

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02258

研究課題名(和文) 立木の幹内部を可視化する手法を用いた樹幹師部 木部の放射方向の物質移動機構の解明

研究課題名(英文) The mechanism of radial transportation of chemicals between the phloem and xylem in standing tree trunks determined by the novel imaging techniques

研究代表者

黒田 克史 (Kuroda, Katsushi)

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

研究者番号：90399379

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：立木(生きている樹木)の幹内部で起こる樹幹放射方向の物質移動実態を明らかにするために、内部で起きている現象をできるだけ再現する工夫をした可視化実験を行った。セシウムをトレーサーにした実験により、ミネラルは辺材内を拡散と柔細胞機能の複合で双方向に移動すること、辺材と心材間の輸送には拡散ではない未知の物質輸送メカニズムが存在することを明らかにした。また蛍光物質をトレーサーにした実験により、蛍光物質はシンプラスト(細胞膜で囲まれた細胞内空間)とアポプラスト(死細胞や細胞壁を含む細胞外空間)を往来しながら幹を放射方向に移動す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

幹に含まれるミネラルなどの成分は樹種ごとに異なっており、その違いが木材の色、耐久性、強度などの材質に影響する。ミネラルや糖などの成分を含む水は辺材の外側の組織や師部組織で樹幹軸方向(縦方向)に輸送されるため、心材など幹の中央部に含まれる成分は幹の外側から放射方向(半径方向)に動いて蓄積されることが考えられているが、その移動の実態は実験として証明されていなかった。本研究では、できるだけ立木で起きている現象をそのまま解析する手法を用いて樹幹の放射方向(半径方向)の成分の移動の実態を細胞レベルで明らかにした。得られた成果は幹の材質の樹種間の違いを理解するための重要な手掛かりとなる。

研究成果の概要(英文)：We examined radial movement of minerals and chemicals in trees to understand the mechanism underlying their radial movement in the standing tree trunks. We revealed that artificially induced cesium as a tracer of minerals was moved radially in standing tree trunks through a combination of active transport by parenchyma cells and diffusion, and that artificially induced fluorescent materials as tracers of chemicals were moved in the radial direction while passing between symplast (the inner side of the plasma membrane of living cells) and apoplast (the space outside the plasma membrane including cell walls and dead cells).

研究分野：樹木細胞学

キーワード：ミネラル 放射方向移動 蛍光トレーサー 柔細胞 セシウム 立木凍結固定 アポプラスト シンプラスト

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

樹木は根から吸収したミネラルや葉で合成された光合成産物を樹体の各器官へ配分する。樹幹の放射方向では、これらの物質は放射柔細胞による能動的輸送によって移動すると提唱されている（例えば Chaffey ら 2001; Spicer 2014）。しかしながらこの放射柔細胞の輸送機能は、木部で生きている細胞は柔細胞だけなので柔細胞の機能以外に考えられないといういわば「消去法的な論理」に則っており、柔細胞の輸送機能は科学的実験に基づいて直接的に証明されていない（Okada ら 2011, 2012; Sokołowska 2013）。さらに、ミネラルの木部放射方向分布が樹種によって異なる（Okada ら 1993ab）理由や、古くからの日本林業の問題であるスギ黒色心材（藤岡と高橋, 1918）の原因と考えられる心材のカリウム蓄積の品種間差（森川ら, 1996）の理由などは柔細胞の能動輸送だけでは説明がつかない。また、光合成産物貯蔵のための師部から辺材への物質移動と再利用のための逆方向の移動も樹木の長寿命のための重要な戦略であるが、移動の方向性を決めるメカニズムは未解明である。樹幹放射方向の物質移動実態の解明は提案されているが実験的に証明されていない古くからの重要な課題である。

## 2. 研究の目的

巨大な樹木の幹内部で起きている物質移動機構の解明のため、立木（生きている樹木）の状態をできるだけ維持した可視化手法により樹幹放射方向（師部 - 形成層 - 辺材 - 心材）の物質の移動の実態を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 師部 - 木部放射方向のミネラル移動のクライオ電子顕微鏡解析

立木（生きている樹木）の状態をできるだけ維持した可視化手法は、前課題の成果に従った（科研費：25292110）。ミネラル移動のトレーサーとして安定同位体セシウム（Cs）を用いた。心材が形成されたスギおよびコナラ立木の幹に小穴を開け、染色剤の酸性フクシンを加えた塩化セシウム水溶液（セシウム液）を数時間から数日間連続して注入した（図1、2）。幹の外側から内側方向と内側から外側方向への移動を解析するため、セシウム液の注入は幹の外側と幹の内側で行った（図2）。一部のスギ試料について、凍結と融解を繰り返す処理により生きている細胞がない状態にした幹部位にセシウム液を注入した。注入後、樹幹を立木のまま凍結固定させてから伐採し、凍結を維持したままの試料をその後の解析に供した。

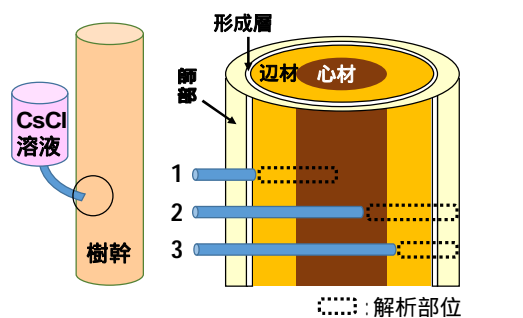
セシウム液の注入部は酸性フクシンの赤色を肉眼で観察した。注入部から放射方向にブロック試料を作製し、エネルギー分散型エックス線分析装置が付属したクライオ走査電子顕微鏡（クライオ SEM/EDX）の点分析により、細胞の種類ごとに Cs の有無を確認した。

### (2) シンプラストとアポプラストを区別した蛍光トレーサー解析

試料はスギ苗木およびポプラ、ケヤキ枝を用いた。シンプラスト（細胞膜で囲まれた細胞内空間）とアポプラスト（死細胞や細胞壁を含む細胞外空間）経路を可視化するためにそれぞれ 5, 6 カルボキシフル オレセインジアセテート（CFDA）とスルホローダミン B（SRB）を蛍光トレーサーとして用いた。蛍光試薬を混合したリン酸緩衝液をスギ苗木とポプラ枝は木部に到達する切り込みから、ケヤキ枝は切断面から注入し、蛍光顕微鏡で観察した。



図1 立木へのセシウム溶液注入と液体窒素を用いた立木凍結固定伐採法



- 1: 師部/辺材に注入、注入側の解析・・・外→内の移動  
2: 心材に注入、注入逆側の解析  
3: 辺材に注入、注入逆側の解析 } 内→外の移動

図2 樹幹への注入パターンの模式図

## 4. 研究成果

### (1) スギ幹放射方向の Cs の移動解析

セシウム液の注入部が師部の場合と木部外層の場合で酸性フクシンの赤色と Cs の検出部位を比較すると、3時間注入および1日注入ともほとんど違いは見られなかった。この結果はこれまでの報告（例えば Pfautsch ら 2015）と同様であり、スギの師部と木部が直ちに相互に物質を移動させることを明らかにした。

幹の外側から内側へのCs移動の解析のためセシウム液を木部外層に注入する実験を行った(図3)。通常の樹幹にセシウム液を5日注入すると、Csは仮道管細胞壁よりも柔細胞の内腔と細胞壁でより内側まで移動していた。次に生きた柔細胞の寄与を見極めるため、立木の幹に凍結と融解を繰り返す処理を行い柔細胞を細胞死させた樹幹部位、すなわち生きた細胞が無く拡散しか起こらない樹幹にセシウム液を辺材外側に注入した実験を行った。その結果、注入期間が1日から5日に長くなるとCsの移動距離は長くなるが、その移動範囲に細胞の種類の違いが見られないことが分かった。これらの結果から、辺材内でCsは拡散でも移動するが生きた柔細胞に拡散よりも速くCsを移動させる機能があることを明らかにした。

一方、幹の内側から外側への移動の様子を調べるため、幹に髓の反対側の移行材/辺材境界付近まで届く穴を開けセシウム液を注入した(図2の3)。その結果、Csが辺材外側方向に移動し、その移動距離は木部柔細胞の内腔と細胞壁では仮道管内腔と細胞壁よりも早いことが明らかになった。これらの結果から、スギ辺材内ではCsは生きた柔細胞の機能による早い移動と拡散の複合により移動すること、この移動様式は内側方向と外側方向で同じであることを明らかにした。

セシウム液を辺材外側に長期間注入すると、酸性フクシンの赤色は辺材で広く観察されたが心材との境界部である移行材より内側では観察されなかった。一方Csは移行材と心材でも検出された。このことから、辺材から心材へのCs移動は単なる拡散ではないと考えられた。さらに、幹に髓の反対側の心材まで届く穴を開けセシウム液を注入した場合(図2の2)、Csは辺材で検出されなかった。すなわち、Csは辺材から心材へは移動するが逆方向には移動しないことを示す。これらの事実、辺材と心材境界付近にCsを限定的に移動させる何らかのメカニズムが存在することを示唆する。

本研究で得られた結果から、ミネラルはスギの辺材内を放射柔細胞を介した速い移動とゆっくりした拡散の複合により移動するが、辺材と心材の移行部に存在する何らかのメカニズムにより辺材と心材間の移動は内側方向に限定されることが示唆された。過去の報告から、スギの心材へのカリウムの蓄積の多少にはクローン特性があることや辺材から心材に移動するミネラルと移動しないミネラルが存在することが知られている。この違いに本研究で存在が示唆された辺材と心材間のミネラル移動を制御するメカニズムが関与していると考えられる。

## (2) 広葉樹のコナラの幹放射方向のCs移動を針葉樹と比較

針葉樹のスギで得られた幹放射方向の移動実態が樹木に一般的な現象か明らかにするために、広葉樹のコナラを用いてスギと同様の実験を行った。コナラ立木の幹の辺材外側にセシウム液を注入し内側方向へのCs移動を解析した結果、Csは注入時間の増加とともに辺材内方に移動することが分かった。さらに、凍結と融解の処理後の幹部に注入を行った場合と通常の幹の場合を比べた結果、Csは拡散でも移動するが柔細胞の機能により拡散よりも早く移動することが明らかになった。これらの結果から、コナラ幹でCsは柔細胞を介した早い移動と細胞壁等の遅い拡散で辺材の内方に移動することを明らかにした。これらの結果はスギと同じであり、辺材のミネラルの移動機構は樹木に普遍的であることが示唆された。

一方、セシウム液を長期間注入した場合、酸性フクシンの赤色は心材の境界付近の辺材まで観察されたがそれより内側では観察されなかった。しかしCsは心材でも検出され、Csが拡散ではないメカニズムで心材に移動することを明らかにした。スギの場合は辺材最内層に移行材と呼

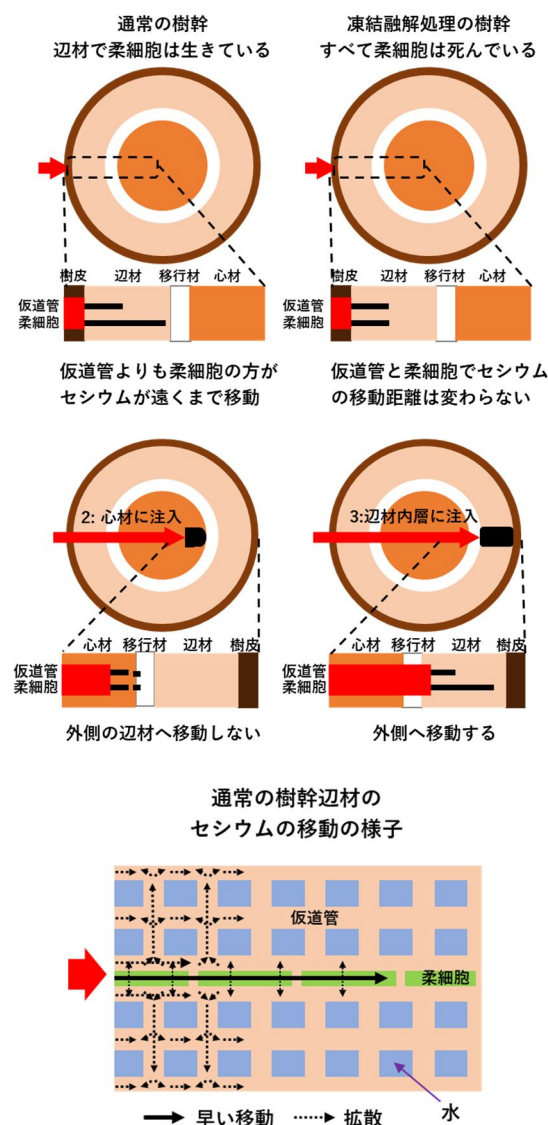


図3 クライオ SEM/EDX 解析によるスギ樹幹放射方向のセシウム移動解析  
セシウム液が注入され酸性フクシンが観察された部位を赤色で、クライオ SEM/EDX でCsが検出された部位を黒棒で示した。

ばれる含水率が非常に低い層が存在することから、細胞からの水分消失が拡散を制限する原因と考えられた。しかしながらコナラの水分状態をクライオ SEM で観察すると辺材と心材の境界付近で水分分布の変化は見られずスギとは異なることが明らかになった。さらに、スギとコナラでは心材に蓄積されるミネラルの種類と量が異なる。これらの事実から、辺材から心材へのミネラル移動メカニズムはコナラとスギで異なる可能性が示唆された。

### (3) 蛍光トレーサーを用いた細胞間の移動解析

細胞間の移動の解析のため、ケヤキ、ポプラ、スギを用いて、シンプラスト経路を標識する蛍光色素である CFDA と、アポプラスト経路を標識する SRB の 2 種類の蛍光トレーサーを浸漬吸入させた実験を行った。その結果、Sokolowska and Zagorska-Marek (2013) で報告されているような枝の切り口からの導入に限らず、異なるトレーサー導入方法によっても CFDA が細胞内に取り込まれ細胞内酵素による分解で CF 蛍光を発生することでシンプラスト経路を追跡できること、SRB 蛍光でアポプラスト経路を追跡できることを明らかにした。これらの結果から、アポプラストとシンプラストを区別した放射方向での輸送部位の解析が可能であることを明らかにした。

次に連続的に蛍光トレーサーの移動部位を観察した結果、SRB と CFDA は道管あるいは仮道管で輸送された後、放射柔細胞に移動している様子が観察された。また、SRB 蛍光で標識されたアポプラストよりも CF 蛍光で標識された柔細胞がより髄側まで見られることから、アポプラストでの拡散よりもシンプラストでの輸送が速いことが明らかになった。さらに、CF 蛍光で標識された髄側の柔細胞の周囲のアポプラストにも CF 蛍光が確認された。この結果は蛍光トレーサーが細胞内に取り込まれて移動した後にアポプラストに移動したことを示唆している。これらの結果から、蛍光物質は木部内をシンプラストとアポプラスト間を相互に移動しながら放射方向を移動することを明らかにした。

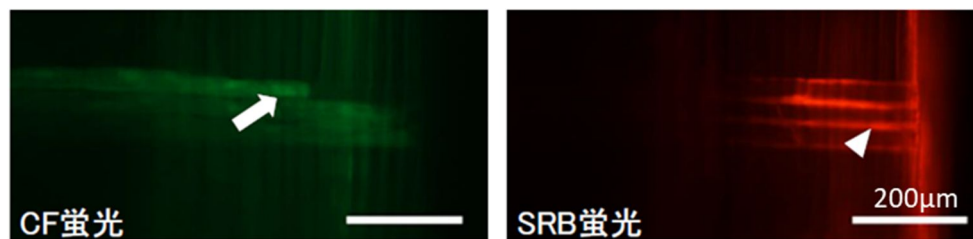


図 4 スギ苗木の蛍光トレーサー解析

シンプラスト経路を標識する 5,6 カルボキシフルオレセインジアセテート液 (CFDA) による CF 蛍光とアポプラスト経路を標識するスルホローダミン B (SRB)

### (4) その他の実験

注入した Cs 分布をより詳細に解析する方法としてクライオ TEM/EDX を用いた解析法を検討した。厚さ 200 ナノメートルの凍結準超薄連続切片を作製し点分析を行うことにより、細胞の内腔の構造物と細胞壁を区別して Cs の存在を解析することが可能になった。フィンランドとの国際共同研究として行った本実験は、残念ながら新型コロナウィルスによる渡航制限により中断したが、本手法はクライオ SEM/EDX よりも高分解能で解析するツールとして有効と考えられる。

### 引用文献

- 1) Chaffey N, Barlow P (2001) The cytoskeleton facilitates a three-dimensional symplasmic continuum in the long-lived ray and axial parenchyma cells of angiosperm trees. *Planta* 213:811-823.
- 2) Okada N, Katayama Y, Nobuchi T, Ishimaru Y, Aoki A (1993a) Trace elements in the stems of trees V. Comparisons of radial distributions among softwood stems. *Mokuzai Gakkaishi* 39:1111-1118.
- 3) Okada N, Katayama Y, Nobuchi T, Ishimaru Y, Aoki A (1993b) Trace elements in the stems of trees VI. Comparisons of radial distributions among hardwood stems. *Mokuzai Gakkaishi* 39:1119-1127.
- 4) Okada N, Hirakawa Y, Katayama Y. (2011) Application of activable tracers to investigate radial movement of minerals in the stem of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). *J Wood Sci* 57:421-428.
- 5) Okada N, Hirakawa Y, Katayama Y. (2012) Radial movement of sapwood-injected rubidium into heartwood of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in the growing period. *J Wood Sci* 58:1-8.
- 6) Pfautsch S, Renard J, Tjoelker MG, Salih A (2015) Phloem as capacitor: radial transfer of water into xylem of tree stems occurs via symplastic transport in ray parenchyma. *Plant Physiol* 167:963-971.
- 7) Sokołowska K (2013) Symplasmic transport in wood: the importance of living xylem cells. In: Sokołowska K, Sowiński P (eds) *Symplasmic transport in vascular plants*.

Springer, New York.

- 8) Sokołowska K, Zagórska-Marek B (2012) Symplasmic, long-distance transport in xylem and cambial regions in branches of *Acer pseudoplatanus* (Aceraceae) and *Populus tremula* × *P. tremuloides* (Salicaceae). *Am J Bot* 99:1745-1755.
- 9) Spicer R (2014) Symplasmic networks in secondary vascular tissues: parenchyma distribution and activity supporting long-distance transport. *J Exp Bot* 65:1829-1848.
- 10) 藤岡光長, 高橋憲三 (1918) すぎ心材色黒変ニ関スル研究. 林業試験報告, 16:1-78.
- 11) 森川岳, 小田一幸, 松村順司 (1996) スギ樹幹における黒心材形成と灰分(2): スギ3品種心材の性質. 九州大学農学部演習林報告, 74:41-49.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kuroda Katsushi、Yamane Kenichi、Itoh Yuko	4. 巻 11
2. 論文標題 Radial Movement of Minerals in the Trunks of Standing Japanese Cedar ( <i>Cryptomeria Japonica</i> D. Don) Trees in Summer by Tracer Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 562 ~ 562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11050562	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 Jyske Tuula, Kuroda Katsushi, Kerio Susanna, Pranovich Andrey, Linnakoski Riikka, Hayashi Noriko, Aoki Dan, Fukushima Kazuhiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Localization of (+)-Catechin in <i>Picea abies</i> Phloem: Responses to Wounding and Fungal Inoculation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2952 ~ 2952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules25122952	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 Kuroda Katsushi、Yamane Kenichi、Itoh Yuko	4. 巻 12
2. 論文標題 In Planta Analysis of the Radial Movement of Minerals from Inside to Outside in the Trunks of Standing Japanese Cedar ( <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) Trees at the Cellular Level	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 251 ~ 251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f12020251	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 黒田克史	4. 巻 54
2. 論文標題 樹木の心材形成機構の解明に向けて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 季刊森林総研	6. 最初と最後の頁 14 ~ 15
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 無
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 Kuroda Katsushi、Yamane Kenichi、Itoh Yuko	4. 巻 68
2. 論文標題 Cellular-level in planta analysis of radial movement of minerals in a konara oak ( <i>Quercus serrata</i> Murray) trunk	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s10086-022-02024-7	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 黒田克史	4. 巻 17
2. 論文標題 スギ樹幹半径方向のミネラル移動機構の解析 立木の中をそのまま見る工夫	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 グリーンスピリッツ	6. 最初と最後の頁 2~7
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 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 Yamane Kenichi、Nakaba Satoshi、Yamaguchi Masahiro、Kuroda Katsushi、Sano Yuzou、Lenggoro I. Wuled、Izuta Takeshi、Funada Ryo	4. 巻 10
2. 論文標題 Visualization and Localization of Submicron-Sized Ammonium Sulfate Particles on Needles of Japanese Larch ( <i>Larix kaempferi</i> ) and Japanese Cedar ( <i>Cryptomeria japonica</i> ) and Leaves of Japanese Beech ( <i>Fagus crenata</i> ) and Japanese Chinquapin ( <i>Castanopsis sieboldii</i> ) after Artificial Exposure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f10121151	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 Kuroda Katsushi、Yamane Kenichi、Itoh Yuko	4. 巻 32
2. 論文標題 Cellular level in planta analysis of radial movement of artificially injected caesium in <i>Cryptomeria japonica</i> xylem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Trees	6. 最初と最後の頁 1505~1517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-018-1729-5	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 Nakada Ryogo, Okada Naoki, Nakai Takahisa, Kuroda Katsushi, Nagai Satoshi	4. 巻 53
2. 論文標題 Water potential gradient between sapwood and heartwood as a driving force in water accumulation in wetwood in conifers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Wood Science and Technology	6. 最初と最後の頁 407 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00226-019-01081-4	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 黒田克史	4. 巻 74
2. 論文標題 立木の幹内部の水・元素分布を細胞レベルで解析する - 立木凍結固定伐採法とクライオSEM/EDX法 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 木材工業	6. 最初と最後の頁 76 ~ 80
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 Iwami Kana, Noma Satoshi, Ban Takuya, Matsushita Yasuyuki, Arakawa Izumi, Kitin Peter, Funada Ryo, Nakaba Satoshi	4. 巻 66
2. 論文標題 Pathways of extra- and intercellular diffusion of colored substances in the blackened xylem of Diospyros kaki	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s10086-020-01895-y	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 黒田克史、大橋伸太、半 智史	4. 巻 10
2. 論文標題 スギ樹幹半径方向のミネラル移動機構の解明に向けた凍結木材試料への放射光マイクロ蛍光エックス線分析の適用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SPring-8/SACLA利用研究成果集	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) 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 -



〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 黒田克史、山根健一、伊藤優子
2. 発表標題 クライオSEM/EDXによるスギ辺材に注入したセシウムの樹幹外側から内側への放射方向の移動解析
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田泰至、黒田克史、船田 良、半 智史
2. 発表標題 蛍光トレーサーを用いたスギ放射組織における物質移動経路の解析
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩見佳奈、乃万 了、伴 琢也、荒川 泉、松下泰幸、船田 良、半 智史
2. 発表標題 カキノキ木部の黒色部位における着色物質の移動経路および木部繊維細胞壁への沈着
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 半 智史、松田泰至、船田 良、黒田克史
2. 発表標題 樹木の木部放射組織における物質移動の蛍光トレーサーを用いた解析
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田克史、山根健一
2. 発表標題 スギ樹幹辺材のミネラル放射方向移動における木部柔細胞の寄与
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半智史、松田泰至、船田良、黒田克史
2. 発表標題 蛍光トレーサーを用いた木部放射組織における物質移動の可視化
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田泰至、黒田克史、船田良、半智史
2. 発表標題 蛍光トレーサーを用いたケヤキの放射組織を經由する物質移動の観察
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩見佳奈、乃万了、伴琢也、松下泰幸、船田良、半智史
2. 発表標題 カキノキ辺材部の黒色化に伴う木部柔細胞の内容物の変化
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田萌、船田良、半智史
2. 発表標題 ニセアカシアの心材形成過程における心材成分と細胞内容物の蛍光スペクトルイメージングによる同時観察
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Nakaba, Izumi Arakawa, Hikaru Morimoto, Yusuke Yamagishi, Ryogo Nakada, Nobumasa Bito, Takanori Imai, Ryo Funada
2. 発表標題 Cytological Changes in Ray Parenchyma Cells during Artificially Induced Cell Death in Cryptomeria japonica
3. 学会等名 2018 SWST/JWRS International Convention (国際学会)
4. 発表年 2018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	半 智史  (Nakaba Satsoshi)  (40627709)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授   (12605)	

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		
フィンランド	Natural Resources Institute Finland	Aalto University	Helsinki University