

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の実施状況等の レビュー草稿に対する意見・コメント

○ 全般的な意見

齋藤委員

津波予測に関する記述が多いように感じます。東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、津波予測に関する研究や津波予測システムの技術開発は重要課題ではありますが、本予知観測研究計画の対象範囲でないのではないかと考えています。津波の生成過程の理解や、津波の予測手法の開発などは建議の中に出てはきますが、震源過程の解明に資するという意味合いが大きいと考えており、津波の伝搬に関する研究などはもともと建議に入っていなかったのではないかと考えています。津波予測（特に、生成過程ではなく伝播や予測システムなど）に関する研究成果や今後の展望などを記述するのであれば、現在の建議の項目のところではなく、東北地方太平洋沖地震の今後に向けてのところに記載するか、新たに項を起こした方がよいのではないかと考えます。

津波のことについては、一部にしか意見を出していませんが、全体としてどう取り扱うか検討していただければと思います。

飛田委員

1. 用語の統一

次の用語については、例えば 前回レビュー、建議、建議の用語解説 と同様に用語を統一することが望ましいと思います。

- | | |
|-----------------------------|--------------|
| ① Mw → M | 「前回レビュー」に統一 |
| ② すべり → 滑り | 「建議」に統一 |
| ③ SSE, スロースリップイベント → ゆっくり滑り | 「建議 用語解説」に統一 |
| ④ トモグラフィ → トモグラフィ | 「建議 用語解説」に統一 |
| ⑤ プレート境界型地震 → プレート境界地震 | 「建議」に統一 |

2. 体裁について

- ① 句読点を統一。 参考：前回レビューは「、」と「。」、建議は「,」と「。」。
- ② 「2008 年」、「GPS データ」等のように英数字の後にある不要な半角空白を削除。

3. 機関名を主語とするかどうか

前回レビューでもそうなっているように、「実施状況」は機関名を主語とし、「成果」は機関名が主語とならないように書くことを原則としてはいかがでしょうか。

宮澤委員

複数項目にわたり、東北沖地震発生を受けての「アスペリティモデル」のレビューがされていますが、書き手によってニュアンスが異なっている気がします。モデ

ルに対してやや楽観的な意見から、厳しい意見まで多少幅があるように思えます。私の意見はさておき、委員会で細部を議論するに先立ち、考え方をまとめておいた方が良くと思います。

山岡科学官

松沢委員がまとめたⅢ章5. 6. 7. を根拠にして、特にプレート境界型地震についての地震規模をコントロールする要因を解明することが重要であることがわかった。その要因となる、構造、摩擦則、破壊様式などについて、千島海溝・日本海溝・南海トラフ・琉球海溝において実証的に研究する必要がある点について記述してはどうでしょう。

○ Ⅲ章に対する修正意見・コメント

Ⅲ. 2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震

1. 本震

<1>

原案 : 不確定性

修正意見 : 不確実性

修正理由 :

委員名 : 宮沢委員

<2>

原案 : 基本的に短周期の波はプレート境界深部の陸に近いところから多く放出され、海溝軸近傍からは長周期の波が放出されたと推察される。

コメント : 文章上、根拠がわからない。

委員名 : 山岡科学官

2. 余震・誘発地震・余効変動

<3>

原案 : 本震の直後から、日本の広い領域で地震活動が変化した。東北地方では・・・

コメント : 誘発地震等について、東北地方の事例だけが述べられている。東北地方以外でも被害が出た誘発地震も発生しているので、それらについても言及すべきである。

委員名 : 三浦委員

<4>

原案 : そのほとんどは ΔCFF の変化で説明できる。

修正意見 : そのほとんどは ΔCFF で説明できる。

修正理由 : “ Δ ”に変化が含まれている。

委員名 : 齋藤委員

<5>

原案 : 余効滑り

コメント : この箇所のほかにも記述のある「余効滑り」は、余効変動を含めて用語統一の必要があるのではないか。

委員名 : 宮沢委員

<6>

原案 : 本震の滑り量は主として海溝軸近傍で大きかったが、余効滑りは岩手県南部から宮城県にかけての海岸線のすぐ沖で顕著に生じている。ただし、陸の下の余効滑りは、・・・

修正意見 : 本震の滑り量は主として宮城県沖の海溝軸近傍で大きかったが、余効滑りは岩手県南部から宮城県にかけての海岸線のすぐ沖や千葉県沖で顕著に生じている。ただし、岩手県南部から宮城県にかけての海岸線のすぐ沖の陸の下の余効滑りは、・・・

修正理由 : 千葉県沖の余効滑りも一つのピークとして推定されているので言及すべきである。

委員名 : 三浦委員

3. 前駆的活動

<7>

原案 : 前駆的活動

修正意見 : 先行現象

修正理由 : 建議のなかで、「前駆的」という言葉が使用されているは一ヶ所だけ(5ページ)であり、「先行過程」「先行現象」が多用されているため。「3. 先行現象」がふさわしい。

委員名 : 三浦委員

<8>

原案 : 陸上のひずみ計や傾斜計のデータでは3月9日の地震の余効滑りは捉えられているものの、

コメント : この「傾斜計」がHi-net高感度加速度計のことを指すとしたら、「3月9日の地震の余効滑りは捉えられている」という事実はありません。大学の横穴などの傾斜計の記録を念頭においた文言であれば問題ない。

委員名 : 棚田委員

<9>

原案 : モーメントマグニチュード(Mw) 6.2-6.3

コメント : 前震の余効滑りに対応しているとする、海底圧力計データを用いた最近の東北大の推定結果では、Mwは7.0とのことである。

委員名 : 三浦委員

<10>

原案 : この前震活動域は本震の震源域の中に含まれており、また本震の滑り量の大きかった場所に位置している

コメント : このように断定できるのか疑問である。

委員名 : 三浦委員

<11>

原案 : また、本震発生約40分前から、震源域上空の電離圏で、最大1割近くに達する総電子量(TEC)の正の異常が認められ、同様の異常は2004年のスマトラアンダマン地震や2010年のチリ地震でも認められていた。

修正意見 : また、総電子数(TEC)の地震前後の時系列を解析したところ、震源域上空の電離圏で、本震発生の約 40 分前から最大 1 割近くに達する総電子量 (TEC) の正の異常が認められ、同じ解析を 2004 年のスマトラアンダマン地震や 2010 年のチリ地震に適用すると同様の TEC の異常が認められた。

修正理由 : 「40 分前から認められ」と誤解されたり、「巨大地震の前に、チリ地震等で異常が認められていた」と誤解されたりする可能性があるので書き換えを提案します。

委員名 : 飛田委員

4. 過去の巨大地震とテクトニクス

< 1 2 >

原案 : 1611 年慶長地震については津波堆積物の分布はよくわかってないが、三陸で大きな津波があったことは知られており、今回の地震と類似していると考えられる。

修正意見 : 1611 年慶長地震については津波堆積物の分布はよくわかっておらず、震源域の推定のためには更なる調査が必要である。

修正理由 : 1611 年慶長地震が今回の地震と類似しているかどうかのデータは不十分であると考えため。

委員名 : 小泉委員

< 1 3 >

原案 : このため、いつか巨大なゆっくり地震が深部で発生するか、あるいは海岸付近を震源域とする巨大な地震がもう一度起こって、ようやく深部の余効滑りが大規模に生じるという二通りのシナリオが考えられる。

修正意見 : 1 このため、もし長期的な隆起が継続するのであれば、いつか巨大なゆっくり地震が深部で発生するか、あるいは海岸付近を震源域とする巨大な地震がもう一度起こって、ようやく深部の余効滑りが大規模に生じるという二通りのシナリオが考えられる。

修正理由 :

委員名 : 宮澤委員

5. マグニチュード 9 の地震が想定できなかった理由

< 1 4 >

原案 : (修正箇所は特定できないがこの節の最初の方)

修正意見 : モデル化の対象が近代的なデータに偏り過ぎ、これが地質学的な時間の中ではごく一部に過ぎないという視点が欠けていたというような記述を追加すべき。

修正理由 : 全体にどう間違ったかが書いてあるが、なぜ間違ったかは書いてないように感じる。上記文章をどこかに入れるべきと考える。

委員名 : 小泉委員

< 1 5 >

原案 : マグニチュード 9 の地震が想定できなかった理由

修正意見 : マグニチュード 9 の地震が予測できなかった理由

修正理由 : 広辞苑によれば、「想定」の意味は、「ある一定の状況や条件を仮に思い描くこと。『事故を想定して訓練する』とある。本計画のレビューとしての使用は不適切である。

委員名 : 三浦委員

< 1 6 >

原案 : (3) 100 年の測地測量の結果では、東北地方では短縮よりも伸張が卓越していたこと

コメント : 三角・三辺測量の結果は確かに指摘の通りである(石川・橋本、1999)が、時間軸上に 4、5 点しかない時系列から得られた結果であること、系統誤差の影響を受けやすい測定手法であること、などを考慮すれば、本節での議論には耐えられないのではないか。また、よく知られているように潮位データでは、基本的に太平洋沿岸は沈降場であり、最近 10 年で傾向が大きく変わったようには見えない(<http://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/touhoku/touhoku.html>)。さらに、水準データの解析では、例えば Ueda et al. [2001]は、1974-1966 と 1995-1985 の 2 期間ではよく似た変動のパターンを示しており (Fig.5)、これらの inter-seismic の期間にはカップリングが強かったと述べている。本節中の 100 年の三角・三辺測量の結果に基づく議論についても、同様に見直しが必要と考える。

文献

石川典彦・橋本学 (1999), 測地測量により求めた日本の地震間の平均的な地殻水平ひずみ速度(II), 地震第 2 輯, 52, 299-315.

Ueda H., Ohtake M. and Sato H., Afterslip of the plate interface following the 1978 Miyagi-Oki, Japan, earthquake, as revealed from geodetic measurement data, Tectonophysics, 338, 45-57, 2001.

委員名 : 三浦委員

< 17 >

原案 : (3) 100 年の測地測量の結果では、東北地方では短縮よりも伸張が卓越していたこと、(4) GPS で大きな滑り遅れが検知されていた時期はプレート境界型地震の活動も極めて低調な時期であった等の理由により、2000 年代初頭までに見えていた大きな滑り遅れは一時的なものであり、やがては M6~7 級の地震やその余効滑りで、滑り遅れのかなりの部分が解消されると考えられていた。

修正意見 : 100 年の測地測量の結果では、東北地方北部太平洋側では東西方向の短縮がほとんど見られないこと等は固着が弱いことを示唆する。一方 1990 年代末から 2000 年代初頭にかけて GPS で大きな滑り遅れが検知されていたが、この固着が強い時期はプレート境界型地震の活動も極めて低調な時期であり、(1) から (3) を考慮すると、大きな滑り遅れは一時的なものであり、やがては M6~7 級の地震やその余効滑りで、滑り遅れのかなりの部分が解消されると考えられていた。

修正理由 :

委員名 : 森田委員

< 18 >

原案 : と判断すべきとする考え方もある。

以上のように東北地方太平洋沖では、

修正意見 : と判断すべきとする考え方もある。

また歴史的な地震活動記録からみても、福島県沖の領域での活動は低調であったために、このような大きな地震が認識されていなかった領域では、GPS 観測から推定される海域ひずみの分解能の限界も考慮して、ゆっくり滑りによりひずみを解放していると解釈してきた。

以上のように東北地方太平洋沖では、

修正理由 :
委員名 : 宮澤委員

6. マグニチュード9の地震規模に達した理由

<19>

原案 : また、100年の測地測量の結果からは、この100年で滑り遅れが蓄積されていないように見える。

修正意見 : また、100年の測地測量は、この100年で滑り遅れが蓄積されたことを必ずしも示していない。

修正理由 :
委員名 : 森田委員

<20>

原案 : 滑り遅れが蓄積され

コメント : GPS解析により明らかになっていた大きなバックスリップよりを凌駕しているのか。

委員名 : 宮澤委員

<21>

原案 : 今回の震源域の幅は200kmに達し、しかも海溝軸を滑りが突き抜けたと考えられるため、海溝付近で最大滑り量が約50mに達したとしても、応力降下量はせいぜい10~20MPa程度にすぎない。逆に言えば、20MPa程度の強度があれば、海溝軸近傍で最大50m程度の滑り遅れを保持できることになる。

修正意見 : 今回の震源域の幅は200kmに達し、しかも海溝軸を滑りが突き抜けたと考えられるため、応力降下量はせいぜい10~20MPa程度であっても、海溝軸近傍で最大滑り量が50mに達したことが説明できる。

修正理由 : ここが重要なポイントなので、もう少し明確に表現した方が良い。

委員名 : 山岡科学官

<22>

原案 : 通常は、残留剪断応力がゼロになるまで応力降下するような地震は生じないので、応力降下量はさらに小さいと推測され、また、規模の小さな地震が生じることによって滑り遅れを少しずつ解消していたと考えられる。100年くらい前までに、3月11日直前と同程度の滑り遅れが蓄積されていて、それ以降蓄積された分は、より小さな地震で解消されていたと考えれば、この100年の測地測量の結果は説明可能である。

修正意見 : 通常は、残留剪断応力がゼロになるまで応力降下するような地震は生じないので、強度はもう少し高かったかもしれない。また、巨大地震の発生サイクルの最後の数十年は滑り遅れの蓄積が遅くなったと考えれば、100年の測地測量の結果に大きな滑り蓄積が見られなかったことは説明可能である。

修正理由 :
委員名 : 森田委員

<23>

原案 : 一方、速度弱化域が広域に広がっていると仮定すれば広大な滑り域は説明しやすくなる。

修正意見 : 一方、速度状態依存摩擦構成則で言うところの速度弱化域が広域に広がってい

ると仮定すれば広大な滑り域は説明しやすくなる。

修正理由 :

委員名 : 宮澤委員

7. 今後に向けて

< 24 >

原案 : 特に、地震後の余効変動は、今回の地震像を明らかにするうえで重要なだけでなく、地震サイクルの全体像を明らかにするうえでも重要であり、さらにどこで大きな余震や誘発地震が起こるのかを予測するうえで重要な情報となる。特に地震発生直後は、その変化速度が一番大きいと期待されるため、なるべく早い段階で詳細な測地測量・地殻変動観測・地震観測を行い、後年のデータと比較するための基礎データの取得を行うことが必要となる。

修正意見 : 特に、地震後の余効変動は、今回の地震像を明らかにするうえで重要なだけでなく、地震サイクルの全体像を明らかにするうえでも重要であり、さらにどこで大きな余震や誘発地震、火山噴火が起こるのかを予測するうえで重要な情報となる。特に地震発生直後は、その変化速度が一番大きいと期待されるため、なるべく早い段階で詳細な測地測量・地殻変動観測・地震観測・火山観測を行い、後年のデータと比較するための基礎データの取得を行うことが必要となる。

修正理由 :

委員名 : 棚田委員

< 25 >

原案 : なかでも、当初の予想と異なり、

修正意見 : なかでも、地質・地形学的な状況証拠が示唆する東北地方の長期的な隆起と矛盾し、この隆起を説明する仮説と異なり、

修正理由 : 「2. 余震・誘発地震・余効変動」に対するコメントに同じ。

委員名 : 宮澤委員

< 26 >

原案 : また、今回、海溝付近で大きな滑りが生じた領域は一部にすぎないが、海溝軸に沿って大きな滑りを生じる可能性のある他の場所が無いかどうかを調べる必要がある。このためには、海溝軸近傍での海底地殻変動観測を多点で行い、滑り遅れの分布を求めることが重要となる。海溝付近の超低周波地震によるひずみの解消速度の推定も必要である。また、このような大きな滑り量の領域が海溝付近で生じた理由を理解するために、海溝軸近傍での深部ボーリング調査が有効と考えられる。

修正意見 : また、今回、海溝付近で大きな滑りが生じた領域は一部にすぎないが、海溝軸に沿って地震時に大きな滑りを生じる可能性のある他の場所が無いかどうかを調べる必要がある。そのためには、海溝付近でのひずみエネルギーの解消様式について多面的な研究が必要となる。分岐断層の分布やすべり履歴もふくめ、広範な構造調査を行うとともに、このような大きな滑り量の領域が海溝付近で生じた理由を理解するために、海溝軸近傍での深部ボーリング調査が有効と考えられる。また、海溝軸近傍での海底地殻変動観測を多点で行い、滑り遅れの分布を求めるとともに、海溝付近の超低周波地震によるひずみ

の解消速度の推定も必要である。

修正理由 :

委員名 : 山岡科学官

<27>

原案 : 海溝付近の滑りの大きな領域をアスペリティと考えれば、これまでのアスペリティモデルに大きな修正は不要となる可能性があるが、それに固執することなく、・・・

コメント : 大きく滑った領域という意味での「アスペリティ」だと思いますが、いわゆる「アスペリティモデル」の下りは別の話かと思います。全否定をする訳ではありませんが、寧ろこのようなことは書かない方が良いのでは。例えばここは、「アスペリティ(=地震性領域)とそれ以外の領域(=非地震性領域)という二元論的アスペリティモデルに固執することなく、より柔軟なモデルを構築し、考慮していくことが必要である。」

委員名 : 宮澤委員

<28>

原案 : 海溝付近の滑りの大きな領域をアスペリティと考えれば、これまでのアスペリティモデルに大きな修正は不要となる可能性があるが、それに固執することなく、・・・

コメント : 以下のような内容ではどうでしょうか。「アスペリティモデルと摩擦則との対応関係は破綻したわけではない。しかし個々のアスペリティは地震時の滑りがいつも同じである(つまりM00のアスペリティ)という単純なモデル化から脱却し、海溝沿いの境界条件やアスペリティの相互作用などの空間不均質性の効果や、摩擦発熱などの動的効果を考慮したシミュレーションを発展させ、プレート境界における地震の発生様式についての理解を深めていく必要がある。」

委員名 : 山岡科学官