

日本地震学会 2012 年秋季大会特別シンポジウム

「ブループリント」50周年—地震研究の歩みと今後

PROGRAMME AND ABSTRACTS

日時：2012 年 10 月 16 日（火） 16:00～20:00

場所：函館市民会館大ホール

1. 趣旨

今年の日本地震学会秋季大会において、10月16日（火）16時—20時に特別シンポジウム『「ブループリント」50周年—地震研究の歩みと今後』が開催される。これは、昨年秋の「特別シンポジウム」に続く、特定の課題に関する討論を主体とする企画であるが、このタイトルを掲げるシンポジウムはこれまで開催されたことがなく、また今後開催されることもおそらくない、今回限りのユニークな企画であろう。

ほとんどの学会会員は御存知だと思うが、「ブループリント」は日本における地震予知研究の出発点である。「ブループリント」の正式名称は「地震予知—現状とその推進計画」であり、有志グループ（代表：坪井忠二，和達清夫，萩原尊礼）が1962年に発表した。これに基づいて1965年に予知研究計画が開始し、現在に至っている。

「ブループリント」及びその後の一連の研究・観測事業をどのように評価するかについては様々な意見があるが、日本の地震研究の歴史に「ブループリント」が大きな影響を及ぼしたことは間違いない。昨年、東日本大震災を受けて、今後予知研究を含めて地震に関する研究・観測事業はどうあるべきか、という重要課題が山積しているが、これらの課題について正確な議論をするためには、先ず、「ブループリント」から現時点までの研究の歩みを知っておくべきであると考え、今回の特別シンポジウムの企画を提案した。

今回の特別シンポジウムは、当日現地入りされる参加者を考慮して16時に開始し、20時までの短い時間ではあるが、地震研究の今後を議論する上で有意義な知見を得ることができるであろう。この特別シンポジウムは、これまでの50年の地震研究から次世代の地震研究への大きな転換点となると考えているので、是非ご参加いただきたい。

2. 参加登録・取材について

秋季大会の他のセッションと同様に、本シンポジウムの参加には大会参加登録が必要である。詳しくは、日本地震学会 2012 年秋季大会 ホームページ (<http://www.zisin.or.jp/meeting/2012/index.html>) を参照のこと。

マスコミの取材は他のセッションと同条件で行っていただきたい。（詳細については学会事務及び広報委員長にお尋ねください）。

3. 総合討論について

去年の特別シンポジウムでの討論はテーマが多岐にわたり、多少噛み合わなかったと言えるだろう。その教訓を活かして、本シンポジウムで発表者の論点を踏まえ、総合討論開始時に3つ程度のテーマをアナウンスして、テーマ毎の討論を行う。

4. 意見集について

去年の特別シンポジウムとほぼ同様、大会後に「意見集」を出版する予定である。（地震学会モノグラフとして出版することを検討中。）意見集には、シンポジウム発表者からの投稿（原則として10ページ以内）とそれ以外の学会員からの投稿を期待している。発表者以外の投稿希望者は、10月16日（火）～10月23日（火）の間に特別シンポジウム実行委員会 (bob@eps.s.u-tokyo.ac.jp) 宛に1ページ以内の提案書（pdf 若しくはワード形式）を送付すること。提案書の内容を実行委員会で審議し、投稿を認可す

るかどうかを10月末まで連絡する。発表者・一般投稿者共に投稿期限は11月末とする。実行委員会は査読依頼・編集を行う。

5. 実行委員会

ロバート・ゲラー（委員長、東京大学大学院理学系研究科）

井出 哲（東京大学大学院理学系研究科）

小原 一成（東京大学地震研究所）

津村 建四朗（地震予知総合研究振興会）

松浦 律子（地震予知総合研究振興会）

備考：実行委員会の全作業終了後、シンポジウムのホームページは日本地震学会の公式ホームページに移動する予定で、現在のリンク（<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~ssj2012/>）は無効となる。

プログラム

日時：2012年10月16日（火） 16:00～20:00

場所：函館市民会館大ホール (<http://www.zaidan-hakodate.com/kaikan/>)

- 16:00-16:10 小山順二（北海道大学） 開会挨拶
- 16:10-16:40 01 津村建四朗（地震予知総合研究振興会）
「ブループリント」と「地震予知計画」—成果と問題点再考—
- 16:40-17:10 02 平田直（東京大学地震研究所）
地震予知のための観測研究の歩み—阪神・淡路大震災以降
- 17:10-17:40 03 ロバート・ゲラー（東京大学大学院理学系研究科）
避けて通れない予知研究の総括
- 17:40-17:55 休憩
- 17:55-18:25 04 金森博雄（Seismological Laboratory, California Institute of Technology）
ブループリントの目的と将来の方向
- 18:25-18:45 05 日野亮太（東北大学大学院理学研究科）
海陸統合観測網の時代～青写真と現実～
- 18:45-19:05 06 中谷正生（東京大学地震研究所）
地震発生物理と前兆現象
- 19:05-19:20 松浦律子（地震予知総合研究振興会）
総合討論の課題整理
- 19:20-19:50 総合討論
- 19:50-20:00 加藤照之（東京大学地震研究所） 閉会挨拶

「ブループリント」と「地震予知計画」 —成果と問題点再考—
津村建四朗 (公財) 地震予知総合研究振興会)

“Blueprint” for Earthquake Prediction and “Earthquake Prediction Project”
—Reconsideration of their results and problems—
Kenshiro Tsumura (ADEP)

ゲラーは、1990年代から多くの著書、著述において、「ブループリント」に始まり、「地震予知計画」として続けられてきた日本人の地震予知への執念のような取り組みを批判し、「それは予算獲得の手段として、原理的に達成不可能な目標を掲げて、無意味な研究を続けているのであるから中止すべきである」と主張している。地震予知は、科学的難題の最たるものであって、「地震予知計画」を国家プロジェクトとして多くの予算を投じ、半世紀近くも続けながら、本命である短期直前予知の目的も立っていないことから、研究者の中にも、ゲラーの主張に同調するものもあり、マスコミや社会でももつともな主張であると受け取られる傾向がある。しかし、ゲラーの主張は、古い時代の地震予知不可能論を信じ、日本の地震予知計画の実体を無視して、自論に都合のよい解釈を展開しているにすぎないことに気付くべきである。ゲラーの引用する古い時代の有名な学者の悲観的見解は、地震学もそれを支える技術も、現在よりはるかに低いレベルの頃のものであって、もしこれらの学者が存命で、日本の地震研究の現状を知れば、当時と同じ見解を安易に述べるとは思われない。

ゲラーだけでなく、「ブループリント」や「地震予知計画」が、「地震警報を発するために短期的前兆現象を捕えようとする『前兆がし』に過ぎなかった」という理解で批判を展開していることがよくないが、それは誤りである。「ブループリント」では、「究極の目標は、『地震警報を発すること』であるが、それに到達するには、地震及び地殻活動についての理解を深めることが重要であり、この計画はそれをも含むものである」とくりかえし述べられている。この根本的な方向付けを無視しては、「ブループリント」やそれを具現化した「地震予知計画」の正しい評価は行えないはずである。前者のような観点からは、「50年たっても1例の予知成功例もなく、見直しさえされず、この計画は失敗で、税金の無駄使いであった。地震学への貢献はあったかもしれないがそれは本来の目的としたものではない」という評価がよく行われている。後者の観点からは、「地震予知の確実な成功例はまだないが、それに向けての研究や観測技術の開発・高度化は着実にすすめられている。これによって、日本列島の地震活動や地下構造等の理解がすすみ、さらに高度な研究を行う基盤が整いつつある」と評価される。

社会対応の面では、1969年に設置された地震予知連絡会は、総合的な地震予知研究の推

進と社会への窓口として大きな役割を果たしてきたが、予知できないのに「予知」という名前を使うのは適切ではなく、すでに予知が可能であるかのような誤解を国民にあたえるという批判がある。しかし、伊豆半島の異常地殻活動に対して「中期的地震予知に成功」と評価してもよいような対応をしているように、予知できるケースがあれば予知しなければならないという意識は持ち続けていたので、顕著な先行現象があればその経過次第で予知成功例が生まれていたと思われる。

第2次予知計画当時の微小地震観測の窮状と打開策、予知の難しさや社会対応の問題点、諸課題の将来展望は、津村(1973、「地震予知研究シンポジウム(1972年)」)にまとめられており、これをよめば、予知計画推進の諸課題をどう認識していたか、それが現在どう実現されているかがよくわかる。(その後のGPS連続観測の躍進は全くの想定外)これに含まれず、現在まで進展のない大きな課題は、「過去資料の保存・整理・活用」である。

1995年阪神・淡路大震災後、予知計画を中心とした地震研究がこの大災害の防止軽減に役立たなかったことへの反省を背景に、測地学審議会がそれまでの地震予知計画全体についてのレビューを行ない、1997年6月に公表した。このレビューの内容の多くは妥当なものであるが、マスコミが伝えた要約は、「従来の計画は、短期的前兆現象の発見のための観測に重点が置かれすぎていた。短期的予知は将来の課題として、これからは基礎研究を重視した計画を目指す」であった。これは、「研究の基盤となる観測技術を開発、展開し、予知研究の宿命である連続観測を継続する。基礎研究も重視する」という一貫した方針でこれまですすめてきた予知計画が誤った路を歩んできたかのような印象を社会に与えたであろう。現役の予知研究者の多くは阪神・淡路大震災以降に大学を巣立った人であろうから、これまでの予知計画は誤っていたのでそこから学ぶことはなからうと思っている人も少なくないのではないかと思われる。このシンポジウムを機会に、この50年だけでなく、明治時代の初期、1880年に日本地震学会が創設されて以来の130年余に及ぶ日本の地震研究特に予知へのかわりの歴史を学びなおし、「ブループリント」のような綿密で具体的に実行性のある次期計画を策定する際の参考としていただきたい。

最後に、50年に及ぶ大計画の流れをつくった地震予知計画研究グループ世話人と達清夫・坪井忠二・萩原尊禮先生や、長期にわたって推進に尽力された浅田敏・鈴木次郎先生など多くの先人に改めて敬意を表するとともに、この計画は大学・関係機関の研究者だけでなく、多くの技術職員、事務職員の協力、為政者や関係当局の理解、さらには多くの国民の支持と協力を背景にすすめられてきたものであることを想起し、すべての人々に感謝するとともに、「この計画によって、日本周辺の地震・地殻活動等に関する多くの研究成果が得られ、以後の地震予知研究発展のための観測調査の基盤を整えるという大きな使命を果たすことができた」ことを報告したい。

地震予知のための観測研究の歩み —阪神・淡路大震災以降—

平田直 (地震研)

Progress of Observation and Study for Earthquake Prediction
— After the Kobe Earthquake —

Naoshi Hirata (ERI)

1. はじめに

日本における地震予知計画は、1965年から始まり、1999年3月まで第1次から第7次計画として推進された。1995年1月、阪神・淡路大震災を契機に第7次計画が見直され、1999年から「地震予知のための新たな観測研究計画」(以下、新計画と略す)が開始された。2004年度からの第2次の新計画を経て、2009年度からは、火山噴火予知研究と統合された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が5ヵ年として実施されている。この計画は、新計画としては第3次目の5ヵ年計画にあたる。

2. 1995年兵庫県南部地震の発生と新計画

第7次地震予知計画(1994—1998年度)では、長期的・短期的予知の方式を踏襲するとともに、地震発生のパテンシャルの評価を目指した計画が実施された。プレート境界地震と内陸地震のそれぞれのタイプの地震を対象として、プレート運動とそれに基づく広域応力場を把握し、地震発生サイクルの中で現時点を位置づけて地震発生の可能性を評価すること(パテンシャルの評価)を目指した。1995年1月に兵庫県南部地震(M7.3)が発生し、同年4月に第7次計画が見直された。6月には、「地震防災対策特別措置法」が制定され「地震調査研究推進本部」(以下、地震本部と略す)が設置された。第7次計画の期間に、日

本列島を数10km程度の観測点間隔で覆う全国的なGPS観測網の構築が進み、地殻変動の迅速な把握が可能な体制が作られていった。7次までの地震予知計画によって、地震活動の諸特性、地震が発生する場及び地震発生の仕組みなどに関する多くの知見が蓄積された。一方、「時期」、「場所」、「規模」を地震発生前に予測するという地震予知の目標の達成は、地震発生現象の複雑性のために、地震の前兆現象の観測に基づく手法だけでは、一般に極めて難しいことも分かってきた。そこで、「新計画」では、基礎的研究を重視して、これまでの知見に基づいて地震発生に至る地殻活動全体をモデル化し、モニタリングとモデルに基づいて地殻活動の推移予測を行うことを新たな目標として掲げた。

3. 「新計画」と「基盤的調査観測」

地震本部は「地震調査研究の推進について—地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策—」(1999年4月、以下、「総合基本施策」という)を策定し、その中で、「新計画」は当面推進すべ地震調査研究の4項目の1つとして位置づけられた。「総合基本施策」は制定後10年を経て見直され、2009年からは新「総合基本施策」に基づいて調査研究が行われている。新「総合基本施策」及び、2011年東北地方太平洋沖地震を受けた見直しにおいても、地震本部の調査研究は「現行新計画に基づく基礎的研究の成果を取り入れて推進していくことが必要である」と位置付けられた。

4. 2011年東北地方太平洋沖地震と「新計画」

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の発生は、1995年兵庫県南部地震と同じように、地震予知研究計画に対して大きな影響を与えた。新計画の成果である「プレート境界で起きる地震についてのアスペリティ・モデル」、数値モデルに基づく予測手法についても様々な議論が行われている。本講演では、この16年間の新計画の成果と、今後の地震予知のための研究の展望について議論する。

避けて通れない予知研究の総括

ロバート・ゲラー (東京大学大学院理学系研究科)

Prediction Research to Date: The Verdict

Robert J. Geller (University of Tokyo)

1880年にミルンは、日本地震学会の学術雑誌に掲載された論文で、地震予知について触れた。その後も、国内外でしばしば予知の可能性について議論がなされ、さまざまな意見が出されたが、当時の第一人者、マケルウェイン (BSSA, 1946)は、「地震予報という問題は、カリフォルニアをはじめ各地で、この40年間にわたり、重点的に調査されてきたが、問題解決に近づいたということは全くない。実際のところ、状況は、より絶望的になっている。」と述べている。さらに1950年代には、日本の代表的研究者(例えば、坪井, 1954, 「科学」; 安芸, 1954, 「科学」)は、地震予知の可能性を完全に否定しないものの、その困難さについて論じ、近い将来の実現は期待できないと述べた。リヒターはさらに否定的で、「Elementary Seismology,」(1958)の中で「今のところ、一般に考えられているような地震予知ができる可能性はない。」と述べている。

一方、ブループリント(正式題名:「地震予知一現状とその推進計画」)では、国家地震予知計画の設立が提案された。この作成者たちは、当然上述の議論を知っていたはずである。一般に、可能性が否定されている方法論を提唱する際には、関連研究のレビューと、提唱された方法の妥当性を示唆する何らかの科学的理由が記載されるものだが、こういった総括や見直しといったものは、このブループリントには一切見当たらない。

実際ブループリントを読んでもみると、1頁目(緒言)と最後の2頁(期待される成果)を除き29頁にもわたって記載されているのは、観測網設置等の具体的な提案である。参考文献リストはなく、地震予知悲観論への回答も

ない。得られた観測データをいかに解析し、地震予知にどのようにつなげようとするのかについての記述も皆無である。これはなぜだろうか。

ブループリントをそのまま素直に読めば、まずはデータを取る、そして、データが取れば自然に「前兆現象」が見つかるだろう、という発想に基づいた計画としか理解できないが、あえて行間を読むと以下になる。ブループリントを公表した「地震予知計画研究グループ」の主要メンバーは、優れた業績を有する研究者であり、当然予知が困難であることを十分に承知していた。しかしながら、観測網設置・運用予算を獲得するためには、より積極的な理由づけが必要であると考えた。つまり、予算獲得のローガンとして、「予知」を使用したと解釈できよう。仮にそうであれば、これは倫理上問題であると言わざるを得ない。しかし、残念ながらこのような予算獲得戦略は、他の分野でもしばしば使用されるテクニックである。

今日、ブループリント公表から半世紀がたち、ブループリントが望んだ規模を遥かに超える地震・地殻変動観測網が設置され、素晴らしい観測データが大量にとられ、多くの研究に大きく貢献してきた。しかしながら、待望の「前兆現象」を捉えて予知が成功したということは、これまでに一度もない。事後分析によっても信憑性のある前兆現象を見つけることできていない。ブループリントの最終頁の問いは「地震予知はいつ実用するか」であったが、少なくとも「(当分は)無理だ」と、それに対して自信を持って答えられるだろう。

今こそ、予知計画に正式に幕を引き、新たに地震科学の基礎研究・地震防災計画を設立すべきであると考え。この計画に予知研究が含まれても構わないが、他の研究と同様、審査されなければならない。

ブループリントの目的と将来の方向

金森 博雄 (カリフォルニア工科大学)

Blueprint Objectives and Future Directions

Hiroo Kanamori (California Institute of Technology)

ブループリントの目的は、「地殻変動を細密に捕え、その地震発生との関係を究明し、地震予知への門を開こうとするものであって、必ずしも地震直前に現れる地殻変動を捕えることに拘泥するものではない。」あるいは、「地震というものがどのような過程において発生するかを知ろうとするのが主眼であって、地震直前の前兆を捕えることのみにこだわるものではない。」とあるように、地震発生の基礎的過程の研究を目的とするものであった。研究が計画どおりに行なわれれば、10年程度後に(1)観測結果と地震発生の関係が明らかになり、(2)実用的な地震予知ができるようになるかに答えることができると期待された。その後、兵庫県南部地震以後、GPS や広帯域地震計等の進歩に伴って当初に考えられたよりはるかに優れた観測網が展開された。この観測網を用いて日本および世界の地震学は長足の進歩を遂げた。たとえば、二重地震面、繰り返し地震、地震破壊過程、スロー地震、トレマー、不規則な地殻変動、トモグラフィー、リアルタイム地震学等において、きわめて顕著な進歩が見られた。

この結果、上記(1)については、地震発生過程がきわめて多様で、地震前の観測結果と地震発生の関係はきわめて複雑で

あることがわかった。(2)については、地震予知の実用性は今もって不明というのが一般的な見方であろう。

限られたデータを基にして考えられた地球物理的モデルは長いタイムスケールの現象を理解するには役に立っても、社会一般の興味は非常に短いタイムスケールで「今日何が起こるか」というようなことにあるので、研究結果をそのまま防災に用いることはできない。このことをはっきり認識して、すぐれた地震学の研究結果を、その不確定性を頭において、有効に防災に生かすべきと思う。また、複雑な自然現象では、まれなイベントは想定外の大きな被害を及ぼすことが多い。これに対処するためには、リアルタイムの方法を発展させることが必要不可欠である。

教育研究活動の強化と独創的かつ柔軟な考え方ができる人材の養成、研究結果と社会の要請のタイムスケールの違いを認識したコミュニケーションと長期防災対策の改善、及びリアルタイム地震学の手法の開発を三つの柱とした研究で地震学は社会の要請に答えるべきと思う。

海陸統合観測網の時代 ～青写真と現実～

#日野亮太 (東北大・理)

Nation-wide network goes beyond coasts

#R. Hino, (Tohoku Univ.)

1. はじめに

1962年に発表された「地震予知 現状とその推進計画」(通称ブループリント)は地震予知のために必要な観測項目とそれを実現するための方法論を提言したものである。その中では、全国一律に展開された測地・地震観測網の重要性が強調されている。ブループリントの発表から50年が経った今、日本列島の陸上部分をほぼ網羅する観測網が完成し、さらに海域への拡張が実現しようとしている。ブループリントでは、観測網を整備することにより「地震予知への門を開こうとするもの」と提言の趣旨が説明されているが、海陸統合観測網の時代を迎え、その門はどれほど開くのだろうか。

2. ブループリントで思い描いた未来と現実

ブループリントがめざしたのは、「地殻変動を細密に捉え、その地震発生との関係を究明する」ことであった。阪神・淡路大震災後に基盤観測網が整備された目的は、必ずしも地震予知研究に資することであったわけではないが、結果として我々が手に入れた高度な地殻活動の現状把握能力は、ブループリントが描いた未来像のものと言っても良い。ただ、ここで強調しておきたいのは、この現状はハードウェアとしての観測網整備だけで実現したのではなく、数次にわたる地震予知計画が中心となって推進してきた、観測能力と地震現象に関する理解の向上があげてはじめて結実したということである。さらに、地球内部構造の理解に対しても観測網の整備が重要な貢献を果たしたことに言及しておきたい。地震現象を理解する上で、その発生場における環境要因の解明は不可欠であり、現状把握能力と地下構造に関する知識が両立してはじめて、後述する予測シミュレーションの前提となる地震発生の物理モデルの構築が可能となったのである。「物理モデルの構築」を「地殻変動と地震発生の関係の究明」と言い換えれば、これもまたブループリントが指し示した方向性である。

3. 近未来予測への活用

観測している現象を支配する物理過程が十分に理解されていれば、現在の状態から次に起こることを予測することが可能である。緊急地震速報や津波警報はその典型で、地震波や津波の伝播過程が容易に予測できることを用いて、観測データを防災情報に加工している。現行の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が指向しているシミュレーションに基づく地震発生予測も、考え方としては早期警戒システムと同じである。問題点は、現状から未来を予測する上で必要な要素に不確定なものも多く残されているところにある。地震や津波の早期警戒シ

ステムの基盤となるデータ伝送やイベントの自動検知・データの自動処理の技術は、観測技術や地震・津波現象の理解を高度化するための基礎研究の成果の蓄積の上に成り立っている。同様に、観測網が供給するデータに根ざした基礎研究を継続することによってのみならず、地震発生予測システムは実現しえないだろう。

4. 海域へ拡大する観測網の役割

海底観測により得られたデータは、2011年東北地方太平洋沖地震の発生メカニズムを解明する上で重要な知見をもたらした。海底観測の成果なくしては、海溝軸近傍での大きなすべりというこの地震が示す重要な特徴は、未だに議論の対象であったかもしれない。見方を変えると、陸上観測網がもつ現状把握能力の限界が、この地震により端的に示されたということでもあり、これを契機として大規模な海底観測網の整備が加速された。とはいえ、さまざまな技術的制約により、当面の間は、得られるデータの質・量は限られたものとなるだろう。そうした条件の下で、これまで陸上の観測網が担ってきた「現状把握能力の向上」と「地震発生モデルの発展」に海底観測データをいかに効果的に活用するのか、という検討が急がれる。

海底観測に最も期待が寄せられているのは、海溝近傍でのプレート間固着・すべり分布の実態解明であるが、空間分布にとどまることなく、固着状態の時間的な揺らぎの解明につなげなくてはならない。海底GPS観測は、変位速度の時間変動を検出した実績をすでに有しており、広域・多点での観測を定常的に維持できれば、固着・すべりの時空間変化の把握は確実に達成できるだろう。沈み込み帯浅部で発生する非地震性すべりイベントもまた、海底観測の重要なターゲットである。その検知のためには海底での地殻変動連続観測の実現が必要で、海底水圧観測網はその途を拓くものと期待される。これに歪計・傾斜計などの陸上にある高感度の地殻変動連続観測を加えて総合的な解析することにより、浅部すべりイベント活動の実態が明らかになれば、東北沖地震の発生以後注目を集めている地震発生帯浅部の力学特性の理解が大きく進展すると期待される。一方で、広域に整備される海底地震観測網のデータからもたらされる高精度の海域下構造モデルもまた、陸上の稠密地震観測網がもたらしたものと同様に、予測シミュレーションのモデル高度化に貢献するだろう。

ここで示した海底観測の方向性は、「測地観測の時空間的密度の向上」、「地殻変動連続観測の推進」、「微小地震観測網の整備」というブループリントで提言された内容と全く同じであり、海域にもブループリントが描いた観測網が行き届くこと、ということができると期待される。海域観測網の実現によって、大地震の発生に先行する現象が検知できる可能性が少しは増えるかもしれない。しかし、ブループリントで強調された「前兆を捕らえることのみこだわりのものではない」というスタンスを保持し、海陸統合観測網は、地震発生予測の前提となる現状把握能力に磨きをかけるためのものと考えたい。

地震発生物理と前兆現象

#中谷正生¹
#東大地震研

Physics of earthquake occurrence and precursory phenomena

#Masao Nakatani¹
#ERI

本講演では、ブループリントが目指した予知らしい予知である、大地震の短期・直前予測について、オーソドックスながらもついに画竜点睛をえた地震発生物理から期待される前兆現象の「ありよう」を提示する。「見逃し空振りあたりまえ」ながらも、長期ポテンシャル評価+ETASとは比-ものににならない確率ゲインを稼げず、十分な因果関係をもった、「ものが壊れ始めている」という意味での準備過程が存在しう。防災に役立つ確度をもちうるかともかく、科学としてはすこいこと脆性破壊はunpredictableという常識を覆すことができよう。この1年、強く思うようになった。天邪鬼なだけかもしれないが、

神戸地震後の見直し以前の地震予知計画(旧計画)は、地震発生の物理はわからなくても、前兆現象に基づく経験的な手法で実用的なレベルの短期・直前予知が可能だろうという当初見通しに沿って、測地・微小地震観測の組織的な整備から始まり、地震発生の最終段階プロセスの一部として必然的に現れるとして提唱された dilatancy-diffusion モデルから期待された、電磁気・地下水等の異常まで含めて前兆をさがした。前兆現象らしきものは数多くみつかったが「見逃し空振りあたりまえ」なあやふやさに落胆し、結果、97年の総レビューにおいて「地震予知の実用化」は「将来の課題」とされ、98年の新計画建議からは、中心的な目標を摩擦断層面上の滑り速度分布の時間発展を力学計算で予測するモデルの構築に変更した。

システムの詳細情報と初期値を予測に必要な精度で知ることが絶望的なのは承知の上であるから、新計画も、観測データによる逐次アップデートといういい方ではあるが、実質的には予知らしい予知には前兆現象が必要と考えていることになる。なかでも、連続弾性体中の摩擦断層に Griffith のエネルギーバランス理論を適用して得られる震源核での preslip は、動的破壊開始の物理的必要条件であることから本命とされた。しかし、原理的には、震源核の臨界サイズが小さい場(臨界滑り距離 D_c が小さな場)で大きな地震がおこってもかまわない、これが、わたしでも同意する、最も強力な「原理的に無理」説である。

そうすると、地震予知の宿命を制する問題は、地震破壊の停止メカニズムであることになる。現時点での破壊サイズに比肩するサイズの強度過剰領域に入れば破壊は停止するが、いま短期・直前予知に問題を限って、そのような領域はすでにない段階まで応力蓄積は進んでいるとしよう。ここで重要なのが、どんなサイズの地震であっても、その時点の破壊サイズに比例する静的エネルギー解放率が破壊成長抵抗 G_c の数倍程度に留まると観測データの示唆である。大きな地震用の断層と、小さな地震用の断層が別々に用意されている方がいいが、翌日に

は大地震として破壊する断層面の一部だけが滑って停止したらしく地震というのは存在するので、非常に悩ましい問題とされた。Andrews[2005]は、現時点の動的破壊サイズ相応の応力集中ボリュームでの散逸過程により、摩擦滑り自体の G_c は非常に小さいが、動的破壊の最中だけ、破壊成長抵抗が増加していくというモデルを提案したが、例えば、M9の破壊開始点そばで2日前にできたM7.3ものクラックに耐えたということと考えれば、静的にも大きな G_c があつたはずである。Ide&Aochi[2005]が提案したような、高 G_c の広いパッチの中に部分的に fragile な(低 G_c) 狭いパッチがあるとするとモデルが妥当だろう。また、厳密な物理モデルはないが、天然断層面凹凸のフラクタル性からみて、ありそうなことでもある。さらに、天然の地震破壊の観察にあわせて、パッチサイズはその G_c でできる臨界核サイズの数倍程度とすれば、実質的にパッチの破壊が途中で止るとは難しく、パッチは分割不可能な破壊の基本単位(近年の震源過程分野でのアスぺリテという言葉の使用実態に合致)として振る舞うので、破壊の停止の問題は非常に考え易くなる。Ide&Aochi は、階層パッチモデルの破壊計算を行い、現時点の破壊パッチをとり囲む、より高い G_c をもつ大パッチをトリガできるかどうかで破壊の停止がきまる。Fukao&Furumoto[1985]の階層成長モデルでイメージされたような姿を再現した。地震は必ず微小な破壊から始まり、偶然性に支配された cascade up がどこまで続くかで小地震で終ったり、大地震になったりするという、直前予知は原理的に不可能な世界である。

しかし、このような階層モデルにおいては、大パッチは大きな G_c をもつものだから、大きな準静的震源核が成長することも可能である。Noda et al. [2012]は、階層的 G_c 分布の場でRSFを用いて、準静的滑りまで含めた、3次元、完全動的なサイクル計算を行い、固定した物性分布の場でも、大地震が小地震からの cascade up でおこる回(直前予知は見逃し)もあれば、大パッチ自体のすべり場の発展過程として準静的に生じた大きな震源核で直接引きおこされる回(直前予知が成功)もあることを示した。両者の割合は、小パッチのサイズと、大パッチの臨界核サイズの比に依存する。さらに、これは小パッチの存在は関係ないのだが、サイクルの長期にわたって、エピソードなクリープイベントなども起しつつ、強度の低下部(剥れ域)がパッチの中心にむかって広がって、剥れ域の幅が大パッチの臨界サイズより大きくなることで、大イベント発生の必要条件らしいことも示された。成長した剥れ域内では広域なクリープイベントが複数回おこり、微妙な条件の差で、ある場合には、さらにローカルな加速がおこり震源核形成に発展する。このような剥れやクリープイベントの姿は、「空振りもする」短期的前兆と調和的である。しかし、Noda et al. [2012]の現在までの計算例の範囲では、リミットサイクルに落ちないカオスのシーケンスであるにもかかわらず、たとえ cascade up のものであっても、大イベントの発生時期を前倒す効果は小さく、「剥れ」によって切迫性は相当絞こめそうである。逆に、発生の非周期性は同サイズ以上の隣接パッチとの相互作用と考えられ、実地図上での具体的追跡こなむものだろう。

新計画は、旧計画の顛末を、それなりに科学つばく理解できるところまで来たこと思う。