

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：84202

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K15157

研究課題名（和文）海流散布植物を基盤とする昆虫群集における生物間相互作用の維持・創出機構の解明

研究課題名（英文）Diversity and maintenance mechanism of interaction between insect communities based on Long-distance dispersal seeds plant

研究代表者

大槻 達郎 (Ohtsuki, Tatsuo)

滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・主任学芸員

研究者番号：60760189

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、クロマメゾウムシの系統地理解析によって、本種はハマエンドウの種子に乗って長距移動することが判明した。また、集団内の遺伝的多様性は極端に低く、現存集団には強いボトルネックがかかっていることが示唆された。本種は花蜜を主食とするが、ハマエンドウの花蜜を採餌した時のみ産卵することから、本種が世代更新・長距離分散するにはハマエンドウが不可欠であることも明らかとなった。寄生蜂に関しては系統地理解析はできなかったが、この蜂を捕食するアザミウマの存在を確認した。本種はまだ同定できていないが、ハマエンドウの種子(豆莢)は様々な昆虫を分散する「船」になっている可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物-植食昆虫-寄生蜂の生物間相互作用は世界中でみられ、これらの進化史を解明することは、生物多様性創出・維持機構の解明に不可欠である。クロマメゾウムシはハマエンドウの種子に寄生するが、種子の発芽にも寄与する。また、寄生蜂がこの昆虫に寄生すると、種子の発芽率は上昇する。これらの昆虫は、植物の世代更新や群集の安定に寄与するが、攪乱環境の海浜で3者の関係がどう維持されているかは不明である。本研究では、海流散布種子に寄生する昆虫を系統地理解析することで、昆虫が種子と共分散することを明らかにした。海浜環境の劣化が懸念される今日において、本研究は海浜の生物群集の理解を深め、保全研究の基礎的知見となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, phylogeographic analysis of *Bruchus loti* revealed that this species migrates with the long-distance dispersal seeds plant, *Lathyrus japonicus*. It also showed that genetic diversity within the population is extremely low, suggesting that the existing population is under a strong bottleneck. This species feeds primarily on nectar, but only lays eggs when feeding on sea pea nectar, making it clear that sea pea is essential for this species to regenerate and disperse long distances.

Although phylogeographic analysis was not possible for the parasitoid wasp, the presence of thrips that prey on these wasps was confirmed. Although the species has not yet been identified, it is suggested that sea pea seeds (bean capsules) may serve as "ships" to disperse various insects.

研究分野：分類・多様性

キーワード：生物間相互作用 生物多様性 系統地理 昆虫 海流散布植物

1. 研究開始当初の背景

(1) 生物群集の地理構造と生物間相互作用にはどのような関係があるか？

生物群集の構造と動態を解明することは、進化生態学の課題である(Cavender-Bares et al. 2009 他)。生物間相互作用は生物多様性を維持・創出する原動力であり(Jones et al. 1994 他)。群集の成立過程に大きく影響する。近年解析技術の進展によって、共進化への理解は深まりつつあるが、多様な昆虫の自然変異と相互作用への影響については、さらなる研究が必要である(Agrawal et al., 2006)。特に、複数の栄養段階にわたる生物群集の進化動態は研究途上であり、系統地理構造の把握は進化多様性科学の課題である。申請者はこれまでに海浜植物の種内分化を研究してきたが、前提となる個体群の維持に多様な昆虫が関与することを明らかにした。

クロマメゾウムシはハマエンドウの種子に寄生するが、種子の発芽にも寄与する。また、寄生蜂がこの昆虫に寄生すると、種子の発芽率は上昇する。これらの昆虫は、植物の世代更新や群集の安定に寄与するが、攪乱環境の海浜で3者の関係がどう維持されているかは不明である。植物-植食昆虫-寄生蜂の生物間相互作用は世界中でみられ、これらの進化史を解明することは、生物多様性創出・維持機構の解明に不可欠である。本研究では、海浜散布植物を基盤とした昆虫群集の生物間相互作用に着眼し、植食昆虫-寄生蜂の地理的遺伝構造の類似度を示すことで、これらの分散様式と2次寄生の維持・創出機構の一端を明示することを旨とした。

(2) ハムシはなぜ広範囲に見られるのか？種子に乗って移動するのか？

硬実種子のハマエンドウは、海流に乗って長距離散布するマメ科植物である。本種は日本全国の海浜に生育するが、日本海-太平洋間には緩い遺伝構造がある(Ohtsuki et al., 2011)。この種子には神経毒があり、クロマメゾウムシというハムシが種特異的に寄生する。申請者の観察では、このハムシは未熟な豆莢に産卵し、孵化した幼虫は種子の内部を食べ成長する。しかし、寄生蜂に外部寄生されると幼虫は絶命し、宿主の発芽率は上昇する(Nakai et al., 2011)。この生物間相互作用は、ハマエンドウの世代更新だけでなく、寄生している昆虫群の個体群維持にも必要不可欠である。このハムシは攪乱を模した実験ではに死滅するが、宿主とともに広範囲で見つかる。しかし、寄生された成熟種子は長距離散布できないため、宿主とは異なる系統地理構造を示すことが予想された。例えば緩い遺伝構造ならば、種子を乗り物とする『種子箱舟説』を支持し、遺伝構造がある場合には、『移動制限説』を支持する。両方(移動制限された種子箱舟説)である可能性は十分にあるが、種子食者の遺伝構造の解明は、種内の多様性創出・維持機構の理解に繋がる。

(3) 寄生蜂(殺傷寄生者)には地理的遺伝構造はあるか？

一般に生物間相互作用が複雑であるほど群集は安定すると言われているが、その成立については不明なところが多い。このハムシに寄生する蜂は殺傷寄生者(産卵時に宿主を永久麻酔し、幼虫は麻酔された宿主を食べ成長する)のゾウムシコガネバチの仲間が主である。この蜂は日本を含む世界共通種であるため、海浜以外にも生息する。そのため、内陸からの移入もありうる。では、海浜の寄生蜂には地理的な遺伝構造はあるか？ハムシと同じ遺伝構造であれば『寄生関係の維持』を支持するが、遺伝構造の不一致も考えられる。一方、海浜系統とは異なるものや、他の寄生蜂が見つければ、『地域独自の寄生関係』を示すことができる。

2. 研究の目的

ハマエンドウの種子に寄生する昆虫群(クロマメゾウムシと寄生蜂)を系統地理解析することで、昆虫群が共分散しているか(関係の維持)、地域独自の関係が創出されているかを検証する。海浜では種子が昆虫群の船となり、3者の関係は維持されているのか？それとも、種子による移動は制限され、3者の関係は地域独自に創出されているのか？それ以外か？海浜散布植物を基盤とした昆虫群集の生物間相互作用の仕組みを解明することを本研究の目的とする。また、寄生蜂が確保できない場合には、琵琶湖岸に隔離分布しているハマエンドウ(滋賀県絶滅危惧種に指定)の世代更新に関与しているスナゴミムシダマシ群の個体群動態を明らかにし、保全活動によっておこる世代更新への影響を考察することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) クロマメゾウムシの飼育法の確立と、世代更新に必要な餌の確定

クロマメゾウムシを採集し、採餌実験(百花蜜、単花蜜、カラスノエンドウ、ハマエンドウ)を繰り返すことで、産卵に必要な餌を確定した。

(2) 系統地理解析・集団解析

サンガー法とMIG-Seq法(multiplexed ISSR genotyping by sequencing: 次世代シーケンサーを用いて核ゲノム全体の1塩基多型を検出し、遺伝子型を迅速・簡便・安価に読み取る方法)を用いて、クロマメゾウムシの塩基配列を取得した。サンガー法を用いて遺伝子系統樹(ミトコ

ンドリアゲノム上の COI・CytB の部分領域)を作成した。

(3) ハマエンドウの種子(豆夾)から出現する昆虫の種類の特定

ハマエンドウの種子(豆夾)を採集し、ディッシュボトルにいれ、豆夾から出現する昆虫を捕獲し、同定をこころみた。

(4) 琵琶湖岸のハマエンドウ保全区に生息するスナゴミムシダマシの個体数把握

ハマエンドウの開花時期から種子が成熟し、砂浜に落ちる期間(5月~7月)にハマエンドウ保全区におけるスナゴミムシダマシの個体数を数えた(目視)。また、捕食者であるアリジゴクの巣を数え、巣に残された残骸にスナゴミムシダマシの幼虫の殻があるかを確認した。

4. 研究成果

(1) クロマメゾウムシの形態変異・飼育・世代更新法の確立

クロマメゾウムシの形態を比較したところ、日本海側では甲虫図鑑に記載されているように中腿節端・中脛節下面が赤色であったが、太平洋側では黒色が見られ、北に行くほど黒色の個体が多いことが明らかとなった。マメから出てきたマメゾウを飼育することに成功し、冬を越すことができた。クロマメゾウムシの訪花行動の違いを観察した結果、吸蜜行動には違いが見られなかった。フィールドワークを積み重ねた結果、太平洋側のマメゾウも萼片に穴が開いていれば、その穴から吸蜜することが明らかとなった。マメゾウの成虫は花の蜜を主食とするが、様々な種類の蜂蜜を餌として飼育しても産卵することはなかったが、ハマエンドウの花のある環境で飼育したマメゾウのみ産卵した。したがって、本種が世代を更新するためには、ハマエンドウが必要不可欠であることが明らかとなった。

(2) 系統地理解析・集団解析

マメゾウの系統地理解析(サンガー法): ミトコンドリアゲノム上の COI・CytB の部分領域をシーケンスしたところ、日本海側では近畿地方と北陸地方の集団間に遺传的地理構造を確認できたが、瀬戸内海と関東地方(太平洋側)の集団間では地理構造を確認できなかった。マメゾウはハマエンドウの種子に乗って長距離移動することが示唆された。さらに、集団内(20個体前後)の遺传的多様性を比較したところ、ほとんどの集団で多型を保持していなかった。したがって、現存集団には強いボトルネックがかかっていることが示唆された。次世代シーケンサーを用いた多型解析(MIG-Seq法): 現在マメゾウに関してはシーケンスデータを受領し、解析を進めているところである。また、寄生蜂はDNAシーケンスするところまで至らなかった。

(3) ハマエンドウの種子(豆夾)から出現する昆虫の種類の特定

寄生蜂に関しては、豆夾から成虫が出てきた後に同じ豆夾からアザミウマの仲間が出現した。そのアザミウマは花粉を摂食する種とは違う形態をしていたが、寄生蜂を捕食することが明らかとなった。本種はまだ同定できていないが、ハマエンドウの種子(豆夾)はマメゾウや寄生蜂だけでなく、他の昆虫を分散する「船」になっている可能性が示唆された。

(4) 保全活動下におけるスナゴミムシダマシとアリジゴクの生物間相互作用

スナゴミムシダマシは種子や枯れ葉を摂食する腐食性甲虫で、ハマエンドウの豆果を摂食する際に種子にも傷をつける。この甲虫の幼虫は、湖岸ではアリジゴクによって捕食される。そのため、砂地が多くアリジゴクの巣が多いところでは、スナゴミ個体数は少ない傾向にある。湖岸のハマエンドウは滋賀県の絶滅危惧種に指定されており、生育地では保全活動の一環として2022年頃から月に一度の除草作業が再開された。その結果、コロナ禍には少なかったアリジゴクの巣が増加した。また、2023年にはスナゴミムシダマシが激減した。アリジゴクの巣にはスナゴミムシダマシの幼虫の残骸が多く残っていたため、アリジゴクがスナゴミムシダマシを捕食した結果、スナゴミムシダマシの個体数が減少したと推測された。本調査から、保全活動が絶滅危惧種の世代更新を妨げる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 八尋克郎, 武田滋, 大槻達郎	4. 巻 77
2. 論文標題 琵琶湖岸砂浜の甲虫相	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本生物地理学会会報	6. 最初と最後の頁 3-17
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 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 大槻達郎	4. 巻 特別号 第5号
2. 論文標題 現生植物の研究史	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化石研究会会誌	6. 最初と最後の頁 20-24
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 大槻達郎	4. 巻 特別号 15号
2. 論文標題 琵琶湖岸に生育する絶滅危惧種ハマエンドウの分散様式について	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 滋賀県植物研究会会報	6. 最初と最後の頁 15-17
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 大槻達郎	4. 巻 特別号 16号
2. 論文標題 琵琶湖岸に生育する絶滅危惧種ハマエンドウの種子発芽について	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 滋賀県植物研究会会報	6. 最初と最後の頁 29-30
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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大槻達郎・武田滋・西田謙二
2. 発表標題 琵琶湖岸における希少種の生息・生育地保護区で見られる植物の季節変化
3. 学会等名 第22回日本植物分類学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大槻達郎・西田謙二
2. 発表標題 琵琶湖岸の希少植物保護区周辺の草本群落間で見られる種組成の違いについて
3. 学会等名 第70回日本生態学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田英美子・中世古雅人・堤花優太・吉岡桃子・野間直彦・永益英敏・石田末基・大槻達郎
2. 発表標題 伊吹山の希少植物イブキカモジグサの塩基配列を基にした種の分類
3. 学会等名 日本植物学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田畑 諒一・鶴飼 菜香・金尾滋史・大槻達郎
2. 発表標題 滋賀県のミナミメダカにおける遺伝的集団構造とその攪乱
3. 学会等名 2021年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大槻達郎・西田謙二
2. 発表標題 琵琶湖岸における希少種の生息・生育地保護区で見られる植物の季節変化
3. 学会等名 第21回日本植物分類学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大槻達郎
2. 発表標題 Seasonal fluctuations of plant diversity in lakeshore conservation areas around Lake Biwa
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 大槻達郎・西田謙二
2. 発表標題 琵琶湖岸の希少生物保護区周辺へ侵入する外来種の動態
3. 学会等名 第23回日本植物分類学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大槻達郎・武田滋
2. 発表標題 スナゴミムシダマシ属における性比の季節変動
3. 学会等名 第71回日本生態学会大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西野 麻知子	4. 発行年 2022年
2. 出版社 サンライズ出版	5. 総ページ数 360
3. 書名 琵琶湖の生物はいつ、どこからきたのか?	

〔産業財産権〕

〔その他〕

琵琶湖岸の砂浜に45科341種の甲虫が生息することが新たに分かりました https://www.biwahaku.jp/2023/02/45341.html
--

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