

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501286

研究課題名(和文)地球温暖化に伴う日本国内湖沼の底層水温上昇と結氷変化に関する研究

研究課題名(英文)A study on the ice changes and the bottom layer water temperature rise of Japan lakes due to global warming

研究代表者

濱田 浩美 (HAMADA, HIROMI)

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号：60292653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地球温暖化による日本国内の湖沼の底層水温上昇と湖水全体の水温変化に伴う結氷現象の変化に着目し、国内大深度湖沼の今後の温度上昇が湖沼環境に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究では、摩周湖、倶多楽湖においてもロガーによる継続的な水温観測を実施するとともに、不凍湖の支笏湖、十和田湖、田沢湖、本栖湖において詳細な水温・水質の鉛直分布の観測を行った。結氷する湖沼は冬季の氷により、冷却深度は限定されるが、非結氷の湖沼は、湖水全体が冷却していることを示した。今後、地球温暖化により、結氷していた湖沼も冬期の水温が4℃以下にならなくなると循環形態や生態系に大きな影響が生じると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on the changes in the freezing phenomenon associated with the bottom layer water temperature rise and the lake overall water temperature changes in the Japanese domestic lakes due to global warming, clearly the effect of future temperature rise of the domestic large deep lakes on the lake environment it was intended to be. This study was carried out continuous water temperature observations by logger in Lake Mashu and Lake Kuttara. Shikotsuko, Towada, Motosu and Lake Tazawa of an ice-free lakes, I went the observation of vertical distribution of detailed water temperature and water quality. Frozen over Lakes was winter covered by ice because cooling depth is limited. An ice-free lakes has been cooling overall lake. Future, by global warming, it is believed that the water temperature of the winter also lakes that had been freezing occurs a significant impact on the circulation form and ecosystems not have to be 4℃ or less.

研究分野：地理学

キーワード：水温 水質 地球温暖化 循環 田沢湖 摩周湖 十和田湖 倶多楽湖

1. 研究開始当初の背景

湖沼の結氷現象に関する研究は物理的な現象としての見地から、過去から研究事例は多い。昭和7年4月に稲葉(1932)は、日光湖沼群において氷殻下の状態を調査したものの、開水面における水温、pH、溶存酸素量などの測定にとどまり、結氷が厚いために深部の状態を明らかにできなかった。昭和9年2月～4月には、3回にわたり宮地・星野(1935)が湖心部結氷下の水温、溶存酸素量などを観測した。吉村(1942)は、昭和14年8月に水温、pH、溶存酸素量などの観測を行い、深度図ならびに湖盆形態を発表した。当時は氷殻の厚さのために調査が行えないほどであったことがわかる。一方で、切込・刈込湖に隣接する湯ノ湖では近年の結氷期間が短縮していることが指摘されている。中禅寺湖では20年ほど前に全面結氷の記録があり、それまでは10年に1度程度の結氷現象が認められたことが知られている。このように結氷期間が短縮したり、結氷しなくなった現象は、東アジア地域の湖沼でも生じている(新井,2004)。これらの現象は、地理学の範疇で環境を総合的に判断する必要がある。

研究代表者は北海道摩周湖において水温の経年観測を2003年から実施している。摩周湖は年間約500万人の観光客が訪れてはいるが、流域は環境省指定の特別保護地域になっており、現在は人の手がほとんど入ることのない自然の聖域になっている。摩周湖における表層の水温は夏季に20℃程度に達するが、100m以深では年間を通して4度付近を示す。秋季と春季には全層が4度付近の等温になり、全層が循環していること示している。秋季の循環は毎年、12月末から1月初旬の2週間以内に生じ、循環の期間は1週間以内である。全層が均一な水温を示している循環は全層の熱量をリセットしている状態でそれ以降の低温が湖沼の結氷現象を支配する要因になる。摩周湖では2002年以降に結氷しない年が出現してきている。全層が循環し等温となっている日を1月1日として、その日から例年全面結氷する2月下旬までの積算温度と結氷現象を見ると、単純な積算温度で結氷が説明できることがわかった。つまり、摩周湖の場合は2月下旬までの積算温度が-1000℃を越えた場合に結氷することわかる。2002、2004、2007年の春には積算温度が-1000℃に達しなかったため、結氷していない。

近年、全世界の今まで結氷していた湖沼が結氷しなくなったり、凍結期間が短縮するなどといった現象が見られるようになってきた。また、琵琶湖をはじめとした多くの湖では、湖沼の底層水温の上昇も指摘されてきている。これは地球温暖化に起因する可能性が高いと考えられるが、説明を行うには、連続的な水温観測と近接地域での気温観測が不可欠である。最近ではアメダスの観測網の発達、水温等の観測機器の進歩により、容易にデータを得ることができるようになった。しかし、現状

では水温の連続観測が行われている湖沼は稀で、冬季に結氷する湖沼の循環構造や結氷条件の把握に関しては極めて少数の湖沼に限定されている。

結氷現象は気候変動の影響を受けやすく、数年間の調査だけで判断できる現象ではない。しかし、湖沼の底層水温は数年の観測で過去との比較を容易に行えるパラメーターとなりうる。また、最近ではアメダスデータの入手が極めて容易になったため、観測年の位置づけができるようになってきた。本研究では摩周湖の観測例を応用し、国内の結氷湖沼、不凍湖において3年間の水温観測、結氷履歴情報収集などを行い、底層水温と採取データの比較から秋季循環期以降結氷するまでの水温と気温の因果関係を明らかにする。また、非結氷ながら近年水温上昇が認められる報告がある湖沼を選択し、縦断的解析を行う。特に、冬季結氷期の湖沼調査は技術的に難しかったが、観測機器の進歩などによるデータ集積の向上などにより、今までは観測できなかった氷殻下の水温の微細構造の解析、結氷期間の正確な測定が可能となった。これらの結果から、地球温暖化による気温上昇は湖沼の結氷を減少させ、微生物活動の生産性を増加させるとともに、新たな湖沼循環をもたらすような日本の湖沼環境の将来予測を評価することができる。

2. 研究の目的

地球温暖化による雪氷域の氷河減少や生態系への影響は、世界各地で報告され、深刻化していることは言うまでもない。本研究では、日本国内の湖沼の底層水温上昇と湖水全体の水温変化に伴う結氷現象の変化に着目し、国内大深度湖沼の今後の温度上昇が湖沼環境に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。湖沼の結氷は、水体の物理的な状態変化だけではなく、非結氷による湖水の低温化、生物の生息環境の変化、循環現象の変化による化学的な物質循環等への影響が大きい。これらの結果は、今後、国内の湖沼の年間の底層水温上昇や非結氷現象、水質変化の特性を見だし、進行する地球温暖化に伴う日本の湖沼環境の将来予測を評価する基礎資料とすることができる。

3. 研究の方法

近年、世界的にみても今まで結氷していた湖沼が結氷しないか、結氷期間が短縮するなどの現象が生じてきた。また、琵琶湖をはじめとした多くの湖では、湖沼の底層水温の上昇も指摘されてきている。これは地球温暖化に起因する可能性が高いと考えられるが、証明には連続的な水温観測と近接地域での気温観測が不可欠である。最近ではアメダス観測網の発達、水温等の観測機器の進歩により、容易にデータを得ることができるようになった。しかし、現状では水温の連続観測が行われている湖沼は稀で、冬季に結氷する湖沼の循環

構造や結氷条件の把握に関しては極めて少数の湖沼に限定されている。

そこで本研究では、結氷年と非結氷年が出現していて、すでに継続観測している摩周湖(212m)に加え、倶多楽湖(148m)においてもロガーによる継続的な水温観測を実施するとともに、不凍湖の支笏湖(360m)、十和田湖(327m)、田沢湖(423m)、本栖湖(122m)において水温・水質の鉛直分布の観測を行った。鉛直分布測定にはJFEアドバンテック社製Rinko-Profilerを使用し、観測項目は0.1m毎の水温、電気伝導度、溶存酸素量、クロロフィル、濁度である。また、0-50mまでは10m毎、その後は100m毎に、残りは最高水深より数m~10m上で採水した。採水した試水は各深度の現地pH測定を行い、後日研究室にて主要イオン分析、酸素・水素の同位体分析を行った。

4. 研究成果

1) 摩周湖の循環と底層の酸素減少

図1は春季循環期前後の各層の水温変化である。結氷年の湖面は冬季の水により蓋がされ、冷却は100m付近までに限定され、3℃程度を示す。一方、非結氷年は4月上旬に100mの水温が2℃まで低下しており、湖水全体が

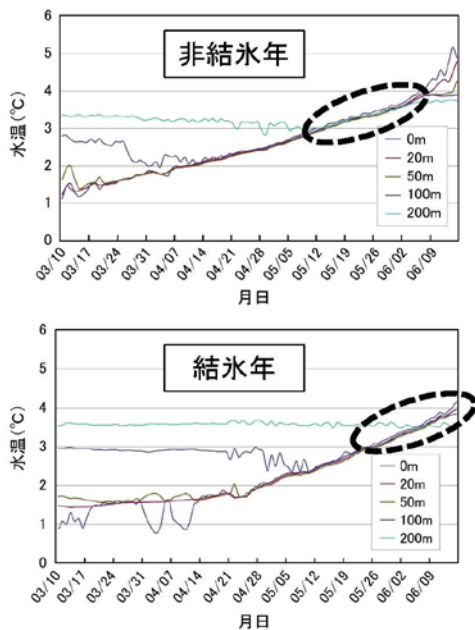


図1 結氷年と非結氷年の春季各層の水温

冷却していることを示す。このため、図1の破線で示す範囲のように春季循環期の期間に大きな差が生じる。結氷年は200mの水温の変化が小さく、循環の期間は極めて短い。非結氷年は全層で1ヶ月近い等温上昇期が認められ、結氷の有無で全く異なる春季循環を示すことがわかった。図2には摩周湖における結氷年と非結氷年の溶存酸素飽和度の鉛直分布を示した。底層部の溶存酸素量は結氷年と非結氷年では相違が見られ、結氷年では循環により底層に十分な酸素が供給されていない可能性が示唆された。

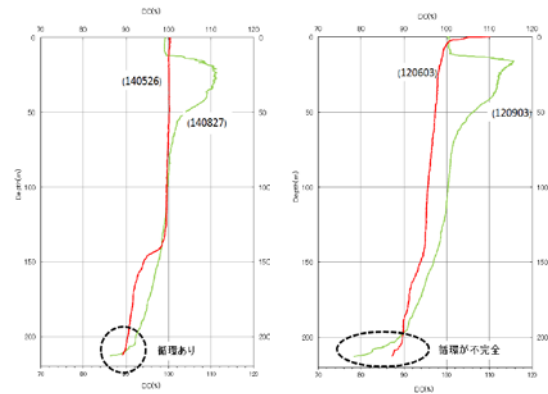


図2 摩周湖におけるDO(%)の鉛直分布

2) 田沢湖の水温変化と循環

図3には田沢湖の水温、DO(%)の鉛直分布を示した。12月初旬には表層から20m付近までは10℃を示し、100mまで水温躍層を示す。DOは20m~25mに最大値を示し、70mまでは過飽

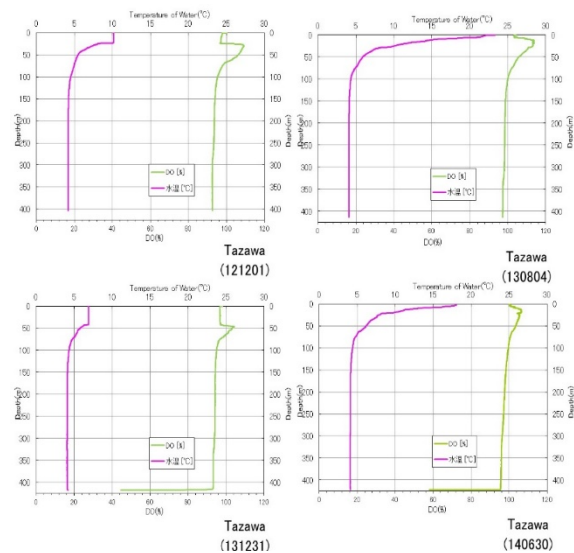


図3 田沢湖における水温、DO(%)の鉛直分布

和で、100m以深では湖底付近まで90%以上を示している。130804は表層の水温は24℃に達し、80mまで強固な水温躍層を示している。DOは100mまで過飽和でそれ以深も96%以上と十分な酸素があることがわかる。131231をみると12月末には表層から40m付近まで7℃を示し、全循環には至っていない。DOは100m以深でも93%以上を示し、底成層の3mほどを除いて十分に酸素があることがわかる。140630のDOは底付近でも96%を超えていることから春期に酸素の供給が行われていることを示している。

図4は田沢湖の表層の水温変化を示した。

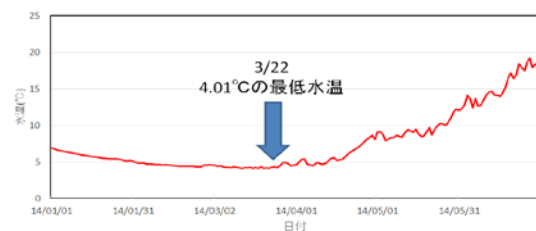


図4 田沢湖における表層水温の変化

田沢湖は 3/22 ごろ表層の水温は 4.01°C の最低温度を示していることから、3 月中に全循環をし、底層まで酸素の供給が行われると考えられる。

今後、地球温暖化により、冬期の水温が 4°C 以下にならなくなると循環形態や生態系に大きな影響が生じると考えられる。

3) 不凍湖の水温変化と循環

図 5 には支笏湖、本栖湖、十和田湖の水温、DO (%) の鉛直分布を示した。いずれの湖沼も冬季に結水しないことで知られている。

支笏湖は 50m 以深で年間を通じて 3.6°C 程度を示し、夏には 200m 以深で酸素が少しずつ減少している。しかし、DO は底直上でも 83%

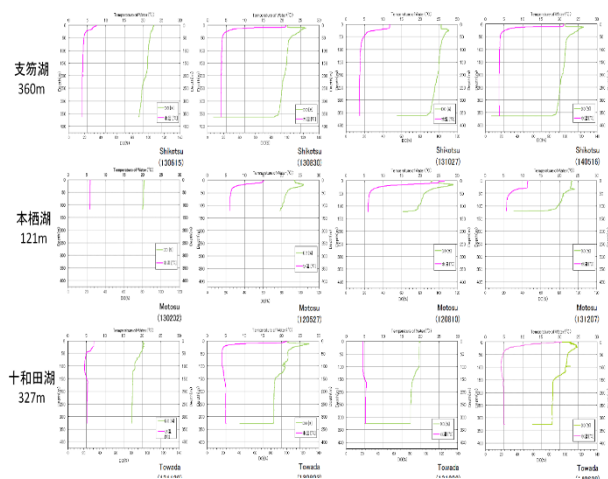


図 5 不凍湖における水温、DO (%) の鉛直分布

を示し、冬季から春季にかけての冷却時に十分な循環が生じ、底まで酸素が供給されることを示している。

本栖湖は 65m 以深で年間を通じて 6°C 程度を示している。1 月末ごろ全層が等温を示し、3 月末まで全層の冷却が 2 ヶ月間継続する。その間、冷却されるが、本州の標高 900m に位置する本栖湖は 4°C までは低下せず、6°C 程度でとどまっている。2 ヶ月間の冷却期は全層の循環が連続すると考えられ、底まで十分な酸素が供給されていることがわかる。夏季には底で酸素が消費され、100m 以深で 80% 以下を示す。

十和田湖は湖心が半島と半島に挟まれる位置に偏心しており、また半島の内側以外は水深が 100m 程度と浅くなっている。このため、水温成層は特異な形状を示し、簡単には説明できない。しかし、いずれの季節も 150m 以深で 5°C 以上の等温層が認められる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9 件)

- ① 濱田浩美, 大八木英夫, 知北和久, 牧野晶: 日本国内の大深度湖沼の鉛直分布と循環. (2014 年 12 月 6 日~7 日). 陸水物理研究会 (石川県鳳珠郡能都町, 金沢大学)
- ② 濱田浩美, 大八木英夫, 知北和久, 田中 敦, 五十嵐聖貴, 深澤達矢, 南 尚嗣, 小林 拓,

藤江 晋: 日本国内の大深度湖沼の水温・水質の鉛直分布と循環. (2014 年 9 月 10 日~13 日). 日本陸水学会第 79 回つくば大会 (茨城県つくば市, 筑波大学)

- ③ 牧野晶, 濱田浩美, 知北和久, 大八木英夫: 水温, 水質を用いた倶多楽湖の循環に関する研究. (2014 年 8 月 9 日~11 日). 日本地学教育学会第 68 回全国大会 北海道大会 P17. (北海道札幌市酪農学園大学)
- ④ 濱田浩美, 田中 敦, 五十嵐聖貴, 深澤達矢, 南 尚嗣, 小林 拓, 藤江 晋, 大八木英夫: 同位体分析と水質を用いた摩周湖の漏水量の推定. (2013 年 11 月 9 日~10 日). 陸水物理研究会第 35 回別府大会 P7. (大分県別府市, 京都大学)
- ⑤ 牧野晶, 濱田浩美, 知北和久, 大八木英夫 (2013): 水温, 同位体を用いた倶多楽湖の循環に関する研究. (2013 年 11 月 9 日~10 日). 陸水物理研究会第 35 回別府大会 16. (大分県別府市, 京都大学)
- ⑥ 濱田浩美, 田中 敦, 五十嵐聖貴, 深澤達矢, 南 尚嗣, 小林 拓, 藤江 晋, 大八木英夫: 同位体分析と水質を用いた摩周湖漏水の検討. (2013 年 9 月 10 日~13 日). 日本陸水学会第 78 回滋賀大会 P60. (滋賀県大津市, 龍谷大学)
- ⑦ 大八木英夫, 濱田浩美: 富士山周辺の湖沼における透明度の長期的変動. (2013 年 3 月 29 日~31 日). 日本地理学会 2013 年 春季学術大会 201. (埼玉県熊谷市, 立正大学)
- ⑧ 田中敦, 五十嵐聖貴, 藤江晋, 濱田浩美, 小林拓, 深澤達矢, 南尚嗣: 摩周湖における通年係留観測による結氷・非結氷年の水質. (2012 年 9 月 14 日~17 日). 日本陸水学会第 77 回名古屋大会. P32. (愛知県名古屋市, 名古屋大学)
- ⑨ 濱田浩美, 大八木英夫, 勝又大樹: 本栖湖における水温変化と水収支. (2012 年 9 月 14 日~17 日). 日本陸水学会第 77 回名古屋大会 P39. (愛知県名古屋市, 名古屋大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田 浩美 (HAMADA, Hiromi)

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号: 60292653

(2) 研究分担者

大八木 英夫 (OYAGI, Hideo)

日本大学・文理学部・助教

研究者番号: 50453866