

ツユクサ科の分類の再検討に向けて

李 忠建（兵庫県立人と自然の博物館 研究員）

ツユクサ科ってどんな草？

「ツユクサのなかまの研究をしています」というと、「あの青いきれいな...」と分かってくださる方が一定数いらっしゃいます。電車や車で通勤していると見過ごしがちですが、落ち着いて歩いたり、気持ちよく自転車で走ったりすると、わざわざ山や谷へ出かけずとも、日常の中でよく出会う花です。

ツユクサ科は花の形態がとても多様なグループの1つです。「ツユクサ」と「ムラサキツユクサ」を例に挙げて見てみましょう。(図1)

ツユクサ（ツユクサ科ツユクサ属）とムラサキツユクサ（ツユクサ科ムラサキツユクサ属）は、同じツユクサ科ですが、花だけを見てもいろいろな違いがあります。①ツユクサの花はスマレと同様、対称軸がひとつしかない左右相称花ですが、ムラサキツユクサの花はサクラやチューリップと同様、対称軸が複数ある放射相称花です。②ツユクサをよく見ると、雄しべの形が3種類あります。中でも、奇妙な形をしている黄色い雄しべは、あまり花粉を作っていないようです。逆に、ムラサキツユクサは、どの雄しべも同じ形をしています。「同じツユクサ科なのに、属が違うだけでこれだけ姿が違うのか」という気持ちになってきます。大学院時代にお世話になった先生も、「ツユクサ科にそんな花もあるんだ!」と、年に1回は驚いていました。

そのようなツユクサ科は、日本に5属、世界には41属650種もあります(図2)。1つの科が、どうやってこれだけ多様なグループに進化したのでしょうか？

進化を知るには、今ある花たちが、その祖先からどのように枝分かれしてきたのか、つまり系統を調べなくてはなりません。生物学の研究である以上、分類がしっかりしている必要もあります。もっと言えば、私たちが「種」を適切に認識している必要もあります。

私が研究を始めた頃には、すでにDNAを使った系統解析が広く行われていました。しかし、ツユクサ科の系統を調べた研究は片手で数えるほどしかありませんでした。その系統研究も、北米大陸における研究が多く、アジア地域における研究はほとんどありませんでした。



図1 ツユクサ（左）とムラサキツユクサ（右）



図2 ツユクサ科の多様性

ツユクサ科は、調査の進みにくい熱帯に多く分布し、花が標本として残りにくく、開花時間が短い、という研究テーマとして敬遠されやすい要素が揃っています。結果、ツユクサ科の進化については、まだ分からないことがたくさんあるのです。

属の関係をなんとかしたい

1980年代以降、ツユクサ科の研究に最も貢献した学者として、アメリカの Robert B. Faden が挙げられます。彼は数ある研究成果の1つとして、ツユクサ科の分類体系をまとめ上げ、

その中でどの属とどの属が近い関係にあるのかを、階層的に整理しました (Faden & Hunt, 1991)。

ちょうどこの頃から、植物の DNA を使った系統解析が盛んになり始めました。Faden と Hunt の分類体系も、DNA の観点から支持されるかどうか、技術的に確かめられるようになってきたのです。実際にそのような研究が 2003 年に発表され、正しそうな部分が多く見つかったという結果になりましたが、まだまだ課題も多く残っていました (Evans et al., 2003)。しかし、それ以降の研究は、「ムラサキツユクサ連」など特定のグループに的を絞っていたので (Wade et al., 2006; Hertweck & Pires, 2014)、ツユクサ科全体の見直しは 10 年以上も止まっていました。

そうした背景のもと、私は共同研究者たちとともに、解析に使う DNA 領域や植物の種類を増やして、ツユクサ科の全体的な系統関係を調べました (Lee et al., 2021)。細かい成果がいくつかあったのですが、次のようにまとめてみました。

1 つ目の成果は、属間関係の解明です。これまでは、進化的に重要な属でさえ系統的な位置があまり分からなかったのですが、この研究で状況がかなり改善されました。特にイボクサ属については、現在進行中の研究につながる重要な発見がありました。

2 つ目の成果は、属の単系統性の検証です。分類学で扱う「グループ」は、近縁なもの同士をまとめるのが理想です。つまり、ある祖先から派生した子孫をすべて含み、仲間外れがない状態、言い換えると「単系統性」が重要です。この研究では、グループから変わり者を仲間外れにしてしまった例 (側系統)、近縁でないのに同じグループに混ぜてしまった例 (多系統) をいくつか見つけました。

最後に、植物の形態と新たにわかった系統関係を踏まえて、分類体系の修正を行いました。この分類体系では 2 亜科 6 連 7 亜連に 37 属が認められています。

属の中まで調べていくと

こうした研究と並行して、日本やタイで実際に野外のツユクサ科を調べていると、1 つ 1 つの「種」と向き合う時間がおのずと増えてきました。多くの場合、同じ属でも種ごとに形態が多様なので、その多様性がどのように生じたのかが、気になってきます。

ツユクサ属の花の近くには、総苞 (そうほう) という特殊化した葉があります。他のツユクサ科の総苞は、普通はあまり存在感がありませんが、ツユクサ属では違います。ハートをひっくり返して谷折りにしたような形で、花のつく部分 (花序) を下と左右から覆っているのです。しかも、マルバツユクサやホウライツユクサの場合は、谷折りになった状態で後ろ側が合着していて、ここを破らないと折り目を広げられないようになっています (図 3)。

きっと、ツユクサのようなシンプルな谷折りの総苞から、ホウライツユクサのような合着した総苞が進化したのだろう。Burns et al. (2011) は、DNA 解析の結果に基づいて、このように考えました。確かに、植物の合着の進化を考える時は、花卉でも子房でも「非合着から合着へ」の流れが基本です。しかし、この研究の解析結果をみると、この仮説に関わる部分は統計的にあまり支持されていませんでした。もしかすると、解析に含まれていないアジア産の種を解析すれば、違う結果が得られるかもしれません。



図3 ツユクサ属の総苞

上と左下は合着していないが、右下のナンバンツユクサは漏斗状に合着している。

そこで私たちは、さらに解析に適した遺伝子を使って、アジア産の種を中心に、ツユクサ属の系統を推定しました (Lee et al., 2017)。その結果、総苞が合着しているホウライツユクサやマルバツユクサは Burns et al. (2011)の「合着グループ」を再現しましたが、別の総苞が合着しているナンバンツユクサなどは、「非合着グループ」の基部に位置していることが明らかとなりました。なんと、「合着グループ」は2つあったのです！

もしかすると、合着した総苞から非合着の総苞が進化したのかもしれない。その可能性を示唆する証拠が、もう1つ見つかりました。「合着グループ」の中に、合着しない植物が1種だけ混ざっていたのです (図4)。ここまでくると、「そもそもツユクサ属では、総苞は共通祖先の時点で合着していたが、いくつかのグループでは合着しなくなった」と考える方が、現時点では素直です。もちろん、今後の研究でさらなる検証が必要ですが。

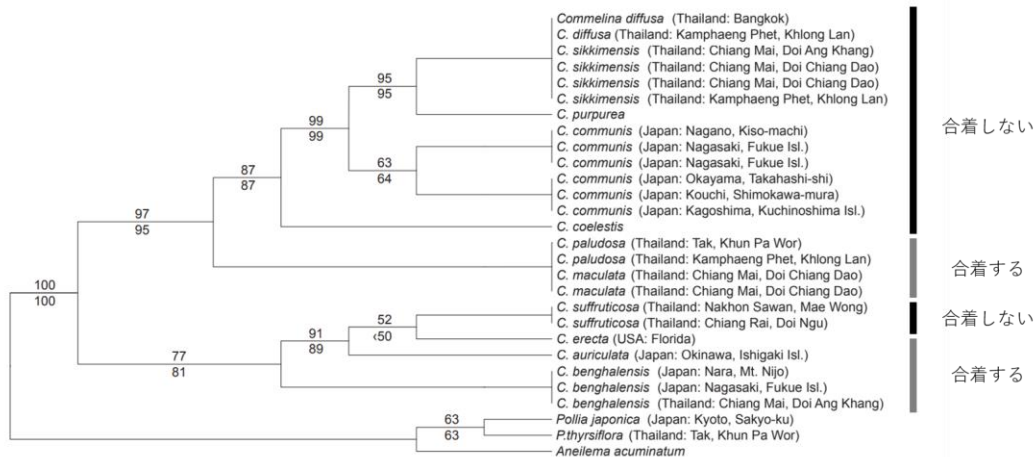


図4 葉緑体遺伝子を用いたツユクサ属の分子系統樹

再節約法で解析したが、最尤法でも同様の樹形となる。Lee et al. (2017)の Figure 2 から、一部改変。

この研究を通して分かったことは他にもいろいろあるのですが、一方で、ツユクサはわからないことばかりだということ、再認識しました。この植物にとって、総苞の形が変わったことにどんな意味があったのだろうか？ どうして、ツユクサ属のいろいろな系統が、アジアに集まることができたのだろうか？ 今でもツユクサ属の研究を続けていますが、進展があるたびに疑問は増える一方です。

そもそも、種から調べ直した

実は、もっと基本的なことでも頭を悩ませています。今の科学は、種を正しく認識できているのでしょうか？ ツユクサ属、イボクサ属、ヤブミョウガ属、ヤンバルミョウガ属など、日本で見られるグループの植物でも、東南アジアに行くと「同じ種にしているのかな」と思う植物がいくつも見つかります。初めから新種に見えるものも見つかります。

実は気になるのは東南アジアだけではありません。日本は海外と比べて、動植物の分類がかなり進んでいます。それでもツユクサ科については、ツユクサとケツユクサの関係をはじめ、まだまだ課題が残されています。

人間の姿かたちというのは、一人一人に違いがあり、地域ごとで見ても違いがあります。植物でも同様で、「ちょっと形が違うから新種！」という訳には行きません。逆に、トラとヒョウのような近縁種を混同しないように気を付ける必要もあります。現在の種の範囲も、過去の先生がそうやって調べてくれたものです。しかし、当時使えなかった技術、当時できなかった調査によって、科学は進歩していくものです。種の範囲を再検討することは、私たち分類学者の宿題とも言えますし、実際にその中で多くの発見がなされ続けています。

種の範囲を再検討するには、形態に加え、DNA も役に立ちます。本シリーズ第28回『混沌としたハエトリグモ類の分類体系を整理したい』で山崎研究員が述べているように、「系統分類学においては、生物に対して形態とDNAの両方で攻めていくことが必要」です。

タイや日本に産する分類の怪しいツユクサ科植物についてDNAを調べてみると、予想通り別系統に分かれるものもあれば、予想に反してほとんど違いが見つからないものもあ

りました。中には、予想と違う分かれ方をするものや、予想を超えて第3の種が間に入ってくるほど違うものもあります。

あとは分子系統に従って整理するだけ、というように進められれば楽な仕事なのですが、まだまだ簡単にはいきません。形態に基づいて認識した種が分子系統と矛盾していれば、徹底的に観察のやり直しが必要です。採集できた花で違いが分からないようなら、今度は果実の時期に採集に行かなければなりません。これが日本ならともかく、海外ではそう簡単ではない場合もあります。標本庫の存在は大きな助けになりますが、それでも国内だけでは解決しないことも多いです。

実は DNA 解析自体も万能ではなく、「1つの種なのか2つの種なのか、どちらでもおかしくなさそう」という結果になる場合もあります。さらに、どの DNA 領域を使って解析するかによって、解析結果が大きく食い違う例もあります。性急に判断して拡大解釈にならないように慎重に検討することが重要です。この辺りについては、日本のツユクサ科植物についても面白いことがわかってきていますので、もう少しはっきりしたら、皆さんにもお伝えできると思います。

今後の研究について

技術が年々進歩するおかげで、今まで費用の問題で縁のなかった解析手法にも手が届くようになってきました。DNA の抽出から解析まで、いろいろな場面で、時代に恵まれていることを実感します。

しかし、逆説的ではありますが、地道な形態観察やフィールド調査の重要さは増しているように思います（図5）。たいていの場合、DNA から得られる結果にどういう意味があるのかは、こうした地道なステップがあって初めてわかるものです。

博物館はこれまで、実物の標本を一か所に集めてカビや害虫から守り、研究に取り組みやすい状態に整理してきました。さらに近年は、オンラインでデータベースを共有できるようになっただけでなく、標本の高解像度写真を公開・提供してくれるところも増えてきました。科学における博物館の役割は、そういった目立ちにくい部分でも、ますます重要になっていくように思います。

最後に、私自身の研究について一言。これまでの研究でいろいろと面白いことがわかってきましたので、この機会に書きたい気持ちもあったのですが、そういうトピックに限ってまだ書けない事情があるのが大変もどかしいです。地道に研究を進めて、いい結果をできるだけ早くご報告したいと思っています。



図5 フィールド調査の様子

新種ともしきツユクサ属植物が一面に生えている中、筆者が花か果実が見つからないか探している。タイにて。伊藤巖氏撮影。

引用文献

- Burns JH, Faden RB, Steppan SJ. 2011. Phylogenetic studies in the Commelinaceae subfamily Commelinoideae inferred from nuclear ribosomal and chloroplast DNA sequences. *Systematic Botany* 36: 268-276.
- Evans TM, Sytsma KJ, Faden RB, Givnish TJ. 2003. Phylogenetic relationships in the Commelinaceae: II. A cladistic analysis of *rbcL* sequences and morphology. *Systematic Botany* 28 (2): 270-292.
- Faden RB, Hunt DR. 1991. The classification of the Commelinaceae. *Taxon* 40: 19-31.
- Hertweck KL, Pires JC. 2014. Systematics and evolution of inflorescence structure in the *Tradescantia* alliance (Commelinaceae). *Systematic Botany* 39 (1): 105-116.
- Lee C-K, Fuse S, Poopath M, Pooma R, Tamura MN. 2021. Phylogenetics and infrafamilial classification of Commelinaceae (Commelinales). *Botanical Journal of Linnean Society* 198 (2): 117-130 (printed in 2022).
- Lee C-K, Fuse S, Tamura MN. 2017. Biosystematic studies on Commelinaceae (Commelinales) I. Phylogenetic analysis of *Commelina* in eastern and southeastern Asia. *Acta Phytotaxonomica Geobotanica* 68 (3): 193-198.
- Wade DJ, Evans TM, Faden RB. 2006. Subtribal relationships in the tribe Tradescantieae (Commelinaceae) based on molecular and morphological data. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* 22 (1): 520-526.