

地震予知研究に関わった30年の曲折

松村正三*

My Winding Road on Earthquake Prediction Research for Thirty Years

Shozo Matsumura

Senior Expert Researcher
Earthquake Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
shozo@bosai.go.jp

Abstract

It has passed about thirty years since I had been obsessed by the subject what we could read from the micro-seismicity and its change. However this duration must be too short compared with one cycle of a large earthquake repetition. Although I could touch only a part of the vast field on earthquake prediction research, I should like to talk about my research works, which had left a deep impression on my memory.

Key words : Earthquake prediction, Micro-seismicity

微小地震活動とその変化、この中から何を読み取るのかという問題にとりつかれて30年、私の研究生生活を振り返って強く印象に残った話題などを取り上げてお話ししてみたいと思います。

1. 茨城県沖地震

およそ2年前の2008年5月8日、私にとって画期的な地震が起きました。つくばでも震度4となったので覚えておられる方もいるでしょう、M7.0の茨城県沖地震です。この地震の何が画期的であったかという点、これは、私の地震研究の中で初めて予知の可能性を実感させる地震だったからです(Matsumura, 2010)。私が防災科研(当時は、国立防災科学技術センター)に入ったのは1976年の春でした。当時室長だった浜田さんの主導で始まった「関東・東海プロジェクト」に加わり、主にデータ処理システムの開発に携わることになりました。同プロジェクトによる微小地震観測がスタートしたのは1979年7月からでしたが、3年後の1982年7月23日、やはり茨城県沖にM7.0の地震が起きていたのです。2008年の地震は、これから26年の時を経て起きた「固有地震」の繰り返しだったというわけです。

1982年の地震が起きたとき、私は稼働し始めたばかりのデータ処理システムの運用を井元さんをお願いし、長期在外研究員として米国地質調査所(USGS)に留学していました。この地震は遠く離れたUSGSの観測網でも捉えられており、翌日出勤すると、日本で大地震が起きたと教えられ、そして、震源は松本付近であると告げられました。松本でM7地震が起きたとなると大災害となったはずですが、それが茨城県沖地震であったことを知るのは、大分、後になってからでした。しかしまあ、1万kmも離れた観測網でこの程度の誤差というのは、むしろ優秀な観測能力だったというべきでしょう。といったわけで、つくばにいれば驚かされたはずの揺れを実感することもなく、2008年の地震が起きるまで、私はこの地震に興味を持つことはありませんでした。

21世紀に入って、関東・東海プロジェクトによる観測は高感度地震観測網(Hi-net)に引き継がれましたが、合計して30年におよぶ観測によって、やっと同じ固有地震を2度にわたって観測したことになります。前述したように、これによって地震予知の可能性に迫ることができたわけですが、よく考えてみると、30年の観測期間中に26年の間隔を置いた2個の地震を捉えるという確率は

*独立行政法人 防災科学技術研究所 地震研究部(シニアエキスパート)

僅か 4/30 しかないわけです。これはとても幸運なできごとだったと言わなければなりません。

では、どういう解析をしたかということですが、地震活動の変化分布を赤青の空間パターンとして表現してみたのです。図 1 を見て下さい。上図 A は、1982 年の地震前 10 か月分のデータを拾い出し、前後 5 か月分ずつに対して地震発生密度の比（後／前）を描いたものです。赤は活発になった場所、青は静穏化した場所であり、変化がなければ白いまです。下図 B は 2008 年の地震前に対する同様の図ですが、両者のパターンはとてもよく似て見えます。強いて言えば、A の図は B に比べて赤青のコントラストがややきつく見えます。それは、1982 年頃はまだ観測網が完全ではなかったため、取り上げる地震のしきい値を M2.0 とし、一方、B では M1.5 まで下げることができたため、解析に使用したデータ数が、A では B の 1/3 となってしまったからです。データ数が少ないと統計的なばらつきが大きくなり、結果的にコントラストが強く出てしまいます。そのことを知った上で見直せば、パターンの類似性は一層よいことが分かりますが、これを数値で表現するため、両者の相関係数を求めてみました。その結果、両者には統計的にきわめて有意な類似性のあることが検証できました。次に確かめたことは、このように高い相関が固有地震以外の場合でも出るだろうかということです。そこで、A のパターンをリファレンスとして時間枠をずらしていったとき相関係数がどのように変わるかを調べてみました。結果は図 2 のとおりです。1982 年の地震が終わった後、ほぼ 26 年にわたって相関係数は低いまでしたが、2008 年の地震の直前になって高い相関が得られました。つまり、固有地震発生の直前にのみ地震活動変化に同じパターンが出現するということです。この図を見た瞬間、確信しました。「この地震は予測できる」と。

何故、こういうことが起きるのかということですが、次のように考えてみればよいでしょう。今では、地震時にすべる震源域は全体が一樣なのではなく、その一部に特に強く固着している部分、すなわち asperity があって、応力の大部分はこの asperity によって支えられている、と考えられています。M7 級の大地震になると、通常、震源域内には複数個の asperity があって、それらが協力しあって全体の応力を支えています。この状態のままプレート沈み込みが進行する分には、震源域とその周辺の応力分布は一定のパターンを保ったまま同じ割合で増加することになります。しかし、いよいよ最終破壊が近づいた臨界状態では複数個ある asperity の内、弱いものから崩れることになるでしょう。

その結果、応力の再配分が起き、残った asperity にかかる負荷が一挙に増加するはずですが、その後は、残された asperity の分布状況にもよりますが、ある時定数をもってドミノ倒しのように破壊の進行することが予想されます。茨城県沖では、地震前の 5 か月間にこのようなドミノ倒しが進行した、と考えるのです。この期間を preparatory stage と呼ぶことにします。Asperity の分布は地域毎に固

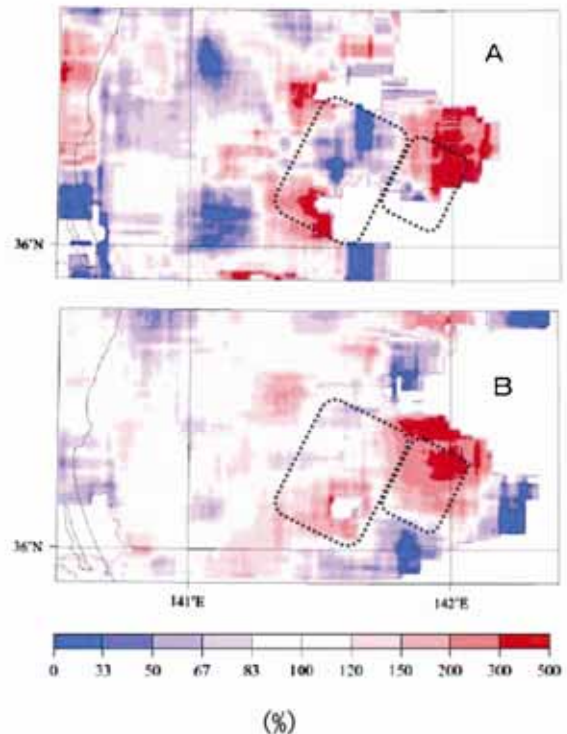


図 1 茨城県沖の微小地震活動の変化パターン。
A は 1982 年地震の直前、B は 2008 年地震の直前。赤は活性化、青は静穏化

Fig. 1 Seismicity rate change in off Ibaraki Prefecture. A is the picture prior to the 1982 M7.0 event, and B that prior to the 2008 M7.0 event. Red (blue) corresponds to activation (quiescence).

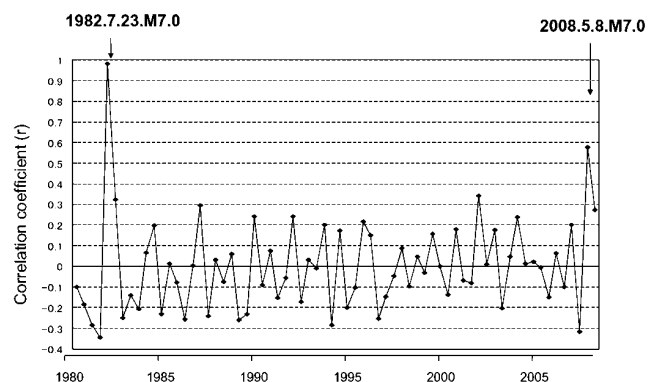


図 2 パターンの類似性を示す相関係数の推移．図 1 の A をリファレンスにして、5 か月毎に計算した結果

Fig. 2 Temporal transition of correlation coefficients obtained by taking A in Fig.1 as a reference, which indicates similarity with A. Each value is calculated every five months.

有の分布形態を持っているので、preparatory stage では、基本的に同じドミノ倒しが起きるはずですが、そのようなドミノ倒しによる応力再配分の状況は、そのまま周辺の

微小地震活動変化に投影されると考えられるので、結局、地震活動の変化も preparatory stage では特有のパターンを描くはず、というわけです。

このように、イメージとしては特有パターンの出現はある程度予想できたとしても、現実これを検証することは容易ではありません。微小地震観測によって特有パターンの繰り返しを観測し得たのは、事実上、これが初めてだったのです。私にとって画期的な事件であったというのはこういうことでした。次回の M7 級茨城県沖地震は、2030 年前後に起きると予想されます。私がそれに立ち会うことはないでしょうけれども、このやり方でもって予知できる可能性は高いと期待が膨らみます。

2. 十勝沖地震

前節のような状況は、プレート境界の大地震に一般的なものである、と推測されます。今までに固有地震の繰り返しが観測された事例は多くありませんが、十勝沖地震がその一例になりそうです。十勝沖の固有地震としては、1952 年 3 月 4 日 M8.2 と 2003 年 9 月 26 日 M8.0 が起きています。両方をカバーするデータは気象庁の JMA カタログですが、この場合は、微小地震というわけにはいきません。そこで、M4.5 をしきい値として、震源域を囲む領域での地震回数積算図を描いてみました（図 3）。

この図では、1952 年、2003 年に垂直な増加が見えますが、これはそれぞれの固有地震の余震によるものです。それと同時に、両者ともに地震前の数年間、活動が低調であったこと、つまり静穏化があったことが分かります。この図を見ただけでも固有地震の前に共通の状況変化、すなわち preparatory stage のあったことが認識できます。ちなみに、2003 年の地震に対して前兆的な静穏化が進行していることは、北大の高橋さんら（高橋浩晃・笠原稔，2004）によって地震発生前に指摘されていました。彼らはこのことを書いた論文を雑誌「地震」に投稿しましたが、残念ながら論文が印刷される前に 2003 年の地震が起きてしまいました。そのためもあってか、この論文はあまり注目されていませんが、私は、当該の地震が起きる前に警告を発していた論文として、もっと高い評価を受けるべきであると考えます。

ともあれ、茨城県沖地震に対して行ったと同じ解析を十勝沖地震に対してもやってみました。この場合の問題はデータ数です。茨城県沖では M1.5 からの微小地震を使えたのに、十勝沖に対しては M4.5 以上しか拾えなく、地震活動度が同じだとしても扱えるデータ密度は 1/1000 程度となってしまいます。ただし、見るべき固有地震のマグニチュードは M8 と茨城県沖の M7 よりも大きく、従って、震源域の面積は約 10 倍、また、preparatory stage の期間を約 6 年とみたので、これも茨城県沖の 5 か月の約 10 倍となり、これらを勘案すると、相対的データ数の比は、約 1/10 と大分改善することができました。結果の図は省略しますが、データ数の少なさに応じたばらつきの増大はあるものの、ほぼ茨城県沖と同様の結果を得ることができました。すなわち、十勝沖地震に対しても

preparatory stage の出現を想像させる地震活動の特有変化を見ることができたのです。

3. その他の固有地震

茨城県沖地震が微小地震観測網で観測された初めての固有地震であったという言い方には若干、語弊があります。小さい固有地震ならば、実は関東・東海地域内でもたくさん捉えられています。当所の木村さん（Kimura *et al.*, 2006）、松原さんら（松原誠ほか，2005）が捉えた small repeating earthquakes というものがそれです。また、三陸地方の有名な repeating earthquake として、東北大の五十嵐さん、松澤さんら（Igarashi *et al.*, 2003; Matsuzawa *et al.*, 2002）が発見した釜石市直下の M5 地震系列があります。

これらも固有地震であることに違いはありませんが、

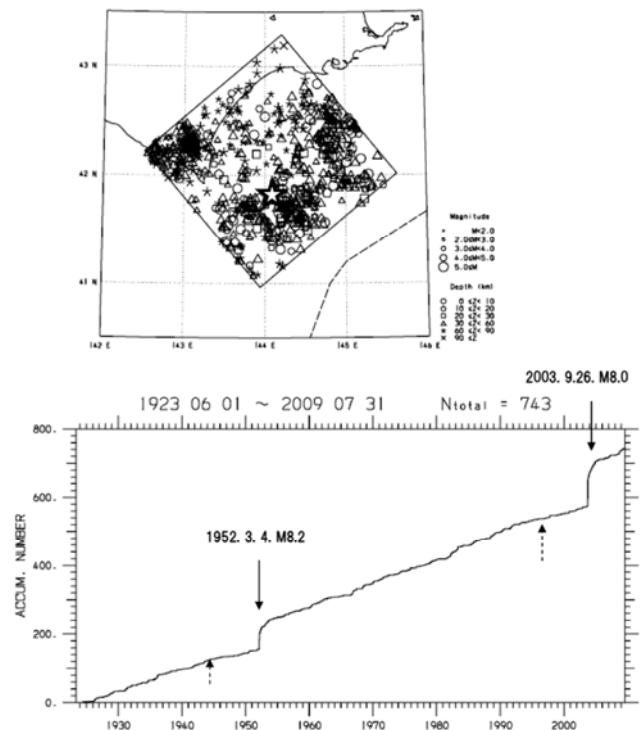


図 3 十勝沖の地震活動状況。JMA カタログから M4.5 以上を抜き出した。破線矢印は静穏化を示す。

Fig. 3 Seismicity in the off Tokachi region. Data are sampled from the JMA catalog. The broken arrows indicate quiescence.

前述のイメージに適合するものではありません。何故ならば、これらの地震の震源域は、おそらく 1 個の asperity で構成されるからです。前述したように preparatory stage が現れるためには、震源域が複数個の asperity で構成されることが条件であり、そのためには概ね M7 級以上であることが必要条件となります。

さて、これまでの結果に気をよくしてその他のプレート境界固有地震の場合はどうだろうかと試してみました。こ

ここで挙げたイメージは、プレート境界の固有地震に対しては、ある程度ユニヴァーサルにあてはまるだろうと思ったからです。そこで取り上げたのは、1978 年 6 月 12 日 M7.4 と 2005 年 8 月 16 日 M7.2 が起きた宮城県沖地震、および、1968 年 5 月 16 日 M7.9 と 2004 年 12 月 28 日 M7.5 が起きた三陸はるか沖地震（前者は 1968 年十勝沖地震と名付けられているが、正しくはこれも三陸はるか沖地震というべきです）の 2 例です。しかしやってみたところ、期待したような結果が得られませんでした。茨城県沖地震や十勝沖地震とは違った感じが感じられます。私は、その理由が、これらも固有地震系列に入るとはいえ、完全な繰り返しになっていないからではないかと考えています。2004 年の三陸はるか沖地震は、1968 年の地震の主要な asperity の内の 1 個しか崩していません。同様に、2005 年宮城県沖地震では、1978 年の asperity の一部しか滑っていません（このために、地震調査研究推進本部の委員会では、今後の宮城県沖地震の評価をどうすべきか苦慮しています）。主要 asperity が複数個ある場合には、固有地震系列の破壊が毎回同じとは限らず、一度に全部が滑るケースと一部だけが滑るケースが混在します。このことが、地震予知が一筋縄にはいかないおそらく最大の理由です。

そしてその極端な一例に私たちは直面しています。それが東海地震です。東海地震は、東南海地震とあわせて百数十年の間隔で起きる固有地震系列のひとつですが、前々回の 1854 年安政東海地震で滑った東海と東南海の asperity が、前回の 1944 年では東南海部分しか滑らなかった、というのが石橋説の根幹であり、東海地震予知体制が築かれるきっかけとなった基本的要因です。

4. 東海地震

やっと東海地震の話に辿りつきました。東海地震は、私にとってライフワークともいえるべき研究テーマですが、初めからそのつもりでいたわけではありません。東海地震が世間に膾炙するきっかけとなったのは、1976 年秋の地震学会で、当時東大地震研の助手だった石橋さんが行った電撃発表でした（石橋克彦、1976）。私にとっては初めての地震学会参加で、これがかように重い内容をもっていたということを当時は知る由もありませんでした。その後、東海地震を対象エリアにもつ関東・東海プロジェクトに加わることとなりましたが、その時点でも東海地震に特別な関心を寄せることはありませんでした。東海地震に目を向けるようになったきっかけは次のようなものでした。

1980 年代の終わり頃だったと思います。それまで 10 年近く携わってきたデータ処理システムの構築が一段落し、漸く処理結果に目をやるまでの余裕が生まれました。そこで思い立って、関東・東海地域の震源分布を 1 年ごとにマッピングした図面を作って地震調査棟 3 階システム室の壁に貼り並べたのです。毎日のようにこの地図を眺めていたある日、不思議な模様を目を惹かれました。浜名湖付近にちょうど足跡のように東西に並んだ 2 個の塊

です（図 4）。深さ別に色分けしていましたので、緑や青緑色をしたこの塊は周りから浮いて見えました。しかも東西の活動が、年毎に交代しているように見えたのです。「これは一体何だろう？」と思いました。地震の塊、いわゆる「地震の巣」はこれ以外にもいっぱいありました。にもかかわらず、この活動だけは他と違って見えました。そこでこの活動の特徴を調べて翌年の地震学会で発表したのです（松村正三、1989）。しかし、この時点ではまだ活動の本当の意味は見ていませんでした。ましてや、それが東海地震に関わっているなどということは思いもよりませんでした。

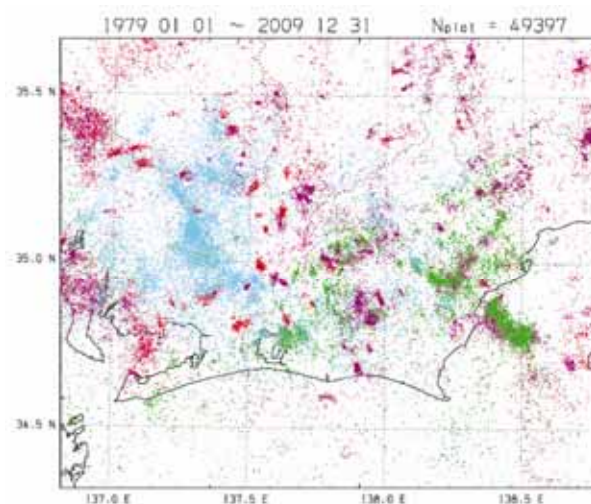


図 4 東海の微小地震分布。色分けは、震源の深さに対応し、赤が浅く、青が深い。

Fig. 4 Micro seismicity in the Tokai region. Red (blue) indicates shallow (deep) earthquakes.

その後、周辺に目を向けることでいろいろなものが見えてきました。例えば、浜名湖から北西方向に向け、愛知県北部にまでおよぶ帯状の青い活動があることが分かります。この地震のメカニズムを調べ、それが東西に引っ張られる正断層であることから、ここではフィリピン海プレートが裂けようとしているのではないかと、思い至りました。これは、自分でもなかなかよいアイデアだと思ったのですが、関連論文を探してみると、鶴川さんがもっと広域にわたって同じアイデアを提示していたことが分かりました（Ukawa, 1982）。彼が提唱した概念 lateral stretching force は、その後、重宝な用語として私自身の論文でも何度も引用させてもらいました。さらに、この帯の方位が駿河―南海トラフ屈折点の延長線上にあるということに気付いたのですが、これについても、当時名大教授であった青木さんが既に論文に明記されていたことを知って愕然としたことを覚えています（青木治三、1985）。ずっと後の話になりますが、ある時、「地震」への投稿論文の査読を依頼され、その論文を読み進

めたところ、全く同じアイデアが著者の発見として記述されていたのです。私は、査読コメントとして、青木さん、鶴川さんの先行論文を引用するように求めましたが、このときも、同じデータを見て考察を進めたとき、結局は同じようなアイデアに辿りつくものだということを思い知らされました。

次には、浜名湖の東側です。図4をよく見ると、静岡県西部域に緑の震源分布が広がっていることが分かります。それらのメカニズム分布を検討した結果から、こうした微小地震がプレート間の固着によって引き起こされていると考え、最終的に全体の固着エリアを描き出す作業を行いました。ここに至って漸く東海地震との結びつきが生まれたのです。この結果を記述した論文は私の研究生活にとっての最初のマイルストーンとなりました(Matsumura, 1997)。

2001年、中央防災会議は、それまで石橋説に従って描いていた東海地震想定震源域を13年ぶりに見直すこととなりました。見直しにあたって、専門調査会による議論の原案を気象庁が用意することとなり、その検討のため、私と野口さん、国土地理院の鷲谷さん(現、名大教授)らが気象研に呼ばれました。石橋説当時はきわめて不十分な観測結果しかなかったのですが、この13年間で東海地域の観測能力は飛躍的に進化しており、それらの結果を総合して合理的な震源域を設定しようとしたのです。野口さんは、微小地震分布から静岡県下のフィリピン海プレートの形状を描き出していました(野口伸一, 1996)。鷲谷さんは、GPS観測結果からback-slip解析という手法を使い、プレート間の固着域を導き出していました(Sagiya, 1999)。さて、それらの結果を統合しようとして、困ったことに気付きました。鷲谷さんの結果と私のそれとが全く重ならなかったのです。図5は静岡新聞から引用したものです。この記事でも、両者の解析結果が重ならないという問題点が指摘されました。議論の結果、野口さんのプレート境界面10 kmと30 kmの等深線を境界とすることでうまい具合に両方の折衷案を作ることができたのですが、それでもある種の違和感が残ったままでした。

5. Back-slip 問題

東海地域でback-slip解析を行ったのは鷲谷さんだけではありません。解析の方法やデータの違いによって多少の出入りがありますが、多くの場合、back-slip解析から導かれた固着域は海域に外れてしまいます。GPSなどの観測点は基本的に陸上にしかありませんから、そのデータから海域の分布図を描くことには無理があり、誤差が大きくなるのはやむをえません。しかし私には、この問題、すなわち、地震データから推定した固着域と地殻変動データから推定した固着域が重ならない問題の原因はデータや解析の誤差ではなく、back-slip解析という手法に本質的に内在する問題ではないかと思うようになりました(松村正三, 1999)。ちょうどそのころ、学会ニュースレターに京大教授の橋本さんがback-slip解析

について解説した記事が載りました(橋本学, 2000)。Back-slip解析という手法は、東大の松浦さん(現、名誉教授)らが提唱したのですが(Matsu'ura and Sato, 1989)、その基になった概念は、USGSのSavage(1983)によって与えられたものでした(ちなみに、back-slip解析という名称はいかにも和製英語だとして、学会ではあまり使われなくなりましたが、実際には外国人によっても使われており、私はこの直截的な言い方が気に入っています)。橋本さんの記事では、1990年代の中ごろ、back-slip解析に関する議論があったと紹介されていました。それによると、雑誌GRL上でSavageに対して議論をふっかけたのは、Douglass and Buffettという人たちです。まず、Douglassらが、Savageのやり方では力学的におかしな状態が生じるというクレームを發しました(Douglass and Buffett, 1995)。これに対してSavageが反論を投稿し(Savage, 1996)、さらにDouglassらは、その反論の問題点を突きました(Douglass and Buffett, 1996)。これに対するSavageの再反論はなく、論争はここで途切れていきます。



図5 東海地震想定震源域の見直しにおける問題点を報じた静岡新聞の記事から引用した図

Fig. 5 A picture cited from the Shizuoka newspaper, which reported a problem in the issue newly inferred the Tokai seismic zone.

Douglassらの論点は分かり難いものでしたが、私は何度も読み直した結果、Douglassら側の主張に合理性があり、少なくともこの論争に限ってはSavageの反論は破綻していると考えてに至りました。ややこしいのは、back-slip解析の結果が単純に間違いであるということではなく、状況によって避け難いズレが生じるという微妙な問題であるということです。ただ、この微妙な問題点が沈み下がるプレート境界の固着域を海側に押し出してしまうという結果に結びついていると考えました。この問題については、岡田さん(現理事長)とともに連名

で 3 度にわたって学会発表を行いました（松村正三・岡田義光, 2005, 2006, 2007）, 議論はかみ合いませんでした。実際には, 「Back-slip 解析には問題がある」, 「どこか変だ」と思う人が少なくありません。しかし一方で, 「別に問題はない」と思う人が大多数なのも現実です。大竹さん（東北大学名誉教授）からも叱咤激励を受けながら, 今の私にはこれ以上この問題を追及する力がありません。しかしいつかまた, 議論が再燃することもあるのではないかと考えています。

6. 再び東海地震

東海地震は行政的な意味でも具体的な震源域が想定された最初の地震となりました。一旦, 対象地域が固定されれば, 後は, その領域の観測データを追いつけていけばよい, ということになります。実際, 推定固着域で起きる微小地震の個数を数える, というきわめて単純な見方でも, この地域の応力蓄積の割合が全く一定である, という状況がすぐにつかめました。それは予想以上に安定しており, 毎月モニターしていくのが馬鹿馬鹿しくなるほどでした。考えてみれば百年以上をかけて営々と進行する状況を毎月フォローしてみても大した動きが見えないのは当然である, と思えたのです。しかしその判断は早計でした。変化は意外に早く現れたのです。フィリピン海プレートの内部に発生する微小地震の回数積算グラフは 1999 年 8 月になって突然, 折れ曲がりました。それは, 非常に微妙な変化でしたが, 変化したことは明らかでした。そして, その後, 2000 年の後半から, 今度は国土地理院の GPS に変化が見え始めました。浜名湖直下で大規模なスロースリップがスタートしたのです。

ちょうどこの頃から, Hi-net などによる新しい観測がスタートすることになり, それまでは見えていなかったいくつもの現象が新たに発見されるようになりました。中でも, 小原さんらによるプレート境界深部における微動や超低周波地震の発見は世界的にも驚きの目をもって受け留められましたが (Obata *et al.*, 2004), これらもスロースリップの一表現であり, それは, 浜名湖下のスロースリップとも密接に関係していたのです。百年一日の如く, まるで変化のないプレート運動だと思いこんでいたものが, どうしてどうして, 年の単位で, あるいは月の単位でダイナミックな動きを見せることが分かってきました。

しかしながら, ここまで見えてきても, 次の東海地震を予知できるかどうかは, なお未知数です。最初に記述したように, 私たちは前回の東海地震を体験していないからです。また, 東南海地震のわれ残りであるということが事態を一層複雑なものにしています。私たちにできることは, 現状を基にしてシミュレーションで推測すること, または, 地下で進行している状況を想像すること, のどちらかです。後者に関して, ここではふたつの事例を紹介しておきましょう。

ひとつは, 東海地震の asperity はどこにあるかということです。中央防災会議は, 強震動予測のため, 想定震

源域内に 6 個の asperity を置きました。図 6 左図の 6 個です。ただしこれは, 想定として便宜的に置いたものでしかありません。何らかの方法で, もっと実態に即したものに迫れないかと考えました。そこで, さきほどのスロースリップが役立ちます。浜名湖で Mw7.2 に近いスロースリップが起きたとすると, 震源域の asperity には通常のレベルを超えた割合の応力集中が進行するものと想像できます。そこで, この時期, 微小地震活動が他と違って活発になった部分を抜き出してみました。図 6 右図の 3 個の囲み部分がそれです (松村正三, 2007)。私は, これが主な asperity の投影になっていると推測しました。同図の楕円は, 過去の事例である安政東海地震と宝永地震の際, 強い短周期の地震動が発された部分です。われわれは過去の東海地震を体験していないと述べましたが, 鹿島建設・小堀研究所の神田さん, 武村さんら (神田克久ほか, 2004) は, 過去の地震による被害状況の分析からこれらの地域を抽出し, 東海地震の asperity 位置を推測することに成功していたのです。実態としての asperity を把握することができれば, 被害予測がより現実的なものになります。また, プレスリップ推定にも役立ち, 予知の実実味が増します。中央防災会議による短周期強震動の予測では仮想 asperity が用いられましたが, それに続く長周期地震動の予測に際しては, 推定 asperity が新たに用いられるようになりました。

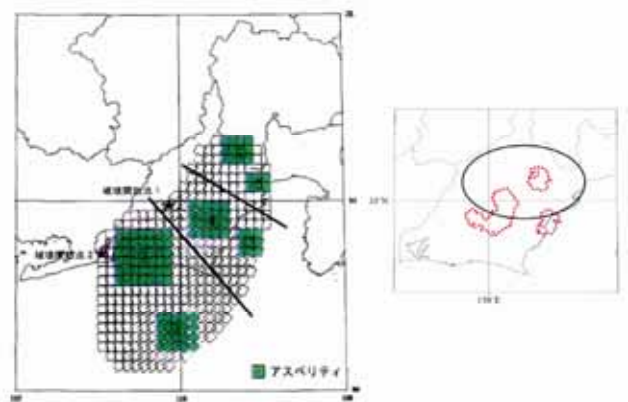


図 6 東海地震の asperity の推定。左図は中央防災会議による想定。右図は, 地震活動変化から推定した結果。楕円は, 神田ら (2004) による過去の東海地震における短周期強地震動の発生域

Fig. 6 Inferred asperities for the Tokai earthquake. Left: Assumption provided from the Central Disaster Management Council. Right: results derived from the seismicity change. The ellipse is the zone generated strong motion at the past Tokai earthquakes, referred from Kanda *et al.* (2004).

もうひとつは, 浜名湖下のスロースリップをどう評価すべきかという問題です。このような長期的スロースリップは, GPS 網が整備された 2000 年以降になって初めて捕捉されたものですが, 実は, 過去にも起きていたことが分かっています。当所の三ヶ日傾斜計の記録から,

1990年代の初め、弱いスリップのあったことが山本さん（Yamamoto *et al.*, 2005）によって発見されました。そのほかにも、潮位変化、レーザー測距、地震活動変化から、過去のスリップが発掘され、それらはおよそ10年おきに起きてきたとされています。では、今回のスロースリップも過去の繰り返しの 'one of them' と見てよいのでしょうか。私の答えは「ノー」です。スロースリップが一定周期で繰り返すだろうという考え方は、シミュレーションからも支持されています。また、今回のスリップは2005年でほぼ停止したとも見られ、その限りでは、状況は旧に復したように見えます。

しかし、厳密な見方では、スロースリップはまだ終結していません。図7は現時点の状況に対する私のイメージです。スロースリップの中心は、ほぼ5年にわたって浜名湖下に留まっていますが、その前後には別の場所にありました。気象研の小林さんによると、浜名湖に来る前には、スリップ位置が東側から移動してきたらしいということです（小林昭夫・吉田明夫, 2004）。また、国土地理院の解析によると、現在のスリップは、量こそ減ったもののその中心は浜名湖の北東側に移っているということです（国土地理院, 2009）。これらを統合した図7のイメージでは、3個の推定 asperity を取り囲んで、スリップはその外縁をなぞり、ちょうど本丸を残して外堀を埋めてしまったかに見えます。裸になった本丸がいつまで持ちこたえられるのでしょうか。

懸念材料はもうひとつあります。初めの節で、茨城県沖では固有地震発生の直前に、背景となる地震活動の変化に特有のパターンが現れることを紹介しました。そしてそのような特有パターンは、周辺の応力分布が地震発生の preparatory stage に達した状況の現れであると解釈しました。東海の場合にも同様の分析をやってみたいところですが、1854年の安政東海地震まで遡ることはでき

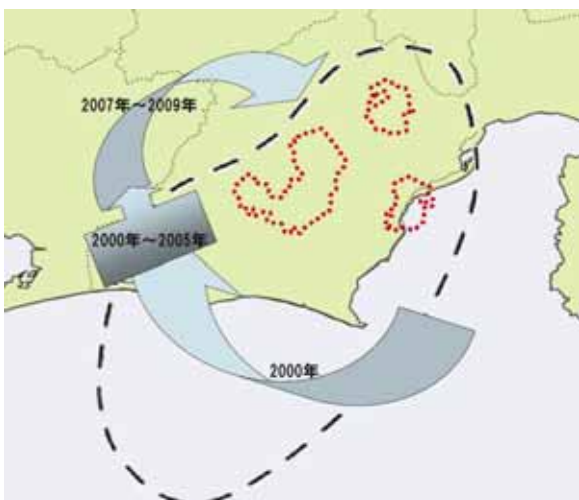


図7 スロースリップ域の移動と推定 asperity. 小林ら（2004）、および国土地理院（2009）を参照している。

Fig. 7 Transitions of the slow-slip, referred from Kobayashi *et al.* (2004), and GSI (2009).

ません。そこで、JMA カタログを使って、せめて 1944 年東南海地震の前までを遡ってみた結果が図8です。ここでは、東南海地震前10年間の地震活動パターンをリファレンスとして、その後のパターンとの相関具合をモニターしています。赤が東海地域、オレンジが東南海地域です。両者は地域をわけあっておりデータに重複がないにもかかわらず、変化の傾向に共通点があります。1960年頃に一旦相関係数が上がった後、数値は低下し、その状態が1980年代の終わりまで続きます。ところが、1990年代に入った頃から再び上がり始めて現在に至ります。つまり現時点では、東海地域でも東南海地域でも、応力分布のパターンが1944年東南海地震前の状況に近づきつつある、ということを意味します。これが、即、東海地震の発現に結びつくものかどうかは分かりません。しかし私には、2000年に始まったスロースリップが終結して asperity への応力集中が寛解し、状況が安定期に入ったと思うのは早計であるという気がします。事態は着々と進行しつつあり、少なくとも、東南海地震前と類似の状況が今再び出現しつつあると思われるのです。

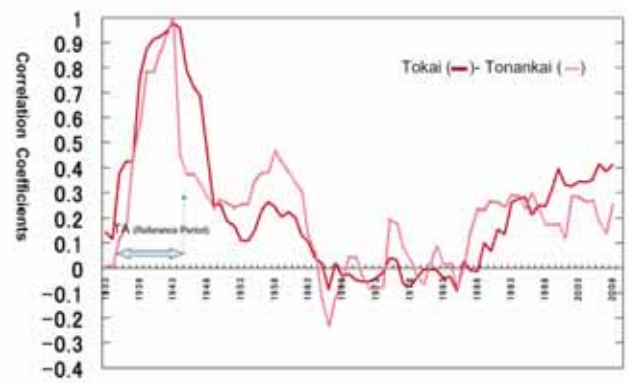


図8 東南海地震前の地震活動パターンをリファレンスとして計算した相関係数の推移。赤は東海地域、オレンジは東南海地域

Fig. 8 Temporal transitions of the seismicity pattern obtained by taking the period just prior to the 1944 Tonankai earthquake as a reference. Red is for the Tokai area, and orange for the Tonankai area.

7. マスコミ取材のことなど

東海地震の推定固着域について学会発表した内容はマスコミの注目を受け、その結果が当時の新聞で報道されました。私にとって自分の研究結果がマスコミ報道された初めての経験でした。これを皮切りにしてその後も、新聞・週刊誌・テレビなどから度々の取材を受けるようになりましたが、それは、「東海地震」というキーワードに一定のニュース性があったからに違いありません。もちろん、こうしたマスコミ対応の是非については賛否両論があることでしょう。実際、「これでよいのか」と私自身が悩んでしまうようなきわどい記事が掲載されたこともあります。けれども、それらも含め全ての取材に積極

的に対応しようという姿勢を取ってきました。

研究者にとっての本分は、やはり学会における活動であると言うべきでしょう。ただしそれは、仲間内の活動でしかない、ということもできます。私たちの研究活動は最終的に一般社会へとつながっていくことが求められるはずで、マスコミ報道は、そのもっとも直接的なパスであると思うのです。自らが発表するのとは違い、取材の場合には必ずしもこちらの意図が正確に伝わるわけはありません。取材する側にもそれなりの都合や思惑があるからです。それでも構わない、あえてそれもよしとしたのは、マスコミからの取材では、その向こうに社会の目が感じられ、結局は、自身の研究テーマの意義を改めて思い知らされることが多かったからです。

取材対応は、所の広報活動の一環とみなされています。しかし、私の中では、むしろこれは研究者としての identity を確認する場であるという意識が強かったのです。当り前のことですが、研究者にとって、自分の研究テーマが一体どういう意義を持つのか、ということは自身の identity に関わる重大事です。ところが、案外、自分ではそれが見えないというケースが少なくありません。研究者は、自分の研究テーマとその成果に強い自負を持ちながら、しかし同時に不安をも抱えています。本当に意味のあることなのだろうか、適切なアプローチなのだろうか、正しい解釈なのだろうか、といった不安です。自分で納得していたとしても、他者からは評価されないといったケースもあります。いずれにせよ、研究テーマと成果は自分自身のものでありながらも、それを自身の identity とするためには、他者からの認定が必要となるのです。私たちが論文を書き、学会発表を行うのは、そのためです。

ややこしい言い訳は別にしても、自身の研究テーマが、そしてその成果が世間の注目を浴びることはとても嬉しいことです。むしろ私は、そのことを、研究を管理し、研究者を評価する立場にある方に理解してもらいたいと思います。昨今は、研究者をいかに評価するか、その仕方が管理者にとっての重要課題となっていますが、評価の前にまずは、それぞれの研究者のテーマに注目していただきたい。そしてそのテーマの意義を当の研究者と一緒に考えてもらいたい。そのようにすることで、それぞれの研究者の identity の確立に結び付けられれば、迂遠な道ではありますが、それが最終的に研究所の存在基盤を確立することにつながるだろうと思うのです。

さて、この稿の最後に研究者の皆様に向けてのメッセージです。研究者の仕事は、雑多な情報を素材として、それを料理し、長い時間をかけて煮込み、できあがったスープの上澄みをそっとすくいあげるような作業ではないかと考えます。たった一編の論文をまとめあげるまでには、気の遠くなるような試行錯誤の繰り返しがあります。私自身、若い頃には論文作成を強いられることに抵抗を感じました。しかし、まさにエキスの結晶である論文を軽んじるわけにはいきません。支援部門も含め多くの人々の協力を下敷きにしてやっとまとめあげることができた

論文、これを最大限、大切に扱いたいと思います。それこそが、研究者の identity そのものであると思うからです。自身の研究生活の終盤にあたって、私はやっとそう思えるようになりました。

参考文献

- 1) Matsumura, S. (2010) : Discrimination of a preparatory stage leading to M7 characteristic earthquakes off Ibaraki Prefecture, Japan, *J. Geophys. Res.*, 115, B01301, doi:10.1029/2009JB006584.
- 2) 高橋浩晃・笠原稔 (2004) : 十勝沖の地震活動－1952年十勝沖地震以降 51 年間の地震活動の特徴－. *地震 2*, **56**, 393-403.
- 3) Kimura, H, K. Kasahara, T. Igarashi, and N. Hirata (2006) : Repeating earthquake activities associated with the Philippine Sea plate subduction in the Kanto district, central Japan: A new plate configuration revealed by interplate seismic slips, *Tectonophys.* 417, 101-118, doi:10.1016/j.tecto.2005.06.013.
- 4) 松原誠・小原一成・笠原敬司 (2005) : 東海地方における相似地震活動. 日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, P099.
- 5) Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa (2003) : Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108 (B5), 2249, doi: 10.1029/2009JB001920.
- 6) Matsuzawa, T., T. Igarashi, and A. Hasegawa (2002) : Characteristic small-earthquake sequence off Sanriku, northeastern Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **29** (11), doi:10.1029/2001GL014632.
- 7) 石橋克彦 (1976) : 東海地方に予想される大地震の再検討－駿河湾大地震について－. *地震学会 1976 年度秋季大会講演予稿集*, 130-1.
- 8) 松村正三 (1989) : 浜湖北東岸下の共役な地震活動について. *地震学会 1989 年度秋季大会講演予稿集*, B72.
- 9) Ukawa, M. (1982) : Lateral stretching of the Philippine Sea plate subducting along the Nankai-Suruga trough, *Tectonics*, **1**, 543-571.
- 10) 青木治三 (1985) : 東海地方の地震活動とテクトニクス. *月刊地球*, **69**, 159-167.
- 11) Matsumura, S (1997) : Focal zone of a future Tokai earthquake inferred from seismicity pattern around the plate interface, *Tectonophys.*, **273**, 271-291.
- 12) 野口伸一 (1996) : 東海地域のフィリピン海スラブ形状と収束テクトニクス. *地震 2*, **49**, 295-325.
- 13) Sagiya, T. (1999) : Interplate coupling in the Tokai District, Central Japan, deduced from continuous GPS data, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 2315-2318.
- 14) 松村正三 (1999) : Back-slip 分布と固着域との関係. *地震 2*, **52**, 105-108.
- 15) 橋本学 (2000) : 続・地殻活動の中長期シミュレーション－バックスリップ・モデルと ΔCFF －. 日本

- 地震学会ニュースレター, 11, No.5, 9-13.
- 16) Matsu'ura, M., and T. Sato (1989) : A dislocation model for the earthquake cycle at convergent plate boundaries, *Geophys. J. Int.*, **96**, 23-32.
 - 17) Savage, J. C. (1983) : A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone, *J. Geophys. Res.*, **88**, 4984-4996.
 - 18) Douglass, J. J., and B. A. Buffett (1995) : The stress state implied by dislocation models of subduction deformation, *Geophys. Res. Let.*, **22**, 3115-3118.
 - 19) Savage, J. C. (1996) : Comments on "The stress state implied by dislocation models of subduction deformation" by J. J. Douglass and B. A. Buffett, *Geophys. Res. Let.*, **23**, 2709-2710.
 - 20) Douglass, J. J., and B. A. Buffett (1996) : Reply, *Geophys. Res. Let.*, **23**, 2711-2712.
 - 21) 松村正三・岡田義光 (2005) : Back-slip 解析 (Dislocation model) への疑問. 日本地震学会 2005 年度秋季大会講演予稿集, P012.
 - 22) 松村正三・岡田義光 (2006) : Back-slip 解析 (Dislocation model) への疑問 (その 2, 東海の固着域). 日本地球惑星科学連合 2006 年大会講演予稿集, S207-011.
 - 23) 松村正三・岡田義光 (2007) : Back-slip 解析 (Dislocation model) への疑問 (その 3). 日本地球惑星科学連合 2007 年大会講演予稿集, T234-012.
 - 24) Obara, K., H. Hirose, F. Yamamizu, and K. Kasahara (2004) : Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophys. Res. Let.*, **31**, L23602, doi:10.1029/2004GL020848.
 - 25) 松村正三 (2007) : 東海地震のアスぺリティの推定 (東海地域の地震活動変化: その 4). *地震* **2**, **59**, 271-284.
 - 26) 神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫 (2004) : 震度インバージョン解析による南海トラフ巨大地震の短周期地震波発生域. *地震* **2**, **57**, 153-170.
 - 27) Yamamoto, E., S. Matsumura, and T. Ohkubo (2005) : A slow slip event in the Tokai area detected by tilt and seismic observation and its possible recurrence, *Earth Planets Space*, **57**, 917-923.
 - 28) 小林昭夫・吉田明夫 (2004) : 舞阪の潮位変化から推定される東海スロースリップの繰り返し. *測地学会誌*, **50**, 209-212.
 - 29) 国土地理院 (2009) : 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **81**, 392-453.

(原稿受理: 2010 年 3 月 16 日)

要 旨

微小地震活動とその変化から何を読み取れるのか，という問題にとりつかれて 30 年が過ぎました．それでも予知すべき地震のサイクルと比べればむしろ短すぎる期間であったと言えるでしょう．遠大な地震予知研究の一瞬に関わったに過ぎない私の研究生活でしたが，これを振り返って強く印象に残った話題などを取り上げてお話してみたいと思います．

キーワード：地震予知，微小地震活動

著 者 略 歴

1976 年 3 月東京大学理系大学院地球物理博士課程中退，同年 4 月国立防災科学技術センター（防災科学技術研究所の前身）入所．2003 年 4 月～2005 年 3 月防災科学技術研究所固体地球研究部門長．2007 年 3 月同所定年退職．2007 年 4 月から同所研究参事．地震調査研究推進本部専門委員．科学技術政策研究所客員研究官．理学博士．