

## ディグリー・デーによる融雪増水の予測について\*

沢 田 照 夫\*\*

## 1. はしがき

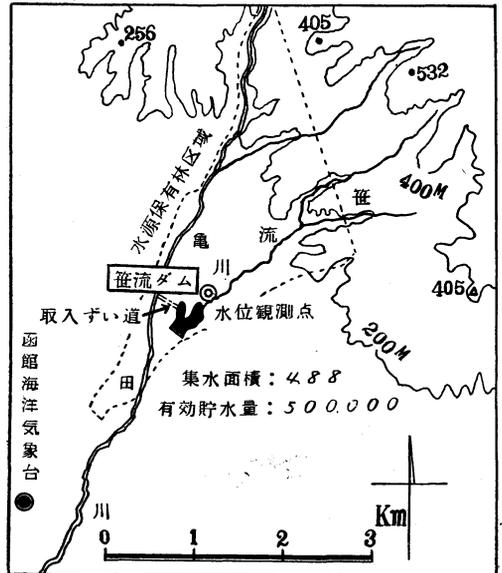
冬のあいだに雪として降った降水量の大部分が、積雪のまま流域内に保存されている北海道の河川では、春さきの流量が気温の上昇の度合に応じて大きく変動するであろうことは容易に想像されるところである。これについては荒川<sup>1)</sup>が道内発電所の可能発電電力量から、気温と河川の流量とのあいだの相関係数を計算し、積雪期(12月～3月)にはその係数が+0.3～+0.4と低い値を示しているにもかかわらず、気温がようやく $0^{\circ}\text{C}$ 以上に達し本格的な融雪のはじまる4月には、相関係数はじつに+0.89とほとんど正比例に近い密接な関係にあることを指摘していることからもうかがえる。そこで本報では函館市郊外の笹流ダムに流入する河川の水位観測の資料にもとづいて、河川の融雪増水とディグリー・デーとの関係を追究してみる。

## 2. 融雪期の水位曲線

函館市(給水人口20万人)の市街給水は、げんざい同市のNNE約8kmにある笹流貯水池によってすべてまかなわれている。この貯水池は市内を貫流して津軽海峡にそそぐ亀田川水系の一支流笹流川を、高さ25m・長さ150mの中空式コンクリート堰堤でせきとめた、邦人の施行によるわが国最古(1889年完成)の上水道ダムである。

有効貯水量 $50 \times 10^4 \text{m}^3$ のこのダムは、その水源をおもに $4.88 \text{km}^2$ の集水面積をもつ笹流川の直接流入に求めているが、渇水期には近くを流れる亀田川本流から取入道によって不足分を随時補給している。(第1図参照)

この川の入入口には量水標が設置され、毎日15時に水位による河川流量を測定しているが、1953年～1955年の3ヶ年分の資料から各年の春さき(3月～6月)の水位曲線を求めたところ、第1図の結果が得られた。(ただし1955年分については、前年の夏の豪雨のため量水路内に土砂が堆積してその値は正確でない)



第1図 笹流ダム一帯

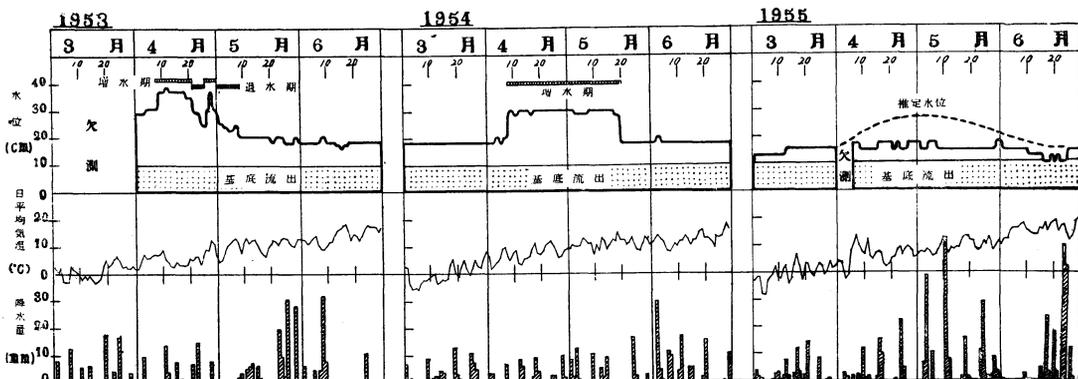
なおこの曲線は一日一回の観測によったものなので、水位の日変化その他詳細についてはうかがうべくもないが、比較的長期にわたる融雪増水を論ずる今の場合、平均的な意味をもつこの観測値でも十分有用と考える。

また現地では気温・降水量とも観測がなされていないので、これらはすべて約2.6km離れた函館海洋気象台の観測結果をもってあてることとし、毎日の平均気温と降水量(0.0mmをのぞく)をあわせてかかげた。

第2図から見られる特徴として、まず融雪期(4月～5月)の水位曲線が年によってかなり相違することがあげられる。すなわち1953年には4月に入ってようやく増水の傾向をみせはじめた水位曲線が、上旬末には飛躍的に上昇しておおむね37cmの高水位が中旬いっぱい持続した。その後下旬に入って一時退水の気配を見せたものの、旬末には再び37cmの高水位が観測された。しかしこの増水は永続せず、5月に入って次第に退水しはじめ、下旬なかばには18cmの安定水位に到達した。かように1953年の水位曲線は、2つのピークを持ったかなり複雑な推移をたどっている。

\* Predicting the Hydrograph from Snow Melt by the Degree Days

\*\* Teruo Sawada, 函館海洋気象台  
—1960年1月4日受理—



第2図 春さき(3月~6月)の笹流川の水位曲線

これにひきかえ1954年では、同じく4月上旬末に18cmから一挙に30cmへと飛躍した高水位が、多少の変動はともないながらも5月の中旬末まで継続し、下旬はじめには再び急降して水位18cmの安定した状態に復するという、やや平坦的な変化を示している。(1955年は資料が不正確なので省略する)

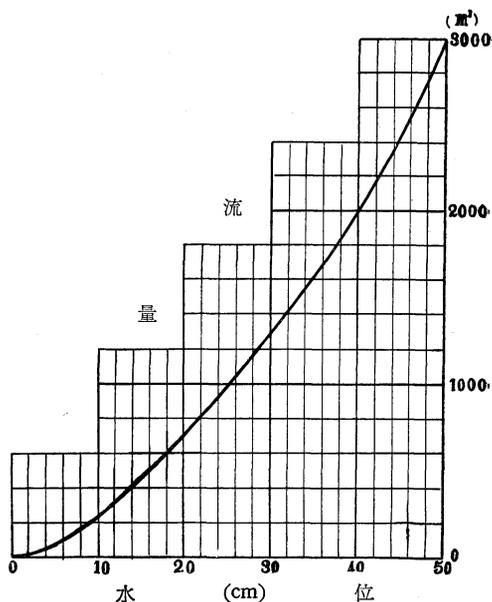
かような高水位の原因がほぼ融雪によるものであることは常識的にも十分判断できるが、念のため兩年の当時の降水状態を見ると、水位の増大をともなうほどの格別の大雨も見あらず、季節的にも年間を通じての最寡雨期であるところから、これらの高水位は融雪増水を示すものと考えて差支えない。

つぎにこれらの融雪増水を流量の面からいまい少し検討してみる。この川の水位(H)と流量(Q: m<sup>3</sup>/sec)のあいだにはつぎの関係式が与えられている。

$$Q = 1.84 \times b \cdot H^{\frac{3}{2}} \text{ m}^3/\text{sec} \dots \dots \dots (1)$$

ただしbは量水路の巾を示し、この場合b=1.2mである。なお実用上では毎秒流量よりもむしろ毎時流量を使用することが多いので、参考のため水位による毎時流量の計図表を第3図にかかげた。

(1)式または第3図により第2図から兩年の融雪期の月別の流出量を求めると、第1表のごとき結果が得られた。もちろんこれにはその月々の降水による流出も含まれてはいるが、前述のごとく降水量そのものが兩年ともさして大きくないところから、ここでは融雪期間内の降水による流出量はとくに考慮しないことにする。したがって全期間を通じての総流出量は、1953年では約163×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>、1954年では約158×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>となる。ところが河川の流量には直接流出(direct runoff)のほかにも基底流出(ground water flow)も含まれているので、これ



第3図 水位による毎時流量の計算図表

を分離するため年間を通じての最低水位(10cm; 兩年とも2月中に観測されている)を基底流水位としてその流量を計算し、これから直接流出を求める方法を採用した。月別の直接流出量は第1表に併記したとおりであるが、この表からも明らかなごとく1953年および1954年の全期間を通じてのその量は120×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>代でほぼ一致する。そこでもしこれらの流出量が融雪だけからもたらされたものであるとするならば、先行する積雪期の兩年の降雪量はおおむね等しくなければならない。ちなみに兩年の降雪状態を新積雪累計を目安に検討してみると、積雪期間を通じての新積雪累計は第2表のごとくほぼ等しく、これらを水に換算した積雪水量でもおおむね一致す

第1表 笹流川の融雪期の流出量

年	1953	1954	1955
要素	(総流量) 直接流出量 (m <sup>3</sup> )	(総流量) 直接流出量 (m <sup>3</sup> )	(総流量) 直接流出量 (m <sup>3</sup> )
月			
4月	(1,076,770) 895,834	(811,495) 630,559	推定総流出量 約1,500,000m <sup>3</sup>
5月	(554,417) 367,450	(771,833) 584,886	
融雪流出量	1,263,284	1,215,425	*1,200,000

\* 印は推定値

第2表 笹流ダム付近の降雪状況  
(函館海洋気象台の観測結果による)

年	1952/1953		1953/1954		1954/1955	
要素	新積雪 累計 (cm)	積雪水量 (mm)	新積雪 累計 (cm)	積雪水量 (mm)	新積雪 累計 (cm)	積雪水量 (mm)
月						
12月	88	37.7	21	72.1	29	72.8
1月	63	73.7	95	69.1	81	75.9
2月	29	49.5	32	75.9	48	68.5
3月	30	80.5	45	67.0	19	65.3
合計	210	241.4	193	284.1	177	282.5
最深積雪	44cm		49cm		63cm	

という結果が得られた。したがって第1表にかかげた直接流出量は、おおむね第2表の積雪が融雪現象によって流出したものと断定してよいと考える。

以上の理由から第1表の直接流出量は、すべて融雪流出量であると決定する。

3. 融雪増水とディグリー・デー上昇

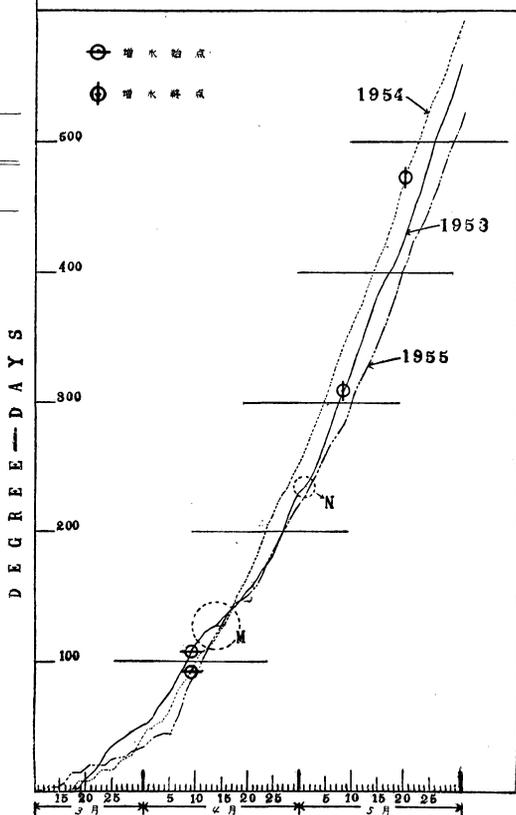
流域内に積った雪が流量となって現われるには、これに先立って融雪現象が起らなければならない。融雪の原因には風・湿度・日射・降雨などさまざまな気象要素が考えられ、いっぽう積雪自体の密度も大きく関係するが、そのもっとも大きいものはやはり0°C以上の温度であることはいままでもない。そこで本章では0°C以上の日平均気温の積算値、すなわちディグリー・デー(deg-ree day) と融雪増水との関係を調べてみる。

笹流ダムの付近で日平均気温がおおむね0°C以上に達するのは例年3月中旬であるところから、3月上旬からほとんど融雪が完了する5月下旬までの各年のディグリー・デー上昇(d-上昇)を求めてみたところ、年によ

て変動は認められるがおおよそ放物線に近似する第4図のごとき曲線群が得られた。

まず1954年線では比較的スムーズに放物線をたどっているのに比べ、1953年線は4月上旬まではその変化率が1954年線に比べてかなり大きい、以降は4月中旬と5月上旬の前半の顕著な中たるみ部分(図中M部およびN部)をへて、おおむね1954年線に平行するというやや曲折的な形をとり、さらに1955年線ではその変化率が全般的に他の2線より小さいことなどが認められる。

他方融雪増水を知るためにはハイドログラフが望ましいが、(1)式からも明らかなおり流量は水位の3/2乗に比例するから、ハイドログラフは第1図の水位曲線の振巾を大きくしたものとみて差支えなく、流量の変化のまようを知る目的にかぎり第1図の水位線をハイドログラフに代用させてなら支障はないと考える。そこで各年のd-上昇とハイドログラフ(水位曲線)とを照合して



第4図 1953年~1955年の融雪期ディグリー・デー上昇(d-上昇)

その関係を究明すると、

(1) 1953・1954の両年の顕著な融雪増水の始点と終点におけるディグリー・デーの値を求めると、始点では89および103と100ディグリー・デーを中心にほぼ一致するという興味ぶかい事実が得られた。これはその終点が304および471とかなり相違するのに比べ、十分注目すべき現象と思われる。とくに1953年のように顕著な融雪増水のまえすでに漸増を示していた流量が、100ディグリー・デー近傍に達するや飛躍的に増大していることから、融雪機構の中で100ディグリー・デーを境にして融雪を不連続に発展させるある要素がはたらくものとも考えられ、物理的に100ディグリー・デーにある種の臨界的な意味も考えられるが、資料がとばしいのでこの究明は後日にゆずることとしてここではその事実だけを述べておく。これに反して終点の差異は、始終点間の日数が31日および43日と異なるのと同じく、年々の積雪水量とd-上昇の推移できるからと単純に考えてよからう。

(2) 1953年ではd-上昇の中のM部およびN部の存在が、ハイドログラフ中の2つの退水部とよく対応することがわかる。ただしM部と第1退水期のあいだには約10日の時間的なズレが認められるが、これは融水が積雪中を滲透して地上に達したのち流出するためのおくれによるものと考えられる。そこでもしこれを事実とするならば、残雪が少なくなるほどズレは小さくならなければならないが、N部と第2退水期の時間的一致はこの推察の正しいことを証明している。

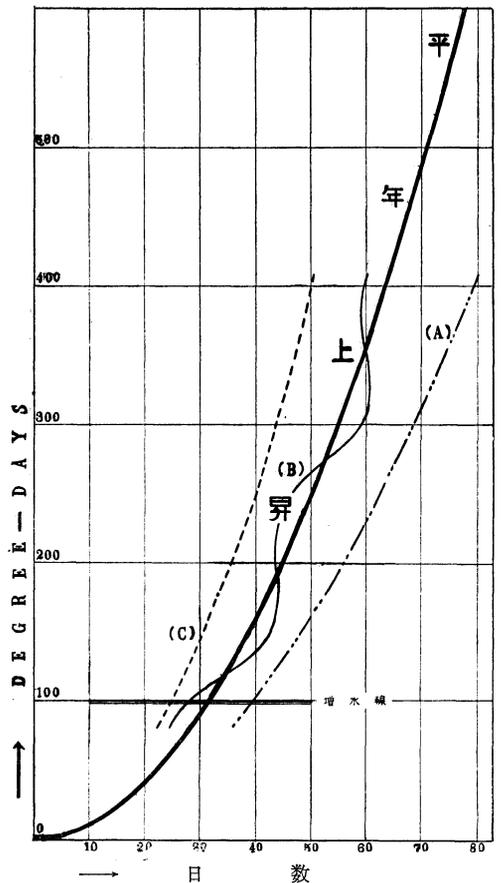
また1954年ではd-上昇のスムーズな増大がハイドログラフにも反映し、明瞭に増水期を画してその間流量の変動もあまり見あたらない。これらの事実からも融雪増水とd-上昇とは、正比例的な因果関係にあることは十分うかがえる。

(3) 1953・1954の両年の例から察するに、増水のはじめの水位は始点まえのd-上昇の変化率によってきまるものと思される。すなわち1953年では始点まえの段階での上昇が1954年に比べてかなりけわしく、したがって始点到達までにすでに流量の漸増をとめないながら始点では一挙に37cmの高水位を出現した。しかるに1954年では始点まえの上昇がゆるやかであったためか、始点到達まえの流量は定常状態を保ち始点でも30cmとやや低い水位がみられた。これらのことから顕著な融雪増水の初期水位は始点到達までのd-上昇の変化率できまるとみてよい。

1955年については資料が不正確なので詳しいことは論ぜられないが、そのハイドログラフから推測するに顕著な融雪増水はなかったように思われる。このことは同年のd-上昇からもある程度うかがえるが、第1表から融雪期の直接流出量を推算すればおおむね  $120 \times 10^4 \text{m}^3$  と推定されるので、これとd-上昇とからそのハイドログラフを逆算してみると第2図中に点線で示したような曲線をたどったものと思われる。したがって1955年については顕著な融雪増水はなかったものと断定してよからう。

4. 融雪増水の現われ方の予測

前章の議論から融雪増水とd-上昇のあいだには密接不可分な関係のあることが明らかとなったので、本章ではd-上昇から逆に融雪増水の現われ方を予想する試みについて若干述べてみる。まず笹流ダム地域の平年のd-上昇を知るため、最近10ヶ年(1946年~1955年)の累年



第5図 平年 d-上昇とそのモデル

日平均気温から平年上昇を描いたところ第5図に示す曲線を得た。もちろん各年のd-上昇は千差万別の形を呈するわけであるが、これらを平年上昇を基準におおざっぱにモデル化すれば、おおむね図中のA, B, Cの3とおりの分布の仕方が考えられる。

なお参考のため平年上昇の近似方程式を求めたところ、

$$y=0.1x^2 \dots\dots\dots(2)$$

なる放物線上にほとんどのことが判明した。そこでd-上昇の一般式を、

$$y=Kx^2 \dots\dots\dots(3)$$

とおき、上記の分類を第3表でさらに詳しく説明する。

第3表 d-上昇 ( $y=Kx^2$ ) の大別

d-上昇タイプ	K	融雪増水の現われ方	類似年
平年型	$K=0.1$	安定した増水がつづく。(安定型)	1954
A型	$K<0.1$	目立った増水はみられない。(低水型)	1955
B型	K: 不定	増水と退水がくり返され、部分的な洪水の発生するおそれもある。(振動型)	1953
C型	$K>0.1$	洪水の発生するおそれが多分にある。(洪水型)	

つぎはこれら上昇モデルのおおのこの場合について、融雪増水の現われ方を検討するわけだが、その総流出量をきめる積雪水量そのものがこれまた年々によって千差万別である。そこで便宜上ここでは積雪水量が一定である(したがって直接流出量も一定となる)との仮定のもとに、個々の場合の増水の現われ方を調べてみる。

さいわい第3表からも明らかのように、1954年のd-

上昇が平年のそれとほぼ一致するので、1954年の直接流出量とハイドログラフとを基準として上昇モデルのおおのこの場合が描くハイドログラフを推定すれば、おおよそ第6図に示すような推移をたどるものと思われる。

すなわち、

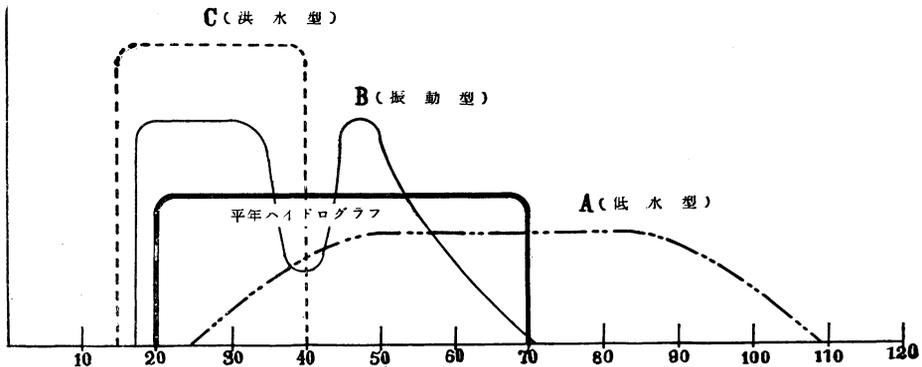
(A型) d-上昇が増水線(100ディグリー・デー)に到達する時期がおそいので増水のはじまりは平年よりややおくれ、いご比較的低位の流出がかなり長期にわたって持続したのちゆるやかに退水しながら終了にいたる。

したがってかような年では顕著な融雪増水は観測されないだろう。〔低水型〕

(B型) 増水のはじまりは増水線に到達するまでのd-上昇の変化率できまる。すなわちその変化率が平年よりも大きいときは早く、小さいときはおそくはじまるだろう。いごd-上昇の谷または山に対応して退水および増水がくり返されるが、両者のあいだの時間的なズレは増水の初期ほど大きく、残雪の減少に比例してズレは小さくなる。とくに増水線まへのディグリー・デーの増大が急激な場合には、初期に極端な高水位(洪水)が部分的に発生するおそれがあるので警戒を要する。〔振動型〕

(C型) d-上昇と増水線とが交わる時期は平年よりかなり早いので、増水のはじまりは相当日数早目となる。増水まえにすでに流量の漸増がみられ、増水は爆発的な流量の増大にはじまりいご極端な高水位(洪水)が短期間つづいたのち急速に退水して終了にいたるだろう。

このタイプに属するd-上昇がみられる年の春さきには、融雪洪水の発生する公算がきわめて大きいので河川の周辺では嚴重な警戒が必要である。〔洪水型〕



第6図 d-上昇の各出現モデルに対する予想ハイドログラフ

上の例はいずれも直接流出量が一定という仮定のもとに述べたものであるが、現実にはその年々によって積雪水量はかなり変動する。しかし過去何ヶ年かの資料が得られれば、積雪水量と直接流出量との関係式を求めることは可能である。また d-上昇についても実際には上記のモデルがさまざまに組み合わさった複雑な推移をたどるのが常であるが、d-上昇の部分ぶぶんについては前述の議論をそのままあてはめることができる。

そこでまずその年の積雪水量から融雪の直接流出量を推算し、べつに一般の気温予想の資料から予想 d-上昇を求めれば、この両者といままでの議論の総合から起こるべき融雪増水のハイドログラフを予測することはおおむね可能と思われる。

(融雪洪水の予知)

おわりに融雪増水の特殊なケースとして、流出量の増大が爆発的におこりそのため河川が氾濫して重大な災害をもたらす、いわゆる融雪洪水の発生を予知するための二・三の注意事項に触れてみる。

かような洪水が発生するのは d-上昇がおおむね C 型に属するような推移をみせる年に限られるだろう。そこで 3 月中旬前後の気温の上昇の割合が大きく、気温予想からもこんご C 型の上昇が見込まれ、かつ河川の流出量も漸増をつづけるような場合には、つぎの事項を目安にいちおう洪水の発生を警戒する必要がある。

- (1) 洪水はディグリー・デーの値が 100 に達すると見込まれる時期を契機に突発的に発生するおそれがある。
- (2) 洪水の最高水位は増水線に達するまでの d-上昇

(96頁からつづく)

The Typhoon has brought rainfalls of over 150 millimeters in the mountain areas of Kagoshima and Miyazaki prefectures. = 台風は鹿児島県、宮崎県の山岳地域に 150 ミリ以上の雨を降らせた (降雨をもたらした)。

土地など洪水で“水浸しになる”は “to be flooded” といい、“水に浸っている”は “to be under water” という。“洪水”は “flood” で、その水を指すときは、“flood waters” といい、これが“延びて行く”のは “stretch across ~” その水が“引く”のは “recede”、“怒りくる水”は “the raging waters” などという。水でまわりをかこまれて“孤立する”は “to be isolated”、“泥砂でうまる”は “to be covered with sand and mud”。

“被害”は “damage” が普通使われ “台風 10 号によ

の変化率に比例する。したがって過去の実例さえあればその水位を予測することはある程度可能である。

(3) 退水の時期は増水線をこえてからの d-上昇の形から予想できる。この場合 d-上昇がスムーズならばその退水は直接流出量の総量を洪水位の流量でわたった予想洪水期間の直後に短時間のうちに終了するが、曲折する際はハイドログラフに変化が生じ退水期の予想はやや困難となる。

5. むすび

本報では主に北海道南部の中河川を対象とする融雪増水の予測の方法について、笹流ダムの資料からその一試法を紹介した。しかしなにもぶんに集水面積が 4.88km<sup>2</sup> という中程度の流域であるところから、この方法を集水面積の広大な河川にそのままあてはめることは不適當であり、その地理的条件や降雪状態の差異から北海道北部の河川にも適用されないであろう。しかしながらこんご他の河川を対象に融雪増水の予想法を調査される方々のなんらかの参考にもなればとの考えからあえて筆を執った次第である。

おわりにこの調査にあたり終始ご協力をいただいた函館市水道局、種々ご指導を得た安井函館海洋気象台長に對し衷心よりお礼申しあげる。

参 考 文 献

- 1) 荒川秀俊・堤敬一郎 (1959): 冬の気温昇降と河川の流量、雪氷, 20, No. 5, 22~24.
- 2) 荒井隆夫 (1959): 降水と河川流出量との関係、気象学ハンドブック, 963~970.

る被害”は “damage from Typhoon No. 10” という。“被害額”は “damage” または “a damage toll” “被害を与える”は動詞としての “damage” があり、damage を名詞として使えば、“do damage to” (give damage ではない) を使う。家屋がつぶされるのは “to be crushed”, “to fall down”, “to collapse”, または “to crumble away” 家屋などが “こわされる”は “to be destroyed”, 橋、舟、人などが “流される”は “to be washed away”, 道が “こわされる”は “to be damaged”, 人が “死ぬ”は “to be killed”, “傷つく”は “to be injured”, または “to be hurt”, 重傷の場合は “to be seriously injured (hurt)”. 地すべり = a landslide などで、“生理にきれる”のは “to be buried alive”. 死者何名, 行方不明何名などという時は、つぎのように書く。

(75頁につづく)