

森林土壌の水源かん養機能

江州克弘

はじめに

森林の水源かん養機能や土砂流失防止機能は昔から知られ、全国各地で森林の造成が続けられている。

水源かん養機能とは、雨水が地表を流れ去ることなく、より多く地中に浸み込み、長い時間をかけ、少しずつムラなく流れ出る働きである。

このような水源かん養機能と関連する要因の一つは、地中における土壌の孔隙構造である。

この土壌孔隙構造は森林の種類によって変わるかどうかを傾斜、地質などの条件が同じ広葉樹林、カラマツ人工林、トドマツ人工林で土壌の水源かん養機能に関連する要因について検討した。また、採草用草地における土壌の水源かん養機能についても調べたので紹介する。

調べた森林の状況

調査のため三笠市にある道有林の広葉樹林、カラマツ人工林、トドマツ人工林内にそれぞれ25m×25mの方形プロットを設けた。広葉樹林は、約70年前の山火事によって無立木地となり、その後萌芽によって更新したものである。カラマツ、トドマツ林は昭和30年に植栽されたものである。

表-1 各林種の樹種構成と生立木および地表植生（優占度1以上）の概況

林種	樹種	本数率 (%)	材積率 (%)	平均胸高直徑 (cm)	平均樹高 (m)	ha 当たり		地表植生
						本数(株)	材積(m ³)	
広葉樹林	ミズナラ	33	53	20.5	16.1			
	エゾイタヤ	32	15	11.3	9.8			クマイザサ
	オオバボダイジュ	11	14	15.3	12.5	1,616	294	ツタウルシ
	アズキナシ	10	5	12.1	10.5			
	ホオノキほか	14	13	15.9	13.8			
トドマツ人工林	トドマツ			12.4	9.6	1,840	134	クマイザサ ウ
カラマツ人工林	カラマツ			14.9	13.0	896	109	クマイザサ
採草用草地								チモシー シロツメグサ

表-1に、各林種の樹種構成および地表植生を示した。広葉樹林の構成樹種（胸高直徑5cm以上）は、ミズナラを主とする7種である。広葉樹林の平均胸高直徑は樹種により11.3cmか

ら 20.5 cm で、広葉樹林には太い木から細い木まで幅広く生育している。また、樹種別平均樹高には約 6 m の幅があり、複層林である一方、人工林は胸高直径、樹高も小さい一斉林である。ha 当たり材積は広葉樹林、トドマツ林、カラマツ林の順に多い。

調査地の土壌断面

森林土壌は、長期間にわたる森林の影響を蓄積しており、現在の森林の影響はその一部にし過ぎない。

図-1 に、各プロットの土壌断面を示した。採草用草地は、5 年前に広葉樹林の表層土をブルドーザによって除き、整地して造成されたものであり、その土壌は A 層を欠いている。

根の垂直方向への分布をみると、広葉樹林の根は 1 m 以上に及ぶのに対し、草地では 50 cm 程度である。カラマツ林、トドマツ林では前二者の中間的な発達を示している。

土壌断面に観察できるような大きな孔隙は、根の発達に大きく関係するものと考えられ、広葉樹林、カラマツ林では腐朽した根による孔隙が下層まで多くみられた。草地は A 層などの表土を除去してつくられたため、上層から石れきが多く、下層では非常に多かった。これに対し、森林の土壌は地表より 60 cm まで石れきの分布が少ない。

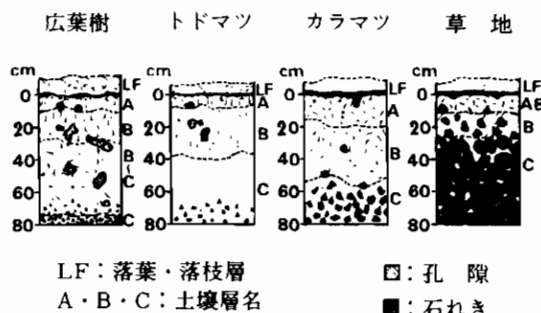


図-1 各プロットの土壌断面

軟らかな森林土壌を作る落葉・落枝の量とその性質

水源かん養機能には、森林土壌の孔隙構造が大きな役割をしていることから、孔隙の多い土壌（軟らかい土）が、どのようにしてつくられるのかをみてみよう。

森林の地表を覆っている落葉・落枝層は、耕地や草地などではみられず、落葉・落枝層があることは森林土壌の特徴である。この層は、カビやバクテリア等の微生物、ミミズ、クモなどの土壌動物によって分解される。軟らかい表層土層は、これら小動物の活動や排せつ物、分解中の植物遺体有機物などの作用によってつくられ、これらの耕うん作用によって大小さまざまな孔隙が形成されるものと考えられている。しかし、乾燥や葉の性質によって分解が進まない場合には落葉・落枝層が厚くなり、さらには菌糸の層などができて、雨水を浸み込む機能が弱まる。また、落葉などが供給されないと、土が裸出してしまい、土が固くなり孔隙は目づまりし、表層土は簡単に雨滴で流失するようになる。このことについて、もう少しくわしくふれてみよう。

(1) 林の種類による葉や枝の落下量の違い

まず落葉などがどのくらい地表に供給されるのであろうか。地表への落葉などの供給量を調べるため、プロットの中に1m×1mの受け網をそれぞれ9個設けた。5月から11月までは毎月、冬の間は地面に置いて、落下物(供給量)を回収し葉、枝、その他(虫ふん、果実、樹皮など)に分けて乾燥重量を求めた。

図-2に、落葉・落枝量の年度別変化と組成割合を示した。供給量のうち最も多いのは、葉で63~90%を占め、枝は広葉樹林とカラマツ林とで25%、トドマツ林では2%と少なかった。残りの8~12%はその他であった。供給量の多い季節はやはり秋(10, 11月)である。広葉樹林とトドマツ林とでは1年間の約70%を占め、カラマツ林では52%であった。次に多いのは冬(12月から翌年4月)であり、広葉樹林とカラマツ林は主に枝が、トドマツ林では葉が多い。

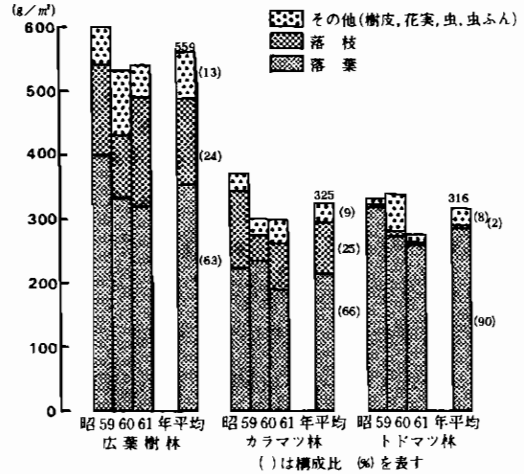


図-2 落葉・落枝量の年度別変化と組成割合

3年間の平均供給量(5月から翌年4月)

は、広葉樹林 559 g/m², トドマツ林 334 g/m², カラマツ林 325 g/m²の順であった。つまりカラマツ林, トドマツ林での供給量は広葉樹林のその60%程度である。年による違いは、最大70g/m²から最小3g/m²の範囲にあり、気候や害虫発生などの要因によって1~19%程度増減するようである。

以上のように、落葉・落枝量が林の種類によって違うことがわかった。次に葉の分解しやすさについて考えてみよう。

(2) 樹種による落葉の分解速度の違い

ミズナラ, カラマツ, トドマツの葉を陰干しし、これを網目の袋に入れ、各プロットの表土面に固定した。定期的にこれを回収し、葉量(乾燥重)の減少量から分解率を求めた。

図-3に、葉の分解率の推移を示した。11月に固定した網目の袋の葉は、冬の間は23~30%も減って測定期間中の減量が最も大きかった。これは、葉の中の水溶性物質

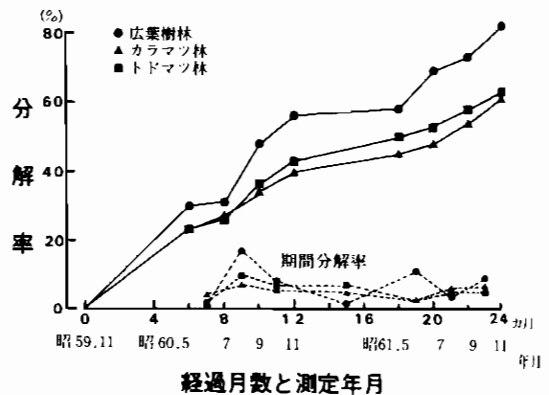


図-3 葉の分解率の推移

が流れ出したものと考えられる。しかし、2回目の冬には2～7%程度しか減少しなかった。1年目の分解が進む季節については、春にはやや遅く1～4%、夏には分解が盛んで7～17%減少し、秋には6～8%の分解がみられた。2年目の分解では、ミズナラが26%分解したのに対し、カラマツ、トドマツは20%と遅い。2年間の分解率では、ミズナラ82%、トドマツ63%、カラマツ61%となり、ミズナラの葉は針葉樹の葉より分解が早いといえよう。しかし、袋の網目が、0.8mm程度と小さく昆虫などの土壤動物が試料の中に入りにくいことから、この実験での分解は実際より遅いものと考えられるが、相対的な遅速の目安といえる。

広葉樹林の上層を占めるのは7樹種であった。どの樹種の葉が良く分解するかをみるため、5月と7月に林床から葉を集め、形状により3区分した。Ⅰは形状にはほとんど変化がないもの、Ⅲを軽薄～網状化したもの、Ⅱをこれらの中間のものとして見分け、葉の分解の遅速を検討した。

図-4に、落葉分解の目視区分を示した。分解の早い樹種はエゾイタヤ、ハリギリで、遅いのはミズナラ、アズキナシ、その中間はシナノキ、ダケカンパであり、広葉樹のなかでも樹種間に違いがある。

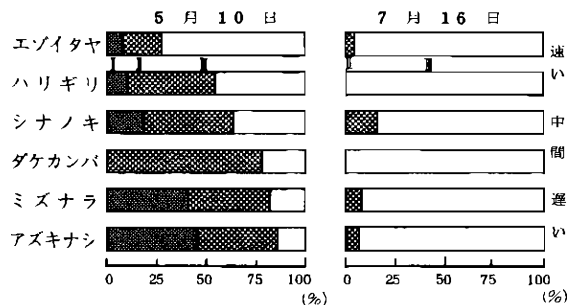


図-4 落葉分解の目視区分
(Ⅰ:新鮮, Ⅱ:中間, Ⅲ:軽薄化・網状化)

森林の土は雨水を吸い込みやすい

森林の貯水機能は大部分土壤の孔隙によって果たされている。しかし、土壤の孔隙中に雨水がスムーズに浸み込まないと、その機能が十分に発揮されない。森林土壤は、表層ほど大きな孔隙が多い構造となっており、豪雨と呼ばれる大雨も浸み込ませる能力をもっている。これに対し、森林以外では、土壤の浸透機能が小さく、地表流が生じやすい。

森林の種類によって雨水の浸み込む量はどの程度異なるだろうか。最表層の土を各プロットで9個ずつ金属円筒に取り、その透水量から浸み込みの良否を調べた。土壤の孔隙は大きいほど大雨のときの排水管としての役割を果たしやすく、大雨の時以外には空になっている。

図-5に、土壤最表層の孔隙組成を示した。森林土壤の大孔隙は容積で13～18%を示すのに対し、草地では6%と少なく、森林と草地では大孔隙に大きな違いがみられた。このような孔隙構造の特徴を反映し、透水量は森林土壤の156～196cc/分に対し、造成後5年の草地土壤では64cc/分と少ない。透水性の良否は、良好:100cc/分以上、中庸:100～50cc/分、不良:50cc/分以下が基準とされているので、森林土壤の透水性は極めて良好であるといえる。

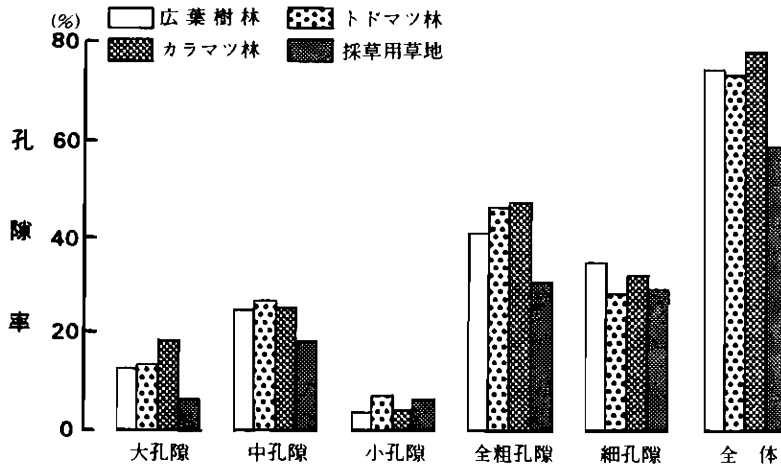


図-5 土壌最表層の孔隙組成

森林の土壌はどのくらい雨水を貯めることができるか

森林土壌の孔隙を大きく分けて、大・中・小・細孔隙の4区分できる。このうち、細孔隙の水は重力的に動かないので、細孔隙は貯水とは無関係とみなせる。また、大孔隙に入った水は速やかに排水されるが、一時的にせよ貯水することができる。したがって、貯水機能は、大・中・小孔隙をまとめた全粗孔隙によって果たされている。そこで、地表から1mまでの深さを貯留タンクと考え、その中に水を蓄えることのできる全粗孔隙によって貯水機能の違いを検討しよう。

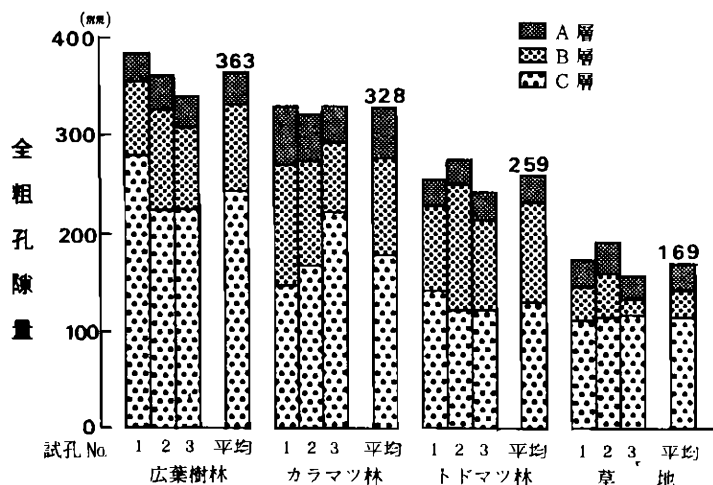


図-6 各プロットの地表より1m深の全粗孔隙量

図-6は、各プロットの地表より1m深の全粗孔隙量を層位別に示した。地表から1m深の全粗孔隙量を層位別にみると、C層が最も大きく、次いでB、A層の順である。このことは、大きな孔隙をもつA、B層よりC層が最も重要な因子となっている。C層とは、土壌表面からの作用が及ばない層を意味するが、森林の根系はC層にも張っているので、森林の効果を検討する場合には、地表から1mの深さで比べるのが妥当といわれる。

各プロット内の3カ所について、地表から1m深の全粗孔隙量を測定した。各プロット内の違いは小さく、平均値をプロットの代表値とみることができる。1m(1,000mm)の深さに貯水できる容量は、平均で広葉樹林363mm、カラマツ林328mm、トドマツ林259mm、草地169mmとなり、貯水機能はこの順で、また、草地は広葉樹林の2分の1以下の貯水しかできないと推定される。

この結果を九州における報告例と比較すると、立地条件が近似するところでは、1m深の全粗孔隙量は約300mmであり、広葉樹林、カラマツ林はこれよりやや大きな値を示した。

水源かん養機能の高い森林はどのような林か

森林の水源かん養機能は、森林土壌のスポンジのような高い浸透能力や貯水能力などにより果たされている。表-2は、孔隙量と透水量から各土壌の水源かん養機能の評価を試みた。指数から判断すると、広葉樹林が水源かん養機能が最も高いことを示している。カラマツ林では、粗孔隙量が広葉樹林の2分の1であるが、全粗孔隙と50cm透水指数(透水量×各土層の厚さ)が大きいことから広葉樹林に次いで機能が高かった。トドマツ林の全粗孔隙・粗孔隙量は、広葉樹林の60~70%であるが、透水指数は林種別にみると小さい。

以上の調査結果では、水源かん養機能の大きい順は、広葉樹林、カラマツ林、トドマツ林、草地である。さらに多くの調査例が得られると、水源かん養機能としての望ましい林の種類が明確にできるだろう。

表-2 試験区別土壌の平均孔隙量と透水量から推定した貯水および浸透機能の評価

試験区名	1mの全粗孔隙量 (mm)	1m深の粗孔隙 (mm)	50cm深の透水係数
広葉樹林	363.4 (100)	225.2 (100)	3,838 (100)
カラマツ林	328.1 (90)	111.2 (49)	2,642 (69)
トドマツ林	258.7 (71)	130.3 (58)	1,346 (35)
採草用草地	169.1 (47)	130.8 (58)	359 (9)

()は最大を100とした場合の指数

森林が草地として利用されたとき水源かん養機能はどう変化するか

草地は広葉樹林を伐採しブルドーザで地はぎして造成されたので、広葉樹林と草地の土壌の水源かん養機能を比較した。貯水機能の指標としての深さ1 mまでの全粗孔隙量は、広葉樹林の363 mmに対して草地は約2分の1の169 mmである。さらに浸透機能としての50 cm透水指数は、広葉樹林の3,838に対して約10分の1の359である。このことは、草地への転換によって水源かん養機能が低下することを示す。特に浸透機能の低下が著しいことから、洪水防止効果が激減すると推定される。

おわりに

水源かん養機能の大きな部分を占める森林土壌は、長期間にわたって森林がつくりあげてきたものである。すなわち、多量に供給された落葉・落枝は、生物が活動するために必要な有機物の供給源となり、その結果、軟らかい土壌が深くまでつくられた。こうした孔隙構造を、雨滴の浸食や乾燥による破壊から保護しているのも森林である。

森林の水源かん養機能は、地形、地質、土壌、林相、さらには気象要因など多岐にわたる因子が複雑に関係しているため、その定量化のために基礎資料の収集、集積が重要となる。

このため、特定の数値だけでは定量化は難かしいが、ここで紹介した調査からも森林による水源かん養機能の一端を知ることができよう。

(土 壌 科)