霧島国立公園の無機酸性湖 不動池の陸水学的研究, とくに珪藻群集

渡辺 仁 治・大柳 実 喜 子

A Limnological Study of an Inorganic Acid Crater Lake, Fudo-ike, Kirishima National Park, with Special Reference to Diatom Communities

Toshiharu WATANABE and Mikiko ŌYANAGI

Abstract

A limnological study of an inorganic acid crater lake, "Fudō-ike" in Kirishima National Park was carried out at four sampling stations in the latter part of October and November, 1975 (Fig. 1). In this lake the pH value of the water has become higher during the past forty years and a few zooplankton species seem to have occurred. Epilithic, epipelic and epiphytic diatom communities were studied from the taxonomical and ecological viewpoint.

Thirty four taxa including 10 genera were enumerated in the present study (Table 3). Morishita's indices of similarity between their diatom communities were calculated by using the relative frequencies of all diatom taxa observed at each station (Table 4). The results were shown in Table 5 as matrix. As a result of cluster analysis based on the matrix of similarities obtained all diatom communities can be divided into three groups (Table 6).

1. は じ め に

不動池は南九州霧島国立公園えびの高原の海拔1,228mの高所に存在する無機酸性湖である。本湖は直径210m, 面積 29,800m², 最大深度 9.3m の火口湖(菊池ら1973)で, 周囲は急峻な火口壁斜面で囲まれ, 湖盆形態はほぼ円形である。

本湖の生物に関しては, 宮地(1932)が底生動物を調査し, 上野(1938)は底生動物とプランクトンを調査して, プランクトンは存在しなかったと記している。この研究以後調査はしばらく行なわれなかったが, 近年になり水野(1963)が1961年6月にプランクトンを調査し, 湖心部ではプランクトンは無く, 湖岸から採集した試料中に, 僅少個体の *Alona guttata* と *Cosmarium constructum*, *Melidion* sp. を見出している。さらに菊池ら(1973)は, 1966年7月にプランクトン・底生動物・水中植物を調査し, 動物プラン

クトンは皆無としている。

著者らは1974年7月16日, 1975年10月4日, 11月20日に, 本湖の水質, 底質およびプランクトン・付着生物の調査を行ない, えびの試料について無機酸性の特異な環境下における珪藻群集の解析を行なったので, その結果を報告する。なお調査に当って御協力いただいた淡水生物研究所の森下郁子氏, 岩切末枝保氏, および, 水質・泥質の化学分析をひき受けて下さった大阪大学の肥後美代子氏に深謝の意を表するものである。

2. 調査地点と調査法

湖岸部には火山岩の礫が多いが, Fig. 1 に示すように, 湖心部の湖底は水深7~9mで比較的平坦である。そこにはかなり広い範囲に底生性蘚類のハリミズゴケ *Sphagnum cuspidatum* (菊池ら1973, 渡辺ら1978)が叢状に分布している。水深7.5mの地

点Aはハリミズゴケの群落が存在しない地点であり、水深8.5mの地点Bには群落が存在する。両地点でエクマン・バース式採泥器によって湖底泥を採取し、地点Aの表泥をサンプル1、泥表から10cm下の泥をサンプル2とし、地点Bの表泥をサンプル3とした。また地点Bでは、ハリミズゴケの体表に付着する珪藻をも採集した（サンプル4）。地点Cでは、湖岸の水中に沈む石礫上の付着生物を、1975年10月（サンプル6）と11月（サンプル5）とに採集し、地点Dでは湖岸水中の砂泥上の珪藻群集（サンプル7）を採集した。またプランクトンは、1975年10月に湖心部の地点Bにおいて採集した。この時に採取した地点Bの湖水と地点Aの湖底泥は、下記の方法によって化学分析を行なった。

pHは比色法、CODは過マンガン酸カリウム酸性法、 SiO_2 はモリブデン黄法、 SO_4 はクロム酸バリウム法、キールダール窒素はネスラー法、硝酸態窒素はブルシン・スルファニル法、全磷と磷酸態磷はモリブデン酸アンモニウム法によって定量し、強熱減量は電気炉を用い700~800°Cで2時間放置した後計量した。

3. 結 果

1975年10月における、地点Aの湖底泥と、地点Bの湖水の化学分析値を、それぞれTable 1, 2に示した。Table 1における底泥中の窒素・磷の含有量を、西條ら（1953, 1956）の酸性湖の値と比較すると、両者ともに宮城県の高酸性湖瀧沼（pH1.4~1.9）の値と似ている。瀧沼には *Sphagnum* の生育は見られず、珪藻の *Pinnularia Braunii* var. *amphicephala* が豊富に出現している（根来, 1944; 渡辺ら 1974）。

不動池・瀧沼ともに硫酸酸性の湖で、植生はたがいに異なっているが、湖底泥の窒素・磷の含有量やP/N比が近似していることは興味深い現象であろう。

Table 2において、湖水中の窒素・磷の含有量は共にきわめて小さい。pHについては、過去のデータを通覧すると、

1936年2月 2.9（上野 1938）

1961年6月 3.7~3.8（水野 1963）

1966年7月 3.8~4.1（菊池ら 1973）

1974年7月 4.2（筆者ら）

1975年10月, 11月 4.0（筆者ら）

となり、最近の40年間におけるpHの値には、上昇の傾向が認められる。いま、Table 2における SO_4 の値を見ると、水野（1963）の測定値の約1/2である。これが最近におけるpH上昇の傾向と関連しているよう。

Fig. 1. Bathymetric map of Lake Fudo-ike and the stations sampled water, plankton, bottom mud and benthic algae (A-D).

Table 1. Nitrogen and phosphorous contents of surface sediments taken at station A and B, November 20, 1975.

Samples	Water content % wet weight	Loss on ignition % dry weight	Kjeldahl N mg/g dry weight	Total-P mg/g dry weight
Bottom sediment at station A without <i>Sphagnum</i> community	66.0	10.6	2.24	0.63
Bottom sediment at station B with <i>Sphagnum</i> community	69.9	11.5	2.35	0.57

Table 2. Chemical characteristics of the surface lake water sampled at station B, November 20, 1975.

pH	COD (ppm)	SO ₄ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Kjeldahl-N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	Total-P (ppm)	PO ₄ -P (ppm)
4.0	N. D	2.0	2.24	0.074	0.021	N. D	N. D

Table 3. Diatom in Lake Fudō-ike.

- Melosira distans* (Ehr.) Kg. var. *Pfaffiana* (Reinsch) Grun.
Eunotia robusta Ralfs
E. pseudoparallela A. Berg var. *densestriata* A. Cleve
E. repens A. Bg. var. *arcuata* (Naeg., Steinecke) A. Cleve
E. tenella (Grun.) Hust. (?)
E. exigua (Breb.) Grun.
E. fallax A. Cleve var. *dispersa* A. Cleve
E. septentrionalis Oestrup
E. pectinalis (Kg.) Rabh.
E. faba (Ehr.) Grun.
E. faba (Ehr.) var.
E. paludosa Grun. var. *genuina* A. Cleve (?)
Achnanthes linearis W. Smith var. *pusilla* Grun.
Achnanthes sp.
Frustulia rhomboides (Ehr.) de Toni var. *saxonica* (Rabh.) de Toni
Anomoeoneis serians (Bréb. ex Kütz.) Cleve var. *acuta* Hust.
Navicula minima Grun.
N. contenta Grun.
N. saxophila W. Bock
Navicula sp. 1
Navicula sp. 2
Caloneis bacillum (Grun.) Mereschowsky
Pinnularia Braunii (Grun.) Cleve
P. Braunii (Grun.) Cleve var. *amphicephala* (A. Mayer) Hust.
P. appendiculata (Agardh) Cleve var. *genuina* A. Cleve
P. obscura Krasske
P. stauroptera (Rabenh.) Cleve var. *minuta* Mayer
Pinnularia sp.
Nitzschia angustata (W. Smith) Grun. var. *curta* Grun. (?)
N. fonticola Grun.
Surirella delicatissima Lewis f. *longirostris* A. Cleve
S. multiplicata A. Cleve
S. tenuissima Hust.
S. lapponica A. Cleve var. *genuina* A. Cleve

地点 B における 1975 年 11 月 20 日の、環境要因の
 観測結果は、水温 11.2°C, pH4.0, 酸素飽和度 95
 %で、それらの値は水面から湖底まで変らなかった。
 泥温は 11.8°C, 水色は FOREL 比色計 No.3, 透明
 度は湖底までよく見えるので 8m 以上である。

1975 年 10 月に、湖心部の地点 B において採集した
 プランクトンは、その現存量が小さいことにおいては
 水野 (1963) と同様であるが、緑藻の *Mougeotia*
calcareo が比較的多く、*Oedogonium* sp. も認めら
 れた。後者は強酸性湖の恐山湖 (pH3.2) に出現した

ものと同種で、*Oedogonium Itzigsohnii* と考えられるが、本種名についてはなお検討中である。本種は付着盤を有する個体が散見できることから、付着藻が剥がれて浮遊したものと考えられる。

動物性プランクトンも少数種ではあるが認められた。輪虫類の *Keratella valga assymetrica* Barrois et Daday には亀甲模様の乱れる個体が混り、被甲の腹側への湾曲度が大きい個体が多い。また橈脚類の Copepodid が少数ではあるが出現していた。

地点 C の水中石礫上の付着生物のうち、珪藻以外のものを羅列すると、藍藻では *Chroococcus minutus* (Kg.) Naeg., *Aphanothece saxicola* Naeg., 緑藻では *Mougeotia carcalea* (Vleve) Wittrock, *Oedogonium* sp., 接合藻では *Staurostrum punctulatum* Bréb. f. *minor* W. & G. S. West が出現し、それらの中で *Oedogonium* sp. の個体数が他を圧して多く、flora は多様性に乏しい。

4. 珪藻群集の種類構成に基づく考察

不動池の生物相は、種類数が比較的少なく、現存量も底生藻類を除いて決して多くはない。この事実から考えてみると、不動池では、無機酸性的の水が生物の多様化を抑制していると判断してもよいであろう。これらの単純な生物群集の中で、珪藻群集のみは、他の藻類と比べて種類数に富んでいる。しかしそのほとんどが礫あるいは底生藻類の表面に付着し、一部は底泥の表面に着生している。今回の調査において、本湖で採取した試料中の珪藻は、すべて Table 3 に示した。

一般の調和型湖沼における付着性珪藻群集と比べると、その種類構成は次の点において特殊である。

- A. 種類数が少なく、群集の多様性に乏しい。
- B. *Eunotia* の種類数が比較的多い。
- C. *Navicula*, *Gomphonema*, *Cymbella* がほとんど出現しない。

珪藻は本来多様な生活様式をもつが、不動池の場合、小形の火口湖で地形的構造が Fig. 1 に示すように単純であることも相まって、本湖における珪藻の生息地としては、下記の3種と考えられるに止まろう。

- a. epipellic diatom の habitat としての湖底泥表面
- b. epiphytic diatom の habitat としての藻類群落の葉茎表面
- c. epilithic diatom の habitat としての湖岸石礫の表面

Fig. 1 の調査地点 A~D からえたサンプル (1~

7) は、したがって次のように考えることができる。

(1) 地点 A における最近の epipellic な珪藻が主要構成者となった群集

(2) 地点 A における過去の epipellic な珪藻が主要構成者となった群集

(3) 地点 B における epiphytic と epipellic な珪藻群集の混合サンプル

(4) 地点 B における *Sphagnum* に対する epiphytic な珪藻群集

(5) 地点 C における11月の epilithic な珪藻群集

(6) 地点 C における10月の epilithic な珪藻群集

(7) 地点 D における湖岸の epipellic な珪藻群集

上記の1~7のサンプルにおける珪藻群集のフローラと、それぞれの taxon の相対頻度を Table 4 に示す。

Table 4 に基づき、総てのサンプルについて、珪藻群集相互間の類似度を、森下 (1959) の式によって求め、類似マトリックスとして Table 5 に示した。Table 5 から MOUNTFORD の平均連結法によって群分析を行なうと Fig. 2 のようになる。Fig. 2 と、Table 4 における、群集中の相対頻度の高い種の組合せを検討した結果、上記1~7の群集は、(4, 5, 6, 7)・(2, 3)・(1) の3群に類別することができる (Table 6)。その場合、類似度 0.7 が、群別のおおよその基準点と考えることができる。

Fig. 2 から *Sphagnum* に着生する epiphytic な群集 (4) が、湖岸の epilithic な群集 (5, 6) と最もよく類似し、湖岸の epipellic な群集 (7) ととも類似度が高いことは、珪藻の habitat を考える資料として興味深い。また *Sphagnum* 群落中の表泥における珪藻群集 (3) は、*Sphagnum* 群集の存在しない水域における過去の泥中の遺骸群集 (2) と類似し、群落の存在しない表泥中の珪藻群集 (1) とは異質である。このことから、現在 *Sphagnum* 群落が存在していない開水面には、過去において *Sphagnum* 群落が存在していたと推定できよう。

次に Table 6 に示すように、上記3群の群集を構成する相対頻度の高い代表種の中には、3群に共通して出現する taxon と、1群にのみ出現する taxon とがある。前者の *Eunotia repens* var. *arcuata* は、したがって不動池の珪藻フローラを代表する taxon と考えられ、後者は、それぞれの群の珪藻フローラを特徴づける taxon といえよう。すなわち、第1群は、*Eunotia pectinalis* と *Anomoeoneis seriens* var. *acuta*, 第2群は *Navicula* sp. 2 と *Pinnularia* sp.,

Table 4. Diatom flora and relative frequency of each taxon in each sample.

Station	Sample	A		B		C		D
		1	2	3	4	5	6	7
Species								
<i>Melosira distans</i> (Ehr.) Kütz. var.								
<i>Pfaffiana</i> (Reisch) Grun.		0.5	7.0	9.7		2.2	1.2	
<i>Eunotia robusta</i> Ralfs			+	1.9	+	+		
<i>E. tenella</i> (Grun.) Hust. (?)				1.0				
<i>E. exigua</i> (Bréb.) Grun.		1.2	7.8	2.9		0.7	2.5	0.5
<i>E. pectinalis</i> (Kütz.) Rabh.			3.2	2.4	19.8	35.7	2.0	0.5
<i>E. repens</i> A. Bg. var. <i>arcuata</i> (Naeg., Stein.) A. Cl.		15.0	12.4	28.4	60.4	48.7	62.0	39.7
<i>E. paludosa</i> Grun. var. <i>genuina</i> A. Cl. (?)			1.0			+	0.5	0.7
<i>Achnanthes</i> sp.		1.4	0.7					
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehr.) de Toni var.								
<i>saxonica</i> (Rabh.) de Toni		15.7	11.2	16.5	0.6	1.8	2.2	3.4
<i>Anomoeoneis serians</i> (Bréb. ex Kütz.) Cl.								
var. <i>acuta</i> Hust.			2.9	1.0	11.1	3.3	16.3	30.9
<i>Navicula minima</i> Grun.		2.6	0.7	+	2.6	+		+
<i>Navicula</i> sp. 1		4.5	24.6	5.3		0.7		
<i>Navicula</i> sp. 2			1.0					
<i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Mereschowsky		3.6	+	1.5	0.9	1.3	2.2	2.5
<i>Pinnularia Braunii</i> (Grun.) Cl. var.								
<i>amphicephala</i> (A. Mayer) Hust.			3.2	2.7	+			
<i>P. appendiculata</i> (Ag.) Cl. var. <i>genuina</i>								
A. Cl.			1.2	1.7			1.0	
<i>Pinnularia</i> sp.			20.2	16.5	1.3	1.6	1.2	1.0
<i>Surirella delicatissima</i> Lewis f. <i>longirostris</i>								
A. Cl.		41.1	0.7	6.3	2.3	2.2	8.1	20.6
<i>S. tenuissima</i> Hust.		14.0		0.7	+	+	+	

Table 5. Similarity matrix of Morishita's indices (C_i) between samples of diatom.

Sample	1	2	3	4	5	6
2	0.28					
3	0.51	0.76				
4	0.32	0.32	0.64			
5	0.32	0.32	0.61	0.94		
6	0.40	0.32	0.67	0.96	0.81	
7	0.56	0.30	0.61	0.79	0.64	0.71

第3群は *Surirella tenuissima* によってそれぞれ特徴づけられている。

5. 摘 要

(1) 南九州霧島えびの高原の無機酸性湖不動池の陸水生物、とくに珪藻群集を、主として1975年10月11月のサンプルに基づいて、生態学的に考察した。

(2) 湖底泥の窒素・磷の含有量 (Table 1) は、宮城県の強酸性湖瀧沼の値と似ている。また、湖水を化学分析した結果 (Table 2)、窒素・磷の含有量はきわめて少ないことが判明した。なお SO_4 の値は1961年の分析値の約1/2であったが、これが pH が最近4.0にまで上昇してきたことの要因となっているように考えられる。

(3) プランクトンは、従来皆無とされていたが、動物性プランクトンが湖心部において認められた。湖岸の石礫上への付着藻類群集は、藍藻、緑藻、珪藻からなるが、群集の多様性は比較的小さい。

Table 6. Diatom community structure of Lake Fudō-ike.

Characteristic species	<i>Eunotia pectinalis</i> <i>Eunotia repens</i> var. <i>arcuata</i> <i>Anomoeoneis serians</i> var. <i>acuta</i> <i>Surirella delicatissima</i> f. <i>longirostris</i>	<i>Eunotia repens</i> var. <i>arcuata</i> <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> <i>Navicula</i> sp. <i>Pinnularia</i> sp.	<i>Eunotia repens</i> var. <i>arcuata</i> <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> <i>Surirella delicatissima</i> f. <i>longirostris</i> <i>Surirella tenuissima</i>
Benthic communities (Sample's number)	epiphytic (4) epilithic (5, 6) epipellic (7)	epipellic (2, 3) offshore of the lake	epipellic (1) offshore of the lake

(4) 不動池の珪藻群集としては、湖底泥上の epipellic 群集, *Sphagnum* に着生する epiphytic 群集, 湖岸の石礫上に着生する epilithic 群集が認められる。それらの群集を含む 7 サンプルについて検討した結果, 次のことがらが判明した。

- 出現した taxa は 10 属 32 種であった (Table 3) が, *Eunotia*, *Pinnularia* 属の種数が比較的多いことと, *Navicula*, *Gomphonema*, *Cymbella* が, 特定の種を除いてほとんど出現しないことは, 酸性水域の特性をよく反映している。
- 群集相互間の類似度を求めて (Table 5) 群分析をした結果 (Fig. 2), 本湖の種々の habitat に出現した珪藻群集は, 3 つの群に類別できた (Table 6)。

文 献

- 菊池泰三・滝明夫 (1973) : 霧島山群えびの高原火山湖群の生態学的研究。えびの高原野外生物実験室研究業績, 1 号, 25-35, 九州大学。
- Miyadi, D. (1932) : Studies on the bottom fauna of Japanese lake VI. *Lakes of southern Kyushu*. *Jap. J. Zool.*, 4 : 127-149.
- 水野寿彦 (1963) : 霧島火口湖群および薩南湖沼の陸水生生物学的研究。陸水雑, 24 : 22-33.
- Morishita, M. (1959) : Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E3*, 1 : 65-80.

Fig. 2. The cluster analysis of diatom communities in Lake Fudō-ike.

- NEGORO, K. (1944) : Untersuchungen über die Vegetation der Mineralogen-Azidotrophen Gewässer Japans. *Sci. Rep. Tokyo Bunrika Daigaku, Sect. B*, 6 : 231-375.
- 西條八東・半谷高久 (1953) : 湖底堆積物の研究 (第 1 報) 本邦湖底堆積物中の有機成分。地理学評論, 26 : 13, 595-606.
- 西條八東・杉村行勇・半谷高久 (1956) : 湖底堆積物の研究 (第 4 報) 本邦湖底堆積物中の鉄, マンガ

ンおよび燐について. 地理学評論, 29: 8, 500-506.

UÉNO, M. (1938) : The crater lakes of Mt. Kirisima, a limnological study with special reference to biocoenosis. *Jap. J. Limnol.*, 8: 348-360.

渡辺仁治・益子帰来也・上條裕規 (1974) : 強酸性湖瀉沼の陸水生物学的研究. 陸水富栄養化の基礎的研究, 3 報, 18-22.

渡辺仁治・鈴木兵二・高木典雄(1978) : 不動池池底産

ハリミズゴケの一型. 吉岡邦二博士追悼植物生態論集, 218-223.

(著者: 渡辺仁治・大柳実喜子, 奈良女子大学理学部, 奈良市北魚屋西町; Toshiharu WATANABE and Mikiko ŌYANAGI, Biological Institute, Faculty of Science, Nara Women's University, Nara, 630)