

研究レポート

No.16

土地利用の相違による土壌水分の変化

清水 晃

はじめに

森林流域に降る雨は、次のように配分される。まず、植物の幹や葉により遮断され、次に土壌表面に達すると土壌中の水分不足を補う。そして、残りの降水が土壌中を浸透し、流出に関与するものとなる。この過程で、土壌からの蒸発や植物による蒸散及び降雨強度によっては表面流出が起こる。このような関係を簡単に図示すると図-1 のようになる。

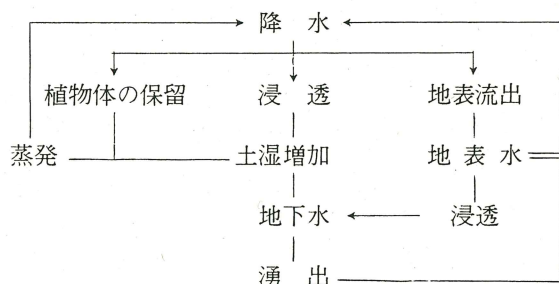


図-1 水の循環

降水と流出の関係については、種々の解析が行なわれているが、この図からも明らかなように流域の土壌の状態が非常に重要な要因となる。そこで、本報告では流出解析の基礎として、土壌水分の季節変化及び降水時の透水パターンを検討した。

土壌水分の測定および対象地

土壌水分の測定方法には種々のものがあるが、直接水分含量そのものを高精度で測定することは難しいのが現状である。そこで、今回の測定は水分含量の代わりに土壌水のエネルギー状態を表わす吸引圧を対象とした。吸引圧は単位水柱の高さや気圧などで表わされ、これが大きい時は土壌が水を保持する力が強いことを示す。本法では、吸引圧の単位として単位水柱の高さ (cmH₂O) を用いた。これは、土壌水分の性質を表現する指標である pF と次のような関係にある。

$$pF = \log (\text{吸引圧 cmH}_2\text{O})$$

したがって、吸引圧が 100 cmH₂O のときは pF 2 となる。この pF 値によると土壌水は重力水 (pF 1.7 以下、土壌粒子間の非毛管孔隙を重力によって自由に流動している水分) や毛管水 (pF 1.7-4.5、土壌粒子間の毛管孔隙に表面張力によって保持されている水分) などに性質に応じて分類される。なお、この吸引圧から土壌水分含量 (容積含水率 θ) への変換は土壌水分特性曲線を用いて行なわれる。

さて、測定の対象地は、昭和31年に造成の始まったパイロットフォレスト及び隣接した牧草地である。今回の測定は、土地利用の差異に起因する土壌の浸透、透水特性の違いを把握する

ことを目的としたもので、したがって、パイロットフォレストの代表樹種であるカラマツ林分、造成前の状態を残す広葉樹疎林地、隣接の牧草地を対象として選定した。対象地の土壤層位は、図-2のとおりである。実際の測定は、直読式のテンシオメーターを各対象地毎に上部から5cm, 20cm, 40cm, 60cm, 75cm (テンシオメーター番号をそれぞれNo.1, No.2, No.3, No.4,

No.5 とする) の深さに埋設し、基本的に1日1回午前10時に示値の読み取りを行なうことにした。観測は6月から開始したが、低温による欠測が生じたので解析には7月から9月の資料を使用した。なお、対象地の地形は、牧草地が約4度程度の傾斜を示す他はカラマツ林、広葉樹疎林共にほぼ平坦であった。

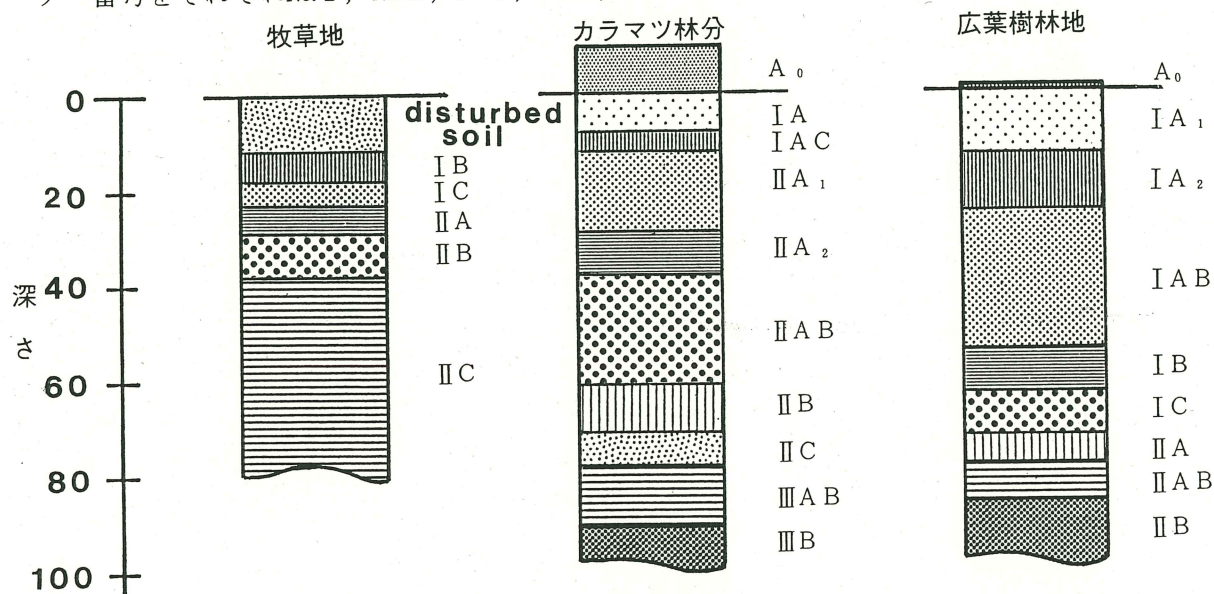


図-2 土 壤 層 位

土壌水分の季節変化

カラマツ造林地、広葉樹疎林地、牧草地それぞれについて土壌水吸引圧の季節変化を図-3, 4, 5 に示してある。以上の資料に従って、各土地利用毎に順に検討を行なっていく。

まず、カラマツ造林地では、7月上旬の全層 50 cmH₂O (pF1.7) から 150 cmH₂O (pF2.2) の状態から、7月11-12日にかけての34.5 mm の降雨により、上部層No.1, No.2, No.3 は11日に、No.4, No.5 は13日に吸引圧の減少を示している。これは明らかに上部から下部にゆっくりと降雨が浸透したことを表わしている。また、13日-14日にかけても、さらに19 mm の降水量があったため、全層にわたり、吸引圧の上昇はなく、56 cmH₂O (pF1.75)-72 cmH₂O (pF1.86) の範囲でほぼ平行に推移している。次に、18日の22 mm の降雨では、上部No.1, No.2 はすぐに反応して 33 cmH₂O (pF1.5), 45 cmH₂O (pF1.7) 程

度の値を示しているが、中下部のNo.3, No.4, No.5 では、やや遅れて変化が始まりその量も 10 cmH₂O 以下の小さいものとなっている。これは、13日の降雨の場合と同様に下部層は比較的湿っており、降雨強度の問題もあるが、22mm 程度の降雨では明確な変化は示さないことが考えられる。その後、7月下旬から8月下旬にかけて、まとまった降雨はなく、各土壌層は上部から下部まで一様に乾燥を続け、7月31日には最上層のNo.1 が 192 cmH₂O (pF2.3), 最下層のNo.5 が 87 cmH₂O (pF1.9) に上昇している。さらに、大きく生長した立木による蒸発散の影響もあり、8月25日には、No.1 では 470 cmH₂O (pF2.7), No.2 では 443 cmH₂O (pF2.6), No.3 では 400 cmH₂O (pF2.5), No.5 では 156 cmH₂O (pF2.2) まで上昇している。このような乾燥状態の土壌に8月26日-27日にかけて、31.5 mm の降雨があった。上部No.1, No.2, No.3 は前と同様に次の日には下降を示しているが、No.4 は

翌28日に変化が現われ、No.5ではほとんど目立った減少を見せていない。また、No.1, No.2, No.3の値もすべて200cmH₂O (pF2.3)以上であり、その後は上昇か横這いを続けている。これは、強い乾燥による土壌水分不足を物語っている。9月に入り、1日に68mmの降雨があり、すべての層にわたって下降を示した。特に下部のNo.4, No.5が上部のNo.1, No.2, No.3に対し、時間遅れもなく大きく減少している点が特徴的である。これは主として高い降雨強度によるものと思われるがより詳細な調査、解析が必要であろう。この後数回の降雨により9月下旬にはすべての吸引圧が150 cmH₂O (pF2.2)以下となっている。

次に、カラマツ造林地近くの広葉樹疎林地についてその変化を概括する。変動のパターンはカラマツ造林地とほぼ同様であるが、降雨による変動幅が比較的小さく、7月11日—14日の降雨では、カラマツ林と異なり上部から下部まで一斉に吸引圧の減少を示している。また、観測期間全般にわたって、カラマツ造林地よりも低い吸引圧を示しており、8月の蒸発散最盛期にもNo.1の316 cmH₂O (pF2.5)が最大であるにすぎない。さらに、上層と下層との吸引圧差も少なく、8月26日のNo.1とNo.5との差141cmH₂Oが最も大きなものとなっている。この後、8月26日、27日の降雨によりNo.1, No.2が大きく減少し、下部の層も100 cmH₂O (pF2.0)程度まで下がっているが、これはカラマツ林ほど高い土壌水分の不足を夏季に生じなかったことによるものと考えられる。観測終了時の9月下旬にはカラマツ林と同様にすべて130cmH₂O (pF2.1)以下の比較的湿った状態になっている。

最後に、牧草地の季節変化について検討する。まず、7月1日の70mmの降雨前後の状態を見ると、降雨前では、初夏であるにもかかわらず、すでに土壌上部層のNo.1, No.2, No.3では、それぞれ709 cmH₂O (pF2.8), 675cmH₂O (pF2.8), 528 cmH₂O (pF2.7)というような非常に高い吸引圧を示し、強い乾燥状態が現われている。降

雨後は、No.1—No.5まですべてほぼ一斉に減少している。次の12日—14日にかけての降雨により下部層のNo.5は下がり続け、16日には35 cmH₂O (pF1.5)までになり、高い湿潤状態を呈している。その後、数回の降雨毎に若干の変動はあるものの、上位—中位層は一様に上昇した。8月15日には、No.1, No.2ともに800cmH₂O (pF2.9)に達し、No.3も8月20日には700 cmH₂O (pF2.8)を越え、以後、次の降雨まで3層ともほぼ横這い状態であった。したがって、牧草地の上位、中位層の土壌は8月中旬から次の降雨の8月26日までは極端な乾燥状態にあったことがわかる。これに対して、下位層は8月中旬まで100 cmH₂O (pF2.0)以下の比較的湿った状態を維持していたが、中旬以降、上・中位層の急速な乾燥に対応して吸圧の上昇が始まり、8月26日にはNo.4で396 cmH₂O (pF2.6), No.5で286 cmH₂O (pF2.5)まで上昇している。8月26日—27日の降雨により、上位層のNo.1, No.2は急速に100 cmH₂O (pF2.0)近くまで下降し、残りの層も徐々に下降し、9月1日の降雨前には5点とも200 cmH₂O (pF2.3)前後に集中している。この時の変化パターンは、同時期のカラマツ林における小幅の変化に比べると、非常に大きく、有効間隙率の差（カラマツ林>牧草地）が強く影響していると考えられる。また、この差は、次の9月1日の降雨で5点すべてが一度に70cmH₂O (pF1.8)以下に下降している現象においても主要因の一つと考えられよう。以後、9月に入って蒸発散の最盛期が終わったためか、各層とも著しい上昇傾向は示さずほぼ100 cmH₂O (pF2.0)以下で推移している。秋期になると各層位ともカラマツ林、広葉樹疎林地と同様な吸引圧になり冬期へ向かってこの傾向の継続が予想される。

以上のような土壌水分の季節変化に対して、降雨時の浸透、透水特性を詳細に検討するため、カラマツ林と牧草地に対して人工降雨実験とそれに対するシミュレーションをおこなった。

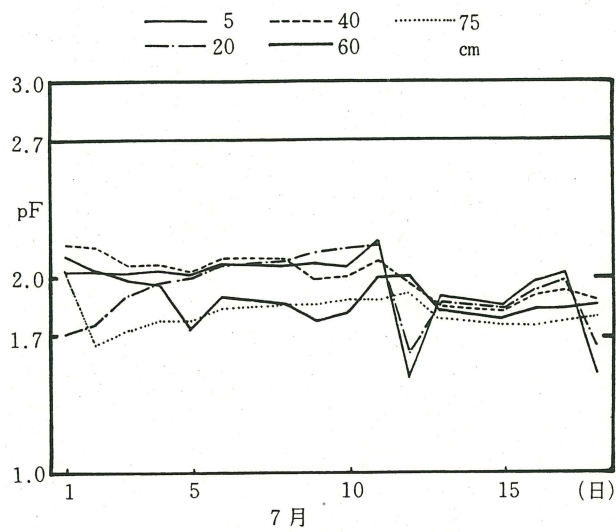


図-3.1 土壤水分の季節変化
(カラマツ)

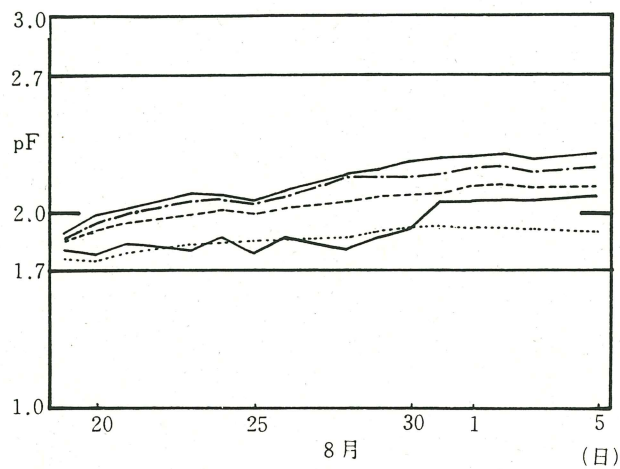


図-3.2

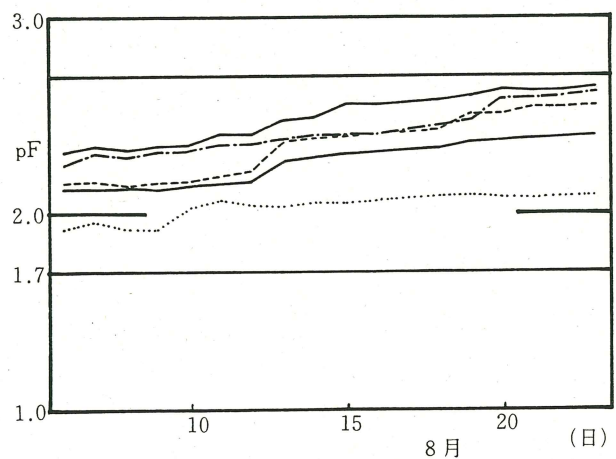


図-3.3

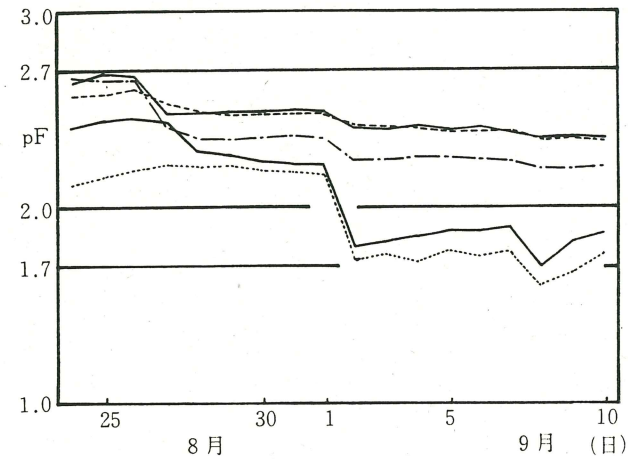


図-3.4

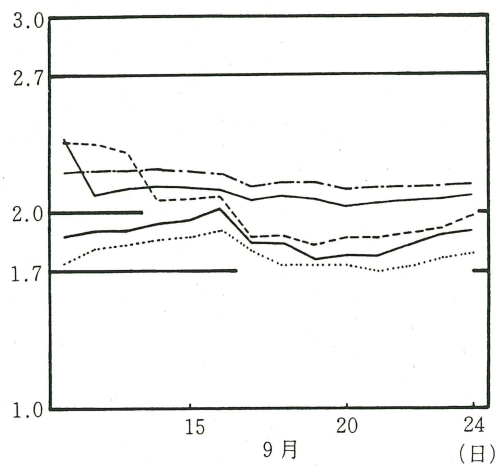


図-3.5

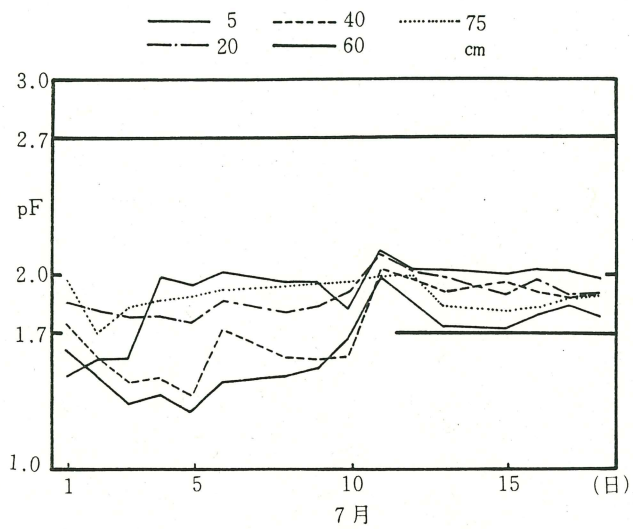


図-4.1 土壌水分の季節変化
(広葉樹疎林地)

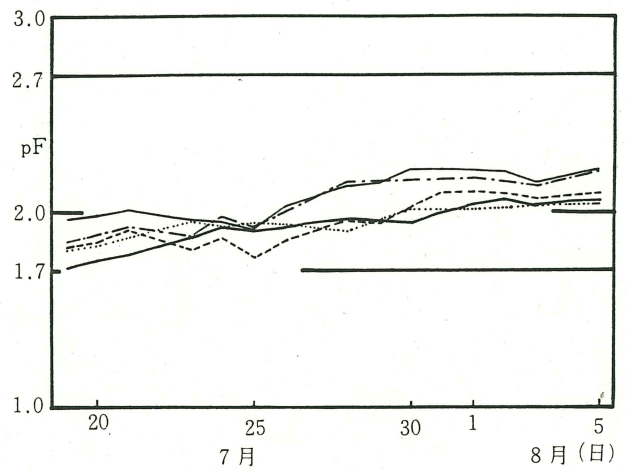


図-4.2

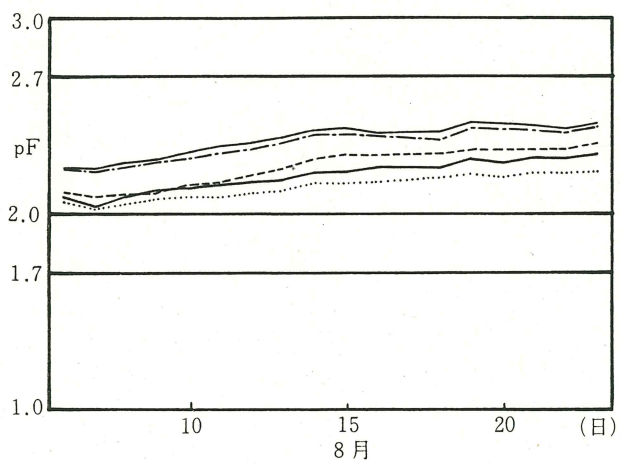


図-4.3

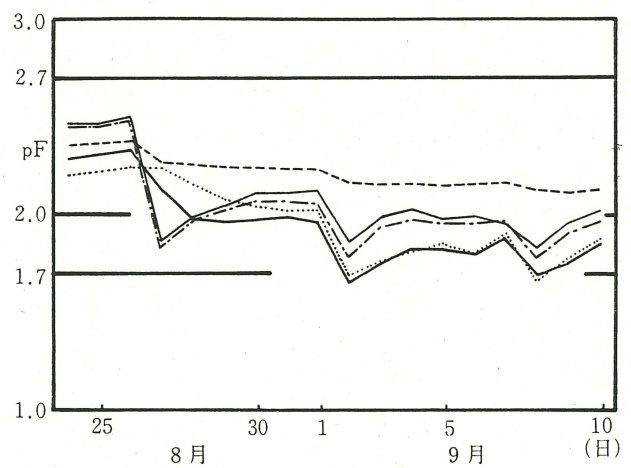


図-4.4

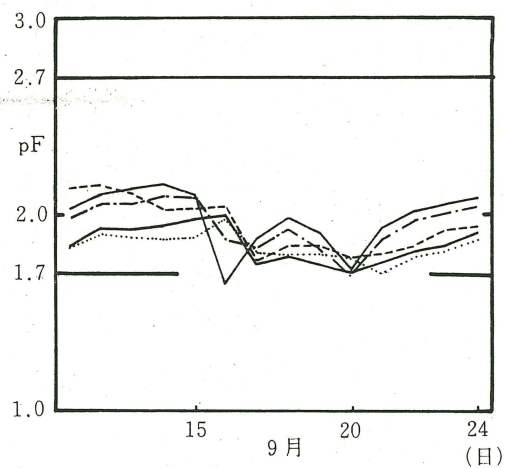


図-4.5

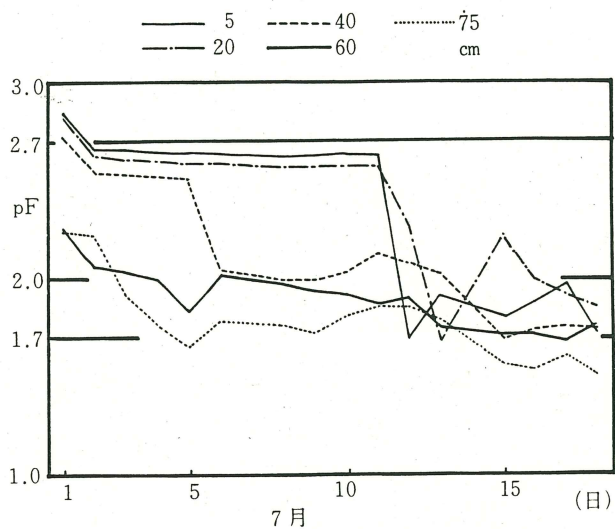


図-5.1 土壌水分の季節変化
(牧草地)

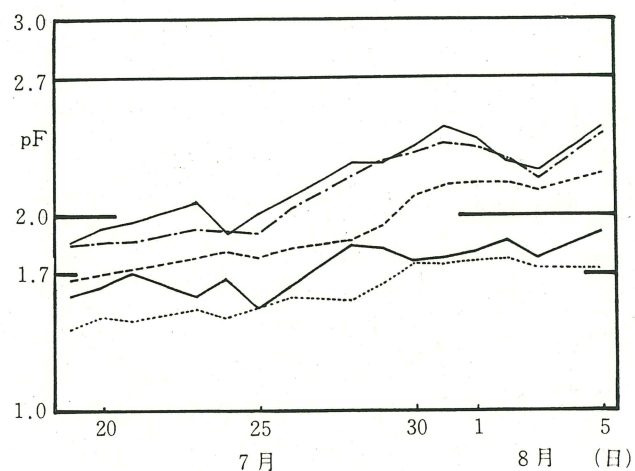


図-5.2

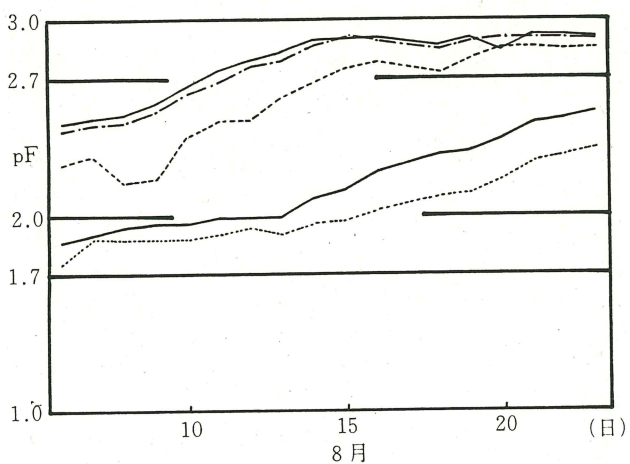


図-5.3

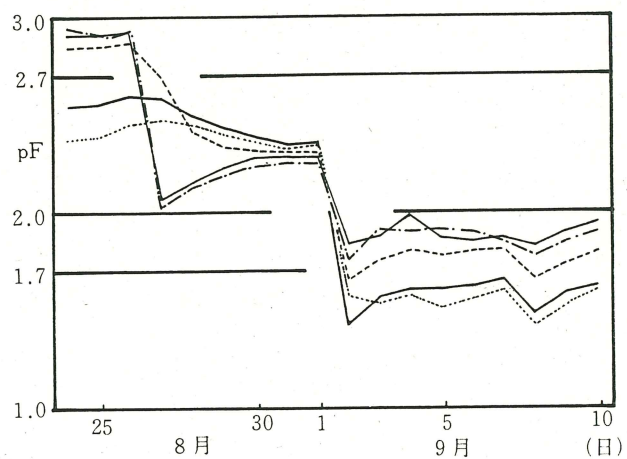


図-5.4

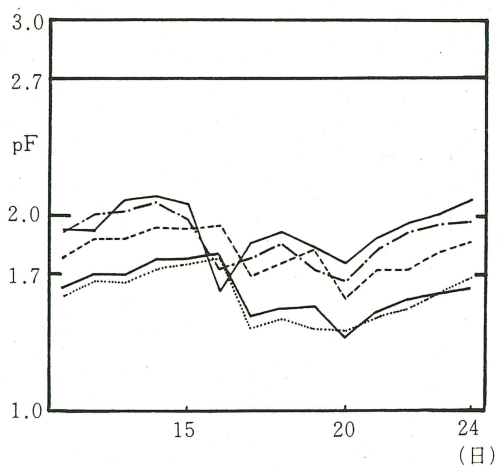


図-5.5

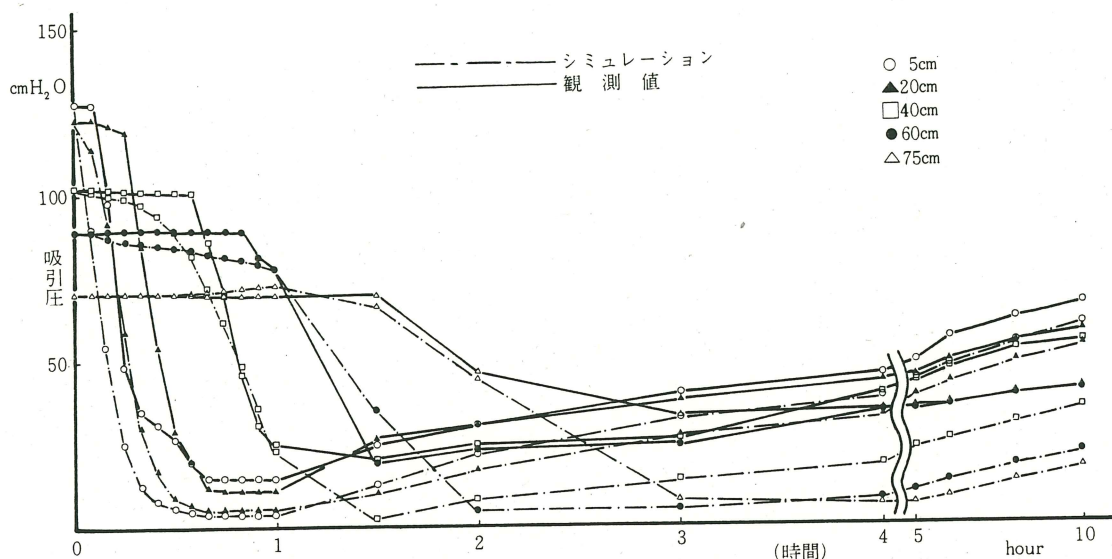


図-6.1 人工降雨実験による土壌水分の変化
(カラマツ林)

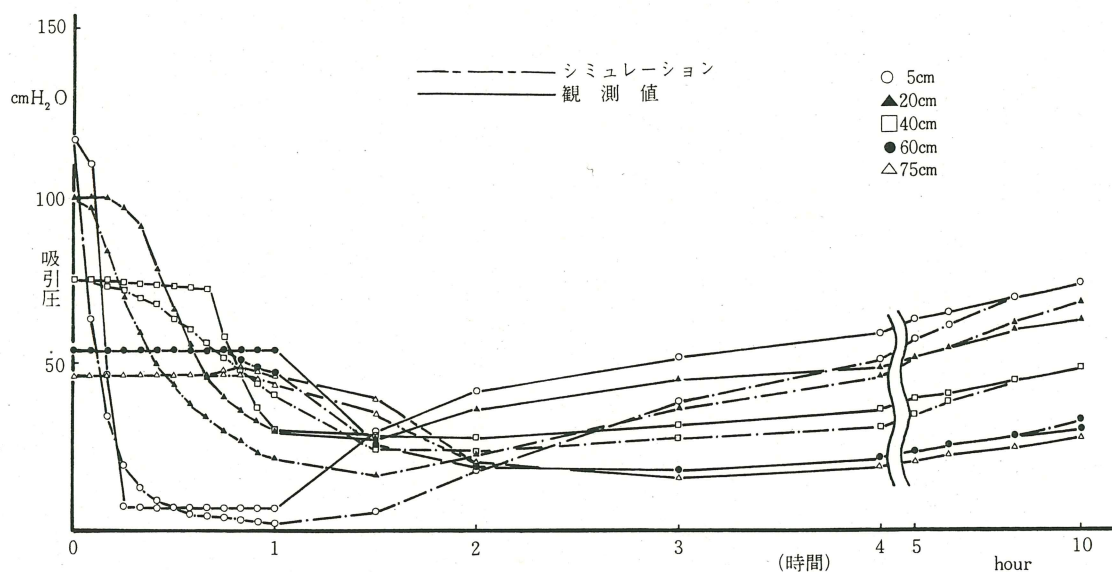


図-6.2 人工降雨実験による土壌水分の変化
(牧草地)

降雨実験とシミュレーション

降雨実験に使用した装置は雨滴発生器、浸入枠、給水器、発電機から構成され、散水面積が $0.9\text{m} \times 0.9\text{m}$ 、散水強度が $20\text{--}200\text{mm/hour}$ の仕様となっている。散水装置の高さは、 1.5m 、散水強度は 100mm/hour で1時間継続した。測定は降雨開始後5分間隔で行ない、吸引圧に変化が現われた時はそのつどさらに読み取りを行った。降雨停止後は1時間まで同様な測定を

続け、その後は30分から3時間間隔で24時間後まで連続観測を行なった。この結果は図-6のようになった。なお、表面流出については、牧草地のみ発生し、次のような経過をたどった。降雨開始4分45秒後に表面貯留が始まり6分25秒後に表面流出となった。そして降雨停止2分後に表面流出は終わった。しかしながらその量は少なく約 3mm 程度であった。さて、図-6からカラマツ林では全体的に吸引圧がゆっくりと下降し、降雨開始後約80分経過した時点でNo.

1—No.4 がほぼ等しい値22cmH₂O (pF1.3)となり重力浸透が起こっていることがわかる。また、最下層のNo.5の吸引圧の変化はかなり遅れ90分前後である。降雨停止後の変化は、比較的ゆるやかであり上位層から下位層への円滑な水分伝達が行なわれていることが推察される。

これに対して牧草地は、降雨開始直後からNo.1だけが急速に減少して7cmH₂O (pF0.8)の飽和状態を示し、それ以外の層ではやや遅れて変化し始めている。またNo.2以下の層の最小値はいずれも降雨停止後に現われていることから下層への水分伝達が遅かったものと考えられる。そして、降雨が停止するとNo.1はすぐに上昇を始め停止後およそ30分程度で全層の吸引圧が近接した値となり重力浸透状態を示している。

以上をまとめると、牧草地での浸透、透水特性は主として最上層の性質（有効間隙率、透水係数）に依存するが、土層全体の透水性においてもカラマツ林の土壌に対してやや劣ると思われる。最後に、この実験に対して服部(1)に従い、1次元鉛直不飽和流によるシミュレーションをおこなった。シミュレーションの概要は以下のとおりである。

ダルシー則 $q = K \cdot \partial H / \partial x$

連続の式 $\partial \theta / \partial t = -\partial q / \partial x$

不飽和透水係数 $K = K_s S^{\beta}$

土壌水分特性曲線 $\psi = \psi_0 (c/S - 1)^a$

q : 流束 H : 全水頭 θ : 容積含水率

ψ : 吸引圧 K_s : 飽和透水係数

S : 飽和度 $(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$

θ_s : 飽和含水率 θ_r : 含水率 (pF 4.2)

a, β, c : パラメーター

これらの式を差分化して実行すると図—6のようになった。降雨開始直後の反応はシミュレーションのほうがやや早い、降雨期間中はおおむね良い適合が認められる。降雨停止後にカラマツ林の深層において実測値とのずれが見られるが、これは主に次の理由によるものと思われる。すなわち、シミュレーションにおいては、全降雨について鉛直方向のみの浸透として考えているが、実際には周囲への側方流と拡散の存在による浸透量の差異が生じたものであろう。また、牧草地の表面流出はその開始と終了時がほぼ一致した。なお、計算に使用したパラメーターは実際の資料から求めたものである。

おわりに

土地利用別に土壌水分の季節変化や透水特性を検討した。また、人工降雨実験とそれに対するシミュレーションを行ない、良好な結果を得た。

末尾ながら、観測、調査にあたり標茶営林署の皆様方に多大な御協力を戴いた。深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 服部重昭: 流出過程における不飽和水分流動の研究 (Ⅲ), 日林誌62, 82—88, 1980。

研究レポート No.16

昭和62年 3月20日発行

編 集 林業試験場北海道支場
〒004 札幌市豊平区羊ヶ丘1
電 話 (011)851—4131