

*濱田浩美（千葉大），西川博章（船橋市立古和釜中），知北和久（北大）

1. はじめに

近年，地球温暖化は環境問題として大きく取り上げられている。その影響は，湖沼の結氷現象にも変化を与えている。以前は毎年結氷していた湖沼が，近年では結氷しない年もみられるようになり，結氷期間が短くなってきている湖沼，結氷時の氷厚が薄くなりスケートリンクやワカサギ釣りの場所として利用できなくなってきた湖沼など，各地で地球温暖化の影響を受けていると考えられる湖沼が出現してきた。

湖沼の結氷現象は，地球温暖化の影響の指標の一つとなり得ると考えられる。本研究では，調査期間を 1987～2010 年として，日本各地の湖沼の結氷状況を把握し湖沼の結氷条件を推察すること，積算温度を用いて日本国内の湖沼の結氷現象とその変化を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

日本国内の湖沼の結氷現象の分布および標高別の湖沼の結氷状況に関しては，文献，GIS ソフト，インターネットを基に，調査対象湖沼の緯度，経度，海拔高度，表面積，容積，最大水深，平均水深，湖岸線長，結氷の有無などの項目についてデータを収集し，全 606 湖沼のデータベースを作成した。各湖沼の結氷の有無の基準は，原則として全面結氷を条件とした。近年，結氷状況が年度により変化している湖沼は，調査期間内に全面結氷が確認できたことで判断した。

個々の湖沼近くの気温データの収集は，困難であるため，本研究では，各湖沼に最も近いと考えられる気象庁アメダスデータから，各湖沼の調査期間内のデータを収集し，結氷条件を導くための指標とした。各湖沼とアメダス観測地点の標高は，大きく異なっている地点もあり，そのままのデータを各湖沼の積算温度として用いることはできない。そこで，本研究では，検討の結果，標高 100m 当たりの乾燥断熱減率と湿潤断熱減率を考慮し，約 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 変化する理論値を用いて，各アメダスの気象データから算出した積算温度を標高差から補正し，各湖沼の積算温度とした。

近年，年によって結氷したり，しなかったり

という情報を得た湖沼については，電話での聞き取りや E メール，資料を用いて，1987～2010 年の期間中，年度毎の結氷現象の調査を行った。

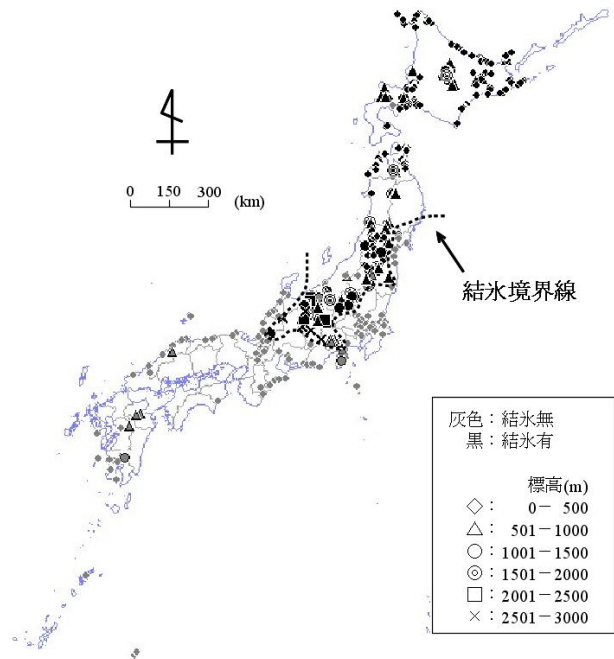


図1 既存資料と聞き取り調査を基にした調査対象湖沼の結氷状況(1987～2008)

3. 研究結果と考察

a) 日本国内の湖沼の結氷現象の分布および標高別の湖沼の結氷状況

調査期間内に結氷した湖沼はすべて，図1における破線より北東に位置していた。これらの湖沼は，高緯度に位置しているか，位置している標高が高いため，湖沼周辺の冬季の気温は低く，結氷していると考えられる。しかし，特異な条件の湖沼，どの期間の積算温度も0度以下にならない湖沼，平均水深が大きい湖沼は結氷しない。一方で，図1における破線より南西に位置する湖沼は，全て結氷しない。

湖沼の結氷は，湖沼の水深や水面上の風速などに影響されるが，第1に水温が 0°C 以下にならないと，過冷却の場合を除いて結氷しない。湖沼の水温は湖沼周辺の気温に支配され，結氷の有無に大きく関わる。図1は，湖沼周辺の気温を反映し，高緯度ほど，標高が高いほど結氷していることを示している。この結果，図1の破線より北東に位置していない湖沼は，結氷する

可能性が極めて低いとみることができ、この線は、湖沼の結氷の可能性を決定する境界線である。

標高別に分類した湖沼の結氷状況は、標高が高くなると、結氷する湖沼の南限が南西へ移動する。しかし、平均水深の大きい湖沼は、標高が高くなっても結氷しないことが多い。

b) 積算温度と湖沼概要データからみる湖沼の結氷状況

理論上では、積算温度が0℃以下にならない場合、湖沼が結氷する可能性は低いと考えられる。しかし、各湖沼の平均水深と積算温度の関係を図に示すと、11～2月、12～2月の積算温度では、結氷する湖沼でも0℃以下にならない場合もみられた。この理由は、近年の地球温暖化の影響から、わずかに各月の気温が上昇していることや、11、12月は特に気温が下がりきらないことの影響を受けていると考えられる。

一方で、1～2月の積算温度を用いた図2では、結氷する湖沼のほとんどの積算温度が0℃以下となっている。また、平均水深が深くなるに従い、積算温度が0℃以下になっても、湖沼は結氷しないことがわかる。

この結果から、結氷条件の目安となる積算温度の算出期間が、11～2月、12～2月では、対応しきれないと考えられる。つまり、一部で例外はみられるが、1～2月の積算温度が0℃以下になることが、湖沼が結氷するための最低条件とみなすことができる。また、この条件は、平均水深とも関係し、平均水深が深くなるに従い、湖沼が結氷するための最低条件である積算温度の値も徐々に低くなると推定された。

調査期間における年度毎の結氷状況を把握できた湖沼は、摩周湖、倶多楽湖、中禅寺湖、榛名湖、山中湖、四尾連湖の6湖沼であり、どの湖沼についても結氷条件を推定できたが、ここでは榛名湖について示した。

榛名湖は、2006年度以外は全面結氷しており、2007～2008年度の氷厚は非常に薄かった。結氷期間は、今から10年前までは1～2月、20年前は12月末～3月までであった。この情報を参考として、図3には、榛名湖における積算温度の経年変化を図化した。積算温度の期間は、結氷期間を参考とし、12～2月末とした。2006年度の積算温度が-20.6℃であったこと、調査期間内において、2008年度の積算温度-86.5℃が、結氷した年度の積算温度で最大値であること、2008年度が非常に薄氷であったことから、榛名湖が全面結氷するには、積算温度が-80℃以下になる必要があると推定できた。

調査期間における年度毎の結氷状況を把握できた湖沼は、摩周湖、中禅寺湖、榛名湖、山中湖、四尾連湖の5湖沼であり、摩周湖では-1000℃、中禅寺湖では-600℃、榛名湖では-80℃、四尾連湖では-45℃、山中湖では-500℃以下になると結氷すると推定できた。

しかし、今まで結氷していた摩周湖、山中湖、四尾連湖は、近年の気温上昇から、近い将来結氷しなくなると推定され、地球温暖化の影響が懸念される。倶多楽湖では2022年に、図4に示すように摩周湖では2025年以降結氷しなくなる可能性が明らかになった。

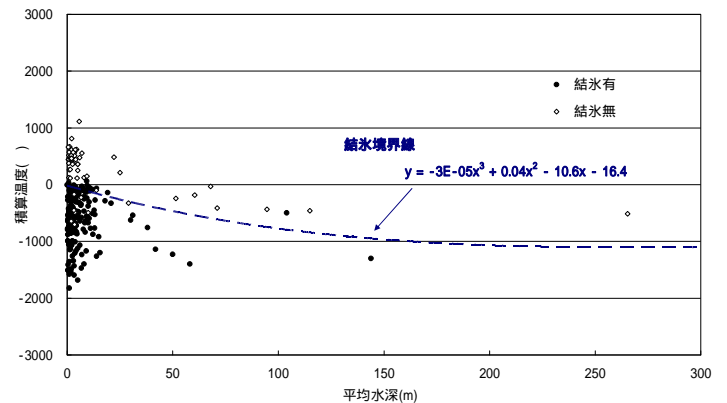


図2 平均水深と積算温度の関係からみた湖沼の結氷の有・無 (積算期間:1～2月)

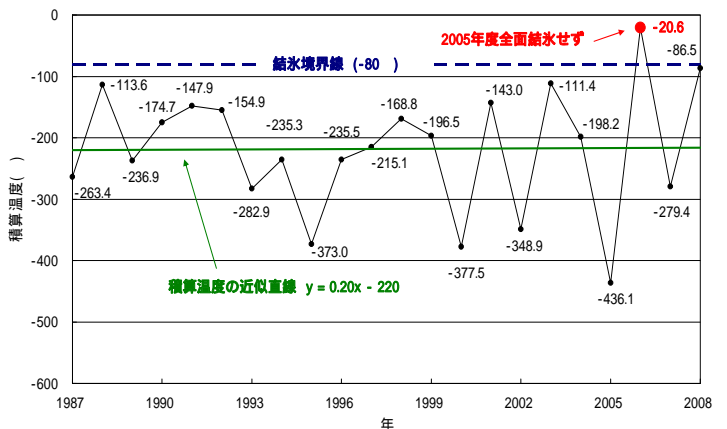


図3 榛名湖における積算温度の経年変化と結氷 (積算期間:12/1～2/28)

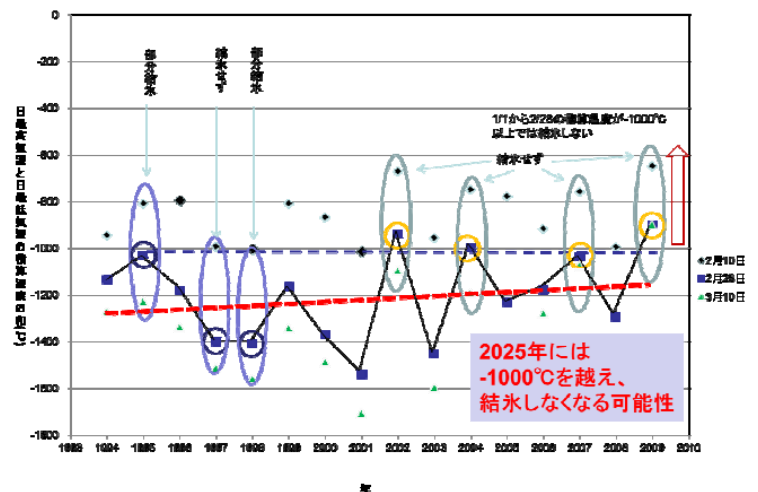


図4 摩周湖における積算温度の経年変化と結氷