

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660129

研究課題名(和文)年輪セルロースに津波の記録は刻まれるのか？

研究課題名(英文)Can intra-annual  $\delta^{13}C$  variation of pine tree rings record an event of roots immersion in saltwater following tsunami?

研究代表者

久保田 多余子 (Kubota, Tayoko)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：70353670

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)：東日本大震災の津波を受け、震災直後健全に見えた森林においても、2011年夏以降、塩害による衰弱や枯死が見られた。本研究は津波被害を受けつつ生存したクロマツ林において、年輪セルロースの炭素安定同位体比( $^{13}C$ )の季節変化を調べ、塩害によってマツが枯死に至る過程を明らかにした。震災前の年輪セルロースの $^{13}C$ は早材で小さく晩材で高くなる季節変化を示していた。震災後は早材形成初期から $^{13}C$ の差(被害木-無被害木)が有意に高く、早材初期で最高値を取り、晩材で減少した。これは津波直後の春に水ストレスを受けて $^{13}C$ が上がり、その後海水が排水され、水ストレスが下がって $^{13}C$ が下がったと考えられた。

研究成果の概要(英文)：Pinus Thunbergii growing in pacific coastal sand dunes in Japan was damaged by tsunami following the Great East Japan Earthquake occurred on 11 March, 2011. Even those that managed to survive the direct physical damage from tsunami began to die back from summer due to the physiological stress from saltwater immersion. The objective of this work was to analyze the association between carbon isotope ratio ( $^{13}C$ ) of tree-ring cellulose of P. Thunbergii and effect of salt water immersion caused by tsunami. Intra-annual  $^{13}C$  of the tree ring formed after the tsunami event was significantly higher. Compared to controls, those immersed in tsunami seawater showed  $^{13}C$  increase in earlywood formed in spring just after the tsunami, the increase was likely caused by water stress caused by the root immersion in saltwater, and following  $^{13}C$  decrease by the dissipation of water stress as the seawater was drained by precipitation.

研究分野：森林水文学

キーワード：東日本大震災 クロマツ 塩害 年輪 セルロース 炭素同位体比

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東日本大震災により海岸前縁部のマツ林は壊滅的な被害を受けた。この被害に留まらず、震災直後健全に見えた後背地森林においても2011年夏以降、針葉の赤色化や枯死が生じた。土壌調査の結果、衰弱の原因は塩害による根からの吸水阻害(水ストレス)のためと考えられている。しかし、塩分濃度等の調査からは樹木が実際に塩害による水ストレスを受けていたのかわからない。

樹木を含むC3植物の光合成では、水分が十分にあれば $^{12}\text{C}$ が優先的に使われ有機物として固定される。しかし、乾燥ストレスを受けると水利用効率を上げるために植物は気孔を閉じ、気孔内の $\text{CO}_2$ 濃度が下がる。このため $^{13}\text{C}$ がより多く有機物固定に利用され、光合成産物の炭素同位体比( $^{13}\text{C}$ )が高くなる。

塩害により浸透圧に逆らって根から水の吸収ができなくなることは、乾燥ストレスを受けることと似ている。このことから、塩害によって、乾燥ストレスを受けた時と同じように、光合成産物の $^{13}\text{C}$ 値が上昇すると考えられる。そこで、津波をかぶった樹木の年輪セルロースの $^{13}\text{C}$ 値変化から、津波に伴う塩害から樹木が受ける水ストレスを定量的に評価する方法を開発するとともに、塩害によってマツが枯死に至る過程を明らかにすることができると考えた。

### 2. 研究の目的

津波被害を受けたクロマツ林において、年輪のセルロースの炭素安定同位体比( $^{13}\text{C}$ )の季節変化を調べ、津波に伴う塩害によって樹木が受ける水ストレスを定量的に評価する方法を開発し、塩害によってマツが枯死に至る過程を明らかにすることにより、津波被害に強いマツ林造成のために役立てることを目的とする。

### 3. 研究の方法

研究の対象とした森林は、東日本大震災において甚大な被害を受けた、宮城県亶理郡山元町、および地形に凹凸があり、起伏によりクロマツの生死が明瞭に分かれた、青森県三沢市の海岸クロマツ林である。津波の被害を受けつつも生存した個体および被害を受けなかった個体のそれぞれ4個体以上に対し、成長錐を用いて胸高において、直径12mm、表皮から10cm程度の年輪コアを採取した。2013年9月までに全個体を採取した。年輪コアから1mm厚の木口薄片を作成し、三沢市のサンプルについては、薄片を直接セルロースにして、1年輪を実体顕微鏡下で4~16等分に切り分けた。0.25~1.0mgを秤量して銀カップに包み、高熱分解炉(Hekatech HT0)および質量分析計(Thermo-Finnigan MAT252)により、 $^{13}\text{C}$ を測定した。山元町のサンプルについては、セルロースを抽出せずに年

輪を切り分けた後、スズカップに試料を包み、元素分析計(CE instruments NC2500)および質量分析計(同上)により $^{13}\text{C}$ を測定した。土壌の塩分濃度については既存の報告書等をもとにした。

### 4. 研究成果

震災前、三沢市および山元町のいずれのクロマツにおいても、年輪セルロースの $^{13}\text{C}$ は早材で小さく晩材で高くなる季節変化の傾向を示していた。一方で、震災があった2011年においては $^{13}\text{C}$ 値が早材の形成初期から震災前のそれに比べて高く、その後晩材で減少する傾向がみられた。(図1、2)。このことから、光合成活動開始時から浸透圧に逆らって水を吸収することができず、 $^{13}\text{C}$ 値が大きくなり、その後海水が排水され、水ストレスが下がって $^{13}\text{C}$ 値も下がったと考えられた。

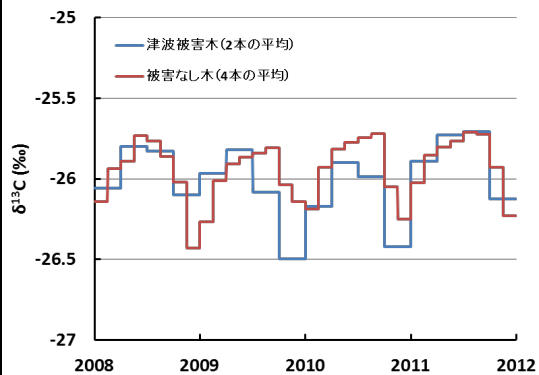


図1 青森県三沢市五川目地区において凸地形で生存したクロマツと被害のなかったクロマツの年輪セルロース炭素同位体比

2011年の $^{13}\text{C}$ 値の上昇が年ごとの気象の影響や生育場所の違いによるものであるのか、塩害による水ストレスによるものであるのかを、被害木と無被害木の $^{13}\text{C}$ 値差により検討した。そのためにまず、2011年の被害木の $^{13}\text{C}$ 値から無被害木の $^{13}\text{C}$ 値を対応する1/8分割ごとに差し引いて、 $^{13}\text{C}$ 値差(被害木-無被害木) $_{(2011)}$ とした。次に、2008年から2010年の対応する1/8ごとの被害木と無被害木の $^{13}\text{C}$ 値の平均値に対して、被害木の $^{13}\text{C}$ 値から対応する無被害木の $^{13}\text{C}$ 値を差し引いて、 $^{13}\text{C}$ 値差(被害木-無被害木) $_{(2008-2010)}$ とした。 $^{13}\text{C}$ 値差(被害木-無被害木) $_{(2011)}$ と $^{13}\text{C}$ 値差(被害木-無被害木) $_{(2008-2010)}$ に対して、一元配置の分散分析を行った。

この結果、三沢のクロマツについては2011年の $^{13}\text{C}$ 値差(被害木-無被害木) $_{(2011)}$ には有意な差がなかった。これは三沢市のクロマツサンプルはもともと海岸の前縁部にあり、年輪幅が小さい木が多く、津波を受けた2011年はさらに小さくなり(図3)、年輪の切り分

けが困難なため、比較的年輪幅の大きい木の年輪を分析に使用した。このため、あまり水ストレスを受けていない個体を選択的に分析してしまった可能性がある。また、三沢市のクロマツ林内は地形に凹凸があり、凸地の排水が良く、比較的早く海水が除去されたために水ストレスが小さかったためと考えられた。

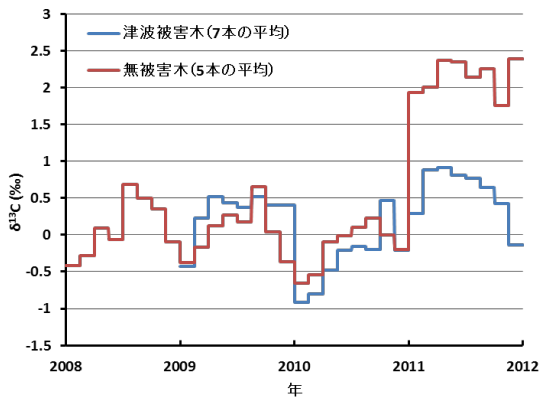


図2 宮城県亶理郡山元町における津波被害クロマツと被害なしクロマツの年輪セルロース炭素同位体比



図3 青森県三沢市五川目地区で採取した被害木と無被害木のクロマツ年輪

一方、山元町のクロマツの2011年の<sup>13</sup>C値差(被害木-無被害木)<sub>(2011)</sub>は2008年~2010年の平均値に対し有意に高く(P<0.001)年輪セルロースの<sup>13</sup>C値差に津波の影響が見られた。このように塩害による水ストレス(夏の高温などの季節変化によるストレスを含まない)は、<sup>13</sup>C値差に反映されていると考えられた。

山元町のクロマツ採取地点より約13km北にある、亶理におけるアメダスデータによれば、2011年の3月から8月までの降水量は過去30年間の平均値に比べ5月を除き少なかった(図4)。8月は特に乾燥しており、津波被害を受けたクロマツは塩害により水ストレスが上がって<sup>13</sup>C値が上昇した後、2011年8月の乾燥も重なって衰弱したと考えられた。このことは夏頃から津波を受けた海

岸林に針葉の赤色化や枯死が生じたことと一致していた。そして、9月以降の多雨によって土壌塩分濃度が下がるまで持ち堪えることができなかった個体は枯死したと考えられた。

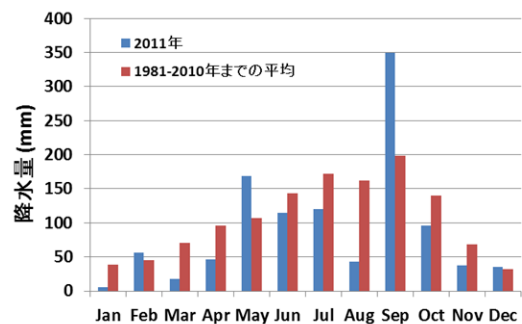


図4 宮城県亶理郡山元町付近の降水量(亶理アメダスより)

山元町の被害クロマツにおいて、2011年の晩材の幅が非常に狭くなっている個体が多く見られた(図5)。これは水ストレスがかかった夏以降に晩材形成が阻害されて狭くなったためと考えられた。



図5 宮城県亶理郡山元町の津波被災クロマツの年輪

津波被害木の年輪の<sup>13</sup>C値が、被害が甚大であった山元町のクロマツよりも、排水の良い地形にあった青森県三沢市のクロマツで小さかったことは、排水の良さが津波後の塩害を軽減させる得ることを示唆していた。<sup>13</sup>Cの値の大小は個体差が大きく、海岸からの距離および土壌塩分濃度については明瞭な関係が見られなかった。

## 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 1 件)

野口 正二、新山 馨、田村 宏喜、田中 三郎、久保田 多余子、安田 幸生、宮城県宮城野区海岸林における地下水位の変動、日本森林学会誌、査読有、2014年4月、96(3): 150-154

〔学会発表〕(計 3 件)

久保田 多余子・香川 聡・児玉 直美、宮城県山元町における津波被災クロマツの年輪炭素同位体比、第126回日本森林学会大会学術講演集、P2A033、126:238、2015年3月28日、北海道大学農学部(札幌市)

小野 賢二・安田 幸生・中村 克典・久保田 多余子 (2014) 青森県三沢市の海岸防災林植栽地における土壌環境、東北森林科学会大会講演要旨集、19:36、2014年9月2日、コラッセふくしま(福島市)

久保田 多余子・香川 聡・児玉 直美 (2014) 津波被害クロマツにおける年輪セルロースの炭素・酸素安定同位体比、第125回日本森林学会大会学術講演集、2014年3月29日、125:266、大宮ソニックシティ(さいたま市)

〔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：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 多余子 (KUBOTA, Tayoko)  
森林総合研究所東北支所・主任研究員  
研究者番号：70353670

(2) 研究分担者

香川 聡 (KAGAWA, Akira)  
森林総合研究所木材特性研究領域・主任研究員  
研究者番号：40353635

児玉 直美 (KODAMA, Naomi)  
兵庫県立大学環境人間学部・研究員  
研究者番号：60594611