

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1997.3.NO.40

目次

地殻の力学的安定性評価	①
センターのうごき	⑧

地殻の力学的安定性評価

1. はじめに

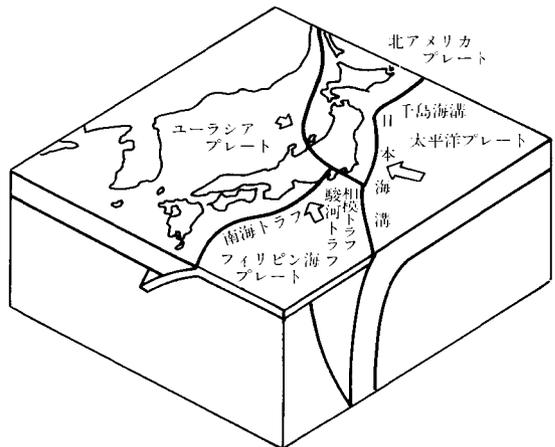
処分サイトあるいはその候補地が決まる段階では、サイト周辺の地質構造の現状と将来の予測を大方の専門家の賛同が得られたうえで一般の方たちにも解りやすく示すことが重要であり、原子力環境整備センターではそのために必要なデータを収集して確実な解析ができるシステムの確立を目指して研究を行っている。

この調査研究は、放射性廃棄物の陸地処分に関して処分場周辺の地質構造の安定性を評価し、その結果を画像として解りやすく示すことを目的としている。ここでは、画像として示すために行っている解析の進め方について報告する。なお、本稿は昨年11月27日に当センター20周年記念講演において報告されたものである。

放射性廃棄物の陸地処分に関して、処分場周辺の地質岩盤の安定性を評価する手法には、化学的な側面、水理地質学的な側面等様々あるが、力学的な側面もその一つである。日本列島は太平洋プレートとフィリピン海プレートによって東西方向の圧縮を受けている、世界でも最も活動的な場に置かれている(第1図*)。この圧縮場を考慮し

たときの地下の処分場の超長期安定性について検討を行っている例を紹介する。

宇宙と海洋と地下のことをどの程度人類は理解できたのかと考えてみると、地下はほとんど未知の領域であるといえる。特に地下につくられた人



第1図

工構造物が超長期にわたってどのように変化していくか、ということを考える必要が生じたのは最近のことであり、ほとんど手つかずの状態である。人工構造物の力学的解析は、これまで橋梁やビルの設計、岩盤の安定性評価等に利用されているが、地殻の安定性に関する問題を取り扱った例は多くない。

2. 開発検討要素

(1) 地殻構造モデルの作成

地下構造を人間が直接目で見て知る方法は、坑道を掘削するほかにないが、広い領域を議論するときには、掘削して得られる情報はあくまで線の情報である。試錐は旧ソ連（ロシア）が深度12,261mを達成し、唯一世界で10,000mを超えているが、これまた線の情報でしかない。三次元的な評価をするためには別の手段を用いる必要がある。そこで使われているのが物理探査データである。地表地質データと物理探査データとから地下構造を推定し、力を加えたときの岩盤の挙動が粘性的であるか、弾性的であるか、あるいは塑性的であるかを合理的に推定する。

(2) 地殻の長期変動構成則の検討

有限要素法 (Finite Element Method) や剛体バネモデル (Rigid Body Spring Model) を用いて計算するときの地殻の挙動を数式に表現する。地震の発生のように間欠的に起きる現象も取り扱える式にする必要がある。

(3) 断層の進展に関する検討

活断層の地下のテクトニックな動きにより集積された応力の解放結果として発生した地震の、地表における傷跡である。したがって地震は応力のたまる所に発生し、また一度傷ができれば何度もそこに発生することになる。発生確率はどこでも同じというわけではない。この断層の発生に関する検討を行う。

(4) 解析に必要な物性値の決定

解析に必要な応力、岩盤の弾性係数やポアソン比を推定する。また、断層の動きを定量化するためのばね定数などを推定する。

(5) 三次元大規模計算機コードの開発

三次元にすることで飛躍的に要素数が増大する

計算を効率よく実行するコードの開発を行う。

(6) 計算機上での不連続体取り扱い手法の開発

単純な数式化が難しい地層や断層の不連続現象を計算機で取り扱う手法を開発する。同時にこれまでに二次元断面図で検討していたことを、三次元的に計算機で取り扱えるようにデータを加工する手法を開発する。

(7) その他の開発検討要素

本稿には詳しく紹介しないが、以下の検討を行う必要がある。

解析結果表示方法の開発

データベース・ソフトの開発

検証方法の検討

3. 研究の方法

(1) 調査地域の選定

資源探査や防災の観点から地質データや地球物理データ等が比較的多く取られており、地質構造が明瞭で、かつ日本の一般的な地質を代表すると見なせる近畿地方と東北地方からモデル化地域を選定した。

(2) モデルの設定

列島モデル (数100km×数100km×数10km)、広域モデル (約150km×約150km×10数km)、中域モデル (20km×20km×5km)、近傍モデル (1km×1km×1km) と規模の異なるモデルを設定した。最終的な地下構造物の安全性の評価は近傍モデルで議論することになるが、大きな視野からモデルの構築と検討を行い、評価を行い、規模の異なるモデル間の整合性が取れて、初めて局所的な現象をも正しく考察することができる。

(3) 地質データの調査解析

地表地質データ、各種物理探査データを組み合わせて構造解析計算に使用するためのモデルを作成する。

(4) 力学的構造解析

地質データの解析から得られたモデルを用いて有限要素法や剛体バネモデル等の構造解析コードにより、近傍および中域モデルの地質構造の変動予測解析を行う。

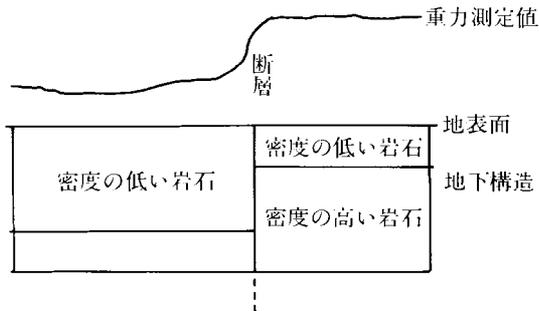
4. 地質データの調査解析例

(1) 物理探査データの持つ意味

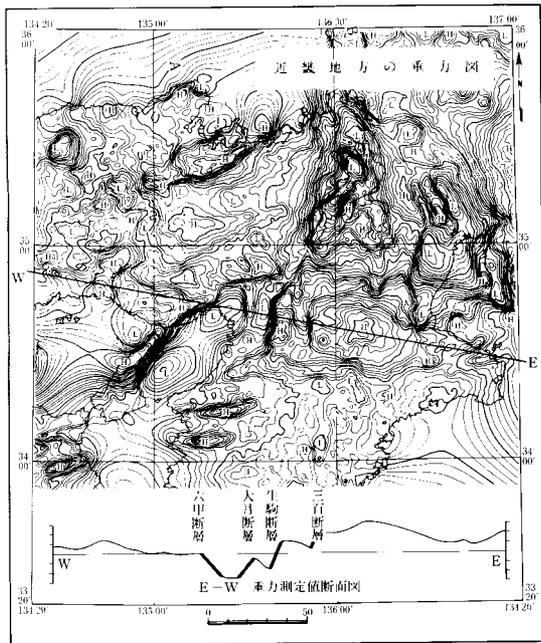
地質構造モデルの作り方を紹介する前に、物理探査データの持つ意味を簡単に紹介する。

重力データ

重力探査とは地表面において重力加速度を測定し、地下の密度構造を推定する方法である。重力は、質量に比例し、距離の二乗に反比例する。したがって、地表での測定値が大きいということは、小さいところに比べて密度の高い岩



第2図



第3図

石が地表近くに存在していることが多い。地形を等高線で表すように、重力の測定値を等高線の形で示すことができる。この等高線の間隔が狭くなっているところは、重力が急激に変化しているところで、地下で密度の高い岩体に断層等の何らかの理由により深度の差が生じていることが考えられる(第2図)。近畿地方の重力断面をE-Wに沿って作成すると、等高線の間隔の狭くなっている箇所は、地表で知られている活断層と一致している(第3図)。

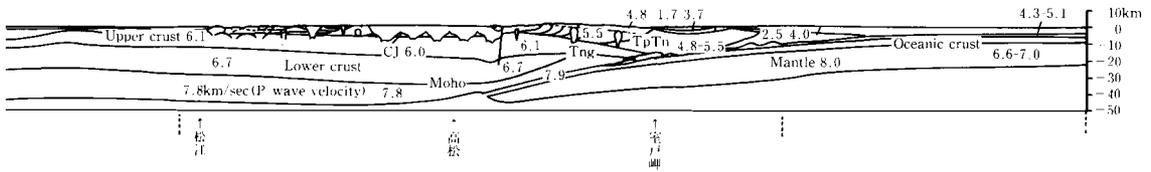
地震探査データ

地表あるいは地下浅所で人工的に発生させた地震波を、受信機を使って測定し、地下構造を推定する方法である。岩石の中を通る地震波速度は、ほぼ弾性係数の平方根に比例し、密度の平方根に反比例するといえる。すなわち、地震波速度は岩石が硬いほど大きく、密度が大きいほど小さくなる。岩石の違いによる密度の差はあまり大きくなく、だいたい 2.7g/cm^3 程度であるのに比べて、弾性係数は大きく変わるので、地震波速度は岩石の硬さによるといつてよい。堆積岩でいえば、地表近くにある地質年代の新しい岩石は柔らかく速度が小さいのに対して、地質年代の古い固結の進んだ岩石は硬く速度が大きい。地下の固結度や密度が異なる地層面で反射してくる地震波の受信機までの到達時間をもとに、地下の層状構造を計算で求める。

第4図*2は四国の室戸岬沖から日本海側の松江沖にかけて行った地震探査データに基づき、南北に断面を作成したものである。地震波速度の違いを濃淡で表している。図中の数字が地震波速度で、単位は km/sec である。図の右側が四国沖に相当し、フィリピン海プレートが緩く左(北)に傾いて日本列島の下に沈み込んでいる様子がみられる。

地震データ

地震探査は地中を伝わる地震波の速度から構造を推定する方法であるが、ここでいう地震データはこの地震探査データではない。自然発生している地震の震源地の三次元的な分布から地下岩盤の物性の違いを推定することを目的としている。日本で発生する地震の大部分はプレートの沈み込みによる大規模地震と直下型地震とである。この直下型地震の発生する深度はせい



第 4 図

ぜい30kmまでであり、地震の発生する浅いところと発生しない深いところとは物性に違いがあると考えることができる。

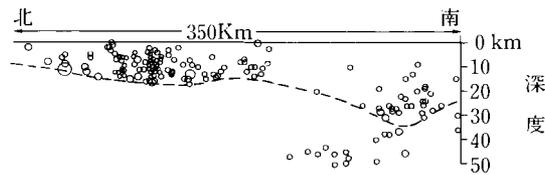
第 5 図に近畿地方の地震震源分布断面図を示す。この図によれば、地震の起きている場所の深度は20ないし30kmまでであることがわかる。

浅いところは力が加わったときガラスのように壊れる塑性変形をするのに対し、深いところは極端な言い方をすれば水飴のように変形して破壊が起こらない粘性変形をすると考えられている。

このような物性の違いは構造計算をする上で考慮しなければならない重要な要素である。

(2) 地質構造モデルの作成

地表地質データ、地震探査データから堆積岩、噴出岩、貫入岩等の分布状況、ならびに断層を表



第 5 図

す地質断面図を作成する。地質断面を岩相によりブロック分けし、それぞれのブロックに一定の密度を与えると、地表の任意の地点でこうなるはずだという重力加速度を計算で求めることができる。このようにして計算で得た値と、実際の地表で測定した値とを比べることにより、推定した断面が正しいかどうか判定することができる。計算値と測定値が一致するよう、地質的に矛盾がない範囲内で、何回か断面を変更して再計算するという試行錯誤を繰り返すことにより、より正確な断面を得ることができる(第 6 図、第 7 図、第 8 図)。

第 6 図の地質構造図から第 7 図の密度構造図を作成し、地表の重力を計算で求める。第 8 図は測定して得られた実測値(実線)と、計算で得られた値(丸印)を比べ、密度構造図を試行錯誤により修正しながら再計算し、結果としてよい一致が見られた状態を示している。このようにして得られた密度構造図を基に、地質構造図の修正を行う。

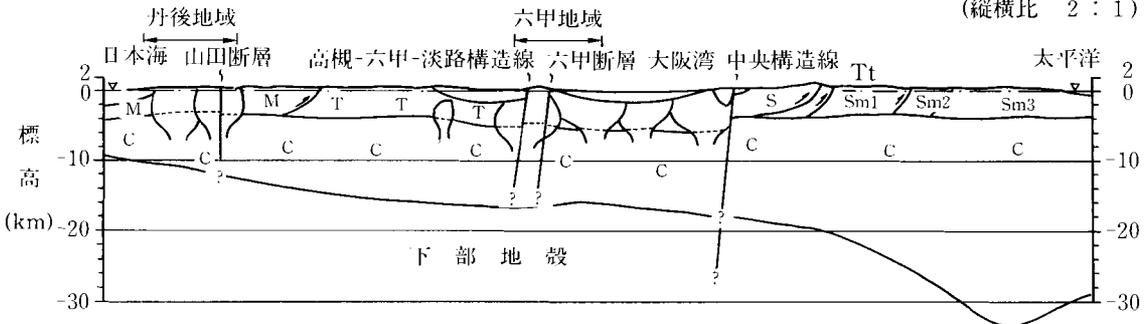
地震データから塑性変形領域と粘性変形領域の境界を描き、構造図を作成する。

5. 構造解析例

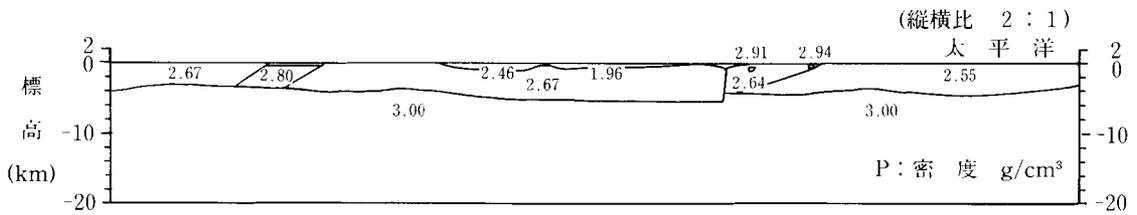
(1) 地質資料に基づく六甲山の上昇予測

六甲地域における過去数百万年から現在に至る地質構造の変遷は、概念的に(第 9 図)のように

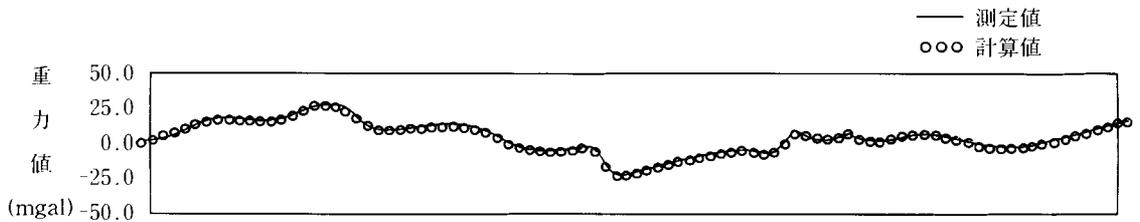
(縦横比 2 : 1)



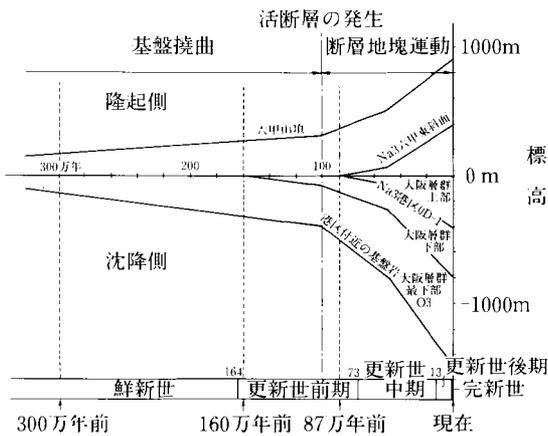
第 6 図



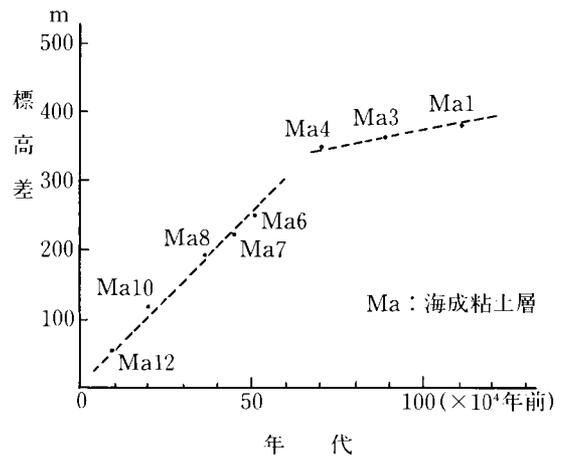
第7図



第8図



第9図

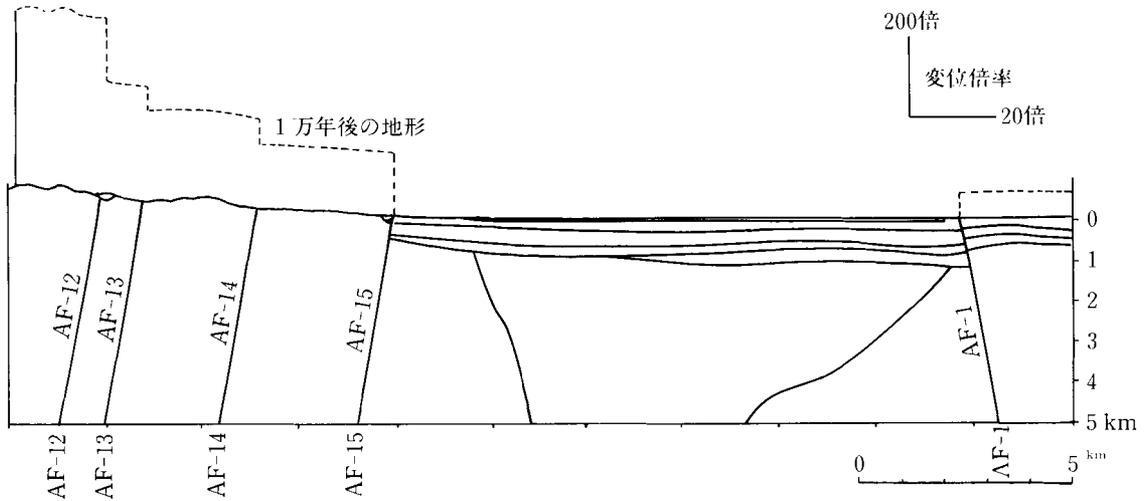


第10図

表現できる。300万年前に大阪層群最下部層の堆積が開始され、160万年前に大阪層群下部層の堆積開始、87万年前に大阪層群上部層の堆積開始した。50万年前からは断層地塊運動が活発化し、現在に至っている。この図によると、六甲山頂は1,000m弱隆起し、大阪湾最下部は1,500m程沈降していることになる。大阪湾は新規堆積物が加わっているため湾そのものが深くなっているわけではない。このような構造の変遷は大阪の上町付近を南北に通る上町断層の東側と西側における同一

海成粘土層の標高差と堆積年代から推定されている(第10図*)。

50万年前から現在に至るまでは一定の割合で変動していることを考慮すると、将来においてもこのような動きがもうしばらく(例えば1万年)継続すると考えてもおかしくはないだろう。以上の条件で1万年後の地形を予測すると、(第11図)のようになる。高さ方向の変動量の縮尺を200倍に誇張してある。六甲山の上昇は実際の数値では約20m程度となる。



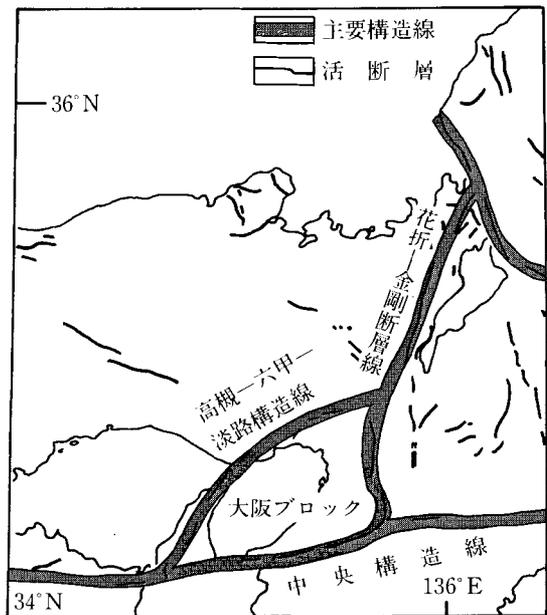
第11図

(2) 構造計算による大阪ブロック回転の再現

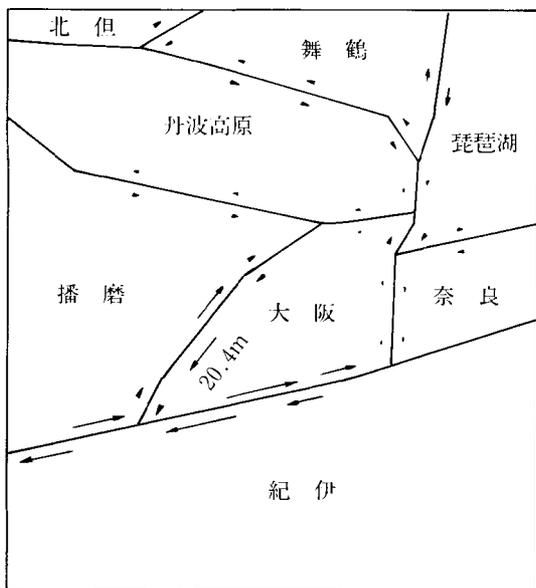
大阪ブロックとは大阪湾を取り囲む三つの構造線により区分されたブロックを指す(第12図*)。三つの構造線とは、兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)を引き起こした高槻-六甲-淡路構造線、紀伊半島から四国を東西に走る中央構造線、大阪平野東縁の花折-金剛断層である。高槻-六甲-淡路構造線と中央構造線は顕著な右横ずれ断層で、それぞれ1,000年あたり0.5~1.5m, 0.9~3.1mずれることが知られている。花折-金剛断層も右横ずれと考えられている。右横ずれとは断層を挟んで一方の側にたつと反対側が右に動くものをいう。三つの構造線がそれぞれ右横ずれで動くと、中にあるブロックは相対的に反時計回りに回転することになる。

この大阪ブロックの反時計回りの回転を構造計算で再現できるかどうかを検討した。大阪ブロックをほぼ中央として東西180km, 南北200kmの範囲を断層の分布に基づいてブロック分けした(第13図)。断層の動きやすさを表現する構造計算に必要な接線方向バネ定数は、地質学や地形学で観測されている断層のずれ速度から見積った。

このようにして作成したモデルに、東西方向から力を加えて計算したところ、大阪ブロックの反時計回りの回転を再現することができた。



第12図



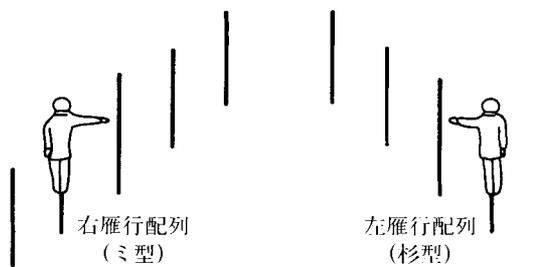
第13図

(3) 断層の進展に関する検討

地表に表れる断層はしばしば雁行状の配列をする。その配列の形がカタカナの「ミ」に近いが、杉という漢字の傍に近いことによって「ミ型雁行」、「杉型雁行」とよぶことがある。

雁行配列をしている断層に応力がかかったときに起きる現象を解析している。

これまでの解析では、雁行している端と端とに挟まれた領域では圧縮応力が働き、それ以外の領域では引っ張り応力が働くことが判明した(第14図*)。



第14図

6. おわりに

以上紹介したように、これまでは基礎的な技術的見通しを立てるため、二次元のシステムを作成し、力学的構造解析手法を地層の安定性評価に適用し得ることを確認した。

今後、この成果の上に立って、岩盤の安定性解析、可視画像化ともに三次元で取り扱える実用システムの作成を継続して進める。

(河野 愛)

(出典)

- *1 萩原幸男編, 1992, 災害の事典, 朝倉書店
- *2 CCOP, 1992, SEATAR
- *3 藤田和夫他, 1982, 大阪西北部地域の地質, 地質調査所
- *4 金折裕司, 1993, 「甦る断層」他から作成
- *5 小出仁他, 1979, 地震と活断層の本

センターのうごき

公益法人の業務等の検査

平成9年2月25日に科学技術庁並びに通商産業省の検査を受けました。

平成8年度調査研究受託状況

平成8年12月1日以降平成9年2月末までの間に、次の受託契約が行われました。

委託者	調査研究課題	契約年月日
通商産業省	・高レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関するフィージビリティ調査	8. 12. 18
	・低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験	9. 1. 30
	・ウラン廃棄物処理処分システム開発調査	9. 1. 30
	・放射性廃棄物有効利用システム開発調査	9. 1. 30
	・低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査	9. 2. 25
電力各社等	・トレンチ処分対象廃棄物の拡大に関する研究	8. 12. 17
	・大型金属廃棄物の取扱い等に関する研究	8. 12. 17

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター
〒105 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 第15森ビル
TEL 03-3504-1081 (代表) FAX 03-3504-1297