

紀伊半島における地震観測の歩みと 現状及び今後の問題点

中 村 正 夫

東京大学地震研究所和歌山微小地震観測所

(1992年6月29日受理)

1. はじめに

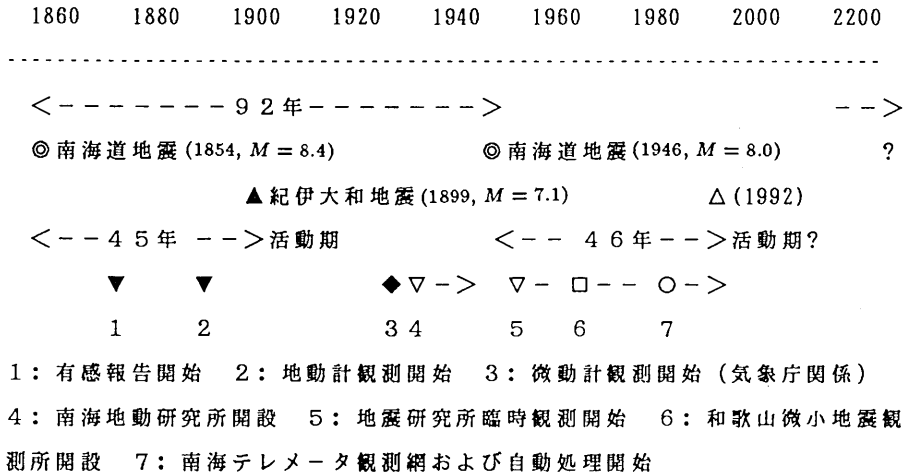
和歌山微小地震観測所は1964年4月の発足であるが、前身にあたる南海地動研究所(1928年設立)の発足以来の根本的な考え方として、繰り返し発生してきた南海道沖の大地震と中央構造線に代表される地質の大構造帯に関連する地震活動の本質をさぐることを研究活動の目的としている。現在、紀伊半島は勿論のこと、大阪や四国など各府県が地震防災の根拠とする想定地震に、まず、南海道地震を考えている。従って、当観測所が観測網を展開している紀伊半島および周辺地域は社会的にも地震予知を目指すべき重要なフィールドである。

2. 今日までの経過(表1参照)

紀伊半島やその周辺地域が我が国でも地震被害を被った回数の多かったことは歴史資料によって明白である(例えば、紀州災異誌(1968)によれば約60回の記載がある)。特に1854年(安政元年)南海道地震の被害は甚大であり、この影響であろうが地震観測に着手した時期も早く、和歌山県測候所で1879年(明治12年)に有感報告がはじまり、1888年(明治21年)には地動計が導入されている。紀伊半島での調査はこれ以後各地の有感報告として続けられている。しかし、学界で特に注目され始めたのは和歌山市付近の有感地震の増加が話題となり、簡単微動計の導入された1922年(大正11年)ごろからである。更に関東、但馬、丹後地震の発生が続き、今村明恒博士が次の大地震の予測のターゲットをここにおいたことが研究に拍車をかけた。これは彼が過去の地震活動の時空間分布資料を熟知していたこと、地震活動のサイクルを地塊の変動とからめて考えていたことによるが、根拠を公表し、実践した努力は先見の明といえよう。1923年以降は和歌山県測候所の地震調査報告(1924-1938)が、また1928年からは南海地動研究所の観測、調査報告(今村、1929)が始まっている。この時期の主な考察は

- 和歌山における1879年以降の有感および無感地震の統計

表1. 紀伊半島における地震観測と安政, 昭和南海道地震の関係(概略)



- 紀伊半島の歴史上の被害地震のまとめ
- 1901年以後の主要地震の震源分布図作成

などがあり, 1924年以降は有感報告に近傍測候所資料を含め

- 計測結果の公表, 震源決定, 地震数の地域別統計処理

などが行われている。また, 1928年以降の南海地動研究所の観測資料から,

- 和歌山周辺部の地震発生地域の修正(紀淡海峡付近の地震活動について)
- 局地地震の捕捉 地域は和歌浦湾近傍で地殻隆起運動地域にあたりと判断。
- 有感地震についての発生範囲の地域性

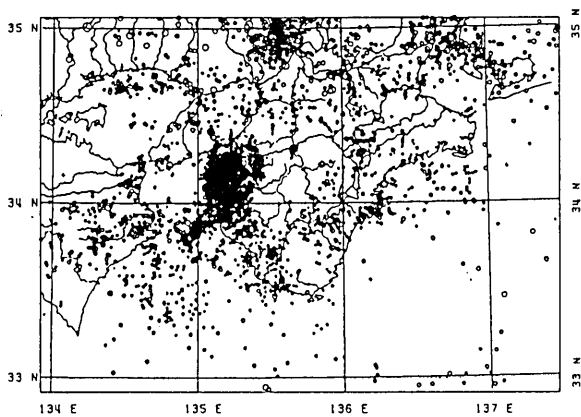
などが新たに指摘されている。

更に, 1930年代には両者の資料を基に次のような調査研究がある。

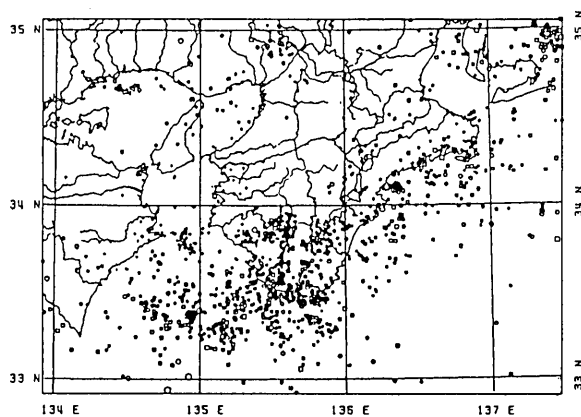
- 地殻内反射面の存在の示唆
- 発震機構の解釈(四象限型と円錐型)
- 有感地震の有感範囲の乱れ 振幅の異方性
- 和歌山地方の地震についての統計的研究
- 1938年田辺沖地震の総合調査報告
- 過去の大地震被害調査報告

などである。しかし, 財政援助の破綻と協力者の出征などで観測維持が難しくなり, 南海道地震の前兆現象を云々できる十分な資料を得ることなく終わっている。また, 戦

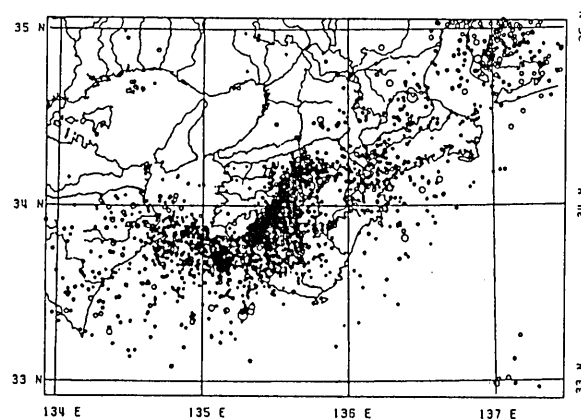
(A) : $H = 0 - 15 \text{ KM}$
NUMBER OF EARTHQUAKES : 10600



(B) : $H = 15 - 30 \text{ KM}$
NUMBER OF EARTHQUAKES : 1796



(C) : $H \geq 30 \text{ KM}$
NUMBER OF EARTHQUAKES : 3028



参考図. 紀伊半島の深さ別震源分布図 (期間: 1987-91年, $M \geq 1.0$)

災のため、和歌山地方気象台(県測候所)の原記録が全部焼失しており、南海地動研究所、潮岬、洲本測候所における断片的な記録だけでは詳細な吟味を行うことは難しい。東南海、南海道地震の発生後、紀伊半島の地殻変動は注目されはしたが、本格的に観測研究が開始されたのは東京大学地震研究所、京都大学理学部、気象庁が合同で調査を行った1950年代のことである(宮村・他、1955)。この時期の結果は

- 和歌山付近の地震の深さの範囲
- 和歌山局地地震の発震機構は単純な水平横ずれ型ではない
- 有感地震の震度分布の異方性
- 新しい観測システム(テレメータ観測)のための予備観測

などがあるが主に臨時観測あるいは有感報告によるものであった。連続記録は1960年地震研究所地震活動部門(宮村研究室)によって始まり、当観測所に受け継がれた。紀伊半島全体としては1965年から継続中である。この間の成果は多くの論文があるが、主には

- 地震の空間分布の状態がはっきり見られるようになったこと
- 地殻構造の議論が始められたこと
- 破壊面を議論できるメカニズム解が得られ始めたこと
- 時系列に経験的法則性が見られる幾つかの例証が見つかってきたこと
- 地震波 Phase, 振幅についての議論が始められ、地震の破壊現象としての定量的な考察が始められたこと

などである。しかし、各点がデジタル3成分観測資料となり、地震波の詳細を調べられるようになったのは1982年の4月であり、現在、約10年間の資料が得られた段階である。微小地震を含めた観測により最近約30年の活動状態はかなり明らかになった(溝上・他、1983; 溝上・中村、1988)が、問題はそれ以前の活動から得られた結果とはかなり異なることである。これは、時間変化であると考えべき点もあるが、過去の資料の曖昧さのために結果を確定できない点も無視できない。最も重要な南海道地震前後については特に不明な点が多く、今後の資料を含め吟味と検証が必要である。

このような問題はあるが現段階で紀伊半島に関する地震活動のイメージをまとめると次のようになる。

先ず、地震活動は大きくA~Dの4つに分類される。(図1参照)

- A) 和歌山市近傍に代表される地殻上部の地震で、この活動は地域性が顕著であり、メカニズム解は水平横ずれと垂直縦ずれの中間にあたり、スラスト型が多く、ばらつきも大きい、主な主圧力方向は東西である。和歌山市付近の活動範囲はここ30年は大きな変化はないが、過去の結果報告とは一致していない。また、近傍の龍門山付近には1970年ころより新たな活動域が出現し、その南の延長部に被害地震(1987, M5.6)が起こった。地域内で微小地震が頻発し活動の推移消長から、推定断層、活動の繰り返し現象など、

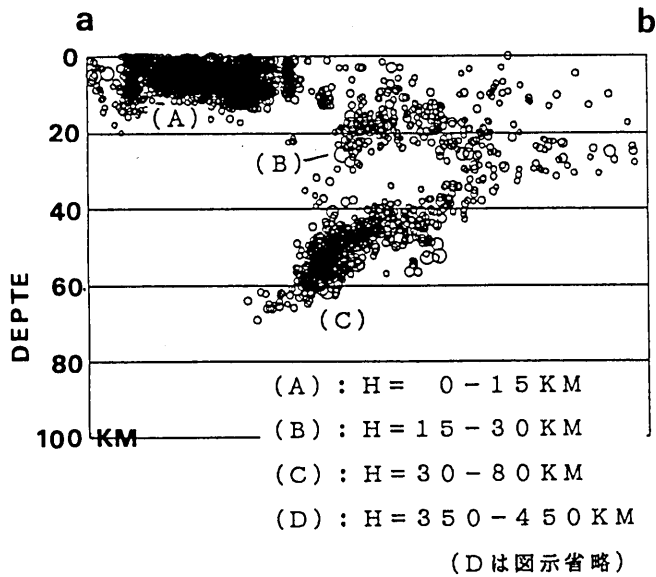
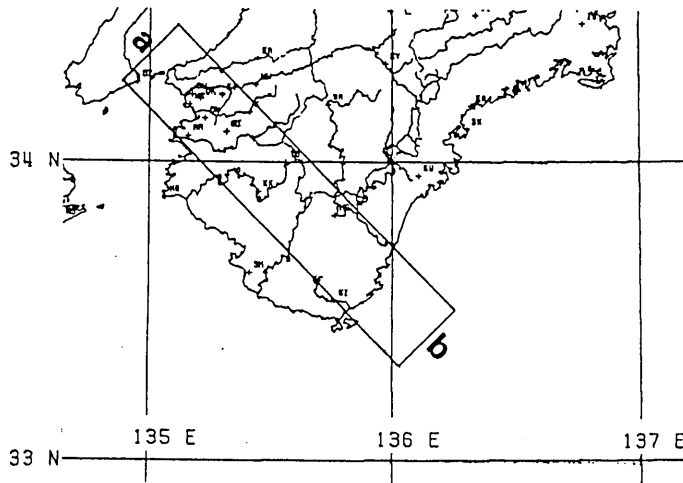


図1. 紀伊半島における地震活動の特徴を示す垂直断面図の例 (紀伊半島南西部のNW-SE断面 (a-b), 幅:30km, 期間:1987-91年, $M \geq 1.0$)

など比較的短期に諸現象をみることができるため、地震予知の経験則を見る1つの有力なフィールドである。速度構造、構成岩層も多様性を呈しており、破壊現象の場としては興味深い所である。

- B) 紀伊半島南部に限られた範囲でA, Cの中間的な1群の活動が見られる。この北限は御坊-本宮線に当り、東南海、南海道両地震の余震域の北限とほ

ば一致している。この一群の活動は前二者ほど顕著ではないが、やや非定常的であり、活動域は地殻下部地域にあたる。メカニズム解は複雑であるが、上部のものは地殻上部の地震に類似した水平横ずれ型、下部のものは正断層型が多く、いずれにしても東西圧縮、南北張力場が考えられる。この活動は次のCの活動が活性化する前後に増える傾向があり、東南海、南海道地震後の紀伊半島南部の群発活動がこの種のもが含まれていた可能性がある。地殻変動に敏感な活動と思われるので紀伊半島の応力場の変化のバロメータの役割を担っていると考えている。

- C) フィリピン海プレートの潜り込みに関連すると考えられる地殻底下地震であり、傾斜に伴う深さ分布を示し、メカニズム解は地域的依存性が強く、紀伊半島下では正断層型が多い。紀伊水道沖から四国方面は南北に主圧力軸を持つ水平横ずれ型が多く、潮岬南方沖では東西主圧力場のものが多くなる。しかし、この結果は近年のもので南海道地震の直後のものとは一致していないようであり、極く最近の例ではやや顕著な地震で正断層型と求まるものが得られており、変化の兆しとも見える。従って、地域、深さ、時間経過を含めた四次元的な解釈が必要である。
- D) 熊野灘沖から日本海に及ぶ深発地震で太平洋プレートの潜り込みに伴う活動と考えられるもので、紀伊半島近傍での深さは主に350-450kmのもので、メカニズム解は正断層型が多く、震央にあたる紀伊半島近傍より関東、東北南部方面で揺れがはるかに大きくなることが多い。この活動と浅い地震活動との関係については、広域問題として今後の検討課題である。

3. 今後の観測に関する基本的な問題

これまでに示したように紀伊半島の地震活動は時空間分布が複雑な様相を呈している。しかし、微小地震を含めた資料は30年に満たない。これは大地震の繰り返し周期である100年前後の長さには比べれば1部に過ぎない。もし、過去2度の南海道地震を1周期として捉えるならば、1854年の地震後は約10年の余震活動期と約35年の静穏期を経て1899年の紀伊大和地震($M=7.0$)以後に活発化したこの前例に習えば、1944年、1946年の東南海、南海道地震後、約45年を過ぎた現時点が活発化の開始時期に当てはまる。ごく最近の地震に見られるメカニズム解の変化や紀伊半島南部の地殻変動の動向は、この予兆と捉えるべきかも知れない。地震予知は、まず、被害地震を対象としたものであるから、震度4以上を与える地震を念頭に置かねばならない。上に述べたAの活動については震源の深さは浅く(1~数km)、減衰が非常に大きいため局所的ではあるが $M=5$ 程度で被害が生じる。稠密地震観測網で調査していく必要があり、加えて、高周波成分の精査が必要である。震源距離が短いため、他分野のnear-field特有の物理量も計測が可能と思えるので、この活動を多角的な地震予知実験、研究の最適場とみることができ、深層ボーリングの有力な候補地でもあり、岩石破壊モデルを自然の場に適用して考えられる1つの候補地と考えている。B、Cの活動は南海道地震に直接かわるもので、目的に叶う精度を保証できる観測網が必要で、現在の観測

網では極めて不十分である。海側の観測強化を含めて考えねばならない。次の南海道地震まで早ければ20~30年と言われており、整備が間に合わなければ、また、100年を無駄にすることになる。Dの活動はグローバルな遠地地震を含め広域ネットでの監視が必要である。

4. 今後の問題点

以上に述べた経緯から、具体的にここ数年から10年程度の計画を先ず考えてみる。この場合、観測網の再構築、観測機器や通信システムの導入には調査、維持管理に多くの労力を必要とすると同時に時間と経費が必要であり、一方、研究の進歩を促す観測内容が要求される。観測所運営問題は保留することにして、具体的な実行案を示す。

(1) 重点地域を設定した目的観測の強化の必要性

この場合は先ず、従来の研究対象の延長にある部分から行うべきである。目下、当観測所としては次の2つの案を準備中である。

- (a) 活動変化の北上の兆しがある紀伊半島南部について発震機構の変化、微細構造を求めるための観測網の整備(ダイヤルアップ方式の観測網)。
- (b) 局発性地震に対し、臨時多点観測網による震源(破壊域)移動現象について精査する試み(多点同時トリガー観測システム)。

この種の観測は他分野との共同観測が望まれる。この場合も現地の諸々の事情に詳しい者がいることが前提であり、また、現地拠点(地域センターの性格を持つ観測所)が必要である。他分野との連携強化の必要がある例としては

直接例: 海域観測との連携観測による解析資料の向上。

間接例: 地殻変動、地磁気、地電流、重力、地球化学関係などの諸量との同時観測による相関の有無や割合。

岩石実験結果に基づくnear-fieldでの地殻変化量の期待値と実測値との比較(実験モデルの自然界での検証)。

(2) 定常観測の継続の必要性

該当地域の活動変化(想定モデルと関係づけた活動度と応力場)を捕捉できる観測網。具体的に震源精度、発震機構決定の品質および処理の即時性が保証されるもので、前記の重点観測の基礎とできる内容を持ち、連続性が議論できるものでなければならない。

目下のところ従来の監視内容を維持できる他機関は無いので、取り合えず継続していく必要がある。しかし、将来を考えれば、よりルーチンの性格の観測にふさわしい適当な受け皿となる機関を作る必要がある。

5. あとがき

最後に“地震予知”研究上で重要なことは次の3点であると思う。

1. 根拠 (基本的に確立された経験則や物理法則)
2. 根拠 (対象となる地震の発生頻度は低いものであり、十分な時間をかけて見守っている必要がある。)
3. 勘 (目下のところ地震予知に適用可能な経験則や物理法則は甚だ心許ない段階にしか達していないと思う。恐らく、地域性を考慮した経験内容から確率的に見た判断が必要であろう。この場合、当該地域における事象に普段から注意深い観察眼を養うこと (試行錯誤による方法) が重要であろう。)

この内、(1)の重みを深めていく必要があるのは当然であるが、現状での信頼度は残念ながら未知数である。従って、経験則の収集は今後益々重要であり、これには観測精度の向上が必須条件となる。テレメータ観測時代とは言え皮相的な観測に終わってはいけないという反省がある。活動域近傍での臨機応変を要する観測は益々重要な意味を持つことから地域観測従事者の育成も必要である。問題は地震予知に対し、従来の根拠とされる結果を吟味した上で進展度、限界を認識し、確率を高めるような内容を持つプロジェクトを育てる必要がある。特に、観測運営には経費、人材の確保が不可欠なことを認めて企画すべきである。

文 献

- 和歌山地方気象台編, 1968, 紀州災異誌, 和歌山県防災気象連絡会。
和歌山県測候所編, 1924-1938, 和歌山県地震調査報告, 第1-19巻, 和歌山県立地方測候所。
今村明恒, 1929, 関西地方に於ける地震観測網, 地震, 第1輯, 1, 3号, 雑録240。
宮村撰三・堀実・辻浦賢・松本英照・岡田悳, 1955, 和歌山頻発地震群の研究概要, 東京大学地震研究所。
溝上恵・中村正夫・瀬戸憲彦・石柘征夫・横田崇, 1983, 紀伊半島における微小地震の震源分布に見られる三層構造と発震機構との関係について, 地震研究所彙報, 58, 287-310。
溝上恵・中村正夫, 1988, 和歌山平野の群発地震活動と震源掘削の意義, 陸上學術ボーリング候補地集II, 陸上學術ボーリングワーキンググループ。