山形県「若畑沼」の湖沼学的研究

加 藤 武 雄

Limnological Investigations of Lake Wakahata-numa, Yamagata Prefecture

Takeo KATŌ

Abstract

The surrounding area of the Nabekoshi Pass in Yamagata Prefecture is famous for a heavy snow fall in winter. The district is characterized by an abundance of small lakes and swamps, among which Lake Wakahata-numa is a representative one. In this paper, this lake is treated from the standpoint of regional limnology. The results of the investigations are summarized in the followings :

1. The morphometrical data calculated from the bathymetric map are :

Surface area..... $1.42 \times 10^4 \text{m}^2$

Length of shore line.....508m

Maximum depth11m

Volume $6.48 \times 10^4 \text{m}^3$

Shore development.....1.2

The amount of seepage from the bottom of the lake is about $1,400 \text{m}^3$ per day. In the season of rapid thaws, the lake water is turned over by the inflowing melt water only for four days.

2. In mid-summer, the development of thermal and chemical stratifications is observed in this lake.

3. The main constituent of dissolved minerals is sodium chloride derived from the atmospheric salt which is transported by the melt water.

4. Total amount of dissolved substances in this lake is estimated at about four tons from summer to autumn. At the season of thaws, it decreases to about a half.

1. 緒 言

山形・宮城両県境の鍋越峠付近には数多くの湖沼が分布する。これらの湖沼に関しては、従来ほとんど研究がなされていなかったが、1965 年以来、筆者は地方湖沼学の立場から、その研究に着手した。その代表的な湖沼である鍋越沼については、すでに報文を公けにしたが(1967)、このたびは、その一連の研究として若畑沼を取り扱う。この湖沼は $38^\circ 37'$, $140^\circ 33'E$ に位置し、湖面標高は 480m である。この地域一帯は著名な豪雪地帯であり、そうした気候の特徴からも、この研究は重要な意味を有するものと考えられる(小笠原, 1969)。本報では、1966~1967 年の期間に実施

した若畑沼の調査の成果に重点を置き、これを同地域の他の湖沼と対比しながら論述する。

2. 湖盆形態と水文

1966 年 7 月 28 日に、若畑沼の測量・錘湖を行ない、図 2 のような深度図を得た。さらに、これから湖盆形態の諸計測値を求めたが、これは表 1 に示すとおりである。

湖岸線はきわめて単調で、したがって肢節量は 1.2 で小さく、湖岸線の延長は 508m で、鍋越沼の約 $\frac{1}{2}$ にすぎない。湖表面積は $1.42 \times 10^4 \text{m}^2$ 、容積は $6.48 \times 10^4 \text{m}^3$ 、最大深度は 11m である。また、図 2 の R_1 , R_2 , R_3 はこの湖沼への流入河川で、 R_4 はそれ

Fig. 1. 若畑沼周辺地域の湖沼分布図

表1 湖盆形態諸計測値

湖表面積	 $1.42 \times 10^4 \text{m}^2$
湖岸線延長	 508m
最大深度	 11m
平均深度	 4.56m
容積	 $6.48 \times 10^4 \text{m}^3$
肢節量	 1.2

表2 河川の流入・流出量 (l/sec)

流 出 入 河 川	1967. V	1967. X
R_1	35.5	7.7
R_2	123.0	9.3
R_3	54.0	9.2
$\sum_{i=1}^3 R_i$	212.5	26.2
R_4	196.0	9.1
$\sum_{i=1}^3 R_i - R_4$	16.5	17.1

Fig. 2. 若畑沼の深度図

からの流出河川である。いま表2に、1967年5月13日および同年10月13日におけるこれらの流量を示す。なお、これらの測定時における最大深度はともに10.5mで等しかったし、また、この表から明らかなように流域河川からの実質流入量もともに約17 l/secでほぼ等しい。この量は日量にして $1,500 \text{m}^3$ であり、湖水位の変化高に換算すると110mmに相当する。ここでは湖水位が年間ほとんど変化しないし、湖水面からの蒸発量は、この地方では日量10mm以下と考えられる(Arai, T., 1967)ので、差し引き約100mm相当の分が地下に滲透することになる。すなわち、地下滲透量は日量約 $1,400 \text{m}^3$ と推算される。

また、表2によれば、5月の融雪期には流出入河川の流量がとくに大きく、日量 $1.85 \times 10^4 \text{m}^3$ の河川水がこの湖沼に流入し、 $1.69 \times 10^4 \text{m}^3$ の湖水が流出してゆく計算になる。この湖沼の全容積が $6.48 \times 10^4 \text{m}^3$ であるから、この時期にはその約4/5相当の湖水が1日に流入河川水と入れかわることになる。いっぽう、10月における河川水の流入量は $2,260 \text{m}^3/\text{日}$ 、湖水の流出量は $790 \text{m}^3/\text{日}$ となり、融雪期の値に比してケタ違いに小さい。

3. 湖沼の理化学的性質

3-1 水温

1966年7月28日15～16時の時間内に表面水温の分布状態を実測して、図3のような結果を得た。この間の気温の変動範囲は 28.1～29.1℃ であった。図によると、22.5℃ の等温線が、湖岸線にはほぼ並行して走り、北部に小範囲ながら、比較的低温な 21℃ の水面がみられる。ここに低水温の河川：R₁ (15.5℃)、R₂ (18.5℃)、R₃ (17.6℃) が流入するため、その影響が現われている。

つぎに、1966年7月28日と1967年5月13日、10月13日の3回にわたって実測した水の垂直分布のようすを図4にまとめて示す。これによれば、盛夏の7月には、きわめて顕著な水温成層の発達がみられ、0～2m が表水層、2～7m が変水層、7m 以深が深水層と考えられる。この湖水は、10月になっても完全な循環期に入らず、0～4m まで循環して表水層をなし、4～8m は停滞してまだ変水層を形成しているものと考えられ、8m 以深が深水層をなす。また5月には、観測日の8

Fig. 3. 表面水温の分布図
(1966年7月28日)

表3. 鍋越峠地域の湖沼の水質 (1967年10月13日).

湖沼	Ta (°C)	Tw (°C)	pH	RpH	t-Re (mg/l)	DO		4.3Bx (me/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Hd (CaCO ₃ mg/l)	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	COD (O ₂ mg/l)
						(mg/l)	(%)										
1. 若畑沼	17.0	15.2	6.9	7.2	74	9.60	104	0.12	6.1	0.25	5.9	0.29	16.1	0.32	9.6	12.5	0.88
2. 洗い沼	16.4	13.0	6.9	6.8	66	9.77	102	0.16	7.0	0.28	4.1	1.0	14.4	0.58	9.7	12.5	1.4
3. 長沼	13.9	16.4	6.5	6.9	56	10.91	122	0.17	5.5	0.27	3.6	0.83	12.4	0.35	9.3	7.5	2.0
4. 鍋越沼	19.2	13.9	6.9	7.0	66	10.55	112	0.11	8.5	0.40	1.3	0.34	4.7	0.26	9.9	10.8	2.0
5. 鍋越沼	17.7	12.6	6.0	6.9	63	3.75	38.7	0.12	8.2	0.35	1.2	0.59	5.4	0.52	8.7	9.5	1.3

日前（5月5日）まで湖面が氷結しており、そのため水温の垂直分布は、春季の部分循環期から停滞期への移行がようやくはじまった状態を示す。

3-2 水質

3-2-1 表面水の水質

はじめに、若畑沼の表面水の水質を、おなじく鍋越峠周辺地域に分布する他の湖沼の水質と対比しながら検討する。図5は当量百分率を用いて表現したキイダイヤグラムであるが、これと表3からわかるように、この湖沼は他の湖沼とおなじように Cl^- 型湖沼で中性を示す。その全蒸発残留物は、この地域の湖沼中最大であるが、 74mg/l にすぎない。また若畑沼の水質の特徴は、この地域の湖沼がすべて、カチオンの当量関係として $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ を示すのに対して、この湖沼だけが各季節を通じて $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ を示すことである。いっぽうアニオンの大小関係は、長沼を例外（ $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ ）として、すべての湖沼が $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ を示す。若畑沼にして

Fig. 4. 水温の垂直分布（若畑沼）

Fig. 5. 水質に関するキイダイヤグラム（鍋越峠周辺地域の湖沼）

Fig. 6. 水質の垂直分布 (若畑沼: 1966年7月)

Fig. 7. アニオンに関する三角座標 (若畑沼: 1966年7月)

(注) 数字は深度 (m) を示す

も、 $\text{Ca}^{2+} \approx \text{Na}^+$ に近く、この地域の湖水の溶存主成分は、すべて塩化ナトリウムであることが推定される。さらに、 Na^+/Cl^- の当量比も、すべて1に近く、このことは、さきに報告した豪雪地帯の今神御池(1971)の場合と一致する。その供給源は積雪中の風送塩と考えられる(小笠原, 1969)が、これについては、別の

機会にくわしく論ずることとする。

なお、この地域の湖沼は、水質に関してさらに検討すると、キイダイグラム(図5)に表現されているように、次の2群に分けられる。

I 若畑湖群 ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} \approx 1$)

若畑沼, 洗い沼, 長沼

II 鍋越湖群 ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} \approx 6$)

鍋沼, 鍋越沼

この分類は、地理的分布とよく一致する。

3-2-2 水質の垂直分布

はじめに、成層発達のもっとも顕著な盛夏(1966年7月28日)の観測結果について考察する。溶存主成分についての垂直濃度分布は図6のとおりで、すでに水温の項でみたのとおなじように、0~2m(I), 2~7m(II), 7m以深(III)の3層の構成が考えられる。こまかに観察すると、変水層(II)は、さらに2~4m(II₁)と4~7m(II₂)の2層に分けられる。ここに、II₂層は本来の変水層であり、II₁層は表水層から変水層へのいわば移行過程にある、やや安定性を欠く層とみるべきである。水温・水質から判断して、流入河川がこの層に潜入するために、II₁層が出現するものと推定される(1960)。このような成層構成は、図7のアニオンの三角座標を描いてみても支持される

Fig. 8. 水質の垂直分布 (若畑沼: 1967年10月)

表 4 流入河川の水質(1966年 7 月 28 日)

流入 河川	Ta (°C)	Tw (°C)	pH	RpH	t-Re (mg/l)	DO		4.3Bx (me/l)	8.4Ax (me/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	COD (O ₂ mg/l)
						(mg/l)	(%)											
R ₁	23.1	15.5	7.4	—	96	9.49	104.1	0.27	0.010	8.0	0.27	13.1	2.7	0.01	6.6	8.4	17.5	0.81
R ₂	24.1	18.5	6.8	7.5	51	9.12	105.8	0.09	0.17	4.7	0.19	2.8	—	0.01	5.9	8.3	12.6	1.20
R ₃	23.8	17.6	6.8	7.0	60	8.52	96.0	0.12	0.012	4.4	0.26	3.2	0.5	0.01	6.4	4.0	32.8	1.33

表 5 湖沼中の溶存主成分の総量(若畑沼)

観測年月	Ca ²⁺ (kg)	Na ⁺ (kg)	Cl ⁻ (kg)	t-Re(t)
1966年 8 月	273	295	405	3.93
1967年 5 月	175	155	376	1.66
1967年10月	360	349	608	3.89

であろう。ところで、この湖水は秋期(1967年10月13日)に入っても完全循環にいたらず、図8のような化学成層の発達が見られることは、前述の水温の場合と同様である。

つぎに、水質の垂直分布から、この湖沼に溶存する主成分の総量を試算すると、表5のとおりになる。全溶存成分の総量は、夏から秋にかけて約4トンで、融雪期(5月)には、その1/2になる。これらの溶存成分は、おもに流入河川によって供給されるが、筆者の観測した5月、10月の全溶存成分の総流入量は、それぞれ日量 340kg, 170kg で、湖沼全体に溶存する全成分の総量のそれぞれ1/2, 1/3 に相当する。

4. 結 言

若畑沼は山形県有数の豪雪地帯鍋越峠地域に散在する湖沼群のひとつである。このような地域の湖沼の特徴を見出すことを目的として、この研究が行なわれたが、その結果をまとめると、次のようになる。

(1) 若畑沼は表面積 $1.42 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、容積 $6.48 \times 10^4 \text{ m}^3$ の小湖である。湖底からの滲透水量は年間を通じてほとんど変わりなく、日量 $1,400 \text{ m}^3$ である。融雪期には、湖水の約1/2が1日に流入河川水と入れ変わる。

(2) 湖面の水結が5月上旬におよぶので、春季部分循環期から夏季完全停滞期への移行が遅れる。しかし盛夏には水温成層、化学成層の発達が顕著である。

(3) この湖水の溶存主成分は、この地域の他の湖沼とおなじように、塩化ナトリウムである。積雪中の風送塩が、その主供給源と推定される。

(4) この湖沼に溶存する全成分の総量は、夏から秋にかけて約4トンで、融雪期には約2トンになる。

* * *

この研究を行なうに当たり、当教室の鈴木邦子嬢が現地調査および化学分析に協力した。また、当時山形大学科学教育研究室に留学中の会田徳旺氏も現地調査に協力し、さらに山形県舟形町中山炭鉱株式会社専務中山啓氏は現地調査に同行し、調査上いろいろ便宜を与えてくれた。これらの方々がたに対して、心から感謝の

意を表するしだいである。(1968年4月29日東北地理学会春季学術大会にて発表)

文 献

ARAI, T. (1967): Heat budget studies on the water temperature of the artificial reservoirs (Part 1). *Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resources*, **68**: 31-54.

加藤武雄 (1960): 蔵王山「お釜」についての二、三の湖沼学的知見. 陸水雑, **21**, 3/4: 141-150.

加藤武雄 (1967): 山形県「鍋越沼」の湖沼学的研究.

陸水雑, **28**, 1: 1-11.

加藤武雄 (1971): 山形県「今神御池」の湖沼学的研究. 「最上川流域の自然と人文」: 71-77, 長井政太郎先生退官記念事業実行委員会, 山形.

小笠原和夫 (1969): 蔵王樹氷の総合研究, 地理, **14**, 5: 72-78.

(筆者: 加藤武雄, 山形大学教育学部化学教室, 山形市; Takeo KATO, Chemical Laboratory, Faculty of Education, Yamagata University, Yamagata City)