

平成30年度
地球環境『自然学』講座
第6回

テーマ
「微生物生態学から森里海の地域創生
までを展望する」

講 師

公立鳥取環境大学 環境学部教授
吉永 郁生 先生

平成30年6月23日
認定NPO法人・シニア自然大学校

講師プロフィール

吉永 郁生（よしなが いくお）



公立鳥取環境大学教授・地域イノベーション研究センター長（兼任）、京都大学農学博士、NPO 法人 SPERA 森里海－時代を作る理事、環境省 ETV 事業審査部会員、鳥取県農林水産技術会議委員、鳥取市環境審議会議長等

1962 年 京都市生まれ。1984 年 京都大学農学部水産学科卒業、同大学院農学研究科修士課程より博士課程に進む。1990 年 京都大学農学博士。1989 年 京都大学助手。2007 年同大学院助教。2013 年 鳥取環境大学（2015 年より公立鳥取環境大学）環境学部教授。2016 年 同大学地域イノベーション研究センター長。

学問領域は海洋微生物学、微生物生態学。学生、教員時代を通じて、海域を中心とした水域の細菌と微細藻の生態を、遺伝子を中心とした分子生物学的手法で研究していた。主なテーマは、「窒素の循環に関わる微生物の生態」、「赤潮原因微細藻を殺滅する細菌の生理生態」、「海藻、海草に付着する微生物被膜（バイオフィルム）の機能」等。現在は、2015 年より本学が文部科学省より指定された COC 事業（Center of Community、知（地）の拠点事業）の事業責任者として、公立鳥取環境大学（と地域との教育・研究・活動の連携を図るとともに、鳥取県や鳥取市の地方創生事業にも積極的に関与している。

著書等

『環境と微生物の辞典』（朝倉書店、共著）、『有明海再生の道』（花乱社、編）、『海の環境微生物』（恒星社厚生閣、共著）、『難培養微生物研究の最新技術Ⅱーゲノム解析を中心とした最前線と将来展望』（シーエム氏一出版、共著）、『Response of the ammonia oxidation activity of microorganisms in surface sediment to a controlled sub-seabed release of CO₂. International Journal of Greenhouse Gas Control, 38: 162-170』（共著）

微生物生態学から森里海の地域創生までを展望する

吉永郁生

1. 地域創生の基準（価値観）の再構築

「地域の価値とは何だろうか。」私が公立鳥取環境大学地域イノベーション研究センター（通称イノ研）を任されたときに、再度自分に問うてみた。「うまく機能しているとはいえないイノ研をなんとかしてくれ。」という前学長（高橋一前学長は昨年夏に急逝されました。）もともと私の研究領域は、海洋微生物学と微生物生態学という、まさに何の役に立つのかわからない基礎科学、しかもそれを分子（DNA やタンパク質などの生体分子）を用いて解析する学問である。社会学や経済学、少なくともちゃんとした水産学でもやっておればまだしも、主に海を含む水域全般の、有象無象の微生物の生き様をひたすら 30 年間研究してきた一学者には少々荷が重い。

しかし今になって考えてみると、私の微生物学者としての経験も最初の問いへの私なりの答えを得るため必要だったようだ。普通（特に現代では）、「価値」というと目に見える指標、端的に言う通貨的な価値を単位として、その多寡を比較するのが一般的である。しかし、長年環境中の微生物を眺めてきた私は、あらゆる環境になぜそこにいるのかわからない微生物がいかに多いか、ということを感じてきた。つまり、私たちが頭の中で考える理屈では、そこにいる理由のない微生物がいかに多いことかと実感する。微生物学の世界では、「有用微生物」研究者が多数を占めるが、その有用性の対象は「人間の価値」すなわち「どれほどの経済効果が生み出せるか」ということになる。そのような価値観で物事の理屈を考えていては、海の微生物の生き様はなかなか測れない。

私の考える「地域の価値」とは、風土、つまり固有の自然環境に基づく社会や文化の総体の中で人々が生きていく価値である。個々のパーツごとの価値、この場合は経済力や文化的価値などの通貨指標によって一般化しやすい価値ではなく、その組み合わせの中で生きていく全体の価値である。つまり「そこで生きていくことが好ましいかどうか。」という価値観である。いかに杉の木の経済的価値が高くとも、見渡す限りのスギ林の中で、果たして豊かな生活が送れるものなのか。

国の価値を、国民総生産（GNP: Gross National Production）ではなく、国民総幸福量（GNH: Gross National Happiness）で評価しようと考えた国がある。ブータンである。ブータンでは GNH の項目として、「健康」、「教育」、「文化」、「生活水準」、「環境」、などに加え、「コミュニティ」、「良い統治」、「自分の時間の使い方」、そして「心理的幸福」をあげている。

現在の日本は、「少子高齢化」や「都市一極集中」、「地域の疲弊」、そして「将来への漠然とした不安」など様々な問題を抱えているが、その原因は「自分たちの住んでいる地域の価値基準が都市化、グローバル化したこと」に一本化できるのではないだろうか。そう

するとその解決策は、「地域の価値を地域総体として再確認し、その向上を目指すこと」に尽きるのではないだろうか。たとえば鳥取の置かれた現状を考えると、まずは「鳥取に住む人々の GNH を向上するにはどうすればよいか。」から考え始めるべきであり、この視点からは、鳥取の価値は東京に引けを取らないのではないだろうか。そういうわけで、公立鳥取環境大学地域イノベーションセンターとしては、「総体としての GNH、つまり地域価値をさらに向上し、鳥取での生きがいに資する研究や活動、科学的視点からの提言」を目指している。

2. 微生物生態学の視点（吉永郁生，海洋と生物 37(2)80-85, 2015 より抜粋，一部改変）

まず、地球の生物環境（いわゆる自然生態系）において、エネルギー循環は開放系、元素（物質）循環は閉鎖系として捉えねばならない。その中で「裸眼では確認できない（しにくい）生物」として定義される微生物は、後者（元素循環系）において重要な役割を果たしている。古典的な生態学では「分解者」、つまり一次生産者によって合成された有機物およびその残渣を微生物が餌として分解・消費し、結果的に無機物に変換された元素を再び一次生産者に供給する役割、として定義されている微生物であるが、微生物の枠組みは単なるサイズの問題であり、その中にはサブミクロンサイズのウィルスから、甲殻類幼生などの 1 mm サイズの生物までの多様な生物カテゴリーが含まれ、実際には目に見える世界（macroscopic world）のすべての栄養段階が含まれている。そのため、macroscopic world の食物連鎖と同等の社会構造が微生物世界（microscopic world）にも存在していることは、意外と知られていない。

しかし、微生物、特に細菌（現在、原核生物は真正細菌あるいは細菌 Bacteria と古細菌 Archaea の二界に分類されているが、本稿では両者を区別せず細菌とする。）独自のプロセスとして、いわゆる低分子量の有機・無機物質の変換が挙げられる。前述した有機物からの無機態窒素やリン、硫黄などを生産する「無機化プロセス（miceralization）」の他にも、窒素固定・硝化・脱窒であらわされる窒素化合物の変換や、硫黄酸化や硫酸還元を通じた硫黄化合物の変換などがあげられる。窒素やリンの無機化合物の形態の変化は、地球の元素循環の大きな部分を占めており、また地域環境のみならず地球環境全体の維持や変化にインパクトを与えている。これらの無機化合物の形態の変換過程は、それぞれのプロセスに特化した一群の細菌によって主に行われている。ある地域環境の悪化は生物の個体数や多様性の減少が問題にされることが多いが、その原因となる地域環境の物理・化学・生物学的環境要因は、これらの微生物過程によって規定されている。

さて、海と陸が接する場である沿岸海域は同時に大気圏、地圏、水圏が接する場である。たとえば窒素の場合、主には陸域に由来する含窒素有機物が従属栄養細菌によって、好気あるいは嫌気環境下で分解され、アンモニア態窒素（アンモニア NH_3 、イオン化してアンモニウムイオン NH_4^+ ）が生じる。ちなみに、この無機化の過程は、厳密には細菌のエネルギー獲得系とは無関係に進行するプロセスであり、別に「脱アミノ反応

(deamination)」と呼ばれることもある。その意味では、動物などによる尿の生産・排出と同義であり、沿岸海域に供給されるアンモニア態窒素の多くは、動物や微生物によって行われている脱アミノ反応の生産物の集約である。

このアンモニア態窒素はそのまま光合成微生物や大型の植物（藻類や草類）に同化されるとともに、好気環境下で硝化細菌によって亜硝酸や硝酸に変換される。「酸化型窒素」と総称されるこれらは、別の水素供与体、主には有機物、が存在する場合には、嫌気条件下で一酸化二窒素（ N_2O ）や分子状窒素（ N_2 ）まで還元され、大気へと放出されることになる。つまり、陸域から沿岸海域に流入した窒素は、食物連鎖を経て鳥や人間などに収穫されて水域から除去される以上に、一連の微生物プロセスを経ることによって、系外へと除去されることになる。

従来、藻場や干潟の環境浄化作用を評価する際には、多様な生物から成る複雑な食物連鎖を通じた収穫による窒素除去能を重視することが多い。しかし一見、変化に乏しい砂浜などの沿岸環境ですら、microscopic world の視点から見ると多様な微生物生息域（habitat）を提供していると言える。なぜなら、干満による環境の変化は、自動的に、微生物プロセスにとっては決定的な酸化還元電位の変化につながり、河川や地下水の流入を通じた淡水と海水の混ざり合いは、微生物集団が接する水環境とそこに含まれる窒素化合物の存在様態にも影響する。目に留まるかどうかの小さな乱流でさえ、微生物社会にとっては劇的な環境の変化となるのである。つまり、外洋のみならず森林や畑地などと比べても沿岸環境の microscopic world は、物理・化学環境の変化が大きい、動的な環境である。それゆえ沿岸域は、さまざまな重要な微生物プロセスが活発に行われる場であるはずなのである。

さて、海水中の細菌の大部分は単独で浮遊している（free-floating）と考えられている。しかし、microscopic world のサイズスケール（ μm ）では、海水の粘性抵抗は想像以上に大きく、微細粒子である細菌はほぼ水の動きに同調している。したがって、個々の細菌粒子が接している水は常に同じであるとも考えられる。そのような観点から見ると、微生物の凝集体であるバイオフィロック（biofloc）や固体表面に形成される微生物被膜（biofilm）では、細菌のみならず真核性の微細藻や原生動物などの微生物社会が水の動きから解放される habitat であるといえる。このことは、biofloc や biofilm の微生物にとっては基質利用の点で有利であろう。いわゆる下水の処理過程で、活性汚泥法では biofloc が、生物被膜法や固定床法などでは biofilm が利用されているのは当然である。

沿岸の浅海域でも microscopic world から見ると貝殻や石、アマモ葉表面などに発達する biofilm は重要である。biofloc（天然環境では“デトリタス detritus”や“懸濁粒子”という用語が一般的である。）に関しても、消化管を持つ動物の糞粒や植物プランクトンに由来するもののほかに、付着基盤からはがれた biofilm に由来するものも多いと思われるため、元素循環において macroscopic world の生物・非生物は、微生物の付着基盤としての役割が思いのほか大きいのではないだろうか。

このような観点から自然環境の景観を見てみると、陸から海に到るなんでもない景観（目に見える景観、つまり **macroscopic world**）をより精緻な目をもって眺め、評価する必要があるように思われる。これまでは、経済的に無価値とされてきた景観であっても、再評価する必要があるようである。さらに、周辺の環境の変化、例えば森林や畑地の宅地化やその逆の変化など、も、海に到る一連のプロセスにおいて、海洋の物理・化学・生物環境の変化を伴うことを考えねばならない。とはいえ、微生物生態系の柔軟さは極めて大きく、様々な変化を容易に受け止めてしまうであろう。その過程で、人間の社会のグローバルな価値を損ねてしまった場合、それが環境問題として可視化しているのではないだろうか。

3. これからの展望

「地域の価値を創造する」ためには、どのようなプロセスが必要だろうか。2015年9月に国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」の中のSDGs（持続可能な開発目標、**Sustainable Development Goals**）をこれから実現するためには、それぞれの地域固有の目標があるべきである。そのためには、目に見える世界だけではなく目に見えない世界をも考慮する必要があるだろう。最新の知見を基に「地域の価値」を再定義することは、研究者だけではなく、その地域の専門家である住民の感覚や知恵、そして何より都市型の価値観やグローバルな世界観を越えた、地域循環型の望ましい社会を作っていかなければならない。そのための新技術として、メガデータ（ビックデータ）の収集・蓄積・解析とそのためのAI（人工知能、**Artificial Intelligence**）技術の利用が欠かすことはできない。

メガデータ解析は、経済学・社会学的な観点からは、個人の行動履歴や消費行動履歴、中にはインターネットの閲覧履歴の膨大なデータセットから、個人の、様々な集団カテゴリーの、あるいは地域の総体的な独自性をあぶり出す新しい研究戦略である。自然科学の分野でも、連続観測測器や人工衛星モニタリング、そして環境に由来するDNA（一般に環境DNAと呼ばれている）の解析がその柱となり、その目的はこれまで見過ごされていたさまざまな現象（生物情報もそれに含む）を総体的に解析し、見過ごされていたプロセスをあぶり出す技術である。もちろん、データセットが膨大なため、AIの力を必要とする。また、これまでの知的活動の結果導き出された一般則も一度リセットして解釈するのが望ましい。地域社会の基盤となる地域の自然環境も、目に見える事象だけではなく目に見えない事象も考慮しながら、一度まったく異なる視点から見直してみるべきではないであろうか。