

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660123

研究課題名(和文)熱流束計による潜在的衰弱木の簡易検出法の開発

研究課題名(英文)Non destructive detection of declining trees with heat flux sensor

研究代表者

黒田 慶子(Kuroda, Keiko)

神戸大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20353675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：小型熱流束センサーを、針葉樹と広葉樹に装着し連続測定を行った。既存の樹液流速度の計測機の値と比較した。検出データは樹種の違いにかかわらず一定の傾向を示した。晴天で蒸散が活発な時間帯は、熱流束の値は外気から樹幹内方への動きを示し、蒸散が停止する夜間には逆方向の熱の移動があった。外樹皮が厚い樹種では値の変動幅が小さくなった。実用化の前に装着時の課題として検討する必要がある。研究用の樹液流速計では、樹幹に金属棒を刺して加熱するため、植物生理への影響も懸念される。熱流束センサーで樹液流速度の低下や停止を伴う樹木病害のモニターに利用可能と判断された。樹木医が街路樹の診断に使えるように製品化を考えたい。

研究成果の概要(英文)：A heat flux sensor was attached to trunks of conifers and broad-leaved trees, and the data were accumulated for a few month. The heat flux data were compared with those of sap flow meter attached to the same trees. Heat flux data indicated similar fluctuation with various species of trees. During fine daytime, heat flows from atmosphere to the inside of tree stems. The direction was revers during nights when transpiration stops. Sap flow meters commonly used in the physiological investigations use metal rods that are stubbed into trunks and heat is continuously added to the metal rods to detect the movement of water. Wound and heating will affect the physiological condition of the trees. In contrast, the heat flux sensor that is attached to the surface of trunks without wounding and heating will be a better tool for long-term monitoring.

研究分野：森林病理学

キーワード：水分通導 水ストレス 樹木生理 非破壊計測 熱流束センサー 萎凋病 通水阻害 街路樹診断

1. 研究開始当初の背景

(1) 樹木の病虫害や衰弱・枯死のリスクを高める要因として、水ストレス(土壌の水分不足等により、樹木の水分要求が満たされない状態)が知られている。被害の予防には衰弱木の早期発見が重要であるが、リスクの上昇を野外で簡便に検出する測定法はなかった。ヒートパルス(熱拡散)法や農作物向けの茎熱収支法などの既存の樹液流測定技術は、測定時に幹を傷つけて加熱したり、大径木は測定不可能などの問題があり、森林での長期継続測定や街路樹・庭園木への適用は困難である。

(2) マツ材線虫病(マツ枯れ)やブナ科樹木萎凋病(ナラ枯れ)などの樹木萎凋病の感染では、木部樹液の流動(=水分通導)が低下する(Kuroda et al. 2001、2005など)。病気の進行メカニズムを究明するには、樹木を傷つけずに樹液流を継続して測りたいという欲求があり、申請者はアコースティックエミッションやMRI(核磁気共鳴画像法)を利用してきた(Kuroda et al. 2006、Kuroda 2012)。しかし樹液流速や流量の情報は充分には得られていない。

Kuroda, K.: Responses of *Quercus* sapwood to infection with the pathogenic fungus of a new wilt disease vectored by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus*. *J. Wood Science* 47: 425-429, 2001

Kuroda, K.: Xylem dysfunction in Yezo spruce (*Picea jezoensis*) after inoculation with the blue-stain fungus *Ceratocystis polonica*. *Forest Pathology* 35(5): 346-358. 2005.

Kuroda, K., Kanbara, Y., Inoue, T. and Ogawa, A.: Magnetic resonance micro-imaging of xylem sap distribution and necrotic lesions in tree stems. *IAWA Journal* 27(1):3-17. 2006.

Kuroda, K.: Monitoring of xylem embolism and dysfunction by the acoustic emission technique in *Pinus thunbergii* inoculated with the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *J. Forest Research* 17:58-64, 2012

2. 研究の目的

(1) 本研究では、市販の安価な熱流束センサーを用いて外気と立木樹幹の間の熱移動を測定し、木部樹液流(根から葉への水の流れ)の活発度を継続的に検出する手法を開発する。強い水ストレス下(水分欠乏)にある樹木は、虫害や微生物感染の際に枯死のリスクが高まることが知られており、樹木の枯死リスクの判定には、樹液流速の情報が有用と考えられる。

(2) 一般に、樹幹木部内の水流が活発な場合は、土壌水分の供給によって樹幹内部の温度は外気温より低くなる。しかし水流の速度が低下あるいは水流が停止すると、樹幹温度は外気温に近くなる。この原理から、樹幹と外気間の熱流動の方向・量を測定し樹液流の活

発さを推測する。現在、樹木生理学分野で使用されている機器のような付傷や継続的な加熱を行わないことでアーティファクトを除去し、高精度で軽量・簡便・安価な測定法を検討する。樹木の生理学的研究だけでなく、森林、街路樹、果樹園等において潜在的衰弱木を検出する技術を開発することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 熱流束計による熱の移動の検出
熱流束計で、外気と樹幹間の熱流を検出する。外から内、内から外方向の熱流速(移動量)の変動について、日変動を記録し、基礎的な値を得る(図1)。

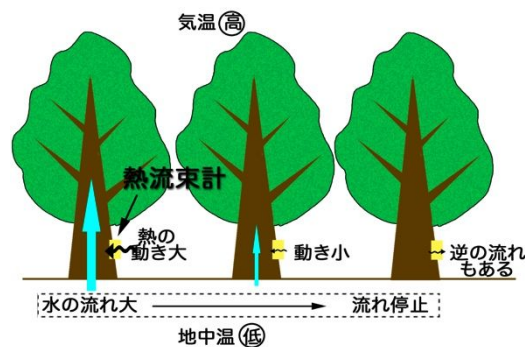


図1 樹液流の活発さと熱の動き

(2) 測定値の変動に関する樹木生理学的解釈
熱移動の変動量と通水量(樹液流速)との関係を、他の樹液測定法を併用して明らかにする。熱流束の安価なセンサーを用い、野外で非破壊的な測定が可能な技術を完成する。測定機器として普及可能な機種を試作する。



図2 二次林のコナラ・アバマキ樹幹へのセンサー類の装着

(3)計測手法の苗畑および自然環境下における検証と技術の完成

主幹部の太さが約1cmの2年生イチジク苗の下部の樹皮を少し剥いてセンサーを装着し、値の変動を記録する。兵庫県下の里山二次林において、コナラやアベマキなどブナ科樹木萎凋病（通称：ナラ枯れ）に感染するナラ類で、胸高直径が30~40cmの高齢樹にセンサーを装着し、自然環境下で長期の連続測定を行う。ナラ枯れ発生地で、本病の感染木について測定値の変動を把握する。

4. 研究成果

(1)熱流束センサーは樹幹の曲面への装着に適した小型タイプ(縦横 1x1cm)を選択した。小型タイプ(縦横 1x1cm)熱流束センサーを、針葉樹(アカマツ、ヒマラヤスギなど)と広葉樹(ソコゴ、コナラ、アベマキ、イチジク苗)を供試木として装着し、1ヶ月~4ヶ月程度連続測定を行った(図2)。また、一部の個体には既存の樹液流速測定機器(TDPセンサー:グラニエ法など)も装着して同時に測定し、値を比較した。これらの樹種の健全木については、検出データは針葉樹と広葉樹、および樹種の違いにかかわらず一定の傾向を示すことがわかった。

(2)8時頃から16時頃まで、蒸散が活発な日照時には(図3)、熱流束の値は外気から樹幹内方への動きを示した。根から低温の水が吸い上げられて木部樹液流として枝葉へと動き、そのために樹幹内が外気より低温になっていることを示す。一方、蒸散が停止する夜間には逆方向の熱の移動が認められた。つまり、昼間に暖まった樹幹辺材から気温が低下した外気方向に熱が移動することが確認された。この熱流束の値の変動傾向は、樹幹表面と樹幹木部(辺材)に装着した温度計の値の差とも一致していた。

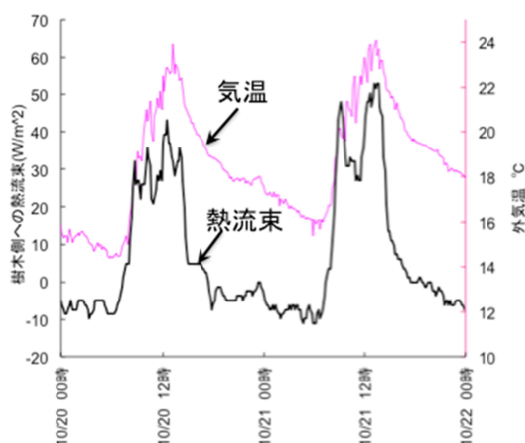


図3 ケヤキにおける熱流束と気温の関係

(3)針葉樹供試木では、熱流束の値の変動は、既存の測定法であるグラニエ法による測定値と極めて高い相関を示した。従って、日照

時の樹液流速の変動に関しては、熱流束センサーによる測定の信頼度は高いものと判断された。グラニエ法では、樹幹の1点を加熱してその熱の拡散傾向から樹液流速を測る。この手法と比べると、非破壊的で小型の熱流束センサーによる測定は利点が多い。

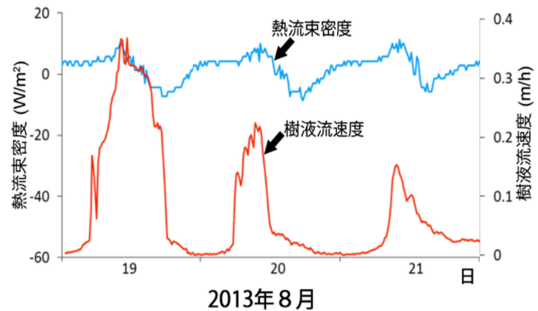


図4 コナラ樹幹における樹液流速と熱流束の日変化(8月)

(4)樹液流の活発さは樹木の衰弱傾向と関係が深いことが知られており、装着や計測が容易である熱流束センサーは、樹木医の街路樹診断や果樹園での利用に適していると考えられる。広葉樹でも、熱流束の値の変動は針葉樹と同様に認められたが、樹種や個体によって変動幅や変動の傾向に差が認められた。通導組織である道管のサイズや分布特性によって測定値差違が出現する可能性が考えられる。

アベマキやコナラなど外樹皮が非常に厚く断熱効果の高い樹種については、少し剥皮しただけでは熱の移動が妨げられて、値の変動幅が小さい傾向があった(図4)。実用化の前に、装着時の課題として検討する必要がある。

(5)太さ1cmのイチジク苗でも、気温よりも土壌温度が低い昼間に、外から内への熱移動最大値となった。灌水状況により、値の変動が異なることがわかった。1辺が1cmの正方形のセンサーを用いて、細い苗木の測定が可能であることが示された。

(6)以上の結果から、樹液流の活発な状態が熱流束センサーによって把握できること、また、樹液流の速度低下や停止を伴う樹木病害のモニターとして利用可能であると判断された。幹の直径数十センチの大木から、1cm程度の植物への装着でも、値の変動が明確に検出できることがわかった。現在普及している研究用の樹液流速計では、樹幹への金属棒の差し込みが必要で、しかもその金属への加熱により樹液流速を推測するという原理であるため、傷による通水障害の進行が避けられない。細い樹木への適用や長期の継続測定には適用不可能である。また、加熱し続けることによる植物の生理機能への影響も懸念

されるので、長期の連続測定には不向きである。これに対して、熱流束センサーは外樹皮を剥皮して貼り付けるだけで測定できる点、細い個体に適用できる点で優れた特性があるといえる。

(7)本研究の結果から、熱流束センサーによって、樹液流動の日変動および罹病木における樹液流動の低下傾向が把握できることが明らかになった。現在はまだ、センサーとロガーの実験用の組み合わせであるが、樹木医が街路樹の診断に使える形に改良して汎用化すると、利用しやすいと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

黒田慶子、隅田皐月、森田剛成、軸丸翔太、*Ceratocystis ficicola* 接種によるイチジク株枯病発病メカニズムの検討(2) 宿主の水分生理と病徴進展、第126回日本森林学会大会、2015.03.28、北海道大学(北海道)

Keiko Kuroda, Takeshige Morita, Satsuki Sumida, Shota Jikumaru: Wilt mechanism of *Ficus carica* infected with *Ceratocystis ficicola*: Detection of xylem dysfunction prior to symptom development, V International Symposium on Fig, University of Napoli, Italy, August, 31 to September 3, 2015 (発表予定, 登録済み)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

黒田 慶子 (KURODA, Keiko)
神戸大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 20353675

(2)研究分担者

庄司 浩一 (SHOJI, Koichi)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 10263394

(3)連携研究者