

議事(1)令和元年度開始特別研究課題「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための高精度な地殻活動把握手法の研究開発」中間評価【審議】

①中間評価時点説明

発表者:地理地殻活動研究センター地殻変動研究室長 宗包 浩志

資料1-3 説明資料(中間評価)

【スライド1】

本日は、「南海トラフ沿いの巨大地震発生に対応するための地殻活動把握手法の研究開発」という特別研究について御審議いただきます。資料1-3のパワーポイントに従って内容を説明させていただきます。

まず、本研究ですけれども、平成31年4月から5年間の研究でございまして、今回、中間年で評価をいただくということです。予算については、令和3年度までの合計で6000万円超ということで研究を実施してございます。

【スライド2】

まず最初に研究開発の目的ですけれども、御存じのとおり、南海トラフでは海溝型の巨大地震が繰り返し発生していきまして、その危機が言われているところでございます。前回、昭和東南海地震、昭和南海地震という1940年代の地震ですけれども、それからもう70年たっているということで、地震の可能性が高まっているということでございます。実際、地震調査委員会におきましても、平成30年2月に地震30年の発生確率が引き上げられたところです。

【スライド3】

まず、南海地震に対応するために国土地理院はどのような取組をしているかについて御紹介申し上げます。

国土地理院は測地データ、電子基準点のGNSS連続観測であるとか水準測量、干渉SARなどを通じて日本列島の地殻変動を監視してございます。

その中で、南海トラフに関して地殻変動の現状、異常がないかどうかとか、あとはデータを解析して得られるプレート境界面の状況など、国の委員会に資料提供しているところです。

たとえばどういうものかといいますと、これは電子基準点の変動のベクトル図ですけれども、このようなものとか、あとはプレート境界では、時々、長期的ゆっくりすべりと呼ばれる緩やかな、1年から数年かけてすべるような現象があつて、今、日向灘で起こっているところですが、こういうもの

をモニタリングして結果を報告するとか、あとは、これはプレート間固着と言ってプレートどうしがくっついているところで、将来地震が起きたときに大きな地震波を発生させるところになるわけですから、そのような、プレートがどこでくっついているかという状況についても解析をして報告しているところですよ。

【スライド4】

プレートの状況に関連して、南海トラフで地震発生前にどういうことが想定されているかということを紹介いたします。これは内閣府で2017年に取りまとめられたもので、このとおり起こるかどうかなんてはわかりませんが、現時点の知見でこういうことが想定されるのではないかなんていうことで取りまとめられたものです。

ケース1と2と書いてありますが、両方とも想定震源域、つまりこの範囲内で地震が起こることが想定されているわけですが、その一部とか半分が割れた場合ですよ。

具体的にこれが発生したらどうなるかといいますと、地震がたとえばこの辺りで発生したとしますと、余効すべりと言われる、その周辺でゆっくりとしたすべり、が起こることが知られています。そのすべりがだんだん発展して、まだ割れてないところに到達して、そこでまた割れるということが想定されますので、地震直後の余効すべり、つまり震源周辺のプレート境界でのすべりを正確に把握することが必要だということが言われています。

次にケース3で、地殻変動以外にもプレート境界面での何らかの変化を示唆する現象が観測された場合、具体的にはよくわかりませんが、地震活動であったり、地殻変動もそうですが、地球電磁気学的な変動であったり、プレート境界面での変動に応じて応力が変わることによって、地下水の水位などにも変動があるかもしれない。そのような異常現象が観測された場合にはどうするかといいますと、それに対応してプレート境界面で何か異常なすべりが起こっていないかどうかなんていうことで、この場合はプレート間すべりの正確な把握が必要になるということですよ。

最後に、プレート間の固着の剥がれが発生した場合ですが、これは先ほど固着という、プレートがくっついている場所について御紹介いたしましたが、その周辺でくっつきが剥がれて、ここがだんだん弱くなり、くっついている部分が破壊して地震になるというシナリオが想定されています。その場合は、やはり固着状態の正確な把握をおこなって時間変化がどうなるかを押さえるということが必要になってきます。

【スライド5】

以上、プレートの状態をモニタリングすることが必要ということで具体例として、想定される事象を紹介しました。それぞれについて本研究を立ち上げる時点で課題というのが見えてきておりまし

た。本研究はその課題を解決するということです。

まず1つ、ケース1、2の場合ですが、巨大地震、東北地方太平洋沖地震が2011年に起こりましたが、その経験を踏まえて余効すべりの推定に際してどのようにすればいいかというのが見えてきました。

それは、余効すべりというものを考えるときに、粘弾性緩和という影響をしっかりと把握することが必要であるということがわかってきました。

どのようなことかといいますと、余効変動、実際に地震の後の変動が電子基準点等で観測され、これをプレート境界のすべりに焼き直すのですが、実はプレート境界面でのすべり、いわゆる余効すべり以外にも変形をもたらす要因があります。それが粘弾性緩和というものです。

粘弾性緩和は、地震が発生しますと、そこに力がかかるので、それを解消するように地下深部の岩石がゆっくりとした変動を起こすというものです。

具体的には、たとえばアスファルトをタケノコが割るということがよく観測されますけれども、固体であっても、ゆっくりと力をかけ続けると水あめみたいに变形する。そのようなことに類似する現象が[地下深部(正確には下部地殻および上部マントル)の全体で]起こっています。

これを補正しないと、全部すべりに押しつけてしまうと非現実的なものが出てしまうということがわかってきました。

このようなものの補正が必要なのですが、これが非常に難しく、地下構造とか粘性率、どれぐらい变形しやすいかというものに非常に依存します。

実際に簡単なモデルで示してありますが、この単純なモデルと、あとプレートなどを入れて、少しだけ現実に寄せたものですが、これだけで非常にパターンが変わってしまうということです。

したがって、粘弾性緩和を補正するためには、地下構造モデルをまず作成して、それを基に粘弾性緩和の影響を考えることが重要であるということです。

【スライド6】

次に、ケース3、プレート境界でのすべりがどうかということ。そのモニタリングということですが、実はこれについては今でもGNSSである程度モニターできているという状況がございます。たとえば先ほど御紹介した長期的ゆっくりすべり、数か月、数年というタイムスパンでプレートの境界ですべりが起こるという現象ですけれども、それはGNSSで捉えられていて、我々も先ほど申し上げた国の委員会等に報告しているところです。

それ以外にも短期的なすべりというのがありまして、典型的なのは短期的なゆっくりすべりという、数日から数週間かけてすべるものです。GNSSでは少し規模が小さいので調べるのは難しいので現状ではひずみ計や傾斜計など、感度の高いセンサーで検知されているところです。しかしなが

ら、これらのセンサーは降雨などの影響を受けやすく、やはり面的に安定して観測できるGNSSでもできないかということが言われていました。近年の測位解の精度向上でその可能性が出てきたということで、本研究でもぜひ取り組みたいということです。

プレート間すべりの正確な把握をおこなうのに、短期的なすべりについても手法を改良したうえでできるようにして、短いところと長いところを合わせてプレート間のすべりを推定したいということです。

【スライド7】

最後に、プレートの固着、くっつき具合に関してですが、これについても見えてきた課題があります。プレート間の固着というのは、地表の観測値を同じようにプレート間の固着に焼き直すという作業をおこないます。

この資料の一番最後に解説をつけていますが、このようなものです。しかしながら、ここでくっついていることによる変形以外にも電子基準点で見える変動というものがあります。

1つは、先ほど余効変動と言いましたが、たとえば何か震源断層があって、その周りで余効変動が起こったりすることや、ブロック運動、プレートの内部で剛体的に回転したりするものですが、そのような、固着と関係ない変動というものも含まれています。そのようなものをしっかりと取り除かないと、このくっつき具合の正確なところはわからない、といったことが明らかになってきました。

【スライド8】

本研究の目的は、プレート間の変化に関する正確な情報を提供することにより、地震発生確率が高まっているかどうかという議論に資するということです。

プレート間で状態の変化に関して、以下に3つの小課題を立てて、それぞれについて高度化を図るということを目指しています。

1つは、課題Aですが、余効すべりについて、しっかりと地下構造モデルを作ったうえで粘弾性緩和を考慮できるようにするということ。

次に課題Bですが、プレート間すべりに関しては、特に短いほうが今までできていなかったのも、短いほうもGNSSで何とかできないかということの研究するとともに、短いほうと長いほうを合わせてプレート間すべりの推定を実施するというです。

最後にCですけれども、プレート間の固着状態に対して、ノイズ源となっているプレートの内部変形をまとめております。このなかの、たとえば余効変動やブロック運動など、そのようなものを正確に把握して除去し、固着状態をより精度よく求めたいということです。

この3つの課題を立てたということです。

【スライド9】

以下、それぞれについて進捗を御報告します。

まずは粘弾性緩和に関してですが、この工程としまして計算というのは非常に大変な計算で、有限要素法という、地球を非常に細かい、たとえば1kmぐらいの細かい四面体や六面体といったものに分割して、それらの力のバランスでこの変形を計算するという手法を用います。そのために地下を細分化する必要があります、その作成が非常に大きな課題です。

それができたら実際に変動を見積もります。たとえば構造をどう変えると、どう粘弾性が変化するかということの影響を調査したうえで、過去のデータが少し乏しいのでなかなか制約を加えにくいのですが、このような知見をベースに粘弾性構造を過去のデータに合わせてチューニングしていきます。

それができたら過去の大地震や想定巨大地震に対して、どれ程度、どのような変動が起こるはずかを見積もるとい調査をおこなったうえで、実際にそれを、もし地震が起こったときに補正して余効すべりを推定できるような仕組みを構築することです。

【スライド10】

これにつきましては現状、有限要素メッシュの作成がようやく終わったところなんです。どのようなものかといいますと、先ほど申し上げましたように、これは模式図なのですが、後ろに具体的なメッシュの例を示しておりますが、非常に細かいメッシュをつくります。

そのなかで、たとえばここのプレートであったり、地形であったり、あとは構造の不均質。ウェッジマントルや海洋マントルの部分など、全部を1個1個変えるわけにはいかないので、このようなところのまとまった構造について、いろいろな知見を反映しながら変えられるような仕組みを入れているということです。

【スライド11】

ここまでができたということで、残りの2年あまりを使って、ここの残った影響調査とかチューニング、影響の見積りや実際に補正をおこなう仕組みなど、そのようなものをつくっていかうと考えております。

【スライド12】

次に、ケースB、プレート間すべりに関してです。特に短期のすべりについては、正確にできるようにしようということで、まずGEONETで現状どれ程度できるのか、実際に推定できるようにします。それとともに、お互いGNSSと、感度は高いけれども、ちょっとノイズの影響を受けやすいひずみ計

と同時に使ったすべりの推定手法を開発します。実際にこれができたら、この短いほうと長いほうを合わせてプレート間のゆっくりすべりの推定を実施して、しかるべきところに資料提供をおこなうというところが本課題の想定です。

【スライド13】

これについては現状どの程度できるのかということですが、ある程度規模が大きい、マグニチュードは大体6が目安で場所によりますが、その程度であれば何とかすべりが推定できるということがわかってきました。

これは少々見にくいですが、青丸で塗っている部分が実は微動が起こっているところです。このすべりと微動が起こっているところと対応するはずだというのが先行の知見でわかっております。ですので、推定されたすべりが大体、その場所に重なっていることで妥当な推定ができているということがわかっています。

【スライド14】

次に、ひずみ計記録と合わせたプレート間すべりの推定ですが、これもようやくできるようになったというところではあります。

ひずみ計だけで推定した場合がこれで、GNSSとひずみ計を合わせた場合がこれになります。この場合、少々ひずみ計の分布は偏っているのですが、GNSSを入れることですべり域がより制約できるようになったということです。

【スライド15】

次に、2のプレート間すべりの推定ということで、過去も含めて解析をおこないました。たとえば四国で過去25回、このようなことが起こっています。これは大体、ひずみ計や傾斜計では発見されているものとはほぼ同じですが、そのようなものが推定できたということです。

長期的ゆっくりすべりについては、今起こっている日向灘と四国の中部、あとは紀伊水道です。2018年以降、志摩半島や豊後水道等でもこのようなすべりがあるということがわかっており、これについては適宜、国の検討会などで報告しているところです。

【スライド16】

以上まとめますと、プレート間すべりの把握については、短いほうのすべりの把握手法については一応できるようにはなり、一部地域で解析を実施しているところです。

ひずみ計との同時インバージョン、プレート間すべり推定については解析手法を開発したところで。今後、より適切に解析するための事例の蓄積や手法の改良が必要だということです。

プレート間ゆっくりすべりの推定については短期、長期含めておこなっており、国の検討会等へ資料を提供しております。

【スライド17】

最後にケースC、内部変形をしっかりと考慮した固着、プレート間のくっつき具合の推定ということです。これにつきましては、まずプレートの内部変形に関し、平成28年(2016年)の熊本地震の後に起こった余効変動の影響が非常に大きかったので、まずはそれを補正してみようと考えました。

さらに、それ以外の変動であったり、先ほど申し上げたブロック運動などを補正できるように、これは干渉SAR時系列解析ということ想定し、それをおこなうこととしました。そういったものを反映して、正確に補正したうえでプレート間固着を推定するというのが2ポツになっております。これにつきましても、適切に国の検討会等へ資料提供して地震発生可能性の評価へ貢献したいということで課題を立てました。

【スライド18】

これにつきましては、プレート内部変形、熊本地震の余効変動ですがまず単純なモデルで補正できないかということ考えました。

これは2層モデル。弾性体の層が粘弾性体、水あめみたいなものに乗っている上にあるという、そのような地殻と下部地殻からマントルという構造を単純化したものですが、それを最適化しますと、おおむね変動が説明できます。

ピンクがモデルで黒が観測で、この辺りが震源ですけれども、震源に向かって集まり、さらに南北に広がるような変動の様子が非常によく捉えられているということがわかりました。

【スライド19】

実際、これを補正して固着を推定するとどうなるかといいますと、固着の推定に使うデータがこれですが、ここは大体西向きになっており、先ほどの粘弾性の余効変動の影響も、この周辺で西向きになっているので、この影響を正確に補正しないと、大分の沖合で過剰な固着が推定されるということになります。

実際そうになっておまして、ここが少し強めに推定されていたのが、補正することによって正しく補正できるようになりました。また熊本周辺では、明らかにおかしな固着が推定されていたのですが補正によって、そのようなものも解消したということで、このようなものを正確に反映することは大事だとわかりました。

【スライド20】

これは現状のまとめですけれども、余効変動モデルは構築しましたが、さらにもう少し精度を上げられる見込みがあるので、それについて取り組みたいということです。

あと申し上げませんでした。干渉SAR時系列について、余効変動の時空間分布を把握することもおこなっています。ところが、また後で申し上げますが、干渉SAR時系列解析を使い、もう少し細かい変動を捉えられるようにして、内陸の活断層周辺の変動やブロック運動をより正確に求めることを予定していたのですが、干渉SAR時系列解析については難しい誤差の問題があり、まだ解決していないところです。

2ポツ目のプレート間の固着状態の推定については、熊本地震については補正モデルで補正したということですが、今後さらに知見を反映させて、もう少し高度にしていきたいと考えております。

【スライド21】

本研究の効果ですが、南海トラフ地震における国土地理院の役割は、測量という切り口でさまざまな測量データから地殻変動の現状とそこからわかるプレート間の状態を調べ、その情報を提供することによって地震が起こりやすくなっている状況がないかどうかについて、評価に貢献するということです。本研究により、その情報がそれぞれ高度化されます。

1つは、地震が起こった後に周りですべていないかという、余効すべりの情報というのがより精度がよくなります。さらに何か異常現象が起こったときに、プレートがそこですべていないかということを見るためのプレート間すべりのモニタリングについては、短いほうの変動についても何らかGNSSから貢献ができるとともに、長期間の変動についてもモニタリングを続けて、GNSSによる知見を提供できるということになります。

Cについては、プレートの固着くつき具合は、たとえば熊本地震の余効変動などの影響を正確に補正したうえで、より固着の状態をしっかりと反映した情報を提供可能になるということです。

まとめると、プレート間の状態に対して、よりよい推定が可能になり、地震発生可能性の評価がより適切にできるようになるのではないかと考えております。

【スライド22】

達成度の評価ですけれども、おおむね予定どおりですが、課題Aについては有限要素のメッシュの作成に手間取っておりますが、あと2年で予定どおり進捗できるのではないかと考えております。

この後、中間評価の時点における測地分科会からの講評をいただきますけれども、今後進めるにあたっての重要な考慮すべき事項を挙げていただきました。

1つは、地下構造モデルの検討というのは非常に難しいもので、実際にデータがありません。昭和の地震の後のデータというのは非常にまばらな測地測量データしかないため、どのようにしっかりと一意で決めるかが難しいという御指摘がありました。

これについては、たとえば2004年の紀伊半島沖地震というのがあり、その後も余効変動が起きているので、そのような近代のGNSSデータ等も活用しながらモデルの検討をおこない、できるだけモデルの範囲を狭めていきたいと考えています。

課題Bについては、短期的なゆっくりすべりが推定できるようになったということはいよいのですが、実際には取りこぼしや誤検知があることを御指摘いただきました。非常に誤差ぎりぎりのところを見取りますので、そのようなものがあるだろうということで、実際に定量的にそのようなものは取りまじめないといけないという御指摘がありました。

さらに、すべり推定の時間分解能ですが、現在は1日のデータで推定しておりますが、それでは不足する局面も出てくることから、より短い分解能が必要になるため、時間分解能のGNSS座標解を高精度化したうえで使うことも考える必要があるという御指摘をいただきました。これについては宇宙測地研究室等とも協力しながら進めていきたいと考えております。

課題Cについては、先ほど少し申し上げましたが、想定外のバイアスが干渉SAR時系列解析に乗るとということがわかってきました。これについては現在、世界の研究者等も原因究明で研究しているところです。このため、プレート内部の細かい変動についてはまだ把握できていないという現状です。これについては技術的に非常に困難が伴いますが、解消に向けて国土地理院においても検討をおこないたいと考えております。

あとは、プレートの固着具合を調べるというときに海底地殻変動が重要であるので、それを使わない手はないという御指摘もありました。それについては、使えるデータは使うことにして、より適切に推定していきたいと考えております。

【スライド23】

成果活用の見込みですが本成果のうち、現状でも短期的、長期的なゆっくりすべりについて、政府の委員会等で報告しております。あとは地下構造モデルを用いて計算される粘弾性緩和による地殻変動については、これは国土地理院の主要な業務である基準座標系の維持に非常に重要な部分

であり、宇宙測地研究室においても、そのような研究をしておりますので、その基礎データとして活用していきたいと考えております。

最後になりましたが、資料1-2のほうに書いておりますが現状、本研究で報告書2件、論文4本、査読つき、うち3本、口頭発表5件の成果を出しております。

以上でございます。

②令和4年2月1日(火)開催 測地分科会報告(測地分科会主査)

2月1日に測地分科会が開催されまして、その後で中間評価ということで、口頭だということだったのですけれども、文書にまとめたものが今日の資料1-5にあります。これに従って説明したいと思います。

2月1日に測地分科会が開かれました。その後で、今後の進め方について分科会の委員のほうから少し質問が出ましたので事務局との間で協議して、追加の話し合いを2月14日にオンラインで30分ほど開きました。ですから都合1時間40分ぐらい、2回に分けておこなったということです。

成果の概要

4番の成果の概要ですけれども、今、宗包さんの非常に詳しい説明で、成果に関しては皆様に説明があったので、ここは省略させていただきますが一言で言うと、このテーマは非常に目標が高くて、しかも社会的影響が非常に大きい。人命、財産に関わる非常に大きなもので、国土地理院としても非常に期待が大きいだけに重責を担うようなテーマであると思います。

それから、設定が高いところにあるだけではなく、ゴールが見えにくい。巨大地震発生に対応するというのですが、これは巨大地震が発生しないと本当に対応できたかどうかの答えがわからないということで、どこまでやればいいのかということもわかりにくいという、かなり難しいものであることは確かです。このことは、3年前、事前評価をしたときにも、委員の間からそのことが出ていました。

当初目標の達成度

5番の当初目標の達成度ですが、これもいろいろな方面から着実に評価結果が出ております。ただし後で申し上げますが、やはりまだまだ解決すべき問題も多く残っているということです。

達成度の分析

これも今、宗包さんのほうからいろいろ説明いただきましたけれども、いろいろなことがある。たとえば最初に粘弾性緩和をきちんと計算するための地下構造モデルをつくったということです。これも説明があったように、本当に西南日本に一番いいモデルができたかどうかの検証が必要である。検証するためには過去のデータも必要ですが、西南日本の場合にはそのデータがまだ乏しいというこ

とで以前の測量データなども活用して、一意なモデルが決定できるかどうかわかりませんが、とにかくこれでできたといっても、それが本物かどうかという検証が引き続き必要だろうということです。

それから、GNSS単独またはひずみ計も使って短期的・長期的ゆっくりすべりの推定が可能になったのですが、ここにもまだやるべきことはあって、先ほどもありましたように、誤検知とか取りこぼしのチェック、それから、今おこなわれているような1日ベースの分解能ではなく、さらに時間分解能を上げていく必要があるのではないかとことです。

プレート内部変形に関しましても、熊本地震に関してはGNSS、干渉SARともに大活躍したわけですが、これは言ってみれば、非常にシグナルが大きかった。地震が大きかったのでいろんなものが使えましたが、実際には地震のようなイベントが起こらない、定常的にゆっくりと進むような変動、これも実際に内部変形としてあるわけですが、その切り分けというのがまだ少しできていない。干渉SAR時系列解析というのが今少し活躍できていないという問題もあります。

最後のところに、非常に複数の大きな研究課題から成っていて、目標の難度も非常に高いので、着実な進展がある一方で、やはりまだ課題があるでしょうということです。

残された課題と研究開発の方向

最後の9番の課題ですが、宗包さんの先ほどの発表のスライドの22ですが、分科会のときにはありませんでしたが、我々が言った課題が先ほどのスライドにきちんとまとめられていましたので、同じことの繰り返しになるかもしれませんが、せっかく書いたので説明させていただきます。

まず最初に干渉SAR時系列解析は、事前評価のときには時系列解析をおこなって、内部の定常的な変動までおこないたいということでしたが、まだ少しそこまでは到達してなくて、1つには新しい衛星がまだ上がってないということで観測頻度の問題もありますが、当初予想されてなかったノイズレベルというものが今問題になって、期待されたほどの成果がこの分野で上がっていないということです。

それから課題として、ポツを3つほど書いていますが、これはたとえばということですが、これも先ほどのスライド22に反映されていましたが、まず海底測位結果というのが海上保安庁からどんどん出ていまして、一番大きなソース源である海底、そこに一番近い観測結果がこの海底測位結果ですので、これはやはり無視できないものだと思います。

ただ時間分解能がないので時間変化を追うには、これに依存するわけにはいきませんが、やはりモデルなり解析の出発点として海底測位結果を入れ込む必要はあるでしょうということです。

2番目ですが、これは括弧書きをして「例えば」と書きましたが、ほかにも方法があるかもしれませんが、1日以下の分解能の測位精度を向上しないと、少しまずいでしょうということです。

これはなぜかという、今日の発表でも半割れという言葉が時々出てきましたが、実際に半割れというのは、今見ている文書の下に「想定シナリオ」と書きましたが、これは私の間違いで、「想定シナリオ」を「ケース」と読み替えてください。

ケース1から4のうち、半分が割れたというのはケース1です。つまり南海トラフの東半分が割れた、つまり東南海地震が発生したというのがこのケース1ですので、これ自体、すでに国家的災害に見舞われています。

ひじょうに国が大混乱に陥っている中で、しかも、その次の地震がいつ来るかわかりません。昭和のときには2年の間がありましたが、1つ前の安政のときには32時間、もう一つ前の宝永のときにはほぼ同時ということで、もし半割れが起こってしまったら次の西半分というのは本当にいつ来るかわからないという状況です。

そこで、次どうなるかを見るのに時間分解能を上げていかなければいけないし、それから、地理院単独というよりはオールジャパンで取り組まなければいけないということなので、そのようなことも今のうちから想定して、もし本当にケース1が起こってしまったら、これはこれでとんでもない事態なので、それに対応するような対策も考えておいていただきたいということがあります。

それから、丸ポツの3番目、ちょっと順不同になりましたけれども、地下構造モデルは、これも本当に我々が知りたい、西南日本の下の粘性構造というのはまだまだわからないわけです。モデルをつくっても、それが本物かどうかという検証はなかなか難しいので、複数のモデルを想定するなどして、臨機応変にこの粘弾性緩和の推定をおこなっていただきたいと考えています。

最後に、着実な進展はもちろん認められるのですが、これは非常に重たい宿題で、特に半割れなんて起きてしまったときには、今までどおりに研究をそのまま続けられるのかどうかという問題もあります。

そういうことも含めて社会的に非常に重要な課題ですので、地理院挙げてだけではなくて、ほかの省庁も巻き込んで、もしこういうことが本当に起きてしまったときにどう対応できるかを考えていただきたいと思います。

最後の総合評価、これは中間評価には必要なかったかもしれませんが、順調かどうかわかりません。進展があるのは確かですが、目標の設定が非常に難しいので、今どこまでそれが達成できているかというのは正直なところ、ほかの研究課題に比べて少しあやふやなところがありますが、着実に進展しているということは確かです。ただ目標が非常に高く、課題としても重要なものなので、一番最後に書きましたが、地理院が総力を挙げて今後取り組んでいただきたいというのが分科会の意見です。

以上です。

③各委員からの質疑応答

委員1

御説明どうもありがとうございました。まさに地理院全体で、もしくはオールジャパンということで、日本の様々な機関が連携して取り組むべき課題だと私自身も非常に強く感じました。

このような分野は不案内なのですが、まず基礎的なところでお聞かせいただきたいのが、御発表いただいたときに短期的、長期的なすべりということをおっしゃっていたのですが、どういう相違があって、どういう影響でまた違いがあるのでしょうか。それについて教えていただけたらと思います。よろしく願いいたします。

発表者

短期的と長期的なすべりの違いといったところでしょうか。

委員1

どういう影響でまた違いが出てくるのかというのを少し詳しく教えていただけたらと思います。

発表者

プレートの中で時々起こるすべりというのは、今見つかっているのは、いろいろありますが、短期的なもの、数週間ぐらいのものと長期的なもの、1年ぐらいのものがあるのですが主にすべる場所が違います。

短期的なほうが、よりプレートの深い部分、30~40kmぐらいのところでは起こって、長期的なところはより浅い、大体25kmぐらいのところでは起こります。その間にプレートがぎゅっとくっついているところがあります。そういった大まかな違いはございます。

それが、なぜ片一方が短くて、片一方が長くなるかというのは、そこは今でも活発に研究がなされている分野で、まだこれといって一口で言えるような理由は承知しておりませんが、今のところ、そういう場所が違うということがわかっています。

委員1

なるほど。ありがとうございました。そこが非常に気になっておりました。

それともう1点は、この御研究としては、南海トラフ沿いというところ限定した御研究でしょうか。さらに別のところで類似した状況でしたら応用できるような研究ということでしょうか。

発表者

現象自体といいますか、手法自体はほかの場所でも当然応用できる場所です。

日本の中で、たとえばゆっくりすべりが定期的にかかるというのは南海トラフから琉球海溝にかけてや、その周辺で使っていくということになるかと思います。

世界で見ますと、たとえばカスケディア、北米やニュージーランドなどで類似の現象が起こっているような地域が世界にもありますので、そのようなところでも活用が期待されます。

委員1 どうもありがとうございました。

地理地殻活動研究センター長

研究センター長の畑中ですが、今の回答に少し補足させていただきます。

南海トラフの沈み込みというのは、プレート面の境界が比較的浅いところにあって、しかも陸の下にあるので、観測で捉えやすい領域にあります。

比較的条件がいいので、ここで対象にするのが一番やりやすいところになるかと思います。場所によっては東北日本とか、プレート境界が深いところにあって、観測では、ここまでは捉えられない。ある程度は捉えられるのですが、そういった条件の違いがあるということを少し補足させていただきます。

委員1

なるほど。条件の違いというのは非常に重要だということもよくわかりました。どうもありがとうございます。

委員2からの御質問

委員2

発表ありがとうございます。私がお聞きしたいのは、モデルの数理的な解析の部分で有限要素法というお話があったのですが、それについてあまり詳しく突っ込んだ議論がなかったので、もう少し詳しくお聞きしたいと思いました。

この粘弾性緩和という計算、これは私の知る限り、最近始まったわけではなくて、それなりの歴史がある研究だと思われるのですが、だとすると、その部分で有限要素法の進展等が近年あったのでしょうか。そういうこともあって数理的にも可能になったということなのでしょう。それとも、有限要素法に関しての進展というのは、PCの電子計算機のスペックが向上して、プログラミングも向上しているのは容易に推察されますけれども、理論的に何か進展みたいなものはあったのかどうかをお聞きしたいと思いました。

発表者

まず、粘弾性緩和の研究ですが、たとえば単純な1次元の層構造などといった方向で研究が進んできました。しかし、たとえばプレートの形状を正確に入れこみたいといった欲求があることから、単純な構造を使った研究と並行して、このような力任せに細かくメッシュを切り、それぞれに物性を入れ込むという研究がおこなわれるようになったということです。

有限要素の手法自体というのは、もちろん多少改善するところがありますが、やはり計算機的能力に依存するところは非常に大きいかと思います。この手法自体は、たとえば車の設計とかにも使われる、普遍的な手法であり、ほかの分野でも粘弾性の計算にとどまらず、よく使われるもので、手法として安定しています。

あとは細かくメッシュを切る技術ですが、これはきれいにメッシュを切らないと、形よく切らないと駄目です。メッシュを切る技術のほかに難しいのは、少々技術的なことになりますが、地下の粘弾性は場所によって桁で変わってしまいますので、そのようなところで行列が非常に不安定になるという状況があり、その解き方の部分について多少改善があったということです。

たとえばこれは100万メッシュ弱とか、そういう計算を一気に解けるとというのは最近の計算機の進歩によるところが大きいと思います。

以上です。

委員3からの御質問

委員3

非常に重要な課題ということで、ありがとうございます。

検証というのがやはり問題となっていて、先ほどのお話にもありましたように、南海トラフの構造があつてこそ現在の研究だとは思いますが、似た構造を持ったような、先ほど出てきたニュージーランドであるとか、そのようなところのデータを用いたり、あるいは一部の部分を日本海溝のところ当てはめて何らかの検証をおこなうことができるのかできないのかといったあたりを教えていただければと思います。よろしくお願いいたします。

発表者

一般的な構造のパターンのようなものというのは、ほかの沈み込み帯と共通する部分もあつて、それは大いに参考になるところだと思います。

ただ、具体的な値がどうなるかというところについては、プレートの熱的な状況、たとえば若いプレートか、太平洋プレートみたいに古いプレートかとか、そういうところにも結構依存するので、値をそのまま持ってくるというのはちょっと難しいのかもしれないですけども、普遍的な構造というのがありますので、そのようなものは参考にしながら、なるべく全部を変えるのではなくて、ほかのところでこういうことがわかっているというブロックを幾つかつくって、そこを合わせていくといった方法ができるのではないかと考えています。

以上です。

委員4からの御質問

委員4

お話を聞いていて非常に単純というか、シンプルというか、気になったところがありまして、この研究がより進んで、たとえばプレート間のすべりがこの程度発生したとか、固着部分がこのぐらいまで上がったら、いよいよというところで国の検討会への資料を提供するということでしょうか。

つまり何が言いたいかという、どのタイミングで、これは南海トラフの発生ではないかというところの基準を持ち、国の検討会等に資料提供するのか。その部分は、提供する基準というのはあるのでしょうか。とてもシンプル、単純な質問で恐縮ですが、私の質問の意図というのは理解できますでしょうか。

このまま研究が進み、異常を検知した場合にどのレベルで国の検討会に、これはいよいよ、ケー

ス1はもうインパクトができていますのでわかるのですが、それ以外のケースに対して、国のほうに、南海トラフがそろそろ始まりそうですよという発表基準というものがこの研究の中では意識されているのでしょうか。

いずれは、もちろん研究が進めば、その点は当然のことながら皆様のほうで判断して発表していくと思うのですが、今、そのレベルのところの部分で言うと、どのようなところまで来ているのかということを少し聞きたかったのです。質問の意図はわかりますでしょうか。

発表者

ありがとうございます。非常に重要な指摘かと思います。実際、シミュレーション等で研究はされているのですが、たとえば異常がここまで来たら確実に地震が起こるとか、そのようなことは現在の地震学のレベルでは言えることではなくて、少し異常があったときに、“これはやっぱりおかしいんじゃないか”、“もう少し注意してみよう”といった、そのような議論を専門家の中でおこなう、今はそのような体制になっています。

その枠組みとしては、たとえば気象庁において、南海トラフの地震に関する評価検討会や地震調査委員会といった、だいたい定期的に毎月1回ぐらい専門家が集まって、知見を持ち寄って議論するという場がありますので、まずはそのようなところで議論を専門家の間でおこなうということになると思います。

委員4

ありがとうございます。そのときに現状について、今こういった状態だということをお伝えし、その点の信頼性というところの部分について高精度なデータが出せるようにということの理解でよろしいでしょうか。

発表者

はい、そのとおりです。

委員長からの御質問

委員長

今の件について、月に1回程度、気象庁など、いろいろところで報告をして議論しているというお話があったのですが、その場において、どういった意見が研究や報告に対して言われているのでしょうか。

地理地殻活動研究センター長

研究センター長の畑中です。南海トラフ評価検討会と地震調査委員会には委員等として出席しております。短期的なすべりについてはひずみ計や、ほかの観測でも捉えられるのですが、長期的なゆっくりすべりは地殻変動、特に電子基準点を使ったものが非常に重要というか、それで捉えられるものですので、そこについては皆さん重要だと考えていらっしゃいます。

それで、どういうタイミングでというのは非常に難しい御質問です。先ほど言いましたように、月1回の毎回の会議で、ノイズレベルを超えてすべりが検出されたといった場合には必ず資料を提供し、そこで議論していただいているという状況です。

先ほどの短期的ゆっくりすべりだと、ようやくM6以上を超えたぐらいになると捉えられるようになってきたということでもあります。

そのあたり、実際的には観測として捉えられているかどうかというところで、捉えられたものを提供しているというのが現状かと思います。本当はもっとそれ以下のものも皆さん知りたいというのは確かだと思いますけれども、我々としては、できることをやることで対応しているというのが現状です。

以上です。

委員長

ありがとうございます。毎月1回というと、かなりの頻度でお話しされているような感じなので、国の委員会でも、この内容について信頼性とかいろんなものを議論していくというのは重要なことだろうと思いますので、そのあたりでの情報の吸い上げというのは必要かなと感じたところです。

委員5からの御質問

委員5

地殻変動をモニターするという事で南海トラフがターゲットですが、現在の方法論が使えるようになったのは、2011年の東北地方の太平洋沖地震と、あと熊本地震というのが具体的なデータとして使えるという理解でよろしいのでしょうか。

発表者

手法自体は東北地方太平洋沖地震とか熊本地震に限らず、もう少し前から提案されてきたものです。たとえば、このプレートのどこがすべっているか。1990年代頃から、昔のデータを使ってわかってきた、つまり推定の手法が確立されてきたということです。さらに電子基準点がこれだけ密に分布するようになったので、より細かいところまでわかるようになったということです。

あと、ゆっくりすべりにつきましては、これは国土地理院が初ということですが、2001年でしょうか。長いほうのゆっくりすべりが東海地方でも起こるのですが、この現象を新しい技術を応用して、電子基準点のデータから見えるようになったということで、非常に大きなインパクトがあったということです。

先ほど東北の地震や熊本地震のことを申し上げたのは、東北の地震、あれだけ大きな地震があったので、それを教訓というか、粘弾性という効果が地震直後であっても重要だとあらためてわかってきたということです。さらに熊本地震については、現状、このような推定に影響を与えてしまっているんで、その補正方法を少し考える必要が出てきたという整理になるかと思います。

以上です。

委員5

ありがとうございます。1990年代、あるいは2000年以降のデータの蓄積があるということですね。

発表者

そのとおりです。その中では国土地理院の電子基準点、GEONETの整備、1996年からですが、それが大きなインパクトを与えたということになります。

以上です。

委員6からの御質問

委員6

重要な課題であるということは認識しました。

プレートの固着状態の地図があったのですが、あれは海側の推計値だと思うのですが、陸側のデータだけで推計するためにいろいろなモデルをつくって求めた結果ということなのですか。

最後に、前回の報告の中に海底測位の結果も使えばさらに精度が高くなるといった話があったのですが、そのあたりとの関係がどのようにになっているのか教えてください。

発表者

このデータというのは純粋に陸だけから求めています。

どのようなことかといいますと、末尾に少し説明を書きましたが、海側でくっついているということは、そこに仮想的な断層を置いて表現します。本当はこの真上で測ればシグナルが一番大きいのですが、陸側にも影響が出てくるだろうということです。陸の上でも当然影響が出てくるので、要は若干シグナルが小さくなるけれども、その少し弱めのシグナルを使って、ここを推定するということをしています。

したがって、分解能としては悪くなることになります。測地分科会でも御指摘いただきましたとおり、現在では海の直上でも観測がなされています。たとえばここにブイを浮かべて、そのブイの動きを船から測りつつ、ブイと海底局との距離を音波で測る技術とか、あと上下しか使えないですけども、水深を直接測ることで、その変化を高さの変化として捉える海底水圧計という技術もございます。こういったことが起こっている真上で測ったほうが推定精度はよくなるのは当然なので、そういったデータを使うことで、よりくっきりとわかるようになるのではないかとということです。