



Title	洞爺湖の年間水収支
Author(s)	浦野, 慎一; URANO, Shin-ichi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 49, 241-249
Issue Date	1987-03-30
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.49.241">https://doi.org/10.14943/gbhu.49.241</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14172">https://hdl.handle.net/2115/14172</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_p241-249.pdf



## 洞爺湖の年間水収支

浦野 慎一

北海道大学環境科学研究科

(昭和61年11月25日受理)

## Annual Water Balance in Lake Toya

By Shin-ichi URANO

Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

(Received November 25, 1986)

Annual water balances in Lake Toya during the four years, Dec. 1, 1981—Nov. 30, 1985, were investigated. The total inflow as river and groundwater from the lake basin ( $R_g + G_g$ ) and the groundwater discharge across the basin ( $G_l$ ) were estimated from data of the water-level of lake (h), the outflow from lake to the Sobetu River ( $R_l$ ), the water discharge for electric power generation and other uses ( $\Sigma M$ ), the precipitation at three observation stations (P) and the estimated values of evaporation in the lake ( $E_l$ ) and evapotranspiration in the basin ( $E_g$ ).

The total inflows as river and groundwater from the basin ( $R_g + G_g$ ) were varied from  $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  to  $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ . These values were confirmed from the data of river discharges measured at 55 sites on Nov. 29-30, 1983. Annual groundwater discharges across the basin ( $G_l$ ) were estimated as  $+48.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  for 1982,  $+0.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  for 1983,  $-34.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  for 1984 and  $+0.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  for 1985. The mean value was  $+3.83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  and it was relatively small compared with the other water balance terms. The ratios of the water discharge for electric power generation and other uses ( $\Sigma M$ ) to the total inflow and those to the total outflow were 73.8% and 91.5%, respectively. As the result, the water balance of Lake Toya was controlled by the human use of lake water.

### I. はじめに

洞爺湖は、第四紀更新生の火山活動で生じたカルデラ湖で、北海道札幌市の南西約 60 km に位置する湖水表面積約  $70 \text{ km}^2$  の湖である。湖の南側湖岸では温泉が湧出しており、またその南には有珠山、昭和新山などの活火山がある。これら洞爺湖とその周辺地域は景観に富み、支笏洞爺国立公園の一部として日本でも有数な観光地となっている。

また洞爺湖は、湖水が発電、かんがい用水、上水道等に利用され、湖では姫鱒の養殖が行なわれている。このように、観光資源としてだけでなく人間生活とも深い関係を有している湖については、長期的な保全管理と水利計画が必要とされるが、洞爺湖ではその基礎資料となるべき水収支に関する調査はほとんどなされていない。

そこで著者は、洞爺湖における水収支の機構とその長期的傾向を把握するため、1981年12月から1985年11月までの4年間における各年間の水収支を調査した。本稿ではその結果を述べ、洞爺湖の水収支の特徴について検討する。

## II. 洞爺湖とその流域の概要

### 1) 地形・地質

洞爺湖は、湖の中央に中島を有するほぼ円形の輪郭をした湖である (Fig. 1). その大きさは、東西長約 11 km, 南北長約 9 km, 最大水深約 180 m, 湖水表面積約 70 km<sup>2</sup> (公称 69.4 km<sup>2</sup>) であり、湖面を除いた流域面積は 101.6 km<sup>2</sup> である。湖とその流域は長流川水系に属し、湖水は南東の壮瞥川を通じて長流川へ流出している。洞爺湖へ流入する最大の河川は北部の幌別川であり、その他小流量の河川を含めて 50 から 60 の河川が湖へ流入している。

洞爺湖流域の地形・地質は、洞爺カルデラが生じた火山活動と密接に関係している。流域の大部分が新第三紀の火山岩からなり、北東部と西部にはこれら新第三紀層で作られた起伏の大きい山地が存在する。北西部から北部にかけては流域の背後に洞爺軽石流堆積物 (横山他, 1973) で覆われた広大な台地が広がっている。また流域の南端には、洞爺カルデラ形成後沖積世に噴出した複式火山の有珠山がある。有珠山の基盤岩はノットコ溶岩 (太田, 1956) と称される新第三紀鮮新世の火山岩類とみられている (山口他, 1980)。洞爺湖流域の南部はこの新第三紀層を覆う有珠山の火山噴山物から構成されており、山麓湖畔の扇状地には、それらの 2 次堆積物である未固結の透水性の高い扇状地堆積物が広く分布している。このため流域南部の有珠山地域は洞爺湖流域の中で河川の比流量が最も小さい地域となっている (浦野他, 1984)。

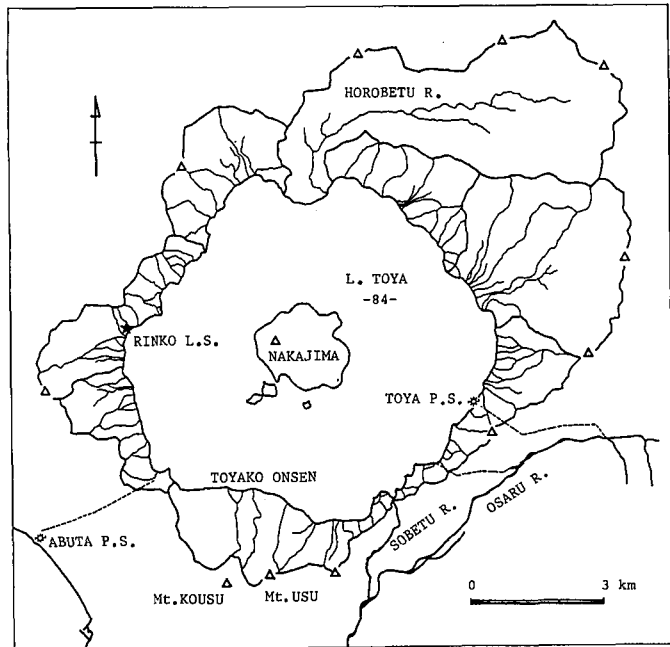


Fig. 1. Lake Toya and drainage basin.

### 2) 洞爺湖の水利用

洞爺湖の水は、水力発電、上水道およびかんがい用水などに利用されている。

発電は、洞爺湖東岸のポロトにある洞爺発電所と虻田町にある虻田発電所の 2 ヶ所で行なわれている。洞爺発電所では、上流の久保内で堰止めた長流川の水をトンネルを通じて導入し、発電に利用した後洞爺湖へ排出している。一方虻田発電所では、湖の西南に設けたトンネルから洞爺湖の水を発電所に導入して利用している。上水道としての利用は、湖水を西南の取水施設から取水し、浄化処理した後水道水として配水している。この水道水は、湖畔の洞爺湖温泉、壮瞥温泉、旭浦、月浦地区へも配水されている。また湖水はトンネルを通じて、壮瞥町のかんがい用水の一部としても利用されている。

その他「利用」とは若干異なるが、人為的施設を通じての水移動あるいは人間活動に伴う水移動として、洪水調節のため洞爺湖へ流入される長流川の水や温泉水および水道水の排水などがある。

### III. 調査方法

#### 1) 水収支の計算式

洞爺湖の水収支は、湖水の蒸発、河川からの流入・流出など自然現象に伴う水の出入りの他に、発電用水等の人為的な水の出入りが関与している。したがって、湖を収支系とした水収支は次式で与えられる。

$$A_i \frac{\Delta h}{\Delta t} = (P_i + E_i) \cdot A_e + R_g + G_g + R_i + G_i + \Sigma M \quad (1)$$

但し、 $\Delta t$ ：収支の期間 (T)、 $h$ ：湖水位 (L)

$P_i$ ：降水量 ( $LT^{-1}$ )、 $E_i$ ：蒸発量 ( $LT^{-1}$ )

$R_g$ ：流域からの河川流入量 ( $L^3 T^{-1}$ )、 $G_g$ ：流域からの地下水流入量 ( $L^3 T^{-1}$ )

$R_i$ ：湖水からの河川流出量 ( $L^3 T^{-1}$ )、 $G_i$ ：湖水からの地下水流出量 ( $L^3 T^{-1}$ )

$\Sigma M$ ：人為的水移動の総量 ( $L^3 T^{-1}$ )、 $A_i$ ：湖の面積 ( $L^2$ )

なお右辺の各項は湖への流入が正

ここで、河川流入量 ( $R_g$ ) および地下水の流入・流出量 ( $G_g$ ,  $G_i$ ) は、 $R_g$  の年間データがないため(1)式からだけでは分離することができない。しかし河川流入量と地下水流入量の和 ( $R_g + G_g$ ) は、流域の水収支を考えることによって求めることができる。

湖水域を除いた流域を収支系とした水収支は、次式で与えられる。

$$A_g \frac{\Delta S}{\Delta t} = (P_g - E_g) \cdot A_g - (R_g + G_g) \quad (2)$$

但し、 $A_g$ ：湖面を除いた流域の面積 ( $L^2$ )、 $S$ ：流域の貯留高 (L)

$P_g$ ：流域の降水量 ( $LT^{-1}$ )、 $E_g$ ：流域の蒸発散量 ( $LT^{-1}$ )

(2)式において  $\Delta t$  を1年として年間の水収支を考えると、 $\Delta S$  は近似的にゼロと仮定することができる。したがって(2)式は、

$$R_g + G_g = (P_g - E_g) \cdot A_g \quad (3)$$

となる。降水量 ( $P_g$ ) は流域内の数ヶ所の観測データから求められ、また蒸発散量 ( $E_g$ ) は推定値を与えることが可能であるから、(3)式から河川流入量と地下水流入量の和が求められる。

(3)式を(1)式に代入することにより、最終的に残差として湖からの地下水流出量 ( $G_i$ ) が求められる。なお年間の河川流入量 ( $R_g$ ) がわかれば、(3)式において河川流入量 ( $R_g$ ) と地下水流入量 ( $G_g$ ) を分離することが可能である。

#### 2) 使用データおよび調査

降水量は洞爺湖温泉、大滝村の AMeDAS 観測資料および北大洞爺湖臨湖実験所の観測データを使用し、湖水からの蒸発量は近藤 (1981) の報告を、流域の蒸発散量は中尾 (1971) の報告をもとに推定した。また湖水位、壮瞥川の流量および発電用水など人為的施設による水移動量については、北海道電力㈱の流量資料、虻田町の水道資料等を使用し、温泉排水は、温泉利用組合の温泉水利用量資料と聞き取り調査から求めた。データおよび資料がすべて入手できたのは1981年以降の期間であったため、水収支の計算期間は、11月30日を水年の区切りとした1981年12月1日から1985年11月30日までの4年間とした。

なお水年の区切りに当る1983年11月29、30日に、中島地域を除いた洞爺湖流域の55の河川で流量観測を行なった。観測は、流量のある河川を全て測定対象とし、光電式流速計を用いて測定した。このデータは、河川流入量と地下水流入量の分離についてのひとつの検証資料として使用した。

IV. 結 果

1) 人為的水移動量と水位変動

人為的施設を通じて洞爺湖へ流入・流出している水 ( $\Sigma M$ ) の種類は、次の通りである。

$M_1$ : 長流川から取水され洞爺湖発電所で使用された発電排水,  $M_2$ : 洪水調節のため洪水取水施設を通じて流入している長流川の水,  $M_3$ : 洞爺湖温泉, 壮瞥温泉および洞爺村温泉で使用された温泉排水,  $M_4$ : 洞爺湖温泉, 壮瞥温泉, 旭浦および月浦地区で使用された水道排水,  $M_5$ : 虻田発電所で使用された洞爺湖の水,  $M_6$ : 壮瞥地区へ用水施設を通じて流出しているかんがい用水,  $M_7$ : 虻田町の水道用水として取水された湖水。

以上7種のうち,  $M_1$ から  $M_4$ が洞爺湖への流入で,  $M_5$ から  $M_7$ が流出である。

Table 1に1982年から1985年までの各年間における  $M_i$  ( $i = 1 \sim 7$ ) の流量とその百分率を示す。ここでは, 温泉排水量 ( $M_3$ ) は揚水量と同量の水が排水されるとして計算し, 水道排水量 ( $M_4$ ) は各地区への水道配水量に等しいとして計算した。表からわかるように, 人為的水移動量のうち発電のため長流川から流入する水が流入の66%から77%を占め, 同じく発電のため湖から流出する水が流出の約90%を占めている。また, 人為的水移動量の合計 ( $\Sigma M$ ) は4年間とも負の値を示しており, 全体として洞爺湖の水は「排水」という形で利用されていることがわかる。

Fig. 2は1981年12月から1985年11月までの洞爺湖の水位変動 (h) と人為的水移動量 ( $\Sigma M$ ) の月変化を示したものである。水位の変動は不規則ではあるが, おおむね3月から4月にかけて水位が低下する傾向がみられる。また

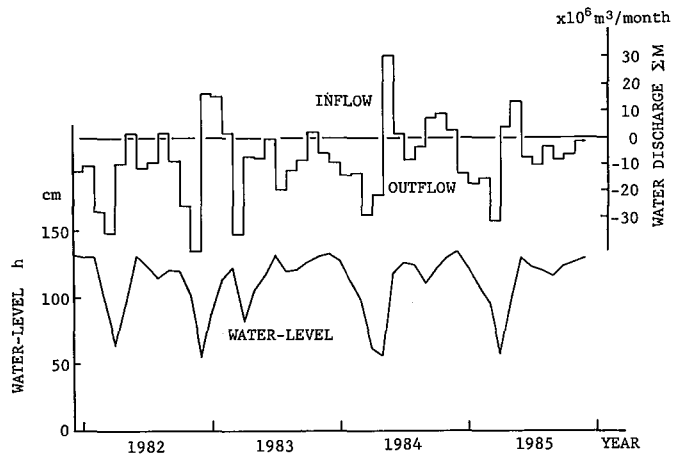


Fig. 2. Monthly variations of the water-level and the water discharge for human uses from Dec. 1981 to Nov. 1985 in Lake Toya.

Table 1. The annual water discharges ( $\Sigma M$ ) for human uses in Lake Toya. Water year runs from 1 December to 30 November, year number shows its ending.

		1982	1983	1984	1985
		$10^6 m^3/y(\%)$	$10^6 m^3/y(\%)$	$10^6 m^3/y(\%)$	$10^6 m^3/y(\%)$
Inflow	$M_1$	378.6(71.1)	353.6(76.5)	287.2(73.2)	239.7(66.4)
	$M_2$	110.2(21.1)	105.5(22.8)	81.4(20.7)	117.8(32.6)
	$M_3$	2.2( 0.6)	2.2( 0.5)	2.3( 0.6)	2.4( 0.7)
	$M_4$	1.1( 0.3)	1.1( 0.3)	1.0( 0.3)	0.9( 0.2)
	Sub Total	392.1	462.4	392.6	360.8
Outflow	$M_5$	-552.0(94.4)	-483.1(91.7)	-377.3(89.2)	-413.8(90.0)
	$M_6$	- 30.7( 5.2)	- 42.1( 8.0)	- 44.1(10.4)	- 44.6( 9.7)
	$M_7$	- 2.1( 0.4)	- 1.8( 0.3)	- 1.5( 0.4)	- 1.4( 0.3)
	Sub Total	-584.8	-527.0	-422.9	-459.8
Total		-192.7	- 64.0	- 30.3	- 99.0

$M_1$ :discharge from Toya Electric Power Station,  $M_2$ :inflow from Osaru R. for flood control,  $M_3$ :hot spring discharge,  $M_4$ :discharge of water service,  $M_5$ :discharge to Abuta Electric Power Station,  $M_6$ :irrigation water to the other watershed,  $M_7$ :intake water for water service.

この水位低下は人為的水移動量 ( $\Sigma M$ ) とよく対応している。Fig. 3は水位変動  $\Delta h$  と  $\Sigma M$  の関係をより詳しくみるため、各月の両者の値をプロットしたものである。図からわかるように、水位変動は人為的水移動量と高い相関を有している (相関係数 0.884, 99%水準で有意)。一方 Fig. 4は、月降水量  $P_i$  (臨湖実験所と洞爺湖温泉の平均値) と  $\Sigma M$  の関係を示したものであるが、両者の間に相関関係はほとんどみられない (相関係数 0.005)。これらのことから、洞爺湖の水位変動は人為的な水移動の影響を強く受けていることがわかる。

2) 流域から湖への流入量

流域から湖へ流入する1年間の河川流入量 ( $R_g$ ) と地下水流入量 ( $G_g$ ) の和は、(3)式から求められる。ここでは、(3)式右

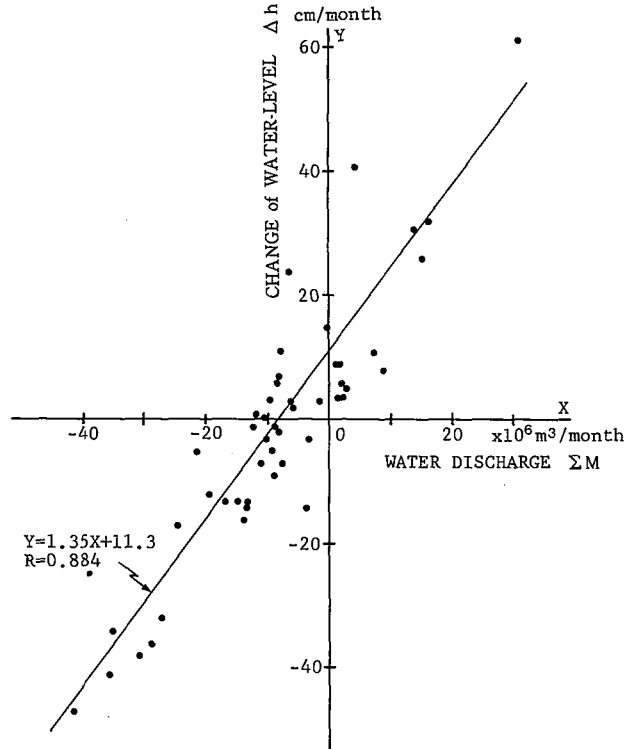


Fig. 3. Relation between the water discharge for human uses and the change of water-level in Lake Toya.

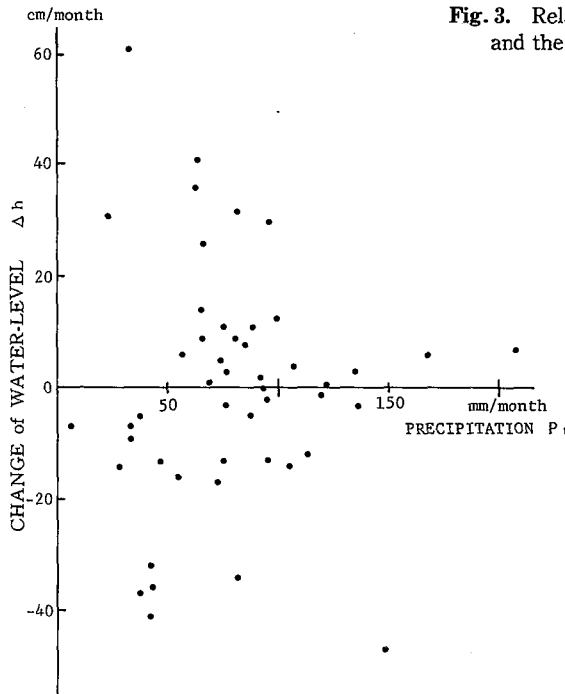


Fig. 4. Relation between the precipitation and the change of water-level in Lake Toya.

辺の蒸発散量  $E_g$  は推定値を使用し、降水量  $P_g$  は3地点の観測データから求めた。

蒸発散量は、一般にペンマンの方法 (Penman, 1948) で求められる蒸発量  $E_0$  にある係数  $f$  を乗じて推定する方法が用いられている。中尾 (1971) は、石狩川上流域の水文観測から水収支法で蒸発散量  $E_g$  を求め、これと同期間の気象資料から計算された  $E_0$  を比較し、その係数  $f=0.65$  を得ている。また中尾は、北海道各地の蒸発散量を10年間の気象資料から計算し、室蘭 531 mm/year、倶知安 383 mm/year という推定値を示した。洞爺湖流域は室蘭と倶知安のほぼ中間に位置していることから、ここでは上記2地点の平均値  $E_g = 457$  mm/year を推定値として採用した。

降水量 ( $P_g$ ) は、洞爺湖流域の各地で

かなりの差がある。したがってここでは、西部から北西部の洞爺村、旭浦および月浦地域 (20.8 km<sup>2</sup>) については洞爺湖臨湖実験所のデータを使用し、南部から南東部の有珠山および東湖畔地域 (17.7 km<sup>2</sup>) については洞爺湖温泉のデータを、また、北東部から北部にかけての仲洞爺、岩屋および財田地域 (58.0 km<sup>2</sup>) については、流域は異なるが隣接する山間地として気象条件の類似している大滝村のデータを使用した。中島 (5.1 km<sup>2</sup>) については、臨湖実験所と洞爺湖温泉の2地点の平均値を用いた。これら流域の地域区分を、Fig.5に示す。

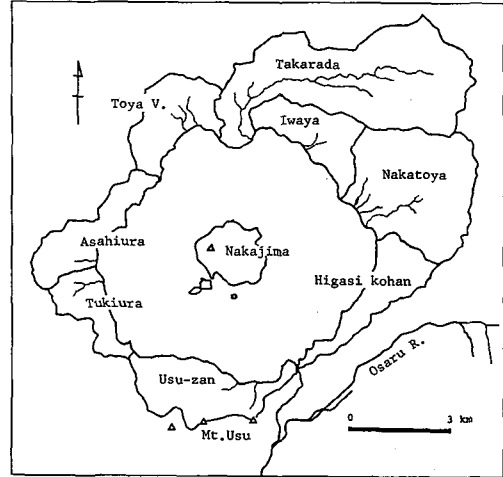


Fig. 5. Subdivisions of the basin in Lake Toya.

Table 2に、降水量 ( $P_g$ ) のデータと流域から湖への流入量、すなわち河川流入量と地下水流入量の和 ( $R_g + G_g$ ) の計算表を示す。計算の結果、 $R_g + G_g$  は  $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  から  $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  と見積られた。

Table 2の  $R_g + G_g$  は、年間河川流入量 ( $R_g$ ) のデータがないため、ここでは分離することができない。また Table 2の値は年間の平均値であるため、短期的には様々な値を取ることが予想される。しかし短期的な流量データからそのオーグを検証することは可能である。

Table 3は、水年の区切りに当る1983年11月29日、30日に、中島地域を除いた洞爺湖流域の55の河川で測定した流量観測の結果である。Table 3の河川総流量2290 l/secを年間流量に換算すると、 $71.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  となる。この値は、Table 2の河川流入量と地下水流入量の和 ( $R_g + G_g$ ) と比較すると、オー

Table 2. The precipitation ( $P_g$ ) in the basin of Lake Toya and the esimated values of total inflow ( $R_g + G_g$ ) as river and groundwater from the lake basin.

Groupes of subdivision	Area $A_g$ km <sup>2</sup>	1982		1983		1984		1985	
		$P_g$ mm/y	$R_g + G_g$ $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	$P_g$ mm/y	$R_g + G_g$ $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	$P_g$ mm/y	$R_g + G_g$ $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	$P_g$ mm/y	$R_g/G_g$ $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$
(1) Usu-zan·Higasikohan	17.7	837	6.7	994	9.5	674	3.8	912	8.1
(2) Nakatoya·Iwaya·Takarada	58.0	1477	59.2	1442	57.1	1116	38.2	1249	45.9
(3) Toya V.·Asahiura·Tukiura	20.8	985	11.0	1237	16.2	930	9.8	1064	12.6
(4) Nakajima	5.1	911	2.3	1156	3.6	802	1.8	988	2.7
Total	101.6		79.2		86.4		53.6		69.3

See fig. 5 for groupes of subdivision.

Table 3. The measured values of river discharge in the basin of Lake Toya on Nov. 29-30, 1983.

Gropes of subdivision	Area km <sup>2</sup>	Number of Rivers	Total Discharge l/s	Mean Specific Runoff $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$
(1) Usu-zan·Higashikohann	17.7	13	86.6	0.49
(2) Nakatoya·Iwaya·Takarada	58.0	16	1572	2.71
(3) Toya V.·Asahiura·Tukiura	20.8	26	629	3.02
Total	96.5	55	2290	2.37

See fig.5 for groupes of subdivision.

デーも等しく、また数値的にも極めて近い値となっている。流域からの地下水流入量 ( $G_g$ ) がある程度の量をもつものと仮定すると、Table 3の河川流量は若干多いようにも見える。しかし Table 3の流量は、測定日前の1週間に計 26.4 mm の降水(臨湖実験データ)が記録されているため、年平均流量より多い流量が測定された可能性が高い。したがって実際の年間河川流入量は、Table 3の河川流量から計算された年間流量より小さな値であると推定される。これらのことを総合して考えると、Table 2で見積られた年間の河川流入量と地下水流入量の和 ( $R_g + G_g$ ) は、ほぼ妥当な数値といえる。

### 3) 分水界流出地下水量

以上の見積り値の他に、湖面の降水量 ( $P_l$ ) と湖面からの年間蒸発量 ( $E_l$ ) がわかれば、それらを(1)式に代入することにより最終的に湖からの地下水流出量 ( $G_l$ ) が残差として求められる。

洞爺湖のような深い湖における湖面からの蒸発量は、水体の貯熱量を考慮した熱収支解析から求められる。近藤 (1981) は、日本の代表的な湖沼について熱収支のシミュレーションを行ない、洞爺湖の蒸発量推定値 512 mm/year を提示している。ここでは蒸発量に関する長期の観測データがないため、近藤の提示した上記推定値を使用した。なお湖面の降水量 ( $P_l$ ) は、中島の降水量と同様に臨湖実験所と洞爺湖温泉の2地点の平均値を用いた。

Table 4 は、(1)式から計算した地下水流出量 ( $G_l$ ) と各収支項の見積り表である。表の最後に示した百分率は、4年間の平均値のみた流出・流入の総量に占める各収支項の割合である。

Table 4 の4年間の平均をみると、流入の 73.8%が、流出の 91.5%が人為的水移動量  $\Sigma M$  で占められており、水収支に占める人為的水移動の割合が大きいことがわかる。また湖の貯留量は、この4年間に限ってみれば平均年変動が小さい。またTable 4からわかるように、地下水流出量  $G_l$  は年間でみると正、負にわたって大きく変動している。例えば 1982 年には、 $48.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  という最も大きな正の値が得られているが、1984 年は  $-34.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  となっている。しかしこれを4年間の平均でみると、 $3.83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  という正の値ではあるが相対的にゼロに近い小さな値となっている。

## V. 考 察

本稿では、流域からの地下水流入量  $G_g$  と湖からの地下水流出量  $G_l$  を別な概念で取り扱っている。 $G_g$  は降雨に伴って短時間に湖へ流入する地下水の流量である。つまり、河川水を表面流出として考えた場合の地下水流出にあたるものであり、自由水面地下水などの比較的浅い地下水の流れを意味している。一方  $G_l$  は、湖から分水界を越えて流入あるいは流出する長期的な地下水移動の総量であり、流出河川周辺の一部

Table 4. The annual water balances from 1982 to 1985 in Lake Toya.

		1982 $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	1983 $10^6 \text{ m}^3$	1984 $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	1985 $10^6 \text{ m}^3/\text{y}$	Mean $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{y} \%$	
Storage	$\Delta h$	- 53.2	+ 53.9	+ 1.4	- 3.5	- 0.35	
Inflow	$P_l$	63.8	78.1	56.1	69.2	66.8	12.3
	$R_g + G_g$	79.2	86.4	53.6	69.3	72.1	13.2
	$\Sigma M_{in}$	392.1	462.4	392.6	360.8	402	73.8
Outflow	$G_l$	+ 48.5	+ 0.5	- 34.1	+ 0.4	+ 3.83	0.7
	$E_l$	- 35.8	- 35.8	- 35.8	- 35.8	- 35.8	6.6
	$R_l$	- 16.2	- 10.7	- 8.1	- 7.6	- 10.7	2.0
	$\Sigma M_{out}$	-584.8	-527.0	-422.9	-459.8	-499	91.5

$\Delta h$ : change of water storage in the lake,  $P_l$ : precipitation on the lake,  $R_g$ : total outflow as river and groundwater from the lake basin,  $\Sigma M_{in}$ : total inflow for human uses,  $G_l$ : groundwater discharge across the lake basin,  $E_l$ : evaporation from the lake,  $R_l$ : outflow to the Sobetsu R.,  $\Sigma M_{out}$ : total outflow for human uses, as negative value is water discharge from the lake.

を除けば深層地下水の流れとして考えることができる。

一般に人為的水移動のない閉塞湖では、この分水界流出地下水量が大きく、この地下水流出により湖水位が調節されている(中尾, 1971)。Table 4 の見積りをみると、洞爺湖では分水界流出地下水量  $G_L$  は年間では変動しているが、4年間を通してみると相対的に極めて小さい。このことは、開放湖である洞爺湖のひとつの水文的特徴とみなすことができる。このような湖では、湖の水位は主として河川流出量により調節されるのがふつうである。しかし、人為的水移動量が相対的に大きく、また流出河川である壮瞥川への流量が堰で調節されている洞爺湖では、湖水位の変動が人為的水利用により大きく左右されている。したがって、現在の洞爺湖では人為的水移動量の調節が湖水位の調節に重要な役割を占めている。

Table 4 をみると4年間の地下水流出量 ( $G_L$ ) は小さいが、各年間の  $G_L$  は正、負にわたって変動しており、1982年には  $48.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  という最も大きな正の値が得られている。ここでは地下水流出量  $G_L$  を「流出」という言葉で定義したが、この  $G_L$  は、正確には次式で表わされる。

$$G_L = G_{tin} - G_{tout} \quad (4)$$

但し、 $G_{tin}$  : 分水界流入地下水量 ( $\text{L}^3\text{T}^{-1}$ )、 $G_{tout}$  : 分水界流出地下水量 ( $\text{L}^3\text{T}^{-1}$ )

したがって  $G_L$  が正であるということは、 $G_{tin}$  が  $G_{tout}$  より大であること、つまり「流入」が大であることを示している。

地下水流出量が正、つまり分水界流入地下水量が分水界流出地下水量より大きいということ、およびその変動の解釈については、次の3つのことが考えられる。

ひとつは、流域貯流高の変化 ( $\Delta S$ ) を無視したことによる河川流入量と地下水流入量の和 ( $R_g + G_g$ ) の見積り誤差の影響である。例えば、北海道では1981年の8月に道央地方を中心に記録的な豪雨に見舞われた(岸, 1982)。洞爺湖温泉および大滝でも1981年8月だけで、それぞれ440 mm、743 mmの降水量を記録している。この豪雨の影響により1981年11月時点における洞爺湖流域の貯留高 ( $S$ ) は平年より高かったものと予想され、流域に過大貯留された水が1981年12月から1982年にかけて湖へ流出したものと考えられる。その場合、 $R_g + G_g$  は実際より小さく計算され、結果としての地下水流出量 ( $G_L$ ) にその不足分が加算されることになる。また、1984年のように降水量が少ない年には流域の貯留量が不足し、降水量の一部が流域貯留の補充にあてられた可能性が高い。このような場合  $R_g + G_g$  は過大見積りとなり、 $G_L$  は実際より負の側に大きくなる。1982年と1984年の地下水流出量 ( $G_L$ ) が正と負の大きな値となっているのは、このような流域貯留量の変化の影響が大きいと推測される。

ふたつめは、地形的分水界と水理的分水界のずれの問題が考えられる。洞爺湖の水深は約180 mであり、また湖の北西部には流域の背後に広大な台地が広がっている。このような深い湖を涵養する地下水の分水界はかならずしも表面の地形とは対応していないと考えられる。またこの地下水流域からの流出量は、例えば湖水位が低下した場合大きくなることも予想される。このような地下水流域の問題とそれに伴う地下水流動の問題が、分水界流入・流出地下水量の変動に何らかの形で影響しているものと思われる。

最後は各取支項の見積り誤差の問題である。本稿では、湖の蒸発量と流域の蒸発散量について推定値を使用した。これらの値はその年の気象条件により異なるため、当然のことながら誤差を有している。また発電用水の流量についても、その量が大きいためわずかな誤差で収支の見積りに影響する。このような誤差の影響が最終的に地下水流出量  $G_L$  の見積りに影響した可能性は高い。

本稿では4年間の年間水収支を見積ったが、より正確な水収支の構造を把握するためには長期のデータが必要である。また短期収支についてもその構造を明らかにする必要がある。そのためには、河川流出量、湖面蒸発量などの実測が今後の課題となる。

## VI. 摘 要

1981年12月から1985年11月までの4年間における洞爺湖の年間水収支を調査し、次のような結果を得た。

1) 洞爺湖の水は、発電用水、上水道などに利用されており、湖水位の変動はそのような人為的水移動の影響を強く受けていることがわかった。

2) 流域からの河川および地下水流入量の和は、年間で $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ から $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ と見積られた。またこの値は、流域内の55河川の流量観測からほぼ妥当な値であることが確かめられた。

3) 人為的水移動量の水収支に占める割合は、流入で73.8%、流出で91.5%であった。

4) 分水界流出地下水量は、各年間では正(流入)または負(流出)の値をとるなどして変動がみられたが、4年間を通してみると $+3.83 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ という相対的に小さな値であった。

5) 以上のことから、洞爺湖では人為的水移動量の調節が湖水位の調節に重要な役割を占めていることが明らかになった。

謝辞 本研究を進めるにあたって資料を提供していただいた、北海道大学水産学部附属洞爺湖臨湖実験所の黒萩尚所長、春名寛幸氏および北海道電力(株)土木部、虻田町水道課の各関連諸氏、さらに洞爺湖温泉および壮瞥町の温泉利用組合の方々に感謝いたします。

## 文 献

岸 力(編), 1982. 昭和51年8月北海道豪雨災害に関する調査研究. 昭和56年度科研費「自然災害特別研究(1)」(代表岸力)研究成果報告書, 259.

近藤純正, 1981. 数値シミュレーションによる水温・蒸発・蒸発散量の推定. 水温の研究, 25第2号, 15-43.

中尾欣四郎, 1971. 湖沼水位の安定性についての研究. 北海道大学地球物理学研究報告, 25, 25-87.

太田良平, 1956. 1/5万地質図幅「虻田」. 地質調査所, 76.

PS. C., H. L., 1948. Natural evaporation from open water bare soil and grass. *Proceeding, Roy. Soc. of London, Ser. A.*, 193, 120-145.

浦野慎一・石田寛人・杉山文章, 1984. 有珠山および洞爺湖流域の水文特性. 昭和58年度特定研究経費「有珠山1977-1978年噴火に伴う環境変動の追跡調査」(代表開村浩)研究成果報告書, 89-100.

山口久之助・根津多三郎・沼尾秀章, 1980. 洞爺湖温泉に及ぼした1977年有珠山噴火の影響. 日本地下水学会誌, 22第3号, 1-14.

横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄, 1973. 有珠山. 北海道防災会議, 254.