

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 (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)。シテ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、ヨツボシモンシテムシ (*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、クロシテムシが牛肉、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)。シテムシ科も、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)。このほかシテムシ科では、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 シテムシ科				
<i>Nicrophorus concolor</i> クロシテムシ	3	29	2.0	0.500
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシテムシ	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

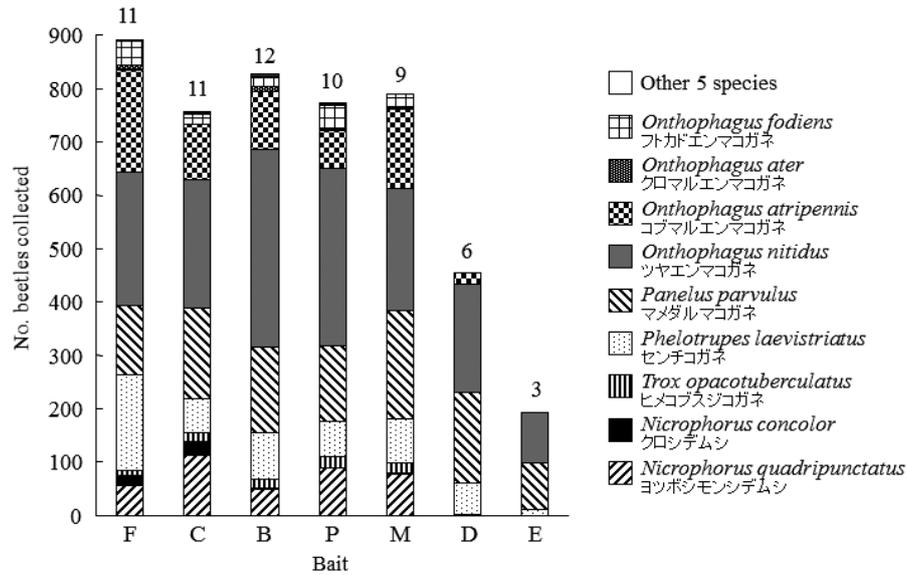


Fig. 3. 各種脊椎動物をベイトにした埋め込み式トラップによる腐肉食性甲虫の捕獲数
 F: 魚肉、C: 鶏肉、B: 牛肉、P: 豚肉、M: 牛豚ミンチ、D: 煮干し、E: ベイトなし。
 バー上の数値は種数。
 The total number of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using embedded traps
 baited with various vertebrate carrions
 F: fish meat, C: chicken, B: beef, P: pork, M: minced pork and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

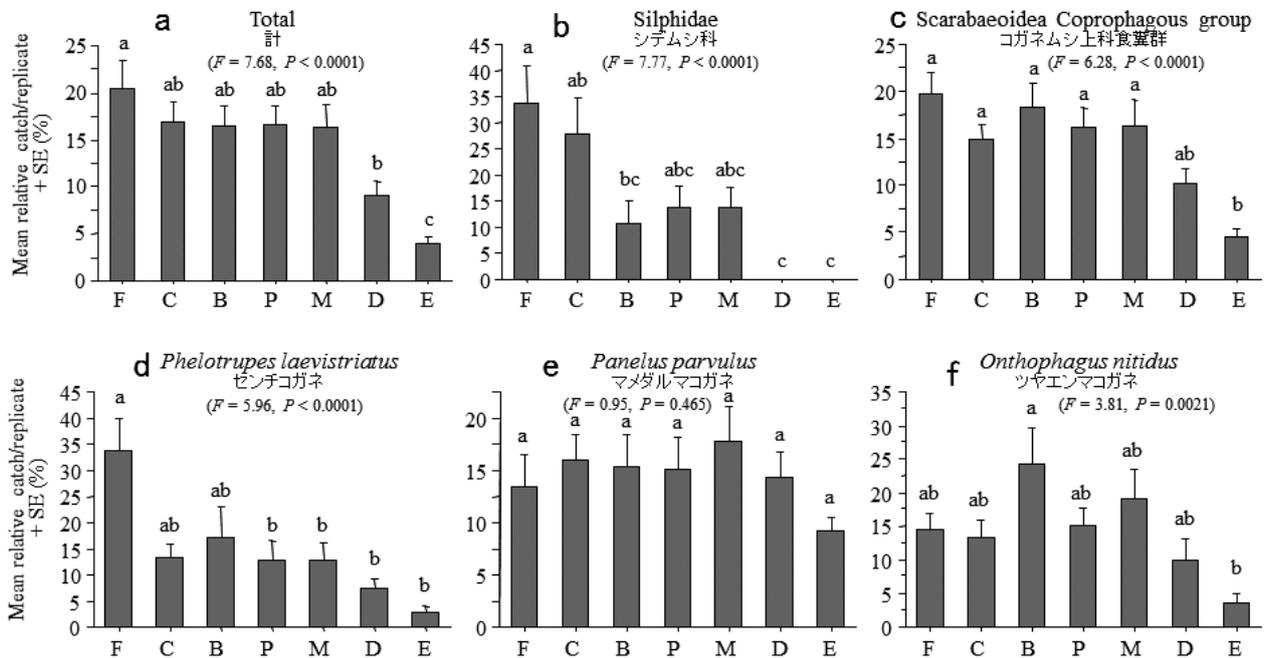


Fig. 4. 各種脊椎動物をベイトにした埋め込み式トラップによる各回収日における各腐肉食性甲虫グループ・種の全捕獲数に対するトラップ毎の捕獲割合平均値 (%)
 略語は図3と同じ。バー上のアルファベットが同じものどうしは有意差なし (逆正弦 1/2 乗値を用いた Scheffé の多重比較, $P > 0.05$, $N = 14$)。括弧内は、逆正弦 1/2 乗値を用いた全体の分散分析結果を示す。
 Field response (represented by the percentage, p of total captured beetles with in each replicate) 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の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個体よりも多く捕獲された種の平均捕獲数 ± 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 ± 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 ± 1.2	11.9 ± 0.9	18	0.008	0.4 ± 0.1	0
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシデムシ	13.2 ± 3.0	43.4 ± 7.2	27.5	0.002	47.1 ± 5.2	0.4 ± 0.2
<i>Phelotrupes laevistriatus</i> センチコガネ	109.5 ± 11.5	0.2 ± 0.2	-27.5	0.002	63.5 ± 4.9	0.4 ± 0.2
<i>Panellus parvulus</i> マメダルマコガネ	61.0 ± 5.3	2.9 ± 1.1	-27.5	0.002	3.5 ± 0.6	0
<i>Onthophagus lenzii</i> カドマルエンマコガネ	0	0	-	-	0	3.2 ± 1.2
<i>O. nitidus</i> ツヤエンマコガネ	119.0 ± 17.4	0.1 ± 0.1	-27.5	0.002	21.4 ± 2.2	23.4 ± 7.0
<i>O. atripennis</i> コブマルエンマコガネ	286.7 ± 45.7	0.2 ± 0.1	-27.5	0.002	2.0 ± 0.4	0.4 ± 0.2
<i>O. fodiens</i> クロマルエンマコガネ	20.3 ± 2.4	0.3 ± 0.2	-27.5	0.002	11.6 ± 1.0	0
<i>O. ater</i> フトカドエンマコガネ	33.8 ± 5.0	0	-27.5	0.002	70.9 ± 7.0	30.8 ± 10.0
Other species その他	2.3 ± 0.5	0.3 ± 0.2	-	-	0.8 ± 0.2	1.6 ± 0.5
Number of species 種数	9.4 ± 0.5	3.7 ± 0.3	-2.8	0.005	7.5 ± 0.2	5.0 ± 0.3
Total number of individuals 全捕獲数	650.1 ± 43.9	59.3 ± 6.3	-2.8	0.005	221.3 ± 11.0	59.2 ± 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.

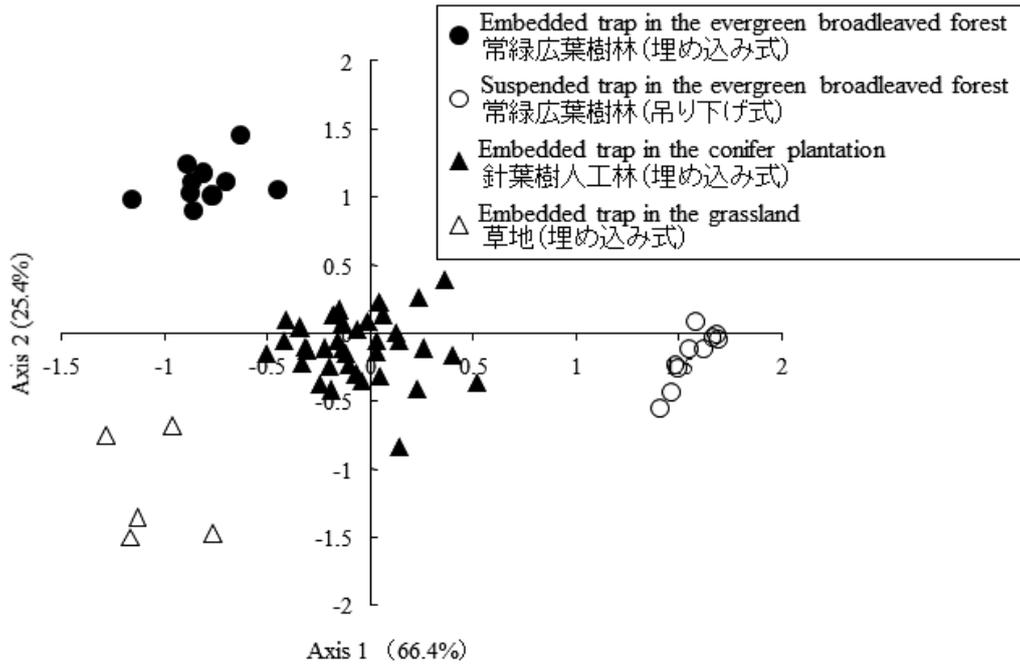


Fig. 5. 常緑広葉樹林、針葉樹人工林、草地のトランセクト上に設置したトラップで捕獲された腐肉食性甲虫群集の計量的多次元尺度法による座標付け (Final stress = 10.57)

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)

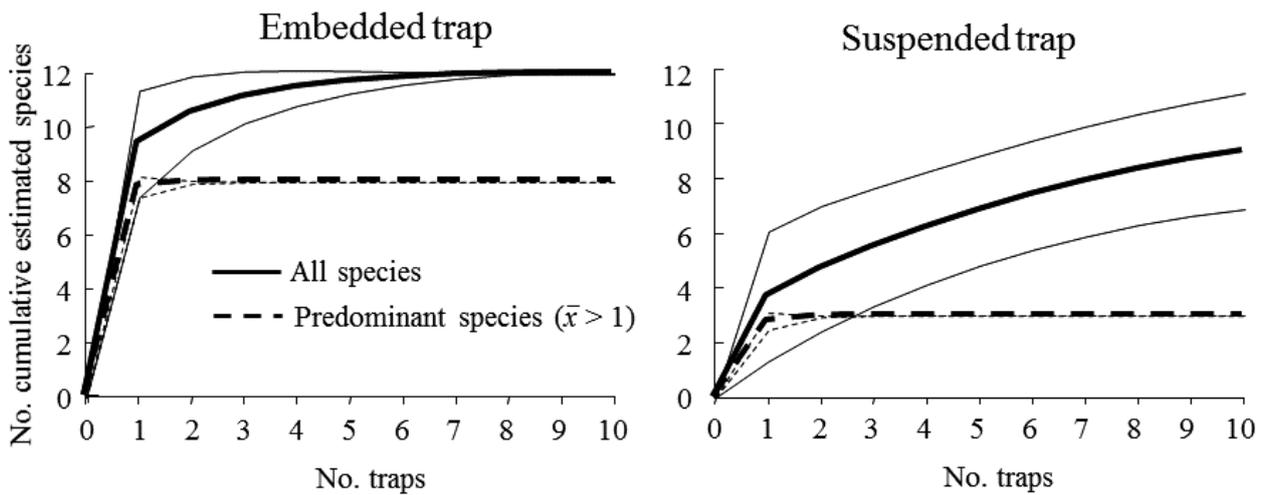


Fig. 6. 常緑広葉樹林に設置した魚肉ベイトの埋め込み式 (左図) と吊り下げ式 (右図) トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数

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 an 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.

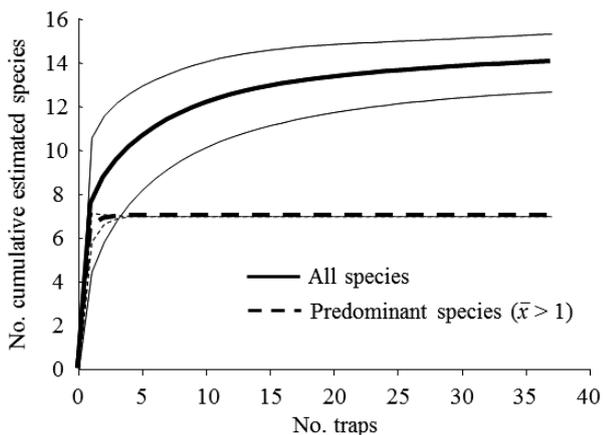


Fig. 7. 針葉樹人工林に設置した魚肉ベイトの埋め込み式トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数
実線は全種の、破線は平均1個体より多く捕獲された種の推定値とそれらの95%信頼限界を示す。
Cumulative estimated number of species of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using 37 embedded traps baited with fish and set with 20 m intervals on the transect in a conifer plantation
Solid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

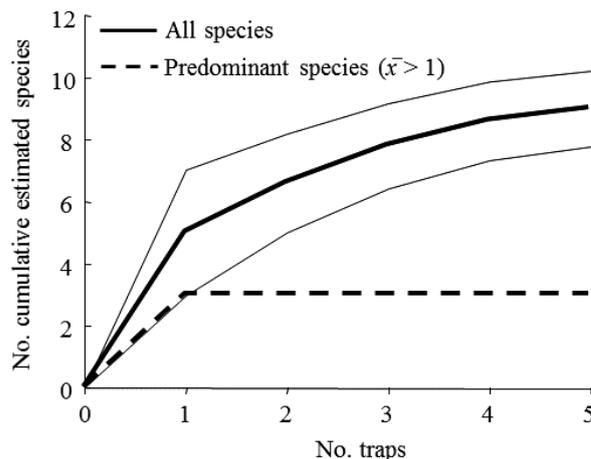


Fig. 8. 草地に設置した魚肉ベイトの埋め込み式トラップ数に対する腐肉食性甲虫の累積推定種数
実線は全種の、破線は平均1個体より多く捕獲された種の推定値とそれらの95%信頼限界を示す。
Cumulative estimated number of species of carrion silphid and scarabaeoid beetles collected using 5 embedded traps baited with fish and set with 20 m intervals on the transect in a grassland
Solid lines and 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、発生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、シテ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) 土壤動物群集による横浜市の都市環境の解析: I. ベ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., Amezcua, 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, *Nicrophorus* 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テムシ相に与える影響. New Entomol., 50, 51-54.

鈴木誠治 (2005) モンシテ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 beetels collected in this study

Environment	Evergreen broadleaved forest										Conifer plantation		Grassland		
Latitude	N32°49'34"										N32°49'22"		N33°02'07"-23"	N32°59'49"	
Longitude	E130°43'59"										E130°43'54"		E130°56'01"-24"	E131°00'41"	
Altitude (m)	131										74		625-692	926	
Start of collection	5 Jul. 2011					24 May 2011					2 Aug. 2011		24 May 2011	20 Apr. 2012	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	18 Oct. 2012 ^d
Bait ^a	K	F	F	C	B	P	M	D	E	IE	F	F	F	F	
Type of trap ^b	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	E	E	
Number of traps set	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	37	5	
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	2	
<i>N. quadripunctatus</i> ヨツボシモンシデムシ	3	29	19	26	1	1	4				43	119	1744	2	
<i>N. japonicus</i> ヤマトモンシデムシ														1	
<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	5	
<i>E. brunneicollis</i> ベッコウヒラタシデムシ		1	1	1							10	2			
Coprotophagous 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	2	
<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														16	
<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	117	
<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	2	
<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	154	
<i>Mozartius jugosus</i> マルマガソコガネ						1									

*K: 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。

*K: 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.