動物相 国立環境研究所報告 第176号福井県敦賀市 中池見湿地総合学術調査報告 平澤理世・石川俊之
- ・ 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* Toshiyuki Ishikawa, Yurenfri, Ardianor, Toshio Iwakuma.

#### 学会発表等

##### 国際シンポジウム

- ・ 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* at University Palangkaraya December Gumiri, S., Ardianor, Wulandari, L., Veronica, E., Ishikawa, T., Iwakuma, T.

##### 国内学会・シンポジウム

- ・ 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 石川俊之
- ・ 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 9月 石川俊之・成田哲也・占部城太郎
- ・ 課題講演企画 「琵琶湖生態系の長期変化に関する研究 - その最前線」 日本陸水学会第68回大会 岡山 9月