

優性と劣性は どうやって 決まるのか？

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問

與語 靖洋

「緒」のNo.4 (與語2022a) とNo.5 (與語2022b) において、それぞれ遺伝と形質発現について概説した。それらにおける最も重要なキーワードが“メンデル性遺伝”である。この論文が1866年に掲載されて以降、進化との関連から激しい論争が繰り返される等、多くの研究者がこの法則について注目してきた。そして、論文が出て150年後の2016年についてメンデル性遺伝のメカニズムを明らかにした論文が出た。奈良先端科学技術大学等の研究者らである。彼らの研究を追ってさらに詳細に調べてみると、その6年前に既にその元となるメカニズムを解明した論文を出していることがわかった。ここでは彼らの足跡を追いながら、メンデル性遺伝の謎に迫りたい。

なお、ここでも最近用語として更新された「顕性」や「潜性」ではなく、私が慣れ親しんだ「優性」や「劣性」を用いることをご容赦願いたい。

1. 優性遺伝子が作る小さなRNAが劣性遺伝子の発現を抑える

Natureに掲載された論文 (Tarutani *et al.* 2010; 奈良先端大 2010) のタイトルを意識すると、「トランス作用性を有する小さなRNAはアブラナ属植物の自家不和合性における優劣関係を決定する」となる。つまり、この論文における発見は、DNA上の優性遺伝子の近くで作られる低分子RNAが劣性遺伝子の発現を抑制することである。「緒」

No.5で解説したように、小さな(低分子, small) RNAはノンコーディング、すなわち翻訳されるセントラルドグマとは関係ないものの、遺伝子発現に関与する。また、ここでの“トランス作用性”とは、DNAの2本鎖の片方(優性)の塩基配列(低分子RNA)がもう一方(劣性)の配列を認識して作用することを示している。具体的には、アブラナ属植物の自家不和合性(SI, Self-Incompatibility)制御遺伝子(*SP11*)を用いた研究において、優性側の遺伝子発現調節領域の隣接部位(逆位反復配列部位)で作られるわずか20数塩基の低分子RNAが、劣性側遺伝子の発現調節領域をメチル化することによって、その遺伝子発現を抑制、つまりスイッチをOFFにする(図-1)。我々が教科書で学んだメンデルの法則、すなわち優性・劣性もエビジェネティックな遺伝子発現調節によって決定されることはまさに驚きである。

2. 優性や劣性は二者択一ではない

同じ研究グループの研究成果の続報が6年後にNature Plantsに掲載された。論文(Yasuda *et al.* 2016; 奈良先端大 2016)のタイトルを意識すると、「複雑な優劣の階層は小分子RNAとそれらの抑制目標の多型性によって決まる」となる。要するにここにおけるメンデル性遺伝は、優性・劣性の二者択一ではなく、最も優勢なものから最も劣勢なものまで複数の階層が存在することを示している。材料には前報と同じアブラナ属植物のSI遺伝子(*SP11*)を用いた(図-2)。

ここでは仮に対立遺伝子を $S_1 \sim S_n$ とするが、 $S_1 > S_2 > S_3 > S_n$ の順の階層がある。面白いことに、それぞれの*SP11*遺伝子の近傍で作られる小分子RNAは、それよりも劣性側の遺伝子発現領域とだけ類似性がある、すなわちその領域をメチル化して遺伝子発現を抑制できる。そのため対立遺伝子と

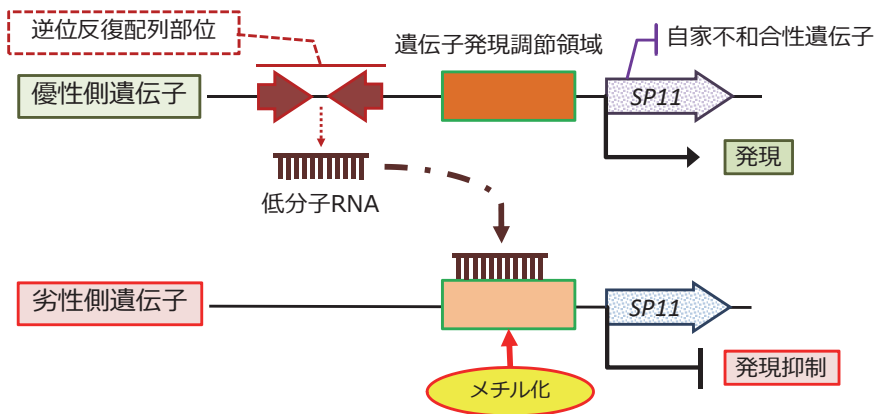


図-1 優性遺伝子近傍の小分子RNAが劣性遺伝子の発現を抑制する (Tartani *et al.* 2010 に関する奈良先端大の図を改変)

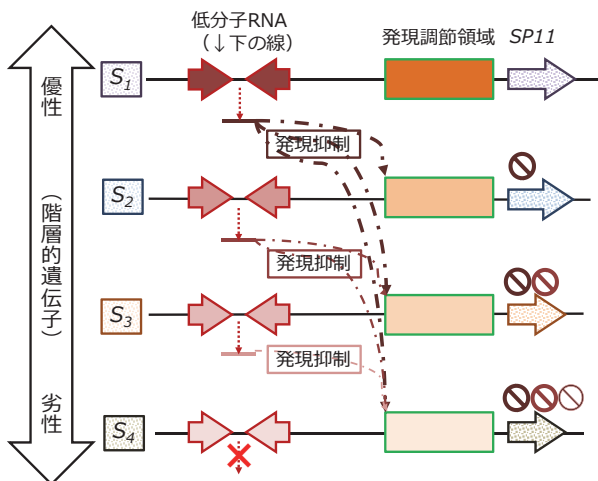


図-2 小分子RNAが階層的に優劣調節を決定する (Yasuda *et al.* 2016 の図-4 を日本語にして改変)

して、両親から例えば S_1 と S_4 の遺伝子を受け継げば S_1 だけが発現し、 S_2 と S_3 を受け継げば S_2 だけが発現する。これはヘテロの場合だが、ホモの場合は S_1 同士でも S_4 同士でもそれぞれの階層から見た劣性の対立遺伝子が存在しないので、何れの遺伝子発現も抑制されない。

さて、アブラナ科植物 (Brassicaceae) においては、上述のSI (自家不和合性) が保存されている、すなわちSIはアブラナ科植物に共通した表現形質である。ここで紹介した研究では、アブラナ科の中でもアブラナ属の *Brassica rapa* を利用して、優性遺伝子側の低分子RNAが劣性遺伝子の発現をエピジェネティックに抑えるメカニズムを明らかにしてきた。この研究グループは、その後同じアブラナ科のシロイヌナズナ属のミヤマハタザオ (*Arabidopsis lyrata*) においてもこのメカニズムが機能することを見出している (Yasuda *et al.* 2021)。

この優性・劣性の表現形質を決定するメカニズムが、植物界さらには生物全般に共通していれば、農業を含む幅広い分野における人為的制御の可能性が広がる。例えば、それを制御する小分子RNAを外部から導入すると、劣性を含めてその遺伝子全体の発現が抑制されるため、その遺伝子が植物の成長や生存に重要なものであれば、雑草管理にも

利用できるであろう。また、小分子RNAが種特異的に作用するのであれば、作物-雑草間の選択作用性、更には除草剤抵抗性雑草管理に結びつくかもしれない。このような考え方は、従来の除草剤の作用点とは発想が異なるものの、昨今殺虫剤としてのRNAi農薬も実用化されており、雑草管理への応用に言及している論文も出ている (Bruno *et al.* 2020) ことから、今後の研究発展に大いに期待したい。

参考文献等

- Bruno M. *et al.* 2020. RNAi: What is its position in agriculture? *Journal of Pest Science* 93, 1125-1130.
- 奈良先端科学技術大学院大学 2010. 優性遺伝子が劣性遺伝子に勝つ新たな仕組みを解明—メンデルの遺伝の法則に新たな視点、有用な植物の作製に期待—, プレスリリース (<http://www.naist.jp/pressrelease/2010/08/002302.html>, 発表: 2010.8.19, 確認: 2022.5.27)
- 奈良先端科学技術大学院大学 2016. 遺伝子の優劣関係を決める新たな仕組みを解明メンデルの優性の法則の謎を100年ぶりに—有用な遺伝子を発現させる育種技術への応用に期待—, プレスリリース (<http://www.naist.jp/pressrelease/bio-wada20161221.pdf>, 発表: 2016.12.20, 確認: 2022.5.27)
- Tarutani, Y. *et al.* 2010 Trans-acting small RNA determines dominance relationships in *Brassica* self-incompatibility, *Nature* 466, 983-986.
- Yasuda, S. *et al.* 2016. A complex dominance hierarchy is controlled by polymorphism of small RNAs and their targets, *Nature Plants* 2016, Vol. 3, Article No.16206
- Yasuda, S. *et al.* 2021. Homology-Based Interactions between Small RNAs and Their Targets Control Dominance Hierarchy of Male Determinant Alleles of Self-Incompatibility in *Arabidopsis lyrata*, *International Journal of Molecular Science* 22, 6990.
- 與語靖洋 2022a. 遺伝について. 植調. 56(1), 11-13.
- 與語靖洋 2022b. セントラルドグマと形質発現. 植調. 56(2), 7-9.