



Title	5. 然別沼流域の積雪水量調査
Author(s)	東, 晃; HIGASHI, Akira; 樋口, 敬二 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 4, 65-79
Issue Date	1956-03-31
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.4.65
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13803
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_p65-79.pdf



5. 然別沼流域の積雪水量調査

東 晃^{*}・樋口敬二^{**}・板垣和彦^{*}

(*北海道大学理学部物理学教室 ** 同地球物理学教室)

—昭和31年1月受理—

I. ま え が き

然別沼は、北海道大雪山国立公園の南端に位し、中央山岳地帯が十勝平野に移る場所に当る。面積 3.6 km²、海拔高度 800 m、夏の観光地として知られている。この然別沼が最近天然の貯水池として冬季間の水力発電に利用され、北海道の電力供給に重要な役割を果たすようになった。

われわれが北海道電力株式会社の委嘱によつて、この流域の積雪水量調査並びにそれに引続いての年間の降水量調査を行つたのは、次の二つの理由によるのである。その第一は、この流域が河川学の重要問題であるところの降水量と流出量との関係を、年間を通じて調べるのに絶好の条件を備えていることであり、第二は、われわれが今まで行つてきた積雪水量調査の研究が具体的に役立つことになるということである。

第一の河川学研究の立場より見ると、然別沼流域は面積 44.8 km² で、流域全体の総積雪水量あるいは降水量をそれほどの労苦を要せずしてかなりよい精度で測ることができる。そして、沼に注ぎ込む川の数はいくつか少なく、しかも排水川のトーマベツ川はせき止められ、すべての水は沼から然別第一発電所に通ずる隧道によつて流れ出る機構になつてゐる。従つて、沼の水位と隧道の流量が精確に観測されれば、極めて精度のよい流出量が得られることになる。即ち、二つの基本的な量がいずれも河川学的にみて理想に近い精度で測られるのであつて、然別沼は正に絶好の研究場所といふべきである。

第二の、この調査が持つ実用的な意味とは次のようなことである。然別第一、第二、及び第三発電所は、北海道の電源拡充計画により冬季の渇水期の発電力低下を軽減させる目的を持つて、昭和28年に建設されたものである。そのために、冬期間は然別沼の水を圧力隧道によつて発電所に送つて発電する。この間、降水は積雪として流域に貯えられ、沼への流出は少ないから、排出が流入を上廻つて沼の水位は低下する。しかし、その水位低下には制限がつけられている。というのは然別沼は大雪山国立公園に属しており、夏季の観光時の美観保持の点から、水位をある時期までに復元しなければならぬからである。従つて、冬季間に幾何の水を発電に利用し得るか、即ち、春先に水位をどこまで下げ得るかは、融雪期に入つて発電所の運転が止められてから復水の期限までの間に沼への流入がどの位期待できるかによるのである。この流

入量は二つの部分に分けられる。その一つは山に雪として貯えられていた水の流出分であり、もう一つは融雪期間中に降る雨の流出である。この中の初めの方は融雪開始直前の最大積雪の時期に、沼の周辺流域にはどれだけの雪があるかということ調べれば、融雪期の始めに確定してしまう。第二の方はこの期間中の降雨量の予報という問題になり、確実な見込みをつけることは困難である。従つて、最も理想的な水の使用計画を立てるならば、冬季間の降雪と融雪期の降雨の最低量を基礎として、冬季間の各時期の流域内の積雪の状況から最低量を超過する分を知つて、使用水量を加減すべきなのである。積雪水量調査というものは、本来そういった目的から出発したものであり、河川の水の利用計画の基礎である。この意味からいつて、然別沼流域は積雪水量調査を最大限に生かす流域としてふさわしい対象といえるのである。

実際には、過去において調査がなされていなかつたため、電力会社としては初めての試みとして1954年3月までに約6mの水位低下を行つていた。従つて、この年に行つた積雪水量調査及びその後の降水量調査は、この低下が如何に回復されるかということの予報のためのものとなつた。ここでは、1954年度の調査結果と上述の如き意味の予報について述べることにする。融雪期の降水量調査の結果については、ここで利用されたこと以外に、山岳地帯の降水量分布¹⁾について気象学的解析を行つたが、それについては別の報告がなされることになつてい

図版 II, 写真 No. 1 は凍結した然別沼と隧道の取水口である。当時の水位と満水位とをそれぞれ矢印で示してある。また、図版 II, 写真 No. 4 は然別第一発電所の全景である。

II. 積雪水量調査

1) 測定方法

積雪水量調査は、今まで行つていた方法^{2) 3) 4)}に従つた。即ち流域内の積雪状況をできるだけ代表するようなコース数本を選び、そのコースに沿つた地点で、Snow Sampler によつて積雪の全層を採取し、秤量によつて積雪水量を測定した。

Snow Sampler は、菅谷水資源研究所製作のものをを用いた。これは、内径 45 mm, 長さ 75 cm, 重さ約 700 gr のジュラルミン製円筒を所要の長さだけ継ぎ足して使用するもので、6本一組となつており、最大積雪深 450 cm まで採取できる。刃先は鋼鉄製で内径 43 mm である。秤はダイヤル・ゲージ型のばね秤で、採取した積雪層を Snow Sampler に入れたまま秤量すれば、直ちに積雪水量が cm で読取れるように目盛つてある。秤の感量は 10 gr で、これを水深目盛に直すと 0.7 cm となる。

Snow Sampler の外に、積雪深を測定する測深棒を使用した。これも、長さ 75 cm, 外径約

- 1) 東 晃, 小元敬男; 然別沼流域の夏の降雨の特性について, 本誌 P. 81
- 2) 菅谷重二; 大雪山積雪水量調査及び流出調査, 経済安定本部資源委員会, (昭和 23 年).
- 3) 東 晃, 樋口敬二; 調査コースによる忠別川流域の積雪水量調査, 北大地球物理学報告, 2 (1952), 1.
- 4) 樋口敬二, 板垣和彦; 調査コースによる忠別川流域の積雪水量調査 (II), 北大地球物理学報告, 3 (1953), 51.

8 mm の鋼管を継ぎ足して所要の長さにして用いるもので、先端は砲弾型にしてある。

測定の操作を簡略に述べると、まず、測定に適当と思われる平らな開地をえらび、測深棒に、よつて 10 カ所以上の積雪深の測定を行い、地面の状況、即ち倒木・岩石等の障碍の有無、灌木笹あるいは湿地植物等、地表を覆うものの種類を調べる。地表が大体平坦であることが確かめられた場所の積雪深について、その平均値を求める。測深を行つた場所の中で、この平均値に近い値の深さの所で、2・3 カ所、Snow Sampler によつて雪層を採取し、秤量する。この際、Sampler の先が地面に達していることは、刃先に附着してくる土、灌木の枝、あるいは笹の葉によつて確認する。何もついてこなかつたら、採取をやり直すことにする。というのは、採取した雪が Sampler から抜け落ちている場合もあり得るし、Sampler が硬い氷板に当つて地面と間違えることもあるからである。殊に、融雪が進んで、地面が飽水に近い時には、Sampler から雪が抜け易いから注意を要する。図版 II の写真 No. 2 は然別沼東岸において Sampler の秤量をしている状況を示したものである。

2) 調査コース

然別沼周辺地域の地勢及び流域境界は、図版 I に示されている。その流域は、面積 44.8 km²、1000 m から 1300 m の稜線を分水嶺として播鉢型をなしている。流域の平均面積高度（面積を重みとした流域全体の海拔高度の平均値）は、1009 m であるが、流域を図版 I 中の青破線で示した境界によつて南北に分けると、北部の平均面積高度 1023 m、南部 951 m となつて、北部が高い傾向にある。このような播鉢型の流域では、積雪の状況は高度による影響の外に、場所的な差異があると予想されたので、調査コースは放射状に代表的な尾根を通り、分水嶺の最高地点にまで達するように取つた。コースは図版 I 中に赤線で示されており、尾根の方向としては、東、東南、東北、西南等、各方向を取つている。測定地点は丸印で示され、全部で 23 カ所で、東西南北の分水嶺である 1332.0 m 三角点、ホロカ峠、ペトウトル山 (1340 m)、東小沼、北方 1470 m 独立標高点に及んでいる。

積雪水量調査と同時に、融雪期の降水量を測定するために、菅谷式 C—2 型積算雪雨量計を設置した。その配置場所は図版 I に赤い二重丸印で示した 6 カ所で、流域をほぼ南北に縦断する形をとつている。図版 II の写真 3 は、積雪水量調査と同時に山田温泉に設置した積算雪雨量計の状況を示し、図版 II の写真 No. 5 は、東小沼に設置した雪雨量計の夏期の状況を示す。積雪水量調査の時期から 5 月上旬までは、まだ降雪をみるおそれがあつたので、塩化カルシウム溶液を入れて雪と雨との両方の合計を測定できるようにした。

3) 測定の結果

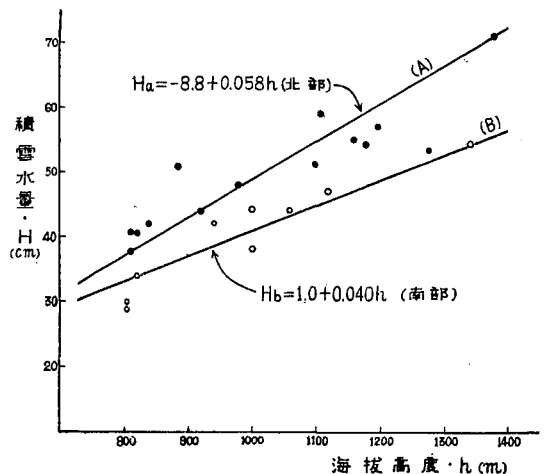
調査は 3 月 23 日から 28 日にわたつて行われた。この間、27 日に若干の降雪があつたが、影響は少ない見込みなので、測定値には補正を施さなかつた。各測定地点の積雪深、積雪水量の測定結果、及び海拔高度、地形、傾斜等は第 1 表にまとめられている。各測定地点とも、地表面で融雪が進んでいる模様はみとめられなかつたので、これらの積雪水量の値は融雪開始直前

の最大積雪の時期の値になっている。

第1表 然別沼流域積雪調査表 (1954年)

測定地番号	測定地	海拔高度 (m)	積雪深 (cm)	積雪水量 (cm)	地形	傾斜	測定月日
1	トーマベツ川落口附近	820	120	34	林中大開地	S-3°	Ⅲ-23 南 部 Ⅲ-24
2	光風館裏沢上	940	140	42	疎林中	S-5°	
3	光風館裏尾根上	1160	120	44	密林中の疎なる所	0°	
4	ペトウトル山頂下	1340	175	54	疎林中	0°	
5	ペトウトル東尾根中段	1120	146	47	密林中の疎なる所	0°	
6	同	1000	150	44	同	0°	
7	然別沼西岸	810	112	30	沢大開地	NE-2°	
8	ヤンベツ川2k 指導標附近	810	143	38	密林中	0°	Ⅲ-25 北
9	ヤンベツ川4k 指導標附近	820	145	41	疎林中小開地	0°	
10	ヤンベツ川5k 指導標附近	840	150	42	川原, 開地	0°	
11	ホロカ峠尾根中段	980	170	48	密林中小開地	W-3°	
12	ホロカ峠	1110	185	59	平, 小開地	0°	Ⅲ-26
13	ヤンベツ川二股川原	880	164	51	川原, 疎林中	0°	
14	1470への尾根中段	1100	155	51	密林中	0°	
15	1470への沢頭	1220	180	54	大開地	0°	Ⅲ-27 部
16	1470へのコブ上	1380	200	71	開地	0°	
17	1332北尾根中段	1160	215	55	密林中	N-5°	
18	1332頂上・下平地	1310	176	53	小開地	0°	
19	1332南西尾根	1200	185	57	大開地	S-2°	
20	同	920	143	44	小開地	S-2°	
21	然別沼東岸	810	136	41	沢出口開地	0°	Ⅲ-28 南 部
22	東小沼東コブ上	1000	130	38	疎林中開地	0°	
23	東小沼南開地	810	102	29	開地	NW-4°	

この測定結果から、積雪水量と海拔高度との関係を図示してみると、第1図のようになる。この図で、黒丸は先に述べた分け方による北部流域の測定地点の値を、白丸は南部流域のそれを示している。黒丸も白丸も、いずれも積雪水量が海拔高度に比例して増加する傾向を示しているが、北部の方が南部よりも一般に積雪水量が多い。また、高度による増加の傾向が大きい。そこで、然別沼周辺流域では、積雪水量の高度分布を南部と北部と



第1図 積雪水量の高度分布

の二つに分けて取扱つた方がよいと考えて、前述のような分け方をしたのである。このようにして、南北別々に得られた積雪水量の高度分布直線を第1図中の二本の直線で示してある。それぞれに対応する実験式は、積雪水量を H (cm)、海拔高度を h (m) で表わすと

$$(A) \quad H_a = -8.8 + 0.058 h \quad (\text{北部}) \quad (1)$$

$$(B) \quad H_b = -1.0 + 0.040 h \quad (\text{南部}) \quad (2)$$

である。

4) 流域の総積雪水量の算定

調査コースによる積雪水量の測定値から、流域内の総積雪水量を算定するには、次のようにする。今、積雪水量 H と海拔高度 h との関係が

$$H = a + bh \quad (3)$$

で表わされるならば、その流域内の総積雪水量 M は

$$\begin{aligned} M &= \int R \cdot H \cdot A \cdot dh \\ &= \int R \cdot (a + bh) \cdot A \cdot dh \end{aligned} \quad (4)$$

で求められる。ここで、 A は高度 h の場所の面積であり、 R は後に述べる森林密度補正係数で、共に h の函数である。 A の h に対する函数形がわからないから、(4) 式を実際に積分することは不可能で、近似的に次のような和の形を使う。流域を 200 m 毎の等高線で分割し、その真中の高さを h_i とする。そしてこの幅に入る地帯、即ち海拔高度 $(h_i + 100)$ m の等高線と $(h_i - 100)$ m のそれとの間にある面積を A_i とすると、(4) 式は次の式のように近似的に表わされる。

$$M = \sum R \cdot (a + bh_i) \cdot A_i \quad (5)$$

ここで、 R は後で述べるように高度によるよりも、むしろ位置的な要素に強く支配されるものであるから、流域全体の平均値 \bar{R} でおきかえてもよい。従つて、(5) 式はまた

$$M = \bar{R} \cdot \sum (a + bh_i) A_i \quad (6)$$

となる。即ち、積分の代りに、等高線 200 m 毎の面積に代表海拔高度の地点の積雪水量をかけて、その総和を求め、それに補正係数 R をかけて流域内の総積雪水量が算定される。

上の (4), (5) 式中の R は森林密度による補正係数であつて、次のような意味がある。前に測定方法の説明で述べたように、Snow Sampler による積雪水量の測定には、できる限り、樹林中の平らな開地を選ぶ。これは、立木の周囲の積雪の不整による測定誤差を少なくするためである。従つて、測定して得た結果は、森林の影響を受けていない積雪層に対するものである。しかし、実際の流域内の積雪は樹林で蔽われており、樹冠雪からの蒸発によつて、開地の値より少なくなるはずである。従つて、流域内の総積雪水量を算定するには、これら開地の測定値に補正を施す必要がある。これが森林密度補正係数 R である。菅谷重二博士の詳細な測定によると、この補正係数は、濁葉樹林中については 100 %、即ちその積雪水量は開地の値と変ら

ない。針葉樹林中では必ず 100% 以下になつて、その値は森林被覆密度によつてきまる。森林被覆密度は、樹木の太さと単位面積当りの本数から菅谷博士の方法で決定される。帯広管林局作製の林相図によると、然別沼周辺地域の樹林は針葉樹が主であるので、補正の必要があつた。林相図には、31 の林班区について 1 ha 当りの石数と令級（直径を 5 cm の間隔で区分した階級、令級 X が直径 50 cm に当る）とが記載されているだけであるが、菅谷博士の方法を適用するために、これから次の方法で本数を算出した。中島広吉博士の“北海道立木幹材積表”（昭和 22 年）によつて、令級から 1 本当りの石数を知り、この値で各班区の石数を割つて、その林班区の 1 ha 当りの平均の本数を求めたのである。こうして、31 個の林班区について平均本数を求めてみた所、第 2 表に示すように、疎林とみられるもの 14、中位林とみられるもの 17 であつた。従つて、それに応ずる補正係数を菅谷博士の表からもとめ、その平均を取つて、然別沼周辺地域の森林密度補正係数 $\bar{R}=0.85$ となつた。

第 2 表 針葉樹による森林密度補正

林 相	大 径 木 本 数	林 班 区 数	補 正 係 数	流 域 の 補 正 係 数
疎 林	25~ 50/ha	14	0.9	} 平均 0.85
中 位 林	50~125/ha	17	0.8	

これで、(6) 式中の a, b, \bar{R} がきまつたので、この式に従つて、流域内の総積雪水量を算出した。高度別の面積、各高度の積雪水量、地帯別積雪水量、その総計といつた計算の経過を示したのが第 3 表である。

第 3 表 各高度の積雪水量及び地帯別積雪水量

区 域	代表高度及び高度範囲 h_i (m)	面 積 A_i (km ²)	積 雪 水 量 H (cm)	地帯別積雪水量 10 ⁶ m ³	積雪水量小計 10 ⁶ m ³
南 部	850 (800~ 900)	4.0	35	14.0	} 35.1
	1000 (900~1100)	4.2	41	17.2	
	1200 (1100以上)	0.8	49	3.9	
北 部	850 (800~ 900)	8.8	40	35.2	} 180.2
	1000 (900~1100)	16.9	49	82.8	
	1200 (1100~1300)	9.0	61	54.9	
	1300 (1300以上)	1.1	66	7.3	
計		44.8		215.3	215.3
補 正 値				×0.85	183.0

こうして 3 月 28 日の融雪開始直前の最大積雪の時期における然別沼周辺地域の総積雪水量は、 $18.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、1830,0000 ton となる。流域全体の平均積雪水量は 41 cm である。

次に、簡易計算法として、南、北部それぞれの平均面積高度の地点に対する積雪水量の値にそれぞれの面積をかけて概算すると、第 4 表のように、 $18.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ となり、上の精密法で得た値とよく一致する。

第 4 表 総積雪水量簡易計算表

	南 部	北 部	全 流 域	補 正 値
平均面積高度 (m)	951	1023		
積 雪 水 量 (cm)	39	50		
地 帯 面 積 (km ²)	9.0	35.8	44.8	
地帯別積雪水量 (m ³)	3.5×10^6	17.9×10^6	21.4×10^6	18.2×10^6

III. 流出量との比較

山地に積雪として貯えられた水は、融雪期になると次第に融けて、直接または間接に河川に流出する。この融雪水の河川流出の機構はまだよくわかっていないし、またその様相は個々の川や流域の種々の特性によつて異なるものと考えられている。然別沼流域は、北海道の背稜山脈の東にあるため、積雪の量は日本海側の山地に比して少なく、全年の降水量中で雪の占める割合も半分以下である。融雪期間中の全流出量に対する寄与は融雪水とこの期間中の降雨が相半ばするようであつて、日本海に注ぐ大雪山系の河川などとはかなりの相違がみられる。

前に 4) で述べた流域内の総積雪水量と河川流出量とを比較するには、融雪期の流域内の降雨量が判らなければならない。その測定のために、積算雪雨量計を流域内の 6 カ所に設置したことは、II, 2) で述べた通りである。5 月 6 日までは降雪のおそれがあつたので、塩化カルシ

第 5 表 融雪期降雨量 (4 月, 5 月, 6 月の合計)

場 所	高 度 (m)	雨 量 (mm)	分 割 面 積 (km ²)	総 雨 量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
1. 然 別 湖 荘	810	175	3.9	6.6
2. 湖 畔	810	206	—	—
3. 東 小 沼	1000	220	5.9	12.8
4. ペ ト ウ ト ル	1160	188	5.5	10.2
5. 山 田 温 泉	810	291	13.7	39.6
6. ヤ ン ベ ッ 5 k	840	337	15.6	51.9
7. ホ ロ カ 峠	1110	332	3.8	12.3
計			44.8	133.1

* 正しくは融雪とその流出期間であるが、これを略して融雪期とよぶことにする。

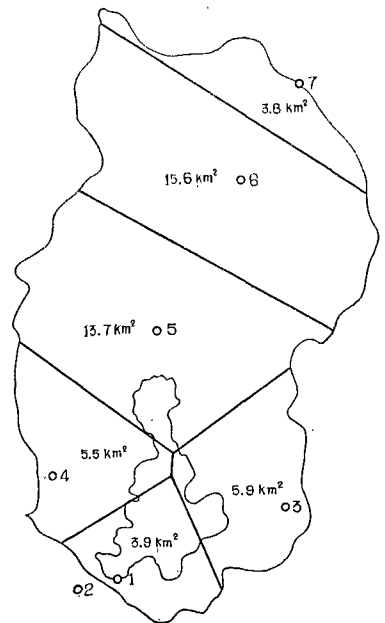
ウムを入れて凍結を防ぎ、降水量の積算値の記録だけをとつたが、それ以後は、これらを硫酸によるトタン板の刻蝕を利用する自記方式にきりかえた。これによつて、一雨毎の降雨についての測定ができるわけである。

毎回の降雨の解析は別の報告⁶⁾に譲ることにし、ここでは融雪期とみられる4月、5月、6月の積算値についての結果を第5表に示した。

これら6カ所の測定値から流域内の総降雨量を計算するには、三つの方法がある。第一は、積雪水量の場合と同じように降雨量の高度分布式をきめ、各高度の雨量をもとめてその高度の面積をかけて集計する方法である。第二は、測定地点の雨量を地図の上において、等雨量線を引き、線間の面積に両側の線の平均雨量をかけたものを合計する等雨量線図法である。第三は、ThiessenのWeight Method(荷重法)と呼ばれるもので、各測定地点を結ぶ直線の垂直二等分線によつて流域を分割し、それぞれの地点の測定値にその地点の周りの分割面積をかけて合計する方法である。別報に詳しく報告されるように、然別沼流域内の降雨量ははつきりした高度分布を示さないのので、第二か第三の方法によらなければならない。そして、第二の方法では、測定地点が少ない場合には等雨量線の引き方に主観が入り易いということから、第三のWeight Methodの方がより精確であるとされている。そこで、このWeight Methodによつて、流域内の総降雨量を計算した。流域の分割は第2図に画いたようになり、それぞれの分割面積は第4表にあげてある。図中の測定地点の番号は表中の番号と対応する。こうして、計算した結果は、第4表の最後の欄にあげた通りで、4月、5月、6月の然別沼流域の降雨量の総計は $13.3 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、総積雪水量 $18.3 \times 10^6 \text{m}^3$ の72%にあたる。今年のこの期間の降水量は例年に比べて少なかつたことは、然別湖荘の過去の資料やその他の気象資料から明らかなので、この流域での融雪期の全流出量に対する積雪と降雨との寄与は少なくとも同じ程度であるといつてよい。このことは北海道の東部の河川について一般的にいえることであろう。また、この期間の融雪水と降水量との総計は、 $31.6 \times 10^6 \text{m}^3$ となるわけである。

一方、この期間の然別沼への流入量は、然別沼の水位上昇と発電停止までに使用した水量とから計算され、第5表に各月及びその総計をあげたように、総計 $13.7 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

融雪期間の全流出量に、積雪と降雨とがそれぞれ



第2図 ThiessenのWeight Methodによる流域の分割

6) 東 晃, 小元敬男; 前出.

第6表 然別沼への流入量

期 間	流 入 量 ($\times 10^6 m^3$)
4 月	2.39
5 月	5.65
6 月	5.67
計	13.71

どれだけの寄与をするかは、それぞれについての流出率として表わされるが、その計算は流域の特性に適合した方法で行われる。例えば、大雪山水系のように流出に対する積雪の寄与の大きい流域では、われわれは流出率を積雪について100%とし、融雪期間中の降雨の流出率を別に切り離して計算している*。し

かし、然別沼流域のように積雪が少なく、その流出量への寄与も多くない場合には、積雪水量と融雪期の降水量との両者を併せてこみの流出率をきめる方が適当と思われる。その流出率、即ち、沼への流入量 $13.7 \times 10^6 m^3$ の融雪期の水の総量に対する比をもとめると、43%となる。この値は、上にあげた大雪山の忠別川流域の値とくらべると著しく小さい値である。

流域の高度、その融雪状況からみると、融雪水の流出は6月一杯で終ると思われるが、7月の流出の状況を見ると、7月の降雨量は、 $3.89 \times 10^6 m^3$ 、沼への流入は $2.98 \times 10^6 m^3$ であつて、これから計算すると、流出率は77%になる。この値は、先の4月、5月、6月の平均流出率42%より遙かに大きいし、また、次の8月の流出率42%にくらべても異常である。従つて、この場合には、融雪水の流出は、予想外におくれている、7月中にもまだ、融雪水の流出が続くと考えた方がよいと思われる。それで、融雪水の流出期間を4月から7月までとすると、積雪水量と降水量との総計は、 $35.5 \times 10^6 m^3$ 、流出は $16.7 \times 10^6 m^3$ であり、平均流出率は47%となる。

このように、融雪水が7月まで尾を引いているように見えることの理由は、今のところ、はつきりしないが、流域の地形、地質、あるいは然別沼の湖沼的特性による流出機構の差異に帰せられるのであろう。

IV. 然別沼水位の復元に対する予報

初めにも述べたように、今回の然別沼の積雪水量調査は、1953~54年の冬季間に、沼の水を発電に使用したために生じた約6mの水位低下が融雪水と融雪期の降雨によつて如何に復元されるかを予報する目的の下に行われたものである。本年度は、4月1日に海拔798.20mの水位で、満水位804.00mから、5.8mの低下であり、7月20日までにこの低下をとりもどすことが目標であつた。従つて、調査の終了と同時に早急に流出の状況の予想を立てる必要があつた。積雪水量の方は、本調査によつて判明したわけであるが、融雪期の降雨については予想の根拠がないといつてよかつた。というのは、然別沼に関する気象観測の資料は僅かに過去二年間、しかも沼の南端、海拔810mにある北電然別湖荘での測定があるだけで、全流域の雨量を推定することは勿論、その平年値をきめることも到底できないからである。しかし、緊急の用に役立つため、沼の水位の復元に対する一応の予報を行つた。そして、それは調査直後の

* 前出の2), 3), 4) 参照。

4月2日と4月27日に発表されたが、資料の整理が進み、また実際の流出が観測されると共に若干の変更を来した。これらの予報は、もう一つの要素である流出率の推定の違いと融雪期における異常な寡雨とによつて、実際とよく一致したとはいえない。しかし、どのような資料を基礎にして、予想を立て、どの点で喰違つてきたかを明らかにしておくことは、今後の調査の参考になると思うので、その概要を次に述べることにする。

1) 4月2日付予報

これは、「然別沼周辺地域の積雪水量調査（速報）」として発表した報告である。調査の終了が3月28日であり、測定結果の整理や補正の不備のまま、とりあえず大体の値を出したものである。

II, 4) で述べた総積雪水量算定の際の森林密度による補正係数がはつきりしていなかつたので、開地での測定値によつて積雪水量の高度分布をきめ、南部、及び北部の平均面積高度地点の積雪水量にそれぞれの面積をかけて、この両者の和を流域全体の総積雪水量の概算値とし、 $21.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ の値をえた。これは、補正後の値の約2割の過大評価であつた。この値から、全流域の平均積雪水量は、48.3 cm となつた。

次に、この値にもとづいて、沼の水位の復元についての予想を立てた。この時には、まだ、流出率の推定がつかなくなつたので、融雪水と復水期の降水の流出率はいずれも100%と仮定した。こうすると、沼の水を復元する水は、流域内の積雪水量と復水期の降水との和であるから、この二つから沼の水位上昇高は次の式によつて計算される。

$$\text{水位上昇高} = (\text{平均積雪水量} + \text{平均降水量}) \times \left(\frac{\text{周辺流域の面積}}{\text{沼の面積}} \right) \quad (7)$$

周辺流域の面積は 44.8 km^2 、沼の面積は 3.6 km^2 であり、平均積雪水量はその当時概算した48.3 cm を用いた。流域内の平均降水量は資料が全くなかつたので、過去2年間の同期間の北電然別湖荘の最低値をとることとし、1952年度の4月1日から7月末日までの総計、40.9 cm によつて代用した。その結果、7月末日を復水期限とすれば、11.1 m の復水が可能であるとの結論が出た。

この予想は、少ない資料と仮定ともとづいて立てられたものであるが、その当時は、大体妥当であろうと考えていた。というのは、森林密度による補正係数と流出率とをいずれも100%とおいたことは相当な過大評価であるが、平均降水量を北電然別湖荘の値で代用したことに起因する降水量の過小評価が、この過大評価とほぼ相補う程度であろうと見込んでいたのである。所が、II, 4), 5) で述べたように、実際には、森林補正係数は0.85になり、流出率は47%に過ぎないのに、降水量は予想を遙かに下廻り、流域全体の平均値が然別湖荘の1952年の値よりも小さくなるという結果を示した。即ち流域の総降水量を流域面積で割つて得られる流域の平均雨量は、今年度の4月から7月まで、35.5 cm であり、1952年度の北電然別湖荘の値40.9 cm よりも少なかつたのである。これは全くの異常寡雨というべきであつて、従つて、その異

常なことについては別に証拠をあげることもできる。⁷⁾ 従つて上述の評価は結果として全体的にかなりの過大評価になつたわけである。過去における降雨の観測も少なく、降水量の高度による増加の様も知られていなかつたのであるから、やむをえないことであるが、未調査の流域について予想を立てる場合の参考になると思われる。

2) 4月27日付予報

これは、「然別沼周辺地域の積雪水量調査(第二次速報、融雪及び流出の予報)」として発表したものであり、森林密度による補正と気温から推定される融雪と流出の予想について報告した。総積雪水量の算定における森林密度による補正は、II. 2) に述べた通りで、その結果、流域内の総積雪水量は $18.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ となつた。流域内の融雪の状況は気温から推定した。これは青森県八甲田山系荒川流域の融雪調査⁸⁾の観測結果に基づいてえられた次の式から計算したのである。即ち、ある期間内(半旬乃至一旬)に融雪水が地中に滲透する量： $H_M(\text{cm})$ と、その期間のプラス気温の積算値： $\sum \theta(^{\circ}\text{C} \text{ 日})$ との間には、

$$H_M = 0.56 \sum \theta \quad (8)$$

という実験式が成立つ。これを然別沼に適用すると、北電然別湖荘の気温の観測値から気温の高度遞減率によつて各高度の気温を計算し、それによつて各高度毎の融雪の状況を推定できる。そこで融雪の予報をするためには気温の予想が必要になるが、それらの計算に利用できる程の精度では勿論不可能であつたので、一応の近似として、気象観測の揃つている1953年の気温の資料を用いて計算した。その各高度についての結果を第7表にまとめた。ここで、融雪滲透開始日とあるのは、この日までは表面での融雪水が積雪層で保持され、地中には殆んど滲透しないという日である。表中に融雪水量を0と書いたのは融雪開始から融雪滲透開始日までの期間である。ある高度について(8)式で計算した H_M がその高度の積雪水量の約10%に達するまでの期間がこれに当り、低地では4月上旬、高地では4月一杯がこの時期である。また、積雪が融け終る旬間では、気温から計算した融雪水量ではなく、その高度の積雪水量からそれ以前の計算融雪水量を差引いた値、即ち、融雪の最後の旬間に融けると考えられる値をあげてある。従つて、各高度について、融雪水量と積雪水量とは一致する訳である。(但し、第3表では、積雪水量の森林補正を総計について行つたから、各高度別に対照するには、第3表中の各高度の積雪水量にそれぞれ0.85をかけると、第7表の総計欄の値と一致する。)

流域全体の融雪の状況は、第7表最下段にみる通り、最盛期は5月上旬であり、5月下旬には流域内の雪がすべて融け去ることになる。これらの値は1954年の積雪水量と1953年の気温の資料とを混用した結果であるから不完全なものであるが、流域全体の傾向を、大体表わしているとみてよいであろう。

次は、流出率の推定であるが、今まで調査されていないので、昨年度の積雪水量が本年度と

7) 東, 小元; 前出.

8) 樋口敬二; 荒川流域の融雪量及び流出量調査(印刷中).

第7表 融雪水量 (単位: 10⁴m³)

区 域	代 表 高 度 (m)	滲 透 開 始 月 日	4 月 上 旬	4 月 中 旬	4 月 下 旬	5 月 上 旬	5 月 中 旬	5 月 下 旬	総 計
南 部	850	4 月 10 日	0	11.6	38.0	70.4	—	—	120.0
	1000	4 月 20 日	0	0	28.1	103.3	15.5	—	146.9
	1200	5 月 1 日	0	0	0	16.4	16.4	—	32.8
北 部	850	4 月 10 日	0	25.5	83.6	190.1	—	—	299.2
	1000	4 月 25 日	0	0	99.7	429.3	172.4	—	701.4
	1200	5 月 1 日	0	0	0	184.5	243.0	36.0	463.5
	1300	5 月 4 日	0	0	0	13.6	26.7	21.3	61.6
合 計			0	37.1	249.4	1007.6	474.0	57.3	1825.4

同じ 18.3×10⁶m³, であつたと仮定し, 昨年の降水量, 流出量の資料によつて, 計算した. これは全く無理な仮定であるが, 北電然別湖荘での積雪の観測値がこの両年で余り変わらないので, 一応の目安をつけるために行つたのである. 先に述べたように, 融雪は5月一杯で終り, その流出期は4月, 5月, 6月とみられるので, この期間の流域内の総降水量は北電然別湖荘の観測値に流域の面積をかけて計算し, 15.1×10⁶m³ となつた. この両者の和 33.4×10⁶m³ を融雪期の流域内の総計水量とする. これとこの期間の然別沼への流入量 23.6×10⁶m³, との比を融雪期間の平均流出率とし, 71%の値を得た. この計算は, 本年と昨年の資料を混用した結果であるが, 1952年と1953年の夏期の流出率を, 北電然別湖荘の雨量観測値に流域面積をかけて計算

第8表 夏期流出率

期 間	流 出 率 (%)
1952年 7月	79
8月	52
9月	67
10月	72
1953年 7月	78
8月	64
9月	72
平 均	69

した流域の総降水量と沼への流入量との比として計算してみると, 第8表の通りで, 平均69%となり, 上に得た融雪期の平均流出率には近いので, 大体妥当と考えられた. しかし, これらの夏期の値も北電然別湖荘の値によつて推定したために, 過大評価になつていたことは後の調査で判つた.

以上述べた融雪状況の解析と流出率とから本年度の流出の予想を立てた. 気温の予報は札幌管区気象台発表の資料に基づき, 本年度は前2年よりも融雪が早く進行し, 流出も早いという予報を出した.

そして, 7月末日における沼の水位復元については, 次の

計算式によつてもとめた.

水位の復元予想値

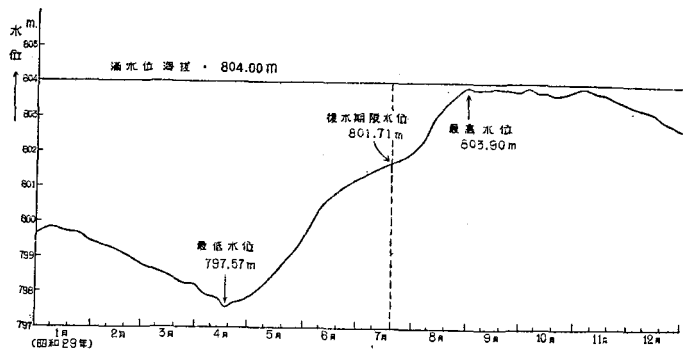
$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{\text{平均積雪量}}{\text{水}} \times \text{補正係数} + \frac{1952\text{年の4月より}}{\text{然別湖荘での降雨量}} \times \text{7月末日までの} \right) \times \text{平均流出率} \times \text{面積の比} \\
 &= (48.2\text{ cm} \times 0.85 + 40.9\text{ cm}) \times 0.71 \times \frac{44.8\text{ km}^2}{3.6\text{ km}^2} \\
 &= 7.2\text{ m}
 \end{aligned}$$

(8)

その結果、沼の水位上昇は 7.2 m であり、第一次速報より下廻る値となつた。この場合、降雨は 1952 年と同じとしたが、これは本年の降雨量の予想が一昨年近く、それよりやや下廻るとされていたためである。従つて、上の値はやや過大評価で、水位の上昇はこれより更に下廻るであろうと考えられた。

こうして然別沼の水位復元予想値は、復水期限を 7 月末日として第 1 次速報で 11.1m、第 2 次速報で 7.2 m となり、水位低下量 6.4 m を十分とりもどすことが予想されたが、実際の復水の経過は第 3 図に示す如くで、復水期限の 7 月 20 日に 4.1 m、7 月末日に 4.4 m で、8 月 31 日になつて復水を完了し、以後は、発電に水を使用することができた。

このように、予報と実際とが相当かけはなれた結果に終つた原因は、前の 1) の場合にも述べたように、降雨が本年は非常に少なく流域内の平均雨量が 35.5 cm と、過去 2 年の北電然別湖荘の観測値の最低量 40.9 cm より遙かに下廻つたことと、流出率を 71 % とみた



第 3 図 然別沼水位復元の経過

のが実際には 43~47 % に過ぎず、過大の予想をしていたことにある。山岳地帯を流域とする河川の融雪流出を予想するには、少なくとも一年間の全流域の積雪水量、降水量及び流出量の調査が行われなければならない。そういう調査の不完全な少ない資料から無理をして推定したのであるから、この程度の相違が起るのは当然であろう。

流出率の値が小さいことについては別に一つの問題がある。それは沼への流入量を計算するに当つて、融雪期に入つてから発電所が使用した水の量は、発電量からの逆算で計算しているので、圧力隧道の漏水分が入っていない。この漏水量の大きさについては不明であるが案外大くなる可能性があるので、流出率の精確な推定は今後に残された問題である。

V. 要 約

然別沼周辺地域の積雪水量調査を、発電用水計画の基礎資料を作るために行つた。

流域面積 44.8 km² に対して、23 地点の Snow Sampling を行い、積雪水量の高度分布を定めた。この分布から流域内の総積雪水量を算定するに当つて、森林密度による補正係数を樹木の密度から計算し、0.85 の値を得た。

これらを用いて計算した結果、同流域の 3 月 28 日現在の総積雪水量は 18.3 × 10⁶ m³ となつた。

融雪期の降水量の測定には、6カ所に雪雨量計を配置して測定し、ThiessenのWeight Methodによつて計算し、融雪期に当る4月、5月、6月の流域内の総降水量は、 $13.3 \times 10^6 \text{m}^3$ となつた。

従つて、融雪期間の流域内の総計水量は、 $31.6 \times 10^6 \text{m}^3$ である。これに対して、流出量は、然別第一発電所の発電量と沼の水位の上昇とから計算すると、4月より6月末日までに $13.7 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、この両者の比から平均流出率は43%となつた。また融雪流出が7月まで尾を引くとして計算しても流出率は47%にしかならない。大雪山忠別川等と比較して著しく小さい値である。

冬期間に発電に水を用いたことによつて生じた然別沼の水位低下の復元について、予報と実際とを比較検討し、その相違の原因は、本年の融雪期における異常寡雨と、流出率の過大評価にあつたことを示した。

本調査は今後も毎年継続して行い、調査方法の簡略化を計ると共に、将来の用水計画を理想的な形で行えるように基礎的データの累積を行わんとするものである。

本調査は、北海道大学理学部中谷研究室における山岳地帯の降雪降雨の研究の一部として行つたものである。Snow Samplerの貸与を戴いた菅谷水資源研究所所長、菅谷重二博士、参考資料の整理に助力戴いた北海道電力株式会社給電課高橋和夫氏、林相図についてお世話戴いた帯広営林局の各位に対して深く感謝する次第である。

なお、研究費は本研究の委託者北海道電力株式会社に仰いだ。ここに深甚なる謝意を表すものである。

5. Snow Survey in the Lake Shikaribetsu Basin

By Akira HIGASHI^{*}, Keiji HIGUCHI^{**} and Kazuhiko ITAGAKI^{*}

(* Department of Physics, Faculty of Science ** Department of Geophysics)

Lake Shikaribetsu has been used as a reservoir for the Shikaribetsu hydroelectric system of power plants since the autumn of 1953. As this system is to be operated only to make up for the decline in water power for other hydroelectric systems in Hokkaido in winter, the water level of the lake falls remarkably during winter. This lowering must be brought back to the normal level by the runoff into the lake before the summer sightseeing season. The runoff depends upon melted snow and precipitation in the snow-melting season.

To make ascertain the contribution of melted snow to the runoff and to know

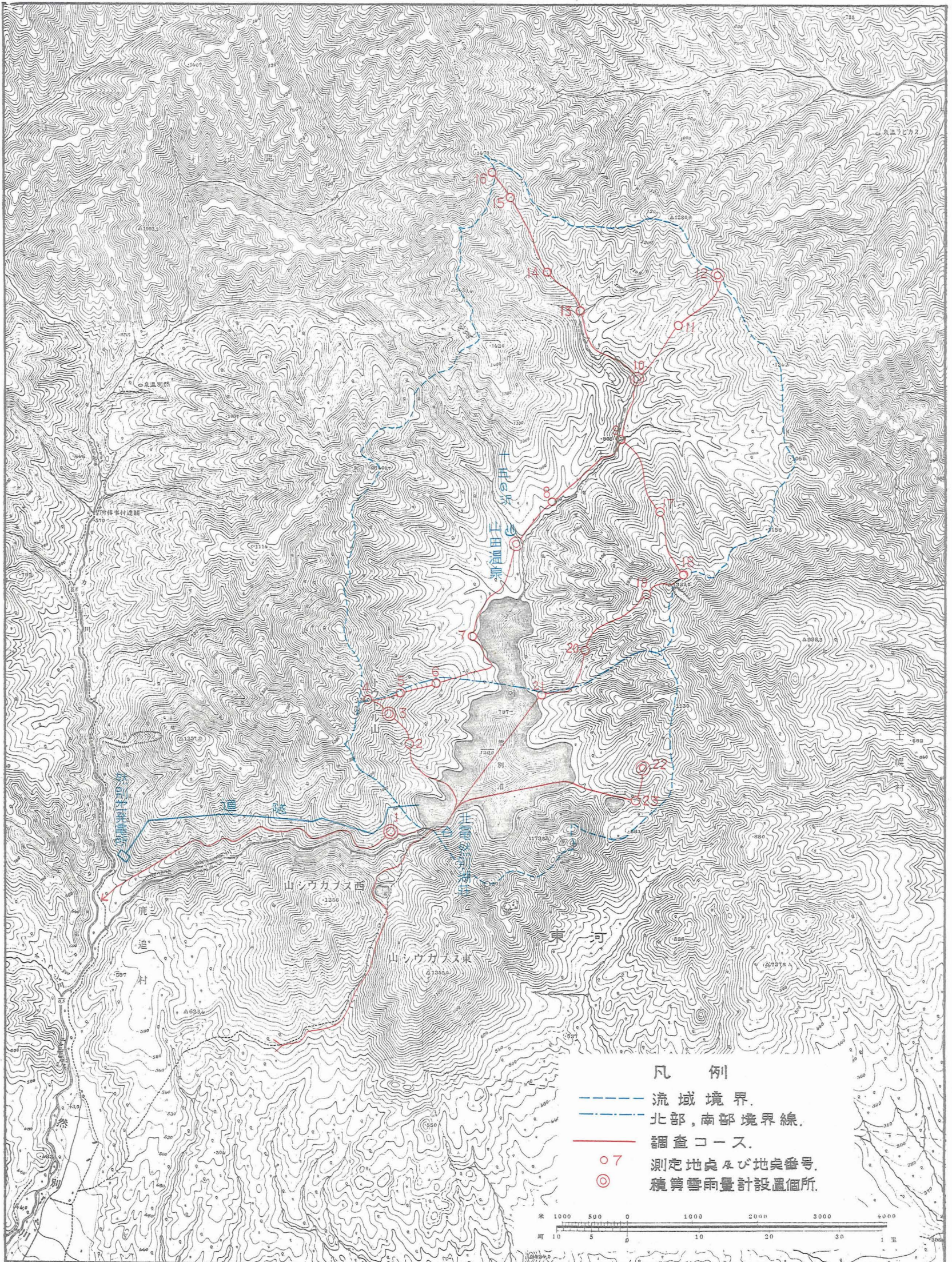
what amount of may be available for the restoration of the lake level at the beginning of spring, a project of snow survey was started as a contract research by the Hokkaido Electric Power Company Ltd. The survey was carried out at the end of March 1954 by the semi-quantative method, boring snow cover from place to place all over the basin along courses as shown in the map of Plate I.

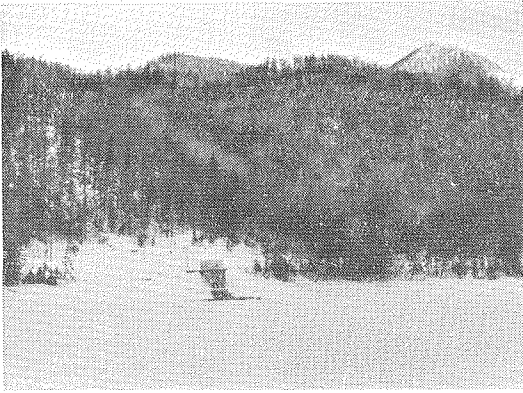
Relationship between altitude and the water equivalent of snow cover in this basin is given in Fig. 1, in which A represents the relation in the northern part and B in the southern part of the basin. The total water equivalent over the whole area of 44.8 km² is estimated as $18.3 \times 10^6 \text{m}^3$, taking the correction for forest cover as 85%. From the above total amount of snow cover and the statistical estimation of precipitation in snow-melting season, it was predicted that the restoration of the water level which had been lowered about 6 m would be possible by the end of July. But actually it took until August.

The actual runoff into Lake Shikaribetsu was calculated from the sum of the used amount of water in plants system and the rise of water level of the lake. After the date when the intake to the plant was closed, it was calculated from the latter only. This runoff is contributed by both the winter snow and the current precipitation in snow-melting season. The overall coefficient of runoff during the period from April to July was barely 47%. This is a remarkably smaller value than the writers found in the Chūbetsu River Basin.

The discrepancy between the prediction and actual restoration of the water level may be attributed to the small coefficient of runoff and to the abnormally less precipitation in the snow-melting season of this year.

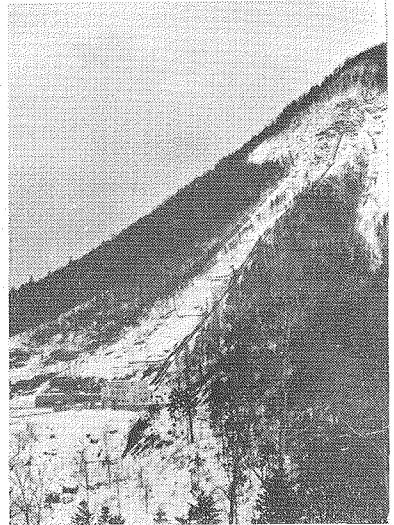
The project will be continued for a longer period to learn about the hydrologic cycle in this basin.





No. 1 凍結した沼と取水口

1954. 3. 28



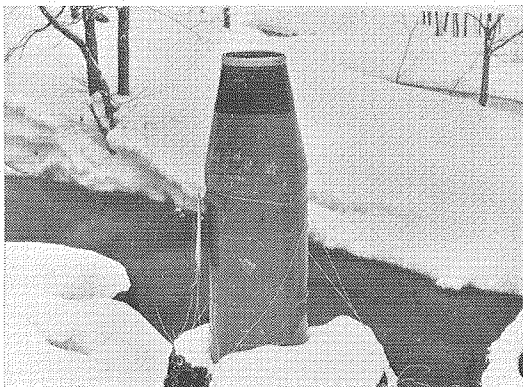
No. 4 然別第一発電所

1954. 3. 28



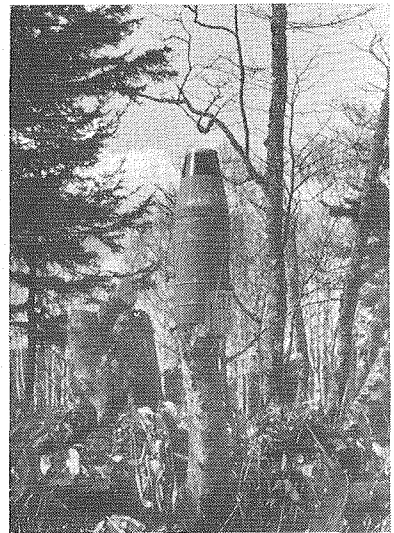
No. 2 然別沼東岸におけるサンプリング

1954. 3. 27



No. 3 山田温泉の積算雪雨量計

1954. 3. 26



No. 5 東小沼積算雪雨量計

1954. 7. 13