

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06818

研究課題名(和文) 節足動物の群集集合における植物インフォケミカルの役割：偶然性と先住効果に注目して

研究課題名(英文) Role of infochemicals from plants in community assembly of arthropods: focusing on historical contingency and priority effects

研究代表者

米谷 衣代 (Yoneya, Kinuyo)

近畿大学・農学部・講師

研究者番号：50618593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：生物群集形成における「先住効果」の強度を決定するメカニズムについて研究した。具体的には、植物上の昆虫群集に着目し、仮説1：最初に定着する植食者の種類が植物の香りシグナルによって決まる、仮説2：先住効果は植物の誘導応答の種特異性によって顕著になるという2つの仮説を仮定した。ヤナギの系での検証では、仮説1については、後期の群集形成においては、PVOCの組成と初期の群集形成が関連しており、PVOCが環境フィルターとして働いていることが示された。仮説2では、誘導応答の強さと群集形成との関係性は見られず、アブラナでは、植物を食害する害虫の種類によって後続の節足動物群集の組成が変化することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的問いは「生物群集の形成過程とその結果としての群集構造はどのような機構で決定されるのか？」であり、これは群集生態学における根幹的問いの一つである。この問いに答えるために偶然性と先住効果の理解を深化させることは、単に群集生態学分野において世界的に新たな知見をもたらすだけでなく、さらに波及効果として各分野の研究アプローチに革新をもたらす。さらには、本研究で明らかになる植物上の節足動物群集形成機構は、農生態系での有害昆虫の移入を抑制・有益昆虫の移入を促進するような害虫防除技術の開発における基盤的知見を提供することができる。

研究成果の概要(英文)：We researched the mechanisms determining the strength of the "priority effect" in community assembly, focusing on insect communities on plants. We proposed two hypotheses: (1) suggests the type of initial herbivore species on plants is determined by plant volatile signals (PVOCs), while (2) proposes a stronger priority effect due to species-specific induced plant defense responses. In our verification using willow systems, we found a correlation between PVOC and late-stage community, indicating PVOCs act as an environmental filter. However, no relationship was observed between induced response strength and community assembly for Hypothesis 2. For Brassicaceae plants, we examined changes in PVOCs before and after herbivory, finding subsequent arthropod community depends on the type of herbivory. These findings provide insights into the mechanisms underlying the priority effect, highlighting the role of PVOCs and induced plant responses in shaping insect communities on plants.

研究分野：群集生態学

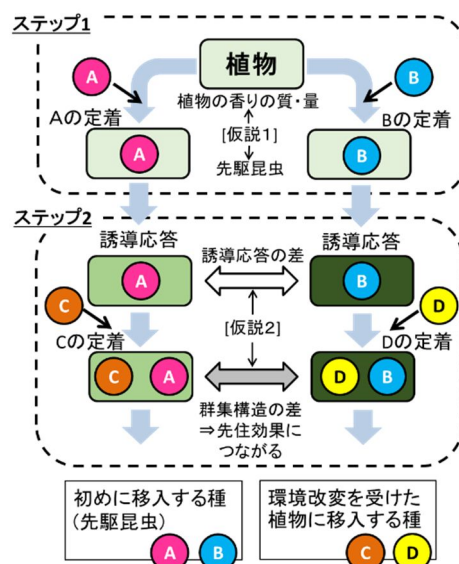
キーワード：群集集合 植物揮発性物質 香りシグナル 植物-動物間相互作用

1. 研究開始当初の背景

・群集集合理論：同一環境条件を出発点としても、群集が形成される初期において異なる種（以下、先駆種）が加入した場合、種特異的な環境改変作用の結果としてその後の出現種や群集構造が異なること（＝先住効果 (priority effect)）が知られている[1]。この先駆種の加入が偶然性に支配されている場合、先駆種の定着後の過程がたとえ決定論的に進んでも（必然的であっても）最終的な種組成は同一環境下の局所群集間で異なることになる。最近では群集形成過程における偶然性と必然性の相対的重要性や、先住効果のパターンや作用機構を解明するための「群集集合」研究がさかんになされている[2]。

・植物が生産するインフォケミカルの生態学的機能：植物の二次代謝産物は植食者に対する防御物質として働くだけでなく、誘引物質および忌避物質として植食者の行動を決定するインフォケミカルとしての機能がある。このようなインフォケミカルについては、恒常的な生産に加えて、食害に応答した誘導的生産（誘導防御）も知られており、これは捕食性昆虫の行動をも変える。このように、陸上植物と節足動物間の相互作用においては、植物の発する揮発性の二次代謝産物（香り）がインフォケミカルとして大きな役割を果たし、インフォケミカルとそれに対する生物の応答は植物上の群集構造にとって重要な決定機構である。

・環境改変作用としての誘導応答：群集集合の枠組みから植物上の群集構造の決定機構を解明するためには、植物とその形質を節足動物にとっての環境とみなすことが必要である。すると、節足動物の食害に対する植物の誘導応答（とくにインフォケミカルの質と量の改変）は、節足動物による環境改変作用ととらえることが有効であるが、このような研究は進んでいないのが現状である。



2. 研究の目的

同所的に同属多種の植物が共存する環境において、植物種間及び個体間で異なる節足動物群集が形成される過程・機構を、植物の香りシグナル・食害誘導応答・先住効果の視点から解明する。

3. 研究の方法

生物群集の形成過程についての二つの仮説(概要参照)をヤナギ科ヤナギ属植物 6 種とアブラナ科アブラナ属植物 2 種(アブラナ *B. rapa* var. *nippo-oleifera*、セイヨウアブラナ *B. napus*)を対象に圃場における野外操作実験と室内実験およびデータ解析により検証した。

[仮説 1] 香りシグナルと昆虫定着の偶然性の関係 (1 年目 ~ 2 年目) (図 1: ステップ 1)
 <ヤナギの系> 野外実験の解析(1 年目): 20016 年に行ったヤナギの圃場実験により収集したデータ(未発表)の再解析を行った。データは以下の方法で取得したものをを用いた。【昆虫の移入データ】圃場に 6 種のヤナギの「ポット植えの健全植物(2 クローン × 2 繰り返し)」を置き、先駆昆虫の移入過程を調べるために、各植物個体上に滞在していた虫の種類と数を 9 日間毎日 1 ~ 3 回記録した。【初期香りシグナルデータ】植物種内やクローン内での

個体間での香りブレンドのばらつきと先駆昆虫のばらつき(=偶然性)を植物種間で比較するために、Tenax を吸着材として植物の香り化合物について捕集しガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)で種類(質)と量を特定したデータを用いた。

【データ解析】香りのブレンドの差異と先駆昆虫種の個体間の差異を個体間で比較した(1年目)。1日目と2日目を早期群集組成としてまとめ、8日目と9日目は後期群集組成としてまとめて解析を行った。

[仮説2]誘導応答と先住効果の関係(2-3年目)(図1:ステップ2)

<ヤナギの系>香りデータの解析(2年目):ヤナギルリハムシに食害を受ける前と後の6種のヤナギの初期香りシグナルとヤナギルリハムシ食害を受けた香りシグナルのデータ(Yoneya et al., 2012, PLoS ONE)に対して解析を行い、各種の環境改変作用(=誘導応答)の強さを調べた。

<アブラナ科の系>室内実験2(2年目):【香りシグナルデータ収集】上記ヤナギの系で行ったのと同様の香りの捕集・分析方法を用いて、アブラナ科植物2種3品種に対して、各先駆昆虫による食害処理前後での香りシグナルを定量化し、その変化量を先駆昆虫による種特異的環境改変作用の強度の指標とした。【節足動物群集と香りシグナルの動態調査】(3年目):上記のアブラナ科植物の実験で明らかとなった、種特異的な環境改変作用を示したセイヨウアブラナの長島在来をもちいて、先駆昆虫(ニセダイコンアブラムシ、コナガ、ハスモンヨトウ)を人為的に定着させたポット植え植物を圃場に設置し、経時的に植物の香りを捕集した。先駆昆虫に続く初期群集形成過程を明らかにするため、2日に1度、各区画の香りを捕集し群集組成を記録する。【データ解析】収集した群集データと揮発性物質(香りシグナル)の時系列データを用いて、距離ベースの解析を実施した。

4. 研究成果

[仮説1の検証結果]ヤナギの系において、symmetric Procrustes rotation correlation analysisを行い初期状態の健全なヤナギの揮発性物質(PVOC)の組成が初期の群集形成過程に与える影響を調べた。PVOCの組成は早期群集組成を説明できなかった(図2A)。しかし、興味深いことに、その後の後期群集組成(8、9日)はPVOCの組成(図2B)と早期群集組成により有意に説明できた(図2C)。

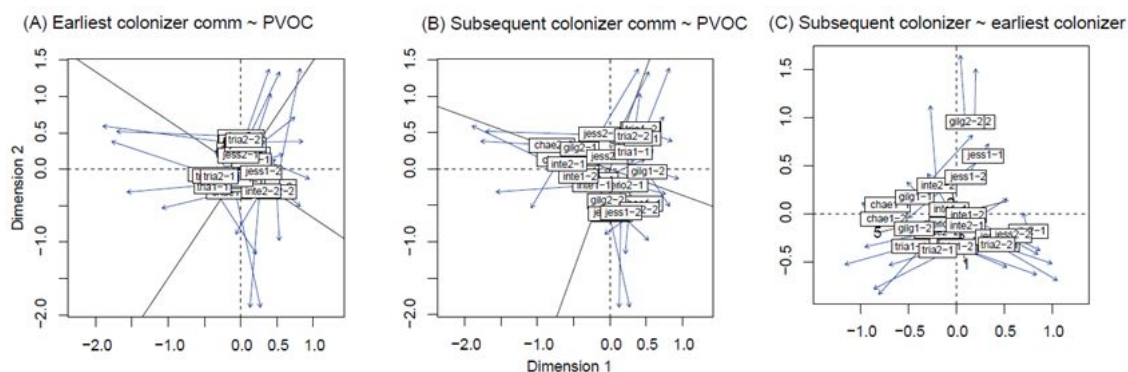
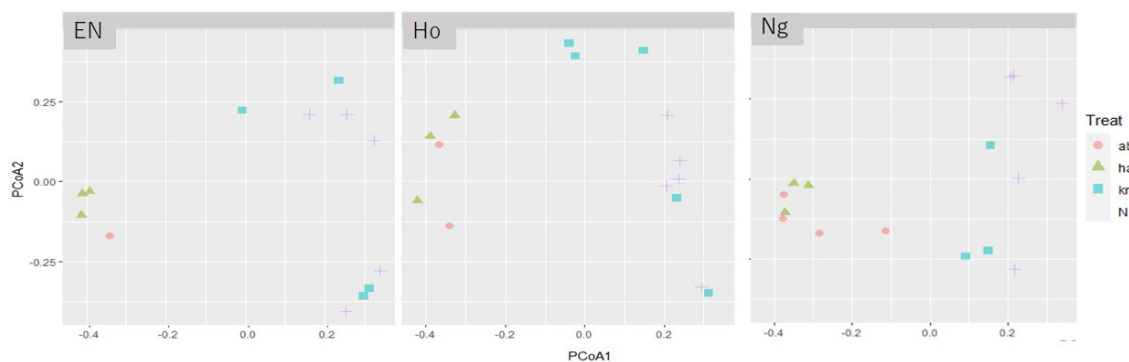


図2. プロクラスティス残差分布。応答変数(Y行列)の配置は、説明変数(X行列)の配置との二乗差を最小化するために回転した。箱付きテキストを含む行列は、回転されたY行列を示す。また、Xによって説明されるYの成分を表し、青い矢印はX行列の対応する点を示す。(A) XとYは、それぞれ香りシグナル(PVOC)と早期群集を示す。(B) XとYは、それぞれPVOCと後期群集を示す。(C) XとYは、それぞれ早期群集と後期群集を示す。

このことから、初期移入段階において、最初はランダムに近い移入があり、その後 PVOC が環境フィルターとして働いていることを示している。同様に、早期群集組成は後期群集組成との関係も検出された。このことは、たとえ群集形成の初期段階（9 日間）においても、先住効果がみられることを示す重要な結果である。本成果は現在国際雑誌に投稿中である。

[仮説 2 の検証結果] < ヤナギの系 > 6 種のヤナギの系において種間で異なる誘導応答の強さをもつことがすでに知られている (Yoneya et al., 2012, PLoS ONE)。そこで、各種の誘導応答の強さと初期群集形成過程の関係を調べた結果、誘導防御の強さと群集形成との間に関係性はみられなかった。同様に、ジャヤナギに注目して、2008 年に収集した以下の群集集合のデータの解析も行った。ヤナギリハムシ食害を受けた株と食害を受けた株が放出する香りシグナルを受け取った健全な株と香りシグナルを受け取っていない健全な株を圃場に配置して節足動物の群集形成過程を調べたデータを解析した。その結果、圃場に配置する前に行った初期処理が群集集合と節足動物種の多様性の維持に対してカギとなる駆動源であることを示した。本研究結果は、2023 年に *Frontiers in Ecology and Evolution* に掲載された。

< アブラナ科植物 >、まず、誘導応答を害虫の種特異的に引き起こす品種を選定するために、植物の揮発性物質の加害を受ける前と後の変化を調べた (図 3)。加害を受けていない状態の 3 品種が放出する揮発性物質の総量や組成に有意な差はなかった。ニセダイコンアブラムシ、コナガ、ハスモンヨトウに食害を受けた場合、品種間で揮発性物質の組成に有意な差があることが示された。長嶋在来では、食害処理間で (加害する植食者の種類により) 組成に有意な差があり、植食者の種類により特異的な誘導反応が引き起こされると予想された。



そこで、植食者種に特異的な誘導反応が確認できた長嶋在来を圃場に配置後、上記 3 種の害虫を組み合わせて 6 通りの組み合わせの害虫植物に接種した後約 2 か月間 2 日に 1 度、各植物個体上にいる節足動物を記録した。その結果、時間が経過するに従い長嶋在来上に形成される節足動物の群集構造が変化していること、最初に食害させた害虫の組み合わせによって群集構造に有意な差があることが明らかとなった (図 3)。つまり、植物を食害する害虫の種類によって、その後に移入する節足動物の組成が変化するという先住効果が検出できたということである。しかし、揮発性物質の検出量が想定よりも少なく、香り物質の同定や定量が難しく、香りシグナルの変動と群集構造の変動との関係を明らかにするデータ解析が実施できていない。今後、香り物質の同定と定量の精度を向上させることで、移入して来る害虫や天敵と植食者誘導性の揮発性物質との関係について詳しく解析を行う予定である。

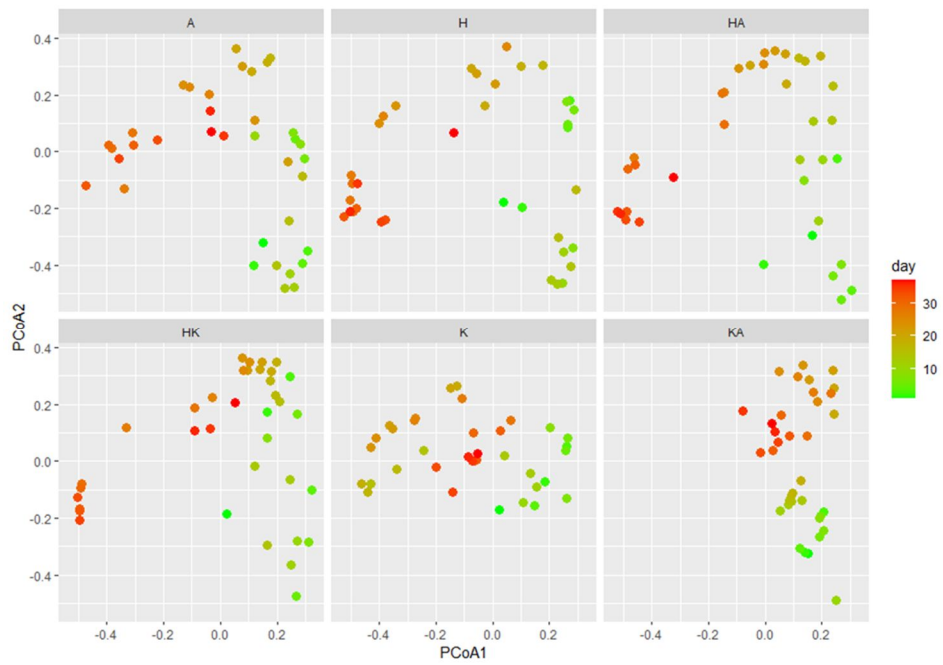


図 3. 節足動物群集データを用いて PCoA を行った結果 各図の上のアルファベットは各処理区画を表す (K = コナガ、H = ハスモンヨトウ、A = アブラムシ、HK = コナガ + ハスモンヨトウ、HA = ハスモンヨトウ + アブラムシ、KA = アブラムシ + コナガ)。day は調査 1 回目の 1 から 37 回目の 37 まで調査日が進むにしたがって明るい黄緑色から赤色までの色の变化で調査日を示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 1件）

1. 著者名 米谷衣代	4. 巻 2月号
2. 論文標題 植物のにおい成分を利用した害虫管理の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 グリーン・エージ	6. 最初と最後の頁 15-18
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 Yoneya Kinuyo, Miki Takeshi, Takabayashi Junji	4. 巻 10
2. 論文標題 Initial herbivory and exposure to herbivory-induced volatiles enhance arthropod species richness by diversifying community assemblages	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fevo.2022.1031664	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 米谷衣代
2. 発表標題 野外環境での植物の情報化学物質と植物上の動物群集に対する非破壊的調査法
3. 学会等名 第37回個体群生態学会大会（招待講演）
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------