

生物材料利用の基礎科学

木や草から医薬品や食品、様々な素材を作り出すことを可能とするセルロース分解酵素「セルラーゼ」。セルロース系バイオマスの有効利用を妨げている本酵素の「遅さ」が、分子レベルの渋滞に因ることを最先端の顕微鏡を使って明らかにしました。

木や草から様々な物質をつくる

セルロースは、植物細胞壁の約半分を占めるグルコースのポリマーで、天然に最も豊富に存在するバイオマスです。今後私たちが低炭素かつ循環型の社会を構築するためには、木や草などのセルロース系バイオマスから、バイオ液体燃料や化成品原料をいかに低エネルギー・低コストで生産できるかが鍵となりますが、セルラーゼによるセルロース分解反応の遅さが大きな障壁となっています。

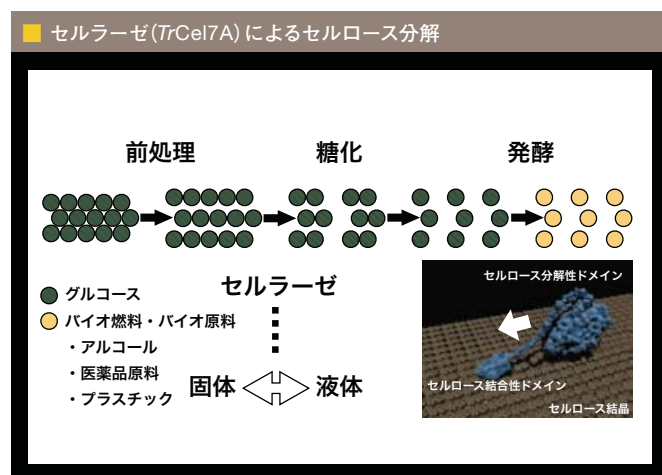
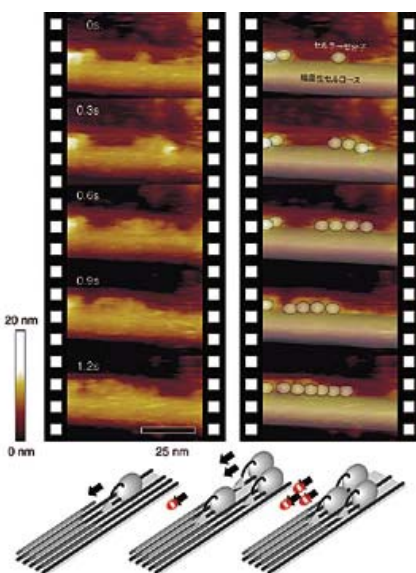
セルラーゼはセルロース表面で渋滞に巻き込まれている

私たちは、高速原子間力顕微鏡という最先端の顕微鏡を用いて、セルラーゼ (*TrCel7A*) が結晶性セルロースを分解する様子を、ナノメートルの空間分解能、1秒以下の時間分解能で経時的に観察しました。その結果、*TrCel7A*分子がセルロース表面で「渋滞」しており、さらに活性化されたセルロースでは、「車線」が増えることで渋滞が解消されることも明らかにしました。また、別の酵素 (*TrCel6A*) を添加することで、結晶性セルロースの表面に「入口」と「出口」が作られて、*TrCel7A*が渋滞せずに効率良く動けるようになっている様子も観察されました。

渋滞解消がセルロース系

バイオマスの利用を実現する

酵素分子が「渋滞」という今回の発見は、基礎科学的に重要な知見であるだけでなく、セルロース系バイオマスを効率良く変換するために役立つと考えられます。車の渋滞解消が物流の効率を高めるように、セルラーゼの渋滞解消がセルロース系バイオマスの利用を促進するのです。



セルロースの生化学的変換プロセスと結晶性セルロース表面における*TrCel7A*。セルラーゼは固体であるセルロースを可溶化する酵素なので「固液界面で働く酵素」といえますが、その複雑な反応を行うためにセルロース結合性ドメインとセルロース分解性ドメインから構成されています。

教えて! Q&A

セルラーゼ

セルロースを加水分解する酵素の総称で、細菌や真菌などの「分解者」が木や草などのセルロース系バイオマスを資化するために利用します。ほとんどのセルラーゼは非晶性のセルロースを効率良く分解できますが、結晶性セルロースを分解できる酵素は数も限られており反応速度も遅いことから、いかに効率良く結晶性セルロースを分解できるかがセルロース系バイオマス有効利用の鍵と考えられています。

高速原子間力顕微鏡

原子間力顕微鏡は、探針（プローブ）を観察対象の表面に沿って走査することで観察対象の形の情報（画像）を得ますが、従来の原子間力顕微鏡は1画像取得するのに数分を要していたため、対象物の変化をリアルタイムで追うことは困難でした。金沢大学の安藤敏夫教授らのグループは様々な改良を行うことで走査の高速化に成功し、リアルタイムで画像が撮れる高速原子間力顕微鏡を世界で初めて開発しました。

高速原子間力顕微鏡で観察された結晶性セルロース表面における*TrCel7A*分子の渋滞。時間の経過とともに*TrCel7A*分子の渋滞が伸びていく様子が観察されます。セルロース結晶表面における分子レベルの段差や、止まってしまった分子に妨げられて動けなくなる*TrCel7A*分子の数がどんどん増えていきます。

セルラーゼ分子の“渋滞”を可視化する



結晶性セルロース表面で酵素は分子レベルの渋滞に巻き込まれる 生物材料科学専攻 森林化学研究室 五十嵐 圭日子 准教授

