

アーバスキュラー菌根菌と共生する緑色植物の部分的菌従属栄養性の検証

神戸大学理学研究科生物学専攻

浅野 有己斗

1. はじめに、研究背景

我々人間は、食料や水、気候の調節にとどまらず、文化的価値を含む多様な生態系サービス、すなわち『生物多様性の恩恵』を享受して生活している。ところが人間活動の影響により世界的に生物多様性は減少し、日本においてもその基盤が損なわれつつある（環境省 2023）。とりわけ湿地では、過去 100 年で面積の約 6 割が消失したとされ（国土地理院 2026）、湿地に依存する生物には環境省の絶滅危惧種が多く含まれる（環境省 2016）。

里地里山は農地・ため池・樹林地・草原などから成り、国土の約 4 割を占める（環境省 2026a）。なかでも、ため池は人為管理の歴史のもとで独自の生物群集が成立し、生物多様性に大きく貢献している可能性が示されているため、周辺環境と一体で保全する意義は大きい（Usio et al. 2013）。一方、管理は重労働で担い手の高齢化も進んでいることから、限られた人員・資源のもとで保全の優先順位や有効な管理手法を検討する必要がある（環境省 2023）。

神戸市では「KOBE 里山 SDGs 戦略」のもと、市民・産学官の連携による持続可能な保全が進められている（神戸市 2025）。具体的には、ため池のかいぼり等を通じた農地・草地環境の保全や、希少動物のモニタリングが行われている。さらに神戸市北区の里山は自然共生サイトに認定され、土地所有者に限らず学生・市民団体・大学等が参画している点も特徴である（神戸市 2025）。こうした枠組みは人材・資金確保の面でも効果が期待される一方、サイト間で自然条件や管理履歴が異なるため、生物多様性の豊かさや活動内容に差が生じうる（環境省 2026b）。したがって、「どのような環境を生物多様性が高いと評価できるのか」、また「保全に有効な管理は何か」を一定の根拠にもとづいて整理し、関係者間で共有することが重要となる。

そこで本研究では、ため池周辺の湿地環境の理解を深め、神戸市における保全・管理の検討に資する知見を得ることを目的として、神戸市内でも確認される湿地性植物ヒナノカンザシに着目した。ヒナノカンザシは日当たりの良い湿地に生育する小型の草本であるが、兵庫県ではレッドリストCランクに、神戸市のレッドリストではBランクに指定されており、絶滅が危惧されている（神戸市 2020）。

予備的観察からは、本種が共生するアーバスキュラー菌根菌（AM 菌）を介して炭素を得る菌従属栄養性を有する可能性が示唆されている。菌従属栄養植物とは、光合成による炭素獲得に全面的または部分的に依存せず、共生菌を介して有機物を獲得する栄養戦略をもつ植物である。この戦略が成立するためには、菌従属栄養植物と共生する菌根菌が安定して維持される環境条件が重要である可能性が指摘されている。したがって、本種の菌従属栄養性

が実証されれば、本種の生態解明に加え、その成立条件（植生・土壌・管理との関係）の理解が進み、将来的には湿地環境の質や管理状態を捉える指標となり得る。

一方、AM菌と共生する植物の部分的菌従属栄養性は検証が難しい。従来、菌従属栄養性は周囲より高い炭素・窒素安定同位体比を示すことにより示されてきたが、AM菌は宿主と同位体比が近く、光合成を行う部分的菌従属栄養植物では菌由来炭素の獲得が同位体比に反映されにくい。さらに、高い同位体比が必ずしも菌従属栄養性を直接反映しない可能性も指摘されている（Murata-Kato et al. 2022）。そこで本研究では、 C_4 植物優占環境でAM菌の $\delta^{13}C$ が高くなる点に着目し、ヒナノカンザシと C_3 または C_4 独立栄養植物を組み合わせたマイクロゾムで安定同位体比を比較し、部分的菌従属栄養性の実態に迫ることを目指した。

以上を踏まえ、本研究では、ヒナノカンザシのマイクロゾム実験、野外サンプルの解析、ならびに寒天培地を用いた培養実験を組み合わせ、本種の菌従属栄養性の検証を試みた。加えて、ヒナノカンザシに限らず、ハルリンドウ等の菌従属栄養性が疑われる種を今後実験系に組み込むことを見据え、培養法の確立を目指して培養条件の検討を行った。



図1：野外で開花するヒナノカンザシ

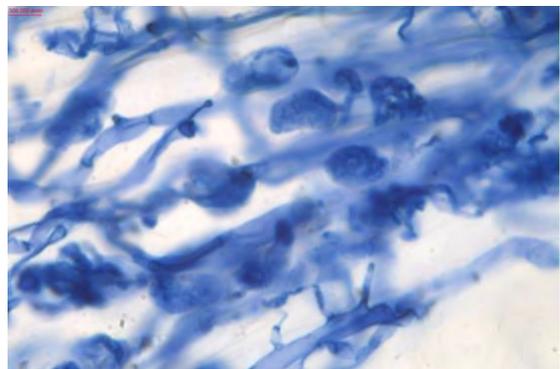
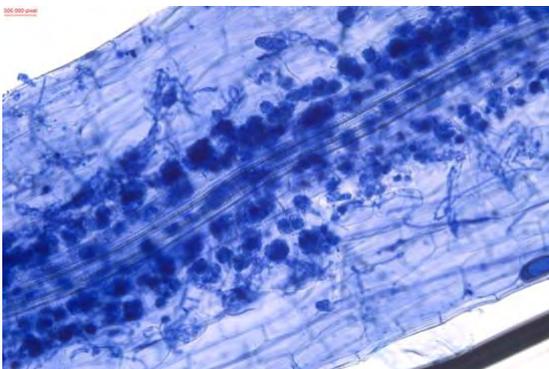


図2：ヒナノカンザシの菌根

2. 実験手法および結果

本研究は現在進行中であり、一部の具体的な結果については未公表データを含むため、詳細の記載を控える。

2.1 マイクロコズム実験

本実験では、ヒナノカンザシと独立栄養植物をヒナノカンザシ自生地由来土壌で共培養し、AM 菌ネットワークが形成されうるマイクロコズム系を構築した。AM 菌ネットワークの影響を評価するため、維持区と切断区を設け、さらに菌従属栄養性の評価として C₃ 植物区と C₄ 植物区を設定し、接続／切断および C₃／C₄ 条件に伴う安定同位体比の変化を比較した。マイクロコズムは神戸大学構内圃場で約 5 か月培養した。培養後、ヒナノカンザシは地上部を茎・葉・花茎に分けて乾燥保存・重量測定し、根は DNA 試料と FAA 固定試料に分けて保存した。独立栄養植物についても同様に地上部の乾燥保存・重量測定を行い、根の一部を DNA 試料と FAA 固定試料として保存した。

地上部乾燥重量を比較した結果、AM 菌ネットワーク維持区は切断区より有意に大きかった ($p < 0.001$)。維持区では開花個体が多く、切断区では開花個体がほとんど見られなかったことから、AM 菌ネットワークが成長・開花に寄与する可能性が示唆された。ただし、切断処理に伴うストレスの影響は排除できない。なお、維持区内で C₃ 植物区と C₄ 植物区の乾燥重量を比較しても有意差は認められなかった ($p = 0.5249$)。

さらに、一部個体で菌根化率と同位体比を測定したところ、無菌根個体の乾燥重量は 0.8mg 未満と非常に低い値にとどまり、開花個体は全て菌根共生が確認された。一方、安定同位体比は個体サイズとの明瞭な関係は確認できず、菌根を形成していない個体間でも大きなばらつきがあった。このことは、同位体比が AM 菌ネットワークからの炭素獲得量よりも、土壤呼吸など他要因の影響を強く受けている可能性を示す。

2.2 培地実験

ヒナノカンザシをスクロースを含む培地と含まない培地でそれぞれ培養し、外部炭素源の有無が成長・開花に与える影響を評価した。その結果、スクロース含有培地では 12 個体全てが開花したのに対し、スクロース非含有培地では 11 個体中 2 個体のみが開花に到達した。加えて、スクロース非含有培地で開花した個体は、スクロース含有培地の個体に比べて小型になる傾向が見られた。以上の結果は、本種が外部炭素源の供給に影響を受ける可能性を示唆する。

2.3 野外サンプル解析

野外におけるヒナノカンザシの安定同位体比を把握するため、神戸市西区の湿地にてヒナノカンザシ開花個体および周囲の C₃ 植物・C₄ 植物を採取した。本生息地では、ヒナノカンザシはイトイヌノハナヒゲやカリマタガヤ等の小型 C₄ 植物が優占する環境でのみ確認さ

れ、背丈の高い草本が優占する環境では開花個体を確認できなかった。

調査では、1 m × 1 m のプロットを5か所設置し、各プロットからヒナノカンザシおよびC₃植物・C₄植物のシュートを採取した。採取したヒナノカンザシについては、茎・葉・花茎の乾燥重量測定を完了している。現在、安定同位体比の測定を実施中である。



図3：サンプリング地の様子

2.4 菌従属栄養植物の培養法の確立

菌従属栄養植物の培養法を確立するため、各地で種子のサンプリングを行った。菌従属栄養植物は個体サイズが小さく発見が難しいため、必要に応じて現地の協力者に案内を依頼して採取した。加えて、一部の種についてはインターネットで種子を購入、あるいは園芸店で苗を入手して採種するなど、複数の方法により種子を確保した。

その結果、ハルリンドウを含む計9種の菌従属栄養植物、または菌従属栄養性が疑われる種の種子を採取できた。現在、これらの種を実験に供するため、適切な発芽条件および培養条件を探索中である。特にハルリンドウをはじめとする一部の種では発芽条件を把握できたため、現在は安定した培養方法の確立を進めており、将来的にはマイクロゾム実験への組み込みを予定している。

3. 考察・今後の展望

今回得られた安定同位体解析の結果は、ヒナノカンザシの部分的菌従属栄養性を支持しなかった。一方、菌根形態の観察、培地上での外部炭素源への依存、ならびに遠沈管の回転処理による顕著な成長抑制は、本種が部分的菌従属栄養性を有するという仮説と整合的である。ただし、これらの結果は操作処理に伴うストレス等の影響を受けている可能性も否定できず、現時点で菌従属栄養性の有無を断定することはできない。今後は実験デザインを再検討したうえで、引き続き本仮説の検証を進める。

また、ヒナノカンザシ等において培養系を確立できたことは重要な成果である。AM菌と共生する菌従属栄養植物では、再現性のある培養系が十分に整備されていないことなどを

背景に、分子学的研究を含む検証が制限されてきた。今回培養系を確立できたことで、仮に本種が菌従属栄養性を有する場合、その機構解明においてモデル種として活用できる可能性がある。今後は他の種についても培養系の確立を進め、比較可能な実験系の整備を図りたい。

さらに、ヒナノカンザシの菌従属栄養性が今後実証されれば、本種は安定した生態系の成立と関連する指標種となり得る可能性がある。今後は菌従属栄養性の検証に加え、本種が成立し得る環境条件（植生構造、土壌条件等）についても評価する予定である。本種が生育する湿地環境は近年その重要性が注目される一方、開発や管理放棄に伴う遷移の進行により消失・劣化しやすい（環境省 2023）。本種を手がかりとして湿地環境の機能や維持条件に関する具体的知見を提示できれば、保全・管理手法の検討に資することが期待される。

4. 謝辞

本研究は、多くの方のお力添えのもと進めることができました。

サンプリングの際には橋本元喜様、後藤一嶺様、富永貴哉様、村田章様、押川海斗様、山住一郎様、西村徹也様、古川雅康様にご協力いただきました。サンプリングおよび同位体測定においては、佐々木岳様（神戸大・末次研究室）に多大なるご指導・ご協力をいただきました。また、研究全般にわたり、末次健司教授（神戸大学大学院理学研究科）より、ご指導ご鞭撻を賜りました。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

環境省(2026a). “神戸市の生物多様性保全の取組み”.

<https://www.env.go.jp/content/000164776.pdf>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

環境省(2026b.). “里地里山と生物多様性”.

<https://www.env.go.jp/nature/satoyama/seibutu.html>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

環境省(2023). “生物多様性国家戦略 2023-2030～ネイチャーポジティブ実現に向けたロード

マップ～”. <https://www.env.go.jp/content/000124381.pdf>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

環境省(2016). “生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書”.

<https://www.env.go.jp/content/900489559.pdf>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

国土地理院(2026). “日本全国の湿地面積変化の調査結果”.

<https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/shicchimenseki2.html>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

神戸市(2020). “神戸版レッドデータ 2020”.

<https://www.city.kobe.lg.jp/documents/4600/kobebanreddeta2020.pdf>, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

神戸市(2025). “里地里山の生物多様性”.

https://www.city.kobe.lg.jp/a66324/kurashi/recycle/biodiversity/satochi_satoyama.html, (最終閲覧日: 2026-01-29) .

- Murata-Kato, S., Sato, R., Abe, S., Hashimoto, Y., Yamagishi, H., Yokoyama, J., & Tomimatsu, H. (2022). Partial mycoheterotrophy in green plants forming Paris-type arbuscular mycorrhiza requires a thorough investigation. *New Phytologist* (4), 1112–1118.
- Usio, N., Nishikawa, M., Imada, M., Nakagawa, M., Akasaka, M., & Takamura, N. (2013). Effects of pond draining on biodiversity and water quality of farm ponds: Effectiveness of pond draining. *Conservation Biology*, 27(6), 1429–1438.