



Title	檜山研究林内におけるステーク試験による道産材5種の耐朽性評価
Author(s)	石原, 亘; 澤田, 圭; 小泉, 章夫 他
Citation	北海道大学演習林研究報告, 69(1), 11-21
Issue Date	2013-01-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52012
Type	departmental bulletin paper
File Information	RBHUF69-1_002.pdf



檜山研究林内におけるステーク試験による 道産材 5 種の耐朽性評価

石原 亘¹, 澤田 圭^{2*}, 小泉 章夫², 平井 卓郎², 佐々木 義久²,
高梨 隆也³, (故) 夏目 俊二⁴, 伊藤 洋一⁵

Durability evaluation of 5 Hokkaido wood species
by stake-test in Hiyama experimental forest
by

ISHIHARA Wataru¹, SAWATA Kei^{2*}, KOIZUMI Akio², HIRAI Takuro²,
SASAKI Yoshihisa², TAKANASHI Ryuya³, NATSUME Shunji⁴, ITO Youichi⁵

要 旨

本研究では、ステーク試験によって北海道産材 5 樹種（ハルニレ、ネグンドカエデ、ニセアカシア、シンジュ、トドマツ（非人工乾燥材及び高温乾燥材））の野外における耐朽性を評価した。暴露期間は約 3 年 3 ヶ月（2008 年 7 月 21 日より 2011 年 10 月 13 日まで）とし、おおよそ 1 年おきにステーク試験体の腐朽状況を、縦振動法による動的ヤング率の測定、及び目視による被害度判定を用いて評価し、腐朽状態の経時的变化を調べた。

試験の結果、開始より約 2 年後にはニセアカシアを除くほぼ全ての樹種のステーク試験体で白色腐朽が確認された。腐朽の進行状況は樹種によって異なり、ネグンドカエデ、シンジュの 2 樹種では 2 年目以降に急激な腐朽が観察された。ハルニレでは、健全なステークが多い一方で、2 年目以降に折損するステークも多く、両極的な腐朽状況がみられた。トドマツは暴露期間の増加に伴い腐朽の進行が観察されたが、今回の乾燥条件における耐朽性への影響は特にみられなかった。程度の差こそあれ、多くの樹種のステーク試験体が白色腐朽した一方で、ニセアカシアにおいては健全なステーク試験体がほとんどを占め、無処理であっても強い耐朽性を示した。また、白色腐朽であっても、条件によっては急激な腐朽が生じることが示唆された。

キーワード：ステーク試験，腐朽，縦振動法

2012 年 2 月 22 日受付, Received Feb. 22, 2012

2012 年 11 月 15 日受理, Accepted Nov. 15, 2012

1. 北海道大学大学院農学院木材工学研究室

Laboratory of Timber engineering, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

2. 北海道大学大学院農学研究科木材工学研究室 *ksawata@for.agr.hokudai.ac.jp

Laboratory of Timber engineering, Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

3. 北海道大学農学部木材工学研究室

Laboratory of Timber engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University

4. 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター森林圏ステーション

Field Science Center for Northern Biosphere, Forest Research Station, Hokkaido University

5. 北海道立総合研究機構林産試験場

Forest Products Research Institute, Hokkaido Research Organization

1. 緒言

森林資源の有効利用、あるいは運材や加工の手間を省く目的で、例えばスギの間伐材などは柵工（長谷川ほか 1993、長谷川 2005）や伏工、流路工などの一部の治山工事における土木資材として利用されている。こうした常時野外環境に暴露される構造物を想定した場合、木材の耐朽性が供用上重要であると考えられる。

木材の耐朽性の評価は、JIS Z 2101 に記載されている方法（木材の耐朽性試験）が一般的であるが、こうした室内試験は単一菌を用いて行うため再現性が高く短時間で行える一方で、野外での気象条件や多様な腐朽菌の影響などが反映されず、実際の劣化現象を正しく評価するには充分ではない（谷川 2006）。木材の野外での供用を考える場合、野外でのステーキ試験（暴露試験）などが有効であるが（雨宮 1963、田中ほか 1989 など）、試験期間が数年に及ぶこともあり、十分なデータが蓄積されているとは言えない。

本試験では、今後の利用拡大が検討される北海道産の広葉樹 4 種（ハルニレ、ネグンドカエデ、ニセアカシア、シンジュ）、針葉樹 1 種（トドマツ）の 5 樹種よりステーキ試験体を作製し、野外（北大 FSC 檜山研究林内）において約 3 年 3 ヶ月間かけて腐朽試験を行った。また、腐朽の経時変化を把握するため、おおよそ 1 年おきに腐朽状況の把握を行った。腐朽状況の把握は、ステーキ試験において一般的に行われている目視による被

害度測定、及び縦振動法による動的ヤング率の測定によって行った。

2. 材料及び方法

2.1 ステーキの作製

ステーキ試験体に使用した材料のうち、広葉樹 4 種は北海道大学札幌キャンパスの風倒木より、針葉樹（トドマツ）については市販の製材より作製した。広葉樹材はいずれも 2004 年に北海道へ接近した台風 0418 による被害木で、2005 年春に製材した後、室内で 3 年近く乾燥させた材である。トドマツにおいては人工的な乾燥処理を施していない木材の他に、Table 1 に示す乾燥スケジュールによる 2 種の高温乾燥材を用意した。これは、高温乾燥材の需要が昨今高まっていることに加えて、例えばスギなどにおいては高温乾燥処理に伴い耐朽性あるいは耐蟻性が低下する可能性が指摘されているからである（栗崎ほか 2001、大村ほか 2004）。なお、トドマツの高温乾燥処理は北海道立総合研究機構林産試験場にて行った。

ステーキ試験体は、以下の①～⑦についてそれぞれ 15 本ずつ、合計 105 本を作製した。

- ①ハルニレ（*Ulmus davidiana* var. *japonica*）
- ②ネグンドカエデ（*Acer negundo*）
- ③ニセアカシア（*Robinia pseudoacacia*）
- ④シンジュ（*Ailanthus altissima*）
- ⑤トドマツ（*Abies sachalinensis*）
- ⑥トドマツ：高温乾燥材 A 条件（以下、HA）

表 1. トドマツの高温乾燥スケジュール

Table 1. Schedule of high-temperature kiln drying for Todomatsu (*Abies sachalinensis*)

Dry-bulb temperature (°C)	Wet-bulb temperature (°C)	Treatment time (h)	Note
高温乾燥材A条件			
High temperature drying A (HA)			
95	95	16	steaming
130	95	4	
120	95	12	
105	95	12	
90	65	6	
高温乾燥材B条件			
High-temperature drying B (HB)			
95	95	16	steaming
120	95	7	
105	90	23	
90	65	20.5	

⑦トドマツ：高温乾燥材B条件（HB）

これらのステーク試験体はいずれの樹種も心材部より作製し、試験体寸法は **Fig. 1** に示すように、450～500 (L) ×20 (R) ×20 (T) mm で、埋設部は 200 (L) ×20 (R) ×20 (T) mm とした。ステーク試験体の腐朽状況は目視観察と、木口面を打撃して得られる動的ヤング率から評価した。そこで木口面からの劣化を避けるために、試験体両端をエポキシ樹脂でシールした。

2.2 試験地の設定

試験地は北海道大学檜山研究林（北海道檜山郡上ノ国町）第 5 林班内における列状間伐跡地に設けた。**Photo. 1** に試験地の写真を示す。

試験地の選定理由は、①当該地は間伐後の一時期にワサビ畑として利用されていたため施肥履歴があり、土壌が有機質に富みかつ比較的均質であると考えられること、②試験地近くに沢があり、日当たりが悪く高湿度であること、③檜山地方の気候は道内においては温暖で、また年間降水量も比較的多いこと、以上の 3 点より腐朽菌の活動期間が比較的長く活発であると考えられたためである。

ここで、道内地域の木材気候腐朽指数を求めた。これは、降雨や気温などの気象条件が腐朽に与える影響を数値化したもので、Scheffer (1971)

や Hasegawa (2001) によって提案されている。ここでは、Hasegawa の提案式を用いて、修正木材気候腐朽指数 (CI') を求めた。

$$CI' = \sum_{1月}^{12月} \frac{d'(t-2)}{16.7}$$

d' : 日降水量 1mm 以上の月降水日数

t : 月平均気温

気象庁が公開している各観測地の気象値より、試験地近傍の江差町と北海道内主要都市(札幌・旭川・釧路・苫小牧)の 2008～2011 年までの年間 CI' 値を求めた (**Table 2**)。CI' の全国平均値は 85 程度 (長谷川 2005) であるため、どの地域も全国的に見れば腐朽が進行しにくい環境である。しかし、江差での CI' は他の地域の値よりも平均 30% 程度高い数値を示しており、道内において試験地は腐朽が進行しやすい気象環境であることが示唆された。

試験地内には 3 つのプロット (A,B,C) 設定し、各樹種 5 本ずつ (計 35 本) のステーク試験体を各プロット内にランダム配置した。プロットの位置関係を **Fig. 2** に、各プロットにおけるステーク試験体の配置概況を **Fig. 3** に示す。各測定はプロッ

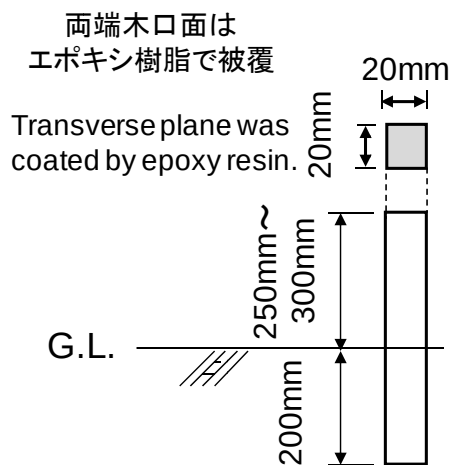


図 1. 試験体寸法

Fig. 1. Dimensions of the stake specimens

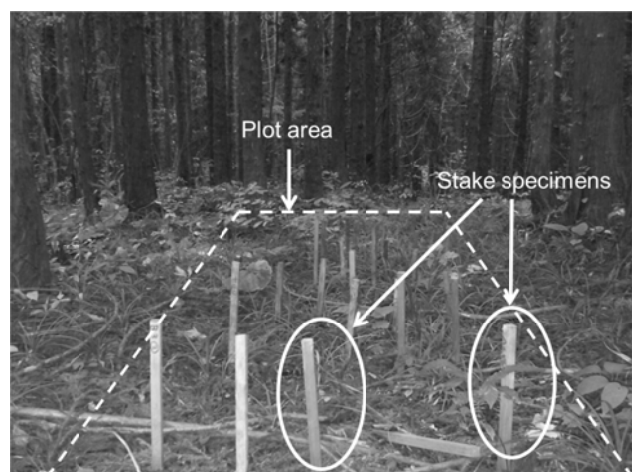


写真 1. 試験地概観

Photo. 1. Over-view of the experimental area

ト内の列毎に行い、測定終了後のステーキ試験体は同列内にランダムに再配置した。

ステーキ試験体の回収時(2011 年 10 月 13 日)に各プロットの土壌含水率(表層より深さ約 100 mm 地点、各プロット 35 箇所)を計測したところ、土壌含水率は 25~30% 程度であり、プロット間で有意差は見られなかった。

2.3 試験方法

腐朽は 8~9 月が最も進むと考えられるため、調査日は毎年 8 月の前に設定した。最終年は 8~9 月の前に現地調査を行い、数ヶ月の暴露期間を経て 10 月に回収した。具体的には、ステーキ試験は 2008 年 7 月 21 日より行い、2009 年 7 月 17 日、2010 年 5 月 8 日、2011 年 5 月 31 日に現地にて腐朽状態の把握を行ない、2011 年 10 月 13 日にステ

表 2. 江差及び北海道主要都市における CI'

Table 2. Climate index (CI') for Esashi and major cities of Hokkaido

年 Year	CI'				
	江差 Esashi	札幌 Sapporo	旭川 Asahikawa	釧路 Kushiro	苫小牧 Tomakomai
2008	58	31	23	34	38
2009	68	43	35	37	46
2010	57	48	33	40	46
2011	61	46	34	47	57

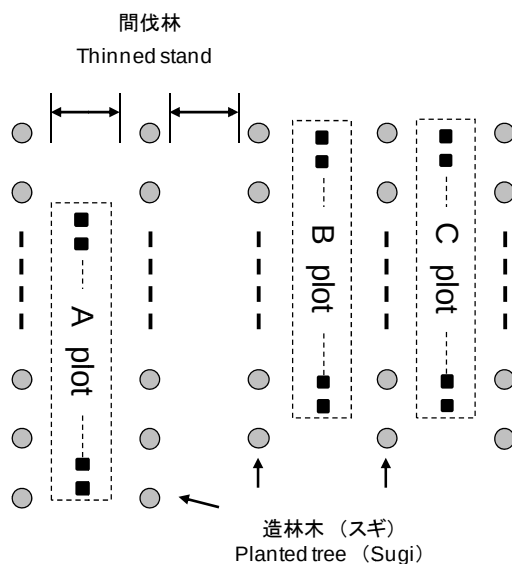


図 2. 各プロットの配置状況
Fig. 2. Layout of each plots

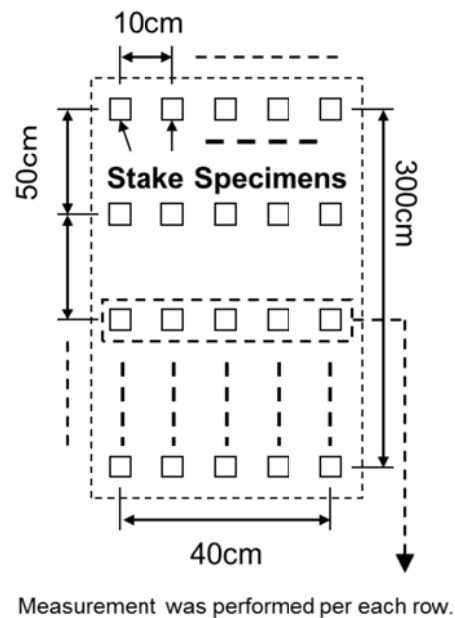


図 3. 各プロットにおける試験体の配置状況
Fig. 3. Layout of stake specimens in each plots

ーク試験体を回収、研究林庁舎の実験室内にて腐朽状態の最終的な確認を行った。

実験室内で腐朽処理を行う場合、腐朽の程度を示す基準には質量減少率を用いることが一般的であるが、質量減少率を測定するには試験体を乾燥して腐朽処理前後の含水率を統一する必要がある。そのため、質量減少率による評価方法は腐朽の経時変化を調べるには適していない。そこで、本研究では、①縦振動法による動的ヤング率(E_d)の測定と、②目視による被害度の判定によって腐朽状態を評価した。目視による腐朽被害度の判定は **Table 3** に示す森林総合研究所の用いる 6 段階評価（雨宮 1963）に準じて行うことにした。目視による判定はステーキ試験体の地際より下部（埋設部）を評価対象とした。

動的ヤング率の測定に関して、初回測定時（2008 年 7 月 21 日）のステーキ試験体は、暴露試験開始の直前に実験室内で行い、気乾状態であったと考えられるが、試験開始以降のステーキ試験体は湿潤状態であった。そのため、初回測定時の動的ヤング率は、含水率の違いによる影響を考慮して、実測値に補正係数を乗じたものを測定結果とした。補正係数は、各樹種につき 2～3 体の試験体を気乾状態から飽水させ、気乾材に対する飽水材の動的ヤング率の減少率から求めた。

3. 結果及び考察

回収したほとんどのステーキ試験体で腐朽部は白く変色していたことから、樹種を問わず腐朽形態は白色腐朽が主であると考えられる。米国における針葉樹材被害のうち 80% 程度が褐色腐朽菌による被害とされているが（金 2007）、今回の環境下では針葉樹材（トドマツ）を含めて顕著な褐色腐朽は確認されなかった。

各樹種の平均腐朽被害度の経時変化を **Fig. 4** に示す。今回の試験においては、腐朽以外の要因（落石などによる物理的要因）による折損は観察されなかったため、折損したステーキ試験体は被害度が 5 と判定した。

Fig. 4 より、樹種間の比較を行うと以下の点が指摘できる。

- ① 今回の試験に用いた樹種のうち、ステーキ試験における耐朽性は高いものより順に、ニセアカシア＞トドマツ（各乾燥条件）＞ハルニレ＞ネグンドカエデ及びシンジュとなった。なお、トドマツにおいては、今回の乾燥処理条件が耐朽性に与える影響はみられなかった。なお、ニセアカシア、ハルニレ、トドマツについては既往の研究において耐朽性が調べられており、耐朽性を 5 段階（極大、大、中、小、極小）に評価した場合、ニセアカシアが極大、ハルニレ及びトドマツが小と位置付けられている（原口

表 3. 腐朽被害度の基準
Table 3. Standards of damage grading

被害度	観察状態
Grade of damage	Observed condition
0	健全 Sound
1	部分的に軽度の被害 Partial slight damage
2	全面的に軽度の被害 All slight damage
3	2の状態の上に部分的に激しい被害 Condition of 2, and partial severe damage
4	全面的に激しい被害 All severe damage
5	破壊 Destroyed

1972)。

- ② ニセアカシアを除く広葉樹 3 樹種で、腐朽開始より 2 年を過ぎた頃から、急速に腐朽が進む傾向がみられる。ニセアカシアは耐朽性の高い樹種として知られているが（原口 1972）、今回の実験においても同様の傾向が確認され、改めて野外での利用の有効性が示唆された。

Fig. 5 に広葉樹の各ステーキ試験体の動的ヤング率の経時変化と腐朽被害度の経時変化を、**Fig. 6** に針葉樹の各ステーキ試験体の動的ヤング率の経時変化と腐朽被害度の経時変化を示す。腐朽被害度 5 に達したステーキ試験体のうち、菌害等に

より完全に折損（破断）したステーキ試験体の動的ヤング率は 0 とした。針葉樹材（トドマツ各条件）に関しては、動的ヤング率の初回（2008 年 7 月 21 日）の測定値は欠損しているため、2 回目以降の測定値のみ記載した。**Fig. 5** 及び **Fig. 6** より、樹種毎の腐朽進行の特性について以下の指摘ができる。

- ① ハルニレにおいては、健全と判定されるステーキ試験体が多い一方で、試験開始 3 年目以降、急激な腐朽劣化（被害度 5）をみせたステーキ試験体も約 3 割を占め、両極的な特徴のある腐朽の進行状態が観察された。

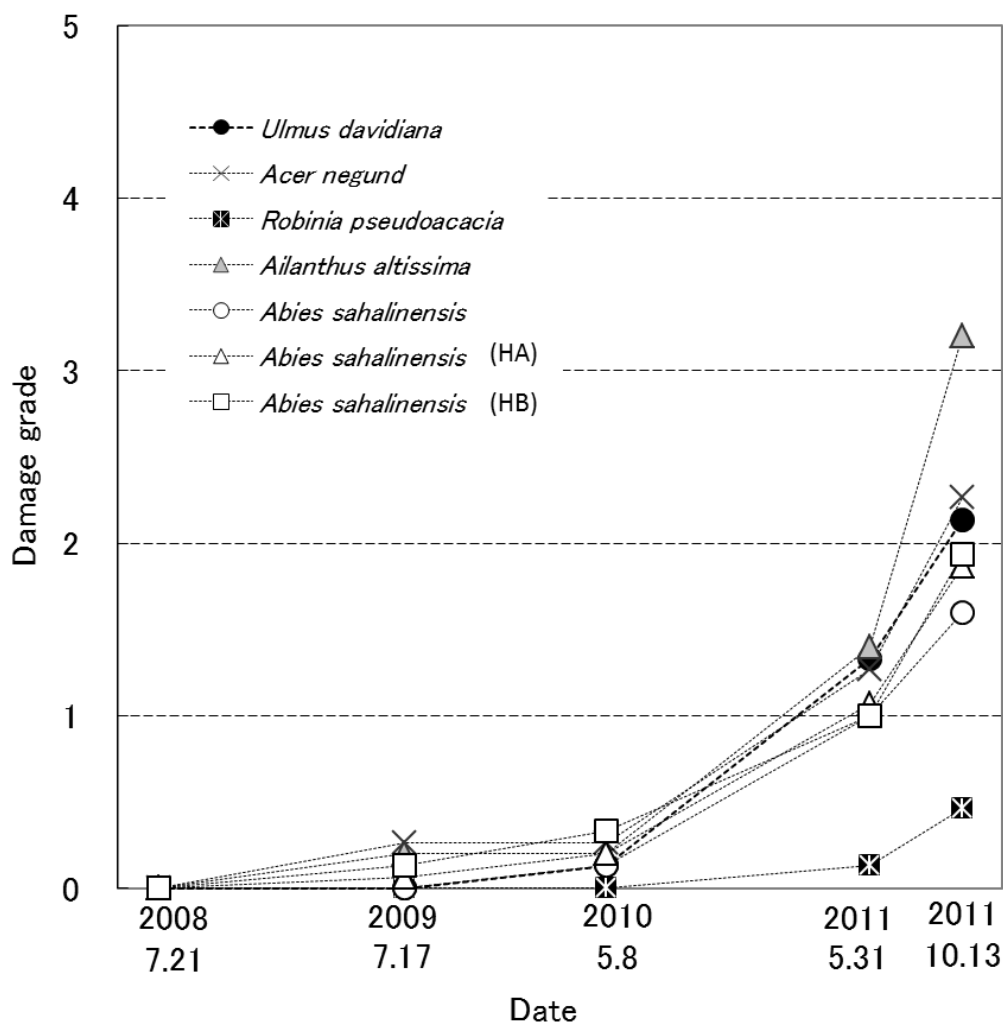


図 4. 平均被害度の経時変化

Fig. 4. Change over time of average damage grade

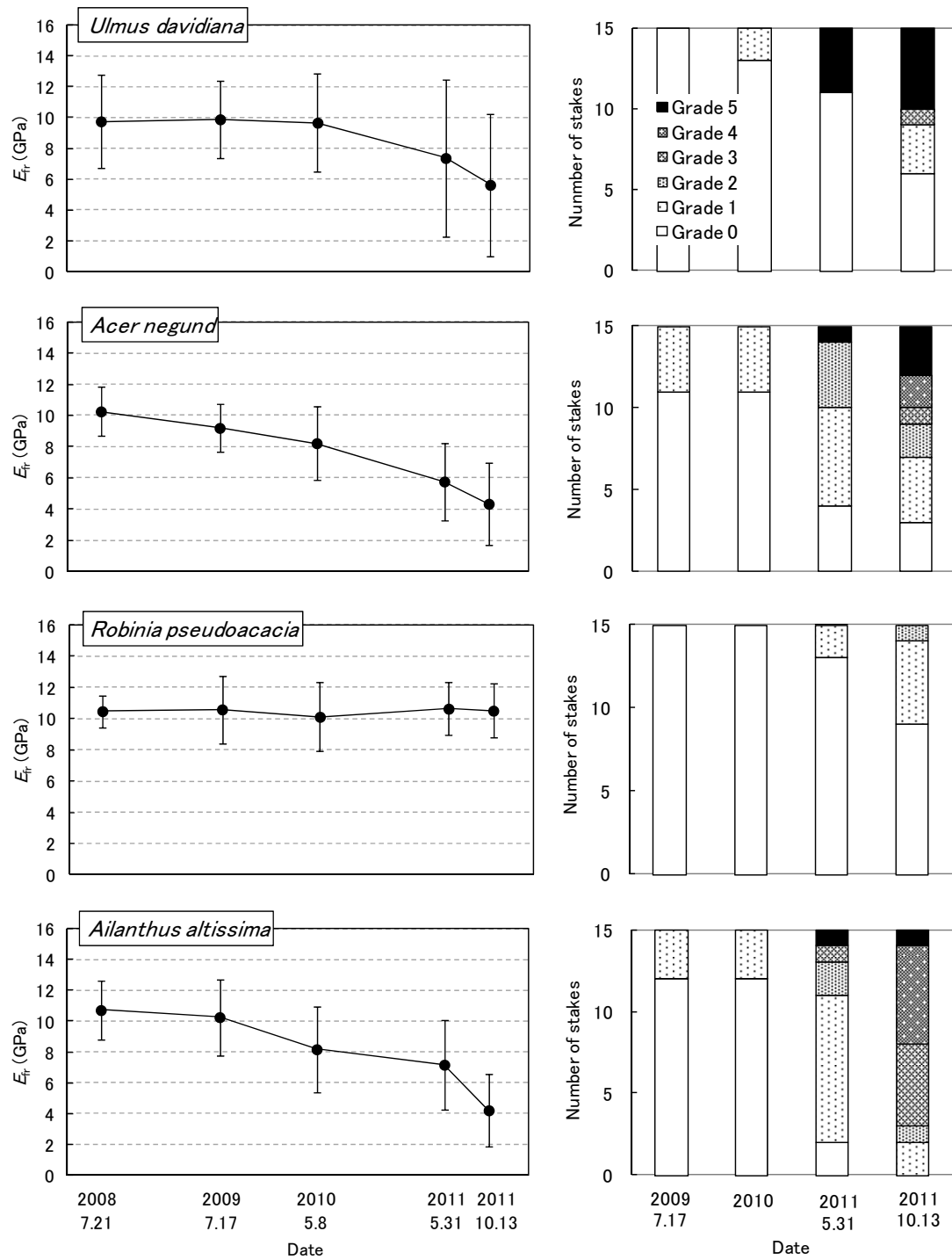


図 5. 各ステークにおける動的ヤング率の経時変化及び各樹種毎の被害度（広葉樹）

●: 平均値, エラーバー: 標準偏差

Fig. 5. Change over time of dynamic Young's modulus (E_{tr}) of each stakes and grade of damage of each species (Hardwoods).

Black circles and error bars denote average and standard deviation, respectively.

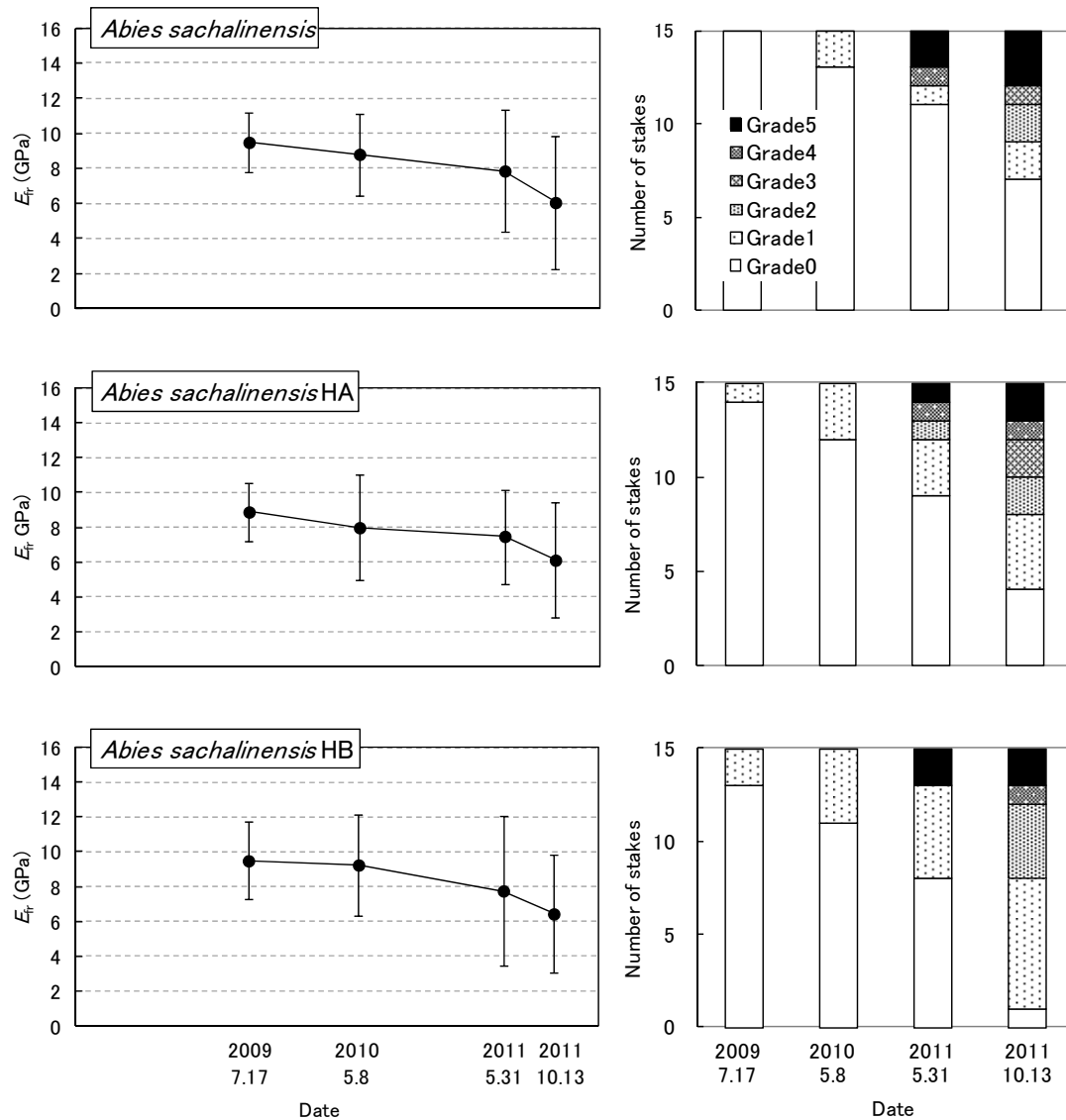


図 6. 各ステークにおける動的ヤング率の経時変化及び各条件毎の被害度（針葉樹）

●: 平均値, エラーバー: 標準偏差

Fig. 6. Change over time of dynamic Young's modulus (E_{tr}) of each stakes and grade of damage of each conditions (Softwoods).

Black circles and error bars denote average and standard deviation, respectively.

- ② ネグンドカエデにおいては、試験開始 2 年目以降、動的ヤング率は全般的に低下する傾向が観察され、目視による被害度の判定結果とおおよそ対応する傾向がみられた。
- ③ ニセアカシアにおいては、動的ヤング率の低下がみられず、極めて強い耐朽性を示した。
- ④ シンジュにおいては、ネグンドカエデと同様に、2 年目以降、動的ヤング率は低下し、目視による被害度判定とおおよそ対応する結果が得られた。
- ⑤ トドマツにおいては、ステーク試験体毎で腐朽の進行状況が異なったものの、全体的には暴露期間の増加に伴い腐朽の進行が観察された。また、乾燥条件による差は特に見られなかった。

ここで特に注目したいのは、①で指摘したハルニレのように特徴的な腐朽の進行である。先述のように、一般的にハルニレの耐朽性はトドマツと同程度とされているが（原口 1972）、定期的な観察で得られた結果は、急速に腐朽が進む試験体があることを示唆している。

ネグンドカエデ及びシンジュの耐朽性の低さと急速な腐朽の進行が改めて示されているが、測定開始 2 年目（3 回目測定時）までは両樹種共に目立った腐朽状況を観察できなかった。一般的に被害度 2.5 程度が木材の耐用限度とされているが（松岡ほか 1970）、少なくとも測定開始 2 年目までは被害度が 2 を超えるステーク試験体は 1 本も観測されなかった。

Fig. 7 に最終測定時における腐朽被害度と動的ヤング率の関係を示した。今回の調査においては、樹種に関係なく目視による被害度の判定と、動的ヤング率の減少傾向はおおよそ対応していることが伺える。褐色腐朽においては、強度の減少が密度の減少を伴うことはないため、縦振動法による腐朽状態の把握は難しいとの指摘もあるが（今村 1993）、今回観察されたような白色腐朽が優位な環境下においては、縦振動法あるいは目視といった非破壊的方法によって、おおよその劣化状況を評価できるものと示唆された。

4. まとめ

野外暴露試験によって道産材 5 樹種の耐朽性を評価した結果、ニセアカシアは極めて高い耐朽

性を示し、無処理であっても野外における利用の有効性が示唆された。

白色腐朽においては、目視による被害度判定と縦振動法によるヤング率測定がおおよそ対応しており、それぞれ腐朽状態の把握にある程度有効であることが示唆された。

一方で、強度低下が比較的緩慢とされる白色腐朽であっても、条件によっては急速に腐朽する場合がある。こうした樹種と腐朽の関係を推測するためには、腐朽現象についてのより多方面からのアプローチが必要である。

最後に

試験地の選定及び提供については、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター檜山研究林長の夏目俊二先生に多大なるご協力をいただきました。残念ながら先生は 2011 年 6 月 23 日に急逝されてしまいましたが、ここに改めて謝意を表すると共に、心よりご冥福をお祈り致します。

参考文献

- 雨宮昭二（1963）：浅川実験林苗畑の杭試験（第 1 報）杭の被害度を評価する方法，林業試験場研究報告（150），144－156.
- 原口隆英（1972）：“木材保存学”（日本木材保存協会編著），21－71.
- Hasegawa, M（2001）：Climate Index of Wood Decay in Japan and Toyama Prefecture, High-Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses (Report on Research Project Grand-in-Aid for Scientific Research), 15－25.
- 長谷川益夫・中谷浩・飯島泰男・安田洋・嘉戸昭夫・長谷川幹夫・相浦英春・石田仁・上林徳久（1993）：富山県における治山木杭の耐久性（第 1 報）柵工におけるスギ及びカラマツ木杭の耐用年数について，木材保存（19），13－22.
- 長谷川益夫（2005）：富山県における治山木杭の耐久性（第 2 報）皮付きと皮剥ぎ—塗布防腐処理スギ小丸太の耐用年数，富山県林業技術センター研究報告（18），23－29.
- 今村祐嗣（1990）：総説・AEモニタリングによる木材の劣化診断，木材研究：京都大学木材研究所

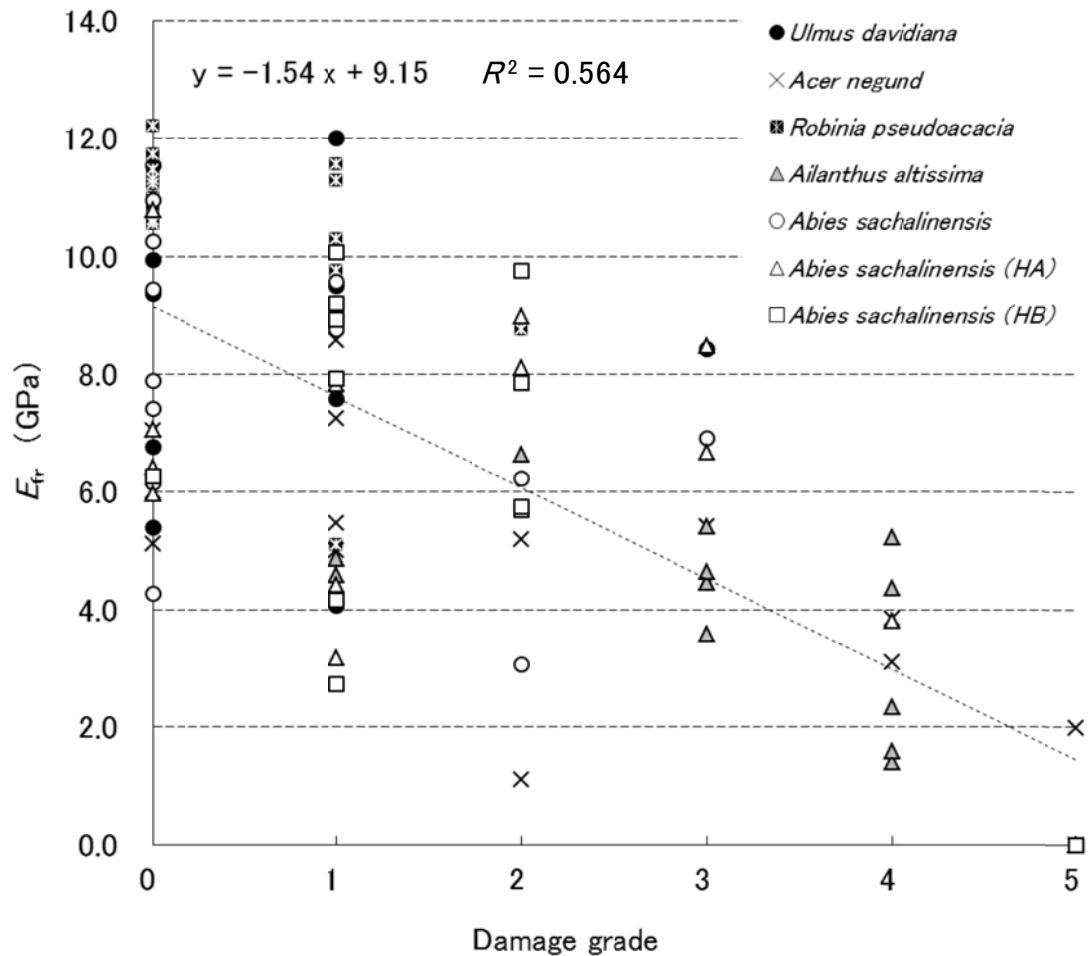


図 7. 動的ヤング率と腐朽被害度の関係

Fig. 7. Relationships between the grade of damage and dynamic Young's modulus (E_{tr}).

報告 (26), 38–60.

金潤受 (2007): 総説・褐色腐朽菌への再訪, 木材保存 33 (2), 48–57.

栗崎宏, 塚本英子, 水本克夫 (2001): 高温乾燥したスギ心材のオオウズラタケに対する耐朽性, 木材保存 (27), 61–66.

松岡昭四郎・雨宮昭二・庄司要作・井上衛・阿部寛・内藤三夫 (1970): 浅川実験林苗畑の杭試験 (第 3 報) 各樹種の野外試験による耐朽性評価, 林業試験場研究報告 (232), 109–135.

大村和香子・加藤英雄・小林功・桃原郁夫 (2004): スギ心材の熱処理条件とシロアリの摂食量との

関係, 木材工業 (59), 170–173.

Scheffer, T., C. (1971): A Climate Index for estimating potential for decay in wood structures above ground, Forest Prod. J. (21), 25–31.

田中裕美, 榎章郎, 布施五郎 (1989): ブナ材を用いた野外試験および腐朽促進試験と単一菌による室内実験について, 木材学会誌 (35), 374–381.

谷川充 (2006): 高耐朽性樹種のファンガスセラー試験による耐朽性評価, 木材保存 (32), 51–59.

Summary

The Purpose of this study was to clarify the durability of 5 wood species which were nise-akashia(*Robinia pseudoacacia*), negundo-kaede (*Acer negundo*), sinju (*Ailanthus altissima*), harunire (*Ulmus davidiana* var. *japonica*), and todomatsu (*Abies sachalinensis*), in Hokkaido by using in-ground stakes. Todomatsu specimens prepared from lumber dried using either ambient-temperature drying or high-temperature kiln drying.

This test was conducted in Hiyama experimental forest from July 2008 to October 2011.

The grade of stake specimens were visually checked and its dynamic Young's modulus was measured by the longitudinal vibration method. Those tests were carried out annually from 2008-2011 for observation of deterioration with age.

The decay by white-rot fungi were observed in all wood species, however the degree of decay degradation was dependent on wood species. Negundo-kaede and Sinju showed sudden decay degradation by rotting fungi, and had low durability of wood species in this study. Harunire had stake specimens with both sound condition and significant decay degradation, and showed characteristic decay pattern. Nise-akashia did not show decay degradation, and had decay resistance in open field. Regard less of drying condition, todomatsu showed slow degradation than negundo-kaede and sinju.

This study indicated that wood may be rapidly degraded by white-rot fungi and its degradation depend on wood species.

Keyword: Stake-test, Decay, Longitudinal vibration method