

CASE 1

生命を育む海がある!?
土星の衛星エンセラダスに

地球は太陽系で唯一、海をたたえた奇跡の惑星である

—これがひと昔前までの常識だった。

ところが、近年の惑星探査によって、

我々の住む太陽系には、地球以外にも海を持つ天体が複数存在することが明らかになっている。

ただし、「海」とは言っても、地球に存在する地表面にある海とはタイプが違う、

天体の地下に広がる内部の海である。

土星の衛星のひとつであるエンセラダスは、

そのような内部海をもつ天体であり、

我々はそこでの生命存在可能性に迫る研究を行っている。

エンセラダスを宇宙から見ると、巨大な氷の塊のように見える。2004年に探査を開始したNASAの探査機カッシーニは、重力測定によって、この天体の地下30kmに南極点を中心とした深さ10km以上の広大な内部海が存在することを明らかにした。さらに、南極付近の氷には幾筋もの割れ目が存在し、そこから海水が間欠泉のように噴出していることも発見した。カッシーニはその間欠泉に突入り、海水を採取している。つまり、初めての地球外天体の海水のサンプリングを行ったのである。そして、その場で分析を行い、水に加えて二酸化炭素やアンモニア、アミノ酸の基となるような有機分子、ケイ酸塩などが含まれていることも明らかにしている。また、エンセラダスの海水には、地球の海と同様にナトリウム塩も含まれている。このことは、岩石に含まれていたナトリウムが海水に溶脱したこと、つまり内部海は海底で岩石コアと接していることを示している。

エンセラダスの海にも、生命を育む環境は存在するのだろうか。水や有機物が存在していても、生命が利用できるエネルギーがなくては、生命はその活動を維持することはできない。しかし、エンセラダスの地下に存在する内部海では、太陽光エネルギーを利用することは不可能である。実は地球上でも、太陽光の届かない深海底に生命が繁茂している場所がある。それは火山地帯に存在する海底熱水噴出孔だ。そこでは、高温に熱せられた海水が岩石中の鉄を酸化して水素を生成している。この水素と周囲の海水に含まれる二酸化炭素との酸化還元反応によって、原始的な微生物はエネルギーを獲得している。

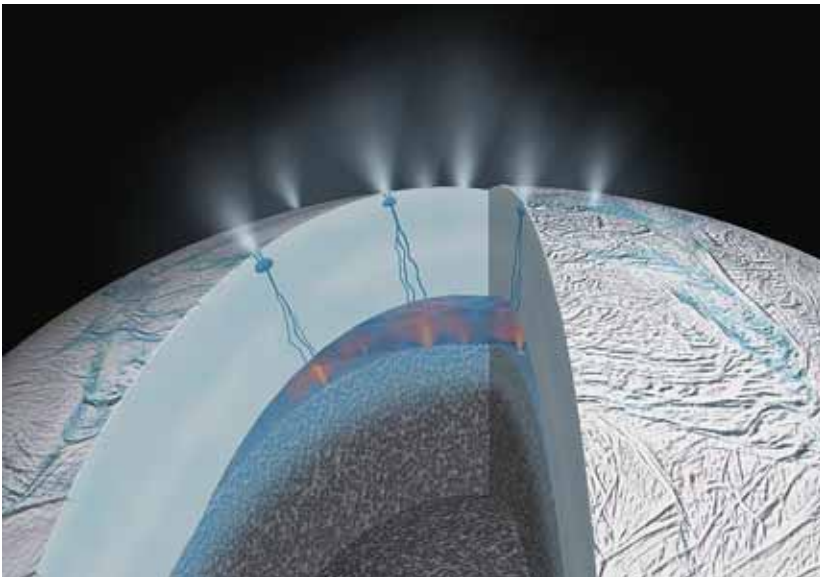
私たちはカッシーニ探査チームと共同で、エンセラダスの内部海を模擬した高压熱水実験を行い、熱水噴出孔がエンセラダスに存在するのかを調べた。特に、我々は噴出した海水に含まれていた、ケイ酸塩の1つであるナノシリカに着目した。通常ナノシリカは、岩石と触れ合った熱水が冷却したとき、溶存したシリカが析出することで生成する。熱水実験の結果から、ナノシリカが生成するためには、100℃以上の熱水環境が必要であることがわかった。また、岩石の組成が地球のマン托ルのような組成ではなく、隕石に近いこともわかった。このような環境では、生命にとってエネルギーとなる水素も豊富に生成されるだろう。

エンセラダスのみならず、火星も含めて、地球外生命の発見という人類科学における究極のゴールが、次世代探査における現実的な目標となりつつある。地球惑星科学のみならず、物理学、化学、生物科学といった理学が分野の垣根を超えて、宇宙における生命という問題に真正面から向き合うことが求められているといえる。

本研究は、Hsu, H.-W., Postberg, F., Sekine, Y. *et al.*, *Nature* 519, 207 (2015), Sekine, Y. *et al.*, *Nature Communications* 6:8604 (2015) に掲載されました。

(2015年10月28日プレスリリース)

エンセラダス内部の様子。岩石のコアを取り巻くように液体の海が存在し、海底には熱水環境が存在する。南極付近から宇宙空間に向かって海水が噴出している(画像提供NASA/JPL)



CASE 2

自己抑制の仕組みで バランスを保つ植物の根

発芽後、植物は地中に根をはる。
根が伸び続けることができるのは、根の先端に活発に細胞分裂をする部分があり、根となるための細胞が次々と供給されるからである。
細胞分裂により供給された細胞はその後、根を構成する様々な細胞へと分化していく。
一般に、分化した植物細胞は分裂をしないため、いつまでも細胞分裂をつづけるためには、根の先端にある細胞を分化しない状態に保つ必要がある。
つまり、細胞の分化の進行を適切に保つことが重要となる。
私たちは、この分化の程度を調整する仕組みの一端を明らかにした。

細胞が「分化する」とは、細胞がある特定の役割をもつ細胞になることである。たとえば、植物の維管束にある道管の細胞であったら、細胞は極端に細長くなり、細胞壁は非常に分厚くなる。さらに、細胞は中身を失い、細胞壁だけが残る。このような状態を、道管の細胞に分化したという。水やミネラルなどを植物体全体へと運ぶ管としての役割を果たすために、まさに堅固なチューブのように分化したのである。そして、このように分化した細胞は細胞分裂をすることはしない。

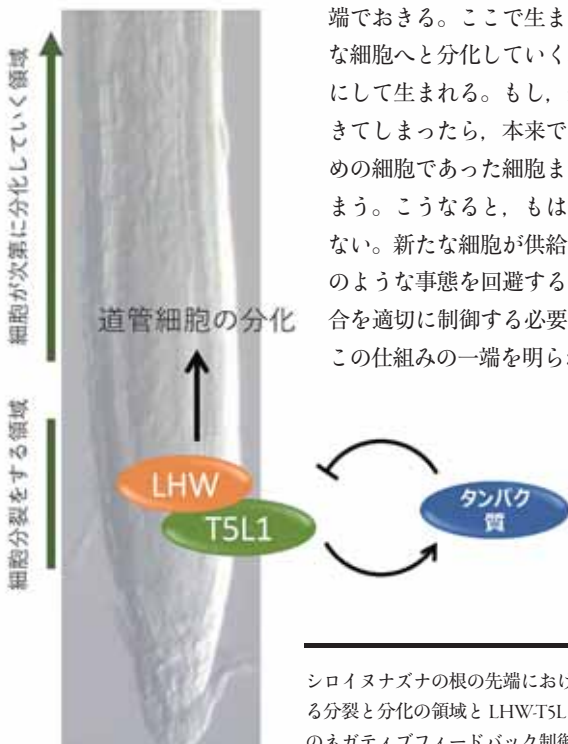
根が伸びていくために必要な細胞分裂は根の先端でおきる。ここで生まれた細胞は、次第に様々な細胞へと分化していく。道管の細胞もこのようにして生まれる。もし、道管への分化が次々とおきてしまったら、本来であれば細胞分裂をするための細胞であった細胞まで道管の細胞になってしまう。こうなると、もはや根は伸びることができない。新たな細胞が供給されないためである。このような事態を回避するためには、分化の進行具合を適切に制御する必要がある。私たちは、今回この仕組みの一端を明らかにした。

遺伝子の発現を制御する因子の中でも、根の先端の中央部で鍵となる働きをする因子に LHW と T5L1 がある。LHW と T5L1 は結合してはじめて、他の遺伝子の発現を制御できるようになる。今回、LHW と T5L1 には道管の細胞への分化を導く役割があることが明らかとなった。加えて、LHW と T5L1 は、自身の機能を抑制する仕組みを併せもつこともわかった。LHW と T5L1 は、複数の遺伝子の発現制御を通して、自身の働きを抑えるための新たなタンパク質を作り出していたのである。このタンパク質は、T5L1 の代わりに LHW に結合することにより、LHW と T5L1 の機能を抑制していると考えられた。つまり、LHW と T5L1 は、ネガティブフィードバック制御を自身にかけているということである。今回の研究では、LHW と T5L1 が、道管への分化の進行に対するアクセルとブレーキの機能をあわせもつことを見出したことになる。

ここで、このネガティブフィードバック制御の重要性について一つの実験を試みた。このフィードバックが働く状態と働かない状態とで、LHW と T5L1 を過剰に働かせてみたのである。その結果、フィードバックが働かない植物では、植物の様々な部位で道管の細胞が異所的に形成されるなど LHW と T5L1 の機能が暴走した状態となり、根は伸長することができなかつた。一方、フィードバックが働く状態では、根は伸長することができた。これらの結果は、自己の機能を抑制する仕組みが、分化の程度のバランスを保ち、植物の成長を保証することを示していると考えられた。

本研究は、H. Katayama *et al.*, *Current Biology*, 25, 3144-3150 (2015) に掲載された。

(2015年11月24日プレスリリース)



シロイヌナズナの根の先端における分裂と分化の領域と LHW-T5L1 のネガティブフィードバック制御

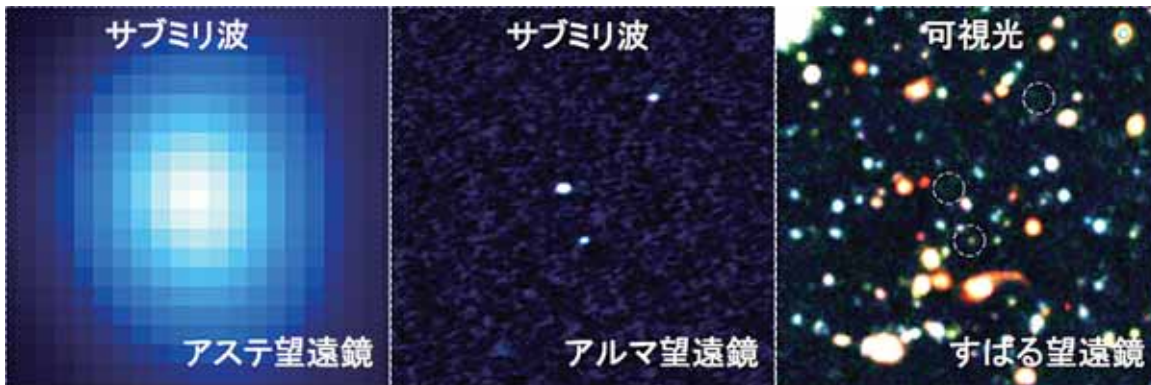
115億光年かなたの宇宙で見つけた怪物銀河の大集団

100億年前の太古の宇宙には、極めて活発に星生成を行う怪物銀河が存在していたことがわかってきた。約20年前の最初の発見報告以降、続々と怪物銀河が発見されている。ここ数年、観測技術の進展に伴い、これら怪物銀河の詳細な観測が可能になりつつある。私たちは南米チリにあるアルマ望遠鏡を用いて、前例のない高密度の怪物銀河の集団を発見した。

波長1mm付近の電磁波をサブミリ波と呼ぶ。サブミリ波で宇宙を観測すると何が見えてくるのか。その主役の一つに遠方の宇宙に存在する活発な銀河が挙げられる。ここで「活発」という言葉の意味は、いかに激しく星を生み出しているか、である。例えば私たちの住む銀河系も星を生み出し続けているが、その数百倍から数千倍もの勢いで爆発的に星を作っている銀河をサブミリ波では捉えることができる。これは具体的には、作られた星からの光で暖められた周囲の塵からの放射を捉えている。その活動の激しさゆえに、しばしばこのような銀河は怪物銀河（モンスター銀河）と呼ばれている。

1997年の最初の発見報告からまだ20年に満たないことが示すように、怪物銀河は比較的新しい研究対象だといえる。私たちは、これまでに南米チリに設置されたアステ望遠鏡にアズテックカメラを取り付け、数多くの怪物銀河を発見してきた。しかし、より詳しくこの興味深い銀河を知るためにはより高感度、高解像度の観測が求められるようになる。そこで登場したのがアルマ望遠鏡である。アルマ望遠鏡は、日米欧の国際協力プロジェクトである最新鋭の電波望遠鏡で、アステ望遠鏡と同様にチリのアタカマ高地に設置されている。アルマ望遠鏡の登場によって、従来の何倍、何十倍の感度、解像度を容易に達成することが可能となった(図)。

怪物銀河の例。当初一つの天体として発見されたが、アルマ望遠鏡によって3個の怪物銀河からなることがわかった。すばる望遠鏡の可視光の画像では暗く、サブミリ波による探査が欠かせないことがわかる。



梅畑 豪紀
(天文学教育研究センター / ヨーロッパ南天天文台 日本学術振興会 特別研究員)

田村 陽一
(天文学教育研究センター 助教)

河野 孝太郎
(天文学教育研究センター 教授)

私たちは2014年から2015年にかけて、このアルマ望遠鏡を用いて怪物銀河の観測を行った。この観測には二つの大きな特徴がある。一つ目は視野の広さである。アルマ望遠鏡の弱点として、一度に観測できる範囲(視野)が狭いというものがあるが、私たちは連続した103個の視野をつなぎ合わせ、6平方分角という非常に広い範囲を観測した。これは数多くのアルマ観測の中でも最大級の広さである。二つ目は観測した場所である。近傍の宇宙では「グレートウォール」と呼ばれる、銀河分布の織りなす数億光年規模の巨大な構造が知られている。私たちは115億光年先の遠方宇宙に見つかっている若い銀河の大集団、いわば「原始」グレートウォールを狙った。

今回、アルマ望遠鏡によって一つ一つの怪物銀河をはっきりと捉え、また、すばる望遠鏡など他の望遠鏡の助けも得て怪物銀河までの距離の決定も進めることができた。その結果は非常に刺激的なものだった。実に9個の怪物銀河が原始グレートウォールのまさに中心部に密集していたのである。怪物銀河がどんな場所で生み出されたのか、これは大きな謎となっていた。この結果は怪物銀河が巨大な構造の内部で集中的に形成されていることを示す有力な観測的証左といえる。

怪物銀河は128億光年先まで見つかつてきている。今後アルマ望遠鏡をはじめとする最先端の望遠鏡によって、さらに時代をさかのぼって「怪物銀河がどこで、どのように生まれたのか」が明らかにされていくことだろう。

本研究は、H. Umehata *et al.*, *The Astrophysical Journal Letters*, 5, 14589 (2015) に掲載された。

(2015年12月5日プレスリリース)