「地震予知」は可能か?

松村 正三

1. はじめに

6.400名を越える命が奪われた阪神・淡路大震災(兵 庫県南部地震, 1995.1.17, M7.2) から3年が経過し た、多くの後遺症を残しながらも、車窓から見える風 景にはもはや震災の影は薄い。壊れた物は遠からず復 旧されよう。けれども人命は決して戻らないことを思 う時、あらためて地震予知という課題の意味とその重 さを痛感させられる。皮肉なことにこの地震の前後か ら「地震予知」の可否が声高に議論されるようになっ たのである。議論に火をつけたのは東京大学のロバー ト・ゲラーである。氏は、雑誌 Nature への寄稿「1] の中で、日本の地震予知に関わる学界の姿勢と科学技 術行政のあり方を痛烈に批判した。これをきっかけと してその後、地震予知推進派と批判派、あるいは地震 予知可能論と不可能論の間の長期にわたる論争が続く ことになったのである。この小論の表題はこの論争の 結末を展望するものであるが議論の決着がついたわけ では決してない。論争のテーマは多岐にわたり、個々 の研究者の考え方は千差万別である。それらをレビュ ーすることは筆者の手に余ることであり、そのような 意図を持ったわけでもない。しかしながら、防災に関 わっての地震研究に携わる以上この問題から目を背け ることはできないはずであり、それなりの考えがあっ てしかるべきである。そのような意味で、ここに述べ ることは地震予知に対してのあくまでも筆者個人とし ての意見であり、感想である。

2. 地震予知研究の推移

本題に入る前に地震予知に関わる研究や事業体制の 推移を簡単に振り返ってみよう。「地震予知」という

中である。この計画のもとに実施された各種観測結果 を持ち寄って議論する場として地震予知連絡会が設け られた。連絡会の事務局を担当するのは国土地理院で ある。ちなみに観測に関わる機関は、地理院のほか、 気象庁, 地質調査所, 海上保安庁, 防災科学技術研究 所, 通信総合研究所, そして大学等, と多岐にわたる。 これら多機関の施策を調整するため科学技術庁に地 震予知研究推進本部が設けられた。この一方で、1976 年に石橋克彦(当時,東京大学,現,神戸大学)が駿 河湾地震説(いわゆる東海地震説)を発表し[2], 社 会に大きな波紋を投げかけた。これを契機として、 1977年、地震予知連絡会に(後には気象庁に)東海地 域判定会がおかれ、1978年、大規模地震災害特別措置 法が制定されるなど、学界のみならず一般社会を巻き こんでの実質的な地震予知体制が走り出した。ところ が、1983年日本海中部地震(M7.7)、1984年長野県西 部地震(M6.8), 1993年北海道南西沖地震(M7.8)など 大小の被害地震を見ながらも予期された東海地震は発 生せず、前述のゲラーの批判に至ったのである。1994 年に学術会議のもとで開催された「地震予知シンポジ ウム」では、それまでの学術講演会とは趣を異にして "地震予知は可能か?"といったそもそも論がテーマ

として掲げられた。そして、その翌年に勃発したのが

兵庫県南部地震である。この地震はもともと予知が困難であるとされていた内陸のM7地震であったが、発

生した被害の甚大さ故、予知計画にも影響を及ぼさず

にはすまなかった。この後、地震予知研究推進本部は

考え自体は古くからあったはずであるが、現在の地震

予知研究につながる流れは1962年地震学者有志によっ

て作成された「地震予知ー現状とその推進計画」(ブループリントと呼ばれる)に始まる。これをバックボ

ーンにして1965年に第1次地震予知研究計画が発足し

た。4年後の第2次からは研究の文字が削除され、国

家事業としての地震予知計画に衣替えされた。その後, 5年ごとに計画が更新され、現在は第7次計画が進行

まつむら しょうぞう

防災科学技術研究所地震調査研究センター

〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1

地震調査研究推進本部と改称され、全国を網羅する基 盤的観測施設の整備等、国の地震対策は抜本的に見直 し強化されることになった。ところがその一方では、 地震予知を標榜することにむしろ後退の姿勢が現れ始 めたのである。1997年度には第7次計画に対するレビ ュー作業が実施されたが、ここに至って30年来遂行さ れてきた事業および研究内容に対する深刻な反省が取 り入れられ、それまでの施策の進め方に疑問が投げか けられることになった。ある意味ではゲラーの批判が 受け入れられたといえよう、もっとも、ゲラーの舌峯 はこれらの反省をはるかに凌駕したものである。 当初, 彼の批判は、成功するかどうか分らない曖昧な地震予 知事業に多くの国家予算を注ぎこむべきではない、と いう論調であったが、今では、地震予知は原理的に不 可能であると主張するまでになり、世界中の地震学界 を巻きこんでの論戦を展開するに至っている。 もちろ ん, 予知不可能論への反論も多い. 反論の主たる根拠 は、世界を見わたせばすでに成功例がある、というも のである。有名な例は中国の海城地震(1975, M7.3) である。この地震では予知によって多くの人命が救わ れたということは歴とした事実なのであるが、ゲラー にかかれば、これすらも"単なる偶然"の一言でかた づけられてしまう。 論争の一方の焦点は、ギリシャの VAN法(地電位の異常検出による地震予知) である が、これもまた今なお議論百出の状況にあって当面の 決着は期待できそうにない。筆者の感想を述べれば、 ゲラーの論調はあまりにも断定的に過ぎ, 予知可能論 に対して氏が批判する厳密な科学的検証の欠如は, 氏 自身の論法においても同様であると言いたいところで ある. けれどもまた、今までの予知研究の成果が氏の 論法を打破するに足る説得力を持たないということに も頷かざるを得ない。単に地震との時間的、空間的近 接性に依拠する前兆現象を材料とする限り、たとえ千 個の実例をもってしても氏を納得させることはできそ うにない. 地震予知が科学としての説得性を持つため には、地震の前後を通じて観測される現象の因果関係 を物理的に解釈でき、さらに、その解釈のもとに将来 の現象が予測され、その予測にもとづいたシナリオど おりに実際の現象が進行する、といったプロセス、す なわち、現象→解釈→予測→検証というループの成り 立つことが必須要件である。現在、学界では第8次予 知計画をいかに立ち上げるかについて盛んな議論が重 ねられているが、その結果、新しい目標として現象の 物理的な解釈とこれにもとづく地殼活動予測システム

の構築, が掲げられようとしている. これは, 前述の 要件に適ったものであり、正しいアプローチである。 が、筆者は、じつはこの方針にも一種の不満を抱いて いる、従来の手法が現象論に傾きすぎていた、という ことを反省するあまり、こんどは、原則論、一般論へ と傾きすぎ、その成果がまたしても絵に描いた餅とな るのではないか、という疑念を拭いきれないからであ る。筆者の主張は、対象を特定しない一般化された地 震予知研究というものは成立せず, そして, 今の時点 で対象となり得るのは東海地震をおいては他にない. ということである. 地震予知を標榜することがまだ社 会的に受け入れられていた頃、"予知可能な地震は東 海地震だけである"といった言い訳じみた但し書きが 常用されていた。この言葉は、いまや"東海地震でさ え, 予知されるかどうかは分らない", という言い方 に変貌してしまっている. それでは、実際のところは どうなのだろうか、といったわけで、ここであらため て東海地震の予知の可能性を検討しようというのが本 論の趣旨である.

3. 東海地震の様相

"まだ起きていないにもかかわらず、その名前がつけられている地震学的にみて珍しい地震である"とゲラーによって揶揄された「東海地震」であるが、石橋の提唱以来すでに20数年を沈黙のまま経過して、その実在性への疑念さえもがささやかれてきた。しかし、実際にはこの間、観測技術は飛躍的に進展し、東海地震の様相は少しずつ見えてきているのである。

東海地震は, 駿河湾の底を南北に走る海底の谷筋 (駿河トラフ) から北西方向に 4 cm/年程度の速さで 潜りこむフィリピン海プレートが上盤のプレートを一 緒に引き摺りこみ、100年に及ぶ年月を経過して数 m のオーダーに達した引き摺りをある日一挙に解消する 際にマグニチュード8規模の地震として起きるもので ある. 御前崎の沖合にいずれこのような大地震が起き るだろうということは、石橋以前から注意されていた. 静岡の西部に大きな歪が蓄積されていそうだ、という ことが測量の結果として早い時期に知られていたので ある. 現在, 御前崎は掛川を基準にすれば年に 5 mmの 割合で沈んでいる. このままでいけば御前崎は海中に 没してしまうはずであるが、現に岬として存在し、し かも、岬の先端部は内陸部よりも反り上がっている. これは、岬が平時は沈降するが、地震の折りには反転 隆起し、この繰り返しによってトータルとしては隆起

分が積み重なってできたものであることをものがたっている。

こうした事情から御前崎沖を中心とする地震すなわ ち「東海沖地震」の発生が問題にされるようになった のは1970年代の初頭であった。この段階ではまだ震源 域を特定するに至らず、大地震の心配も学界の内輪に 留められていた。同じ頃、石橋は、古文書等を通じて 過去に起きたふたつの「東海」地震。1854年安政東海 地震と1944年東南海地震の痕跡を調べ、双方の震源域 が大幅に異なっていたことを発見した。1854年の地震 では震源域が駿河湾の奥深くまで入りこんでいた一方、 1944年は湾口にまでも届いていなかった。そのため湾 内には1854年以来の歪の蓄積が解消されず残っている。 と指摘したのである。これによって「東海沖地震」は 「駿河湾の地震」であると結論し、それが「東海地 震|として世間に流布されることになったのである。 図1のF1が石橋による予想断層面であり、これは 東海地震像を具体的に描写した最初の図となった。

けれども当時、駿河湾からのプレートの潜りこみが 直接的に確認されていたわけではない。地殻変動や津 波など過去の地震の痕跡からその存在が推定されてい たにすぎないのである。これが明らかになったのはそ の後の微小地震観測データの積み重ねによる。図2の (a) は駿河湾を北西ー南東に横切る断面で微小地震の 分布をみたものであるが、上下盤のプレートの存在と

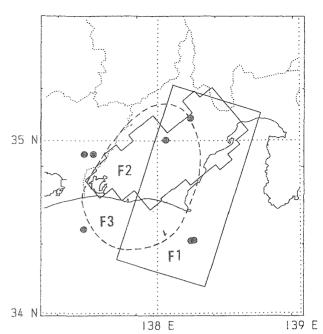


図1 種々の想定震源域、F1は石橋による、F2は筆者が微小地震分布から推定したもの、F3は吉岡の結果にもとづいて筆者が描き出したものである。 黒丸は1996年10月~1997年10月に発生したM4以上の地震の震央。

そのぶつかり具合が明瞭に見てとれる。ただし、これだけでは東海地震の存在を確認したことにはならない。 たとえプレート同士が擦れあっていても接触が滑らかであればいわゆるプレート間地震は起こらないからである。地震が起きるためには、潜りこむプレートが上

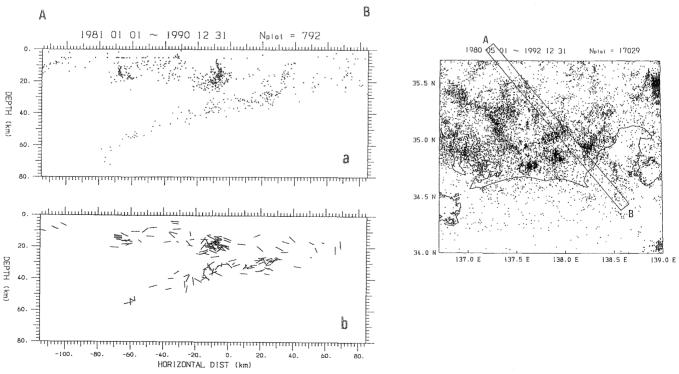


図2 東海地域の微小地震の分布(a)と, 圧縮軸の方向(b).

盤のプレートにくっついて(固着)これを引き摺りこ み、その結果、固着部の周囲に応力のたまっているこ とが必要である。この状況を見きわめること、すなわ ち応力を観察することは一般には非常に困難であるが、 間接的にということであれば、現在、2つの方法によ って推定することができる。1つは、微小地震データ から応力の方向を解析するものである。図2の(b)は 地震を起こす2組の応力の内, 圧縮軸の方向を見たも のである。図3はこの分布パタンを解釈するためのイ メージである。上下盤のプレートが太線部分でのみ固 着しているとすると、太線の周囲には図に描いたよう な応力パタンの発生することが予想される。これと観 測データである(b)のパタンとを見比べることによっ て大略の固着範囲を限ることができる。図1のF2 はこうした作業の繰り返しによって筆者が描いた推定 固着域である。2つ目の方法は、地表での測量データ から逆算するものである。 プレートの接触部分の形状 が与えられれば,これを弾性体と仮定して地表での測 量データから地下での引き摺りこみ分布を逆算するこ とができる。図1のF3は、吉岡[3]が求めた引き 摺りこみ分布から大きさが3cm/年(プレート間相対 速度の75%)を越える領域を囲ったものである。最近 では GPS 観測データからも同様の結果が得られてい る[4]、それぞれに多少の差異はあるが、全く異なっ たデータや方法から同じように固着を示唆する領域を 特定することができたことは、現に静岡西部の下にプ レート間固着のあることを疑いのないものとしている.

4. 東海地震の予知

さて、東海地震の発生時期についてであるが、これの長期予測は一筋縄にはいかない。駿河湾に特定するかどうかを別にすれば、将来、東海地震が起きることについては研究者間に大きな異論はない。が、具体的な時期となると途端に曖昧になる。過去の記録を見る

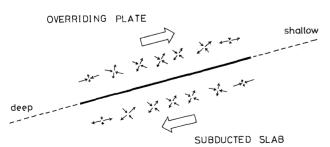


図3 プレート間固着のイメージ、および固着したまま プレートが相対運動をする場合に固着部の周囲に 生じる応力パタン.

と、東海地震は基本的に南海地震とペアで起きてきた (図4). ただし、約120年の間隔で規則的に繰り返してきた南海地震に比べると、東海地震はそれほど規則的ではない。そもそもプレートの動きから言えば、歪の蓄積速度は、東海は南海よりも遅い。したがって、仮に地震時のスリップ量が同じだとすると東海地震の回数は南海地震よりも少なくなるはずである。実際には東海地震のスリップ量は南海地震のスリップ量よりも小さく、プレート運動の差による効果は打ち消されている。こうした状況を見ると、南海地震の方が主導権を持っていて東海地震を誘発するのだ、と考えたくなり、したがって、次の東海地震も次の南海地震と同時期に起きるだろう、という議論が出るのは当然のなりゆきである。実際、東海地震が単独に起きた例は歴

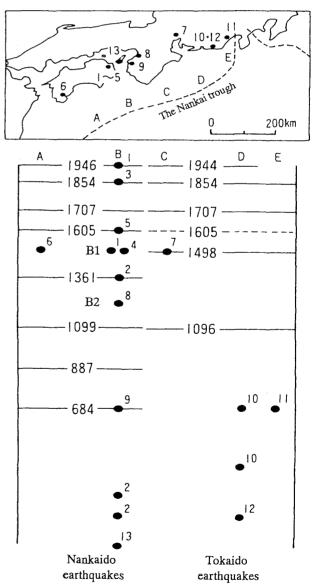


図4 東海地震と南海地震の発生時系列(図は [10] から抜粋). 黒丸は寒川 [13] が遺跡調査にもとづいて推定したもの.

史上みあたらない。ところがペアを組んだケースでは 南海地震よりも東海地震の先行する場合がむしろ多く, 結局のところ東海地震と南海地震の関係を合理的に説 明することはできていない。東海地震単独で考えるな らば、平時の歪の蓄積速度と地震時のスリップ量を比 較して地震の繰り返し間隔(T)を求める方法がある。 この場合、永年変化分を考慮して地震時の変動量から この分を差し引く必要があり、推定しなければいけな いパラメータは少なくとも3個ある。それぞれの値を 正確に評価することはなかなか困難であるが、たとえ ば瀬野「5] は、T=123~250年という値を導いてお り、前回の1854年から数えれば次回は1977~2104年と なる。一方、昭和のペア(1944年東南海地震-1946年 南海地震) では何故「東南海」であって「東海」にな らなかったのか、ということも疑問点である。これに ついては茂木「6」が。1891年に起きた濃尾地震が影 響したためである、との解釈を与えており、Pollitz & Sacks [7] は、この考えにもとづいた計算から、 東海地震の発生は少し遅れて1999±6年に臨界となる (ただし、震源の位置によってはもう少し遅れるかも しれない)とした。東海地震に比べ南海地震の繰り返 しはもう少し単純であり、次回の時期も2038±36年 [8], 2040~2060年[9], 2006±10年[10], といくつも の予測がなされている。

以上,かなりの幅があるものの南海地震との連動を 視野にいれたうえでもやはり東海地震は予測範囲の中 に入っている、と考えておく必要があるだろう。

それでは、本命である短期的予知についてはどうだ ろうか。当初、東海地震は予知可能、と宣伝された最 大の理由は、1944年東南海地震の前に異常な地殻変動 が観測された、という実績があったからである。事実, 東南海地震では水準測量によって発生の1日前から掛 川付近での異常な隆起が検出されていた[11]。ところ がこれに対してもまた、掛川が震央から100km以上も 離れていたため、本当に前兆だったのか、という疑い がかけられている。疑いを解くためには、こうした現 象の起きる必然性を説明することが求められる。近年 になって地震の前後を含めた断層運動の全過程を数値 シミュレーションによって再現しようという研究が盛 んになってきた。このようなシミュレーションの結果 を踏まえることで、掛川で観測されたような地震前の ゆっくりとした動き(プレスリップ)の可能性が一躍、 現実味を帯びることになったのである[12]。これは大 変重要な進歩である。基本的には、観測事例を集めて

一般的な地震の過程を描き出すことが必要なのではあるが、いかんせん大地震の観測経験は極めて少ない。また、地震ごとの特性の違いも問題である。だからといって、これから東海地震の経験を2、3回積んでから本番に臨みたい、などといった悠長な願いは許されないだろう。必然的にシミュレーションにもとづく予測が鍵を握ることになってくる。

最近。東海地震の想定震源域の周辺が騒がしい。き っかけは、1996年10月5日静岡県中部に起きた地震 (M4.3)である、これを皮切りに7個の中規模地震が 立て続けに起き、週刊誌上でも騒がれる、という事態 に至った。この規模の地震がこれほどまでに頻発する のは統計学的にみても異例の出来事である。さらに問 題なのは、地震の回数やその発生場所(図1に示すよ うに想定震源域を取り囲むように発生した)のみなら ず、それらの地震のタイプが従来とは異なっていると いうことである。これは、図3で解釈したような応力 の枠組みが崩れ、想定震源域全体にわたっての応力の かかり具合が変ってきていることを想像させる。しか もデータを見直すとそのような状況が今になって突然 始まったことではなく、1990年代の当初から少しずつ 進行してきたものであるように見えるのである。その 気で見れば御前崎の沈降具合にも90年代に入ってから 変化が現れているようであり、これらの現象は、シミ ュレーションが予測する極めて緩慢なプレスリップの 始まりである、と見ることもできる。もちろん、これ がそのまま固着域の全面的な破壊である東海地震に発 展すると断定するわけにはいかない。一定であるかの ように見えるプレートの動きも細かく見れば緩急があ り、それに伴う地殻の活動にも波のあることが知られ ている。今回の異常活動や異常変動もいずれ収って元 の状態に復する可能性も低くはないからである。けれ ども仮にこのような異常活動が東海地震につながるも のであるとするならば、このことは同時に、予知が実 現される可能性も出てきたということを意味する。も しも地震前の応力の蓄積が坦々と進むものであり、 あ る日突然全体が滑ってしまう、という流れが自然の摂 理であるのならばここには予知の可能性は全くない。 逆に言えば、観測された現象がそれまでとは違う変化 を示すということは、シミュレーションを介して、そ の時点で我々が地震前のどの段階にいるのかを知る手 づるが得られるということである. 今得られている観 測結果はシミュレーションによる解釈と結びつけられ そうであり、そのことは先の期待をふくらませてくれ る.シミュレーションによれば、地震に近づくほど異常変化がより顕著なものに成長すると予測されている。これからも続いて起きるであろう変化を注意深く観察しシミュレーションの予測と対比できれば、すなわち、観測(現象)→シミュレーション(解釈)→シミュレーション(予測)→観測(検証)のループが完成されれば、今はまだ朧気な東海地震の様相とその動きが明確に描かれることになるだろう。

5. 地震予知は可能か?

あらためて標題の質問を掲げる。筆者の答えは、繰 り返しになるが"予知の可能性がある地震は東海地震 だけ"である。理由は、前節までに紹介したように、 東海地震についてはとにかくもその様相と変化の過程 が見えているからである。 そして将来起きるはずの地 震についてそのように見えているのは、今のところ筆 者の知る限り東海地震の他にはないからである. ただ し、残念ながら"東海地震は、予知可能である"とま では言えない。なにしろこれから起きることはすべて 未経験な事態なのである. シミュレーションによって 地震直前に地殻活動に大きな変化の出ることが予測さ れてはいるが、しかし、それを検出できたとしてどの くらい自信を持って判断ができるのか、意味のある警 報を発信できるのか、そういった実際的な意味での予 知に成功するかどうかはやはり未知の問題なのである. 結局, 問いに対する本当の答えは東海地震が起きたと きにはじめて得られることになる. その時に予知が不 成功に終るとすればわれわれは予知の実現を当分望む ことはできないだろうし、逆に、成功するならばそれ をもって長い間の論争に一応の終止符を打つことにな るだろう.

参考文献

- [1] Geller, R.J., 1991, Shake-up for earthquake prediction, Nature, 352, 275-276.
- [2] 石橋克彦, 1976, 東海地方に予想される大地震の再 検討-駿河湾大地震について-, 地震学会講演予稿集, 2, 30-34.
- [3] Yoshioka, S., T.Yabuki, T.Sagiya, T.Tada and M.Matsu'ura, 1993, Interplate coupling and relative plate motion in the Tokai district, central Japan, deduced from geodetic data inversion using ABIC, Geophys. J., 113, 607-621.
- [4] 多田堯, 鷺谷威, 宮崎真一, 1997, GPS でみた変動 する日本列島, 科学, 67, 917-927.
- [5] 瀬野徹三,1977,垣見俊弘氏と松田時彦氏の論説に対するコメント,地震予知連絡会東海部会資料,25-27.
- [6] 茂木清夫, 1980, 「東海地震」と濃尾地震の関係について, 地震予知連絡会会報, 24, 162-163.
- [7] Pollitz, F.F. and I.S.Sacks, 1995, Consequences of Stress Changes following the 1891 Nobi Earthquake, Japan, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 796-807.
- [8] 島崎邦彦, 1977, 地震の繰り返し発生の単純なモデルと東海地域の地殻変動, 地震予知連絡会東海部会資料, 32-40.
- [9] 堀高峰,尾池和夫,1995,南海トラフの M 8 級地震前後の西南日本内帯の地震活動の変化に関する統計モデル,地震予知連絡会会報,54,551-556.
- [10] 名古屋大学理学部, 1996, 南海道地震の発生時系列 と再来モデルの再考, 地震予知連絡会会報, 56, 573-578.
- [11] 佐藤裕, 1970, 1944年の東南海地震に伴う地殻変動, 測地学会誌, 15, 177-180.
- [12] 加藤尚之,平澤朋郎,1996,仮想東海地震に先行する非地震性すべりと地殻変動の予測,月刊地球,号外No.14,126-132.
- [13] 寒川旭, 1992, 地震考古学, 中央公論社, 251pp.