

(1) 平成25年度終了特別研究課題終了時評価

①測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究

○委員長 早速議題に入らせていただきますが、最初に地理院側から説明をいただいて、その後で分科会の評価をいただいて、それから皆さんの御意見を伺うという段取りで進めさせていただきますので、よろしくお願いします。

それでは、議題(1)の①測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究について、よろしくお願いします。

○発表者 本日はよろしくお願いいたします。

では、お手元の資料1-3、パワーポイントの説明資料に従って説明していきたいと思っています。

まず、本日評価を受けます研究課題は測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究で、研究期間は平成23年4月～平成26年3月までの3年間です。

予算規模としましては3年間の総額として約3600万円です。

ページをめくっていただいて、初めに、研究背景と目標に関して簡単に説明したいと思います。

まず研究背景・必要性ですけれども、簡単に一言で申し上げますと、先行現象はどこまで検知できるのかということに尽きます。地震・火山噴火による被害軽減のためには、先行現象を捉えることができれば、適切な対策を講ずることで被害軽減が可能だと考えられています。近年の計算機の発達によって、数値シミュレーションからは地震発生前に先行現象が発生する可能性が指摘されています。一方で、観測網の整備や観測手法の高度化が実現しているにもかかわらず、地震発生前に明瞭な先行現象に伴う地殻変動が観測されまして、災害の発生予測に至った事例はありません。

ここで1つの疑問がわくのですけれども、先行現象に伴う、もし本当にあったのだとしたら、明瞭な地殻変動が捉えられなかったのは、まず1つ目は、実際に先行現象が発生しなかった理由、考え方、もう1つは、先行現象を捉えるための観測網・観測精度が不十分であるという考え方の2つがあります。本研究では、先行現象はあると信じまして、もし発生したのであれば、どこまで検知できるのか。その定量的な検証が必要であると考えました。

そこで、スライド4番ですけれども、本研究の目的・目標です。先行現象の早期検出及

び推移予測の精度向上への寄与を目的としまして、地殻活動イベントの検知能力を検証し、検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにすることを目標としました。

ここで2つの用語に関して簡単に説明したいと思います。

先行現象と呼んでいるものですが、世の中に先行現象はたくさんあるのですが、本研究では、GNSS連続観測及び水準測量に代表される測地観測によって検出可能な地殻活動イベントを想定しております。ここで、地殻活動イベントも無数にありますけれども、本研究では、その下に書いてあります4つの、日本列島周辺のプレート境界域で発生する断層すべり、2つ目が内陸主要活断層帯周辺で発生する断層すべり、3つ目が火山地域におけるマグマだまりの膨張・収縮・貫入、4つ目は過去に実際に発生した地震の断層すべりや火山噴火発生場所を地殻活動イベントと想定しました。

続いてスライド5番、研究開発の内容でございますが、後に述べます成果の概要にあわせて大きく2つのことを行いました。1番目が地殻活動イベントの検知能力の検証、2つ目が地殻活動イベント等の検索・表示システムの構築でございます。

スライド6番、成果の概要ですけれども、まず1番目の成果として地殻活動イベントの検知能力の検証は、検知可能な最小のイベントの大きさを日本列島全域で求めました。2つ目は、地殻活動イベント等を検索・表示システムの構築ということですが、(1)では、膨大な量の計算を実施したのですが、その計算結果の表示も、1つは成果の活用としてイベントの検索システムを作成しました。

続いて、ページをめくっていただいて、スライド7番、成果の1番目になります。地殻活動イベントの検知能力の検証で、ここでは3つの領域、プレート境界域、2番目、活断層帯周辺、3番目、活火山地域での検知可能な最小のイベントの発生場所と大きさについて、簡単な例を日本列島全域について示しております。

一番左、①のプレート境界域で簡単に図の見方を説明しますと、これは検知可能な最小なイベントの発生場所と大きさを色であらわしていきまして、断層すべりはマグニチュードの大きさであらわすのですが、青い色ほどマグニチュードが小さくても検出できるということで、検知能力が高い場所。逆に赤くなると、マグニチュードが大きくなると検出できない場所ということで、検知能力が悪い場所を示しております。このプレート境界域からわかったことは、海岸線付近では検知能力が高い、つまり、海岸線付近ですと、青い色が広がっております。海溝軸付近と内陸直下では赤い色が広がっておりますので、検知能力が低いことがわかりました。日本列島のプレート境界、2つのプレート、太平洋プレ

ートとフィリピン海プレートが沈み込んでおりますが、フィリピン海プレートのほうが太平洋プレートに比べて検知能力が高いことがわかりました。

2つ目、活断層帯周辺ですけれども、想定した活断層としましては、230の活断層の断層面上を想定しました。その230個々の断層を個別に見ると、いろいろと特徴があるのですが、統計的に見ますと、検知可能な頻度が高い大きさは、マグニチュードにして6.0、マグニチュード6.0は、大きさとして断層面が16km×8kmの長方形で、約30cmのすべりに相当します。2つ目として、すべりの発生場所が深いほど検知能力が低い傾向にあること、また、検知能力は観測点配置にも大きく依存することが定量的にわかりました。

3番目、活火山地域ですけれども、日本全国に110の活火山がありまして、それを地殻活動イベントとして想定しました。こちらも活火山ごと個別に見ると、特徴がいろいろあるのですが、統計的に見ますと、検知可能な頻度が高い体積変化量は220万 m^3 だということがわかりました。参考として、東京ドームの体積は大体120万 m^3 ですけれども、東京ドーム約1.8個分に相当する。また、実際の火山噴火の例でいきますと、2011年1月に霧島で噴火がありましたけれども、その前に推定された膨張量は約700万 m^3 でした。また、ほかにわかったこととしましては、マグマだまりの場所が深いほど検知能力が低い傾向にあること。観測点配置にも大きく依存すること。また、観測点配置が活火山周辺およそ10km以内にあるのですが、観測点が設置されていない活火山が約30ほどありました。

次にスライドの8番、検知能力の検証として、過去の地震・火山噴火発生場所ではどの程度の検知能力だったのかということをしてしまして、ここでは例として、2007年3月25日、能登半島地震の例では、能登半島地震を発生させた断層面上での断層すべりは、少なくともモーメントマグニチュード6.0以上でないと検知できないことがわかりました。2つ目は、火山の例としまして、2006年4月に伊豆東部にダイクの貫入というイベントがあったのですが、このダイクの貫入のパラメータを想定しまして検知能力を検証しますと、少なくとも深さ4kmの場合には、20cm以上のダイクの貫入がないと検知ができなかったことがわかりました。

続いてスライドの9番、2つ目の成果に移ります。ここでは（1）で実施した計算解析結果の表示と成果の活用としてイベントの検索システムを作成しました。ここで説明するシステムは3つありまして、1つ目は⑤と書かれました地殻変動表示システムで、これは各地殻活動イベントに対して地殻変動の表示が可能でありまして、地殻活動によって生じる地殻変動の把握や必要な観測場所の把握に役立ちます。2つ目、⑥は検知能力の表示シ

システム、こちらはイベントの検知可能な場所と大きさ、検知能力差の表示が可能でして、検知能力の良否場所の把握や観測精度向上の目安に役立つと考えています。最後に検索システム、こちらは数点の地殻変動のデータから想定した地殻活動イベントの検索が可能でして、地殻活動イベントの早期把握が可能だと考えております。

スライドの10番、5番目、当初目標の達成度です。目標としまして、検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにすることという目標を挙げましたが、達成度としましては、日本列島全域で想定される断層すべり、マグマだまりの候補点をプレート境界域、活断層帯周辺、活火山地域、さらには過去の地震・火山噴火発生場所において最小のイベントの大きさを算出することで、検出可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにする目標を達成したと考えております。

ページをめくっていただいて、スライド11番になりますが、成果活用の見込みです。スライド11番を上にした活用イメージは、事前評価時に提出したポンチ絵ですが、このときに2つのシステムを想定していたのですけれども、1番目は、ある観測点で変動が検出された際に、その変動をもとにイベントを検索するというシステムをつくろうと思ひまして、こちらは7番の検索システムに対応しております。例えば、ある場所である大きさのイベントが捉えられるかというものに対して、検知能力表示システムを作成しまして、それに対応しております。

ここで作成した3つのシステムですけれども、新点・臨時点・移設候補地の選点時の参考資料ですとか、地表の観測結果に対する地下の原因候補の可能性の提示といった活用が見込まれます。ここで可能性ということで、不確定性が大きいために、このシステムだけではなくて、ほかの観測結果も踏まえて、専門家による総合的な判断が必要と考えられることから、このシステムの運用は、院内での運用を想定しております。

続いて12番目、成果活用の見込み、活用実績です。研究実施期間中に、そこに挙げました5つの事業への活用が実際に実施されました。この中から全てを説明している時間はありませんので、下から2つ目、観測点設置候補地の選点ということで、ページをめくっていただいて、スライド13、活用事例としまして、2013年、八甲田山周辺への観測点の設置の際にこのシステムが活用された例を簡単に説明したいと思います。

1番目、2013年の初旬に八甲田山で火山活動が活発化になりまして、ある1点で変動が観測されたのですけれども、その1点の変動から想定されるマグマだまりの場所と大きさを検索しました。2番目として、その想定されるマグマだまりの膨張に伴う地殻変動の把

握ができます。変動が最も大きいと想定される場所に観測点を置くのが効率的だろうと考えております。これが試作段階までだったのですけれども、やはり院内でいろいろと意見を募ると要望が出てきまして、完成版としましては、地殻変動の結果を地理院地図上に重ねることによって、より具体的な観測点設置候補地の選点ができるようなシステムにしました。

続いてスライド14番、達成度の分析です。有効性の観点からの分析としましては、本研究の成果は、適切な観測手法、場所、新点設置、移設候補地の選点において有効な情報として既に活用されております。また、本研究で開発したシステムは、変動メカニズムの早期把握や先行現象か否かの迅速な判断、また実際にイベントが発生した後に、先行現象があったかないかの判断において、有効な情報として活用され则认为ております。

2つ目、効率性の観点からの分析ですけれども、既存の研究成果ですとか公表されている成果を活用しまして、イベントの発生場所や様式を絞り込むことで効率的に研究を実施することができました。

最後、ページをめくっていただいてスライド15番ですけれども、残された課題と新たな研究開発の方向性です。ちょっと専門的になるのですけれども、今回、地殻活動イベントによって生じる地殻変動の計算は、半無限均質弾性体の仮定のもとに実施したのですが、近年の研究成果では、例えば活断層帯周辺や火山地域など、浅い場所で発生するイベントの解析では、半無限ではなく、地下の物性や不均質構造、また地形の影響等が問題視されているため、今後、こうした不均質構造ですとか地形の影響を考慮した地殻変動の解析、また、その解析を簡便に計算できるプログラムの開発が必要であると考えております。

説明は以上になります。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、測地分科会での議論結果といいますか、検討結果をお願いします。

○委員 済みません、風邪を引いていますので、ちょっと声がおかしいのですが、資料1-4をごらんください。

成果の概要ですが、既存の測地観測網によって検知可能な地殻活動イベントの大きさの検証を行いました。その結果、プレート境界域では海岸線付近で検知能力が高くて、またプレート境界地震では、太平洋プレートの場合はマグニチュードが6.8ぐらい、フィリピン海プレートではマグニチュード6.5程度であることがわかりました。また、活断層帯の周辺ではマグニチュード6.0ぐらいであり、深い地震ほど検知能力が劣ること、活火山地域では

体積変化量が220万 m^3 程度で、力源が深いほど検知能力が劣ることがわかりました。また、このシステムは、観測場所をどこに設定すればどの程度の検知能力向上が見込めるかということの把握にも利用できます。

そういうことで、当初の目標の達成に関しては、現在の観測体制で検知可能なイベントの場所と大きさを明らかにするという目標は達成されました。

成果公表状態ですが、研究報告書4件、学会発表4件で、残念ながら発表論文はありません。確かにこの研究内容からいって、ちょっと論文にしにくいような内容ですけれども、ぜひ頑張って今後論文にしていきたいと思います。

成果活用の見込みとしまして、地殻変動表示システム、検知能力表示システム、検索システムが構築されておりますけれども、特に検索システムは、通常とは異なる変動が観測されたときに、変動の原因の早期把握に活用でき、防災・減災対策への活用が期待されます。また、検知能力表示システムは、新たな観測を開始するときに、どのような観測を行い、また観測点をどのように配置すれば、より効果的であるかという判断に活用できて、実際に今の説明にありましたように、八甲田山付近のGNSSの観測点選点の際に活用されております。これは当初の目標以上にこういうふうな使い方もあるということが、実際に活用されている例です。

達成度の分析としましては、既存のGEONETを初めとする地殻変動イベントを検知するのに、より適切な観測点配置や新点、移設点の配置を考えるとときに有用なシステムができ上がっています。また、得られた地殻変動データが本当に有意なものであるかの判断に使えますので、有用なシステムができたと考えます。

残された課題、先ほどの最後に説明してあったとおりで、一様で均一な平面の仮定で計算を行っているので、今後、より実際の状態に合わせた計算ができるような改良の余地があります。

総合評価としましては、十分達成できたということで、先ほども言いましたように、検知可能なイベントの場所と大きさを明らかにする当初の目的だけではなくて、このシステムが、今後の何か起こったときに、観測点選点のときに、既に活用されているということで、十分目標が達成されたと測地分科会では判断いたしました。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、各委員の意見といたしますか、質疑応答に移らせていただきますので、ざっくばらんで構いませんので、どうぞ。

ちょっといいですか。教えていただきたいのですが、検知能力で、例えば太平洋プレートの場合はマグニチュードが6.8程度以上とかという表現ですが、6.8程度以上の地震が起こるようなときには、GEONETに何らかの平常とは違った動きが見られるというか、検出されると、そういうような意味ですか。どのような感じですか。

○発表者 ちょっと誤解されるような表現があったかと思います。例えば平均的にマグニチュード6.8以上の、断層すべりですけれども、ここでは地震といいます、地震があれば、それを検知できるだけの地殻変動が生じるという意味で、6.8の地震が起これば、その前に先行現象に伴う変動が検知できるという意味ではありません。

○委員長 内容はわかりました。

もう1つ、これは大分火山とこういう地震のほうといいますか、断層ではかなり違うのだろうと思うのです。火山は、どちらかというと、かなり小さいというか、単体のところで、どこで、例えばマグマが上がってきて、地表のところで膨隆するといいますか、膨らんでくるとかということだろうと思います。これが220万m³程度とかというあれは、今のGEONETだと、20kmぐらいの間隔ですが、そういうGEONETというか、GPSの基点の分布の間隔なんかとは関係しないのですか。

○発表者 それはもちろん関係します。測地分科会でも、観測点の数だけではなくて、配点密度みたいなのも効くのではないかという御質問を受けましたけれども、最適な配点密度がどの程度かということころまでは、この研究ではいかなかったところですよ。今御指摘があったように、活火山ですと、火山帯周辺に国土地理院が設置している観測点はかなりまばらでして、この研究では、例えば気象庁とか防災科研とかが設置しているGPS観測点も入れて検知能力を検証した結果もあります。当然ですけれども、GEONETですと、全国平均で大体20kmの配点密度ですが、気象庁とか防災科研は、本当に火山帯の近傍、数km以内に1点ではなくて何点か設置していますので、それも使えば検知能力は上がるという結果は出ています。

○委員長 何かそういうネットの密度とか、あるいは間隔とかというのと検知能力との関係みたいなのがもう少し説明されたらというか、あるいは現在の状況ではこの程度だけでも、観測点の密度が高まれば、もう少し精度が高まるのではないかとかなんとかというそういうコメントはなかったのですかと。

○委員 特に。

○発表者 測地分科会の先生からはそういうコメントをいただきまして……。

○委員 ああ、そうですか。済みません、まとめには入っていません。

○委員長 わかりました。

○委員 ありがとうございます。観測の結果と位置の設置のときの検証まで使えるというのはすごくすばらしい研究として進んだと思います。

1つ、これは質問ですけれども、基本的には過去の観測データを使つての検出ですね。

○発表者 実際のデータというよりは、観測点で想定される数値計算です。

○委員 数値計算？

○発表者 はい。

○委員 想定されて数値計算、というと、では、シミュレーションになるんですか。

○発表者 シミュレーションのようなものです。

○委員 そうすると、これは過去の実測データとあわせてやっていない？

○発表者 実測データとあわせたといいますか、スライド8番ですと、過去の地震とか火山の噴火の発生場所で実際に起きたもので、実際に推定した断層面上ですべりが起こったら、どれぐらいの大きさだったら、もし先行現象があったとすれば捉えられたかと。実際に起きた地震の前の時系列を見まして、本当に変動がないのですけれども、その場合には本当に先行現象が起きていなかったのか、起きていなかったら、当然変動は出ませんが、もし起きていたとしたら、変動が出なかったのは、観測精度が悪い、要は、どれぐらいの大きさまでの先行現象があれば、検知できたのかを調べたということです。

実際に能登半島地震の例ですと、モーメントマグニチュード6.0以上の断層すべりがあれば検知できたのですけれども、実際にはあの時系列を見ますと、変動がなかったので、少なくともモーメントマグニチュード6.0以上に発展するような先行すべりはなかったという結論が得られたということです。

○委員 もう1つ、聞きたかったのは、時間のことがあると思います。どれぐらいの検出というのは、要するに、いつからいつまでのイベントなのか。検出というのはどの時間のタイミングで検出、フラグ発生となっているのか。そこもまた重要ではないかと思うのです。

○発表者 それは多分また大きく2つステップぐらいを上らなければいけなくて、今回は時間の項を考えた断層すべりの発展も想定して計算はしたのですけれども、それはかなりの任意性が入ります。例えば先行現象、断層すべり、先行すべりが起こったとすると、数値シミュレーションからは、先行すべりが時間ごとに発展するのは物すごくバラエティに

富んでいるんです。もうこれが先行すべりだという時間発展のような理論的な解はないところなんです。ですので、ここではそうではなくて、とりあえずこういう断層すべりが起こったら、これぐらいの変動量が出る。そのぐらいの変動量は、今の精度でいったら検出できるから、検出できる大きさはどれぐらいかを日本列島全域で見てもいいという結果になっています。

○委員 ありがとうございます。今回は検知能力に関する研究なので、十分な研究成果が上がっていると分科会のほうで判断されたのも妥当だと思います。ただ、将来的に期待されるのは検知能力の向上になりますね。ですから、いろいろなイベントをなお研究していったら、先行現象が本当にどれぐらいの規模で起こるものかということの精度をどんどん上げていっていただくのが期待されるところで、本研究の結果としては、かなり大きなマグニチュードの現象のときの先行現象は捉えられるか、捉えられないか、あったのか、なかったのかということなので、関心としては、もっと低いマグニチュードのときの先行現象があるのかなのか。あるとしたら、どんなところに出てくるのか。そのあたりが多分これからの減災を考えたときに要求されてくると思いますので、今回の研究を踏まえて、では、精度向上には、先ほど配点密度の話もありましたけれども、向上のためには何をしたらいいのかという研究にぜひつながっていただきたいという印象でございます。

○委員 最後の残された課題と新たな研究開発の方向というところですが、1つの方向性としては、従来半無限均質弾性体でやっていたものを、もう少し不均質なものでやれるモデルにしたいということだと思います。これの具体的な方向性とか見通しは得られているのでしょうか。

○発表者 まず、半無限均質弾性体の計算は、もう20年か30年前ぐらいに理論式が完成してしまっていて、そのプログラムも公開されていて、いわば誰でも使えるような状態になっています。それで広く普及したものもありますけれども、それは取り扱いが簡単であるのと、昔は観測データが少なかったものですから、半無限均質弾性体での仮定でも、それなりにデータを説明できていたところです。近年、観測データが密になってきて、データがたくさんあると、説明できないものがふえてきて、例えば見通しとしましては、今現時点で物性の不均質の計算ですとか地形の影響を考慮した計算ができないかと言われると、それは可能ではあります。ただ、そんな簡単に誰でもが手を出せるような状態にはないということです。

もう1つは、特に不均質構造を考慮する場合に、単純な半無限から単純な二層みたいな

層構造みたいなのは、割と簡単というところと語弊があるのですが、できることです。例えば、もうちょっと複雑な形状を不均質として入れる場合にはやはり手間がかかります。ですから、そこをもうちょっと簡便にできるようにプログラムをつくりたいなと思っているところです。

○委員 そのためには多分そういった非線形なモデルみたいなものを考えて、それをいろいろ分類するとか、いろいろなケースについてモデル化していくという方向になると思うのです。最近ではコンピュータのシミュレーションプログラムも、ただで高機能なものが提供されるようになってきていますので、かなりいろいろなアプローチがあり得ると思います。何かその辺で今お考えになっているようなことでもありましたら、ちょっと御紹介いただけないでしょうか。

○発表者 おっしゃるとおり、いろいろなプログラムがたくさんあって、どれを使うかというのは迷うのですが、私自身、学生のころに不均質構造の計算をやっていた、それは工学分野でよく使われる有限要素法という数値計算法があります。不均質構造を入れるには、その方法が結構すぐれていて、既にやっているのですが、なかなか計算が大変で、今回行ったような大量の計算をすぐにやるわけにはいかないのですが、徐々にそういった方法は始めています。

○委員 御説明をどうもありがとうございました。少し御質問させていただきたいのは、スライド9で3つのシステムを挙げられていて、システムを3つ開発されたということですが、このシステムのバックエンドのところでシミュレーションされているということによろしいですか。3つのシステムでバックエンド、要するに下ですね。そこでシミュレーションされているのでしょうか。

○発表者 このシステム自体でパラメータを入力してボタンを押すことによって計算をするのではなくて、それだともう物すごく時間がかかってしまうので、今回、大量の計算結果がもう既に計算してあって、それをデータセットと格納しておいて、パラメータの入力に従ってその計算結果を引き出してくるシステムになっています。

○委員 そうですか。いや、先ほどの質問のつながりでお聞きしたかったのは、先ほど残された課題と新たな研究開発の方向ということで、今後、より実際の状態に合わせて計算が行えるようなということを書かれておられたので、このときに、こういうシステムでどういうふうにもっと反映していくのか。私自身はバックグラウンドでシミュレーション分野をやっているのかなと思ったところです。確かに多大な時間がかかると思うので、パラレ

ルコンピューティングでも難しいと思うのです。なので、今後の課題に対応して、こういうシステムで結果を出していくのだったら、どういう方向性が考えられるのでしょうか。

○発表者 御指摘の点は、システムを設計する段階でそういうことがあるだろうなと思って、僕自身も、この計算結果ではなくて、別の計算があったら表示したいと思っております、このシステム自体は外注で行ったのですけれども、そのシステムの中身自体をいじれるようになっていまして、例えば、複雑な形状を想定した計算結果があったとしたら、そのデータセットをこのシステムの中にまた組み込むような仕様になっておりまして、それはパラメータを、例えば単純なモデルではなくて、複雑なモデルの計算結果を出しなさいと改良できるようになっています。

○委員 そうすると、検知能力自体はそういうデータセットとか、シミュレーションの精度が上がってくるに従って、どんどん高くしていくことができるということですね。

○発表者 その検知能力結果は高いという結果は表示できるようになります。

○委員 そうということですね、そのまま。どうもありがとうございました。

○委員長 後のほうの質問は、多分断層モデルそのものに関係してくるので、今のあれから言うと、余り複雑にしても、本当にそうなのかどうなのかよくわからないから、そういう意味では適当なところというか、適切なモデルを選ぶよりほかないのかなという感じはします。

ほかにはどうでしょうか。なければ、御苦労さまでした。