

II-8 少雪寒冷地域における春先の流出特性

北見工業大学工学部 正会員 内島 邦秀

北見工業大学工学部 正会員 早川 博

1. はじめに

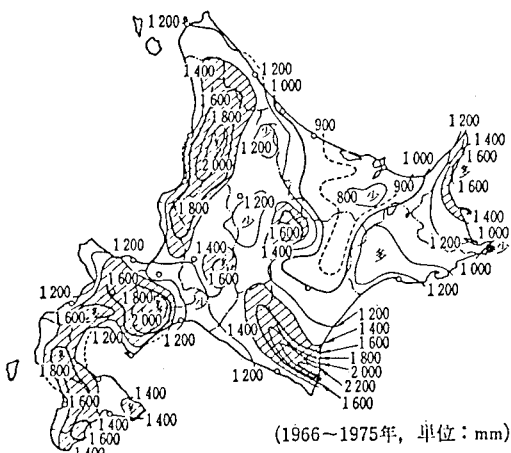
多雪地域における春先の流出特性については、融雪洪水の予測や水資源開発の立場からこれまでに多くの研究が行われてきた。多雪地域の春先の異常出水は気温の上昇と降雨が同時発生したときに起こる。一方、少雪寒冷地域では寒気によって流域の表層土が凍結し、そこに降雨を伴うと異常出水が生起する。この表層土の凍結状態は春先のいつの時期まで持続するのか、凍結深度はどの程度なのかは素より、凍結土層の存在が流出現象にどの程度影響するのか、河川水文に携わる研究者にあまり認知されていないように思われる。

本研究では、初めに少雪寒冷地域が北海道東部地方であることを示し、この地の春先の表層土の地温変化、凍結深度及び融解完了日を観測データによって明らかにする。この結果に基づいて、凍結土層が存在する春先と夏・秋期の実際河川流域の流出データ解析を行い、総流出率について比較検討した。対象流域は十勝川水系十勝川、十勝川、猿別川及び牛首別川の4流域である。本研究の目的は少雪寒冷地の春先の降雨の流出現象の特異性を実証的に明らかにすることである。

2. 少雪寒冷地域における凍結土層の存在

図-1は北海道の年降水量分布図である。平均年降水量は1200mmであり、東部の北見・紋別・網走地方と十勝地方ではそれ以下であって、特に北網地方は750～800mmで全国的にも最たる少降水地域である。図-2は、木下ら¹⁾によって観測された積算寒度分布図である。積算寒度は冬期の寒冷度の指標であって、図-2によれば北海道の平均積算寒度は750(℃・日)程度である。東部の前記地方は平均値以上であり、特に北網地方と十勝地方の境界に位置する陸別町付近が最も高い。図-1と図-2を重ね合すことによって、少雪寒冷地域は北見・紋別・網走地方と十勝地方北東部であることが分かる。

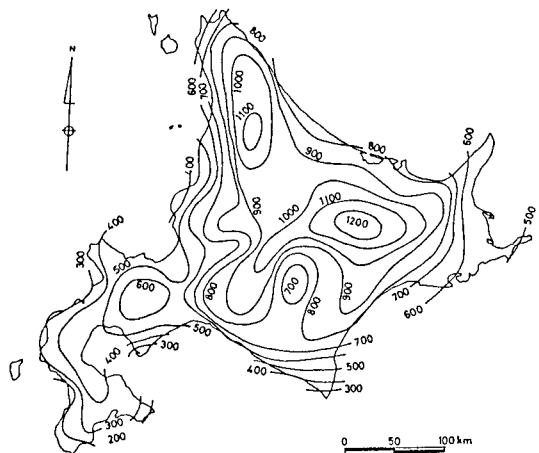
図-3は、本学キャンパスで測定した除雪した状態での地温の経時変化図である。zは地表面からの深さを示す。春先の気温の上昇に伴い地表面に近い土層から気温に追隨して融解し、また気温低下によって凍結することを繰返す。終日凍結している土層の地温は気温最高時に最低、最低時に最高を示し、12時間遅れで



(1966～1975年, 単位: mm)

(出典: 農林省, 気象庁; 農業気象10年報)

図-1 北海道の年降水量分布図



(1974～1975年の冬期, 単位: °C・日)

図-2 北海道の積算寒度分布図(木下ら¹⁾)

気温と対応することが分かる。z = 50cmの土層は5月初旬まで凍結していることも図から明らかである。ちなみに、北国の雪解け時の夜中に路地の凹地の水溜り水面に薄氷ができ、翌朝その水を割ると、氷の下が空洞になっていることを見掛ける。地温は夜中に緩んで、溜った水が地中に浸透するという事で説明できる。表-1は本学キャンパスで除雪した状態で測定された最近5ヶ年間の最大凍結深度と融解完了日を示す。最大凍結深度は3月中旬に発生し、融解完了は4月下旬から5月初旬であることが分かる。表-1の測定は平坦地で、図-3の測定は法面法尻寄り平坦地でそれぞれ行われた。法尻付近は含水比が高く、このため平坦地より融解完了は遅れる。以上の測定結果は地表面を除雪した状態のものであるが、積雪は断熱剤の効果を有し、北海道東部で根雪となる11月下旬から12月初旬までの寒気によって形成される深度40~50cmの凍結土層は春先まで存続し、融解完了もほぼ同日となるという結果が帯広と北見で得られている¹⁾²⁾。凍結深度 (cm) は積算寒度 (°C・日) の平方根に比例し¹⁾、昭和44年の春先に異常低温が続いた北見で融解完了が5月下旬に及んだこともある³⁾。

図-4は帯広と北見の春先の日最低気温の相関図であり、日最高気温とともに良い相関を示し、大差はない。したがって、北見で観測された融解完了日等は帯広地方にも十分当てはまると考えられる。

表-1 北見（北見工大キャンパス）における最近5ヶ年の凍結深と融解完了日

年	最大凍結深度	月/日	融解完了	月/日	積算寒度(°C・日)
昭58	66.2 cm				740
59	68.0	3/17	56 cm	5/3	771
60	69.4	3/16	60	5/7	966
61	86.9	3/16	62.2	4/29	1190
62	75.4	3/19	65	4/23	898

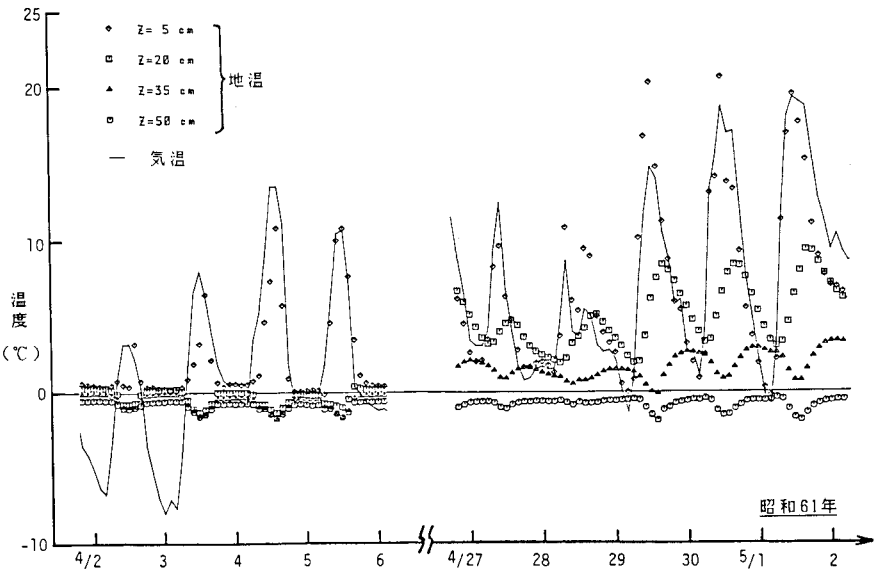


図-3 昭和61年春先の気温と地温の経時変化図（北見工大キャンパス）

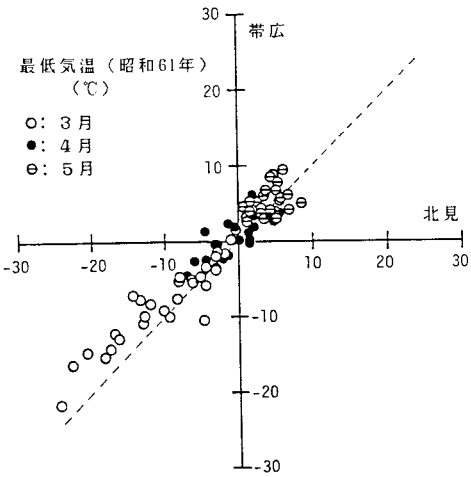


図-4 春先の帯広と北見の日最低気温相関図

3. 春先と夏・秋期の総流出率についての比較検討

十勝川本川の下流で合流する次の4河川流域について解析した。

①士幌川：流域面積309.7km²（平地部70%⁴¹）、河道長38.5kmで雨量と気温データは流域外の帯広観測値を用いた。②十弗川：利別川の支川で、流域面積120.0km²（山地部85%）、河道長25.8kmで雨量と気温データは流域外の利別、池田観測値を用いた。③猿別川：流域面積450.0km²（平地部90%）、河道長53.7kmで雨量データは流域内の中里、美川2観測所の平均値、気温は流域内の糠内観測値を用いた。④牛首別川：猿別川に隣接する河川で流域面積174.1km²（山地部65%）、河道長25.5km、雨量は流域内の大川観測値、気温は糠内観測値を用いた。以上の河道平均勾配は1/200～1/300で、流域平地部の大部分は畑作地である。地質的には①③は段丘堆積物、③は前期更新世層、④は山地部に中新世層と古いジュラ紀層が存在する⁵¹。このため④の流出率は比較的大きい。

図-5に春先のサーモグラフ、ハイトグラフ及びハイドログラフの一例を示す。融雪出水は3月下旬の最高気温が10℃前後に達する頃から24時間周期の出水現象として現れる。融雪出水のピーク値は、最高気温時から7時間遅れの21時に発生している（この遅れ時間は士幌川、猿別川で6～7時間、十弗川、牛首別川で4時間程度であった。また、最高気温が5℃以下ではハイドログラフ上にピーク値は認められず、基底流量の微増に寄与する）。降雨がないと4月中旬までこの現象は継続する。この期間に降雨が発生すると図-5のように異常出水が生起する。十勝地方の平地部の積雪零宣言は例年4月初旬であり、この異常出水には凍結土層の存在が大きく関与していると言える。図-5では降雨日の最高気温は5、6℃であり、融雪水量は無視できる。昭和60年4月の降雨日の最高気温は4流域で10～15℃に達し、そのため降雨日前後の積算暖度（℃・hr）と融雪水量の関係を用いて直接流出量を補正した。流出解析の基底流量の分離は、ハイドログラフ立ち上がり点と減水部第2折曲点を直線で結ぶ方法で行った。解析結果は付表の通りである。

少雪寒冷の流域では、4月初旬から徐々に表層土の地温が上がり融解深度が次第に増加して行くが、なお5月初旬まで透水性の低い凍結土層が存在することによって、その上の土壌の保水性が高く、降雨時には側方浸透流が支配的になるものと推察できる。このような流域における流出率の関係式としては、日野・長谷部⁶¹の式が適切である。図-6は総流出率 f と初期流量 q_0 の関係図で、平均降雨強度 r_p の範囲を○（ $2 \leq r_p < 3$ ）と△（ $3 \leq r_p < 11$ ）で、春先を●と▲で図示した。士幌川の春先の r_p 値はほぼ同値でよい相関を示す。 r_p 値を比較することによって4流域の春先の f は夏・秋期より大きいことが認められる。春先（ f' ）と夏・秋期（ f'' ）の流出率の比較を更に明確に示すため、 q_0 同値、 r_p 同値のデータを比較したのが図-7、8である。図-7で士幌川（○）はNo.1と13、4と11、8と2、十弗川（●）は3と12、猿別川（●）は8と2、牛首別川（●）は4と

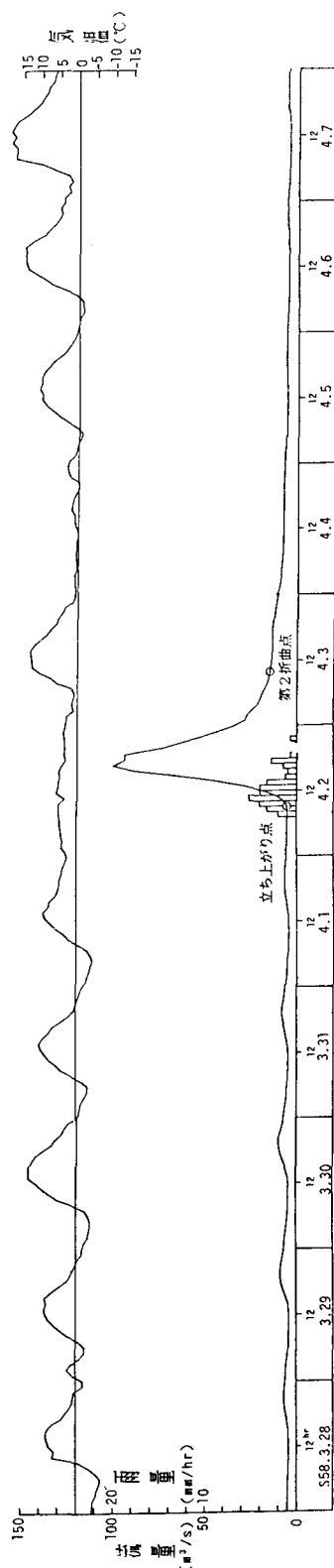


図-5 士幌川旭橋観測所における昭和58年春先のサーモグラフ、ハイトグラフ及びハイドログラフ

11、7と14 について比較した。図-7より概ね $f' = 1.5 f''$ を得る。図-8では土幌川はNo. 1と3、4と5、8と12、十弗川は 3と10、7と16、猿別川は 8と9、10と12、牛首別川は4と6、7と13について比較し、 $f' = 2.7 f''$ と推定できる。したがって、少雪寒冷地域の春先の流出率は夏・秋期の2倍程度と考えられ、凍結土層の存在は都市化が出水現象に与する要因と類似している。ピーク流出係数 f_p は、つぎの関係式、

$$f_p = 3.6 Q_p / (r_m \cdot A)$$
 によって算出した。ここで、 r_m は洪水到達時間内の平均降雨強度で、lag timeの2倍を到達時間とし、到達時間以上継続した降雨については最大平均降雨強度値を用いて f_p を求めた。 f_p と f の関係は、 $f_p = (1.0 \sim 1.6) f$ となった⁷⁾。

4. おわりに

図-7、8については、データの蓄積を待つてさらに検討する必要がある。
 貴重な資料を提供された北海道開発局帯広開発建設部並びに日本気象協会北海道本部網走支部に深甚なる謝意を表します。また、地温データは本学土質工学研究室の鈴木輝之助教授より、凍結融解完了日等のデータは本学凍土研究室の澤田正剛助手より提供された。記して謝意を表します。
 なお、本研究は、昭和62年度文部省科学研究費(重点領域研究、代表:北大 山田 正助教授)の補助を受けたことを記し、謝意を表します。

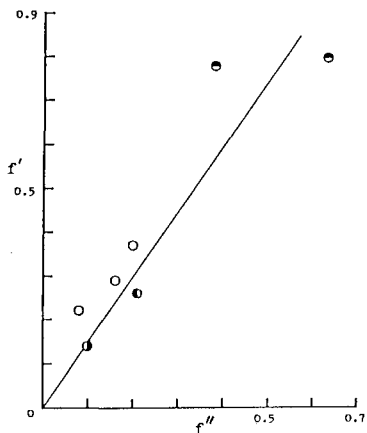


図-7 総流出率の比較 (q_0 同値)

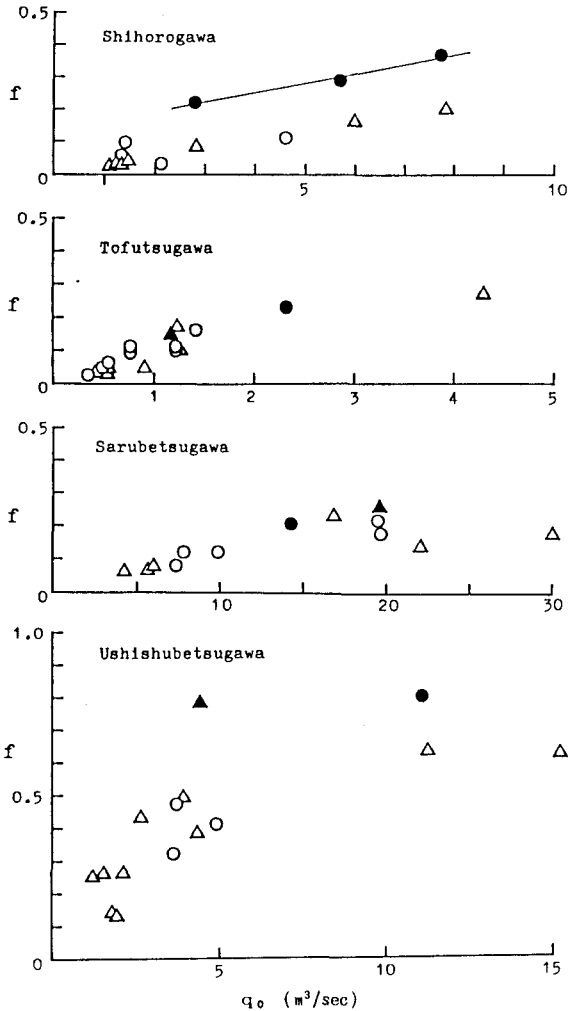


図-6 総流出率と初期流量の関係

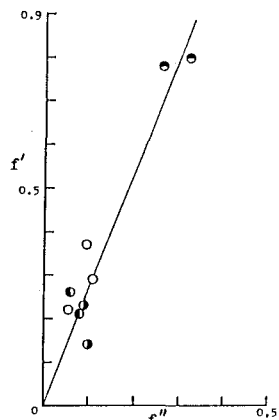


図-8 総流出率の比較 (r_p 同値)

参考文献

- 1) Kinoshita, S., Fukuda, M. and Yahagi, H.: Frost Penetration Depth in Hokkaido, Japan. Natural Disaster Science, Vol.1, No.2, pp.1-9, 1979.
- 2) 中尾隆志・佐渡公明: 北見工業大学寒地気象観測システムを用いた融雪観測について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第44号, 1988.
- 3) 木下誠一・鈴木義男・堀口薫・田沼邦雄・青田昌秋・大野武敏: 北見・紋別における凍上観測 (昭和43~44年冬期), 低温科学, 物理篇, 第27輯, pp.379-393, 1969.
- 4) 北海道土木部河川課監修: 北海道河川一覧 (河川番号編), 社団法人北海道土木協会, 1984.
- 5) 北海道立地下資源調査所: 60万分の1北海道地質図, 1980.
- 6) 日野幹雄・長谷部正彦: 流出率と湿潤指標としての洪水直前流量, 土木学会論文報告集, 第328号, pp.41-46, 1982.
- 7) 佐合純造・山内博・古畑広樹・石崎勝義: 合理式の総合化に関する研究, 第26回水理講演会論文集, pp.293-299, 1982.

付表 流出データ解析結果

士幌川 (旭橋観測所、 $A=282.0\text{km}^2$)

No.	年月日 (Q_p 生起日)	R (mm)	r_p (mm/hr)	R_e (mm)	L (mm)	f ($=R_e/R$)	q_o (m^3/s)	Q_p (m^3/s)	t_i (hr)	f_p
1	昭58.4.2●	34.25	2.28	9.78	24.47	0.286	5.71	100.66	6	0.467
2	58.8.22	61.25	4.62	12.42	48.83	0.203	7.89	90.21	3	0.162
3	58.9.13	37.00	2.15	4.04	32.96	0.109	4.58	25.84	11	0.196
4	59.5.3●	72.25	2.40	16.14	56.11	0.223	2.77	114.15	6	0.361
5	59.7.17	33.50	2.39	1.80	31.70	0.054	1.33	13.77	5	0.056
6	59.9.10	60.25	3.88	1.37	58.88	0.023	1.18	10.23	5	0.026
7	59.10.21	48.50	2.98	1.81	46.69	0.037	1.48	16.24	5	0.047
8	60.4.5●	11.25	1.61	4.20	7.05	0.373	7.74	36.34	7	0.580
9	60.7.1	71.25	4.73	1.07	70.18	0.015	1.09	7.11	7	0.018
10	60.9.1	87.50	10.91	2.31	85.19	0.026	1.34	17.42	6	0.031
11	60.10.13	47.25	3.34	3.87	43.38	0.082	2.83	41.40	7	0.158
12	60.11.8	40.50	1.63	3.84	36.66	0.095	1.40	16.40	14	0.144
13	61.9.4	102.50	6.67	16.44	86.06	0.160	6.00	131.64	4	0.159
14	62.5.3	41.50	3.04	1.15	40.35	0.028	2.15	7.97	8	0.039

十非川 (東台1号橋観測所、 $A=115.0\text{km}^2$)

No.	年月日 (Q_p 生起日)	R (mm)	r_p (mm/hr)	R_e (mm)	L (mm)	f ($=R_e/R$)	q_o (m^3/s)	Q_p (m^3/s)	t_i (hr)	f_p
1	昭58.8.23	59.00	4.42	15.88	43.12	0.269	4.31	50.11	3	0.235
2	58.9.13	36.00	2.19	3.92	32.08	0.109	1.22	10.22	8	0.146
3	59.5.3●	90.00	3.63	12.16	77.84	0.135	1.16	45.11	4	0.220
4	59.9.10	36.00	2.50	0.78	35.22	0.022	0.34	2.94	6	0.035
5	59.10.13	31.50	3.94	0.97	30.53	0.031	0.40	4.53	6	0.035
6	59.10.21	45.50	3.71	2.00	43.50	0.044	0.52	8.10	5	0.063
7	60.4.5●	18.00	2.29	4.10	13.90	0.228	2.31	14.53	5	0.284
8	60.9.8	34.50	8.00	1.49	33.01	0.043	0.91	6.74	5	0.066
9	60.9.26	27.00	3.79	0.66	26.34	0.024	0.54	3.63	4	0.034
10	60.10.13	48.00	3.62	4.85	43.15	0.101	1.27	20.02	5	0.161
11	60.11.8	49.00	1.94	7.90	41.10	0.161	1.41	16.94	7	0.243
12	61.5.7	29.50	2.07	2.96	26.54	0.100	1.22	9.29	7	0.140
13	61.7.13	37.00	2.00	1.65	35.35	0.045	0.48	5.26	9	0.086
14	61.7.18	46.00	2.37	4.71	41.29	0.102	0.76	12.01	6	0.124
15	61.8.15	32.50	2.71	1.98	30.52	0.061	0.54	7.92	5	0.076
16	61.8.20	34.00	2.36	2.95	31.05	0.087	0.54	7.06	5	0.079
17	61.9.4	116.00	7.09	19.41	96.59	0.167	1.22	80.82	4	0.227
18	61.9.22	44.00	2.75	4.65	39.35	0.106	1.22	12.93	8	0.147

付表（続き）

猿別川（止若観測所、 $A=447.4\text{km}^2$ ）

No.	年月日 (Q_p 生起日)	R (mm)	r_p (mm/hr)	R_e (mm)	L (mm)	f ($=R_e/R$)	q_o (m^3/s)	Q_p (m^3/s)	t_i (hr)	f_p
1	昭56.8.6	181.75	5.86	79.51	102.24	0.437	54.14	661.82	22	1.289
2	56.8.23	88.00	3.07	18.86	69.14	0.214	19.40	129.52	7	0.262
3	56.9.4	88.50	3.84	12.65	75.85	0.143	22.03	138.09	7	0.205
4	57.9.13	68.25	4.00	5.13	63.12	0.075	6.02	61.67	9	0.131
5	57.10.20	72.50	7.20	4.59	67.91	0.063	5.55	69.62	4	0.066
6	58.6.14	52.25	3.01	6.13	46.12	0.117	7.82	52.57	15	0.243
7	58.8.23	59.50	5.02	10.92	43.58	0.184	30.13	144.50	6	0.249
8	59.5.3●	131.75	4.42	34.18	97.57	0.259	19.48	438.12	5	0.423
9	59.10.21	65.50	4.33	3.81	61.69	0.058	4.18	55.88	6	0.088
10	60.4.5●	11.00	1.57	2.26	8.74	0.205	14.19	59.14		
11	60.10.13	55.00	3.38	6.65	48.35	0.121	9.85	69.19	9	0.182
12	61.7.19	68.50	2.45	5.41	63.09	0.079	7.33	50.18	18	0.213
13	61.9.4	145.25	4.97	33.64	111.61	0.232	16.83	362.67	6	0.292
14	61.9.22	43.50	2.51	8.14	35.36	0.187	19.63	82.96	9	0.276

牛首別川（農野牛橋観測所、 $A=132.0\text{km}^2$ ）

No.	年月日 (Q_p 生起日)	R (mm)	r_p (mm/hr)	R_e (mm)	L (mm)	f ($=R_e/R$)	q_o (m^3/s)	Q_p (m^3/s)	t_i (hr)	f_p
1	昭58.6.14	54.00	3.47	23.16	30.84	0.429	2.64	58.98	7	0.442
2	58.6.22	31.00	1.55	14.55	16.45	0.469	3.69	27.40	9	0.464
3	58.8.23	63.00	4.69	39.07	23.93	0.620	15.28	155.34	7	0.941
4	59.5.3●	136.00	5.08	105.91	30.09	0.779	4.36	330.90	6	1.275
5	59.9.10	75.00	4.87	9.47	65.51	0.127	1.87	45.11	8	0.266
6	59.10.21	79.00	5.13	20.37	58.63	0.258	2.12	95.97	3	0.285
7	60.4.5●	13.00	2.60	10.39	2.61	0.799	11.15	51.80		
8	60.7.1	103.00	6.00	26.92	76.08	0.261	1.47	114.70	6	0.391
9	60.9.1	82.00	10.25	11.81	70.19	0.144	1.81	65.04	4	0.173
10	60.10.1	63.00	2.95	15.70	47.30	0.249	1.18	86.90	4	0.527
11	60.10.13	48.00	3.36	18.38	29.62	0.383	4.33	69.30	5	0.525
12	61.7.18	80.00	2.96	39.42	40.58	0.493	3.96	98.04	13	0.903
13	61.8.21	37.00	2.31	11.97	25.03	0.324	3.61	42.22	9	0.559
14	61.9.4	148.00	6.90	92.65	55.35	0.626	11.29	392.18	4	0.799
15	61.9.22	46.00	2.50	19.07	26.93	0.415	4.88	59.84	6	0.544

【記号の説明】●：凍結地層が存在している春先、R：総降雨量、 r_p ：平均降雨ピーク強度、 R_e ：直接流出高、L：総損失雨量、f：総流出率、 q_o ：初期流量、 Q_p ：ピーク流量、 t_i ：ピーク降雨からピーク流量までの lag time、 f_p ：ピーク流出係数。