

南海道地震は近い、

京都大学防災研究所
地震予知研究センター
安藤雅孝

1 はじめに

南海トラフ沿いには巨大な地震がしばしば起きる。歴史上最古の地震は 684年白鳳の地震であり、その後、同じ場所に、同じような地震が9回も繰り返された。世界で最も数多く過去の地震が数えられているところである。近年の地震は、1944年の東南海地震(M=8.1)、1946年の南海道地震(M=8.1)である(第1図)。最近の2つの地震が起こる前20年間は、周辺地域の中国・四国地方に数多くの直下型地震が頻発した。これら直下型地震は広い意味での地震前兆現象である。再びこの活動期が始まれば、現在は静穏な近畿地方も、地震活動地域に変るはずである。現在、この活動期を思わせる兆候がいくつか捉えられている。それだけに地震への備えと予知研究が必要となっている。

南海トラフ沿いの大地震は、海洋プレートの沈み込みに伴う海溝型逆断層地震である。次の南海道地震の予知は、駿河湾沿いにかかるだろうと予測されている東海地震の予知に比べ、潜り込む海溝が単柔なため、より容易で成功の可能性も高いと考えられる。次の南海トラフの地震への備えは、地震防災や地震予知研究の技術・理論を大いに進歩させるものと思われる。この講演では、①南海道地震はどんな地震か、②次の南海道地震の発生が近いと考える理由、③この地震の予知体制、などについて述べる。

2 南海道地震とは

南海道地震とは、1946年(昭和21年)12月21日、四国・紀伊半島沖に発生したマグニチュード 8.1の巨大地震である。戦後後に発生した地震のため、種々のデータ(特に測地データ)が比較的豊富に残されており、世界の地震研究者の間ではよく知られている地震である。この地震の2年前に1944年(昭和19年)11月17日に同じような地震(東南海地震)が紀伊半島、東海沖に起きている。これら二つの地震は、強震動とともに、津波と地殻の隆起・沈降を伴った典型的な海溝型逆断層地震であった。1944年東南海地震の被害は静岡・愛知・岐阜・三重の各県に多く、死者は 998名、重傷3,059名、住宅全壊 26,130戸に達した。地動は比較的緩やかで、家屋倒壊までに1分くらいの余裕があったらしい(宇佐見)

1946年南海道地震の被害は主に四国各県・和歌山・岡山・兵庫の各県に多く、死者 1,330名、

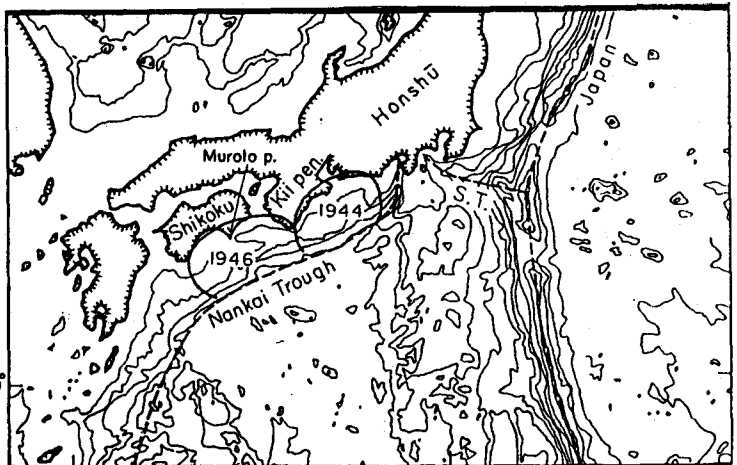


図1 フィリピン海プレートの境界と地震の位置

重傷者 3,842名、全壊家屋 4,283戸に達した。一般に震害はそれほど激しいものではなかったが、高知県中村町では全世帯数 2,421で全壊家屋 2,421戸に達し死者は273名に上った。大阪では死者32名、全壊家屋 234戸であった。大阪での死者はすべて家屋の倒壊による点が注目される。

3 過去の地震 - 次の南海道地震の鍵

3-1. 地震の時期と位置

南海道地震の理解のために、過去に繰り返された地震について概観する。図2は684地震から1946年地震までの地震の発生日とその位置をまとめたものである。図中A-Eは、過去の地震の起こり方から、地震発生の単元として考えられる。白鳳の地震(684年)が、南海道地震と同じ型であると判断されたのは、「地震に伴い諸国で山くずれや家屋の倒壊が起き、土佐では土地が沈み津波に襲われた」との記述が残されているからである。記述は短いものであるが、これらの現象だけから、南海道地震と同型の地震と判断できる。このように古文書に基づく南海トラフ地震の位置の推定は、いろいろな研究者により試みられてきたが、結果はそれほどちがわない。

3-2. 地震考古学 - 新しい地震発見の手法

地震発生時期推定に大きな変化を与えたのは、最近の考古地震学の結果であった(寒川 1992)。図2から、地震の間隔は現在に近づくにつれ短くなるのが読みとれる。実際そうであれば問題はないが、どうも古文書からの復元には見落としがあるのではないかとの指摘もある。強震動による噴砂現象などが考古遺跡中にしばしば見られるが、これを使って地震時期の推定を寒川は行った。図2の黒丸はこれらの考古遺跡中の地震現象をプロットしたものである。古文書のデータより多くの地震が見つかっており、さらに、地震間隔の長いところはそれを埋めるような地震が見つまっているのが興味深い。1600年以前でも、地震間隔は近年と似たようなものであったかもしれない。

3-3. 地震の起こり方まとめ

- ①南海道地震・東南海地震のような東西二つの地震がほぼ同時期にペアで起こることが多い。
- ②ペアで起こる場合には、東(東海地方)が先で西(南海道)が後、または、二つ同時に起こる。
- ③平均地震間隔は、最近400年間で110年、1400年間では150年であるが、地震考古学の進歩により古い地震の間隔は今後短く求まる可能性がある。

4 次の地震はなぜ近い?

次の地震の発生「位置」・「時間」・「大きさ」を決めるのが、地震予知である。南海道地震に関しては、「位置」・「大きさ」は過去の例からある程度推定がつく。さらにプレートの

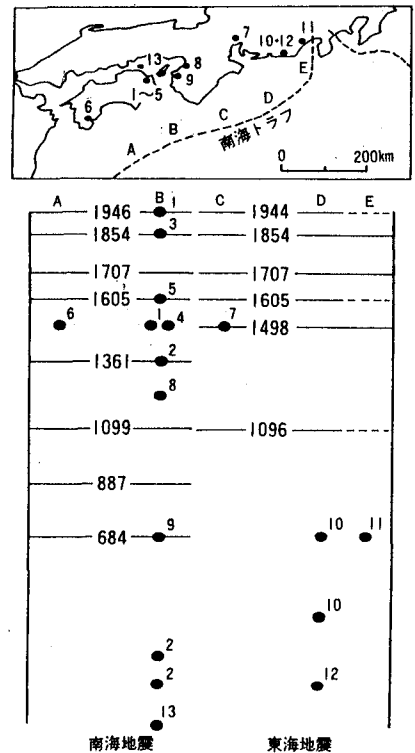


図2 南海トラフの歴史地震(寒川 1992)

沈み込みによる地震であるから、さらに詳しい「位置」は、通常地震活動などから押さえられる。残る問題は、「時間」である。「時間」を知るにはどのような方法があるのだろうか？

4-1. 何が地震の間隔を決めるのか

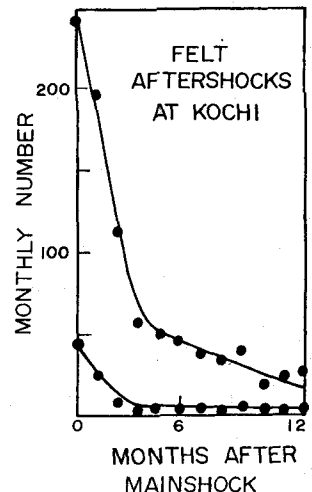
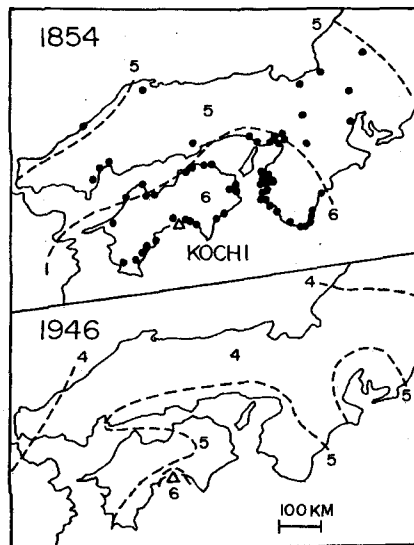
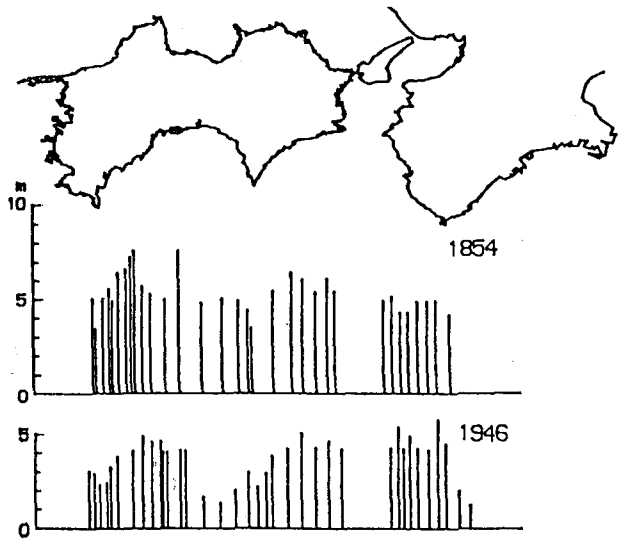
前兆現象をとらえるのも予知の一つの方法である。しかし、南海道地震域には差し迫った前兆現象は見られない。むしろ、長期的な地震発生の予測を立てる方が適切である。この場合、同じ断層上で起こる地震の間隔はどのように決まるかを考える必要がある。現在、このモデルとして最も有力なものは、「Time Predictable Model（時間予測モデル）」である。Time Predictable Modelによれば、次の地震までの時間は前の地震の大きさで決まる。地震予知には好都合なモデルである。大きい地震の後は回復するのに時間がかかり、小さい地震の後は回復するまでに時間はそれほどかからない。Time Predictable Modelは、①地震域にかかる応力は時間に比例し増加、②応力があるレベルまでに達すると地震（破壊）が発生する、との二つの仮定から導き出される。いくつかの断層上に発生する地震とスリップ量との関係は、Time Predictable Modelと調和的であることがわかっている。

Time Predictable Modelに基づき、次の南海道地震までの時間を、以下の二つの方法で求める。①南海道地震と一つ前の地震（安政地震II（注）、1854年12月23日）との大きさを比べ、安政地震と南海道地震との間隔92年を用いて推定する（もし二つの地震の大きさが同じなら間隔は92年）。②南海道地震の地震時の断層上のスリップ量を、現在のフィリピン海プレートの一年あたりの沈み込み量（cm/y）で割って求める。①②の方法は異なるものの、Time Predictable Modelに基づいている点は同じ

である。（注）安政地震は32時間おいて、東から西へ地震が起きた。最初を安政I地震、次を安政II地震と以下呼ぶ。

図3（上段） 1854年II地震（西側）と1946年地震の津波浸水波高（羽鳥による）。

図4（下段左）1854年地震と1946年地震の震度分布、（下段右）月別地震後有感余震数。



5 南海道地震と安政地震

5-1. 二つの地震の比較

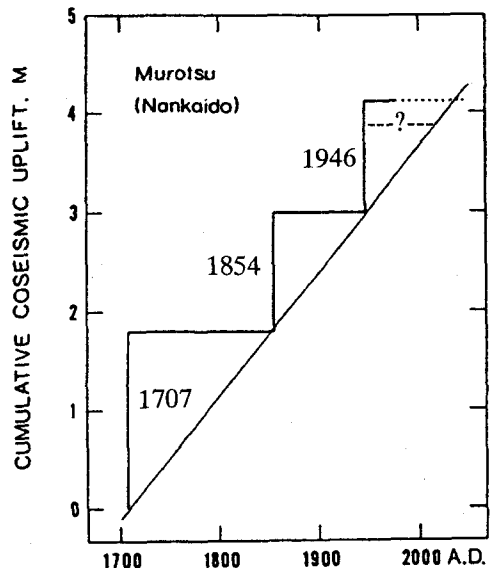
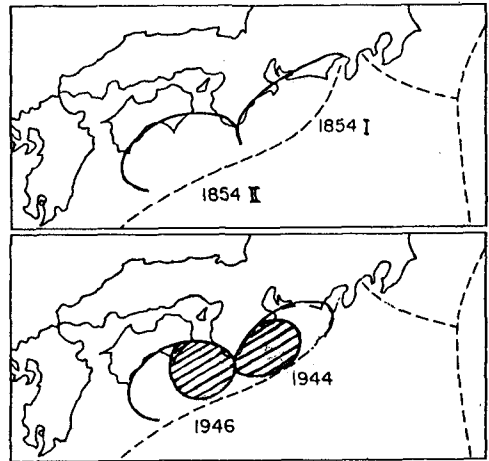
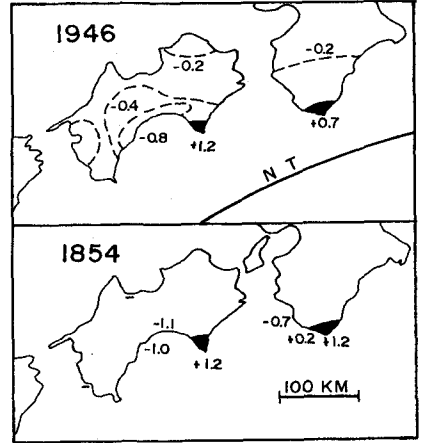
安政と昭和の地震を、同じ条件で比較できる測定量は、①津波の高さ、②震度、③地殻変動、④有感余震の数、であろう。図3は、南海道地震と安政地震IIの太平洋海岸沿いの津波最大波高である。全体として安政地震の津波の方が大きく、1.3倍程度と推定される。図4は、震度分布と月別有感余震の数である。1946年地震の方が同じ場所では震度が1ずつ小さくなっている。有感余震数も、1946年は1854年地震の1/4程度の頻度である。図5は、海岸の隆起量(+)と沈降量(-)を示したものである。地殻変動からは、二つの地震は同じ大きさに見えるが、精度の点から比較は難しい。以上、南海道地震が、安政地震より小さかったのはまちがいない。

さらに、南海道地震は断層の西側がゆっくりとしたスリップ(slow slip)を起こしたと推定されている。似たような現象は、1944年東南海地震でも起きたらしい。図6は推定震源域を示したものであるが、昭和の地震に関しては、斜線は通常地震の部分、無地はゆっくりとした地震が起きたと推定される部分である。二つの昭和の地震は”元気がない地震”と言えよう。

5-2. 次の地震までの時間

上記①-④の比較のうちで、地震の大きさ(地震モーメント)を最も正確に表すのは、①の津波である。このことから、南海道地震は安政地震の3/4の大きさであったと結論できる。したがって、次の南海道地震までの時間は、92年の3/4の63年と求まる。1946年地震の69年後は西暦2015年である(図7)。

図5 (上段) 1854年地震と1946年地震の海岸の隆起・沈降量。1854年地震の推定値の精度から見て詳細な比較は困難。
 図6 (中段) 1854年IとII地震と1946年地震の震源域。昭和の地震の斜線部分は通常の破壊域(Non-slow slip area)。
 図7 (下段) Time Predictable Modelに基づく次の南海道地震の時期(Shimazaki & Nakata に加筆)。



6. 南海道地震は 小さかった

6-1. 断層モデル

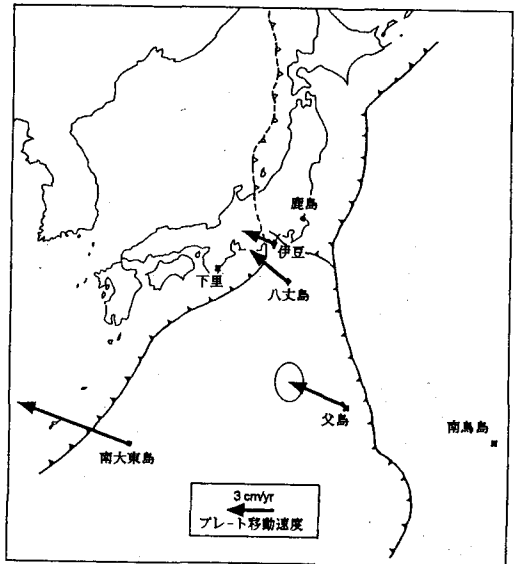
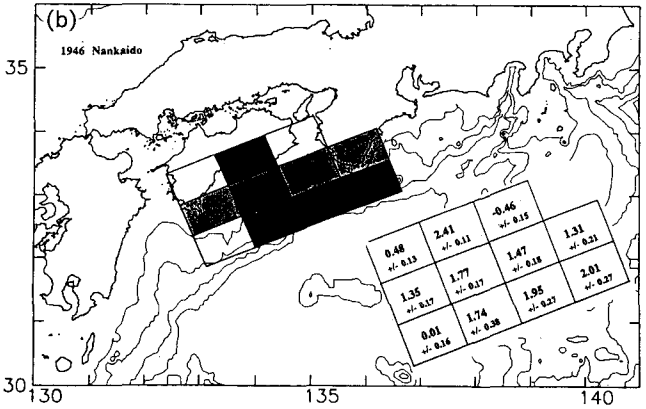
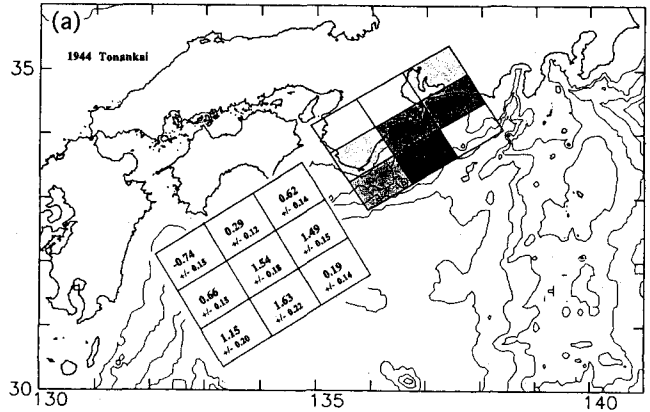
南海道地震の断層モデルは、地殻変動のデータを用いて Fitch(1971), Ando(1975)等により、津波のデータを用いて相田(1981)、Ando(1982)などにより求められてきた。これらの結果は、南海道地震が陸側が海側に乗り上げる逆断層地震で、長さは300km、幅は100km、断層面上のスリップの量は3-6m程度であった。ところが、Satake(1993)は、地殻変動と津波のデータを同時に用いて断層モデルを求め、きわめて小さなスリップ量を得た。一般に海溝系の逆断層地震においては、地殻変動データは陸に近い部分の断層のスリップ量、津波データは海底下のスリップ量を求めるのに有効である。しかし、データを別々に用いると、分解能が低い部分のデータを説明するのに、しばしば異常に大きなスリップ量が求めてしまうことがある。Satakeはこれを避けた。Satakeによれば、南海道地震は1.8m、東南海地震は0.8mとのことであった。従来のスリップ量の1/2から1/3の大きさであるのが注目される。

6-2. 次の地震までの時間

Time Predictable Modelから、次の地震までの時間Tは、南海道地震時のスリップ量/プレートの年平均移動量である。フィリピン海プレートの速度(日本列島を含むユーラシアプレートに対する)は、近年の宇宙技術の進歩により明らかになってきた。図8はフィリピン海プレートの年平均移動速度を表したものである。北から南に向かって速

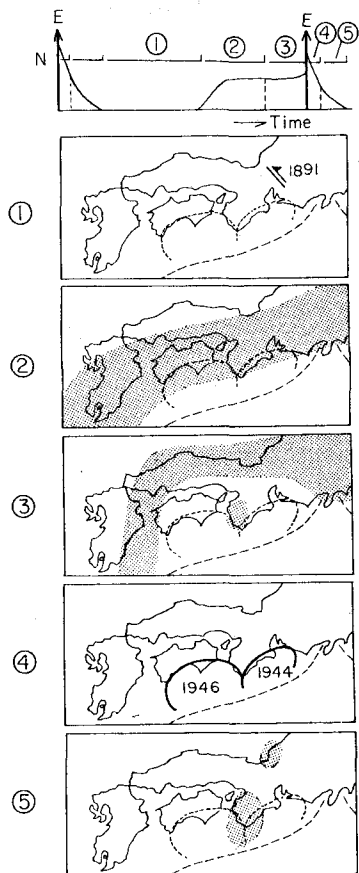
図8 (上段) Satakeによる東南海・南海道地震の断層モデル。各枠内上段数字はスリップ量(m)。
図9 (下段) フィリピン海プレート移動量(cm/y)

SATAKE: DEPTH DISTRIBUTION OF COSEISMIC SLIP ALONG NANKAI TROUGH
Tsunami and Geodetic Data



プレート運動の実測

度がしだいに増すのは、相対回転軸が近くにあるためである。図から、南海道地震の付近では、プレートの移動速度は4cm/y程度であるのがわかる。したがって、 $T=180/4=45$ 年となる。しかしこれはあまりにも短すぎる。1946年の45年後1991年に次の地震が起きてよい。このような結果になる理由は、①Satakeはスリップ量を過小評価した、②地震以外でプレートの移動量が解消されている、ためと考えらる。①の場合、Satakeの結果は陸上の測地データをよく説明していないので、スリップ量を増やす必要がある。②の場合、海のプレートの移動量はすべてが地震としてはなく、一部はクリープで解消されていく。したがって、上で求めた地震間隔45年は最小値である。Satakeの過小評価とプレート間のクリープを考慮すると、上記推定の1.5倍が実際の値に近いものと思われる。このような補正をすると地震間隔は68年となり、地震は2014年となる。もちろん、地震のような破壊現象が決定論的に時間を決めることは難しいはずである。そこで、上で得られた地震の発生時期2010年と2014年を、20-30年後とぼかして使うことにする。



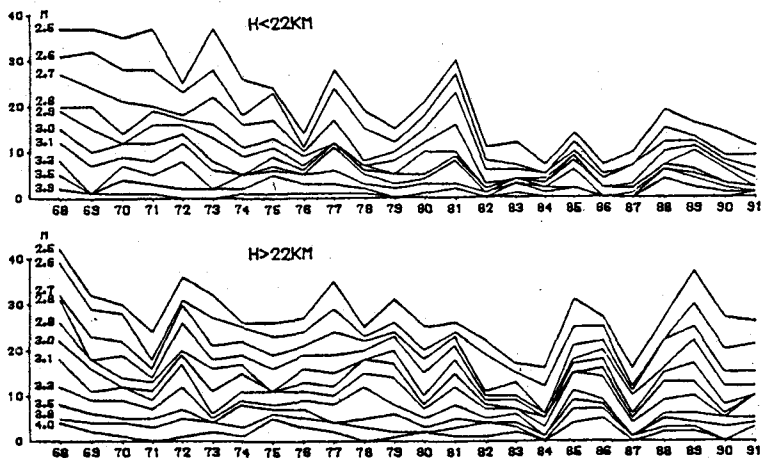
7 現在ほどの時期か

7-1. 静穏期から活動期へ?

図10は、Mogi (1981) によりまとめられた南海道地震前後の地震活動である。南海道地震へ近づくにしながら、震源域が静かになり、周辺域が活発になるドーナツ現象が見られる。現在は、地震前の静穏期①から活発期②③に向かっているものと思われる。

10図 南海道地震前後の地震活動の模式図 (Mogi 1981)。ハッチの部分で地震活動域で最上段に地震活動の推移を示している。

11図 高知大学による四国の浅部地震と深部地震の地震活動の推移。浅部地震の減少傾向は80年代中期で止まった。



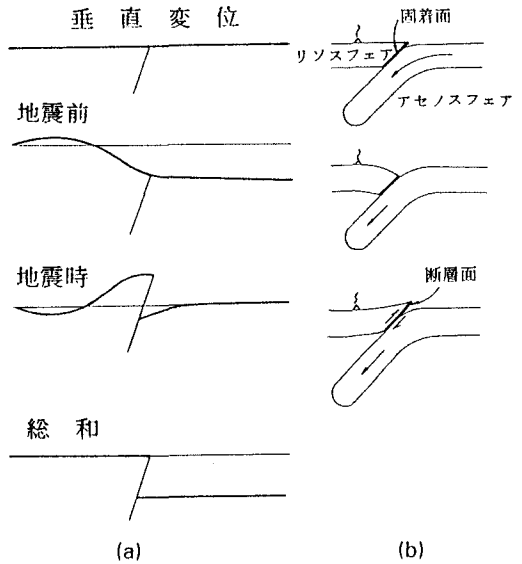
7-2. 地震活動の活発化

四国の地震のうち浅い地震の数は、1968年以来年々減少していた。高知大学の観測が始まる以前も減少していたものと推定されるが、この減少は80年代中期にほぼ止まり、現在は活動がやや上昇期にあると考えられる。これは、図11の②③の時期に入ったためかもしれない。今後注意深くこれらの地震活動の推移を見守る必要がある。図中グラフの左の数字はマグニチュードを示す。各折線ともに、数字のマグニチュードより小さな地震の年毎の頻度である。小さな地震ほどこの減少は明瞭である。微小地震を観測してを始めて分かったことだ。

7-3. プレート間のかみあい

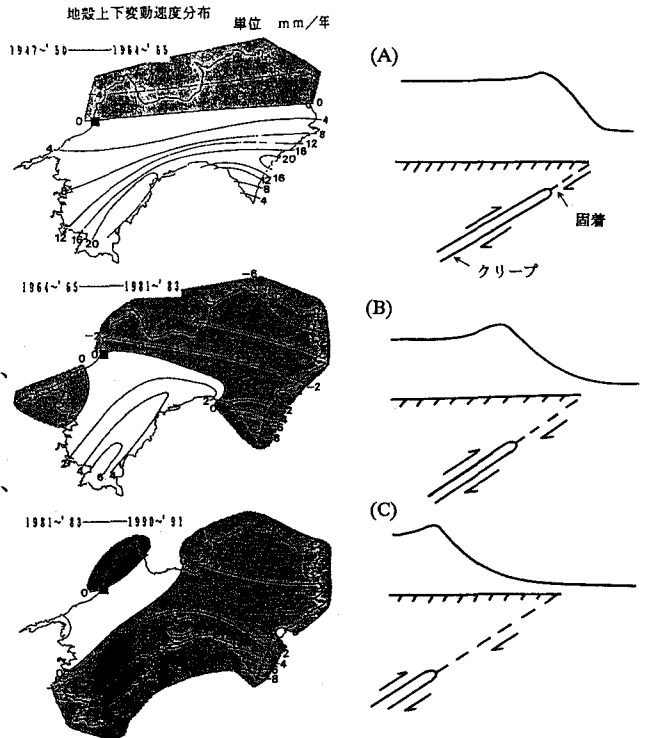
先に述べたように、沈み込むプレートと陸側のプレートは、つねにがっちり噛み合っているわけではなく、お互いにずるずる滑っているときもある。滑りが起こっているどうかをチェックするには、地殻の上下変動のデータをみればよい。図13の右図はプレートの沈み込みと、それに伴う陸側プレートの変形の模式図である。左図は、陸側プレートの理論上下変動量である。地震前に引きずり込まれた陸側が地震の際に隆起するのが分かる。図14は四国の上下変動の図をあらわしたものである。上段は1947年から64年までの変化で、四国の北半分が沈降している。中段は64年から81年までの変化で、四国の東半分は沈降始めている。下段は81年から90年までの変化で、四国全域が沈降を始めている。これを海洋プレートと陸プレートの”かみ合い”で表すと、図14の右の図のようになる。上段では、かみ合っているのは、浅いところだけで、全体はクリープ（滑り）を起こしている。中段では、かみ合っている部分はじょじょに深くなり、下段では将来地震になる部分は完全にくっついてかみ合った。これが現在の状態である。次の地震への準備ができつつある。

第13図 1964年以降に測量された垂直地殻変動とプレート間カップリングモデル。



第12図 理論垂直地殻変動とプレートの間地震

断層のカップリングの状態



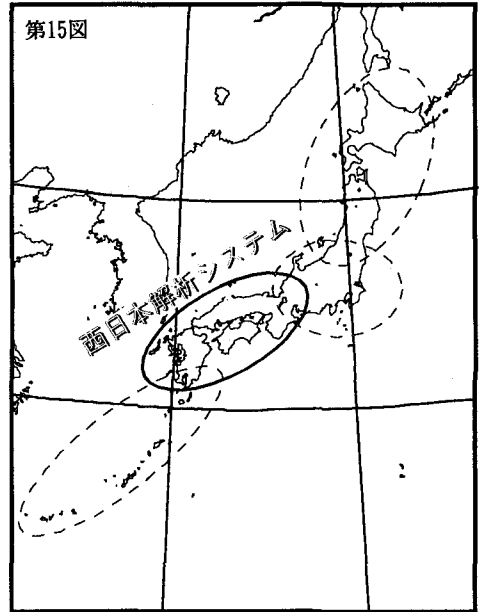
8 総合的な予知に向けて

8-1. 西日本解析システム

南海道地震の前後に、広い地域で地震活動が変化する。したがって、地震活動を狭い領域で見ているだけでは重要なシグナルを見落とす恐れがある。このために、図2のA-Dを含む観測ネットワーク間でのデータ交換が必要である。次の南海道地震予知には、広い範囲のデータ交換と総合解析システムが不可欠である（第14図）。

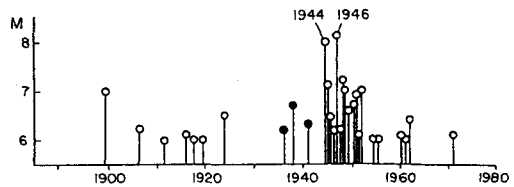
8-2. 前兆現象の予測

南海道地震と同様な地震は過去10回も起きている。そして、大地震前後に、地殻や地震活動がどのように変化したかが明らかにされている。それだけに、やみくもに前兆現象を探す必要はない。ある程度その現れ方がわかる。図15は南海道地震・震源域内での地震（ $M > 6$ ）の活動の推移である。大地震前後で大きくこれらの活動の様子が変化する。これらの地震域では、大地震が近くなると特定の場



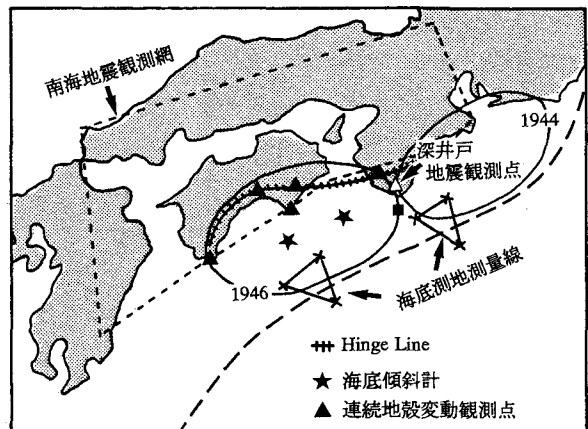
所で正断層の地震が起き始める（溝上恵1993）。これらは、沈み込んだプレートが急激に曲げられている部分にあたる。外からの応力の変化を最も敏感に感じる場所である。こんな所を監視すればよい。

第16図



8-3. 新しい観測

大地震の発生前に、断層深部でクリープが起こる可能性が高い。このようなクリープの発生する場所はある程度推定がつく。第15図のHinge Lineはこのような位置を示す。このHinge Lineに沿って精密連続地殻変動観測をすると容易に前兆現象が検出されるだろう。さらに、串本沖は次の南海道地震でも初期破壊の位置（震源）になる可能性が高い。深層ボーリング孔内での高感度地震観測も必要となろう。このような案をまとめたものが図16である。



9 おわりに

次の南海道地震は、科学として高い確率で予知を行うことができる。さらに、次第に活発になる直下型地震や次の南海道地震へ向けて、地震災害対策を今から立てる必要がある。