

## 植物細胞壁研究のフロンティア

大橋 貴生

近年、CO<sub>2</sub>による地球温暖化への配慮から炭素循環量に増減を与えないカーボンニュートラルなバイオ燃料への期待が高まり、バイオエタノールやバイオディーゼルなどの生物工学分野における専門用語を一般のニュースで聞く機会が増えてきた。これらのバイオ燃料はバイオマスから微生物などの力を利用した醗酵により生産される。

バイオマスの大部分は植物の細胞壁に由来し、主にセルロース、ヘミセルロース、ペクチンと呼ばれる多糖から構成されている<sup>1)</sup>。その中でもセルロースは地球上でもっとも多量に存在するバイオマスである。セルロースはグルコースがβ1,4-グリコシド結合で直鎖状に連なった多糖の集合体である。その集合体内では30から50本の多糖が互いに水素結合で集合し力学的に強固なセルロース微繊維を形成し、植物体を構造的に支えている。ヘミセルロースはキシログルカンやキシランと呼ばれる、それぞれグルコースやキシロースがβ1,4-グリコシド結合で直鎖状に連なった多糖から構成されており、セルロース微繊維を水素結合により架橋している。ペクチンはガラクトuron酸を多量に含む酸性多糖で、ホモガラクトuronナン (HG)、ラムノガラクトuronナン-I (RG-I)、ラムノガラクトuronナン-II (RG-II) から構成され、HGが主要な構成成分である。セルロースやヘミセルロースでは糖がβ1,4-グリコシド結合で連なっているのに対し、HGとRG-IIはガラクトuron酸がα1,4-グリコシド結合で直鎖状に連なったポリガラクトuron酸を主鎖として有している。またRG-Iはラムノースとガラクトuron酸が交互に結合した2糖繰り返し構造を主鎖に有する。HG内のガラクトuron酸残基のカルボキシル基は大部分がメチルエステル化されているが、その程度は植物種、組織、発生ステージにより異なる。このメチルエステル基はメチルエステラーゼの作用より脱エステル化され、ホモガラクトuronナンはカルシウムイオンにより架橋され、ゲル化する性質を有する。このゲル化の性質はジャムやゼリーなどの食品産業に利用されている。植物細胞壁はこれらの構成成分が持つ物性により、しばしば鉄筋コンクリートに例えられて説明され、その場合、セルロースが鉄筋、ヘミセルロースが鉄筋間を結びつける針金、1次細胞壁の場合にはペクチンがセメントに相当する。

セルロースおよびヘミセルロースの生合成酵素の研究は比較的進んでおり、それぞれの主鎖を合成する酵素遺伝子が同定されている。その中でもキシランだけは候補

遺伝子の変異体解析などから合成能が予測されているものの、合成遺伝子の同定には至っていなかった。2014年になってヒメツリガネゴケの*IRX10* 遺伝子産物がキシラン合成活性を有することが初めて示された<sup>2)</sup>。一方、ペクチンにおいてはその複雑な糖鎖構造から生体内の構造を反映した基質の調製が難しく、長年、酵素遺伝子同定はおろか酵素活性測定系の構築ですら困難であった。また、ペクチンは高等植物特異的な構造であり、微生物に生合成遺伝子のオルソログの存在が期待できないこともあり、HGの主鎖の生合成に関与するガラクトuron酸転移酵素の酵素活性が1965年に報告されて以来<sup>3)</sup>、近年まで当該遺伝子は未知のままであった。約40年の歳月を経て、2006年にHGの主鎖であるポリガラクトuron酸の合成に関わるガラクトuron酸転移酵素についてはシロイヌナズナから部分精製されGAUT1 遺伝子が同定された<sup>4)</sup>。他にも、RG-Iの合成に関わるβ1,4-ガラクトース転移酵素遺伝子 (GALS1)、RG-IIの合成に関わるα1,3-キシロース転移酵素遺伝子群 (RGXT1-4) などが同定されているが<sup>5)</sup>、ペクチン生合成に必要なと予想されている全糖転移酵素の数からすればほんの一部に過ぎない。

上述のように、ようやく最近になってペクチン生合成酵素遺伝子の同定が始まったところである。ペクチンは高等植物に普遍的に見られるにもかかわらず、基本的な生合成メカニズムの理解が進んでいないことは驚くべきところである。ペクチン生合成メカニズム解明のための生合成酵素の同定・解析には、日本人が得意とする緻密な生化学的な解析が必須である。生合成メカニズムが明らかになれば、ペクチンを含む細胞壁合成関連遺伝子の破壊により、分解しにくい構造の含量を減らした細胞壁へと改変することが可能となり、微生物による効率的なバイオマスの活用技術の開発へとつながる。今後、この分野において日本人研究者およびグループが主となって多大な貢献をしていくことを期待したい。

- 1) 西谷和彦ら：植物細胞壁，講談社 (2013)。
- 2) Jensen, J. K. *et al.*: *Plant J.*, **80**, 207 (2014)。
- 3) Villemez, C. L. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **54**, 1626 (1965)。
- 4) Sterling, J. D. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 5236 (2006)。
- 5) Atmodjo, M. A. *et al.*: *Annu. Rev. Plant Biol.*, **64**, 747 (2013)。