山形市「沼の辺」貯水池の湖沼学的研究

(挿図 1~9)

加 藤 武 雄

A limnological investigation of the artificial lake

“Numa-no-be”, Yamagata City

By Takeo KATO

1. 緒 言

「沼の辺」貯水池は山形市市街地の北東部すなわち東経 $140^{\circ}22'$ 、北緯 $38^{\circ}12'$ に位置する人造湖で、その湖面標高は約 140m である。湛水する以前には湖底の西半部が水田に利用されていたが、もともとは湿地帯で、そこには二、三の湧泉も見られた。灌漑の目的から、1943~1947年に北部に築堤し、東部山地をトンネルで貫いて大綱沢の水をここに導入した。「沼の辺」貯水池はこのように造成されたもので、まだ20年ほどの歴史しかもたない。現在は観光地の一つになっている。なお、この湖の東、西、南の三方が低い山地で囲まれ、湖岸には石英粗面岩がところどころに露出する。筆者は、このように歴史の若い人造湖がどのような湖沼学的特徴をもつかを知るために、まず一年間における湖水の水質変化に重点をおいて1963年より調査を行なってきた。ここではこれまでに得られた結果について報告する。

2. 湖 盆 形 態

1964年4月10日、この湖について測量・錘測を行ない図1のような深度図を得た。これから求めた湖盆形態の諸計測値を表1にかかげる。湖岸線の長さ 926m、最大深度 7.40m の湖沼である。南部において陸地が湖沼に突出しているので肢節量は多少大きく 1.27 に

表1 湖盆形態諸計測値表

湖 表 面 積	$4.21 \times 10^4 \text{m}^2$
湖 岸 線 の 長 さ	926 m
最 大 深 度	7.40m
平 均 深 度	4.90m
容 積	$2.06 \times 10^5 \text{m}^3$
肢 節 量	1.27

図 1. 深 度 図

なっている。図中のA点は大網沢からの引水の注入点で常時流入する。B点も小沢の注入口であるが、融雪・降水時以外は流量が少なくてほとんど問題にならない。

3. 湖水の理化学的性質

1963年9月～1964年9月の期間に、湖水の理化学的性質の垂直変化に重点を置いて毎月調査を行なった。観測定点として最深点に当るE点(図1)を選んだ。水質観測の要領はこれまでと同様に国土調査法の水質調査作業規程準則(総理府, 1957)により、他の諸測定は西条(1957)に従った。

3.1 湖表水の水質

はじめに1964年8月の湖表水について化学組成を検討してみよう。すなわち、おもなカチオンとして Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; アニオンの代表として Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- を選び、各イオン群ごとに当量百分率を計算した結果を key diagram (村下, 1963) に表現する。これは図2としてかかげたが、ここには比較のために筆者の調査した二、三の湖沼の資料(1965)も載せてある。まず、当量関係はカチオンでは $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, アニオンでは $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ が成り立つ。内陸の湖沼では $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ の場合が多く、この湖水は特異である。図2から、この湖表水の主成分はナトリウム、カルシウムの重炭酸塩、硫酸塩

図 2. 主要成分についての key diagram

と判断される。

pH について見ると、10～3月の期間では湖表水はほぼ中性を呈するが、4～9月の期間で

図 3. $[Ca^{2+}]$ —pH4.3Bx 相関図 (湖表水)

は5,6月を除くと pH8.0 以上のアルカリ性となる。A点からの流入水は年間最高で pH=7.3 を示すに過ぎないから、4月からの pH の急増は流入水が湖沼に入ってから二次的な作用によるものと考えざるを得ない。これについては後に垂直分布の項において考察したい。

つぎに pH4.3 アルカリ度は11月を最大、7月を最小とする変動を示し、 Ca^{2+} 濃度と類似した変化をたどる。この両者間の関係は図3に見られるように順相関をなす。相関係数は 0.859 で 1% 水準にて有意である。 Ca^{2+} 濃度 $[\text{Ca}^{2+}]$ (mg/l) に関する pH4.3 アルカリ度 α (meq/l) の回帰方程式はつぎのようになる。

$$\alpha = 0.060[\text{Ca}^{2+}] + 0.095$$

すなわち湖表水中では年間を通じて $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ の成立が認められる。

3.2 理化学的性質の垂直変化

はじめに水温の季節変化のようすを図4, 5に示して、いろいろ検討を試みる。これら

図4. 季節による水温成層の推移

図5. 水温の季節変化

によると、4月下旬から8月下旬までの期間が夏季の停滞期と見られ、とくに5月上旬から6月下旬にかけての2ヵ月間を完全停滞期と見てよい。つぎに8月下旬から10月上旬にかけて夏季部分循環期に当る。それから12月末にかけて秋季完全循環期に相当する。1月上旬より3月上旬にかけての期間では湖表面が氷結して水温の逆列成層がわずかではあるが発達する。しかし1m以深では 4°C の恒温を保つ。ここを氷結期と呼んでおこう。3月上旬から4月中旬にかけては全層にわたって不安定で水温の鉛直傾度もきわめて小さく、停滞と循環が相互にくり返されているものと思われる。いわゆる春季半停滞期に当る。このように水温の年変化から見るとこの湖はHUTCHINSON (1957) の第2級の湖沼に相当する。

つぎに pH および溶存酸素飽和度に関する季節変化を考えていこう。それらについては図6, 7に図示してある。いずれの場合も全体としては水温と呼応した類似の傾向を示す。酸素飽和度は10月～2月の期間(秋季完全循環期および氷結期)は全層にわたって100%に達することなく、3月上旬になって100%になる。この時期から9月にかけて表水層は

図 6. pH の季節変化

図 7. 溶存酸素飽和度の季節変化

表2 山形市沼の辺時水池水質分析表 (1964. V-20) 透明度=1.87m

深度 (m)	Tw (°C)	pH	RpH	Re (ppm)	DO O ₂ (ppm)	O ₂ (%)	pH4.3Bx (me/l)	pH8.4Ax (me/l)	Na ⁺ (ppm)
流入水A	12.1	7.1	7.1	76	10.16	97.6	0.330	0.029	7.1
0	21.6	7.2	7.0	60	8.99	104.7	0.300	0.029	6.7
1	21.5	7.3	7.1	56	8.94	103.8	0.296	0.029	6.7
2	17.6	7.8	7.3	58	10.78	116.3	0.296	0.019	6.6
3	10.1	8.4	7.8	53	15.72	144.2	0.287	0.00	6.6
4	6.7	8.4	7.4	61	14.22	120.7	0.284	0.00	6.7
5	6.2	6.8	7.1	63	8.82	73.4	0.305	0.058	6.7
6	6.1	6.5	7.2	61	5.97	49.6	0.298	0.065	6.6

深度 (m)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Hd (CaCO ₃) (ppm)	Fe (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	COD (O ₂ ppm)
流入水A	5.4	3.62	1.25	14.1	0.050	6.8	1.5	26.0	0.64
0	5.4	3.62	1.08	13.5	0.015	6.9	1.2	23.5	0.95
1	5.7	3.67	1.05	13.5	0.036	7.0	1.0	22.0	0.80
2	5.6	3.45	1.19	13.5	0.023	6.9	1.3	23.0	0.86
3	5.3	3.88	0.92	13.5	0.043	7.0	1.3	22.3	1.08
4	5.3	4.27	0.83	14.1	0.084	7.2	1.6	22.8	1.18
5	5.5	4.01	1.07	14.4	0.044	7.2	1.5	22.8	1.02
6	5.4	4.05	1.23	15.2	0.029	7.1	1.8	21.3	0.76

(注) 湖表水測定時の気温は 19.5°C であった

ほとんど過飽和の状態を続ける。この期間は同時に pH 値も高く、基礎生産量の大きいことを物語る。なお、4月上旬より7月上旬にかけて、2~4mの深度に著しい過飽和(最高170%)の水塊を見出すことができる。この期間においては、この層は pH が8以上(最高8.5)を示す。この時期は植物性プランクトンの繁殖期に当り、したがってこの層は光合成のもつとも盛んな所と考えられる(小久保, 1960)。この問題の層を境にして酸素飽和度、pH 値が逆転する。いま、さらに検討を加えるために植物性プランクトンの繁殖期に当る5月の資料を表2にかかげておこう。これから溶存酸素量と pH との相関図を描いてみると、図8のように両者間に順相関の成立が見られる。相関係数は +0.924 で1%水準にて有意である。pH に関する溶存酸素量 DO(mg/l) の回帰方程式は次式で与えられる。

$$DO = 4.4pH - 22.3$$

また、おなじ5月の資料を用いて溶存酸素量と pH4.3 アルカリ度との相関関係を検討し

図 8. 溶存酸素量と pH との相関図 (1964. V-20)

図 9. 溶存酸素量と pH4.3Bx との相関図 (1964. V-20)

てみる。図9のように相関係数は -0.921 で高度に有意である。pH4.3 アルカリ度 α (meq/l) に対する溶存酸素量 DO(mg/l) の回帰方程式は $DO = -448\alpha + 143$ にて与えら

れる。これらの多くの事実から、この湖沼の溶存酸素量は植物性プランクトンの光合成と密接な関係をもつことが明らかになる。

ここには一々挙げなかったが、水質などから推して、この湖沼は調和湖沼標式の富栄養型であることが判明した。

4. 結 言

山形市「沼の辺」貯水池についてこれまで得られた知見をまとめるとつぎのようになる。

(1) この貯水池は低湿地にある人造湖で、全体的には円形に近いが、南部において陸地が突出して肢節量は 1.27 である。また湖岸線の長さは 926m、最大深度は 7.40m である。

(2) 湖表水の化学成分を当量濃度で比較すると $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ の関係が成立し、溶存主成分はナトリウム、カルシウムの重炭酸塩、硫酸塩と考えられる。年間を通じて pH4.3、アルカリ度 α と Ca^{2+} 濃度 $[\text{Ca}^{2+}]$ の間には $\alpha = 0.060[\text{Ca}^{2+}] + 0.095$ が成り立つ。

(3) 水温の垂直分布の年変化から、この湖沼の 1 年をつぎのような時期に区分できる。

4 月下旬～8 月下旬 夏季停滞期

8 月下旬～10月上旬 夏季部分循環期

10月上旬～12月下旬 秋季完全循環期

1 月上旬～3 月上旬 氷結期

3 月上旬～4 月中旬 春季半停滞期

(4) 4月上旬から7月上旬にかけて、2～4m の深度に溶存酸素量の著しい過飽和の水塊が発達する。同時にその層の pH は 8 以上で基礎生産の高いことを示す。

(5) この湖沼は調和湖沼標式の富栄養型に属する。

この研究をなすに当り、当教室の佐藤政一君は現地調査および化学分析に献身的な協力を惜しまなかった。また、当学部化学研究会員の学生諸君も実験に協力した。記して謝意を表する次第である。(1965年5月8日、日本陸水学会第30回大会にて講演)

参 考 文 献

HUTCHINSON G. E.: "A Treatise on Limnology", Vol. 1, 439～440, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1957.

加藤武雄, 米地文夫: 鳥ノ海火口湖の湖沼学的研究. 東北地理, 17, 1, 36～40, 1965.

加藤武雄: 一切経「五色沼」に関する二, 三の湖沼学的知見. 1965年4月24日東北地理学会春季学術大会にて講演.

小久保清治: 海洋・湖沼プランクトン実験法, 70～73; 81～85, 恒星社厚生閣, 東京, 1960.

村下敏夫：『地下水学要論』，130～134，昭晃堂，東京，1963.

西条八束：『湖沼調査法』，古今書院，東京，1957.

総理府：昭和32年総理府令第14号，官報 No. 9074，1957.

S U M M A R Y

"Numa-no-be" is the artificial lake in the suburbs of Yamagata City and was constructed during the period 1943~1947 for agricultural use. The present studies were made chiefly from the hydrochemical standpoint with special reference to the seasonal variation of the quality-of-water.

(1) The morphometrical data of this lake are summarized as follows:

Surface area	: $4.21 \times 10^4 \text{m}^2$
Length of shore line	: 926m
Maximum depth	: 7.40m
Mean depth	: 4.90m
Volume	: $2.06 \times 10^6 \text{m}^3$
Shore development	: 1.27

(2) Regarding the chemical constituents of surface water, the content decreases in the order: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ for anion and $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ for cation. Throughout a year, linear relationship is found to exist between pH4.3 alkalinity and calcium ion concentration.

(3) The observation of thermal stratification reveals that this lake belongs to Hutchinson's "second-class lake".

(4) In summer stagnation period, pH rises to a maximum in the metalimnion and then declines. This phenomenon is associated with the high photosynthetic productivity of this lake.

(5) This lake belongs to the eutrophic lake of the harmonic type.

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