

石狩川上流流域の流出機構の変化について

正員 木下武雄*

ON THE VARIATION OF RUNOFF IN UPPER ISIKARI BASIN.

By Takeo Kinoshita C.E. Member

Synopsis : In Isikari-gawa basin, many trees were blown down by the strong typhoon which passed by Hokkaido in 1954. Computing the unit-hydrographs (Fig. 3) by means of the method of least square (associated linear equations (5)), the author concluded that the runoff in 1956 (after the disaster) is uniformly larger than in 1952. Data of rainfall and water-level were obtained at So-unkyo and Simo-Aibetu respectively in July, August and September (Fig. 1). Fig. 2 (correlograms of rainfall) and Table 1 (\bar{r} : average daily rainfall, σ : standard deviation of rainfall, f : percentage of the number of days in which it rained more than 10 mm, r_m : maximum daily rainfall, and \bar{h} : average water-level) show that hydrological conditions in these three years were not different each other.

要旨 石狩川上流流域で、昭和 29 年秋に風倒木が大規模に生じた。これによる流出機構の変化を検出するために、ユニット ハイドロ グラフを流域の流出特性をあらわす量として用いた。この方法により 2, 3 日程度の現象としては流出がふえた結論される。

1. 序 論

云うまでもなくユニット ハイドロ グラフは SHERMAN¹⁾を始めとして、多くの研究者によつて議論されてきた。ユニット ハイドロ グラフの目的は研究者によつてそれぞれ違つてであろうが、多くの場合は過去および現在の雨量がわかつたときに、現在および極く近い将来の水位または流量を予測しようとするものである。この方法は本来線型的な考え方から出発しているが、雨量と流量との関係は実際には非線型的である。いいかえれば重ね合わせができないわけで、他の条件が同じでも、1時間 5 mm の雨と 1時間 50 mm の雨と比べ、後者の流量が 10 倍になるわけではない。そのためユニット ハイドロ グラフに各種の操作を加えて巧みに非線型性をとり入れて、予報に役立つ式ができていく。しかしその反面むやみにパラメーターの種類をふやしたり、仮定を導入したりする傾向も見られる。

またユニット ハイドロ グラフは流域の雨に対する応答特性と見なすこともできる。つまりユニット ハイドロ グラフは地形・地質・植物被覆・河状をすべてまとめて、一つの流域の水文学的特徴をあらわすものである。

昭和 29 年 9 月北海道を襲つた台風によつて石狩川の上流流域で多くの樹木が倒され、流域の植物被覆の状態がすっかり変わった。その変わった様子は旭川営林局の精密な調査で明らかにされた。その結果流域の流出機構が変わつたのではないかと考えられ、その変化をなんらかの形で量的に検出することは水文学上も、また水利用、洪水防御の立場からも重要と思われた。著者は昭和 29 年以前のユニット ハイドロ グラフと昭和 29 年以後のそれを比べることによつて、流出機構の変化を量的に云いようと思つて若干の計算を試みた。それがこの論文の内容である。

そこでユニット ハイドロ グラフをなんらかの方法で求める場合、状態が単に変つたか否かのみをあらわすのならば、以下に述べる多元連立一次方程式を解かずとも、安芸敬一および著者²⁾が用いた方法がある。しかしここではパラメーターの種類や仮定を成るべく少くしてユニット ハイドロ グラフの形を求め、はなれた 2 期間でそれらを比べ、客観的に流域の移り変わりを論じたい。

この方法の最大の仮定であり弱点は、現象が線型法則に支配されているという仮定である。このことについては後で論ずるとして、この方法の長所は他に仮定やパラメーターは全くなく、誰にでも容易に算出できることである。

2. 用いた式についての説明

前述のとおりユニット ハイドロ グラフ u を求めるに当り、水位を h 、雨量を r として線型法則が成立つと仮定する。

*東京大学理学部、地球物理学教室

$$h(t) = h_0 + \sum_{s=0}^{\infty} u(s)r(t-s) \dots \dots \dots (1)$$

ここでは資料は日水位、日雨量を用いた。すなわち、 t なる日の水位 $h(t)$ は定数項 h_0 (河床高や基底流量のよ
うな成分を含む定数)、その日の雨量 $r(t)$ に影響を示す係数 $u(0)$ を掛け、1 日目の雨量 $r(t-1)$ に同様の係数
 $u(1)$ を掛け、これらを順次加えたものであるとしている。この u がユニット ハイドロ グラフと呼ばれるもので
ある。SHERMAN の考え方と同じであるが、彼は一つの雨に対応する一つの出水からユニット グラフを得てい
る。R.K. LINSLEY らの Applied Hydrology にも同様ユニット ハイドロ グラフの求め方を解説しているが、
これらは誤差の大きい方法である。著者は最小自乗法の考えでユニット ハイドロ グラフを算出した。すなわち
何回かの雨にユニット ハイドロ グラフ u を掛けて計算した水位と、それに対応する観測された水位との差の自
乗の総計 E が最小になるように u をえらんだ。式の上ではよく知られているとおり

$$E = \sum_t [h(t) - h_0 - \sum_{s=0}^{\infty} u(s)r(t-s)]^2 \dots \dots \dots (2)$$

とにおいて

$$\frac{\partial E}{\partial h_0} = \frac{\partial E}{\partial u(i)} = 0 \quad i=0, 1, 2, \dots \dots \dots (3)$$

とするのが最小自乗法である。従つて、

$$\left. \begin{aligned} \sum_t [h(t) - h_0 - \sum_{s=0}^{\infty} u(s)r(t-s)] &= 0 \\ \sum_t r(t-i) [h(t) - h_0 - \sum_{s=0}^{\infty} u(s)r(t-s)] &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

i についての和 \sum_t は $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{t=-N}^N$ とすべきであるが、実際には適当に長い有限区間で打ち切つてしまうので簡
単のためこう書いておく。(4) 式はまとめて

$$\sum_{s=0}^{\infty} u(s) [\sum_t r(t-i)r(t-s) - \bar{r}^2] = \sum_t h(t)r(t-i) - \bar{h}\bar{r} \quad i=0, 1, 2, 3 \dots \dots \dots (5)$$

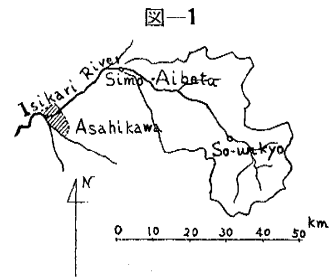
ただし、 \bar{r}, \bar{h} は雨量、水位の算術平均である。この連立一次方程式を u について解けばよい。

なお $\sum_t r(t-i)r(t-s) - \bar{r}^2$

は時定数 $s \sim i$ の自己相関関数で $\sum_t r(t)r(t-s-i) - \bar{r}^2$ に等しいから、この既知係数は両対角線について対称
なきれいな行列式をつくることになる。これで線型以外のいかなる仮定もなしにユニット ハイドロ グラフ u が
求められる。

3. 資 料

計算の対象は石狩川上流流域で、雨量は層雲峡における当日午前9時から翌日午前9時までの日雨量で、単位は
mm、水位は下愛別における午前6時、午後6時の2回観測の平均値で単位は m を用いた。位置関係は図-1に
示すとおりで、両地点間の距離は約 43 km である。発電所などがあるため
このような距離になつてしまった。いずれの観測所も北海道開発庁に属し、
よい資料をとつている。



期間は上式の説明では無限に長い、すなわち $-\infty < t < \infty$ となつている

が、実際には数 10 日程度で打ち切る。一般に期間の取り方が結果を左右する
のでは、その考察自体に、または資料自体に欠陥があるわけだが、実際現象
は各種の原因をもつて作用する原因の一定していると思われる期間をえ
らばないと、期間の取り方が原因を変えることになり結果を左右する。石狩
川上流流域は7月上旬より 10 月中旬までは一応まとまつた季節とみなしう
る。この期間は積雪はほとんど融けて短期の現象には影響を持たなくなつてい
る。雨の降り方が定常的、つまり片寄つて大雨が降つたり、周期的に降つたり
することのない期間である。

1954 年は7月に雨のない期間が 20 日も続いたり、9月下旬には風倒木をつくつた台風が襲つてきたので、採
択した期間が短くなつてしまった。1956 年は9月中旬より水位に日周変化が現われ、何か別の原因が水位に働い
ていると思われるので、そこで打ち切つた。1953 年・1955 年は水位資料に若干の不備があつて利用できなかった。
選んだ期間は次のとおりである。

- (a) 1952年(昭和27年)7月10日~10月8日
- (b) 1954年(昭和29年)7月20日~9月10日
- (c) 1956年(昭和31年)7月10日~9月11日

以上のごとく選ばれたこれらの期間で、平均雨量 \bar{r} 、雨量の標準偏差 σ 、日雨量が 10 mm をこえた日数の全日数に対する比率 f 、その期間中の最大日雨量 r_m 、平均水位(海拔 207 m から測った値) \bar{h} を表-1 に示す。

1954年是他に比べて、雨の降り方がやや多い。1952年・1956年は概して似ていると云えよう。雨の継続性については、雨の自己相関係数を求めて図-2 に示した。これによれば、この3年は雨の継続性についてはいちじるしい差異はみあたらない。気候の永年変化を旭川地方気象台長 木村耕三氏が主張しているので古い資料は用いなかっただ。

$0 \leq s < \infty$ の範囲でユニット ハイドロ グラフ u を求めるのが本当であるが、計算の都合で $0 \leq s \leq 6$ の範囲で連立方程式を解いた。この場合、元数は多くないが、国産リレー計算機 FACOM 128 できわめて容易に解をえた。結果のユニット ハイドロ グラフ $u(s)$ の値は表-2 および図-3 に示した。

4. 結果の解釈

(1) いずれの年も $u(0) \neq 0$ すなわち、雨はその日の水位に影響しない。この傾向は木が風で倒された後も変化が起こっていない。少しくわしく云えば、午前6時・午後6時の水位の平均には午前9時以後 24 時間の雨量がなんら関与しないという結論である。ではユニット ハイドロ グラフの立ち上がりの時間、または頂点の現われる時間はいつかと云うような時間単位の議論は資料が日単位である以上できない。時間雨量・時間水位の資料があれば、それら興味ある諸点が解明されたであろう。

(2) $u(2), u(3), u(4)$ は3年も減衰の模様は似ていて1956年の方が高い。

1954年は台風で木の倒れる直前までの資料である。 $u(1)$ が特に高くなっている。前述のごとく強度の大きい雨が多いためであろう。

(3) 1952年の $u(5)$ が異常に低いのは大きな降雨が偶然に重なり合ったため、この場合を除けば、グラフは滑らかになるのはもちろんだが、そういう名人芸的な操作を加えないのがたてまえであつたためこのままにしておいた。

(4) s を無限までとつたとき得られる $u(s)$ と、このように有限でしかもあまり長くない期間で切つた $u(s)$ とのちがいについて調べた。一つの日やすとして、1952年の資料で、 $0 \leq s \leq 6$ と $0 \leq s \leq 7$ と2通りの場合に $u(s)$ を求めた。このちがいは図-4 でわかる通りわずかで、しかも端 $u(6)$ においても大きくない。有限で切つた影響はそう大していちじるしくはなからう。 $s=7$ までの方が $u(5)$ の凹みを浅くするという方向にちがっているから、(3) で述べた凹みの心配は $0 \leq s < \infty$ とすることによつて避けられるかも知れない。

5. 批判

この方法は線型法則を仮定しているため、小雨の小出水から

表-1

	1952	1954	1956
\bar{r} mm	3.66	7.99	4.75
σ mm	7.73	15.74	9.02
f %	11.00	23.00	13.00
r_m mm	49.00	71.30	47.30
\bar{h} m	0.40	0.48	0.483

図-2

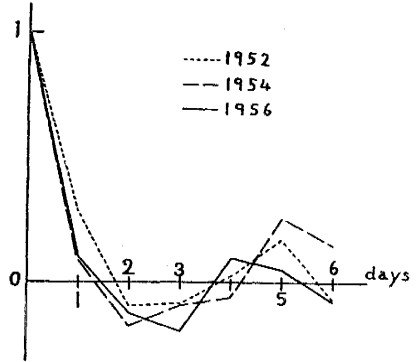


表-2

	1952	1954	1956
$u(0)$	+0.34	-0.53	+0.39
$u(1)$	+7.05	+13.30	+11.53
$u(2)$	+5.71	+6.56	+8.68
$u(3)$	+4.05	+4.92	+7.06
$u(4)$	+3.51	+3.74	+5.06
$u(5)$	+0.80	+3.30	+5.00
$u(6)$	+3.88	+2.78	+4.55

unit: $\frac{m}{mm} \times 10^{-3}$

図-3

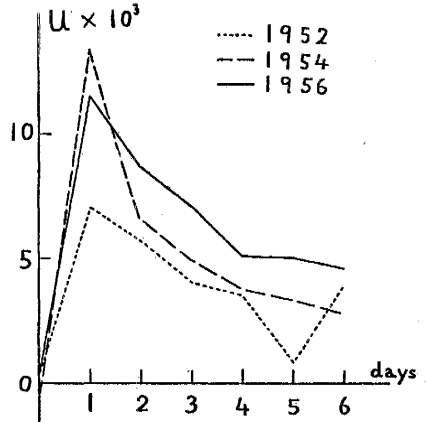
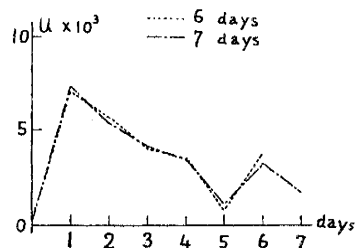


図-4



大雨の大洪水に到る広い範囲に適用される方法ではない。いわば、曲線の一部をとつて直線とみなせる範囲で議論しているようなものである。ここでは北海道の夏の普通の雨による普通出水を利用して、木が倒れたことにより、雨後2日、3日の流出高が一樣に増加したと結論するものである。流出機構の物理的性質がわかつて、少数の妥当なパラメーターを利用して非線型性を含めた式が案出されれば、同様に最小自乗法を用いてもつと広い適用範囲で流出機構の永年変化を調べることができるであろう。

また、この方法では r を雨量、 h を水位としたが、 r を上流の流量、 h を下流の流量とすれば、 u はその2地点間の河道の特性をあらわすものと解釈され、河道の永年変化を論じることができる。

この方法は線型の仮定の下に有効であると思うが、なお別の資料、別の方法によつてもこの流域の流出機構の風倒木によるうつりかわりを量的に検出しなければ断定的なことは云えない。ただここでは第一段階として、この論文で述べられた範囲から次のような結論を下したい。

6. 結 論

石狩川上流流域では、1954年(昭和29年)の台風による風倒木で流出が変わつた。すなわち雨後1~4日程程度の間の雨による水位上昇高が一樣に5割程度ふえた。

最後にこの論文の資料については北海道開発庁に、計算については科学技術庁資源局丸山文行氏ならびに有隣電機精機KKにお世話になつたことを付記する。東大安芸俊一教授ならびに旭川地方気象台長木村耕三氏にいろいろお教をいただいた。深く感謝の意を表わしたい。

参 考 文 献

- 1) SHERMAN; L.K.: Streamflow from Rainfall by Unit-Graph Method. Apr. 7. 1932 Engineering News-Record
- 2) 安芸敬一, 木下武雄: (未刊行) 科学技術庁資源局資料第8号, p. 120 に引用されている。

(昭. 33. 4. 18)