

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月11日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14951

研究課題名(和文) 樹皮組織のイオノミクス

研究課題名(英文) Ionomics of tree barks

研究代表者

佐野 雄三 (Sano, Yuzou)

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：90226043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、樹木の樹皮組織における無機成分集積に関する基礎データを収集することを目的として、北海道産樹木47種の樹皮を対象に、26種の無機元素の一斉分析、無機結晶の分布・形態観察を行った。樹皮には材よりもはるかに多く、葉と概ね同程度、同種類の無機成分が含まれていた。コシアブラの樹皮にはマンガンが多量に集積していた。どの樹種でもカルシウムが最も多く含まれ、その結晶の形態と分布型は多様で、樹種ごとの特徴となっていることが明らかであった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹皮組織は、資源として材組織とは同列に扱えない異質な素材であるが、現状ではその特性を有効に活かした使われ方がされているとは言い難い。本研究では、樹皮組織において材組織と比べて多量に集積する無機成分の実態について基礎的研究を行い、樹皮組織の高度利用や物質循環に配慮した持続的な森林管理のための基礎となる知見を得た。さらに、樹皮型による外樹皮に含有される無機成分組成・量の違い、カルシウム結晶の形態的多様性など、植物学的にも興味深い知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：To gain information about the metal elements accumulated into bark tissues in trees, we performed qualitative and quantitative analyses for a total of 26 elements, and macroscopic/microscopic observations of inorganic crystals. Contents of the 26 elements were much higher in bark tissues than in xylem tissues. The composition and contents of the metal elements were similar between the bark and leaves in each species. In *Chengiopanax sciadophylloides*, high amount of manganese was present not only in leaves but also in barks. In all the species examined, calcium was most abundant and the calcium crystals showed variations in micromorphology and distributions in the tissues.

研究分野：木材解剖学

キーワード：樹皮 イオノミクス 無機成分 内樹皮 外樹皮 コルク形成層 結晶細胞

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

樹皮とは、樹木において形成層よりも外側のすべての組織のことを言う。木部組織と同じく、樹皮は形成層に由来する組織であるが、形成層細胞が樹皮側へ分裂する頻度は木部側に比べるとはるかに少ない。かなりの樹種間差はあるものの、平均すると体積にして木部組織のおよそ10分の1である<sup>1)</sup>。また、樹皮組織は木部組織よりも全体に低密度であるため、両者の産生量を重量で比較すると、その差はさらに大きい。このように産生量が少ないことから、燃料のように量的な大きさが要求される資源としては、多くを期待することには無理があるのは明らかである。にも拘わらず、現状では樹皮の利用はバイオマス燃料の嵩増しが主体である<sup>2)</sup>。

樹皮に関しては、林木の主たる利用対象である木部組織と比べると、解剖学的性質、形成機構、物理・化学的性質のあらゆる面で研究例が乏しいといっても過言ではない。コルクを産生するコルクガシあるいは有用な生理活性物質を含有するごく少数の樹種の師部組織を除き、その基本構造や性質、資源としての有用性について、不明の点が多いのが現状である。樹皮の持つ資源としてのポテンシャルを有効に活かし、高度利用していくためには、その構造や性質をよく理解する必要がある。

樹皮の特徴の一つとして、無機成分の含有量が多いことがあげられる。日本産樹木の無機成分含有率は、一般に木部で1%未満であるのに対して、樹皮では3~20%である<sup>3)</sup>。その組成については、一部の樹種の主要元素についての知見が見られるのみで、利用の基礎資料となるようなデータ集はない。また、最も多量に蓄積するCa塩に関しては比較的多くの研究例が見られるものの、その集積機構や機能については未解明の点が多い<sup>4)</sup>。

従来より、樹皮や枝葉などの林地残材を林外へ持ち出すことによる土地痩せの懸念は再三論じられてきた<sup>5)</sup>。しかしながら、近年にはバイオマスエネルギーの資源として樹皮を含む林地残材の利活用が推進される趨勢にある。こうした利用をめぐる動勢についての確かに評価し、樹皮という特異な組織を木質資源としてより有効且つ持続的に高度利用していくためにも、構造や形成、物理・化学的性質に関する基礎情報の収集は必要である。

### 2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では材部と比べて桁違いに多くの無機元素を蓄積するという樹皮の特異な性質・機能を活かした樹皮ならではの無理のない高度活用法、並びに森林施業における物質循環を損なわない適正な取扱いを提案していくための足掛かりとなりえる基礎データ集を目標とした基礎研究を企図した。本課題では特に樹皮における無機成分の集積現象に着目し、大きく三つの項目について調査・解析を行うことを目的とした。第一に、樹皮組織における無機成分の組成や含有量に関するデータベースを構築するための基礎として、期間内にできるだけ多くの樹種の樹皮組織についてイオノミクスを進めた。第二に、樹皮組織における様々な無機成分の分布・存在状態を可視化し、その集積機構や機能について検討した。第三に、特異な土壌環境に生育することができる樹種、あるいは分布域が広範な樹種について、土壌の無機元素組成により樹皮の無機成分がどのように異なるかを検討した。さらに、樹皮組織の基本構造および形成過程についても詳細に調べ、無機成分の集積、分布の種特異性が生じる要因についても検討を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 材料

北海道大学の天塩研究林、苫小牧研究林において、北海道産47種より外樹皮、内樹皮別に分析用試料を採取した。天塩研究林では各樹種につき蛇紋岩土壌、褐色森林土それぞれに成育する個体から採取・比較し、土壌の違いによる変異の検討も行った。一部の樹種については、葉の試料も採取し、樹皮組織との比較も行った。

#### (2) 誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)による一斉分析

各試料を粉碎し、ICP-MSにより26元素(Al、As、B、Ba、Be、Ca、Cd、Co、Cr、Cs、Cu、Fe、K、Li、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Rb、S、Se、Sr、V、Zn)の一斉分析を行った。

#### (3) 元素マッピング

一斉分析によりMnおよびCuの超集積植物である可能性も示唆された樹種について、これら元素の局在を明らかにするためエネルギー分散型X線分析装置付き走査電子顕微鏡(SEM-EDX)によりMn、Cuのマッピングを行った。他の元素に比べて存在量が圧倒的に多いCa塩結晶の分布を調べるため、軟エックス線写真法による分布観察も試みた。

#### (4) 走査電子顕微鏡(SEM)による無機結晶の形態観察

どの樹種でも多量に存在し、多様な形態を有するCa塩結晶のSEM観察を組織別に行った。

#### (5) 樹皮組織の構造と形成過程

内樹皮と外樹皮で26種の元素の含有量が同様な樹種、大きく異なる樹種が見られたため、樹皮組織の構造と形成過程について詳細な顕微鏡観察を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 一斉分析

樹皮組織と材組織を比べると、26種の元素すべてにおいて樹皮の方が材よりも含有量が高かった。樹皮と葉を比べると、葉の方が樹皮よりも無機元素含有量がやや高い傾向があ

った。また、元素の種類によって多寡の傾向が異なり、Caは樹皮よりも葉の方が多かったのに対して、K、Pは葉よりも樹皮の方が高いという傾向が認められた。内樹皮と外樹皮を比べると、両部位で差がない樹種が多かったが、一部の樹種では外樹皮の方が内樹皮よりも無機成分はるかに小さかった。近接する蛇紋岩地帯と褐色森林土に成育する6種・別個体の比較では、土壌の組成と同様な多寡の傾向を示す樹種、土壌の違いを反映しない樹種が認められた。

葉にMnを超集積することが知られていたコシアブラは、樹皮組織にも同様にMnを多量に集積することが明らかになった。天塩研究林で採取したミズナラの外樹皮にCuが多量に検出された。以上のほかには特定の重金属を特異的に蓄積し、ファイトレメディエーションに使える候補となりえる機能を有する樹種は見つからなかった。

#### (2) 元素マッピング

SEM-EDXによるマッピングにより、どの樹種にも多量に含まれるCaは結晶の形で組織の随所に散在、あるいは特徴的な分布パターンで局在することが明らかになった。コシアブラのMnは局在性を示さず、組織の全域に均等に分布しているのが観察された。ミズナラ外樹皮ではCuの多量集積は観察されなかった。このことから、一斉分析で認められたミズナラ外樹皮における多量のCuはコンタミネーションである可能性が高いと判断された。

Ca塩結晶の分布を捉えるのに、軟X線写真法が有効であった。師部繊維を囲む、等間隔で帯状に分布など、内樹皮においては樹種による特徴的な分布型が認められた。深い亀裂を生じる樹皮では、裂け目の底部に皮目が集中し、そこにCa塩結晶が集積し、中には肉眼～ルーペで認めることのできる巨大な結晶を形成する樹種があることが明らかになった。

モクセイ科トネリコ属の2種では、すべての放射柔細胞に形成後ただちに舟形結晶を細胞内に充満するほど蓄積するのが認められ、この形質が属内で共通することが示唆された。

#### (3) Ca塩結晶形態の組織別観察

Ca塩結晶の形態は樹種毎に特徴があること、葉には樹皮組織よりも多種類の形態型の結晶を含む傾向があることが明らかになった。

#### (4) 樹皮型と無機成分の関連性

樹皮型に着目し、内樹皮と外樹皮で含有量の違いが生じる原因を検討した。その結果、樹皮型による違いは明らかで、外樹皮を形成するコルク形成層が短命で師部組織中に次々と再生することによりリチドームを発達させる樹種では、内樹皮・外樹皮間で各元素の含有量に大きな違いは認められなかった。これに対して、コルク形成層が長命でリチドームが発達せず、外樹皮が単一の周皮で構成される樹種では、外樹皮の方が内樹皮よりも一部の元素が桁違いに少なかった。これらの結果から、外樹皮に含有される26種の無機成分は内樹皮(師部組織)中に蓄積されたものが外樹皮形成の際に取り込まれたもので、ピュアな周皮あるいはコルク組織には決して多く蓄積するものではないものと推察された。

#### <引用文献>

- 1) Evert R. & Eichhorn S.: "Esau's Plant Anatomy (3rd ed.)" Wiley-Liss (2006).
- 2) 林野庁編『平成26年度森林・林業白書』(2015)。
- 3) Rowell R.: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press (2012).
- 4) Bauer P. et al.: Plant Science 180: 746-756 (2011).
- 5) Nabors M.: "Introduction to Botany" Pearson Benjamin Cummings (2004).

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計 2 件)

- 1) Shibui H., Sano Y.: Structure and formation of phellem of *Betula maximowicziana*. IAWA Journal, 39, 18-36 (2018) (査読あり)
- 2) 渋井宏美, 佐野雄三: ウダイカンバの外樹皮の構造と形成. 北方林業, 69, 33-42 (2018) (査読なし)

##### [学会発表](計 6 件)

- 1) 関野一喜, 山岸祐介, 佐野雄三: 広葉樹外樹皮組織のSEM観察. 第69回日本木材学会大会 (2019)
- 2) 長澤愛美, 山岸祐介, 佐野雄三: 道産針葉樹3種の樹皮組織の解剖学的特徴. 第69回日本木材学会大会 (2019)
- 3) 渋井宏美, 佐野雄三: ヤエガワカンバ外樹皮の解剖学的特徴と力学的性質. 第68回日本木材学会大会 (2018)
- 4) Shibui H., Sano Y.: Seasonal formation of phellem in *Betula maximowicziana*. 9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference (2017)
- 5) Sano Y., Shibui H.: Development of phellem tissues in *Betula maximowicziana*. The announcement of The Twelfth Joint Seminar of China-Korea-Japan on Wood Quality and Utilization of Domestic Species (2017)

6) 渋井宏美、澤田圭、杉山淳司、佐野雄三：接線方向引張過程におけるカバノキ外樹皮の変形・破壊挙動と組織の変形．第 67 回日本木材学会大会（2017）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：渡部 敏裕

ローマ字氏名：Watanabe Toshihiro

所属研究機関名：北海道大学

部局名：農学研究院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：60360939

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：宮下 佳恵

ローマ字氏名：Miyashita Yoshie

### (3)研究協力者

研究協力者氏名：渋井 宏美

ローマ字氏名：Shibui Hiromi

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、研究者個人に帰属されます。