
《翻 訳》

クリスティン・S・シュレイダー－フレチェット
「環境倫理学と科学的方法」

奥 谷 浩 一

〈訳者解説〉

以下に訳出するのは、現代アメリカ合衆国の環境倫理学者、クリスティン・S・シュレイダー－フレチェット Kristin S. Schrader-Frechette の論文、Models, Scientific Method and Environmental Ethics の全文である。原題を直訳すれば「諸モデル、科学的方法、環境倫理学」であるが、翻訳に当たってはいっそう印象的で論文の意図が伝わるように、「環境倫理学と科学的方法」というタイトルに改めた。なお、この論文は、Edited by Donald Scherer, Upstream / Downstream. Issues in Environmental Ethics, Temple University Press, 1990 [ドナルド・シェラー編『上流／下流。環境倫理学の論争点』テンプル大学出版局] のなかに収録されている。私がインターネットで調べたところ、環境倫理学に関係するイギリスとアメリカ合衆国の書物合計407点のうち、この本は売れている順番からすれば第11番目にランクされている。このことから了解されるように、シュレイダー－フレチェットの論文を収録しているこの書物は、現在でもなおよく読まれている、環境倫理学の古典的な書物のひとつであるといつてよいであろう。

クリスティン・S・シュレイダー－フレチェットは、アメリカ合衆国の南フロリダ大学を経て、現在はノートル・ダム大学教授として科学哲学、環境科学、倫理学理論などを講じている哲学者である⁽¹⁾。彼女は、アメリカ合衆国で1980年代に成立した環境倫理学の草分け的存在であり、その理論的枠組みを総括することに貢献した哲学者の一人である。彼女が編集し、自ら書いてもいる、1981年出版の“Environmental Ethics” [『環境倫理学』] は、環境倫理学の父といわれるアルド・レオポルド以来、アメリカ合衆国において積み上げられてきた環境の倫理にかんする議論を一冊の書物にまとめて示し、その問題提起をいわゆる環境倫理学の体系としていわば綱領化した記念碑的な労作である。この編著は、我が国の京都生命倫理研究会による翻訳があり、シュレイダー－フレチェット編『環境の倫理』（晃洋書房）として訳出出版されている。彼女はこの編書に合計7本の論文を寄せているが、それらのタイトルは「環境についての責任と古典的倫理理論」、「『フロンティア（カウボーイ）倫理』と『救命ボート倫理』」、「

宙船倫理」, 「テクノロジー・環境・世代間の公平」, 「倫理と自然物の権利」, 「自ら進んで質素にすることと消費を制限する義務」, 「農薬の毒性—倫理的概観」となっている。これらの論文のタイトルから明らかなように、彼女の問題関心は環境倫理学の全体に及んでおり、地球を「宇宙船」になぞらえてこれをあらゆる生物のひとつの運命共同体とみなす地球全体主義、現代世代われわれとわれわれの後に生を受ける未来世代との間に権利と義務の関係を定めようとする世代間倫理、人間以外の動物にばかりか物言わぬ無生物にも権利を認めようとする自然の権利論、エネルギー資源枯渇と資源節約型・循環型社会にふさわしい、われわれの自発性にもとづく質素化と消費制限という新しいライフスタイルの提起など、現在の環境倫理学の基本的な主張は、彼女によって整理され、広められたと言ってよい。

彼女は、その後も環境倫理学の分野で精力的な執筆活動を続けており、共著を含めてすでに10数冊の著書を発表している。主要な単独の著作としては、“Nuclear Power and Public Policy: The Social and Ethical Problems of Fission Technology”, 1980 [『核兵器の力と公共政策。核分裂テクノロジーの社会的・倫理的諸問題』], “Science Policy, Ethics, and Economic Methodology”, 1985 [『科学政策、倫理学、経済学的方法』], “Risk Analysis and Scientific Method”, 1985 [『リスク分析と科学的方法』], “Risk Analysis and Rationality”, 1991 [『リスク分析と合理性』], “Method in Ecology: Strategies for Conservation”, 1993 [『エコロジーにおける方法。保全のための戦略』], “Ethics of Scientific Research”, 1994 [『科学的調査の倫理学』], “Technology and Values”, 1997 [『テクノロジーと価値』] などがあり、最も新しい著書としては、共著に “Policy for Land: Law and Ethics”, 2002 [『土地のための政策。法律と倫理学』] などがある。

これらの著書のタイトルからも知られるように、大学で物理学と数学を専攻した自然科学者でもあるシュレイダー・フレチェットは、環境倫理学の諸分野のなかでもとりわけ科学・技術と倫理とのかかわりに関心をもち、科学とその方法の哲学的分析を行いながら、科学の方法論の諸問題とこれらの問題が公共政策と倫理的諸問題に与える影響の分析を行うことを得意としている。そして、科学・技術と倫理学の接点において、環境倫理学の最先端の領域で刺激的な問題提起を行っている哲学者の一人である。例えば彼女は、科学的な諸概念の誤用を批判し、農薬・放射能・プルトニウムなどの安全許容量の基準の不正確さとその意味の誤解に注意を促すだけではなく、科学的なモデルの限界を踏まえずに、つまり、科学的モデルとそれが適用される環境の複雑な諸条件との適・不適を吟味することなしにこれを安易に適用したり、リスク分析を十分に行わずに核や放射能などにかかわる公共政策を安易に推進することを強く戒めている。そして、科学的モデルと科学的方法を万能視して、これらがもたらす道徳的・倫理的帰結を考慮せずこれらを安易に用いることなどの問題点を鋭く批判している。

われわれがこれから訳出するシュレイダー・フレチェットのこの論文は、アメリカ合衆国ケンタッキー州のマクシー・フラッツで実際に生じたプルトニウム汚染事故を分析しながら、環

環境倫理学の視点に立って、自然科学者と実利的な効用を最大限に追求しようとする企業家・公共政策者がしばしば陥りやすい、科学的モデルと科学的方法にたいする万能視または盲信の傾向性を批判した好論文であって、彼女の特色と哲学的姿勢とを知るうえでもきわめて格好であるといえよう。

以下にこれから訳出するこの論文の主要な論点を要約しよう。

シュレイダー・フレチュットによれば、環境倫理学が直面する重要な諸問題は、しばしば環境のリスクの関数である。そして、環境のリスクは、しばしば環境の危険を記述する科学的モデルの関数である。この科学的モデルが失敗であったり不十分であったりすれば、このモデルに立脚する倫理的命令も効果の薄いものとなるだけでなく、環境の破局すら引き起こされることになる。科学的モデルの失敗の典型例は、「世界最悪の核ごみ捨て場」として知られた、ケンタッキー州のマクシー・フラッツで見られる。科学者たちは、この施設ではプルトニウムが1.5インチ移動するのに2万4千年かかるだろうと予測していたのに、実際は開設して10年たたないうちに2マイルも用地外に移動してしまったことが判明し、この地域が永続的な汚染にさらされる結果になってしまったのである。

したがって、環境倫理学を方法的・批判的に展開しようとするれば、科学的モデルの適法性を評価しうる基準をもつ必要がある。われわれは、この基準が明確になれば、どの科学的モデルを選択すべきか、ある科学的モデルを受け入れるべきかそれとも拒否すべきかを判断しうるからである。例えば、水文地質学の領域で地下水や土壤水分にかんするシュミレーション・モデルを作ろうとしても、地質学的諸条件がきわめて複雑であるから、決定的な困難がある。ところが科学者にはしばしば、この困難さを直視せずに、科学的モデルを作ってこれを単純に適用するという傾向が見られる。この点に関しては、ひとつのモデルを、たとえそれが限定されたモデルでしかなくても、さらに良いモデルが流布するまでは使用すべきであると主張する科学者・科学哲学者と、「望ましくない帰結をもたらす恐れがある場合にはいくつかのモデルは拒否されるべきであって、倫理的観点に立てば最良のモデルでさえも十分に受け入れて良いということにはならない」と主張する道徳哲学者との間には、対立が生ずることになる。

科学哲学と環境倫理学との間に争いが生ずるのはどうしてかといえ、科学哲学者と道徳哲学者の目標がまったく異なっているからであり、モデルを選択する基準が明確ではないからである。このことを踏まえてシュレイダー・フレチュットは以下の3点を主張している。それは、①環境政策において実践される応用科学哲学は道徳哲学者のアドバイスを心にとめることが必要である、②マクシー・フラッツでのモデル失敗に明らかなように、科学的モデル化が誤りうる諸条件を分析することが必要である、③環境政策を決定する場合に、ある科学的モデルが適切かどうか、どのモデルを選択すべきかを査定するためには、すくなくとも6つの重要な基準を考慮すべきである、という3つの論点である。

要するに、科学的モデルを作ってこれを単純に適用するというのではなくて、科学的モデルを作る科学者もまた道徳的立場に立ち、モデルの適不適やモデルの限界を踏まえて、これを無理に適用するのではなくて、そしてまた、期待される効用や実利をプラグマティックに最大限に求めようとするベイズ派的な規則に立つべきでもなくて、道徳哲学者または環境倫理学者とともに、むしろ起こりうる最悪の結果を予想してこれを回避するというロールズ派的規則に立つべきである。これが、本論文において著者が最も主張したい論点であろう。彼女のこうした主張の基礎には、最大多数の最大幸福を追求しようとする功利主義が、個人の善よりも共同体全体の善を優先させることによって、環境にかんする差別や不平等をおおい隠してしまうことを批判しつつ、民主的で自発的なコントロールを行うことによって、諸個人に最大限の正義の配分と公平さを保障しようとする平等主義的・社会契約説的倫理観があるといえよう。

なお私は、すでに1993年に、千葉大学教養部倫理学研究室の求めに応じて、本論文の要約的な解説を作成し、これを同年3月発行の『応用倫理学研究』第1巻に掲載した⁽²⁾。本論文が主張する要点だけを知りたい方はこれを参照していただければ幸いである。しかし、この論文全体の翻訳を公表するのは今回が初めてである。

注

- (1) まもなく青木書店から刊行される予定の『環境思想のキーワード』（尾関・亀山・武田編）の「シュレイダー・フレチェット」の項目は私が執筆したものである。参照されたい。
- (2) 千葉大学教養部倫理学教室編『応用倫理学研究』I, 1993年, 139-144頁。



著者近影

〈翻訳〉

クリスティン・S・シュレイダー・フレチュット
「環境倫理学と科学的方法」

われわれが環境倫理学の重要な諸問題にどのように答えるかは、しばしば、特殊な行為と政策に関係した環境のリスクの函数であることがある。そして、環境のリスクは今度は、しばしば危険を記述するために用いられる科学的モデルの合法性の函数である。もしわれわれが貧弱な科学的モデルを用いれば、われわれは環境のリスクを貧弱に記述することになる。そしてもし、われわれが環境のリスクを貧弱に記述すれば、これらの記述にもとづいている倫理的命令は同様に貧弱であろう。このことは、もしわれわれが環境倫理学を方法的で批判的な仕方で行おうとすれば、環境に関する情報をわれわれに与えるモデルの合法性を評価することができる必要がある。これらのモデルが失敗すれば、われわれにもたらされるのは、マクシー・フラッツのような環境の破滅である。

ケンタッキー州のマクシー・フラッツは、アパラチア山脈のふもとの、貧困にうちひしがれた田園地域に位置していて、世界で最も（キュリーで言えば）数値の高い商業用放射性廃棄物のごみ捨て用地である⁽¹⁾。ほかのどの商業施設よりも多くのプルトニウムを内部にもっているため、マクシー・フラッツは「世界で最悪の核ごみ捨て場」⁽²⁾として知られている。共同の借地人は、1963年に用地を開設した「核技術カンパニー」(NECO) であるが、この会社は、アメリカ合衆国に3つある低レベル放射性廃棄物のうち、ふたつの管理も行っている。NECOは、マクシー・フラッツ施設ではプルトニウムが1.5インチ移動するのに24,000年かかるだろうと述べていたことがある⁽³⁾。

NECOは途方もない誤りを犯した。マクシー・フラッツがオープンしてから10年たたないうちに、プルトニウムとほかの放射性核種は浅い地面の溝を離れて、2マイルも用地外の河川と地下水に移動していたのである⁽⁴⁾。プルトニウム239の半減期はおよそ25,000年なので、このことは永続的な汚染を意味している。1グラムの100万分の1のプルトニウムは肺ガンを引き起こすのに十分である⁽⁵⁾。ケンタッキー州は、環境保全局(EPA)がプルトニウムの移動を実証したあと、1970年代半ばに施設を閉鎖した⁽⁶⁾。しかし、NECOの契約違反と何度も繰り返された危険な廃棄物管理にもかかわらず、NECOは、彼らの契約破棄にたいして国家が数百万ドルを支払うようにと無理強いした。これに加えて、国の中で最も貧しい人々にぞくするケンタッキーの納税者は、この用地を永続的に維持するために、現在年におよそ1万ドルを支払っている。これらの維持費用にもかかわらず、放射性廃棄物は用地の外へ外へと移動しつつあり⁽⁷⁾、科学者たちは、これでは国民の健康を損なう危機の恐れがあると述べている⁽⁸⁾。

マクシー・フラッツの破局によって引き起こされた興味ある政治的諸問題は別にして、ここ

には科学的な論争点がある。どのようにして科学者たちは、廃棄物の移動にかんする彼らの記述において、途方もない誤りを犯したのか、という論争点である。明らかに、記述者の水文地質学的モデルが間違いだったのである。しかし、このことは、与えられた科学的モデルを受け入れるかまたは拒否するかをわれわれがどのようにして知なのかという問題を引き起こす。この問題は特殊な困難さをもっている。というのは、もしわれわれがモデルにしている状況が十分に理解されたとしても、この状況のモデルを最初から用いなければならないというようなことはないだろうからである。われわれがモデルを用いるのは、おそらく、完全に特別に経験的なデータが行きわたっていない場合、または問題に関連したプロセスが十分に理解されていない場合のみだからである。そのような状況下では、われわれのモデルは典型的に仮説的性格をもつ。

与えられたモデルを用いるべきかどうか、そしていつこのモデルを用いるべきかという問題には、簡単には答えられない。というのは、異なった学問的伝統が異なった回答を指示するからである。他方では、ラリー・ローダンのような科学哲学者によって明言された認識論的な答えは、われわれはひとつの科学的モデルを、よりよいモデルがゆきわたるまでは、使うべきであるというものである。認識論的観点からすれば、われわれがよりよいモデルに達していないのにひとつのモデルを拒否するということは、意味をもたないのである⁽⁹⁾。

他方では、環境倫理学をやっている道德哲学者たちによって明言されたようなモデル選択の問題に対する倫理的な回答は、たとえよりよいモデルがゆきわたってはいなくても、とりわけいくつものモデルが望ましくない公共政策や危険な環境上の帰結をもたらす場合には、いくつかのモデルは拒否されるべきである、というものである。倫理的観点に立てば、最良のモデルでさえも、これを十分に受け入れてよいということにはならないだろう⁽¹⁰⁾。

モデル選択に関するこれらの対立的な立場が与えられていたので、科学哲学者と環境倫理学者たちは、マクシー・フラッツの前兆となるモデル、つまり途方もない誤りであることを証明したモデルを用いるかどうかということに関して異なった決定をすることができたのである。もし科学哲学者と科学者たちがマクシー・フラッツで採用された水文地質学的モデルを吟味したとすれば、彼らはこれらのモデルの使用に同意し、これらがゆきわたる最良のモデルであったと規定したことであろう。もし環境倫理学者たちが同じモデルを吟味したとすれば、たとえこれらが最もゆきわたったものであったとしても、彼らはこれらの使用を拒絶したことであろう。

われわれの科学哲学とわれわれの環境倫理学が明らかに争うのはどうしてなのか。少なくともひとつの理由は、道德哲学者と科学哲学者の目標がまったく異なっているということである。他の理由は、モデル選択のためのわれわれの基準が、環境政策策定の状況下では、明瞭ではないということである。この第二の不十分さを改善するためのひとつのステップとして、わたくしは、少なくとも3つの重要な点をたてようと試みている。第一は、環境政策を策定す

るなかで実践されたような応用科学哲学は、たんに認識論者や科学哲学者だけでなく、道徳哲学者のアドバイスをもち心にとめることを要求するということである。第二は、マクシー・フラッツの状況は、科学的なモデル化が誤りうる、たくさんの重要な仕方を示しているということである。[第三に] もっと一般的に言えば、このケースは、記述に、とりわけ公共政策に役立つ記述に用いられるべき科学的モデルが適切かどうかを査定するための、少なくとも6つの重要な基準があることを暗示している。

1. 水文地質学的モデル

どこで科学的モデルが間違っているのかについて、言い換えれば、モデルが用いられるべきである、または用いられてはならない諸条件について、マクシー・フラッツのケースがわれわれに告げているかも知れないことを決定するためには、われわれは水文地質学的モデルについて一般的にいくつかのことを知る必要がある。廃棄物が浅い地面の溝に埋められたので、固定を主に保証するものは用地の地質学であり、この場合は泥板岩である。もし廃棄物が移動するとすれば、溶解と水の輸送によってそうなるであろう。そのゆえに、用地の安定性についての水文地質学的モデルを吟味する必要がでてくるのである。

水文地質学で用いられるモデルのほとんどはシミュレーション・モデルであり、ある物理学的諸現象（たとえば、埋まっている地質学的地層を通過している亜表面の液体の分散）を記述したり、説明しようと試みる数学的表現である。水文地質学のいくつかの様相のシミュレーション・モデルの発達は、含まれている多くのプロセスのあいだの相互関係を表わす多くの数学的函数を含んでいる。これらのモデルをつくりあげるさいの主たる客観的なものは、さまざまな水文地質学的構成部分の時間および空間の変わりやすさを説明することができる、完全な記述的または解釈上の構造内部のこれらのプロセスを総合するということである⁽¹¹⁾。

水文地質学的モデルにはいろいろな使い方があるが、記述、探知、感受性の分析の少なくとも3つが支配的である。しかし、ほとんどの水文地質学的モデルは、これらの目的のどれかに用いられうる前に、測定が行われなければならない。測定は、インプットの値が与えられれば、モデルが応答または研究中のシステムのアウト・プットを再生産しうる（正確さの与えられた範囲内で）というような仕方、ひとつの特殊なモデルを操作することを含んでいる。正確さの範囲は、いくつかのモデル・パラメーターの値と、同じパラメーターの観察され、測定された、フィールドの値とのあいだの競合のためのいくつかの基準によって設定される⁽¹²⁾。

もちろん、測定全体とモデルとなるプロセスのアキレス腱は、モデルの妥当性が、そのシステム想定の間からしても、そのパラメーターのための特殊な値の間からしても、確認されえないという事実である。これが、モデルの正確さに関してチェックとしてはたらくと考えられるデータの不適切さと不正確さの理由である⁽¹³⁾。

2. モデルの第一の困難：信頼しえない構成要素

なぜ、水文地質学的モデルのなかにあるいくつかの重要なパラメーター、変数が正確に知られることができないかを、もっと詳細に正確に考察してみよう。一般的に言って、これらの変数に関する正確な知識の問題は、科学者たちが知識をえようとしている環境のサンプルをとったり、環境を妨害するという事実の結果である。地域全体を、非常に深くまで、掘り下げることがなければ、したがってこれを危険な廃棄物をたくわえるのにふさわしくないものとすることがなければ、隠れた水文学および地質学の特徴付けを正確に知ることは不可能である。

たとえば、土壌の水分のパラメーターを決定することと関連した諸問題を考えてみよう。それは、マクシー・フラッツでの地下水の動きにかんする誤った記述のなかにおそらく現れたにちがいない、こうした特殊な変数をともなった諸問題である。

プルトニウムが用地外で発見されたすぐあとに、EPAがマクシー・フラッツ施設の再調査を行った時、ケンタッキーという所在地の水文地質学についての正確なモデル化に必要なとなったデータを17のタイプに分けることによって、諸問題に言及した。それは、正確な値をえることが最も難しかった変数のうち、土壌水分をあげたのである⁽¹⁴⁾。

(1) 土壌水分

どのようにして土壌の水分が特殊な経験的状况にあてはまるかを理解することは、もし廃棄物用地の将来の浸透能力と流出の総計を記述しなければならず、それゆえに大地が陸地に埋められた放射性廃棄物をおおっているマクシー・フラッツのような施設で、問題を投げ掛けるかもしれない浸出溶液の潜在的な量を知らなければならぬとすれば、絶対に重要である。しかし、ひとたびこの概念を分析しはじめれば、たくさんのきわめて疑わしい仮定はこの概念のなかに組み込まれるということ、野外の状況でのこの概念の不可避的に値を積載した使用はおそらくたくさんの好ましくない結果へとみちびくであろうということは明らかである。

予報と記述で一貫してトラブルを引き起こす、最大の単一のパラメーターをあげることが求められたとき、カンザス・シティの水文学者たちのグループはこれに答えてこういった、それは「土壌水分」である、と⁽¹⁵⁾。これが、水分で飽和状態になった土壌が降水を吸収しようとせず、多くの流出を許し、そして乾いた土壌がいつもたくさんの降水をいつも吸収して、わずかな流出しか許さないということの理由である。このことは、もし土壌水分の変数が間違っていれば、吸収と流出の値もまた間違っているということを意味する。

土壌水分の決定は部分的な問題をふくんでいるが、それはこの決定がサンプリングと関連したすべての典型的な困難さに直面するからである。土壌水分の時間および場所の両面での可変性は、正確な水溜り幅の測定を手に入れることを困難にする。この問題は、飽和していないゾーンに貯蔵（水のテーブルのうえの）された水の量が時期のはじめと終わりにはほとんど等しい、

水貯蔵の時期を選択することによって最小限度にされうるにしても、土壌水分の正確な知識という問題は残り続ける。野外の状況下では、維持と伝達にとっての土壌中の水の特質は、70パーセントに近づくバリエーションの係数によって、しばしば高度に可変的である⁽¹⁶⁾。

実際的な面では、土壌水分の信頼しうる値をえることもまた問題である。ポイントをサンプリングする方法は、普通の接近方法であるが、しかし、これらの技術は、中性子の調査を含んでいるので、大きな範囲をおおっている詳細な情報を、たんに禁止された費用でのみ、供給しうる。

中性子の軽減方法と関連したいろいろな問題のために、土壌水分の過大評価または過小評価が起こり、評価の誤りのために、サンプリングの誤り、いいかえれば第2次的な誤りが生ずる。

さらに、どんな種類の土壌水分も正確な測定をすることが困難であるということのために、犯された誤りがどれほど大きいかを述べることは困難であろう。その代わりに、この値が積載された方法からえられた結果が、他の同様に、しかし異なった仕方でも値を負わされた測定手段の結果とは一致しないかも知れない、ということだけは理解されるだろう⁽¹⁷⁾。このことは、今度は、廃棄物の用地がさだめられていることが土壌水分の内容に焦点をあてるからには、その程度までこれらは科学のおよび政治的論争の焦点となるだろうということの意味する。

たとえば中性子の探査による、土壌水分の直接の測定と関係した困難さとは別に、間接的な測定をともなっていくつかの諸問題がある。実験室の土壌サンプルの水力学的な伝導性（伝導してゆく水の力）を決定し、それからその結果を野外での土壌水分または水分の運動の測定に応用することは、必ずしも望ましいとは限らない。ひとつには、実験室の小さなサンプルのために決定された水力学的な伝導性の値が、ベッド（通常1.3から15センチのあいだの、土壌粒子の自然の集合）の間の割れ目や亀裂がつねに大きな影響力をもつ、野外での土壌を代表しないかもしれない。

次には、土壌水分と水力学的な伝導性とのあいだの関係が、しばしばヒステリシス〔履歴現象〕を示す。ヒステリシスとは、土壌を湿らせたり乾燥させるという以前の歴史に部分的に依存している、時間のずれの効果にたいして与えられた名前である。乾燥している土壌の水分含有量は、浸透によって湿らせられた土壌の水分含有量よりも大きい。別の言葉で言えば、ヒステリシスは、ある土壌の水分含有量は、どの点をサンプリング・テストが示しているのかということとは異なって、それが湿らせられるかそれとも乾燥させられるのかということにかんする函数である、ということに伴っている。さらに、たくさんの粘土が、たとえそれらが飽和状態のままに残されている場合でも、ヒステリシスを示している。ヒステリシスの現象のために、土壌の水分含有量は「持続的な流動状態に」ある⁽¹⁸⁾。

たとえば、強く主張された土壌水分の「常数」、「しおれ点」、「野外能力」でさえも、「常数ではなくて、むしろ主観的に決定された変数であって、この変数のマグニチュードは、いろいろな変化する気候的、植生的、土壌水文学的諸特徴に依存している」⁽¹⁹⁾。というのは、土壌

水分の値は、質的な性格をもつたくさんの解釈上の判断をあてにしているからであり、土壤水分の概念は根本的に認識的または認知的な価値判断に従属しているからである（注17を参照）。

「土壤水分」の値を積んだ、解釈上の概念は典型的に、廃棄物の場所指定を含んだ応用の場合に、問題の多い帰結へと導く。（ごみ捨て場への）決定的な（水の）浸透を示す方程式のためのパラメーターの値は、土壤水分のような土壤水力学的諸性質を測定する事で与えられる。

これらの諸性質のいくつかがわかれば、水の滞留と移動の諸性質は、土壤と水との関係が知られている標準的な土壤とのアナロジーによって、このサンプルに保証が与えられるだろう。

別の言葉で言えば、土壤水分のような値にかんするさまざまなデータは、シミュレーションのプログラムと結合される必要がある。しかし、もし土壤水分の値が高度に解釈的であって、これらが浸透方程式で用いられ、浸透の結果が用地の適切さを決定するために用いられたとすれば、ある地域が廃棄物貯蔵のために受け入れられるということについての結論はきわめて疑わしくなる⁽²⁰⁾。

土壤水分のために貧弱に測定された値を用いる場合の主要な二者択一は、研究中の分水嶺または集水の反応をある範囲の正確さで再生産するための科学的モデルを操作しながら、モデル評価をすることであろう。しかし、このこともまた、きわめて解釈的な結果へと導くことができる。適合または評価の手続きは、測定によってはたやすく決定されえない、浸透および土壤水分のようなパラメーターのプロセスの値を調整することを含んでいる。しかしながら、問題は、正確さのこの範囲が、モデルのシミュレートされた反応と記録された集水または分水嶺の反応とのあいだの適合の基準をうちたてることによって固定されるということである。そのような適合をたてることは、高度に値を負わせられていて、解釈的であり、莫大な認知的・認識的価値判断（注17を参照）を要求する。そのモデルの応答が野外の応答にもとづいて判断されるからである。土壤水分のためにすでに議論したような野外の応答は、完全な正確さで決定するのはほとんど不可能である（注13を参照）。もしそうだとすれば、土壤水分の直接的・間接的決定のどちらも、それがきわめて評価的に用いられる浸透方程式の結果をつくるのだから、きわめて評価的である。そしてもし、これらの方程式が、用地の受け入れにかんする決定がなされる基礎の部分であるとすれば、これらの諸決定はおそらくきわめて評価的であり、それゆえに疑わしいであろう。

(2) パラメーターの測定モデルに関する結論

ある代表的なパラメーター（たとえば土壤水分）のこうした簡単な概念分析が示すものは、水文地質学的モデルの信頼性は、そのモデルの構成要素となっているパラメーターにとっての値の正確さが欠如しているために、いくつかの特徴的な仕方でも切り下げられるということである。もしわれわれが、これらの特徴的な不信頼性の背後にある理由を理解することに成功しうるとすれば、われわれは、ある特殊な状況下での特種な水文地質学的なモデルの必要十分条件

の発展にアプローチすることができるかも知れない。たとえば、土壌水分とヒステリシスの概観は、パラメーターが知られざる歴史的先行者をあてにしているようなモデルは、最初のおよび境界の諸条件を知ることが記述のためには十分でないのだから、特に問題である。それよりも、アクチュアルな値は、普遍的な一般化ではなくて、特殊な水文地質学的歴史の函数なのである。ほとんど同じ問題がエコロジカルなモデルにはある。ある特殊なエコ・システムのなかでは、未来の生物種の相互作用を記述するのに、たんに実験をしたり、観察したりすることはできない。その代わりに、未来の出来事は典型的な知られることがなく、一般化に従うことのない前史の函数である⁽²¹⁾。

モデル化をともなった「歴史問題」は、土壌水分とヒステリシスを伴ったこれに付随する諸問題の分析によって説明される第二の困難と関連する。水文地質学の状態の多くは独特である。

たとえば、地質学的な層と水分のパターンの特殊な結合は複雑で異質なので、そのために他の水文地質学の状態と類似しているものがない。したがって、ひとつのモデルが複雑で、異質的で、それゆえに独特な水文地質学の状態である場合、記述が正確であるかどうかを知ることが、部分的にはその状況を複製することが不可能であるために、不可能である。「歴史問題」と並んで、類似した問題がエコロジーには存在する。特殊な種のグルーピング、気候のパターン、資源の配列が独特なのである。このことは、記述がその状況を複製しえないことによって切り捨てられるということの意味する⁽²²⁾。

確かに「独特さの問題」は、水文地質学的に一樣な諸状況においては、降水量のきわめて多い地域にある(マクシー・フラッツでのように)ばらばらにこわれた、泥板岩の土台平面というよりも、たとえばわずかしか降水のない、または降水がない、完全に砂からできた土壌においては、生じないだろう。一樣な状況下では、実験の複製または観察は、一般化と同様に、ずっともっともらしいであろう。このことは、一部分は当面の問題に関連した水文地質学的パラメーターの数がおそらくは数的に少ないであろうためであり、また一部には、一樣な野外状況が一樣な実験室の諸状況によってずっと容易に代表されうるためである。このことは、用地の異質さが第3のモデル化問題であることを暗示する。危険な廃棄物のために提供された用地が水文地質学的に異質であるという程度にまでそうなのであり、モデル化とモデルにもとづく記述がうたがわしいという程度にまでそうなのである。

3. もうひとつのモデル化問題：野外状況の査定

土壌水分のようなパラメーターのために問題のある値を用いることと関連したモデル化問題に加えて、第2番目の種類の困難が生ずるが、それは、与えられたモデルによって予想されたプロセスや相互作用のシステマティックな表現が野外では行われていないか、もしくは行われていることが知られていないかのいずれかだからである。別の言葉で言えば、モデル化は、不正確な構成要素のためだけでなく、構成要素のあいだの相互作用の知られていないか、または

不正確な表現のためにも、問題を生ずるからである。

この第二の困難を水文地質学的モデル化で説明するためには、危険な廃棄物施設の場所指定に最高の重要性をもっているモデルのひとつのタイプを考えてみよう。これらは地下水の流れのモデルである。地下水は、隠されていてきわめて近付きにくい資源だから、モデルという手段によって典型的に研究されてきたものである。トッズは、地下水の水文地質学にかんする最近の彼の研究のなかで、地下水のモデルを4つの種類に組織分けしている。多孔性の媒体モデル、種々雑多な類比モデル、オームの法則とダーシーの法則との間の類似性にもとづいた電気的類比モデル、帯水層の流れの方程式の数字で表された解決のためのデジタル・コンピューター・モデルである⁽²³⁾。これらのモデルのそれぞれのなかへと埋め込まれた仮定を簡単に吟味すれば、地下水モデルが値を負わされていて、それゆえに垂表面のプロセスを表現し記述するその能力において限定されている等級にたいするいくつかの洞察を与えてくれるはずである。

(1) 地下水の流出モデル

多孔性媒体のモデルは、境界がある割合で縮小し、浸透性または水力学的伝導性が変容される帯水の物理的な尺度モデルである。多孔性媒体モデルの典型的な種類は、同一のタンク・モデルからなる。これらは、水がもれることのない箱のなかでつくられていて、地下水面がしばしばそれらの上部の境界として役立つ。水圧計は水圧計の水準をえるためのモデルへとつながられていて、流出の場はある点で砂に加えられた色合いから決定されうる。(水圧計は、与えられた圧力を受けた場合、物体の圧力または物体の圧縮性を測定するための道具である)⁽²⁴⁾。

種々雑多な類比モデルは、応用性が、多孔性媒体による水の流出の法則と、液体、熱、電気的層流を支配する法則とのあいだのアナロジーにもとづく、物理的な尺度モデルである⁽²⁵⁾。電気的類比モデルは、オームの法則とダーシーの方程式 $v = -Kdh/dx$ とのあいだの類似性にもとづく物理的モデルである。オームの法則における電流はダーシーの方程式の速度に類比的である。特殊な伝導性は水力学的な伝導性に類比的である。そして、電圧は熱に類比的である⁽²⁶⁾。

デジタル・コンピューター・モデルは帯水の数学的モデルである。デジタル・コンピューター・モデルの3つの主要なタイプは、限定差モデル、限定が要素的なモデル、抵抗のネットワークをデジタル・コンピューターで結合する、混成したコンピューター・モデルである。限定差モデルは、帯水をグリッドに供給すること、および部分的に微分方程式の点から見た単一の圏の範囲内と関連した流出を分析することという、コンピューターの手続きに基づいている⁽²⁷⁾。限定差モデルと同様に、限定が要素であるモデルは、持続的な領域がたくさん隣接したサブ範囲として代表される不連続化によって流れを支配している微分方程式を解決する。すなわち、限定が要素であるモデルは、帯水を、サイズも形も任意の「限定諸要素」にわかつということのコンピューターの手続きにもとづいている。限定差モデルでは、持続的な解決への接近は、限定差によって孤立した点で定義される。しかしながら、限定要素モデルで

は、おおよそその解決は領域全体を超えて定義され、付加的な書き込みを、領域内のいくつかの点で解決をえるために応用することは必要ではない⁽²⁸⁾。

混成のコンピューター・モデルは、反復的な限定差の解決のために要求される長いコンピューター時間を縮小するために発達させられてきた。このモデルにおいては、インプットのデータがデジタル・アナログ・コンバーターによって電氣的形式で表現されるし、分配者によって抵抗ネットワークと結合されている。結節点の電圧がデジタル・コンピューターへとフィードバックされるのである⁽²⁹⁾。

(2) 地下水の流れのモデルに関連する諸問題

すでに注意したように、これらのすべてのモデルにもかかわらず、主要な問題のひとつは、これらが正確なインプット・データに依存しているということである。とりわけ、土壤水分、浸透、分散係数のようなパラメーターにとって、正確なインプット・データが欠けているということのために、モデルのアウトプットの信頼性が、モデルそれ自身が正確な仮定にもとづいているかどうかということとは別に、疑わしいことがありうるのである。

これらの地下水の流れのモデルの多くを伴った第二の問題は、これらがしばしば、通用していない野外の条件を想定しているということである。たとえば、モデルの多くはダーシーの法則に依存していて、この法則は多孔性媒体のなかの層流（薄い層を通り抜ける流れ）にあてはまる。ダーシーの法則は、大きな地下の隙間を含んでいる玄武岩や石灰岩の固まりに見ることができるとは、激しい流れには適用されえない。他の地下水の流れのモデルは、しばしば逆の事実である想定に依存している。つまり、問題となっている帯水が同質的で等方性である（同じ性質、たとえばあらゆる方向への伝導性をもっている）、またはそれが側面と底面で不浸透性の境界をもっている、または流れの区域が長方形（たとえば、柱の形やサイズが局所地質学に依存していて、高度に可変的であるかも知れないということが知られているにしても）である、という想定に依存している⁽³⁰⁾。これらのモデルとなっている条件のどれも、マクシー・フラッツ用地では見られてはいない⁽³¹⁾。

多くの地下水の流れのモデルにかんする第三の問題は、これらのモデルが、現実の世界への応用可能性が簡単には知られていない、理想化された、過度に単純化された状況を支配しているということである。たとえば、地下水の流れはあきらかに、隠されている岩盤が亀裂を生じているか、それともそうでないかの函数である。しかし、表面下に現存するかもしれない亀裂と割れ目のすべての本性と位置を知ることは不可能である。これが、ひとりの熟練者が、亀裂のある割れ目を生じた岩の地下水の流れの荒っぽい見積もりだけが可能であると気がついた理由である⁽³²⁾。モデルのなかでもうひとつの知られていないことは、地下水が流れる地質学的な構造の非多様性をどのように扱うかということである。たとえば、氷結しないアパラチア山脈の地域では、高地は地質学的構造を変えつつあり、地下水の流れは小さく、穏やかで、漂移

性である⁽³³⁾。流れが漂移的であるか、それともある特殊な場所ではそうでないかどうかを知ることができるということもまた、確かではない。さらに、たとえそれが漂移的であることを知らなかったとしても、どんなモデルもあまりに強くは信用されえないであろう。とりわけ、帯水が一様であるであることを仮定するモデルはそうである。マクシー・フラッツでは、帯水は一様ではなく、地下水は止まっている（地下水面または飽和した圏上の土壌／泥板岩のなかのあちこちに、少ない量で存在しているので）。地下水は、異なった時間に、さまざまな地域を行き来する。流れがすべて、予測出来ないインターバルで起こる毛髪状細線のような割れ目を通り抜けているからである⁽³⁴⁾。

(3) 疑わしい地下水の流れモデルをもちいることの帰結

地下水の流れのモデルをともなったこれらのすべての諸問題のために、これらが、問題を設定しモデルを野外の状況に適用するときには、かなりの判断と評価上の技術を必要とするということは明白である。モデルがある特殊な問題、おそらく廃棄物施設の用地指定を含む問題に応用される場合、手続き差し止め通告とモデルの有効性の限界についての条件が忘れ去られてしまうということはあることである。

たとえば、地質学者たちは、地下水面までのフィート数を引き合いに出して、提供された廃棄物はこのレベル以上であり、浸透されない底部の層（たとえば泥板岩の）によって保護されているだろうと言うかもしれない。彼らは、毛管引力のために飽和が地下水面のすぐ上に広がっていること、垂表面の流れは地下水面の上で起こりうることを忘れるかもしれない⁽³⁵⁾。彼らはまた、地下水面までの深さがただある点でサンプルされたもので確認されただけであって、地域全体にわたって確認されたのではないことも忘れてしまうかも知れない。または地下水面までのフィート数という「事実」によって安心させられて、用地が受け入れられうることを決定するための様々な水文地質学的モデルを用いる人々は、地下水面にいたる深さの最大値と最小値が500%から600%以上も異なりうるということ、飽和の圏が平らでないということ、地下水面がいつも一様には生じないということを忘れるかもしれない⁽³⁶⁾。地質学的に異質の用地に相対的に一様な尺度が存在することで、科学者たちは彼らのモデル化のなかに、誤りを犯すこれらの可能性のいくつかがあることを忘れてしまうかもしれないのである。

地下水の流れのモデルを特殊な潜在的な廃棄物用地に適用することのもうひとつの帰結は、異なった用地が流れの相対的に異なった割合をもっているという事実を重んじて、現在および未来のための用地の適切さについての結論を、この強く主張された事実にもとづいて引き出しそうだということである。しかし、実際には、流れの割合の点でのこれらの強調された違いは、たくさんの理由のためのきわめて神聖なものと受け取られてはならない。ひとつには、過去の河川的环境は時間的にも空間的にもきわめて可変的であったことが知られていることである。

第二には、モデルに基礎付けられた地下水の諸性質の現在の評価は、すでに述べたすべての

理由からして、きわめて不正確でありうることである。第三には、システムの状態が地下水の場合にはしばしば移動しやすいから、流れの割合が隣接したプロセスにたいする直接の反応であるという主張を指示する証拠はほとんどないことである。第四に、人間の活動性はしばしば、河川のプロセスに大きな影響を与えてきたことである⁽³⁷⁾。

さらに、すでに述べたように、ダーシーの法則にもとづいたモデルは、石灰岩のなかの流れの割合には、意味あるかたちで適用されえない⁽³⁸⁾。いくつかの低レベル放射性廃棄物用地と合衆国南東部の石灰岩地域にある多くの有毒な用地にかんしては、この言明はしばしば忘れ去られてきた。石灰岩地帯ではしばしば裂け目が生じていて、そのような地帯は巨大な地下の洞窟や川を含み⁽³⁹⁾、これらのすべてが、廃棄物を移動させる外の用地へと導きうる問題を与えるという事実もまた、忘れ去られてきたようである。

異なった提供された廃棄物用地で公言された地下水の、申し出にあるような異なった割合を重視し過ぎるので、それゆえに、モデルによってもたらされた極端に単純で不正確な結論を忘れるので、ある地域での廃棄物保管の安全性に関する保証について、誤った感覚がいだかれがちである。ある放射性廃棄物について、たとえば、「時間がたてば」それらは地下水を通過して用地外に抜けてゆき、それらは無害となるだろうということが、しばしば言われている。しかしながら、明らかに、そのような言明の正確さは、すべてが値を負わされている(注17を参照)ことが示されたある特殊なモデルから得られた、流れの割合の正確さの関数である。有毒な廃棄物がニューヨークの用地にある地下に最近保管されたとき、政策の策定者は、浸出物が十分にゆっくりと、誰にも被害を与えないであろう地下水を通過して移動するだろうという、またはそれが急速に移動するならば、公害は薄められ拡散されるので、問題をおこしはしないだろうという、地質学的な結論をあてにしたにちがいない。だが、数年たたないうちに、この用地から流出した浸出物の上昇流は3キロの範囲に及んだのである⁽⁴⁰⁾。

地下水の流れのモデルにかんするこれらの困難はすべて、特殊なモデルを用いることの適切さを評価するための第四の基準を暗示する。理想化されたモデルの強制が現実の状況に適合するかどうかを決定することができない程度までに、われわれはモデルの使用を疑うべきなのである。言い換えれば、モデルと現実とのあいだの貧弱な適合から生ずる帰結を知ることが出来ないほどに、われわれはモデルの使用を疑うべきである。

マクシー・フラッツの状況では、評価モデルのこの第四番目の基準の使用は、提供された放射性廃棄物用地をモデル化するわれわれの能力にかんする懐疑主義に根差していただろうということはあるようである。すでに述べたように、NECOは、プルトニウムが1.5インチ移動するのに2,400年かかるだろうと論じた。しかし、EPAの地質学者たちは、用地を評価するのに、用地のうえの地下水の流れが粒子間相互の多孔性媒体を通り抜けたことを想定することと関連したモデル化問題が、地下水の速度をひどく低く見積り過ぎることからきていることがありうることを、特別に注意した⁽⁴¹⁾。マクシー・フラッツの状況が、地質学的な同質性と多孔性を想

定する、地下水の流れのモデルによって完全に表現されているわけではないのだから、そのようなモデルの使用は、泥板岩のなかの割れ目を通して「思わぬほど早い速度で地下水のはけ口と動きを引き起こすことができた」⁽⁴²⁾。これらの「思わぬほど早い速度で」というようなことは、汚染された廃棄物が9年間に2マイルも用地外に移動していたのだから、判例となるにちがいない⁽⁴³⁾。

4. 水文地質学的モデルについての第3の困難：テスト可能性

野外での状況に適合することが知られていない強制をもつことに加えて、水文地質学モデルについてのもうひとつの困難は、それらが典型的にテストされえず、反証可能であることさえまれであるということである。追跡標識の方法を用いた地下水モデル予測をテストすることと関連した諸問題は、この点の良い説明を与えてくれる。地下水の流れモデルをテストするための最も重要な野外データのいくつかは、とりわけ速度と拡散にかんする予測は、トレーサーテスト、オーガー（木工錐）ホール・テスト、ポンプテストから得られる。

トレーサーテストは水力学的伝達性を測定し、ふたつの観察井戸またはテストホールの間を移動する水の追跡標識の時間的なインターバルを測定することによって行われる。オーガーホール・テストは、たくさんの水が、線が引かれていないシリンダーのホールを急速に移動したあとの水面における変化の測定を含んでいる。ポンピングテスト方法は、帯水区域を超える水力学的伝達性にかんする総合的な値をえるために、ポンプでくみだす井戸に近い水面を観察することにもとづいている。地下の地勢の浸透性または水力学的伝達性を決定するうえでそれをもつ重要性のゆえに、それゆえに廃棄物施設の位置指定にはたす重要性のゆえに、われわれはトレーサーの方法を吟味してみよう。その想定と帰結は、その使用から出て来るようである。

地下水の流れを追跡するには、少なくともトレーサー [追跡標識] の3つのタイプが用いられよう。粒子トレーサー、化学的および染色トレーサー、放射性トレーサーである。3つのトレーサーすべての使用に含まれている基礎原理は、同一である。トレーサーは、望むスポットで井戸のなかへと注入され、それからアウトプットの井戸が、トレーサーの再出現のためにモニターされる。

トレーサー方法の使用と関連した諸問題のいくつかは、用いられるトレーサーの本性から生ずる。すべての知られているトレーサーはひとつの種類またはもうひとつの種類の難点に直面する。理想的なトレーサーは、わずかな量の量的決定を受けやすく、自然水によって化学的に反応してはならず、自然水にはないものでなくてはならず、人間の健康にかんして安全でなければならず、費用がかからず容易にゆきわたるものでなければならない。知られているどんなトレーサーも、これらすべての要求に見合うものではない。粒子トレーサー（たとえばコケの胞子）は地下水とほぼ同じ割合で移動するにもかかわらず、地下水の沈澱物によって水から濾

過される傾向がある。実際面では、これらは値段が高く、使用するのが難しい⁽⁴⁴⁾。

理論的には、放射性のトレーサーのひとつであるトリチウムが水のトレーサーの最良の形態である。これは、たとえば、高度にイオン交換を行う性質をもった年度にながそうであるように、吸着作用のロスが起りやすい状況下で用いられうる唯一の形態である。トリチウムとは異なって、他の放射性トレーサーは、野外の状況のもとでは、ロスの度合を変えやすい。放射性トレーサーを用いる場合のふたつの主要なハンディキャップは、これらが高価であることと、安全予防措置が厳重だということである。トレーサーとしてのトリチウムの使用に関するもうひとつの不利益は、地下水の研究にこれを用いることがかなりの地域にわたって自然のトリチウム測定の結果を無効にするということである。この理由のために、トリチウムはトレーサーとしては広くもちいられてはこなかったのである⁽⁴⁵⁾。マクシー・フラッツでは、トリチウムは、用地での操業から放出される最も普通の放射性アイソトープのひとつである⁽⁴⁶⁾。それゆえに、どのトリチウムのレベルがごみ捨て場から来たのか、どれがトレーサーから来たのかを評価することは困難であろう。

トレーサーそれ自身と関連した困難とは別に、たくさんの諸問題がトレーサー方法と関連している。第1に、そして最も明確なのは、地下水の動きがしばしばそんなにも遅いプロセスなので、長期間をかけて井戸を観察することが必要なことである。第2に、井戸の中でトレーサーを用いることから生ずる結果は、穴をあけることが水文地質学にもたらす効果と、ドリルホールや井戸が水の自然な流れと拡散におよぼす効果を割り引くことを要求する。測定と観察のこれらの効果を割り引くことは、理由のあることではなからう⁽⁴⁸⁾。

トレースを行う方法の、第3の（そして最も深刻な）問題は、流れの方向が正確に知られていなければ、トレーサーは流れをくだる穴を完全に見失うかもしれないということである。複数のサンプリング・ホールがこの問題を解決するのに助けとなるが、しかし、これらはコストを増すし、さらに、モニターすることが試みられている水文地質学的环境を壊すことになる⁽⁴⁹⁾。

第4の困難は、発散ということのために、流れを下る井戸に探知しうる濃度をえるには、短い間隔を超えてテストがおこなわれなければならないということである。その場合でさえも、到着の表示時間を決定することは困難である⁽⁵⁰⁾。

予測をテストするための、直面するこれらのトレーサー諸方法に類比的な諸問題は、はっきりとマクシー・フラッツの地質学者たちをとらえた。おそらく、トレーサー方法にかんする決定的な困難は、ひとつのトレーサーが現存することをどこでチェックすべきかを知ることである。特にマクシー・フラッツでのような、割れ目のある泥板岩の状況下では、流れのパターンはまったく漂移的である。この理由で、良いチェックポイントを決定することが実質的に不可能であろう。この用地を研究した最初の地質学者のひとりであるイアン・ウォーカーは、科学者たち一施設の場所を指定する決定が彼らの発見にもとづいているのだがと同様に、この困難を次のように明確に述べている。

「埋め立て穴の外に位置している井戸で、マクシー・フラッツの地下水の汚染をモニターすることが不可能でないとすれば、それはきわめて難しいであろう。解除されていない井戸が地下水の流れを広さでモニターするが、せいぜいそれらの直径の2倍にすぎない。…マクシーフラッツでは、モニターする井戸の場所を指定するために、汚染のリボンの通り道を予測することは不可能であろう。汚染された水が泥板岩のなかの浸透しうる結合部をさがそうとして起伏する傾向があり、不浸透の固体のマトリックスを避ける傾向があるだろうからである⁽⁵¹⁾。」

このゆえに、ケンタッキー州、NECO、米国地質探査 (USGS)、あるいはEPAのために働く衛生物理学者たちによって用いられたようなモニター用井戸の場所指定でさえも、きわめて評価的な判断の研究者を含んでいた。これらの評価的判断が与えられるならば、彼らの水文地質学的モデルから生ずる予測をテストするということの可能性さえも考えることが困難である。

テスト可能性にかんするこれらのすべての困難は、トレーサー方法の議論で説明されたように、そのようなモデルの使用が、それらがテストされえないというほどまで、弁護されることがほとんどないということを暗示している。危険な廃棄物のための可能な用地を評価する場合には特に、テスト可能性の基準は重要である。そのような廃棄物が貯蔵される必要がある期間が長きにわたるからである。このことは、モデルのための第5番目の基準を暗示する。それは、モデルの効用は、モデルが長期間にわたるテストにさらされうるという程度によって、評価されるというものである。

5. 水文地質学的モデルにかんする第4の困難

もちろん、水文地質学的モデルがテストされえないとすれば、またはモデルが当面の問題に関連するテストに失敗するとすれば、このことは、これらが不十分であるか、すくなくとも部分的であることを暗示している。これらは問題に関連するすべてのパラメーターを同定しなかったかもしれないからである。結局は、ひとつのモデルが考察されている諸現象に答える、問題となっているすべての変数を正しく組み入れたということだけでなければ、ひとつのモデルに予測的な成功を収めることを期待できなかったのである。

マクシー・フラッツでは、なぜ当初の用地予測が失敗したのかについての理由の少なくともひとつは、用地の水文地質学が途方もなく不十分に理解されていたので、当面の問題となっている変数のすべてがモデルのなかへ合体されることがなかったということであるように思われる。この点は、ケンタッキー州の用地にかんする最も初期の水文地質学的研究のひとつを、つまり、ケンタッキー州北東部の放射性廃棄物施設の場所指定を決定するうえで群を抜いて最も大きな影響を及ぼした研究を吟味すれば、明らかである。これが、1962年に仕上げられた、有名なウォーカー研究である。彼の分析のなかで、ウォーカーは、岩ないし泥板岩を通り抜ける地下水の横の動きと関連したどのパラメーターをも計算に入れる必要がないと想定した。彼は

とりわけ、提起された埋蔵堀の外の地下水の動き、つまり土壌圏を通り抜ける横の動きと泥板岩のなかの割れ目を通り抜ける垂直の動きと関係したふたつの変数だけがあると想定した。彼は書いた、「水が埋蔵されたピットを離れるのは、ニュープロヴィデンス層のなかの垂直に近い結合部を通り抜けるか、または…土壌圏を通り抜ける場合であろう」⁽⁵²⁾。

ウォーカーはひとりだけで、特に泥板岩または岩の土台平面のあいだの水の横の動きの可能性を無視した彼の予測を行ったのではない。6人のEPAの地質学者も同様に、そのような横の動きの重要性を無視した。彼らは、「もし放射性核の移動が堀のなかで起こるとしても、その速度は非常に遅いだろう」⁽⁵³⁾と主張した。他の二人のEPA地質学者は特別に、水が堀を離れるとすれば、横の動きは垂直の動きを通過し、横の動きは土壌、または表面の流出を通過するに違いないだろう、と述べた⁽⁵⁴⁾。水平の動きが不可能かまたはきわめて遅いと受け取られたので、彼らの分析はこれを計算に入れなかったのである。

しかしながら、USGSの地質学者たちは、岩または泥板岩を通り抜ける横または水平の動きを考慮に入れていた。さらに彼らは、泥板岩のなかの割れ目は土台平面で終わってしまうので、水の「優先的な動き」が水平の方向をとるだろうということを主張した⁽⁵⁵⁾。USGSの地質学者たちが、後にえられた放射性核のデータが岩を通り抜ける横の動きがなければならないということを証明したので、水平の構成要素を含めたことは理にかなっていた。しかし、用地の流れを予測するために用いられたモデルは、垂直方向の流れを仮定していたのである⁽⁵⁶⁾。

水文地質学的モデルが水平の流れのパラメーターを度外視した点で誤りを犯したことは別に、重要な事実は、科学者たちの存在するグループが、用地の水文地質学を説明するために必要な、当面問題となっているパラメーターが何であったのかについて、同意していなかったということである。彼らの不同意は、特殊なモデルを使用するための第6番目の基準を暗示する。それは、科学者たちがモデルがより特殊な仕方でも正確であろうとして繰り返してくるかどうかは別に、モデルのなかに含まれている必要のある、当面するパラメーターについてある種の同意に達している必要があるということである。

マクシー・フラッツの場合に当面するパラメーターさえも決定することができないということは、横の流れの構成部分によってだけではなくて、井戸のテストにおける特殊な放射性アイソトープのチェックに失敗すること、つまり、たんにアルファ線とベータ線というよりはむしろ、ガンマ線のレベルを決定することにかんする類比的な困難によっても説明される。そして、どこにサンプリングする位置の場所指定がなされる必要があるかを決定することにかんする困難によって説明される。たとえば、マクシー・フラッツのUSGSプロジェクトの所長であるバッド・ゼーナーは、水文地質学的情報をえるための媒介者は垂直の井戸なのであるが、これが、そのような井戸が放射性廃棄物の輸送が起きる割れ目を横切るかも知れない、またはそうでないかも知れないのだから、隠された流れのパターンについて必要であった情報を供給しえなかったということを指示した。

これらの困難はすべて（ガンマ線測定がえられないこと、泥板岩を通り抜ける重要な横の動きを考慮に入れないこと、USGSとEPAの科学者たちによって決定的と主分けたいいくつかのスポットでサンプリングをしないこと、特殊な放射性アイソトープにたいするチェックをしないこと、トレーサーのためのモニターをどこにおくべきかを知らないこと）、科学者たちがどんなパラメーターが彼らのモデルの予測的な成功のために必要であったかを同意していなかったことを指示している。困難は、少なくとも部分的には彼らが状況を評価するための当面のパラメーターに同意しなかったということのために、何が彼らのモデルからの予測の反証を構成するのかを同意していなかったということをも、指示している⁽⁵⁷⁾ このことはすべて、あるモデルの責任ある使用のための必要条件がマクシー・フラッツには整わなかったということを暗示している。

ひとつのモデルが事実反証されうるかどうか、または確証されうるかどうかということを別にすれば、状況は、科学者たちが、どんな変数がモデルのなかに含まれるべきか、そしてどんな反証がありそうかについて同意しうるように、十分に理解されるべきである。さもなければ、モデルの使用は、経験的な帰結をともなった状況下では、ほとんど意味をなさない。

6. 応用科学におけるモデル化のためのいくつかの暗示

もし、マクシー・フラッツの誤りの原因にかんする、この「月曜の朝のクォーターバック^(訳注1)」が少なくとも部分的に正しいとすれば、先の場合に地質学者たちが遭遇した諸問題は、モデルが用いられるべきでないか、または少なくとも細心の注意を払ってのみ用いられるべきであるような、少なくとも6つの基準を暗示する。これらは以下の状況を含む。

- 1) 通用する測定されたパラメーターを知ることは、予測のためには不十分である。プロセスが一般化に従わない初期の歴史的出来事に依存しているからである（このことは、おそらく驚くべきことだろうが、地質学のようないくつかのいわゆる自然科学が、もっと歴史的な社会科学と同一の欠点をいくつかもっているかも知れないことを意味する）。
- 2) 探求されている諸現象の結合は、ユニークであり、このゆえに複製されることができない。
- 3) 用地は異質で複雑なので、水文地質学的パラメーターにかんする一様な値の普通の測定は典型的であるようには思えず、それゆえに疑わしい。
- 4) モデルの経験的な適合は、それらの理想化された状態とともに、知られてはいない。
- 5) モデルによって発生させられた予測は、現実的なテストを許さないか、または反証をまれにしか許さない。
- 6) 諸現象について知りうる科学者たちは、ひとつのモデルのなかに含まれるべき、当面するパラメーターについて同意すらしめない。

もし、これらの6つの基準が部分的に正しいとすれば、これらは、二者択一的な用地を評価しなければならぬ最良のモデルの使用のために議論している、科学者、認識論者、科学哲学

者たちの多数と一致しないかもしれないような、諸条件を暗示している。その物語のモラルは次の通りである。最良のモデルでさえも、環境の政策策定にとっては十分によいものではないだろう、ということである。

7. この分析にたいする異議

もし、最良の科学的モデルでさえも環境政策の策定の健全な基礎を与えることができないとすれば、このことはたくさんの異論を生じさせる。第一に、良い科学的モデルがないのだから、実際問題から言って、どのくらいまでわれわれは危険な廃棄物と関係すべきなのか。第二に、科学が環境政策の選択によって我々の助けとなりえないとしたら、決定を与える者および産業家は、おそらくはあくどい理由から、彼らが望むどんな用地をも選択しそうである。第三に、私の分析は水文地質学的モデルにたいして批判的なので、誤って「反知性的」に見えるかも知れない。さらに、以前になされた主張とは反対に、なぜ、最良の科学者または科学哲学者たちは、公共政治の帰結が可能的には破局的でありうることをともなった(マクシー・フラッツのような)状況下で、不完全な水文地質学的モデルの使用を大目に見るのか。彼らは、科学者たちがもっている最良のモデルを、モデルが使用される実際のコンテキストを無視して用いるべきなのか⁽⁵⁸⁾。

(1) 科学的モデルが信用出来ないとすれば、我々はいかにして政策をたてるのか

この分析にたいする最初の異論は、重要で実際の疑問を引き起こす。もし、最良の水文地質学的モデルでさえも環境政策策定のために十分によいものではないとすれば、われわれは危険な廃棄物施設の場所指定にかんする決定をどのようにして行うべきなのか。換言すれば、もし科学的方法が、われわれが公共政策の決定を行うことを助けることができないとすれば、実際的に言って、何をわれわれはなすべきなのか。いかにわれわれは政策をおこなうべきなのか。

マクシー・フラッツで生じた困難にもとづいたこの異論にたいする答えは、われわれが特殊な施設を開設することによるありそうな帰結を知るためには、水文地質学的モデル化に従いうる危険な廃棄物用地を選択すべきであるということである。この分析において以前に議論した状況下では、水文地質学者たちは、モデル化に従いえなかった用地を、地質学的に異質であった用地をモデル化することに固執した。マクシー・フラッツのモラルは、水文地質学的モデルを用いるべきではないということではなくて、もし効果的にモデル化されうる二者択一的な廃棄物用地があるならば、(1)その用地がモデルの強制に適合しない場合には、そして(2)モデル中にある誤りの余地が決定されえないような場合には、最良の水文地質学的モデルでさえも用いてはならないということなのである。

別な言葉で言えば、与えられた科学的モデルが、たとえ最良のモデルであっても、手元の用地に適合することに失敗するほどに、モデルの使用については細心の注意を払うべきなのであ

る（その結果が誤りに導くから）。そうする代わりに、存在するモデルに適合する二者択一的な用地を用地を探すべきである。あなたが知っている悪魔は、あなたが知らない悪魔よりもより良いのである。

しかし、もしあなたをご存じの悪魔があなたの知らない悪魔よりもより良いとすれば、マクシー・フラッツの場合についての私の分析は、より透過性が少ないがしかしあまり予測しえない用地以上に、より透過性があるより予測しうる用地をモデル化することを指示するであろう。

すなわち、水文地質学的にいったん同様であり、容易で信頼できる予測を下すことができた危険な廃棄物用地が、たとえ隠されている地層がいつそう浸透的（放射性廃棄物の保管所である、南カリフォルニアのサバンナの川底に隠れている同質的な砂状の土壌のように）であったとしても、そこに隠れている地層が事実上不透過性であったが、しかし、マクシー・フラッツのように異質的で、それゆえ予測することの困難であった用地をモデル化したり考えたりすることよりも、一層モデルにするのに良く、したがって考えるのに適しているだろう。疑いもなく、もし、ひとつの通用する用地のために最良のモデルを用いることを避けるために、二者択一的な放射性廃棄物用地をもたなかったとすれば、意味のないことになる。このことは、水文地質学的モデルについてのわたしの分析の目的が、モデル化の強制にもとづく、二者択一的な用地のモデル化について相対的に望ましいことに関する結論が引き出されるということの意味する。わたしの目的は、ひとつの用地だけが通用する場合に、最良のモデルの使用を禁止することではない。さらに、決してたんに単一の場合という状況が存在しはしないのだから、どの単一の場合にも、最良のモデルの使用を禁止することは意味をなさないであろう。廃棄物施設の場所指定という目的のための水文地質学的モデル化はもともと比較的であればならない。そうでなければ、最良の通用する用地の選択という論点をたくみに避けていることになる。

(2) もし政策策定者が科学的モデルを使用出来ないとすれば、彼らの決定は恣意的で主観的となりそうである

しかし、わたしの分析にたいするもうひとつの異論は、良い科学的モデルがない場合、それゆえ特殊な政策行為が有害であるという強制的な科学的証拠がない場合、産業家と決定を行う者は、彼らの利害のなかにあることは何でもしそうである。彼らは、科学上の無知を、彼ら自身の経済的利益に役立つかなる行為をも覆いとして用いるかも知れない。言い換えれば、この異論は、水文地質学的モデルについてのわたしの批判が危険な帰結、つまり場所指定を決定するさいのレッセ・フェールに導きうるということである。

この異論にたいする最も明確な返答は、水文地質学的モデルを批判しないこともまた、貧弱な場所指定決定のように、マクシー・フラッツでのように、危険な廃棄物のそれらの結果として生じた用地外への移動、および深刻な公共的健康への脅威によって、危険な帰結へと導きう

るということである。予測的な環境科学の限界を理解することではなく、マクシー・フラッツでのこれらのような誤った予測が、誤った慰めを動機にもつのである。

危険な廃棄物のための用地の不適切さを示している、「煙の出ている銃」がない場合、廃棄物産業の傾向が最良と仮定され、知られている害がないことが安全と同じことだと仮定されるだろう、ということは真実である。しかしながら、このセルフサービスの過程が起こるといことは、科学的モデルを正しく批判している人々の失敗なのではなくて、廃棄物産業にたいして、無知から誤った議論へと非難しようと求めることを認めている人々の失敗なのである。科学的に証明された害がないということは安全を証明しないし、それ以上に科学的に証明された安全がないということが有害を証明する。議論の両方の型は誤っている。というのは、無知はひとつまたは別の道を何も証明しはしないからである。このゆえに、もし、任意の、セルフサービスの産業的な場所決定（良い科学的研究がない場合に行われた決定）のための水文地質学的方法にかんする批判が非難されるとすれば、少なくともふたつの誤りが犯されることになる。それは(1)ひとつの議論にいくつかの形式に産業的にアピールするのを、無知のために無視することであり、(2)「ニュース」が彼ら自身の目的に役立つはずだということを誤用する人々よりはむしろ、「悪いニュース（水文地質学的批判）の持参者を非難すること」である。

(3) 水文地質学的モデルの批判は反知性的であるか？

関連する第3の異論は、水文地質学的モデルについてのわたしの批判が反知性的および反科学に見えるということである。良い知性と良い科学者たちは、彼らが手にしている最良の情報と最良のモデルを用いる（注9を参照）、と異論は続ける。最良の科学的情報とモデルを批判することは、反知性的な「科学いじめ」に参加することである、と異論者は主張する。

この異論は、科学をひどくたたくことが現在では流行になっているので、特別な力をもっている。しかし、なぜ科学をたたくという義務がこの特殊なケースにはあてはまらないかということには、多くの理由がある。第一に、わたしは最良の水文地質学的モデルそれ自体に対して反対したのではなく、最良の水文地質学的モデルを、それらが適用されず、それらの誤りが知られていず、正確なモデル化を許す二者択一的な用地があるような状況のなかで用いることに対して反対したのである。それゆえに、先行する分析は一斉攻撃のようにして科学をたたくことではなくて、科学の誤用にかんする批判なのである。第二に、もし異論を言う人の関心が、科学のたたき手にたいして、科学の信用性を安全防御することにあるとすれば、そうするための最良の方法のひとつは、ここで行われたような、特殊なモデルの貧弱な応用を批判することであろう。そのような応用を批判しないということは、これらの応用が次のような危険を犯すことである。それは、失敗した科学から生じて来る破局と科学たたきへと導くだろうという危険である。

第三に、水文地質学的モデルの批判は、それ自体としては反知性的ではない。まさに、それ

らは反知性的な人々によって誤用されうるからである。たとえば、S.J.グールドは、ダーウィンの進化論にかんする諸問題のいくつかを詳述したとき、彼は反知性的であったわけではない。彼の批判が、進化を信用失墜させようと求める創造論者によって誤用されたという事実は、彼とそのほかの生物学者の批判ではなくて、創造論者が反知性的であったことを証明するだけである。

第四に、この分析が示唆することは、水文地質学的モデルが用いられてはならない（反知性的主張である）ということではなくて、それらの使用が、ただたんにモデルそれ自身の質によってではなくて、部分的には状況によって決定されるべきであるということである。純粋科学においてあるモデルの受け入れられる使用とは何であるかは、応用化学においては望ましいことではないかも知れない。同様に、科学の危険のベイズ派的^(訳注2)な状況下で受け入れられるかも知れないことが不確実性のベイズ派的な状況においては望ましくないかも知れない。われわれのモデルの使用は、とりわけ公共的な有害の大きな可能性があったとすれば、不確実なケースでははるかにずっと保守的である必要がある⁽⁵⁹⁾。

(4) 科学者たちは最もよく通用しているモデルを支持するか

このことは、科学者と科学哲学者たちが実際にマクシー・フラッツのようなケースでは彼らのモデルの使用において保守的であることができないかどうかという問題を提起する。第四の異論は、科学者と科学哲学者と道徳哲学者とがモデルの使用のための基準についての討論する場合に、これら三者のあいだの対立を誤り伝えているということを主張する。

第一に、科学者と科学哲学者たちが、環境政策の策定の問題をはらんだ状況下で、最も通用している科学的モデルを使用することを薦めるだろうと主張することは、誤りへと導くものであるか。ラリー・ローダンのように、彼らの多くは、一組みの貧弱な科学的モデルのうちの最良のものを素朴に使用することと関連した危険にたいして個人的には敏感であるかもしれないにもかかわらず、なぜ科学者と科学哲学者たちの多くがこの敏感さを明示しようとしまいのかということには、いくつかの理由がある。ひとつには、多くの政策策定者と科学者たちは多分、考えられ得る最悪の結果をさけるためのロールズ^(訳注3)の規則⁽⁶⁰⁾よりはむしろ、期待された効用を最大限にするためのベイズ派的な規則を受け入れるからである。このことは、最悪のものに反対するというよりはむしろ、最良の二者択一の利益になるように選択するだろうということを示唆している。そのことは、期待された効用から見て定義されたような、最良の二者択一を選択する決定にまさる、社会契約論的または非存在論的な倫理的強制を認めようとはしないだろうということをも暗示している。

さらに、正確なモデル化が不可能であったマクシー・フラッツのような、科学的な不確実さの状況下では、支配的なベイズ派もまた社会的なリスクの受け入れにたいするもっと保守的なアプローチに従うよりはむしろ、効用を最大限にすることを支持している。実際に、危険な結

果の可能性が知られていない場合に、ベイズ主義者たちは、そのような可能性がすべてひとしいという仮定を用いることを支持している⁽⁶¹⁾。このことは、科学的な不確実さの諸状況が、彼らにとっては、モデル化と決定を行うことにたいしては原則として障害を示さないということの意味している。ベイズ主義者たちは、ただ、そのような状況下では、彼らの分析が生じさせる最良のモデルを用いることが求められている。科学的な不確実さは、与えられたモデルを採用するにはあまりも知識が欠けていると言うことを、決して彼らに要求しはしない。もしそれがなされたならば、彼らは可能性が等しいという仮定を用いしなかつたであろう。このゆえに、科学者と科学哲学者たちが支配的なベイズ派的立場を受け入れるというほどに、彼らは科学的な不確実さを無視しがちであり、単純に、彼らもっている最良のモデルを採用しがちなのである。

なぜ科学者と科学哲学者たちが、最もよく通用している科学的モデルを用いがちであるように見えるのかについての第二の理由は、そうすることと関連した危険な帰結とは別に、政策の脈絡のなかで働いているアメリカの科学者たちが、法律によって、公害やテクノロジー的／産業的活動の他の危険な結果を「かなり一定の水準に達しうるほど低く」(ALARA)維持することを要求されているということである。かなり達成されうるものは、好ましい利潤・コストの分析にもとづいて決定される⁽⁶²⁾。このゆえに、政府の調整は、それが何であれ、最も良く達成される標準を用いることを認可し、人々を守ったり災害を避けるのは必要であるかもしれない標準についてはそうしないのである。このことは、最良の標準および最良の科学的モデルの両方が、われわれの倫理学が支持するような標準またはモデルとは別に、プラグマティックに定義されているということを示唆する。受け入れられている ALARA 標準のプラグマティックな定義および受け入れられている環境のリスクのベイズ派的な定義は、たとえ不確実なケースにおいてさえも、両方とも政策策定者にたいして重要な倫理的な主題を避けることを認めている。このゆえに、科学者と科学哲学者たち—実際に、だれもが道徳哲学において特別に訓練を受けているというわけではない—が、環境政策策定の状況においては、たんに最も通用している科学的モデルを用いがちであるにすぎず、それゆえに、重要な倫理的考察をさげがちであると主張することは、理由があるように見える。この分析は、そのような手続きから帰結する危険のいくつかを素描したのである。

[感謝の言葉：著者は Mike Bradie, Ray Frey, Alan Gewirth に感謝したい。彼らは、私が以前に口頭でこの論文を発表したときに、建設的な批判をしてくれたからである。しかし、もし本論文に誤りがあるとすれば、それはすべて著者である私の責任である。]

原注

- (1) P. S. Zurer, "U.S. Charts Plans for Nuclear Waste Disposal," *Chemical and Engineering News*, July 18, 1983, 23. See also Henry Eschwege, U.S. General Accounting Office, testimony in U.S. Congress, House of Representatives, *Low-Level Radioactive Waste Disposal, Hearings before a Subcommittee of the Committee on Government Operations*, 94th Cong. 2nd sess., February 23, March 12, and April 6, 1976 (Washington, D.C.: Government Printing Office 1976), 4. See also Frank Browning, "The Nuclear Wasteland," *New Times* 7, no. 2 (July 1976): 43-47, esp. 45. See also G. Lewis Meyer, *Preliminary Data on the Occurrence of Transuranium Nuclides in the Environment at the Radioactive Waste Burial Site, Maxey Flats, Kentucky*, EPA-520/3-75-021 (Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 1976), 1.
- (2) W. F. Nadele, "Nuclear Grave Is Haunting Kentucky," *Philadelphia Bulletin*, May 17, 1979, 1-3, in U.S. Geological Survey (USGS), "Maxey Flats--Publicity," vertical file, Water Resources Division, Department of the Interior, Louisville, Kentucky, 1962. (USGSのルイスヴィルのオフィスはマクシー・フラッツの放射性施設をモニターする責任がある。) F. Browning, "The Nuclear Wasteland," *New Times* 7, no. 2 (July 1976), 43-47.
- (3) Herbert Hopkins, USGS, "Ground-Water Conditions at Maxey Flats, Fleming County, Kentucky" USGS report in the files of the USGS office, Department of the Interior, Louisville, Kentucky, 1962. See also A. Weiss and P. Colombo, *Evaluation of Isotope Migration-- Land Burial*, NUREG/CR-1289, BNL-NUREG-51143 (Washington, D.C.: Nuclear Regulatory Commission, 1980), 5. (この資料はもとの名前でNECOに言及しているが、NECOは逆宣伝という部分的な理由で、その名前をU.S. Ecology, Inc.に変更したことが注意されるべきである。)
- (4) G. Meyer, "Maxey Flats Radioactive Waste Burial Site: Status Report," Advanced Science and Technology Branch, Environmental Protection Agency, February 19, 1975, 9.
- (5) Environmental Protection Agency, *Considerations of Environmental Protection Criteria for Radioactive Waste* (Washington, D.C.: EPA, February 1978), 9. J. M. Deutch and the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management. *Report to the President*, TID-2817 (Springfield, Va.: National Technical Information Service, October 1978), iv; see also Environmental Protection Agency, *Protection Criteria*, 23, where it is explained that many of the radioactive wastes will have to be isolated "permanently" (for a million years) from the biosphere. 永続的な封じ込めの必要性に堪えるこれ以上の情報に堪えては以下を参照されたい。Energy Research and Development Administration, *Final Environmental Statement: Waste Management Operations, Hanford Reservation, Richland, Washington*, vol. 1, ERDA-1538 (Springfield, Va: National Technical Information Service, October 1975), X-179.
- (6) 施設の歴史と閉鎖に堪える詳細は次を参照のこと。Meyer, "Maxey Flats Radioactive Waste" 1975; P. Hyland et al., Legislative Research Commission, *Report of the 1978-1979 Interim Special Advisory Committee on Nuclear Waste Disposal* Research Report 167 (Frankfort, Ky.: Legislative Research Commission, 1980). See also P. Hyland et al., Legislative Research Commission, *Report of the Special Advisory Committee on Nuclear Issues*, Research Report 192 (Frankfort, ky., Legislative Research Commission, 1982); hereafter cited as LRC.
- (7) LRC, 36.
- (8) これは用地をモニターしたEPAとケンタッキーの放射線学者たちの意見である。例えば以下を参照されたい。D. T. Clark, "Personal Comments Concerning Revision of the Six Month Study Report," NECO Files, through C. Hardin and R. Fry, Memo from the Department for Human Resource, Commonwealth of Kentucky, Frankfort, December 17, 1974. クラークはこう書いている。「到達できた唯一の結論は、公衆の健康が危険にさらされる可能性がマクシー・フラッツの領域に現存するということである。」(P. 3) 用地プロジェクト報告書のなかでB. M. Wilsonは共同研究者とともにこう書いた。「マクシー・フラッツの領域に現存する、公衆の健康が危険にさらされる可能性は、移動した放射能によるものである。」See D.T. Clark and B. M. Wilson, Radiological Health Program, "project Report, Kentucky Radioactive Waste Disposal Site," Memo to Stanley Hammons, M.D., Commissioner, Bureau for Health Services, State of Kentucky, October 21, 1974, 14.
- (9) 多くの認識論者と科学哲学者たちはこう主張するであろう。われわれはいつも、われわれがもっている

最良のモデルを使用すべきである、というのは、より良いモデルが流布するまでは、その科学的モデルを拒否することは意味をなさないからである、と。実際にこうした要求は、古典的または伝統的な科学哲学にかんして現在行き渡っている批判の中心にある。どうしてそうなのかを理解するには、L. Laudan, *Progress and Its Problems* (Berkeley: University of California Press, 1977), 26-44によって行われたこうした要求にかんする議論を考えるべきである。Laudanは、ベーコンとミルからグリユンバウムとラカトスまでの思想家たちが反証となる諸事例の重要性を強調した、と主張する。彼は、こうした思想家たちの古典的な見解にもとづいて、ある理論またはモデルのなかにひとつの例外が生じた場合でさえも、理性的な科学者がこれを捨てるのに十分である、と述べている (P.26)。L. Laudanは、これとは反対に (P. デュエム, O. ノイラート, W. クワインとともに)、こう考えている。どの経験的なテストでも、課されているのは諸理論の完全なネットワークである、だから例外が生じたからといってある理論を捨てるように無理強いするには及ばない、と (P.27)。したがって彼は「ある問題は、ひとつの理論にとっては、それがそのほかの理論によって解決される場合にのみ、例外として勘定される」と述べている。そしてそれゆえに「反証となる事例である一種類の例外が、たとえそれがそのほかの競合者によって解決されていない場合でさえも、ある理論にとっては直接認識上の脅威となる、という通俗的な見解に反対して」論じている (P.27)。

もしも私が疑いをかけたことを Laudan が念頭に置いて言っているとすれば、モデルや理論には何の反証となる事例や致命的な欠陥がないことになる。競合者であるモデルや理論が反証となる事例を解決したり、欠陥に改善を加えることができる場合にのみ、その欠陥はもとの理論に認識上の脅威となる。本論文における私の論点は、そのような欠陥が、申し立てられた認識上の信頼性とは別に、実際のまたは倫理的な脅威となるということである。

- (10) (例えば、福祉経済学における) 最良の科学的モデルですらも、「十分に良い」とはいえないであろうし、与えられた状況のなかでは倫理的に擁護されたり受け入れられるものとはいえないであろう。こうした観点を擁護している道徳哲学者にかんしては、次を参照されたい。Mark Sagoff, *Risk Benefit Analysis in Decision Concerning Public Safety and Health* (Dubuque: Kendall/ Hunt, 1985); and Mark Sagoff, *The Autonomy of the Earth* (New York: Cambridge University Press, 1988).
- (11) G. Fleming, *Computer Simulation Techniques in Hydrology* (New York: Elsevier, 1975), 180.
- (12) *Ibid.*, 180.
- (13) *Ibid.*, 237, 257.
- (14) S. S. Papadopoulos and I. Winograd, "Storage of Low-Level Radioactive Wastes in the Ground: Hydrogeologic and Hydrochemical Factors," EPA-520/3-74-009 (Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 1974), 17-18.
- (15) D. R. Wiesnet, "Remote Sensing and Its Application to Hydrology," in *Facets of hydrology*, ed. J. C. Rodda (New York: Wiley, 1976), 50. See also Thomas Dunne and Luna Leopold, *Water in Environmental Planning* (San Francisco: W. H. Freeman, 1978), 177-78.
- (16) F. X. Dunin, "Infiltration: Its Simulation for Field Conditions," in Rodda, *Facets of Hydrology*, 215. See D. K. Todd, *Groundwater Hydrology* (New York: Wiley, 1980), 362. 土壌水分の吸収力が「測定によっては評価されがたい」ことを指摘しているそのほかの地質学者は George Fleming である。以下を参照のこと。Fleming *Computer simulation Techniques*, 237.
- (17) 科学における認識上または認知上の価値が果たす役割にかんする議論については次を参照されたい。K. Shrader-Frechette, *Science Policy, Ethics, and Economic Methodology* (Boston: Reidel, 1985), 67-98.
- (18) R. C. Ward, *Principles of Hydrology* (London: McGraw-Hill, 1975), 142. See also T. C. Atkinson, "Techniques for Measuring Subsurface Flow on Hillslopes," in *Hillslope Hydrology*, ed. M. J. Kirkby (New York: Wiley, 1978). 変数の係数にかんする議論については以下を参照のこと。R. G. Barry, "Precipitation," in *Water, Earth, and Man*, ed. R. J. Chorley (London: Methuen, 1969), 120-21.
- (19) Ward, *Principles of Hydrology*, 143.
- (20) Dunin, "Infiltration," 215; Fleming, *Computer Simulation Techniques*, 237.
- (21) See M. B. Davis, "Climatic Instability, Time Lags, and Community Disequilibrium," in *Community Ecology*, ed. J. Diamond and T. Case (New York: Harper & Row, 1986), 269-84. See also R. W. Graham, "Response of

- Mammalian Communities to Environmental Changes during the Late Quaternary,” in *ibid.*, 300-313; and S. P. Hubbell and R. B. Foster, “Biology, Chance, and History and the Structure of Tropical Rain Forest Tree Communities,” in *ibid.*, 314-29. See also note 22.
- (22) 例えば次を参照のこと。D. R. Strong, “Natural Variability and the Manifold Mechanisms of Ecological Communities,” *American Naturalist* 122, no. 5 (November 1983): 636-60; E. F. Connor and E. D. McCoy, “The Statistics and Biology of the Species Area Relationship,” *American Naturalist* 113, no.6 (June 1979): 791-833; E. F. Connor and D. Simberloff, “The Assembly of Species Communities: Chance or Competition,” *Ecology* 60, no. 6 (1979): 1132-40.
- (23) Todd, *Groundwater Hydrology*, 384.
- (24) 多孔性の媒体モデルにかんする議論については、同上書384-87を参照。
- (25) 雑多な類比モデルにかんする議論については、同上書387-9を参照。
- (26) 電気的な類比モデルにかんする議論については、同上書393-99を参照。
- (27) 有限な差異モデルにかんする議論については、同上書399-40と以下を参照。G. F. Pinder and W. G. Gray, *Finite Element Simulation in Surface and Subsurface Hydrology* (New York: Academic Press, 1977), chaps. 1-2.
- (28) 有限な要素モデルにかんする議論については、以下を参照。Todd, *Groundwater Hydrology*, 401-2; Pinder and Gray, *Finite Element Simulation*, chaps. 3-8.
- (29) ハイブリッド・コンピュータ・モデルにかんする議論については、Todd, *Groundwater Hydrology*, 402-3を参照。
- (30) See *ibid.*, 67-68, 93, 101, 342. Darcy の法則にかんする議論については、以下を参照。D.B. McWhorter and D. K. Sunada, *Ground-Water Hydrology and Hydraulics* (Fort Collins, Colo.: Water Resources Publications, 1977), 27, 65ff.
- (31) H. H. Zehner, *Hydrogeologic Investigation of the Maxey Flats Radioactive Waste Burial Site, Fleming County, Kentucky*, USGS Open File Report 83-133 (Louisville, Ky.: Department of the Interior, USGS, 1981), 132-34, 153, 157, 175, 181. See also Eberhard Werner, *Joint Intensity Survey in the Morehead, Kentucky, Area*, report prepared for the USGS, 1980, on file at the USGS office, Water Resources Division, Room 572, Federal Building, 600 Federal place, Louisville, Kentucky 40202. See also note 34.
- (32) H. Schoeller, “Analytical and Investigational Techniques for Fissured and Fractured Rocks,” in *Ground-Water Studies*, ed. R. H. Brown, A. A. Konoplyantsev, J. Ineson, and V. S. Kovalevsky (New York: UNESCO, 1974), 4.
- (33) See Todd, *Groundwater Hydrology*, 59.
- (34) Zehner, *Hydrogeologic Investigation* 1, 3, 73-77, 112, 119-26. See also note 31.
- (35) See Todd, *Groundwater Hydrology*, 31; and R. Z. Whipkey and M. J. Kirby, “Flow within the Soil,” in Kirby, *Hillslope Hydrology*, 121-44, esp. 123.
- (36) Todd, *Groundwater Hydrology*, 1-2, 221. See also J. P. Waltz, “Ground Water,” in Chorley, *Water, Earth, Man*, 265; and Ward, *Principles of Hydrology*, 133, 193, 194, 241. See also T. Dunne, “Field Studies of Hillslope Flow Processes,” in Kirby, *Hillslope Hydrology*, 246; and D. T. Currey, “The Role of Applied Geomorphology in Irrigation and Groundwater Studies,” in *Applied Geomorphology*, ed. J. R. Hails (New York: Elsevier, 1977), 69. Finally, See L. B. Leopold, *Water* (San Francisco: Freeman, 1974), 21.
- (37) J. B. Thornes and D. Brunnsden, *Geomorphology and Time* (New York: Wiley, 1977), 103.
- (38) See D. I. Smith, “Applied Geomorphology and Hydrology of Karst Regions,” *Applied Geomorphology* 93-94.
- (39) Todd, *Groundwater Hydrology*, 40.
- (40) D. H. Miller, *Water at the Surface of the Earth* (New York: Academic Press, 1977), 401.
- (41) Papadopoulos and Winograd, “Storage,” 34.
- (42) Meyer, “Maxey Flats Radioactive Waste,” 9.
- (43) See note 4.
- (44) Smith, “Applied Geomorphology,” 95-96.
- (45) *Ibid.*, 97-99. See also D. B. Smith, “Nuclear Methods,” in Rodda, *Facets of Hydrology*, 67. See also T. C.

- Atkinson, "Techniques for Measuring Subsurface Flow on Hillslopes," in Kirkby, *Hillslope Hydrology*, 93.
- (46) R. L. Blanchard, D. M. Montgomery, H. E. Kolde, and G. L. Geis, *Supplementary Radiological Measurements at the Maxey Flats Radioactive Waste Burial Site*, EPA-520/5-78-011 (Montgomery, Ala.: Environmental Protection Agency, 1978), esp. 29-30. See also R. L. Blanchard, D. M. Montgomery, and H. E. Kolde, *Radiological Measurements at the Maxey Flats Radioactive Waste Burial Site*, EPA-520/5-76-020 (Cincinnati, Ohio: Environmental Protection Agency, 1977), esp. 5-70, 71-72, 79ff.
- (47) Thornes and Brunnsden, *Geomorphology and Time*, 104.
- (48) Smith, "Nuclear Methods," 71.
- (49) Todd, *Groundwater Hydrology*, 75.
- (50) Ibid.; R. K. Linsley, M. A. Kohler, J. L. Paulhus, *Hydrology for Engineers* (New York: McGraw-Hill, 1975), 203. See also note 47.
- (51) I. Walker, "Geological and Hydrologic Evaluation of a Proposed Site for Burial of Solid Radioactive Wastes Northwest of Morehead, Fleming County, Kentucky, USGS, Kearney, New Jersey, September 12, 1962, 2. On file in the Louisville, Kentucky, office of the USGS.
- (52) Ibid., 2.
- (53) Blanchard et al., *Supplementary Measurements*, 4.
- (54) Papadopoulos and Winograd, "Storage," 40.
- (55) *Hydrogeologic Investigation of the Maxey Flats Radioactive Waste Burial Site, Fleming County, Kentucky*, Open File Report 83-133, 129; see also 19, 21, 112, 114, 131.
- (56) Ibid., 114.
- (57) See Papadopoulos and Winograd, "Storage," 9-16, 35-36, 40-42; Blanchard et al., *Radiological Measurements*, 58, 68-69, 74.
- (58) これらの三つの異論はすべて、1988年9月9日に口頭で私の分析を公表したさい、Michael Bradie, Ray Frey, Alan Gewirthがこれに答えて提起してくれたものである。私は彼らがこれらの問題を正確に定式化してくれたことに感謝したい。
- (59) ベイズ派的な決定作成にかんする簡単な議論については、この分析の次の節を参照されたい。
- (60) John Harsanyi, "Can the Maximin Principle Serve as a Basis for Morality? A Critique of John Rawls's Theory," *American Political Science Review* 69 (1975): 594-606は、ベイズ派的な立場が現在のところ支配的であることを明確に断言している。
- (61) Ibid., 594, 598-601.
- (62) 例えば以下を参照。Code of Federal Regulations 10, pt. 20 (Washington, D. C.: Government Printing Office, 1978), 182; and Nuclear Regulatory Commission, *Issuances* 5, bk. 2 (Washington, D.C.: Government Printing Office, June 30, 1977), 928.

訳注

- (1) 「月曜日の朝のクォーターバック」とは、アメリカン・フットボールで、日曜日にあった試合の翌日に、試合に参加していないにもかかわらずクォーターバックでもあるかのように、知ったかぶりであれこれ批評することを言う。
- (2) 「ベイズ派」のベイズとは、イギリス非国教会派の神学者・数学者、トマス・ベイズ Thomas Bayes (1702-61) のこと。数字上の「ベイズの定理」で知られる。この定理は、ある事柄の蓋然性の確率を以前に起こった頻度から統計学的に推論するものであるが、事前に情報がない時は起こりうるいくつかの可能性をすべて同程度に確からしいと見なす点で、その機械的適用には強い批判がある。
- (3) ロールズとは、『正義論』を著したアメリカの倫理学者ジョン・ロールズのこと。

(おくや こういち 本学人文学部 哲学・倫理学専攻)