蔵王山「お釜」についての二三の湖沼学的知見

(挿図 1~5)

加 藤 武 雄

Some limnological remarks on the crater lake, "Okama"

By Takeo KATŌ

1. 緒 言

蔵王火山群は龍山火山、蔵王火山^{びょうぶ}、屏風火山^{あおぞ}および青麻火山よりなる（市村，1951）。そのうち、蔵王火山は有史時代に入つても、しばしば活動をつづけている。その活動の中心は、火口湖「お釜」付近にある。「お釜」は馬の背爆裂火口内に盛り上つた中央火口丘（五色岳）のすぐ西方に位置し、酸性で特徴ある色調を呈する湖である（図 1）。

20 世紀に入つて、1918、1923、1927、1939 年に、この湖が活動をした。「お釜」において

図 1

は現在表面的な火山活動は休止したが、1940年4月中旬から五色岳東北方の地獄沢に硫気孔が出現し、目下ガスを噴出中である。

「お釜」に関しては、昭和年代に入り、安斎(1934, 1938, 1939)および富永(1940)により、湖沼学または地球化学の立場から研究がなされている。これらの研究は主として1939年前後の活動期又はその直後における「お釜」の状況を中心になされたものである。近、「お釜」周辺の地質については市村(1951)により、陸水については筆者(1954)に最より研究が行なわれている。また、その後も筆者は1954—1955年に、「お釜」の観測を行なつた。その結果、「お釜」の湖盆形態および湖水の化学成分などについて新しい知見を得た。いま、これらをまとめて報告しようと思う。

2. 湖 盆 形 態

「お釜」の平面図作製に当つては、平板交叉法により、深度の測定も二基点より観測用ボートの位置を定めて錘測した。得られた結果は図2にしめされているとおりである。また、図より求めた湖盆形態の計測値を表1にしめす。湖盆形態の推移過程をみるために、1933年(安斎, 1934)と1955年とにおける同一2地点(A, B)を結ぶ断面図を図3に

図 2

表 1 お釜湖盆地態計測表 (1955. VIII-6)

A 各等深線水準面面積

深 度 (m)	等深線水準面面積 (m ²)
0	86,400
5	75,700
10	67,400
15	60,700
20	45,400
25	25,100
27	15,300

B 湖盆地態計測値

湖 岸 線 延 長	1.15 km
湖 表 面 積	86,400 m ²
容 積	 1.56×10^6 m ³
肢 節 量	1.11
最 大 深 度	27.1 m
平 均 深 度	18.1 m

図 3

かかけておく。ただし、図では湖水面の海拔標高を同一と仮定してある。図3によれば、深度20m以上の部分の埋没がいちぢるしく、湖心部ではこの期間に10m以上埋没したことになる。また、両年の湖表面積と容積とを比べるため、これを表2に記そう。これに

表 2 1933年と1955年との比較

測 定 月 日	湖表面積 (m ²)	容 積 (m ³)
1933. VII-30	108×10^3	2.49×10^5
1955. VIII-6	86.4×10^3	1.56×10^6

よれば、容積はこの期間中に、 0.93×10^6 m³ 減少したことがわかる。すなわち、1933年の容積の37.3%が現在埋没したことになる。この原因としては、湖に注入する五色川の運搬作用と五色岳断崖の崩壊による火山

灰、火山砂の落下とが挙げられる。また、地形的には、1933年に見られた湖岸段丘がなくなり、現在湖岸は安定化している。

3. 湖水の化学的性質

お釜の水質を知るために、化学成分および水温の深度分布と表層水の季節変化とを調査した。前者については、1955年の6月と8月との2回調査し、後者は同年5～10月の期間における月毎の変化を観測した。

(i) 深度による水質の変化

はじめに、深度分布について得られた結果を表3および表4にかかげる。また、表5に表層水についてのくわしい水質をしめしておく。これらの結果のうち、先ず8月の資料について考えていこう。これは、図4にまとめてしめされている。

表3 化学成分の深度分布 1955, VI-4

深 度 (m)	pH	酸 度 (ph) (me/l)	酸 度 (M. O.) (me/l)	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
0	3.0	2.21	0.40	25.4	21.4	70.2	4.36	448	8.8	62.0
5	3.0	2.45	0.31	17.3	25.2	88.6	4.75	489	9.4	60.0
10	3.0	2.35	0.26	16.5	27.7	88.6	2.10	489	9.6	47.0
15	3.0	2.50	0.34	13.8	31.6	86.6	1.21	502	9.6	53.0
20	3.0	2.53	0.40	14.4	29.6	93.8	2.91	535	6.3	57.0
25	—	—	—	22.7	—	89.2	—	518	—	—

(註) 13^h40^m: 気温 11.3°C, 水温湖面 8.9°C, 酸度 (ph) はフェノールフタレン酸度, 酸度 (M. O.) はメチルオレンジ酸度を表わす。

表4 水温および化学成分の深度分布 1955. VIII-6

深 度 (m)	水 温 (°C)	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
0	19.3	32.5	65.40	5.78	498
2	19.1	21.9	98.62	5.46	503
4	19.0	17.6	93.59	5.39	513
6	17.8	20.0	102.7	5.99	507
8	15.1	11.3	60.81	2.63	498
10	14.7	14.3	104.6	5.47	509
12	14.4	17.5	111.5	7.04	494
14	13.8	15.3	106.3	7.80	501
16	12.8	16.8	112.2	6.67	514
18	9.9	17.9	103.6	6.57	510
20	6.8	18.3	115.5	7.32	526
22	5.3	21.3	129.2	8.03	543
24	3.4	22.9	118.4	10.2	598
26	3.4	32.7	136.0	12.3	572
五 色 川	14.8	1.2	13.8	4.32	46.5

(註) 測定当日、湖水面上の気温は 9.45 a. m. に 21.2°C であった。

表5 表層水の水質 (1955. VIII-6, 09^h45^m)

気 温	21.2° C	水 温	19.3° C
pH	 2.9	酸 度	 4.3 me/l
溶 在 酸 素	 7.08 mg/l	酸 素 飽 和 度	96.0%
蒸 発 残 渣	1043 mg/l	(標高補正)	

ア ニ オ ン (mg/l)		カ チ オ ン (mg/l)	
Cl ⁻	8.3	Fe ²⁺ +Fe ³⁺	32.5
SO ₄ ²⁻	498	Al ³⁺	54.3
SiO ₂	76.2	Ca ²⁺	65.4
		Mg ²⁺	5.78
		Mn ²⁺	0.23
		Na ⁺	18.
		K ⁺	0.6

図 4

水温についていえば、この湖水は盛夏においては、A (0~5m), B (5~8m), C (8~15m), D (15~24m), E (24~26m) の5層から成り立つと考えられる。これらを細かにみると、A および C では、それぞれ、層内においてよく水の循環が行なわれており、B, D 層では水が停滞しているものと思われる。いわゆる変水層をなしている。底成層 E では循環が行なわれているかもしれないが、水質から判断すると必らずしもそうは断定で

きない。これらの層のうち興味あるのは D 層で、ここでは、水温は深度の増加とともに指数函数的に減少する。いわゆる 'clinolimnion' をなす (HUTCHINSON 1957 p. 469)。この様子は図 5 にみられるとおりである。いま、D 層について、最小自乗法を用いて計算すれば、次のような関係式が得られる。

$$\log_{10} \theta = 2.26 - 0.0710z$$

すなわち、

$$\theta = 1.81 \times 10^3 \exp(-0.164z).$$

ここに、 θ は水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 z は深度 (m) をあらわす。

なお、深度 6~8m 付近において水温の急変がみとめられるが、ここでは溶存化学成分についても同様に濃度の急変が現われる。この湖には五色川が流入しているが、この水が上のような変化をひき起しているようである。この川の水温は 14.8°C で C 層のそれにほぼ相等しい。それ故、五色川の水は、これより水温の高い、したがって比重がそれより小さい A 層には流入することなく、

水温も比重も共に等しいと考えられる C 層に流入するものと推定される。A 層は日射が主な原因になって水温が高いため、五色川の流入水との界面付近に温度の急変をみるのである。また、C 層ではこの流入水のために、対流や流入による擾乱もはげしく、水温だけでなく、化学成分含有量も、この層全体を通じて均一化されているものと推論される。図 4 からわかるように、流入水の影響は、盛夏においては、15m 以深の層には及ばないようである。

次に、8月の資料にもとづいて、水質の深度による変化をみていきたい。水温との関連のもとに、すでに一部分は述べたが、ここでは全層を通じて、6月の資料をも参考にしながら説明をする。硫酸、カルシウム、マグネシウムなどのイオンは、湖水面においては、最低またはそれに近い濃度をしめし、深度の増加につれて濃度を次第に増している。しかし、いずれも、深度 8m 付近で不連続的に濃度の急激な低下を来す。それより深度を増して 10m 付近になると、各イオンともそれぞれ濃度を回復して、ほぼ 15m まで定値を保つ。ここが、C 層である。ここより深度を増し、24m の深層までは、割合規則的に各イオンの濃度は増加の一途をたどる。ここが、D 層にあたる。これより深い層では、硫酸

図 5

イオン以外は比較的急に濃度の増加を来す。硫酸イオンは、わずかに逆に減少している。

鉄分（ここでは $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ ）は、これらのイオンとは異なつた鉛直分布をしめす。すなわち、湖水面より B 層に達するまでは、減少の一途をたどる。その後 6~8 m 層において飛躍的に減少し、深度 8 m において最小値をしめす。それより増加を始めて C 層にあたるころでは、一定値を保ち、16 m 以深では次第に濃度を増加する。湖底においては急に濃度を増していることは、カルシウムイオンなどと同じである。

以上述べたことからわかるように、あらゆる化学成分が 6~8 m 深度において急に濃度を低下して不連続的な変化をしめす。ここでは、先にみた水温も同様な変化をしていた。表 4 からわかるように、五色川の化学成分の濃度は、お釜のそれに比べて相当に低い。これがお釜の水と混合した点では、当然濃度の相当な低下を来たすわけである。これと温度などから考えて、6~8 m における物理、化学的な不連続性は五色川の混入によつてひき起されると考えても誤ではないであろう。また、さきに指摘した C 層の物理、化学的な均一性も、層内の水の循環作用と考えてよいと思う。これも五色川の水の混入に原因を帰してさしてさしつかえない。

6 月の調査は 5 m 間隔で行ない、水温の測定を欠くので、あまり湖沼の性質は明らかにされない。しかし、8 月の鉄分の鉛直分布の傾向から類推して、6 月においては、深度 15 m 付近に水温、化学成分などについての躍層が形成されていたのではないかと思われる。6 月においても、鉄分は湖水面において濃度が高い。珪酸分の鉛直分布は鉄分と類似しており、この湖沼への供給機構も両者は同一であろうと思われる。くわしい調査はしてないが、これら両成分は、湖表面付近では比較的崩壊し易い五色岳からも相当量供給されているものと推定される。pH は 3 で酸性が強く、酸度、アルミニウムイオン濃度は、一般に深度の増加とともに高くなる。これらの事実から考えて、この湖沼は現在活動は外観上はみとめられないが、現在でもマグマと関係ある物質が湖底より供給されているものとみられる。ここに塩素イオンが少ないことは注目すべきことである。

(ii) 水質の季節変化

1955 年の 5~10 月の 6 カ月間にわたる湖表水の変化について述べる。表 6 からわかるように、あらゆる化学成分の濃度が 5 月の融雪期に最低となつている。この湖水周辺は深雪地帯であり、冬期間は湖水は氷でおおわれる。融雪期には五色川の流量もいちぢるしく増大し、湖表水の各イオンの濃度を低下させる。実に 5 月においては、各イオンの分析値が盛夏の値に比し、約 1/2 程度になる。ここでは主な融雪期は 4~6 月の 3 カ月で水温の低下や化学成分の稀薄化が湖表水にあらわれる。

7、8 月の盛夏は融雪水の影響も少なくなり、水温も 20°C 前後にて最高となり、各イオンの濃度も大きい。湖表面においては、盛夏より秋期にいたるまで、ほとんど各化学成分の濃度は大きい変化を来さない。

以上、季節変化については冬期の観測を欠いたが、今後、年間を通じて湖表面のみなら

表6 水質の季節変化(1955)

採水日時	V-15, 10 ^h . 35 ^m	VI-4, 13 ^h . 40 ^m	VII-18, 09 ^h . 20 ^m	VIII-6, 09 ^h . 45 ^m	IX-5, 09 ^h . 50 ^m	X-12, 11 ^h . 30 ^m
気温 (°C)	8.0	11.3	25.0	21.2	17.0	4.0
水温 (°C)	5.2	8.9	19.2	19.3	16.5	8.9
pH	3.1	3.0	2.8	2.9	2.9	2.9
フェノールフタ レン酸度 (me/l)	2.0	2.2	5.1	4.3	4.8	4.4
Cl ⁻ (mg/l)	4.8	8.8	9.1	8.3	8.5	9.2
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	265	448	518	498	483	498
SiO ₂ (mg/l)	48.7	62.0	75.0	60.0	65.8	73.4
Ca ²⁺ (mg/l)	25.9	70.2	104.8	65.4	126.4	76.2
Mg ²⁺ (mg/l)	2.62	4.36	5.32	5.78	13.1	15.1
Mn ²⁺ (mg/l)	trace	trace	0.013	0.226	—	—
Fe ²⁺ +Fe ³⁺ (mg/l)	10.2	25.4	25.6	32.5	—	—
Al ³⁺ (mg/l)	17.6	21.4	45.6	54.3	—	—

ず、鉛直変化についても検討を加えたいと思う。

4. む す び

蔵王火山の火口湖「お釜」について現況を調査した結果、次のような事実が明らかになった。

1. 湖表面は肢節量 1.1 でほぼ円形に近く、現在、埋没されて容積は $1.56 \times 10^6 \text{ m}^3$ に減少している。これは直接の火山活動によるものではなく、五色川の運搬作用と五色岳の崩壊に帰せられる。

2. 湖水の水質に関する鉛直分布をみると、5層からなる成層構造をしめし、変水層は二つとめられる。深度 15~24m の変水層では、水温 (θ °C) と深度 (z m) との間に、 $\theta = 1.81 \times 10^3 \exp(-0.164z)$ なる関係が成り立つ。深度 8m 付近の躍層は五色川の流入水により形成されたものである。

3. 湖表水の水質に関する季節変化を調べたが、5~6月には融雪水の影響を受けることが多い。

4. 現在この湖には火山活動はみとめられないが、湖底からはマグマと関係ある物質はなお供給され、酸性を呈する。

この研究には石沢好雄君の援助を得た。また研究費の一部は文部省科学研究費に負うものである。記して謝意を表する。

文 献

- 安斎 徹 (1934) : 蔵王火山火口湖活動休止後に於ける湖沼学的変化の研究. 斉藤報恩会時報, No. 85, 1~18 ; No. 86, 1~9.
- (1938) : 蔵王火口湖お釜の観測. 陸水雑, 8, 264~272.
- (1939) : 蔵王火口湖の活動開始に就て. 斉藤報恩会時報, No. 155, 1~14.
- HUTCHINSON, G. E. (1957) : A Treatise on Limnology. Vol. 1. J. WILEY & Sons, New York.
- 市村 毅 (1951) : Geological Investigations on the Zaō Volcanoes I. Goshikidake, a Central Cone of the Zaō Proper. Bull. Earthq. Res. Inst., 29, 327~339.
- 加藤武雄 (1954) : 蔵王山周辺河川の陸水学的研究. 地評, 27, 229~243.
- 富永 斉 (1940) : 蔵王山お釜の鞠状硫黄. 科学, 10, 3~4.
- (1940) : 蔵王山お釜の活動 (第 2 ~ 5 報). 科学, 10, 123~124 ; 194~196 ; 234 ; 461~462.
- (1940) : 火山活動の地球化学的研究 (第 1 報). 蔵王御釜の昭和 14 年以來の火山活動, 理研彙報, 19, 1198~1209.

S U M M A R Y

“Okama” is the crater lake of the Zaō Volcano. In this lake, the volcanic activity has often taken place in the historic time. The most recent one took place in 1939. The present investigation has been carried out with the aim at elucidating the geochemical and morphometrical features of the lake after the cessation of the last volcanic activity. The results are summarized as follows.

(1) This lake has a circular form as is shown by the bathymetric map (Fig. 2) in the text. Having been buried by the volcanic ash crumbling down from Mt. Goshiki-dake and the suspensions transported by the Goshiki-gawa River, the lake is now 27 meters in depth.

(2) The vertical stratification of temperature and chemical ingredients was investigated in summer, 1955. As the result, the development of two hypolimnions (B, D layers in Fig. 4) was found. As for the deeper hypolimnion (D layer), the relation between water temperature θ ($^{\circ}\text{C}$) and depth z (m) is shown by the equation :

$$\theta = 1.81 \times 10^3 \exp(-0.164 z).$$

The formation of the upper hypolimnion (B layer) is mainly due to the influx of cold water of the Goshiki-gawa.

(3) Judging from the seasonal change of the chemical composition of surface

water, the lake water seems to be influenced by the incoming melt water during May and June.

(4) Recently the symptom of volcanic activity has not been recognized in this lake, but the water seems to be supplied with the matter intimately related with magma.

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