

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18713

研究課題名(和文) 樹木における水バランスの総合的理解

研究課題名(英文) The comprehensive observation of water use in xylem with transplants in woody species

研究代表者

梅林 利弘 (Umebayashi, Toshihiro)

北海道大学・農学研究院・博士研究員

研究者番号：20585997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、苗木の植栽時における木部通水性への影響と枯死の関係を明らかにするために行われた。種毎の水ストレスと通水性の低下の関係を説明するために脆弱性曲線を作成した。根切りによる枯死は、長い道管を形成する環孔材樹種や水ストレス下で通水阻害を引き起こしやすい樹種で認められ、これらの樹種は根切り処理により通水性が著しく低下していた。一方、水ストレス下で通水阻害を引き起こしにくいスギに関して、根切りの量に関係なく、通水性の低下が認められた。この結果は、木部の水が移植後の根の再生のために利用されていることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted to reveal the relationship between the loss of hydraulic conductivity in xylem after transplants and the mortality ratio among species. The vulnerability curve was drawn to explain the relationship between water stress and the loss of hydraulic conductivity among species. Dead saplings with increasing the amount of pruned roots were detected in ring-porous species forming long vessels and in species that was more vulnerable to water-stress-induced embolisms, and the conductivity in these species significantly decreased with the treatment of root pruning. On the other hand, in Japanese cedar of high resistance to water-stress-induced embolisms, the loss of hydraulic conductivity was induced regardless the amount of pruned roots. This result suggests that the water in xylem may be used to form the new roots after transplants.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：水分生理 根切り 枯死 脆弱性曲線

1. 研究開始当初の背景

植物における根から葉までの水輸送は、木部の通水組織(仮道管や道管)が担っている。水消費の大半は葉での蒸散であり、この時通水組織内を移動する水には陰圧(負圧)がかかっている。そのため、植物が水ストレスにさらされ水不足に陥ると、通水組織の相互の連結部位である壁孔から気泡が侵入することで通水阻害が発生する。木部の多くの通水組織で通水阻害が発生すると、通水性が低下し成長不良や枯死を引き起こす。樹木の木部通水性の評価は一般的に切り枝を用いて行われている。しかし近年、枝の採取時に起きる切り口からの‘アーティファクト’な通水阻害の発生による問題が指摘され(Wheeler et al. 2013)、これまでの測定手法を再検討する必要性が出てきた(Torres-Ruiz et al. 2015)。

一方、木部で発生する通水阻害域を非破壊的に可視化する手法として、核磁器共鳴画像装置(MRI)やコンピュータ断層撮影装置(CT)が使用されてきた(Utsuzawa et al. 2005, Brodersen et al. 2010, Umebayashi et al. 2011)。そこで、ポット苗を用いて灌水を止め、通水阻害域をMRIにより非破壊的にモニタリングするとともに、モニタリング後にその部位を液体窒素で凍結させ、低温走査電子顕微鏡(cryo-SEM)を用いて水分分布を氷の状態で観察し、モニタリング画像が実際の木部の水分分布を正確にとらえていることを確認した。上記から得られた知見と切り枝を用いて作成された脆弱性曲線(水ストレスに伴う通水損失率の増加により作成)を比較し、切り枝で通水測定を行う際に生じる‘アーティファクト’な通水阻害の問題を解決してきた(Fukuda et al. 2015, Umebayashi et al. 2015)。

これらの研究成果は、ポット苗を対象に灌水をコントロールした実験室内での試験であった。樹種毎の水輸送特性に関する研究成果は、苗畑やポット苗を移植した際に生育環境の相違による成長不良や枯死を評価する

指標として必要であり、枝枯れや枯死の発生を抑えた植栽技術の向上や新たな植栽法の考案に利用できると考えられる。特に苗畑に植栽されている苗木を移植する場合、掘り取り時に根切りを行う必要があるが、根切りを行った際に通水性が低下すると考えられる。しかし、植栽と水輸送の関係に関する詳細な研究はほとんど行われていなかったことが現状である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、苗木の移植時に生じる水輸送への影響を明らかにすることを目的とし、根切り強度を段階毎に分けた苗木を作成し、植栽後の通水性の低下と枯死の関係を検討した。まず、根切りを行った個体を苗畑に植栽し、移植後の生存率を評価するとともに、根切りによる通水性の低下と枯死の関係を説明するために根切りを行った個体を掘り取り、その通水性を測定した。続いて、根切りによる通水性への影響の種間差を説明するために、切り枝を用いて脆弱性曲線を作成し、樹種間の水ストレス耐性を評価した。

また、スギに関しては、苗畑から掘り取りした後に通水阻害が髄側の木部で認められることを明らかにしている。そこで、掘り取りによる通水性への影響を明らかにするために、スギとクロマツを対象に掘り取りのみを行った苗木を再度苗畑に植栽し、掘り取りを行わなかった個体との通水性の差異に関して検討を行った。

3. 研究の方法

広葉樹4種(アサダ・ウダイカンバ・シラカンバ・ハリギリ)と針葉樹3種(カラマツ・スギ・クロマツ)の苗木を用いて行った。2016年に九州大学北海道演習林にてアサダを、北海道大学札幌研究林にてウダイカンバとカラマツの苗木を対象に、根切りの方法と移植後の苗木の枯死から調査に必要な期間につ

いて検討した。

根切りと移植は以下の手順で行った。5月に水を満たしたバケツの中で苗木の土壌を丁寧に落とした。その後、根の直径をもとに50%、75%、100%根切り区および根切りを行わない対照区を設け(図1)、各個体を苗畑に植栽した。植栽後から秋(10月)まで定期的に枯死の有無を確認した。また、プレッシャーチェンバーを用いて日中と夜明け前水ポテンシャルを定期的に測定し、水ストレス指標とした。

さらに、2017年では上記で確立した手法を用いて、北海道大学札幌研究林にてシラカンバとハリギリを用いて同様の根切り試験を行うとともに、東京大学田無演習林の苗畑に

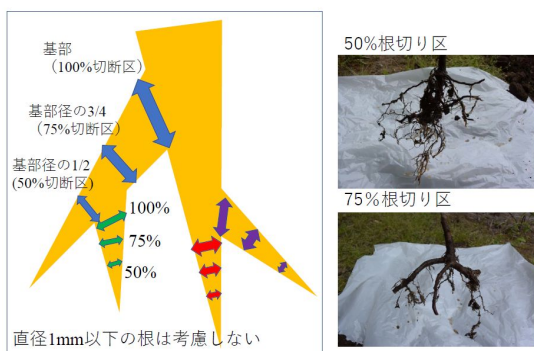


図1 根切り試験の説明

植栽されているスギとクロマツを対象に根切り試験を行った。

樹種毎の脆弱性曲線の作成は、ハリギリを除き遠心法を用いて作成した。ハリギリのような長い道管を形成する樹種は、遠心機により切り枝を回転させた際、アーティファクトの通水阻害の発生が指摘されている。そこで、最大道管長を測定し、最大道管長を考慮して自然乾燥法を用いて脆弱性曲線を作成した。

4. 研究成果

2016年に行ったアサダ、ウダイカンバ、カラマツを用いて、脆弱性曲線を作成した結果、アサダ、ウダイカンバ、カラマツの順で水ストレス耐性が高くなる傾向が認められた。3種の根切り試験の結果、根切りの強度に関わらず、植栽直後から一ヶ月間経過しても枯死

した個体は認められず、日中の水ポテンシャルもほとんど低下しなかった。根切り個体は水分供給が十分に行われず、多くの個体が脱水による枯死を引き起こすと予想したが、枯死に至るほどの水ストレスにさらされていないことが明らかになった。一方、5ヶ月後(10月)のアサダとウダイカンバにおいて、100%根切り処理を行った個体で枯死木が確認された。したがって、根切り個体における水不足は水輸送が再開された際に陥りやすく、水ストレス耐性の低い樹種ほど成長不良や枯死を引き起こしやすい傾向があると推測された。

全樹種の脆弱性曲線を作成した結果、通水損失50%の水ポテンシャル値からアサダ、ウダイカンバ、シラカンバ、ハリギリ、カラマツ、クロマツ、スギの順で水ストレス耐性が高くなる傾向が認められた。根切りによる枯死に関しては、ハリギリ以外は根切り処理から一ヶ月以内に枯死する個体は認められなかった。ハリギリは環孔材樹種であり、長い道管を形成するために根切り強度が高まるにつれ、通水性が著しく低下すると考えられる。このことから、根切りによる通水性への影響は樹種毎の木部組織の構造的特徴が関係することが明らかになった。

脆弱性曲線の結果から水ストレス耐性が最も高いと評価されたスギは、根切りを行った個体だけでなく、掘り取りのみの個体においても通水性の低下が認められた。一方、クロマツではほぼすべての根を失った個体(100%根切り区)以外は通水性の低下がほとんど認められなかった(Umebayashi et al. 投稿中)。これまでの結果から、スギは苗畑から苗木を採取し、ポットに移した際に髄側の木部で通水阻害が発生することが知られている。本研究結果から、掘り取りによる通水阻害の発生が水ストレスによるものではなく、根の再生のために木部の水が使用された可能性があることが示唆された。

したがって、植栽された苗木のその後の成長を理解するためには、水ストレスと水輸送の関係だけでなく、根切りによる吸水量の低下を補うために根の形成に木部の水が利用される可能性があることを考慮していくことが必要である。今回の結果からは、移植された苗木が土壌と根の水輸送経路の構築のために植物体内の水をどのように使用しているのかを説明することは難しく、今後の研究の中でその水分動態の全容を明らかにしていく必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計5件）

Toshihiro Umebayashi, Toshihiro Yamada, Kazunari Fukuhara, Ryota Endo, Dai Kusumoto, Kenji Fukuda. In situ observation of pinewood nematode in wood. *European Journal of Plant Pathology* 147, 463-467 (査読有) 2017年

Toshihiro Umebayashi, Toshimitsu Morita, Yasuhiro Utsumi, Dai Kusumoto, Yuko Yasuda, Tomoyuki Haishi, Kenji Fukuda. Spatial distribution of xylem embolisms in the stems of *Pinus thunbergii* at the threshold of fatal drought stress. *Tree Physiology* 36, 1210-1218 (査読有) 2016年

Toshihiro Umebayashi, Yasuhiro Utsumi, Shinya Koga, Ikue Murata, Kenji Fukuda. Differences in drought- and freeze-induced embolisms in deciduous ring-porous plant species in Japan. *Planta* 244, 753-760 (査読有) 2016年

Toshihiro Umebayashi, Mayumi Ogasa, Naoko Miki, Yasuhiro Utsumi, Tomoyuki Haishi, Kenji Fukuda. Freezing xylem conduits with liquid nitrogen creates artifactual embolisms in water-stressed broadleaf trees. *Trees-Structure and Function*

30, 305-316 (査読有) 2016年

Toshihiro Umebayashi, Toshihiro Yamada, Kazunari Fukuhara, Ryota Endo.

Observations on the embolism and survival of *Pinus thunbergii* seedlings inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus*. *European Journal of Plant Pathology* 145, 227-231 (査読有) 2016年

〔学会発表〕（計3件）

梅林利弘・福田健二・内海泰弘・楠本大・佐野雄三. 針葉樹2種の苗木において根切りと水ストレスが通水に及ぼす影響. 日本森林学会, 高知市, 2018年

Toshihiro Umebayashi, Yasuhiro Utsumi, Yuzo Sano. The interspecific difference in drought stress tolerance with transplants between two woody species. *Botany* 2017, Texas, USA, 2017年

梅林利弘・内海泰弘・佐野雄三. 苗木の根系切断による水輸送効率低下の種間差. 日本森林学会, 鹿児島市, 2017年

〔その他〕

ホームページ等：<http://harunirehp.wixsite.com/forman/blank-7>

6. 研究組織

(1)研究代表者

梅林 利弘 (UMEBAYASHI, Toshihiro)
北海道大学・大学院農学研究院・博士研究員

研究者番号：20585997

(2)研究協力者

佐野雄三 (SANO, Yuzou)
内海泰弘 (UTSUMI, Yasuhiro)
楠本 大 (KUSUMOTO, Dai)
福田健二 (FUKUDA, Kenji)