

## 気候変化に適応する植物の開花調節機構

三井 裕樹

1980年代頃まで、北海道のお米は美味しくないというイメージが強かった。それが1990～2000年代にかけて、次々と美味しい米の品種が開発されて、今や他のブランド米に引けを取らない評価を得ている。イネは元来、低緯度の温暖な地域に起源する植物で、夏に開花する。この時、一日の日照時間（日長）が短い短日条件でなければならない。しかし、高緯度に位置する北海道の夏季は長日である。それを克服するため中性（日長に非感受性）かつ寒さへの耐性を持つ品種の開発が進み、北海道での稲作が可能となった。20世紀後半以降、地球の気候の温暖化が加速するなかで、農業の産地が大きく変化している。温暖化の影響は、降水・積雪量の変化、干ばつなど多岐にわたり、気候変動下での安定した農業生産体系の構築が世界的な課題である。これを受け、気候に合わせて植物の成長や繁殖を制御する技術や、新品種が開発が求められている。

植物の開花は、茎頂分裂組織より葉が分化する栄養成長から、花芽が分化する生殖成長への転換、すなわち「花成」から始まる。多くの植物にとって、日長と温度は花成を調節する上でもっとも重要な要因である。これらの環境シグナルを感知して花成を促進する物質の存在は1930年代に初めて提唱され、2005年にアブラナ科のシロイヌナズナにおいて、*Flowering Locus T (FT)* 遺伝子がコードするタンパク質（フロリゲン）が、花成促進因子として同定された<sup>1)</sup>。2007年には、イネで*FT*と共通祖先を持つ相同遺伝子（*Hd3a* 遺伝子）が発見された<sup>2)</sup>。さらに、*FT*の相同遺伝子は、トマト、カボチャ、コムギ、オオムギ、ポプラなど、種を超えて広く保存されており、いずれの植物種においても花成促進因子として機能することが報告された。

適切なタイミングでの花成は、植物の生存、繁殖を大きく左右する。絶えず変化する野生環境では、“不適切な条件では花を咲かせないしくみ”が重要になる。*FT* 活性化因子としては、日長に応答して合成され、*FT* 遺伝子の発現を誘導する転写因子COのみが報告されている<sup>3)</sup>。対照的に、その抑制には多くの因子が関与しており、結果として花成の精緻な調整が可能となる。*FT*の抑制には、*Flowering Locus C (FLC)* タンパク質が中心的な役割を果たす。花成誘導には*FLC* 遺伝子の発現抑制が必要となり、一定期間の低温刺激がその引き金となる。低温を感受すると、まず、*VIN3* タンパク質が*FLC* 遺伝子に結合して発現を止める。しかし、季節の変化などで温度が上昇すると、*VIN3* 発現量の急激な低下に伴い再び発現する*FLC*が花成を抑制する。したがっ

て、低温刺激により誘導された*FLC*発現抑制の維持には*PRC2*, *VRN1*, *TFL2*などの他の因子が必要となる<sup>4)</sup>。これは、季節変化のある地域に生育する植物が冬季の寒さを受けて春に開花するための開花調整機構である。

一方、野外では冬の長さをはじめ気候環境は地域によって多様であり、野生の植物は各地の環境に適応して、開花調節機構を柔軟に進化させている。たとえば、イベリア半島の低地～高地には、生育地点の気候、特に冬季の最低気温に適応した結果、遅咲きや早咲きといった異なる開花特性を獲得した野生のシロイヌナズナが自生している<sup>5)</sup>。この差異は、*FLC* 遺伝子とその活性化因子である*FRI* 遺伝子の変異に起因すると示唆されている。他にも、日本列島の海岸に自生するダイコンの野生系統であるハマダイコンでも開花調節機構の地域適応がみられる<sup>6)</sup>。たとえば、本州の関東以西に生育する集団は、2～3週間の低温を感受し花芽を形成するが、東北、北海道の集団は、2か月以上低温を経験してようやく花芽を形成する。一方、沖縄の集団では、低温刺激なしで花が咲いてしまう。一年中温暖な沖縄では、いつ花を咲かせても受粉、結実できるので、低温応答性を失い、反対に、寒さの厳しい地域では、冬に少し暖かい日が続いても花が咲かないように進化したと考えられる。ダイコンは花成により根が痩せてしまうので、多少の寒さでは開花しない品種が求められる。これまでに、低温応答性の弱い「時なし」などの品種が開発され、ダイコンの周年供給が可能になった。これらは野生種と栽培品種の交雑により、寒冷地適応集団の遺伝子が導入された系統である。一方、熱帯アジアには果実を食用にする品種「サヤダイコン」があり、これは低温刺激なしで開花する南方の野生系統に近い。植物は野外の環境に精密に応答して生育するとともに、異なる環境に適応して柔軟に進化している。特に野生植物は遺伝的多様性に富み、重要な資源となる。植物の環境応答・適応機構の多様性解明により、分子レベルで植物の成長や繁殖を制御する技術の開発や、地域の気候に適した作物品種の迅速な育成が期待される。

- 1) Abe, M. *et al.*: *Science*, **309**, 1052 (2005).
- 2) Tamaki, S. *et al.*: *Science*, **316**, 1033 (2007).
- 3) Suárez-López, P. *et al.*: *Nature*, **410**, 1116 (2001).
- 4) Sung, S. and Amasino, R. M.: *Curr. Opin. Plant Biol.*, **7**, 4 (2004).
- 5) Méndez-Vigo, B. *et al.*: *Plant Physiol.*, **157**, 1942 (2011).
- 6) Han, Q. *et al.*: *BMC Evol. Biol.*, **16**, 84 (2016).