

## 裏磐梯地域の気象・土地被覆変化と水質の関係性に関する研究

中村光宏（福島大学大学院・共生システム理工学研究科）・佐藤佑哉・川越清樹（福島大学・共生システム理工学類）

### 要 旨

裏磐梯湖沼の水環境遷移の原因となる複数要因の因果関係、影響度を見積もる目的で、気象状況、土地被覆、および利用状況と水質変化の関連性を系統付けるための基礎調査と解析を実施した。中間報告の結果として、概ねの地域の冬季の気象特性は日本海表面温度と関連付けられるものの、裏磐梯地域は日本海表面温度との強い関連性を示さず降雪量が増加傾向にあること、1985 年代より地域の土地被覆の 3%が改変されていること、裏磐梯北部領域の湧水が平水時期にアルカリ非炭酸塩型に属し、出水によりカルシウムが増加する傾向を示すことが明らかにされた。

### I. はじめに

裏磐梯高原は、1888 年の磐梯山噴火に伴う泥流堆積物起源の凹地形を呈し、泥流の堆積過程での土砂堰き止めより形成された多くの湖沼群を含んでいる(図 1 参照)。湖沼群は、600 万人の観光客の訪れる県内有数の観光エリアである他、水力発電や灌漑用水としての貴重な水源として活用されており、親水、利水の両面で社会への大きな貢献を果たしている。しかしながら、近年、一部で環境基準以下の水質、湛水赤潮、湖沼水の色調変化等の変化が認められており、水環境の遷移が示唆されている。また、裏磐梯高原を集水域とし、流末に位置する猪苗代湖でも水環境の変化が報告されており、pH 上昇、大腸菌類の増殖が認められている(福島県, 2012)。水環境遷移を助長する原因として、緩慢な表流水を引き起こす閉鎖水域の連続性、地下水包蔵帯を形成させる泥流堆積物の分布、火山に関連付けられる温泉の湧出、土地利用変化に伴う水質負荷量の変化、気候変動の影響等の複数の要素が挙げられる。しかしながら、これらの因果関係はもとより、水環境遷移の支配的な要素、影響の寄与の程度は不明である。水環境遷移に対して各々の要因が寄与する割合を見積もること、要因の影響度を質や量で換算し

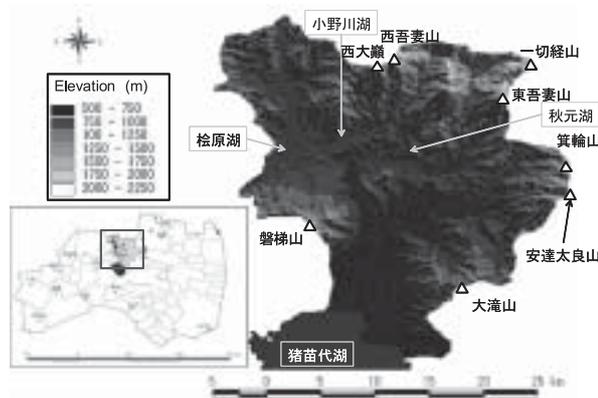


図 1 研究対象領域マップ

将来を予測することが、自然環境の保全や、持続的な親水、利水効果を計画する上での課題といえる。こうした背景をふまえて、本研究チームは、裏磐梯湖沼の水環境遷移に対する各要因の因果関係、影響度を見積もる目的で調査解析に取り組む意向である。水環境の指標になりうる水質ベースに気象状況、土地被覆、および利用状況、地形状況との関連性を系統付け、この系統に関わる各種条件との比較検討より、水環境遷移の支配的な要素、もしくは影響の寄与率を求めていくことを最終目標とする。こうしたアウトプットは、裏磐梯湖沼群の将来予測を行うツールとしての利用を可能にするものである。

## II. 現地踏査結果と考察

調査解析の計画を具体化するため、裏磐梯地域の全域を継続して踏査している。現在までの踏査より得られた結果(図 2 参照)は以下のとおりである。

- ① 融雪時期に桧原湖と小野川湖、小野川湖と秋元湖の区間が湿原に変化する。(写真 1 参照)
- ② 夏季にも桧原湖と小野川湖、小野川湖と秋元湖の区間に湧点が出現しているが、湿原に変化するほどではない。(写真 2 参照)
- ③ 無降雨が長期化した場合、消失する湧点も分布する。(写真 3 参照)
- ④ 積雪深 1m 以上の冬季でも湧点が存在する。(写真 4 参照)
- ⑤ 融雪時期に曾原湖から暗黒色の色調を呈する濁水が流出する。この流出は湿原に注がれる。(写真 5 参照)

結果①から⑤より、融雪、および降水状況に敏感に反応して地下水流出することが明らかにされた。特に、融雪時期は地下水が著しくオーバーフローして地表が湿原に変化し、桧原湖と小野川湖間、小野川湖と秋元湖間の微地形の起伏にあわせて活発に表流する状況が確認された。この湖の地表面は道路供用され盛土されているが、この道路を横断して表流するエリアも多く認められている。これらの湧出、流出特性は、泥流堆積物内は常に間隙水圧の高い状態にあり、気象状況等の外的営力により敏感に地下水を押し上げる応答性をもつことを示している。湖沼群の水質を変化させる循環が、気象に関わる外的営力より促進されている可能性を示唆するものである。また、湧出は融雪時、降雨時、無降雨時の序列で増減変化することが確認されたことより、地内の水循環は融雪時期に活発化すると推定される。これは融雪時期に湖沼間の物質交換も行われやすいことを示唆している。結果⑤の濁水流出はこの物質交換を示す現象の一例と捉えることができる。なお、この濁水に関しては、流水経路のない閉鎖性の卓越

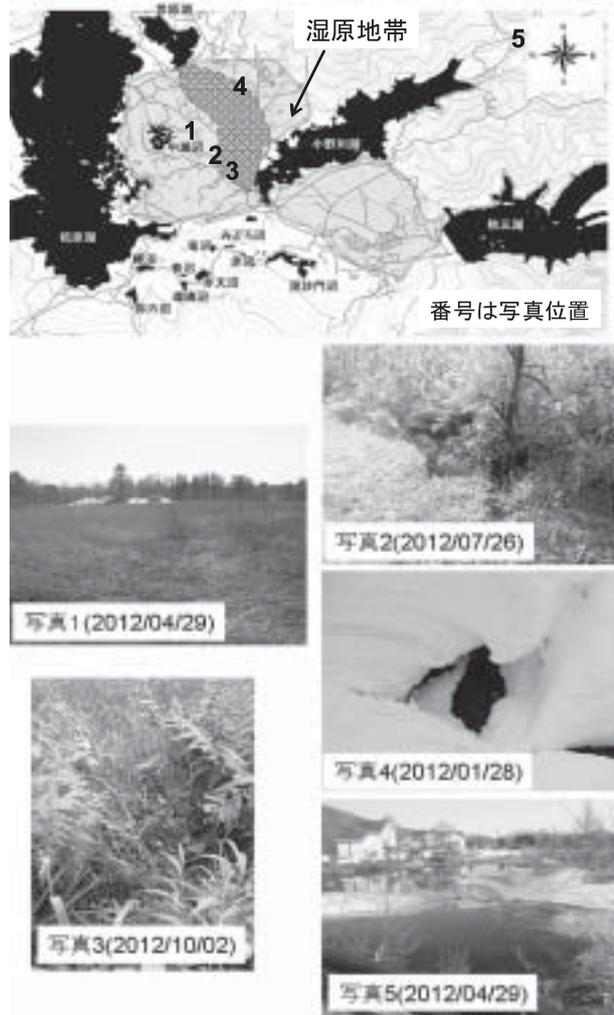


図 2 現地踏査主要ポイントマップ

する曾原湖内で、植物遺体と分解性のバランスの崩れにより形成された泥炭土が原因と推測される。また、結果④に関しては、水温の高い湧出を示唆する現象である。この湧出は、地下滞留の短い地下水と異なり、温泉などに示される固有性を示す地下水ということを示唆している。循環の活発化していない積雪時、無降雨時は地内固有の湧出が存在していると推測される。

以上の踏査結果、およびその考察より、以下の過程が推測される。

- ① 泥流堆積物内は地下水包蔵帯で、高い地下水位が維持されている。
- ② 水循環の促進されていない時期には、温泉水など地内固有の湧出が認められる。

- ③ 降水, 融雪時により湖沼間の水循環が活発化する.
- ④ 特に融雪時は, 物質循環の駆動力を高める水循環が生じている.

これら過程より, (1)地域固有の水質(温泉や火山性の影響を帯びた水), (2)気象関連等の外的営力に伴い循環する物質の支配性を示すことが, 今後の研究に必要と考える.

### III. 研究の概要

踏査の考察より推測される過程のうち, 気象関連等の外的営力に伴い循環する物質循環に着目して研究をすすめる. なお, 気象等の過程を踏まえた場合, 単純な湖沼内の物質が交換されるだけでなく, 湖沼に続く流域全域も評価に加えないといけない. 流域全体を評価する上で, 土地被覆状況, 土壌, 地形を考慮する必要がある. 本年は以下の調査, 解析に取り組んだ.

- ① 積雪, 降雪に関連する研究
- ② 土地被覆状況変化の解析
- ③ 湧点, 湖沼群の水質調査と解析

なお, 研究①に関しては, 特に物質循環の駆動力を高める雪に着目した. 研究③に関しては, 他の研究グループとオーバーラップしている可能性も高いため, 集水面積が大きく, 気象等の外的営力の生じやすい裏磐梯地域の北部を中心に調査実施した.

### IV. 積雪, 降水量に関連する研究

積雪, 降水量に関連する研究として, (1)降水量の推移検討, (2)積雪のイオン組成分析に取り組んでいる. 以下の各項に経過を示す.

#### 1 降水量の推移

流域内に設置された桧原観測所(AMeDAS)の1981年から2011年の解析結果を図3に示す. 図3には年間降水量, 寒候期降水量(12月から3月と設定), 降雪量の占拠率, 降雪日の占拠率が示

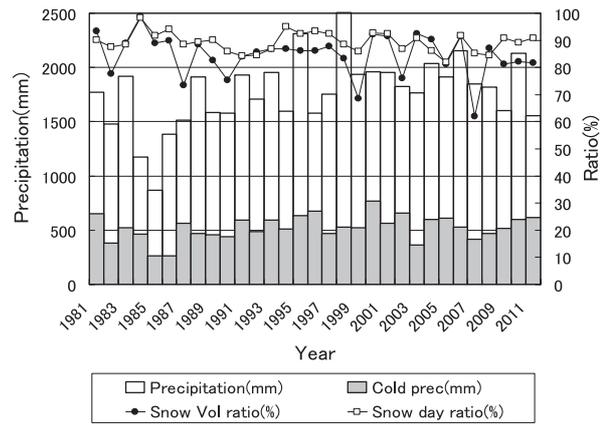


図3 桧原(AMeDAS)の寒候期降水状況

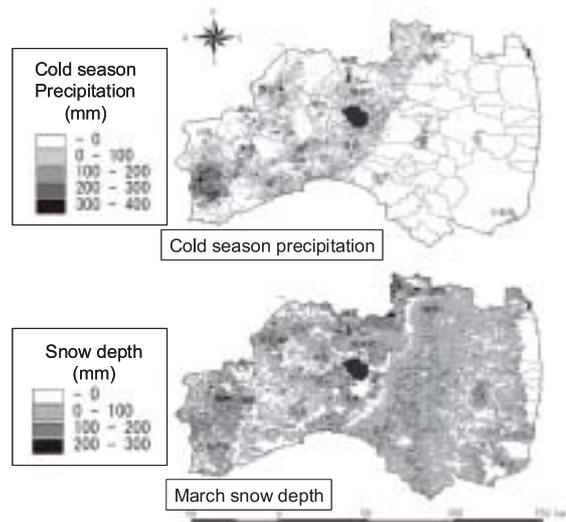


図4 気候値の降水量・積雪深の差

されている. 当該 AMeDAS では, 降雪量, および積雪量が記録されていない. そのため, 積雪水量推定モデルで汎用される雨雪の識別気温を利用して, 日平均気温 2℃以上を降雨, 2℃未満を降雪と設定した(Kazama et al, 2008). 寒候期の降水量と降雪量の割合より降雪量と降雪日の占拠率は求めた. 解析より, 降水量, 降水量自体に変化の傾向は認められないものの, 降雪量は増加傾向にある. 近年, 地球温暖化の影響が指摘され, 積雪量の減少, 早期融雪が予見されているが(井上他, 2001), 当該地区に関しては可逆な傾向を示していることが明らかにされた.

降雪量の可逆な傾向を確認するため, 周辺地域との関連性を求めることを試みた. 新旧のメッシ

メッシュ気候値(気象庁 監修, 空間解像度 1km×1km)の寒候期の比較を行った。データセットとして用いたメッシュ気候値は 1996 年度版メッシュ気候値(1953-1976 年平均値), 2010 年度版メッシュ気候値(1981-2010 年平均値)である。図 4 は福島県を対象に気候値の比較事例(寒候期降水量, 3 月積雪深)を示している。差は負値が増加, 正値が減少を示している。福島県全体を対象にした場合, 寒候期降水量は, 奥羽山脈を隔てて, 中通り地方側は増加, 会津地方側は減少の傾向を示す。ただし, 会津地方側においては, 只見川流域を除いて高標高で増加の傾向を示すのが特徴である。メッシュ気候値自体が高標高の観測情報が不足している中での線形補間情報であるため不確実性を示している結果であることも有力だが, 高標高でも増減も認められているため留意する必要がある。裏磐梯地域に着目すると増加の傾向を示しており, AMeDAS 観測地点と同様の傾向を示している。積雪量に関しては県内の広い範囲で, 積雪量の減少傾向が認められ, 裏磐梯地域も同様の傾向を示している。この傾向には, 春季の気温上昇による影響も推測されるため, 実測の積雪深, 気温状況との比較検証を行わなければならない。

日本海側の降雪は, 冬季西高東低の気圧配置より大陸から乾燥した寒気が日本海上空に流れ込み, 日本海より供給される大量の水蒸気を含むことに起因していることが明らかにされている(Akiyama, 1981)。こうした理論を根拠付ける解析結果として, 只見流域では, 降雪と日本海側表面海水温の強い相関を示すことも報告されている(安田, 2010)。こうした事例の追跡検討として, 阿賀野川流域内の AMeDAS 観測地点と日本海側表面海水温(気象庁データ)の関係性の検証を試みた。図 5 と表 1 に積雪深と日本海側表面海水温(気象庁データより取得)の関係を示す。流域内の概ねの AMeDAS 観測所は良好な相関を示しているものの, AMeDAS 桧原に関してはほとんど相関が認められないことが明らかにされた。また,

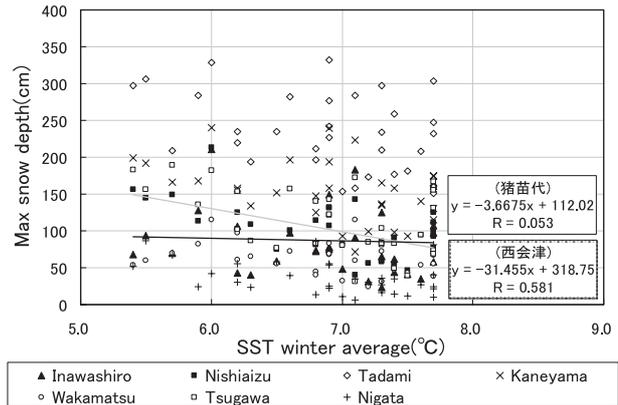


図 5 日本海中部海水温と最大積雪深の関係

表 1 最大積雪深と日本海中部海水温の関係

Station	Slope	Intercept	Corr
新 潟	-13.81	131.21	0.421
津 川	-32.91	340.29	0.509
只 見	-29.36	436.56	0.377
金 山	-24.45	322.67	0.404
西会津	-31.46	318.75	0.581
会津若松	-10.40	132.70	0.323
猪苗代	-3.67	112.02	0.053

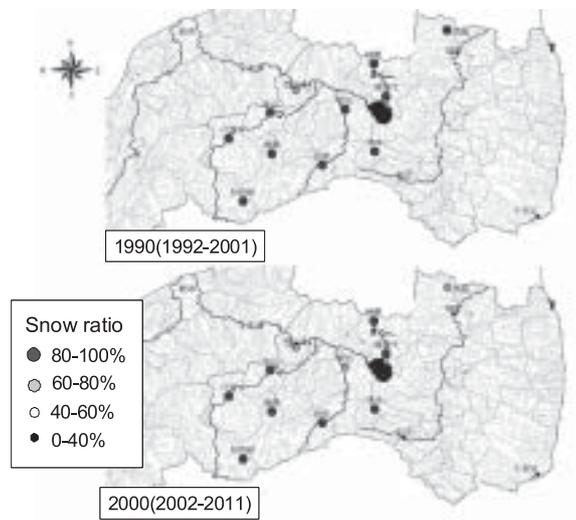


図 6 降雪占拠率の時空間マップ

温暖化との流域の関わりを把握するため, 福島県内に分布する阿賀野川(阿賀川)流域の AMeDAS で前述した降雪量の占拠率の検証を行った。図 6 は 1990 年代(1992-2001 年)と 2000 年代(2002-2011 年)の降雪量の占拠率を示している。この図から

近年、流域の下流側から降雪の占拠率が低くなっていることが見てとれる。なお、金山、只見、桜枝岐、桧原の標高 1,000m 以上の AMcDAS は概ね一定の値を示すものの、それ以外は減少の傾向も示されている。阿賀野川の河道に応じて温暖化の影響が波及している状況を示している。

これらの結果を統合すると以下の通りとなる。

- ① 奥羽山脈を隔てた会津地方側では高標高地域を除いて年々の寒候期降水量の減少傾向が認められ、降雪量も減少傾向となっている。
- ② 概ねの地域の冬季の気象特性は日本海表面温度と関連付けられる。
- ③ しかしながら、裏磐梯地域は日本海表面温度との強い関連性を示さない。
- ④ 裏磐梯地域の降雪量は増加傾向を示す。

このような結果より、裏磐梯地域では、固有の気候特性の存在が示唆される。近年、巨視的な空間解像度で将来の気象予見を示す数値気候モデルを用いて、影響度を見積もる研究(例えば川越, 2010)手法が取り組まれているが、当該地域については更に部分的な循環も踏まえることが必要である。固有の気候特性を生じさせる原因として、裏磐梯地域の下流域存在する猪苗代湖の影響している可能性が示唆される。既に渡辺(1987)により熱源、水蒸気源として猪苗代湖がその周辺の気候環境に影響を及ぼしていることを報告している。この結果を参考にすれば、顕熱輸送量は1月から7月までが負(冷却源)であることが示されている。また、計算結果より冬季といえども蒸発量が存在することを示している。湖陸風循環もふまえると、裏磐梯地域の降雪には猪苗代湖の冬季の状況が影響していることは有力であり、将来の予測を行うには、猪苗代湖内の水循環を精読する必要があると解釈される。

## 2 積雪のイオン分析

裏磐梯地域の降水特性を根拠付けることと、降水と水質循環経路との関連性を明らかにするこ

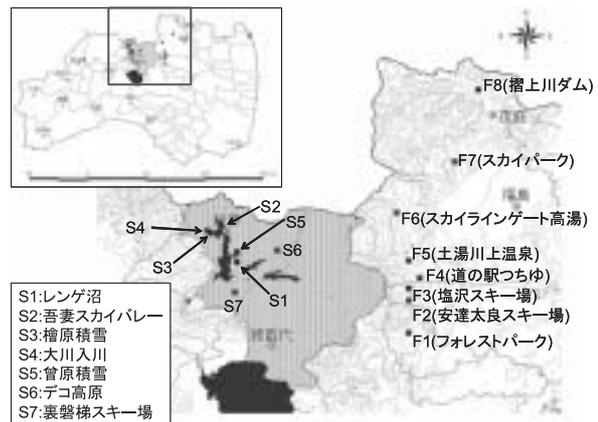


図7 積雪分析サンプリングポイントマップ

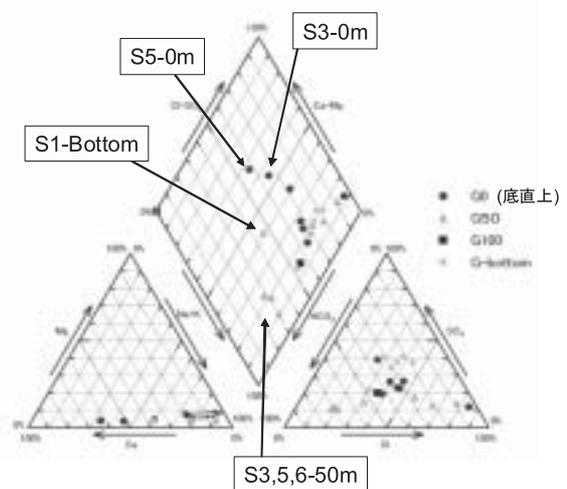


図8 積雪 トリリニアダイアグラム

と、気候変動に対する指標設定を行うことより、積雪に関連する調査解析を実施している。積雪サンプリングポイント(図7 参照)を裏磐梯地域、およびその周辺に設定し、積雪深さに応じてサンプリングを行いイオン組成の分析を試みている。現在途中経過であるが、12月分の分析結果を図8のトリリニアダイアグラムに示す。総じてナトリウム成分の多い積雪が認められており、こうした特徴は海洋由来の水蒸気の到達を示唆するものである(例えば Asaoka et al)。また、泥流堆積物の凹地に接する底層ほどカルシウム増加している傾向は特徴的な変化である。この結果は、調査途中の結果であり、今後の積雪量変化に応じた分析結果、猪苗代等の周辺水域状況の追跡調査も検証していくことにする。また、積雪調査の領域を拡

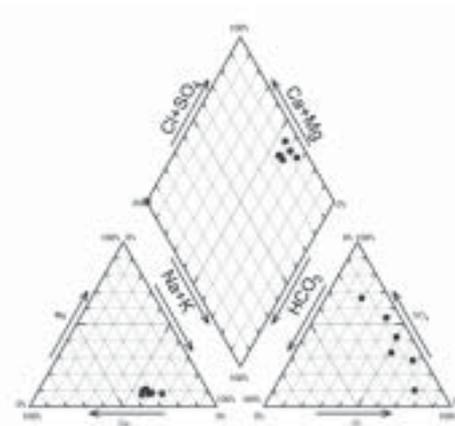




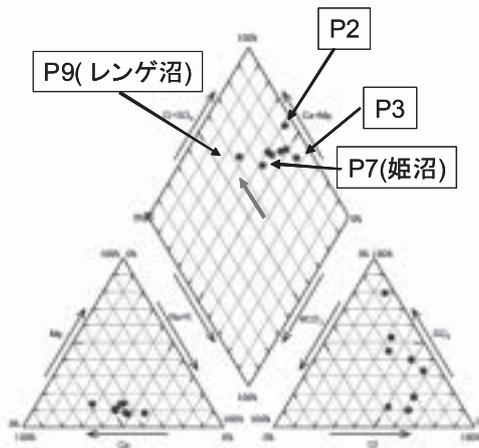
② 銅沼系列(銅沼—弁天沼)

③ 竜沼系列(流沼—毘沙門沼)

柳沼系列と銅沼系列は竜沼で合流し、以下、竜沼系列が毘沙門沼を経由し、長瀬川に到達する経路が示されている。ただし、地形的な配置を考慮すれば、北側に位置する桧原湖と小野川湖間の標高レベル(例として中瀬沼 830m)よりも低い位置に相当していることがわかる。先の踏査結果で示したように桧原湖と小野川湖間は地下水包蔵帯であり、気象等の外的営力により敏感に湧水することが明らかである。したがって、桧原湖と小野川湖間の地表水、もしくは地下水がオーバーフローすることで竜沼以下の水質変化が生じる可能性もある。千葉らによれば、竜沼の水質は柳沼と弁天沼の混合比にかかわらず中間に位置しなければならないものの、濃度が高まることを指摘している。また、北側の浸透水への課題を残していると論述している。こうした事例も踏まえて、北部の桧原湖と小野川湖間の水質調査を進めている。



(12/07/26 湧水・湖沼)



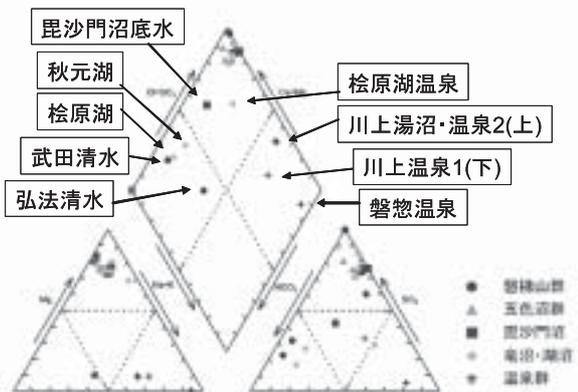
(12/10/02 湧水・湖沼)

## 2 裏磐梯北部地域のイオン分析結果

裏磐梯北部地域の小流域の流末に位置し、現地踏査より気象等の外的営力により敏感に湧水する桧原湖と小野川湖間について採水、イオン分析を行った。図 13 に採水ポイントの位置図を示す。

図 14 は夏季(無降雨時, 以下 平水時), 秋季(降雨時, 以下 出水時)に湧点において採水実施した試料を、イオン分析した結果である。

裏磐梯北部領域の水質のイオン組成は平水時に、トリリニアダイアグラムの分類による(綿抜,1985)アルカリ非炭酸塩型を示すことが明らかにされた。これは、熱水や温泉水などに属するものであり、酸性度が著しく低下しなくとも調査地点は火山性地下水の影響を受けていることを示唆している。なお、当該地区の pH は概ね 7.0~8.3 であり、酸性を帯びていない。また、平水時(2012年7月26日)と出水時(2012年10月2日)の比較から出水時にカルシウムイオン割合の増



(85/8-11 湧水・湖沼 千葉ら)

図 14 採水分析 トリリニアダイアグラム

加する傾向があり、アルカリ土類非炭酸塩型に移行する傾向を示した。この原因として、降水、もしくは裏磐梯湖沼周辺の表層のカルシウム分が影響している。なお、積雪のイオン分析でも泥流

堆積物の凹地に接する底層ほどカルシウム増加している傾向も認められている。こうしたカルシウム増加の過程として、土壌中の陽イオン交換も推測される。陽イオンとして、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ などが挙げられるが、こうした陽イオンが大量に流れ込むことにより、カルシウムが押し出されていることも示唆される。参考までに積雪を降水とみなすと、図8より多量の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ の含有が見てとれ、特に $\text{Na}^+$ が多いことが分析より明らかにされている。こうした仮定を根拠付けるためにも土壌や降水のイオン組成の分析も取り組まなければならないと考える。

### 3 先行研究との比較

先行研究との比較として、千葉ら(1986)を基に検証を行った。図14に千葉らの調査した結果をトリリニアダイアグラムで図化したものを示す。本研究の調査と比較すると、概ね温泉群の水質と類似していることが見てとれる。これら温泉に関しては、泉温 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 、 $\text{pH}6\sim 7$ であるといわれており、 $\text{pH}$ も桧原湖と小野川湖間と類似しており、同様の水質である可能性も示唆され、泥流堆積物に包蔵される地下水は温泉の影響を帯びていることも推測される。ただし、イオン組成の類似のみの結論であるため、今後の調査により結論を求めていく必要がある。また、千葉らの調査結果には採水の時期的なばらつきも存在するため、今後、特定時期に実施された結果も合わせながら、考察を加える予定である。

## VII. 中間報告としてのまとめ

裏磐梯湖沼の水環境遷移の原因となる複数要因の因果関係、影響度を見積もる目的で、気象状況、土地被覆、および利用状況と水質変化の関連性を系統付けるための基礎調査と解析を実施した。その中間報告のまとめを以下に列挙する。

### ① 気象状況

- ・ 奥羽山脈を隔てた会津地方側では高標

高地域を除いて年々の寒候期降水量の減少傾向が認められ、降雪量も減少傾向となることを明らかにした。

- ・ 概ねの地域の冬季の気象特性は日本海表面温度と関連付けられるものの、裏磐梯地域は日本海表面温度との強い関連性を示さないことを明らかにした。
- ・ 裏磐梯地域の降雪量は増加傾向を示すことを明らかにした。

### ② 土地被覆

- ・ 1985年代と2005年代の土地被覆変化を求め、空間的分布と地域内3%の変化を明らかにした。
- ・ 土地被覆変化の内、伐採地が52%、ゴルフ場等も含む造成地47%、残りが畑地となり、新しい植生に変化した形跡は認められていないことを明らかにした。
- ・ 裏磐梯地域湖沼分周辺では、長瀬川( $0.63\text{km}^2$ )、秋元湖( $0.61\text{km}^2$ )、小倉川( $0.16\text{km}^2$ )で大きな土地被覆変化が生じていることを明らかにした。
- ・ カスミザクラコナラの領域の変化が大きい傾向を示すことを明らかにした。

### ③ 裏磐梯北部地域の水質

- ・ 裏磐梯北部領域の水質のイオン組成は平水時期に、トリリニアダイアグラムの分類によるアルカリ非炭酸塩型に属することが明らかにされた。
- ・ 多くの採水地点で、出水時にカルシウムイオン割合の増加し、アルカリ土類非炭酸塩型に移行することが認められた。
- ・ 千葉ら(1986)の結果と比較して、概ね温泉群の水質との類似が認められた。

今後の方針としては、裏磐梯北部地域、および湖沼の水質変化の要所になりうる竜沼について積雪、降水、および湧点のイオン組成分析を継続して実施することに加え、特に当該気候要素に影響を及ぼすと考えられる猪苗代湖の水循環分析

を行うことに取り組む。また、土地被覆変化した地域の微細を調査分析し、負荷の可能性について検討を行う意向である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、水質分析において高瀬つぎ子准教授、数値地理情報解析において江坂悠里教務補佐員の協力を得た。また、流域環境システム研究室の学生には採水、採雪の協力を得た。この場を借りて深く感謝する。

## 引用文献

福島県 (2012) 猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画(中間整理案), <http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/keikaku.pdf>, Cite Viewed 08/02/2012.

So Kazama, Hirokazu Izumi, Priyantha Ranjan, Takayuki Nasu, and Masaki Sawamoto(2008) Estimating snow distribution over a large area and its application for water resources, *Hydrological Processes*, 22, 2315-2324.

井上 聡・横山 宏太郎・大野 宏之・川島 茂人 (2001) 地球環境変化時における降積雪の変動予測(続報)- 国内主要河川流域における降雪水量の変動, *雪氷*, 63, 489-499.

Akiyama, T. (1981): Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Seacostal region. Part II: Large-scale situations for typical spatial distribution of heavy snowfalls classified by EOF. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 59, 591-590.

安田正次(2010) 只見における積雪量と日本海海面温度との長期的関係, *海洋バイオシステム研究*, 24, 1-6.

川越清樹・肱岡靖明・高橋潔(2010)温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価, *土木学会地球環境研究論文集*, 18, 29-36.

渡辺明(1987)猪苗代湖の熱的効果, *Urban Kubota*,

26, 54-55.

Yoshihiro ASAOKA, Yukari Takeuchi and Ranjan Sarukkalgige(2012)TEMPORAL VARIATIONS IN ACIDITY AND ION CONCENTRATIONS OF PRECIPITATION, SNOWPACK AND OUTFLOW FROM SNOWPACK IN A TEMPERATE SNOW AREA OF JAPAN, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, 30, 63-76.

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.

國井芳彦・鈴木仁・佐久間智彦・林王克明(2012)裏磐梯五色沼の湖水の科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, 38, 51-60.