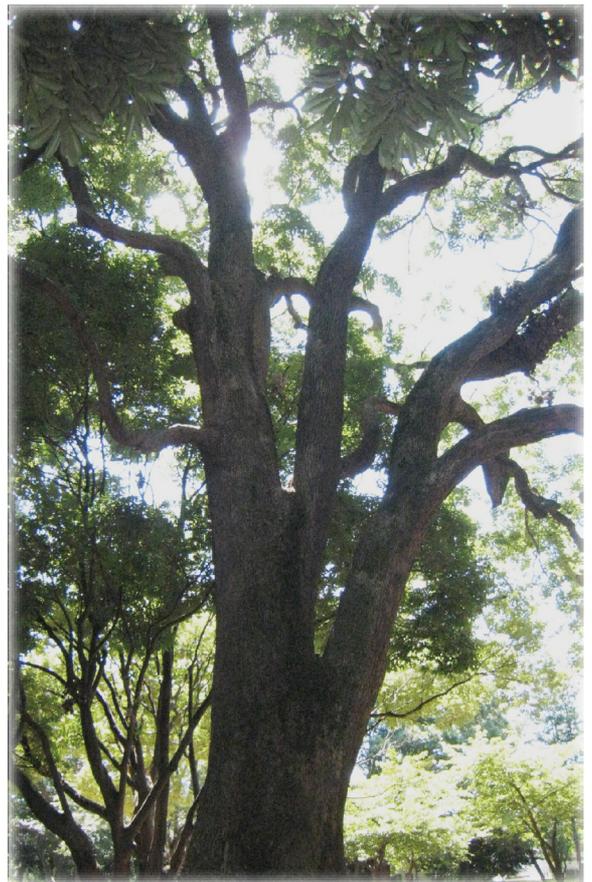


森林総合研究所研究報告

Vol.12-No.2(No.427)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



June 2013



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

The Chief Editor

篠原 健司 SHINOHARA Kenji (Principal Research Coordinator,FFPRI)

The Vice-Chief Editor

三森 利昭 SAMMORI Toshiaki (Associate Research Coordinator,FFPRI)

Editor

立花 敏 TACHIBANA Satoshi (Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba)
佐藤 明 SATO Akira (Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture)
飛田 博順 TOBITA Hiroyuki (Department of Plant Ecology,FFPRI)
小林 政広 KOBAYASHI Masahiro (Department of Forest Site Environment,FFPRI)
神崎 菜摘 KANZAKI Natsumi (Department of Forest Microbiology,FFPRI)
長谷川 元洋 HASEGAWA Motohiro (Department of Forest Entomology,FFPRI)
村田 仁 MURATA Hitoshi (Department of Applied Microbiology,FFPRI)
毛綱 昌弘 MOZUNA Masahiro (Department of Forest Engineering,FFPRI)
原田 真樹 HARADA Masaki (Department of Wood Engineering,FFPRI)
齋藤 英樹 SAITO Hideki (Department of Forest Management,FFPRI)
溝口 康子 MIZOGUCHI Yasuko (Hokkaido Research Center,FFPRI)
堀野 眞一 HORINO Shinichi (Tohoku Research Center,FFPRI)
黒川 潮 KUROKAWA Ushio (Kyushu Research Center,FFPRI)
衣浦 晴生 KINUURA Haruo (Kansai Research Center,FFPRI)
加藤 一隆 KATO Kazutaka (Forest Tree Breeding Center,FFPRI)
秦野 恭典 HATANO Yasunori (Research Information Division,FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photograph in Cover

東京都品川区(林試の森公園)のクスノキ
Cinnamomum camphora in Shinagawa City, Tokyo. (Rinshinomori Park)

ミズバショウ(群馬県利根郡)
Lysichiton camtschaticense Schott in Tone-gun, Gunma Prefecture.

(本文91ページ)
民家型工法床
Private house-type wooden floor.

目次

論文

- フローリングと梁桁で構成される民家型工法床の床衝撃音遮断性能
末吉 修三、宇京 斉一郎、森川 岳 89

短報

- 水耕栽培でのハンノキおよびトキワギョリュウへの
根粒菌フランキア接種による根粒形成(英文)
山中 高史、マンズール・R・サミーラ 97

研究資料

- 前回の萌芽更新から64年を経過したコナラ二次林の萌芽試験
伊東 宏樹 105

Bulletin of FFPRI, Vol.12. No.2 (No.427) June 2013
CONTENTS

Original article

- Floor-impact sound insulation performance of
a private house-type wooden floor consisting of flooring and beams
SUEYOSHI Shuzo, UKYO Seiichiro,
and MORIKAWA Takeshi 89

Short communication

- Nodulation of *Alnus japonica* and *Casuarina equisetifolia*
in liquid culture after inoculation with *Frankia*
YAMANAKA Takashi and Samira R. MANSOUR 97

Research record

- A sprouting experiment of a *Quercus serrata*
stand aged 64 years since last coppicing
ITÔ Hiroki 105

論文 (Original article)

フローリングと梁桁で構成される民家型工法床の床衝撃音遮断性能

末吉 修三^{1)*}、宇京 斉一郎¹⁾、森川 岳¹⁾

Floor-impact sound insulation performance of a private house-type wooden floor consisting of flooring and beams

Shuzo SUEYOSHI^{1)*}, Seiichiro UKYO¹⁾ and Takeshi MORIKAWA¹⁾

Abstract

We conducted a series of acoustic tests to improve the floor-impact sound insulation performance of a wooden floor, constructed using the private house-type method, which consisted of flooring and beams without a ceiling. Inserting sound-insulating and shock-absorbing materials between double-layered Japanese cedar flooring, we investigated the influence of each constituent material on the floor-impact sound insulation performance, using both light and heavy floor-impact sound levels as indices. As a result of increasing stiffness, adding mass and improving shock absorbing performance, we clarified the quantitative effect of each constituent material on both light and heavy floor-impact sound level reductions in the frequency domain. These results will help improve the sound insulation performance of wooden houses constructed by the private house-type method and promote the penetration of houses in which domestic timber is abundantly used.

Key words : private house-type wooden floor, light floor-impact sound, heavy floor-impact sound

要旨

フローリングと梁桁で構成される民家型工法床の床衝撃音遮断性能の改善に取り組んだ。2層のスギ単層フローリングの間に遮音材と衝撃緩衝材を挟み込んだ床を供試し、軽量及び重量床衝撃音レベルを指標として各構成材料が床衝撃音遮断性能に及ぼす影響を調べた。床の剛性を高め、質量を付加し、さらに軽量衝撃に対する衝撃緩衝性を高めた結果、軽量および重量床衝撃音レベルに及ぼす各構成材料の定量的な効果を周波数領域で明らかにすることができた。これらの結果は、民家型工法木造住宅の遮音性の改善に役立てられ、ひいては国産材を多用したこれらの木造住宅の普及につながることを期待できる。

キーワード : 民家型工法床、軽量床衝撃音、重量床衝撃音

1. はじめに

日本の林業・林産業の再生を目指して、国産材の有効利用を一層進める必要がある。その方策の一つとして、国産材を豊富に使った民家型工法住宅の普及が挙げられる。民家型工法住宅では、梁・桁に上階の床材を直接施工し、下階の天井を設けないことから、いわゆる化粧表しとなる。そのため、軸材と面材の組み合わせによって視覚的効果が得られるが、上下階を隔てる床構造が単純なため、種々の対策が施された木造住宅(末吉 1993)と比較して、遮音性能の改善を要する場合がある。このような民家型工法住宅の普及の阻害要因となる可能性がある床衝撃音については、そ

の遮断性能の向上を目指した研究が進められてきた(網田ら 2000, 末吉ら 2004 2006, 宇京ら 2008, 吉永 2010)。

本研究では、民家型工法住宅の遮音性を高めるため、表裏面を熱圧によって圧密化したスギ単層フローリング、遮音材および衝撃緩衝材を積層複合化することによって、民家型工法床の上下面の外観を変えることなく、床に加えられた衝撃エネルギーを効率的に低減する方法を検討してきた。ここでは、軽量及び重量床衝撃音のオクターブ分析に基づいて、民家型工法床を構成する各材料が床衝撃音遮断性能に及ぼす影響について報告する。

原稿受付：平成 24 年 11 月 29 日 Received 29 November 2012 原稿受理：平成 25 年 3 月 1 日 Accepted 1 March 2013

1) 森林総合研究所構造利用研究領域 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所構造利用研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: sue@ffpri.affrc.go.jp

2. 実験方法

2.1 スギ単層フローリングと遮音材の積層複合化

民家型工法床の軸組の仕様は、模式的に示すと Fig. 1 の通りである。軸材（断面寸法：105 mm × 240 mm，ベイマツ）を鉄筋コンクリート構造（2,815 mm × 3,725 mm × 高さ 3,000 mm，壁厚 80mm）の上面の開口部の周囲および長手方向に約 910 mm の間隔で 2 本施工した。軸組はプレカットの蟻継ぎで、羽子板ボルトを用いて接合した。本実加工のスギ単層フローリング（SF30，製品寸法：幅 190 mm，厚さ 30 mm，長さ 4,000 mm，表裏面は熱圧による圧密加工）を長さ 50mm のビスで軸材に固定し、天井なしの化粧表とした（Photo 1）。また、厚さ 30 mm のスギ単層フローリングを直交に 2 重張りしたのも、および遮音材（アスファルト系，製品寸法：455 mm × 910 mm，厚さ 4 mm，8 mm，12 mm の 3 種類（SI4，SI8，SI12），密度 3g/cm³）を厚さ 30mm のスギ単層フローリングで挟み込んだもので、合計 5 種類を供試した。各試験体の面材構成を下から上へ記号で表すと、SF30，SF30+SF30，SF30+SI4+SF30，SF30+SI8+SF30，および SF30+SI12+SF30 となる。以後、これらを試験体の記号として用いる。上側のスギ単層フローリングと遮音材は、下側のスギ単層フロ

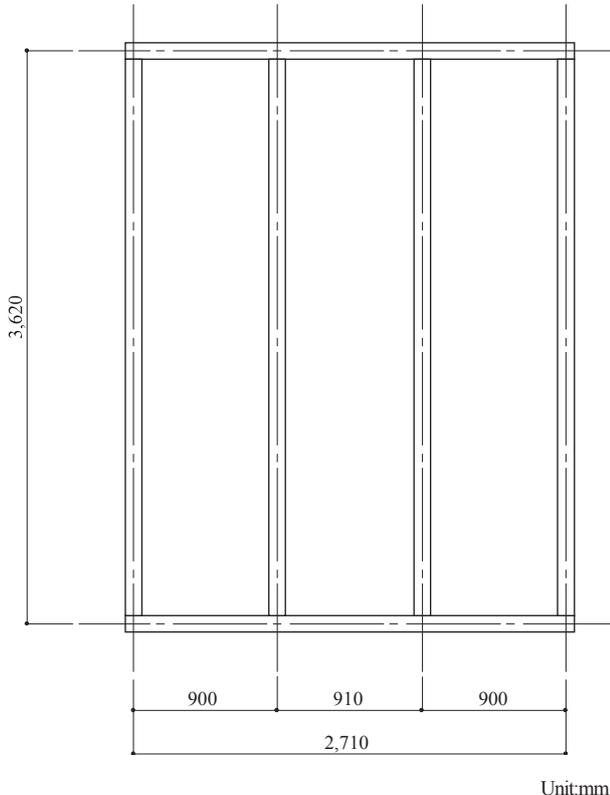


図 1. 民家型工法床の軸組
(梁間隔：910 mm，受材なし)

Fig. 1. Beam layout of the private house-type wooden floor.
(Long beam interval: 910 mm, without short beams)

ーリングに長さ 50mm のビスを用いて約 15 cm 間隔で固定した。

軽量衝撃源として、日本工業規格「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第 1 部：標準軽量衝撃源による方法」JIS A 1418-1:2000 に規定されているタッピングマシン (Brüel & Kjør Type 3207) を用いた。重量衝撃源については、同「建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第 2 部：標準重量衝撃源による方法」JIS A 1418-2:2000 にタイヤ（軽自動車用，重量 7.3 kg，落下高さ 85 cm）とインパクトボール (RION Type YI-01，重量 2.5 kg，落下高さ 1 m) が規定されている。タイヤは木造住宅などの軽量構造物には過大と考えられているので、本研究の民家型工法床のように軽い試験体に対する重量衝撃源としての適性を検証するため、タイヤとインパクトボールの両方を重量衝撃源として用いた。各床衝撃音レベルは、上述の JIS に準拠し、建築音響計測システム (Brüel & Kjør PULSE 3560C) によって測定した。

受音室の内装の仕様は以下の通りである。すなわち、コンクリート壁面はグラスウール吸音材（密度 32kg/m³，600mm × 900mm × 25mm）のピン留めで処理されており、同じく床面はコンクリートスラブに転がした根太に厚さ 30mm のスギ単層フローリングをビス留めした木床仕上げとなっている。JIS の規定にしたがい、軽量床衝撃音レベルを標準化するために測定した受音室の残響時間は、1/3 オクターブバンドの 200 Hz 帯域以下で 1～2 秒程度、同じく 250 Hz 帯域以上で 0.5 秒前後であった。このような残響時間特性から判断して、受音室は、壁面を吸音材で処理し中高音域の残響を抑え、床を単層フローリングで仕上げた鉄筋コンクリート造の矩形の比較的狭い部屋に近い音環境と考えられる。



写真 1. 民家型工法床
(梁間隔：910 mm，受材なし)

Photo 1. Private house-type wooden floor
(Long beam interval: 910 mm, without short beams)

2.2 スギ単層フローリング、遮音材および衝撃緩衝材の積層複合化

Fig. 2 に模式的に示した通り、前項の民家型工法床の軸組より梁間隔が広く、受材を追加した以下の仕様の軸組を用いた。すなわち、軸材（断面寸法：105 mm × 240 mm，ベイマツ）を鉄筋コンクリート構造（前出）の上面の開口部の周囲および長手方向に 1820 mm の間隔で 2 本施工し、さらに長手方向に直交して 910 mm 間隔で 100 mm 正角材を受材として 3 本渡した。前項と同様、軸組はプレカットの蟻継ぎで、羽子板ボルトを用いて接合した。また、本実加工のスギ単層フローリング（SF30，製品寸法：幅 190 mm，厚さ 30 mm，長さ 4,000 mm，表裏面は熱圧による圧密加工）を軸材に長さ 50mm のビスで留め、天井なしの化粧表しとした（Photo 2）。これに遮音材（SI12，アスファルト系，製品寸法：455 mm × 910 mm，厚さ 12 mm，密度 3 g/cm³）、衝撃緩衝材としてスギ樹皮ボード（製品名：フォレストボード，製品寸法：1,820 mm × 910 mm，厚さ 20 mm，40 mm（BK20，BK40），密度 0.23 g/cm³）を敷いて、仕上げにスギ単層フローリング（SF15，幅 150 mm，厚さ 15 mm，長さ 4,000 mm，下地に用いたフローリングと同様に圧密加工および本実加工が施されている）で挟み込んだ。スギ単層フローリングの 2 層の間に遮音材と衝撃緩衝材を挟み込む効果に焦点を絞るため、こ

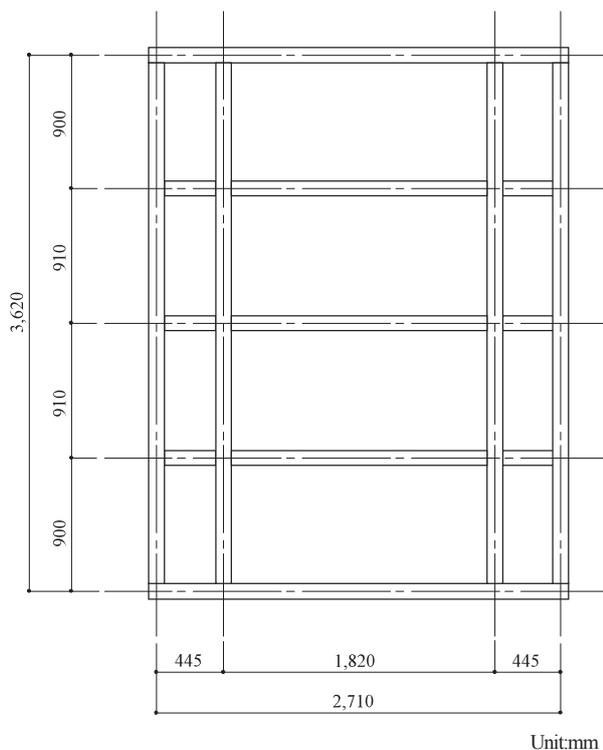


図2. 民家型工法床の軸組
(梁間隔：1,820 mm，受材あり)

Fig. 2. Beam layout of the private house-type wooden floor.
(Long beam interval: 1,820 mm, with short beams)

こではスギ単層フローリング 2 重張りを比較の基準とした。各試験体の面材構成を下から上へ記号で表すと、SF30+SF15，SF30+BK20+SF15，SF30+BK40+SF15，SF30+SI12+SF15，SF30+SI12+BK20+SF15，および SF30+SI12+BK40+SF15 となる。前項と同様、これらを試験体の記号として用いる。上側のスギ単層フローリング、樹皮ボードおよび遮音材は、長さ 50mm のビスで、下側のスギ単層フローリングに固定することを基本とした。ただし、厚さ 40mm のスギ樹皮ボードが入った試験体 2 種類（SF30+BK40+SF15，SF30+SI12+BK40+SF15）および厚さ 12mm の遮音材と厚さ 20mm のスギ樹皮ボードが入った試験体（SF30+SI12+BK20+SF15）については、長さ 75mm のビスを用いた。したがって、SF30+SF15 の試験体のみ、長さ 50mm のビスが 5mm 程度軸材に達していることになる。ビス留めは、いずれも約 15 cm 間隔で行った。

衝撃源にはタッピングマシン（前出）およびインパクトボール（前出）の 2 種類を用い、建築音響計測システム（前出）によって床衝撃音レベルを測定した。また、受音室の内装の仕様ならびに残響時間の特性は、前項と同様である。

3. 結果と考察

3.1 スギ単層フローリングと遮音材の積層複合効果

スギ単層フローリングと遮音材を積層複合化した民家型工法床について、軽量床衝撃音を測定した結果を Fig. 3 に示す。日本工業規格「建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法—第 2 部：床衝撃音遮断性能」JIS A 1419-2:2000 に規定されている遮音等級（以下、L 等級と呼ぶ）を決定する、いわゆる“等級曲線”の一部を表示した。全体的傾向としては、SF30，SF30+SF30，SF30+SI4+SF30，SF30+SI8+SF30，

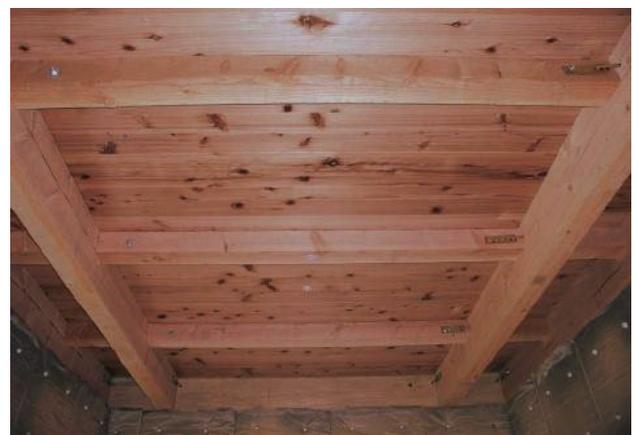


写真2. 民家型工法床
(梁間隔：1,820 mm，受材あり)

Photo 2. Private house-type wooden floor
(Long beam interval: 1,820 mm, with short beams)

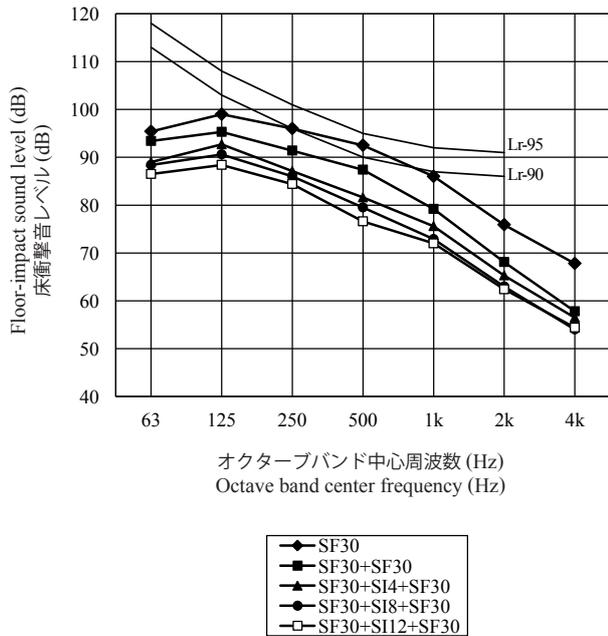


図3. 民家型工法床の軽量床衝撃音レベル
 (梁間隔：910 mm, 受材なし, 衝撃源：タッピングマシン)
 注) SF: スギ単層フローリング, SI: 遮音材, 数字は材料の厚さ (mm) を示す。
 Lr-90, Lr-95 : JIS A 1419-2 による遮音等級

Fig. 3. Light floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors.
 (Long beam interval: 910 mm, without short beams, Floor-impact source: Tapping machine)
 Note: SF: Sugi flooring, SI: Sound insulation board.
 Each number shows the thickness of materials in millimeters.
 Solid lines of Lr-90 and Lr-95 show the floor-impact sound insulation grades provided by JIS A 1419-2.

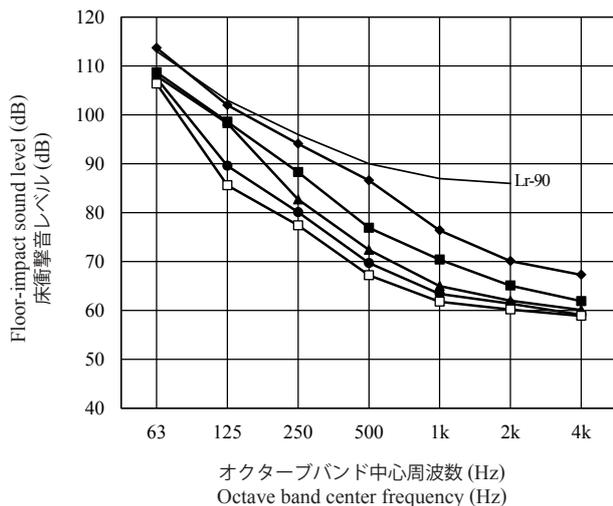


図4. 民家型工法床の重量床衝撃音レベル (1/1 オクターブバンド)
 (梁間隔：910 mm, 受材なし, 衝撃源：タイヤ)
 凡例と注は Fig.3 と同じ。

Fig. 4. Heavy floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors at 1/1 octave bands.
 (Long beam interval: 910 mm, without short beams, Floor-impact source: Tire)
 Legends and note are the same as Fig. 3.

および SF30+SI12+SF30 の順番に、床の質量と厚さが増すことから、質量付加と高剛性化の複合効果で、軽量床衝撃音レベルは全周波数帯域に渡って低下した。L 等級の決定周波数帯域である中心周波数が 500 Hz のオクターブ帯域 (以下、500 Hz 帯域と呼ぶ) に注目すると、SF30 と比較して、SF30+SF30 で約 5 dB, SF30+SI4+SF30, SF30+SI8+SF30, および SF30+SI12+SF30 で 11 ~ 16 dB、それぞれ軽量床衝撃音レベルは低下した。

同じ民家型工法床について、タイヤ落下による重量衝撃音を測定した結果を Fig. 4 に示す。軽量床衝撃音と同様、質量付加と高剛性化の複合効果で、重量床衝撃音レベルは全周波数帯域に渡って低下傾向を示した。L 等級の決定周波数帯域である 1/1 オクターブの 63 Hz 帯域に注目すると、SF30 と比較して、SF30+SF30 で 5 dB, SF30+SI4+SF30, SF30+SI8+SF30, および SF30+SI12+SF30 で 6 ~ 7 dB、それぞれ床衝撃音レベルは低下した。1/1 オクターブ分析では、タイヤ落下に対して、遮音材の積層効果は 63 Hz 帯域で 1 ~ 2 dB に留まっている。Fig. 5 に示した 1/3 オクターブ分析の結果を見ると、この傾向はつぎのように見取れる。すなわち、Fig. 5 の床衝撃音レベルのプロフィールから推定して、50 Hz 帯域を共鳴域とすると、31.5 Hz と 40 Hz 帯域では、剛性が支配的な重量床衝撃音レベル低減効果を発揮しており、63 Hz から 1250 Hz 帯域付近までは質量が支配的な効果を発揮していると考えられる。SF30+SF30 から SF30+SI12+SF30 まで、床衝撃音レベルは 63Hz 帯域と 80Hz 帯域でそれぞれ

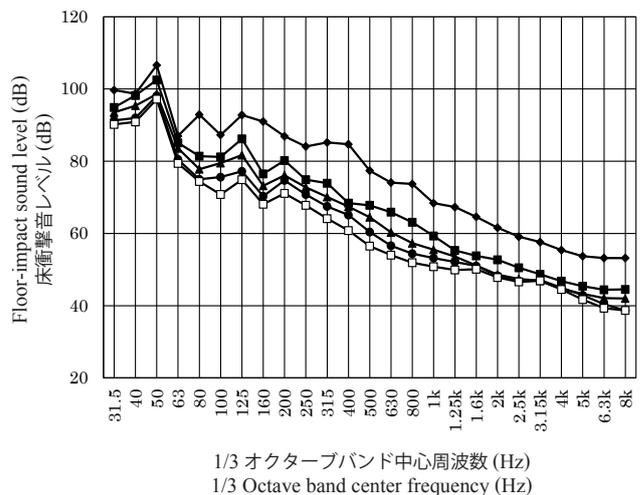


図5. 民家型工法床の重量床衝撃音レベル (1/3 オクターブバンド)
 (梁間隔：910 mm, 受材なし, 衝撃源：タイヤ)
 凡例は Fig.3 と同じ。

Fig. 5. Heavy floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors at 1/3 octave bands.
 (Long beam interval: 910 mm, without short beams, Floor-impact source: Tire)
 Legends are the same as Fig. 3.

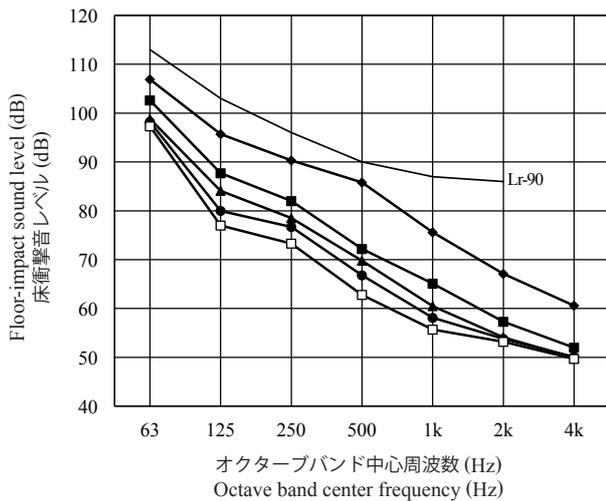


図6. 民家型工法床の重量床衝撃音レベル
 (梁間隔：910 mm, 受材なし, 衝撃源：インパクトボール)
 凡例と注は Fig.3 と同じ。
 Fig. 6. Heavy floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors.
 (Long beam interval: 910 mm, without short beams, Floor-impact source: Impact ball)
 Legends and note are the same as Fig. 3.

9 dB と 19dB 低下しているが、50Hz 帯域でほとんど低下せず高いレベルに留まっていることが影響して、1/1 オクターブの 63Hz 帯域の床衝撃音レベルの変化が小さくなったことがわかる。同じくインパクトボール落下による重量床衝撃音については、Fig. 6 に示す通りである。重量床衝撃音レベルの低下傾向はタイヤ落下に類似している。ほとんどの試験体の L 等級の決定周波数帯域となる 63 Hz 帯域に注目すると、SF30 と比較して、SF30+SF30 で約 4 dB、SF30+SI4+SF30、SF30+SI8+SF30、および SF30+SI12+SF30 で 8 ~ 10 dB の床衝撃音レベル低減効果が認められた。このように最大衝撃力で 4000 N を超えるタイヤと比較して、最大衝撃力が 1500 N 程度のインパクトボールは、本研究の試験体のような軽量構造物では、遮音材の積層複合効果を反映した重量床衝撃音を発生させられることが確かめられた。

つぎに、JIS A 1419-2:2000 に規定されている床衝撃音遮断性能の単一指標である A 特性音圧レベルの測定結果を Table 1 にまとめて示す。軽量および重量床衝撃音ともに、質量付加と高剛性化の複合効果が、A 特性音圧レベルの低下によって把握できる。

なお、重量床衝撃音については、「音の大きさ」の心理音響指標である非定常ラウドネスが、A 特性音圧レベルより、床衝撃音レベルの広い範囲で床構造の仕様の違いに対応して変化すること (Sueyoshi 2008) や聴感との相関が高いこと (末吉ら 2012) など、重量床衝撃音遮断性能の単一評価指標としての利点を有していることが明らかにされつつある。

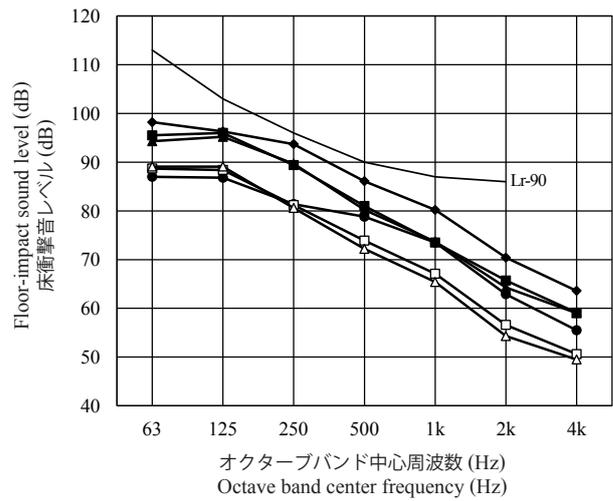


図7. 民家型工法床の軽量床衝撃音レベル
 (梁間隔：1,820 mm, 受材あり, 衝撃源：タッピングマシン)
 注) SF: スギ単層フローリング, SI: 遮音材, BK: スギ樹皮ボード
 数字は mm 単位での材料厚さを示す。
 Lr-90 : JIS A 1419-2 による遮音等級
 Fig. 7. Light floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors.
 (Long beam interval: 1,820 mm, with short beams, Floor-impact source: Tapping machine)
 Note: SF: Sugi flooring, SI: Sound insulation board, BK: Sugi bark board
 Each number shows the thickness of materials in millimeters.
 Solid line of Lr-90 shows the floor-impact sound insulation grade provided by JIS A 1419-2.

Fig. 7. Light floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors.
 (Long beam interval: 1,820 mm, with short beams, Floor-impact source: Tapping machine)
 Note: SF: Sugi flooring, SI: Sound insulation board, BK: Sugi bark board
 Each number shows the thickness of materials in millimeters.
 Solid line of Lr-90 shows the floor-impact sound insulation grade provided by JIS A 1419-2.

3.2 スギ単層フローリング、遮音材および衝撃緩衝材の積層複合効果

スギ単層フローリング、遮音材および衝撃緩衝材としてスギ樹皮ボードを積層複合化した民家型工法床について、軽量床衝撃音を測定した結果を Fig. 7 に示す。SF30+SF15 と比較して、スギ単層フローリング 2 層の間に遮音材およびスギ樹皮ボードを積層複合させた場合 (SF30+BK20+SF15, SF30+BK40+SF15, SF30+SI12+SF15, SF30+SI12+BK20+SF15 および SF30+SI12+BK40+SF15)、全周波数帯域で軽量床衝撃音レベルは 7 ~ 16 dB 低下した。とくに L 等級の決定周波数帯域である 250 Hz あるいは 500 Hz 帯域では、最大で 13 ~ 14 dB の低減効果が認められた。また、500 Hz 帯域以上の床衝撃音レベルの低減量は、遮音材とスギ樹皮ボードをそれぞれ単体で適用した場合の低減量を足し合わせた値に概ね等しくなることがわかった。

表 1. 民家型工法床の軽量及び重量床衝撃音レベル (dBA)
(梁間隔: 910 mm, 受材なし)

Table 1. Light and heavy floor-impact sound levels (dBA) of the private house-type wooden floors.
(Long beam interval: 910 mm, without short beams)

Floor impact source 床衝撃源	Sectional specification 断面構成				
	SF30	SF30+SF30	SF30+SI4+SF30	SF30+SI8+SF30	SF30+SI12+SF30
Tapping machine タッピングマシン	93	88	83	81	79
Tire タイヤ	91	86	84	80	79
Impact ball インパクトボール	87	78	75	73	71

注) SF: スギ単層フローリング, SI: 遮音材。数字は材料の厚さ (mm) を示す。

Note: SF: Sugi flooring, SI: Sound insulation board, BK: Sugi bark board

Each number shows the thickness of materials in millimeters.

同じ民家型工法床について、インパクトボール落下による重量床衝撃音を測定した結果を Fig. 8 に示す。スギ単層フローリング 2 層にスギ樹皮ボードを挟んだ場合、63 Hz 帯域の重量床衝撃音レベルは、SF30+SF15 と比較して、SF30+BK20+SF15 で 6 dB、SF30+BK40+SF15 で 8 dB 低下した。スギ樹皮ボードを挟み込むことによって、床の厚さが増して剛性が高くなり、重量衝撃に対する床の機械インピーダンスが高くなったためと推察される。スギ単層フローリングに遮音材のみを挟み込んだ場合 (SF30+SI12+SF15) と、スギ樹皮ボードと遮音材を積層複合させて挟み込んだ場合 (SF30+SI12+BK20+SF15 および SF30+SI12+BK40+SF15) を比較すると、63 ~ 250 Hz 帯域で重量床衝撃音レベルがほぼ同じになることから、重量衝撃に対しては遮音材による質量付加効果が支配的であることが見て取れる。L 等級の決定周波数帯域である 63 Hz あるいは 125 Hz 帯域では、スギ単層フローリング 2 層に遮音材とスギ樹皮ボードを挟み込むことによって、床衝撃音レベルはそれぞれ最大で 19 dB あるいは 10 dB 低下した。

つぎに、前項と同じく床衝撃音遮断性能の単一指標である A 特性音圧レベルの測定結果を Table 2 にまとめて示す。A 特性音圧レベルの変化からも、オクターブ分析の結果と同様、軽量衝撃には遮音材と衝撃緩衝材の両方に床衝撃音レベルの低減効果が認められるが、重量衝撃には遮音材の質量付加効果が支配的であることがわかる。

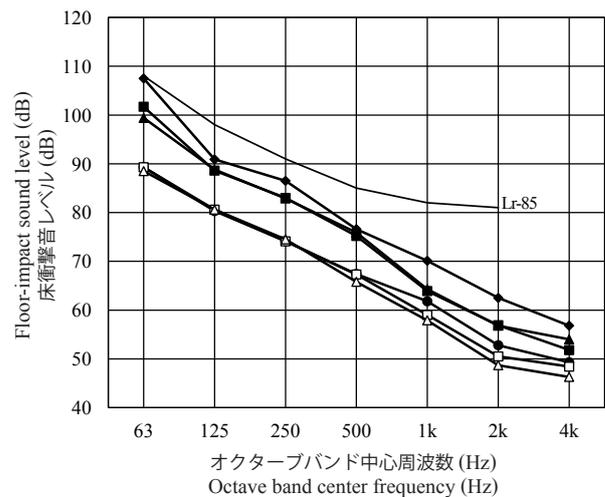


図 8. 民家型工法床の重量床衝撃音レベル
(梁間隔: 1,820 mm, 受材あり, 衝撃源: インパクトボール)
凡例と注は Fig.7 と同じ。

Fig. 8. Heavy floor-impact sound levels of the private house-type wooden floors.

(Long beam interval: 1,820 mm, with short beams, Floor-impact source: Impact ball)

Legends and note are the same as Fig. 7.

表 2. 民家型工法床の軽量及び重量床衝撃音レベル (dBA)
(梁間隔: 1820 mm, 受材あり)

Table 2. Light and heavy floor-impact sound levels (dBA) of the private house-type wooden floors.
(Long beam interval: 1,820 mm, with short beams)

Floor impact source 床衝撃源	Sectional specification 断面構成					
	SF30+SF15	SF30+BK20 +SF15	SF30+BK40 +SF15	SF30+SI12 +SF15	SF30+SI12 +BK20+SF15	SF30+SI12 +BK40+SF15
Tapping machine タッピングマシン	89	84	84	80	77	76
Impact ball インパクトボール	83	79	79	71	70	70

注) SF: スギ単層フローリング, SI: 遮音材, BK: スギ樹皮ボード
数字は mm 単位の材料厚さを示す。

Note: SF: Sugi flooring, SI: Sound insulation board, BK: Sugi bark board
Each number shows the thickness of materials in millimeters.

4. まとめ

国産材を豊富に使用した民家型工法住宅の床衝撃音遮断性能を向上させるため、表裏面を熱圧によって圧密化したスギ単層フローリング、遮音材および衝撃緩衝材を積層複合化した民家型工法床について、床衝撃音レベルに及ぼす各構成材料の影響を検討した。軽量及び重量床衝撃音をオクターブ分析するとともに、A特性音圧レベルを測定した結果、以下のことが明らかになった。

1) スギ単層フローリングの2重張りによる床の高剛性化ならびにスギ単層フローリング2層の間に遮音材を挟み込むことによる高剛性化と質量付加を図った結果、床衝撃音レベルの低減量を定量的に明らかにすることができた。

なお、民家型工法床のような軽量構造物では、タイヤと比較して、インパクトボールは、遮音材を積層複合化した床の仕様の違いを反映した重量床衝撃音を発生させられることが確かめられた。

2) スギ単層フローリング2層の間に、遮音材とさらに衝撃緩衝材としてスギ樹皮ボードを挟み込んで積層複合化を図り、床の剛性、質量および軽量衝撃に対する衝撃緩衝性を段階的に高めた結果、軽量および重量床衝撃音レベルに及ぼす各構成材料の低減効果を周波数領域で明らかにすることができた。

3) 床衝撃音遮断性能の単一評価指標のA特性音圧レベルによって、各材料の積層複合による軽量および重量床衝撃音レベル低減効果を把握することができた。

引用文献

- 網田克明・中岡正典・中村茂史 (2000) 徳島すぎを用いた民家型工法の性能評価について —簡易音響測定装置による床衝撃音の測定—, 徳島県林業総合技術センター研究報告, 第37号, 1-8.
- 宇京齊一郎・末吉修三 (2008) 民家型工法モデル床の床衝撃音遮断性能 —スギ樹皮ボードと遮音材の積層複合効果—, 第58回日本木材学会大会研究発表要旨集, CD-ROM.
- 末吉修三 (1993) 木造住宅の遮音性能, 木材工業, Vol.48, No.8, 356-362.
- 末吉修三・森川 岳・吉永 亨・中岡正典 (2004) 民家型工法モデル床の床衝撃音遮断性能 —厚密スギフローリングと遮音材の複合化—, 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 555.
- 末吉修三・吉永 亨・中岡正典 (2006) 民家型工法モデル床の床衝撃音遮断性能 —スギ樹皮ボードの軽量衝撃緩衝性—, 第56回日本木材学会大会研究発表要旨集, CD-ROM.
- Sueyoshi, S. (2008) Psychoacoustical evaluation of floor-impact sounds from wood-framed structures. *J. Wood Science*, 50, 285-288.
- 末吉修三, 宇京齊一郎, 菅沼一希, 立和名悠介, 塩田正純 (2012) 木質構造の重量床衝撃音の心理音響評価, 木材学会誌, 58, 69-73.
- 吉永 亨 (2010) 民家型工法住宅における床衝撃音遮断性能の改善について, 徳島県立農林水産総合技術支援センター 森林林業研究所研究報告, 第6号, 1-5.

短 報 (Short communication)

Nodulation of *Alnus japonica* and *Casuarina equisetifolia* in liquid culture after inoculation with *Frankia*

Takashi YAMANAKA^{1)*} and Samira R. MANSOUR²⁾

Abstract

Evaluation of infectivity and effectivity of different *Frankia* strains inoculated to *Alnus japonica* and *Casuarina equisetifolia*, in liquid culture system, was carried out. Plant materials of *A. japonica* and *C. equisetifolia* were grown in liquid culture (1/4-strength Hoagland's nutrient solution; pH 6.8; 100-ml glass bottles), and their roots were inoculated with strains of *Frankia*. Seedlings of *A. japonica* developed abundant root hairs and formed red swellings on lateral roots 1 week after inoculation with a *Frankia* strain isolated from a root nodule of *A. japonica*. The red swellings developed into root nodules. Rooted cuttings of *C. equisetifolia* formed root nodules 3 weeks after inoculation with *Frankia* strains isolated from root nodules of *Casuarina*. Nodule roots of *C. equisetifolia* grew upwards in the nutrient medium, exhibiting negative geotropism. These results demonstrated that liquid culture is a suitable method to evaluate nodule development over time by non-destructive observations. This method will be useful for further research on actinorhizal symbioses.

Key words : nodulation, water culture, *Alnus*, *Frankia*, *Casuarina*, negative geotropism

1. Introduction

Members of the genus *Frankia*, a soil-inhabiting actinomycete, infect roots of some woody dicotyledonous plants and induce the formation of nodules, which are specialized symbiotic organs that fix atmospheric nitrogen. These plants, known as actinorhizal plants (Baker and Schwintzer 1990, Yamanaka and Okabe 2008), are important for forestry, land reclamation, and natural ecosystems, and as a model for genetic engineering of plant-microbe symbioses. Therefore, much attention has been paid to actinorhizal symbioses (Torrey 1990, Benson and Dawson 2007).

Root-nodule microorganisms were first isolated and cultured from actinorhizal plants in 1978 (Callahan et al. 1978). Since then, much research has been focused on the biology of the actinomycete *Frankia* isolated from different habitats. *Frankia* isolates have been characterized based on their host specificity (the range of plants they infect), their mode of infection, and their efficacy in promoting growth of the host plant. Many studies have evaluated the effects of inoculating *Frankia* strains onto plant roots. In those studies, inoculations have been conducted using various procedures depending on the size and traits of plants and the facilities available.

Gibson (1987) described various systems for evaluating nodulation and nitrogen fixation by legumes. Based on the systems used to study legumes, actinorhizal plants have been cultivated using bottles or tubes (Smolander and Sundman 1987, Hilger et al. 1991), plastic growth pouches (Valverde and Wall 1999) and an aeroponics system in which plants were grown with roots bathed in nutrient mist (Zobel et al. 1976). Plants cultivated in pots or containers have also been used in studies on *Frankia* (Benoit and Berry 1990). Although root nodules develop well on plants grown in sand or other substrates (Zhang and Torrey 1985, Torrey 1990), it is difficult to observe nodule development directly in such systems. In contrast, liquid cultures allow visualization of nodule development over time. For liquid cultures, various vessels with different sizes have been used (Torrey 1990, Myrold 1994). Smolander and Sundman (1987) and Hilger et al. (1991) used small bottles (120- and 50-ml) for liquid cultures of *Alnus* to evaluate its nodulation capacity in soil. The advantage of using small bottles is that they are economical in terms of space, allowing many replicates for experiments. In spite of this, there have been no reports of nodulation trials using pure cultures of *Frankia* and plant

原稿受付：平成 24 年 6 月 13 日 Received 13 June 2012 原稿受理：平成 25 年 2 月 27 日 Accepted 27 February 2013

1) Department of Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Botany Department, Faculty of science, Suez Canal University, Ismailia, Egypt

* Department of Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan; e-mail: yamanaka@ffpri.affrc.go.jp

materials in small bottles.

In this study, we evaluated nodulation and nitrogen fixation of some actinorhizal plants (*Alnus* and *Casuarina*) after inoculation with *Frankia* isolates. The plant materials were grown in liquid cultures in 100-ml glass bottles.

2. Materials and Methods

2.1 Preparation of plant materials

Two actinorhizal plants, *Alnus japonica* (Thunb.) Steud. and *Casuarina equisetifolia*, L., were used in these experiments. Seeds of *A. japonica*, from seed stock kept at the Forestry and Forest Products Research Institute, were soaked in running water for several days. The seeds were immersed in 0.5% (w/v) benomyl for 1 h, and then placed on a sheet of Kimwipes (Nippon Paper Creca, Tokyo) to remove excess solution. The sterilized seeds were transferred aseptically to sterile Petri dishes containing 0.9% water agar medium. The Petri dishes were sealed with parafilm and incubated in a growth chamber at 28°C under continuous light, supplied by a fluorescent lamp (photosynthetic photon flux density = 124 $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$). After germination, seedlings were transplanted onto 150 ml sterilized perlite in a 300-ml conical flask. To each flask, 90 ml sterile 1/4- strength complete Hoagland's nutrient solution, pH 6.7 (Hoagland and Arnon 1938) was added. Seedlings in the conical flask were grown in the growth chamber until they reached the two- or three-leaf growth stage.

For *C. equisetifolia*, shoot cuttings were prepared as described by Lundquist and Torrey (1984). The cuttings (6-cm long) were cut from shoot tips. The shoots were initially surface-sterilized by immersion in 95% ethanol for 1 min, then soaked in 1% sodium-hypochlorite solution for 5 min and washed five times with sterilized water. The sterilized shoots were planted in 500 ml sterilized pumice (particle size 2–3 mm in diameter; commercial name: Hyugatsuchi) moistened with 200 ml sterile distilled water in a lidded cylindrical glass bottle (14.5 cm deep, 10 cm inner diameter). The bottles were sealed with parafilm, and the lower part of the bottle was covered with aluminum foil to block the light. The bottles were placed in a growth chamber under the same conditions described above for *A. japonica*. Root development from the cuttings was evaluated by observing the materials from the side and the base of the bottle once a week.

2.2 Liquid cultures

The plant materials were cultured in 100-ml glass vials with polypropylene screw caps (SV-100, Nichiden-Rika Glass, Tokyo, Japan, Fig. 1). The vials were filled with sterile 1/4-strength complete Hoagland's nutrient solution (pH 6.8). A hole (12.5 mm diameter) was made in the lid of each vial, and the hole was closed with a silicone plug. To add plant materials to this system, the plug was cut in half and the plant material was sandwiched between the two



Fig. 1. Growth and nodulation of plant materials in liquid cultures. (a) *Alnus japonica*. Arrows show red swellings that developed after inoculation with *Frankia* strain AJ01 isolated from a root nodule of *A. japonica*. Red swellings developed into root nodules (see Fig. 3a). Photo was taken 8 days after *Frankia* inoculation. (b) *Casuarina equisetifolia*. Arrows show root nodules that formed after inoculation with *Frankia* strain CaE03 isolated from a root nodule of *C. equisetifolia*. Note upward growth of lateral roots and nodule roots (negative geotropism). Photo was taken 34 days after *Frankia* inoculation.

Table 1. Names and origins of *Frankia* strains used in this study.

Strain	Host plant	Location
AJ01	<i>Alnus japonica</i>	Tsukuba, Ibaraki, Japan
CaE01	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Taketomi, Okinawa, Japan
CaE02	<i>C. equisetifolia</i>	Taketomi, Okinawa, Japan
CaE03	<i>C. equisetifolia</i>	Nago, Okinawa, Japan
T7	<i>C. cunninghamiana</i>	Ismailia, Egypt

halves. The plug was inserted into the hole in the cap, with the plant roots immersed in the nutrient solution. The vials were covered with a black plastic sheet to block the light and placed in the growth chamber. One week before inoculation with *Frankia*, the plant materials were transferred to vials containing sterile 1/4-strength nitrogen-free Hoagland's solution (Hoagland and Arnon 1938).

2.3 Inoculum preparation and inoculation technique

We used one *Frankia* strain to inoculate *A. japonica* seedlings and four strains of *Frankia* to inoculate *C. equisetifolia* (Table 1). All strains were cultured in N-free BAP liquid medium (Murry et al. 1984) in dark at 24°C for 4–6 weeks (AJ01), 2 weeks (CaE02, CaE03), 2–10 weeks (CaE01), or 60 weeks (T7). The 60-week-old *Frankia* culture was used to examine the nodulation capacity of old mycelia with spores, which are thought to be responsible for nodulation (Lalonde and Calvert 1979, Mansour and Torrey 1991). For inoculation, the cultures were homogenized at 10000 rpm (10 s) with an Ultra-Turrax mixer (TP 18/10S4, IKA, Staufen, Germany), and then poured into a 50-mL tube and centrifuged at 2320 g for 20 min to collect the hyphal fragments. The fragments were mixed with sterilized distilled water, centrifuged at 2320 g for 20 min, and the supernatant discarded. The procedure was repeated twice to wash the hyphal fragments. The plant materials sandwiched in the silicone cap were raised to remove the roots from the nutrient solution, and then 1 ml *Frankia* suspension (equivalent to 10 µl packed cell volume after centrifugation at 2320 g for 20 min), was applied to the roots.

2.4 Measurements

Observations of nodule formation were made regularly from 1 week after *Frankia* inoculation, and plants were harvested at 4 weeks after inoculation.

Plant dry weight, nodulation, and acetylene reduction activity (ARA) were measured as described by Yamanaka et al. (2005). The t-test was used to examine the effect of *Frankia* inoculation on growth and ARA of *A. japonica* seedlings. One way of analysis of variance was to examine the effects of *Frankia* strains on the growth, nodulation, and ARA of *C. equisetifolia* cuttings.

3. Results

3.1 *Alnus japonica* nodulation

Roots of *A. japonica* seedlings formed abundant root hairs in liquid culture (Fig. 2a). One week after *Frankia* inoculation, red swellings (Fig. 1a) were observed along the roots of 9 out of 16 inoculated seedlings. These swellings developed into root nodules (Fig. 3a). All inoculated seedlings formed root nodules during the course of the experiment (Table 2). The average dry weight and ARA of nodulated seedlings were significantly higher than those of the control.

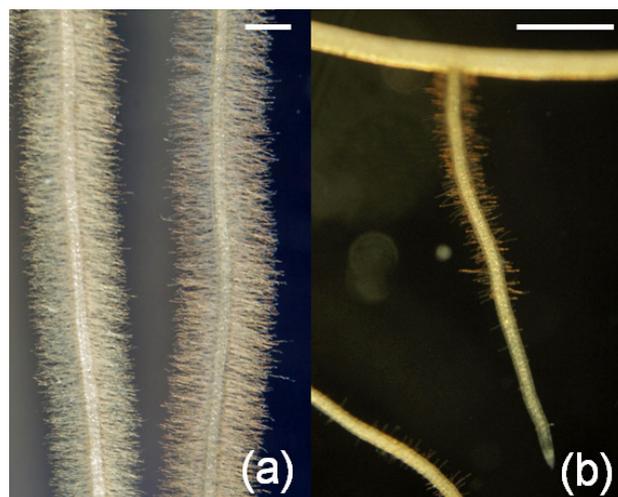


Fig. 2. Abundant root hairs on roots of *Alnus japonica* (a) and sparse root hairs on roots of *Casuarina equisetifolia* (b) in liquid culture. Scale bars = 1 mm.

Table 2. Nodulation and acetylene reduction activity (ARA) in *Alnus japonica* and *Casuarina equisetifolia* in liquid culture after inoculation with *Frankia*. Values are means (standard errors in parentheses). Means followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ (t -test).

Plant <i>Frankia</i> strain	Number of plants		Nodulation rate (%)	No. of lobes/ nodulated plant	DW of nodulated plant (g)	ARA ($\mu\text{molC}_2\text{H}_4/\text{plant}/\text{day}$)
	tested	nodulated				
<i>Alnus japonica</i>						
AJ01	16	16	100	19.7 (2.5)	0.017a (0.002)	0.04a (0.01)
Uninoculated	13	0	0	—	0.010b (0.001)	0.00b (0.00)
<i>Casuarina equisetifolia</i>						
CaE01	20	16	80.0	11.7 (1.5)	0.039 (0.002)	0.19 (0.06)
CaE02	7	4	57.1	3.5 (1.0)	0.038 (0.002)	0.04 (0.04)
CaE03	13	9	69.2	9.9 (1.8)	0.043 (0.002)	0.34 (0.22)
T7	10	9	90.0	13.7 (2.4)	0.046 (0.003)	0.32 (0.15)
Uninoculated	14	0	0	—	0.038 (0.003)	0.00 (0.00)

3.2 *Casuarina equisetifolia* nodulation

Cuttings of *C. equisetifolia* developed roots with a few root hairs (Fig. 2b) in liquid culture. Some lateral roots on these cuttings grew upwards. Eight days after inoculation with T7, red nodules were observed on roots of *Casuarina* cuttings. Root nodules were observed 13 days after inoculation with CaE01 or CaE03, or 19 days after inoculation with CaE02 (Fig. 1b). The number of root lobes on nodulated *Casuarina* was not significantly different among the four *Frankia* strains (Table 2).

Casuarina nodules were typical *Myrica*-type nodules from which roots developed at the tip (Fig. 1b, 3b). These nodule roots grew upwards (Fig. 1b).

Only the nodulated cuttings showed ARA (Table 2); however, some had no ARA. There was no significant difference in dry weight between *Frankia*-inoculated and uninoculated *Casuarina* cuttings (Table 2).

4. Discussion

In these experiments, we used a simple and effective method to evaluate nodule formation and development in different host plants inoculated with various *Frankia* strains. This method did not require aeration, unlike that described by Torrey (1990), who reported that aeration of nutrient solutions in culture might be essential or desirable for seedling growth. In the present study, aeration of the solution appeared to be unnecessary, since *A. japonica* seedlings developed

roots with abundant root hairs (Fig. 2a), which are required for successful root infection and nodule development (Zobel et al. 1976). Development of root hairs may be improved under anaerobic conditions because of accumulation of ethylene, which stimulates root hair development (Jackson 1985, Abeles et al. 1992).

In the present study, a 60-week-old culture of T7 effectively induced nodules on roots of *C. equisetifolia* (Table 2). The efficacy of this old inoculum in inducing nodulation may be related to the presence of spores, a characteristic feature of *Frankia* cultures (Mansour et al. 1990, Dewedar and Mansour 1992). Old cultures developed spores that germinated and formed hyphae when transferred to fresh medium (Tzean and Torrey 1989), thereby facilitating infection and nodule formation (Mansour and Torrey 1991). Burleigh and Torrey (1990) reported that *Frankia* spores were three orders of magnitude more infective than hyphae. That is, because the hypha is the infective tool, the fresh hyphae that germinated from spores were more infective than older hyphae.

In *Casuarina* cuttings inoculated with *Frankia*, root nodules formed and nodule roots grew upwards (Fig. 1b and 3b), exhibiting negative geotropism. The lateral roots also grew upwards (Fig. 1b). Upward growth of nodule roots, but not lateral roots, was reported previously (Bond 1956, 1957). One possible explanation for the upward growth of roots is that the gravitropism of the root could be disturbed by ethylene (Abeles et al. 1992), which accumulates in roots under

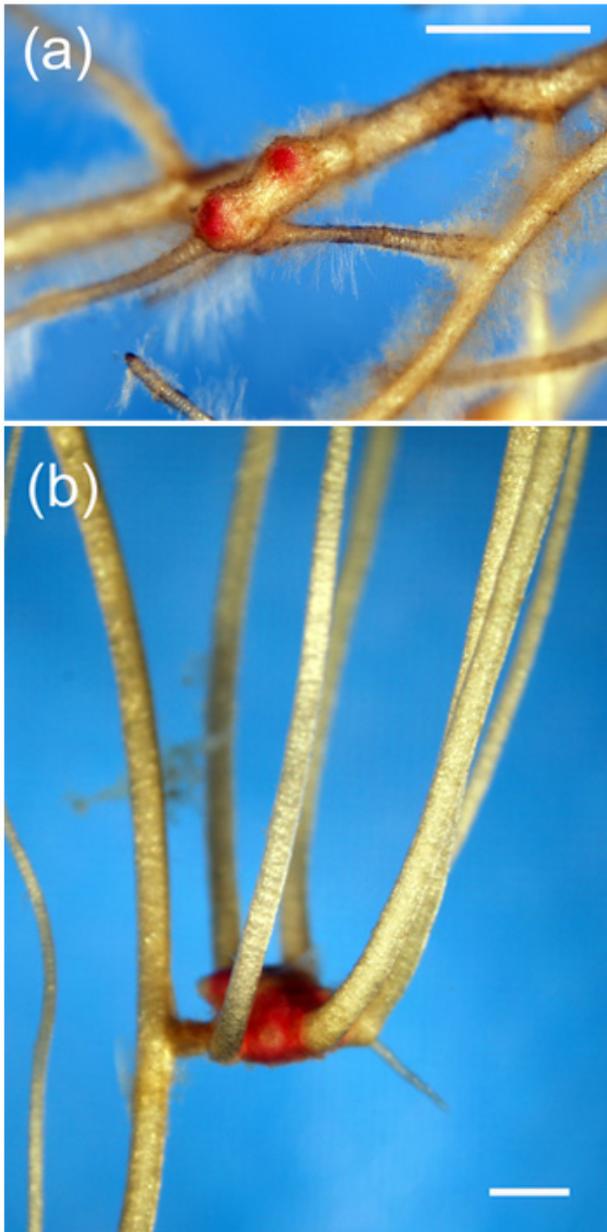


Fig. 3. (a) Root nodule in *Alnus japonica* that developed after inoculation with *Frankia* isolate AJ01. Photos were taken 28 days after inoculation. (b) Root nodule on roots of *Casuarina equisetifolia* showing nodule roots growing upwards. Nodules formed after inoculation with *Frankia* isolate CaE02. Photos were taken 34 days after inoculation. Scale bars = 1 mm.

anaerobic conditions (Jackson 1985).

The strong growth and nodulation shown by *A. japonica* in liquid cultures might be related to the fact that this species commonly grows in water-logged conditions (Kitamura and Murata 1979). Similarly, some alder species growing in wet soil (Farrar

1995) have been used as plant materials in liquid cultures because of their strong growth performance (Smolander and Sundman 1987, Smolander 1990). This characteristic of plants, that is, their ability to tolerate flooding stress, is an important attribute in selecting species for liquid cultures. As long as appropriate species are selected, liquid cultures would be useful for further studies on actinorhizal symbioses (Torrey 1990).

Acknowledgement

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 23380098.

Literature cited

- Abeles, F. B., Morgan, P. W. and Saltveit Jr., M. E. (1992) "*Ethylene in Plant Biology*", 2nd ed. Academic Press, 414 pp.
- Baker, D. D. and Schwintzer, C. R. (1990) Introduction. In Schwintzer, C. R. and Tjepkema, J. D. (eds.) "*The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants*". Academic Press, 1-13.
- Benoit, L. F. and Berry, A. M. (1990) Methods for production and use of actinorhizal plants in forestry, low-maintenance landscapes, and revegetation. In Schwintzer, C. R. and Tjepkema, J. D. (eds.) "*The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants*". Academic Press, 281-297.
- Benson, D. R. and Dawson, J. O. (2007) Recent advances in the biogeography and genecology of symbiotic *Frankia* and its host plants. *Physiol. Plantarum*, 130, 318-330.
- Bond, G. (1956) A feature of the root nodules of *Casuarina*. *Nature*, 177, 191-192.
- Bond, G. (1957) The development and significance of the root nodules of *Casuarina*. *Ann. Bot.*, 21, 373-380.
- Burleigh, S. and Torrey, J. G. (1990) Effectiveness of different *Frankia* cell types as inocula for the actinorhizal plant *Casuarina*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 2565-2567.
- Callaham, D., Del Tredici, P. and Torrey, J. G. (1978) Isolation and cultivation *in vitro* of the actinomycete causing root nodulation in *Comptonia*. *Science*, 199, 899-902.
- Dewedar, A. and Mansour, S. R. (1992) Infection events in the establishment of *Casuarina-Frankia* symbiosis: using spore inoculation. *Acta Oecol.*, 13, 379-385.

- Farrar, J. L. (1995) *"Trees of the Northern United States and Canada"*. Iowa State University Press, 502 pp.
- Gibson, A. H. (1987) Evaluation of nitrogen fixation by legumes in the greenhouse and growth chamber. In Elkan, G. H. (ed.) *"Symbiotic Nitrogen Fixation Technology"*. Marcel Dekker, 321-369.
- Hilger, A. B., Tanaka, Y. and Myrold, D. D. (1991) Inoculation of fumigated nursery soil increases nodulation and yield of bare-root red alder (*Alnus rubra* Bong.). *New Forests*, 5, 35-42.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1938) The water-culture method for growing plants without soil. *Univ. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ.*, 347, 1-39.
- Jackson, M. B. (1985) Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36, 145-174.
- Kitamura, S. and Murata, G. (1979) Colored illustrations of woody plants of Japan, vol. 2. Hoikusha Publishing Co., 545 pp. (In Japanese)
- Lalonde, M. and Calvert, H. E. (1979) Production of *Frankia* hyphae and spores as an infective inoculant for *Alnus* species. In Gordon, J. C., Wheeler, C. T. and Perry, D. A. (eds.) *"Symbiotic Nitrogen Fixation in the Management of Temperate Forests"*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, 95-110.
- Lundquist, R. and Torrey, J. G. (1984) The propagation of *Casuarina* species from rooted stem cuttings. *Bot. Gaz.*, 145, 378-384.
- Mansour, S. R. and Torrey, J. G. (1991) *Frankia* spores of strain HFPCgI4 as inoculum for seedlings of *Casuarina glauca*. *Can. J. Bot.*, 69, 1251-1256.
- Mansour, S. R., Dewedar, A. and Torrey, J. G. (1990) Isolation, culture, and behavior of *Frankia* strain HFPCgI4 from root nodules of *Casuarina glauca*. *Bot. Gaz.*, 151, 490-496.
- Murry, M. A., Fontaine, M. S. and Torrey, J. G. (1984) Growth kinetics and nitrogenase induction in *Frankia* sp. HFPAr13 grown in batch culture. *Plant Soil*, 78, 61-78.
- Myrold, D. D. (1994) *Frankia* and the actinorhizal symbiosis. In Weaver, R. W., Angle, S., Bottomley, P., Bezdicek, D., Smith, S., Tabatabai, A. and Wollum, A. (eds.) *"Methods of Soil Analysis, Part 2, Microbiological and Biochemical Properties"*. Soil Science Society of America, 291-328.
- Smolander, A. (1990) *Frankia* populations in soils under different tree species—with special emphasis on soils under *Betula pendula*. *Plant Soil*, 121, 1-10.
- Smolander, A. and Sundman, V. (1987) *Frankia* in acid soils of forests devoid of actinorhizal plants. *Physiol. Plantarum*, 70, 297-303.
- Torrey, J. G. (1990) Cross-inoculation groups within *Frankia* and host-endosymbiont associations. In Schwintzer, C. R. and Tjepkema, J. D. (eds.) *"The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants"*. Academic Press, 83-106.
- Tzean, S. S. and Torrey, J. G. (1989) Spore germination and the life cycle of *Frankia in vitro*. *Can. J. Microbiol.*, 35, 801-806.
- Valverde, C. and Wall, L. G. (1999) Time course of nodule development in the *Discaria trinervis* (Rhmannaceae) - *Frankia* symbiosis. *New Phytol.*, 141, 345-354.
- Yamanaka, T., Akama, A., Li, C.-Y. and Okabe, H. (2005) Growth, nitrogen fixation and mineral acquisition of *Alnus sieboldiana* after inoculation of *Frankia* together with *Gigaspora margarita* and *Pseudomonas putida*. *J. For. Res.*, 10, 21-26.
- Yamanaka, T. and Okabe, H. (2008) Actinorhizal plants and *Frankia* in Japan. *Bull. FFPRI*, 7, 67-80. (In Japanese with English summary)
- Zhang, Z. and Torrey, J. G. (1985) Studies of an effective strain of *Frankia* from *Allocasuarina lehmanniana* of the Casuarinaceae. *Plant Soil*, 87, 1-16.
- Zobel, R. W., Del Tredici, P. and Torrey, J. G. (1976) Method for growing plants aeroponically. *Plant Physiol.*, 57, 344-346.

水耕栽培でのハンノキおよびトキワギョリュウへの 根粒菌フランキア接種による根粒形成

山中 高史^{1)*}、マンスール・R・サミーラ²⁾

要旨

ハンノキおよびトキワギョリュウの根粒形成を水耕栽培にて観察した。ハンノキおよびトキワギョリュウの無菌苗を、100 mLのねじ口瓶に入れたホーグランド氏液（4倍希釈、pH 6.8）にて育てた。ハンノキ苗の根系は根毛を豊富に形成し、フランキア根粒菌の接種後1週間目には赤色の肥大部が認められ、その後、根粒に発達した。一方、トキワギョリュウ苗は、菌の接種後3週間目に根粒を形成した。トキワギョリュウの根粒先端から伸長した根は養液中を上方に伸長し負の重力屈性を示した。このように水耕栽培は、根粒の形成を非破壊的に観察することが可能であり、様々な菌を用いた接種試験や栄養条件の根粒形成への影響などの実験に用いることができる。

キーワード：根粒形成、水耕栽培、ハンノキ、フランキア、モクマオウ、負の重力屈性

1) 森林総合研究所森林微生物研究領域

2) エジプト・スエズ運河大学理学部植物学科

* 森林総合研究所森林微生物研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 e-mail: yamanaka@ffpri.affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

前回の萌芽更新から 64 年を経過したコナラ二次林の萌芽試験

伊東 宏樹^{1)*}

A sprouting experiment of a *Quercus serrata* stand aged 64 years since last coppicing

Hiroki ITO^{1)*}

Abstract

To test re-sprouting and shoot survival of old trees, we felled 30 *Quercus serrata* trees that had last been coppiced 64 years ago at the Tama Forest Science Garden, Forestry and Forest Products Research Institute (Tokyo Prefecture). The mean girth of the stumps was 147.1 ± 54.5 cm (mean \pm standard deviation). Eleven stumps sprouted new shoots; six survived until the next year, but only two survived for 2 years. Thus, it is not feasible to transform an old *Q. serrata* stand into a young coppice. Saplings should be planted instead.

Key words : coppice; *Quercus serrata*; sprouting

要旨

森林総合研究所多摩森林科学園(東京都八王子市)の、前回の萌芽更新から64年を経過したコナラ林分で伐倒後の萌芽の発生と生残を調査した。コナラは30株あり、切り株の周囲長の平均は147.1 cm(標準偏差54.5 cm)であったが、萌芽の発生が認められたのは11株、伐倒翌年の秋までに生残していたのは6株、伐倒翌々年の秋までに萌芽が生残していたのは2株のみであった。今回の結果と先行研究を考慮すると、前回の萌芽更新から40年以上を経過したコナラ萌芽林の低林化を図る場合には、萌芽更新に期待するよりも、苗の植栽による更新を検討すべきと考えられた。

キーワード：加齢、コナラ、萌芽、萌芽林

1. はじめに

コナラ(*Quercus serrata* Murray)は、地上部が失われた場合に萌芽を発生させる性質があり、これを利用した、薪炭材生産を目的とする薪炭林施業がおこなわれてきた。一般に薪炭林の伐採周期は10~30年程度であるが(大住2011)、これは地域で異なるほか(深町・奥2011)、樹種によっても違う。たとえばクヌギ(*Quercus acutissima* Carruth.)では6~10年周期(萌芽幹の直径9 cm程度)での萌芽更新もあったが(田中1901, 京都府立山城郷土資料館1990, 服部ら2005)、コナラでは10~30年程度で萌芽更新させていたようである(本多1901, 洲崎2000)。しかしコナラの萌芽能力は、加齢や大径化により低下することが指摘されている(横井2009)。

1980年代から続くナラ類集団枯損(ナラ枯れ)はコナラ林にも大きな被害を与えているが、その拡大に寄与した要因のひとつとして、旧薪炭林の放置によるナラ類

の大径化があげられている(小林・上田2005)。ナラ枯れへの対応策のひとつとして、大径化したナラ林の低林化も提案されているが、それには課題もいくつかある(森林総合研究所関西支所2010)。そのひとつが上述の萌芽能力の低下である。前回の萌芽更新から長時間を経過した林分で、どの程度の萌芽が見込めるかを把握しておくことは、大径化したコナラ林の低林化を図るうえでは必須といえよう。

しかし、コナラ属樹種でもクヌギの萌芽更新に関する研究は多いものの(高瀬1962, 柳谷ら1966, 佐藤ら1966, 大北1985, 1989, 本田・黒木1987, 1989, 玉泉1988, 加茂1994)、コナラの萌芽更新についての研究はそれと比較して多くはない(韓・橋詰1991)。さらにそのなかでも、コナラをシイタケ原木として利用するための萌芽更新を目的とした研究はいくつかあるが(丸七1981, 崎尾ら1990)、萌芽林としては高齢化したコナラ林で萌芽能力を実際に調べた例は韓・橋詰(1991)、松浦

原稿受付：平成24年12月6日 Received 6 December 2012 原稿受理：平成25年3月6日 Accepted 6 March 2013

1) 森林総合研究所森林植生研究領域 Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所森林植生研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: hiroki@affrc.go.jp

ら(2002)など少数にとどまる。

今回、前回の萌芽更新から64年を経過したコナラ二次林において、伐倒後の萌芽再生を観察する機会を得たのでその結果を報告する。

2. 調査地および調査方法

調査は、森林総合研究所多摩森林科学園(東京都八王子市)において実施した。同園の2011年の年平均気温は13.9℃、年降水量は1703.5mmである(森林総合研究所多摩森林科学園2012)。園内実験林(8林班ほ小班)のコナラ林分(面積はおおよそ820m²)を調査林分とした。この林分は1927年に植栽され、前回の萌芽更新は1946年であった。伐倒時点では林冠は閉鎖しており、植栽時に樹種を誤ったと考えられるミズナラが1株混ざっていた(今回の調査には含めていない)ほかは、林冠木はコナラのみであった。斜面上部および下部は林道となっており、側方は一方がケヤキ植林地で、他方はクリノキなどが植栽されている。

調査林分には30株のコナラがあったが、2010年9月に4株、同年11月に残り26株をそれぞれ伐倒した。伐倒に先立って、毎木調査をおこない、すべての株のすべての幹について胸高直径を測定した。また、伐倒後に切株の周囲長と高さを測定した。いくつかの切株について幹の年輪数を確認したところ、前回の萌芽更新からの年数とおおむね一致した。

光環境の測定のため、伐倒後の落葉期(2011年2月8日)および着葉期(2011年6月20日)のそれぞれ曇天時に魚眼レンズ(Sigma 8mm F3.5 DG CIRCULAR FISHEYE)を使用し、各株に隣接させた地上高1mの位置で全天写真を撮影した。撮影にあたっては石田(2003)に準拠して露出を設定した。撮影した全天写真から、全天写真解析プログラムCanopOn2(竹中2009)を使用して開空率を求めた。

萌芽状況の調査として、2010年11月および2011年3月以降の毎月(2012年11月まで)、萌芽の発生および生残を記録したほか、成長期には各株の萌芽枝の最大長を測定した。枯死したものについては、その状態を嶋ら(1989)にしたがい、「枯れ」「折れ」に分類して記載した。同じ株内で両方の種類の枯死があったものは「枯れ+折れ」とした。また、萌芽の発生がみられたものについては、萌芽発生位置を、韓・橋詰(1991)にしたがって、幹・地際(根頸)、幹・地際に分類して記録した。

3. 結果および考察

伐採前の毎木調査の結果、林分全体の株数は30株、幹数は37本、胸高直径の平均は33.0cm、標準偏差は9.7cmであった(Table 1)。このうち、株No. 8, 18, 19, 21を2010年9月に、残り26株を2010年11月に伐倒した。切り株の周囲長の平均は147.1cm、標準偏差は54.5cm、切り株の高さの平均は56.5cm、標準偏差

は16.9cmであった。

萌芽の発生が認められた株は全30株中11株(37%)であった。9月に伐倒した4株では、うち2株から萌芽の発生があり、いずれも同年中に萌芽が発生していた。11月に伐倒した株26株からは、9株から萌芽の発生が認められた(Table 2)。発生した萌芽枝の数は林分全体の合計で182本であった。

萌芽の発生が認められた11株のうち、伐倒翌年の2011年秋まで生残していた株は6株(20%)、翌々年の2012年11月まで生残していた株は2株のみ(7%)であった。2012年11月まで生残していた萌芽枝は株No. 14の3本およびNo. 22の2本のみであった。そのうち、No. 14の最大萌芽枝長は212cm、No. 22は143cmであった(Table 2)。

表1. 各株の幹とその胸高直径

Table 1. Stems and their diameters at breast height (DBH) for each stump

株 No. Stump No.	胸高直径 (cm) DBH (cm)		
	幹 No.1 Stem No.1	幹 No.2 Stem No.2	幹 No.3 Stem No.3
1	21.4		
2	32.8		
3	53.2		
4	33.8		
5	36.2		
6	28.9		
7	33.5		
8	20.9	35.6	
9	42.4	47.5	
10	30.5		
11	27.1		
12	31.7		
13	23.7	34.3	
14	28.5		
15	26.1		
16	54.0		
17	23.5		
18	36.7	19.9	29.1
19	47.9		
20	37.9		
21	28.2		
22	22.6		
23	22.9		
24	32.9		
25	17.0		
26	33.0		
27	49.6		
28	32.3		
29	30.0	24.2	
30	44.5	48.0	
平均(±標準偏差) mean (± s.d)		33.0±9.7	

表 2. 各株の測定値

Table 2. Measurements of each stump

株 No.	伐倒時期	落葉期開 空率	着葉期開 空率	切株外周 (cm)	切株高 (cm)	萌芽発生 位置	発生萌芽 枝数	生存萌芽 枝数	最大萌芽 枝長 (cm)	萌芽発生 時期	萌芽枯死 時期	枯死状況
Stump No.	Month of felling	Canopy openness in winter	Canopy openness in summer	Stump girth (cm)	Stump height (cm)	Position of shoots	Number of shoots	Number of surviving shoots	Maximum shoot length (cm)	Month of sprouting	Month of death	Status of death
1	2010年11月 Nov. 2010	0.43	0.26	80.4	77		0	0				
2	2010年11月 Nov. 2010	0.43	0.26	130.7	45	幹 trunk	15	0	欠測 Not available	2011年5月 May 2011	2011年7月 Jul. 2011	枯れ died
3	2010年11月 Nov. 2010	0.45	0.27	240.0	68		0	0				
4	2010年11月 Nov. 2010	0.39	0.20	117.1	91		0	0				
5	2010年11月 Nov. 2010	0.38	0.20	126.6	78		0	0				
6	2010年11月 Nov. 2010	0.40	0.23	116.5	58		0	0				
7	2010年11月 Nov. 2010	0.45	0.29	117.2	59		0	0				
8	2010年9月 Sep. 2010	0.45	0.28	153.6	51	幹 trunk	10	0	22	2010年11月 Nov. 2010	2011年6月 Jun. 2011	枯れ died
9	2010年11月 Nov. 2010	0.45	0.29	54.6	83	幹・地際 trunk + ground	17	0	80	2011年4月 Apr. 2011	2012年4月 Apr. 2012	枯れ + 折れ died + broken
10	2010年11月 Nov. 2010	0.43	0.25	147.6	50		0	0				
11	2010年11月 Nov. 2010	0.44	0.28	141.3	56	幹 trunk	15	0	83	2011年6月 Jun. 2011	2011年7月 Jul. 2011	折れ broken
12	2010年11月 Nov. 2010	0.43	0.29	150.5	41		0	0				
13	2010年11月 Nov. 2010	0.42	0.28	171.1	78	幹 trunk	7	0	97	2011年5月 May 2011	2011年9月 Sep. 2011	折れ broken
14	2010年11月 Nov. 2010	0.42	0.28	126.7	55	地際 ground	3	3	212	2011年6月 Jun. 2011		
15	2010年11月 Nov. 2010	0.41	0.28	121.7	43		0	0				
16	2010年11月 Nov. 2010	0.37	0.23	235.5	83		0	0				
17	2010年11月 Nov. 2010	0.37	0.27	90.9	52		0	0				
18	2010年9月 Sep. 2010	0.40	0.27	249.1	73	幹 trunk	49	0	67	2010年11月 Nov. 2010	2012年4月 Apr. 2012	枯れ died
19	2010年9月 Sep. 2010	0.40	0.26	223.3	19		0	0				
20	2010年11月 Nov. 2010	0.41	0.26	150.0	55		0	0				
21	2010年9月 Sep. 2010	0.40	0.26	158.6	27		0	0				
22	2010年11月 Nov. 2010	0.39	0.26	89.3	42	幹 trunk	3	2	143	2011年5月 May 2011		
23	2010年11月 Nov. 2010	0.40	0.23	107.3	64	幹 trunk	18	0	62	2011年6月 Jun. 2011	2011年8月 Aug. 2011	枯れ + 折れ died + broken
24	2010年11月 Nov. 2010	0.42	0.23	106.8	47	幹・地際 trunk + ground	13	0	123	2011年5月 May 2011	2012年5月 May 2012	枯れ died
25	2010年11月 Nov. 2010	0.36	0.21	76.8	47		0	0				
26	2010年11月 Nov. 2010	0.34	0.18	140.8	48	幹 trunk	32	0	114	2011年5月 May 2011	2012年8月 Aug. 2012	枯れ died
27	2010年11月 Nov. 2010	0.35	0.19	234.0	43		0	0				
28	2010年11月 Nov. 2010	0.32	0.17	128.5	45		0	0				
29	2010年11月 Nov. 2010	0.33	0.19	170.1	51		0	0				
30	2010年11月 Nov. 2010	0.30	0.17	256.5	66		0	0				

韓・橋詰 (1991) では、伐根の年齢が 40 ~ 45 年生以上になると、株のおよそ半数以上が伐採から 1 年後までに枯死しており、また、松浦ら (2002) による平均林齢 30 ~ 40 年のコナラ林での例では、生存している萌芽枝のある割合は伐採後 2 ~ 5 年で 5 ~ 58% であった。今回の結果は、これら先行研究と比較しても、株の生存率は最低の部類に相当するものであった。

浅川 (1939) は、コナラおよびミズナラの萌芽更新に好適な伐採時期として成長休止期、とくに 3 月・11 月・2 月を挙げている。一方、不適な伐採時期として成長期、とくに 5 ~ 7 月を挙げている。今回の調査では 9 月と 11 月との 2 回にわけて伐倒をおこなったが、サンプルサイズが小さいこともあり、伐倒時期と萌芽更新の成否との関係は不明であった。また、萌芽発生の有無と、切り株の外周・高さおよび開空率 (落葉期および着葉期) との間についても、とくに一定の関係は認められなかった (ロジスティック回帰, $p > 0.05$)。また、萌芽を発生させた株の数が少なかったため ($n = 11$)、切り株の外周・高さおよび開空率のそれぞれと発生萌芽枝数との関係については統計解析の対象としなかった。

コナラの伐倒後の跡地の状況としては、伐採翌々年の 2012 年になると、モミジイチゴ (*Rubus palmatus* Thunb. var. *coptophyllus* (A.Gray) Kuntze ex Koidz.) などの低木が林床を覆ったほか、カラスザンショウ (*Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc.)・アカメガシワ (*Mallotus japonicus* (L.f.) Müll.Arg.)・クサギ (*Clerodendrum trichotomum* Thunb.) などの先駆樹種が樹高 2m を超えるほどにまで急速に成長した。また、コナラの伐倒前から林床にあったアラカシ (*Quercus glauca* Thunb.) も、樹高成長ではそれらの先駆樹種に劣るものの、良好な成長をみせている。このため、伐採前に林床にあったコナラの実生も、伐採後はこうした樹種に被陰され、成長することはできなかった。

松浦ら (2002) は、伐採地の明るさと伐採前の年輪成長量が萌芽更新に影響を与えているとしている。これに従うならば、光環境の改善や伐採前の幹の成長を回復させることで萌芽発生率が上昇する可能性もあるものの、前回の萌芽更新から長時間を経た株の萌芽には不確実性が多分にあると考えられる。なお、伐根の直径と萌芽の発生との関係については、韓・橋詰 (1991) では明確な関係は認められず、松浦ら (2002) でも年によって傾向が異なっており、株の大きさよりも年齢の方が萌芽更新の可能性によりはっきりと影響を及ぼしているようである。今回の結果と、これら先行研究の結果とをあわせて考慮すると、前回の萌芽更新から 40 年以上を経過したコナラ萌芽林の低林化をはかる場合には、最初から萌芽更新に期待せず、苗の植栽により更新をおこなうことを検討すべきであると考えられる。

謝辞

調査にあたっては、森林総合研究所多摩森林科学園の方々のご協力をいただいた。ここにお礼申し上げる。本研究は、環境省国立機関公害防止等試験研究費「種特性に基づいた里山二次林の多様性管理技術の開発」によりおこなわれた。

引用文献

- 浅川林三 (1939) 矮林の萌芽に関する研究 (第一報) 伐採季節と萌芽との関係. 日本林学会誌, 21, 350-360.
- 深町加津枝・奥 敬一 (2011) 比較里山論の試み—丹後半島山間部・琵琶湖西岸・京阪奈丘陵のフィールドワークから. 大住克博・湯本貴和編 “里と林の環境史”. 文一総合出版, 209-237.
- 玉泉幸一郎 (1988) クヌギの萌芽に関する研究 (III) —伐採高が萌芽の発生と生長におよぼす影響. 日本林学会九州支部論文集, 41, 69-70.
- 服部 保・南山典子・松村俊和 (2005) 猪名川上流域の池田炭と里山林の歴史. 植生学会誌, 22, 41-51.
- 本田健二郎・黒木重郎 (1987) クヌギ幼齢萌芽林の生長について. 日本林学会九州支部論文集, 40, 49-50.
- 本田健二郎・黒木重郎 (1989) 混牧林地におけるクヌギ萌芽林の成長. 日本林学会九州支部論文集, 42, 89-90.
- 本多静六 (1901) 造林学各論 第二編. 池田商店, 461 pp.
- 石田 仁 (2003) デジカメ全天写真を用いた相対散乱光の推定. 日本林学会学術講演集, 114, 650.
- 加茂皓一 (1994) 陽光量と根株の大きさがクヌギ萌芽の成長に及ぼす影響. 日本林学会関西支部論文集, 3, 115-118.
- 韓 海栄・橋詰隼人 (1991) コナラの萌芽更新に関する研究 (I) 壮齢木の伐根における萌芽の発生について. 広葉樹研究, 6, 99-110.
- 森林総合研究所関西支所 (2010) ナラ枯れの被害をどう減らすか—里山林を守るために— (改訂版). 森林総合研究所関西支所, 22 pp.
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死—被害発生要因の解明を目指して—. 日本森林学会誌, 87, 435-450.
- 京都府立山城郷土資料館 (1990) 関西文化学術研究都市開発地区緊急民俗調査報告書. 京都府立山城郷土資料館, 168 pp.
- 丸七隆夫 (1981) シイタケ原木生産を目的とした萌芽によるコナラ・クヌギ林の造成 (I) ぼう芽木の初期生長におよぼす萌芽整理と下刈り・除伐の効果. 石川県林業試験場研究報告, 11, 37-48.
- 松浦光明・小林達明・有田ゆり子 (2002) 大径化したコナラ二次林の萌芽更新規定要因. 日本緑化工学会誌,

- 28, 115-120.
- 大北英太郎 (1985) クヌギ林の施業試験. 広葉樹研究, 3, 151-160.
- 大北英太郎 (1989) クヌギ 2 次林の施業試験—択抜後 10 年間における林分構造の推移. 広葉樹研究, 5, 143-172.
- 大住克博 (2011) 森林資源利用における萌芽の役割. 大住克博・湯本貴和編 “里と林の環境史”. 文一総合出版, 151-154.
- 崎尾 均・熊谷浩次・永沢晴雄・玉木康彦 (1990) コナラ萌芽枝の初期成長と萌芽枝整理の効果. 森林立地, 32, 1-5.
- 佐藤枝之・小川 澄・樋渡ミヨ子 (1966) 施肥した場合のクヌギの伐根の大きさとぼう芽の関係について. 林業試験場研究報告, 188, 59-77.
- 嶋 一徹・片桐成夫・金子信博 (1989) コナラ二次林における伐採後 2 年間の萌芽の消長. 日本林学会誌, 71, 410-416.
- 洲崎燈子 (2000) 狭山丘陵のコナラ林—東日本の里山. 日本林業技術協会編 “里山を考える 101 のヒント”. 日本林業技術協会, 16-17.
- 高瀬五郎 (1962) クヌギ萌芽林の生産構造ならびに収穫予測に関する研究. 愛媛大学紀要第 6 部, 8, 1-132.
- 竹中明夫 (2009) 全天写真解析プログラム CanopOn 2. <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/> (2012 年 11 月 8 日確認).
- 森林総合研究所多摩森林科学園 (2012) 多摩森林科学園年報 第 34 号 平成 24 年版. 森林総合研究所多摩森林科学園, 57 pp.
- 田中長嶺 (1901) 散木利用編 第 2 巻 くぬぎ. 近藤圭造, 20 pp.
- 柳谷新一・安ヶ平精三・木村武松 (1966) 東北地方のクヌギ林の実態と 2, 3 の考察. 林業試験場研究報告, 188, 1-62.
- 横井秀一 (2009) コナラ. 日本樹木誌編集委員会編 “日本樹木誌 I”. 日本林業調査会, 287-341.

担当者 御中
To the person concerned

独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所研究報告を送付させていただきますのでお受け取り下さい。
貴刊行物と交換願えれば幸いです。なお、貴研究所の名称、住所などを変更
された場合は、下記まで連絡を御願ひ致します。

Please, find an enclosed Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute.
We greatly appreciate receiving any relevant publications in exchange.
Let us know when the name of your institution and mailing address are changed.

Officer in charge at publication section
Forestry and Forest Products Research Institute
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan
Tel : + 81-29-873-3211 Fax : + 81-29-873-0844
e-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

2013年6月 発行 森林総合研究所研究報告 第12巻2号 (通巻427号)

編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 独立行政法人 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
電話 : 029-873-3211 Fax : 029-873-0844

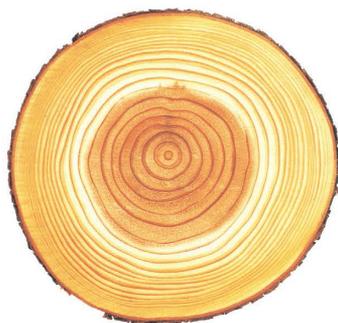
製 版・印 刷 松枝印刷株式会社
〒303-0034 茨城県常総市水海道天満町 2438
電話 : 0297-23-2333 Fax : 0297-23-5865

©2013 Forestry and Forest Products Research Institute

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得て下さい。

森林総合研究所研究報告

Vol.12-No.2(No.427)



page89

フローリングと梁桁で構成される民家型工法床の床衝撃音遮断性能
:末吉 修三、宇京 斉一郎、森川 岳

Floor-impact sound insulation performance of a private house-type wooden floor consisting of flooring and beams
by SUEYOSHI Shuzo, UKYO Seiichiro and MORIKAWA Takeshi

page97

水耕栽培でのハンノキおよびトキワギョリュウへの根粒菌フランキア接種による根粒形成 (英文)
:山中 高史、マンスール・R・サミーラ

Nodulation of *Alnus japonica* and *Casuarina equisetifolia* in liquid culture after inoculation with *Frankia*
by YAMANAKA Takashi and Samira R. MANSOUR

page105

前回の萌芽更新から64年を経過したコナラ二次林の萌芽試験
:伊東 宏樹

A sprouting experiment of a *Quercus serrata* stand aged 64 years since last coppicing
by ITÔ Hiroki