

1+1
から
無限大
の理学

飯塚 毅

(地球惑星科学専攻 准教授)

第20回

地球のウラン・トリウムを
ニュートリノで測る

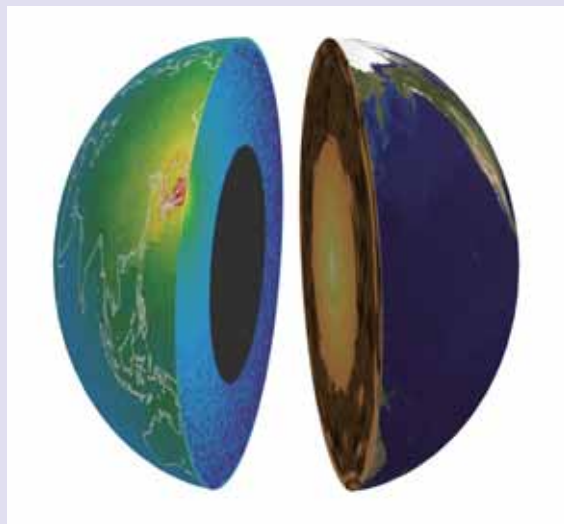
45億年にわたる地球進化の解明を目指す地球科学において、地球内部の熱源となる放射性元素ウラン (U) およびトリウム (Th) の定量は重要課題の一つである。しかし、われわれが入手できる地球内物質は、地殻及びマントル最上部の岩石に限られ、地球深部の U・Th 量を直接測ることは難しい。そこで、「U・Th などの難揮発性元素の相対濃度は、地球全体と始原的隕石コンドライトの間で等しい」と仮定し、地球の U・Th 量は推定されてきた。この「コンドライト質地球モデル」は、地球の形成年代推定にも用いられる地球科学の根幹をなすモデルだが、その妥当性は厳密に検証できなかった。

近年、地球内 U・Th が放射壊変時に放出する素粒子ニュートリノ (地球ニュートリノ) を用いて、その存在量が測定されている。質量がひじょうに小さく電磁力を受けないニュートリノ (ν) は固体中でも高い透過性をもち、地球深部の U・Th 測定に利用できる。2005 年に神岡鉱山の検出器カムランド (KamLAND: The Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector) で初めて地球 ν が観測されて以降データが蓄積され、そのフラックス測定精度は 15% にまで向上している。この精度は、地球深部の U・Th 量に制約を与え、コンドライト質地球モデルの定量的検証を可能とする。ただし、そのためには検出器周辺の地殻に由来する ν のフラックスを独立に同程度の精度で推定する必要がある。地球 ν の検出確率はその生成場が近いほど高く、地殻はマントルに比べ U・Th を高濃度含むため、検出される地球 ν の大凡半分は日本島弧の U・Th 由来と予

想される。したがって、マントルの U・Th 量推定には、日本島弧の U・Th 分布を求めて地殻 ν を推定することが必要となる。そこで現在、地球科学者と素粒子物理学者が共同で、地殻岩石の化学データと地震波データを組み合わせることにより、この課題に取り組んでいる。

地殻はマントルに比べアクセスしやすいものの、入手できる深部地殻岩石は捕獲岩 (マグマが上昇する際に火道で取り込んだ岩石) などに限られ、その産出地域は局所的である。一方、地震波は岩石種によって異なる速度で伝わるため、日本島弧の構成岩石種の推定を可能とするが、U・Th などの微量元素組成を反映しない。そこで、入手可能な岩石から各岩石種の U・Th 濃度分布を決定し、地震波データから得た岩石種の空間分布と組み合わせることで U・Th 分布を求め、地殻 ν を推定する。

この地球科学と素粒子物理学の学際研究を実行する上で問題となるのが、いかに地殻 ν の推定に定量的誤差を付するかである。地球科学ではしばしば、コンドライト質地球モデルのようにもっともありえそうなモデルだけが提示され、その不確定性を定量的に示さない。一方、物理学では多くの場合モデルの取りうる幅を確率密度関数の形で定量的に示す。地殻 ν の定量的誤差推定には、日本島弧 U・Th 分布モデルを確率密度関数で書き表す必要があるが、そのためには、実際には極めて複雑に異なる組成の岩石が分布しており、その定式化が困難という問題がある。この問題が解決されれば、地球の熱史と化学組成に従来にない精度で定量的制約を与えることが可能となる。



地球の模式断面図 (右) と KamLAND で観測される地球ニュートリノの起源自想図