

植物はどうやって温度を感じるのか

児玉 豊

植物は、どうやって温度を感じるのか？このシンプルな疑問には、長い間、誰も答えることができなかった。

これまで微生物や動物では、さまざまな温度センサー分子が見つかっている。それらは、DNAタイプ、RNAタイプ、タンパク質タイプ、タンパク質-脂質タイプの4つに分類される¹⁾。上記の4タイプとも、分子内や分子間での相互作用が熱依存的に変化することによって温度を感知するという点で基本的な反応はすべて同じである。しかし、すべての生物に共通の特徴を持つ温度センサー分子というものはなく、さらに言えば、植物では温度センサー分子は、まったく見つかっていなかった。しかし最近になってからようやく、植物において温度センサー分子が発見された。しかも、植物の温度センサー分子は、上記の4タイプとは異なる第5のタイプ、「光受容体タイプ」であった。具体的には、シロイヌナズナにおいて赤色光受容体のフィトクロム（2016年）が、ゼニゴケにおいて青色光受容体のフォトリポピン（2017年）が、温度センサー分子として報告された^{2,4)}。

多くの光受容体は、アポタンパク質に低分子化合物の発色団が結合しているホロタンパク質である。光受容体のホロタンパク質には2つのフォームがあり、光を受けると活性型になり、温度に依存して不活性型へ戻る（図1）。温度依存的に不活性型へ戻る反応は、熱反転と呼ばれる。活性型の光受容体は、高温であれば熱反転が起こりやすいため素早く不活性型となるが、低温であれば熱反転が起こりにくいため活性状態が長く維持される（図1）。フィトクロムとフォトリポピンは、熱反転の温度依存性によって活性型と不活性型の量を変化させ、その後起こる温度依存的な生理現象を制御している。たとえば、フィトクロムは温度依存的な胚軸の長さの制御に^{2,3)}、フォトリポピンは温度依存的な葉緑体の細胞内配置の制御に、温度を感知することによって機能して

いる^{4,5)}。

熱反転は、植物だけでなく、他の生物種のさまざまな光受容体にも存在する反応である。そのため、光受容体で保存されている熱反転が、多くの生物に共通する温度感知機構である可能性が示されている⁴⁾。太陽光には可視光線だけでなく熱線も含まれているため、光受容体が温度を感じることは、太陽光の状況変化に素早く応答するためには効率的なのかもしれない。

とはいえ光受容体タイプの温度センサー分子は、温度感知に光を必要とするため、温度感知に特化したセンサー分子ではない（図1）。はたして、温度だけを感じて植物の生理現象を制御する分子は存在するのだろうか。たとえば、すべての分子（DNA、RNA、タンパク質など）の運動性が温度に依存して変化することを考えると、植物でも温度だけを感じると分子が存在すると思われるのが自然であろう。しかし、温度がすべての分子の運動性を変えてしまうからこそ、特定の分子が温度センサー分子として機能することを証明することは難しい。温度センサー分子の証明には、緻密な実験デザインが求められると思われる。

最後に、筆者の雑感として、「植物には温度だけを感じると分子が存在しない可能性」にも触れておきたい。植物は、動くことができないため、常に温度変化に晒されているが、案外、動物よりも極端な温度変化に晒されることはない。たとえば、ヒトは動くことができるため、氷や熱湯に触れる機会があり、これを避けるためにも温度だけを感じることがあるだろう。一方で、植物は、動けないからこそ、ある範囲の温度帯にしか触れることがないため、温度だけを感じる分子を持つ必要がなく、光受容体のように他の機能を持つタンパク質を温度感知に利用している可能性もある。

植物は、どうやって温度を感じるのか？このシンプルな疑問には、光受容体の温度センサー機能の発見から、一部を答えられるようになった。しかし完全な回答には、まだまだ長い時間がかかりそうである。

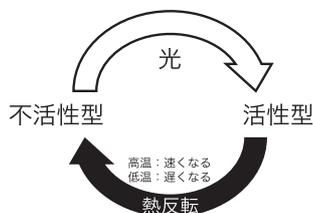


図1. 光と熱で起こる光受容体の活性型と不活性型の変換

- 1) Sengupta, P. and Garrity, P.: *Curr. Biol.*, **23**, R304 (2013).
- 2) Jung, J. H. *et al.*: *Science*, **354**, 886 (2016).
- 3) Legris, M. *et al.*: *Science*, **354**, 897 (2016).
- 4) Fujii, Y. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **114**, 9206 (2017).
- 5) 児玉 豊: *化学と生物*, **57**, 21 (2018).