

活構造および深部断層岩の研究と地震予知

嶋 本 利 彦

東京大学地震研究所

(1992年6月17日受理)

1. はじめに

日本列島内陸の活断層は、千年前後から数万年以上におよぶ長い活動の再来周期をもっており、地震観測・歴史地震の記録のみからそれらの活動様式的全貌を明らかにすることはできない。従って、地形・地質学的調査によって、主要活断層の分布・活動度・再来周期(または活動様式)・最終活動時期などを決めることは、地震活動の長期的予測をする上で不可欠である。

地震研究所・構造地質部門では、第7次地震予知研究計画にむけて、次の3つの課題に取り組みたい。

1. トレンチ調査を中心にした内陸活構造調査
2. 音響探査とピストンコアリングを併用した浅海活断層調査
3. 深部断層岩と断層のレオロジーの研究に基づく地震の発生機構および地震発生場の性質の解明

(1)は、これまでの活断層の地形・地質学的研究を継承・発展させるもので、これによって、主要活断層の認定・それらの活動の再来周期と最終活動時期の決定・地震の発生の様式の地域的特徴の解明など、地震発生 of 長期的予知に不可欠な情報が得られる。(2)は、1980年代中頃にわが国で開発された新しい調査方法で、年間2~300万円の予算で、浅海活断層の最新の活動に関して多くの成果が期待される。第7次予知研究の期間中に、この方法で日本列島周辺の主要な浅海活断層の第一次調査をほぼ完了できる見込みである。(3)は、深部断層岩の調査を通じて大地震の震源域では実際にどのような変形が起こっているかを明らかにし、同じ変形を実験的に再現して、地震の発生機構の謎に迫ろうとするものである。地震発生 of 力学的機構の解明は、例えば地震波の観測と解析だけからは不可能に近く、地震予知 of 物理的基礎を確立するためには、このような地道な基礎研究が必要である。

これら全ての研究課題は、これまでの「地殻活構造総合調査」 of 事業費 of 枠内で計画されており、いずれ of 課題も新たな大型研究設備を必要とする of ものではない。また、いずれ of 研究課題も、これまで同様に大学間共同研究として進められる予定である。本稿では、活構造研究 of 歩みと成果を簡単に要約し、今後の研究課題を探ってみたい。

2. わが国の活断層研究

活断層の存在は1920年代には既に認められていたが、1960年頃においても活断層の実体は世界的にみても全く把握されていなかった。わが国の活断層研究は、1960年前後に松田時彦・金子史朗・杉村新・岡田篤正らによって本格的に始められたが、折しも1962年には日本の地震予知研究の計画が発表され、活断層調査も研究項目として取り上げられた。わが国の活断層研究は、日本の地震予知研究とほとんど重なっていると言えよう。

1960年代には既に多数の活断層が認定され、活断層は長期間同じ方向にほぼ同じ速度で動いていること(変位の累積性)、横ずれ断層のずれ方向には広域的な規則性が認められること、従って活断層の運動は長期間安定に存在する広域的な応力場を反映していることなど、活断層の基本的な性質が明らかになった。活断層調査法はこの時期に確立された。

1970年代に入ると活断層の研究者も増え、1975年には活断層研究会が創設された。そして貝塚爽平・藤田和夫・松田時彦・岡田篤正・太田陽子・米倉伸之・東郷正美・中田高・今泉俊文らを中心として、統一した規準に基づいた日本全国規模の活断層調査が始められた。この研究成果は、1980年には「日本の活断層—分布図と資料」として刊行された。全国を同じ精度で網羅したこのような分布図と資料集の刊行は世界でも初めてであり、学会関係者だけでなく、官公庁・応用地質業界においても広く活用されている。また、松田(1975, 地震, 28: 269-283)は、地震断層の長さおよび変位量と地震のマグニチュードを関係づける経験則を提唱し、活断層の長さと同変位速度から、予想される最大地震の規模と再来周期を求める方法を確立した。これによって、活断層のデータを地震発生の大長期予測に役立てる道が開かれた。

このように、1980年頃には日本列島内陸部の主要活断層とその活動度(平均変位速度)が認定された。活構造研究の当然の成り行きとして、1980年代にはトレンチ調査によって主要活断層の活動年代(地震の起こった年代)を決めることが研究の主流になった。SIEH(1978, JGR, 83: 3907-3939)によるサンアンドレアス断層のトレンチ発掘調査は、その後の研究の突破口になった。トレンチ調査を中心とした活構造総合調査は、1981年からわが国の地震予知事業に組み込まれた。これまでに、大学・地質調査所・電力中央研究所などを中心にして、約30の主要断層についてトレンチ・ボーリング調査がおこなわれている。

1980年代には、中田高・岡村眞・島崎邦彦などによって、音響探査法とピストンコアリングを併用した浅海活断層調査法が開発された。これは、弱い音源を用いて比較的周波数の高い反射波を記録し、最も新しい軟弱堆積層の反射記録をとる方法で、浅海活断層の最新の活動を調べるのに適している。これまでの、より深部の地質構造の解析を目的とした大がかりな探査では、活断層調査で重要な軟弱堆積層の微細構造は全く解析することはできなかった。この方法を用いて、これまでに別府湾・松山沖の瀬戸内海(中央構造線)・新潟県沖・島原湾などで調査が進められてきており、活断層の認定だけでなく、別府湾断層などの例ではいくつかの断層の活動時期まで見事に決められている。

「日本の活断層」は、このような1980年代の成果を取りいれて、最近全面的な改訂版が東京大学出版会から刊行された(活断層研究会, 1991)。これらの研究によって、日本列島内陸部と周辺海域のおそらく全ての主要活断層が認定され、主として内陸地震の長期予測をおこなう上で貴重な基礎資料が得られた。その一方で、伝統的な地形・地質学的手法によって集めることのできる重要なデータはほぼ出揃った感がある。それに加えて、これまでわが国の活断層研究を中心になって推進してきた研究者の幾人かがこの数年間に現役を引退し、研究者の新旧交代を余儀なくされているのが現状である。

3. 第7次計画のための研究課題の位置づけ

活構造の研究はこのように一つの転機を迎えつつある。今後、活構造研究をさらに発展させて地震予知の実現に役立てるためには、この辺りで学術基礎研究としての活構造研究の方法と目標を再検討し、研究の長期的展望をもつことが必要である。このような状況を考えて、平成2年度科研費を用いて、「活構造研究の現状と将来」と題するシンポジウムを開いた(平成3年2月)。シンポジウムでは、関連分野も含めた90名を越える研究者が集まり、下に列記した分野の研究の現状を総括するとともに、より広い立場から新しい研究の手法を模索するための活発な議論がなされた(報告書は筆者より入手可能)。

- | | |
|--------------------|--------------------|
| (1) 活断層の地形・地質学的調査 | (2) トレンチ調査 |
| (3) 浅海活断層の総合的調査 | (4) 深海活断層の海洋地質学的調査 |
| (5) 各種年代測定法 | (6) サイスマテクトニクス |
| (7) 活断層法 | (8) 活断層の中・深部構造の探査 |
| (9) 深部断層岩と断層のレオロジー | |

以下、各分野における研究の現状と課題を簡単に要約しておきたい。

空中写真の判読と野外調査によって、「日本の活断層」の初版が刊行された1980年頃には、日本列島内陸部の地形・地質学的に判別可能な活断層のほとんどが認定された。主要活断層の認定と活動度の評価に関する限り、今後もこれらの結果が大きく変わることはあるまい。主にこれらの成果に基づいて、地震の危険度マップも作られ(松田, 1990, 震研彙報, 65, 289-319; 参照), 日本列島全体における地震の長期的な活動様式が明らかにされたという点において、地震の長期的予知に大きく貢献した。

活断層研究の成果をいま一歩進めて地震の長期予知に役立てるためには、近い将来地震を起こすかもしれない最も危険な活断層を認定する必要がある。そのためには、個々の主要活断層の活動様式(再来周期など)と最終活動時期を正確に決めなければならない。1980年代に、トレンチ調査などによって個々の活断層をより詳細に調べる方向に研究が展開したのは当然である。現在までに約30の活断層がトレンチ掘削によって調べられ、ほとんどの調査において断層のいくつかの活動時期が決められている。しかし、内陸活断層の数が多いことと、日本の特殊な土地事情が加わり、「全部掘るのは大変だ」というのがトレンチ10年を経た研究者の正直な印象である。さらに、トレンチ

調査を大学の研究者が半ば業務的に続けるべきかについては、大いに議論のあるところであろう。

しかしその一方で、陸上活断層の活動時期を決めるには主としてトレンチ調査に頼らざるを得ないのが現状である。また、活動時期の認定の方法も完全に確立してはいないし、大学・地調以外に調査を遂行してくれる大きな機関はない。従って、例えば「活断層法」の制定などによって大きい構造物の周辺の活断層調査が義務づけられるなど、活断層調査が社会に普及するまでは、大学の研究者が中心となって、活構造調査法の確立と社会的普及を心がけるべきであろう。今後は、断層のセグメンテーションとか断層系の連動した動きの解析など、目的意識をもったトレンチ調査が必要である。第7次予知研究では、内陸最大級の中央構造線がそのためのテストフィールドにできる可能性がある。さらに、各種年代決定法の精度の向上は、断層の活動時期決定の精度の向上につながる。従って、トレンチ調査も様々な分野の研究者が協力して、学際的に進めるべきである。

音響探査法とピストンコアリングによる活断層調査法からは、今後大きな成果が期待できるであろう。日本海沿岸部の活断層・瀬戸内海の中央構造線の延長部・琵琶湖の湖底活断層など、今後調査が可能な活断層が多数存在する。また、この調査に必要な小型船は、一日4~5万円で漁船をチャーターすることができ、約100万円の費用で一つの断層系を調べることが可能である。研究の視点の新しさとこのような経済性を考慮し、浅海活断層調査は平成元年度から地震予知研究の「地殻活構造総合調査」の調査項目に加えられた。第7次予知研究期間中には、日本列島付近の浅海活断層の一次調査を終えるべきであろう。

最近、東大・海洋研のIZANAGIによる南海トラフ陸側斜面のイメージには、新しい海底堆積物が深海活断層によって切られている例が見事にとらえられていた。深海の活断層研究に関しては今後様々な新しい研究が試みられるべきである。例えば、IZANAGIのイメージの立体視化・浅海で開発された活断層調査法を深海活断層に適用するための技術開発などにも、学際的に取り組むべきであろう。

今後の活構造の研究課題として注目を集めたのが、活断層の深部構造をどのようにして探るかという問題である。例えば、個々の活断層は連続媒体中に散在するクラックのようなものなのか、それとも断層系は全体としてブロック構造をなしているのだろうか。また、そもそも活断層は深部にどのように延長していくのであろうか。日本の活断層で、バリアとかセグメンテーションをどのように認定したらよいのだろうか。このように、活断層系の動きが三次元的広がりをもったテクトニクスの場の中でとらえられない限り、日本列島内陸部のサイズモテクトニクスも解明できないであろう。また、将来観測されるかもしれない地震の前兆現象が、実際に活断層沿いで起こっているかどうかを判断するためにも、主要活断層の深部への延長方向を決めておく必要がある。しかし、問題の重要性が認識されながらも、現状は、それらをどのような手法によって調べたらよいのかを模索している段階である。最近、中央構造線・丹那断層などで、地震波の反射法を用いた興味深い結果が報告されており、今後しばらくは、伊藤谷生が試みているように、科研費などを用いて、活断層系の深部構造探査法を学際

的に模索するべきであろう。

深部断層岩と断層のレオロジーの研究は、サイスモテクトニクスを体系化し、地震の発生機構を解明する上で極めて重要である。特に、大地震の力学的な発生機構を解明するためには、震源域における変形の機構を正確に把握することが不可欠である。そして、震源域における変形の様式については、深部断層岩の観察から最も直接的な情報を得ることができる。第7次予知研究の期間中には、深部断層岩のカatalog作り・断層岩の変形機構の解析・室内実験による断層のレオロジー的性質の決定に取り組みたい。なお、この研究に必要な試験機は近く地震研究所に設置される予定である。深部断層岩の研究は、平成2年度から地震予知研究の「地殻活構造総合調査」の調査項目の一つに加えられている。この研究項目の現状と課題については、シンポジウム「内陸地震—発生の場合と物理」要旨集(1992年5月、於東大・震研)の4~9頁、「断層のレオロジーと地震」を参照されたい。

本稿の始めに要約した第7次地震予知研究にむけての研究項目は、上述のような研究の現状を踏まえて計画されたものである。研究の目的と手法が明確な課題が研究項目としてあげられているが、活構造の研究そのものは、本節で要約したように、より広い視点に基づいて進めるべきである。