

森林総合研究所研究報告

Vol.14-No.1 (No.434)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



March 2015



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

The Chief Editor

河原 孝行 KAWAHARA Takayuki (Principal Research Coordinator, FFPRI)

The Vice-Chief Editor

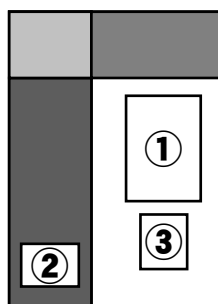
田淵 隆一 TABUCHI Ryuichi (Associate Research Coordinator, FFPRI)

Editor

立花 敏	TACHIBANA Satoshi (Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba)
丸山 温	MARUYAMA Yutaka (College of Bioresource Sciences, Nihon University)
小林 政広	KOBAYASHI Masahiro (Research Planning and Coordination Department, FFPRI)
酒井 武	SAKAI Takeshi (Department of Forest Vegetation, FFPRI)
玉井 幸治	TAMAI Koji (Department of Soil and Water Conservation, FFPRI)
萩野 裕章	HAGINO Hiroaki (Department of Meteorological Environment, FFPRI)
秋庭 満輝	AKIBA Mitsuteru (Department of Forest Microbiology, FFPRI)
長谷川 元洋	HASEGAWA Motohiro (Department of Forest Entomology, FFPRI)
堀野 眞一	HORINO Shinichi (Department of Wildlife Biology, FFPRI)
村田 仁	MURATA Hitoshi (Department of Applied Microbiology, FFPRI)
上村 巧	UEMURA Takumi (Department of Forest Engineering, FFPRI)
石川 敦子	ISHIKAWA Atsuko (Department of Wood Improvement, FFPRI)
石崎 涼子	ISHIZAKI Ryoko (Department of Forest Policy and Economics, FFPRI)
荒木 眞岳	ARAKI Masatake (Kyushu Research Center, FFPRI)
加藤 一隆	KATO Kazutaka (Forest Tree Breeding Center, FFPRI)
森澤 猛	MORISAWA Takeshi (Research Information Division, FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photograph in Cover



①熊本人吉・スギ人工林

Artificial Forest of Cedar (*Cryptomeria japonica*) in Hitoyoshi, Kumamoto Prefecture.

②秋田天然生スギ林

Natural Forest of Cedar (*Cryptomeria japonica*) in Akita Prefecture.

③(本文49ページ～64ページ)

インドネシア共和国東カリマンタン州ブキツスハルトとブキツバンキライのクワガタムシ(英文)
Stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai Forests, East Kalimantan, Indonesia

目 次

論 文

- 腐肉食性シデムシ科・コガネムシ上科食糞群を指標として用いた
森林環境評価手法：捕獲におけるベイトタイプ、トラップタイプ
およびトラップ数の効果
上田 明良 1

- 東カリマンタン州での糞・腐肉食性コガネムシ類捕獲における
ベイト間およびピットフォールトラップのタイプ間の比較(英文)
上田 明良、ディアン・ドウィバドラ、
ウォロ・ノエルジト、近 雅博、福山 研二 15

- ソーダ・アントラキノン蒸解スギパルプを用いた
半回分培養法によるセルラーゼ生産(英文)
渋谷 源、眞柄 謙吾、野尻 昌信 29

短 報

- エゾモモンガ *Pteromys volans* の貯食の可能性
ー 自動撮影装置による観察 ー
松 岡 茂 37

- 原木シイタケ・原木マイタケ・菌床アラゲキクラゲ栽培施設で発生した
リュウコツナガマドキノコバエとフタマタナガマドキノコバエ
(双翅目キノコバエ科)
末吉 昌宏、村上 康明、川口 真司、
小畠 靖、前田 由美 43

研究資料

- インドネシア共和国東カリマンタン州
ブキットスハルトとブキットバンキライのクワガタムシ(英文)
楨原 寛、スギアルト、藤間 剛 49

- 添畑沢スギ間伐試験地における
45年生から104年生までの長期成長データ
正木 隆、大住 克博、関 剛、森 茂太、梶本 卓也、
檀間 岳、八木橋 勉、柴田 銃江、野口 麻穂子 65

Bulletin of FFPRI, Vol.14. No.1 (No.434) March 2015
CONTENTS

Original article

- Tools for evaluating forest habitat using carrion silphid (Silphidae) and scarabaeoid dung beetles (coprophagous group of Scarabaeoidea) as indicators:
Effects of bait type, trap type, and trap number on beetle captures
UEDA Akira 1
- Comparison of baits and types of pitfall traps
for capturing dung and carrion scarabaeoid beetles in East Kalimantan
UEDA Akira, Dhian DWIBADRA, Woro A. NOERDJITO,
KON Masahiro and FUKUYAMA Kenji 15
- Cellulase production by *Trichoderma reesei* in fed-batch cultivation
on soda-anthraquinone pulp of the Japanese cedar
SHIBUYA Hajime, MAGARA Kengo and NOJIRI Masanobu 29

Short communication

- Probable food hoarding observed in a camera-trapped
Siberian flying squirrel *Pteromys volans*
MATSUOKA Shigeru 37
- Neoempheria bifurcata* Sueyoshi, 2014 and *N. carinata* Sueyoshi, 2014
(Diptera, Mycetophilidae), feeding on cultivated shiitake mushroom,
maitake mushroom, and cloud ear fungus
SUEYOSHI Masahiro, MURAKAMI Yasuaki,
KAWAGUCHI Masashi, OBATAKE Yasushi
and MAEDA Yumi 43

Research record

- Stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai Forests,
East Kalimantan, Indonesia
MAKIHARA Hiroshi, Sugiarto and TOMA Takeshi 49
- Long-term growth of a planted forest of Japanese cedar
at Soehatazawa Experimental Forest
under various thinning intensities of trees 45–104 years old
MASAKI Takashi, OSUMI Katsuhiro, SEKI Takeshi,
MORI Shigeta, KAJIMOTO Takuya,
HITSUMA Gaku, YAGIHASHI Tsutomu,
SHIBATA Mitsue and NOGUCHI Mahoko 65

論文 (Original article)

腐肉食性シデムシ科・コガネムシ上科食糞群を 指標として用いた森林環境評価手法： 捕獲におけるベイトタイプ、トラップタイプおよびトラップ数の効果

上田 明良^{1)*}

要旨

腐肉食性のシデムシ科とコガネムシ上科食糞群の個体数や多様性は、森林環境の質や劣化によって明確に影響を受ける。そこで、これらを指標とした森林環境評価の標準的・定量的手法開発のため、ベイトの種類、トラップタイプおよびトラップ数の妥当性を検討した。オキアミと魚肉の比較では、魚肉がオキアミよりも多くの種を誘引すると考えられた。脊椎動物ベイト間では、魚肉、豚肉、牛肉、鶏肉と干魚のなかで、魚肉がシデムシ科やコガネムシ上科の特定の種への偏りなく、もっとも捕獲数が多かった。地表埋め込み式と吊り下げ式(1.5 m高)のトラップタイプ間の比較では、埋め込み式が種数、捕獲数ともに多く、推奨された。常緑広葉樹林、針葉樹人工林、草地内に複数のトラップを線上に並べた調査では、同一調査地内の全トラップの群集構造が例外なく類似していたことと、トラップあたり平均1個体より多く捕獲された主要種の累積推定種数が1トラップでほぼ飽和した。このことから、大まかな群集構造の把握および平均1個体より多く捕獲されるような主要種の把握であれば、1調査地に1ないし2個のトラップ設置で充分であり、他の調査地との群集構造の比較に耐えうると考えられた。

キーワード：生物多様性評価、シデムシ、糞虫、希薄化曲線、サンプリング法、コガネムシ上科、シデムシ科

1. はじめに

持続可能な森林管理において、生物多様性のモニタリングが重要視されている(岡部・小川 2011 など)。生物多様性のモニタリングのプロセスとして、指標の選択、指標を用いた測定手法の開発、モニタリング結果の解析と利用が行われる(岡部・小川 2011)。我が国において、昆虫群集を指標とした森林環境評価にはチョウ類とオサムシ科甲虫が広く用いられてきた(石谷 1996, 尾崎ら 2004 など)。チョウ類による評価には、主に調査ルートを設定し、定期的に同時刻の採集・観察を行うトランセクト法が用いられている。この方法は、調査者の捕獲技量や飛翔個体の同定能力によって結果が異なるという問題がある(岡部・小川 2011)。また、調査地間比較のため、同じ距離で同じ形状のトランセクトを設定するのは困難で、かつ同一調査者が同時に2地点以上で調査することはできないという問題も考えられる。また、チョウ類は植食性の種が多く、群集が植物種の影響を大きく受けることから、広範囲の地域間で画一的に環境評価することが困難と考えられる。

オサムシ科(Carabidae)甲虫による評価には、捕獲容器を地表に埋め、落とし穴として用いるピットフォールトラップによる捕獲が用いられている。この方法

は、定量的であるが、虫が一定密度で分布しているとは限らず、捕獲数が虫の歩行の多少に左右されるため、トラップ設置場所の選定技術によって捕獲数が変異する問題があり、これを消去するには調査地内に一定間隔で多数のトラップを設置する必要が生じる(磯野 2005)。

一方、シデムシ科(Silphidae)甲虫の種の多くは腐肉食で、森林および草地を含む森林周辺の環境の質や環境変化に敏感に反応することが知られている(Katakura and Ueno 1985, Katakura et al. 1986, 伊藤 1994, Ohkawara et al. 1998, Trumbo and Bloch 2000, Gibbs and Stanton 2001, 鈴木 2001, Nagano and Suzuki 2003, Wolf and Gibbs 2004, Sugiura et al. 2013)。また、コガネムシ上科食糞群(Coprophagous group of Scarabaeoidea: 我が国では、コブスジコガネ科Troidae、マンマルコガネ科Ceratocanthidae、ムネアカセンチコガネ科Bolboceratidae、センチコガネ科Geotrupidae、アツバコガネ科Hybosoridae、アカマダラセンチコガネ科Ochodaeidaeの全種と、コガネムシ科Scarabaeidaeの一部(タマオシコガネ亜科Scarabaeinae、マグソコガネ亜科Aphodiinae、ニセマグソコガネ亜科Aegialiinae))に属する種の多くは、糞食または腐肉食およびその両方で、森林および草地を含む森林周辺の環境の質や施

原稿受付：平成 26 年 3 月 26 日 原稿受理：平成 26 年 10 月 30 日

¹⁾ 森林総合研究所九州支所

* 森林総合研究所九州支所 〒 860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 4 丁目 11 番 16 号

業等による環境変化のすぐれた環境指標となることが知られている (Davis et al. 2001, McGeoch et al. 2002, Aguilar-Amuchastegui and Henebry 2007, Nichols and Gardner 2011)。すなわち、シデムシ科とコガネムシ上科食糞群のなかで腐肉食性のもの（以下両者をあわせて腐肉食性甲虫と呼ぶ）は、同じ動物遺体を摂食するギルドに属し、しかも、森林および草地を含む森林周辺の環境の質や環境変化に群集が反応する。このうち、コガネムシ上科食糞群は昆虫類のなかでは比較的捕獲と同定が容易であることが知られていて (Spector 2006)、南米で行われた 14 の分類群調査のなかで、もっとも調査コストが低く、指標種が全サンプルに占める割合が鳥類に次いで 2 番目に高かったという報告がある (Gardner et al. 2008, Nichols and Gardner 2011)。腐肉食性のシデムシ科も昆虫のなかでは大型で同定が容易なことを考慮すると、今後、研究だけでなく教育現場や環境アセスメント等で環境を評価するツールとして腐肉食性甲虫が重要視されてくると考えられる (伊藤 1994, 鈴木 2005)。

森林環境評価だけでなく、指標となる分類群がもつ生態的機能についての評価を行う場合、チョウ類は種毎に食性が異なることから、評価が煩雑となる。オサムシ科甲虫は種数が多く、我が国では種毎の食性がほとんど解明されていない。これらに対し、腐肉食性甲虫の多くは、動物遺体を地中に持ち込んで摂食することから、分解を早める作用、すなわち物質循環速度を加速するという生態的機能評価が容易である (Nichols et al. 2008)。その上に、同じギルドには衛生害虫である腐肉食性のハエ類もいることから、ハエ類の発生を抑える作用ももつ (Springett 1968, Wilson 1983, Wilson and Knollenberg 1987, Scott 1994, Satou et al. 2000, Suzuki 2000, Nichols et al. 2008)。このように、腐肉食性甲虫を指標とした森林環境評価結果は、これらがもつ生態的・公益的機能評価ともリンクする（但し、シデムシ科ヒラタシデムシ族 (Silphini)、コブスジコガネ科、ムネアカセンチコガネ科、アカマダラセンチコガネ科のように、腐肉に誘引されても動物遺体を地中に持ち込まないだけでなく、捕食性の種や、本来の食性は腐肉ではないと考えられているグループがあることには注意しなければならない (Katakura and Fukuda 1975, 上野ら 1985, 川井ら 2005, Ikeda et al. 2007)）。

そこで、様々な森林環境下で腐肉をベイト（餌）にしたトラップを用いて腐肉食性甲虫を採集し、環境を評価する調査が、我が国で行われてきた（伊藤・青木 1983 など）。これらの調査で使用されたベイトは、鶏肉がもっとも多く（伊藤・青木 1983, Katakura and Ueno 1985, 島田 1985, Katakura et al. 1986, 島田ら 1991, 鈴木 2001, Nagano and Suzuki 2003, Sugiura et al. 2013）、鶏肉以外では豚肉や魚肉が用いられてきた (Katakura et al. 1986, Ohkawara et al. 1998)。しかし、どの研究も

使用した腐肉の種類の根拠については記していない。海外では、インドネシアのスラウェシ島で魚肉（論文内では large fish meat と記載されている）が鳥肉、ネズミ肉、腐った果実よりも腐肉食性甲虫の捕獲数が多く、種数も鳥肉や腐った果実よりも多いことが記されている (Hanski and Krikken 1991)。また、南米ペルーの森林では、脊椎動物の腐肉（トカゲ、鶏、魚、ネズミ、カエル、ヘビ、オポッサムの合計）は、無脊椎動物の腐肉（バッタ、甲虫、ヤスデ、鱗翅目幼虫、ゴキブリの合計）、キノコ、腐った果実、生きているヤスデよりも腐肉食性甲虫の捕獲数が多いとされている (Larsen et al. 2006)。我が国で、脊椎動物と無脊椎動物の間や、脊椎動物種間で、ベイトとして用いたときの腐肉食性甲虫の捕獲種数や捕獲数を比較した例はない。

我が国で環境を評価する調査に使用しているトラップは、地表埋め込み式のものと（伊藤・青木 1983, Katakura and Ueno 1985, Katakura et al. 1986, Ohkawara et al. 1998, 島田 1985, 島田ら 1991）、高さ 1 m 以上に吊り下げるもの（吊り下げ式）（鈴木 2001, 2005, Sugiura et al. 2013）およびその両方（Nagano and Suzuki 2003, 上田 2014）がある。Nagano and Suzuki (2003) は、シデムシ科のうち比較的大型のモンシデムシ属 (*Nicrophorus*) の 3 種は吊り下げ式に多く、小型のコクロシデムシ (*Ptomascopus morio*) は埋め込み式に多いことを示し、小型種ほど飛行高度が低いことを示唆した。上田 (2014) は、吊り下げ式（論文内では‘衝突板トラップ式’と記載されている）は腐肉食性甲虫全体の捕獲数が多いが、種数が少なく、広葉樹林、スギ林、林道沿いの間で群集構造に差が生じなかったのに対し、埋め込み式は種数が多く群集構造に差がみられたことから、森林環境の比較には埋め込み式が適しているとした。但し、上田 (2014) では 1 調査地に 1 トラップの調査であったため、トラップ数が充分であったかどうかは問題である。

先に、コガネムシ上科食糞群の調査は、コストが低いことを述べた (Gardner et al. 2008, Nichols and Gardner 2011)。これは、同定が容易なだけでなく、ベイトによって誘引するためトラップ数を少なくできることに起因する。Nichols and Gardner (2011) は、南米の植林地と原生林で糞食性のコガネムシ上科食糞群を対象に行った調査で、調査地に 1 トラップ設置するだけで、いずれも約 80% の種が採集できることを示した。しかし、これまで、腐肉食性甲虫を対象にトラップ間の群集構造の違いや、トラップ数と種数の関係を明らかにし、群集を把握するのに最低何個のトラップが必要かについて検討した研究はない。

本研究では、新たな生物多様性モニタリング手法の策定に寄与することを目的に、腐肉食性甲虫を指標とした森林環境評価手法の開発を行う。その手始めに、市販品の中から調査に適切なベイトの探索を行った。

腐肉には様々な動物分類群のものが考えられるが、その代表格として最初に無脊椎動物と脊椎動物の違いをおおまかに把握する目的で、オキアミと魚肉間で腐肉食性甲虫の捕獲種数や捕獲数を比較した。また、脊椎動物の腐肉間で比較を行い、調査に適切なベイトについて検討した。次に、埋め込み式と吊り下げ式のトラップを、それぞれ一定間隔でライン上に設置し、捕獲種数や捕獲数を比較した。これとあわせて、様々な環境下でトラップを一定間隔に設置して、トラップ間の群集構造の違いとトラップ数に対する累積推定種数を示すことで、他の調査地との比較に耐えうる群集構造の把握および主要種の把握に必要なトラップ数について検討した。

2. 方法

2.1. ベイト別の比較

a. オキアミと魚肉の比較

調査は熊本市立田山の約 50 年生の常緑広葉樹天然林 (N32°49'34", E130°43'59", 131m asl.) で行った。2011 年 7 月 5 日に 10 m 離して埋め込み式のトラップを 2 個設置した。トラップには口径 95mm、高さ 120mm の透明プラスチックカップ (旭化成 BIP-512D) を用いた。排水のためにカップの上から 50mm の側面に 2mm 径の穴を 4 カ所開けた。カップには動物撃退および防腐を目的に、一味唐辛子を混ぜたプロピレングリコール原液を約 100cc 入れた。また、ベイトの受け皿として、カップの上から 5mm の側面に 1.5mm 径の穴を 3 カ所開け、同じ穴を 3 カ所開けた白色の小型プラスチックカップ (口径 42mm、高さ 35mm) を針金で吊した (Fig. 1)。

ベイトには方法の汎用性を考慮して、市場で安価に購入できるものを選んだ。すなわち、無脊椎動物には釣り具店で購入できかつ安価なオキアミを、脊椎動物にはスーパーマーケットで購入できかつ安価な魚肉 (サバ) を選んだ。各トラップにはオキアミ 10g またはサバ切り身 15g を用い、同じ白色小型カップに詰め、3mm 径の穴を 10 カ所開けた透明プラスチック蓋をした。カップと蓋の間には 1mm メッシュの布を挟み、小型昆虫の侵入を防いだ。そして、このベイト入りカップをトラップ本体に吊したカップに差し入れた (Fig. 1)。トラップの上には動物と雨よけのために 300mm 径のドーム型金網に 180mm 径の白色プラスチック皿を針金で固定したものをかぶせた (Fig. 1)。金網は、脚長 190mm の金属ペグ 4 本を地面に刺して固定した。

2 週間後に捕獲虫を回収し、ベイトを新しいものと取り替えた。場所による偏りを防ぐために、金属ペグ以外のトラップ一式を相対するトラップの場所へ交互に入れ替えるローテーションを行った。同一の作業を 2 週間毎に 10 回 (5 ローテーション) 行い、11 月 22 日に捕獲を終了した。腐肉食性甲虫全体、シデムシ科全体とコガネムシ上科食糞群全体の種数と捕獲数、および 10 個体を超えて捕獲された種の捕獲数をベイト間で比較した。比較には、各回収日の種数および捕獲数の差を用いた Wilcoxon 符号付き順位和検定を行った ($N=10$)。計算には StatView (ver. 5.0) (SAS Institute 1998) を用いた。なお本研究の種名については、シデムシ科は上野ら (1985)、コガネムシ上科食糞群は川井ら (2005) に従った。



Fig. 1. トラップ本体 (左図) と埋め込み式ベイトトラップ (右図)

An embedded trap before setup (left figure) and after being setup with bait (right figures)

b. 脊椎動物ベイト間の比較

調査は前節のオキアミと魚肉の比較と同じ林分で 20 m 離して行った。2011 年 5 月 24 日にオキアミと魚肉のときと同じトラップ 7 個を 10 m 間隔で斜面上向き方向の直線上に設置した。ベイトにはサバ切り身、鶏胸肉、牛肉薄切り、豚肉薄切り、牛豚ミンチのそれぞれ 15g と煮干し 7g の 6 種に加え、ベイトなしをひとつ用い、ランダムに設置した。2 週間毎の回収時に金属ペグ以外のトラップ一式をひとつ斜面上部の位置へ移動し、斜面一番上のトラップ一式は一番下へ移動した。捕獲は 12 月 6 日まで (2 ローテーション) 行った。捕獲数のベイト間比較には、各回収日における全捕獲数に対するトラップ毎の捕獲割合 (%) の逆正弦 1/2 乗値を用い、腐肉食性甲虫全体、シデムシ科全体とコガネムシ上科食糞群全体、および全体で 6 個体以上の捕獲が全回あった種について、全体の分散分析を行ったのち、有意差 ($P < 0.05$) がみられた場合、Scheffé の多重比較を行った ($N = 14$)。計算には StatView (ver. 5.0) (SAS Institute 1998) を用いた。

2.2. 常緑広葉樹林内でのトラップタイプの比較および必要トラップ数の検討

調査は熊本市立田山の方法 2.1 と異なる林班の約 50 年生常緑広葉樹天然林 (N32°49'22", E130°43'54", 74 m asl.) で行った。2011 年 5 月 24 日に方法 2.1 と同じトラップ 10 個を等高線方向に 10 m 間隔で設置した。但し、金網には 240mm 径のものをを用いた。これら埋め込み式トラップから 2 m 以内の場所に、吊り下げ式トラップ (鈴木 2005) に小さな衝突板をとりつけたものも設置した (Fig. 2)。吊り下げ式のトラップ本体や屋根には埋め込み式と同じものをを用いたが、金網は用いず、プラスチック屋根の下に、幅 100mm 高さ 150mm に切った透明クリアファイルに切り込みを入れてクロスさせたものを取り付け、その下にトラップ本体を吊した (Fig. 2)。さらに、屋根に取り付けた針金にひもを通し、三



Fig. 2. 吊り下げ式ベイトトラップ

A baited and suspended trap set at about 1.5 m high

脚状に設置した園芸用支柱から屋根の高さが約 1.5 m になるように吊した (Fig. 2)。ベイトには両トラップ共にサバ切り身 15g をを用いた。2 週間毎に捕獲虫の回収とベイトの交換を行い、12 月 6 日に終了した。トラップタイプ間比較には、同じ場所に設置した埋め込み式と吊り下げ式の捕獲種数および捕獲数の差を用いた Wilcoxon 符号付き順位和検定を用いた ($N = 10$)。計算には StatView (ver. 5.0) (SAS Institute 1998) を用いた。

必要トラップ数については、トラップ間の群集構造の違いと主要種を捕獲するのに必要なトラップ数をもとに検討した。まず、各トラップで採集された腐肉食性甲虫の群集構造の違いを比較するために、次節の針葉樹人工林および草地の結果と併せて計量的多次元尺度法 (Non-metric multidimensional scaling: NMS) による解析を行った。解析の手順は McCune and Grace (2002) に従った。解析には、PC-ORD ver. 6.15 (MjM Software Design 2014) をを用いた。次に、トラップ数に対して群集全体の種数を推定値する希薄化曲線 (rarefaction curve) をを用い、トラップ数と累積推定種数の関係とその 95% 信頼限界を図化した。また、主要種の捕獲に必要なトラップ数を検討する目的で、トラップあたりの捕獲数が 1 個体より多い種について、トラップ数と累積推定種数の関係とその 95% 信頼限界の図化も行った。計算には EstimateS ver. 8.2 (Colwell 2006) をを用いた。

2.3. 針葉樹人工林および草地での必要トラップ数の検討

調査は熊本県菊池市木護の国有林 (N33°02'07", E130°56'01", 625 m asl. ~ N33°02'23", E130°56'24", 692 m asl.)、および阿蘇市西湯浦の熊本県農業研究センター草地畜産研究所 (N32°59'49", E131°00'41", 926 m asl.) で行った。国有林調査地は、南東向き斜面にある横長林分 (幅約 100 ~ 150 m、長さ約 800 m) の約 60 ないし 70 年生の針葉樹人工林で、林分の南西端の斜面縦幅のほぼ中央部の地点 (林縁) から 20 m 林内に入った場所を起点とし、縦幅の中央を横切る北東向きの直線上に 20 m 間隔で 37 個の埋め込み式トラップを設置した。草地は毎年 3 月に野焼きが行われるススキが主体のほぼ平坦な自然草地で、孤立したノリウツギ灌木林から 20 m 離れた地点を起点とした西向きの直線上に 20 m 間隔で 5 個の埋め込み式トラップを設置した。トラップは方法 2.1 と同じ方式のものであるが、透明カップには同じ口径で高さが 155mm のもの (旭化成 BIP-720D) をを用いた。また、ベイト入りカップの蓋には 1mm 径の穴を 25 カ所開け、布を挟まないで蓋をした。ベイトにはサバ切り身 15g をを用い、両調査地ともに 2012 年 4 月 20 日に開始した。2 週間後に捕獲虫を回収したのち、2 週間の休止期間を挟んで 2 週間の捕獲を行うことをくりかえし (4 週間に 1 度の設置と回収)、10 月 18 日に捕獲を終了した。必要トラップ数の検討には、先の常緑広葉樹林と同じ解析を行った。

3. 結果

3.1. ベイト別の比較

a. オキアミと魚肉の比較

全体で 12 種が捕獲され、オキアミが 8 種、魚肉が 12 種で、魚肉の方が多かったが、各回収日の種数の差を用いた Wilcoxon 符号付き順位和検定で有意差はなかった (Table 1)。逆に、捕獲数はオキアミ 1,006 個体、魚肉 520 個体とオキアミで多かったが、有意差はなかった (Table 1)。シデムシ科はオキアミで 2 種 7 個体、魚肉で 4 種 56 個体と魚肉で種数・捕獲数ともに多かったが、有意差はなかった (Table 1)。コガネムシ上科食糞群では、種数は魚肉の方が多く、逆に捕獲数はオキアミで多かったが、有意差はなかった (Table 1)。種別にみても、センチコガネ (*Phelotrupes laevistriatus*)、コブマルエンマコガネ (*Onthophagus atripennis*) とフトカドエンマコガネ (*Onthophagus fodiens*) はオキアミで有意に多く、ヨツボシモンシデムシ (*Nicrophorus quadripunctatus*) とツヤエンマコガネ (*Onthophagus nitidus*) は魚肉で有意に多かった (Table 1)。

b. 脊椎動物ベイト間の比較

全体で 14 種 4,679 個体の腐肉食性甲虫が捕獲された。ベイト毎の種数は、牛肉で 12 種、魚肉と鶏肉で 11 種、豚肉で 10 種、ミンチで 9 種、煮干しで 6 種、ベイトなしで 3 種と、牛肉がもっとも多かった (Fig. 3)。しかし、牛肉では全体で 1 個体のみの種が 2 種採集された

ため種数が多くなっただけで、煮干しとベイトなしを除くと、種数に大きな違いはなかった。種数が多かった生肉類 (魚肉、鶏肉、牛肉、豚肉、ミンチ) の間で、10 個体より多く捕獲された主要 9 種の捕獲数をみると、クロシデムシが牛肉、豚肉、ミンチで、クロマルエンマコガネが鶏肉、豚肉、ミンチでほとんど捕獲されなかった (1 ~ 4 個体) のに対し、魚肉では、これら 2 種もそれぞれ 19 個体と 8 個体捕獲された (Fig. 3)。

全捕獲数に対する捕獲割合をみると、全ての餌種はベイトなしと有意差があった (Fig. 4a)。また、捕獲割合がもっとも高かった魚肉は、煮干しと有意差があった (Fig. 4a)。シデムシ科も、魚肉の捕獲割合がもっとも高く、牛肉および煮干し、ベイトなしと有意差があった (Fig. 4b)。このほかシデムシ科では、鶏肉が煮干し、ベイトなしと有意差があった (Fig. 4b)。コガネムシ上科食糞群も魚肉の捕獲割合がもっとも高く、煮干しを除く全餌種はベイトなしと有意差があった (Fig. 4c)。種別にみると、全回 6 個体以上捕獲できたのはセンチコガネ、マメダルマコガネ (*Panelus parvulus*)、ツヤエンマコガネの 3 種だけであった。センチコガネの捕獲割合は魚肉で高く、豚肉、ミンチ、煮干し、ベイトなしよりも有意に高かった (Fig. 4d)。マメダルマコガネは、どのベイトでも高く、ベイトなしでも比較的高かったため、全体の有意差がなかった (Fig. 4e)。ツヤエンマコガネも、どのベイトでも高く、もっとも高かった牛肉はベイトなしと有意差があった (Fig. 4f)。

Table 1. オキアミと魚肉ベイトで 10 個体より多く捕獲された種の捕獲数と種別および全体のベイト間比較検定結果
Number of individuals of the species collected more than 10 individuals by krill and fish baits, and results of comparison between krill and fish meat on each species and their total numbers.

	Krill オキアミ	Fish meat 魚肉	Wilcoxon signed rank test ($N = 10$)	
			Z	P
Silphidae シデムシ科				
<i>Nicrophorus concolor</i> クロシデムシ	3	29	2.0	0.500
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシデムシ	4	25	15.0	0.047
No. species 種数	2	4	-1.4	0.161
No. individuals 捕獲数	7	56	-1.7	0.083
Coprophagous group of Scarabaeoidea コガネムシ上科食糞群				
<i>Phelotrupes laevistriatus</i> センチコガネ	211	80	-22.5	0.004
<i>Panelus parvulus</i> マメダルマコガネ	55	67	7.5	0.414
<i>Onthophagus nitidus</i> ツヤエンマコガネ	30	133	22.5	0.004
<i>O. atripennis</i> コブマルエンマコガネ	651	155	-18.0	0.008
<i>O. fodiens</i> フトカドエンマコガネ	49	20	-18.0	0.008
No. species 種数	6	8	-0.4	0.706
No. individuals 捕獲数	999	464	-1.8	0.075
Total 合計				
No. species 種数	8	12	-1.1	0.287
No. individuals 捕獲数	1006	520	-1.4	0.069

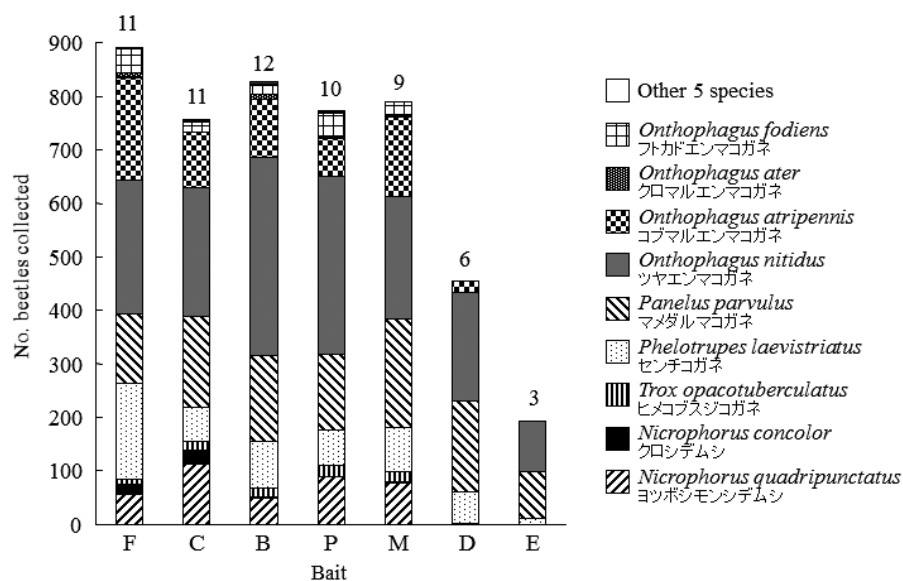


Fig. 3. 各種脊椎動物をベイトにした埋め込み式トラップによる腐肉食性甲虫の捕獲数
F: 魚肉、C: 鶏肉、B: 牛肉、P: 豚肉、M: 牛豚ミンチ、D: 煮干し、E: ベイトなし。
バー上の数値は種数。
The total number of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using embedded traps
baited with various vertebrate carrions
F: fish meat, C: chicken, B: beef, P: pork, M: minced pork and beef, D: dried fish, E: empty
(no bait). The number over each bar indicates species richness.

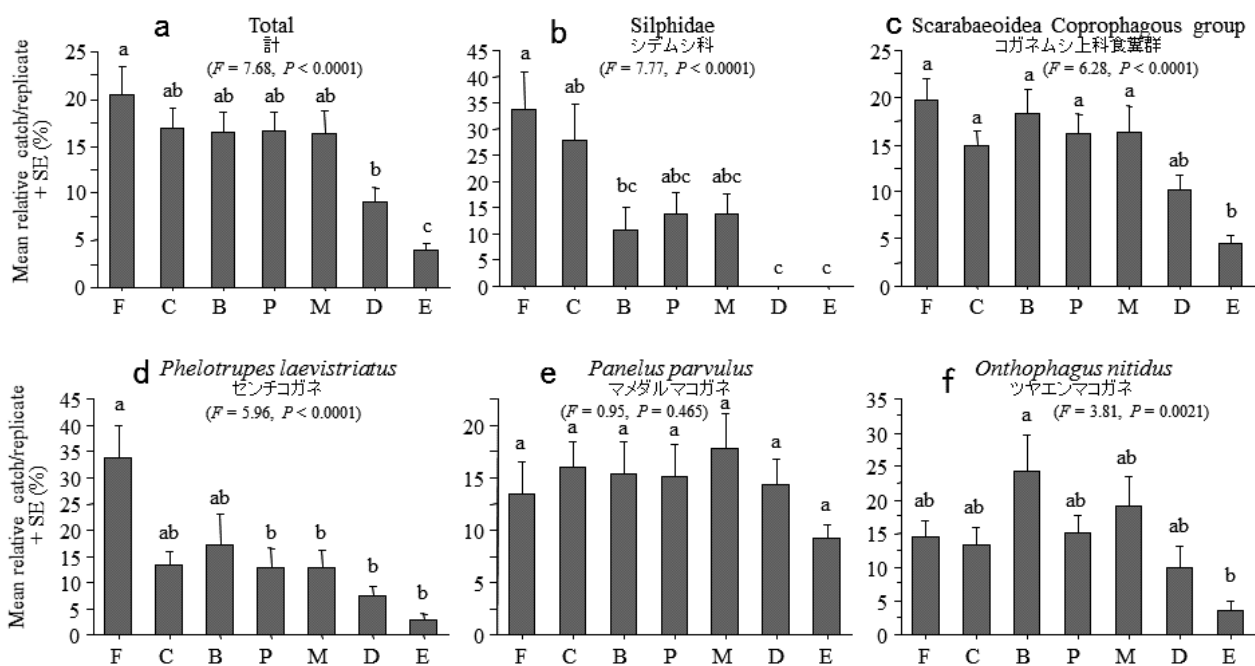


Fig. 4. 各種脊椎動物をベイトにした埋め込み式トラップによる各回収日における各腐肉食性甲虫グループ・種の全捕獲数に対するトラップ毎の捕獲割合平均値 (%)
略語は図3と同じ。バー上のアルファベットが同じものは有意差なし (逆正弦 1/2 乗値を用いた Scheffé の多重比較, $P > 0.05$, $N = 14$)。括弧内は、逆正弦 1/2 乗値を用いた全体の分散分析結果を示す。
Field response (represented by the percentage, p of total captured beetles with in each replicate) of each beetle group or species to embedded traps baited with various vertebrate carrions
Abbreviations are the same as in Fig. 4. Bars with the same letter are not significantly different (Scheffé's multiple test on $\arcsin p^{1/2}$, $P > 0.05$, $N = 14$). The numbers in the parenthesis indicate the results of ANOVA on $\arcsin p^{1/2}$.

3.2. トラップタイプの比較および必要トラップ数の検討

常緑広葉樹林の埋め込み式と吊り下げ式トラップ、針葉樹人工林および草地の埋め込み式トラップで、トラップあたり 1 個体より多く捕獲された種の平均捕獲数と標準誤差および常緑広葉樹林の埋め込み式と吊り下げ式の比較結果を Table 2 に示した。常緑広葉樹林の埋め込み式では全体で 12 種 6,501 個体、吊り下げ式 9 種 593 個体、針葉樹人工林では 14 種 8,187 個体、草原では 9 種 301 個体の腐肉食性甲虫が捕獲された。常緑広葉樹林でのトラップタイプ間を比較すると、種数・捕獲数ともに埋め込み式で有意に多かった (Table 2)。いずれかのトラップで平均 1 個体より多く捕獲された種では、モンシデムシ属の 2 種 (クロシデムシ (*Nicrophorus concolor*) とヨツボシモンシデムシ) が吊り下げ式で有意に多かった (Table 2)。逆に、コガネムシ上科食糞群の 6 種はすべて埋め込み式で有意に多かった (Table 2)。

それぞれの群集の特徴をみてみると、トラップタイプ間だけでなく、調査地間でも大きく異なっていた。常緑広葉樹林内の埋め込み式では、コブマルエンマコガネがもっとも多く、次いでセンチコガネ、ツヤエンマコガネが多かった (Table 2)。吊り下げ式では、クロシデムシとヨツボシモンシデムシがほとんどを占めた (Table 2)。針葉樹人工林の埋め込み式ではセンチコガネとフトカドエンマコガネがもっとも多く、次いでヨツボシモンシデムシが多かった (Table 2)。草地の埋め込み式ではツヤエンマコガネとフトカドエンマコガネが多かった (Table 2)。また、草原性とされているカドマルエンマコガネ (*Onthophagus lenzii*) (川井ら 2005)

が今回の調査地のなかで唯一みられ、しかも 3 番目に多かった (Table 2)。各調査地内やトラップタイプ内の群集のばらつきをみるために行った計量的多次元尺度法による群集構造解析では、まず二次元解析が推奨された。次に二次元で 1 回行った解析結果を Fig. 5 に示した。各調査地、各トラップタイプ別に座標が明確に分かれ、それぞれの塊から大きくはずれるトラップはなかった (Fig. 5)。もっとも座標間が近接したのは常緑広葉樹林内の吊り下げ式トラップで、もっともばらついていたのは草地の埋め込み式トラップであった (Fig. 5)。

希薄化曲線によるトラップ数と累積推定種数の関係を見ると、常緑広葉樹林の埋め込み式では 1 トラップで 9.4 種が採集でき、トラップ数を増やしてもほとんど種数は増えず、5 トラップでほぼ飽和に達した (Fig. 6 左)。これに対し、吊り下げ式では、1 トラップで 3.7 種しか採集できず、10 トラップでも飽和に達しなかった (Fig. 6 右)。平均 1 個体より多かった種は、埋め込み式と吊り下げ式のどちらもが、1 トラップでほぼ飽和し、3 トラップで完全に飽和した (Fig. 6)。針葉樹人工林の埋め込み式では、1 トラップで 7.5 種、2 トラップで 8.7 種、3 トラップで 9.5 種が採集でき、それ以上トラップ数を増やしても大きく種数が増えることはなかったが、完全な飽和には至らなかった (Fig. 7)。平均 1 個体より多かった種は、1 トラップでほぼ飽和し、5 トラップで完全に飽和した (Fig. 7)。草地の埋め込み式では、1 トラップで 5.0 種、2 トラップで 6.6 種、3 トラップで 7.8 種であり、5 トラップで飽和しなかった (Fig. 8)。しかし、平均 1 個体より多かった種は、1 トラップで完全に飽和した (Fig. 8)。

Table 2. トランセクト上にトラップを設置した常緑広葉樹林、針葉樹人工林、草地においてトラップあたり 1 個体より多く捕獲された種の平均捕獲数 $\pm$ SE および常緑広葉樹林での埋め込み式と吊り下げ式の間の Wilcoxon 符号付き順位和検定結果
Mean number $\pm$ SE of beetles collected more than one individual per trap set on the transects in the evergreen broadleaved forest, the conifer plantation, and grassland, and results of Wilcoxon signed rank test for the numbers of beetles collected between embedded trap and suspended trap in the evergreen broadleaved forest

	Evergreen broadleaved forest				Conifer plantation	Grassland
	Embedded (10)	Suspended (10)	Z	P	Embedded (37)	Embedded (5)
<i>Nicrophorus concolor</i> クロシデムシ	4.3 $\pm$ 1.2	11.9 $\pm$ 0.9	18	0.008	0.4 $\pm$ 0.1	0
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシデムシ	13.2 $\pm$ 3.0	43.4 $\pm$ 7.2	27.5	0.002	47.1 $\pm$ 5.2	0.4 $\pm$ 0.2
<i>Phelotrupes laevistriatus</i> センチコガネ	109.5 $\pm$ 11.5	0.2 $\pm$ 0.2	-27.5	0.002	63.5 $\pm$ 4.9	0.4 $\pm$ 0.2
<i>Panelus parvulus</i> マメダルマコガネ	61.0 $\pm$ 5.3	2.9 $\pm$ 1.1	-27.5	0.002	3.5 $\pm$ 0.6	0
<i>Onthophagus lenzii</i> カドマルエンマコガネ	0	0	-	-	0	3.2 $\pm$ 1.2
<i>O. nitidus</i> ツヤエンマコガネ	119.0 $\pm$ 17.4	0.1 $\pm$ 0.1	-27.5	0.002	21.4 $\pm$ 2.2	23.4 $\pm$ 7.0
<i>O. atripennis</i> コブマルエンマコガネ	286.7 $\pm$ 45.7	0.2 $\pm$ 0.1	-27.5	0.002	2.0 $\pm$ 0.4	0.4 $\pm$ 0.2
<i>O. fodiens</i> クロマルエンマコガネ	20.3 $\pm$ 2.4	0.3 $\pm$ 0.2	-27.5	0.002	11.6 $\pm$ 1.0	0
<i>O. ater</i> フトカドエンマコガネ	33.8 $\pm$ 5.0	0	-27.5	0.002	70.9 $\pm$ 7.0	30.8 $\pm$ 10.0
Other species その他	2.3 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.2	-	-	0.8 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.5
Number of species 種数	9.4 $\pm$ 0.5	3.7 $\pm$ 0.3	-2.8	0.005	7.5 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.3
Total number of individuals 全捕獲数	650.1 $\pm$ 43.9	59.3 $\pm$ 6.3	-2.8	0.005	221.3 $\pm$ 11.0	59.2 $\pm$ 14.2

括弧内数値はトラップ数を示す。

The number in the parentheses indicates the number of traps.

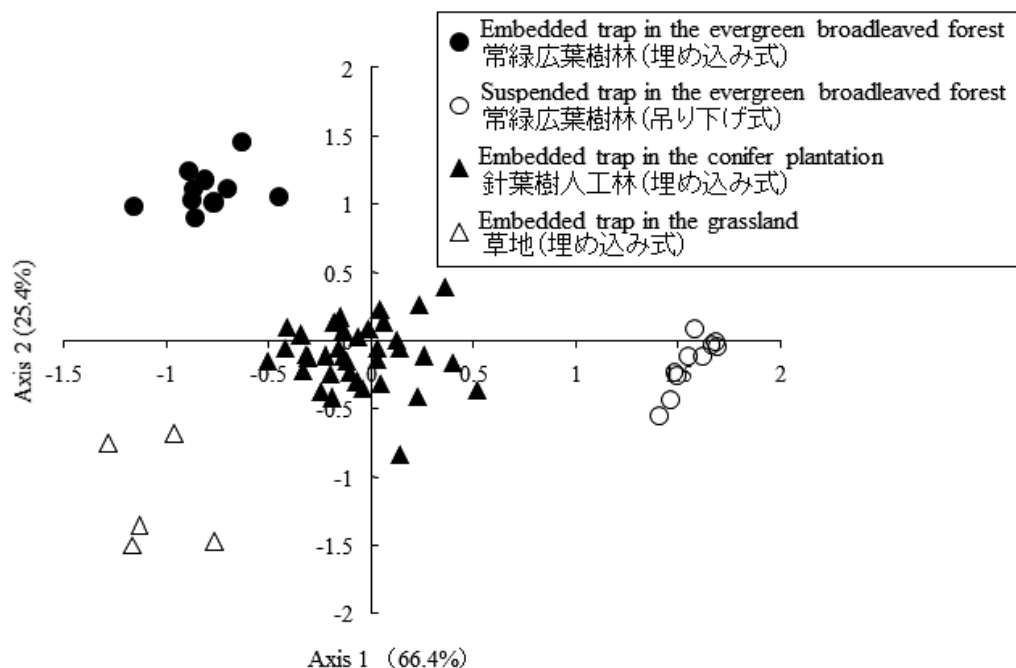


Fig. 5. 常緑広葉樹林、針葉樹人工林、草地のトランセクト上に設置したトラップで捕獲された腐肉食性甲虫群集の計量的多次元尺度法による座標付け (Final stress = 10.57)

Results of non-metric multidimensional scaling (NMS) for assemblages of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected by traps set on the transects in an evergreen broadleaved forest, a conifer plantation, and a grassland (Final stress = 10.57)

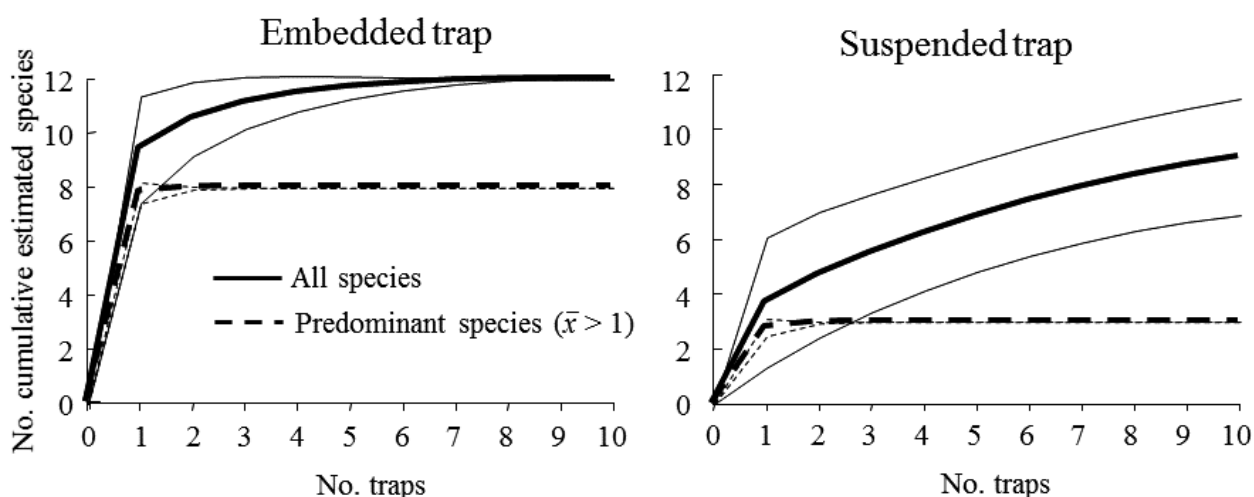


Fig. 6. 常緑広葉樹林に設置した魚肉ベイトの埋め込み式（左図）と吊り下げ式（右図）トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数

実線は全種の、破線は平均 1 個体より多く捕獲された種の推定値とそれらの 95% 信頼限界を示す。

Cumulative estimated number of species of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using ten embedded traps (left figure) and ten suspended traps (right figure) baited with fish and set with 10 m intervals on the transect in a evergreen broadleaved forest

Solid lines and dashed lines indicate the estimated numbers for all species and species collected more than one individuals per trap, respectively, and their 95% confidence limits.

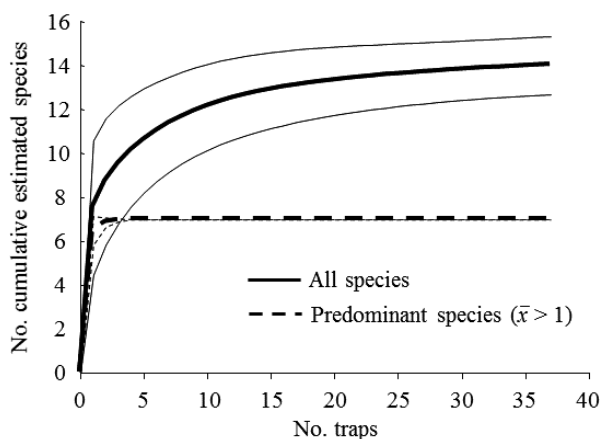


Fig. 7. 針葉樹人工林に設置した魚肉ベイトの埋め込み式トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数
実線は全種の、破線は平均1個体より多く捕獲された種の推定値とそれらの95%信頼限界を示す。
Cumulative estimated number of species of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using 37 embedded traps baited with fish and set with 20 m intervals on the transect in a conifer plantation
Solid lines and dashed lines indicate the estimated numbers for all species and species collected more than one individuals per trap, respectively, and their 95% confidence limits.

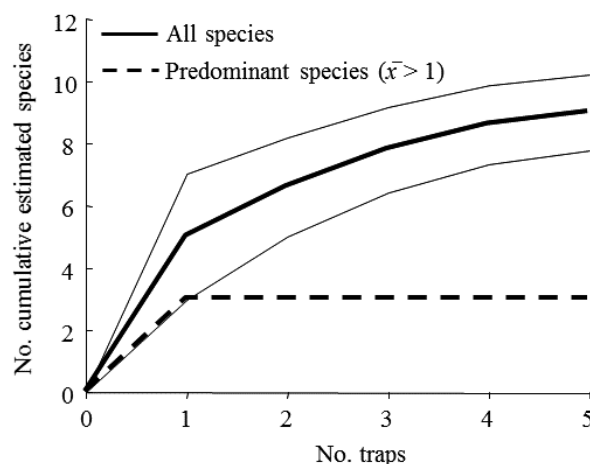


Fig. 8. 草地に設置した魚肉ベイトの埋め込み式トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数
実線は全種の、破線は平均1個体より多く捕獲された種の推定値とそれらの95%信頼限界を示す。
Cumulative estimated number of species of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using 5 embedded traps baited with fish and set with 20 m intervals on the transect in a grassland
Solid lines and dashed lines indicate the estimated numbers for all species and species collected more than one individuals per trap, respectively, and their 95% confidence limits.

4. 考察

4.1. ベイト別の比較

森林環境を昆虫の群集を用いて評価するうえでは、その森林（空間）に生息する各種の個体数をそのままの状態把握することが理想である。しかし、森林に生息する各種の全個体を把握することは非常に困難であるため、実際の群集とは必ずしも一致しないにかかわらず、様々な捕獲方法により抽出した群集が森林環境の評価に用いられてきた（岡部・小川 2011）。トラップによる捕獲においても、誘引剤に対する嗜好性の違い、飛翔能力や歩行能力の違い、発消長の違い等によって、各種の捕獲数が規定されるため、実際の群集を反映しているわけではない。しかし、同じ方法を用いて捕獲した昆虫の群集を比較することとおして、実際の群集を把握できなくても、森林環境を評価することは可能である（石谷 1996, 尾崎ら 2004 など）。トラップによる捕獲の場合、種数と捕獲数が多いほど情報が多くなり、評価の信頼度も高まると考えられる。コスト面を考慮すると、同じ調査地内のトラップ間で群集構造の違いが小さく、主要種を確実に捕獲できれば、少ないトラップ数で調査地内の群集がおおむね把握できると考えられる。そこで、本研究における最適方法の評価基準は、捕獲種数と捕獲数が多く、より少ないトラップ数で群集構造が把握できる方法とした。

オキアミと魚肉の比較では種数は魚肉で、捕獲数はオキアミで多い傾向がみられたが、ともに有意差がなかった（Table 1）。これは、南米ペルーの森林での、魚肉のような脊椎動物の腐肉は、オキアミのような無脊椎動物の腐肉よりも捕獲される種数が多いという結果と一致したが、脊椎動物の方が捕獲数が多かったという結果とは一致しなかった（Larsen et al. 2006）。種別にみると、オキアミで有意に多い種が3種、逆に魚肉で有意に多い種が2種とほぼ同等であった（Table 1）。しかし、魚肉では全12種が捕獲されたがオキアミでは8種であった（Table 1）。また、魚肉では7種みられた主要種のいずれもが20個体以上捕獲されたのに対し、オキアミでは5種であり、センチコガネとコブマルエンマコガネに極端に捕獲が集中していた（Table 1）。これらのことから、魚肉はオキアミよりも総捕獲数が少なかったが、種数が多く、しかも極端に多い種や少ない種が少なかった点で、オキアミよりも捕獲群集を森林間で比較することに適していると考えられる。特に、シデムシ科を調査対象に入れるときは、オキアミでは種数、捕獲数が少なかったことから、魚肉を用いる方がよいと考えられる（Table 1）。今回、市場での入手を考え、無脊椎動物としてオキアミ、脊椎動物として魚肉を選んだが、これら以外にも様々なベイトが考えられる。無脊椎動物と脊椎動物の比較には、

今後、様々なベイトを用いた調査が必要であるが、脊椎動物の死骸を繁殖資源としているモンシデムシ属を調査対象に含む場合、脊椎動物をベイトに用いる方がよいであろう。

脊椎動物ベイト間の比較では、魚肉、鶏肉、牛肉、豚肉、牛豚ミンチ、および煮干しを用いた。種数・捕獲数および種構成は生肉間で大きな違いはなく (Fig. 3 の F ~ M)、生肉ならいずれを用いても森林環境評価において結果に大きな違いは生じないと考えられる。しかし、細かな点を考慮すると、魚肉の捕獲割合がシデムシ科で牛肉より、センチコガネで豚肉とミンチよりも有意に高かったことから、牛肉、豚肉、ミンチよりも魚肉を用いる方がよいと考えられる (Fig. 4)。また、鶏肉は魚肉と有意な差はなかったが、腐肉食性甲虫全体、シデムシ科、コガネムシ上科食糞群の捕獲割合は、いずれも魚肉がもっとも高く (Fig. 4)、鶏肉では 2 個体であったクロマルエンマコガネが魚肉では 8 個体捕獲された (Fig. 3) ことから、鶏肉よりも魚肉を用いる方がよいと考えられる。インドネシア共和国スラウェシ島北部で鶏肉、ネズミ肉、小魚肉、大魚肉 (小魚と大魚のサイズと種は不明) をベイトとして用いた埋め込み式トラップ捕獲では、平均 1 個体より多く捕獲された種数はそれぞれ 7、10、9、10 種、捕獲数は 57、111、119、400 個体で、大魚肉がもっとも多く誘引した (Hanski and Krikken 1991)。この結果は、魚肉を支持する本研究の結果と一致する。

牛豚ミンチは、鶏肉を用いた調査の多くで鶏肉ミンチが用いられてきたことから (伊藤・青木 1983, Katakura and Ueno 1985, 島田 1985, 島田ら 1991)、ミンチ状の肉として加えた。牛肉、豚肉とミンチの間に違いがなかったことから、ベイトのカットサイズを考慮する必要はないと考えられる (Fig. 3, 4)。煮干しは、コブスジコガネ属 (*Trox*) に動物の古い死体に集まるものがあることから (川井ら 2005)、古い死体として加えた。今回コブスジコガネ属で唯一採集されたヒメコブスジコガネ (*Trox opacotuberculatus*) は、生肉で 8 ~ 21 個体捕獲されたのに対し、煮干しでは 2 個体だけであった (Fig. 3)。また、煮干しでのみ採集された種はなかったことから、生肉と併用して煮干しを用いる必要はないと考えられる。煮干しで生肉と同程度の捕獲数があったセンチコガネ、マメダルマコガネ、ツヤエンマコガネは、生肉だけでなく、古い死体にも誘引されると考えられる (Fig. 3, 4)。

本試験では、トラップに付帯する臭いの影響を除去するために、屋根を含むトラップ全体をローテーションしたにもかかわらず、ベイトなしでもマメダルマコガネとツヤエンマコガネが少なからず採集された (Fig. 3)。結果には示していないが、本試験地から 20 m 離れた場所に、ベイトなしトラップを単独で 8 月 2 日から 12 月 6 日まで設置したところ、センチコガネ、マ

メダルマコガネ、ツヤエンマコガネがそれぞれ 3、23、5 個体捕獲でき (Appendix Table 1 のベイト IE、URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/434/index.html>)、同時期の本試験のベイトなしトラップの 12、53、9 個体の半数近くとなった。このことから、本試験のベイトなしトラップでの捕獲のうち、約半数は調査地全体でこれら 3 種の個体群密度が高くなっていたために偶然捕獲されたもので、残りの約半数がローテーション前のトラップの影響 (残り香) により誘引捕獲されたと推測される。

4.2. トラップタイプの比較

埋め込み式と吊り下げ式を比較した Nagano and Suzuki (2003) は、シデムシ科のうち比較的大型のモンシデムシ属の 3 種は吊り下げ式に多く、小型のコクロシデムシは埋め込み式に多いことを示した。鈴木 (2005) もモンシデムシ属の種が吊り下げ式に多く、埋め込み式に少ないことを示した。上田 (2014) は、腐肉食性甲虫全体について、埋め込み式は吊り下げ式よりも種数が多いが、捕獲数が少ないことを示した。今回の調査では、埋め込み式は種数、捕獲数ともに吊り下げ式よりも多かった (Table 2)。しかし、モンシデムシ属の捕獲数は、Nagano and Suzuki (2003)、鈴木 (2005)、上田 (2014) と同様に吊り下げ式の方が多かった (Table 2)。上田 (2014) と本研究の埋め込み式で種数が多かったのは、シデムシ科よりも体が小さいコガネムシ上科食糞群が、吊り下げ式ではほとんど捕獲されなかったことに起因する。これは、小型の腐肉食性甲虫は飛翔高度が低いとした Nagano and Suzuki (2003) と一致する。以上の結果を総合すると、腐肉食性甲虫全体を用いて森林環境評価をするときは埋め込み式を用いる方がよいことがわかる。

鈴木 (2005) は、吊り下げ式によるモンシデムシ族 (*Nicrophorini*) の捕獲で森林環境を評価することを推奨している。鈴木 (2005) が調査した北海道にはモンシデムシ族が 8 種生息するが、本州低地では 7 種、九州 6 種、沖縄県 1 種と少なくなる (上野ら 1985)。吊り下げ式による実際の調査では、北海道でモンシデムシ族 5 種 (鈴木 2001)、関東で 4 種 (Nagano and Suzuki 2003)、九州で行った上田 (2014) で 4 種、同じ九州で行った本研究で 3 種だけであり、モンシデムシ族だけを用いる調査は種数が少ないという問題がある。シデムシ科全体を用いる調査を考えると、図示していないが、ヒラタシデムシ族 (*Silphini*) の 1 種であるベッコウヒラタシデムシ (*Calosilpha brunneicollis*) が、埋め込み式で 10 個体、吊り下げ式で 2 個体捕獲された。また、ヒラタシデムシ族には飛翔しない種や個体があることから (Ikeda et al. 2007)、シデムシ科全体を用いた群集調査を行う場合、埋め込み式単独、あるいは吊り下げ式と併用するのがよいであろう。

4.3. 必要トラップ数の検討

本研究では、ほぼ同じ方法を用いて常緑広葉樹林、針葉樹人工林と草地の3カ所で調査を行い、それぞれで優占種が異なることを示した (Table 2)。この結果は、腐肉食性甲虫が森林および草地を含む森林周辺の環境の質や環境変化に敏感に反応することを示したこれまでの研究と一致していた (Katakura and Ueno 1985, Katakura et al. 1986, 伊藤 1994, Ohkawara et al. 1998, Trumbo and Bloch 2000, Gibbs and Stanton 2001, 鈴木 2001, Nagano and Suzuki 2003, Wolf and Gibbs 2004, Navarrete and Halfpeter 2008, Sugiura et al. 2013)。このことから、今回用いた魚肉ベイトの埋め込み式トラップもこれまでの調査方法と同様に森林環境評価に適していると考えられる。また、計量的多次元尺度法による群集構造解析では、各調査地内の座標は互いに近接し、大きくはずれるトラップはなかった (Fig. 5) ことから、今回の方法を用いれば、少ないトラップから得られたデータでも、調査地間の群集の比較に耐えうることを示唆された。すなわち、ひとつの調査地で1ないし、2トラップからのデータでも、他の調査地との群集構造の比較に耐えうる、おおまかな群集の把握が可能であると考えられる。

希薄化曲線によるトラップ数と累積推定種数の関係を見ると、完全に飽和したのは10 m間隔に10個のトラップを設置して集約的な調査を行った常緑広葉樹林の埋め込み式だけで (Fig. 6 左)、20 m間隔で37個のトラップを設置して広範囲の調査を行った針葉樹人工林では、トラップ数が多かったにもかかわらず、完全な飽和には至らなかった (Fig. 7)。また、常緑広葉樹林の吊り下げ式は埋め込み式と同様に集約して設置したにもかかわらず、低空を飛翔していると考えられるコガネムシ上科食糞群の種が偶発的に捕獲されるため、飽和には至らなかった (Fig. 6 右)。このように、今回の方法で希少種や偶発的に捕獲される種も含めて全種を捕獲するには、狭い地域を対象に高密度で埋め込み式トラップを設置しなければならないと考えられる。しかし、これに対し、トラップあたりの捕獲数が1個体より多い種を対象にすると、どの調査地とトラップタイプでも1トラップで、完全あるいはほぼ飽和した (Fig. 6, 7, 8)。この結果は、平均1個体を超えるような主要種を把握するという目的であれば、1調査地あたり1ないし2トラップで充分であることを示唆する。

以上の結果から、大まかな群集構造の把握および平均1個体より多く捕獲されるような主要種の把握であれば、1調査地に1ないし2個のトラップ設置で充分であり、他の調査地との群集構造の比較に耐えうると考えられた。但し、本研究は、同じ熊本県下であっても、都市近郊の二次林、山間部の針葉樹人工林、さらに高標高の草地といった大きく異なる環境間で行われた結

果である。近接し、類似した森林間で群集の違いを示す場合は、各トラップの群集構造データの集合を調査地間で比較し、データの重なりを考慮した考察が必要と考えられる。その場合、多数のトラップを設置して比較する必要がある。また、今回いずれの調査地でも1ないし2トラップでは累積推定種数が飽和に達しなかった (Fig. 5, 6, 7)。これは希少種の把握には多数のトラップが必要であることを示唆する。このことから、希少種の抽出や保全について研究する場合も、多数のトラップを設置する必要であることがわかる。このような、トラップ数を減らすことによるデメリットや限界を考慮して、目的にそった試験計画を立て、トラップ数を決定することに注意しなければならない。糞食性のコガネムシ上科食糞群の1種が、最大約50 m離れた場所からトラップに飛来することが観察されていて、トラップ間の干渉を防ぐため、50 m以上、できれば100 m以上トラップ間隔をとることが推奨されている (Larsen and Forsyth 2005)。腐肉食性の種においても同様の飛翔が考えられることから、1調査地に2トラップ以上設置して他の調査地と群集を比較する場合、今後50 m以上、できれば100 m以上トラップ間隔をとるほうが良いであろう。

謝辞

本研究では、森林総合研究所九州支所の後藤秀章氏および末吉昌宏博士に現地調査の助力を、同研究所北海道支所の尾崎研一博士、元滋賀県立大学の近雅博博士および北海道大学の鈴木誠治博士に助言を、熊本森林管理署と熊本県立草地畜産研究所に調査の承諾をいただいた。ここに深謝する。なお、本研究の一部は、森林総合研究所交付金プロジェクト「九州地域の人工林での帯状伐採等が多面的機能に及ぼす科学的評価と林業的評価を考慮した取り扱い手法の提示」の一環として行われた。

引用文献

- Aguilar-Amuchastegui, N. and Henebry, G. M. (2007) Assessing sustainability indicators for tropical forests: Spatio-temporal heterogeneity, logging intensity, and dung beetle communities. *For. Ecol. Manage.*, 253, 56–67.
- Colwell, R. K. (2006) “Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8”, <http://www.purl.oclc.org/estimates/index.html> (accessed on 1 July 2014).
- Davis, A. J., Holloway, J. D., Huijbregts, H., Krikken, J., Kirk-Spriggs, A. H. and Sutton, S. L. (2001) Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. *J. Appl. Ecol.*, 38, 593–616.

- Gardner, T. A. and 23 co-authors (2008) The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecol. Lett.*, 11, 139-150.
- Gibbs J. P. and Stanton, E. J. (2001) Habitat fragmentation and arthropod community change: carrion beetles, phoretic mites, and flies. *Ecol. Appl.*, 11, 79-85.
- Hanski, I. and Kriksen, J. (1991) Dung beetles in tropical forests in South-East Asia. In Hanski, I. and Cambefort, Y. (eds.) *"Dung beetle ecology"*. Princeton Univ. Press, Princeton, 179-197.
- Ikeda, H., Kubota, K., Kagaya, T. and Abe, T. (2007) Flight capabilities and feeding habits of silphine beetles: are flightless species really "carrion beetles"? *Ecol. Res.*, 22, 237-241.
- 石谷正宇 (1996) 環境指標としての地表徘徊性ゴミムシ類. *昆虫と自然*, 31(12), 2-7.
- 磯野昌弘 (2005) オサムシ科甲虫を効率的に調査するための3つのアプローチ. *昆虫 (ニューシリーズ)*, 8, 1-13.
- 伊藤正宏 (1994) シデムシ類. "フィールドガイドシリーズ3 指標生物", (財) 日本自然保護協会編, 平凡社, 264-269.
- 伊藤正宏・青木淳一 (1983) 土壌動物群集による横浜市の都市環境の解析: I. バイトトラップに集まる甲虫類. *横浜国大環境研紀要*, 9, 183-196.
- Katakura, H. and Fukuda, H. (1975) Faunal makeup of ground and carrion beetles in Kamiotoineppu, Hokkaido University Nakagawa Experiment Forest, Northern Japan, with some notes on related problems. *Bull. Col. Exp. For. Hokkaido Univ.*, 32, 75-92.
- Katakura, H. and Ueno, R. (1985) A preliminary study on the faunal make-up and spatio-temporal distribution of carrion beetles (Coleoptera: Silphidae) on the Ishikari coast, northern Japan. *Jap. J. Ecol.*, 35, 461-468.
- Katakura, H., Sonoda, M. and Yoshida, N. (1986) Carrion beetle (Coleoptera, Silphidae) fauna of Hokkaido University Tomakomai experiment forest, Northern Japan, with a note on the habitat preference of a note on the habitat preference of a geotrupine species, *Geotrupes laevistriatus* (Coleoptera, Scarabaeidae). *Res. Bul. College Exp. For. Hokkaido Univ.*, 43, 43-55.
- 川井信夫・堀繁久・河原正和・稲垣政志 (2005) 日本産コガネムシ上科図説: 第1巻食糞群. *昆虫文献六本脚*, 189pp.
- Larsen, T. H. and Forsyth, A. (2005) Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity studies. *Biotropica*, 37, 322-325.
- Larsen, T. H., Lopera A. and Forsyth, A. (2006) Extreme trophic and habitat specialization by Peruvian dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *Col. Bull.*, 60, 315-324.
- McCune, B., Grace, J. B. (2002) Analysis of ecological communities. *MjM Software Design*, 300pp.
- McGeoch, M. A., Rensburg, B. J. V. and Botes, A. (2002) The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *J. Appl. Ecol.*, 39, 661-672.
- MjM Software Design (2014) PC-ORD ver 6.15.
- Nagano, M. and Suzuki, S. (2003) Phenology and habitat use among Nicrophorine beetles of the genus *Nicrophorus* and *Ptomascopus* (Coleoptera: Silphidae). *Edaphologia*, 73, 1-9.
- Navarrete, D. and Halffter, G. (2008) Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) diversity in continuous forest, forest fragments and cattle pastures in a landscape of Chiapas, Mexico: the effects of anthropogenic changes. *Biodivers. Conserve.*, 17, 2869-2898.
- Nichols, E. S. and Gardner, T. A. (2011) Dung beetles as a candidate study taxon in applied biodiversity conservation research. In Simmons, L. W. and Ridsdill-Smith, T. J. (eds.) *"Ecology and evolution of dung beetles"*. Wiley-Blackwell, West Sussex, 267-291.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezquita, S., Favila, M.E. and The Scarabaeinae Research Network (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141, 1461-1474.
- Ohkawara, K., Suzuki, S. and Katakura, H. (1998) Competitive interaction and niche differentiation among burying beetles (Silphidae, Nicrophorus) in northern Japan. *Entomol. Sci.*, 1, 551-559.
- 岡部貴美子・小川みふゆ (2011) 森林の生物多様性モニタリングの歴史と生態学的視点からの将来展望. *森林総研報*, 10, 231-250.
- 尾崎研一・福山研二・佐山勝彦, 加藤哲哉・下村通誉・伊藤哲也・吉田尚生 (2004) 北海道中央部における森林とオープンランドの蝶類群集の比較にもとづく蝶類各種の生息環境分類. *日林誌*, 86, 251-257.
- 島田正文 (1985) 市街地における公園緑地の昆虫生息に関する研究. *造園雑誌*, 48(5), 187-191.
- 島田正文・高橋徹雄・丸太頼一 (1991) 公園緑地における昆虫類の生息環境に関する研究. *造園雑誌*, 54(5), 287-292.
- SAS Institute (1998) StatView for PowerPC Version 5.0. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Satou, A., Nisimura, T. and Numata, H. (2000) Reproductive

- competition between the burying beetle *Nicrophorus quadripunctatus* without phoretic mites and the blow fly *Chrysomya pinguis*. Entomol. Sci., 3, 265-268.
- Scott, M. P. (1994) Competition with flies promotes communal breeding in the burying beetle, *Nicrophorus tomentosus*. Behav. Ecol. Sociobiol., 34, 367-373.
- Spector, S. (2006) Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. Col. Bull., Monograph, 5, 71-83.
- Springett, B. P. (1968) Aspects of the relationship between burying beetles, *Necrophorus* spp. and the mite, *Poecilochirus necrophori* Vitz. J. Animal Ecol., 37, 417-424.
- Sugiura, S., Tanaka, R., Taki, H. and Kanzaki, N. (2013) Differential responses of scavenging arthropods and vertebrates to forest loss maintain ecosystem function in a heterogeneous landscape. Biol. Conserv., 159, 206-213.
- Suzuki, S. (2000) Carrion burial by *Nicrophorus vespilloides* (Coleoptera: Silphidae) prevents fly infestation. Entomol. Sci., 3, 269-272.
- 鈴木誠治 (2001) トドマツ林の間伐がシデムシ相に与える影響. New Entomol., 50, 51-54.
- 鈴木誠治 (2005) モンシデムシ族を指標生物とした環境評価の可能性と、採集の際の吊り下げ式トラップの有効性について. 環境教育研究, 8, 111-116.
- Trumbo, S. T. and Bloch, P. L. (2000) Habitat fragmentation and burying beetle abundance and success. J. Insect Conserv., 4, 245-252.
- 上野俊一・黒澤良彦・佐藤正孝 (1985) 原色日本甲虫図鑑 (II). 保育社, 514pp.
- 上田明良 (2014) 異なるトラップで採集した植林地・広葉樹林・林道沿いのオサムシ科および腐肉食性甲虫群集. 九州森林研究, 67, 29-32.
- Wilson, D. S. (1983) The effect of population structure on the evolution of mutualism: A field test involving burying beetles and their phoretic mites. Am. Nat., 121, 851-870.
- Wilson, D. S. and Knollenberg, W. G. (1987) Adaptive indirect effects: the fitness of burying beetles with and without their phoretic mites. Evol. Ecol., 1, 139-159.
- Wolf, J. M. and Gibbs, J. P. (2004) Silphids in urban forests: diversity and function. Urban Ecosystems, 7, 371-384.

Tools for evaluating forest habitat using carrion silphid (Silphidae) and scarabaeoid dung beetles (coprophagous group of Scarabaeoidea) as indicators: Effects of bait type, trap type, and trap number on beetle captures

Akira UEDA ^{1)*}

Abstract

Carrion silphid and scarabaeoid dung beetles abundance and diversity are influenced sharply by forest quality and degradation. To contribute to develop a standardized, quantitative method for evaluating forest habitat using beetles as indicators, we examined different kinds of baits, different types of traps, and sampling adequacy for trap numbers. Results of trap captures with krill bait versus fish meat bait suggested that fish meat attracted a greater number of species than krill. In comparing different vertebrate meats (*i.e.*, fish, pork, beef, chicken, and dried fish) as bait, it was found that fish attracted the largest number of beetles without any particular bias towards silphid or scarabaeoid species. Comparisons of embedded traps on the ground surface versus suspended traps at 1.5 m high indicated that the embedded traps were preferable as they captured a larger number of species and individuals compared with the suspended traps. Results from traps set up along transects through an evergreen broadleaved forest, a conifer plantation, and a grassland showed that the structures of the beetle assemblages of all traps set in a site were resemble each other without outlier, and the estimated number of species cumulated along with the number of traps was almost saturated at one trap for the predominant species that are captured more than one individual per trap. These suggested that one or two traps per one site is sufficient to understand both the general structure of the beetle assemblage and the predominant species that are captured more than one individual per trap, and the obtained structure of the beetle assemblage was enable to compare with those of other sites.

Key words : biodiversity assessment, burying beetles, dung beetles, rarefaction curve, sampling method, Scarabaeoidea, Silphidae

Received 26 March 2014, Accepted 30 October 2014

1) Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Kyushu Research Center, FFPRI, 4-11-16 Kurokami, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862 JAPAN; e-mail: akira@ffpri.affrc.go.jp

Appendix Table 1 本研究で捕獲されたシデムシ科・コガネムシ上科食糞群
Silphid and scarabaeoid dung beetles collected in this study

Environment	Evergreen broadleaved forest										Conifer plantation		Grassland
Latitude	N32°49'34"										N32°49'22"		N33°02'07"-23"
Longitude	E130°43'59"										E130°43'54"		E130°56'01"-24"
Altitude (m)	131										74		625-692
Start of collection	5 Jul. 2011		24 May 2011					2 Aug. 2011		24 May 2011		20 Apr. 2012	
End of collection	22 Nov. 2011 ^c		6 Dec. 2011 ^c					6 Dec. 2011 ^c		6 Dec. 2011 ^c		18 Oct. 2012 ^d	
Bait ^a	K	F	F	C	B	P	M	D	E	IE	F	F	F
Type of trap ^b	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	E
Number of traps set	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	37
Silphidae シデムシ科													
<i>Nicrophorus concolor</i> クロシデムシ	4	25	56	112	50	89	76				132	434	16
<i>N. maculifrons</i> マエモンシデムシ													6
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシデムシ	3	29	19	26	1	1	4				43	119	1744
<i>N. japonicus</i> ヤマトモンシデムシ													
<i>Ptomascopus morio</i> コクロシデムシ		1	1								3	1	6
<i>Oiceoptoma subrufum</i> クロボシヒラタシデムシ													8
<i>Eusilpha japonica</i> オオヒラタンシデムシ				2	1	1							2
<i>E. brunneicollis</i> ベッコウヒラタシデムシ		1	1	1							10	2	
Coprothagous group of Scarabaeoidea コガネムシ上科食糞群													
<i>Trox opacotuberculatus</i> ヒメコブスジコガネ		6	9	18	18	21	18	2			5		6
<i>Phelotrupes laevistriatus</i> センチコガネ	211	80	180	62	86	65	82	60	12	3	1095	2	2348
<i>Ochodaeus maculatus</i> アカマダラセンチコガネ													1
<i>Panelus parvulus</i> マメダルマコガネ	55	67	129	171	160	142	203	167	85	23	610	29	130
<i>Onthophagus lenzii</i> カドマルエンマコガネ													
<i>O. nitidus</i> ツヤエンマコガネ	30	133	250	240	371	332	230	203	96	5	1190	1	793
<i>O. tricornis</i> ミツノエンマコガネ		1			1						5		
<i>O. atripennis</i> コブマルエンマコガネ	651	155	8	2	8	2	3				2867	2	73
<i>O. ater</i> クロマルエンマコガネ	3	2	47	19	21	47	25	1			203	3	431
<i>O. fodiens</i> フトカドエンマコガネ	49	20	191	103	108	70	148	21			338		2623
<i>Mozartius jugosus</i> マルマダコガネ					1								

^aK: オキアミ、F: 魚肉、C: 鶏肉、B: 牛肉、P: 豚肉、M: 牛豚ミンチ、D: 煮干し、E: ベイトなし、IE: ベイトなし（トラップは F ~ E のために設けたトランセクトから 20 m 離れた場所に固定した）。

^bE: 埋め込み式、S: 吊り下げ式。

^c捕獲虫の回収とベイトの交換を 2 週間毎に行った。

^d捕獲虫の回収とベイトの交換を 2 週間の休止期間を挟んで 2 週間毎に行った。

^aK: Krill, F: fish meat, C: chicken, B: beef, P: pork, M: minced pork and beef, D: dried fish, E: empty (no bait), IE: empty (the trap was isolated 20m from the transect set for baits F - E).

^bE: embeded trap, S: suspended trap.

^cBeetles were collected and the bait was replaced every two weeks.

^dBeetles were collected and the bait was replaced every two weeks with an interval of two weeks between collections.

論文 (Original article)

Comparison of baits and types of pitfall traps for capturing dung and carrion scarabaeoid beetles in East Kalimantan

Akira UEDA^{1)*}, Dhian DWIBADRA²⁾, Woro A. NOERDJITO³⁾,
Masahiro KON⁴⁾ and Kenji FUKUYAMA⁵⁾

Abstract

To contribute to develop a standardized, quantitative protocol for sampling coprophagous scarabaeoid beetle communities, we carried out a study in lowland of East Kalimantan, Indonesia to examine different bait and pitfall equipment. First, we checked pitfall trap captures with cow dung, human feces, raw fish meat, and dried fishes as baits on the fourth and eighth day after trap installation. Next, we set pitfall traps with different sizes of holes perforated through the container of human feces and raw fish meat as baits, and we also set pitfall traps upon which the sheets were laid to intercept the flying beetles. We checked trap captures every day up to the fifth day after trap installation. As the results, the numbers of species and individuals captured were larger on human feces and raw fish meat, and those in the first four days on cow dung, human feces, and raw fish meat were smaller than those in the successive four days. Hole size did not affect trap captures, but the flight interceptive sheets increased the numbers of species captured. The numbers of species and individuals captured on human feces were decreased on the third day after trap installation, but those on raw fish meat were abundant up to the fifth day except for the first day. Our results recommended using the flight intercept pitfall trap baited with human feces and raw fish meat and the trap periods of at least three and five days after trap installation for human feces and raw fish meat, respectively.

Key words : bait, Borneo, coprophagous, flight interceptive trap, pitfall trap

1. Introduction

Coprophagous scarabaeoid beetles are known to be a superior indicator of habitat quality and environmental change in forests and the surrounding environments of tropical regions (Davis et al. 2001, McGeoch et al. 2002, Aguilar-Amuchastegui and Henebry 2007, Nichols and Gardner 2011). This beetle group is also known to be relatively easier to sample and identify compared with the vast majority of other insect groups (Spector 2006). For example, in a study carried out in an area of primary rainforest in Brazilian Amazonia, the sampling cost for these beetles was cheapest compared to the costs for 14 other taxa sampled and was second in terms of indicator performance only to birds (Gardner et al. 2008a, Nichols and Gardner 2011). As a result, at least 19 studies concerning the response of these beetles to tropical forest modification and fragmentation have been performed throughout the world (Nichols et al. 2007). These beetles also serve important ecological functions, such as promoting the rapid decomposition of dung and carcasses, as well as influencing nutrient cycling, bioturbation, plant growth enhancement, secondary seed dispersal, and parasite control (Nichols et al. 2008).

To sample these beetles baited pitfall trap have been largely used in the world. About kinds of baits used in tropical region, cattle dung was used as bait in some studies (Doubé 1983, Horgan 2002, 2007, Horgan and Fuentes 2005, Shahabuddin et al. 2005, Andresen 2005, 2008), but human feces is more commonly used than cattle dung (Hanski 1983, Klein 1989, Nummelin and Hanski 1989, Hanski and Krikken 1991, Holloway et al. 1992, Kikuta et al. 1997, Davis 2000a, Davis et al. 2000, 2001, Halffter and Arellano 2002, Vulinec 2002, Feer and Hingrat 2005, Scheffler 2005, Aguilar-Amuchastegui and Henebry 2007, Navarrete and Halffter 2008, Gardner et al. 2008b, Vulinec et al. 2008, Vieira et al. 2008, Edwards et al. 2011). Alternative baits to cattle dung and human feces used in other studies include the dung of monkey, pig, horse, dog, elephant, wallaby, and coati (Estrada et al. 1993, 1998, Hill 1996, McGeoch et al. 2002, Estrada and Coetes-Estrada 2002, Andresen 2003, Boonrotpong et al. 2004, Horgan 2005, Vieira et al. 2008). Many coprophagous scarabaeoid beetles are also known to be attracted by decaying organisms (carrion), and some species specialize on decaying organisms. Therefore, many studies have also used traps baited with decaying organisms in addition to the traps baited with excrement. The most

Received 28 March 2014, Accepted 1 December 2014

1) Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Research Center for Biology, Indonesian Institute of Sciences (Present address: School of Agriculture, Hokkaido University)

3) Research Center for Biology, Indonesian Institute of Sciences

4) School of Environment Science, The University of Shiga Prefecture (Present address: Pressance Kyodaihigashi 406, Nishidacho 116-3, Jodoji, Sakyo-ku, Kyoto 606-8417, Japan)

5) FFPRI (Present address: Minami 1-21-17, Ushiku, Ibaraki 300-1222, Japan)

* Kyushu Research Center, FFPRI, 4-11-16 Kurokami, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862 JAPAN; e-mail: akira@ffpri.affrc.go.jp

common carrion used as bait is fish meat (Hanski 1983, Hanski and Krikken 1991, Holloway et al. 1992, Kikuta et al. 1997, Davis and Sutton 1998, Navarrete and Halfpeter 2008), although some studies have also used decaying squid, beef, deer meat, birds, rats, liver, fruits, fruiting bodies of fungi, frogs, insects, and even millipedes (Hanski 1983, Klein 1989, Hill 1996, Halfpeter and Arellano 2002, Andresen 2005, 2008, Larsen et al. 2006).

Human feces and fish meat are more popular now than other baits as mentioned above but there are few studies that compare the beetles lured and captured by different baits. In the past study, traps baited with human feces captured 5 times more individuals and over two times more species of dung beetles than traps with cow dung in tropical forests in Peru (Larsen et al. 2006). Human feces also captured over twice as many individuals per trap as cow dung in a tropical forest in El Salvador, although cow dung captured nearly 4 times more beetles than human feces in pastures (Horgan 2007). Other than cattle dung, human feces captured more individuals than both monkey and horse dung (Howden and Nealis 1975, Vieira et al. 2008) and there was no difference in numbers of species and individuals caught using pig dung in neotropical forests (Horgan 2005). About decaying organisms fish meat (in the literature wrote as “large fish meat”) captured more individuals than bird meat, rat meat, and rotting fruit in a forest of Sulawesi, Indonesia (Hanski and Krikken 1991). Vertebrate carrion (total data using lizards, chicken, fish, rodents, frogs, snakes, and an opossum) captured more individuals than invertebrate carrion (total data using grasshoppers, beetles, millipedes, caterpillars, and cockroaches), fruiting bodies of fungus, rotting fruits, and live millipede in various environments including forests and grasslands in Peru (Larsen et al. 2006).

The size of the bait used in traps also affects the capture of the beetles. Peck and Howden (1984) captured about 20 times more individuals by a trap using 200 ml of human feces compared with a trap baited with only 2 ml of human feces. This result suggests that the quantity of odor emitted from bait may further affect the capture of the beetles.

To develop a standardized, quantitative protocol for sampling coprophagous scarabaeoid beetle communities, we studied different baits and pitfall trap setups in Borneo, Indonesia. First, we compared the attractiveness of cow dung and human feces for beetles using baited pitfall traps in grasslands, plantations, and a natural forest. Additionally, we evaluated the use of dried fish as bait, as it is easier to store and treat than raw fish meat and compared its efficiency with raw fish meat. In our study, we also compared the beetle captures in traps that had different size of holes perforated to evaporate odor through a container

of bait because the different size of holes might cause the different quantity of odor from the traps, because hole size perforated through a container of insect attractant affects the volume of attractant evaporated (Zang and Schlyter 2003). Additionally, we used a baited flight-intercept pitfall trap that we developed so that the trap could function as both a baited pitfall trap and a flight intercept trap (FIT), and determined if the captures were superior to that of the ordinary baited pitfall traps, because FIT has been used singly or additionally with baited pitfall traps to survey coprophagous scarabaeoid beetle communities (Hanski and Krikken 1991, Davis 2000a, 2000b, Davis et al. 2000, 2001).

2. Methods

2.1 Study sites

In 2005, we selected three *Acacia mangium* plantations with different ages located 10 to 30 km north of Balikpapan in the lowlands of East Kalimantan, Indonesia. *A. mangium* is one of the most common fast-growing tree species used for plantations in the anthropogenic areas of tropical Asia. Ages of the three plantations were 4-years old (“Plantation 4 yrs”: S1°03'34, E116°55'01, 60 m asl.), 7-years old (“Plantation 7 yrs”: S1°04'46, E116°54'11, 48 m asl.), and 10-years old (“Plantation 10 yrs”: S1°10'10, E116°54'41, 26 m asl.). Four and 7-year old plantations were paired with adjacent study sites in the *Imperata cylindrical* (local name ‘Alang-alang’) grasslands (“Grassland A” and “Grassland B”) and each grassland site was at least 100 m away from the edge of a plantation. *Imperata cylindrical* distributes widely in post-deforested, burned areas of tropical Asia. An intact natural forest site (“Intact forest”: S1°08'21, E116°50'06, 40 m asl.) was also selected at the place 200 m inside from the edge of the large forest of the Sungai Wain Forest Reserve. This area had not been disturbed over the past 50 years by selective logging, forest fires or other cases.

In 2006, surveys were again conducted at the 5-years old plantation (“Plantation 5 yrs”) that grew a year older from 2005, ‘Grassland A’, and “Intact forest”.

2.2 Comparison among baits in 2005

Baited pitfall traps were used to capture the beetles. For pitfall traps, a plastic cup (8.4 cm in open diameter, 5.6 cm in minimum diameter, and 12.2-cm high) was driven into the ground with its opening level with the ground surface. A white plastic bowl (ceiling: 14 cm in diameter and 4-cm high with 3 windows on the lateral side) was placed upside down and laid over the cup, and a small stone or a twig was laid on the bowl as a weight (Fig. 1). Each trap contained a 50-ml glass bottle (4.3 cm in diameter and 8.0-cm high) with a perforated lid (having five holes, each

3 mm in diameter) that was baited to attract beetles (Fig. 1). As baits we used cow dung (30g) dropped in between the past 12 and 30 hours, human feces (5 g) dropped in between the past 24 and 30 hours, fresh raw jack fish meat (20 g), and eight dried fish with about 5 cm in length (about 10 g). A cut nylon net (with a 0.5-mm mesh) was placed between the lid and bottle to prevent small beetles from entering. The traps also contained 50 ml of a 0.1 % solution of both sodium benzoate and neutral detergent to kill and preserve the beetles collected.

At each site, we made 5 plots with 10 m square. The plots were separated at least 70 m each other because intervals of at least 50 m between plots were needed to minimize interference between traps having same baits (Larsen and Forsyth 2005). We set up a pit fall trap on the corner of each study plot (4 traps with different baits per plot). All traps were set up on 27 December 2005 and beetles were collected on the fourth day (31 December 2005) and the solution changed without replacing the baits. All trappings were finished on the eighth day (4 January 2006).

2.3 Comparison among trap types in 2006

Three types of pitfall traps were used to capture the beetles. Two types of baited pitfall traps used the same cup, bottle, and bowl with 2005. One of the two types had the same lid with 2005 (having five holes, each 3 mm in diameter): a baited pitfall trap with small holes (PS). Another type had a lid with six holes, each 5 mm in diameter: a baited pitfall trap with large holes (PL). Additionally, flight-intercept pitfall (FP) traps were used to collect the beetles. For FP traps, two B5-size transparent plastic sheets that crossed each other were then laid over the

cup, upon which a plastic bowl (ceiling: 20 cm in diameter and 5-cm high) was placed upside down (Fig. 2). The same lid of the bottle with PL was used for FP. Fresh human feces (10 g) dropped within 6 hours and fresh raw jack fish meat (30 g) were used as bait. A cut nylon net (with a 0.5-mm mesh) was placed between the lid and bottle to prevent small beetles from entering. The traps did not contain any solution so as to collect mites on the body surface of the living beetles for another study before killing. For each trap type at each site (PS, PL, and FP), 6 traps were baited with human feces and 6 with fish meat. Overall, there were 36 traps (3 types of trap * 2 types of bait * 6 traps) set up with 10 m distance between traps randomly along the transect through each site. Captured beetles were removed daily without replacement of bait. Collection was done for 5 days in 4 - 9 August 2006 in the intact natural forest and in 5 - 10 August 2006 in both the plantation and the grassland.

2.4 Identification and storage of specimen

All beetles captured in the present study were dried on absorbent cotton and identified with using a binocular (Nikon Nature Scope). Some beetles were pinned and sent to Dr. Teruo Ochi of Toyono-cho, Toyono-gun, Osaka Prefecture, Japan who helped identification. All beetles are stored in the insect specimen room of Research Center for Biology, Indonesian Institute of Science (LIPI), Cibinong, Indonesia.

2.5 Data analysis

For data in 2005 the numbers of both species and individuals were compared among four kinds of baits. Generalized linear mixed model (GLMM) analyses with a negative binomial error structure incorporating differences



Fig. 1. A pitfall trap containing a baited glass bottle with a perforated lid having five holes, each 3 mm in diameter. The right photograph shows the trap without its ceiling.



Fig. 2. A flight intercept pitfall trap containing a baited glass bottle with a perforated lid having six holes, each 5 mm in diameter.

of site and plot as random effects were done to compare the numbers of species and individuals. Tukey's test was used to examine the differences in the numbers of species and individuals captured among baits.

For data in 2006 the numbers of both species and individuals were compared between two kinds of baits and among three types of pitfall traps. Generalized linear model (GLM) analyses with a negative binomial error structure incorporating difference of site as a random effect were done to compare the numbers of species and individuals. Tukey's test was used to examine the differences in the numbers of species and individuals captured among trap types.

For GLMM, GLM and Tukey's test, the `glmmadmb` function of `glmmADMB` package, the `glm.nb` function of `MASS` package, and the `glht` function of `multcomp` package were used, respectively, in R 3.1.1 (R Core Team 2014).

3. Results

3.1 Comparison among baits in 2005

Because a trap baited with raw fish meat in both the 'Plantation 4 yrs' and 'Grassland A' sites was disturbed in a plot by an unidentified vertebrate, all data from this plot were deleted from analyses. Since females of two

Catharsius species (*C. dayacus* and *C. renaudpauliani*) were difficult to distinguish from each other, the data on these two species were combined as *Catharsius* spp.

A total of 26 species and 1,297 individuals of dung and carrion scarabaeoid beetles was captured (Table 1). The numbers of both species and individuals captured by cow dung were significantly smaller than those by the other three baits (Fig. 3). The number of individuals captured by dried fishes was also significantly smaller than that by raw fish meat (Fig. 3). In the respective vegetation types, the numbers of both species and individuals captured by cow dung and dried fish were not smaller than those by human feces and raw fish meat in the two grasslands (Figs. 4 and 5). However, in three plantations and an intact forest the numbers of both species and individuals captured by cow dung and dried fish were relatively smaller than those by human feces and raw fish meat except for the number of species captured by dried fish in "Plantation 4 yrs" (Figs. 4 and 5).

The total number of species did not diminish largely from the first 4 days to the next 4 days after trap installation (reduction rates from the first 4 days: 18-36%), except in treatments using cow dung (reduction rate: 63%) (Table 2). On the contrary, the total number of individuals declined largely from the first 4 day to the next 4 days after trap installation (reduction rates: 59-82%) with the exception of dried fish treatment (reduction rate: 32%) (Table 2).

3.2 Comparison among trap types in 2006

A total of 34 species and 2,338 individuals of dung and carrion scarabaeoid beetles was captured (Table 3). The numbers of both species and individuals were not significantly different between baits (Fig. 6). The number of species captured by FP traps was significantly larger than those by PS and PL traps but the number of individuals was not significantly different among trap types (Fig. 6).

In the respective sites, the number of species captured by FP traps was relatively larger than those by PS and PL traps in the plantation and the intact forest except for bait with raw fish meat in the intact forest, but it did not differ among trap types in the grassland (Fig. 7). The number of individuals captured by FP traps was relatively larger than those by PS and PL traps in the bait of human feces in the intact forest (Fig. 7). This difference was occurred by the species that were apparently abundant on FP traps such as *Catharsius* spp., *Onthophagus incisus*, and *O. waterstradti* (Table 3).

The total numbers of species and individuals captured with human feces declined on the third and fourth days after trap installation (Fig. 8). The numbers of species and individuals captured with raw fish meat were relatively stable, except for on the first day after installation (Fig. 8).

Table 1. Total number of scarabaeoid dung and carrion beetles captured by pitfall traps with different baits in 2005

Species	Bait ^a			
	CD	HF	RF	DF
<i>Phaeocroops</i> sp.	0	0	2	0
<i>Ochicanton woroae</i>	2	4	6	6
<i>Panelus bakeri</i> ?	50	44	17	88
<i>Catharsius</i> sp.	0	0	1	0
<i>Onthophagus aurifex</i>	0	2	24	3
<i>Onthophagus batillifer</i>	0	2	0	0
<i>Onthophagus bonorae</i>	2	51	188	9
<i>Onthophagus bornensis</i>	0	3	0	1
<i>Onthophagus discedens</i>	0	0	1	1
<i>Onthophagus dux</i>	0	10	37	7
<i>Onthophagus incisus</i>	0	8	0	2
<i>Onthophagus lilliputanus</i>	51	111	64	99
<i>Onthophagus limbatus</i>	0	1	4	0
<i>Onthophagus obscurior</i>	0	0	1	0
<i>Onthophagus ochromerus</i>	0	1	0	0
<i>Onthophagus pacificus</i>	1	0	0	0
<i>Onthophagus pastillatus</i>	1	1	0	2
<i>Onthophagus rudis</i>	0	0	5	0
<i>Onthophagus schwaneri</i>	0	0	1	0
<i>Onthophagus semiaureus</i>	0	2	23	1
<i>Onthophagus semicupreus</i>	2	48	187	10
<i>Onthophagus trituber</i>	0	4	25	6
<i>Onthophagus uedai</i>	7	12	14	14
<i>Onthophagus vulpes</i>	0	0	1	0
<i>Onthophagus waterstradti</i>	0	5	16	2
<i>Onthophagus</i> sp. 1	0	8	13	6

^aCD: cow dung, HF: human feces, RF: raw fish meat, DF: dried fish

Table 2. Total numbers of species and individuals captured with each bait in 4 days and from 5 to 8 days after trap installation in 2005

	First 4 days	Successive 4 days	Reduction rate
	(a)	(b)	(%)
			(a-b)/a
Number of species			
Cow dung	8	3 (0)	62.5
Human feces	16	11 (2)	31.3
Raw fish meat	17	14 (3)	17.6
Dried fish	14	9 (2)	35.7
Number of individuals			
Cow dung	82	34	58.5
Human feces	240	77	67.9
Raw fish meat	533	97	81.8
Dried fish	153	104	32.0

Parenthesized number indicates the number of species absent in the first 4 days.

Table 3. Total number of scarabaeoid dung and carrion beetles captured by different types of pitfall traps baited with human feces and raw fish meat in 2006

Species name	Human feces			Raw fish meat		
	PS ^a	PL ^b	FP ^c	PS	PL	FP
<i>Phaeochrous emarginatus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Phaeocroops</i> sp.	0	1	0	1	0	1
<i>Ochicanton woroae</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Panelus bakeri</i> ?	16	19	10	1	3	6
<i>Paragymnopleurus maurus</i>	26	23	12	0	0	0
<i>Sisyphus thoracicus</i>	0	4	5	0	0	0
<i>Catharsius</i> spp.	16	16	34	0	4	3
<i>Onthophagus aphodioides</i>	0	0	5	0	0	0
<i>Onthophagus aurifex</i>	0	0	1	3	1	6
<i>Onthophagus bonorae</i>	2	1	2	13	10	8
<i>Onthophagus borneensis</i>	9	2	6	0	0	0
<i>Onthophagus cervicapra</i>	2	2	9	0	0	0
<i>Onthophagus dux</i>	1	3	2	8	7	6
<i>Onthophagus fujiii</i>	0	0	1	1	0	5
<i>Onthophagus incisus</i>	17	15	62	0	0	17
<i>Onthophagus johkii</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Onthophagus lilliputanus</i>	7	10	6	1	2	1
<i>Onthophagus limbatus</i>	0	2	2	0	0	1
<i>Onthophagus obscurior</i>	0	0	3	1	0	2
<i>Onthophagus pacificus</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Onthophagus pastillatus</i>	2	1	7	0	0	0
<i>Onthophagus rudis</i>	0	0	3	6	2	14
<i>Onthophagus schwaneri</i>	0	7	31	0	7	21
<i>Onthophagus semiaureus</i>	0	2	5	11	9	5
<i>Onthophagus semicupreus</i>	42	63	71	570	371	381
<i>Onthophagus trituber</i>	4	12	8	0	1	1
<i>Onthophagus uedai</i>	3	5	2	0	0	0
<i>Onthophagus vulpes</i>	14	6	8	0	0	0
<i>Onthophagus waterstradti</i>	42	21	90	2	1	2
<i>Onthophagus</i> sp. 1	0	0	0	0	1	0
<i>Onthophagus</i> sp. 2	2	1	4	1	0	0
<i>Onthophagus</i> sp. 3	1	0	0	0	0	0
<i>Onthophagus</i> sp. 4	1	0	0	0	0	0
<i>Aphodius</i> sp.	1	0	0	0	0	0

^aPitfall trap containing a baited glass bottle with a perforated lid having five holes, each 3 mm in diameter.

^bPitfall trap containing a baited glass bottle with a perforated lid having six holes, each 5 mm in diameter.

^cFright intercept pitfall trap containing a baited glass bottle with a perforated lid having six holes, each 5 mm in diameter.

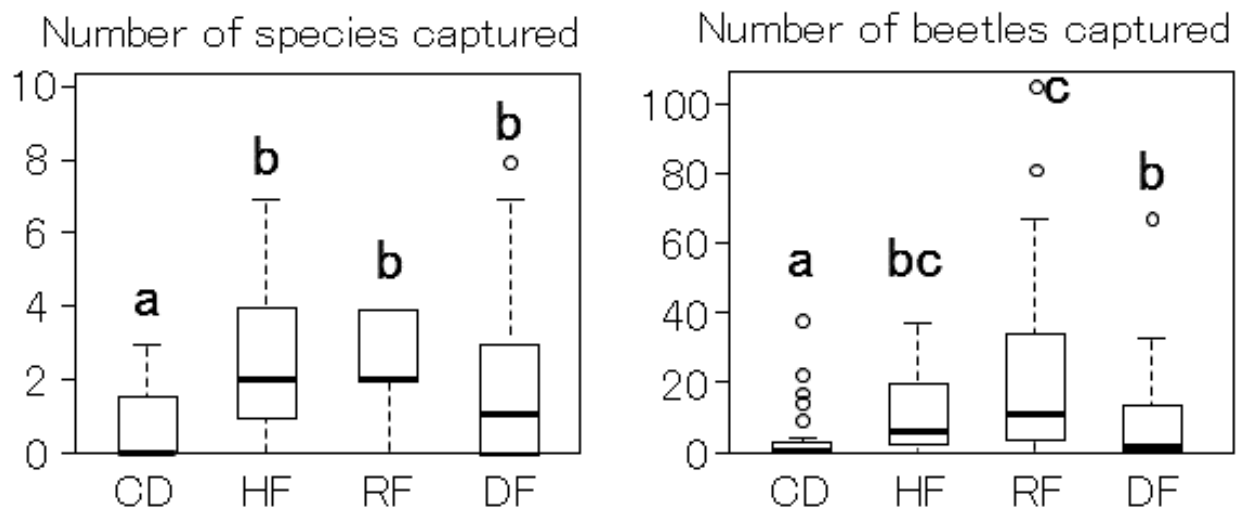


Fig. 3. The number of beetle species (left figure) and individuals (right figure) captured by pitfall traps with different baits surveyed in 2005. CD: cow dung, HF: human feces, RF: raw fish meat, DF: dried fish. Boxes and thick horizontal lines illustrate the interquartile range (lower limit: 25th percentile; upper limit: 75th percentile) and the median value (50th percentile), respectively. Bottom and top whiskers depict the lowest and highest values. Circles in the figures indicate the value of an outlier (lying over 2 times of the box length above the 75th percentile). Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

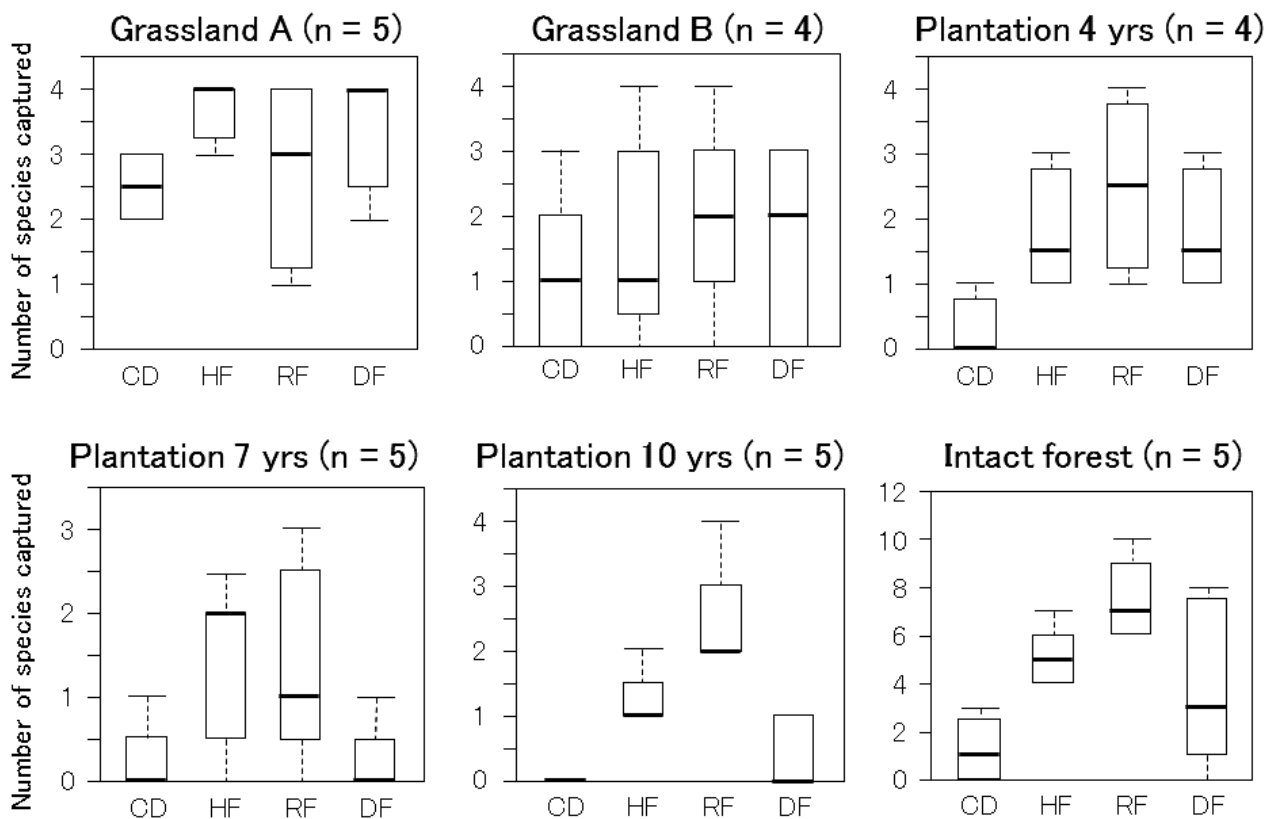


Fig. 4. The number of beetle species captured by pitfall traps with different baits at each site surveyed in 2005. Abbreviations, an asterisk, boxes, thick horizontal lines, and whiskers are the same with Fig. 3.

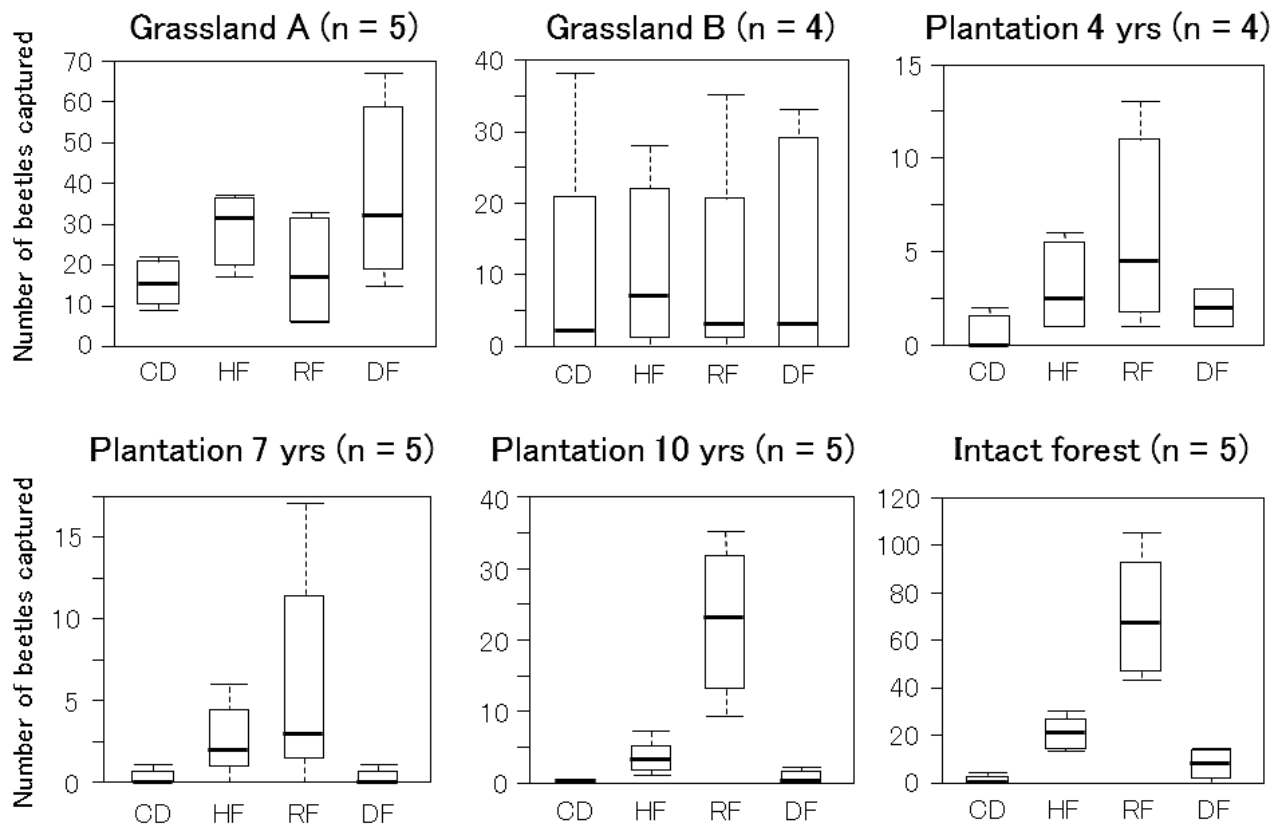


Fig. 5. The number of individual beetles captured by pitfall traps with different baits surveyed in 2005. Abbreviations, an asterisk, boxes, thick horizontal lines, and whiskers are the same with Fig. 3.

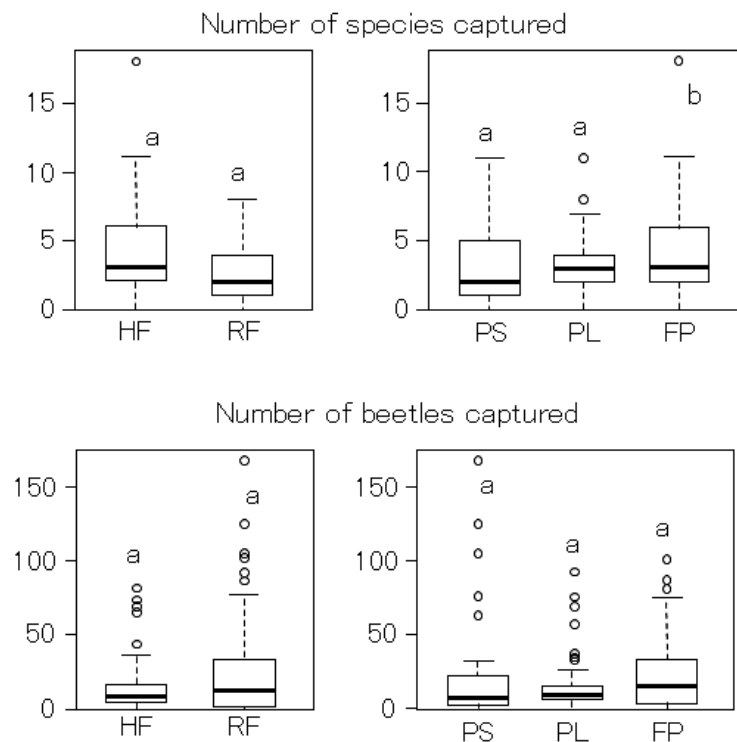


Fig. 6. The numbers of beetle species (upper figures) and individuals (lower figures) captured by different types of pitfall traps baited with human feces and raw fish meat surveyed in 2006. Abbreviations for baits and different types of pitfall traps are the same with Fig. 3 and Table 3, respectively. Boxes, thick horizontal lines, whiskers, circles, and letters are the same with Fig. 3.

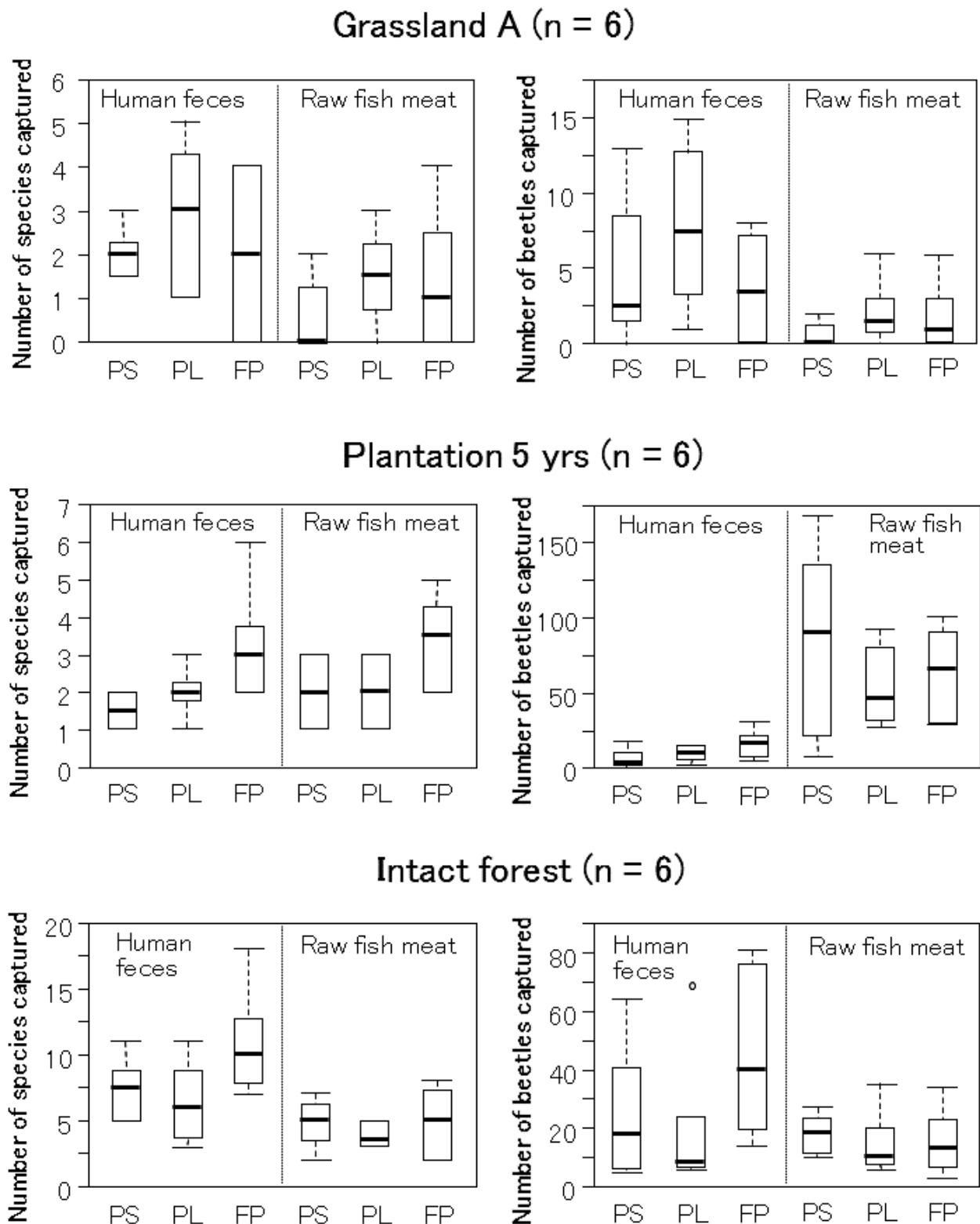


Fig. 7. The numbers of beetle species (left figures) and individuals (right figures) captured by different types of pitfall traps baited with human feces and raw fish meat at each site surveyed in 2006. Abbreviations for different types of pitfall traps are the same with Table 3. Boxes, thick horizontal lines, whiskers, and a circle are the same with Fig. 3.

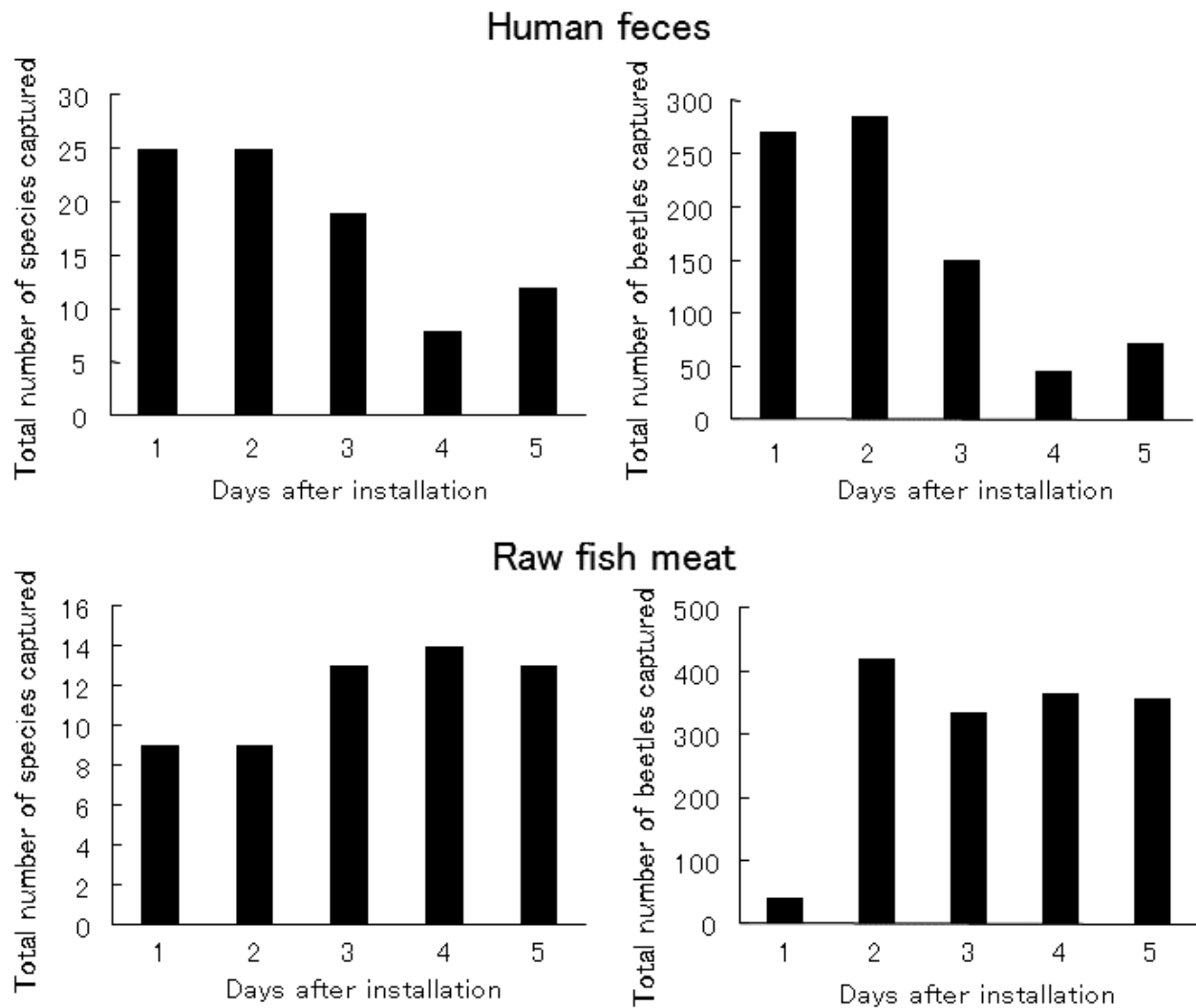


Fig. 8. Daily total numbers of beetle species (left figures) and individuals (right figures) captured by pitfall traps baited with human feces (upper figures) and raw fish meat (lower figures) in 2006.

4. Discussion

4.1 Comparison among baits in 2005

In comparison between cow dung and human feces in the present study, the numbers of both species and individuals of beetles captured were significantly higher for traps baited with human feces than with cow dung (Fig. 3); however those captured with cow dung did not differ from those captured with human feces in the grasslands (Figs. 4 and 5). This result is almost the same as has been found in neotropical regions (Larsen et al. 2006, Horgan 2007). Fourteen species were captured more individuals with human feces than with cow dung, whereas just two species were captured more individuals with cow dung than human feces (Table 1). These results suggest that it may be beneficial to use human feces as bait to collect dung beetles in the lowland of Borneo rather than cow dung. Although pig dung also lured an abundance of beetles, as did human feces in neotropical region (Horgan 2005), further study in South-East Asia is needed to clarify the attractiveness of pig dung relative to human feces.

In comparison between raw fish meat and dried fish, the number of individuals captured was higher in traps baited with raw fish meat compared with those with dried fish (Fig. 3). In the three plantations and the intact forest, the number of individuals captured by raw fish meat was relatively higher than those by dried fish (Figs. 4 and 5). Fifteen species were captured more individuals with raw fish meat than with dried fish, whereas just 5 species were captured more individuals with dried fish than with raw fish meat (Table 1). These results supported the idea of using raw fish meat as bait to collect carrion beetles in the lowland of Borneo.

It has been shown that many coprophagous scarabaeoid beetles are lured by both dung and carrion (Hanski 1983, 1989, Hanski and Krikken 1991, Hill 1996, Kikuta et al. 1997, Andresen 2005, 2008, Navarrete and Halfpeter 2008). In the present study, we also found that there were many species captured with both dung (cow dung and/or human feces) and carrion (raw fish meat and/or dried fish) (Table 1). This was also observed in 2006 (Table 3, Fig. 6). However, there were some species that clearly preferred dung (ex. *Onthophagus incisus*) as well as those preferred carrion (ex. *Onthophagus aurifex*) (Table 1). These results indicate that using both human feces and raw fish meat as bait for sampling coprophagous scarabaeoid beetle communities may be effective in the lowland of Borneo.

4.2 Comparison among trap types in 2006

It has been shown that the large bait in size captured larger number of beetles than the small bait (Peck and

Howden 1984), which suggests that the quantity of odor from bait affects the capture of beetles. In our study, we compared the beetle captures in traps that had different size of holes perforated through the lid to see if this influenced the attractiveness of the traps because the different size of holes might cause the different quantity of odor from the traps. We found, however, that there were no differences between PS and PL on the numbers of both species and individuals (Fig 6), indicating that the size of hole did not affect trap catches. This result suggests that there is no need to be concerned about hole size perforated to evaporate odor through a container of bait in traps.

In our newly developed FP traps we captured significantly higher number of species than we did in the PS and PL traps (Fig. 6). Similar trends were also observed on the number of individuals in the traps baited with human feces in the intact forest (Fig. 7). These were occurred by some species apparently abundant on FP traps (Table 3). From these results, we can conclude that the baited flight intercept pitfall trap is a useful tool to survey the coprophagous scarabaeoid beetle communities in the lowland of Borneo.

4.3 Trapping period

In 2005, we used human feces dropped 24 to 30 hours before, and the total number of individuals captured with human feces declined largely from the first 4 day to the next 4 days after trap installation (Table 2). In 2006, we used fresh human feces within 6 hours after dropping, the total numbers of both species and individuals captured with human feces decreased on the third and fourth days after installation (Fig. 8). These results indicate that human feces must be used as bait as soon as possible after dropping and the trapping should last at least 3 days after installation. On the contrary, our results in 2006 showed that raw fish meat decayed for one day was the best for bait and the attractiveness continues at least up to the fifth day (Fig. 8). However, the attractiveness of decaying fish did not continue for long. Our result in 2005 showed that number of beetles captured by raw fish meat in the first 4 days was much higher than the number in the successive 4 days, with captures that were similar in number to traps using human feces (Table 2). This result suggests that the attractiveness of decaying fish might decrease after the sixth day from installation. Moreover, few species preferred the aged fish meat because 11 of 14 species captured in the successive 4 days with raw fish meat were captured also in the first 4 days (Table 2). Therefore, we can use fresh raw fish meat as bait without decaying if the trapping period is more than 5 days.

Three *Onthophagus* species (*O. trituber*, *O. uedai*, and *O. waterstradti*) were more abundant on raw fish meat than on human feces in 2005 but they were abundant on human feces and relatively rare on raw fish meat in 2006 (Table 1 and 3). Our results from 2007 to 2008 (unpubl. data) showed the same trend as in 2006. In 2006, 81% of these three species were captured in 2 days after trap installation. These three species might have preferred the odor from decaying fish meat to the odor of aged human feces in 2005, although they generally preferred the odor of fresh human feces to the odor of decaying fish meat.

Acknowledgement

We wish to thank Teruo Ochi (of Toyono-cho) who helped identifying the specimens, Kazuma Matsumoto (of FFPRI's Tohoku Res. Ctr.), Hiroshi Makihara (of FFPRI), Masahiko Tokoro (of FFPRI), and Kaoru Maeto (of Kobe University), who advised us to conduct this study, Hiroki Ito of FFPRI for his help in the statistical analyses, Rob Johns of Atlantic Forestry Centre, Canadian Forest Service for his review of the manuscript, the late Herwint Simbolon of the Indonesian Institute of Science (LIPI), Sugiarto and Chandra Boer of Tropical Forest Research Center, Mulawarman University (PPHT, UNMUL), Agustin and Agus of the Sungai Wain Forest Reserve, and the people of Sungai Wain Village, who helped us to conduct the field work. This study was supported by grants from Japan's Ministry of the Environment (Global Environmental Research Account by National Institute, 2004–2008), and from JSPS KAKENHI (Grant Number 26304028).

Reference

- Aguilar-Amuchastegui, N. and Henebry, G. M. (2007) Assessing sustainability indicators for tropical forests: Spatio-temporal heterogeneity, logging intensity, and dung beetle communities. *For. Ecol. Manage.*, 253, 56–67.
- Andresen, E. (2003) Effect of fragmentation on dung beetle communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography*, 26, 87–97.
- Andresen, E. (2005) Effects of season and vegetation type on community organization of dung beetles in a tropical dry forest. *Biotropica*, 37, 291–300.
- Andresen, E. (2008) Dung beetle assemblages in primary forest and disturbed habitats in a tropical dry landscape in western Mexico. *J. Insect. Conserv.*, 12, 639–650.
- Boonrotpong, S., Sotthibandhu, A. and Pholpunthin, C. (2004) Species composition of dung beetles in the primary and secondary forests at Ton Nga Chang wildlife sanctuary. *ScienceAsia*, 30, 59–65.
- Davis, A. J. (2000a) Species richness of dung-feeding beetles (Coleoptera, Aphodiinae, Scarabaeidae, Hybosoridae) in tropical rainforest at Danum Valley, Sabah, Malaysia. *Col. Bull.*, 54, 221–231.
- Davis, A. J. (2000b) Does reduced-impact logging help preserve biodiversity in tropical rainforests? A case study from Borneo using dung beetle (Coleoptera, Scarabaeoidea) as indicators. *Environ. Entomol.*, 29, 467–475.
- Davis, A. J. and Sutton, S. L. (1998) The effects of rainforest canopy loss on arboreal dung beetles in Borneo, implications for the measurement of biodiversity in derived tropical ecosystems. *Diver. Distribut.*, 4, 167–173.
- Davis, A. J., Huijbregts, H. and Krikken, J. (2000) The role of local and regional processes in shaping dung beetle communities in tropical forest plantations in Borneo. *Global Ecol. Biogeography*, 9, 281–292.
- Davis, A. J., Holloway, J. D., Huijbregts, H., Krikken, J., Kirk-Spriggs, A. H. and Sutton, S. L. (2001) Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. *J. Appl. Ecol.*, 38, 593–616.
- Doube, B. M. (1983) The habitat preference of some bovine dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) in Hluhluwe Game Reserve, South Africa. *Bull. Ent. Res.*, 73, 357–371.
- Edwards, D. P., Larsen, T. H., Docherty, T. D. S., Ansell, F. A., Hsu, W. W., Derhé, M. A., Hamer, K. C. and Wilcove, D. S. (2011) Degraded lands worth protecting, the biological importance of Southeast Asia's repeatedly logged forests. *Proc. R. Soc. B*, 278, 82–90.
- Estrada, A. and Coates-Estrada, R. (2002) Dung beetles in continuous forest, forest fragments and in an agricultural mosaic habitat island at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiv. Conserv.*, 11, 1903–1918.
- Estrada, A., Halfpeter, G., Coates-Estrada, R. and Meritt Jr, D. A. (1993) Dung beetles attracted to mammalian herbivore (*Aluatta palliata*) and omnivore (*Nasua narica*) dung in the tropical rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *J. Trop. Ecol.*, 9, 45–54.
- Estrada, A., Coates-Estrada, R., Dadda, A. A. and Cammarano, P. (1998) Dung and carrion beetles in tropical rain forest fragments and agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *J. Trop. Ecol.*, 14, 577–593.
- Feer, F. and Hingrat, Y. (2005) Effects of forest fragmentation on a dung beetle community in French Guiana. *Conserv. Biol.*, 19, 1103–1112.
- Gardner, T. A., Barlow, J. and the other 22 authors (2008a)

- The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecol. Lett.*, 11, 139-150.
- Gardner, T.A., Hernández, M.I.M., Barlow, J. and Peres, C.A. (2008b) Understanding the biodiversity consequences of habitat change, the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. *J. Appl. Ecol.*, 45, 883-893.
- Halffter, G. and Arellano, L. (2002) Response of dung beetle diversity to human-induced changes in a tropical landscape. *Biotropica*, 34, 144-154.
- Hanski, I. (1983) Distributional ecology and abundance of dung and carrion-feeding beetles (Scarabaeidae) in tropical rain forests in Sarawak, Borneo. *Acta Zool. Fennica*, 167, 1-45.
- Hanski, I. (1989) Dung beetles. In Lieth, H. and Werger, M. J. A. (eds.) *"Tropical rain forest ecosystems"*. Elsevier Science Publishing Co. Ltd., Amsterdam, 489-511.
- Hanski, I. and Krikken, J. (1991) Dung beetles in tropical forests in South-East Asia. In Hanski, I. and Cambefort, Y. (eds.) *"Dung beetle ecology"*. Princeton Univ. Press, Princeton, 179-197.
- Hill, C. J. (1996) Habitat specificity and food preference of an assemblage of tropical Australian dung beetles. *J. Trop. Ecol.*, 12, 449-460.
- Holloway, J. D., Kirk-Spriggs, A. H. and Khen, C. V. (1992) The response of some forest insect groups to logging and conversion to plantation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 335, 425-436.
- Horgan, F. G. (2002) Shady field boundaries and the colonization of dung by coprophagous beetles in Central American pastures. *Agri. Ecosystems Environ.*, 91, 25-36.
- Horgan, F. G. (2005) Effects of deforestation on diversity, biomass and function of dung beetles on the eastern slopes of Peruvian Andes. *For. Ecol. Manage.*, 216, 117-133.
- Horgan, F. G. (2007) Dung beetles in pasture landscapes of Central America, proliferation of synanthropic species and decline of forest specialists. *Biodivers. Conserv.*, 16, 2149-2165.
- Horgan, F. G. and Fuentes, R. C. (2005) Asymmetrical competition between Neotropical dung beetles and its consequence for assemblage structure. *Ecol. Entomol.*, 30, 182-193.
- Howden, H. F. and Nealis, V. G. (1975) Effects of clearing in a tropical rain forest on the composition of the coprophagous scarab beetle fauna (Coleoptera). *Biotropica*, 7, 77-83.
- Kikuta, T., Gunsalam, G., Kon, M. and Ochi, T. (1997) Altitudinal change of fauna, diversity and food preference of dung and carrion beetles on Mt. Kinabalu, Borneo. *Tropics*, 7, 123-132.
- Klein, B. C. (1989) Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology*, 70, 1715-1725.
- Larsen, T. H. and Forsyth, A. (2005) Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity studies. *Biotropica*, 37, 322-325.
- Larsen, T. H., Lopera, A. and Forsyth, A. (2006) Extreme trophic and habitat specialization by Peruvian dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae). *Col. Bull.*, 60, 315-324.
- McGeoch, M. A., Rensburg, B. J. V. and Botes, A. (2002) The verification and application of bioindicators, a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *J. Appl. Ecol.*, 39, 661-672.
- Navarrete, D. and Halffter, G. (2008) Dung beetle (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) diversity in continuous forest, forest fragments and cattle pastures in a landscape of Chiapas, Mexico, the effects of anthropogenic changes. *Biodivers. Conserv.*, 17, 2869-2898.
- Nichols, E. S. and Gardner, T. A. (2011) Dung beetles as a candidate study taxon in applied biodiversity conservation research. In Simmons, L. W. and Ridsdill-Smith, T. J. (eds.) *"Ecology and evolution of dung beetles"*. Wiley-Blackwell, West Sussex, 267-291.
- Nichols, E., Larsen, T., Spector, S., Davis, A. L., Escobar, F., Favila, M., Vulinec, K. and The Scarabaeinae Research Network (2007) Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation, A quantitative literature review and meta-analysis. *Biol. Conserv.*, 137, 1-19.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S., Favila, M.E. and The Scarabaeinae Research Network (2008) Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141, 1461-1474.
- Nummelin, M. and Hanski, I. (1989) Dung beetles of the Kibale Forest, Uganda; comparison between virgin and managed forests. *J. Trop. Ecol.*, 5, 349-352.
- Peck, S. B. and Howden, H. F. (1984) Response of a dung beetle guild to different sizes of dung bait in a Panamanian rainforest. *Biotropica*, 16, 235-238.
- R Core Team (2014) "R, A language and environment for statistical computing", R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org/>, (accessed 2014-8-13).
- Scheffler, P. Y. (2005) Dung beetle (Coleoptera,

- Scarabaeidae) diversity and community structure across three disturbance in eastern Amazonia. *J. Trop. Ecol.*, 21, 9-19.
- Shahabuddin, Schulze, C.H. and Tschardtke, T. (2005) Change of dung beetle communities from rainforests towards agroforestry systems and cultures in Sulawesi (Indonesia). *Biodiv. Conserv.*, 14, 863–877.
- Spector, S. (2006) Scarabaeine dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae), an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. *Col. Bull. Monograph*, 5, 71-83.
- Vieira, L., Louzada, J. N. C. and Spector, S. (2008) Effects of degradation and replacement of Southern Brazil coastal sandy vegetation on the dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae). *Biotropica*, 40, 719-727.
- Vulinec, K. (2002) Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia. *Biotropica*, 34, 297-309.
- Vulinec, K., Lima, A. P., Carvalho Jr, E. A. R. and Mellow, D. J. (2008) Dung beetles and long-term habitat fragmentation in Alter do Chão, Amazônia, Barazil. *Trop. Conserv. Sci.*, 1, 111-121.
- Zang, Q.-H., Schlyter, F. (2003) Redundancy, synergism, and active inhibitory range of non-host volatiles in reducing pheomone attraction in European spruce bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 101, 299-310.

東カリマンタン州での糞・腐肉食性コガネムシ類捕獲における ベイト間およびピットフォールトラップのタイプ間の比較

上田 明良^{1)*}、ディアン・ドウィバドラ²⁾、ウォロ・ノエルジト³⁾、近 雅博⁴⁾、福山 研二⁵⁾

要 旨

糞食性コガネムシ類群集のサンプリングにおける標準的な定量的捕獲法の開発に寄与することを目的に、インドネシア共和国東カリマンタン州の低地においてベイトとトラップタイプを検討する研究を行った。まず、牛糞、人糞、魚肉、煮干しをベイトにしたピットフォールトラップを用い、4日目と8日目に捕獲虫を回収した。次に、人糞と魚肉をベイトとして、臭いを出すためにベイト容器に開けた穴のサイズが異なるピットフォールトラップと、上に衝突板を立てたピットフォールトラップを5日間設置し、毎日捕獲虫を回収した。その結果、人糞と魚肉で種数と捕獲数が多かった。また、牛糞、人糞、魚肉では最初の4日間に比べて残りの4日間は捕獲数が大きく減少した。穴サイズは捕獲に影響しなかったが、衝突板は種数を増加させた。人糞では3日目以降種数と捕獲数が低下したが、魚肉は、初日を除き5日目まで多かった。以上の結果から、人糞と魚肉をベイトに用いた衝突板付きピットフォールトラップを人糞は最低3日間、魚肉は5日間設置することが推奨された。

キーワード：ベイト、ボルネオ、糞食性、衝突板トラップ、ピットフォールトラップ

原稿受付：平成 26 年 3 月 28 日 原稿受理：平成 26 年 12 月 1 日

1) 森林総合研究所九州支所

2) インドネシア科学院生物学研究所（現住所：北海道大学総合博物館）

3) インドネシア科学院生物学研究所

4) 滋賀県立大学環境科学部（現住所：京都市左京区）

5) 森林総合研究所（現住所：茨城県牛久市）

* 森林総合研究所九州支所 〒 860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 4 丁目 11 番 16 号

論文 (Original article)

Cellulase production by *Trichoderma reesei* in fed-batch cultivation on soda-anthraquinone pulp of the Japanese cedar

Hajime SHIBUYA^{1)*}, Kengo MAGARA²⁾ and Masanobu NOJIRI¹⁾

Abstract

Cellulase production using the soda-anthraquinone (AQ) pulp of Japanese cedar as the carbon source was carried out by *Trichoderma reesei* strain PC-3-7 (ATCC 66589). To avoid the difficulty of stirring the pulp, a fed-batch cultivation system was adopted, characterized due to starting with a low pulp concentration and pulp feeding according to the base supply for pH control. In a laboratory fermenter, the cellulase productivity by fed-batch cultivation on pulp was comparable to that of the batch cultivation on commercial cellulose powder. The fed-batch cultivation system was applied to cellulase production in a 500-L stirred fermenter for large-scale production. The protein concentration, cellulase activity and β -glucosidase activity in the culture medium reached 14.5 mg/mL, 13.6 U/mL and 11.4 U/mL, respectively at 144 h. The hydrolysis experiments performed with soda-AQ pulp as a substrate indicated that the enzyme induced by the pulp hydrolyzed the pulp more efficiently than that induced by the cellulose powder.

Key words :cellulase production, on-site enzyme production, pulp, bioethanol, *Trichoderma reesei*, biorefinery

1. Introduction

Applying lignocellulose hydrolysis to sugars is a critical first step for many potential biomass applications, including the production of bioethanol and other chemicals (Sheehan and Himmel 1999). However, the high enzyme cost limits the industrial use of enzymes for producing soluble sugars, which makes economical enzyme production key to developing enzyme-based biorefinery from lignocellulosic biomass. Since the major cost factor in cellulase production has been estimated as the carbon source (Ryu and Mandels 1980), cellulase production using the lignocellulosic biomass as the carbon source instead of commercial cellulose offers significant scope to reduce the enzyme cost. A series of further costs such as the purchase of the carbon source, storage and transportation can also be omitted using the lignocellulose pretreated on-site. The Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) developed the bioethanol production process from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*); comprising soda-anthraquinone (AQ) pulping and enzymatic saccharification (Nojiri et al. 2008). A pilot plant had been constructed in Kitaakita city, Akita prefecture to verify this process (Forestry Agency 2013). In this plant, enzyme was planted for on-site production via the submerged cultivation of *T. reesei*; using soda-AQ pulp as the carbon source to reduce the enzyme cost.

Many reports have appeared on cellulase production by the submerged cultivation of *T. reesei* using pretreated lignocellulosic biomass as the carbon source. The utilization of these materials is often accompanied by mechanical milling to avoid the difficulty of stirring the culture medium (Gallo et al. 1978, Kawamori et al. 1986, Doppelbauer et al. 1987, Shin et al. 2000, Liming and Xueliang 2004); however, the necessary pulverization of the pretreated material increases the production cost. To maintain sufficient stirring of the culture medium without further treatment, the initial concentration must be reduced and the material fed gradually according to the consumption by the microorganism. Accordingly, when lignocellulose is used as the carbon source, the process of fed-batch cultivation must be adopted for efficient cellulase production.

The fundamental problem of a fed-batch cultivation process to produce cellulase is how to maintain conditions for optimal enzyme productivity (Bailey and Tähtiharju 2003). For example, overfeeding the pulp would result in stagnation of microorganism growth and enzyme production due to insufficient stirring of the culture medium. Conversely, underfeeding would also decrease the enzyme productivity due to exhaustion of the carbon source. Accordingly, it is important to manage the pulp concentration in the culture medium by appropriate feeding to ensure efficient enzyme production by fed-batch cultivation.

Received 12 May 2014, Accepted 4 December 2014

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

2) Department of Biomass Chemistry, FFPRI

* Department of Applied Microbiology, FFPRI, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: bushi@ffpri.affrc.go.jp

In the present work, the pulp feeding protocol based on the pH control was verified using 3-L fermenters to establish the cellulose production process by fed-batch cultivation using soda-AQ pulp as the carbon source. The enzyme productivity was compared to the value obtained by batch cultivation using commercial cellulose powder as the carbon source, while the fed-batch cultivation was applied in cellulose production in a 500-L fermenter for large-scale production.

2. Methods

2.1 Fermentation substrate

Soda-AQ pulp and commercial cellulose powder (Solka Floc 40, International Fiber Corporation, USA) were used as fermentation substrates. The pulp was made from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) chips obtained in Akita prefecture, Japan. The wood chips were cooked under the following conditions in a pilot plant designed by the FFPRI (Forestry agency 2013). The pulping liquor was 3.5–4.1% (w/w) NaOH containing 1,4-dihydro-9,10-dihydroxyanthracene disodium salt, which was equivalent to 0.1% (w/w) on wood, while the liquor-to-wood ratio was 5:1 (w/w). The cooking temperature was maintained at 168–170°C for 3 h. After soda-AQ cooking, the solid pulp was collected and bleached with sodium hypochlorite (about 3% (w/w) on pulp) for 24 h, whereupon the bleaching pulp was fed to a screen and washed. The contents of α -cellulose, hemicellulose (holocellulose – α -cellulose) and lignin were 77, 19 and 2.3% (w/w), respectively.

2.2 Microorganisms

The cellulose production strain, *Trichoderma reesei* PC-3-7 (also designated ATCC66589), was obtained from the American Type Culture Collection, and grown on potato dextrose agar (Difco, Sparks, MD) plates at 28°C for 10 days. The spore plates were stored at 4°C until use.

2.3 Cellulase production in a laboratory jar fermenter

The procedures and media composition used to produce cellulase were essentially from Schell et al. (1990), while the seed culture was typically grown in two stages. In the first-stage culture, a 5 × 5 mm size spore plate was used to inoculate a baffled 300-mL Erlenmeyer flask containing a 100 mL working volume of a medium of Schell et al. (1990), except for 4.2% (w/v) (NH₄)₂SO₄ and 2% (w/v) glucose as the sole carbon source. The flasks were incubated in a temperature-controlled orbital shaker operating at an agitation rate of 200 rpm at 28°C. After 48 h, the first-stage culture was transferred at a 5% (v/v) inoculum level to the

baffled 500-mL shake flask containing a 200 mL working volume of the nutrient medium containing 1% (w/v) soda-AQ pulp or cellulose powder as the sole carbon source. This second-stage flask was incubated for 36–48 h prior to inoculating the production vessel at 5% (v/v).

Batch cultivation was carried out in a 3-L jar fermenter (MDN-3L, B. E. MARUBISHI, Tokyo, Japan) with a working volume of 1.5 L medium containing 106 g of cellulose powder as the sole carbon source supplemented with 0.6% (v/v) Adekanol LG-109 (ADEKA, Tokyo, Japan) as antifoam. The pH was maintained between 4.6 and 4.8 using automatic base and acid additions of 5.0 N ammonia solution and 4.0 M phosphoric acid solution, respectively. The agitation speed and aeration rate were kept at 275 rpm and 1.5 L/min, respectively. The culture was grown for 6 days at 28°C.

In the case of the fed-batch cultivation, 15 g of pulp was used as the carbon source instead of cellulose powder. During the cultivation, the count number corresponding to the run-time of the base supply pump was monitored, while the time course of the count number of the base supply pump was used as an indicator for feeding new pulp. When the base supply frequency declined, sterile pulp (7.5 g) was fed into the fermenter, while the agitation speed and aeration rate were kept at 275 rpm and 1.5 L/min, respectively. The culture was grown for 6 days at 28°C.

2.4 Cellulase production in a pilot plant scale tank

First-stage culture was followed by laboratory-scale cellulase production. After 48 h, the first-stage culture was transferred at a 5% (v/v) inoculum level to two baffled 3-L shake flasks containing a 1.5 L working volume of a nutrient medium containing 15 g pulp as the sole carbon source. The second-stage flasks were then incubated for 36–48 h prior to inoculating the production tank at 1% (v/v).

A 500-L stirred-tank fermenter with a working volume of 300 L medium containing 2.7 kg pulp as the sole carbon source was used for cellulase production. The pH was maintained between 4.7 and 4.8 using automatic base and acid additions of 4.4 N ammonia solution and 8.0 M phosphoric acid solution, respectively. During the cultivation, the data points for temperature, pH, tank level, and the run-time of base supply pump were recorded every 5 min and the pump data was used as an indicator for feeding new pulp. When the base supply pump did not work for more than 15 min, sterile pulp (1.3–1.4 kg) was fed into the fermenter. The agitation speed and aeration rate were kept at 207 rpm and 300 L/min, respectively. The culture was grown for 6 days at 28°C.

2.5 Analytical methods

Samples were drawn daily from the fermenters, and centrifuged, and the supernatant was analyzed for enzyme activity and protein content. The cellulase activity was measured using the procedure by Ghose (1987) and expressed in terms of international cellulase activity units as the amount of enzyme that forms 1 μmol reducing sugars as glucose per minute during the hydrolysis reaction. β -Glucosidase was assayed by monitoring the release of *p*-nitrophenol from 1 mM *p*-nitrophenyl- β -D-glucoside in 1.0 mL of 50 mM sodium acetate buffer (pH 4.5) at 50°C. The test tubes containing 0.9 mL reaction mixture were incubated with 0.1 mL of diluted enzyme solution at 50°C for 10 min and 1.0 mL of 0.2 M of sodium carbonate was added to stop the reaction. The post-hydrolysis concentration of *p*-nitrophenol was determined by the absorbance of 400 nm, while the unit of activity was defined as the amount of enzyme liberating 1 μmol of *p*-nitrophenol per minute. The protein concentration in the culture medium was assayed by the Bradford protein assay using γ -globulin as the standard (Bio-Rad, Hercules, CA).

2.6 Adjusting enzyme activity and protein content to account for the change in culture volume

In cases involving significant changes in culture volume, reported performance parameters (such as volumetric productivity and yield) will be subject to major errors if no corrections are made to account for the changed working volume (Hayward et al. 2000). Therefore, measured enzyme activities and protein contents were corrected for volume change by multiplying by the culture volume ratio at the time of the sample (V_t) to the initial culture volume, according to

$$E_c = (V_t / V_0) E_t$$

And where E_c is the corrected enzyme activity or protein content (U/mL or g/L); E_t is the enzyme activity or protein content at time t (U/mL or g/L); V_t is the volume at time t (mL or L); and V_0 is the initial volume (mL or L). In cellulase production using a 500-L fermenter, the tank level monitored during the cultivation was used to correct the enzyme activity and protein content. In a laboratory fermenter, V_t was calculated by adding the total volumes of base and acid added for pH control and pulp feeding (density assumed at 1.0 g/mL) and subtracting the total volumes withdrawn during sampling and the evaporation of the water (the rate of which was assumed to be constant during the cultivation period) at time t .

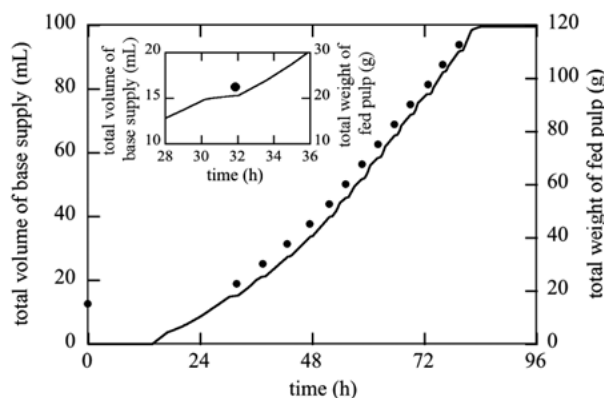


Fig. 1. Time course of base supply and pulp feeding during the fed-batch cultivation in a 3-L laboratory fermenter. A 3-L fermenter (working volume: 1.5 L) was inoculated with 75 mL of a 2-day flask culture of the fungus and cultivated at 28°C. The pH was maintained between 4.6 and 4.8 during the whole culture. The agitation speed and aeration rate were kept at 275 rpm and 1.5 L/min, respectively. The culture was grown for 6 days at 28°C. When the frequency of the base supply (—) declined, sterile pulp was fed into the fermenter (●).

2.7 Estimation of enzymatic hydrolysis

The hydrolysis experiments were performed with 5% (w/w) soda-AQ pulp as a substrate and different enzyme dosage at 50°C, pH 4.8 for 72 h. Culture supernatant of 6 days cultivation medium using pulp or cellulose powder as the carbon source was used as an enzyme. Reducing sugars were determined by the dinitrosalicylic acid method (Ghose 1987) using D-glucose as the standard. The enzymatic hydrolysis yield was calculated as: yield (%) = reducing sugar (g) $\times$ 0.9 $\times$ 100/polysaccharides in substrate (g).

3. Results and Discussion

3.1 Fed-batch cultivation in a laboratory fermenter

During the cellulase production cultivation of *T. reesei*, the pH of the medium is maintained using automatic base and acid additions to the optimal enzyme production pH. In *T. reesei*, a strong tendency for the pH of their culture medium to decrease during growth on carbohydrate substrates is apparent. After exhaustion of the carbon source, a marked increase in pH is observed. Therefore the decrease in the base addition rate can be used as an indicator of imminent exhaustion of the carbon source in the medium, while pulp feeding based on the base addition rate is expected to maintain the pulp concentration within a constant range.

The pulp feeding protocol based on the pH control was verified using 3-L fermenters. Fig. 1 shows the time course of the base and pulp supplies relative to the cultivation. The

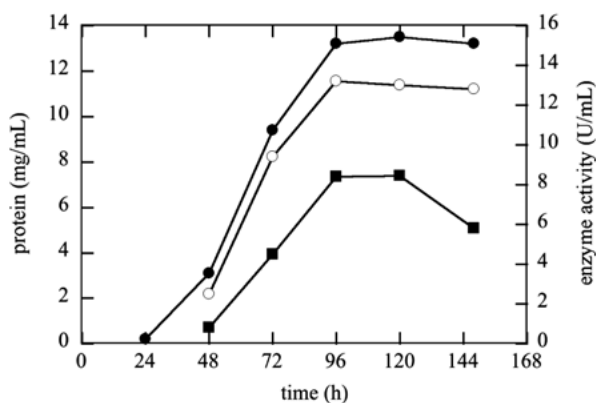


Fig. 2. The time course of enzyme production of the fed-batch cultivation using soda-AQ pulp as a carbon source in a laboratory fermenter. The culture was done for 6 days at 28°C using 7.5% pulp. Protein concentration (●), cellulase activity, (○) and β-glucosidase activity (■) on 6 days is shown, respectively.

cultivation was started with 1.0% (w/v) pulp concentration to maintain sufficient agitation of the culture medium. The supply of the base began at 14 h to maintain the pH of the culture medium and the supply rate gradually decreased at 30 h (Fig. 1 inside), suggesting that fungus had almost consumed the pulp in the medium. At 32 h, the first pulp was fed into the fermenter, which caused an increase in the base supply (Fig. 1 inside). New pulp was then fed into the fermenter whenever the supply rate of the base decreased. The last pulp was fed at 80 h (Fig. 1) and the total pulp reached 7.5% (w/v) of the initial culture medium.

The time course of enzyme production by the fed-batch cultivation is shown in Fig. 2. The enzyme production continued for 2 days corresponding to the feeding phase (32-80 h), while the protein concentration, cellulase and β-glucosidase activity in the culture medium reached 13.2 mg/mL, 13.2 U/mL and 8.4 U/mL, respectively at 96 h. The calculated volumetric productivity of the cellulase activity by the fed-batch cultivation on the pulp was compared to that by the batch cultivation on cellulose powder (Table 1). The volumetric productivity in the feeding phase (48-72 h) closely resembled the maximum value observed during batch cultivation on cellulose powder (Table 1). It is also interesting to note how regular the pulp feeding intervals

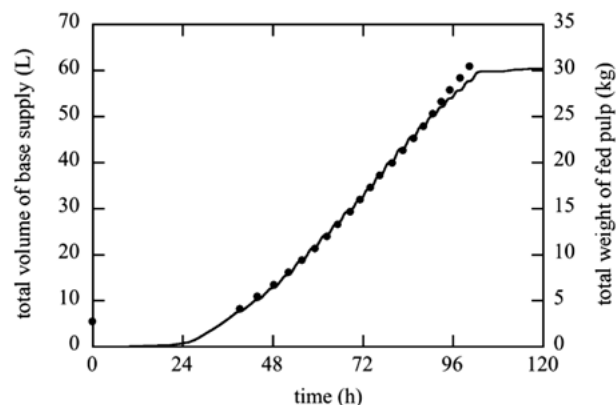


Fig. 3. Time course of base supply and pulp feeding during the fed-batch cultivation in a 500-L fermenter. A 500-L stirred-tank fermenter (working volume: 300 L) was inoculated with 3 L of a 2-day flask culture of the fungus and cultivated at 28°C. The pH was maintained between 4.7 and 4.8 during the whole culture. The agitation speed and aeration rate were kept at 207 rpm and 300 L/min, respectively. The culture was grown for 6 days at 28°C. When the base supply (—) did not work for more than 15 min, sterile pulp was fed into the fermenter (●).

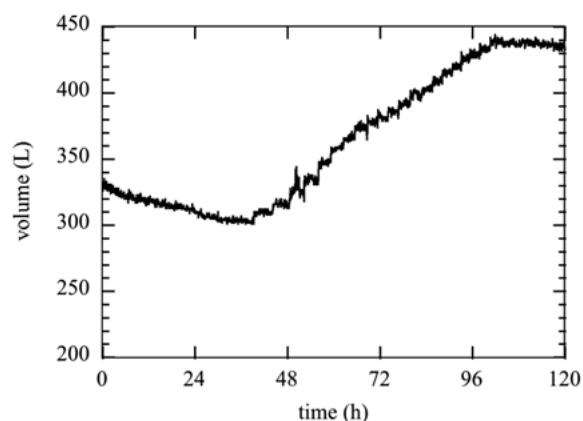


Fig. 4. Time course of the culture volume of fed-batch cultivation using soda-AQ pulp in a 500-L fermenter.

were (Fig. 1), suggesting that the pulp consumption by microorganism was stably maintained during the feeding phase. These results suggested that the pulp feeding protocol based on the pH control maintained an optimal enzyme production condition by microorganism, resulting in high cellulase productivity comparable to batch cultivation.

Table 1. Volumetric productivities of cellulase activity in batch and fed-batch cultivation using cellulose powder and soda-AQ pulp.

carbon source	substrate conc. (g/L)	cultivation mode	volumetric productivity (U/[L·h])			
			(U/[L·h])			
			0 - 48 h	48 - 72 h	72 - 96 h	0 - 96 h
cellulose powder	70.8	batch	72	280	210	150
soda-AQ pulp	75.0	fed batch	52	290	160	140

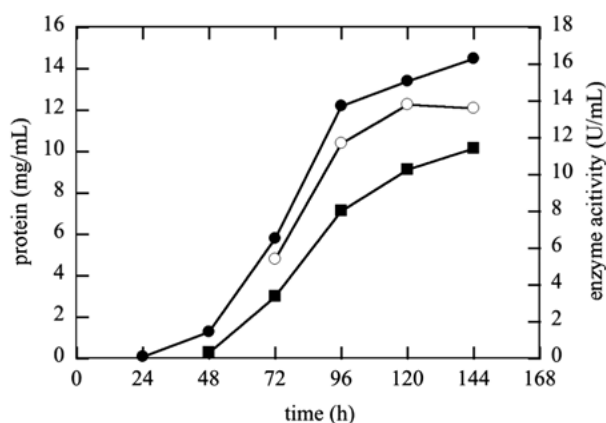


Fig. 5. The time course of enzyme production of the fed-batch cultivation using soda-AQ pulp as a carbon source in a 500-L fermenter. The culture was done for 6 days at 28°C using 10.1% pulp. Protein concentration (●), cellulase activity, (○) and β-glucosidase activity (■) on 6 days is shown, respectively.

3.2 Cellulase production in a 500-L fermenter

A pulp feeding protocol based on pH control was employed for the cellulase production in a 500-L pilot plant scale fermenter. Fig. 3 shows the time course of the base and pulp supplies relative to the cultivation. The cultivation was started with 0.9% (w/v) pulp concentration and pulp was fed into the fermenter whenever the supply rate of the base decreased. At 101 h, the last pulp was fed and the total pulp fed to the cultivation reached 10.1% (w/v) of the initial culture medium. Fig. 4 shows the time course of the culture volume of fed-batch cultivation. A significant change in culture volume occurred during the aerobic cultivation run. The reduction in volume was presumably attributable to the water in the culture media evaporating, while the increase in volume, which occurred from 36 to 102 h, resulted from the base supplied for pH control and pulp feeding. The high water content of the pulp (about 77% w/w) in particular boosted the increase in culture volume. However the pulp feeding intervals were pretty regular (Fig. 3), suggesting that the pulp consumption by microorganism was stably maintained; regardless of the change in culture volume. The time course of enzyme production is shown in Fig. 5. The enzyme production continued until the pulp feeding was terminated, and the protein concentration, cellulase activity and β-glucosidase activity in the culture medium reached 14.5 mg/mL, 13.6 U/mL and 11.4 U/mL, respectively at 144 h. These results were comparable to those achieved through fed-batch cultivation in a laboratory fermenter and showed the potential for *T. reesei* to produce cellulase on a large scale using soda-AQ pulp as the carbon source.

T. reesei PC-3-7 was examined for cellulase production on cellulosic biomass and achieved 24 mg/ml of protein production in a 5-L fermenter cultivation with 4% alkali-

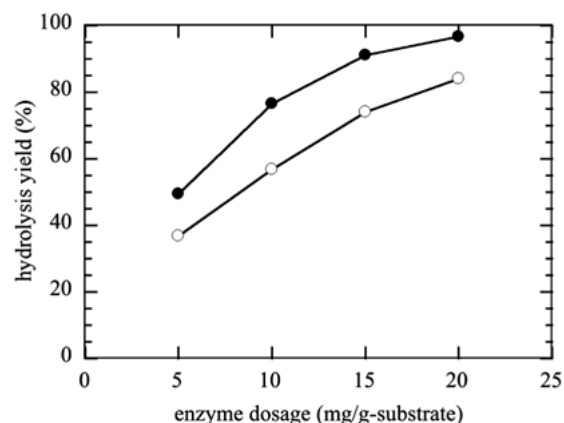


Fig. 6. The results of soda-AQ pulp hydrolysis by different enzyme dosages. Soda-AQ pulp (5% w/w) was hydrolyzed at 50°C, pH 4.8 for 72 h by the culture supernatant using pulp (●), or cellulose powder (○) as the carbon source.

treated bagasse as the carbon source for 7 days (Kawamori et al. 1986). Although they kept the agitation speed at 450 rpm during the cultivation, we had to keep the agitation speed at 207 rpm, the upper limit of the 500-L tank agitation ability. In the study of fed-batch cultivation in a 3-L fermenter with agitation speed at 275 rpm, we found that dissolved oxygen density in culture medium dropped to 0% just after feeding of the pulp (data not shown). Investigation of cultivation condition is showing that increasing aeration improves the cellulase production (Hayward et al. 2000). Therefore if the agitation speed of the 500-L tank could be higher, cellulase productivity would be improved.

3.3 Hydrolysis of soda-AQ pulp by on-site cellulase

The supernatant of the cultivation medium using soda-AQ pulp or cellulose powder as the carbon source was used to hydrolyze the soda-AQ pulp (Fig. 6). When the enzyme dosages per gram substrate were changed from 5 to 20 mg, the enzymatic hydrolysis yields rose from 49.5 to 96.7% for the broth using pulp and 36.9 to 84.0% for the broth using cellulose powder as the carbon source. These results indicated that the enzyme induced by the pulp hydrolyzed the pulp more efficiently than that induced by the cellulose powder, as previously reported (Nojiri et al. 2008). The reducing sugars converted from the pulp by on-site cellulase could be used to produce bioethanol and other valuable materials. This research may be meaningful for economical enzyme production, which is key to developing enzyme-based biorefinery from lignocellulosic biomass. Furthermore, the method described in this work could be applied to produce secondary metabolites by other fungi (e.g. *Aspergillus*, *Penicillium*) with similar pH behavior.

Acknowledgements

This work was supported by a grant of Development of the large-scale use technology of woody biomass from the Forestry Agency.

References

- Bailey, M. J. and Tähtiharju, J. (2003) Efficient cellulase production by *Trichoderma reesei* in continuous cultivation on lactose medium with a computer-controlled feeding strategy. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 62, 156-162.
- Doppelbauer, R., Esterbauer, H., Steiner, W., Lafferty, R. M. and Steinmüller, H. (1987) The use of lignocellulosic wastes for production of cellulase by *Trichoderma reesei*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 26, 485-494.
- Forestry Agency. (2013) Development of the large-scale use technology of woody biomass, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/various/documents/mokushitsu-biomass.pdf>.
- Gallo, B. J., Andreotti, R., Roche, C., Ryu, D. and Mandels M. (1978) Cellulase production by a new mutant strain of *Trichoderma reesei* MCG 77. *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, 8, 89-101.
- Ghose, T. K. (1987) Measurement of cellulase activities. *Pure Appl. Chem.*, 59, 257-268.
- Hayward, T. K., Hamilton, J., Tholudur, A. and McMillan, J. D. (2000) Improvements in titer, productivity, and yield using Solka-Floc for cellulase production. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 84-86, 859-874.
- Kawamori, M., Morikawa, Y., Ado, Y. and Takasawa, S. (1986) Production of cellulases from alkali-treated bagasse in *Trichoderma reesei*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 24, 454-458.
- Liming, X. and Xueliang, S. (2004) High-yield cellulase production by *Trichoderma reesei* ZU-02 on corn cob residue. *Bioresource Technol.*, 91, 259-262.
- Nojiri, M., Ikeda, T., Sugimoto, T. and Magara, K. (2008) Production of enzyme for saccharification from alkaline treated woody biomasses., *J. Jpn. Inst. Energy*, 87, 68-71.
- Ryu, D. D. Y. and Mandels, M. (1980) Cellulases: biosynthesis and applications. *Enzyme Microb. Technol.*, 2, 91-102.
- Sheehan, J. and Himmel, M. (1999) Enzymes, energy, and the environment: a strategic perspective on the U.S. Department of Energy's research and development activities for bioethanol. *Biotechnol. Progr.*, 15, 817-827.
- Shin, C. S., Lee, J. P., Lee, J. S. and Park, S. C. (2000) Enzyme Production of *Trihoderma reesei* Rut C-30 on various lignocellulosic substrates. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 84-86, 237-245.
- Schell, D. J., Hinman, N. D., Wyman, C. E. and Werdene, P. J. (1990) Whole broth cellulase production for use in simultaneous saccharification and fermentation. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 24/25, 287-297.

ソーダ・アントラキノン蒸解スギパルプを用いた 半回分培養法によるセルラーゼ生産

渋谷 源^{1)*}、眞柄 謙吾²⁾、野尻 昌信¹⁾

要 旨

林野庁委託事業により北秋田市に建設した木質バイオエタノール製造実証施設において製造したソーダ・アントラキノン蒸解スギパルプを炭素源とした酵素生産技術を確認するため、セルラーゼ生産菌 *Trichoderma reesei* による酵素生産培養法を検討した。3-L 容ジャーファーマンターを用いた実験では、培養液の十分な攪拌を維持するため、培養開始時のパルプ濃度を 1% とし、セルラーゼ生産菌によるパルプの消費に伴いパルプを随時投入する半回分培養法を採用した。培養液の pH 制御に用いるアンモニア水の添加量をパルプ投入の指標とすることにより、市販のセルロース粉末を炭素源とした回分培養と同程度の酵素生産性を達成した。さらにこの半回分培養法を木質バイオエタノール製造実証施設に設置された 500-L 容タンクを用いたオンサイト酵素生産運転に適用することにより実験室レベルと同様の結果が得られることを実証した。本研究はパルプを炭素源とした酵素生産培養の大規模化につながる成果であり、リグノセルロース系バイオマス为原料とするバイオリファイナリーの実用化に向けて大変有用であると考えられる。

キーワード：セルラーゼ生産、オンサイト酵素生産、パルプ、バイオエタノール、トリコデルマリーセイ、バイオリファイナリー

原稿受付：平成 26 年 5 月 12 日 原稿受理：平成 26 年 12 月 4 日

1) 森林総合研究所きのこ・微生物研究領域

2) 森林総合研究所バイオマス化学研究領域

* 森林総合研究所きのこ・微生物研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

短 報 (Short communication)

エゾモモンガ *Pteromys volans* の貯食の可能性 — 自動撮影装置による観察 —

松岡 茂^{1)*}

要 旨

アズキナシの樹洞を自動撮影装置によって観察したところ、エゾモモンガが樹洞付近でミズナラとオオバボダイジュの種子を口にくわえている映像が記録された。また、多数のオオバボダイジュの種子を樹洞内に確認した。自動撮影による映像記録と貯えられた種子から、エゾモモンガが貯食を行っている可能性を示唆した。

キーワード：エゾモモンガ、貯食、自動撮影

1. はじめに

貯食は、後で食べるために食物をもとあった場所から移動させることであり、昆虫から脊椎動物まで多様な動物群で観察されている (Smith and Reichman 1984, Vander Wall 1990)。貯食は、動物側から見れば変動する食物の有効利用であり、食物欠乏期を乗り切る一助ともなり、また植物側から見れば運ばれた種子が分散機会を増加させるなど、生態学的観点から重要な行動である。また、貯食する・されるという動植物の相互関係については、進化学的にも興味深い課題である (Vander Wall and Balda 1977)。貯食は、哺乳類では、トガリネズミ目、ネズミ目、ネコ目などで認められている。とくにネズミ目の貯食行動についての報告は多く、森林に生息するリス科やネズミ科の数種については、日本でも研究が行われている (松井ら 2004, Tamura and Hayashi 2008 など)。いっぽう、リス科でも夜行性のモモンガ類については、北米に生息する *Glaucomys volans* では貯食に関する報告が多いが (Sollberger 1940, Muul 1968 など)、他のモモンガ類については貯食に関する情報は少ない (Wells-Gosling and Heaney 1984)。

タイリクモモンガ *Pteromys volans* は、ユーラシア大陸の針葉樹林帯に広く分布し、北米大陸の *G. volans* と生態的同位種である。日本では北海道に生息し、この個体群はエゾモモンガと呼称される (Ohdachi et al. 2009)。エゾモモンガの食性は植物食で、その内容は季節的に変化するものの、葉、堅果、種子、花、芽など多様である (浅利ら 2008, 南部・柳川 2010)。しかし、タイリクモモンガの貯食に関する情報は、他のモモンガ類と同様に少なく、カバノキやハンノキの尾状花序を樹枝上、樹洞、樹皮の裂け目、鳥などの古巣に貯える例が記載されているだけである (Hanski et al. 2000, Airapetyants and Fokin

2003)。また、エゾモモンガでは、著者の知る限り貯食に関する報告はなく、さらに最新情報を含んだ日本の野生哺乳類のガイドブックにもエゾモモンガの貯食に関する記載はない (Ohdachi et al. 2009)。

著者は、樹洞営巣性鳥類の調査を行ってきたが、その過程でエゾモモンガの貯食に関係すると考えられる行動を観察したので報告する。

2. 調査地および調査方法

調査は、札幌市豊平区羊ヶ丘に所在する農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター構内の落葉広葉樹林で行った。広葉樹林のおもな構成樹種は、ミズナラ *Quercus mongolica*、イタヤカエデ *Acer mono*、シラカンバ *Betula platyphylla*、エゾヤマザクラ *Prunus sargentii* などである (Kotaka and Matsuoka 2002)。

1997 年からアズキナシ *Sorbus alnifolia* の生木にできた樹洞を利用する鳥類を観察するため、樹洞内観察ツールを使い (松岡 2003)、繁殖期には少なくとも週 1 回、非繁殖期は不定期な間隔で樹洞内部の観察を行った。また、2008 年 12 月から 2010 年 2 月まで、1 台の静止画記録用の自動撮影装置 (麻里府商事 FieldNote DS1000) を設置し、樹洞に接近した動物を記録した。アズキナシは、樹高 11.3m、胸高直径 15.3 cm、樹洞の下端までの高さ 1.2 m で、樹洞入り口の大きさは縦 15.0 cm、横 5.5 cm、樹洞の内径は入り口下端で約 6 cm、深さは約 20 cm であった (1997 年の計測値)。樹洞入り口は磁北より時計方向 76 度に開口していた。自動撮影装置は樹洞に向けて、ほぼ 2 m 離れた樹木の、高さ 1.5 m のところに設置した。1 週間に 1 度の頻度で装置の動作をチェックし、作動しなかった場合に、電源と画像記録メディアの交換を行った。

原稿受付：平成 26 年 9 月 18 日 原稿受理：平成 27 年 1 月 8 日

1) 元森林総合研究所北海道支所

* 森林総合研究所企画部 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

3. 結果と考察

食物貯蔵の事例と貯食を行う動物:2003年9月18日に、今回の観察対象のアズキナシの樹洞入り口下端のところまでミズナラの種子が入っているのを確認したが、10月1日には、さらに増えて樹洞入り口の下端より上まで詰め込まれていた (photo 1A)。10月10日には、上のほうの種子に発根が認められた。これらの種子はその後数の減少は見られず、翌年の1月26日にもほぼそのままであることを確認した。しかし、5月10日にはこれらの種子は消失していた。また、下記に述べる自動撮影装置によるエゾモモンガの画像記録後の2009年10月13日に、樹洞内にオオバボダイジュ *Tilia maximowicziana* の種子が入っているのが確認できた (Photo 1B)。オオバボダイジュの種子の動静については、その後観察を行っていない。この2例は、種子が樹洞内に偶然多数入ったと考えるよりは、動物が持ち込んだと考えるのが妥当であろう。

種子を貯食することが知られている動物の中で、ミズナラの種子程度の大きさの種子を扱うことが可能と考えられるのは、調査地では、鳥類のカケス *Garrulus glandarius*、哺乳類のアカネズミ *Apodemus speciosus*、ヒメネズミ *A. argenteus*、エゾリス *Sciurus vulgaris* である。ただし、調査地でカケスの貯食行動を観察した限りでは、ミズナラ種子を木の割れ目や枯れ木で樹皮が浮いたところなどに1個ずつ入れており、1箇所にも多数の種子を貯食している例はなかった。アカネズミやヒメネズミでは、ミズナラの種子などを林床や倒木の下などに貯食する (Imaizumi 1979, Iida 2004)。また、ヒメネズミでは、少量のクマシデやドングリなどを、巣箱に貯蔵した例が報告されている (安藤 2005)。エゾリスは球果から取り出したチョウセンゴヨウの種子やオニグルミの種子をお

もに浅い地中に貯食する (林田 1988)。これらの動物では、ひとつの樹洞に多数の種子を貯食している例は記載されておらず、上記のアズキナシの樹洞に種子を持ち込んだ動物である可能性は低いと考えられる。

自動撮影装置による記録:自動撮影装置により、不明種を除き哺乳類7種と鳥類5種が記録された。哺乳類では、コテングコウモリ *Murina ussuriensis* (撮影数2、以下同)、エゾモモンガ (26)、アカギツネ *Vulpes vulpes* (16)、タヌキ *Nyctereutes procyonoides* (2)、アライグマ *Procyon lotor* (9)、ニホンテン *Martes melampus* (2)、ニホンジカ *Cervus nippon* (2)、鳥類はアカゲラ *Dendrocopos major* (2)、ハシブトガラ *Poecile palustris* あるいはコガラ *Poecile montanus* (1)、ヤマガラ *Poecile varius* (1)、シジュウカラ *Parus minor* (29)、ゴジュウカラ *Sitta europaea* (3) であった。エゾモモンガとシジュウカラの記録が共に20例以上で多かった。この樹洞では、2009年6月にシジュウカラの繁殖が確認されている。

エゾモモンガは、2009年9月6日から10月5日の間にすべての映像が記録された。この期間に記録された他の動物は、アライグマ (撮影数1、以下同) のみであった。また、繁殖したシジュウカラが最後に記録された6月15日から、エゾモモンガが最初に記録された9月6日までの間に記録された動物は、アライグマ (3)、タヌキ (1)、ニホンジカ (1) であった。エゾモモンガの画像が記録された時間帯は、20時台3例、21時台8例、22時台3例、00時台3例、01時台7例、02時台が2例であった。1枚の画像に複数個体が写っている例はなかった。また、撮影された画像からは、樹洞に出入りしているエゾモモンガが同一個体かどうかの判定はできなかった。画像の多くは、口になにもくわえていない状態で樹洞の

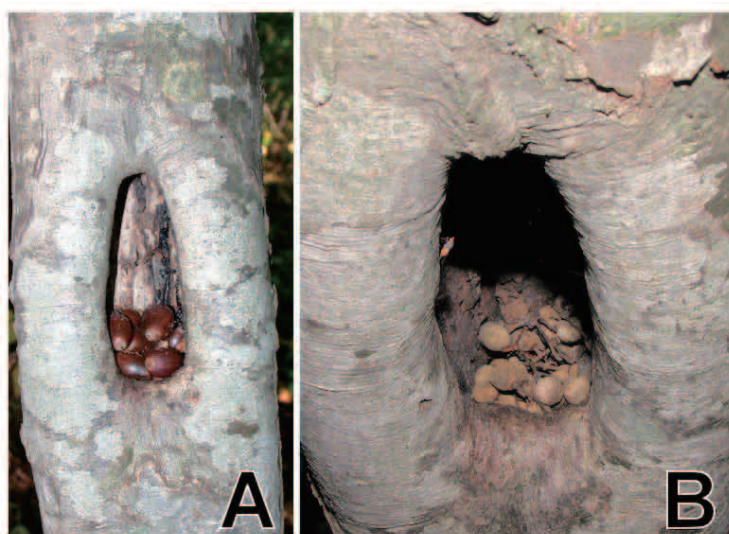


Photo 1. アズキナシの樹洞に詰め込まれたミズナラ (A) とオオバボダイジュ (B) の種子
Packed seeds of *Quercus mongolica* (A) and *Tilia maximowicziana* (B) in a cavity of *Sorbus alnifolia*.

外にいるか、樹洞内から顔や尾を出している状態のものであった。いっぽう、ミズナラ種子をくわえているのが2回 (photos 2A, 2B)、オオバボダイジュの種子をくわえているのが1回 (photo 2C) 記録された。

ミズナラ種子をくわえている2回の記録(9月9日、21:21 および 21:49)では、エゾモモンガはいずれも樹洞入り口を向いた状態であった。また、画像を見る限りでは、photos 2A と 2B のミズナラ種子は、前者が薄緑色の部分があるのに対し、後者は茶色であり、異なる種子であると判断できた。いっぽう、オオバボダイジュの種子をくわえている画像(10月5日)は、胴の後ろ部分が樹洞内にあるものの頭と尾は樹洞の外にあった。今回利用した自動撮影装置は、動物の感知から実際にシャッターが落ちるまでに1.3秒(取り扱い説明書記載値)かかるため、その間に撮影範囲から動物が移動してしまうと動物の記録はできない。このため、動きの激しい動物の撮影にはあまり適していない。しかし、頻繁に感知されるような状況下では、撮影成功画像の絶対数も増えてくると予想される。今回エゾモモンガの撮影がほぼ1ヶ月間に限られたことは、対象樹洞付近での出現がとくにこの時期に集中していたことを示すものと考えられた。

貯食の可能性: 貯食の認定にあたり、動物による食物の移動とその後の摂食を確認する必要があるが、今回の観察では後者の摂食については不明である。いっぽう

で、アズキナシの樹幹にミズナラの種子などが付着している状況は考えられないため、今回撮影された画像は、少なくともエゾモモンガが種子を口にくわえて移動している状態を示している。ただ、木になっている種子や地上に落下した種子をくわえてアズキナシの樹洞に運び込むところか、あるいは樹洞に入っていた種子を樹洞から運び出しているかは静止画像からは確定できない。エゾモモンガが集中的に記録された後に、樹洞内にオオバボダイジュの種子が入り口近くまで入っているのを確認したが (Photo 1B)、これらの種子が樹洞に入れられた期間は、シジュウカラの繁殖後の6月中旬以降10月初旬までの間である。シジュウカラの卵や雛は樹洞入り口からは目視で確認できない状態であったため、樹洞サイズからみて、相当数の種子を運び込まないと入り口付近にまで種子が貯まることはないと考えられる。この期間に記録された動物は、上述のように、エゾモモンガの他にアライグマ、タヌキ、ニホンシカであるが、エゾモモンガを除いては記録頻度も低く、また種子を運び込むような動物はいない。いっぽう、調査地で貯食の可能性がある4種の動物の中では最小のヒメネズミが運び込んだことも考えられるが、その可能性は低い。今回自動撮影装置で記録された最小の動物は、哺乳類ではコテングコウモリ、鳥類ではハシブトガラあるいはコガラである。これらの動物の体重は前者が4-8 g (平川 2013)、後者が9-15

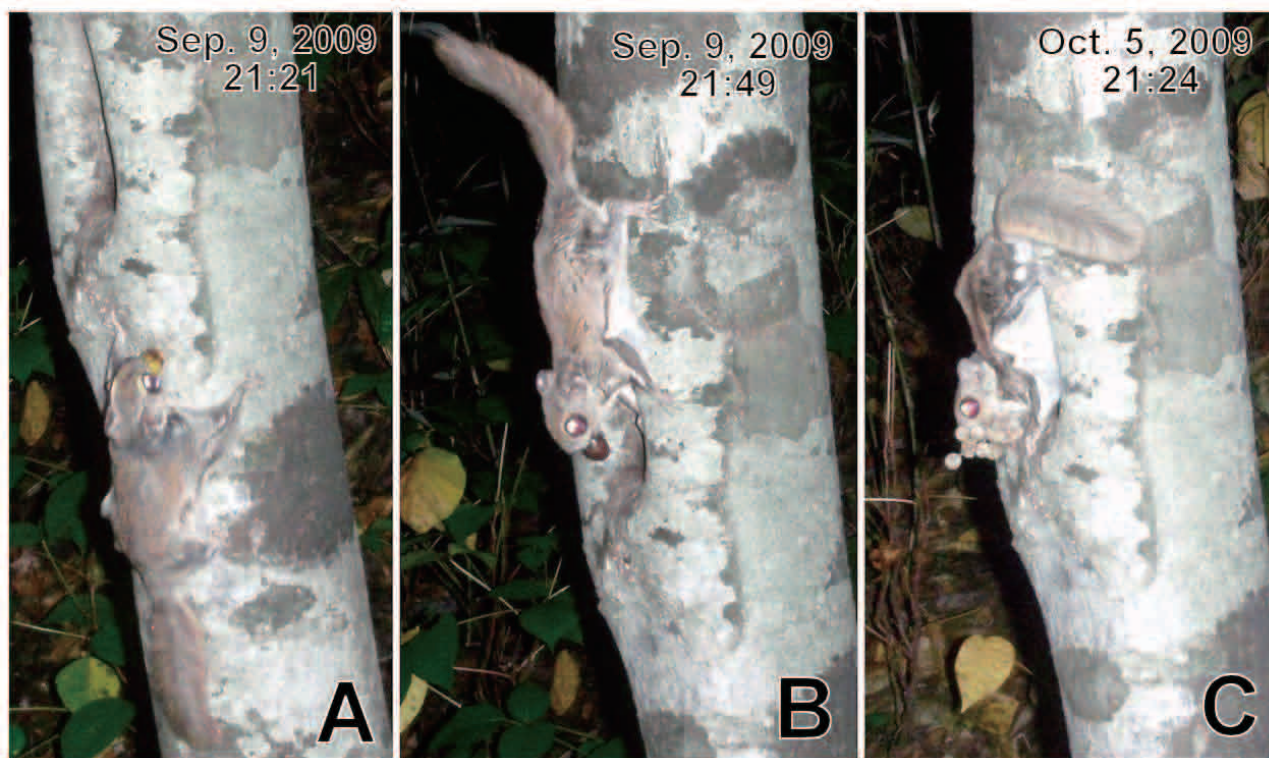


Photo 2. アズキナシの樹洞入り口付近で、ミズナラ (A,B)、オオバボダイジュ (C) の種子をくわえているエゾモモンガ *Pteromys volans* carrying the seeds of *Quercus mongolica* (A and B) and *Tilia maximowicziana* (C) in its mouth near the cavity entrance of *Sorbus alnifolia*.

g (Cramp and Simmons 2006) であるが、ヒメネズミのそれは、10-20 g (Ohdachi et al. 2009) である。自動撮影装置のセンサーの感知能力が動物種間で同等とは限らないが、他のより体重の少ない動物も撮影されていることから、ヒメネズミが頻繁に樹洞内に種子を運び込んでいたとすれば自動撮影装置で記録された可能性は高いであろう。しかし、調査期間を通じて、ヒメネズミの記録はなかった。以上の点から、オオバボダイジュの種子を樹洞内に移動させたのは、エゾモモンガである可能性が高いと考えられる。

今回の観察は、後に採食するという条件は満たされていないものの、エゾモモンガが種子（ミズナラ、オオバボダイジュ）を移動させていた事実により、エゾモモンガにおける貯食の可能性を示唆している。さらに、オオバボダイジュの種子の移動先が樹洞内である可能性が高いことも示唆された。タイリクモモンガで記録された貯食物は、カバノキなどの尾状花序であるので (Hanski et al. 2000, Airapetyants and Fokin 2003)、ミズナラとオオバボダイジュの種子が貯食されたとすると、新たな貯食品目となる。

貯食に関する研究は、特定の種あるいは特定の動植物種間については行われているものの、全般として活発な研究が行われているとはいえない (Vander Wall 1990)。前述のように貯食は、生態学的、進化学的観点から注目すべき行動のひとつであるが、エゾモモンガのように貯食行動の記載が不足している種もあり、今後多様な段階での調査・研究が必要である。

謝辞

自動撮影装置で記録された樹木種子を同定いただいた森林総合研究所倉本恵生氏、同じくコテンゴウモリを同定いただいた同所平川浩文氏、また原稿を校閲いただきさらに文献情報をご教示いただいた帯広畜産大学の柳川久氏に感謝する。さらに、本文を校閲いただいた2名の匿名の査読者に感謝する。

引用文献

- Airapetyants, A. E. and Fokin, I. M. (2003) Biology of European flying squirrel *Pteromys volans* L. (Rodentia: Pteromyidae) in the north-west of Russia. *Russian Journal of Theriology*, 2, 105-113.
- 安藤元一 (2005) 樹上性齧歯類を対象とした巣箱調査法の検討. *哺乳類科学*, 45, 165-176.
- 浅利裕伸・山口裕司・柳川 久 (2008) 野外観察によって確認されたエゾモモンガの採食物. *森林野生動物研究会誌*, No. 33, 7-11.
- Cramp, S. and Simmons, K.E.L. (2006) BWPI: Birds of the Western Palearctic interactive. Version 2.0 (DVD-ROM), BirdGuides Ltd.
- Hanski, I. K., Monkkonen, M., Reunanen, P. and Stevens, P. (2000) Ecology of the Eurasian flying squirrel (*Pteromys volans*) in Finland. In: Goldingay, R. and Scheibe, J. (eds.) "Biology of gliding mammals". Filander Verlag, 67-86.
- 林田光祐 (1988) エゾリスの社会行動が分散貯蔵の様式に与える影響. *北海道大学農学部演習林研究報告*, 45, 267-278.
- 平川浩文 (2013) 雪の中で眠るコテンゴウモリ. *自然保護*, No.531, 32-34.
- Iida, S. (2004) Indirect negative influence of dwarf bamboo on survival of *Quercus acorn* by hoarding behavior of wood mice. *Forest Ecology and Management*, 202, 257-263.
- Imaizumi, Y. (1979) Seed storing behavior of *Apodemus speciosus* and *Apodemus argentatus*. *Zoological Magazine*, 88, 43-49.
- Kotaka, N. and Matsuoka, S. (2002) Secondary users of great spotted woodpecker (*Dendrocopos major*) nest cavities in urban and suburban forests in Sapporo City, northern Japan. *Ornithological Science*, 1, 117-122.
- 松井理生・後藤 晋・岡村行治 (2004) エゾリスとアカネズミによるオニグルミ核果の捕食および貯食行動. *森林立地*, 46, 41-46.
- 松岡 茂 (2003) 樹洞内観察記録装置の開発—生物多様性の保全をめざして—. *森林総合研究所北海道支所研究レポート*, No. 71, 1-6.
- Muul, I. (1968) Behavioral and physiological influences on the distribution of the flying squirrel, *Glaucomys volans*. *Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan*, No. 134, 66 pp.
- 南部 朗・柳川 久 (2010) エゾモモンガの冬期の採食物とその選択性. *森林野生動物研究会誌*, No. 35, 22-25.
- Ohdachi, S. D., Ishibashi, Y., Iwasa, M. A. and Saitoh, T. (eds.) (2009) The wild mammals of Japan. Shoukadoh, 544pp.
- Smith, C. C. and Reichman, O. J. (1984) The evolution of food caching by birds and mammals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 329-351.
- Sollberger, D. E. (1940) Notes on the life history of the small eastern flying squirrel. *Journal of Mammalogy*, 21, 282-293.
- Tamura, N. and Hayashi, A. F. (2008) Geographic variation in walnut seed size correlates with hoarding behaviour of two rodent species. *Ecological Research*, 23, 607-614.
- Vander Wall, S.B. (1990) Food hoarding in animals. *University of Chicago Press*, 453pp.
- Vander Wall, S.B. and Balda, R.P. (1977) Coadaptations of the Clark's nutcracker and the pinon pine for efficient seed harvest and dispersal. *Ecological Monographs*, 47, 89-111.
- Wells-Gosling, N. and Heaney, L.R. (1984) *Glaucomys sabrinus*. *Mammalian Species*, No. 229, 1-8.

Probable food hoarding observed in a camera-trapped Siberian flying squirrel *Pteromys volans*

Shigeru MATSUOKA ^{1)*}

Abstract

There are few reports of food-hoarding behavior in the Siberian flying squirrel *Pteromys volans*. A camera trap directed to a tree cavity captured the images of a flying squirrel with seeds of oak and lime trees in its mouth in autumn. Later many lime tree seeds were found in the cavity. The camera-trapped images and stored seeds showed that the Siberian flying squirrel probably has a habit of hoarding food.

Key words : Siberian flying squirrel, food hoarding, camera trap

Received 18 September 2014, Accepted 8 January 2015

1) Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Research Planning and Coordination Department, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN

短 報 (Short communication)

原木シイタケ・原木マイタケ・菌床アラゲキクラゲ栽培施設で発生した リュウコツナガマドキノコバエとフタマタナガマドキノコバエ (双翅目キノコバエ科)

末吉 昌宏^{1)*}、村上 康明²⁾、川口 真司²⁾、小島 靖³⁾、前田 由美⁴⁾

要 旨

フタマタナガマドキノコバエが大分県の原木露地栽培のマイタケに寄生していることを確認した。また、フタマタナガマドキノコバエとリュウコツナガマドキノコバエの幼虫が奈良県と大分県の菌床栽培アラゲキクラゲの子実体上に発生していることを発見した。さらに、これらの成虫を宮城県と佐賀県の原木シイタケの人工ホダ場で捕獲した。ナガマドキノコバエ類がこれらの栽培方式による食用きのこ類の新たな害虫となる可能性があることを指摘した。

キーワード：害虫、寄主、きのこ、新産地、日本

1. はじめに

シイタケ *Lentinula edodes* (Beck.) は国内のきのこ年間生産量の 20 % 近くを占める約 9 万 t あまり (生シイタケ約 6.6 万トン、乾シイタケ (生換算値) 約 2.5 万トン) が生産される (林野庁 2014)、主要な食用きのこのひとつである。現在、生シイタケの生産は菌床栽培が主流であり、生シイタケ全生産量の 87% を占める (林野庁 2014)。

シイタケ栽培では様々な害虫が知られている (岡部 2006, 杉本・井上 2006, 末吉 2014)。それらの中でもナガマドキノコバエ類 (以下ナガマド類) は菌床栽培施設で時に大発生して子実体への食害や異物混入によって被害をもたらす重要害虫である (北島ら 2011)。被害は北海道から沖縄まで広く見られる。国内で被害を引き起こしているナガマド類は従来単一種 *Neoempheria ferruginea* (Brunetti, 1913) と考えられていたが、Sueyoshi (2014) によって、シイタケ栽培の害虫となる種だけでも 3 種 (リュウコツナガマドキノコバエ *N. carinata* Sueyoshi, 2014、フタマタナガマドキノコバエ *N. bifurcata* Sueyoshi, 2014、フクレナガマドキノコバエ *N. dilatata* Sueyoshi, 2014) に分けられることが分かった。

ナガマド類は菌床シイタケ栽培施設で発生する害虫として知られている。しかし、著者らによる各地での被害調査の結果、ナガマド類が原木シイタケの栽培施設で発見され、菌床栽培のアラゲキクラゲ、原木栽培のマイタケでも発生することが分かった。本稿ではこれらの事例を報告し、今後の被害発生の可能性について考察する。

標本のデータとして、♂♀ 成虫頭数と標本識別番号、

産地、関係するきのこ栽培方法、採集または成虫が羽化した日付、標本の保存方法、採集者を記載した。本報告で使用した標本は乾燥標本または 70% 以上のエタノール液浸標本として森林総合研究所九州支所 (熊本市) に保管されている。

2. 発生事例

フタマタナガマドキノコバエ *Neoempheria bifurcata* Sueyoshi, 2014

分布：日本 (本州、四国、九州、対馬) (Sueyoshi 2014)。
供試標本：1♂1♀ (Ne.A001, A002)、大分県豊後大野市、菌床栽培アラゲキクラゲ、23.vii.2013 羽化、液浸標本、村上康明。3♂2♀ (Ne.A003-A007)、大分県豊後大野市、菌床栽培アラゲキクラゲ、29.vii.2013 羽化、液浸標本、村上康明。2♀ (Ne.A008, A009)、大分県豊後大野市、菌床栽培アラゲキクラゲ、15.ix.2014 羽化 (成虫)、乾燥標本、川口真司。1♀ (Ne.A010)、大分県豊後大野市、原木栽培マイタケ、6.xi.2013 羽化、液浸標本、村上康明。1♂1♀ (Ne.1694, 1695)、佐賀県西松浦郡有田町、原木栽培シイタケ、27.vii.2012 採集 (成虫)、液浸標本、有森由美。2♂1♀ (Ne.1696-1698)、佐賀県西松浦郡有田町、原木栽培シイタケ、5.x.2012 採集 (成虫)、液浸標本、有森由美。1♂1♀ (Ne.1699, 1700)、佐賀県伊万里市、原木栽培シイタケ、6.xi.2012 採集 (成虫)、液浸標本、有森由美。1♀ (Ne.1701)、佐賀県佐賀市、原木栽培シイタケ、7.ix.2012 採集 (成虫)、液浸標本、有森由美。

豊後大野市で試験栽培していた菌床栽培 (Fig. 1a) のアラゲキクラゲと原木栽培 (Fig. 1c) マイタケを食害してい

原稿受付：平成 26 年 11 月 17 日 原稿受理：平成 26 年 12 月 22 日

1) 森林総合研究所九州支所

2) 大分県農林水産研究指導センター林業研究部きのこグループ

3) 奈良県森林技術センター

4) 佐賀県林業試験場

* 森林総合研究所九州支所 〒 860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 4 丁目 11 番 16 号

た幼虫から成虫を羽化させた。アラゲキクラゲ菌床あるいは子実体上の幼虫 (Fig. 1b) を採集し、プラスチックシャーレまたはシイタケ菌床用のフィルター付きバッグ (Fig. 1d) で飼育し、成虫を得た。また、マイタケ子実体から採集した幼虫 1 頭を同様のバッグ (Fig. 1d) に入れ、室温 (21.5 ~ 24.5℃) で飼育して成虫を得た。さらに、佐賀県佐賀市 (Fig. 2a)、伊万里市、有田町 (Fig. 2b) の原木シイタケ栽培の人口ホダ場に設置した LED キャッチャー (みのる産業) に成虫が捕獲されていた (Fig. 2c,d)。佐賀県下の標本は本種の副模式標本とされた (Sueyoshi 2014)。

リュウコツナガマドキノコバエ *Neoempheria carinata* Sueyoshi, 2014

分布：日本 (北海道、本州、四国、九州) (Sueyoshi 2014)

供試標本：3♂1♀ (Ne.A013-A016)、奈良県高市郡明日香村、菌床栽培アラゲキクラゲ、8.ix.2011 採集 (成虫・幼虫)、液浸標本、末吉昌宏・小島靖。2♀ (Ne.A011, A012)、宮城県登米市、原木栽培シイタケ、17.xi.2011 採集 (成虫)、液浸標本、末吉昌宏。

明日香村のアラゲキクラゲの菌床栽培施設 (Fig. 3a) で幼虫と成虫が大量に発生し、幼虫が子実体の表面を這い、表面を削るように食害していた (Fig. 3b)。また、登米市の人口ホダ場で捕虫網を使った掬い取りで成虫を得たが、幼虫の発生は確認されなかった。

3. 考察

アラゲキクラゲは近年国内生産量が急増しており、2009 年には約 600 トンが生産されている (木村 2012)。栽培施設での害虫も報告されてきており、主な害虫はヤガ類 (吉松ら 2014) やキノコバエ類 (神奈川県自然環境保全センター 2009)、クロバネキノコバエ類 (森林総合研究所, 北島博, 私信) が知られている。また、今回報告した事例以外にナガマド類の 1 種が菌床栽培施設で発生した 1 事例がある (山口県林業指導センター, 杉本博之, 私信)。しかし、害虫とされるキノコバエ類は種まで同定されていなかった。今回の事例と加害虫の同定により、フタマタナガマドキノコバエ (以下フタマタ) とリュウコツナガマドキノコバエ (以下リュウコツ) がアラゲキクラゲに被害を及ぼすことが分かった。どちらも子実体上に見られたことから、異物混入となる可能性がある。また、リュウコツは子実体表面を削っていたこと、また、大量に発生していたことから子実体の品質低下や幼虫除去作業の負担増加などの被害に繋がる可能性がある。

マイタケは国内で年間 4 万トン前後が生産され、この数年間生産量は横ばいの傾向にある (林野庁 2014)。主だった害虫としてクロバネキノコバエ類、ガガンボ類、ナメクジなどが知られている (秋田県農林水産技術センター 2010) が、被害の実態はあまり明らかではない。今

回の事例でフタマタが自然栽培のマイタケから羽化することが分かったが、マイタケの栽培に対してフタマタが及ぼす影響はまだ十分に明らかになっていない。これまで知られている限りにおいて、ナガマド類は食用きのこの栽培施設内で被害を及ぼしている。しかし、今回の事例は露地栽培の食用きのこ (マイタケ) に幼虫が付着していたため、屋外でのナガマド類の発生事例となる。フタマタは九州を始め西日本の野外に分布している (Sueyoshi 2014)。従って、西日本地域で露地栽培を行う際、フタマタの寄生に対して見回りを強化する必要があると考える。

フタマタとリュウコツが原木シイタケ栽培施設で発見された。しかし、子実体への直接的な被害や施設内に生息する幼虫はまだ確認されていない。また、森林内の原木シイタケのホダ場でナガマド類を捕獲した例はまだ知られていない。したがって、これらのナガマド類による原木シイタケ栽培への影響は未知である。

リュウコツやフタマタに加えて別種のフクレナガマドキノコバエが沖縄と奈良の菌床シイタケ栽培施設で発生し、栽培に被害を及ぼしている。今後の研究ではこれらの種の間で行動や生理が異なるかどうかを明らかにする必要がある。また、これまでの知見では、同一施設内で複数種が混在している被害事例はないが、今後そういった事例が明らかになる可能性がある。そのため、これらのナガマド類による被害が発生した場合はどの種が加害虫となっているかを正確に判断し、種間の行動や生理の違いを考慮した対策を採ることが必要となる。これら 3 種の外見は互いに酷似しており、これらの間の区別は♂♀成虫の交尾器に因っているため、栽培現場で同定することは困難である。従って、被害が生じた場合は、複数の♂♀成虫標本の保存とそれらの専門家による同定が不可欠となる。

謝辞

北島博氏 (森林総合研究所森林昆虫研究領域)、更科彰史氏 (宮城県林業技術総合センター)、杉本博之氏 (山口県林業指導センター) にはそれぞれ原木栽培シイタケと菌床栽培アラゲキクラゲでの発生事例について情報提供をいただいた。

引用文献

- 秋田県農林水産技術センター (2010) 栽培きのこの害菌・害虫防除マニュアル。秋田県林業普及冊子 No. 18, 秋田県農林水産部水と緑の森づくり課, 29 pp.
- 神奈川県自然環境保全センター (2009) “平成 20 年度業務報告”, http://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/info_hokoku/gyoum_41/h20index.htm, (参照 2014-11-13).
- 木村栄一 (2012) 夏の高温期を活かしたアラゲキクラゲ栽培 中国産から国産品への要望高まり 生産量は一気

に3倍 菌床シイタケの夏場対策にも活用. 特産情報, 33 (11), 38-44.

北島博・阿部正範・杉本博之・川島祐介・石谷栄次・藤森範子・陶山純・本庄絵未・岡本武光・薦田邦晃・國友幸夫・西澤元・宮川治郎・大谷英児 (2011) 菌床シイタケ害虫ナガマドキノコバエの環境保全型防除技術の開発. 森林防疫, 60, 19-27.

岡部貴美子 (2006) 日本における食用きのこの害虫. 森林総合研究所研究報告, 5, 119-133.

林野庁 (2014) “平成24年特用林産基礎資料”, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001116813>, (参照

2014-11-13).

Sueyoshi, M. (2014) Taxonomy of fungus gnats allied to *Neoempheria ferruginea* (Brunetti, 1912) (Diptera: Mycetophilidae), with descriptions of 11 new species from Japan and adjacent area. Zootaxa, 3790, 139-164.

末吉昌宏 (2014) 九州・山口・沖縄の栽培シイタケを加害するキノコバエ類. 九州の森と林業, 107, 1-3.

杉本博之・井上祐一 (2006) シイタケ菌床栽培施設に発生したムラサキアツバの生態. 森林防疫, 55, 2-5.

吉松慎一・村上康明・前田由美 (2014) アラゲキクラゲを食害する2種のヤガ. 蝶と蛾, 65(1), 26-29.

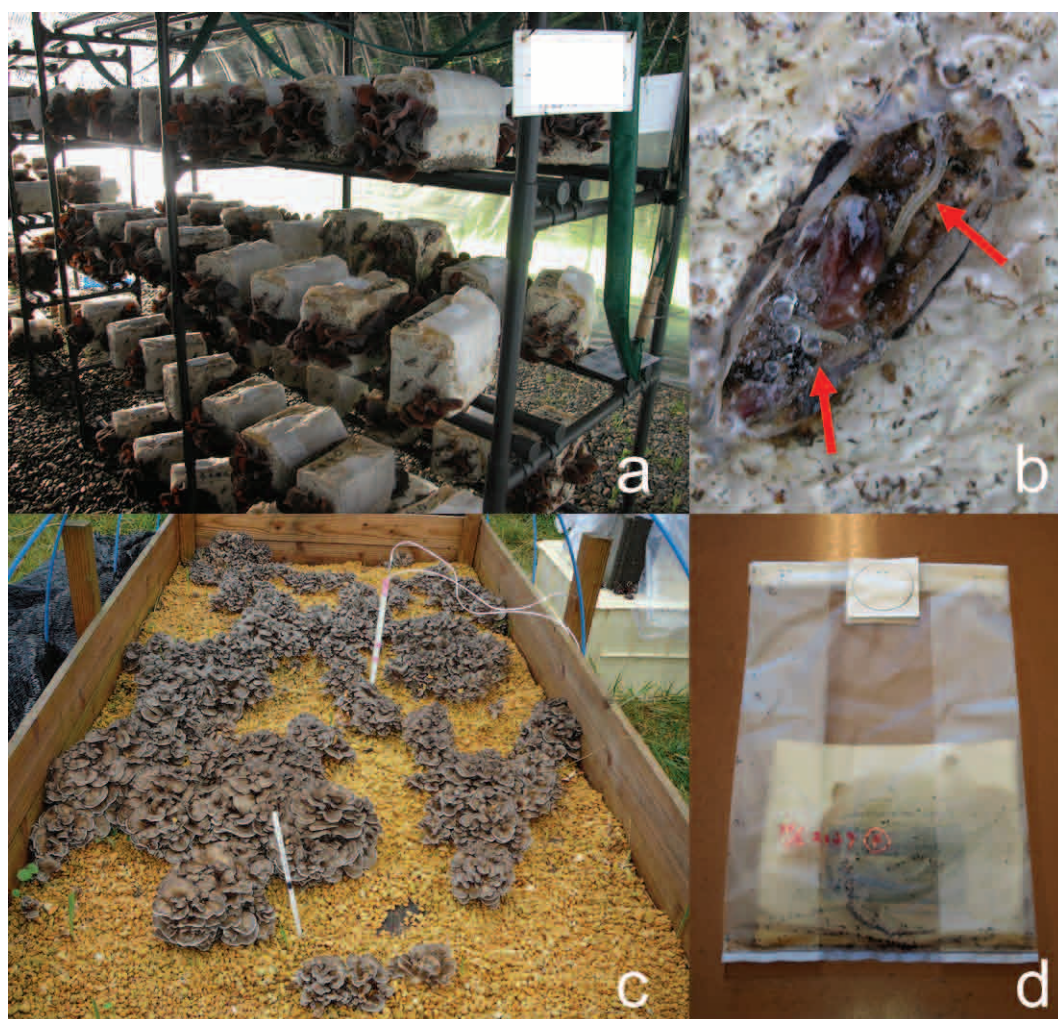


Fig. 1. 大分県豊後大野市内のアラゲキクラゲ・マイタケ菌床栽培施設。a, アラゲキクラゲ栽培施設内の菌床と子実体 (写真の一部を改変)、b, アラゲキクラゲ子実体上のフタマタナガマドキノコバエ幼虫 (矢印)、c, マイタケ露地栽培施設の子実体、d, マイタケ子実体上から得たフタマタ幼虫の羽化試験に使用したプラスチックバッグ。

Cultivations of *Auricularia polytricha* (Mont.) and *Grifola frondosa* (Dicks.) in Bungo-ono City, Oita Prefecture. a, Indoor facility (greenhouse) for cultivation of *A. polytricha*. b, Larvae of *Neoempheria bifurcata* Sueyoshi on sporophore of *A. polytricha*. c, Outdoor facility for cultivation of *G. frondosa*. d, plastic bag used for rearing an adult of *N. bifurcata*.



Fig. 2. 佐賀県内の原木シイタケ栽培施設。a, 佐賀市の人口ホダ場、b, 有田町の人口ホダ場、c, 有田町の人口ホダ場に設置した LED キャッチャー、d, LED キャッチャーに捕獲されたフタマタナガマドキノコバエ成虫 (矢印)。

Indoor facilities for cultivation of *Lentinula edodes* (Beck.) with logs. a, Inside of cage in Saga City. b, Inside of a greenhouse in Arita Town. c, LED catcher installed in greenhouse. d, adult of *Neoempheria bifurcata* Sueyoshi (red arrow) and other insects trapped on sticky sheet of catcher.



Fig. 3. 奈良県高市郡明日香村のアラゲキクラゲ菌床栽培施設。a, 施設内の菌床と子実体、b, アラゲキクラゲ子実体上のリュウコツナガマドキノコバエ幼虫。

Indoor facility for cultivation of *Auricularia polytricha* (Mont.) in Asuka Village, Nara Prefecture. a, artificial mediums and sporophores of *A. polytricha* in facility. b, Larva of *Neoempheria carinata* Sueyoshi on sporophore of *A. polytricha*.

***Neoempheria bifurcata* Sueyoshi, 2014 and *N. carinata* Sueyoshi, 2014 (Diptera, Mycetophilidae), feeding on cultivated shiitake mushroom, maitake mushroom, and cloud ear fungus**

Masahiro SUEYOSHI^{1)*}, Yasuaki MURAKAMI²⁾, Masashi KAWAGUCHI²⁾,
Yasushi OBATAKE³⁾ and Yumi MAEDA⁴⁾

Abstract

An adult fly of fungus gnat species, *Neoempheria bifurcata* Sueyoshi, 2014, was reared from a sporophore of *Grifola frondosa* (Dicks.) (maitake mushroom or hen of the woods) cultivated on the ground with logs in Oita Prefecture, Kyushu, Japan. Larvae of *N. bifurcata* and *N. carinata* Sueyoshi, 2014, were found on sporophores of *Auricularia polytricha* (Mont.) (cloud ear fungus or wood ear fungus) cultivated with saw-dust medium in an indoor facility of Nara Prefecture, Honshu Japan as well as of Oita Prefecture. Adults of these species also were found in indoor facilities of *Lentinula edodes* (Beck.) (shiitake mushroom) cultivation with logs. These fungus gnats are newly suggested as a potential pests of these edible fungi of these cultivation methods.

Key words : new record, fungi, host, Japan, pest

Received 17 November 2014, Accepted 22 December 2014

1) Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Mushroom Group, Forestry Division, Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

3) Nara Forest Research Institute

4) Saga Prefectural Forest Experiment Station

* Kyushu Research Center, FFPRI, 4-11-16 Kurokami, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862 JAPAN; e-mail: msuey@ffpri.affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

Stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai Forests, East Kalimantan, Indonesia

Hiroshi MAKIHARA^{1)*}, Sugiarto²⁾ and Takeshi TOMA³⁾

Abstract

The current report presents a list of stag beetles, with colored images collected from Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai forests in East Kalimantan, Indonesia. The list includes 36 species and it shows the high stag beetle diversity concentrated in a small area of tropical rain forests in Indonesia. Because we hope to inform the Indonesian people about the high species diversity in their country's forests, we assigned a new Indonesian name along with both scientific and Japanese names to each species.

Key words : biodiversity, Bukit Bangkirai, Bukit Soeharto, East Kalimantan, stag beetles, typical forest insects

1. Introduction

Fujita (2010) described stag beetles worldwide, totaling approximately 100 genera and more than 1,400 species, with many distributed in the tropics. Therefore, one may expect that the tropical rain forests in Indonesia host many stag beetle species.

In Indonesia, stag beetles are generally referred to as “Kumbang Rusa;” however, people do not distinguish among species and there are no names for each species of stag beetles in the Indonesian language. The situation is similar for other insect groups such as butterflies (kupu-kupu) and long-horned beetles (Kumbang moncong panjang). Indonesian people believe that biodiversity is important for the world and that the biodiversity of their country is the highest in the world. However, most people have no evidence of the high biodiversity because they do not distinguish insect species.

The current report presents a list of stag beetles, with colored images collected from Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai forests in East Kalimantan, Indonesia. The list includes 36 species, of which nine have not been identified at the species level because of their small sizes and difficulty in identification. Some of them may be new species. Considering the limited collection area (approximately 1,300 ha) and duration (approximately 3 years) of the study, more species may have been present, but were not found and recorded in the two forests.

Compared with the total of 40 stag beetle species in Japan (approximately 370,000 km², with thousands of islands) (Fujioka 2001), we can understand the high stag beetle diversity concentrated in a small area of tropical rain forests in Indonesia. Because we hope to inform the Indonesian people about the high species diversity in their country's forests, we assigned a new Indonesian name along with both scientific and Japanese names to each species. We hope that this report contributes to future biodiversity studies.

The list is based on an interim report (Soeyamto et al. 2000) of the follow-up program of the Tropical Rain Forest Research Project by the government of Indonesia and Japan International Cooperation Agency (JICA). Most of the stag beetle samples collected in the present study are preserved in the Tropical Rain Forest Research Center (PUSREHUT) of Mulawarman University and in the Samboja office of Inhutani 1 in East Kalimantan. The same set is also maintained at Bidang Zoologi, Puslit Biologi-LIPI, Cibinong, West Java.

2. Study site and Methods

We collected stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai forests in East Kalimantan, Indonesia (Fig. 1), which were originally covered with a lowland dipterocarp forest. These forests are remnants of a single large forest that covered the area until the late 20th century. However, they are now largely separated from each other by

Received 5 November 2014, Accepted 19 January 2015

1) Isumi, Chiba

2) Sekolah Tinggi Pertanian (STIPER) Kutai Timur

3) Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 2033-5 Hiari, Isumi, Chiba 298-0002, JAPAN; e-mail: hmakihara@outlook.com

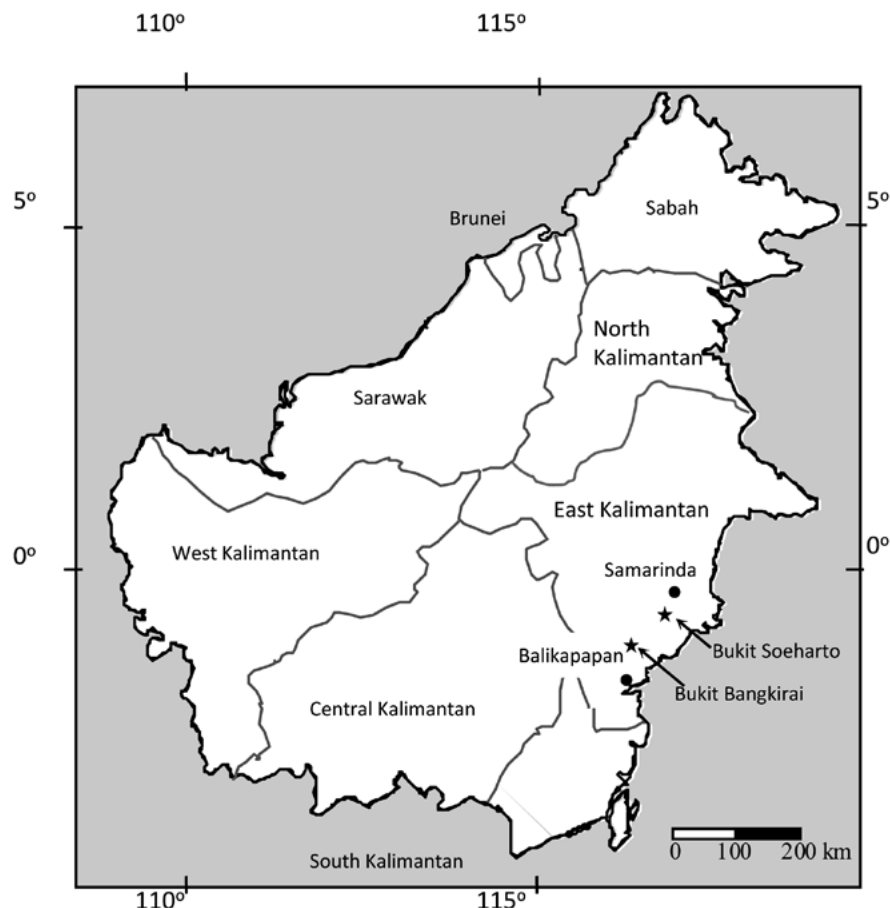


Fig. 1. Location of Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai on the Kalimantan (Borneo) Island.

deforested areas and are also divided by roads connecting cities and villages (Rustam et al. 2012). In a typical year, the study area has no pronounced dry season. The mean annual rainfall is approximately 2,000 mm, and the annual mean daily maximum and minimum air temperatures are 29.9°C and 21.4°C, respectively (Toma et al. 2000).

Bukit Soeharto is located between Samarinda and Balikpapan. Approximately 20,000 ha of the forest are managed as Bukit Soeharto Education Forest (BSEF) of Mulawarman University. Because the BSEF had been selectively logged until 1979 and was affected by fires in 1982–83 and 1998, it is a mosaic of different vegetation types including near-primary forests, secondary forests, and grasslands. We surveyed the insect fauna in the core area (approximately 1,000 ha) of the BSEF where near-primary forests remained. The survey in the BSEF was conducted for 3 years from December 1997 to April 2001.

The Bukit Bangkirai forest is located approximately 20 km southwest from Bukit Soeharto and 58 km northwest of Balikpapan at an altitude of approximately 110 m. The total area of the Bukit Bangkirai forest is approximately 1,500 ha. Although majority of the area was affected by

fires in 1982–83 and 1998, some areas (approximately 300 ha) escaped the fires and have been managed as a natural reserve by Inhutani I. The surveyed area in Bukit Bangkirai was in the natural forest that escaped the forest fires. The survey in Bukit Bangkirai was conducted for 3 years from March 1999 to February 2002.

Stag beetles were collected mainly by bait traps using a banana placed in shopping baskets (Photo 1), light traps (Photo 2), Malaise traps (Photo 3), and hanging traps (Photo 4). In Bukit Soeharto, one light trap was placed on the ground and two light traps were placed on a scaffolding tower at 20 m and 45 m above the ground. Four bait traps were hung from tree branches at 3 m above the ground. Four Malaise traps were placed on the ground and two were placed at 20 m and 45 m on the tower. Four black hanging traps with an attractant (75% ethanol) were placed 1.5 m above the ground.

In Bukit Bangkirai, one light trap was placed on the ground and two were placed on a canopy bridge 30 m above the ground. Four Malaise traps were placed on the ground. Four bait traps and four hanging traps were placed 1.5 m above the ground.



Photo 1. Bait trap. A shopping basket with banana hung from tree branches at 3 m above ground.



Photo 2. Light traps set on the ground (left) and 45 m above ground on a scaffolding tower (right).



Photo 3. A Malaise trap.



Photo 4. A hanging trap with black color.

3. Abbreviations

The following abbreviations are used to indicate the surveying area, traps, collecting methods, and stag beetle collectors in this investigation.

BS: Bukit Soeharto Education Forest

BB: Bukit Bangkirai Forest

LT: Light trap

BT: Bait (banana) trap

MT: Malaise trap

HT: Hanging trap

Bu: Budi

HM: Hiroshi Makihara

HK: Haruo Kinuura

Su: Sugiarto

4. A list of stag beetles from Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai Forests

Family Lucanidae クワガタムシ科
(Suku Kumbang Rusa)

Subfamily Odontolabinae ツヤハダクワガタ亜科
Tribe Odontolabini ツヤハダクワガタ族
Genus *Odontolabis* Hope, 1842 ツヤハダクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Sayap Berkilau)

1. *Odontolabis striatus* Deyrolle, 1864 (Pl.1, figs. 1-a, b)
ストリアータツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Sayap Bergaris)
BS: 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT).
BB: 1♂, Jan. 2000, HM & Su (LT); 7♂♂2♀♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Kalimantan Is., Belitung Is. and Southern part of Malay Peninsula.
Not so common species in Borneo (Fujita 2010)
2. *Odontolabis cephalotes* Leuthner, 1885 (Pl. 1, fig. 2)
ケファロテスツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Kecil Sayap Bergaris)
BB: 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra.
Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
3. *Odontolabis gazella gazella* (Fabricius, 1787) (Pl. 1, figs. 3-a, b)
ガゼラツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Sayap Coklat)
BS: 1♀, Oct. 1996, HM & HK (MT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (BT).
Distribution Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Kalimantan Is., Natuna Is., Southern part of Thailand

and Philippines (Balabac Is.).

Common species in Borneo (Fujita 2010).

4. *Odontolabis brookeana* (Snellen van Vollenhoven, 1861)
(Pl. 1, figs. 4-a, b)
ブルークツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Prothorax Hitam)
BS: 1♂, Nov. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
BB: 1♂, Oct. 1999, HM & Su (BT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Tanahmasa Is. and Java.
Common species (Fujita 2010).
5. *Odontolabis dalmani dalmani* (Hope et Westwood, 1845)
(Pl. 1, figs. 5-a, b)
ダールマンツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Sayap Abu-abu)
BS: 2♂♂, Feb. 2000, HM & Su (LT).
BB: 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT); 2♂♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Natuna Is., Laut Is., Tarempa Is., Kalimantan Is., Singkep Is., SE. Myanmar and SW. Thailand.
Common species in Borneo (Fujita 2010).
6. *Odontolabis latipennis* (Hope et Westwood, 1845) (Pl. 1, figs. 6-a, b)
ラテイペンニスツヤクワガタ
(Kumbang Rusa Sayap Lebar)
BS: 1♀, Oct. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
BB: 1♂, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 1♀, Mar. 2000, HM & Su (LT); 1♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Simeulue Is., Mentawai Isles. (Sibent Is., Pagai Is.), Nias Is., Bangka Is., Singkep Is., Kalimantan Is. and Philippines (Palawan Is., Mindanao Is., Dinagat Is., Samar Is., Leyte Is., Sibuyan Is. and Luzon Is.).
Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

Subfamily Figulinae チビクワガタ亜科

Tribe Figulini チビクワガタ族

Genus *Figulus* MacLeay, 1819 チビクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Kecil)

7. *Figulus* sp. 1 (Pl. 2, fig. 7)
チビクワガタの1種
(Kumbang Rusa Prothorax Cekung sp.1)
BS: 1 ex., Feb. 1999, HM & Su (LT); 1 ex., Mar.1999, HM & Su (LT); 1 ex., Oct. 1999, HM & Su (LT); 1 ex.,

- Nov. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Jan. 2000, Su & Bu (MT); 1 ex., Mar. 2000, HM & Su (LT).
BB: 1 ex., Feb. 2000, Su & Bu (LT).
8. *Figulus* sp. 2 (Pl. 2, fig. 8)
チビクワガタの1種
(Kumbang Rusa Prothorax Cekung sp. 2)
BS: 1 ex., Apr. 1998, HM (HT).
9. *Figulus* sp. 3 (Pl. 2, fig. 9).
チビクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 3)
BS: 1 ex., Nov. 1999, HM & Su (LT); 1 ex., Jan 2000, Su & Bu (MT); 1 ex., Feb., 2000, Su & Bu (LT).
10. *Figulus* sp. 4 (Pl. 2, fig. 10)
マメクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp.4)
BS: 8 exs., Mar. 2000, HM & Su (from under bark of dead tree, *Shorea smithiana*); 1 ex., Apr. 2000, HM & Su (from under bark of dead tree, *Shorea smithiana*).
11. *Figulus* sp. 5 (Pl. 2, fig. 11)
マメクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 5)
BS: 1 ex., Oct. 1999, HM & Su (LT); 1 ex., Mar. 2000, HM & Su (from under bark of dead tree, *Shorea smithiana*).
12. *Figulus* sp. 6 (Pl. 2, fig. 12)
マメクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 6)
BS: 1 ex., Oct. 1999, HM & Su (LT).
BB: 1 ex., Mar. 2000, HM & Su (LT).
13. *Figulus* sp. 7 (Pl. 2, fig. 12)
マメクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 7)
BS: 1 ex., Jan. 1998, HM (MT); 1 ex., Oct. 1998, HM & Su (HT).
- Genus *Cardanus* Westwood, 1834 サメハダチビクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Ramping)
14. *Cardanus sulcithorax* (Perty, 1831) (Pl. 2, fig. 14)
サメハダチビクワガタ
(Kumbang Rusa Prothorax Lubang Besar)
BS: 1 ex., Oct. 1996, HM & HK (from under bark of dead tree, *Macaranga gigantea*).
Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Malay Peninsula, Thailand, Philippines (Leyte Is.).
Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
Above 8 species are difficult to difference of sex, therefore without distinction of sex.
- Tribe Nigidini ツノヒョウタンクワガタ族
- Genus *Novonigidius* Dudich, 1923 ニセツノヒョウタンクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Silindris)
15. *Novonigidius ornatifrons* Dudich, 1929 (Pl. 2, figs. 15-a, b)
ニセツノヒョウタンクワガタ
(Kumbang Rusa Bertubuh Silindris)
BS: 1♂, Oct. 1999, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo.
Rare species in Borneo (Fujita 2010).
- Subfamily Dorcinae クワガタムシ亜科
Tribe Cladognathini ノコギリクワガタ族
16. *Prosopocoilus mohnikei mohnikei* Perry, 1873 (Pl. 3, figs. 16-a, b, c)
モーニッケノコギリクワガタ
(Kumbang Rusa Rahang Gergaji Mohnike)
BS: 2♂♂, Oct. 1996, HM & HK (LT); 1♂, Oct. 1996, HM & HK (HT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Bali Is., Malay Peninsula.
Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
17. *Prosopocoilus occipitalis astericus* (J. Thomson, 1862)
(Pl. 3, fig. 17-a, b, c, d, e)
オキシピタリスノコギリクワガタ
(Kumbang Rusa Rahang Gergaji Prothorax Bintik Hitam)
BS: 1♀, Feb. 1998, HM (MT); 1♂, Jul. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Mar. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Apr. 1999, HM & Su (LT); 1♂1♀, Jul. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Sep. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂1♀, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 1♀, Jan. 2000, Su & Bu (BT); 1♂, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 4♂♂1♀, Mar. 2000, HM & Bu (LT); 5♂♂, Apr. 2000, HM & Su (LT)
BB: 2♂♂, Apr. 1999, HM & Su (LT); 3♂1♀, Jun. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Jul. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 3♂♂2♀♀, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT); 11♂♂9♀♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Malay Peninsula, Andaman Isles. ?, Nias Is., Pagai Is. and Siberut Is.
Very common species in Borneo (Fujita 2010).
18. *Prosopocoilus attenuatus* (Parry, 1886) (Pl. 3, figs. 18-a, b, c)
アテヌアトウスノコギリクワガタ
(Kumbang Rusa Rahang Gergaji Berbulu Halus)
BS: 1♂, Jan. 1998, HM (LT); 1♂, Feb. 1998, HM (LT); 1♂, Aug. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Nov. 1998, HM &

- Su (LT); 1♂, Jun. 1999, HM & Su (LT).
 BB: 1♂, Dec. 1999, HM & S (LT); 2♂♂, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Borneo, Sumatra.
 Rare species in Borneo (Fujita 2010).
19. *Prosopocoilus buddha annae* Bomans, 1992 (Pl. 4, figs. 19-a, b, c)
 ブッダノコギリクワガタ
 (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Prothorax Persegi)
 BS: 1♀, Oct. 1996, HM & HK (LT); 5♂♂, Jan. 1998, HM (BT); Dec. 1998, HM & Su (BT); 1♀, Mar. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 4♂♂1♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 BB: 1♂, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Borneo.
 Not so common species (Fujita 2010).
20. *Prosopocoilus rubens* Didier, 1927 (Pl. 4, fig. 20)
 ルベンスノコギリクワガタ
 (Kumbang Rusa Bertubuh Coklat Tua)
 BS: 1♂, Feb. 2000, Su & Bu (LT).
 Distribution: Borneo, Sumatra and Malay Peninsula.
 Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
21. *Prosopocoilus forceps nakamotoi* Mizunuma, 1994 (Pl. 4, figs. 21-a, b)
 フォルケプスノコギリクワガタ
 (Kumbang Rusa Bertubuh Maron)
 BS: 1♂1♀, Jan. 1998, HM (BT); 1♂, Nov. 1998< HM & Su (LT); 1♂, Jun. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Apr. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Oct. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Borneo, Laut Is. and Sebuksu Is.
 Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
22. *Prosopocoilus passaloides* (Hope et Westwood, 1845) (Pl. 4, figs. 22-a, b, c)
 パッサロイデスノコギリクワガタ
 (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Ramping)
 BS: 1♂, Sep. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Oct. 1998, HM & Su (LT); 1♀, Mar. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Jun. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Aug. 1999, HM & S (LT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (MT); 1♀, Jan. 2000, HM & Su (MT); 1♂, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 2♂♂2♀♀, Mar. 2000, HM & Su (LT); 2♀♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 BB: 1♀, Jun. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Aug. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Sep. 1999, HM & Su (LT); 3♀♀, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂2♀♀, Dec. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂1♀, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 4♀♀, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 1♂3♀♀, Mar. 2000, HM & Su (LT); 1♂1♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Malay Peninsula and Andaman Isles.
 Common species in Borneo (Fujita 2010).
- Tribe Cyclommatini ホソアカクワガタ族
 Genus *Cyclommatus* Parry, 1863 ホソアカクワガタ属
 (Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Ramping)
23. *Cyclommatus canaliculatus ramlii* T. Wakatake et K. Sakamaki, 2002 (Pl. 4, figs. 23-a, b)
 カナリクラトウスホソアカクワガタ
 (Kumbang Rusa Kemerahan Rahang Bengkok)
 BS: 2♀♀, Feb. 1998, HM (BT); 1♀, Nov. 1998, HM & Su (LT); 1♂3♀♀, Jun. 1999, HM & Su (LT); 1♂2♀♀, Aug. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂, Sep. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Oct. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂1♀, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♂1♀, Dec. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 1♀, Feb. 2000, Su & Bu (LT); 2♀♀, Mar. 2000, HM & Su (LT); 5♂♂3♀♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 BB: 1♀, Dec. 1999, HM & Su; 1♂, Feb. 2000, Su & Bu (LT).
 Distribution: Southern part of Borneo.
 Common species in Borneo (Fujita 2010).
24. *Cyclommatus dehaani* (Westwood, 1842) (Pl. 4, figs. 24-a, b)
 デハーンホソアカクワガタ
 (Kumbang Rusa Rahan Bengkok Pendek)
 BS: 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT).
 BB: 1♂, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Mentawai Isles. (North Pagai Is.) and Siberut Is.
 Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
25. *Cyclommatus martinii yamamotoi* T. Wakatake, 2002 (Pl. 5, figs. 25-a, b, c)
 マルテイニホソアカクワガタ
 (Kumbang Rusa Coklat Kemerahan Martini)
 BS: 1♂, Feb. 1998< HM (LT); 1♀, Dec. 1998, HM & Su (LT); 1♂1♀, May 1999, HM & Su (LT); 3♂♂1♀, Aug. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂3♀♀, Mar. 2000, HM & Su (LT); 2♂♂2♀♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 BB: 1♀, Oct. 1999, HM & Su (LT); 2♂♂, Nov. 1999, HM & Su (LT); 1♀, Jan. 2000, Su & Bu (LT); 2♂♂1♀, Feb., 2000, Su & Bu (LT); 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT); 1♂1♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).
 Distribution: Southern part of Borneo.
 Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
- Tribe Dorcini クワガタムシ族

Genus *Dorcus* MacLeay, 1819 オオクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Besar)

26. *Dorcus* sp. (Pl. 5, fig. 26)
ヒラタクワガタの1種
(Kumbang Rusa Bertubuh Besar Berbulu)
BS: 1♀, Aug. 1999, HM & Su (LT).
27. *Dorcus titanus titanus* (Boisduval, 1835) (Pl. 5, figs. 27-a, b)
マレーヒラタクワガタ
(Kumbang Rusa Bertubuh Besar)
BS: 1♀, Nov. 1998, HM & Su (LT); 1♂, Mar. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Malay Peninsula and Nias Is.
Common species in Borneo (Fujita 2010).
28. *Dorcus mirabilis* (Parry et Westwood, 1864) (Pl. 5, figs. 28-a, b, c)
ミラビリスヒラタクワガタ
(Kumbang Rusa Bertubuh Besar Prothorax Berkilau)
BS: 5 exs., Oct. 1998, HM & Su (LT); 1 ex., Nov. 1998, HM & Su (LT); 2 exs., Dec. 1998, HM & Su (LT); 3 exs., Feb. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Mar. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Apr. 1999, HM & Su (LT); 1 ex., Jun. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Aug. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Sep. 1999, HM & Su (LT); 5 exs., Nov. 1999, HM & Su (LT); 3 exs., Dec. 1999, HM & Su (LT); 7 exs., Jan. 2000, Su & Bu (LT); 6 exs., Feb. 2000, Su & Bu (LT); 15 exs., Mar. 2000 HM & Su (LT); 3 exs., Apr. 2000, HM & Su (LT).
BB: 6 exs., Apr. 1999, HM & Su (LT); 2 exs., Apr. 1999, HM & Su (BT); 15 exs., May 1999, HM & Su (LT); 17 exs., Jun. 1999, HM & Su (LT); 20 exs., Jul. 1999, HM & Su (LT); 28 exs., Aug. 1999, HM & Su (LT); 23 exs., Sep. 1999, HM & Su (LT); 20 exs., Oct. 1999, HM & Su (LT); 50 exs., Nov. 1999, HM & Su; 22 exs., Dec. 1999, HM & Su (LT); 45 exs., Jan. 2000, Su & Bu (LT); 43 exs., Feb. 2000, Su & Bu (LT); 20 exs., Mar. 2000, HM & Su (LT); 20 exs., Apr. 2000, HM & Su (LT).
Distribution: Borneo, Sumatra and Malay Peninsula.
Not so common species in Borneo (Fujita 2010).
Very common species especially in Bukit Bangkirai.
Numbers of specimens are so many, therefore without distinction of sex.

Genus *Gnaphaloryx* Burmeister, 1847 ソリアシサビクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Bertubuh Berbulu Karat)

29. *Gnaphaloryx opacus* Burmeister, 1847 (Pl. 5, figs. 29-a, b)
ソリアシサビクワガタ
(Kumbang Rusa Berbulu Karat Hitam)

BS: 1♂, Oct. 1996, HM & HK (from under bark of dead tree, *Macaranga gigantea*).

BB: 1♂, 1 ex., April 2000, HM & Su (from dead tree, *Shorea* sp.).

Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Malay Peninsula, Sulawesi, Philippines, Northern part of Myanmar, Vietnam, Andaman Isles., Nicobar Isles., Sangir Isles. (Tahua Is.), PNG, Mandioli Is., Tidore Is., Ceram Is., New Britain Is., Bachan Is., Simelue Is., Kangean Is., Bali Is., Peleng Is., Yamdena Is., Kasiruta Is., Ceram Is., Yapen Is., Manipa Is. and Taiwan?.

Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

30. *Gnaphaloryx capreolus* Boileau, 1903 (Pl. 5, fig. 30)

カプレオルスソリアシサビクワガタ

(Kumbang Rusa Berbulu Karat Coklat)

BB: 1♀, Aug. 1999, HM & Su (LT).

Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula and Philippines (Palawan Is.).

Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

Tribe Pseudodorcini ネプトクワガタ族

Genus *Aegus* MacLeay, 1819 ネプトクワガタ属
(Keluarga Kumbang Rusa Sayap Bergaris)

31. *Aegus acuminatus acuminatus* (Fabricius, 1801) (Pl. 6, figs. 30-a, b, c)

アクミナートウスネプトクワガタ

(Kumbang Rusa Sayap Prothorax Lebar Berkilau)

BS: 2♂♂, Jan. 1998, HM (from cutting palm tree trunk); 3♂♂3♀♀, Feb. 1998, HM (from cutting Palm tree trunk); 1♂, Apr. 1998, HM (from cutting palm tree trunk); 1♂, Apr. 1999, HM & Su (LT); 1♂1♀, Apr. 2000, HM & Su (LT).

BB: 1♂, May 1999, HM & Su (BT); 3♂♂3♀♀, May 1999, HM & Su (from cutting palm tree trunk); 3♂♂4♀♀, Jun. 1999, HM & Su (BT); 1♂, Jun. 1999, HM & Su (from cutting palm tree trunk); 1♀, Aug. 1999, HM & Su (BT); 1♂1♀, Aug. 1999, HM & Su (from cutting palm tree trunk); 1♀, Sep. 1999, HM & Su (BT); 11♂♂12♀♀, Oct. 1999, HM & Su (BT).

Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Singkep Is. and Kalimantan Is.

Very common species in Borneo (Fujita 2010).

32. *Aegus parallelus* (Hope et Westwood, 1845) (Pl. 6, figs. 32-a, b, c, d)

パラレルスネプトクワガタ

(Kumbang Rusa Sayap Bergaris Sejajar)

BS: 3♂♂2♀♀, May 1998, HM & Su (from under bark of burned tree, *Shorea smithiana*).

BB: 1♂, Apr. 1999, HM & Su (BT).

Distribution: Borneo, Sumatra, Java, Malay Peninsula, Nias Is., Billiton Is., Singkep Is. and Myanmar.

Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

33. *Aegus impressicollis lateliffei* Nagai, 1994 (Pl. 6, figs. 33-a, b, c)

インプレッシコリスネブトクワガタ

(Kumbang Rusa Prothorax Berlubang Kecil)

BS: 1♂, Jan. 1998, HM (BT); 1♂, Jul. 1999, HM & Su (LT).

BB: 1♂, Oct. 1999, HM & Su (from cutting palm tree trunk); 1♂1♀, Dec. 1999, HM & Su (BT); 1♀, Feb. 2000 (BT).

Distribution: Borneo.

Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

34. *Aegus* sp. (Pl. 6, fig. 34)

ネブトクワガタの1種

(Kumbang Rusa Prothorax Berbintok)

BB: 1♂, Oct. 1999, HM & Su (BT).

35. *Aegus punctatipennis* Parry, 1864 (Pl. 7, figs. 35-a, b, c)

プンクテイペンニスネブトクワガタ

(Kumbang Rusa Sayap Bergelombang)

BS: 1♂1♀, Feb. 1998, HM (BT); 1♂, Apr. 1998, HM (BT).

BB: 1♂, Jun. 1999, HM & Su (BT); 1♂, Jun. 1999, HM & Su (from cutting palm tree trunk); 1♂1♀, Oct. 1999, HM & Su (BT); 1♀, Jan. 2000, Su & Bu (BT); 1♀, Feb. 2000, Su & Bu (HT).

Distribution: Borneo.

Not so common species in Borneo (Fujita 2010).

36. *Aegus cherifer nitidus* Boileau, 1899 (Pl. 7, figs. 36-a, b, c)

チェリフェルネブトクワガタ

(Kumbang Rusa Prothorax Berkilau)

BS: 1♂, Apr. 1999, HM & Su (LT); 1♂, Nov. 1999, HM & Su (LT).

BB: 1♀, Jan. 2000, Su & Bu (HT); 1♂, Feb. 2000, Su & Bu (HT).

Distribution: Borneo, Sumatra, Malay Peninsula, Singapore Is., Sentosa Is., Natuna Is., Bawean Is., Mendanau Is. and Kalimantan Is.

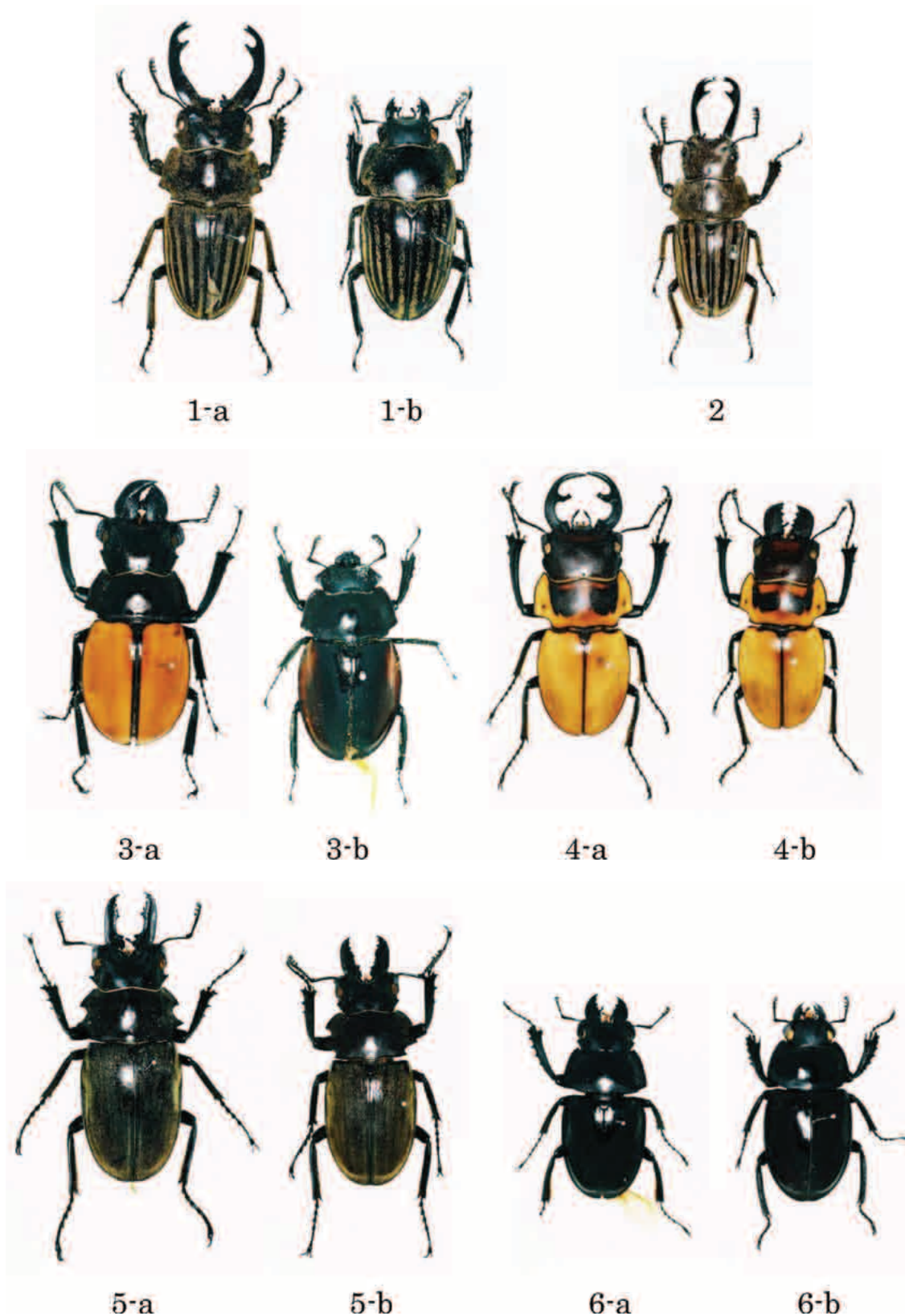
Common species in Borneo (Fujita 2010).

Acknowledgements

Collecting stag beetles had been conducted as a part of the follow-up program of the Tropical Rain Forest Research Project by the government of Indonesia and Japan International Cooperation Agency (JICA). We thank the following colleagues for their valuable help: Dr. Djumali Mardji, Mr. F. Budi, Mr. Hata, Mr. Nandi, Ms. Neni, late Mr. Jamardin, late Mr. Sofian, and late Dr. Ch. Soeyamto.

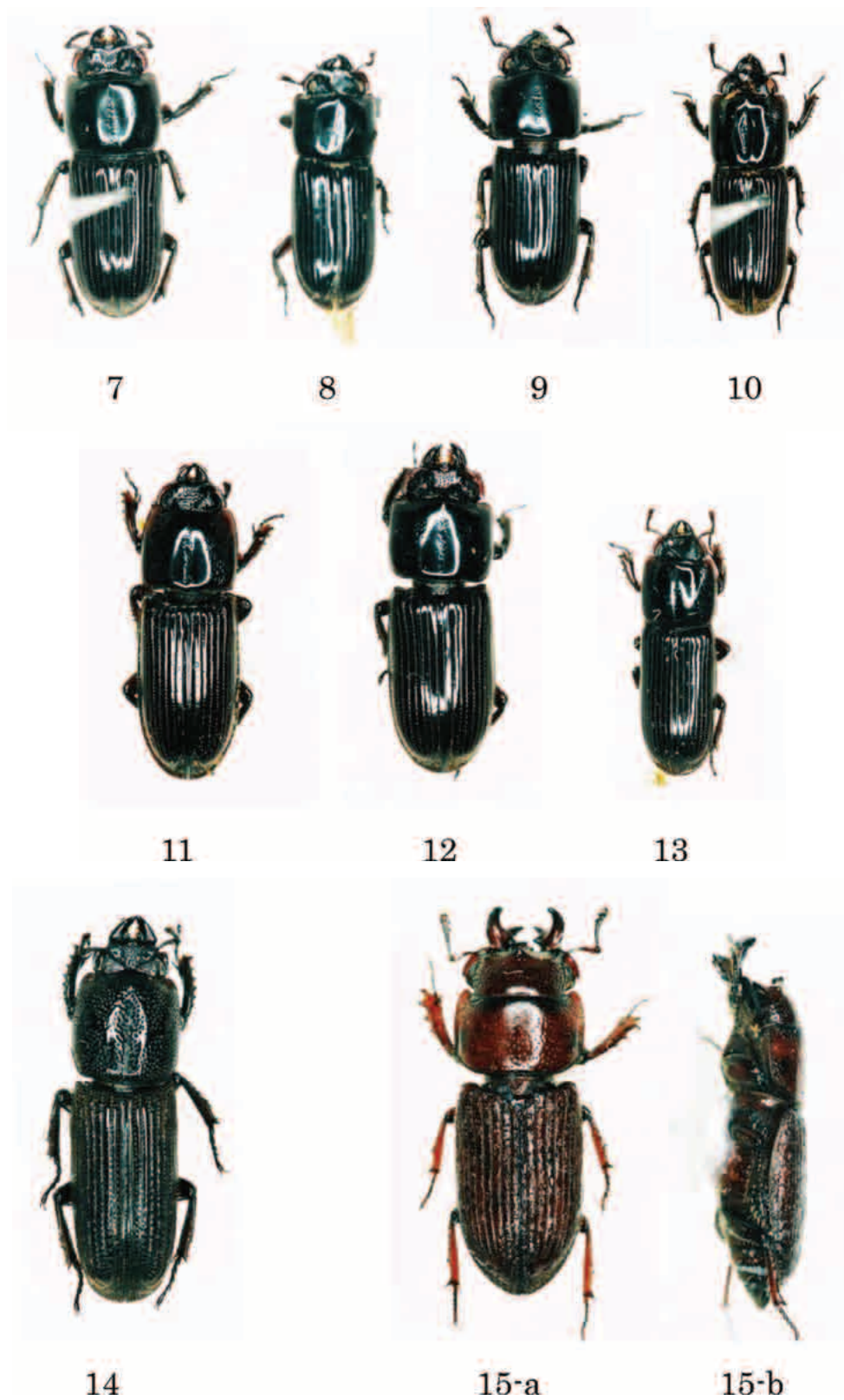
References

- Fujioka, M. (2001) A list of Japanese lamellicornia. 293 pp., The Japanese Society of Scarabaeoideans, Tokyo, Japan. (in Japanese).
- Fujita, H. (2010) The Lucanid Beetles of the World. 472 pp., 248 pls., Mushi-Sha, Tokyo. (in Japanese).
- Rustam, Yasuda, M., and Tsuyuki, S. (2012) Comparison of mammalian communities in a human-disturbed tropical landscape in East Kalimantan, Indonesia. *Mammal Study* 37: 299-311.
- Soeyamto, Ch., Makihara H., Sugiarto and Budi F. (2000) Atlas of Stag beetles in Bukit Soeharto Education Forest of Mulawarman University and Bukit Bangkirai Forest of Inhutani-1 in East Kalimantan, Indonesia. JICA Expt. Rep., 32 pp., 38 photos. (in English and Indonesians).
- Toma, T., Marjenah and Hastaniah (2000) Climate in Bukit Soeharto, East Kalimantan. In Guhardja, E. et al. (eds.) *Rainforest ecosystems of East Kalimantan*. Ecol. Stud., Vol. 140, Springer, Tokyo, 13-27.



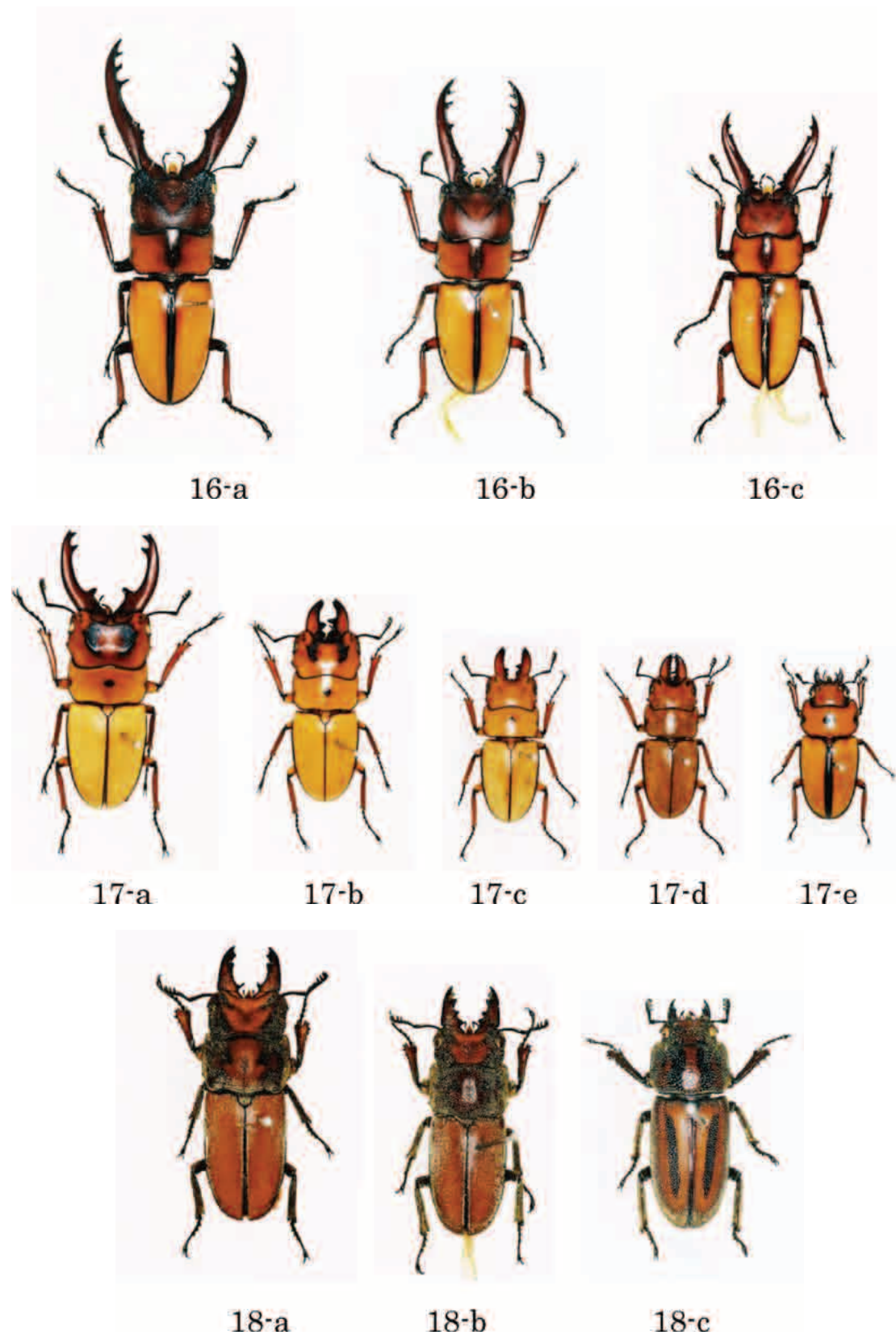
Pl. 1

1. *Odontolabis striatus* ストリアータツヤクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Bergaris): a. ♂, 45 mm; b. ♀, 25 mm. 2. *Odontolabis cephalotus* ケファロテスツヤクワガタ (Kumbang Rusa Kecil Sayap Bergaris): ♂, 27 mm. 3. *Odontolabis gazella gazella* ガゼラツヤクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Coklat): a. ♂, 50 mm; b. ♀, 35 mm. 4. *Odontolabis brookeana* ブルークツヤクワガタ (Kumbang Rusa Prothorax Hitam): a. ♂, 40 mm; b. ♂, 35 mm. 5. *Odontolabis dalmanni dalmanni* ダールマンツヤクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Abu-abu): a. ♂, 60 mm; b. ♂, 52 mm. 6. *Odontolabis latipennis* ラテイペンニスツヤクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Lebar): a. ♂, 42 mm; b. ♀, 42 mm.



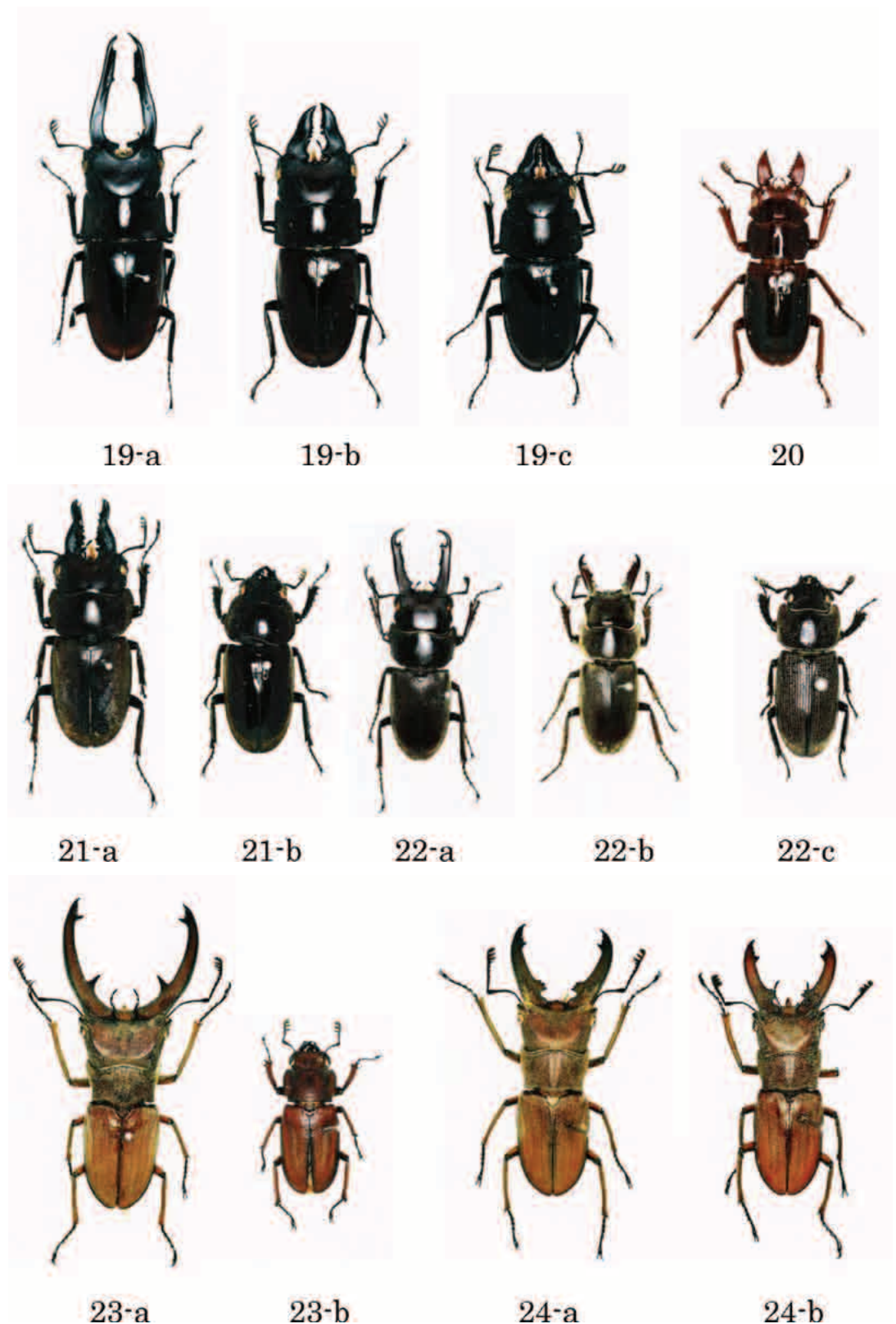
Pl. 2

7. *Figulus* sp. 1 チビクワガタの1種 (Kumbang Rusa Prothorax Cekung sp. 1); 11 mm. 8. *Figulus* sp. 2 チビクワガタの1種 (Kumbang Rusa Prothorax Cekung sp. 2); 10 mm. 9. *Figulus* sp. 3 チビクワガタの1種 (Kumbang Rusa Prothorax Cekung sp. 3); 11 mm. 10. *Figulus* sp. 4 マメクワガタの1種 (Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 4); 11 mm. 11. *Figulus* sp. 5 チビクワガタの1種 (Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 5); 9 mm. 12. *Figulus* sp. 6 マメクワガタの1種 (Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 6); 10 mm. 13. *Figulus* sp. 7 マメクワガタの1種 (Kumbang Rusa Bertubuh Kecil sp. 1); 11 mm. 14. *Cardanus sulcithorax* サメハダチビクワガタ (Kumbang Rusa Prothorax Lubang Besar); 10 mm. 15. *Novonigidius ornatifrons* ニセツノヒョウタンクワガタ (Kumbang Rusa Bertubuh Selindris); ♂, 14 mm. a. dorsal view; b. lateral view.



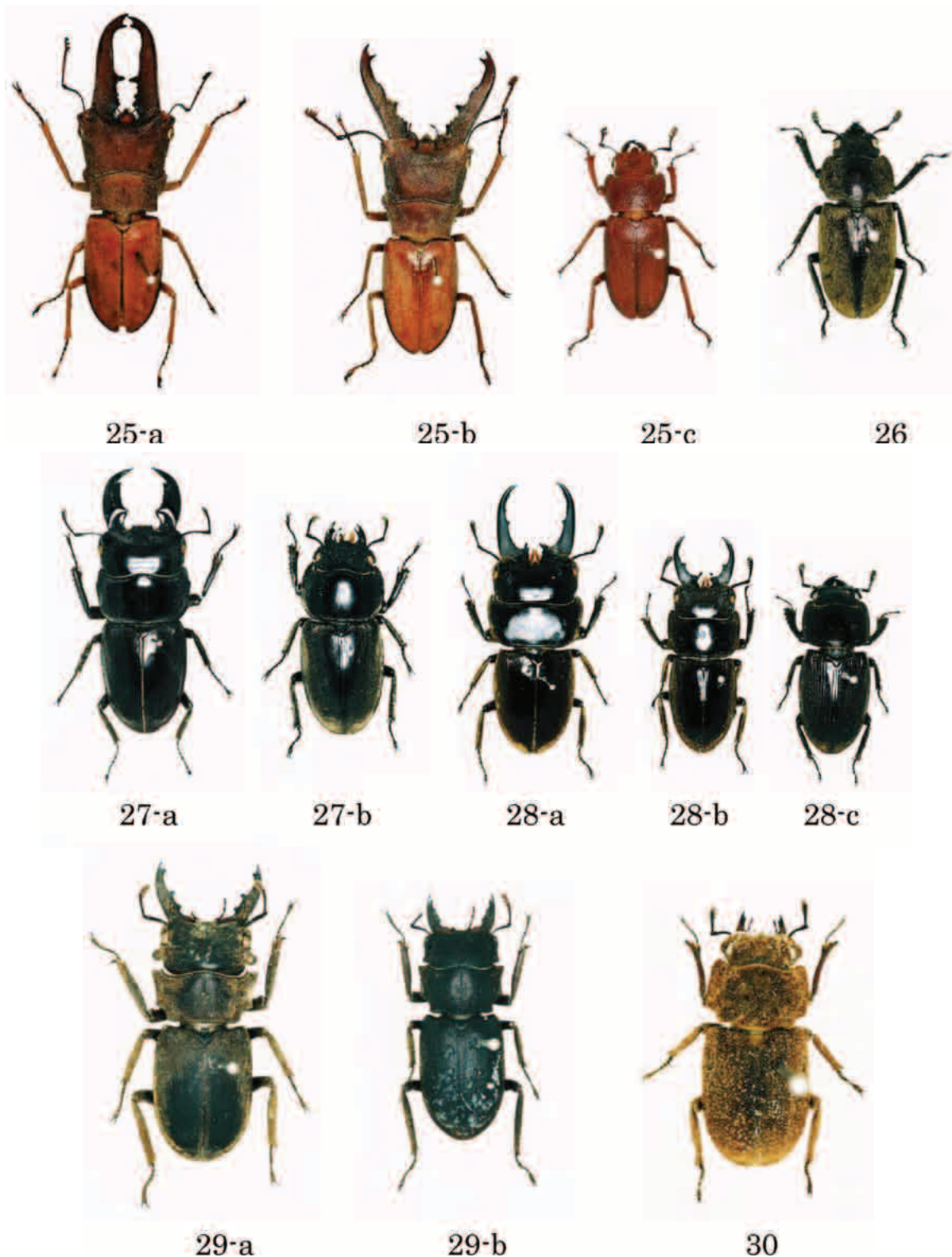
Pl. 3

16. *Prosopocoilus mohnikei mohnikei* モーニッケノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Mohnike): a. ♂, 41 mm; b. ♂, 35 mm; c. ♂, 26 mm. 17. *Prosopocoilus occipitalis astericus* オキシピタリスノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Prothorax Bintik Hitam): a. ♂, 40 mm; b. ♂, 32 mm; c. ♂, 25 mm; d. ♂, 22 mm; e. ♀, 21mm. 18. *Prosopocoilus attenuatus* アテヌアトウスノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Berbulu Halus): a. ♂, 26 mm; b. ♂, 21 mm; c. ♀, 15 mm.



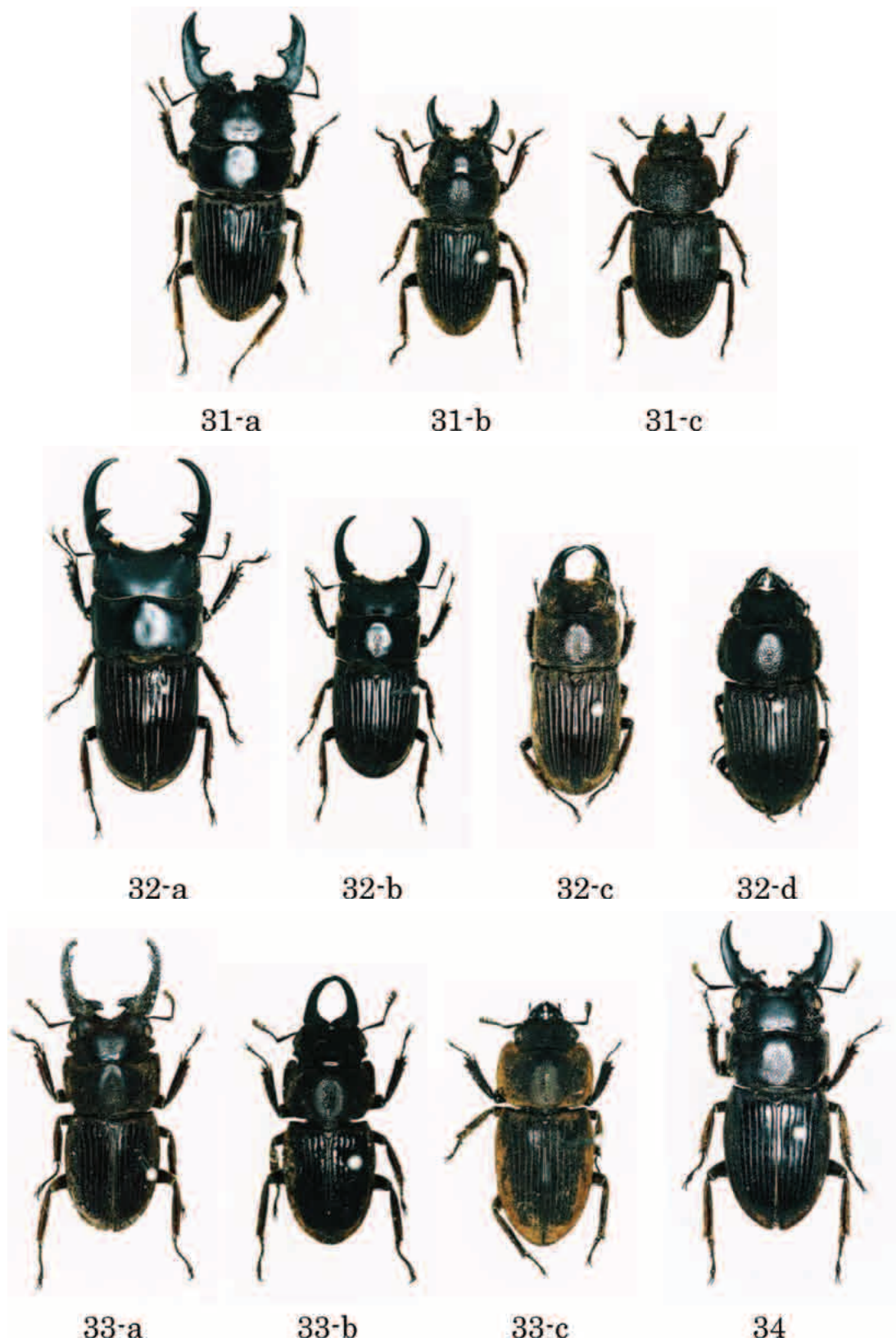
Pl. 4

19. *Prosopocoilus budah annae* ブツダノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Prothorax Persegi); a. ♂, 40 mm; b. ♂, 30 mm; c. ♂, 25 mm. 20. *Prosopocoilus rubens* ルベンスノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Bertubuh Coklat Tua); ♂, 20mm. 21. *Prosopocoilus forceps nakamotoi* フオルケプスノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Bertubuh Maron); a. ♂, 35 mm; b. ♀, 22mm. 22. *Prosopocoilus passaloides* パッサロイデスノコギリクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Gergaji Ramping); a. ♂, 32 mm; b. ♂, 28 mm, c. ♀, 21 mm. 23. *Cyclommatus canaliculatus ramlai* カナリクラトウスホソアカクワガタ (Kumbang Rusa Kemerahan Rahang Bangkok); a. ♂, 40 mm; b. ♀, 20 mm. 24. *Cyclommatus dehaani* デハーンホソアカクワガタ (Kumbang Rusa Rahang Bangkok Pendek); a. ♂, 34 mm; b. ♂, 32 mm.



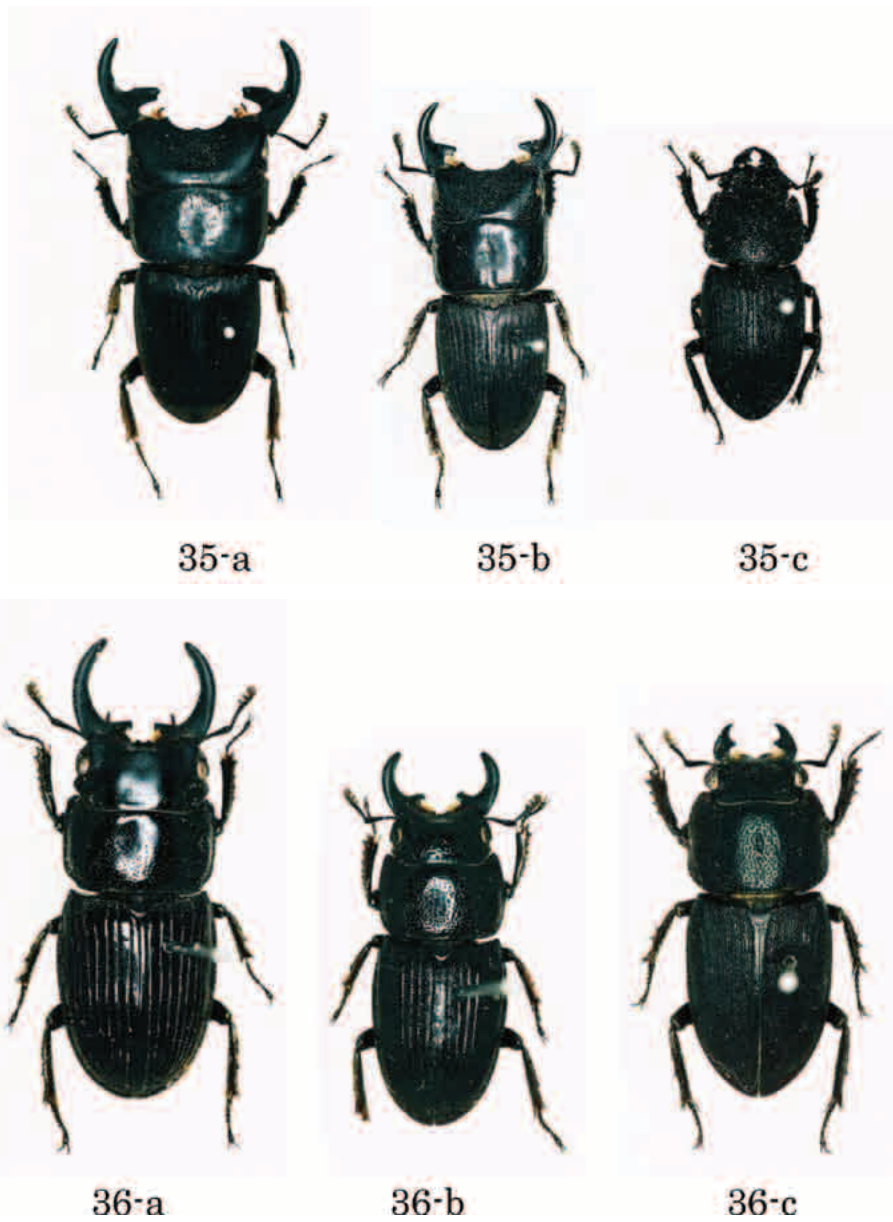
Pl. 5

25. *Cyclommatus martinii yamamotoi* マルテイニホソアカクワガタ (Kumbang Rusa Coklat Kemerahan Marrini): a. ♂, 35 mm; b. ♂, 34 mm; c. ♀, 22 mm. 26. *Dorcus* sp. ヒラタクワガタの1種 (Kumbang Rusa Bertubuh Besar Berbulu): ♀, 18 mm. 27. *Dorcus titanus titanus* マレーヒラタクワガタ (Kumbang Rusa Bertubuh Besar): a. ♂, 50 mm; b. ♀, 37 mm. 28. *Dorcus mirabilis* ミラビリスヒラタクワガタ (Kumbang Rusa Bertubuh Besar Prothorax Berkilau): a. ♂, 49 mm; b. ♂, 38 mm; c. ♀, 30 mm. 29. *Gnaphaloryx opacus* ソリアシサビクワガタ (Kumbang Rusa Berbulu Karat Hitam): a. ♂, 26 mm; b. ♂, 21 mm. 30. *Gnaphaloryx capreolus* カプレオルスソリアシサビクワガタ (Kumbang Rusa Berbulu Karat Coklat): ♀, 15 mm.



Pl. 6

31. *Aegus acuminatus acuminatus* アクミナートウスネブトクワガタ (Kumbang Rusa Prothorax Lebar Berkilau): a. ♂, 33 mm; b. ♂, 18 mm; c. ♀, 18 mm. 32. *Aegus parallelus* パラレルスネブトクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Bergaris Sejajar): a. ♂, 39 mm; b. ♂, 31 mm; c. ♂, 30 mm; d. ♀, 28 mm. 33. *Aegus impressicollis lateliffei* インプレッシコリスネブトクワガタ (Kumbang Rusa Prothorax Berlubang Kecil): a. ♂, 28 mm; b. ♂, 20 mm; c. ♀, 20mm. 34. *Aegus* sp. ネブトクワガタの1種 (Kumbang Rusa Prothorax Berbintik sp.): ♂, 32 mm.



Pl. 7

35. *Aegus punctatipennis* プンクテイペンニスネブトクワガタ (Kumbang Rusa Sayap Bergelombang) a. ♂, 37 mm; b. ♂, 27 mm; c. ♀, 19mm. 36. *Aegus cherifer nitidus* チェリフェルネブトクワガタ (Kumbang Rusa Prathorax Berkilau): a. ♂, 24 mm; b. ♂, 18 mm; c. ♀, 20 mm.

インドネシア共和国東カリマンタン州 ブキットスハルトとブキットバンキライのクワガタムシ

槇原 寛^{1)*}、スギアルト²⁾、藤間 剛³⁾

要 旨

インドネシア共和国東カリマンタン州ブキットスハルト（ムラワルマン大学教育演習林）とブキットバンキライ（Inhutani I 社）の森林で採集したクワガタムシ 36 種のカラー写真付きの目録を作成した。ブキットスハルトで約 1000ha、ブキットバンキライで約 300ha の合計 1300ha の調査地から 36 種のクワガタムシが採集された。北海道から南西諸島までを含む日本列島全体（約 38 万 km²）で記録されているクワガタムシは 40 種である。このことを考えるとブキットスハルトとブキットバンキライの生物多様性の高さが理解できるであろう。

インドネシア語にはクワガタムシを示す言葉はあるものの、個々の種類を示す言葉はない。現地の人々に自分たちの住んでいる地域の森林が、いかに多様な生物をはぐくんでいるかを知ってもらう必要がある。そこで、インドネシアの人々の生物多様性に対する理解の一助として、採集したクワガタムシ各種の学名、和名に加え、新たにインドネシア語名を命名した。

キーワード：クワガタムシ、森林昆虫の代表、ブキットスハルト、ブキットバンキライ、東カリマンタン、生物多様性

原稿受付：平成 26 年 11 月 5 日 原稿受理：平成 27 年 1 月 19 日

1) 千葉県いすみ市（元森林総合研究所）

2) Sekolah Tinggi Pertanian (STIPER) Kutai Timur

3) 森林総合研究所森林植生研究領域

* 千葉県いすみ市日在 2033-5

研究資料 (Research record)

添畑沢スギ間伐試験地における 45 年生から 104 年生までの長期成長データ

正木 隆^{1)*}、大住 克博²⁾、関 剛³⁾、森 茂太⁴⁾、梶本 卓也⁵⁾、
櫃間 岳¹⁾、八木橋 勉⁶⁾、柴田 銃江⁶⁾、野口 麻穂子⁶⁾

要 旨

添畑沢スギ間伐試験地は 1953 年 (45 年生時) に秋田県能代市の丘陵地のスギ人工林 (1909 年植栽) に設定され、強度間伐 2 区、中庸度間伐 2 区、弱度間伐 2 区、無間伐 2 区の計 8 つの処理区 (各 40 m × 50 m) が設けられた。間伐区での間伐は 1957 年 (49 年生時)、1969 年 (61 年生時)、1981 年 (73 年生時) に行われた。1991 年 (83 年生時) に台風 19 号の強風により若干の枯損が発生した以外は、現在まで順調に生育してきている。試験開始後は 5 ～ 11 年の間隔で胸高直径と樹高が計測され、直近の調査は 2012 年 (104 年生時) に行われた。104 年生時の処理区別の平均胸高直径は 50 ～ 65 cm、上層木の平均樹高は 40 ～ 43 m、林分材積は 1000 ～ 2000 m³ ha⁻¹ と処理区間でばらついており、間伐による林分の成長の違いを見て取ることができる。どの処理区も 100 年生を超えた今なお高い材積成長を継続している。本試験地はプロット内の個体の位置情報も得られており、林分の成長を研究する上での貴重なデータであることから、補足電子資料として一般に公開する。

キーワード：スギ人工林、成長モデル、長期モニタリング、長伐期施業、収穫量

1. はじめに

従来、同齢林分の年間の成長量はある齢の周辺でピークに達し、その後は減少傾向になると考えられてきた (Kira & Shidei 1967)。しかし、近年の研究では、ピークに達した年間成長量はその後低下することなく長期間持続し、林分が老齢段階に達してから自然撓乱による個体損傷が生じることで年間成長量が低下する、という説も提示されており (Luyssaert et al. 2008)、論争の対象となっている。植物群落の中で同齢個体群はもっとも単純なシステムのはずだが、寿命が長い樹木の同齢個体群の場合はいまだに不明な点が多いといえる。

同齢林分の成長の研究は、林業の観点からも非常に重要である。林分材積はいったいどこまで増えるのだろうか？ 間伐などの施業は林分の長期的な成長や最終的な収量にどのように影響するのだろうか？ これらの問いに答えるためには、長期にわたって成長がモニタリングされたデータが欠かせない。このようなデータがあってこそ、林分の長期的な成長の理論の検証が可能となり、さらに、新たな仮説や理論の発見につながることもある。

かつて森林総合研究所でも、間伐が人工林の林分構造や収穫量に与える影響を調べるための試験地がいくつか設定された。東北支所の管内では、50 年以上におよぶ成長のモニタリング調査が現在も継続されている。その

中でもっとも古いものは、秋田県大曲市に位置する大又赤倉カラマツ間伐試験地である (1899 年植栽、1917 年試験地設定)。現在までのモニタリングにより、このカラマツ林の総成長速度は 70 年生以降においても高く維持されていることが報告されており (森・大住 1991)、Kira & Shidei (1967) よりも Luyssaert et al. (2008) の説を支持する結果が示されている。

一方、スギ人工林についても長期的に成長が観測されてきた試験地がいくつか存在した。その中の多くは、残念ながら 1991 年の台風 19 号の強風によって被害を受け、試験地としての登録が解除された (芦澤試験地、羽根山試験地など；大住ほか 2000)。一方、被害をほとんど受けず、試験が継続されているのは、秋田県能代市に位置する添畑沢スギ間伐試験地である。この試験地は、今もなお成長のモニタリングが継続されており、約 10 年に 1 回の調査によってデータが更新されている。

本稿では、添畑沢スギ間伐試験地の設定以降の成長経過を紹介するとともに、そのデータを一次資料として公開する (補足電子資料：ファイル名 Sochatazawa Experimental Forest data for open use.xlsx, URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/434/index.html>)。添畑沢スギ間伐試験地のデータが広く研究者に活用されることにより、同齢林分の成長に関する研究の発展に寄与することを期待するものである。

原稿受付：平成 26 年 11 月 19 日 原稿受理：平成 27 年 1 月 16 日

1) 森林総合研究所森林植生研究領域

2) 鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター

3) 森林総合研究所北海道支所

4) 山形大学農学部

5) 森林総合研究所植物生態研究領域

6) 森林総合研究所東北支所

* 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

2. 試験地の概要

添畑沢スギ間伐試験地は、東北森林管理局米代西部森林管理署管内 134 林班は小班に設定され、秋田県能代市の丘陵地に位置している (北緯 $40^{\circ} 04' 31''$ 、東経 $140^{\circ} 11' 27''$ 、標高 80 ~ 210 m)。そこから 19 km 離れた北秋田市旭町 (標高 29 m) における 1988 ~ 2001 年の観測データでは、年平均気温 10.1°C (最低値は 1 月の -2.3°C 、最高値は 8 月の 22.6°C)、年間降水量 1550 mm である。試験地における最深積雪は 100 ~ 150 cm と推定されている。母材は頁岩、土壌型は適潤性褐色森林土 (B_0) である。地形は東 ~ 北 ~ 西側を尾根で囲まれ、南側に開けた小流域となっている (Fig. 1)。試験地のスギ林は 1909 年に密度 3000 本/ha で植栽されたものである (植栽された品種は不明)。

3. 試験の履歴

1953 年 (45 年生時) に、寺崎康正氏により $40\text{ m} \times 50\text{ m}$ の 8 処理区 (A ~ H) が設定された (Fig. 1、標高 90 ~ 120 m)。これらは尾根下の緩斜面上に位置する。8 区全体での 45 年生時の平均樹高は 24.8 m、平均 + 標準偏差の樹高は 28.6 m であり、平均樹高の値からは秋田県の地位級 1、あるいはそれ以上に相当する (田村・細田 2012)。

8 つの区画は、強度間伐 2 区 (A, C)、中庸度間伐 2 区 (D, H)、弱度間伐 2 区 (E, G)、無間伐 2 区 (B, F) に割り当てられた (Fig. 1)。間伐は 1957 年 (49 年生)、1969 年 (61 年生)、1981 年 (73 年生) におこなわれた (Table 1)。これら 3 回の間伐は定量間伐であり、下層木を中心に行われたが、強度間伐区では上層木も多少間伐された。これらの処理の結果、収量比数は強度、中庸度、弱度間伐区ではそれぞれ 0.6、0.7、0.8、無間伐区は 0.9 前後で推移した (大住ら 2000)。

1991 年には台風 19 号のもたらした強風により、各プロットで材積率 0 ~ 10%、本数率 0 ~ 15% の立木が枯損した。

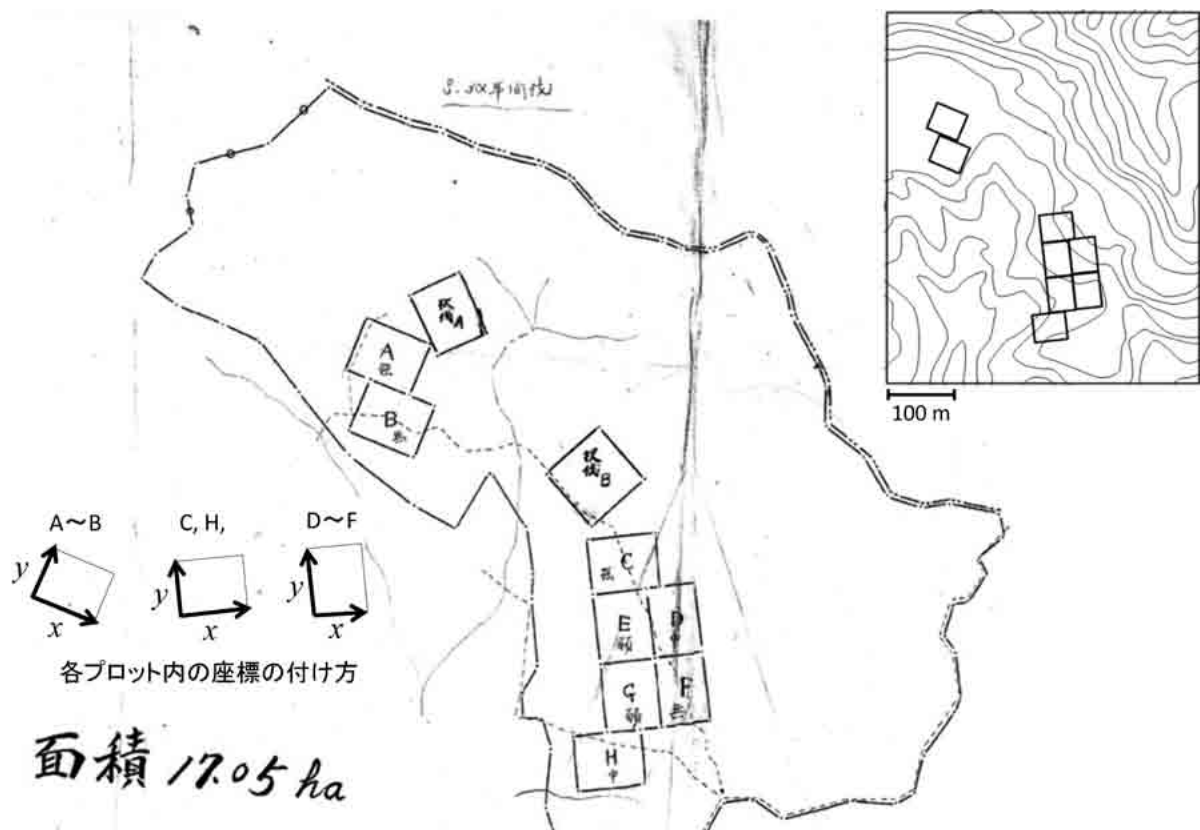


Fig. 1. 試験地の設定時に手書きされた添畑沢試験地内のプロット位置図。図中の右上に、地形図上 (等高線間隔 10 m) に配置させた図を、また図中の左に 8 プロットの座標系を示す。図中の択伐 A 区、択伐 B 区の場所は現地で同定できず、データも残っていない。

This map, manually drawn at the time the Soehatazawa Experimental Forest was established, shows the location of the study plots. The topography map (10-m interval contour) in the upper right corner of the figure shows the plot locations; coordinate systems within the plots are shown on the left. Two plots which are not shown in the topography map are not identified at present and the data for them are lost.

Table 1. 各調査年における各プロット内の成立本数の推移。カッコ内の数値は、測定直後に間伐された本数を示す (ただし、1956 年の調査後の間伐はその当年ではなく翌 1957 年に行われた)。
The number of standing trees in each of the eight plots (A–H) is shown for each year in which measurements were conducted. Values in parentheses represent the number of trees thinned just after the measurements (with the exception of trees measured in 1956, which were thinned in 1957)

調査年 Year	林齢 Stand age	強度間伐区 Heavy thinning		中庸度間伐区 Moderate thinning		弱度間伐区 Light thinning		無間伐区 No thinning	
		A	C	D	H	E	G	B	F
1953	45	165	136	131	144	162	171	179	179
1956	48	165 (77)	135 (48)	129 (32)	143 (32)	162 (32)	167 (37)	175	171
1962	54	88	87	97	110	130	129	173	160
1969	61	88 (30)	87 (32)	97 (22)	110 (35)	130 (30)	128 (28)	159	156
1976	68	58	55	75	75	100	100	149	152
1981	73	58 (14)	55 (14)	75 (23)	75 (22)	100 (12)	100 (13)	142	148
1991	83	44	41	52	53	88	86	128	134
2002	94	40	39	48	53	82	78	109	121
2012	104	39	39	48	53	81	78	102	113

Table 2. 各年における直径と樹高の調査本数。全個体が測定された場合は「-」で示している。たとえば直径の欄に 0 が記されている場合は、その年のそのプロットでは直径が 1 本も調査されなかったことを意味する。
The numbers of trees with their diameter at breast height (DBH) and their height determined in each of the eight plots (A–H). A value of zero means, for example, that the trees in that plot were NOT measured for that particular parameter in the indicated year. A dash represents that all of the trees in that plot were measured for that particular parameter in the indicated year.

調査年 Year	林齢 Stand age	強度間伐区 Heavy thinning				中庸度間伐区 Moderate thinning				弱度間伐区 Light thinning				無間伐区 No thinning			
		A		C		D		H		E		G		B		F	
		DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height	DBH	Height
1953	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	48	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	166	166	0	0	-	-
1962	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	61	-	-	-	-	-	-	-	109	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	68	-	34	-	32	-	46	-	48	-	58	-	59	-	92	-	81
1981	73	-	34	-	32	-	46	74	48	-	58	-	59	-	86	147	80
1991	83	-	0	38	20	-	0	-	0	-	22	-	0	-	33	-	20
2002	94	-	10	-	23	-	-	-	11	-	52	-	10	-	0	-	120
2012	104	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	63	-	0	-	110

4. 調査の履歴と方法

4.1 調査の履歴

調査は 1953 年 (45 年生時)、1956 年 (48 年生時)、1962 年 (54 年生時)、1969 年 (61 年生時)、1976 年 (68 年生時)、1981 年 (73 年生時)、1991 年 (83 年生時)、2002 年 (94 年生時)、2012 年 (104 年生時) の計 9 回、胸高直径 (以下、単に「直径」と記す) と樹高の計測がおこなわれた。なお、1969 年 (61 年生時)、1981 年 (73 年生時) の調査は、同年の間伐の前におこなわれ、1991 年の調査は同年の 19 号台風の前にこなわれた。

4.2 調査の方法

各個体にはプロットごとに連番で番号が与えられている。2002 年の調査時には、各プロット内の辺付近に位置する個体を対象として、根元に釘を打ち、穴を開けた小アクリル板に上記番号をペイントマーカーで記したものをクレモナロープでぶら下げた。

直径の測定箇所には白ペンキかスプレーペンキで、幹を一周するように印が記されている。1991 年までは直

径テープで直径を測定し、2002 年と 2012 年にはスチール巻尺で周囲長を測定し円周率で除すことで直径とした。樹高の測定は、1991 年まではブルーメライス、2002 年はインパルス (Laser Technology Inc.)、2012 年はトゥールパルス 360 (Laser Technology Inc.) によって行われた。

なお、1967 年 (59 年生時) にも調査が行われているが、データを前後の値と比較すると測定値の誤差が大きいと感じられ (誤差が大きい理由は不明)、そしてその後 (1969 年) に調査が行われていることから、1967 年のデータは本稿における解析および公開データからは省くこととする。

直径は、各調査年の時点で生存していた全個体について測定したが、年によっては一部、調査漏れの個体がある (Table 2)。樹高は、年によって測定対象とした個体数がばらついており、ある年のある処理区では 1 個体も樹高計測が行われなかった場合もあった (Table 2)。設定から間もない 1953 年 (45 年生時)、1956 年 (48 年生時)、1962 年 (54 年生時) の調査には、樹高が測定された個体について枝下高も計測されている。

4.3 欠測値の推定

ある個体のある年 (Y) の直径の欠測値 (X) については、その個体のその前回 (y_1 年) の直径測定値 (x_1) からその次の回 (y_2 年) の直径測定値 (x_2) までの毎年の直径増加量が一定であると仮定し、式 $X = x_1 + (Y - y_1)(x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)$ によって推定した。ただし、1956 年 (48 年時) に直径が測定されずに間伐されてしまった個体については、次のようにして直径を推定した。まず、その年に間伐されなかった個体の 1953 年～1956 年の期間の直径増加量を目的変数、それらの 1953 年時の直径を説明変数として二次式をあてはめた (一般化線形モデル)。そして、推定された式に 1956 年に間伐された個体の 1953 年時の直径を代入し、直径の増加量の推定値とした。

樹高の欠測値については以下のようにして推定した。まず、林齢ごとに、直径と樹高の両方が測定された個体

のデータにべき乗関数をあてはめてパラメータを推定した。正木ら (2013) はこの試験地のデータの解析から、樹高の成長が間伐の強度に影響されることを示しているが、ここではそれを考慮せず、林齢ごとに各プロットを込みにしたデータを用いた。次に、各林齢において、パラメータ推定に用いた個体の直径値を、推定されたべき乗式に代入して樹高の予測値を計算し、その観測値との偏差を求めた。この偏差は、全期間を通じて同一の個体内で正 (平均よりも樹高が高め)、あるいは負 (平均よりも樹高が低め) で一貫している傾向がみられた。そこで、個体ごとに各林齢での偏差を平均し、樹高欠測年の直径値をべき乗式に代入して得られた樹高予測値に加算することで、欠測の樹高値の推定値とした。なお、枝下高の欠測値については、推定を行わなかった。

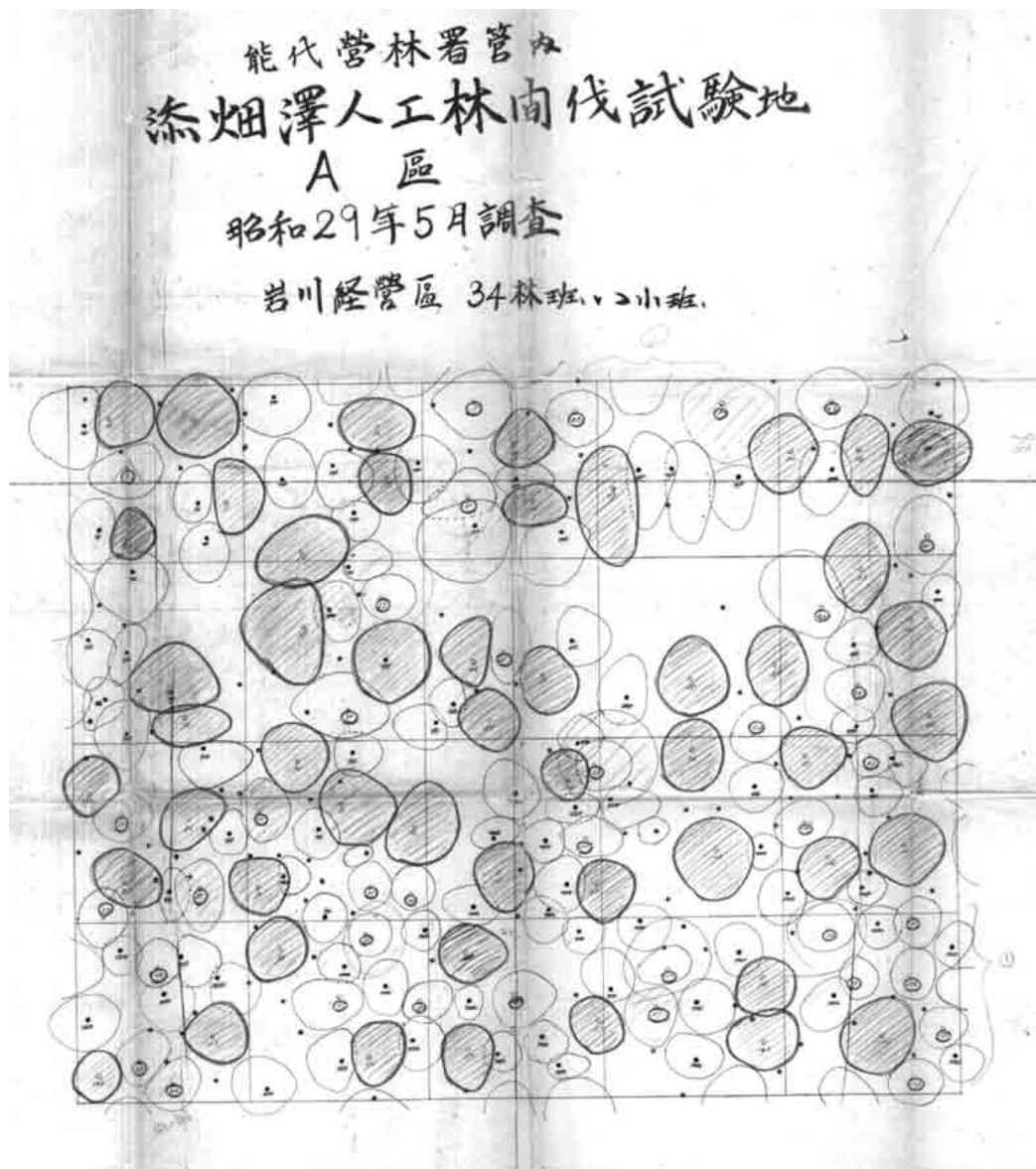


Fig. 2. 試験地の設定時に手書きされた樹冠投影図

The figure, manually drawn at the time the Soehatazawa Experimental Forest was established, shows the crown projections within a plot.

5. 個体位置図の作成

処理区の設定後すぐに、各区において樹冠投影図が作成された (Fig. 2)。この図をスキャナーで読み取り、デジタル処理をおこなってプロットごとに各個体の座標を読み取った (Fig. 1)。これにより、個体の空間配置を考慮した成長解析も可能となっている。

6. 立木密度と成長の経過

以下、各処理区の成長経過について簡単に紹介する。

6.1 立木密度 (Fig. 3)

設定時の 45 年生時の段階で、各処理区の立木密度には多少の差があった。C、D、H 区は $680 \sim 720$ 本 ha^{-1} で、それ以外の処理区は $810 \sim 900$ 本 ha^{-1} で相対的に高い立木密度だった。その後 3 回の間伐と無間伐区での自然枯死、および 84 年生時の台風被害により、直近の 104 年生時の調査において、強度間伐区では 200 本 ha^{-1} 、中庸度間伐区では 250 本 ha^{-1} 、弱度間伐区では 400 本 ha^{-1} 、無間伐区では $510 \sim 560$ 本 ha^{-1} となっていた。

6.2 平均直径 (Fig. 4)

設定の 45 年生時の段階での各区の平均直径は $31 \sim 36$ cm だったが、直近の 104 年生時の調査においては、強度間伐区と中庸度間伐区では約 65 cm、弱度間伐区では約 55 cm、無間伐区では約 50 cm となっている。また、104 年生時の調査でもっとも大きかった値は、C 区 (強度間伐区) の個体の 93.2 cm であった。このように、直径の成長は処理による差が明瞭に現れているものの、強度間伐区と中庸度間伐区はほぼ同じ値となっており、この試験地の強度間伐区は、個体の成長を促すのに必要な割合以上に間伐が行われたことを示唆している。

6.3 平均樹高 (Fig. 5、Fig. 6)

プロットごとに全個体 (Fig. 5) および上層個体 (樹高の上位 25%; Fig. 6) の平均樹高の推移を求めた。上層個体の平均樹高は、45 年生時の $28 \sim 30$ m から、直近の 104 年生時の $40 \sim 43$ m まで成長し、全個体の平均樹高はそれよりも $2 \sim 4$ m 低い値で推移していた。

80 年生時の頃までは、平均樹高は全個体、上層個体ともに年間約 35 cm の成長を示していたが、それ以降は樹高の伸びが低下傾向へと変化している傾向がみられた。83 年生時から 94 年生時にかけては平均樹高が低下している区もあるが、それは 84 年生時の台風被害によるものである。94 年生時以降は、平均樹高は再びプラス成長に回復しているが、各区の数値は上層木では年間 $5 \sim 22$ cm (平均 16 cm)、全個体では年間 $13 \sim 23$ cm (平均 15 cm) で、83 年生以前よりは低い値となっている。

6.4 材積 (Fig. 7)

秋田地方のスギの材積式 (林野庁 1957) に各個体の直

径 (D) と樹高 (H) をあてはめて、幹材積を推定した。材積式は $\log v = a + b \log D + c \log H$ を用い、式中の $\log$ は底を 10 とする常用対数、パラメータ $\{a, b, c\}$ は直径が 11 cm 未満の場合は $\{-4.117135, 1.769161, 0.974150\}$ 、11 ~ 21 cm の場合は $\{-4.221487, 1.810503, 1.044206\}$ 、21 ~ 41 cm の場合は $\{-4.326722, 1.726305, 1.227196\}$ 、41 cm 以上の場合は $\{-4.072908, 1.617248, 1.170206\}$ である。

その結果、林分材積は間伐強度が弱いほど高い値で推移し、104 年生時で無間伐区は $2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ を超える材積となっている。一方、強度間伐区ではその約半分の値である。

この試験地は現在 100 年生を超える高齢林であるが、どの処理区においても、林分材積の増加傾向は壮齢時とさほど変わっておらず、今もなお成長の鈍化傾向はみられない。

7. 本試験地における研究成果

添畑沢試験地のデータに基づく研究成果として、以下の 4 つがあげられる。

大住ほか (2000) は添畑沢スギ間伐試験地を含む秋田県の高齢スギ試験地のデータを解析し、林分が高齢級に達しても高い材積成長が持続することを示した。この論文は本試験地の 83 年生時までのデータを用いたものであるが、本稿で示したように、その後 104 年生に至っても高い材積成長が今なお継続している。

また、正木ほか (2013) は、強度間伐を行うと樹高の成長が低下する、という経験則を実証するために、この試験地の個体ごとの長期成長データを解析した。その結果、無間伐区と比べて強度間伐区の個体は 60 年生時以降に樹高成長速度が低下する傾向を示し、中庸度・弱度の間伐区の個体は 70 年生時以降に同様の傾向を示した。このことから壮齢段階以降の適切な間伐は、直径成長の促進だけではなく樹高成長も相対的に低めることで、形状比の抑制に効果があることを示唆した。

一方 Masaki et al. (2006) は、この試験地の個体位置情報と直径の成長データを解析し、スギが成長に関して互いに競合する個体間の距離は、林齢によらず約 8 m 以内であることを明らかにした。立木が個体間距離 8 m で分布する場合、それは立木密度で約 200 本 ha^{-1} に相当するが、Fig. 4 から見て取れるように 73 年生時以降の立木密度が 200 本 ha^{-1} 前後の強度間伐区と中庸度間伐区では直径成長はほぼ同等となっている。すなわち、個体間距離 8 m という立木配置は、スギの個体成長を最大化する一つの閾値であることが示唆される。

Matsushita et al. (印刷中) は、Masaki et al. (2006) の結果を参考にしつつ Canham et al. (2004) のモデルを拡張して本試験地のデータをあてはめ、汎用性の高いスギの直径成長モデルを開発した。このモデルに林齢、個体サイズ、個体配置の 3 要素を代入することで、個々のスギの直径成長を高い精度で予測できることが示された。

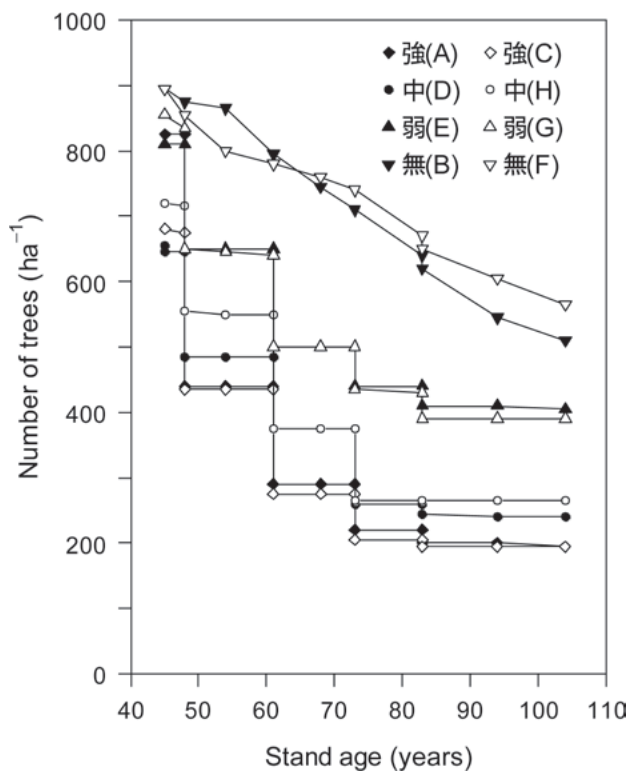


Fig. 3. 各プロット内の生立木の本数の推移
Chronological changes in the standing trees within each plot (A–H).

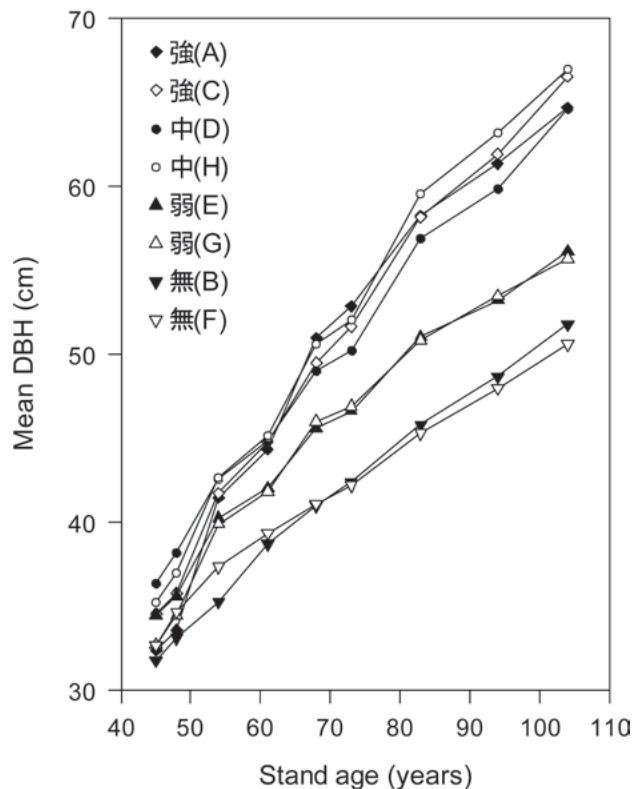


Fig. 4. 各プロット内の平均胸高直径の推移
Chronological changes in the mean diameter at breast height (DBH) of the trees within each plot (A–H).

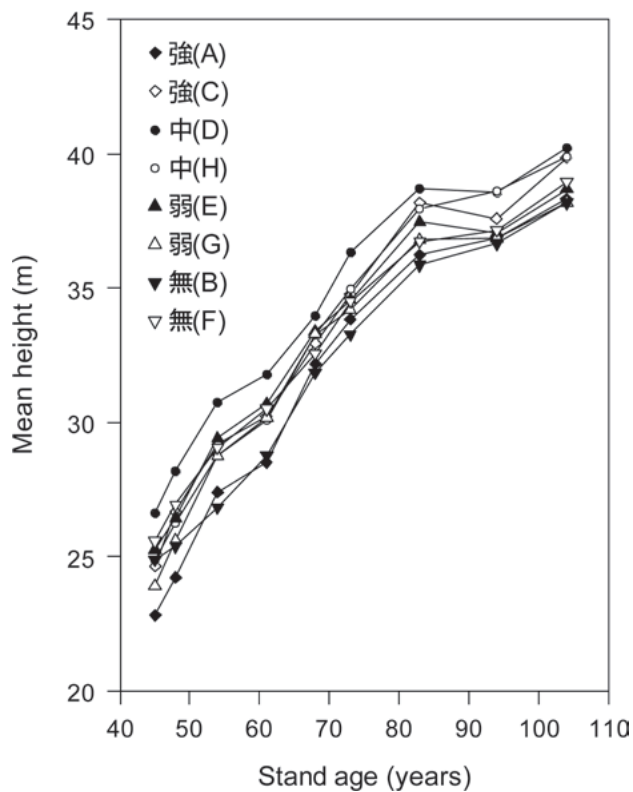


Fig. 5. 各プロット内の全個体の平均樹高の推移
Chronological changes in the mean height of all trees within each plot (A–H).

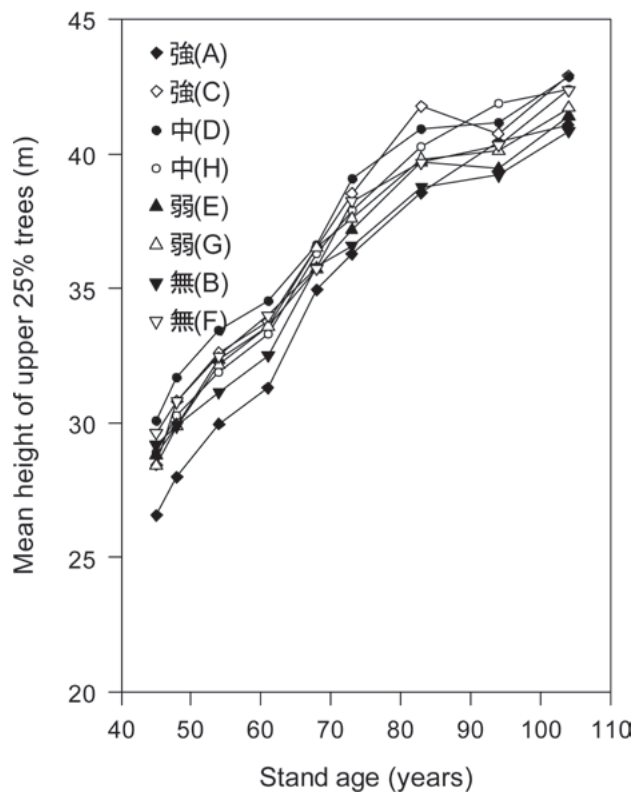


Fig. 6. 各プロット内の上層木 (上位 25%) の平均樹高の推移
Chronological changes in the mean height of the upper trees (upper 25%) within each plot (A–H).

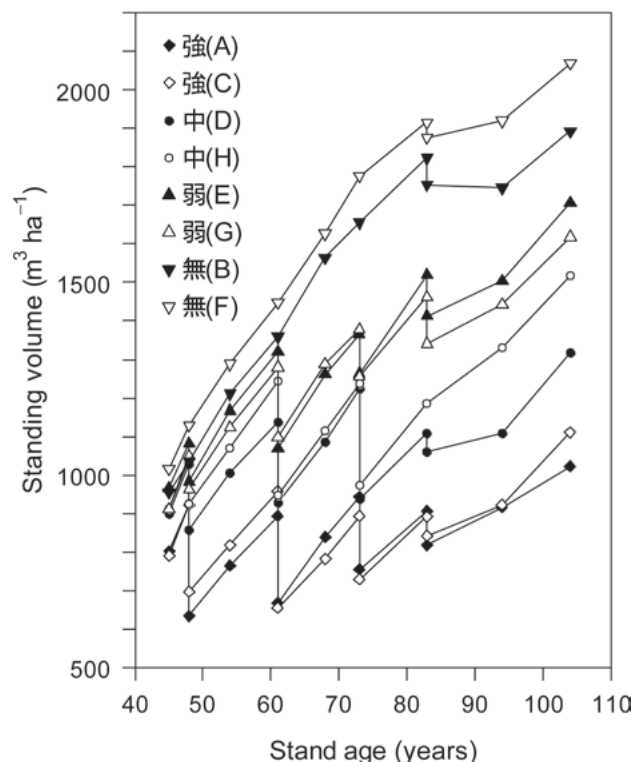


Fig. 7. 各プロット内の材積の推移
Chronological changes in the standing volume within each plot (A–H).

8. 今後に向けて

上述したいずれの研究成果も、添畑沢スギ間伐試験地において長期的かつ丁寧に蓄積されたデータがあってこそ得られたものである。この試験地に限らず、長期的に一定の精度で観測が継続されてきたデータは、さまざまな理論や仮説の検証に利用できると同時に、予想外の発見の源にもなるであろう。

しかし、本稿の冒頭で述べたもっとも根源的な問いである「林分材積はいったいどこまで増えるのだろうか?」、「間伐などの施業は林分の長期的な成長や最終的な収量にどのように影響するのだろうか?」については、約 110 年生のスギ林における約 60 年のモニタリングが行われた添畑沢スギ間伐試験地のデータをもってしても、いまだ満足に回答することができない。我々は、持続可能な林業に必要なもっとも基本的な情報をまだ手にしていないのである。

こういった状況を少しずつ改善していくためには、今後もモニタリングを定期的に継続する必要がある。したがって、本試験地に限らず各地の試験地で長期的に継続されてきた成長の観測は、これからも継続されるような体制を築かなければならない。これは森林の研究や行政に携わる者の任務であると考える。

謝辞

本試験地の維持・管理にあたっては東北森林管理局にさまざまなご便宜を図っていただいている。また、試験地での調査では、故・森麻須夫氏、桜井尚武氏、斎藤勝郎氏、故・佐藤昭敏氏、澤田智志氏（秋田県庁）、高田克彦氏（秋田県木材高度加工研究所）、酒井敦氏、宮本和樹氏、杉田久志氏、新田響平氏（秋田県森林技術センター）、上野満氏（山形県森林研究研修センター）、松下通也氏らをはじめとする多くの方々からご協力・ご助言をいただいていた。ここに厚く謝意を申し上げる。

引用文献

- Canham, C. D., LePage, P. T. and Coates, K. D. (2004) A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 778–787.
- Kira, T. and Shidei, T. (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. *日本生態学会誌*, 17, 70–87.
- Luyssaert, S., Schulze, E. D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., Ciais, P. and Grace, J. (2008) Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213–215.
- Masaki, T., Mori, S., Kajimoto, T., Hitsuma, G., Sawata, T., Mori, M., Osumi, K., Sakurai, S. and Seki, T. (2006) Long-term growth analyses of Japanese cedar trees in a plantation: neighborhood competition and persistence of initial growth deviations. *Journal of Forest Research*, 11, 217–225.
- 正木 隆・榎間 岳・八木橋勉・野口麻穂子・柴田銃江・高田克彦 (2013) スギ林における壮齢時の間伐は樹高の長期的な成長にどのように影響するか? *日本森林学会誌*, 95, 227–233.
- Matsushita, M., Takata, K., Hitsuma, G., Yagihashi, T., Noguchi, M., Shibata, M. and Masaki, T. (2015) A novel growth model evaluating Age-size effect on long-term trends in tree growth. *Functional Ecology*, in press.
- 森麻須夫・大住克博 (1991) 秋田地方における高齢級カラマツ林の成長. *森林総合研究所研究報告*, 361, 1–15.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関 剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. *日本林学会誌*, 82, 179–187.
- 林野庁 (1957) 秋田営林局スギ人工林立木材積表調製説明書. *材積表調製業務資料*, 3, 1–41.
- 田村浩喜・細田和男 (2012) 子吉川流域におけるスギ林分収穫表. *秋田県森林技術センター研究報告*, 21, 37–51.

Long-term growth of a planted forest of Japanese cedar at Soehatazawa Experimental Forest under various thinning intensities of trees 45–104 years old

Takashi MASAKI^{1)*}, Katsuhiro OSUMI²⁾, Takeshi SEKI³⁾, Shigeta MORI⁴⁾,
Takuya KAJIMOTO⁵⁾, Gaku HITSUMA¹⁾, Tsutomu YAGIHASHI⁶⁾,
Mitsue SHIBATA⁶⁾ and Mahoko NOGUCHI⁶⁾

Abstract

Soehatazawa Experimental Forest, a planted forest of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) planted in 1909 and located in a hilly area of Akita prefecture, Japan, was established in 1953. At that time, eight plots differing in thinning intensity were designated within the forest (two each for heavy thinning, moderate thinning, light thinning, and no thinning). Tree growth in each plot was monitored intermittently for 59 years (1953–2012) and continues to be monitored in terms of diameter at breast height (DBH) and height. Thinning operations were conducted in 1957, 1969, and 1981. A small number of trees were damaged in 1991 by the occasionally strong winds. At the recent census in 2012 (tree age: 104 years), the mean DBH, mean height of the upper portion of the trees (upper 25%), and the standing volume varied between plots by 50–65 cm, 40–43 m, and 1000–2000 m³ ha⁻¹, respectively, reflecting the intensity of thinning. In trees >100 years old, the annual increment in the standing volume was maintained at high levels within each plot. Together with the spatial data on each tree, long-term data on this forest are valuable to study growth of even-aged planted forests. The data are stored as electronic supplemental material and can now be accessed for use by the public (file name: "Soehatazawa Experimental Forest data for open use.xlsx", URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/434/index.html>).

Key words : growth model; Japanese cedar planted forest; long-term monitoring; longer rotation; yield

Received 19 November 2014, Accepted 16 January 2015

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

2) Field Science Center, Tottori University, Faculty of Agriculture

3) Hokkaido Research Center, FFPRI

4) Faculty of Agriculture, Yamagata University

5) Department of Plant Ecology, FFPRI

6) Tohoku Research Center, FFPRI

* Department of Forest Vegetation, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: masaki@ffpri.affrc.go.jp

森林総合研究所研究報告の基本方針

1. 審 査

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）は、すべて審査を受けてその採否が決定されます。論文の審査方針を次のように定めます。

1. 審査の目的

投稿された論文（論文、短報、ノート、総説、研究資料）が、審査の基準に照らして掲載可能か否かを判断するのが審査の目的です。

2. 審査の基準

- (1) 新規性：論文の内容が、公知、既発表、または既知のことから容易に導き得るものでないこと。
 - (2) 有用性：論文の内容が、学術的に、または実用上なんらかの意味で価値があること。
 - (3) 信頼性：論旨が通っており、結論等を信頼するに十分な根拠が示されていること。
- さらに、論文はその内容が読者に十分理解できるように簡潔かつ明瞭に記述され、その内容に誤りないことが必要で投稿規程及び執筆要領に規定されたとおりに論文が構成され、記述されていなければなりません。

3. 査読者

投稿された論文の査読者2名（ノート及び研究資料の場合1人）は、担当編集委員が決定し、森林総合研究所研究報告編集委員会（以下、「委員会」という）において決定されます。査読者の氏名は公表しません。著者との連絡はすべて委員会が行い、査読者は著者と直接連絡しないこととします。

4. 査読の結果

論文は、上記の各項の基準に照らして総合的に審査され、次のいずれかに判定されます。

- (1) このまま掲載可。
- (2) 指摘の点を検討・修正の上、編集委員の了承をもって掲載可。
- (3) 指摘の点を検討・修正の上、再審査の必要あり。
- (4) 却下した方がよい（掲載するほどの内容を含まない場合及び掲載すべきでない場合）。
- (5) その他。

(1) から (4) のいずれかに判定し難い時は、(5) と判定されますが、その場合は担当編集者によって、その理由が具体的に示されます。

(2)、(3) と判定された論文の場合は、掲載条件が具体的に示されるので、指摘にそって原稿を修正することになります。(2) の判定の場合は、重要な内容の訂正を掲載条件としないことが原則です。2人の査読者がともに (1) または (2) と判定すれば、査読は終了し、掲載可となります。2人の査読者がともに (4) と判定した場合は、却下となります。

1人が (4) と判定し、担当編集者が必要と認めた場合は別の査読者によってさらに査読を行い、その査読者も (4) と判定すれば却下となります。その査読者が掲載可と判定すれば査読は終了し、掲載可となります。(5) については、その理由により委員会の討議を経て、編集委員長が著者及び査読者と協議して対応します。

(2015年2月27日)

2. 投 稿

投稿資格

1. 投稿者は原則として当所の在職職員とする。その他、元職員、依頼研究員及び共同研究者等が、当所あるいは当所と関係のある場所において研究した成果を含む内容も投稿できる。

原稿の種類

2. 原稿の種類は論文、短報、ノート、総説及び研究資料とする。論文は、原著論文として他の出版物に投稿または掲載されていないものに限る。短報は、速報性の高いものを4頁以内にまとめる。ノートは、価値のある新事実または結論を含むものを2頁以内にまとめる。総説は特定の課題に関する研究を広くかつ普遍的に総括・説明したものとする。研究資料は観測データ、調査資料等とする。

原稿の提出

3. 投稿者は、別に定める執筆要領に基づき作成した原稿を「研究報告原稿提出書」とともに研究情報科編集刊行係に提出する。なお、共著原稿の提出にあたっては、共著者全員の同意を得ることとする。提出する原稿は電子ファイルとする。

原稿の提出先 〒305-8687 つくば市松の里1
独立行政法人 森林総合研究所
研究情報科 編集刊行係
Tel : 029-829-8135
Fax : 029-873-0844
E-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

原稿の修正

4. 修正原稿が2ヶ月以内に、短報及びノートでは3週間以内に再提出されない場合には受付を取り消す。なお、特別な理由により期限内に提出できない場合は、期間延長を編集委員長に文書で申し入れする。

原稿の却下

5. 再審査を終えても受理されない論文等については委員会により却下されることがある。

使用言語

6. 使用言語は日本語または英語とする。

著作権

7. 研究報告の著作権は森林総合研究所に帰属する。掲載論文の全体または一部を他の著作物に利用する場合、事前に編集刊行係に申し出て、編集委員長の許可を得るものとする。

(2015年2月27日)

3. 執筆要領

原稿の書式

1. 原稿は Word 形式の電子ファイルとし、次の書式に従う。
 - 1) 和文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、40 字詰め 20 行で横書きで印字する。語や句を区切る際には、「、」「。」を使用。
 - 2) 英文原稿は、A 4 判白紙に、天地左右各 30mm 程度の余白を残し、原則として 10.5 ポイントの文字を使用し、25 行で印字する。

原稿の構成

2. 原稿の構成は次の順による。
 - 1) 和文原稿
 - (1) 表紙<表題・著者名・所属・英文表題・英文著者名・英名所属>
 - (2) 英文要旨 (Abstract)、英語キーワード
 - (3) 和文要旨、日本語キーワード
 - (4) 本文
 - (5) 引用文献
 - (6) 図・表・写真の表題と説明 (和文、英文または和英併記)
 - (7) 補足電子資料 (Supplemental materials) の表題と説明
 - (8) 図・表・写真 (別添)
 - 2) 英文原稿
 - (1) 表紙<表題・著者名・所属>
 - (2) 英文要旨 (Abstract)、英語キーワード
 - (3) 本文
 - (4) 引用文献
 - (5) 和文要旨<和文表題・和文著者名・和名所属を含む>、日本語キーワード
 - (6) 図・表・写真の表題と説明
 - (7) 補足電子資料 (Supplemental materials) の表題と説明
 - (8) 図・表・写真 (別添)
- ただし、ノートは表題・著者名・所属、キーワード、本文 (目的、方法、結果などの項目は付けない)、引用文献、図表の表題と説明、補足電子資料の表題と説明の順に記述する。原則として、図、表、引用文献は必要最少限とする。

表題

3. 英文表題 (サブタイトルを含む) の記載は、先頭の単語の頭だけを大文字とし、残りの単語は小文字とする。

著者名

4. 著者名の記載は英文の場合、執筆者が通常使用しているローマ字で、名 (頭文字を大文字、以後は小文字)、姓 (大文字) を記載する (例: Taro SHINRIN)。共著者のあるときは “,” で区切り、最後の共著者の前に and を入れる。

所属と連絡先

5. 著者の所属は、論文が受付されたときの所属とする。退職者については退職時の所属 (和文にのみ元をつける) とする。なお、著者の所属をその対応が容易にわかるように著者の右肩に 1)、2) の番号を付し、脚注に森林総合研究所、領域・支所・試験地名等を記載する。また、著者のうち 1 名を連絡先 (corresponding author) とし右肩に所属の番号等についで * (アスタリスク) を付し、脚注に連絡先 (現在の所属、住所、E-mail アドレス (推奨)) を入れる。所属が無い場合は、個人の連絡先 (住所または E-mail アドレス等) とする。

要 旨

6. 要旨は、論文の目的、方法、結果などを和文では 600 字 (短報は 300 字)、英文では 300 語 (短報は 150 語) 以内で簡潔に記述する。その際、原則として改行は避け、できるだけ略語、慣用語を用いない。また、原則として表、図、式などを本文中の番号で引用しない。

長文のものについては、和文の場合英文摘要を巻末に、英文の場合和文要旨のかわりに和文摘要を掲載することが出来る。なお、摘要は目的、方法、結果などの要点を簡潔に記述する。

ノートについては、要旨は不要とする。

キーワード

7. 原稿の内容を的確に表すキーワード (論文、短報、総説及び研究資料は 7 語以内、ノートは 5 語以内) を記載する。キーワードの選定は検索に用いられることを考慮し (調査年等是不適)、英語と日本語を対応させ、記載の順序を揃える。英語は、固有名詞の最初の文字を除き、すべて小文字で書く。

本文／見出し

8. 本文の区分けの表題は中央に 1 行取りで書く。

表題をさらに細分化するときは左詰めにしてゴシック指定にする。

見出しで必要な場合はポイントシステムを採用してもよい。

英文の見出しは、英文表題の記載と同様に最初の単語の頭だけを大文字表記とする。

英文字記号および英数字

9. 本文中、引用文献中ともに、括弧、カンマ(、)、アポストロフィ(')、ピリオド(.)、セミコロン(;)等の英文記号を使う場合には、すべて半角で記述する。ローマ数字も半角アルファベットの組み合わせとして記述する。括弧の前後や記号の後には原則として半角スペースを入れる。

具体的には下記の例を参照(_ は半角スペースを表す)。

・・・であると考えられる(堀・河合_1965a,b, Dropkin et al._1979)。

・・・堀ら_(1965)_の報告がある。

・・・ウスバシロチョウ_(別名ウスバアゲハ)_は、・・・引用文献

Ahmad,_Q._A._(1952)_Fungi of East Bengal. _Pakist._J._For.,_2,_91-115.

引用文献

1 0. 1)本文中の引用文献の記載は下記の例に従う。(_ は半角スペースを表す)

本文末につける場合

(Ahmad_1952)(堀_1965)(Ahmad_1952,堀_1965)

文中での説明の場合

Ahmad_(1952)_は～ 近年、堀_(1965)_は～

著者が複数の場合等の記載例

・連名の場合:(Ahmad_and_Baker_1952)(堀・川合_1965a,b) 中点は全角

・著者が3名以上の場合:第1著者名の後に「et al.」または「ら」を付す。
(Dropkin_et_al._1979)(Dropkin ら_1979)

・複数の文献の場合:年代順に記載し、同年の文献については、アルファベット順に記載する。また、同名の著者は年代順にまとめて記載する。

(田中_1984,1989 石塚_1988,1990a,b)

第一著者が同じであれば共著者が異なっても区別しない。

(田中_,木村_1984)(田中_,鈴木_1988)は(田中ら_,1984,1988)にまとめる。

・訳本の場合:原著者名(訳本の表記に従い、原著者のファミリーネーム)と原著発行年を引用する。(ブレーヌ_1989)

2) 引用文献リストの記載は下記の例に従う。(_ は半角スペースを表す)

・雑誌を引用する場合

例 Ahmad,_Q._A._(1952)_Fungi of East Bengal. _

Pakist._J._For.,_2,_91-115.

Baker,_C._F._(1914a)_A_review_of_some_Philippine_plant_diseases._Philip._Agr._&_For.,_3,_157-164.

Baker,_C._F._(1914b)_First_supplement_to_the_list_of_the_lower_fungi_of_the_Philippine_Islands._Leaflet_Philip._Bot.,_7_(Art113),_2417-2542.

Dropkin,_V._H._and_Foudin,_A._S._(1979)_Report_of_the_occurrence_of_Bursaphelenchus_lignicolus_induced_pine_wilt_disease_in_Missouri._Plant_Dis._Rep.,_63,_904-905.

Reunanen,_M.,_Ekman,_R._and_Heinonen,_M._(1989)_Analysis_of_Finnish_pine_tar_from_the_wreck_of_Frigate_St._Nikolai._Holzforschung,_43,_33-39.

・誌名の略記法は慣例にならう。

・氏名が和文体の場合は、姓と名の間に全角スペースを入れる。(■は全角スペースを、 _ は半角スペースを表す)

例 森■章_(2001)_イチイガシの種子生産における同化産物投資. _日林誌, _83,_93-100.

堀■高夫_(1965)_路網計画のための図上地形判定について. _日林誌, _47,_168-170.

上野■洋二郎_(2000)_森林計画における森林諸機能の最適配分. _日林誌, _82,_360-363.

田島■正啓・宮島■寛・宮崎■安貞_(1977)_ヒノキパーオキシターゼ・アイソザイムの遺伝子分析. _日林誌, _59,_173-177.

・書籍を引用する場合

例(本一冊を引用する場合)

三浦■伊八郎・西田■屹二_(1948)_木材化学. _丸善, _690pp.

(複数の著者によって書かれた編集本の特定部分を引用する場合)

沼田■真_(1967)_植物的環境の解析と評価. _森下■正明・吉良■竜夫編. "自然:生態学的研究". _中央公論社, _163-187.

(叢書の特定部分を引用する場合)

川合■眞一・田中■早苗_(1963)_ "実用化学講座 17 巻有機化合物の反応(下)". _第2版. _日本化学会編, _丸善, _210-212.

(欧文の単行書のタイトルはイタリックとする)

Ishii,_M._(1996b)_Decline_and_conservation_of_butterflies_in_Japan. In_Ae,_S._A.,_Hirowatari,_T.,_Ishii,_M._and_Brower_L._P._(eds.)_"Decline_and_Conservation_of_Butterflies_in_

Japan_III” . _The_Lepidopterological_Society_of_Japan,_Osaka,_157-167.

(訳本を引用する場合は、原著者名 (訳本の表記に従い、姓・名の順) や原著発行年等を引用する)
ブレーヌ ■ ジャン _ (1989) _ (永塚鎮男訳 , _2011) _
人は土をどうとらえてきたか : _ 土壌学の歴史と
ペドロジスト群像 , _ 農山漁村文化協会 , _415pp.

- Web ページの引用は、適当な文献資料が利用できないか、または電子テキスト利用の利便性が特に高い場合に限る。引用する場合には、文献の発行年にあたる部分は、当該 Web ページの公表年 (更新年) とするが、公表年が無い場合は筆者が当該ページを確認した年次とし、URL と参照日を記載する。ただし、官公庁等の冊子体資料がそのまま PDF ファイル等の形態で公表されている場合には、冊子体の発行年、発行所、ページ数等を引用し、URL のみを併記する。一連の資料・文書が別ファイル化されている場合には、トップページのみ典拠すればよい。

例 環境省 (2004) “農林水産省と環境省の連携による田んぼの生きもの調査” ,
<http://www.env.go.jp/nature/satoyama/tanbo.html>,
(参照 2008-01-24).
Finger Lakes Resource Conservation & Development Council (2007) “Forest land best management practices in the Finger Lakes Region of New York State” ,
<http://www.dnr.cornell.edu/ext/bmp/index.html>,
(accessed 2007-11-30).
環境省 (2002) “平成 13 年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書” , 環境省 , 122 pp,
<http://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/index.html>.

- 3) 私信扱いの情報は、下記の例に従い、本文中に記載する。(_ は半角スペースを表す)
なお、所属については、省略することができる。
(氏名 , _ 所属 , _ 私信)
(Name, _Affiliation, _pers, _comm.)

英文校閲

- 1 1. 英文原稿及び和文原稿の英文摘要は原稿提出前に必ず英文校閲を受ける。

図・表・写真 (補足電子資料含む)

- 1 2. 1) 図・写真はなるべく高解像度の Jpeg、表は Excel 形式とする。表については、表題は表の上部に、注釈は表の下部に記載し、図・写真については、表題及び注釈は本文末にまとめて記載する (印刷では図・写真の下部に記載される)。和文原稿の場合は、表題・注釈及び図表は和文、英文または和英併記とする。また、本文中では「Fig.」「Table」「Photo」を使用。
- 2) 印刷時の図・写真の大きさは、段組幅 (82 mm) か頁幅 (170 mm) のどちらかを明示する。なお、図・表・写真の挿入箇所を本文に朱書きで明示する。
- 3) 原則として、表には縦の罫線を用いない。

補足電子資料 (Supplemental materials)

- 1 3. 紙面の都合上掲載できない図表は、補足電子資料として引用文献の後に付記することができ、本文中にも引用できる。印刷版には引用文献の後に図表の表題と公開 URL を、電子版には全てを公開する (例 ; 図 . S1 , 表 . S1)。
補足電子資料の掲載は、論文、短報、ノート、総説、研究資料の全てが対象となる。

(2015 年 2 月 27 日)

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い致します。

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

2015年3月 発行 森林総合研究所研究報告 第14巻1号 (通巻434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 大成印刷株式会社
〒316-0004 茨城県日立市東多賀町4-11-7
電話 : 0294-36-1837 Fax : 0294-35-2779

©2015 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.14-No.1 (No.434)

page1

腐肉食性シテムシ科・コガネムシ上科食糞群を指標として用いた森林環境評価手法：
捕獲におけるベイトタイプ、トラップタイプおよびトラップ数の効果
：上田 明良

Tools for evaluating forest habitat using carrion silphid (Silphidae) and scarabaeoid
dung beetles (coprophagous group of Scarabaeoidea) as indicators:
Effects of bait type, trap type, and trap number on beetle captures
by UEDA Akira

page15

東カリマンタン州での糞・腐肉食性コガネムシ類捕獲における
ベイト間およびビットフォールトラップのタイプ間の比較 (英文)
：上田 明良、ディアン・ドウィバドラ、ウォロ・ノエルジト、近 雅博、福山 研二

Comparison of baits and types of pitfall traps
for capturing dung and carrion scarabaeoid beetles in East Kalimantan
by UEDA Akira, Dhian DWIBADRA, Woro A. NOERDJITO,
KON Masahiro and FUKUYAMA Kenji

page29

ソーダ・アントラキノン蒸解スギパルプを用いた
半回分培養法によるセルラーゼ生産 (英文)
：渋谷 源、眞柄 謙吾、野尻 昌信

Cellulase production by *Trichoderma reesei* in fed-batch cultivation
on soda-anthraquinone pulp of the Japanese cedar
by SHIBUYA Hajime, MAGARA Kengo and NOJIRI Masanobu

page37

エゾモモンガ *Pteromys volans* の貯食の可能性
ー 自動撮影装置による観察 ー
：松岡 茂

Probable food hoarding observed in a camera-trapped
Siberian flying squirrel *Pteromys volans*
by MATSUOKA Shigeru

page43

原木シイタケ・原木マイタケ・菌床アラゲキクラゲ栽培施設で発生した
リュウコツナガマドキノコバエとフタマタナガマドキノコバエ (双翅目キノコバエ科)
：末吉 昌宏、村上 康明、川口 真司、小島 靖、前田 由美

Neoempheria bifurcata Sueyoshi, 2014 and *N. carinata* Sueyoshi, 2014 (Diptera, Mycetophilidae),
feeding on cultivated shiitake mushroom, maitake mushroom, and cloud ear fungus
by SUEYOSHI Masahiro, MURAKAMI Yasuaki, KAWAGUCHI Masashi,
OBATAKE Yasushi and MAEDA Yumi

page49

インドネシア共和国東カリマンタン州
ブキットスハルトとブキットバンキライのクワガタムシ (英文)
：楨原 寛、スギアルト、藤間 剛

Stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bangkirai Forests, East Kalimantan, Indonesia
by MAKIHARA Hiroshi, Sugiarto and TOMA Takeshi

page65

添畑沢スギ間伐試験地における45年生から104年生までの長期成長データ
：正木 隆、大住 克博、関 剛、森 茂太、梶本 卓也、
檀間 岳、八木橋 勉、柴田 銃江、野口 麻穂子

Long-term growth of a planted forest of Japanese cedar at Soehatazawa Experimental Forest
under various thinning intensities of trees 45–104 years old
by MASAKI Takashi, OSUMI Katsuhiro, SEKI Takeshi, MORI Shigeta,
KAJIMOTO Takuya, HITSUMA Gaku, YAGIHASHI Tsutomu,
SHIBATA Mitsue and NOGUCHI Mahoko