

## E-0801 里山イニシアティブに資する森林生態系サービスの総合評価手法に関する研究

## (3) 森林がアグロエコシステムに提供する生態系機能の評価

神戸大学 農学研究科 教授 前藤 薫

〈研究協力者〉

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 近畿中国四国農業研究センター

三浦一芸

(独) 森林総合研究所

森林昆虫研究領域

昆虫生態研究室

滝 久智

気象環境研究領域

気象害・防災林研究室

島田和則 (平成22年度)

平成20～22年度累計予算額：7,101千円 (うち、平成22年度予算額：2,150千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本研究では、森林などの自然植生の存在が農地にもたら生態系調整サービス<sup>1)</sup>のうち花粉媒介<sup>2)</sup>と害虫制御<sup>3)</sup>に注目し、農地と森林がモザイク状に混在する東アジアの農村景観において森林が農地に与える生態系機能を分析・評価する手法の高度化を目指した。そのため国内の比較的良好な里山景観(森林と農地のモザイク構造)が維持される地域に試験地を設けて研究を進めた。また、これまで害虫制御機能の把握が困難であった野生の捕食性天敵の働きを評価するため、分子生物学的手法によってその活動をモニタリングする方法を開発することとした。まず、GISを用いた景観生態学的手法によって、森林と農地を結ぶ林縁が天敵昆虫の生息に重要であること、また森林の存在が花粉媒介昆虫の密度と機能を増加させる効果があることを明らかにした。次に、農地の近くに森林が存在することによって、農地で害虫を制御する天敵昆虫の個体数が増加し、土着生物による害虫制御サービスの向上や安定化が期待できることを明らかにした。また、DNAバーコード情報から害虫の種特異的マーカーを設計し、土着天敵による害虫捕食行動を評価する手法に目処をつけた。加えて、花粉媒介昆虫の個体数が、森林の面積だけでなく、天然林と人工林の割合などの森林の質による影響を強く受けることを明らかにした。最後に、里山林から農地に飛来する多様な花粉媒介昆虫を簡易なトラップによって定量的に評価する調査手法、および天敵の胃内容物分析によってその捕食活動を調べる分析手法の有効性を野外調査によって実証した。本研究によって開発された一連の研究手法は、国内のみならず広くアジア地域において森林から農地にもたらされる生態系調整サービスの定量的評価に応用できる。

[キーワード] 生態系サービス、花粉媒介、生物制御、DNAバーコーディング、GIS

## 1. はじめに

農地は閉鎖した系ではなく、周辺生態系との間で物質をやり取りし、さまざまな生物が行き来する開かれたシステムである。農地周辺の半自然植生から畑や水田、果樹園に移動する生物のなかには、作物の花粉媒介者あるいは害虫の天敵生物として、農業生産に貢献できるものが少なく

ない。野生生物による花粉媒介や害虫制御の機能は、生態系がもつ調整サービスのひとつとされる<sup>1)</sup>。大量の資材と労働力を投入し、化学農薬によって病害虫を制御してきた近代農業では、こうした生態系サービスの重要性は一時忘れられがちであった。しかし、殺虫剤に抵抗性をもつ害虫の進化や農薬散布によってかえって害虫が多発生する現象(リサージェンス)などの問題が根本的には解決されないこと、また石油由来のエネルギーと資材、そして労働力を集約的に投入し続ける農業に限界が見え始めたことから、農地やその周辺の半自然植生に生息する野生生物がもたらすプラスの機能を評価して、活用することの必要性が、世界的に認識されるようになってきた<sup>2,3)</sup>。花粉媒介サービスや害虫制御サービスの供給者としては、昆虫などの節足動物が大きな役割を果たしていると考えられる。しかし、安定した餌や巣場所などの資源の確保が難しい大半の農地生態系では、土着の花粉媒介者や天敵の多くは個体群の維持が難しく、生息地として農地に近接した半自然もしくは自然植生からなる生態系が必要であると予想されている<sup>4)</sup>。

日本を含む東アジアでは、伝統的な生活のなかで野生生物による調整サービスを活用した農業が行われてきたが、急速な近代化の波の中で、その機能や重要性が科学的に認識されることなく失われようとしている。石油に依存した近代を越えて新しい時代の農業を展開するためには、これまでの確に捉えられて来なかった生態系調整サービスを科学的に評価し、アジア的な農業経営のなかに活かしていく取り組みが急務となっている。

## 2. 研究目的

本研究では、森林などの自然植生の存在が農地にもたらす生態系調整サービスのうち花粉媒介(送粉)と害虫制御に注目し、農地と森林がモザイク状に混在する東アジアの農村景観において森林が農地に与える生態系機能を分析・評価する手法の高度化を目指す。そのため国内の比較的良好な里山景観(森林と農地のモザイク構造)が維持される地域に試験地を設けて研究を進める。また、これまで害虫制御機能の把握が困難であった野生の捕食性天敵について、分子的手法によってその活動をモニタリングする方法を開発する。

日本の里山地域では、「田畑、里山林、採草地、ため池など様々な生態系で構成される里山景観では、里山林やその林縁部を含めた自然植生が農地に花粉媒介者や天敵昆虫を供給し、経営的メリットを向上させている」と予測し、本研究ではこれを景観生態学的手法によって検証しながら分析・評価手法の高度化を行う。

まず、里山二次林に隣接する農耕地に調査地点を設定し、各種トラップ等を利用して花粉媒介者と天敵昆虫の生息密度と移動および生態系機能を定量的に測る手法を開発する。また天敵昆虫については消化管内容物のDNA分析から餌メニューを解明する。

次に、森林の存在が農地に飛来する天敵昆虫の密度に及ぼす効果および森林の質(森林管理による森林組成)の違いが農地に飛来する花粉媒介昆虫の密度と機能に及ぼす効果を、地理情報システム(GIS)を利用した景観生態学的手法によって評価する。また、DNAバーコード情報を利用して天敵昆虫の消化管から餌昆虫に特異的なDNAを検出する手法を開発する。

最後に、里山林から農地に飛来する多様な花粉媒介昆虫を簡易なトラップによって定量的に評価する調査手法、および天敵の胃内容物分析によってその捕食活動を調べる分析手法の有効性を野外調査で実証し、森林から農地にもたらされる生態系調整サービスの評価手法を確立する。

### 3. 研究方法

#### (1) 森林から供給される花粉媒介サービスの評価

結実のために授粉を必要とするソバとリンゴをモデル作物として選び、周辺の森林環境が異なる調査プロットを設定して、訪花昆虫の密度と結実率を比較した。

まず、茨城県常陸太田市の里山地域にある 17 箇所のソバ畑に調査プロットを設定した(図27)。昆虫による花粉媒介サービスを評価するため、ソバの開花期である9月の晴天日に各プロットで採集時間を定めた見取り法によって訪花昆虫を採集した。また、10月にはソバの結実率を調査した。各調査プロット周辺の森林面積(半径500 - 4000m以内)と自然植生面積(半径50 - 200m以内)を、衛星写真SPOT 5と空中写真および現地調査によって作成したGISデータから算出し、訪花昆虫の数と結実率に対する効果を分析した。

次に、同調査地域のソバ畑に近接する森林の面積組成(広葉樹天然林/針葉樹人工林)を空中写真画像と現地調査によって定量化し、それを用いて分析を行い、ソバ畑周辺の森林の組成の違いが継続調査した花粉媒介昆虫の飛来数に与える効果を解明した。

また、ソバとともにモデル作物として選んだリンゴについても森林の存在と質の違いが花粉媒介昆虫の生息密度とリンゴの結実率に対する効果を測定・評価するため、福島県南会津町の山間地においてリンゴ園を抽出し、空中写真と現地調査によって周辺およびリンゴ園の植生の状態を数値化した(図28)。また、開花期にマレーズトラップを設置して花粉媒介昆虫の捕獲調査を行い、その直後には中心花結実率の調査を行った。

さらに、福島県南会津町のリンゴ園に設置したマレーズトラップによって捕獲された花粉媒介昆虫を同定し、森林景観の効果について解析し、トラップ調査の有効性と実用性について評価した。

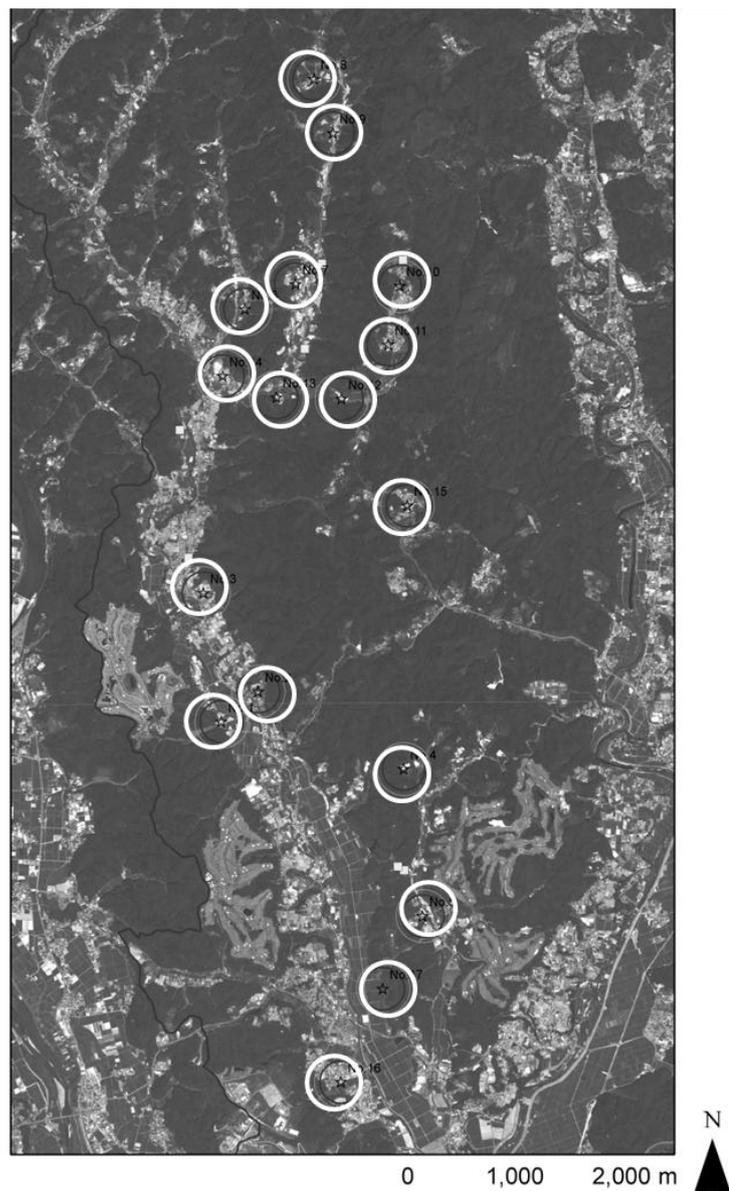


図27 ソバ畑調査地域(茨城県常陸太田市)の衛星写真。同心円は調査したソバ畑の中心部から半径200mのバッファーを示す。

旧来の農業利用とは異なるボランティアや行政による現代的な二次林の管理と生態系サービスとの関係を検討するために、林床の管理形態と送粉機能と関係の深い林床種数とを、東京都多摩地方南西部の里山林において比較検討した。

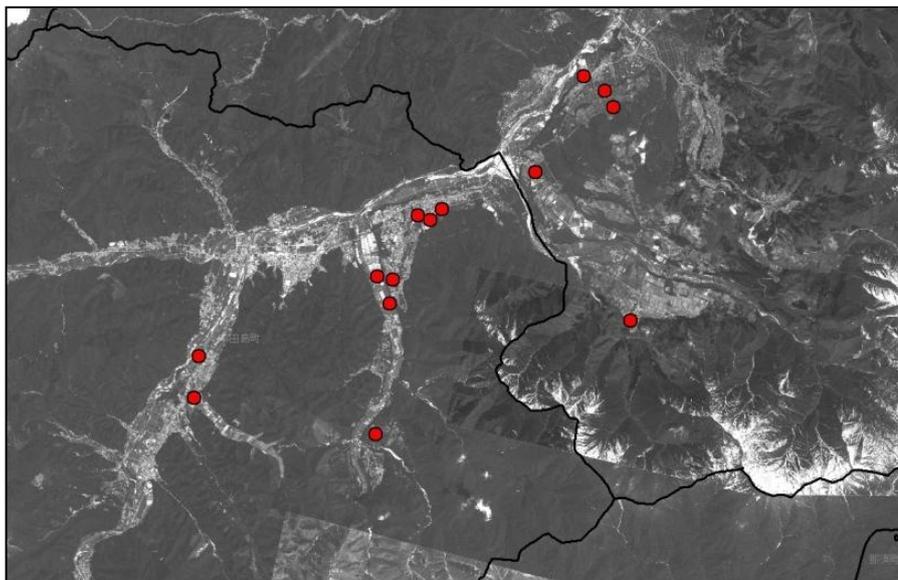


図28 リンゴ園調査地域(福島県南会津町)の衛星写真。ただし、1箇所はこの地図区域から外れるので示していない。

## (2) 森林から供給される害虫制御サービスの評価

まず、里山林を主な生息地として隣接する農地に進出する天敵のモデルとして地表歩行性捕食者のオサムシ科甲虫のヤコンオサムシを選び、その空間的な生息地利用を解明するため、兵庫県加西市の里山地域にある神戸大学食資源教育・研究センターに調査地を設定し(図29)、49器のピットフォールトラップを格子状に設置して成虫と幼虫の標識再捕獲調査を行った。

また、上記のソバ畑調査地域(図27)においても、マレーズトラップ、粘着紙トラップ、ピットフォールトラップ、カイコ卵トラップ、ソバ植物体の直接観察等によって、天敵類の生息密度と機能を調査した。

さらに、捕食性天敵の機能を胃内容物のDNA分析から評価する手法を開発するため、畑作における代表的な害虫(ハスモンヨトウ)と捕食性天敵昆虫(オサムシ科アオゴミムシ属)のDNAバーコード標準領域(ミトコンドリアC01、648bp)を解読した。

次に、上記調査地域(図27)の17箇所ソバ畑で捕獲された地表徘徊性の捕食性甲虫類、およびアブラムシ類の捕食性天敵であるクサカゲロウ類とテントウムシ類について、それらの個体数

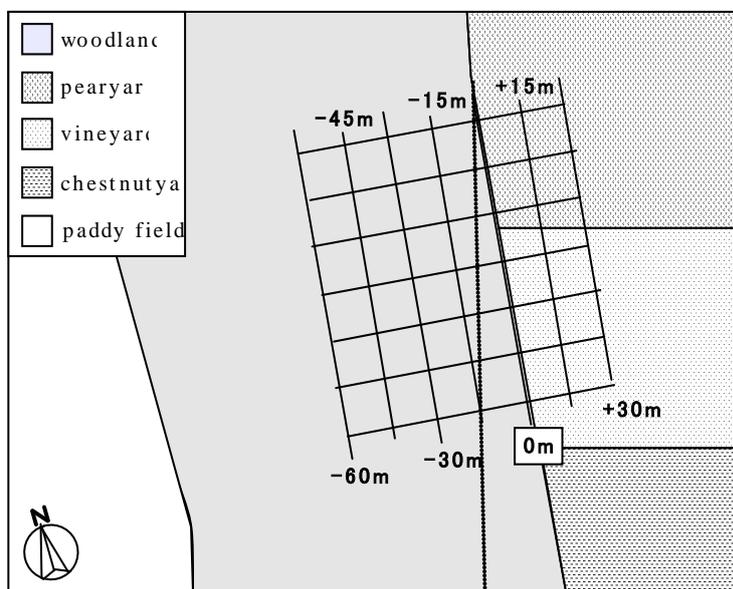


図29 里山林(左側)と果樹園(右側)の境界周辺に格子状にピットフォールトラップを設置した(兵庫県加西市、神戸大学食資源教育・研究センター)。

を調査した。

に対する周辺植生の効果を解析した。

また、重要な野菜害虫であるハスモンヨトウとその捕食天敵である3種類のアオゴミムシ類について、DNAバーコーディングにおいて昆虫類一般の種を識別するのに利用されるミトコンドリアDNA CO1領域の約650塩基対を解読した。その塩基配列からプライマー設計支援ソフトウェアPrimer3を用いて、ハスモンヨトウの遺伝子断片を増幅できるプライマーを試作した。アオゴミムシ類成虫にハスモンヨトウ幼虫を1時間摂食させ、2日後まで定期的に成虫を解剖して、中腸を取り出し99.5%エタノールに漬け、DNA抽出まで $-30^{\circ}\text{C}$ に保管した。中腸サンプルからDNAを抽出し、CO1領域のユニバーサルプライマーとハスモンヨトウの特異プライマーを用いてマルチプレックス(multiplex-)PCRを行い、アガロースゲルを用いて電気泳動を行いハスモンヨトウに由来するDNA断片の有無を調べた。

さらに、神戸大学食資源教育・研究センターの樹林を含む里山農地景観に多地点のピットフォールトラップを設置して捕獲した捕食性ゴミムシ類の分布特性について、林縁からの距離、草高、土壤水分等の効果を正準対応分析(CCA)によって解析した。また、長崎県雲仙市の里山地域にある低農薬栽培野菜畑にピットフォールトラップを設置し、里山林から野菜畑に進出するゴミムシ類を採集して中腸内容物からDNAを抽出し、ハスモンヨトウに特異なプライマーを用いて、その組織片の同定を行った。

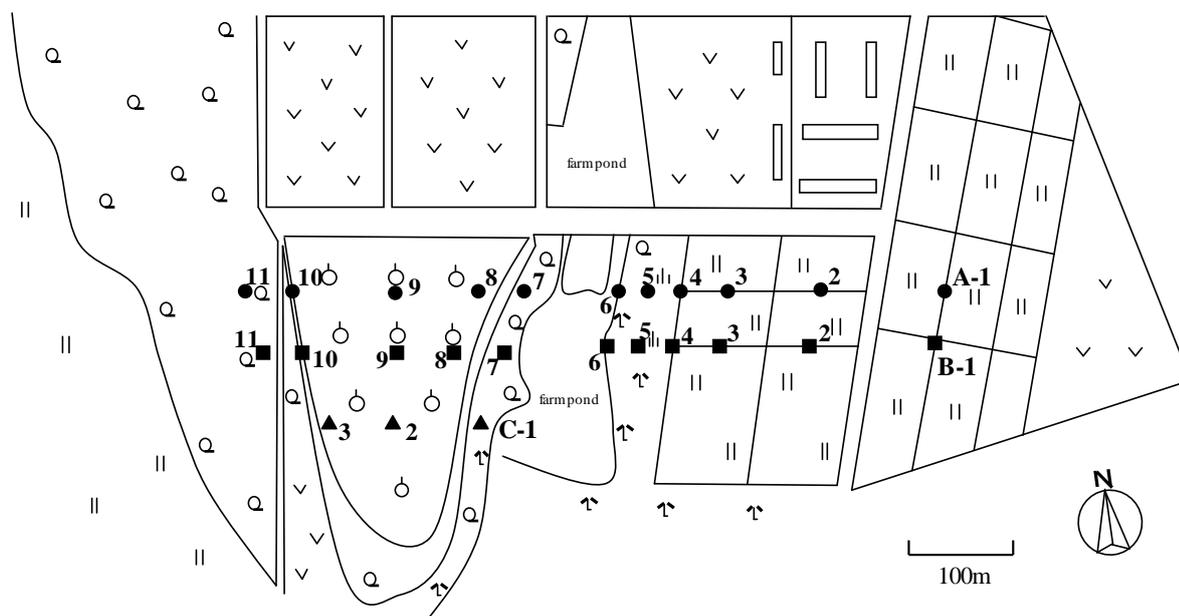


図30 左から右に、広葉樹里山林—果樹園—広葉樹里山林—水田が連続する里山景観に25箇所のプロットを設定し、ピットフォールトラップによってゴミムシ類を捕獲するとともに、林縁からの距離、草高、土壤水分等の環境要因を測定した(兵庫県加西市、神戸大学食資源教育・研究センター)。

## 4. 結果・考察

## (1) 森林から供給される花粉媒介サービスの評価

ソバ畑訪花昆虫の調査によって、ソバの花粉を媒介する昆虫には、森林を主な生息地として利用していると思われる種が高い割合で含まれていることが明らかになった。特に日本土着の花粉媒介者であるニホンミツバチの個体数は、ソバ畑周囲3km圏内の森林面積の拡大とともに増加し（図31左）、ミツバチ以外の訪花昆虫の個体数も、ソバ畑周囲100m圏内の森林を含む自然植生面積の拡大とともに増加した（図31右）。その結果、図32に示すようにソバの結実率は、森林面積と自然植生面積の拡大に伴って大きく増加していた。

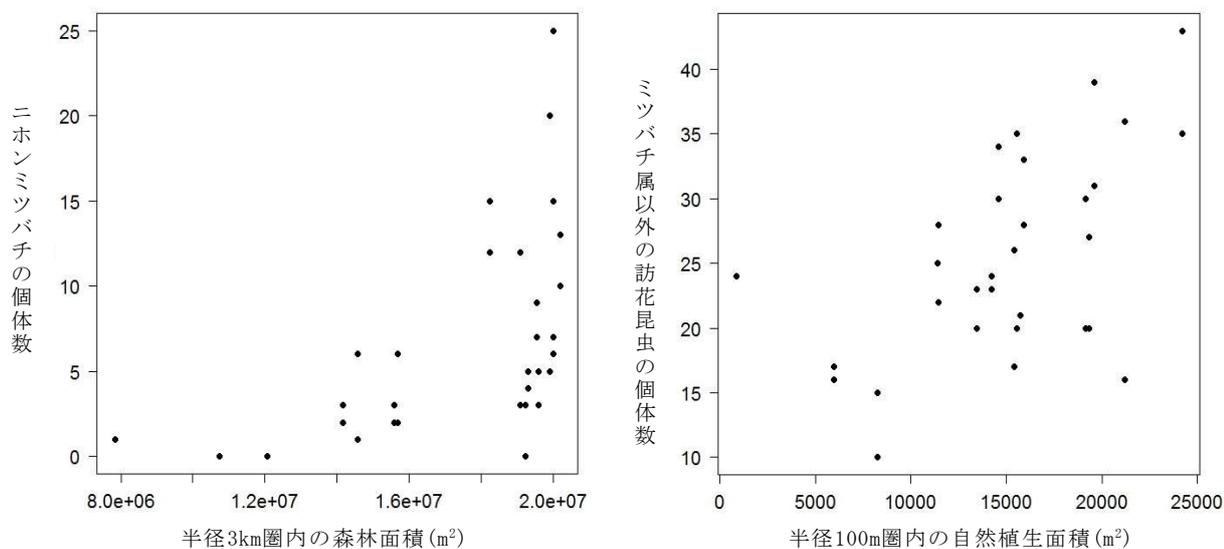
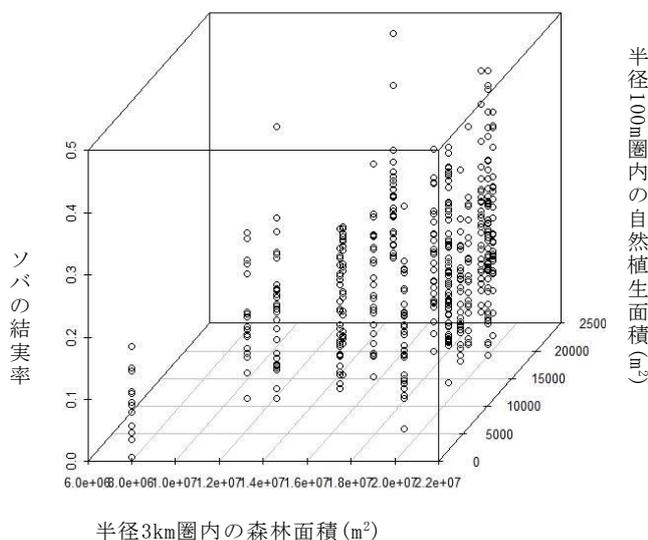


図31 左、ソバ畑から半径3km圏の森林面積 (m<sup>2</sup>) と訪花したニホンミツバチの個体数の関係。右、ソバ畑から半径100m圏の森林を含む自然植生の面積 (m<sup>2</sup>) とミツバチ以外の訪花昆虫の個体数の関係。

図32 ソバ畑から半径3km圏の森林面積 (m<sup>2</sup>) および半径100m圏の自然植生面積 (m<sup>2</sup>) とソバの結実率の関係。ソバの結実率は、ソバ畑周辺の森林面積と自然植生面積の拡大に伴って増加した。  
結実率 =  $1 / (1 + \exp(15.16 - 0.22 * [100\text{m圏内の自然植生面積の対数}] - 0.68 * [3\text{km圏内の森林面積の対数}]))$



最近の研究によって北海道のソバ栽培でも土着の訪花昆虫が主要な花粉媒介者となっていると報告されているが<sup>5)</sup>、花粉媒介者の生息地(供給地)について解明した研究はこれまでなかった。本研究の成果は、ソバ畑周辺の里山林の存在がソバ生産を支える花粉媒介サービスをとおして地域農業に貢献していることを示すものである。花粉媒介者の供給は多くの他の作物生産においても重要であり、里山林の農業経営に対する貢献を定量的に評価することが可能となった。南米のコーヒーなどの果樹でも森林に生息する土着の花粉媒介者の重要性が再認識されており<sup>6)</sup>、熱帯アジアにおいても森林から農地への花粉媒介サービスがもたらすサービスについて、あらためて注目する必要があるだろう。また、図32の式は、結実率と単位面積あたり収量の関係を推定したうえで、単位面積あたり収量に作付面積と卸値を積算することによって、対象地域における経済的な貢献に関する定量的評価に用いることができる。

同じ調査地のソバ畑について、ニホンミツバチ個体数を応答変数、広葉樹天然林の面積と針葉樹人工林の面積およびセイヨウミツバチの個体数を説明変数、空間的自己相関と調査年をランダム効果として階層ベイズモデルによる解析を行った結果は、天然林面積だけがニホンミツバチの個体数に強い正の効果を示した(表10)。なお、競争者であるセイヨウミツバチによる負の効果は予想に反してきわめて軽微であった。

このことは、広葉樹天然林と針葉樹人工林では、農地に対する花粉媒介昆虫の供給源として潜在能力に大きな違いのあることを示している。ニホンミツバチは主に大径広葉樹に形成される洞を営巣場所として利用するため、針葉樹人工林は適当な生息環境でなく、広葉樹天然林の効果が大きいものと考えられる。森林から農地への生態系調整サービスを評価するには、森林の面積だけでなく、森林の質にも着目することが重要である。

また、福島県南会津地域の周辺植生の異なる15箇所のリンゴ園に設置した昆虫トラップに捕獲された花粉媒介昆虫を分析したところ、とくにヒメヒラタアブ類(*Sphaerophoria* spp.) やツヤヒラタアブ類(*Melanostoma* spp.)、ヒラタアブ類(*Eupeodes* spp.)などが多かったが、同時にきわめて多種類の土着のハナバチ類およびハナアブ類が周辺の里山林からリンゴ園に飛来していることが明らかになった(図33)。

表10 ニホンミツバチの個体数に対する各要因の効果

説明変数(標準化)	傾き(中央値)	95%信用区間
天然林面積	1.109	0.60 - 1.71
人工林面積	0.179	-0.15 - 0.53
セイヨウミツバチ	-0.178	-0.37 - 0.01

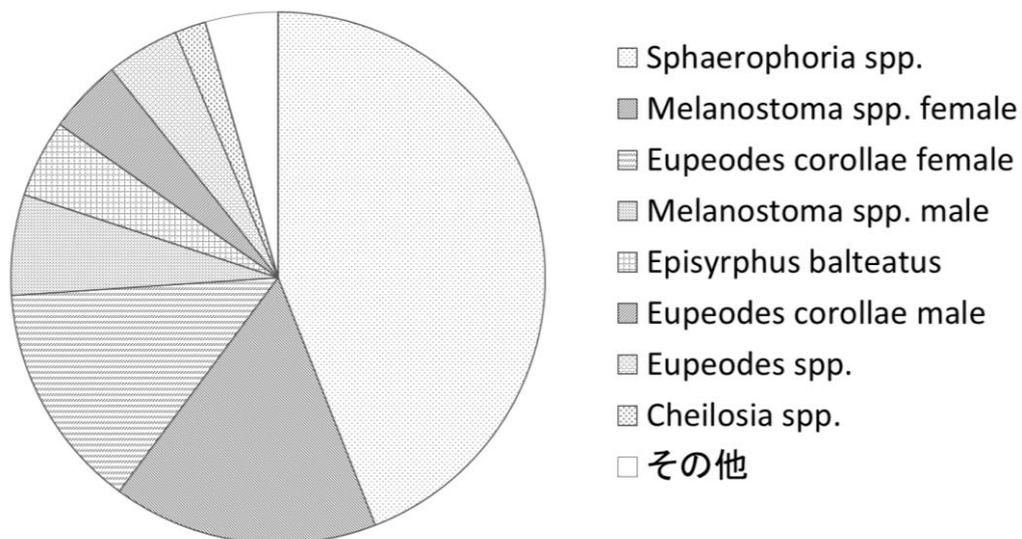


図33 リンゴの花期に捕獲されたハナアブ科成虫の多様性(1,550個体)。

最後に東京都多摩地方南西部の里山林において、送粉機能と関係の深い虫媒の草本種数について管理形態との関係を検討すると、虫媒の夏緑多年草は継続的な管理が現在行われており、しかも10年以上の中断期間がない林分で多かった。また、一・二年草は管理があり、過去に中断期間がない林分で多かった(表11)。

虫媒夏緑多年草種数の度数分布による比較では、放置と単発的管理では種数が少なく、伝統的管理では逆に種数が多く、非伝統的管理では種数の少ない林分から種数の多い林分まで出現した(図34)。

表11 林床種数と管理形態との検定で有意差が認められた組み合わせ

	4つの管理 形態の比較	管理VS放置	継続VS単発	伝統的VS 非伝統的	管理の長期 中断の有無
虫媒の常緑樹	○	○	○		
虫媒の夏緑多年草	○	○	○		○
虫媒の一・二年草		○			○
虫媒の全種			○		
非虫媒の全種	○		○	○	○
非虫媒の常緑樹	○	○			
非虫媒の常緑多年草	○		○		
非虫媒の夏緑多年草	○	○	○	○	○

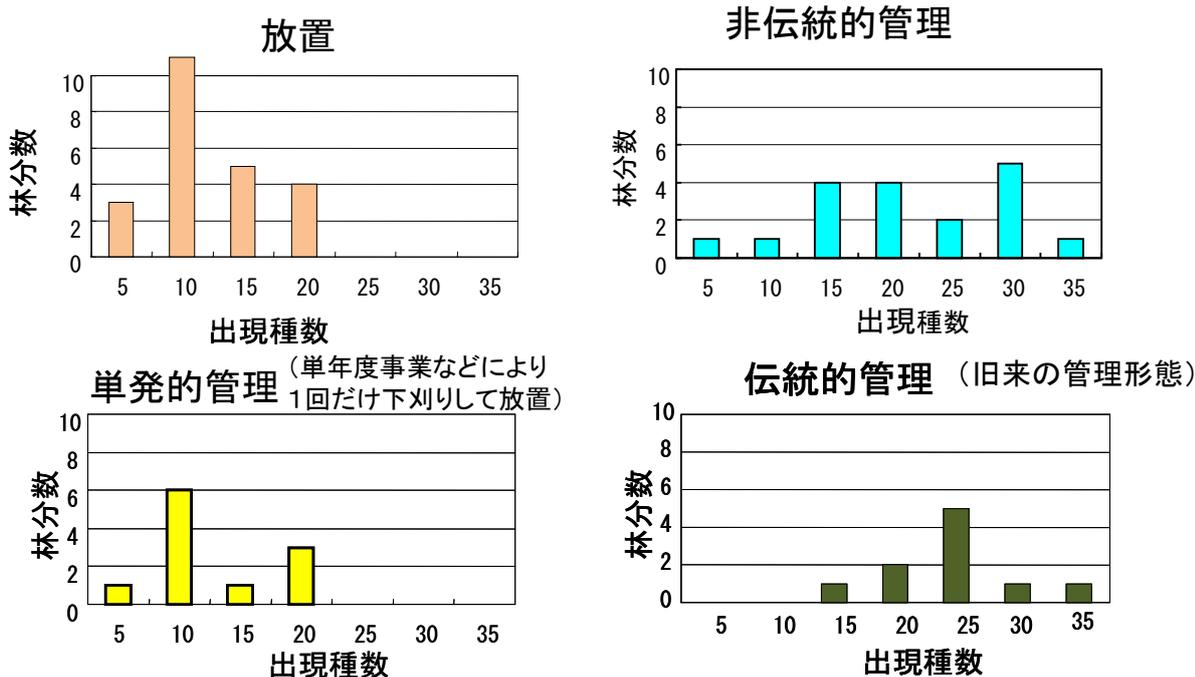


図34 管理形態と虫媒夏緑多年草の種数との関係

(2) 森林から供給される害虫制御サービスの評価

森林から農地に進出する地表歩行性の捕食天敵であるヤコンオサムシの成虫を用いた調査に寄って、森林と農地の境界(林縁)に多数の個体が集中していることを明らかにした(図35)。彼らは林縁から、林内(産卵のため)と農地(捕食のため)に両方に頻繁に移動していた。一方、幼虫は林縁からやや林内に入った湿った林床に生息しており(図35)、発育に伴ってしだいに分布の中心を林縁近くに移すことが分かった。また、農地に進出する成虫数は林縁からの距離に伴って減少するが(図35左)、林外でも雑草の草高が高い場所では成虫数が増加することから(図35右)、森林から供給される天敵昆虫の移動と働きには森林と農地をつなぐ植生帯の効果が大きいことが分かった。

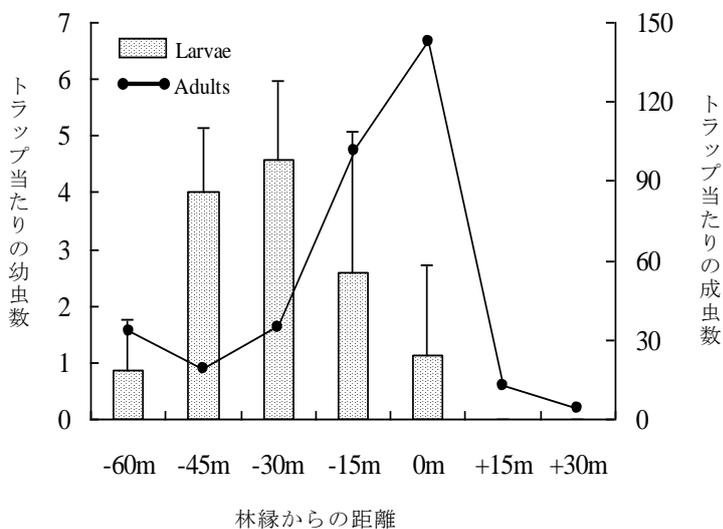


図35 ヤコンオサムシの成虫(Adults)と幼虫(Larvae)の分布。幼虫は林内環境を必要とする。

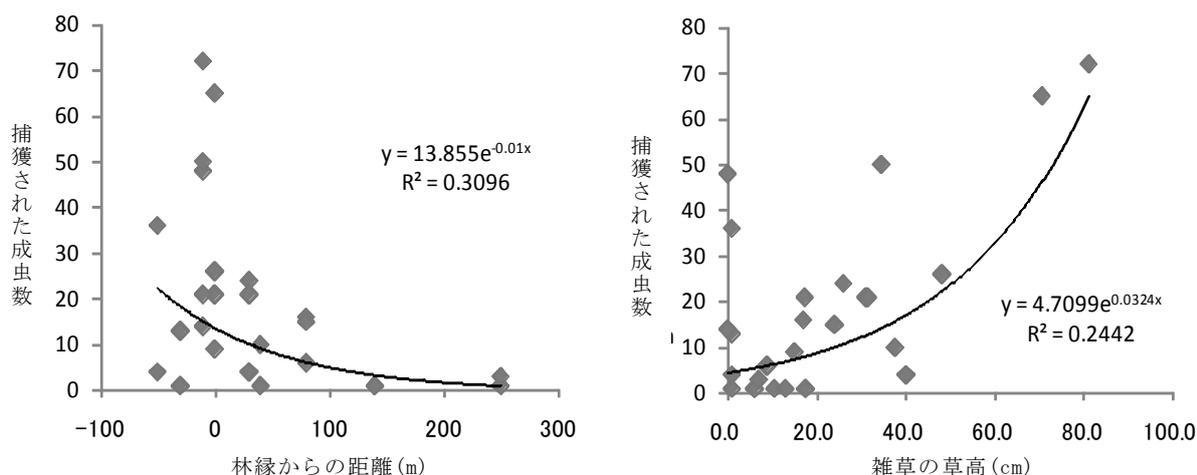


図36 ヤコンオサムシの成虫数に対する林縁からの距離(左)と雑草の草高(右)の効果。

発育段階の一部を森林に依存する天敵類を活用するには、農地に近接する里山林の広がり(本種の場合は、幼虫の生息のために少なくとも幅50m程度の樹林帯が必要)と状態を維持する必要がある。また、森林から離れていても農地までの植生帯を適切に管理すれば(本種のような地表歩行性天敵では雑草の草高が重要とされることが多い<sup>7)</sup>)、農地に森林から歩行性天敵を誘導できることが分かった。ヨーロッパでは人為的な植生帯をビートルバンク (beetle banks) と呼んで天敵の保全と誘導のために造成しているが<sup>8)</sup>、里山の機能を最大限発揮するにはこうした工夫が必要であろう。

また、畑作害虫(ハスモンヨトウ)と捕食性天敵昆虫(オサムシ科アオゴミムシ属の4種)についてDNAバーコード標準領域(ミトコンドリアCOI)の塩基配列を解読したところ、両群には安定して異なる配列部分があり、蛾類害虫のDNA断片だけを特異的に増幅するプライマーが設計可能であることを確かめた。

ソバ畑に飛来する天敵昆虫類(クサカゲロウ類とテントウムシ類)を用いた調査では、それらの個体数に対する周辺植生の効果を解析し、森林を含めた自然植生面積が正の効果をもつことを認めた(図37)。しかし、それら捕食性天敵の増加によって害虫アブラムシ類の被害が軽減されるとまでは言えなかった。

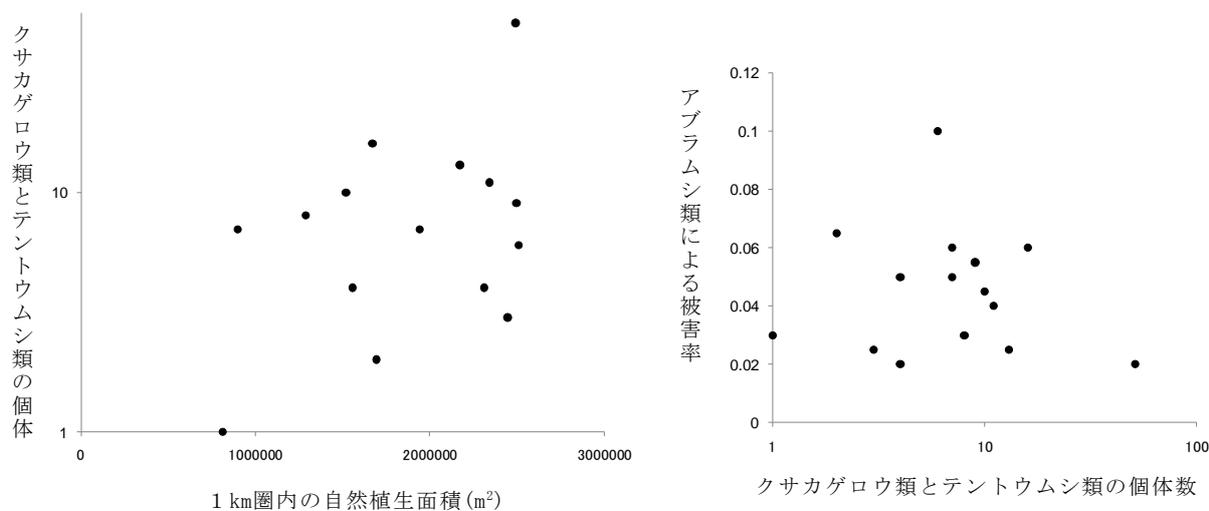


図37 周辺の自然植生面積とアブラムシ類の捕食性天敵(クサカゲロウ類とテントウムシ類)の個体数の関係(左、 $P < 0.001$ )、および捕食性天敵の密度とアブラムシ類による被害率の関係(右、 $P = 0.16$ )。

また、害虫(ハスモンヨトウ)と天敵(アオゴミムシ類)のミトコンドリアC01の特定領域から害虫特有のDNAだけを増幅するプライマーを設計し、その領域だけが特異的に増幅されることを実験的に確認した。害虫と天敵両者のDNAを増幅するプライマーと害虫のDNAだけを特異的に増幅するプライマーを用いて、天敵の中腸内容物から抽出したDNAのmultiplex-PCRを行い、捕食後ほぼ半日以内であれば捕食された害虫のDNAが検出されることを確かめた(図38)。

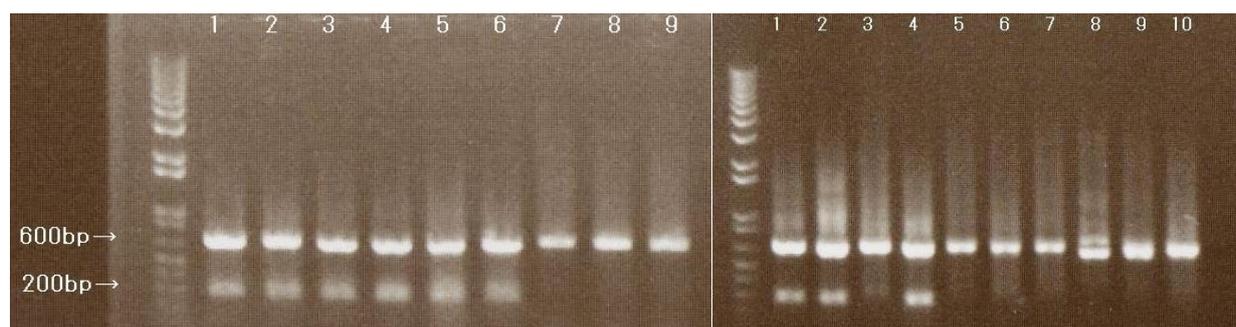


図38 アオゴミムシ類の中腸内容物から抽出したDNAのmultiplex-PCR産物の流動写真。600bp付近のバンドはユニバーサルプライマーによる増幅産物、200bp付近のバンドがハスモンヨトウに特異的なプライマーによる増幅産物。

左-アトボシアオゴミムシ、1-3:摂食直後、4-6:3時間後、7-9:24時間後

右-アオゴミムシ、1-2:摂食直後、3-4:12時間後、5-6:24時間後、7-8:36時間後、9-10: 48時間後

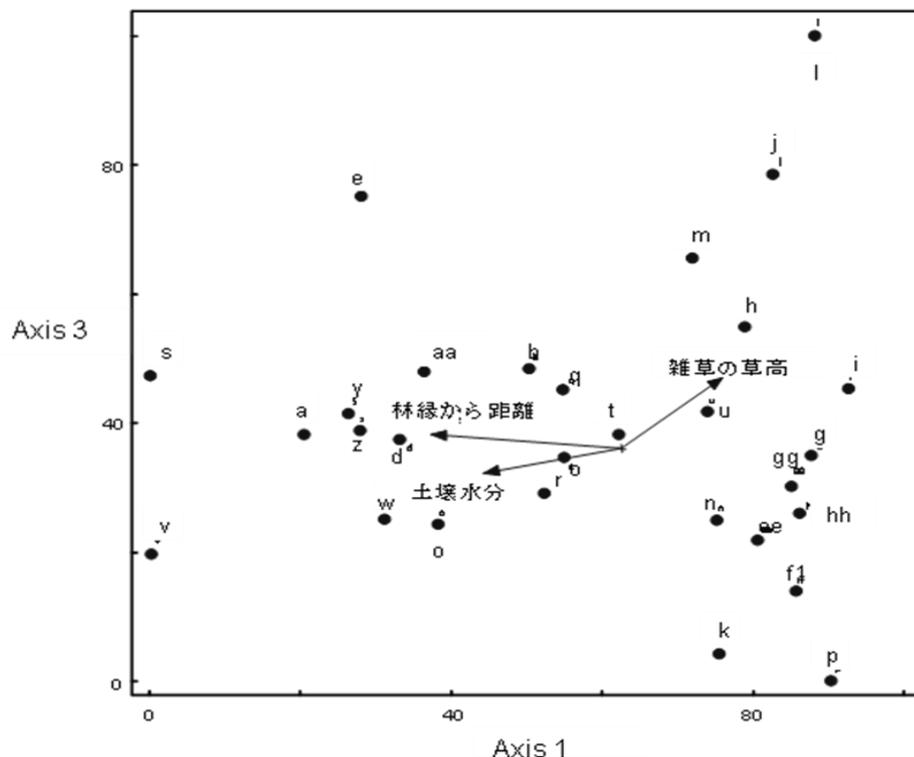


図39 正準対応分析(CCA)によって解析した里山農地景観におけるゴミムシ類の分布特性。潜在的な捕食性天敵であるアオゴミムシ属(h, i, j, k, l, m)の多くが、林縁付近の丈の高い雑草群落に生息していた。Axis1(横軸)とAxis3(縦軸)は、CCAによる第1および第3座標軸(尺度は最大軸長に対する百分率)。

里山農地景観における捕食性ゴミムシ類の分布解析を行った調査では、とくに野菜害虫の重要な潜在的土着天敵と考えられているアオゴミムシ属の多くが林縁周辺に分布し、丈の高い雑草群落に依存していることを明らかにした(図39)。前述したように詳細に分析したヤコンオサムシ(g)と同様、アオゴミムシ属(h, i, j, k, l, m)の多くが、林縁からの距離に従って減少し、雑草の草高が高いほど増える傾向が認められた。彼らは、森林と農地が草本植生帯によって連結されていればそれに沿って農地に侵入し、害虫を捕食することが期待できる。ちなみに、1軸の左側に位置づけられた種の多くは水田周辺に生息するゴミムシ類であり、林縁から遠く、湿った土壤環境を好んでいた。

また、長崎県の里山地域の野菜畑において捕獲した多種類のゴミムシ類成虫の中腸内容物を、平成21年度の調査で開発した遺伝子マーカーを利用して分析し、アオゴミムシ類が重要な野菜害虫であるハスモンヨトウを実際に捕食していることを確かめた(図40、41)。本手法を応用すれば、広食性捕食天敵の活動を簡便にモニタリングすることが可能になる。

本研究によって、良好な里山林は農地に進出する捕食性天敵昆虫の供給源となることが明らかになった。その機能を高度に発揮させるためには、農地に隣接した里山林を保全するとともに、里山林と農地をつなげる植生帯を適切に維持することも重要であることが分かった。



図40 長崎県雲仙市内の里山林に隣接した野菜畑。ピットフォールトラップを設置してゴミムシ類成虫を捕獲した。

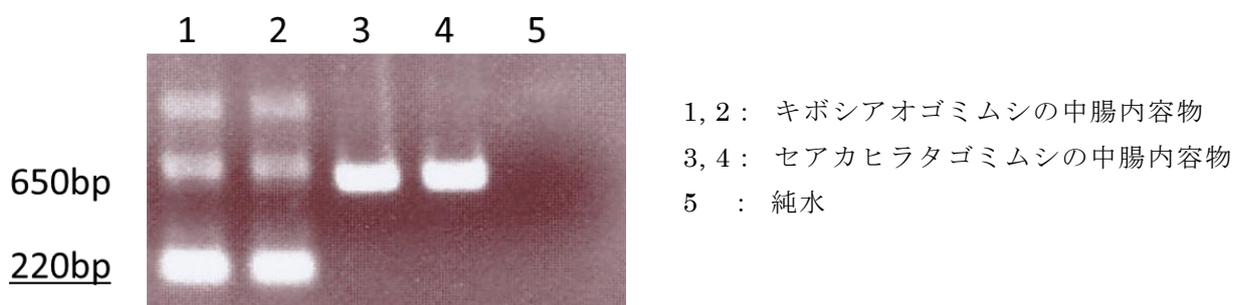


図41 ゴミムシ類成虫の中腸内容物のマルチプレックスPCRの結果。ミトンドリアCOI遺伝子のユニバーサルプライマー (LC01490, HC02198) とハスモンヨトウ特異的プライマーHS2R (AGAAGGTGGTAAAAG) を使用した。ユニバーサルプライマーとハスモンヨトウ特異的プライマーのPCR産物は、それぞれ650bpおよび220bp程度。

### (3) まとめ

本研究によって、農地の近くに森林とくに広葉樹天然林が存在することによって、農作物の花粉を媒介する花粉媒介昆虫や害虫を制御する天敵昆虫が増加し、農業生産に対するサービス機能の向上や安定化が期待できることが明らかになった。欧米型の近代農業はエネルギーと物質を大量に地域生態系に投入することによって、その生産性を向上させてきた。今後もそうした方向で発展させてゆくべき農業もあるだろう。しかし、投入できるエネルギーや物質には限りがあり、過剰な化学農薬は害虫に抵抗性を進化させたり、花粉媒介者や天敵にダメージを与えたりして農業生態系を攪乱する要因になる。花粉媒介者が減少した農地では、人工授粉などの付加的な労働投入が必要になり、外来性の花粉媒介者の導入が新たな問題を引き起こすことにもなる。農地周辺に生息する土着生物を活用して、花粉媒介や害虫制御の機能を高めることができれば、農地に投入する化学物質や人的資源あるいは外来生物を少しでも減らすことができる。幸いなことに日本を含む東アジアや東南アジアの山間地には、日本では里山と呼ばれる、農地と森林などの半自然植生が混じり合った伝統的な景観管理の知恵がまだ遺されている。長い間の林床管理によって多様性が維持されてきた里山は、従来の方法を極力踏襲し、中断期間をおかず継続的な管理をすることで、送粉の調整サービスを低下させないことが期待できる。その知恵を科学的に検証し、

客観的な知識として共有して新たな時代の農業を切り拓くために、本研究で開発・高度化される調査・分析技術を広く普及させる必要があるだろう。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究によって、農地の近くに良質な森林が存在することによって、土着昆虫による農作物に対する生態系調整サービスの向上や安定化が期待できることが明らかになった。GISを駆使した景観生態学的解析は、森林の生物多様性が農業にもたらす働きを分析する手法としてきわめて有効であることが示された。また、DNAバーコーディングを活用すれば、従来は困難であった土着捕食性天敵の機能評価を簡便かつ確実に行えることが分かった。さらに、衛星画像などから取得でき広域データを各種簡易トラップ調査で得られる地上データによって校正することによって、森林の減少や劣化が生態系サービスに与える影響を地球規模で予測することが可能になるだろう。本研究で開発、実証された一連の調査・分析手法は、生態系調整サービスをさまざまな空間スケールで観測し、評価する研究に広く応用できるきわめて有意義なものである。

### (2) 環境政策への貢献

農地周辺に生息する土着生物を活用して、花粉媒介や害虫制御の機能を高めることができれば、農地に投入される化学物質や人的資源、さらには花粉媒介者あるいは天敵として導入される外来生物を少しでも減らすことができる。幸いなことに日本を含む東アジアの農村には、農地周辺に森林などの半自然植生を配置する伝統的な景観管理の知恵が辛うじて遺されている。その知恵を科学的に検証し、客観的な知識として共有して新たな時代の農業を切り拓くために、本研究で開発・高度化される調査・分析技術を広く普及させることができるだろう。

具体的な政策として、森林から農地に対する潜在的な生態系サービスを広い地理スケールでモニタリングし、その地域の土地利用目的に応じた森林の保全と管理に反映させる仕組みが必要である。そのためには、詳細なプロット調査と取得が容易な広域衛星データをGISによって統合し、総合的に解析する、本研究で開発した景観生態学的手法が活用できる。

また、本研究の成果は、農地にごく近接した里山林の管理が農業生産に及ぼす影響の大きさを示している。このことから、森林管理のための公的支援を、農地に隣接する里山林の管理(針葉樹から広葉樹への樹種転換、広葉樹林の輪伐利用など)に重点的に投入することによって、農業基盤を安定化させ、地域社会の持続的発展により効果的に貢献できると考えられる。

## 6. 引用文献

- 1) ミレニアム生態系評価 (2008) 生態系サービスと人類の将来 (横浜国立大学21世紀COE翻訳委員会訳) . オーム社
- 2) A.M. Klein, B.E. Vaissiere, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen, T. Tscharntke (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Royal Soc. London B*, 274, 303-313
- 3) T. Tscharntke, R. Bommarco, Y. Clough, T.O. Crist, D. Kleijn, J.M. Tylianakis, S. van Nouhuys, S. Vidal (2007) Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biol. Control*, 43, 294-309

- 4) 桐谷圭治 (2004) 「ただの虫」を無視しない農業—生物多様性管理—. 築地書館
- 5) H. Sasaki, T. Wagatsuma (2007) Bumblebees (Apidae: Hymenoptera) are the main pollinators of common buckwheat, *Fagopyrum esculentum*, in Hokkaido, Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 42, 659–661
- 6) T.H. Ricketts, G. Daily, P. Ehrlich, C. Michener (2004) Economic value of tropical forest to coffee production. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 101, 12579–12582
- 7) H.U. Thiele (1977) *Carabid Beetles in Their Environment*. Springer-Verlag
- 8) A. Hajek (2004) *Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press

## 7. 国際共同研究等の状況

本研究で確立した研究手法をアジア・スケールで発展させる研究「森林減少・劣化による花粉媒介・生物制御サービスの広域変動予測手法の開発」を、環境研究総合推進費H23戦略研究開発プロジェクトのサブ課題として提案中である。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) Maleque, M. A., Maeto, K. and Ishii, H. T. (2009) Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Applied Entomology and Zoology* 44: 1–11.
- 2) Kagawa, Y. and Maeto, K. (2009) Spatial population structure of the predatory ground beetle *Carabus yaconinus* (Coleoptera: Carabidae) in the mixed farmland-woodland satoyama landscape of Japan. *European Journal of Entomology* 106: 385–391.
- 3) Taki, H., Okabe, K., Makino, S., Yamaura, Y. and Sueyoshi, M. (2009) Contribution of small insects to pollination of common buckwheat, a distylous crop. *Annals of Applied Biology* 155: 121–129.
- 4) Maleque, M. A., Maeto, K., Makino, S., Goto, H., Tanaka, H., Hasegawa, M. and Miyamoto, A. (2010) A chronosequence of understory parasitic wasp assemblages in secondary broad-leaved forests in a Japanese ‘satoyama’ landscape. *Insect Conservation and Diversity* 3: 143–151.
- 5) 天野達也, 赤坂宗光, 石濱史子, 角谷拓, 杉浦真治, 滝久智, 山浦悠一, 横溝裕行 (2010) 日本の保全生物学が必要とするマクロスケールからの視点. *日本生態学会誌* 60: 385–392.
- 6) Taki, H., Okabe, K., Yamaura, Y., Matuura, T., Sueyoshi, M., Makino, S. and Maeto, K. (2010) Effects of landscape metrics on *Apis* and non-*Apis* pollinators and seed set in common buckwheat. *Basic and Applied Ecology* 11: 594–602.

<査読付論文に準ずる成果発表>

「特に記載すべき事項はない」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 福山研二, 安田喜憲（編）（2009）森林環境 2009 生物多様性の日本、森林文化協会, 50-57  
「里山昆虫による生態系サービスを活かす（執筆担当：前藤薫）」
- 2) 田淵研, 滝久智（2010）農耕地周辺の土地利用に注目した広域害虫管理：これまでの研究動向と今後の展望. 植物防疫 64: 251-255.

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 滝久智, 前藤薫（2009）林から農へ：里山ランドスケープ機能の持続的な発揮. 第56回日本生態学会大会.
- 2) 滝久智, 岡部貴美子, 牧野俊一, 山浦悠一, 末吉昌宏, 松浦俊也, 前藤薫（2009）ソバの花粉媒介: 畑の周辺環境による影響と多様な昆虫が果たす役割. 第53回日本応用動物昆虫学会大会.
- 3) 田淵研, 滝久智, 岩井秀樹, 水谷信夫, 守屋成一, 横須賀知之・袖山悟志（2009）ホソヘリカメムシと天敵寄生蜂の発生量に土地利用が及ぼす影響（予報）. 第53回日本応用動物昆虫学会大会.
- 4) Maleque, M. A., 前藤薫, 牧野俊一, 田中浩, 長谷川元洋, 後藤秀章（2009）コマユバチ科寄生蜂の豊かさを決める林床の植生と腐植量. 日本昆虫学会第69回大会.
- 5) 田淵研, 滝久智, 水谷信夫, 長坂幸吉, 守屋成一（2009）フェロモントラップ多地点設置によるホソヘリカメムシ越冬明け個体の生息地の解明. 日本昆虫学会第69回大会.
- 6) 田淵研, 滝久智, 水谷信夫, 長坂幸吉, 守屋成一, 袖山悟志（2010）非農耕地での調査の重要性：ホソヘリカメムシの広域トラップ調査から. 第54回日本応用動物昆虫学会大会.
- 7) 滝久智, 田淵研, 飯島勇人, 岡部貴美子（2010）チャバネアオカメムシのフェロモントラップ誘殺数に影響を及ぼす景観構造. 第54回日本応用動物昆虫学会大会.
- 8) Kagawa, Y. and Maeto K. (2010) Structure and conservation of carabid assemblages in a Japanese “satoyama” landscape. OECD Co-operative Research Programme sponsored conference International Symposium for the Convention on Biological Diversity -The role of forest biodiversity in the sustainable use of ecosystem goods and services in agro-forestry, fisheries, and forestry.
- 9) Taki, H., Okabe, K., Yamaura, Y., Matsuura, T., Sueyoshi, M., Makino, S. and Maeto, K. (2010) Effects of landscape factors at different spatial scales on buckwheat pollination service. International Symposium for the Convention on Biological Diversity -The role of forest biodiversity in the sustainable use of ecosystem goods and services in agro-forestry, fisheries, and forestry.
- 10) 香川理威, 前藤薫（2010）農地景観におけるゴミムシ類群集の分布構造とその保全. 第15回農林害虫防除研究会埼玉大会.
- 11) Sugimura, K., Tanaka, H., Taki, H., Matsuura, T., Okabe, K., Makino, S. and Maeto, K. (2010) Evaluation of Biodiversity-related Ecosystem Services over forested landscapes – a case study in Japan. Forest Landscapes and Global Change, IUFRO Landscape Ecology International Conference.
- 12) 滝久智, 岡部貴美子, 山浦悠一, 松浦俊也, 末吉昌宏, 牧野俊一, 前藤 薫、ソバの送粉者と結実に

影響する景観要素. 第58回日本生態学会大会

- 13) 島田和則, 勝木俊雄, 岩本宏二郎, 伊東宏樹, 齊藤修、都市近郊の里山林におけるNPOや行政による非伝統的管理と生態系サービスからみた林床の多様性との関係. 第58回日本生態学会大会

(3) 出願特許

「特に記載すべき事項はない」

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

「特に記載すべき事項はない」

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 日本農業新聞（2008年8月20日、社会面）
- 2) 森林総合研究所プレスリリース：森林の生物多様性がソバの実りを豊かにする（2010年11月16日）
  - ・毎日新聞 2010.11.17 夕刊 8面
  - ・毎日新聞（茨城版）2010.11.18 朝刊 27面
  - ・常陽新聞 2010.11.18 朝刊 7面
  - ・サーチナ 2010.11.16 配信
  - ・exciteニュース 2010.11.17 配信
  - ・BIGLOBEニュース 2010.11.17 配信
  - ・IBTimes(Web) 2010.11.17 配信
  - ・財経新聞(Web) 2010.11.17 配信
  - ・YAHOO!ニュース 2010.11.18 配信
  - ・JAcom 2010.11.18 配信

(6) その他

「特に記載すべき事項はない」