

プルトニウムはコロイドでヒッチハイクする？

バーバラ・ゴス・レヴィ

好村滋行 訳

Plutonium May Be Hitching a Ride on Colloids

Barbara Goss Levi (Editor of Physics Today)

Physics Today Vol.52 No.4 © 1999 American Institute of Physics

ネバダ実験場のサンプリング用の井戸で測定されたプルトニウムは、同位体比の測定によって、そこから1.3km離れた場所での、ある地下核実験と関連していることがわかった。

核廃棄物が地下の容器から漏れ出したら、どれほど遠くまで移動するだろうか？すでに原子力発電と核兵器工場から出た10万立方メートルもの廃棄物が、恒久的な埋蔵地を待っているため、これは非常に重要な問題である。少なくとも、比較的毒性の強い汚染物質であるプルトニウムは、そのまま動かずにいるだろうと長い間考えられてきた。水に対する溶解度が低く、鉱物表面への付着性があるため、プルトニウムは岩に吸着しているともいわれた。このような見解は、過去15年間にわたって、次のような説によって異議が唱えられていた。すなわち、プルトニウムはサブミクロンサイズのコロイドに吸着し、かなりの距離を地下水によって移動するというのだ。しかし、野外研究では、この説が強く支持されることはなかった。ローレンス・リバモア(Lawrence Livermore)国

立研究所とロス・アラモス(Los Alamos)国立研究所の研究者らによる最近の調査により¹⁾、プルトニウムが30年の間にもともとあった地点から1.3kmも移動しているというケースが、少なくとも1つはあることがわかった。これは、いまのところ上の説を支持する証拠の中ではもっとも確かなものである。これは、その地域の地下水の流れの速度と一致している。

リバモア・ロス・アラモスの研究は、まだ証明するには至っていないが、これまでプルトニウムがコロイドに吸着して、旅をしてきたことを示している(研究地域で見つかった典型的なコロイド——粘土とゼオライト——は<図1>に示してある)。エネルギー省(DOE: Department of Energy)は、ユッカ山(Yucca Mountain)に計画された核廃棄物埋蔵施設において、起こるかもしれない汚染に関する最新の研究に、コロイドによる移動をはじめを含める決定をした。リバモア・ロス・アラモスの研究は、その決定に対して大きな影響を与えた²⁾。

■ 出所を特定する

およそ1980年代の中ごろから、プルトニウムの濃度は、その埋蔵地から、思っていたよりも遠くへ広がっていることがわかってきた³⁾⁻⁵⁾。しかし、プルトニウムの出所が、はっきりと特定されることは決してなかった。しかも、見つかったプルトニウムは、地表から浸み込んでいったという可能性が常にあった(大気中での兵器実験の残存物として、まだ空気中に存在するプルトニウムが、地表に降りて来る可能性がある)。さらに、野外実験によると、コロイドは地下水中で、数十メートル程度しか移動しないとされていた。

リバモアのケルスティング(Annie Kersting)をリーダーとする、リバモア・ロス・アラモス研究グループの最近の研究では¹⁾、ネバダ実験場のパフテ・メサ地域にある核兵器実験地点からのプルトニウムの移動を調べた。プルトニウムが、ある特定の核実験地点からサンプリング用の井戸まで移動したことが、実験によって確定的になった。彼らは、それぞれの核実験で使ったプルトニウムの目印——すなわち、²³⁹Puに対する²⁴⁰Puの比——を測定することによって、こう関連付けた。この比の値は、研究地域内の4か所の地下核爆発地点ごとに大きく異なっている。ケルスティングと彼女の共同研究者たちが、4か所の核実験地点から1km以上離れた場所に位置する、2個の井戸から汲み上げた地下水中のプルトニウムの同位体比を測定したところ、4つのうちの1つと一致することがわかった。それは、1968年のベンナム(Benham)実験である(4つの実験地の中で、もっとも地中深い実験

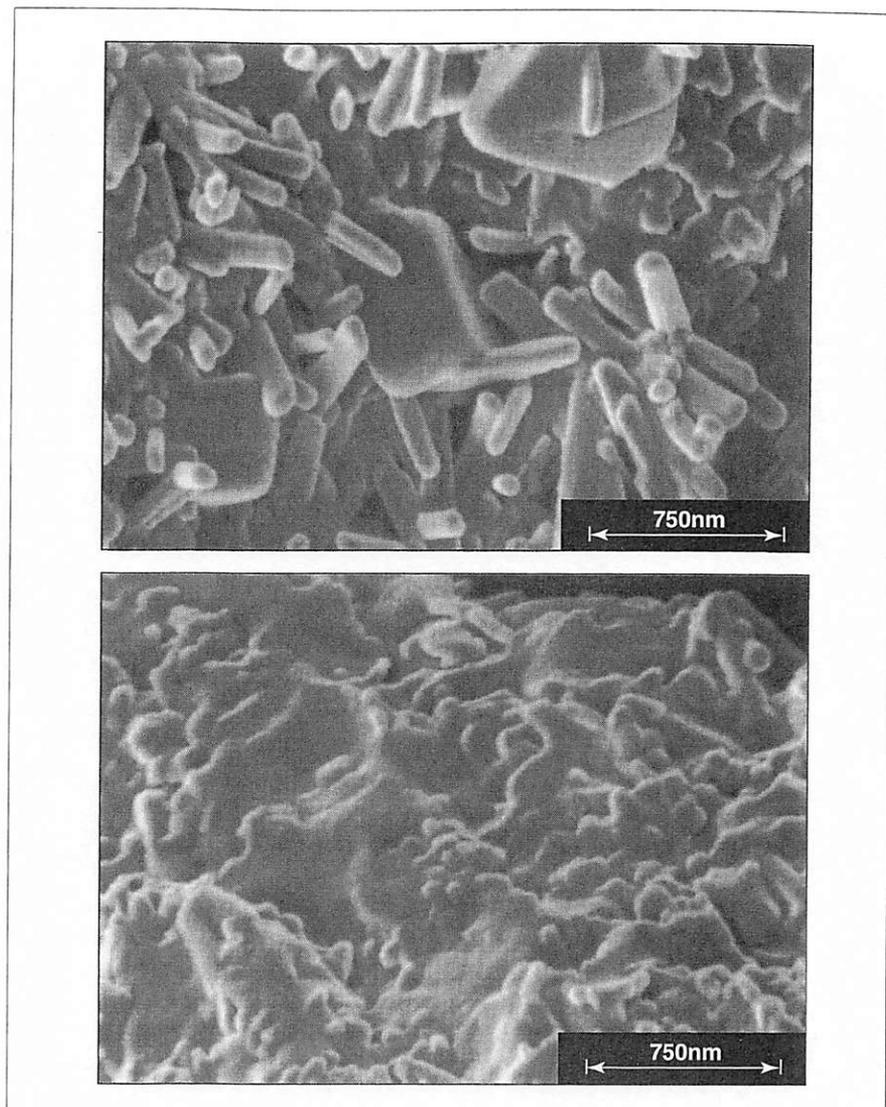
である)。これで研究者たちは、プルトニウムが遠く離れたベンハム実験から漏れ出したこと、そして、それ以外からではないことを示した。

離れた場所の井戸で見つかったプルトニウムの量は少なく、1l中 10^{-14} molのオーダーである。これは、ベンハム実験で使われたプルトニウムのうちの、ごくわずかに過ぎない。

プルトニウムはどのようにして、それほど遠くまで旅をしたのであろうか？ リバモア・ロス・アラモス共同研究グループは、おそらくコロイドに付着して移動したと結論付けた。この可能性を確かめるために、井戸から汲み上げた地下水をろ過してみた。その際、3種類のサイズのフィルターを用いて、約7nmから1 μ mの大きさの範囲の微粒子(コロイド)を分離した。ろ過によって、99%以上のプルトニウムとその他の放射性核種が、水相から取り除かれた。これは、測定されたプルトニウムが、もっぱらコロイド物質に付着していたことを示している。

残された疑問

この新しい測定は、プルトニウムが相当の距離を移動するのに、コロイドが大きな役割を果たしていることの強力な証拠ではあるが、それはまだ完全に証明されたわけではない。別の説明としては、たとえば、核実験中に起こるプルトニウムの“速発注入”のシナリオが考えられる。爆発によっておそらく周囲の岩に割れ目ができ、プルトニウムはガス状になって、割れ目の間を移動したかもしれない。ケルスティングと彼女の仲間は、このシナリオによって、プルトニウムが数十メートルから、二、三百メートルは移動するかもしれ



ないが、1km以上も移動することはないと考えている。しかし、観測された距離の少なくとも1部分を、プルトニウムがこのメカニズムで移動した可能性はある。

リバモア・ロス・アラモスチームは、サンプリング用の井戸から汲み上げた地下水中のコロイドの種類を調べており、プルトニウムを選択的に吸着したコロイドを特定しようとしている。実験では、プルトニウムが自分自身でコロイドを形成したかどうかを調べるつもりだ。ある状況下で、プルトニウムは自分自身でコロイドを形成するのだ。現存するコロイドのいくつかは、水があれば、核爆発でできた廃棄ガラスを粉々にすることができる。

ケルスティングは、われわれに次のように語った。「井戸から地下水を汲

〈図1〉1968年の地下核爆発実験の地点から1.3km離れた、ネバダ実験場のサンプリング用の井戸から採取した地下水で、プルトニウムが付着して見いだされたコロイド物質

X線回折の解析や、この走査型電子顕微鏡の画像に基づいて、ローレンス・リバモアとロス・アラモス国立研究所の実験家たちは、棒状と菱面体(晶系)構造(上図)はモルデナイトとクリノブチロライト(両方ともゼオライトの1種)で、板状の物質(下図)は粘土だろうと考えている。

み上げることが、水中のコロイドの割合が増えるような影響を与えたかもしれない。」今夏、彼女のグループは、水を汲み上げずに、岩の割れ目を通る水を調べる予定である。それによって、異なる地下水における自然のコロイド濃度を知ることができる。

そのほかにも、答えなければならない疑問がたくさんある。さまざまなコロイドへのプルトニウムの吸着は、どれほど可逆的であるか？ 地下水中でコロイドは、どれほど遠くまで移動をすることができるか？ ネバダ実験場のサンプリング用の井戸で観測された低濃度のプルトニウムは、爆発地点で廃棄ガラスに取り込まれた低濃度のプルトニウム、あるいは、地下水中で自然にできるコロイド上に吸着した低濃度のプルトニウムが長距離の旅をしたことを反映しているのか？ ネバダ実験場での核爆発によって岩に割れ目ができ、地下水の流れが容易になったのだろうか？ あるいは、その地点にすでに存在する割れ目の効果を、単に大きくするだけだったのだろうか？

■ 他の場所への応用？

もちろん、もっとも重要な疑問の1つは、ネバダ実験場での発見が、他の種類の廃棄物や、地質や水理学的性質がかなり異なる他の貯蔵地にも当てはまるかということである。特に関心のある貯蔵地は、ワシントンのリッチランド(Richland)近くのハンフォード(Hanford)核保有所で、プルトニウムを含んだ廃棄物が、長年にわたり峡谷に埋蔵されたり、漏れやすい百万リットルのタンクに貯蔵されている。また、ネバダのユッカ山に、原子力発電所からの使用済み燃料棒や、防衛活

動から出る核廃棄物の、永久の埋蔵施設をつくることをDOEは検討している(放射性廃棄物に関する特集は、Physics Today, 1997年6月号を参照)。いままでのところ、ユッカ山におけるコロイド輸送の可能性を評価するためのデータはとても少ないが、計画者らはすべての可能性を考慮している。ちょうど1998年の12月に、DOEは国会の委任を受けて、「ユッカ山における埋蔵施設の実現可能性の評価」という報告書を発表した。これは、将来的な放射能汚染の可能性の評価の中で、コロイドによるプルトニウムの移動の可能性を含めた最初の分析である。ユッカ山プロジェクトのファン・ルイク(Abe van Luik)は、「全システム性能解析」のリーダーで、その内容は報告書の3章に書かれているが、コロイド輸送を含めることによって違いが出たと述べている。「全システム性能解析」のモデルでは、埋蔵施設から20km離れた地点での放射線量にプルトニウムは主要な影響を与える。ただし、それは埋蔵後数十万年以上経ってからだというのだ。

ユッカ山の研究者と同じように、核廃棄物が蓄積されている他の場所のDOEの研究者もコロイド輸送について調べている。関心があるのは、プルトニウムの移動だけではない。たとえば、非常に少量のセシウムとその他の放射性核種が、閉じ込めが失敗した貯蔵場所から思いがけないほど遠くへ移動した。予備的な研究によると、汚染物質を処理する溶液のつくり方で移動が促進された。しかし、コロイドからの寄与も排除されていない。ファン・ルイクは、「1か所の廃水や放射性核種からのデータや解析を使って、

他の場所での現象を解析する際の前提条件とするのには注意が必要である」と警告している。しかし、放射性核種の移動のさまざまな側面について調べている研究者たちは、「お互いから学ぶことができる」と彼は付け加えている。

参考文献

- 1) A. B. Kersting, D. W. Efurud, D. L. Finnegan, D. J. Rokop, D. K. Smith and J. L. Thompson: Nature 397, 56 (1999).
- 2) US Department of Energy, DOE/RW0508/V3. Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain. The full report is available on the Web: <http://www.ymp.gov/va.htm>.
- 3) W. R. Penrose, W. L. Polzer, E. H. Essington, D. M. Nelson and K. A. Orlandini: Environ. Sci. Technol. 24, 228 (1990).
- 4) R. C. Marty, D. Bennett and P. Thullen: Environ. Sci. Technol. 31, 2020 (1997).
- 5) See B. D. Honeyman: Nature 397, 23 (1999) and references therein.