

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05714

研究課題名(和文) 樹体内の水移動の実測に基づいて樹冠や根系の縮減を抑えた樹木移植法の検討

研究課題名(英文) Study on trees transplantation method with reduced crown and root system reduction based on sap flow measurement

研究代表者

竹内 真一 (Takeuchi, Shinichi)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号：30268817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：樹木の移植に際して、樹冠部では強剪定が行われ、根系は大きく縮減されることが多い。なるべく大きな根鉢を作成することが、移植後の樹木の順調生育を達成する近道であるが、根系をすべて掘り出すのは不可能である。本研究では、水流により丁寧に根系を掘り出し、通常よりも大きな根鉢を作成することで、順調な生育を可能とすることを樹液流計測により明らかとした。さらに、掘り出した根鉢を大型電子天秤上で秤量することにより樹体の蒸散量を連続計測する根鉢秤量法を提案し、樹体内の水分移動を計測する樹液流計測法の精緻な検定を行い、有効な手法であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に樹木の移植の際には樹冠(枝葉)や根系の縮減は避けられないことが多く、樹体の光合成活動や根の吸水能力の低下を招くことから、移植後に樹体が正常に生育するためには、極力移植前の状態を保つことが望ましい。本研究では、通常よりも大きな根鉢を作成し、複数回の移植を行い、生育状況への影響は少ないことを樹体内の水移動の計測結果から明らかにした。この研究成果を国際学会にて報告したところ、本研究で採用した移植技術について高い関心が示された。

研究成果の概要(英文)：When transplanting trees, strong pruning is performed on the canopy, and the root system is often greatly reduced. Creating larger root-ball is a shortcut to achieving smooth growth of trees after transplanting, but it is impossible to dig out the entire root system. In this study, it was clarified by sap flow measurement that smooth growth is possible by carefully digging the root system using water stream and creating a root-ball larger than usual. Furthermore, we proposed the weighing root-ball method that continuously measures the amount of transpiration of the tree by weighing the root-ball on a large electronic balance. We applied the root-ball weighing method to calibrate the sap flow techniques, and obtained reasonable results.

研究分野：造園学

キーワード：樹液流計測 キャリブレーション 根系縮減 根鉢秤量法 HR法 グラニエ法

1. 研究開始当初の背景

一定の期間ある場所において生育していた樹木を移植する場合は、根系が発達していることから、根鉢の作成に注意を払う必要がある。根鉢が大きいほど断根の影響は少ないが、その鉢径の定め方は幹の根元直径の 4-5 倍を標準とするとされている。さらに、枝葉は移植木から切除されることが多い。このため、光合成活動や根の吸水能力の低下を招くことから、移植後に樹体が正常に生育するためには、樹冠や根系の縮減を抑えることが望ましい。一方、樹木の移植に伴う樹体の活着・生育状況を診断するツールとして、根系と樹冠の中間に位置する幹部の樹体内の水移動を実測する樹液流速計測法の有効性は検討が重ねられているが、樹木移植に関する知見は必ずしも十分ではない状況にあった。また、樹液流計測を行う際に、樹幹の一部の樹液流速の測定結果が樹木全体の代表値となり得るのか、という点が当該研究分野において解決すべき課題であった。特に、立木状態で蒸散量の絶対量を評価する手法が高価なウェイングライシメータ等以外には無かったため、方位別・深度別に樹液流計測の検出点を増やすことによって対応してきた経緯がある。

2. 研究の目的

本研究では、“樹体内の水の流れ”という造園・緑化技術者にも理解しやすい実際の指標を用いて、樹木移植の現場に資する有益な知見を得るために、実際に樹液流計測結果を用いながら、移植工事で実施される強剪定や根系切断を極力抑えた樹木移植法を検討し、そのプロセスを応用して、樹液流速計測法の測定精度を検証するキャリブレーションを“根鉢秤量法”により行い、研究者・技術者への樹液流計測の指針を構築することを目的としている。

2. 研究の方法

剪定や根系切断量を極力抑えた樹木移植法の検討：移植時の根鉢作成時に水平方向に伸張した吸水根(白根)を保護するために、動力噴霧機による水流を用いて丁寧に土壌を剥離し、根鉢を作成する。樹液流速計測結果を確認しながら、移植およびその後の正常生育を診断する独自の方法論を確立する。

根鉢秤量法による樹液流計測のキャリブレーション： において樹体へのダメージを極力抑えるように工夫して根系を掘り出して根鉢を作成し、大型の電子天秤により単木蒸散量を実測する方法を本研究では根鉢秤量法と定義しており、過去にシダレモミジを対象にヒートレシオ(HR)法のキャリブレーションを実施した。この“根鉢秤量法”を針葉樹のスギおよび広葉樹のカラタネオガタマに適用し、樹液流計測のキャリブレーション法として、現在多く適用されている“強制通水法”との比較検討を行った。これらの手法は高精度に樹幹内を流れる水の量を把握することが可能であるが、樹幹を完全に切断することが必要であり、検定後も健全な状態で対象木を維持したい場合には適用不可能であるという欠点を有している。一方、根鉢秤量法は根系を有しているため、根系切断に伴う樹幹内の樹液流速分布の変化を生じさせないで、キャリブレーションが実施可能な大きな利点を有する。なお、本研究は長期間の樹液流速計測を必要とする内容でもあるため、本研究の採択前から測定を行っていた内容も含んでいることを付記する。

3. 研究の成果

ここでは研究手法そのものが成果であるため、手法の詳細についても記述している。 について詳述し、 については概要のみ示す。

カラタネオガタマを対象とした研究

(1) 調査対象木：南九州大学高鍋キャンパスに生育していた常緑広葉樹のカラタネオガタマ (*Michelia figo* (Lour.) DC.) で、2015年10月に都城キャンパスへと移植した。2018年時点で樹高5.0m、胸高周囲長43cmであった。HR法により2014年9月10日からヒートパルス速度を地際から96cmの高さの東側の部位において2020年9月まで長期連続測定した。この間、樹冠部の剪定は皆無である。

(2) 移植作業：移植は研究期間中に計3回行った。1回目(T1:2015年10月)は立木からの移植であり、幹を中心とする直径2.2mの円の外側まで丁寧に掘削した後に、根系切断を最小限に抑えるために、動力噴霧機2台を用いて、幹中心側に水流で土を洗い出しながら白根を掘り出し、最終的に直径1.75m、厚さ65cmの大きさに根鉢を整形した(図1)。その後、根鉢底部の掘り取りと主根の切断を行い、根巻きを行い、根鉢を含む樹体(重量2,830kg)をクレーンにて吊り上げ、80kmの距離を搬送した。植え付けは10月19日に直径2.0m深さ1.5mの植穴を掘削し、底部に240Lのバーク堆肥を土壌改良材として投入し、水極めにて埋め戻した。2回目(T2:2018年9月)はほぼT1と同じ工程で、幹を中心とする直径2.4mの円の外側までの大型根鉢(直径2.0m、厚さ85cm)を作成した。根鉢底から下方への根群の伸長は限定的であった。大型クレーン(25トン)にて、根鉢(重量3,000kg)を吊り上げた。その後、根鉢の側面と底面をスコップにて、直径1.0m、厚さ70cm、重量1,100kgに縮減した(DS:2018年9月)。再移植した後に再び掘り上げ根鉢を作成した(T3:2019年8月)。

(3) 根鉢秤量法による蒸散量の測定

移植作業に伴って掘り出した根鉢を、蒸散による重量変化のみを抽出するために、梱包用ラップとブルーシートにより厳重に被覆し、土壌からの蒸発を抑制した。この状態で樹木を大型電子天秤に載せ、5分間隔で重量の変化を自記記録し、蒸散量を直接計測した。T1では同一の電子天秤を2台平行に並べて秤量し、T2では電子天秤3台を三角形に配置し、大型クレーンにより重心を配慮して慎重に設置した。DSおよびT3では電子天秤1台で対応した。

(4) 樹液流動の経年変化

図2にヒートパルス速度の変化を、基準蒸発散量 ET_0 、最高気温と最低気温、および飽差とともに示す。計測期間中の5月から10月までの成長期の降雨量は蒸発需要量を大きく上回り、対象木が水ストレス状態になることはなかった。ヒートパルス速度の年々変化を27.5mmの深さの計測結果から概観すると、2015年8月21日に全期間の最高値27cm/hに到達し、日積算値で257cm/dであった。その後前年と同様の傾向で減少した。1回目の移植(T1)前後5日間の日中の平均速度は、10cm/hから6.7cm/hに減少した。2016年、2017年、2018年における移植後の年間最大速度はそれぞれ17.6cm/h、17.7cm/h、18.5cm/hであり、これらに有意差は見られなかった。2回目の移植(T2)および根鉢縮減により、移植前後の5日間の平均速度は6.5cm/hから4.5cm/hに、そして2.4cm/hに減少した。樹幹内の速度分布は移植作業前の根系が拡張している場合は、内側の速度が外側の速度を上回っていたが、移植(T1)時の主根切断後は、内側の流れは減少し3年間は回復せず、外側の流れとの差異は明瞭ではなかった。対象木がすでに最大樹高に達していたことも、増加傾向が停滞していた一因として考えられる。図1の各調査年の9月から11月までのヒートパルス速度の変化を精査すると、2014年、2016年、2017年はこの期間中に漸減となっていたが、2015年と2018年は急激に減少していた。同期間の ET_0 の変化傾向より、大気側の蒸発需要に明らかな違いはなく、年間を通じて類似していた。このことから、樹液流動の差異は移植作業に伴う根系の一部切断による影響である

と結論付けられる。表 1 には 2 回の移植 (T1, T2) と根鉢縮減 (DS) に伴う根鉢秤量法により測定した積算蒸散量を示す。高蒸発能日の測定結果を分析対象とし、 ET_0 で正規化した蒸散量で比較した。その結果、T1 と T2 ではほぼ同値となっている。この場合、通常の移植作業で用いられる根鉢の直径は 105-132cm であるが、T1 の根鉢直径は 175cm であり、T2 の根鉢直径は 200cm とさらに大きい。一時的なヒートパルス速度の低下は検出されたものの、移植時の樹木の活着ならびにその後の樹体の正常生育を保証しうる根域を維持していたものと推定できる。2 回目の移植後に根鉢を直径 100 cm まで縮減させたところ、蒸散量は大型根鉢の 45% まで減少した。このサイズは造園作業で通常使用されるものであり、このサイズの根鉢が採用される場合は、根系切断に伴い大規模な落葉が生じる可能性が高いものと考えられる。

(7) 根鉢秤量法による樹液流計測のキャリブレーション

日蒸散量とヒートパルス速度の日積算値の関係を図 3 に示す。ここでは、樹液流速の樹幹方向のプロファイルに対する根系または根の切断の影響を精査することが目的であるため、ヒートパルス速度をそのまま使用している。両者の関係には高い正の相関があることが示されている。T3 においても、ほぼ同じ回帰式上に両者の関係はプロットされ、別のセンサーにおいても同様の結果が得られた。この一連の結果は、根鉢秤量法が樹液流計測の検定手法として有効であることを示唆している。一方でこのキャリブレーション結果は、図 2 における全ての計測範囲を反映しているものではなく、植え付けられている状態のほぼ半分領域を示すものであることに留意する必要がある。

スギを対象とした研究

前述のカラタネオガタマの研究において、(7) に特化した内容でスギ 2 個体に対して詳細なキャリブレーションを行った。この研究では、HR 法とグラニエ法が適用されており、それぞれの樹液流速 (根鉢秤量法から算定した真値) との理論的な比較検討を行っている。その概要としては、1) HR 法とグラニエ法は樹液流速を約 6 割過小評価し、2) この過小評価を改善させる検定式を定めることは可能であることが挙げられる。さらに、3) これまでの強制通水法によるグラニエ法の検定結果と調和的な結果であった。



図 1 根鉢 (移植前 T1)



根鉢 (再移植前 T2)

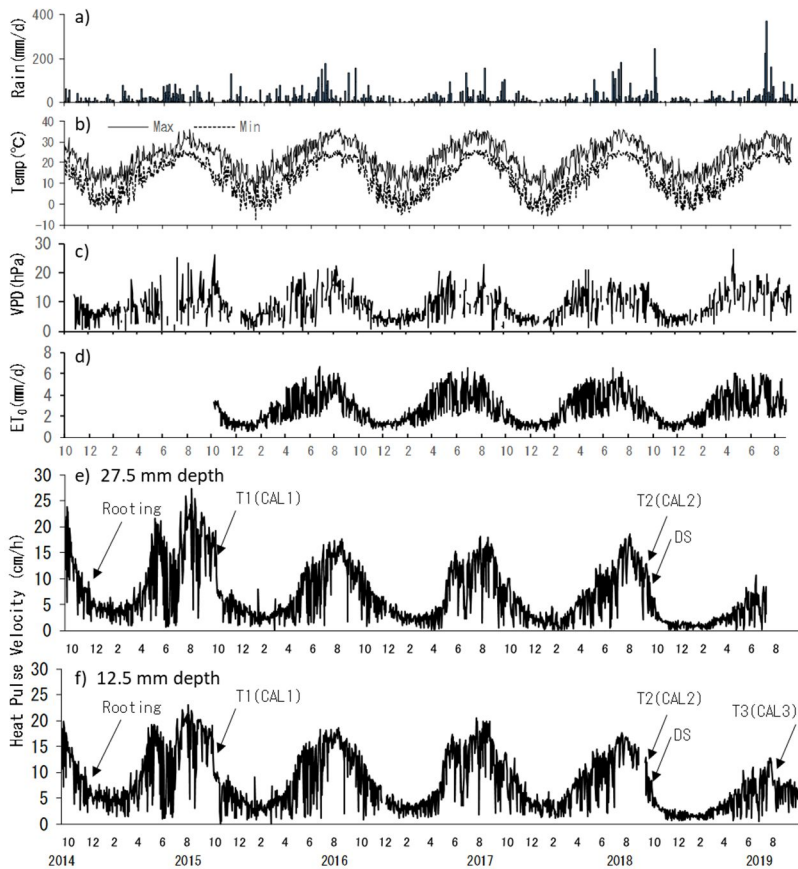


図2 カラタネオガタマのヒートパルス速度の変化と測定箇所の気象概況 降水量(a), 気温(b), 飽差(c), ET_0 (d)

表1 根系切断の蒸散量に及ぼす影響

	DATE	Measurement days	Diameter of root-ball (cm)	ΣET_0 (mm)	ΣTr (kg)	Tr/ET_0 (kg/mm)
T1	11 Oct. 2015	5	175	16.2	50.6	3.1
T2	25 Sep. 2018	5	200	15.4	51.4	3.3
DS	9 Oct. 2018	9	100	21.8	40	1.8

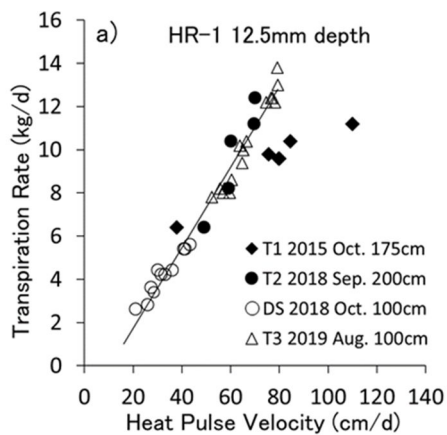


図3 根鉢秤量法による蒸散量とヒートパルス速度の関係 回帰直線式 (T1を除く): $y=0.187x-2.02$ $R^2=0.97$ $RMSE=0.56$

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shinichi Takeuchi, Keitaro Shinozaki Daiki Matsushima Shinichi Iida	4. 巻 1300
2. 論文標題 Calibration of the heat ratio method by direct measurements of transpiration with the weighing root-ball method for <i>Michelia figo</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Horticulturae	6. 最初と最後の頁 21~28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17660/actahortic.2020.1300.4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹内真一、篠崎圭太郎、本間秀一、松島大樹、日高英二、飯田真一	4. 巻 45
2. 論文標題 樹液流速の計測に基づいて樹冠や根系の縮減を抑えた樹木移植法の検討 - カラタネオガタマを対象にして -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 80-85
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 飯田真一、玉井幸治、野口正二、小林政広	4. 巻 49
2. 論文標題 森林における水文過程の解明：プロットから流域スケールの手法による知見と今後の展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水文学会誌	6. 最初と最後の頁 135-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Chunhua Yan Shinichi Takeuchi Guo Yu Qiu	4. 巻 Vol12-3
2. 論文標題 Soil warming affects sap flow responses to meteorological conditions for <i>Betula albosinensis</i> at a subalpine wetland in the edge of northeast Qinghai Tibet Plateau	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecohydrology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eco.2079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 飯田 真一, 竹内 真一, 荒木 誠, 清水 貴範, 野口 正二, 澤野 真治, 金子 智紀	4. 巻 31-4
2. 論文標題 スギに樹液流速測定法を適用する場合のセンサー有効期間	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水文・水資源学会誌	6. 最初と最後の頁 280-291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10310-010-0202-0.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 飯田真一・竹内真一・荒木誠
2. 発表標題 根鉢秤量法による樹液流計測法の検定
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯田真一・篠原慶規・竹内真一・清水貴範・熊谷朝臣
2. 発表標題 強制通水法による樹液流速測定法の検定
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内真一・篠崎圭太郎・松島大樹・飯田真一
2. 発表標題 根鉢秤量法に基づくHFD法による樹液流速測定のカリブレーション
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内真一・篠崎圭太郎・松島大樹・本間秀一・大木慎・藤田宏樹・日高英二・飯田真一
2. 発表標題 根鉢秤量法に基づくスギの樹液流速のキャリブレーション
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	飯田 真一 (Iida Shinichi) (70375434)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	日高 英二 (Hidaka Eiji) (90258666)	南九州大学・環境園芸学部・教授 (37601)	
研究分担者	篠崎 圭太郎 (Shinozaki Keitarou) (30842306)	南九州大学・環境園芸学部・都城事務部フィールドセンター 課 課員 (37601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------