

1. はじめに、研究背景・目的

神戸市は 8000 種近く動植物が確認されている生物多様性に富んだ都市である。一方で、神戸版レッドデータ 2020 には 900 種あまりが記載されており、多くの生物がさまざまな要因から絶滅の危機に瀕している。植物のレッドデータ選定率を見てみると、19.4%となっている。生物多様性の重要さが叫ばれる今、それらの保護は非常に重要であるといえる。

昆虫などの送粉者は、多くの植物にとって次世代に子孫を残すために必要不可欠な存在である。特に個体数の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。そのため、そのような植物を保護するためには、その植物にとってどのような環境が生育に適しているかの他にも、どのような環境であれば送粉者が存在するかを調査する必要がある。

対象の植物の花香などを用いてその送粉者を誘引することが出来れば、大規模な調査を行わずともその場所・区画における送粉者の存在を確かめることが出来る。この花粉を運ぶ昆虫に着目した生育適地推定法が確立できれば、貴重な植物の保全に大きく貢献できると考えられる。

サトイモ科テンナンショウ属は神戸市で 12 種確認されているが、その半分の 6 種がレッドデータに記載されている。さらに、これまでの調査で六甲山には、まだ学名がっていない (= 新種候補) の貴重なテンナンショウが分布していることが明らかになりつつある (Kobayashi 2021)。

テンナンショウ属は偽雌雄異株 (雄花を持つ雄株と雌花を持つ雌株があり、栄養状態などによって性転換する) であり、先述のように他の植物同様にその結実には送粉者である昆虫が必要不可欠であると考えられる。テンナンショウ属の送粉者は未解明のことが多い。しかし、一部の種については調査がなされており、いくつかのテンナンショウの送粉者はキノコバエの仲間であることが確かめられている (Sasakawa 1993, 1994a, 1994b; Matsumoto et al. 2019, 2021; Kakishima & Okuyama 2018; Tanaka et al. 2013; Suetsugu et al. 2021, 2022)。また、テンナンショウ属の送粉者誘引には、花序付属体と呼ばれる構造から放出される匂いが重要であることが示唆されている (Suetsugu et al. 2021)。そこで、テンナンショウ属に注目し、その匂い物質を用いて送粉者誘引実験を行い、花粉を運ぶ昆虫に着目した生育適地推定法の確立を目指した。

神戸市は、約 150 万人に上る人口を持つ日本有数の港湾都市でありながら、六甲山系などをはじめとした自然が多く残る街でもある。その六甲山では、交通のアクセスも良くコロナ禍以前では年間で 3500 万人以上が訪れており、令和 4 年でも 2161 万人が訪れるような一大観光地である。さらに近年では外国人観光客も増加しており、その観光資源としての重要性は増大していくばかりである。六甲山 (に限らず、神戸市) は貴重な植物も多く生育し

ており、そういった植物が生育できる環境を保全・維持していくことは、神戸市にとって非常に重要であるといえるだろう。つまり、生物多様性の保全の観点からだけでなく観光資源のための保護という観点からも、送粉者の面から見た植物の生育適地推定法は役に立つと考えられる。

2. 実験手法および結果

現在進行形で行っている研究のため公表することができないため、具体的な実験手法など一部の情報について明記せずに報告させていただく。

・テンナンショウ属匂い抽出

今回はすでにこれまでの調査で送粉者が調査されている（未発表データ含む）テンナンショウ属について実験を行った。

実験対象は、ホソバテンナンショウ、アオオニテンナンショウ（神戸市六甲山）、テンナンショウ A（岡山県）とした。それぞれのテンナンショウの送粉者は調査されており、ホソバテンナンショウは *Cordyla murina*、アオオニテンナンショウは *Brevicornu* sp.である（Suetsugu et al. 2021）（テンナンショウ A については未発表であるため伏せる）。

上記のテンナンショウの花序付属体から匂い物質をサンプリングし、そのサンプルを冷凍庫で保管した。サンプルは、匂い物質の特定のため、奥山雄大博士（国立科学博物館）、中秀司博士（鳥取大学）に分析を依頼中である。



図1：六甲山で見られるテンナンショウ属
（左：ホソバテンナンショウ、右：アオオニテンナンショウ）

・付属体抽出物を用いた送粉者誘引実験（開花期）

上記で得た付属体抽出物サンプルを野外で提示し、送粉者の誘引が見られるかどうか実験を行った。実験は六甲山で行い、これまでの調査で送粉者の存在が確認されている地点で行った。ホソバテンナンショウ、アオオニテンナンショウの開花期である5月に、4日間合計15時間行った。昆虫の誘引は見られなかった。

・付属体抽出物を用いた送粉者に対する提示実験（屋内）

テンナンショウ A の仏炎苞内から回収した昆虫を用いて、虫かご内で付属体抽出物サンプルを提示した。実験は4月中旬に行い、3日間で合計15時間虫かご内の昆虫の観察を行った。昆虫がサンプルに対して誘引されるような行動は観察できなかった。

・キノコバエ羽化実験

開花時期以外にも上記のような屋内での提示実験を行うために、生きたキノコバエを採集する必要があり以下のような実験を行った。テンナンショウ属の送粉者として働くキノコバエを採集することを目的とした。

テンナンショウ属の送粉者であるキノコバエは生態がよくわかっていないものが多い。一方で、キノコ害虫として報告される種もあるように、多くのキノコバエがキノコから羽化してくることが確認されている (McAlpine et al. 1981)。そこで、キノコの子実体、キノコ周辺の落葉・土を野外からサンプリングした。サンプリングしたキノコの詳細は表1に記載した（キノコバエの羽化が確認できたもののみ記載し、キノコバエが羽化しなかったものは省略した）。サンプルはタッパー容器内で保管し、容器内で羽化してきたキノコバエを回収した。回収したキノコバエは乾燥/液浸標本とし、実体顕微鏡を用い属レベルまで同定を行った。

様々な種類のキノコから、合計で187匹のキノコバエ科の昆虫を羽化させることが出来た。羽化してきたキノコバエ科も多様なものを確認することが出来た（表1）。

表1：採取したキノコの詳細と羽化が確認できたキノコバエの個体数

キノコ	キノコ採集日	採集場所	キノコバエ (属名)	羽化個体数
ショウロ属の1種	7月11日	加古川市	<i>Cordyla</i>	3
オオショウロ①	7月11日	加古川市	<i>Cordyla</i>	8
イロガワリキヒダタケ	7月11日	加古川市	? ※1	1
<i>Lanmaoa</i> 属の1種	7月20日	神戸市灘区	<i>Mycetophila</i>	5
オオショウロ②	10月11日	神戸市北区	<i>Cordyla</i>	4
チチアワタケ	10月18日	神戸市北区	<i>Cordyla</i>	1
			<i>Mycetophila</i>	2
ヌメリイグチ①	10月18日	神戸市北区	<i>Cordyla</i>	7
			<i>Mycetophila</i>	2
ベニタケ	10月18日	神戸市北区	<i>Exechia</i>	36
			<i>Allodia</i>	3
ショウロ①	10月23日	佐用町	<i>Cordyla</i>	36
ヌメリイグチ②	10月23日	佐用町	<i>Cordyla</i>	7
ドクベニタケ	10月23日	佐用町	<i>Cordyla</i>	6
			<i>Exechia</i>	7
			<i>Allodia</i>	2
ショウロ②	10月 ※2	神戸市灘区	<i>Cordyla</i>	32
ベニタケ属の1種	11月5日	宝塚市	<i>Cordyla</i>	25

※1 羽化後の回収が遅く、科レベル未満の同定はできなかった。

※2 10月に複数回、子実体の回収を行った。

・実験手法の改善後の送粉者誘引実験（野外）

新たに共同研究者として協力いただくことになった中秀司博士（鳥取大学）に、実験方法についてアドバイスをいただいた。実験方法を改善し再度実験を六甲山で1月に合計3時間行ったが、昆虫の誘引は見られなかった。

3. 考察・今後の展望

今回、様々な条件下で野外でのテンナンショウ属の送粉者の誘引実験を行ったが、送粉者であるキノコバエの誘引を観察することはできなかった。いずれもサンプルとして用いたテンナンショウ属が生育しており、結実することも確認している地域で行ったため、送粉者が存在しないという可能性はかなり低いと考えられる。そのため、実験手法に問題があると考え、実験ごとに適宜手法を変えて実験を行ったが、残念ながら昆虫の誘引は見られなかった。

実験手法について改善を行った後の実験でも昆虫の誘引が見られなかったが、これについては冬季で気温が低かったため昆虫があまり活動的でなかった可能性が高い。そのため、

来年度のテンナンショウ属の開花期で、更なる実験手法のブラッシュアップを行い、手法を確立したいと考えている。

匂いサンプルは前述のように現在分析を依頼中である。物質の特定をすることが出来れば、テンナンショウのサンプルを用いずとも、合成した物質による誘引実験を行うことが出来るようになるため、より生育適地の推定が行いやすくなると考えられる。また、植物からサンプリングしたものは、植物の個体差などによって匂いサンプルにバラつきが生じ、昆虫の存在量の比較を行う場合に大きな課題となってしまいう恐れがある。一方で合成した物質であれば、安定した実験を行うことができ、場所・地域ごとの比較もより容易に行えると考えられる。

キノコからキノコバエを羽化させる実験では、多くの知見を得ることが出来た。キノコバエの幼虫がいる子実体のテンナンショウ属の送粉者として確認されているキノコバエを回収することはできなかったが、今後の実験での指針としたい。

実験手法についても岡田英士氏のご協力もあり、子実体から比較的安定してキノコバエを羽化させることが出来るようになった。実験最初期では、子実体に幼虫が確認できたが、幼虫が全て死ぬ・羽化しない・羽化しても少数ということがほとんどであり、かなりの課題であった。何度も試行錯誤を行い、現在では幼虫が全く羽化しないといったことは少なくなった。

引き続き実験を行い、テンナンショウ属の送粉者として働いているキノコバエを回収したいと考えている。また、回収できた際には累代飼育にも挑戦し、上記の屋内での提示実験をより容易に行えるようにしたい。

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。

テンナンショウ属の匂い分析の研究に関して、奥山雄大博士、柿嶋聡博士、松本哲也博士、中秀司博士、加えてテンナンショウ A の研究に関して、宮崎祐子博士、廣部宗博士に共同研究としてお力添えをいただきました。

また、様々な面でご指導ご鞭撻をいただきました、末次健司博士に大変感謝申し上げます。

さらに、子実体採集やキノコバエの捕獲などのサンプリングの面など、岡田英士氏や乾和輝氏、佐藤蓮氏をはじめとした末次研究室の方々に大変ご協力いただきました。

この場をお借りして大変感謝申し上げます。

5. 引用文献リスト

神戸市 (2020) 神戸版レッドデータ

神戸市 (2020) 神戸市で確認された動植物一覧

- Kakishima, S., and Y. Okuyama.** (2018). Pollinator assemblages of *Arisaema heterocephalum* subsp. *majus* (Araceae), a critically endangered species endemic to Tokunoshima island, central Ryukyus. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series B, Botany* **44**: 173–179.
- Kobayashi, Y.** (2021) The Genus *Arisaema* (Araceae) in Hyogo Prefecture : revised edition *Plants of Hyogo*, **31**:1-30.
- Matsumoto, T. K., Miyazaki, Y., Sueyoshi, M., Senda, Y., Yamada, K., & Hirobe, M.** (2019). Pre-pollination barriers between two sympatric *Arisaema* species in northern Shikoku Island, Japan. *American Journal of Botany*, **106**: 1612–1621
- Matsumoto, T. K., Hirobe, M., Sueyoshi, M., & Miyazaki, Y.** (2021). Selective pollination by fungus gnats potentially functions as an alternative reproductive isolation among five *Arisaema* species. *Annals of Botany*, **127**: 633–644.
- McAlpine, J. F., B. V. Peterson, G. E. Shewell, H. J. Teskey, J. R. Vockeroth, and D. M. Wood.** (1981). Manual of nearctic diptera, vol. 1. *Research Branch Agriculture Canada*,
- Sasakawa, M.** (1993). Fungus gnats associated with flowers of the genus *Arisaema* (Araceae) part 1. Mycetophilidae (Diptera). *Japanese Journal of Entomology*, **61**: 783–786.
- Sasakawa, M.** (1994a) Fungus gnats associated with flowers of the genus *Arisaema* (Araceae) part 2. Keroplatidae and Mycetophilidae (Diptera). *Transactions of the Shikoku Entomological Society*, **20**: 293–306.
- Sasakawa, M.** (1994b). Fungus gnats associated with flowers of the genus *Arisaema* (Araceae) part 3. Sciaridae (Diptera). *Japanese Journal of Entomology*, **62**: 667–681.
- Suetsugu, K., R. Sato, S. Kakishima, Y. Okuyama, and M. Sueyoshi.** (2021). The sterile appendix of two sympatric *Arisaema* species lures each specific pollinator into deadly trap flowers. *Ecology*, **102**: e03242. 10.1002/ecy.3242
- Suetsugu, K., H. Nishigaki, S. Fukushima, E. Ishitani, S. Kakishima, and M. Sueyoshi.** (2022). Thread-like appendix on *Arisaema urashima* (Araceae) attracts fungus gnat pollinators. *Ecology*, e3782.

Tanaka, N., M. Sasakawa, and J. Murata. (2013). Pollinators of *Arisaema thunbergii* subsp. *urashima* (Araceae) in Japan. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series B, Botany*, **39**: 21–24.