

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月6日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651006

研究課題名（和文） 南極露岩域湖沼における生態系発達史と多様性維持機構の解明

研究課題名（英文） Ecosystem development and mechanism for sustaining biological diversity at lakes in rocky area of Antarctic

研究代表者

山室 真澄（YAMAMURO MASUMI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80344208

研究成果の概要（和文）：

貧栄養状態にある南極宗谷海岸露岩域湖沼において、藻類やシアノバクテリア・コケ類からなる湖底マットの発達がどのような条件によって規定されているかを検討した。窒素安定同位体比の結果から、マットでは窒素固定が卓越していることが分かった。炭素安定同位体比の解析結果から、マットにおける光合成は光量、特に紫外線量と負の相関があることが分かった。光量・紫外線量は集水面積と負の相関があり、集水域からの溶存物質が原因と推定された。

研究成果の概要（英文）：

We examined the controlling factors on the development of microbial mat constituted with micro algae, cyanobacteria and moss, on the bottoms of oligotrophic lakes at rocky area of Soya Coast, Antarctic. Nitrogen stable isotope ratios of the mats suggested that nitrogen was supplied through nitrogen fixation by cyanobacteria to the microbial mat communities. Carbon stable isotope ratio of the mats suggested that photosynthetic activity decreased as the amount of light (PAR: Photosynthetically active radiation, UV: Ultra Violet) increased. The amount of both PAR and UV showed negative correlation with the drainage areas, suggesting that the dissolved materials supplied from drainage basin decreased the amount of light.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：極域環境監視

## 1. 研究開始当初の背景

南極大陸は国際条約により生態系の改変が厳しく制限され、地球で最も人為的影響が少ない生態系のひとつである。南極大陸には各国の基地が設置されているが、日本の昭和

基地近辺にある宗谷海岸には、大陸全体で2～3%程度しかない露岩域の一部が広がっている。露岩域の淡水湖沼はすべて貧栄養状態にある。湖水の流出入はほとんどなく、一年の大半を氷に閉ざされている。このような湖

沼において、湖底には藻類やシアノバクテリア・コケ類が優占し、複合したマット状の植物群落が広がっていることが明らかとなってきた。湖沼同士は近傍近似環境にありながら、この湖底マットの形態や被覆割合は湖沼間で大きく異なっており、その維持・成長をコントロールする環境要因は不明であった。

## 2. 研究の目的

貧栄養環境下では、窒素・リンといった栄養塩濃度が重要な制限要因となっていると考えられる (Sternler 2008, Carpenter 2008)。貧栄養～極貧栄養である南極湖沼においても同様のことが考えられてきた (Hawes 1993, Vincent 1994)。

南極湖沼同様に貧栄養水域でありながら、高い生物生産を維持している典型例としてサンゴ礁が挙げられる。サンゴ礁では従来、栄養塩は生態系内で循環するだけで新生産はないとされてきた。しかし研究代表者らは窒素安定同位体比により、サンゴ骨格等に共生するシアノバクテリアによる窒素固定が卓越して新生産が為されていることを、世界で初めて明らかにした (Yamamuro et al. 1995)。

本研究では、サンゴ礁同様にシアノバクテリアが共生している南極の湖底マットの炭素・窒素安定同位体比と、様々な環境要因 (水温、栄養塩濃度、光量、集水域面積など) を、条件が異なる複数の湖沼で比較することにより、生態系維持の基本となる一次生産を律速・促進している仕組みを明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

2011年12月～2012年2月 (第53次南極観測隊の夏期間) にかけて、南極大陸の宗谷海岸沿岸に位置する4つの露岩域 (ラングホブデ、ブレードボークニッパ、スカルブスネス、スカーレン) にある17湖沼を対象とし、調査を行った。また2009年12月～2010年2月 (第51次日本南極地域観測隊の夏期間) に得られたデータやサンプルも予備的解析や水質などの検討に用いた。

湖沼水質は2009年12月～2010年2月にかけて得られたデータを用いた。各湖沼の湖心部において多項目水質計 (YSI-6600V2, YSI, USA) によって、水温 [°C]・pH・電気伝導度 [mS/m]・溶存酸素 [%]・酸化還元電位 [mV]・クロロフィル a 濃度 [mg/L]・濁度 [NTU] を水面から湖底にかけて鉛直的に測定した。

水中の光スペクトルは、2009年12月～2010年2月にかけて測定した。各湖沼の湖心部において、圧力センサー付きの光放射スペクトル計 (RAMSES-UV/VIS, TriOS, Germany) を用いて、280～700 nm 波長域の光スペクトル、および、水深の測定を行った。空中、水面直

下、湖底、それぞれのデータを各3回ずつ採取した。本研究では便宜上、280～700 nm の光エネルギー強度の積算値を、全エネルギーと定義した。また、280～400 nm の光エネルギー強度の積算値を紫外線 (UV)、400～700 nm の光エネルギー強度の積算値を光合成有効放射 (PAR) とした。

各湖沼の集水域面積は、国土地理院発行の1/25,000地形図をスキャンしてパソコン上に取込み、デジタル画像編集ソフト Adobe Photoshop (ver. CS4, Adobe Systems Inc., USA) を用いて、各湖沼の集水域をピクセル数でカウントした。その後、既知の面積のピクセル数を基準として、カウントした集水域ピクセル数から面積を算出した。集水域に大陸氷床が含まれて集水域が無限大となる湖沼については、便宜的に本研究湖沼のうちで最も集水域面積が大きかった湖沼の倍の値とした。

湖底マット試料は、ゴムボートを用いて湖面から測深器 (PS-7, Hondex) で水深を測定しながら、以下の①もしくは②の方法によって湖心部から採取した。

①: 透明な円柱状の亚克力パイプ (直径 5 cm、長さ 50 cm) を取り付けたグラビティコアラ (離合社) でコア試料を採取。

②: 15 cm 四方のエクマンバージ型採泥器 (離合社) で採取。

2009年12月～2010年2月にかけては、方法①で湖底コア試料を採取した。コア試料は採取後ただちにコア表層部分から1 cm、4 cm、1 cm、4 cm と交互に切り分け、間隙水と固体試料に分離した。間隙水はセルロースアセテート製シリジフィルター (孔径 0.2 μm、DISMIC、アドバンテック) で濾過して得た。2011年12月～2012年2月にかけては、方法②により湖底マット試料を採取した。試料の表層からコケ (*Leptobryum* sp.) のみをピンセットで分離した。採取した試料は全てただちに凍結したのち、-20°C で冷凍保存し日本に持ち帰った。

湖水および間隙水の栄養塩類は AACS III (Bran+Luebbe, Japan) および Quattro-Marine 5ch (SEAL Analytical, UK) オートアナライザーを用いて分析した。安定同位体比の分析に供する試料は全てフリーズドライヤー (FD-550, EYELA, Japan) で凍結乾燥し、めこの鉢で粉末状とした。試料を銀カップにはかりとり、ホットプレートで熱しながら1規定塩酸を気泡が出なくなるまで滴下し、炭酸塩を除去した。これを十分に乾燥させたのち、試料を銀カップごと錫カップに詰めて、元素分析計 EA1108 (Fisons Instruments, UK) と連結した質量分析計 Delta Plus (Thermo Finnigan, Germany) で分析した。3～6 サンプルおきにスタンダード試料として L-Alanine を測定し、分析精度を標準偏差

<0.15 に保った。

#### 4. 研究成果

全ての湖沼で、湖水中の栄養塩濃度より間隙水中の栄養塩濃度の方が高い結果となった。間隙水中には硝酸や亜硝酸はほとんど検出されず、溶存無機態窒素のほとんどはアンモニア態の状態が存在し、その濃度は 0.025~3.744mg/L であった。正リン酸の濃度は 0.010~0.447 mg/L であり、アンモニア同様、湖沼間での差が大きかった。湖水の栄養塩濃度はアンモニアが 0.001~0.010mg/L、硝酸 0~0.037mg/L、亜硝酸が 0~0.037mg/L、正リン酸 0.002~0.025mg/L と低濃度であった。また間隙水では検出されなかった硝酸・亜硝酸が検出された。

表1 各湖沼の光エネルギーと集水域面積

湖沼名	全光エネルギー (W/m <sup>2</sup> )	PAR (W/m <sup>2</sup> )	UV (W/m <sup>2</sup> )	採取水深(m)	集水域(km <sup>2</sup> )
①扇池	201.42	179.05	22.38	2.2	0.028
②仏池	178.02	156.53	21.49	2.8	0.065
③如来池	234.49	211.64	22.85	3.1	0.068
④菩薩池	164.84	152.39	12.45	3.9	0.138
⑤地藏池	208.96	190.39	18.57	3.2	0.026
⑥くわい池	182.13	166.50	15.63	3.7	0.034
⑦親子池	80.75	78.93	1.82	4	1.879
⑧長池	98.97	91.07	7.90	10.1	0.458
⑨奥池	71.08	62.39	8.70	5.7	0.174
⑩三角池	139.77	132.22	7.54	5.5	0.053
⑪樽池	14.84	14.73	0.11	4	※
⑫円山池	130.58	120.17	10.42	8.2	1.427
⑬なまご池	70.86	65.95	4.91	7.4	1.179
⑭たなご池	112.75	102.55	10.19	7.9	0.618
⑮雪鳥池	42.87	41.99	0.88	4.5	※
⑯広江池	70.09	67.63	2.45	9.7	※
⑰スカーレン大池	58.83	57.01	1.83	8.7	0.058

各湖沼の湖底に到達する全光エネルギー (280-700 nm の積算値)、PAR (400-700 nm)、UV (280-400 nm)、採取水深、集水域を表1に示した。湖底に到達する光エネルギーは各湖沼で大きく異なっており、同程度の水深であっても、その値は多様であった。

湖底マットから分離したコケ *Leptobyum* sp. の炭素安定同位体比は、同種であるにもかかわらず湖沼によって異なり、如来池では -30.3‰、円山池では -26.4‰、たなご池では -25.8‰ であった。マット全体の炭素安定同位体比と環境要因との関係を検討したところ、水温との間には  $r = -0.28$  ( $p = 0.28$ ) で、有意な相関が認められなかった。

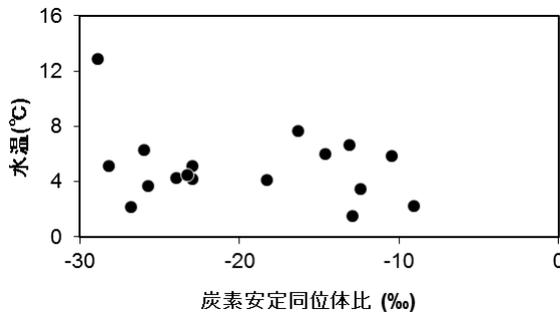


図1:湖底マット表層の炭素安定同位体比と水温

湖水の溶存無機態窒素濃度とマットの炭素安定同位体比の相関は  $r = 0.36$  ( $p = 0.16$ )、湖

水の正リン酸濃度とマットの炭素安定同位体比の相関は  $r = 0.16$  ( $p = 0.54$ )、間隙水中アンモニア濃度とマットの炭素安定同位体比の相関は、 $r = 0.40$  ( $p = 0.11$ )、間隙水中正リン酸濃度と炭素安定同位体比の相関は  $r = 0.42$  ( $p = 0.09$ ) で、栄養塩濃度とマットの炭素安定同位体比の間には有意な相関は認められなかった。

全光エネルギーと炭素安定同位体比、PAR と炭素安定同位体比 (図2) では、それぞれ相関係数  $r$  が -0.71 および -0.69 となり、どちらも  $p < 0.01$  で有意な負の相関が認められた。さらに、UV と炭素安定同位体比 (Fig. 3-11) とでは相関係数 -0.84 ( $p < 0.01$ ) で、有意に強い負の相関がみられた。また、UV/PAR と炭素安定同位体比との間には相関係数  $r = -0.88$  ( $p < 0.01$ ) で、UV よりも強い負の相関が認められた。

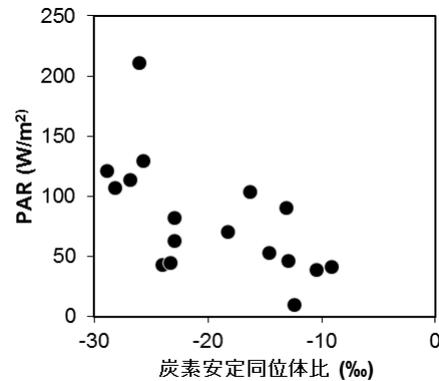


図2 湖底マット表層の炭素安定同位体比と PAR

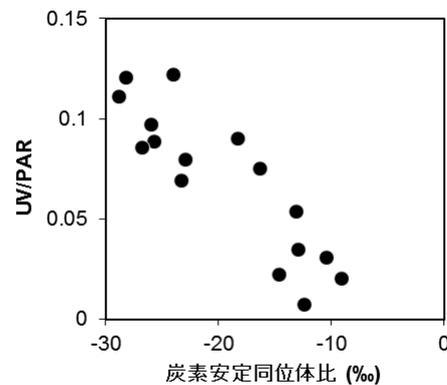


図3 湖底マット表層の炭素安定同位体比と UV/PAR

集水域面積と光エネルギーの間には、 $r = -0.73$  ( $p < 0.01$ ) の、有意な負の相関が認められた (図4)。

湖底マット表層の窒素安定同位体比は、雪鳥池の 6.1‰ を除くと、-0.5~2.2‰ と低い値の範囲におさまっていた。

以上より、湖底マットの一次生産速度を反

映していると考えられる炭素安定同位体比は、湖水の温度や栄養塩濃度と相関が認めら

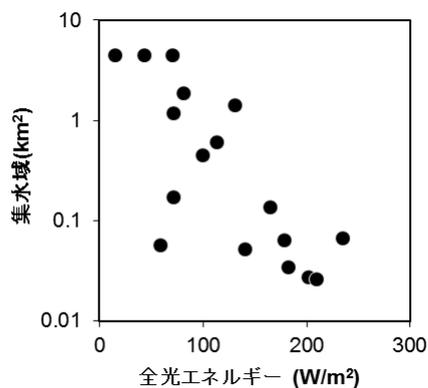


図4 各湖沼における全光エネルギーと集水域面積との関係

れず、これらの要因は湖底マットの一次生産を律速していないと考えられた。栄養塩濃度は湖水中では非常に小さかったが、間隙水中には湖水の10倍の濃度でリンが存在し、窒素についてはアンモニアの形で存在していた。湖底マットの窒素安定同位体比からは、水中からの窒素供給が不足する際にはシアノバクテリアによる窒素固定起源の窒素が使われている可能性が示唆された。

このように水温や栄養塩濃度には律速されないと考えられた湖底マットの一次生産速度（炭素安定同位体比が反映）は光エネルギー、特にUV/PARと有意な負の相関を示した。また光エネルギーは集水域の面積と有意な負の相関を示していたことから、光エネルギー、特にUVを減衰させる溶存物質の量が集水域面積に依存する可能性が考えられた。

南極湖沼の主要一次生産者である湖底マットは、同様に貧栄養な環境にあるサンゴ礁生態系と下記の共通点を示していた。

- ① リンは常に検出限界以上の濃度があることや一次生産者のN:Pなどから、リンは律速する可能性が低い。
- ② 窒素については律速する可能性がある濃度であるが、窒素固定能を有するシアノバクテリア起源の窒素が生産に貢献しているため、律速している可能性は低い。
- ③ 紫外線を含む光による強光阻害が一次生産を律速している可能性が高い。共生は栄養保持のみならず、強光阻害を回避する機能も果たしている可能性がある。

#### 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)

[学会発表] (計10件)

- ① Hori, M., Tanabe, Y., Kudoh, S., Yamamuro, M., Production and nutrient cycling in Antarctic lakes deciphered from

stable isotope measurements, 第34回極域生物シンポジウム、2012年11月27日、国立極地研究所

- ② 田邊優貴子・堀誠・内田雅己・大園享司・山室真澄・工藤栄, 南極湖沼生態系を支える湖底の栄養塩、第34回極域生物シンポジウム、2012年11月27日、国立極地研究所

③ Tanabe, Y., Hori, M., Uchida, M., Osono, T., Yamamuro, M., Kudoh, S., Nutrients in sediments as driving force behind Antarctic lake ecosystems. Polar Ecology Conference 2012, October 4 2012, Czech Republic

- ④ 堀誠・田邊優貴子・工藤栄・山室真澄, 安定同位体比から見る南極湖沼の堆積物発達機構、日本陸水学会77回大会、2012年9月15日、名古屋大学

⑤ 田邊優貴子・堀誠・内田雅己・大園享司・山室真澄・工藤栄, 南極湖沼生態系を支える湖底の栄養塩、日本陸水学会77回大会、2012年9月15日、名古屋大学

- ⑥ Hori, M., Tanabe, Y., Kudoh, S., Yamamuro, M., Nutrient flow in Antarctic lakes estimated by means of sediment analysis. ASLO Aquatic Science Meeting 2012, July 12 2012, Biwako Hall

⑦ Tanabe, Y., Hori, M., Yamamuro, M., Kudoh, S., Nutrients and hydrogen sulfide distribution in Antarctic lake sediments, ASLO Aquatic Science Meeting 2012, July 12 2012, Biwako Hall

- ⑧ 堀誠・田邊優貴子・工藤栄・山室真澄, 昭和基地周辺の湖沼における栄養塩循環の解明、第二回極域科学シンポジウム、2011年11月18日、国立極地研究所

⑨ 堀誠・田邊優貴子・工藤栄・山室真澄, 昭和基地周辺の湖沼における栄養塩循環の解明、日本陸水学会第76回大会、2011年9月23日、島根大学

- ⑩ 田邊優貴子・内田雅己・大園享司・山室真澄・工藤栄, 湖底間隙水と湖水の栄養塩から見た南極湖沼の多様性、日本陸水学会第76回大会、2011年9月23日、島根大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山室 真澄 (YAMAMURO MASUMI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80344208

##### (2) 研究分担者

該当なし

##### (3) 連携研究者

工藤 栄 (KUDO SAKAE)

国立極地研究所・准教授

研究者番号：40221931