

# 数値解析による地殻変動予測のねらいと問題点

小 出 仁<sup>1)</sup>

## 1. 地球変動予測と地殻変動予測

「来年のことを言うと鬼が笑う」、「明日は明日の風が吹く」、「ケセラセラ(Qué será será)」、「What will be, will be」、…未来を予測するのは無駄といっている諺は沢山ある。しかし、人間は意識していなくてもいつも予測のもとに生きているといえる。前述の諺は楽観的な予測をせよという意味にもとれる。しかし、予測がはずれると災害を受けたり、環境が破壊されることになる。結局、人間は神様や占いに頼って心の平安を得る他なくなる。しかし、それも「当たるも八卦、当たらぬも八卦」である。もっと科学的で少しでも確実性の高い予測方法はないであろうか？

未来予測を日常的に行っている天気予報は、近年、人工衛星からの観測データとコンピュータの利用により飛躍的に精度が向上した。しかし、地震予知には不可能論まで出ている有様で、社会の期待に応えるような精度にはほど遠い実状にある。火山噴火予知は、地殻変動観測と地震観測の発達により精度が向上したが、信頼性はまだ不十分である。岩盤崩壊や斜面変動の予知も、災害が起きる度に問題になるが、まだ本格的な取り組みがなされていない。地球温暖化やオゾンホール、大気汚染・海洋汚染・地下水汚染のような環境問題でも精度の高い予測が重要になっている。

地球が将来どうなるのか？ 地球に何が、何時、何処で起きるか？ 宇宙船地球号の乗員であれば、当然知りたいことであり、また知らなければならないことである。未来予測には様々な方法がある(小出, 1992)が、きわめて複雑で規模が大きく実験が行い難い地球の諸現象の予測の基本は過去に学ぶことである。つまり地球の長い歴史の中で起こったことをきちんと把握し、地球を理解しなければ、地球の

未来は予測できない。しかし、未来を定量的に予測するには、現象の理解に基づいたモデルによる数値計算が必要であり、複雑な地球の現象の定量的予測にはコンピュータの利用を前提とした予測計算モデルを開発する必要がある。

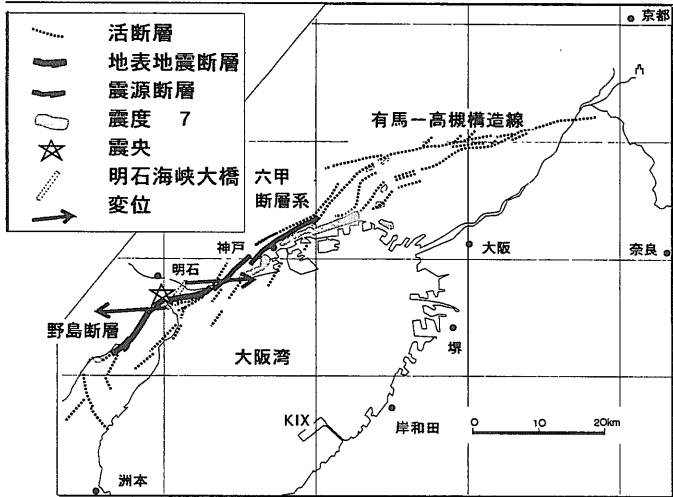
航空・電子等技術審議会地球科学技術部会では平成8年7月「地球変動予測の実現に向けて」という報告書を出し、それを受けて科学技術庁は大規模な「地球変動予測計画」を打ち出している。この計画は、プロセス研究・シミュレーション・観測システムの三位一体の研究開発により、地球を「一つのシステム」として予測しようという意欲的なものであるが、特に高速計算機システムによる「地球シミュレーター」の開発が目玉になっている。

大気や海洋と比較しても、固体地球すなわち地殻変動のシミュレーションや予測技術の開発は遅れている。その根本原因は、むしろ、地下の状態が良く把握されていないことや変動が長期にわたるために観測データが得られ難いことにある。これまで地殻変動のシミュレーションが行われた例としては、地下構造がよく調べられている油田地域がある(小玉, 1994)。地殻変動予測は、まず、地質・地形・地球物理データを取得あるいは収集して地下の状態や変動情報を可視化することに始まり、それに基づいて適切な数値計算モデルを作成し、計算の結果を地質情報と比較検証し、モデルの改良や観測情報の追加を行い、真実に近づけるよう努力することになる。言うは易いが、地下の情報が不完全なこともあって難しい作業になる。

しかし、地殻変動予測の重要性に鑑み、地質調査所や(財)原子力環境整備センター等で予測技術開発のための取り組みが行われている(村上, 1996等)。トータルなシステムとしてはまだ未完成である

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 数値解析, 地殻変動, 未来予測, 地震予知, 兵庫県南部地震



第1図

兵庫県南部地震の震央、震源断層、震災の帯と活断層群(佃, 1995より改変)

が、要素技術の開発はかなり進んできたので、地質ニュースでも要素技術毎に紹介してきている。

### 2. 兵庫県南部地震と地殻変動予測

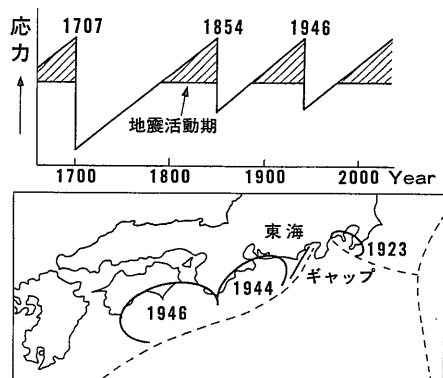
1995年1月17日の早朝5時46分に発生した兵庫県南部地震は、死者5,500人以上という関東大震災以来の大きな被害を出した。震源は明石海峡の深さ14kmの地点である(吉田, 1995)。この震源は破壊の開始点で、断層破壊は南西方向の淡路島と、北西方向の神戸市街地の地下へ進んだ(第1図)。マグニチュード7.2という規模の地震は、日本では珍しくはないが、神戸という近代的大都市を襲った初めての直下型大地震であるため、近代都市の災害への弱さを示す結果となった。

1995年兵庫県南部地震の震源域になった六甲・淡路地域は、私達が地殻変動予測のためのモデル地域として選んで解析中であった二地域の一つであった(伊東ほか, 1996)。六甲地域を選んだのは、多くの活断層が活発に活動し、六甲山が急速に隆起している、典型的な地殻変動の激しい地域であったためである。他の一つのモデル地域の東北地方の仙岩地域は、地熱地帯で、地下情報が多いために選んだ(小尾ほか, 1996)。

六甲・淡路の活断層群は、活断層研究の初期の段階から注目され、神戸における直下型地震の懸念は早くから指摘されていた。1978年に地震予知連絡会により指定された特定観測地域の中に六甲地域が

入っているのは、活断層が多いため、将来直下型地震が起きる恐れがあると考えられたためである。また、最近の地震考古学の発達等により、近年では地震が少ないとされていた近畿中心部も過去に大きな地震の被害を受けていることが明らかになっていた(寒川, 1992)。さらに、南海トラフで約100年おきに発生する海溝型巨大地震前の約50年間は西日本で地震活動が活発になることから、そろそろ西日本は地震活動期に入ると考えられていた(Mogi, 1981, 第2図)。

このような地球科学的知見を防災に生かすことができなかつたのは、様々な原因があろうが、地球科学者として反省すべきことは、時間と場所が十分絞り切れなかつたことにある。活断層があるだけでは、



第2図 南海・駿河・相模トラフにおける海溝型巨大地震と西日本における地殻応力の変化(Mogi, 1981による)

いつかは地震が起きるとしても、いつ起こるかは予測できない。地震活動期による予測も、西日本の何処で地震が発生するかはわからない。予測の精度を上げるためにはどうするべきであろうか？

### 3. 地震予知と地殻変動予測

地震予知も、未来予測の一種である。未来予測の方法として、もっとも多く用いられるのは、外挿法である。外挿法は、過去から現在に至る傾向を把握して、その傾向を将来に延して、未来予測をする。この方法は、ほぼ定速度で連続的に進行し、急激な変化のないような現象についての、近い未来の予測法としては、精度が高い。周期性のある現象も、周期性を考慮して、外挿法を応用できる。

地震のような突発性事象も、周期性があれば、外挿法による予測が可能である。大きな地震は、活断層の急激なずれの衝撃によって発生する。活断層は地殻中の弱点であるので、プレート運動等の地殻の活動によって地殻中の応力が高まると活断層沿いに再破壊して、地震になる。南海道沖では、M8級のプレート境界型の巨大地震が約100～200年毎に発生することが歴史記録から明らかになっている。

地殻変動は、地震のような急激な動きを折り込みながら、大局的には、ごく緩慢にほぼ定速度で進行しているように見ることできる。活断層のずれや地盤隆起等の平均速度を地形・地質等の様々証拠から推測し、それを外挿すると、かなり良い精度で未来予測ができる。これらの変動が、実際には、地震時の変動の集積であり、1回の地震の変動の平均量が推定できれば、地震の再来周期を推定できる。ただし、このようにしてもとめた地震の再来周期はごく大まかな推定でしかない。歴史的記録は時代・地域が限られているが、最近では、トレンチ等により、活断層自体や地震による液状化の跡を発掘して、かなり古い地震まで詳細な研究ができるようになってきた。古地震の発掘調査は「地震考古学」とも呼ばれるが、「歴史地震学」と補完しあって、地震の周期性を正確に調べることができるようになりつつある。

地震の周期再来性を利用した、外挿法による予測は、地震予知の基盤ともいえる重要な方法であるが、あくまで長期的予測法である。地震のような突発性の事象の予測は、その事象がきわめて規則正しい再

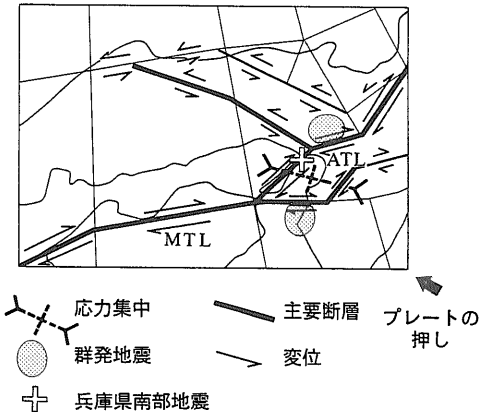
来周期を持っていない限り、外挿法による短期予知は困難である。

地震の短期的予知法として、通常用いられる方法は、ほとんど類推法に属している。類推法とは、類似現象の発生パターンから未来予測をする方法である。地震予知のためには、大きな地震の前の様々な関連事象パターンを調べ、それから地震の前兆となる特異な現象を抽出する必要がある。

類推法による地震予知法の典型は、茂木清夫の提唱したドーナツパターンである(たとえば茂木, 1981)。大きな地震の発生する前に、来たるべき大地震の震源域で、地震活動が静穏化する一方で、その周囲の地震活動が活発になる。典型的には、その後、震源域付近で直前の(狭義)前震が発生し、空白域を埋めるように大きな地震が発生する。このような地震発生の時空分布の形がドーナツ状になることから、ドーナツパターンと命名された。ドーナツパターンによる予知は、中期的予知法であるが、地震発生の時空分布に基づいているので、情報量が多く、信頼のおける予知法になっている。

現在、地震の前兆現象を促えるために、地震活動の他にも、地殻変動・地震波速度・電磁気・地下水の水位・水質や地下ガス等の諸観測が行われている。1978年の伊豆大島近海地震は、様々な観測が実施されている地域で発生したので、地下水位や水温・ラドン濃度・体積ひずみ等に前兆的な異常が観測されていた(脇田, 1987)。しかし、これらの諸観測から見いだされる異常の出現は、地震によってまちまちであり、明確な法則はまだ見いだされていない。おそらく、単独現象の観測から決定論的な地震予知をすることは困難であり、様々な現象の時空的な組み合わせのパターンからの類推でないとな確かな地震予知はできないであろう。このためには、多くの地震での多数の観測データ例が必要である。

天然の地震は、発生するまで待たないと観測できない。このため、室内実験等により、きわめて小さいが、人工的に地震(実際には、岩石試料中に発生する破壊振動でアコースティックエミッション、略してAEと呼ばれる)を発生させて、諸現象を研究する実験地震学が発達しつつある。実験では応力や温度や間隙水圧等をコントロールでき、諸現象の観測も精密に実施できる。このため、地震発生や前兆現象の発生の理論的または経験的モデルの検討にも、実験地



第3図 西日本における主要な活断層(中央構造線 MTL, 有馬-高槻構造線 ATL 等, 簡略化してある)による阪神地域への圧縮応力集中と伸張における群発地震(浜島, 1995 による力学的解析に基づく)

震学は有益である。

理論的あるいは経験的モデルによる予知法についても様々な試みがある。ダイラタンシー・モデルは、初期の実験地震学的研究から生まれた理論である。ダイラタンシー・モデルは、地震予知を大きく発展させたが、地震予知理論としてはまだ不十分であることが指摘されている。そのため、アスペリティ・モデル等の各種のモデルが提唱され、検討されている。

このような各種の現場観測データや実験データを総合した地殻変動-地震発生モデルを開発し、地震予知の精度を向上させることができないであろうか？ 私達の地殻変動予測シミュレーターの研究はまず長期的な変動のシミュレーションを目指して、まだ地震予知に使えるような段階に達してはいない。しかし、地震発生にも関連するような結果も出始めている。

岩石は圧縮応力に対する抵抗力が強いので、圧縮応力が極めて高くなってから始めて破壊するため、圧縮応力場では地震は稀にしか発生しないが大きいという傾向がある(Koide & Bhattacharji, 1977)。アメリカのロサンゼルス市付近はサンアンドレアス断層の右横ズレによる圧縮応力集中場にあるため大きな地震が稀に発生する傾向がある。近畿地域のプ

ロック構造モデルの解析結果によれば、四国の中央構造線と有馬高槻構造線の右横ズレにより近畿中心部も東西方向の圧縮応力集中の場になっており(第3図)、ロサンゼルス市同様、大きな地震が稀に起こる地域であると考えられる。小さな地震の数が少ないことが、近畿に大きな地震もないという油断を生じた一因になったと思われる。

圧縮の応力集中場は、雁行状断層の間隙(Jog)に生じ(森川ら, 1996)、地震発生に重要な役割をはたす(Koide and Bhattacharji, 1977)。今後さらに検討を重ねて、地殻変動-地震発生モデルの開発を目指したいと考えている。

参 考 文 献

伊東 守・児玉敏雄・中村英孝・佐々木猛・石井大介・原田芳金 (1996) : 近畿地方のブロック構造モデル, 地質ニュース, no.508, 10-13.  
 浜島良吉(1995) : 私信.  
 小玉喜三郎(1994) : 深部断裂型貯留構造評価のための総合解析システムの開発-とくにテクトニック・フラクチャーの解析と流体移動に及ぼす効果について-, 地質調査所月報, 第45巻第12号, p.715-728.  
 小出 仁(1992) : 放射性廃棄物処分と地質長期未来予測, 地質ニュース, no.449, 51-54.  
 Koide, H. & S. Bhattacharji (1977) : Geometric pattern of active strike-slip faults and their significance as indicators for areas of energy release. *Energetics of Geological Processes*, Springer Verlag, 46-66.  
 茂木清夫(1981) : 地震-その本性をさぐる, 東京大学出版会, 164p.  
 Mogi, K. (1981) : Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting. *Earthquake Prediction-An International Review*, American Geophysical Union: 43-51.  
 森川誠司・田部井和人・原田芳金・小出 仁(1996) : 断層周辺の応力分布と安定性に関する解析的検討-アダプティブ法によるJogモデルの解析-, 地質ニュース, no.508, 7-9.  
 村上 裕(1996) : 地殻変動の数値シミュレーション, 地質ニュース, no.507, 7-14.  
 小尾博俊・山本卓也・原田芳金・伊東 守・中村英孝(1996) : 断層を含む岩盤の長期挙動の解析検討, 地質ニュース, no.508, 14-16.  
 寒川 旭(1992) : 地震考古学, 中公新書.  
 佃 栄吉(1995) : 私信.  
 脇田 宏(1987) : 地下水などの異常-地球化学的観測, 地震の事典, 朝倉書店, p.533-439.  
 吉田明夫(1995) : 1995年兵庫県南部地震, 地質ニュース, no.486, 6-11.

Koide Hitoshi (1996) : Problems on Numerical Prediction of Tectonic Deformation.

< 受付 : 1996年10月31日 >