

管理状態の異なるモウソウ竹林の地表流と浸透能の観測

小倉 晃*・江崎功二郎・恩田裕一**

要旨: 放置拡大しているモウソウチク林の水土保持機能について、管理状況が水土保持へ与える影響を明らかにするため、金沢市坪野町の竹林において、降雨時に発生する地表流量の観測と人工降雨装置を使った最大浸透能の測定を行った。測定を行った竹林は、同一斜面に間伐区、放置区、スギ林に竹が侵入した侵入区である。計測の結果、地表流の発生量は連続降雨量と正の相関が見られた。最大浸透能は間伐区>侵入区>放置区となった。また、林床には腐った桿や止まり竹の子由来の無数の穴があり、これらが地表流や浸透に及ぼす可能性が示唆されたが、どの程度影響しているかはわからなかった。

キーワード: 放置竹林、地表流、最大浸透能、浸透能、表土浸食

I はじめに

近年、モウソウチク林の放置拡大が進み、社会的な問題となっており、石川県も例外ではない状況である。竹林の拡大速度は、全国的に平均 1.03 ha/(ha year) (篠原ら、2015)、石川県金沢市では 2.7m/年 (宮坂ら、2009) と報告されている。竹林の拡大分布が隣接する森林や景観に与える影響は広く認識されている。竹林の水土保持に関する公益的機能は低いと言われているが、篠原ら (2015) が既往の研究成果を取りまとめたところ、これまでの推察に反して、モウソウチク林は、他の森林タイプと比較し、洪水、渇水、表層崩壊、表面侵食のリスクが低いとも言われている。しかし、竹林の水土保持機能については未解明な部分が多く、定量的な評価をするには至っていない。そこで、本研究では、竹林が水土保持機能に及ぼす影響を明らかにするため、竹林の降雨時に発生する地表流と人工降雨試験による最大浸透能を測定した。

本/ha であった。なお、雨量観測については侵入区から 50m ほど離れた林道脇の開けた場所に一転倒 0.5mm の転倒ます型雨量計 (佐藤計量器 R1-501) を設置し、10 分間隔でデータロガー (TandD アメンボ RF-3) に記録した。

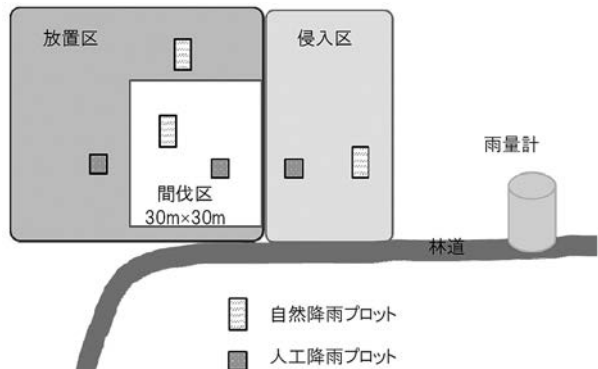


図-1 調査地の概要

II 方法

1 調査地の概要

調査地は金沢市坪野町の放置されたモウソウチク林と隣接するスギ林である。竹林には間伐区、放置区の 2 プロット、竹が侵入したスギ林には侵入区の合計 3 プロットを設置した (図-1)。いずれのプロットも同一斜面に、山側から林道沿いに放置区、間伐区、侵入区と並んでおり、プロット間の距離は 100m 以内と非常に近いことから、降雨強度、降雨量、降雨時間、地質、土質等の条件は同一と考えられる。

間伐区は 30×30m のプロットを設置し、2009 年 12 月に本数率で 61% の間伐を行った。間伐区の平均胸高直径は 9.1cm で、密度は 2,500 本/ha となり、間伐後に発生した竹の子は全て刈り取っている。放置区は平均胸高直径が 8.9cm、密度 7,800 本/ha であった。侵入区は間伐区に隣接するスギ林で、スギの平均胸高直径は 20.5cm、平均樹高 14.4m、密度 1,200 本/ha であり、侵入した竹の平均胸高直径は 9.9cm、平均樹高は 9.7m、密度 4,100

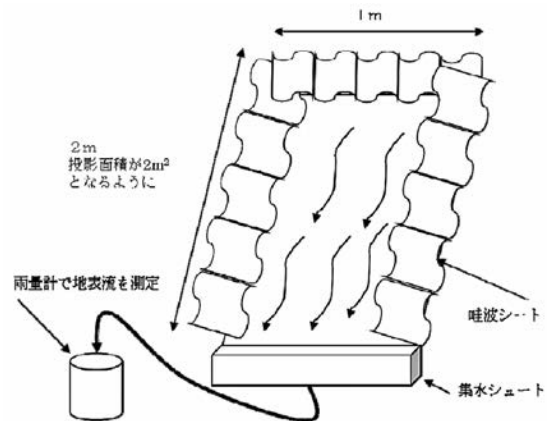


図-2 地表流の観測方法 (自然降雨)

2 地表流の観測方法

間伐区、放置区、侵入区に幅 1m とし、各プロットの降雨流入量が変わらないようにするため鉛直投影面積が 2m² となるように斜面長を設定した集水枠を設置した (図-2)。設置した各プロットの

*石川県県央農林総合事務所

**筑波大学

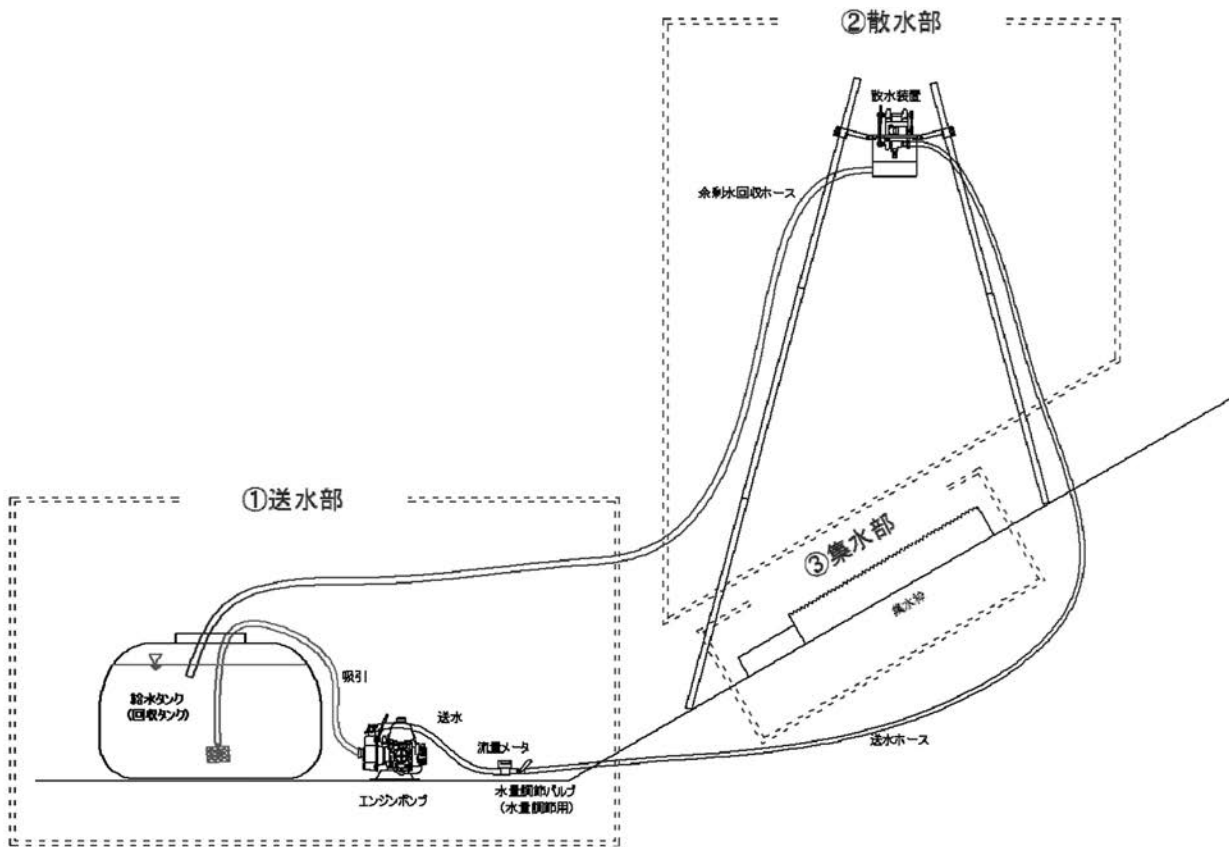


図-3 振動ノズル式散水装置（人工降雨）

傾斜は、間伐区が 40° 、放置区が 42° 、侵入区が 44° であり、傾斜による地表流への影響をできるだけ小さくした。藏本ら（2011）は竹林の地表流の観測に幅 1m 斜面長 2m の観測プロットを設置し、樹幹流を考慮するためにプロット上部に竹を 1 本入れている。本調査地は多雪地域の放置竹林のため、多数の竹が雪害により鉛直方向ではなく、斜面下方へ傾いて立っている。よって、立木間で樹幹流は大きく異なることが予測されることから、観測プロットには竹を入れなかった。

集水枠は幅 30cm の波板を地中に 10cm 程度打ち込み、下辺を除き囲った。下辺は 10cm 程度の断面を作り、深度 5cm 程度の箇所にアルミ製の集水トレーを差し込み、流水がスムーズに流れるように勾配を設けて設置し、末端部にはホースを設け一転倒 0.5mm の転倒ます型雨量計（同型）につなぎ、同様にデータロガー（同型）に記録した。集水トレーには直接雨水が入らないように上部にフタを設けている。また、雨量計に流水中の土砂が入らないように、フィルターと溜め瓶で土砂と雨水を分離した。なお、計測期間は 2011 年 6 月 1 日から 2011 年 11 月 28 日までであり、放置区は 8 月 25 日から 9 月 28 日が欠測、侵入区は 6 月 1 日から 6 月 8 日が欠測している。

3. 林床被覆率の観測法

各集水枠の下層植生被度、リター被度の測定はポイントカウンティング法（三浦、2000）によ

て測定した。測定箇所は集水トレー直上と中央直上を幅 1m について測定した。今回使用した枠は $50 \times 50\text{cm}$ に 100 ポイントの交点がある。1 集水枠あたり、4 箇所行っているの、合計 400 ポイントとなる。それぞれのポイントの直下が「植物、リター、地面、石」のいずれかを判断し、各集水枠の被覆率を判断した。なお、本調査は 2 週間程度から 1 ヶ月毎に行い、測定期間中には合計 9 回行った。

4 最大浸透能の測定法

1) 最大浸透能調査方法

浸透試験には、振動ノズル式散水装置（加藤 2008）を用いた（図-3）。各プロットに地表流観測プロットとは異なる場所に水平投影面積が 1m^2 となるように地表流プロットと同様の方法で、下方を除く 3 辺を畦波板で打ち込み囲い、枠の斜面下端にアルミ製の集水トレーを設置し、枠内の地表流を集水した。トレーの末端部にホースを設け、メスシリンダーに回収した水の量を 1 分毎に測定した。また、流出水中に含まれる流出土砂量を測定するために、計測後の流出水を開始から 5 分毎に回収し、回収した地表水は 5 分毎にボトルに集め、よく攪拌した後、1 1/2 サンプルングし、サンプル中の土砂量を乾燥し測定した。なお、振動ノズル式散水装置は枠中心から高さ 2m のところに設置し、各プロットの傾斜は、間伐区 42° 、放置区 38° 、侵入区 38° であった。降雨時間は間伐区

が 21 分間、放置区が 22 分間、侵入区が 20 分間である。試験終了後に降雨強度を算出するために枠内に不透水性シートを張り 5 分間散水を行い、枠内への流入量を測定した。また、集水枠内の下層植生およびリターは全て回収し、乾燥し、重量を測った。なお、本試験は、下層植生の繁茂が最盛期を迎え、落葉期が終了したと考えられる 2011 年 9 月 8 日に行った。

2) 最大浸透能調査方法解析方法

人工降雨を用いた浸透能試験は送水量・流出量の差から浸透強度を算出することができる。田中ら (2007) によると、振動ノズル式降雨実験装置を用いた降雨強度と浸透強度の関係は、次式に示す双曲線によく表せることを示した (式 (1))。

$$\text{終期浸透強度} = \alpha \times \tanh(\text{降雨強度} \div \alpha) \quad (1)$$

ここでの α は最大浸透能である。浸透強度は時間の経過とともに一定の値に近づいていくため、実験終了直前の安定した浸透強度を平均することで、各試験区の終期浸透強度を算出することができる。最大浸透能は降雨強度を十分に大きくした時に想定されるその地点の最大の浸透強度のことである。最大浸透能は (1) 式に雨量換算した送水量と終期浸透強度を入力し、逆算することで算出される。また、土砂流出量は、流出量と流出土砂濃度から算出した。

III 結果

1 地表流量の観測結果

1 回の降雨イベントを宮田ら (2009) にならって「無降水期間 10 時間以上で挟まれた降水」と定義した。降水量が 5mm 以上の降雨イベントは 30 回、期間中の 5mm 以上の降雨イベントの総降雨量は 1,040mm、最大連続雨量 247.5mm、最大降雨強度は 16.5mm/10min、平均降雨量 34.7mm、平均降雨強度 5.8mm/hr であった。連続降雨量と地表流の関係を図 4 に示した。各プロットとも連続降雨量と地表流に正の相関が見られた。降雨に対する地表流発生状況について見てみると、表面流量率は間伐区が 3.7%、放置区が 4.0%、侵入区が 3.3% であった。放置区に欠測があり、欠測期間前の 6 月 8 日から 8 月 25 日を計測期間の前期とし、欠測期間後の 9 月 28 日から 11 月 28 日を後期とすると、前期の表面流量率は間伐区が 3.9%、放置区が 4.3%、侵入区が 3.3% であったが、後期の表面流量率は間伐区が 3.2%、放置区が 3.5%、侵入区が 3.3% と、侵入区で前期・後期の表面流量率は変わらなかったが、間伐・放置区では前期に表面流量率が大きく、地表流の降雨イベントへの対応がわずかではあるが変化して現れている (図-5)。また、前期最大総雨量である 8 月 18 日 (図-6) と後期最大総雨量の 11 月 20 日 (図-7) の降雨に対する地表流発生状況を比較すると、前期は放置区で顕著に反応していたものが、後期には侵入区が顕著に反応している。

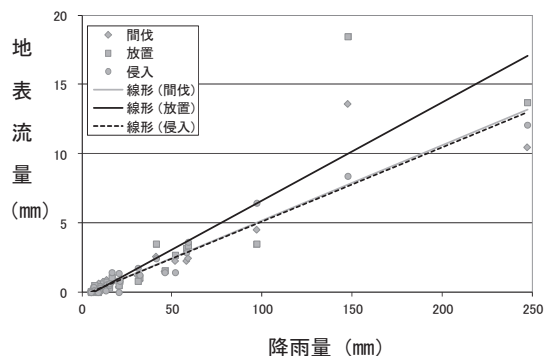


図-4 降雨量と地表流量の関係

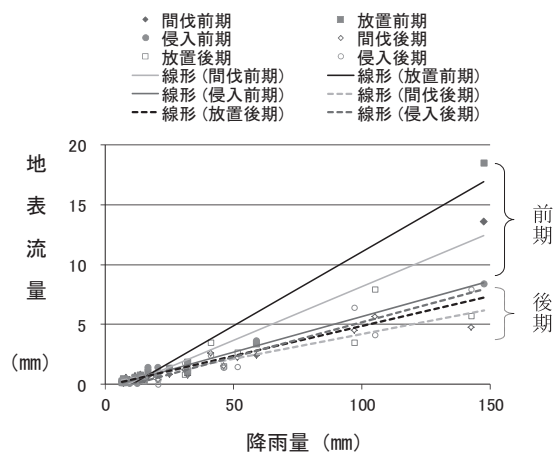


図-5 前期と後期の降雨量と地表流量の関係 (前期は実線、後期は点線)

2 林床被覆率の変化

間伐区の下層植生の被覆率は、測定初期は 40% 程度であったが、夏には 60% となり、晩秋には 15% 程度になった。リターは概ね地面を覆っており、リターの被覆変化は、下層植生の被覆率に影響されている。裸地部分に関しては、ほとんど見られない。放置区の下層植生被度は、2% から夏に 10% 程度となり、晩秋に 5% と変化した。リターは概ね地面を覆っており、裸地部分は数% 程度であった。侵入区の下層植生被度は、25% から夏に 40% 程度となり、晩秋に 10% 程度と変化した。リターは概ね地面を覆っていた。裸地部分は数% 程度であったが、晩秋にかけて 8% まで増え、リターがある程度流出した模様である。

3 最大浸透能

各プロットに散水した水量を雨量換算すると、間伐区で 205mm/hr、放置区で 185mm/hr、侵入区で 198mm/hr であった。散水量から地表流量を引き、浸透量を雨量換算した測定結果を式 (1) に当てはめ、逆算することで算出された各プロットの最大浸透能は間伐区 460.1mm/hr、放置区 324.8mm/hr、侵入区 375.7mm/hr であった。また、土砂濃度は間伐区で 0.90g/ℓ、放置区で 0.27g/ℓ、侵入区で 0.25g/ℓ、これから算出される降水量 1mm あたりの土砂流出量は間伐区で 0.49mg/m²/mm、放置区で

0.38 mg/m²/mm、侵入区で0.30 mg/m²/mmであった。なお、各集水枠中の下層植生、リターの乾燥重量は、間伐区 319g/m²と 503g/m²、放置区 107g/m²と 785g/m²、侵入区 94g/m²と 1,342g/m²であった。なお、各プロットのリター被覆率は100%で、下層植生被覆率は間伐区が80%で、タニウツギ、シシガシラ、チヂミザサ、シダ sp、シソ科 sp 等、放置区が55%で、モミジイチゴ、チヂミザサ、シダ sp 等、侵入区は10%で、ムラサキシキブ等が見られた。

4 林床の大型の孔隙

地表流観測箇所のリターを剥ぎとった地表面には、間伐区で直径6~12cmの大型の孔隙(穴)が7個、放置区で直径2~5cmの穴が10個、侵入区で直径11~12cmの穴が2個観測できた。また、散水試験箇所のリターを剥ぎとった地表面には、間伐区で直径1.5~5.5cmの穴が13個、放置区で直径2~4cmの穴が7個、侵入区で直径2.5~5.5cmの穴が3個見られた(図-8)。これらは、竹の桿が腐ったものか、止まり竹の子由来のものかは不明であるが、いずれの穴も10cm程度の深度は十分に確認できた(図-9)。

IV 考察

1 地表流と林床被覆率

間伐区と放置区の総地表流量を比較すると間伐区が10.6mm少ない。間伐区と放置区は元々同じ放置竹林で有り、間伐区は放置林を2009年12月に間伐し約1年半から2年経過しているが、間伐区と放置区の土壌に大きな違いがあるとは考えにくい。また、Onozawa et al (2009)によるとモウソウチク竹林の遮断蒸発量は広葉樹や針葉樹と比べて小さいことから、間伐による地表到達雨量へおよぼす影響は少ないとも考えられる。よって、間伐区と放置区で地表到達雨量が同じとすると、地表流量(浸透量)の差に影響を及ぼした要因は下層植生の被覆率の差であると考えられる。また、竹林(間伐区、放置区)と竹侵入スギ林(侵入区)では、間伐区と放置区の竹林では表面流率や降雨イベントに対応する地表流の応答が計測前期と後期で異なるが、侵入区ではその応答の変化がほとんど見られない(図-5, 6, 7)。よって、降雨イベントに対応する地表流の応答が計測時期によって異なる現象は竹林特有の反応と考えられる。小倉

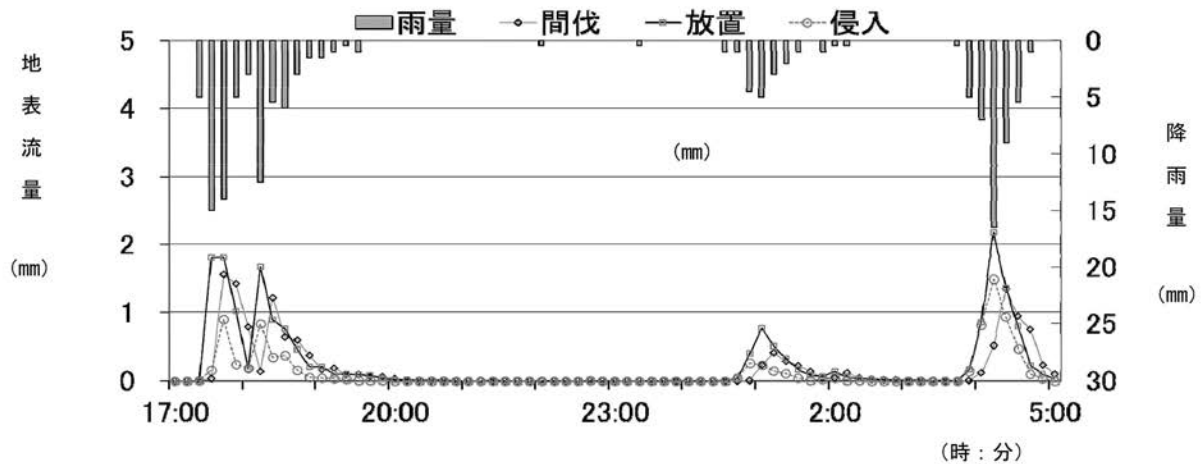


図-6 8月18日(前期)の降雨量と地表流量の関係

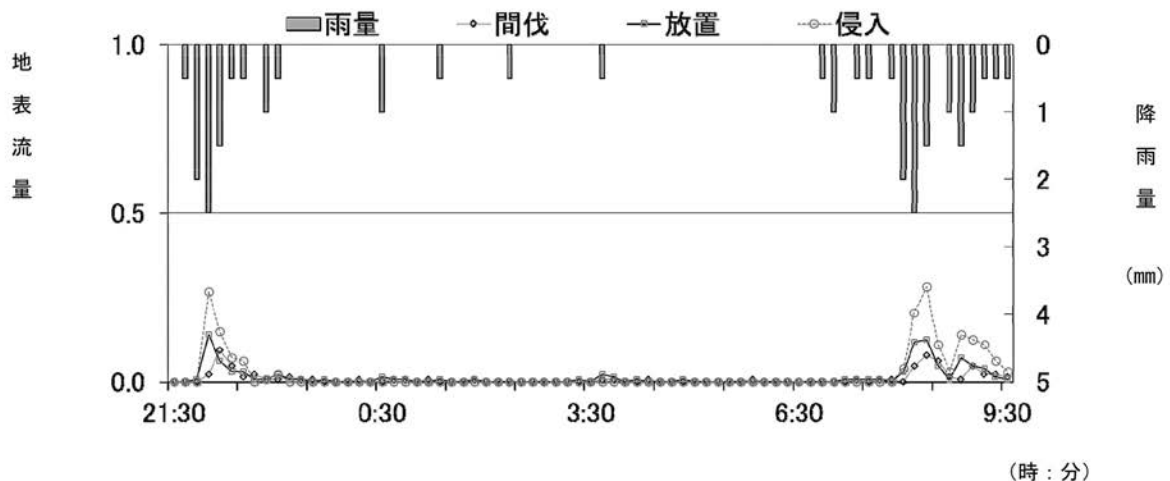


図-7 11月20日(後期)の降雨量と地表流量の関係

斜面上部

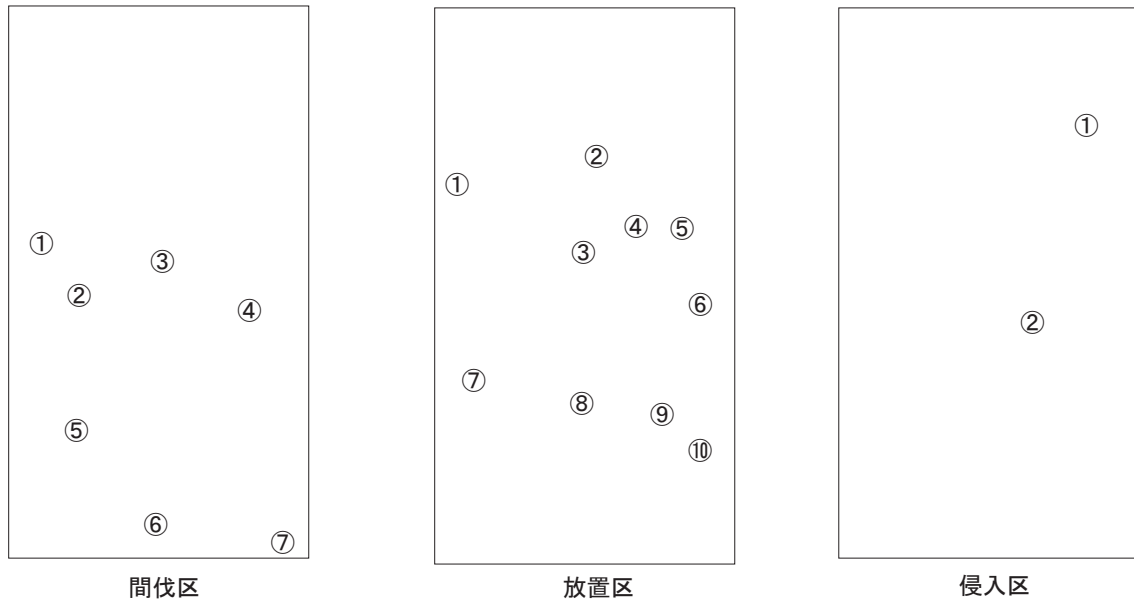


図-8 林床の巨大孔隙（穴）の位置と数（自然降雨プロット）

斜面上部

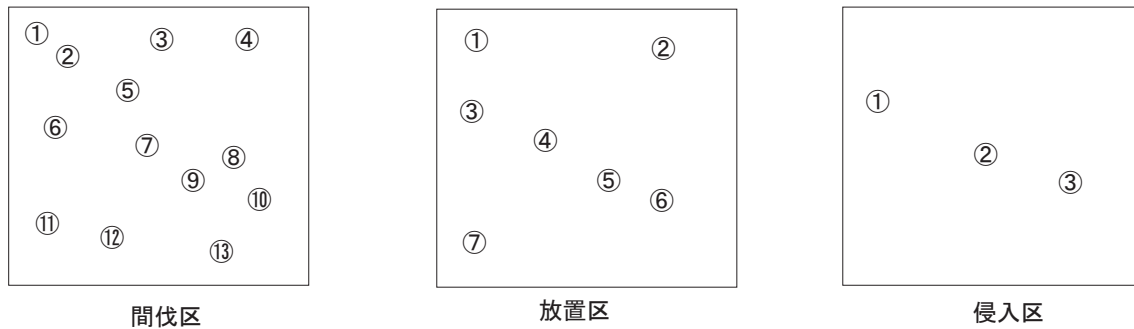


図-9 林床の巨大孔隙（穴）の位置と数（人工降雨プロット）

ら（2010）によると、7月下旬のスギ林とモウソウ竹林の地表流の観測によると、降雨イベントに対する地表流の応答は、竹林で顕著に現れ、スギ林ではそれほど顕著ではないとしている。このように竹林で地表流の反応が季節によって異なるのは、竹林の落ち葉が原因と考えられる。竹の落ち葉は5月～7月にかけて起こるため、新鮮な落ち葉によって、地表流が流れやすい状況になったと考えられる。

各プロットにおける地表流観測期間中の下層植生被覆率変化は、季節的な変化が認められた。リターの被覆変化は、下層植生が上を覆っていることによる変化であり、概ね地表を覆っており、その変化は目視では判断出来なかった。また、下層植生の季節的な被覆変化が地表流量に与える影響は、降雨量が小さいため、その影響はわからなかったが、間伐区と放置区では下層植生の密度の差によって、浸透能の影響があったと考えられる。

よって、間伐による下層植生の回復は水土保持機能が高まることになる。

2 最大浸透能

各プロットの最大浸透能と(1)式から算出される降雨強度と浸透強度の関係を図-10に示す。同様の散水試験を行った山口県の結果（山口県、2009）と石川県の結果（小倉ら、2012）と比較すると、今回の結果は高い最大浸透能を示している。同様の現地散水試験をヒノキ林で行った加藤ら（2008）によると下層植生の少ないヒノキ林ではリター量が増加するに連れて最大浸透能が高くなる関係の結果を示している。また、林床被覆率が高くなると土砂流出量は減少している。しかし、今回の場合、各プロットのリターによる被覆率は概ね100%であることから、比較できない。小倉ら（2012）によると、スギ、アテ林で行った同様の現地散水試験では、下層植生とリターの総乾燥重量が最大浸透能と概ね相関があるとしている。今

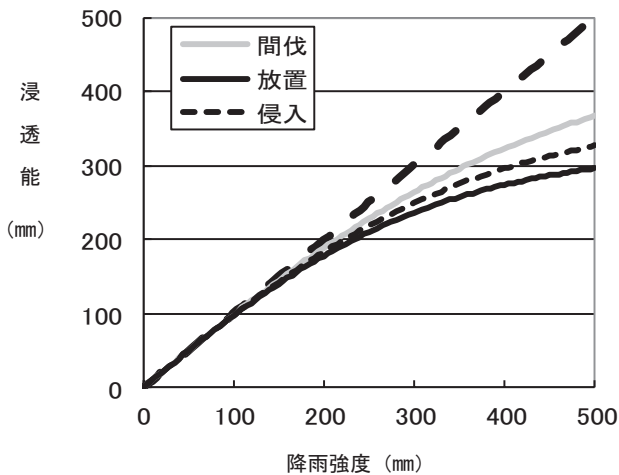


図-10 降雨強度と浸透能の関係
(太い間隔の大きい破線は1:1を表す)

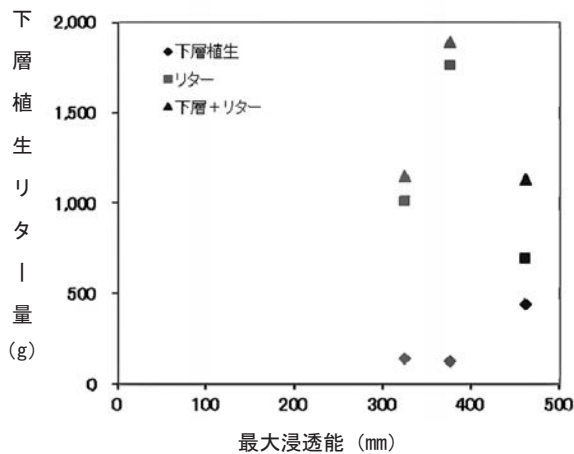


図-11 最大浸透能と下層植生、リター量の関係
(左から、放置区、侵入区、間伐区と並ぶ)

回は3調査だけではあるが、下層植生・リターの被覆率や下層植生・リターの乾燥重量と最大浸透には関係が認められない(図-11)。また、今回は同一斜面で傾斜も同程度で試験を行ったことから土質や傾斜の違いによる影響は非常に少なく、降雨強度は185~205mm/hrという非常に強い雨を20分程度降らしたことから、間伐区と放置区においては下層植生の差が浸透能に影響を与えたと考えられるが、侵入区については、竹林とスギ林のリター層を含めた土壌の差であると考えられる。

また、土砂流出量に関しては、山口県(山口県、2009)と石川県(小倉ら、2012)の既存結果と比較すると、本調査の結果はそれらの範囲内であり、ヒノキよりは少ないが、スギ・アテと同程度であり、表面浸食のリスクは低いと考えられる。

3 林床の大型孔隙と浸透

各試験箇所は十数メートルしか離れておらず、地質・傾斜は同条件であり、下層植生・リターにも大きな違いがあるとは考えにくい。地表流の観測枠内の大型孔隙(穴)は、期間中の降雨イベン

トの雨や散水した水を全て浸透させるだけの十分な直径である。よって、竹林の降雨の浸透や最大浸透能に及ぼす影響の要因の一つにこれらの穴が関与している可能性があると考えられた。しかし、穴の位置はばらけており、リターで覆われており、各プロットの地表流量率の低さも似ていることから、すべての地表流が穴に浸透したわけでもない。また、藤原ら(2016)が竹林への色素トレーサーの散水試験によると雨水は腐植根、活性根、亀裂に沿って移動し、深度30cmまでに色素が集中していたことなどから、竹林の浸透は、穴も関与しているが、腐植根、活性根、亀裂が大きく影響していると考えられる。これらのことから、竹林の水土保持機能を表面流出量の観測結果によって評価することは難しいと考えられる。

V まとめ

本研究では、モウソウ竹林の管理の状態によって、浸透能がどのように変わるかを見てきた。結果、モウソウ竹林においても下層植生が繁茂する林床状態の方が地表流発生量は抑えられた。竹林の地表流発生パターンは落葉期直後とその他の季節では、発生パターンが異なることがわかった。また、今回測定したモウソウチクが侵入してきたスギ林の地表流の発生パターンは、竹林とは異なり、季節的な変化は見られなかった。竹林自体の地表流量は他の森林タイプと比べ小さい部類に入った。しかし、竹林林床には腐った桿や止まり竹の子由来の無数の穴があることも影響し、竹林の水土保持機能は地表流量が小さいだけで、竹林全体の水土保持機能はどのくらいかは不明である。今回は、管理状態が異なる竹林と竹が侵入してきたスギ林の地表部分について調査しただけである。今後はバイオマットフローや竹林全体の貯留量を考慮した観測や流域単位で竹林の水土保持機能を考えなければならない。

引用文献

- 藤原洋一・両角圭祐・高瀬恵次・百瀬年彦・長野峻介・一恩英二(2016) 竹林拡大が土壤物理性および積雪・融雪に及ぼす影響. 農業農村工学会論文集 303: II 87-II 94
- 加藤弘亮・恩田裕一・伊藤俊・南光一樹(2008) 振動ノズル式降雨実験装置を用いた荒廃ヒノキ人工林における浸透能の野外測定. 水文・水資源学会誌 21(6): 439-448.
- 藏本康平・篠原慶規・小松 光・井手淳一郎・大槻 恭一(2011) モウソウチク(Phyllostachys pubescens) 林における降雨流出過程の解明に向けてー地表流とバイオマットフローの観測ー. 水文・水資源学会誌・24(6): 360-368.
- 三浦覚(2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林

床被覆率の実態調査. 日林誌 82:132-140
宮坂聡ら (2009) 金沢市の里山地域における竹林拡大状況把握手法の研究. 日本写真測量学会平成 21 年度年次学術講演会論文集.
小倉 晃・江崎功二郎 (2010) : 放置竹林とスギ林における地表流の比較・石川県林業試験場研究報告 42:4-5.
小倉晃ら (2014) 環境モニタリング水土保全機能調査-振動ノズル式降雨実験装置を用いた浸透能野外調査-. 石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 44:1-17
Onozawa・ Y.・ Chiwa・ M.・ Komatsu・ H. and Otsuki・ K. (2009) : Rainfall interception in a moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*)

forest・ Journal of Forest Research・ 14(2):111-116.
篠原慶規・久米朋宣・市橋隆自・小松 光・大槻恭一 (2014) :モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響-総合的理解に向けて-・日本森林学会誌・96(6):351-361.
田中茂信・年岡利和 (2007) 現地散水試験による流出、浸透特性の把握手法に関する検討. 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集 2-003:5-6.
山口県 (2009) やまぐち森林づくり県民税関連事業評価報告書