

桐生試験地の緩斜面における 土壌水分と地下水の変動

金 載水・窪田 順平・鈴木 雅一・福嶋 義宏

Variations of soil moisture and groundwater table
at a gentle hillslope in the Kiryu watershed

Jesu KIM, Jumpei KUBOTA, Masakazu SUZUKI
and Yoshihiro FUKUSHIMA

要 旨

比較的傾斜の緩やかな小流域における土壌水分、地下水の挙動の実態を3次元的に把握することを目的とした観測を、桐生試験地内において1987年5月より開始した。これまでに得られた観測結果を、傾斜の急な斜面についての既存の研究結果と比較しながら、緩傾斜斜面における地下水体の変化と土壌水分の経時変化およびその空間分布を検討する。研究対象としたマツ沢の面積は0.68 ha、地質は風化花崗岩である。植生は40年生のアカマツとヒノキの混交林で、樹冠は閉鎖している。マツ沢では傾斜が15度以下の部分が62.8%を占め、また傾斜25度以上の急傾斜部分は11.2%と少ない。平均土層厚は103.2 cmであり、地表面の形状と基岩面のそれが必ずしも一致しておらず、地表面の谷と基岩面の谷の位置が異なる。

観測結果では、斜面の谷部では緩勾配であるためほぼ恒常的に飽和地下水が存在し、その地下水体の形状が流出量に大きな影響を与えている。また谷部の厚い表層土は、降雨にともなう鉛直方向の水移動に対して大きなバッファとして作用する。このため降雨時の谷部の地下水位上昇量は、降雨初期の不飽和域の土壌水分量に強い影響を受ける。

土壌水分の縦断方向での分布をみると、流域の下流側から尾根部へと行くに従って土壌が乾燥している傾向がみられる。一方、鉛直分布を見ると、表層土が厚い谷部では降雨によってもたらされた水分が土層の下部まで伝わらず、1 m 付近を境界として上部は湿潤であるのに下部は水分が伝達されず、乾燥化が進行することがある。

このようにマツ沢における土壌水の挙動には、緩勾配、厚い表層土といった地形特性が大きく影響している。

1. は じ め に

山地流域の植生、地形特性が流域の水循環機構に及ぼす影響を評価するためには、山地流域、特にその源流域斜面での土壌水分量や地下水の変化といった水循環機構の素過程を解明しておく必要がある。このため著者らは、主として比較的傾斜の急な山腹斜面を対象とした流出量、地下水、土壌水分量などの詳細な観測を行い、土壌水の移動機構の解析を行ってきている¹⁻³⁾。これ

らの研究において、地下水位の発生条件や土壌水分量の変化など土壌水の挙動が捉えられ、また透水係数、土壌水分ポテンシャル、斜面傾斜等が土壌水の運動に及ぼす影響が明らかにされてきた。一方、比較的傾斜の緩やかな斜面における土壌水の挙動に関する研究は、谷ら^{4,5)}による地下水位の変化特性の検討などがあるが、不飽和領域も含む土壌水の挙動は必ずしも十分に解明されたとは言えない。

そこで、比較的傾斜の緩やかな小流域における土壌水分、地下水の挙動の実態を3次元的に把握することを目的とした観測を、桐生試験地内において1987年5月より開始した。本報告では、これまでに得られた観測結果を、傾斜の急な斜面における既存の研究結果と比較しながら、緩傾斜斜面における地下水体の変化と土壌水分の経時変化および空間分布を検討する。

2. 試験地概況と観測方法

2-1 試験地の概況

本研究では、滋賀県南部の桐生試験地内の小流域を観測対象とした。その地形図を図-1に示す。この流域は、福島ら⁶⁾、谷ら⁴⁾が研究対象とした流域である。本研究ではマツ沢と仮称する。マツ沢の面積は0.68 ha、地質は風化花崗岩よりなる。植生は40年生のアカマツとヒノキの混交林で、樹冠は閉鎖している。なお本報告では、マツ沢の観測結果とヒノキ沢^{1,2)}、川向Ⅱ沢³⁾の結果を比較検討するが、ヒノキ沢は同じ桐生試験地内に、川向Ⅱ沢は5 km 程離れた川向試験地内

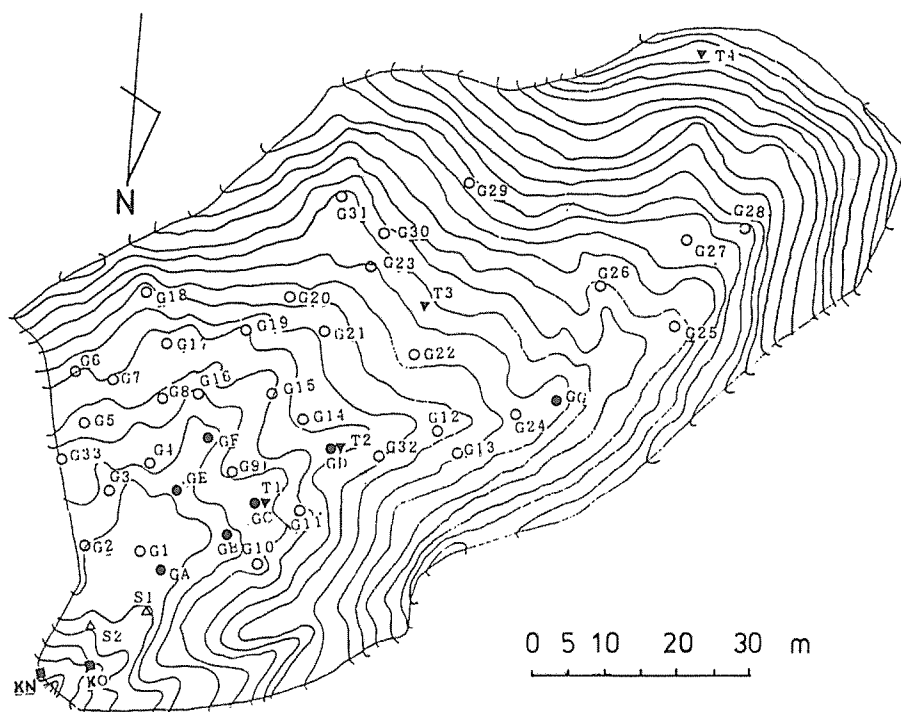


図-1 マツ沢流域の地形と観測施設の配置

Topographical map of the study area, MATSU hillslope, and location of instruments. ■: weir (KN, KO), ●: automatic groundwater gage (GA-GG), ○: manual groundwater gage (G1-G33), ▼: tensiometer (T1-T4), △: spring point (S1, S2)

にある。

桐生試験地における平均年降水量は1699.8 mm⁷⁾であるが、本論文で対象とする1987年は1333.0 mmで例年に比べると少なかった。

2-2 地形特性

1) 斜面傾斜

地形図から5 m 間隔のメッシュを単位として傾斜を読み取り、ヒノキ沢、川向Ⅱ沢と比較したものを図-2に示した。図-2によれば、マツ沢では傾斜が15度以下の部分が62.8%を占め、

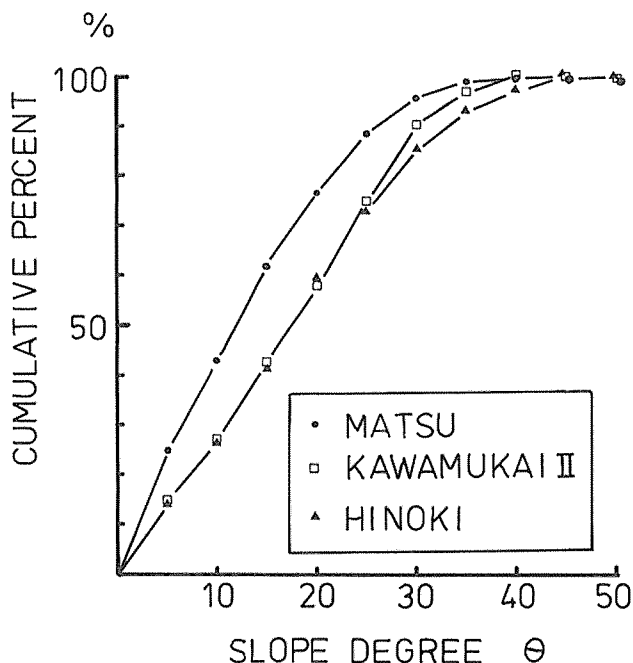


図-2 斜面傾斜
Slope gradients of the three hillslopes

川向Ⅱ沢の42.9%，ヒノキ沢の41.0%という値と比べて、マツ沢は緩傾斜の部分が多い。また傾斜25度以上の急傾斜部分は、マツ沢11.2%，川向沢25.1%，ヒノキ沢26.5%であり、マツ沢では急傾斜部分が少ないこともわかる。

2) 土層厚

図-3に土層厚の平面分布図を、図-4にその頻度分布を示した。なお土層厚は検土杖とハンドオーガで測定した。

図-4によれば、川向Ⅱ沢とヒノキ沢は対数確率紙上でほぼ直線と見なすことができ、対数正規分布となるが、マツ沢では1.5 m以上の部分が多く直線にはならない。マツ沢の平均土層厚は103.2 cmである。流域面積の24%で2 m以上の土層厚があり、8 m以上の土層厚があるところも存在する。またマツ沢の表層土の平面的な分布の特徴として、地表面の形状と基岩面のそれが必ずしも一致しておらず、地表面の谷と基岩面の谷の位置が異なることが挙げられる。

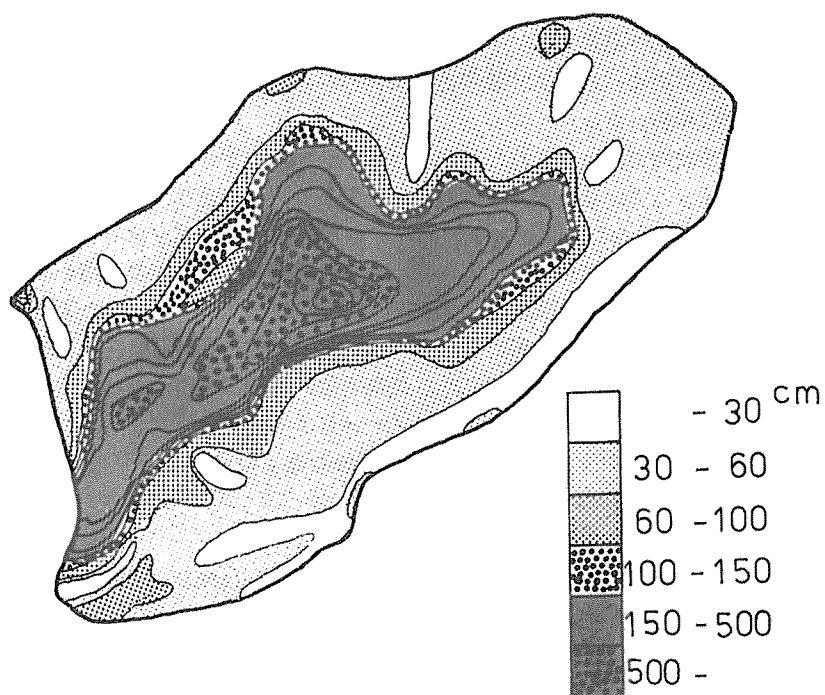


図-3 表層土厚の分布
Distribution of soil depth in the MATSU hillslope

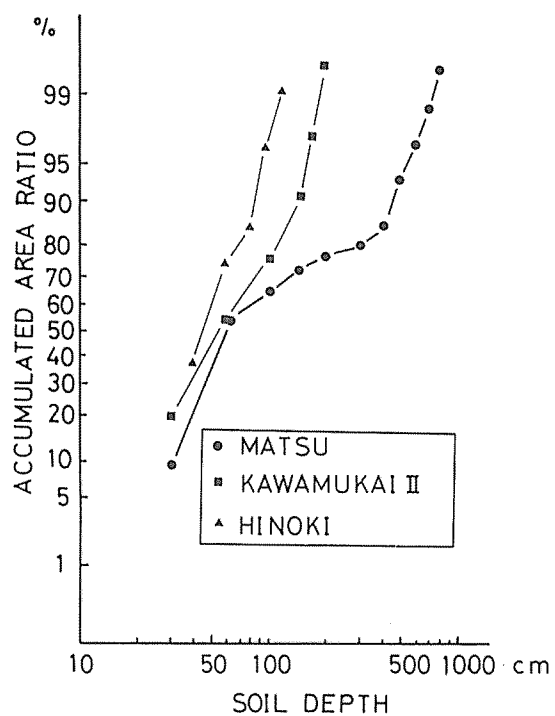


図-4 表層土厚の累加頻度分布
Accumulated frequency of soil depth in the three hillslopes

2-3 観測方法と観測施設の配置

マツ沢では流出量、地下水位、土壌水分量の測定を行った。図-1には観測装置の配置を示しており、以下に測定方法を述べる。

マツ沢には、福島⁶⁾の観測の際に作られた量水堰(KO)があるが、流域からの全流出水が通過していないことが指摘されているため、その下流に新たに量水堰を設けた。これをKNと呼ぶ。KNは30°Vノッチを取り付けたプラスチック製の堰であり、フロート式水位計により自記されている。雨量は桐生試験地の中央部にある露場に設けられた自記雨量計の記録を用いた。

地下水位は、ハンドオーガを用いて掘削した穴に直径6cmの塩ビパイプを埋め戻して、水位を測定した。フロート式の自記水位計を用いた8点(GA~GG)と、窪田ら³⁾と同様な方式の最高水位計33点(G1~G33)の合計41点で測定した。最高水位計はほぼ1週間毎に測定した。

土壌水分量の測定は、自記および直読式テンシオメータによる方法と土壌試料をハンドオーガで採取する方法とを用いた。テンシオメータは流域の下流端近くのT1から尾根のT4まで4点に設置した。測定深度はそれぞれT1:10, 30, 60, 100 cm, T2:10, 30, 60 cm, T3:10, 30, 60, 10, 150 cm, T4:10, 30, 60, 75 cmである。

土壌試料は、1987年11月10日と1988年2月13日の2回、土壌水分量の3次元分布を把握するために流域内の72のポイントにおいて10, 30, 60, 100, 150 cmの深度で採取され、炉乾法により含水率が測定された。

3. 直接流出量

3-1 総降雨量と直接流出量の関係

総降雨量と直接流出量の関係を図-5に示す。ここで直接流出量の分離には、ハイドログラフの立ち上がりと減水部の折れ点とを直線で結ぶ方法を用いている。なお、比較のために川向Ⅱ沢、ヒノキ沢の結果もあわせて示した。マツ沢では観測期間が1年に満たないため十分な資料を得られてはいないが、多くの場合直接流出量は総降雨量の5%以下であり、川向Ⅱ沢よりは直接流出

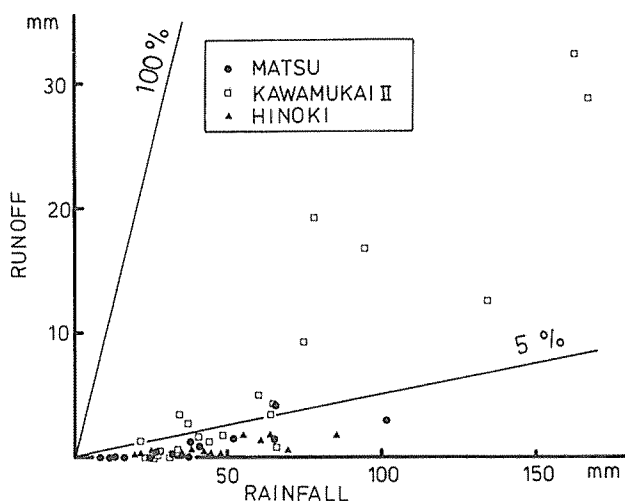


図-5 総降雨量と直接流出量の関係
Relationships between the total rainfall and the direct runoff in the three hillslopes

量は少ないようである。また川向Ⅱ沢では総降雨量の増加にともない直接流出の割合が増える傾向があるが、マツ沢ではその傾向は必ずしも明瞭ではない。

ヒノキ沢は直接流出がほとんどない流域であるので、マツ沢の直接流出はこれに比べるとやや多い。

3-2 桐生試験地の直接流出量との関係

各降雨毎に桐生試験地出口の量水堰における直接流出量とマツ沢の直接流出量を比較したものが図-6である。図-6によれば桐生試験地の直接流出量とマツ沢の直接流出量の割合は一定ではない。直接流出量が少ないときには桐生試験地の直接流出量の5%程度であるが、桐生試験地の直接流出量の増加とともにその割合は増加し50%程度に達する。また初期の流出量、すなわち初期の土壤水分条件が湿潤であるか、降雨強度が強い場合にマツ沢の直接流出量は多くなる傾向がある。

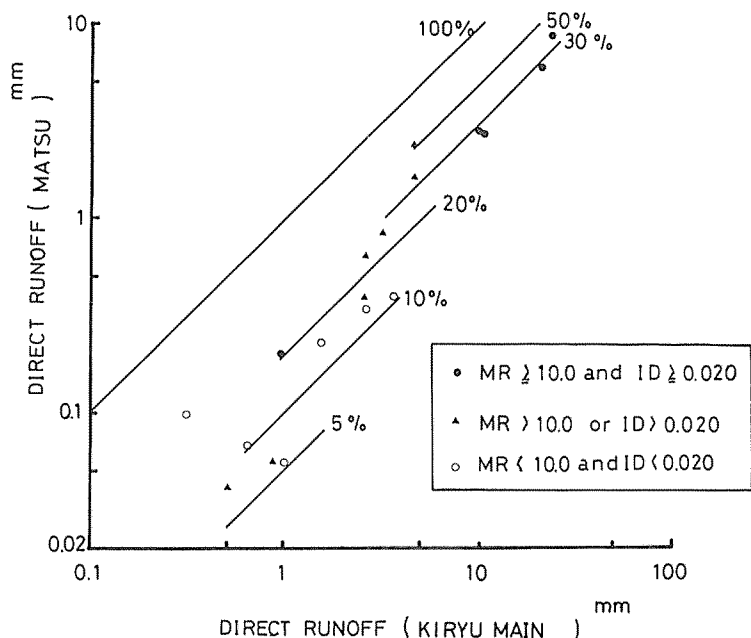


図-6 桐生本流とマツ沢の直接流出量の比較
Comparison of the direct runoffs of the MATSU hillslope to those of the KIRYU main watershed
MR: rainfall intensity, ID: initial discharge

4. 地 下 水

4-1 地下水位の長期的変化

図-7にマツ沢における7月から9月にかけての地下水の変化を示す。またヒノキ沢、川向Ⅱ沢の地下水位変化も合わせて示した。各流域共に流域下端部の地下水位計の変化である。川向Ⅱ沢、ヒノキ沢では降雨とともに地下水が急激に上昇し、降雨が終了した後はすぐ下降してしまうのに対し、マツ沢ではゆっくりとした変化が見られる。また川向Ⅱ沢、ヒノキ沢では総降雨量と水位の上昇量とがほぼ対応しているが、マツ沢では降雨履歴の影響を強く受ける傾向があり、降

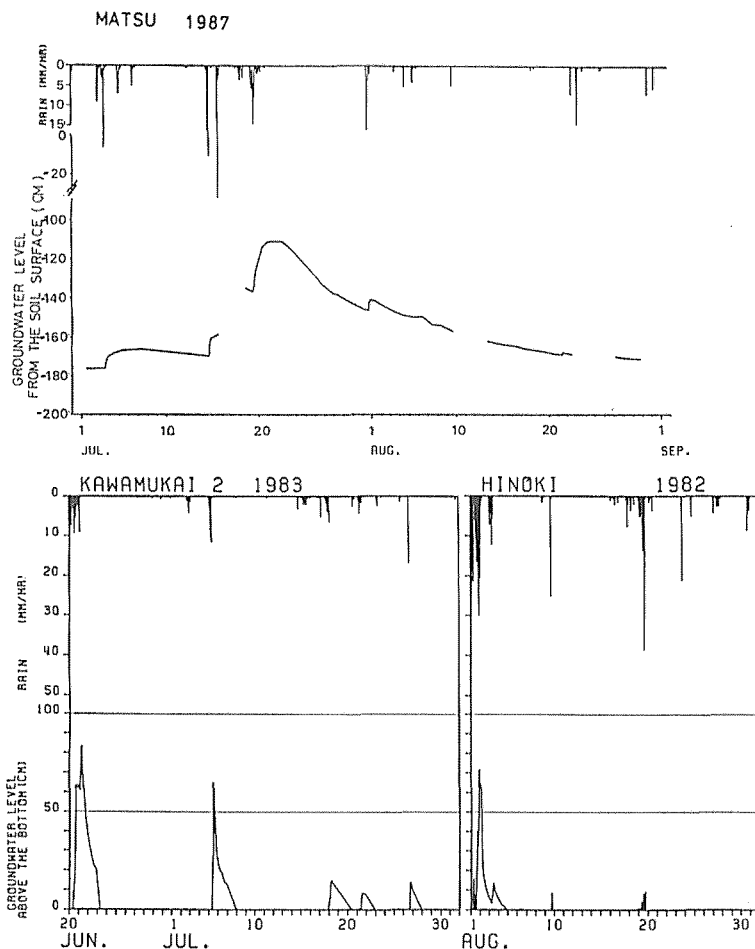


図-7 地下水の長期変化
Long term variations of the groundwater tables
in the three hillslopes

雨初期の地下水位が低い時と高い時では同程度の降雨に対する上昇量が異なる。このためマツ沢の地下水位は、降雨が頻繁となる7月初旬から下旬にかけては次第に上昇して行く。それ以後降雨が少なくなると、降雨にともなう上昇が多少あっても全体としては9月下旬にかけては減少して行く長期的な変化傾向がある。

4-2 地下水体の消長

マツ沢における降雨にともなう地下水位上昇量を表-1に、またそのときの地下水位発生域の平面的な分布を図-8に示す。なお図-8の等高線は基岩面によるものである。

さて川向Ⅱ沢の観測結果によれば³⁾、総降雨量の増加にともなう地下水位発生域の拡大があることが指摘されている。しかし図-8によると、マツ沢においては総降雨量の増加にともなう地下水位発生域は拡大の傾向はあるもののNo.3の降雨例のように総降雨量が100.5mmと大きくてもそれほど地下水位発生域が広がらず、上昇量も少ない場合もある。これは4-1で述べたようにマツ沢の地下水位変化が降雨初期の土壌水分量の影響を強く受けるためであり、No.3の

表1 主なSTORMにおける地下水位増加量
Groundwater increases due to some storms

Storm	NO. Date	3 704	4 715	6 720	5 718	7 807	8 929	2 623	1 617
Rainfall, R mm		100.5	65.0	64.5	55.0	52.0	40.5	37.5	16.5
Maximum rainfall Intensity mm/hr		20.5	22.5	14.5	33.0	16.0	13.5	6.5	5.0
Initial Discharge, Q mm/hr		0.011	0.017	0.094	0.039	0.047	0.006	0.012	0.020
Direct runoff Ratio %		5.87	4.18	13.34	—	5.35	4.00	6.39	0.34

Well	D1 (cm)	D2 (cm)	Groundwater increase (cm)							
G1	447	72	10	30	5	5	10	0	0	0
G2	391	190	10	20	20	10	10	0	0	0
G3	370	180	10	10	10	20	10	0	0	0
G15	512	320	10	0	40	10	10	0	0	0
GE	360	128	11	—	17	—	4	3	4	0
GF	490	188	7	11	26	—	11	1	2	0
G4	531	214	0	0	30	10	10	0	0	0
G8	300	208	0	0	0	0	0	0	0	0
G9	412	148	0	0	0	0	0	0	0	0
G14	600	208	0	30	0	0	0	0	0	0
G21	520	257	0	0	0	0	0	0	0	0
G22	829	193	0	0	0	0	0	0	0	0
G23	650	213	0	0	0	0	0	0	0	0
G26	384	112	0	0	0	0	0	0	0	0
G30	360	200	0	0	0	0	0	0	0	0
GC	217	217	84	59	77	—	69	14	13	0
GD	181	181	40	77	76	—	25	14	0	0
G7	201	195	0	0	0	0	0	0	0	0
G25	121	112	0	10	20	40	0	0	0	0
G5	106	98	60	70	70	80	0	0	0	0
G16	190	205	0	0	20	10	0	0	0	0
G27	167	162	10	30	40	60	0	0	0	0
G24	159	148	0	0	0	0	0	0	0	0
G31	157	146	0	0	0	0	0	0	0	0
G10	27	25	20	20	20	20	10	10	5	0
GB	28	80	67	18	13	—	47	58	54	25
G28	34	30	0	30	10	20	10	10	0	0
G6	39	36	30	30	20	30	30	20	20	10
G11	59	50	30	30	30	30	30	0	0	0
G12	64	52	0	5	20	20	0	0	0	0
G13	51	47	0	5	10	10	0	0	0	0
G17	46	40	0	20	0	30	5	0	0	0
G18	33	29	0	10	0	10	0	0	0	0
G19	93	87	0	0	0	0	0	0	0	0
G20	96	88	0	5	0	5	5	0	0	0
G29	80	72	0	5	0	10	0	0	0	0
G32	40	35	0	10	0	20	5	5	0	0
GA	63	67	23	34	19	—	20	0	0	0
GG	99	99	0	0	0	—	0	0	0	0
G33	43	38	0	0	0	0	0	0	0	0

Note D1: soil depth to bedrock D2: depth of well from soil surface —: data missing

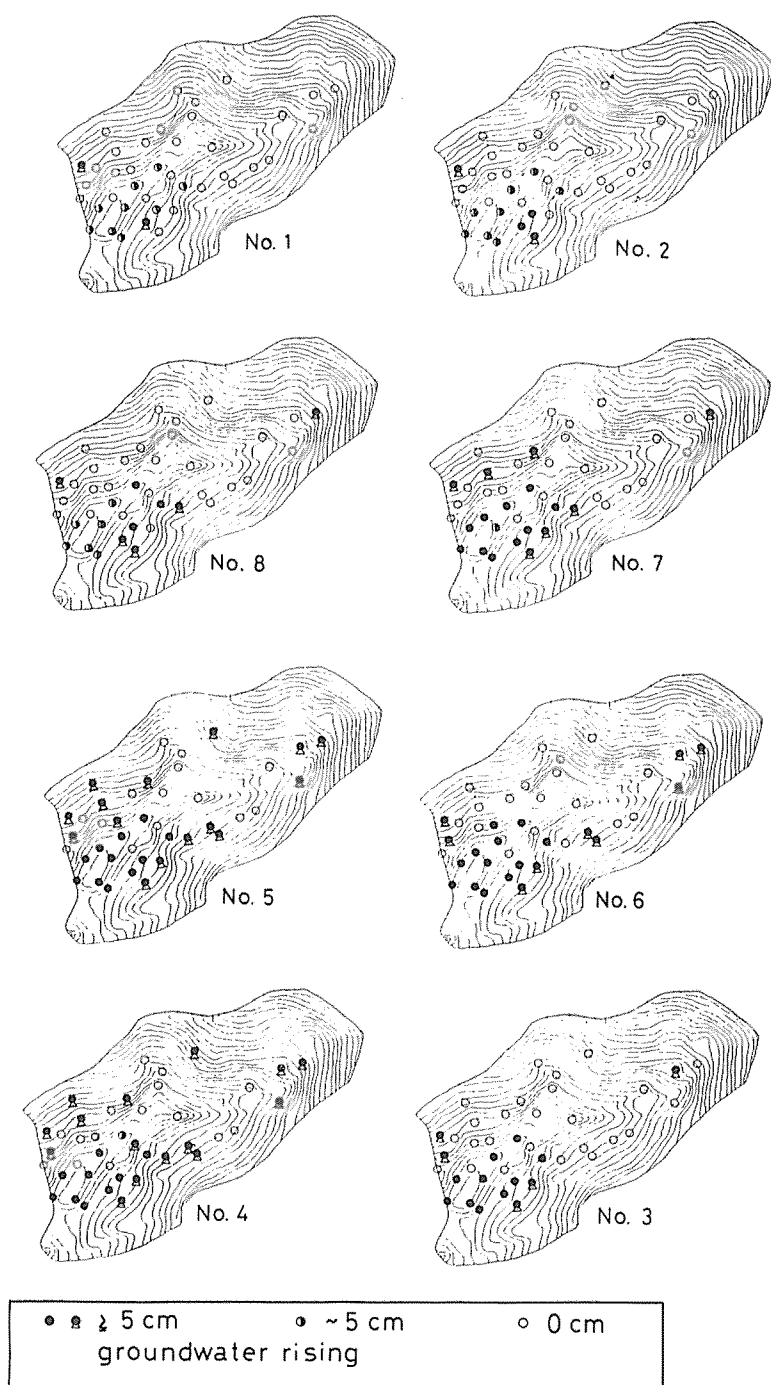


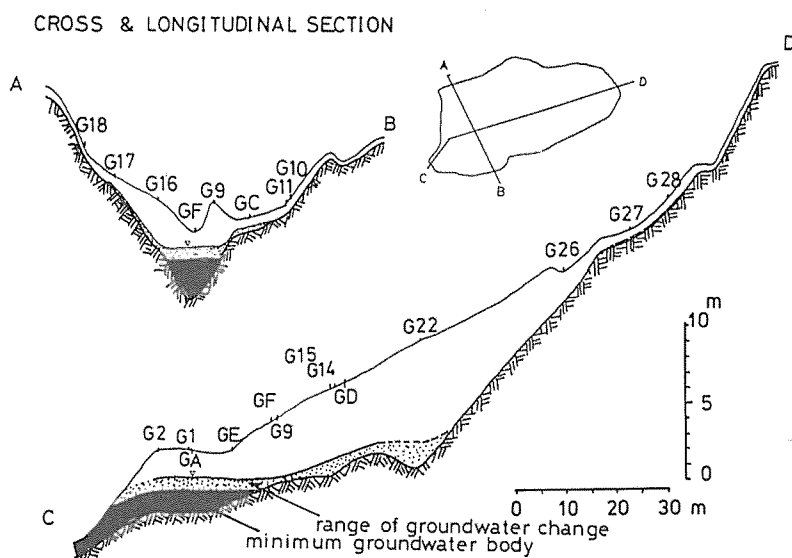
図-8 地下水帯の消長

Expansions of the groundwater bodys in the MATSU hillslope

場合では流域全体が乾燥状態であった影響が現れたと考えられる。これと反対な例として総降雨量 55 mm の No. 6 は、3 日前にあった No. 5 の 65 mm の降雨によって流域が湿潤な状態にあったため、総降雨量はそれほど多くないにもかかわらず、この年のデータとしては最も大きな拡がりを示した。

No. 8 の例では谷部では水位が存在しているものの地下水位は変化せず、土層の薄い部分でのみ地下水位の上昇が見られた。この点については 5 章の不飽和領域の土壤水分量の検討で詳しく述べるが、不飽和部の乾燥化が進行したため、比較的土層が薄い部分では降雨による水分の伝達が基岩面に達して地下水位が上昇したものの、土層の厚い谷部では降雨による水分が地下水面あるいは基岩面までに到達しなかったので水位上昇が起こらなかったものと考えられる。

また図一 8 からは、地下水位発生域が流域下部の基岩面の谷地形部とほぼ一致しており、地下水発生域はこの谷地形に沿って拡大して行くことがわかる。



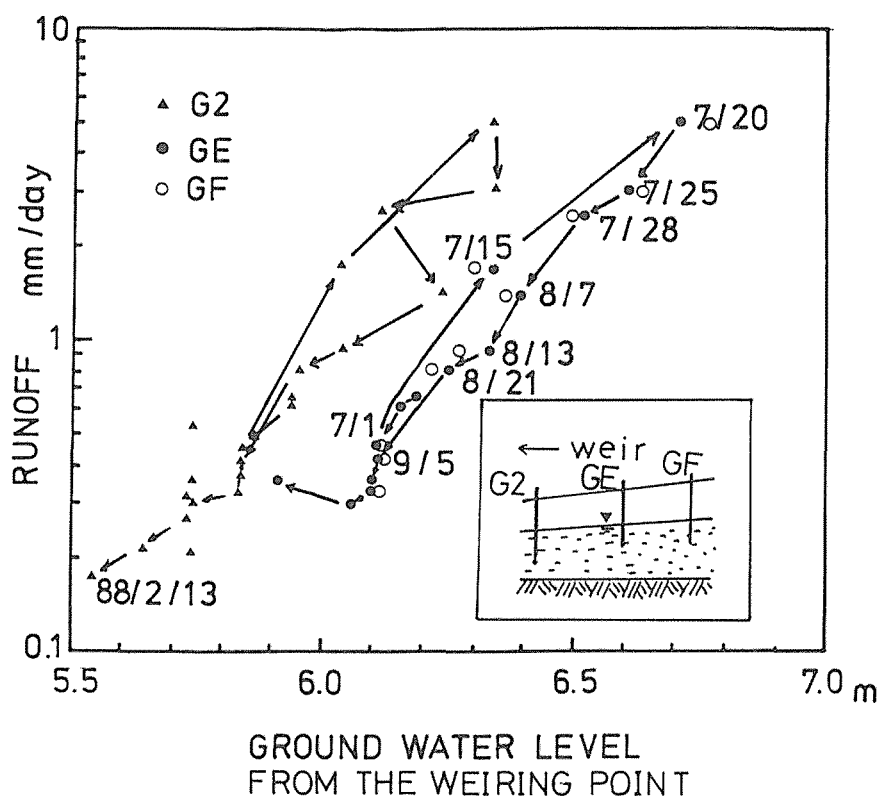
図一 9 横断面と縦断面における地下水の変動幅
Cross and longitudinal section of the MATSU hillslope, showing the ranges of groundwater table changes

図一 9 は、全観測期間中の地下水の変動幅を流域の横断面と縦断面とで見たものである。図一 9 によれば、基岩面の谷地形の部分で地下水位の変動幅が大きく、土層の浅い斜面部では変動の幅は狭い。しかし時系列でみると谷部の地下水位がゆっくりとした変化をするのに対し、土層の浅い部分の地下水位は変化が激しい。

4-3 地下水位と逓減時の流出量の関係

図一 10 にマツ沢のハイドログラフ逓減時における流域下流端の 3 つの観測井の地下水位と流出量との関係を示した。なお図一 10 では、地下水位は量水堰 (KN) を基準高 (0 m) として示してある。

図一 10 によれば、ハイドログラフ逓減時における流出量は地下水位と高い相関関係がある。川向 II 沢、ヒノキ沢といった傾斜が急な流域では、流域下流端の地下水位でも降雨終了後早い時期に水位がなくなってしまう、逓減時における流出量は不飽和領域の土壤水分量に強く影響されて



図一10 地下水位と逓減時の流出量の関係
Relationships between the groundwater tables
and the runoff in the falling stage

いることが指摘されている。しかし、マツ沢では図一10で明らかなように下流端付近の地下水位との強い相関関係があるので、逓減時の流出量は流域の下部にある地下水体の挙動に影響されているものと推測される。また図一10では、G2 と GE とでは水位に標高差があるが、GE と GF との間には水位の標高差がない。地下水の水位、地下水体の3次元的な大きさ、縦断方向での勾配などの点について流出量との関係をさらに検討する必要があるであろう。

5. 土 壌 水 分 量

5-1 土壌水分の経時変化

図一11に各テンシオメータ測定点における土壌水分張力の経時変化を示す。図中では、上の方から順に流域の尾根の測定点から下流端の測定点へと並べている。図で黒い部分は飽和部分を、薄いトーンは不飽和領域のうち50 cm (PF1.7) までの張力の部分を示し、白い部分はそれ以上の張力の部分を示す。

まず流域の縦断方向での分布について考えてみると、土壌の水分張力は流域の下流側から尾根部へと行くに従って大きな値となり、尾根部へ行くほど土壌が乾燥していることになる。一方各測定点毎の鉛直分布を見ると、マツ沢には特徴的な傾向が観測されている。それは、T3の9月以降で明らかであるが、降雨によってもたらされた水分が土層の下部まで伝わらず、1 m 付近を

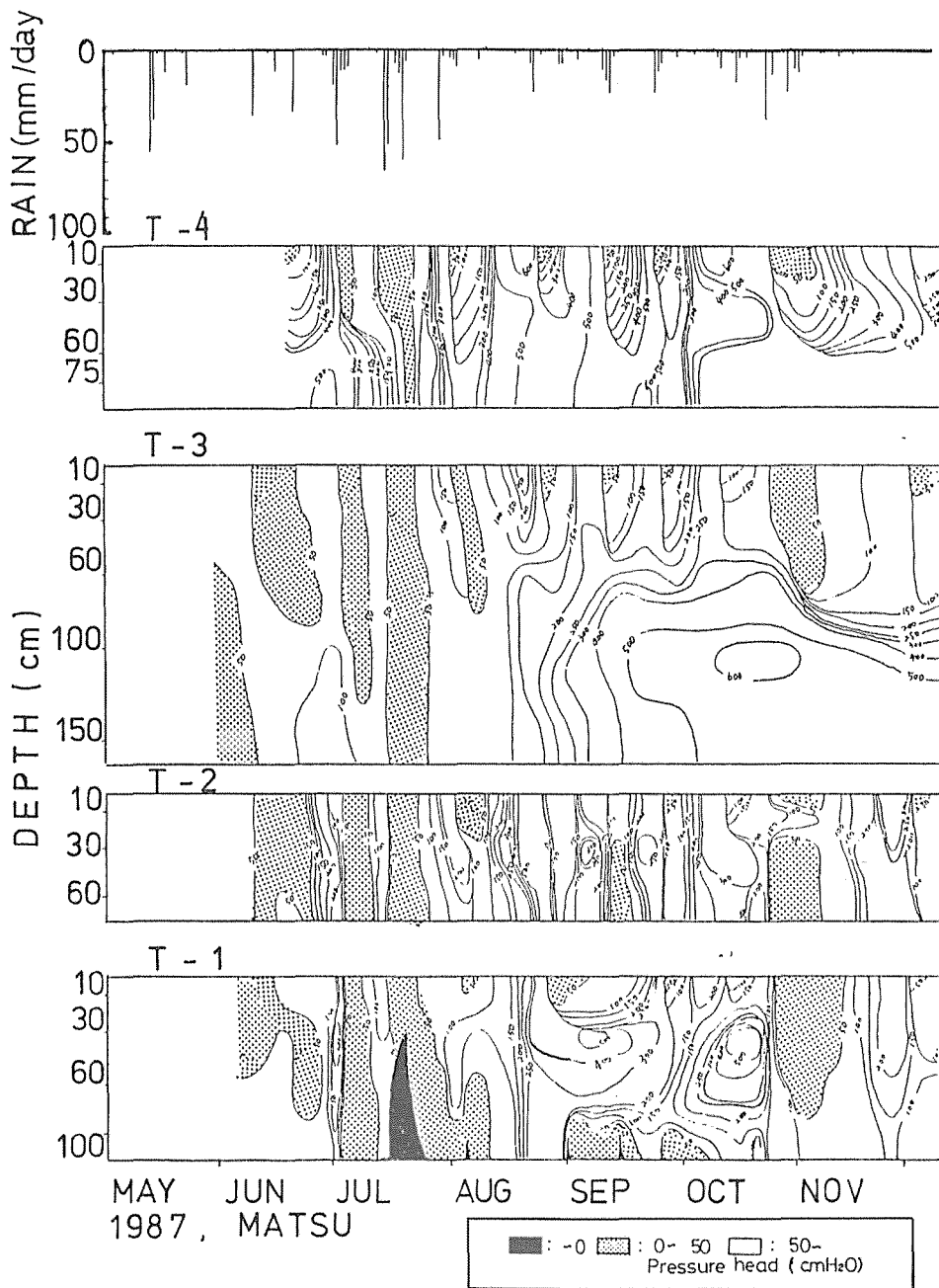


図-11 土壌水分張力の経時変化
Sequential changes of the soil water tensions of
the four points in the MATSU hillslope

境界として上部は水分があって湿潤であるのに下部は水分が伝達されず、乾燥化が進行する点である。既に4.2で、9月以降では土壌の乾燥化による土湿不足のため、降雨時に土層が薄い尾根部では地下水位の上昇が観測されるが、土層が深い部分では水位変化が起こらないことを述べた

SATURATION

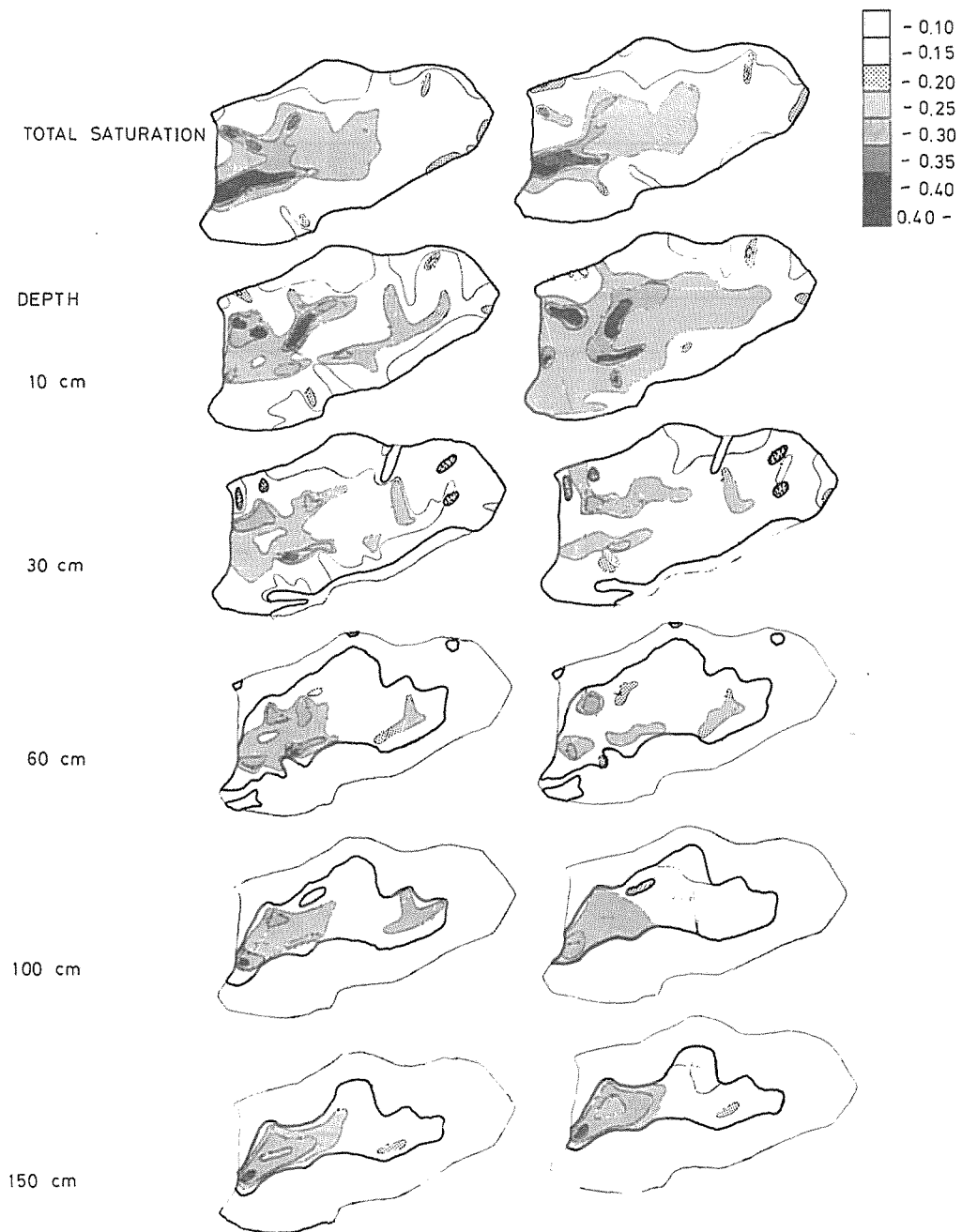


図-12 土壌水分量の空間分布 (太線内)
Spatial distribution of the soil water contents in the MATSU hillslope

が、土壌水分量の観測からもその事実が裏付けられたといえよう。

また、マツ沢では7月15日から20日にかけて最も流域全体が湿潤な状態となっているが、このことは地下水位発生域が7月18日の降雨の際に最も拡大したとことと符合するものである。

5-2 土壌水分量の空間分布

1987年11月10日と1988年2月13日に行われた土壌水分の空間的な分布の測定結果を図一12に示す。図一12では10 cm, 30 cm, 60 cm, 100 cm, 150 cmの各深さ毎の飽和度と、これを鉛直方向で平均した飽和度とを示した。なお、図中の太線はその厚さが含まれる領域を示す。

平面的な分布を見ると、各深さ、平均値共にテンシオメータの測定結果と同様に尾根へ行くほど乾いており、谷部は湿潤な状態となっている。ただしここで湿潤となっている部分は地表面の谷ではなく基岩面の谷である。

また各深さ毎にみると、2回とも浅いところが乾いていて深くなるにしたがって湿潤な状態になるが、11月10日の場合浅いところと深いところの飽和度の差が少なく、2月13日の場合比較的浅いところと深いところの差が大きい。ところが流域全体の土壌水分量を計算すると両者でほとんど差がない。窪田ら¹⁾は流域全体での土壌水分量が同じでも平面的な分布が異なる場合があることを指摘しているが、今回の観測結果によれば流域全体での土壌水分量が同じでも鉛直方向の分布が異なる場合もあることがわかった。

6. ま と め

以上のようにマツ沢における土壌水の挙動には、緩勾配、厚い表層土といった地形特性が大きく影響していることが明らかになってきたと言えよう。川向Ⅱ沢、ヒノキ沢といった急傾斜斜面における土壌水の挙動と比べて特徴的なことは、谷部の厚い表層土を持った緩勾配部分の特性である。この部分では、まず緩勾配であるためほぼ恒常的に地下水が存在し、この地下水体の形状が流出量に大きな影響を与えている。さらに緩勾配であるため地下水位は存在するが、表層土は常に湿潤に保たれているわけではなく、極端に乾燥することもある。表層土が厚いため、不飽和部分の乾燥化が進行すると、降雨にともなう鉛直方向の水移動に対して大きなバッファとして作用することになる。これは現象面では地下水の降雨への反応に最も顕著に現れる。急傾斜で土層が比較的薄い斜面では、土層が薄いため降雨初期の鉛直浸透過程におけるバッファの効果が小さく、土壌の乾燥化が進んでいても地下水の降雨に対する反応への影響が少ない。また地下水は降雨終了後早い時期に消滅し、このことも地下水位変化に対する土壌の初期条件の影響が小さいことの理由のひとつとなる。一方、マツ沢では既に述べてきたように、緩傾斜で土層が厚い部分は、地下水位、不飽和域の水分量など土壌の初期水分条件によって、降雨に対する地下水の反応が大きく異なる。こうした観点からみれば、マツ沢流域といっても、尾根に近い部分は川向Ⅱ沢、ヒノキ沢の急傾斜斜面とほぼ同様に解釈できるが、谷部の部分はこれと区別して考えるべきだろう。

本報告で、緩傾斜で土層の厚い谷部を持つマツ沢流域の土壌水移動の現象面の特性が明らかになった。次の課題は、これらの現象面の特性を物理的な理解しモデル化を行うことにある。

本研究を遂行するにあたって、京都大学農学部砂防学研究室の武居有恒教授、小橋澄治助教授には有益なる御助言をいただいた。ここに謝意を表す。さらに現地における機器の設置、観測等にあたっては砂防学研究室の大学院生、学生の諸氏には多大なる協力をいただいた。深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 窪田順平・福嶋義宏・鈴木雅一：山地小流域源頭部の表層土における流出特性と土壤水分変動について 京大演報. 55. 162-181, 1983
- 2) 窪田順平・福嶋義宏・鈴木雅一：山腹斜面における土壤水分変動の観測とモデル化. 日林誌. 69. 258-269, 1987
- 3) 窪田順平・鈴木雅一・福嶋義宏：風化花崗岩山地源流域の地下水，土壤水分変動の実態. 京大演報. 59. 147-164, 1987
- 4) 谷 誠・福嶋義宏・鈴木雅一：山腹斜面における地下水位の観測結果. 日林論. 91. 411-413, 1980
- 5) 谷 誠：地下水面上昇の観測結果に対する不飽和浸透理論の適用. ハイドロロジー. 13. 41-50, 1983.
- 6) 福嶋義宏・加藤博之・鈴木雅一・谷 誠：山地流域の流量とその流域内小支流々量の相違についての一考察. 日林論. 89. 367-369, 1978.
- 7) 福嶋義宏・鈴木雅一・谷 誠・加藤博之：滋賀県東南部の花崗岩山地における3つの小流域の水文観測報告. 京大演報. 50. 115-127, 1978.

Résumé

Distributions of top soil layer, and saturated and unsaturated soil water movement act important roles to hydrological process in hillslope. Some models that are applicable to steep slopes for the prediction of discharge and soil water movement have already been proposed. However, soil water movement in gentle slope with thick soil layer have not been fully studied up to now.

This study was carried out to clarify the phenomena of variations of soil moisture and groundwater table at the source area having gentle slopes in the Kiryu experimental watershed. The study area, MATSU hollow, is 0.68 ha. The observations started from May 1987. In this paper, observed data until February 1988 are used. The items of observations were rainfall by tipping-bucket rain gage, discharge by 30 degree V-notch weir, groundwater level by water stage recorder, and soil moisture by tensiometer. The observed results are compared with those of two other hollows which are located closely within 5 km.

The annual mean rainfall is 1692.8 mm, and the annual rainfall in 1987 is 1333.0 mm. The observed period was under comparatively dry condition. The gradients of slopes that occupy 62.8 percent to whole area are milder than 15 degree in MATSU hollow, which has more gentle hillslope than those of other hollows. 25 percent of the soil depth is deeper than 2 m in MATSU hollow, and the thick soil layer is situated in the bottom of hollow. There are also some parts where are deeper than 8 m. The mean soil depth is 1.03 m, and it is deeper than those of the other hollows.

The groundwater tables fluctuate sensitively to rainfall events in the two other hollows, but the groundwater table rises up and falls down slowly in MATSU hollow. The antecedent rainfall is strongly reflected to the rise and expansion of groundwater table. When the area was under dry condition, the rainfall event of 100 mm resulted slightly in the rise of the groundwater table by the observation on July 4, 1987. After antecedent rainfall, the rainfall event of 64.5 mm resulted more in the rise of it on July 20, 1987. The rainfall intensities is reflected in the shallow parts. With higher rainfall intensity, higher groundwater table rise was shown in the upper and shallow part of area on July 18, 1987.

Distributions of three dimensions unsaturated zone in surface layers are identified. Usually, moisture of surface layers is quickly dry after rainfalls at the upper and shallow parts. The soil layers at the lower and deep parts tend to be wetter in accordance with the increase of total rainfall and rainfall intensities at the lower and deep parts. In the dry period after August, the soil layer below 1 m depth was not easily wetted. When the unsaturated zone of surface layer is wetter, areas having groundwater extend and the discharge increases. Thick soil layer in mild slope acts greatly as bufferzone to the soil water movement and the rise of groundwater table.