

裏磐梯毘沙門沼における水温・水質プロファイルによる湧水地点の推定

金子翔平（福島大学大学院・共生システム理工学研究科）・柴崎直明（福島大学・共生システム理工学類）

要 旨

裏磐梯毘沙門沼における湧水地点を明らかにするために、水温・水質プロファイルの測定を行った。水温測定から沼西部、中央部、南東部で、水質測定から西部、西部中央、中央部で、水温・水質の両方の測定結果から西部、中央部で地下水が湧出している可能性がある。測定した地点での着底深度と地形標高データから、毘沙門沼の湖盆の形を把握した。地下水が湧出している可能性のある地点は、湖盆の遷急点に多いことが認められた。温度・水質の両方を平面的・断面的に測定することによって地下水の湧出箇所を推定できると考えられる。

I. はじめに

裏磐梯五色沼湖沼群の水の色が以前と比べて変化しているのは地元で指摘されており、これには地下水が関係している可能性がある。毘沙門沼の湖底では地下水が湧出している可能性があると報告されている（吉村ほか，1936；千葉ほか，1986；西牧・柴崎，2013；藤元ほか，2014）。福島大学の磐梯朝日遷移プロジェクトでは、2013年11月に裏磐梯スキー場に深度52mの地下水観測孔を設置し、地下水位および地下水温の連続観測を行っている（図1）。本研究では、毘沙門沼の水温および水質を深度ごとに測定し、湧水地点の推定を行った。

II. 研究方法

毘沙門沼の水位と水温の変動を把握するために水圧式自記水位計（S&DLmini，応用地質（株）製）を用い2012年8月より連続観測を行っている。2014年には分解能0.01℃の温度計（（株）テクノ・セブン製）を用いて毘沙門沼で深度1m毎に水温を4時期（2014年7月19日，同年9月3日，同年10月17日，同年11月11日）測定した。また，着底した深度も記録した。2014年9月3日の調査では，いくつかの地点にて表層および着底深度付近の水を採水し，水質の測定を行った。

また，2014年10月17日，同年11月11日はpH・EC（電気伝導度）・ORP（酸化還元電位）を深度毎に測定した。水質測定に用いた機器はpH・ECはポータブル電気伝導率・pH計（WM-32EP，東亜DKK（株）製），ORPはポータブルORP計（RM-30P，東亜DKK（株）製）である。測定した結果を用いて温度断面図と同一深度における温度平面図，水質平面図を作成した。測定した結果をもとに湧水地点の推定を行った。着底深度と東北地方整備局 福島河川国道事務所から提供された標高レーザー測量データを用いて毘沙門沼の湖底の地形を把握した。裏磐梯スキー場観測孔の地下水位および地下水温の変動を把握するために水圧式自記水位計（S&DLmini）を用いて地下水位および地下水温の連続観測を行った。また，分解能0.01℃の温度計により深度2m毎に着底するまでの水温を2時期（2013年12月2日，2014年5月10日）測定し，採水した地下水のpH・EC・ORPの測定も行った。

III. 結果

1. 毘沙門沼

1) 水温の平面分布

2014年の7月19日，9月3日，10月17日および11月11日に水温測定を行った。上記の時期

における深度 1 m における毘沙門沼の水温分布をそれぞれ図 2, 図 3, 図 4 および図 5 に示す. 4 時期における水温の平均値は, それぞれ 17.80°C, 19.57°C, 14.59°C, 11.53°C である. 測定した 4 時期の中では, 9 月の水温が最も高く, 11 月の水温が最も低い. 4 時期とも沼南東部の水温が高く, 7 月・9 月では水深 1 m において水温が 3°C 以上異なっている. 一方, 11 月では水深 1 m において水温は 1°C 程度しか差が見られなかった. なお, 沼南東部で温度が高い傾向は小野 (2012) によっても報告されている.

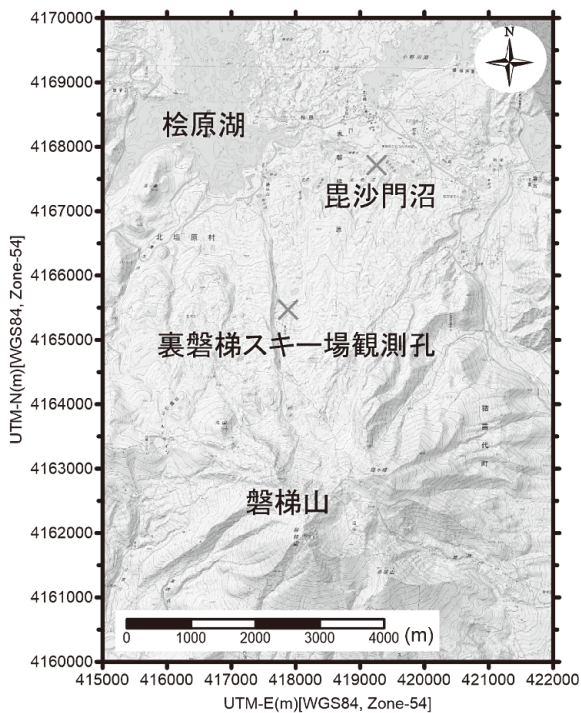


図 1 調査位置図

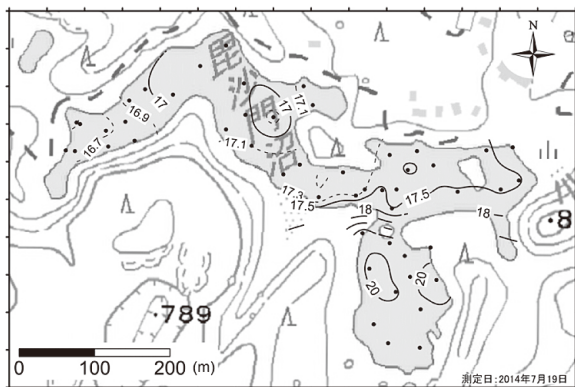


図 2 深度 1 m における毘沙門沼の水温 (°C)
(測定日: 2014 年 7 月 19 日)

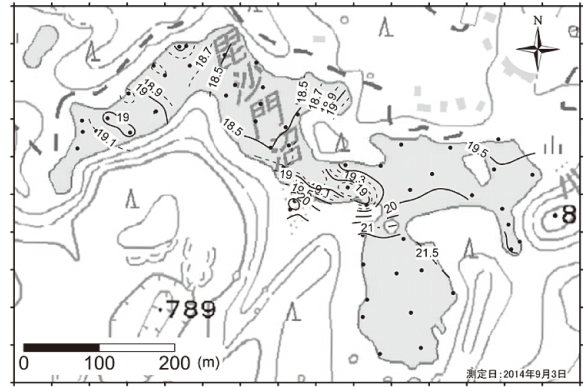


図 3 深度 1 m における毘沙門沼の水温 (°C)
(測定日: 2014 年 9 月 3 日)

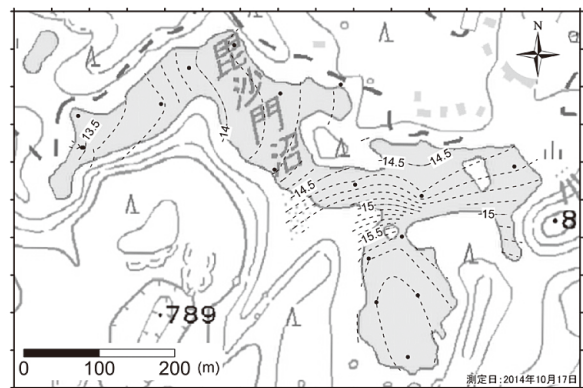


図 4 深度 1 m における毘沙門沼の水温 (°C)
(測定日: 2014 年 10 月 17 日)

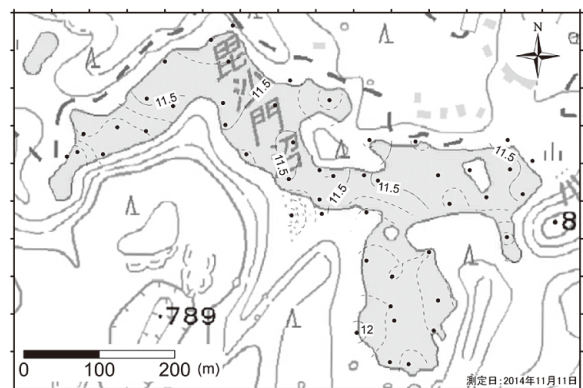


図 5 深度 1 m における毘沙門沼の水温 (°C)
(測定日: 2014 年 11 月 11 日)

2) 水温の断面分布

図6に4時期における毘沙門沼の東西方向の水温断面図を示す。測定した4時期の水温は、水温の平面分布と同様に9月の温度が最も高く、11月の温度が最も低い。7月のC-D間には成層が表れているが、9月になると成層が次第に消失し、10月・11月には成層が消失している。7月、9月、10月では、沼の水温はC-D間がA-C間よりも高い傾向が見られる。一方、11月では上記の傾向は見られない。沼の水温はA-D間のほとんどの場所で11.5℃前後を示しているが、A-B間の底付近では13.5℃に達している。

3) 温度プロファイルのパターン分類

2014年の9月3日および11月11日に測定した温度プロファイルは図7および図8に示すように4つのパターンに分類できる。すなわち、①：ある深度で水温が上昇する、②：着底深度で水温が上昇する、③：①と②が両方みられる、④：深度とともに水温が低下する、の4つである。測定した4時期のうち最も水温の高かった9月では、パターン①は主に沼南部、パターン②は中央部および東部、パターン③は中央部、パターン④は東部および南東部でみられた。一方、水温の低かった11月ではパターン①は主に沼西部、パターン②

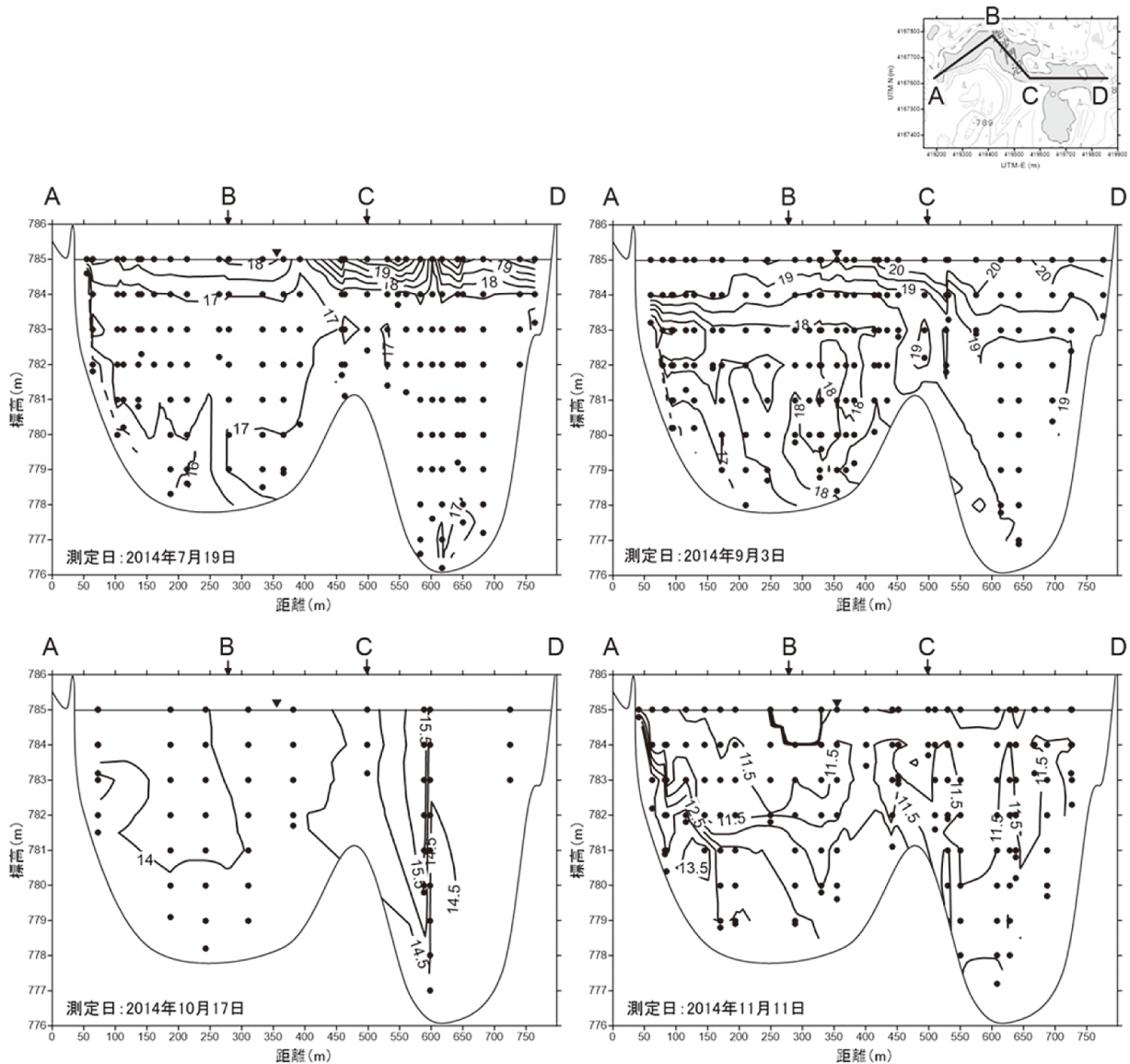


図6 毘沙門沼の水温断面図 (°C)

(等値線の間隔は0.5°C)

は沼全域、パターン③は沼西部および中央部、パターン④は東部および南東部でみられた。同じ場所でもいつもプロファイルのパターンが同じになるとは限らず、変化している地点が多くみられた。

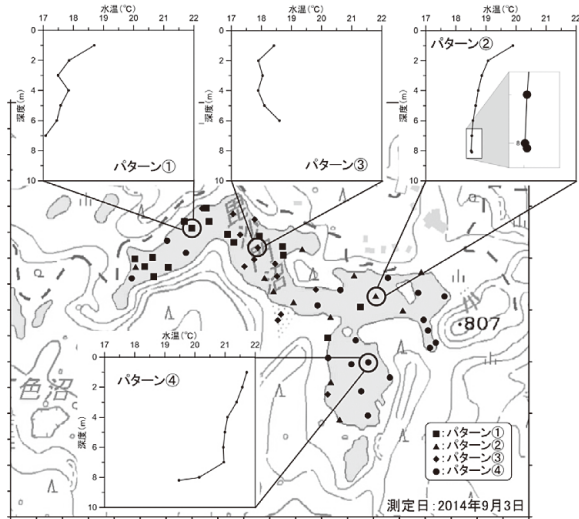


図7 温度プロファイルパターン分類
(測定日：2014年9月3日)

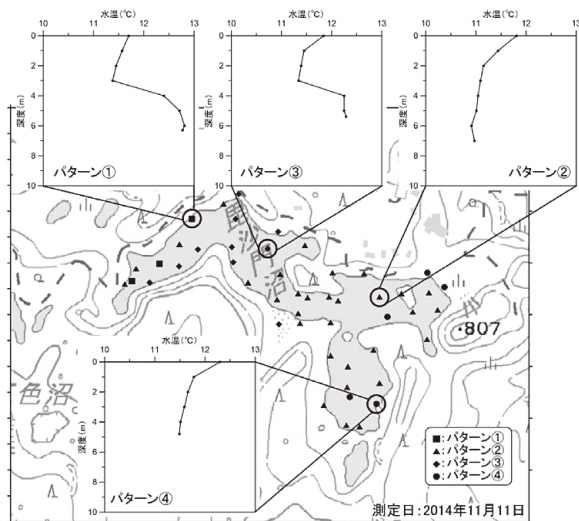


図8 温度プロファイルパターン分類
(測定日：2014年11月11日)

4) 水質の平面分布

図9に2014年の10月17日および11月11日における毘沙門沼の表層の水質平面分布を示す。測定した地点での2時期における水質の変動は見られなかった。pHはいずれの地点でも6.5~6.7

程度の値を示した。ECの値は沼南東部が高く、沼の流入口が低い傾向がみられた。ORPの値は流入口付近および沼東部で低く、沼西部および沼南東部で高い傾向がみられた。

5) 水質プロファイル

2014年の10月17日および11月11日に水質測定を行った地点とそのプロファイルを図10に示す。10月、11月ともに毘沙門沼の流入口および沼西部では深度が大きくなるにつれてECおよびORPが上昇し、pHが低下する傾向を示した。沼中央部付近で測定した地点Q-Nov-07では、深度が大きくなるにつれてECが上昇し、pHおよびORPが低下する傾向を示した。Q-Nov-09では、深度が大きくなるにつれてORPが低下する傾向を示しているが、pHおよびECにはそれほど大きな変化を示さなかった。

2. 裏磐梯スキー場観測孔における地下水位・地下水温変動と温度プロファイル

2013年11月15日から地下水位および地下水温の連続観測を行っている(図11)。毘沙門沼の水温測定を行った2014年7月19日と2014年9月3日の地下水位を比較すると、後者は水位計設置深度よりも地下水位が深いことから、前者の方が約5m以上高い。また、地下水温は10~13°Cの間で変動しており、2月の温度が最も高く、7月の温度が最も低い。

2013年12月2日と2014年5月10日に、深度2m毎に孔底までの地下水温を測定した(図12)。前者の方が後者よりも水温が0.5°C程度高いこと、温度増加率は非常に小さいことが認められた。pH、EC、ORPを測定した結果、毘沙門沼の表層部の地下水と比較して、pHは低く、ECおよびORPは高いことが認められた。

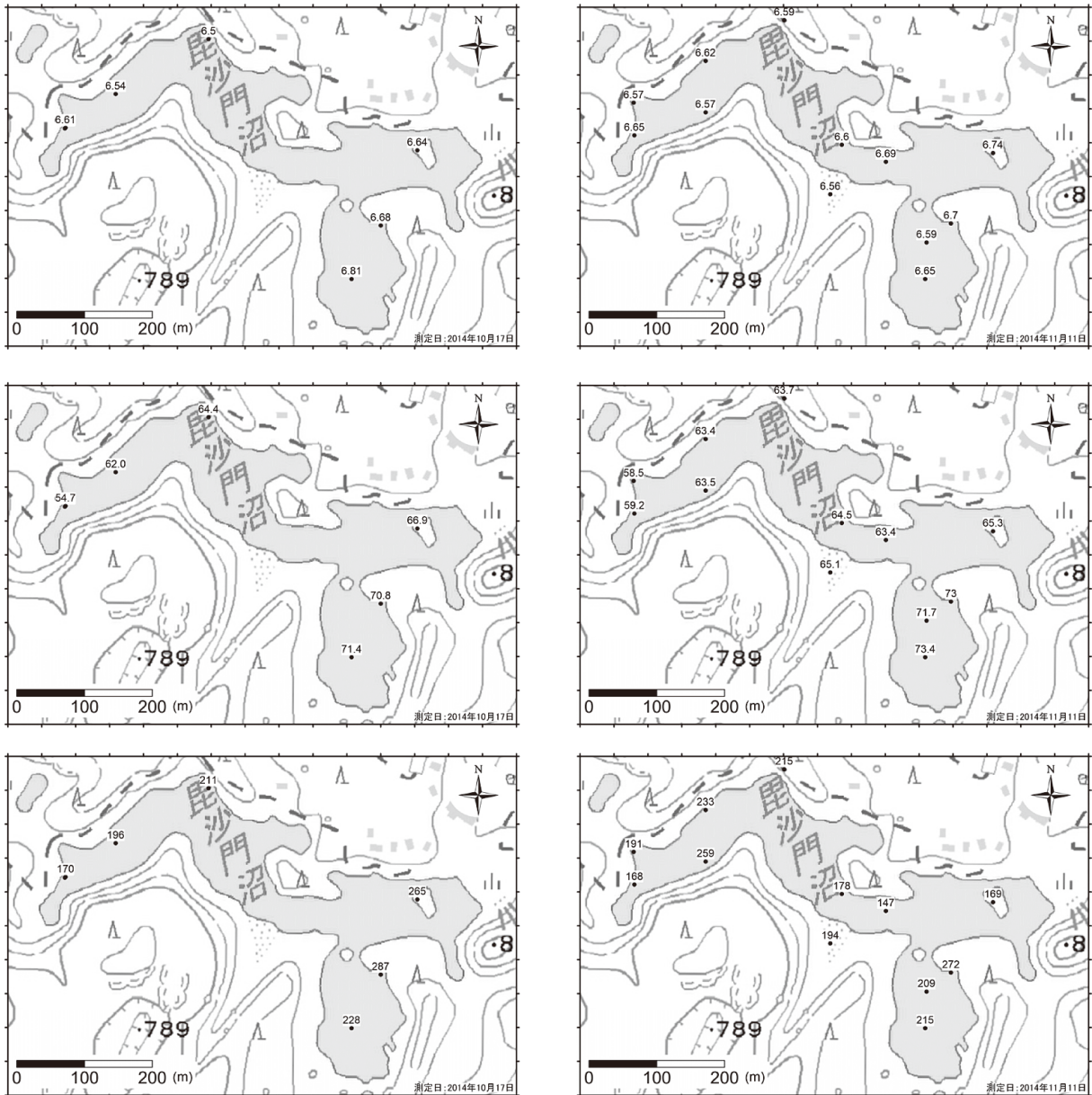


図9 毘沙門沼における表層の水質の平面分布

(左上：2014年10月17日のpH，左中央：2014年10月17日のEC (mS/m)

左下：2014年10月17日のORP (mV)，右上：2014年11月11日のpH，

右中央：2014年11月11日のEC，右下：2014年11月11日のORP (mV))

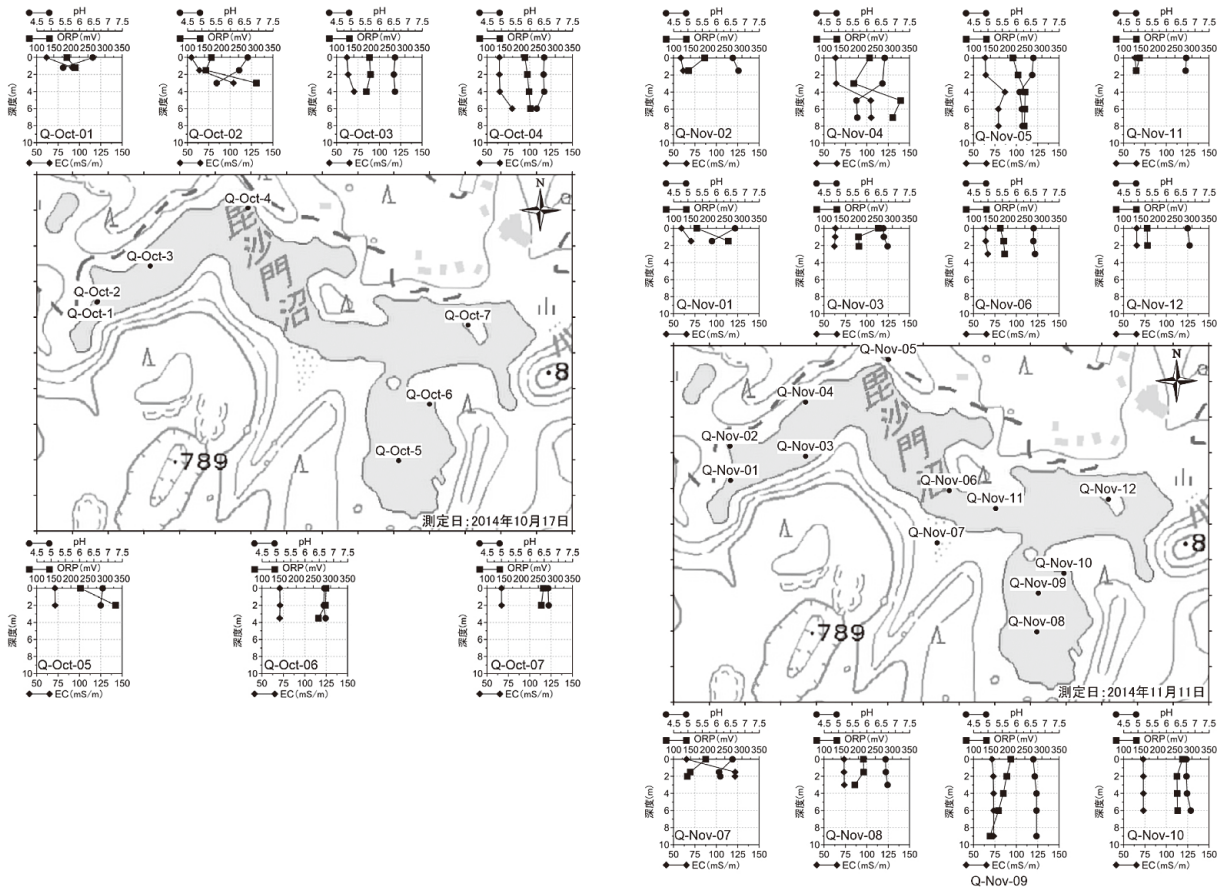


図10 毘沙門沼における水質プロファイル

(左図の測定日：2014年10月17日，右図の測定日：2014年11月11日)

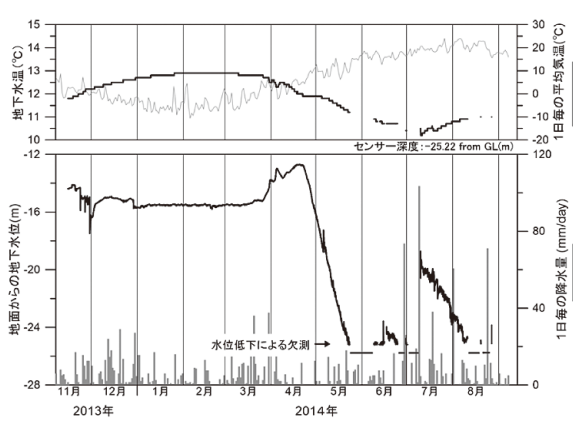


図11 裏磐梯スキー場観測孔における地下水位・地下水温変動

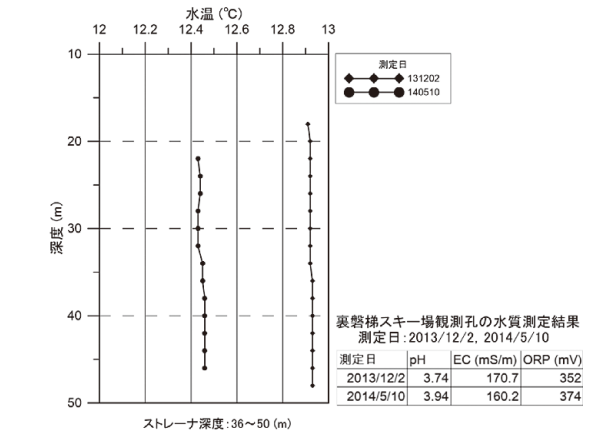


図12 裏磐梯スキー場観測孔における温度プロファイルおよび水質測定結果

IV. 考察

1. 水温測定からみた湧水地点の推定

裏磐梯スキー場観測孔の地下水温度測定結果から、毘沙門沼に湧出する地下水温度は 10～13℃程度と推測される。地下水温度よりも沼の水温が高い 9 月の場合、着底深度の水温がその直上の水温よりも低下している地点では、地下水が湧出している可能性があると考えられる。沼西部と南東部で水温が 0.5℃以上も低下している地点がみられた (図 13)。これらの地点で地下水が湧出している可能性が高い。

一方、地下水温度よりも沼の水温が低い 11 月の場合、着底深度の水温がその直上の水温よりも上昇している地点では、地下水が湧出している可能性があると考えられる。沼西部、中央部、南東部で水温が 1℃以上も上昇している地点がみられた (図 14)。これらの地点で地下水が湧出している可能性が高い。

また、11 月にみられた中央部、南東部の水温が高い地点は、9 月の測定でも着底深度で温度が上昇することが確認された。2014 年 9 月 3 日に中央部と南東部の水を採水して pH・EC・ORP の測定を行った。中央部については、表層部の水質と着底深度での水質を比較すると、表層部で 72.3 mS/m を示していた EC が、着底深度では 101.7 mS/m を示した。一方で、南東部で上昇した地点における表層部と着底深度付近では、pH・EC・ORP に明瞭な違いが見られなかった。しかし、一般的な湖沼の水温は深度とともに低下することから、南東部においても地下水が湧出している可能性があると考えられる。

季節に応じて地下水が湧出する所と湧出していない所がみられた。これは季節に応じて湧出量が異なる、沼の水温と地下水温度との差が明瞭でない等の理由が考えられる。

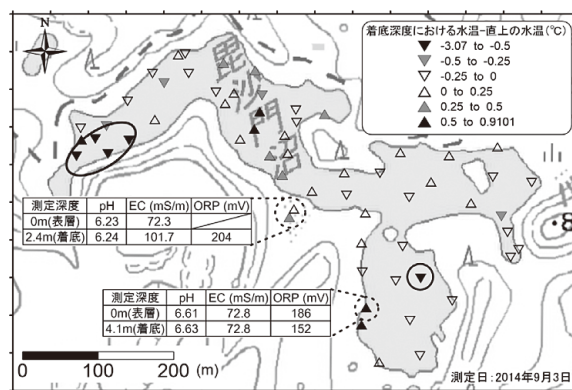


図 13 2014 年 9 月 3 日における着底深度における水温とその直上の水温との差

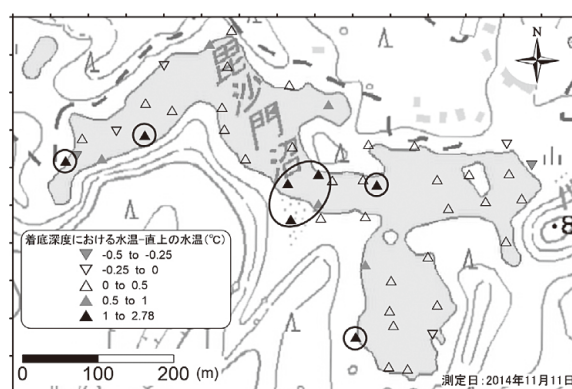


図 14 2014 年 11 月 11 日における着底深度における水温とその直上の水温との差

2. 水質測定からみた湧水地点の推定

図 15 に水質測定からみた湧水の推定地点を示す。図 15 中の①は、深度が大きくなるにつれて pH が低下し、EC・ORP が増加している地点である。千葉ほか (1986) が湧水の存在を水質の観点から示しており、今回の水質測定によって推定した地点と調和的である。図 15 中の②は深度が大きくなるにつれて EC が増加し、pH・ORP が低下している。千葉ほか (1986) は毘沙門沼に Na-Cl 型の地下水が湧出している可能性があることを報告しており、この地点がそれに該当すると考えられる。図 15 中の③は、①と同様の水質の変化を示しており、地下水が湧出している可能性が高い。千葉ほか (1986) は沼南東部で pH の低い地下水が湧出していることを報告しているが、本研究では確認できなかった。また、小野 (2012) は

沼南東部における pH の低い地下水の湧出を確認できなかったと報告している。

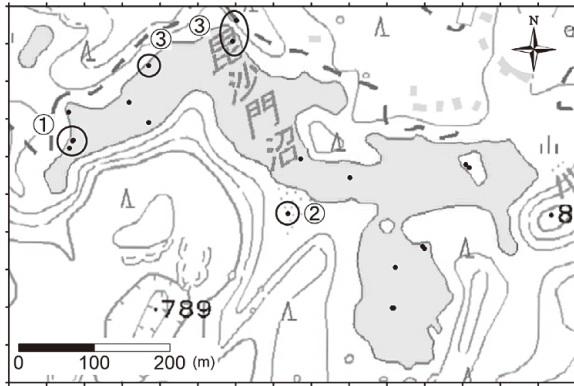


図 15 水質測定からみた湧水地点の推定

3. 毘沙門沼の湖盆の形と推定された湧水地点との関係

図 16 に推定した湖盆の形と推定した湧水地点の位置図を示す。推定した湖盆の深度は吉村（1936）に報告されている深度と調和的である。地下水が湧出している可能性のある地点は、湖盆の遷急点に多いことが認められた。

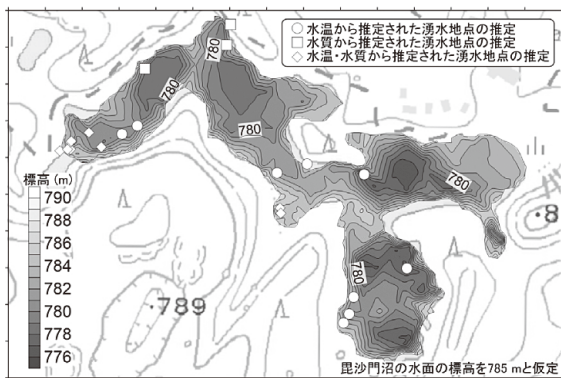


図 16 推定した湖盆の形と推定した湧水地点

V. まとめと今後の課題

水温測定から沼西部，中央部，南東部で，水質測定から西部，西部中央，中央部で，水温・水質の両方の測定結果から西部，中央部で地下水が湧出している可能性がある。

水温・水質の両方を平面的・断面的に測定する

ことによって湧出箇所の推定を行うことが可能である。ただし，どの地点から湧出しているかを特定することは難しい。

地下水が湧出している可能性のある地点は，湖盆の遷急点に多いことが認められた。

今後は，裏磐梯スキー場観測孔の地下水位および地下水温の連続観測を行い，地下水の湧出量が多い時期や地下水温と沼の水温との差が最大となる時期を特定したい。また，ボアホールカメラの使用により湧水地点の推定をより確実なものにしたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり，福島大学研究プロジェクト型実践教育推進センター特任教授の佐藤一男先生にご協力をいただいた。現地調査の際の貸しボートについては，ホテル五色荘の皆様にご提供していただいた。本研究を支えてくださった皆様に厚く感謝申し上げます。

引用文献

- 千葉茂・朝倉誠司・松本仁志（1986）裏磐梯五色沼の水質とその成因について，福島大学理科報告，38，19-29。
- 藤元大季・廣瀬将也・渡辺泰世・三浦淳・横尾善之（2014）裏磐梯毘沙門沼の水量・水質調査：年間の水収支および融雪期の水量と水質の関係，共生のシステム，14，46-54。
- 西牧祐香・柴崎直明（2013）裏磐梯地域の地下水流動の推定および将来予測，共生のシステム，13，48-57。
- 小野結夏子（2012）裏磐梯毘沙門の水質と大腸菌群，福島大学共生システム理工学類平成 23 年度卒業論文。
- 吉村信吉・根来健一郎・山本莊毅（1936）磐梯五色沼の湖沼学的予察研究（上）。地理学評論，12，1-17