

東京大学農学部公開セミナー  
第 39 回

農学から生物多様性をみる

講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

【 開会の挨拶 】

13:35~14:25

深まる生物多様性の危機

生圏システム学専攻 教授 鷺谷 いづみ

【 休憩 (10分) 】

14:35~15:25

海の恵みを支える生物多様性

水圏生物学専攻 教授 古谷 研

【 休憩 (10分) 】

15:35~16:25

森林の地面の下の多様性

森林科学専攻 教授 寶月 岱造

【 閉会の挨拶 】

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| 日 | 時 | 2010年11月27日(土) 13:30~16:30 |
| 場 | 所 | 東京大学弥生講堂・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 | (財)農学会                     |

# 目 次

## 深まる生物多様性の危機 ..... 1

生圏システム学専攻 教授 鷺谷 いづみ

人類にとっての安全限界と生物多様性の損失に関する科学的な評価に関して、欧米研究グループによる評価、および生物多様性条約の枠組みにおける評価文書 GBO ならびに JBO が明らかにした生物多様性の危機について概説し、生物多様性条約第 10 回締約国会議で採択された愛知ターゲット（2020 年までに達成すべき 20 の目標）を紹介する。

## 海の恵みを支える生物多様性 ..... 7

水圏生物学専攻 教授 古谷 研

我々は海から多様な恵みを得ている。中でももっとも一般的なのは、漁獲漁業による野生生物の利用である。陸上では、野生生物の利用は人類の歴史の初期に早々と農耕と牧畜に取って代わられたのに、なぜ海からは今でも続いているのだろうか。鍵は海洋生態系の物質循環にあり、その担い手である海洋の生物多様性が恵みの源泉である。講演では、様々な海の恵みを、これからどのように利用したら良いかを考える。

## 森林の地面の下の多様性 ..... 14

森林科学専攻 教授 寶月 岱造

森林は、様々な機能を発揮して私たちの生活や生存を助けています。私たちが森林の機能を十分享受するためには、安定した森林を維持する必要があります。森林の安定には、地上で見られる森林生物間の多様な相互作用が重要ですが、地下での樹木と菌類との相互作用も重要です。林床の下で繰り広げられる樹木と菌根菌との共生は、私たちの目には着きにくいのですが、安定な森林を作り維持するのに大切な役割を果たしているはずで、実際の林床下で樹木に共生している菌根菌種はとて多様です。さて、この菌根菌の種多様性には、どのような意味があるのでしょうか？

## 司会進行 ..... 22

応用生命化学専攻 准教授 三坂 巧

# 深まる生物多様性の危機

生圏システム学専攻 教授 鷺谷 いづみ

## 1. 人類にとっての安全限界と生物多様性の損失

過去約 1 万年の完新世、すなわち、最後の氷期が終わってから現代までは、地球上でも特異的といえるほど、環境が安定していた。この安定した環境が文明をうみ、農業を可能にし、人類が地球上の圧倒的な優占種となる発展の機会を提供した。しかし、その安定した環境が現在大きく損なわれようとしている。もはや完新世とはいえない変動環境は、産業革命以降、とくに近年の人間活動がもたらしたものであり、その影響が大きくなった時代を新たな地質時代として「人間中心世」とよぶべきであるという主張もある。それは人間活動が地球環境変化の主な駆動因となった地質時代であり、その帰結は、人類の持続可能な発展を脅かす安定性の破綻である。

完新世を特徴づけていたのは、環境の安定性、すなわち、温度、淡水の利用性、物質循環などの変動が比較的狭い範囲に限定されていたことである。しかし、完新世の安定環境維持に寄与したシステムは破壊しつつあり、その主要な原因は、化石燃料への過度の依存と工業化された農業であると、最近のロックストロームらの研究は結論した。ロックストロームら (Johan Rockstrom ら 29 名の著者が 2009 年にネイチャー誌 (461 巻 472-475) に発表) は、安定的な地球環境からの逸脱を定量的に評価することを目的とし、地球環境をシステムとみたときのサブシステムともいえるいくつかのプロセスについて、変化の安定領域から逸脱の程度を評価した。

地球のサブシステムとして境界値を検討したのは、1) 人為的気候変動、2) 生物多様性の損失、3) 窒素・磷の地球生物科学的循環への干渉、4) 成層圏オゾン欠乏化、5) 海洋酸性化、6) 淡水利用、7) 土地利用、8) 大気へのエアロゾル添加、9) 化学汚染の 9 つのタイプである。

データ不足から限界値を設定できなかった化学汚染以外は、限界値と現状の比較がなされ、磷の地球生物化学的循環への人為干渉、海洋酸性化、淡水利用、および、土地利用については、限界値に相当程度まで接近していること、境界をすでに超えていると考えられるサブシステムとして、気候変動、生物多様性の損失、窒素サイクルへの干渉があげられることを示した。とりわけ、生物多様性の損失は、大きく限界を超えていると結論された。

## 2. 2010 年目標と GB0 が明らかにした危機の現状

生物多様性条約締約国 (現在は 192 ヶ国と欧州連合が加盟) は、2002 年の第 6 回締約国会議で戦略目標としての「2010 年目標」を定めた。「2010 年までに地球

規模、広域規模、国家規模における生物多様性の減少速度を顕著に低下させることで、貧困の解消および地球上の全生物に利することに寄与する」という目標である。その下に11の下位目標が定められ、21の指標によって達成状況が評価されることになった。地球規模の評価は、生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)に先立って2010年5月10日に条約事務局によって公表された。そのような評価の集大成ともいえるのが地球規模生物多様性概況第三版(GBO3)である。

この報告書は、2010年生物多様性目標を地球規模において達成することはできなかったと結論している。2010年までに生物多様性の減少速度を顕著に低下させるという全般的な目標の下位に設けられた21の目標は、部分的もしくは一部の地域で達成されたものはあるものの、地球規模で達成できたといえるものはなく、保全への努力は増加したにもかかわらず、生物多様性の状態は悪化しつづけている。生物多様性の減少速度が顕著に低下した、もしくはそれに対する圧力が顕著に低下したことを示す指標は残念ながら一つもなかった。しかし、若干の生態系では負の傾向が減速もしくは正の方向に転じたものもある。また、生物多様性の損失に対する対策が増加もしくは改善したことを示す指標がいくつかある。しかし、それらは生物多様性の状態や圧力についての全体的な負のトレンドに対して、十分な規模において影響を及ぼすまでにはなっていないと評価された。

生物多様性の損失は、そのこと自体が重要な問題であるにもかかわらず、一般の人々には、それが自らの暮らしや生産にもつ意味を実感することはきわめて難しい。そのため、最近では、生物多様性が構成する生態系のはたらきを介して生み出される人間社会にとってのあらゆる便益をさす「生態系サービス」の分析や評価が重視されている。生態系サービスに関して、国連事務総長はGBO3への前書きにおいて、次のように述べている。

「現状は、生態系が人類にとって重要な生態系サービスを提供する能力を破局的に減少させるいくつかの潜在的な臨界点に近づきつつある。」

この臨界点が意味するところは、生態学分野で生態系のカタストロフィック・シフト、もしくはレジーム・シフトという科学用語で論じられてきた生態系の跳躍的变化(鷲谷ほか2005)に近い。

COP10では、国際社会が「2010年目標の達成に失敗した」ことを確認し、さらに、人類にとって重大な影響を与える可能性のある転換点に関する危険について認識を共有した上で、「人類にとって甚大な危険」を回避するのに十分に有効な次の戦略目標を決めることが主要な課題となった。

2010年目標は、その達成には失敗したものの、目標達成にとって何が必要なのかを明らかにした。すなわち、2010年目標を定めたことで、生物多様性の保全に向けた行動が促され、保護区の拡大など数字で把握できる成果ももたらされた。また、特定の地域や特定の種や生態系に対してとられた積極的な対策の中には、顕著で測定可能な効果をもたらしたものもある。それらは、十分な資源と「政治的な意志」さえあれば、広域的に生物多様性の損失を防ぐための手法がすでに存在していることを

示している。

### 3. JBO が明らかにした日本における危機の現状

日本は、世界に 34 箇所見いだされている生物多様性ホットスポットの一つであり、その保全は、世界的にみても重要な課題である。しかし、現在、日本国内における生物多様性の危機もいっそう深まりつつある。かつての普通種の多くが絶滅危惧種になっていることがその危機の深刻さを表している。侵略的外来生物の分布と影響の拡大も著しい。そのような現状の評価のために実施されたのが、生物多様性総合評価 (Japan Biodiversity Outlook; JBO <http://www.biodic.go.jp/biodiversity/>) である。

JBO は、環境省が設置した生物多様性総合評価検討委員会によって実施された。委員会メンバーは、生態学およびその関連分野の研究者である。1950 年代後半から現在までを評価の対象期間とし、生物多様性への影響要因 (影響の大きさ) と状態 (損失の大きさ) などについて 30 の指標等を用いて評価がなされた。

現行の生物多様性国家戦略 2010 では、先行の戦略を引き継ぎ、影響要因を概括して「3つの危機」と「地球温暖化の危機」に整理している。総合評価においても、影響要因を、「第 1 の危機 (開発・改変、直接的利用、水質汚濁)」、「第 2 の危機 (里地里山等の利用・管理の縮小)」、「第 3 の危機 (外来種・化学物質)」、「地球温暖化の危機」に分け、また、日本列島の生態系を「森林生態系」、「農地生態系」、「都市生態系」、「陸水生態系」、「沿岸・海洋生態系」、「島嶼生態系」の 6 タイプに分けて評価がなされた。評価に着手してみると、既存のデータがきわめて不十分にしか存在しないことが明らかとなり、野生生物や生態系に関する「専門家の意見」を広く収集してその不足が補われた。

日本の生物多様性を損なった要因としては、絶滅危惧種の分類群ごとの危機要因の相対的寄与に明瞭にあらわれているように、「第 1 の危機 (開発・改変、直接的利用、水質汚濁)」、とりわけ開発・改変の影響が最も大きいと、結論された。高度成長期以降に実施されたさまざまな開発が生物多様性を大きく損なったが、開発による損失は全国的な規模は縮小したものの現在でも続いている。「第 2 の危機 (里地里山等の利用・管理の縮小)」は、絶滅要因としての影響力は、他の要因に比べてそれほど大きくない。しかし、利用・管理が継続される草原の減少などが、一部の植物や昆虫種の絶滅要因となっていることは明らかである。一方、第 3 の危機 (外来種、化学物質) のうち、侵略的な外来種の分布拡大が顕著になっており、影響は急速に強まりつつあるといえる。「地球温暖化の危機 (地球温暖化による生物への影響)」は、高山域など一部の生態系で今後影響が拡大することが懸念される。

生物多様性の損失に対しては、さまざまな対策が進められてきたが、その効果は限定的であったと結論された。間接的な影響力である社会経済活動に由来する駆動因の作用があまりに大きく、それに比して対策には十分な資源が配分されていないからである。

生物多様性総合評価は、およそ次に示すような5つの結論を導いた。

1. 人間活動にともなうわが国の生物多様性の損失は全ての生態系に及んでおり、損失は今でも継続している。

2. 特に、陸水生態系、沿岸・海洋生態系、島嶼生態系における損失が大きい。

3. 損失の要因としては、「第1の危機」、とりわけ開発・改変の影響がもっとも大きい。「第2の危機」は現在なお増大している。近年、「第3の危機」のうち外来種の影響が顕著である。「地球温暖化の危機」は、特に一部の脆弱な生態系で懸念される。これらに対して様々な対策が進められてきたが、間接的な要因として作用しているわが国の社会経済の大きな変化の前には、必ずしも十分な効果を発揮できていない。

4. 現在の物質的に豊かで便利な国民生活は、過去 50 年の国内の生物多様性の損失と国外からの生態系のサービスの供給の上になりたってきた。2010 年以降、過去の開発・改変による影響が継続すること(第1の危機)、里地里山の利用・管理の縮小が深刻さを増していくこと(第2の危機)、一部の外来種の定着・拡大がすすむこと(第3の危機)、地球温暖化がいつそう進むこと(地球温暖化の危機)でさらなる損失を生じさせることが予想されることから、間接的な要因も考慮した対応がもとめられる。

5. 陸水生態系、島嶼生態系、沿岸生態系における生物多様性の損失の一部は、今後、不可逆的な変化を引き起こすなど、重大な損失に発展するおそれがある。

#### 4. COP10 で定められた新たな戦略目標

2020 年までの具体的な目標を定める新たな戦略計画は、2010 年目標(「生物多様性の損失速度を 2010 年までに顕著に低下させる」という目標)の失敗と、生態系の危機のいつそうの進行という現状を踏まえ、実行可能でかつ効果の高い意欲的なものであることが求められた。

ブラジルをオピニオンリーダーとする発展途上国は実行可能性(現実性)を重視し、ヨーロッパ連合は、効果(アウトカム)を重視して意見が分かれ、その妥協案としての議長提案が「愛知ターゲット」として全会一致で採択された。戦略計画は、20 の個別目標からなる。それらは、生物多様性の損失を止めることができるかという視点からは必ずしも十分とはいえないものの、対策の現状と比較すれば、いずれも相当意欲的な目標である。議長国として、その実現の先頭に立つには、相応の努力が必要だ。国レベルでは、現行の「生物多様性国家戦略 2010」の改訂が早急になされる必要がある。いずれにしても、効果をあげるには、資源の十分な投入、環境分野のみならず農業や国土の政策にも十分に生物多様性の課題が組み込まれること、地域での多様な主体が参加する取り組みの一層の強化など求められる。

## プロフィール

わしたに  
鷺谷 いづみ

### 所 属

生圏システム学専攻 保全生態学研究室

### 略 歴

1978年 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了 (理学博士)  
1986年 筑波大学生物科学系講師  
1992年 筑波大学生物科学系助教授  
2000年 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

### 主な研究活動

専門は生態学、保全生態学（植物の生活史の進化、植物と動物の生物間相互作用、生物多様性保全および生態系修復のための生態学的研究など）で、現在は生物多様性農業と自然再生に係わる幅広いテーマの研究にも取り組んでいる。

### 主な著書

- (1) 鷺谷いづみ (2010) <生物多様性>入門. 岩波書店. (単著)
- (2) 鷺谷いづみ (2010) 環境リスク管理と予防原則. 有斐閣. (分担執筆)
- (3) 鷺谷いづみ (2010) にっぽん自然再生紀行. 岩波書店. (単著)
- (4) 鷺谷いづみ・須田真一 (2010) 森林環境2010 生物多様性COP10. (財) 森林文化協会. (共著)
- (5) 鷺谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓 (2010) 保全生態学の技法. 東大出版
- (6) 鷺谷いづみ・椿宣高・夏原由博・松田裕之 (2010) 現代生物学入門6 地球環境と保全生物学. 岩波書店. (共編著)
- (7) 鷺谷いづみ他 (2009) 河川における外来種対策とその事例【改訂版】. リバーフロント整備センター. (共編著)
- (8) 鷺谷いづみ・後藤章 (2008) 絵でわかる生態系のしくみ. 講談社サイエンティフィク. (共著)

# M e m o

# 海の恵みを支える生物多様性

水圏生物科学専攻 教授 古谷 研

## 1. はじめに

人類が農耕を始めたのは、最後の氷期が終わった 1 万年前頃といわれている。発掘調査では約 1 万 5 千年前の稲作までたどることができ、最終氷期が終わる頃の気候変動によって食糧難が起こり、農耕の開始が促されたとされている。農耕が始まった頃に牧畜も始まり、それまでの狩猟、採集、漁労に頼る不安定な生計から解放されて食糧の生産者となった人類は、多くの人口を養うことを可能にした。生産手段を手にした人々は、どんどん生息域を広げ、持たない人々の領域に進出するような過程を経ながら農耕や牧畜が広まっていったのだろう。

このように、それまでの食糧調達手段のなかで、狩猟と採集は、早々とその役目を終えたのに対して、漁労は今日でも重要な役割を負っている。国際連合食糧農業機関 (FAO) の最新の統計によれば(注 1)、水産物は人類の動物性タンパク質摂取の約 19% を占めており、統計から漏れている小規模漁業や自給自足的な消費を足すとその割合はもっと高い。世界全体では年間に 9 千 2 百万トンが漁獲され、うち、8 千 2 百万トンが海洋から、1 千万トンが淡水からである。ちなみに全漁獲量の 52% はアジアからの漁獲が占め、日本は、4 百万トン強である。一方、牧畜に比すべき養殖生産は 5 千 2 百万トンで、毎年約 7% の著しい伸び率で増加しているが、依然として水産物としては漁獲による野生生物の利用が大きな部分を占めている。なぜ、陸上では野生生物の利用が人類の歴史の早い時期にステージを降りたのに対して、海の野生生物は相変わらず活発に利用されているのだろうか。ここで鍵となるのが海の生態系がもつ大きな更新力であり、その担い手として生物多様性の意義がある。

## 2. 海の生態系

海洋では、陸上生態系にほぼ匹敵する量の有機物が生産されているが、それを産み出しているのは、顕微鏡サイズの植物プランクトンである。岸近くでは海藻も重要な有機物生産者であるが、海洋全体で見ると生産量の数% 程度を占めるにすぎない。植物プランクトンは単細胞性の藻類であり、単独か、あるいは群体を作って水中に浮遊している。まさに小さいことによって沈みにくくして、太陽光があふれる表面近くに留まっているのである。単細胞性なので、細胞の表面全体から養分を吸収し、陸上植物のような有機物を生産するための支援器官、すなわち土から水や養分を吸いあげるための根や管構造、光を良く受けるために葉を広げて体を支える茎が不要である。いわば光合成によって有機物を作ることに特化した細胞だけで生きている。このことは、同じ生体量ならば、支援器官を作る必要のない植物プランクトンの方が陸上植物

よりも多くの有機物を生産しうることを意味する。実際に、海洋には陸地の400～500分の1程度の植物生体量しかないが、生産量では、上に書いたように両者はほぼ同程度なのである。すなわち、単位生体量あたりでは植物プランクトンは陸上植物に比べて遙かに多くの有機物を作る、いふならば少ない資本で大きな生産をあげている。陸上の一年生植物は、その個体の大きさになるのに数ヶ月かかるが、植物プランクトンは1日から数日で生体量が2倍に増える。

この勢いで生体量が増え続けると忽ち海は植物プランクトンで溢れてしまうことになるが、実際にはそうならない。植物プランクトンは、増えるそばから植食性の動物プランクトンによって活発に摂食されるからである。次いで肉食性動物プランクトンが食う、という食物連鎖を経て、植物プランクトンが生産した有機物は魚類などの高次栄養段階に速やかに転送されていく(図1)。陸上生態系でも同じように食物連鎖を経由して上位の栄養段階に有機物は転送されていくが、有機物が上位の栄養段階に転送される単位生体量あたりの速度が、海よりもかなり遅いのだ。

植物プランクトンが有機物を活発に生産すると、水中の窒素やリンなどの養分は急速に使われて、忽ち枯渇することになる。つまり、何らかの補給がなければ、生産はストップすることになる。しかし、実際には消費に応じた補給があるのである。海にはいくつかの補給経路があり、中でも基本的なのは有機物の分解による再生である。様々な動物やバクテリアなどの有機物利用者が養分を再生し、それがまた植物プランクトンによって利用されるというリサイクル過程によって、養分が繰り返し利用されている。この再生が速いのである。再生と消費が密にカップリングしていることが速い有機物生産を持続させている「からくり」である。

### 3. 生物多様性の意味

植物が生産した有機物を動物が利用し、さらに微生物等の分解者も加わってやがて無機物に戻す、それが再び植物に取り込まれて有機物となるリサイクルの過程を物質循環という。見方を変えれば物質循環において無数の化学物質が変質しながら生物が生産されているのである。私たちはその生物を食糧として頂き、様々な生活素材や医薬品を得るばかりでなく、排泄物は浄化され、有害物質は無害化され、二酸化炭素と酸素のバランスが保たれ、清浄な環境が維持される。私たちの生活は完全に生態系に依存しているのである。すべての生物は、自身が属する生態系内の物質循環に組み込まれて、それぞれの持ち場を守りながら、物質やエネルギーをやりとりし、多様な種間関係を内包するネットワークを構成している。その網の目が多様であればあるほど、その構成者が多ければ多いほど、ネットワークは強靱になる。生物多様性の意義はここにある。

植物プランクトンは小さいと書いたが、その個体、つまり細胞の大きさは種によって最小の0.5ミクロンから最大の2ミリまで6桁の範囲におよぶ違いがある(図1)。植食性動物プランクトンが食べることができる餌の大きさの範囲は種によってある程度決まるため、どのような植物プランクトンが優占するかによって植食性動物プラ

ンクトンの組成もある程度決まる。こうした関係が食物連鎖の上位に向かってはたらくため、植物プランクトン群集の組成は生態系の構造全体に大きな影響を及ぼす。海洋環境が変動すると、光や養分の供給の変化を通して植物プランクトン群集の組成が変化する。これが順次、生態系全体に及ぶ。天然の海では、さまざまな環境変化が絶えず起こっていて、植物プランクトン群集の組成は、それに応答して変化し続けている。組成が変化しても、ネットワークがしっかりしていれば環境変動の影響はネットワーク内で緩和・吸収されて、安定な系が保たれる。大きな環境変化であればあるほど、系の安定には強靱なネットワークが必要なのである。これが冒頭に提示した疑問、「なぜ、今でも野生生物の利用が海では可能なのか」の答えである。植物プランクトンが高い有機物生産性を持つことだけでは答えにならない。有機物の生産と養分の再生が密にカップリングしていること、それを担保する強靱なネットワークがあることが高い更新力を可能にしている。このため、近代的な漁労技術で生物量を間引いても、速やかな生産によって回復が可能なのである。

#### 4. 今、海で起きていること

最終氷期が終わってこのかた、海洋生態系は人類による野生生物の利用を受け入れ続けて来たが、さすがに近年、更新力にも限界があることが顕在化してきた。生態系からの恵みに限りがあることは陸上でも良く認識されている。この点に関して様々な分析と予想がなされているが、ここでは、国連環境計画が2001年から2005年に行った「ミレニアム生態系評価 (MA)」を見てみよう(注2)。

MAによれば、開発などで人類が生態系を改変することで大きな経済的発展や福利がもたらされてきたが、その代償として生態系から受ける様々な恵みは大きく劣化し、生物の絶滅速度が過去数百年に比べて約1000倍に加速して多様性が喪失していることの帰結である。海洋では、乱獲や混獲により魚類資源が減少し、漁業対象となる魚種の資源量が、近代漁業が始まる以前の10%に減ったと指摘している。陸上での人間活動の影響は海にもおよび、農耕での窒素肥料使用の増大や都市部からの下水流入などで、沿岸域の富栄養化が進み、有害有毒なプランクトンが発生して沿岸生態系の構造が大きく変化している。さらに、海上交通など異なる国・地域間交流が進むことによって種が移動する、いわゆる外来種による生物多様性の変質も問題になっている。新たな環境が外来生物に合っていれば定着する可能性は高い。有害有毒プランクトンは地球規模で分布拡大をしているし、害毒をもたらさない種による弊害も起きている。ワカメは我が国はじめ東アジアの代表的な海藻であるが、近年、タスマニアやニュージーランドにも分布を広げ問題になっている。私たちから見れば食品となるワカメの定着は好ましく思えるが、食用習慣のない国々では在来種の生存を脅かす生態系の攪乱原因でしかない。新たな海域に天敵や寄生虫がいないと外来種はそれだけ定着しやすくなる。生物は本来、分布を拡大しようとする性質をもっており、生態系の構成種が変化するのは不可避であるが、人為的拡散はこれを加速させ、天然では考えられない移動距離を瞬く間に運んでしまうのである。これらの問題は、このまま行くと種多様性を減じる、あるいは変化させ

る要因としてますます重篤化する。MAばかりでなく、関連する分析の結果はいずれも海洋生態系のネットワークの劣化を告げており、これまで通りの野生生物の利用は難しい。野生生物の持続的利用のための海洋生態系のあり方が求められているのだ。

さらに、近年の地球規模での環境変化に伴い、これまで注目されていなかった海洋の機能が国際的な関心事になってきた。その典型的な例は、海洋の二酸化炭素吸収能や気候調節機能である。海洋を工学的に操作して、すなわち養分を海洋に散布して植物プランクトンの光合成を活発化させる等の手法によって、海洋の二酸化炭素吸収能を上げる、あるいは、二酸化炭素を海洋の深層に隔離する、などのジオエンジニアリング（地球工学、気候工学）的手法に関する議論である。大気中の二酸化炭素濃度の上昇に伴う影響の緩和は様々な立場から議論され、この目的で海洋を使う事の是非も大きな議論となっている。重要なことは科学的な事実に基づく国際的なコンセンサスである。抜け駆け的な行為を許すことなく、あらゆる可能性を考慮したオープンな議論が大事である。その点で最も不確実性が高いのは、こうした工学的操作に対して海洋生態系と、その物質循環がどのように応答し、気候や経済活動にどのようにフィードバックするかである。

## 5. 生物多様性条約 COP10

先月、名古屋で行われた生物多様性条約 COP10 では、遺伝資源の利用と利益配分に関する議定書、いわゆる「名古屋議定書」と、2020年までの生物多様性保全に関する目標を定めた「愛知目標」が全会一致で採択された。前者は、遺伝子資源に関するもので、生物多様性は発展途上国にとって固有の権利であり、先進国はそれを勝手に奪って医薬品などの高付加価値品で経済的利益を得ている、だから資源国利益配分にあずかる権利をもつ、という主張が新聞でも盛んに報道されたように、生物多様性のもつ経済的価値を高らかに宣言したものである。

後者について海洋関連の目標は、1) 漁業が脆弱な生態系に過度の悪影響を与えない、2) 生物多様性保全を確保して養殖業を行う、3) 過度の栄養分を海に排出しない、4) サンゴ礁の保全、5) 沿岸及び海洋の10%を海洋保護区または有効な手段で保全する、ことが謳われている。言うは易く行うは難しのこれらの項目にどのように取り組んだらよいだろうか。講演では、海洋保護区10%の目標を例に、何が議論になっているかについて紹介する。

## 6. おわりに

すべての生物は、自らが属している生態系の恩恵を受けて生きている。人類もかつてはそうであった。しかし、前世紀後半には地球の裏側からの食品が日常の食卓に上ることが当たり前になっていた。もはや自らが属さない生態系の恵みを普通に得ているのだ。これはリターンのない収奪と呼ぶべき状態である。これが全球的に常態化している現状では、生態系の構造がゆがみ、物質循環が壊れていくのは必然であろう。今や、地球生態系の一員としての視座でこれらの問題に取り組むことが我々に求められている。

注1 : <http://www.fao.org/docrep/011/i0250e/i0250e00.htm>

注2 : <http://www.maweb.org/en/index.aspx>

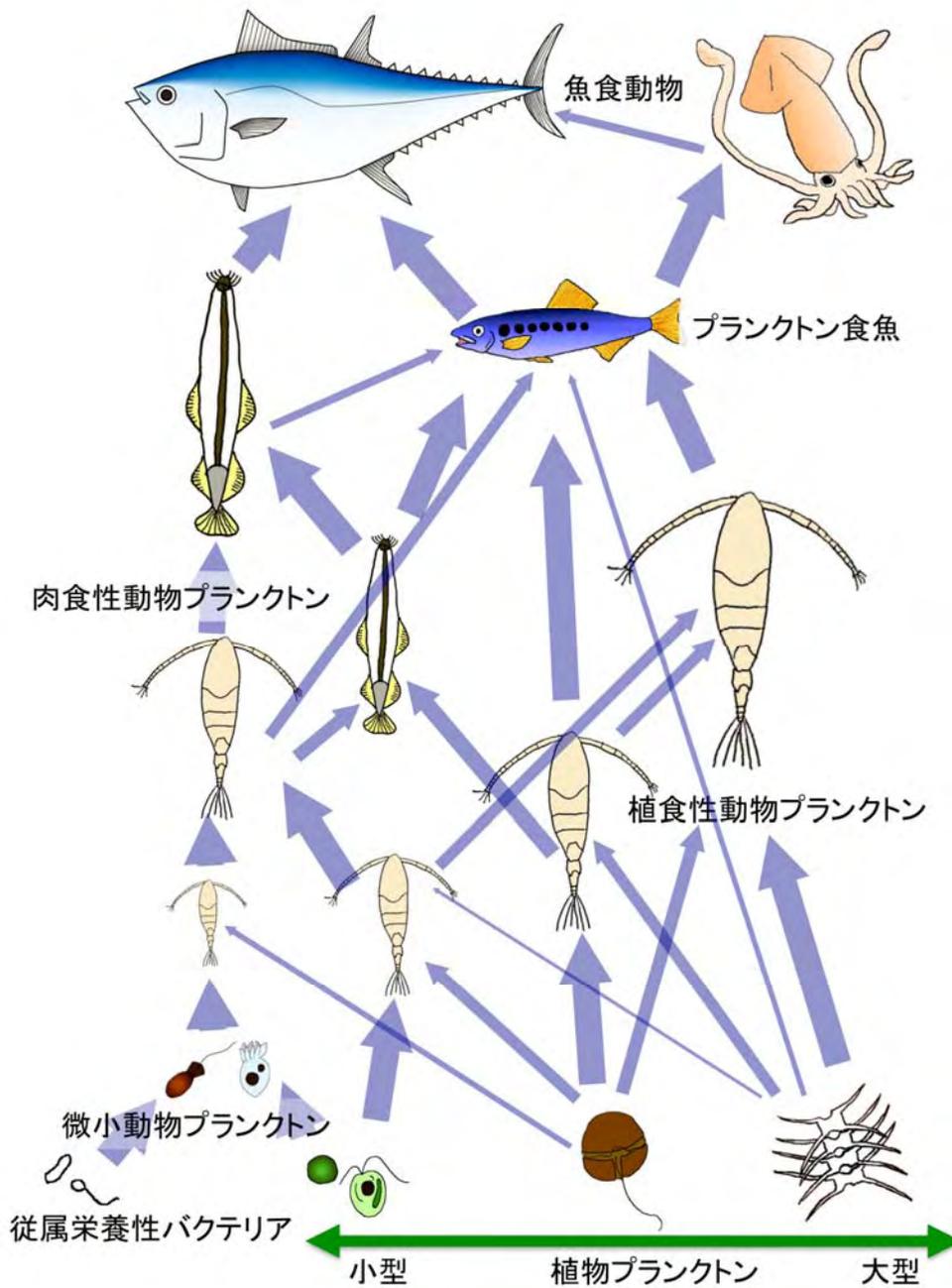


図1. 海洋の食物連鎖の模式図。大型の植物プランクトンからは短いステップで魚類にいたり、小さな植物プランクトンからはステップが多い。単調な連鎖ではなくネットワークを形成している（生物描画は佐藤光秀氏による）。

## プロフィール

ふるや けん  
古谷 研

### 所 属

水圏生物科学専攻 水圏生物環境学研究室

### 略 歴

- 1981年 東京大学大学院農学系研究科水産学専門課程修了(農学博士)  
1981-1988年 東京大学海洋研究所 助手  
1988-1996年 三重大学生物資源学部 助教授  
1996-1999年 東京大学大学院農学生命科学研究科 助教授  
1999年 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

### 主な研究活動

海洋におけるプランクトンの生態と物質循環の時空間変動、およびそれらと環境要因との関係について研究を進めている。群集構造については、環境変動に対する増殖応答が種によって異なることが、群集構造変化をもたらすという観点から、種組成や種ごとの増殖応答など種特性に重点をおいている。

### 主な著書

- (1) Furuya, K., P. M. Glibert, M. Zhou, and R. Raine, Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms: Harmful Algal Blooms in Asia. IOC and SCOR, Paris and Newark, Delaware, 2010.
- (2) 古谷 研, 漂泳生態系における一次生産者と二次生産者の間. 「海の生命観を求めて (塚本勝巳編)」, 東海大学出版会, 2009.
- (3) 古谷 研・安田 一郎, 水圏の環境. 「水圏生物科学入門 (会田勝美編)」, 恒星社厚生閣, 2009.
- (4) 山本民次・古谷 研(編), 「閉鎖性海域の環境再生」. 恒星社厚生閣, 2007.
- (5) 古谷 研・岸 道郎・黒倉 寿・柳 哲雄(編), 「養殖海域の環境収容力評価の現状と方向」, 恒星社厚生閣, 2006.
- (6) 古谷 研, 一次生産の基本概念. 「海洋生物の連鎖 (木暮一啓編)」, 東海大学出版会, 2006.

# M e m o

# 森林の地面の下の多様性

森林科学専攻 教授 寶月 岱造

## 1. 大切な森林

森林は、木材やパルプの元になる樹木資源の生産の場として、私たちの生活を支える大切な生態系です。我が国でも、森林の4割がスギやヒノキを中心とする人工林として利用されています。木材資源を利用する林業は、往々にして森林のかく乱や破壊を伴い、安定した森林の維持にマイナスに働くことがあります。林業に携わっている人たちには、昔から木を切り過ぎることなく森林を「保続」して利用するという基本的な考えがありました。私たちは、森林の機能を将来にわたって享受し続けられるように、森林の保続、すなわち森林資源の持続的な利用を心がける必要があります。

一方、森林はその他にも多様な機能を発揮して、私たちの生存や生活に貢献しています。我が国では、木材生産以外の森林の機能、特に水質を浄化し保水する働き、河川の水量を安定させて水害を防ぐ働き、土砂災害を防ぐ働きには古くから注意が払われており、現在では森林の5割がそのための保安林として保護されています（表1）。

このような森林の様々な機能は、どれをとっても私たちの生活や生存にとって欠くことの出来ない大切なものです。我が国は、国土の7割近くが森林で覆われている森林大国で、大変恵まれています。地球全体で見ると、森林は、地表の3割を占める陸地のそのまた3割しかありません。私たちは、「森林が存在し続けることそのものが、日々生活して生きていく上で、とても大切に幸運なことだ」と言うことに、改めて思いを致さなくてはならないと思います。

## 2. 破壊される森林

我が国の森林面積は、何年もほぼ一定に保たれています。一方、地球全体では、毎年日本の森林の3割が無くなる勢いで、森林面積が急速に減少しています。主な

表1 日本の保安林(2009年3月現在)

| 区 分       | 合計<br>(1000ha) |
|-----------|----------------|
| 水源かん養保安林  | 9,001          |
| 土砂流出防備保安林 | 2,509          |
| 土砂崩壊防備保安林 | 58             |
| 飛砂防備保安林   | 16             |
| 防風保安林     | 57             |
| 水害防備保安林   | 1              |
| 潮害防備保安林   | 14             |
| 干害防備保安林   | 122            |
| 防雪保安林     | 0              |
| 防霧保安林     | 62             |
| なだれ防止保安林  | 19             |
| 落石防止保安林   | 2              |
| 防火保安林     | 0              |
| 魚つき保安林    | 58             |
| 航行目標保安林   | 1              |
| 保健保安林     | 698            |
| 風致保安林     | 28             |
| 合 計       | 12,646         |

(2010年度林野庁業務資料)

原因は農地開発ですが、特に減少が目立つのが、アフリカ、南アメリカ、東南アジアです（表 2）。森林の持つ木材生産の機能、水質を浄化し保水する機能、水害や土砂災害防止の機能等を持続的に享受し続けるためには、緊急にこの森林の減少を食い止め、既に破壊された森林を再生させる手だてを考えることが必要です。また、日本の森林について言えば、同様の森林破壊への道をたどらないように、今ある安定した森林として管理していく必要があります。

そのためには、安定した森林が維持され発達する仕組みを十分に理解して、それに沿って、森林生物が本来持っている生物機能を最大限活用しながら管理することが重要でしょう。

### 3. 持続的な森林：生物間の相互作用

安定して森林が森林であり続けるために、森林生物間の相互作用が重要な働きをしていると、私たちは考えています。例えば、森林の主役である樹木は、一本で孤立して生きている訳ではありません。多くの樹木は、花粉や種子を虫や動物に運んでもらって初めて、うまく世代交代できます。また、病原菌との相互作用のような負の相互作用でも、森林の世代交代にとっては重要な場合もあります。恐らく、こうした様々な森林生物間の相互作用が織りなす目に見えない多彩なネットワークが、環境に対する高い適応性を森林全体に付与して、安定した森林を維持して行くのでしょう。従って、安定した森林を維持して行くには、この相互作用を上手に管理して行く必要があります。

とはいえ、森林内で起っている生物間の相互作用は大変複雑で、私達が知り得ていることは、残念ながらあまりにも僅かしかありません。現時点では、この相互作用の実体と働きを一つ一つ明らかにすることが、まずは大切なのでしょう。

### 4. 地面の下の相互作用：樹木と外生菌根菌の共生

森林で見られる生物間相互作用は、私達の目につく地上で起っているものだけではありません。林床下でも、森林の維持や発達にとって重要な生物間の相互作用が起っています。そして最近では多くの研究者が、この林

表 2 森林面積の増減

| 地 域     | 2000年～2005年<br>(1000ha/年) |
|---------|---------------------------|
| 中央アフリカ  | -673                      |
| 東アフリカ   | -771                      |
| 北アフリカ   | -544                      |
| 南アフリカ   | -1,154                    |
| 西アフリカ   | -899                      |
| 東アジア    | 3,840                     |
| オセアニア   | -356                      |
| 南アジア    | -88                       |
| 東南アジア   | -2763                     |
| ヨーロッパ   | 661                       |
| カリブ諸国   | 54                        |
| 中央アメリカ  | -285                      |
| 南アメリカ   | -4,251                    |
| 北アメリカ   | -101                      |
| 西・中央アジア | 14                        |
| 全世界     | -7,317                    |

(FAO 2009)

床下の相互作用が、安定した森林を支えていると考え始めています。そこで今日は、菌根共生と呼ばれる地下での樹木と菌類との相互作用について紹介したいと思います。

外生菌根菌（以下菌根菌と省略）と呼ばれる菌類は、樹木の細根に菌根と呼ばれる構造を作って樹木と共生します(図1)。菌根の中の菌根菌は、土の中へ菌糸を伸ばして栄養を吸収し、その栄養の一部を菌根内で樹木の根に分け与えて樹木の成長を促進しています。一方樹木は、光合成で二酸化炭素から合成した有機物を、やはり菌根内で菌根菌に分け与えて菌糸の生長を助けます。菌根菌はキノコを作る担子菌に属するものが多いので、その場合にはキノコの形成も助けています。たかが菌類と思うかも知れませんが、実際の森林では、樹木が生成した有機物の1〜2割が菌根菌に渡っているとも見積もられています。決して少ない量ではありません。別の言い方をすると、菌根菌は、森林全体の物質やエネルギーの流れの一端を担っているとも言えます。



図1 アカマツ苗とコツブタケ菌の共生

【多数の菌根から菌糸(根外菌糸体と呼ばれる)が根の外に伸びている】

図2 菌根菌ウラムラサキ菌の共生によるアカマツ苗の生長促進効果(接種後2ヶ月)

図2は、人工的にウラムラサキ菌という菌根菌をアカマツ苗に接種して共生させた例ですが、共生によってアカマツ苗の生長が顕著に促進されているのが分かります。私たちは、この菌根菌の共生による樹木の成長促進効果が、とりわけ、栄養の少ない厳しい環境での森林の維持や発達に欠くことの出来

ない役割を果たしていると考えています。

一例を示しましょう。富士山火山荒原の御殿場口斜面では、300年前の宝永大噴火で堆積した火山礫の上にパッチ状に植生が回復してきていますが、それらはやがて森林に発達します。植生パッチには、ミヤマヤナギがパイオニア的に進入してきていますが、この樹木には、多くの菌根菌が共生しており、時としてキノコを作っています（図 3）。この木の実生に人工的に菌根菌を共生させると、やはり際立って良く生長します（図 4）。実際富士山の現地でも、散布されたミヤマヤナギの種が発芽して新たに実生が定着する時、菌根菌が共生して定着を助けていることが分かっています。



図 3 富士山火山荒原の菌根菌性キノコ(ハマニセショウロ)



図 4 菌根菌接種によるミヤマヤナギ苗の生長促進

また、ミヤマヤナギが生えると、その付近に後続樹種のダケカンバやカラマツの実生が定着しますが、この場合には、そのミヤマヤナギと共生している菌根菌が、それらの実生にも感染して生長や定着を助けています。こうして、富士山の火山荒原のように厳しい環境では、菌根菌が樹木の実生の定着を助け、それによって森林の再生過程が促進され支えられています。

私たちが、安定した森林の維持や再生を考える時には、地上での動植物間の相互作用だけでなく、林床下の樹木と菌根菌との共生をも注視していくことが重要です。

## 5. 菌根菌の種多様性

林床下で樹木の根に菌根を作っている菌根菌種は、とても多様です。図 5 は、これまで世界のあちこちで樹木の種数と菌根菌の種数との関係を調べた

研究のデータをまとめたものですが、最大値(図中の●)は秩父演習林でのデータで、樹木8種に共生する菌根菌は387種に及んでいます。

このような菌根菌の多様性がどうして生じるのかははっきりは解りませんが、面白いことに図5では、樹木の種数が増えると共生する菌根菌の種数も増えていきます。このことは、異なる種の樹木には異なる菌種が共生する傾向があることを示しています。そうだとすれば、樹木の種多様性が高ければ、菌根菌の種多様性もその分大きくなるはずで、また、菌根菌は樹木の定着を促進

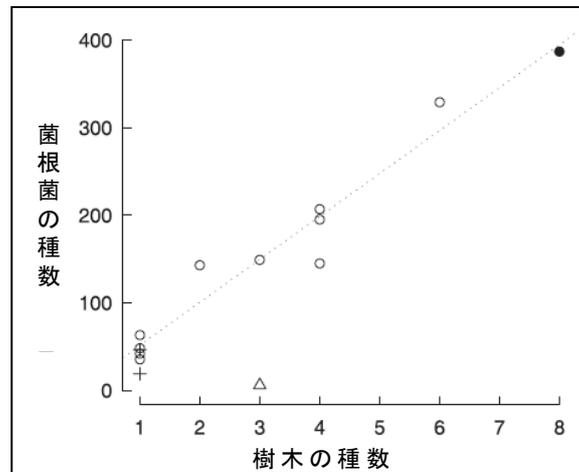


図5 菌根菌の多様性(Dikie IA 2007)

するのですから、多様な樹木によって多様になった菌根菌は、今度は逆に、それぞれに相性の良い多様な樹木の定着を助けるはずで、こうして樹木の種多様性と菌根菌の種多様性とが、相乗的に互いを高め合っている可能性も考えられます。地上の現象と地下の現象は、決して無関係では無いでしょう。

一方、上で述べたように、林床下では、実に多様な菌根菌が樹木に共生していました。では多様であることに、どのような意味があるのでしょうか？土壌の中では、栄養や水の含量やpHなどは、数センチ離れば全く違っていることも希ではありません。菌根菌が多様であれば、不均一な土壌環境中のそれぞれの場所でそれぞれの場所に適した特徴を持つ菌根菌が共生できることになり、全体として最大の共生機能が発揮されます。また、共存する多様な菌根菌の環境適応度が、季節変化等の環境変化に応じて種ごとに異なったパターンで変化するとすれば、その時々、より適応度が高い菌種が低い菌種にとって変わって優占的に共生することになり、この場合も全体として最大の機能を発揮するはずで、どちらの場合も、多様な特徴を持つ菌根菌が共存して補い合うことによって、林床下の菌根共生系は、全体としても安定した高い機能を発揮することになります。

まだ確かな証拠は有りませんが、安定した森林では、「樹木の多様性と菌根菌の多様性との相乗作用」や「菌根菌同士の補い合い」が実際に起こっていると、私たちは想像しています。持続的な森林利用と森林機能の発揮には、安定した森林を維持する必要がありますが、そのためには、地上部の相互作用だけでなく、地下で起っている多様な樹木と多様な菌根菌との相互作用もしっかり維持するような管理方法を考えていかななくてはなりません。

## 6. 森林学から見た「生物多様性」

さて今回の講座のテーマが、「農学から生物多様性をみる」ということですので、最後に森林学から生物多様性の一つである「種多様性」を考えてみたいと思います。

森林学の基本的命題の一つは、「持続的に森林資源を利用し、安定的に森林の有益な機能を発揮させるにはどうすれば良いか」ということです。森林学の観点からすれば、利用に伴うかく乱や破壊を回復可能な範囲にとどめ、森林を安定した森林として維持し続けることが大切です。安定性が高い森林では一般に種多様性が高く、様々に異なる機能を持つ樹木や下草や動物や菌類が共存しており、その分多様な生物間の相互作用がネットワークのように張り巡らされています。異なる機能や適応範囲を持つ生物が互いに補いあうことによって、森林の安定性が保たれているのでしょう。多様な相互作用を生み出す種多様性は、その意味で安定した森林のキーワードの一つです。

しかし、森林の安定性に影響を与える要因としては、種多様性の他にも、生物種の機能の多様性、環境適応度の多様性、さらには気候、地形、土壌など様々なものが考えられます。林業などの森林利用に伴うかく乱や破壊、さらにはそこからの回復過程で、森林の安定性に関わる様々な要因をどうコントロールすれば良いのか、森林学にとっては大きな研究課題です。その際には、種多様性だけでなく、それ以外の要因も考慮する必要があります。

また、種多様性とは、元来種の数や種の出現頻度を変数とした数値で表現される概念です。森林の安定性を表現するには、単純にこの数値的な概念だけでは、茫漠とし過ぎていて力不足です。例えば、適応範囲が異なる多彩な樹種が共存していれば、気候変動等の環境変化に応じて、その時々により環境適応度が高い樹種が低い樹種にとって変わって優占し、森林全体の安定性が保たれるはずですが。その場合、大切なのは、種数がいかに多いかではなく、いかに適応範囲が異なる種が幅広く共存しているかが重要になります。森林の安定性を考える場合、単なる種数や出現頻度を越えて、環境適応性の多様性、相互作用の多様性など、多様性の中身の概念が大切になってきます。

森林学の観点からは、あくまでも「森林の安定性のメカニズム」を研究の出発点あるいは中心に据え、より直接的に安定性に関わる要因や森林生物の特徴を特定することが大切です。さらにそれを基に、森林を利用するためには避けられない人為かく乱や破壊の許容範囲を的確に表現するような、生物多様性以外の新たな指標を考案することも、森林学の今後の大きな課題ではないかと思っています。

## プロフィール

ほうげつ たいぞう  
寶月 岱造

### 所 属

森林科学専攻 森林植物学研究室

### 略 歴

1976年 東京大学大学院理学系研究科修了（理学博士）  
1976年 東京農工大学農学部助手  
1979年 東京大学教養学部助手  
1989年 東京大学農学部助教授  
1995年 東京大学農学部教授  
1995年 東京大学アジア生物資源環境研究センター教授  
2003年 東京大学大学院農学生命科学研究科教授  
2006-2009年 東京大学アジア生物資源環境研究センター長  
2010年 日本森林学会会長

### 主な研究活動

- ・ 樹木の分子生態学
- ・ 樹木と共生する菌根菌の分子生態学
- ・ 樹木病害の分子生態学

詳しくは研究室のホームページ参照 (<http://www.fb.fr.a.u-tokyo.ac.jp/>)

### 主な著書

- (1) 宝月岱造 (2010) 「外生菌根菌ネットワークの構造と機能」 土と微生物 64:57-63
- (2) 宝月岱造・練春蘭・成松真樹・奈良一秀 (2008) 「地面の下のマツタケ生態学」 森林科学 53:33-34
- (3) 宝月岱造 (2005) 「富士山火山荒原における先駆植物の定着様式」 学際 15:16-20
- (4) 宝月岱造, 「樹木－微生物共生」 森林の百科, pp.193-204, 2003, 朝倉書店

学術論文等は、農学生命科学研究科のホームページ

(<http://www.a.u-tokyo.ac.jp/index.html>) 「研究者の紹介」 参照

# M e m o

< 司 会 進 行 >

応用生命化学専攻

准教授 三坂 巧

## プロフィール

みさか たくみ  
三坂 巧

### 所 属

応用生命化学専攻 生物機能開発化学研究室

### 略 歴

1998年 日清食品株式会社  
2000年 東京大学 農学研究員  
2001年 日本学術振興会 特別研究員(PD)  
2003年 生理学研究所 助手  
2005年 東京大学大学院農学生命科学研究科 講師  
2008年 東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授

### 主な研究活動

食品の味を感じるメカニズムの解析

味覚受容体の機能解析を通して、食品の味がどのように認識されるのかを研究している。

### 主な著書

- (1) 阿部啓子、三坂巧(2007)「食品機能評価法 培養細胞」、荒井綜一、阿部啓子、金沢和樹、吉川敏一、渡邊昌(編)、機能性食品の事典、朝倉書店
- (2) Shimizu-Ibuka, A., Morita, Y., Nakajima, K., Asakura, T., Terada, T., Misaka, T., and Abe, K. (2008) Neoculin as a new sweet protein with taste-modifying activity: purification, characterization, and X-ray crystallography. In Sweetness and Sweeteners - Biology, Chemistry, and Psychophysics: Weerasinghe, D.K. and DuBois, G.E. (eds.) American Chemical Society, Vol. 979, 546-559
- (3) 中島健一郎、古泉文子、朝倉富子、三坂巧(2009)「味覚修飾蛋白質ネオクリンの活性化機構と新規甘味蛋白質の開発」蛋白質核酸酵素、54、843-848