

表層土壌中の水分移動特性とその特性に及ぼす植生の効果
Characteristics of Water Movement in a Surface Soil and Effects
of Vegetation on them

東京工業大学 正 員 日 野 幹 雄
東京工業大学 学生員○藤 田 光 一
東京工業大学 学生員 出 雲 秀 治

1. はじめに

一般に山地流域における表層土壌の透水性は通常起こりうる降雨強度よりも高い¹⁾。したがって表層土壌に浸入した後の貯留、蒸発散、さらに下方への浸透などの雨水の挙動は流出過程に大きな影響を与え、特に側方浸透流の発生、土壌保水による損失現象と密接な関係を持つ。しかし近年多く見られる物理的流出機構を組入れた流出解析においてもそれらの雨水の挙動が充分考慮されているとは言えない。流出の物理過程に言及する際重要となる中間流、Partial Source Area、有効降雨などの概念をより明確に把握するためにも、透水性の高い表層土壌の水分移動特性をまず明らかにする必要がある。また自然流域の透水性が高いのは植生の存在によるためと考えられる。植生のある土壌は、貯留及び蒸発散に関して単に透水性が高いだけの砂層とは異なる性質を持つと思われる。従来、裸地の土中水分移動についてはいくつか研究²⁾がなされているが、透水性の高い植生のある土壌を流出過程と関連づけて論じたものは少ない³⁾。そこで本研究では表層土壌の水分移動特性と植生の効果の2点に着目し、草地、裸地2種類のライシメータにおける観測、実験を行なった。透水性の高い草地を均一な場として扱うことのできる裸地と比較することにより、現実に近い表層土壌の性質を明らかにすることが本研究の目的である^{4),5)}。

2. ライシメータ及び観測装置

裸地・草地2つのライシメータを次に示す手順に従い設置した。①図1に示す同形(深さ70cm、長さ150cm、幅40cm)の2つの箱を屋外に設置し、等量の関東ローム土を同じ締め方により詰める。②降雨に対する流出の応答が同じであることを確認する。③一方にさらに5cm関東ローム土を敷き裸地とする。もう一方に厚さ5cmの芝生を敷きその上に雑草を植え草地とする。以上により元の土の性質が同じであり植生の有無だけが異なる2つのライシメータが得られた。両者の特性を比較することにより植生の効果を検討する。

測定項目は次の通りである。〔表面、10、30cm下及び最下端からの流出量・降雨量・図1に示す深さの異なる5点でのサクション(テンシオメータにより測定)〕なおライシメータの片側は透明に作られており根の発達を観察することができる。自然降雨に対する観測は7月～10月にかけてのべ70日間にわたって行なわれた。その間草の高さは50～80cmであり、根は深部まで発達していた。

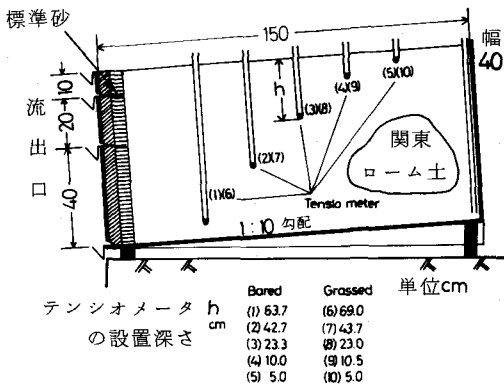


図1 ライシメータ、観測機器

3. 自然降雨に対するライシメータの水収支

自然降雨に対する裸地、草地の水収支を図2に示す。裸地と草地の水収支関係は大きく異なっている。裸地の場合流出量の4割が表面流出であるのに対して、草地には表面流も中間の深さからの流出もほとんど見られず最下端からの流出が大部分を占める。元の土の性質は両方とも同じであるから、草地の土中に存在する根によって土層全断面にわたって透水性が増加したものと考えられる。また草地では裸地に比べ消失量が

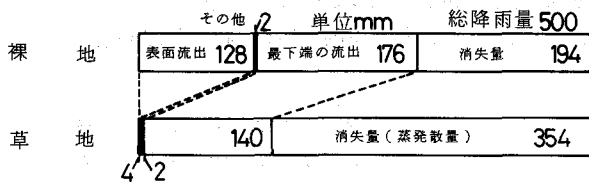


図2 ライシメータの水収支(自然降雨)

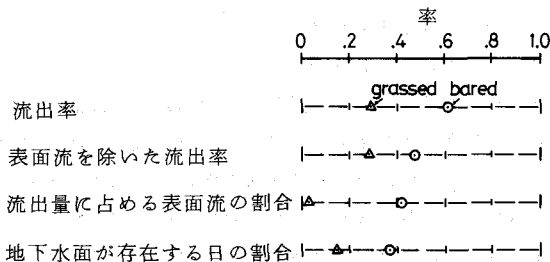


図3 流出率などの草地と裸地の比較

非常に多い。図3より流出率だけでなく表面流を除いた流出率(土中に浸入した水のうち最下端から流出する量の割合)も草地の方が小さいことがわかる。したがって草地の消失量が多いのは蒸発散が裸地より活発であるためであり、草地に浸入する量が多いからではない。地下水面の存在する日数が裸地の方が多いため、草地がより乾燥した状態にあることは明らかである。以上の結果より、植生の有無によって表層土壌の性質が大きく異なり、草地は裸地に比べ透水性が高く貯留能力が大きいという特徴を持つことが明らかになった。これらは植生の存在による根系の発達と葉面からの蒸散がもたらす乾燥の促進によるためと考えられる。

4. 土壌水分移動の特性

降雨量, 流出量, サクシンの時間変化を調べることで、降雨流出及び乾燥過程に対応する土壌水分移動の特性について検討する。

(1) 降雨と流出の関係

図4には、自然降雨の観測期間のうちでも裸地、草地それぞれの特徴が顕著に現われた期間における降雨と流出量の関係が示されている。表面流は裸地だけに生じており、その応答は早いにもかかわらず必ずしも降雨波形と表面流出量とは対応していない。表面流が累積雨量ではなく小さな時間スケールの降雨強度に依存しているためである。裸地の地下水流出量(最下端からの流出量)の応答の遅れは、0.5~1日であり表面流よりもはるかに大きい。また減速もゆるやかである。一方草地の流出はすべて地下水流出である。5回の降雨のうち流出があるのは2回だけであり、流出した際の遅れが裸地の場合より大きい。草地の流出を起こした降雨の数日前にも降雨があることから、地下水流出量は初期水分量と降雨の総量に依存していると言えよう。裸地、草地とも70cmの土層が降雨波形を大きく変換させること、特に草地では流出のすべてが地下水流出であり貯留能力も大きいことから土層の流出過程に与える影響が大きいことが、これらの関係より明らかになった。

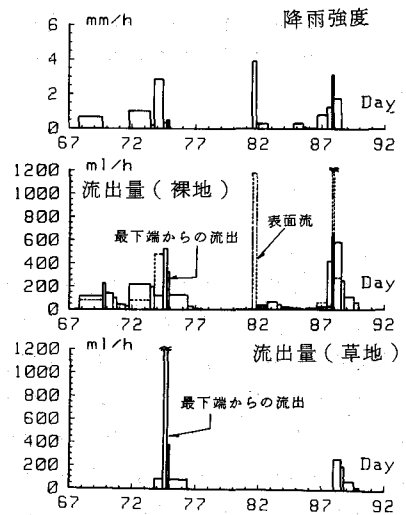


図4 降雨流出関係(自然降雨)

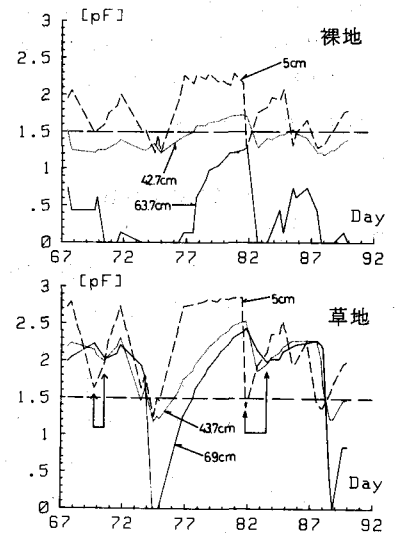


図5 サクシンの時間変化(自然降雨)

(2) 降雨流出時のサクシオン変動

図4の降雨流出関係に対応するサクシオンの時間変化を図5に示す。降雨流出とサクシオン変動には明確な対応関係がある。降雨によりまず表層付近のサクシオンが急激に低下し、その低下が下方に拡がる。底の測定点のサクシオンが正圧に転ずるとすぐに流出が始まる。これらは水分の下方への伝播に対応している。

雨水の下方への伝播速度は初期水分量に強く支配される。図5より全期間を通じて草地のサクシオンが裸地よりも大きいことがわかる。裸地では各深さの降雨に対するサクシオンの応答時間にほとんど違いがないのに対して、草地のサクシオンの応答の遅れは深くなるにしたがい大きくなる。特に非常に乾燥度が高い状態の土に降雨があると、表層付近のサクシオンは急に低下するが深さ30cm以上のサクシオン低下はほとんど起こらない。(図5矢印で示した所など) 湿潤状態にある裸地の方が水分の伝播速度が大きいという傾向は、初期水分量が多い程伝播速度が大きくなることを意味する。図5を見ると、草地の深さ45cm付近のサクシオンの値が降雨により1.5[pF]以下になると流出し、1.5に至らないと流出しないことがわかる。この傾向は、観測全期間の降雨について裸地、草地両方に見られた。水分伝播速度が急減し雨水の大部分が土中にとどまるのは、サクシオンが1.5以上の状態の時と考えられる。一方サクシオンが1.5以下にある時の多い裸地の深さ45cm付近では、流出が生じているにもかかわらずサクシオンの変動が小さい。湿潤状態にある土壌は、水分量をほとんど増加させずに流束をすみやかに下方に伝える働きがあると言えよう。

図6には等サクシオン線図が深さ～時間面に示されている。草地よりも湿潤状態ある裸地では、降雨により生じた表層の湿潤領域が急速にライシメータの底にあった湿潤領域と結合し流出が始まる。一方草地では、降雨に対する流出がない場合、表層に湿潤域が生じて下方に伝わるに従ってその領域が小さくなり底に至る前に消失している。ライシメータの深部にあるサクシオン1.5以下の湿潤領域が降雨に対する応答を早めることに寄与していると考えられる。

(3) 通減曲線の性質

土壌水の不飽和流動特性を表わす通減曲線を図7に示す。通減曲線は、人工降雨装置により一定強度の降雨をライシメータに与え流出が定常になった後降雨を停止して、流出量の時間変化を測定することにより求めた。なおライシメータをビニール等でおお

うことにより蒸発散を抑えた条件で測定を行なった。得られた通減曲線は、土壌の厚さが70cmであるにもかかわらず草地、裸地とも非常に長い通減部を有している。このことは不飽和帯からの排水が実流域における基底流量に寄与している可能性があることを意味する。さらにこの水が谷部の不飽和帯の湿潤度を高め、次の降雨時に水分伝播速度を大きくする働きをするものと思われる。また裸地の通減曲線には昼過ぎに流量が増大する顕著な日変化

が見られる。これは温度の上昇による透水係数の増大のためと考えられる。草地に日変化が見られないのは、草地に対する蒸発散の抑制が不十分であり蒸発散と温度変化の効果が打

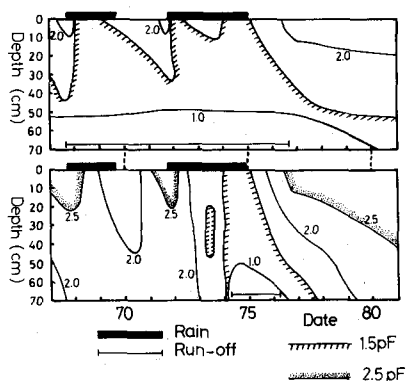


図6 等サクシオン線図

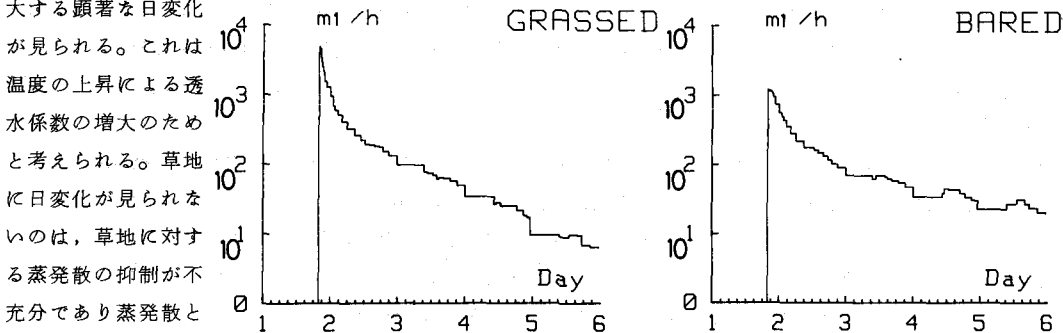


図7 通減曲線(左が草地、右が裸地)

ち消し合ったためであろう。

裸地と草地の通減曲線を比較すると、流出量の大きい降雨停止後3～4時間の間両者は大きく異なるがその後3日間の通減部にはほとんど差がない。これは、排水がすみやかに終わる大空隙については裸地と草地の構造が大きく異なるが、排水の遅いさらに細かい空隙については大きな差がないことを示している。したがって草地の土壌では根などの存在によって裸地になく大空隙が形成され透水性が増大している一方、その他の部分は裸地とあまり変わらない性質を保持したままであると考えられる。草地土壌の構造上の大きな特徴は、このような透水性の高さと裸地土壌の中でも細かい空隙が受け持っている保水機能の高さを両立させているところにあると言えよう。また根などによる大空隙は、土が湿潤であり降雨強度が大きい時に水分移動を速める働きをするものと思われる。

(4) 乾燥過程における土中の水分移動

蒸発散を許さない状態での重力排水だけでは土壌のサクシオンは1.5～1.7以上に上昇しない。したがって雨水の貯留にとって重要な1.5[pF]以上の乾燥状態に至るには蒸発散が必要である。図5に示すようにサクシオンは降雨後かなり早く1.5以上に上昇しており、蒸発散の影響が降雨直後から及ぶことがわかる。またサクシオンの上昇は降雨によるサクシオンの低下と異なりほとんど全断面で一様に起こっており、表面から25cm付近まで明瞭な日変化が現われている。図6により裸地と草地を比較すると、乾燥過程における右下がりの等サクシオン線の傾きは草地の方が急であり深い所で差が大きくなっている。これは草地の乾燥速度が特に深部において裸地よりも大きいことを意味する。土を介しない根による直接的な水分の吸収が草地の乾燥を促進し、深さ方向の水分量分布を一様化する働きをしていると考えられる。

5. まとめ

本研究では裸地と草地2種類のライシメータ(深さ70cm)を設け降雨流出、乾燥過程に対する観測、実験を行ない、それらの結果より、現実に近い表層土壌の水分移動特性について検討した。その結果水収支関係より①裸地において全降雨量の4割、草地で7割が消失量となり表層土壌は損失に大きく寄与する。②植生の存在により草地の透水性が著しく増大し、蒸発散が活発になるため消失量が増す。そのため表面流は生ぜず表層土壌より下への流出が流出過程の中で重要となる、ことが示された。また降雨流出関係、サクシオンの時間変化より①表層土壌が降雨波形を大きく変換する。②雨水により表層のサクシオンが低下しそれが下方に伝播し底にとどくと底からの流出が始まり、その伝播速度は裸地、草地とも初期水分量によって大きく異なる。土壌が1.5[pF]以上の場合雨水は主に土中の保水に使われ水分が下方に伝わらないのに対して、1.5[pF]以下の場合すばやく下方に伝播し流出が始まる。③蒸発散による乾燥過程は保水能を高めるのに不可欠であり、降雨終了直後からその影響が表面に現われ下方に進行する。草地の乾燥速度は大きく、深さ方向の水分量分布が一様化する傾向がある、ことが明らかとなった。さらに大空隙の構造は根などが存在するため草地と裸地で異なるが、それ以外の小さい空隙については両者に大きな差がないことが、通減曲線の性質から示された。以上より植生の効果は、蒸散により土の乾燥を早めること、透水性の高さと保水性の高さを両立させることの2点にある。今後これらが全流出過程に与える影響を表層土壌の水分移動と合せて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤・村上・村井・関川：新しい型の山地浸透計による測定成績，林業試験場研究報告№99，1956。
- 2) Kirkby, M. J. (editor) : Hillslope Hydrology, John Wiley.
- 3) 岡・角屋：裸地斜面域における雨水の浸入と地下水流出(1)，京都大学防災研究所年報17-B，1974。
- 4) 石田・中野：土壌～植物～大気系における土壌水分消費の動態，農業土木学会論文集第92号，1981。
- 5) 中野 秀章：森林水文学，水文学講座13，共立出版，P129～P135，1976。