

地震空白域と地震波変化

—モデル地震予知観測強化地域の選定のために—

佃 為 成

東京大学地震研究所信越地震観測所

(1992年6月23日受理)

地震予知研究における地震発生モデルの建設のための観測的研究のあり方を提言する。数年間のタイムスケールの合目的観測で研究的予知を実践するための具体的な方策を示す。

1. まえがき

1962年に発表された地震予知のブループリントはそれまでの地震研究の実績に基づき、地殻変動および大・中・小・微小地震の観測網の展開や連続観測の推進を中心とする様々な観測計画や活断層などの調査計画を提言した。1968年に発足した地震予知連絡会では予知の戦略として全国的な観測網の整備を提案するとともに重要な地域として9カ所の特別観測地域を指定した。また、観測データに異常が検出された場合はその地域を観測強化地域とし、移動観測班などによる重点的多項目の観測を実施する。さらに、異常が確実となれば集中観測地域に定めて地震予知に取り組むことになっている。以上の方針が基本的に間違っているとは思わないが、予知研究の進歩が遅れているという批判に応えるためには、もうそろそろ具体的にどのような場合に観測強化地域や集中観測地域の指定を行うか、その根拠は何か、地震発生シナリオはどのようなかをもう少し明確に示さなければならないと思う。

現段階において十分な地震発生理論ないしモデルが存在するとは言えないので、多少漠然としたモデルに頼っても、積極果敢な姿勢で研究的な“予知”を試み、精密な観測によってモデルを立てるのに必要で十分なデータを得る努力が肝要である。

2. 地震予知研究の戦略

“東海地震”はプレート境界の地震であって、プレート・テクトニクスの考えや歴史資料に基づきスラスト型の断層モデルが提出されている。1944年の東南海地震の際、静岡県で陸地測量部の水準測量が行われていたが、前駆的な地殻変動を観測した。これが急激な破壊の前の準静的なすべりによるものかどうかは分からないが、このような前兆モデルは存在し、今予想されている東海地震にも適用するのは当然である。

地震予知研究

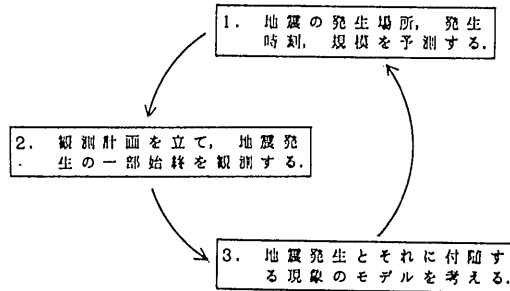


図1. 地震予知研究のステージ・サイクル。

岩石の破壊実験でも前駆的なゆっくりとしたすべりの発生が確認されていて、実験では断層面がどのような条件のとき、そのような現象が発生するかを調べることができる。プレート境界の逆断層の地震の発生場所はだいたい決っていて、よく実験で行われている固着すべりの問題に近い。それでも、地震のきっかけを決めるものが何であるかがもっとはっきり分かれば、予知の精度は向上する。

一方、観測的研究ではプレート境界の $M7 \sim 8$ の地震を待っていたのでは、なかなか研究は進まない。そこで地震予知はまだ基礎研究段階であることを前提にして、地震現象の解明のための研究の戦略を考える。そのためには大地震を想定した特別観測地域や観測強化地域における多項目集中観測だけでなく、 $M5 \sim 6$ 程度の頻度が高い中規模地震、内陸地震が起ころうなもっと狭い地域についても、短期的な集中観測を実施する。前者が、非常に長期にわたる観測を志向しているのに対し、後者は比較的短期の観測、移動観測ないし機動観測的な性格を帯びている。海底下のプレート境界の地震では観測が難しい震源近傍の媒質や歪場の変化、地下水の流動の変化など断層面だけに留まらない多くの興味ある研究対象や問題に挑戦できる。研究は、やり易いところから始めるのが常道であろう。

地震予知研究は図1のように3つのステージがあり、これを何回も繰り返してゆくものだと考える。地震発生の一部始終を観測して、地震現象とはどういうものかを調べなくては地震のモデルを考えることはできない。そのためには観測網を予め地震が発生するところに張り巡らさねばならない。全国隈無くあらゆる種類の観測点を設置しておくことは現実には種々の事情で無理であるから、地震の起ころうなところを狙って観測体制を敷く。不完全であっても今までの知識を最大限に活用して“地震予知”を試み、場所を選定する。これが第一のステージである。地震発生の経過をつぶさに観測することが第二のステージで、得られたデータを分析し法則を見いだしたり、可能性のあるモデルを構築することが第三のステージである。ここに至って、モデルに

基づき観測データを総合して新たな“研究的予知”を試みる。すなわち第一のステージに戻る。このサイクルを繰り返して地震の本質に少しずつ迫って行く。第二のステージで狙った地震が発生しなかった場合はもう一度別の地域で第一のステージからやり直しということになる。失敗は成功のもとであり、教訓として次の研究に活かす。また、副産物としての何らかの地震現象や地球科学現象に関する新しい知見が得られることもある。

現時点で有効と思われる第一のステージにおける具体的な方策を以下に提言し、さらに第二のステージにおいて実施すべき項目の例を示す。

3. 第一次の地震予知 —空白域—

筆者は“地震予知”を試みたことが二度ある。一つは1983年の鳥取県中部(三朝付近)の地震($M6.2$) (佃・他, 1989)であり、もう一つは1986年長野県北西部(大町付近)の地震($M5.9$) (TSUKUDA, 1988)である。前者は空白域形成の発見、後者は活動線の想定と群発地震の発生の発見(第一発見者は酒井 要氏)に基づく。地震の大きさや発生時期の予測は漠然としたもので正確な予知ではない。1990年新潟県南部(柏崎付近)の地震($M5.4$)の空白域形成は地震発生前に発見することができなかった。1990年のイラン地震の余震観測やその解析に追われてじっくり地震活動データを観察するのを怠ったためかもしれない。

静穏化に伴って見えてくる空白域が、地震を予知する一つの手がかりになる。

1983年10月31日、鳥取県中部三朝温泉において $M6.2$ の地震があった。三朝付近は西の倉吉市から東の鳥取市までの1943年鳥取地震($M7.2$)の余震域の中、余震が最も多く発生した所である。そこに1977年から1980年、直径20kmの空白域が微小地震レベルで形成された(図2)。これを異常と判断し、その対策として温泉の井戸で精密水温観測を準備していたところ、1980年6月ごろから微小群発地震が始まった。急いで観測を開始したが、1982年ごろにはその微小地震活動も衰退した。予想より小さい活動で終わったと思われた。水温観測は継続した。1年間の $M0$ クラスの地震も起らないほぼ完全な空白域形成ののち、 $M6.2$ が発生した。勤務地が鳥取から宇治に変わり、器械のメンテナンスに手拔かりがあったためか水温計は故障、残念ながら地震直前の観測に失敗した。

新潟県南部柏崎より南へ10km付近に発生した1990年12月7日の地震は $M5.4$ と小さい地震ながら1年前から直径30kmの空白域(図3)が形成されていたが、事前には気が付かなかった。

$M4$ 程度の地震でも長い間空白域であったところに発生することがしばしば見いだされている。目玉の地震が発生する直前に前駆的な群発地震が空白域の中に発生する場合もある。非常に広域の静穏化現象もある。著者自身はまだ詳しく調査していないが、二三人の地震研究者との会話によると、空白域が形成されても顕著な地震がなく、いつの間にか定常活動に復帰する場合もあるようである。

地震の前に静穏化現象、または第二種の空白域がどうして起こるのかという問題の答えもまだ確固としたものがないが、著者は地震の種になるべき地殻媒質の中の多数

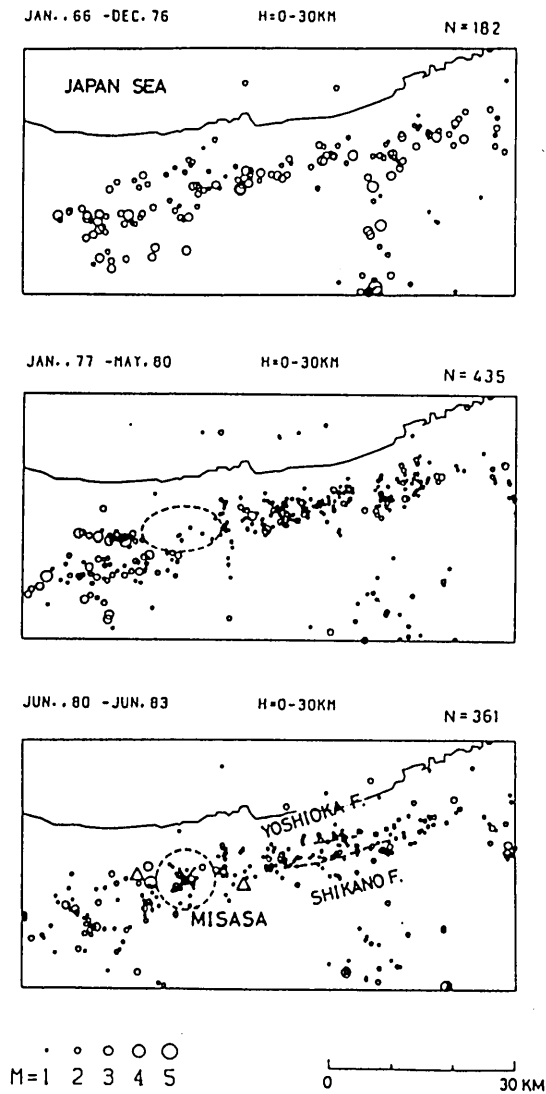


図2. 鳥取県中部，三朝付近の空白域と1983年のM6.2の地震。

のクラックの協同現象ではないかと考えている。クラック群の成長過程のある段階ではお互いに成長を抑制することが起こる。空白域の大きさや静穏化期間の長さを決めるものは歪の蓄積領域や媒質の不均質構造に関係しているだろう。高温高圧の地下水(蒸気)水(蒸気)の流れの関与も考えられる。不均質構造は応力集中によって地震の種類になるが、一方では応力を分散させ、地震活動の抑制に働く場合がある。その実際を研究しなければならない。

SOUTHERN NIIGATA $M \geq 1.0$ $H \leq 40$ KM

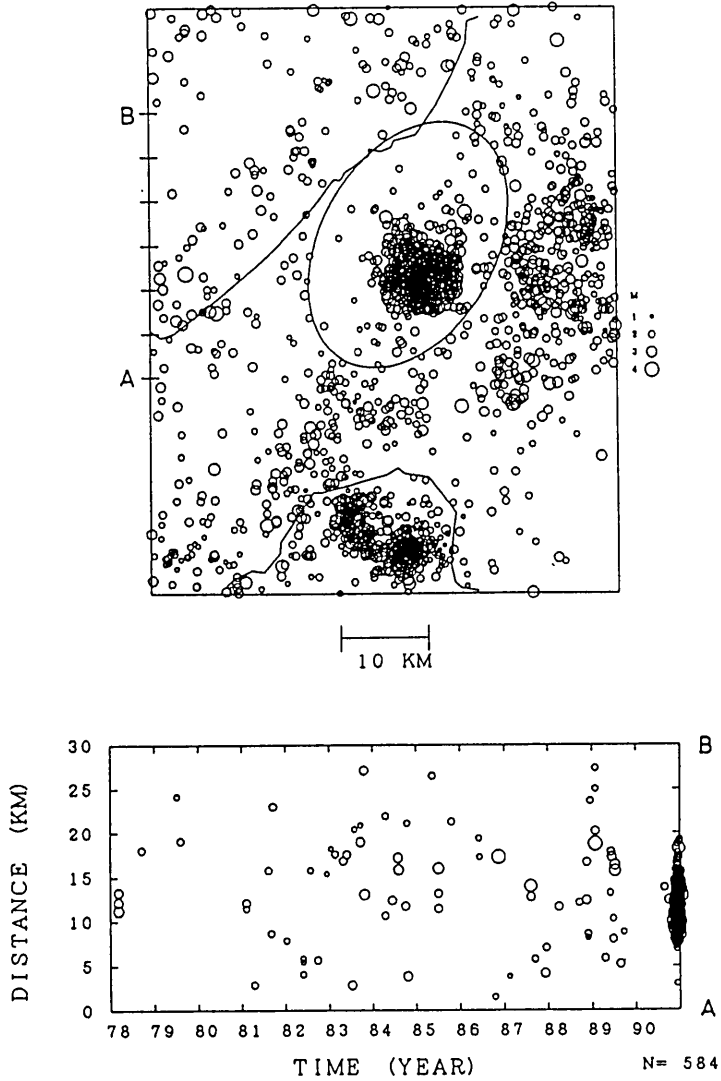


図3. 1990年新潟県南部の地震 ($M5.4$) とその前駆的空白域. 下図は上図の楕円内の震央をA-Bに投影した時空間分布.

ここでは研究の進歩を促すため短期的な空白域に注目したが、もちろん内陸地震発生地帯の長期的な空白域(例えば糸魚川・静岡構造線の白馬村付近や新潟平野など)の長期的な対策も考えておかねばならないのは当然である。

4. 地震発生準備過程の観測

地震発生の場合、とくに地震発生前の媒質の状態の精密な測定を行わなければならない。種々の観測研究項目のうち、地震観測(微小地震)による研究は、もっとも手っとり早く遂行できるものの一つである。限定された地域に観測網を張り、高精度の波形データを取得する。注目する領域を通過する地震波の時間的、空間的变化を調査する。項目は、1) 地震波速度変化、2) コーダの減衰変化、あるいは地震波散乱強度変化、3) S波の偏光異方性の強さの時間変化、4) P波のレクティリニアリティ(不均質媒質による波の振動方向の乱れの少なさの程度)の変化、5) 地震波スペクトルの変化などがある。これらの時間空間的な変動を詳しく捉えることを目標にする。詳しい説明は雑誌「地震」の総合報告に譲る(佃, 1992)。そのほか地殻歪の蓄積過程、地下水の挙動、それに伴う電気伝導、電磁感応などを検出するための観測も行う。

5. 地震発生モデルの構築

地震発生の場合はいくつかの階層に分けられる。第一の階層は地震断層そのもので、岩石破壊現象の発生場である。第二の階層はこの断層の極近傍における塑性変形や断層系の相互作用が問題になる。そして第三の階層は震源を取り巻く領域で、前兆的地震空白域が生成されたり、前震活動が発生する。第二、第三の階層ではとくに歪の局在化や物質移動が問題になる。さらに第四の階層はもっと広いテクトニックな場で、これもいくつもの階層にわけられるが、プレートテクトニクスは地球規模のモデルである。まず、これらの階層ごとのモデルを構築し、次に各階層間の関係をモデル化する。

第一の階層の研究は岩石実験によってかなり進んできた。第二、第三についても岩石実験の結果の類推から、これまでもいくつかのモデルが提案されてきた。1970年代に脚光を浴びたアメリカのダイラタンシー・ディフュージョン・モデルやソ連のIPEモデルなどである(佃, 1992)。筆者はこれらのモデルがまったく間違っているとは思わない。これらが成功したとは言えないのは、まだモデルの精密度が不十分であったからだと思っている。第三、第四の階層の観測や理論的シミュレーションが確立すれば、気象学における低気圧の移動の予測、降水確率の予測などと同列の歪場の形成や移動の予測、予備的地震発生確率の算出ができるようになる。

短期予知や直前予知に不可欠な前兆現象は第一ないし第三の階層におけるモデルに盛り込まなければならない。我々には未知の前兆現象があるかもしれないから、その発見にも努めるべきである。そのためのヒントになる理論があってもいい。

6. 結び

これまでの地震予知研究や予知計画は経験主義に走っているとよく言われる。地震発生の仕組みや本質的な法則を明らかにするのを止めて、闇雲に前兆現象の探求に明け暮れるか、漫然と一つの観測を続け、現象が転がり込むのをただ待つという消極姿勢に対する批判と受け止める。辛抱強い待ちの姿勢も大事であって、これは今後も続

けなければならないが、積極的な攻勢も行う。経験を積み上げるのはモデルを求めるために他ならない。それでも、モデルが完全ではありえないから、経験的な判断はこれからも必要である。少しずつ、地震現象の本質にせまるモデルを模索して近似を高めていくことになる。

また、地震現象はカオスであって予知は不可能ではないかという意見がある。気象の数値予報でカオスが見つかっている。しかし、カオスになるのはある時間が経過した後だから、新たなデータを加えて少しずつ予報を修正していけばよい。予知は絶えず修正されるものであり、また本質的に確率的である。

この小文で、筆者は積極的な集中観測の実施を提言した。最後に、その基盤として日頃の微小地震活動の監視が不可欠かつ有効であることを強調したい。微小地震は測地や地殻変動とともに地下の動きをさぐる基礎的なデータである。これは天気予報における気温や気圧、湿度、降水量といった大気変動の基礎データと同様である。マグニチュード1以上の地震の均質なデータを得るには全国で約1000ヶ所(20km間隔)の微小地震観測点が必要であるが、現在、大学が約200点、官庁関係をあわせても300点ぐらいである。このように現状はまだデータ不足の状態で、しかも、データ処理設備や人員も不足している。その状況の中で現場の人たちは頑張っている。将来の観測網構築について全国的な議論を開始しなければならない時期がきていると思う。

文 献

- TSUKUDA, T., 1988, Coda-Q before and after the 1983 Misasa earthquake of $M6.2$, Tottori Prefecture, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, **128**, 261-279.
- 佃 為成・酒井 要・小林 勝・橋本信一・羽田敏夫, 1989, 広義の前震・余震活動を伴った1986年長野県北西部大町付近の地震($M5.9$)の震源過程と地震テクトニクス, 地震研究所彙報, **64**, 433-456.
- 佃 為成, 1992, 地震波変化と地震予知, 地震2, **45**, 83-96.