

日本周辺における大規模プレート間地震の前震活動 Foreshock activity of the large-scale interplate earthquakes around Japan

田中 利佳^{1*}; 織原 義明¹; 鴨川 仁¹
TANAKA, Rika^{1*}; ORIHARA, Yoshiaki¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学物理学科, ² 東海大学地震予知研究センター

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²Earthquake Prediction Reserch Center, Tokai University

本震に対する前震の有無に関する研究はこれまでも数多くある。例えば、Jones and Molnar(1976)では、本震から100km、40日以内に発生した地震を前震と定義したとき、1950年から1973年までに発生した $M \geq 7.0$ の地震のうち、44%が前震を伴っているという報告がある。また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震についても、本震発生の約1ヶ月前から本震破壊開始点の北側で群発的な前震活動が2回あり、その前震活動が本震に向けてゆっくり移動していたことが確かめられている(Kato et al, 2012)。このような前震に関する研究で、近年注目すべき研究結果がBouchon et al(2013)によって発表されている。それは、プレート間地震とプレート内地震の前震を調べたところ、プレート間地震はプレート内地震に比べ、本震に向かって加速度的に前震の数が増加している地震が明らかに多いというものである。このような明瞭な違いがプレート間地震とプレート内地震で本当に認められるのか、本研究では日本周辺の地震について、Bouchon et al(2013)と同様に累積地震数の時間変化と統計的検証の2つを中心に追試を行った。

キーワード: 前震, プレート間地震, 加速度的地震分布

Keywords: Foreshocks, Interplate earthquakes, Accelerating seismicity

地震発生場の構造と状態の実用的常時能動監視観測方法の開発 Development of Acoustic Frequency Comb technology by ACROSS appropriate for active monitoring of the earthquake field

熊澤 峰夫^{1*}; 東原 紘道²; 永井 亨¹

KUMAZAWA, Mineo^{1*}; HIGASHIHARA, Hiromichi²; NAGAI, Toru¹

¹ 名古屋大学, ² 東京大学

¹ Nagoya University, ² University of Tokyo

アクロス(精密制御定常信号システム)を使う音響周波数コム技術(AFC)は、地下の構造と状態の能動的常時監視観測法として、1994以来、名古屋大学(熊澤ら)と地震研究所(東原ら)で、開発研究がおこなわれてきた。現時点では、岐阜、静岡、愛知、兵庫、鹿児島各県で経常的な観測が行われている。「アクロスは、地震予知を進める上で欠かせない重要な要素の一つ」だが「装置の安定性や解析方法など解決すべき課題は多い」(地震予知の科学:日本地震学会地震予知検討委員会編 2007 東大出版会)。しかし、地震学における「この課題」の研究には、鎌と鋤が必要なのであり、現状の茶碗と箸では本来のニーズに応えられまい。

(1) 従来のアクロスでは、実効的には小さな質量 M ($\sim 100\text{kg}$) の相対的には大きな振動振幅 u ($\sim 0.1\text{m}$) の運動(実際は偏心質量の回転)を使って、シングルフォース F (ベクトル: モーメントテンソルでない) で、極めて精密な周期的周波数変調(周波数コム)信号を励起する。この力の信号

$$F = M d^2u/dt^2 = -\omega^2 (Mu) \quad (\text{この初等的な式の意味は多元的で深淵である！})$$

は、岩盤カップラと称する大きな送信用アンテナ(波の送信効率はこの寸法に比例。東濃送信所では、数mで $\sim 100\text{ton}$ の鉄筋コンクリートブロック)を介して地中に弾性波を送信する。上式が示すように送信信号のレベルは周波数の2乗に比例して、低周波数では小さくなる。これまでに実現した実用的送信周波数は5 Hz程度までである。ここで提案する新機軸は、 M を従来よりも100 \sim 10000倍大きくして、その変位 u を回転でなく、直線振動で与えて、 ω を1/10 \sim 1/100倍に下げる。これには大きな岩盤カップラを慣性質量 M に活用して実現する。送信装置のエネルギー損失は格段に小さい。上で説明した新機軸の送信方式の原理と方法を現実的だと判断して、その開拓に着手したので、その中間報告をする。

(2) 1 Hz以下の低い周波数領域でのアクロスの使用は、実用的な日本列島常時監視システムを実現する。こうして得る高精度の周波数領域データに整合する確かなデータ解析法開発も推進する。アクロスで得るのは、励起点 e と観測点 d の間の周波数領域の伝達関数 $H_{de}(\omega)$ (時間領域ではグリーン関数)である。これは正規モード群(複素固有値 ω_k : $k=1, 2, \dots$ で指定)の固有関数の2点($x=d, e$)における値の積に比例する物理量である。したがってどこかにAFCの送信点があり、特定地域に高密度の観測点アレイがあれば、送信信号とは独立に、その地域と近傍の構造情報(正規モード群間の多数の相互相関関数群)を極めて高い精度で取得できる。そのデータ解析に最適で必須の順逆問題最適化の数値(PANWAVE)のその後の発展も報告する。これは「いわゆる干渉法 interferometry」の精度を飛躍的に向上させるものだ。

(3) この研究開発で直ちに成果が得られるのは、耐震工学、地盤工学など急を要する減災対策である。地震や火山の予測や制御の課題が現実的なWP(well-posed)問題になるのは、場の構造とそこの物質の構造敏感特性の長期間にわたる精密な監視観測の愚直な積み上げと、さらに物質の実験的理論的な基礎研究の連携という基礎ができてからであると考えられる。

キーワード: 音響周波数コム, アクロス, 構造推定

Keywords: Acoustic Frequency Comb, ACROSS, Structure Estimation

地震は多様性を指向する ～数論的地震活動モデル～ Earthquakes are directed to diversity: An arithmetic seismic activity model

藤原 広行^{1*}
FUJIWARA, Hiroyuki^{1*}

¹ 防災科研
¹ NIED

地震活動は多様である。地震発生過程を個別の素過程に分解し、詳細な物理モデルを各過程において組上げて総合する方法論では、定めるべき初期条件や境界条件が複雑で膨大な量となり、それらを決定論的な1つの方程式系の解として求めることは困難である。このため、近年試みられている地震活動の予測においては、統計的あるいは確率論的な手法が用いられている。確率過程論的なアプローチでは、地震活動が持つ特徴を経験的あるいは理論的に推定される確率分布としてモデル化し、モデル化された確率過程のサンプル・パスの1つが、観測される値と対応する。こうした手法は、地震活動全体の統計的性質を表現するには有効であるが、個々のサンプル・パスそのものの性質に踏み込んだ解析はできない。本研究では、地震活動の多様性をモデル化することを目指して、観測値に対応する具体的なサンプル・パスを数学的に構成し、それらが地震活動の持つ統計的性質を満たすことを示すことにより、確率過程論的なアプローチとは異なった考え方に基づく地震活動モデルを提案する。このため「数」による地震活動のモデル化を試みる。

「地震」と「数」の世界に対して、下記のような対応を考えてみる。 p_i を i 番目の素数とし、その素数に対応する指標として素数の出現間隔 $p_i - p_{i-1}$ をとる。 i 番目に発生する地震を e_i とし、その発生時刻を $T(e_i)$ 、地震モーメントを $M_o(e_i)$ としたとき、下記の関係式が成り立つと仮定する。

$$T(e_i) = p_i$$

$$\log(M_o(e_i)) = p_i - p_{i-1}$$

この対応関係に対して、数値実験を行うことにより、G-R 則に類似した性質が得られることがわかる。この対応によって得られるモデルを「数論的地震活動モデル」と呼ぶ。「数論的地震活動モデル」における「地震」は、素数分布論の研究対象である「素数」そのものであり、地震発生予測は素数の出現予測と同値なものとなる。

地震を場のエネルギーレベルの変化に対応する現象としてとらえ、地震発生場をある種の量子化された力学系を用いて表現することを考える。地震が発生する場のハミルトニアンを考え、地震発生をハミルトニアンに対する固有値問題として設定する。その固有値問題がゼータ関数と関連することがもし示されれば、地震活動と素数分布との類似性についての説明ができるのではないかと期待できる。現在のところ、このような考え方に基づいて地震発生場を説明できる力学系は知られていない。一方で、素数の分布に関する研究において、ある種の量子化された力学系の固有値問題として素数分布と同値な関係にある Riemann のゼータ関数の零点分布をとらえようとする研究が進んでいる。

素数分布に関連する Riemann 予想は、「数」が持ちうる多様性の限界、つまり秩序と無秩序のぎりぎりの境界がどこにあるのかということに関連しており、素数分布は、臨界現象と関係している可能性がある。地震も与えられた条件下での多様性の限界と関係した臨界現象として解釈でき、地震と素数の間に類似性が見られるのではないかと考えられる。

キーワード: 数論, 素数, G-R 則, 地震

Keywords: Number theory, Prime number, Gutenberg-Richter relation, Earthquake

ベイズ統計手法によるポアソンモデル地震確率について Comments on a Bayesian approach to earthquake probabilities of the Poisson model

井元 政二郎^{1*}; 藤原 広行¹
IMOTO, Masajiro^{1*}; FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

全国地震動予測地図の作成において地震発生確率は基本的情報であり、地震発生が Brownian Passage Time モデルやポアソンモデルに従うとして確率値が算出されている。モデルパラメータは過去の地震から推定されるが、地震数が少ない場合には推定誤差は大きくなる。ここでは、地震数が少ない場合における、ポアソンモデルによる確率値について検討する。

ポアソンモデルにおいて、単位期間における期待頻度を k とすると分散は k で与えられる。期間 T_0 において n 個の地震が観測されると、 $k=n/T_0$ が期待頻度の最尤推定値となる。期待頻度が与えられると地震数を区間推定でき、地震数が与えられると期待頻度を区間推定することができる。地震数から期待頻度を推定する場合、最尤値 k が同じなら、推定区間の幅は地震数により異なり、地震数の平方根に反比例する。また、地震数が少ない場合には、ポアソンの式から直接区間推定することが必要となる。長期評価によると、南関東地域においては最近 119 年間に 5 個の M7 クラス地震が観測されていて、最尤推定値として平均間隔（期待頻度の逆数）23.8 年が得られている。これに対し、95%信頼区間は 10 年～73 年となる。このように、少数の地震から推定された期待頻度には大きな幅が存在し、これに基づき算出される地震確率値には相当の誤差が存在する。

南関東 M7 クラス地震の例では、平均間隔の誤差を地震確率に反映させることが課題となる。ベイズ統計では、異なるパラメータのモデルから算出される確率値の重み付き平均により、確率値を算出する。ここで重みとして尤度を用いると、 T_1 期間において m 個の地震が発生する確率は二項分布の式で与えられる。 n 個の地震発生間隔の和 (T_0) が与えられている場合も同様の式で表される。 n が十分大きい場合、この式は最尤推定値に基づく式と一致する。 n が 5 個程度以下の場合について、両者の差を比較すると次のようになる。1) $T_1=1/k$ の期間では、ベイズによる地震（1 個以上）確率値が最尤推定値の確率値より 3～12 % 大きい。2) T_1 が $1/k$ より短い一定期間において差が拡大する。簡単なシミュレーションによりベイズ統計手法の妥当性は検証できる。

全国地震動予測地図の作成においては、基礎となるデータの誤差やモデルの不確定性についての検討は十分とは言えない。これらの不確定性の検討は、全国地震動予測地図の信頼性を高める上で、重要な課題である。

キーワード: 地震確率, ポアソンモデル, ベイズ統計, 全国地震動予測地図, 関東

Keywords: Earthquake probability, Poisson model, Bayesian statistics, Seismic hazard maps for Japan, Kanto

地震カタログの不完全を考慮した南海トラフ地震の長期的発生確率 Long-term probability for large earthquake along the Nankai trough estimated from an incomplete catalog

岡田 正実^{1*}

OKADA, Masami^{1*}

¹ 気象研究所地震火山研究部

¹ MRI, JMA

はじめに： 地震調査委員会は、2013年5月に「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」を発表し、南海トラフ沿いで今後30年間に大地震が発生する確率が60～70%であるとした。巨大地震の可能性もあり、報告書は社会的に大きな反響を呼んでいる。発生確率は、BPT(Brownian Passage Time) 分布モデルを採用し、分布パラメータは最尤法や時間予測モデルによる推定値、または標準値 ($\alpha=0.24$) などを使用し、それらを条件付き確率の式に代入するものである (Plug-in 方式)。パラメータ値は、いずれも少数のデータから得られたものであるが、不偏性や不確実性 (推定誤差) の影響は考慮されていない。

昨年の本大会などで紹介したように、仮に地震の発生間隔が BPT 分布に従うとしても、データが数個と少ないと、予測成績は、Plug-in 方式の BPT 分布予測モデルよりも、小標本論対数正規分布モデルの方が優れている。また、標準値 $\alpha=0.24$ を求める際に使用したデータには大きな問題もあった。

今回は、慶長地震 (1605) が南海トラフの大地震であるのかどうか疑問であるとしている。カタログ不完全で、あいまいな事例が含まれていたり、該当地震が漏れている可能性がある場合は注意を要する。ここでは、ベイズ統計対数正規分布モデルを使用し、不完全なカタログから発生確率を計算する方法を考察し、南海トラフの大地震に適用した結果を紹介する。

発生確率の計算： 報告書では、南海トラフで3年以内に続けて発生した場合は一つのイベントとして扱い、白鳳 (天武) 地震以後の9イベントが取り上げられている。確率計算は、“発生間隔のみを利用する場合”と“時間予測モデルを用いる場合”が説明されているが、ここでは、データ及び計算方法が明らかな前者のみを対象とする。

該当地震を組み合わせを変えた5ケースについて、最尤法でパラメータ値を求め、2013年1月から30年間における発生確率を計算している。結果は、①9個の地震すべてを使用：10%程度 (13%)、②①から慶長地震を除いた場合：6% (7%)、③正平 (康安) 地震以降をすべて使用：20%程度 (22%)、④③から慶長地震を除いた場合：10%程度 (14%)、

⑤宝永地震以降を使用：30%程度 (21%) となっている。括弧内の数字は、小標本論対数正規分布モデルで計算した場合で、①～④のケースではあまり差がない。しかし、⑤の場合はデータ数が少ないことを考慮する小標本論の値がかなり小さくなっている。これらの結果は、完全なデータセットであるとして適用したものであり、不完全なデータを用いた計算方法としては不適当である。

不完全なデータセットには、小標本論が使用できないので、ベイズ統計 (無情報事前分布) 対数正規分布モデルを用いて、より現実的と思われる以下の条件の下で発生確率の計算を試みた。完全な発生間隔に対する尤度は確率密度関数の積であるが、不完全な発生間隔に対しては分布関数を使って尤度が定義される。

①3期間 (白鳳地震～仁和地震、仁和地震～康和・永長地震、明応地震～宝永地震) 内に他の南海トラフの地震が存在したかどうか分からない。慶長地震が南海トラフの地震であったかどうか分からない。

②康和・永長地震～正平 (康安) 地震の間 (263.5年間) には、発生時不明だが、該当地震が1個以上存在した。

③3期間 (正平 (康安) 地震～明応地震、宝永地震～安政地震、安政地震～昭和地震) のデータは完全であり、これらの期間内には他の該当地震が存在しない。

仮定②を満たす計算を表計算ソフト (Excel) で実行できなかったため、緩やかな条件「2個以上ある発生間隔のうち、短いものは全期間 (263.5年) の半分以上である。長い方の発生間隔は全期間より短い。」に置き換えて計算した。

計算結果： 求めた2013年から30年間の発生確率は22.9%であり、報告書の値“60～70%”より大幅に低い。しかし、③の完全なデータだけからもとめた発生確率18.5%よりやや高い。

キーワード: 南海トラフ, 繰り返し地震, 発生予測, ベイズ定理, 地震カタログの不完全

Keywords: Nankai trough, recurrent earthquake, forecast, Bayesian approach, incompleteness of catalog

地震活動の静穏化現象の時間的・空間的安定性 (4) —静穏化領域と本震震源との関係—

Space- temporal stability of the seismic quiescence (4) -Relation of seismic quiescence area and the main shock

吉川 澄夫^{1*}; 林元 直樹²; 明田川 保³

YOSHIKAWA, Sumio^{1*}; HAYASHIMOTO, Naoki²; AKETAGAWA, Tamotsu³

¹ 気象研究所, ² 気象研究所, ³ 気象庁

¹Meteorological Research Institute, ²Meteorological Research Institute, ³Japan Meteorological Agency

われわれは地震発生予測への適用を目的として地震活動静穏化現象の調査を継続している。今回、M7クラス以上の地震イベントに関する事例を改めて調査した結果、静穏化現象の検出事例において本震の震源と静穏化領域の中心との距離が地震規模に応じて拡大する傾向があることを見出した。この傾向を踏まえて過去の静穏化不検出事例を再調査したところ検出可能と考えられるものがあることが判った。

静穏化現象の検出にはこれまでと同様 e M A P (明田川・伊藤 (2008)、林元・明田川 (2010)) の方法を適用した。対象としたのは 1987 年以降に国内で発生した M6.7 以上で震度 5 弱以上を観測した地震 26 個である。以前の調査 (太田・他 (2009) および吉川 (2012)) では 11 個の検出事例と 15 個の不検出事例があった。特に 1995 年兵庫県南部地震の際には京大防災研 (1995) や気象庁 (1995) などにより静穏化現象が報告されていたが、本方法では検出できていなかった。この原因を今回改めて調査した結果、次の事柄を勘案すれば検出可能と考えられることが明らかになった。まず、当初の調査では静穏化現象が本震の震源付近で発生直前までに出現するというを前提条件としていたが、兵庫県南部地震では静穏化現象が本震の震源付近ではなく約 30km 離れた丹波地域で発生していたため本震に直結する現象と認識されなかった。また震源の明石海峡付近では本震発生前まで平常時の地震活動が低かったことから静穏化現象は検出しにくい状況であった。静穏化現象を地震イベントと関連付けるためには時間的にも空間的にもある程度近接していることが条件となるが客観的な条件がこれまで明確ではなかった。そこで当初の検出事例 11 個を再調査したところ、本震の位置と静穏化領域中心との距離が地震規模に応じて拡大する傾向があることが明らかになった。これまで静穏化領域の大きさ (や静穏化継続期間) には地震規模に応じたスケーリング則があることを報告している (吉川・他 (2013))。静穏化現象が非地震滑りによる地震活動低下によって生じることから本震の震源が静穏化領域の中にはなく周辺地域にあるのは自然なことと考えられるが、静穏化領域の大きさが地震規模と共に拡大する傾向が本震と静穏化領域中心との間隔にも反映した結果と見られる。

1995 年兵庫県南部地震の例を参考に他の不検出事例を再調査してみると、1987 年千葉県東方沖地震、1994 年三陸はるか沖地震、2000 年鳥取県西部地震、2004 年紀伊半島東方沖地震など 4 個の地震イベントでも静穏化現象が認められることが分かった。この結果、調査対象とした 26 事例の内、検出は 16 個であるのに対して不検出は 10 個ということになった。

キーワード: 地震, 静穏化, 本震位置

Keywords: earthquake, quiescence, hypocenter

南海トラフ巨大地震発生域付近での最近の地下水異常変動 Recent anomalous groundwater temperature and water level changes and impending great earthquakes at the Nankai trough

佃 為成^{1*}

TSUKUDA, Tameshige^{1*}

¹ 日本女子大

¹ Japan Women's Univ.

地下岩盤に不均等な力が加わって剪断応力が高まり、剪断破壊(地震)が発生する。剪断応力が集中する周辺では岩盤にねじれの歪が現れる。そこでは、収縮場と膨張場が隣り合わせで生成される。大地震ではねじれ場の規模が大きいのか、連結した小規模の場が多数生成される。剪断応力が岩盤の強度と同程度かそれを越えるレベルに増大したとき(臨界状態)、何かのトリガーがかかれば大地震が起こる。

大地震の準備過程では、地下岩盤の収縮領域(圧力上昇)と膨張領域(圧力降下)の形成に伴う間隙流体圧変化により、微小クラック群から成る流体移動のパスが存在すれば、地表へ向かう上昇流体の増加や減少が起こる。深部流体は高温なので、上昇深部流体が浅層地下水に混入すると、地下水温を上昇させる。また、移動流体の量の変化によって水温変化が起こる(Tsukuda et al., 2005)。

南海トラフの巨大地震の想定震源域に近い静岡県と神奈川県(東海地域)で5カ所、また和歌山県南紀地域では7カ所にて地下水温、そのうち2カ所にては水位も測定している。

東海地方の水温観測点の内、焼津市立大富小学校内井戸(OT)と静岡市中島下水浄化センター内自噴井(NK)には高精度水晶温度計が設置されている。

OT(焼津)の水温(深さ30m)は観測開始の2003年以来、平均上昇率24m℃/yearの単調増加であったが、2009年8月11日の駿河湾地震(M6.5)以降、44m℃/yearに上昇、2011年3月11日の東北の地震(M9.0)の頃から以前の上昇率に戻り、2012年末から上昇がさらに緩やかになってきた。焼津直下では岩盤は収縮を示すが、近年、収縮は減速している。

NK(静岡)の井戸は自噴しており、季節変化は極めて小さく水温変化のトレンドは2006年は34m℃/year、2007年春から67m℃/year、同年秋から年末までは14m℃/yearの上昇であったが、2008年初から上昇率は鈍化、同年9月頃から-40m℃/yearの率で下降に転じた(2009年8月の駿河湾地震の前兆)(佃, 2012)。M6.5地震以降、下降率が増加(-117m℃/year)し、2011年8月1日の駿河湾地震(M6.2)後、さらに下降率が増加したが、その後減少し、2012年末に水温一定となり、2013年5月下旬から急上昇に変化した。静岡付近の地下岩盤は、最近、膨張から急激に収縮に転じた。

和歌山県串本町潮岬の林組の井戸(HA)と和田商店の井戸(WA)には白金測温抵抗体の水温センサー、半導体感圧素子の水位センサーを2005年に設置した。観測点HAはWAに対してほぼ南へ約600m離れている。井戸の深さはどちらも約15m。水温および水位センサーは井戸底から約40cm上の水中に設置されている。WAの水温変化2℃p-pと水位変化7m p-pに対し、HAは降雨による変化が小さく、それぞれ0.2℃p-pと5m p-pである。HAの水位とWAの水位および水温は降雨の影響や季節変化を抑えた1年間の移動平均値のグラフから長期的変動が顕わになる。潮岬の水位は長期的に上昇している。水温も上昇しつつある。地盤の沈下と岩盤の収縮を示す。潮岬(串本)では1943年南海地震以後の隆起は1990年頃から沈下に転じ現在下降中である(国土地理院, 2009: 小林, 2013)。

白金測温抵抗体水温センサー使用の和歌山県古座川町月野瀬(KZ)の自噴温泉では2002年からパイプの出口で測定している。KZの水温は長期的には単調に下降している。地下岩盤の膨張を示唆する。GNSSデータによる面積歪も付近一帯の膨張を示す(木村一洋: 私信)。2004年紀伊半島沖地震(M7.4)発生以後、降下率が低下したが、2012年に入り降下率が増加し、2013年からはさらに急降下となっている。ここでは岩盤の膨張が近年、加速している。

観測点分布は限られているので、広域の状態は不明であるが、南海トラフの巨大地震発生域付近の一部地域の岩盤の変形の進行が加速している。早急に、総合的な地殻変動のモニタリングを進めるよう提案したい。

キーワード: 岩盤膨張, 岩盤収縮, 水温, 水位, 前兆, 地震予知

Keywords: dilatation, contraction, groundwater temperature, water level, precursor, earthquake prediction

いわゆる「東海地震」の長期的及び短期的予知に関する2つの課題 Two questions related to short- and long-term prediction of the so-called Tokai earthquake

ゲラー ロバート^{1*}
GELLER, Robert J.^{1*}

¹ 東大・理・地球惑星
¹UTokyo, Earth Planet. Sci.

70年代、いわゆる「東海地震」は“明日起きても不思議ではない”とされたが、検証可能な形での「東海地震説」は提出されなかった。その当時からこれまで、東海地方に大きな地震は起きていない。とすれば、「東海地震説」はどのように評価すべきなのだろうか？ 本稿での結論は、否定されたという評価である。つまり、東海地方に大きな地震の発生の恐れがないわけではないが、他の地域より危険であるといったことを裏付ける科学的根拠はない。

1978に採択された「大震法」によって、実用的短期的予知体制が確立されたが、現在まで正確な予知はどこでもできていない。また、その目処もたっていない。したがって、同法及び同法に基づく予知体制は廃止されるべきと考えられる。

In the 1970s there was widespread discussion suggesting that a large subduction zone earthquake was imminent in the Tokai district (the so-called “Tokai earthquake”), but the “Tokai earthquake hypothesis” was not stated in a testable form. About 40 years have passed, but no such event has occurred in Tokai. Under those circumstances it seems justifiable to conclude that the hypothesis has been falsified. That does not mean that Tokai is not at risk, just that the risk is not greater than other tectonically similar regions.

Under the Large Scale Earthquake Countermeasures Act (LECA), which was enacted in 1978, an organization for monitoring possible “precursors” and issuing short-term alarms was established. But no reliable precursors have ever been found. LECA should therefore be repealed and the monitoring organization abolished.

Reference:

Geller, R.J., 1997, Earthquake prediction: a critical review, GJI, 131, 425-450.

キーワード: 地震予知, 東海地震

Keywords: earthquake prediction, Tokai earthquake

1946年南海地震前の四国太平洋沿岸部における海水位変化 On the sea level changes before the 1946 Nankai earthquake on the Pacific coast of Shikoku, Japan

梅田 康弘^{1*}

UMEDA, Yasuhiro^{1*}

¹ 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

¹ Geological Survey of Japan, AIST

1. はじめに

1946年南海地震（以下では本震と呼ぶ）の前に、四国の太平洋沿岸部で海水位変化があったという目撃証言がある。「数日前から潮が狂っていた」という証言は通常の満潮・干潮の時刻がずれていたり、通常の潮位にならなかったりしたことを意味する。本震は12月21日04時19分に発生したが、前夜（20日の夜）から直前にかけては、潮位が著しく低下していたため、帰港した漁船が接岸できなかったという証言がある。その反面、潮位の変化は無く（気が付かず）接岸できたという、相反する証言もある。これらの証言を満たす現象として、本震前に小規模な海底地殻変動があり、小規模な津波が発生していたのではないかと考えた。接岸できなかった漁船と、接岸できた漁船は帰港時がずれていて、前者は低潮位時に、後者は高潮位時に帰港したのではないかと推定した。海水位変化は本震の数日前から目撃されていることから、津波もその頃から発生し、次第に大きくなったと思われる。

2. 海水位変化の周期と振幅について

本震前に津波が発生していたとして、目撃証言や上記の推定を満たすような津波の振幅や周期がどの程度のものかを調べるため、2010年から2011年に高知県の須崎湾で潮位観測を行った。周期に関しては30分～40分の他に50分、80分という長い周期も観測された。これらの周期は、荒天下における波浪によっても、好天においても、また2011年東北地方太平洋沖地震津波においても観測された。おそらく須崎湾と土佐湾に固有な周期と思われる。振幅に関しては、室戸岬沖の水深約2300mに設置されていた海洋研究開発機構（JAMSTEC）による津波波形および室戸岬西方沖13kmで観測されたGPS津波波形（科研費基盤研究s1221）と比較した結果、津波振幅は前者で最大20倍、後者で最大8倍程度増幅されることがわかった。20倍の増幅なら10cm～15cmの、8倍なら25cm～38cm程度の津波振幅を起こすような海底地殻変動があれば、須崎湾で2m～3mの海水位変化が発生しうる事がわかっている（梅田・板場、2012秋季地震学会、D12-02）。

3. 本震前の海水位変化の推定

海水位観測から得られた振幅と周期に関する結果を、証言から推定される海水位変化に適用し、各港湾で起きていたと思われる本震前の海水位変化を推定する。推定海水位変化 $f(t)$ は、地殻変動が無く、従って津波も発生しなかった場合の海水位変化 $F(t)$ と長期的な地殻変動 $Fl(t)$ 及び証言に基づく変化 $Fo(t)$ の和、すなわち、 $f(t)=F(t)+Fl(t)+Fo(t)$ とする。 $F(t)$ には海上保安庁海洋情報部の潮汐推算（天文潮位）を採用した。

長期の地殻変動 $Fl(t)$ は梅田・板場（2013*）による $Fl(t)=a \ln(t)+D0$ を採用し、 a 、 $D0$ は各地で得られている値を用いた。証言に基づく変化は、本震に近づくにしたがって、変化の周期が短くなり、振幅は大きくなるという点を考慮して、 $Fo(t)=AB(t)m [\cos\{\omega \ln(t-tc)+\phi\}]$ と仮定した。 ω は振動数、 ϕ は位相差である。 A は各港湾による津波波高の比を表す。各港湾で観測された2011年東北地方太平洋沖地震津波の最大振幅の比率であるが、ここでは須崎を基準（ $A=1.0$ ）とした各地の振幅比を採用している。

高知県須崎湾と室戸岬の推定海水位変化を天文潮位と共に図示した。須崎湾など本震前に隆起域と推定された港湾での推定海水位変化は、証言をおおむね満たしている。一方、本震までは沈降（相対的に海水位が上昇）していたと推定される室戸岬では、潮の狂いなどは説明できるものの、海水位の低下は説明できなかった。地殻変動 $Fl(t)$ は長期的な変動しか考慮していないが、前節で述べた小規模な津波を引き起こすような本震直前の地殻変動（10cm～15cm）を考慮すれば、室戸岬での証言による海水位低下は幾分説明できる可能性はある。

* 梅田康弘・板場智史, 2013, 1946年南海地震前の四国太平洋沿岸の上下変動曲線, 地質調査研究報告, 第64巻, p201-211, https://www.gsj.jp/data/bulletin/64_07_02.pdf

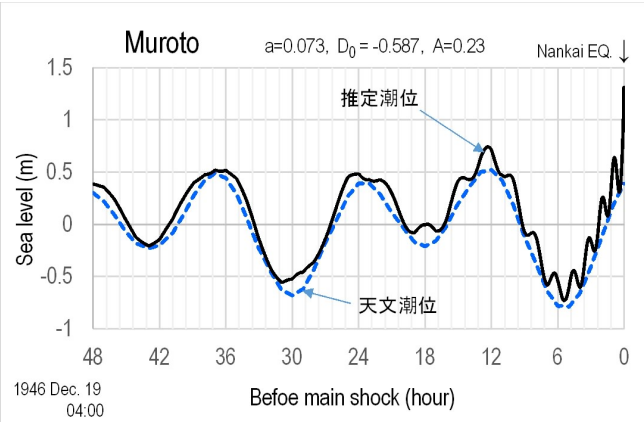
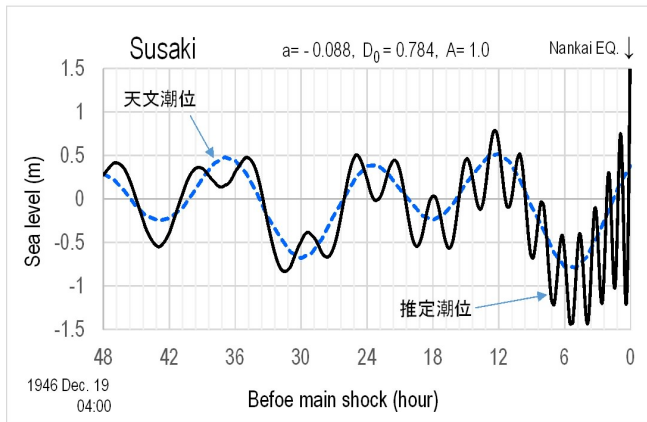
キーワード: 南海地震, 海水位変化, 目撃証言, 小規模津波

Keywords: 1946 Nankai earthquake, sea level change, witness testimony,

SSS25-09

会場:312

時間:5月2日 16:30-16:45



1946年南海地震の前に小規模な津波が発生していたとして、各地で推定される海水位の変化（黒の実線）と比較のための天文潮位（青の点線）

地震直前の前兆電界の発生メカニズム Mechanism of generating electric fields just before earthquakes

高橋 耕三^{1*}
TAKAHASHI, Kozo^{1*}

¹ 無し

¹ none

1. 地震前兆電界

地震前兆電界は下記のメカニズムで発生するものとする（付図参照）。

- (1) 地震前に震源域の地殻内の結晶境界面に亀裂が発生し（推定）、この亀裂に間隙水が浸透する。
- (2) 結晶境界面には、ウラン化合物・ラジウム化合物・ラドンなどの放射性物質が存在し、この間隙水に溶け出す。
- (3) 地震前兆の亀裂により、間隙水と地下水とが繋がり、放射性物質を含む地下水が地表に噴出する。
- (4) 地表に出た放射性物質により、下層大気が電離し、電気伝導度が局所的に増加する。
- (5) 地表と電離層間には数百万 Volt の電位差があるため、宇宙線シャワーの軌跡に沿って、地表と電離層間に電流が発生する。

(6) この電流から地震前兆電波が輻射され、間歇的脈流であるため、広帯域となる。

上記のメカニズムが成立するためには、地震前兆の微小亀裂の発生が必須となる。

2. 地表・電離層間電流発生メカニズム

積乱雲の雲頂は約 30MV に達し、電離層にたいし高電圧となり、電離層から電子・負イオンが流れ込み、電離層と地表の電位差は数百万 Volt となる。雲頂は下記のメカニズムで高電圧になるものとする。

(I) 中緯度では、積乱雲の -10℃ 以下の領域では、水滴は氷晶となっているが、表面は負に帯電した水膜で覆われている。氷晶間の衝突により、小さい氷晶の水膜は大きい氷晶に移り、小さい氷晶は、正に帯電し、上昇気流により雲頂に運ばれ、雲頂は高電圧となる (1)。

(II) 低緯度では水滴は凍らないため、メカニズムは異なる。積乱雲内部の電界は、約 1000/m になっている。このため、水滴の上部は負に、下部は正に偏極している。小さい水滴は大きい水滴よりも高速なため、小さい水滴は、大きい水滴の下部に衝突し、小さい水滴の上部の負の電荷が大きい水滴の下部の負の電荷と中和し、小さい水滴は正に帯電し、中緯度の場合同様に、雲頂を高電圧にする (2)。

火山の噴煙でも雷の発生が観測されている。この際は火山噴出物の摩擦電気による帯電であり、帯電した噴出物は上記の (II) と同じ理由により、噴煙の上部を正の高電圧にする。このことが観測されれば上記のメカニズムが妥当な可能性が大きくなる。

参考文献

- (1) 高橋耕三 地震直前に観測される電磁界の発生メカニズム JpGU 2011 S-SS024-13
- (2) 高橋耕三 地震直前に観測される電磁界の発生メカニズム JpGU 2010 S-SS012-08

キーワード: 地震前兆電界, 雷発生のメカニズム, 中緯度の雷, 低緯度の雷, 噴煙中の雷

Keywords: precursory seismic electric fields, mechanism of generating thunder, thunder in middle-latitude, thunder in low-latitude, thunder in smoke of volcano

SSS25-10

会場:312

時間:5月2日 16:45-17:00

