

湖面の青色色彩に関する五色沼と北海道美瑛町青い池の 化学的類似性と相違性について

高貝慶隆・阿部遼太（福島大学・共生システム理工学類）

要 旨

磐梯山の噴火によって形成された五色沼湖沼群は青、赤、緑など湖面が独特の色彩に見えることで有名であるが、鮮やかな青に見える要因について様々な指摘がなされてきた。これらの湖沼は、日中が最も鮮やかに見えること、また水中に銅イオンや青色色素が溶解していないことから、青く見える要因は湖沼中のコロイド粒子による光の散乱と考えられてきた。千葉らは、この微粒子をアロフェンと指摘しているが、五色沼湖沼群で微粒子がどのような粒子径及び形態で存在し散乱に寄与しているかに関しては示されていなかった。本研究では、五色沼湖沼群の比較対象として、類似点の多い北海道美瑛町の青い池を採水し、ナノメートルオーダーの微粒子に関する粒子径と粒子数、形状、および、その化学的組成等を測定して比較検討した。

I. はじめに

五色沼湖沼群は、磐梯山の北側に位置する数十からなる湖沼群の総称である。1888年（明治21年）7月15日、成層火山の磐梯山が大噴火（水蒸気爆発）した際、噴火に生じた山体崩壊と岩屑なだれが山体斜面を流下して、磐梯山北側山麓に広く堆積した。このとき、この火山泥流上の窪地が生じて、そこに水がたまり、現在の裏磐梯三湖（桧原湖、小野川湖、秋元湖）をはじめとする大小300余りの湖沼群を形成した。特に、その湖沼の中でも青、赤、緑などに色づいて見える数十の小湖沼群を特別に五色沼湖沼群と呼ぶ。爆発から十数年間は不毛地帯であったが、噴火から125年が経過した現在（2013年）では景勝地ならびに地元の観光資源となっている。

五色沼湖沼群の湖面は様々な色調を観察することが出来るため広く景勝地として認知されているが、五色沼湖沼群が鮮やかな青に見える要因について様々な指摘がなされてきた。吉村らは五色沼の青白色の原因として最も可能性が高いのは微粒子の存在であることを早くから指摘した。

一般的に水や湖沼の水面が青く見えることの要因には、

- (1) 水中の溶質の光吸収によって生じる色調
- (2) 浮遊物及び湖底堆積物によって生じる色調
- (3) 光の反射（湖面反射）
- (4) 水の光吸収
- (5) 微粒子による光散乱

がある。これらの要因を総合的に判断して、千葉らは湖沼中の微粒子による光散乱が五色沼の色調の要因と考えてきたと推察できる。現在、その微粒子による光散乱を否定する因子は無く、ほぼ光散乱によるものと判断できる。

その一方で、日本全国には、五色沼湖沼群のように水面が青く見える湖沼がいくつか存在する。その中でも北海道美瑛町にある青い池は、活火山の十勝岳の砂防事業によって形成された人工造成沼である。主に、増水時の周辺地域へ浸水を防ぐことを目的として整備された。この緩衝地帯に河川水が溜まり、人工池を形成している。この池の湖面が鮮やかな青色を呈しており、国土交通省北海道開発局所管の土地、すなわち、立ち入りを禁じていた区画にも関わらず、見学者が後を絶えず、現在では、国土交通省北海道開発局および美瑛町が協力して町おこしの一環として遊歩道を

整備して景勝地・観光地としてにぎわっている。したがって、この青い池は、五色沼湖沼群のように特定の名称が無く、美瑛町の“青い池”と呼ばれている。

その一方で、この青い池は、火山性の十勝岳のふもとに位置して、近郊に白金温泉を有する。十勝岳方向から流れてくる硫黄沢川、および、尻無沢川の酸性の水質を示す河川が、中性の水量豊かな美瑛川と合流して、合流点から川の色が乳白色を含む青色に変化する。アルミニウム成分を多く含む河川と合流することで乳白色の水酸化アルミニウムの微粒子が発生していると言われている（後述するが、本研究から水酸化アルミニウムではないと考えられる）。この乳白色の微粒子が、青い池に流れ込み粒子が滞留することで、その流れの緩やかな人工池の部分のみ特別に青く見えているものと推察できる。この誰の目からも明らかな河川と河川の合流によって生じているアルミニウム系微粒子の化学的なプロファイルを明らかにして、五色沼との類似点と相違点を把握すれば、五色沼における青色を呈する微粒子の発生源（由来）の解明に役立つことが考えられる。

今回、北海道美瑛町の青い池の採水を行い、水中に浮遊する光の波長に対応するナノメートル～数百ナノメートルのコロイド微粒子に着目して、その動的光散乱測定（DLS）、走査型電子顕微鏡（SEM）観察ならびにそれに付帯するエネルギー分散型蛍光X線分析（EDS）、そして、青い池の底質に沈着した微粒子を回収してX線回折分析（XRD）測定を行った。そして、五色沼湖沼群の代表的な沼のデータと比較した。

II. 採水地

試料採取は、北海道美瑛町にて2013年8月28日および同年10月24日に青い池（図1）、硫黄沢川、尻無沢川、および美瑛川（いずれも図2を参照）で試料水を採取した。



図1 北海道美瑛町青い池の上空からの写真、および、採水地点①～③

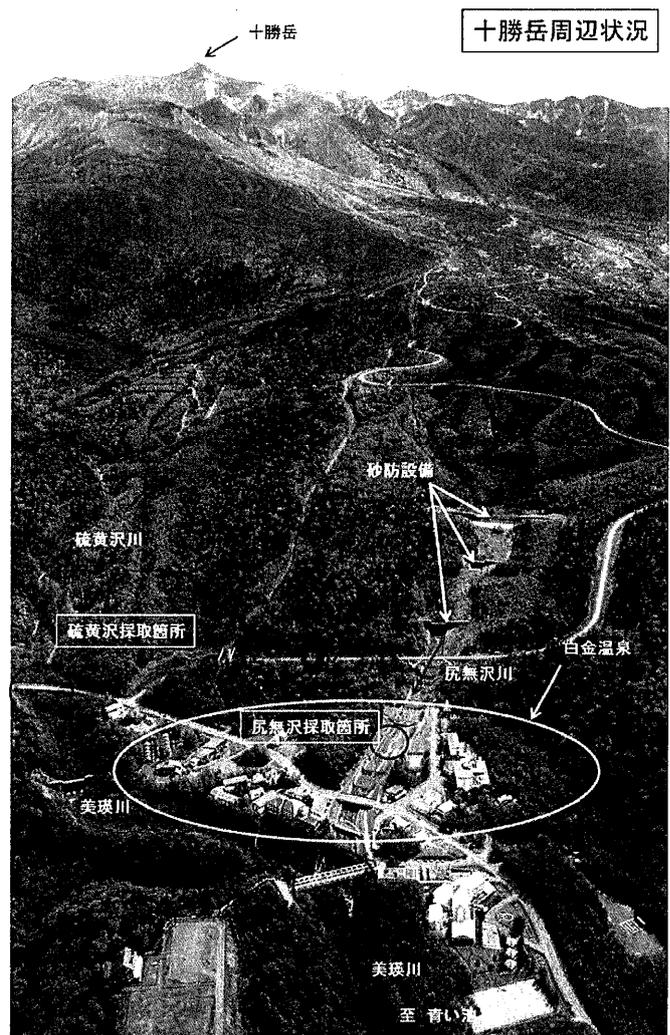


図2 北海道美瑛町青い池より上流に位置する硫黄沢川、美瑛川、尻無沢川の合流地点を上空から撮影した写真とそれぞれの河川の採水地点

III. 分析試料と分析方法

器具・装置

メンブレンフィルターは直径 25 mm の ADVATEC 製のセルローズ混合タイプ(孔径:5.0 μm , 0.8 μm)及び PTFE タイプ(孔径:0.1 μm)を使用した。動的光散乱粒子径測定装置(DLS)は堀場製作所製の SZ-100Z を使用した。光散乱式粒子径数器は RION 製の XL-10A 改造型を使用した。ペリスタルティックポンプは GILSON 製の MINIPULS3 を使用した。超純水製造装置は日本ミリポア製の Direct-Q UV を使用した。高分解能電界放出型走査電子顕微鏡システム(SEM)は日立ハイテクノロジーズ製の SU8000 を使用した。エネルギー分散型 X 線分光装置 (EDS) は SEM に付随したものを使用した。蛍光 X 線分析装置 (XRF) はリガク製の RIX1000 を使用した。粉末 X 線回折装置 (XRD) はリガク製のビルドアップ型多機能 X 線回折装置 RINT-UltimaIII を使用した。吸引ポンプ(真空ポンプ)は柴田科学製の V-500 型を使用した。水試料中の溶存金属イオンの定量分析には、パーキンエルマー社製 ICP-OES Optima8300 を使用した。

分析操作

(1) 吸引ろ過とフィルターの乾燥

採水した水試料を孔径が 5.0 μm のメンブレンフィルターを用いて吸引ポンプで吸引ろ過し、ろ過鐘内の 100 mL ポリボトルに引き込んだ。その時まず約 5 mL の吸引ろ過した湖水で 2 回共洗いし、次に約 90 mL ろ過し、100 mL ポリボトル内に保存した。次に保存した 5.0 μm フィルターでろ過した湖水のろ液の 5 mL をさらに同様にして 0.8 μm のメンブレンフィルターで 2 回吸引ろ過して共洗いに用い、40 mL を吸引ろ過で 100 mL のポリボトル内に引き込み保管した。さらにこの保管した湖水を同様にして 0.1 μm のメンブレンフィルターを用いて 5 mL を 2 回の共洗いに用い、15 mL を 100 mL のポリボトルに引き込み保管し

た。ろ過に用いた孔径 5.0 μm , 0.8 μm , 0.1 μm のメンブレンフィルターは細かい穴をあけたラップで蓋をした厚紙の箱の中に置き、自然乾燥させた。また 0.1 μm のフィルターろ過したろ液の 10 mL を時計皿上に滴下し、同様にして乾燥させた。

(2) 粒径分布の測定

孔径 0.8 μm のメンブレンフィルターでろ過したろ液をよく攪拌し、光路長 1 cm の石英キュベットセルを 3 回共洗いし、2 mL のろ液をセルに投入して DLS を用いて粒度分布を測定した (測定条件: 試料屈折率 1.48, 分散媒屈折率 1.33, 多分散形態, 25°C)。ろ液の測定対象粒子は濃度が非常に薄く測定誤差が大きい。またろ液中の粒子は均一濃度ではないと仮定して、1 検体に対してろ液を 5 等分し、それぞれ 3 回ずつ繰り返し測定することで再現性を保つことに努めた。

(3) 粒子の形状観察と粒子を構成する元素分析

乾燥させた孔径 5.0 μm と 0.8 μm のメンブレンフィルター上に捕集された粒子を SEM で観察した。次に SEM に付帯する EDS を用いて粒子を構成する元素を分析した。

(4) 底質の元素分析と結晶構造解析

湖泥の約 200 mg をアルミホイルで作成した箱に入れ 80°C の乾燥機内で乾燥させた。この乾燥した土をビニール袋にいれ上から乳鉢でたたき粉砕した後、ふるいにかけて粉末を得た。この底質の粉末を XRF および XRD を用いて測定して元素分析と結晶構造解析を行った。

IV. 結果と考察

青い池とナノレベルのコロイド粒子の粒度分布と五色沼との比較

DLS により得られた青い池の粒度分布を図 3 に示す。青い池におけるナノレベルのコロイド粒子粒度は、サブナノから数百ナノメートルまでの

幅広い領域で分布を観察することができた。主たるピークは 10 ~800 nm 付近までブロードに観察された。この粒子径の分布は、五色沼の青沼の挙動と類似していた。美瑛町の青い池と五色沼の青沼はいずれも視覚的に青く見えること著名な池である。その一方で、青く見えない五色沼の柳沼は、1 μm 付近に大きな粒子の分布を観察した。DLS は、レーザー光の散乱を利用する分析装置であるため、柳沼に関してはサブナノ~数百ナノメートルまでのコロイド粒子が存在しないわけではなく、光散乱が大きく反映されるより大きな粒子を特徴的に観察しているものと推察できる。このことは、逆に、美瑛の青い池および五色沼の青沼は、光散乱を大きく阻害する μm オーダーの微粒子の存在が小さいことを意味する。

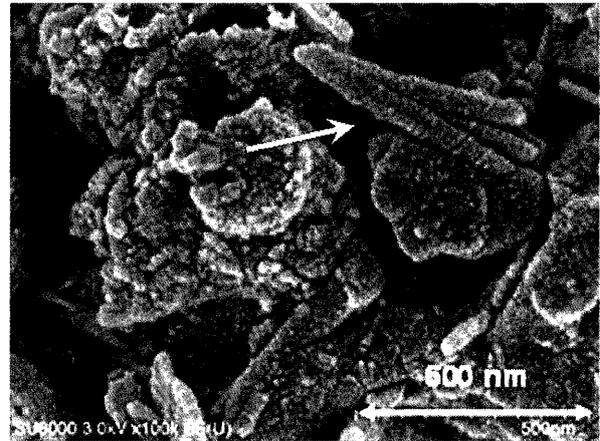


図4 孔径 5.0 μm のメンブランフィルター上に捕集された美瑛・青い池のコロイド粒子の走査型電子顕微鏡写真(白金蒸着処理)

SEM 写真より、美瑛町青い池のコロイド粒子の形状は定型を示さず、様々な形状と大きな粒子が存在していた。その中でも最も主要な粒子の形状は、先が尖った長さ 500~600 nm、幅 10~50 nm の鍬状^{やじり}のコロイド粒子であった。

その一方で、五色沼の微粒子は、図5のように一見、球状を有する微粒子を単位粒子として、それらが連結した粒子群として観察された。この単位粒子は一定のサイズを有しているものの全体的には不定形である。しかしながら、今回の SEM 撮影では白金蒸着処理を行っているため、単位粒子が球形に見えるものの、詳細な全体像は透過型電子顕微鏡によってさらに詳細に観察する必要がある。しかしながら、その特徴は明らかに美瑛町青い池の粒子と五色沼の微粒子では特徴を異とするものであることが分かった。

また、孔径 5.0 μm のメンブランフィルター上に捕集された北海道の青い池と五色沼・青沼のコロイド粒子の EDS プロファイル(蛍光 X 線スペクトル)を図6に示す。

水中に分散するコロイド微粒子は、美瑛・青い池と五色沼・青沼のいずれもアルミニウムとケイ素のピークを示し、五色沼・青沼はそのほか微弱な鉄のピーク

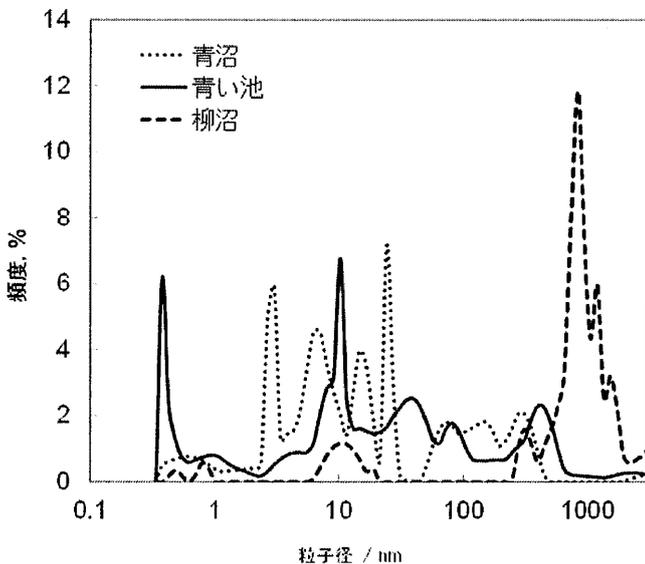


図3 孔径 0.8 μm フィルターでろ過したろ液のナノレベルの粒度分布

粒子の形状観察と粒子を構成する元素分析

美瑛町青い池の水中に浮遊するコロイド粒子をフィルターした際、その微粒子のほとんどはメンブランフィルターの空孔内を通過するが、かろうじてフィルター上に捕集される微粒子も存在する。そのコロイド粒子を SEM によって観察した写真を図4に示す。

クを示した。この X 線スペクトルから、美瑛・青い池と五色沼・青沼のいずれも微粒子の組成はケイ酸アルミニウムである可能性が大きい。

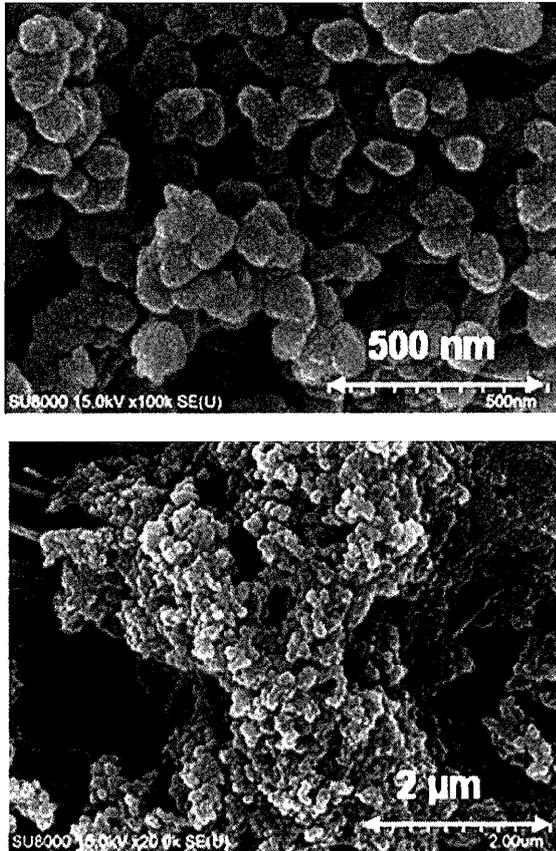


図 5 孔径 5.0 μm のメンブランフィルター上に捕集された五色沼・青沼のコロイド粒子の走査型電子顕微鏡写真(白金蒸着処理): 上図 500 nm スケール, 下図 2 μm スケール

底質の元素組成と X 線回折

美瑛・青い池と五色沼のいくつかの底質の XRF プロファイルを図 7 に示す。XRF の結果から、底質は酸化ケイ素と酸化アルミニウムを示した。したがって、先の中を浮遊するコロイド粒子の元素組成は矛盾しない。また、その酸化ケイ素と酸化アルミニウムの比率は、五色沼・柳沼を除き、いずれも 0.5~2 の範囲に入ったが、同一の組成ではなかった。青い色を呈している池のなかでは、美瑛・青い池と五色沼・毘沙門池は同様の傾向を示した。

また底質の XRD 測定からは図 8 のような回折プロファイルを得た。美瑛町の青い池は鋭いピークが見ら

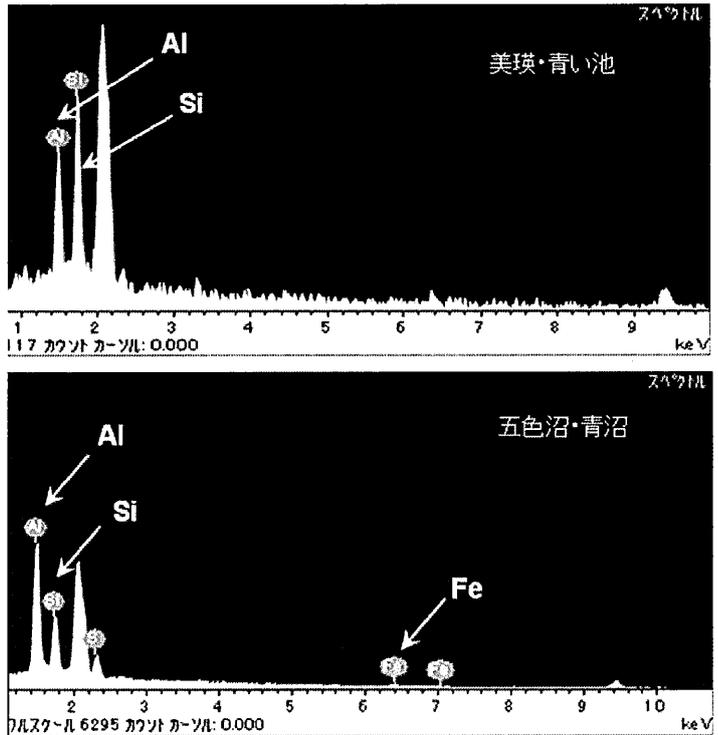


図 6 孔径 5.0 μm のメンブランフィルター上に捕集された美瑛・青い池(上)と五色沼・青沼(下)の水中のコロイド粒子の走査型電子顕微鏡における蛍光 X 線スペクトル(白金蒸着処理)

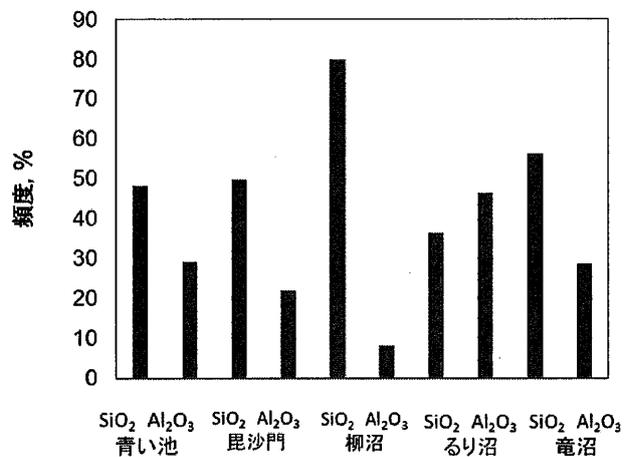


図 7 底質の XRF プロファイル

れた。青色を呈する五色沼湖沼の湖沼は同じ面間隔を示す非結晶性を示すハローが観察された。

この XRD と SEM の結果を鑑みると、美瑛青い池は不定形の粒子形状を示すものの、粒子自体は結晶性を示し、多結晶性であることが分かった。

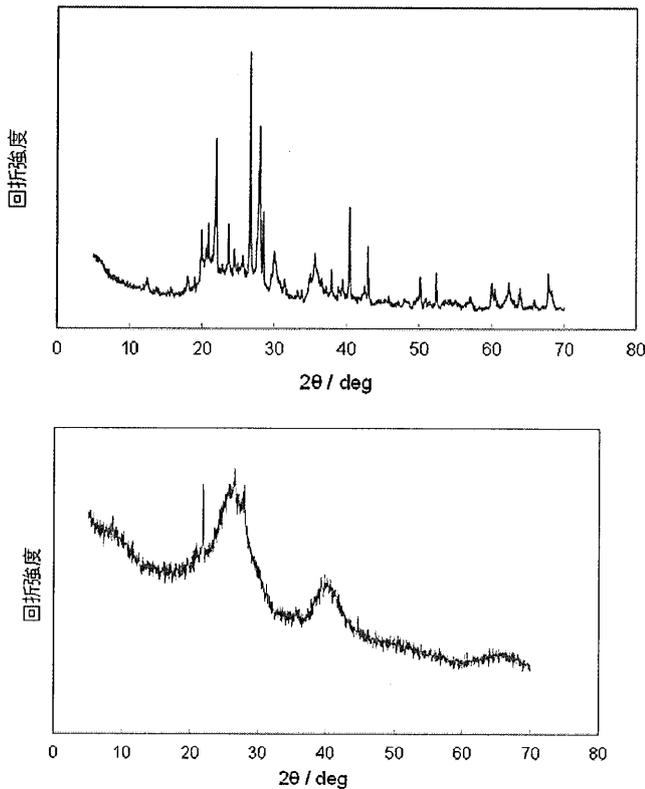


図8 美瑛・青い池(上)と五色沼・り沼(下)の底質のXRDプロファイル

その一方で、五色沼のコロイド粒子は形状の揃った球状（もしくは楕円などの球状に近い）単位粒子が観察されることから、結晶性の高い粒子が存在することがわかるが、その単位粒子が他の粒子とランダムに連結して全体的に不定形な形状を示すため、全体像としての粒子配列に不規則性を生じて非結晶性のプロファイルを示すものと考えられる。

水中の元素分布と定量分析

青い池、美瑛川(合流前)、尻無沢川(合流前)、硫黄沢川(合流前)、および、3河川合流直後の水試料をICP-OESにより多元素同時分析した結果を表1に示す。尻無沢川と硫黄沢川の火山由来(硫化水素に起因すると思われる)の酸性の水質(pH 4~5)によって溶かされた火山灰由来のケイ酸アルミニウムが、水量のある美瑛川(pH 5.7~6.8)と合流することで急激な中和反応が生じるものと推察される。

その際、ケイ酸アルミニウムの形状で不定形の多結晶微粒子を形成し、沈降するものと考えられる。その一方で、尻無沢川と硫黄沢川に含まれるアルミニウムとケイ素が、単独のイオンとして溶解しているのか、それとも、 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ のクラスターイオンとして溶存しているかまでは特定することができなかった。しかし、複数の河川の混合によって、短時間で乳白色を示すことから、 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ のクラスターイオンとして存在している可能性が高いと推測できる。

V. まとめ

本研究は、光散乱によって湖面の色彩変化を生じさせるナノレベルの大きさの微粒子に着目し、その粒径分布、粒子形状、さらには、その元素組成や結晶構造について、北海道美瑛町青い池と五色沼湖沼群との比較を行った。北海道美瑛町青い池は、水質の異なる3つの河川が合流することによって色彩変化を生じる湖沼であり、その河川の一つが火山性の河川である。さらに、青い池の粒子はアルミニウム系粒子であることから、五色沼と類似点も多く、五色沼の微粒子の由来を議論するための比較対象として調査すべき価値がある。本研究の結果、青い池のナノ粒子径分布は10~800 nm付近まで幅広い分布幅を有し、その分布は、五色沼の青沼の挙動と類似していた。美瑛町青い池のコロイド粒子の形状は、不定形で大きさもまばらであるが、粒子自体は結晶性を示すため、多結晶状態であると判断できる。様々な形状が存在していたが主要な粒子の形状は、長さ 500~600 nm、幅 10~50 nm の^{やじり}鋸状のコロイド粒子であった。この粒子は、ケイ酸アルミニウムでその組成比は底質とコロイド粒子で数値にバラつきがあるものの $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 < 1 \sim 2$ の範囲であった。この値は、五色沼・毘沙門池の底質と同じ比率であった。これまで北海道美瑛町で考えている水酸化アルミニウムを主成分とする微粒子ではない可能性が高いことが分かった。このケイ酸アルミニウムで構成されたナノレベルの多結晶微粒子と

表 1 美瑛町青い池に関する河川の多元素定量結果一覧(測定溶液濃度)

| No | 表示名 | 元素 | 波長 [nm] | DL | 濃度単位 | サンプル | サンプル | サンプル | サンプル | サンプル | サンプル | サンプル |
|----|------------|----|---------|-------|------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|---------|
| | | | | | | 青い池 1 | 青い池 2 | 青い池 3 | 美瑛川合流前A | 尻無沢川合流前B | 合流後C | 碓氷沢川 |
| 1 | Ag 328.068 | Ag | 328.068 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 2 | Al 396.153 | Al | 396.153 | 0.002 | mg/L | 0.440 | 0.137 | 0.256 | 0.038 | 6.463 | 0.473 | 5.906 |
| 3 | As 188.979 | As | 188.979 | 0.015 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 4 | Ba 233.527 | Ba | 233.527 | 0.000 | mg/L | 0.006 | 0.005 | 0.006 | 0.003 | 0.006 | 0.005 | 0.008 |
| 5 | Be 313.107 | Be | 313.107 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 6 | Bi 223.061 | Bi | 223.061 | 0.008 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 7 | Ca 317.933 | Ca | 317.933 | 0.004 | mg/L | 22.850 | 23.050 | 28.780 | 7.163 | 125.600 | 20.610 | 82.780 |
| 8 | Cd 228.802 | Cd | 228.802 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 9 | Co 228.616 | Co | 228.616 | 0.001 | mg/L | 0.001 | <LOD | 0.001 | <LOD | 0.011 | 0.001 | 0.003 |
| 10 | Cr 267.716 | Cr | 267.716 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 11 | Cu 327.393 | Cu | 327.393 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 12 | Cs 455.531 | Cs | 455.531 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 13 | Fe 238.204 | Fe | 238.204 | 0.000 | mg/L | 0.084 | 0.029 | 0.028 | 0.003 | 0.019 | 0.110 | 0.053 |
| 14 | Ga 417.206 | Ga | 417.206 | 0.004 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 15 | In 230.606 | In | 230.606 | 0.010 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 16 | K 766.490 | K | 766.490 | 0.001 | mg/L | 2.271 | 2.223 | 2.758 | 0.760 | 9.603 | 1.905 | 5.543 |
| 17 | Li 670.784 | Li | 670.784 | 0.000 | mg/L | 0.008 | 0.008 | 0.011 | 0.001 | 0.036 | 0.006 | 0.020 |
| 18 | Mg 285.213 | Mg | 285.213 | 0.001 | mg/L | 6.569 | 6.466 | 8.270 | 0.850 | 54.200 | 5.871 | 16.000 |
| 19 | Mn 257.610 | Mn | 257.610 | 0.000 | mg/L | 0.218 | 0.212 | 0.315 | 0.000 | 2.997 | 0.206 | 0.652 |
| 20 | Na 589.592 | Na | 589.592 | 0.001 | mg/L | 10.510 | 10.620 | 13.020 | 2.467 | 0.000 | 8.588 | 21.830 |
| 21 | Ni 231.604 | Ni | 231.604 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 22 | Pb 220.353 | Pb | 220.353 | 0.005 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 23 | Rb 780.023 | Rb | 780.023 | 0.005 | mg/L | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.001 | 0.053 | 0.006 | 0.020 |
| 24 | Sr 407.771 | Sr | 407.771 | 0.000 | mg/L | 0.063 | 0.062 | 0.076 | 0.026 | 0.270 | 0.057 | 0.153 |
| 25 | Se 196.026 | Se | 196.026 | 0.014 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 26 | Tl 190.801 | Tl | 190.794 | 0.006 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 27 | U 385.958 | U | 385.958 | 0.010 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 28 | V 290.880 | V | 290.880 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 29 | Zn 206.200 | Zn | 206.200 | 0.005 | mg/L | <LOD | <LOD | 0.009 | <LOD | 0.076 | <LOD | 0.021 |
| 30 | Au 267.595 | Au | 267.595 | 0.004 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 31 | Hf 277.336 | Hf | 277.336 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 32 | Ir 205.222 | Ir | 205.222 | 0.168 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 33 | Pd 340.458 | Pd | 340.458 | 0.003 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 34 | Pt 265.945 | Pt | 265.945 | 0.005 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 35 | Rh 343.489 | Rh | 343.489 | 0.003 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 36 | Ru 240.272 | Ru | 240.272 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 37 | Sb 206.836 | Sb | 206.836 | 0.012 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 38 | Sn 189.927 | Sn | 189.927 | 0.005 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 39 | Te 214.281 | Te | 214.281 | 0.009 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 40 | B 249.677 | B | 249.677 | 0.001 | mg/L | 0.083 | 0.082 | 0.105 | 0.008 | 0.601 | 0.072 | 0.230 |
| 41 | Ge 209.426 | Ge | 209.426 | 0.010 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 42 | Mo 202.031 | Mo | 202.031 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 43 | Nb 309.418 | Nb | 309.413 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 44 | P 213.617 | P | 213.617 | 0.016 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 45 | Re 197.248 | Re | 197.248 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 46 | S 181.975 | S | 181.975 | 0.050 | mg/L | 31.840 | 31.480 | 40.000 | 7.189 | 216.100 | 28.550 | 116.100 |
| 47 | Si 251.611 | Si | 251.611 | 0.002 | mg/L | 17.080 | 16.430 | 19.580 | 12.170 | 48.510 | 16.480 | 32.980 |
| 48 | Ta 226.230 | Ta | 226.230 | 0.004 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 49 | Ti 337.279 | Ti | 337.279 | 0.001 | mg/L | 0.003 | 0.001 | 0.001 | <LOD | 0.001 | 0.004 | 0.001 |
| 50 | W 207.912 | W | 207.912 | 0.004 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 51 | Zr 343.823 | Zr | 343.823 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 52 | Ce 413.380 | Ce | 413.380 | 0.004 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.011 | <LOD | 0.008 |
| 53 | Dy 353.170 | Dy | 353.170 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 54 | Er 339.200 | Er | 339.200 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 55 | Eu 381.967 | Eu | 381.967 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 56 | Gd 342.247 | Gd | 342.247 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.003 | <LOD | 0.003 |
| 57 | Ho 345.600 | Ho | 345.600 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.001 | <LOD | <LOD |
| 58 | La 408.672 | La | 408.672 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.004 | <LOD | 0.002 |
| 59 | Lu 261.542 | Lu | 261.536 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 60 | Nd 406.109 | Nd | 406.109 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.007 | <LOD | 0.006 |
| 61 | Pr 390.844 | Pr | 390.844 | 0.003 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.002 | <LOD | 0.001 |
| 62 | Sc 424.683 | Sc | 424.683 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.004 | <LOD | 0.001 |
| 63 | Sm 359.260 | Sm | 359.260 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | 0.003 | <LOD | 0.002 |
| 64 | Tb 350.917 | Tb | 350.917 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 65 | Th 283.730 | Th | 283.730 | 0.002 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 66 | Tm 313.126 | Tm | 313.126 | 0.001 | mg/L | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD | <LOD |
| 67 | Y 371.029 | Y | 371.029 | 0.000 | mg/L | 0.001 | <LOD | 0.002 | <LOD | 0.016 | 0.001 | 0.011 |
| 68 | Yb 328.937 | Yb | 328.937 | 0.000 | mg/L | <LOD | <LOD | 0.001 | <LOD | 0.002 | <LOD | 0.002 |
| 69 | Hg 253.652 | Hg | 253.652 | | mg/L | | | | | | | |

測定条件 ; 使用装置 PerkinElmer ICP-OES Optima8300, 導入系 ; ガラス製同軸ネブライザー/ガラス製サイクロンチャンバー/石英トーチ/アルミナインジェクター 2 mm i.d., サンプル流速 ; 1 mL/min, プラズマ条件 ; プラズマガス 8 L/min / 補助ガス 0.2 L/min / キャリヤーガス 0.55 L/min, 積分時間 : 1~5 秒 自動積分×3. LOD ; 検出下限値, <LOD ; 検出下限値以下

鏡状の形状が光散乱に強く影響していると考えられる。今回の結果から、北海道美瑛町青い池のように、水質の異なる3つの河川が合流して短時間で微粒子を生じる場合は、不定形が多結晶が生じることが分かった。五色沼の場合、大小の多くの湖沼群が存在するが、そのナノサイズのコロイド粒子は、ほとんどが同じ形状、同じ大きさ、さらには結晶構造まで類似性があることがわかった。これらの状況を鑑みると、五色沼湖沼群における光散乱に起因するナノサイズの微粒子の起源（由来）は、2液混合系、すなわち、水質の異なる液体が混ざり合って微粒子を生成するメカニズムではない可能性が大きいと考えられる。

謝辞

北海道開発局旭川開発建設部の西村義様、福島大学共生システム理工学類 高瀬つぎ子特任准教授にはご多忙中にもかかわらず、ご協力いただきお礼申し上げます。

引用文献

- 千葉 茂 (1988) 猪苗代湖・裏磐梯湖沼群の水質, 地学雑誌, 97, 376-381.
吉村信吉 (1936) 地理学評論, 12, 42.