

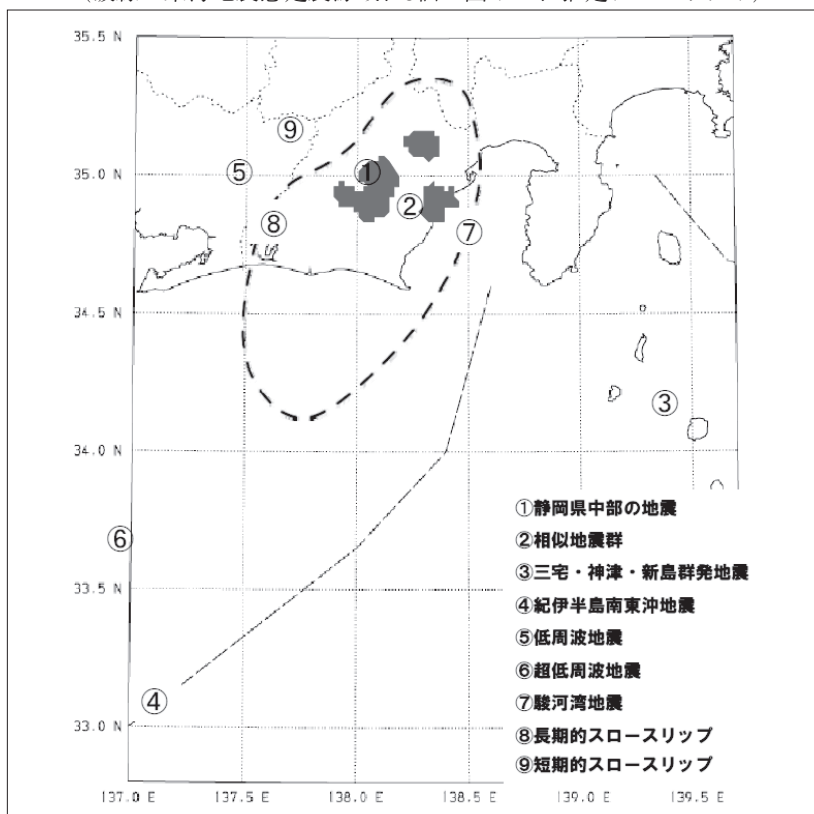
研究と実践のはざま —東海地震予知をめぐる—

30年以上も前から「いつ起きてもおかしくない」と言われ続けてきた東海地震であるが、このごろでは、単独では起きない故、暫くはむしろ安泰であろうという空気が広まっていた。このような中、2009年8月11日、駿河湾にM6.5の地震が発生し、東海地震の雲行きが俄かに騒がれるようになった。

地震予知の実践は、1979年気象庁に東海地震を対象とした判定会が設置されたことに始まる。当初の実践体制は、研究成果がストレートに反映されたものであり、研究と実践の関係は、大きくずれてはいなかった。ところがこの10年間で、東海地域には当初予期されなかった多くの事象が発生し、また、予知の論拠を覆しかねない新説が相次いで発表された。判定会による直前予知は、プレスリップ（地震としての高速滑りに先行する低速助走滑り）の検出に依拠しているが、プレスリップの存在自体にも疑問符が付される状況である。こうして、最初は同一線上にあったはずの研究と実践の位置づけが徐々に乖離し、双方のはざまは、もはや単純な里程の差では測れなくなっている。

直前予知に焦点を合わせた判定会の役割は現在もなお明確であるが、一方で、東海の状態の複雑さを顧みれば判定会の守備範囲は限定的であるとも言える。「東海地震予知に関する研究と実践のはざま」を意識するならば、判定会とは異なる立場にある研究者の果たすべき役割は大きい。幅広い推論とそれをめぐる議論の盛んになることが期待される。

図表 最近10年間で東海地域周辺に起きた異常事象や新たに発見された事象
(破線は東海地震想定震源域、3個の囲みは、推定アスペリティ)



科学技術動向研究センターにて作成

研究と実践のはざま

—東海地震予知をめぐる—

松村 正三
客員研究官

1 はじめに

2009年8月11日の早朝、駿河湾内に震源をおくM(マグニチュード)6.5の地震が起き、御前崎市や焼津市などで震度6弱の揺れが記録された。静岡県では30年以上にわたって「東海地震」の脅威が喧伝されてきたため、「とうとう来たか?」と感じた人が多く、東海地震ではないと判明した後は、「東海地震を誘発するのではないか?」という不安が広まった。これは当然出てくる疑問であり、それに対して地震を研究する者はなんらかの回答を迫られるわけであるが、現実の対応は、こうした期待を満足させる状態とは言い難い。

どのような分野であれ、研究の結果が社会に還流し、実際の生活に反映される、すなわち成果が実践に結びつくまでには、実効性を見定めや具体的な手法のマニュアル化といった克服すべきいくつかの階梯が存在する。それゆえ、研究とその実践との間には常に一定の隔たりが生じるわけであるが、双方の隔たりが埋まることはないとしても、通常は、研究の進展に伴って実践も併行して進むと思われる。

ところが、ここで取り上げる地震予知の分野には、こうしたイメー

ジがあてはまらない。そもそも明確な成功例のない地震予知に対して「実践」を議論すること自体、現実的かどうかはあやしい。一般的な意味で、地震予知はきわめて困難である。世界中を見渡しても科学的な検証を経た事例のないことは、筆者の既レポートでも解説した¹⁾。しかし、「東海地震予知」に限っては、珍しい例ではあるものの紛れもなく「実践」という範疇に数えられる。では、「東海地震予知」における研究と実践の現実は、どのような状況にあるのだろうか。

東海地震予知に関わる組織は図表1に挙げたように多岐にわたるも、それぞれが役割を棲み分けており、その中で「予知の実践組織」と言えるのは、1979年気象庁に設置された「地震防災対策強化地域判

定会(以下、判定会)」である。他方、1969年に発足した地震予知連絡会は、大学や国立研究機関の研究者が集って討議する場である。判定会の前身が当時の地震予知連絡会の中に設けられた「東海地域判定会」であったことから分かるように、東海地震予知に関する「研究」と判定会による「実践」との間には、もともと大きな懸隔はなかった。ところが、ここ10年くらいの間で予想外の事象が相次いで観測され、東海地震をめぐる意外な話題が取り沙汰されるようになった。東海地震そのものに対する研究者の認識も単純なものではなくなっている。しかし、新たな見方や考え方が出たからといって、その都度、実践体制を軽々しく改変するわけにはいかない。結果的に、最初は

図表1 東海地震予知に関わる組織・所管機関・主な役割

組織	所管機関	役割
中央防災会議	内閣府	被害想定
地震防災対策強化地域判定会(判定会)	気象庁	直前予知
地震予知連絡会	国土地理院	観測・解析結果の検討
地震調査研究推進本部	文部科学省	現状評価・長期予測
日本地震学会	社団法人	研究全般

科学技術動向研究センターにて作成

同一線上にあった研究と実践の位置づけが徐々に乖離し、双方のはざまは、もはや単純な里程の差では測れないほどになってしまった。このような状況が、地震によって被害をこうむるだろう当の地域社会に正確に伝わっていないということも問題である。

本論は、東海地震予知をめぐる

研究と実践の現状に焦点をあて、そのはざまを明らかにすることで当事者間の認識を新たにし、また同時に関係する地震研究者らへの要望と期待を表明することを目的とする。まず、東海地震予知のレビューとして、第2章に判定会が形作られてきた経緯を、第3章に東海地震説に対する反論・疑問を、

第4章に新たに見つかった事実や現象を、そして、第5章にさまざまな推論を紹介する。最後に、第6章では2000年代初頭にあった研究者による警告事件を引いて、地震予知に関わる研究者の姿勢に対しての筆者の所感を述べたい。

2 東海地震の研究と実践の推移

2-1

予知体制のスタート

東海地震が世上に登場するきっかけとなったのは、1976年秋の地震学会において石橋克彦が発表した「駿河湾地震説」²⁾である。ただし、東海地域に大地震が迫っていると指摘したのは、これが初めてではない。茂木清夫は1970年の論文³⁾で遠州灘沖に大地震発生のポテンシャルがあると指摘した。図表2に示したように、国土地理院による明治(1883~1904)と昭和(1948~1964)の測量結果の差から解析された歪のパターンが、フィリピン海プレート北縁に沿う相模湾、紀伊半島、室戸岬のいずれにおい

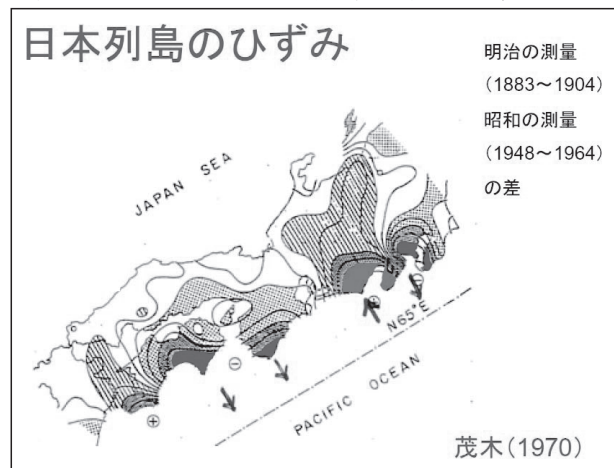
ても「伸び」であったのに対し、遠州灘のみ「縮み」になっていたからである(図表2の逆向き矢印)。つまり、前3者では2回の測量の間で、1923年関東地震、1944年東南海地震、1946年南海地震が発生して圧縮歪が解消されていたのに対し、遠州灘では起きるべき地震がまだ起きていない、と解釈したのである。GPS観測の発達した今から見れば粗い観測に基づいていたものの、この解釈は分かり易く説得力があった。

これに続いて石橋は、遠州灘に起きる地震の繰返しと思われた1854年安政東海地震と1944年昭和東南海地震の震源域を比較し、後者では駿河湾周辺が割れ残っており、結果としてこの部分の歪が臨界状態のままにある、という仮

説を提唱した。この説を重大視した当時の中央防災会議は、1978年、石橋説に準じた東海地震想定震源域を設定し(図表4の長方形枠)、また、東海地震対策法とも言うべき「大規模地震対策特別措置法」を制定した。これをきっかけとして、気象庁に判定会が発足し、名実ともに国家戦略としての地震予知実践体制がスタートした。

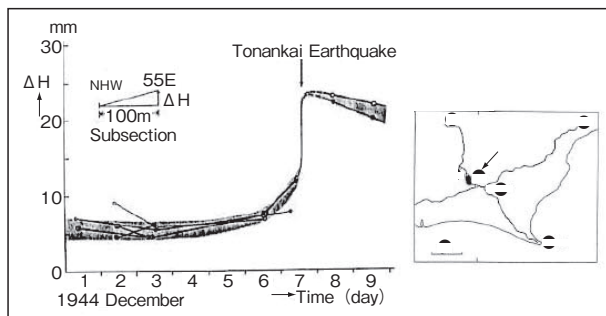
予知の根拠とされたのは、これも茂木(1984)⁴⁾によって発掘された1944年東南海地震直前の異常傾斜変化である(図表3、掛川市近くの水準測量区間で地震前日から急激な傾斜変化が観測された)。これは、東南海地震直前の助走滑り、すなわちプレスリップであったと解釈され、この考え方が、現在もお東海地震予知戦略の柱となっている。

図表2 測地測量による日本列島60年間のひずみ



参考文献³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3 東南海地震直前に静岡県掛川市付近で観測された異常地殻傾斜



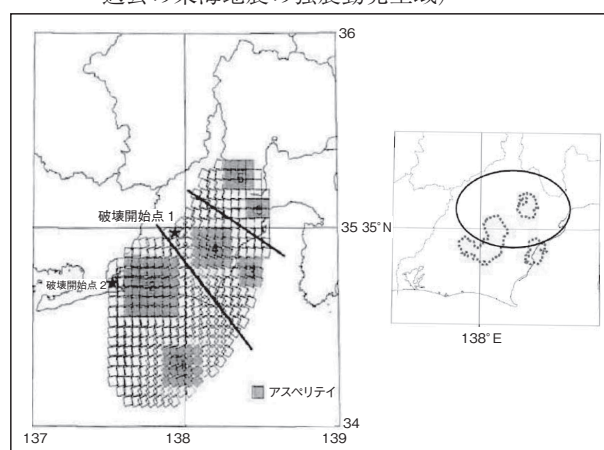
出典：参考文献⁴⁾

図表4 見直された想定震源域



参考文献⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表5 中央防災会議による想定アスペリティ (左図の6個の方形)と、観測データから推定されたアスペリティ (右図の3個の囲み、右図楕円は、過去の東海地震の強震動発生域)



参考文献^{5,32,33)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

このように法律を制定したうえでの国家的措置が採られるまでになったのは、発表された研究成果とそれに基づいた指摘や警告の内容がシンプルで分かり易く、大きな曖昧さがなかったためであろう。これは、研究成果がストレートに実践へと結び付いた事例と言える。以下に紹介するように、この後、さらに二度にわたって、東海地震研究の成果が、実践としての予知戦略に反映されることとなった。

2-2

想定震源域の見直し

石橋が「駿河湾地震説」を提唱した当時、その説をサポートすべき観測データはまだ十分ではなかった。しかし法律制定後、東海地域の観測体制整備はめざましく、例えば、当初はほとんど見えていなかった静岡県下のフィリピン海プレートの沈み込みも、その後の微小地震データに明瞭に映し出されるまでになった。また、国土地理院が張り巡らしたGPS観測網(GEONET)によって、固着沈み込みによる地殻歪の進行がリアルタイムでモニターできるようになっ

た。これらの新たな観測・解析結果に基づいて、中央防災会議は、2001年、東海地震の想定震源域を23年ぶりに改訂した⁵⁾(図表4の太破線、図表5左図の茄子形)。これは、微小地震データと地殻変動データから、フィリピン海プレート上面の固着エリアをより実質的な形に描き出すことができたからである。さらに同会議は、想定震源域内に6個のアスペリティ(プレート間のひっかかり、本質的な固着部を言う。図表5左図の方形)を想定することで、震度予測と被害想定を導き出し、さらにその結果に基づいて地震防災対策強化地域の見直しを行った。ただし、ここで想定されたアスペリティは震度予測マニュアルに従って人為的に決めたものであり、後述するような観測・解析の成果から導かれたものではない。

2-3

判定会招集基準の見直し

判定会が設けられると同時にその招集のための基準も定められた。その後2004年になって、この招集基準は新たなものに改変された(上

垣内修・東田進也、2006)⁶⁾。気象庁から発信される情報は、異常の度合いに応じて、観測情報→注意情報→予知情報と段階を踏む。この内、2箇所の歪計で同時に異常変動が捉えられた場合に出される注意情報が、実質的な意味で判定会招集に結びつく。従来基準との明瞭な違いは、当初の基準では地殻変動と地震活動の双方が異常判定の対象とされていたのに対し、新基準では異常地震活動という判定を廃したことである。地震活動は地殻変動よりも多彩な情報をもたらすが、同時に、起きている現象に対して一意的な解釈ができない、という欠点を有するからである。つまり、異常か異常でないかの判断が人によって分かれることがあり、このため、マニュアルに従って緊急時の行動を規定するための判断材料には向いていないということである。これは、東海地震予知に関する研究と実践のはざまにある問題のひとつと言えよう。

一方、異常地殻変動に関する招集基準は、一段と厳格化された。これには、体積歪計の増設と解析技術の進歩とがあいまって検知能力が飛躍的に向上すると同時に、プレスリップ判定のためのシミュレーション技術が発達したことが

大きく寄与している。加藤尚之・平澤朋郎(1996)⁷⁾の2次元モデルによれば、プレスリップから本破壊

に至るまでの時間的余裕は、従来想像されていたよりもずっと短いとされ、これに基づいて異常検出

のしきい値を従来の1/10に引き下げる結果となった。

3 東海地震説への疑問

「ほとんど疑いの余地がない」と一時は全面的に認められるまでになった東海地震説も、最初の警告から30年を経た現在、いくつかの疑問が呈されるようになった。中でも、もともとの筋立てに問題がなかったか、という基本に立ち返る視点からの議論が目立つ。

3-1

南海トラフ地震系列の連動 (東海地震単独発生の否定)

図表1中の地震調査研究推進本部の下にある地震調査委員会から出された報告書「活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧」⁸⁾によると、2009年から数えて30年以内の東海地震(想定マグニチュードM8程度)の発生確率は87%(参考値)とされている。これは、過去4回の東海地震(1498年明応、1605年慶長、1707年宝永、1854年安政)から、平均発生間隔を1188年として統計的に算出した数値である。東南海地震(M8.1、30年以内の確率は60~70%程度)、南海地震(M8.4、同50~60%程度)の場合とは違って、東海地震の発生確率が参考値とされているのは、明応や慶長といった古い時代の東海地震の性格がよく分からず、それらの地震で駿河湾まで破壊が及んだかどうか不明だからである(石橋、1981)⁹⁾。

過去の地震発生の履歴は、まずは、古文書の記載等からたどることになるが、これらには、時代によって記録の洩れや滅失がある。寒川旭¹⁰⁾は、遺跡発掘の現場で発

見された液状化痕から過去の地震発生を推測する方法(地震考古学)を考案し、これによって東南海、南海地震の記録洩れのいくつかを補填することに成功した。また、海岸近くの湖底・池底に残された津波堆積痕から古い時代の海溝型大地震の存在が発掘された例もある。これらの結果、東南海、南海地震については過去の発生が規則的であったことが分かっている。これに引きかえ、東海地震の過去は不鮮明であり、平均発生間隔を100年程度とした場合は、発生確率が過大評価となるおそれがある。また、少なくとも歴史記録を見る限り、東海地震が東南海・南海地震から孤立して単独で起きた例はない。後述するシミュレーション研究でも、東海地震を単独で発生させることはかえって難しいとされている。仮に東海地震が単独では起き得ないとすれば、その発生確率が東南海・南海地震よりも高くなるわけにはいかず、逆に言えば、次回東南海地震の発生まで、すなわちここ10~20年はむしろ安泰であるということにもなる。

3-2

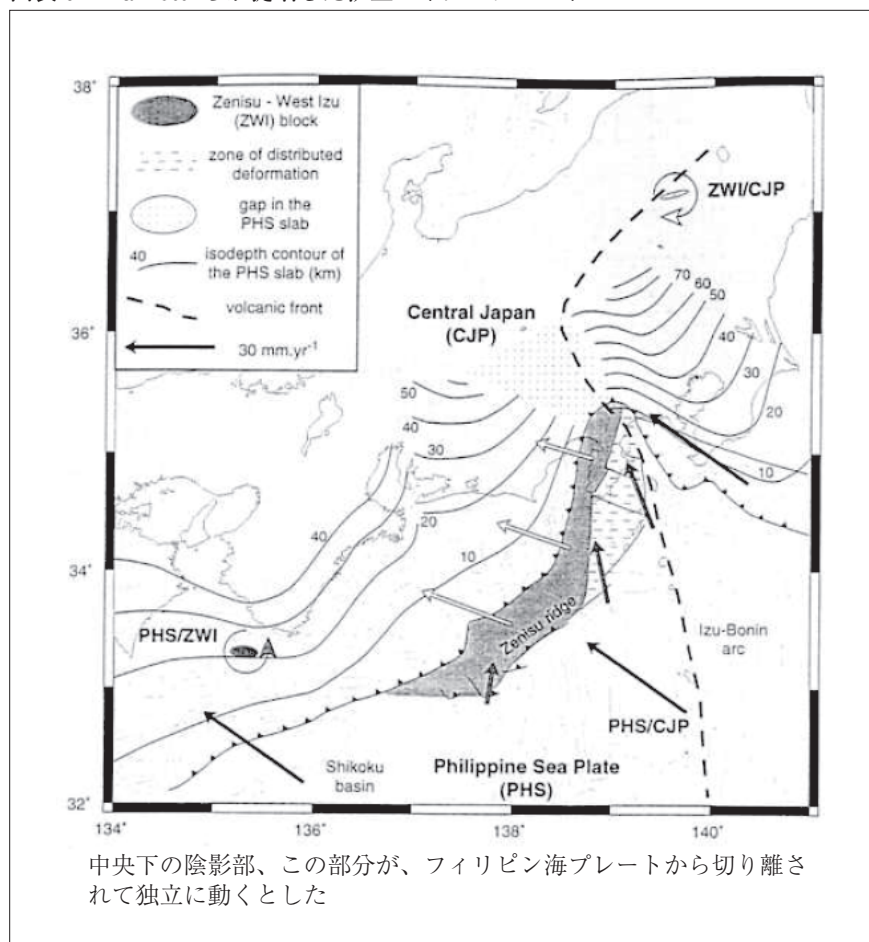
プレート相対速度の評価と 伊豆マイクロプレート説

地震調査委員会が下した「東海地震の平均発生間隔は、約120年」という判断は現実的だろうか。この問いに対する鍵は、駿河湾から静岡県下にもぐりこむフィリピン海プレートのユーラシアプレートに

対する相対速度である。例えば、瀬野徹三(1993)¹¹⁾のプレートモデルに従って計算すると、静岡県下では、N50度Wの方向に約40mm/年となる。この速さで推移すれば、120年間で蓄積される「相対ずれ」は5m近くとなり、M8地震を起こす原動力として不足はない。ちなみに、活断層に対して適用される松田式(松田時彦、1975)¹²⁾を使って評価したM8.0地震のスリップ量(相対ずれ)は6.3m、石橋⁹⁾による安政東海地震(M8.4)の平均スリップ量は4.0mである。ところが、静岡付近でのフィリピン海プレートの動きは、上記のような単純なものではないとする説が現れた。Mazzottiら(1999)¹³⁾は、伊豆半島を含むフィリピン海プレートの北端部が、本体から切り離された小断片(マイクロプレート)となって独自の動きをしている、と主張した(図表6の陰影部分)。彼らの説に基づく、駿河湾でのプレート相対速度は、せいぜい20~25mm/年となり、4.0mのスリップを蓄積するには160~200年かかることになる。

静岡県下の歪が現時点で既に満期になっているためには、少なくとも30mm/年のプレート相対速度が必要となる。しかし、地下でのプレートの動きを知ることは難しい。この問いに解を見出す方法のひとつに、地表の地殻変動から地下でのプレート境界面上の動きを逆に解く「バックスリップ解析」と呼ばれる手法がある。バックスリップ解析の結果についてはすでにいくつかの報告があるが、扱うデータの選択や計算手法によって結果が異なり、これまでのところ、相対速度

図表6 Mazzotti らが提唱した伊豆マイクロプレート



出典：参考文献¹³⁾

の値は、20 mm ~ 40 mm/年という幅がある。これらの中央値をとるとほぼ30 mm/年となるが、バックスリップ解析手法自体にも疑問点が指摘されており、結果の信頼度は未だ不十分である。他方、近年、精力的に解析されるようになった固着域よりも深部側に起きる低周波地震・微動・短期的スロースリップの情報からも、フィリピン海プレートの相対速度が見積もられている。小林昭夫ら(2006)¹⁴⁾によると愛知県東部下では2000年以降39 ~ 49 mm/年、小原一成(2009)¹⁵⁾によれば2004年以降43 mm/年、となっている。いずれも、瀬野ら¹¹⁾による理論速度に近いが、これをやや超える値である。さらに松原誠ら(2006)¹⁶⁾は、浜名湖下に検知した相似地震(マグニチュードに関わらず同じ波形を持つ地震)のスリップ量から30 ~ 40 mm/年と推定した。

以上を総合すると、東海地震の繰り返し間隔については、今のところ100 ~ 200年の幅での曖昧さを考慮する必要がある。

3-3

掛川異常傾斜変動への疑問

2-1節で述べたように、判定会による東海地震予知の実現性を支える唯一の根拠となったのは、1944年東南海地震直前に掛川市で発見された異常地殻傾斜である。ところが、この測量結果の真偽そのものへの疑問が出された。鷲谷威(2004)¹⁷⁾は、日本地震学会2004年秋季大会で、「地震直前に傾斜変化が生じた可能性は依然として高いが、これらが単なる作業ミスの結果である可能性も否定できない」と述べた。もしも異常傾斜が

真の地殻変動であるならば、プレスリップが存在した可能性が高い。ところが、感度の高い観測網が展開された近年になっても、現実の大地震の直前にプレスリップが検知された報告は皆無である。小笠原ら(2009)¹⁸⁾が南アフリカの金鉱山で行っている至近距離での小地震の観測においても、プレスリップは見つかっていない。現在のところ、プレスリップの存在は、実験室かシミュレーションの場では確かめられていないのである。もっとも、東南海地震のプレスリップが否定されてしまったわけではない。Linde and Sacks(2002)¹⁹⁾は、震源域の深部延長部分に2m程度の滑りを想定すれば掛川市の異常傾斜を解釈することができると主張し、異常傾斜変動がプレスリップによるものであった可能性を印象づけた。

以上からも分かるように次回の東海地震を占う上で、前回の東南海地震の様相は重要な意味を持つ。ところが、その震源域、特に東海地震との境をなす東端部がどこまで延びていたかが今もなお議論的となっている。1944年東南海地震の震源域の拡がりについては、金森博雄(1972)²⁰⁾をはじめとして10例に近いモデルが提案されているが、決定打はまだない。この結果によっては、東海地震の存在そのものも不確実なものとなる。鷲谷(2007)²¹⁾は、震源域を横断する水準測量の結果を説明するためには、プレート境界ではなく掛川市近在の分岐断層が滑ったとする必要があるとした。この主張は、プレスリップの存在を否定するものではないが、東南海地震による破壊域の同定の曖昧さ、ひいては東海地震の存在に関わる問題をあらためて提起したことになる。

4 東海地域の地殻活動の現状

ここでは、東海地域で最近10年間に発見された事象や、目立った、あるいは異常と思われた活動を列挙する。

4-1

地震・火山活動

①1996年10月、静岡県川根町(現・島田市)の直下にM4.3の地震が発生した。地震の規模としては珍しいものではなかったが、普段は起きないプレート境界地震であったことから、東海地震との関係性が論議を呼んだ。

②東海地震の推定固着域では、プレート境界をはさんで上下に位置する地震発生層の活動が、1990年代後半から微弱ではあるものの明瞭な静穏化を示し、スロースリップとの関係が議論された(松村、2002)²²⁾。特に、島田市の直下に顕著な静穏化域が見出され、ここでは特徴的な相似地震群が発見された(松原ら、2006)¹⁶⁾。

③2000年6月から8月にかけて、三宅島・新島・神津島を囲む領域でM6地震を含む活発な群発地震活動が続いた。併行して、三宅島では火山活動が始まり、カルデラ形成を伴う17年ぶりの大噴火へと発展した。地震活動は、マグマ貫入による地震とプレート内せん断破壊による地震とが入り混じった複雑なプロセスを経て同年8月に終息したが、9月には富士山直下で低周波地震活動が活発化した。

④2004年9月、紀伊半島南東沖にM7.4の地震が発生した。震源は南海トラフに近いが、東南海地震を起すプレート境界地震ではなく、フィリピン海プレート内、および上盤の地殻内地震であった。この

地震によって静岡県から三重県にかけての広いエリアが南進した。この地震の東海地震への影響評価は難しいが(瀬野、2006)²³⁾、トラフ軸近辺に起きるこうした非定常的地震は、本命であるプレート境界地震の前触れであるとの見方もある。

⑤沈み込んだフィリピン海プレートが深さ30~40kmに達するあたり、四国から紀伊半島、さらに伊勢湾をまたいで愛知県・長野県南部に至る細長い帯状領域で、通常地震とは異なる「低周波微動」あるいは「低周波地震」と呼ばれる活動のあることが小原(2002)²⁴⁾により、また、西出則武ら(2000)²⁵⁾によって発見された。同様の現象は、北米でも発見されているが、全てのプレート沈み込み帯で起きているわけではなく、例えば、太平洋プレートでは見つかっていない。メカニズムとしては、沈み込んだ岩石から脱水した水が関わっていると推察されている。その後、より低周波の地震(深部超低周波地震)が同時に発生していることも発見された(伊藤喜宏ら、2007)²⁶⁾。

⑥前項の深部低周波地震とは別に、トラフ軸近くのごく浅い場所で「浅部超低周波地震」が発生することが分かった。これは、プレート境界面から立ち上がる分岐断層上に起きる地震であると推察されている(伊藤・小原、2006)²⁷⁾。

⑦2009年8月11日早朝、静岡市沖合の駿河湾内でM6.5の地震が発生した(冒頭で紹介した「駿河湾の地震」)。この地震は、フィリピン海プレート内部を破壊しており、東海地震とはメカニズムが異なる。およそ40年間隔で静岡市周辺に起きてきたM6級の「静岡地震」のひとつと見ることもできるが、次の東海地震の引き金となる可能性も

懸念されている。

4-2

地殻変動

国土地理院は、1990年代後半から全国に張り巡らせたGPS観測網(GEONET)の運用を開始したが、その中で、浜名湖を中心とした地域にこれまでとは異なる動きのあることを発見した。逆解析の結果、これは、浜名湖下のプレート境界でプレート運動に逆行する緩慢な滑り(スロースリップ)の進行であることが分かった。この滑りは2005年頃まで続き、中心部の滑りは約25cmに達した。すなわちプレートの引き摺りのほぼ10年分が解消されたことになる。この発見を基に、山本英二ら(2005)²⁸⁾が傾斜データ、小林ら(2004)²⁹⁾が潮位データの過去に遡った結果、同種のスロースリップは、以前から約10年間隔で繰り返し起きてきたということが分かった。普段は固着していながら、時に固着が外れて滑るという意味で、ゆっくりではあるがこれも一種の地震と見ることが出来る。

一方、これよりもやや深いプレート沈み込みの奥側では、前節で紹介した低周波微動・低周波地震・深部超低周波地震が発見されていたが、同時に、これらは、プレート境界の微弱な滑り、すなわちスロースリップに伴うものであることが分かった。前項で取り上げたスロースリップは数年間継続する滑りであるのに対し、こちらは数日で停止し、およそ半年の間隔で再開するものである。両者を区別して、前者を長期的スロースリップ、後者を短期的スロースリップ

と呼称する。こうしたスロースリップの存在は、川崎一郎(2006)³⁰⁾によって予測されていたが、実際に現れた現象は予測を超える多様な症状を呈するものとなった。

4-3

地下構造

東海地域にフィリピン海プレートの固着沈み込みがあるということは、観測事実として、もはや疑いの余地はない。しかしその微細構造に関しては、まだ議論の余地が残る。フィリピン海プレートの形状に関しては複数個のモデルが提出されており、大きな差はないものの、場合によってはその微妙な差が争点となる。例えば、静岡県浜岡原子力発電所直下におけるプレート境界面の深さは、モデルによって10～20 kmの範囲で違いがあり、今もなお決着がついていない。また、フィリピン海プレートの実質的な沈み込み口が駿河湾内ではなく、伊豆半島の底を通して相模湾側に抜けるという説もある。プレート形状を探索する方法としては、人工地震による反射法探査や、自然地震波の特殊な解析手法(レシーバー関数解析など)があるが、駿河湾では未だ明確な結果が得られていない。

一方、遠州灘では反射法探査が行われており、新たな成果も提出されている。御前崎の直下あたりでは、沈み込んだフィリピン海プレートの上層が厚く膨らんでいることが発見された。小平秀一ら(2003)³¹⁾は、これが、南海トラフに平行して何列も存在する海底の皺の内の一列が沈みこんだものであろうと推測した。現在、遠州灘沖に見られるのは、銭州海嶺と呼ばれる皺であるが、御前崎下のもは「古銭州海嶺」であり、プレート進行方向のさらに奥側には「古々

銭州海嶺」があるのではないかと推察されている。いずれにせよ、こうしたプレート境界地形の凹凸がひっかかり、歪を集中させ、ここにプレート境界地震のアスペリティを形成するという考え方が広く受け入れられている。

4-4

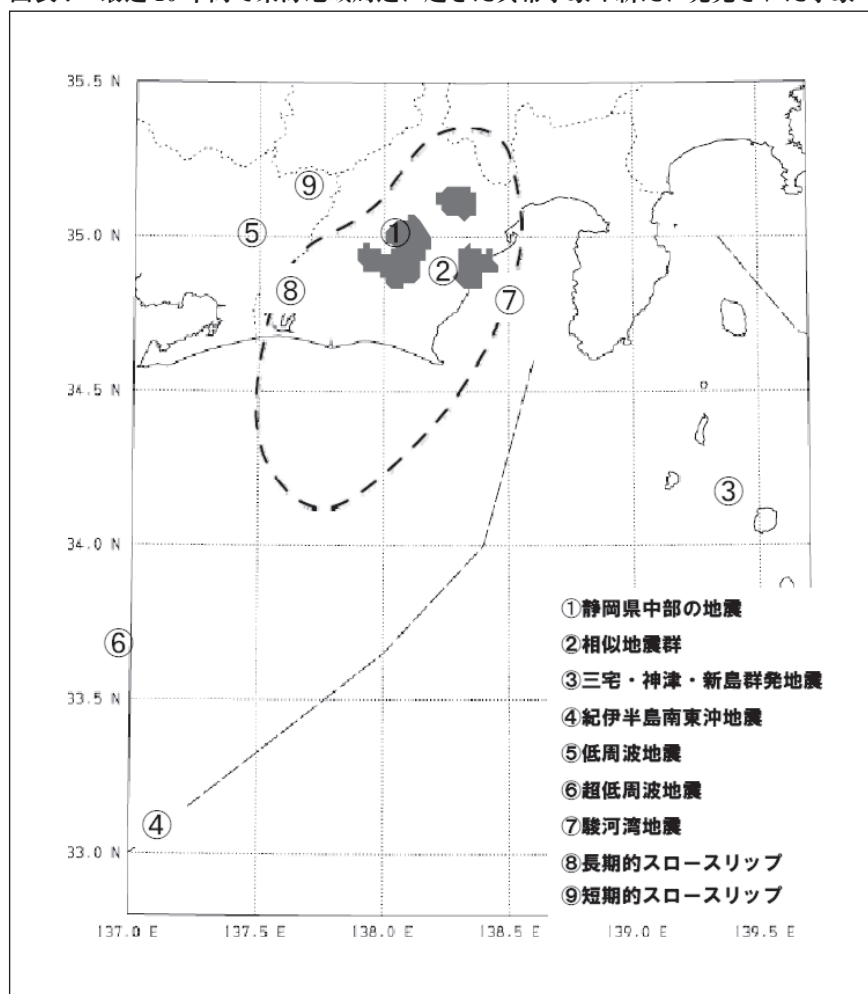
事象のまとめ

前節までに挙げた事象をまとめて全体を眺めたものが図表7である。想定震源域とその内部にある推定アスペリティ(3個の囲み領域)を囲んで、4-1節、①静岡県中部の地震、②相似地震群、③三宅・神津・新島群発地震、④紀伊半島南東沖地震、⑤低周波地震(低周波

微動)、⑥浅部超低周波地震、⑦駿河湾地震、4-2節、⑧長期的スロースリップ、⑨短期的スロースリップ、が散在する。

⑧の長期的スロースリップは想定震源域の端部で進行し、⑨短期的スロースリップは、これよりも深い側で進行する。さらに深い側ではおそらく固着することなく、ずるずると滑っているのであろう。①静岡県中部の地震および②相似地震群は、ここでは珍しいプレート境界地震と認識されているが、その存在場所は局所的である。③三宅島付近の群発地震と④紀伊半島南東沖地震の東海地震に対しての位置づけは明瞭でないが、その発生時期は、それぞれ長期的スロースリップの開始と停止の時期に近接しており、何らかの形でスリップの制御に関わっていたものと推

図表7 最近10年間で東海地域周辺に起きた異常事象や新たに発見された事象



科学技術動向研究センターにて作成

測される。

以上のとおり、東海地震想定震源域の周辺では、この10年で新たに発見されることとなった事象の

ほぼ全てが集中して起きてきた。これらの中には観測技術の進化によって初めて発見されるに至った事象も混じっているが、これだけ

集中する例はほかの地域には見られない。臨界状況にあるかどうかは別としても、東海が特異な状況にあることは間違いがない。

5 さまざまな推論

現在までのところ、発見されたさまざまな事象の全てを関連させて説明できるような統合的な解釈には遠いものの、いくつかの推論がなされている。

5-1

アスペリティの推定

想定震源域の改訂と同時に、被害想定のため、図表5の左図に示したようなアスペリティが想定された。この想定は、地震動予測のためのマニュアルに沿って導かれた結果である。置かれたアスペリティの数は6個とやや過多にも見えるが、最悪事態を考える被害想定のためにはこれでよい。しかし、地震予知を実践するという観点から言えば、事実在即さない想定では困る。異常地殻変動を検知した時、それがプレスリップであると判定するためには、アスペリティに関して実態に近いイメージを持っていることが必須だからである。従って、たとえ想定にすぎないとしても、観測データに基づいた実際的なアスペリティ情報を提供することが求められる。筆者ら(2008)³²は、地震活動変化およびGPS網で実測された歪分布から、静岡県中部に3個の歪集中域を特定し、これを推定アスペリティとした(図表5の右図)。一方、神田克久ら(2004)³³は、1854年安政東海地震による被害記録から、地震の際の強震動発生位置を特定した。さらに1707年宝永地震についても

同様の特定を行った。描かれた強震動発生領域は、図表5右図の楕円に示したとおり、2個の地震ともに静岡県中部のほぼ同じ場所となる。この結果は、過去の東海地震のアスペリティ位置を示唆するほとんど唯一の情報と言えるが、同図に描かれた推定アスペリティの位置ともほぼ一致する。

5-2

シミュレーション

前回の東海地震である1854年安政東海地震から得られる情報は限定的であり、特に4-4節にまとめたような事象の羅列が、その当時にもあったかどうかを確かめることはほとんど不可能である。その意味では、次の東海地震が起こったとき、初めて我々は東海地震とそれにまつわる地殻活動の全容を知ることになる。そしてその経験は、次々回の東海地震の予知に役立つだろう。しかしそれを待って今回は手を拱いている、というわけにはいかない。そこで登場するのがシミュレーションである。これは、コンピュータ上にヴァーチャルな東海地震を作りだし、その発生の過程を仔細に観察しようとするものである。

シミュレーションのベースとなる基礎方程式としては、現在、Ruina(1983)³⁴が提唱した摩擦構成則が多く用いられる。これによると、2個の微分方程式を連立させるだけで、地震間のゆっくりと

した応力蓄積過程と地震時の高速滑りが、交互に、かつほぼ周期的に出現する様子が模倣できる。

例えば、2-3節で取り上げた新しい判定会招集基準の根拠となったのは、加藤・平澤(1996)⁷による2次元シミュレーションの結果であり、このシミュレーションに現れたプレスリップとその形態に基づくことによって判定基準の改訂が行われた。堀高峰ら(2006)³⁵は、南海トラフに沿う東海・東南海・南海地震の3次元シミュレーションを行い、地震発生の周期や順序を実態にあわせようとすると地震の発生の仕方に一定のパターンが生じることから、結果的に東海地震の単独発生が困難であることを示した。弘瀬冬樹ら(2008)³⁶は、より実際に近い3次元プレートモデルによる東海地震シミュレーションの開発を進めた。このシミュレーションでは、浜名湖下の長期的スロースリップも再現されている。スロースリップをシミュレーションで再現するにはパラメータの微妙な調整が必要とされるが、これを最初に作り出したのは、吉田真吾・加藤尚之(2002)³⁷である。芝崎文一郎・布樹輝(2007)³⁸は、短期的と長期的、双方のスロースリップを同時に作り出すことに成功した。興味深いのは、どのシミュレーションでも、東海地震の発生前に数次にわたって長期的スロースリップが繰り返す、という結果が示されたことである。

5-3

臨界状況の判定

3-2節でも述べたように、現在、東海地震発生の臨界状況にあるかどうかは曖昧なままである。これを判断するためには、すでに蓄積された応力や歪がどのくらい限界に近いかを知る必要がある。しかし、年々の蓄積分を評価することは可能だとしても、既に蓄積された応力の絶対値を知ることはできない。こうした中、間接情報ではあるが注目されるのは、地震活動の潮汐依存性から診断する方法である。田中佐千子ら(2002)³⁹⁾は、世界中のプレート沈み込み帯で起きている地震活動を調べ、プレート境界の大地震が起きる前には小さな地震の発生に潮汐の影響が現れる、ということを発見した。数MPaの応力を解放する地震に対して、たかだか数KPaにすぎない潮汐応力が影響するというのは、一見、不思議に思えるが、臨界状況にある場合には最後の一押しの効果をもつ、と解釈されている。さらに、田中ら(2004)⁴⁰⁾は日本中の微小地震活動の潮汐依存性を調べ、潮汐依存度が高い10個の領域を選び出した。そのうち4個では既にM6以上の地震が発生しており、東海地域は残る6個の領域のひとつに数えられている。

5-4

昭和の南海トラフ地震系列

3-1節で述べたように、南海トラフ地震系列は、「連動」が基本と見られている。前回の昭和系列では、2年の時差をおいて東南海、南海地震の順に発生した。前々回の安政系列では、東海・東南海地震が同時、南海地震は1日遅れで

引き続いた。さらに1回前の宝永では、すべてが同時に起こった。では、前回の昭和系列では、何故、東海地震だけが連動しなかったのだろうか？ この問いに対して、Pollitz and Sacks (1995)⁴¹⁾は、活断層地震としては最大級の1981年濃尾地震(M8.0)が影響したと答えている。彼らのモデル計算によると、濃尾地震による応力再配分によって東南海地震の発生が早められた一方、東海地震は抑制され、その発生は本来よりも約20年遅らされたという。数値評価の妥当性はともかく、昭和の系列のみ連動のサイクルが狂わされたと見ることになる。この考えを積極的に推し進めるならば、東海地震は昭和系列に属することになり、今後の単独発生も否定しきれないことになる。今の段階で、東海、東南海の連動発生を前提とした判断に偏ってしまうことは行き過ぎであろう。

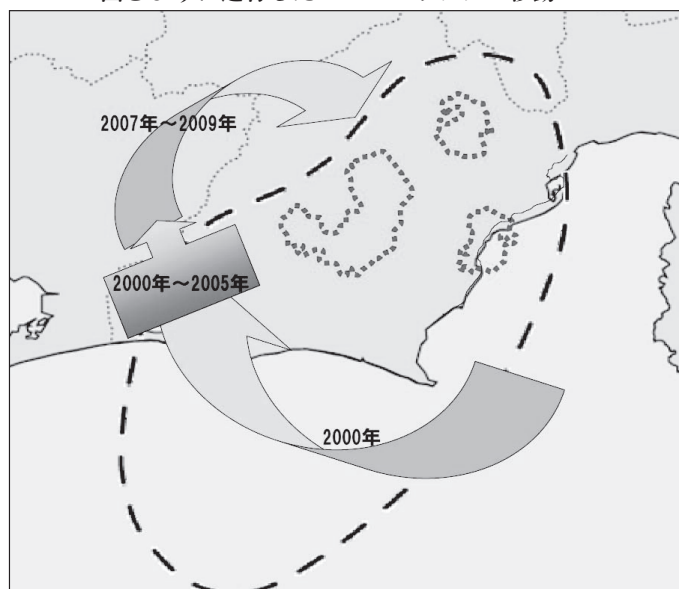
5-5

応力集中の現状

浜名湖下の長期的スロースリップは約10年間隔で繰り返してきた

ようである。2000年頃にスタートした最新のスロースリップは、2005年頃ではほぼ停止したかに見え、その限りでは、このスロースリップも、東海地震の前に数回起きると予測された中の1回であったと結論できる。しかし、仔細に見るとスリップは完全には停止していない。一旦停止したかに見えたスリップは、2007年以降、浜名湖から長野県南部および愛知県東部へと場所を移して微弱ながらも再スタートを切っている。また、これと同期して静岡県西部では微小地震の活性化が見られる(松村、2009)⁴²⁾。図表8には、2000年三宅島付近の活動に端を発し、推定アスペリティを取り囲むようにスロースリップが進行してきた様子を描いた(小林ら(2005)⁴³⁾、および国土地理院(2009)⁴⁴⁾を参考にした)。スリップ速度が全体として遅くなったのは、アスペリティ群を囲い込んでのプレート境界固着の再編成がほぼ完了したためと見られることもできる。地震活動からはアスペリティへの応力集中が以前にも増して進んでいるとみなされ、従って、今回のスロースリップを過去からの単なる繰り返しのひとつと結論づけてしまうわけにはいかないということになる。

図表8 想定震源域内の推定アスペリティ(点線囲み)を取り囲むように進行したスロースリップの移動



参考文献^{43), 44)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

6 研究者の役割

2000年代の初め、複数の研究者によって東海地震の発生に関する警告が相次いで発表された。五十嵐丈二(2000)⁴⁵⁾は、臨界間近い物理現象に観察される振動周期の漸減という現象に注目し、掛川—浜岡間の水準測量データの振動する動きから、東海地震の発生を2004年半ばと結論づけた。川崎・岡田(2001)⁴⁶⁾は、震源核の成長に関する理論式を案出し、掛川—浜岡間の水準測量データに適用することで、発生時期が2001年初頭になるとした。山岡耕春ら(2001)⁴⁷⁾は、浜岡に設置されたGPSの動きから、破壊に向かう加速度変化の表式(Time-to-Failure)を適用することで2002年半ばに臨界に達すると推論した。瀬野(2003)⁴⁸⁾は、アスペリティ分布の変容過程に対するモデル化を行い、掛川—浜岡のデータから発生時期は2007年半ばになるとの見積もりを示した。筆者(2002)²²⁾は、推定アスペリティ領域のスケールから見て、応力維持の限界は2006年頃までであろうと推察した。こうしてほぼ同時期に発表された東海地震発生時期の推測結果は、マスコミやインターネット上でも注目され、その時点では世上にいくばくかの緊張感を醸成したものの、結果的には何事も起こらないまま警告の刻限が過ぎた。

結局、東海地震は起きなかったという結果からみれば、これらの警告はことごとく失敗に終わったことになるが、筆者自身関わったことでもあり、研究者によるこのような行為の適否について考えてみたい。まず、この時期一斉に警告が出たのは偶然なのか、それとも何らかの下地があったのか、ということであるが、異常状況は確かにあった。それは、前章までに紹介した長期的スロースリップ

である。結局は、今回のスロースリップも東海地震に繋がらない、つまり、幾度となく繰り返すスロースリップのひとつでしかなかったという結論に落ち着くかもしれない。しかし、そうだとすると、それは結果論でしかなく、スロースリップの開始時点で東海地震に発展するかもしれないという警告を出すのはむしろ妥当な判断だったと思われる。あえて言えば、今の我々の知識で具体的な発生時期に言及することに無理があったということだろう。さらに言うならば、今後、多少時期がずれたとしても上記の警告が「当たり」に変わる可能性は残るのである。

当の研究者たちにとっては苦い経験となってしまったが、筆者はむしろ、研究者たちがこれに懲りて推論や推測の発表に慎重になりすぎることを懸念する。現行の学会発表では、観測事実やデータ解析結果の報告が大部分を占める。解析結果から必然的に導かれる推測は別にして、それ以外の推論はスペキュレーション(この場合は、「空論」や「臆測」という意味)であるとして避けられる傾向にある。事実確認と状況分析は、科学的アプローチの基本であるのに対して、予測を混じえた推論に踏み込むことは、曖昧さを内包し、ミスリーディングにつながりかねないからである。しかしながら、確定事実の報告に終始するだけでは地震予知は実現しない。

筆者は、地震予知に関わる研究者は、常に予測に立ち向かうという明確な意志を持つべきであると考える。何らかの解析を行う際には、発生した事象の分析にとどまらず、それが意味する内容を推察し、将来の予測にまで言及する、という姿勢を意識的に貫いてもら

いたいと思う。例えば、4-1節④紀伊半島南東沖地震の評価を採り上げれば、この地震については、事後の海底地震観測も含め、地震の起き方や性格に関していくつもの報告がなされている。その反面、それが東海地震や東南海地震の発生にどう影響するかを推察した議論はなかなか見当たらない。瀬野(2006)²³⁾が述べたように、後に起きる地震への影響がプラス側かマイナス側かの判定さえ困難であるというのが実情であろう。しかし、筆者は、決して断定的な結論を求めているわけではない。むしろ、さまざまな推察が提示され、それをめぐる活発な議論が起きることを期待するのである。

ひとつのモデルケースとして2007年1月に名古屋大学で開かれた東海地震に関する研究会「徹底討論!!! 次の東海地震はどこだ!?!」⁴⁹⁾を紹介しておこう。これは単なる研究発表会ではなく、公開されたパネルディスカッションの下、5人の研究者がそれぞれの研究成果を披露すると同時に、いくつかの課題を掲げて議論を交わし、認識を統合していこうとする珍しい研究会であった。東海地震の発生時期については結論に至らなかったものの、課題を明示して議論しようとするその姿勢が筆者の目には新鮮に映った。

このような研究会を学会の主導で組織しようということもひとつの提案として掲げることはできる。しかし、筆者が真に求めるものはそれ以前の段階にある。予測に関して確かなことは誰にも言えない。その場合でも、それぞれの研究者が自らの研究事跡を通して想像をめぐらし、研究者としての推論を述べることならばできるはずである。統一見解が得られなくても構

わない。大事なことは、多様な推論があって、それをめぐる議論が活発に交わされることである。そして、そうした議論の過程が社会に正確に伝えられることである。

予知・予測に踏み込む場合には、

それがどのように簡単なものであれ、結果的に誤りとなる可能性を避けることはできない。それを承知した上で、誤った説をなすという誇りをも辞さない、という一種の覚悟が必要となろう。東海地震

に関わる、あるいは地震予知に関わる研究者には、その道にある研究者の役割としてこの覚悟をもつことを望みたい。

7 おわりに

「2009年駿河湾の地震」の翌日、新聞報道各紙の社説は一斉に東海地震に備える防災体制について書きたてた。中でも日経新聞は、「科学的検証があいまいなまま、行政や学界の都合で決めた想定や前提が一人歩きする愚は避けたい」と、現在の判定会体制に批判的な主張を展開した。プレスリップの出現を前提とした予知の科学的検証が曖昧な状態にあることは事実である。しかし、プレスリップの存在が否定されたわけではない。判定会が「実践としての東海地震予知」においてプレスリップの出現に依拠するのは、現実的判断として間違っていない。「見逃しはない」と言い切った当初の見得が、今ではもはや通用しなくなったという変節はあるが、これについても、「東

海地震といえども見逃す可能性はある」という言い換えを通じて、判定会の予知情報に全面的に依存することの危険性がすでに世の中に周知されている。そうした限定条件の下で、たとえ50%以下の予知率であるとしても判定会体制には今日的意義がある。

むしろ判定会に関わる問題があるとすると、それは、東海地震予知の一切が判定会に委ねられていると誤解することである。学会での東海地震に関する発表が決して活発とは言えないことから、研究者自身にすらこのような思い込みがあるのではないかと疑われる。東海の状態の複雑さから見れば、判定会が下す判断の領域は、きわめて限定的と言わねばならない。今般の駿河湾の地震に直面して判

定会が出したコメントは「東海地震と直接の関連はない」というものであった。東海地震の直前予知に限定した判定会の判断としては妥当である。しかし社会は、それだけでは納得しない。予測に関する物言いが常に曖昧であり、時として間違いもある、ということは承知の上で、それでも、駿河湾の地震と東海地震がどうつながるかを知りたいのである。

研究者には各自がそれまで築いてきた知識と判断力に基づいて、どう推論するかが求められている。「東海地震予知に関する研究と実践のはざま」を意識するならば、判定会とは異なる立場にある研究者の果たすべき役割は重く大きい。

参考文献

- 1) 松村正三、科学技術動向、10、No.8、25-39、2008
- 2) 石橋克彦、地震学会1976年度秋季大会予稿集、30-34、1976
- 3) Mogi, K., Bull. Earthq. Res. Inst., 48, 413-430, 1970
- 4) Mogi, K., Pageoph., 22, 765-780, 1984
- 5) 中央防災会議東海地震に関する専門調査会：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/7/7-02.pdf>, 2001
- 6) 上垣内修・東田進也、地震2、59、61-67、2006
- 7) 加藤尚之・平澤朋郎、月刊地球、号外14、126-132、1996
- 8) 地震調査委員会：<http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf>, 2009
- 9) Ishibashi, K., Am. Geophys. Union, Maurice Ewing Ser., 4, 297-332, 1981
- 10) 寒川旭、地震考古学－遺跡が語る地震の歴史（中公新書）、中央公論社
- 11) Seno, T., S. Stein, and A. E. Gripp, J. Geophys. Res., 98 (B10), 17941-17948, 1993
- 12) 松田時彦、地震2、28、269-283、1975
- 13) Mazzotti, S., P. Henry, X. Le Pichon, and T. Sagiya, Earth Planet. Sci. Lett., 172, 1-10, 1999

- 14) 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋、地震 2、59、19-27、2006
- 15) 小原一成、地震予知連絡会会報、第 82 卷、447-476、2009
- 16) 松原誠・笠原敬司・小原一成・木村尚紀・針生義勝、日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集、S206-P003、2006
- 17) 鷺谷威、日本地震学会 2004 年度秋季大会予稿集、A045、2004
- 18) 小笠原宏・川方裕則・石井紘・中谷正生・矢部康男・飯尾能久・南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同研究グループ、地震特集号、61、S563-S573、2009
- 19) Linde, A. T. and I. S. Sacks, Earth Planet. Sci. Lett., 203, 265-275, 2002
- 20) Kanamori, H., Phys. Earth Interiors, 5, 129-139, 1972
- 21) 鷺谷威、日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集、S151-006、2007
- 22) 松村正三、地震 2、54、449-463、2002
- 23) 瀬野徹三：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/off.kii.pen.html>, 2006
- 24) Obara, K., Science, 296, 1679, 2002
- 25) 西出則武・橋本徹夫・舟崎淳・中澤博志・岡正善・上野寛・山田尚幸・笹川巖・前田憲二・杉本和信・高嶋鉄也、地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会、Sk-P002、2000
- 26) Ito, Y., K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine, and H. Hirose, Science, 315, 503-506, 2007
- 27) Ito, Y. and K. Obara, Geophys. Res. Lett., 33, L09302, doi : 10.1029/2006GL025883, 2006
- 28) Yamamoto, E., S. Matsumura, and T. Ohkubo, Earth Planets Space, 57, 917-923, 2005
- 29) 小林昭夫・吉田明夫、2004、測地学会誌、50、209-212、2004
- 30) 川崎一郎、スロー地震とは何か、NHK ブックス、269pp、2006
- 31) Kodaira, S., A. Nakanishi, J. -O. Park, A. Ito, T. Tsuru, and Y. Kaneda, Geophys. Res. Lett., 30 (6), 1339, doi : 10.1029/2002GL016595, 2003
- 32) 松村正三・里村幹夫・内海さや香、地震 2、60、267-277、2008
- 33) 神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫、地震 2、57、153-170、2004
- 34) Ruina, A., J. Geophys. Res., 88, 10359-10370, 1983
- 35) 堀高峰・光井能麻・馬場俊孝・加藤尚之・平原和朗・金田義行、地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会、S109-P009, 2006
- 36) 弘瀬冬樹・前田憲二・高山博之、地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会、S142-P010、2008
- 37) 吉田真吾・加藤尚之、地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会、S040-003、2002
- 38) 芝崎文一郎・布樹輝、日本地震学会 2007 年度秋季大会予稿集、P2-030、2007
- 39) Tanaka, S., M. Ohtake, and H. Sato, J. Geophys. Res., 107 (B10), 2211, doi : 10.1029/2001JB001577, 2002
- 40) Tanaka, S., M. Ohtake, and H. Sato, Earth Planets Space, 56, 511-515, 2004
- 41) Pollitz, F. F. and I. S. Sacks, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 796-807, 1995
- 42) 松村正三、地震予知連絡会会報、第 82 卷、258-261、2009
- 43) Kobayashi, A., A. Yoshida, T. Yamamoto, and H. Takayama, Earth Planets Space, 57, 507-531, 2005
- 44) 国土地理院、地震予知連絡会会報、第 82 卷、262-309、2009
- 45) Igarashi, G., Geophys. Res. Lett., 27, 1973-1976, 2000
- 46) 川崎一郎・岡田義光、月刊地球、号外 33、149-157、2001
- 47) 山岡耕春・河村将・廣瀬仁・藤井直之・平原和朗、日本地震学会 2001 年度秋季大会予稿集、A42、2001
- 48) 瀬野徹三、月刊地球、25、80-87、2003
- 49) 名古屋大学地震火山・防災研究センター、徹底討論 !!! 次の東海地震はどこだ!?, 96pp、2007

執筆者プロフィール



松村 正三

科学技術動向研究センター 客員研究官
(独) 防災科学技術研究所
<http://www.bosai.go.jp/>

専門は地震学。微小地震観測を通じて大地震の前兆現象検知を目指している。特に東海地震を対象にして、地震活動パタンの変化からスロースリップや準静的滑りにともなう応力再配分の状況を把握したいと考えている。地震調査研究推進本部専門委員。理学博士。