

地震予知について

吉田 明夫 (温泉地学研究所 前所長)

1. はじめに

M9.0 の 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生とそれが引き起こした未曾有の災害は、日本のみならず世界に大きな衝撃を与えた。この震災に関しては、現在もなお様々な視点から検証や考察が続けられている。地震学そのものについて言うなら、例えば、日本地震学会東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会は、東北日本大震災を通じて明らかになった地震学の問題として、以下のことをとりあげて検討を行っている (東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会, 2012) 1. 東北地方太平洋沖地震はなぜ想定できなかったのか。2. 地震学は国の施策とどう関わるのか—地震研究者・コミュニティの社会的役割とは何か—。3. 「防災」のために何が足りなかったのか、「防災」と如何に向き合うべきか。4. 教育の現場やメディアで地震学の知見をどう伝えるか。これら 4 つの問題に対する地震学会の検討結果は報告書「地震学の今を問う」を見ていただくとして、ここでは、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生が日本の地震予知研究に与えた痛撃と、それを受けて地震研究者の間でどのような議論がなされたかを顧みながら、地震予知についての小生の考えを述べてみたいと思う。

2011.3.11 の前、プレート沈み込み境界での地震の発生の仕組み、なにかんづく日本海溝沿いの海域における“特徴的地震”の発生について

は、アスペリティ仮説に基づく多くの研究成果の蓄積によって相当に理解が進んだと考えられていた。しかし、M9.0 という想定を超えた巨大地震の発生は、目の当たりにしたその悲惨な震災の状況と相まって、本当はそうではなかったと、多くの地震研究者に痛切な反省を強いることとなった [前記、東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会報告書及び地震学会・地震学への提言 (2012) 参照]。地震予知研究への影響としては、あたかも予知が可能であるかのような誤解を与えかねない現行の制度や用語はこの際一切あらためるべきである、今の時点で地震予知が不可能なことを地震研究者は社会に向けてもっと明確に表明すべきであるという主張が強くまた広く出てきたことが挙げられる。地震学会の中に設けられていた「地震予知検討委員会」が廃止されることになったのもその一環とみることができよう。

しかし、近い遠いは別として、将来においても、地震予知は絶対に不可能だと言いきる研究者は、地震を専門とする研究者の中にはいないようである (ゲラー (2012) も、大地震には前兆現象が存在するというパラダイムは間違っていたことが明らかになったと述べているが、将来における予知の可能性を完全には否定していない。地震専門家以外で不可能を主張する研究者としては、例えば、池内 (2012))。地震研究者の多くは、今はできないとしても、予知

という目標の旗は降ろすべきでないと考えているようにみえる。

本小論では、次の第 2 節の初めで、「地震予知」という言葉の意味する内容が、実はそれと明確に意識されないまま、人によって大きく異なることを指摘する。そして、そのことを踏まえながら、地震予知は可能か? という問いに対する筆者の考えを述べる。次いで、第 3 節では、東北地方太平洋沖地震の前兆報告が示している地震予知の困難性と可能性について検討する。第 4 節では、話題を変えて、電磁流体内に蓄積されたポテンシャル・エネルギーが粒子の運動エネルギーに急激に転換される“爆発現象”である太陽表面上のフレアや磁気圏でのサブストームを、同じ破壊現象という視点から地震と比較する。そして、最後に第 5 節で、それまでの議論を踏まえながら、地震予知研究が目指すべきことについて考察してみようと思う。

2. 地震予知は可能か?

最初に、「地震予知」という言葉が持つあいまいさ、多義性 (ambiguity) について触れておきたい。一般の人は、地震予知とは何か、あるいは地震予知の研究において何を目指すべきかと問いかけられたとき、恐らく、予知の 3 要素である発生時と場所と大きさをできるだけ限定した、いわゆる「短期的予知」を思い浮かべ、それが可能になることを期待するのではなかろうか。更

に、地震予知研究をどのように進めるべきかを聞かれれば、やはり前兆を捉えることを想定するのではないかと思う。一方、大多数のプロの地震研究者は、特に“科学的な”地震予知研究を意識的に進めようとする研究者は、震源とその周辺で進行するプロセスに関する、物理的な法則とまではいかないにしても定性的な経験知ではない定量的な規則性を明らかにし、それに基づいて予知を目指すべきと考えているように思われる（例えば、日本地震学会地震予知検討委員会, 2007）。前兆かどうか確実ではない現象に依拠して、当たった、外れたというのは、予知“科学”ではないという立場である。これに対して、少数派（と言って良いと思われるが）の研究者は、日本の地震予知研究計画は、特に兵庫県南部地震後、「観測計画」に変容し、「地震予知のための」という修辭は実質を伴わない名目となって、本当に「地震予知」を目指すものではなくなくなってしまったと批判する（上田, 2013）。“前兆”と地震発生に関連性が、多数の事例において有意であれば、あるいは何らかの“前兆”に基づいてなされた発生時と場所と大きさについての予測がある程度の精度で結果として当たれば、それは予知できたとみなすか、いや、その場合でも因果関係が明示されなければ、それはたまたまでしかなく、それでもって“科学的な”予知ができたとは認めないと言うか、この両者の間の考え方の隔たりは大きいように思われる。

これとは別に、様々な要因が関与する破壊現象である地震の発生は、本来、確率的なもので、予知研究とはその確率的な予測精度を高めることであるという考え方もある。東北地方太平洋沖地震に対して、日本の地震研究が有効な防

災情報を提供できなかったという反省の中で行われた日本地球惑星科学連合 2011 年大会における「地震・火山噴火の科学的予測と防災情報の現状と課題」のセッションでは、確率的な地震予測情報をその確からしさの情報とともに出すこと、確率計算に用いた手法とデータを公開すること、わからないことについても十分に伝えることなどの意見が出されたと報告されている（小泉, 2012）。2011 年 IASPEI では、イタリア L'Aquila 地震の予測に関し、International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection (Jordan et al., 2011) がまとめてイタリア政府に提出した報告書を支持する決議がなされたが（佐竹, 2012）、その報告書では、決定論的な Earthquake prediction（地震予知）と確率論的な Earthquake forecast（地震予測もしくは地震予報）が区別されて論じられており、前者は現在不可能とみなされている（井出, 2012）。

確率予測ということに関して言うならば、活断層の活動履歴やプレート境界での“characteristic earthquake”仮説に基づいて、被害の想定される地震の長期的な発生確率や、それらを使って計算した全国地震動予測地図が、文部科学省地震調査委員会から毎年発表されている。しかし、こうした確率予測に対して、防災対策に責任を負う立場からは、想定東海地震の 30 年発生確率が 88%（2012 年 1 月 1 日現在）と非常に高い確率にも関わらず、東海道新幹線は東海地震の震源域北端の富士川河口断層帯の上をピーク時には数分間隔で千人オーダーの乗客を乗せて走行しているという例を引きつつ、実社会が、そして各個人が、地震発生に備えてきちんとした安全措施を講じるためには確率ではなく

白黒、もしくはグレーであっても黒が予見できる決定論的な情報発信が必須であるという意見も強く出されている（岩田, 2012）。

このように、“地震予知は可能か”という問いは、予知という言葉が多義性を持つうえに、そのことがそれと十分に意識されずに、各人が自分の解釈あるいは期待に基づいて地震予知について語る傾きがあるために、議論はしばしば混乱し、かつ相互にかみ合わないものとなっているように思われる。筆者自身のこの問いに対する回答を端的に言うなら、いわゆる予知の 3 要素である、発生時と場所と大きさを狭く限定した“科学的な”地震予知は将来においても不可能であると考えられる。理由は二つある。

一つは、断層破壊がいつ（発生時）、どこで（場所）生じ、どこまでそれが広がるか（大きさ）を決定論的に予知するためには、断層が生じる場のミクロスケールの情報をマクロなスケールの領域にわたって（少なくとも断層運動が広がる領域にわたって）知っている必要があるが、それは不可能であると考えられるからである（たとえ場が時間的に変化しないとしても、ミクロスケールの情報を広域について知ることは不可能と思われるが、それが時々刻々と変化していくとすれば、なおさらであろう）。かつて、ニュートン力学の世界観の極点として、世界を構成するすべての物質のある瞬間における力学的状態（位置と運動）を知ることができ、それらの相互作用を解析する能力を有する魔物（ラプラスの魔）にとっては、世界の将来は決定論的であると言われたことがあった。19 世紀のことである。しかし、20 世紀になって、量子力学が、粒子の存在場所と運動量を同時に厳密に知ることはできないことを示して（ハイ

ゼンベルグの不確定性原理)、その世界観には限界があることが明らかになった。古典物理的な範疇である断層運動に量子場的な状況は関係ないという主張もありうるが、量子力学的な効果の働く分子間の電磁気的な相互作用が微小な亀裂の生成に関与している可能性を完全には排除できないのではなからうか。量子力学を持ち出さないまでも、断層破壊が著しい非線形現象であることを認めるならば、断層領域全体にわたってのほんのわずかな初期条件の違いあるいはその時間的ゆらぎが、どこで破壊が始まり、どこまでそれが拡がるかに大きな影響を与える可能性は否定できないだろう。以上のことは、震源とその近傍で進行するプロセスについての物理的な観点からの因果関係に基づいて、破壊の開始と拡がりをも“科学的に”予知することは、原理的に不可能であることを示していると筆者は考える。

“科学的な予知”が不可能と考えるもう一つの理由は、地震が破壊現象であるからである。棒を曲げていってどの瞬間にどこで折れるかわからないのと同じように、力を加えて行ったときに、岩盤の破壊がいつどこで生じるかはわからないとは、昔から言われていることである。棒の破壊には、マクロに見ても、素材の種類や、乾燥度、力の加わり方、棒の不均質性等多くのことが関わる。ましてや岩盤の破壊については更に多くの要素が複雑に関係しているに違いない。マクロに見たときの断層破壊の条件に関してはクーロン破壊応力など、これまでも現在に続くアイデアが出されてきたが、更に、断層がどのようにどこまで拡がるかを特徴づける、いわば動的かつ大域的（非局所的）要件が何であるかについて、今後、一層研究が進むことを期待したいと思う。そのような意

味で、筆者は“科学的な地震予知研究”は大きな意義を持つと考えている。しかし、それでも、その先において決定論的な意味合いでの“科学的予知”が可能になることはないと考えている。その理由は、上述した通りであるが、第4節で、宇宙空間での破壊現象である太陽表面で発生するフレアと磁気圏尾部で起こるサブストームを例にとり、別の視点からも見てみる。

しかし、筆者はまた、発生時と場所と大きさを予測情報として含む“地震予知”は可能だと考えている。一般の人あるいは社会が地震予知に期待するのは、金森(2012)が述べているように、「人が自分の態度を事前に決められる情報を提供すること」であろう。社会が、そして各個人が、地震に備えていま行動をとるべきかどうかを判断する上で役立つ情報は、防災に関わる人たちからも強く求められている(岩田, 2012)。このためには、“地震予知”についての従来の見方を少し変更する必要があるように思う。第5節でその辺の事情について筆者の考えを敷衍するが、その前に、破壊が生じる前には何らかのその予兆が現れるはずという期待に対して、東北地方太平洋沖地震はどう答えたかをみてみよう。

3. 東北地方太平洋沖地震の前兆

東北地方太平洋沖でのM9.0という巨大地震の発生は、歴史地震記録や海岸域での津波堆積物を調べていた少数の研究者を別とすれば、ほぼすべての地震研究者の想定を超えるものだったと言える。事前にその発生が予測できなかったことは、日本の地震研究者にとって正に痛恨事であった。予兆は何かなかったのか？地震後の調査によって、実は前兆と思しき現象が数年前から起きていた

ことが、いくつか報告されている。ここでは、それらの報告の要点を紹介した後、もし、事前にこうした調査が行われ、前兆とみなされる現象の生じていることが気づかれていたとしたら、東北地方太平洋沖地震は予知あるいは予測できたかということにも触れてみたい。なお、前兆現象の報告については、前田(2013)に多くを負っている。

前兆現象は多岐にわたるが、最初に地震活動を見てみよう。地震活動に関わる前兆的な変化としては震源域における静穏化が古くから知られている。その範囲、期間、異常性を、定量的、客観的に評価しようとする努力もいろいろとなされてきたが、いまだ、標準的、汎用的な手法は確立していない。東北地方太平洋沖地震についても、種々の手法・視点に基づいた解析が行われていて、それらの結果は必ずしも整合的とは言えない。Katsumata(2011)はZMAPの手法を用いて、2011.3.11の地震の震源域の深部縁辺部で1987年末頃から静穏化が生じたとみなしている。一方、吉川・林元(2012)は、2001年から2011.3.11の地震発生にいたるまでの期間、青森～岩手県の内陸部からその沖合の日本海溝にいたる範囲で地震活動が静穏化していたと報告している。気象庁地震予知情報課(2008)は2007年の1年間、2011.3.11の震源域全体にわたってM5以上の地震がほとんど起きていない事実を掌握し、当時注意していたが、その後、活動が復活したこともあって、それ以後、特別にそのことが問題とされることはなかった。このほか、広域、長期にわたる静穏化として、北海道から九州に至るいろいろな領域で1996年頃から地震活動が低下したことが、ETAS解析に基づいて、統計数理研究所(2011a)により報告されている。

Nanjo et al. (2012) は、2011.3.11の地震で大きくすべった領域の地震活動のb値が、2005年頃から低下し始め、次第に小さくなってきていたことを示した。その解析では、2011.3.11の地震直前の約1カ月間の活動のb値が急降下しているが、同様な結果は弘瀬・前田(2011)の解析でも得られている。

潮汐による地震発生のtriggeringについても、古くから多くの研究が行われているが、2011.3.11の地震の震源域におけるM5以上の地震の発生と地球潮汐との関係を調べたTanaka(2012)は、宮城県沖の本震震央付近の地震発生と潮汐との相関が10年ほど前から高まってきていたことを報告している。地球潮汐とのこの相関性はb値の低下と同じように、本震発生に近づくにつれて次第に強まり、また、相関性の顕著だった領域が、b値の低下が著しかった領域とほぼ重なっていることは興味深い。

2011.3.11の本震の震源の北側で発生した2月の群発的な活動と、直前の3月9日のM7.3の地震の余震活動のいずれもが、本震の震源に向かって移動する様子が見られたことが指摘されている(Kato et al., 2012)。3月9日のM7.3の地震が発生した時点で、直ちにそれを更に大きな地震の前震とみなすのは難しかったと思われるが、この海域の地震の時系列の統計解析によれば、もし、それを前震と判断した場合には、より大きな地震が発生する確率は20～30%くらいと計算されたということである(統計数理研究所, 2011b; Maeda and Hirose, 2012)。

地殻変動に関しては、長期的スロースリップと短期的スロースリップのあったことが報告されているが、直前に加速するような変動は見られなかったようである。まず、長

期的スロースリップであるが、東北地方を北西—南東に横断する測線で定常状態と比べて伸びの変化が生じていたこと(気象研究所, 2011)、2007年以降、福島県沖ですべり欠損が小さかったこと(国土地理院, 2011)が報告されている。また、2008年と2010年に福島県沖で発生した、それぞれM6.9とM6.7の地震の余効変動は地震時の変動と比べてかなり大きかったことも指摘されている。これらは福島県の沖合でプレート間カップリングが弱まっていた可能性を示すものであろう。

短期的スロースリップについては、約2.3年前と1カ月前に、本震震源の海溝側でそれぞれ、モーメント・マグニチュードが6.8と7.0のプレート間すべりがあったという解析がなされている(Ito et al., 2012)。また、3月9日のM7.3の前震の余効すべりが、その地震時のすべりの南側、本震の震源方向へ広がったと推定されている(Ohta et al., 2012)。しかし、直前に加速するような明瞭な前兆すべりは、検知力の範囲内(M6.2から6.7)では観測されなかった(国土地理院, 2011; 防災科学技術研究所, 2011)。

このほかに、前兆であった可能性のある現象として、本震発生の直前及び数日前からの電離層全電子数の増加や外向き長波放射の増大などが報告されている(日置, 2011; Ouzounov, 2011)。

以上、多くの前兆と思しき現象が報告されているが、これらのほとんどすべては、東北地方太平洋沖地震が発生した後に指摘されたものである。では、もし、このような多様な前兆現象が事前に気付かれていたら、東北地方太平洋沖地震は予知できていただろうか。松村(2012)は、何故、後予知なのかという論考の中で、地球潮汐応答のような解析を注

意深く継続して行っていたら、宮城県沖での大地震の発生が予知できていたのではないかと述べている。地震活動の静穏化やb値の変化等についても同時にモニターしていたならば、確かに、大地震が差し迫っていることを、ある程度、予測できていた可能性がある。しかし、近い将来における大地震の発生は予想されたかもしれないが、2、3日以内にそれが起きると限定した予知をすることはできなかったのではなかろうか。また、前述したような種々の変化が地震の前兆であると推定されたととしても、それらがM9.0の超巨大地震の前兆であるとは、恐らく考え及ばなかったと思われる。どのくらいの大きさの地震が起きるかの判断には、特定のシナリオ地震があらかじめ想定されているかどうか大きく影響する。

地震が起きた後に前兆現象が観測されていたという報告事例は数限りなくある。それでも、そうした前兆をモニターして地震を予知しようという機運がプロの地震研究者の間で広く生まれなかったのは、たとえ類似の現象を捉えたとしても、本当にそれが前兆と言えるか、また、もし、前兆であると言えたとしても、“科学的に”因果関係を説明できるか、そして予知の3要素を限定した予報ができるかと問われた時に、誰もそれに確証をもって答えられなかったということがあったからと思われる。前節で、地震予知は本質的にそうした精度のあいまいさを伴うことを論述した。そのことを認めてもなお、地震予測情報は意味があるか、また、そうした予測情報を防災に生かすとしたらどのような視点が必要かについて、第5節で筆者の考えを述べる。

4. フレアーとオーロラ

フレアーは太陽表面の爆発現象であり、オーロラは地球の上層大気中で生じる突発的な光のスペクトルである。いずれもそれぞれ特有の空間構造をもった太陽磁場あるいは地球磁場中に形成された電流系が引き起こす不安定現象で、磁場中の電磁流体（プラズマ）の運動により電流系として蓄積された磁場エネルギーが、急激に粒子の運動エネルギーに転換されることによって生じる。そのどちらにも磁気再結合というプロセスが関与していると考えられている。多分、これだけでは、地震の研究者には意味がつかめないと思われるので、以下、もう少し説明を加えるが、ここはこれらの現象の解説が目的ではなく、あくまでも地震との関連で相互の類似な点を見てみようという趣旨なので、説明は必要最小限に留め、フレアーやオーロラの華々しい諸現象については紹介しない。

まず、上の文章中で特有の空間構造を持った磁場というのは、太陽表面では黒点上空のコロナ中、地球では磁気圏尾部の、もともとは双極子的な磁場が、それぞれ太陽風の宇宙空間への流出と、その太陽風が飛んできて地球磁場に吹きつけることによって形成される磁力線の吹き流し構造を指している。そうした吹き流し構造は、すぐ後で述べるように、特有の電流系と関係しているが、その電流系は、磁場を含む非常に電気伝導度の高い電磁流体が動いたとき、その中の磁場をいっしょに運ぶ（磁場は電磁流体にフローゼン・インしていると言われる）性質があることによって、黒点周辺や磁気圏でのプラズマ流体の運動によって次第に強められる。そうした電流系（磁場）の持つ電磁ポテンシャル・エネルギーは電磁流体運動を通して比較的ゆっくりと蓄積されていき、フレ

アーやサブストーム（オーロラは磁気圏尾部から高速の電子が地球磁場の磁力線に沿って極域の上層大気に降り注ぐことによって酸素原子や窒素分子が励起されて発光する現象であり、そうした高速粒子の生成、すなわち突発的不安定現象の発生を指すときはサブストームという用語が適当）が発生した時に、数分～数10分という短時間で、電磁流体（プラズマ）を構成する粒子の運動エネルギーに変換される。双極子磁場が引き延ばされた吹き流し構造では、境界面を境にしてその両側の磁力線が逆向きになっており、そうした構造は、アンペールの法則から推定されるように、境界面内に磁場と垂直な向きに電流が流れることによって維持されている。一般に電流系の散逸は電気抵抗によって生じるが、非常に電気伝導度が大きいプラズマ中では、その散逸速度は極めてゆっくりしたものになる。しかし、フレアーやサブストームの発生時には、磁場の境界面内を流れる電流は急速に消えていっているはずで、そうした急速な散逸を可能にするプロセスとして考えられているのが磁気再結合である。電磁流体力学の言葉で端的に言うなら、境界面の両側の逆向き磁力線のつなぎ換えがある狭い領域で生じて、そのつなぎ換え個所に電磁流体が両側から流れ込むことによって高速で磁場が消えていき（磁場のつなぎ換えが進行し）、それとともに磁場をつくっている電流系も消えていくというものであるが、詳しいことは省略する。ただ、このプロセスにおいて電磁ポテンシャル・エネルギーが粒子の運動エネルギーにどのようにして変換されるか、すなわち高エネルギー粒子がどのようにして生成されるかについての物理的な仕組みの詳細は、依然として十分に解明されていない。

フレアーで放出される高エネルギー粒子は、宇宙船外で作業するアストロノーツには非常に危険である。オーロラで上空に降り注ぐ高速電子は、空を振り仰いでいる人たちに危険ではないが、オーロラがいつ見られるかはツアー客にとっては一大関心事である。このことから、宇宙天気予報の一環として、フレアーやオーロラの発生を予測しようという試みも行われている。しかし、いつ、どの程度の規模のフレアーやオーロラが発生するかは、研究のテーマではない。それを地震予知の3要素のように予知することは、そもそも無理という暗黙の了解があるように思う。研究上の目標は、フレアーやサブストームの爆発（サブストームの開始は、オーロラ爆発とも言われる）が、どういう状況で生じるか、その爆発の点火に至るメカニズムを明らかにすることである。フレアーが発生する前に黒点周辺の磁場がよじれて複雑な形状を呈すること、サブストームの前に磁気圏前面からの太陽風の流入が進むことは、フレアーやサブストームの準備過程として重要であり、その意義について詳しい研究がなされている。フレアーやサブストームの発生に至るまでに、そうした大局的な周辺状況が熟成してくることが必要条件であることは間違いない。それに加えて、いつ、磁気再結合が始まるかは、空間のごく狭い領域の場の状況が関与していると考えられる。興味深いのは、サブストーム（オーロラ爆発）の前駆的な現象が観測されても、爆発には至らずに終わってしまうことがあることである。こうしたこと（直前に大域的な場において準備が進んでいることや点火に失敗することがあること）は地震発生前の状況と良く類似しているように思われる。フレアーやオーロラが発生する瞬間の

時刻、その規模を正確に予報することはできない。しかし、フレアやオーロラが出現する蓋然性を、事前に、しかもそれを情報として有効に活用できる精度で知ることは可能である。“地震予知”が目指すべきことを考える上で、これは極めて示唆的ではないだろうか。

5. 地震予知が目指すべき方向

ポパーによれば、健全な科学は反証可能でなければならない。地震予知は当たったか外れたかの検証はできても反証はできず、その意味で“科学”とは言えない(泊, 2012)。自然は数学で書かれているとはガリレイの「新科学対話」に出てくる言葉だが、デカルト、ニュートン以来、西洋科学は、まさに、数式で記述できるものとしてつくられてきた。これは確かに検証も反証も可能である。一方、個々の前兆の確からしさを定量的に検証することは、難しさはあるにしても不可能ではないが、反証することはほとんど無理である。また、前述したように、日食や月食のように地震を正確に予知することはそもそもできない。反証のできない地震予知は“科学”ではなく、“科学的”地震予知は不可能であるという主張に、筆者は首肯する。しかし、“地震予知科学”は、たとえ“偽科学”である(泊, 2012)としても、“地震予知”そのものは意味があると考えたい。

金森(2012)は、「事前に個人が行動を起こすのに有効な情報」を出せるかどうかのポイントであると述べたが、これに、その行動あるいは対応が実際に防災に有効であるかという付帯条項を付け加えたい。決定論的な地震予知は不可能であるということを認めるとき、はずれたときの損失を考えて行動を思い止まることも一つの選択としてあり得る。は

ずれることも込みで、どのような対処をすれば、事前行動による利得を大きくすることができるか、これは、地震研究者だけでなく、その情報を受け取る個人、組織、社会がともに考えていくべき問題であると思う。現在、地震予知情報の発表は、プロの地震研究者よりも、民間の研究者が熱心である。しかし、そのほとんどの情報は、一部の報道メディアを除いて、何らの行動にも結びつかない。何もしない方が、結果として損失が少ないと評価されているからである。もし、当たる可能性が相当程度あることがわかれば、リスクを考慮して何らかの対応がとられていることだろう。問題は、したがって、以下のように言い表される：正確な予知はできないことを前提に、どの程度の中での予知であれば、また当たる蓋然性がどの程度あれば、対応をとるべきか。そして、その対応の仕方は予知の中や蓋然性によってどう案配するのが良いか。

1930年北伊豆地震はその異常な前震活動によって直前に予知され、その情報が減災に生かされたという(大木, 1979)。これは防災に有効な情報が実際に出せる場合があることを示している。東北地方太平洋沖地震の場合も、地球潮汐と地震活動の相関やb値のモニターが行われていたら、大地震発生の蓋然性がある中を持って事前に予知されていた可能性はある(松村, 2012)。ここで、蓋然性という言葉を使い、確率と言わなかったのは、地震予知における発生確率の数値は、エルゴート性に基づいて統計力学で算出されるような厳密さを持たないということのほかに、30年発生確率何%というような予知は、行動を起こす上でそれほど有効ではないとみられるからである(岩田, 2012)。

地震予知が目指すべき方向とし

て、筆者は、“地震予知科学”の推進でなく、“地震発生の仕組みの科学”(この中で“前兆”の捕捉とその意義の解明は極めて重要な要素である)の一層の推進を期待している。それは地震予知が当たる蓋然性(信頼性)を高め、その予知の中の改善に大きく貢献するに違いない。一方、予知には大きさや発生時等の中が必然的に伴うことを前提に、その中に応じてどのような対応をとるのが最も適切かについては、一般的汎用的な対処法を探すというよりも個々のケース毎に、情報の出し手側と受けとる側と一緒に考えていくのが良いと考える。

謝辞

東北地方太平洋沖地震の前兆現象については、気象研究所の前田憲二氏に負うところが大きい。また、健全な科学の反証可能性に関するポパーの学説について、泊次郎氏からご教示を受けた。記して深く感謝します。

文献

- 防災科学技術研究所(2011) 2011年東北地方太平洋沖地震前の傾斜記録, 地震予知連絡会会報, 86, 298-302.
- 日置幸介(2011) 超高層大気は巨大地震の発生を知っていたか?, 科学, 81, 1063-1064.
- 弘瀬冬樹・前田憲二(2011) 東北太平洋沈み込み帯のb値の時空間変化, 日本地球惑星科学連合予稿集, MIS036-P96.
- 池内了(2012) 科学の限界, ちくま新書, pp204.
- Ito, Y. et al. (2012) Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Tectonophysics, doi:10.1016/

- j.tecto.2012.08.022.
- 岩田孝仁 (2012) 確率的な地震予知では何も進まない, 東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会編「地震学の今を問う」, 102-103.
- 金森博雄 (2012) 地震研究堂々と進めよ, 毎日新聞, 11月5日.
- Kato, A. et al. (2012) Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 335, 705-708, doi: 10.1126/science.1215141.
- Katsumata, K. (2011) A long-term seismic quiescence started 23 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M = 9.0), *Earth Planets Space*, 63, 709-712.
- 気象研究所(2011)平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の数年前からの震源域内の非地震性すべり, 地震予知連絡会会報, 86, 182-183.
- 気象庁地震予知情報課 (2008) 東北地方の地震活動の静穏化, 地震予知連絡会会報, 79, 69-73.
- 小泉尚嗣 (2011) 日本地球惑星科学連合 2011 年大会ユニオンセッション「地震・火山噴火の科学的予測と防災情報の現状と課題」報告, 日本地震学会ニュースレター. 23, 2,
- 国土地理院 (2011) 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 86, 184-272.
- 前田憲二 (2013) 2011 年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象, 第 198 回地震予知連絡会重点検討課題資料, 29-37.
- Maeda, K. and F. Hirose (2012) Prediction performance of empirically defined foreshocks and its application to the 2011 Off Tohoku Earthquake, *International Symposium on Statistical Modeling and Real-time Probability Forecasting for Earthquakes*, 14.
- 松村正三 (2012) 何故、後予知なのか, 東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会編「地震学の今を問う」, 45-48.
- 松澤 暢 (2012) M9 を想定するために何が欠けていたのか? 今後どうすれば良いのか?, 東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会編「地震学の今を問う」, 9-13.
- Nanjo, K. Z., N. Hirata, K. Obara, and K. Kasahara (2012) Decade-scale decrease in b value prior to the M9-class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2012GL052997
- 日本地震学会 (2012) 地震学への提言, 日本地球惑星科学連合 2012 大会, U-06.
- 日本地震学会地震予知検討委員会 (2007) 地震予知の科学, 東京大学出版会.
- 大木靖衛 (1979) 昭和 5 年 (1930) 北伊豆地震とその予知, 神奈川県温泉地学研究所報告, 11, 1.
- Ohta, Y., et al. (2012) Geodetic constraints on afterslip characteristics following the March 9, 2011, Sanriku-oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L16304, doi:10.1029/2012GL052430.
- Ouzounov D, Pulinet S, Romanov A, Romanov A, Tsybulya K, Davidenko D, Kafatos M, Taylor P (2011) Atmosphere-ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multi-instrument space-borne and ground observations: Preliminary results, *Earthquake Science*, 24, 557-564.
- Tanaka, S. (2012) Tidal triggering of earthquakes prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.1), *Geophys. Res. Lett.*, 39, L00G26, doi: 10.1029/2012GL051179.
- 統計数理研究所 (2011a) 東北地方太平洋沖地震の前震活動と広域的静穏化について, 地震予知連絡会会報, 86, 134-141.
- 統計数理研究所 (2011b) 前震の確率予報の実施と評価: 東北地方太平洋沖地震までの 15 年間, 地震予知連絡会会報, 86, 123-125.
- 東北大学大学院理学研究科 (2011) 2011 年 3 月 9 日三陸沖地震 (M7.3)―測地データおよび地震活動から推定される前震およびその余効変動, 地震予知連絡会会報, 86, 309-314.
- 東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会 (2012) 地震学の今を問う, pp171.
- 泊 次郎 (2012) 未熟な科学と科学者の責任, 地震学への提言, 日本地球惑星科学連合 2012 大会, U-06-09.
- 上田誠也 (2013) 地震予知への提言, 地震学会モノグラフ, 投稿中.
- 吉川澄夫・林元直樹 (2012) 2011 年東北地方太平洋沖地震前の静穏化現象―再考, 日本地球惑星科学連合予稿集, SSS25-03.