

バイオマスの有効利用を妨げる渋滞問題

大槻 隆司

ハイシーズンの高速道路や、都会の一般道路では、しばしば自動車の交通渋滞が起こる。最近では道路拡幅工事や渋滞情報の細密化により、50 km以上にわたる長大な渋滞というのはあまり聞かなくなったが、読者諸兄にも、「渋滞が好きだ」という方はあまりおられないと思う。エネルギー消費や環境影響、社会の効率化などの観点からも、渋滞は好ましくない問題である。渋滞の解消については、東京大学の西成が渋滞学を提唱し、たとえば高速道路を走る車の中に、前者との車間距離40 mを保ち、なるべく一定速度で走る車が混じるだけで渋滞が阻止できるといった興味深い実証実験を行っている¹⁾。

バイオマスの利用においても、渋滞現象が問題となっている。といっても、バイオマス物資の輸送などに関わる話ではない。本稿では、最近、バイオマスの糖化に関するナノレベルの研究において観察された「渋滞」について紹介する。

バイオマスの有効利用にあたり、結晶性セルロースの酵素糖化の効率化は重要な課題である。五十嵐らは、代表的な木材腐朽菌 *Phanerochaete chrysosporium* が有するセロビオハイドrolラーゼ (PcCel7D) と *Trichoderma reesei* が有するセロビオハイドrolラーゼ (TrCel7A) の構造が非常によく似ていることに着目し、それらの結晶性セルロース分解機序について多方面から比較した。その結果、これまで重点的に収集の行われてきたセルロース結合ドメインと活性ドメインの生化学的情報だけでは不十分で、両ドメインの基質に対する親和性のバランスやドメイン同士の協調性といった要素を総合的に評価する必要性を示している²⁾。さらに最近、五十嵐らは、高速原子間力顕微鏡 (HS-AFM) を駆使して、TrCel7A がセルロースを分解する様子を撮影することに成功した³⁾。以前の研究で、結晶性セルロース (cellulose Ia) を超臨界状態アンモニアで処理 (cellulose III_I) すると被糖化性が飛躍的に増大することが知られている⁴⁾。HS-AFMの結果からは、cellulose Ia ではTrCel7A分子が結晶の上面のみに次々ととりつき、セルロースの還元末端から被還元末端の方向へ加水分解を行いながら進行していく、いわば単車線道路を一方通行で移動していく様子が観察されたのに対し、cellulose III_I ではTrCel7A がとりつくことのできる疎水性表面が増え、複車線道路を一方通行する状態になっていることが明らかとなった。つまり、セルロース糖化においても、高速道路の渋滞解消

策と同様に、走行車線の数を増やすことが効率化に重要であることが示された。

この研究ではさらに興味深い現象が観察されている。特に cellulose III_I 表面においては「ささくれ」のような障害物が所々に見られるが、この障害物に突き当たると TrCel7A は単一分子ではそれ以上加水分解を行いながらセルロース表面上を進むことができなくなる。しかし、このセルロース製の高速道路は、複車線とはいっても1車線の幅が車 (TrCel7A分子) の幅よりも狭く、車線変更も許されていないので、停止した車の後ろから同じ車線を来た車や隣の車線を通行していた車が、停止した車に行く手を阻まれ、「交通渋滞」が起きることが明らかとなった。我々が車を運転しているときならばイライラしながら障害物が撤去されるのを待つしかない状況であるが、驚いたことに、セルロース高速道路上では、渋滞 TrCel7A分子が複数個たまと、後続の TrCel7A たちが先頭の TrCel7A を押して障害物を乗り越え、進行を再開したのである。

Science誌の Supporting Online Material には HS-AFM 観察像の動画もアップされている。画像の撮影にかかる時間は1フレームあたり300 msであり、これまでの解析結果から計算される、TrCel7A分子が1回のセルロース加水分解にかかる (1セロビオース分子を切り出す) 時間は140 msであるので、加水分解の様式を詳細に解析するための時間解像度としてはまだ十分ではないが、TrCel7Aが渋滞する様子や、後ろの TrCel7A に押されて前の TrCel7A が再び進み出す様子ははっきりと捉えられている。後続の TrCel7A の助けを借りて反応が再開されるとはいえ、セルロース表面のあちらこちらでかなりの時間にわたり糖化反応が停止している場面があることは容易に推定でき、この交通渋滞の原因を解消することでセルロース糖化の効率をさらに増大させることが期待される。

我々の社会と同様に、セルロースの酵素糖化効率増大には車 (酵素) 自体の性能を向上させることも重要であるが、道路 (セルロース表面) の整備方法を考えることも重要な課題となりそうである。

- 1) <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/tknishi/>
- 2) 五十嵐, 鮫島: 化学と生物, **47**, 323 (2009).
- 3) Igarashi, K. *et al.*: Science, **333**, 1279 (2011).
- 4) Igarashi, K. *et al.*: FEBS J., **274**, 1785 (2007).