

## 地殻活動監視の理想と現実

笹井 洋一

東京大学地震研究所地震予知観測情報センター地磁気移動班

(1992年4月27日受理)

1992年1月30日に行われた所内シンポジウム「地震研究所における地震予知研究：現状の総括と展望—第7次地震予知計画にむけて—」において、筆者はく震研で出来る地震予知研究のテーマとそのための体制づくり」というメモをもとに、具体的な提案をおこなった。このメモは個別の課題を羅列しただけのものであったので、その基礎となった考えも補足的に述べ、それぞれの課題の位置づけを明確にしたい。

### 1. 地殻活動監視のひとつの理想像

地震と火山活動は、地球の変形と地球内部からの物質・エネルギー輸送を、もっとも劇的に発現する様式である。両者は密接に関わり合っているはずなので、ここでは一括して地殻活動と呼ぶことにする (Tectonic Activity に対する適切な訳語を知らないのでこう呼んでおく)。種々の地球科学的観測によって、ある地域 (例えば日本列島くらいの規模) の地殻・上部マントルの状態を把握し、特定の活断層や火山が地震や噴火発生の臨界状態に達しているかどうか診断して、警報を出す—我々が物理的 (地震・火山噴火) 予知という時、常識的に思い浮かべるイメージはこのようなものである。ひとつの大きな地学的事件が次の大きな事件を誘発、もしくは抑制するはずであるから、予報だけではなく、事後の解析も重要である。

このような地殻活動監視によって、地震予知が可能であるためには、我々は次のことを知っていなければならない。すなわち

- 1) 断層の破壊様式を支配する構成法則、
- 2) 構成法則のパラメータ (Break-down zone モデルでは、すべり破壊強度、残留摩擦抵抗、臨界すべり変位量の3つ) の断層面における分布、
- 3) 少なくとも被害をもたらすような規模の (全ての) 活断層の位置と形状、である。その上で
- 4) 地震活動度や地殻媒質の物性 (地震波に関する諸性質や電気伝導度など) の変化を地殻の応力状態と定量的にむすびつけ、
- 5) 主として測地学的手法 (重力や地磁気測定も含む) で、面的な (出来れば三次元的な) 歪ないし応力の蓄積量を知り、

- 6) 主として電磁気的および地球化学的手法で構成法則のパラメータ自体を変化させ得る地下流体 (水, ガス, マグマ) の挙動を探り,
- 7) 従来から様々な事例が知られている, 直前の前兆現象 (典型的にはプレ・スリップに伴う前震や歪変化など) の発現を待って警報を出す,

というシナリオである。

これはこの通りの順序と位置づけで書かれている訳ではないが, 1962年のブルー・プリント以来, 多くの研究者達によって暗黙のうちに想定されていた青写真のように思われる (異論もあるかも知れない)。大戦略 (グランド・デザイン) といってもよい。1980年代後半になって, 1) についてブレイク・スルーがあった (本論集の大中の報告参照)。また GPS の登場によって, 少なくとも陸上では, 5) について高精度なデータが迅速に手に入るようになった。しかし広域的な地殻歪が分かっても, 1) を適用できるために我々が知りたい物理量一すなわち断層面に及ぼす巨視的応力に直ちに換算できる訳ではない。2) および 4) と 6) の課題もモデルに取り入れなければならない。結局, この大戦略の (ひとつの) 到達目標は, ある地域の地殻・上部マントルについての不均質構造を組み込んだ, 一連の地殻活動に対する (巨大な?) 数値シミュレーターを作ることであろう。火山活動とそれに伴う弾性的・非弾性的変形を評価することも, このシミュレーションでは第一級の重要性を持つ。

ただし現時点において, 1) から 7) にいたる課題のどれひとつとして, 解決されたとは到底云えない。ここに夢想したシミュレーターの実現には, (数) 十年かかるかも知れない。しかし個別の地震予知研究をこのような全体構想の中に位置づけて取り組むことに, 意味があると考える。

## 2. 地殻活動監視の応急戦略

というわけで, 我々は理想とするこのような監視体制から, はるかに手前の段階に居る。多くの研究者が上述の各項目の解明に努力してきた。しかし個別の観測だけでは, 的確な活動予測は出来ない。結果として, 不意打ちの地震発生を迎えることの連続である。地震を相手にしている場合に不利な点は, 大地震といえども一過性であるため, 不意打ちをくらってから臨時観測が, 本震発生以前の準備過程を知る上で, あまり役に立たないことである。例外は群発地震の場合であって, これは現象自体が長続きするので, 臨時観測によって豊富なデータが得られ, 発生メカニズムに迫ることが出来る。松代地震と伊豆半島沖の群発地震がこれに該当する。しかし地震予知研究の立場からは, 予想外の地震に対する観測を大戦略実現のためにどう組み込んで行くかという, 応急戦略 (コンティンジェンシイ・プラン) がきわめて不十分であると思う。

このことは火山噴火予知の現状と対照的である。活動的火山については, 地質学的調査や古文書研究を通じて, 過去の噴火様式が分かっていることが多い。噴火が開始された時点で, 想定される活動予測に基づいて立ち入り禁止等の処置を取り, 緊急の観測体制を敷いてからでも, 一連の噴火活動の機構をある程度解明できる。とは云え, 日本の活動的火山について見ても, その活動様式はそれぞれの山毎に異なっている。そこで個別の火山について個別の (緊急) 観測計画がある, というのが実状である。防災

という社会的要請に関しては、火山噴火予知のあり方の方が、文句なくレベルが高い。1990年秋の火山学会では、雲仙岳の噴火が間近いとする認識が、参加者の間ではほぼ共通のものになり、共同観測の計画が練られた。実際その一週間後に、雲仙は噴煙を上げ始めたのである。地震予知では、まだこうは行かない。

火山噴火予知の難しさは、噴火開始の予報もさることながら、一度開始された活動がどの程度続き、どの位の被害をもたらすかという、活動全体の予測である、とよく云われる。これこそ地下にマグマがどれ位蓄積されているかという、火山深部の状態把握なしには、本質的に答えられない問題である。誤解を恐れず、あえて単純化して云えば、地震予知には大戦略(の青写真)があつて応急戦略が確立されておらず、火山噴火予知には、応急戦略はあつても、大戦略が不十分であると思う。

火山噴火予知の経験に学ぶとすれば、地震予知の応急戦略のあり方も、その方向は決つて来る。つまり「応急」と云つても、全く白紙の状態で大(大)地震発生を待つて、緊急観測を展開するのではなく、待ちかまえた観測をやらなくてはならない。守備範囲を限定して、その領域内で起こり得る様々な地学的事件を想定し、最適観測点配置を考え、予め現地調査をおこなつて、センサー設置場所を確保し、出来ればモニター用の(連続)観測を維持して行く。何のことは無い。震研ではどこの研究室でもやって来たことである。ここでの提案は、それを震研の様々な研究グループが、同一地域の想定する地震についてやってみたらどうか、という点につきる。

### 3. 具体的な提案

筆者は電磁気的手法による地殻活動監視をテーマに、いわゆる予知研究の中ではマイナーな周辺部を、うろうろして来た。1976年以来伊豆の活発な地殻活動さらには伊豆諸島の火山噴火などにつき合つて、中央日本の地殻活動を理解するには、三次元的なプレート境界運動の枠組みに地震と火山活動を一緒に組み込む視点が必要であることを痛感している。以下に挙げた方策は、最近別の機会に電磁気的手法による地殻活動監視の研究テーマを考えた際に、これは「電磁気」という文字を取つても通用するのではないか、と思つた項目をならべてある。ただしシンポジウム当日のメモに、1.と2.を踏まえて、手を加えてある。

#### (1) 東海地震の監視

2.で述べた、待ちかまえて観測を行うべき地震として、東海地震を挙げる。この地震は現行の地震予知計画の下で、「予知できる地震」と想定されている。しかし石橋氏の断層モデルに対しては、恒石氏の富士川断層が対置されている。現在の監視体制は、西向きに傾き下がる逆断層運動の前兆をとらえることを前提に組み立てられており、恒石氏の想定する垂直横ずれ断層の監視体制は、きわめて不十分である。断層位置の明確な富士川断層とその駿河湾への延長部について、ボア・ホール観測および海底観測で、断層構造や破壊成長抵抗の分布調査と、断層活動の監視を行うのは十分意義がある。もうひとつ大切な視点は、伊豆マリアナ弧北部の近年における地震・火山活動、とりわけ伊豆半島東部や相模湾の活動が、来るべき東海地震を準備しつつある過程であ

る、と捉えることであろう。地震活動度、火山活動、地殻変動などを、この観点から整理しなおす観測と研究が要請されている。

## (2) Break-Down Zone モデルの系統的研究

震源核形成過程を記述するこのモデルは、大中氏の主張するように、少なくとも物理的必然を有する直前の前兆現象を予測できる、と期待される。確実な警報発令の物理的根拠を築くために、このモデルの内容を豊富にして行く系統的研究は欠かせない、と思う。岩石実験やシミュレーションなどの理論的研究については省略するが、野外観測の課題として、活断層の構造探査と、活断層近傍でのボア・ホール観測の重要性を強調したい。

## (3) 中・長期的で広域な前兆現象の可能性を探る基礎研究

1. で述べた地殻活動シミュレーションを、日本列島中央部を対象に行ってみたらどうであろうか。当面はプレートの沈み込みに伴う地殻変形ぐらしか扱えないであろうが、これは将来の日本列島地殻活動シミュレーターの原型となり得るであろう。そのモデルに力学的な不均質構造だけでなく、媒質定数(地震波速度、減衰特性、電気伝導度など)の変化をも組み込めないだろうか。

関東地震の前後における、柿岡地磁気観測所で測定された地磁気変化振幅比の大きな変動はよく知られている。これは地下の電気抵抗の変化を表している、と考えられる。実は中国において、1976年唐山地震から最近にいたる電磁気観測によって、同じ様なタイム・スケールで顕著な電気抵抗の変化が観測されている。関東地方の変動は、現在も継続している。地震活動の空白域の議論や、このような中・長期の異常変化について、新しい視点から再検討してみる必要があるであろう。

## (4) ボア・ホール観測技術の開発

(2) で述べた目的のため、および首都圏の監視に不可欠。

## (5) 海底観測

日本列島の主要な地学的事件は、海溝ぞいの大地震であって、東海地震、関東地震の監視のためにも、海底観測は不可欠である。震研には海底構造調査のために、自己浮上型の海底地震計、電位差磁力計、地球熱学計測器などを開発し観測してきた、有力なグループがある。一方、地震・火山噴火予知の観測は、もっぱら陸に限られてきた。この際「陸上人間」を「海陸両用人間」に教育しなおすことを含めて、海底観測を積極的に導入する時期であると思う。

## (6) 過去の地学的事件の徹底的研究+観測体制の総括

松代地震、長野県西部地震、伊豆半島の地震・火山活動、三宅島や伊豆大島噴火など、我々の先輩が残してくれた、あるいは我々が現に集積しつつある貴重なデータがある。これらの地学的事件の発生機構を解明することは、地殻活動監視システムを構

築して行く上で、欠かせない作業である。この種の研究はあくまで個人的営為に頼らざるを得ない。従ってこれらのデータは震研の私物ではなく、日本(世界)の研究者の貴重な共有財産とも考えられる。データの公開方法や、共同研究の進め方を検討する必要がある。

## (7) 人材教育

最後に、我々は非常に重大な過渡期にさし掛かっていることを、確認しておく必要がある。10年後の職員構成を考えると、誰でも愕然とするであろう。このままで行けば、震研の観測の中核を担う職員の高年齢化が、そのまま震研の観測能力の低下となって、現れるのは必然である。現在の定員削減政策が続く限り、技術系職員の新規補充は夢物語である。しかし地道な観測を積み上げることで地球科学に寄与することに、地震研究所の第一級の存在意義があった。他人のふんどしで相撲を取るようになったら、震研は終わりである(と、古い私は思う)。

筆者等が大学院生であった頃から少し後になって(1960年代末以来)、震研では院生を観測屋としてこき使うことを止めてしまった。色々な事情からそうなったのであるが、院生を労働力として期待しなくても、それで済む時代が続いた。職員が居て、しかも(比較的)潤沢に観測器材に設備投資が出来たからである。この条件が今、急速に失われようとしている。観測を通じて研究の新局面を切り開いていこうとする限り、大学院生を戦力として取り込み、その過程で観測の出来る研究者を育てて行くような、研究所のあり方を考えざるを得ない。

「こき使う」という言い方をしたが、これは言葉のあやで、筆者は院生の頃、野外観測は面白くて仕方が無かった。そして震研の院生諸君に聞いても、また電磁気の集中観測で一緒になる他大学の学生諸君に尋ねても、「観測は面白い」と云う人が結構多いのである。しかし観測で3-5年間のうちに、学位論文を書くのは非常に難しい。そんな事情もあって、指導教官も院生も、すでに得られているデータのシャープな解析に全精力を注ぐ。しかしそうやって優れた論文を書いた人が助手に採用されると、待っているのは泥くさい観測要員の仕事ということも多い。ここで「本物」は、一からやりなおして、やがては観測と理論の文武両道に行くことになるが、筆者の見るところ、そのような人材は稀である。結局の所、院生に対する「観測屋」教育がきわめて不十分であると思う。

ここでは大学院のカリキュラムとか、職員(筆者自身を含めて)の再教育のあり方を論ずるつもりはない。ただ(1)や(5)で提案した観測—ある地学的事件を想定した共同観測—が、地殻活動監視では不可欠なものとして要請される。このような観測では、研究室の専門の壁を越え、本所と観測所の隔たりを埋めた、協力体制を作り易い。この観測においては、その場しのぎの労働力として院生を利用するのではなく、自然と向き合い、トータルに相手を理解しようとする「観測屋」を育てる場として、活用できるのではなからうか。