

## 裏磐梯五色沼湖沼群の湖底堆積物 ～堆積物および懸濁物の化学・粒度組成, 珪藻～

廣瀬孝太郎・長橋良隆・高貝慶隆 (福島大学・共生システム理工学類)

### 要 旨

五色沼湖沼群の生物・化学的特徴を明らかにする目的で, 底質および水試料を採取した。底質試料については珪藻分析および蛍光X線分析を行い, 水試料については分散する粒子の粒径の測定および形状の観察を行った。その結果, 各湖沼は生物学的, 化学的にみて多様な特徴を有していた。これらの結果は, 現在も遷移途中にあると考えられる裏磐梯地域の環境を評価する上で重要な知見であろう。

### I. はじめに

裏磐梯の湖沼群は, 1888年の磐梯山の崩壊によりほぼ同時期に形成され(たとえば千葉, 1988), これらの湖沼の環境は現在も遷移途中にある可能性が高い。しかし近年, 五色沼で変化していると言われている色調に関してはとくに, 天候や季節変化, 観察者の主観的な判断によるところが大きいため, 各湖沼の生物・化学的な特質を把握することがまず必要である。五色沼の多様な水面の色調をつくり出す要因は, 水中の懸濁物質や水底に沈着している物質であると考えられるが, その化学組成や水中での形態および量が水色に影響するメカニズムについては, 具体的には明らかになっていない。以上のことから, 五色沼湖沼群の懸濁物質や底質に関する調査を行った。

### II. 調査地および調査方法

調査および試料採取は, 2012年9月20日に毘沙門沼, 赤沼, 竜沼, 9月21日にるり沼と柳沼において行った。ただし, 毘沙門沼の粒子径測定用の試料水は, これらの試料と別日(2012年7月20日)に採取した(詳細は次項に記す)。それぞれの試料採取地点ならびに試料名を, それぞれBN1209, AN1209, TN12109, RN1209, YN1209とする(図1)。堆積物試料は, 湖沼に浮かべたボートからエクマン・バージ式サンプラー

(5141B; 離合社)を用いて採取した。ただし, るり沼の底質は水生植物またはその遺体から構成されていたため, 堆積物を採取することができなかった。また, 水試料は, ボートからボトルを水深約10 cmに沈め, ポリプロピレン製500mL容器に直接採取した。採取時には, 水質計(WM-32EP, RM-20P; 東亜ディーケーケー株式会社)を用いてpH, 導電率, 水温, ORPの測定を行った(表1)。

### III. 分析試料と分析方法

採取した堆積物および水試料は, 各分析項目によって以下のように処理した。

#### 表層堆積物中の珪藻群集組成

珪藻分析用試料は, エクマン・バージ式サンプラーで採取した底質の表層部5 mm程度を, 現場において樹脂製のシリンジを用いて4 ml程度分取した。堆積物を採取することができなかったるり沼(RN1209)については, 採取した水底の水生植物と同一地点の水を袋に入れ, 揉み出すことにより試料を得た。採取した試料を研究室に持ち帰った後, 以下の方法で観察用プレパラートを作成し, 分析を行った。

1. 試料1.0 mlを蒸発皿に分取して湿潤重量を秤量した後, 40°Cの恒温器で約50時間乾燥させ

- た. その後重量を秤量し, 乾燥重量を求めた.
- 1の試料を200 ml のコンカルビーカーに移して約6%の過酸化水素水を約20 ml 加え, ホットプレート上で約100°Cで約30分間加熱し, 有機物の除去と碎屑物の分散を行った. その後, 超音波洗浄器 (ULTRASONIC CLEANER US-4R, 40 kHz ; アズワン) を用いて超音波印加を約1分間行い, 残った粗粒分を泥化させて懸濁液を得た.
  - 1の懸濁液に濾過水を加えて200 ml としたのち約12時間静置し, アスピレーターを用いて上澄みを除去することで, 溶存する可溶物と未反応の過酸化水素を除去した. 再び濾過水を加えて, 同じ作業を行った.
  - 2, 3の処理により得られた5試料を顕微鏡観察に適当な濃度 (1~1000 倍) に希釈して試料液を作成し, それぞれ0.5~1.0 ml をカバー

料液を作成し, それぞれ0.5~1.0 ml をカバーガラスに均一に塗布して約60°Cで水分を蒸発させた. その後ブルーラックス (Mount Media ; 和光純薬) を滴下したスライドガラスに載せ, 約140°Cで加熱し封入した.

顕微鏡はZeiss Axio imager. A2 を使用し, 油浸系対物レンズ (×100), 接眼レンズ (×10) のもとで, カバーガラス上の任意に選んだ直線に沿って, メカニカル・ステージを用いて走査して計数を行った. 各試料において殻の保存率 (value reservation index ; 完形殻の面積を100としたときの殻の面積の割合) を目視で見積もり, 70%以上の殻が200殻以上になるまで計数を行った. 堆積物1 ml あたり, および1 g あたりの珪藻殻数は, 試料の湿潤, 乾燥重量, 塗布した懸濁液の量, 走査した視野の面積および試料の希釈率から算出した.

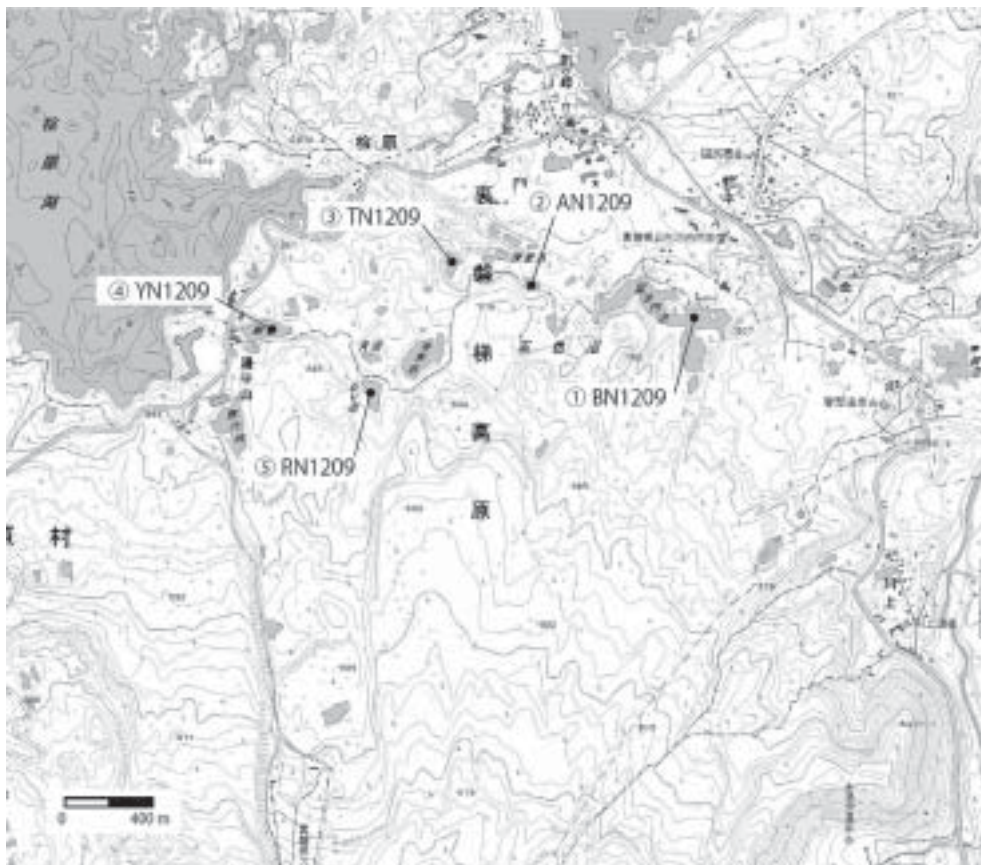


図1 調査地域および試料採取地点図

図中の①~⑤は試料採取地点名および試料名を示す.

表 1 採取した試料および現地で測定した水質

水域	毘沙門沼	赤沼	竜沼	柳沼	るり沼
地点・試料名	BN1209	AN1209	TN1209	YN1209	RN1209
緯度・経度 UTM-E	0419722	0418927	0418537	0417647	0418158
(UTM54S) UTM-N	4167629	4167788	4167896	4167572	4167289
採取年月日	2012. 9. 20	2012. 9. 20	2012. 9. 20	2012. 9. 21	2012. 9. 21
採取時刻	10:00	13:48	15:06	10:11	12:13
天候	曇り	曇り	曇り	小雨	曇り・晴れ
水温(°C)	21.1	13.8	16.3	22.5	21.1
透明度(m)	6.5	3.0	4.3	3.3	1.3
採取水深(m)	6.8	3.3	8.8	8.0	2.0
堆積物の色調	黒褐色	赤錆色	黒色・灰色	黒灰色	灰白色 <sup>※注</sup>
pH	6.61	4.08	6.55	6.77	5.60
EC(mS/m)	74.5	131.4	42.4	56.0	131.8
ORP(mV)	192	269	198	192	228

注 岸部の堆積物の色調

#### 蛍光 X 線分析による底質の化学組成

分析試料は、赤沼から 2 試料 (AN1209-C1)，毘沙門沼から 1 試料 (BN1209-C3)，竜沼から 1 試料 (TN1209-C4)，柳沼から 1 試料 (YN1209-C5) である。これらの試料は 40°C の恒温器で乾燥した後、礫や植物片等をできるだけ取り除いたものを分析に供した。

蛍光 X 線 (XRF) 分析は、蛍光 X 線の波長で元素の同定を、強度で定量を行うため、底質全体の主成分・微量成分の化学組成を知るのに適している。XRF 分析は、福島大学の RIX-1000 (株リガク社製) を用いて、高瀬・長橋 (2007) の方法に基づいて行った。分析用のペレット試料は、自動メノウ乳鉢で微粉化した試料 5g とバインダー (ポリスチレン系粉末) 0.5g を混合し、プレス機で加圧整形して作成した。主成分 10 元素 (Si・Ti・Al・Fe・Mn・Mg・Ca・Na・K・P) と微量成分 15 元素 (As・Ba・Ce・Co・Cr・Ga・Nb・Ni・Pb・Rb・Sr・Th・V・Zn・Zr) については、検量線法により行った。主要元素の測定時間は 15 分、微量元素の測定時間は 85 分である。また、S と Cl については、オーダー分析による半定量値として求めた。

#### 水中に分散する粒子

湖沼水中に浮遊するナノメートルレベルのコロイド粒子の粒子径は、動的光散乱式粒子径測定装置 (DLS: 堀場製作所製 SZ-100) で測定した。DLS は、水溶液中に分散するナノメートル～マイクロメートルのコロイド粒子の粒子径を測定することができる。DLS は、粒子径と粒度分布が測定できるが、粒子絶対量は測定することができないことを予め記す。測定には、四面透過型高純度石英セル (光路長 1 cm, 光路幅 1 cm) を使用した。測定は同一検体を繰り返し 3 回測定し、また、環境水中の粒子に同一形状で同一粒径の粒子が存在する確率は低いという仮定の下、1 地点の試料水を 5 つに取り分けてそれぞれ DLS で測定した。本研究で調査を行った湖沼のうち、毘沙門沼 (2012 年 7 月 20 日採水) のみ多地点採水 (10 か所) を行った。この 10 箇所は、主観的ではあるが多くの来訪者が、視覚的に色彩が異なると言及する代表的な地点 (ボート乗り場、流水口、流出口、流出口左岸湿地、清水沼、西湖盆沼中央、西湖盆沼流水口側、西湖盆沼中央と流水口の間、東湖盆沼中央) である。毘沙門沼の試料水は、原水を処理するこ

となく DLS を用いて粒子径を 1 時間以内に測定した。また、毘沙門沼の試料水は、PTFE 製メンブランフィルター (φ20 mm × 25 μm) を用いて真空ポンプにて減圧濾過を行い、メンブランフィルターに付着した粒子を走査型電子顕微鏡 (FE-SEM: 日立ハイテク社製電界放出型走査型電子顕微鏡 SU-8000) で観察した。SEM 観察では、ろ過後のメンブランフィルターを十分に乾燥させた後に Pt 蒸着したものを試料とした。メンブランフィルターを適宜、裁断して観察試料とした。その一方で、毘沙門沼以外の AN1209, TN12109, RN1209, YN1209 は、採水後、冷暗所にて 5°C で保管した。試料は採水後、3 日以内に DLS にて粒子径を測定した。他の試料と同様に原水をそのまま測定した。

#### IV. 分析結果および考察

##### 1. 五色沼湖沼群の珪藻植生

本研究において、全ての試料を通じて少なくとも 41 種の出現が確認された (表 2)。未同定種 (unidentified taxon) を除いた 40 種のうち、中心型珪藻 (centrics) は 3 種、有縦溝羽状型珪藻 (araphid pennates) は 14 種、無縦溝羽状型珪藻 (raphid pennates) は 23 種であった。処理前の試料をそのままスライドグラスに滴下し、光学顕微鏡 (100~400 倍) で予察的に観察を行ったところ、多くの珪藻は細胞内に葉緑体を確認することができ、なかでも有縦溝羽状型の中には滑走運動する細胞も確認されたため、観察された珪藻は、採取地点、およびその近傍で生育していたと考えられる。

**毘沙門沼 (BN1209)**: 11 種と 1 種類以上の未同定種が確認された。 *Fragilaria* aff. *exigua* が 56.9% と最も卓越して出現し、 *Aulacoseira* sp. BN1209-01 が 26.4% と随伴した。その他は最大で *Brachysia vitrea* の 6.5% であり、卓越して産出する種はなかった。湿潤体積あたりの殻数

( $\times 10^6$  valves/1 ml wet sediment; 以下, 湿潤殻含量), 乾燥重量あたりの殻数 ( $\times 10^6$  valves/1 g dry sediment; 以下, 乾燥殻含量) はそれぞれ 12.6, 250.9 であった。

**赤沼 (AN1209)**: 77.0% 出現した *Eunotia* aff. *exigua* と 23.0% 出現した *Nitzschia amplexans* のみが確認された。湿潤殻含量と乾燥殻含量はそれぞれ 0.1, 13.5 と、他の 4 湖沼とかけはなれて小さい。 *N. amplexans* は 1986 年に同湖沼でも確認されており (Watanabe and Asai, 2004), 本種は pH4.0 以下の水質にも生育可能な真酸性種 (渡辺ほか, 2005) とされている。このことから赤沼は、珪藻の繁茂には適していない環境であり、またそこに適応可能な種のみが生育していると考えられる。

**竜沼 (TN1209)**: 24 種と 1 種類以上の未同定種が確認され、本研究において最も大きい種数を示した。 *Fragilaria* aff. *exigua* が 42.4% と最も卓越し、 *Aulacoseira ambigua* が 18.9% と随伴した。その他は最大で *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* の 6.0% であり、卓越して産出する種はなかった。湿潤殻含量と乾燥殻含量はそれぞれ 12.9, 199.3 であり、本研究においては毘沙門沼と類似した値を示した。

**柳沼 (YN1209)**: 13 種と 1 種類の未同定種が確認された。 *Fragilaria* aff. *brevistriata* が 65.7% と最も卓越し、 *Fragilaria* aff. *pinnata* が 19.4% と随伴した。本湖沼は、鎖状の群体を形成し、浮遊して生育する *Aulacoseira* 属、 *Fragilaria* 属の多様な出現に特徴付けられた。湿潤殻含量と乾燥殻含量はそれぞれ 128.7, 1516.3 であり、他の湖沼に比べてはるかに高い値を示した。本湖沼の堆積物は、スミアスライドにおける観察においてその構成物質の多くが珪藻の細胞であり、他の湖沼に比べて相対的な碎屑物の量は少なかった。このことが、高い殻含量を示す要因であろう。

**るり沼 (RN1209)**: 5 種と 1 種類以上の未同定

種が確認された。 *Brachysia brebissonii* が 60.7% と最も卓越し、 *Eunotia* aff. *exigua* が 29.7% と随伴した。その他に出現が確認された種は、 *Fragilaria* sp. RN1209-01 と *Achnanthes* sp. RN1209-01 のみであり、それぞれ 6.8% と 1.8% であった。湿潤殻含量と乾燥殻含量はそれぞれ 5.4, 745.0 であった。前項「2. 調査地および調査方法」で述べたように、本試料の珪藻は、他の試料が堆積物であるのに対し、水底

に沈積した水生植物から抽出されたものである。湿潤殻含量に対して乾燥殻含量が大きいのはそのためであり、これらの量を他の湖沼の試料を比較して議論することは適当ではない。ただし、本湖沼の珪藻は、底質がシルト質である他の湖沼とは異なり、主に水生植物から構成される環境に適応して生育していると考えられる。

表 2 産出した珪藻とその相対度数, 単位堆積・重量あたりの珪藻殻数

種名	形態	BN1209	AN1209	TN1209	YN1209	RN1209
<i>Achnanthes</i> aff. <i>japonica</i>	RP			2.3	0.5	
<i>Achnanthes</i> aff. <i>lanceolata</i> var. <i>lanceolata</i>	RP			2.3		
<i>Achnanthes</i> <i>minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	RP	0.5		6.0		
<i>Achnanthes</i> sp. BN1209-01	RP	0.5				
<i>Achnanthes</i> sp. RN1209-01	RP					1.8
<i>Achnanthes</i> sp. TN1209-01	RP			0.5		
<i>Asterionella</i> <i>formosa</i>	AP				0.5	
<i>Aulacoseira</i> <i>ambigua</i>	C			18.9	2.8	
<i>Aulacoseira</i> sp. BN1209-01	C	26.4				
<i>Brachysia</i> <i>brebissonii</i>	RP	2.3		1.8		60.7
<i>Brachysia</i> <i>vitrea</i>	RP	6.5		0.5		
<i>Cymbella</i> <i>gracile</i>	RP			0.5		
<i>Diatoma</i> <i>hiemale</i> var. <i>mesodon</i>	AP			0.5		
<i>Encyonema</i> <i>nimutum</i>	RP				0.5	
<i>Eunotia</i> aff. <i>exigua</i>	RP		77.0			29.7
<i>Fragilaria</i> aff. <i>brevistriata</i>	AP				65.7	
<i>Fragilaria</i> aff. <i>exigua</i>	AP	56.9		42.4	0.5	
<i>Fragilaria</i> aff. <i>neoproducta</i>	AP				3.7	
<i>Fragilaria</i> aff. <i>pinnata</i>	AP			5.5	19.4	
<i>Fragilaria</i> <i>parasitica</i>	AP			2.3		
<i>Fragilaria</i> sp. BN1209-02	AP	1.4				
<i>Fragilaria</i> sp. RN1209-01	AP					6.8
<i>Fragilaria</i> sp. TN1209-01	AP			2.3		
<i>Fragilaria</i> sp. TN1209-02	AP			1.8		
<i>Fragilaria</i> sp. TN1209-03	AP			0.9		
<i>Gomphonema</i> cf. <i>heterominuta</i>	RP			0.5		
<i>Melosira</i> <i>varians</i>	C			1.8		
<i>Navicula</i> c.f. <i>gregaria</i>	RP				0.5	
<i>Navicula</i> <i>pseudolanceolata</i> var. <i>pseudolanceolata</i>	RP			0.9		
<i>Navicula</i> sp. TN1209-01	RP			0.5		
<i>Nitzschia</i> <i>amplectens</i>	RP		23.0			
<i>Nitzschia</i> <i>nana</i>	RP			1.4		
<i>Nitzschia</i> sp. TN1209-01	RP			0.5		
<i>Nitzschia</i> sp. TN1209-02	RP			0.5		
<i>Pinnularia</i> aff. <i>viridis</i>	RP	0.5			4.6	
<i>Pinnularia</i> sp. BN1209-01	RP	0.9				
<i>Rhoicosphenia</i> <i>abbreviata</i>	RP				0.5	
<i>Rophalodia</i> <i>gibba</i> var. <i>gibba</i>	RP	0.5			0.5	
<i>Surirella</i> cf. <i>angusta</i>	AP			2.3		
<i>Tabellaria</i> <i>flocculosa</i>	AP	0.9				
unidentified	-	2.8		3.2	0.5	0.9
湿潤体積あたりの殻数(×10 <sup>6</sup> valves/1 ml wet sediment)		12.6	0.1	12.9	128.7	5.4
乾燥重量あたりの殻数(×10 <sup>6</sup> valves/1 g dry sediment)		250.9	13.5	199.3	1516.3	745.0

注 C: 中心型, AP: 無縦溝羽状型, RP: 有縦溝羽状型

## 2. 五色沼底質の化学組成

XRF 分析の結果を表 3 に示す。主成分 10 元素が酸化物となっているのは、岩石を構成する珪酸塩鉱物と酸化鉱物が酸化物の形で表されるため、地質学では主要 10 元素を酸化物の重量%として表すことによる。

4 つの沼の底質は、主成分元素組成からみてそれぞれ異なる。すなわち、赤沼は Fe (80 wt.%)

と S を、毘沙門沼は、Si>Mn>Fe・Al を、竜沼は Si>Al を、柳沼は Si を主体とする。微量元素組成でみると、赤沼は微量元素の総量が最も少ない(150~170 ppm 程度)。毘沙門沼は Ce, Y, Zn を多く含む。竜沼は毘沙門沼と似ており, Ce, Y, Zn を多く含む。柳沼は他の試料と比較して突出して多く含む元素はない。

表 3 蛍光 X 線 (XRF) 分析による五色沼沼群の底質の化学組成

試料番号	AN1209-C1	AN1209-C2	BN1209-C3	TN1209-C4	YN1209-C5	日本の上部
分析番号	No2	No3	No5	No6	No7	地殻の平均
XRF wt.%	赤沼	赤沼	毘沙門沼	竜沼	柳沼	
SiO <sub>2</sub>	6.82	6.74	43.79	53.76	76.95	67.53
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.03	0.02	0.48	0.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77	0.78	10.30	20.23	9.27	14.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79.95	81.06	12.86	5.94	4.77	5.39
MnO	0.01	0.01	24.2	0.32	0.08	0.11
MgO	0.32	0.32	0.40	0.57	1.22	2.53
CaO	0.16	0.13	1.48	2.08	3.43	3.9
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.10	0.13	0.82	2.72
K <sub>2</sub> O	n.d.	n.d.	0.12	0.12	0.69	2.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.05	0.20	0.47	0.34	0.12
SO <sub>3</sub>	9.8	10.2	1.1	1.2	0.9	
Cl	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
total wt.%	97.98	99.46	94.70	84.94	98.95	100.00
XRF ppm						
As	3	1	7	14	4	7
Ba	n.d.	n.d.	543	135	206	458
Ce	n.d.	20	1191	782	51	46
Co	28	27	86	34	11	15
Cr	81	75	18	n.d.	20	84
Ga	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11	
Nb	1	1	24	56	7	9
Ni	25	27	116	65	10	38
Pb	n.d.	1	7	7	26	17
Rb	1	2	11	15	33	85
Sr	2	4	n.d.	n.d.	147	225
Th	1	2	2	1	7	8
V	n.d.	n.d.	n.d.	39	120	26
Y	1	1	511	644	101	26
Zn	8	6	753	362	83	74
Zr	1	1	29	28	92	135
total ppm	152	168	3297	2181	928	1253

斜体はオーダー分析による半定量値を表す。

上部地殻の平均化学組成は, Togashi et al. (2000)による。

n.d.:未検出

各湖沼には水の流出入口があるが、沼の周囲は植生に覆われていることもあり、湖沼外から運搬される碎屑粒子は少ないと考えられる。よって、底質は、湖沼の底に元々あった碎屑物に加えて、湖沼内で不溶化した物質や生物が沈積したものと混合物と考えられる。主成分・微量成分元素組成からみると、毘沙門沼と竜沼は、それぞれ 44 wt.%と 54 wt.%の Si を含むので、ある程度碎屑粒子を含んでいると思われる。ただし、毘沙門沼では Si の次に Mn を多く含み、この量は通常の碎屑物に含まれる量よりも遥かに多い(表 3)。よって、毘沙門沼の Mn は湖沼内で不溶化したものが沈積したものと考えられる。竜沼は他の底質と比較して Al を多く含んでいることが特徴であり、千葉(1988)で指摘されているようにケイ酸アルミニウムからなる懸濁物質と考えられる。毘沙門沼と竜沼の微量成分元素含有量が多いのは、懸濁物質の吸着によるものであろう。柳沼の Si が多いのは、地質起源の碎屑粒子が寄与している可能性がある。しかし、沼や周囲の地質は安山岩組成であるので、Si が 76 wt.%もの量であることが説明できない。前述のように、本湖沼における底質の粒子は、本研究で分析を行った他湖沼に比べて Si の殻をもつ珪藻含有量が多く、地質起源の碎屑物が相対的に少ない(表 2) ことがその理由であると考えられる。

### 3. 五色沼の浮遊物の粒度と形状

今回、五色沼湖沼中のコロイド粒子の粒子径を測定したが、特筆すべき点は、いずれの湖沼も極めて粒子数が少ないことである。前述したように、DLS は、粒子径と粒度分布が測定できるが、粒子絶対量は測定することができない。DLS は光散乱を測定原理するため、マイクロメートルサイズの粒子径の大きな粒子(例えば、環境指標の汚濁物質(SS)に相当する粒子)に影響を受けて真の値よりもかなり大きなサイズとして観測されるため、通常は原水を直接測定することはできない。

しかし、今回の調査において、五色沼湖沼群はマイクロメートルサイズの浮遊粒子が極めて少なく、原水を直接測定することができた。今回は絶対粒子数を測定することができないため、今回は粒子数に関する直接的な考察ができなかった。粒子径の測定において繰り返し再現性は、重要な要素である。今回、湖沼中の粒子数が少ないため、粒子径測定は、繰り返し測定と試料分割試験(併行試験)を行うことで分析精度を担保することに努めた。特に、環境水中の粒子は、形状および粒子径が不揃いの多分散系と考えられ、単一分散の粒径の揃ったコロイド粒子であることは稀である。そこで今回、試料を 3 分割して測定を行い、また、分割試料 1 つにつき 3 回の平均値を採用した。図 2 に毘沙門沼の西湖盆(沼中央と流入口の間)の粒子径及び粒度分布、ならびに試料の繰り返し測定の実験結果を示す。このヒストグラムは、ピーク幅は粒度分布を示し、ピーク高さは検出した粒度の頻度(粒子全体に対してその直径の粒子が占める割合)を示している。また、試料を 5 分割したため 5 本のヒストグラムが示されている(1 本のヒストグラムにつき 3 回の測定の結果)。一般的に DLS による粒子径測定は、球状近似で行うため環境試料のような粒子形状が様々で不均一な粒子径測定には測定誤差が伴う。このヒストグラムの結果より、各試料は粒子径が 39.1%のばらつき

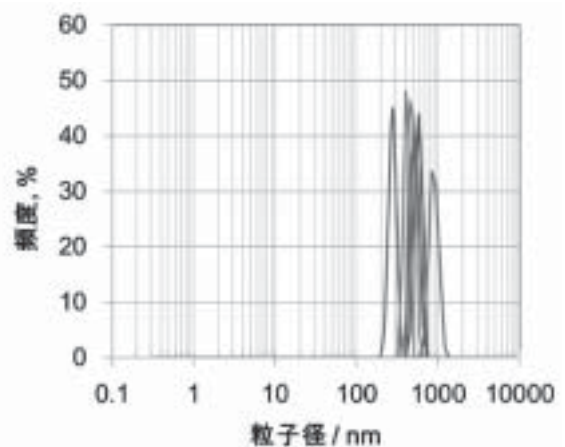


図2 毘沙門沼の西湖盆の粒子径及び粒度分布と試料の繰り返し測定の実験結果

をもって計測されることが分かった。この結果は、先に推察したようにこの毘沙門沼の水中コロイド粒子は不均一な形状をしていることを意味するものである。表4に各湖沼における平均粒子径とその測定誤差を示す。ここでの測定誤差は、平均粒子径における3回測定における繰り返し測定誤差を示しており、粒度分布を示すものではない。また、各湖沼におけるナノメートルサイズの

粒度分布を図3に示す。この結果から、毘沙門沼に関しては流出口と清水沼で平均粒子径1 μmであり、700~1400 nm程度の広い粒度分布を示した。その一方で、ボート乗り場や流水口では、180~250 nm程度の非常に小さく、粒度分布幅が狭い領域に粒子が存在していた。特徴的なのは、主観的ではあるが多くの来訪者が、視覚的に色彩が青く美しいと言及する西湖盆周辺（西湖盆沼中央、西湖

表4 五色沼湖沼の湖水のコロイド粒子の平均粒子径

湖沼名称	詳細地点	粒子の平均径 / nm
毘沙門沼	ボート乗り口	181.7 ± 13.2
	流入口	217.0 ± 16.7
	流出口	889.7 ± 206
	流出口左岸湿地	427.7 ± 64.2, 4582.8 ± 1374.2
	井戸沼	測定不可
	清水沼	166.3 ± 13.5, 931.6 ± 134.1
	西湖盆・流水口側	472.1 ± 22.3
	西湖盆・沼中央	469.1 ± 45
	西湖盆(中央と流入口の間)	453.4 ± 38.3
	東湖盆・沼中央	663.7 ± 39.5
	赤沼	東側
竜沼	沼中央	252.4 ± 25.6
柳沼	沼中央	89.3 ± 4.2, 1375.8 ± 82.8
るり沼	沼中央	285.9 ± 23.8

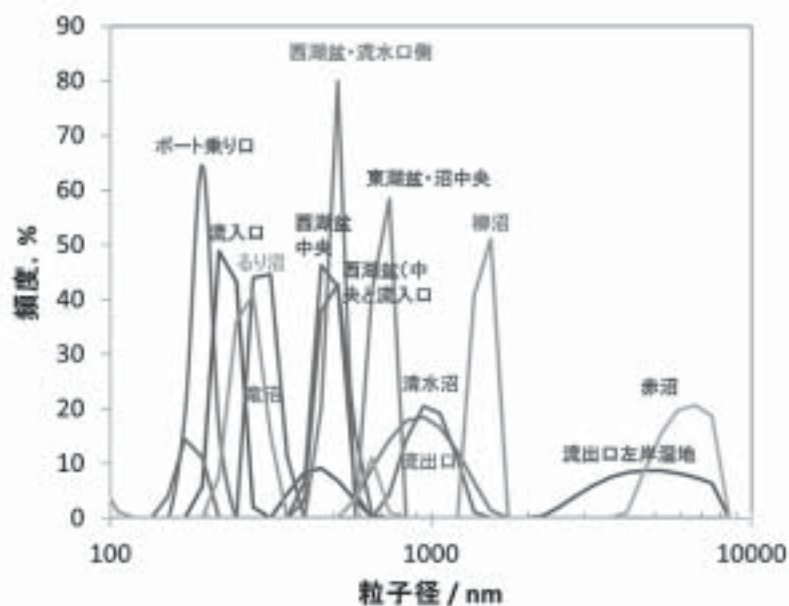


図3 五色沼湖沼におけるコロイド粒子の粒径と粒度分布



盆沼流水口側，西湖盆沼中央と流水口の間）は 400~580 nm の粒子径でかつ，粒度も揃っていた．特に，色彩の青さが美しいと言われる西湖盆沼流水口側は，粒子径が揃っていた．

これらの平均粒子径を光の波長と合わせてプロットした図が図 4 がある．この粒子の SEM 画像を図 5 に示す．粒子の背景の繊維状の物はテフロン製メンブレンフィルターである．粒子は約 30 nm ほどの粒子が凝集して大きな凝集体を形成しているように見える．この凝集体状の粒子は，決

まった形状を有していなかった．SEM 撮影において試料を完全に乾燥させるため，SEM の前処理時に凝集した可能性もある．水中での分散コロイドとは異なっているかもしれないが，DLS の粒径分布よりも SEM 粒子径のほうが大きく観察されている．また，エネルギー分散型蛍光エックス線分析により，この凝集体状の粒子は酸化アルミニウムと酸化ケイ素の複合体であることが分かった．主たる凝集体粒子のほかに若干の多粒子も観察できた

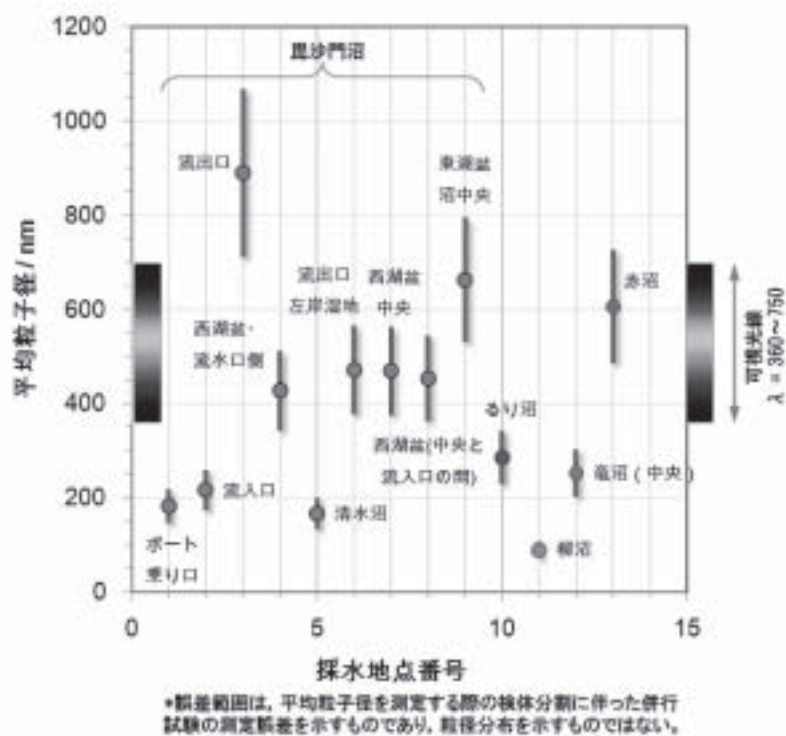


図 4 五色沼湖沼における平均粒子径とその測定誤差

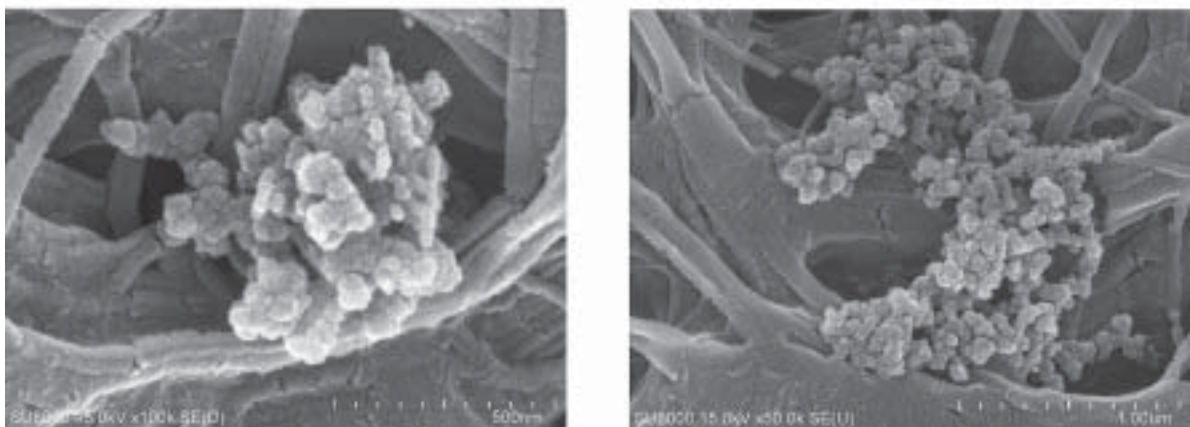


図 5 毘沙門沼・西湖盆周辺から採取したコロイド粒子の走査型電子顕微鏡写真

## V. おわりに

本研究では、いずれの分析項目においても、各湖沼もしくは同一湖沼内の異なる地点において、大きく異なる結果が示された。今後、調査の頻度を増やして天候や季節に起因する環境要素を加味し、また調査する水域を増やして水系ごとの共通性や差違を検討することで、五色沼の色調に寄与する環境因子の特定や湖沼環境の評価が可能となるであろう。

五色沼湖沼におけるマイクロメートルレベルの粒子は存在量が少なく、ナノメートルレベルのコロイド粒子の粒子径は各採水地点で異なることがわかった。SEM 観察により、コロイド粒子の顕微鏡写真を取得できたが、試料前処理時の凝集体である可能性も残った。

珪藻に関しては、多様性、生育量、および群集組成において、各湖沼で大きく異なる群集の生育が確認された。本研究で出現が確認された珪藻の多くは、各湖沼が形成された 1888 年以降にそれぞれの水域に移入してきたと考えられる。にも関わらず、各湖沼間で珪藻植生が大きく異なることは、生態学的にみても興味深い。とくに *Fragilaria* 属においては、同定に電子顕微鏡観察が必須である種が多いため、本研究では未同定の種が多いが、今後の詳細な形態観察において、これらを明らかにしていきたい。また、本研究で出現した分類群には、2012 年に本プロジェクトにおいて採取した猪苗代湖の堆積物試料に含まれる珪藻化石と共通したものがあつた。そのため本研究で扱った 5 湖沼を含む裏磐梯の湖沼群の珪藻植生およびそれに寄与する水質要因を特定し、これらを堆積物試料の分析結果に適用することで、猪苗代湖の過去約 5 万年間の水質変動を具体的に明らかに

できると考える。

## 謝辞

福島大学の高瀬つぎ子氏には、水試料の懸濁物質の分析にご協力いただいた。福島大学の佐藤一男氏には、調査の許可申請や試料採取の準備、現場での試料採取作業にご協力いただいた。また試料採取は、福島大学柴崎研究室の佐藤真一氏、馬場大輔氏にもお手伝いいただいた。なお本研究は、「2012 年株式会社ニチレイ・裏磐梯プロジェクト研究費、裏磐梯における珪藻植生・生態学的研究」を用いて行われた成果の一部である。

## 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.
- 渡辺仁治 編 (2005) 淡水珪藻生態図鑑—群集解析に基づく汚濁指数 DAI<sub>po</sub>, pH 耐性能. 777p, 内田老鶴圃. 777 pp.
- Watanabe, T. and Asai, K. (2004) *Nitzschia paleaeformis* and *Nitzschia amplexans* occurring in strongly acid waters of pH range from 1.0 to 3.9 in Japan. *Diatom*, 20, 153-158.
- 高瀬つぎ子・長橋良隆 (2007) 蛍光 X 線分析におけるガラスビード法と粉末プレス法との比較評価—地質試料中の主要 10 元素と微量 18 元素の定量—. 福島大学地域創造, 19, 32-47.
- Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata, Y. (2000) Young upper crust chemical composition of the orogenic Japan Arc. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 1, 1-45