

磐梯山北部斜面における表流水と地下水の水質からみた 地下水流動に関する予察

藪崎志穂（福島大学・共生システム理工学類）

要 旨

磐梯山北部斜面（裏磐梯地域）を対象として、湧水、河川水、湖沼水の調査・採水を実施した。現地調査（EC, pH, 水温, ORP）や水質分析の結果から、以下の特徴を把握することができた。1) EC と pH には負の相関が認められる。2) 銅沼やその周辺の湖沼・湧水のように、EC が高く、pH が低い地点では火山ガスの影響を受けていると考えられる。3) 五色沼湖沼群は EC, pH などの違いにより、幾つかのグループに分類することができる。4) 弁天沼に流入している湧水には、標高の高い地点で涵養され、火山ガスの影響を受けたと考えられる水が存在している。5) 銅沼とその周辺の湧水や湖沼の水質組成は Ca-SO_4 型を示し、溶存分量は非常に多い。6) 五色沼周辺の湖沼群の多くは $\text{Ca-(Cl+SO}_4)$ 型を示しており、EC や pH で示されたような区分は、本調査の水質組成の結果においては明瞭には認められなかった。今後、湧水や湖沼水の安定同位体や、同地域内に設置された観測井の ^3H や CFCs 等の分析を行うことにより、地下水流動についてより詳細に把握できると期待される。

I. はじめに

磐梯山は透水性の良い火山由来の地質が広く分布しているため、山体に降った降水の多くは地表面から浸透して豊富な地下水が存在する。これらの地下水は猪苗代町・磐梯町・北塩原村の周辺の自治体の水源としても活用され、複数の水源井が掘削されている。また、自治体水源の他に、民間施設の井戸や湧水なども多数存在している。しかしながら、磐梯山北側斜面（裏磐梯）では井戸や湧水はあまり確認することができない。この理由として、裏磐梯地域は 1888 年に発生した磐梯山の水蒸気爆発型の噴火に伴う岩屑なだれや土石流、爆風等の影響を受け、地形が大きく変化して地下水流動にも影響が及んだためであると考えられる。一方、磐梯山北側斜面の山麓には五色沼をはじめとした大小 300 個を越す湖沼群があり、磐梯山で涵養された水の多くが地下水としてこれらの湖沼に流入していることが予想される。磐梯山北側斜面の地下水流動については、西牧・柴崎（2013）でモデルを用いた推定が行われてい

るが、地下水の涵養域や滞留時間については、未だ不明な点が多い。そこで本研究では、現地調査および採水を実施して、磐梯山北側斜面の地下水流動や涵養域、滞留時間を推定するための基礎データとなる地下水や湖沼水等の水質や安定同位体比の特徴を明らかにすることを目的とした。

II. 研究対象地域の概要

1. 裏磐梯地域の地形・地質の概要

磐梯山は福島県のほぼ中央に位置する猪苗代湖の北約 5 km に位置し、標高 1,816 m の活火山である。一般的に、赤埴山(1,450 m)、櫛ヶ峰(1,639 m)を含めて磐梯山と呼ばれている。磐梯山は那須火山帯の一部に属し、東西約 7 km、南北約 10 km の安山岩質の成層火山であり、かつては富士山とよく似た眺望であったため会津富士とも言われていた。しかし、1888 年 7 月 15 日の水蒸気爆発により北側斜面で大規模な崩落が生じて馬蹄形の爆裂火口が形成され、北側（北塩原村方面）からの眺めは一変した。現在、この北側斜面の標

高約 900~1,100 m はスキー場として利用されている。それ以外の山地斜面には主にアカマツなどの針葉樹林が広く分布しており、国立公園内であるため、人為的な壊変は殆ど行われていない。磐梯山のすぐ西側に位置する猫魔ヶ岳 (1,404 m) は、磐梯山より開析が進んだ古い火山で、山頂に直径約 3 km のカルデラである雄国沼を有している (三村, 1988)。

磐梯山一帯の基盤は、先第三紀の変成岩・花崗岩類、新第三紀の堆積岩類と珪長質火山岩類である。また、磐梯山や猫魔ヶ岳から噴出された火山岩類はすべて斑状組織の発達した安山岩で、岩石中の主要な斑晶鉱物は斜長石、斜方輝石、普通輝石、磁鉄鉱である。磐梯山溶岩類の主成分として、SiO₂ (磐梯山 : 56.5~64.4%, 猫魔ヶ岳 : 57.9~65.0%) や Al₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O が多く含まれており、微量元素として、Ba, Sr, V, Zr が相対的に多く含まれている (青木・中村, 1988)。

なお、磐梯山の地形・地質の詳細については、藪崎ほか (2013) に記載しているので適宜ご参照願いたい。

2. 裏磐梯地域の降水量・気温の特徴

裏磐梯地域に近い桧原の気象観測地点 (N37°43.3', E140°03.5', 824 m a.s.l.) のデータをみると、年降水量は 1,826.1 mm で、日本の平均値 (約 1,400 mm) よりも 400 mm ほど多い。月降水量はいずれの月も 100 mm を越えているが、特に夏季 (7月~8月) で多く、月平均で 200 mm を越えている。また 12月~1月も比較的多く、降雪の影響が及んでいると考えられる。年平均気温は 7.5°C で、12月~3月の月平均気温は 0°C を下回る。なお、降水量および気温の値は、いずれも 1981~2010 の平年値である。また、気象観測地点の喜多方、猪苗代、桧原、鷲倉の年平均気温と標高を用いて気温減率を求めたところ、-0.58°C /100 m (r²=0.996) であった (気象庁 HP, 2015)。

III. 研究方法

1. 調査・採水方法

磐梯山北側斜面の調査・採水は、2014年6月~7月に実施した。磐梯山の北側斜面の標高約 1,100 m にある銅沼から標高 800 m 付近に分布する五色沼周辺を対象地域とし、湧水 3 地点 (PJ-78, 79, 87)、河川水 5 地点 (PJ-81, 83, 88, 100, 101)、湖沼水 17 地点 (PJ-75, 76, 77, 80, 82, 84, 86, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99) を選定した (図 1)。また、各地点の種別と名称を表 1 に示した。湧水の PJ-78 と 79 はスキー場斜面の湧水で、前者は 3~5 月の雪解けの時期のみ現れるが、後者は一年を通して湧出している。PJ-87 の湧水は磐梯山側の斜面下から湧出して弁天沼へと注いでおり、この湧水に触れている石や水底の砂利は赤茶色に着色している (図 2)。

現地では、EC (電気伝導率)、pH、水温、ORP (酸化還元電位)、湧出量を測定し、同時に採水も実施した。採水は 100 ml のポリプロピレン製の容器に一般水質・安定同位体分析用と、重金属分析用に分けて採取した。また、重金属分析用には濃硝酸を添加した。採取した水試料は冷蔵庫で保管し、できるだけ速やかに分析を行った。

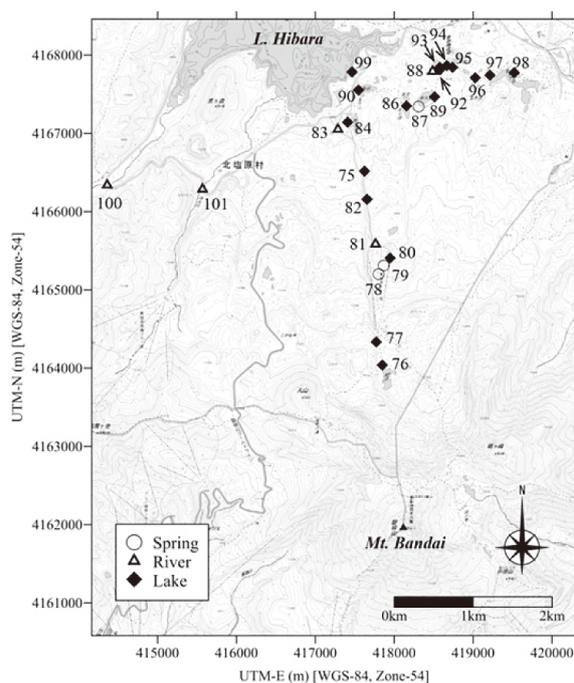


図 1 調査・採水地点

表 1 採水地点の名称と種別

No	採水場所	type
PJ-75	裏磐梯の沼	L
PJ-76	銅沼	L
PJ-77	沼_1	L
PJ-78	スキー場上の湧水	Sp
PJ-79	スキー場湧水	Sp
PJ-80	スキー場駐車場近くの湿原の水	L
PJ-81	渓流水_1	R
PJ-82	沼_2	L
PJ-83	渓流水_2	R
PJ-84	弥六沼	L
PJ-86	瑠璃沼	L
PJ-87	弁天沼への流入湧水	Sp
PJ-88	竜沼への流入水	R
PJ-89	弁天沼	L
PJ-90	柳沼	L
PJ-92	竜沼近くの小さな沼_1	L
PJ-93	竜沼近くの小さな沼_2	L
PJ-94	竜沼からの流出水	L
PJ-95	深泥沼	L
PJ-96	赤沼近くの小さな沼	L
PJ-97	毘沙門沼への流入湖沼水	L
PJ-98	毘沙門沼	L
PJ-99	桧原湖	L
PJ-100	雄子沢川	R
PJ-101	清水沢	R

Sp:湧水, R:河川水, L:湖沼水

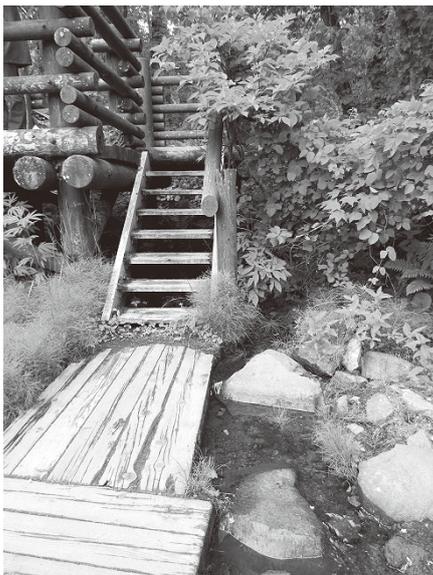


図 2 弁天沼への流入湧水 (PJ-87)

2. 分析項目・分析方法

採取したサンプルの溶存成分量はイオンクロマトグラフィーにより分析し、陰イオンは ICS-2000, 陽イオンは ICS-1000 (共に DIONEX 社製) を利用した。測定項目は、陰イオンでは F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} の 7 成分を、陽イオンでは Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} の 6 成分を分析した。 HCO_3^- は pH4.8 アルカリ度滴定法により定量し、 SiO_2 濃度はモリブデン黄法を用いて分析を実施した。酸素・水素安定同位体比は、近赤外線半導体レーザーを用いたキャピティリングダウン吸収分光法により分析を行っている。なお、安定同位体比は現在分析中であるため、本報告書では議論に用いていない。

IV. 結果・考察

1. 現地調査の結果

EC の分布をみると (図 3), 全体的に 30 mS/m 以上の地点が多く、100 mS/m を超える地点も複数存在する。これは一般的な湖沼水や湧水と比べて高い値であり、火山性ガスの混入など、火山の影響を受けている地点が多いと言える。このような状況の中でも、河川水の値は相対的に低くなっており、特に、PJ-100 (雄子沢川) と PJ-101 (清水沢) は 5 mS/m 以下の値を示している。これら両河川は、磐梯山山頂より西側に位置する猫魔ヶ岳あるいは雄国沼が源流域となっており、火山の影響を受けていないと考えられる。また、PJ-99 の桧原湖の EC も約 6 mS/m と低く、五色沼周辺の湖沼水とは異なっている。一方、最も高い値を示すのは PJ-76 の銅沼で、169.3 mS/m となっている。また、銅沼の下流側に位置する PJ-77 (118.8 mS/m) や PJ-80 (143.7 mS/m) の湖沼水、および PJ-78 (152.1 mS/m) や PJ-79 (144.9 mS/m) の湧水等も相対的に高い値を示している。銅沼と PJ-78, 79 の湧水および PJ-80 の湖沼水の EC は近い値を示していることから、同じ水系 (地下水流動系) である可能性を示唆している。五色沼周辺

の湖沼水等では、上流側の湖沼や湧水と比べると EC は低い値を示している。五色沼周辺の湖沼の EC は大きく 2 つに分けることができ、高い地点には、PJ-86 の瑠璃沼 (104.9 mS/m)、89 の弁天沼 (92.8 mS/m)、95 の深泥沼 (102.3 mS/m)、96 の赤沼近くの沼 (102.0 mS/m) が含まれる。一方、低い地点には、PJ-84 の弥六沼 (29.6 mS/m)、90 の柳沼 (34.1 mS/m)、98 の毘沙門沼 (54.4 mS/m) が認められる。こうした水系の違いは、國井ほか (2012) でも指摘されており、本調査の結果とも概ね整合している。また、弁天沼へ流入する湧水 (PJ-87) は 118.8 mS/m と相対的に高く、弁天沼の値 (92.8 mS/m) よりも高い値となっている。

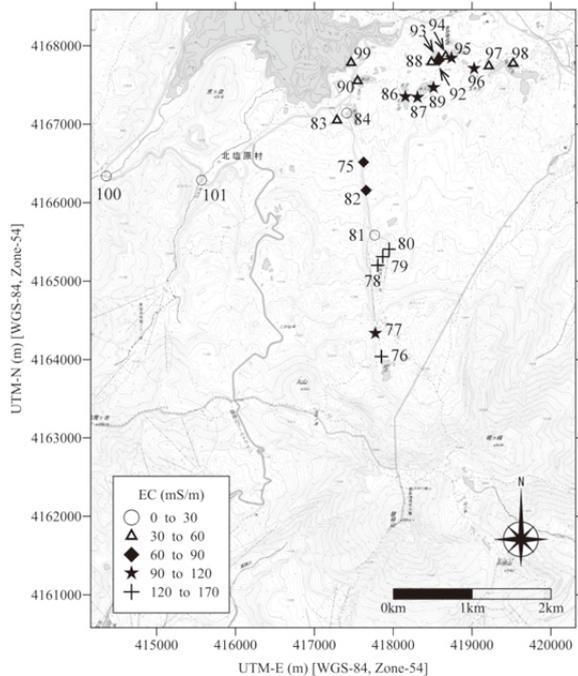


図 3 EC の分布図

次に、pH の分布をみると (図 4)、EC の高い地点では pH は低い値を示す傾向が認められる。EC と pH の相関図 (図 5) より、EC と pH には明瞭な負の相関があることが示された ($r^2=0.869$)。上述したように、磐梯山北側斜面では、火山ガス (H_2S や HCl など) の影響を受けて EC が高くなっている水が多い。これらのガスが水に溶解すると H^+ や塩酸 (HCl) が生じるため、pH は低くなる

と考えられる。地点ごとの特徴をみると、PJ-99 の桧原湖 (7.40)、100 の雄子沢川 (7.60)、101 の清水沢 (7.59) の 3 地点は 7 以上の弱アルカリ性を示しているが、その他の地点は全て 7 以下の酸性を示している。特に PJ-76 の銅沼 (3.31)、77 の湖沼 (3.18)、78 の湧水 (3.71)、79 の湧水 (3.83)、80 の湖沼 (3.55) は 4 以下の低い値となっており、これらの地点は火山ガスの影響を受けていることが pH の結果からも推測される。また、PJ-87 の湧水の pH も 4.18 と低いことから、銅沼やその周辺の湧水と同様に火山ガスの影響を受けた水質を示す地下水流動系の湧水であることが考えられる。今後、安定同位体や 3H 等の値を併せて用いることにより、こうした地下水流動系を明瞭に示すことができると期待される。

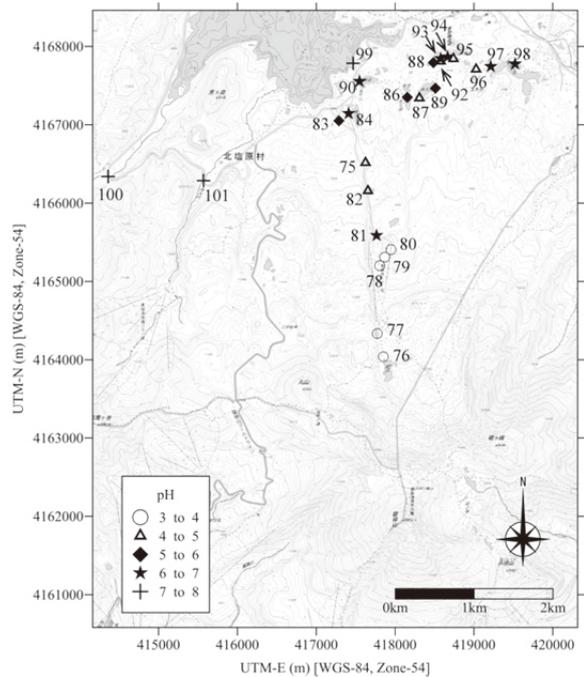


図 4 pH の分布図

水温の分布図 (図 6) では、PJ-78~80 は約 $13^{\circ}C$ と相対的に低く、特に PJ-80 の湖沼水の水温 ($13.1^{\circ}C$) は、より標高の高い位置にある湖沼の PJ-76 ($16.8^{\circ}C$) や 77 ($16.7^{\circ}C$) の水温よりも低くなっている。この要因として、以下の現象が考えられる。昼間暖められて水温が上昇した PJ-76 (銅

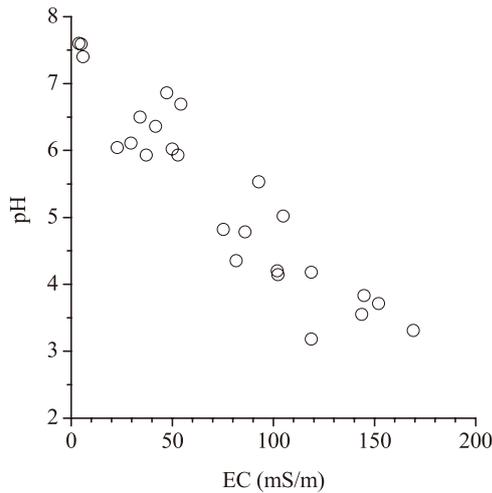


図5 ECとpHの相関図

沼)の水が地下へ浸透して、銅沼よりも水温の低い地下水と混合し、この地下水が流下して、下流側の湖沼(PJ-80など)に湧出することにより、下流側の湖沼水のほうが水温は低くなる。気象観測地点の年平均気温と気温逓減率を利用して、PJ-78~80周辺の年平均気温を求めると約6.6℃となり、PJ-78~80の水温のほうが6℃ほど高い。通常、湧水や浅層の地下水はその周辺の年平均気温とほぼ同じ水温を示すが、上記の地点では6℃ほど高いので、地下水よりも水温の高い水が混合している可能性が高い。このことから、上述したように上流域で水温が上昇した湖沼水が混合した地下水による涵養の存在が示唆される。

一方、PJ-87の湧水の水温は13.2℃で、ほぼ同じ標高に位置する周辺の湖沼の水温(約17~19℃)に比べ低くなっている。このPJ-87の水温は、上流側に位置する湧水の水温(PJ-78:12.9℃, PJ-79:12.6℃)と近い値を示している。こうしたことから、PJ-87の湧水はより標高の高い地点(たとえば、PJ-78や79が位置する950m付近)で涵養された地下水が流下して、この地点で湧水として湧出していることが可能性として考えられる。

ORPの分布をみると(図7)、PJ-76(銅沼)が最も高く、銅沼下流の湖沼であるPJ-77の値も相対的に高くなっている。このように、火山の影響

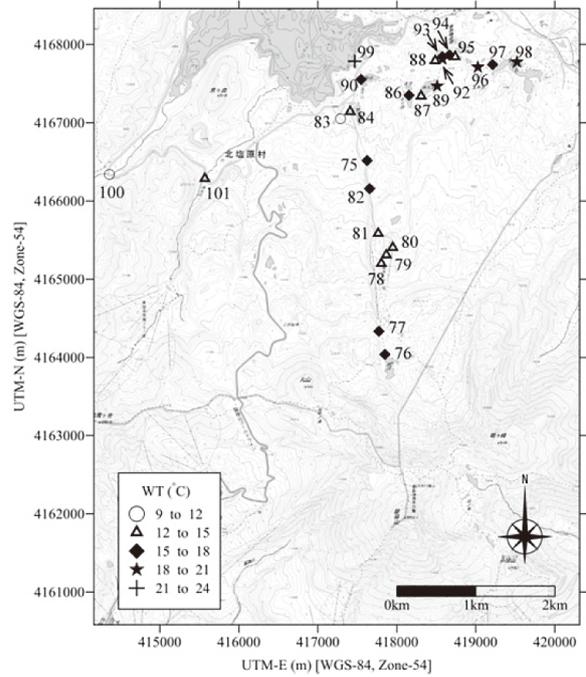


図6 水温の分布図

を受けていると考えられる水ではORPは高い値を示している。竜沼や深泥沼、赤沼、毘沙門沼など、湖沼群の東部に相当する湖沼ではORPは相対的に低い値を示しており、湖沼間での水系の違いを反映していると考えられる。

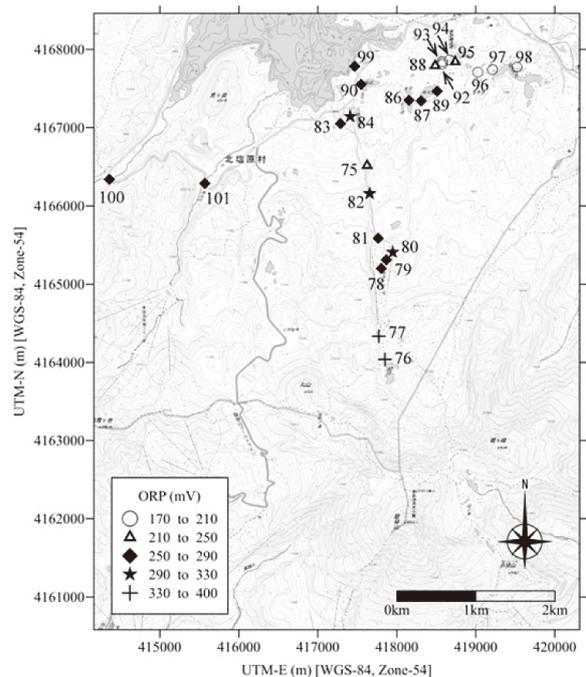


図7 ORPの分布図

SiO₂濃度の分布図より(図8), ECが高く, pHが低い地点ではSiO₂濃度が高くなる傾向が認められる. これらの関係を把握するため, ECとSiO₂濃度の相関を図9に, pHとSiO₂濃度の相関を図10に示した. その結果, ECとSiO₂濃度には正の相関($r^2=0.927$)が, pHとSiO₂濃度には負の相関($r^2=0.761$)が確認された. 研究対象地域の地質は安山岩が主体であり, 岩石中にはSiが相対的に多く含まれている. 火山ガスが溶け込みpHが低下した水(地下水や湖沼水)が岩石に触れることにより化学的風化が生じ, 安山岩質の岩石が分解・溶解されてSiが溶出し, 水中のSiO₂濃度が高くなったと予想される.

SiO₂濃度を地点別にみると, 河川水(PJ-100, 101)や桧原湖(PJ-99)では濃度は相対的に低く, 特に桧原湖では7.5 mg/Lと最も低い. 一方, 銅沼(PJ-76)では115.0 mg/Lと最も高く, 次いで銅沼下流側の湧水(PJ-78, 79)で約108 mg/Lとなっている. 湖沼群の中では, 瑠璃沼(PJ-86)や弁天沼(PJ-89), 赤沼近くの沼(PJ-96)が61~73 mg/Lと比較的高い値を示す. また, 弁天沼へ流入する湧水(PJ-87)も75.1 mg/Lと高い.

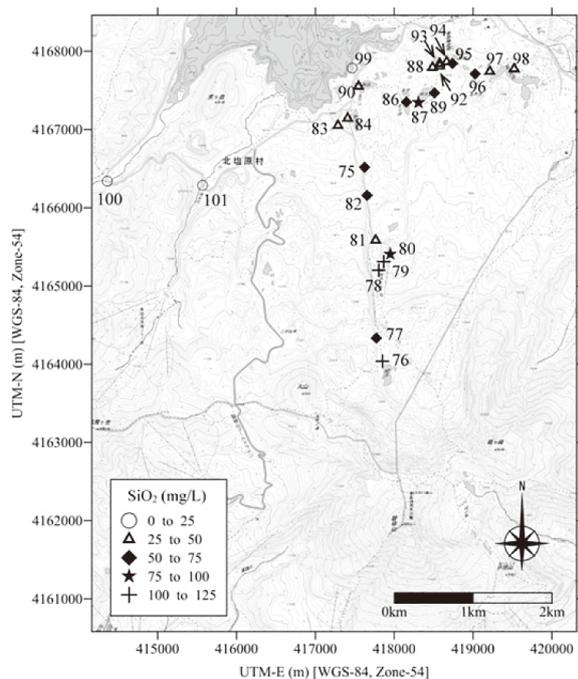


図8 SiO₂濃度の分布図

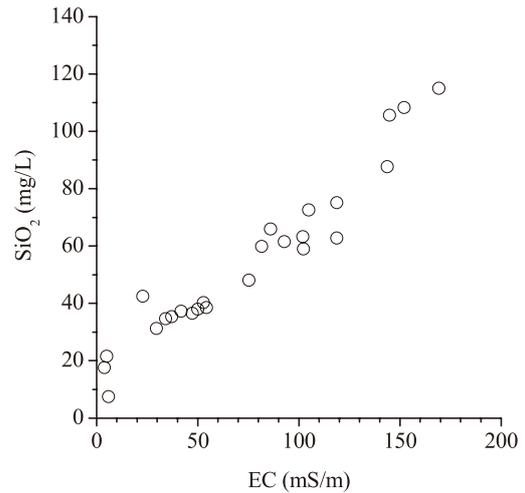


図9 ECとSiO₂濃度の相関図

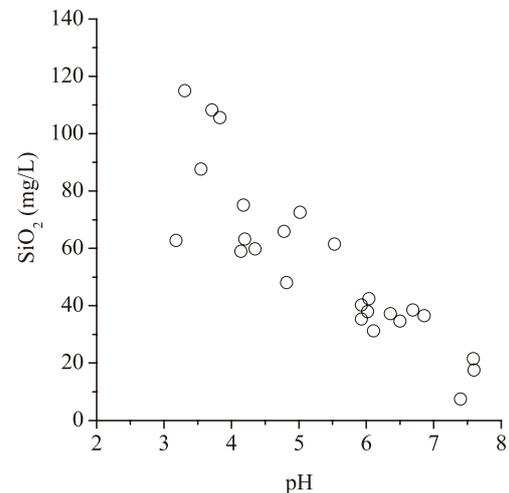


図10 pHとSiO₂濃度の相関図

2. 溶存成分の特徴

湧水, 河川水, 湖沼水の主要溶存成分の特徴を把握するため, 水質組成図を作成した(図11). なお, PJ-99~101については濃度が低いため, 各成分を5倍に拡大して表示している.

特徴として, 全体的にSO₄²⁻濃度が非常に高い. SO₄²⁻は鉱物に含まれる硫化物が酸化されて生じるため, 火山地域である本研究対象地域の湧水, 湖沼水等には多く含まれている. 水質組成はCa-SO₄型が卓越しており(PJ-75~84, PJ-90), このうち, PJ-81, 83, 84, 90を除いた大部分の地点で溶存成分量は非常に多い. この水質組成を

示すグループは、銅沼からスキー場湧水とその下流側に位置する湖沼に分布している。Ca-SO₄型に若干Clが溶存したCa-(Cl+SO₄)型を示す地点は、PJ-86~89とPJ-92~98で、Ca-SO₄型を示す地点と比べると溶存分量はやや低めである。このグループは、主に五色沼湖沼群に分布している。このように、水質組成の特徴から、湖沼や湧水は大きく2つに区分できるが、ECやpHなどで認められた水系の違いは、本調査の水質組成の結果では明瞭には認められない。他の地点とは水質が大きく異なるPJ-99~101の水質組成をみると、PJ-99(桧原湖)はNa-HCO₃型、PJ-100(雄子沢川)と101(清水沢)はCa-HCO₃型を示しており、この3地点の溶存分量は非常に少ない。また、NO₃は、PJ-100(0.4 mg/L)とPJ-101(1.0 mg/L)以外の地点では殆ど含まれていない。

図11に示した主要溶存成分以外の溶存成分では、NO₂⁻、Br⁻、Li⁺は全ての地点で検出されていない。PO₄³⁻は0.05 mg/L以下、NH₄⁺はPJ-86(0.2 mg/L)以外は0.1 mg/L以下、FはPJ-75~80で0.9~1.9 mg/Lを示し、その他の地点は0.1~0.5 mg/Lである。Fは銅沼やその下流部に位置するスキー場湧水など、火山ガスの影響をより強く受けていると思われる地点でやや多く含まれており、これは火山ガス中の微量成分(フッ化水素など)が水中に溶出したためであると考えられる。

以上の結果から、磐梯山北側斜面の湧水、河川水、湖沼水の水質は、大部分で火山ガスの影響が大きく関与して形成されていることが示された。

V. まとめ・今後の課題

磐梯山北側斜面の湧水、河川水、湖沼水の調査・採水を行い、ECやpH、溶存成分の分布を検討した結果、以下の事柄が明らかとなった。

- 1) 対象地域の湧水、河川水、湖沼水においては、ECとpHには負の相関が認められた。また、ECとSiO₂濃度には正の相関が、pHとSiO₂濃度には負の相関が認められた。

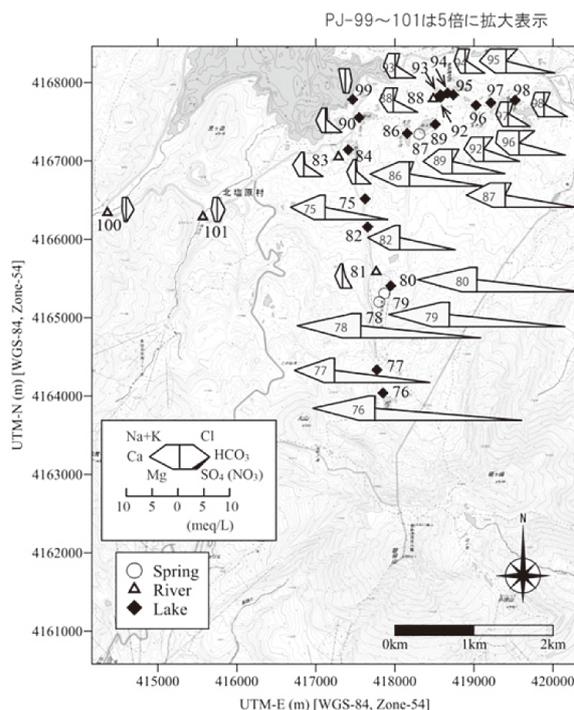


図11 水質組成図

- 2) ECが高く、pHが低い地点では火山ガスの影響を受けていると考えられる。特に銅沼はこうした特徴が顕著であり、銅沼の下流側に位置する湖沼や湧水にも同様の傾向が認められることから、同じ水系(地下水流動)が存在していることが考えられる。
- 3) 五色沼湖沼群はEC、pH、溶存分量等の違いにより、幾つかのグループに分類することができる。
- 4) 弁天沼に流入する湧水のECやpH、水温、溶存分量は周辺の五色沼湖沼群の値とは異なり、銅沼やその周辺の湧水の値に類似していることから、標高の高い地点で涵養され、火山ガスの影響を受けた水であると考えられる。
- 5) 水質組成は、銅沼やスキー場周辺の湧水と湖沼水ではCa-SO₄型を示し、五色沼周辺の湖沼群の多くはCa-(Cl+SO₄)型を示している。また、一部の地点を除き、溶存分量は非常に多い。主要溶存成分以外では、銅沼やスキー場周辺の湧水と湖沼水でFを多少含む地点が認められた。これは火山ガス中に含まれるフッ化水素な

どの微量成分が溶出したためであると考えられる。

今後は、現在分析中の安定同位体比の結果を用いて地下水流動について更に考察を進める予定である。また、裏磐梯スキー場の近くに設置された観測井の水質・同位体やCFCs分析を実施して、磐梯山北側斜面の湧水や地下水の滞留時間の把握に努めてゆきたい。

引用文献

青木謙一郎・中村洋一（1988）磐梯山の岩石について，地学雑誌，37(4)，43-50.
気象庁 HP（2015）：気象観測データ，URL：
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>（2015年1月30日閲覧）

國井芳彦・鈴木 仁・佐久間智彦・林王克明（2012）裏磐梯五色沼湖沼群の湖水の化学的な成分に関する調査結果，裏磐梯五色沼湖沼群の環境調査中間報告書，51-60.

三村弘二（1988）磐梯火山の地質と活動史，地学雑誌，97(4)，37-42.

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，福島大学理工学群共生システム理工学類 共生のシステム，13，48-57.

藪崎志穂・安原正也・浅井和由・鈴木裕一・高橋浩・稲村明彦（2013）磐梯山とその周辺の水質，同位体特性について，福島大学理工学群共生システム理工学類 共生のシステム，13，58-75.