PRESS RELEASE

北見工業大学

令和４年１月２５日
国立大学法人北見工業大学

48 年間の観測データから摩周湖が全面結氷する状況を解明

～2022 年冬季の結氷も予測～

＜概　要＞

国立大学法人北見工業大学の亀田貴雄教授らは、摩周湖の結氷状況を近くの展望台で 1974 年から 2021 年まで毎年観測したデータから、摩周湖は 48 年間で 27 回全面結氷をしており、全面結氷率は 56.3%であることを明らかにしました。摩周湖に近い川湯と弟子屈のアメダスデータを用いて摩周湖が全面結氷する条件を調べた結果、川湯アメダスの 2 月の月平均気温が−8.9℃以下になると、95.5%の確率で全面結氷年を推定できることもわかりました。

さらに、摩周湖は一定の日積算寒度に到達すると全面結氷するのではなく、前年の夏の気温の影響を受けて全面結氷に必要な日積算寒度が変化することもわかりました。この関係を用いて 2021 年冬季の摩周湖の全面結氷日を 2020 年 9 月 1 日、2021 年 1 月 1 日、1 月 16 日時点で予測した結果、全面結氷日はそれぞれ 2 月 22 日、2 月 10 日、2 月 8 日と予測できました。2021 年は 2 月 14 日に全面結氷したため、前後 1 週間程度の予測誤差となりました。

現在、摩周湖周辺では 2 月の月平均気温が上昇しているため、摩周湖が全面結氷する確率は、今後減少すると考えられます。

この成果は、公益社団法人日本雪氷学会が刊行する学術雑誌『雪氷』の 2022 年 1 月号に 2022 年 1 月 25 日に掲載される予定です。

＜発表論文＞

掲載誌：雪氷
タイトル：摩周湖の全面結氷条件の解明およびそれに基づく 2021 年 2 月の全面結氷日の予測
著者：亀田貴雄、蜂谷 衛、仁平慎吾、細川音治
論文出版予定日：2022 年 1 月 25 日

＜2022 年冬季の摩周湖全面結氷日の予測＞

上記論文に記載した方法で、亀田が 2022 年冬季の摩周湖の全面結氷日を予測したところ、9 月 1 日時点での全面結氷日は、2 月 28 日±14 日となりました（±は全面結氷日の予測誤差）。これは、過去 48 年間で全面結氷になった日の平均（2 月 13 日）よりも遅い予測結果です。この原因は 2021 年 6 月から 8 月の川湯の日最高気温の平均が 23.6℃と、平年（21.4℃）よりも高く、そのために摩周湖の貯熱量が平年よりも大きくなっていると推定したことが影響しています。

さらに、川湯アメダスの夏の気温に加えて、2021 年 11 月 1 日から 12 月 31 日までの川湯アメダスでの日平均気温の積算値も用いて予測すると、全面結氷日は 3 月 9 日±10 日（2 月 28 日～3 月 19 日）となりました。過去 48 年間で最も遅い全面結氷日は 3 月 2 日（2005 年）であるため、2022 年冬季の摩周湖は全面結氷に至らない可能性が高いと考えられます。

ただし、気象庁によると 2021/22 年冬季はラニーニャになる可能性があり、北海道は例年よりも寒くなる可能性もあります。このため、摩周湖は 2 月下旬から 3 月上旬に全面結氷に至る可能性もあります。

＜研究の背景＞

1974 年冬、当時、北海道川上郡弟子屈町に在住していた細川音治は、摩周第一展望台および第三展望台で観測した摩周湖の全面結氷日を記録に残し始めました。地元の自然を愛好する団体「てしかが自然史研究会」（細川音治設立）の活動の一環です。1985 年冬季からは弟子屈町在住の蜂谷 衛がこの観測に加わり、2009 年冬季から現在まで蜂谷がこの観測を継続しています。

一方、北見工業大学の亀田貴雄教授（専門：雪氷学）は、北海道内の湖の結氷と気象データとの関係に関心を持ち、2020 年度に亀田が主宰する研究室（雪氷科学研究室）に配属された仁平慎吾に「東北海道の主要な湖の結氷状況および気象データの関係」を卒業研究のテーマとして与え、仁平は北見工業大学の卒業研究としてこれを実施しました。

今回発表される論文は、仁平慎吾が 2020 年度に実施した卒業研究を基本として、2021 年 3 月以降に亀田が解析した結果をまとめたものです。

＜摩周湖の特徴および本研究の目的＞

摩周湖（面積 19.2 km^2、水面標高 351 m、平均水深 137.5 m、最大水深 211.4 m）は全域が阿寒摩周国立公園内に位置し、湖への流入河川および湖からの流出河川がなく集水域がカルデラ内に限られるため、汚染源が極めて少ない湖です。水深が深いため、近くにある屈斜路湖、阿寒湖、パンケトー、ペンケトーと比べると結氷時期が遅いことでも知られています（図 1)。摩周湖は全面結氷する年と全面結氷に至らない年（部分結氷年）がありますが、結氷に関する全ての観測データを用いた包括的な雪氷・気象学的研究は行われていませんでした。そこで、亀田は以下の 3 点を目的として研究を行いました。

１）摩周湖の結氷に関して記録に残されている 1974 年から 2021 年のデータを用いて、摩周湖が全面結氷する条件を明らかにすること

２） 近年の地球温暖化などの影響が摩周湖の結氷にどのように影響を与えてきているのかを明らかにすること

３）2021 年冬季の摩周湖の全面結氷日の予測方法とその結果を述べること

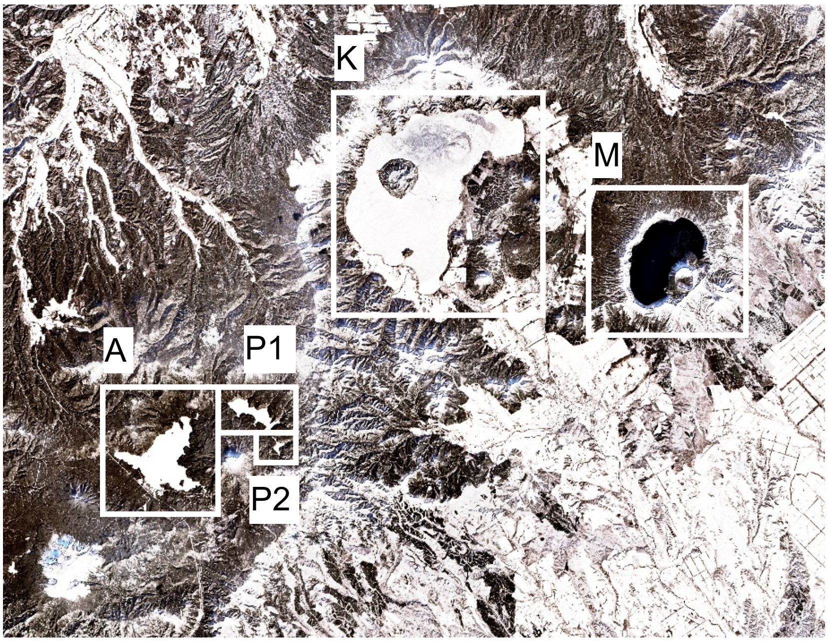

図 1　摩周湖（M)、屈斜路湖（K)、阿寒湖（A)、ペンケトー（P1）とパンケトー（P2）の結氷状況（撮影日：2020 年 2 月 9 日 16:25:01JST)。摩周湖のみ結氷していないことがわかる。（データ提供：European Space Agency、 人工衛星：Sentinel-2 L2A)

＜研究の内容１　過去 48 年間の摩周湖の結氷状況＞

図 2 は、1974 年から 2021 年までの摩周湖の結氷状況です。過去 48 年間において 27 回、全面結氷しており、全面結氷率は 56.3%であることがわかりました。ここで、1977 年から 1988 年まで 12 年連続で全面結氷したことが大きな特徴です。図 3 は、10 年ごとの全面結氷年の割合ですが、全面結氷する割合は 1980 年代が高く、それ以外は 40%から 60%程度であることがわかりました。

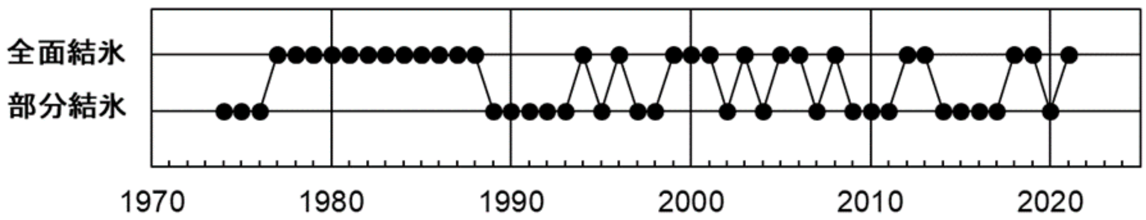

図 2　1974 年から 2021 年まで摩周湖の結氷状況

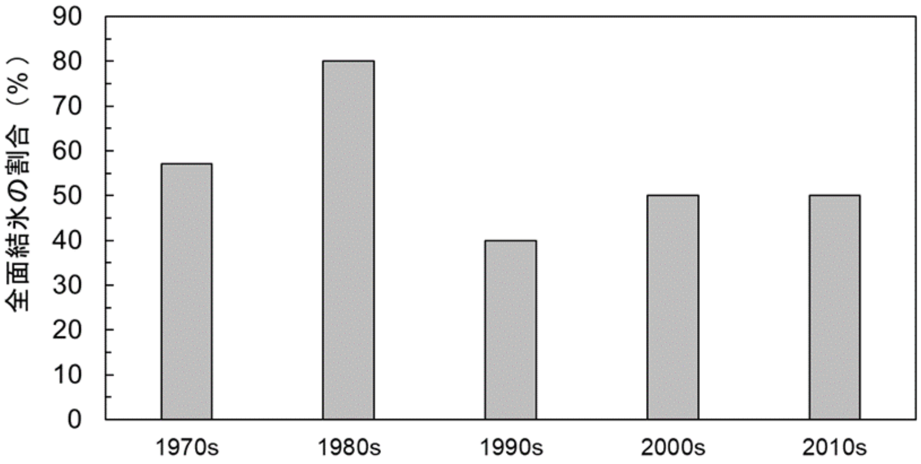

図 3　10 年ごとの全面結氷した年の割合。ただし、1974 年からは 1980 年までは 6 年間、2011 年から 2021 年までは 11 年間に対する割合を示す。

＜研究内容２　摩周湖が全面結氷する条件＞

摩周湖近くの気象庁の川湯アメダスと弟子屈アメダスの月平均気温を使い、摩周湖の全面結氷、部分結氷との関係を調べました。図 4a は川湯アメダス、図 4b は弟子屈アメダスの 12 月から 2 月の平均気温、12 月、1 月、2 月のそれぞれの月平均気温と摩周湖の全面結氷と部分結氷との関係を示しており、全面結氷年が白丸、部分結氷年が黒丸です。

図 4a、4b ともに、全面結氷と部分結氷を分類するのに最も適当と考えられる基準温度を点線でそれぞれ示しています。基準温度とは、それ以下の温度でなるべく多くの全面結氷年が入り、かつそれを超えた温度でなるべく多くの部分結氷年が入るように設定した温度です。この結果、摩周湖の全面結氷と部分結氷を分類する気温としては川湯アメダスの 2 月の平均気温が最も適当で、−8.9℃であることがわかりました。ここでは基準温度として二値分類[1]で正解率[2]が高く、偽陽性率[3]が低い気温を選定しました。また、川湯の 2 月の月平均気温が−8.9℃の時の適合率[4]

1　二値分類（binary classification）とは、ある基準に基づきデータを 2 種類の分類する作業のことである.

2　正解率（accuracy）とは基準温度以下で全面結氷となり，基準温度超えた温度で部分結氷となった割合を意味する.

3　偽陽性率（false positive rate）とは部分結氷となったときに基準温度以下となった割合を意味する.

4　適合率（precision）とは全面結氷と予測したときに基準温度以下になったときの割合を意味する.

は 95.5%であったため、川湯アメダスの 2 月の月平均が−8.9℃以下になった場合には、95.5%の確率で摩周湖の全面結氷を推定できることがわかりました。なお、1978 年から 2021 年では川湯アメダスの 2 月の月平均気温は 0.63℃/10yr で上昇しています。このため、この気温上昇が続く場合には、摩周湖が全面結氷する割合は今後、減少すると考えられます。

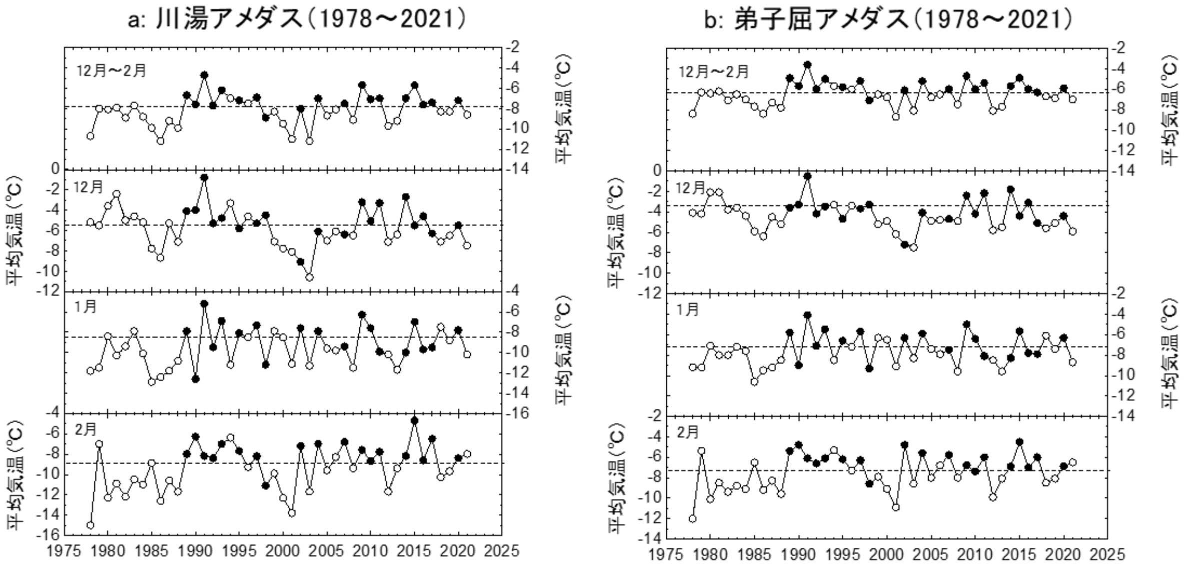

図 4　(a)1978 年から 2021 年までの川湯アメダスの冬季気温（12 月から 2 月の冬季平均気温、12 月、1 月、2 月の月平均気温）と全面結氷年との関係。(b)1978 年から 2021 年までの弟子屈アメダスの冬季気温（12 月から 2 月の冬季平均気温、12 月、1 月、2 月の月平均気温）と全面結氷年との関係。両図ともに白丸は全面結氷年、黒丸は部分結氷年を示す。点線はそれぞれの気象要素での基準温度で、(a)では 12 月から 2 月は−7.8℃、12 月は−6.5℃、1 月は−8.4℃、2 月は−8.9℃であり、(b)では 12 月から 2 月は−6.2℃、12 月は−3.4℃、1 月は−7.2℃、2 月は−7.3℃である。年は寒候年のため、12 月から 2 月と 12 月のデータは 1 月以降の年で示した。

＜研究内容３　2021 年冬季の全面結氷日の予測＞

夏の気温と全面結氷に必要な日積算寒度との関係式（式(1)）を用いて 9 月 1 日時点での摩周湖の全面結氷日を予測しました。また、夏の気温に加えて冬の積算寒度も使って、1 月 1 日時点および 1 月 16 日時点での摩周湖の全面結氷日も予測しました。ここで、式(1)での T は全面結氷日までの日積算寒度、$\bar{T}_{\mathrm{max_JJA}}$は 6 月から 8 月の日最高気温の平均です。

$$T = 38.3\bar{T}_{\mathrm{max_JJA}} - 132.8 \qquad 式(1)$$

・2020 年 9 月 1 日時点での予測

川湯アメダスでの 2020 年 6 月 1 日から 8 月 31 日までの日最高気温の平均（22.0°C）を求め、それを式(1)に代入した結果、2021 年の全面結氷に必要な日積算寒度は 710 ℃･day であることがわかりました。この値を 1978 年から 2020 年までの日平均気温を用いた「摩周湖の全面結氷に必要な日積算寒度の平均値」を用いた結果、2021 年は 2 月 22 日±13 日（2 月 9 日〜3 月 7 日）に全面結氷することが予測できました。ここで、カッコ内は 1978 年から 2020 年までの気温変化に対

する標準偏差の範囲を示します。2021 年の全面結氷日は 2 月 14 日であったため、予測は 8 日遅い結果となりました。

・2021 年 1 月 1 日時点での予測

1 月 1 日時点の予測では、9 月 1 日時点での予測と比べると、11 月 1 日から 12 月 31 日までの気温データを用いることができる利点があります。この期間の日積算寒度を計算し、それを過去 43 年間[5]の同じ期間の日積算寒度と比べることで、2021 年冬季を「寒い冬」、「普通の冬」、「暖かい冬」のどれに該当するかを判定し、以降もそれが継続すると仮定することで予測精度の向上を試みました。

その結果、2021 年冬季は寒い冬に該当したため、寒冬年の「摩周湖の全面結氷に必要な日積算寒度の平均値」（論文では表で示すが、ここでは省略）を用いて計算しました。その結果、2021 年の全面結氷日は 2 月 10 日±8.5 日（2 月 1 日～2 月 19 日）と予測することができました。2021 年の全面結氷日は 2 月 14 日であったため、予測は 4 日早い結果となりました。

・2021 年 1 月 16 日時点での予測

摩周湖の全面結氷日の予測精度をさらに向上させるため、2020 年 11 月 1 日から 2021 年 1 月 15 日までの日平均気温を使って日積算寒度を計算し、1 月 16 日時点での全面結氷日を予測しました。

この期間でも 2021 年は寒い冬に該当したため、寒冬年の「摩周湖の全面結氷に必要な日積算寒度の平均値」を用いて計算しました。その結果、全面結氷日は 2 月 8 日±8.6 日（1 月 31 日～2 月 17 日）となりました。2021 年の全面結氷日は 2 月 14 日であったため、予測は 6 日早い結果となりました。本来であれば、1 月 1 日時点での予測よりも予測精度が高くなるはずであったが、結果は異なったものとなりました。

これは、現時点では摩周湖の全面結氷に最も影響を与えている川湯の 2 月の平均気温を半年から 2 週間前に正確に予測することは難しく、全面結氷日の予測は前後 1 週間程度の誤差が生じたためだと考えられます。

＜今後の展望＞

今回発表した摩周湖の結氷日の予測方法は、2022 年以降も実施可能です。今後は、9 月 1 日、1 月 1 日、1 月 16 日の時点で摩周湖が全面結氷するかどうか、さらに摩周湖が全面結氷する場合はいつ全面結氷するかを予測できるようになります。

全面結氷した摩周湖は観光資源です。湖面には、図 5 のようにさまざまな模様が現れ、大変美しいことが知られています。摩周湖の全面結氷日が予測できると、それに基づく観光ツアーの計画などが事前に検討できるようになるため、観光業にとっても有益な情報になると考えられます。

[5] 川湯アメダスおよび弟子屈アメダスは 1977 年 10 月 6 日から観測を開始しているため、摩周湖の結氷データと比較できるこれらの地点の気象データは 43 年間になる。

図 5　全面結氷している摩周湖の湖面に現れた模様（蜂谷 衛撮影）

＜お問い合わせ先＞
（研究内容について）
北見工業大学 工学部 亀田 貴雄（かめだ たかお）
TEL: 0157-26-9506　E-mail: kameda@mail.kitami-it.ac.jp
（報道について）
北見工業大学 総務課広報戦略担当
TEL: 0157-26-9116　E-mail: soumu05@desk.kitami-it.ac.jp