

## CASE 1

### 大気中の鉄の起源を知り、 気候への影響を探る

世界の海洋には、溶解した鉄が不足しているために植物プラクトンの増殖が制限されている HNLC 海域とよばれる海域が多く存在する。このような HNLC 海域への鉄の供給源として重要なのが大気中の微粒子（エアロゾル）である。鉄を多く含むのは、鉱物粒子が巻き上がった自然由来のエアロゾルだと考えられてきた。いっぽうで、人為的に排出されるエアロゾルに含まれる鉄は、自然由来のものよりも水に溶けやすく、総濃度は低くても海水中の溶存鉄濃度を増やすのに一役買っている可能性がある。われわれは「鉄安定同位体比」を用いて人為的に排出された鉄の寄与を探った。

鉄は、46億年前に生まれた地球において、酸素に次いでもっとも多い元素である。そして、その後の46億年間、地球の進化のさまざまな場面で鉄は主役の元素であり、核（鉄ニッケル合金）やマントル（マグネシウムと鉄のケイ酸塩）の形成と地殻の進化でも重要な位置を占めてきた。また、生命進化の過程で、鉄は光合成を行う際に用いられる生体に必須な元素となったが、25億年前に酸素が地球大気の主成分となって以降、地球表層の鉄は水に溶けにくい+3価が主体となり、生物は環境から鉄を取り込むために苦労するようになった。そのため、海洋には溶解した鉄の不足によって植物プランクトンの増殖が制限されている海域が多くあり、HNLC (High-Nutrient Low-Chlorophyll) 海域（=硝酸イオンなどの栄養塩は豊富だがクロロフィル（植物プランクトン）の濃度が低い海域）とよばれている。そして、もしこの海域に鉄が多く供給されれば、光合成がより活発化し、二酸化炭素の大気中濃度が減少し、気候が寒冷化すると考えられている。つまり海水の（溶存）鉄濃度は、気候を変える因子の1つなのである。

鉄は沈殿し易いので、外洋の HNLC 海域まで運ぶには、水経由より大気経由の方が効果的であり、大気中の微粒子（エアロゾル）がその運び役を担っている。エアロゾルはさまざまな物質で構成され、鉄が多いのは黄砂のような自然由来のエア

ロゾル（鉱物ダスト）であるが、工場などから人為的に排出されるエアロゾル（PM2.5 など）中の鉄は水に溶け易く、海水中溶存鉄濃度の増加に寄与していると考えられる。では、エアロゾルに含まれる鉄が、自然起源か人為起源かはどうやって見分けられるのだろうか？

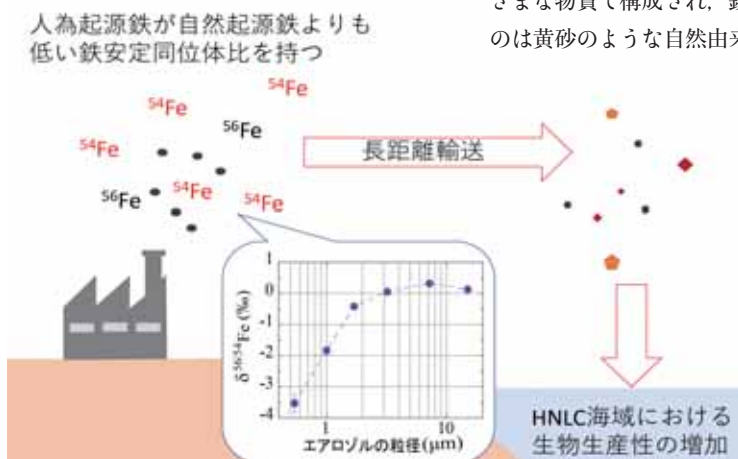
このような背景において、われわれは鉄安定同位体比に着目した。金属元素は、気化を経て大気中に供給される場合、軽い同位体が選択的に気化し、その同位体比が軽くなる傾向をもち、重鉛などでそのような現象は報告されていたが、鉄については十分に研究されていなかった。そこでわれわれは、粒径別に試料採取することで自然起源と人為起源のエアロゾルを効果的に分け、きわめて精密な分析を駆使することで、人為的な燃焼過程で気化を経て大気中に供給される鉄は、鉄安定同位体比（ $\delta^{56/54}\text{Fe}$ ）が自然起源の鉄より4%も軽く、大きな同位体分別を示すことを明らかにした。この発見により、海洋に運ばれるエアロゾルに含まれる溶解性鉄の57-83%は人間が排出した鉄に由来することが分かった。こうした人為的作用によるエアロゾル中鉄濃度の増加は、プランクトンの増殖を経て、気候変動に影響を与える可能性があるが、その程度は未解明である。栗栖さんはその解明のために、まず海水中の溶存鉄に人為起源成分がどの程度含まれているかを鉄安定同位体比を駆使して解明している最中である。今後の成果に期待しよう。

人類が地球に与える影響は様々であり、その影響を考えることは、環境科学の発展に貢献するだけでなく、かくも面白い研究対象であると感じる。理学が解明する新しい知見は、時に予想を大きく超えて、新しい研究分野を切り拓く。そして、こうした新しい扉を開けるのは、新しいことに挑戦しようという若者のエネルギーに他ならない。

本研究成果は、M. Kurisu *et al.*, *ACS Earth Space Chem.* 3, 588 (2019) に掲載された。

(2019年2月22日 / 2019年4月15日 U Tokyo FOCUS)

図：粒径別の鉄安定同位体比と、大気中の鉄の海洋表層への移行。



## CASE 2

## 花咲かじいさんの灰

「花咲かじいさん」という御伽噺のなかでは、優しいおじいさんが「灰」をまくと、次々と枯れ木に花が咲いていく。こんな荒唐無稽な光景も、現代の科学技術を使えば実現可能なことをご存知だろうか？  
今から約 15 年前に見つかった植物ホルモン・フロリゲンは、現代における「花咲かじいさんの灰」である。  
われわれは、フロリゲンが花を咲かせるメカニズムの解明に挑み、花を咲かせる際にフロリゲンが機能している細胞を突きとめることに成功した。

植物は、昼の長さ（日長）の季節変化に応じて花を咲かせるタイミングを決めている。こうした植物の環境応答を上手く利用した好例のひとつに、キクの電照栽培があげられる。フロリゲンは、植物が日長依存的に花を咲かせる現象において不可欠な植物ホルモンである。花を咲かせる日長条件で育てられた植物では、葉においてフロリゲンが作られる。フロリゲンは葉から茎の先端にある分裂組織（茎頂分裂組織）へと維管束を通過して運ばれ、花を咲かせる（図）。

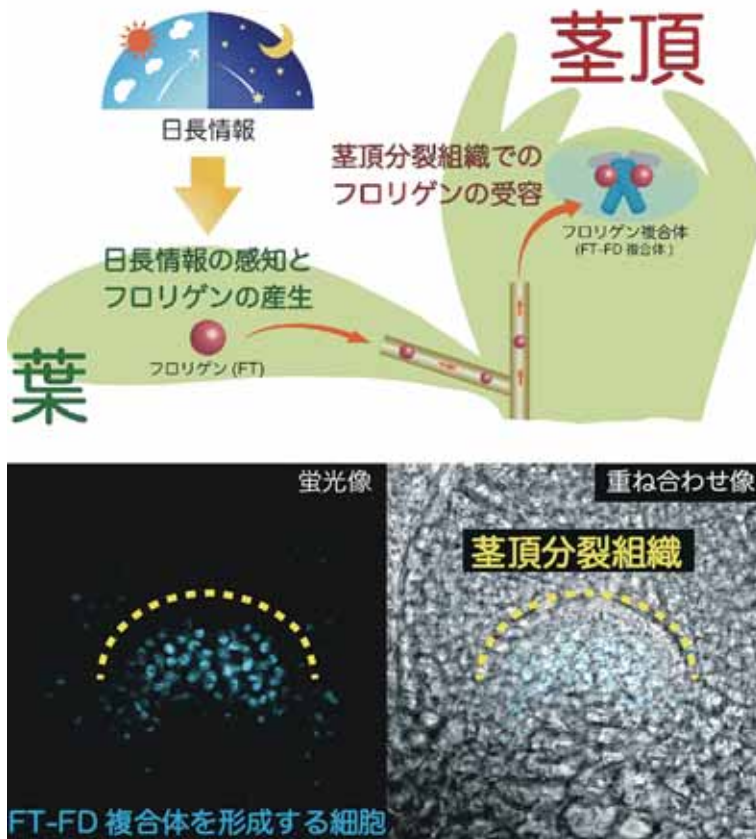
フロリゲンの存在は 1930 年代から予見されていたが、シロイヌナズナの研究によって FLOWERING LOCUST (FT) がその分子実体であることが明らかにされたのは 2005 年のことである。私たちは、これまでに FT がフロリゲンの実体であり、茎頂分裂組織で FD（細胞核内で FT を受け取る転写制御因子）とタンパク質複合体を形成し、花芽形成遺伝子の転写をオンにすることによって花を咲かせることを明らかにしてきた。しかしながら、花芽原基領域の細胞で実際に FT と FD が複合体を形成しているのかは、依然として不明のままであった。今回、私たちは FT と FD が複合体を形成すると蛍光を発する植物を作出し、花芽原基領域において FT-FD 複合体が形成されることを新たに見出した（図）。また、FT-FD 複合体は短期間しか作られないことが判明したことから、この複合体が花を咲かせる一過的なスイッチとしてはたらいっていることが明らかになった。

FT が作れないシロイヌナズナは極端な遅咲きになる。逆に、FT をたくさん作らせれば花を早く咲かせることが可能である。つまり、植物体内の FT の量を人為的にコントロールすることによって、花を咲かせるタイミングを自由自在に操ることができるのだ。現在では、シロイヌナズナ以外の多くの植物種において FT 遺伝子とよく似た遺伝子がフロリゲン遺伝子としてはたらいっていることが知られている。すなわち、FT は、シロイヌナズナに限らずあらゆる植物の花を咲かせることが可能な「万能花咲かホルモン」なのである。まるで「花咲かじいさんの灰」そのものではないか。

本研究で明らかになった FT-FD 複合体による花成制御の仕組みは、植物全般に共通の普遍的なしくみである。したがって、FT-FD 複合体の機能理解が深化することによって、農産業に多大な波及効果をもたらすことが期待される。

本研究成果は、M. Abe *et al.*, *Development*, 146, dev171504 (2019) に掲載された。

(2019 年 4 月 3 日プレスリリース)



図：フロリゲンが花を咲かせるしくみ(上)と茎頂分裂組織で観察される FT-FD 複合体を形成する細胞(青く光っている細胞)(下)