湖沼最深部底泥の有機物含量と湖盆形態との関係

伊 藤 富 子

Relationship between Morphometric Features and Organic Matter Contents of Bottom Sediments at the Deepest Points of Lakes

Tomiko ITO

Abstract

Based on the analysis of the surface layer (0-3 cm) of bottom sediments at the deepest points of 10 lakes in Hokkaidô and on the data by other investigators on the organic matter of 10 other Japanese lakes, the relationship between morphometric features and organic matter contents of bottom sediments of lakes was investigated. Concentrations of total nitrogen, organic carbon and ignition loss of the bottom sediments were reversely correlated with the common logarithms of maximum depths in deep (over 30 m in maximum depth) natural lakes. The concentration of organic matter was also related with the ratio of the length of shore line to area except for artificially polluted lakes, man-made lakes, and very large or small lakes. Hence, organic matter of bottom sediments was suggested to be primarily influenced by the morphometric features of lakes. Organic matter of bottom sediments at the deepest points of 20 Japanese lakes consisted of total nitrogen 0.07-0.81%, organic carbon 0.21-7.05% and ignition loss 6-24%.

1. は じ め に

湖沼において、湖底への物質の堆積と底泥からの栄養塩類の溶出は、その物質代謝の主要な側面のひとつであり、堆積量や溶出量、およびそれらを決定する機構と因子について、近年多くの研究がなされている。しかし、各地の湖沼の底泥の有機物含量を比較した研究は、わが国では吉村（1937）と細見（1980）によるものがあるだけであり、湖沼によってかなり相違のみられる有機物含量が何によって決定されているかについては議論がほとんどなされておらず、「富栄養化が進むにつれて底泥の有機物含量は増加する」（沖野，1976）という一般的理解にとどまっている。

先に著者ら（伊藤・宇野，1980）は、北海道阿寒湖の底泥の有機物が、わが国有数の富栄養湖である諏訪湖や湯の湖よりも高濃度であることを指摘した。そしてその原因は、寒冷地にあるために有機物の分解が遅いことと合わせて、有機物の流入量が多く、かつ流出しにくい湖盆形態をもつことにあろうと推測した。その後、北海道の7天然湖沼、3人工湖において最深部底泥の分析をおこない、本州各地の湖沼のデータと合わせて、底泥の有機物含量と湖盆形態との関係を、マクロな視点から考察したので報告する。

2. 方 法

底泥は、最深部またはそれに近い深度の地点で、エクマン・バージ採泥器を用いて採集し、上部約0-3cmを試料とした。試料は原則として氷冷して持ち帰り、50-55°Cで乾燥した。乾燥試料はガラス乳鉢で静かに粉砕し、0.5 mm目のフルイで石や小枝を除去した後、全窒素、有機炭素および強熱減量（以下、T-N、O-CおよびI-Lとおのおの略称）を測定した。分析は下記の方法により、ディブリケートで求め、乾泥当りの百分率で表示した。

T-N：ミクロケルダール法（西条，1957）

O-C：チャーリン法（西条，1957）のシマコフ変法（指示薬をフェニルアンスラニル酸に変更）

I-L：700-900°Cで2時間強熱（荒川，1980）

3. 結 果

7天然湖沼および3人工湖における底泥採集地点をFig. 1に、分析結果をTable 1に示した。層別に分析した支笏湖および摩周湖では各成分とも0-1cm層または0-3 cm層の泥の方がその下層よりも高濃度であった。また、阿寒湖等の5湖沼においては、おのおの2回の調査をおこなったが、年あるいは月による差異は明瞭には認められなかった。0-3 cm層の泥の各成分の濃度は、T-N 0.07-0.81%，O-C 0.21-

Fig. 1. Location of the sampling sites (circles) and the deepest points (triangles) in the 10 lakes. *, man-made lake.

7.05%, I-L 6-24% であり、湖沼によって大きな相違がみられた。

4. 考 察

北海道および本州の湖沼の、最深部またはそれに近い地点の底泥についての既報の文献をまとめて、Table 2 に示した。なお、吉村 (1937) の資料のうち、湖表面積が 0.1 km^2 以下の池沼は除外した。また、

1～数 cm 毎の層別に分析してある場合には、他との比較のため、3 cm までの値を平均して表示し、Table 1 において 2 回のデータのある湖沼については平均値を示した。

Table 2 にあげた湖沼のうち、諏訪湖、霞ヶ浦、湯の湖、茨戸沼および琵琶湖 (南湖) では、富栄養化が著しく進行している。しかし、これらの湖の底泥は他の湖沼にくらべて特に高い有機物含量を示していな

Table 1. Concentration of total nitrogen (T-N), organic carbon (O-C) and ignition loss (I-L) of the bottom sediments at the deepest points of the lakes in Hokkaidô.

Lake	Sampling date	Sampling depth (m)	Layer of mud (cm)	T-N % ³⁾	O-C %	I-L %
Akan	27. V. '81	36	0-3	0.74±0.04	5.60±0.12	20.7±0.3
"	16. X. '81	36	0-3	0.81±0.02	6.24±0.18	20.9±0.4
Akan-panke	16. X. '81	45	0-3	0.59±0.05	5.55±0.07	18.9±0.2
Barato ¹⁾	6. VII. '81	8	0-3	0.32±0.01	3.32±0.05	15.0±0.3
Iwaonai ¹⁾	22. X. '80	26	0-3	0.23±0.04	2.40±0.05	12.6±0.2
"	6. XI. '81	44	0-3	0.23±0.01	2.08±0.05	11.5±0.1
Kuttara	7. V. '81	145	0-3	0.34±0.03	2.86±0.20	12.1±0.2
Mashû	13. X. '81	184	0-3	0.29±0.005	2.32±0.02	13.1±0.2
"	"	"	5-8	0.18±0.005	1.37±0.005	7.1±0.2
Shikotsu	21. V. '81	355	0-3	0.17±0.01	1.62±0.04	10.4±0.1
"	21. VIII. '81	360	0-1	0.20±0.005	1.90±0.03	15.2±0.2
"	"	"	1-3	0.16±0.01	1.51±0.03	10.4±0.2
"	"	"	0-3	0.18±0.005	1.70±0.03	11.3±0.2
Shumarinai ¹⁾	20. X. '80	26.7	0-3	0.20±0.02	2.18±0.03	14.8±0.2
"	5. XI. '81	30.5	0-3	0.25±0.01	2.05±0.04	13.1±0.2
Tôro	5. X. '80	6.5	0-3	0.61±0.03	7.05±0.10	23.9±0.2
Tôya ²⁾	24. VI. '81	169	0-2	0.10±0.04	0.38±0.08	6.6±0.3
"	16. XI. '81	168	0-3	0.07±0.01	0.21±0.03	6.1±0.2

¹⁾, man-made lake; ²⁾, bottom of the lake was covered with volcanic ashes in 1977;

³⁾, percentage composition in dry mud.

い。すなわち、湖水の富栄養化の程度と最深部底泥の有機物含量は必ずしも比例しないことが明らかである。このことはまた、阿寒パンケ湖と琵琶湖の例からも明白である。すなわち、阿寒パンケ湖は、湖水の化学分析によっても生息魚類相からも貧栄養湖とみなされるが、最深部の底泥は高濃度の有機物を含有している。また琵琶湖では、貧栄養的環境にある北湖の最深部底泥が、富栄養化の著しい南湖のそれよりも高濃度の有機物を含有している。

一般に、ひとつの湖沼の中では、局地的な汚染を除けば、水深が深くなるほど堆積物の粒度が小さくなり、有機物含量は高くなる（手塚ら，1970；渡辺ら，1981；野村ら，1981）。湖沼間における最大深度と T-N 濃度との関係をみたのが Fig. 2 である。約 15 m 以浅の湖沼では T-N 濃度と深度とは相関しない。しかし、30 m 以深の湖沼では、2つの人工湖と、1977 年の有珠山噴火の際の降灰によって湖底堆積物が更新された洞爺湖を除けば、図中に破線で示したように負の相関がみられる。すなわち、30 m 以深の湖沼を比較すると、一湖沼内の場合とは逆に、浅い湖沼ほど最深部底泥の T-N 濃度は高い。

ところで、深い湖は一般にカルデラ湖であり、湖の面積に比して流域面積が小さいので、流入する有機物

量が比較的少なく、また、流入した有機物の一部は深底部に到達する前に分解されるものと推定される。このため、Fig. 2 に破線で示したように、最大深度と T-N 濃度とは、負の相関がみられるものと考えられる。

言うまでもなく、湖底堆積物中の有機物濃度は、湖とそれを取りまく環境のさまざまな物理的、化学的および生物的要因の複雑な作用によって決定されるものである。しかし、極めて巨視的に考えれば、底泥の有機物含量は、湖内の有機物総量と同様に、湖への流入量と湖内で生産された有機物の合計から、湖外への流出量と湖内で分解される量を差し引いた量を反映しているものと予想される。以下では、湖盆形態の異なる諸湖沼を比較する方法で、最深部底泥の有機物含量と流入有機物量との関係を考察する。

人為的負荷が大きい場合を除けば、湖外からの栄養塩類や有機物の流入は基本的には河川および湖岸の植生を通してなされと考えられるので、流入量は湖の流域面積にほぼ比例するとして良いであろう。Table 2 にあげた湖沼の諸形質のうちで、流域面積を近似的に反映するものとして湖岸線の長さや湖の長径があげられる。ここでは湖岸線の長さをを用い、これを単位面積あたりに換算した値、すなわち湖岸線 (km)/湖面

Table 2. Concentration of total nitrogen (T-N), organic carbon (O-C) and ignition loss (I-L) of the surface layers (0-3 cm) of bottom sediments at the deepest point and morphometric feature in some Japanese lakes.

Lake	T-N		O-C		I-L		Year surveyed	Reference	Morphometric features; data mainly referred from HORIE (1962)					Classification mainly based on TSUDA (1975)	
	%		%		%				Length (km)	Maximum depth (m)	Area (A) (km ²)	Length of shore line (S) (km)	S/A Locality		
Akan	0.78	5.9	21	1981					7.0	36.6	11.8	22.5	1.9 Hokkaidô	Eutrophic	
Akan-panke	0.59	5.6	19	1981					4.0	48.8	2.8	11.5	4.1 "	Oligotrophic	
Barato ¹⁾	0.32	3.3	15	1981					16 ³⁾	10	3.9 ³⁾	4.3 ³⁾	10.9 "	Eutrophic	
Iwaonai ¹⁾	0.23	2.2	13	1980-81					5 ³⁾	48.0 ⁴⁾	5.6 ³⁾	28.0 ³⁾	5.0 "	Oligotrophic	
Kuttara	0.34	2.9	12	1981					2.8	147.5	4.34	8.5	2.0 "	Oligotrophic	
Mashû	0.29	2.3	13	1981					6.8	212.0	20.0	20.0	1.0 "	Oligotrophic	
Shikotsu	0.18	1.7	11	1981					12.2	363.0	76.2	40.0	0.5 "	Oligotrophic	
Shumarinai ¹⁾	0.23	2.1	14	1980-81					9 ³⁾	33.0 ⁴⁾	19.8 ³⁾	94.0 ³⁾	4.7 "	Oligotrophic	
Tôro	0.61	7.1	24	1980					8.0	7.0	6.53	17.5	2.7 "	Eutrophic	
Tôya ²⁾	0.09	0.3	6.5	1981					11.0	179.2	70.0	45.5	0.65 "	Oligotrophic	
Oshima-ônuma	0.56	3.5	16	1976-77	Ito (1978)				5.5	13.6	5.1	20.4	4.0 "	Mesotrophic	
Towada	0.23	2.5	11	1978	Hosomi (1980 and unpublished)				11.0	334.0	59.05	44.0	0.75 Aomori	Oligotrophic	
Yunoko	0.22	3.8	13	1978	Hosomi (Ibid.)				0.9	12.5	0.33	2.8	8.5 Tochigi	Eutrophic	
"	0.25	3.3	12	1968	TEZUKA <i>et al.</i> (1970)										
Kasumigaura	0.55	5.1			Hosomi (Ibid.)				32.0	7.0	178.0	138.0	0.8 Ibaragi	Eutrophic	
Motosu	0.35	3.7	15	1977	Hosomi (Ibid.)				4.1	126.0	4.9	10.4	2.1 Yamanashi	Oligotrophic	
Suwa	0.61	5.0		1979-80	WATANABE <i>et al.</i> (1981)				5.6	7.0	14.5	17.0	1.2 Nagano	Eutrophic	
"			ca.17	1967	KOYAMA <i>et al.</i> (1969)										
Aoki			17	1930'	YOSHIMURA (1937)				2.0	58.0	1.9	6.5	3.5 "	Oligotrophic	
Nojiri			17	"	"				3.3	37.5	3.9	13.0	3.3 "	Mesotrophic	
Kizaki			19	"	"				2.6	29.5	1.4	7.0	5.0 "	Mesotrophic	
Biwa									68.0	104.0	674.4	188.0	0.3 Shiga		
Biwa (Hokko)	ca.0.50				KOYAMA <i>et al.</i> (1980)				51.6	104.0	620.7	144.3	0.2 "	Oligotrophic	
"	ca.0.36			1980	NOMURA <i>et al.</i> (1981)										
Biwa (Nanko)	ca.0.31			1980	"				6.4 ³⁾	6.5	53.7 ³⁾	43.7 ³⁾	0.8 "	Eutrophic	

¹⁾ and ²⁾, as in Table 1; ³⁾, calculated basing on the map; ⁴⁾, measured by Hokkaidô Fish Hatchery in 1975 and 1979.

Fig. 2. Correlation between the concentration of total nitrogen of bottom sediment at or near the deepest point and the maximum depth of lake. *, man-made lake; **, bottom of the lake was covered with the volcanic ashes in 1977. The coefficient was based on the data of 8 lakes (triangles).

積 (km²) と最深部底泥の T-N 濃度との関係を Fig. 3 に示した。

Fig. 3 を一見すれば、2変数の間には相関がないようにみえる。しかし、3人工湖および面積のスケールが他の16湖沼とは異なる湯の湖と琵琶湖（北湖）を除けば、T-N 濃度と湖岸線/湖面積との間には変動幅は大きい相関がみられる。更に、洞爺湖（前述）と人為的汚染の著しい阿寒湖、諏訪湖、霞ヶ浦、琵琶湖（南湖）を除けば、図中に破線で示したように明瞭な正の相関が認められる。すなわち、有機物および栄養塩類の人為的負荷の少ない天然湖沼では、湖岸線/面積の値が大きいほど最深部底泥の T-N 濃度は高いことが明らかである。逆に言えば、Fig. 3 で破線より下方にプロットされる洞爺湖では、今後有機物が周囲から流入するにつれて徐々に破線に近づくであ

ろうし、上方に大きくはずれている阿寒湖他の湖沼では、自然環境以外からくるNの負荷が大きいことが示されていると考えられる。

以上、T-N について述べてきたが、O-C および I-L においても、湖盆形態との間に T-N とほぼ同様の関係が認められる。（相関係数：O-C 対最大深度、-0.97；O-C 対湖岸線/湖面積、0.68；I-L 対最大深度、-0.94；I-L 対湖岸線/湖面積、0.70）。したがって、湖沼最深部底泥の有機物含量は、富栄養化の程度ばかりでなく、湖盆形態によっても左右されるものと考えられる。

摘 要

北海道の7天然湖沼と3人工湖の最深部またはそれに近い地点の底泥の有機物含量を調べ、わが国の既報

Fig. 3. Correlation between the concentration of total nitrogen of bottom sediment at or near the deepest point and the ratio of the length of shore line to area of lake. *, ** and the coefficient as in Fig. 2; ***, heavily polluted lake.

のデータと比較して、その含量を決定している要因について考察した。最大深度 30 m 以上の天然湖沼では、最深部底泥表層の有機物含量と最大深度の対数値との間に負の相関が認められた。また、有機物の人為的負荷の少ない天然湖沼では、底泥有機物含量と湖岸線の長さ/湖面積との間に正の相関がみられた。したがって、湖沼最深部底泥表層の有機物含量は、富栄養化の程度ばかりではなく、湖盆形態によっても左右されるものと考察された。対象とした 20 湖沼の全窒素は 0.07-0.81%，有機炭素は 0.21-7.05%，強熱減量は 6-24%の範囲にあった。

謝 辞

京都大学大津臨湖実験所の手塚泰彦教授は本稿のご校閲を快諾され、貴重な文献をご送付下さった。深く感謝の意を表します。

北海道立水産孵化場の伊藤和雄、外崎 久の両氏には朱鞠内湖、岩尾内湖、塘路湖の試料を提供していただき、同場の川村洋司、米川年三、今田和史、村上豊の各氏には試料の採集にご協力いただいた。また、国立公害研究所の細見正明氏は未発表資料の引用を許され、信州大学の杉本剛士氏は諏訪湖についての文献をご送付下さった。合わせて厚くお礼申し上げます。

文 献

- 荒川 清 (1980) : 底質調査法. p.237-272. 新編水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣.
- HORIE, S. (1962) : Morphometric features and the classification of all the lakes in Japan. *Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B*, 29: 191-262.
- 細見正明 (1980) : 湖沼底泥におけるリン、窒素の分布とその存在状態. 国立公害研調査報告, 16: 5-17.
- 伊藤富子 (1978) : 大沼湖群 (大沼, 小沼, 葦菜沼) の底生動物と底質. 道水研報, 33: 1-19.
- 伊藤富子・宇野勉 (1980) : 阿寒湖における底生動物相の永年変化および底質の有機物含量. 道水研報, 35: 11-19.
- 小山忠四郎・松永捷司・早川博信 (1969) : 諏訪湖湖底堆積物の化学的研究. JIBP-PF 諏訪湖生物群集の生産力に関する研究, 経過報告第 1 号: 57-66.
- 小山睦夫・高松武次郎・川嶋宗継 (1980) : 放射化分析で見た琵琶湖の諸元. 原子力工業, 26 (6): 48-52.
- 野村 潔・伊藤 貢・水嶋清嗣・市木繁和 (1981) : 琵琶湖堆積物中の栄養塩について (第 1 報). 滋

賀衛環セ所報, 16: 133-136.

沖野外輝夫 (1976): 富栄養化調査法, 講談社.

西条八束 (1957): 湖沼調査法, 古今書院.

手塚泰彦・渡辺義人・林 秀剛 (1970): 湯の湖における有機物分解とそれと関連する生物および有機物の現存量, JIBP-PF 湯ノ湖の生物群集の生産力に関する研究, 昭和44年度報告: 64-95.

津田松苗 (編) (1975): 日本湖沼の診断, 共立出版.

渡辺義人・関 弥人・山本満寿夫 (1981): 諏訪湖湖底堆積物の炭素, 窒素およびりん, 諏訪湖集水域生

態系研究経過報告, 第7号: 31-37.

吉村信吉 (1937): 湖沼学, 三省堂.

(著者: 伊藤富子, 北海道立水産孵化場, 札幌市豊平区中の島2条2丁目; Tomiko Iro, Hokkaido Fish Hatchery, 2-2, Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062)

1982年6月23日 受理