

《様式B》

研究テーマ 「植生域の地盤中水分量の変化に応じた樹木の吸水特性の把握と土砂災害発生  
の早期検知に向けたモニタリング技術に関する研究」

研究責任者 所属機関名 豊橋技術科学大学  
官職又は役職 講師  
氏 名 松田 達也 メールアドレス t.matsuda@ace.tut.ac.jp  
共同研究者 所属機関名  
官職又は役職  
氏 名

(平成 28 年度募集) 第 29 回 助成研究 完了報告書

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1, 000 字程度)  
※産業技術として実用化の可能性や特許出願 (予定も含む) の有無についてもご記載ください。

本研究は、グリーンイノベーションにおける国土・水・自然資源の持続的な保全と利用に関する自然共存型社会と国土の安全・安心な社会の構築に向けた森林モニタリング手法の開発が目的である。具体的には、樹木にセンサを付けて生育状況把握することで、森林(樹木および土壌環境)の空間的な健全度を判断するためのモニタリング手法を検討対象としている。

今年度は、スタートアップとして樹木の吸水特性と地盤の水分特性の関係性を把握するための基礎的研究を行った、具体的には、人工林の中で日本各地に分布しているスギを対象として、樹幹流量計測センサと土壌水分センサを同時計測できるように改良した計測システムを用いて室内実験を行い、降雨外力による地盤内含水量と樹幹流量の変化を検討した。

本実験では、自然降雨と、台風時の降雨量 30mm/h に相当する人工降雨を与え、各センサの応答を計測し、分析した。その結果、土壌水分量については降雨外力が载荷された際、降雨の浸透を受けて徐々に土壌含水量が上昇した。特に、降雨外力の程度に応じて、変化率に差がみられることから、即時の状態を示すことがわかった。一方で、樹幹流量については変動がみられるものの、降雨载荷即時の変動値と比較して、日変化として日中時の変化が大きく現れることから、現段階において降雨時の状態が瞬時に反映されないと考えられる。特に、樹幹流量については樹木の蒸散活動が大きく影響しているものとする。

かしながら、その日変動は同様な天候・気候状態においてもバラツキがみられたことから、今後も引き続きデータを取得し、詳細にセンサの変化等を分析する必要がある。

研究の発展性としては、土砂災害に関する避難誘導に向けた情報発信の判断材料となることに加え、森林の育成状況等を把握することが可能となれば、森林管理の一躍を担うことができると思う。本実験で得られたデータの信憑性等も含めて精密測定機器取扱企業と議論しており、今後もデータ取得を継続的に行い、基礎的研究を積み重ねる予定であり、センシング技術の実用化に向けて取り組んでいく。

## 2. 実施内容および成果の説明 (A 4で、5ページ以内)

### 2. 1 研究概要

土砂崩れや斜面崩壊などの土砂災害は降雨外力の影響により地盤が急速に緩み崩壊等が発生する。現在、土砂災害を検知するためのセンシングシステムとして、例えば、地中に土壌水分計等を設置し、その変化を検知し判断することが行われている。しかしながら、地中にセンサを埋設する場合、現地盤を乱す等により周辺地盤と異なる条件下でデータ計測をしている可能性が考えられる。また、現状では埋設するセンサの無線化は難しい等の難点もある。一方で、我が国では林業の担い手が減少していること、国産の木材の需要が減少していることを受けて、森林環境が悪化している。このような環境の悪化は土壌環境にも影響を及ぼし、土砂災害発生に拍車をかける。

そこで本研究では、既存のセンシング技術の課題を解決するため、新たな可能性としての地盤ヘルスマモニタリングとして、また、樹木の生育管理も含め、樹木にセンサを埋設して得られる蒸発散量<sup>1)</sup>に着目した。本稿では、樹木による蒸発散特性と地盤水分特性の関係性を明らかにするため、まず、モデル実験を実施した。

### 2. 2 樹木の水分吸い上げ特性

樹木は土壌から吸い上げられた水が葉の気孔から水蒸気として大気中に放出させる蒸散活動を行う。根と茎、葉をつなぐ道管や仮道管の通水組織の中の水(樹液)は土壌中の水とつながっていて、葉と土壌間の水ポテンシャル勾配に従って吸い上げられる。水ポテンシャルは対象とする水の Gibbs の自由エネルギー ( $\text{Jmol}^{-1}$ ) 標準状態の水の Gibbs の自由エネルギー ( $\text{Jmol}^{-1}$ ) との差を水のモル体積 ( $\text{m}^3\text{mol}^{-1}$ ) で除したものとして定義され、水移動に及ぼす力(単位: Pa[パスカル]で表示)を表す。マイナスは水を引き込む方向を、プラ

スは水を押し出す方向を意味し、その絶対値が大きいほどその力が大きいことを示す。樹液流は、日射量の増大に伴い徐々に流速が高くなると考えられている。

### 2. 3 実験概要

本実験では、人工林の中で日本各地に分布しているスギ・杉を対象とした、モデル実験を実施した。実験は、降雨による地盤含水量の変化が樹液流に及ぼす影響を確認するため、自然降雨 (Case1) と台風時の降雨を想定した人工降雨を付与した場合 (Case2) の 2 ケースにおいて、降雨による地盤内含水量の変化と樹幹流量の変化の関係性について検討した。また、合わせて降水量 (mm)、全天合計日射量 (MJ/m<sup>2</sup>) の気象データも気象庁<sup>2)</sup>より入手し、実験で入手したデータと比較した。各計測センサの詳細は次に示す。

#### a) TDP 樹液用蒸散測定プローブ

TDP 樹液用蒸散測定プローブは、グラニエ法に基づいて設計されており、上部のプローブにヒーターが組み込まれて、下部のプローブとの温度差によって幹内の樹液流量を推定するという理論により信頼性の高い蒸散流量を測定できる計測センサである。プローブの設置は図-1 に示すように樹皮をはがし、ドリルで穴をあけて挿入する。

#### b) 5TM 土壌水分・温度センサ

5TM 土壌水分・温度センサ (デガゴン社製) は誘電率から土壌水分を測定する誘電率土壌水分センサである。本研究では計 5 本のセンサを用いて、鉢に埋めた土壌水分計の位置は根の付近かつ地盤基準面から 15cm の深さに CH1、その位置から深さ 5cm ごとに CH2 および CH3 を設置、さらに根から水平方向に 10cm 程度離れた箇所に CH2、CH3 と同じ高さに CH4、CH5 の土壌水分計を設置し、計測した (図-2)。

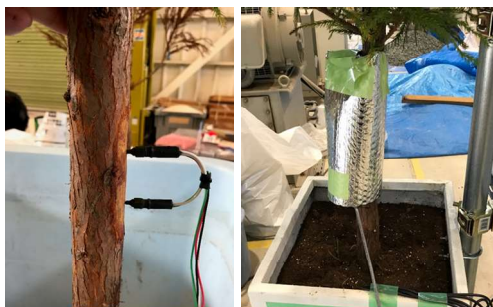


図-1 TDP樹液用蒸散測定プローブの設置状況

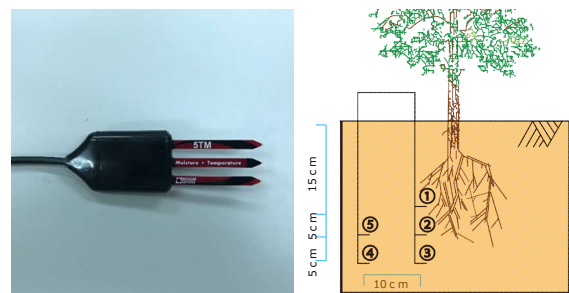


図-2 5TM土壌水分・温度センサおよび設置箇所

## 2. 4 実験結果

### a) Case1：自然降雨による変化

図-3(a)に降水量と日射量の変化を示す。計測日は2017年11月7日から11月9日の3日間のデータである。11月8日に合計7mmの自然降雨があった。図-3(b)に土壌含水量の変化を示す。降雨が始まった8日の早朝6時（経過時間30時間目）から含水量が増えていることが分かる。CH1が10時30分ごろに、CH2～CH4が13時30分ごろに土壌水分計の値がピーク値に達しており、降雨の浸透を受けて徐々に含水量が上昇したことがわかる。図-3(c)の樹幹流量の変化を示す。11月7日と9日において、各日の12時頃に樹幹流量が上昇しているが降雨のあった8日は昼の時間帯になっても上昇が生じなかった。これは、8日の降雨により日射量が他の日に比べて少なかったことが原因の1つと考える。

### b) Case2：人工降雨による変化

図-4(a)に降水量と日射量の変化を示す。計測日は2017年11月5日から11月7日の3日間のデータである。11月6日の正午12時に台風時の降水量に見立てた合計30mmの人工降雨を与えた。図-4(b)の土壌水分量の変化をみると、人工降雨の与えた6日正午12時ごろに大幅に上がっているのが分かる。CH3とCH4は鉢の最下部に埋設したであるが、表層部と合わせて変化がみられるため、地盤深度まで降雨浸透が急速に進展した。図-4(c)に樹幹流量の変化を示す。自然降雨の再と同様に全体的に見て右肩下がりに値が低下している。人工降雨を与えた6日の正午に蒸散量の値が増加している。人工降雨を与えた6日は降雨を与えたものの天候は快晴であったため正常に蒸散活動が行われたものと考えられる。

## 2. 5 まとめ

TDP 樹液用蒸散測定プローブと5TM 土壌水分・温度センサを用いて、スギを対象とした異なる降雨外力条件下における樹幹流量と土壌水分量の変化について考察した。土壌水分計は降雨外力に応じて変化に違いが現れた。特に、降雨外力に応じた土中への降雨浸透速度の違いが明確に表れており、リアルタイムで土中の水分特性の変化を示した。一方で、樹幹流量については降雨の変化を瞬時に反映しないことがわかった。特に、日変化が生じることから、従来から言われている通り、日射量によって変化する可能性があることが考えられる。ただし、同様の気象条件下でも若干の差が生じたことから、この要因を分析する必要がある。今後は、雨量計、風速計、日射計等のウェザーステーションによって対象樹木近辺の気象データも同時に取得しながら分析する。また、次の着目点として、地下水

の変動が樹幹流量の変化に与える影響について実験的に検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 越智誠, 矢野裕也, 寺尾京平, 鈴木孝明, 高尾英邦, 小林剛, 片岡郁雄, 下川房男 :  
MEMS 技術を用いた超小型道管流センサ, 日本生態学会誌, 第 66 卷 2 号, pp.465-475,  
2016.
- 2) 国土交通省気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2017.12.21 参照)

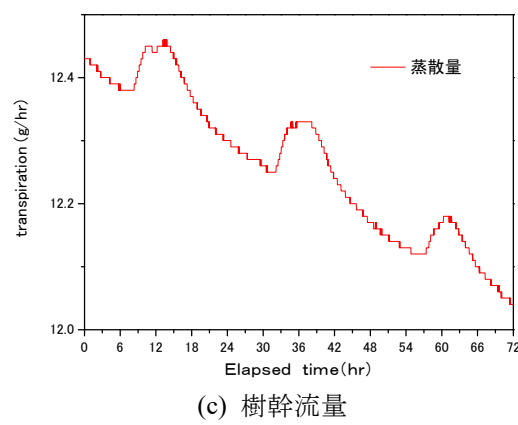
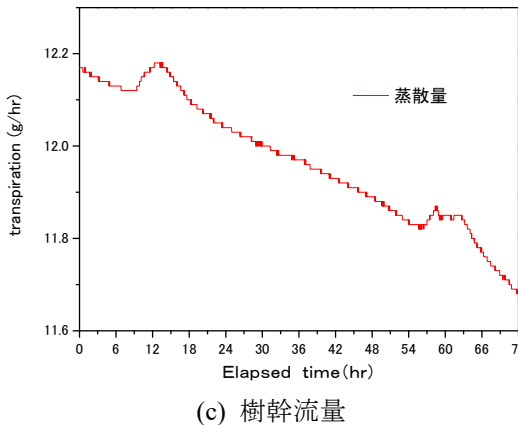
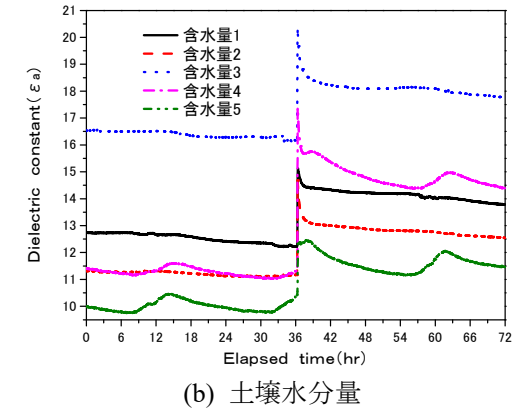
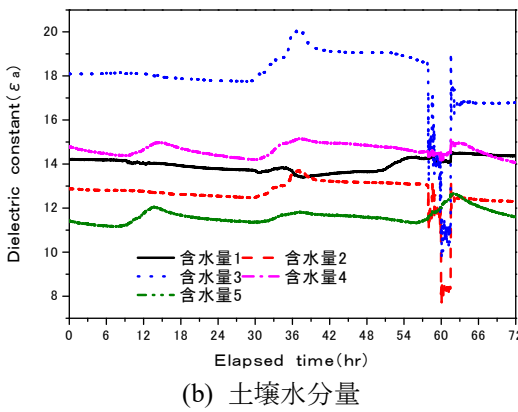
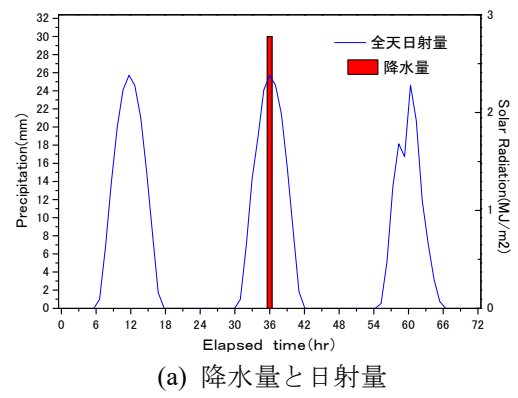
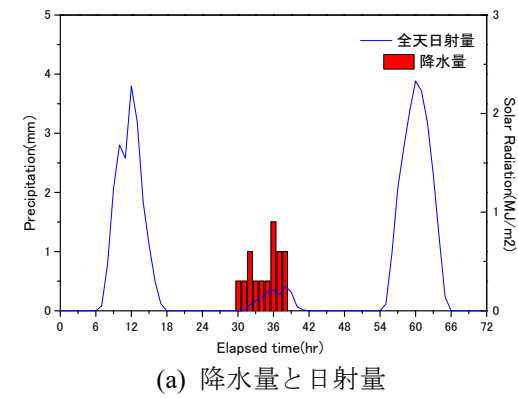


図-3 Case1 : 自然降雨による各物理量の変化

図-4 Case2 : 人口降雨による各物理量の変化