

南海トラフ沿いの大規模地震の  
予測可能性に関する調査部会  
(第2回)  
議 事 録

内閣府政策統括官（防災担当）

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会（第2回）  
議事次第

日 時：平成24年8月6日（月） 16:00～19:25

場 所：中央合同庁舎5号館3階特別会議室

1. 開 会

2. 議 事

・南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について

・その他

3. 閉 会

# 1. 開 会

○藤山参事官 長尾委員は近くまで来ているようです。時間が過ぎておりますので始めたいと思います。「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」第2回会合を開催いたします。

委員の皆様には御多忙の中、御出席いただきましてどうもありがとうございます。

本日はゲストといたしまして、1946年南海地震前の地下水変化と地殻変動について御説明をいただくため、産業技術総合研究所の小泉主幹研究員に御出席いただいております。

また、大震法制定前後の状況について御説明いただくために、特定非営利活動法人環境防災総合施策研究機構の川端総務理事に来ていただいております。

また、GEONETによるプレート境界面上の断層すべりの検知能力について御説明いただくため、国土地理院の水藤主任研究官、気象庁の東海地震予知業務について御説明いただくため、気象庁の土井地震予知情報課長に御出席をいただいております。

それでは、お手元に配付しております本日の資料を確認させていただきます。

議事次第、座席表、委員名簿、次回開催予定。

産業技術総合研究所提供資料、非公開資料1、川端信正氏提供資料、松澤委員提供資料、国土地理院提供資料、気象庁提供資料、議事概要（案）がございました。

机上に川端氏から御提供いただいた「しずおか防災地域連携土曜セミナー講演録」と、小泉主幹研究員から提供いただいた「愛知県新居浜市と愛知県西尾市における東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備」を配付させていただきます。

資料はよろしいでしょうか。

議事に入ります前に、前回、会議開催の冒頭に御議論いただきました議事概要、議事録の公開、非公開についてですけれども、議事概要は発言者を伏せた形で公表。議事録につきましては検討会終了後1年を経過した後、発言者を記して公表することとしたいと思います。

また、議事概要につきまして山岡座長より、報告の部分と意見の部分がわかるようにとの御意見をいただきましたので、机上に配付しております議事概要の案のように作成したいと思っております。

本日の資料につきましては、産業技術総合研究所提供資料は公開資料、それ以外につきましては非公開資料となっております。

以降の進行は山岡座長にお願いしたいと思います。よろしく申し上げます。

## 2. 議 事

○山岡座長 今、議事概要につきまして御説明いただきましたけれども、この形でのよろしいでしょうか。全部まとめると報告と意見の区別がつかないので、報告の部分と意見の部分はわかるように書くことにしました。よろしいですか。一応、前回の議論についてポイントはまとめていただいたと思いますし、委員の先生方にも事前に意見を照会していると思うので、よろしいですね。今日の議事概要も事前に照会いただきますので、そのときに多少付け加えたり削ったりすることがあれば、また御意見ください。ということで、この議事概要は了承ということでお願いいたします。

それでは、今後の各回の検討内容について事務局から御説明をお願いいたします。

○横田参事官 それでは、今後の検討スケジュールですが、前回と少し説明いただく内容も増えておりますので、予定を変えております。非公開資料1を見ていただければと思います。前回第1回、今回は第2回でございますが、第3回は9月13日、10時から12時半までの2時間半とさせていただこうと思います。第4回が9月24日、17時から19時半までの2時間半をお願いしたいと思います。

前回提示した資料は第5回で最終にしていたのでございますが、少し資料をまとめたりいろいろするのに資料が多くなりましたので、申し訳ございませんが、第5回に加えて第6回で最終とりまとめ案についての打ち合わせができるように、10月は2回開催したいと思います。日程については改めて担当の方から調整をさせていただきますので、どうぞよろしくお願いいたします。

9月の第4回が終わった段階で報告とりまとめ骨子について、こちらの方から示して御意見いただこうと思いますが、この第4回が終わった段階で検討のポイント、収集整理のポイントをまとめて座長と相談させていただきながら、上の親委員会のワーキングの方に非公開で報告させていただいて、まとめに当たって何か指示があるかどうかを含めて確認をして、そして最終報告のとりまとめに入りたいと思います。そのような形で整理をしたいと思いますが、よろしいでしょうか。

○山岡座長 ありがとうございます。

今、横田参事官から御説明がありましたけれども、今後の予定についてこのような流れで行いたいということですが、御意見、御質問等あればよろしく申し上げます。途中でも何か少し委員の方々から、こういうことを議論したらいいのではないかとということがあれば、若干の付け加えは可能ですか。

○横田参事官 第5回のところの上に報告等と書いてございますが、これは特にまだ予定は入れていないんですけれども、そういうことがあれば報告いただけるような形で予定しておきたいと思います。

○橋本副座長 10月末までに報告書を出さないといけないというデューティがあるんですか。

○横田参事官 一応、年内、年度内に向こうがとりまとめるに当たって、ただ、検討の最終報告書をどういう形でまとめて公表するかというのは別にしても、検討のポイントが上の方のワーキングに渡っていれば、彼らの方で議論を整理していきながらまとまるまでに最終報告というのがありますので、これは少し整理で遅くなるということがあっても構いません。

○橋本副座長 現実的に10月は学会のシーズンで。

○山岡座長 10月に2回できるかというスケジュール的な問題ですね。

○横田参事官 では11月の中ごろぐらいまで日程調整をさせていただきます。

○山岡座長 前は第5回で大体とりまとめということでしたので、できるだけ第4回、5回辺りで大枠が決まっていて、詳しい文言等はもう一回プラスしてやる。10月2回というのは難しいかもしれませんが、けれども、余り拙速になってもいけないので、スケジュールを気にせずに委員の先生方も何かこれを議論したいということがあれば、事務局にお知らせください。よろしいですか。

それでは、次に進ませていただきたいと思います。次は1946年南海地震前の地下水変化と地殻変動についてということで、産業技術総合研究所の小泉主幹研究員から資料の説明をしていただきます。よろしく願いいたします。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 1946年南海地震前の地下水変化と地殻変動ということでお話をいたします。

発表者は私と梅田、板場の3人ですけれども、調査の細かい図は大体梅田がつくったものです。

パワーポイントは細かいのでお手元の資料をごらんください。概要を1、2というふうにしてまとめていまして、これが今日の要旨です。ちょっと読んでいきますけれども、1946年南海地震前に四国・紀伊半島の南岸を中心にして、地下水の変化、基本的に低下がありました。

1つ目は、温泉の水位や湧水量の低下です。道後温泉と湯峯温泉、これは1つは四国、1つは紀伊半島の非常に昔からある温泉ですが、そこで水位ないし湧水量が低下したという話があります。ただし、これに関しては地震後に変化したことは事実ですけれども、地震前から変化したかどうかは歴史的にもよくわかりません。道後温泉で1946年南海地震後に水位が低下した分については、解析ができていて、南海地震の断層モデルから計算される静的な体積歪変化で、ある程度定量的にも説明可能だということがわかっています。

勝浦は、紀伊半島の東南部にある温泉ですけれども、そこでは6時間前に湧水量が低下したという報告が、後で言います海上保安庁の水路要報に載っています。

2つ目は、太平洋沿岸部の浅い地下水の水位低下です。前述した温泉もそうですが、これも測っていたわけではなくて、井戸枯れしたということです。数値はわかりませんが、一般に生活用に使われていた井戸で5cmや10cm水位が下がったからといって、井

戸枯れになることは考えにくいので、数十 cm 以上、場合によっては 1 m 以上水位が下がったことが考えられるということです。

1946 年南海地震だけではなくて、1854 年の南海地震前にも地震前に地下水位の低下があったという報告があります。ただし、これは問題ですけれども、水位が上昇した場合は気づかない可能性があるということです。例えば 5 m や 10 m の井戸を掘っているわけですが、そこで 50 cm 水位が低下して汲めなくなるとすぐわかりますけれども、例えば 50 cm 増えたからといってこれがわかるかという、わからない可能性があるということは頭に入れておいた方がいいと思います。つまり上昇した場合には報告されていない可能性があるということです。ですから、歴史的な記録としては、低下しか出てこないという可能性はあると思います。

それから、後で示しますが、四国～紀伊半島南岸の広い範囲で出ているので、南海地震と関係あるかなと思われるのですが、非常に出現率が低いということです。160 か所以上の調査をしているのですが、そのうち十数か所ですら報告がされていないということです。かつ、報告された場所の集落においても、その集落全部で井戸水位が変化するわけではなくて、数 km とか 10 km 以内の範囲内と考えられますが、そこで変化する井戸もあれば変化しない井戸もあるということです。これは 1946 年の報告でもありますし、1854 年のものに関してもそういうふうに記録されているということです。

もう一つ、海岸近傍の井戸水位は変化せずに離れた井戸、もう少し山側の井戸が低下した例が結構あるということです。つまり、非常に難しいのですが、少ないデータで考えた場合に、基本的に均質なものを考えた仮定の少ないモデルを考えることになるのですが、それでは説明が非常にしづらい現象であるということです。ただし、同じ井戸に関しては再現性があるのかもしれませんが。

このような変化が生じた理由を考えます。これは、2003 年にそこにいらっしゃる橋本さんが計算された図です。温泉の場合は被圧地下水と考えられるので、体積歪変化に対して敏感なので少し大きめの前兆すべりを考えると、それで（数十 cm の地震前の水位低下は）一応定量的にも説明可能です。定量的というのは言い過ぎかもしれませんが、ある程度説明可能です。

浅い地下水の場合、これは不圧地下水と考えられて、これは一般に体積歪変化に対しては感度が低いので、前兆すべりによる海岸の隆起で説明が定性的には可能です。しかし、数十 cm 以上の水位低下は定量的には説明できません。加えて、一般的な、均質構造のモデルですと、どこでも水位低下が出なければいけません。しかし、実際は、非常に小さい出現率ですから、それは説明できないことになります。

(PP)

それで調査 1 と調査 2 を行いました。この調査も梅田が主に行なった調査です。1946 年南海地震前に海岸付近の地下水が低下したわけですが、一番考えられるのは海水位が低下した事なのでその聞き取り等が調査 1 です。海水位低下はあったという話もありましたが、

すぐ近くの別の場所ではないという話もあり、相互に矛盾する結果が得られました。したがって、局所的に小規模な津波があったのかもしれないというような判断をしました。

続いて調査2ですけれども、1と2はほとんどある意味同じかもしれません。海岸が隆起した可能性があるかもしれないということです。水路要報に載っている地震直後の海岸の隆起・沈降結果の値をそのまま信用し、地理院の当時の地理調査報告と併せると、両方を説明するには、数十 cm 以上の隆起が地震直前にあることが必要という話です。他方、検潮記録からは、気象研究所の小林さんの研究があると思います。10cm 程度の隆起があったかもしれないという報告です。

結論なんですが、最初何で「最大公約数的仮説」を書くかといいますと、やっていくとどんどん迷路に入っていくような話ですので、最初にちょっと前向きにまとめてみました。調査1と調査2の結果は、報告されている「広範囲だが出現率低い」浅い地下水の低下を完全に説明できるものはないということを示しています。最大公約数的な仮説と書きましたが、まず、これらの地震前にあったとされる現象は偶然だという考え方を否定はできない。とりあえず、それを排除して地震と関係あると考えると、1 つめの仮説は、広範囲に地震前に地殻変動が生じた。その地殻変動は基本的には小規模だったと思われそうですけれども、局所的には大きいところがあったかもしれない。それによって地下水が変化した可能性があるというようにまとめられるということです。

もう一つの仮説は、局所的に存在する地殻変動を増幅するような地下水変化のメカニズムについてです。広い範囲で地震前に小さな地殻変動があった事を前提として、ある限られた場所でそれを増幅するような地下水変化のメカニズムがあると、広範囲にあって、かつ、出現率の低い地震前の地下水変化というのは説明できる。この増幅メカニズムに関しては梅田が報告した以外に幾つかありますということです。時間があればこの増幅メカニズムについても一応説明いたします。

対応策ですけれども、結論として一つ目は、広範囲にあったかもしれない地殻変動をねらうのがよろしいでしょうということです。地下水だけを観測するのではなく、GPS とか海水位の測定、さらに、海底津波計・歪計・傾斜計による地殻変動モニタリングが重要でしょうということです。

二つ目は、上述の地下水変化メカニズムを探る研究を最近のデータを用いてした方がいいでしょう。最近の地下水観測結果を用いて、地殻変動と比較検討して、地殻変動を地下水変化が増幅するメカニズムがあるかどうかみたいなことを調べることが大事だと思います。

三つ目は、過去のそういった地震前の地下水変化を、今、梅田が中心にやっていますけれども、こまめにきっちり調査するという事だと思います。余り既存の知識に縛られないでデータを見るということが大事でしょう。

以上のこの3つぐらいの対応策があるかなという話です。以上が概要の話で、これから話を進めていきます。

四国・紀伊半島における地下水の低下ですけれども、これは図にありますように東海・東南海・南海地震の震源域です。よく知られていますが、繰り返し地震が起こっているということです。

道後温泉がここにあつて湯峯温泉がここにあるのですけれども、道後温泉については過去4回、湯峯温泉に関しては過去5回程度、南海地震に対応して変化したと言われていいます。水位ないし湧出量が低下したという話です。？が付いているのは記載がないということです。

それから、ここに？を付けているのは湯峯温泉。これは1946年の南海地震のときに湧水量が低下したと一般には報告されていますけれども、我々の調査によると、1946年南海地震ではなくて1944年東南海地震の時の低下であったことが最近わかっています。これは1944年の東南海地震が、(1945年が終戦ですけれども)当時隠されたということがあつて、調査のときに南海地震とが混同された可能性があるということです。いろいろ調べてみると1944年東南海地震のときに変化した可能性が高いということです。

以上を考慮すると、もしかしたらこういった湯峯温泉の湧出量低下というのは、南海地震ではなく、東南海あるいは過去の東海地震に対応して変化した可能性もあると言えらると思います。つまり、歴史的に一番最近のものである1944年と1946年の地震ですら混同されているわけですから、それ以前の地震についても混同されている可能性があるということです。

また、地震前に湯峯温泉や道後温泉で湧出量の低下があつたかどうかはよくわかりません。地震後の低下の要因に関しては調べています。地震の揺れによるよりは静的体積歪変化によって生じた可能性が高いということ報告しております。

1946年昭和南海地震前の浅い地下水の低下ですけれども、これは海上保安庁の水路局、現在の海洋情報部の水路要報に載っています。当時、1946年南海地震による港湾の被害の調査に行った人たちが調べてみると、沿岸付近の地下水が地震前に低下したという報告があつたわけです。11か所で低下、1か所で温泉の湧出量の低下、3か所は地震前の水の濁りです。先ほど言ったように測つたものではなくて枯れたという話ですから、数十cmないし1m以上、井戸の水位が低下した可能性が高い。

水位低下の場所は11か所あつて多いように見えますけれども、160か所以上で調査をやっているのです、単純に計算してみても10%を切る出現率であるということがわかります。さらに、水位低下が検出されたという場所でも、周辺の複数の井戸を調べたら、水位低下した井戸もあればそうでない井戸もあるというかなり悩ましい結果ではあります。ただし、こういったことがあると地震があるという言い伝えによって避難準備をしたところもあるということが水路要報に載っています。非常に局所的ですが、一種の地震予知がなされていたわけです。

1946年に「井戸水位が低下したら大地震が来る」という言い伝えがあつたということは、その前に同様な現象があつた筈で、1854年安政南海地震前にも当時の紀伊国広村（現在の

和歌山県広川町)であったことが、「稲村の火」のモデルの浜口梧陵の手記に残っています。それから、土佐清水にも石碑が残っていて、1854年の地震前に水位が低下したけれども、変化したところもあれば変化しなかったところもあるというような報告が残っています。すなわち、地震前の井戸水位低下は少なくとも2回はあったこととなります。さらに、1854年の時点で、井戸の水位が低下すると地震が起こると言われているというのが浜口梧陵の手記に残っているので、1854年以前にも同様な現象があった可能性を示します。

これは何度も使わせてもらっている図ですけれども、橋本さんが計算されたものです。1946年の南海地震の断層モデルの深い方をすべらせてみると、紀伊半島・四国の太平洋沿岸部の方が、確かに隆起することがわかりました。ただし、これは本震の10%ぐらいすべらせていて、かなり大きくすべらせているのですけれども、それでもせいぜい数cmぐらいしか隆起しないということです。これによる沿岸部の浅い井戸水の水位低下は数cmしか期待できないわけで、実際起こったと考えられる数十cmの水位低下と比べても、1けた以上小さいわけで、これでは定量的に説明できません。

深い地下水(被圧地下水)に関して同じモデルで面積歪も計算されています。この白い丸は道後温泉と湯峯温泉、勝浦の温泉の位置です。そこが大体 $10^{-6}$ 近く変化しておりますので、これは、歪変化に対して感度のいい地下水だと数十cm以上水位が低下する可能性があります。こういう地下水に対する井戸であれば、地震前の異常を検知できる可能性があります。しかしながら、温泉の数は通常の井戸水と比べて少ないということもありますけれども、報告されている地震前の低下の多くは浅い井戸の水位の話です。

梅田が、1946年南海地震前の井戸の水位低下についてかなり詳しく調査をしました。これは追加の聞きとり調査も入れています。この青い棒は何かと言うと時間を表しております。長い方が早い時期から変化して、短いのが直前という意味で、長いものは1週間ぐらい前から、短いものは直前ということで、時期的にはかなり幅があるということです。このような出現時期の違いは、井戸の構造にもよるのかもしれませんが、井戸によって水の透水性がいいところは早く変化するし、悪いところは遅く変化したということがあり得ます。ただし、地震発生後、かなり時間が経ってからの聞きとりなので、どの程度時間的に正確かというのには注意が必要です。

地震前の水位低下のメカニズムをどう考えるかということです。このモデルは、非常に単純です。陸があって地下水があって、陸から海に流れています。地下水も高い方から低い方に流れるわけですが、海水も陸の方に入ってきます。海水の方が陸水(真水)よりも比重が大きいので、こんなふうに、海水が地下水の下にクサビ状に入り込む形になっています。図はかなり極端に書いています。実際はもう少し(海水が入り込む)角度は浅くなっています。こういうところで通常の浅い地下水は海水面と平衡状態にありますから、海水面がもし下がると陸から見て地下水面も下がるということです。このモデルで考えてみます。

実際に梅田がいろいろ調べてみた結果です。南海地震前の海水変化というのを、青いところが海水位が低下したという話で、特に須崎市とか土佐市宇佐というところでは2m程度低下したと言われていています。ところが、そのすぐ近くのところでは変わっていないという報告がされています。2m隣で変化しているのに、ここは変わっていないというのはおかしいだろうということになります。

実は、須崎市というところは、2011年の東北地方太平洋沖地震で頭抜けて津波が高かったのです。すなわち、津波が増幅される傾向があるということです。例えば非常に大きな津波だと、広い範囲で認知される筈ですが、小さな津波が何らかの要因で起きて、須崎市周辺では増幅された可能性があります。それで、須崎市の湾で海面水位の変化を測って、セイシュ（湾内の海面の固有震動）を調べました。しかしながら、それでもせいぜい数倍ぐらいにしかならないので、小規模な津波が2mの津波になることは考えにくいだろうという結論を出しています。

まとめます。四国で1946年南海地震前に地下水位低下のあった15か所について調べました。水位低下の生じたのは、1週間前からですが、場所によって発生時間はとてもばらついています。水位低下量は数十cmどころか、1.5~3mぐらい下がっただろうという話ですけれども、実は、水位低下が認められなかったところがほとんどということです。海水位に関しては9か所認められたけれども、場所によっては2m以上と言われているが、すぐ隣の地域でも、全然認められなかったところがあるということです。海水位の低下で沿岸部の井戸水位の低下（あるところは非常に変化して、あるところはほとんど変化しないこと）を説明するのはとても困難という結論です。

次の調査結果です。ある意味相対的には同じことですが、陸が隆起すると相対的に海面は下がりますから地下水面も下がってもいいという話で、今度は地面の隆起の話です。

これは地理院の記録です。1898年、1931年、1939年、1953年、1965年というように地理調査を今の地理院が調査をしていて、そのデータを見てやると、つないでやると地震の直前にちょっと上がって、地震後65cm下がってというふうに出ています。

ところが、このときに水路局が調べてやるとコサイスマックな低下が1.2mぐらいあるという報告がなされています。

これは水路要報に載っている記録ですけれども、測り方はどうも水の跡とかそういったものを見て調べたようで、当時の漁協の協力も得たということです。誤差としては10~30cmぐらいあるだろうと言われていています。

黒いのが地理院の結果で、白いのが海上保安庁のコサイスマックな変化ですけれども、誤差があるんだったら全体的にばらつくはずなんです。どうも誤差10~30cmを考慮しても大体基本的にみんな海上保安庁の結果の方が変化が大きいんです。従来は、変化のセンスは合っているから誤差の大きいせいだろうと片付けられたんですけれども、系統的にいつも大きいので、梅田はこれを素直に信用したらどうなるかということ考えたわけです。

長い期間の方（地理院の結果の方）が変化量は大きいはずなのに、短い時間の方（海上保安庁の結果の方）が逆に大きいということはどういうことだったのか。それを合理的に説明するためにグラフにしてみました。結局、直前に隆起したと考えれば説明出来るという考え方です。直前にこんな隆起がありました。そこから下がったので、こことこだけをつないだら 60cm ですけども、これとこれをつなぐと 1 m 以上になりますよという図をつくって見たわけです。

黒は、単に点線をつないでいますが、赤は、こんな直前に加速したこともあるかもしれないということを示しています。

四国の各地でこのようなグラフを作ってみました。1946 年南海地震後に、四国南部で隆起したところもあれば沈降したところもあるわけで、それを調べた図です。青いところは地震後に沈降した所で、赤いところは地震後の隆起域です。見ていただくとわかるように、ういった沈降域では、数十 cm 以上、直前に隆起していることになります。ただし、これをそのまま信用すると、そんなに大きく隆起するのであれば多くの人気が付くのではないかということが考えられます。また、多数の井戸が枯れるのではないかということになり、井戸の一部しか枯れないという事実が説明しづらいという矛盾する結果になってしまいます。

土佐清水で測られた潮位のデータです。地震の 12.5 日ぐらい前と比較すると若干海面が下がっています。これは、土佐清水の地盤が隆起している可能性があることを示します。小林（2002）の結果を引っ張ってきた図で、陸側が 10cm ぐらいは 1946 年南海地震直前に隆起している可能性があるということです。

まとめです。報告されている事実では、1946 年南海地震前の勝浦温泉の湧出量低下に関しては、前兆すべりによる体積歪変化である程度説明は可能であろう。浅い地下水の地震前の水位低下については、広範囲で発生しているものの出現率が低いということで、単なる前兆すべりによる海岸隆起のみでは定性的にも定量的にも説明できません。

地震前の海水位低下というのを調べてみるとあったかもしれないけれども、相互に矛盾する報告がある。それから、地震前の海岸隆起の有無ですが、これは水路要報を素直に信用すると数十 cm 以上の隆起が 1946 年南海地震直前にあることになりすし、あるいは検潮記録から見ると 10cm 程度の隆起があったかもしれないという話になります。

結論は最初に言いましたけれども、報告された事柄のすべてを説明するモデルはないということです。これらの事柄が地震に関係するとして、最大公約数的な仮説を考えると以下ようになります。1) 広範囲に地震前に地殻変動がありました。基本的には小規模な地殻変動ですが、局所的には大きくなったところもあったかもしれない。2) このような地殻変動を増幅する地下水位変化メカニズムが局所的にあったかもしれない。この増幅メカニズムについてはよくわからないが、説明可能なモデルは幾つかあります。

今後の事を考えます。過去の現象についての調査も必要ですけども、過去のデータが不十分な以上、調査や解析には限界があります。そうするとやはり基本的に考えられるの

は、地震前の地殻変動はあったということですから、これをきちんとモニターすることが一番基本的な対応策と考えられます。また、確実に変化したのは地下水ですから、これと比較検討するような研究も進めていくべきでしょうということです。この2つを我々（産総研）が今やっています。それから、過去の南海地震前の地変調査を引き続きやっています。

実際にやっていることですが、この赤い14点が東南海・南海地震予測のために作った観測点です。また、青い2点で現在観測点をつくっています。これらの観測点では、浅い井戸と深い井戸を掘って測定をしています。歪・傾斜・地震の観測も行なっています。地理院のGPS観測点が近くにないところではGPSの観測も行なっています。データは気象庁にも送らせていただいています。

以上です。

○山岡座長 どうもありがとうございました。

割とコンパクトにまとめていただいたと思います。委員の先生方から御意見、御質問があればどうぞ。

○堀委員 2つあるんですが、1つは最初から井戸枯れとかが地震と結び付けてと断られていましたけれども、たまたま百何十個のうちの1割ぐらいが井戸枯れを起こす。同時というわけでもないですね。結構期間がばらついて、7日間というのがずっとだったのかどうかというのがあるんですが、そういうことがたまたま起こることはどのぐらいあり得ることなのか。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 それはあり得ることだと思います。たまたまということは。ただし1946年のときに過去にこういうことがあって避難が行われたとか、そういうことがあって、村人が従っているということは、それなりの根拠があるのではないかと思います。勿論たまたまというのはあり得ないことではないと思います。

○井出委員 あり得ないのではなくて、これは確率的にきちんと議論するんだったら、そこで笑っているのだったら全然お話にならないです。これはハイポセスなんです。帰無仮説をちゃんとこれはリジェクトできるのかというところをきちんと考えないで、これが関係あるものだと思って話を進めましようと言っていたら、全然前に進まないんです。帰無仮説というのはランダムであるということです。そのランダムであるという帰無仮説がどの程度の信頼性で棄却できるのか。そういう議論がなかったらこの手のデータを今後ずっと使えないんです。これは何かあると思うんですけれども、これをきちんと今後活かしていくためには、そういう帰無仮説をどの程度オブザベーションが棄却できる力を持つのか。その推定ができない限り、先に進まないんです。だから笑い事ではないです。小泉さん今回一番最初にこれは関係あるものだと思って話を進めると言われた瞬間に、私はがががが一んときたんです。そんなことを言っていてはだめでしょう。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 勿論それはおっしゃるとおりなんですけれども、このデータで言われていることをそのまま詰めても、それはやれと言えればやらなければならないかもしれませんが、否定も肯定もできないと私は思います。ですから現状での観測できちんと詰めていくしかないだろうという話をしています。

○井出委員 観測をちゃんとしなければいけないというのは、そのとおりだと思います。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 過去のこれに関しては、どちらともとれるので、だから現在観測して確認するしかないでしょうという話をしていたわけです。

○井出委員 わかりました。

○山岡座長 地震と無関係なところの聞きとりというのは非常に難しいんですか。例えば1946年だけではなくて47年、48年、49年、50年とか、戦争中は難しいかもしれないけれども、1936年というふうに、そういうときのデータというのはなかなか聞きとりでやるとするのは。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 それは難しいと思います。井戸もほとんど埋まってしまうのでチェックはできない。道後温泉についてはデータがあったので調べてみまいた。1946年南海地震の時には、地震時に10mぐらい水位が低下したんですけれども、そういうことがしょっちゅう起こっているかどうか調べてみました。1980年ぐらいからはずっと水位データがあるんですが、10mの水位低下というのはない。かつ、通常の地震だと揺れたときに必ず水位が増える。地震時の静的な歪変化は、震源域からの距離の3乗で減衰します。したがって、通常の地震だと、道後温泉におけるひずみの変化量は小さいものですから影響は及ぼさなくて揺れによる水位増加のみが起きる。しかし、M8クラスの南海地震がおきて道後温泉が大きな伸張領域になったときに限って、揺れの影響による水位増加を歪の影響による水位低下が上回ると考えれば、地震に伴う変化を合理的に説明できます。

○井出委員 それはほとんどの人が何の疑問も持っていないと思います。地震時の変動については、今でもヌルハイポセスは簡単に棄却できると思います。

○長尾委員 多分、帰無仮説を効かすには、普段どれぐらい異常があったかという基礎データがないと、結局これはある意味後知恵バイアスがあるかもしれない。

あと、皆さんも御存じだと思いますけれども、これは2009年に自費出版でこの間、自費出版大賞とかとったらしいんですが、これは梅田さんのインタビューを手伝ったもので、具体的にだれがどういう状況で話していると全部書いてあります。要するにずっと普段船を泊めているところで、自分が生まれて初めて座礁したとか、そういう情報とか、幾つかで明らかに地殻変動というか水位低下があったことは間違いないと思うんです。複数の人が証言していて、時刻も場所も全部わかっていますから、ただ、問題は南海地震は予知できるということで中村さんという、平成19年から20年ぐらいにインタビューされたものをまとめて、多分梅田先生も手伝ったのではないかと思います。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 ひとつひとつの証言はとても具体的で信ぴょう性があるんですけども、並べて見ると相互に矛盾してしまうんです。済みません、今回は図を持ってきていませんが、もっといろいろな話があつて、それを突き詰めていくと、非常に狭い範囲でとても特殊なことが起こっているという話になってしまうのです。それは勿論否定はできないんですけども、確認するというのは非常に難しい話です。

○長尾委員 今さら再計測できないわけですから、これしかデータがない。だからこれは先人の知恵として無駄にしないということ以外にはないのかなと思うんです。ただ、これは非常に証言が具体的なので、ただ単にそう言えよというのではなくて、どこで何時にどういう現象が起きたということがかなり書いてありますから、一度見てみると面白いですね。

○松澤委員 同じような検証の方法をして、160 か所を調査されているというのは、どのぐらいの範囲に及んでいるんですか。例えば海岸線が明らかに多いとか、そういう傾向は見えますか。160 か所の分布図がわかると。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 紀伊半島から四国の南岸です。それから、淡路島なんかもやっているはずですよ。

○松澤委員 内陸はそんなにやっていないですか。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 内陸はやっていないです。基本的に港湾の調査でやっていますから。だから温泉の話なんかも内陸の温泉の話はほとんど出てこないです。

○松澤委員 先ほどの優位性の確認が別の時期でできれば一番いいんですけども、それができないんだったら空間的な分布でもって検証するしかないだろうと思ったんですが、それは難しいですか。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 ある程度変化したと言われるところの井戸で、梅田が1-2年程度水位を調査したんですが、そのときの観測では枯れることはなかったです。でもそれはある1か所の5つか6つだけです。ほかのところは出ないのかと言ったら、それはわからない。

○堀委員 そういうものをできるだけ調べるといえるのは。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 できるだけ調べるといえる方向は必要ですけども、細かくいくと何か迷路に入ってしまうので、最初に言ったんですが、やはりやるとすればきちんと高精度の観測する。そして、現状の観測と比較して過去の結果はどうだということを検証していくしかないでしょうということだけです。何も、過去にこのような報告があるから予知できるということを行っているつもりはないです。

○堀委員 もう一つ、梅田さんの地殻変動の海岸隆起があると仮定している話ですけども、これは余効変動だと思っても何の問題もないですね。例えば9ページ。これは上にずらしてありますけれども、下にずらして。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 下にずらして、余効が上がってきている。それもそうですね。

○堀委員 その余効変動でもいいですね。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 落ちたときはどんと落ちただけけれども、次の地理院が測るまでに随分上がってきたからこういうふうになっている。それはそうですね。前後のデータはそうですね。

○山岡座長 よろしいですか。

○長尾委員 これは川端さんがお話になるかもしれないですけども、東南海の前は静岡県がまとめているんですね。それは私が不勉強でよく知らないんですが、こういう例えば浅い井戸とか地殻変動みたいなものというのは、どの程度証言は残っているのでしょうか。

○環境防災総合政策研究機構 川端総務理事 あれはまとめるのは振興会に委託を出して、力武さんが親方になってやったんです。それで黒い報告書があります。私のところにあるので、また参考資料にコピーしていただいて。かなりそういった生々しい出さなかったものがあるんです。今のお話のそれなんかも、今ちょっとどうだったか記憶にありませんけれども、いろいろあります。

○山岡座長 ありがとうございます。

よろしいでしょうか。ちょうど時間なので特になければ。

○産業技術総合研究所小泉主幹研究員 追加をしておく、もしかしたらスロースリップに対応して地下水位が増幅されるようなケースがあるかなと思って観測していますけれども、現状では体積歪に合ったような地下水位の変化というのは検出されているが、それが物すごく増幅されたというのは、最近数年間の観測ではないです。

○橋本副座長 プレスリップはたしか記憶では南海地震のモデルの更に深部延長ですべらせているんです。それでやったらどうしてもできないのが淡路のデータなんです。だからこれを、全部同じものを説明しようとするのは不可能です。だから淡路のデータは変なものがコンタミネートしているのか、それとも我々が全然知らないようなメカニズムが働いているのか、どちらかしかありません。

○山岡座長 それでは、次に進ませていただきます。どうもありがとうございます。

続いて、このWGの議論には直接関係ありませんが話題提供として、環境防災総合政策研究機構の川端総務理事から大震法制定当時の社会状況について、報道発表資料を中心として説明をいただきます。

(当WGの議論には直接関係ないため、以下概要を示す)

○東海地震対策は、昭和51年に東海地震説というのが出て火がついたわけだが、静岡県にとってみると静岡県の地震対策というのは、その前から相当下地があって、決して昭和51年に突然降ってわいたものではなかった。

○そこへ東海地震の話が降ってわいて、一生懸命静岡県行政が取り組むつもりになった。取り組むからには一体何をしたらいいかという、法律がなければ駄目だというので一

生懸命働きかけて、大規模地震対策特別措置法をつくった。法律だけあっても駄目であり、財政的な裏打ちが必要だということから財特法を一生懸命願った。東海地震説が地震対策に結び付いた背景にはそういうことがあった。

○山岡座長 どうもありがとうございました。

それでは、次に進ませていただきます。次は東北地方太平洋沖地震について、松澤委員から資料の御説明をお願いいたします。

○松澤委員 私の方では皆さんに何度も話している話なので、繰り返しになりますけれども、簡単に20分ぐらいで概略を御説明させていただきます。

太平洋沖地震に関しまして、その前の状況はどうだったのかということから初めていきたいと思います。

これはM4以上の気象庁の地震の震度分布ですけれども、これは先ほどの川端さんの資料の27ページにも書かれていることですが、宮城県沖から福島県沖というのは非常に地震活動が活発なところで、でも逆に言うと続発性、M7クラスぐらいの地震は起こるけれども、大きなM8クラスは起こった記録がないようなことでもって考えられていました。普段、地震観測が非常に活発で、小繰り返しも非常に活発。それに対して東南海、南海地域というのは普段、地震活動は非常に低調で、まさしくこういうところが巨大地震を準備している場所だと我々は考えていたわけです。

これが背景にあって、かつ、1970年代の金森先生らが出された比較沈み込み学がありました。新しいプレートでは温度が高くて軽くて沈み込み先端が浅くて、そのために沈み込みにくいから境界面がしっかりくっついて大きい地震が起こしやすい。一方、古いプレートは温度が低くて重くて沈み込みやすいから、境界面はくっつきにくくて巨大地震は起こしにくい。

ただ、これは金森先生にその間お話をさせていただいたときに、金森先生としては起こしにくいとか起こしやすいということは考えたけれども、古いプレートで絶対起こらないということで述べたつもりはないとおっしゃっていました。それはまさしくそのとおりだと思います。それをいつの間にか我々の方で、起こりにくいというのが起こらないというふうに考えてしまったところに今回の問題があったように思います。

一方で、一部の研究者の方ではスマトラの地震が発生した後、いろいろなことがあってこの説は批判されていたわけです。

次のスライドを見ていただきたいんですけども、Ruff and Kanamori でプレートの年齢だけではなくて沈み込み速度との相関も議論されていました。Stein and Okal がこの後、新しく発掘されたデータなども含めて調べたところ、Ruff and Kanamoriに見えたような系統性とはかなり薄れてしまったという話をしています。そのときには東北のデータはないわけなので、私はこの図を前に見たときにはプレートのコンバージョンするものとの相関は消えたけれども、確かに大きい地震、オレンジで示した地震というのはプレートの若

いところでしか起こっていないわけで、この相関はまだ有意ではないかと思った記憶があります。

それで東北はどこにあるかという、ここにあったわけなんですけれども、そこでまさしく今回地震が起こってしまったわけです。

もう一つ、我々は一方で宮城県沖から福島県にかけて大きい地震を起こさないと考えていたんですけども、貞観の地震というものがあることに産総研の方でもってわかってきました。もともとこれは蓑原先生などが最初に指摘されて、その後いろんな方が調べられてきて、当初は仙台湾の地震であるとか津波地震であるとか、いろんな学説が出されています。最終的に産総研の方は非常に広域に津波が及んでいて、かつ、内陸まで及んでいることから、津波地震では説明できないし、仙台湾の地震も説明できなくて、プレート境界の幅広い地震でなければいけない。これから計算するマグニチュードは最低でも 8.4 という話をしていました。このとき最低でも 7.4 と言っていたはずなんですけれども、我々、少なくとも私はこんなところで M8 ですら非常に珍しいと思っていたので、それ以上大きな地震が起こるということは考えていなかったという背景があります。

産総研の方でもって調べられた津波堆積物の分布、産総研の方のモデルとの比較ですけれども、先ほど示した Model 10 でやると内陸の奥まで観測事実を説明できるし、海岸付近では実は津波が 4 m とかそのぐらいに来てしまうということは、このときに既に出ていました。これが宮城重点で 2010 年の、最終的にいろいろ改定作業があって 7 月に報告書がまとめられて、それから部会でもって議論が始まって、2011 年 4 月にこれを踏まえた新たな評価が出るという矢先でありました。その直前の 3 月に地震が起きてしまったことを我々としては非常に残念に思っていますし、私自身もこれに対して非常に慎重になってしまったがために、遅くなってしまったという悔いが残っています。

続いて今回の地震はどういうものだったかですけれども、本震前の変位速度に関しましては海上保安庁の方でもって海底地殻変動観測が行われていました。これは割と直前のデータになります。注意していただきたいのは、宮城県沖では 5.5 cm ぐらいの変位が見られたのに対して、福島県沖では結構小さな 1.9 cm/y ぐらいで、これは大体 2 cm という事なので、このときの福島から宮城にかけての海岸線の変位レートとほぼ同じになっています。

その後、地震が起こって GPS で見た結果ですけれども、これでもって太平洋沿岸 5 m 動いて、日本海側 1 m 動いて、差し引き 4 m 広がった形になります。この 4 m 広がったということは、どこかの時点で 4 m 縮まなければいけないんですが、それが一体いつどのように起こったかということは今のところまだ議論の余地があります。

地震時にどうだったかというのを書いて、地殻変動解析で得られた東北大学と海上保安庁のデータをコンパイルしたものですけれども、海溝近くで非常に巨大な、31 m という変位が得られています。海溝付近では隆起、西側の宮城では沈降という形になります。ここでも注意していただきたいのは、福島沖の海上保安庁の観測点の変位と牡鹿の変位が大体同じぐらいであったという形になります。したがって、このデータから一番最初に地震が

起こった直後は、余震域の余りの広さに福島県沖まですべり量が大きく及んだんだと思いつい込んだんですけども、このデータを見る限り、福島沖にはそれほど大きなすべりがなかったということがこれからわかります。

実際、GPS でもって求めるといろいろな方がいろいろな計算をされていますけれども、陸上の観測点だけでやるとぼわっとしたイメージで、福島県沖にまで広がったようなイメージになりますが、今、言った海底観測を入れると宮城県の沖合の海溝付近に集中したような分布になります。

ざっくりで幅 200km、長さ 500km の広大なすべり域なんですけれども、非常に大きなすべり域を生じた部分が海溝付近に集中していたということになります。

このことが結果的に津波の被害を大きくしてしまいました。1 つは東京大学地震研究所が設置した津波計のデータですけれども、本来、海底下で水深 1,000m のところにありますので、津波はほとんどかきません。そこですら今回の地震では 1m を超えるような津波があったわけですので、海岸までいけば当然巨大な津波になってしまいます。

注意していただきたいのは、最初の津波が押しが 15 分ぐらい続いているということです。これはプレート境界の非常に幅広い断層がすべったことによって、波長がすごく巨大になってしまったがために継続時間が長くなった。そのために津波が入り込んでもずっと押し押し押しとなっていて、15 分たってようやく引き始める。そのために浸水域が中まで入ったことになります。

もう一つ、キラーパルスの大きな津波が来たわけですけれども、これが海溝付近の大きなすべりによる高い津波だろうと考えられています。結果的にプレート境界の非常に幅広い地震による津波と、海溝付近のいわゆる津波地震的なすべりに伴う、今度は波高の高い津波。その両方が来たことによって広域に大きな津波被害をもたらしてしまった。我々の教訓は津波堆積物を幾ら調べても波長が長いということはわかるんですが、ではどのくらい高い、パルスの津波が来たかということは津波堆積物のデータからはわからないわけで、佐竹さんに後から伺ったんですけども、8.4 と言ったが、それはあくまでもそれ以上ということであって、プラス  $\alpha$  で津波地震があったかどうかは津波堆積物ではわからなかった。したがって、貞観のときも同じことが起こったかもしれないが、今のところそれはわからないということになります。

津波ではなくて地震に関して、いろいろな成果が出ているわけですけれども、1 枚の図でまとめさせていただいております。最近出た論文から取ってきましたが、今回の地震では GPS の方からわかったことは、海溝付近で大きなすべり量があったらしい。一方で短周期の方を見ていると井出さんもやられていましたけれども、海岸に近い側で短周期の影響がどうもあったらしい。四角で書いてあるのが地殻強震動の方から推定された強震動の発生域です。これを見ていると非常にすべり量は海溝近くで大きかったけれども、地震動は陸に近い側で大きかったというのが今回の地震の特徴になります。Lay et al. の論文によると同じことがどうも 2010 年のチリの地震でも起こったようで、大きなすべり量は海溝の

近い側だけでも、短周期の地震波陸に近い側で起こったようだ。Lay et al. の論文ではスマトラの地震もそうだったのではないかという話がかかれていました。もしかしたらこれは共通のパターンなのかもしれませんが、基のデータに戻ると結構チリのやつもスマトラの地震もかなり怪しげなので、東北はかなり確かだと思っただけですが、個人的にはチリとスマトラはちょっと検証の余地は残っているなという気はします。

この地震はどういう地震だったかということなんですけれども、これは防災科研の浅野さんの論文から取ってきましたが、本震前のフォーカルメカニズムの分布と余震のフォーカルメカニズムの分布ですけれども、平面図の方の色分けは深さでプロットしているのだからわかりにくいですが、断面図の方がタイプで分けています。赤いビーチボールが低角逆断層、いわゆるプレート境界型地震ですが、余震の方はそれは全くなくなって、青で示される正断層の地震ばかりになっていることがわかります。

これを基にして長谷川先生らはプレート境界での応力を求めています。すべり量分布が求まると地震時の応力降下量がわかるわけで、それによって応力テンソルインバージョンでもって応力場がどのくらい回転したかということでもって、地震前の応力場を推定することができます。そうするとざっくりで 20MPa 程度の応力というのが出てきます。そうするとこれが間隙水圧によって生じたとすると、強度が、見かけの摩擦係数が 20MPa と見かけの摩擦係数が 0.03 に相当するんですけれども、これがもし間隙水圧によるものだと考えると静岩圧の約 95% と非常に高い値になります。

ただ、これは強度 20MPa、見かけの摩擦係数 0.03 というのは実は初めてではなくて、例えば Furukawa & Uyeda は地殻熱流量でもって強度は 20MPa 程度ではないかということ推定されています。Wang & Suyehiro は内陸の応力場の分布から見かけの摩擦係数として 0.03 ということ推定しています。Ariyoshi et al. は余効すべりの伝播速度から大体間隙水圧は静岩圧の 9 割ぐらいではないかということ推定しています。ですので、ほかの傍証からも同じようなことを言われていたわけなんですけれども、今回はより直接的にプレート境界の強度というのは求められたという形になりました。

20MPa が非常に大きいと思うか小さいと思うか人によって分かれると思うんですが、普通の応力降下量から考えたら非常に大きいわけなんですけれども、岩石のもともとの強度から考えれば非常に小さいと言うことはできると思います。

以上からどういうことが起こったかということで、今のところ考えられているのは海溝近くで特に長期にわたって引きずり込んだ領域があつて、普段はすべっているとき摩擦抵抗が働くので残留応力はゼロにならないんですけれども、書き直すのを失敗したんですが、今回は残留応力はゼロになるぐらいまで上盤側は完全に跳ね上がって、このようなことでいつもより大きくすべったということが起こったようです。これに関してはサーマル・プレシャライゼーションのように摩擦抵抗ゼロ近くになることがあつて、それで完全に跳ね上がったという考え方。それから、井出さんが主張されているように、上盤側が突き抜け

たりいろんな影響でもってオーバーシュートしてしまった。それによって結果的に残留応力がほぼゼロになったという、そういう2通りの考え方が多分、今、出ていると思います。

このようなことに関して地震前にわからなかったのかということがあるんですけども、多くの人たちは左側に示した GEONET が始まってから数年のデータで多くの研究者が論文を書いているので、この図が非常に多く広まっています。国土地理院でつくっていただいた図ですが、宮城県沖から福島県にかけて非常に巨大なすべり欠損がある。これは当時東北大に来られた金森先生がこれは一体何だというふうに非常に心配されていたのを私は覚えています。ただ、これは一時的なものですよとその当時は申し上げました。その後2000年代末になると確かに福島県沖は固着が緩んでしまって、私としてはやはり予想どおりだとこのときは思ったわけです。

ちなみに、南海トラフ沿いに関しましては、ほとんどこの2つの期間で一緒なんですけれども、日向灘に関してこの時期から変わっていますので、やはり短期のバックスリップ、すべり欠損だけ見て将来的に予測するのはちょっと危険かなという印象はあります。

ともあれ、陸の観測網で、かつ、これは海溝軸でもって変位ゼロの拘束を置いてしまうと、こういうことが起こってしまうんですけども、これは西村さんが最近地質学雑誌に書かれた論文からいただいたものですが、もしその変位拘束、海溝軸近傍の変位拘束ゼロを外すとどうなるかと言うと、1997年から99年に関してはこういうところで海溝軸近傍で大きなすべり欠損が出てきて、2008年にかけては福島県沖は減るけれども、宮城県沖では海溝軸近傍では大きくて、最終的なすべり量分布と余効すべり分布はこうなるんですが、最終的なすべり量が大きかった部分を過去にさかのぼって見ると、すべての期間でもって宮城県沖の海溝軸近くというのは、すべり欠損が大きかったと言うことが出てくるかもしれないという形になります。

これは当然、陸の観測なのでほとんど差異効きませんので、今回の地震の前にこれをもってしてここを危ないと言えたかどうかは議論があると思うんですけども、今後こういうような解析がほかの場所でも重要になってくるだろうと思われまます。

では小繰り返し地震の方の話なんですけど、小繰り返し地震と我々が主張していたのは、大きな地震のアスペリティというのは相補関係にありますよ。実際に1994年の三陸はるか沖地震のすべり量が大きかった場所と、2003年の十勝沖のすべり量が大きかった場所というのは、小繰り返し地震と住み分けしているように見えます。

宮城県沖の海溝軸近くでもって、巨大な小繰り返し地震とギャップがあるということは我々実は前から気が付いてはいたんですけども、海溝軸近傍ではずるずる滑っていて地震が起こらないのと同じように、ここはたまたまそういう領域が内陸の近くまで及んでいて、すべり域が大きく広がっているがために小繰り返し地震すらも起こさないだろうと我々は当時考えてしまいました。

地震の後わかったことは、先ほどのすべり量分布と重ねて見ると、ここの部分というのはまさしく長期にわたって強く固着していた領域だろうと。そのために今回大きくすべったというのが一番妥当だろうという考え方ができると思います。

そういう目で見えていくと、北海道の沖合というのは小繰り返し地震のギャップというのは結構大きなギャップがあって、ここがどういう場所なのかというのは今後非常に重要になってくるだろうと思っています。

最後に、今までわかったことだけ話をしてきましたけれども、いまだにわかっていないこと、これもミミタコの話だと思えますが、海岸の沈降の問題があります。これは池田さんが昔から指摘されていたわけですが、インターサイスミックな時期にも太平洋沿岸というのは沈降してきました。北海道に関しては昔から島崎先生が多分一番最初に指摘されたのではないかと思います、そういう不思議な現象が起こっていました。

これに対して北海道に関しては500年地震ということで、500年に一度巨大な地震が起こって、その後、余効変動で隆起するのではないかとということが今回の地震の前に言われていたわけです。東北地方に関しても同じようなことが起こるのではないかとことを池田さんは主張されていて、当時は大きな地震が起こって戻るといふふうにおっしゃっていたんですけれども、北海道のデータが出てきたことによって多少修正されて、プレート境界の海底だけが地震時にすべっても、海岸はむしろ沈降してしまう。その後、深部で余効すべりが起こって海岸側が隆起するんだらうという話を地震前はされていたわけですが、どうなったかということ、確かにそのようなパターンは多少あるんですけれども、今のところこのままのレートで行ったのでは海岸はもとに戻らないということが、国土地理院さんの方から御報告がありました。

では、これは一体どうやったら元に戻るのかということが予知連でもいろいろ議論がありまして、幾つかの可能性が考えられます。

1つは海底の余効すべりが停止して、陸域下の余効すべりだけが長期に継続する。ただし、今のパターンでいくと余効すべりの中心の場所は余り変わったように見えません。陸域下のプレート境界でエピソード的な巨大なスローイベントが起こって解消するという考え方。そこまではいいんですけれども、3以降は嫌な話で、海底下のプレート境界地震が今度は海岸線近くで大きな巨大地震が発生する。

4番が海岸付近で陸域深部も含めたプレート境界大地震。

5番が上盤側で浅いところで大地震が発生するのではないかと。

粘弾性変形は隆起されるが、やがて大きくなるのではないかと。ただ、この6番と1番というのは例えば数百年に一度の大地震だとすると、時系列的に難しいかなという気はします。あと日置先生の方にちょっとお伺いしたんですけれども、前に日置先生は造構性侵食によって海岸が沈降しているのではないかとという学説をとらえていらして、その後、いろんな方から批判されていたんですけれども、今回の地震を受けて、もしこれがそのまま戻

らないのであれば日置先生の学説は正しかったかもしれないということを前におっしゃってました。

以上を踏まえて、私どもの方で反省と対策というものを個人的な意見ですが、書いてみました。

1番としては、やはり金森先生の話とか普段の地震活動から、我々はかなり思い込みがあっただろう。仮説を立てるのはいいんだけど、やはりちゃんと検証すべきであったというのは最大の反省なので、思い込みは排して地殻変動観測による検証の推進が必要だろうと。

あとは地質学者や古地震学者、さまざまなシミュレーション等の連携を強化する必要があるだろうし、あとは今回の地震で何で最後応力がゼロになったか、まだ完全に解明されていませんので、その解明は重要であろうと思います。

最大の反省は単純な二元論的なアスペリティモデルで思考が制約されてしまったので、堀さんらがやっていたらっしゃるようなもっと複雑なモデル、井出さんのような動的なモデルとか、そういうことも含めて検討が必要になるだろう。

あと、M9クラスというのはなかなか経験ができないので、国際的な共同研究が重要になるだろうと考えています。

以上です。

○山岡座長 どうもありがとうございました。

御質問、コメント、御意見等ありましたらお願いします。

○長尾委員 私も1か月ぐらい前に金森先生とお会いして、上田先生ともしょっちゅう会っていますけれども、結局チリ型、マリアナ型というのは back-arc spreading が今あるかないかが問題で、要するにプレートの年代とかではないとお二人とも思っているんです。

○松澤委員 上田先生は back-arc spreading の話をされていたので。

○長尾委員 そういうことのようにです。あのときの昔の論文でも東北には中間型だと書いてであると本人は弁護しておりました。

○松澤委員 ただ、上田先生はスマトラ地震のときには北側のアンダマンは spreading しているのではないかという話もあったので、あのときは議論があったんです。あのときは南側が先に壊れて、北側がついでにすべったのではないかとか、そういうような議論がありました。

○長尾委員 あと、これは全く摩擦の話とは関係ないというか、オフレコというか、実は北海道沖のところで非常にすべり欠損が大きい場所がありますね。UCLA が今、10月中旬までに Mw で 7.2 だから大したことないのでわからないんですけども、それは地震活動度の解析から長距離相関が、非常に相関距離が伸びているということで、4月の段階で10月までに起きるということを出していますが、RTP (Reverse Tracing of Precursors) という、これはメールとかとっている方はいらっしゃいますか。というのでいわゆる研究者間に閉

じた情報で、全くこれは純粋な地震活動度だけです。そういうものを出しているところがあります。

○山岡座長 何かほかにありますか。

○堀委員 今回、地震前にいろいろ起きた話もあるのかなと思っていたんですが、その話は全然なかったですね。

○松澤委員 この間、前回かなりレビューやってくさったので省かせていただきました。

○山岡座長 1つだけ。これを質問していいのかどうかよくわからないけれども、長期評価の改定で何を言おうとしていたんですか。

○松澤委員 これは正直言って、委員が骨抜きにしました。私も責任があります。一番最初の事務局からの原案では、明日にも起こるかもしれないみたいな書き方になっていたんですけれども、最終的に産総研は1,000年に一度と言っていて、その後結局いろいろ変わって行って、最終的な論文では600年に一度となりました。1回前が産総研の考え方では室町時代ということになりますので、既に満期である。よって、明日起こってもおかしくない。

そのときに我々委員は東海のあのことを思い浮かべてしまって、これは幾らなんでも刺激的過ぎるだろうという形で、しかも産総研さんには申し訳ないんですけども、結構産総研の方も生のデータを見るとかなりばらつきがあるし、データが物すごくいっぱいあって、このうちの大きな津波というものをどうやって選び出すかというのかなり任意性があるように見えて、そんなに確定的なことは言えないのではないかと私自身は思いました。結果的に推本の方で今まで連動型というと78年型プラス1897年型の連動ばかり言っていたけれども、南側に連動する場合もありますよと。そのときには非常に大きな津波が来ますよと。その程度の話です。

○山岡座長 満期であるとは言おうとしている。

○松澤委員 最大間隔とかは当然情報を出しますけれども、そこをそんなに強く書いた話にはなっていない。

○山岡座長 いつ起きてもおかしくないというところまでは言わない。

○松澤委員 数値は出しているけれども、強くは書かないという話だったと記憶しています。

○オブザーバー（国土地理院今給黎氏） 正直申し上げて、議事録を見ればわかりますけれども、明日来るかもしれないという言葉を使うのは刺激的過ぎると言ったのは私です。それは東海地震が明日来るかもしれないという浅田先生のこの言葉から来てもう何十年経っているか。その言葉をまた使うというのは地震学者が脅しているというふうに言われるということ、そのときは逆に心配しました。

○山岡座長 ありがとうございます。

ほかに何かございますか。

○橋本副座長 丸山さんの本を読んだり瀬野さんの地震の論文を読んだりとか、中田さんが最近よく活断層を海底で見つけてどうこうという話が出ているではないですか。あの3つの共通項は何かというと、断層面が1つではないんです。こういうふうにプレート境界が1つあって繰り返し壊れるというイメージとは違うんです。だからそういう観点の議論もひょっとしたら必要かなと。

○松澤委員 かもしれません。今回は省いてしまいましたけれども、津波の方でもって議論になっているのは、このモデルだと北側の津波の被害を過小評価してしまうので。

○橋本副座長 半無限弾性体でいろいろ議論するのは限界があるんです。だからその辺を考えたモデルというのがどうしても必要になってくるのではないかという気は最近思っています、自分ではようしませんので。

○松澤委員 中田先生の考え方も、本当の変動地形の音響探査をやっている方々と意見が合わないんです。全く違うことを主張されているので。

○山岡座長 南海トラフだと要するにスプレイフォールトまで含めればどこがすべるかというのは、すべり面がだんだん深化していくとか、そういうことは普通に言われています。

○松澤委員 中田先生の主張は結局、物質境界と力学的境界は別であってもいいということを出張されているのに等しいので、それは南海でよく言われていた話なので、南海であれば私たちも全然問題ないんですけども、あの反射探査の記録を見る限り、中田先生の話となかなか難しいだろうなという気はするんです。

○橋本副座長 日置さんの話も最近読み直してやったんですけども、彼のポイントは陸の地殻変動がプレート境界のバックスリップだけでは説明がつかないんです。諏訪さんたちのやったモデルはあるんですけども、かなり深いところに固着を持ってこないといけなないので、そういう議論は実は加藤さんと島崎さんが30年前に全く同じことをやっていて、ただ、データとしては基本的に事実を述べているわけですから、あそこら辺の上下変動の分布に関する考え方というのをしっかり考えていくべきであると思います。

○松澤委員 サイエンスの問題で、これも思い込みかもしれないんですけども、東北大学の方でいろいろ調べていって、沈み込む貞観地震の海洋地殻の相転移が大体深さ100kmぐらいで起こるということがだんだんわかってきて、その場所とすべり欠損が見えている状況がほぼ一致するんです。何となく相関がありそうなので、もしかしたらそういうことが意味しているのかもしれない。これはもしかしたら思い込みかもしれないので検証しなければいけないんですけども、そういう状況もあります。

○山岡座長 ありがとうございます。

この東北地方太平洋沖地震の話はもう1年以上、かなりインテンシブにやったので議論そのものは深まってきていると思いますし、あとの報告で必要であれば取り上げております。

○横田参事官 これとは直接関係しないんですが、18ページの絵ですけれども、これはもう少し南の方というのは分解能あるんですかいないんですか。

○松澤委員 そもそも南海トラフ沿いはほとんど起こっていないです。

○横田参事官 房総沖です。

○松澤委員 房総沖はやっているとすれば、東大の五十嵐さんが関東をやっているはずで、要はこの付近から北側は東北大学のデータがあるので過去にさかのぼれるんですけれども、房総よりも沖合は東北大学も過去のデータが何もありませんので、五十嵐さんとか木村さんがやっているデータと私たちは同じデータを使うだけです。

○山岡座長 よろしいでしょうか。

では、次に行かせてください。次はGEONETによるプレート境界面上の断層すべりの検知能力ということで、国土地理院の水藤主任研究官から資料の説明をお願いします。

○国土地理院水藤主任研究官 国土地理院の水藤です。本日はGEONETによるプレート境界面上の断層すべりの検知能力というお話をしますが、プレート境界、日本列島は太平洋プレートとフィリピン海プレートとありますけれども、今回は南海トラフの調査部会ということでフィリピン海プレートをメインに話しますが、太平洋プレートの結果も少しだけお話しします。

はじめには簡単に言いますと、GEONETは国土地理院で運用開始以来16年余り経過しておりますが、解析戦略第4版ルーチン解、F3解が現在公開されていますが、それによりますとF3解は2週間後に出るんですけれども、mmオーダーの変動の検出が可能となります。プレート境界面上の断層すべりで言いますと、プレート境界地震はもとよりプレート境界地震後の余効すべりであったり、中長期的なスロースリップが房総、東海、豊後水道で検出されております。また、1～2週間の短期的スロースリップもスタッキングか何かをすれば見えつつあるという結果も出つつありますが、今回お話するのは現在のGEONETで理論的にとらえられるプレート境界面上の断層すべりというのは、どこでどの程度の大きさなのかというお話をします。

今回お話するのは大きく5つのテーマでありまして、検知能力の検討手順を少し細かく説明します。

2番目としまして、フィリピン海プレート上での断層すべりの検知能力、これがメインの結果ですが、それをお話します。

3番目が断層すべりの検知能力の検討において考慮すべき点は幾つかありまして、その考慮すべき点を変えた場合にどのように違って見えるかというお話をします。

4番目は、3番目までは空間的な検知能力なんですけど、それに時間の項を入れて、こちらである仮定を置いた場合に、断層すべりが検知されてから地震発生までの猶予時間というのはどれくらいかという見積もりを簡単にしました。時間があれば太平洋プレートでも同じ解析をしていますので、その結果についてお見せします。

まず断層すべりの検知能力の検討手順なんですけど、大きく5つの段階を組みます。

1つ目はプレート境界面上での断層すべりの候補点の作成なんですが、こちらは気象研の弘瀬さんがコンパイルしましたフィリピン海プレートの等深線を使いまして、深さ 50km までをカバーする  $0.1 \times 0.1$  度間隔のすべりの候補点、この図ですと 3,104 点ほどあります。南海トラフはずっとまだ南まであるんですが、この気象研の弘瀬さんのモデルがその九州の南のところで区切られているのでそこしかありませんが、もう一つのプレート等深線モデルとして CAMP モデルというものを使っていて、CAMP モデルですとずっと沖縄トラフの方までありますので、その結果についても簡単にお見せします。

次に、断層パラメータの作成なんですが、皆さん御存じのとおり今回すべりの候補点上での断層すべりを矩形断層で計算することにしています。でするので必要なパラメータというのは 9 つあります。

この断層パラメータの定義は基本的なもので、断層パラメータハンドブックに載っているものと一緒なんですが、1 点だけ違う点がありまして、それは通常、断層面の基準点というのは上盤側から見て断層面の左端を基準点とするんですが、本解析では上盤側から見て断層の上端の中央にしています。

9 つの断層パラメータをどのように決めたかといいますと、まず断層の位置に関しては等深線から  $0.1 \times 0.1$  度間隔でつくりました。断層の向きは走向、傾斜角、すべり角なんですけれども、まず走向はプレート等深線に並行。傾斜角はプレート等深線のグリッドの位置での傾斜としました。

最後にすべり角ですが、太平洋プレートに関しては太平洋プレートに対する北米プレートの相対運動の回転極から、それぞれの位置で求めた速度ベクトルの向き。フィリピン海プレートに関しては、フィリピン海プレートに対するアムールプレートの相対運動の回転極から求めた速度ベクトルの向きとしました。

最後、断層の大きさに関する 3 つのパラメータ、長さ、幅、すべり量に関してはまずモーメントマグニチュードに注度 5.5~7.5 まで 0.1 刻みで設定しまして、地震のスケールリング則に基づきましてモーメントマグニチュードから長さ、幅、すべり量を算出しました。その際、長さとの幅の比は 2 対 1 であるという仮定を置きました。

この地震のスケールリング則から求められる長さ、幅、すべり量とモーメントマグニチュードの関係をこちらの一覧表にしましたので、後でござんください。

こうして 9 つの断層パラメータができますと、断層すべりによる地殻変動の計算が岡田さんのプログラムによって計算できます。ここでは四国沖のある 1 点のすべり候補点でモーメントマグニチュード 5.5~6.0 までの結果を示していますが、作成したすべてのすべりの候補点に対して断層すべりを 5.5~7.5 まで 16 通り計算します。そうしますと各候補点の断層すべり 5.5~7.5 に対して、任意の観測点での地殻変動量というデータセットができます。

そのデータセットに対して断層すべりがどのようにしたら検知できると判断するかはこちらで仮定するんですけども、今回は閾値と観測点数という2つの判断基準を考えました。

1番目の閾値というのは、観測点でシグナルとみなす変動量の大きさです。

2つ目は観測点数で、これはシグナルとみなす変動量が観測される観測点の数であります。この2つを使って閾値(U)以上の地殻変動がN点以上の観測点で想定される場合に、そのすべりの候補点での断層すべりは検知できると考えて、そのすべりの候補点での最初の断層すべりの大きさはモーメントマグニチュードで算出しました。

その下に4つの図がありますけれども、これは四国沖のモーメントマグニチュード5.7、5.8、5.9、6.0での断層すべりに伴う地殻変動の結果を表していますが、この断層すべりによるGEONETの観測点では、例えば閾値5mm以上にしますと5.7と5.8ですと1点も5mm以上の観測される観測点はない。5.9ですと3点あって、6.0ですと4点あります。こういうデータセットがあるんですけども、それに対してこちらから閾値5mm、観測点数3点以上という条件にしますと、このすべりの候補点での検知能力というのはモーメントマグニチュード5.9という結果が出ます。

例えばこれは観測点数4点以上にしますと、この検知能力は6.0という結果が出ます。

このような操作をすべりの候補点上ですべて計算するんですけども、候補点上での最も小さいモーメントマグニチュードの大きさをもって検知能力の高低を表します。その図をどうやって作ったかと言いますと、例えばモーメントマグニチュード7.0の断層すべりが検知できるすべりの候補点というのは、その左上の赤い点、結構広くあるんですけども、例えば6.5の断層すべりですと右側に行きましてもう少し狭い範囲になる。更に6.0ですと青色で示しますわずかな範囲に限られます。このようにモーメントマグニチュードを大きい方から7.5から0.1刻みで5.5まで、すべて重ねてやった図が右下の最小のモーメントマグニチュード=検知能力という結果。このような図をこれから幾つかお見せします。

これがフィリピン海プレート上での断層すべりの検知能力と呼びますが、ここでは先ほど言いました閾値と観測点数に関しては、観測点数が3点以上で閾値が水平が10mm、上下が30mm以上の場合の検知能力の結果を示しています。図で暖色系の赤い色のところほどモーメントマグニチュードが大きい。つまり検知能力としては低い。逆に寒色系のものはモーメントマグニチュードが小さくても断層すべりが検知されるということで、検知能力が高いと読めます。

この条件の場合にフィリピン海プレート上で断層すべりの検知能力、どこで高いかといいますと海岸線沿いで深さ20km前後のところでは閾値10mm以上、観測点数3点以上ですと、大体モーメントマグニチュード6.0前後という結果が出ています。逆に検知能力が低い場所というのはトラフ軸付近であったり、内陸の深さ50kmより深い場所では赤い色、大体モーメントマグニチュード7.0以上と検知能力が低い結果が得られています。

これが結果なんですけれども、もう少し考慮すべき点として4点ほど挙げましたが、1つ目は判断基準に関して閾値と観測点数を変えるとどれぐらい変わるか。

2つ目として、断層パラメータの設定に関して、断層の大きさの違いとプレート等深線の違いの結果についてお話します。

まず1つ目は判断基準に関して、閾値を先ほどは10mmで、上下変動30mmという結果を与えたんですけれども、例えば閾値水平10mm、閾値上下10mmそれぞれ水平と上下別々に計算してやりますと、内陸直下では水平よりも上下の方が検知能力が高いという結果が出ているんですが、GPSの解析結果ですと水平よりも上下ですとばらつきが大きいいため、ここでは1対3という割合で水、平の閾値を10mmとした場合には上下を30mmとしていますので、例えば水平10mmとした場合には上下で見ると場合には30mmその下側になりますので、ほとんど上下成分というのは、今回のこの解析には効いてこないという結果をお示ししています。

次に閾値の違いなんですけれども、一番初めにお見せしたのは水平10mm、上下30mmなんですけれども、それを例えば半分にすると当然検知能力はよくなります。逆に閾値を上げていく15mm、20mmの結果を示していますが、だんだん暖色系が大きくなりまして、当然、検知能力は下がるという結果になります。

次に観測点数なんですけれども、これは閾値10mmの場合に観測点数を変えた結果なんですけれども、1点、3点、5点、10点と示していますが、1点は除いて3点でも5点でもほとんど検知能力の結果は変わらない結果が出ています。ただ、観測点数を10点としますと若干落ちるような結果になっております。

次に断層の大きさの違いなんですけれども、断層の大きさの違いは何かと言いますと、今、断層の大きさは地震のスケーリング則によってモーメントマグニチュードの大きさに合わせて長さ、幅、すべり量を変更していましたが、それはどのように変わるかという、その左下の図で一番小さい緑の四角が、モーメントマグニチュード5.5の場合の断層の大きさ。一番外側の四角がモーメントマグニチュード7.5の場合の断層の大きさを示しているんですけれども、これが結構検知能力の結果に影響を及ぼしているのではないかと、ここで、ここでは防災科研の関根さんたちが短期的スローリップを2001年から2010年までの54個、断層面を決めていたんですけれども、その54個の平均的な長さ、幅、すべり量を求めまして、それは大体長さ54km、幅36kmになるんですが、断層面の大きさはこの長さ54km、幅36kmに固定しまして、モーメントマグニチュードに合わせてすべり量を変えた場合の結果について右下に示しています。

この地震のスケーリング則を使った場合と、短期的スローリップの平均的な断層面に基づいた場合とでは、ぱっと見は大きく変わらないんですけれども、陸域に関わる沿岸沿い、深さ10~30km付近で違いが顕著で、地震のスケーリング則を使った方が検知能力は高いという結果が出ています。ただし、トラフ軸付近、陸から遠いところだと短期的スロ

ースリップの平均的な断層面に基づいた断層面を使った方が、検知能力が高くなっています。

次にプレート等深線の違いなんですけれども、これまでは気象研の弘瀬さんがコンパイルした結果を使っていましたが、日本列島全域をカバーするモデルとして、東大の橋本さんたちが作成しました CAMP モデルというものがありますが、それでも同じような解析をして両者を比較してみました。

結果としましては、ぱっと見は大きく変わらないんですけれども、CAMP モデルというのは弘瀬さんのモデルに比べますと、全体的にやや浅いために検知能力が高いという結果が得られています。大体モーメントマグニチュードにして 0.1~0.3 程度の違いが出ています。

あと、この CAMP モデルを使うメリットとしましては、沖縄の方までモデルがありますので、九州より北ではなくて、ずっと沖縄諸島、石垣島までずっと見ますと、その検知能力というのはこれぐらいで、結構驚いたのが、島の直下付近では結構検知能力が高いという結果が出ています。

以上が空間的な検知能力なんですけど、これに時間の項をどう入れるかというのは結構議論があるんですけれども、ここはかなりの仮定を置いて、断層すべりが検知されてから地震発生までの猶予時間がどれぐらいあるかという検討を簡単してみました。それにはすべりの時間関数、すべりというよりモーメントの解放の時間関数を仮定してやるんですけれども、まず前兆すべりがある日にち、T 日前から発生して Mw6.5 の段階で地震発生に至るという仮定。

2 つ目の仮定は、モーメントの解放は前兆すべりの発生、つまり T 日前からモーメントマグニチュード 5.0~6.5 まで、モーメントマグニチュード 0.1 相当ずつ等間隔で増加するという仮定を置きます。例えば 15 日前からの場合だと 1 日ごとに Mw5.0 から 0.1 増加する。つまり 15 日前は断層すべりの大きさはモーメントマグニチュード 5.0、10 日前は 5.5、5 日前は 6.0 で地震発生は 6.5 で至るというモーメントの解放の時間関数です。

そうしますと、例えば 15 日前からの発生の場合だとモーメントマグニチュード 5.0 というのは 15 日前、6.0 だと 5 日前、6.5 だと 0 日という猶予時間が計算されるんですけれども、観測点数 3 点以上、閾値水平 10mm の場合に左上に検知能力の図を示していますが、それをその右側の 15 日前からの発生の場合という変換を使ってやりますと、猶予時間に変換できます。

それを断層すべりの発生が 15 日前から、10 日前から、5 日前から、3 日前からと 4 通り計算してみましたけど、大体これは観測点数 3 点以上で閾値が 10mm 以上の場合なんですけれども、最大で 3~4 日の猶予時間がある場合でしたり、例えば右下の 3 日前からを見ますと、16 時間ぐらいの猶予時間がある場合もあるという結果が出ました。

これは理論的になんですけれども、次に実際の観測時系列に理論的な変動量を加えてどう見えるかという計算をしてみました。これは紀伊半島の先端、左上の図で言いますと緑の丸印の場所で断層すべりが起こった場合、この点での断層すべりの検知能力はモーメン

トマグニチュード 6.1 で、15 日前から発生したとすると猶予時間は 4 日という結果が出ている点なんですけれども、左から 2 番目に観測時系列、Q3 解というのは国土地理院がルーチンの解析している解析解の 1 つで、6 時間分のデータを 3 時間ごとに結果を得ている解で、下側 R3 解は 1 日ごとの解です。これは 2008 年 7 月だったと思うんですが、7 月の 15 日分の時系列を持ってきています。

その右の計算時系列というのは、紀伊半島の先端の断層すべりに対する変動の時系列を示しています。これを紀伊半島の先端の串本という観測点の計算時系列と観測時系列を足したものが、一番右の観測プラス計算時系列というものになります。その一番右の図で水平の点線はほぼゼロの線。縦軸の線は断層すべりの候補点では猶予時間が 4 日であるという線なんですけれども、この真ん中の計算時系列ですと南北成分で 10mm に達しているの見えるんですが、実際の観測時系列に計算時系列を足してやると、本当に 4 日前にこの時点で前兆すべりが発生していると判断できるかどうかについては疑問がありまして、もう少し後ろにずれるのではないかという結果が得られます。

今回これは 15 日前なんですけれども、同じように 3 日前から発生の場合にしますと、猶予時間は 16 時間という結果が得られるんですが、同じく一番右側の観測 + 計算時系列を見ますと、縦の黒の破線のところで理論的には検知できるという結果が得られているんですけれども、やはり実際の時系列のノイズを考えますと、もう少し検知できるレベルというのは後ろにあるのではないかという結果が得られました。

以上がフィリピン海プレートの結果なんですけど、時間がほとんどないですけれども、太平洋プレートの結果は簡単に図だけ見てもらって、左側はいずれも観測点数 3 点以上なんですけど、左側は水平で 5 mm、上下で 15mm、右側は倍の水平 10mm、上下 30mm の結果でして、太平洋プレートでも検知能力が高い場所というのは海岸線沿いで、こちらは不確定 40km 前後の場所。トラフ軸付近や内陸の深さ 60km より深い場所というのは、検知能力が悪い場所に当たります。ちなみにその星印は東北地方太平洋沖地震の本震と 3 月 9 日の前震の位置でして、その辺りですと検知能力というのは大体モーメントマグニチュード 7.0 前後である。

この太平洋プレートでも同じようにモーメントの時間関数を仮定してやりますと、猶予時間というものを計算できます。こちらは水平 10mm の場合の結果なんですけど、ほとんど白ということは猶予時間はほとんどないという結果が得られています。

ちなみに、もう少し閾値を下げて 5 mm 以上ですと何とか赤い点があるんですけども、ほとんど真っ白で、太平洋プレートでは前兆すべりの検知から猶予時間はほとんどないという結果が得られています。

最後までまとめますが、GEONET によるフィリピン海プレート境界面上での断層すべりの検知能力ということで、検知能力が高い場所というのは海岸線沿いで深さ 20km 前後の場所。検知能力が低い場所はトラフ軸付近や内陸で深さ 50km より深い場所で、判断基準として観測

点数3点、閾値は水平10mm、上下30mmの場合には検知能力が高い場所は大体モーメントの6.0前後、悪い場所は7.0以上という結果が得られました。

もう一つは、断層パラメータの違いによって、その検知能力にはモーメントマグニチュードで0.1~0.5程度の違いが出ることに御注意いただきたいと思います。太平洋プレート上ではフィリピン海プレート上よりも検知能力が悪くて、検知能力が高い場所でもモーメントマグニチュード6.5前後、悪い場所は7.0以上という結果が得られました。

以上です。

○山岡座長 どうもありがとうございました。

簡潔にわかりやすくまとめていただいてありがとうございます。

御意見、御質問、コメント等がありましたらお願いいたします。

井出さん、どうぞ。

○井出委員 これはGEONETによる前兆すべりの図なのですが、スロースリップの実際の検出限界と同じぐらいになっていますね。スロースリップに関して言ったら、防災科研のHi-net傾斜計とかはもっとすごく細かいものを見ておりますね。結局、あれで見た方が細かいものが見えるので、もしプレスリップを本気で探そうと思ったらあっちの方がいいということになってしまいますか。

○水藤主任研究官 多分、そっちの方が先に見つかると思うのです。ただ、傾斜計ですと、はっきりはわからないのですが、ドリフトを考えると、大体見られる限界が1~2週間ぐらいなので、本気で見付けるとしたら、傾斜計の方で先に見付けて、その後の発展はGPSで見られるのかなと考えています。

○橋本副座長 GPSはまだ変位だからあれなので、傾斜計やひずみ計は微量量を見ているわけだから、どちらかというとなんか単発のものに関しては傾斜計の方が感度がいいわけですね。それでちょっと見ているものが違うので、同列では扱えないかなと思うのです。

○井出委員 本気で探すのだったら、長所短所をうまく生かしてね。

○橋本副座長 あっちの方が完全に連続のデータだから、物すごく短周期のサンプリングだから、それに対してGPSは、現時点では、これは3時間ですから、その問題はありますね。

○山岡座長 プレスリップかどうかは別としても、プレート境界面では地震があった後に余効すべりがあるというものも使えるわけですね。そうすると、その場合には、傾斜計は影響が大き過ぎて逆に使えなくなる。だから、地震の後の余効変動。地震の後の余効変動はGPSの方が圧倒的に強い。

○水藤主任研究官 ただ、東北地方太平洋沖地震ですと、津波でなくなってしまったというか、そういう場合は考えなければいけないのですが、強いと言えば強いですね。

○小泉主幹研究員 ひずみ計も傾斜計も大きな振動が来た後、その場所は緩和の影響がどうしても入ってしまうので、GPSの方がいいでしょうという話があります。また、微分とおっしゃったけれども、結局、イベント発生時の瞬間に感度が強くて、その後のゆっくりとした変化に弱いものなので、傾斜計や歪計で見付かっている短期的ゆっくりすべりを単

純に積算したものがその場所のトータルのすべりとは言えないところがある。だから、やはり（歪・傾斜計とGPSのデータの）両方を見なければいけないだろうと思っています。つまり、傾斜計と歪計で見えていないすべりがあるかもしれない訳です。今後、遷移領域でのすべり欠損がどの程度かという評価をしなければいけないということを考えたときには、やはり両方必要であるという話になるだろうと思います。

○山岡座長 どうぞ。

○長尾委員 あと、多分これはシステムの問題になってしまうと思うのですが、GPSは国土地理院ですね。Hi-netは防災科研がやっていて、その後、ルーティン的に、堀さんともよく話しているのですが、要するにこれはやろうと思えば今できることですね。ただ、それはシステムとしてどのぐらいデータの、土井さんに伺えばいいのかもしれないけれども、どれぐらいこういうことを気象庁が24時間見ることができるか、あるいはそれをやるためには何が足りないのか。人なのか、お金なのか。多分、この会の1つの重要な問題が絡んでくるかと思うのですが、今一番力学的にわかっていることをやっていないところだと思うのです。統一処理というか、リアルタイム監視。

○小泉主幹研究員 私が言うべきではないかもしれないけれども、東海に関してはできていますね。Hi-netのデータも我々のデータも地理院のGPSのデータも監視を行っている。

○長尾委員 ただ、それは今の段階では、目視でわかるという言い方は非常におかしいですが。

○山岡座長 現状では、国土地理院、防災科学技術研究所、気象庁、産業技術総合研究所がそれぞれ観測点を持っていて、東海に関しては一元化されている。それ以外は一生懸命、皆さん、監視をしていると思っています。

○長尾委員 とりあえずは、個々の機関が監視をしているわけですね。

○小泉主幹研究員 監視をしているのは、気象庁でしょう。我々は24時間見ていない。

○山岡座長 それぞれの勤務形態に応じて。そういうことを南海トラフ全体というのだとしたら、そういうところまで考えなければいけない。

○長尾委員 南海トラフ全体で見るということがきっとこれから必要になるのだと思うのですが、多分それが山岡座長の仕事ではないかと思っています。

○山岡座長 どうぞ。

○小泉主幹研究員 防災科研と産総研はひずみ計と傾斜計のデータを共有しています。産総研の紀伊半島と四国のデータを参考データとして気象庁にお送りしています。

○長尾委員 地下水のデータもですか。

○小泉主幹研究員 地下水もです。

○山岡座長 橋本さん、何かありますか。

○橋本副座長 要するにこれはGPSの観測点の変位しか見ていないわけですね。大谷さんがやったように総体的なものを、上下変動あるいは水平変動に比べることによって、要するに微分量になるわけですね。そういったもので見るという観点もやるとちょっと変わって

くるということはないですか。ちょっと組み合わせが大変になるので、1,200掛けるコンピネーション2という。

○水藤主任研究官 上下変動に関してだけは、東海だけに関しては、同じような今、言われたようなことをやった結果はあるのです。それも上下の閾値がきいてきて、やはり上下の方が敏感なのですけれども、確かに水平の方でそれを全部やるのは結構大変かなと思っています。

○松澤委員 一方で、周期もあるけれども、微分している分、距離減衰が激しくなりますね。だから、どうしても沖合には弱くなりますね。

○橋本副座長 その意味もありますね。ただ、プレスリップが一番起こりやすいのは遷移領域だとすると、陸にかかるので。上下変動はゼロラインごと陸にかかる可能性があるのです。

○山岡座長 ということは、解析の仕方というか、監視の仕方でもまだ工夫する余地があるということで水藤さん、いいですか。そこは納得してください。橋本さんからコメントがありましたけれども、ほかに何かございますか。

○堀委員 GPSに関しては、この間の東北大と地理院さんとかでリアルタイムの解析もされているのがありますね。あれで見るとどう。

○松澤委員 あれは精度が全然違う話だから。

○水藤主任研究官 あれは、私が言うのもおかしいかもしれないですけれども、基本的に、精度としては10cmオーダーを目指しているのです、1けた、2けたぐらい違いますね。

○山岡座長 断層面が拡大していくのをモニターするぐらいの精度という話ですね。

○水藤主任研究官 そうですね。リアルタイムで。

○松澤委員 マグニチュード8以上だったら使えるけれども、それより小さいものは使えないですよ。

○井出委員 でかさがあっても、その分近ければ使えるとか。

○橋本副座長 新潟中越ぐらいだと、余震の変動は全部モニターできるのですよ。あれは6.4ぐらいですね。あれぐらいのものはできる。

○松澤委員 内陸の地震は別ですよ。海溝沿いだから。

○長尾委員 ちょっと教えていただきたいのですけれども、実は、上下動の場合、確かに非常に誤差が大きい、例えば20キロ沖のGEONETの点だと、これで見ると短周期の誤差というDaysのオーダーですか。それは相当フラクチュエーションがありますけれども、隣同士とかの観測点では、このフラクチュエーションはコヒーレントなのか、あるいはほとんど相関がないのか。

実は、なぜこういうことを聞いたかということ、今、東海地方で地震研とうちと静大で20キロのメッシュを埋める形で、5キロメッシュで置いてあるのですけれども、例えば4個、5個スタッキングするとうようなものが消えるのか、意味がないのか。その辺はGPSのデータとしては、5キロ離れたところではほとんど電離層のデータも同じでしょうから。要は

ノイズレベルがスタッキングで小さくなるのかならないのかということをお教えいただきたい。

○橋本副座長 それはやはりケース・バイ・ケースなのです。例えば寒冷前線が通過すると一発で変わってしまいますから、それは大気遅延補正をどれだけうまくやるかによってくると思うのです。電離層はもともと、L1、L2でやっているからかなり補正できているだろうと思うのです。

○長尾委員 水蒸気も。

○橋本副座長 水蒸気もきついと思います。あとは、コヒーレントのやつはありますよ。衛星の位置の精度で全体がシフトするというものはありますけれども、やはり最後は大気遅延かなと思います。

○山岡座長 どうぞ。

○堀委員 誤差は大きいとは思いますが、それで見たらどうなるかはやはり見てみたい気はする。

○山岡座長 それとRTK、リアルタイムキネマティックという。

○水藤主任研究官 リアルタイム、時系列で見たいということですか。

○山岡座長 質問の意図、コメントの意図をもう一回。

○堀委員 誤差が大きいから見えないだろうということですが、どのくらい見えないのかをきちんと定量化した方がいいのかなと。意味がないですか。

○山岡座長 リアルタイムでやった場合には、この検出限界は一体どのくらいになるのであろうかということも知りたいということコメントですね。

○松澤委員 2けたはありますね。

○山岡座長 どのくらい変わるかというものも教えてほしい。

どうぞ。

○堀委員 海底に関して、DONETは既に動いているものがあるので、それを見たときにどの程度かというのは、今度の発表のときには出したいと思っています。

○山岡座長 わかりました。よろしくお願ひします。よろしいでしょうか。

○小泉主幹研究員 鉛直ひずみも計算上は感度がよいのです。ただ、問題は雨の影響が非常に出てノイズレベルが高くなってS/Nが悪くなってしまふ。体積歪計が一般に雨によってノイズレベルが高くなるのもそのためです。雨の補正がうまく進めばS/Nが上がる可能性があつて、それは気象庁がされています。我々も今、試験的に鉛直ひずみ計を入れているところもありますので、そこもうまく雨の補正ができたところに関しては、S/Nを上げることができるかもしれないと思っています。

○山岡座長 ありがとうございます。まだいろいろあるかもしれませんが、次へ。

どうぞ。

○横田参事官 今の関係で、ほかの観測網の部分については、今、JAMSTECさんとも相談して、13日が次回は厳しそうなので、24日に観測の現状と計画というのを文科、気象庁、

JAMSTECほかと書いていますが、ここで現在の観測網とその精度がどのぐらいかということをもとめて、気象庁の東海の検知力とかをまとめてやろうと思います。どこまで入るか、現状で入れられるところまで、それぞれやっているところまで。観測の現状ということで整理だけしておこうと思います。

○山岡座長 よろしいでしょうか。

では、最後に気象庁の東海地震予知業務についてです。それでは、土井課長、資料の説明をお願いします。

○土井地震予知情報課長 気象庁の土井です。よろしくお願いします。

読み物として、気象庁が今、どういう仕事の仕方をしているかということを提供資料という形でお配りしています。併せてパワポで主だった図をお見せしながら説明を進めていきたいと思っています。

まず、気象庁の仕事を規定しているもの、これまでも何回か言葉が挙がっていましたが大震法と気象業務法ですが、その具体の法律は、8、9ページに参考1に抜粋してごさいます。9ページの方の気象業務法に気象庁の長官の責務として、大規模な地震が発生するおそれがあると認めるときは、その発生のおそれがあると認める地震に関する情報を出すということにしております。この情報のことを大震法では、地震予知情報と呼ぶという法律の定めになっております。なので、私どもがやるのは、大規模な地震の発生のおそれがあるかどうかを見極める仕事になります。

ただ、それだけではなくて、今、地殻の状態がどうなっているのかということと国民にお知らせするというので、後でも御説明しますけれども、3種類の情報を世の中に提供するとしております。

この地震予知の概要という、今、お見せしている流れの図は、一般の方にも説明するときに使っている資料であります。左側が平常時、右に行くに従ってだんだん深刻な状態になっていくという流れにしておりますけれども、その状況に応じた情報を発表するとしております。

異常の検知から判断に至るまでの取組みを紹介したいと思っています。

資料2ページ目、これも一般の方に御説明するときに使っている漫画で、これも長く使っているものですが、改めて御説明するまでもないのですが、プレート境界で発生する地震に限らないとは思っていますけれども、地震が発生する直前には、それまで固着していた断層面がゆっくりはがれる、すべり始める。その後で高速すべりに至るという地震発生モデルを想定しまして、この前兆すべりをとらえることによって、先ほど言った、大規模な地震のおそれを認めるという判断の1つの根拠というか、手がかりにしようとしております。この前兆すべりの検知によって予知情報を出す、地震予知をするということの業務への取り入れは、平成13、14年ぐらいから考えておりまして、今に至っております。

勿論、この後で御説明する時間があればと思いますけれども、予知体制、気象庁が地震予知情報を出すというようなことが始まった当初は、このようなモデルに従っていたわけ

ではなくて、巨大な地震の前には何がしかの前兆現象があるだろうと、それをとらえて、1つは地殻変動ということで、大きなよりどころとしては、ひずみの変化をとらえるということで変わっていませんけれども、このようなしっかりしたモデルにしたというのは、この10年ちょっとぐらい前の話であります。

これも皆様に御説明するのは非常に恥ずかしいのですけれども、前兆すべりそのものは、断層すべり実験、岩石実験でも確認されておりますし、ここにお示ししているのは二次元モデルではあるのですけれども、固着している場所と安定すべりが発生している場所という2つの状態を二次元的に与えて、すべらせるという簡単なシミュレーションをやることによっても、その固着の状態が破れて、高速すべりに至る直前で前兆すべりが発生するということが示されています。

これは三次元のシミュレーションをやって、こういった前兆すべりを再現するというか、示すというようなこともやられていると理解しております。

参考2の方ですけれども、10、11ページ目に書いてありますように、山岡座長、堀委員にも御協力いただきましたけれども、平成21、22年度に気象庁の方で勉強会を開催いたしました。そのときに、まさに数値シミュレーションモデルの現状について幾つかモデルを走らせている方々の結果について聞かせていただいて、ざっくりまとめたものをここに御用意しております。

11ページの2ポツの方は、こんなまとめ方をしようかなとしてまとめておりますけれども、これで気象庁がこういう方針でいるというわけではないので、ちょっと先走りした内容が書いてありますけれども、こういったモデル、数値シミュレーションの結果を理解しながら、この前兆すべりをとらえるという1つの科学的な根拠と考えております。

ただ、これも当然のことですけれども、断層パラメータや境界条件、いろいろな設定の仕方があって、その設定の仕方によっては前兆すべりの発生場所あるいはどれぐらいの規模まで前兆すべりが成長するのか、あるいは前兆すべりが始まってから高速すべり、巨大地震の発生に至るまでの時間がどれぐらいになるのかということについてはさまざまでありまして、先ほどの気象庁の勉強会でも触れていただきましたシミュレーションの結果でも、長期にわたって前兆すべりが続いて、長期というのは1か月オーダーぐらいまで前兆すべりが続いて地震に至るということもシミュレーション上は出てくるので、どれぐらいの大きさあるいは時間のスケールで考えたらいいのかということを一意に決めることはできないと認識しております。

実際にプレスリップがとらえられた、明確にとらえられたと知られている例は、それほど多くないですが、参考3として12ページ以下に既往の研究、ピアレビューが通った論文を主として、網羅的になっていないかもしれませんが、いろいろ拾い集めたものを示しています。

3 ページは、現象が観測されたと報告されている事例。その後4枚がを見つけようとしたけれども、残念ながら見えなかったという事例で、過去どういうイベントのときにどういうことが見つかったのかを私どもとしてもを見つけようとしています。

19ページには、前回、気象研で整理、レビューしたものを載せております。

20ページは、プレスリップモデルとは違うかもしれませんが、プレート境界のすべりに起因する地殻変動と地震との関連性についてまとめたものにしております。1つは、房総のスロースリップイベントと、もう一つは、十勝沖の余効すべりが東の方に進展していった、釧路沖地震が起きた例に関するものであります。

見つからなかった事例が余り大きな規模の地震ではない、マグニチュード6あるいは7クラスの地震なので、その発生した地震の周りに適切に観測点が配置されていないとか、あるいはセンサーそのものの検知力の問題もあってクリアにとらえられなかったのではないかなと考えております。

東海地震に対する気象庁のひずみの観測網、観測体制等についてはまた別の機会に御説明する時間もあるかもしれません。

ここにある絵のとおり、27か所のひずみ計によって監視するというのを主体としております。先ほど御議論もありましたとおり、産総研さんのひずみ計も見させていただいておりますし、Hi-netの傾斜計、GEONETのものも気象庁の方でリアルタイムで見るというやり方をしております。ただ、主体はというと語弊がありますけれども、ひずみ計に比重を置いて監視をしております。

ひずみ計は2種類ありまして、凡例にも書いてあるとおり、体積ひずみ計は、30年以上前から使っているものですが、体積の変化をシリコンオイルで検知して、ひずみ量を求めるもの。最近では、多成分ひずみ計、いわゆる石井式のひずみ計と言っているものですが、それを用いています。基本的には、45度ずつ回転させた、4方向のひずみを測るという仕組みを持った多成分ひずみ計を使っております。

ひずみ計のデータの一例をここにお示ししておりますが、生データは外部擾乱をいろいろ拾っておりますのでプレスリップに伴うものをちゃんと見ようと思うと、ノイズ除去をしなければいけないのですけれども、まず、基本的には、潮汐補正をする。気圧補正をする。最後に降水補正をするという、取り除ける外部擾乱はこういった形で取り除いて、この絵は余り見やすくないかもしれませんが、上から4番目のデータを監視しているということにしております。多少、補正をし過ぎた、補正残差もありますけれども、できるだけの外部擾乱の除去をしております。

これも改めて説明することもないですが、降水の影響は、先ほど小泉さんからもお話がありましたけれども、結構出るのですが、特に体積ひずみ計の方には顕著に出るので、それに対して、先ほどの多成分ひずみ計の方にはよほど大量の雨が降らないと雨の影響は見えないということもあります。どちらにしても、降水補正までやったものに従って常時監視はしている状況でございます。

ひずみ計でどれぐらい検知力があるのか。基本的な考え方は先ほど水藤さんがGEONETで御説明したようなものと同じ考え方で、モーメントマグニチュードで検知力を表現するとしております。

内陸直下であれば、大体、マグニチュード5.5ぐらいのところまでのすべりであれば、このひずみ計で検知できると見ております。場所によってはもっと小さい5.2とか3とかというところも検知できると考えています。

これは各観測点でそれぞれノイズ評価をしておりますして、先ほど外部擾乱を取り除いた後のデータについて普段のノイズレベルを評価しておりますして、それを明らかに超える変化が2か所でとらえられたとしたときの最低のすべりというか、モーメントを計算しているものであります。

先ほど内陸では5. 幾つという説明をしましたがけれども、ごらんいただいてわかるとおり、この想定震源域の南の端の方だと6ぐらいすべらないと、先ほど言った、2か所でとらえることは難しくなってきます。どこでプレスリップが起きるかということは、余り先入観を持たずに監視しようとする場合には、沖合の方が多少手薄になっているということがこの絵からは読み取っていただけるかと思えます。

前兆すべりの規模がどれぐらいかということも先ほどの説明で、必ずしも明らかでないというお話をしましたけれども、Kanamori (1996) に書いてあるような、破壊の最終規模のたかだか1%だろうと、それ以下だろうということで少し見積もってやると、東海地震のモーメントマグニチュードが8.0ですので、その1%だと6.5ということになります。それと比べるとかなり小さいすべりからちゃんと検出できるのだと言えるのではないかと思います、その1%程度というものも確かな数字ではないので、ここも余り先入観なく、ちゃんと見ておかなければいけないだろう。

そういったひずみ計の検知、監視によって、我々は3つの情報を発表するというところで体系をつくっております。

1つには、まず、先ほど2か所以上で検知したときの検知力を御説明しましたがけれども、いずれかの観測点で明らかに異常な変化をしたという場合には、その変化がどういう原因で発生したのかということ直ちに調べるということ世の中に説明するための、東海地震に関連する調査情報を発表するというようにしております。

その後、事態が進展して、2か所で明らかな有意な変化をしたということであれば、注意情報を発表する。この段階になると、2か所以上で、かつそのときに判定会の議論を経て、その変化が前兆すべりである可能性が高まったと判断が出た場合には注意情報を出す。判定会を開催するいとまがないぐらい急速に変化して、3か所以上のひずみ計で有意な変化が、明らかな異常な変化をした場合には、判定会の判断を待たないで注意情報を発表して、前兆すべりの可能性が高まったということ世の中に示すということにしております。

3か所以上でひずみ計が変化して、判定会を開く余裕があれば、その判定会の中で議論して、東海地震につながるプレスリップが発生したという判断が出れば、予知情報を出す。

他方、そのいとまがないぐらい早い変化であれば、5か所以上のひずみ計で変化すれば気象庁の判断で予知情報を出すとしております。

こういった基準そのものも判定会場で御検討いただいて、こういう設定で我々は監視、情報発表する基準として持っていてよかろうということで、御承認という大変ですけども、御理解をいただいているところです。

あと、2.4として、予知の不確実性という項を設けておりますけれども、プレスリップをとらえて情報を出すという仕事の組み立てをしてしておりますが、最初にお話ししたとおり、必ずしもプレスリップの規模がわかっているわけではないですし、先ほどの検知力の限界以下でプレスリップから高速すべりへの移行をしてしまうと、我々はプレスリップをとらえることなく地震が起きてしまうということになります。先ほども非常に変化が速い場合にはという情報の発表の基準のところで御説明しましたけれども、仮に前兆すべりをとらえたとしても、余りにも進行が速くて、情報を世の中に周知して、あらかじめ定められた体制をとる以前に地震が起きてしまうということも十分考えられます。ですので、そういった場合には、地震が起こる前に確実に情報が出せない場合も当然考えておかなければいけない。

前兆すべりの規模と地震の規模との関係は必ずしも明らかでないものもありまして、とらえた前兆すべりでもって、想定どおりの地震が起きるかどうかという保証もないと考えておりまして、そういった場合には、考えにくいとは思っていますけれども、マグニチュード8に至らず、マグニチュード7.4とか5とかという、規模の小さな破壊を伴う場合、あるいはこれはこの場で御議論いただくのかもしれないけれども、連動すると、西の方にどんどん破壊が進展していく、すべりが進展していくということもあり得るということで考えておかなければいけないのですが、気象庁の東海地震の予知というのは、地震に先行して前兆すべりが発生するというモデルに従いまして、その前兆すべりがとらえられれば、そこで、その地域で想定している規模の地震が発生するのだということを伝えようということでありまして、ちょっと言葉を変えて、余り適切な例えではないかもしれませんが、前兆すべりがとらえられたということは、前兆すべりが発生したということは、高速すべり、地震の発生に向けて地下の変化が進行し始めているのだという解釈をするのだと。それで、そのことを情報として伝えるという考え方だろうと思っています。ちょっと言い過ぎかもしれませんが、ある意味、ナウキャストをしているのだろうと。一連の地下の変化をとらえて、将来を物理的に予測するということではないのですけれども、そろそろすべりが始まるよ、地震が起きるかもしれないよということを言おうということです。

先ほど、参考資料の3の20ページのところで房総のすべりについての文献を拾った意味も、1つの例にはならないかもしれませんが、こういうすべりが見えたときには、その先に地震があるかもしれないよということを示すことと理解してもらうのがいいのかなと考えています。

あと、プレート境界で発生する、先ほども出てきたスロースリップイベントについては、先ほど言ったひずみ計の監視網でちゃんととらえることができている、深部低周波地震の検知とともに、こういったひずみ計の変化でもってプレート境界のすべりがちゃんと検知できているということで、ここに示している例は、今年の3月23～28日にかけての変化で、スロースリップイベントに対応するひずみの変化のところに矢印を付けています。この変化でもって、どれぐらいの規模のすべりだったかということインバージョンしたのが右の図で、この赤いところ全部がすべっているということではなくて、このどこかでマグニチュード5.4～5.5のすべりが発生しているのだと見積もっています。

先ほどお示した検知力の絵と比べていただくと、先ほどの検知力の見積もりが大体妥当なのだろうということがこの事例からも御理解いただけるのではないかなと考えております。

先ほどGEONETの監視の話もありましたけれども、長期スロースリップの監視ということも我々はやっておかなければいけないということで、GEONETのデータあるいはHi-netの傾斜計のデータも併せて監視するようにしております。

説明するのを飛ばしてしまいましたけれども、長くなって済みません。

ノイズリダクションの1つの方法として、複数の観測点のひずみのデータをスタッキングしてS/Nを上げるという試みをしておりまして、これは先ほど御紹介したスロースリップイベントに対して、これはこの観測点ごと、成分ごとに見たのですけれども、スタッキングして、地域ごとにそれぞれどれぐらいのすべりが発生すると、それぞれの観測点、どれぐらいの、どちら向きの、縮みの変化なのか、伸びの変化なのかということの極性を計算しておいて、あとはノイズレベルで規格化して足し合わせるというやり方をして、ターゲットとする領域でどれぐらいすべっているのかを表示できるようにしたものです。

先ほどの3月のイベントですと、ちょっと地図が小さいですけれども、大体、東海5という地域ですべっているということが、このスタッキングのやり方で監視できるようになるのではないかなということで、これは今、お試しでやっています。

スロースリップイベントをとらえるというのをまず手始めにやったのですけれども、今は想定震源域を覆い尽くすように107のグリッドでそれぞれスタッキングができるように監視をしております。個々の観測点で見ると検出能力が若干よくなると期待して、実際にはクリアーに見えると考えております。

あとまとめは文字の方にも書いてございますので、今言ったことをまとめさせたものでございます。

済みません、長くなりました。

○山岡座長 どうもありがとうございました。

ちょうど7時という感じなのですが、いろいろな御意見があると思いますので、若干5分か10分延長させていただくと、御意見、コメントがあればお願いしたいと思っております。

どうぞ。

○井出委員 前兆すべりと言っていますけれども、実際には前兆かどうかというのはわからないで、要はスロースリップが見えるわけですね。そういう例としては10年くらい前に東海スロースリップというのが実際に起こったのですけれども、あれがその後、東海地震のこういう予知体制に結び付かなかった事情というのを私はよく知らないので教えていただけたらありがたいのです。

○土井地震予知情報課長 結び付かなかったというのは。

○井出委員 警戒宣言が出ていないですね。

○土井地震予知情報課長 あの段階で出なかったという。つぶさには記憶しておりませんが、あれ自体が加速的な変化をしなかった、広がり、事態は進行していたのですが。

○井出委員 例えば一応基準があるわけですね。先ほどお見せいただいたこの基準のどれに合わなかったからあれは出なかったのですか。

○山岡座長 この基準をつくる前ですね。

○井出委員 その前には何の基準もなかったからということですか。

○山岡座長 あの基準は2003年だから、東海スロースリップが見つかったときはまだ。

○井出委員 なかったけれども、では、どういうつもりで。私はあれこそまさにスロースリップで警戒宣言を発令。

○横田参事官 当時、吉田さんが課長だったのかな。吉田さんに聞いたところによると、結構どきどきしたらしいのだけれども、後で考えれば基準に合致したと思って出した方がよかったかもしれない。ただ、当時ははっきり見えなかったことと、もともと加速するというイメージがあったこと。そういうイメージに合致しなかったので出さなかった。ただ、結構びくびくはしていた。あんなに長い期間いろいろあって、だから、後から考えれば。今はああいうことが起こると、ここに合致していればいずれかの情報を出し、少なくとも判定会を開催して検討するという事態が起きる。ただ、もう既に一度知ってしまったので、これは土井さんの判断になるけれども、知ってしまったのでそれと同じ現象だと思って、会長と相談して要らないといったときにはそういうことが起きているということと、要らないということを現状はどこかの段階で記者発表するということになると思います。

○井出委員 ということは、今言っているこの基準というのも全然客観的なものではないということですね。例えば。

○横田参事官 あそこに有意な変化は2倍以上の変化があるので。

○井出委員 今、東海スロースリップと同じことが起こった場合、これのどこに来るのですか。

○横田参事官 東海スロースリップと同じことが起きたときに、顕著な変化をしたときの云々というところで見ると、多分最初の段階の1番目か2番目のところがどこかのタイミングで引っかかって、今、こういう変化がありますと、それを急遽調べないということできるとすると、臨時の調査情報を出す、もしくはそういう注意情報を出して今そういう

変化があるというか、どちらかの状況になると思います。調査情報はどこかの定例でいか、臨時でいかは変化によって違うけれども、必ず情報が出る。

○土井地震予知情報課長 過去の基準が最後の紙、27ページのところにあります。時定数の長い変化だと、ひずみ計はトレンド除去してしまっていて検知できないこともある。長期スロースリップもGPSの方では非常にクリアーに見えていたのですけれども、この基準の中にはGPSは入れていないということもあり、そういう意味ではこれに合致するような変化が出てくれば先ほど横田さんにフォローしていただいたように調査情報を出すのですけれども、ひずみ計でとらえられないということも1つはあるかもしれない。

○井出委員 これはこういう警報にはあれは結び付けないと思うのですけれども、東海で地震が起きるか起きないか考えたときに、あそこでスロースリップが起きているということはむちゃくちゃリスクがその間は高まっているということは間違いないですね。ですから、そういうことを伝えられない、これで一応伝えているということになるのかもしれないのですけれども、そういうことはこの間の会議で少し話したラクイラの報告書で出たようなものを分けて考える一発勝負の警報ではなくて、これは思想的に案を出すということはそれに近くなっているという言い方もできますけれども、そういう現状の科学者の平均的な意見と今の気象庁の体制というのが合っていないように私には見えます。

○土井地震予知情報課長 当時も情報としては出さなかったのですけれども、判定会後の記者会見の場では何が起きているかということとはちゃんと説明しています。直ちに東海地震に結び付く心配はないという。

○山岡座長 2003年の前は何もなかった。2003年はとりあえずこういうのを公表した。それはその段階ではよかった。それから10年経ったので、今はまた再検討する方が私はいいと思うので、是非御検討してください。

○横田参事官 私が言うのもあれだけれども、このリーフレットで今、井出さんがおっしゃるようなことはブルーのところ、臨時というのと定例というのがあるって、毎月のものは定例という形できちっと情報として出すことにした。臨時で急遽出す必要がある調査情報あるいはずっと定例として出し続ける必要がある調査情報、これがあればその部分は出し続ける。黄色と赤が出れば、これはずっと定期的に2時間ごとに定期的に出すということにしているので、今日は土井さんの説明はなかったけれども、解除するまでずっと情報は出し続ける。それも定期的に、一定の時間間隔で黄色と赤の情報はずっと解除するまで出すとしていますので。

○山岡座長 その出し方は最近かなり明確に。

○横田参事官 これは平成23年、ちょうど私のときですが、全部そういうふうにしちつとしよう。約束事に今までなっていたものをもう一度明確にしたりわかるようにしたことです。今のようなことで出すようにしている。そういうのも必要があればまたフィードバックして気象庁の中で話すことになると思いますので。

○山岡座長 もう一つ質問なのですが、先ほど土井さん、井出さんはすべりというところの観測に基づくとということですが、加速度的というか、どんどんすべりが大きくなるということはどの程度考慮しているか。

○横田参事官 書いていない。

○山岡座長 今は書かないのですか。

○土井地震予知情報課長 今は見ていないです。すべりの加速ということではなくてすべるといってその大きさと検出限界で情報を出そうとしている。

○山岡座長 昔は加速を少し重視したところはあったけれども、そこは。

○横田参事官 加速度はできるかどうかわからないので入っていないのだけれども、判定会の中で必要があれば判断するかもしれない。

○山岡座長 もう一つは、震源域というものの定義をどうするか。南海トラフの巨大地震のモデル検討会は震源域を広げてしまったけれども、広げるかとか、震源域をどうするかというのもこの基準の中にある重要なポイントになってきますね。

○土井地震予知情報課長 南海トラフのモデル検討会の中には、強震動生成域がどれぐらい大きくなるかとか、津波の生成域はどれぐらい大きくなるかということを考えて巨大なものにしたと理解していますけれども、プレスリップ検知ということ想定したときには、どこがどう固着しているのかということところが大事なのかなど。ただ、今のこの形が本当にベストなのかどうかというのはわからない。

○山岡座長 要するに低周波微動域で起きている分には特に情報は出さない、いつものことであると。

○土井地震予知情報課長 情報を出さないというわけではなくて、定例の調査情報で述べている。

○山岡座長 いつものことだろうけれども、それがもうちょっと固着域の方に近づいてくるとちょっと情報の出し方が変わる。

○井出委員 その次にこの間と同じスロースリップが起きたときに、これは東海スロースリップだからと思ったら逆に大間違いということもあり得ますね。だから、なかなかすごく難しいことをやろうとしていて、今の科学のレベルに本当に合っていないと思うのです。

○横田参事官 この議論を余りここで深めたくはないのだけれども、それはまた別のところに置けばいいと思う。ここの中に変化量が2倍ということを出しているいろいろやっているということは、先ほどの深部低周波地震のすべりの領域及びそれが広がる領域。どんどん広がってきてここにかかれば必ず情報を出すので、先ほどよほどのことがなければという前と一緒にだということと言ったけれども、もともと今のシミュレーションでいくと、東海地震の掘さんたちがやったもの、ゆっくりすべりが何度かすべるうちに東海地震が発生することがある。そのことがあるので、あそこが広がることは物すごく重要だと。ゆえに、気象庁の今の検知力は、産総研も含めて、この浜名湖を含む西側の領域まで検知力を高めている。それでああいう何点かの2倍というのが出たら情報を出すようにしている。だから

ら、その基準が更にいいかどうかというのはもう少しまた議論してもらえばいいかと思うのです。

○井出委員 私が言いたいのは、青はいいと思うのです。青は出せるのです。黄色から赤には絶対行かないのではないか。だとすると何なのかという。

○横田参事官 そうかもしれないですねというのは、まだ我々はそれを見たことがないのですが、そのために判定会があったり、ここの中で決めているのは、明確に5点以上、気象庁の中でも5点以上あれば、それはまず黄色を出して判断に入るとはした。だから、かなり切迫しているということの情報とかさまざまなことは出せるようにしているので、本当に出せるか出せないかとかという議論についてはもう少し別の形で議論してもらえばいいと思うのです。

○山岡座長 情報と対策というところまでリンクするので、余りやりすぎるとそこが議論できなくなるけれども、ここではどちらかということ現在の科学の実力はどのくらいである、それに基づいた情報は出る。それをどう対策するかは上位の委員会にお任せするのかと思っているわけです。

○横田参事官 そうです。ここの中で言うと、黄色になると官房長官が記者会見をして国民に一定の防災対策を取るよう呼びかけるという形を取っているので、黄色になるとある一定の効果があるのではないか。赤になると総理が警戒宣言を出すという体制になる。

○井出委員 この場合は今の科学の実力を議論しているので、この現在の科学の実力から言って黄色、赤というのはあり得ないなというのが私のコメントです。

○山岡座長 黄色と赤と判断するという基準はそれでいいかどうかは明瞭ではない。

○横田参事官 基準が適正かどうかという意味ですか。

○井出委員 そうです。勿論、提供できるかということは適正なものを提供しなければいけないわけで、適正なものが提供できるか。

○山岡座長 1つは、スロースリップが発生したということ、何点以上変化が出たということは情報として出せると。それを青、黄、赤と科学が判断できるかということ、それは非常に疑問である。

○長尾委員 シミュレーションで東海スローイベントみたいなことが何回かあったというのは少なくとも3回あったかもしれないということ。

○山岡座長 それは可能性があった。

○長尾委員 かつ間隔が詰まるとかそういうことだから、どこまですべられるかということなのですか。

○山岡座長 それも結構モデルディペンデントなのでそれもよくわからない。

○井出委員 スロースリップに関しては次回私がしゃべらなければいけないのかもしれませんが、あれはスロースリップが出るようなシミュレーションをすればスロースリップが出ているのであって、勿論、スロースリップが出ないシミュレーションというのは

あるわけです。それはシミュレーションで出るから云々という議論は、それも今の科学のレベルを超えているのではないかと思います。

○土井地震予知情報課長 ただ、今のスロースリップが実際に観測されているのが本当にスロースリップイベントかという議論もひょっとしたら必要かもしれないですけども、それを再現するようなモデルでないと、そのモデルとしてうまくないですね。実際起きている現象を説明できないということではない。それではだめですね。実際に起きている現象を説明できないモデルをつくってもしようがないですね。実際に東海で観測されているスロースリップ。

○松澤委員 先ほどの3点、5点というのはあくまでもひずみ計で出た場合の話ですね。GPSでいくら出たとしても今のところは入ってこないですね。だから、もし引っかかるとすれば、前回の東海スローイベントのもっと大きな短周期の変動が出てこない限りこの条件には引っかかってこないわけですね。それが1点と、先ほど山岡さんが心配されたように、一方でプレスリップと言われるのはかなりあやしいものも含めて加速しているものは、最近のものを見ていくとほとんどないと思うのです。だから、私も昔は加速していくのかどうか判断の基準だと思っていたけれども、それはかなり難しくなっているとする、ますます普通のスリップイベントとの区別が物すごく難しくなってきますね。

○横田参事官 難しいでしょうね。ここの中で整理したのは、わからない、加速という条件を除く。わからない。想定する震源域の中に決まる。その決まった数が何点かによって確実度を合わせる、そうしたら出す。これは社会の仕組みとして出すことにした。問題は、出した段階で次に解除できるか。誤りかもしれないのでそれを解除できるかということが極めて大きな課題になってくる。今は出す条件は割と明確につくってある。だけれども、解除する条件は明確につくっていないので、これは実は山岡さんにこの勉強会を頼んだときもそうだけれども、これから解除すると、社会の仕組みとしての解除の基準についても議論しないといけない。今は先生方に出してしまうと、先生方とどうしましょう、どうしましょうとって社会的な圧力の中で解除するかもしれない。社会的な圧力の中で解除したとたんにとんと来るとということが一番起こり得る最悪のシナリオかもしれない。それはまさに難しさの部分で、今は向かう方向については先ほどのとおり、わからないことを含めて条件には明確に入れたと。

○井出委員 もしくは設定解除というオン、オフになっているからですね。前回からの議論と繰り返しですけども、オン、オフはできないのです。そこに尽きると思います。

○横田参事官 そういう中でどういうオンをしてどういうオフをするか。その全体の体制をどうするかということだと。今の部分は科学的にどうできるかということとどういう考え方で整理するか。それはこの場できちっともう一度意見をいただいたり、あるいは今後の検討の方向を意見としていただければ、現状の知見として整理できればと思います。

そういう中で防災体制をどうするかは改めてワーキングの方できちっと議論してもらえれば。

○山岡座長 例えばスロースリップなどがあるとリスクが高まっているということは定性的には言えるけれども、科学でオン、オフということはなかなか難しい。そういうところをここでは整理して、それをどう扱うかは、そういうものだという前提で社会が扱うということをして是非お願いしたい。

○横田参事官 これまでの議論の中では、何か異常があったとして、それが結果いつ起こるといふこととか、少なくとも知っている範囲において、今の短期で起こるといふことについての材料はまだないのです。今度のシミュレーションとかさまざまところでまたいろいろ議論をいただければと思います。

○川端先生 私の立場で一言だけ短くいいですか。予知はできるのですという時代から、市民感覚で予知などは忘れてしまっているわけです。忘れていきますから、正直言ってこの3つの色分けをどれだけ住民が知っているかという非常に難しくなって、そのところはあつたから、この場ではないかもしれないけれども、もう一つPRも。これはメディアも悪いと思うのです。もう慣れっこになってしまつて、どうもそのところで知らない。

○井出委員 何か特効薬はありますか。

○川端先生 私もメディアですが、お前らはだめだだめだと言うだけではだめで、うまい火の付け方も必要です。地方行政も最近はこのパンフレット等にあるようなものをあちこちの住民広報などで講演会などで話をしないですね。昔などは一生懸命こういう話をさせてもらいましたが、色分けでこういうふうにありますよなどということ、町で警戒宣言、何ですかという人がとてもそういう意味では多くなつてゐるのではないかと思うのです。

○長尾委員 静岡県は余り予知に頼つてゐるということはないと思うのです。問題は今、これだけ観測網が進歩すると、あいまいな、だけれども、変なことがわかつてしまつたときに科学として何が言えるかといふか、非常にそれが地元住民としてはそこが問題だと。自然にHi-netとか監視してゐる素人がたくさんいるわけです。今、小泉さんはいなくなつてしまいましたけれどもね。

○山岡座長 要するに公式にはどういふ情報を出すかといふ問題が非常に重要である。

○長尾委員 静岡空港で地下水が変わつたとかといつて大騒ぎになつたとかですね。

○山岡座長 だから、公式情報を出さなくなると変な情報が独り歩きするので、公式な情報を出さないといふソリューションは多分ないのではないかといふことで、済みません、時間が。

どうぞ。

○堀委員 確認といふかお願いですけれども、これは今、検知能力の図6は何点ですか。

○土井地震予知情報課長 2点です。

○堀委員 赤になる条件を満たす場合はどのぐらいの規模なのか。3点とか5点ですね。やはりこの基準の妥当性といふのはかなり問題といふかちゃんと。

○土井地震予知情報課長 2点と検知能力を評価したのは、その段階からは判定会で議論を検討し始めて、その後の事態の進展によって情報を出していくという最初のきっかけなので、その最初のきっかけがどれぐらい小さいところまで見えるのかというところでお示ししたのです。

○堀委員 小さい方はいいと思うのです。青とか。

○横田参事官 先ほど難しいと、科学的にどうかという部分でいくと、科学的に難しいので最後に赤を出すのは判定会でしか出せない。

○井出委員 判定会でも出せないと思う。

○横田参事官 判定会でしか出せない。そういう中で気象庁自ら出すものをつくったというのがあって、その中の最後の5か所以上のひずみ計で有意なものをして云々というのは、明確に起きたときに判定会でしか出せないと思いながら、後から気づいたら明確ではないかと言われるようなものは気象庁自らも出しておこう。これが5番目のもの。わからないので、赤のところに書いてある5か所以上のひずみ計で有意な変化を観測、それが東海地震の想定震源域内に求まっている、明確な明瞭な変化だと、このときに何もしないというのは。

○井出委員 判定会がないのですね。

○横田参事官 このときはこれは判定会がなくても出してしまおう。

○堀委員 だから言っているのですけれども、そういうものがもう今既に設定されているわけです。それがどういう基準、どういうことが起きたときにそういうことになるのかと、それを多分だれも把握していない。それをきちんと出して。

○横田参事官 事実としてどうなっているということを出すということが重要ということなんです。一応出しているのではないですか。結果的に出る。マップでホームページに公開したのではなかったか。

○堀委員 もしそれを超えたら、自動的に気象庁が予知情報を出すことになっている。

○横田参事官 総理が警戒宣言を発するかどうかは分かりませんが、仕組み的には総理に報告する。

○井出委員 それはでも、この間の東海スロースリップではそこは引っかからないような設定なのですね。わかりました。

○土井地震予知情報課長 その計算はお示しました。

○横田参事官 気象庁の今の仕組みで何らかの課題を指摘するまでがこの場の議論でいいですか。それ以上入ると、それは気象庁でもうちょっとやってくれということ。

○堀委員 我々がどうこうしてくれというよりは問題ですねと言っているだけだとは思いますが。

○横田参事官 課題として整理してもらおう。

○山岡座長 よろしいでしょうか。ということで、20分ほどオーバーしてしまいましたが、今日の議論は終了したいと思います。事務局からの連絡事項をお願いします。

### 3. 閉 会

○藤山参事官 どうもありがとうございました。先ほどお話ししたとおり、次回は9月13日、午前中10時からになりますけれども、この場で開催いたします。どうぞよろしく願います。

資料の郵送を希望される方は、袋に名前を書いていただければこちらから発送いたします。