

## 第253回地質調査所研究発表会講演要旨\*

### 特集 地震地質部の発足と今後の地震研究

#### 新組織の紹介、機構改編の経緯

野田徹郎

「大地震を予知できないか」「地震の癖を知り発生に備えることができないか」など兵庫県南部地震を機に社会の要請が高まっている。この要請に応じて、平成9年7月、地質調査所8研究部の一つとして地震地質部が発足した。

今回の組織改編の取り組みは、平成6年4月の環境・地質災害部門及び資源部門の適切な研究体制を議論すべきとする所長諮問にはじまり、所内議論、外部評価委員会の議論を踏まえて、曲折あったものの、所の重点研究分野「国土の合理的かつ安全な利用、地質災害等に関する研究」のうちの重点研究課題「長期・短期地震予知」を地震地質部がカバーすることとなった。

地震地質部は、活断層、地震物性、変動解析の3研究室からなり、平成9年10月1日現在、地震に関連する地質、地球物理、地球化学、地殻工学各分野の研究者22名から成っている。地震関連の研究が主体だが、一部放射性廃棄物地層処分の研究も行っている。平成9年度の関連研究予算は工技院特研を筆頭に総額562百万円と、所内最大である。

(地震地質部)

Keywords: Earthquake Research Department, long-term forecast, short-term prediction.

#### 活断層研究室の現在の研究内容と今後の展望 —活断層及び古地震研究の到達点と今後の課題—

杉山雄一

地震の時期・場所・規模を予測するためには、活断層の活動性や活動履歴に関する定量的データの取得が不可欠である。地震予測の3大要素のうち、「どこで」に関連する活断層情報は活断層の分布・位置データであるが、これについては平野部の伏在活断層を除いて、日本の場合、既に相当詳細なデータが蓄積されている。平野部伏在活断層についても、関東平野や大阪平野等ではここ数

年で反射法地震探査による調査がめざましく進展しており、主な平野における伏在活断層の分布調査は近い将来に完了するであろう。

「いつ」に関連する基本的な活断層情報は、再来間隔と最新活動時期、並びに再来間隔のゆらぎに関しての情報である。3回以上の活動時期が明らかにされており、再来間隔のゆらぎについて一応の情報が得られている活断層は現時点では極めて少ない。今後、定量的・確率論的な地震発生の危険度評価を推進するためには、少なくとも各地域の代表的な活断層について再来間隔のゆらぎを明らかにして行く必要がある。このような定量的な地震発生の時期予測を推進する一方で、中世以降の大規模な古地震を引き起こした活断層を明らかにし、“当面は安全な活断層”を特定して行くことも社会的に重要な課題であろう。

「どのくらい大きさ」かに関しては、これまで活断層の長さやマグニチュードを繋ぐ経験式による予測が多用されてきたが、この方法は複数の破壊単位(セグメント)から構成される大規模な活断層系の地震規模の予測には必ずしも適当ではないことが分かってきた。また、最近では大きな被害を出した古地震が複数の断層(系)の連動破壊によって生じられた例が多いことも明らかになってきた。したがって、今後はセグメントの認識に基づき、連動等の多様な破壊様式を取り込んだ確率論的な規模予測を推進する必要がある。

(地震地質部)

Keywords: earthquake hazard, seismic risk evaluation, fault segment, active fault, long-term forecast.

#### 地震に関するいくつかの重要で未解決な問題

David D. Jackson

プレートテクトニクスの出現以来、テクトニクスにおける地震の役割、地震を起こす応力の蓄積、地震と断層の関係、地震の破壊過程、地震波の伝播などについて多くのことが明らかになった。その一方で、未解決の問題も数多く残っている。また、我々は、現実的な問題の解決にあたって、妥当だが未検証の仮定をすることがしばしばある。このような仮定については、常に見直すとともに、検証する方法を考えなければならない。

\*平成9年10月24日 本所において開催

地震モーメント収支はプレートテクトニクスと地震とを結び付けるモデルの基礎である。プレート境界や断層における長期間の変形速度は、地震によって解放されるモーメントと非地震性のすべりの和で説明できるはずだ。地震の規模別分布がわかれば、地震の発生率が推定できるが、大地震の規模別分布は未解決の問題の1つだ。大地震の発生頻度は低く、その規模別分布には地域差があるようなので、大地震の発生率を地震データから直接知ることはできない。さらに、地震の分布や全体の発生率は時間とともに変化するかもしれない。これらの現象についての理由付けは簡単であるが、完全に説明できる定量的なモデルはまだ存在しない。

地震の規模別分布は他の問題とも密接に関連する。破壊の停止機構や大地震のモーメントと変位・断層長・幅との関係などだ。地震の破壊は、過去の地震が応力を使い果たした地点で停止する、と考えられているが、このモデルは確認されておらず、またどれくらい過去まで遡ればよいのかもわからない。地質学的データからは過去の地震の変位と断層長しかわからないので、長期予測に関するモデルは、変位・断層長・地震モーメントの相似関係を明らかにしないと検証が可能でない。

地震の破壊そのものについてもあまりよくわかっていない。動的モデルについては著しい進歩があり、地震時の変位の時空間分布を細かく描けるようになった。しかし、観測データはいくつものモデルで説明できるし、すべりの多様性と断層面上の物理量の多様性との関係もわかっていない。未破壊の岩石がどの程度地震時に壊れるのか、というのも関連した問題である。プレートの動きによってその境界の幾何学的形状は変化し、時間とともにプレートの形も変化する。これに伴い新しい断層が生成されたり、古い断層が成長したりするはずだ。新しい断層はいつどのようにして形成されるのだろうか。地震のたびに新たに形成されるのか、それとも新しい断層を作る特殊な地震があるのか。また、未破壊の岩石は、地震の破壊停止にどのような役割を果すのであろうか。

(南カリフォルニア地震センター・カリフォルニア大学ロスアンゼルス校)

Keywords: earthquake, earthquake prediction, earthquake size distribution, long-term forecast, rupture process.

### 地震物性研究室の現在の研究内容と今後の展望 —実験地震学の展望と課題—

楠瀬勤一郎

最近10年ほどの間に室内実験をもとに発展してきた新しい摩擦の式が、断層面の破壊過程を研究するために用

いられるようになった。この新しい摩擦式を用いた数値モデルは、地震の前兆的な地殻変動や地震後の余効変動などを説明できる。そこで、この方法で、前兆現象についてのシナリオを定量的に示すことが、地震予知に向けた観測の戦略を立てる上で重要なものとなってきている。しかし、この摩擦式は、限られたすべり速度範囲のもとでの室内実験から求められたものなので、地震の最中の断層に沿った高速の破壊伝播や、余震活動期間中のゆっくりした断層のすべりを正確に表現することは出来ない。そのため、固有地震説とは異なったいろいろな大きさの地震が発生したり、断層運動の繰り返し周期がばらつくことなどを、現在の摩擦式を用いたモデルでは説明できない。

実験地震学の将来展望として、より広いすべり速度の範囲で摩擦実験を行い、それをもとに摩擦の構成式をさらに改良していくと、このような現象を説明できるようになることが期待できることをいくつかの例で示した。また、断層の強度回復や、中・長期的な前兆現象の発現を考える上では、 $10^{-7}$ /年ないし $10^{-8}$ /年のゆっくりした断層面のすべりについても当てはめることが出来る摩擦法則を作り上げていく必要があることを述べた。このような、たいへんゆっくりしたすべり破壊現象に対しては、化学的な反応機構が断層面上の微視的な破壊強度や変形機構に大きな役割を担うので、従来の摩擦や摩擦などの力学的な機構だけではなく、断層を構成する岩石や深部の地下水が破壊や変形に及ぼす化学的な機構も考慮した新しい破壊力学を作り上げていく必要があることを述べた。

(地震地質部)

Keywords: Rate-state-variable friction law, earthquake, Tectonophysics Section.

### 変動解析研究室の現在の研究内容と今後の展望 —東海地震の地震予知研究及び 内陸活断層の活動モニタリング研究—

佃 栄吉

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震(M7.2)を契機として、近畿地域西部において地下水観測を中心とした観測網を1995年より緊急に整備することとなった。東海地域の観測網に追加して、地質調査所としては活断層密集地域において内陸直下型地震の予知研究に新たに取り組むことになったわけである。すなわち、地表地震断層の野島断層を含む有馬-高槻・六甲断層帯、中央構造線活断層系、上町断層などを対象として、14観測施設において1996年から観測を始めている。また、観測データとしては地下水だけではなく、地殻歪み、地震、GPSデータなども含めて総合的な観測を行う体制を整えてい

る。

1997年からはさらに観測範囲を拡大すること、活動性の高い活断層の近傍でその活動をモニタリングするため、兵庫県の山崎断層、京都府から滋賀県にまたがる花折断層・黄檗断層、奈良県および愛知県の中央構造線、三重県の鈴鹿東縁断層、岐阜県の柳ヶ瀬断層・養老断層・桑名断層、長野県の阿寺断層、岐阜県の跡津川断層をそれぞれ対象として、全部で14カ所の観測施設の整備に着手している。

これら近畿地域及び中部地域の観測井では東海地域よりも大規模の掘削孔(深度250m-1000m)を用い、地下水位、地殻歪み、水温、化学組成、ラドン濃度、地震、GPS、気圧、雨量などのデータを総合的に連続観測し、東海地域のデータと合わせて、つくば市の地質調査所へテレメータされている。観測網を広域に展開することはそれだけ地震に関連した変動データを多く収集できることにつながり、研究が急速に進歩するものと期待しているが、一方で研究所として長期的な観測を維持することは、研究補助スタッフの慢性的不足もあり、困難な問題も抱えている。しかし、長期間の観測データがあって初めて地震予知研究が可能になるものであり、観測維持は国立研究所の重要な使命の一つと考えている。(地震地質部)

Keywords: ground water, earthquake prediction, Tokai Earthquake, Seismotectonics Section.

### 地質調査所に期待する —地震との共存社会の実現に向けて—

島崎邦彦

地震と断層の問題に対して異なる側面からのアプローチをまとめた地震地質部の発足は、今後によくを期待させる。いつも今、何をやっているのか、目が離せない、他の者に思わせるような活躍をして欲しい。1995年兵庫県南部地震後、活断層調査が基盤的調査観測の一つとなったことは、大変な進歩である。地質調査所の関係者の方々のご努力に感謝申し上げる。地方自治体の活断層調査の委員会には地質調査所から必ず委員が加わっているが、委員会をリードして質の高い調査を保証して頂きたい。地質調査所等の活断層調査には、大学関係を何桁も上回る予算が使われている。大学関係者も機会が与えられているが、より一層の交流を計って頂きたい。さらに研究交流、人事交流と、常に開かれた地震地質部であるように願いたい。

兵庫県南部地震では、地震発生直後の短い間に多くの人命が失われた。老朽化、或いは既存不適格の家屋の耐震化が重要であり、建築関係者や行政が努力をしているものの、住民の反応は鈍い。発生時間帯にもよるが、こ

のままでは同様な地震の発生によって多数の死者を生ずると言わざるを得ない。地震との共存社会をつくるには、一般の人々が地震や地震災害に関して理解を深める必要がある。教育の問題、学術用語の問題など様々な課題がある。

地震調査委員会長期評価部会では、まず日本各地でどのような地震が発生するかを報告書「日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—」にまとめ、現在長期評価手法の検討を行っている。また地質調査所等のトレンチ調査結果などに基づいて、糸魚川—静岡構造線活断層系や神縄・国府津—松田断層帯の評価をまとめ公表した。今後数年のうちに、各地の地震動を確率で予測して公表する予定であり、地震地質部の協力をお願いしたい。

(東京大学地震研究所)

Keywords: active fault survey, long-term forecast, earthquake hazard

### 地質調査所に期待する—地震防災対策への反映—

岩田孝仁

防災行政に携わる者や地域住民にとって、最近では地学現象と災害の接点が非常に多くなってきている。その代表的な例が、昭和51年に発表された「東海地震説」、そして平成7年1月の阪神・淡路大震災をきっかけに大きく議論が進んだ「活断層」である。

静岡県では東海地震説を受け、県民と一丸となって地震防災対策に取り組んできた。地震対策を試行錯誤する中で、普段はあまり気にもとめていなかった地学現象に関する県民の疑問や不安が我々に寄せられている。例えば、普段使っている井戸の水温が急激に上がった、地鳴りが聞こえるなどに始まり、断層や地層の成因、地震発生メカニズムに関する疑問である。このような質問の多くは、地面の中で進行する現象が目に見えない、また、稀にしか経験できないため、漠然とした不安感が存在することに端を発するものもあり、適切な説明が必要である。

また、地学現象発生の時間スケールと日常生活の時間スケールの違いも、地学現象の理解を妨げている原因の一つと考えられる。地学現象としては比較的短い時間スケールで議論される「活断層」でも、「最近の地質時代」とか「今後の発生は数百年又は数千年以内」というオーダーで議論され、一般的に行政計画で議論される長期計画の10年-20年とは議論の対象期間に大きな差が見られる。一方、昭和51年の東海地震説は「あす起きても不思議ではない」という、個人の人生設計の範囲の中で危険度が指摘され、行政も住民も比較的受け入れ易い説であった。

防災対策の推進を図るためには、学術的な研究成果を積み重ねる一方で、研究成果の防災への活用も重要である。地質調査所(地震地質部)は、地震活動や活断層、地下水現象など、地下で進行する地学現象について、①地面の中を詳しく覗く眼を持ち専門的に推論できる集団であり、②最先端の知見を踏まえ研究成果を実用化するための翻訳者として大きな役割を担っている。地震防災対策推進に向けた地質調査所の実践的な研究や調査に対し、地方公共団体や住民の期待は大きい。

(静岡県総務部地震対策課)

Keywords: Shizuoka, prefectural government, Tokai Earthquake, earthquake prediction, earthquake preparedness.

### 地質調査所における 地震に関する調査・研究の今後 —地質調査所の果たすべき役割を探る—

衣笠善博

地質調査所のポテンシャル、研究分野の動向および外部からの期待を踏まえ、地質調査所における地震に関する調査・研究の今後のあり方について述べた。特に、地質調査所の予算・人員に対する地震予知関係のそれらの占める割合が大きいことから、次期の地震関係のプロジェクトが成立するための要件について述べた。活断層調査については、国として責任を持って(組織的・行政的に)推進する機関を目指す必要がある事を指摘した。岩石破壊実験に基づく研究については、地震防災対策や地震予知の基礎となる研究であるが、より基礎的な研究であることから、所内の他の基礎研究と同様な研究評価が求められるであろう事を指摘した。地下水の観測については、大規模地震対策特別措置法に基づく監視体制に組み込まれていることから、理由の如何を問わずデータを継続して取得し、判定会資料として提供して行く責任がある事を指摘した。

(首席研究官、活断層・地震予知特別研究室長)

Keywords: Earthquake Research Project, active fault, rock mechanics, ground water observation.

### 日本海東縁部における活断層および 古地震調査について

下川浩一\*・粟田泰夫\*・佐竹健治\*・  
水野清秀\*・荻谷愛彦\*・衣笠善博\*\*

日本海東縁部は、ユーラシアプレートと北米プレート

の境界と目されており、ここでは最近地震活動が活発化するとともに、地震空白域の存在が指摘されている。そこで、本地域における100年-100万年オーダーのプレート運動を明らかにし、地震発生ポテンシャルの評価に寄与することを目的として、北海道南西部において、100-1000年オーダーの海底断層の活動を反映していると考えられる過去の地震活動の履歴を明かにするための地形・地質調査及びトレンチ調査による古地震調査を行うとともに、新潟平野西縁及びサハリ地域において、活断層の活動性や変動地形を総合的に解析し、1万年-100万年オーダーのプレート運動の実態を明かにするための断層活動性調査を実施してきた。

その結果、北海道南西部の奥尻島は、約2000年前以降少なくとも3回の大地震に見舞われたことが明らかになるとともに、対岸の大成町における洞窟遺跡調査では、約2300年前から約2000年前までの間に3回の地震による天井崩落を被った可能性があることが明らかとなった。また、大成町平浜地区での津波堆積物トレンチ調査により、1993年北海道南西沖地震による津波の回数や向きを読みとることができた。

新潟平野西縁部では、弥彦断層系の前期-後期更新世における活動性を評価するため、地質資料の再評価、浅層反射法弾性波探査及びボーリング調査を実施した。その結果、長さ75kmの弥彦断層系は平均垂直変位速度が、 $>1.0\text{m}/1000\text{年}$ -最大 $3\text{m}/1000\text{年}$ に達する高い活動性を有することが明らかとなった。

サハリ地域では、旧汀線高度が約5-20mの最低位海成段丘面は、いわゆる縄文海進時に形成された可能性のあることや、石狩低地帯と地形的に類似する同島南部の中央低地帯西縁部には、活断層が存在する可能性があることがわかった。(地震地質部・\*\*首席研究官)

Keywords: paleoearthquake, tsunami deposit, southwestern Hokkaido, Niigata Plain, Sakhalin Island, active fault.

### 1995年兵庫県南部地震に伴う 地震断層ストリップマップ

粟田泰夫・水野清秀

1995年兵庫県南部地震に伴って、震央の南西側にあたる淡路島の北西岸には野島地震断層及び小倉地震断層からなる地震断層が、また同島の北東岸には灘川地震断層が出現した。演者らは、これらの地震断層の分布および変位量を詳細な地質基図とともに表した縮尺10,000分の1のストリップマップを作成した。

野島地震断層及び灘川地震断層は、長さ10.5kmで、平均変位量 $1.6\pm 0.2\text{m}$ (右ずれ $1.4\pm$ , 南東側隆起 $0.6\pm 0.2$

m), 最大変位量2.5mであった。これらの地震断層は、高磯断層・野島断層及び水越撓曲からなる長さ約20kmの断層セグメントに沿ってあらわれ、同セグメントの周辺では地震に伴う大きな地殻変動が観測された。地震後に行われた古地震調査によれば、同セグメントでは約2,000年前と約3,900-5,000年前にも断層活動があり、活動の再来間隔は約2,000-2,500年であることが明らかにされた。これらの地震断層は、兵庫県南部地震(Mw6.9)の第1サブイベント(Mw6.8)に伴うものであった。

一方、灘川地震断層は、既知の活断層である楠本断層と平行するものの、同断層から300-500m離れた大規模な採石場跡地の縁辺に沿ってあらわれた。長さ1.6kmで、平均変位量は約10-20cm(南東側隆起約10-20cm, 右ずれ3-7cm)であった。この地震断層では採石場跡地側が隆起し、その変位のセンスは楠本断層とは逆であった。大規模な採石に伴う地殻の弾性変形を有限要素法によって計算した結果、予測される地殻の隆起量は地震断層の上下変位量とほぼ一致した。このことから灘川地震断層では、人為的な過重除去によるリバウンドが大地震によって誘発されたものと考えられる。(地震地質部)  
Keywords: Hyogoken-Nanbu earthquake, surface rupture, active fault, trenching survey.

### 総合調査による金剛断層系の最終活動時期

佐竹健治\*・寒川 旭\*\*・須貝俊彦\*

金剛断層系は和歌山・奈良県にまたがる総延長18kmの断層系で、その中間で走向がほぼ直角に変化する。中央構造線沿いの南部では東西走向で、尾根や谷の右ずれは認められるが、段丘面の発達が悪く、最近の活動についての情報は少ない。奈良盆地南西部に位置する北部では南北走向で、盆地側から山田断層、金剛断層北部、山口断層の平行する3本に分かれる。P波反射法探査によるとこれらは基盤岩の中で1本の断層に収斂する。

山田断層を挟んで、大阪層群 Ma 3 層(約87万年前のアズキ火山灰を含む)が約80mの高度差を持つことから、平均変位速度(上下成分)は約0.1m/1000年と推定される。山田トレンチでは噴砂を伴う2つのイベントが解読できた(約14000年前, 4500年前-中世に発生)。大屋トレンチでは、噴砂や地層の流動変形により、2940-2280年前及び2010年前以降のイベントが認められた。

金剛断層北部は、沖積層(840年前)に覆われていることがトレンチ及びボーリング調査によって確認され、12世紀以降は活動していないと考えられる。山口断層は、低位段丘面には変位地形が認められないことから、完新世には活動していないと考えられる。

金剛断層中部の露頭では、断層が2300-1900年前の年代

を示す砂礫層を切っている。断層を覆う砂礫層からは1650及び2050年前の値が得られ、1900年前以降(1650年前以前の可能性がある)に断層運動が発生したと結論できる。山田トレンチの新しい噴砂や大屋トレンチの噴砂や地層の変形も時期が近接しており、これらは同一の地震による可能性が高い。

(\*地震地質部・\*\*大阪地域地質センター)

Keywords: Kongo Fault, active fault, trenching survey, paleoseismology.

### 琵琶湖西岸断層系のトレンチ掘削調査

水野清秀\*・小松原琢\*\*・寒川 旭\*\*\*・七山 太\*

琵琶湖西岸に分布する活断層系の活動履歴を明らかにする目的で、これまでに4地点(饗庭野断層弘川地区及び饗庭地区、堅田断層真野地区及び衣川地区)でトレンチ掘削調査を実施した。弘川地区トレンチでは、低位段丘堆積物と考えられる礫層を変位させる複数の断層活動イベントが確認され、さらに最新の活動は数千年前の黒色土層を変位させていることがわかった。断層運動の影響を受けていないと考えられる最低位段丘面上には12-13世紀の遺構が立地することから、最新の断層活動時期はそれ以前と推定される。饗庭地区トレンチではおよそ3,800年から2,800年前の年代値を示す地層が断層により変形し、これらの地層を平安時代の土器片を含む土層が覆っている様子が観察された。これらの点から饗庭野断層の最新活動時期は縄文時代晩期から平安時代までの間である可能性が高い。一方、真野地区トレンチでは古墳時代の土器を含む土層が液状化による変形を受けていることがわかり、液状化を起こす強い地震動があったことが推定されたが、断層運動による変形を確認することはできなかった。衣川地区トレンチでも低位段丘堆積物が変形している様子が観察されたが、断層の活動時期を特定することはできなかった。寛文2(1662)年の大地震は琵琶湖西岸地域に大きな被害をもたらしたが、本断層系がこの地震の時に活動したことを示す積極的な証拠はまだ得られていない。

(\*地震地質部・\*\*環境地質部・\*\*\*大阪地域地質センター)

Keywords: Aibano Fault, Katata Fault, active fault, trenching survey, paleoseismology.

花折断層の最新活動と  
1662年(寛文2年)近江国地震

吉岡敏和・苅谷愛彦・七山 太

近畿地方の北部、京都市左京区から滋賀県今津町に至る花折断層は、市街地に位置する活断層として注目されてきたが、その最近の活動履歴については十分な情報が得られていなかった。地質調査所では花折断層の活動履歴を明らかにするため、トレンチ発掘等の調査を実施した。トレンチ発掘調査は、断層最北部の滋賀県今津町途中谷地区、南部の京都市左京区大原地区、および最南部の京都市左京区北白川の今出川通の3地点で実施した。

途中谷でのトレンチでは、断層は支谷を堰き止める形で露出した。年代測定の結果、約300-500年前に活動したものと考えられ、その地震は歴史記録と比較して1662年(寛文2年)の地震の可能性が高い。また、支谷底の礫層の平面分布から3-5 m程度の右横ずれが推定された。大原でのトレンチでは、ATテフラを含む地層が著しく変形しているのが観察されたが、その上を覆う土石流堆積物(年代不詳)には明瞭な変位は見られなかった。京都市内の今出川通で掘削したトレンチでは、断層は低角逆断層として現れ、縄文時代後期の土器を包含する黒土層(約3,500年前)を変位させているのが確認された。しかし、露頭上部が削平されていたため、最新活動時期は特定できなかった。

寛文2年の地震では、これまでに歴史記録から三方断層と琵琶湖西岸断層系が活動したと考えられてきた。したがって、花折断層の北部も同時に活動したとすると、寛文地震は三方断層、花折断層北部、琵琶湖西岸断層系を合わせた区間が破壊した地震の可能性もある。

一方、花折断層南部の最新活動時期については具体的なデータは得られなかったが、断層近辺の遺跡から弥生時代中期(約2000年前)の液状化跡が確認されていることや、古墳時代以降の遺跡に地震の痕跡が見られないことから、弥生時代に遡る可能性がある。したがって、花折断層は北部と南部で異なる活動履歴をもつものと考えられる。(地震地質部)

Keywords: Hanaore Fault, paleoseismology, trenching survey, 1662 Kambun Earthquake.

長大な活断層系における断層変位の時空間分布の規則性に関する国際比較研究—トルコ、北アナトリア断層系における最近の成果—

須貝俊彦\*・吉岡敏和\*,

Ömer E.\*\*、Tamer Y. D. \*\*, Ismail, K.\*\*

アナトリア断層は総延長約1200kmの右横ずれ活断層である。北アナトリア断層を震源とするマグニチュード(Ms)7クラスの地震が1939-67年に相次いで発生した。これら一連の地震は、震源が西進したため注目されたが、各地震セグメントの詳しい活動履歴は不明なままである。そこで、1943、44年の地震セグメントの境界付近において、地震の発生時期と断層変位量の解明を目的としたトレンチ調査を実施した。トレンチサイトは、Ilgaz山脈の南向斜面を流下する支流の扇状地末端付近の低湿地である。トレンチは、ほぼ東西方向に連続した1本の断層線を横切る位置に隣接して3つ掘削された。トレンチ壁面に現れた堆積物は有機物を多量に含む約80の単層に区分され、約40の層準から<sup>14</sup>C年代試料を得た。

堆積物の変形や層厚変化などの地質学的証拠から、1943年地震を含む4回の確実な断層運動と、さらに古い時代に1回の断層運動の可能性が認定された。<sup>14</sup>C年代測定結果(暦年補正值2σ)からは、イベント1は80±50年前以降、イベント2は西暦1445年以降1950年前以前、イベント3は西暦895年以降1250年以前に発生した。イベント1は1943年、イベント2は1668年、イベント3は1050年の歴史地震に対比される。

3つのトレンチから復元される累積変位量は、周辺の水路の横ずれ量ともよく一致し、イベント1、2、3の変位量は順に約2.7m、5.3m、7 m程度と考えられる。以上から、北アナトリア断層中部の平均変位速度は10-15 mm/年、平均再来間隔は450年程度と見積もられる。

今後、1939年や44年の地震断層においてもTime-slipダイアグラムを高精度で復元し、北アナトリア断層系全体の振る舞いを明らかにしてゆくことが、中央構造線などの長大な断層系の破壊過程の予測にも大きく貢献すると思われる。(地震地質部\*\*MTA, Turkey)

Keywords: North Anatolian fault, trenching survey, faulting event, slip rate, international cooperative research, active fault.

生駒断層系の活動履歴調査

苅谷愛彦\*・下川浩一\*・宮地良典\*\*・寒川 旭\*\*\*

生駒断層系は大阪平野東縁に存在する南北走向・東上

りの逆断層からなる。その南部にある誉田断層が AD1510年に活動した可能性を指摘する意見はあったが、他の断層の活動性調査は行われていなかった。本断層系は人口密集域を貫いており防災上重要である。私たちはその地下構造や活動履歴を解明するため4地区で総合調査(①地形地質調査, ②反射法弾性波探査, ③試錐調査, ④トレンチ調査)を行い、以下の成果を得た。なお本文中の年代は全て $^{14}\text{C}$ 尺度である。

四条畷地区：反射法弾性波探査により2つの並行する伏在断層を見出した。またトレンチでは大阪層群が沖積層に衝上し、古墳・奈良時代の土層が両者を覆う様子を認めた。考古遺物や $^{14}\text{C}$ 年代資料も勘案すると、このトレンチに現れた断層の最新活動期は1.8ka(弥生後期)以後、奈良時代以前である。

東大阪地区：西に緩く傾動する腐植質シルト層(17ka)や砂・シルト層がトレンチ壁面に現われ、それらに液状化を示す火炎状構造を認めた。ここでは約17ka以降に1回以上の断層活動があったとみられる。八尾地区：生駒山地-大阪平野の境界付近地下と、その西の沖積層中に撓曲変形を認めた、後者では撓曲の東西で試錐を行い指標テフラ AT(25ka)に約3mの上下変位を認めたが、上位の腐植層(2ka)に変位はなかった。本撓曲の25ka以降の平均上下変位速度は0.12m/ky、最新活動期は約2ka以前である。

羽曳野地区：誉田断層周辺の試錐から、同断層が誉田面(20ka)と道明寺面(30ka)構成層にそれぞれ約4mと約7mの上下変位を与えていることがわかった。後期更新世から完新世の誉田断層の平均上下変位速度は約0.2m/kyである。またトレンチ壁面の砂礫・シルト層境界に火炎状構造を見出した。この砂礫層は古墳時代後期-奈良時代の陶器を含んでおり、液状化は古墳時代後期以後に生じたとみられる。

(\*地震地質部・\*\*地質部・\*\*\*大阪地域地質センター)

Keywords: Ikoma fault system, paleoseismology, active fault, trenching survey.

### 活断層によって規定された周期的沈降域の 堆積作用と地震イベント堆積物

#### —琵琶湖西岸断層系, 比良-安曇川地域の研究例—

七山 太

琵琶湖西岸地域周辺には多くの活断層が発達している。これらの一部は歴史時代に活動して大きな地震を起こしたことが知られている(寒川ほか, 1987; 太井子ほか, 1987)。地質調査所では、平成8年度に琵琶湖西岸及び湖底に分布する活断層の総合的な調査を行った。今回、得られたピストンコアならびにオールコアボーリングコ

ア中に地震イベント?を認定することを試みた。

比良川沖の湖底斜面, 6地点(Site1-6), 10孔においてピストンコアの採取を行ない、総計54mの湖底堆積物を回収した。これらは主に沖合い(生物擾乱)泥相からなるが、しばしば年代決定に有効な広域火山灰(K-Ah, U-Oki, AT, DNP, Aso-4, K-Tz等)ならびに細粒-粗粒タービダイト(T01-T10)を夾在する。広域火山灰およびC14年代値から、タービダイトの層厚を除去した沖合い泥相の区間堆積速度を求め、タービダイトの発生年代を推定した。この結果、新しい順から、T01:1.2ka, T02:1.5ka, T1:3.1ka, T2:3.8ka, T3:4.7ka, T4:7.0ka, T5:7.9ka, T6:8.2ka, T7:8.8ka, T8:11.0ka, T9:11.8ka, T10:85kaと概算された。このうちT1およびT8は、比良沖の湖底断層の活動に起因する可能性が示唆される。

比良川デルタ地域(KH-50)ならびに安曇川デルタ地域(MN-50)において、それぞれ50mのオールコアボーリングの掘削を行った。これらは主にデルタプレイン~扇状地相を示す粗粒堆積物から成るが、しばしば沈降イベントを示唆すると思われる堆積相及び堆積システムの変化が認められる。特に、MN-50においては深度3.5m(300yr. B.P.?)、および20m(11ka)付近にイベントが認められた。一方、KH-50においては深度18m付近に大規模なダイアシステム(0.5-10ka)が認められたが、その形成時期については特定できなかった。

琵琶湖西岸地域には多くの活断層が発達しており、これらの活動により現在の琵琶湖の形が形成されている。特に寛文2年の歴史地震(300yr. B.P.)ならびに縄文晩期中頃の地震(3ka)は、本調査地域の近傍にその震源があったと推定されている(寒川ほか, 1987; 太井子ほか, 1987)。今回記載したコア中の堆積イベントのすべてが地震に起因しているとは断定でき得ないが、当該地域の地震イベントの周期性(即ち活断層の活動履歴)を知るうえにおいて、この種の研究も重要であると言えよう。

(地震地質部)

Keywords: earthquake event sediment, active fault, western Biwako, fault-system, Lake Biwa.

### 庄内平野東縁の活褶曲における 伏在断層の成長過程

小松原琢

庄内平野の東縁には、中期更新世に活動を開始した活褶曲が発達する。この活褶曲に参加する第四紀中期-後期の変位基準は、相似的でない変位形態を示す。

たとえば、庄内平野北東縁の天狗森背斜西翼では、低位の河成段丘面の急傾斜帯の幅は、高位の段丘面のそれ

に比べて狭くかつ西翼西端部に集中している。これは、高位の段丘面の離水期から低位の段丘面の離水期に至る期間に比べ、低位の段丘面の離水期以降には背斜西翼の傾動運動が西端部に集中していること(撓曲運動の局所化)を示す。また、庄内平野中部東縁に位置する平田背斜では、中部更新統下部(庄内層群)が対称褶曲に近い断面形を呈するのに対し、それを覆う中部更新統上部の堆積面は背斜西翼で急傾斜する非対称な断面形を呈する(背斜の非対称化)。また、中部更新統上部堆積面の背斜軸は、庄内層群の背斜軸の200-600m西に位置する(背斜軸の移動)。

これらは、いずれも褶曲西翼の地下に伏在する逆断層が地表に向かって延伸してきていること(fault propagation)に伴って引き起こされた地表変位形態の変化として説明できる。

天狗森背斜西翼の段丘面の変位形態を, Mansinha and Smylie (1971) の式により計算される傾斜75°の逆断層の上端深度と地表変形パターンとの関係と比較すると、高位の段丘面離水期-低位の段丘面離水期の変形様式は、断層上端深度300mの場合の計算結果に、低位段丘面離水期以降の変位形態は断層上端深度200mの場合の計算結果に、良く似ている。このことから、両期間の間に、断層先端は約100m上方に延伸したと考えることができる。この断層先端の延伸速度は、両段丘面の年代差(約5万年)から約2 mm/yrと求められる。これは、天狗森背斜をはじめとする庄内平野東縁の活褶曲の後期更新世以降の平均波高増加速度に匹敵する。(環境地質部)  
Keywords: active fold, fault propagation, tectonic evolution, blind thrust, Shonai Basin.

## 地震物性研究室の研究概観

楠瀬勤一郎

地震物性研究室では、封圧などの物理条件を変えた室内岩石破壊実験を主要な研究手段として、地震の前兆現象や断層の破壊・変形機構を研究してきた。ここでは、地震物性研究室が、常に野外の地震現象を視野に入れながら行ってきた研究成果の一端を示した。まず、室内実験の成果を地震に当てはめるために不可欠な、破壊の寸歩効果の研究例として、南アフリカ深部金鉱山での山はね(最小でマグニチュード-1)からマグニチュード8を越える巨大地震までについて、破壊準備過程の長さや破壊の際に放出するモーメントとが比例しているということを示した。

また、地震の前兆現象が表れるメカニズムを考えるための研究に一環として行った、いろいろな強度の弱面を持つ岩石を用いた破壊前兆現象の現れ方を比較した室内

実験の一例として、ゼオライト脈を含む岩石を使って、微小破壊の空間分布、頻度、波形、脈に沿った変位すべり、弾性波速度の変化を同時に観測した例を示した。この一連の研究から、いろいろな地震の前兆現象が広範囲で観測されるためには、地殻が不均質であること、さらに断層面と周囲の岩盤の強度コントラストがあまり大きすぎないことが必要な条件であることを示唆した。もし、ソビエトや中国雲南省などで明らかな前兆現象が観測される一方で、サンアンドレアス断層で地震前兆現象がほとんど期待できないということが事実としたら、断層の強度の違いがその原因であるのかもしれない。

さらに、微小地震や微小割れ目の空間的な分布を定量的に表現するために、フラクタルの概念を導入した結果の一例を示した。空間分布を定量的に表現し、これを元にいろいろな距離スケールで空間分布を比較した研究から、地殻の構造が長さのスケールに対して限りなく自己相似性を持っているようにいわれることがあるけれども、定量的には空間分布が同じ特徴を持つのは、ある限られた距離範囲に限られること、これらの同じ特徴を持つ空間分布の地殻構造や岩石の構造に対応した長さスケールで、AEや微小地震の空間分布の特徴が異なることを明らかにした。(地震地質部)

Keywords: Scaling law, nucleation phase, fractal distribution, rock mechanics, acoustic emission.

## 震源過程におよぼす断層の折れ曲がりの影響に関する実験的研究

佐藤隆司・加藤尚之

地震の発生位置・停止位置などが断層の形状と密接に関連していると考えられる例が数多く報告されている。我々は、断層の形状が不安定すべりの伝播過程におよぼす影響を調べるため、中央に折れ曲がりのある断層面を持つ大型岩石試料を用いた模擬断層実験を行った。発生する不安定すべりは、多くの場合、短い時間間隔で複数のすべりが発生するマルチイベントであった。最初のサブイベントは折れ曲がり近傍で停止して、断層面全体のすべりには発展しない場合が多い。第2のサブイベントは第1サブイベントとは反対の断層セグメントで発生し、すべりは断層面全体に伝播する。このことは、ふたつの断層セグメントに働く垂直応力とせん断応力の比、および、片方の断層セグメントにすべりが発生したときの他のセグメントにおける応力変化を考慮すると説明可能である。第1サブイベントと第2サブイベントの発生時間差は、第1サブイベントのすべり量が大きいほど短く、第2サブイベントが発生するセグメントに働く垂直応力が大きいほど長い。これはすべり速度および断

層面の状態に依存する摩擦法則を考えることにより説明することができる。(地震地質部)

Keywords: fault bend, multiple unstable sliding, rate-and state-dependent friction law, earthquake.

### 地質調査所の高圧高温岩石試験装置

長 秋雄

地質調査所の高圧高温岩石試験装置は、封圧500MPa・温度300°C・間隙水圧200MPa までの実験条件を達成可能である。これは地下15km から20km の地質環境に相当する。標準供試体の大きさは直径50mm・長さ100mm である。

この装置でウェスターリー花崗岩の破壊実験を、乾燥供試体を用い封圧100MPa・常温状態・周変位速度一定条件で行った。強度破壊点以降の軸応力降下の途中で載荷をやめて供試体を回収し、供試体内部の破壊面を X 線 CT スキャンで観察した。その結果、破壊は、強度破壊点以降において、供試体の表面付近から始まり、破壊面は供試体内部に向けて安定的に拡大する。その後、動的な拡大に転じ供試体が破断することが判明した。この破壊面の発生と拡大にともない、3段階の軸応力降下速度が観測された。(地震地質部)

Keywords: rock mechanics, triaxial test, high-pressure vessel, granite, fracture, X-ray CT scan.

### 地震発生機構における流体の役割

増田幸治\*・佐藤隆司\*・西澤 修\*\*

地殻内に存在する流体の地震発生機構における役割を調べる実験的研究を行った。岩石に加わっている応力場・流体圧と地震発生の関係を調べた。岩石構造の不均質性と岩石を浸透する流体の流路や地震発生の関係を調べるために、X 線 CT による岩石の内部構造の非破壊検査の有効性を調べた。

水は岩石の変形・破壊機構に大きな影響を与える。地下での流体の流れや、水圧の変化が地震活動を誘発したり、大地震発生の引き金になる場合があることが観測から知られている。地殻中の流体が地殻の強度を急激に変化させ、それが地震の発生につながっていることが考えられる。岩石の変形・破壊実験では、岩石の応力状態や流体の圧力・成分などの諸条件を設定できる。また、岩石内部を移動する流体や岩石の変形、微小破壊の震源分布などの時間変化を精密にモニターすることができる。このような利点があるので室内実験は岩石の変形・破壊

過程における流体の役割を調べるのに適した方法である。

乾燥した状態と水が存在する状態で花崗岩の破壊強度を種々の歪速度や封圧条件下で測定した。すべての場合で破壊強度は歪速度が遅くなるにしたがって、その対数に比例して小さくなることがわかった。水が存在する環境では、乾燥した状態の岩石に比べて岩石の強度が小さくなるほか、強度の歪速度依存性が強くなることがわかった。

地下での流体の流れや水圧の変化によって微小破壊が誘発されるかどうかは地殻の応力状態と関係がある。破壊強度に近い値の差応力をうけた状態での岩石に水を注入する実験では、岩石内に微小破壊が多数誘発されるのを観測した。

実験前と実験後の試料の X 線 CT 像を撮影し、岩石内部に存在する固着面などの内部構造と、破壊面の関係を調べ、X 線 CT による岩石内部構造検査の意義を示した。(地震地質部・\*\*地殻物理部)

Keywords: rock mechanics, water effect, induced seismicity, acoustic emission, X-ray CT.

### 岩石の摩擦実験の成果を利用した地震発生サイクルのシミュレーション

加藤尚之

地震発生サイクルのモデル化を行うために、ゆっくりしたすべり特性をよく表現するすべり速度・状態依存摩擦法則を用いてシミュレーションを行った。この摩擦法則は様々な実験結果をよく説明する。たとえば、歪速度の増大とともに、岩石の摩擦強度は増大し、すべり破壊核形成域の臨界長は短くなるのが、室内実験からわかっている。すべり速度・状態依存摩擦法則を用いてすべり破壊核形成過程のシミュレーションを行うと、上記の実験結果を良く説明することができる。

沈み込み域のプレート境界型大地震の発生サイクルのシミュレーションを行うために、均質半無限の2次元弾性体モデルを考える。プレート境界面にはたらく摩擦力はすべり速度・状態依存摩擦法則に従うものと仮定する。深部プレート境界は、2つのプレートの平均的相対運動速度で安定すべりしていると仮定する。数値シミュレーションによると、浅部では一定時間間隔で大地震を繰り返す、深部では非地震性すべりが生じる。

地震性すべりと非地震性すべりの割合はサイスミックカップリング係数で表すことができる。数値シミュレーションにより、摩擦パラメーターがどのようにサイスミックカップリングを支配しているかが明らかになった。プレート境界面のすべりのシミュレーション結果から、地

表での地殻変動を計算すると、大地震発生の数年前から異常地殻変動が現れる。異常地殻変動の大きさや継続時間は、摩擦パラメーターが支配しているため、プレート境界面上の摩擦パラメーターの値を推定することは重要である。(地震地質部)

Keywords: constitutive friction law, seismic coupling, crustal deformation.

### 1997年3月の伊豆半島東方沖群発地震前後の 伊東市周辺における地下水位・ 自噴量変動について

小泉尚嗣\*・松本則夫\*\*・高橋 誠\*・佐藤 努\*

1997年3月3日0時半頃から発生した伊豆半島東方沖群発地震(最大の地震は、3月4日のM5.7、3月10日頃までに主要な活動は終了)の際に、地質調査所の観測井である、大室山北・伊東1号・伊東6号で地下水位・自噴量が変化した。特に大室山北では、群発地震発生の約10時間前の3月2日14時頃から水位の変化傾向が変わっている。同様の現象は、気象庁の東伊豆におけるボアホール型体積歪計記録や東大地震研究所の伊東地殻変動観測点におけるボアホール型3成分歪計・傾斜計の記録にも認められる。他方、そのような地震前の現象は1996年10月に発生した伊豆半島東方沖群発地震では認めるのが難しい。これは、1996年10月の群発地震の位置が1997年3月のものに比べて大室山北や東伊豆といった観測点より遠く、規模も小さかったためであると考えられる。以上の結果は、伊豆の群発地震の主原因であるダイクの貫入を、その規模と位置によっては、地殻変動と(それに伴う?)地下水位変化によって群発地震発生前に検知することが可能であることを示すと考えられる。したがって、厳密に言えば、上述の地震前の異常地殻変動や地下水位異常は地震の前兆現象ではないかもしれないが、このような現象をとらえ解析することで、地震予知に役立てることができる。(地震地質部・\*\*地質情報センター)

Keywords: earthquake prediction, groundwater, seismic swarm, Izu, Ito.

### 中央構造線活断層系のセグメンテーション研究 —とくに伊予灘及び紀淡海峡海域について—

佃 栄吉

佃(1996)では中央構造線活断層系(MTL)のセグメント分割について総合的に検討し、主として断層の連続性や形態的特徴によって分割した小セグメント区分と、

地質構造や古地震活動などの資料から地震時の破壊領域を念頭にして小セグメントをグルーピングした大セグメント区分を試みた。ここではその内容をもとにして、最近の研究で得られた新資料に基づき、紀淡海峡地域及び伊予灘地域のセグメント境界について述べる。

MTLはA-Gの7つの大セグメントに分割され、紀淡海峡には西側のセグメントEの鳴門海峡断層と東側のセグメントFの友ヶ島水道断層がある。いずれも、北へ緩く傾斜し、逆断層のように見える。それらの東西両側にある、断層面が垂直に近く明瞭な横ずれ断層のセグメントDやセグメントGとは大きく異なっている。セグメントEとFとの間には北東-南西方向にのびる高重力異常帯があり、これにより断層が連続しないことから、セグメントEとFは分離されているが、断層の不連続性については淡路島南端付近から南方海域の詳細な調査が必要である。また、友ヶ島水道断層の活動履歴調査を行い、鳴門海峡断層のそれと比較検討することが必要と思われる。

伊予灘については、露口ほか(1996)の高精度音波探査の資料に基づいて、セグメント構造がもとめられたが、最近、大野ほか(1997)は露口ほか(1996)とは異なった断層分布を示しており、それに基づく引張性バリアの位置で分割され、セグメントAとセグメントBの境界は第1図より約15km東へより、その結果セグメントAは長くなる。伊予灘についてはさらに海域の詳細な調査が必要と思われる。(地震地質部)

Keywords: Median Tectonic Line, active fault system, segmentation, Iyo-nada, Kitan-kaikyō

### 伊豆半島東方沖群発地震活動に伴う地下水の変化 —水位観測とアンケート調査との結果の比較—

佐藤 努\*・小澤邦雄\*\*

伊豆半島東方沖では最近、ほぼ1年に1回の割合で群発地震活動が起きている。この活動に伴って伊東温泉を中心として地域には、温泉や地下水に濁りや水変化などの変化が生じている。地質調査所では、1993年5月の群発地震活動から活動ごとに温泉変化に関するアンケート調査を実施し、変化の場所、日、種類を明らかにしてきた。その結果、群発地震活動時に最も多く見られる変化は温泉の濁りであることが判明し、地震の強い揺れによって帯水層や井戸内の沈殿物や配管の付着物等がはく離するためと考えられている。

一方、静岡県地震対策課では1990年6月から、伊東市松原174号井において水位・水温の連続観測を行っている。現在水位データは、電話回線を通じて毎日地質調査所へ転送されている。この松原174号井は、海底噴火を

伴った1989年の群発地震活動の際には、噴火の前に異常に自噴を起こした井戸である。

1995年9月と1996年10月の群発地震活動について両者の結果を比較すると、顕著な変化が起きる日が一致する傾向が見られた。まず松原174号井の水位変化を見ると、地震活動とほぼ同時に水位は下降を始め、途中で上昇に転じて元の状態に戻っている。そしてこの水位変化が上昇に転じる日は、温泉アンケート調査で温泉の濁りという回答が最も多かった日と一致する。1995年兵庫県南部地震の際には地震直後に淡路島で大量の湧水が発生し、その水の濁りと湧水の発生（すなわち水位上昇）との関係が考察されている。それは、強い地震動によって帯水層の細かい土粒子が地下水に流出し、透水係数が上昇して水位が上昇したというものである。伊東温泉における水位変化と温泉アンケート調査との比較から、同様な変化が伊豆半島東方沖群発地震活動時にも起きた可能性が考えられる。（\*地震地質部・\*\*静岡県地震対策課）

Keywords: groundwater, earthquake swarm, Izu Peninsula, questionnaire survey.

### 北海道十勝平野における 巨大地震前後の温泉水位の変化

松本則夫\*・秋田藤夫\*\*

十勝平野の10の温泉井の長期的な水位トレンドが1994年北海道東方沖地震前後に大きく変化し、さらにそのうちの1つである帯広市の深さ1328mの深井戸（帯広金森井と呼ぶ）で1993年北海道南西沖地震と1994年北海道東方沖地震の前に地下水位の変化が観測されていた。

十勝平野では、帯広市を中心として、近年、温泉開発のために深度1000mを超えるボーリングが広範囲に数多く行われている。十勝平野の10の温泉井の長期的な水位トレンドは、通常は過剰揚湯のため水位が低下していた。しかし、1990年頃から水位低下率が鈍化し、いくつかの井戸では全く水位低下がなくなった。北海道東方沖地震後に通常以上に水位が低下した。

また、帯広金森井の地下水位は、通常、同一帯水層における他の坑井からの温泉揚湯の影響を受けて、1年あたり1.2mほどの割合で、徐々に低下している。気圧と地球潮汐の影響を差し引くと、2つの地震の2カ月前から水位がほぼ一定、または上昇した。この地下水位は、さらに、1993年釧路沖地震、北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震の直後にも変化がみられている。帯広金森井における上記3つと1994年三陸はるか沖地震による coseismic な理論面積歪みを Sato and Matsu'ura (1974)の方法で計算し、coseismic な水位変化と比較した。その結果、理論歪みと水位変化は相関がよく、相関

係数は $6.4\text{mm}/10^{-8}$  areal strain である。一方、地球潮汐に起因する地殻歪による水位変化は $5.5\text{mm}/10^{-8}$  areal strain である。これらのことから、観測された2種類の地震前の地下水位変化は、地震前のストレナ深度付近での地殻歪変化を反映している可能性がある。

(\*地質情報センター・\*\*北海道立地下資源調査所)

Keywords: ground water, water level, anomaly, Tokachi Basin, preseismic anomaly, coseismic anomaly.

### 近畿地方における3成分歪み計観測結果

桑原保人・伊藤久男

1995年兵庫県南部地震で活動した有馬-高槻-六甲断層帯の近傍に、地震後の断層活動のモニタリングを目的として3成分歪み計を設置した。歪み計設置深度の違いにより、池田観測点では深度680mに石井式歪み計を、宝塚、垂水、育波の3観測点では深度約300mに坂田式歪み計を埋設した。それぞれの歪み計は設置後、1年以上が経過し順調に作動している。電気ノイズは歪み換算で石井式において約 $1\text{E}-9$ 、坂田式で約 $1\text{E}-11$ である。これまでの観測結果では坂田式歪み計は長期的には3成分ともに縮みを示し、石井式歪み計は3成分の間での長期的変化の極性が異なる。これはそれぞれの歪み計で歪みの計測原理の違いを原因とする見かけのものであると考えられる。歪み計を設置した4観測点のうち、宝塚、池田観測点はそれぞれ兵庫県南部地震で活動した断層北端部の西側と東側に位置している。宝塚観測点の最大圧縮方向、池田観測点の最大伸張方向が兵庫県南部地震の断層の走行に平行であることが注目される。（地震地質部）

Keywords: Hyogoken-Nanbu Earthquake, 3-component strainmeter, long-term monitoring

### 深井戸設置型ラドン計の開発

高橋 誠

地下水中のラドン濃度は、地震前後に変化する例が観測されており、地震予知に有効であると期待され、地質調査所でも観測・研究が続けられている。

ラドンは不活性ガスであるため、気体を分離することさえできれば、観測される $\alpha$ 線は通常すべてラドン起源のものとして推定でき、高感度測定を可能としている。しかし、現在のところ $\alpha$ 線は気体あるいは真空中でしか測定できないため、地下水中の測定する場合には揚水が必要であった。揚水を行う場合には揚水量の変化により、ラ

ドン測定値が変動してしまうこと、また地表で測定する限りは、地下深くからセンサーの位置にまでラドンが移動するための時間が長くなり、移動過程における変動がノイズとして重なってしまう。そこで、センサーを地下水中に水没させ、地下の帯水層位置で観測可能なラドン観測装置を試作することにした。将来的には震源域における観測を目標としている。

これは岐阜大学で開発したものを基本としており、検出器にPIN接合型のフォトダイオードを用いた静電捕集型で、検出部と制御部を分離した形状となっている。この検出器の容器形状を変更し、水没させるために耐圧容器を開発した。検出部は機能性膜を使用して、水と気体を分離し、センサーを水没から防いでいる。現在のところ、水面下数十mまで沈める事ができる検出器容器を完成し、さらに耐圧性能を高めた物を製作中であり、今年度中に300m程度の水深での観測をはじめの予定である。(地震地質部)

Keywords: Radon, ground water, monitoring, earthquake prediction.

### 活断層の深部構造と物性

伊藤久男・桑原保人・佃 栄吉

活断層の深部構造、活断層のセグメント構造は断層運動の破壊開始、マルチプルショック等の複雑な断層運動の破壊過程、破壊伝播の停止等と密接に関係しているように見える。兵庫県南部地震の直後に、野島断層をはさんだ地震計アレイを配置し、余震観測を行った。この結果、断層付近での振幅の大きな低周波S波群をみいだした。この波群は断層にトラップされた波と考えられる。断層から40m程度以上離れたとトラップ波は観測されないことから、断層の幅は数十メートルの狭いものと推定した。またトラップ波の観測された地震の震源分布から、野島断層の深部構造を推定した。その後、野島断層を貫く坑井を掘削し、断層破碎帯の地質構造、物性等を明らかにした。坑井調査と事前の地上トラップ波観測の結果は良く一致した。断層破碎帯では著しい物性変化があるものの、幅は数十メートルと狭い。また野島断層の傾斜は80°程度と高角であり、通常の探査手法の適用が困難なことを示唆する。トラップ波では震源(十数km)までの構造を表すことから断層の深部構造調査に有効であることが示された。

震源核でおこる現象、規模を予測し、これをとらえるために震源核にできるだけ近づき、観測分解能を可能な限り向上させることである。これを実現するために、活断層のセグメント構造が地震の破壊開始・停止を制御するという観点から、以下の研究を提案した:

- 1) 地表に見られる活断層のセグメント構造の実体評価
- 2) テストフィールドでのセグメント境界の実体解明
- 3) セグメント境界で起こる現象の理論的研究
- 4) テストフィールドでのモニタリング実験  
(地震地質部)

Keywords: active fault survey, trapped wave, fault segment.

### 岩石破壊実験におけるデータ収録システムとその応用

雷 興林\*・佐藤隆司\*・西沢 修\*\*・楠瀬勤一郎\*

地震が発生する前に震源域の物理的な変化過程を解明することは地震予知の基礎である。しかし、地下深部で起こっている微小な変動を地表から観測することは難しい。室内岩石破壊実験では地下深部の破壊過程をシミュレートし、破壊過程の各段階で発生する微小破壊に伴うAcoustic Emission (AE)などを有効に計測できる。このAEの時空間分布特性、AE震源のメカニズムなどについては、地震のモデルとして昨今盛んに研究されてきた。とくに最近では、破壊過程の段階性が認められ、それぞれの段階を微小破壊などを利用して定量化する研究が行なわれている。このため、AE実験データ収録システムとデータ解析ソフトは、コンピュータ技術などの発展に伴い次々と更新されてきた。以下、地質調査所の岩石破壊実験室にあるAE実験装置とデータ収録処理システムの概要を示す。

#### [破壊実験装置]

最大荷重: 2000t  
 最大封圧: 100MPa  
 実験方式: 定圧縮率〜クリープ実験  
 間隙水圧: 可能

#### [データ収録システム]

AE波形: 32チャンネル, サンプリング間隔最高 20ns, 12bit, 記録マスクタイム<7msec  
 AE振幅: 2チャンネル, 45dB-99dB 11レベル  
 表面ひずみ: 軸方向と周方向6ペア

#### [データ解析ソフト]

対応OS: Windows95  
 機能: 震源自動決定, AE時空分布の統計解析, 3次元速度構造

実験では、長径50mm長100mm程度の試料を用いる。試料表面に32個以上のPZTセンサと6個のクロスタイプのひずみゲージを直接貼付ける。試料内部で発生するAEを高感度で計測できる。なお、AE波形データ収録システムは世界トップ水準にあり、これからの研究が期待

されている。 (\*地震地質部・\*\*地殻物理部)  
 Keywords: acoustic emission, data collection system, data processing, software.

### 近畿三角地帯北部における最近の活断層調査の 成果—歴史地震を引き起こした活断層の 特定と連動破壊解明の試み—

活断層研究室 (代表: 杉山雄一)

活断層研究室では昨年、湖北・湖西地域の活断層の活動履歴調査を集中的に実施している。敦賀断層については、最新活動により形成された凹地を埋積する腐植層最下部のコア試料から680yBPの年代を得ており、最近の千年以内に活動した可能性が高くなった。現在、今夏に実施したトレンチ調査の結果を解析中であり、近日中に最終結果が得られる見込みである。野坂断層のトレンチ調査では、断層により切られた地層と断層を覆う地層の各々から約500yBPと300yBPの値が得られている。柳ヶ瀬断層については92年の椿坂トレンチで1325年の正中の地震時に活動した可能性が高いことが分かり、活動範囲を特定するため、今秋に椿坂峠の北側でトレンチを掘削した。その結果、約7千年前のアカホヤ火山灰降下以降の断層変位は認められず、椿坂峠付近より北の柳ヶ瀬断層は正中地震の際には活動しておらず、未破壊のまま残されている可能性が出てきた。琵琶湖西岸断層系については、湖岸域の変動等から1662年寛文地震の際に活動した可能性が高いとされており、これを検証するためにこれまでに4ヶ所でトレンチ調査を行った。その結果、餐庭野断層の最新活動は1千-3千年前と推定されるなど、これまでのところ同断層系が寛文の地震の際に活動したことを示すデータは得られていない。花折断層については、北端部の途中谷でのトレンチにより約400年前に活動したことが確かめられ、同断層北部が寛文の地震の際に活動したと考えられる。一方、花折断層南部については、石田(1967)による報告や今回のトレンチ調査結果を総合すると、2千年前頃に最新活動があったと推定され、花折断層は北部と南部で活動履歴が異なると考えられる。寛文及び正中地震の実像、活断層の連動破壊、活動周期、未破壊の要注意セグメントはどこか等について、できるだけ明確な結論を提示できるよう、あと1年あまり調査に全力を注ぐつもりである。(地震地質部)

Keywords: Tsuruga Fault, Yanagase Fault, Biwako-seigan Fault system, Hanaore Fault, 1662 Kanbun Ohmi Earthquake, 1325 Shohchu Earthquake, active fault.

### 地質調査所の地下水等の観測による地震予知研究

佃 栄吉

地下水観測による地震予知研究について、組織的な研究は、1975年7月に出版された文部省測地学審議会の「第三次地震予知計画の一部見直しについて」を契機として始まっている。ここでは地質調査所での地下水観測研究についてその研究の概要を紹介する。

地質調査所の地下水観測データは気象庁などの地震活動、地殻歪み観測とともに、リアルタイム観測データとして、想定されている東海地震の前兆変動の判定に重要な役割を担っている。地震予知のための地下水観測研究の歴史は浅く、まだ20年程度の観測実績しかない。しかし、現在では地下水位変化に関する気圧、降水量、潮汐の影響を補正する統計的手法はすでに確立されており、真の地殻変動データを抽出することが可能となっている。静岡県榛原観測井では1994年10月4日に発生したM8.1の北海道東方沖地震は観測点から1250kmも離れていたにも関わらず、明瞭な前兆の変動をとらえている。榛原観測井ではこの例も含めて大小6個の地震に対して前兆的変動をとらえており、地殻変動に非常に敏感な観測井として注目している。また、これに加えて草薙観測井も非常に敏感であるともわかってきたので、精度の良い前兆変動を観測できるものと期待している。ノイズレベルを超える変動を検出したときに自動的に判定できるシステムを作ることを当面の課題としている。現在、南関東・東海地域では17カ所でテレメータ観測が行われている。観測井戸では水位、水温、水中ラドン濃度、電気伝導度、気圧、降水量などが2分おきに自動連続観測されて、データは茨城県つくば市の地質調査所に送られるとともに、気象庁へも転送され24時間常時監視されている。(地震地質部)

Keywords: Tokai earthquake, ground water, telemetering system, long-term monitoring, earthquake prediction.