

昭和基地周辺の南極湖沼における潜水調査報告

伊村 智^{1*}・工藤 栄¹

SCUBA diving for Antarctic lake research in Syowa Station area

Satoshi Imura^{1*} and Sakae Kudoh¹

(2006年1月13日受付; 2006年1月24日受理)

Abstract: Biological surveys of lake bottom vegetation, sediments structure, and photosynthesis activity by SCUBA diving were performed in January 2004, in two lakes in the Skarvsnes area, about 50 km south of Syowa Station. Two biologists of the 45th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) participated in the surveys. B-4 Ike (tentative name) is a freshwater lake with only 3 m depth maximum. Structures of moss pillars and algal mats were investigated in detail, and photosynthesis activity was measured on-site. Namazu Ike (tentative name) is a freshwater lake with 20 m depth maximum. Mosses were found from 3 m to the deepest bottom of the lake. A crest-like vegetation structure was found at the bottom deeper than 10 m.

要旨: 第45次観測隊の陸上生物グループでは、南極湖沼生態系の観測計画である REGAL プロジェクトの一環として南極湖沼での SCUBA ダイビングによる潜水観測を実施した。潜水者および支援隊員は国内において周到な準備を行った後、2004年1月23日にスカルプスネスの B-4 池、26日に同じくなまず池において湖底の生物調査を行った。B-4 池（仮称）では、コケ坊主の林立する詳細な植生構造の高画質の映像が撮影され、試料が採取されたほか、現場での光合成活性データが取得された。なまず池（仮称）においても同様の調査が行われ、水深3mから20mの最深部までの全域にコケ植物の分布が確認され、10m以深ではトサカ状の特異な植生構造が発達していることが観察された。

1. はじめに

南極大陸縁辺の露岩域には、飽和食塩水に近い塩湖から純水に近い淡水湖まで、数多くの多様な湖沼が点在している。これらの湖沼は冬季には湖面全体が結氷するが、夏季には少なくとも部分的には融解する。昭和基地周辺の露岩域では冬季の最大氷厚は1.7m程度であり、これ以上の水深を持つ湖沼であれば、湖底には一年中水の層があることになる。このような湖沼底には、藍藻・珪藻・緑藻といった藻類と水生のコケ植物が繁茂し、湖沼によっては高

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

* Corresponding author. E-mail: imura@nipr.ac.jp

さ 80 cm にも達する塔状のコケ坊主が林立していることが明らかになっている (Imura *et al.*, 1999). 南極露岩域の陸上植生が極めて貧弱であるのと対照的に, 湖沼底には豊かな生物量を持つ生態系が成立しているのである. 国立極地研究所の陸上生物グループでは, このような南極湖沼生態系を幅広い視点から解析するため, 「南極湖沼生態系の構造と地史的遷移に関する研究計画 (Research on Ecology and Geohistory of Antarctic Lakes (REGAL Project))」を立ち上げた (伊村ら, 2003).

水中での生物現象を観測するためには, 岸辺やボートからの調査では限界がある. 海洋生物グループでは早い時期から昭和基地周辺海域で潜水調査を実施してきており, 1968 年の第 9 次隊 (Fukui, 1968), 1981 年の第 21 次および 22 次隊 (渡辺ら, 1982), 1993 年から 1994 年の第 35 次隊 (国立極地研究所, 1995) などの例がある. 一方, 陸上の湖沼生態系の重要性が認識されたのは第 36 次隊以降であり, 潜水調査によって湖底植生サンプル採取が行われたのは, 1999 年の第 40 次隊および翌年の 41 次隊が初めてであった.

本稿は, REGAL Project の集中観測期間として第 45 次および 46 次隊の 2 シーズンに計画された本格的な湖沼潜水調査について, 準備段階からの経過および 2004 年 1 月に実施された第 45 次隊による潜水調査の結果を報告するものである.

2. 国内での準備

2.1. 隊員編成

南極の野外における潜水観測は, 安全確保上, 潜水者以外にも大人数のサポートが必要となるため, 多くの作業が集中する夏期には観測隊全体に対する負担が大きくなる. そこで, 第 45 次および 46 次隊の 2 シーズンを集中観測期間として位置づけ, 潜水に関わる生物担当隊員の 2 年連続での集中的派遣を計画した. 第 45 次隊に越冬 3 名と夏隊 2 名, 第 46 次隊に夏隊 3 名の潜水に関わる生物隊員を派遣することで, 2004 年 1 月には第 45 次の 5 名が, 翌年の 1 月には第 46 次の 3 名に越冬明けの第 45 次隊員 2 名を加えた 5 名が潜水観測の中心として活動する体制をとった.

2.2. 訓練

第 45 次隊の潜水者である伊村智と工藤栄の両名は, 潜水観測に備えて 2000 年から準備を開始した. 南極湖沼での潜水観測に向けて SCUBA ダイビングのライセンスを取得し, 静岡県下田の筑波大学下田臨海実験センターを利用しての海洋での潜水作業訓練を繰り返すと共に, サロマ湖や阿寒湖での冬季水下水訓練を実施した (表 1). また, 訓練では南極の現地調査において潜水観測支援に当たる予定の隊員候補者にも参加してもらい, 命綱を介しての意思伝達訓練, サンプリング用具のロープでの受け渡し訓練等を実施した. 命綱に関しては, 伝達する基本的なサインを単純なものとし (表 2), 現場での混乱が起らないよう訓練を

表 1 国内潜水訓練の経過

Table 1. List of training dives.

日程	場所	作業内容	参加者
2000年3月6日～9日	北海道サロマ湖	器材習熟、 氷下潜水	伊村(45次), 他2名
2003年2月3日～5日	静岡県下田	器材習熟	伊村・工藤(45次), 渡辺(46次)
2003年3月11日～15日	北海道阿寒湖	器材習熟、 氷下潜水	伊村・松崎・坂本(45次), 瀬戸・渡辺(46次)
2003年5月22日	日油技研	ウェイト微調整、 撮影機材習熟	伊村・工藤(45次)
2003年6月11日～13日	静岡県下田	潜水技術習熟、 意思伝達訓練	伊村・工藤・坂本・藤原(45次), 瀬戸・渡辺(46次)、他1名
2003年7月22日～25日	静岡県下田	潜水技術習熟	伊村・工藤(45次)

表 2 命綱による意思疎通サイン

Table 2. Life rope signals.

ロープを引く回数	意味	潜水者の返答
支援者から潜水者へ		
1	異常ないか?	1回、異常なし
2	停止せよ	1回、了解
3	浮上準備せよ	1回、了解
4	上昇せよ	1回、了解
潜水者から支援者へ		
2	ロープを繰り出せ	1回、了解
3	ロープのたるみをとれ	1回、了解
4	ロープを巻き上げろ	1回、了解
2・2・2 (短い周期で)	緊急事態発生	1回、了解

行った。また潜水者と命綱を持つ支援者の組み合わせは訓練段階から固定とし、国内訓練・南極の現場を通じて同じ相手とペアを組むこととした。以下に、氷下潜水訓練の概要を記す。

2.2.1. サロマ湖

2000年3月6日から9日に、北海道のサロマ湖において氷下潜水訓練を実施した。サロマ湖養殖漁業協同組合の沖合約1km、水深7mほどの地点を潜水地点とし、手動アイスドリルと氷鋸を用いて約1.5m四方の潜水孔を開けた。潜水孔からは5kgほどのウェイトを付けたアンカーロープを下ろし、潜水用ガイドロープとした。

訓練目的はドライスーツの使用への習熟、および氷による閉鎖環境での潜水を体験する事であった。重いO式のドライスーツの取り回しに苦労する面もあったが、氷下潜水特有の条件を確認することが出来た。

2.2.2. 阿寒湖

2003年3月11日から15日に、北海道の阿寒湖において水下潜水訓練を実施した。水深5m地点に約2m四方の潜水孔を開け、15kgのウェイトを付けたアンカーロープを下ろし、潜水用ガイドロープとした。ドライスーツを用いた水下潜水への習熟と共に、ライフロープを確保する水上支援者との意思伝達訓練に重点を置いた。

特にドライスーツを用いての潜水では、水上支援者とのパートナーシップが作業効率および安全管理に与える影響が大きい。この訓練では、実際に南極において潜水者と支援者となる可能性のある組み合わせを取り、二日間とも固定したパートナーとした。二日目は初日に比べてはるかに装着手順がスムーズに進み、潜水者、支援者間の経験と信頼によって効率が上がっていることを実感した。ライフロープを用いた意思伝達もうまくいったが、これについては更に時間をかけた習熟が必要であること、また二人が同時にライフロープを使って潜水した際にはロープの干渉に留意する必要があることが確認された。

3. 使用器材

昭和基地ではこれまでに数多くの海洋潜水調査が実施されており、詳細な報告も出されている(渡辺ら, 1982)。今回の潜水調査にあたっては、これまでに海洋潜水で使用された器材を参考としたが、湖沼における潜水は海洋とは環境が異なる。海水温は塩分による結氷温度低下のため -2°C 付近まで低下するが、淡水湖では 0°C を下回ることはほとんどなく、湖水が融解する夏季では 4°C から 10°C にまで達する。また淡水は海水よりも密度が小さいため、必要なウェイトは少なくてすむ。このように、夏季の湖沼での潜水の方が、従来海で実施されたものより条件はより穏やかであると言える。また、必要以上に複雑な装備・作業は慣れない潜水者にとって危険につながりかねない。そこで潜水器材の選択にあたっては、夏期の南極湖沼環境での潜水作業に必要な条件を満たす器材の中でも、できるだけ単純で扱いやすいことを第一条件とした。また、潜水作業も出来るだけ単純化するようにした。

海洋での潜水では、水中通話装置を用いて水上支援者との連絡を行っている。しかし今回は、潜水器材の単純化の観点から通常のマスク、レギュレーターを用い、支援者との意思疎通にはライフロープのみを用いることとした。ただしレギュレーターは、流水下でのダイビングなどに実績のある寒冷地仕様のもを選択した。

低温下での潜水であるため、厚手のドライスーツの使用は不可欠である。海洋での潜水では、悪条件下での潜水の際に通常ドライスーツの防水チャックにトラブルが生じる可能性を考慮し、チャックを必要としないO式ドライスーツを選択している。しかし訓練を通して、O式の胸の開口部の突出が機材の取り回しや姿勢の保持に際して障害になりやすいことが明らかになった。特にBC(浮力調整具)を装着した場合、胸の突出部とBCとの干渉が起りやすい。BCの代わりにハーネスを用いることで干渉を回避することは可能だが、この

表 3 潜水器材一覧

Table 3. List of equipment employed.

器材	機種・規格
スポーツタイプドライスーツ	ゼロ 流氷スポーツ Spirits TGR 5mm
O 式ドライスーツ	ゼロ O-type Pro2 SSF-52 オートバルブ 5mm
BC	Mares Vector 1000
レギュレーター	AquaLung クストーD グラシア
オクトパス	AquaLung グラシア
ゲージ	AquaLung Aqua Combi Gauge with Compass
マスク	GULL Sight GM-1061 クリスタルサックス
手袋	ゼロ ウィンターグローブ WG-53 3mm 5本指
インナーソックス	ゼロ RS ソックス 5mm
インナースーツ	ゼロ サブウォーマー100/ワンピース
空気タンク	AquaLung 12L メタリコンタンク

場合は浮力の微調整ができず、また O 式ドライスーツの突出部が障害になることには変わらない。そこで今回は、背面に防水チャックを装備する 5 mm 厚のスポーツタイプのドライスーツと BC との組み合わせを使用することとし、O 式は緊急時の予備品とした。

低水温が想定されることから、訓練段階では当初、3 本指のミトンタイプの手袋を試用した。しかし、冷たさを感じることはなかったものの操作性が非常に悪く、細かい作業は不可能であった。その後 5 本指独立タイプを試用したところ、これでも冷たさを感じることはなく、作業効率を考えても 5 本指独立タイプがふさわしいと判断した。

ドライスーツの下には、観測隊支給の薄手の防寒下着上下、フリース製の一体型インナースーツ、潜水用防寒ソックスを使用した。

潜水器材一覧を表 3 に示す。

4. 潜水調査ガイドライン

前述した潜水訓練の結果、および海洋潜水報告の文献情報から、以下の湖沼潜水調査ガイドラインを作成した。

- 1) 潜水計画は潜水者・支援者および諸関係者と詳細に吟味・検討した上で、「潜水計画書」を作成し、それを観測隊長に提出、承認を得て実施する。
- 2) 監督者（隊長）は、緊急時のヘリコプターによる搬送に備え、「しらせ」に対して潜水計画、潜水日程を事前に通報する。
- 3) 使用する機材は適正な保守・管理されたものを使用し、使用前には「器材チェックリスト」を用いて、使用する潜水者及び支援者とで異常の有無を確認する。
- 4) 潜水者が身につけるすべての機材は、装着者自らが責任を持って保守・管理する。これら機材の最終チェックは必ず複数名の立会いの下で実施する。

- 5) 現地潜水作業に関わるすべての隊員に対して、各自の潜水作業の詳細を記した「作業チェックリスト」を作成し、事前に行動内容を十分に確認した後に作業を実施する。
- 6) 潜水実施者が潜水環境を熟知すべく、事前に潜水実施湖沼の結水状況や水温などの諸環境観測や潜水ポイント選定を十分に実施しておく。
- 7) 潜水実施前までに安全索・支援ボートの確保を行う。
- 8) 潜水計画書で提示されている調査目的以外の付加的観測は実施しない。
- 9) 潜水調査は最低2名の潜水者、およびボート上・陸上の支援者、医師のほか監督者（観測隊長もしくはその代行者）の元で実施する。
- 10) 潜水前に医師が潜水可能な健康状態か否かを判断し、可の場合は監督者に連絡の上潜水活動を実施する。
- 11) 潜水実施前にチェックリストに従って最終点検を行った後、潜水活動に入る。
- 12) ポンベの残圧が 50 kg/cm^2 になった時点で他の潜水者に連絡し、両者とも水面に浮上して潜水調査を中止する。減圧停止が必要な潜水は行わない。
- 13) 潜水者は必ず命綱を装着する。
- 14) 潜水者は体調の不良（下痢・腹痛・吐き気・目・耳・鼻・喉の疾患、減圧症に伴う異常）を自覚したら、その時点で直ちに医師に申し出る。
- 15) 潜水実施者のみならず、オペレーション参加者すべてが各自健康管理に気をつけ、潜水前日には十分な休息をとる。
- 16) 潜水中は潜水現場と昭和基地の間に無線を確保し緊急時に備えるほか、潜水の開始・終了時の交信を実施する。
- 17) 潜水実施日には潜水開始から終了までの活動記録を取り、隊長へ報告する。

また、器材のチェックリスト、潜水者・水上支援者・陸上支援者・医療担当隊員それぞれのチェックシートを作成し、オペレーション前の確認が万全に行われるよう対策を行った。

5. 現地行動の概要

第45次隊での湖沼潜水観測は、昭和基地から南方約50kmに位置するスカルプスネス地域の「B-4池（仮称）」と「なまず池（仮称）」において計画された。それぞれの湖沼の位置を図1に、湖沼の特徴を表4に示した。

潜水調査を行う湖沼は昭和基地から隔たっているため、非常時の対応に大きな問題が生じる可能性がある。そこで、潜水に際しては医療隊員が常時現場で待機するとともに、国内訓練の時点から訓練に参加してもらった。また現場では通信の確保を最優先とし、潜水活動中は常に昭和基地、もしくは「しらせ」と連絡を確保する体制をとった。通信手段はハンディーVHF無線機とし、これが不調な場所ではHF無線機を用いることとした。いずれの通信手段も不可能な場合は、イリジウム衛星携帯電話を使った通信で連絡体制をとることとした。また、昭和基

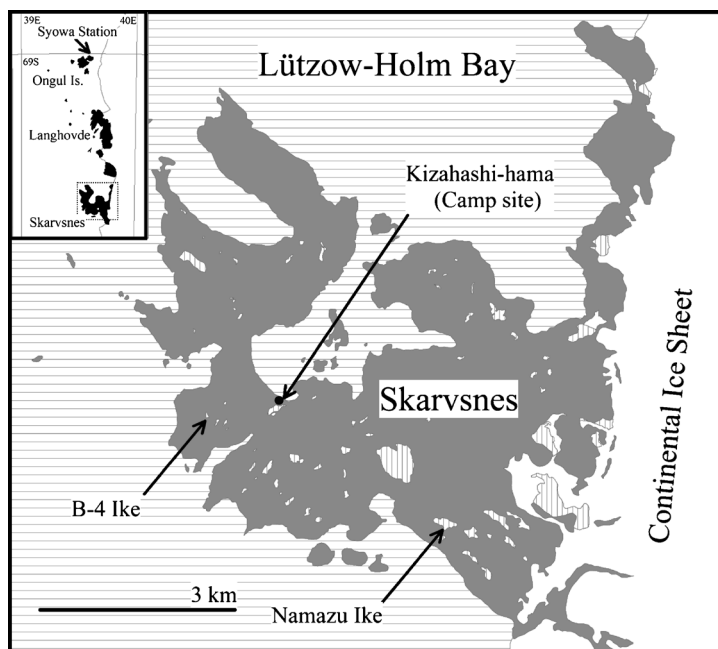


図 1 スカルプスネスの潜水調査対象湖沼 (B-4 池, なまず池は仮称).

Fig. 1. Diving sites in the Skarvsnes area (B-4 Ike, Namazu Ike are tentative name).

表 4 B-4 池およびなまず池の特徴

Table 4. Characteristics of B-4 Ike and Namazu Ike.

湖沼	長径	短径	面積	最大水深	標高	海岸からの距離	塩分 (水柱平均)
B-4 池	150m	50m	6000m ²	3m	120m	600m	0.098%
なまず池	535m	270m	91500m ²	20m	95m	405m	0.013%

地, 「しらせ」とともに, 通信室に観測隊員が常に待機する体制をとるように依頼した。

潜水者を含む生物担当隊員はスカルプスネスのきざはし浜生物観測小屋をベースにキャンプを続けており, 潜水器材もきざはし浜に輸送済みであった。「しらせ」および昭和基地から搭乗した支援員を乗せたヘリコプターは, きざはし浜で生物担当隊員と潜水器材をピックアップし, 現地へ向かうというフライトを行った。帰路もこのルートを逆にたどり, 生物担当隊員と器材はきざはし浜に帰還した。

5.1. B-4 池

位置: 南緯 69°28'36", 東経 39°33'40"

実施日: 2004 年 1 月 23 日

人員: 神田隊長 (総指揮), 伊村 (リーダー, 潜水者), 工藤 (潜水者), 飯田 (記録), 藤原

(医療), 松崎・坂本 (水上支援), 田村 (潜水器材補助), 高橋・武田 (テント設営, 通信)

経過:

- 0800 2機のヘリコプターにて, 人員および潜水機材 400 kg を B-4 池東方 200 m の丘の上に輸送開始
- 0915 物資輸送, ボート組み立て, テント設営, VHF で通信確保
- 0940 池に水上支援用のガイドロープを展張. ボートから既設のデーターロガーの回収および再設置
- 1005 既設のビデオ装置回収, 潜水用具準備
- 1123 潜水予定地点をボートから偵察
- 1131 第一回潜水開始: 工藤 (残圧 180, 光合成活性測定), 伊村 (残圧 180, 映像記録)
- 1204 工藤残圧 120
- 1215 伊村残圧 100
- 1223 潜水終了 (52 分): 工藤残圧 100, 伊村残圧 90
休息, 昼食
- 1337 第二回潜水開始: 伊村 (残圧 170, 湖底植生サンプリング), 工藤 (残圧 175, 映像記録)
- 1410 工藤残圧 120, 伊村残圧 120
- 1430 潜水終了 (53 分): 工藤残圧 90, 伊村残圧 90

潜水の詳細:

岸からエントリーし, 池に東西方向に張り渡された約 50 m のガイドロープ下を主な潜水観測ラインとした.

午前中の潜水では, 工藤がクロロフィル蛍光測定装置によって湖底植生の光合成活性測定を行い, 多数のデータを取得した. 伊村は湖底植生のビデオおよび写真撮影を行った.

午後の潜水では, 伊村が 45 cm コアによる堆積物サンプリング, 20 cm コアによる水深別の表面植生サンプリング, およびコケ坊主の採取を行った. 工藤は湖底植生のビデオおよび写真撮影を行った. 採集した試料は, コケ坊主 2 個, 45 cm コアによる湖底堆積物サンプル 2 本, 20 cm コアによる植生サンプル 7 本である.

コケ坊主の林立する湖底植生の映像が撮影されると共に, 湖底を覆う藻類マットの多様な形態が観察された (図 2).

5.2. なまず池

位置: 南緯 69° 30' 00", 東経 39° 41' 54"

実施日: 2004 年 1 月 26 日

人員配置: 伊村 (リーダー, 潜水者), 工藤 (潜水者), 飯田 (記録), 藤原 (医療), 松崎・坂

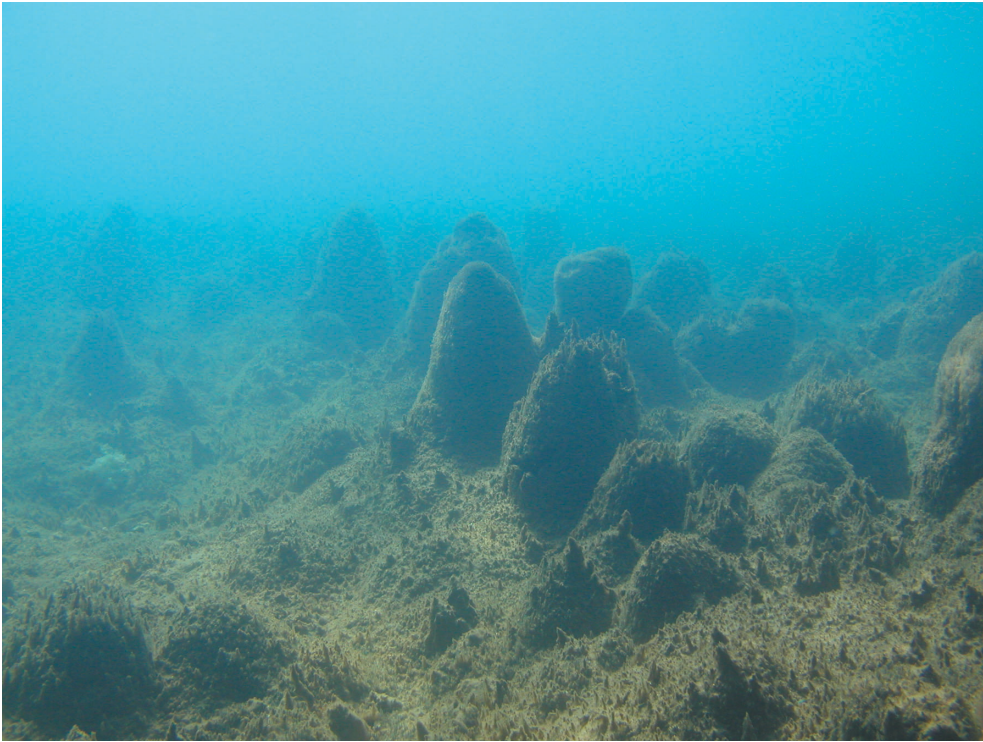


図 2 B-4 池のコケ坊主と底生藻類植生

Fig. 2. Moss pillars and benthic algal vegetation at the bottom of B-4 Ike.

本（水上支援），田村（潜水器材補助），高橋・武田（テント設営，通信）

経過:

- 0800 2機のヘリコプターにて人員および潜水機材 400kg をなまず池に輸送. 当初予定していたなまず池南東端には着陸できず，池の北西 200m の平坦部に着陸
- 0915 物資輸送，ボート組み立て，テント設営，HF で通信確保
- 1000 深度標識としてのブイ投入（水深 5m, 10m, 15m）
- 1030 第一回潜水開始: 工藤（残圧 170, 光合成活性測定），伊村（残圧 190, 映像記録）
- 1106 潜水終了（36分）: 工藤残圧 90, 伊村残圧 90
休息，昼食
- 1207 ブイ設置位置修正
- 1247 第二回潜水開始: 伊村（残圧 170, 湖底植生サンプリング），工藤（残圧 175, 映像記録）
- 1340 潜水終了（53分）: 伊村残圧 60, 工藤残圧 70

潜水の詳細:

ブイを水深 5, 10, 15m の地点に東西方向に設置した. 潜水者は岸からエントリーした

のち 15 m 地点まで水面移動し、そこから潜水を行った。当初予定していたヘリポートと別の場所に着陸することになったため、下見の際に想定した潜水場所は使えなかった。当日新たに設定したエントリーポイント前は遠浅で、15 m の水深の場所までは遠く、水面移動に時間がかかり、また体力も消耗することとなった。

午前中の潜水では、まず 15 m 地点までの水面移動中に湖底植生を観察しながら下見を行った。15 m 地点で潜水を開始し、湖底で工藤がクロロフィル蛍光測定装置による光合成活性測定を、伊村が工藤周辺でビデオおよび写真撮影を行った。その後湖底を移動しつつ、10 m、5 m 地点で測定・撮影を続けた。

午後は、水深別のブイを南北方向に設置し直し、湖底での移動距離を短く設定した。再度 15 m 地点まで長距離の水面移動をした後に潜水を行った。伊村は 45 cm コアによる堆積物サンプリングおよび 20 cm コアによる表面植生サンプリングを、工藤は伊村周辺で湖底植生、伊村の作業内容のビデオおよび写真撮影を行った。ボートから各水深地点にサンプリング容器をおもり付きのトスロンバケツでつるし、潜水者からのロープの合図によってサンプルを引き上げ、次の地点で再度バケツを下ろすという作業を繰り返した。採取し



図 3 なまず池で撮影されたトサカ状の藻類植生
Fig. 3. Crest-like algal vegetation at the bottom of Namazu Ike.

た試料は、45 cm コアによる湖底堆積物サンプル 4 本、20 cm コアによる植生サンプル 9 本である。

薄緑色で長さは 30 cm ほど、ひだのある先端のとがったトサカ状の物体が、湖底一面に生えているのが発見された(図 3)。トサカ状群落は水生のコケを核として様々な藻類が付着生長して形成されたものであるらしい。このような植生構造は、これまでに報告のないものである。

謝 辞

今回の潜水観測では、人員、器材共に問題は発生せず、安全に成果を上げることが出来た。南極観測船「しらせ」のヘリコプターをはじめとした乗員の皆さん、観測隊長、医療隊員ほかの強力な支援を受けた。難しいオペレーションを成功に導いてくださった、すべての関係者の皆様に厚くお礼を申し上げたい。

文 献

- Fukui, Y. (1968): SCUBA diving near Syowa Station, Antarctica for surviving benthos. *Nankyoku Shiryo* (Antarct. Rec.), **32**, 63-70.
- Imura, S., Bando, T., Saito, S., Seto, K. and Kanda, H. (1999): Benthic moss pillars in Antarctic lakes. *Polar Biol.*, **22**, 137-140.
- 伊村 智・工藤 栄・坂東忠司・大谷修司・瀬戸浩二・伴 修平・神田啓史(2003):南極湖沼における生態・地史学的研究計画 (REGAL Project) —これまでの経過と今後の計画—. 南極資料, **47**, 272-281.
- 国立極地研究所(1995):日本南極地域観測隊第35次隊報告. 東京, 401 p.
- 渡辺研太郎・中嶋 泰・内藤靖彦(1982):東オングル島沿岸での水下潜水調査報告. 南極資料, **75**, 75-92.