



第 65 回東京大学農学部 公開セミナー

「 GX ってなんだろう？ 」

講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

#### 【 開会の挨拶 】

挨拶 研究科長 中嶋 康博

13:35 ~ 14:25

#### GX の新潮流「ネイチャーポジティブ」

生圏システム学専攻 准教授 橋本 禪

#### 【 休憩（10分） 】

14:35 ~ 15:25

#### バイオミネラリゼーションの炭素循環～炭酸カルシウムは炭素固定 に貢献するのか？～

応用生命化学専攻 教授 鈴木 道生

#### 【 休憩（10分） 】

15:35 ~ 16:25

#### 森林 DX から森林 GX へ：北海道演習林の挑戦

附属演習林 准教授 尾張 敏章

#### 【 閉会の挨拶 】

司会 准教授 関澤 信一

日時 2023年10月21日（土） 13:30～ 16:30  
場所 ハイブリッド開催（現地：弥生講堂一条ホール）  
主催 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部  
共催 （公財）農学会

# GX の新潮流「ネイチャーポジティブ」

生圏システム学専攻 准教授 橋本 祥

## 1. はじめに

日本ではGXは、脱炭素の文脈で使われることが多い。ただしGXの射程は必ずしも脱炭素に留まるものではない。東京大学もGXを行動計画に位置づけている。東京大学ではGXを「持続可能で包摂的な社会を実現する手段として、自然システムの限界を超えないように、公正な移行を前提としながら、社会経済システムを環境再生型なものに変化していくこと」と定義し、カーボンニュートラル、ネイチャーポジティブ、サーキュラーエコノミーをその柱としている。本講演では、東京大学のGXの柱の1つであり、国内でも急速に注目を集めているネイチャーポジティブをテーマに、本概念が注目を集めるに至った背景や、本概念をめぐる国際的な議論の方向性について解説する。

## 2. ネイチャーポジティブとは？

ネイチャーポジティブとは、一般に、「2020年を基準に、2030年までに自然の喪失を食い止め、回復させること」や「自然が、現在よりも優れた将来の状態のこと」のように定義される。ここでいう自然は生物多様性を意味するが、自然資本や生態系サービスを含むこともある。ネイチャーポジティブが注目されているのは、世界規模で生物多様性の損失が急速に進み、持続的な発展を脅かす恐れがあるとの科学的知見が積み重ねられてきたからだ。

## 3. ネイチャーポジティブが注目を集めるようになった背景

本概念が国際的に注目されるようになった背景として、いくつかの出来事をあげることができる。第1は、2001年から2005年にかけて実施されたミレニアム生態系評価(MA)である。MAは、生物多様性がさまざまな生態系サービスを産み出す基盤であること、生物多様性は生態系サービスの供給を通じて人類の福利の向上に貢献していることを科学的に検証し、人類の持続的な発展のうえで生物多様性保全が重要であることを示した。

第2は、2012年4月の「生物多様性及び生態系サービスに関するプラットフォーム(IPBES)」の設立である。IPBESには、生物多様性や生態系の最新の知見を科学評価(アセスメント)し、報告書を取りまとめ、共通の情報基盤を提供することで、生物多様性条約をはじめとする多国間環境協定の交渉、関係する国際機関や加盟国等の政策形成・意思決定を支援することが期待されている。IPBESは設立から2023年9月までに計13件の報告書を公表し、生物多様性を巡る国内外の議論に大きな影響を与えてきた。その1つが2019年5月に公表された地球規模評価である。地球規模評価では、①約100万種の生物が絶滅の危機に瀕していること、②過去50年間で人類は食料や木材等の生産の大きな拡大に成功したが、他方で遺伝子資源、花粉媒介、気候調節や水質・量の調節、土壌生成等の調整サービス(生態系サービスの一つ)が減少傾向にあること、③これら低下・減少には直接的には土地・海域

の利用、直接採取（漁獲・狩猟など）、気候変動、汚染、侵略的外来種などの要因（総称して「直接要因」と呼ばれる）があること、④世界的に注目される気候変動に関する目標の達成だけでは中長期的な生物多様性の損失や調整サービスの減少が免れないこと、⑤直接要因に焦点を当てた従来型の対策では生物多様性の損失傾向を止めることは難しく、直接要因を形成する生産や消費、貿易、ガバナンスなどの間接要因に対する対策も重要であること、等が指摘された。このうち④については、IPBES は IPCC が 2021 年 6 月に公表した「生物多様性と気候変動に関する共催ワークショップ報告書」のなかでも強調されている。本報告書は、気候変動と生物多様性は相互依存関係にあり、気候変動だけに焦点を当てた対策（再生可能エネルギー発電施設の建設、吸収源対策としての大規模植林、エネルギー作物の大規模単一栽培、など）は、潜在的に生物多様性の損失を引き起こしうること、気候変動と生物多様性の間にトレードオフの少ない対策の導入の必要性を指摘している。

#### 4. 社会全体でのアプローチに向けて

このような生物多様性と社会の繋がりや、生物多様性の損失の傾向や要因についての科学的知見の積み重ねは、2019 年 G7 メッス環境大臣会合での「メッス生物多様性憲章」、2020 年 9 月の国連生物多様性サミットでの「リーダーによる自然への誓約」、2021 年 6 月 G7 サミットでの「2030 年自然協約（Nature Compact）」の採択へと繋がった。2030 年自然協約は「ネットゼロを達成するのみならず、…ネイチャーポジティブを達成しなければならない」としている。これらはいずれも生物多様性の保全に向けた強いアクションの必要性を訴えるものだ。ビジネスセクターでも近年、生物多様性の損失への危機意識が急速に高まり、企業活動が生物多様性に及ぼす影響や生物多様性に配慮した企業経営等に関する情報開示が動き出している。このような政治・経済の動向のなかで、2022 年 12 月に生物多様性条約の生物多様性条約「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」が成立した。本枠組みには 2030 年までに達成する 23 の目標が位置づけられている。その実現には政府だけでなく企業や市民等のさまざまなアクターが関与する社会全体でのアプローチが重要性とされている。日本は、本枠組に対応し 2030 年までにネイチャーポジティブを実現するべく、生物多様性国家戦略 2023-2030 年を本年 3 月に閣議決定した。このような動きは今後もますます強まっていくだろう。

# バイオミネラリゼーションの炭素循環

## ～炭酸カルシウムは炭素固定に貢献するのか？～

応用生命化学専攻 教授 鈴木 道生

### 1. バイオミネラリゼーションとは

バイオミネラリゼーションとは生物が鉱物を生体の内外に生成する現象のことであり、単細胞生物から高等動物に至るまで様々な生物に見られる。その中で藻類や無脊椎動物が形成する炭酸カルシウムのバイオミネラルは石灰岩の起源として知られており、地球上の炭素のバイオマスの大きな部分を占めると考えられている。このような生物が作る炭酸カルシウムは結晶の形態や多形、方位や欠陥密度などが緻密に制御されており、これはバイオミネラルに含まれる少量の有機基質が重要な役割を果たすと考えられてきた。しかしながら、このような有機基質がどのような構造で、どのような機能を有するのか多くのことが未解明である。バイオミネラルに含まれる有機基質の構造と機能を明らかにすることで、高機能な炭酸カルシウム材料の創成や効率的な石灰化反応に応用できると期待される。

### 2. バイオミネラリゼーションのメカニズム

本講演では主に日本では真珠養殖に利用される貝類であるアコヤガイを炭酸カルシウムのバイオミネラルのモデルとして紹介する。アコヤガイの貝殻には複数の微細構造が存在しており、外側は常温常圧で最安定な炭酸カルシウムのカルサイト結晶から成る稜柱層、内側は常温常圧で準安定な炭酸カルシウムのアラゴナイト結晶から成る真珠層、二枚貝の蝶番部分にはアラゴナイト結晶のナノファイバーを含む靱帯から構成される。このよ

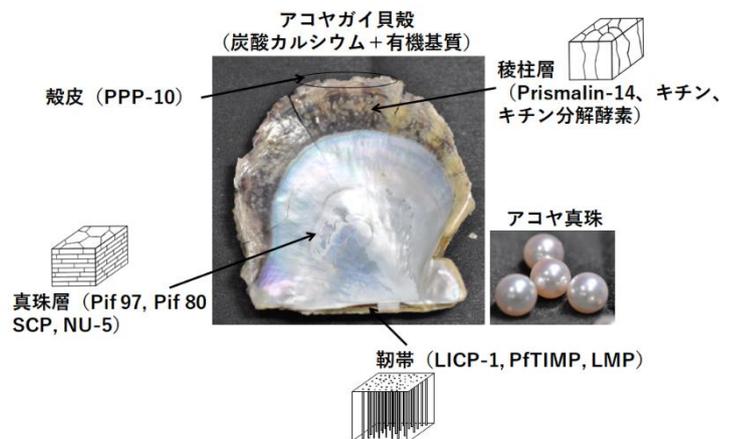


図1 アコヤガイ貝殻の微細構造

うにアコヤガイは形態も多形も全く異なる微細構造を一つの貝殻内に同時に形成できるということが最大の特徴である。これまでの研究から、真珠層からは真珠層特異的基質タンパク質 Pif を見出し、主に真珠層における扁平状アラゴナイト結晶の枠組みを作る有機基質の形成とアラゴナイト結晶との相互作用を行う役割があることを示した。Pif はこれまで見つかったタンパク質と同一性が全くない軟体動物のみに含まれる新規の配列であることが分かり、酸性アミノ酸と塩基性アミノ酸を非常に多く含む low complexity region を有することも判明した。このような low complexity region の酸性アミノ酸が炭酸カルシウム内のカルシウムイオンと相互作用することを、核磁気共鳴法 (NMR) を用いた解析により明らかにした。また、稜柱層

においてはキチン分解酵素が柱状のカルサイト結晶の内部に含まれることが分かり、キチン分解酵素が石灰化の過程で働くことでキチンをナノファイバー化することが分かった。ナノファイバーキチンはカルサイト結晶内部に結晶欠陥を多数導入することで結晶のへき開を防いでいると考えられる。さらに、二枚貝の蝶番部に存在する靱帯のアラゴナイトナノファイバーには、アラゴナイト結晶を短針状にさせる LICP という新規のペプチドが含まれることが判明した。短針状のアラゴナイト結晶はメチオニンに富む新規のタンパク質 LMP による有機基質の枠組みの中で整列することで長いナノファイバーとなることが示唆された。

### 3. バイオミネラリゼーションと脱炭素

脱炭素技術の開発は日本だけでなく、世界的に重要な課題であり、あらゆる手段を用いて二酸化炭素排出量を削減する試みがなされている。地球上で最も多い炭素の化学形態は炭酸カルシウムであり、全体の約 8 割が石灰岩中に存在するとも言われ、石灰岩生成のフラックスをほんの少し変動させるだけで、大気中の二酸化炭素の挙動は劇的に変化することが期待される。石灰岩のほとんどは生物由来で合成されたものであり、脱炭素技術開発においてバイオミネラリゼーションは研究すべき対象であると言える。しかしながら、これまでの研究では炭酸カルシウム生成に伴う海水の pH 低下により、バイオミネラリゼーションは炭素固定に寄与しないと結論付けられてきたため、脱炭素技術の開発において生物による石灰化反応は全く考慮されて来なかった。そのため人類はセメント製造や製鉄において大量に石灰岩から二酸化炭素を排出しているにも関わらず効率的に海水から炭酸カルシウムを生成する技術を人類は現代においても有していない。バイオミネラリゼーションを研究することで効率的にカルシウムイオンと炭酸イオンを出会わせ、炭酸カルシウムを生成する技術を開発することが求められている。



図2 バイオミネラリゼーションによる脱炭素サイクル

# 森林 DX から森林 GX へ：北海道演習林の挑戦

附属演習林 准教授 尾張 敏章

## 1. 北海道演習林へようこそ！

東京大学北海道演習林（北演）は 1899（明治 32）年、北方林業ならびに林学の研究・教育を目的として創設された。北海道中央部に位置し、「富良野の樹海」とも呼ばれている。所管面積は 22,717ha あり、JR 山手線内側の面積の約 3.5 倍に相当する。トドマツやエゾマツなどの針葉樹と、シナノキやダケカンバ、イタヤカエデなどの広葉樹が混交する「針広混交林」が主に広がる。北演では 1958（昭和 33）年から 65 年にわたって、「林分施業法」に基づく森林管理実験を事業的規模で一貫して続けている。演習林内には国の天然記念物に指定されているクマゲラをはじめ希少な動植物が生息し、森林生態系の保全と再生可能な木材資源利用との調和・両立が図られている。

## 2. 「林分施業法」による持続可能な森づくり

林分施業法では、樹木の密度や種類・大きさ、天然更新の良否などでいくつかの森林タイプ（林種）に区分し、伐採や造林（施業）は各林種の林分状況に応じて行う。写真の森は一見、手つかずのようだが、実は過去 60 年間に計 6 回の択伐（抜き伐り）が行われている。くり返し伐採されてもなお、森林蓄積は増えている。約 2 万 ha の施業対象森林のうち、持続的な択伐施業が可能と判断された天然林を対象として、15 年または 20 年ごとに材積伐採率 10～17% の単木択伐を実行している。



写真 くり返し択伐が行われた天然林（出典：東京大学北海道演習林）

## 3. 林分施業法の DX（デジタルトランスフォーメーション）

北演では 2000 年代後半以降、地理情報システム（GIS）や全球衛星測位システム（GNSS）、レーザー計測（LiDAR）、無人航空機（UAV）といった空間情報技術、またタブレット端末など

のデジタル機器を積極的に導入し、天然林択伐施業の DX を先駆的に進めてきた。2008 年からレーザーコンパス測量システムを、2012 年から GNSS 受信機を、林種区分測量に導入してきた。2021 年からは低価格の 2 周波 RTK 搭載 GNSS 受信機を使用している。測位精度は実用上十分であり、測位時の端末操作もきわめてシンプルで、測量作業のワンマン化が実現している。北演では、演習林全域で航空機 LiDAR データとオルソ空中写真の整備が完了しており、毎年の施業対象区域の UAV 空撮も行っている。様々な空間情報をタブレット端末上で参照しながら林種を画定できるようになったことで、測量作業の効率が飛躍的に向上している。収穫調査の際にはハンディ GNSS 受信機を携帯し、調査者の歩行軌跡を記録している。調査野帳にはタブレット端末を使用し、野帳入力と歩行軌跡の時刻を同期することで、GNSS 受信機の操作なしに各収穫木の位置座標を取得できる。個々の収穫木の位置を施業区域図上に表示でき、立木購入業者による収穫木の探索や、伐出業者に対する伐採監護作業の効率化につながっている。

#### 4. 森林 DX を通じた森林 GX の実現へ

森林の CO<sub>2</sub> 貯留量・吸収量を推定する際の基礎となる森林蓄積は、標準地調査から単位面積当たりの平均蓄積を小班別・林種別に算出し、林種ごとの面積を乗じて算出している。森林構造の多様性と森林資源分布の不均一性を考慮したより精緻な蓄積査定を行うため、航空機 LiDAR や UAV 写真測量を用いた推定手法の開発に取り組んでいる。また、毎年の施業対象区域を対象とした UAV 撮影をルーチン化し、標準地データや収穫木の単木位置データと組合せて解析することで、伐採に伴う森林蓄積や種構成の長期的変化を広域かつ詳細で把握できる体制を構築している。さらに、地上 LiDAR や UAV-LiDAR、マルチスペクトル UAV の活用や、人工知能 (AI) 技術の応用などの技術開発を進めている。北演はこれからも、森林 DX と森林 GX を先導し、森林・林業分野のイノベーションを切り拓く役割を担っていきたいと考えている。



東京大学基金プロジェクト

「北海道演習林創設 125 周年記念支援基金」

詳細は右の QR コードからご覧ください。



# 講演者プロフィール

はしもと しずか  
**橋本 禅**

生態システム学専攻 緑地創成学研究室

## 主な研究活動

自然の恵み（生態系サービス）の可視化や将来予測を通じた意思決定の支援を目指して研究を行っています。特に、土地利用や地形、気象・土壌などのさまざまな地理情報を活用することで、さまざまな生態系サービスの現在の空間分布やそれらサービスが将来的にどのように変化するかに注目して研究しています。

すずき みちお  
**鈴木 道生**

応用生命化学専攻 分析化学研究室

## 主な研究活動

生物が鉱物を形成するバイオミネラリゼーションにおける有機基質の構造と機能に着目した研究を進めています。特に真珠貝であるアコヤガイからは多くの新規の基質タンパク質や反応機構を発見しています。近年では炭酸カルシウムが地球環境の炭素循環に与える役割についても興味を持ち、脱炭素技術の開発も進めています。

おわり としあき  
**尾張 敏章**

附属演習林 北海道演習林

## 主な研究活動

北海道演習林をフィールドに、「林分施業法」に基づく混交異齢林（多様な樹種・サイズの樹木で構成され、複雑な林分構造を持つ森林）の管理に関する研究を行っています。近年は、GISやGNSS、LiDAR、UAV等の空間情報技術を積極的に導入し、森林情報管理の省力化・高精度化を進めるとともに、森林資源管理への応用に関する研究課題に取り組んでいます。