

第1章

地震予知と社会

溝上 恵

mizoue@mx3.mesh.ne.jp

東京大学名誉教授

1.1 複雑な問題をはらむ「地震予知」

本日のテーマは、「地震予知と社会」だが、私自身は、日頃から地震予知という言葉はあまり使わない。というのも、私は学生の頃に、「地震予知という言葉は、安易に口走るものではない」という先生のもとで学んだからである。地震予知は、観測と理論の両面から見て大変むずかしい未解決の課題が多い。さらに、社会との接点を考えると、地震予知を地震防災対策に取り入れるには十分に慎重であるべきだ。

予知という言葉の意味は様々だ。内陸地震の繰り返し間隔は数千年といったものである。このように長い時間スケールで考える予知を長期予知という。一方、大地震発生に向けての歪の蓄積がすでに臨界状態に達している断層が予め知られているとしよう。その断層付近で、地震活動や地殻変動に大

きな異常が発生し始め、このまま異常が加速していくと何日、何時間後には大地震が発生する可能性が高いと考えられるような場合がある。このように、何日、何時間といった短い時間スケールで考える予知を直前予知という。

長期的予知と直前予知では、観測・調査の手法や情報内容が大きく異なる。このように予知の内容は多様であるが、予知情報に対する社会や受け止め方も千差万別だ。どのような場合であれ、予知情報を防災に役立てるには、情報の受け手側が地震の本性をきちんと把握していることが前提になる。

地震観測では、地下深部で発生したシグナルを観測装置を通じて見る。地下深部で起きている微細な現象を高感度観測で捉えようとする、さまざまなノイズが混入し邪魔をする。このノイズをどうやって除去するかということが、地下深部で起きている現象の実態を正確に把握するための要となる。また、単に観測だけの問題ではなく、観測データを解析する時の切り口の違い、つまりデータをどのような角度から見るかによって、浮き彫りにされ目に映る現象の姿も変わる。このような状況を考えると、地震現象の実体そのものは一つでも、観測を通じて見るものは相対的な映像の域を出ない。

さらに、多くの研究者は、勝手に自らの主観やスペキュレーションを加えて話すので、個々の研究者の話をいちいち真に受けるわけにはいかない。研究者は、自らの作業仮説を立て、それを立証するために観測データを解析するが、その作業仮説そのものに理解し難いものがあったり、解析手法に一貫性がない場合が多い。個々の研究者が見たと称するものには、曖昧なものが多い。「曖昧だ」というのが適当でなければ、「多様だ」と言い換えてもよい。従って、社会と接点を持つ地震予知にかかわる情報は、個人的な研究レベルの結果に過大に左右されてはならない。社会と接点を持つ予知情報は、十分な科学的検証と行政的責任が担保された場合にのみ、発信されるべきものである。

1.2 地震情報を社会に還元するときにつきまとう問題とは

ここでは観測事実を社会に還元する場合の問題について話す。最近では、観測事実のアウトプットは、関連機関のホームページを開けば、ほとんど即刻にしてメディアや行政はもとより個人でも入手できるようになった。しかし、そのアウトプットは内容の質、量、重要度などの点で、大幅な差があり、十分な知識がないと正しい評価や取捨選択ができない。たとえ余り有るほどの情報を提供されても、ただ持て余すだけの結果となりかねない。さらに、観測機関からメディアや行政へ、さらに一般市民へと情報が伝わる場合には、あれこれと余分な情報が付加されて、客観的事実が曲げられてしまうことも多い。

したがって、「地震予知と社会」というテーマは、情報の受け手である一般社会がどの程度まで知的に成熟しているかを評価することにも繋がる。そのため、このテーマは、地震学者の手には負えない難しい問題をあまりにも多く含んでいる。しかし、実際に大地震が起こりそれによる被害を目の当たりにすると、やはり何とかしなくてはと思う。「地震予知と社会」のテーマに対する私の反応には、この「何とかしなくては」という意識が絡まっている。しかし、何か気の利いた答や解決法をもっているわけではない。

観測事実と情報は必ずしも一体となって伝わらない。その卑近な例の一つとして、有感地震情報についての誤解がある。現在気象庁が発表する震度情報は、震度計による計測震度であるが、計測震度が導入される以前は体感震度階によっていた。体感震度でいう有感地震とは、文字通り地震の揺れが体感じられることを意味する。しかし、計測震度では、震度計が震度1以上の揺れを観測した地震を有感地震という。そのため、「どこどこで有感地震

が多発している」という報道は、震度計が自動的に震度1以上の地震を多数カウントしていることを意味する。しかし、誰一人として地震の揺れを体にかけていない場合がある。

また、気象庁が震度計をある地点に設置した直後から、有感地震回数が急に増えたため、「小さな地震が多発し始めた」というニュースが流される場合がある。しかし、地震活動レベルが実際に高まったわけではなく、新たに震度計を設置したところ、その付近で日頃から発生している小さな地震を取りこぼしなくカウントするようになったに過ぎない場合がある。「有感地震回数の増加」という単純な観測事実ですら、必ずしも正確な意味が伝わるとは限らない。さらに複雑な地震、地殻変動現象について、「観測事実」を分かりやすく正確な「地震情報」に翻訳して伝えることは容易なことではない。

1.3 「大地震はいつどこで起きるかわからない」を前提にした地震防災計画

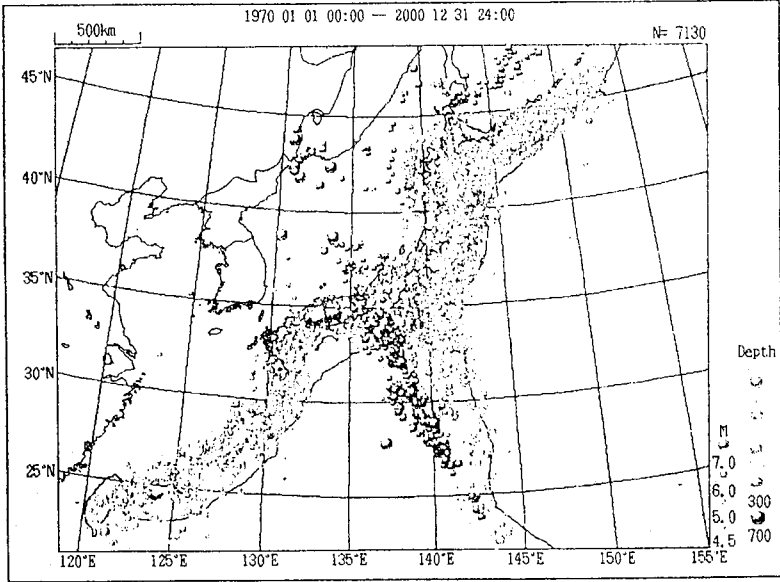
我が国は世界有数の地震大国であり、いつどこで大地震が起きるか分からない。そのため、国内のどこかに安全な逃げ場を求めるのは愚かなことであり、それぞれの地域の状況に応じて日頃から防災に万全を期すべきである(図1)。これが地域地震防災計画の策定にかかわる基本的な考え方である。

しかし、地震観測やGPSによる地殻変動観測が大きく進展し、どの地域で大地震の発生に向けての準備(歪の蓄積)が整ってきたかある程度推定できるようになってきた。そのため、大地震はいつ、どこで起きるか全く見当がつかないという考え方は徐々に変わりつつある。地震発生の危険度を評価し、それがある程度高いと推定される場合には、危険度の高い地震を特定し、その地震による被害想定を行う。このように、最近では地震防災計画に様々な戦略的要素が盛り込まれるようになってきた。その背景には、地震現

1.3 「大地震はいつどこで起きるかわからない」を前提にした地震防災計画9

世界の地震の1割は日本周辺で発生している。

○1970～2000年に発生したM4.5以上の震源分布図



(気象庁作成)

図 1: 日本の地震分布

象についての基礎的研究と地震災害の軽減にかかわる工学的研究の進展が深く関わっている。

1.4 先進的な地震学者、今村明恒の業績

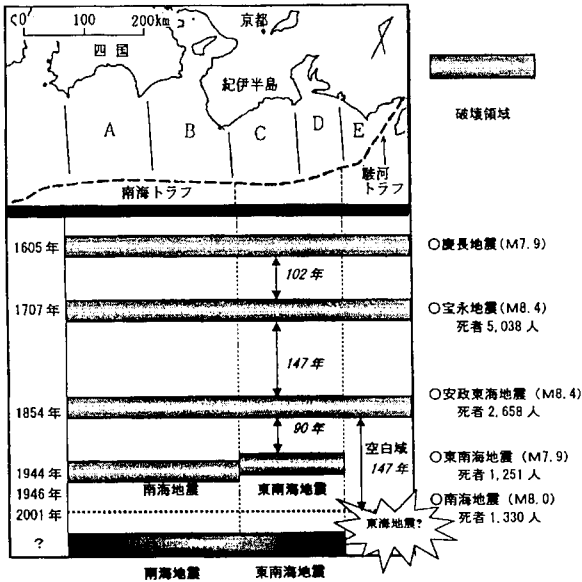
今村明恒（1870–1948）は、具体的な戦略をもって地震予知に立ち向かった最初の地震学者であった。亡くなる4年前の1944年には東南海地震、2年前の1946年には南海地震が発生した（図2）。彼は関東地震が相模湾を震源として発生すること、関東地震の発生により、帝都東京は壊滅的な被害を被るであろうと予測した。まさに凶星であった。

巨大地震の前兆として彼が着目したのは次のような現象である。太平洋沖を震源とする巨大地震の発生には、100年ないし200年という準備期間がある。この準備期間には、太平洋に突き出た半島の先端（房総半島野島崎、三浦半島油壺、御前崎、紀伊半島潮岬、室戸岬など）では、永年的で緩慢な地盤の沈降が続いている。巨大地震が切迫すると、この沈降運動の速度は鈍化し、やがて停滞する。これは巨大地震の短期的前兆であり、その後間もなくして半島の先端部は急激に跳ね返って隆起し巨大地震が発生する。巨大地震が繰り返す度毎の地盤の隆起が累積し、半島の先端部には海岸段丘という特徴的な地形が実際に形成されている。

これは、現在のプレート理論によると次のように説明される。沈み込む海のプレートが陸のプレートの先端部を引きずり込んでいる。それによる歪の蓄積が臨界レベルに達すると、陸と海のプレートの境界が滑って断層運動が発生し、陸のプレートの先端部が急激に跳ね返って巨大地震が発生する。最近では、このようなプレート理論に基く精緻なモデルが作られ、それによる数値シミュレーションが行われるようになり、東海地震の直前予知に活用されている。

今村明恒は、私財を投じて、水準測量・潮位観測・傾斜計観測・地震観測など当時のあらゆる観測手法を駆使して、南海地震の前兆現象の検出を試

東海地震と東南海・南海地震について



○東海地震

東南海地震(1944)で歪みが解放されず、安政東海地震(1854)から約150年間大地震が発生していないため、相当な歪みが蓄積されていることから、いつ大地震が発生してもおかしくないとみられている。

○東南海・南海地震

おおむね100～150年の間隔で発生しており、今世紀前半での発生が懸念されており、中部圏、近畿圏などの防災対策を早急に確立していく必要がある。

図2: 東海地震と東南海・南海地震について

みた。しかし、不幸にして太平洋戦争が勃発し観測の続行もままならず、今村の努力は南海地震発生直前で観測資材の不足などにより挫折した。今村は、「長年の努力も水泡に帰した」といい残して南海地震の2年後に他界した。南海トラフの巨大地震の予知の試みは、成功を目前にしていたのである。現在の東海地震の直前予知は二度目の挑戦ということになる。

1.5 巨大地震の切迫性を想定した防災計画

「日本は世界有数の地震大国であり、いつどこで大地震が起きるか全く分からない」といって、地震についての最近の知見を活用することもなく、ひたすら受け身の姿勢に終始することは適当でない。中央防災会議では、南関東、東海および東海・南海の各地方における巨大地震発生サイクル、震源域および巨大地震の準備期間に発生する直下地震の発生様式を組み込んだ地震防災計画を立てている。

プレート境界を震源域とするマグニチュード M8 クラスの巨大地震については、その発生メカニズムや発生間隔についての研究が進み、その発生時期を長・中期的に推測できるようになった。南海トラフの巨大地震は 100 年ないし 150 年の間隔で繰り返し発生する。1944 年に東南海地震 (M7.9)、1946 年に南海地震 (M8.0) が発生したことから、今世紀前半には次のサイクルの巨大地震の発生が推測され、中部圏、近畿圏などの防災対策を早急に確立していく必要が指摘されている。

一方、浜名湖以東の東海地方では、1944 年東南海地震で歪が解放されず、地震空白域として取り残された。つまり、東海地方では 1854 年安政東海地震 (M8.0) から約 150 年間巨大地震が発生していないため、歪の蓄積はすでに臨界状態に達しており、いつ巨大地震地震が発生してもおかしくない。これが想定東海地震である。この地震が発生すると、震源域が沿岸陸部から海域に跨っているので、静岡県沿岸などでは津波が 2-3 分で襲ってくる。従って、直前予知の「ある」か「なし」かで人的被害に大きな差が出る。東海東海地震については、「大規模地震対策特別措置法」に基づき、気象庁は 24 時間連続の監視観測を行ない、直前予知の達成を目指している。また、今世紀の前半中に東南海および南海地震が発生する可能性が高く、これらの巨大地震についてもそろそろ防災対策を立てる必要がある (図 3)。

南関東を直撃する巨大地震は、相模トラフを震源域とする関東地震である。1923年大正関東地震（M7.9）では、首都東京は壊滅し、関東一円で死者行方不明は14万人を超えた。1703年（元禄16年）には、相模トラフを震源域として元禄関東地震（M7.9-8.2）が発生したが、この地震は大正関東地震と同じタイプの巨大地震である。つまり、関東地震はほぼ200年間隔で繰り返し発生すると推測される。1703年元禄関東地震の後、南関東一円では地震活動の静穏な期間が70年-80年間続いた。これは関東地震の発生によって南関東一円の歪が解放されたことによる。

元禄関東地震から80年ほど経った1780年頃から、南関東一円の地震活動は徐々に活発化してきた。やがて南関東直下地震の代表例である1855年安政江戸地震（M6.9）が江戸川河口付近の直下で発生し、死者約1万人を超えるという被害を生んだ。その後も1894年東京地震（M7.0）が発生するなど地震の活動期が続き、1923年大正関東地震につながった。

1703年元禄関東地震から1923年大正関東地震にいたる220年間の地震活動の経過の特徴から考えると、南関東直下の地震活動は、概ね次の3期に区分される。

- （第1期）： 関東地震の発生から約70-80年間は、関東地震の発生により南関東一帯の歪みが解放されるため、地震が発生しにくくなり、地震活動の静穏期となる。
- （第2期）： 次の70-80年間は、歪の蓄積がある程度（関東地震の発生に必要な歪の蓄積量の約三分の一以上）まで回復し、各地で地震活動が徐々に活発化してくる。M7前後の直下地震が発生する可能性も念頭におく必要がある。
- （第3期）： 南関東の各地で地震活動が一段と活発化する。軽微な被害を伴う地震が多発し、M7クラスの直下地震が複数回発生し、関東地震が再来する（図3）。

このような理由から、中央防災会議は南関東直下地震がある程度の切迫性

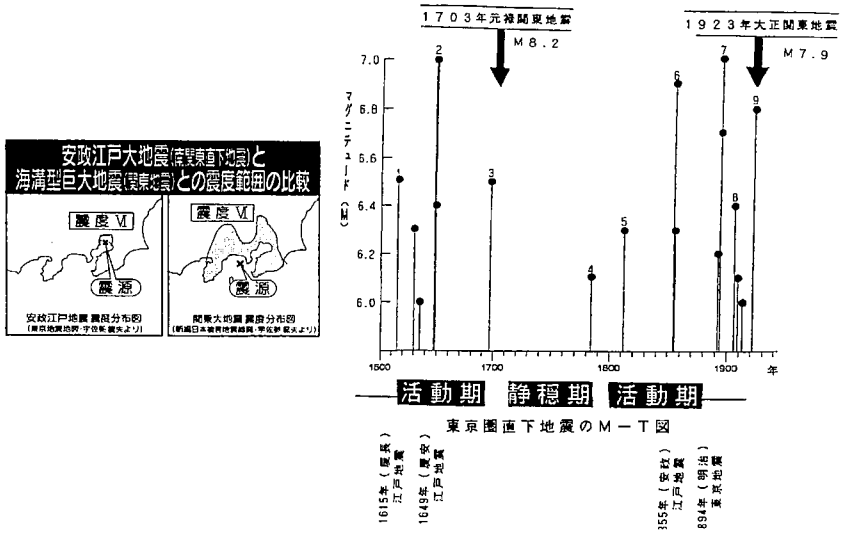


図 3: 東京圏直下の地震活動の推移と関東地震との関係および安政江戸地震の震度分布東海地震分布

を有する時期に入ったものと評価し、平成 4 年 8 月に「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」を決定した (図 4)。国は、アクションプランを作成するなど地震防災対策を進めるとともに南関東の各地方公共団体に対して地震被害想定、地域危険度測定などの実施とそれに基づく防災対策を立てるよう促した。

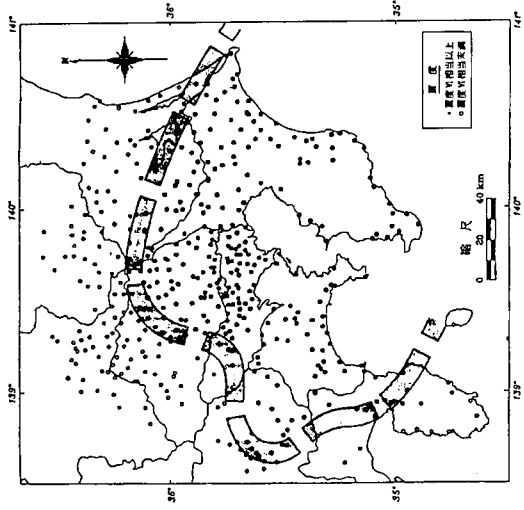
南関東直下地震は、南関東の足下で発生する M7 前後の地震であるが、それらは次の関東地震までに複数箇発生するであろう。南関東直下地震は、長中期的に見て発生の危険度が高まってきたことは予測できるが、南関東一円のどこで何時発生するか特定できない。

従って、南関東直下地震は、必ず突発的に発生することを前提に、防災対策を立てる必要がある。ここで注目すべきことは、南関東直下地震の切迫性

南関東地域における地震発生の切迫性について	
地震のタイプ	南関東地域直下の地震
規模	マグニチュード7程度
地震発生	発生は、ある程度の切迫性を有している
切迫性	(理由) 南関東地域は、ニューラッププレート、フィリピン海プレート、太平洋プレートが互いにずれ、複雑な応力集中が生じている。 南関東地域では、プレートの沈み込みによって蓄積された歪エネルギーの一部が地溝型の巨大地震の発生に先立ちいくつかの直下の地震により放出されている。関東大地震の発生後約70年を経過している。
予想される震源域	特定できない(南関東全域の地下)
一つの地震の発生により震度VIとなる地域	平均的にみれば半径30km程度(関東大地震ではおおむね半径60km程度)
地震予知の見通し	前兆現象の把握が困難であり、現状では予知は非常に難しい。
過去の被害の例	安房江戸地震(1855年) 東京地震(1894年) 関東大地震(1923年)

(注) 昭和63年6月27日中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会検討結果中間報告及び平成4年6月21日同専門委員会検討結果報告より要約

南関東地域直下の地震により著しい被害を生じおそれのある震度VI相当以上になると推定される地域の範囲
(大震の対象地域)
(平成4年8月21日 中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会検討結果報告より)



(注) ●は市況町村役場の所在地(うち●は7都県の282市区町村)
(備考)
一つの直下の地震の発生により上の地域の全域が震度VI相当以上になるものではない。同様に、一つの直下の地震が発生した時に震度VI相当以上になると指定される地域の範囲は、同程度の地震モデルによると概ね半径30km程度であるが、更に局地的になることも考えられるとされている。
(震度VI)は、平成8年10月1日から「強」の2つに分けられている。

図4: 南関東地域直下の地震対策に関する大綱

が指摘されるまでは、相模トラフを震源域とする M8 巨クラスの巨大地震である関東地震の再来を前提にした防策のみが取られ、直下地震の切迫性は念頭に置かれていなかったことである。つまり、相手を取り違えた対策が取られていたわけである。今後は、現時点で切迫性の高い地震が何か絞り込み、それに対して効果的な対策を立てる傾向が一層高まるであろう。

1.6 地震の本性に根ざした予知研究を

地震の予知や防災の主な対象は、M7、M8 クラスの大規模地震であり、M5、M6 クラスの地震は大きな被害につながる可能性が低く、社会的にはあまり大きな影響を与えない。しかし、地震学からは、たとえ小規模な地震であっても、その発生メカニズムが詳細に解明されると、大規模地震の予知研究につながる可能性が大きい。

最近ではプレート境界でのアスペリテイ (Asperity) についての研究が進むとともに、地震発生の準備過程を時間空間的に追跡する試みが行われるようになってきた。そのような観測・研究の成果の1つとして、岩手県沖のプレート境界が周期的に滑って発生する小規模 (M4.8 程度) の固有地震の発見がある (図5)。

固有地震とは、固有の震源域やメカニズムをもち、一定の繰り返し周期で発生する地震を言う。固有地震は、ほぼ一定の間隔で発生するという特性から、予知を試みる対象となりやすい。その事例としては、南海トラフの巨大地震や宮城県沖地震などが挙げられる (図6)。これらの大規模地震の繰り返し間隔はかなり長いので、短期間の実験的研究には不向きである。しかし、短期間で繰り返す小規模な固有地震の発見によって、固有地震の規則的発生の仕組みについての研究が大きく進展する可能性が生まれた。

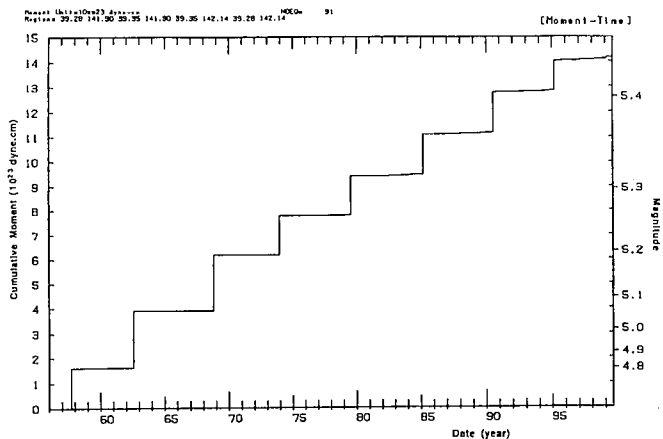


図 5: (a) 気象庁データによる、クラスターに含まれる地震の積算モーメント

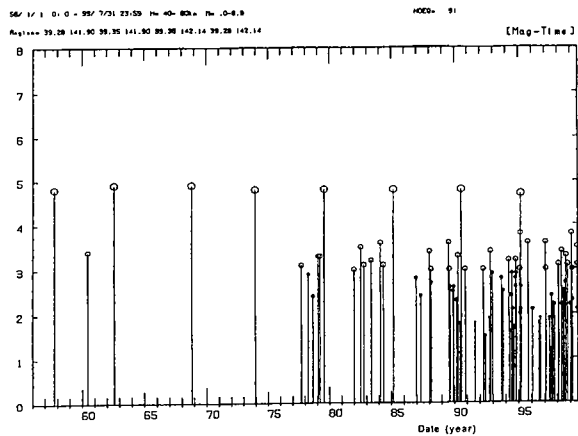


図 5: (b) 気象庁データによる、クラスターに含まれる地震の積算の M-T 図 (東北大による)

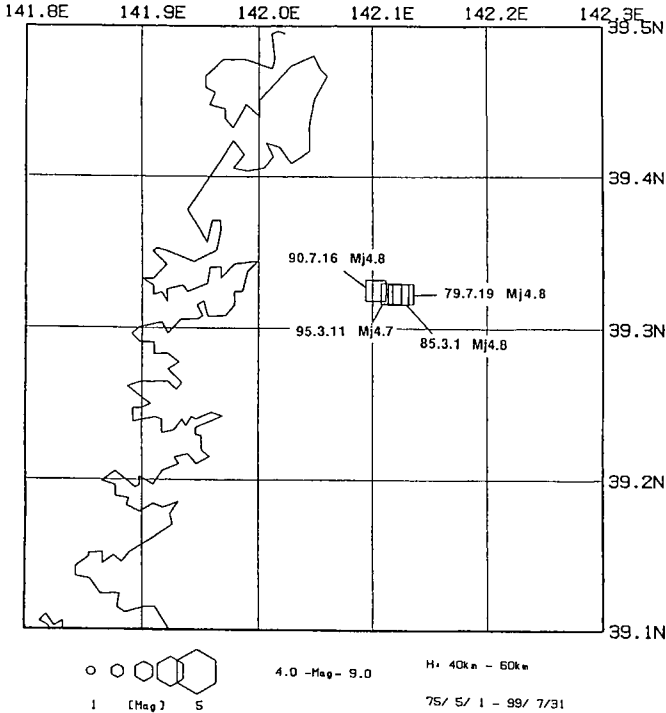


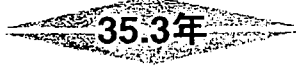
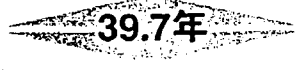
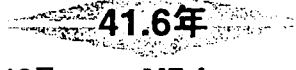
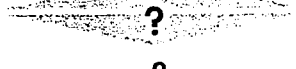


図5: (c) 図5-(b)の地震のうち気象庁マグニチュードが4以上の地震の震央分布(東北大学による)

1.7 東海地震の直前短期予知と「いわゆる予知」との違い

東海地震はプレート境界を震源域とするマグニチュード8クラスの巨大地震である。このタイプの地震を引き起こす断層運動は、先ずプレート境界のゆっくりとした滑りで始まり、やがてその滑りは急激に加速・拡大し、最終

発生日	震源の規模	型
1793年2月17日	M8.2程度	連動型
		
1835年7月20日	M7.3程度	単独型
		
1861年10月21日	M7.4程度	単独型
		
1897年2月20日	M7.4	単独型
		
1936年11月3日	M7.5	単独型
		
1978年6月12日	M7.4	単独型
		
20XX年	?	?

1978年の発生より、23年が経過。

平均活動間隔は37.1年、最短は26.3年である。

図 6: 宮城県沖地震の繰返し (島崎邦彦ほか、集英社、大地震)

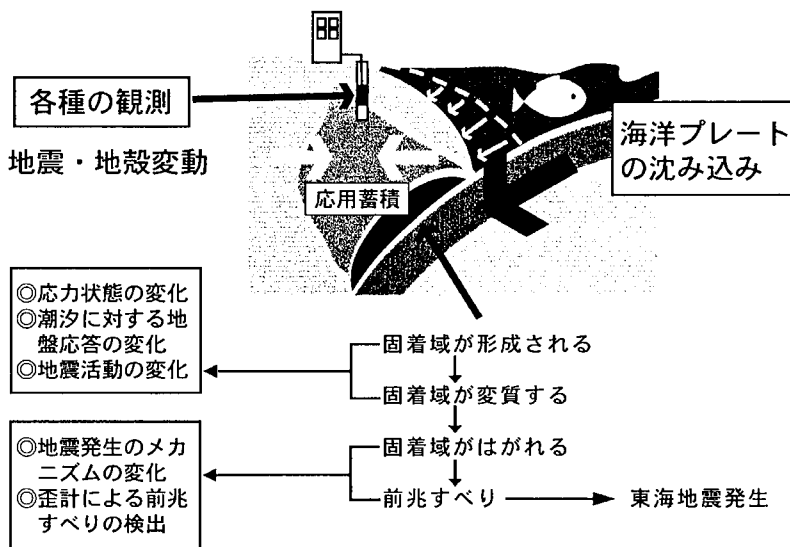


図7: 東海地震の仕組み

的には大規模な断層運動となって地震発生にいたる。プレート境界を震源域とする巨大地震の始まりは、「前兆滑り」という局部的で緩慢な断層運動である（図7）。この「前兆滑り」に伴う微細な地殻変動は、GPSや高感度の歪計により捉えられる。「前兆滑り」が加速的に拡大・進行するならば、短時間で全面的な断層破壊に繋がり「東海地震」が発生する。東海地震の直前予知とは、「前兆滑り」を可能な限り早期に捉え、地震発生の直前にその発生時点を予測し、警報を発信することである。東海地震の直前予知は、「前兆滑り」の検知を手がかりとする手法であるため、この手法特有の「長所」および「短所・限界」を伴う。

直前予知の「長所」は、観測と理論の両面からその実在性と特質が確認されている「前兆滑り」という普遍的な現象を拠り所としている点である。「前兆滑り」は、東海地方に現在展開されている歪計観測網とGPS観測網

によって検出できる可能性が高い。「前兆滑り」が始まった時点で、東海地震は、すでに準備過程を終えて発生過程に突入している。「前兆滑り」が始まると、歪の異常変化は時々刻々と加速し、その異常はより広範囲にわたり出現するようになる。この時点に立ち至ると、誰がどのような解釈に立ってデータを見ても、東海地震が目前に切迫しているという緊急事態の到来を悟らざるをえない。

この事態に及んで、地震予知に対する感情的「拒否反応」から、事実を無視し社会に向けての予告を怠るならば、最もそれは、社会的犯罪と言わざるをえない。この意味で、「前兆滑り」の検知による直前予知とは、地震発生の早期検知であり、いわゆる「予知」ではない。いわゆる「予知」は、何をもって前兆現象するのかその根拠と前兆検知の方法が確立されていないため、大きな不確定さを伴う。一方、「前兆滑り」の検知による直前予知では、時間の経過とともに「前兆滑り」によるシグナルが加速的に増大するため、地震発生時点の予測の確度が時々刻々と高まっていく。

直前予知の「短所と限界」は、「前兆滑り」が検知された時点では、すでに東海地震に向けてプレート境界に沿った断層運動が始まっている。従って、「前兆滑り」の検知から大規模な断層運動に至るまでの限られた時間が、緊急的な防災対応を事前に行うために用いる時間ということになる。歪計をより高密度に展開すれば、「前兆滑り」をより早期に検出できるようになる。しかし、それにも当然限界がある。

さて、東海地震について直前予知の手法を適用しない場合には、たとえ十分な時間的余裕を伴って「前兆滑り」が出現した場合であっても、「予知情報」は発信されない。従って、東海地震は何の警報も全くないまま、突発的に襲ってくることになる。東海地方の太平洋沿岸では、東海地震発生の2-3分後に大津波が襲ってくる地域があり、直前予知情報を受けて避難するという方法を取らない限り、数多くの溺死者が出ることになる。

1.8 「前兆滑り」に伴う地殻変動の早期検知

フィリピン海プレートと東海地方を乗せた陸のプレートの境界がカップリングしている固着域に緩みあるいは剥がれが生じ、やがて前兆滑りが始まると、東海地震の発生に向かって事態が加速的に進行して行く。固着域の真上には、地震計、歪計、GPSなどの観測網が設置され、24時間連続で監視観測が続けられている。前兆滑りの発生は、その極初期の段階でGPS観測によって検知される。前兆滑りが加速、拡大し、ある程度の段階に達すると歪計に異常な変動が記録される。さらに前兆滑りが加速、拡大すると、歪計に記録された異常変動の振幅も加速的に増大する。それと同時に、異常変動を記録する歪計が一点だけではなく、2点、3点と隣接する点に広がっていく。現在、東海地方には16箇所に歪計が埋設されているが、それぞれの歪計によって異常であると判別される変動レベルが長年の観測データから解析・調査されている(表1)。これら各地点における歪計の異常検知能力を考慮すると、歪計設置点の直下で前兆滑りが発生した場合、前兆滑りの検知から東海地震発生までの時間を推定できる(図8)。

歪計の異常検知能力は、設置点の地下構造、地表付近の地盤特性、気象条件(降雨があると記録が雑音で乱れ検知能力が低下する)などにより異なる。また、時間間隔(例えば時間階差:3時間あるいは12時間といったように)を長くするほど異常変動の累積値が大きくなるので、異常を検知しやすくなる。歪計の観測網としての検知能力の高低は、歪計の設置密度の高低に依存する。歪計は太平洋沿岸地域に集中して設置されており、内陸の山岳部にはほとんど歪計が設置されていない。そのため、内陸部直下のプレート境界で前兆滑りが発生した場合には、それを早期に検知することは困難であり、さらなる歪計観測網の整備充実が必要である。

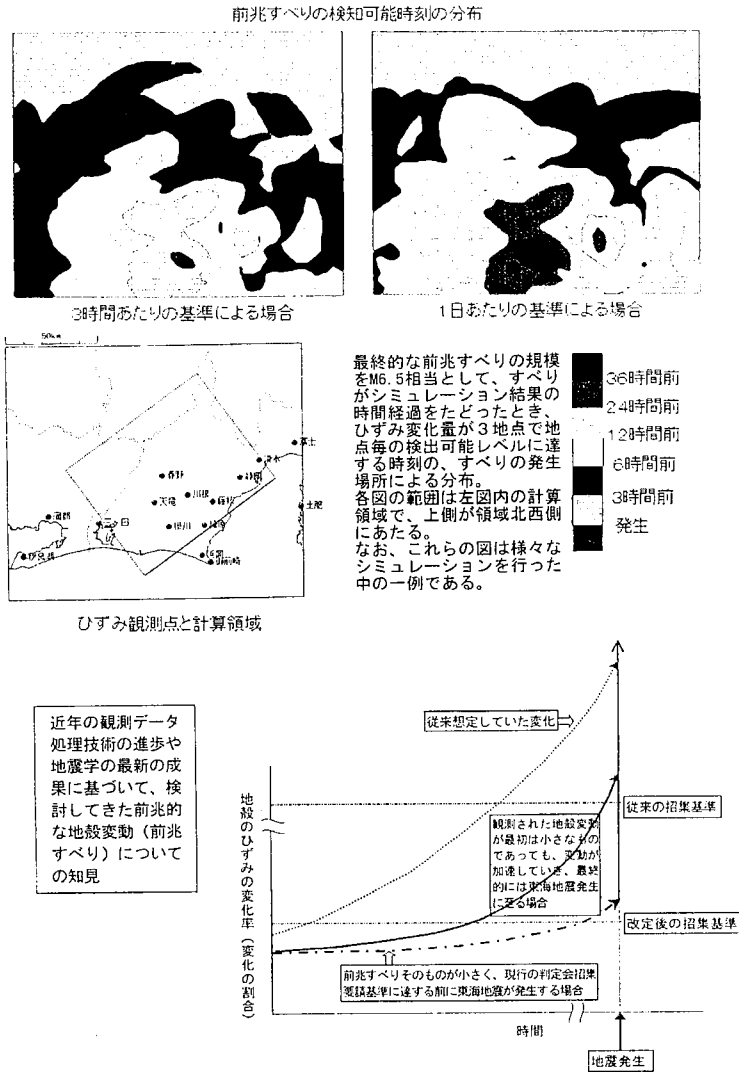


図 8: 前兆すべりの探知可能時間

東海地域の気象庁体積歪計データのノイズレベル (気象庁, 1998b)

観測点	3時間階差			24時間階差		
	通常期間	降水期間		通常期間	降水期間	
		伸び(+)	縮み(-)		伸び(+)	縮み(-)
(1) 伊良湖	1.8E-08	1.6E-08	-4.7E-08	2.7E-08	2.8E-08	-6.2E-08
(2) 蒲郡	1.5E-08	1.8E-08	-3.0E-08	2.5E-08	4.6E-08	-1.0E-07
(3) 三ヶ日	1.4E-08	1.4E-08	-3.0E-08	3.1E-08	3.2E-08	-5.5E-08
(4) 天竜	1.4E-08	5.4E-08	-1.2E-07	2.4E-08	1.0E-07	-1.5E-07
(5) 川根	8.6E-09	9.2E-09	-7.9E-08	3.0E-08	3.5E-08	-2.2E-07
(6) 浜岡	9.0E-09	6.6E-09	-5.1E-08	2.0E-08	1.6E-08	-8.5E-08
(7) 榛原	2.0E-08	1.6E-08	-6.0E-08	3.0E-08	4.7E-08	-1.2E-07
(8) 御前崎	1.9E-08	1.6E-08	-6.9E-08	4.3E-08	3.6E-08	-8.0E-08
(9) 藤枝	6.7E-09	1.6E-08	-5.1E-08	9.0E-09	2.5E-08	-7.4E-08
(10) 静岡	1.0E-08	2.1E-08	-5.8E-08	2.1E-08	8.8E-08	-7.4E-08
(11) 清水	1.1E-08	9.8E-08	-2.4E-07	2.3E-08	1.3E-07	-3.0E-07
(12) 富士	1.3E-08	2.0E-08	-1.1E-07	5.0E-08	5.5E-08	-1.8E-07
(13) 土肥	1.8E-08	1.7E-08	-4.7E-08	2.6E-08	2.7E-08	-9.0E-08
(14) 石廊崎	3.7E-08	3.1E-08	-4.3E-08	4.8E-08	4.5E-08	-1.1E-07
(15) 東伊豆	1.3E-09	1.5E-08	-6.5E-08	2.4E-08	2.4E-08	-1.6E-07
(16) 網代	4.2E-08	5.5E-08	-8.7E-08	5.0E-08	5.3E-08	-2.4E-07

注) 例えば, 1.8E-08は 1.8×10^{-8} strainを表す。

表 1: Noise-levels of JMA's volumetric strain data in the Tokai region. With differential data for 3 hours and 24 hours, ordinary terms and precipitation terms, and extension (+) and compression (-) strain. From the Japan Meteorological Agency (1998b)

1.9 GPS、歪計による異常検出から判定会召集までのシナリオ

東海地方に展開されている GPS (衛星利用測位システム) 観測によって、従来から引き続いてきた傾向とは異なる地殻変動が始まり、さらにそれが加

速してきたとしよう。それと呼応して御前崎の沈降が停滞し、さらに隆起に転じる傾向を示すようになると、いよいよ東海地震が目前に迫ってきたことを、誰もが実感するようになる。では、東海地震発生の1-2日程前には、地殻岩石歪計（体積歪計あるいは単に歪計ともいう）にどのような異常変動が現れ、それが東海地震に直結する「前兆滑り」による変動であると判断されるのだろうか。

現在、東海地方には16点からなる歪計観測網が設置され、そのデータは24時間連続、リアルタイムで監視されている。異常検知の最初の段階では、これらの16観測点（図9）のうち、互いに隣接しあった2点以上の観測点で、短時間のうちに相前後してノイズレベル（あらかじめ各観測点について調査してある）を超える異常変動がとらえられる。しかし、この段階では異常変動の大きさは、あらかじめ定められている判定会召集要請基準のレベルには達していない。この観測データの異常に直面し、気象庁の現業観測室には、にわかに緊張感が漲ることとなる。この状況は、その後の歪の変化や地震活動の推移によっては、判定会召集という事態に至る可能性があるからだ。

このような状況で、さらに歪変化が加速的に進行していく場合には、気象庁は東海地方の地殻活動の状況についての情報を、「観測情報」として状況の進行に応じて昼夜を問わず繰り返し発表することになる。「観測情報」に対して、行政、企業、一般市民はどのような行動を取るべきであろうか。現状では、引き続き発表される「観測情報」を聞き漏らさないようにすること、緊急事態を念頭において連絡態勢を整えることが求められている。

しかし、「観測情報」は、必ずしも地震の発生が切迫していることを意味していないので、「観測情報」をどのように理解し、活用すべきかは、今後各方面の意見を踏まえた議論に待つところが多い。

歪計によるデータは、その変化の大きさにより、①レベル0：変化がノイ

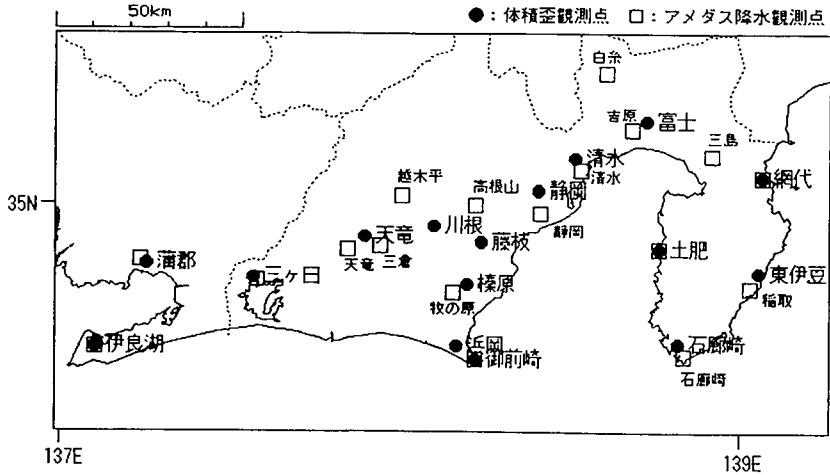


図9: 東海地方の歪計観測網 (表1参照)

ズレベルの範囲内にあり、異常なしと判断される。②レベル1：ノイズレベルの最大値に相当し、異常の出現と認識される。観測者は、その後の変化の推移を特段の注意を払って監視する。③レベル2：明らかな異常であり、課長連絡基準として定められている。レベル2に達すると、観測者は担当課長（地震予知情報課・課長）に連絡・通知する。状況によっては、気象庁は初動対応に踏み切る可能性がある。④レベル3：ノイズレベルの最大値の3倍に相当し、判定会召集要請基準として定められている。3観測点で同時にレベル3に達すると、判定会が自動的に召集される（図10）。

静岡県中部の深さ20-30キロメートルのプレート境界が、ゆっくりと滑り始めた（前兆滑りの発生）という想定によるシミュレーションによる9月1日の防災は次のようなシナリオで実施された。①レベル1の歪変化が、8月30日23時44分に藤枝で、31日04時37分に榛原で、31日10時41分に川根でそれぞれ観測される。②レベル2歪の変化（課長連絡基準）が、31日10時04分に藤枝で、31日16時34分に榛原で、9月1日03時33分に天

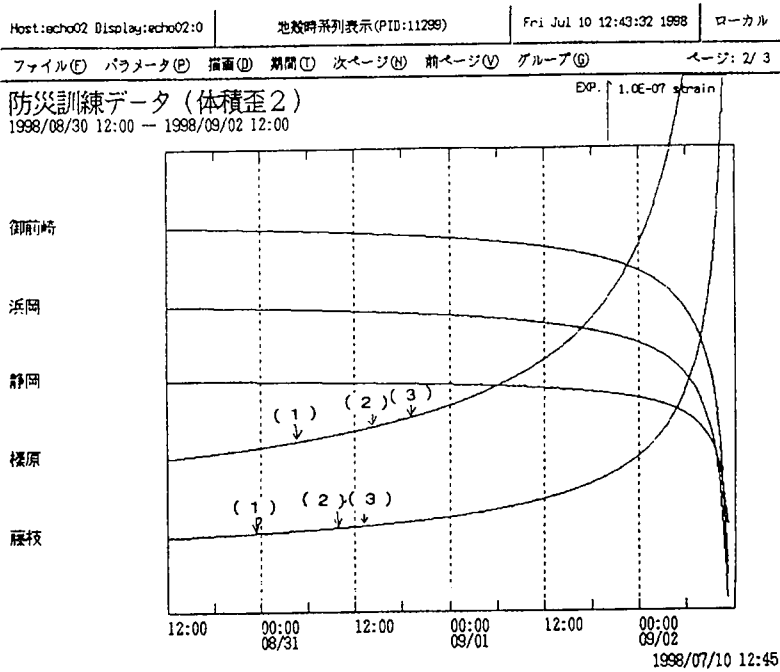


図 10: 1998 年防災訓練データ 各観測点での体積歪の時間的変化
(1) 最大ノイズレベル値 (2) 課長連絡基準値 (3) 判定会召集要請基準値

竜でそれぞれ観測される。③レベル 3 の歪変化 (判定会召集要請基準) が、8 月 31 日 12 時 56 分に藤枝で、19 時 46 分に榛原で、9 月 1 日 06 時 09 分に天竜で、それぞれ観測される。④3 観測点で同時にレベル 3 の歪変化が観測されたため、9 月 1 日 06 時 20 分、判定会召集が自動的に決定される。

1.10 東海地方およびその周辺における最近の異常変動

国土地理院のGPSによる地殻変動観測によると、定常的な地殻変動の水平成分は北西ないし西北西に向いている。ところが、2000年6月26日から始まった三宅島の火山噴火活動に伴って異常変動が発生した。この異常変動は三宅島、神津島、新島周辺を中心として、南関東では霞ヶ浦付近、東海地方では浜名湖付近にまで及んだ。この噴火活動に伴った異常変動は収束に向かったが、2001年3月頃から新たな異常変動が東海地方で観測されるようになった。この異常変動のベクトルの向きは南東方向であり、この方向は北西方向の定常的な変動と逆向きである（図11(a)、(b)）。この異常変動は、プレート境界が東海地震を引き起こす方向にゆっくりと滑り始めたことを示している。このプレート境界の滑りはゆっくりと一定速度で進行しており（図12）、現時点では2-3cmで加速性を示していないため、すぐさま東海地震の発生に結びつくものとは考えられない。しかし、この異常変動が今後加速すると、歪計の観測データにも異常が現れてくる可能性がある。

その時点では、異常の進行状況に対応して、あらかじめ用意されている東海地震の直前予知に向けての手順で「観測情報」、「判定会召集情報」、「予知情報」が順次に発信される。

東海地方では、1996年から97年にかけて東海地震の想定震源域を取り巻いてM5前後の地震が連続的に発生した（図13）。また、2001年4月3日には、静岡県中部の地震（M5.1）が発生した。これらの地震の震源の深さと発震機構解などから見て、日頃発生している地震とは異なる性質の地震であると考えられる。これらの地震は、東海地震の震源域に対応するプレート境界の固着域の縁辺部に剥がれ（あるいは緩み）が生じてきたことを示唆して

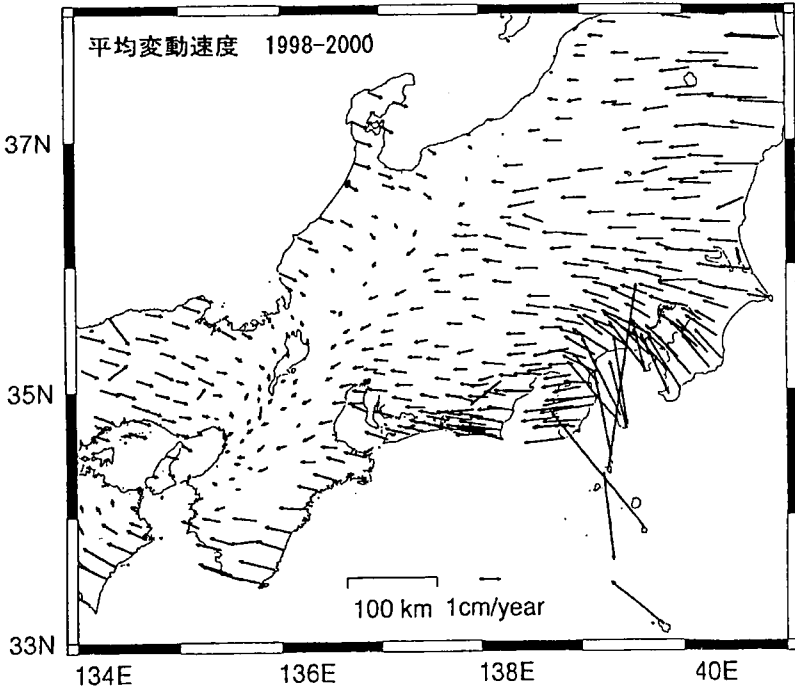


図 11: (a) GPS 観測により測定された平均的な地殻変動（1998 年から 200 年：1 年あたりに換算）

第 188 回地震防災対策強化地域判定委員会打合わせ会（平成 13 年 7 月 30 日）国土地理院資料より

いる。一方、御前崎の沈降の速度の増加・減少は、東海地震に向けての歪の蓄積の進行状況を推定するための手がかりの一つである。御前崎の沈降についての最近のデータを見ると、沈降速度が約 30%減少しているという評価がある。この沈降速度の減少も、固着域に緩まないしは剥がれが生じてきたことを示唆する。御前崎の沈降速度が減少、停滞し、その後それが引き続くならば、やがて御前崎は反転・隆起し東海地震が発生する。このシナリオを念頭において監視を行う必要がある。

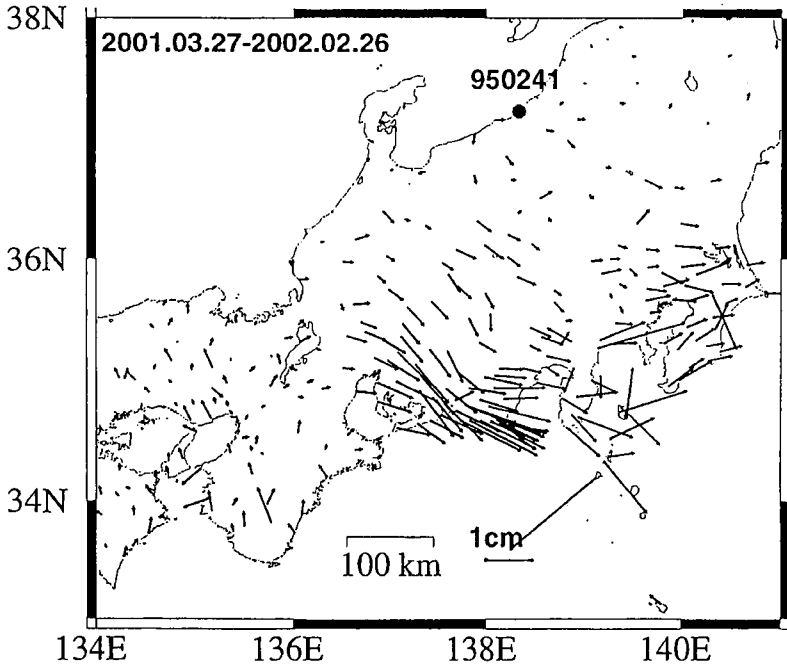


図 11: (b) GPS 観測により判定された平均的な地殻変動からのずれ
 第 195 回地震防災対策強化地域判定委員会打合わせ会（平成 14 年 3
 月 25 日）国土地理院資料より

御前崎の沈降についての最近のデータに基づいて、きわめて近い将来に東海地震が発生する可能性がある」と指摘する研究者もでてきた。時々刻々の観測データは、研究者のみならず広く一般に公開されている。そのため、東海地方の地震活動や地殻変動の観測事実そのものは容易に知ることができる。しかし、その観測事実が何を意味しているか評価することは、観測、解析に関わる当事者にとっても容易なことではない。

2000年1月までのデータから平均速度及び年周変化を推定し、全体の期間から取り除いている。

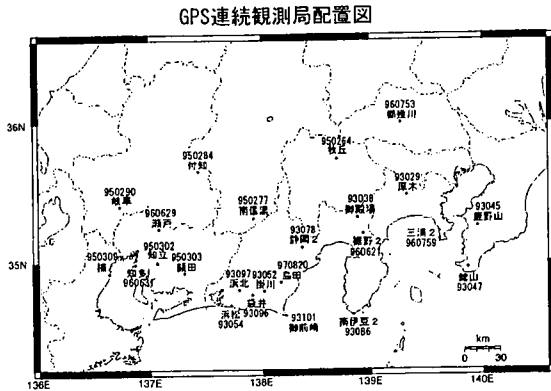
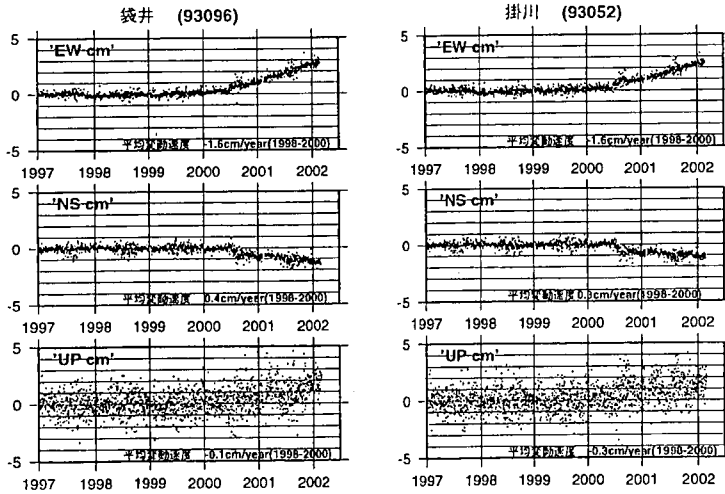


図 12: GPS 観測点の位置の時間変化
 第 195 回地震防災対策強化地域判定委員会打合わせ会（平成 14 年 3 月 25 日）国土地理院資料より

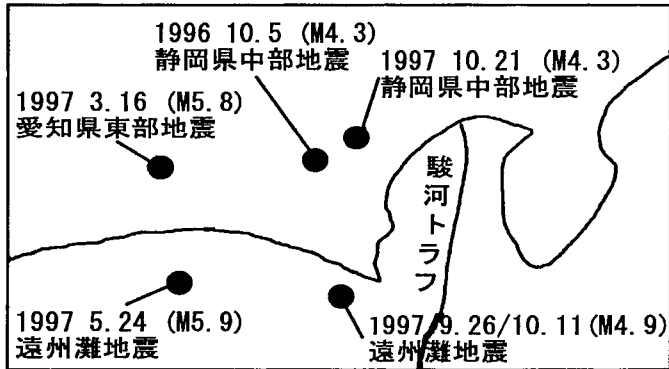


図 13: 最近東海地域で発生した注目すべき地震

1.11 まとめ

- 1) 現在一般に使われている「地震予知」という用語の意味は多様である。一般社会に向けて防災情報発信される「予知情報」があるとなれば、それは科学的根拠と行政的責任を共に担保するものでなくてはならない。
- 2) 科学的な「観測事実」を、分かりやすく正確な「情報」として一般社会に伝えることは必ずしも容易なことではない。従って、「予知に関わる観測事実」を「防災情報」として活用するためには、観測・研究者、行政、マスメディア、一般市民などが広く協力し合い、有効な情報伝達システムを構築する必要がある。
- 3) 地震大国である日本では、いつどこで大災害を生む地震が発生するかわからない。しかし、地震発生の一連の仕組みの研究や観測技術の進展に

よって、地震のタイプを区別し、それぞれのタイプの地震について、どの程度まで発生の準備が整ってきたかを評価できる事例も現れてきた。そのため、切迫性の高い地震に的を絞り、地震発生までの時間と被害範囲・程度を予め考慮に入れた戦略的な防災対応が取られるようになってきた。そのため、最近では、地震モデルを設定し、それによる地震被害想定に基づいて防災計画が立てられる場合が多くなってきた。

- 4) 東海地震の直前予知は、プレート境界における「前兆滑り」の早期検知によるものである。従って、直前予知の情報が出される時点では、すでに東海地震はその発生段階に入っている。その意味で、東海地震の直前予知は、地震発生の前にその発生を言い当てるいわゆる「予知」とは本質的に異なっている。「前兆滑り」の早期検知による直前予知は、地震発生の早期発見による手法であるため、予知情報の発信から地震発生までの時間的余裕が短い。この短所（限界）を補うためには、観測態勢の充実、情報発信の方法の改善、情報の受け手である一般市民が地震情報への関心と理解を高めることなどが必要である。
- 5) 「前兆滑り」の早期検知は、これまで主として歪計による観測に依存してきた。しかし、90年代に入ってからGPS観測が広く導入され、「前兆滑り」を広域的な地殻変動から検知する能力が高まった。東海地震に関わる各情報（解説情報、観測情報、判定会召集要請情報など）は、これらの観測による客観的事実と予め定められた基準に従って発信される。「前兆滑り」が確実に発生し始めたと判断される時点では、直ちに「予知情報」が発信される。