

速報

スギとヒノキの根株の地上部と地下部の分解比較*¹酒井佳美*²・石塚成宏*³

酒井佳美・石塚成宏：スギとヒノキの根株の地上部と地下部の分解比較 九州森林研究 71：75－77，2018 日本の森林における根株の炭素蓄積量は枯死木の約3割を占めており無視できない量である。一方，根株は構成器官としての幹と根を含み，さらに，分解の場としての地表と地中の違いがあり複雑な分解様式を示すことが考えられる。特に，地中の粗大根の分解過程の測定は作業が煩雑なため，調査例そのものが少なく，不明なことが多い。本研究では，根株の地上部と地下部の分解の進行を比較することを目的に，クロノシークエンス法を使用して広域から伐採後1～20年の根株を採取し，炭素，窒素，およびリグニン濃度を比較した。地上部と地下部の成分濃度の回帰直線を比較すると，いずれの成分においても直線の傾きにスギとヒノキの樹種間差があり，スギの方が傾きは大きかった。窒素は地下部において，リグニンは地上部において濃度が高い傾向であった。これは，分解が進行しても生木時の濃度分布の特徴が反映されていたと考えられた。一方，同一根株個体内での根の成分濃度のばらつきが大きいことも示され，分解の進行に個体内でのばらつきがあることも示唆された。

キーワード：枯死木，リグニン，窒素，分解

I. はじめに

森林の枯死木は倒木，根株，立枯木からなり，気候変動枠組条約・京都議定書において森林の吸収量の算定・報告の必要のある5つの炭素プール（地上部バイオマス，地下部バイオマス，枯死木，リター，土壌）の1つである。枯死木はその大きさにより，バイオマスや分解過程の測定が簡単ではない。そのため，数値のばらつきが大きく，より精度良く推定するための検討が進められている。

林地残材として林地に残される根株は，近年の人工林の伐採面積の増加傾向により，その現存量の増加が予想される。根株の現存量は地上部バイオマスの25～30%程度に相当するとされ，炭

素蓄積量としては0.25 kg m⁻²（林野庁，2017）と枯死木の約3割を占めており，無視できない量である。根株には地上の切株（地上部）と地下の根（地下部）の両方が含まれる。つまり，構成器官としての幹と根を含み，分解の場としても地表と地中の違いがあり複雑な分解様式を示すことが考えられる。既存の報告では根株の分解過程について，地上部と地下部とを直接比較したものは無い。特に，地下部の粗大根の分解過程の測定は作業が煩雑なため，調査例そのものが少ない。

枯死木の調査ではクロノシークエンス法が多く使用されている（Russell *et al.*, 2015）。枯死木の分解には非常に時間がかかるため，リターバック法では十分な分解時間を確保することが困難である。クロノシークエンス法は目的となる対象の履歴や経過した時間の

表-1. 各調査地と採取した根株の概要

県名	調査地	平均気温 (°C)	年降水量 (mm)	樹種	林分数	根株数	根株直径 (cm)	経過年数
群馬	東京農工大学 FM 草木 N36° 32' 15", E139° 24' 14"	8.5	1740	スギ	1	2	26 - 27	15
千葉	東京大学千葉演習林 N35° 8' 56", E140° 9' 0"	14.5	2103	スギ	3	5	26 - 44	11 - 20
				ヒノキ	1	2	37 - 42	3
愛知	名古屋大学稲武フィールド N35° 11' 40", E137° 34' 57"	8.2	2479	スギ	2	5	12 - 31	2 - 17
				ヒノキ	2	4	12 - 21	8 - 10
高知	四国支所 N33° 32' 21", E133° 28' 39"	16.6	2369	スギ	1	4	27 - 30	7
熊本1	九州支所 N32° 49' 12", E130° 44' 3"	16.5	1986	スギ	1	1	18	12
				ヒノキ	1	1	43	12
熊本2	木護国有林菊池試験地 N33° 2' 20", E130° 56' 21"	11.7	2679	スギ	1	3	26 - 38	1
				ヒノキ	1	3	23 - 35	1
鹿児島	鹿児島大学高隈演習林 N31° 31' 54", E130° 45' 38"	14.8	2942	スギ	3	6	18 - 30	8 - 19

*¹ Sakai, Y. and Ishizuka, S.: Comparing concentration of carbon, nitrogen and lignin among above- and belowground parts of dead stumps of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*.

*² 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Cent., For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862, Japan

*³ 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687, Japan

情報がある調査地を使用し、異なる時間経過のデータを時系列上に並べて変化を調べる方法であり、長期間の時間変化を捉えることが可能である。その一方で、対象の初期情報が無いことや調査地を同じ条件に統一することが不可能であるため、これらに起因する誤差を小さくする工夫が求められる。

本研究では、根株の地上部と地下部の分解過程を比較するため、それぞれの成分濃度を比較した。調査対象根株の初期情報は得られないため、伐採後の経過年数が異なり分解程度が異なると予想される個体を広域でできるだけ多く採取した。同じ分解年数の経過に対する地上部と地下部の分解過程に違いがあるかを調べるために、同一個体内における地上部と地下部の成分濃度を比較した。

II. 調査地と方法

調査は広域にわたる調査地を含むように、群馬（東京農工大学 FM 草木）、千葉（東京大学千葉演習林）、愛知（名古屋大学稲武フィールド）、高知（森林総合研究所四国支所）、熊本（森林総合研究所九州支所、木護国有林）、鹿児島（鹿児島大学高隈演習林）でおこなった。

伐採後の経過年数がわかる人工林 17 林分を対象として 36 個体（スギ：26、ヒノキ：10）の根株の掘り取り調査をおこなった。伐採後の経過年数は、施業履歴から伐採履歴のある林分を調べ、伐採後の経過年数が 1~20 年経過した林分を抽出した。根株は林分内でランダムに選出した。表-1 に調査地と採取した根株の概要を示す。

地下部の根は、根株の周囲 50 cm 程度を掘り出し、同一の根株から 3 個以上の根を選び、ノコギリを用いて円板試料を採取した（以下、地下部）。また、同じ根株個体の地上部の高さの 2 分の一程度の位置で円板を採取した（以下、地上部）。分解が進んだ個体は、周囲をビニールテープで固定して材の脱落を防いだ後に、円板を切り出した。

円板は研究室に持ち帰り、70℃で恒常状態になるまで乾燥した。その後、木材と樹皮に分けて粉碎し、木材を化学成分濃度の測定に供した。全炭素、全窒素濃度の測定は乾式燃焼法(SUMIGRAPH NC-22 F)によりおこなった。抽出成分をエタノールとベンゼンの混合液によるソックスレー抽出法により測定した(TAPPI, 1997)。抽出後の脱脂木粉についてクラークソンリグニンを測定した(TAPPI, 1998)。リグニン濃度はクラークソンリグニンと酸可溶性リグニンの合算値とした。いずれの成分濃度も、灰分を乾式燃焼によって測定しそれぞれに成分濃度を計算した。

地下部と地上部の成分濃度の比較には、II 型の回帰である Reduced Major Axis (RMA) を使用して検討した。地下部は根株 1 個体につき 3 個以上の根を採取しており、成分濃度としては根株個体ごとに測定した値の平均値を計算して使用した。RMA と回帰式の比較には R ver. 3.4.2 (R Development Core Team, 2017) を使用した。RMA には smatr パッケージ (Ver. 3.4-3) を使用した。有意差は危険率 5% 未満のものを有意とした。

III. 結果と考察

全て採取試料の成分濃度レンジ（最小値~最大値）は、炭素濃

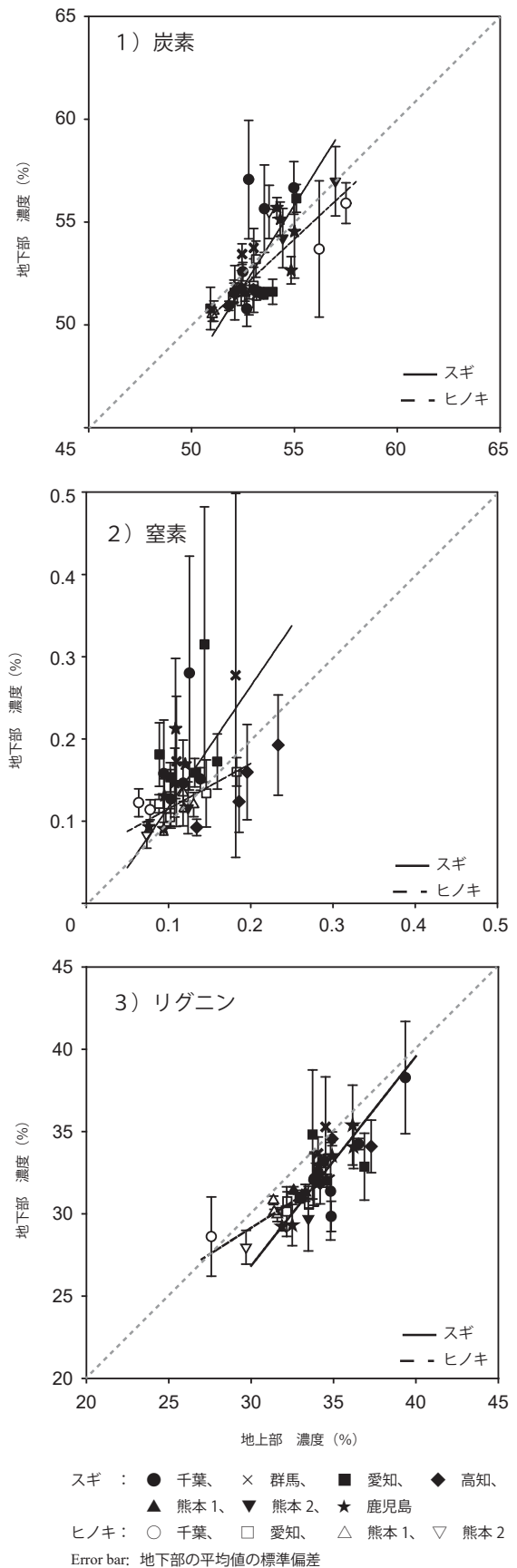


図-1. 地上部と地下部の成分濃度の比較
 — スギ, ---- ヒノキの回帰直線
 傾き b , 切片 a は表-2 に記載。

表-2. 樹種別, 成分別の回帰直線のパラメーター

成分名	樹種	b	a	R^2	p
炭素	スギ	1.59	-31.63	0.48	<0.001
	ヒノキ	0.93	3.02	0.71	0.002
窒素	スギ	1.47	-0.03	0.10	0.111
	ヒノキ	0.55	0.06	0.60	0.008
リグニン	スギ	1.27	-11.34	0.57	<0.001
	ヒノキ	0.64	10.09	0.72	0.002

* : $y = a + bx$ 目的変数 y , 説明変数 x とした回帰直線
 x : 地上部の成分濃度, y : 地下部の成分濃度

度 (%) では, 地上部が 50.9-57.5, 地下部が 50.5-57.1, 窒素濃度 (%) では地上部が 0.06-0.23, 地下部は 0.08-0.31, リグニン濃度 (%) では地上部が 27.6-39.4, 地下部は 28.0-38.3 であった。国内のスギとヒノキの倒木の分解度 1-4 の炭素と窒素の平均濃度 (%) のレンジは, 順に 50.7-53.5, 0.10-0.44 と報告されており (Sakai *et al.*, 2012), 本研究で採取されたサンプルはほぼレンジの範囲内であった。窒素濃度のレンジは地上部と地下部での差が大きく, 地上部の方が窒素濃度のレンジは低かった。炭素濃度とリグニン濃度ではほぼ同じであった。また, 地下部の成分濃度は同一個体内での標準偏差が大きいサンプルがあり, 個体内での濃度のばらつきが大きいことが示された。

地上部と地下部との成分濃度の関係を見ると, 炭素, 窒素, およびリグニンのいずれにおいても, 傾き b にスギとヒノキの樹種間差があった (炭素: $p = 0.039$, 窒素: $p = 0.003$, リグニン: $p = 0.008$) (図-1, 表-2)。全ての成分において傾き b はスギの方がヒノキよりも大きかった (表-2)。スギの炭素, ヒノキの窒素, および, ヒノキのリグニンは, 地上部と地下部との成分濃度比が等しくなる傾き 1 との有意差が認められた (順に $p = 0.003$, $p = 0.021$, $p = 0.035$)。

炭素濃度では, 一部の標準偏差のエラーバーの大きな数値を除いて, 多くのサンプルが濃度比 1:1 の周辺に分布した (図-1)。樹種別の傾き b はスギの方がヒノキよりも大きく, 傾き 1 よりも大きかった。スギでは炭素濃度の高い個体は地下部に, 炭素濃度が低い場合は地上部で濃度が高いものが多かった。

窒素では, 地下部の濃度が地上部の濃度がよりも高いサンプルが多かった (図-1)。スギとヒノキの根の窒素濃度は直径が細いほど高く, また, 根は幹よりも濃度が高いことが報告されている (Karizumi, 1990)。本研究での結果は, その影響が反映されているためと予想された。また, スギとヒノキの幹の窒素濃度は 0.1% 程度である (Karizumi, 1990)。本結果では地上部の多くのサンプルで窒素濃度が 0.1% より高かった。スギとヒノキの根株において分解の進行にともない窒素濃度が高くなると報告されており (Sakai *et al.*, 2012), 分解の進行に伴って外部から窒素を取り込んでいたためと考えられる。

リグニン濃度では, ほぼ全てのサンプルが地上部の方が地下部の平均濃度よりも高い傾向を示した (図-1)。スギやヒノキの倒木において分解初期から分解後期にかけてリグニン濃度が高くな

る傾向であったと報告されている (酒井ほか, 2010)。採取したサンプルの経過年数は 1-20 年であり (表-1), 分解の程度は幅広く含まれているが, ほぼ全ての範囲で地上部でのリグニン濃度の方が地下部よりも高い。つまり, 生木時において地上部の方がリグニン濃度は高かった可能性があり, 今後, 生木においても同様のデータ取得が望まれる。また, 樹種別にはヒノキよりもスギでのリグニン濃度が高い傾向にあるが, これは材での報告 (福島, 2010) と一致しており樹種の特性と考えられる。

IV. おわりに

スギとヒノキの根株の地上部と地下部での分解に伴う炭素, 窒素, およびリグニンの濃度変化を比較した。それぞれの成分濃度における, 回帰直線の傾きには樹種間差があった。窒素やリグニンは, 分解が進行しても生木時の濃度分布の特徴が反映されていると考えられた。また, 同一根株個体内での根の成分濃度のばらつきが大きいことも示され, 分解の進行に個体内でのばらつきがあることも示唆された。

V. 謝辞

本研究では, 東京農工大学 FM 草木, 東京大学千葉演習林, 名古屋大学稲武フィールド, 九州森林管理局熊本森林管理署, 鹿児島大学高隈演習林に調査地を提供いただいた。調査地の選定にあたり, 渡辺直明氏 (東京農工大学), 広嶋卓也氏, 當山啓介氏 (東京大学), 山口法雄氏, 高部直紀氏 (名古屋大学) 鶴川 信氏 (鹿児島大学) に協力いただいた。サンプル採取に際して, 橋本昌司氏, 志知幸治氏をはじめ多くの方の協力をいただいた。ここに深謝する。本研究は農林水産技術会議プロジェクト「森林及び林業分野における温暖化緩和技術の開発」によっておこなわれた。

引用文献

- 福島和彦 (2010) 木質の化学 1 木材の組成 (日本木材学会編), 文永堂出版, 東京, 1-4
- Karizumi N (1990) 森林総研研報 357: 1-49
- R Development Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.r-project.org/> (2017年12月1日利用)
- 林野庁 (2017) 森林吸収源インベントリ情報整備事業土壌等調査 (指導取りまとめ業務) 実施報告書. 25 pp
- Russell M B *et al.* (2015) For Ecol Man 350: 107-128
- 酒井佳美ら (2010) 日本木材学会大会研究発表要旨集, 60: Q 19-P-AM 11
- Sakai Y *et al.* (2012) Soil Sci Plant Nutr 58: 526-537
- TAPPI (1997) T 204 cm-97
- TAPPI (1998) T 222 om-98
- (2017年12月4日受付; 2018年1月22日受理)