

ミツバチの送粉サービスと景観構造との関係解析

—宮崎県綾町における日向夏生産の事例—

光田 靖¹・湯村 昂広^{1,2}・平田 令子¹・伊藤 哲¹

(受付 2018 年 7 月 2 日；改訂 10 月 2 日；採択 11 月 20 日)

要 旨

宮崎県綾町において特産品である日向夏(*Citrus tamurana*)に対するニホンミツバチ(*Apis cerana*)による送粉サービスと周囲の景観構造との関係を解析した。綾町内の日向夏農園 16 箇所において対象木を合計 24 本選定し、開花時期にニホンミツバチの訪花数を現地計測した。一方で、オルソフォトを判読して対象地の土地被覆分類図を作成した。各対象木を中心とした半径 2 km 円内において土地被覆タイプ別の面積を計測した。ニホンミツバチの訪花数を送粉サービスの指標として、これを目的変数とした統計モデルを開発した。モデルの説明変数として、景観構造の指標である半径 2 km 円内の天然林面積および農地と草地の合計面積を用いた。また、ニホンミツバチ訪花数の観測においては観測者のミツバチ発見能力に差があることから、ニホンミツバチ訪花数を予測する生態モデルと、観測者がニホンミツバチを発見する確率を推定する観測モデルを組み合わせて、ベイズ推定によりパラメータ推定を行った。推定されたパラメータは天然林面積が多いほど、農地と草地の合計面積が多いほど、ニホンミツバチによる送粉サービスが高くなることが示唆された。

キーワード：エコパーク、GIS、ベイズ推定、天然林再生、有機農業。

1. はじめに

生態系からの恵みである「生態系サービス」の重要性が強く認識されるようになってきた。このような中で、国連が主体となって行った国際規模での生態系サービスの評価であるミレニアム生態系評価(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)や、ドイツやその他の国が主体となって行った生態系サービスの経済評価である生態系と生物多様性の経済学(TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity)などの生態系サービスに関する国際的な調査結果が報告され、生態系サービスの重要性の認識はさらに高まってきている。

生態系サービスの中で調整サービスに分類されている送粉サービスは、食糧生産の過程において人類に大きく貢献している。これまでに行われてきた研究では、世界の主要農作物の約 75% が送粉サービスに依存しており(Klein et al., 2007)、その経済価値は 2005 年時点において全世界で約 1,530 億ユーロ(Gallai et al., 2009)、また日本においては 2013 年時点で 4,700 億円に達することが明らかにされた(小沼・大久保, 2015)。一方で送粉サービスは食糧生産においてだけでなく野生植物の約 87%(約 308,000 種)の繁殖にも貢献しており、生物多様性の維持に

¹ 宮崎大学農学部：〒 889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1

² 現 地域環境計画九州支社：〒 814-0006 福岡県福岡市早良区百道 2-9-3

対しても貢献している (Ollerton et al., 2011). しかし送粉サービスの役割を担っている送粉者の減少は世界的な問題となっており (Potts et al., 2010), 送粉者の中でも最も主要な送粉者であると言われているミツバチやその他の野生のハチについては世界各地でその多様性や豊富さが減少していることが報告されている (Biesmeijer et al., 2006; Patiny et al., 2009; Pettis and Delaplane, 2010). このような送粉者の減少要因としては農薬の影響や病気の広まり (たとえば, Kevan et al., 1997), また土地利用の改変によるハビタットの分断化や損失, 劣化などランドスケープ構造の変化による影響が報告されている (Kearns et al., 1998; Goulson et al., 2008; Ricketts et al., 2008). このように送粉者の減少について様々な研究報告がある中で, 2016 年 2 月にマレーシアで開催された生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (IPBES: Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) では, 送粉サービスに関する報告書 (送粉者と食糧生産に関するアセスメント報告書) が公表され, 送粉者と送粉サービス保全のために配慮すべき 10 の政策と国際的なモニタリングの必要性が示された (IPBES, 2017).

国連により 2015 年に制定された持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) において, 目標 12 として「つくる責任, つかう責任」が挙げられている. SDGs 達成のためには関連する生態系サービスとの関係を明らかにし, これを活用することが重要であると考えられる (Wood and DeClerck, 2015). 先にも述べたように送粉サービスは農業生産に直結しており, SDGs を達成させるためのキーファクターである. これまで, いくつかの事例で送粉サービスが農作物の収量に影響することが明らかにされている. 例えば, コスタリカのコーヒー農園で行われた研究においては, 送粉サービスの担い手である送粉者が豊富な農園ではコーヒーの生産量が 20% 増加することが明らかになった (Ricketts, 2004). 一方で, 送粉サービスの豊富さは農地周辺のランドスケープ構造に影響を受けることが明らかにされている. 例えば, コーヒー農園周辺の 1km 以内に森林がある農園では訪花昆虫の訪問率が増加したことが明らかにされた (Ricketts, 2004). 送粉サービスとランドスケープ構造の関係を定量的に評価できれば, 送粉サービスの恩恵が受けられる農地の適地選択や, 送粉サービスを利用した農業への切り替えを提供できることが期待される. さらに, 送粉サービスの恩恵を向上させられるようなランドスケープデザインの提案へと繋げていくことが期待できる.

送粉サービスを定量的に評価する研究では, 送粉者の豊富さを送粉サービスの指標として, 送粉者の豊富さと景観構造との関係を明らかにしようとするものが多い. 既往の研究において, 送粉者の豊富さと農作物の収量との間に強い関係があることが明らかにされている (Cane, 2005; Bosch et al., 2006; Isaacs and Kirk, 2010). 例えば, コーヒー, マンゴー, ソバ, およびヒマワリなどで送粉者が多いほど収穫量が高くなるという相関関係が報告されている (Ricketts, 2004; Carvalheiro et al., 2010; Taki et al., 2010; Carvalheiro et al., 2011). このように送粉者の豊富さを送粉サービスの指標とすることは妥当であると考えられる. また, スイカ, ソバ, およびサクランボについては農地周辺の森林面積が増加につれ, 送粉者の訪問率が増加する傾向が明らかになっている (Kremen et al., 2002; Taki et al., 2010; Holzschuh et al., 2012). このように送粉者とランドスケープ構造の関係を定量的に明らかにすることで, 送粉サービスの効果を増加させられるような景観管理を行うというような貢献が期待される.

これまで日本においては送粉サービスの重要性について欧米やヨーロッパと比較してあまり注目されてこなかった (小沼・大久保, 2015). そのため, IPBES の報告書でも指摘されたように, 日本では送粉サービスに関する情報が不足している (IPBES, 2017). 国内における送粉サービスの研究蓄積をおこない, 送粉サービスを維持する対策を講じることが求められている.

そこで本研究では, 宮崎県綾町を対象として代表的な農作物の一つである日向夏 (*Citrus tamurana*) の生産に送粉サービスを活用することを想定して, 代表的な送粉者であるニホンミ

ツバチ (*Apis cerana*, 以下, ミツバチと称する)の豊富さと景観構造との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 資料および方法

2.1 対象地

本研究の対象地である宮崎県東諸県郡綾町は, 国内最大級の照葉樹林と長い歴史をもつ有機農業で知られている。綾町では約半世紀前から人と自然が共生する町づくりを進めてきており, 農薬や化学肥料を使用しない自然生態系農業への取り組みや, 照葉樹林再生のプロジェクトである「綾の照葉樹林プロジェクト」などの取り組みを行ってきた(朱宮 他, 2013)。2012年にはこれらの取り組みが認められ, 日本で初めて移行地域を伴ったユネスコエコパークに登録されている。照葉樹林プロジェクトにおいては国有林, 県有林, 町有林を合わせた約1万haの照葉樹林の再生を進めており, このエリア内の人工林を自然林に戻していく計画が進められている。綾町では宮崎県の特産品である日向夏の栽培が県内で盛んであり, 県内でも有数の産地として知られている。日向夏は強い自家不和合性(自個体の花粉では授粉できず, 別の花粉源からの花粉が必要となる性質)を持っているため, 綾町の日向夏農園では人工授粉による花粉の媒介が行われている。しかし人工授粉の作業は大変な時間と労力が必要であり, これが日向夏の栽培コストが高くなる原因となっている。

2.2 調査方法

綾町内において日向夏農園を16箇所選定し, 各調査地に対して1から4本の調査対象木の設定を行った。以前の報告(Yumura et al., 2016)では, 対象木に調査枠を設置して1時間に枠内に訪れるミツバチの数を計数した。しかし, この方法では観測されるミツバチの数が少なく, 時間がかかるという問題があった。そこで本研究では対象木に隣接木2本をあわせた3本について, 周囲を歩きながら3分間にわたって全体を観察して存在するミツバチの数を計数した。ミツバチの見落としを考慮して, 現地調査においては複数の調査者で同時に調査を行った。現地調査は日向夏の開花期間にあわせて2016年4月29日から5月20日の期間中5日間に行った。また, 計測時に対象木の写真を撮影し, 開花レベルとして開花の度合いを5段階に分類した。さらに写真において樹冠面積を計測し, 個体サイズの指標とした。調査結果の一例を図1に示す。

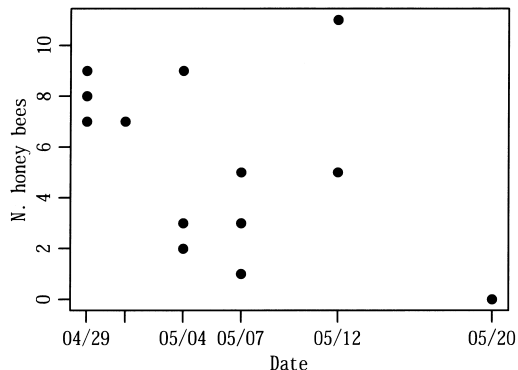


図 1. ミツバチ訪花数調査結果の例。

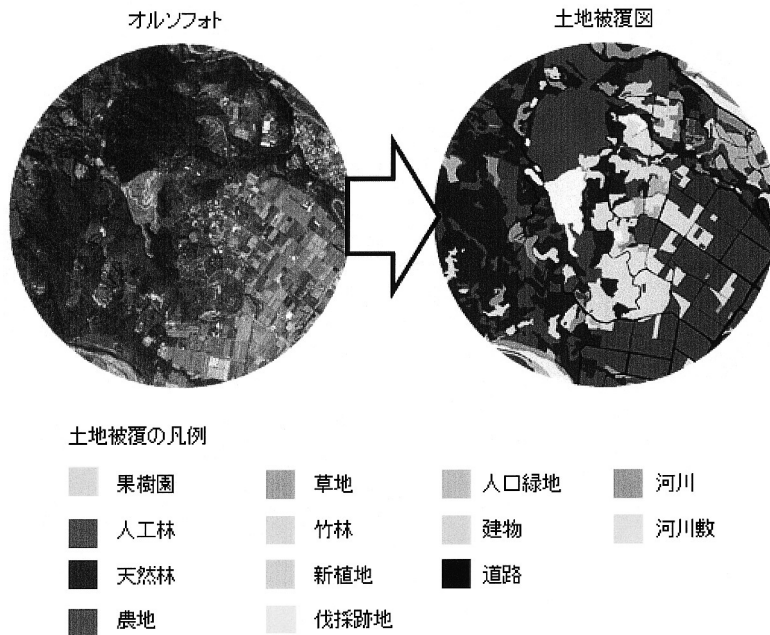


図 2. 対象木を中心とした半径 2 km 円内の土地被覆図の例.

対象日向夏農園周辺の景観構造を指標化するため、平成 25 年撮影の航空写真から作製されたオルソフォトを判読し、土地利用図を作成した(図 2)．本研究で用いた土地被覆タイプは人工林、広葉樹林、農地、住宅地、緑の多い住宅地、竹林、河川、河川敷、伐採地、果樹園、人工物、植林地、道路、ゴルフ場、草地、裸地、および人工緑地の 17 種類である．先行研究(Yumura et al., 2016)および既往の研究(Fujiwara and Washitani, 2017)から、各対象木を中心とした半径 2 km 円について土地被覆タイプ別の面積を計測した．

2.3 解析方法

以前の研究では、ミツバチ訪花数と景観構造との関係について一般化線形混合モデルを用いて解析した(Yumura et al., 2016)．しかし、本研究においては調査者がミツバチを探しながら計数するという方法を採用したため、調査者によってミツバチ発見能力が異なることによる観測データのバラツキが生じる危険性がある．そこで本研究では景観構造とミツバチ訪花数との関係を説明する生態モデルと、観測者の発見能力を推定する観測モデルを結合した統計モデルを用いた．

生態モデルにおいては以前の研究を参考にして、景観構造の指標として半径 2 km 以内の天然林面積(以下、 NF)および農地と草地の合計面積(以下、 AG)を説明変数として用いた．また、既往の研究(Eckhart, 1991)を参考に、開花レベル(以下、 FL)をミツバチへの誘因効果を指標する因子として用いた．気象要因による影響を考慮するため、3 段階に区分した調査時刻(10 時～12 時, 12 時～15 時, 15 時～17 時以下、 T)および調査日(以下、 D)をランダム要因として取り扱った．生態モデルのモデル式は一般化線形混合モデルの形式を採用し、リンク関数を対数関数として以下の様に構築した．

$$(2.1) \quad \log(E[N_i]) = b_{0,FL} + b_1 NF + b_2 AG + re_{1,T} + re_{2,D} + \log(S)$$

ここで、 N_t は真のミツバチ訪花数、 S は写真を用いて計測した樹木サイズでありオフセット項として用いた。 $b_{0,FL}$ は開花レベルによって決まる係数、 b_1 および b_2 は各説明変数の回帰係数、および $re_{1,T}$ は調査時刻によって、 $re_{2,D}$ は調査日によって設定されるランダム効果を示す。ランダム効果については平均値を 0 として、分散のパラメータ (s_1 および s_2) をそれぞれ推定する。真のミツバチ訪花数 (N_t) は現実には観測できない値であり、実際に観測されたミツバチ訪花数は各個人の発見能力によって影響を受ける。よって、下記のような観測モデルを導入した。

$$(2.2) \quad N_e = N_t \times P_i$$

ここで P_i は観測者 i ごとに設定される発見率であり、 N_e は真のミツバチ訪花数と個人の発見率から計算されるミツバチ訪花数の推定値である。このような観測モデルを用いることによって、観測者における発見能力の違いを考慮して生態モデルのパラメータを推定することを試みた (Kery and Schaub, 2012)。ミツバチ訪花数はポアソン分布に従うと仮定して、ミツバチ訪花数の推定値と観測値から計算される尤度にもとづきハミルトニアンモンテカルロ法によるパラメータ推定を行った。なお、事前分布として b_0 には -2 から 2 の値をとる一様分布を、 b_1 および b_2 には平均値 0 および標準偏差 100 の正規分布を、および s_1 および s_2 には 0 から 100 の値をとる一様分布を設定した。観測者ごとに設定されるミツバチ発見率である P_i については、0 から 1 の値をとる一様分布を事前分布として設定し、観測者ごとに独立して推定した。ハミルトニアンモンテカルロ法を実行するにあたって、繰り返し回数を 50,000 回とし、初期除外回数を 30,000 回とし、3 つの試行を並列した。

3. 結果および考察

ハミルトニアンモンテカルロ法によって推定されたパラメータを表 1 に示す。パラメータの収束度合いを示す $\hat{R}$ 指標はすべて 1.1 を下回っており、ハミルトニアンモンテカルロ法による

表 1. パラメータ推定の結果.

	Median	$\hat{R}$
$b_{0,1}$	-1.389	0.998
$b_{0,2}$	-0.869	0.999
$b_{0,3}$	0.064	0.998
$b_{0,4}$	0.779	0.998
$b_{0,5}$	1.064	0.997
b_1	0.381	0.997
b_2	0.255	0.995
s_1	0.364	1.001
s_2	1.717	1.006
p_1	0.708	1.001
p_2	0.635	0.999
p_3	0.626	1.007
p_4	0.568	0.999
p_5	0.796	1.004
p_6	0.945	1.000
p_7	0.647	1.004

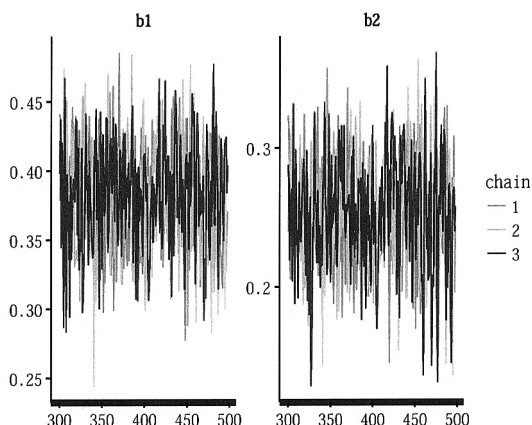


図 3. パラメータ b_1 および b_2 に関するトレースプロット.

パラメータ推定は収束したと判断した．景観構造との関係性をあらわすパラメータ b_1 および b_2 について，ハミルトニアンモンテカルロ法によるサンプリング経過を図 3 に示す．図 3 において 3 回の試行結果(chain 1 から 3 として表示)は同様の傾向を示しており，両パラメータとも適切に収束していることが確認できる．半径 2km 以内の天然林面積に係るパラメータ b_1 は正の値をとっており，周囲に天然林が多いほどミツバチ訪花数は多くなることを示している．天然林はミツバチの営巣場所となっており，既往研究(Taki et al., 2010, 2011)と同様に，ミツバチによる送粉サービスを期待するためには天然林が不可欠であると考えられる．

半径 2km 以内の農地および草地合計面積に係るパラメータ b_2 も正の値をとっており，周囲に農地や草地が多いほどミツバチ訪花数は多くなることを示している．草地がミツバチの採餌場所として機能することは確認されており(Fujiwara and Washitani, 2017)，本研究の結果も草地がミツバチの採餌活動に正の影響を与えることを示唆していると考えられる．一方で，既往の研究では農地がミツバチに悪影響を与えるという結果が多く報告されている(Ricketts et al., 2008; Chauzat et al., 2009; Henry et al., 2012)．これは農地における農薬の使用が影響しているものであり，本研究の対象である綾町ではほとんどの農地で有機栽培が行われており，そのことを反映したものであると考えられる．先の研究(Yumura et al., 2016)においても同様の結果となったが，新たなデータでも同様の結果となったことで有機農業の効果が確認された．

推定された個人のミツバチ発見率は 0.626 から 0.945 の値をとっており，ミツバチ発見の能力に大きな差があることが示唆された．動物や昆虫の観測データを取り扱う際には，本研究のような観測モデルを組み合わせた解析のアプローチが重要であると考えられる．

本研究においては，天然林が多く，農地および草地が多い景観構造において，日向夏生産に対する高い送粉サービスが期待できるという結果となった．農地の存在が送粉サービスに正の影響を与えるということは，綾町においては古くから有機農業が推進された結果として，農地が生態系へ与える悪影響が緩和されたことを示唆していると考えられる．さらに調査を継続し，有機農業が生態系サービスに良い影響を及ぼすことが確認できれば，綾町の有機農業生産品をブランド化することが可能になるだろう．ユネスコエコパークの目的は地域の生態系保全と持続可能な経済の両立であり，日向夏や有機農業生産品はまさにその理念の象徴となりうる．ユネスコエコパークにおいては移行地域の活用が課題となっており(比嘉 他, 2012)，このような取り組みを科学的にサポートするような研究が重要である．また，綾町では人工林を天

然林へ再生するプロジェクトが進行中であるが、本研究成果をもとに、ミツバチの送粉サービスを考慮して天然林再生を行う場所を選択するという考え方もあるだろう。このように生態系サービスを対象とした研究は、地域の生態系保全だけでなく、地域社会に対して貢献できる可能性がある。SDGsの達成に向けて、このような研究を推進していく必要があるだろう。

冒頭で述べたように、生態系サービスを定量的に評価することが喫緊の課題となっている。そのために様々な野外調査が実施されるが、特に動物を対象とする野外調査には測定の不確実性が大きくなってしまいう問題が付きまとう。本研究においてもミツバチ発見率に大きな個人差が存在することが示唆されたが、個人差を考慮しないで解析を行うとミツバチによる送粉サービスと景観構造との関係を誤って理解してしまう危険性がある。観測者間における能力差のような野外調査における測定の不確実性は解析結果を攪乱する要因であるが、野外調査は比較的低コストで多くの観測点における観測を可能にするという利点がある。そこで本研究のように生態系サービスの評価に関わるモデルと不確実性を伴う観測のモデルをそれぞれ設計して融合することにより、より適正に生態系サービスの評価を行うことが可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 (17H00806 および 18H02242) の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A. P., Potts, S. G., Kleukers, R., Thomas, C. D., Settele, J. and Kunin, W. E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands, *Science*, **313**(5785), 351-354.
- Bosch, J., Kemp, W. P. and Trostle, G. E. (2006). Bee population returns and cherry yields in an orchard pollinated with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae), *Journal of Economic Entomology*, **99**(2), 408-413.
- Cane, J. H. (2005). Pollination potential of the bee *Osmia aglaia* for cultivated red raspberries and blackberries (*Rubus: Rosaceae*), *HortScience*, **40**(6), 1705-1708.
- Carvalho, L. G., Seymour, C. L., Veldtman, R. and Nicolson, S. W. (2010). Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas, *Journal of Applied Ecology*, **47**(4), 810-820.
- Carvalho, L. G., Veldtman, R., Shenkute, A. G., Tesfay, G. B., Pirk, C. W. W., Donaldson, J. S. and Nicolson, S. W. (2011). Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity, *Ecology Letters*, **14**(3), 251-259.
- Chauzat, M.-P., Carpentier, P., Martel, A.-C., Bougeard, S., Cougoule, N., Porta, P., Lachaize, J., Madec, F., Aubert, M. and Faucon, J.-P. (2009). Influence of pesticide residues on honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) colony health in France, *Environmental Entomology*, **38**(3), 514-523.
- Eckhart, V. M. (1991). The effects of floral display on pollinator visitation vary among populations of *Phacelia linearis* (Hydrophyllaceae), *Evolutionary Ecology*, **5**(4), 370-384.
- Fujiwara, A. and Washitani, I. (2017). Dependence of Asian honeybee on deciduous woody plants for pollen resource during spring to mid-summer in northern Japan, *Entomological Science*, **20**(1), 96-99.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. and Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline, *Ecological Economics*, **68**(3), 810-821.
- Goulson, D., Lye, G. and Darvill, B. (2008). Decline and conservation of bumble bees, *Annual Review of Entomology*, **53**(1), 191-208.

- Henry, M., Béguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S. and Decourtye, A. (2012). A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees, *Science*, **336**(6079), 348-350.
- 比嘉基紀, 若松伸彦, 池田史枝 (2012). ユネスコエコパーク (生物圏保存地域) の世界での活用事例 (<特集 2> ユネスコ MAB (人間と生物圏) 計画—日本発 ユネスコエコパーク制度の構築に向けて), 日本生態学会誌, **62**(3), 365-373.
- Holzschuh, A., Dudenhöffer, J.-H. and Tscharnkte, T. (2012). Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry, *Biological Conservation*, **153**, 101-107.
- IPBES (2017). 花粉媒介者, 花粉媒介及び食料生産に関するアセスメントレポート政策決定者向け要約 (抄訳), p.8, <https://pub.iges.or.jp/pub/ipbes-pollination-keymessages-jp>.
- Isaacs, R. and Kirk, A. K. (2010). Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees, *Journal of Applied Ecology*, **47**(4), 841-849.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W. and Waser, N. M. (1998). Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions, *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**(1), 83-112.
- Kery, M. and Schaub, M. (2012). *Bayesian Population Analysis Using WinBUGS*, Academic Press, Boston.
- Kevan, P. G., Greco, C. F. and Belaoussoff, S. (1997). Log-normality of biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystemic health: Pesticide stress on pollinators on blueberry heaths, *Journal of Applied Ecology*, **34**(5), 1122-1136.
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. and Tscharnkte, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **274**(1608), 303-313.
- 小沼明弘, 大久保悟 (2015). 日本における送粉サービスの価値評価, 日本生態学会誌, **65**(3), 217-226.
- Kremen, C., Williams, N. M. and Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **99**(26), 16812-16816.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, D.C.
- Ollerton, J., Winfree, R. and Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?, *Oikos*, **120**(3), 321-326.
- Patiny, S., Rasmont, P. and Michez, D. (2009). A survey and review of the status of wild bees in the West-Palaeartic region, *Apidologie*, **40**(3), 313-331.
- Pettis, J. S. and Delaplane, K. S. (2010). Coordinated responses to honey bee decline in the USA, *Apidologie*, **41**(3), 256-263.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. and Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers, *Trends in Ecology & Evolution*, **25**(6), 345-353.
- Ricketts, T. H. (2004). Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops, *Conservation Biology*, **18**(5), 1262-1271.
- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmill-Herren, B., Greenleaf, S. S., Klein, A. M., Mayfield, M. M., Morandin, L. A., Ochieng', A. and Viana, B. F. (2008). Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns?, *Ecology Letters*, **11**(5), 499-515.
- 朱宮丈晴, 小此木宏明, 河野耕三, 石田達也, 相馬美佐子 (2013). 照葉樹林生態系を地域とともに守る: 宮崎県綾町での取り組みから, 保全生態学研究, **18**(2), 225-238.
- Taki, H., Okabe, K., Yamaura, Y., Matsuura, 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**(7), 594-602.
- Taki, H., Yamaura, Y., Okabe, K. and Maeto, K. (2011). Plantation vs. natural forest: Matrix quality

- determines pollinator abundance in crop fields, *Scientific Reports*, **1**, 132.
- Wood, S. L. and DeClerck, F. (2015). Ecosystems and human well-being in the sustainable development goals, *Frontiers in Ecology and the Environment*, **13**(3), 123-123.
- Yumura, T., Mitsuda, Y., Iwamoto, M., Hirata, R. and Ito, S. (2016). Evaluation of the relationship between abundance of pollinators and landscape structure in Hyuganatsu (*Citrus tamurana*) Orchards in Aya Town, Miyazaki Prefecture, *Journal of Forest Planning*, **21**(2), 23-28.

The Relationship between Pollination Service by the Native Honeybee
(*Apis cerana*) and Landscape Structure
—A Case Study of Hyuganatsu (*Citrus tamurana*) in Aya Town,
Miyazaki Prefecture—

Yasushi Mitsuda¹, Takahiro Yumura^{1,2}, Ryoko Hirata¹ and Satoshi Ito¹

¹Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, Miyazaki

²Now at Kyushu Branch, Regional Environmental Planning Inc., Fukuoka

In this study, we examined the relationship between pollination of hyuganatsu (*Citrus tamurana*) (as an ecosystem service) by native honeybees (*Apis cerana*) and the landscape structure in Aya Town, Miyazaki Prefecture. A total of 24 hyuganatsu trees were selected in 16 orchards, and the number of honeybees visiting each tree was counted. A land use map of the study area was developed by photo interruption on the orthophoto. A stochastic model for predicting honeybee visits was developed, using the area of natural forest and the total area of agricultural field and grassland as explanatory variables. The difference in bee-finding ability among observers was also modelled as an observation model. We created an ecological model combining the relationship between the number of honeybee visits, regarded as an indicator of pollination service, landscape structure, and the observation model were combined, and estimated the parameters of these model by Bayesian inference. The estimated parameters suggested that both the area of natural forest and total area of agricultural field and grassland positively affected pollination services by native honeybees.