

福島の放射能土壌汚染の実態を解明する

小暮 敏博 (地球惑星科学専攻 准教授)

東日本大震災に伴う福島第一原発事故によって飛散した放射性セシウムの大部分は周辺の土壌中に留まっていると考えられるが、その実態は未だ明らかでない。今回われわれは電子顕微鏡等を駆使して、土壌中の放射性微粒子の特定やそれを構成する鉱物、さらに微粒子中の放射性セシウムの分布を調べた。その中で、福島県東部の地質に由来する鉱物である風化黒雲母等に放射性セシウムがよく吸着していることが明らかとなった。これらの成果は福島地方における放射能汚染の解決に大きく貢献するものと考えられる。

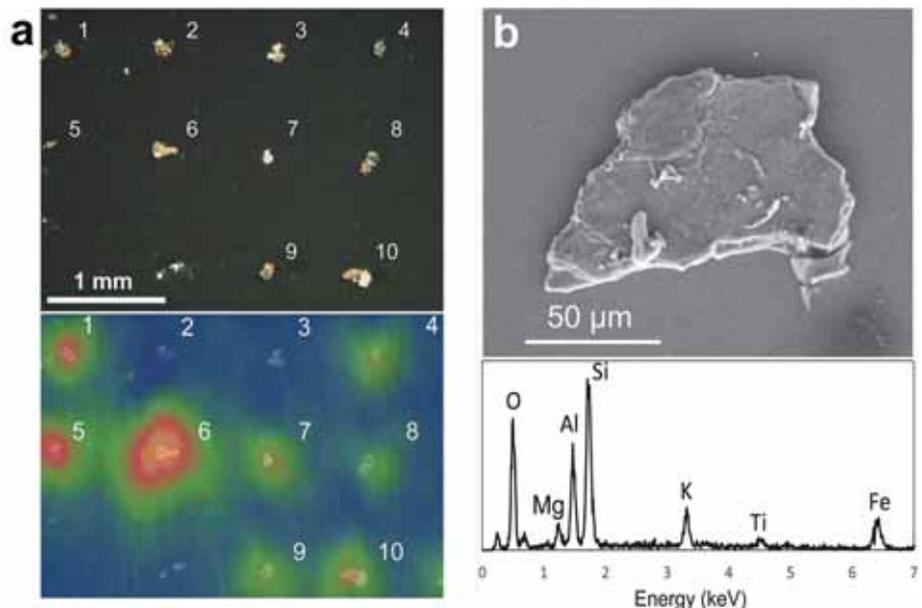
2011年3月の福島第一原子力発電所の爆発事故は周辺の土地に高濃度の放射能汚染をもたらした。より効率的な除染作業や放射能の再拡散の可能性など検討するため、放射能の主体である放射性セシウム(核種の表現を使うと ^{134}Cs と ^{137}Cs)がどのような形で土壌中に存在しているかを明らかにすることは非常に重要である。これまでの知見から、放射性セシウムは土壌中の微細な“粘土鉱物”と呼ばれる物質に強く吸着していると予想されるが、その詳細は未だ明らかではない。その理由のひとつは汚染土壌に含まれる放射性セシウムの平均濃度はせいぜい数ppb(10^{-9})のレベルであり、最先端の分析技術をもってしても容易に捉えることができないことであろう。また実験室内で各種の粘土鉱物などにセシウムを吸着させ、吸着量や結合状態、吸脱着特性等が調べられてきたが、そのセシウムの濃度は実際の福島における放射性セシウムより $10^4 \sim 10^6$ 桁も大きく、このような実験結果が本当に福島の放射能汚染土壌に

組成を調べることにより、放射性微粒子の正体を明らかにした。これらの一連の実験から、放射性微粒子として風化黒雲母と呼ばれる鉱物(図b)がよく見つかり、さらにセシウムはこの鉱物中に均一に分布していることが明らかとなった。この風化黒雲母は、福島県東部の地質である花こう岩の長年の風化によってこの地方に普遍的に存在しており、森林や水田などの土壌中の放射性セシウムのかなりの量は、この鉱物に強固に吸着されている可能性が高い。今回の成果は、今後の福島の放射能対策のための研究・開発に大きく寄与することが期待される。なお、これらの研究は、Mukai *et al.*, *Environmental Science & Technology*, **48**, 13053-13059 (2014)に掲載された。

(2014年11月10日プレスリリース)

対応するのかは疑問として残る。そのため我々は、実際の福島の土壌中で放射性Csを吸着している物質の特定がまずは優先されるべき課題であると考えている。そしてイメージングプレート(以下IPと略記)と呼ばれる蛍光体を用いたオートラジオグラフィー(試料から出る放射線によって記録媒体等を感光させることで、試料中の放射性物質の分布を調べる手法)による放射性土壌粒子の特定と電子顕微鏡による解析を組み合わせた研究を進めた。

実験では福島地方から採取した数十 μm の土壌微粒子の中からIPを感光させた放射性微粒子を特定し(図a)、これをうまく電子顕微鏡内に移動させてその形態や化学



(a) 福島県の放射能汚染土壌から採取された放射性微粒子(上)と、各粒子から発せられる放射線をIPによって記録したもの(下)。赤や緑が強い放射線を示し、放射能を持つ微粒子とそうでないものが判別できる。(b) 土壌中の風化黒雲母微粒子の走査電子顕微鏡像(上)と、そこから放出されるX線エネルギーが示す微粒子の化学組成(下)。

脳内の繁殖状態センサーニューロンを発見

岡 良隆 (生物科学専攻 教授), 長谷部 政治 (生物科学専攻 博士課程1年), 神田 真司 (生物科学専攻 助教)

動物は繁殖期になると生殖腺が発達し、非繁殖期には無い性行動を見せる。本研究では、脳の視床下部にある特定のニューロンが、動物の繁殖状態に応じて神経活動や遺伝子発現を劇的に変化させるセンサーとしてはたらくことを発見した。今回は、繁殖状態を人為的に容易に制御できるメダカを用い、遺伝子組み換えにより蛍光タンパク質で脳内の特定のニューロンを標識して、その活動を記録する方法で研究した。今後、脊椎動物の繁殖期に特有な生理機能や行動を制御する脳内の神経回路と内分泌系を結ぶしくみの解明につながると期待される。

動物の卵巣や精巣などの生殖腺は繁殖期になると発達し、卵や精子の成熟と共に性ホルモン（女性ホルモン・男性ホルモン）を分泌するようになり、同時に動物は繁殖期に特有の性行動を示すようになる。これらの調節には、神経系と内分泌系がうまく協調してはたらくことが必要であり、そこでは性ホルモンが重要なはたらきをすると考えられている。しかし、性ホルモン分泌に応じて繁殖期特有の行動を制御するしくみはわかっていない。

ヒトを含む哺乳類において生殖機能の調節に必須な生理活性物質キスペプチンを分泌する「キスペプチンニューロン」は、2000年代に入り世界中の研究者から注目された。私たちはメダカの脳で2008年にキスペプチンニューロンを発見し、研究を進めてきた。最近、私たちのメダカを用いた研究の成果などから、真骨魚類において、キスペプチンは直接的な生殖制御機能をもたないが、キスペプチンニューロンは脊椎動物全体に共通する特徴、すなわち、性ホルモンの受容体を持ち、性ホルモン刺激によってその遺伝子発現を変化させることがわかってきた。今回、私たちは、キスペプチンニューロンだけに緑色蛍光タンパク質 GFP が発現するように遺伝子改変したメダカを製作して実験に用いた。メダカは季節繁殖性が明瞭な動物であり、昼夜の長さを変えるだけで繁殖状態を制御できるため、繁殖状態に応じてキスペプチンニューロンが出す電気信号の変化を効率よく調べることができる。また、メダカの脳は小さく透明性も高いため、神経回路を生体内に近い状態に保持した脳を丸ごと取り出して実験用容器に入れて、厳密な神経活動の解析を行える。これは、マウス・ラット等の脳では不可能な実験を可能にする点で特筆すべきである。取りだした丸ごとの脳で、キスペプチンニューロンを GFP 蛍光により 1 個 1 個識別しながら、神経活動を電気記録した。昼が長い条件で飼育し繁殖状態にしたメダカは、キスペプチンニューロンが全般的に高い神経活動を示す一方で、昼が短い条件で飼育し非繁殖状態にしたメダカでは、大半のキスペプチンニューロンが低い神経活動を示し

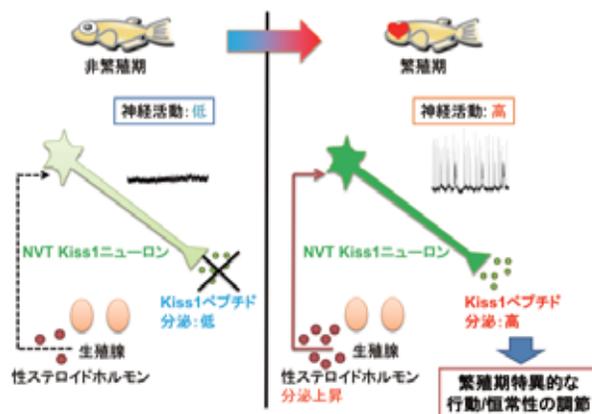
ていた。さらに、キスペプチンニューロンの脳内軸索投射を、GFP に対する免疫組織化学を併用して詳細に解析することで、それらが本能行動や恒常性の制御に関わる脳領域（視索前野）に情報を伝えることもわかった。

これらの結果より、繁殖期になって分泌の上昇した性ホルモンを受容したキスペプチンニューロンの遺伝子発現・神経活動が活性化され、脳内のキスペプチン分泌が促進されることが考えられる。私たちの最近の研究から、キスペプチンニューロンは本能行動や恒常性、社会行動などに関わるとされる神経機構を制御することが示唆されており、これらが繁殖状態のセンサーとしてはたらくことで、繁殖期特有の行動調節などに関わっているのではないだろうか。

本研究は、M. Hasebe, *et al.*, *Endocrinology*. 155, 4868–4880 (2014) に掲載された。

(2014年12月1日プレスリリース)

Kiss1神経系の繁殖期特異的な生理機能制御のモデル



メダカにおけるキスペプチンニューロンの繁殖期に特有な生理機能制御を示す模式図。非繁殖期には視床下部 NVT に存在するキスペプチンニューロン (NVT Kiss1 ニューロン) の遺伝子発現は低く、繁殖期には高くなることがわかってきたが、キスペプチンニューロンの神経活動頻度も図のように変化することから、キスペプチンニューロンが繁殖状態のセンサーとしてはたらくことで、繁殖期特有の行動調節などに関わっていることが考えられる。

地底深くに生息する微生物の代謝活動を検出

鈴木 庸平（地球惑星科学専攻 准教授）

地底は、これまで知られる生命最高生育温度の 120℃に達する深度 6 km 程度まで生命圏が存在し、地球上で最初の生命が誕生した可能性を秘める科学のフロンティアである。地球で 40 億年前から形成し、大陸地殻の大部分を占める花崗岩（御影石で知られる）を対象に建設された岐阜県瑞浪超深地層研究所において、地底深部から直接掘削し、その掘削孔から採取した地下水中の化学成分を 6 年間に亘り分析を行った結果、超貧栄養状態で微生物が硫酸で呼吸しながら生息していることを明らかにした。

地底は我々の足下に広がる身近な世界である一方で、実はそこに生命が存在し巨大な生態系を形成しているか未だに謎のベールで包まれている。地底は鉱物の集合体である岩石から構成されており、有機物や酸素に富む地表から隔離された岩石の隙間中に微生物は極貧栄養状態で生息していると予想されている。その予想を元に推定した生物量は、地球全体の 30% 程度を占めると指摘される。

しかし、地底の生命の姿を捉えるためには、厚い岩盤を貫くと同時に地表の生物や栄養分を混入させない汚染対策が必要になる。一般的に、地下深部から石油や天然ガス等の資源を回収する際に地上からのボーリングを行うが、この方法では微生物の汚染を防ぐことは不可能である。「もぐら」のように地底に直接行って試料を採取できれば問題が解決できる、という発想からこの研究は開始された。

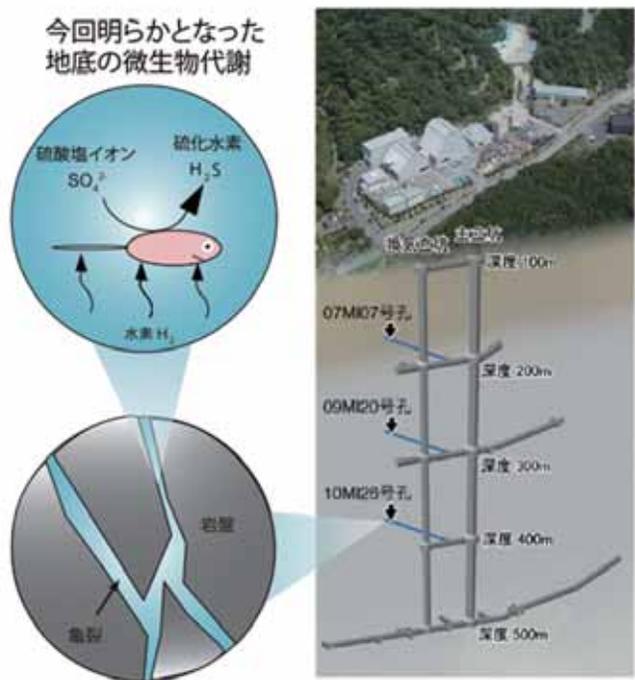
国内で大型地下研究施設を有する岐阜県瑞浪超深地層研究所は、深度 500 メートルまで人間が直接アクセスして、掘削調査が可能である。この地下施設を用いて地底生命の解明を目指した訳であるが、更なる障害が立ちはだかった。地下からの掘削でも、地上からと比べると格段に汚染は低減できるが、完全に汚染を排除できないのである。掘削後にその影響が無くなるまで経時変化を調べる必要がある。

そこで、掘削した直後から掘削孔の地下水を 6 年間に亘り採取し、20 種類を越える化学成分の分析を継続した。その結果、地上からの有機物がほとんど到達しない地底深部で、微生物が有機物以外の何か（溶存ガスの水素が第一候補）を食べながら硫酸塩イオンで呼吸していることを明らかにした。現在、何を食べているのかは究明中であるが、非常にゆっくりとした速度で呼吸していることも判明した。我々が呼吸で用いる酸素と比べて、硫酸塩イオンを用いた呼吸で得られるエネルギーは僅かなため、単純に増殖速度を計算すると 1000 年以上をか

けて 1 度細胞分裂することになる。これは、人類にしてみれば悠久なライフスタイルを獲得した生命体と言え、現在微生物種の特定や、地底深部に適応するための遺伝子群の解明を、国内外の研究者と共に行っている。

このように、地底から直接掘削し地下水を長期観測した研究は世界初であり、Suzuki *et al* PLOS One id. 0113063 (2014) に掲載された。

(2014 年 12 月 18 日プレスリリース)



瑞浪超深地層研究所用地内に建設された大型地下研究施設のレイアウト図。深度 200 メートル、300 メートル、400 メートルの掘削孔から採取した地下水を用いて研究が行われた。イラストは亀裂中での微生物代謝を示す。