

(1) 平成28年度終了特別研究課題 終了時評価【審議】

①広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりの

モニタリングシステムの開発

○委員長 それでは、早速ですけれども、議事の(1)、①の広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりのモニタリングシステムの開発につきまして、まず国土地理院から御説明をお願いいたします。

○発表者 それでは、資料1-3を使って説明させていただきます。

資料1-3、広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりのモニタリングシステムの開発ということで報告させていただきます。

研究期間は平成26年から3年間行われました。

スライド2番をお願いします。初めに、本研究の背景を思い出していただきたいと思えます。スライド2に示されますように、陸域のプレートと海洋プレートの境界には、プレート同士がくっついた固着域という領域が存在します。この固着域のために、海洋プレートの沈み込みに伴い、陸側のプレートが引きずり込まれ、ある程度エネルギーがたまると、陸側のプレートがはね上がり、海溝型地震が発生すると考えられています。したがって、この固着域は将来の地震発生域になります。このために、プレート境界のどこにどのくらいの規模で固着域が存在するかを知ることは、将来、海溝型地震がどこでどのくらいの規模で発生するかを知る上で必要不可欠な情報と言えます。

次に、スライド3番をお願いします。この固着域推定には現在3つの問題点がございませう。

スライド3番の(1)広域での解析の必要性、ここで東北地方太平洋沖地震前後の東海地域の地殻変動が示されています。この図に示されますように、東北地震が発生することにより、東海地域の地殻変動が大幅に変わってしまっていることが見てとれます。この例は他地域の影響が固着状態推定に障害となる典型的な例と言えます。このために、広域での解析の必要性が挙げられます。

また、(2)ブロック運動を考慮する必要性、日本はマイクロプレートから構成されています。したがって、マイクロプレートを考慮した解析が必要になるということが言えます。

次に、(3)海域での分解能を改善する必要性、(3)の左側はプレート境界に与えたすべり分布を示しており、右側は陸域の観測点から推定し直したプレート境界のすべり分布を示

しています。左側が答え、右側が推定結果、そのようにして見ますと、海溝地域での分解能が陸域のデータを使っただけですと低いことが見てとれます。

このような問題点に対応するために、スライド4番をお願いします。本研究の目的といたしましては、海溝型地震の長期評価の改善への貢献を掲げております。目標といたしましては、プレート境界の固着状態を監視するシステムの開発を挙げております。

具体的な研究内容としましてはスライド5番をお願いします。スライド5番に示されますように、本研究では、システム開発として、(1)ブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョン手法の開発を行いました。その結果、広域での解析、ブロック運動の考慮、海域での低分解能を上昇させることができるようになっております。(2)として、固着状態を半自動的に監視するシステムの開発を行いました。そして、開発されたシステムを用いて、(3)主要なプレート境界を対象とした固着の推定を行いました。それぞれの項目について、以下、見ていきたいと思っております。

スライド6番をお願いします。ブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョン手法の開発ですけれども、スライド6の左側に日本地域の活断層を示しております。日本地域の活断層を境界としたマイクロプレートによって、日本が構成されていると考えられています。このために、マイクロプレートの運動を考慮する必要があるということが言えます。日本がどのようなマイクロプレートから構成されているかは、さまざまなモデルが提出されています。スライド6の右側にHashimoto他(2000)のブロック境界モデルのジオメトリーを示しています。本研究ではHashimoto他(2000)のブロック境界のジオメトリーを用いて、以下解析を行っております。

次に、スライド7番をお願いします。ブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョンにおきましては、地殻変動はブロック境界におけるすべり欠損とプレートのブロック運動から成り立っていると考えられています。したがって、逆に地殻変動からブロック境界におけるすべり欠損とプレートのブロック運動を推定することができます。

スライド8番をお願いします。ブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョンにおきましては、GNSS各観測点の地殻変動の時系列データを用いて、プレート境界面上の固着・すべりをカルマンフィルターで推定することを行います。また、海域地殻変動データの取り込みを行うようにしていますが、海域地殻変動データは頻度が少ないため、時間的に補間が必要で、多項式補間で時系列データを作成し、使用するようしております。

次に、開発されたプログラムの推定結果をスライド9で思い出していただきたいと思

ます。スライド9で一番左上が従来の解析、ブロック運動を考慮しない解析になります。青いコンターが固着、赤がすべりを示しています。従来の解析でブロック運動を考慮しない場合には、一番左上の図に示されますように、実際には存在しないすべりが推定されるということが起きています。それに対して、ブロック運動を考慮した解析を行いますと、真ん中上の図ですけれども、従来の結果と調和的な結果が得られています。また、ブロック運動を考慮して、さらに海域のデータを導入しますと、一番右上の図になりますが、丸い黒で示されますように、海域の固着がより明瞭になることが見てとれます。使用した海域の地殻変動の場所は、右下の図に赤丸で示したデータを使用しています。

以上がブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョン手法の開発になります。

次に、開発されたプログラムを用いまして、固着状態を半自動的に監視するシステムの開発を行いました。その結果、地殻変動データの生成からブロック運動、プレート境界面上の固着・すべりの推定をほぼ自動で行えるようになっております。また、推定結果のさまざまな可視化が行えるようになりました。

次に、スライド11番をお願いします。スライド11に模式的に示しましたように、計算機上で地殻変動のデータを解析し、その結果から、すべり分布、モーメント図、観測値と計算値の比較といったさまざまな可視化を行えるようにしてあります。

スライド12番をお願いします。左に示されましたように、さまざまに可視化された図を組み合わせまして、スライド12の右に示しましたような資料を作成するシステムをつくっております。この結果、判定会や地震予知連絡会等の会議の資料作成の効率化が期待されます。

さて、以上が固着状態を半自動的に監視するシステムの開発になります。開発されたシステムを用いまして、プレート境界の固着状態の推定を行いました。その結果をスライド13以降で御報告させていただきます。

スライド13をお願いします。スライド13に示されましたように、矩形断層と書かれた図に示されるマイクロプレートのジオメトリーを用いて、以下計算を行っております。Hashimoto他（2000）のマイクロプレートのモデルを用いて、以下解析を行っております。その結果をスライド14で思い出していただきたいと思っております。

スライド14番をお願いします。スライド14番は東北地方太平洋沖地震前のプレート間カップリングを太平洋プレートについて見てみたものになります。コンター間隔が3 cmで、青が固着、赤がすべりになります。固着の値が大きいほどくっつきぐあい大きいと考え

てください。そのようにして見ますと、1997年から2010年までの14年間の図がここに示されています。(1)1997年について見てみたいと思います。1997年を見ますと、北海道の太平洋側、宮城県の太平洋側で最大で年間6 cmほどの固着が推定されております。このようなプレート境界の固着の時間変化が以降示されております。

次に、スライドの18番でまとめとさせていただきたいと思います。スライド18に示されましたように、本研究によりまして、ブロック運動を取り入れた時間依存のインバージョンプログラムを開発しました。開発されたプログラムを用いて固着状態を半自動的に監視するシステムの開発が行われました。そして、開発されたシステムを用いまして、日本全国の解析を行い、主要なプレート境界の固着状態の時間変化を推定することに成功しました。

以上になります。

○委員長 ありがとうございます。

それでは、測地分科会での議論について、主査から御紹介をよろしく申し上げます。

○委員 測地分科会の評価結果は資料1-4にあります。

資料1-4の真ん中の6番の成果の概要は今発表がありましたとおりなので、ここは省略させていただきます。

7番、当初目標の達成度ですけれども、本研究は、プレート境界の固着状態を監視するのにマイクロプレートを考慮する必要があるということで、これはもう当然そのとおりである。ただ、そのときに指摘されたのは、今回取り入れたマイクロプレートのモデルが2000年に発表されたもので、実はこの後も何人かの方が同じような研究をされている、別なマイクロプレートの切り方をされているので、それを試すと、答えがどう変わるのだろうかという疑問が出されました。プレート境界の位置はほとんど変わらないと思うのですけれども、地殻ブロック、マイクロプレートの位置とか境界面の傾斜に関しては、まだ唯一のモデルというものはないので、そういうものを試すと、結果が変わるのか変わらないのかということです。そういう問題点がまだ残されている。

それから、これは海域のデータを取り入れた非常に意欲的なものですが、残念なことに、海域のデータは陸上に比べると、空間分解能も時間分解能もまだかなり落ちるということで、これを取り入れるときにどのように入れていくか。先ほどのスライド8番に海域データの取り込みのことについても書かれていましたけれども、圧倒的に時間分解能も違うので、これを入れていったときの問題点がまだ完全に解決されていないだろうとい

うことです。

ただ、それにしても、日本全国を対象にして、ブロック分割を入れて、海域も入れて、非常に意欲的な研究だということは非常に高く評価できると思います。

9番、成果活用の見込みですけれども、これは防災上、非常に重要なプレート境界の固着・すべり状態を監視していくということで、将来的に見込まれるだろうということです。

11番に問題点、課題がまだ残っているのは、先ほど申したように、ブロック分割の問題点とか、海域のデータを今後どのように入れて順次更新していくのかというのがまだ不確定なところがあるということです。

総合評価としては、大体目標は達成できたと判断しました。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、今の御説明と分科会での御意見を踏まえまして、委員の皆様から御質問や御意見をお願いできればと思います。よろしく願いいたします。

○委員 大変興味深い御発表ありがとうございました。私は専門ではないので、素人っぽい質問になるかもしれないのですが、教えていただきたいのです。

出てきた結果で、例えばスライド16ですと、固着区域とすべり域と量的な問題が年々変化していますけれども、このぐらい細かい変動が実際に見られるということでしょうか。

もう1つは、これを検証するのは地殻変動のずれの大きさを検証しているということでしょうか。

○発表者 スライド16番に西南日本のフィリピン海プレート上の固着状態を示しています。結果、先生が御指摘されたとおり、さまざまな固着やすべりの変化が時間的に見られます。これらの変化は、西南日本で起きるスロースリップの影響を反映していると考えております。そのため、解析結果としては、本システムで従来指摘されてきたスロースリップを明瞭に捉えられていると考えております。また、地殻変動のデータに基づいてこれは推定されております。

○委員 ありがとうございました。

○委員長 ほかに委員の方、どなたでも、よろしいです。

○委員 ちょっと教えていただきたいのですけれども、半自動化したというお話ですが、どれくらい自動化、どれくらい人の手が必要かは何か具体的に、人間が3時間ぐらいいじれば結果が出るとか、どれぐらいのイメージを持てばいいのかなというのを教えていただきたいのです。

○発表者 海域の地殻変動データを使わない場合はほぼ自動で計算できます。ただ、海域の地殻変動データは海上保安庁の所管でありまして、自動でデータをとってくることはできないので、そのために半自動となっております。

○委員 アディショナルなデータを入れるときに人手が必要だということで、基本的にはシステム的に自動的に全部動くと理解してよろしいですか。

○発表者 はい、そうです。

○委員 わかりました。ありがとうございます。

○委員 チェッカーボードテストの海を入れないと悪いというデータがありますけれども、全部入れてこの研究では全てやっておられるので、もっと広い地域でテストをやった結果をどこかに含めていただくといいかなと思うのです。だから、見えたものが本当にちゃんと分解できているのかというのを確認するための重要な資料だと思うのです。

○発表者 今は質問というよりも、先生のコメントということでしょうか？

○委員 お願いですね。

○委員長 ほかにございませんでしょうか。

○委員 非常に貴重な御研究成果を御報告いただきましてどうもありがとうございました。半自動化ということで、すごくすばらしいシステムを開発されたなと思ったのです。スライド12のところ、判定会とか地震予知連絡会等の資料作成が効率化ということですが、1点目は、先ほどの御質問で理解できたのですが、2点目で、新規作成する場合に、複数の図を組み合わせる作業が効率的に行えるというのをもうちょっと具体的に、どういうふうにしたら、では、効率的に従来よりも作業を進めることができるのか教えてください。

○発表者 新規に資料を作成する際には、レイアウトをまずつくらないといけません。そのレイアウトをつくるのに最初時間がかかって、それ以降は効率的に資料を作成できるようになっています。

○委員 そうすると、新しく何らかの図をつくるとしても、困難なところがこのシステムを使うと、最初のレイアウトのところを設定する以外はそれほどないということですね。

○発表者 はい、そうです。

○委員 効率化というのはすごくいいなと思ったのです。こういうところで緊急時だったりすると、時間をかけてゆっくりできないじゃないですか。そういったときに、新しいものでも、効率的に図をぱっと出せることはとてもいいことだなと思って伺っておりました。

どうもありがとうございます。

○委員長 ほかにございますか。

○委員 報告ありがとうございます。基本的な質問です。

Hashimoto2000モデルというがありますけれども、先ほどの説明では、それ以外にもジオメトリーのモデルが提起されているということでした。今2017年ですけれども、この研究というのか、よくわからないのですが、どのような研究でどのような課題があつて——Hashimoto2000というの国土地理院がモデルをつくっているのでしょうか。

○発表者 Hashimoto他(2000)のモデルは京都大学教授の橋本先生が提唱されたモデルです。

○委員 京都大学？

○発表者 はい。ただ、橋本先生は国土地理院のOBの方です。ですので、国土地理院にいらっしゃったときにつくられたモデルになります。

○委員 現在も国土地理院でそのモデルの研究は誰かが行っているのでしょうか。

○発表者 本研究では橋本先生のモデルを使用したのですが、先生たちが御指摘されているように、2000年ということで少し古くなっております。

○委員 そうなのですね。ちょっと古いなと思ったので。

○発表者 Loveless and Mead (2010)という先生方のモデルが2010年に提出されております。そのほかさまざまなモデルが提出されていて、今後どのモデルが地殻変動を説明するのに最も適しているかを調べていく必要があると考えています。答えになるでしょうか。

○委員 このモデル自体がどのようにつくっているのか、私はよくわからないので、本当はその辺を聞きたいのですけれども、基本的な質問ですが、モデルをつくっている人たちはどうやってモデルをつくっているのでしょうか。

○発表者 1つは活断層分布、活断層がマイクロプレートの境界になることが1つあります。また、地殻変動のデータから見て、動き方が違っているように見える地域があれば、ブロックが違うのでしょうかと判断して、ブロックの境界をそこに引くとか、そういったようなことをしてジオメトリーを組み立てていきます。

○委員 わかりました。その精度は期待する精度には恐らくないと思うのですけれども、どの程度なっていないのでしょうか。

○発表者 精度に関しましては、観測データ、地殻変動のデータはフィッチングで優劣が決まってくると考えています。精度という言葉がいいかどうかわかりませんが、フィッチ

ングの精度がよいようにモデル変更をしていく必要があるということになります。

○委員 わかりました。

もう1つ基本的な質問ですけれども、モデルというものがないと、そもそもこれはつくれないのでしょうか。モデルにどの程度依拠しているのでしょうか。

○発表者 おっしゃられるとおり、モデル依存性が強い解析方法になります。

○委員 モデルの精度なり分析が進む必要もあるということですね。

○発表者 それは今後の課題と考えております。

○委員 わかりました。ありがとうございます。

○委員 時間をどのぐらい細かくこれから追跡していくのかということですが、今回示されているのは大体1年ごとのプレート境界の固着の変化だと思うのです。データに依存すると思うのですが、データがどこまで定常的な変化を反映しているかを見られるかにかかわってくると思うのです。大体どのぐらいを予定しているのでしょうか。時間はどのぐらいなのですか。1年ごとぐらいで見たいこうとしているのですか。

○発表者 解の安定性を考えると、1年ぐらいごとが今のところはいいのかなと考えています。ただ、この解析手法ではカルマンフィルターを用いていますので、どのような時間幅でも答えを得ることはできるようにはなっています。

○委員長 ほかにございませんでしょうか。

○委員 その話が出たので、ちょっとコメントです。時間発展のときに、月がこれぐらいずれるはずだというパラメーターを入れると思うのですが、時々何かイベントに伴って急に変わったりすることもあったときに、こういう方法では多分出てこないような気がするのです。これについては仕方ないですかね。だから、地震の前後で急に変わるじゃないですか。そういうのも同じようなカルマンフィルターのパラメーターでやっていると、何か変にスムージングされちゃって正しい答えにならないですね。

○発表者 そうです。地震の場合は、オフセットが地震に伴って地殻変動に生じますが、そのオフセットを入れたままでは解析がおかしくなってしまうので、そういったものは取り除くようにする必要があります。先生のおっしゃられるとおり、急激な変化が出てきた場合には、なめらかな解しか出せないという欠点があります。

○委員長 ほかにございませんでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、大体質問は出たようですので、この課題についてはこれぐらいにしておきたいと思います。ありがとうございました。