

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：33917

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12972

研究課題名(和文) 気候変動がもたらす湖沼の熱的環境と全層循環への影響評価

研究課題名(英文) Evaluate of the climate change and full-thickness circulation on lake thermal environment

研究代表者

大八木 英夫(OYAGI, Hideo)

南山大学・総合政策学部・准教授

研究者番号：50453866

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、湖沼における気候変動の影響規模やそのメカニズムに関する研究について、湖水循環の微細鉛直流および水温成層・結氷現象、湖水量の変動に着目した。特に、倶多楽湖では、湖底の鉛直速度と溶存酸素の関係を考察することで、表層の溶存酸素飽和度と湖底直上の溶存酸素飽和度との湖水全層循環混合や鉛直循環流速の季節的变化について示すことができた。摩周湖では、湖およびその周辺の湧水の滞留時間に関する水質分析を実施し、滞留時間と湖水と湧水・地下水との相互関係の解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、湖水循環速度・微細鉛直流の解明や温暖化があたえる深水層水温への影響を評価することを目的としており、特に、湖水循環の速度を考察することにより、鉛直対流による溶存酸素の鉛直輸送の実態を把握することができた。大深度湖沼における湖底直上の微細な鉛直流速実測例は世界的にも少なく、微細な鉛直流速の季節的变化について示し、湖水全層循環混合機構を解明するための実測例を蓄積できたことは、将来の日本の湖沼環境に対する方策を判断する不可欠な科学的根拠となる。

研究成果の概要(英文)：This study focused on the changes in the vertical flow of the lake water circulation, the water temperature stratification and freezing phenomenon. Especially in Lake Kuttara, it was researched the relationship between the vertical flow and the dissolved oxygen on the lake bottom area. It was clarified seasonal change in the behavior of the dissolved oxygen and the vertical flow direction and velocity. In Lake Mashu, water quality analysis was conducted on the residence time of lake water and spring water around the lake. It was examined to clarify the interrelationship between lake leaked water and groundwater.

研究分野：総合領域

キーワード：湖水循環 大深度湖沼 溶存酸素 倶多楽湖 摩周湖 自然地理学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化によって湖沼では、深水層の水温上昇に伴う水温成層の強化や短期的な鉛直循環不順などが既に生じている問題があり、温暖化が湖沼へもたらす影響が報告され始めている。近年、地球温暖化の影響により倶多楽湖や摩周湖などの湖で、非結氷化しつつあるとの報告がある。倶多楽湖における気温シミュレーション結果によれば 2022 年には結氷しない不凍湖になると推計されている。このように非結氷化が引き起こされれば、深水層水温の上昇に伴う水温成層の強化が予測され、のちの深水層の循環の不活発化や湖水循環パターンの変化につながると考えられる。また、これに伴う貧酸素水塊の割合増大や富栄養化は、水質・生態系の劣化が顕在化し、将来予測される影響として指摘されている。特に、湖沼の水質変動を予測するうえで鍵となる過程でありながら、不明な点が多く残されている。深水層における溶存酸素の挙動については、まさに明らかにするべき事項である。しかしながら、これらに伴う水質・生態系への影響を評価する科学的根拠が乏しいのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、湖水循環速度・微細鉛直流の解明や温暖化があたえる深水層水温への影響を評価することを目的とする。特に、湖水循環の速度を考察することにより、鉛直対流による溶存酸素の鉛直輸送の実態を把握することにある。また、これらの資料を異なる湖沼で比較することで、将来の日本の湖沼環境に対する方策を判断する不可欠な科学的根拠とする。

3. 研究の方法

本申請課題では、最大深度 100m を超す大深度湖沼（倶多楽湖・摩周湖など）を対象に、『現在』の温帯湖・亜熱帯湖が、温暖化に伴う『未来』の湖沼環境の評価を念頭に、深水層水温の上昇と湖水の循環速度を解明することとする。すでに、倶多楽湖や摩周湖において、水温の連続観測を実施しており、これらの湖沼について重点的に実施する。特に、湖底に流向流速計を設置するなど、湖水の微細鉛直流構造の解析を試みる。これらを導入することによって、深水層の水温・水質観測と循環速度の測定が可能となり、湖水全循環混合機構について検証を進めた。

4. 研究成果

1) 研究計画 1 年目には、夏季、結氷前、解氷後など、季節の異なる時期における観測と複数の湖沼の湖水循環パターンを明らかにするための観測網を充実させることで研究計画遂行した。計画にあった倶多楽湖や摩周湖に加え、日本で最深の湖沼である田沢湖を観測地として加えた。摩周湖は流出河川がない閉塞湖で、その摩周火山の火山山麓周辺地域では湧水が発達しており、その起源の一部には摩周湖の湖水からの浸透水が影響していることが知られている。そこで、摩周湖およびその周辺の湧水・地下水の環境データの収集と現地観測を実施した。摩周湖湖心部では水温の計測を継続し、さらに倶多楽湖においても湖底に水温計の設置を実施した。いずれも、100m を超す大深度湖沼であり、気候変動における水温や湖水循環の影響について観測を実施した。

2) 2 年目には、主に倶多楽湖で調査し、特に、湖底に流速計を設置するなど観測網を充実させることで研究計画遂行した。また、田沢湖においても湖底に水温計の設置を実施した、さらに大深度湖沼の水温観測を実施している。研究計画段階では、湖底に流速計が設置できなかった場合において、他の湖沼への設置を考慮していたが、所期の研究通りに倶多楽湖に設置が実施できたため、継続して同湖の観測を続けている。特に、2018 年に生じた北海道胆振地方における地震が、近隣に位置する倶多楽湖にどのような影響を与えたかを推測する観測資料を入手することができた。摩周湖では、火山山麓周辺地域における湧水の起源が摩周湖の湖水からの浸透水が影響していることの予測から、摩周湖およびその周辺の湧水の滞留時間に関する水質分析を実施し、多様な環境データを入手し、滞留時間と湖水と湧水・地下水との相互関係の解明を試みた。

3) 3 年目には、特に倶多楽湖湖底の鉛直速度と溶存酸素の関係について考察した。図 1 の 2017 年 10 月の倶多楽湖では、表層の溶存酸素は 96.5% であり、湖底直上の溶存酸素は 0.0% であった。水温躍層はおよそ 15m の深度になり最大 117.3% の酸素過飽和層が形成されていた。約 40m 以深で溶存酸素が減少し、水深 140m では 84.1% となる。さらに深度が増し 146m には約 50%、湖底直上では無酸素層 (0.0%) となった。湖底の無酸素層は、2017 年 12 月 25 日には水温変化に伴う水密度が均一となり湖底直上にまで鉛直循環が到達し無酸素層が解消されたと考えられた。

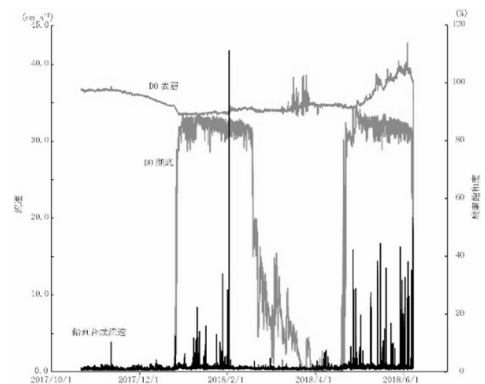


図 1 湖底直上の DO と鉛直合成流速

この時の、上方方向に鉛直合成流速は 4.6cm s^{-1} となった。過去の事例と比較すると、混合時の速度としてこの値は、有意の値であったといえる。以降、循環は活発となり、約 10cm cm s^{-1} に達する速度が時折計測され、2018年2月5日には完全結氷が確認されており、その直前に 41.8cm s^{-1} の期間中の最大鉛直流速が確認された。

2018年9月6日に生じた胆振地方地震前後の10日間ほど抽出した、湖底鉛直流速について図2に示す。地震が生じた、北海道胆振地方中東部を震央として発生した地震の頃(2018年9月6日3時7分59.3秒)には、実際には、鉛直循環は認められなかった。図2で示されている時間帯は、9/4の20:00-9/5 10:00範囲であり、この時の鉛直流速については、一時的に約 $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ を超えるような値が確認されるが、そのほかでは鉛直流速がみられなかった。

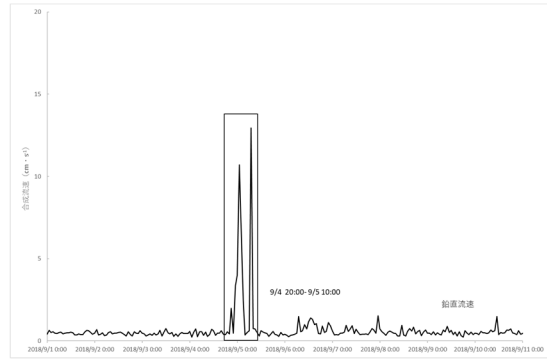


図2 胆振地方地震前後の湖底鉛直流速

この時期の倶多楽湖の湖底水温は、倶多楽湖の近隣に位置する、いわゆる地獄谷(登別温泉)からの熱フラックスの定常的な移流による影響があり緩やかな上昇傾向にあると考えられる。9月6日の地震があった直後に、湖底水温は、一時的に約 0.1 ほどの低下がみられた。前後の期間の水温変動の状況を考えると、この現象は地震により、湖水が動くことによって、生じた低下であったと考えられたが、この水温の変化と流速のずれについては、地震時における湖水の運動は、鉛直方向の運動には働かず、水平方向であったものとも考えられ、その解析について今後のさらなる課題となる。

このように、特に、大深度湖沼における湖底直上の微細な鉛直流速実測例は少なく、本結果により、表層の溶存酸素飽和度と湖底直上の溶存酸素飽和度と鉛直合成流速の季節的变化や、地震前後の水温の変化について示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 知北和久, 大八木英夫, 牧野昌, 漢那直也, 刀根賢太, 坂元秀行, 波多俊太郎, 安藤卓人, 白井裕子	4. 巻 2
2. 論文標題 山岳湖沼における結氷現象と気候変動との関係	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 陸水物理学会誌	6. 最初と最後の頁 3-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Chikita Kazuhisa, Ochiai Yasuhiro, Oyagi Hideo, Sakata Yoshitaka	4. 巻 6
2. 論文標題 Geothermal Linkage between a Hydrothermal Pond and a Deep Lake: Kuttara Volcano, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrology	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.3390/hydrology6010004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Chikita Kazuhisa A., Oyagi Hideo, Aiyama Tadao, Okada Misao, Sakamoto Hideyuki, Itaya Toshihisa	4. 巻 5
2. 論文標題 Thermal Regime of A Deep Temperate Lake and Its Response to Climate Change: Lake Kuttara, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hydrology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/hydrology5010017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 知北和久, 大八木英夫, 山根志織, 相山忠男, 板谷利久, 岡田操, 坂元秀行	4. 巻 47-2
2. 論文標題 気候変動に対する深い温帯湖の熱的応答 - 北海道・倶多楽湖 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本水文科学会誌	6. 最初と最後の頁 73-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大八木 英夫, 浅井 和由, 田中 敦
2. 発表標題 摩周湖およびその周辺の山麓湧水の滞留時間の推定
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡崎友輔, 藤永承平, 田中敦, 高津文人, 大八木英夫, 中野伸一
2. 発表標題 大水深湖に生息する細菌の系統地理的パターンの解明
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大八木英夫, 知北和久, 網田和宏, 藤井智康
2. 発表標題 田沢湖における水・物質収支に関する検討
3. 学会等名 陸水物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大八木 英夫, 浅井和由, 五十嵐聖貴, 小林 拓, 武内章記, 深澤達矢, 藤江晋, 南 尚嗣, 田中 敦
2. 発表標題 摩周湖および摩周火山山麓湧水の滞留時間について
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大八木英夫, 知北和久
2. 発表標題 倶多楽湖における深層の溶存酸素の経時的変化と湖水鉛直循環速度について
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 知北和久, 大八木英夫, 田中敦, 網田和宏, 藤井智康
2. 発表標題 火山性深湖における地殻熱流量評価 摩周湖・倶多楽湖・田沢湖の比較
3. 学会等名 陸水物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大八木 英夫, 濱侃
2. 発表標題 日光・湯ノ湖における温水の拡散とその影響範囲の推定
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大八木英夫, 武内章記, 加島拓実, 花町優次
2. 発表標題 富士山北麓湖沼の水温・水質の季節変動について
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 知北和久, 大八木英夫, 支笏湖・水とチップの会, 坂元秀行
2. 発表標題 温帯深湖の永年不凍化へのシナリオ
3. 学会等名 陸水物理研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----