

# 全窒素、全リン、Chl. *a*、透明度、溶存酸素を指標とする小野川湖の栄養状態

佐藤泰哲、木元遼、宮林宏圭、山崎洋介

## 1. はじめに

小野川湖は、1888年の磐梯山の噴火の際、3つあった峰の1つが吹き飛ばされ発生した泥流が河谷を堰き止めて形成された堰き止め湖である。この時、姉妹湖である桧原湖、曾原湖、秋元湖が同時に形成された。また押し寄せた泥流の盛り上がった部分は大小様々な「流山」と呼ばれる地形を形成した。桧原湖、小野川湖には多数の小島が存在するが、それらはこの「流山」である。陸上にも多くの流山が存在する。また、泥流の窪みは水を湛え、数多くの小さな湖沼を形成した。小野川湖の緒元は、標高794 m、表面積1.4 km<sup>2</sup>、容積0.014 km<sup>3</sup>、最大水深21 m、平均水深10 mである (Horie 1962)。

Satoh et al. (1996)は、全窒素、全リン、Chl. *a*、透明度を指標とする Forsberg and Ryding (1980)の基準と溶存酸素の分布より、小野川湖の栄養状態を中栄養と富栄養の境界と判断した。それから13年経過し、湖の栄養状態に変化があったかどうか検証したので、その結果を報告する。

## 2. 方法

試水は、バンドン採水器を用い、5月8日から11月12日までほぼ4週間毎に(10月の第2週、第3週、第4週と1週間毎)、表面から15 mまで3 m間隔で採水した。全窒素、全リン測定用試水は、ボート上で洗浄済み100 mlポリビンに分取した。Chl. *a* 測定用試水は、採水後ポリビンに保存した試水を断熱箱に入れ、湖近傍の実験所に持ち帰り、直ちにWhatman GF/F グラスファイバーフィルタ(平均孔径0.7 μm)でろ過し、分析までろ紙を凍結保存した。Chl. *a*は、冷蔵庫内で24時間メタノールで抽出後、酸添加蛍光光度法(Tuner Desings Aquafloour)で測定した。全窒素は、過硫酸カリウム分解後、生じた硝酸塩をUV法にて定量した(Otsuki 1981)、全リンは、過硫酸カリウム分解後、生じたリン酸塩をモリブデン酸アンモニウム法で定量した(Menzel and Corwin 1965)。

## 3. 結果

### 3-1. 水温

最初の調査時5月9日には表面水温が13.7℃、湖底で7.8℃と、既に成層が始まっていた(表1)。時と共に成層は発達し、8月6日には表面で23.8℃と観測中で最高を記録し、湖底直上で9.8℃と最も安定した成層状態を示した。9月2日には表水層が4 mと深くなり、部分循環が始まっていた。部分循環は時と共に進行し、10月

末には表水層は 10~11 m に達した。11 月 12 日には、表面水温が 11.6℃で湖底直上  
が 10.6℃とほとんど温度差がなく、完全循環直前の様子を呈していた。

### 3-2. 溶存酸素

5 月 9 日、すでに成層初期ではあったが、溶存酸素は、春季循環期の影響を色濃く  
残し、湖の最下部でも 8.3 mg/L あった (表 2)。成層の進行とともに、溶存酸素は 12  
m 以下で急激に減少し、8 月 6 日には最下部が嫌氣的となった。9 月初旬から 10 月  
中旬にかけ 15 m 以下で嫌気層が記録された。最下部では、10 月 28 日まで嫌気層が  
記録された。

### 3-3. 全窒素

5 月に全窒素は全層ほぼ 250  $\mu\text{mol/L}$  前後で均一に分布した (表 3)。成層期、表水  
層では 70~250  $\mu\text{mol/L}$  と低濃度から中濃度であった。同時期、深水層では 1000  
 $\mu\text{mol/L}$  を超える高濃度であった。

### 3-4. 全リン

全リンは、夏の嫌気層および秋の循環層で高濃度であった。前者は一般に、好氣的  
条件下では 3 価の鉄と結合して堆積物に沈殿していたリン酸塩が、嫌氣的になると鉄  
が 2 価に還元され水中に溶出する際リン酸塩も溶出すると説明されている。後者は、  
有機リンの分解や、前述の湖底から溶出したリン酸塩が、湖水の循環に伴い光合成層  
に供給されることによる、植物プランクトンの秋のブルームと理解されている。

### 3-5. Chl. *a*

初夏から夏にかけ、Chl. *a* は 3~5  $\mu\text{g/L}$  と比較的濃度は低かった。年間の最大値は、  
9 月 2 日の表面水で記録され、14.5  $\mu\text{g/L}$  であった。水温の項で述べたが、9 月 2 日  
には表水層が 4 m にまで深くなり、部分循環が始まったと考えられる。時と共に部分循  
環層は深くなり、10 月には 10 m 以深に達したが、この部分循環層の Chl. *a* 濃度は  
9  $\mu\text{g/L}$  前後で、初夏、夏の濃度の約倍となった。これは、全リンの項で述べた秋のブ  
ルームであると考えられる。

### 3-6. 栄養状態

Sakamoto (1962)によると、湖の栄養状態を判定するには循環期が良い。今回の最  
初の観測は 5 月 9 日であったが、既に成層が始まっており、春の循環期の観測値はな  
い。

水温分布より判断すると、9 月は部分循環が始まってはいるが、循環層は浅いので、  
今回、秋の循環期の観測値としては 10 月、11 月の結果を採用することにした。この  
時期の透明度の平均値は 2.7 m であった。透明度の 2 倍を光合成層と考え。10 月、  
11 月の表面から 6 m までの平均値を Forsberg and Ryding (1980)の基準に当てはめ  
た (表 6)。

透明度は中栄養の、全窒素と全リンは貧栄養の、Chl. *a* は富栄養の範囲に入った。また、底上 3 m 以上におよび、2 ヶ月に渡り嫌気層が形成されることは富栄養を示唆すると考えられる。

以上、それぞれの指標は貧栄養から富栄養まで全ての栄養状態を示唆した。この結果は Satoh et al. (1996) の結果と全て一致した。これより、この 13 年間に小野川湖の栄養状態に変化はなかったと考えられる。

Satoh et al. (1996) は、今回と全く同一の結果を基に小野川湖を「中栄養と富栄養の境界」と判断している。今回は、それぞれの指標が、別々の栄養状態を示唆することは「小野川湖は典型的な貧栄養湖でも典型的な富栄養湖でもない」ことを示すと考え「小野川湖は中栄養湖である」と判断した。

#### 4. 参考文献

- Forsberg C, Ryding S-O (1980) Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch Hydrobiol* 89:189-207
- Horie S (1962) Morphometric features and the classification of all the lakes in Japan. *Mem Coll Sci Univ Kyoto (B)* 29:191-262
- Menzel DW, Corwin N (1965) The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fraction by persulfate oxidation. *Limnol Oceanogr* 10:280-282
- Otsuki A (1981) Use of ultraviolet spectrophotometric determination of total nitrogen in environmental water samples using alkaline persulfate digestion (in Japanese). *Bunseki Kagaku* 30:688-689
- Sakamoto M (1962) Primary production and trophic degree of lakes (in Japanese). *Jpn J Limnol* 23:73-85
- Satoh Y, Nakamura S, Katoh K, Sagisaka H (1996) Distribution of some physicochemical parameters and trophic status of Lake Onogawa. *Jpn J Limnol* 57:145-152

表 1 小野川湖の水溫(°C)

水深(m)	5月9日	6月10日	7月8日	8月6日	9月2日	9月28日	10月14日	10月21日	10月28日	11月12日
0	13.7	18.2	22.0	23.8	21.0	18.3	15.1	14.3	13.1	11.6
1	13.6	18.0	22.0	23.7	21.0	18.4	15.1	14.3	13.1	11.6
2	13.7	18.0	21.7	23.5	21.0	18.4	15.1	14.3	13.1	11.7
3	13.6	17.5	20.9	22.9	21.0	18.4	15.1	14.3	13.1	11.7
4	13.1	16.5	20.5	22.4	20.9	18.2	15.1	14.3	13.1	11.7
5	12.9	16.1	19.4	21.3	20.1	18.1	15.1	14.3	13.1	11.7
6	11.6	15.7	18.0	20.1	20.0	17.9	15.1	14.3	13.1	11.7
7	10.7	14.8	15.7	19.0	19.3	17.6	15.1	14.3	13.1	11.7
8	9.6	12.9	13.9	17.8	18.2	17.0	15.1	14.3	13.1	11.7
9	9.3	12.2	12.9	15.7	15.5	16.3	14.8	14.3	13.1	11.7
10	8.9	11.8	12.4	14.1	13.7	15.5	14.6	14.3	13.0	11.6
11	8.6	11.3	11.9	12.5	12.1	13.9	14.2	14.3	12.8	11.4
12	8.4	10.9	11.1	11.3	11.0	11.7	13.7	14.1	12.5	11.2
13	8.3	10.5	10.5	10.8	10.6	11.0	12.6	13.5	12.4	11.1
14	8.1	10.4	10.2	10.5	10.4	10.5	10.7	11.4	12.2	11.0
15	8.1	10.2	10.1	10.2	10.2	10.3	10.3	10.6	12.0	10.9
16	8.0	10.0	10.0	10.1	10.0	10.1	10.2	10.4	11.4	10.9
17	8.0	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0	10.1	10.2	10.2	10.8
18	8.0	9.8	9.8	9.9	9.8	10.0	10.0	10.1	10.1	10.8
底	7.8	9.8	9.6	9.8	9.8	9.9	10.0	10.0	10.0	10.6

表 2 小野川湖の溶存酸素 (mg/L)

水深(m)	5月9日	6月10日	7月8日	8月6日	9月2日	9月28日	10月14日	10月21日	10月28日	11月12日
0	9.8	9.0	7.9	8.2	8.1	8.5	8.0	8.0	8.3	9.2
3	10.2	9.3	8.4	8.9	8.6	8.7	8.1	8.1	8.4	9.4
6	10.2	9.2	8.3	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	8.2	9.3
9	10.4	8.8	6.8	4.9	7.3	6.5	7.9	7.9	8.3	9.3
12	10.2	7.8	4.8	2.0	0.3	0.2	6.9	8.0	7.0	9.0
15	9.2	5.1	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	7.5	8.4
18	8.3	1.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1

表 3 小野川湖の全窒素 ( $\mu\text{g/L}$ )

水深(m)	5月9日	6月10日	7月8日	8月6日	9月2日	9月28日	10月14日	10月21日	10月28日	11月12日
0	260	128	69	218	230	118	217	236	218	169
3	242	242	155	142	167	120	246	262	203	179
6	275	266	232	205	134	136	256	226	252	203
9	210	203	262	342	157	177	244	234	185	197
12	277	273	382	458	573	612	330	260	348	214
15	281	338	613	757	1023	1149	1161	1186	392	290

表 4 小野川湖の全リン ( $\mu\text{g/L}$ )

水深(m)	5月9日	6月10日	7月8日	8月6日	9月2日	9月28日	10月14日	10月21日	10月28日	11月12日
0	3.8	1.8	1.2	2.1	8.3	4.3	6.6	7.4	6.9	6.9
3	2.8	2.3	1.3	5.5	6.1	2.3	6.8	7.1	6.4	8.4
6	1.7	1.0	2.8	1.7	2.3	3.0	4.6	8.6	7.6	7.3
9	1.3	0.8	2.6	1.5	2.6	3.8	6.9	8.9	7.1	6.4
12	4.1	0.8	4.0	1.3	4.0	7.4	5.5	8.9	9.4	6.6
15	3.1	2.8	5.6	5.5	9.4	6.4	8.4	13.4	9.7	7.4

表 5 小野川湖の Chl. *a* ( $\mu\text{g/L}$ )

水深(m)	5月9日	6月10日	7月8日	8月6日	9月2日	9月28日	10月14日	10月21日	10月28日	11月12日
0	3.5	4.7	4.3	3.1	14.5	7.4	9.1	9.0	9.5	8.8
3	3.7	4.0	4.8	2.6	7.7	6.6	9.2	9.0	9.6	8.3
6	3.0	4.5	3.8	1.8	6.3	5.6	8.7	8.2	8.6	8.4
9	6.0	1.9	3.0	4.5	6.2	2.8	8.9	9.4	6.1	10.4
12	5.8	2.4	1.6	2.6	1.8	1.5	4.6	6.2	4.7	8.1
15	4.7	0.3	0.7	1.0	1.5	1.0	1.2	1.3	3.7	5.3

表 6 秋の循環期の光合成層における全窒素、全リン、Chl. a 濃度および透明度の平均値と栄養状態の判定

	濃度 (Forsberg and Ryding の基準値)
透明度 (m)	2.7 (2.5~4.0 で中栄養)
全窒素 ( $\mu\text{g/L}$ )	222 (<400 で貧栄養)
全リン ( $\mu\text{g/L}$ )	7.1 (<15 で貧栄養)
Chl. a ( $\mu\text{g/L}$ )	8.8 (7~14 で不栄養)

## 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