

# 高レベル放射性廃棄物地層処分における天然バリアー性能評価システムについて

中野啓二<sup>1)</sup>・小出仁<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

現在, わが国において16の原子力発電所で39基の原子炉が稼働し, 発電設備容量は3148万kWとなり, 原子力は総発電電力量の約26%を占め, 絶対量・比率共にさらに増大しつつある(第1図).

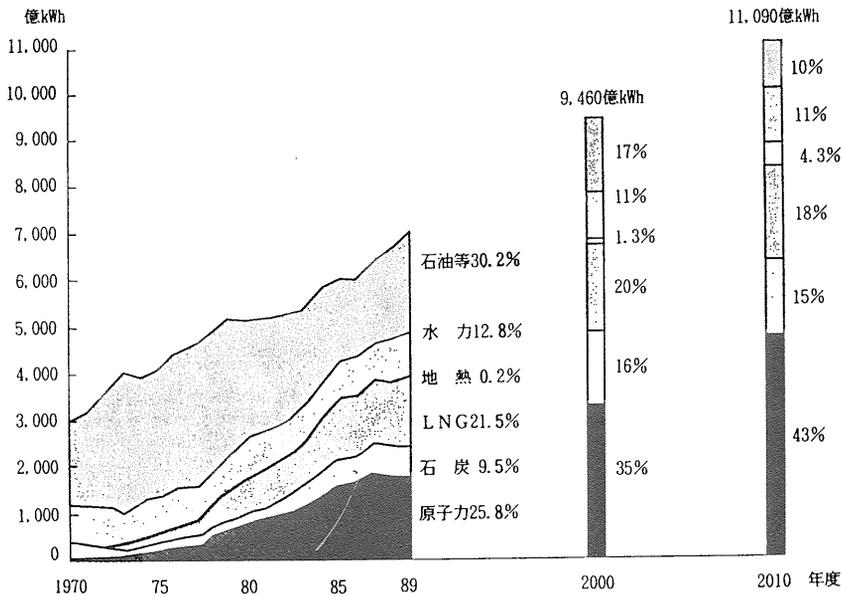
わが国のようなエネルギー多消費構造を持ちながらエネルギー資源に乏しい国において, 原子力エネルギーの安定的・安全的確保および低コスト化は社会経済的な課題と言える. しかし, 「今後の原子力開発にとってきわめて重要なほとんど唯一の分野が, (中略) “原子力発電と核燃料サイクルの諸工程における放射性廃棄物処分” の問題であるといってもよい(中略). 放射性廃棄物の処分の問題は, このように世界中での共通の悩みであり, 悪くすると将来の原子力の死命を制しかねない問題を含ん

でいる。」(天沼, 1983). とりわけ高レベル放射性廃棄物処分問題は, わが国と世界の原子力エネルギー, ひいてはエネルギーの安定的低コスト供給にとり, 最重要課題になりつつある.

このような課題に対し, 国際原子力機関(IAEA)などをセンターとする国際協力が行われており, わが国の各機関も研究開発を実施しており, 多くの地球科学研究者・技術者も参加している.

## 2. 高レベル廃棄物とマルチバリアー地層処分システム

商業用原子炉として運転している軽水炉からだされる使用済核燃料は, 発電所の電気出力百万kW(1年間運転)で約20トン/年(加圧水型軽水炉; PWR)から約30トン/年



第1図 年間発電電力量構成及び見通し(平成2年版原子力白書)

1) Terra-Fluid-Systems: 〒300-12 茨城県牛久市柏田3605-648

2) 地質調査所 環境地質部

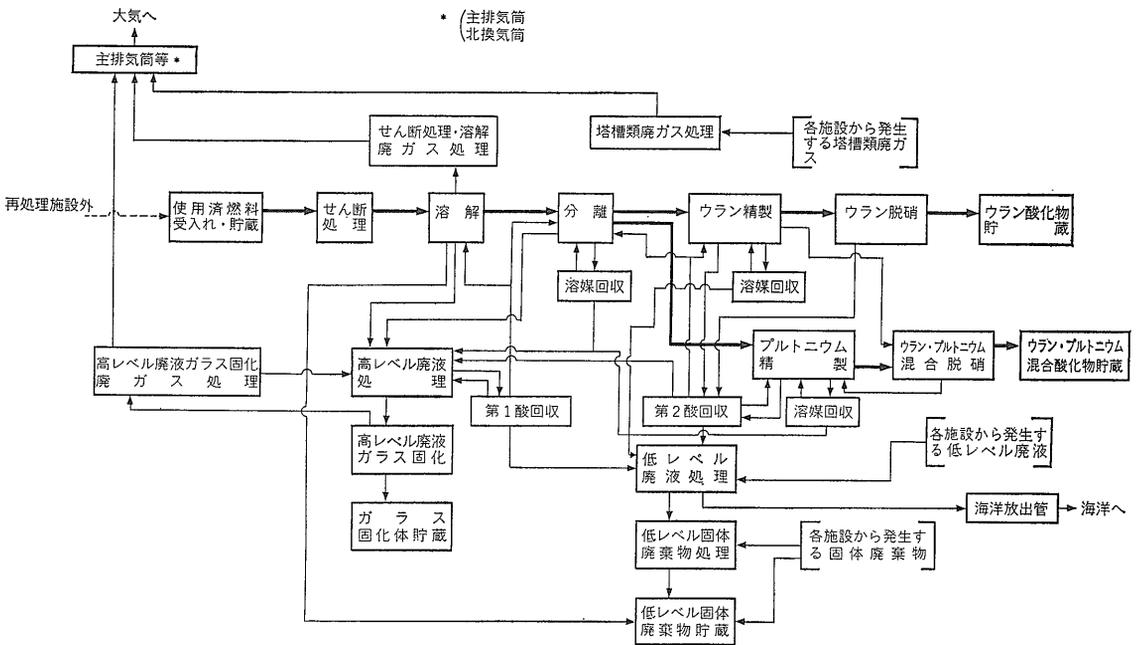
(沸騰軽水型; BWR) であり、わが国全体では1988年度で約800トン/年近くが発生している。この使用済核燃料は、燃料被覆管・燃料端栓部・燃料集合物材などのハルを伴う。そして、使用済核燃料は、発電所の高放射性固体廃棄物貯蔵庫のプールに貯蔵後、再処理に回され、ウランとプルトニウムが回収され、高レベル放射性廃棄物(HLWと略す)が残る(第2図)。

また、放射性廃棄物は、核燃料の再処理による HLW のほか、核燃料の生産・原子炉の運転・再処理により低レベル廃棄物(LLW; 気体・液体・固体廃棄物がある), TRU (超ウラン核種を含む) 廃棄物が発生し(第3図), このうち、LLW の気体廃棄物と液体廃棄物の多くは処理後、法

令で定められた基準値を下まわるようにして大気中および海洋中に放出し拡散させることにより処分している。

使用済核燃料の再処理により使用済核燃料1トン当たり0.5 m<sup>3</sup> の高レベル硝酸廃液がでる(角田, 1983)。この高レベル硝酸廃液は、炉から取り出し後180日で再処理し、5年間冷却したもので約800Ci/lの放射能と、約3W/lの発熱量をもち、この廃液の発熱量と放射能の経時変化も第4図のように計算されている。

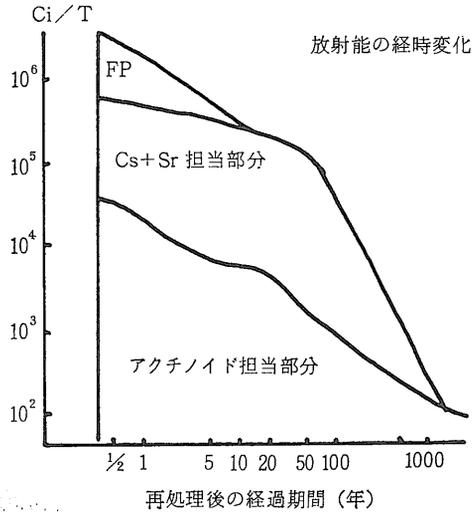
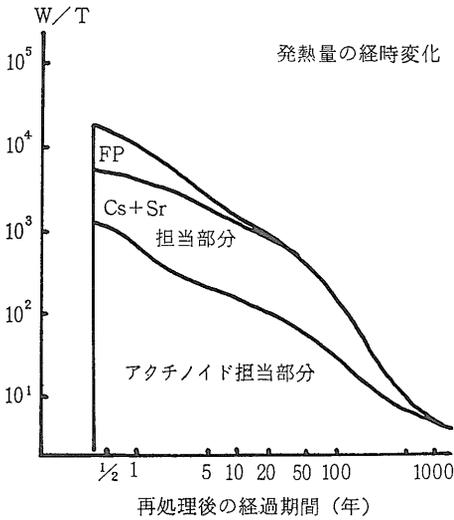
高レベル放射性廃棄物(HLW)の処分の仕方については、高レベル廃液を固化(ボロンリケート系ガラス固化, シンロック方式の固化など)し、この固化体をキャニスターに封入し、さらにキャニスターをオーバーバックし、不透



第2図 再処理工場の処理工程の概略(川勝, 1989)

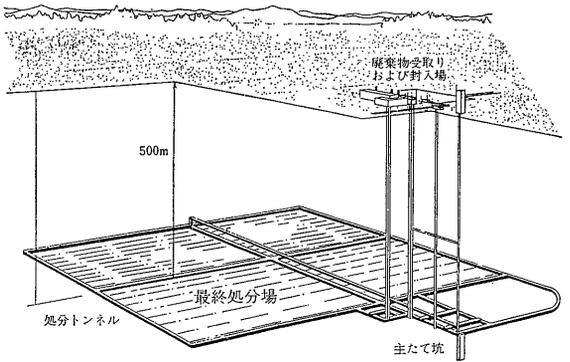
必要隔離期間	1年	10年	10 <sup>2</sup> 年	10 <sup>3</sup> 年	10 <sup>4</sup> 年	10 <sup>5</sup> 年	10 <sup>6</sup> 年	相応して期待できる処分方式
廃棄物種類								
極低レベル廃棄物	誘導放射能汚染物 核分裂生成RI汚染物							放出・サイト内埋設
低・中レベル廃棄物								海洋処分 陸地処分
α廃棄物	熱的影響の考慮要							地層処分 代替処分
高レベル廃棄物								海洋底処分 (氷冠処分)等

第3図 廃棄物種類と必要隔離期間(中島, 1982)



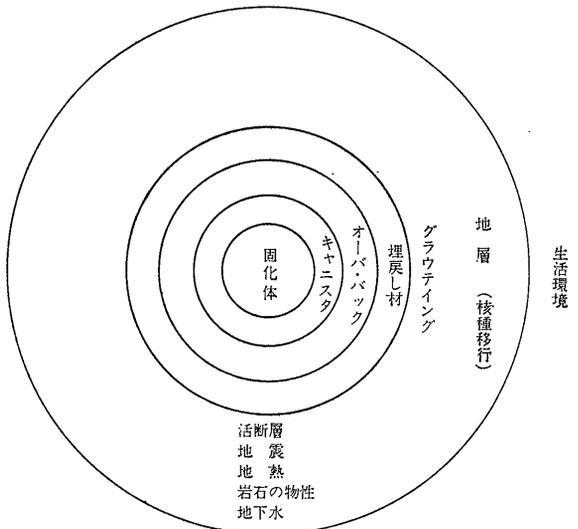
第4図 高レベル放射性廃液の発熱量と放射能の経時変化(菅野, 1982)

水性充填物で充填され、周囲をグラウチングされた深地層の処分場(第5図)に収納処分する。これは人工バリアーと、それを取り巻く地層という天然バリアーを組み合せ、これら二つのバリアーを相補的に機能させるといふマルチバリアー方式(第6図)である。このマルチバリアー方式により、HLW 固化体からの放射能が減衰し環境への影響が十分軽減されるまで生活圏から隔離するという方針が、欧米諸国・日本・国際機関(IAEAやOECD/NEA)のほぼ一致した方向であり、地層処分という観点から各国間ないし国際機関での協力、共同研究が盛んに行われ、学会などにおいても盛んに取り上げられている。



第5図 地層処分場の見取り図(柏木, 1984)

HLW を生活圏から隔離する期間については、HLW に含まれる長半減期をもつ放射性核種の減衰から鑑みて六百年から十万年までの時間という様々な報告がなされているが、いずれにせよ、構造物の健全性について、今までにはない長期にわたる予測が要求され、地下の処分場を取り巻く「地層」という地質構成体についてもその性状変化についての予測が必要とされている。



第6図 マルチバリアーシステム(柏木, 1984)

このように、HLW 処分の課題は、鉱物学・岩石学・水文地質学・古環境学・第四紀学・火山学・構造地質学・同位体地球化学・地震学などの地球科学全般にわたる研究者が、材料学・原子力工学・岩盤工学・土木工学・鉱山学などの工学、生物学、医学などの関連分野における研究者とともに協力して、地質学的時間ともいえる超長期にわたる予測評価に関する学際的研究開発を効率的に進める必要がある。

### 3. 天然バリアーとしての地層の性能評価

ガボン共和国の Oklo ウラン鉱床で不自然な <sup>235</sup>U と 1991年3月号

<sup>238</sup>Uの比率を持つウラン鉱石が発見されて、この鉱床を詳細に研究した結果、約20億年前に天然原子炉現象が発生していたことが明らかになった(藤井, 本号)。その後現在まで重元素類はほとんど反応帯に固定されていたということが判明し (IAEA, 1975; 藤井, 1986), 「地層」のバリアー性能が高いことが理解された。ここから「地層」のHLW 処分における「天然バリアー」としての機能が注目されるに至った。

HLW の放射能が十分に減衰し、環境への影響が軽減されるまで、生活圏から隔離する必要がある。HLW 地層処分の性能評価は、この隔離期間にわたって、放射性核種の移動により基準値以上生活圏へ漏れ出さないよう、地層が天然バリアーとして十分機能することを予測・評価しなければならない(第7図)。また、評価にあたってはファーフィールド (Far Field: 処分場からの様々な影響を間接的にしか被らない外周部分) の「地層」のバリアー性能評価 (広域的評価) から、ニアフィールド (Near Field: 処分場建設のための掘削や、処分固化体からの熱・放射線などの影響を直接受ける処分体を囲む隣接岩盤部分) のバリアー性能評価 (精密地域評価) へと二段階の評価が必要であると考えられる。

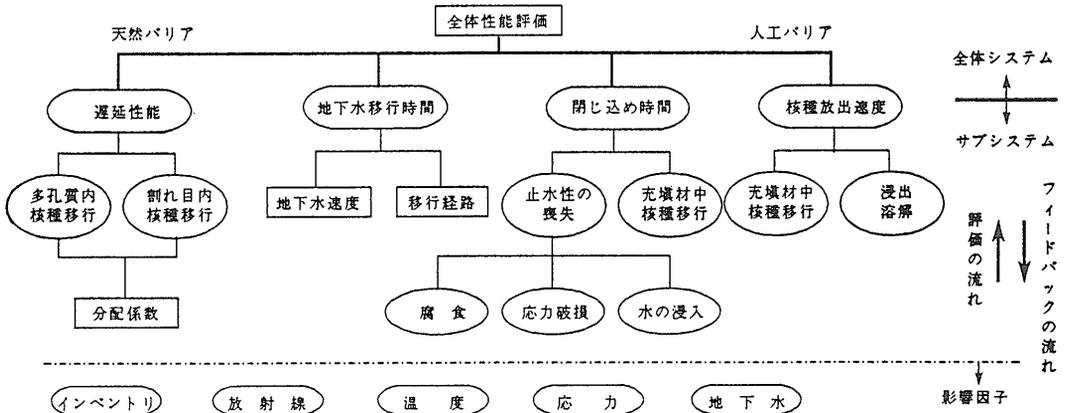
さらに、「わが国土は環太平洋列島弧の一部として、活動中の造山帯の一角に位置しており、火山・地震等を伴う各種の構造運動、すなわち物理的破壊に直結する現象が世界でも有数の頻度で発生する地域に有る。……(中略)……。このほか各種の災害も多く、放射性廃棄物貯蔵場の立地に要求される条件からみると、わが国土は厳しい条件下にあるといわなければならない。」(土井, 1980) といわれる特異性を日本の国土は有し、この特異性も評価の重要な部分を構成する。

隔離期間については様々な研究があるが、例えば、原

ウラニウム鉱の放射性障害レベルを考慮し、 $10^3$ から $10^5$ 年までと考えられている。多くの場合、1万年程度までの期間についての隔離性能を定量的に評価し、それより長期は不確実要素が大きくなるため、天然バリアーに関する定性的評価くらいに留めている。ここでは、天然バリアーを議論の対象としているので、 $10^5$ 年オーダーまでの「地層」のバリアー性能を規定する要因について考えてゆくことにする。この性能を規定する要因は、(1)天然バリアーとして機能すべき「地層」が、人工バリアーを損傷・破壊してしまう条件、(2)地下水の流動により核種が生活圏へ移動する条件、(3)核種の拡散と核種・岩石・水の相互作用による核種の吸着沈澱反応による核種の移動条件、という三つの条件下から構成されると考えられる。また、上記(1)は、それ自身地層処分における天然バリアー性能の一つの判断基準であり、予測・評価・判断対象であると考えられる。さらに、上記(2)と(3)には、核種の「正の移動速度」=地下水の流速+核種の拡散速度、そして核種の「負の移動速度」=核種・岩石・地下水の相互作用による吸着沈澱作用という核種移動速度の遅延効果(希釈効果もあると考えられる)がある。これら正と負の核種移動速度から処分場を考慮して、生活圏への核種の移動時間を予測・評価することが、天然バリアーの性能予測・評価・判断することと考える。まずは、上記三つの条件について考察し、その後それら相互の関係から「地層」という天然バリアーの性能評価手法の概要を述べることにする。

(1) 「地層」が人工バリアーに損傷・破壊を与える条件

このような条件は、断層運動による人工バリアーの損傷・破壊、火山活動による損傷など広義の構造運動によるカタストロフィックな力学的現象に伴う



第7図 性能評価手法の概要 (新谷ほか, 1985)

場合と、酸性地下水などがキャニスターなどの人工バリアーを腐食するような化学的現象による場合とが想定される。前者の現象が発生する要因としては、地殻変動・岩石力学的物性・割れ目系の力学物性などがあげられ、超長期にわたる力学問題である。また、後者は、人工バリアー周辺の温度・圧力条件における地下水と岩石の超長期の化学平衡問題である。

(2) 地下水の流動による核種移動の条件

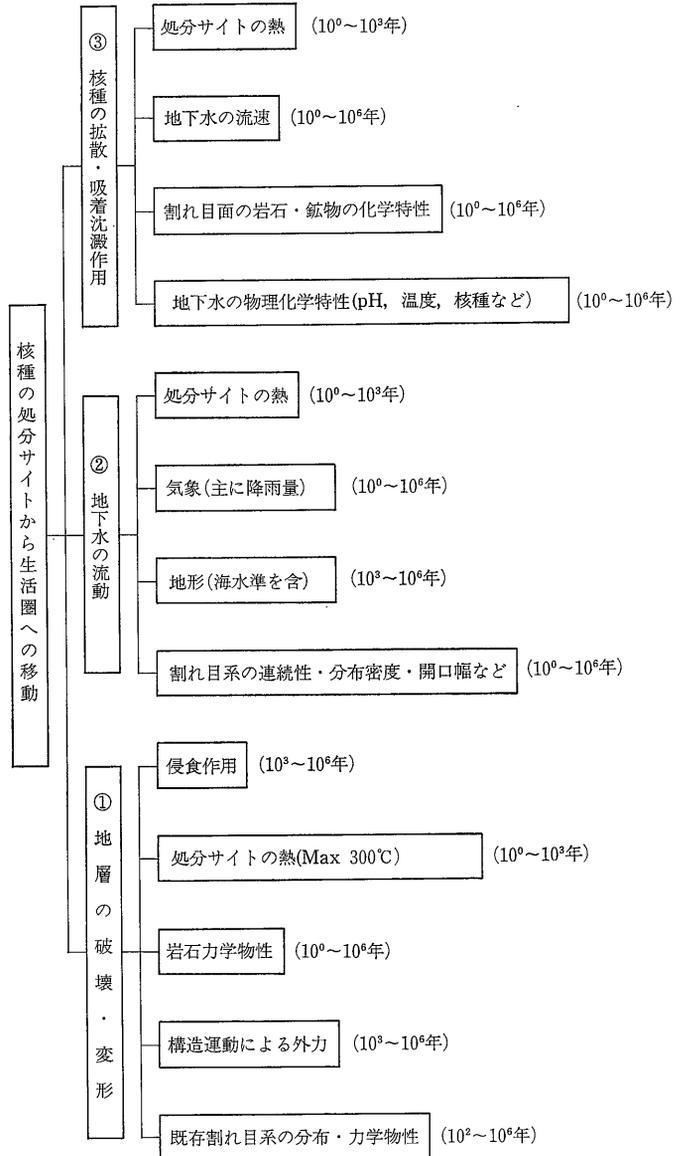
HLW 処分場が深部 (500-1000m深) に規定されていることから、地下水は割れ目を主な水みちとして流動する。この時、流動を決定する要因は割れ目の三次元的連続性・それらの開口幅・密度・割れ目表面の粗度・熱・水頭勾配を決定する地形・函養量を決定する降雨量などの要因である。隔離期間が超長期になれば、構造運動などにより上記割れ目の性状が変化し、地下水の流動条件も変化する可能性がある。

(3) 核種の拡散・吸着沈澱作用の条件

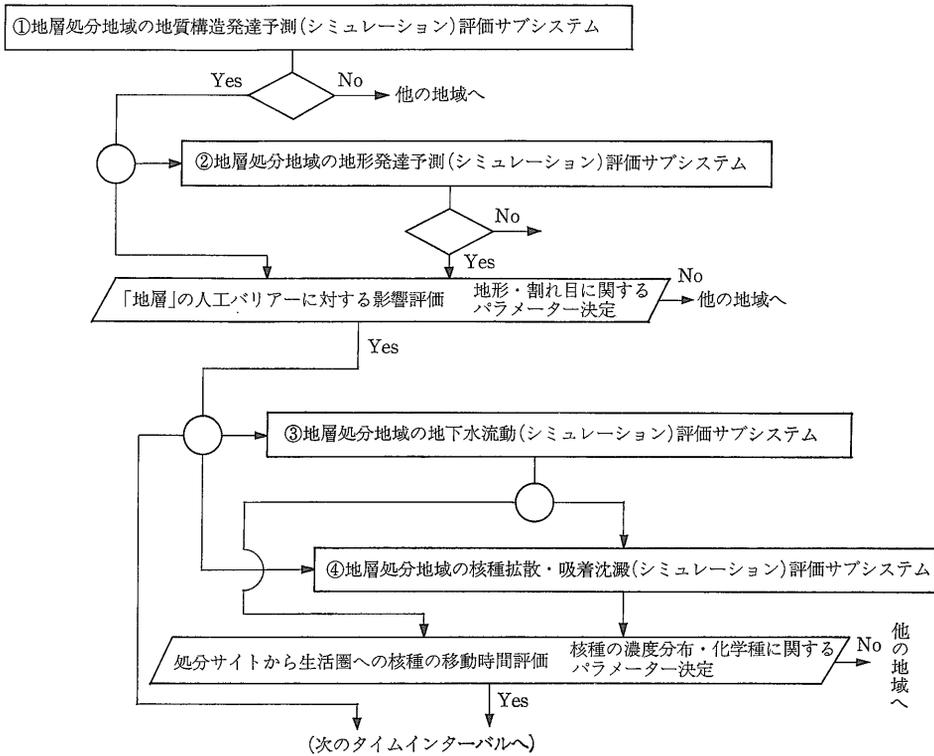
人工バリアーから地下水中に浸出した核種は、溶液中の核種濃度勾配および地下水流動変化(機構的分散)による拡散が想定され、また化学的にはイオン交換反応・沈澱溶解反応が想定される。この化学反応も地下水の水みちである割れ目と地下水の接地面積・割れ目の面を構成する岩石鉱物の化学特性・地下水の物理化学特性・共存イオンの有無などにより条件付けられ、さらに反応速度が核種の移動速度に対し十分に速い場合(平衡吸着反応)かそうでない場合(非平衡吸着反応)で大きく異なる。

以上述べた放射性核種の処分場から生活圏への天然バリアーの移動条件とその要因影響時間をまとめたものが、第8図である。この図からも明らかなように、上記条件(3)の要因である「地下水の流速」は、条件(2)の「地下水の流動」から導き出され、(2)の要因である「割れ目」や「地形」は条件(1)の「地層」の破壊・変形から導き出される関係にある。このように、上記(1)・(2)・(3)は互いに独立したのではなく、(3)は(2)に、(2)は(1)の条件から一部の要因が導

かれるという従属関係を持っており、天然バリアーの予測・評価には手順があることを示している。つまり、この関係は「場」の条件が放射性核種の力学的運動および化学反応の基礎を与えていることを示し、「地層」という天然バリアーの性能予測・評価手順に「場」のパラメーターを縦糸にしてまとめたのが第9図である。ここでは、第8図の要因影響時間や核種の半減期など時間の条件にもとずいたタイムインターバル毎に予測・評価を実行し、タイムインターバルの累積が $10^5$ 年オーダー( $10^6$ 年



第8図 高レベル廃棄物処分サイトから生活圏への核種の移動因子と影響時間



第9図 「マルチバリアースystem」における「天然バリアー」評価手順

以内)に達するまで天然バリアーの予測・評価をループしてゆく。この時、つぎのタイムインターバルにおける予測・評価では、前回のインターバルにおける各サブシステムの計算結果を初期条件の一部としてインプットしてゆく。

また、この「地層」という天然バリアーの予測・評価システムの実行においては、計算結果が自然現象として直ちに検証出来ず、その検証は将来に委ねられている。したがって、計算のためのインプットデータは、システムや計算結果についての十分な検討評価と同様に、それらデータの信頼性が十分に評価されコンセンサスが得られる必要があると考える。

上述のように、天然バリアーの性能予測・評価手順(第9図)の端緒は、地質構造発達予測(シミュレーション)・評価サブシステムであり、他のサブシステムのシミュレーションにおけるインプットデータとしての要因を従属因子としていることから、本稿では地質構造発達予測・評価の問題について考えていくこととする。

#### 4. 地質構造発達予測シミュレーション評価サブシステムについて

現在、地質構造の予測に関する研究としては、地震・火山などの災害対策の一環として様々な研究が行われている。これらの研究では、歪み・微小地震・地下水水位などの現象変化を観測し、過去の地震・火山発生に伴った各種現象の変化を基準としてそれら活動の発生を予測するという手法をとっている。この手法の基本は、HLWの地層処分における地質構造発達予測でもまったく同様であり、現在の地質構造に関する現象を観測・調査してその実態を明らかにするとともにその形成史から将来の構造運動の予測を行うことと考えられる。

そこで、「天然バリアー評価システム」における「地質構造発達予測・評価サブシステム」について、(1)地質構造の実態を解明する。(2)地質構造形成史を明らかにする、(3)地質構造発達を予測する、という手順が考えられるが、実際には現在の地質構造が長時間の歴史の中で形成されて来た結果であることから、現在の地質構造の実態解明はその形成史の解明と不可分の関係にあり、その地質構造発達予測の手順は、(1)現在の地質構造の実体解明およびその形成過程の解明、(2)地質構造発達予測、と

いう順になると考えられる。

(1) 現在の地質構造の実体解明およびその形成過程の解明

「地下深所での微細な割れ目の分布を地表または地表に近いところでの地質調査を通じて、またボーリング調査などを通じて如何に推定するか、またそのような微細な割れ目の分布がわかったとして、それと水の流れの平均の速さとの関係を如何に推定し得るかなども未開発の分野である。」(木村, 1983)と指摘されるように、地下深い部分(1000m深前後)の地質構造、特に割れ目とその水理条件のパラメーター(開口幅、分布密度、連続性、面の形状など)の実体解明には大きな課題が残されている。

しかし、地熱開発の現場では、地熱流体の通路となる割れ目はクーリングジョイント(火成岩の冷却過程で生じる節理)などではなく、断層運動に伴う割れ目であることが経験的に知られており、この地下の割れ目に関し、同様の課題に直面している地熱開発や石油探鉱の分野において割れ目の解析について様々な研究が開始されて、水圧破碎のAE計測による地熱地域の地下の割れ目をモニタリングする方法(例えば、Abe *et al.*, 1983; 高橋, 1984など)や、地表等の調査結果からの実験構造地質学的手法による(HLW 処分の「天然バリアー」の構造運動予測と類似する)地熱地域の地下の割れ目系解析評価法(FAFS-GRシステム, 第10図; 中野ほか, 1983a; 中野ほか, 1983b)、および石油ガス鉱床胚胎堆積盆地における堆積物の層厚から実験構造地質学的手法により割れ目を含めた地下構造解析(仮想基盤変位法; 小玉ほか, 1984)などの研究開発が行われている。しかし、これらの研究は、主として割れ目の位置と応力条件の情報であり、まだ開口幅・分布密度・面の形状といった水理条件のパラメーターが決定できるところまで到達していない。

このような研究成果を踏まえながら、筆者らの「地層処分」問題にたいする「地質構造発達予測(シミュレーション)評価サブシステム」についての考え方を述べることにする。

このサブシステムにおける基本的考え方は、「構造的な変位、変形運動は、目的に応じて区切られたある時間の間で起こった、外力と系(目的に応じて、任意に三次元的に区切られた部分)の内部に生ずる応力との平衡からのずれの大きさと方向によって決まるものとする。」(垣見, 1978)といわれる実験構造地質学的な考え方、および地下深部(数百m以深)における地下水流動の通路は構造運動に伴う割れ目であ

るという考えにもとづくものである。第一に、観測・野外調査などにより、地表付近の変位・変形累積結果である歪像を調べ、地質構造系を設定し地表付近の歪像を確定すると同時に、地質構造系の構造体(断層を含む)の力学物性条件の決定を行う。第二に、地表付近の歪像からその形成史(核種の隔離期間より1オーダー大きい過去500万年間の)を帰納的に考察する。上記地質構造系にその構体の力学物性条件を初期条件として、境界条件を変数として、既知である地表付近の歴史的に累積された歪像再現のシミュレーションを実施する。歪像が再現された時の地下情報も正しいとして(ボーリング・坑道調査により検証可能)、地下の地質構造解析を実施するとともに、その再現過程を運動像・境界条件として与えた外力をその系の力学像とする、一種の逆解析を実施する。

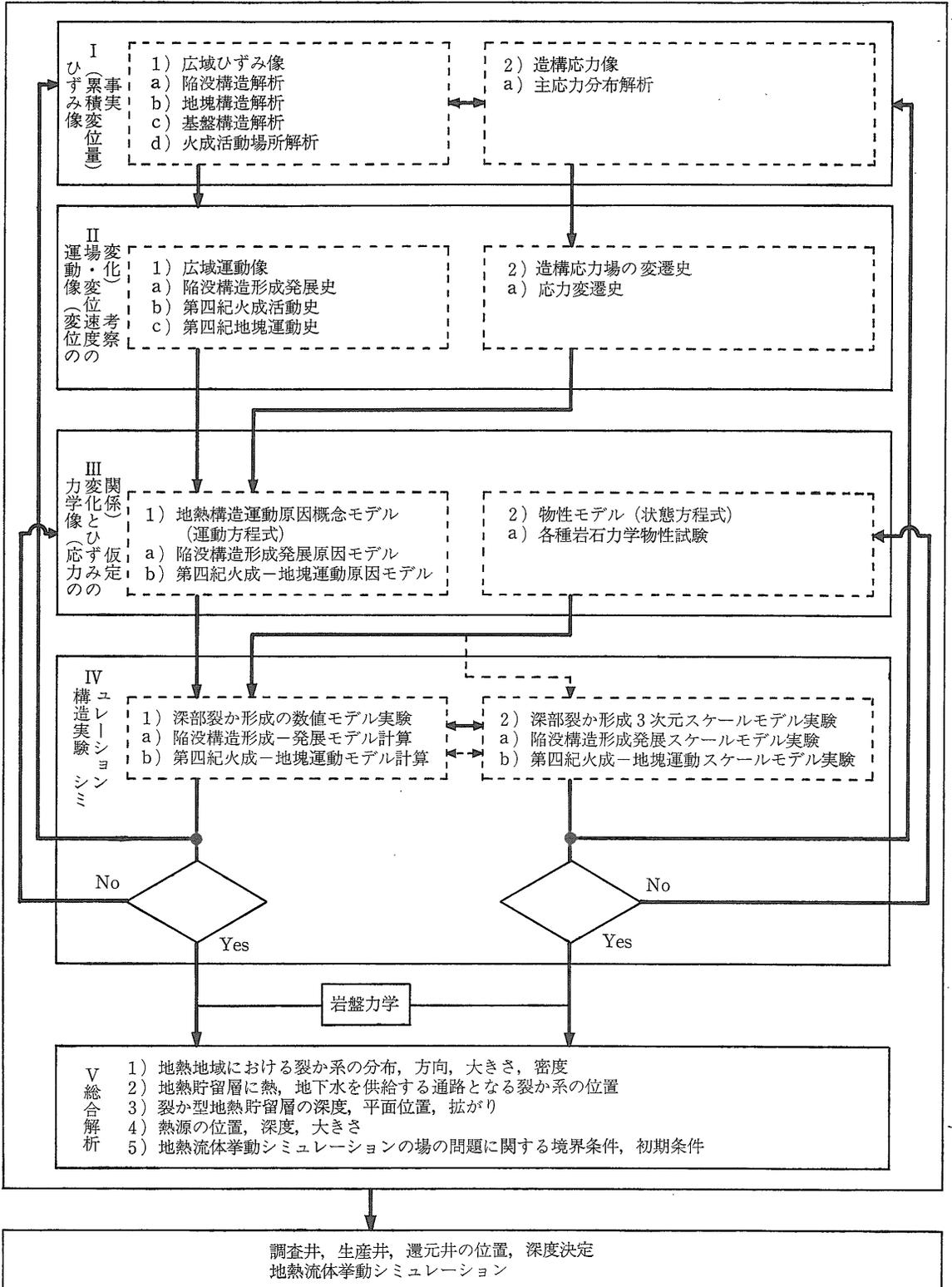
(2) 地質構造発達予測

上記(1)で得られた地質構造系の地表付近および地下の構造(系全体の歪像)と岩石力学物性条件を系の現在の内部初期条件とし、さらに上記(1)で得られた運動像・力学像から検討される外力(過去の構造運動と全く異なる運動・外力でも計算可能)を次のタイムインターバルに入力して、次のタイムインターバルの構造運動予測を行い、この手順をタイムインターバル毎に繰り返す、長時間の地質構造発達予測を行うものである。

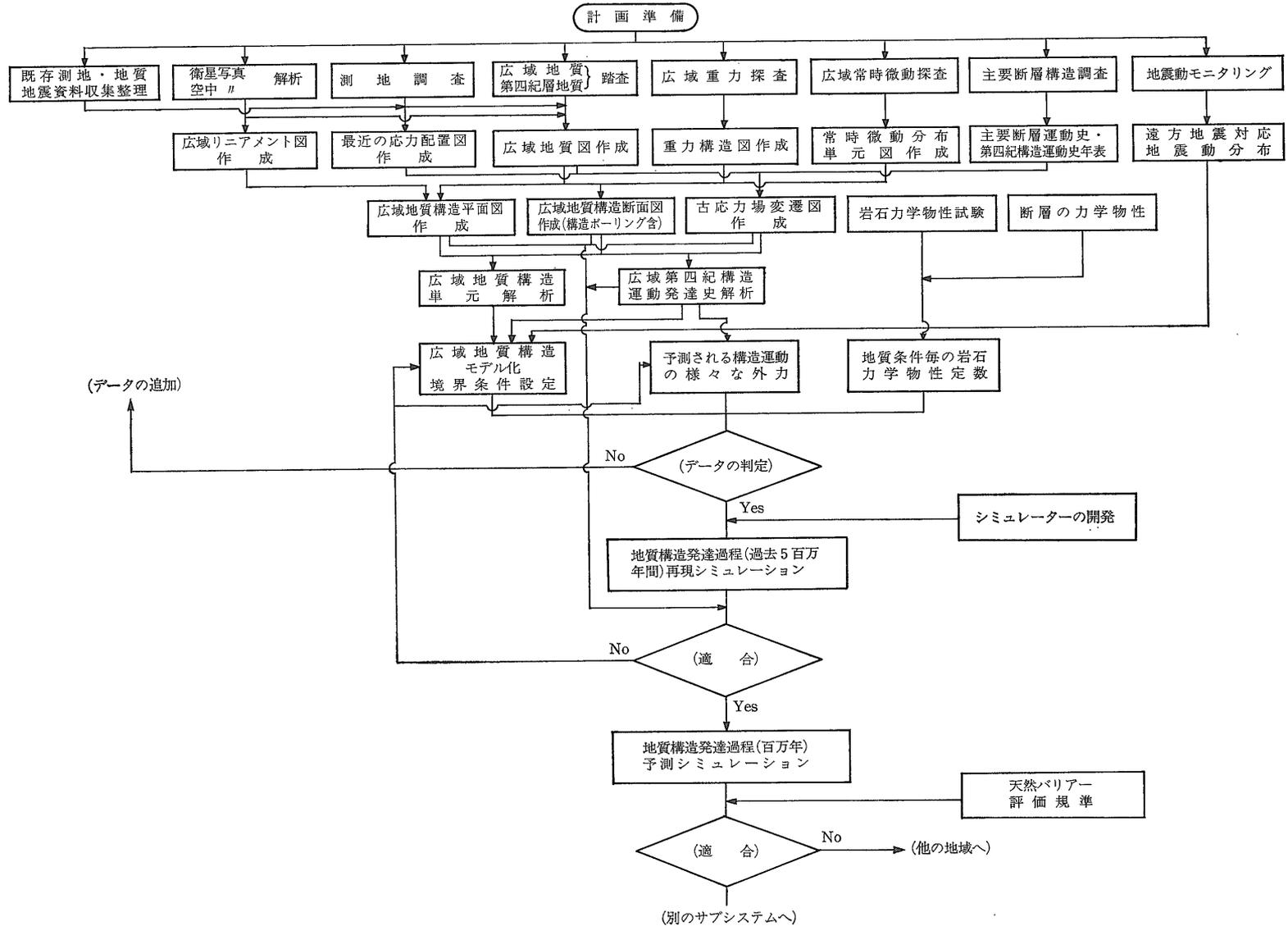
この時、各タイムインターバル毎の地質構造発達予測結果は、タイムインターバル毎の地形発達予測・地下水流動・核種拡散吸着沈澱のサブシステムのパラメーターとして利用される。また、この手順はファーフィールドおよびニアフィールドにおける地質構造発達予測にも用いられる手順であり、条件の精度が異なるものと考えている。この「地質構造発達予測サブシステム」を取りまとめたものが、第11図である。

## 5. まとめ

以上、放射性廃棄物処分の概況を説明し、とりわけ高レベル廃棄物の「地層処分」の課題の一つである「天然バリアー」の評価手順について試論を述べた。また、核種の処分サイトから生活圏への移動条件およびその要因の相互関係から、「天然バリアー」の性能評価は、その条件および要因の並列評価ではなく、「地質構造発達」→「地形発達」→「地下水流動」→「核種拡散吸着沈澱」という評価手順により基本的には実行されると考えた。そこで、「天然バリアー」性能評価の出発点である「地質構造発達予測(シミュレーション)評価」のサ



第10図 地熱レザバの割れ目 (裂か) 系解析評価システム, FAFS-GR (中野ほか, 1983a)



第11図 地層処分地域の地質構造発達予測（シミュレーション）評価サブシステム（特に、ファールフィールド評価について）

ブシステムについての考えかたとそのシステム構成について試案を示した。

このサブシステムの中で、現場および研究室における数多くの研究開発課題が残されており、「地層」という「天然バリアー」評価における他のサブシステムにおいても同様に多くの課題が残されている。これらを列挙すると以下のような課題があると考えている。

(1) 地質構造発達予測評価に関する課題

- ・応力条件とフラクチャリングの諸属性（破砕帯の幅、割れ目密度、割れ目の開口幅、面の形状とその粗度係数など）
- ・断層の静的動的力学物性
- ・深部割れ目非破壊モニタリング法
- ・従来の連続体のシミュレーター（例えば、有限要素法）から、断層などを含む非連続体を解くシミュレーターの開発（新離散化極限解析法などの大変形問題への拡張など）
- ・地質構造系に作用する外力問題としての第四紀テクトニクス理論の発展、など

(2) 地形発達予測評価に関する課題

- ・海水準変動
- ・降雨量・気温変化を含めた気象変動
- ・地形の傾斜及び岩質と浸食
- ・マスマーブメントの地形形成における役割
- ・割れ目における人間の活動による気象的地形的影響
- ・河川営力の地形発達に対する役割、など

(3) 地下水の流動に関する課題

- ・微小割れ目の地下水挙動とその水理定数
- ・地下水流動における熱の影響
- ・割れ目中を流動する地下水のトレーサー試験法、など

(4) 核種の拡散吸着沈澱に関する課題

- ・様々な物理化学条件における拡散係数 (Kd, 分散を含む) の同定
- ・様々な物理化学条件における吸着および離脱係数の同定
- ・同様な条件における核種の沈澱作用、など

このほか、高レベル廃液の固化に関して、アクチノイドを取り込む安定鉱物合成の研究、キャニスターをオーバーバックする充填剤としての粘土鉱物やゼオライト鉱物の研究など数多くの地球科学に関する研究課題が残されている。

そして、これら個々の研究課題の成果と相まって「地層処分」のトータルシステムと評価基準の研究が、原子力工学、土木工学、生物学・医学などの分野の共同で研

究開発されていく必要があると考える。また、予測・評価技術開発は、人間の知識が時代的に制約されている以上、不測の事態に備えた「処分サイト周辺の人工地下水流動—核種回収システム」など「天然バリアー」に対する「緊急防護システム」の研究開発といった予測評価技術の保証に関する研究開発も重要な課題であると考えている。

さらに、「地層処分の研究開発において目下の急務となるのは研究者の養成である（中略）。その状況下において、どのようにして地層処分の研究者、技術者を養成するかは、地質学に関連した分野での地層処分の研究開発において、実は最大の課題であるかも知れない」（木村, 1982）という指摘どおり研究の「人と組織」をどうするかという根本的課題が残されている。

文 献

Abe, H., Takahashi, H., Niitsuma, H. and Takanohashi, M. (1983): Behaviors of cracklike reservoirs by means of fracturing at Nigorikawa and Kakkonda geothermal field, Summaries of 9th Workshop on Geothermal Reservoir Eng. Stanford Univ.

天沼 稔 (1983): 放棄物の処理・処分, 一内外の動向一, 原子力工学, 29, No. 4, 25-30.

土井和巳 (1980): わが国における放射性廃棄物隔離の地球科学上の問題. 日本原子力学会誌, 22, 543-550.

藤井 勲 (1986): 天然原子炉. 東大出版会, 131p.

原子力委員会 (1990): 平成2年版原子力白書. 393p.

IAEA (1975): IAEA Proc. Symp. on "The Oklo Phenomenon." Libreville, 646p.

垣見俊弘 (1976): 地質構造の解析. 地学団体研究会, 240p.

柏木高明 (1984): 地層処分に関する研究開発. 地質ニュース, No. 363, 16-23.

川勝 理 (1989): 六ヶ所再処理工場の設備概要と設計. 原子力工学, 35, No. 9, 7-23.

木村敏雄 (1982): 第三章地層処分と日本の地層, 総説. 天沼・阪田監修, 放射性廃棄物処理処分に関する研究開発, 産業技術出版テクノプロジェクト, 535-552.

小島圭二 (1982): 第三章地層処分と日本の地層, 日本の地質と水理. 天沼・坂田監修, 放射性廃棄物処理処分に関する研究開発, 産業技術出版テクノプロジェクト, 553-575.

小玉喜三郎・龍 学明 (1984): 仮想基盤法で復元した深部地質断面, 石油技協, 449回総会個人講演要旨, 石油技誌, 49, 254.

中島篤之助 (1982): 放射性廃棄物の放射性核種について. 昭和56年度文部省総研 (B)「高レベル放射性廃棄物の安全処分に関する研究」, 28-35.

中野啓二・松山一夫・泉 浩一 (1983 a): 地熱地域の地質構造論試論 (下)—地熱レザバターの裂か系解析・評価へのアプローチ—. 地熱, 20, 325-344.

中野啓二・松山一夫・菊地宏吉・西田美穂 (1983 b): 実験構造地質学的手法による地熱レザバターの解析・評価システムについて. 昭和58年度, 地熱学会講演要旨集, 22.

新谷貞夫・三島 毅・牧野正彦・小林隆輔・中居邦浩・坂田真弘 (1985): 地層処分性能評価研究. 昭和60年度, 原子力学会年会要旨集 (第II分冊), 51p.

菅野貞治 (1982): 高レベル廃棄物の処分におけるマルチバリアーシステムについて. 昭和56年度, 文部省総研 (B) 「高レベル放射性廃棄物の安全処分に関する研究」, 51-54.

高橋秀明・橋田俊之・玉川欣治・湯田周二・鈴木正彦 (1984): AE 法による花こう岩の三点曲げ破壊靱性試験法の提案. 日本鉱業会誌, 100, No. 1151, 17-21.

角田直己 (1983): 動燃事業団における放射性廃棄物の処理・処分. 原子力工業, 29, No. 4, 31-38.

NAKANO Keiji and KOIDE Hitoshi (1991): Performance assessment system of natural barriers for high-level radioactive waste.

<受付: 1991年2月12日>

## 地学と切手

# 古脊椎動物三題

P. Q.

**Ankylosaurus** 赤道ギニア, 1980年発行, 鳥盤目の恐龍で白亜紀後期に生息した. よろい龍の仲間. 丈が低く体長約5mで四脚歩行し, 動きは鈍い. 首・胴・尾の上と全表面が鱗の様な板で覆われ, 他の肉食動物の歯が立たないように出来ていた. 同じ仲間のボランカンタスやスコロサウルスには棘があったが, アンキロサウルスにはそれがないが, 敵から攻撃されたら胴を少し下げると難攻不落だった. よろい龍は現代のアルマジロと同様に, 地中にもぐって昆虫などを食ったのではないかとされている.

**Moschops** コンゴ, 1975年発行, 爬虫類獣か目, ペルム紀中期, この目は爬虫類の初期に出現した目で, ジュラ紀早期には滅亡した. カルー層から産する. 体長約2.5m, 肩高約1mの重厚なスタイルで, 胴は太く, 四肢も太く重く, 足の幅は広い. 四肢をふんばり乾燥した陸地の上を歩き廻っていたであろう. 歯はヘラ状で13対以上並び草食性だったと思われる. モスュプスとはギリシャ語で「若い子牛の顔」と言う意味.

**Megolocnus** キューバ, 1958年発行, 哺乳類獣亜綱貧歯目体長44cmの小形で, キューバやハイチの更新統から産出する. 体格はきゃしゃで, 四肢も細く爪も発達しない. 頭は短く歯は柱状で簡単なことはナマケモノに似ている. 多分柔い葉を食っていたであろう. 体毛はふさふさしていたらいい.

