短 報 [Note]

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

田邊優貴子¹⁾・工藤 栄^{1),2)}

**Relationship between bathymetric features determined by a convenient method, and the
water quality/aquatic organism of Antarctic lakes**

Yukiko TANABE¹⁾ and Sakae KUDOH^{1),2)}

Abstract

Bathymetric maps yield important information for lake research. However, a study of bathymetric features has almost never been carried out on lakes around Syowa Station, Antarctica. This is due to a variety of factors; ice covers the lakes almost all year long, and the transportation of ships/boats and bulky instruments is extremely difficult, impeding access to the lakes. In this study, explorations were carried out in the summer of 2007-8 at two lakes, Lake Naga Ike and Lake Skallen Ô-Ike, near Syowa Station. Data related to water depths and geolocations were obtained using a portable sonar or plumb line, and GPS. We then completed two bathymetric maps, the first ever made for this area. We were able to create maps that would facilitate lake study in convenient and efficient ways without resorting to heavy surveying equipment or boats/ships. An effort planned for the near future is to apply this study method to investigate the bathymetric features of more than 100 other Antarctic lakes located near Syowa Station.

Key words: bathymetric map, Antarctica, lake, GPS, glacier lake

摘 要

湖沼研究において湖盆図作成は重要な情報であるにも関わらず、南極昭和基地周辺の湖沼において湖盆形態に関する調査はほとんど実施されてこなかった。一年のほとんどが氷で覆われ、また調査湖沼へのアクセスが不便であるために、船舶や機材の搬送が困難であるというような様々な要因が湖盆図作成までに至らなかった原因である。本研究では2007年～2008年にかけて、南極昭和基地周辺露岩域の長池とスカーレン大池の2湖沼で調査を実施した。小型のGPSと音響測深器もしくは測鉛を用いて位置と水深データを取得し、これまで明らかにされることが無かった東南極宗谷海岸露岩域湖沼の湖盆図を作成した。位置決定のための測量機材や測深器を搭載した船舶等を利用することなく、効率的かつ簡便に

¹⁾ 国立極地研究所 〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3 National Institute of Polar Research, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518, JAPAN

²⁾ 総合研究大学院大学 複合科学研究科 極域科学専攻 〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3 School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518, JAPAN
(連絡先 田邊優貴子 E-mail: ukko@nipr.ac.jp)

湖沼研究にとって十分な湖盆図を作成することが可能となった。本研究で明らかになった湖盆形態と水質や水生生物との関わりについて考察した。

キーワード：湖盆図、等深線図、南極、湖沼、GPS、氷河湖

(2009 年 4 月 2 日受付；2009 年 7 月 15 日受理)

はじめに

南極大陸の大部分は氷床で覆われ、大陸岩盤が剥き出しとなった露岩域と呼ばれる地帯はわずか 2 % 強が点在しているにすぎない。このごく限られた露岩域が南極大陸上での生物の主要な生息場所となっている。南緯 69 度、東経 39 度に位置する昭和基地周辺の東南極宗谷海岸縁にも幾つかの露岩域が存在し (Fig. 1)、融雪水などが涵養する沢沿いに蘚類・地衣類・藻類が繁茂している場所も認められるものの、大部分はこれらの生物も存在しない「岩石砂漠」である。これら露岩は氷期 - 間氷期サイクルという地球規模の環境変動の影響を受け、数万年前に南極氷床が後退して形成された環境であり、その形成史に関する地学的研究が進められ、氷床から開放された年代や海岸の隆起表出などに関する知見が蓄積されてきている (三浦ら, 2002)。

この宗谷海岸露岩域には多数の湖沼が点在している (Imura et al., 2003)。近年実施された湖底堆積物の年代測定によると、これら湖沼群は最終氷期以降およそ数万年から数千年前の氷床後退後に成立したものであることが推定されてきている (瀬戸ら, 2002; Matsumoto et al., 2006)。これら湖沼群は近接し、一様な気候条件の下、現在まで維持されてきたと考えられるにも関わらず、その水質にはきわめて多様なものが認められる (国立極地研究所 生物圏研究グループ湖沼データベース、<http://polaris.nipr.ac.jp/~penguin/Terrestrial/regal/DataBase/index.htm>)。現在、海水よりも高塩分を保持する湖は、そのほとんどが現在の海面高度よりも低い窪地にあり、これらの湖岸には海産生物の化石を産すること、湖底堆積物中に海由来の生物化石を有する (三浦ら, 2002) ことから、海洋起源の塩湖 (thalassohaline lakes) と考えられる。また、海洋起源ではない湖沼においても水質は大きく異なっている。これは湖沼のほとんどが河川や集水域によって相互につながっておらず、最終氷期以降の氷床後退を主要因として形成された後、集水域・湖面積比、面積・容積比など湖盆の形態とそれぞれの涵養のされ方による差異 (多年雪や氷床からの直接涵養の有無、流入

出河川の有無など) がもたらした多様性と推察される。

宗谷海岸露岩域の湖沼群における水質調査に関しては 1967 年に第 8 次日本南極地域観測隊で初めて実施され (杉村, 1971)、それ以降から現在まで熱心に行われており (村山, 1977; Kudoh et al., 2003b)、最近になって湖底植生・動物プランクトン調査 (Imura et al., 1999; Kudoh et al., 2003a; 2003b; 2003c; 2008; 田邊, 2007) や連続的な湖沼環境データの取得 (Tanabe et al., 2008) など生態学的調査も活発に行われてきている。一般に、湖盆形態は湖沼の成因によって異なるばかりか、湖沼の生態系や物質循環に強く影響するものと言われている (西條・三田村, 1995)。この地域にある湖沼の湖盆はいずれも氷河

Fig. 1 Locations of Syowa station and Sôya Coast. Black parts indicate denuded areas from continental ice sheets.

図 1 昭和基地と宗谷海岸の位置。黒く塗りつぶした部分は露岩域を示す。

の侵食作用によって形成された窪地の「氷河湖」ではあるが、湖岸隆起が原因となつて浅い海が隔離されたもの（海址湖）、氷河堆積物（モレーン）や多年雪によってせき止められたもの（堰止湖）、氷河消失後の窪地（カール）に融雪水などがたまった「釜形湖」、U字谷に沿った「数珠玉湖」など、窪地に湖水が滞留するに至った成因を異にするものが多数存在する。また、この地域の湖沼には湖水が発達するが、湖水の発達・消失にともなう物理的攪乱（破壊）によって、浅い湖岸帯は生物分布・定着が妨げられた裸地状態になっていること（Kudoh et al., 2009）、湖棚崖斜面から深部に向かって湖底植生分布に差異が認められること（田邊, 2009）、さらには、いくつかの海洋起源湖（海址湖）は顕著な密度成層を示す部分循環湖となっており、深層部には硫化水素に富む無酸素水塊が存在し、これが湖内の生物の鉛直分布に強く影響しうること（Kudoh et al., 2008）、など、湖盆形態がその湖の生態系に及ぼしている影響もまた小さくはない。したがって、南極の湖沼研究においても湖盆形態の把握は極めて重要なものである。しかしながら、これま

で湖盆形態調査が熱心に取り組まれてこなかった背景には、調査湖沼まで観測機材とともに測量機材や船舶などの大掛かりな機材を運搬することが一般には容易ではない上に、小型可搬ボート（ゴムボートなど）を用いた調査ではその観測位置を定位させること、動きやすいボート上からの正確な位置決定が困難であったことが最大の原因である。これまでの同地域の湖盆形態に関しては、冬季結氷中に幾つか穴をあけて測深・測量したデータに基づき作成された報告が一つある（ラングホブデ・ぬるめ池）のみである（瀬戸, 1998）。

精密な湖盆図を作成しようとした場合、船底に音波探査機、音響測深器を固定することのできるある程度大型の船を用いる。一定速度で航行して連続的な湖盆地形データを記録させる線測や、さらに詳しいものと、航行しながら音波を左右に細かな周期で振ってスキャンさせることによって湖底の面的なデータを得る面測等がある（沖野, 2002）。しかし、南極湖沼でこれらの方法を用いることは、装置の搭載可能な規模の船舶が湖畔に輸送できない限り極めて困難である。これまでに日本南極

Fig. 2 Sonar images of the lake bed of Lake Suribati Ike (see Fig. 3 for the location) by linear measurements.

図2 線測によるすりばち池（位置は図3参照）湖底の音響探査画像

地域観測隊では、モーターを搭載した小型船舶を用いて一つの湖沼で一度だけ線測が実施されたが (Fig. 2)、水深と位置情報の同時記録が出来ず、湖盆図の作成までには至らなかった。また、この湖沼は宗谷海岸露岩域の湖沼群の中でも比較的アクセスが容易な場所に位置しているにも関わらず、重量約 200 kg の装置を 4 人乗ボートに搭載するほどの大掛かりな調査規模となり、かなりの時間と労力を費やす結果となった。できるだけ手軽に必要な十分な精度で観測を実施することが、湖沼へアクセスするだけでも容易でない南極の湖沼研究で最も重要視される点である。

本研究は、南極湖沼生態系の特性を描き出すべく、近年普及が著しい小型の GPS と測鉛や音響測深器、簡易ゴムボートを用いて、簡便に南極湖沼の湖盆形態図を作成することを目的として実施した。これによって、宗谷海岸露岩域湖沼群のうち、典型的な氷蝕地形である U 字谷底部に水をたたえた湖沼と、過去の海岸隆起 (isostatic rebound) によって閉ざされて形成された湖沼の湖盆形態を、夏の水質環境とともに紹介する。

方 法

調査地点

昭和基地から約 50 km 南に位置するスカルブスネス露岩域 (69°28'S, 39°36'E) に存在する長池 (Fig. 3、U 字谷底部に位置する湖沼)、昭和基地から約 70km 南に位置するスカーレン露岩域 (69°40'S, 39°25'E) に存

Fig. 3 Map of Skarvsnes, Lake Naga Ike, and Lake Suribati Ike.

図 3 スカルブスネス露岩域、長池、すりばち池の地図

Fig. 4 Map of Skallen and Lake Skallen Ô-Ike.

図 4 スカーレン露岩域とスカーレン大池の地図

在するスカーレン大池 (Fig. 4、湖岸隆起による海洋起源湖) を対象に、調査を実施した。長池の調査は 2008 年 1 月～2 月、スカーレンでの調査は 2007 年 1 月 5 日に実施した。

湖盆・湖岸形態の調査

長池において、ゴムボート上から 2008 年 1 月 15 日に 12 地点、2008 年 2 月 12 日に湖岸を含む 47 地点の GPS データ (GPSmap 60CS, GARMIN, USA) と音響測深データ (PS-7, Hondex) を記録した。スカーレン大池においては、残存していた湖水にエンジンドリルを用いて穴を穿って測深と位置測定を、測鉛と上述の GPS を用いて 2007 年 1 月 5 日に実施した。湖水上での測深と位置測定は 25 点、湖岸に沿って 135 点の位置情報を記録した。得られた位置と水深データから、ArcGIS ArcView、ArcGIS Spatial Analyst、および ArcGIS Geostatistical Analyst (ArcGIS 9.2, ESRI ジャパン) ソフトウェアを用いて湖盆図を作成した。なお、用いた GPS の測地系は WGS-84 である。

湖岸線の長さ及びその面積等に関しては国土地理院発行の二万五千分の一の地形図から、プランメーター (X-PLAN360i, USHIKATA) を用いて読み取った。現在、国土地理院から発行されている地形図は GPS が表示する緯度経度情報とは測地系が異なる。そのため、湖岸線の位置情報は GPS で測定したデータで描いたものである。

水質調査

水質測定には多項目水質計 (YSI6600, YSI, USA) を使用し、およそ湖心部でゴムボート (EC2-521、アキレス株式会社) 上から、水温 (測定精度: $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$)、塩分 (測定精度: ± 0.1 ppt)、DO (溶存酸素、測定精度: $\pm 1\%$)、pH (測定精度: $\pm 0.2\%$)、Orp (酸化還元電位、測定精度: ± 20 mV)、chl *a* 濃度 (分解能: $0.1\ \mu\text{g}$) を鉛直的に測定した。多項目水質計で測定した水温プロファイルから、この期間中に湖水は完全に鉛直混合していることを確認し、同地点における水柱の中間程度である水深 5 ~ 6 m から円柱状採水器 (長さ 50 cm) を用いて採水し、湖水中の栄養塩類と chl *a* 濃度の測定用試料とした。水試料 200 mL を濾過した直径 25 mm のグラスファイバーフィルター (GF/F, Whatman International, UK) を、6 mL の DMF (*N,N*-dimethylformamide、試薬特級、和光純薬工業株式会社) 中に入れ、約 -20°C で懸濁態 chl *a* を抽出し、蛍光光度計 (Model 10-AU fluorometer, Turner Design, USA) にて測定を行った (Moran and Porath 1980)。また、湖水を $0.20\ \mu\text{m}$ のシリジカートリッジフィルター (DISMIC-25, Cellulose acetate, ADVANTEC、東洋濾紙株式会社) で濾過後、

もしくは濾過せずそのまま凍結させておいた試料を用い、以下の要領で栄養塩類の分析を行った。濾過後、凍結した試料を室温にて融解させ、栄養塩自動分析装置 (TRACCS-800, BRAN LUEBE, Germany) を使用し、硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸塩濃度の比色定量を行った。また、無濾過試料を融解させたものは、TP (全リン)・TN (全窒素) 分析に用いた。加酸して無機化後、ポータブル全窒素・全リン計 (TNP-10, 東亜 DKK 株式会社) にて溶液中の全リン・全窒素濃度の比色定量を行った。

結果と考察

長池は花崗岩を起源とする変成岩 (含ザクロ石花崗岩質片麻岩と輝石片麻岩) が北東から南西方向に氷河の流動によって削られた U 字谷の窪地に位置している (Ishikawa et al., 1977)。現在の湖面の標高は 70 m であり、この地域の氷床後退に伴う陸地の隆起 (isostatic rebound) が 20 m 程度であることを考慮しても (Miura et al., 1998)、長池は氷床後退後と考えられる湖沼誕生から現在まで海面下に没せず、もっぱら集水域からの融雪水や降雪による水の供給と流出・蒸発のバランスによっ

Fig. 5 Bathymetric map of Lake Naga Ike.

図 5 長池の湖盆図。図中の (●) は測深地点を示す。

て湖水が維持されてきたと考えられる。現在は氷床とは接しておらず、顕著な流入・流出河川等もないことから、海洋履歴の無い止水湖（閉塞湖）である。

GPS・深度データから描かれた長池の湖盆は、ほぼ中央部に最大水深 10.2 m を持つ単一の湖盆からなり（Fig. 5）、北西と南東側の U 字谷斜面に接する湖岸からは湖棚崖が急激に落ち込むこと、これに対し、北東と南西の谷軸方向の深度変化は緩やかであることが、本研究調査によって初めて明らかになった。このように急な湖棚崖を持つ軸と、緩やかな深度変化を持つ軸が交差する湖盆形態は、南極氷床の後退により削られたことによるものと考えられる。国土地理院発行（1987 年発行）の二万五千分の一の地形図から、短軸：約 150 m、長軸：約 450 m、面積：0.048 km²、湖岸線の長さ：1.00 km、肢節量：1.30 の長細い形態をしており、湖を含む集水域面積は 0.334 km² と読み取ることができた。田邊（2009）によると、この時の長池での調査から、水深 2 m 未満の湖岸帯には湖上から肉眼で確認できる湖底の植生は認められないこと、急峻に落ち込む南東の湖棚崖の水深 2 ～ 4 m 付近には水生コケ類の密生したカーペット状の群落が発達していること、比較的緩やかな傾斜である北東湖岸よりの水深 2 ～ 4 m には「コケ坊主（Imura et al., 1999）」と呼ばれる水生コケと藻類の混合群集からなる柱状の群落が林立していること、さらには、水深 8 m よりも深部においてはほとんど水生コケが分布せず、マット・フェルト状の藻類群落が発達していることが報告されている。この観測結果は未だ定性的なもので留まっているが、長池の湖底植生は水深や傾斜に沿った帯状分布をしていることを意味する。

2008 年 1 月 15 日の観測における長池湖心部では、水温、塩分、pH、DO、chl *a* 濃度の値は全層にわたり鉛直的な変化は極めて小さく、湖水がよく鉛直混合されていたことが示唆された（Fig. 6）。水温は 3.5 °C、塩分は 1 ppt 以下、pH は 8.8 ～ 8.9、DO は 11.5 mg L⁻¹ の調和型湖沼である。また、chl *a* 濃度は 0.1 ～ 0.4 μg L⁻¹ でかなり低く、これはほとんど蛍光センサーの検出限界に近いものであった。また、全窒素・全リンに代表される栄養塩の濃度も全層混合しているにもかかわらず非常に低い値であり、この湖沼が貧栄養湖であることが明らかになった（Table 1）。ここで示した水質に関するデータは湖沼の氷の消失したあとの夏の状態での結果である。これらの値には鉛直差がほとんど無いことから、先に田邊（2009）が報じているような植生の帯状分布をもたらした要因は、ここで取り上げていない光環境の鉛直差、南

Fig. 6 Vertical profiles of limnological parameters in Lake Naga Ike and Lake Skallen Ô-Ike in January. DO: dissolved oxygen [%]; Orp: oxidation-reduction potential [mV].

図 6 長池の湖沼学的パラメーターの鉛直プロファイル。DO は溶存酸素 [%]、Orp は酸化還元電位 [mV] を示す。

Table 1 Nutrients in waters of Lake Naga Ike and Skallen Ô-Ike in summer.

表 1 夏季の長池とスカーレン大池における湖水の栄養塩

Lake	NH ₄ ⁺	SiO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TP	TN	COD
	[μmol L ⁻¹]					[mg L ⁻¹]		
Naga Ike	0.33	164	0	0	0	0	0.0050	0
Skallen Ô-Ike	0.39	49.2	0	0	0	0.21	0.075	ND

TP: total phosphorous; TN: total nitrogen; COD: chemical oxygen demand; ND: no data.

極湖沼特有である浅部での氷による攪乱や結氷期間に生じる可能性がある環境の鉛直差が強く作用した結果であろうと推察される。

スカーレン大池は、現在標高 10 m 程度の丘で海と隔てられているが、氷河後退に伴った海岸の隆起で浅い海盆が閉ざされて生じた海生起源湖であると言われている。東西に長いアレー型で、その長軸の中央部が水深 3 ～ 4 m と浅くなっており、この両側で深くなるという 2

つの湖盆を持つ湖沼であり、西側の湖盆は最大水深 8.2 m、東側の湖盆が最も深く最大水深 9.2 m となっていることが明らかになった (Fig. 7)。地形図から短軸：約 300 m、長軸：約 1300 m、面積：0.216 km²、湖岸線の長さ：3.33 km、肢節量：2.02 の東西に長細い形態を読み取ることができ、湖の集水域面積は 1.150 km² であった。この周辺の湖沼は一年のうち約 11 ヶ月もの間、湖面が結氷しており、厚さ 1-2m 程度まで発達する (Tanabe et al., 2008)。そのため、湖氷の移動による攪乱を受けやすい浅い湖岸帯が広がっている (Fig. 7) と考えられ、湖氷による攪乱がない水深 3-4 m になると湖底には厚い藻類主体の群落に混じって水生コケが採集されたという記録がある (工藤, 私信)。4 m 以深では柔らかな淡水性の藻類群集が 1 m 以上の厚さで堆積し、堆積物の深さ約 1.5 m 以下には海起源の生物化石を含むことが報告されている (Matsumoto et al., 2008; Ohtani et al., 2008)。

スカーレン大池の水質調査は湖氷が残存している状態で実施したが、水深 1 m 以深において水温は 4.8 ~ 4.9°C、塩分は 0.20 ~ 0.21 ppt、DO は 13.1 ~ 14.9 mg L⁻¹ で鉛直的にほとんど変化がなかった。しかし、水面から水深 1 m 付近までの水温は 3.1 °C、塩分は 0.07 ~ 0.15 ppt と低く、DO は 15.9 mg L⁻¹ と高い値を示していた (Fig. 6)。これは、観測を実施したのが湖面を覆う氷が融解し始めた時期であったために、表層に低温・低塩分の融解水が存在していたことによるものと考えられた。pH は 8.5

~ 8.8、chl *a* 濃度は 0.1 ~ 0.2 μg L⁻¹ であり、これらは長池と同様に全層にわたり鉛直的な変化は小さかった。chl *a* は長池と同様にほとんど蛍光センサーの検出限界に近い値であり、また栄養塩の濃度も非常に低い値であったことから、本湖沼も調和型の貧栄養湖沼と区別される (Table 1)。

長池の湖水は淡水湖と塩湖を区分する境界付近の塩分を保持し、スカーレン大池の湖水もまた僅かに塩分を含んでいた (Fig. 6)。湖沼の水質は、流出入する水の質と量によって、多大な影響を受けるのが一般的である (Horne and Goldman, 1994)。しかし、ここで示した 2 湖沼は、現在では直に大陸氷床とは接しておらず、また、河川によって氷床水が供給されているわけではない。従って、現在それらの湖沼が示している水質環境はそれぞれの湖沼が持つ集水域の水の性質とその収支が最大の影響要因となっている。昭和基地における降水量 (雪) が年間 648 mm 程度であるのに対し、蒸発量が上回る気候であるためか (1999 年から 2007 年までの平均値、気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)、露岩表面に乾固した塩類結晶に至る所で発見できる。風送塩として海から運搬されてきた塩類が降雪として地表に到達し、その一部が融雪水として湖沼に流入することで、湖水の塩濃度上昇を導き、非海洋起源湖沼での高塩分化 (athallassohaline lakes) の要因となっていると考えられる。非海洋起源湖での湖内への高塩水の貯留と蓄積

Fig. 7 Bathymetric map of Lake Skallen Ô-Ike.

図 7 スカーレン大池の湖盆図。図中の (●) は測深地点を示す。

メカニズムとしては、季節的に発達・消長を繰り返している湖水生成に伴い、密度の高い鹹水が排出され、これが冬季に密度差に応じ底層に蓄積すること（cf. 海水生成に伴う brine rejection）が原動力と考えられる。顕著な流入出河川が認められないほぼ完全閉塞湖である長池においては、特に、集水域の積雪中の塩濃度とその供給量、及び湖水生成に伴う塩類の蓄積がこれら小さな浅湖の塩分濃度形成に多大な影響を及ぼしてきたと考えられる。

スカーレン大池は本研究の水質データで示したように、現在ほとんど塩分を含まない淡水湖となっている。しかし、典型的な海岸段丘の湖岸で囲まれていること、標高わずか 10 m で海岸脇に位置すること、湖底堆積物の深部に海産生物化石が見つかることから、最終氷期以降の氷床後退に伴う大陸の隆起によって浅い海が隔離されて形成された海洋起源湖（marine relic lake）である。現在、湖水が淡水に置換されているのは、氷河後退時に氷河から海水が置換されるほど大量の融解水供給を受けたことが推察される。湖岸の隆起により、海洋から湖に移り変わり、その後、海水が淡水に遷移したのは約 3400 年前であるという推定が、湖底堆積物の生物化石と ^{14}C 安定同位体分析結果から報告されている（Matsumoto et al., 2008）。

冒頭で述べた通り、宗谷海岸露岩域における湖沼群の水質調査に関してはこれまで熱心に取り組まれ、その水質の多様性が明らかにされつつある。これら調査は湖盆図がない故、調査のたびごとに湖岸地形の特徴をもとに最深部が位置すると推定された湖心付近で実施されてきた。本研究で用いた方法により、大規模な測量機材や船舶を利用することなく、ハンディタイプの GPS と音響測深器や測鉛、ゴムボートもしくは湖水上ならばドリルのみで効率的かつ簡便に信頼性の高い湖盆図を作成することが可能で、水質の測定報告に際し、湖盆図を併記することで湖沼水質の特性をその湖を代表するような場所で測定したか否かについても言及できよう。また、水質の特性のみならず、湖水の攪乱の影響が大きな湖岸帯、水深や斜面によって移り変わる植生構造が認められることは、南極湖沼の光合成生物の主体が湖底の藻類・蘚類群集であることを考慮すると、湖盆形態の把握がそれらの分布量や生産量、生産構造の推定に極めて重要なものであるといえる。本作成法を他の南極湖沼群にも適用し、昭和基地周辺に存在する 100 以上もの湖沼の多様な湖盆形態を近い将来明らかにしていくことが我々の今後の課題の一つである。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、第 48 次ならびに第 49 次日本南極地域観測隊の皆様、特に 48 次夏隊員・笠松伸江博士、星野保博士、韓東勲博士には野外調査において様々な御支援・御協力をいただきました。第 48 次、49 次夏隊員としてともに活動した海上保安庁海洋情報部・杉本綾氏には湖水の栄養塩分析に御協力いただきました。皆様のご尽力に深謝申し上げます。

文 献

- Horne, A.J. and C.R. Goldman (1994): *Limnology* (2nd edition). McGraw-Hill, Inc., New York.
- Imura, S., T. Bando, S. Saito, K. Seto, H. Kanda (1999): Benthic moss pillars in Antarctic lakes. *Polar Biology*, 22: 137-140.
- Imura, S., T. Bando, K. Seto, S. Ohtani, S. Kudoh, H. Kanda (2003): Distribution of aquatic mosses in the Soya Coast region, East Antarctica. *Polar Bioscience*, 16: 1-10.
- Ishikawa, T., K. Yanai, Y. Matsumoto, K. Kizaki, S. Kojima, T. Tatsumi, T. Kikuchi, M. Yoshida (1977): Explanatory text of geological map of Skarvsnes, Antarctica. Antarctic geological map series sheet 6 Skarvsnes, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- Kudoh, S., K. Watanabe, S. Imura (2003a): Ecological studies of aquatic moss pillars in Antarctic lakes 2. Temperature and light environment at the moss habitat. *Polar Bioscience*, 16: 23-32.
- Kudoh, S., Y. Tsuchiya, E. Ayukawa, S. Imura, H. Kanda (2003b): Ecological studies of aquatic moss pillars in Antarctic lakes 1. Macro structure and carbon, nitrogen and chlorophyll a contents. *Polar Bioscience*, 16: 11-22.
- Kudoh, S., Y. Kashino, S. Imura (2003c): Ecological studies of aquatic moss pillars in Antarctic lakes 3. Light response and chilling and heat sensitivity of photosynthesis. *Polar Bioscience*, 16: 33-42.
- Kudoh, S., Y. Tanabe, T.K. Takahashi (2008): Abundance of benthic copepods in a saline lake in East Antarctica. *Polar Biology*, 31: 1539-1542.
- Kudoh, S., Y. Tanabe, T. Inoue, H. Kanda (2009): Breaching of a perennial snow dam below Lake Hyoga Ike in the Langhovde region of the Soya Coast, East Antarctica: Possible effect of disturbance events on the distribution

- and colonization of flora within/around the lake. *Antarctic Records*, 53(1): 114-122.
- Matsumoto, G.I., K. Komori, A. Enomoto, S. Imura, T. Takemura, Y. Ohyama, H. Kanda (2006): Environmental changes in Syowa Station area of Antarctica during the last 2300 years inferred from organic components in lake sediment cores. *Polar Bioscience*, 19: 51-62.
- Matsumoto, G.I., T. Moriyama, T. Tazawa, T. Takemura, K. Seto, T. Watanabe, T. Nakamura, S. Imura, H. Kanda (2008): Environmental changes in the Syowa Station area of Antarctica estimated from organic components in sediment core from Lake Skallen Oike. Abstracts of XXXI symposium on Polar Meteorology and Glaciology, *Polar Biology*: 180, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- Miura, H., H. Maemoku, A. Igarashi, K. Moriwaki (1998): Late quaternary raised beach deposits and radiocarbon dates of marine fossils around Lutzow-Holm Bay, with explanatory text, 46p. Special map series of National Institute of Polar Research No. 6. National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 三浦英樹ら (2002): 総特集 - 第四紀の南極氷床変動と古海洋・古気候変動 -. *月刊地球*, 24(1).
- 村山治太 (1977): 昭和基地付近の露岩地帯に存在する湖沼の一般的性状について. *南極資料*, 58: 43-62.
- Ohtani, S., T. Ohtsuka, G.I., Matsumoto, K. Seto (2008): Environmental change in the Syowa Station area of Antarctica inferred from diatoms of Lake Skallen O-ike sediment core. Abstracts of XXXI symposium on Polar Meteorology and Glaciology, *Polar Biology*: 164, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 沖野外輝夫 (2002): 新・生態学への招待 湖沼の生態学. 共立出版株式会社, 東京.
- 瀬戸浩二 (1998): 2.6.1 南極環境と生物の適応に関する研究. 日本南極地域観測隊第 38 次隊報告: 236-251, 国立極地研究所, 東京.
- 瀬戸浩二・伊村智・坂東忠司・神田啓史 (2002): 南極湖沼に記録された完新世の古環境. *月刊地球*, 24(1): 31-36.
- 西條八束・三田村緒佐武 (1995): 新編 湖沼調査法. 講談社サイエンティフィク, 東京.
- 杉村行勇 (1971): スカルプスネスの塩湖. *極地*, 7(1): 10-12.
- 田邊優貴子 (2007): 南極淡水湖沼における藻類群集の強光・紫外線に対する適応戦略. *光合成研究*, 17(3): 58-62.
- Tanabe, Y., S. Kudoh, S. Imura, M. Fukuchi (2008): Phytoplankton blooms under dim and cold conditions in freshwater lakes of East Antarctica. *Polar Biology*, 31: 199-208.
- 田邊優貴子 (2009): 南極湖沼における藻類群集の光生理・生態学的研究. 総合研究大学院大学 博士論文.