

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K21608

研究課題名(和文) 流跡線解析によるコナガの長距離移動の実態解明

研究課題名(英文) Trajectory analysis of long-distance migration of diamondback moth in Japan

研究代表者

上杉 龍士 (Uesugi, Ryuji)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・主任研究員

研究者番号：10423005

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：アブラナ科作物の重要害虫であるコナガについて、長距離移動の実態を明らかにすることを目的とし、気流によるコナガの受動的飛行についての流跡線解析を行った。野外トラップ調査からコナガは日没直後に活動ピークを迎えること、風洞での受動的飛行行動の観察実験から、向かい風に反応して24時間以上休むことなく羽ばたき続けることがわかった。これら生態学的情報をもとに、HYSPLITを用いた流跡線解析を行った結果、2017年4-5月の2か月間で4日間だけ、越冬可能地から非越冬地である盛岡へのコナガの長距離移動が可能となる流跡線を引くことができた。また、その長距離移動のスケールは数百～千km程度であると推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、コナガの長距離移動の特性に応じた防除技術の開発と普及において重要な情報をあたえた。具体的には、越冬生態と長距離移動にともなう抵抗性遺伝子の流入状況に応じた薬剤ローテーション体系を提案することに貢献した。特に、コナガの非越冬地である北日本におけるコナガの薬剤抵抗性対策防除法としての「30日ブロックローテーション」のアイデアにつながった。

研究成果の概要(英文)：Trajectory analysis of long-distance migration of *Plutella xylostella* was performed. The investigation using pheromone trap suggested that activity of adult of the species peaks shortly after sunset. The video observation of the species in the wind tunnel showed that the species is able to flap wings over 24 hours, continuously, against a head wind. Based on the behavioral ecology of the species, back-trajectory analysis from Morioka city, which is in non-overwintering region in Japan, was performed. In the period from April to May in 2017, *P. xylostella* could made back-trajectories from overwintering region to Morioka city in four days. The scale of the long-distance migration was estimated to be from several hundreds km to a thousand km.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：コナガ 長距離移動 流跡線解析 フェロモントラップ 薬剤抵抗性 越冬生態 飛行行動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 昆虫の中には、サバクトビバッタやオオカバマダラなど長距離の移動を行う種がある。日本においても、南西諸島や台湾と日本本土間で渡りを行うアサギマダラ、中国から毎年飛来するイネ害虫のアワヨトウやトビイロウンカ、セジロウンカなどがよく知られている。昆虫の長距離移動のメカニズムは、種や地域によって多様性に富み、その解明は昆虫生態学・進化学上の複雑な問題を含む重要な研究テーマとなっている。同時に、長距離移動の研究は、害虫に対する防除技術の向上にも寄与してきた。例えば、トビイロウンカやセジロウンカの飛来を高精度に予測する技術が確立したことによって、最適な殺虫剤散布タイミングを推定し、海外で発達した薬剤抵抗性の日本への拡散に対する警報を発することができるようになった。

(2) アブラナ科作物の重要害虫であるコナガ *Plutella xylostella* (L.) も、長距離移動を行う種であるとされている。その証拠として、陸地から数百 km 離れた海域の調査船上でコナガが捕獲されている事例がある。また、中国大陸やオーストラリア大陸での遺伝解析研究では、コナガが数千 km のスケールで頻りに移動を行っている可能性が示されている。日本においてコナガは、日本海側の豪雪地域や寒さの厳しい宮城県以北では越冬出来ない。それにも関わらず東北や北海道で毎年作物に被害を与えていることから、春ごとに越冬可能な温暖地域から長距離を飛行して北日本へと移入していると考えられる。コナガの長距離移動による飛来タイミングや飛来源、飛行距離を知ることは、発生動向の推定や薬剤抵抗性の管理などの防除技術の開発に必要不可欠である。ところが、コナガの長距離移動については、春から初夏にかけての低気圧通過やフェロモントラップ誘殺数との関連性など断片的な研究が多く、その実態は十分に把握されていない。

2. 研究の目的

本研究は、コナガの長距離移動の実態を明らかにすることを目的とする。具体的には、長距離移動の経路と距離スケール、長距離移動が行われる時期(日)や時間帯の推定である。これらの目的を達成するために、本研究の中核となるのは HYSPLIT を用いた気流によるコナガ成虫の拡散解析である。本研究では、それに先立ち、野外調査および室内実験によって、コナガの長距離移動の持続時間および垂直飛行タイミングといった行動生態学的データを得る。そして、これらのデータおよび公開気流データ (GDAS1) をもとに、HYSPLIT によるコナガの流線跡解析を行う。それによって、長距離飛来が生じる特徴的な気流パターンを推定する。最終的に、飛来や抵抗性拡大の予測など防除タイミングや抵抗性管理の技術につながる情報を得る。

3. 研究の方法

(1) HYSPLIT による流線跡解析の精度を高めるために、野外調査によって飛び立つ時刻の推定を行った。具体的には、4～5月のキャベツ圃場に粘着トラップ(フェロモンルアーなし)を多数仕掛け、捕殺数データから、本種の野外における飛行活動の日内変動の調査を行った。

(2) 室内実験によってコナガの受動的飛行持続時間を推定した。具体的には、風洞内でコナガ成虫を針金で吊し、整流した風(時速 5km)を送り、擬似的に気流中の受動的飛行状態を再現した装置を作った。この装置上のコナガをビデオ撮影し、定間隔(2時間おき)でビデオをチェックして、1分あたりに翅を動かしている時間の割合を、気流に乗って飛行する状態の目安とした。この実験によって、気流に乗った受動的飛行の現実に近い飛行持続時間を推定した。

(3) コナガの非越冬地である盛岡市を終点として、後方流線跡解析を行った。流線跡は GDAS1 による全地球 3D 気流データをもとに HYSPLIT を用いて計算した。個々の流線跡をクラスタ化し、最適なクラスタ(飛来コース)を推定した。本解析によって、コナガの非越冬地域への長距離移動における飛来源を推定するとともに、長距離移動による大量飛来が生じた時期(日)を推定した。

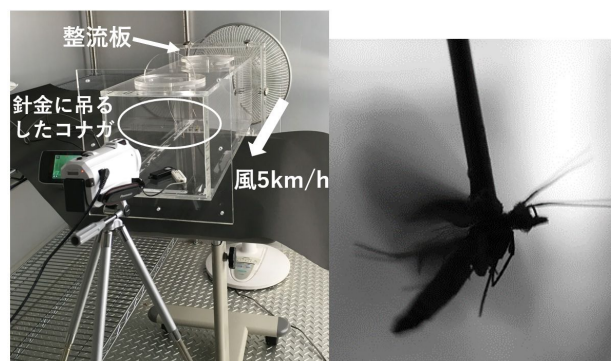


図1 風洞によるコナガの受動的飛翔行動実験(左)、
風洞内で針金に吊るされて羽ばたくコナガ(右)

4. 研究成果

(1) フェロモン粘着トラップの調査により、コナガの飛行行動に関する日周性を明らかにし、長距離飛行の開始時間を推定した。2017年4-5月にかけて農研機構東北農研場内（岩手県盛岡市下厨川）の10箇所にフェロモン粘着トラップを設置し、6時間毎の捕獲数を調査した。0時～6時では計49個体、6時～12時では計6個体、12時～18時では計27個体、18時～24時では350個体と、日没後から深夜にかけて飛行行動が活発化することが明らかになった。また、同場内のナタネ圃場5箇所にフェロモン粘着トラップを設置し、日没後から30分おきに捕獲数を調査したところ、日没1時間後あたりに急激に活動ピークを迎え、その後深夜にかけて活動がおさまる様子が観察された（図1）。コナガの長距離移動時には気流に乗る必要があるが、それは活動が活発になる日没後から深夜までの時間帯に始まると推察された。

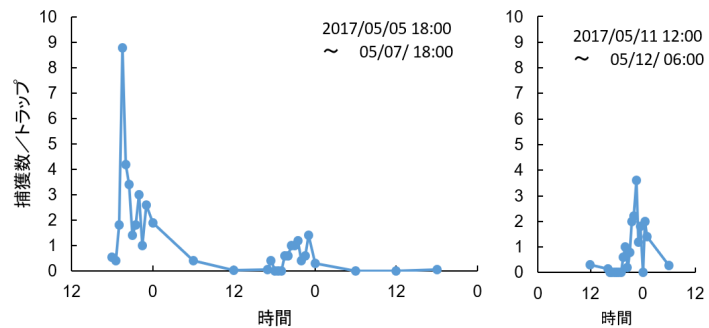


図1 フェロモン粘着トラップによるコナガ成虫の活動の日変動

(2) ビデオデータの観察結果から、コナガの羽ばたき行動は、気流の向きによって異なることがわかった。追い風（後方気流）では、風洞に吊るした当初から持続的に翅を羽ばたかせ、次第に力尽きていく中で羽ばたき時間を減らしていった（図2a）。一方で、向かい風（前方気流）では、最初から持続的な羽ばたきは行わなかった（図2b）。なお、向かい風では、長時間生き残った個体で羽ばたき時間が増加する傾向がみられたが、これは飢餓や乾燥によって移動性向が高まった可能性が考えられる。追い風処理を行った16個体のうち最も羽ばたき持続性が高かった4個体は、24時間以上もほぼ休むことなく羽ばたいていたが、その後すぐに力尽きた（図2c）。本実験が示す羽ばたき行動における気流への反応性は、コナガの長距離移動に役立っている可能性がある。つまりコナガは、追い風を受けるような姿勢で気流の流れに乗り、そのまま羽ばたき続けて揚力を長時間持続させることで長距離の移動を可能としていると推察される。その際、一部の個体は24時間程度の揚力持続性を持つと考えられる。

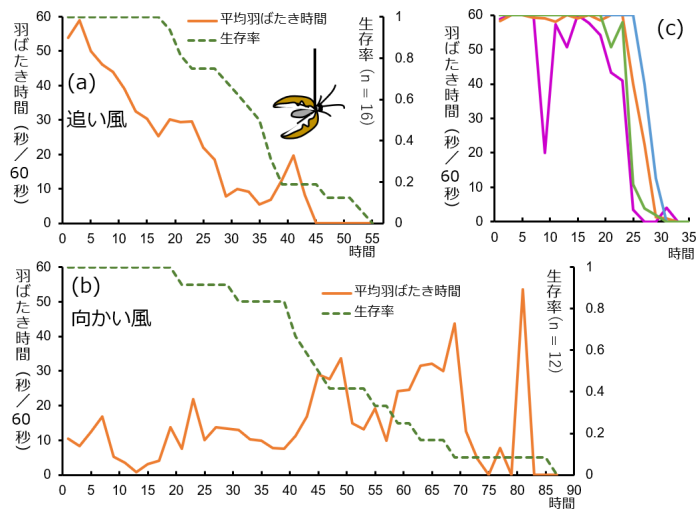


図2 風洞内でのコナガの羽ばたき行動の観察データ

(3) コナガの長距離移動の実態を推定するために、気流解析ソフトウェア HYSPLIT（アメリカ海洋大気庁）を用いて、2017年4-5月の気流データ（GDAS1データ）を使い、気流による飛行軌跡（流跡線）を推定した。コナガの活動の日周調査結果および風洞での飛行持続時間を踏まえて、解析では、深夜24:00までに飛び立ち、その後すぐに気流に乗って24時間移動したと仮定した。コナガの非越冬地域である盛岡市を終点として後方流跡線解析を行った結果、流跡線の起点（飛来源となる地点）は、ほとんどの場合、海洋上または非越冬地であった（図3a）。ただし、4日分においてのみ越冬可能地域からの長距離飛来が成功したと推定される流跡線が見いだされた（図3b）。この結果から2017年4-5月において、限られた日だけであるが、越冬可能地である関東・東海・近畿地方から非越冬地である盛岡へのコナガの長距離移動が可能であったと考えられた。また、流跡線の長さからその長距離移動のスケールは数百～千km程度であると推定された。

(4) 北日本へのコナガの長距離飛来は、揚子江沖で発生した前線を伴う移動性低気圧の通過と関連付けられてきた。その根拠とされているのは、フェロモン誘引トラップでコナガが大量に誘殺され始める日と前線の通過が一致する傾向があることである。ところが、流跡線解析によって越冬可能地域からの飛来が成功したと推定された日の前後の天気図(気象庁「日々の天気図」)を調べた結果、前線の通過と流跡線解析による推定飛来日との一致は見出せなかった。むしろ前線の通過は、海よりの強い風をもたらすことによって、越冬地域から非越冬地域への飛来を妨げている可能性が高い。我々の盛岡での捕殺調査から、春先の一時的な気温の上昇がコナガの誘殺数の上昇をまねく傾向があることが明らかになっている。前線の通過は、急激な気温の変化を引き起こすので、コナガ飛来との関係性については再検討する必要がある。

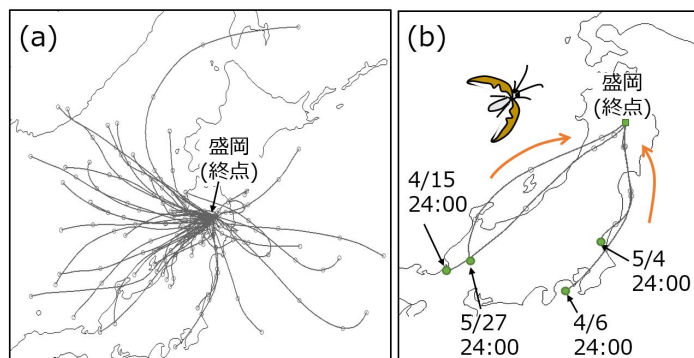


図3 HYSPLITによるコナガの長距離移動のシミュレーション(a)。2017年4-5月の気流データによると4本(日)で長距離移動が成功したと推定された(b)。

(5) 本研究のアウトリーチ活動として、コナガの長距離移動の特性に応じた防除技術の開発と普及を行った。具体的には、コナガの越冬可能地域と非越冬地域での薬剤抵抗性の進化の違いから、越冬生態と長距離移動に伴う抵抗性遺伝子の流入状況に応じた薬剤ローテーション体系を提案した。特に本研究結果は、コナガの非越冬地である東北・北海道地域については、コナガの薬剤抵抗性対策をとまなう効果的な防除法として「30日ブロックローテーション」のアイデアにつながった。また、県や農研機構が主催する防除研修会やワークショップ、一般広報誌などで技術についての情報提供を行った。

<引用文献>

- French RA、White JH、The diamond-back moth outbreak of 1958、Plant Pathology、9巻、1960、77 84
 朝比奈正二郎、鶴岡保明、白鳳丸にて得た海洋飛来昆虫、New Entomologist、21、1972、67 71
 本多健一郎、宮原義雄、東北地域におけるコナガの越冬可能地帯の推定、北日本病害虫研究会報、38巻、1987、133 134
 Kohno K、Soemori H、Takahashi K、Seasonal occurrence of *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Yponomeutidae) on Ishigaki-jima Island, with special reference to their sudden occurrence associated with a typhoon、Applied Entomology and Zoology、39巻、2004、119 125
 平成26~30年度農林水産省委託プロジェクト研究「ゲノム情報等を活用した薬剤帝国性管理技術の開発」コンソーシアム(編) 薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案、2019、https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/121745.html (2020年6月15日確認)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上杉 龍士、深谷 緑	4. 巻 53
2. 論文標題 北日本で越冬できないコナガは毎年どこからどのように飛来するのか？	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 32-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 上杉 龍士	4. 巻 29
2. 論文標題 農業害虫における薬剤抵抗性発達の遅延のための理論と実践	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 関東雑草研究会報	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 柴田 真信、上杉 龍士、平山 千穂	4. 巻 64
2. 論文標題 長崎県のブロッコリーから採集したコナガ個体群における11薬剤に対する感受性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 九州病害虫研究会報	6. 最初と最後の頁 91-95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4241/kyubyochu.63.91	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 上杉 龍士	4. 巻 71
2. 論文標題 粘着トラップから回収したコナガ成虫を用いた薬剤抵抗性遺伝子診断の可能性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 植物防疫	6. 最初と最後の頁 148-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 上杉 龍士	4. 巻 36
2. 論文標題 コナガの薬剤抵抗性の過去、現在とこれからの防除対策	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 グリーンレポート	6. 最初と最後の頁 18-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 上杉 龍士
2. 発表標題 農業害虫における薬剤抵抗性発達遅延のための理論と実践
3. 学会等名 平成29年度植調関東支部雑草防除研究会・関東雑草研究会合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉 龍士
2. 発表標題 コナガの長距離移動の実態と生態学的な意味
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会第61回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉 龍士
2. 発表標題 コナガの薬剤感受性試験の文献の活用 - 試験・データ公表・文献解析の仕方
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会第61回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉 龍士
2. 発表標題 一般化線形混合モデルによる各種殺虫剤のコナガに対する殺虫効果の推移と現状の解析
3. 学会等名 第71回北日本病害虫研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉龍士・田淵研・小西（降幡）令子・吉村英翔
2. 発表標題 北日本でのキャベツのオオムグリピングマルチ栽培における害虫抑制要因
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会第64回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	深谷 緑 (Fukaya Midori) (80456821)	日本大学・生物資源科学部・森林科学専攻 (32665)	