

緩傾斜林地小流域における浅層地下水位 の形成と中間流出

遠藤 泰造⁽¹⁾・北原 曜⁽²⁾眞島 征夫⁽³⁾・阿部 和時⁽⁴⁾

Taizo ENDO, Hikaru KITAHARA, Yukio MASHIMA, and Kazutoki ABE :

Formation of Shallow Groundwater Levels and

Interflow in a Small Forested Watershed with Gentle Slope

要 旨：面積約5.1haの緩傾斜小流域内に設置された3列16基の観測用浅井戸で、浅層地下水位を観測するとともに、流域下部に沿った林道側溝の下端の量水堰を用いて、流去する直接流出量を測定し、降水—浅層地下水貯留—直接流出系に関する実証的研究を行い、以下に述べる知見を得た。融雪期谷底沿いの各浅井戸には地下水位の上昇が見られたが、尾根沿いの浅井戸は空の状態であった。融雪の初期から最盛期に向かって谷底沿いの各浅井戸では、水位の上昇、直接流出量は増加を続け、これらの日変化は次第に顕著となり、融雪最盛期には正弦曲線に類似の日変化を示した。このことから、直接流出量の増減は水位昇降と対応し、日融雪水流入量と日流出量、浅層地下水貯留量の日増減量と0などが確認された。融雪期の夜間の流量曲線から推定した中間流出の減衰率は約 0.03 hr^{-1} である。融雪期に谷底沿いの下半部には、低みに沿って中間流出に基づく地表流が発生し、林道法面から中間流が流出し、林内のU字型歩道にも、中間流出が集中流去した。豪雨時には尾根沿いの各浅井戸にも、水位上昇が見られ、谷底沿いの各浅井戸では、融雪期の水位より高く上昇し、特に上部の浅井戸の水位は高く上昇し、谷底沿いの地表流発生区域は上部に拡大した。中間流出の発生場所は融雪期の場合と共通していた。試験流域では、豪雨時でも、融雪期にも浸透降水が流域浅層に一時的に滞留し、これによる中間流出が直接流出分の主要成分となっていることがわかった。

目 次

ま え が き	148
1. 試験流域の林況および地文概況	148
1.1. 試験流域の地形と観測施設の位置	148
1.2. 林 況	149
1.3. 地 形	149
1.4. 地質、土層断面と土壌理化学性	150
1.5. 中間流出の流出面長	151
2. 観測用浅井戸および量水堰	153
2.1. 観測用浅井戸	153
2.2. 量 水 堰	157
3. 融雪期の浅層地下水位と中間流出	159
3.1. 試験流域内の積雪水量	159
3.2. 融雪期間の流出量	160
3.3. 融雪最盛日の時間融雪量、各種温度および水質	160
3.4. 浅層地下水位の形成とその地形的特徴	165

3.5.	融雪最盛期の流量、融雪水量および浅層地下水位の日変化	165
3.6.	地表流出と中間流出	167
3.7.	夜分から早朝の地下水流	167
3.8.	一融雪期間の日最小流量の推移	169
4.	豪雨による浅層地下水位の昇降と中間流出	171
4.1.	1981年8月3～6日の豪雨状況	171
4.2.	浅層地下水位の昇降経過	172
4.3.	G列浅井戸の地下水位と流量	174
4.4.	中間流出の減少状態	174
5.	考 察	178
6.	摘 要	181
あ と が き		183
引 用 文 献		184
Summary		185

ま え が き

林地の表層部分に発達した森林土壌は、一般に雨水の浸透能が高く透水性も良好であるが、透水性は普通下方に向かって低下し、1 m 前後の深さに難透水性の基層土や基岩が存在していることも珍らしくない。したがって、そのときの土湿不足分をはるかに超えるような降雨のあるとき、地面から浸透した雨水は、土層内部に滞留したり、あるいは、より粗大で抵抗の少ない孔隙を通じて、もよりの河道に流出することは、当然考えられる現象である。

地表近くの土層や難透水層上の浅い地層からの雨水流出は、中間流出¹⁾²⁾(Inter flow, Subsurface flow)と呼称され、これまでも一部の研究者^{1)6)7)12)～14)}に注目されてきた雨水流出の一成分である。また、水文学とか河川工学の分野では、地表流出と中間流出との両成分を一緒にした流出成分を、直接流出と定義し、これを洪水解析の主成分として取り扱ってきた。直接流出に関する野外調査、特に林地における調査報告は、割合に少なく、中間流出や浅層地下水位の実態は、まだ十分に把握されていないと思われる。著者らは林業試験場北海道支場羊ヶ丘実験林内に、深さ 1.4 m 前後の観測用浅井戸を多数掘削して浅層地下水位を観測し、同時に、林道側溝を利用して地表・中間流出からの流去量を測定し、融雪・降雨の両出水を対象とする降水―表層地下水貯留―直接流出系の実証的研究を行ってきた。その成果の一部はすでに報告¹⁰⁾¹¹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾されているが、この報告では、1981年の融雪期と一降雨量 305.0 mm の集中豪雨時との観測資料を用い、浅層地下水位の形成の特徴、それと直接流出量との関係、中間流出の特徴と消長経過などを報告する。

1. 試験流域の林況および地文概況

1.1. 試験流域の地形と観測施設の位置

林業試験場北海道支場羊ヶ丘実験林内の一部区間の林道側溝とその上方に位置する約 5.1 ha の林地を試験流域に選定した。側溝は流域および林道法面から流去する地表および中間流出の集水溝および流水路として利用し、その最下端に鉄筋コンクリート製量水堰を設置して流量を測定した。Fig. 1 は試験流域の地形、集水境界、林道、U字型林内歩道、浅層地下水位の観測用浅井戸および量水堰の各位置を示す。

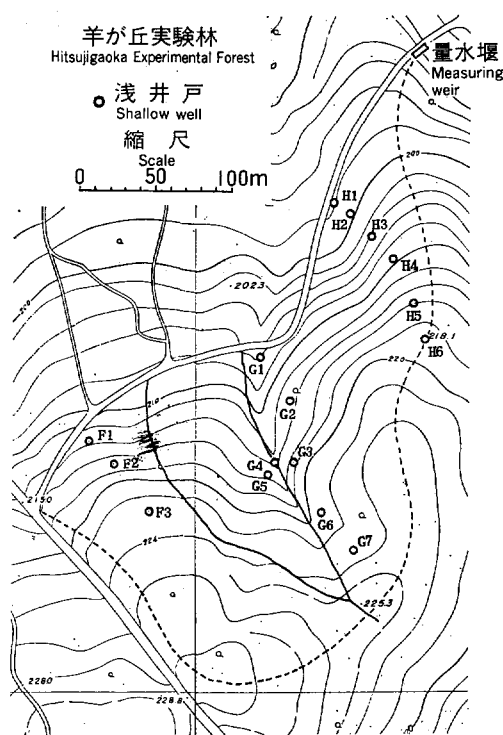


Fig. 1. 試験流域の地形と浅井戸，量水堰の位置
Topography of the experimental watershed, the location of shallow wells and measuring weir.

実測によると，量水堰堤の上流端から側溝の最上流端までの総延長は 427 m，その高低差は 27.43 m である。この側溝に流入すると考えられる集水境界を既製の 2500 分の 1 の地形図に描くと，Fig. 1 の点線で示すような境界線となる。この境界線と側溝とで囲まれた林地の実測面積は約 5.1 ha である。

試験流域の海拔高度は量水堰の位置が約 192 m，流域の最高所は 228 m，両地点間の高度差は約 36 m である。

1.2. 林 況

林況はシラカンバを主とし，ハルニレ，シナノキ，ミズナラ，ドロノキなどの混交した落葉広葉樹の二次林で，シラカンバの胸高直径は 14~34 cm，樹高は 14~21 m である。なお，林分のうつ閉度は 1.0 である。林床植生は浅井戸 H 列付近は桿高が 1.5~2 m のチシマザサが密生しているが，F，G 列では数年前チシマザサが開花結実して一斉に枯死し，桿高が 20 cm 程度の稚苗が散生している。

1.3. 地 形

Fig. 1 に示した 2500 分の 1 の地形図上に直径 16 mm すなわち実長 40 m の円を描き，各円内の等高線数を数え，等高線の主方向を計測した。その結果を Fig. 2 (a, b) に示す。Fig. 2 (a) は傾斜角の頻度分布図で，傾斜角の範囲は 0~14°，流域全体の平均値は約 7° である。あとで説明するが，各浅井戸列の縦断測量によると，最大の急傾斜区間は H-3~H-4 区間で，この傾斜角は約 13° である。このように流域の地形は全般的に緩傾斜で，上部の境界付近は平坦に近い。

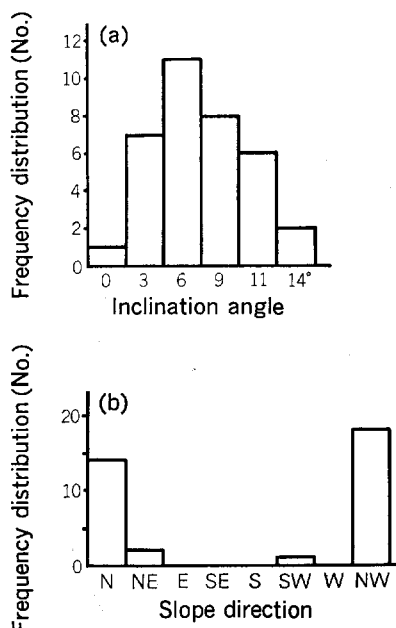


Fig. 2 (a, b). 試験流域の傾斜角および斜面方向の頻度分布
Frequency distribution of inclination angle and orientation of the slopes in the experimental watershed.

8 方位に区分したときの流域内の斜面方向の頻度分布は Fig. 2 (b) のようである。林道そのものは大体 NE~SW に走っており、斜面の向きは NW, N 向きのものが大部分である。地表の傾斜方向からみると、斜面全体の方法は側溝にほぼ直交し、側溝は法面および林内歩道から湧出する中間流出および地表流を捕捉するのに適している。

5.1ha の流域の中央部には緩かな集水地形が発達している。

1.4. 地質、土層断面と土壌理化学性

地質は輪厚砂礫層(洪積世)を基盤とし、その上部に恵庭岳あるいは樽前山より噴出降下した火山灰が薄く堆積し、これが土壌母材の一部となっている。各浅井戸の設置場所における土層断面を示すと、Fig. 3 のようになる。

輪厚砂礫層は Fig. 3 の C 層に相当し、林内の土壌を 40~60cm 掘削すると出現するが、非常に堅くて緻密な粘土層で大小の円礫を含んでいる。なお、Fig. 3 では H-1 と G-4 の A 層が欠如しているが、H-1 は林道法面、G-4 は旧林道で現在の林内歩道に位置し、ともに人為的削土により B 層が露出してい

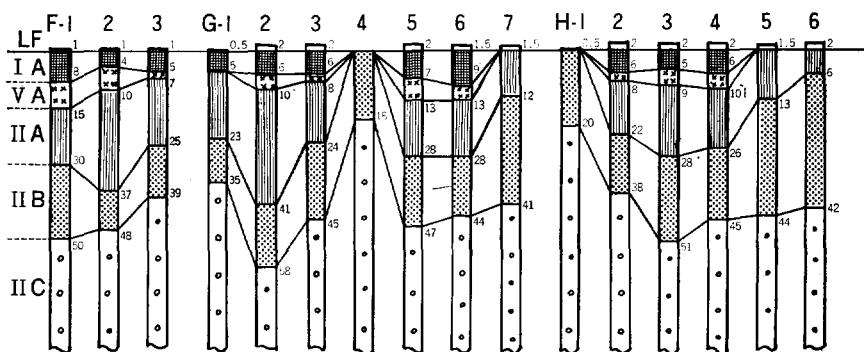


Fig. 3. 各浅井戸の土層断面図(単位: cm)

Soil profile at each shallow well (cm unit).

	5 cm	有効間隙率 Effective porosity(s, %)	透水係数 Coefficient of permeability(k, cm/sec.)	K/S 値 Value of k/s
LF	0			
I A	12	36.4	1.16×10^{-2}	3.19×10^{-2}
II A	26	28.4	3.14×10^{-3}	1.11×10^{-2}
II B	46	27.9	3.26×10^{-3}	1.17×10^{-2}
II C ₁	65	15.7	2.58×10^{-3}	1.64×10^{-2}
II C ₂				

Fig. 4 H-3 浅井戸近くの土層層位別の有効間隙率 (s, %),
透水係数 (k, cm/sec.) と k/s 値

Effective porosity (s, %), coefficient of permeability (k, cm/sec.)
and the value of k/s of a inspected soil layer near the H-3 well.

るところである。Fig. 4 は H-4 付近で調査した土壌層位別の有効間隙率 (s , %)、透水係数 (k , cm/sec.) および k/s 値を示す。これらの資料によると、有効間隙率値は比較的大きく、透水性も良好である。この付近の土壌は B_n 型あるいは B_n/I 型で、I A 層は火山灰を母材とした土壌である。根系は II B 層まで侵入しており、また、II C₂ 層は末風化の輪厚層で難透水性である。

1.5. 中間流出の流出面長

幹線林道の山側に設置された排水側溝を、試験流域から流出する水量の捕捉溝および流域の最下端に設置された量水堰に流下させる人工水路として利用した。

側溝の水平延長は 427 m、側溝の初めと終わりとの路肩地盤高の高低差は 27.43 m、同じく側溝底面の高低差は 27.59 m である。したがって、側溝底面の平均勾配は約 15 分の 1、約 3.7° である。延長 427 m のうち、0~200 m の区間の勾配は割合に急で、この区間の側溝底面の縦断勾配は約 12 分の 1、約 4.7° である。200~427 m の区間の勾配は緩くて約 21 分の 1、約 2.7° である。

距離 20 m ごと、場所によっては 10 m ごとに、側溝と法面とを含む横断測量を行い、側溝底面から法面上端までの垂直距離を測定した。この垂直距離は側溝に流入する中間流出の流出可能面長である。

側溝および法面の横断形状は場所によって著しく異なり、測量成績からその代表的な実例を示したのが Fig. 5 である。横断形状の特徴は法面の長さ、側溝断面の形状と深さに現れており、Fig. 5 の測点 No. 11 と 17 のように、法面の長さが短いところ、No. 23 と 24 のように、法面の長いところ、No. 1 と 3 の

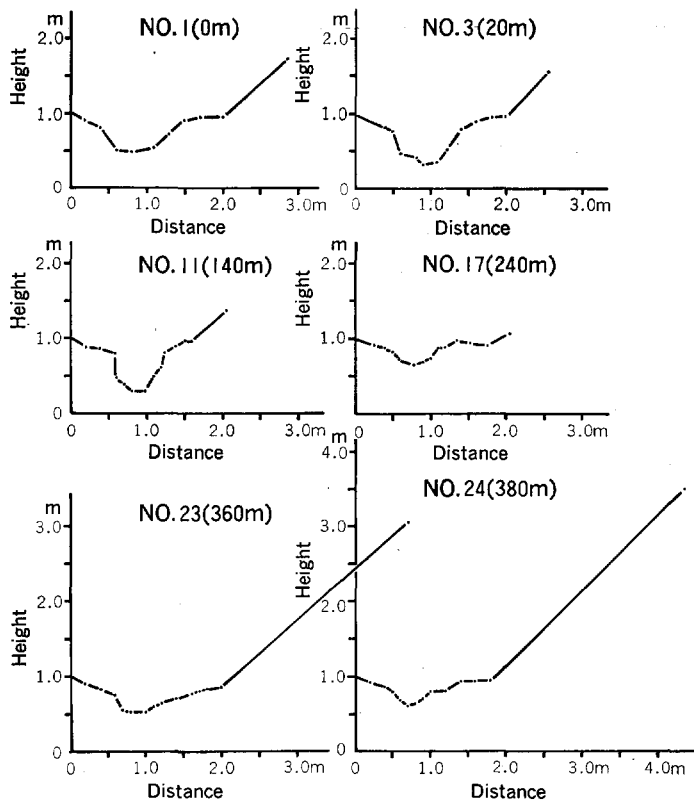


Fig. 5. 側溝と法面の横断面形状
Cross sections of the side ditch and the side-slope.

ように、中間のところなどに分けられる。また、側溝の形状は建設後の流水による洗掘作用の強弱により、No. 1, 3 および 11 の断面のように、深く洗掘されたところ、No. 17, 23 および 24 の断面のように、洗掘作用が弱くて建設当初の深さを保っているところなどに分けられる。洗掘作用の激しい流床では裸地、同作用の弱い流床は草本で被覆されている。区間でいえば、0~200m の区間は流床勾配が急で流量も多いためか、底床の縦侵食が激しく、No. 11 に示したようなU字型形状を呈しているところもある。この区間における側溝の平均深は 55cm、これに対して 200~400m の区間のそれは 37cm である。

測量成績から各測点の中間流出の流出面長を示すと、Table 1 のとおりである。流出面長とは、さきにも説明したように、側溝深と法面の垂直長との合計長であるが、流出面の全体から中間流出が必ず起こるということではなく、側溝に流入する中間流出の発生可能な掘削面の垂直長ということである。

Table 1 によると、No. 17 のように、掘削法面が短くて流出面長はほとんど側溝の深さだけのところがある。また、No. 24 のように、掘削法面が長く、そのために流出面長が 2.96m というところもある。

Table 1. 中 間 流 出 の 流 出 面 長
Vertical length of side-slope for interflow.

測点 No.	水 平 距 離 (D) Horizontal distance (m)	側溝の最大深 (L_d) Max. depth of side-ditch (m)	掘削法面の垂直長 (L_s) Vertical length of side-slope (m)	中間流出面長 ($L_r = L_d + L_s$) Vertical length of interflow (m)
1	0	0.53	0.77	1.30
2	10	0.48	0.71	1.20
3	20	0.67	0.67	1.26
4	30	0.61	0.67	1.28
5	40	0.53	0.57	1.10
6	50	0.56	0.52	1.08
7	60	0.46	0.47	0.93
8	80	0.54	0.41	0.95
9	100	0.48	0.38	0.86
10	120	0.66	0.15	0.81
11	140	0.71	0.41	1.11
12	160	0.53	0.58	1.11
13	180	0.51	0.70	1.21
14	200	0.39	0.58	0.97
15	210	0.34	0.97	1.31
16	220	0.26	0.99	1.25
17	240	0.34	0.16	0.50
18	260	0.35	0.30	0.65
19	280	0.31	0.39	0.70
20	300	0.29	0.60	0.89
21	320	0.43	0.72	1.15
22	340	0.46	1.83	2.29
23	360	0.47	2.20	2.67
24	380	0.38	2.58	2.96
25	400	0.38	1.40	1.78
26	420	0.37	1.14	1.51

全流出面積は約 534m² で、流出面長の平均値は約 1.26m となるが、その範囲は 0.50~2.96m で、Table 1 からわかるように、場所により大差がある。凹地形の区間の流出面長は側溝の深さだけである。

2. 観測用浅井戸および量水堰

2.1. 観測用浅井戸

試験流域内に観測用浅井戸 16 基を配置して地表近くの地下水位を観測した。浅井戸は手掘りの縦穴に内径約 10cm の塩化ビニール製有孔管を埋設して作ったものである。手掘りの縦穴は、できるだけ労力を省き、また掘穴を小さくするために、牧柵その他の杭を立てるときに使用されているダブル・スコップを用いて掘った。埋設した塩化ビニール製有孔管は、全長が約 2m で、このうち約 1.5m の部分が地中に鉛直に埋設されている。

地下水位の観測は実測によるが、最高水位は Fig. 6 に示すような最高水位指示計を考案して観測した。この指示計は支柱、指標、浮子、支柱支えおよびキャップの各部材からできている。支柱は外径 12 mm の塩化ビニール管を使用した。指標と浮子とは厚さ 28mm の発泡スチロール板を約 6cm 角に切断したものを用いた。ただし、指標の穴の大きさは支柱の外径とほとんど同じか、これより幾分小さく目とし、材料の摩擦抵抗と弾力との働きにより、任意の停止位置にしっかりと停止できるようにした。浮子は指標を押し上げる働きをするもので、材料、形状および寸法は指標と同じであるが、支柱に差し込む穴は支柱外径より大きくして、地下水位の昇降に容易に追従できるようにした。指標自身にも浮揚力はある

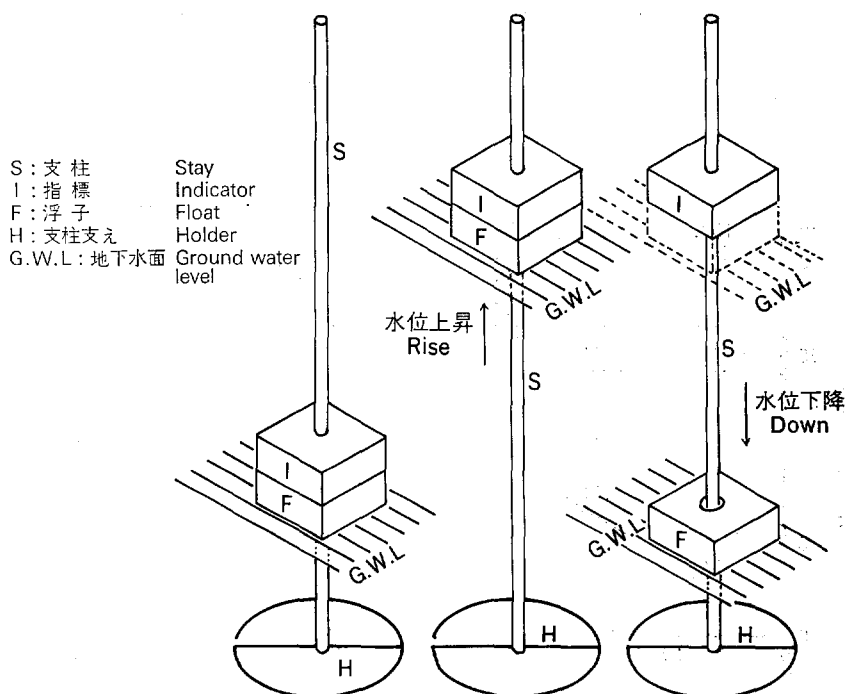


Fig. 6. 最高水位指示計の構造

Graphical explanation of maximum ground water level indicator.

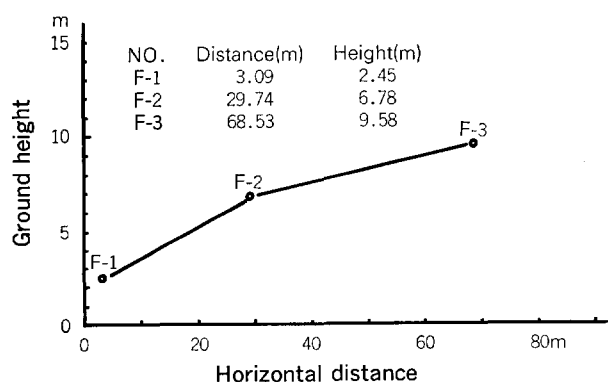


Fig. 7. F 浅井戸列の縦断面図
Longitudinal section of F shallow wells.

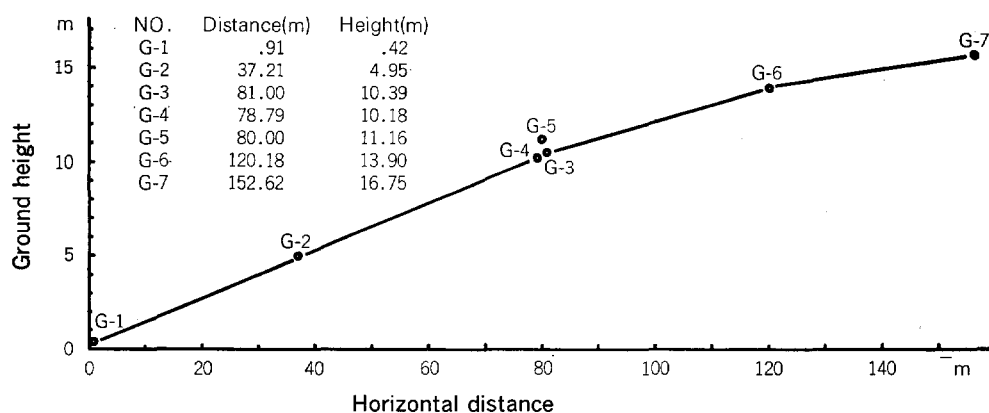


Fig. 8. G 浅井戸列の縦断面図
Longitudinal section of G shallow wells.

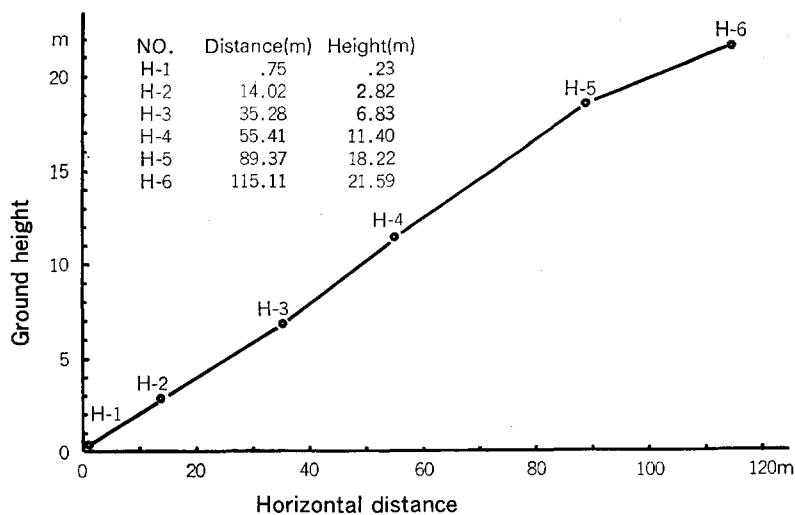


Fig. 9. H 浅井戸列の縦断面図
Longitudinal section of H shallow wells.

が、浮子を付加して浮揚力を増加させた。支柱の上下に鉄線（12 番）で作成した支柱支えを取り付け、支柱が浅井戸管の中央部で鉛直に支持されるように工夫した。Fig. 6 には下部に取り付けた支柱支えだけを示す。キャップは浅井戸管にかぶせるもので、適当な寸法の市販のポリエチレン容器を使用した。

以上は最高水位指示計の構造であるが、指標は使用中に穴が大きくなって緩んでくるので、ときどき検査して不良品は新品と取り換えて使用した。最高水位は指示計を浅井戸管から取り出すか、あるいは、そのままの状態、支柱上端または浅井戸管の上縁から指標の下面までの距離を計り、これに浮子の厚みに相当する長さを加え、さらに地表面と支柱上端または管上縁との間の長さを差し引き、各浅井戸の地表面を規準とする最高地下水位を求めた。

試験流域内に設置された浅井戸の数は合計 16 基で、これらの浅井戸は Fig. 1 に示されているように、F、G および H の 3 列に配置されている。各列の浅井戸の数は F 列が 3 基、G 列が 7 基、H 列が 6 基である。地形上、F と H の両列は流域両翼の尾根沿いに、G 列は谷底沿いに配置されている。

各浅井戸列について、側溝路肩を起点とする各浅井戸までの水平距離と地盤高とを測量して、縦断面図を描くと、Fig. 7, 8 および 9 に示すような形状となる。各列の延長距離は F 列が 68.53m, G 列が 152.62 m, H 列は 115.11m である。流域面積は 5.1ha, 側溝の延長は 427.00m であるから、流域の平均幅は 119.44m となる。浅井戸 3 列の延長の平均値は 112.09m であるので、浅井戸列の平均延長は流域の平均幅にほぼ等しい。

G 列では G-3, G-4 および G-5 の浅井戸が同じ場所に集中しているが、これは林内歩道の中央部に配置された G-4 の左右に G-3 と G-5 が配置されたことによる。

Table 2. 各 浅 井 戸 の 有 効 深
The effective depth of each shallow well.

浅井戸番号 Well No.	埋設管の上縁から底面 までの長さ (L) Length between the upper end of pipe and the base (cm)	埋設管の地上部の長さ (L') Length between the upper end of pipe and the ground surface (cm)	地面からの有効深 ($l=L-L'$) Effective depth of well below the ground surface (cm)
F-1	204.0	65.0	139.0
F-2	203.9	60.0	143.9
F-3	199.3	54.0	145.3
G-1	200.2	69.0	131.2
G-2	199.1	56.0	143.1
G-3	199.8	66.0	133.8
G-4	195.3	63.0	132.3
G-5	203.0	50.0	153.0
G-6	199.7	48.0	151.7
G-7	202.7	49.0	153.7
H-1	200.3	101.0	99.3
H-2	202.4	54.0	148.4
H-3	201.0	52.0	149.0
H-4	199.2	51.0	148.2
H-5	199.0	58.0	141.0
H-6	202.7	56.0	146.7

さきに説明したように、G列は集水型地形の底部に、FとHの両列は尾根沿いに配置され、各浅井戸間の縦断勾配は最も急な区間で 12.8° 、最も緩やかな区間では 4.1° である。各列内の浅井戸間の平均勾配はF列が 6.1° 、GとH列のそれは 6.1° と 10.7° である。

次に、各浅井戸について、埋設管の上縁から底面までの深さ、埋設管の地上部の長さおよび地表面から底面までの有効深さをまとめると、Table 2 のようになる。この表で、H-1の有効深は99.3cmと非常に浅

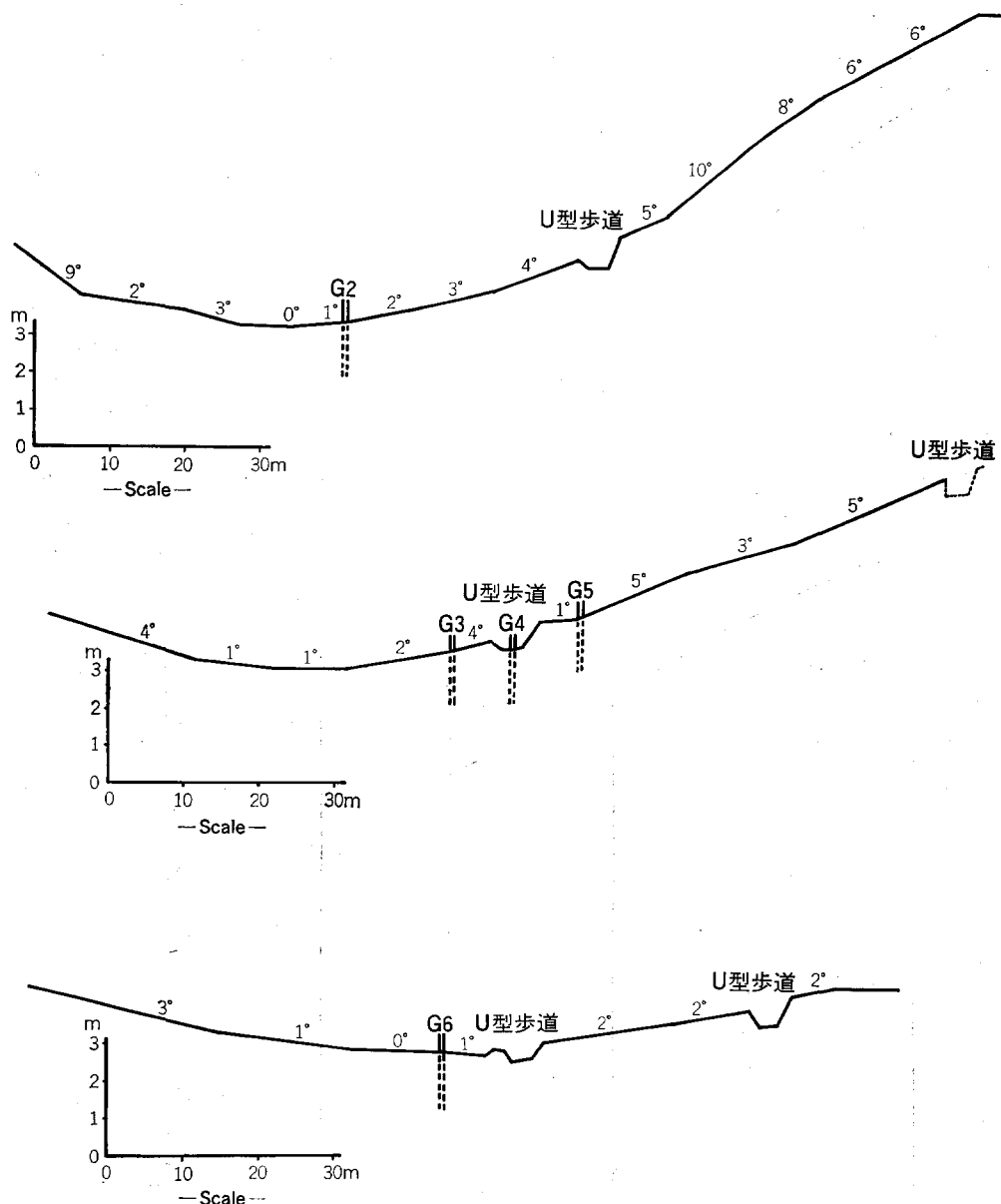


Fig. 10. G-2, G-3, G-4, G-5 および G-6 の各浅井戸を通る横断面図
Cross sections passing through each shallow well of G-2, G-3, G-4, G-5 and G-6.

いが、この理由はH-1が側溝に近接しているため、深く埋設しなかったことによる。その他の浅井戸の有効深は131.2～153.0cm、平均深は144.0cmである。

Fig. 10 はG列のG-2、G-3およびG-6の各浅井戸を通過する地盤の横断面を示す。G-3、G-4およびG-5はほぼ同一横断面中に設置されているが、G-4は林内歩道の路面上に設置されており、これら3基の地盤高は $G-5 > G-3 > G-4$ で、3基のなかではG-4が最低である。また、G-2とG-6の両浅井戸は各横断面中の最低所に設置されているが、G-3は横断面の最低所より約50cm高い位置にある。あとに説明するが、中間流出に基づく地表流は横断面中の最低所に発生した。Fig. 10 には表層土がU字型に削土されて造成された林内歩道が示されているが、このU字型林内歩道の深さは約0.6～0.8mで、両法面特に斜面上部の法面からは中間流が流出し、路面上の融雪水あるいは降雨水は地表流となり、融雪期および豪雨のとき、林内歩道は多量の流水で小川状となった。

2.2. 量 水 堰

側溝の流量はその下流端に設置した量水堰を用いて自記測定した。量水堰の流れの方向の中心線は側溝のそれと一致するように配置され、堰堤の長さ、幅および深さの各内法は、それぞれ500、120および120cmである。堰堤の上下の側壁とその袖部、床盤、水叩きおよび水位計用浮子室の外壁は、すべて厚さ20cmの鉄筋コンクリート製である。上・下流部の水流に直交する側壁には、左右両翼に袖部を取り付けて、流水による堤体の洗掘を予防した。

溢流部の形式はナイフ・エッジ付きの直角三角堰と矩形堰とからなる複合堰で、Fig. 11 は上流側からみた溢流部の詳細図である。ナイフ・エッジ部の材料は厚さ5mmのステンレス板で、ナイフ・エッジの取り付け角度は45°である。

量水堰堤の形状は長方形の水槽に類似し、上流側壁から1mと2mの距離のところの内壁に垂直の溝をつけ、これに木板を差しはさんで隔障壁とし、静水兼沈砂池を設けた。浮子の位置は溢流部より上流側

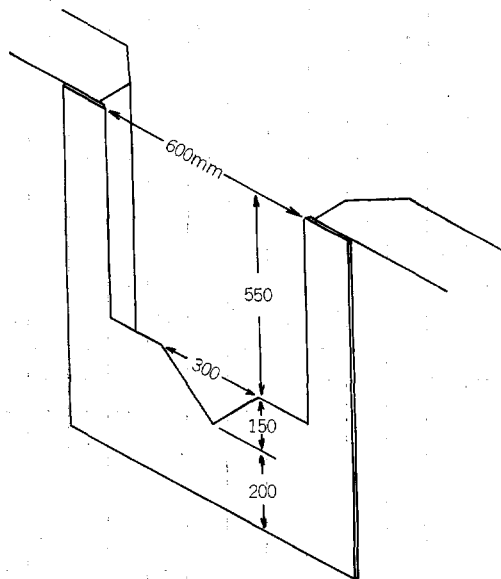


Fig. 11. 上流側からみた量水堰の詳細
Dimensions of measuring weir viewed from the upper stream.

Table 3. 試験流域内の積雪水量
Water equivalent of snow pack in the experimental watershed.

測点 No.	月日 Date	項目 Item	3・6			4・1		
			積雪深 Snow depth (cm)	積雪密度 Density (g/cm ³)	水量 Water equiv. (mm)	積雪深 Snow depth (cm)	積雪密度 Density (g/cm ³)	水量 Water equiv. (mm)
G-1			93	0.27	251	108	0.36	389
G-2			87	0.28	244	89	0.37	329
G-3			87	0.28	244	84	0.37	311
G-6			91	0.27	246	89	0.37	329
G-7			84	0.26	218	89	0.38	338

Table 4. 1981 年 4 月の時間雨量
Hourly rainfall in April, 1981.

日 Date	h 1	h 2	h 3	h 4	h 5	h 6	h 7	h 8	h 9	h 10	h 11	h 12	h 13	h 14	h 15	h 16	h 17	h 18	h 19	h 20	h 21	h 22	h 23	h 24
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	1.0	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	1.0	1.0	2.5	1.5	2.0
11	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.5	0.5	—	—	1.0	—	—	—	0.5	—	0.5	—
15	0.5	—	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	2.0	2.0	2.5	3.5	2.5	2.0	3.0	1.0	—	—	0.5	0.5	1.0	3.0	3.5	2.0	2.0	1.5	—
21	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	0.5	1.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	1.0	1.5	2.0	1.5

1.2m のところに配置されている。

矩形堰から溢流するような大出水が少ないため、矩形部分を含む水位—流量の実験式は、まだ調製していないが、直角三角形堰の部分の水位—流量の実験式を示すと (1) 式のようなのである。

$$Q = 0.012 h^{2.576} \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式で、 Q は流量 (l/s)、 h は有効水深 (cm) である。

3. 融雪期の浅層地下水位と中間流出

3.1. 試験流域内の積雪水量

融雪の始まる直前における流域内の積雪水量を知るために、3月6日と4月1日との2回にわたり、G浅井戸列のG-1、G-2、G-3、G-6およびG-7の各浅井戸の近傍で、スノーサンプラーを用いて積雪水量を調査した。このときの積雪深、密度および積雪水量を示すと、Table 3 のとおりである。Table 4 は量水堰の場所から約2km離れた支場構内露場で観測した4月の日降水量を示す。4月の月降水量は90.0mmで、これが全部流出したと仮定すると、融雪期間に試験流域から流出した水量は $339 + 90 = 429$ mmとなる。

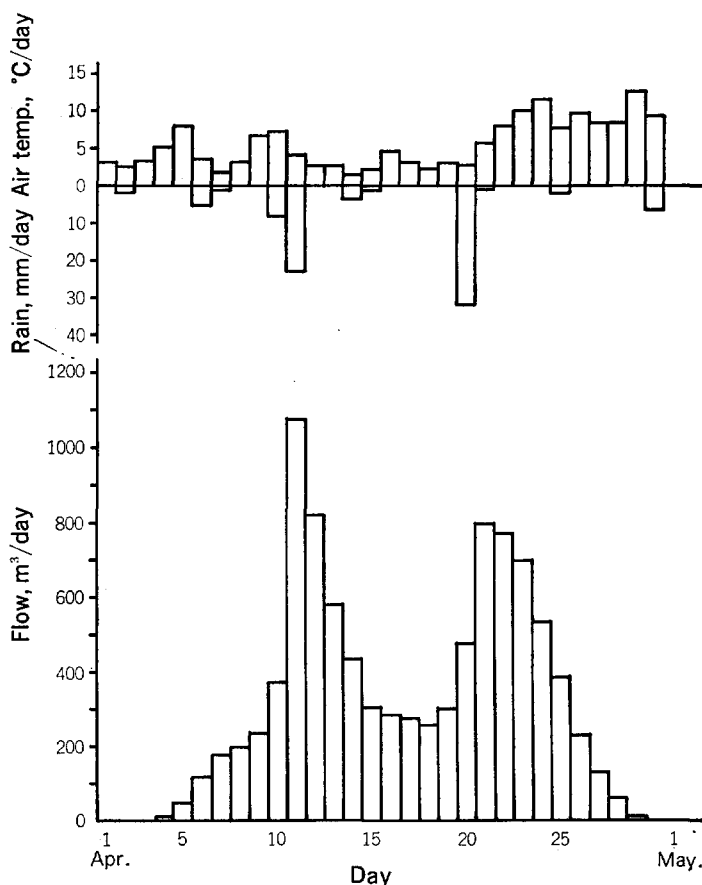


Fig. 12. 融雪期の日流出量、日雨量および日平均気温の分布
Daily distribution in direct flow, rainfall and average temperature for the melting snow time of 1981.

3.2. 融雪期間の流出量

ここでの流出量は側溝内を流れて量水堰から溢流した水量のことである。試験流域から側溝に流入した降水分のなかには、その水量は不明であるが、側溝の流床面から地中に浸透して量水堰を通過しないものがある。側溝の流量が少なくなると、水流が伏流となって途中で消えるので、このことから、側溝流床から降水が浸透していることが推察できる。流量が多いときは側溝潤辺部からの浸透も考えられるが、その水量は不明である。

自記水位の記録資料によると、1981年の融雪出水は4月3日18時に始まり、5月2日4時30分に終了している。この期間の流出総量は9587.2m³、流域面積を約5.1haとすると、この流出水量は約188mmの水深に相等する。

融雪期の日流出量、日降水量および日平均気温を棒グラフで示すと、Fig. 12 のようになる。'81年の融雪出水期には二つの明白なピーク流量が認められる。11～12日のピーク流量は降雨の加わったことに起因し、22～23日のピーク流量は融雪水によるものである。

3.3. 融雪最盛日の時間融雪量、各種温度および水質

4月22日と23日とは晴天で、融雪最盛日と予想されたので、22日10時から23日17時までの30時間について毎時観測を行った。観測項目は量水堰堤付近での融雪ライシメーターによる時間融雪量、気温、流水温、湧水温、地温、雪面温度、日射量、地下水位および流水の水質である。水質は量水堰からの溢流水を採水して研究室に持ち帰り、pH値、Cl⁻濃度、DO濃度、濁度および電導度について測定した。

融雪水量の計測に用いた融雪ライシメーターは亜鉛びき鉄板製の円筒型平底容器で、側壁下端部に直径2.0cmの排水管を取り付けたものである。容器の寸法は直径が40.0cm、高さが15.0cmで、表面は白色ペンキ塗料で仕上げたものである。表層部の積雪を詰めた融雪ライシメーターを積雪表層部に埋め、排水管に取り付けたビニールホースから流出する融雪水量を計測した。

気温、流水温、湧水温および地表下10cmの地温の測定にはCC線センサーを使用し、流水温は量水堰の溢流部の水温を測定した。その他の各種温度は量水堰の近辺で測定した。日射量は中浅測器社製の太陽電池式日射記録計を用いて測定した。Table 5 は時間融雪水量、Table 6 は気温、流水温、湧水温、地温の各時刻の測定値を示す。観測期間中の気温の最高値は19.8℃、最低値は4.7℃、流水温は2.7～6.6℃、湧水温は3.2～4.0℃、地温は-0.1～0.7℃であった。また、日射量は最高値が4月23日14時で44.1ly/hrであった。この測定値は林木伐開地の量水堰上で測定したものであるが、周囲の立木の日陰によって多少低い値となっている。

流出水の水質分析については、pH、DO、濁度、電導度の4項目を堀場製作所製の水質チェッカーU-7型を用いて測定し、Cl⁻は東亜電波社製のデジタルイオンメーターIM-20B型を用いて測定した。分析結果について、観測期間中の経時変化を3時間の移動平均値で示したのがFig. 13である。この図から、融雪期における流量や融雪水量は、時間的な遅れはあるが、日射量とよく対応したカーブを描くことが知られる。

五つの水質項目の経時変化をFig. 13からみると、濁度は流量変化に対応した経時変化を示し、流量の増減に伴って濁度も増減するカーブを示し、東井らの報告⁸⁾と一致する。しかし、pH、DO、Cl⁻、電導度などは、ほぼ一定の値で変化なく推移しており、季節変化も少なく、増水によってもほとんど変化しなかったという報告と同じ傾向の変化対応を示した。なお、個々の測定項目について略記すれば、以下のと

Table 5. 融雪ライシメーターによる時間融雪水量
(1981. 4. 22~23)

Hourly volume of melted snow by the snow lysimeter.

月日 時 Date	時間平均気温 Average air temp. (°C)	時間融雪水量 Hourly melted snow (mm/hr.)
4. 22. 11~12	16.6	2.33
12~13	17.8	2.85
13~14	17.5	2.40
14~15	16.7	2.13
15~16	13.5	1.29
16~17	11.1	1.17
17~18	9.9	1.41
18~19	8.0	1.09
19~20	7.4	0.86
20~21	6.6	0.50
21~22	6.8	0.30
22~23	7.6	0.33
23~24	6.2	0.24
4. 23. 00~01	5.5	0.14
01~02	5.8	0.12
02~03	5.4	0.10
03~04	5.0	0.09
04~05	5.2	0.09
05~06	6.1	0.07
06~07	7.9	0.08
07~08	10.6	0.21
08~09	12.2	0.52
09~10	13.3	2.25
10~11	15.2	2.70
11~12	17.0	3.44
12~13	18.4	2.49
13~14	19.5	4.00
14~15	19.1	3.19
15~16	17.9	2.55
16~17	16.3	1.67

Table 6. 各種温度の各時刻の観測値
Measuring values of various temperature.
(単位: °C)

日 時 Date	気 温 Air temp.	流水温 Water temp.	湧 水 温 (地下水温) Ground- water temp.	地 温 Ground temp.
4. 22. 11	15.3	5.0	—	—
12	17.9	4.7	3.3	0.3
13	17.6	5.3	3.7	0.4
14	17.4	5.3	3.8	0.4
15	16.0	4.9	3.7	0.2
16	11.0	4.4	4.0	0.6
17	11.2	4.0	3.7	0.4
18	8.5	3.9	3.9	0.5
19	7.4	3.5	3.7	0.4
20	7.4	3.4	3.7	0.4
21	5.7	3.1	3.4	0.3
22	7.9	3.2	3.4	0.3
23	7.2	3.2	3.5	0.3
4. 23. 0	5.1	3.1	3.5	0.3
1	5.9	2.7	3.2	— 0.1
2	5.6	2.8	3.2	— 0.1
3	5.2	2.8	3.2	— 0.1
4	4.7	2.8	3.3	— 0.1
5	5.7	3.1	3.4	0.3
6	6.4	3.0	3.3	0.2
7	9.3	3.3	3.3	0.2
8	11.9	3.7	3.4	0.3
9	12.5	4.3	3.5	0.4
10	14.1	5.2	3.6	0.5
11	16.3	5.7	3.5	0.2
12	17.6	6.4	3.6	0.4
13	19.2	6.6	3.6	0.3
14	19.8	6.4	3.7	0.4
15	18.3	5.9	3.8	0.5
16	17.5	5.3	3.9	0.6
17	15.1	5.0	4.0	0.7

注) 各温度センサー設置位置 (センサー, CC 線にて Process プリント)

気 温: ミズナラ立木 1.5m 位置取り付け

流水温: 量水堰内ノッチ付近, 水面下 5cm 位置

湧水温: 右岸湧水地点に土壌採取円筒を入れ, そのなかにセンサー (CC) 入れる。

地 温: 積雪下の地表下 10cm

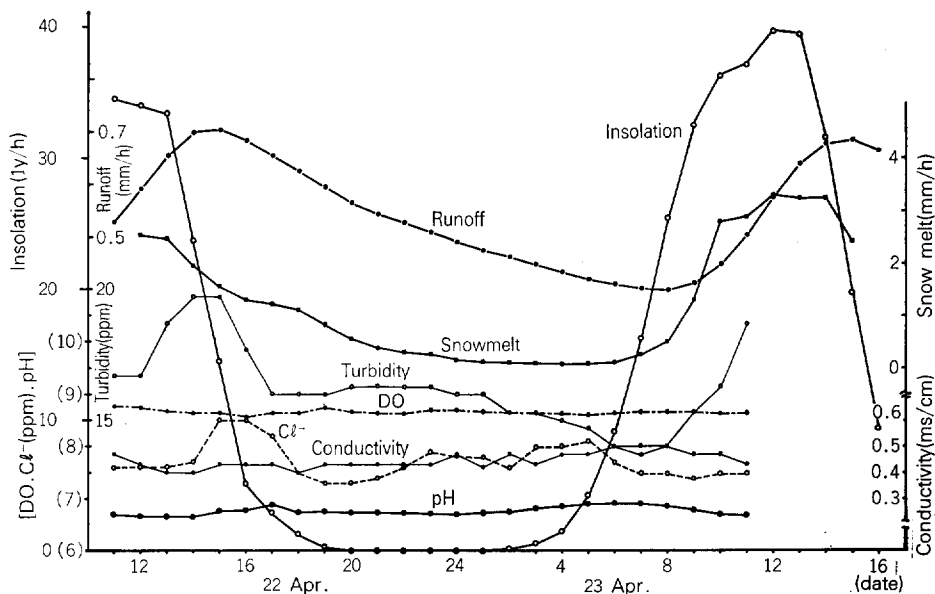


Fig. 13. 日射量・融雪水量・流量と水質の経時変化（3時間移動平均）
Fluctuation of insolation, snowmelt, runoff and water quality
(3 hours moving average).

おりである。

濁度については流量の変化と関係が深い、観測期間中の最大値は 22ppm で、わが国の水道における飲料水基準³⁾ および原水基準 3 類以下の値である。

DO はわが国河川水の平均値 5.8ppm の数値より、8.4~8.8ppm と溶存量が多く、水産利用面からの最小限值 5.0ppm を上回っている。

pH の測定値は 6.66~6.98 で、飲料水基準に合致し、わずかに酸性側にある。また、H 列の 6 か所の浅井戸の周辺で採取した積雪を融かして測定した pH 値は、5.81~6.28 の範囲にあり、量水堰からの溢流水の値は、これよりわずかに高い数値を示した。

次に Cl⁻ であるが、流出水の濃度は 7.2~9.5ppm の範囲で、飲料水基準の 200ppm や原水基準第 3 類の 180ppm よりきわめて低い値で推移した。また、H 列の各浅井戸周辺で採取した積雪水の Cl⁻ 濃度は 2.4~3.8ppm であった。流出水の Cl 濃度が融雪水の 2 倍以上であるということは、融雪水が地表および地中を流れる間に Cl⁻ 濃度が高まったことを意味する。電導度の経時変化は変動幅が小さく、0.4~0.5 ms/cm である。

なお、4 月 22 日 13 時頃の流域内の残雪状況を説明すると、G 浅井戸列で観測した積雪被覆面積率値(%) は、G-1: 100, G-2: 100, G-3: 80, G-6: 45, G-7: 30, H 列の積雪被覆面積率(%) は、H-1: 100, H-2: 100, H-3: 70, H-4: 50, H-5: 30, H-6: 5 であった。積雪の消え方は複雑であるが、斜面上部は早く消え、また樹木の根元周囲と突起した土地は早く消える傾向が認められる。以上説明したように、4 月 22 日 13 時頃の積雪被覆面積率は 100% ではなく、斜面上部はかなり融雪が進んでおり、流域平均の積雪被覆面積率は約 65% であった。

Table 7. G 列の各浅井戸の地下水位
The groundwater levels observed at shallow wells located
on the bottom line (G line).

月日時 Date	観測井 Shallow well (cm)						
	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
4. 1.11	116.4	142.7	>133.8	131.5	147.6	>151.7	>153.7
3.11	109.1	137.5	131.2	118.0	144.2	>151.7	↓
6.11	37.7	57.3	50.8	20.2	87.7	118.1	↓
8.11	26.0	43.8	48.2	11.2	77.9	118.0	142.6
9.11	14.6	35.0	43.7	5.5	72.0	118.9	141.3
13.11	9.3	18.7	32.4	+ 1.7	37.8	101.8	136.5
14.11	10.8	23.9	36.3	+ 0.5	44.8	113.0	138.0
16.11	20.4	40.7	53.3	3.2	68.7	146.9	150.3
22.11	7.1	7.2	25.0	+ 1.5	38.9	87.0	125.1
12	5.6	6.3	22.6	+ 1.6	37.3	86.4	125.7
13	4.6	5.8	20.5	+ 1.8	36.1	84.6	124.0
14	4.6	5.6	20.1	+ 1.5	34.8	82.6	120.5
15	4.4	5.6	19.3	2.0	34.2	79.7	117.0
16	4.4	5.6	20.0	+ 1.4	34.2	78.1	114.3
17	4.8	5.8	21.2	+ 1.3	34.3	77.1	113.0
18	5.2	6.2	21.8	+ 1.4	34.2	76.6	112.1
19	5.2	6.5	22.2	+ 1.5	34.0	76.1	112.0
20	5.4	6.7	23.2	+ 0.9	34.5	76.3	112.4
21	6.0	7.0	23.8	+ 0.8	34.8	76.6	113.1
22	6.1	7.3	24.2	+ 0.8	35.4	77.1	114.0
23	6.4	7.7	25.0	+ 0.9	35.7	78.2	115.5
23.00	6.7	7.8	25.1	+ 1.0	35.9	79.0	116.5
01	6.7	8.0	25.4	+ 1.0	36.2	80.0	117.8
02	7.0	8.5	26.0	+ 1.0	36.6	81.2	119.0
03	7.3	9.1	26.7	+ 1.0	37.1	82.6	120.3
04	7.5	9.7	27.3	+ 0.6	37.7	83.9	121.8
05	7.8	10.3	27.7	+ 0.6	38.5	85.4	123.5
06	7.9	10.7	28.2	+ 0.6	38.7	86.7	124.7
07	8.2	10.9	28.6	+ 0.6	39.2	88.2	126.0
08	8.2	11.1	29.0	+ 0.3	39.5	89.3	126.9
09	8.0	10.3	28.2	+ 0.7	39.0	91.0	128.3
10	6.9	8.5	26.6	+ 0.4	37.4	92.5	129.6
11	5.6	6.6	24.5	+ 0.7	35.5	92.9	130.3
12	4.8	6.2	22.5	+ 0.8	34.2	91.8	130.3
13	4.0	5.4	20.8	+ 1.3	32.7	89.5	127.0
14	3.8	5.2	19.7	+ 1.3	31.9	87.0	123.0
15	3.8	5.1	19.7	+ 1.4	31.8	84.3	120.1
16	3.8	5.6	20.2	+ 1.4	31.8	82.7	118.5
17	4.1	5.4	21.1	+ 1.3	32.0	81.6	118.0
27.12	23.0	52.4	70.2	21.3	90.3	>151.7	>153.7
28.12	36.2	78.0	103.8	67.3	142.0	↓	↓
29.12	55.8	115.0	>133.8	112.1	149.1	↓	↓
30.12	89.0	135.6	↓	122.7	153.0	↓	↓
5. 1.12	119.1	141.7	↓	125.5	150.3	↓	↓
2.12	119.9	>143.1	↓	128.1	149.4	↓	↓

Table 8. H 列 の 各 浅 井 戸 の 地 下 水 位
The groundwater levels observed at shallow wells located
on the ridge line (H line).

月 日 時 Date	観 測 井 Shallow well (cm)					
	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6
4. 1.11	>99.3	>148.4	>149.0	>148.2	>141.0	>146.7
3.11	>99.3	↓	↓	↓	↓	>146.7
6.11	37.2	↓	↓	↓	↓	143.7
8.11	37.2	↓	↓	↓	↓	>146.7
14.11	30.3	↓	↓	↓	↓	
16.11	33.9	↓	↓	↓	↓	
22.11	25.2	111.1	145.0			138.6
12	観測せず*	—	—	—	—	—
13	23.9	112.4	147.4			140.5
14	23.4	110.3	147.9			141.1
15	22.9	106.3	146.6			141.0
16	22.8	102.0	144.6			140.6
17	22.8	98.8	141.7			140.3
18	23.0	97.5	139.2			139.5
19	23.3	98.0	138.7			140.2
20	23.7	98.8	138.8			140.6
21	24.0	99.9	139.3			141.2
22	24.4	101.1	140.4			141.8
23	24.5	103.2	141.8			142.8
4. 23.00	24.6	104.9	143.9			143.7
01	24.7	107.0	145.6			144.6
02	24.9	108.6	147.3			>146.7
03	25.3	110.9	>149.0			↓
04	25.3	113.1	↓			↓
05	25.5	115.7	↓			↓
06	26.1	118.4	↓			↓
07	26.2	120.9	↓			↓
08	26.3	123.4	↓			↓
09	26.2	127.0	↓			↓
10	26.2	128.7	↓			↓
11	25.7	131.1	↓			↓
12	24.8	133.0	↓			↓
13	24.0	131.2	↓			↓
14	23.4	126.8	↓			↓
15	23.0	119.6	↓			↓
16	22.9	112.4	↓			↓
17	23.0	108.3	↓			↓
4. 27.12	33.4	>148.4	↓			↓
28.12	35.3	↓	↓			↓
29.12	42.8	↓	↓			↓
30.12	71.1	↓	↓			↓
5. 1.12	86.7	↓	↓			↓
2.12	98.1	↓	↓			↓

3.4. 浅層地下水位の形成とその地形的特徴

観測用浅井戸の地下水位は4月1日から随時観測を行った。Table 7 と 8 とは融雪期間における G 列と H 列との各浅井戸の地下水位を示す。F 列の浅井戸は融雪期間中ずっと空であったので、表示は省略する。これらの表に示した地下水位は各浅井戸の地表面から地下水面までの垂直距離を cm 単位で表した値である。G-4 は林内歩道の中央部に位置し、融雪時期や大雨のときは歩道表面に地表流が発生する。このために浅井戸の地下水位は地表面より多少高くなる。G-4 の地下水位のプラス符号は地下水位が地表面より高いことを表す。

G 列の各浅井戸では、4月初めより地下水位が徐々に高まり、4月22日に最高に達した。それ以後の地下水位は、融雪水量の減少とともに、下降に転じ、谷底沿いの上部に位置する G-6 と G-7 では遅くとも27日には底面以下に降下し、G-3 は29日に、G-2 は5月1日に底面以下となった。H 列の地下水位は各浅井戸によって異なり、側溝近くの H-1 の地下水位は4月22日最高を示し、5月1日には87cmまで降下した。H-1 の地下水位の昇降は側溝の流量の影響を受けているように思われるが、22日15時頃最高に達し、翌朝8時に最低となり、この間の水位差は3.5cmである。H-2 は18時に最高水位に達し、翌日の12時に最低となり、この間の水位差は35.5cmである。H-3 は4月16日までずっと空であったが、22日19時には底面より10.8cm上昇したが、23日3時には底面以下に降下した。H-4 と H-5 との両浅井戸は融雪期間中ずっと空であった。H-6 は22日18時に底面より7.2cm上昇し、23日2時には底面以下に降下し、その後は空の状態が続いた。

観測用浅井戸は左右の尾根沿いと谷底沿いに設置されたが、融雪期の浅層地下水位は谷底沿いに形成され、尾根沿いの浅井戸では、H-2、H-3 および H-6 のように、融雪最盛日にわずかに地下水位の上昇が認められたものもあるが、ずっと空の状態であった。地下水位が高く上昇した谷底沿いの各浅井戸を比べると、下方に位置するものほど地下水位は高く上昇し、上部に位置する浅井戸の地下水位は低く、その形成期間は短いという傾向が認められる。

3.5. 融雪最盛期の流量、融雪水量および浅層地下水位の日変化

4月22～23日の観測資料を用いて、融雪最盛期における流量、融雪水量および浅層地下水位の日変化を示したのが、Fig. 14 である。この図に示した地下水位は、G-4 を除く G 列の六つの浅井戸の地下水位を示す。

流量の日変化をみると、9時頃から増水して14～15時に最大となり、それ以降は夜半から早朝に向かって漸減するという変化をたどる。最大流量の出現時刻をみると、22日は14時30分、23日は14時である。Table 5 に示した融雪ライシメーターの資料によると、時間最大融雪水量の起時は時間最高の気温の起時と同じで、22日は12～13時、23日は13～14時に出現している。

浅層地下水位の日変化は各浅井戸によって異なり、Table 7 によると、最高水位の出現時刻は、G-1～G-4 までの各浅井戸では14時から15時で最大流量の起時と一致し、G-5～G-7 では19時頃である。Table 7 に示した資料を用い、前後の時刻の地下水位を順々に差引いて1時間当たりの地下水位の変化量を求め、その日変化を示したのが Fig. 15 である。この図は、例えば12時の水位から13時の水位を差引いた水深値を13時のところにプロットし、これを順々に繰り返して作図したものである。この図で地下水位の時間変化量がプラスであれば水位上昇、マイナスは水位降下を表す。このようにして作図した地下水位の時間変化量の日変化をみると、以下に記述するような傾向が認められる。地下水位の時間変化量

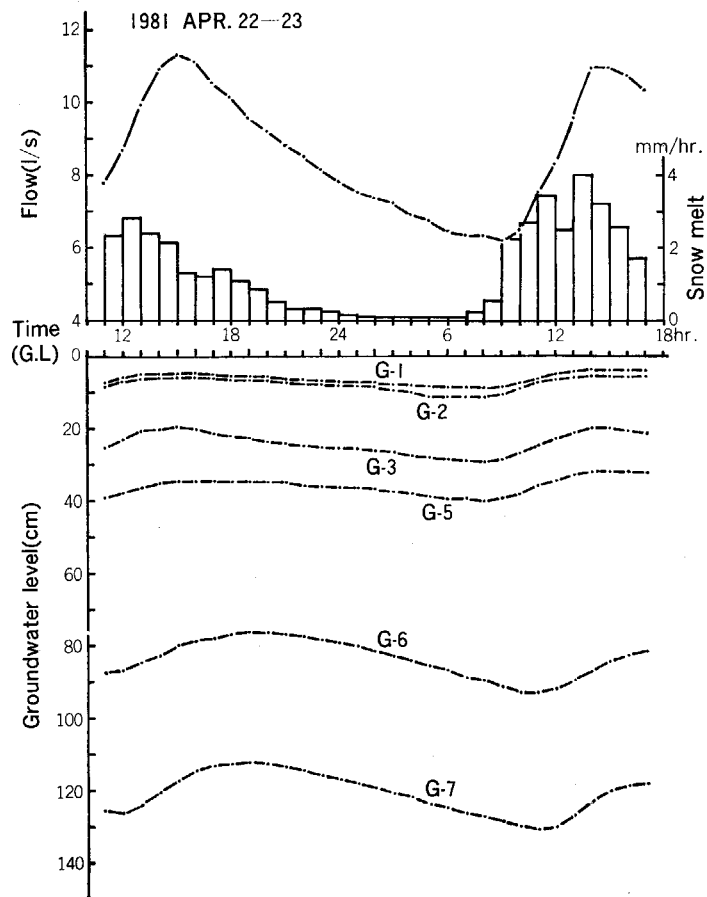


Fig. 14. 融雪最盛日の流量, 融雪水量および地下水位の日変化
Daily changes in melted snow, direct flow and groundwater level on the best day of the melting snow time.
Maximum time.

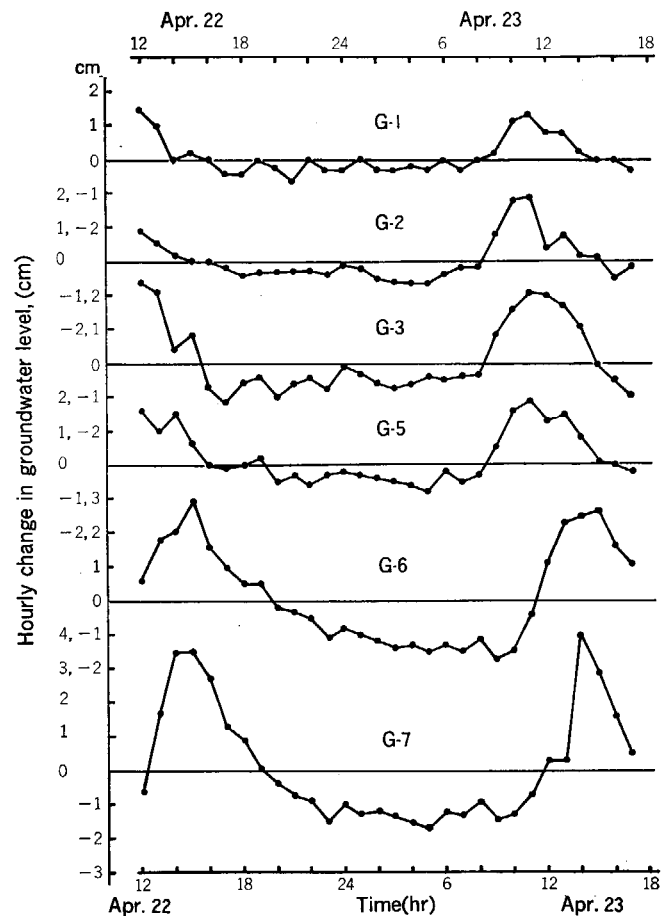


Fig. 15. G列各浅井戸の地下水位の時間変化
Hourly change in groundwater levels at each shallow well located on the bottom line (G line).

は日中はプラス、夜間から早朝はマイナスとなる。時間変化量がプラスからマイナスに移行する時刻は、G-1、G-2およびG-3では15時前後で、これは、時間融雪量の最大値が出現した12～13時より2～3時間のおくれで、時間最大流量の出現時刻と一致する。G-5のそれは多少複雑であるが16～19時、G-6とG-7では20時である。G-1、G-2およびG-3では16～17時頃から翌朝の7～8時頃までの時間変化量は、ほぼ一定値で、それぞれ-0.3、-0.4および-0.6cm/hrである。G-5では19時から翌朝の8時まで、G-6とG-7では23時から翌朝の10時まで、地下水位の時間変化量は、ほぼ一定値で、G-5のそれは約-0.4cm/hr、G-6とG-7とは同値の約-1.3cm/hrである。

22日12時から23日12時までの24時間の地下水位の振幅は、谷底沿いに並ぶG-1、G-2、G-3、G-6およびG-7の各浅井戸では、それぞれ3.8、5.5、9.7、16.8および18.3cmで、斜面上方に位置する浅井戸ほど振幅が大きい。G-3と比べて、地盤が77cm高いG-5の振幅は5.5cmであった。

融雪期の浅層地下水位は緩やかな谷底沿いに形成され、尾根沿いとか高所の浅井戸は常に空の状態であった。

谷底沿いに並ぶG列浅井戸のG-1とG-7との間の水平距離は152m、G-1とG-3との間の水平距離は81mであるが、G-1～G-3の区間の地下水位は地表面下10cmまで上昇し、表面土は飽水状態となり、G-3付近より下部では、地面の低みに沿って地表流が発生した。なお、斜面上方に位置するG-6とG-7の地下水位は、最高でも地表面下76cmと112cmであった。

表層土を掘削して造成したU字型林内歩道には、両側法面、場所によっては山側法面と路床面から湧出した多量の融雪水が流れ、その流況は降雨時の小川のようにであった。

3.6. 地表流出と中間流出

融雪期間と夏期の豪雨時に、側溝と法面からなる流出面、流域林内の地表面および林内歩道について、地表流出と中間流出との発生状況を観察した。豪雨時の観察結果については後述するが、融雪・豪雨に共通した中間流出の発生場所は、土壌層位ではB、C両層の境界付近、長い法面では下部 $\frac{1}{3}$ の法面、地形的には谷底沿い、表層土を削除した林内歩道面などである。そして、地表流の発生区域はG-3浅井戸より多少上部以下の低地と林内歩道の路面である。低地沿いに発生した地表流は、融雪強度が林地土壌の浸透能を超えたためではなく、浸透した融雪水の溜積と上流からの中間流の流入とによる表層土の飽和・溢水に起因するものである。

3.7. 夜分から早朝の地下水流出

Table 5に示した融雪ライシメーターの観測値によると、4月23日1時から同日7時までの時間融雪水量は0.14～0.07mm/hrである。この時間の流量資料から算出した時間流量は0.54～0.46mm/hrとなる。これらの数値が示すように、夜半から早朝の流量は同時間の融雪水量よりずっと大きく、この時間の流量の大部分は、日中の融雪水から補給された地下水貯留量から供給されている。

融雪期の無降雨日の夜半から早朝までの時間の流量の減少状態を示したのがFig. 16である。この図は11日21時～12日9時、12日21時～13日9時、21日21時～22日9時、以上の期日の流量曲線を片対数方眼紙上に示したものである。4月10日19時～11日18時までに32.0mmの一降雨があったので、11日21時～12日9時までの流量曲線は、融雪初期における降雨の減衰曲線に及ぼす影響を検討するのに好適な資料である。12日21時～13日9時までの流量曲線は融雪初期の雨が止んで1日経過した流量曲線、21日20時～22日9時までの流量曲線は融雪最盛日のものである。

Table 9. 初期流量 (Q_0) と減衰係数 (α) との値
The values of initial flow and decreasing rate of flow.

日 時 Date	Q_0 (l/sec.)	α (hr ⁻¹)	注 解 Notes
11. 23 ~ 12. 8	12,489	-0.0299	降雨直後
12. 22 ~ 13. 9	7,910	-0.0306	
21. 21 ~ 22. 8	10,678	-0.0345	
22. 20 ~ 23. 7	9,030	-0.0314	
23. 21 ~ 24. 7	7,860	0.0301	25日 6 時以後降雨
24. 20 ~ 25. 6	6,065	-0.0273	
25. 18 ~ 26. 8	4,161	-0.0307	
26. 18 ~ 27. 10	2,423	-0.0275	

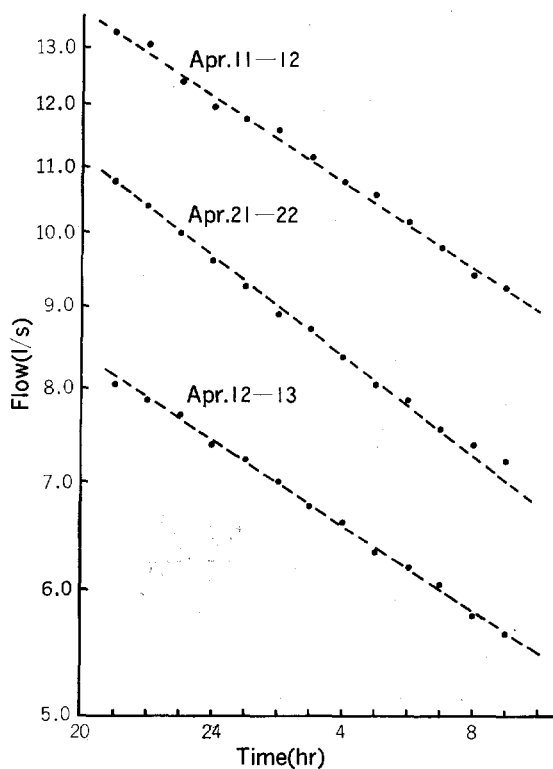


Fig. 16. 夜分から翌朝までの流量の減衰曲線
Depletion curves of direct flow during the nighttime to the next morning.

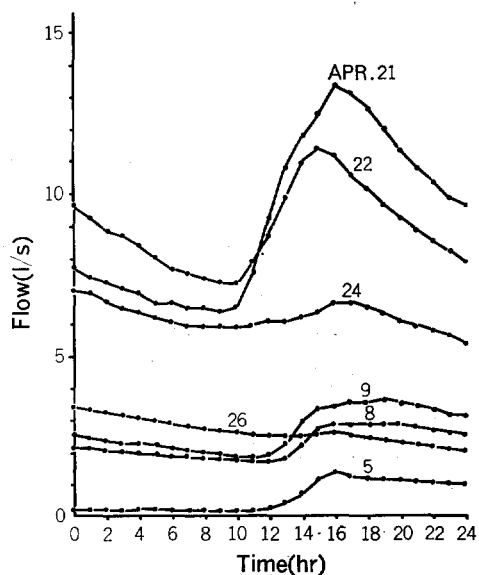


Fig. 17. 一融雪期間の日最小流量の変化
Change in the daily minimum flow for the period of a melting snow time in 1981.

Table 9 に (2) 式を 8 例の流量曲線に適用して算出した Q_0 と α の値を示した。

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式で, Q_0 は初期流量 (l/sec.), Q_t は Q_0 より t 時間後の流量 (l/sec.), α は流量の減衰率 (hr^{-1}), e は自然対数の底である。

Q_0 の値は, 融雪水からの供給が僅少であるか, または停止し, 土層中に蓄えられた地下水からの供給が流量の主成分となる時刻の流量と考えることができる。初期流量の時刻は, 融雪初期では 22~23 時, 最盛期では 20~21 時, 終期では 18 時頃である。

α の値についてみると, 上記 8 例の流量曲線の α の値の平均値 ($\bar{\alpha}$) は 0.030 ± 0.002 である。11~12 日の降雨直後の α の値は $\bar{\alpha}$ の値にきわめて近い値で, 特に降雨の影響を受けたとは認められない。融雪最盛期の α の値は, $\bar{\alpha}$ の値と比べると, 多少大きいように思われる。総体的にみると, α の値はよく一致し, 0.03 hr^{-1} 程度である。

3.8. 一融雪期間の日最小流量の推移

Fig. 17 は羊ヶ丘試験流域の一融雪期間の無降雨日の流量の日変化の推移を示す。この図で, 4 月 5 日の流量曲線は融雪初期のもの, 21 日の流量曲線は融雪最盛期のもの, 26 日のそれは融雪終期のもので, 8, 9 日の流量曲線は融雪初期から最盛期に向かう途中の流量曲線, 22, 24 日の流量曲線は融雪最盛期を越えた流量の日変化を示す。また, Table 10 は '81 年融雪期における日最低・最大流量とそれらの起時を示す。

前節でも説明したように, 流量の日変化において流量の増加が始まる時刻は, その日の気象条件によって必ずしも一定ではないが, 融雪初期では 11 時 30 分, 最盛期では 8~9 時, 終期では 12~15 時と遅れる。また, 融雪最盛期のピーク流量は 15~16 時の間に現れている。'81 年の融雪期の最大流量は 4 月 21 日 16 時の 13.29 l/sec. , または $0.260 \text{ m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$ である。1 日間流量の最大値と最小値との較差, すなわち日流量の振幅は, Fig. 20 でも明らかなように, 融雪の初期から最盛期に向って増大し, 最盛期には, ほぼ等大の振幅が数日間から 1 週間にわたって出現する。その後は終期に向かって急減し不明瞭となる。'81 年の日流量の振幅の増大値は 4 月 21 日の 6.1 l/sec. , または $0.136 \text{ m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$ である。

Table 10. 1981 年の融雪期における日最低・最大流量と起時
The Minimum and maximum flow and their occurring time
during the melting snow time in 1981.

月 日 Date	日 最 低 流 量 Minimum flow		日 最 大 流 量 Maximum flow	
	比 流 量 Flow ($\text{m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$)	起 時 Occurring time (hr:min.)	比 流 量 Flow ($\text{m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$)	起 時 Occurring time (hr:min.)
4. 5	0.004	6:00 ~ 11:00	0.025	16:00
8	0.034	9:30 ~ 12:30	0.057	16:00 ~ 20:00
9	0.037	10:00 ~ 11:30	0.072	18:30 ~ 19:00
21	0.124	8:30 ~ 9:00	0.260	16:00 ~ 16:30
22	0.142	8:30 ~ 10:00	0.223	15:00 ~ 15:30
23	0.121	9:30	0.215	14:00 ~ 15:30
24	0.116	6:30 ~ 11:30	0.139	0:00
25	0.039	23:30 ~ 24:00	0.068	0:00

Table 5 に示したように、夜分から早朝の融雪水量は僅少で、この時間の流量の大部分は地下水の流出分であり、羊ヶ丘試験流域での主なる流出成分は中間流出である。(2) 式が成り立つときは任意の時間流量 Q とそのときの浅層地下水貯留量 S との間に、 $Q = \alpha S$ という比例関係が成り立つ。洪水解析の結果(4)(5)(17)では、 $Q = kSP$; k と P とは実験定数、という関係が得られている。

このように、流域の地下水貯留量と流量との間に比例関係があり、地下水貯留量の増減に応じて流量も増減する。

Table 11 は一融雪期における G 列の各浅井戸の午前 11 時の地下水位と 自記水位から算出した流量とを示す。この表が示すように、各浅井戸の地下水位は途中で降雨による昇降が起きたが、融雪最盛期の 22, 23 日まで上昇し、それ以降は急速に降下し、一融雪期間の流量の増減は地下水位の昇降と同一経過をたどっている。

融雪の初期から最盛期に向かって日融雪水量は増加し、これに伴って地下水位の上昇と流量の増加を続けるが、G 列の各浅井戸の地下水位がある高さに上昇し、日最低流量の大きさがある程度に達すると、日融雪水量は翌朝までに全量が流出し、日融雪水量、日流出量の間に均衡状態が出現するようである。このことは、融雪期に流域内の浅層地下水貯留量が増加して、ある量に達すると、それに比例して流出量も増加し、日融雪水量と日流出量との間に均衡状態が成立し、したがって地下水貯留量是不変という関係が成立することを意味している。融雪最盛期には、この均衡状態が出現し、快晴日の流量曲線上には日最小流量をベースとする正弦曲線に似た日変化がみられる。羊ヶ丘試験流域での '81 年の観測値によると、日

Table 11. 融雪期における G 列浅井戸の地下水位と流量
The groundwater levels each of shallow well located on the bottom line during the melting snow time.

月 日 Date	流 量 Flow (l/sec.)	G 列 浅 井 戸 の 地 下 水 位 G-1 to G-7 shallow well (cm)						
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
4. 1	0.000	116.4	142.7	—	131.5	147.6	—	—
3	0.000	109.1	137.1	131.2	118.0	144.2	—	—
6	1.161	37.7	57.3	50.8	20.2	87.7	118.1	—
8	1.738	26.0	43.8	48.2	11.2	77.9	118.0	142.6
9	1.871	14.6	35.0	43.7	5.5	72.0	118.0	141.6
13	5.644	9.3	18.7	32.4	+ 1.7	37.8	101.8	136.5
14	4.520	10.8	23.9	36.3	+ 0.5	44.8	113.0	138.0
16	2.384	20.4	40.7	53.3	3.2	68.7	146.9	150.3
22	7.867	7.1	7.2	25.0	+ 1.5	38.9	87.0	125.0
23	7.545	5.6	6.6	24.5	+ 0.7	35.5	92.9	130.3
27	1.550	23.0	52.4	70.2	21.3	90.3	—	—
28	0.682	36.2	78.0	103.8	67.3	142.0	—	—
29	0.047	55.8	115.0	—	112.1	149.1	—	—
30	0.012	89.0	135.6	—	122.7	153.0	—	—
5. 1	0.009	119.1	141.7	—	125.5	150.3	—	—
2	0.000	119.9	—	—	128.1	149.4	—	—

+ は地面より高いことを表す。

+ : means groundwater level risen above the ground surface.

[illegible]

Table 13. F 列の各浅井戸の地下水位
The groundwater levels of each shallow well located on the ridge line (F line).

月日時 Date	観 測 井 Shallow well (cm)		
	F-1	F-2	F-3
8. 4. 17	>139.0	>143.9	>145.3
5. 11	94.8	80.8	49.6
5. 11	Max. 94.8	Max. 80.1	Max. 49.6
5. 16	100.5	89.8	58.3
6. 10	>139.0	>139.7	100.3
7. 10		>143.9	>145.3
8. 10			
9. 11			
10. 13			
11. 12			
12. 13			
13. 14			
14. 13			
15. 11			
17. 11			
18. 11			
19. 12			
20. 13			

この豪雨で、各浅井戸の地下水位は上昇し、多量の中間流出が発生した。しかしながら、側溝のなかに落下していた道床敷碎石の流出と、碎石と雨水との混合流による側溝流床の侵食土とが量水堰内に流入堆積し、この不測事態の発生で、自記々録による流量資料は入手することができなかった。しかし、各浅井戸の地下水位と流量とは適時実測を行ったので、実測資料に従って、豪雨による地下水位の昇降と流量および豪雨終了後の中間流出の減衰状態を以下に述べる。

4.2. 浅層地下水位の昇降経過

Table 13, 14 および 15 は、8 月 4 日から 20 日までの期間の F, G および H の各列に属する各浅井戸の地下水位を示す。これらの表中の最高水位は最高水位指示計の値である。

4 日 17 時までに 86.0mm の雨が降ったが、17 時の観測のとき、F 列の三つの浅井戸は空であっ

Table 14. G 列の各浅井戸の地下水位
The groundwater levels of each shallow well located on the bottom line (G line).

月日時 Date	観 測 井 Shallow well (cm)						
	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
8. 4. 17	79.1	>143.1	122.2	88.0	147.1	>151.7	>153.7
5. 11	4.4	7.4	0.6	+ 1.5	21.6	29.4	48.7
5. 11	Max. 4.4	Max. 7.4	Max. 0.0	Max. +1.5	Max. 21.6	Max. 26.3	Max. 43.8
5. 16	4.7	7.5	3.0	+ 1.0	21.6	34.0	53.3
6. 10	8.2	11.0	21.7	+ 0.6	24.1	58.0	88.6
7. 10	12.4	20.7	15.0	+ 0.5	50.5	99.0	145.0
8. 10	20.0	41.6	48.3	+ 0.5	43.4	146.0	>153.7
9. 11	8.9	32.7	45.9	0.0	44.5	146.7	
10. 13	22.6	50.0	57.0	1.4	63.1	144.8	
11. 12	33.0	57.4	72.2	10.4	84.8	>151.7	
12. 13	14.0	57.2	84.0	25.5	111.1	>151.7	
13. 14	20.8	29.2	43.5	0.0	58.1	99.9	130.5
14. 13	25.4	39.6	52.0	2.4	69.9	136.0	>153.7
15. 11	37.9	55.9	76.0	21.0	97.6	>151.7	
17. 11	71.4	126.7	>133.8	110.3	149.5		
18. 11	119.0	138.3		124.3	149.7		
19. 11							
20. 13	120.9	137.5		129.1	147.5		

Table 15. H 列の各浅井戸の地下水位
The groundwater levels of each shallow well located on the
ridge line (H line).

月日時 Date	観測井 Shallow well (cm)					
	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6
8. 4. 17	>99.3	>148.4	>149.0	>148.2	>141.0	>146.7
5. 11	3.8	38.4	52.7	26.4	78.9	59.2
5. 11	Max. 3.8	Max. 38.4	Max. 52.7	Max. 22.3	Max. 78.9	Max. 59.2
5. 16	6.4	42.2	54.2	43.9	93.9	70.8
6. 10	24.9	66.8	92.0	123.3	>141.0	>146.7
7. 10	32.0	146.7	>149.0	>148.2		
8. 10	37.6	>148.4				
9. 11	34.7					
10. 13	37.4					
11. 12	38.5					
12. 13	34.7					
13. 14	32.3					
14. 13	35.8					
15. 11	37.7					
17. 11	43.8					
18. 11	68.0					
19. 12	74.5					
20. 13	92.7					

た。5日11時の観測のときに、F-1、F-2およびF-3の各浅井戸には地下水位が認められ、F-3の地下水位は最も高く上昇し、その水位は地表面下49.6cmの位置にあった。しかし、5日16時には地下水位の降下が始まり、6日11時にはF-1の地下水位はすでに底面以下となり、F-2およびF-3の地下水位も7日10時の観測時には消失していた。その後20日までの間に小雨が降ったが、F列の三つの浅井戸は全部空であった。

H列の6基の浅井戸でも4日17時の観測のときは全部空であった。5日11時の観測時ではH-2～H-6までの各浅井戸に地下水位の形成が確認され、特にH-4の地下水位は地表面下26cmまで上昇していた。H-1は側溝近くに位置しているので、地下水位の昇降が側溝内の流量に影響を受けることは、融雪期の場合と同じである。5日11時の観測のとき、H-4以外の、各浅井戸の最高水位指示計の示す最高水位と観測水位とは同値であった。5日16時には地下水位の降下が認められ、6日10時の観測のとき、H-5とH-6の両浅井戸は空であった。7日10時の観測のとき、H-3とH-4とは空で、10日10時のときH-2は空であった。なお、それ以後20日までH-2～H-6の各浅井戸は全部空であった。H-1の地下水位は地表面下30cm台にあったが、17日以後は降下を続け、18日13時の地下水位は側溝の流床以下に降下した。

融雪期の場合と同様に、豪雨のときにもG列の各浅井戸の地下水位は顕著な上昇を示した。その詳細はTable 12～14に示したとおりである。4日17時の観測時までの積算降雨量は84.0mmであるが、G-2、G-5、G-6およびG-7の各浅井戸は空であった。G列の最低所に位置するG-1と林内歩道の路面上に位置するG-4とは、地下水位の形成が認められたが、そのときの地下水位はいまだ地表面下79.1cm

と88.0cmのところにあった。5日9時以後は小雨となり、豪雨は峠を越えたとみられるが、5日11時の観測時におけるG-1~G-4の地下水位は地表面近くまで上昇していた。また、G-5、G-6およびG-7の各地下水位もかなり高く上昇した。最高水位指示計の観測値によると、G-1~G-5の最高水位は11時の実測水位とおおよそ同値であった。G-6とG-7との最高水位は11時の実測水位より3ないし5cm高かった。したがって、5日11時の地下水位はすでにピークを越えて降下が始まったと判断される。豪雨以降にも小雨が断続的に降ったので、各浅井戸の地下水位は小幅の昇降を繰り返したが、20日までの各浅井戸の地下水位はTable 13~15に示したような経過をたどった。

豪雨による地下水位の昇降については、以下に記述するような特徴が認められる。豪雨時の場合も地下水位の形成は谷底沿いに顕著で、その水位は下部ほど高い。地下水位の降下は上部ほどすみやかで、下部は遅い。融雪期にはほとんど空であったF、H列の浅井戸にも、地下水位が現れ、G列の浅井戸では、斜面上部に位置するG-6とG-7でも地下水位が高く上昇した。以上は融雪期と比較した豪雨時の浅層地下水位の形成に関する特徴である。なお、G-1、G-2およびG-3の各浅井戸付近では、融雪期と同様に土層が飽水状態となり、谷底沿いの低みに沿って溢水による地表流が発生した。

4.3. G列浅井戸の地下水位と流量

前述したように、量水堰内に路床敷の碎石と侵食土砂が流入堆積し、そのため自記記録による流量資料は入手できなかった。多量の土砂が掃流されたことから考えても、豪雨時の流量は融雪期のそれをはるかに超えるような大きな流量であったと思われる。Table 16は、量水堰から越流する水量を特大厚手のビニール袋を用いて実測した流量と、そのときのG列の各浅井戸の地下水位とを示す。

5日11時の実測流量は90.76 l/sec.、これを比流量で表すと1.78 m³/sec.:km²であった。この時刻は、すでに地下水位も最高水位から降下し始めたときであり、地下水位が最高に達したときの流量は、これ以上であったと推察される。5日16時の実測流量は39.07 l/sec.で、16時には11時の流量の約43%に減少したが、谷底沿いに並ぶG-1、G-2、G-3、G-6およびG-7の各浅井戸について、地下水位の降下状態を比べると、上部にあるG-3、G-6およびG-7の地下水位の低下が著しい。

豪雨終了後の流量は急速に減少し、8日20時から10日2時まで合計45.5mmの降雨があったが、11日13時の実測流量は1.49 l/sec.であった。

4.4. 中間流出の減少状態

豪雨中およびその終了後の8月20日まで、毎日側溝と林内歩道について流水の有無とその区間を観察

Table 16. 豪雨に基づく地下水位と流量
The groundwater levels and flow caused by the heavy rainfall.

日 時 Date	流 量 Flow (l/sec.)	地 下 水 位 Groundwater level (cm)						
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
5.11:00	90.76	4.4	7.4	0.6	+ 1.5	21.6	29.4	48.7
5.16:00	39.07	4.7	7.5	3.0	+ 1.0	21.6	34.0	53.3
6.10:00	19.92	8.2	11.0	21.7	+ 0.6	24.1	58.0	88.6
10.13:00	2.40	22.6	50.0	57.0	1.4	63.1	144.8	—
11.13:00	1.49	33.0	57.4	72.2	9.4	84.8	—	—

注：+は地表面上の水深を表す。

+ means groundwater level risen above the ground surface.

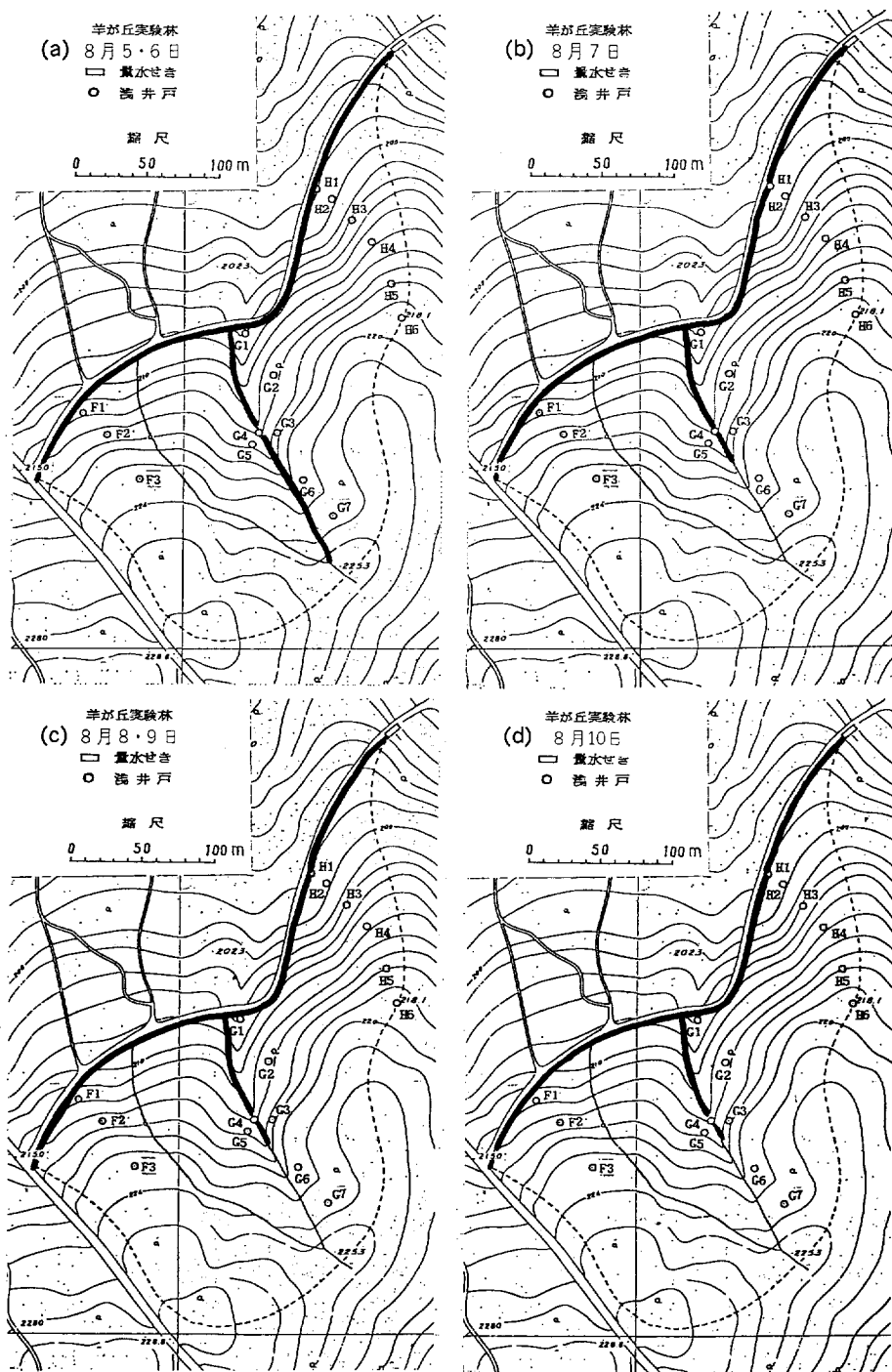


Fig. 18 (a~m). 豪雨終止後の中間流出の消失状況（太い実線は流出区間を示す）
The disappearing process of interflow after the end of the heavy
rainfall (The strong line shows the interflow section).

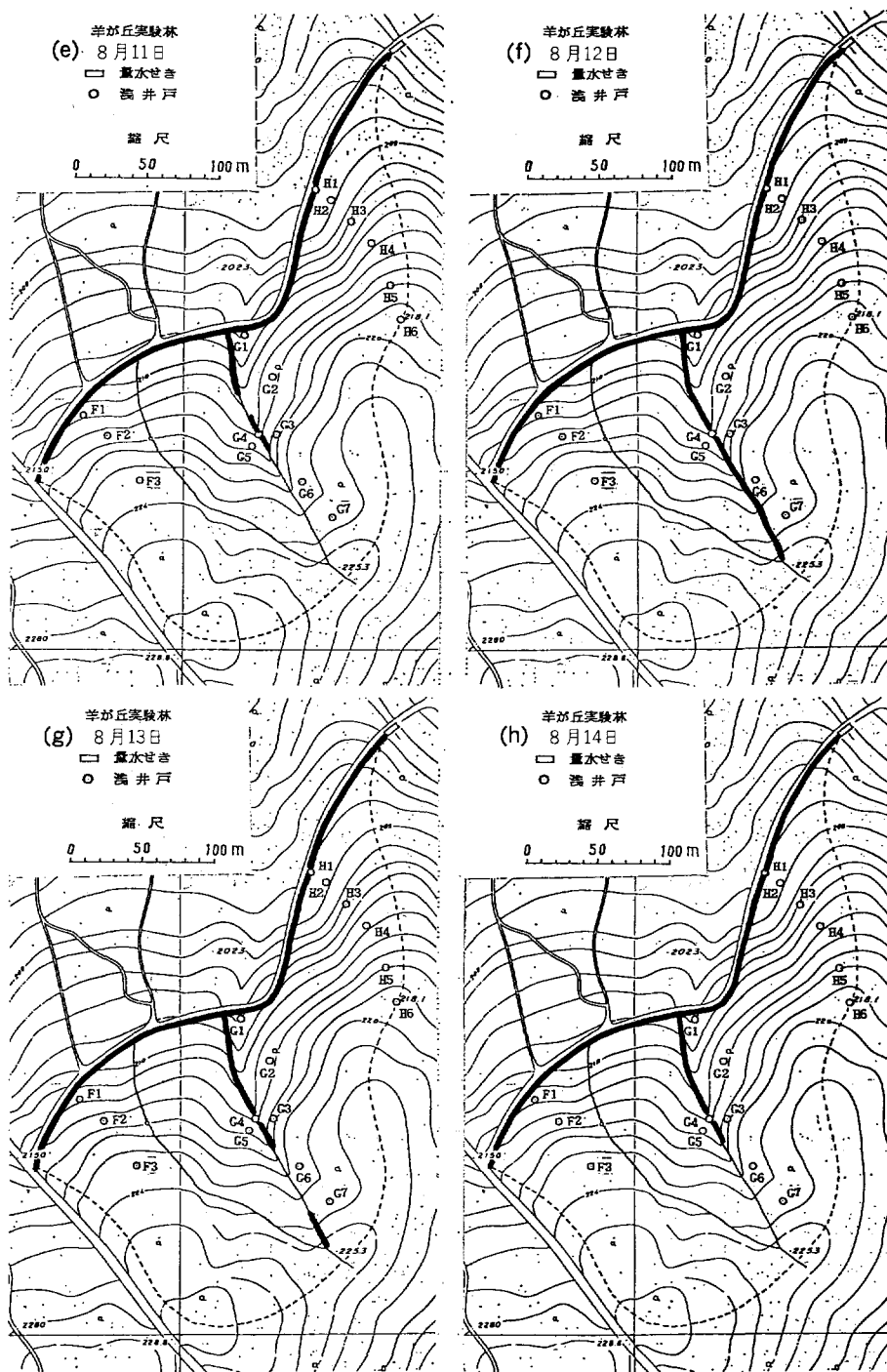


Fig. 18. (つづき) (Continued)

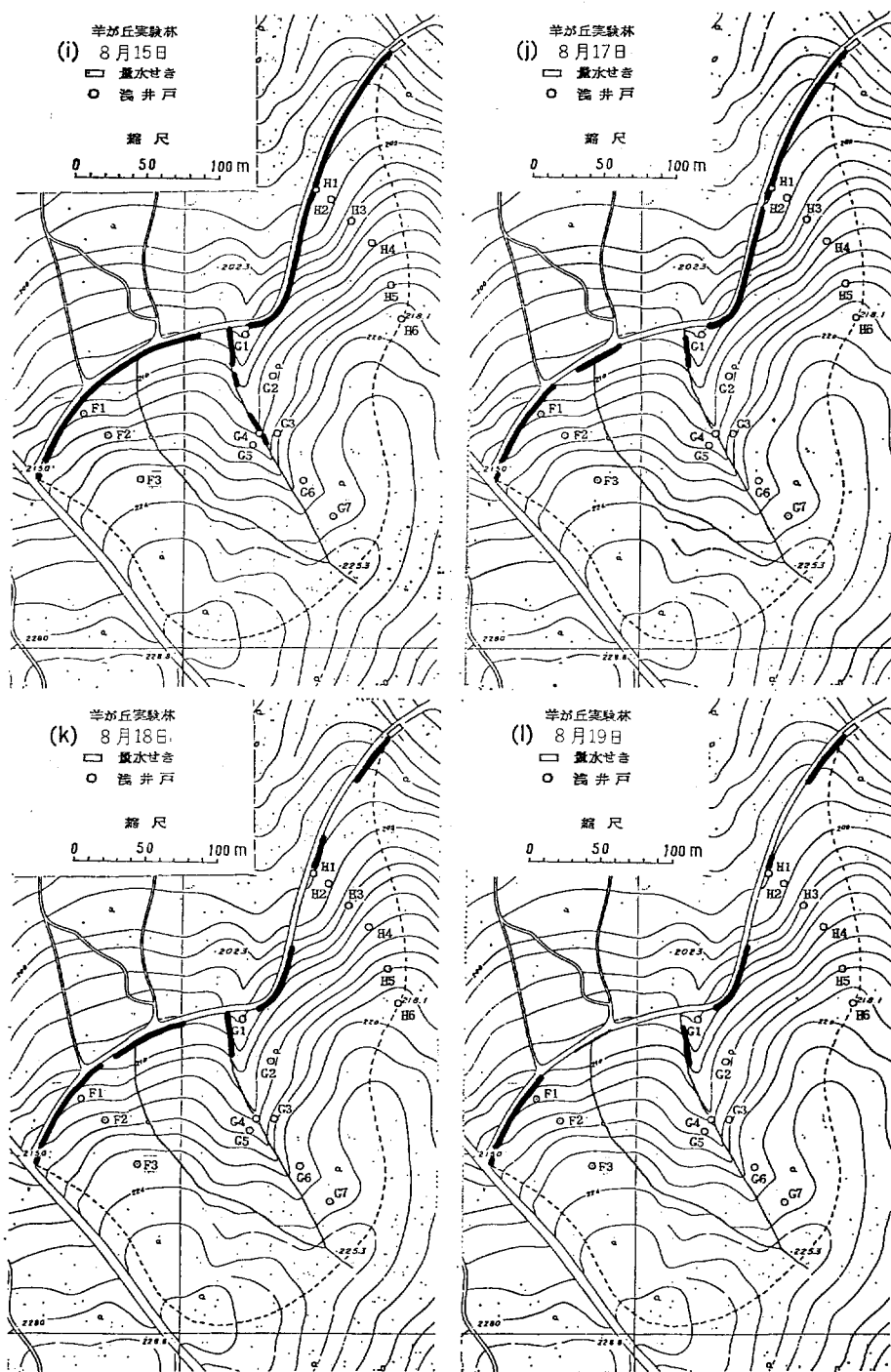


Fig. 18. (つづき) (Continued)

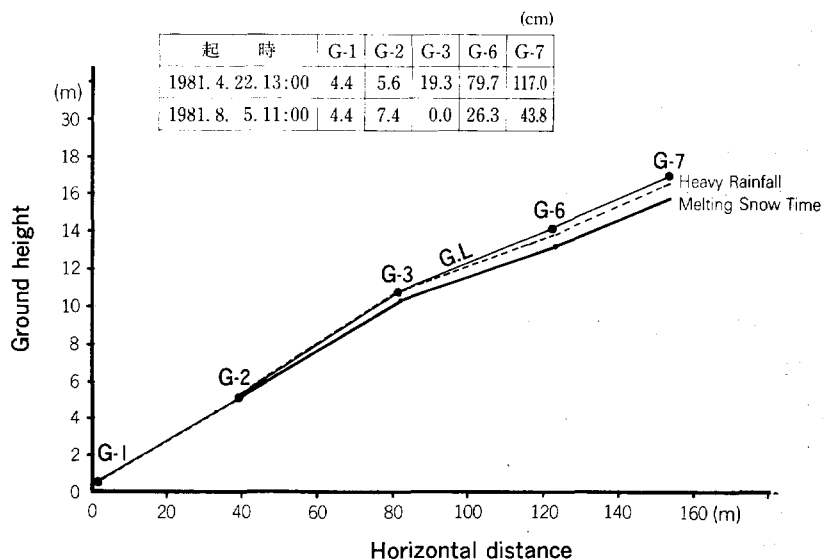


Fig. 19. G列浅井戸の融雪期と豪雨時における最高地下水位
Maximum shallow groundwater levels of the G line at the periods of the melting snow and the heavy rainfall.

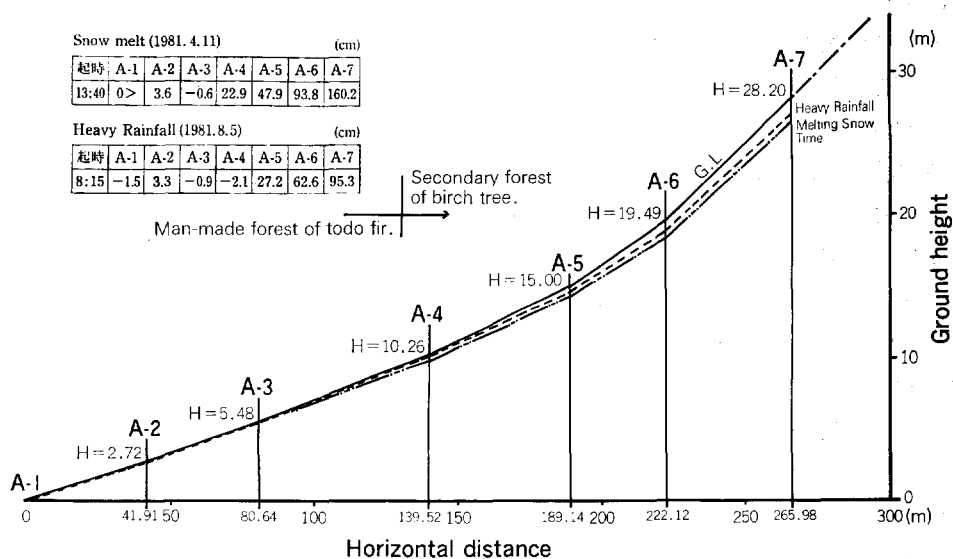


Fig. 20. A列浅井戸の融雪期と豪雨時の最高地下水位
Maximum shallow groundwater levels of the A line at the periods of the melting snow and the heavy rainfall.

生区域は融雪期では A-3 以下、豪雨時には A-4 以下の林地全面に発生した。そして、豪雨時の最高地下水位は融雪期のそれより著しく上昇し、地表流の発生区域は斜面上方に水平距離約 59m、高度差で約 4.8m 伸長した。

以上の観測資料から、地下水位の上昇・溢水による地表流の発生区域は、集水地形では谷底沿いの下部に、非集水地形の凹型の斜面ではその下部緩斜地に形成され、地表流の発生区域は融雪期と豪雨時に共通し、降雨量およびその強度の増加に従って上部に拡大する傾向のあることが判明した。

羊ヶ丘試験流域の融雪出水または豪雨出水においては、中間流出が重要な流出成分となっている。中間流出とは、地面から浸透した降水の一部が土層内で横の流れとなり、浸透した地点より下方の山腹に再び現れる降水分であると定義されているが、中間流の発生する深度範囲に関しては明確に定義¹⁰⁾されていない。土層内の横の流れということであれば、常識的には基層土以上の浅い土層内の流れであると理解し、本文では、G 列浅井戸の深度範囲に地下水位が存在するときの流出成分は、中間流出が主成分であることに注目し、このときの流量曲線から流量の減衰率を求めて中間流出の一つの特徴を考察する。

Table 10 に示されているように、4 月 22、23 日の日最小流量は、それぞれ $0.142, 0.121 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ である。これら両日の午前 11 時における G 列浅井戸の地下水位は、Table 11 に示されているように、22 日は G-1 の 7.1cm から G-7 の 125.0cm、23 日は G-1 の 5.6cm から G-7 の 130.3cm である。これら両日の夜分から早朝の α の値は約 0.03 hr^{-1} である。融雪終期の 4 月 26、27 日の日流量は、それぞれ 4.04, 2.32mm/day であり、4 月 27 日 11 時の G-1、G-2 および G-3 の各地下水位は 23.0, 52.4 および 70.2 cm、G-6 と G-7 の地下水位は井底以下に降下した。この状態での 26 日 18 時～27 日 10 時の α の値は約 0.03 hr^{-1} である。以上の資料によると、羊ヶ丘試験流域における中間流出の支配する期間の流量の減衰率は約 0.03 hr^{-1} である。

羊ヶ丘試験流域の観測値と比較するため、山形試験地 2 号沢 (2.482ha) と宝川試験地初沢 (117.9ha) との観測資料を使用し、融雪期における最大流量と最小流量および夜分から早朝までの時間の流量の減衰率を算出して比較する。

2 号沢流域については 1948、'55、'56、'57 の 4 か年の融雪期における無降水日の流量資料について検討した。1948 年の日最小流量は 3 月初めから徐々に増加し、途中の 3 月 23 日、24 日には $0.110 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ 前後に上昇したが、3 月 15 日から 4 月 6 日までの期間は大体 $0.08 \sim 0.09 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ を変動している。'55 年および '56 年の日最小流量は $0.05 \sim 0.09 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ で、大部分は $0.08 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ 前後である。日最大流量は $0.31 \sim 0.62 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ である。1957 年の日最小流量は $0.10 \sim 0.19 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ 、日最大流量は $0.51 \sim 0.93 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ である。前 2 年と比べて、'57 年の融雪期の日最小、日最大流量が大きかったのは、冬期降水量が多かったこと、3 月の月融雪量が前 2 年のその約 40% と僅少で、融雪が 4 月に集中したことによるとと思われる。日最小流量の起時は 8～9 時に集中し、日最大流量の起時は 15 時前後である。

初沢流域の '55、'56 年の融雪最盛期の日最小流量は $0.16 \sim 0.22 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ 、日最大流量は $0.34 \sim 0.70 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ である。日最小流量の起時は 9～13 時、その大部分は 10～11 時に集中しており、日最大流量の起時は、融雪初期は 24 時で大部遅れるが、最盛期には 17～19 時に集中している。

次は流量の α の値であるが、上述した両流域に資料について、半対数方眼紙上には毎時の流量をプロットし、夜分から早朝までの時間で直線とみなせる区間の α の値を求めた。この時間は 2 号沢流域では

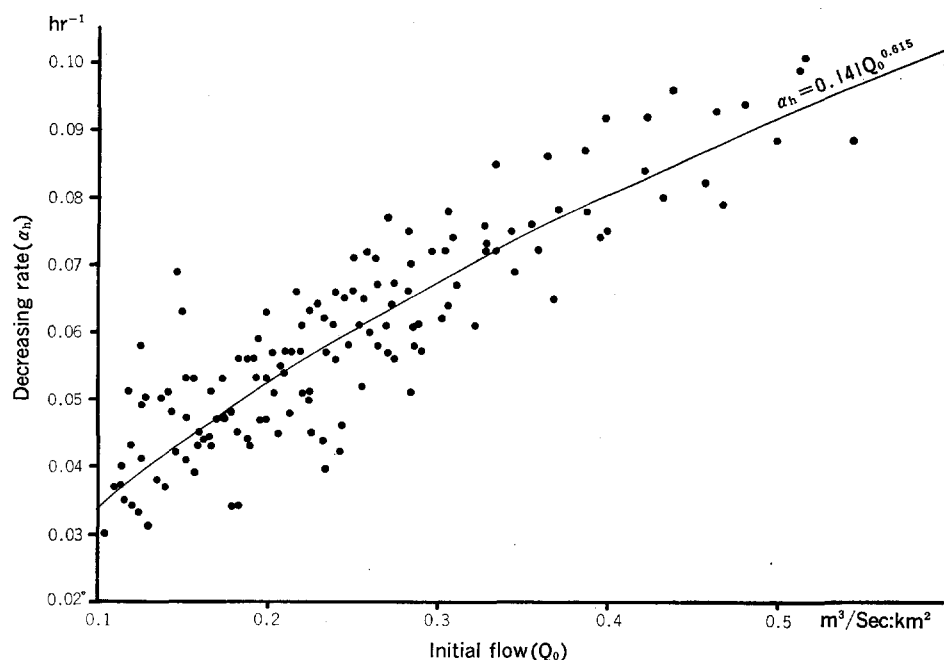


Fig. 21. 初沢の融雪最盛期における Q_0 と α_h との関係
Decreasing rate of flow (α_h) in relation to initial flow (Q_0) at the maximum time of melting snow for the Shozawa watershed.

0時から7時、初沢流域では20～8時、ときには0～8時までの時間である。その結果、2号沢の α の平均値は $0.080 \pm 0.013 \text{ hr}^{-1}$ 、初沢のそれは $0.056 \pm 0.013 \text{ hr}^{-1}$ である。

なお、 α の値は流量に比例して変化⁸⁾することが知られているので、前記両流域の資料について、(2)式を用いて1時間ごとの流量の減衰率 α_h (hr^{-1}) を算出した。両流域ともに、 Q_0 と α_h との間には Fig. 21 に示すような関係が認められるので、これらの関係は(3)式と(4)式で表すことができる。

$$\alpha_h = 0.251 Q_0^{0.666} \quad \text{2号沢} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_h = 0.141 Q_0^{0.815} \quad \text{初沢} \quad \dots\dots\dots (4)$$

藤枝・阿部⁸⁾は一降雨量 96.7 mm のもとで観測されたピーク流量が $2.3 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ の流量曲線を報告している。この流量曲線ではピーク流量の出現直後に降雨が止んでいるので、その直後7時間の減衰率を求めたところ 0.21 hr^{-1} 、同じく45時間後の減衰率は 0.05 hr^{-1} であった。山形試験地3号沢で観測された豪雨時の出水曲線¹⁷⁾について、降雨終止直後4時間の、流量範囲は $4.24 \sim 0.64 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ 、毎時の減衰率を計算して 0.86, 0.47, 0.36 および 0.19 hr^{-1} の値を得た。以上の実例が示すように、 α_h の値は流量に比例して増減し、大出水の場合の α_h の値は著しく大きな値を示すようである。このことから考えると、出水規模が大きくなるにしたがい、流出抵抗の少ない地表付近からの流出分がますます増大するようである。

6. 摘 要

延長 427 m の林道側溝より上部に位置する約 5.1 ha の緩傾斜集水型の小流域を使用し、林内の浅層地

下水位の形成と林地から流去する地表・中間流出量とを観測し、両者の関係ならびに中間流出の消長を調査研究した。林道側溝は林地、林道法面および U 字型林内歩道から流去する地表・中間流出水の捕捉溝兼流水路として使用し、側溝の最下端に量水堰を設置して林地から流去する水量を測定した。また、林内に有効深が 1.4 m 前後の観測用浅井戸を緩やかな集水型地形の谷底沿いおよび両翼尾根沿いに設置し、浅層地下水位を随時観測した。観測用浅井戸の総数は 16 基で、集水型地形上の左右尾根沿いの F、H および谷底沿いの G と名付けた 3 列に、それぞれ 3、6 および 7 基を設置した。

この報告は 1981 年の融雪期と同年 8 月初旬の集中豪雨時とに観測した資料をとりまとめたものである。この研究により得られた結論を以下に要約する。

浅井戸の地下水位観測は 4 月 1 日から随時観測を行ったが、F 列の各浅井戸は融雪期間中ずっと空であった。G 列の各浅井戸では、4 月初めより地下水位が次第に上昇し、4 月 22 日に最高となり、5 月 1 日にはずっと降下し、G-2、G-3、G-6 および G-7 の各浅井戸では、地下水位が消失した。H 列浅井戸では、側溝近くの H-1 を除くと、低所に位置する H-2、H-3 および最高所に位置する H-6 の各浅井戸では、融雪最盛日に地下水位の形成をみたが、H-4 と H-5 とは、融雪期間中ずっと空であった。このように融雪期の浅層地下水位は緩やかな集水地形の谷底沿いに設置された G 列浅井戸に顕著に出現し、尾根沿いの浅井戸は空、または融雪最盛日にわずかに上昇して翌日消失した。

谷底沿いの G 列浅井戸について比較すると、下方に位置する浅井戸ほど地下水位は高く上昇した。融雪最盛期に流量および G 列の各浅井戸の水位には顕著な日変化が現れ、最大流量の出現時刻は 14~15 時、最小流量のそれは 8~9 時である。地下水位の時間変化量がプラスからマイナスに変化する時刻は、G-1、G-2 および G-3 では 15 時前後、G-5 のそれは 16~19 時、G-6 と G-7 では 20 時で、斜面上部に向かうほど遅れる傾向が認められた。

融雪最盛日に融雪水量、気温、流水温、湧水温、地温、雪面温度、日射量、地下水位および流水の水質について 30 時間にわたり毎時観測を行った。水質は量水堰からの越流水を採取し、pH 値、 Cl^- および DO の各濃度、濁度、電導度の 5 項目について測定した。濁度は飲料水の原水基準 3 類以下の値、DO 値は 8.4~8.8 ppm と溶存量が多く、水産利用面からの最小限值である 5.0 ppm を上回っている。pH 値は 6.66~6.98 で飲料水基準に合致している。 Cl^- 値は 7.2~9.5 ppm で、きわめて低値である。積雪融解水の Cl^- 値は 2.4~3.8 ppm で、流水の Cl^- 値は積雪融解水のそれの 2 倍以上である。融雪水が地表および地中を流れる間に Cl^- 濃度を高めたものと思われる。電導度は 0.4~0.5 ms/cm で、その日変化の変動幅は小さかった。

融雪期の夜分から翌朝までの流量は、浅層地下水貯留量からの中間流出を主とし、この間の流量の減衰率は 0.03 hr^{-1} 程度であった。この減衰率は試験流域の中間流出に対する値と考えられる。参考までに、宝川・初沢と山形・2 号沢との減衰率の値を検討して 0.080, 0.056 hr^{-1} の値を得た。この減衰率は流量の範囲が比較的狭いときは、一定値とみなせるが、流量の範囲が大きくなると、流量の大きさに比例して階段状に増減する傾向がある。

浅層地下水位が上昇して、流域内の浅層地下水貯留量およびそれからの流量がある程度に達すると、日融雪水量は翌朝までに全量が流出し、日融雪水量と日流出量との間に均衡状態が出現し、したがって地下水貯留量の日増加分は 0 となる。融雪最盛期にはこの均衡状態が出現し、流量曲線上に最低流量をベースとする日変化がみられる。この時期の日最小流量は、流域および日融雪水量、そのときの日最小流量など

によって多小異なるが、 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ の大きさである。

'81年の融雪最盛日の前後の期間、G-3浅井戸の若干上部から谷底沿いに地表流が発生した。この地表流は余剰降水の発生によるものではなく、浸透雨水の溜積と上方からの中間流の流入とによる表層土の飽和・溢水によるものである。この流出分は融雪期および豪雨時の主要流出分で、地表流の発生区域は豪雨時の浸透能0区域となる。

1981年8月3～6日に、札幌地方に一降雨量323.5mmの集中豪雨が発生した。4日17時までの累加雨量は86mmで、17時の観測によるとF、H列の各浅井戸は全部空であった。

G列では、最低所に位置するG-1と林内歩道の路面上に位置するG-4との地下水位はある程度上昇したが、G-2、G-3、G-5～G-7では空か空に近い状態であった。

5日11時の地下水位と融雪最盛期の4月22日15時の地下水位とを比較すると、G列の低所に位置するG-1およびG-2の水位は、ほぼ同じであるが、より上部に位置するG-3、G-5～G-7、特にG-6とG-7の地下水位は、融雪期の最高水位より60.7cmおよび81.2cm高く上昇した。また、FおよびHの両列の各浅井戸にも地下水位が形成された。

豪雨時の場合も、地下水位の上昇は谷底沿いに顕著で、その水位は下部ほど高く、豪雨終止後の地下水位の降下は上部ほどすみやかであった。G列ではG-1、G-2およびG-3の各浅井戸付近の表層土は飽和状態となり、中間流出による地表流が発生して、浸透能0地区が出現した。

集中豪雨の最盛時における流量は不明であるが、最盛時を越えた5日11時の実測流量は $1.78 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot \text{km}^2$ で、この流量は一融雪期の最大流量の約7倍であった。

豪雨終止後、中間流出の消長を知るために、側溝と林内歩道について水流の有無とその区間を調査した。水流の消滅経過は、Fig. 18 (a～m)に示したとおりである。側溝内の水流は、14日まで最上流から下流まで連続していたが、15日に途中で切断し、18日には4か所で切断し、20日に量水堰からの流水が止んだ。

林内歩道的水流は、最上流から徐々に消滅して短くなり、11日に途中で切断し、12日の一降雨量59mmの降雨で中間流出が増加して、再び最上流から一連続の水流となった。13日以降は上流部から水流が消滅して短くなり、最下部の水流が最後まで残った。

羊ヶ丘実験林内での観測結果を総合すると、試験流域の表層土は有効間隙率が比較的大きく、透水性も良好であるが、豪雨時および弱い長雨に類似した融雪期には、流域浅層に降水が滞留して浅層地下水位を形成し、これよりの中間流出は直接流出の主要成分となっている。そして、中間流出に基づく地表流の発生区域は、融雪期と豪雨時に大体共通しており、緩傾斜集水地型の流域では、頂部から約70m以下の谷底沿いの下部、非集水型地形の凹型緩斜地では、斜面頂部から約150m以下の緩斜面とそれ以下の平坦地である。U字型断面の林内歩道の法面と路床面、林道の山側法面なども中間流出の著しい発生場所である。

あ と が き

この研究により、融雪および豪雨に基づく出水時の緩傾斜林地における表層地下水位の形成の特徴、表層地下水位貯留と直接流量、あるいは中間流出との関係、中間流出による地表流の発生区域、中間流出の減衰過程などの概況を知ることができ、今後の出水解析にきわめて有意義な知識をうることができた。この研究を進めるにあたり、北海道支場実験林室の各位には観測施設の設置その他でご協力を賜り、また、

林試防災部長石川政幸博士には報告の全般的なご校閲を賜りましたので、ここに記してこれらの方々に謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 平田徳太郎：出水（降雨の流出）．林業技術シリーズ，34，（1952）
- 2) 平田徳太郎：水源地の流出機構．林業普及シリーズ，49，（1957）
- 3) 水質汚濁（上），環境庁水質規制課編．白亜書房，（1973）
- 4) 木村俊晃：貯留関数法．河鍋書店，（1975）
- 5) 永井 明・角屋 陸：洪水流出モデルの最適定数．京都大防災研究所年報，24B-2，183～196，（1981）
- 6) 野口晴彦・太田猛彦・丹下 勲・山野辺和夫：小流域の林地における水の動態に関する研究（Ⅲ）
—表層地下水の変動（2）—．93回日林論，455～455，（1982）
- 7) 野口晴彦・太田猛彦・丹下 勲・山野辺和夫：小流域の林地における水の動態に関する研究（Ⅳ）
—降雨流出過程におけるパイプフローの特性—．93回日林論，459～461，（1982）
- 8) 藤枝基久・阿部敏夫：竜の口試験地における森林の成立が流出に及ぼす影響．林試研報，317，113
～138，（1982）
- 9) 遠藤泰造：水源かん養林の機能理論と施業目標．林試研報，321，1～38，（1983）
- 10) 北原 曜・遠藤泰造・真島征夫・阿部和時：林内緩斜地における浅層地下水位の変化．林試研報，
321，117～131，（1983）
- 11) 北原 曜：非定常自由地下水面式から算定した森林蒸発散量について．94 回日林論，573～574，
（1983）
- 12) 野口晴彦・塚本良則・丹下 勲・太田猛彦：小流域の林地における水の動態に関する研究（Ⅵ）
—谷頭凹地形における流出成分の測定—．94回日林論，585～586，（1983）
- 13) 太田猛彦・塚本良則：自然林地斜面での二次元不飽和浸透流の計算．94 回日林論，591～592，
（1983）
- 14) 村井 宏・熊谷直敏・秋野雅彦：山腹斜面からの地表流出と中間流出の態様について．94 回日林
論，597～600，（1983）
- 15) 阿部和時・真島征夫・北原 曜：林地表層土の貯水機能についての一考察．94 回日林論，601～
602，（1983）
- 16) 阿部和時・真島征夫・北原 曜：流域内歩道が流出量におよぼす影響について．95 回日林論，537
～538，（1984）
- 17) 遠藤泰造：集中豪雨時における山地小流域の貯水量と流量との関係．林試研報，370，10～15，
（1985）

Formation of Shallow Groundwater Levels and Interflow in a Small Forested Watershed with Gentle Slope

Taizo ENDO⁽¹⁾, Hikaru KITAHARA⁽²⁾, Yukio MASHIMA⁽³⁾ and Kazutoki ABE⁽⁴⁾

Summary

The formation of shallow groundwater levels near the ground surface, and direct flow were observed since 1981 in a small watershed with a gentle slope in the Hitsujigaoka Experimental Forest. The watershed is about 5.1 hectare in area and is located above the side ditch of the forest road, as in figure 1. The total length of the side ditch abutting on the watershed is about 427 meters and this side ditch plays a long collective trench of water flowing out the watershed as well as a water course.

A measuring weir made of reinforced concrete with triangular and a rectangular sharp-crested notch of stainless steel was installed at the lowest end of the side ditch and all the water passing the notch has been measured by means of a waterlevel recorder.

Field observations of shallow groundwater levels in the watershed have been made at each of the shallow wells for observation installed at sixteen sites within the watershed as in figure 1. The effective depth of the shallow wells average about 1.4 meters and they were settled along the three topographic lines including one bottom line and two ridge lines.

The groundwater levels of each shallow well were observed by eye through the year. This report dealt with the results of investigation done during the melting snow time in 1981 and when heavy rainfall occurred on from August 5 to 6 in the same year.

The appearance of groundwater levels in the melting snow time could be found at all the shallow wells which were placed on the bottom line, but those on the ridge lines were almost entirely empty through the whole time of melting snow.

A comparison of the shallow wells on the bottom line showed that the groundwater level rose higher and the period of its appearance was longer in the shallow wells on the lower part of the bottom line respectively.

We examined the water overflowing from the notch every hour for 30 hours continuously. The water was analyzed for pH values, Cl and DO concentration, turbidity, and conductivity of water. The results obtained are shown in figure 13. The Cl concentration for the examined water was 7.2 to 9.5 ppm and this value was at least two times more than that of the snow accumulated within the watershed.

Toward the maximum time from the beginning of the melting snow time, the groundwater levels in the shallow wells on the bottom line were rising gradually. In addition, water storage in the surface soil layer and direct flow were increasing as the groundwater levels rose.

Corresponding to the daily change in the melting snow, a daily change appeared in the direct flow and groundwater levels. These daily changes became more and more remarkable toward the maximum time of melting snow and the difference between the maximum and minimum flow increased.

Received February 25, 1985

(1) (2) (3) (4) Hokkaido Branch Station

The direct flow from midnight to early morning was occupied almost entirely with the component of interflow from the shallow groundwater storage and decreased exponentially toward morning. The decreasing rate of interflow for this period was estimated at about 0.03 per hour.

When the daily minimum flow went up to about $0.14 \text{ m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$, the quantitative equilibrium between the daily melting snow and the daily interflow could be seen. In hydrologic words, it seems that the maximum time of melting snow is when there is such a quantitative equilibrium between daily melting snow and daily interflow, consequently no daily rise or fall in shallow groundwater level or daily change in shallow groundwater storage.

The minimum daily flow in the maximum time of a melting season varies with the watersheds and meteorological conditions, but as far as we know, it ranges from 0.1 to $0.2 \text{ m}^3/\text{sec.} \cdot \text{km}^2$ level. As was stated before, the groundwater levels in the shallow wells at the lower half of the bottom line had almost reached the ground surface and this caused the occurrence of surface flow in the watershed. The surface flow which was found during the melting snow time as well as the heavy rainfall was not due to the exceeding rainfall, but due to interflow. This runoff component seems to be very important for both the floods from melted snow and from rainfall. The limited area generated surface flow practically formed a noninfiltration zone.

Comparing the runoff phenomenon of the melting snow with that of the heavy rainfall, the general tendency appears to be the same regards the formation of groundwater levels, the generated zone of surface flow, interflow on the side-slope and the bed of the U-shaped foot path.

Although the groundwater levels could not be found in almost all the shallow wells located on the ridge lines for the melting snow time, these wells showed high groundwater levels under the heavy rainfall which brought about 305.0 millimeter of rain; such shallow wells as G-3, G-6 and G-7 situated on the upper part of the bottom line and H-2, H-3, H-4, H-6 and F-3 on the ridge lines, showed particularly higher groundwater levels.

The maximum peak flow during the heavy rainfall was estimated to be at least seven times that of the melting snow time.

According to a field observation in the Hitsujigaoka Experimental Forest, it seems that the zone of surface flow generated by interflow and the rise of shallow groundwater level is characterized by the configuration of the ground. On the concaved slope of non-catchment topography, the generated zone of surface flow will occur on the lower part of the slope as in figure 20, and it will occur on the lower part of the bottom line in the catchment type of topography.

The field observation made on the disappearing process of interflow showed that the interflow lasted for one week after the maximum time of melting snow and for two weeks after the end of the heavy rainfall, as in figure 20.