

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02220

研究課題名（和文）作物生産と訪花者の相互依存性から探る生態系サービスと生物多様性のシナジー

研究課題名（英文）Synergetic relationship between biodiversity and ecosystem service based on the interdependence of crop production and pollinators

研究代表者

宮下 直（Miyashita, Tadashi）

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授

研究者番号：50182019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ソバの送粉サービスの持続性と農地景観に生息する絶滅危惧種ミヤマシジミの保全の両立を可能にする局所環境と景観環境を明らかにした。ソバの送粉サービスを支える昆虫類とミヤマシジミは、ともに農地周辺の畦畔や土手に草地を重要な生息地としており、草地の空間的な連結性が重要であること、草刈り頻度は年2回程度に抑え、ミヤマシジミの幼虫期には控えること、またソバの開花前1か月程度の草刈りを控えること、という条件が揃えば、ミヤマシジミのメタ個体群を保全しつつ、ソバの結実を高めることが可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業生産と生物多様性の保全は、しばしば二律背反の関係にあるが、これを両立させることは、自然と共生する持続可能な地域社会の形成に不可欠である。本研究では、農地景観に生息する絶滅危惧種ミヤマシジミのメタ個体群の存続を可能にし、かつソバの送粉サービスの持続性を保証する景観管理の具体的な方途を提示することができた。この成果は、論文や各種講演会、新聞報道などを通して社会へ発信したとともに、営農組合への管理マニュアルとしての採用や、自然共生を実現する新たな任意団体の設立にまで至り、大きな学術的、社会的な貢献をもたらすことになった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we clarified the local and landscape environmental factors that enable both the sustainability of buckwheat pollination service and the conservation of the endangered species butterfly *Plebejus argyrognomom* inhabiting farmland landscapes. Semi-natural grasslands around farmlands were the important habitats for both buckwheat pollinators and *P. argyrognomom*. We revealed that (1) the spatial connectivity of the grasslands is important, (2) the frequency of mowing should be biannual, (3) mowing should be refrained during the larval stage of *P. argyrognomom*, and (4) mowing should be refrained for one month before the flowering of buckwheat. These management practices are likely to allow metapopulation persistence of *P. argyrognomom* and sustainable buckwheat production.

研究分野：生態学

キーワード：送粉サービス 農地景観 草原生態系 メタ個体群 応答多様性 ソバ ミヤマシジミ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 生物多様性の保全と生態系サービスの利用は、しばしばトレードオフの関係にある。作物生産の向上を目指した集約化が生物の減少をもたらすのがその典型例である。こうしたトレードオフを、中立または正の関係に導き、さらに願わくはシナジー(双方向の因果関係)を生み出すことができれば主流化が一気に加速するであろう。そのためには、シナジーが生じる条件を科学的に探索することが必要である。こうした条件を特定するには、局所から景観スケールに至る様々な空間スケールから生物間相互作用や人為影響を評価し、それを生態系サービスと結びつける作業が必要となる。しかし、この分野では基礎研究と応用研究との乖離が著しく、堅固な科学的な検証は未発展といえる。

(2) 送粉サービスは、様々な野生生物により支えられている生態系サービスであり、世界に流通している農作物の品目の約75%が送粉を動物に依存している。なかでも、近年日本各地で作付け面積が広がっているソバは、昆虫による花粉媒介がほぼ必須であり、農薬などの環境負荷が少ない伝統的な農法で栽培されている。そのため、生物多様性と生態系サービスの相互依存性を検証するうえで優れた対象である。ソバの結実にはミツバチなどのハナバチ類だけでなく、小型のハエ目や甲虫なども貢献しているらしい。しかし、花の結実率は20%以下であり、時間的・空間的な変動も大きい。ソバの安定生産を目指すには、送粉サービスが実現されるプロセスを生態学的視点から評価することが急務である。一方で、ソバは蜜量が多いため、絶滅危惧種を含む多様な昆虫が訪れることも知られており、訪花性昆虫を個体群レベルで底上げしている可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、送粉サービスに依存するソバの結実量および訪花昆虫や絶滅危惧種を含む生物多様性の双方が増加する生態学的なメカニズムを明らかにする。その知見をもとに、双方を同時に高める農地景観の管理のありかたを提言する。とくに、(1)農地周辺の土手に生息するミヤマシジミのメタ個体群の維持機構を草刈り管理や生物間相互作用の観点から明らかにするとともに、(2)ソバの送粉サービスに貢献する昆虫類の特定と、その気象条件依存性、さらに畦畔草地の管理や景観異質性が訪花昆虫や結実率に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調査は全て長野県飯島町で行った。飯島町は長野県の種ソバの大部分を生産しているとともに、絶滅危惧種 B 類のミヤマシジミが農地景観に広く生息する日本で唯一の生息地でもある。

(2) 飯島町のミヤマシジミの全生息パッチ(144か所)を対象に、パッチ面積、食草(コマツナギ)の被度、草刈りのタイミング、共生アリの密度、ミヤマシジミの幼虫、成虫ともに個体数を記録した。生息地パッチ間の連結性はGISを用いて、周囲のパッチの成虫個体数で重みづけした指標で計算した。

(3) 最適な生息地管理方法を明らかにするために2019年から実施している畦畔管理実験区(地際刈り・中刈り・高刈り)内で各世代のミヤマシジミ幼虫を採集・飼育し、寄生の有無を調べた。幼虫ごとのアリ随伴や幼虫密度も記録した。畦畔管理実験では6月、7月、9月の成虫が発生する時期に1,2回草を刈る処理を施した。その畦畔管理実験によって局所個体群サイズが増加するかどうかを調べるために、実験前の2018年から2021年までの各世代の幼虫個体数を全生息地パッチで記録した。

(4) ソバ畑の畦畔植生と周辺景観がソバの送粉サービスに与える影響を明らかにするために、2018年~2021年に野外調査を実施した。2018年には畦畔の野生開花植物とソバの訪花昆虫を調査し、2019年からは、ソバ播種から収穫直前まで畦畔での草刈りを控えた維持区と、通常通りに草刈りを行った(開花1~2週間前)草刈り区において、訪花昆虫と結実率を調査した。

(5) 気象条件の違いに対する訪花昆虫の応答を解明するために、14カ所のソバ畑を対象に、各種の訪花頻度を様々な気象下(気温、日照時間、風速)で調査した。

(6) 訪花頻度は高いが、送粉者としての認識に乏しいアリの結実貢献を評価するために、アリの排除実験を実施した。ソバ株の根元に粘着板を設置してアリ訪花を除去した株と、無処理の株で結実率を比較した。

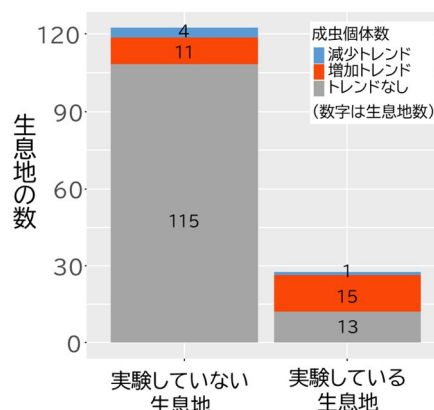
(7) 非常に多様な訪花昆虫の送粉効率を簡便に評価するために、ビデオ撮影を行った。2020年と2021年に早朝から夕方にかけて、ソバに訪花する昆虫をビデオで撮影し、各種の訪花頻度と

結実を紐付けた。統計的に送粉効率を推定するために、資源制限を考慮した階層モデルを構築した。

4. 研究成果

(1) ミヤマシジミ幼虫の局所個体群サイズに対し、生息地の連結性、パッチ面積、1世代前の成虫個体数、クロオオアリとクロヤマアリ密度、食草被度は正の有意な効果を示した。また、幼虫個体数と草刈後経過日数は70日付近で最大となる単峰型の関係が見られた。このことから、2世代目幼虫にとっては食草の芽生えから草を刈らないこと、3世代目幼虫にとっては成虫が発生する6月上旬に草を刈ることで、個体数が最大となると示唆された。

(2) 幼虫の飼育と観察から、主な寄生者はサンセイハリバエとシヘンチュウの1種であり、主な随伴アリはクロオオアリとクロヤマアリであるとわかった。畦畔管理実験の結果、サンセイハリバエによる寄生率には、共生アリの随伴個体数は負に、幼虫密度と高刈り操作は正に効くことが分かった。一方で、土壌由来の寄生者であるシヘンチュウによる寄生率は、アリの随伴や幼虫密度と有意な関係がなかったが、高刈り操作と降水量による正の有意な影響が認められた。



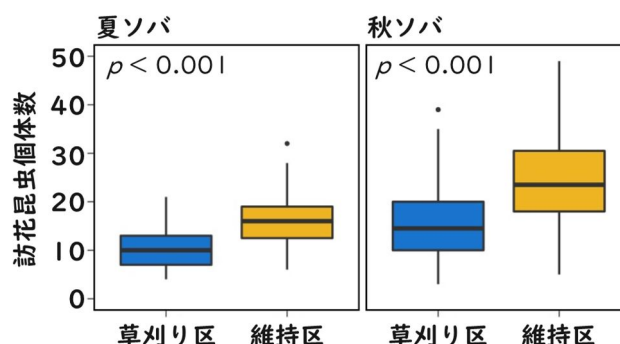
(3) 畦畔管理実験を行っている生息地パッチは実験を行っていない生息地パッチに比べて、個体数増加しているパッチの割合が有意に高く、適した時期と強度の攪乱は局所個体群サイズを増加させることがわかった(図1)。

(4) 草刈りのタイミングは幼虫の個体数に影響を与え、草刈りの高さは寄生率に影響することから、メタ個体群の維持にとって畦畔管理は大きな影響を持つことが示唆された。草刈りの頻度を抑えつつも草丈も抑えられる畦畔管理方法はミヤマシジミの局所個体数を増加させ、2種類の寄生者からのトップダウンも軽減する効果が期待できる。一方で今後の気候変動による降水量の増加はシヘンチュウからの寄生が高まる恐れがあり、メタ個体群の持続性や安定性に寄与する保全区を選定し、適した管理を実践していく必要がある。

(5) ソバに訪花する昆虫の訪花頻度は、日照時間や気温に対して種ごとに異なる応答を示した。晴れた暖かい日にはセイヨウミツバチやハナムグリ、チョウ、曇りの涼しい日にはハナアブやハエ、アリの訪花頻度が高くなった。気象に対する訪花昆虫の応答の多様性は、変動気象下で送粉サービスを安定化することが示唆された。

(6) ソバの結実率は、アリ除去で約20%、対照区で約30%であり、アリが自然結実の3割ほどを担っていた。また、2020年にはビデオ撮影により各アリ種の結実貢献を調査した結果、アリ種間で結実貢献が大きく異なり、クロヤマアリの貢献が特に高いことがわかった。

(7) 訪花昆虫個体数は畦畔植生の維持(図2)や林縁部面積、景観異質性に伴い増加した。維持区ではハナアブやチョウ、コウチュウが多かった。結実率は訪花昆虫個体数に伴って増加し、野生ハナバチやハナアブ、コウチュウが重要であった。ソバの送粉サービス維持には局所から景観スケールでの多様な生息地が不可欠なことが明らかとなり、これらに基づいた畦畔管理マニュアルを提案した。



(8) ビデオカメラと統計モデルで推定した1回訪花あたりの効率は、ミツバチやハエ、コウチュウが、訪花頻度を考慮した送粉サービス量はセイヨウミツバチとコウチュウで高いことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yen hua Yeh, Hidenori Deto, Tadashi Miyashita	4. 巻 24
2. 論文標題 Parasitism rate of <i>Plebejus argyrognomon</i> (Lepidoptera: Lycaenidae) under different levels of mowing management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 32-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12448	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tadashi Miyashita, Fuga Matsui, Hidenori Deto, Tatsuya Imai, Natsuko I Kondo	4. 巻 24
2. 論文標題 Fine-scale population fragmentation of a grassland butterfly <i>Plebejus argyrognomon</i> inhabiting agricultural field margin and riverbank in rural landscapes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 382-390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Nagano, Tadashi Miyashita, Hisatomo Taki, and Tomoyuki Yokoi	4. 巻 36
2. 論文標題 Diversity of co-flowering plants at field margins potentially sustains an abundance of insects visiting buckwheat, <i>Fagopyrum esculentum</i> , in an agricultural landscape	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 882-891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kae Natsume, Shouta Hayashi, and Tadashi Miyashita	4. 巻 Early View
2. 論文標題 Ants are effective pollinators of common buckwheat <i>Fagopyrum esculentum</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Entomology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/afe.12493	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 永野裕大・宮下直・滝久智・横井智之
2. 発表標題 畔植物の多様性が高めるソバの送粉サービス：多様性保全と作物生産のwin-win関係
3. 学会等名 第67回日本生態学会名古屋大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Nagano, Tadashi Miyashita, Tomoyuki Yokoi
2. 発表標題 The effects of local landscape and farmland management on pollinators and pollination services in agricultural ecosystem
3. 学会等名 British Ecological Society Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林将太 滝久智, 宮下直
2. 発表標題 ソバの送粉サービスのレジリエンスをうみだす小型昆虫
3. 学会等名 第67回日本生態学会名古屋大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出戸秀典, 宮下直
2. 発表標題 複雑な種間・生息地間ネットワークから拓く農地景観におけるミヤマシジミの保全策
3. 学会等名 第67回日本生態学会名古屋大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 葉雁華, 出戸秀典, 宮下直
2. 発表標題 異なる植生条件下でのミヤマシジミに対する共生アリと寄生バエとの相互作用
3. 学会等名 第67回日本生態学会名古屋大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出戸秀典・宮下直
2. 発表標題 メタ個体群動態を駆動するパッチの質の時間変動：共生アリと攪乱のタイミング
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出戸秀典・宮下直
2. 発表標題 人為攪乱とアリ共生が駆動するミヤマシジミのメタ個体群動態
3. 学会等名 関東地区生態関係修士論文発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丁野梨沙・滝久智・筒井優・中村祥子・宮下直
2. 発表標題 昆虫による送粉サービスの時空間変動：ソバの安定生産はどこまで可能か？
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野裕大・横井智之
2. 発表標題 野生開花植物および景観構造がソバの訪花昆虫群集に与える影響
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 葉雁華・出戸秀典・宮下直
2. 発表標題 異なる植生構造下でのミヤマシジミ・アリ・寄生者2種の相互作用の変動要因
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Nagano, Tadashi Miyashita, Hisatomo Taki, and Tomoyuki Yokoi
2. 発表標題 Appropriate mowing management at field margins enhances pollination services on buckwheat in a small-holder agricultural landscape
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kae Natsume, Yuta Nagano, and Tadashi Miyashita
2. 発表標題 Pollination service by ants in common buckwheat, <i>Fagopyrum esculentum</i> , in a Japanese agricultural landscape
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Nagano and Tadashi Miyashita
2. 発表標題 Abundance gradient among pollinator communities on buckwheat is important for seed set and is influenced by local management in a small-holder agricultural landscape
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永野裕大・宮下 直
2. 発表標題 訪花昆虫群集の2つの 多様性を介した環境 送粉サービスの因果関係
3. 学会等名 第37回個体群生態学会オンライン大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 夏目佳枝・長田 穰・永野裕大・宮下 直
2. 発表標題 訪花昆虫による結実効率の新手法：ビデオ撮影と階層モデルの適用
3. 学会等名 第37回個体群生態学会オンライン大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 宮下 直・西廣 淳	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉出版	5. 総ページ数 176
3. 書名 人と生態系のダイナミクス1 農地・草地の歴史と未来	

〔産業財産権〕

〔その他〕

信濃毎日新聞「ソバの実りにありが一役？ 蜜を採ろうと花へ受粉橋渡し役か」2019年6月13日
 信濃毎日新聞「ソバ結実1.5倍 アリがたい働き」2020年1月7日
 信濃毎日新聞「飯島のミヤマシジミ守るには 東大院生、住民に研究成果説明」；2019年6月3日
 信濃毎日新聞「ミヤマシジミの研究・保護 住民活動活発化へ協定更新」；2021年4月20日
 長野日報「『飯島町の宝』ミヤマシジミ保全 住民参画の協議会を」；2021年6月21日
 長野日報「ミヤマシジミ保全へ 飯島で観察会」；2021年9月12日
 長野日報「ミヤマシジミを守ろう 七久保小4年生 水田土手にコマツナギ植栽」；2021年9月16日
 長野日報「絶滅危惧種ミヤマシジミ保全 住民組織が発足」；2021年10月12日

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	滝 久智 (TAKI Hisatomo) (80598730)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	横井 智之 (YOKOI Tomoyuki) (80648890)	筑波大学・生命環境系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関