

南極湖沼通年観測用ビデオカメラシステムの開発と設置

工藤 栄^{1,2*}・田邊優貴子¹・内田雅己^{1,2}・堀 克博³Development and setting of a time-lapse video camera system
for the Antarctic lake observationSakae Kudoh^{1,2*}, Yukiko Tanabe¹, Masaki Uchida^{1,2} and Katsuhiro Hori³

(2010年6月1日受付; 2010年7月27日受理)

Abstract: A submersible video camera system, which aimed to record the growth image of aquatic vegetation in Antarctic lakes for one year, was manufactured. The system consisted of a video camera, a programmable controller unit, a lens-cleaning wiper with a submersible motor, LED lights, and a lithium ion battery unit. Changes of video camera (High Vision System) and modification of the lens-cleaning wiper allowed higher sensitivity and clearer recording images compared to the previous submersible video without increasing the power consumption. This system was set on the lake floor in Lake Naga Ike (a tentative name) in Skarvsnes in Sôya Coast, during the summer activity of the 51th Japanese Antarctic Research Expedition. Interval record of underwater visual image for one year have been started by our diving operation.

要旨: 南極湖沼中に設置し、湖底の植物群落の1年にわたる映像記録を捉える目的で水中ビデオシステムの開発を行った。システムはビデオカメラ、制御部、レンズ汚濁防止ワイパー（水中モーター）、照明用LEDとリチウム電池から構成されたものである。市販のハイビジョン方式のビデオを採用し、レンズ汚濁防止ワイパーの動作を簡潔化して、以前試作したビデオシステムよりも消費電力を増やすことなく記録感度を向上させることができた。この機材を第51次日本南極地域観測隊夏行動期間中に、宗谷海岸のスカルプスネス「長池（仮称）」湖底に潜水作業により設置し、一年間の湖底のインターバル撮影を開始した。

1. はじめに

昭和基地近傍の露岩域には融雪による淡水湖沼が多数存在し、それらの多くの湖沼底には

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, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

² 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

³ 日油技研工業株式会社. Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd. Matoba-shin-machi 21-2, Kawagoe, Saitama 350-1107.

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

南極の淡水湖沼でよくみられる、マット状の微細藻類群集に水棲蘚類を伴った群落が形成されている (Imura *et al.*, 1999, 2003). それらは湖底を厚く覆いながら、ときに多様な形態や構造 (柱状、尖塔状、群生、孤立など) を見せる (Kudoh *et al.*, 2009, 田邊・工藤, 2009, Tanabe *et al.*, 2010).

これまでに昭和基地周辺の幾つかの淡水湖沼において、湖沼の環境変動特性 (Tanabe *et al.*, 2008) が明らかになっており、試料の採集と分析、潜水観測での観察と映像記録の実施により、湖沼の湖底では、水棲蘚類 2 種 (Imura *et al.*, 2003), 複数の藍藻類 (シアノバクテリア) と緑藻類が優占していることが分かっている (Tanabe *et al.*, 2010). マット状の藻類に関しては、紫外線防御や光調節色素を多量に保持しており、分布水深に応じて色素類の保持量変化が認められることや、マット表面から光の届きにくい内部に向かって保持色素量に差があることが分かっている (Tanabe *et al.*, 2010). これらの結果から、複数の種が混生して形成される多様な群落の構造は、群落の中の個々の種の生長や光環境への応答の違いや、長期にわたる生長の結果によって出来上がったものと予想される。しかしながら、湖底植生の生長に関しては生長に要した時間の推定 (Kudoh *et al.*, 2003, Matsumoto *et al.*, 2010) のみにとどまっており、湖内での藻類や蘚類の生長実態を長期間にわたって記録する試みは現在まで成功していない。

2. これまでの経過

南極湖沼中での蘚類や藻類の生長の実態を記録すべく、一年間の長期インターバル撮影の試行がこれまでに 2 度なされた。第 45 次日本南極地域観測隊 (以下、第 ~ 次隊) では、本開発研究の原型となった水中ビデオシステムを試作し、湖底に設置した。このシステムは、矩形の金属パイプフレームにビデオを取り付けることによって、湖底に安定させる予定であったが、湖底に厚く堆積した藻類マットが軟弱なものであったため、システムを取り付けたフレームが撮影中に堆積物中へ徐々に沈みこんで傾き、最終的には転倒してしまったためにうまく撮影対象を捉える事が出来なかった。また、夏季の約 10 日間にわたって記録動作した後、電源電圧低下のため停止するというトラブルも発生した。その後、以上のような問題点を解決するため、新たにビデオシステム設置盤を設け、軟弱な湖底でも沈みこまず転倒しないように対処した。また、待機電力の消費を抑えたものに改良し、一年間動作可能なものにした。これらの改善後、第 48 次隊で改良型のビデオシステムを南極湖沼中に設置し、一年間の映像記録を再度試みた。第 49 次隊でそのビデオシステムを回収した結果、湖底への安定した設置と一年間の動作に必要な電源の問題は改善されたが、レンズ汚濁除去ワイパー (写真 1) の不具合、オートフォーカスの誤作動による大幅なピントのずれ、暗夜期の記録感度不足など、新たに克服しなければならない複数の問題点が出た。この時も湖底植生の生長記録を得ることができなかった。

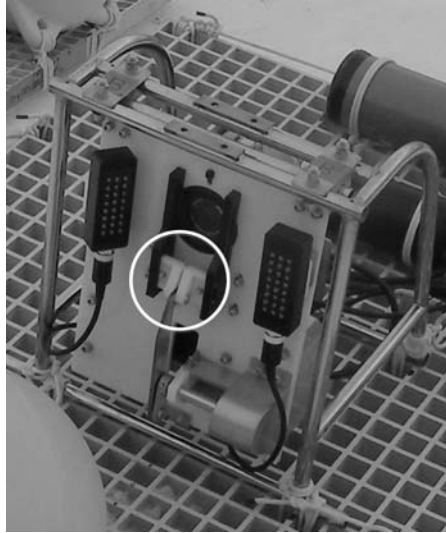


写真 1 旧型ビデオシステムのレンズ汚濁除去ワイパー
(白丸で囲んだ部分)

*Photo 1. The lens-screen wiper of the old type video system
(an encircled part by a white line).*

そこで、国立極地研究所研究プロジェクト（平成 21 年度開発研究）として、一年間の長期インターバル撮影が可能で、上記問題を克服しうる水中ビデオシステムの開発を新たに試みた。本報告は、平成 21 年 4 月から 10 月末までの間に実施した開発と試験動作確認の過程、および第 51 次隊での湖沼への設置と運用状況を記したものである。

3. 機器構成

今回の開発に伴う変更点を旧型システムとの対応表という形で列挙した（表 1）。

(1) 外観: 基本的な外観のうち、フレームのほとんどは第 48 次隊で使用した旧型システムと同様のものを再利用し、これまで利用していた市販品の水中ハウジングではなく、新型ハイビジョンビデオカメラ専用のものを新たに開発し組み込んだ（写真 2）。これによって、水中において外部から一時的に電源を入れ、リモコン使用によるマニュアルフォーカスの操作を可能にした。軟弱な南極湖沼底への設置のため、1.2m 四方の PVC（ポリ塩化ビニル）製メッシュ盤にビデオ取り付け用ステンレスフレーム（ビデオ本体・水中ハウジング・LED 照明・ワイパーおよび駆動水中モーターが装着されている）、電源電池および制御システム（ビデオ制御コンピューター）を固縛し取り付けるといった成功実績のある方式を採用した。

(2) ビデオシステムの電気系統および制御部: 消費電力を旧型システムよりも増加させず、できる限り鮮明で明るい映像を得るべく、使用するビデオ本体を高画質かつ高感度のソニー社製ハイビジョンビデオに変更した。また、長期動作で電力消費に問題となるワイパー

表 1 ビデオシステム新旧機材対応表

Table 1. Specifications of an old type and a new type video systems.

項目	新型ビデオシステム	旧型ビデオシステム
カメラ本体	Sony HDR-XR520V	Sony DCR-PC101K
主な特徴	ハイビジョン画質録画 ハードディスク 240 GB 動画有効画素数：415 万 静止画有効画素数：600 万 最低被写体照度：3 ルクス 消費電力：3.8 W	MiniDV 方式デジタル録画 ミニ DV カセット (テープ) 動画有効画素数：69 万 静止画有効画素数：100 万 最低被写体照度：15 ルクス 消費電力：4.0 W
カメラハウジング	樹脂製密閉容器を開発、マグ ネット式 ON・OFF スイッチ 付き	Sea & Sea 社製ダイビング用 ハウジングを改造
照明	LED 8 個 3 列 × 2 基	LED 8 個 3 列 × 2 基
ワイパー	クランク式水平動作ブラシ	クランク式水平動作ブラシ (待機ポジション引き込み 動作あり)
制御部 (外観防水ハウジ ングは変更なし)	内部基板の改造・更新	
電源部 (リチウム電池)	電源電圧：13.2 V 電池容量：60 Ah	電源電圧：13.2 V 電池容量：60 Ah
コントロールソフトウェア	日油技研 UWVC ver. 2 記録インターバル：任意設定 可能	日油技研 UWVC ver.1 記録インターバル：任意設定 可能
焦点制御	オートフォーカスまたは マニュアルフォーカス	オートフォーカスのみ
その他	ワイパー上部樹脂製防塵 カバー	

用モーターの駆動を、ワイパー格納引き込み動作をなくして水平動作のみとした。これらの二つの改善によって、旧型システムよりも消費電力を 10% 程度抑える設計となった。

ビデオ本体を変更したことに伴い、制御装置内部基板の変更、制御用ソフトウェアの修正を行った。旧型システムで不具合が生じたワイパーに関しては、ギアに過大な力がかかり欠損し停止していたことが回収後の調査で判明し、これは可動軸と軸受け部分への砂塵等の噛みこみによる固着が最も疑わしい原因と考えられた。この対処のため、可動部を現場設置まで砂塵にさらすことなく防塵保護して輸送すること、また、設置後に湖内で生じる可能性のある沈降物の可動部への噛みこみを防ぐ目的で、装置可動部の上に防塵カバーを取り付けて対処した。

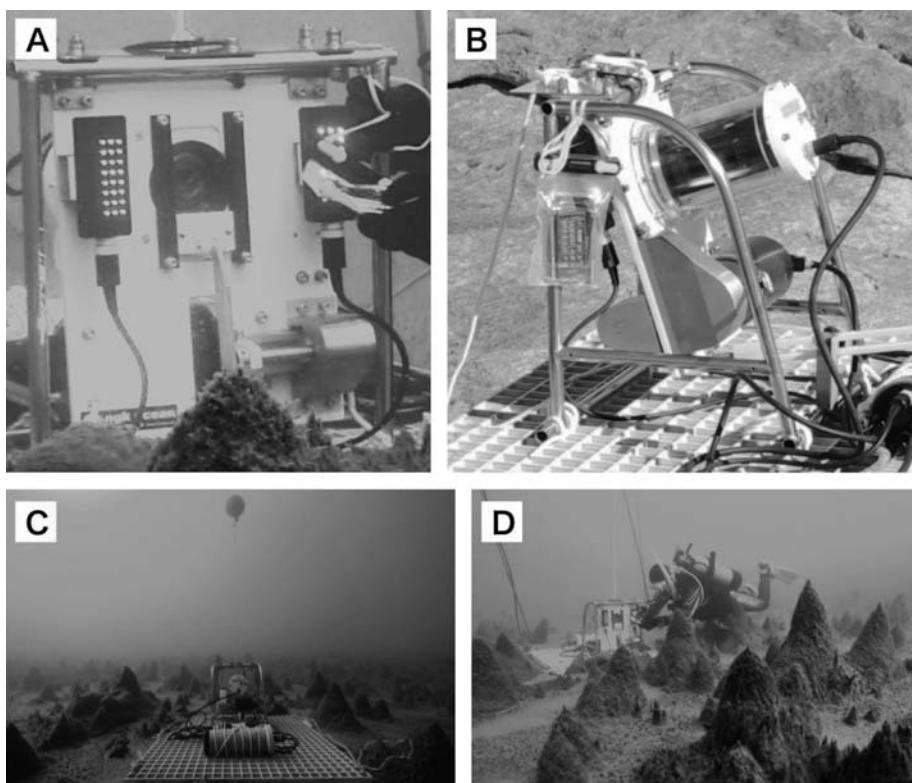


写真 2 新型ビデオシステムの写真. A: システム前面, B: システム側面, C: 「長池 (仮称)」湖底への設置後の様子, D: 湖底への設置・調整作業の様子.

Photo 2. The photographs of a new type video system. A: front view; B: lateral view; C: a picture after setting on the lake bed of Lake Naga Ike (a tentative name); D: a picture of underwater operations.

(3) 撮影設定: 消費電力を考慮し, 撮影インターバルは一日に 1 回, 正午に 10 秒間の映像撮影と静止画撮影とした. デジタルカメラではなくビデオを使用したのは, 静止画と映像の両方を記録可能であることと, 撮影感度の高さが理由である.

4. 国内での諸準備

表 2 に本システム開発にかかわる主な作業の日程をまとめた. まず, 旧機材の分解と動作確認を行って開発および改良すべき問題を整理し, 先述の開発のポイントを討論後, 作業日程を決定した (平成 21 年 4 月). ビデオシステムの開発と並行し, 南極湖沼への設置・回収と潜水作業での装置の取扱いの習熟訓練を, 日油技研工業, 筑波大学下田臨海実験センター, 月山山麓湖沼にて 5 月下旬から 10 月中旬までの間に繰り返し実施した. 旧型システムを訓練で利用することにより, システム開発の完了を待たずして基本操作の習熟につとめ, 第 51 次隊での運用実現を目指した.

表 2 ビデオシステム開発スケジュール

Table 2. Schedule of the development of a new type video system.

日 程	作 業	場 所
2009年4月8日	旧機材の点検の工程, 修正・開発に必要な項目をまとめ, 作業工程の打ち合わせを実施.	国立極地研究所
5月~6月	旧機材分解点検, 不具合点精査の報告と討論. 同時に使用カメラ機器選定, 開発およびプールでの試験動作の日程調整を実施.	日油技研工業
5月23日~27日	ゴムボート使用での湖沼設置回収訓練	山形県月山山麓湖沼
7月~8月	新機材開発	日油技研工業
8月1日	潜水作業習熟訓練	神奈川県葉山
8月25日~26日	水中動作試験, 水中作業訓練	日油技研工業プール
9月1日~4日	水中設置回収訓練, 取扱い習熟訓練	筑波大学下田臨海実験センター (静岡県)
9月~10月	開発機器の空中・水中試験と調整	日油技研工業
10月8日	南極への輸送打ち合わせ, 取扱いに関する講習.	日油技研工業
10月15日	水中操作習熟, 水中動作確認	日油技研工業プール
10月27日	ソフトウェアチェック	日油技研工業
10月30日	しらせへの積み込み	大井埠頭倉庫
2010年1月9日~21日	設置作業現場への輸送・現地での仮組と動作試験	スカルプスネス生物観測小屋
2010年1月22日	湖沼への設置	スカルプスネス長池

5. 潜水作業による南極湖沼への設置

第51次隊夏期行動において, 本研究で開発した新型ビデオシステムとワイパーを取り外した旧型システムの合計2台を, 宗谷海岸露岩域にあるスカルプスネス生物観測小屋へ輸送し, 2台ともに一年間の水中インターバル映像記録撮影を試みた. 2台のビデオシステムは, これまでの潜水調査から湖底に蘚類・藻類の群落が発達し, 冬季結氷時でも設置したビデオシステムが湖氷によって攪乱されないほどの水深があり, なおかつ, 湖水の透明度の良い湖沼に設置するという方針で, 第51次隊出発前の計画では同露岩域にある「なまず池 (仮称)」(図1)に設置する予定であった. しかし, 夏隊陸上生物観測チームが1月上旬から中旬にかけてこの湖の視察を行ったところ, 湖面のほとんどが氷で覆われている状況であったため, 「なまず池 (仮称)」での潜水による設置作業は困難と判断した. そこで, この時点にすでに

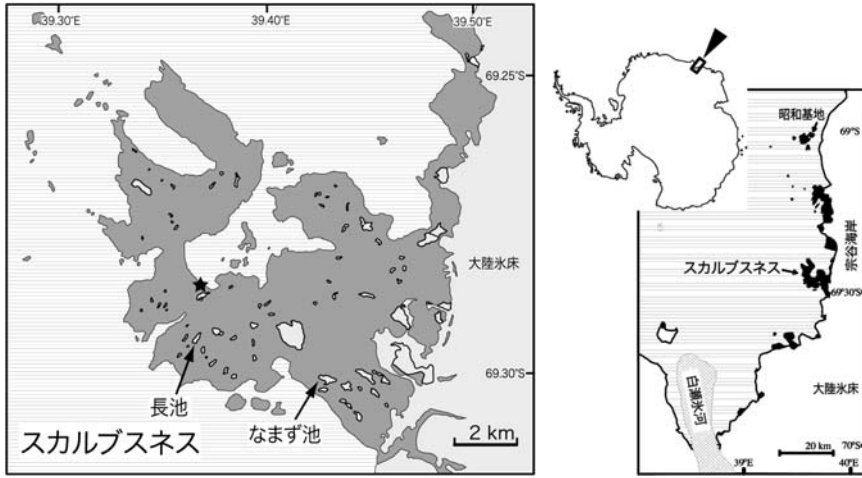


図 1 スカルブスネス露岩域および湖沼、生物観測小屋(★)の位置。

Fig. 1. The location of Skarvsnes, the lakes, and the hut of biological observation (filled star).

湖氷が消失し、湖底群落の発達に既に確認され、なおかつ、十分な水深があって水の透明度が高い「長池（仮称）」(図 1) を対象湖沼に変更して実施することにした。

「長池（仮称）」での潜水設置に備え、生物観測小屋内で各システムの仮組みと動作試験を 1 月 19 日までに実施し、それぞれの装置の順調な動作を確認した。翌 20 日に潜水観測に向けた最終打ち合わせと設置準備を行った。21 日、ヘリコプター支援によって、「長池（仮称）」湖畔にボートや潜水観測機材とビデオシステムなどの運搬を完了させた。

22 日、快晴で微風 (5 m/s 以下) の天候のもと、国内訓練での人員配置と役割分担に基づいてビデオ機器の設置作業を実施した (表 3)。当日の人員の移動と万が一のレスキューに備え、潜水観測実施中、「長池（仮称）」湖岸に観測隊ヘリコプターを駐機させた。

まず、湖岸でビデオシステムと制御部および電源電池をケーブル接続し、本体の動作確認とインターバル撮影設定を行った。毎正午に 10 秒間の撮影動作 (撮影用 LED 照明の点灯、レンズクリーニング動作を含む) を行う設定とした。設定完了後、設置用メッシュ盤上に、ビデオシステム、電源電池、制御部をロープで固定した。設置地点まで湖面に浮かべてゴムボート 2 艘で牽引移送するため、メッシュ盤には 300 mmφ のプラスチックフロート 2 個をカラビナ接続し、浮力を確保した。さらに、このフロートにはボートで牽引するための長さ 20 m のザイルをそれぞれ一端に結び付けた。

ダイバーらの潜水準備が整った後、湖岸から入水し、湖心 (水深約 10 m) 方向へ水面移動を開始した。それと同時に、まず 1 台目の旧型システムを湖面に浮かべて 2 艘のボートでザイル牽引し、ダイバーの指示する位置へと移動させた。2 名のダイバーが潜水を開始して湖底の状況を確認後、設置地点を決定し、ボート支援者はフロートを設置用メッシュ盤から外

表 3 第 51 次隊での潜水観測の役割分担と人員
Table 3. Roles of the members during the diving operation in the JARE-51.

役割	担当者	備考
作業進行・総括	工藤 栄	全体作業の監視と管理
主ダイバー	田邊優貴子	設置作業, 水中での位置調整, フォーカス調整, 撮影
副ダイバー	内田雅己	潜水作業補助, 撮影
ボート支援	品川秀夫 大園享司 立本明広 柏木隆宏	ボート操船, ビデオシステムの牽引搬送, 降下設置, 設置位置 GPS・水深測定
陸上支援	熊谷宏靖	通信・陸上作業記録
医療	吉田二教	潜水者の健康チェック, 緊急時対応
水中取材・レスキュー準備	安藤伸一	水中での取材, 水中レスキュー待機

してザイルを伸ばし、水中へと静かにビデオシステムを降下させた。主ダイバーの水中からのザイルを使った合図に応じ、ボート支援者はビデオシステムの降下を停止させ、その後ダイバーの動きに従ってビデオシステムを水平に水中保持しながら設置地点および方向の微調整移動を行った。ダイバーはザイル繰り出しの合図をし、ゆっくりと水中で微調整しながら湖底までビデオシステムを下降させ、着底後にボート支援者はザイルをビデオシステムから引き抜き、水深約 6.0m の地点に設置作業を完了させた。ビデオが湖底に設置されると直ちにダイバーは手でビデオシステムを起動し、ビデオのファインダーを見ながら撮影対象を捉えるためにカメラアングルと焦点の調整を行った。その後、手動動作を解除して自動記録モードに戻し、自動記録を開始させた。

ダイバーが浮上したのを確認し、湖岸支援者らは直ちに 2 台目のビデオシステム（新型）を湖面に浮かべ、ボート支援者へ引き渡した。新型ビデオシステムが設置地点に到着するまでの間、ダイバーは水面待機し、水深約 7.5m の地点へ旧型ビデオシステムと同様の方法で設置し、液晶モニターを確認しながらマニュアルフォーカスで撮影対象物に焦点を合わせ、滞りなく作業を完了させた。

6. ビデオシステムの回収計画

「長池（仮称）」に設置した 2 台のビデオシステムの設置地点の情報を図 2 に示した。これら 2 台は第 52 次隊夏期行動期間中に、第 51 次隊で設置に関わった隊員が第 52 次隊と協力して回収し、国内へと持ち帰る計画である。

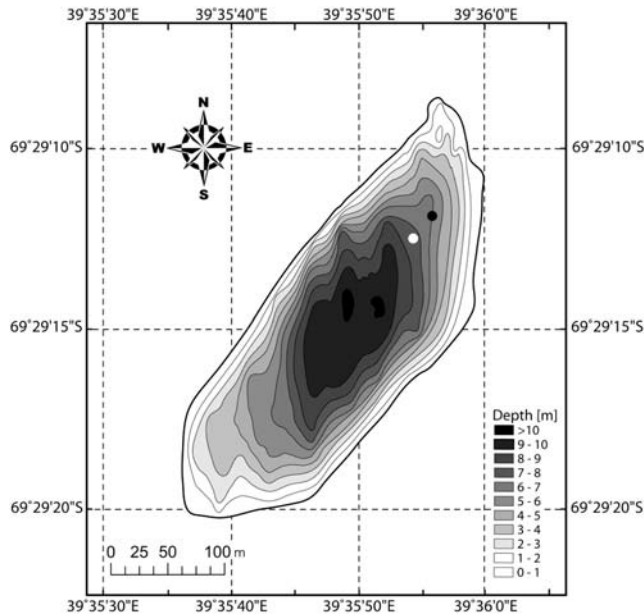


図 2 「長池（仮称）」の湖盆図と新型ビデオシステム設置地点（○）および旧型ビデオシステム設置地点（●）

Fig. 2. The bathymetric map of Lake Naga Ike, (a tentative name) and the position of the new type video system (open circle) and the old type (filled circle).

謝 辞

本開発研究は、国立極地研究所の平成 21 年度研究プロジェクト（開発研究 E-17）として主要機材の購入と開発の予算措置が認められ、実施したものである。本プロジェクト経費のほか、現場での運用に関する各種訓練および運用時の電池類などの消耗品類に関しては、南極観測経費を使用させていただいた。また、南極湖沼への設置訓練として施設を利用させていただいた筑波大学下田臨海実験センター及びスタッフの方々には貴重なご助言をいただいた。また、日油技研工業の大野氏をはじめ技術スタッフの方々には、工場施設の使用及び開発に多大な支援をいただいた。本吉隊長をはじめ潜水観測で直接・間接的に支援をいただいた第 51 次日本南極地域観測隊諸氏と小梅艦長をはじめとする「しらせ」乗組員に感謝の意を表す。

文 献

- Imura, S., Bando, T., Saito, S., Seto, K. and Kanda, H. (1999): Benthic moss pillars in Antarctic lakes. *Polar Biol.*, **22**, 137-140.
- Imura, S., Bando, T., Seto, K., Ohtani, S., Kudoh, S. and Kanda, H. (2003): Distribution of aquatic mosses in the Sôya Coast region, East Antarctica. *Polar Biosci.*, **16**, 1-10.
- Kudoh, S., Kashino, Y. and Imura, S. (2003): Ecological studies of aquatic moss pillars in Antarctic lakes 3: light response and chilling and heat sensitivity of photosynthesis. *Polar Biosci.*, **16**, 33-42.

- Kudoh, S., Tanabe, Y., Mastuzaki, M., Imura, S. (2009): In situ photochemical activity of the phytobenthic communities in two Antarctic lakes. *Polar Biol.*, **32**, 1617–1627, doi: 10.1007/s00300-009-0660-z.
- Matsumoto, G.I., Tani, Y., Seto, K., Tazawa, T., Yamamuro, M., Watanabe, T., Nakamura, T., Takemura, T., Imura, S. and Kanda, H. (2010): Holocene paleolimnological changes in Lake Skallen Oike in the Syowa Station area of Antarctica inferred from organic components in a sediment core (Sk4C-02). *J. Paleolimnol.*, **44**, 677–693, doi: 10.1007/s10933-010-9448-y.
- Tanabe, Y., Kudoh, S., Imura, S. and Fukuchi, M. (2008): Phytoplankton blooms under dim and cold conditions in freshwater lakes of East Antarctica. *Polar Biol.*, **31**, 199–208, doi: 10.1007/s00300-007-0347-2.
- 田邊優貴子・工藤 栄 (2009) : 簡便な調査法を用いた南極湖沼の湖盆形態とその水質・水生生物との関わり. *陸水学雑誌*, **70**, 191–199.
- Tanabe, Y., Ohtani, S., Kasamatsu, N., Fukuchi, M. and Kudoh, S. (2010): Photophysiological responses of phytobenthic communities to the strong light and UV in Antarctic shallow lakes. *Polar Biol.*, **33**, 85–100, doi: 10.1007/s00300-009-0687-1.