

縄文杉落枝材の化学的特徴*1

森田慎一*2

森田慎一：縄文杉落枝材の化学的特徴 九州森林研究 62：155-158, 2009 雪の重みで落下した縄文杉の枝材（推定枝齢800-1000年）から試料を採取し、落下に至った経緯を材の化学成分の特徴から検証する目的で木材成分の分析を行った。健全部分では、メタノール抽出物が多かったこと以外には通常の若齢木のスギと大きな違いは認められなかった。腐朽部分では1%水酸化ナトリウム抽出物が大幅に増加し、ホロセルロースが減少していたことから、褐色腐朽が進行していたことが裏付けられた。健全部分のメタノール抽出物に含まれるヘキサソル可溶部は抽出物全体の2割程度で、樹齢の高いスギ材としては多い方ではなかった。このことが、枝での腐朽の進行を抑えることが出来ず折損に至った要因のひとつと考えられた。

キーワード：縄文杉、枝、褐色腐朽、抽出成分

I. はじめに

屋久島のシンボルとも言える縄文杉の枝の1本が2005年12月に雪の重みで落下した。図-1に落下した枝の縄文杉全体における位置を示す。落下部分の最も樹幹に近い部分（基部）の直径は80cm、基部を含む枝の太い部分（以下主枝、図-2）の長さは4.2mあり、そこからさらに曲がりくねった細い枝（以下側枝）が伸びている。

生長錘コアサンプル調査から、主枝の中心付近では健全な部分が樹皮側から約20cm、数えられた年輪数は344であり（吉田茂二郎、未発表）、それよりも内部は年輪判別ができないほど腐朽が進行し中心部分は空洞になっていた。側枝数か所の成長データと、



図-1. 縄文杉から落下した枝の位置
(写真提供：屋久杉自然館)

直径に対する健全部分の比率及び炭素同位体による年代分析などから、主枝の年齢は800-1000年程度と考えられている（屋久島町立屋久杉自然館、なお、この枝は「いのちの枝」と名付けられて同館に展示されている）。落下した枝が縄文杉の樹体の中でも無視できないほどの大きさであることから、落下に至った原因として化学的な見地からどのような要因が考えられるかを明らかにする目的で、翌年4月に平地に搬出された枝材から、同年5月試料を採取し成分分析を行ったので報告する。

II. 実験材料及び方法

1. 実験材料

2006年5月22日に、主枝の以下の部分からそれぞれ試料を採取した（図-3）。以下、試料A-Cと略す。

試料A：露出した腐朽部分の中心付近（主枝中央付近の腐朽が進んでいる部分）、採取量約5g

試料B：試料Aを採取した部分よりやや外側の腐朽が進みつつある部分、採取量約3g

試料C：主枝中央付近及び主枝基部の折損部付近の、外周に近い健全と思われる心材部分、採取量約7g

試料Aは完全に木材の組織が崩壊し、共生植物の細根が混入していたことから、可能な限りこれらを取り除いた。

2. 分析方法

試料A-Cについて、腐朽の進行による成分変化を調べる目的で、メタノール抽出物、1%水酸化ナトリウム可溶物、リグニン、ホロセルロース、及び灰分の定量を行った。ただし、試料Bは分析試料が不足したので、ホロセルロースの定量は行えなかった。メタノール抽出物はヘキサソルで可溶部と不溶部とに分画し、ヘキサソル可溶部はさらに5%水酸化ナトリウムで酸性部と中性部とに分画した。

試料A及びBは手で割りほぐし、試料Cはマッチ棒大に切断したものをメタノール抽出に供した。抽出は室温で11日間行い、途

*1 Morita, S.: Chemical characteristics of Jomon-sugi (*C. japonica*) fallen branch.

*2 鹿児島県森林技術総合センター Kagoshima Pref. For. Tech. Ctr., Kamo, Kagoshima 899-5302



図-2. 縄文杉落枝材の主枝 (右側が基部)

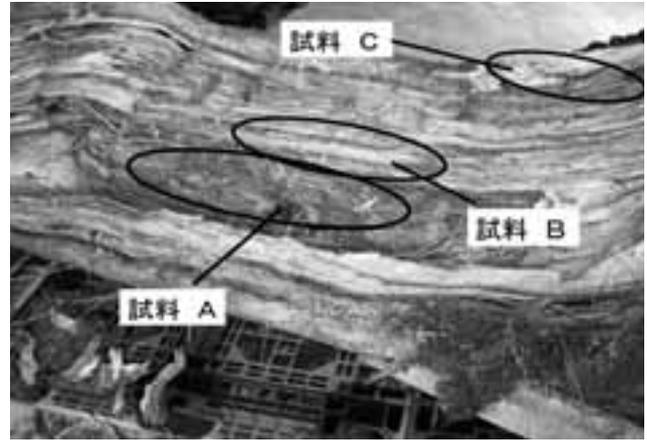


図-3. 分析試料の採取部位と区分 (主枝中央付近)
注) 試料Cは、この他に折損部付近からも採取

中で2回溶媒を新鮮なものとの交換した。3回分の抽出液は合わせてロータリーエバポレータで濃縮しメスフラスコで正確に200mlとした。その10分の1量を正確に取って105℃で乾燥し、恒量値を10倍したものをメタノール抽出物量とした。

メタノール抽出残渣は、乳鉢 (試料A及びB) または粉碎機 (試料C) で粉碎した後、1mmのふるいを通過したものを用い、定法 (安田1989) に従って以下の分析に供した。まず、1%水酸化ナトリウムでアルカリ可溶分を抽出、定量した後、抽出残渣から硫酸リグニン及び酸可溶性リグニンの定量を行った。硫酸リグニンは600℃で灰化して残存する灰分量を差し引いた後、もとのメタノール抽出済み試料に対する含有率を求めた。次に、ホロセルロースの定量を亜塩素酸塩法で行い、残存する硫酸リグニン及び灰分量を差し引いてホロセルロース量を求めた。さらに、別のメタノール抽出済み試料1gを用いて灰分量を測定した。

Ⅲ. 結果と考察

1. 試料の由来及び性状

本論文における「主枝」は、落下した枝のうち、折損部を含む、径の大きな1本を指している。これを縄文杉全体から見ると、主幹から出ている枝の一本からほぼ鉛直に立ち上がって見えるものである (図-1)。「側枝」は主枝からさらに複雑な形で水平方向に張り出しており、ここに積もった雪の重みで主枝を折損させたものと思われる。

採取した試料のうち試料Aは、既述のとおり完全に木材の組織が崩壊し、共生植物の細根が混入していることにより、大小の塊状にまとまっていた。試料Bは、木材の組織構造をある程度保っており、共生植物の根の侵入もなかった。これら2つの試料は濃い褐色を呈しており、手で容易に崩すことができた。試料Cは、一見通常のスギ心材と同じく淡いピンク色を呈しており、ヤクスギの土埋木に見られるような濃い赤褐色や、黒心系の心材色のような色ではなかった。採取できる量に限りがあり、樹幹からまんべんなく採取することはできなかったが、図-3に示した位置から採取したものと、折損部分から採取したものとでは見た目では区別がつかなかった。このため、分析にあたっては両者を区別することなく混合して用いた。

試料Aの一部について、国立歴史民俗博物館に依頼して、加速器質量分析法 (今村2004) を用いた¹⁴C年代測定法により年代測定を行ったところ、1950年からさかのぼった¹⁴C年代 (BP) で160±30年、暦年換算では130年から古くても350年程度の経過である確率が高いことがわかった (今村峯雄, 私信)。冒頭で述べたとおり、主枝の中心部分に近い位置から得た生長錘コアサンプルによる調査では、年輪が数えられたのは344までであった。このことから、今回試料を採取した、露出している腐朽部分は、その中心部分であっても、空洞となっている内側の古い組織の残骸ではなく、形成後350年程度以内の組織に含まれるものであることが示唆された。

2. 成分分析

成分分析の結果を表-1に示す。各試料のメタノール抽出物量は11-13%の範囲で、試料間に大きな差はなかった。1%水酸化ナトリウム可溶物は、試料Cの12.3%と比較すると、腐朽の進行している試料AやBでは大幅に増加し、半分以上が可溶性となっていた。また、灰分も腐朽部分での組成比が高くなっていた。一方、ホロセルロースは腐朽の進行した試料Aでは大きく減少し、硫酸リグニンも試料Aでは減少が見られた。ホロセルロースの定量は試料AとCしか行えなかったが、ホロセルロースとリグニンの残存組成比 (H/L比) は試料Aにおいて0.50であり、H/L比から区分される腐朽のタイプ (原口1982) としては、ホロセルロースの分解が先行しH/L比が1を超えない褐色腐朽であると判断される。腐朽の進行による重量減少率が不明であることから、定量された各成分の絶対量の増減はわからないが、重量減少のある腐朽部分でもリグニンの組成比は上がっていないことから、リグニンの分解も進んでいることは明らかである。

スギ材の主成分であるホロセルロースとリグニンの組成比は、同じ分析方法で定量された文献 (米沢ほか1973, 甲斐・大平1986) によれば、ホロセルロース65-73%, リグニン32-37%の範囲であり、試料Cの組成はこの範囲内に入るものであった。また、灰分もこれらの文献値の範囲 (0.3-0.8%) に入る含有率であった。1%水酸化ナトリウム可溶分は文献値 (右田1968) の13.2-22.7%と比較するとやや少なかった。これは、今回メタノール抽出後の試料を用いたため、本来ここに定量される成分の一部、例えばポリフェノール類や樹脂酸などがメタノールですす

表-1. 縄文杉落枝材から採取したサンプルの成分分析結果

試料	メタノール抽出物* (%)	ホロセルロース (%)	1%NaOH可溶分 (%)	硫酸リグニン (%)	酸可溶性リグニン (%)	灰分 (%)
A (腐朽部)	11.0	11.9	61.8	24.0	0.1	3.1
B (腐朽部)	12.9	-	51.5	33.9	0.2	1.0
C (健全部)	12.7	67.5	12.3	34.0	0.3	0.3

*: 試料の気乾重量に対する抽出物の絶乾重量比

なお、メタノール抽出物以外は、メタノール抽出後の試料絶乾重量に対する各成分の絶乾重量比

表-2. メタノール抽出物に占める分画物の割合

試料	ヘキサン可溶部 (%)	(うち 中性部 酸性部)	ヘキサン不溶部 (%)
A	14.7	(11.2 3.5)	85.3
B	5.8	(4.6 1.2)	94.2
C	20.5	(18.7 1.8)	79.5

表-3. 木粉試料のアルカリ消費量

試料	縄文杉		一般のスギ	
	B	C	心材	辺材
アルカリ消費量*(mL)	2.78	0.75	0.68	0.63

*: 木粉0.1gあたりの、0.1N水酸化ナトリウム溶液の消費量で、木粉を入れない場合との中和滴定量の差から求めた。

に抽出されていたことが影響しているものと考えられる。

試料Cのメタノール抽出物は12.7%で、これは一般的なスギ心材における含有率が5%前後とされている(高橋1996)ことと比較すると倍以上である。黒心材にはより多くのメタノール抽出物が含まれているとも言われ、徳島産のスギ黒心材からメタノール抽出物7.5%余りが得られた例もある(在原ほか2004)が、この報告例と比較しても多い。スギ傷害材における辺材の変色部にはメタノール抽出物が多く含まれることが報告されている(高橋・荻山1985)ものの、心材化した一見健全な組織に含まれる量としては、今回の分析結果はかなり多いと考えられる。

以前行った分析では、ヤクスギ天然木におけるヘキサン抽出後のメタノール抽出物量は4.0-6.8%で、個体間あるいは個体内の部位間においても比較的安定した収率を示した(森田ほか1995)が、ヘキサン抽出物量は個体及び部位による変動が大きいことが示されている。今回は直接メタノールで抽出したことから、メタノール抽出物中にヘキサン可溶部がどの程度含まれるかによって、メタノール抽出物全体の量が左右されることも考えられる。また、メタノール抽出物全体の量は、各試料間に大きな差はなかったが、その中身についてはかなり異なっていることが考えられる。そこで、メタノール抽出物に含まれる成分を検討するために、ヘキサン可溶部と不溶部とに分画した。また、ヘキサン可溶物は材の耐朽性に関与すると考えられるテルペノイド成分を主体とすることが予想され(森田ほか1997)、特にその中性部に含まれる材油成分には、スギに限ってもこれまで多くの生物活性を持つものが報告されている(例えば中島ほか1980, 森田・谷田貝1994, 森田ほか1997, 曾我部ほか2000, 松井ほか2001, 在原ほか2004)ことから、5%水酸化ナトリウムを用いてさらに中性部と酸性部とに分画し、それらの比率を比較した。

表-2に示すように、試料Cにおけるメタノール中のヘキサン可溶部は、試料AやBよりも多かったが、それでも2割程度で、メタノール抽出物量の多さを十分説明できるほどの量ではなかった。表-1及び表-2の結果から、ヘキサン可溶部の木粉試料に対する重量比は、試料A 1.6%、試料B 0.7%、試料C 2.6%で

あった。なお、ヘキサン可溶部を5%水酸化ナトリウムで分画して得られた中性部の、ヘキサン可溶部全体に対する割合を求めると、試料A 76.2%、試料B 79.4%、試料C 91.0%で、腐朽部分の酸性部の割合がやや高くなっていった。上述のようにメタノール抽出物に占めるヘキサン可溶部の割合や、ヘキサン可溶部中の中性部の割合が、腐朽部分の試料では小さくなっていることから、腐朽の進行に伴ってテルペノイド成分の絶対量はかなり減少しているものと考えられる。今後ヘキサン可溶部中のテルペノイド成分の消長についても検討する予定である。

さらに、試料Cにおけるメタノール抽出物増加の要因として、一見健全に見える材の部分でも、初期腐朽が始まっている可能性があると考え、初期腐朽の判定に有効であるとされる(原口1982)、水酸化ナトリウム消費量の測定を行った。実験は飯島らの方法(飯島ほか1978)により、メタノール抽出前の試料B、Cと、一般のスギ心材および辺材(同一個体の胸高部)を用いた。各試料は粉碎後60メッシュ以下にふるい、60℃で72時間以上乾燥した。木粉0.1gあたりの0.1N水酸化ナトリウム溶液の消費量(以下アルカリ消費量)を0.1N塩酸で滴定した(表-3)。

飯島らによると、褐色腐朽菌による腐朽が起きている場合、重量減少率が1-2%の腐朽初期段階においても、アルカリ消費量が増大するとされている。縄文杉試料Bのアルカリ消費量は2.78mlと大きく、飯島らがスギ材の褐色腐朽による重量減少率とアルカリ消費量との関係を調べたグラフに当てはめると、重量減少率30%前後に相当すると推定される。しかし、試料Cのアルカリ消費量は、一般のスギ健全材の心材及び辺材試料のそれと大きな差はなく、試料Cを採取した部分で腐朽が始まっているという証拠は得られなかった。

筆者らは、スギ辺材にヤクスギ土埋木から得られたヘキサン抽出物を15%程度注入すると褐色腐朽菌であるオオウズラタケによる腐朽を阻止することが出来るが、6%強の注入では完全には阻止できないこと、ヘキサン抽出済みの試料をメタノールで抽出して得た抽出物を注入すると、逆に腐朽の進行を助長することを報告した(森田ほか1997)。それぞれの抽出物の成分レベルでの分

析が必要ではあるが、今回の試料Cについては、メタノール抽出物が多い割にヘキサン可溶成分の割合が高くないことから、縄文杉の落枝材は腐朽の進行を止め得る内的要因（十分なヘキサン可溶成分）を持っていなかったこと、むしろ褐色腐朽を助長する可能性のある成分が多いことが示唆された。従って、枝材内部または表面の一部から進行した腐朽に抵抗できず、残存する健全部の強度が雪の重みに耐えきれなくなった時点で落枝したものと考えられる。縄文杉の樹幹中でヘキサン可溶物がどのような分布でどのくらい含まれているかは確認のしようがないが、今回の落枝材のようにそれが少ない部分では、早かれ遅かれ腐朽が進行していくことは間違いのないことと考えられる。縄文杉はこれまで長寿を保っていたから今後とも安心であるとは言えないであろう。

Ⅳ. おわりに

雪の重みで落下した縄文杉の枝から試料を採取し、一般成分分析及び腐朽の進行に伴う成分変化を調べた。

(1) 一般的な木材分析として、メタノール抽出物、1%水酸化ナトリウム可溶物、硫酸リグニン、ホロセルロース及び灰分の定量を行った結果、腐朽部分では1%水酸化ナトリウム可溶物の増加が著しく、ホロセルロースが減少していたことから褐色腐朽が進行していることを裏付けられた。健全部の試料Cでは、メタノール抽出物が多かったこと以外には、既往のスギの文献値と比較して特に違いは認められなかった。

(2) メタノール抽出物を分画した結果、ヘキサン可溶成分の含有量は、健全部分においても、樹齢の高いヤクスギとしては多い方ではなかったが、腐朽した部分では減少していた。また腐朽が進行した部分では、ヘキサン可溶物中の酸性部が増加する傾向にあった。健全部においてヘキサン可溶成分が多くなかったということは、落枝材には腐朽の進行を抑える要因がなかったことを意味しており、縄文杉といえども腐朽害が進行する危険性の高い部分があると考えられた。ただし、ごく限られた試料を分析した結果であることから、直ちに縄文杉全体の今後を推定することはできない。

(3) 初期腐朽の判定に有効とされるアルカリ消費量を測定した結果、試料Cにおける初期褐色腐朽の証拠は得られなかった。(2)

の結果と併せて考えると、試料Cに含まれるメタノール抽出物量が多かった理由は見出せなかった。

謝 辞

本調査の機会を与えていただいた、林野庁九州森林管理局屋久島森林環境保全センター並びに屋久町（現屋久島町）に対し感謝申し上げます。また、試料の¹⁴C年代測定をしていただいた、国立歴史民俗博物館の今村峯雄教授（当時）に深謝いたします。

引用文献

- 在原重信ほか（2004）木材学会誌 50（6）：413-421.
 飯島倫明ほか（1978）木材学会誌 24（5）：324-334.
 今村峯雄（2004）応用物理 73（3）：378-382.
 甲斐勇二・大平辰朗（1986）静大演報 10：85-91.
 曾我部昭好ほか（2000）木材学会誌 46（2）：124-131.
 高橋孝悦・荻山絃一（1985）木材学会誌 31（1）：28-38.
 高橋孝悦（1996）木材学会誌 42（10）：998-1005.
 中島健ほか 木材学会誌 26（10）：698-702.
 原口隆英（1982）木材保存学（日本木材保存協会編），54-60，文教出版，東京。
 本田収（1968）木材化学上（右田伸彦，米沢保正，近藤民雄編），493-494，共立出版，東京。
 松井隆尚ほか（2001）木材学会誌 47（1）：58-62。
 右田伸彦（1968）木材化学上（右田伸彦，米沢保正，近藤民雄編），65-80，共立出版，東京。
 森田慎一・谷田貝光克（1994）木材学会誌 40（9）：996-1002。
 森田慎一ほか（1995）木材学会誌 41（10）：938-944。
 森田慎一ほか（1997）木材保存 23（2）：61-69。
 安田征市（1989）増補改訂木材科学実験書Ⅱ，化学編。（日本木材学会編），151-160，中外産業調査会，東京。
 米沢保正ほか（1973）林試研報 253：55-99。

（2008年12月6日受付；2009年1月30日受理）