

論文

北海道、茨城、鹿児島でのスギとヒノキの材分解試験による初期分解過程の比較^{*1}酒井佳美^{*2}・大村和香子^{*3}・鶴川 信^{*4}・石塚成宏^{*3}・相澤州平^{*5}

酒井佳美・大村和香子・鶴川 信・石塚成宏・相澤州平：北海道、茨城、鹿児島でのスギとヒノキの材分解試験による初期分解過程の比較 九州森林研究 69: 75 - 80, 2016 気候（気温、降水量）の違い、およびシロアリの有無による材の初期分解過程への影響を明らかにするために、羊ヶ丘、桂、筑波山、および、吹上浜の試験地において、スギとヒノキをもちいた材の分解試験をおこなった。材の分解は非常に遅く、設置後 12 か月までは重量減少はほとんど認められなかった。設置後 24 か月になると残存率は低下し、スギの平均残存率は羊ヶ丘が最も低く、次いで筑波山、吹上浜、そして桂の順であった。ヒノキは筑波山の残存率が最も低く、次いで吹上浜、羊ヶ丘、桂の順であった。どの試験地もヒノキの分解がスギよりも速く進んでいた。シロアリが生息する調査地と生息しない調査地との平均残存率の差はほとんど無かった。シロアリの侵入によって非常に残存率が低くなる個体もあったが、全ての材にシロアリが侵入するわけではなく、初期分解への影響は限定的であると考えられた。辺材の窒素濃度は、材密度の低下と共に上昇する傾向が認められヒノキで顕著であった。また、木材腐朽菌類とシロアリの両方に強度に分解された材の窒素濃度は非常に高くなり、分解者群集の違いによる窒素濃度への影響は大きいと考えられた。

キーワード：木材腐朽菌、シロアリ、枯死木、分解

I. はじめに

枯死木（倒木、根株、立枯木）は森林生態系の物質循環における養分プールとして機能している。枯死木の分解者は木材腐朽菌類とシロアリなどの食材性昆虫等である。シロアリは熱帯や亜熱帯地域においてはその存在量と多様性から、リター分解者として生態学的に重要な役割を果たしている（Stokland *et al.* 2012）。日本には野外分布北限を神奈川県川崎市とするイエシロアリと、北海道まで分布を広げているヤマトシロアリが生息する（大村, 2015）。しかし、シロアリの枯死木分解への寄与についての報告はほとんど無く、実態は不明である。シロアリや木材腐朽菌類などの分解者群集の分布域や活性は気候や周辺環境の影響を受ける。つまり、主要な分解者群集や活性が異なる森林では分解過程が異なることが予想される。

本研究では、周辺環境として気候（気温、降水量）および分解者としてシロアリの有無という条件の異なる 4 か所の調査地においてスギとヒノキの材の初期分解過程を比較した。本報告では、試験開始後 2 年の結果として、材の含水比、残存率と窒素濃度、

および分解者の侵入程度について、試験地、および樹種間での比較をおこなった。

II. 調査方法

(1) 調査地

調査は、羊ヶ丘（北海道）、桂（茨城）、筑波山（茨城）、吹上浜（鹿児島）の 4 か所にプロットを設定して実施した。

羊ヶ丘は森林総合研究所北海道支所実験林内のトドマツ人工林、桂は茨城県東茨城郡の桂試験地のスギ林、筑波山は茨城県石岡市の筑波共同試験地のスギ林、そして、吹上浜は鹿児島県宮林署管理地（国有林）のクロマツ林である。

調査地の緯度経度をもとにメッシュ年平均値 2010（気象庁, 2012）により算出した各調査地の気温と降水量の季節変動を図 1 に示す。

落葉層は羊ヶ丘、桂、そして筑波山では存在するが、吹上浜では定期的に落葉かきを実施しており、落葉層は無かった。

桂、筑波山では予備調査時にヤマトシロアリの生息を確認して

表 1. 調査地の概要

| 試験地名 | 道府県 | 森林タイプ | 年平均気温 (°C) | 年降水量 (mm) | 土壌 | 落葉層 | シロアリ |
|------|-----|---------|---------------|--------------|-------|------|-----------------|
| 羊ヶ丘 | 北海道 | トドマツ人工林 | 7.0 | 1011 | 黒色土 | トドマツ | 生息せず |
| 桂 | 茨城 | スギ人工林 | 11.9 | 1346 | 褐色森林土 | スギ | ヤマトシロアリ |
| 筑波山 | 茨城 | スギ人工林 | 12.3 | 1394 | 褐色森林土 | スギ | ヤマトシロアリ |
| 吹上浜 | 鹿児島 | クロマツ林 | 17.6 | 2229 | 未熟土 | 無し | イエシロアリ, ヤマトシロアリ |

^{*1} Sakai, Y., Ohmura, W., Ugawa, S., Ishizuka, S. and Aizawa, S.: Effects of site environment and decomposers on early wood decomposition process of Japanese cedar and Hinoki cypress in Japan.

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

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

^{*4} 鹿児島大学農学部 Fac. Agric., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan.

^{*5} 森林総合研究所北海道支所 Hokkaido Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Sapporo, Hokkaido 062-8516, Japan.

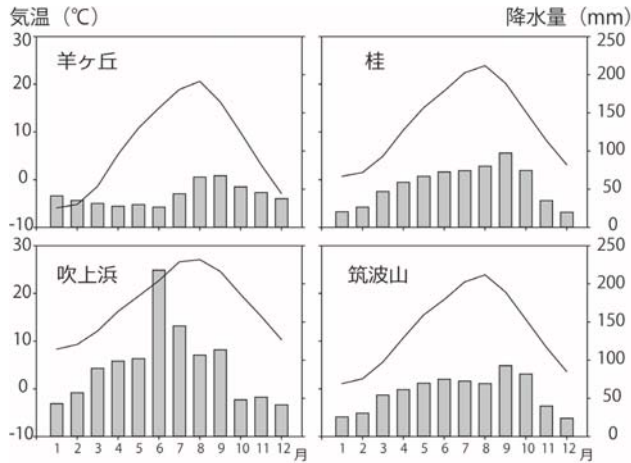


図1. 調査地の気温と降水量の季節変化
メッシュ年平均値 2010 より算出 (気象庁, 2012)

いる。吹上浜にはイエシロアリとヤマトシロアリ両種が生息しており、プロットはイエシロアリの巣から 10 m 以内に設定している。羊ヶ丘ではヤマトシロアリの生息は確認していない。

調査地の概要は表 1 に示す。

(2) 材分解試験

一辺が約 5 m のプロットを 2013 年 5 月に各調査地に設定し、直径約 25 cm の円板 ((スギ 24.1~26.7 cm, ヒノキ 24.4~27.7 cm), 厚さ 2 cm, 乾燥重量約 500 g) を各樹種 48 枚設置した。円板はスギ, ヒノキとも 2 本の皮付き丸太から厚さ 2 cm で切り出した。本試験では分解者による侵入が短期間に生じるように木口面が落葉層に接するように設置した。各樹種とも半年ごとに 3 枚の円板を回収した。各調査地への分配, 回収時の円板の選択は, 円板の直径のばらつきがランダムになるようにした。回収した円板は実験室に持ち帰り, 付着した土壌やリターなどをナイフ等で取り除いた後, 生重量を測定し, 70 °C の送風乾燥機内で乾燥させた後に乾燥重量を測定した。これらの測定値から材の残存率と含水比を算出した。

円板は乾燥後 4 等分し, そのうちの 1 枚を樹皮, 心材, 辺材に分けた後にそれぞれ粉碎し, 化学分析に供した。窒素濃度は SUMIGRAPH NC-22 を使用した乾式燃焼法によって分析した。本報告では辺材の窒素濃度を示す。

材の回収時には分解者の侵入程度を記録した。分解者の侵入として, シロアリの摂食痕と木材腐朽菌による菌糸の広がりそれぞれ観察した。侵入程度は円板の辺材部面積に占める分解者の侵入影響の割合を目視にて 6 段階のスコア (0: 侵入無し, 1: 2 割未満, 2: 2~4 割, 3: 4~6 割, 4: 6~8 割, 5: 8 割以上) として記録した。なお, シロアリの摂食痕とは円板内にシロアリの存在が認められたものを示す。

(3) 統計

一般化線形モデル (GLM) を使用して残存率, 含水比, および窒素濃度への影響要因を調べた。目的変数は含水比, 残存率, および窒素濃度である。GLM の確率密度分布は正規分布を仮定し, 説明変数はカテゴリ変数である設置後の経過月数 (6 か月, 12 か月, 18 か月, 24 か月), 調査地 (羊ヶ丘, 桂, 筑波山, 吹

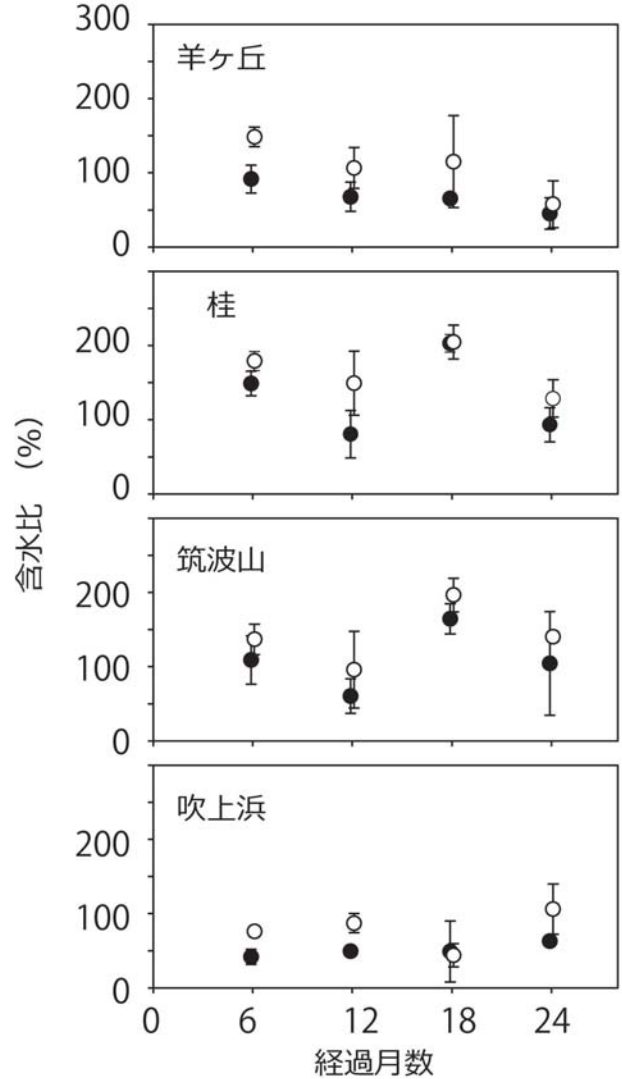


図2. 設置後の経過月数に伴う平均含水比の変化
●: スギ, ○: ヒノキ. Error bar: S.D.

上浜), および樹種 (スギ, ヒノキ) とした。いずれのモデルにおいても要因は p 値が 10 % の有意水準で有意となり, かつ AIC を小さくするものを選択した。統計解析には R ver. 3.2.2 (R Development Core Team, 2015) を使用した。

Ⅲ. 結果

(1) 含水比

4 か所の調査地の中で桂と筑波山は回収時の円板の平均含水比が高い傾向を示した (図 2)。どちらも秋には含水比が高く, 春には低くなった。羊ヶ丘と吹上浜は前者よりも含水比は低く, 季節変動も明瞭ではなかった。ヒノキはスギよりも含水比が高い傾向であった。

含水比への影響要因は調査地, 経過月数および樹種のいずれもが選択された中で, 含水比変化に最も寄与していたのは調査地となった (表 2)。

(2) 残存率

設置後12か月まで円板の重量はほとんど減少せず、平均残存率の調査地および樹種で差はほとんど無かった(図3)。しかし、それ以降に分解によって重量は減少し、設置後24か月ではスギの平均残存率(±SD)が最も低かったのは羊ヶ丘 $86.0 \pm 3.8\%$ で、次いで筑波山 $86.2 \pm 7.5\%$ 、吹上浜 $89.1 \pm 0.5\%$ 、桂 $93.4 \pm 2.3\%$ の順であった。ヒノキの平均残存率は筑波山 $79.1 \pm 5.4\%$ 、吹上浜 $80.7 \pm 6.1\%$ 、羊ヶ丘 $82.6 \pm 7.1\%$ 、桂 $85.6 \pm 5.0\%$ となった。設置後24か月ではヒノキの方がスギよりも残存率が低く分解が速い傾向であった。シロアリが生息する調査地での設置後24か月の平均残存率は生息しない調査地との差が明瞭ではなかった。残存率への影響要因は、経過月数、調査地、そして樹種のいずれもが選択され、残存率の変化に最も寄与していたのは経過月数となった(表3)。

(3) 窒素濃度

円板の平均窒素濃度は、スギは設置後24か月まで大きな変化はなかったが、ヒノキは設置後18か月から24か月にかけて急激

に濃度上昇が大きくなった(図4)。

窒素濃度への影響要因は、経過月数、樹種、および調査地のいずれもが選択され、窒素濃度変化に最も寄与していたのは経過月数となった(表4)。

円板の残存率と窒素濃度の関係を見ると、残存率の低下と共に窒素濃度が上昇する傾向が認められる(図5)。ヒノキでは吹上浜で採取した円板に、残存率がおよそ85%の時に、他に比べて非常に高い窒素濃度の個体が存在した。これらの個体はいずれもシロアリの侵入程度を示すスコアが4以上であった。

(4) 分解者の侵入程度

侵入程度スコアと残存率の関係を見ると、スコアが高いほど残存率は低い傾向が示された(図6)。木材腐朽菌類は回収したほぼ全ての円板でスコアが1以上となり侵入が認められた。一方、シロアリの場合、シロアリが生息する3か所の調査地で回収した円板数が各樹種36枚に対し、侵入が認められたのはスギで13枚、ヒノキで21枚であった。

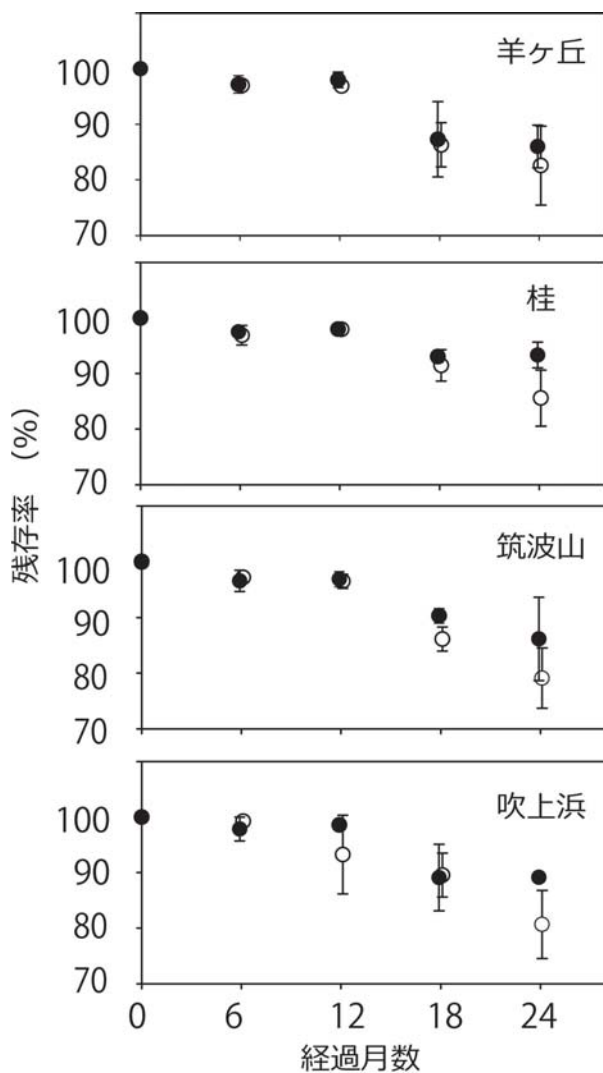


図3. 設置後の経過月数に伴う平均残存率の変化
●: スギ, ○: ヒノキ. Error bar: S.D.

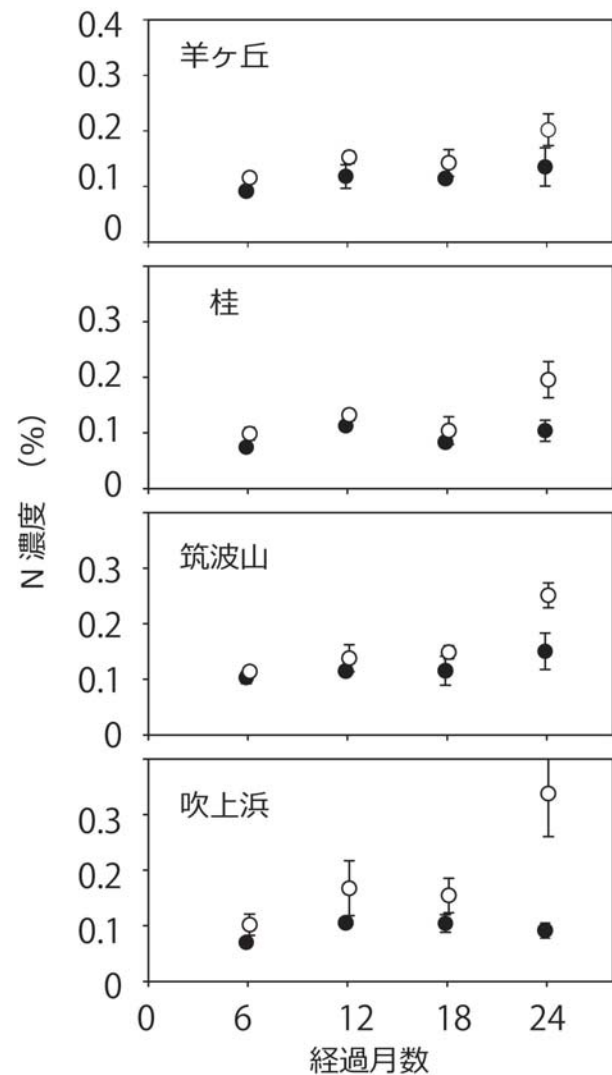


図4. 設置後の経過月数に伴う辺材の平均窒素濃度の変化
●: スギ, ○: ヒノキ. Error bar: S.D.

IV. 考察

本試験では、木口面の落葉層、あるいは表層土壌に接するような設置方法や円板と落葉層（表層土壌）との接する密着の程度によって分解者の侵入しやすさに差が生じた可能性がある。木材腐朽の進行は繊維方向が最も速く（松岡, 1966）、木材腐朽菌類が木口面から繊維方向に侵入しやすい場合には初期分解速度への影響は大きいと予想される。羊ヶ丘のトドマツ林の落葉層はトドマツの落葉が密に重なる状態であり、円板と落葉層は密接していた。一方、桂や筑波山のスギ林の落葉層はスギの枝葉の重なりが不均一で円板は部分的に接していたが、他は浮いた状態や、表層土壌に接するようなものもあり、菌糸はスギの枝葉が接している場合にはそれを伝うように広がっていた。吹上浜ではほとんど落葉層は無かったが円板の下にクロマツや草本の落葉がある場合には、その周辺に菌糸に広がり認められた。設置後6か月には全ての調査地の円板で木材腐朽菌類の菌糸が認められたが、設置後12か月での侵入程度スコアは羊ヶ丘で1~2、桂では1、筑波山では

1~4、吹上浜では1~2となり、菌糸の広がりには調査地間でのばらつきがあった（酒井, 2015）。材の初期分解過程ではこのような調査地特有の条件による木材腐朽菌類の侵入のしやすさの影響が顕在化しやすかったと考えられる。

一般にシロアリは木材の分解者として分解速度への寄与が大きい。しかし、設置後12か月にシロアリの侵入が認められた円板の数は少なく（酒井ら, 2015）、そして設置後24か月の平均残存率を比較してもシロアリの生息の有無による差は明瞭ではなかった。シロアリの侵入が確認されたのはシロアリ生育地における全試験期間の円板各樹種36枚中スギで13枚、ヒノキで21枚であった。個別にみるとシロアリの侵入によって残存率が非常に低くなる場合もあったが、全ての円板がシロアリに侵入されるわけではなく、その影響は限定的であった。本結果は初期分解であるため、長期的にこの傾向が続くかどうかは不明である。枯死木の分解速度を分解者ごとに検討した例は少なく、さらなる検討が必要である。

設置後24か月において、円板の平均残存率と調査地の気温と

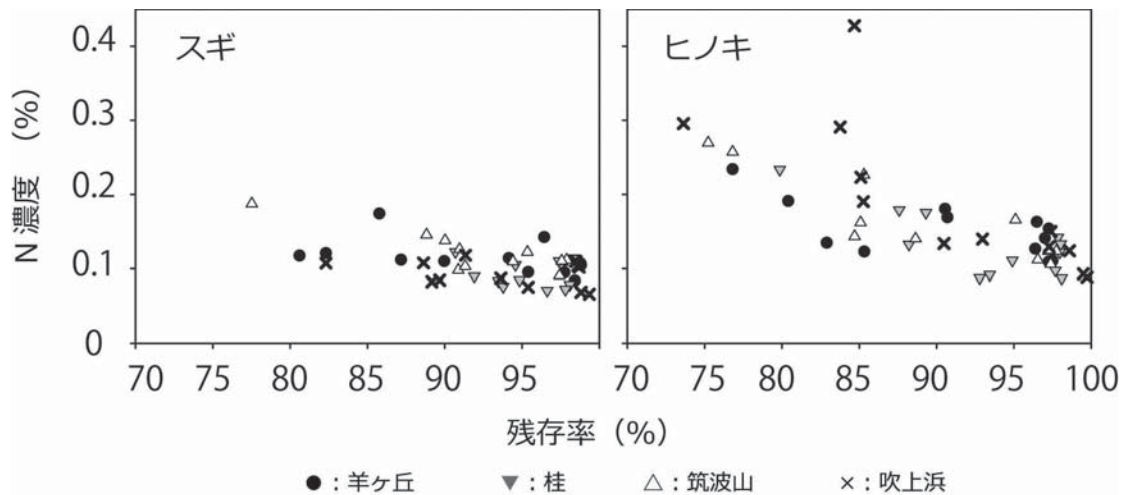


図5. 試験期間に回収した全ての個体の残存率と窒素濃度の関係

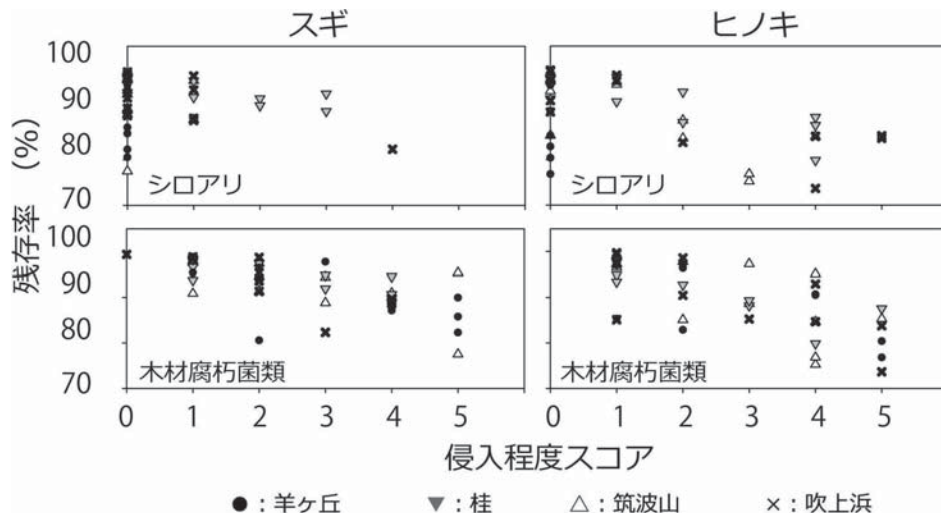


図6. 侵入程度スコアと残存率

の相関は認められなかった。冷涼な気候の羊ヶ丘においてスギの残存率が他の調査地よりも低く、ヒノキは同程度であった(図3)。分解過程は分解者による生物活動であり気温との相関があり(Berg & McLaugherty, 2003 など)、気温が高いほど分解は速い。北海道での間伐材(直径5~15 cm)を用いた分解定数(k)推定結果では、アカエゾマツやトドマツの倒木の分解定数($k=0.019 \sim 0.033$)は本州以南のスギやヒノキの平均値($k=0.048 \sim 0.049$)に比べて低く、分解が遅いと報告されている(酒井ら, 2008)。しかし、本結果は調査地の気温の違い(7.0~17.6℃)が残存率に反映した結果ではなかった。倒木などの枯死木に比べて分解者の侵入が容易であったことが冷涼な地域での分解速度を促進させた理由の一つとして考えられる。

本試験の含水比の結果は試験材の形状が影響していると考えられる。円板は木口部分が広く露出した形状であるため、樹皮に覆われた倒木や枯死木に比べて吸湿と乾燥が容易である。そのため、円板の含水比は調査地の水分条件を反映しやすいと考えられる。関東地方の桂と筑波山は他の2か所よりも含水比が高く季節変動が明瞭であった。桂と筑波山は太平洋側に位置し、夏季に多雨多湿で冬期に乾燥する気候である。設置後6か月、および18か月は秋期、設置後12か月、および24か月に相当しており含水比の季節変動は降水量の季節変化と一致している(図1)。また、羊ヶ丘の含水比も春から初夏にかけての乾燥と夏から秋にかけて降水量が多くなる季節変動傾向と一致している。一方、吹上浜は他の調査地と比較して最も降水量が多いにも関わらず円板の含水比は低かった。これは調査地が砂質土壌で落葉層も無いため、土壌表面の保水能力が低いこと、さらに、クロマツ林の林冠が閉鎖しておらず直射日光が林床に直達し、乾燥しやすかったためと考えられる。一方、分解の進行と共に含水比は上昇するとされているが、本結果ではその傾向は認められなかった(図2)。本結果が初期分解であり残存率の低下幅が大きくなかったのに対して、含水比の季節変動の幅が非常に大きく、傾向が見えにくくなっていると考えられる。今後、分解試験を継続し残存率が減少していけば含水比は上昇傾向を示すと予想される。

ヒノキの分解はスギに比べて早い傾向であった。ヒノキの耐朽性はスギよりも高く(社団法人木材保存協会, 2000)、耐蟻性能もスギよりも高いと報告されている(大村ら, 2011)が、本結果はそれと一致しなかった。シロアリによる侵入が確認された円板の個体数、およびシロアリ侵入程度スコアの高い個体数はヒノキの方がスギよりも多く(図6)、シロアリのヒノキ分解促進への寄与が予想される。一方、シロアリが生息しない羊ヶ丘でもヒノキの残存率はスギよりも低くなっていた。木材腐朽菌類による分解もヒノキにおいて重量減少に寄与していると考えられる。本調査においては心材に比べて耐朽性が低い辺材が先に分解されることを想定し侵入程度スコアは辺材で判断をしている。実際にシロアリや木材腐朽菌類の菌糸が辺材をメインに広がる様子が観察された(写真1)。分解初期には、耐朽性が低い辺材の結果が主に反映されていると考えられる。材の耐朽性は主に心材の性質であることから、辺材の分解では樹種特性が明瞭に反映されない可能性がある。また、含水比はどの調査地でもヒノキのほうが高くなっていた。分解者の侵入のしやすさへの水分影響があったことも考えられるが、詳細は不明であり、今後の検討が必要である。

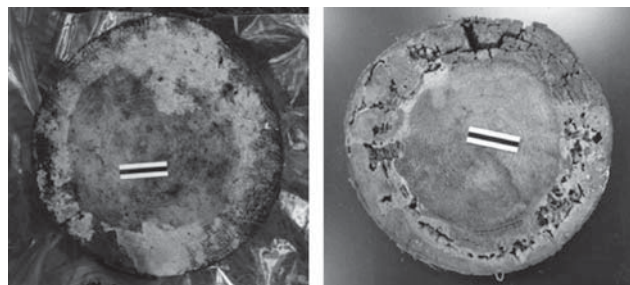


写真1. ヒノキの試験材への木材腐朽菌類(左)やシロアリ(右)の侵入の例

円板の分解の進行と共に窒素濃度の上昇が認められ、特にヒノキにおいて顕著であった(図5)。枯死木の分解の進行に伴う窒素濃度の上昇は既存の報告でも示されている(Sakai *et al.*, 2012 など)。ヒノキにおいて特に窒素濃度の高かった個体(0.43%)は設置後12か月の吹上浜での結果であり、シロアリの侵入程度スコアは5、木材腐朽菌類は4であった。窒素濃度の上昇には木材腐朽菌類の活動の影響が指摘されている(Stokland *et al.*, 2012 など)。また、シロアリの巣や蟻道の材料となる巣材はシロアリの糞等が含まれており、窒素濃度が高い(Tayasu *et al.*, 1998)。特にヤマトシロアリは加害している材が巣となることが多い(社団法人木材保存協会, 2000)。本試験では回収した試験材の表面に付着した蟻道は除去しているが材内部に巣材が残されている可能性は高く、それにより窒素濃度が高くなったと考えられる。木材腐朽菌類とシロアリの両方によって材が分解されると、それぞれ個別に分解されるよりも、分解材の窒素濃度は高くなると予想される。

V. 終わりに

周辺環境として気候と、分解者群集が異なる調査地(羊ヶ丘、桂、筑波山、吹上浜)において、スギとヒノキの材の分解試験をおこない、初期分解過程を比較した。初期分解では材の落葉層と接触する面積が木材腐朽菌類の侵入のしやすさに影響していると考えられた。このことは円板状の試験材を木口面が落葉層に接するように設置して分解試験をおこなったことも影響している可能性もあるため、さらに検討する必要がある。シロアリは熱帯や亜熱帯では分解への影響が非常に大きいとされているが、本試験でのシロアリの試験材への侵入は限定的であり、シロアリの生息する試験地と生息しない試験地との平均残存率の差は明瞭ではなかった。しかし、個別に見るとシロアリと木材腐朽菌類の相乗効果によって非常に分解が進んでいるものがあり、窒素濃度も高くなった。シロアリと木材腐朽菌類の両方の影響による分解促進については今後も検討していく必要がある。

謝辞

本研究はJSPS 科研費(課題番号25450227)の助成によっておこなわれた。調査地の使用にあたり茨城森林管理署、および鹿児島森林管理署に協力いただいた。

引用文献

- Berg, B. & McClaugherty, C. (2003) Plant litter, decomposition, humus formation, carbon sequestration, 286 pp, Springer, Berlin.
- 松岡昭四郎 (1966) 林業試験場研究報告 188, 175-183.
- 大村和香子 (2015) 木材保存 41 (3), 102-107.
- 大村和香子ら (2011) 木材学会誌 57, 26-33.
- 酒井佳美ら (2008) 森林立地 50, 153-165.
- Sakai, Y. *et al.* (2012) Soil Science and Plant Nutrition 58, 526-537.
- 酒井佳美ら (2015) 九州森林研究 68, 161-163.
- Stokland, J. *et al.* (2012) Biodiversity in Dead Wood. Ecology, 509 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- 社団法人木材保存協会 (2000) 木材保存学入門改訂版, 265 pp., 社団法人木材保存協会, 東京.
- Tayasu, I. *et al.* (1998) Functional Ecology 12, 536-542.
(2015年11月6日受付; 2015年12月24日受理)

表2. 含水比の影響要因の分散分析表

| | <i>SS</i> | <i>Df</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 調査地 | 122334 | 3 | 35 | 0.001> |
| 経過月数 | 49835 | 3 | 14 | 0.001> |
| 樹種 | 12903 | 1 | 11 | 0.001 |
| Residuals | 101586 | 88 | | |

family = Gaussian (inverse), AIC=959

表3. 残存率の影響要因の分散分析表

| | <i>SS</i> | <i>Df</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 経過月数 | 2571 | 3 | 63 | 0.001> |
| 調査地 | 140 | 3 | 3 | 0.021 |
| 樹種 | 140 | 1 | 10 | 0.002 |
| Residuals | 1204 | 88 | | |

family = Gaussian (identity), AIC=533

表4. 辺材の窒素濃度の影響要因の分散分析表

| | <i>SS</i> | <i>Df</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 経過月数 | 0.150 | 3 | 66 | 0.001> |
| 樹種 | 0.124 | 1 | 164 | 0.001> |
| 調査地 | 0.035 | 3 | 15 | 0.001> |
| Residuals | 0.066 | 88 | | |

family = Gaussian (inverse), AIC= -408