

令和元年6月9日現在

機関番号：23303

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05632

研究課題名(和文)放棄竹林の拡大と気候変動の複合作用が森林流域の洪水・渇水流量に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Effects of Bamboo forest expansion and climate change on flood and drought runoff in forested catchments

研究代表者

藤原 洋一 (FUJIHARA, Yoichi)

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：10414038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,700,000円

研究成果の概要(和文)：竹林拡大が積雪融雪、土壌物理性におよぼす影響について検討した。根量が増加すると同一サクシオン時の体積含水率が減少し、保水性は低下することが分かった。色素トレーサー実験では、雨水が根、亀裂に沿って移動し、竹林拡大区では深さ30cmまでに着色が集中していることが観測された。さらに、気候変動と竹林拡大が同時に進行すると、気温上昇の影響に加えて樹体からの長波放射も増加することで、放棄竹林内の融雪が促進され消雪はいっそう早まることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

竹林と針葉樹林における雨水流出経路に違いが見られることから、竹林拡大によって洪水・渇水緩和機能にも影響が現れる可能性が高い。さらに、気候変動にともなう気温上昇によって流域内に蓄えられる積雪が減少するだけでなく、樹体からの長波放射が増加することによって融雪が促進され消雪が早まることを示した。これらの情報は、災害に強い森林づくりを進めるのに際して活用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We investigated the effects of the expansion of Bamboo forest and climate change on flood and drought runoff of forested catchments. As root mass increased, volumetric soil water content at the same soil matric potential decreased. Therefore, we concluded that soil water retention was reduced as the Bamboo forest expanded. Dye tracer experiments demonstrated that water moves through roots and soil cracks, and the dye was observed in the soil from the surface to a depth of 30cm. As climate change and Bamboo forest expansion continue, long wave radiations emitted from trees increase, resulting in earlier snow disappearance than that of current conditions in conjunction with temperature increases.

研究分野：水文学

キーワード：気候変動 竹林拡大 土壌物理性 積雪 融雪 シミュレーション 森林水文 洪水・渇水

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、里山・里地においてモウソウチク林が手入れされずに放棄され、さらに、隣接するスギ、ヒノキ林や広葉樹林に侵入している状態が日本各地で見られるようになってきている。このようなモウソウチク林の侵入、拡大によって、健全な森林の有する洪水緩和機能、湧水緩和機能が低下することが懸念されている。竹林拡大が森林の有する水土保持機能におよぼす影響を明らかにしようとする研究事例はあるものの、他樹種との違いは未だ明確ではないのが実状である。とくに、降雨流出特性に関しては、表面流出量の測定に関する研究が中心であることから、土壌の透水性・保水性に関連した土壌物理性の違い、土壌中の雨水流出経路の特徴、流域単位での流出特性などを明らかにすることが残された重要な研究課題となっている。さらに、モウソウチク林が放棄されると立木密度が高くなり積雪・融雪にも影響を及ぼすことが予想されるが、これまでの研究事例は南西日本に偏っており、積雪地帯における研究事例は皆無であることから影響の実態は不明である。竹林拡大は、高齢化、過疎化による管理不足が主要因であるが、温暖な気候を好むモウソウチクの特性を考えると、今後の気温上昇によって北方に拡大する可能性も高く、竹林拡大が積雪・融雪に及ぼす影響を明らかにしておくことは重要である。

### 2. 研究の目的

- (1) 放棄竹林の拡大が乾燥密度や透水性・保水性などの土壌物理性におよぼす影響について調査し、さらに、土壌内部における雨水の流出経路について色素トレーサーを用いた散水実験により検討する。
- (2) 竹林拡大が積雪期間や積雪深といった積雪・融雪過程におよぼす影響について検討する。また、森林内外で積雪・融雪の観測を行い、さらに融雪過程をモデル化することで、立木密度の変化が積雪・融雪過程におよぼす影響を解析する。

### 3. 研究の方法

(1) 調査対象地は、石川県金沢市角間町にある金沢大学角間キャンパス内の里山ゾーンとした。この里山ゾーン内に、4プロット(落葉区、竹林拡大区1~3)の調査地点を設定した。落葉区はアベマキを主体とする落葉樹林内、拡大区1~3は落葉樹林にモウソウチクが拡大・侵入している林内にそれぞれ設置した。各プロットの土壌採取は、頂点および対角線の交点上の5地点とした。深度は、0~5cm、15~20cm、40~45cmである。試料を実験室に持ち帰り、乾燥密度、根量、透水係数を測定した。吸引法によりサクシオン0、-20、-30、-50、-100cm時の体積含水率を計測して水分特性曲線を作成した。土壌撥水性の測定には、土壌の上に水滴を落として侵入するまでの時間を測定する、water drop penetration time (WDPT) 試験を採用した。さらに、土壌中における雨水の移動経路を比較するために、色素トレーサーを用いた散水試験を行った。試験場所は、落葉区と拡大区1に隣接しており、これらのプロットの状態とおおよそ類似している斜面(傾斜:約25度)とした。色素トレーサーを散水する範囲は縦100cm×横40cmの長方形とし、散水強度は51~84mm/hourという強雨条件とした。散水の翌日、プロットの土壌断面が見えるように片側を約60cm掘削して、着色した雨水の流出経路を調査した。さらに、デジタルカメラを用いて土壌断面を撮影した。

また、各プロットにおいて積雪深、積雪期間を観測し、竹林拡大が積雪融雪に及ぼす影響を評価した。積雪深の観測は、簡易な標尺を取り付けた木製ポールを各プロット内に設置し、このポールが見える位置にインターバルカメラ(brinno社TLC200)を設置して自動撮影を行い、この画像データから積雪深を読み取ることで行った。また、積雪期間の測定は、小型温度データロガーによる温度測定結果を利用して行った。

(2) 石川県林業試験場(石川県白山市、標高220m)を対象地とし、林外と林内(開空度:48.9%、LAI:0.916)の観測地を1地点ずつ設けた。そして、それぞれの観測地において、気象、積雪深、積雪密度を観測した。さらに積雪深、積雪密度からは積雪水量を算定し、森林内外の積雪量を比較検討した。気象項目は、風速、気温、湿度、日射、純放射、降水量、地温、地中熱流である。積雪面における熱収支解析 気象の測定結果から、融雪を促進・抑制する融雪エネルギーを算出し、森林内外の積雪面における熱収支特性を検討した。積雪面に熱エネルギーが入射する方向がプラス、積雪面から熱エネルギーが放射する方向をマイナスとなり、融雪エネルギーがプラスの場合に融雪が促進され、マイナスの場合に抑制される。解析した熱収支の構成成分は、純放射、顕熱、潜熱、地中熱流、雨滴の熱エネルギーの5項目である。融雪モデルによるシミュレーションについては、森林密度の指標としてLAIを使用し、風速、日射などの林内の微気象を林外の気象データから推定する計算方法を考案した。さらに、推定した林内の微気象から、森林状態が変わった場合の融雪過程を再現可能な森林内融雪モデルを構築した。

### 4. 研究成果

(1) 落葉区と拡大区における乾燥密度は表層土壌において大きな違いが見られ、落葉区では $0.76\text{g}/\text{cm}^3$ 、拡大区1~3では $0.51\sim 0.68\text{g}/\text{cm}^3$ であった。また、根量に関しては、落葉区で $0.16\text{g}/100\text{cm}^3$ 、拡大区1~3では $1.16\sim 1.87\text{g}/100\text{cm}^3$ となっており、表層土の根量の違いによって、乾燥密度といった基礎的な土壌物性に違いが現れていることが分かった。吸引法による保水性試験から水分特性曲線を作成した(図1)。これをみると、サクシオンが-20cmの時点で

違いが現れ始めており、落葉区よりも拡大区 1~3 の体積含水率が低い。サクシオン - 100cm 時点における体積含水率を比較すると、落葉区では 64.3% であるのに対して、拡大区 1 では 61.2%、拡大区 2 では 56.9%、拡大区 3 では 55.1% となっており、落葉区よりも拡大区で保水性が低くなっていることが分かる。WDPT 試験による土壌撥水性の比較結果からは、落葉区では体積含水率が 20% 前後まで乾燥してもあまり撥水性が出現しなかったのに対して、拡大区 1~3 では体積含水率が 30% から低下すると急激に強い撥水性が出現していることが分かった。

色素トレーサーを散水した土壌断面を (図 2) に示す。これを見ると、落葉区は比較的広い範囲に色素が分布している。また、腐食した根や孔隙だけでなく、活性根の存在している場所にも色素が付着しており、深度 60cm 付近にも着色した水が届いている。一方、拡大区 1 では表層から 30cm までの深さに色素が集中しており、地下茎や活性根によって形成されたと考えられる亀裂といった特定の場所に着色が集中していることが観測された。拡大区の積雪期間は落葉区よりも 6 日 (約 14%) 短くなり、拡大区 1 の最大積雪深は 5cm (約 14%) 小さくなった。さらに、積雪深の差の最大値は 9cm で、積雪の密度を  $0.3\text{g/cm}^3$  とすると積雪相当水量で 27mm の差が生じたことが分かった。

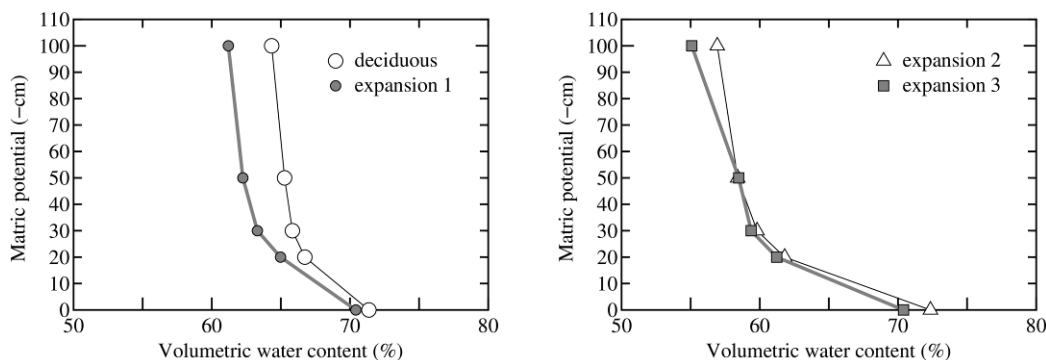


図 1 水分特性曲線の比較。左：落葉区、拡大区 1、右：拡大区 2、3

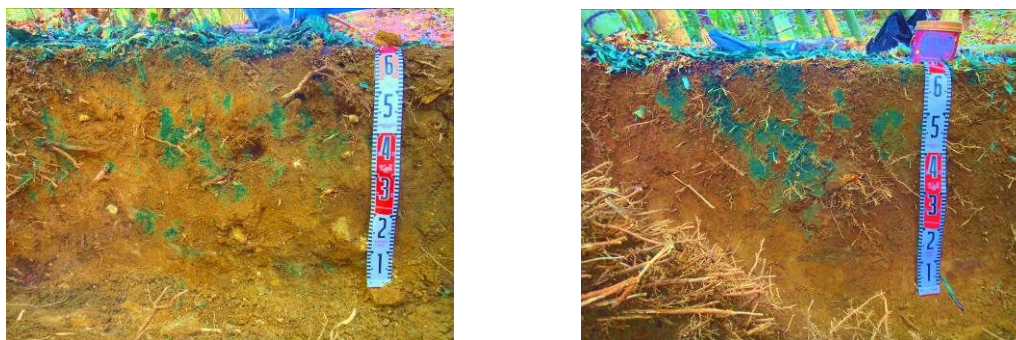


図 2 色素散水後の土壌断面。左：落葉樹、右：放棄竹林

(2) 林外と林内における消雪日を比較したところ、林外と林内の消雪日は空間的バラツキを考慮するとほとんど同じであった。しかし、林内では樹冠遮断によって積雪水量が林外の 70% に減少したものの、融雪期 (2 月 14 日から 3 月 25 日) における融雪速度は林内の方が林外より遅くなった。この要因について熱収支の解析結果から考察したところ、林内では風速が林外の約 50% に、日射量が約 70% に減少し、顕熱、純放射の融雪エネルギーが抑制されることで融雪速度が遅くなることが明らかとなった (図 3)。本研究の熱収支解析結果を全国各地の事例と比較すると、地域の気象条件によって熱収支特性が大きく異なることが分かった。そこで、放棄竹林の拡大を想定して、森林の状態が変化した場合における積雪量を森林内融雪モデルによってシミュレーションした結果、放棄竹林の拡大によって (LAI が大きくなるにつれて) 消雪日が早まることが分かった。(図 4)。さらに、気候変動にともなう気温上昇を想定し、気温を 3 高くした場合の積雪・融雪のシミュレーションを行った。その結果、気温上昇の影響に加えて、樹体からの長波放射が増加することで、放棄竹林内の消雪日はいっそう早まることが示唆された。

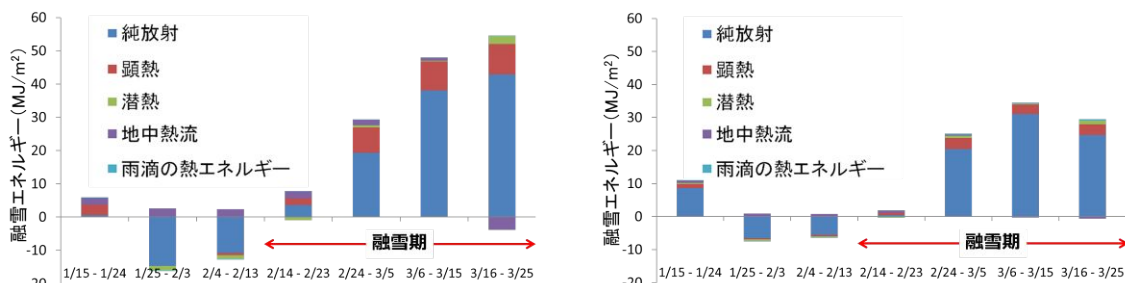


図 3 林外と林内の熱収支の違い。左：林外、右：林内

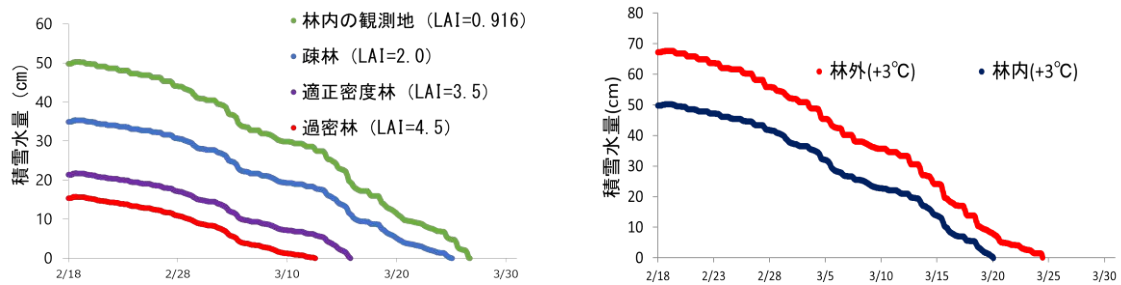


図4 森林の状態が変化した場合(左) 気温上昇時(右)

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計4件)

Yoichi Fujihara, Keiji Takase, Shunsuke Chono, Eiji Ichion, Akira Ogura, and Kenji Tanaka: Influence of topography and forest characteristics on snow distributions in a forested catchment, *Journal of Hydrology*, 546, 289-298, 2017

藤原洋一・両角圭祐・高瀬恵次・百瀬年彦・長野峻介・一恩英二: 竹林拡大が土壌物理性および積雪・融雪に及ぼす影響、*農業農村工学会論文集*, No.303, pp.11\_87-11\_94, 2016

藤原洋一・丸居 篤・長野峻介・田中健二: 高精度温暖化影響評価のための多雪地帯における積雪データセットの構築、*農業農村工学会誌*, Vol.84, No.12, pp.1118-1119, 2016

高瀬恵次・小倉晃・藤原洋一・丸山利輔: 積雪深の再現を目的としたモデルの構築と検証、*水文・水資源学会誌*, Vol.29, No.2, pp.107-115, 2016

### 〔学会発表〕(計10件)

平田智道・藤原洋一・長野峻介・一恩英二・高瀬恵次: 暖地積雪地帯の林外と林内における積雪・融雪特性第75回農業農村工学会京都支部研究発表会、名古屋、2018年11月7日

藤原洋一・長井貴広・中野光議・高瀬恵次・田中健二・Jessica D. Lundquist: 林内の積雪とオープンスペースの積雪はどちらが遅くまで残るか? *水文・水資源学会 2017年度研究発表会*、北見、2017年9月19日

藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二・小倉 晃・田中健二: 暖地積雪地帯の森林内における多地点積雪深観測について、平成29年度農業農村工学会大会講演会、藤沢、2017年8月29日

藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二・田中健二: 地形および植生が森林内の積雪・融雪に及ぼす影響について、*水文・水資源学会 2016年度研究発表会*、福島、2016年9月15日

藤原洋一・両角圭祐・高瀬恵次・百瀬年彦・長野峻介・一恩英二: 竹林拡大が積雪融雪および土壌物理性に及ぼす影響について、平成28年度農業農村工学会大会講演会、仙台、2016年8月31日

藤原洋一: 放棄竹林の拡大は流域水循環に悪影響を及ぼすか?、平成28年度河川基金研究成果発表会、東京、2016年7月28日

両角圭祐・藤原洋一・百瀬年彦: 竹林拡大が積雪・融雪および土壌物理性に及ぼす影響、2015 IPU セミナー、金沢、2016年3月4日

両角圭祐・藤原洋一・高瀬恵次・長野峻介・一恩英二: 竹林拡大が積雪融雪および土壌物理性に及ぼす影響、2015年度日本農業気象学会北陸支部大会、富山、2015年11月28日

Yoichi Fujihara, Keiji Takase, Akira Ogura, Eiichi Ichion, Shunsuke Chono, Yoshinobu Sato: Estimating the spatial-temporal distribution of snow depth in a forest catchment, IUGG2015, Prague, 24 June 2015

藤原洋一: 森と水 - 森林がもつ緑のダム機能 -、平成27年度公開講座「森林と人や生き物とのかかわり」、野々市、2015年5月29日

### 〔図書〕(計1件)

藤原洋一: 人が近づけない場所の雪の秘密を探る、石川県立大学自然まるかじり編集委員会(編) 石川の自然まるかじり、pp.8-13、東海大学出版部、2016

### 〔産業財産権〕

#### 出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://water.ishikawa-pu.ac.jp/>

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：該当なし

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：該当なし