

炭酸カルシウムで脱炭素!?

生物が鉱物を作る現象をバイオミネラリゼーションと呼びます。

バイオミネラリゼーションの分子メカニズムを利用し、

二酸化炭素をカルシウムイオンに効率的に結合させ脱炭素を目指す研究を進めています。

太古の地球では二酸化炭素(CO₂)が大気中に高濃度で存在しました。現在の大気中にはCO₂は40 ppm程度しか存在していませんが、CO₂の多くが海水中のカルシウムイオン(Ca²⁺)やマグネシウムイオン(Mg²⁺)に結合し炭酸カルシウム(CaCO₃)などの炭酸塩鉱物として岩石中に存在するようになりました。一説では地球上で最も多い炭素の化学形態は炭酸塩鉱物だとも言われています。これらのCaCO₃のほとんどは生物の作用、すなわちバイオミネラリゼーションによって生成されたと考えられています。現在、大気中のCO₂が人間活動により急激に上昇し、地球温暖化などの環境変動が問題になっており、炭素を排出しない脱炭素社会の構築を目指すため、「GX(グリーン・トランスフォーメーション)する」ことが強く求められています。

太古の地球の大気中のCO₂を減らしたのはバイオミネラリゼーションによるものであるにも関わらず、脱炭素技術としてバイオミネラリゼーションはほとんど研究されていません。これは以下のような理由からだと考えられています。海水と同じpH8程度の水溶液にCO₂が溶け込むと重炭酸イオン(HCO₃⁻)の化学形態になるため、Ca²⁺と炭酸イオン(CO₃²⁻)が結合しCaCO₃が生成する際にプロトン(H⁺)が生じてpHが下がります。その結果としてCO₂が水溶液から放出されるので、大気中のCO₂を上昇させる反応であると考えられてきたためです。しかし、近年の最新の



応用生命化学専攻
分析化学研究室
鈴木道生 准教授

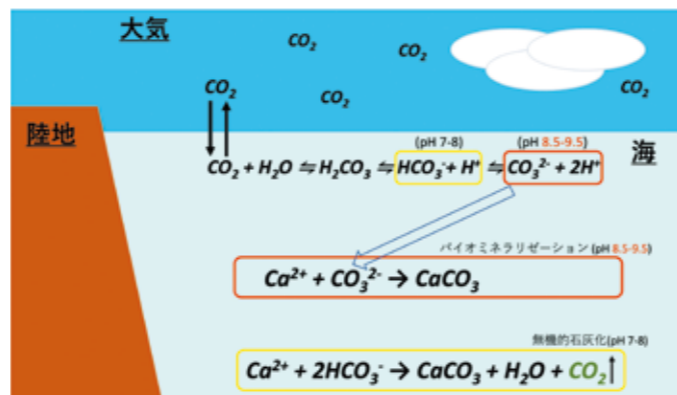


図1: 海洋中のCaCO₃の生成反応

バイオミネラリゼーション研究により、石灰化の場合のpHの上昇とCa²⁺とCO₃²⁻を効率的に結合させる特殊なバイオミネラル有機分子の存在などが明らかとなり、このメカニズムを環境技術として用いれば直接的に大気中にCO₂を放出することなく海水中でCaCO₃を生成できることが示唆されてきました。バイオミネラリゼーションによる脱炭素研究の基礎と応用について、他大学や企業、東京大学が主催するバイオミネラリゼーション研究会との連携により推進しています。

教えて! Q&A

バイオミネラリゼーション

生物が生体の内外に無機元素を含む鉱物を生成する現象のことです。炭酸カルシウム、リン酸カルシウム、ケイ酸、マグネサイトなど様々な鉱物を生成することが知られていますが、地球上で最も多いバイオミネラルは炭酸カルシウムです。炭酸カルシウムはサンゴ、ウニ、貝類、甲殻類、藻類、有孔虫など様々な生物が生成します。

炭酸カルシウム

Ca²⁺とCO₃²⁻から成る鉱物で、原子の並びの違いによりcalcite、aragonite、vateriteなどの多形があることが知られています。バイオミネラリゼーションの生成反応においては、急激なpH上昇と特殊なバイオミネラル有機分子などの作用により不定形の炭酸カルシウム(ACC)がまずは沈着し、それから多形や形態、方位などが厳密に制御されたCaCO₃が効率よく結晶成長すると考えられています。



図2: バイオミネラリゼーションによるカーボンサイクル

詳しくはこちら、【分析化学研究室】

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/analchem/index.html>

【バイオミネラリゼーション研究会】 <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/biomineral/index.html>

生産農学がリードする本当の“GX”



グリーン・トランスフォーメーション(GX)ときいて何を想像しますか?

工業化のようにドラマチックなものだけではありません。生物の力を借りて持続的なシステムを作ること、それが我々のミッションです。

樋口 世界的に脱炭素化への機運が高まっていますが、農業分野でも食料の安定供給と持続性を両立するための変革が求められています。“GX”に対する生産農学分野の役割や今後の農業活動のあり方について議論したいと思います。

根本 “GX”からは再生可能エネルギーや緑化による炭素貯留をイメージしやすいですが、実は農業活動そのものが温室効果ガスの大きな排出源となっています。まず、戦後の農業生産を支えてきた化学肥料の削減について伺います。

青木 施肥された窒素肥料のうち作物に吸収・利用されるのは半分以下で、土壌に残った窒素は水質汚染や温室効果ガス(N₂O)の排出に繋がっています。化成肥料の使用量を抑える努力がなされていますが、作物自身の土壌窒素利用効率を上げることも重要です。我々の研究室では、麹菌由来の遺伝子を導入することでイネやジャガイモの窒素吸収力の強化に成功しています。今後は圃場レベルでの研究が必要ですが、その際には土壌微生物との相互作用を含めて解析する必要があります。

根本 家畜由来に加えて農業廃棄物由来のメタン発生も重要な課題です。昆虫を使った廃棄物処理のお話を伺いたいです。

霜田 昆虫を使った有機廃棄物処理方法として、腐食性昆虫のミズアブが注目されています。ミズアブは体外消化という能力をもち、人や家畜の糞尿や腐ったものでさえ食べて「同化」することができます。成長したミズアブは栄養価が非常に高く、イワシなどの魚粉(家畜のタンパク源)が枯渇する中、その代替飼料として期待が高まっています。また、ミズアブを利用することで、有機廃棄物の焼却等で排出されているCO₂を削減することができます。当研究室では、ミズアブの処理過程で放出されるCO₂やメタンの発生分析を通じ、温室効果ガス発生を抑制する技術開発に取り組んでいます。

樋口 家畜由来のメタン抑制と飼料・水資源節約のため、食肉の代替として昆虫食が注目されていると聞きました。

霜田 現在、世界で約8億人が飢餓に苦しんでおり、今後一層食糧難が深刻化すると考えられています。FAOは地球規模での昆虫食の必要性を訴えており、欧州ではコオロギを使ったパンやビスケットが大手スーパーで販売されるなど、昆虫食の普及が加速しています。牛肉と比較してコオロギの飼育には1/10以下のエサ、1/50以下の

水で同等の栄養価(の肉)が得られ、生産時のCO₂排出量は1/1000未満とされています。

根本 農地造成に伴う森林破壊も大きな問題です。農地拡大を避けるために作物の反収を上げる必要があるかと思えます。

青木 反収増については、今後は植物体全体のバイオマスを向上させるような育種や栽培技術の開発がポイントになると思います。最近では、ドローンによる空撮画像からバイオマスや成長量を推定する技術の開発が進んでおり、バイオマス生産性に優れた育種材料の選抜の高速化に繋がると期待されます。

根本 森林の造成も重要だと思いますが、最近では作物育種の手法が樹木育種に役立っていると聞きます。

岩田 我々の研究室では、民間と共同でカラマツの遺伝育種学的研究に取り組んでいます。現在は、リモートセンシングを用いた林木のデジタルフェノタイプングに注力していますが、今後はゲノムデータと結びつけて成長予測モデリングを行う予定です。最終的には、過去の気象データと年輪に

刻まれた成長量の変化をもとに、個々の木の成長に見られる遺伝子型と環境の相互作用のモデル化も行い、成長が良く二酸化炭素固定が効率的にできる品種を育成する、あるいは、将来の気候変動にも耐えうる品種を育成することができるので

はと考えています。
根本 最後に、途上国を含む海外での農業開発についての展望をお聞かせください。

鴨下 先進国の企業的な穀物生産は、化学肥料を大量に投入する多投多収システムで、これは中国やベトナムにも当てはまります。“GX”を世界的に推進していくには、化学肥料の吸収・利用効率の向上、スマート農法の開発、有機栽培体系への転換が重要です。これまで有機農法は生物間相互作用(微生物、昆虫等)の複雑性から技術の普及が難しく、主流ではありませんでしたが、最近再び注目を集めています。今後は、有機栽培体系に転換した場合の適性品種開発も課題です。インドでは州政府が、化学肥料に依存しないSRI農法や自然農法の普及を推進してきました。高い人口増加率で開発志向が強い途上国にとっても、農業生態系の生物を理解して、代替的な持続可能な生産システムを展望できることは、重要だと思います。



左上から時計回りに
樋口洋平准教授・鴨下顕彦准教授(附属アジア生物資源環境研究センター)・青木直大准教授・霜田政美教授・根本圭介教授・岩田洋佳准教授(鴨下准教授以外:生産・環境生物学専攻所属)