

繰り返し回数の少ない相似地震の長期的発生予測にBPT分布を用いた場合の成績

Long-term predictability for the repeating earthquake with a few times recurrence using the BPT model

*田中 昌之¹、岡田 正実¹

*Masayuki Tanaka¹, Masami Okada¹

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、2014年にこれまでの発生状況を取りまとめた。その後は準リアルタイム的に発生状況を追跡し、新たな相似地震が見つかったときは、適宜、長期的発生確率の予測計算をおこなっている。しかし、中規模以上の相似地震を扱う場合は、再来間隔が長いこともあって、計算に使えるデータ数が非常に少ないケースが多々ある。先行調査で、繰り返し回数が非常に少ないときの長期的発生確率予測の成績を、ベイズ統計対数正規分布モデル、小標本論対数正規分布モデルおよび指数分布モデルについて調査した。地震震調査委員会では、長期的発生確率予測にBPT分布モデルを使っており、BPT分布の場合についても調査した。

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2008年の事前予測の実験用に編集したもの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126系列を対象とした。予測時点に近い地震を3個、4個、5個、5個以上と切り出し、地震の発生間隔を使い、BPT分布モデル (BPT-pin) で発生確率を計算した。パラメータは、平均発生間隔 μ は当該系列の平均値を使用し、変動係数 α は地震数5個で求めた変動係数値の中央値を用いた。

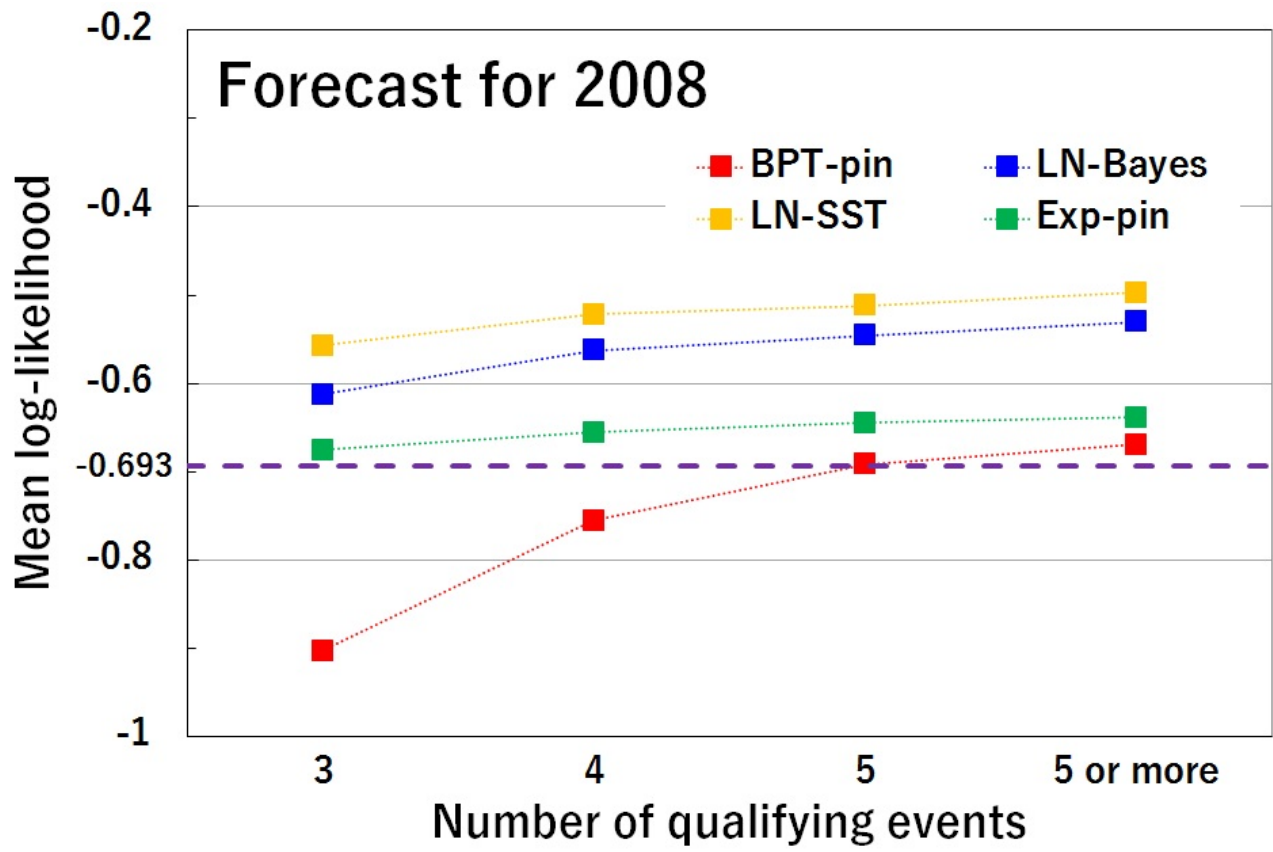
3. 予測成績

予測成績は、平均対数尤度 (Mean log-likelihood) とブライアスコア (Brier score) の2つの評価手法を用いて、予測期間内の相似地震の発現有無と比較して求めた。平均対数尤度の結果について、先行調査のベイズ統計対数正規分布モデル (LN-Bayes)、小標本論対数正規分布モデル (LN-SST) 及び指数分布モデル (Exp-pin) と比較した結果は図のとおりである。平均対数尤度は、数値が大きいほど優れたモデルである。BPT分布モデルの成績は、他の3つの統計モデルと同じく、繰り返し回数が少なくなるにつれて悪くなる。しかし、他の統計モデルよりも成績は劣り、繰り返し回数3回以下では予測確率が0.5のときの成績 (-0.693) よりも下回る悪い成績である。

大会当日は、使用するデータを変えた場合やブライアスコアの成績、統計的手法による予測の検証なども紹介する予定である。

キーワード：繰り返し地震、発生予測、BPT分布モデル、平均対数尤度

Keywords: Repeating earthquakes, forecast, BPT model, Mean log-likelihood



昭和南海地震の直前に目撃された異常現象はどのくらいの頻度で出現するのか（1）

How often do the abnormal phenomena witnessed just before 1946 Nankai earthquake appear

(1)

*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（以下、本震）の直前には、井戸水の減少や海水位の変化などの異常現象が目撃されている。井戸水は約2mの低下、海水位は最大で3mの低下、副振動については約0.5m変化が、紀伊半島から四国の太平洋沿岸部の24か所で目撃されている。なお、本震前の天候は穏やかだった。目撃された異常現象は本震の直前だけに現れたのか？それとも時々現れる現象なのか？本震前に異常現象が目撃された場所若しくはその近傍における最近の近代的観測データを基に、本震直前に目撃されたのと同様の現象が、どのくらいの頻度で出現するのかを調べた。産総研では、本震前に水位低下があったと報告されている3か所の井戸において、水位の連続観測を行っているが、最近の2年間のデータを見る限り、2m以上の急な井戸水の減少は無かった。海水位の低下については、気象庁のウェブサイトから串本、室戸岬、高知の潮位偏差をチェックしたところ、2003年から2014年の間に、-2mを超える潮位の低下は一度も無かった。副振動については気象庁のウェブサイトから室戸岬について調べたところ、2006年から2014年までに0.5m以上の副振動は17回あったが、いずれも気象に起因するものであった。今回の調査の範囲内では、本震前に目撃された異常現象と同様の現象は見つからなかった。

キーワード：1946年南海地震、目撃証言

Keywords: 1946 Nankai earthquake, witness

前震活動に基づく地震発生の経験的予測

－前震を伴いやすい領域および日本内陸地域への適用－

Empirical forecast of mainshocks based on foreshock activities

- Applied to the specific three regions and inland area of Japan -

*前田 憲二¹、弘瀬 冬樹¹

*Kenji Maeda¹, Fuyuki Hirose¹

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

1. はじめに

本震の発生を予測するための手掛かりとして前震活動は古くから期待されているが、実際には本震が発生したのちに初めて前震だったと判別される場合がほとんどであり、本震発生前に前震を識別することは一般に困難である。そこで、我々は、続発的に地震が発生しやすい特定の地域では本震前に活発な前震活動がみられる場合があることに着目し、その統計的性質から本震の発生を経験的に比較的効率よく予測する手法を開発してきた。これまで前震を伴いやすい地域として、日本海溝沿いの特定の地域、伊豆半島沖の地域、長野県北中部の地域を調査し、それらの地域に本手法を適用した場合の予測効率について報告してきた。ここではこれらの地域のその後の活動状況も含めた最近までの予測状況を取りまとめるとともに、同様の手法を日本の内陸地域全域に適用した場合の予測効率について報告する。

2. 予測手法

前震識別の手順および予測効率の指標は、以下のとおりである。

1) 震源カタログのデクラスタ処理を行い、余震を除去する。ただし、本震との規模の差が1.0以下の地震は除去しないで残すこととする。

2) 特定の大きさのセグメント（緯度 D° ×経度 D° ）の中で、特定の規模（ M_f ）以上の地震が特定の期間（ T_f 日）の間に特定の数（ N_f ）だけ発生した時、前震（群）の候補とする。

3) その後特定の期間（ T_a 日）を警報期間とし、前震候補と同じセグメント内で警報期間中に本震が発生した場合に真の前震（群）であったと判定する。

4) この前震（群）の定義において、 D 、 M_f 、 T_f 、 N_f 、 T_a をパラメータとして、本震（規模 M_m 以上）を予測するために効率のよい前震（群）のパラメータをグリッドサーチにより求める。

予測効率の指標としては、本震は時空間的に一定の発生率を持ってランダムに発生すると仮定したモデルを基準とし、前震候補による予測時空間における本震発生率が他の時空間より高いとする予測モデルとのAICの差（ $dAIC$ ）を主に用いた。また、予知率（AR：予測対象とする本震のうち予測された本震の割合）や適中率（TR：前震候補のうち真の前震の割合）、確率利得（PG：全時空間における本震の平均発生率に対する警報時空間における本震の発生率の比）も補助的に用いた。

3. データおよび解析結果

1) 日本海溝沿いの特定の地域

日本海溝から陸よりの海域においては、特に岩手沖、宮城沖、茨城沖の3領域で前震活動を伴う本震の発生する割合が比較的高い。そこで、この3領域内の地震活動について1961年から2010年までの気象庁震源カタログを使用し、 $M6.0$ 以上、深さ 100km 以浅の本震の発生を予測するのに効率的な前震候補選択のパラメータを求めた。その結果、最適解として $D=0.5^\circ$ 、 $M_f=5.0$ 、 $T_f=10$ 日、 $N_f=3$ 、 $T_a=4$ 日のパラメータが得られた。この前震パラメータを用い、1961年から2016年1月31日までの期間の予測を行った場合、予知率は27%（ $=13/48$ ）であり、適中率は22%（ $=17/77$ ）であった。

2) 伊豆半島沖の地域

同様に、伊豆半島沖の地域について、1977年から2013年6月までの気象庁震源カタログを用い、 $M5.0$ 以上、深さ 50km 以浅の本震の発生予測に効率的な前震パラメータを求めた。その結果、最適解として $D=0.2^\circ$ 、 $M_f=3.0$ 、 $T_f=3$ 日、 $N_f=3$ 、 $T_a=5$ 日を得られ、このパラメータを用い、1977年から2016年1月31日までの期間の予測を行った場合の結果は、予知率は68%（ $=44/65$ ）であり、適中率は22%（ $=43/194$ ）であった。

3) 長野県北中部の地域

長野県北中部の地域について、1998年から2014年までの気象庁震源カタログを用い、M5.0以上、深さ30km以浅の本震の発生予測に効率的な前震パラメータを求めた。その結果、最適解として $D=0.1^\circ$ 、 $Mf_0=2.0$ 、 $Tf=1$ 日、 $Nf=5$ 、 $Ta=5$ 日を得られ、このパラメータを用い、1998年から2016年1月31日までの期間の予測を行った場合、予知率は45% (=5/11)であり、適中率は12% (=8/69)であった。

4) 日本の内陸地域

日本の内陸地域（伊豆地域を除く）について、長野県北中部の地域に対して求めた最適パラメータを援用した場合の予測成績を調査した。即ち、 $D=0.1^\circ$ 、 $Mf_0=2.0$ 、 $Tf=1$ 日、 $Nf=5$ 、 $Ta=5$ 日のパラメータ値を用いて1998年から2016年1月31日までの期間についてM5.0以上の本震の予測を行った場合の予測成績を求めた。その結果、内陸地域全体としては、予知率=11% (=9/79)、適中率=1.8% (=11/607)であり、また、地域的には長野県北中部以外では福島県東部や銚子付近、鹿児島県西方沖で上記定義の前震活動が見られた。

キーワード：地震予測、予測効率、前震、地震統計、経験則、日本内陸地域

Keywords: earthquake prediction, performance, foreshocks, statistics, empirical relation, Japanese inland area

地震予知・予測と歴史津波（「仙台平野の歴史津波」・飯沼勇義著を主に）

The Predicting earthquakes/estimation and the historical tsunami.

*西澤 勝¹

*Masaru Nishizawa¹

1.なし

1.none

I. まえがき 1995年出版の歴史研究家・飯沼勇義著（Refer to a historian Yuugi IINUMA）「仙台平野の歴史津波」を取り上げ、この本の意義と2011年大震災による大津波及びその復興（2016年現在。a point in 2016）に関する著者の若干の感想を含めて述べる。最後に地震予知についての考えを述べたい。本書の要点。飯沼勇義・佐藤俊光両氏は「陳情書」と「仙台平野地方（仙台地方）の津波防災について」を仙台市長 藤井黎殿に1994年9月30日付、宮城県知事 浅野史郎殿に1995年9月付で提出。

II. 根拠。歴史津波の研究の結果、海岸部で5m以上の波高の記録の有るのは、有史以来、約40件。その中で、30m以上の巨大津波は8回。8回のうち、東北の三陸沿岸又は仙台沿岸を襲ったもの。イ. 869年（貞観津波）ロ. 1611年（慶長津波）ハ. 1896（明29）（明治三陸津波）ニ. 1933年（昭8）（昭和三陸津波）ホ. 1960年（昭35）（チリ地震津波）の5つ。

他に最近貞観津波より約170年前、700年頃、仙台郡山遺跡まで及びし巨大津波跡有。これら巨大津波は何度もくり返し発生（Fig.1）してきた。巨大津波襲来には早急に備えるべき必要性を痛感した。詳細は同書参照。

その他、著者は種々広範囲に深く研究され、防災の考え方にまで詳しく提言されている。日本は現在、この様な在野の有能な研究者の提言を取り上げないこと等にも苦言を述べておられる。郡山遺跡調査などは、それなりの期間がかなりの人と費用と時間をかけて調査研究している。何のための調査研究であるか？多賀城跡に行くと、ボランティアの方達がかなり前から、貞観津波を説明し、この政庁直下まで水が来たたと説明がある。何のための調査研究かと、税金の無駄遣いと人命軽視を挙げたら限りがないと筆者も同感。

III. 読後感 飯沼氏の述べている防潮堤について一言。幸か不幸か、1982年（昭57年）発行の「宮城県百科事典」の「三陸海岸防潮堤」の項に、西澤勝著で「牡鹿半島より北の三陸海岸の防潮堤は津波対策、南の仙台湾沿岸は高潮対策のため」とある。これは当時の国（建設者）の指針で飯沼氏の述べる仙台平野沿岸の歴史津波の考慮はなされていない。建物の例を一。仙台は傾いている建造物を探すのは、大震災後簡単であるが、問題なのは、最近竣工したばかりの公共施設やビル建造物があることである。これと同様の考えと思って良いと思われる首都圏。首都東京を中心に横浜等京浜工業地帯を包む関東平野。下は地下深く、どんどん二重、三重、幾重にも深く掘り下げ、天上はどんどん天高くビルやマンションを。東大地震研の震源分布を見てもらいたい。大きなトラフが関東平野にいくつ集まっているか。沿岸は、液状化などなんのその、所狭ましと埋立て、港を造り、工場を造る。これで、大地震が来て、なんともないと、立案、計画、施行しているとは霞ヶ関の方には白をきる気か。判っていてやっているから始末が悪い。“悪質”の一言。人命なんぞ糞食らえだ。若者に期待するしかない。子供は未来の宝者。若者の成長の芽を摘む大人が多すぎる。人命を大切にすることを最も必要としている時代。自然は宇宙（地球）の宝物。

IV. 地震予知について。台南市の16階建てマンション倒壊で、中にドラム缶がたくさんとある。手抜きでないよな！チベットかの話で、材料がないから、あるものを工夫して使う話。しかし、16階の高層ビルにというのは構造力学を無視した無知というしかない。予知に戻ると、中国で盛んな、漢方薬思想が基と思われる動植物までも活用した予知、地電流、地磁気、むろん地下水その他種々。日本は世界トップの海底地震計も含め、K-NET、KIK-NET、S-NETその他、一般公開されるすばらしい観測網を持つ。私はしかし、力学的には限界を感ずる。地球惑星科学的な考えが大事と考える。地磁気が最も有力と考えており、かなりの精度までの可能性有り。

Reference.

(1)YUUGI IINUMA: Historical Tsunami of Sendai Plain. 1995

キーワード：飯沼勇義、仙台平野の歴史津波、地震予知、陳情書、東北大震災、役所

Keywords: IINUMA YUUGI, Historical tsunami of Sendai plain, Predicting earthquakes, Petition, TOHOKU district great earthquake, Public office

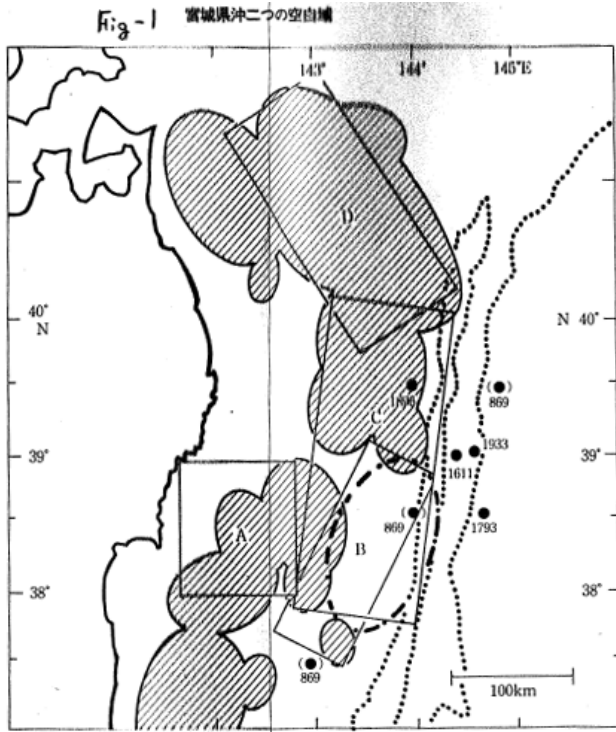


表2 仙台地方の巨大津波の発生海域の震央

巨大津波名	日本年号	西 暦	震 央	
			東 経	北 緯
(復讐) 仙台沿岸津波	?	700頃	?	??
貞観津波	貞観11年	869	143°-145°	37.5°-39.5°
慶長津波	慶長16年	1611	144.4°	39°
寛政津波	寛政5年	1793	144.5°	38.5°
明治三陸津波	明治29年	1896	144°	39.5°
昭和三陸津波	昭和8年	1933	144.7°	39.1°

- 空白域 (阿部 (阿部) 勝征, (1984) 地震の新層
モラルと津波シミュレーション
- B, C (羽島) (羽島) 徳太郎, (1994.6.15) JAGI
全国津波シミュレーション記録
- 1900年以降の地域
津波の波源域
- 巨大津波の震央
- (市域が大) 貞観津波の震央?

飯沼勇義著「仙台平野の歴史津波, 1995
YUUGI IINUMA P. 53, 54
Historical Tsunami of Sendai
Plain, 1995. P53, 54

東南海地震が先、南海地震(の前半のイベント)は同時か後～発生の「仕組み」を特定(あいまいな「連動」を追放)～

The To-Nankai E.q. is previous and the Nankai E.q. occurs after it or with it, Elucidation of that mechanism

*間瀬 博文¹

*Hirofumi Mase¹

1.なし

1.none

紀伊半島下のスラブの右回転が東南海地震そのものであり隣接する大地震も単純なプレート境界地震でないことを説明した(1)(2)(3)。今回は回転中心付近の詳細を研究した。南海地震の前半の、東南海より先に暴発できない仕組みの駆動部であった。(図面参照)(沈み込みプレート・スラブを下盤、下盤より上を上盤と呼ぶ)

断面図で上盤内の地震分布(4)曲線は、トラフのはるか手前で下盤に落下(降着部)しており不思議である。これは下盤の動きと大差がある場合上盤は結局独立しておれず追従するからと考える。降着部より海側はほぼ一体として振舞うからこそ地震の二重線は存在しない。相対的に東へ流れるマントルが下盤の縁を直接押し右回転させる力が回転駆動力(1)で、反作用は広く発生するが象徴的な6個で代表させた(Fig.1)。回転中心(支点)より西方(Area Aと呼ぶ)では反作用で確かに東西伸張域である。東西伸張域の境界と降着部はほぼ一致している(Sec.y1～Sec.y4)。つまりこれより海側(Area D)は東西伸張ではない。

支点より東方(Area B)では(Sec.y5～Sec.y8)、浅部より急降下しほぼ水平部を形成後下盤に合流し降着部となる。回転を伴い這い上がる下盤は前もって旋回させた上盤を擦りつつ巻き込み同化するからこそ水平の準備区間(旋回面)が形成されるのであろう。Fig.2で旋回面を黄色着色領域で、降着部を灰色着色領域(オレンジ色破線は中心線)で表示した。さらに東方(Area C)では降着部を確認できない(Sec.y9～Sec.y10)。ここでは下盤の回転が緩やか(半径大)で上盤が捕捉拘束される程でないからだろう。

高密度な「高速度体」が半島に接して上盤下盤を貫く(各図参照)(5)。頭部と胴体からなるヒト形で深度40kmが首である。頭部は円盤の如く深度25kmで全周が張り出すが西へなびく。Area Bでの運動と圧力は既存の「高速度体」を削る場合と逆に肉付けする場合があろう。首(Fig.1、深度40km青色着色)は細りながら止まるコアと考える。下盤はコアとの衝突で内回転(Area B)と外回転(Area C)に分かれ外回転は大回り(Fig.1、黒色破線矢印)なのでコアより南では東西分離必至である。海底に見えるCrack(c)(Fig.1, Fig.2、灰色実線)(6)がそれであろう。一方両盤の擦れ合いが碾臼の合面の如く圧力や密度増加をまねき、円盤状の頭部を形成すると考えるが深度25kmにて面对称ではない(Fig.1, Fig.2、ループ状コンタ)。上半分は南と西への物質の偏りが目立つ。

それを単純なモデル計算で浮き彫りにした(Fig.3)。内回転外回転分岐点であるコアの北端で極小値を得た。新宮-那智勝浦とフロント海底に相当し裂かれたり崩れた様な地形である(6)(Fig.2)から調和的である。一方南から西にかけては値が大きい内回転はそれらへ物質を運ぶので矛盾しない。ところで地震分布(4)はある位置でガクンと下がっている(Sec.xn, Fig.1, Fig.2、赤色破線)。下盤は内回転による物質の集積を段差形成で吸収するようで、以下の疑問への答えになろう。極大値の部分はさすがに高地であるが青色星印の辺りは低地(6)(Fig.2)。下半分のループ状コンタに顕著な特徴がなく下盤の変動が相対的に見えにくい疑問に対しても、「上部からの物質の補填や圧力の有無が関係する」と共に答となる。なお、極大値の部分より西方は赤色破線を越えて高地が続く(6)(Fig.2)が上盤構成物質の堆積場になっている故と解釈したい。

Fig.2の赤色矢印は、白浜が水色円の接線で円中心が固定点のような地殻変動ベクトル図(7)である。何も手を加えてない。正に内回転外回転が示された観測データである。東南海地震は青色星印にて下盤の潰れから始まった大規模な範囲での右回転だった(1)(Fig.1)。これは外回転である。一方碾臼の合面の干渉が主体の本格的な内回転には下盤の回転可と浅部進行可が必要、つまり外回転部分からの押圧軽減と浅部での先行破壊がほしい。東南海の2年後に青色星印から始まった南海地震(8)(9)以外にこの内回転の候補があろうか。このとき破壊はArea Aの降着部の西端まで及んだとしてむしろ当然で、これがイベント全体の前半(9)相当と考える。

(1)間瀬/JpGU2014/SSS29-P10 (2)間瀬/SSJ2014秋/S08-P11 (3)間瀬/JpGU2015/SSS31-P15 (4)AIST/地下構造可視化システム/気象庁震源カタログ/1995-2015/≧M1 (5)AIST/地下構造可視化システム/トモグラフィデータby

Abdelwahed and Zhao (2007)dVp (6)海保海洋情報部/プレート境界域の精密海底地形図 (7)国土地理院/最新の地殻変動情報/水平2005/10月期~2015/10月期固定中村 (8)~図面に記載

