

講演要旨*

地震予知に関する研究の諸問題

最近の地震をめぐる地震予知研究の進展

垣見 俊弘

今年(1978年)になって生じた顕著な地震の問題点をサイスマテクトニクスの観点から紹介した。

1) 1978年宮城県沖地震(6月12日, 142°10'E, 38°11'N, 深さ40 km, M 7.4). 海溝と列島の中間海域で起こった地震で, 余震分布と発震機構とからみて震源面は陸側へ傾斜する低角逆断層型である。ただし, 余震分布から見ると断層面は走向方向に短く, 傾斜方向に長いという特異な形をしている。この地震の震源域付近はM7級の地震が過去にしばしば起こっており, とくに, 1933年, 1936年, 1937年と連続して起こり, その後1938年には福島県東方沖にM7.5級の地震が連続した例がある。この付近の地震は震源が南下するという説もある。また岩手・宮城・福島沖にM5級以上の地震の空白域があり, 今回の地震ではまだ埋っていないともいわれる。また, 水準測量データによれば東北地方太平洋岸は長期にわたり沈下しているが, この地域の段丘高度との関係を知ることがネオテクトニクスの課題であろう。

2) 三瓶山付近の地震(6月4日, 132°09'E, 33°23'N, 深さ0 km, M6.1). 震源は三瓶山の南東約8 km付近にある。余震分布は本震からNNW方向に約8 km細長く延びている。三瓶山周辺(主として東部)は昨年5月2日, M5.3の地震以来小地震が頻発し, 今回の地震は最後に残った空白域を埋めるように発生した。この付近は過去にしばしばM5前後の地震が起こっているが, M6級の地震は今回が初めてである。三瓶山は3,000年前まで活発に活動した若い火山であるから, 地震と火山活動との何らかの関係があるかもしれない。しかし, 発震機構からみて震源面は南北で左ずれ断層型のようであり, この付近の広域応力場と調和的である。

3) 1978年伊豆大島近海地震(1月14日, 34°46'N, 139°14'E, 深さ0 km, M 7.0). 地震の概要, とくに地震断層については, 地質ニュース(284号)等に報告があるので, ここではその後の地震活動について述べる。この地震はMの割りには余震域の長大なことが特徴であるが, 余震の起こり方からみると①“前震”と見られた大島付近の群発型の地震, ②本震から東西に延び稲

取付近に達する海域の余震分布, ③稲取からWNW方向へ延びる内陸の余震分布, ④修善寺付近からSWS方向に延びる余震分布に分離され, それぞれ別々の地震が連続して起こった, とも見られるようである。このうち③の余震活動がもっとも活発であるが, その位置は1976年8月の河津地震(M5.4)の余震域とまったく一致しているという。活断層研究のうえからは考えさせられる問題である。

(カッコ内の地震データは気象庁の暫定資料 List of Earthquakes によった) (環境地質部)

地震波速度変化について

伊藤 公介・長谷川 功

地震波速度の時間的変化の研究の歴史をレビューする。1950年前後に日本において自然地震のデータを利用して大地震発生前後に速度変化があったとの指摘がなされた。しかしその後研究の進展がなく, 1960年に入って, ソ連において縦波速度(vp)と横波速度(vs)の比(vp/vs)が地震の前後において変化したとの報告があり, さらにvp/vsの地震発生前後の時間的な推移に伴う変化のパターンも明確になった。1970年に入ると, ソ連の研究に刺激されてアメリカにおいてvp/vsの時間的変化の研究が精力的に行われ, その変化のパターンや異常期間とマグニチュードの関係がさらに明確になった。他方, 岩石の速度測定や破壊実験の知見を基礎にvp/vsのパターンを説明するようなモデルが提唱された。日本においても, vp/vsの研究が盛んになり, 種々のデータが蓄積された。しかし他方においては, 精密な観測では速度変化が検出されない例も報告されている。

人工的な単発の震源(主として火薬爆発)を使って地震波の速度(vp)変化を検出しようとする試みも行われてきたが, 成功した例は少なく逆に否定的な結果も出されている。

また人工的な連続震源(エアガン, パイプレータなど)を使ってより精密な速度変化を検出しようとする研究も行われており, 地球潮汐と良い相関がある速度変化を示す例も報告されている。

地質調査所においては, 1968年以来, 伊豆大島に爆破点を固定し速度変化の観測に取組んできており, 1977年からは, 東海地震説に対応して伊豆半島に爆破点を増設

* 第135回研究発表会, 昭和53年9月4日, 本所において開催。

し観測を強化している。この結果によると著しい速度変化は検出されていない。しかし1978年1月に発生した伊豆大島近海地震と関連して、速度および振幅に変化があったと解釈可能な事実が観測された。これは爆破点の移設という条件のため断定し難いが注目し値すると思われる。

今後の方向、課題としては、(1)従来の観測を継続強化する (2)人工連続震源による速度変化の検出法を開発する (3)地震波の減衰の時間的変化にも注目する (4)野外観測の結果を解釈する際基礎となる岩石物性の研究との結合をはかる等があげられる。(物理探査部・同)

断層の形態と地震

小出 仁

稲取大峰山地震断層は、松代地震断層等と同様に多重のエシュロン状配列を示す。モデル実験や岩石破壊実験でも多重のエシュロン状の割れ目が観察される。多重のエシュロン状配列とは、小さな割れ目がエシュロン状に配列して1つの割れ目帯を形成した上に、さらにその割れ目帯も他の割れ目帯とエシュロン状に配列して、さらに大きな割れ目帯を形成するものである。このようにして、より大きな断層系を形成し、濃尾断層系やサン・アンドレアス断層系のような巨大断層系もエシュロン状配列を示している。

エシュロン状に配列した個々の断層の間に存在するギャップは、断層帯のずれに対して抵抗する。断層帯全体が剪断変形をする時、エシュロンのギャップは圧縮される。岩石は圧縮に対する強度が大きいので、ギャップの部分は大きな応力に達するまで破壊しないと考えられる。しかし、地かくの応力が非常に高くなると遂には破壊し、それにつれてギャップ以外の断層部分も動くので、大きな地震と地かく変動を発生する。

サン・アンドレアス断層のようなマチュリティ(成熟度)の高い断層では、ギャップ部はすでに何度も破壊されて多くのスラストが形成されているが、主断層もこの部分で大きく屈曲しており、依然として圧縮抵抗域になっている。ロス・アンゼルス付近の圧縮抵抗域は、サン・アンドレアス断層の横ずれのために圧縮され、現在隆起が進行している。

伊豆大島近海地震の場合、断層の大きなギャップが数箇所あって、それらが同時ではなく次々に破壊していった可能性がある。

大きな地震は断層のエシュロン・ギャップないしは断層の圧縮性屈曲部で発生するとすれば、そのような圧縮

抵抗域を探し出して、その区域の破壊の前兆を観測することが、地震予知のためにもっとも有効である。

横ずれ断層では、圧縮抵抗域はダイラタンシーがなくとも常に隆起傾向にある。したがって、隆起があっても、必ずしも破壊の開始を意味していないので、すぐにも地震が発生すると考える必要はない。しかし、歪みが蓄積しつつあることは確かなので、隆起地域に注意する必要がある。

圧縮抵抗域内には相当高い応力が地震発生前に加わることが予想されるので、現在の現場応力の測定精度でも検知可能であろうと思われる。現在、X線による残留応力の測定等により地かく応力を推定する方法を探っている。(環境地質部)

伊豆大島近海地震の地震断層

山崎 晴雄

1978年1月14日の伊豆大島近海地震の際に伊豆半島に出現した地震断層を調査し、断層変位で生じた諸特徴を記載した。

顕著な地震断層(稲取・大峰山断層)は東伊豆町稲取付近から大峰山東麓まで、北西方向に約4 kmに亘り追跡された。また、河津町根木ノ田付近でも長さ約200 mの断層(根木ノ田断層)が生じ小変位が認められた。これらの断層はいずれも右横ずれ成分が卓越し、垂直ずれ成分は断層の南西側隆起が多く認められた。断層面の傾斜は断層が横断した伊豆急稲取トンネル付近で求められ、北東落ち80-90°であった。

断層は地表には明瞭な断層面を現わさず、長さ3-5 mほどの亀裂が雁行配列を示し幅約3 mの亀裂帯を形成した。この亀裂帯は長さ数100 mの区間に分かれ、それらはさらに雁行状に並び2重雁行配列を示した。

断層上の建造物やその他の施設は、断層変位により土台の剪断破壊などの被害を受けたが、いずれも小規模な被害であり、人命にかかわるような被害はほとんどなかった。また、断層が通過し、変位した石垣などでも崩壊した部分はごく限られていた。これらのことは、断層面に沿う運動は大加速度を生ずるような急激なものではなく、比較的ゆっくりした運動であったことを示している。

地震断層の変位量分布は断層運動の様子や地形発達史との関係を理解する上で重要である。断層変位量の測定では、個々の亀裂に沿う変位量と亀裂帯を横断して測定した変位量は異なるので、どちらを測定して得た値かということを明瞭に示した。この結果、変位量分布は個々

の亀裂帯の中央部で大きく両端部で減少することがわかった。また、南東部より北西部の亀裂帯の方が大きな変位量を示し、大峰山東麓付近では1-1.2mの右横ずれ、0.3-0.4mの南西側隆起の垂直ずれが認められた。

今回の地震では、稲取北方の浅間山南西斜面の中腹部にも長さ1.5 kmに及ぶ亀裂群が生じた。この亀裂に沿っては一部で顕著な左横ずれが認められたことから、地震断層、あるいは大峰山と浅間山の間の地塊が巨大地送りを起こしたという考えが提唱された。しかし、浅間山斜面上の亀裂群はその出現位置(直線状斜面上部)や開口成分が卓越することなどから表層崩壊の滑落崖と考えられる。

内陸の余震分布は稲取より西北西にのび、稲取・大峰山断層の北端部より南にずれ、むしろ根木ノ田断層と一致するように見える。しかし伊豆半島沖地震で生じた石廊崎断層でも同様の例が生じており、上記の事実は、稲取・大峰山断層が地震断層であることを否定するものではない。(環境地質部)

断層周辺の土壌ガス組成とその変化について

永田松三・伊藤吉助・加藤 完

要旨

この研究は、土壌ガス法を適用してガス組成の変化から断層の探査とその経時変化より地震の前駆的現象などを把握する目的で行った。

今回の調査は伊豆半島北部の丹那断層(1930年・北伊豆地震)を対象としたA・B測線、また中部の稲取断層(1978年、伊豆大島近海地震)を対象としてD測線を設定して土壌ガス組成の変化を調べた。ガス採取井は断層に直交する測線上に5-30m間隔で、深度は1-2mとして下部30cmをガス溜めにした。掘さく12時間後にガスを採取し、現地ではCO₂を検知管で測定、実験室でガスクロマトグラフによりHe, N₂, Ar, CH₄などの分析を行った。

土壌ガス成分のうち断層直上で特に変化を示すのはCO₂, He, Ar, N₂及びHgなどである。A測線ではCO₂が10~14(%), Heが10~13 ppm, B測線ではCO₂が5(%), Heが11 ppmと異常値を示したが、この地域のバックグラウンド値はCO₂ 0.5-1.5(%), He約8 ppmの範囲であった。また、これら測線の異常分布幅は約30mを示した。D測線は10m間隔で3本の測線を設定した。この地域のバックグラウンド値は0.3-0.6(%), He約8 ppmの範囲であった。また、この

各測点のCO₂等濃度線によって示される異常値の方向は地表に見られる断層の方向とよく一致をした。

一方、断層上の測点について土壌ガス組成の経時変化を把握するため1977年11月より毎月1~2回の観測を行った。その結果、A・B測線の8測点においては1978年1月14日の地震前後におけるCO₂, He成分の変化が認められた。すなわち、地震発生2カ月前から特にCO₂はいずれの測点も平常値の30-60(%)の増加がみられ、地震発生6日後の観測では急激な減少を示した。この地震前後のCO₂含量はA・B測線とも地震的な違いはあるが増減のパターンに共通性を示し、またHe, Rnも地震後の減少が観測された。これらの理由から土壌ガス組成の変化は地震との関連が十分に考えられる。

以上、本法による断層探査の指示成分としてはCO₂, He, Ar, N₂及びHgなどが有効であることがわかった。特にCO₂は断層上でいずれも有意の変化を示した。(技術部・同・環境地質部)

活断層周辺の土壌ガス

(その2) α-トラック法による検計

加藤 完・伊藤吉助・永田松三

αトラック法とはラドン及びその娘元素が崩壊する時に生ずるα線が、マイカ・硝酸セルローズ・酢酸セルローズ等の物質を通過する際、トラック(飛跡)を残す現象を利用するものである。α線の通過を受けたこれらの物質にエッチング(化学処理)をほどこし、トラックを拡大・固定化し、光学顕微鏡にて単位面積当りのトラック数を数えることにより、α線の強度即ちラドンの相対濃度を測定するものである。

今回は固体飛跡検出器として2×3cm²のコダック製CA-80硝酸セルローズフィルムを使用した。各観測点は電動オーガーにて深度50cmまで掘さくし、その孔に直径0.6cmの孔を40カ所あけた口径5cm×長さ50cmの水道用硬質塩化ビニル管を挿入し、上部をゴム栓で蓋をし、上記フィルムを孔底部に吊した。10-14日後にフィルムを回収し、温度60°C10% NaOH溶液にて20分間浸して、エッチングを行い、500倍の光顕微鏡にてトラック数を数え、1日当たり1cm²当たりのトラック数に換算して表示した。

測定は静岡県下の大野断層・加殿断層(1930, M=7.0), 石廊崎断層(1974, M=6.9), 浅間山断層・稲取-大峰山断層(1978, M=7.0), 大宮断層(?)の6カ所の既存断層上で実施した。観測点は2.5-20m間隔で、断層を横切る測線上に設けて上記方法で行った。

測定結果から、①断層の上盤側にトラックのピークが現われた。このことは地表に現われた断層線からピークまでの距離は、断層傾斜と表層堆積物あるいは風化帯の厚さに関係していることを意味している。②1978年「伊豆大島近海地震」に際して生じた浅間山及び稲取一大峰山断層のトラック数は既存断層のそれに比べて、最高値でも平均値でも数倍の高い値を示した。このことは調査が地震の直後であったため、他の断層に比べて断層面に沿う地下からのラドン供給が活発に続けられていることを示している。

この他、アメリカのサンアンドレアス断層上での α トラック法による経年観測から、トラック数の増加と地震発生とが顕著な相関を示すことが報告されており (Chi-Yuking, 1978)、日本でも山崎断層上での α トラック法による観測でも同様な報告がされている (山崎断層研究グループ, 1978)。このような事例から、筆者らは現在稲取断層の測線上にて、2週間毎の定期観測を実施中である。(環境地質部・技術部・同)

地質調査所における地震予知に関する 地下水の研究の概要

東野徳夫・永田松三・池田喜代治・
永井 茂・加藤 完・岸 和男

従来、大地震前後に地下水が変化することが経験的事実として知られてはいるものの、わが国においては、地下水は人為的な影響による水位、水質の変動が大きいため、地殻変動による水位変化は検出し難いと考えられていた傾向がある。

しかし、ソ連、中国において地下水観測による地震予知の成功が報せられ、また、いわゆる「ショルツ理論」による地下水変動機構の裏付けがなされるに及んで、地震予知計画のなかに地下水の観測を取り入れる必要性が痛感されるようになってきた。

昭和49年12月、川崎市東部を中心とする多摩川流域の地盤隆起が指摘され、地震予知関係機関が共同してその原因究明に当たることになったが、その時、はじめて諸観測項目に加えて地下水の研究が取り上げられ、従来から地下水の研究を行っている地質調査所が担当することになった。

この研究は、工業技術院特別研究「地盤変動に関する特別研究」として昭和50年度から3カ年計画でスタートし、初年度は、活構造調査、地震波速度の研究及び地下水の研究に関する研究が行われた。

地下水の研究においては、地盤隆起の中心部に深度

1,016mの観測井を新設し、水位、水質(水温、電気伝導度)の自動観測並びにラドン濃度・水質(一般化学成分)、溶存ガス等の定期観測(週1回)を行うとともに、川崎市、横浜市の既存井を対象として年1、2回、水位、ラドン、水質(一般化学成分)、溶存ガス等の調査も実施した。この時点から地震予知を目的とした本格的な地下水に関する研究が始まったといえよう。

昭和51年度からは、関東平野部(埼玉県下)の代表的な地下水井についてラドン濃度の測定(1回/週)を開始し、バックグラウンド及び変動の幅などの検討を行うようになった。また、昭和51年度初期には伊豆半島東部に異常地盤隆起が発見され、この隆起が昭和50年10月頃から発生した微小群発地震活動と明らかな相関がみられるため、この異常地殻活動と地下水変動との関係を追求する目的で、同地域の既存井について水位、水温、水質、ラドン、溶存ガス等の定期観測(1回/日~1回/週)も開始した。この研究は科学技術庁特別研究促進調整費(以下特調費)の「地下水の研究」によって補強された。

さらに、昭和51年度後半には駿河湾を中心とする巨大地震発生の可能性が提起され、測地学審議会、地震予知推進本部等では東海地方東部における諸観測、研究計画が立案され、地質調査所は「地下水の研究」も含めて分担することになった。この研究においては、工業技術院特別研究、科学技術庁特調費により静岡県清水市地区に水位、水質、ラドンの自動観測井を設置し、観測結果は地質調査所(溝ノ口)へのテレメータ化がはかられた。また、既存井を対象とし、水質、ラドン、溶存ガス等の定期観測も併行して行われた。

昭和52年度には、新たに次の研究項目が追加された。

1. 島根県東部の宍道湖南岸の異常隆起及び三瓶山周辺の地震活動に関する報告が8月の地震予知連絡会でなされたことを受けて、島根県東部地域の地下水、温泉を対象として水位、水質、溶存ガス、ラドン等の基礎資料の収集を行った。また、松江市には水位の自動観測装置を1井に設置した。

2. 東海地方東部地域においては、大東町に水位及びラドンの自動観測井の設置、相良町に水位の自動観測井の設置、静岡県賤機(せんぎ)の既存井に水位の自動観測装置の設置などを行った。1、2のデータはいずれもテレメータ化されている。

3. そのほか、静岡県が設置したラドンの自動観測装置(5井)のデータのテレメータ化もはかられた。

昭和53年度からは「地盤変動に関する特別研究」において行われた川崎市東部の異常地盤隆起現象の解明に関

する研究以外の研究を新たに発足した「地震予知に関する地球化学的研究」(昭和53-57年度)に組み入れ、

1. 地下水総合観測システムに関する研究
2. 地殻変動地域の化学成分の挙動に関する研究

として実施されている。

1. においては、観測強化地域及び特定観測地域内の地下水井を対象として、水位、水温、水質、溶存ガス、ラドン等の連続観測あるいは定期観測を継続し、地震予知情報のための判断資料の提供を主目的として実施されるものであり、連続観測結果の一部は気象庁に送られている。2. においては、主要活構造地域及び主要群発地震発生地域を対象とし、土壌ガス中の化学成分の挙動に関する研究を行い、新しい地震予知技術の開発を旨としている。

研究発表会では、現在行われている観測結果の概要を紹介した。

(技術部・同・同・同・環境地質部・同)

地下水中のラドン変化に関する2, 3の問題

金谷 弘・池田喜代治・阿部喜久男

地下水中のラドン濃度変化を捉えることにより地震予知が可能であり、ソ連や中国で予知に成功したと伝えられている。これまでこれらラドン濃度変化は定性的には説明されていたが、これを定量的に考えようとすると多

くの疑問点がある。このため地下水中のラドン濃度を決めるいくつかの要因の検討を行い、それらがいかなる理由により変化を生ずるかを川崎市を中心とした地域をモデルとして考察した。

これまで観察されている通常の地下水のラドン濃度は 10^{-11} - 10^{-9} Ci/lであり、川崎におけるそれはおおよそ $1-4 \times 10^{-10}$ Ci/lである。地下水中のラドン濃度をきめると思われる要素は帯水層を構成する地層(岩石)のラジウム含有量、それらからのラドン放出率および含水率である。川崎地区における地下水中のラドン濃度は当地区におけるポーリングコア、地表露頭のラジウム含有量と含水率からみて十分に調和的である。

ラドン濃度が変化する要因として加わった応力、歪により異なる濃度の地下水が混入したり、また気相として発生したラドンが運搬され地下水の濃度を増加させるものと考えられるが、ラドンの半減期等からみてラドンの良好な放出体が存在する必要がある。

かかる観点から日本の各種岩石のラジウム含有量、ラドン放出率等を加え検討した結果、ラドン濃度変化を生ずるに有利な地質断面、例えば基盤岩のラドン放出量が帯水層を有する上部地層よりはるかに大きく、かつ放出されたラドンを迅速に移動させる条件、断層やチャンネルの発達した地域を選択することが地震予知としてのラドン変化をいち早く捉える上で有効であると考えられるに到った。(物理探査部・技術部・同)