

# 地下の未来を科学する 地層処分研究開発

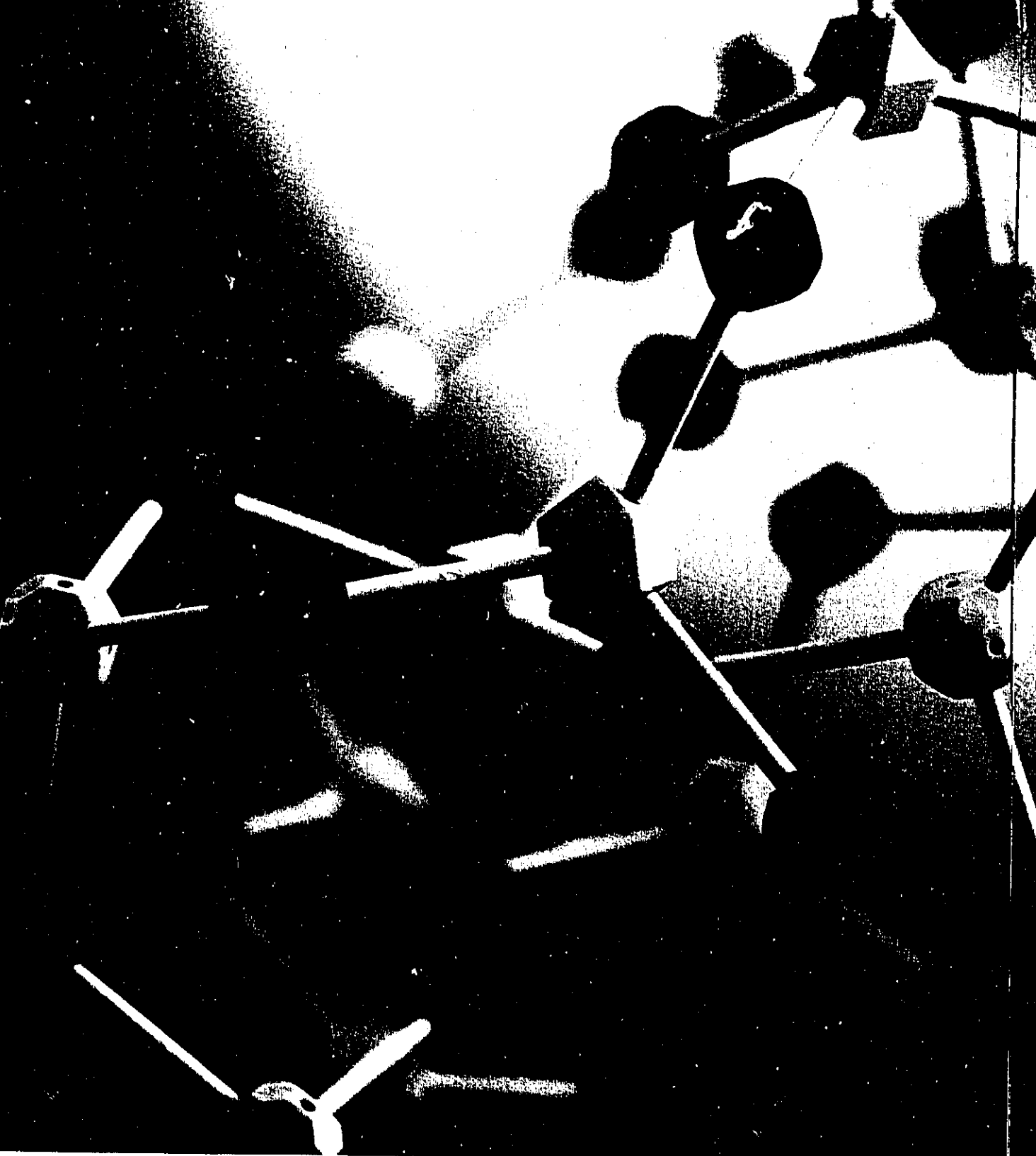
—研究開発の現状—



# PNC

# 地層処分とは

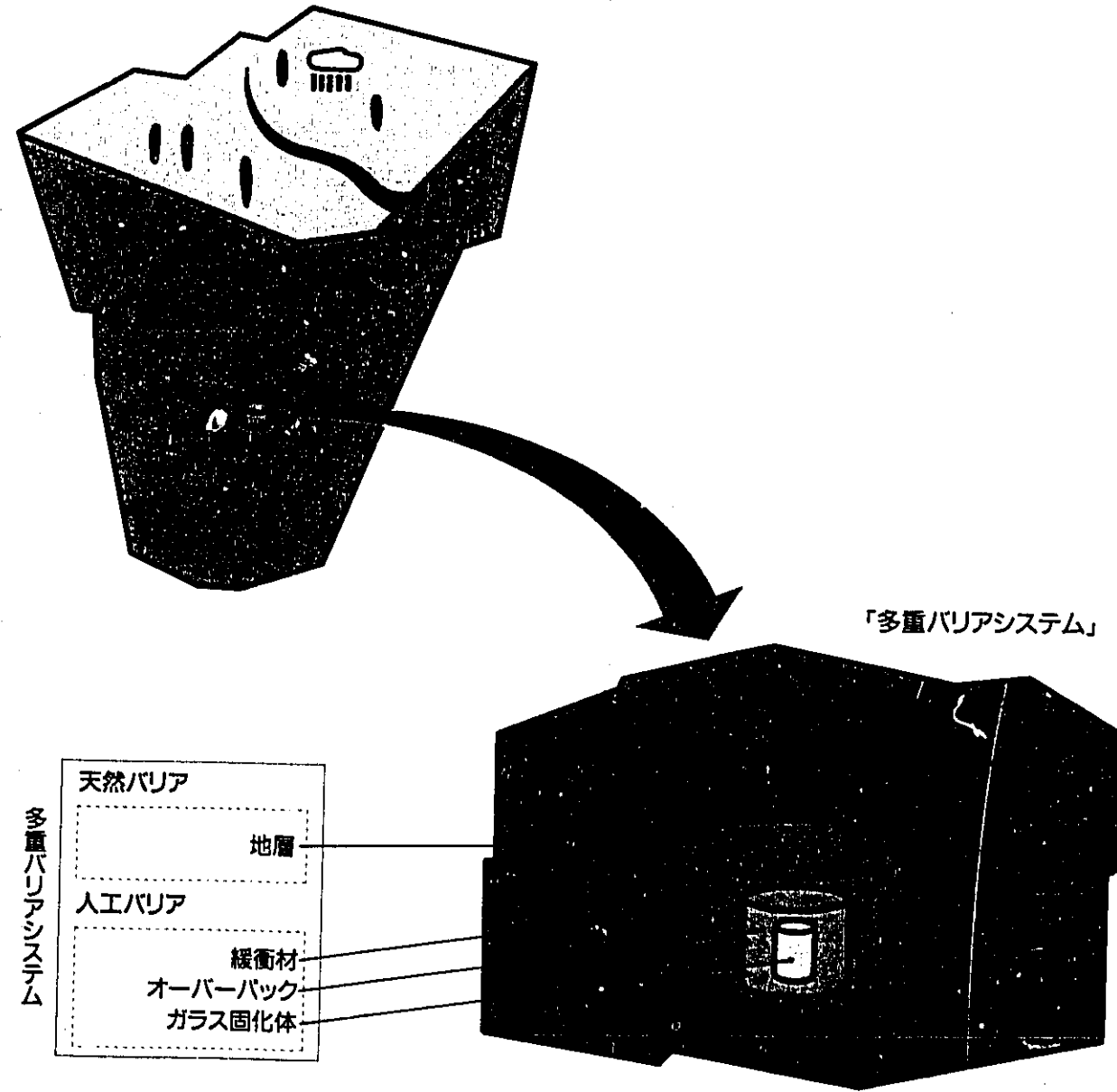
安全で明るい生活をささえる原子力発電。  
 エネルギーを生みだした燃料の燃えカスを、安全  
 がたづけすること、それが地層処分です。  
 核燃料開発事業団では、地層処分に  
 まざまな研究を進めています。



種別(半減期)	ガラス	コンクリート	天然岩	天然土	天然砂	天然石
セシウム-90-イットリウム-90 (2.67日)	0.240	0.18	0.071	—	—	—
プルトニウム-89(150万年)	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
セシウム-99(21.3万年)	0.00024	0.00024	0.00024	0.00024	0.00024	0.00024
プルトニウム-135(300万年)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
ストロンチウム-137-バリウム-137 (30.0年) (3分)	0.188	0.133	0.017	—	—	—
その他	0.003	0.002	0.00278	0.00008	0.00007	—
ネプツニウム-237(214万年)	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
プルトニウム-239(24100年)	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004
プルトニウム-240(6560年)	0.00007	0.00007	0.00011	0.00019	0.00011	0.00004
アメリシウム-241(433年)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000234	—
アメリシウム-243-ネプツニウム-239 (7380年) (2.35日)	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00048	0.00002
その他	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
合計	1	0.294	0.292	0.028	0.00333	0.00007

# 日本の地層処分の考え方

「安定な地層」に「多重バリアシステム」

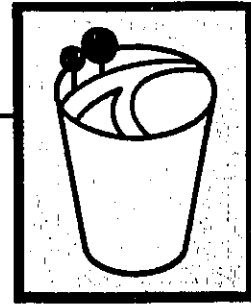


火山の噴火などの天然現象によって廃棄物が地上に出てきたり、人間が地下の資源を探して、廃棄物に近づいたりすることがないような「安定な地層」に、天然バリアと人工バリアの「多重バリアシステム」を設けることで、地下水が放射性物質を運びだして人間に影響を与えることのないようにします。

# 研究開発の課題

日本では特定の地域や地層を対象としないで、研究開発を進めています。

安定な地層	<p>日本にも地層処分のための「安定な地層」はあるか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・天然現象などの影響 (火山の活動、隆起・侵食、ボーリングなど)</li> </ul>	
多重バリアシステム	<p>どのような性質を持った地下水が、どのようにやってくるか？</p> <p>(地下水の動きと性質)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の動き</li> <li>・地下水の化学的な性質</li> </ul>	
	<p>地下水に対して人工バリアはどうはたらくか？</p> <p>(人工バリアのはたらき)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材中の地下水の動き</li> <li>・緩衝材と地下水の反応</li> <li>・オーバーバックの腐食</li> <li>・ガラス固化体の劣化</li> <li>・放射性物質の溶け出し</li> </ul>	
	<p>地下水が高レベル放射性廃棄物に到達した場合、放射性物質はどのように動くのか？</p> <p>(放射性物質の動き)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材中での放射性物質の動き</li> <li>・地層中での放射性物質の動き</li> </ul>	



## 地層処分のための「安定な地層」は日本にもあると考えられます

火山の活動、隆起・侵食、そして地下の掘削(ボーリング)などについて研究しました。

### 火山の活動

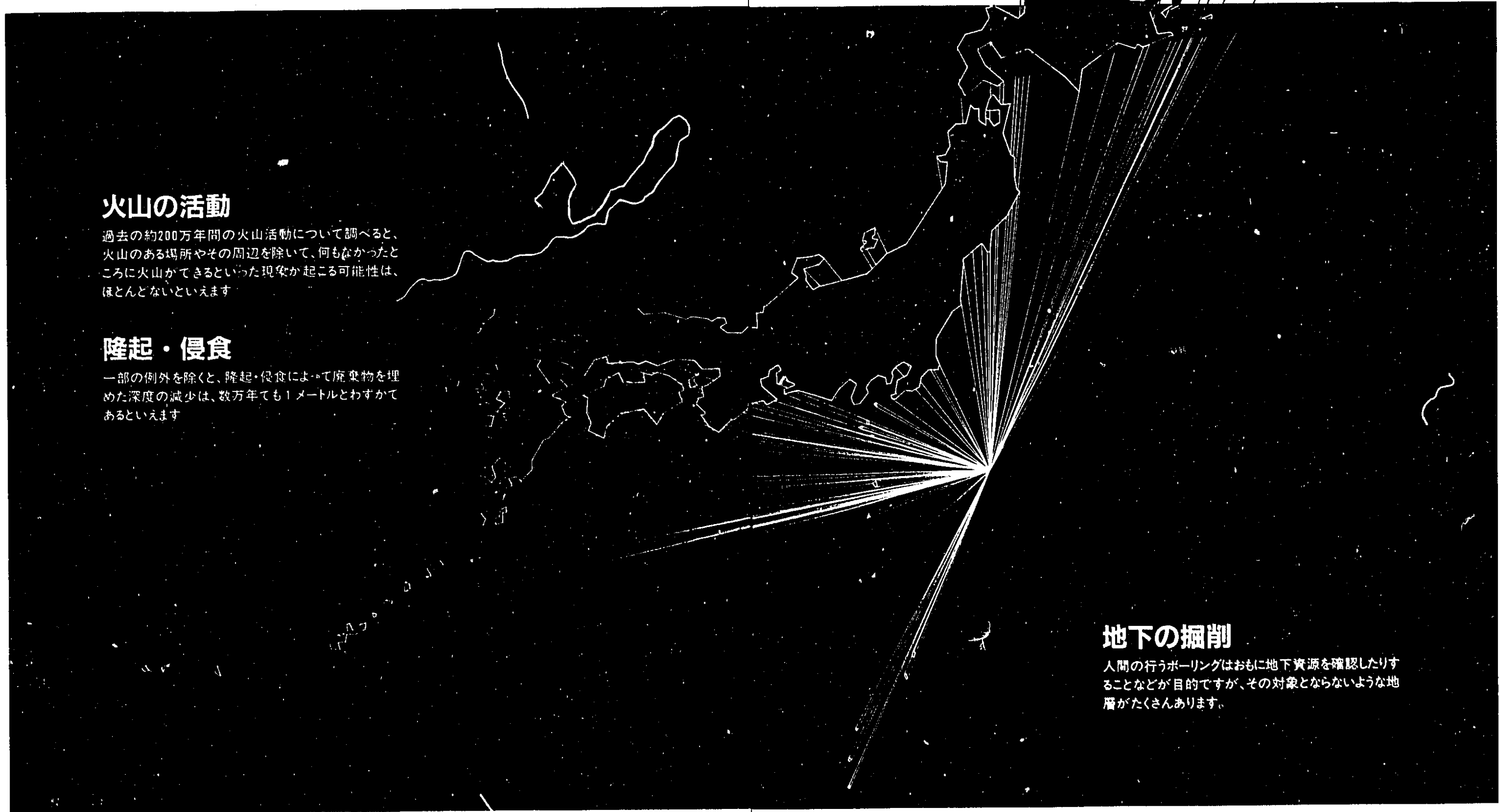
過去の約200万年間の火山活動について調べると、火山のある場所やその周辺を除いて、何もなかったところに火山ができてきたといった現象が起こる可能性は、ほとんどないといえます。

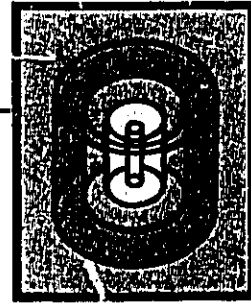
### 隆起・侵食

一部の例外を除くと、隆起・侵食によって廃棄物を埋めた深度の減少は、数万年でも1メートルとわずかであるといえます。

### 地下の掘削

人間の行うボーリングはおもに地下資源を確認したりすることなどが目的ですが、その対象とならないような地層がたくさんあります。

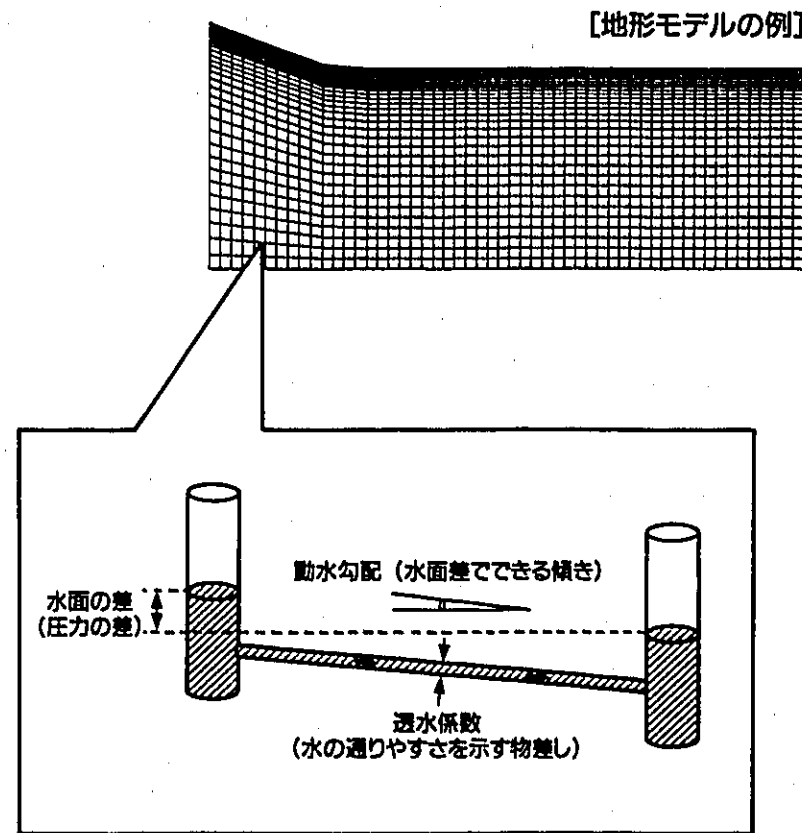




# 「多重バリアシステム」は放射性物質の地下水による移動を抑えます

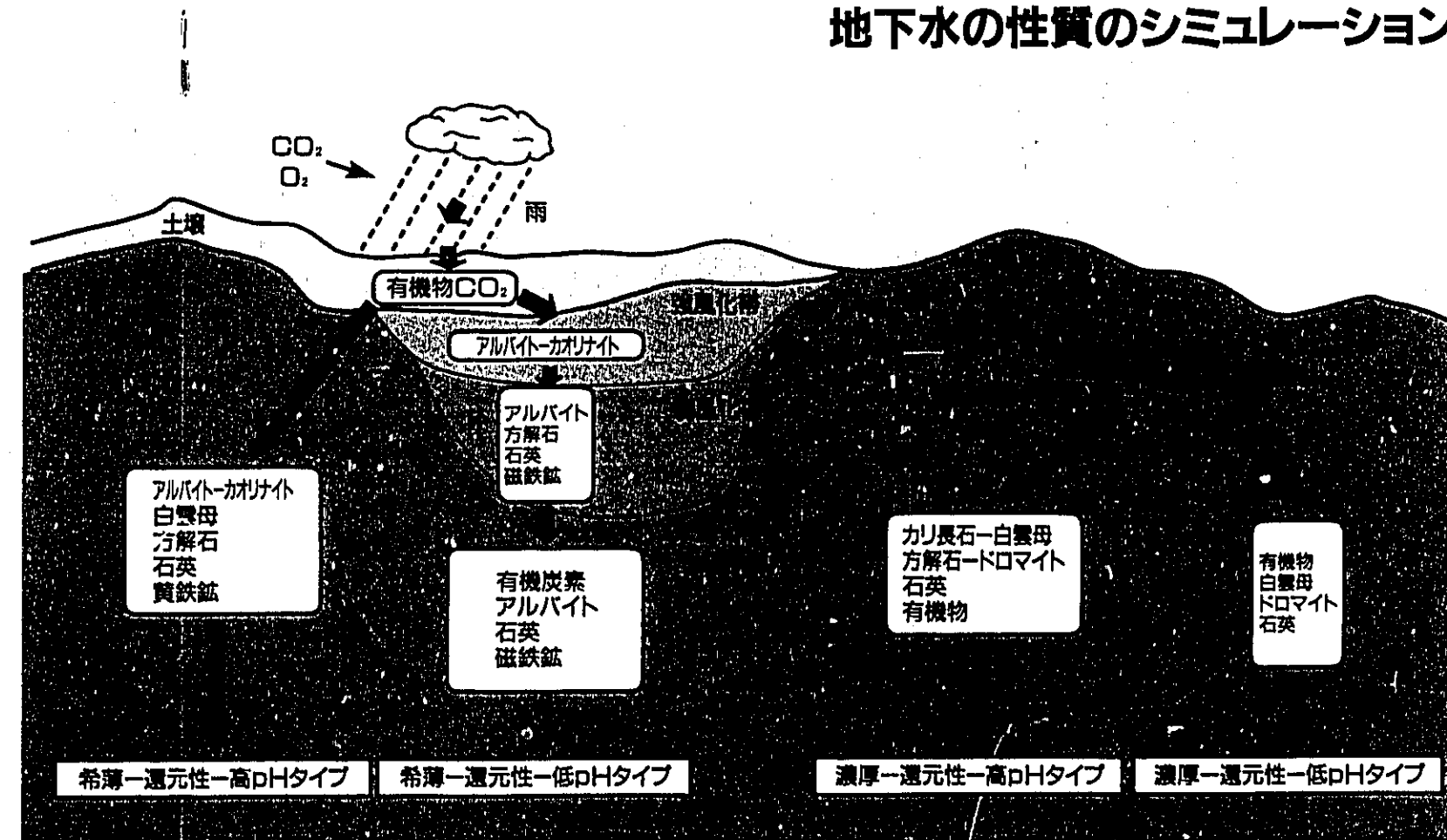
特定な地域や地層を決めないでも、人工バリアのはたらきや放射性物質の動きを知るために必要な地下水の動きや性質は、シミュレーションによって決めることができます。

## 地下水の動きのシミュレーション



人工バリアのはたらきや放射性物質の動きを知るのに使う地下水の動きは、おもに「動水勾配」で表します。この「動水勾配」を求めるには水面差、すなわち地形や透水係数のデータが必要です。そこで、日本の山の高さや平野の広さなどのデータから決めたいくつかの代表的な地形(モデル地形)や文献から得られた透水係数を使って、動水勾配を科学的なシミュレーションから決めることができました。

## 地下水の性質のシミュレーション



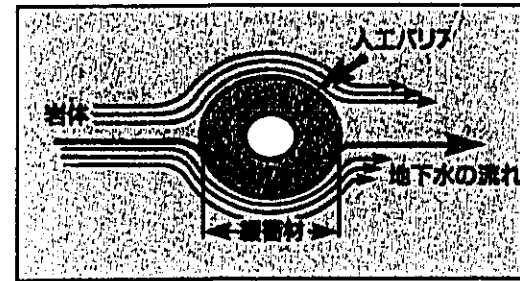
地下水の化学的な性質は、海水や雨水が地下深くにしみこんでいく過程で起こる、鉱物との化学反応のシミュレーションによって決めることができました。地下水はその起源と化学反応の過程からいくつかのタイプに分けました。



# 「多重バリアシステム」は放射性物質の地下水による移動を抑えます

人工バリアは、地下水を1000年以上も高レベル放射性廃棄物に寄せつけないうえ、地下水の性質を放射性物質を溶かしにくい傾向に変えることがわかりました。また、ガラスが放射性物質の溶け出しを防ぐことや、さらに大部分の放射性物質は、地下水に溶けにくいこともわかりました。

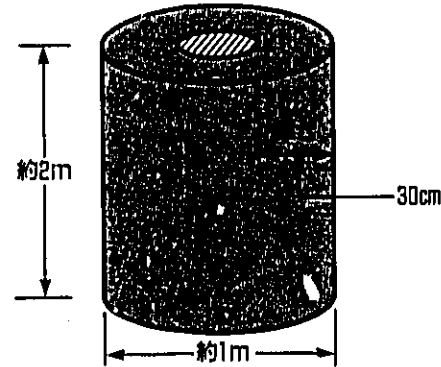
## ■緩衝材(ベントナイト)中では地下水はほとんど動きません



ベントナイトは水を通しにくく、地下水はベントナイトの中を「流れる」のではなく、極めてゆっくりと「しみとおっていく」ような動きをすることがわかりました。そのため地下水がベントナイトを通過して、オーバーバックに近づくには長い年月がかかります。

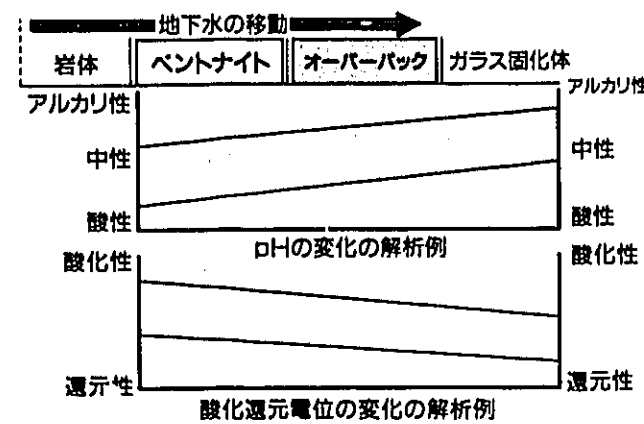
## ■オーバーバックの腐食は非常に遅いものです

オーバーバックの例



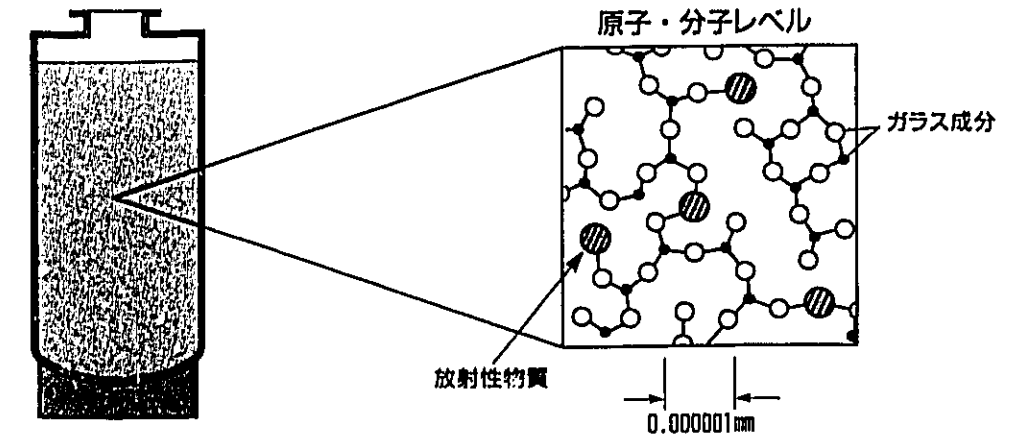
オーバーバックの腐食試験をした結果、平均的な腐食の速さは年間0.01ミリメートル以下と非常に遅いことがわかりました。その他の試験結果や計算結果から推定すると、腐食は1000年間で最大でも3cmという値が得られました。

## ■人工バリアは地下水の性質を、放射性物質を溶かしにくい傾向に変え、その状態を維持します



地下水が人工バリアを通ることで、地下水の化学的性質は、放射性物質をより溶かしにくいといわれる傾向、つまりよりアルカリ性に、より還元性になっています。

## ■ガラス固化体は放射性物質の溶け出しを防ぎます



ガラス固化体

ガラス固化体の中の放射性物質は、ガラスの成分と化学的に結合しており、かんたんに地下水に溶け出すことはありません。ガラスそのものも非常に安定で、ガラスの成分は地下水になかなか溶けません。

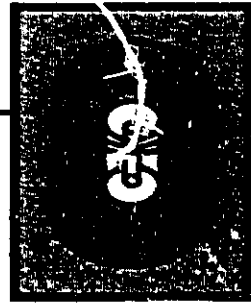
## ■地下水に溶ける放射性物質の量は極くわずかです

溶解度を評価した結果の一例

元素	溶解度 (1Lの水に溶ける量)
ネプツニウム	0.0000000005g
プルトニウム	0.000000009g
アメリシウム	0.00001g
セレン	0.00005g
テクネチウム	0.000004g
パラジウム	0.0000001g

アメリシウムを例にとると、プール(50m×20m×1m)の水に角砂糖1個(10g)しか溶けないといった程度です。

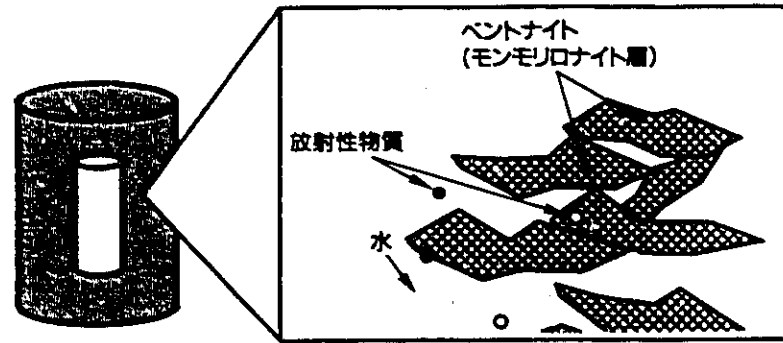
(希薄-還元性-高pH地下水の場合)



# 「多重バリアシステム」は放射性物質の地下水による移動を抑えます

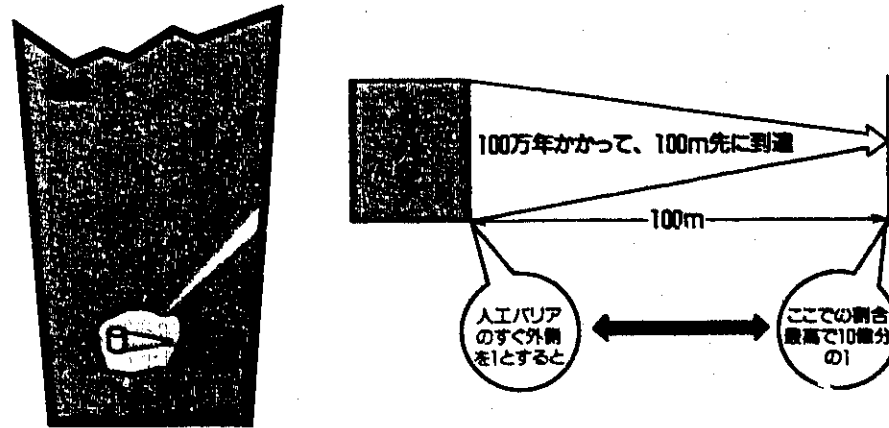
人工バリアには、長期にわたって放射性物質の移動を遅らせる能力が、また天然バリアには放射性物質を閉じ込める基本的な能力があることがわかりました。

## ■緩衝材(ベントナイト)は放射性物質の動きを遅らせます



ベントナイトは物をくっつけ、その動きを遅くします。その間にも放射性物質は減っていきます。

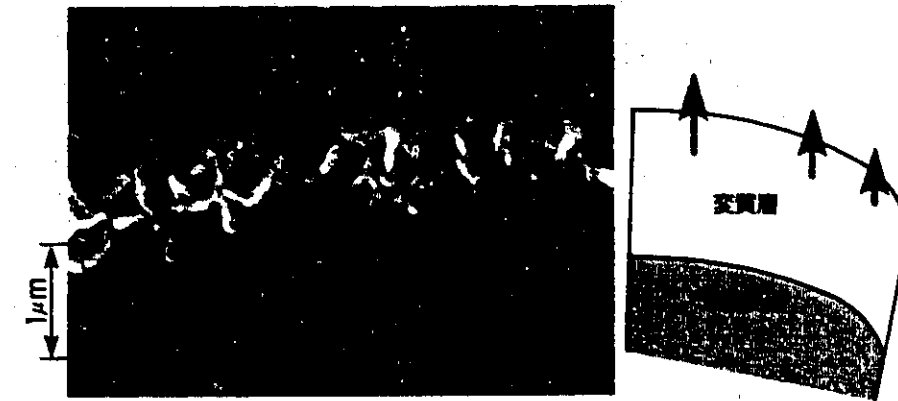
## ■天然バリアの性能を解析した結果の一例(ネプツニウム227)



地下水に溶かされた放射性物質は、岩の表面にくっついてほとんど動きません。一つの予測例では、人工バリアから100メートル離れた地点まで到達するのは、人工バリアを抜けてからおよそ100万年後です。そしてそこでの量の割合は、人工バリアのすぐ外側に比べて一番高いときでも10億分の1です。

## 自然界にも似た例があります

### ■ガラスが変化しにくいことの例

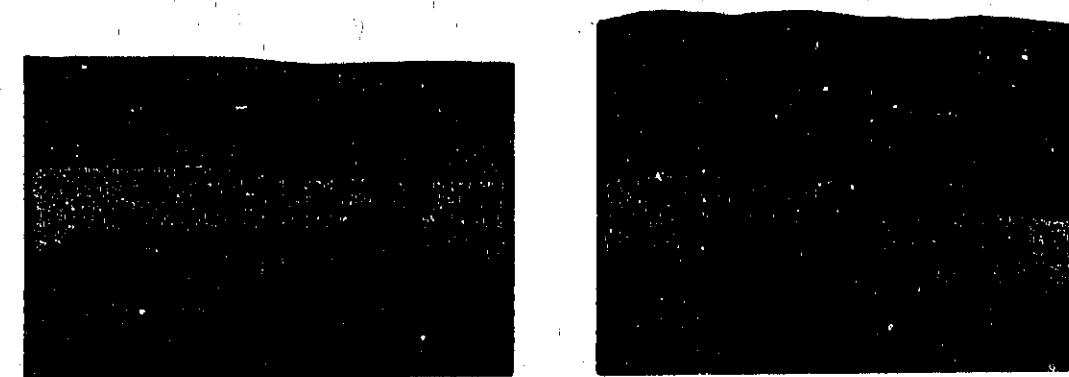


天然ガラス(火山ガラス)の変質の例  
(伊豆大島で採集-変質期間 1240年)

変質したガラス固体化表面のイメージ

放射性物質が地下水に溶解する反応が起こるのは、主として長い間に変質した固体化ガラスのごく薄い表面の部分です。この変質する量を評価するため、固体化ガラスとよく似た大昔の天然ガラス(火山ガラス)を対象に調べています。その結果、1000年以上経った場合でも、ガラスはほとんど変質しないことが分かってきました。

### ■地下がものを閉じ込めておく力がすぐれていることの例

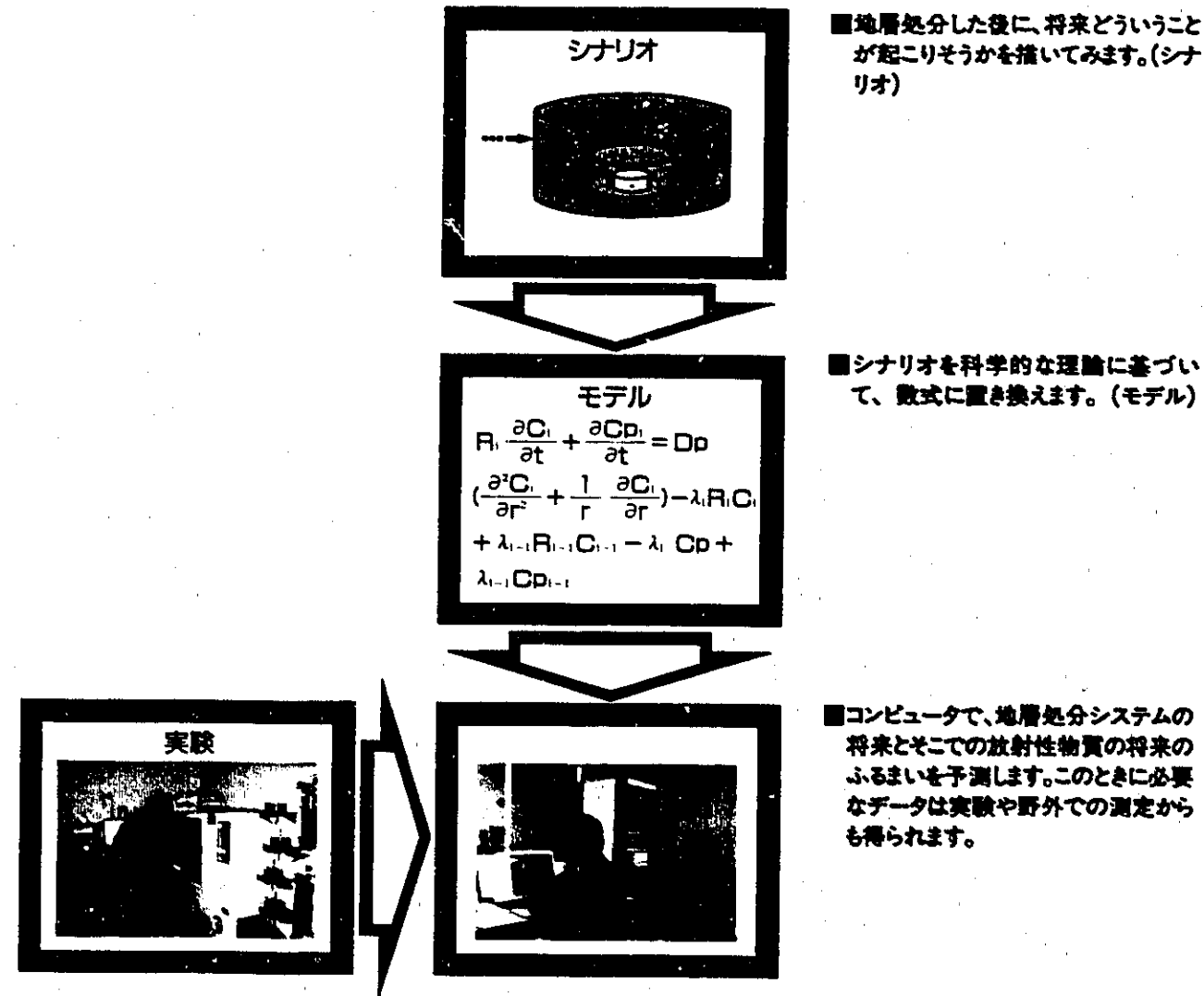


約10万年前

現在

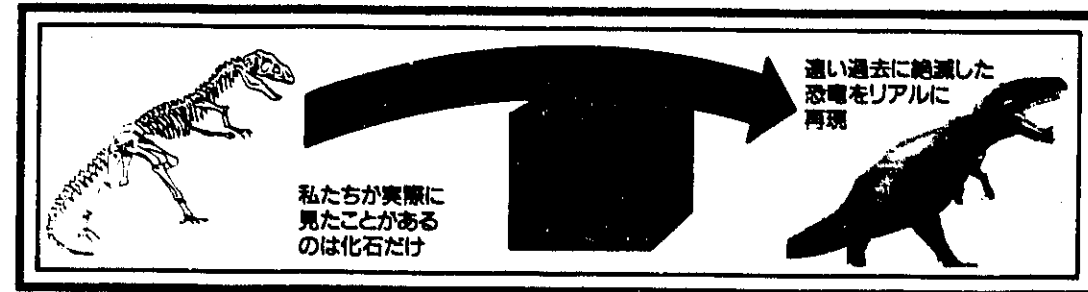
地下のウランは、約10万年前からほとんど動いていません。

# 「多重バリアシステム」の研究手順

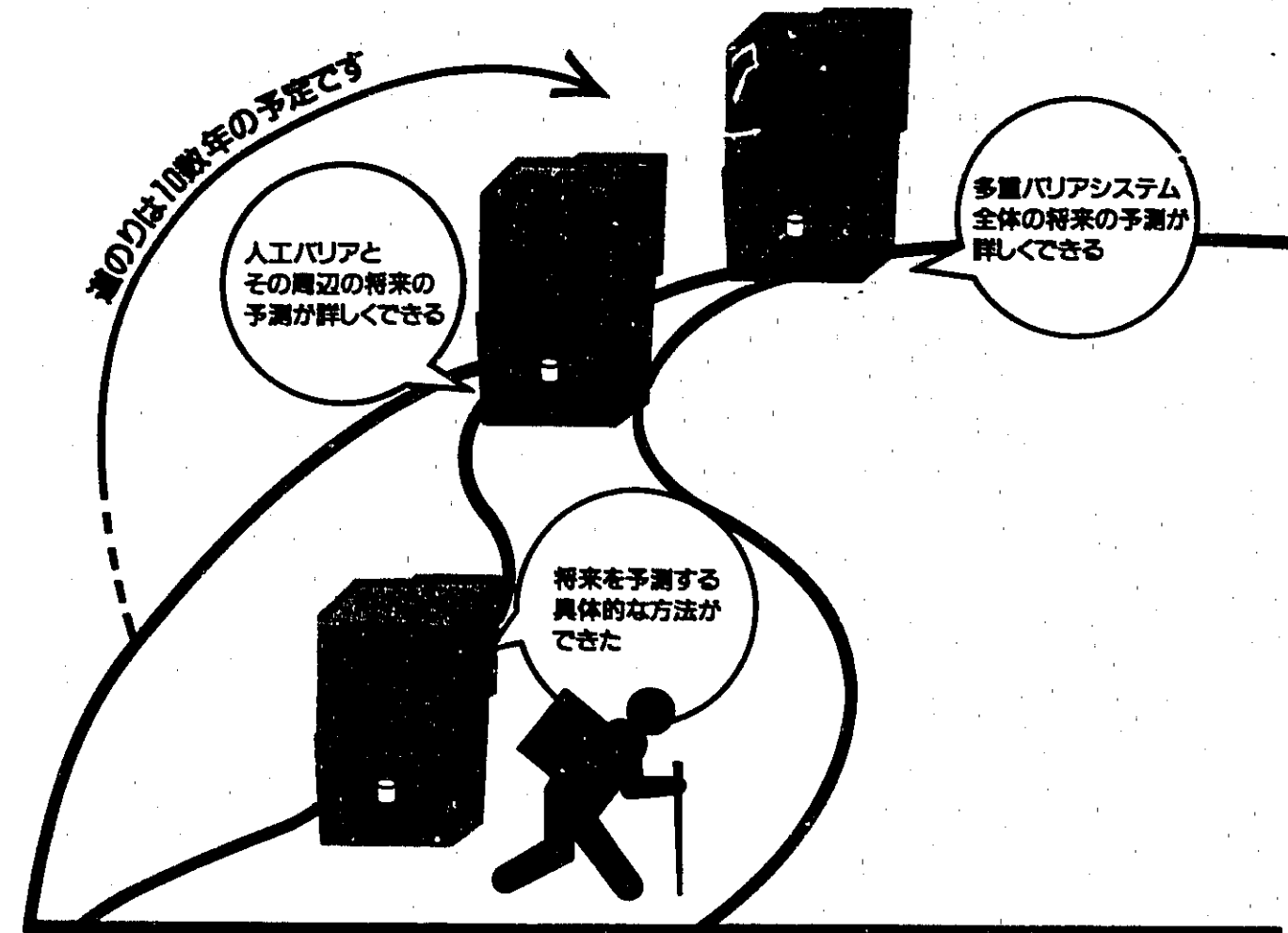


予測した結果と、実験結果や天然現象と比較して、その予測が正しいかどうかを確かめます。そして、十分な信頼性が得られるまで同じ手順を繰り返します。

「モデルを作る」ことをたとえるならば



# 地層処分研究開発の現状と今後の進め方



研究開発の現状は、廃棄物の将来を予測する具体的な方法をつくり、報告書としてまとめた段階にあります。今後は、人工バリアやその周辺の性能を重点的に研究し、その成果を取りまとめます。次に、人工バリアから離れたところの研究を行い、多重バリアシステムについての信頼性の高い将来予測を作り上げます。

## 国際共同研究

世界においても、同じように高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発が進められており、日本もスウェーデン・カナダ・スイス・ベルギー・アメリカ・フランスなどの各国と共同研究を行っています。





#### マークの由来

古くから孔雀は毒蛇を食べると言われ、その孔雀を神格化した孔雀明王は一切の毒を除き、また雨を降らせたり止ませたりする力を持つ明王として信仰を集めてきました。

この孔雀明王に因んで、孔雀の羽の模様を地層処分のシンボルとしてデザイン化しました。

重ねられた円は多重バリアシステムを表してもおります。

高レベル放射性廃棄物は、多重バリアシステムにより、

放射能が閉じ込められ、水の存在を考慮しても

決して人間環境に影響を及ぼさないように出来ることを示したものです。

### 動力炉・核燃料開発事業団

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-3586-3311(代表)  
FAX 03-3586-2786