

対数正規分布の標準値を用いた相似地震の長期的発生確率予測

Long-term Predictability for Repeating Earthquake using Standard Value of Lognormal Distribution

*田中 昌之¹、岡田 正実

*Masayuki Tanaka¹, Masami Okada

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

1. はじめに

気象研究所では、中規模の繰り返し相似地震について、準リアルタイム的に発生状況を追跡し、相似地震が発現したときは、適宜、長期的発生確率の予測計算を実施し、確率予測手法の精度評価をおこなっている。しかし、中規模以上の相似地震を扱う場合、再来間隔が長いこともあり、非常に少ないデータで計算するケースが多々ある。先行調査で、分布関数にt分布を用いた小標本論対数正規分布モデル(LN-SST)や、逆ガンマ事前分布を採用し、t分布の分布関数からなるベイズ統計対数正規分布モデル(LN-Bayes)などについて、相似地震や疑似乱数で長期的発生確率予測の検証実験をおこない、データが非常に少ないときは、事前分布が予測精度向上に役立つことを定量的に確認した。一方で、データが非常に少ない場合、安定的な予測を行うために、地震本部の長期評価のように、一部のパラメータに標準値を用いることがある。そこで、ばらつきパラメータに、相似地震で求めた対数正規分布モデルの標準値 σ_0 を採用し、対数正規分布の確率予測モデルで、相似地震の事後予測実験をおこなった。先行調査の結果と比較して、モデルの優劣などを調査した。

2. データと予測方法

東北大学作成の相似地震カタログから、Okada et al.(2012)が2006年から2010年の事前予測の実験用に編集したデータを再編して使用した。1993年から予測時点に5個以上の相似地震を含み、平均マグニチュードが2.75以上の166系列524予測を対象とした。予測時点に近い順から2個、3個、4個、5個、5個以上で地震を切り出し、それぞれ、発生間隔の対数の平均値を使用した。予測は、正規分布の分布関数を使い、分散には標準値 σ_0 を用いた二つのモデルで、一つは、平均に発生間隔の対数の平均値をそのまま使用した対数正規分布Plug-inモデル(LN-NORM)で、もう一つは、小標本論に基づき、平均値の不確実性を考慮した値を平均に使用した小標本論対数正規分布Plug-inモデル(LN-SST-Pin)である。標準値 σ_0 は、166系列の不偏分散の和に自由度の和の重みで加重平均し、平方根した値($\sigma_0=0.581$)を用いた。

3. 予測成績

平均対数尤度(MLL ; Mean log-likelihood)とROC曲線の指標を用い、予測期間内の相似地震の発現有無と比較して予測成績を求めた。MLLの結果について、先行調査のLN-Bayes、LN-SSTなどと比較した結果は図1のとおりである。計算に使用した発生間隔のデータが少なくなるにつれてどのモデルも成績は悪くなる。LN-SST-Pinに比べ、LN-NORMの成績は、データ2個以下になると悪化が急になる。LN-NORMとLN-SST-PinはLN-BayesやLN-SSTよりも成績は劣り、データ1個のときは、予測確率0.5の成績(MLL=-0.693)よりも下回る悪い成績である。ROC曲線の結果は図2のとおりである。この指標でもLN-NORMとLN-SST-PinはLN-BayesやLN-SSTよりも判別力が劣る。また、変動係数 α に地震本部の長期評価が採用している標準値($\alpha_0=0.24$)や、相似地震を使い各予測から地震5個切り出して求めた中央値($\alpha_0=0.367$)や平均値($\alpha_0=0.52$)を用いたBPT分布モデルの結果よりもやや劣る。

大会当日は、ブライアスコアの成績なども紹介予定である。

キーワード：繰り返し地震、発生予測、対数正規分布、標準値、平均対数尤度、ROC曲線
 Keywords: Repeating earthquakes, Forecast, Log-normal distribution, Standard value, Mean log-likelihood, Receiver Operating Characteristic curve

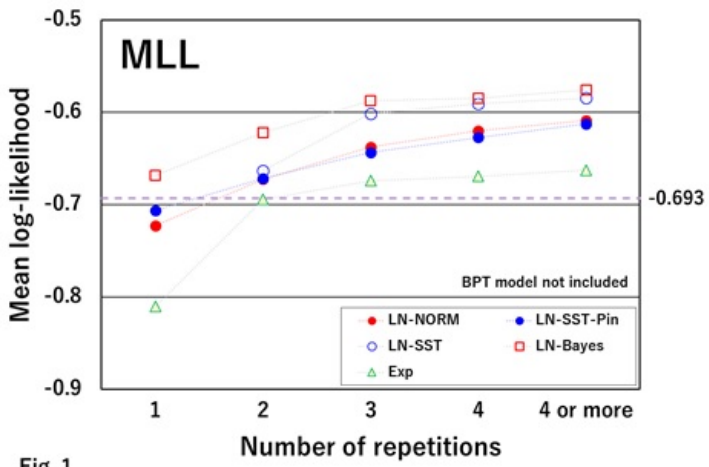


Fig. 1

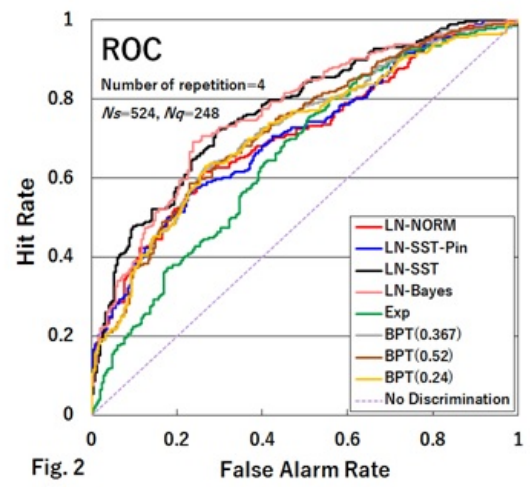


Fig. 2

2011年東北地方太平洋沖地震の震源域の応力は地震前に戻ったか？ Has the stress over the focal region of the 2011 Tohoku-Oki M9 earthquake recovered to the pre-earthquake state?

*楠城 一嘉¹、吉田 明夫²

*Kazuyoshi Nanjo¹, Akio Yoshida²

1. 静岡県立大学、2. 静岡大学

1. University of Shizuoka, 2. Shizuoka University

各マグニチュードの地震発生頻度を、横軸にマグニチュード(M)、縦軸に頻度の対数をとってプロットすると、十分に検知できているマグニチュードの範囲で、地震頻度分布は直線で良く近似できる。グーテンベルグ-リヒターの法則として知られているこの分布式で、直線の傾きの値(b 値)は、地震発生域の差応力の大きさと相関がみられることが知られており、一般に、断層のアスペリティのような応力の集中しているところでは b 値は小さく、一方、差応力が小さいところ、例えば、間隙水圧が大きなところ等では、 b 値は大きい。こうした経験的知識を基に、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域の b 値の空間分布の変化を調べたTormann et al. (2015)は、2013年以降、 b 値の空間分布が、ほぼ震源域全体に渡って東北地方太平洋沖地震発生前の b 値の分布に戻っているという結果を得たことから、東北地方太平洋沖地震の震源域の応力場は、わずか数年で地震発生前の状況に回復したとみなし、このことから、巨大地震は特徴的な再来周期を持たず、時間的にランダムに発生すると結論している。これは本当だろうか？もし、彼らの結果、及びその推論が正しければ、これまで文部科学省の地震調査委員会が進めてきた地震発生の長期予測の考え方を根本的に見直す必要が生じることになる。

我々は、こうした問題意識を持って、東北地方太平洋沖海域における b 値の時間的変化を詳細に解析した。Tormann et al. (2015)の解析方法と基本的には同じだが、プレート境界での地震と上盤の地震を分けたこと、地震活動度の空間分布の時間的な変化について考慮したことなど、いくつかの点で、手法に改善を加えた。

我々の解析で得た主要な結果は以下の通りである。2011年東北地方太平洋沖地震で大きくすべった領域では、 b 値は地震直前の小さな値(Nanjo et al., 2012)に戻っていない。牡鹿半島沖合の想定宮城県沖地震の震源域付近でもM9地震の前に b 値が次第に小さくなっていった。三陸北部沖合の海域では b 値の小さい状態が継続しており、しかも最近、低 b 値域の範囲が西側に広がってきている様子が見える。この低 b 値域の北部は1994年三陸はるか沖地震の破壊開始域と重なるが、南部は過去の大地震の破壊域と重ならない。総じて、我々の結果では、Tormann et al. (2015)が主張するように震源域全体で b 値は東北地方太平洋沖地震前の状況に戻ったとは言えない。また、三陸北部沖合の低 b 値域では、近い将来における大地震発生の可能性も考慮して注意深く推移を見守っていく必要があると考える。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、応力回復、グーテンベルグ・リヒターの法則

Keywords: the 2011 Tohoku-Oki earthquake, stress recovery, the Gutenberg-Richter law

イタリアの地震と地震空白域

Recent seismic activity in Italy and seismic gaps

*石川 有三¹

*Yuzo Ishikawa¹

1. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1. The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

地震予知に結びつく地震空白域の概念を最初に提案したのは大森房吉で、イタリアの地震帯の中に未破壊域が二カ所あることを指摘した（大森、1909）。これは8万2千人の犠牲を出したメッシナ地震のあとに書かれた。その後、指摘した2カ所の内の北側の空白域で1915年アベツアーノ地震M7.0が起きた。この地震では、残念ながら3万人を超える死者が出ている。ただ、大森(1909)は世界で始めて被害をもたらすような大地震の発生場所の予測に成功したと言える。しかし、未破壊域として指摘していたもう一カ所は、今に至るもまだ大地震は起きていない。指摘からすでに100年以上も経過しており、こちらは予測の失敗と考えるべきであろう。

近年、アペニン山脈に沿ったイタリア中部で中規模地震の発生が続いている。1984年4月29日にこの正断層帯の北部でM6.1の地震が起き、同じ年の5月7日にM6.0の地震がやや南部で起きた。その後、これらの震源域の間で1997年M6.4、2009年M6.3、2016年8月24日M6.2、同10月26日にM5.9、2017年1月18日M5.9の地震が立て続きに起きて、一部は大きな被害を引き起こしている。ここでは、これらの震源域の分布から、この地域の地震空白域を推定する。

ここではイタリア国立地球物理・火山研究所(INGV)のItalian Seismic Instrumental and parametric Data-base(ISIDe)、米国地質調査所の震源データと宇津の世界被害地震カタログを主に用いた。震源域の推定は、本震後一ヶ月間のマグニチュード2.5以上の余震分布で求めた。

この条件で地図に余震域を描いていくと1997年M6.4の震源域から2009年M6.3の震源域までの地域はほぼ隙間無く余震域で埋め尽くされる。従って、この地帯では余震は起きることはあるが、大きな地震は起きないのではないかと推定される。しかし、1984年4月M6.1と1997年M6.4の間にはややギャップが見られる。ただ、INGVの地震観測網が1984年当時それほど稠密ではなかったようで、1984年4月M6.1の余震数はそれほど多くはない。そのため、両者の間のギャップが地震空白域なのでどうかは断定できないが、注意を要する場所である。

次に南の2009年M6.3と1984年5月M6.0の間に大きなギャップが見られる。このギャップの中では、1915年にアベツアーノ地震M7.0が起きている。歴史地震を含めた過去の地震活動から考えられるこの地域の地震の繰り返し発生間隔は数100年と考えられる。この大きなギャップを1915年アベツアーノ地震の震源域がどれだけ埋めているかが地震空白域が存在するのかわかっている。さらに南の1984年M6.0地震と1980年M6.9イルピニア地震の間にも地震空白域が存在する可能性もある。

キーワード：地震予知、地震空白域、イタリア

Keywords: prediction, seismic gap, Italy

東海地域における地下水温の長期的変動

Long-term increasing and decreasing changes in groundwater temperature in the Tokai region

*佃 為成¹

*Tameshige Tsukuda¹

1. なし

1. none

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)が隣り合って生成される。それ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。直下に流体パスの存在が推定される焼津と静岡の12年に及ぶ地下水温観測データに基づき、東海地域の地下深部の歪や応力の変化を窺ってみる。

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)(機器故障により2014年9月5日以降欠測)と静岡市中島下水浄化センター内自噴井(NK)には精密水晶温度計、焼津市元焼津公園内井戸(YZ)には白金抵抗温度計が設置されている(佃, 2008)。これら3カ所の観測点は松村(2005)による、プレート沈み込みの固着域の直上付近に位置する。

OT(焼津)の水温(深さ30m)は平均上昇率 $24\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ の単調増加が、2009年8月11日の駿河湾地震(M6.5)以降、 $44\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 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年末から上昇が緩やかになってきた。深さ10mでは2007年10月27日から29日にかけて 0.17°C 上昇するなど、最近でも、パルス的な水温上昇イベントが度々観測されている。

NK(静岡)では、2006年は $34\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 、2007年春から $67\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 、同年秋から年末までは $14\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ の上昇であったが、2008年初めから上昇率は鈍化、9月頃から $-40\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ の率で下降(岩盤膨張)に転じた。2009年の駿河湾地震以降、下降率が大きく($-117\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$)なり、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月下旬から上昇($66\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$)、2014年に入り一時加速したが、2015年に入り上昇は緩やかになり、2016年10月からやや急激に下降へ向かいつつある。静岡直下では再び岩盤膨張へ転換した。

YZ(元焼津)では、自噴をしている期間のみの水温データを考察する。2010年4月以降、現在まで $8\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{year}$ の率で上昇中。2011年東北地震(M9.0)の影響による上昇変化も見える。OT, YZのデータは、焼津直下で岩盤圧縮、収縮歪を示す。

OTとNKの水温データには、気象庁の体積歪計では検出されなかったトレンド変化がある(佃, 2012)。最近の下降トレンドは新たな地殻変動が始まったことを示しているに違いない。

なお、最近では、NPO法人地下からのサイン測ろうかいによって東海地方西部に新たな観測点が建設されつつある。

参考文献：

松村正三, 東海地域推定固着域における地震活動変化(その9), 地震予知連絡会会報, 74, 300-303, 2005.

Tsukuda T., K. Gotoh and O. Sato, Deep groundwater discharge and ground surface phenomena, B.E.R.I., Univ. Tokyo, 80, 105-131, 2005.

佃 為成, 東海地方の水温上昇変化, 地震予知研究ノート No.3, 41-42, 2008.

佃 為成, 地下水温変化から地下深部の応力変化をさぐる, 日本地震学会講演予稿集 2012年度秋季大会, D12-03, p.120, 2012.

キーワード：地殻活動、地震予知、地下水温

Keywords: crustal movement, earthquake prediction, groundwater temperature

海水位変化の調査から推定される1946年南海地震の断層モデル

A fault model of the 1946 Nankai earthquake estimated from the survey on sea level Changes

*梅田 康弘¹、板場 智史¹

*Yasuhiro Umeda¹, Satoshi Itaba¹

1. 産業技術総合研究所

1. Advanced Industrial Science and Technology

1946年南海地震の断層モデルを測地学的データから求める際には、当時の地理調査所（現在の国土地理院）の測量データに基づく場合が多い。上下変動は水準測量から求められるが、地震前の測量は1930年前後、地震後は1953年であり、1944年東南海地震による変動と1946年南海地震のそれとの区別が出来ない。一方、当時の水路部（現在の海上保安庁海洋情報部）では南海地震の直後に現地調査を行い、漁業会や役所の報告をもとに、両地震それぞれの上下変動量を調査値として求めている（水路部、1948）。この調査値は港湾や漁港などにおいて、地震前後の海水位の変化を目視で求めたものであり、誤差は最大で0.3mとされているが、誤差を超える変動があったところでは有意な変動値として用いることが出来る。紀伊半島に関しては1944年東南海地震と1946年南海地震それぞれの上下変動と断層モデルを提案した（梅田・板場、2016）。今回は紀伊半島から四国にかけて、水路部の調査値（図1）に基づいて、1946年南海地震の断層モデルを推定した（図2）。図中4つの逆断層は、Hirose (2016) から推定されるフィリピン海プレート境界面上に仮定されている。紀伊半島東岸では1946年南海地震の際にも運動があったこと、また調査結果として足摺岬付近の隆起は知られていたが、当時は水準測量の路線がなかったため不明だった同地域においても図2に示すように断層運動があったことが示された。断層モデルの計算にはMICAP-Gを利用した。以下参考文献：水路部、1948、昭和21年南海大地震報告、地変及び被害編、水路要報、201号。、Hirose,F, 2016, Fuyuki Hirose's HP, http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/en/en.research_index.html。、梅田康弘、板場智史、2016、1946年南海地震の破壊域は紀伊半島東岸まで伸びていたのか、日本地震学会2016年秋季大会、S14-04、p30。

キーワード：1946年南海地震、海水位変化、断層モデル

Keywords: 1946 Nankai earthquake, sea level change, fault model

地震前兆現象の統計的検定に関するいくつかの問題

On Statistical Hypothesis Testing of Earthquake Precursory Phenomena

*加藤 護¹

*Mamoru Kato¹

1. 京都大学大学院人間・環境学研究科

1. Graduate School of Human and Environmental Studies Kyoto University

過去に提案された地震の前兆現象の中には地震とその現象とが関連する物理機構が定量的に解明されていない現象が含まれる。機構が明らかでない場合でも関連性が十分高ければその現象の観測結果を地震の予知・予測に用いることはできると考えるとこの種の研究に意義はある。関連性は統計的に検討することとなる。本発表ではこの統計的検証手法について考察する。過去に報告された地球電磁気学的な地震前兆現象候補の研究事例を取り上げ、その中に妥当とは言いにくい統計的検定手法が使われた例があることを紹介する。なお本発表で取り上げる統計的検証手法の問題は地球電磁気学的以外の現象を扱うときにも適用されるであろう。

閾値の設定：

物理機構が定量的に解明されていない現象では地震に対する先行時間や信号の大きさを理論的に知ることができないため、地震との関係では閾値が探索的に考察される。閾値の設定には過去のデータの検証が必要となるが、この際結果を知ってから仮説を設定する誤謬（data snooping）を避ける必要がある（例えばLove and Thomas [2013]）。具体的には仮説の設定とその検証において同じデータを繰り返し用いてはいけぬ。独立なデータで仮説の検証が行われていないならば得られた結論は保留するのがよいであろう。

多重検定に伴う補正：

統計的検定で用いる有意水準は帰無仮説が正しいにも関わらず仮説検定で棄却してしまう確率（第一種の誤りを犯す確率）である。同じ水準を設定しても同時に多くの統計的検定を行うと第一種の誤りを犯す可能性が大きくなる。これは試行回数を増やすとそれに伴って偶然有意水準より小さなp値を得る回数の期待値が大きくなるためである。Love and Thomas(2013)による太陽活動と地震との関係の検討では小さなp値が得られる閾値の組み合わせがあるが、複数の検定を同時に行う際の補正を行うと統計的に有意ではないと判断できる。

過去の事例には多重検定を行ったことが陽に示されていないものもある。閾値の設定の理論的根拠が明示されていない場合、統計的に有意になる閾値を探索的に探した可能性を念頭に置き、その結論の採用を保留することが賢明であろう。

キーワード：地震前兆現象

Keywords: Earthquake Precursory Phenomena

Fast Earthquake Characterization using a Single Three Component Seismic Station by Machine Learning Techniques

*Luis Hernan Ochoa Gutierrez¹, Luis Fernando Niño Vasquez¹, Carlos Alberto Vargas Jimenez¹

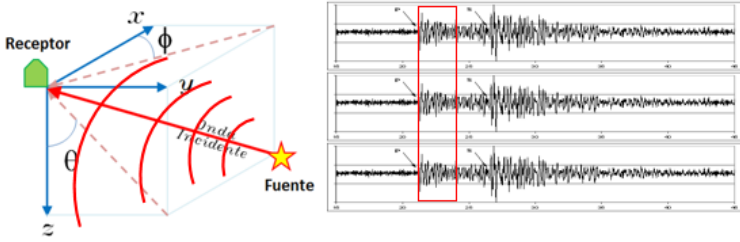
1. Universidad Nacional de Colombia

Earthquake early warning alerts generation is very useful, especially for the city of Bogotá-Colombia, given the social and economic importance of this city for the country. Based on the information from the seismological station “El Rosal” , which is a broadband and three components station, located very near the city that belongs to the Servicio Geológico Colombiano (SGC) a Support Vector Machine Regression (SVMR) model was developed, using a Normalized Polynomial Kernel, using as input some characteristics of the initial portion of the P wave used in earlier works such as the maximum amplitude, the linear regression coefficients of such amplitudes, the logarithmic adjustment parameters of the envelope of the waveform and the eigenvalues of the relationship between the three seismogram components of each band.

The model was trained and evaluated by applying a cross-correlation strategy, allowing to calculate the magnitude and location of a seismic event with only five seconds of signal. With the proposed model it was possible to estimate local magnitude with an accuracy of 0.19 units of magnitude, epicentral distance with an accuracy of about 11 km, the hipocentral depth with a precision of approximately 40 km and the arrival back-azimut with a precision of 45°. Accuracies obtained in magnitude and epicentral distance are better than those found in earlier works, where a large number of events were used for model determination, and the other hipocentral parameters precisions obtained here are of the same order.

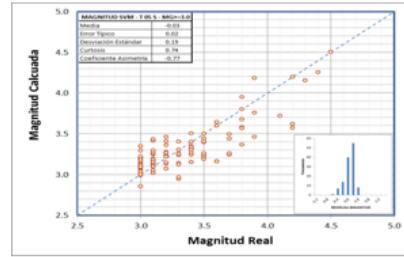
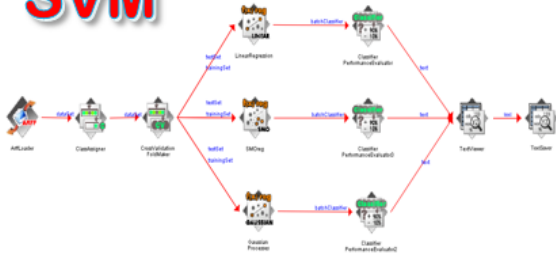
This research work makes a considerable contribution in the generation of seismic early warning alerts, not only for the country but for any other place where proposed models here can be applied and is a very good starting point for future research.

Keywords: Early Warning, Support Vector Machines (SVM), Fast Seismic Characterization, Seismology, Bogotá-Colombia



Early Warning

SVM



Groundwater macroscopic anomalies and earthquake: a case study in Xichang, South-west China

*Zheming Shi¹

1. China University of Geosciences Beijing

Earthquake prediction is a debating topic in the world. One of the focused points is that whether there existed observable and identifiable precursors? What's the objective definition of "anomalies" and what's the quantitative physical mechanism links these precursors to earthquakes. However, anomalies are always reported before and after some major earthquakes. Identify the nature of these anomalies and understand the possible role as precursor will certainly benefit for the debating. Large scale macroscopic anomalies were reported in Xichang area during 2002. And we conducted a field survey in order to indentify the nature of these anomalies and their possible role as precursor. According our investigation, although the groundwater and animal anomalies have no relationship with the strong earthquake, they are surely controlled by the tectonic activity in that area. Because both of the temporally and spatially distribution of groundwater and animal anomalies had related with the tectonic setting and the tectonic activity which get from the seismo-geological and geodetic studies. So the anomalies in Xichang area are the result of the increasing tectonic activity in the Sichuan-Yunnan block. And the groundwater may play as good indicator for the activity in tectonic.

Keywords: macroscopic anomalies, groundwater, earthquake

A Novel Calculation for Estimating Earthquake of Magnitude > 7

*Cheng-Yin Wu¹

1. Taipei Municipal Yongchun Senior High School

The earthquake has always been the major issue of the cities near the earthquake zone. The unpredictability of earthquake has raised the attention on developing earthquake early warning systems (EWS).

This study uses earthquake waveform data from IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). By using the seismic analysis code (SAC) to process and to analyze the seismic waveform data. This study reveals that the frequency component of the first arrived complete P wave can be used to estimate the magnitude of an earthquake. A low-pass filter with cutoff frequency 3Hz is used to preprocess the waveform signal. We use Fast Fourier Transform to turn time domain data into frequency domain data. The spectrum is then obtained and can be used to identify the characteristic of the frequency component of the first arrived complete P wave. An empirical linear relation is found, and this linear relation can be used to estimate the magnitude of earthquakes.

Our result shows the magnitude of an earthquake, therefore, possible to be estimated at the very beginning of an earthquake event. This method is beneficial for minimizing the damage in order to prevent unnecessary loss.

Keywords: P wave, Fourier Transform, Linear Regression

Precursory microseismic quiescence preceding the 2016 M_L 6.6 Meinong earthquake in southern Taiwan

*Hsin-Chieh Pu¹

1. Central Weather Bureau, Taiwan

Before the Meinong earthquake in southern Taiwan, a spatiotemporal seismic gap is roughly found. During this seismic gap, only four earthquakes were located by the Central Weather Bureau Seismological Network 24 bits (CWBSN24), whose magnitude of completeness (M_C) is about M_L 1.2 in the area of the Meinong earthquake. In order to specify the range of this spatiotemporal seismic gap, this research examined the duration and spatial scale of this seismic gap. Then this seismic gap is characterized as an undoubted low seismicity rate. Here, this low seismicity was kept about 90 days before the Meinong earthquake and localized within an area with a radius of 12 kilometers from the hypocenter of this strong earthquake. Particularly, this kind of low seismicity rate could be only found before this strong earthquake. For this reason, this low seismicity should be associated with the Meinong earthquake. This low seismicity appeared before the Meinong earthquake is obvious as the data was extracted from the seismic catalog whose magnitude lower than M_L 1.5. Therefore, this research suggested that this low seismicity is characterized as the behavior of microseismicity. Between after this low seismicity and the Meinong earthquake, some foreshocks were found. According to the process of a principle rupture cycle, this low seismicity could be the intermediate-term quiescence. The spatial scale of this quiescence is similar with the previous observations for some strong earthquakes. In practice the seismic quiescence had been found before some strong earthquakes and used for earthquake precursor. For earthquake precursor in southern Taiwan, this research indicates that the useful precusory signal of seismic quiescence may be buried in microseismicity which is monitored by a dense seismic network and was difficult to observed in the past.

Keywords: Meinong earthquake, seismic quiescence, microseismicity

南海トラフ沿いのフィリピン海スラブ内地震活動の b 値の時空間変化

Space-time variation of the b value in the Philippine Sea slab along the Nankai Trough

*楠城 一嘉¹、吉田 明夫²

*Kazuyoshi Nanjo¹, Akio Yoshida²

1. 静岡県立大学、2. 静岡大学

1. University of Shizuoka, 2. Shizuoka University

稠密な地殻変動観測網、地震観測網が展開されている中で、南海トラフ巨大地震の発生を迎えるのは初めてである。フィリピン海プレートが沈み込む南海トラフ沿いは、太平洋プレートが沈み込む日本海溝沿いと比べてカップリングの様相や付随する現象が異なるので、2011年東北地方太平洋沖地震の前に観測された“前兆”が同じように観測されるとは必ずしも言えない。しかし、1944年東南海地震、1946年南海地震の前には広域で地震活動の静穏化(木村・岡野, 1995; 青木・吉田, 2001)が観測されており、次の南海トラフ地震の前にも静穏化現象が観測される可能性が高いと考えられる。では、2011年東北地方太平洋沖地震の前に、その大すべり域で観測された顕著な b 値の低下(Nanjo et al., 2012) についてはどうだろうか。2004年スマトラ地震の際にも、破壊域で地震前に b 値の小さかったことが知られていることから(Nanjo et al., 2012)、南海トラフ地震の前にも、震源域での b 値の低下が観測される可能性は十分あると推定される。ただし、南海トラフ沿いの地震活動は低いので、 b 値の変化を、三陸沖のように詳細に追跡できるかどうかはわからない。そこで、我々は、近年の地震データを用いて、南海トラフ沿いの海域で、どの程度、 b 値の空間分布とその変化が解析できるか調べた。まだ暫定的ではあるが、すべり欠損速度が大きいと推定されている熊野灘や四国直下が(Yokota et al., 2016)、低 b 値域にあたっていることや、一方、紀伊半島の潮岬南方海域は b 値が比較的大きいこと、また、各海域の b 値の経年変化にはそれぞれ異なった特徴が見られるという興味深い結果を得たので、それらについて報告する。

なお、西南日本では地殻内地震活動が比較的活発なので、内陸の各地域における地震活動の b 値の変化を調べるのも有意義と思われる。カップリングの弱화에伴う地殻内応力の減少を示す b 値の増大が観測される可能性も考えられる。

キーワード：地震活動、グーテンベルク・リヒター則の b 値、南海トラフ

Keywords: seismicity, b value of the Gutenberg-Richter law, Nankai Trough

M_w 8.0以上の地震に先行した地震活動の長期静穏化

Long-term seismic quiescence before shallow great earthquakes with M_w 8.0 or larger between 1990 and 2014

*勝俣 啓¹

*Kei Katsumata¹

1. 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

1. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

1990年から2014年までに発生した M_w 8.0以上、100km以浅の地震は、global CMTカタログでは23個存在するが、本研究では、それら23個の地震に先行して地震活動の長期静穏化があったかどうかを調べた。地震活動の時間変化を調べるためにISCの震源カタログを用いて、1964年1月1日から各地震の本震までに発生した深さ60km以浅、実体波マグニチュード(m_b)5.0以上の地震を解析した。Zhuang et al. (2002)が開発したStochastic declustering法を用いてデクラスター処理した後、ZMAP法を使用して地震活動度の変化を詳細に調べた。その結果、23個の地震の内、 m_b 5.0以上の地震がほとんどない領域に発生した4個を除く19個の全てにおいて、継続時間が10年程度以上の長期静穏化が見つかった。

キーワード：地震活動、地震活動の静穏化、巨大地震

Keywords: seismicity, seismic quiescence, great earthquake

余震等の活動とその予測情報

Operational forecast of large event after major earthquake

*岡田 正実¹

*Masami Okada¹

1. 個人

1. none

はじめに

大規模な地震災害が発生すると、多数の住民が避難生活を送り、体調を崩したり、亡くなる方が出ることがある。阪神・淡路大震災（1995年）の死者6434名のうち、919名は自治体が認定した「震災関連死」である。熊本地震（2016年）では、犠牲者の半数以上が「震災関連死」であった。

気象庁は、1998年以後15個の大地震について、余震の確率予測を実施した。地震調査委員会は、昨年8月に報告書「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」（以下、報告書）を発表し、大地震直後の情報では、『揺れの強かった地域では、1週間程度、同程度の地震に注意して下さい。』等と記すことにした。これは、従来より高いレベルの注意・警戒を喚起するものである。

地震の規模・震度を過小予測すると、地震時の被害を増大させる恐れがある。一方、多数の避難生活者がいる状況では、過大予測に伴う過度な避難行動で、健康悪化や震災関連死の可能性が高まる。情報ではこれら両面を配慮し、人的被害を減らすことに努める必要がある。

以下、内陸直下の大地震を念頭に、大地震後の地震活動予測情報について検討する。要点は以下のとおりである。

1. 後続の最大地震

防災活動にとって最大地震の規模は重要な要素である。報告書（表2）の内陸浅部M6.5以上の大地震（36個）で、その後7日以内に先行大地震より大きなもの（本震）が発生したのは熊本地震のみである（Fig. 1, 黒色）。同程度のもの（M差0.3以内）は2例（灰色）だけで、残り33例では後続地震が0.4以上小さい。報告書に紹介されている海外事例も参考にしても、M6.5以上の内陸地震の後の対応は、従来の方針（先行大地震より一回り小さい余震に対する注意喚起）が妥当であり、報告書の方針は過大な注意・警告の傾向が強い。

2. 確率予測の扱い

報告書では、低い予測確率が安心情報と誤解され得ることから、確率表記を中止したために、大地震の危険度が住民に伝わらない。本来ならば、『発生確率が小さくても、相応の割合で大地震が発生する。』ことを繰り返し説明し、確率予測への理解を得るのが望ましい。余震活動等が最も活発なときに、『同程度の地震に注意してください。』などと、定性的な予測情報を繰り返すことには疑問を感じる。なお、このような定性的な情報は、予測結果の統計的検定ができない。

3. 地震活動予測の表現

今回の変更には、『確率予測では、どう対応すればよいのか分からない。』との声が反映したと推察される。しかし、提案された予測情報は確率予測に比べて情報量が劣る。別形式の表現として、予測期間中の最大地震Mを確率分布で表示することが考えられる。結果図では、『最大地震Mがどの程度になりやすいか』、『Mの予測精度はどの程度か』などが容易に分かる。天気予報では、通常の予報に加え、降水確率予報や高解像降水ナウキャストなどが並行実施されている。地震予測でも、文章表現による注意喚起と同時に、余震発生確率や最大地震規模分布なども出し、多様なニーズに対応するのが望ましい。

4. 予測結果の検証とモデル改良

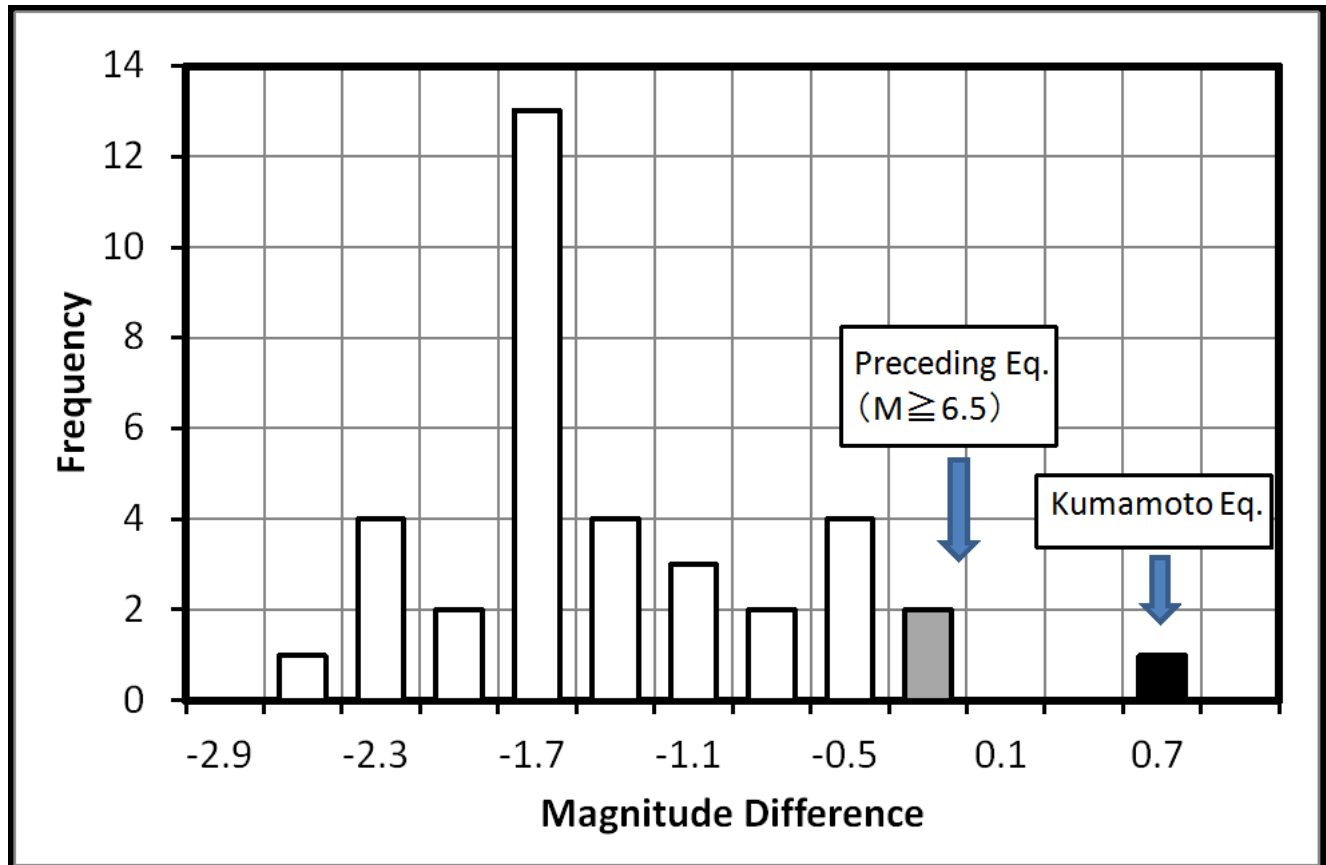
予測精度及び信頼性の向上には、予測結果の検証・評価とモデル改良が不可欠である。ラクイラ地震（2009, Mw6.3, 死者300名以上）の予測を検証した国際委員会は、公的機関の予測について、『過去事例を用いた事後予測、及び将来起きるかもしれない地震を対象とした事前予測を実施し、予測の信頼性を確認す

ること』を勧告している。気象庁の予測結果を統計検定し、その精度や妥当性を評価する必要がある。新たに導入する、ETASモデルを用いた新方式でも、運用までに乱数実験で検証し、信頼性を明確にする必要がある。

Fig. 1. Magnitude difference between the maximum event within the next 7 days and the preceding major shallow inland earthquake of M6.5 or larger in Japan.

キーワード：地震予測、余震活動予測、震災関連死

Keywords: earthquake forecast, forecast of aftershock, earthquake related death



2011年東北地方太平洋沖地震前の3ヶ月間に観測された発生までの3段階の過程(2)

The 3-stage earthquake generation process observed during 3 months before the 2011 Tohoku earthquake (2)

*末 芳樹¹

*Yoshiki SUE¹

1. なし

1. none

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、広帯域地震観測網F-netが2010年12月下旬から2011年1月中旬、続いて2月中旬から3月初旬と2度の欠測観測点の増加後、本震となった。そこで地震発生までの凡そ3カ月間に中部地方～伊豆小笠原諸島と北海道中央部で挟まれる領域での観測事象を集め挙動を調べた。本報告は同題目[1]の続報である。

2. 解析

地震発生までの凡そ3カ月間は以下の3段階から成っていた。

<第1段階、2010年12月中旬～2011年1月28日頃>

解説：長年に亘る陸側プレートによる歪蓄積の最終段階であり、2011年1月28日頃に歪蓄積の限界に到達し東北地方が西進を停止した。ほぼ同時に海側プレートである太平洋プレートも西進を停止した。これに先立つ凡そ1.5ヶ月間に東北および中部地方を主とした日本列島の広い領域で通常見られない動きが発生した。これらは主に歪を蓄積する領域で発生した。

観測事象：

- ・2011年1月28日頃、長年西方へ移動していた東北地方が西進を停止した [2,3]。1月27日には海側プレートである太平洋プレートの西進が停止し、以後、本震まで動きを止めた [4]。この変化に先立つ凡そ1.5ヶ月間に以下の状況が観測された。
- ・2010年12月中旬、岩手県沿岸部の地下水で異常値が観測された。12月22日には父島近海でM7.4のプレート内地震が発生した。2011年1月、箱根山直下で低周波地震が多数発生した。
- ・F-netは、2010年12月下旬より欠測観測点が増加し2011年1月14日に最多の4か所となった。これらは、三陸沿岸～北海道南部(2カ所)および能登～伊豆諸島(2カ所)の2つの領域である [6]。
- ・GNSS観測によると、2011年1月5日に日本列島全域が南方へ、1月23日には日本列島の広い地域が西方へ動いた [5]。

<第2段階、2011年1月29日頃～3月2日頃>

解説：西進を止めた陸側プレートは、この段階で動く方向を反転させた。この結果、太平洋プレートに対するそれまでの従属的な動きと変わり反発力を増大させた。これはプレート境界に於いて剪断力を増加させ、結果として震源域付近のスロースリップ等の活発な活動を生んだ。震源域に近い陸地でも変化が観測された。

観測事象：

- ・1月28日頃に西進を停止した陸地は、翌29日頃より移動方向を180度変え徐々に東に動いた [2,3]。
- ・1月29日から震源域付近でスロースリップが観測された。この動きは、2月19日頃より傾向を変化させながら3月9日の三陸沖地震M7.3の直前まで続いた [7]。
- ・2月13日～2月末日に本震の破壊開始点付近でM5以上の地震が複数発生した [7]。
- ・2月16日より3月2日にF-netの欠測増加があり、2月18日に最多の4か所となった。これらは三陸沿岸～北

海道南部（3カ所）および岐阜県（1カ所）からなる [6]。

<第3段階、2011年3月8日頃～3月11日(本震)>

解説：第2段階で活動のあった三陸沖で地震活動が再開し本震に至った。同時期に三陸沿岸部でもGNSSに動きが見られた。

観測事象：

- ・3月8日、GNSSによる観測で東北地方の東方および下方への大きな動きが見られた [5]。
- ・3月9日、三陸沖地震M7.3が発生し、その後もM6クラスの地震が続いた。
- ・3月11日、東北地方太平洋沖地震M9.0が発生した。

3. まとめと議論

・大地震の前には、陸地に設置されたGNSSやF-netに変化が現れる。これらの変化は、海溝軸付近の活動と同期している場合がある。

・2011年東北地方太平洋沖地震は、ここに示す3つの段階から成っていた。

・海溝型地震では、陸側プレートの圧縮歪が限界点に到達することが地震発生前の通過点になっていると思われる。これは、GNSSによる観測で陸側プレートの進行方向の反転として認識される。2011年の巨大地震では、2011年1月28日頃（本震の凡そ1.5ヵ月前）に起きたと考えられる。

4. 参考文献

- [1] 末, 2016, JpGU, SSS30-P14.
- [2] 神山, 2012, 地盤工学会東北支部総会講演会.
- [3] 鶴田 et al., 2012, JpGU, SSS32-07.
- [4] 武田, 2011, 日本地震学会秋季大会, A32-11.
- [5] Chen, C-H. et al., 2014, Journal of Asian Earth Sciences, 80, 165-171.
- [6] 末, 2013, JpGU, SSS30-P01.
- [7] 内田 et al., 2014, 日本地震学会広報誌, nf-vol97.

キーワード：東北地方太平洋沖地震、F-net、GNSS

Keywords: 2011Tohoku earthquake, F-net, GNSS

電磁的な観測網で地震・噴火の予知が可能

We were able to predict a foreshock and a main shock in an FM observation network by Kumamoto earthquake.

*國廣 秀光¹

*Hidemitsu Kunihiro¹

1. なし

1. none

地震という自然現象を予知する事は困難と言われていますが、地震予知は可能です。自然現象には常に原因があり、その結果として現象が発生しています。この原因が掴めれば結果を予知できるのです。そこで、私達は地震の原因を把握すべく大地の観測を始めました。ところが、地震計では地震発生直前の微動からしか判りません。そこで、前兆証言の多い電波や電磁気の観測を始めました。現在は、地表の電磁界変化を掴むため観測網まで敷設して観測中です。これは、地上を伝搬中の電磁波変化に注目したもので、特にFM放送電波の直接的な観測網は、気象変化やスプラディックE層等の影響を除けば、地下からの直接的な影響による電磁界変化やノイズを読み取ることができます。

その例として長野地震、福島地震、淡路島地震、そして熊本地震があります。特に熊本地震では前震と本震の前兆が明確に現れていました。電磁観測の基本理論は「物が動けば電磁気が発生する」と言う、エネルギーと電磁気の原則通りですが、観測例にも、地震現象は地殻内での軋轢によって大きな電磁気変化が発生しています。特に、1週間程前に現れる大きな変化現象を利用すれば、時間的に余裕を持った災害予防情報となり得ます。そこで、上記他の観測例を開示しますが、電磁観測には噴火も地殻に大きな変化を及ぼす事が観測データに現れている事が判りました。この現象は沖永良部島の噴火から電磁変化が始まり、鹿児島西、熊本・大分、そして鳥取地震へと続きました。地殻変化の移動は半年クラスの時間を要するようですが、確かに噴火と連続地震の関連性を示す一連の電磁変化が現れています。観測データと関連図をご覧ください。（観測グラフは、横軸＝時間、縦軸＝電界強度、色＝観測局）

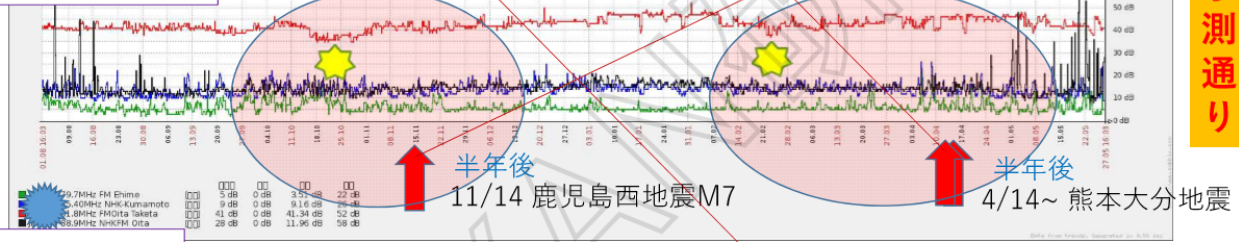
キーワード：地震予知、電磁観測、噴火観測網、電磁界

Keywords: Foretelling an earthquake, Electric wave observation, An observation network of Eruption, An electromagnetic field

口之永良部島の噴火から、半年後に鹿児島西M7
 その半年後に熊本-大分地震M7.3が発生！
 今度は10月？

予測通り

② 2015/8/1~2016/5/27



① 2014/8/1~2015/8/1

