

植物幹細胞の発生運命はどのように決まるのか

近藤 侑貴 (生物科学専攻 助教), 福田 裕穂 (生物科学専攻 教授)

樹齢 1000 年を超えた屋久杉などに代表されるように、植物は生涯を通して肥大成長を続ける。この肥大成長は、維管束内の木部と節部の間にある前形成層・形成層の細胞（維管束幹細胞）が分裂をして増殖しながら、木部・節部細胞へと分化していくことによって行われる。私たちはこれまで、この肥大成長のしくみを明らかにすることを目的に、維管束幹細胞の制御に着目をして研究を行ってきた。そして、このたび、ペプチドホルモン TDIF による維管束幹細胞から木部細胞への分化制御のしくみを明らかにし、その解析過程で見出した化合物を用いることで、木部細胞の分化を人為的に誘導することに成功した。

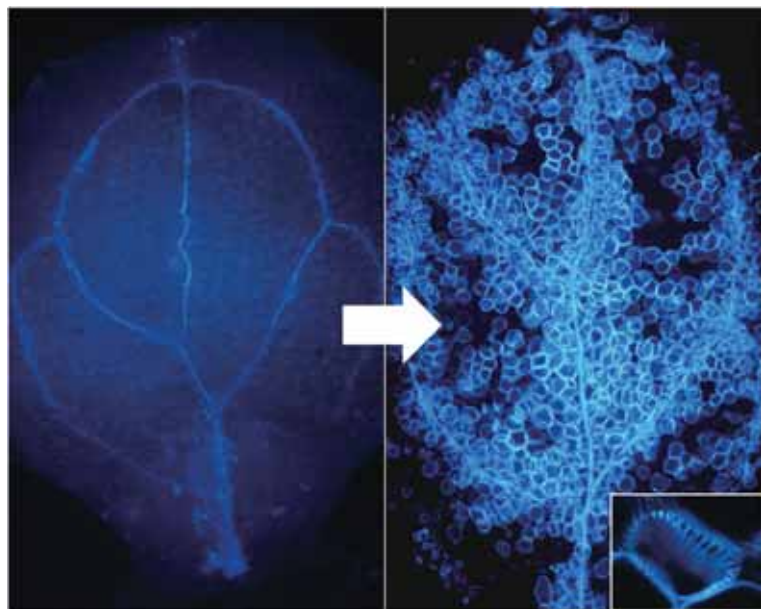
これまでに、私たちは、植物の CLE ペプチドホルモン^(注1)の一種である TDIF とその受容体 TDR を介した細胞間コミュニケーションが、維管束幹細胞の分裂や分化の制御に重要であることを明らかにしてきた。しかし、細胞内で TDIF 情報がどのように変換され、最終的にどの因子に情報が伝えられるかといった細胞内シグナル伝達のしくみは不明なままであった。そこで、私たちは TDIF 細胞内シグナル伝達の初期過程を明らかにしようと考え、膜受容体 TDR と結合するタンパク質を探索することにした。その結果、動物などにおいてもシグナル伝達に働く GSK3s (グリコーゲンシンターゼキナーゼ 3) タンパク質群が TDIF-TDR のシグナル伝達に関わることを突き止めた。そして、これら GSK3s の多くは、通常、細胞膜近傍で TDR と結合しているが、TDIF 刺激により TDR から離れるというユニークなシグナル伝達のしくみを見出した。それでは、GSK3s は幹

細胞の制御において、どのような役割を果たすのだろうか。これを知るために、突然変異体や阻害剤を用いて、GSK3s の活性を抑えたところ、植物体内の維管束幹細胞が木部細胞へと分化してしまい、その結果として維管束幹細胞数が減少した。これらの結果より、GSK3s は維管束幹細胞において木部細胞分化を抑制していることが示された。この新たに発見したしくみを応用すると、多数の木部細胞を人為的に作り出すことが可能になると考え、本研究中に見いだした GSK3s 阻害剤をシロイヌナズナの子葉に与えたところ、わずか 3-4 日という短い期間で、葉一面に木部細胞をつくり出すことができるようになった。

このように今回、TDIF-TDR のシグナル伝達機構の解明を通じて、木部細胞の分化を人為的に誘導する新規な方法を確立することができた。今後は、これらの方法を基に遺伝子改変技術と組み合わせていくことで、幹細胞の本質の理解につなげる基

礎研究だけでなく、木部細胞の性質改良を目指した応用研究への展開も期待される。なお、本成果は、理化学研究所の白須賢グループディレクター (生物科学専攻兼任教授)・中神弘史ユニットリーダーとの共同研究として実施し、Y. Kondo *et al.*, *Nat. Commun.* 5, Article number: 3504 (2014) に掲載された。

(2014 年 3 月 24 日プレスリリース)



大量の木部細胞を誘導した葉の様子。左図は誘導前、右図は誘導後の子葉の UV 励起蛍光像を示し、木部細胞の二次細胞壁を構成するリグニンの自家蛍光を表している。右下図は、拡大写真で、木部細胞に特徴的な細胞壁の様子を示す。

CLE ペプチドホルモン (注 1): 低濃度でさまざまな生理活性をもつペプチドホルモンであり、12 または 13 アミノ酸からなる。モデル植物シロイヌナズナには CLE ペプチドをコードする遺伝子が 30 種類以上存在する。

「化粧」によって若返る星

服部 公平* (ケンブリッジ大学 博士研究員), 吉井 讓 (天文学教育研究センター 教授)

われわれの住む天の川銀河には、約 2000 億個の恒星が存在している。宇宙は今から 137 億年前に誕生したと考えられているが、天の川銀河の中にも、100 億歳程度の高齢の恒星が発見されている。こうした高齢の恒星は、天の川銀河の「歴史の生き証人」であり、天の川銀河の歴史を知る上でひじょうに重要な情報源である。ところが、困ったことに、一部の高齢の恒星は、まるで「化粧」をするかのように外見（表面の化学組成）を変え、若い恒星のように変装している可能性があることが明らかとなった。

宇宙の誕生以来、宇宙空間の鉄の量は単調に増加している。恒星は宇宙空間のガスから形成されるため、初期宇宙で生まれた恒星は誕生時の鉄の濃度が低く、最近生まれた恒星は誕生時の鉄の濃度が高い。これまで、恒星表面の鉄の濃度は誕生時の先天的な値のまま変化しないと考えられており、恒星の年齢の指標として長らく利用されてきた。

いっぽう、この従来の通説とは反する仮説も提唱されている。鉄の少ない高齢の恒星に鉄の多いガスが衝突・付着すると（これを金属降着とよぶ）、恒星が「化粧」をするかのように表面の鉄の濃度が増加する。こうした恒星は、先天的に鉄の濃度が高い（若い）恒星と見分けがつかなくなってしまう。

恒星に降着したガスは、恒星表面で攪拌される。そのため、金属降着仮説が正しければ、表面对流層の薄い恒星ほど表面の鉄の濃度が上昇しやすいはずである。しかし、個々の恒星の表面を観測するだけでは、鉄の濃度が先天的なものかどうかの判断は困難である。そこでわれわれは「個々の恒星」ではなく「恒星の集団」に着目し、恒星の「見かけ上の若返り」（表面の鉄の濃度の上昇）を統計的に検証した。

現在、太陽近傍の G 型・K 型の主系列星は約 1 万天体の大規模データが公開されている。G 型星は K 型星にくらべて表面温度が高く、したがって表面对流層が薄いため、金属降着の影響を受けやすい。そのため、同じ歴史を経験してきた G 型・K 型主系列星の表面を比較すれば、G 型星は相対的に鉄の濃度が高いことが予想される（図 1）。

そこでわれわれは公開データを利用し、軌道の似た（すなわ

ち、同様の歴史を経験してきた）G 型・K 型主系列星の表面を統計的に比較した。その結果、最古の恒星が集まる「天の川銀河ハロー」に存在する G 型主系列星の中には、表面の鉄の濃度が本来の値より 50% 増加しているものが存在することが明らかとなった（図 2）。これは金属降着仮説を裏付ける結果である。提唱から 30 年を経た金属降着仮説が、近年の大規模恒星サーベイの恩恵を受けて初めて確認されたことは特筆に値する。

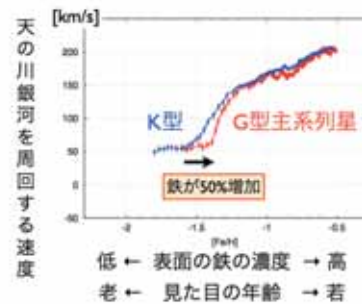


図 2：鉄の濃度と公転速度の相関のズレから、G 型星の鉄の濃度の増加が示唆される。

この成果には 2 つの意義がある。1 つ目は、恒星の年齢を推定する従来の手法の限界が明らかになり、天の川銀河の歴史描像が刷新される可能性が出てきたことである。2 つ目は、宇宙で最初に誕生し、先天的に鉄を含まない第一世代星が生き残っている可能性が浮上したことである。現在のところ、表面に鉄を含まない恒星は発見されていない。この事実を説明する最有力な学説は、すべての第一世代星が太陽より数十倍重く、短寿命で超新星爆発を起こしてしまい、もはや生き残っていないという説である。しかし、金属降着による表面汚染を認めれば、低質量で長寿命の第一世代星が生き残っていても観測事実と矛盾しない。最長老の恒星は「化粧」によって変装し、天文学者の目をだましているのかもしれない。本研究成果は、K. Hattori *et al.*, *The Astrophysical Journal* **784**, 153 (2014) に掲載された。

(2014 年 3 月 20 日プレスリリース)

* 2014 年天文学専攻博士課程修了

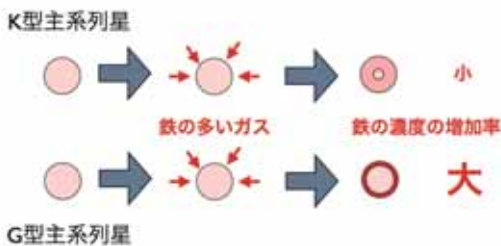


図 1：G 型星は K 型星より表面对流層が薄いため、金属降着の影響が大きい。

世界最大解像度の計算で、太陽対流層に迫る

堀田 英之^{*} (高高度観測所 日本学術振興会海外特別研究員)
横山 央明 (地球惑星科学専攻 准教授)

理化学研究所スーパーコンピューター「京」を用いて、世界最高解像度の太陽対流層計算を達成した。太陽対流層を高解像度で分解し、その熱対流の性質や磁場生成を理解することは、太陽物理学最大の問題である「太陽活動周期 11 年の問題」を解決する上で重要であるだけでなく、太陽活動を予想する上でも重要である。しかし、太陽対流層のその性質から昨今の大規模計算機では扱いきれないという問題があった。今回は新手法を適用し、この問題を解決。著しく解像度を向上させた上で、熱対流、磁場の性質の詳細を明らかにした。

太陽黒点の数は 11 年の周期で変動していることは良く知られているが、その物理機構はいまだに理解されていない。中心部で核融合によりエネルギーを生成し続けているために、太陽内部はまるで鍋でお湯を沸かしたように熱対流運動に占められている。この熱対流は、低い粘性と太陽の巨大なサイズのために非常に乱流的になる。また、太陽は電離した気体（プラズマ）から成り、磁力線はプラズマの動きに引きずられる。この、プラズマの運動エネルギーを磁場エネルギーに変換するというダイナモ作用によって、黒点を構成する強磁場は生成・増強されていると考えられている。

このように太陽内部の対流（層）を理解することは、太陽磁場を理解する上で重要であるが、星内部は観測で見通すことができないために、スーパーコンピューターによる数値計算がその理解に強力な手段となる。しかし、太陽内部の数値計算は困難をとまらう。もっとも重要な困難は、太陽対流層では熱対流速度に対して音速が 4000 倍ほど速いということである。一般的な数値計算では、時間幅 Δt で刻みながら積分していくがその値は、もっとも速い波動の伝搬時間より短く取らなければいけない。つまり、熱対流のみに興味があるのに 4000 倍も小さい時間幅を取らなければいけないのである。これは大量の積分回数を要し現実的でない。そこでよく取られている手法が非弾性近似である。これは、音速を無限大とする仮定で、時間幅を制約する対象から音波を外し、大きな時間幅を取ることができる方法だ。これまではこれでうまくいっていたのだが、計算機が巨大化するにしたがって、この手法にも問題が起きてきた。音速を無限大とするということは、すべての情報が、一瞬ですべての空間に伝搬するということである。つまり巨大な計算機のすべての CPU に情報を伝えなければいけない。これは、大きな負荷となる。この手法ではせいぜい 3000CPU 並列程度が限界と言われていた。

そこでわれわれは新たな手法「音速抑制法」を考案し、それを用いた計算をおこなった。これは、実効的な音速を下げるというものである。熱対流にとって音波とは、密度擾乱の緩和機構であり、ある程度の音速を保っておけば熱対流の性質自体は変化しないということをわれわれの 2012 年の研究で確かめてある。この方法を用いると情報は局所的にのみ伝わるので時間幅を大きく取りつつも、通信の負荷を減らせるという利点がある。この手法でわれわれは 10 万 CPU 並列まで有効に働いていることを確認している。

この手法を用いて、これまでは 5 億点が限界だった格子点の数を 32 億点まで増やし空間解像度を上げた。この成果により、これまでになく小スケールの熱対流を達成し、その大スケールへの影響をあきらかにした。また、これまではほぼ無視されていた太陽対流層内部の乱流によるダイナモ作用もわれわれの計算では実現することができ、非常に効率的な磁場生成が対流層の底で働いていることをあきらかにした。本研究成果は、Hotta, H. *et al.*, *The Astrophysical Journal*, **786**, 24 (2014) に掲載された。

(2014 年 4 月 11 日プレスリリース)

^{*} 2014 年地球惑星科学専攻博士課程修了



子午面上でのエントロピーの分布。太陽表面付近で生成された小スケールの熱対流が、太陽内部で合体し大スケールの熱対流をつくる様子が見られる。