

里山林整備が土壌含水率に与える影響

星川 圭介・石井 孝宗
(工学部環境・社会基盤工学科)

要約： 広葉樹林における間伐等の森林整備が土壌含水率に与える影響については十分な解明が進んでいるとは言えない。本研究では富山県射水市南部に広がる里山林の6か所に土壌含水率センサと地温センサを設置し、2018年5月末から11月末まで10分間隔で観測を行った。また林相の状況を定量的に把握するため、視野180°の魚眼レンズを用いて樹冠開空度を推定した。その結果、含水率は樹冠が閉塞し開空度が最も低い地点において含水率が最も低くなる傾向がみられた。もっとも含水率が高い傾向がみられたのはアカマツが混交する疎林であり、次いで間伐を行ったコナラ林であった。降雨に伴う土壌水分変動が大きいのは皆伐地点で、開空度の低い地点でもそれに次いで大きな変動がみられた。

キーワード： 里山林, 広葉樹, 間伐, 降雨遮断, 土壌水分

1. はじめに

昭和30年代以降に生じた薪炭から石油へのエネルギー源の変化などにより、居住地周辺に広がる里山林に人の手が入ることが少なくなっていたが、近年、環境問題への関心の高まりからNPOや企業等の多様な主体による森林整備活動が拡大しているほか、自治体なども獣害対策などを念頭に里山林整備に乗り出している(林野庁, 2015; 富山県, 2016)。

半自然の状態で放置されてきた森林に対して間伐などを行えば、必然的に林床における日照や土壌含水率、地温などといった環境変化が生じる。このうち土壌含水率は土砂災害の危険性や河川への流出率のほか、林床の生物相にも大きな影響を与える重要な因子である。

間伐などが土壌含水率に与える影響について、国内でもヒノキ人工林については荒木ら(2002)や篠宮ら(2004)、浦川ら(2005)、篠宮ら(2006)などの事例がある。また、里山林の多くを構成する広葉樹林に関しては、Bréda et al. (1994)とDarenova et al. (2018)がそれぞれフランスとチェコのコナラ林において検証を行っている。

これらの研究ではいずれも間伐により土壌含水率が増加することが共通して報告されており、原因として蒸散抑制を挙げている。実際、間伐による蒸散抑制については久保田ら(2013)がスギ・ヒノキ林を対象とした観測に基づき37%の間伐で17%の減少という推定値を示している。しかし一方で、土壌含水率規定要因としては森林の立地条件の影響も無視できないことが指摘されており(篠宮ら, 2006)、さらに同じ林分内でも樹冠や下層植生のわずかな違いによっても結果が異なる可能性がある。また既往の研究

は主に無降雨期間の土壌含水率に焦点が当てられており、降雨による短期的土壌含水率の変化に森林管理が与える影響については研究事例が乏しい。

したがって本研究では降雨時および無降雨期間それぞれの土壌含水率に森林管理が与える影響の解明、および土壌含水率の同一林分内でのばらつきの評価を目的に土壌含水率の観測を行った。

2. 手法

2.1 対象地域

富山県射水市の北陸自動車道以南には、南部丘陵地域と称される、標高70m前後、傾斜30~50%程度のなだらかな丘陵が連なっている。植生はコナラなどの広葉樹が中心であるが、一部アカマツ等の針葉樹が混交しているほか、水田の広がる谷底との境目などには第二次世界大戦前後に植林されたスギ林分が散見される。本地域では一般社団法人「金山里山の会」が間伐などの森林整備を行っており、整備の有無や整備形態に応じた様々な林相が分布していることも特徴である。

本研究ではこの南部丘陵地域の2地区を対象とした。一つは丘陵頂部とその周辺に広がる領域、もう一つはため池北側の斜面である(図1)。

2.2 観測地点

林相の異なる2地区6地点A~Fに土壌含水率センサを2基ずつ、地温センサを1基ずつ設置して10分おきにデータを取得した(図1)。地温は土壌面からの蒸発量に影響する重要な因子として観測を行った。土壌含水率センサは2m

程度の間隔を空け、地温センサはその中間付近に設置した。以後、センサの種類と番号を組み合わせたW1, W2, Tに地点A～Fを冠してセンサ番号とする。

地点Aは丘陵の頂部に位置する。周囲の樹木は皆伐されており、A-W1, A-W2ともに上空視界を遮るものは少なく日当たりがよい。一部ごく低い樹木や雑草があるものの、多くは土壌がむき出しとなっている。

地点BおよびCはアカマツとコナラが混交する地域にありいずれも傾斜はほとんどない。この地点では2013年ごろにアカマツの保全を目的として中低木の除去が行われた。さらにその後50%程度のアカマツが松枯れによって失われた。結果として林床は比較的明るく草本などの植生が多い。B-W1はごく低い樹木の下、B-W2は低木に周囲を囲まれている。Cはアカマツ直下にある。C-W1は多くの落ち葉に覆われている。

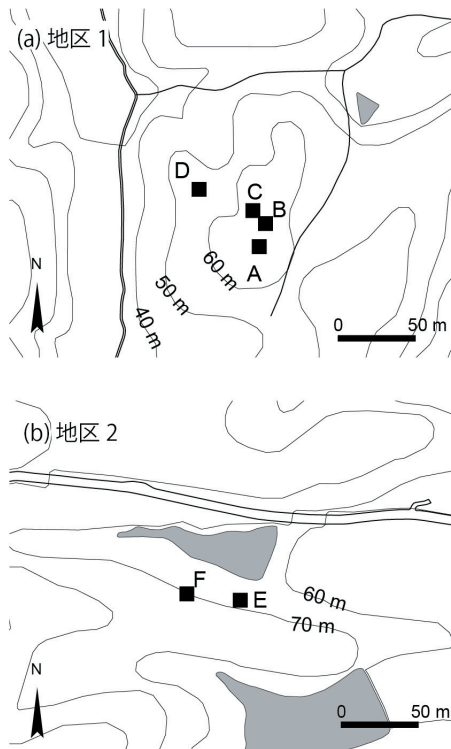


図1 センサ設置箇所（等高線間隔10m）
（国土地理院基盤地図情報を加工）

地点Dは尾根近傍にある。コナラ等の広葉樹が密に生い茂っており薄暗く、下層植生は少ない。D-W1ともD-W2とも多くの落ち葉に覆われている。

隣接する地点EとFはともにコナラ等の広葉樹林にある。もともとは同じ植生状態にあったもののFの周辺では地点BおよびCで森林整備が行われた一年後にコナラ以外の樹木の除去が行われ、結果としてEの林床は薄暗く下草が生えていないのに対して林床は明るくシダなどの下草に覆われた状態となっている。

図2にセンサ設置地点の表層土壌の粒径加積曲線を示す。地点間に若干の違いはあるものの、いずれも砂の割合が高い類似の土性を有している。したがって土壌物理性の違いが地点・センサ間の土壌含水率の違いに与える影響は小さいものと考えられる。

2.3 観測方法

土壌含水率・地温

土壌含水率および地温はMETER社の10HSおよびRT-1によって測定した。土壌含水率センサ10HSは地表面から長さ100mmのプロープを付け根までほぼ垂直方向に埋設した。また地温センサRT-1については長さ20mmのセンサ部分を50mm程度の深さに埋設した。

地点B, C, Dでは2018年5月30日から、他の3地点については6月11日からセンサを稼働した。ただしA-W2, F-W2, F-Tについてはそれぞれ7月11日15:30, 6月27日17:10, 6月23日13:50をもって野生動物によるセンサの損壊により観測が途絶している。またすべてのセンサについて8月1日16時ごろから8月9日17時ごろにかけて消失によりデータ欠損が生じた。さらにその他の期間についてもセンサの接続不良等によって一部データ欠損が生じた。

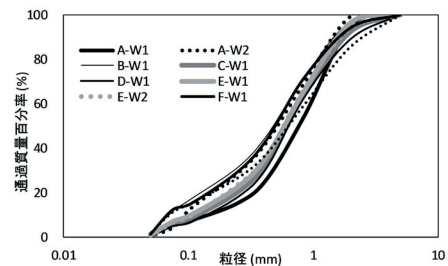


図2 各センサ地点における土壌の粒径加積曲線

樹冠開空度

林相の違いを定量的に示す指標としては葉面積指数や樹冠開空度が広く用いられており、本研究では樹冠開空度を用いた。樹冠開空度とは森林内で視野180°の魚眼レンズを用いて天頂方向を撮影したときに得られる円型視野部分に対する空の部分の割合である。一般に空の部分と樹冠や幹の部分とを明度によって二値化することによって求める。図3に魚眼レンズにより撮影された写真および二値化の例を示す。

2.4 短期的土壌含水率変動の分離

林相と土壌含水率の関係については、林相と林内雨量の関係および林相と蒸散量の関係の2点に分けて考察を行う必要がある。前者は降雨時に生じる土壌含水率の短期的上昇となって現れ、後者は無降雨期間中の土壌含水率の推移に現れる。

短期的な土壌水分の上昇を長期的な変動から分離する方法としては高周波成分を除去するローパスフィルタなども利用可能であるが、ここでは降雨直前の土壌含水率からの降雨による上昇を切り離すことを目的に、過去一定期間内の土壌含水率最小値を用いることとした。移動平均同様に各観測時点から過去一定期間の最小値を算出し、これを降雨による急上昇を差し引いた含水率の近似値とみなすものである。以後、これを基底流量になぞらえて基底土壌含水率と呼ぶ。最小値を求める期間としては降水の時間的連続性を考慮して過去720時点（5日間）を用いた。また各時点の観測含水率から基底含水率を差し引いた値を降雨による短期変動とした。

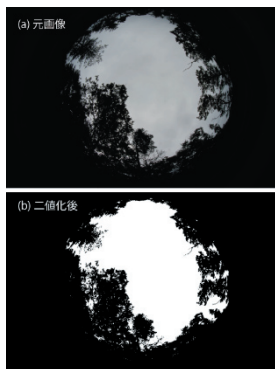


図3 魚眼レンズ画像と二値化画像
(地点Aにおいて9月20日撮影)

図4にC-W2における含水率と過去720時点移動最小値（基底含水率）とを例示する。概ね各降水イベント直前の極小土壌含水率をつなぐ形になっており、降雨力全の含水率からの土壌水分の立ち上がりが分離されていることが見て取れる。

気温に比べて変動が緩やかであるのに対し、Aでは気温と同様の変動を示している。

またこれら2期間ではAに次いで開空度の高いBやCの地温が高く、開空度が最も低いDやEの地温が低くなっている。ただし皆伐地点であるAとの差ほど顕著なものではない。

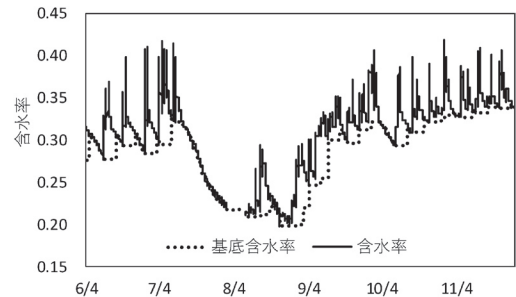


図4 含水率と基底含水率の例 (C-W1)

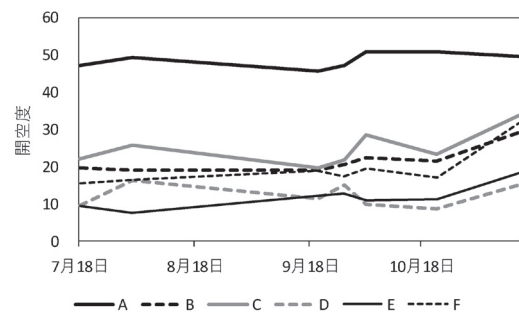


図5 各地点における樹冠開空度の季節的变化

3. 結果

3.1 樹冠開空度

図5に各地点における樹冠開空度の季節的变化を示す。皆伐が行われた地点Aにおける開空度はとびぬけて高い。林内においてはアカマツ植生のCとBが高く、次いでもっとも低いのが地点DとEで、F、C、Bの順で高くなっている。Aを除くすべての地点で10月中旬以降に落葉のため開空度が上昇していることが見て取れる。

3.2 地温

図6に8月10日から12日および9月11日から3日、11月21日から23日の各地点における地温および気象庁伏木特別地域気象観測所における気温を示す。F-Tはセンサ破損により欠測である。8月と9月の2期間では皆伐区であるAの地温が顕著に高いことが分かる。またA以外の地点では

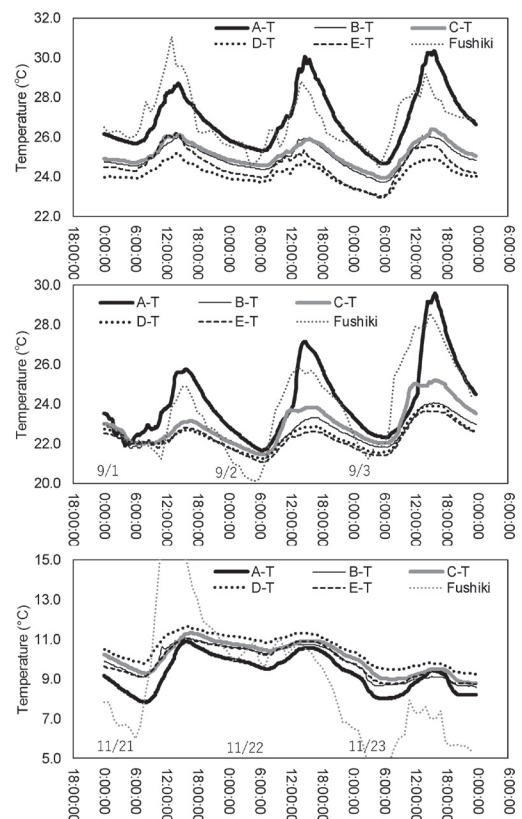


図6 各地点における地温および伏木特別地域気象観測所における気温

逆に11月にはAで最も低い地温が観測されており、地温が高いのは開空度の最も低いDである。その他の地点間では差がみられない。AとDの地温の逆転は概ね10月の上旬から11月中旬の間に生じており、おそらく日射量の減少と放射冷却に起因するものとみられる。

3.3 土壌含水率

図7に各センサが観測した土壌含水率の時系列変動を気象庁伏木特別地域気象観測所における時間降水量とともに示す。いずれも降雨イベントごとに顕著な上昇がみられるほか、7月中旬から8月上旬にかけての少雨期に大きく低下している。

皆伐地点であるA-W1およびA-W2において降雨時の上昇が最も顕著に認められる。また7月中旬からの渇水期に最も低い含水率を示したのは開空度が最も低いD-W1およびD-W2である。

図8は各センサの基底土壌含水率を示している。観測開始直後に破損したA-W2およびF-W2については省略した。この図からも開空度が最も低いD-W1およびD-W2において少雨期の低下が著しいことが見て取れる。またDと同様開空度が低いEでもDに次ぐ含水率低下がみられる。

逆に観測期間を通じて最も高い基底含水率が観測されたのはアカマツが混交する疎林にあるB-W2であった。B近傍で同様の植生状態にあるC-W1でもB-W2に次いで高い基底含水率であった。皆伐地点のA-W1における基底含水率は間伐を行ったコナラ林であるF-W1などと同様の推移を示した。

このように同一地点や類似の地点では同様の傾向がみられたが、同一地点の2センサ間においてもその絶対量には差が認められた。特に7月中旬から8月上旬にかけてD-W1とD-W2などで含水率の低下の速度に差がみられたほか、観測開始から7月上旬にかけてはB-W1とB-W2にも大きな差が生じた。

しかしいずれの地点・センサにおいても9月以降はほぼ安定的に上昇し、11月末にかけて0.3から0.35周辺への収束を見せている。

図9に降雨による土壌含水率短期変動を示した。これは図7に示した含水率から図8の基底含水率を差し引いたものである。皆伐地点であるA-W1においてもっとも大きな変動が示された。逆に変動が小さいのはアカマツ混交疎林であるB-W1やB-W2、間伐を行ったコナラ林であるF-W1であり、開空度の低いD-W1やD-W2は他の林内観測点よりむしろ大きな変動を示した。含水率や基底含水率に比べ降雨による変動の地点内較差は少ない。

いずれの地点においても9月以降に変動が小さくなる傾向がみられた。

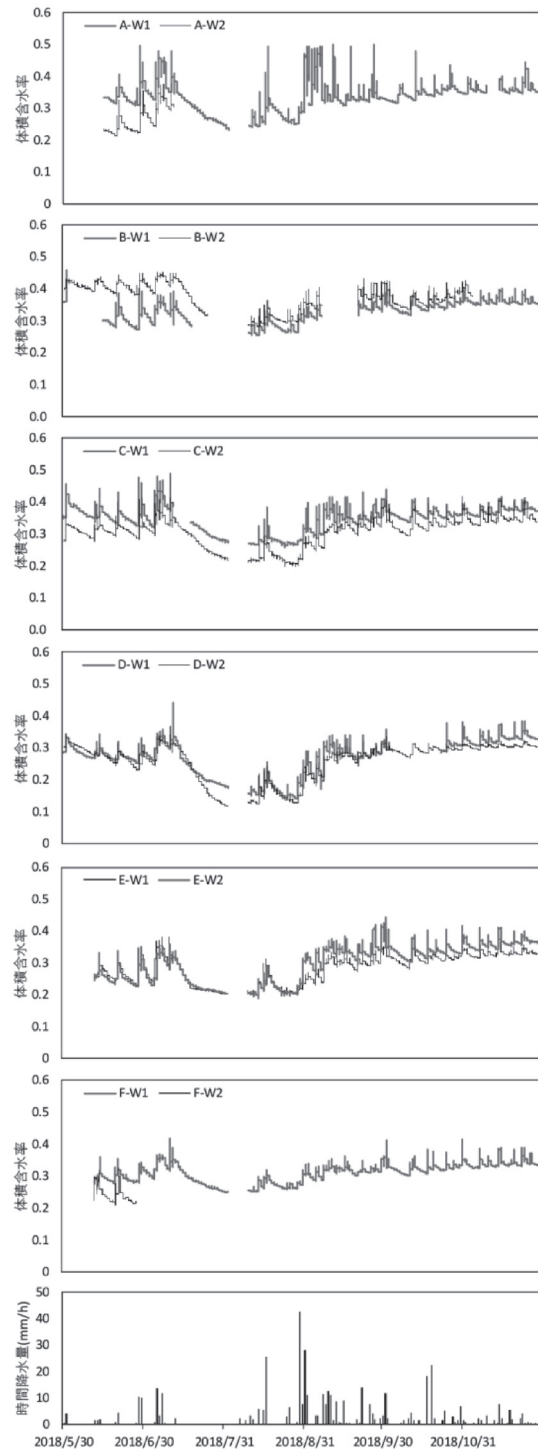


図7 土壌含水率の時系列変動と伏木特別地域気象観測所における時間降水量

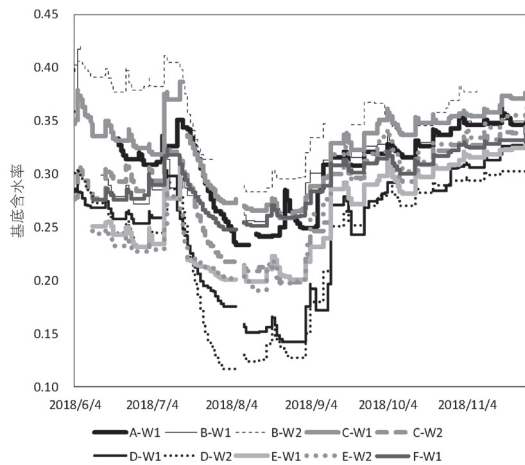


図8 各地点の基底土壌含水率

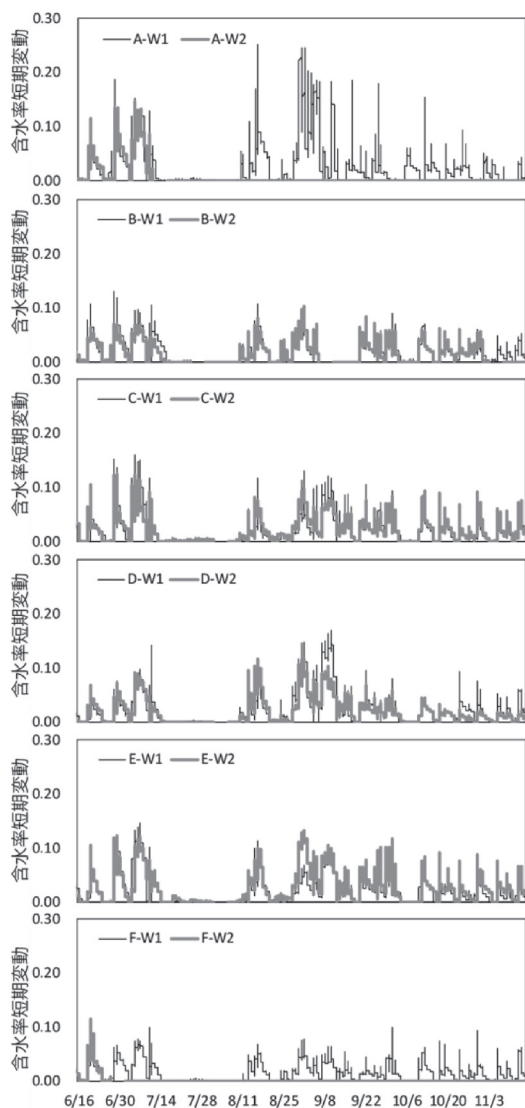


図9 降雨による土壌含水率短期変動

4. 考察

4.1 無降雨期間土壌含水率

既往の研究結果に沿う形で、本研究においても樹冠密度

が高く開空度の低い地点において土壌含水率が低くなる傾向が顕著にみられた。間伐による地温上昇は限定的で地表面からの蒸発量の増加を蒸散量の低下が上回ったとみてよい。

植生がわずかでほとんど蒸散の生じない皆伐地点Aにおける含水率がDやE以外の林内地点に比べて高くならなかったのは、特に夏季から初秋にかけて他の地点より顕著に地温が高くなり、地表面蒸発量が大きかったためと考えられる。

同じく皆伐地点の土壌含水率を調査した荒木ら (2002) は皆伐地点の土壌含水率が非間伐地点を大きく下回ったとして、その理由の一つを下層植生の現存量が多かったことに求めている。間伐強度の上昇とともに蒸散量は減少し、地表面蒸発量は増加する。本研究および荒木ら (2002) の結果は、間伐強度がある一定の値となった時、蒸散量と蒸発量の和が最大となり、土壌含水率が最低となることを示唆している。

同一地点内におけるセンサ間に較差が生じた原因についてはさらなる調査が必要であるが、推測される要因の一つとしてはセンサ設置位置における根群分布の違いなどを要因とした吸水作用の違いが挙げられる。例えばD-W1とD-W2における含水率は7月中旬まで同じような低下を続けるが、それ以降、D-W1では低下が鈍化するのに対し、D-W2では低下を続けて7月下旬には底を打っている。これはD-W2の吸水速度が速く、無降雨期間が続く中でD-W1よりも先に吸水可能な水ポテンシャル領域の下限に達したものと解釈することが可能である。

4.2 降雨時短期変動

皆伐地点において降雨に伴う短期変動が顕著に大きいのは降雨が直接地表に到達する結果である。林内においても樹冠通過雨量 (直達雨量+滴下雨量) のほか樹冠を伝った流下 (樹幹流) が地表面に到達するが、緩斜面の表層において樹幹流が含水率に影響するのは幹のごく近傍に限られているはずであり、その他の場所では樹冠通過雨量のみが土壌含水率の短期変動量を規定するものと考えてよい。佐藤ら (2003) はマテバシイ林の樹冠通過率を0.37と推定している。この値を本研究の対象林にそのまま当てはめることはできないが、いずれにせよ降雨のうち相当量が林床に届いていないことになる。これにより林内の大部分における土壌水分短期変動は皆伐地点に比べて小さく抑えられているものと推測される。

間伐地点Aを除けば開空度と短期変動量との間に正の相関がみられなかった理由としては、正の相関が現れるほど開空度に差がなかったという可能性がある。藤田・服部 (2003) は20%、30%、40%の間伐を行った人工ヒノキ林の

樹冠通過雨量を未間伐林と比較した結果として、30%および40%間伐では樹冠通過雨量が増加する傾向が認められた一方で、20%間伐では非間伐林と差が見られなかったことを報告している。

開空度の低いD-W1やD-W2で大きな短期変動がみられた理由は、これらセンサの設置地点において基底含水率が他の地点と比べて著しく低下しており、圃場含水量や飽和含水率との差が広がっていたためではないかと考えられる。すべての地点において短期変動量が11月末に向けて低下していくのも、基底含水率が飽和に向けて上昇していることにより説明可能である。

5. まとめ

無降雨期間における土壌含水率は間伐等により開空度の高くなった林床において高い傾向がみられた。間伐は林床の地温を上昇させるが、蒸散の抑制が地表面蒸発の増加を上回ったとみられる。ただし皆伐は地温を著しく増加させ、間伐林における蒸発散量と同程度の地表面蒸発を生じさせる。

2 m程度の間隔を空けて同一地点に設置した2センサ間でも一部で無降雨期間における土壌含水率に差がみられた。これは根群分布の不均一による可能性がある。

降雨による短期的土壌含水率変動については、皆伐地点で明らかに大きくなったが、その他の地点では開空度と変動量に正の相関関係は認められず、逆に開空度の最も低い地点において大きな変動がみられた。一定以下の開空度では樹冠通過雨量と開空度に差が生じないこと、開空度が低い地点では無降雨期間における含水率が低く、これが降雨時の含水率上昇幅を大きくしたことが原因として考えられる。

参考文献

荒木誠・加藤正樹・宮川清・小林繁男・有光一登
(2002)「ヒノキ林における皆伐および間伐が表層土壌水

- 分状態に及ぼす影響」『森林立地』44 (2) : 1-8
久保田多余子・坪山良夫・延廣竜彦・澤野真治 (2013)
「常陸太田試験地における間伐による蒸発散量の変化」
『日本森林学会誌』95 (1) : 37-41
佐藤嘉展・久米篤・大槻恭一・小川滋 (2003)
「樹冠構造の違いが樹冠通過雨の分布特性に及ぼす影響」
『水文・水資源学会誌』16 (6) : 605-617
篠宮佳樹・稲垣善之・深田英久 (2004)
「間伐がヒノキ林の表層土壌水分に及ぼす影響」『森林応用研究』13 : 139-143
Darenova E., Crabbe R.A., Knott R., Uherková B., Kadavý J. (2018). Effect of coppicing, thinning and throughfall reduction on soil water content and soil CO₂ efflux in a sessile oak forest. *Silva Fennica* 52 (2) 20 pages (Online) DOI : 10.14214/sf.9927
富山県 (2016)「庄川地域森林変更計画書」
http://www.pref.toyama.p/cms_sec/1603/kj00017286.html
藤田裕二・服部重昭 (2003)「間伐強度が樹冠遮断に及ぼす影響」『名古屋営林局管内平成15年度業務研究発表集』
<http://www.rinya.maff.go.jp/chubu/gijyutu/siryousitu/nagoya02.html>
Bréda N, Granier A, Aussenac G. (1995) Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiol.* 15(5):295-306. DOI:10.1093/treephys/15.5.295
林野庁 (2013)「平成24年度 森林・林業白書 (平成25年6月7日公表)」

謝辞

現地への観測機器の設置および機器の管理にあたっては、射水市南部丘陵地域において森林管理活動に取り組む一般社団法人「金山里山の会」のご支援・ご協力を頂きました。記して謝意を表します。

Effects of forest management on soil water content

Keisuke HOSHIKAWA and Takahiro ISHII

Department of Environmental and Civil Engineering,
Faculty of Engineering

Summary

This study aimed at evaluating the effects of forest management, such as thinning, on soil water content. Soil water content and soil temperatures were observed at six points in a hilly area mainly covered by deciduous broad-leaved forests in Imizu City, Toyama, Japan, from the end of May to the end of November, 2018 at ten minute intervals. Crown densities were also measured by recording the area of leaves and stems within the view of a 180° fisheye lens. Areas with high crown density tended to have lower water content. The highest water content between rainfall events was observed in an open forest that contained Japanese red pines. A thinned *Quercus serrata* forest had the second largest soil water content.

Keywords: secondary forests, deciduous broad-leaved forests, thinning, rainfall interception, soil water content