

## 2016年4月1日 三重県南東沖の地震

2016年4月12日 梅田康弘

## 1. 地震の概要

4月1日11時39分、三重県南東沖（新宮市の南東50kmの海底）深さ14kmで、マグニチュード6.5（ $M_w$ : 5.9）の地震が起きました。震源に近い和歌山県古座川町で最大震度4を、大阪や京都では震度3を観測しました。高いビルに居た人は、ゆっくりした揺れを体感したそうですが、京阪神の多くの人は緊急地震速報で地震を知ったくらいで、揺れはほとんど感じなかったようです。

地震の規模がM6.5で、陸から離れていたこともあって大きな被害はありませんでした。ニュースでも、地震発生直後のお昼には大きく報じられましたが、そのあとはメディアの関心も遠のいていくようです。

しかし、この地震は前回の1944年東南海地震、1946年南海地震以降、まったくと言ってよいほど地震が起こっていなかった、いわば地震の空白域で起きた地震です。震源が海底だったこともあり、メカニズム解がピタッと決まっていませんが、おそらくプレート境界面の地震という公算が大きいです。そうだとしますと、前回の巨大地震と同じメカニズムですので“要注意地震”と言えます。

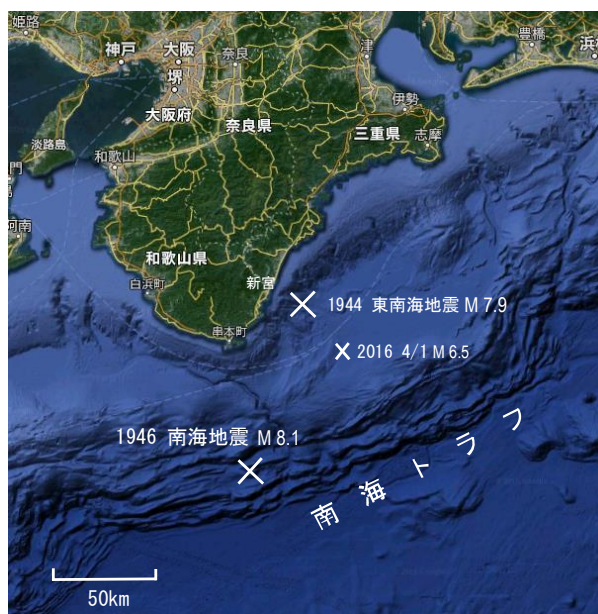


図1. 震央分布

## 2. メカニズム解と断層

1日の地震では発生直後、メカニズム解や余震分布に大きな乱れがあり混乱しました。想定南海トラフ地震との関連も2、3日は判断しかねる状況でした。そのいきさつも含め、メカニズム解のおさらい、余震分布そして南海トラフ地震との関連を述べたいと思います。

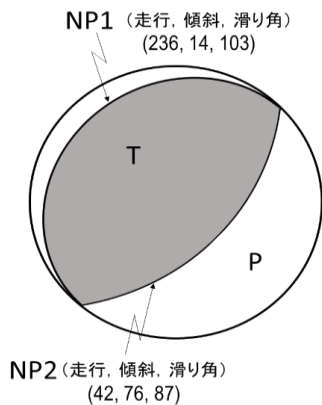


図2. USGSによるメカニズム解

に示したのが図3の右側の図で、フィリピン海プレートが紀伊半島の下に沈み込んでいく様子を描いています。プレート上面に仮定した断層面は少し見づらいですが、白抜きの菱形に見える部分です。

断層面の下端に赤い線 A-B の印をつけていますが、この線をそのまま左方へ平行移動させて左のボール（お椀）の内側に投影してみてください。ボールの内側に赤く引いた円孔ができますね。同じように、仮定した断層面と直行する面をボールに投影しますと、ボールの中では青色で示した曲線になります。この二つの曲線を真上から見て平面図にしたのが図2のメカニズム解の図で、図3のボールの中の赤と青の曲線は図2の NP1 と NP2 に対応しています。フィリピン海プレートの上面は NP1 の面と一致することがご理解いただけたと思います。

図2には“P”と“T”の2文字が記入されています。PはPressure Axisの頭文字のPで、圧縮軸のことです。図3右図のように、フィリピン海プレートが陸側をぐいぐい押していますので、その方向が圧縮軸つまりP軸になります。Tはそれと直行する方向でTension Axis（引張軸）の頭文字です。

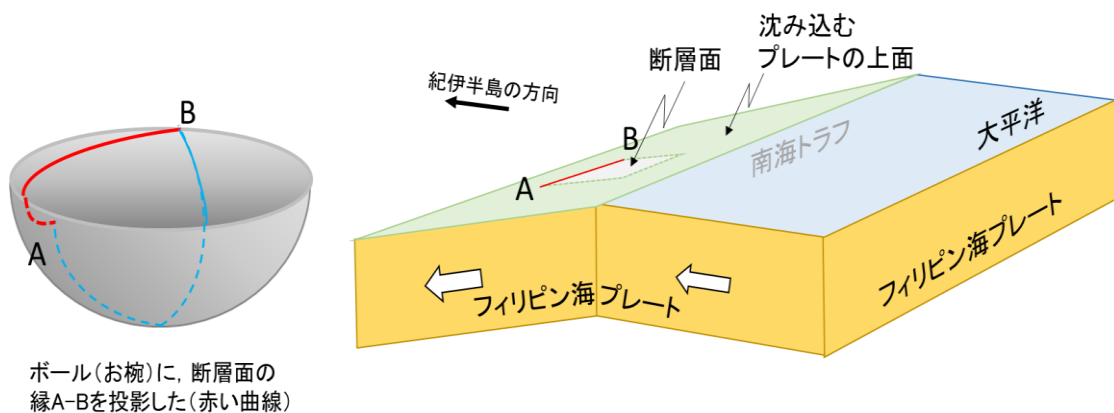


図3. 右：フィリピン海プレートと今回の地震断層。左：断層面をボールに投影した。

ここまでのおさらいでは、地震断層が図3右図のように決まってから、図2のメカニズム解を求めるかのように説明しましたが、実際はその逆で、図2が求められてから、図3の右のような断層面を推定します。図2の求め方は、第7回基礎講座で詳しく説明しましたので、ここでは省略しますが、次の節を見ていただいてもお分かりいただけます。

### 3. 決めにくいメカニズム解

初めの節で、メカニズム解がピタッと決まっていなかったと申しましたが、地震の当日はメカニズム解がいくつか提案され混乱していました。ここではUSGSのメカニズム解を採用して説明していますが、防災科学技術研究所(NIED)のメカニズム解は、断層の傾斜角(図1のNP1に対応する角度)が46度となっており、逆断層ではありますが低角ではありません。プレートの沈み込む角度より高角ですので「分岐断層」がずれた可能性も想定しました。

震源が海底、特に太平洋側にありますと、陸側の地震観測網が、震源の西側に偏ってしまうため、メカニズム解が求めにくくなります。おさらいを兼ねて、その困難さを説明します。図4は第7回基礎講座で用いた2000年鳥取県西部地震のメカニズム解を求める説明図です。左の図は各観測点の初動(P波)の押し・引き分布を黒丸・白丸で示しています。震源(赤印)を囲んでこのようにたくさんの押し引き分布がありますと、ふたつの接線(接面)はピタッと決まります。右のメカニズム解は誰が決めてもほぼ同じになります。

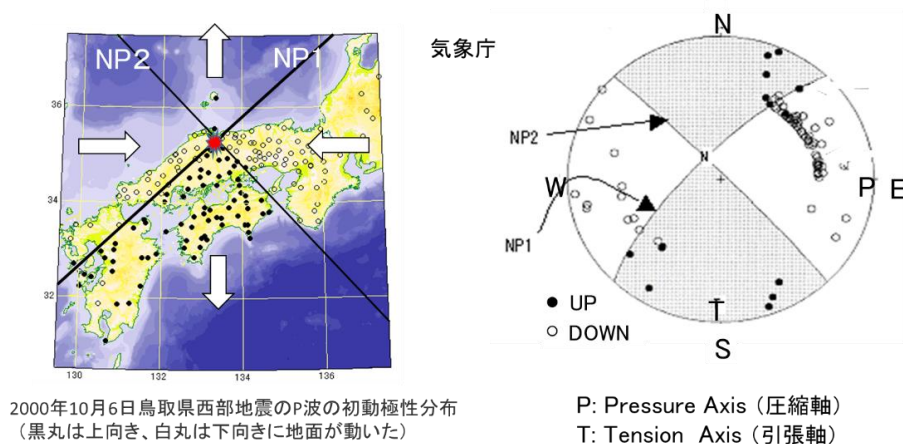


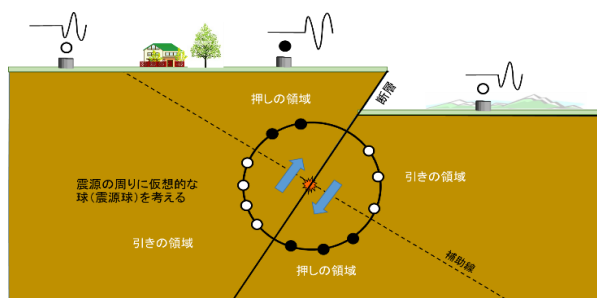
図4. 2000年鳥取県西部地震のメカニズム解.

しかし今回の地震のように、紀伊半島の南東沖の海底が震源ですと、日本の地震観測網は北西側に偏ることになります。そういう場合でも外国のデータ、地球の反対側のデータも使えば、比較的にまんべんなくデータが揃います。そのために図4左のような平面図でなく、同図右のような震源球(マスコミ用語ではビーチボール)にわざわざ投影しているのです。

押し引き分布の断面図(第7回基礎講座の図4)の逆断層を今回の断層面と見立てて図5に示しました。震源球(図では円)の左の白丸が日本列島の観測網のデータになります。また、今回の地震では震源の真上にDONETという海底観測システムが展開されていまし

た. 図5では, 真上の黒丸のデータが得られたこととなります. それでも右の白丸の領域は太平洋になりますので, ほとんどデータはありません. 震源球に模式的にプロットしますと図6のようになってしまいます. このデータからふたつの接面 (NP1 と NP2) を引こうとすると任意性 (自由度) が高く, 悪く言えば, どのようにでも接面が描けるということになります. これが観測点が偏っている場合の困難さです.

もう一つの大きな問題は, 地球内部の構造, 特に地震波の速度構造です. もし地球の内部がまったく均質だったら簡単なのですが, 「地震波の伝わり方」でお話ししましたように, 震源から出て行った波はまっすぐ進まずに曲がって進みます. その曲がり具合は地震波の速度構造に依存します. 速度構造がきちんとわかっていめんと, 遠方の観測点のデータを図5の震源球に投影したときに間違ったところにプロットされてしまいます. 結果的に間違ったメカニズム解が求められることとなります.



5 縦(断面)で見た震源球

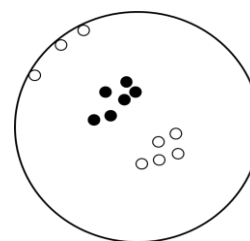


図6 観測点が偏っていると接線はいかようにも引ける

以上は主に P 波 (初動) でメカニズム解を求める場合の説明でしたが, 波形全体を使って大きなエネルギーを放出したところのメカニズム解, CMT 解を求める場合の困難さも全く同じです. このように, 地震波の速度構造はメカニズム解を求める際にはもちろん, 次節で述べる震源決定の際にも大きな影響を及ぼします.

#### 4. 断層面はどちらか?

メカニズム解が求められても, ふたつの接面のうち実際に動いた断層面はどちらかを決めなくてはなりません. 震源が陸上ですと国土地理院の GEONET (GPS 連続観測システム) で即座に判明するところですが, 海底には地殻変動を観測する観測点はまだ十分にありません. 決め手になるのは余震分布です. 前節で述べたように, 震源の真上には DONET という海底観測システムがあり, 今回はこのデータが非常に有効でした.

ところが震源決定でも混乱が起きました. 自動震源決定では DONET のデータに加え陸上の観測点データも使います. 陸上の観測点は震源から距離がありますから, 直近のデータよりも地下構造 (この場合は地震波の速度構造) の影響を大きく受けます. 構造が正しくわかっておれば問題ありませんが, そうでないと遠方のデータは震源決定に悪影響を及ぼし

ます。

こういうこともあって、最初の自動処理された震源分布は、プレート境界に沿った分布と、それに直交するような縦の分布が見られました。メカニズム解で言えば、NP1 と NP2 が同時に割れた地震で、当初私はプレート境界が滑ると同時にプレートの中も断ち切られたのかなと思いました。しかしこれは震源決定の不確かさでした。

遠方のデータは途中経路の影響を大きく受けているので、こういう場合は、直近のデータだけ使って震源を決めなおすのがコツです。つまり DONET と震源に近い紀伊半島沿岸部の一部のデータだけを使って震源を再決定しますと、余震はプレート境界のみに分布しました。結局、断層はプレート境界だったことがわかりました。

## 5. 2004 年の地震

第 1 節で 1 日の地震は地震空白域で起きた地震と申しました。そのことに訂正はありませんが、2004 年 9 月 5 日に今回の地震の東南東 80 km の所で M 7.1 の地震が起きています。この時は 5 日の 19 時 09 分に最初の地震 M 6.9 が起こり、23 時 57 分にはさらに大きい M 7.4 の地震が起こりました。震央とメカニズム解を、防災科学技術研究所の資料から引用して図 6 に示しました。一番東の M6.6 の地震は 9 月 7 日 8 時 29 分に起こった最大余震です。この時も、地震活動の低いところで、しかも東南海地震に近いところでしたので、一時はすわっ一大事と思いました。しかし震源は南海トラフの外側で、メカニズム解から推定される断層面は高角でしたので、想定南海・東南海地震とは直接関係はないだろうと、ひと安心しました。この地震ではフィリピン海プレートの中が傾斜角 50 度～60 度で断ち切られるような断層面が推定されました。

2004 年の地震の時は、メカニズム解を求める困難さから、東京大学が中心となって、たくさんの海底地震計が投入されました。この時の地震計は自己浮上型と言ってある日数経過すると海上に浮き上がってくるシステムで、地震計を回収しないとデータ解析ができませんでした。

## 6. 想定南海トラフ地震との関連

1 日の地震は、しっかりくっついている（はずの）フィリピン海プレートとユーラシアプレート

の 1 部がはずれたものです。もっとも M6.5 から推定される断層の大きさは 30km に満た

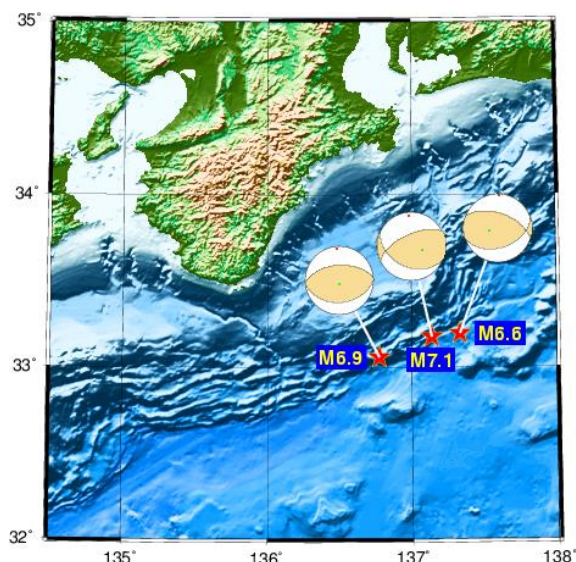


図 6 2004 年の地震, 防災科研の資料より

ないですから、想定南海地震の全長 700km から見ればごくわずかです。もし南海トラフ地震が臨界状態に達していたら、巨大地震を誘発したかもしれません。

2011 年の東北地方太平洋沖地震（以下では簡単に 3.11 の地震と呼ぶ）では、2 日前の 3 月 9 日 11 時 45 分に M 7.3 の地震が、3.11 の地震の北東 44km の所で起きました。この地震もプレート境界で起きた低角逆断層の地震でした。余震も活発でしたが、その時点では本震—余震と、我々は理解していました。後でわかったことですが、余震は南西に拡大し、余効変動も南西方向、つまり 3.11 の巨大地震の方向に伸びていきました。結果的には 3 月 9 日の地震は 3 月 11 日の地震を誘発したと考えられています。

今回の 4 月 1 日の地震でも、直後は巨大地震の誘発が非常に懸念されました。しかし今の所（4 月 12 日）余震は収まって、誘発の危険性はなくなったと言っていいでしょう。1946 年の南海地震から 70 年を経ています、これまでにわかっている繰り返し間隔 90 年～150 年から見ると、まだ臨界状態ではないだろうと思われます。東北の場合も 3 月 9 日の地震とほとんど同じところで 1958 年に M 6.7 の地震が起りましたが、この時は本震—余震型で収束しています。東北の場合も 53 年前は臨界状態でなかったと言えるかもしれません。

## 7. スロースリップと微動

3.11 の地震では、本震の前に 2 回（2 月と 3 月に）震源付近でスロースリップ（ゆっくり滑り）が起こっていたという研究報告があります。今回はまだそのような、震源付近でのスロースリップの報告は聞いていませんが、防災科研の報告によりますと、震源域では超低周波地震の活動はあったそうです。DONET の解析が進んで、スロースリップの有無などの情報が得られることが期待されます。

震源とはかなり離れたところですが、奈良県南部の直下 30～40 km 付近で、3 月 30 日頃から微動が起こっていました。微動はフィリピン海プレートが深さ 30～40 km ほど沈み込んだあたりで、通常の地震とは違ってズルズル滑る小さな振動です。この微動は 4 月 1 日の地震の時にはほとんど終わっていましたが、この地震あとから、今度は三重県中部で活発になりました。毎日の微動の分布図は広島大学の「ATMOS」（参考資料）で見ることができますが、それを見ますと、この微動も 4 日には終わっています。

紀伊半島直下の微動とそれに伴うスロースリップは、毎年 1, 2 回起こっていますが、今回のようなプレート境界で起きた地震の前後でどのように変化したかという研究も地震予知に向けての重要な課題です。と言うのも、こういう微動やスロースリップが拡大することが、巨大地震を引き起こす要因になるとも考えられているからです。

## 8. まとめ

4 月 1 日の地震は、南海トラフ巨大地震と同じ性質の地震でした。地震の規模が M 6.5 と小さくとどまりましたが、もし破壊が拡大していったら巨大地震になった恐れはじゅうぶんありました。前回の 1944 年東南海地震や 1946 年南海地震の前はどうだったのでしょうか。

今回と同じような地震は無かったのかどうか、関心がもたれるところです。残念ながら戦中・戦後で地震観測は十分機能していませんでしたが、少なくとも M6 以上の地震は無かったようです。小さな地震はあったらしいという証言はありますが確かではありません。

3 節でメカニズム解を求めることの困難さを述べましたが、昭和の南海地震のメカニズム解を求める際のデータは図 5 よりもはるかに乏しく、当初はいかようにも解釈でき、長らく論争が続いていました。プレートの概念が確立されて、ようやく「低角逆断層」で決着がつかしました。しかし、これは概念から決着したのであって、データからではないため、初動解についてはまだくすぶりもあります。

今回は収束したとは言え、固着しているプレートの一部が外れたわけですから、危ない地震です。新設された DONET の直下で起きた地震ですので、プレート運動との関連についての解析が進むことが期待されます。また、発生した地震の断層面がプレート面なのかどうかの判断も早期に、できれば瞬時にできるようになることも期待されます。メカニズム解を素早く読み解くためにも、今回はメカニズム解をおさらいしながらやや詳しくご説明しました。

## 9. 引用文献と URL

防災科学技術研究所 2004 年の地震については、

<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/se-off-kii040905/?LANG=ja>

DONET の観測結果は、

[http://www.bosai.go.jp/saigai/2016/pdf/20160401\\_01.pdf](http://www.bosai.go.jp/saigai/2016/pdf/20160401_01.pdf)

広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻

微動自動モニタリングシステム

<http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/>

左のメニュー画面で「1 日画像」を選び、地域は「紀伊半島」。

地震本部 → 毎月の地震活動 → 2016 年 3 月（4 月 1 日の地震の報告が載っている）

[http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016\\_03.pdf](http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_03.pdf)