春採湖の 1973 年 4 月の解氷

東海林 明雄*

要 旨

春採湖（北緯 $42^{\circ}58'30''$ ，東経 $144^{\circ}24'30''$ ）は，面積 0.39 km^2 の比較的小さな湖である．1973年4月5日の朝，厚さ 12 cm，面積 0.13 km^2 の氷板が岸辺を離れて漂流を開始し，33時間後に消失した．このように，速い消失速度は，風と日射の効果によるものであった．この間，岸辺への乗り上げ，氷の内部構造，氷の下の水温分布，風速などを観測し，解氷の機構を調べた．その結果，ブロックアイス（直径 10 cm 以上の柱状結晶）で構成される氷板の融解は，空気に接する表面及び湖水に接する下面で，気温・水温・風が関与して進行すると同時に，日射による結晶境界，及び結晶内の不純物の周りの融解も，重要な役割を演ずることが分った．

1. まえがき

湖の氷の解氷の機構を調べる目的で，1973年4月に春採湖で観測を行った．従来，湖での融氷の研究は，氷域の縮小経過の記録にとどまり，その影響や解氷の機構についての研究はない．筆者は，結氷した春採湖（北緯 $42^{\circ}58'30''$ ，東経 $144^{\circ}24'30''$ ）での熱収支の観測中（1973年4月），氷の移動によって岸辺に設置しておいた装置を破壊されるという事故に遭遇した．このことによって，春採湖のような比較的小さな湖においても，その影響を無視出来ないことを思い知らされた．そのとき，氷板の移動並びに氷質などの観測を行っていたので，ここに報告する．

写真1は，幾つかの大きな氷板が，お互いに衝突し合いながら，風向の変化に応じて，湖面を漂流しつつある

写真1 湖面を移動する大氷板

状況である．写真2と3は，春採湖の面積の3分の1に相当する．大氷板が漂流を開始した直後の岸辺付近の状況である．写真2で，中央よりやや上部を開水面の帯が横切っている．これは，かつて割れ目であったところか

写真2 春採湖の面積の3分の1に相当する氷板が，漂流を開始した直後の岸辺付近の状況

写真3 写真2の直後，中央の開水面が密閉している．

* 北海道教育大学釧路分校物理学教室

ら氷板が分離し、開水面の帯が出来たところである。黒く写っている部分は全て厚さ 12cm の氷板である。写真3では、風向の変化によって開水面が密閉され、お互いお互いの上にのし上がって、小さな氷丘脈となっている。このように氷板は、ときどき湖岸に吹き寄せられた。そして、氷板が岸辺に乗り上げ、高さ 1m に達する氷の山が出来た。このような氷板の岸辺への乗り上げは、岸辺の構造物に対して、大きな影響を及ぼすと考えられた。この報告では、1973年4月5日に、氷板が岸辺に乗り上げ、高さ 1m に達する氷の山が出来たまでの経過、並びに、融氷の機構について述べる。

2. 氷板が岸辺から分離して漂流を開始するまでの経過

春採湖のように狭い湖では、風や波によって氷板が碎かれ、その氷片が移動するという事は少ない。従って、氷板が動き始めるのは、岸辺や亀裂ラインでの融氷が進み、陸地と氷板との連結が解けて、氷板が湖面に孤立した場合と考えてよいことが、1973年～1980年までの観測で分った。1973年4月5日の11時に、春採湖の南部で、その全面積の3分の1に相当する大氷板が、移動を始める前の開水面の状況を図1に示す。岸辺で開水しているのは、そこでの熱交換が盛んな為である。点線と湖岸線の囲む部分が、4月1日に水面が見られた区域である。一点鎖線と実線は、それぞれ4月4日の14時と翌5日の11時の水域を示している。5日の11時に、風向がWSWからSWに変わり、瞬間最大風速が13.5m/sに達した。このときを境に、斜線部分の大氷板が動き始めた。この氷板の厚さは平均12cmであり、面積は0.13km²であって、湖の全面積の3分の1に相当する。以下に、この氷板の動き、湖岸に対する作用、性質、消失の経過について述べる。

3. 岸辺への乗り上げ

図1の湖面の矢印の地点には、陸地が三角形に湖面に向かって張り出している土手があった。この土手の鉛直

図1 点線と湖岸線とが囲む部分が、4月1日に水面が見られた区域である。一点鎖線と実線はそれぞれ、4月4日の14時と、翌5日の11時の水域を示している。斜線部分は一枚の大氷板で、5日の11時に移動を開始した。

断面を図2に示す。この水面から25cmの高さの土手の上に氷板が、二重・三重に乗り上がって、高さ1mの氷の山が出来た。写真4は、ヨシを倒しながら氷板が土手に最初に押し上げられつつある状況である。この直後に土手は、完全に厚さ12cmの氷に覆われた。この後、数回の氷板の移動に応じて、二重・三重に氷板がのし上がって、最終的には、高さ1mの氷の山となった。写真5では、氷板が折り重なっている状態がわかる。このとき、

図2 土手に押し上げられた氷の山

写真4 岸辺を襲う氷

写真5 二重の押し上げ

写真 6 押し上げられた蜂巢状氷

写真 7 蜂の巣状氷の垂直断面

平均 7m/s で SW から SSW の風が吹いていた。そして、押し上げのエネルギーはかなり大きいと思われた。このような土手での構築作業においては、上記の流氷の影響を考慮しておく必要があろう。

4. 氷 質

写真 4, 5 のように山を作っている氷は、日光の下で純白に輝いている。しかし、この氷が水中にあるときは黒く写っている。写真 2 で純白の部分は、氷が押し上げられて水面から出た部分である。また、中央よりやや上部をやや白い帯が横切っている、この部分は帯状の開水面である。すなわち、このときの氷の質は、その氷が水中にあるときは黒く撮影され、空中で水分が脱落した状態では、純白に見えるというものであった。純白に輝くブロックアイス（直径 10 cm 以上の柱状結晶）（東海林, 1977）の山の一部を見たのが写真 6 である。この写真のように、このときの氷板は、表面の 1~2 cm の再凍結した部分を除けば、冬の間に湖面に降りそそいだ風塵が塊りとなり、この塵の塊りが、日射によって氷板の中を沈下する過程で出来たところの、写真 7 のような多数のチューブ（cryoconite）（東海林, 1973）によって貫通された蜂巢状のものであった。この蜂巢状の氷は、チューブが水で満されている状態では黒く撮影され、空中に取

写真 8 結晶境界が融けている氷板の表面、スケールは 50 cm.

写真 9 単結晶に分解する氷板

り出してチューブの水分が脱落すると日光下で純白に輝くのである。そして、このとき、氷の含水率は、重量で 50% という極めて大きいものであった。

一方、写真 8 は、氷板の表面の写真であるが、結晶粒界が縁取られている。これは、結晶粒界の日射を吸収しやすい性質によるもので、粒界での内部融解が進んでいることを物語っている。このような氷板が、岸辺に押し上げられると写真 9 のように粒界にヒビが入り、容易に単結晶に分解される。氷板は以上のような性質のものであった。

5. 大氷板が動き始めてから消失するまでの経過

厚さ 12 cm で、春採湖の 3 分の 1 の面積に相当する一枚の氷板が、移動を開始してからの消失速度は著しく、湖岸に押し上げられた極く一部を除いて、33 時間後には、完全に融氷によって消失した。図 3 は、氷板が消失して行く経過を示している。実線は、4 月 5 日の 17 時、一点鎖線は 6 日の 10 時、鎖線は 6 日の 12 時および点線は 6 日の 16 時の氷域を示している。こうして、氷は 6 日の 18 時に消失した。しかし、この 33 時間の間中融氷が一様に進んでいたわけではない。図 4 によれば、5 日の 20 時から 6 日の 7 時迄は、風速は 3 m/s 以下となっている。それで湖面は波立たなくなった（Yamamoto and Kondo,

図3 実線は4月5日の17時、一点鎖線は6日の10時、鎖線は12時、点線は16時の水域をそれぞれ示している。

図4 気象条件、T: 温度 (実線は気温、点線は乾湿計の湿球温度)、W: 風速、○印は天気、矢印は風向、S: 日照時間、C: 雲量。

1964). 気温はプラスではあったが、乾湿計の湿球温度はマイナスであった。5日の15時には、前編で述べた結晶粒界の破壊しやすい性質によって、氷板上を歩行することが出来なくなっていた。しかし、6日の8時には、再び氷板上の歩行が可能となった。これは、雲量ゼロの状態での放射冷却によって、氷板の表面が再結氷していたためである。すなわち、5日の20時から6日の7時までの11時間は前記33時間から除外することができる。従って、氷板は実質22時間で融解したことになる。この間、平均 8 m/s の風が吹き、気温は +5°C であった。そして、4月初旬の強い日射が差し続けていた。これらが、著しい消失速度の原因である。また、前編で述べた上下にチューブで貫通された氷板の構造は、重要な意味を持

図5 移動中の、氷板の中央で、氷に穴を開けて測った水温の垂直分布

写真10 波を受ける氷板の前面

つ、チューブの太さは 5 mm ~ 10 mm もあり、波を受ける度に、チューブの中を潮水が通り抜ける。図5に、氷板の中央で穴をあけて測った水温分布を示す(佐々木他, 1973)。これによれば、表面下 25 cm 以下の水温の測定値は全て 4.8°C 以上を示しており、最高 7.4°C に達している。また、25 cm ~ 200 cm の間の平均水温は 6.3°C である。このように高い温度の潮水が、氷板のチューブの中を波頭を受ける度に通り返ける状態となっていた。こ

の場合、融氷速度は極めて著しくなる。写真10は、氷板の縁と波立つ湖面との間の状況に関する記録である。以上のような融氷条件の作用として、氷板の著しい消失経過が説明される。

以上のような融氷の機構は、春採湖に限らず、他の湖沼での融氷においても、共通する点が多いと考えられる。

むすび

風と日射が、湖の解氷を著しく促進せしめる要因であること、並びに、ブロックアイス（直径 10 cm 以上の柱状結晶）で構成される氷板の融解は、表面及び湖水に接する下面で、気温・水温・風が関与して進行すると同時に、日光による結晶境界、および、結晶内の不純物の周りの融解も重要な役割を演ずることが分った。

また、春採湖で氷板の移動があり、低く盛り上がった土手に高さ 1 m の氷の山が出来た。そこで、これが出来る経過について述べた。このときの氷の質は、その含水率が 50% であり、また、日射による結晶粒界での融氷の為に、結晶のブロックごとに容易に分解される性質のものであった。しかし、氷は大きな氷盤として湖面を移動した。従って、全体の運動量は極めて大きい。湖に張り出した土手に氷板が押し上げられる場合、押し上げ

のエネルギーは湖面に張り出している土手に集中する。そこで、構築作業に当たっては、この点を考慮しておく必要があることが分った。

おわりにのぞみ、観測に協力してくれた本学学生の戸松栄、下地 實、赤沢 實、永井正二、大橋正博、船田正義君、並びに、観測器具に関して協力して頂いた、釧路工業高校の山崎玄二教諭、釧路星園高校の瀬川守教諭、釧路女子短期大学附属高校の亀嶋孝尚教諭に深謝する。

文 献

- 佐々木一郎・東海林明雄・千徳 豊・富田泰則・菊地 忠・山田一誠, 1973: 春採湖の水温異常. 釧路論集, 5, 119~134.
- 東海林明雄, 1973: 湖水の内部融解について. 日本雪氷学会秋季大会講演予稿集.
- 東海林明雄, 1977: 結氷様式, 湖水. 講談社, 東京, 97~98.
- Yamamoto, G. and Kondo, J., 1964: Evaporation from Lake Towada. J. Meteorol. Soc. Japan, Ser. II, 42, p. 90.

Melting of ice in Lake Harutori in Hokkaido observed in April 1973

Akio TOUKAIRIN

(Department of Physics, Kushiro Branch, Hokkaido University of Education, Kushiro 085)

Fresh-water ice develops in Lake Harutori (0.39 km² area, 42°58'30" N lat, 144°24'30" E long) in Hokkaido every winter from December to April. Rapid thawing of an ice floe, 12 cm thick and 0.13 km² in area, occurred within 33 hours starting from the morning of 5 April 1973. Mechanism of melting is discussed on the basis of observations of morphology of ice floe, internal structure, meteorological and limnological regimes.

(1980年 6 月 9 日受付, 1981年 1 月16日受理)