

## ニワトコと種子食性ケシキスイの送粉共生維持メカニズムの解明

神戸大学理学研究科生物学専攻

河島 鈴

### 1. はじめに、研究背景

近年、里山が管理されずに放置されていることが問題となっている。里山には多様な環境が存在するため、非常に生物の種多様性が高いことが知られている。そして自然界は、様々な環境に生息する多様な生物が関わり合うことで成り立っており、人間もそのような関わり合いの中で生き、自然の恵みを享受している。したがって、放置されることで失われてしまった里山を再生し、生物多様性を取り戻すことは、私たち人間にとっても重要であり、里山を保全することは持続可能な自然環境の実現に繋がる。神戸市では KOBE 里山 SDGs 戦略として、生物多様性における里山の大切さを広く市民に伝えるとともに、市民や産学官と協力した持続可能な保全に向けた取り組みが行われている（神戸市 2025）。具体的には、高齢化・高木化した樹木を伐採し、落葉広葉樹が中心の里山林を再生しようという試みや、希少な動物のモニタリングなどが行われている。しかし、里山を保全するためには、樹木を含む植物を管理し、個々の動物を調査するだけでなく、植物と動物の関係性にも目を向ける必要がある。生物はそれぞれが関わり合って生きている。動物が食糧とする植物がなければ動物は生きることができず、植物の繁殖を助ける動物がいなければ植物は長く世代を続けることができない。このように、持続可能な自然環境を実現するためには、生物間の相互作用にも目を向ける必要がある。

本研究の研究対象であるニワトコ (*Sambucus racemosa* subsp. *sieboldiana*) は、里山の林縁や人家の近くに生息する落葉広葉樹で、民間薬・山菜や顕微鏡観察の際に切片を切り出す支持材として利用される有用樹種である（難波 1986; 鈴木ら 2014; 木村ら 2015）。しかし近年、開発や里山が放置されたことによる樹木の高木化に伴い、その個体数は年々減少している。また、ニワトコをはじめとする林縁の植物には里山の湿度を保つ役割があるため、これらの植物は里山の環境を維持するために必要である。したがって、ニワトコの生態を明らかにすることは、里山の環境維持に活かすことができると考える。中でも本研究は、動物が植物の花粉を運び、その報酬に花蜜や花粉などを獲得する関係である送粉共生に焦点を当てた。花粉を運ぶ昆虫は、植物にとっては次世代に子孫を残すために必要な存在である。特に個体数が減少している分類群では、遺伝的多様性を保つ種子繁殖が必要なため、花粉を運ぶ昆虫が不足しない環境づくりが大切である。本研究は、ニワトコと、その送粉者であるケシキスイの共生維持メカニズムの解明を通してニワトコの生態を明らかにすることを目的とした。

ニワトコには、キイロチビハナケシキスイ (*Heterhelus scutellaris*) とクロチビハナケシキスイ (*Heterhelus morio*) の2種の種子食性ケシキスイが訪花し、これらのケシキスイがほぼ

全ての送粉を担っている (久松 2025)。通常の送粉共生において、昆虫は報酬として花蜜や花粉などを獲得するが、ニワトコとケシキスイの送粉共生では、報酬としてニワトコの種子を獲得し、これらの種子は、ケシキスイの幼虫の餌資源となる。ケシキスイはニワトコに産卵し、孵化した幼虫はニワトコの子房に侵入して種子を食べ、結実前に子房から脱出する。そしてニワトコは、ケシキスイの幼虫に種子を食べられた果実を、幼虫が脱出する頃、すなわち結実前に敢えて落とすことがわかっている。この相互作用では、植物側にとっても次世代に命を繋ぐために必要な種子を報酬とするため、植物に高いコストがかかる (Song et al. 2014)。ニワトコはこの自切によって、食害された果実の成熟に必要な資源投資を削減し、植物側にかかる高いコストを賄っている可能性がある。本研究では、この植物と昆虫の双方がコストと利益をどのように調整しているのかを明らかにし、ニワトコとケシキスイの送粉共生関係がどのように維持されているのか、そのメカニズムを明らかにすることを試みた。



図1：ニワトコの花と果実

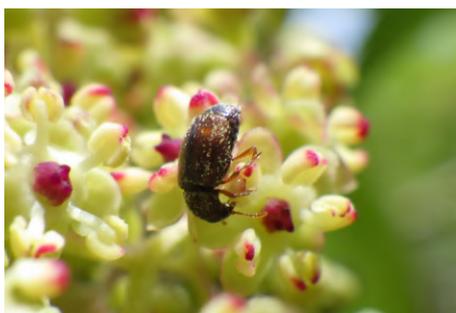


図2：ニワトコを訪花するケシキスイ

(左：キイロチビハナケシキスイ、右：クロチビハナケシキスイ)

## 2. 実験手法および結果

現在進行形で行っている研究で、今後学術論文として取りまとめる予定であるため、ここで詳細を公表することはできない。したがって、具体的な実験方法など一部の情報について明記せず報告させていただく。

本研究は、兵庫県淡路島と、同様の傾向が得られるか比較するため滋賀県でも行った。

#### ・ ニワトコの自切条件

まずは、ニワトコが果実を自切する条件を明らかにするため、ケシキスイが食べた種子の数で、落下の有無が変わるのかを調べた。ケシキスイが食べた種子には図3のように食害痕が残る。落下した果実と落下せずに結実した果実の両方を解剖し、このような種子がいくつ含まれているかを数えた。

結果、ニワトコの果実1個に含まれる3つの種子のうち、ケシキスイが食べる種子の数は1個から3個までまばらであり、ニワトコは食害された種子の数に関わらず、食害された種子の有無に応じて果実を自切していることがわかった。

また、キイロチビハナケシキスイは、ニワトコに含まれる3つの種子のうち1つを食べることが報告されている (Hayashi 1977; Hayashi 1986)。今回被食種子数が1個から3個までまばらだったのは、クロチビハナケシキスイが存在するためだと推測される。

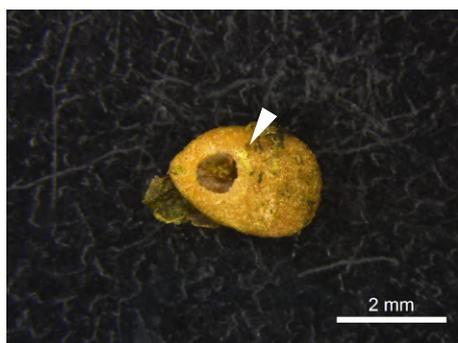


図3：ケシキスイの幼虫による食害痕（白矢印）

#### ・ ニワトコの果実・種子重量

ニワトコは、ケシキスイに種子を食害されることでかかる高いコストを、ケシキスイに種子を食害された果実を成熟する前に落下させ、それらを成熟させるために必要な資源投資を削減することで賄っている可能性がある。そして、ケシキスイに種子を食害され落下した果実と、落下せず成熟した果実の重量差は、成熟させるために必要な資源投資量として考えることができる。被食により落下した果実・種子と、落下せず成熟した果実・種子の重量を測定し、差があるかを調べた。

結果、果実・種子重量はともに、落下した方で有意に軽くなっていることがわかった。このことから、ニワトコはケシキスイに種子を被食された果実を成熟前に落下させることで、資源投資を削減していると考えられる。

#### ・ ケシキスイの羽化実験

ケシキスイの幼虫は、落下したニワトコの果実から脱出することが知られているが、羽化

するかどうかは調べられていない。幼虫が羽化するかどうかというのは、ケシクスイ側の利益に大きく影響する。また、送粉共生の報酬として、送粉者の幼虫が種子を獲得する他の送粉系では、幼虫が食べた種子の数に応じて幼虫が羽化せずに死亡するものがある (Kato et al. 2003)。ニワトコとケシクスイの共生系でも、同様のメカニズムが存在するのかを調べるため、果実から脱出した幼虫を捕獲し、研究室で観察した。

観察の結果、幼虫は果実から脱出した数日後蛹になり、3週間後には羽化し、成虫となった。また、被食種子数によって幼虫が死亡することもなかった。ケシクスイの幼虫は、ニワトコの種子のみを食べて成長し、成虫になることから、ケシクスイはニワトコから十分な利益を得ていると考えられる。



図4：ケシクスイによる脱出痕（白矢印）

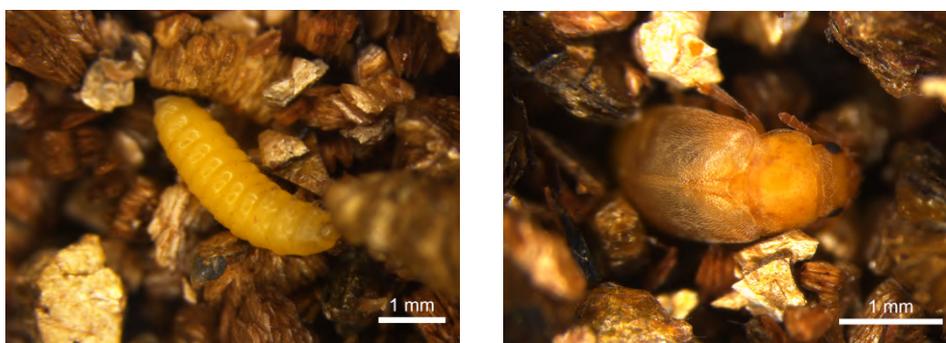


図5：羽化するケシクスイ（左：前蛹、右：羽化直前）

#### ・ 種子の生存確認実験

ニワトコの果実1つに含まれる3つの種子のうち、ケシクスイの幼虫が食べる種子の個数は1から3個までまばらであるため、ケシクスイの幼虫に食害され落下した果実の中にも、食害されていない種子が含まれている。このような種子が生存しているかどうかというのは、ニワトコの利益に大きく影響する。実験はTTC溶液を用いて行った。TTC溶液で染色すると、生存している胚は赤色、生存していない胚は白色に染まる。被食により落下した果実に含まれるが食害されていない種子と、比較対象として落下せず結実した果実に含まれる種子を染色した。

結果、落下せず結実した果実に含まれる種子で、有意に生存している種子が多く、被食により落下した果実に含まれる種子はほとんどが生存していなかった。このことから、ニワトコはケシクスイに種子を食害された果実を落下させることで一部の種子を失っているということがわかった。

#### ・ ニワトコの発芽実験

先に述べたように、ケシクスイの幼虫に食害され落下した果実の中にも、食害されていない種子が含まれている。このような種子が発芽するかどうかというのは、ニワトコの利益に大きく影響する。被食により落下した果実と、落下せず成熟した果実から種子を取り出し、発芽条件下で管理し観察した。

観察の結果、落下せず結実した果実に含まれる種子で、有意に発芽することがわかった。このことから、生存確認実験と同様に、ニワトコはケシクスイに種子を食害された果実を落下させることで一部の種子を失っていることがわかった。



図6：発芽したニワトコの種子

### 3. 考察・今後の展望

ニワトコとケシクスイの送粉共生について、それぞれの利益とコストについて考察する。

まずはケシクスイについて考察する。羽化実験の結果、果実から脱出したケシクスイの幼虫は多くが羽化したことから、幼虫はケシクスイの種子のみを食べて成長しており、ニワトコから十分な利益を得ていると考えられる。

次にニワトコについて考察する。果実解剖の結果、ケシクスイが食べた種子の個数に関わらず果実が落下していることがわかった。このことからニワトコは、被食種子数ではなく、被食の有無に応じて自切を行っていると考えられる。また、果実と種子の重量を被食され落下した方と、落下せず成熟した方とで比較したところ、落下した方で有意に軽くなっていたことから、ニワトコは自切により成熟に必要な投資を削減していると考えられる。以上のことから、ニワトコは種子消費型送粉共生において植物側にかかる高いコストを、ケシクスイに被食された果実を敢えて落下させることで賄っている可能性が示唆された。しかし、落下

した果実に含まれるケシキスイに食害されていない種子は、ほとんどが生存しておらず、発芽しなかった。これはニワトコにとってコストとなる。今後はこのコストを考慮した更なる検証が望まれる。

また、ニワトコとケシキスイの共生関係では、ニワトコはケシキスイがいなければ花粉を運搬してもらうことができず、ケシキスイはニワトコの種子がなければ幼虫が成長できない。ニワトコが減少している影響は、ニワトコだけにとどまらず、少なくとも送粉を担っているケシキスイにも影響するだろう。このように自然界の生物は互いに関わり合いながら生きている。持続可能な自然環境を実現するためには、生物間の相互作用にも目を向ける必要がある。里山の保全においても、個々の植物、動物の管理・保護だけでなく、それらのつながりを考慮していくべきだと考える。

#### 4. 謝辞

本研究は、多くの方のお力添えのおかげで進めることができました。

サンプリングの際には森小夜子様、末次研究室の方々にも多大なるご協力をいただきました。研究活動においては、末次健司教授（神戸大学大学院理学研究科）より、ご指導ご鞭撻のほど賜りました。この場をお借りして心より感謝申し上げます。

#### 5. 引用文献

**Bo Song, Gao Chen, Jürg Stöcklin, De-Li Peng, Yang Niu, Zhi-Min Li, Hang Sun** (2014) A new pollinating seed-consuming mutualism between *Rheum nobile* and a fly fungus gnat, *Bradysia* sp., involving pollinator attraction by a specific floral compound. *New Phytologist*, 203, 4, 1109-1118.

久松定智 (2025) “ヒゲボソケシキスイ科”. CLAVICORNIA.

<https://sites.google.com/site/nipponnokeshikisui/home/higebosokeshikisui-ke>, (最終閲覧日: 2025-01-29) .

木村孟淳, 田中俊弘, 酒井英二, 山路誠一 (2015) 薬用植物学. 改訂第7版, 水野瑞夫監修, 南江堂, 東京.

神戸市 “KOBE 里山 SDGs 戦略”. 神戸市ホームページ.

[https://www.city.kobe.lg.jp/a66324/kurashi/recycle/biodiversity/satoyama\\_sdgs.html](https://www.city.kobe.lg.jp/a66324/kurashi/recycle/biodiversity/satoyama_sdgs.html), (最終閲覧日: 2025-01-29) .

難波恒雄 (1986) 原色和漢薬図鑑 (下) . 改訂第4版, 保育社, 大阪.

**N. Hayashi** (1977) キイロチビハナケシキスイの生態. *Coleopterists' News*, 38, 3-4.

**N. Hayashi** (1986) 甲虫の生活 幼虫のくらしをさぐる. 甲虫シリーズ 1, 84-87.

**M. Kato, A. Takimura, A. Kawakita** (2003) An obligate pollination mutualism and reciprocal diversification in the tree genus *Glochidion* (Euphorbiaceae). *PNAS*, 100, 5264-5267.

鈴木庸夫, 高橋冬, 安延尚文 (2014) 樹皮と冬芽: 四季を通じて樹木を観察する 431 種. 誠文堂新光社, 東京.