

これからの地殻変動観測研究と地震予知研究

—将来の東海地震と関東地震に向けて—

石 井 紘

東京大学地震研究所

(1992年6月15日受理)

1. はじめに

「地震研究所における地震予知研究」のシンポジウムが第7次地震予知計画に向けて開催された。第一部の発表は時間も十分あり議論も沸騰した。その後の発表には時間的な制約があったのは残念であったが、初めての試みとして意義のあるシンポジウムであった。今後の地震予知研究の議論の材料として上記タイトルに関して考えることをページ制限の中で思い付くままに記してみた。

2. 地殻変動研究の流れ

測量により地震にともなった著しい地殻変動が最初に測定されたのは1923年の関東大地震であった。上下変動及び水平変動ともに地震前後の変動が見事に測量結果に現れており、その後の地震の断層モデル研究などに大いに貢献した。地殻変動の連続観測においても関東地震後に新しい観測計器が出現した。石本式の水平振子傾斜計が1929年頃から用いられ、京大の研究者により、鳥取地震(1943)、大聖寺地震(1952)および吉野地震(1952)において前兆的地殻変動が報告されている。

1947年頃からは地震研究所に於て水管傾斜計及び伸縮計などが開発され、その後の地殻変動連続観測の基本となった。1964年の新潟地震において水準測量の結果から前兆的変動を含む典型的な変動が観測され、1965年から開始された地震予知計画に於て地殻変動は有力な観測項目とされた。地震予知計画開始前には全国の地殻変動観測点の数は僅か15カ所程度であったが、現在は大学が全国に約100カ所、官庁がおもに関東・東海に約50カ所の地殻変動連続観測点を維持している。

観測計器に関しては改良が進んでいるが、特記すべきことは1973年頃から水管傾斜計の自動観測の実用化が進んだこと、1971年頃から体積歪計が設置され始めたこと及び1989年頃からGPSが地殻変動観測に用いられ始めたことである。新潟地震などの典型的な地殻変動や移動性地殻変動の物理的メカニズムの解明がいまだに残されている。

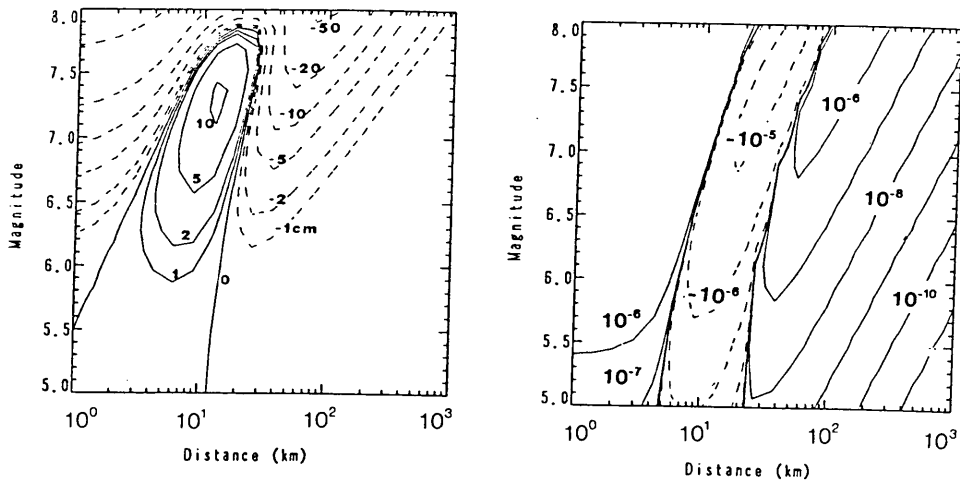


図1. 傾斜45度の逆断層の場合の水平変位(左)と歪(右)の計算結果. 実線はプラス, 点線はマイナスの値.

3. 地殻変動の検知能力

上述のように地殻変動観測点は現在150カ所程度あるが現在まで前兆変動を検知出来るほど十分近くに大きな地震が起こっていない。檀原による地震にともなった地殻変動の変動範囲の平均半径(r)とマグニチュード(M)との関係において前兆変動がこれの2倍程度の範囲まで検出出来るとする

$$M = 1.96 \log r + 3.84$$

となる。竹本(1987)によると1974年以来マグニチュード7クラスの地震は8個発生しているが、全国で基準の地殻変動観測所がこの範囲内に位置していたことはなく、日本海中部地震で1カ所の観測所のみがその範囲の境界にあるだけであった。

地震発生に伴った地殻変動はどの程度の範囲まで及ぶのであろうか。図1には傾斜45度の逆断層の場合の水平変位と歪をマグニチュードと距離に対して計算してある。水平変位は光波測量あるいはGPSにより測定するが数センチメートルの精度であり、歪のばあいは 10^{-8} から 10^{-9} 程度である。図によると検知可能な範囲は、例えばM7.5の場合水平変位で300~400kmであり、歪では約700kmとなり一般的には歪の方が検知可能な範囲は広い。関東地震の場合(ISHII and KATO, 1989)には水平変位の最大は4m程度であり、歪は 10^{-4} 程度であった。前兆的変動がどの程度の変動であるか明らかでないが、前兆変動の検知可能な量はコサイスマックな変動と比較して水平変動の場合には1/400位まで、歪の場合には1/10000位までである。

4. 前兆的地殻変動観測研究の問題点

測量による地殻変動観測の場合には広域のテクトニックな変動を観測するのに有利であり、光波測量および水準測量により、地殻歪や上下変動が観測されてきた。しかしながら測量は時間と手間がかかり連続的なデータを得るのは困難である。検知可能な量は 10^{-6} 程度よりの大きな地殻変動である。最近の宇宙技術を取り入れた GPS 観測の場合には 10^{-7} の精度までの測定も可能になることが期待されているが、現在は解析に時間がかかる。いずれこの問題も解決し連続観測に近いデータを得ることも可能であろう。しかしながらこれらの観測は地表の岩盤でないところの観測が多く、気象条件あるいは人間活動によるノイズがはいるため地表で観測している限り $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 以上の精度をあげることは困難である。

地殻変動連続の場合はノイズを避けるために横坑内あるいはボアホールにおいて観測している。この場合には地表からの深さとともに特に降雨の影響は減衰する。感度は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ の感度は通常であり、連続データを得るのでノイズと信号の区別は比較的容易である。しかしながら一点の観測がどの程度広範囲のテクトニックな変動を代表しているかが問題であるが少なくとも時系列からみた前兆的な異常変動の検知は可能であろう。

そのほか一般的に地殻変動観測において問題となるのは基盤の岩盤における観測でなく軟らかい堆積層に観測計器を設置している場合である。このような場合には地殻内部で発生する地震の前兆変動や異常変動がどの様に出現するか明らかでない。また地下水位の変化による影響も無視できない場合がある。

一方、震源からの距離を考慮した以上に変動の大きく出現することも考えられ (KUMPEL, 1991), いわゆる壺と言われる場所の存在が明らかになれば観測の能率、機能アップが大いに期待できる。

5. これからの地殻変動観測研究

前述のような問題点の指摘があったが 1986 年と 1987 年の伊豆大島の噴火にともなった地殻変動は気象庁及び大学の地殻変動観測所の歪計に広範囲に観測されている。この結果はマグマなど物質の移動にともなった活動には広範囲の地殻変動を生じさせることがあるということ及びある程度の大きさの変動が生じれば現在の観測方式で地球内部の活動を十分検知可能であることを示唆し希望をもたせる出来事であった。

また 1989 年の 7 月の伊東沖における群発地震発生から海底噴火に至る一連の活動が防災科研の傾斜計や気象庁の体積歪計に見事に記録されており (図 2), 地殻活動に十分近い観測が可能であれば活動の変化を検知出来ることを示唆した。この場合群発地震活動域周辺により多くの地殻変動観測計器を海底も含めて設置出来ていれば地殻活動の推移がより詳細に解明されたであろう。また地震観測においても海底噴火後に東北大学が設置した高密度の地震観測網によるテレメーター集中処理方式により震源の精度、特に深さに関する精度が飛躍的に向上した (図 3)。地震観測の場合も予めこのような観測体制が取られていれば 1930 年の震源との相違を明かにし、海底噴火発生の時期予測をより正確に決定出来たであろう。

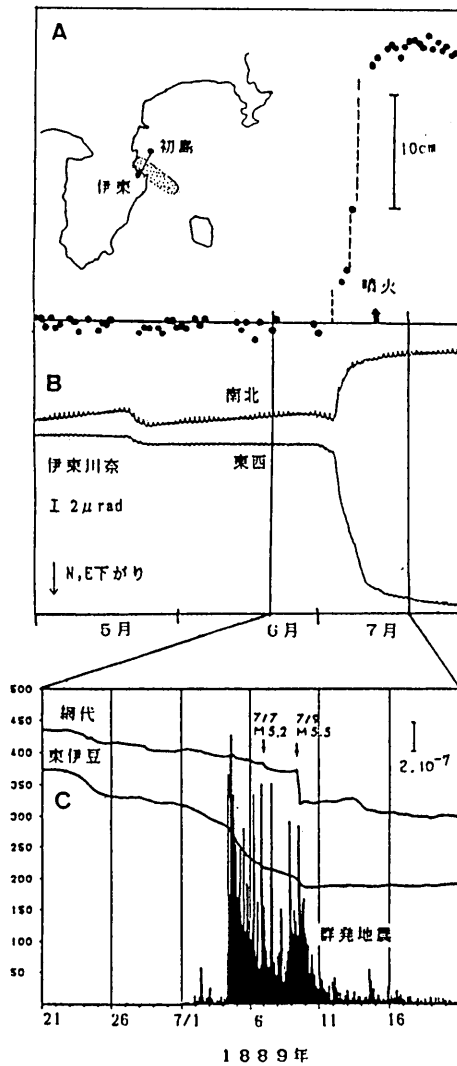


図2. 伊豆半島東方沖の群発地震および海底噴火に関連した地殻変動(青木治三, 1989による). 上図: 伊東初島間の光波測距による距離変化(東大震研), 中図: 伊東(川奈)における傾斜観測(防災科研), 下図: 網代および東伊豆の体積歪計の記録(気象庁).

以上のことを考慮するとこれからの地殻変動観測研究について以下のように考えられる。現在のような横抗におけるスケールの長い伸縮計, 水管傾斜計では基準観測所としては望ましいが機動性がなく設置場所も制限される。またボアホール用計器も現在は高価で取扱が困難であり機動観測も制限される。異常地殻活動に対して容易に自由な観測体制を確立できるシステムを確立することが重要である。安価で取扱の容易な計器を目標に著者らは小型多成分歪計の開発(石井ほか, 1992)を進めほぼ完成して

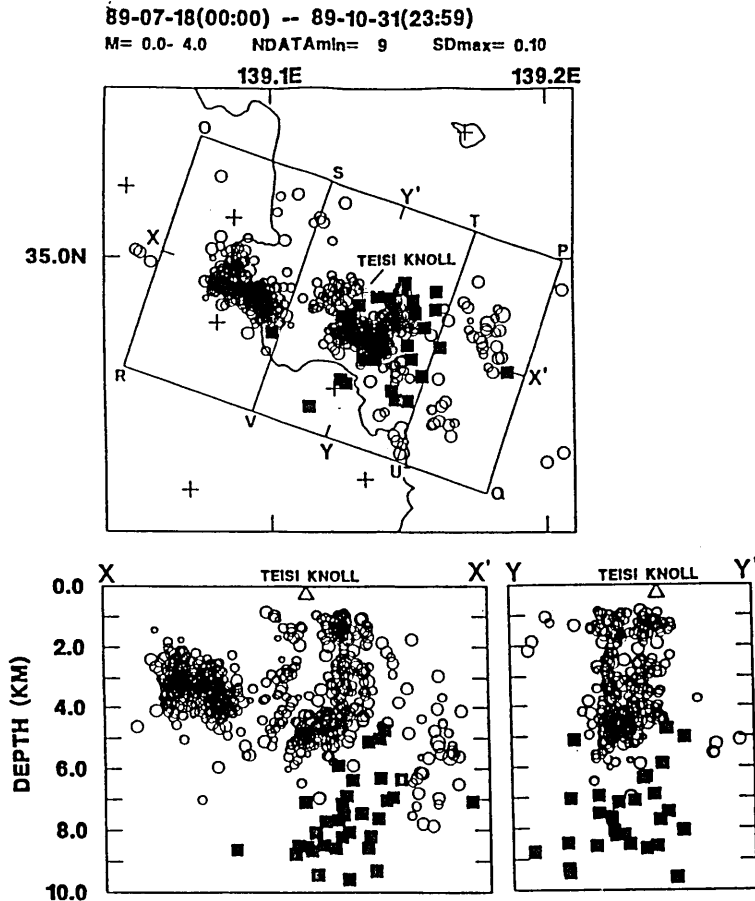


図3. 1989年7月13日に伊東沖海底噴火の直後の臨時観測によって決定された震源分布(丸印)およびNasu(1935)の資料に基づき再決定された1930年の伊東沖群発地震の震源分布(四角形)(東北大学, 1991による).

おり(図4), 同様の傾斜計の開発も進んでいる. 既存の横坑あるいはボアホールを考慮し効率的に利用することにより容易に設置可能にすることを目標にしている.

震源過程等の研究による地震発生場の不均質性の数kmの広がり及びマグニチュードが小さいにもかかわらず伊東沖群発地震にともなった地殻変動が5~10km離れた観測点で異常な歪・傾斜変動が明瞭に観測されていることを考慮すると, 今後は重要地域には二等三角点程度の広がり, すなわち10km間隔程度の地殻変動観測点配置が必要と考える. また異常地殻活動が認められた場合にはベリポイントの近傍に出来るだけ近づき一層の観測強化により多くのS/Nのよいデータを取得することが地殻活動解明のために重要である.

また測量などによる地殻変動観測も距離測定に関してはGPS計器の一層の進展と普及によりかなり容易になることが期待されるが, 水準測量に関しては重要にもかか

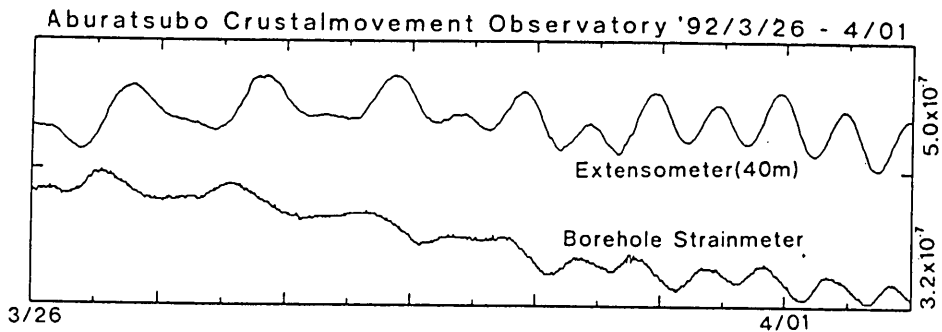


図4. 新しい小型多成分ボアホール歪計と従来の40mの長さの伸縮計により観測された記録例。

わずら時間と手間がかかるので自動車内から測定可能にすることなど能率化を進める方法の開発が望まれる。

6. 将来の東海地震と関東地震に向けた地震予知研究

地震研究所は地震に関する基礎的研究、日本全体の地震火山研究は勿論であるが、関東の首都圏に位置していることにより関東・東海に発生する地震・地殻活動を明らかにする責任がある。特に首都圏に被害をもたらすと考えられる地震は東京直下の中規模地震、房総沖の大地震、東海大地震と関東大地震タイプの地震である。特に最後の二つの地震は伊豆半島を載せたフィリピン海プレートの沈み込みに直接関連している地震であるとともに、東海大地震に関しては法律も出来ており、地震予知研究でも最重要である。従って関東東海のフィリピン海プレートの振舞いを総合的に研究することが二つの地震に関する予知研究を加速するために最も必要な研究と考える。伊豆半島および周辺は地殻活動も活発で被害地震、群発地震、異常隆起などが継続しており、相模湾・駿河湾も一体に考えたプレート活動は研究材料としても興味深い現象が多くある。伊豆における活動は将来の東海地震と関東地震に向けたポテンシャルの蓄積過程に現れた活動と理解しており、最近でも伊豆半島東部、西部及び東海地方において上下変動のレートが1986、7年頃から加速しており、プレートの沈み込みに変化があったのではないかと考えられる(図5)。このようなプレートの総合研究により、場合によっては将来の東海地震と関東地震に関する予知研究が一挙に進展する可能性も考えられると共に、伊豆大島など火山噴火予知に関する研究にも貢献が期待できる。関東・東海フィリピン海プレート総合研究は地震研究所の研究能力を結集して取り組む価値のあるテーマと考える。

7. おわりに

地球物理現象は一度発生したものは二度と同一の現象を観測することがないのが普通であり、大地震前後の現象を観測するにも発生頻度が少ないというのが通常の物理

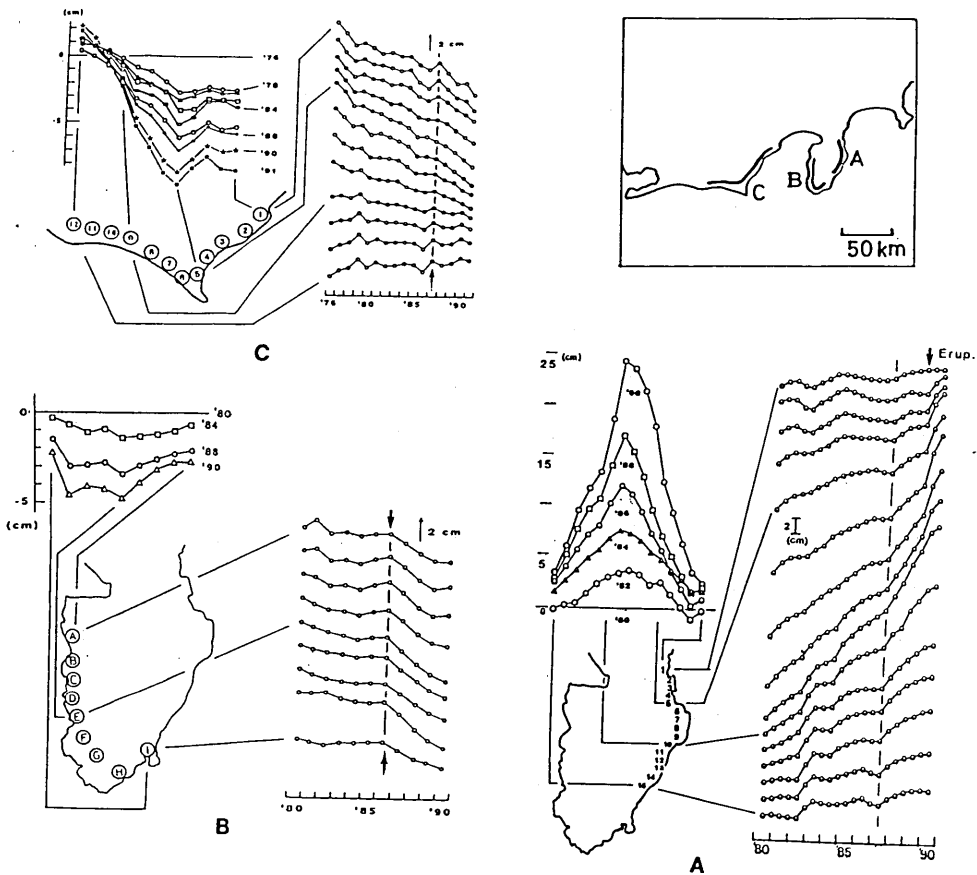


図5. 伊豆・東海における上下変動。

学研究と違うところである。従って「待」の姿勢ではなく地殻活動の活発なところで積極的に高密度・高感度の観測を精力的に行い地殻活動に関するデータ経験の蓄積を早めることが予知研究の進展に最も有効であろう。このような観測が安価にかつ取扱いも容易に出来るようになれば地殻活動の推移に関するデータを蓄積する機会も増加し、その中で重要な観測事実が発見されれば予知研究も一挙に加速するであろう。勿論、理論的研究、基礎的実験、地殻構造の研究などを含む基礎的研究の一層の推進も重要である。理論的研究も観測可能量による組立及び理論検証に向けた観測指摘などを考慮することが重要となろう(岡田, 1992)。

現在は地震・地球物理の分野においては観測計器の開発や観測を実施する研究者よりもパソコンの前でデータを待っている研究者の方が多くようである。以前の様に計算機の普及していない時代にはデータを解析するのに時間がかかったが計算機の進歩により短時間に完了してしまうからであろう。また現在は新しい解析法を開発して同

じデータをいろいろ活用する研究者も少ないため一つのデータから皆同じソフトで同じ結果が出てくるためもある。研究成果の評価基準の見直し，研究者の専門分野への適正分布及びデータ公開などにより，他の学問分野との相違を考慮した地球物理特有の学問進展の方法論もあるのではなかろうか。

文 献

- 竹本修三, 1987, レーザホログラフィと地震予知, 共立出版, pp. 180.
青木治三, 1989, 地震予知連絡会情報, 地震ジャーナル, **8**, 48-51.
ISHII and KATO, 1989, Detectabilities of Earthquake Precursors using GPS, EDM and Strain Meters, with Special Reference to the 1923 Kanto Earthquake. *J. Geod.S.J.*, **35**, 75-83.
KUMPEL, H.J., 1991, About the Potential of Wells to Reflect Stress Variations within Inhomogeneous Crust. Submitted to *Tectonophysics*.
石井紘, 松本滋夫, 平田安廣, 山内常生, 高橋辰利, 鈴木喜吉, 渡辺茂, 若杉忠雄, 加藤照之, 中尾茂, 1992, 新しい小型多成分ボアホール歪計の開発と観測, 地球惑星科学関連学会1992年合同大会共通セッション・シンポジウム予稿集, 205.
岡田義光, 1992, 経験的地震予知と決定論的地震予知, シンポジウム 内陸地震—発生の場合と物理—予稿集, 135-136.
東北大学理学部, 1991, 第98回地震予知連絡会資料.