

## 天然ゴム高生産へ弾みをつける

高橋 征司

ミカンの産地である愛媛県では蛇口をひねるとミカンジュースが出てくる、というジョークがあるが、幹を少し削るだけで工業原料のポリマーがポタポタと流れ出てくる木は実際に存在する。天然ゴムを産生するパラゴムノキである。化石燃料由来の合成ゴムの開発が盛んな現代においても、自動車などのタイヤのゴム成分の約半分は天然ゴムであり、実際に、天然ゴムに匹敵する特性を有する合成ゴムの開発には至っていない。世界規模でのモータリゼーションが加速している現状では、自動車が空を飛びはじめない限りは、タイヤ生産に必要な天然ゴムの需要は増大し続けることになり、需要量が供給量を超えるのはごく近い将来のことであると試算されている。そのため、天然ゴムに匹敵する物性の合成ゴムの創出に加え、天然ゴムの生産量向上も産業的に非常に重要な課題となる。

産業用天然ゴムの大部分は、主に熱帯から亜熱帯地域で栽培されているトウダイグサ科のパラゴムノキ (*Hevea brasiliensis*) より生産される。その幹を削ることで、ラテックスと呼ばれる乳液状の樹液（その実体は、乳管細胞と呼ばれる特殊に分化した細胞の細胞質である）が得られるが、その約30%が天然ゴムである。天然ゴム産生植物としては、園芸店などで「ゴムの木」として販売されるクワ科のインドゴムノキや、タンポポ、レタス、イチジクなど400種以上存在するが、天然ゴムの産生量、重合度、採取の容易さなどにおいてパラゴムノキのラテックスには及ばない。

天然ゴム増産のためには生合成機構の理解が不可欠となるが、天然ゴムの優れた材料特性の原因となる高次構造も未解明であることから、その全容解明には至っていない。しかし、その基本構造は炭素数5のイソプレン単位（イソペンテニル二リン酸、IPP）が *cis* 型に300～5000以上重合した *cis*-1,4-ポリイソプレンであり、その  $\omega$  末端には数個の *trans* イソプレン単位が含まれることが示されている（図1）。実は、このような構造のポリイソプレノイドは、重合度に違いはあれ、すべての生物が普遍的に有する。細胞内で糖鎖が合成される際、膜脂質が足場として利用されるが、それが *cis*, *trans* 混合型ポリイソプレノイド（重合度10～20程度）である。その生合成を触媒する *cis* 型プレニルトランスフェラーゼ

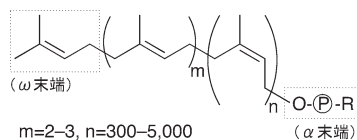


図1. 天然ゴムの基本構造。破線で示された両末端の構造は完全には解明されていない。

(cPT) は、一部の例外を除き、*trans* 型にイソプレン単位が数個重合した短鎖プレニル二リン酸を開始基質として *cis* 型重合を行うため、生成物の  $\omega$ -末端には必ず *trans* イソプレン単位が含まれる。そこで、天然ゴム合成酵素も cPT より派生した酵素であることが予想された。実際、パラゴムノキのラテックスより単離された cPT 相同遺伝子の機能解析の結果、組換え型タンパク質をラテックス成分とともに反応させることで、*in vitro* において IPP から天然ゴムに相当するポリイソプレノイドが生成されることが示された<sup>1)</sup>。また、ロシアタンポポのラテックスから同定された cPT を RNAi により抑制した形質転換植物では、有意にラテックス中の天然ゴムが減少していることが示され<sup>2)</sup>、cPT が天然ゴム生合成の鍵酵素であることが *in planta* でも証明された。しかし、cPT 単独では天然ゴム生合成活性を示さないことから、別の因子による活性化や重合度の制御が示唆された。

ラテックス中では、疎水性の天然ゴムは脂質一重膜で覆われたゴム粒子 (RP) として存在する。興味深いことに、この構造はトリアシルグリセロールを内含する細胞内構造体である脂肪滴と類似である。RP の膜上に存在する cPT が細胞質ゾル中の IPP を重合し、伸長したポリイソプレン鎖が RP 内部に順次収容されるという機構が提唱されていることから、RP 上の他のタンパク質が cPT の活性制御に関与する可能性が想定されてきた。以前より、RP 膜上には rubber elongation factor (REF) や small rubber particle protein (SRPP) と呼ばれるタンパク質ファミリーが非常に多く存在することが知られており、当然、それらの重要性も示唆されていたが、近年、それらがラテックスのコロイド安定性に寄与していることが示された<sup>3)</sup>。また、SRPP ファミリーは非ゴム生産植物にも普遍的に存在し、細胞内における脂肪滴表面に局在することが明らかにされたため、このタンパク質ファミリーが細胞内における疎水性成分の収容機構に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。一方、これらのタンパク質が cPT の活性制御にも関与しているかどうかは、今後の研究課題として残されている。

一昨年、パラゴムノキのドラフトゲノム配列解析が報告され<sup>4)</sup>、天然ゴム生合成研究の一層の加速が想定される。その成果は、天然ゴムのみならず、有用疎水性成分を高生産する植物の開発へと展開されていくことが大いに期待される。

- 1) Asawatratanakul, K. et al.: *Eur. J. Biochem.*, **270**, 4671 (2003).
- 2) Post, J. et al.: *Plant Physiol.*, **158**, 1406 (2012).
- 3) Berthelot, K. et al.: *Biochimie*, **106**, 1 (2014).
- 4) Rahman, A. Y. et al.: *BMC Genomics*, **14**, 75 (2013).