

2008 年度小野川湖観測概要

佐藤泰哲・鈴木裕太・西城弘晃

1. はじめに

裏磐梯の桧原湖、秋元湖、小野川湖、曾原湖は、1888 年の磐梯山噴火の際生じた大規模な泥流により河谷が堰き止められて生じた堰き止め湖である。同時に、泥流上の凹凸は、数多くの小規模な湖沼を生じた。

当研究室では、1991 年から裏磐梯湖沼の観測を始めた。その結果の一部は、公表されている。Sato et al. (1993)では、桧原湖の1991 年の栄養塩等の時空間分布、栄養状態、深水層における窒素代謝を報告した。裏磐梯のそれぞれの堰き止め湖の湖底には、未だ水没した立木が存在するが、Sato et al. (1995)で、小野川湖における湖中林の分布を明らかにした。Sato et al. (1996)では、1993 年、1994 年の観測に基づき、小野川湖の栄養塩等の時空間分布を明らかにし、栄養状態を論じた。1994 年には秋元湖の定期観測を実施し、栄養塩類等の時空間分布に基づき、秋元湖と姉妹湖である桧原湖(Sato et al. 1993)、小野川湖(Sato et al. 1996) 3 つの湖が、生誕後百年余りの間にどのような違いが生じたかを明らかにした(Sato et al. 1997)。観光名所、五色沼の一方の入り口に毘沙門沼がある。1996 年には、毘沙門沼の水質化学を報告した(Sugawara et al. 1999)。2000 年には、1991 年以来の桧原湖の観測に基づき、桧原湖の深水層は、夏の成層期は冬の成層期に比べ、水温も高く期間も長いのに溶存酸素は枯渇しないのに対し、冬には、しばしば嫌氣的になることを示した(Sato et al. 2000)。1998 年は、日本各地が集中豪雨に見舞われた。小野川湖の集中豪雨中の観測が、1997 年との対比より、湖に洪水が引き起こす影響を如実に示し貴重な知見となった(Sato et al. 2001)。1994 年から2000 年までの観測に基づき、小野川の夏季成層期に深水層に蓄積するアンモニアの制御因子と集中豪雨の後遺症につき論じた(Sato et al. 2002)。湖沼で鉄、マンガンは、嫌氣的環境では還元態で存在し、湖水中溶けているが、好氣的環境では酸化された状態で存在し、これらは溶解度が小さく堆積物中に沈殿するが。この時、鉄の沈殿は様々な物質を共沈することが知られている。Sato et al. (2006) は、天然の湖水中の溶存鉄が沈殿する時、天然に存在する溶存有機物を共沈することを初めて示した。

本稿では、2008 年度の観測概要を報告する。

2. 方法

観測は、5 月 9 日より 10 月 21 日まで、ほぼ 4 週間毎に 7 回行った。試水は、最深部近傍の定点で 0、3、6、9、12、15 m の 6 層からバンドン採水器で、底上 40 cm を自家製チューブ・サンプラーで採水した。

観測項目は水温、pH、水中光量子量、透明度、溶存酸素（ウインクラー法）、懸濁物（重量法）、灼熱減量（600℃、1時間）、クロロフィル *a*（酸添加蛍光法）である。0、6、12 m、および底上 40 cm の試水は、ICP 発光分光分析機（Thermo Fisher Scientific iCAP6500 DUO）で諸元素を分析した。

3. 結果

3-1. 水温と溶存酸素

本年初めての観測である 5 月 9 日、表面と底では 4℃温度差があり、水温成層が始まりつつあった（表 1）。DO は 12 m までは 10 mg/L と均一で、底でも 8 mg/L あり、春の循環期の名残を留めていた。以後、月を追うごとに成層は発達し、7 月 31 日に最も安定した。この時、深水層の DO は 0.3 mg/L と極度に減少してはいるが、嫌気層が形成されるには至らなかった。次の観測時、8 月 27 日には、水深 15 m 以下が嫌氣的となり、この深さの嫌気層は 9 月 25 日まで続いた。10 月 21 日は、水温が 9 m まで約 15℃と部分循環が始まっていたが、底上 40 cm は依然嫌氣的であった。

表 1. 水温（WT、℃）、溶存酸素（DO、mg/L）

水深 (m)	5 月 9 日		6 月 4 日		7 月 3 日		7 月 31 日	
	WT	DO	WT	DO	WT	DO	WT	DO
0	11.7	10.0	14.6	9.0	20.5	8.3	23.4	8.0
3	11.8	10.2	14.4	9.3	19.8	8.6	22.7	8.0
6	11.4	10.0	13.7	9.1	17.8	9.0	21.5	7.6
9	10.0	9.9	12.0	9.4	13.0	8.2	14.5	6.3
12	9.4	10.0	11.4	9.4	11.5	6.7	11.9	3.9
15	7.9	9.7	10.2	7.9	10.1	1.6	10.4	0.4
底	7.7	8.2	9.7	4.7	9.9	0.5	9.9	0.3

水深 (m)	8 月 27 日		9 月 25 日		10 月 21 日	
	WT	DO	WT	DO	WT	DO
0	20.5	8.1	19.0	8.0	15.2	8.9
3	20.3	8.2	19.2	8.3	15.2	9.1
6	19.2	7.9	19.2	7.8	15.2	8.8
9	16.6	6.2	17.1	7.1	14.8	8.8
12	11.8	0.7	12.3	0.3	13.2	6.7
15	10.4	0.0	10.4	0.0	10.8	0.3
底	9.9	0.0	10.0	0.0	10.0	0.0

3-2. 諸元素の分布

3-2-1. 鉄

鉄は、春の循環期の名残のある5月9日には、全水柱中に低濃度で均一に分布した(図1)。成層初期の7月3日、深水層の溶存酸素は極度に減少し(表1)、その貧酸素層で鉄は増加した。嫌気層の発達とともに深水層の鉄は増加した。10月21日には部分循環が始まっており、12 mまでは十分に、15 mでもわずかに溶存酸素は存在したが、最深部は嫌气的で(表1)、鉄は年間の最大値を記録した(図1)。

鉄は、好气的環境では鉄(III)として存在し、溶解度が小さく堆積物中へ沈殿する。それ故、全水柱中が好气的な5月、四季を通じて嫌气的にはならない12 m以浅で濃度は極めて低い。深水層が嫌气的になると、堆積物中の鉄(III)は還元され鉄(II)となり、溶解度が低いので湖水中へ溶出して来、深水層の濃度が高くなる。

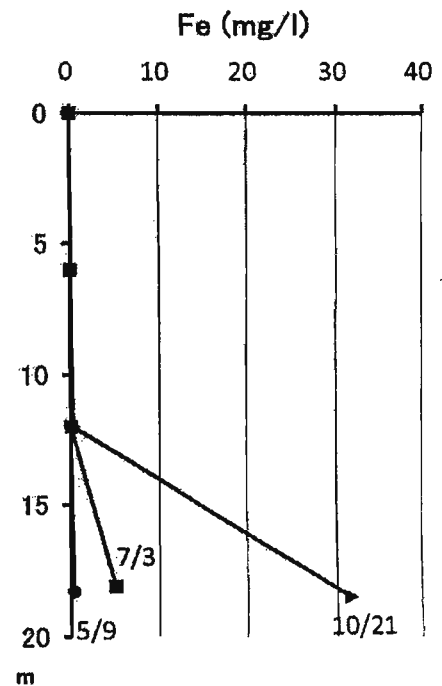


図1. 鉄の垂直分布

3-2-2. マンガン

マンガンの濃度は鉄の約1/10であるが、垂直分布の季節変化は、鉄とよく似ている(図2)。マンガンは鉄同様、好气的環境ではMn(IV)として存在し、溶解度が低く堆積物中に沈殿するが、嫌气的深水層中では還元されMn(II)となり、湖水中に溶出するためである。

3-2-3. イオウ

イオウは、5月9日には全層均一で約1 mg/Lであった(図3)。成層初期の7月3日には、表層で2 mg/L弱へ増加したが、深水層では変化なかった。10月21日には部分循環が始まり、表面から12 mまではほぼ同一水塊で、イオウの濃度も均一で2 mg/L弱であった。

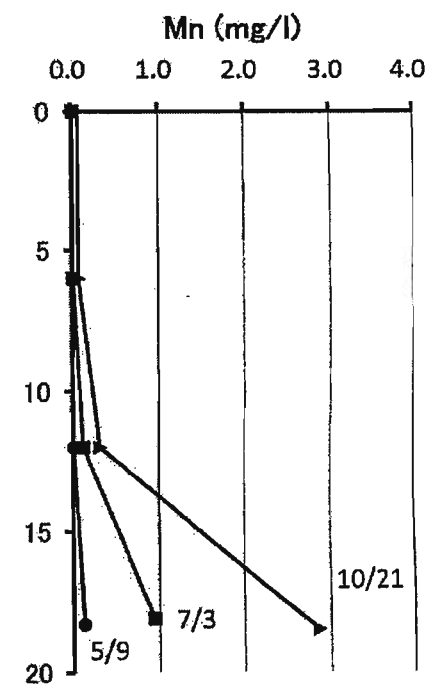


図2. マンガンの垂直分布

特徴的なのは最深部の嫌気層でイオウ濃度がほとんどゼロだったことである。イオウは、好气的環境では硫酸塩(SO₄²⁻)で存在するが、嫌气的環境では還元され流化物イオン(S²⁻)となる。硫化物イオンは、様々な金属イオンと溶解度の小さな金属硫

化物を生成する。小野川湖の嫌氣的深水層中の鉄(II)イオン濃度、マンガン(II)イオン濃度、硫化物イオン濃度に基づき、硫化鉄と硫化マンガンの溶解度積を計算したところ、硫化鉄は沈殿し、硫化マンガンは溶解度積ギリギリで沈殿と溶解の境界領域であった。これより、10月21日の底上40cmで硫黄濃度が極度に小さいのは、硫酸塩が還元され生成した硫化物イオンが鉄(II)と化合し、硫化鉄となり沈殿し、水柱中から除去されたためと考えられる。

3-2-4. アルカリ金属

ナトリウムの分布の特徴は、12m以深の濃度は、年間を通じ変化せず約2mg/Lであったが、表面から6mまでは時と共に増加していることである(図4)。図には示していないが、最深部のみ嫌氣的であった10月21日も最深部の濃度は変化

なかった。表層における濃度増加は、流入水の影響が考えられるが、今後の課題である。

カリウムは、ナトリウムと異なり、時と共に全層で増加したが、特に表面から6mまでの増加が顕著である(図5)。また、ナトリウムと異なり、12mに極小が見られる。

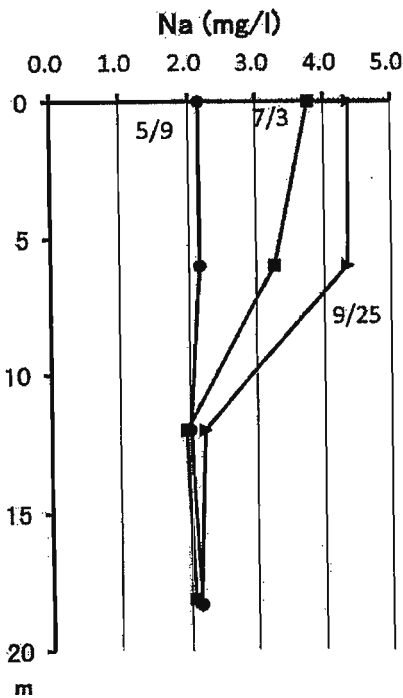


図4. ナトリウムの垂直分布

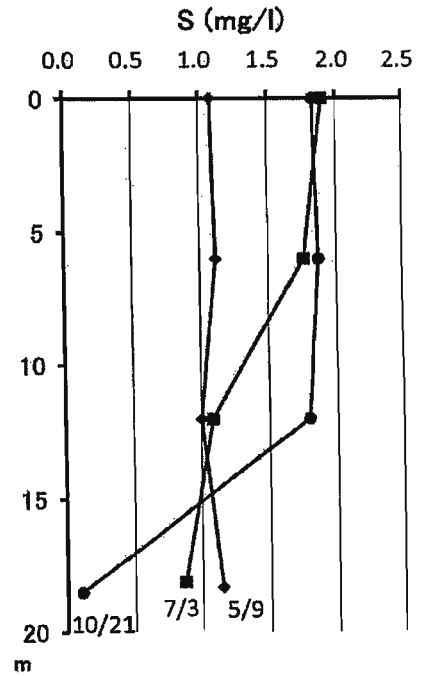


図3. イオウの垂直分布

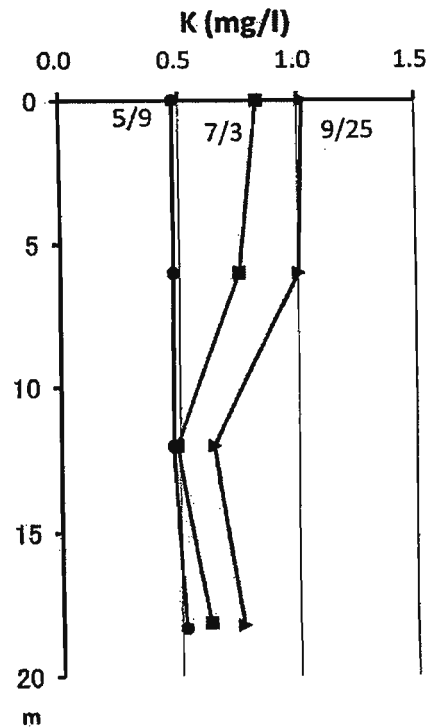


図5. カリウムの垂直分布

3-2-5. アルカリ土類金属

カルシウムは、時と共に、12mまで濃度が増加して、その増加量は春先の約20%増し程度で些細である(図6)。しかし、深水層では約2倍まで増加した。

マグネシウムの時空間分布は、カルシウムと酷似しているが、濃度は1/4程度であ

った。

アルカリ金属、アルカリ土類金属の時空間分布は、小野川湖では今回初めて明らかにされた。今回、分析に供した試水は0、6、12、底上40 cmの4層だけであるが、現象の解像度を上げるために、採水層を増やすことが望まれる。

概して、アルカリ金属は時と共に表層で増加し、アルカリ土類金属は深水層における増加が顕著であった。アルカリ金属の表層における増加は流入水の影響が考えられ、流入水の観測が将来の課題であろう。

鉄、マンガン、イオウの深水層における挙動は酸化還元で説明がつくが、アルカリ土類金属がなぜ嫌気的な深水層で増加するかは不明である。

3-3. 水中の光条件と懸濁物

調和型湖沼では、主として懸濁物(SS)が水中の光条件に影響すると考えられる。SSは無機物と有機物より成り、有機物は植物プランクトン由来物質とそれ以外の有機物に分けて考えることができる。

小野川湖において、光条件に対するSSの影響を解析するため、光条件の指標として補償深度を、無期懸濁物と有機懸濁物合計の指標としてSSを、有機物の指標として灼熱減量を、植物プランクトン由来物質の指標としてChl. aを測定した。SS、灼熱減量、Chl. aは補償深度とSS、補償深度と灼熱減量、補償深度とChl. aの関係を直線回帰分析した。SS、灼熱減量、Chl. aは、0、3、6、9、12、15 m層の湖水につき分析したが、回帰分析に用いた値は、5月から10月まで7回の観測における、各観測ごとの表面から補償深度を含む深さまでの平均値である。

SSと補償深度の直線回帰では、相関係数より有意水準0.01で負の相関があり、寄与率より補償深度の変動の77%がSSへの回帰で説明される(表2)。

灼熱減量を懸濁有機物の指標とすると、表2のSS vs ILより、懸濁物の変動の96%は有機懸濁物への回帰で説明され、さらにIL vs Chl. aより有機懸濁物の変動の81%が植物プランクトン由来の有機物への回帰で説明された。以上より、今回の観測期間中、小野川湖の補償深度の変動は懸濁物の変動で説明され、懸濁物は主として有機物

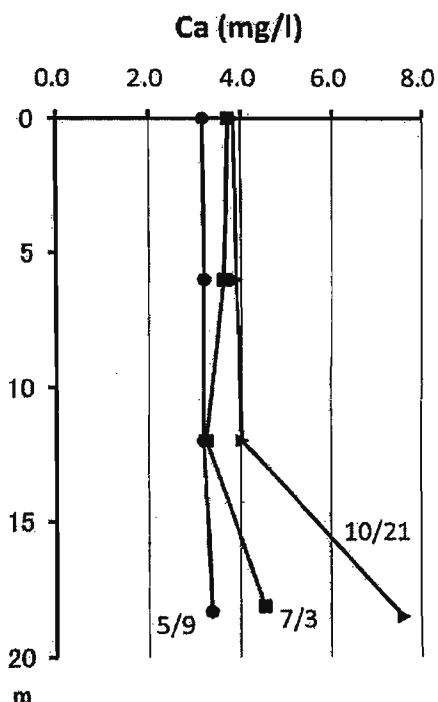


図6. カルシウムの垂直分布

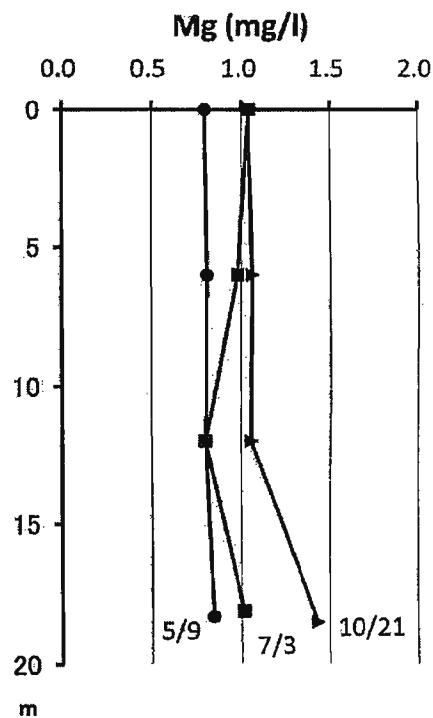


図7. マグネシウムの垂直分布

表 2. 懸濁物 (Suspended Solid : SS)、補償深度 (Compensation Depth : CD)、灼熱減量 (Ignition Loss : IL)、Chl. *a* 相互の直線回帰分析結果

	CD vs SS	SS vs IL	IL vs Chl. <i>a</i>	CD vs Chl. <i>a</i>
寄与率 (R ²)	0.7688	0.9572	0.8133	0.6954
相関係数 (R)	-0.8768	0.9783	0.9018	-0.8339
有意水準 (p)	0.01	0.001	0.01	0.05

であり、その有機物は主として植物プランクトン由来物質であることが分かった。

ちなみに、直接、補償深度と植物プランクトンを直線回帰すると (Chl. *a* vs CD)、有意水準 0.05 で負の相関が得られ、補償深度 の変動の 69%が Chl. *a* への回帰で説明された。

1998 年の集中豪雨で、小野川湖では、通常の 100 倍以上の SS が記録された (Satoh et al. 2001)。この例は極端であるが、時に、激しい降雨の後、小野川湖の湖水が濁っていることがある。このような場合、湖水をろ過すると、ろ紙が目詰まりをおこし易く、ろ紙上の懸濁物の色も土色であり、懸濁物の主成分が集水域よりもたらされた無機鉱物であることが推察される。今回、そのような観測値はみられず、全観測は平常時であったと考えられる。よって、小野川湖では、平常時、植物プランクトン由来有機物が補償深度に影響していると考えて良いだろう。

4. 参考文献

- Satoh, Y., N. Koide, S. Oasa, I. Suzuki & T. Suzuki (1993): Trophic state and hypolimnetic nitrogen metabolism of Lake Hibara. *Jpn. J. Limnol.* 54: 49-58.
- Satoh, Y., S. Nakamura & M. Ochiai (1995): Submerged grove in Lake Onogawa. *Jpn. J. Limnol.* 56: 45-48.
- Satoh, Y., S. Nakamura, K. Katoh & H. Sagisaka (1996): Distribution of some physicochemical parameters and trophic status of Lake Onogawa. *Jpn. J. Limnol.* 57: 145-152.
- Satoh, Y. & H. Sagisaka (1997): Trophic status of Lake Akimoto and physicochemical comparison with its two sister lakes of the same age. *Jpn. J. Limnol.* 58: 259-372
- Satoh, Y., M. Kumagai, K. Sugawara and Y. Miyamori (2000): Winter anoxic layer in Lake Hibara. *Limnology* 1: 69-72.
- Satoh, Y. M. Sasaki, Y. Miyamori, K. Sugawara, T. Nishi, M. Nishizuka, K. Inamura, Y. Yamagami (2001): Perturbations of a water column of Lake Onogawa by local heavy rainfall. *Limnology* 2:11-18.
- Satoh, Y., H. Ura, T. Kimura, M. Shiono and S-K. Seo (2002): Controlling factors on the hypolimnetic ammonia accumulation in a lake. *Limnology* 3:43-46.

Satoh, Y., K. Kikuchi, S. Kinoshita and H. Sasaki (2006): Potential capacity of coprecipitation of dissolved organic carbon (DOC) with iron(III) precipitates. *Limnology* 7:231-235.

Sugawara, K., S. Hino, R. Nakazato, M. Ochiai and Y. Satoh (1999): Physicochemical and biological characteristics of Lake Bishamon-numa in Urabandai, Fukushima Prefecture. *Jpn. J. Limnol.* 60: 367-377.

2. 研究実績

この章に掲載した論文は、いずれ学術雑誌に原著として発表される予定です。
特に引用を希望される方は、引用の可否について下記へお問い合わせ下さい。

問い合わせ先

名前：原 慶明

住所：990-8560 山形市小白川町1-4-12 山形大学理学部生物学科

電話：023-628-4610

Fax：023-628-4625

e-mail：hara@sci.kj.yamagata-u.ac.jp