

Chernobyl and the future: Forward planning

核のゴミ捨て場の作り方

Nature Vol.440(987-989)/20 April 2006

放射性廃棄物をここで安全に処分することができるか。それがネバダ州ユッカマウンテン核実験場の地下道で行われている実験の目的だ。

DOE

世界の原子力発電の将来は、各地域の政治状況に左右されることになるのかもしれない。Geoff Brumfiel が報告する。

ネバダ州の実に 83 パーセントの土地を、米国の連邦政府が所有している。ラスベガスからリノに向かうこの道の右側にある土地も連邦政府所有の土地で、無人航空機用の軍用滑走路と核兵器実験場がはるかかなたまで広がっているのがわかる。かつて MX ミサイル（大陸間弾道ミサイルの開発名）を保管していた巨大なコンクリート製チューブが、日差しに焼かれて横たわる。一般市民の生活を示すものといえば、州の刑務所と売春宿、それにエアコン付きのトレーラーハウスの小さな集団だけだ。

米国エネルギー省は、ここネバダ州ナイ郡に 7 万トンを超える高レベル放射性廃棄物を埋設したいと考えている。ナイ郡の 4 万 7000 平方キロメートルの土地に住むのは 3 万 8000 人。使用済み核燃料が無害になるまでの数十万年間、それを保管するのに米国内でも最も安全な場所の 1 つとして、連邦政府

はラスベガスの北西約 100 キロメートル、核実験場の西端にある低い山、ユッカマウンテンを挙げている。

地元住民は仕事が欲しいので、放射性廃棄物処分場（貯蔵所）計画に完全に反対しているわけではない。しかしネバダ州の中でもほかの地域では、1950 年代や 1960 年代の地上核実験がもたらした結果を覚えている住民の多くが、計画に極めて懐疑的な目を向けている。地元選出の国会議員らも同じ姿勢だ。州政府原子力計画局の技術政策責任者で地質学者の Steve Frishman は、「ネバダ州ではあらゆる可能な法的手段を使って、この計画を中止させようとしている」と話す。

「高レベル」放射性廃棄物の処分場計画を始めようとしたほぼすべての民主主義国もまた、同様の問題にぶつかっていて、計画を進める道筋を見いだした国はほとんどない。ドイツ、カナダ、英国では、計画に不安を感じた市民による激し

い反対運動が起こり、計画は頓挫した。スイスやカナダ、日本の処分場計画にかかわった経験をもつ放射性廃棄物コンサルタントの Charles McCombie は「今や世界のすべての処分場計画の関係者たちが、（計画の実現にあたっては）技術的な問題よりも技術的ではない問題のほうが大きいことを実感している」と話す。

放射性廃棄物を貯蔵している世界中の国（貯蔵量が急速に増えると予想される国を含む。コラム「原子力に力を入れる急成長国」を参照）は、その処分のためには地元の地域社会の信頼関係を築く必要があること、そして原子力の将来の大部分はそうした努力にかかっていることを理解しつつある。ローレンスリバモア米国立研究所（カリフォルニア州）の政策・企画・特別研究部の Tom Isaacs 部長は「廃棄物問題を解決できなければ、原子力の復興を進めていくうえで大きな障害となるだろう」と話す。

負の遺産

核燃料棒に含まれるウランの同位体、ウラン 235 が崩壊すると、さまざまな放射能と化学特性をもつ原子核が生まれる。その一部には、ネプツニウム 237 などのように微量ではあるが数百万年も放射性であり続けるものがある。また、セシウム 137 やストロンチウム 90 など、数十年から数百年にわたって人体に危険を与え続ける廃棄物を生み出し、また廃棄物の温度を 500℃以上に上げるものもある。中でもいちばん問題なのはウラン 238 から生まれるプルトニウム 239 で、精製すると核兵器を作ることができる。

燃料棒中のプルトニウム 239 と未利用のウラン 235 を燃料や兵器の製造用に再利用する「再処理」を行えば、最終的な高レベル放射性廃棄物の量が減る。しかし今のところ、この再処理法は核燃料を作るための経済的な方法というにはほど遠い。また、再処理の経済性が劇的に改善したり、あるいは原

子炉や粒子ビームを使って同位体の一部を害の少ないものに変える技術が現実的になったとしても、核分裂からエネルギーを取り出し続けられれば、結局は今後何千年も危険なままの廃棄物を作ることになる。そして、その廃棄物はどこかに保管しなければならない。

オーストリアのウィーンに本部がある国際原子力機関 (IAEA) の廃棄物技術部門の原子力技術者 Malcolm Gray は、「1950 年代後半以降、放射性廃棄物の取り扱いにおけるいちばんの方法は、それを地下深くに埋設することだということで科学界の意見はほぼ一致している」と話す。原子力発電所にある使用済み燃料貯蔵プールのような地上施設の安全性を保つには、特にそれが長期にわたる場合、多額の費用がかかる。一方で、適切に選ばれて設計・建設される地下処分場ならば数千年にわたって安定であるはずで、放射性廃棄物処分に関する国際条約を修正する必要もないだろう。「地層処分は唯一の

現実的な解決策だ」と Gray はいう。地下処分場の候補地については世界各地で検討が進む (図を参照)。

そうした取り組みにとって、ユッカマウンテン計画は 2 つの点で教訓となるはずだ。その 1 つとして、何年にもわたる研究にもかかわらず、米国科学アカデミーが求める厳しい規制にユッカマウンテンがどれほど適合するか、まだはっきりしていない点が挙げられる。米国科学アカデミーは、今後 2 回の氷河時代をまたぐくらいの数十万年という長期にわたって安全に廃棄物を保管できることが望ましいとしている。そしてもう 1 つ、かつて地元の人々が計画の反対においてこれほど団結したことはなかった。

ユッカマウンテンは、放射性廃棄物処分場の候補地として 1978 年から研究されてきた。山の側面に作られた長さ 8 キロメートルの地下道の中で多数の実験が行われ、水や熱やもれ出した放射性物質がどのように岩の中を移動

IMAGE: B. HOFF/GREENPEACE

提案されている放射性廃棄物処分場計画の一部





立ち入り禁止：使用済み燃料貯蔵プールのような地上施設に放射性廃棄物を貯蔵するには、多額の費用がかかり、危険も伴う。

する可能性があるか調査された。データは、数百年後や数千年後に偶然この場所に出くわした人間の被曝量を見積もるために使われている。

近年こうした実験の一部から、廃棄物は予想されていたよりも速く地下水表面へ移動する可能性があるのがわかった。また、ユッカマウンテン周辺の若い火山の研究から、この場所に割れ目が発生する懸念も生じている (*Nature* 412, 850-852; 2001 を参照)。大きな問題は、そのようなきわめて長期間にわたる被曝量を正確に予測できるモデルがないことだ。ユッカマウンテン周辺での研究経験が25年を超える地質エンジニアの Michael Voegele は「シカゴが氷の下5000フィート（約1500メートル）に埋もれる時代に、地下水がどのように山中を移動するかを正確に知ることは不可能だ」と話す。

ユッカマウンテンでの処分場建設計画を阻止しようとしている環境保護団体「Citizen Alert」の Peggy Maze Johnson 事務局長は、「ラスベガスの住

民は、これらの不確定要素に疑いの気持ちを強めています」と話す。ネバダ州は人口が少なく、週選出の国会議員数もわずかだ。このため、ユッカマウンテンが選ばれたと地元の人々は考えている。「私は専門家ではありませんが」と前置きをした Johnson はいう。「その私にわかることは、政治力が働いてなにか決まるとき、それが科学的な決定にはとてもみえないということです」。

先駆者

フィンランドのヘルシンキにある、原子力研究センターであり規制当局でもあるフィンランド放射線・原子力安全センター (STUK) の放射性廃棄物・物質規制部門長 Tero Varjoranta は、「これは政治と科学が入り混じった問題なのだ」と意識して取り組まなければ、処分場を建設することはできない」と指摘する。政府の担当省庁は公平で信頼できると人々にみなされること、また実際にそうであることが重要だと Varjoranta はいう。「STUK は処分場

を売っているわけではありません。もしも処分場が建設されても、それは安全だと人々に確信してもらえよう、私たちは努力しています」と彼は話す。

また、隣国のスウェーデンでは地方自治体の権限が大きく、そうした公平さが特に不可欠だったとスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB) の理事会メンバー Saida Engstörms が語る。ストックホルムに本社のある SKB はスウェーデン政府が作った企業で、スウェーデンの放射性廃棄物処分場の建設をまかされている。Engstörms によると、ティエルプ村に建設が検討されていた処分場の環境影響を評価した際、村民の67パーセントが彼女の仕事を支持していたという。しかし、地元議会は1回の決議で計画を拒否した。

「決議結果に動揺しなかったといえましょうになります。事実、私は困りました。しかし、計画を信用してもらうためには検討プロセスに地元の人々を巻き込むことが不可欠です」と彼女は話す。結局、ティエルプ村での建設計画が決定されなかったことは SKB が地元の意向を誠実に尊重していることを示す結果となり、国内のほかの地域では逆に建設計画に対する評価が上がったと彼女はいう。SKB はオスカーシャムとエスタマで調査を続けていて、そこでは計画に対する地元住民の支持は今も強いという。

地元住民の信頼を得る努力をおこなわずに行っているフィンランドとスウェーデンでは処分場建設の取り組みがかなり進んでおり、他国もこの2国を見習いたいとしている。英国では、放射性廃棄物管理に関する政府委員会が2003年に設置された。この委員会には、物理学者とエンジニアだけでなく環境保護論者や社会学者も加わり、はたして放射性廃棄物を地下深くに埋設する処分方法が最もよい方法なのかを決定することになっている。カンブリア州セラフィールドに処分場を作る計画は1997年、公聴会の結果を受けて英政府の環境大臣によって却下された。この経

緯は教訓を残した。政府委員会の委員長を務めるサセックス大学の経済学者 Gordon MacKerron は「セラフィールドの失敗で、科学者、企業、政府が閉ざされた扉の向こうで正しい選択肢と正しい場所を考え出し、それを発表するという古いやり方はもはや通用しないことが明らかになった」と話す。

しかし、振り子が世論重視の方向へ振れすぎののを心配している人たちもいる。ロンドンのミドルセックス大学で危険管理を教える David Ball は、「要するに科学はもはや信頼できないという見方が世の中にある」と話す。Ball は昨年の春、世論を過度に重視する態度に抗議して、放射性廃棄物管理に関する英国の委員会を辞任した。「彼らは科学をいずれ客観的な真実をもつものとみなさず、その代わりにふつうの人の古きよき常識を採用した」と Ball は批判している。

科学と信頼

クオピオ大学（フィンランド）の放射線医学の専門家 Keith Baverstock は、フィンランドとスウェーデンの成功

は、決して処分場計画が国民に受け入れられたためにあるのではないという。「フィンランドでは、この処分方法が正しいとする国民の同意が 40 パーセントを超えることはなかった」と彼は指摘する。そして、成功のかぎは計画を進んで受け入れてくれる地元自治体を見つつけることだ、と Baverstock はいう。

地元の人々の見方は、雇用問題や汚染の心配などの地域問題によってのみ決まるわけではない。ユッカマウンテン計画に反対するグループ「ネバダ核廃棄物タスクフォース」の Judy Treichel 事務局長は「多くのグループがユッカマウンテン計画に反対し始めたが、それは彼らが新しい原子力発電所を望まず、また、ユッカマウンテン計画が新しい原子力発電所の建設を可能にする解決策とみなされるのを望まないためだった」と話す。スウェーデンでも、もし政府が原子力発電を徐々に削減していくことをその時点ですでに約束していなければ、処分場計画に対する地元の抵抗はもっと強かったかもしれない。少なくとも、政府の資金援助を受けて処分場計画を監視している環境保護グループ「放射性廃棄物レビュー

(Nuclear Waste Review)」のスウェーデン事務局長 Johan Swahn はそう考えている。「放射性廃棄物の問題は決して際限のない問題なのではないとわかれれば、人々はもっと進んで計画の検討に参加するだろう」と Swahn はいう。

「科学者やエンジニアは、技術的になにが可能かという問題とは別に、こうした文化的な懸念にも取り組む覚悟をしなければならない」と放射性廃棄物コンサルタントの McCombie は話す。簡単にいえば、放射性廃棄物処分場を建設したいと考える政府は、市民の信頼を勝ち取る努力をもっとしなければならないということだ。処分場の建設は容易ではない事業であり、時間をかけ、透明性を保たなければ達成できない、と McCombie は指摘する。McCombie がいうように、「処分場はガソリンスタンドを作るようには作れない。計画を実現させるためには、人々が積極的に関与し、さらに各段階でどんな返しの可能性もあるような長いプロセスを経なければならない」のである。■

Geoff Brumfiel は、*Nature* の物理科学担当記者（ワシントン）。

原子力に力を入れる急成長国

インドと中国には現在、高レベル放射性廃棄物はほとんどない。しかし両国とも、今後見込まれるべく大なエネルギー需要をまかなうため、原子力エネルギーへの依存が急速に増えるものと予想される。

中国では、原子炉の数が 15 年以内に 9 基から 40 基に増えると予想されている。同国の地質学者たちは、モンゴルとの国境近くにある辺境の甘肅省の 8 つの土地を処分場建設候補地として思い描く。現在のところ初期の研究は順調に進んでいるが、

核工業北京地質研究院 (BRIUG) の Ju Wang によると、処分場が建設されるまでにはしばらく時間がかかるだろうという。最初の調査は 2015 年に終了し、2030 年までに候補地を選び、最終処分場の建設は 2050 年までに始める予定だという。

一方、インドの原子力エンジニアたちは、使用済み核燃料の再処理やいわゆる増殖炉を含めた壮大な核燃料サイクルを計画している。この計画では、より多くのウラン燃料を作るために天然のトリウム

資源を使い、核燃料を再処理する。こうした増殖炉を含むシステムの構築は技術的には複雑だが、インドの核燃料サイクルから出る廃棄物を劇的に少なくする効果がある。

しかし、ムンバイにあるバーバー原子力研究センター (BARC) の Srikumar Banerjee センター長によると、インドは廃棄物処分場の建設についても引き続き計画している。インド南部にあるカルナタカ州の深い鉱山の中で実験が行われ、それに続く研究が操業中のウラン鉱

石鉱山で行われているところだと Banerjee はいう。

ウィーンの国際原子力機関 (IAEA) の原子力エンジニア Malcolm Gray は「インドも中国も技術的には順調に進んでいるが、廃棄物処理を取り巻く社会的問題を解決するためには、まだやるべきことがある」と指摘する。「インドは社会的な問題を注意深く研究している。しかし中国はまだ今のところ、社会的問題は取り組まなくても回避できるものと考えているようだ」と Gray は話す。 G.B.