



Title	倶多楽湖における小気候調査
Author(s)	石川, 信敬; ISHIKAWA, Nobuyoshi; 小林, 俊一 他
Citation	低温科学. 物理篇, 38, 121-127
Issue Date	1980-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18396
Type	departmental bulletin paper
File Information	38_p121-127.pdf



倶多楽湖における小気候調査*

石川信敬・小林俊一・秋田谷英次

(低温科学研究所)

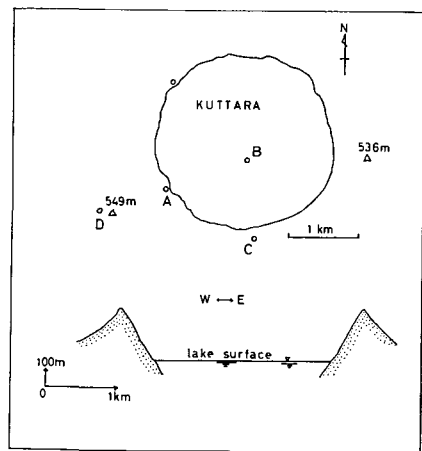
(昭和54年10月受理)

I. ま え が き

ある地域の小気候を決定するものとして地形が大きな因子となる。著者らは地形的特徴を考慮して盆地における放射冷却の観測から低温発生の機構を調べてきた¹⁾。カルデラ湖は地形的には内に水を貯えた1種の盆地である。しかし水は熱容量が大であるため特に深い湖は、大きな貯熱量を内蔵しており強い放射冷却は生じにくい。このような湖も冬期に結氷し熱伝導の悪い積雪が湖面を覆うことにより、湖水とその上の大気は熱的に遮断され、強い盆地冷却が生じると考えられる。本研究は結氷前後の湖盆内の気温観測から盆地冷却の機構を知り、その湖独自の小気候の特徴を明らかにしようとするものである。

II. 観 測 方 法

カルデラ湖における結氷と気象の関係を明らかにし、さらには盆地冷却の機構を把握するための観測地としては、できるだけ単純な盆地状の地形で凍結する湖が望ましい。このため観測場所として北海道南西部北緯42°39′、東経141°11′に位置する倶多楽湖が選ばれた。この湖は湖面高度260m、面積4.3km²、最深部147.5m、湖面直径2.4kmの典型的なカルデラ湖である。湖面の周囲は標高500m程度の山で囲まれている(第1図)。観測は1977年2月、3月に湖内と周辺での微気象観測並びに気温、風速の移動観測、1978年1月～2月の45日間にわたる気温(山頂部と湖畔)と冬期間(12月～4月)の湖面観測、さらに1978年11月20日～1979年6月10日までの気温(山頂部と湖畔)測定と湖面観測を行なった。第1図は倶多楽湖の平面図と縦断面図であり、A点は湖畔の観測点で湖面からの高さ約5m、B点は湖のほぼ中央、C点は湖を見わたす外輪山の1角で水面からの高



第1図 倶多楽湖の観測点

A: 湖畔 B: 湖面上
C: 峠 D: 外輪山最高峰

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2166号

さ約 100 m, D 点は外輪山内の最高峰四方嶺の頂上付近で, 水面からの標高差 290 m にそれぞれある観測点である。

第 1 年度は A, B, C 点で気温 (抵抗式及びバイメタル式温度計), 風速 (3 杯ロビンソン風速計) を測定した。さらに A-C 間の山腹斜面に 25 m の高度間隔で 3 点, 湖面上 A-B 間の 2 点に最高最低温度計を設置し最低気温を測定した。又 A-C 間, A-B 間で夕方 (17~18 時), 夜間 (23~24 時), 早朝 (05~06 時) に移動観測により気温と風速分布を求めた。早朝に湖面上で発煙筒を焚き B-C 間で煙による逆転層高度の観測を行なった。湖面内においては, 吹き溜りや風紋等による表面模様から湖面での卓越風向の観測, 湖水の採取及び顕微鏡観測を随時行なった。

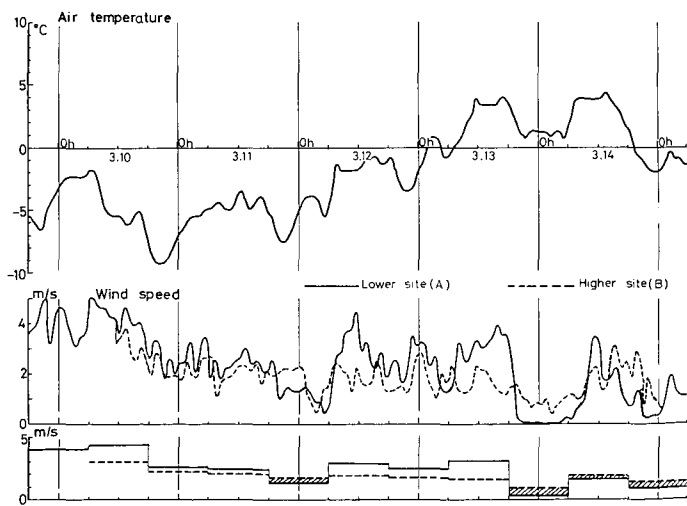
第 2 年度は電池駆動のバイメタル式温度計で気温 (A, C 点) の長期測定, 8 m/m カメラによる²⁾ 湖面観測 (A 点) を行ない, 第 3 年度には電池駆動のサーミスター温度計³⁾ を A, D 点に設置して気温, D 点では 8 m/m カメラによる湖面観測を行なった。サーミスター温度計による気温は 1 日 8 回 (3 時間おき), 8 m/m カメラによる撮影は 1 時間毎に行なった。

III. 観 測 結 果

1. 盆地冷却による気温逆転の観測例

第 2 図に 1977 年 3 月 10 日~3 月 14 日の A, C 点の風速, A 点の気温の時間変化を示した。この時, 湖面は完全結氷しており, 氷厚は最大 37 cm であった。この年の観測期間中は比較的風が強く, それ程強い放射冷却は生じなかった。通常海拔高度が増すに従って風は強くなる。しかし倶多楽湖における A, C 点の風速の記録からは必ずしも高所の風が強いわけではなく, しばしば湖面における風速が山頂部より大きくなることがあった。風速が増した時に盆地内の風が周囲の山頂部より強くなる原因ははっきりしないが, 母子里盆地の風の観測でもこのような傾向が現われた⁴⁾。第 2 図の下段は日中 (06~18 時), 夜間 (18~06 時) のそれぞれ 12 時間平均の風速値であるが, 斜線をほどこした部分では C 点の風速が湖畔の A 点より大きく, 盆地地形で通常観測される傾向である。

観測期間中の晴天日に行なった湖面から斜面, 山頂に至る気温の移動観測の結果を第 3 図に示した。Q1 は湖面, S1 は A 点, S5 は C 点と同じである。3 月 11 日, 12 日の両日も夕方は湖面から山頂にかけて等温になっている。12 日の早朝, 湖面において最も低い気温になっており, 山頂と約 2°C の逆転が生じて



第 2 図 倶多楽湖における気温, 風速の観測例 (1977 年 3 月 10 日~3 月 14 日)

いる。13日の早朝は雲が出て風も強くなったため、気温の逆転はなかった。この期間、湖面上の煙の観測によっても逆転層の高さははっきり得られなかった。

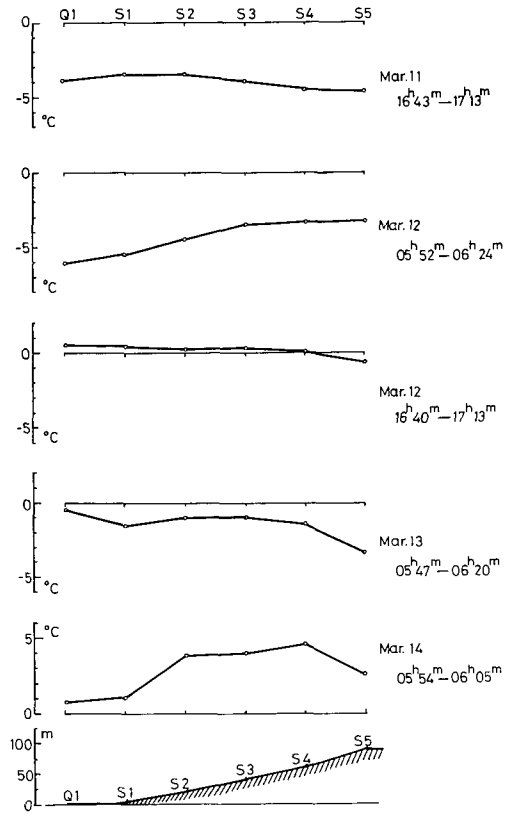
2. 長期的にみた気温の特徴

第4図は1978年12月1日～1979年4月15日の湖畔A点の気温 T_l 、山頂D点の気温 T_h 、さらに湖から直線で2 km 離れた登別温泉の気温(点線)を日最低気温で示したものである。この冬は2月6日に湖の1部分が結氷した後すべての氷が融け去り2月17日に全面結氷した。結氷前には山頂と湖畔における気温差は小さく(約 1°C)、時には登別における気温が最も低くなることがあった。地形的には完全な盆地であっても湖水に夏期の熱が貯えられており盆地内が放射冷却によって低温になるのが妨げられていると考えられる。しかし結氷後、湖面が熱伝導率の小さい氷と雪に覆われるや、湖水とその上の大気が熱的に遮断されて盆地状地形特有の放射冷却が生じ、湖面の気温が最も低くなる。湖面と山頂部の気温差は大きくなり(平均 2.8°C)、結氷前の倍の気温逆転になった。解氷日時の撮影はできなかったが4月26日には完全に氷がなくなっていた。その時湖畔気温は依然として周囲より低く、盆地内だけが冷所になっている。小関ら⁵⁾は倶多楽湖の水温分布の月変化を2年間にわたって測定しているが、その報告によると結氷前の11月、12月の水温より解氷後の4月下旬の水温が低い。

3. 結氷と気温

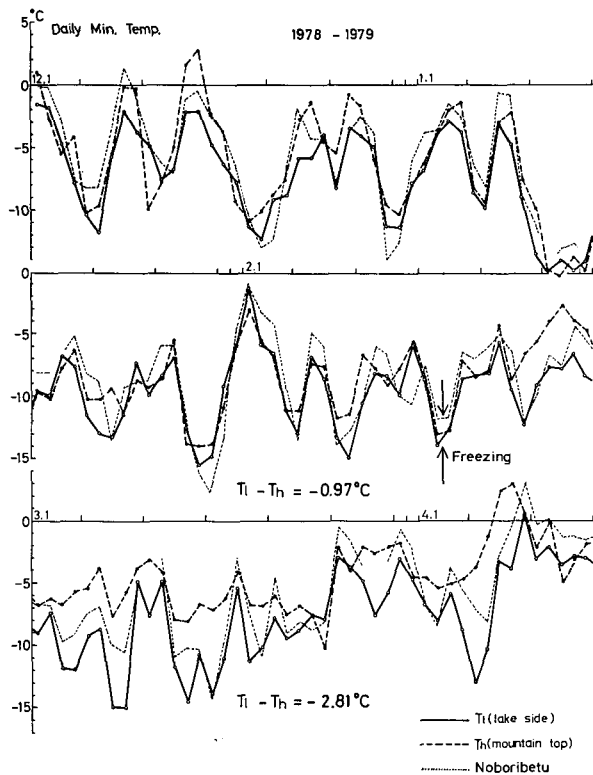
中緯度地帯に位置する湖が凍結するかしないかは、その湖の内外の熱的条件によってきまる。倶多楽湖は凍結湖であるが、すぐ近傍にある支笏湖及び洞爺湖⁶⁾は凍結しない。瀬川⁷⁾は湖盆形態に支配される熱拡散係数の違いによるものが大きな要因であると数値計算の結果からのべている。筆者らは倶多楽湖の結氷現象と気温の関係を調べた。

これまでの観測によると倶多楽湖は水深が深いために完全結氷時期は遅く2月中旬頃と言われている。第1表に小関ら⁵⁾の測定した倶多楽湖の水温の値を1970年9月25日～1971年4月26日にわたって示した。倶多楽湖は平均水深105 m、最深部147.5 mの深い湖であり、夏期、秋期とも表面から50 m以下の深さでは、温度 4°C の最大密度の水塊が存在した。12月中旬には冷却が進み湖は全層 4°C となり、結氷時期ははっきりしないが、1971年3月20日に氷厚45 cmの氷があり、4月26日には氷はなかった。著者らの行なった8 m/m カメラの観測による



第3図 斜面に沿った気温分布

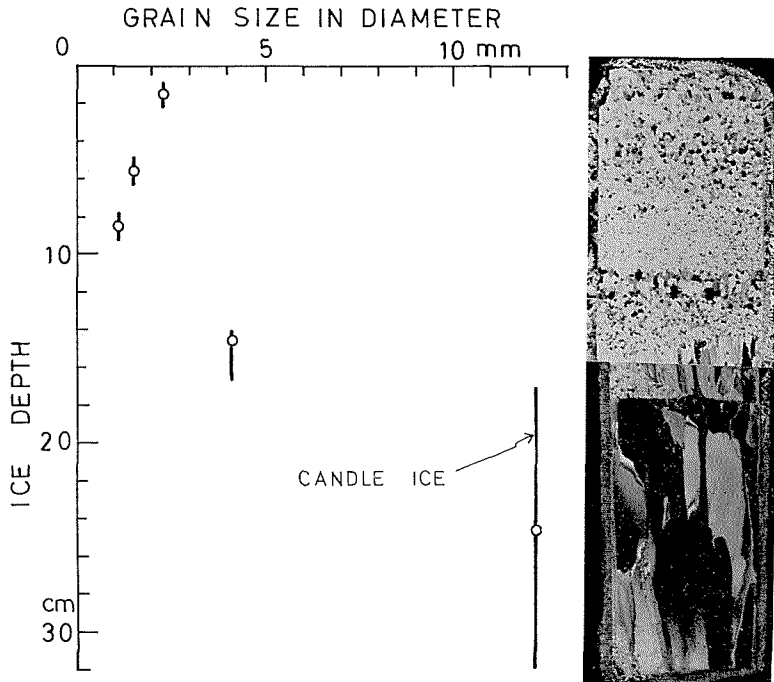
Q1: 湖面上 S1: 湖畔 S5: 峠



第4図 倶多楽湖の気温
 T_l : 湖畔の気温 T_h : 山頂の気温
 1978年12月1日～1979年4月15日

第1表 倶多楽湖の水溫鉛直分布 (小関, 吉田⁵⁾)

月・日 深さ	1970年				1971年		
	9/25 (°C)	10/30 (°C)	11/26 (°C)	12/23 (°C)	12/1 (°C)	3/20 (°C)	4/26 (°C)
0 m	18.2	13.2	8.4	4.0	2.0	(0.6)	3.7
5	18.0	13.2	8.4	4.0	2.0	2.1	3.7
10	17.5	13.3	8.3	4.0	2.1	2.3	3.7
15	8.6	12.7	8.3	4.0	2.2	2.4	3.7
20	6.4	7.2	8.2	4.0	2.5	2.6	3.7
25	5.3	5.8	6.3	4.0	2.7	2.9	3.7
30	4.6	5.2	5.2	4.0	2.8	3.0	3.7
35	4.4	4.5	4.6	4.0	2.8	3.1	3.7
40	4.1	4.2	4.4	4.0	2.9	3.3	3.7
45	4.0	4.1	4.3	4.0	3.1	3.4	3.7
50	3.9	4.0	4.1	4.0	3.2	3.5	3.7
55	3.9	3.9	4.0	4.0	3.3	3.5	3.7
60	3.9	3.9	3.9	4.0	3.4	3.6	3.7
80	3.8	3.9	3.9	4.0	3.7	3.8	3.7
100	3.8	3.9	3.9	4.1	3.8	3.8	3.8
120	3.9	3.9	3.9	4.1	3.9	3.8	3.9

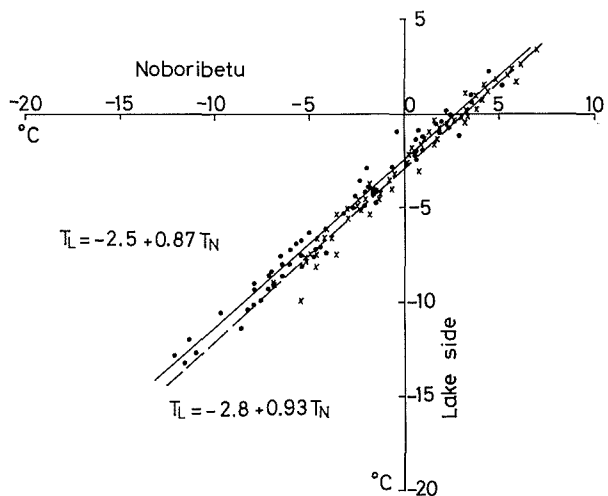


第5図 湖氷の縦構造

と、1978年は1月26日、1979年は2月17日にそれぞれ全面結氷した。1978年3月中旬(氷厚37cm)における氷の縦方向の構造を第5図に示した。上部は細かい雪粒(直径1~2.5mm)からなる「ゆき氷」で、下面は大きな結晶粒(直径約12mm)の青氷であった。この青氷は日射にさらすと結晶粒界で内部融解を生じ、チンダル像が明確にあらわれるキャンドルアイスであった。図の右側は、氷の縦断面の偏光写真である。

倶多楽湖畔における冬期間通しの気温を1978~1979年に得たが、この値と登別の気温の関係を結氷前と結氷後に分けて第6図に示した。気温は日平均値を用いた。登別に較べて2~3°C湖畔の気温が低いが、相関は極めて良く(相関係数0.9以上)登別の気象観測所における気温のデータも使用できる。

氷の成長は積算寒度で近似的にあらわすことができる。著者らおよび小関⁵⁾、中尾⁸⁾の氷厚



第6図 倶多楽湖畔の気温と登別温泉の気温の関係(1978年12月~1979年4月)

実線: 結氷前 破線: 結氷後

測定値とその測定日までの積算寒度の値を第7図に示した。倶多楽湖の結氷時期は1978年と1979年で約半月異なったが、2年間の測定においてこの湖は積算寒度約 $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ で結氷していることがわかる。氷厚 (h) と積算寒度 (ΣT) の関係を Stefan 方式であらわすと

$$h = \alpha \sqrt{\Sigma T} \quad (1)$$

となる。ここで α は氷厚係数である。第7図の (1), (2), (3), (6),

(7) の値を使うと $\alpha \approx 2.6$ が得られた。この値は福富ら⁹⁾ がオホーツク海の海水で求めた値 ($\alpha = 2.1 \sim 2.6$), 成瀬等¹⁰⁾ や若土¹¹⁾ が南極昭和基地周辺の海水で求めた値 ($\alpha = 2.0 \sim 2.4$, $\alpha = 3$) に近い。(4), (5), (6), (7) の著者らの実測値を用いると $\alpha \approx 1.8$ となる。解析的に求めた α の値は $\alpha = 3.6$ となり¹²⁾, この値に較べるといずれの係数も小さくなっている。実測値にもとづいた気温と氷厚の関係を Zybor は

$$h^2 + 50h = 8(\Sigma T) \quad (2)$$

と表わしているが¹²⁾, 著者らの値は (2) 式で近似できた。ここで (1) 式と (2) 式は連続した凍結過程における氷厚を求める際に適用されるものであり, 著者らの数年間にわたる個々に得られた氷厚にこれらの式を適用するには議論の余地がある。著者らは, 倶多楽湖の凍結時期はその年の気象条件により早遅はあるが, 結氷後の凍結進行は気温だけにより湖の状態は年によって変化しないとして取扱った。

IV. ま と め

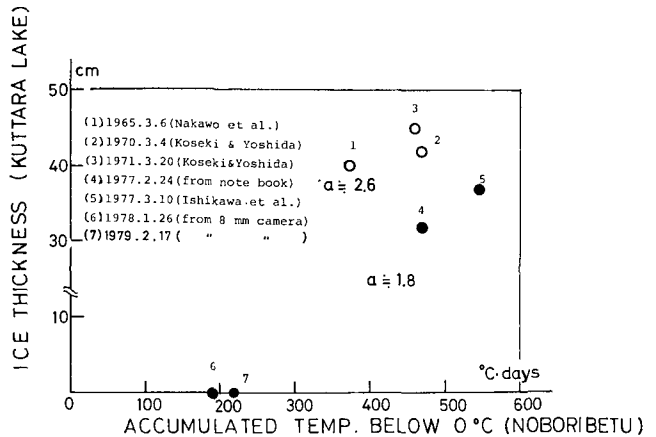
3年間にわたる倶多楽湖の結氷現象と気象の観測から湖の小気候的特徴が明らかになった。カルデラ湖において, 地形は完全な盆地であっても結氷前は湖水のために強い放射冷却は生じない。結氷後は湖水と上部の大気が熱伝導の悪い氷と積雪によって熱的に遮断され盆地内において放射冷却が進み, 湖畔と周囲の山頂部で大きな気温の逆転が生じた。さらに解氷後もしばらくは湖水温度が低く, 盆地内の気温は上昇しにくい。

風速が増すと湖面上において周囲の山頂部よりも風が強くなることがあった。

倶多楽湖の全面結氷には, 約 $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ の積算寒度が必要であり, 氷厚と積算寒度の間に良い関係がみられた。

V. 謝 辞

観測を進めるにあたり北海道大学地球物理学科陸水学講座の中尾欣四郎教授には倶多楽湖



第7図 氷厚と積算寒度の関係

畔の研究施設の利用に際し多大の便宜を計って頂いた。さらに北海道大学低温科学研究所遠藤八十一氏、理学研究科大学院生久保田裕士（現カーター・アート社）、西村浩一（現気象協会北海道本部）、児玉裕二（現アラスカ大学在学）の3氏、および北海道大学苫小牧地方演習林の田中久美子氏には観測の協力を得た。登別温泉熊牧場の加納菜穂子氏には山頂観測の便宜を計って頂いた。本論文の推稿にあたり低温科学研究所小島賢治教授からは有益な助言を頂いた。ここに併記し深く感謝します。

なお本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費（自然災害特別研究）、及び北海道科学研究費補助金によった。

文 献

- 1) Ishikawa, N. 1977 Studies of radiative cooling at land basins in snowy season. *Contr. Inst. Low Temp. Sci., A*, **27**, 46 pp.
- 2) 秋田谷英次 1977 積雪の映像化. 雪氷, **39**, 4, 43-49.
- 3) 秋田谷英次 1978 乾電池を用いた長期自記温度計の試作. 低温科学, 物理篇, **37**, 167-169.
- 4) 石川信敬・小島賢治 1979 母子里における盆地風について. 低温科学, 物理篇, **38**, 113-119.
- 5) 小関迪子・吉田順五 1971 支笏湖, 倶多楽湖の水温鉛直分布. 低温科学, 物理篇, **29**, 資料集, 1-14.
- 6) Takahashi, H., Yamamoto, H., Suzuki, K. and Moriya, H. 1978 Local climate near the small lake. Part. I. Air temperature distributions near lake Toya, Hokkaido, in winter. *J. Agr. Met.*, **34** (2), 77-82.
- 7) 瀬川良明 1974 深い湖の熱的環境. 北海道大学地球物理学研究報告, **31**, 11-20.
- 8) 中尾欣四郎・大規 栄・田上龍一・成瀬廉二 1967 閉塞湖からの分水界漏出一倶多楽湖. 北海道大学地球物理学報告, **17**, 47-64.
- 9) 福富孝治・楠 宏・田畑忠司 1950 氷の厚さの増加について. 低温科学, **3**, 171-185.
- 10) Naruse, R., Ishida, T., Endo, Y. and Ageta, Y. 1971 On the relation between sea ice growth and freezing index at Syowa Station, Antarctica. *Antarctic Rep.*, **41**, 62-66.
- 11) 若士正暁 1979 昭和基地周辺の海水について I*. 低温科学, 物理篇, **35**, 281-286.
- 12) 田畑忠司 1977 海洋物理 IV, 第2編, 海水. 東海大学出版会, 160-164.

Summary

Climatological observations were carried out during three winters from 1977 to 1979 at lake Kuttara located in the southwestern part of Hokkaido.

Intensive radiative cooling hardly occurred before the surface water of the lake was frozen, while a large temperature difference was noted between the lakeside and the surrounding mountaintop after then.

It needed a freezing index of about $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ for the surface freezing of the lake; it was found that the thickness of ice formed was related to air temperature fairly well as shown by eqs. (1) and (2).