

(1) 平成26年度新規特別研究課題事前評価

②GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発

○委員長 次に、議題②の「GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発」ということで、まず地理院から説明していただいて、分科会から報告いただくということに進めさせていただきます。

では、お願いします。

○説明者 それでは、宇宙測地研究室から、2つ目の課題の「GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発」について御説明いたします。

まず研究期間ですけれども、平成26年度から3年間、予算規模としては、総額で2,100万円程度を予定しております。

それでは、内容につきまして、資料2-3に沿って御説明いたします。

スライド2をご覧ください。まず、本研究の背景について御説明いたします。

地震や火山による被害を軽減する、つまり、減災・防災のためには、地震や火山噴火がいつどこでどういう状態のときに発生するのかといった仕組みの理解や推移の予測が必要となります。

そのため、国土地理院では、全国約1,200点の電子基準点から成るGEONETによって定常的に地殻変動を監視しており、例えば東日本大震災のときには下の左の図のような地殻変動が観測されました。このような地殻変動を把握することで、右図に示したようなプレート境界でどれぐらいずれたかといったことや、火山であればマグマの状態、といった地殻の状態を知ることができます。ですので、地震や火山の発生の仕組みの理解や推移の予測には地殻変動情報が重要と考えております。

次のスライドをお願いします。このような中、東日本大震災の発生により、大きな被害を出した巨大な地震を予測できなかったという反省や、大きな地殻変動によって応力場が大きく変化したことで地震の発生や火山活動の活発化が懸念されることから、地震や火山研究において取り組むべき方針が見直されております。つまり、減災や防災のためには、過去の地震や火山噴火の発生に至る過程を詳細に理解するとともに、現況を迅速に把握し、現況がその過程のどの状態かを知ることによって重点的に取り組み、将来の活動予測につなげようというものです。

スライド4をご覧ください。このような方針に対して何が重要かという点についてですけれども、まず、過去の地震や火山噴火に至る過程の理解には、地震や火山現象の発生から終息までの地殻の状態の変化を時間的・空間的に詳細に把握することが必要で、そのためには、細かい時間分解能の地殻変動情報に基づいて地殻の状態の詳細な時間変化を推定することが有効であると考えております。

また、現況の迅速な把握においても、より細かい時間分解能の地殻変動情報と、それに基づく地下の状態の変化の推定情報をより早く把握し、提供するということが防災上有効

であると考えております。

つまり、過去の理解においても、現況の把握においても、これまで国土地理院で把握してきた地殻変動情報に加え、より細かい時間分解能の地殻変動情報が必要とされています。

しかし、過去の理解と現況の把握では、要求される精度や迅速性に違いがあります。

スライド5をご覧ください。まず、過去の推移についてですけれども、ここに示したグラフは、黒線で示した地震前後の地殻変動と、青丸と赤線で示した現状のGNSSの時系列のイメージをあらわしております。

例えば、内陸地震では、地震時の変動の後に、緑の枠で示した数時間で数cm程度の余効変動が生じる場合があります。このような現象を捉えるためには、数mm程度の精度が要求されますけれども、現状では、グラフの青丸で示した1日程度の解析が必要となっております。これだと余効変動を捉えることができません。一方、赤線で示した、これは事後の解析によりますけれども、細かい時間分解能のGNSS時系列でも、現状ではばらつきが大きいため、やはり余効変動を捉えることができません。

そこで、まず、細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを抑える技術を開発し、時間分解能5分程度で5mm程度の地殻変動情報を取り出す技術の開発が必要です。

次に現況の把握についてですけれども、先ほどと同じように、グラフは、黒線で示した火山噴火前後の地殻変動と、青丸と赤線で示した現状の時系列のイメージをあらわしております。

火山噴火前には急激かつ大きな地殻変動が生じる場合があります、そのような地殻変動を捉え、火山噴火の推移予測に活用するためには、より迅速性が求められるという点が先ほどと大きく異なっております。このような現象を捉えるためには、精度としては数cm程度の要求ですけれども、現状ではグラフの青丸で示した3時間ごとの解析が必要となっております。これでは、急激に変化する地殻変動を見逃すおそれがあります。一方、リアルタイムキネマティック解析では、事後の解析に比べ、さらに大きな飛びやばらつき、あるいは揺らぎなどが生じるため、精度が十分ではありません。そのため、数cm程度で1時間より短い地殻変動を準リアルタイムで捉え、緊急を要する場合には、捉えた地殻変動が何をあらわしているのかという解釈も迅速に行う必要があるため、右のグラフのようなマグマの圧力変化といった地殻の状態も把握する必要があります。

つまり、リアルタイムキネマティック解析のばらつきを抑えた上で、準リアルタイムで地殻状態の推移を推定するシステムの開発が必要となります。

スライド7をご覧ください。目的・目標です。これにつきましては、今までに述べさせていただいておりますので省略させていただきますけれども、2つの目的に対して、対象とする現象の違いによって、目標が大きく異なっている点に御注意ください。

それでは、研究内容について、御説明いたします。

スライド8をご覧ください。まず、過去の推移についてですが、事後に行う解析ということで、現象の始めから終わりまで全体がわかっていることから、統計的な手法により地

殻変動を抽出することを考えております。その際、ばらつきが大きすぎると適切に変動を抽出できないということが考えられますので、初めに、細かい時間分解能のGNSS時系列のばらつきを低減する技術を開発します。

主要な誤差要因はマルチパス誤差であることがわかっております。マルチパス誤差というのは、図に示していますけれども、直接衛星から電波が到達するほかに、建物や地面で反射した電波が混信してしまうことによって生じる誤差です。このマルチパス誤差に対して、先行研究によって有効性の確認されている補正手法を活用して低減技術を開発する予定でおります。

このような軽減手法でも目標の精度を達成することは困難と予想されますので、次に地殻変動を抽出する手法を開発いたします。

地殻変動は複数の観測点で同時に観測されることから、そのような共通的な信号を抽出する統計的な手法を用います。一番下の図に示しましたのがその例で、もとの時系列から、統計的な手法を適用することによって、地殻変動を反映したものと、日周期的な誤差つまり系統的な誤差成分とを分離して、もとの時系列では見えなかった地震後の余効変動の推移を捉えようという手法になります。この手法でさまざまな地震や火山現象に適した手法を開発するというものです。

スライド9をご覧ください。次に、現況の把握についてですけれども、リアルタイムキネマティックの解析では、事後に行う解析と比べるとデータの欠落等の解析条件が悪いため、大きなばらつきや飛びがさらに問題となります。

そこで、まず、ばらつきを低減する技術を開発しますけれども、この場合でも主な誤差要因はマルチパス誤差なので、先ほどの研究の内容の1番、つまり、過去の推移に関する取り組みで開発した誤差低減技術を適用します。また、先ほどは解析条件が悪いと申し上げましたが、先月より、GLONASSなどのGPS以外の衛星からのデータがGEONETで利用できるようになりましたので、データの欠落による影響が少なくなるだろうと予想しております。さらに、GPSのみの解析に比べ、衛星数がふえるので、条件の悪い衛星の観測を使用しないといった選択もできるであろうと考えております。つまり、図に示しておりますけれども、マルチパス誤差は低仰角からの衛星ほど影響が大きいという性質がありますので、そのような条件の衛星の中でも特に影響の大きいものを使用しないで解析をしようというものです。

スライド10をご覧ください。背景でも述べておりますけれども、緊急時に捉えた地殻変動を解釈するために、準リアルタイムでマグマの状態を推定するシステムを開発します。

地殻状態を連続的に推定する手法をリアルタイムキネマティックのGNSS時系列に最適化し、その時系列データから1時間程度ごとに地殻状態の推移を推定します。その結果、1時間程度の遅れで地殻状態の推移を把握できるようにしようと考えています。

スライド11をご覧ください。想定される成果と活用についてですけれども、過去の推移と現況の把握とのいずれにおいても、まずは、国土地理院の地殻変動研究室での活用を

考えております。

過去の推移については、本研究で開発する技術を適用することによって、地震や火山噴火に至る短い時間で推移する過程の把握とその機構の理解が進むものと期待されます。

現況の把握では、火山活動時の地殻状態を迅速に把握し、提供することが可能になることが期待されます。

これらを合わせて、地震・火山噴火における将来の活動予測に貢献できると考えております。

最後になりますけれども、波及効果としましては、本研究でリアルタイムキネマティック解析により電子基準点の変動が把握できるようになり、また、リアルタイム解析における誤差低減技術が開発されることから、これらは、リアルタイム測位を用いて、ブルドーザーなどを自動制御して整地するといった情報化施工において、電子基準点を利用したリアルタイム測位の高度化への波及が期待できであろうと考えております。

長くなりましたけれども、以上で私からの御説明は終わります。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、分科会からお願いします。

○委員 この研究はGNSSの準リアルタイムキネマティック解析の精度を5分刻みで5mm程度までに上げようとするものです。これが成功すれば、火山噴火の予測にはもちろん大きな力を発揮しますし、地震活動の推移等の監視にも非常に有用な手段になると考えられますので、かなり難しい、チャレンジングな研究ですけれども、ぜひ推進していただきたいと判断しました。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、皆さんから御意見、御質問を受けたいと思いますので、よろしくをお願いします。

○委員 スライド5で、時間分解能5分程度で5mm程度の情報を取り出すことが要求されるということですが、こういうものは細くなればなるほどいいという感じのものなのではないでしょうか。例えば、1分程度で1mmになればもっといいとかということになるとは思えるのですけれども、5分で5mmというのは何か理由があってこのガイドラインを決めたのでしょうか。

○説明者 対象とすべき現象が、例えば、ここに例示しておりますけれども、数十分から数時間の間に生じる数cm程度の地殻変動を含みますので、それらの変動をも捉えるためには、5分程度の時間分解能で、さらに5mm程度の精度が必要であることから、このような目標を設定しております。もちろん、時間分解能がより細かく、より精度が高くなれば、それによってまた違った現象が見えてくる可能性もあると思うのですけれども、この研究では、例示したような時間スケールの現象を捉えたいという趣旨でこの目標設定としております。

○委員 では、この程度になれば、火山の噴火予知とか地震の予知なんかに対して、今よ

りはかなり改善されるめどが立っているということですね。

○説明者 そのように考えております。

○委員 もうちょっと説得力がある説明が欲しいような気がしますけれどね。

○委員長 ほかに。

○委員 スライド7と8に関連しまして、過去のデータの掘り起こしの場合には、例えば精度向上のために絶対に必要な衛星の軌道情報とか大気とか電離層の情報というのは、じっくりと推定してとることができるのですけれども、リアルタイムに近づけば近づくほど、そういうものの推定とか状況は非常に難しくなりますよね。今回は触れられていないのですけれども、例えば、スライド8で、共通信号を抽出するといっても、ひょっとしたらそれは衛星の軌道とか大気とか電離層による共通の誤差かもしれない。その辺の切り分けはどうするのですか。共通に変化したから信号なのか誤差なのか。

○説明者 まず、共通信号について誤差もあるのではないかという指摘についてですけれども、その点は全くご指摘のとおりと考えております。共通信号としては、地殻変動のほかに、系統的な誤差、例えば、スライド8で日周的な誤差と示しておりますけれども、このように観測点に共通する誤差を分離することによって、より地殻変動が見えるようになると考えております。

それと、リアルタイムになればなるほど精度を達成するのが難しいのではないかという御指摘ですけれども、これについても全くそのように考えております。ですので、本研究では、準リアルタイムでの監視と過去の事例を調べるもののそれぞれについて、目標としては互いに異なっておりまして、時間分解能5分で精度5mmというのは過去の事例の分布について達成しようという目標であり、リアルタイム解析についてはそこまでは難しいだろうと考えております。

○委員長 今の質問と類似するところがあるのですが、今の8のスライドのところ、主要な誤差要因はマルチパス誤差、これ自身が今幾つか言われた誤差要因を含んでいるのですが、今までのこの類いのあれだと気象データが非常に大事になりますね。水分。これは5分間隔ぐらいでとれるのですか。あるいは提供していただけるのか。これが補正されないと、昨年度の日高のあたりでも、場所によってはかなり大きい誤差を出しましたよね。その辺が心配なのですけれども、5分間隔、あるいは、それ以下の間隔で気象データの分解ができるか、あるいは補正ができるかどうか、その辺の見通しをお願いします。

○説明者 キネマティック時系列において一番問題となるのがマルチパス誤差であり、それは大気擾乱の影響よりもさらに大きな影響があります。そこを低減した上で、大気擾乱を検討しないとイケない部分もあると思います。今のところ考えているのは、本研究の主要なテーマではありませんけれども、過去の情報を使って何らかの推定をするといったことが、事後に行う解析についてはできるだろうと考えております。そのような検討も研究を進める上で行うこともあり得ますが、まずは一番大きなマルチパス誤差を除去することを目標としています。

○説明者 今回の点について補足します。数値気象モデルというのは、時間分解能を細かくできるのですけれども、細かくすればするだけ精度が出るかということ、そういうものではございません。例えば、5分間隔のスナップショットで、水蒸気の情報が出たり出てくるといようなものではないので、数値気象モデルを用いて補正を行うというアプローチには限界があるかと思っています。どちらかといいますと、先ほどの干渉SARの研究でもございましたけれども、時系列的手法を適用して、地殻変動と大気擾乱の変動のパターンが統計的に異なることを利用して、両者を分離できるのではないかということ、今のところ期待して研究を進めるということでございます。一方で、リアルタイム解析の場合はそういうことが適用できません。前回の委員会において終了時評価としてご審議いただきました、気象モデルを使った地殻変動監視能力向上の研究では、何か変動が見えた場合にすぐに大気擾乱による誤差かどうかの判断を下さないといけない、という状況において数値気象モデルを活用するということだったのですけれども、今回の話では、過去も含めて結構長い時間のデータを使うことができますので、そういう場合にはそういう統計的な手法が有効に使えて、地殻変動を抽出できると考えております。

○委員長 その辺を承知していればいいのですけれども、去年の終了研究の評価のときに、GPSのある部分が信頼できるかできないかみたいなものを抽出して、信頼できないのを省きましょうみたいな研究をしたばかりですよ。それ自身が余り触れられていないので、そういうものを抽出して、変動だ、変動だみたいなことを言われても、みたいな。多分、気象の擾乱も、山系から言うとある特定の場所は案外頻繁に起こるみたいなことがありますね。いや、承知していればとは思いますが。

ほかに。

○委員 多分、RTKやGNSSだけでは、この辺の技術問題は既に一般に解決されてわかっているわけですから、これ以上どうにかして技術的に突破しようというのはすごく難しい気がするけれども、GNSSだけではなくて、ほかの地震動の観測ネットもあるわけでしょう。そういう情報と相互に支援とか比較とか検証はできないですか。要するに、変動なのか、ただのぶれなのか。RTKの解は、ここで終息したからこの段階では安定しているけれども、違った状況ではまた違ってぶれているわけです。その照合は自分自身は難しいと思うので、ほかの観測データ、こういうのが多分いっぱいあると思います。

○説明者 起こっている現象をどう理解するかという部分については、全くそのとおりと考えております。本研究ではなるべく精度の高い情報を出したいというのが主眼となっていますので、外部の情報が使えれば使いたいと思いますけれども、まずは、そこまでは踏み込まないで研究を進めたいと考えております。

○委員 私的には、ぜひ外部データを積極的に取り入れて、相互に検証した方がいいと思います。研究所内だけではこれだけになってしまうので。

○説明者 まさにおっしゃられるとおりでございます。GPSで捉えようとしているのは、静的なゆっくりとした変動であって、地震計だと帯域がずれてしまっていて捉えられないので

すけれども、例えば、傾斜計、防災科研のHi-netの傾斜計とかがございますし、ほかにも、ニワトリと卵になるかもしれないですけれども、干渉SARとか、いろいろなセンサがございますので、帯域が重なったところでお互いにどう見えるかという相互比較は、この研究の枠内でもやるべきだと思いますし、やりたいと思っています。

○委員長 ほかに。

○委員 コメントです。研究課題①と②と、時系列とか精度向上というキーワードで共通していて、地理院としての今の研究の方向性のようなものが見える研究の説明を受けたので、そのあたりで非常に期待したいと思います。

本研究については、とにかくマルチパス誤差というのが最大の難関だと思うのですけれども、ぜひこれで成果を上げていただけるように期待したいと思います。

○委員 時間分解能が非常に高くなるというのはいいことだと思うのですけれども、電子基準点の場合の空間分解能の問題があって、活用の部分ですけれども、1地点あるいは数地点の評価だけで伸ばしていくというのはちょっと危険性があると思うわけです。そのあたりについてどうお考えかということと、活用の面に関しても、時間分解能の高度化と空間分解能の限界をきちんと示していただければと思います。

○説明者 空間分解能につきましては、特に、火山が問題になると考えております。というのは、火山の現象はどちらかというと局所的ですので、過去の事例については、他機関の観測点のデータも活用して、なるべく空間分解能を上げて検討したいと考えております。他方、準リアルタイムの監視では、他機関のデータをリアルタイムで取得することは、現状ではできないので、空間分解能を上げることは難しいと考えています。ですので、より空間分解能の高いものと、空間分解能がやや落ちた結果を比べることによって、なるべく準リアルタイムでよりよく現象を捉えられるようなシステムをつくっていただければと考えております。観測点を増やすことは難しいので、そういった視点で取り組みたいと思います。

○委員長 ほかにいかがですか。

○委員 御説明、どうもありがとうございました。

スライド8の②のところで、対象となる異なる変動要因に適した手法ということで、変動要因が異なるものごとに適した手法をどんどん開発されていくということですが、この辺をもう少し詳しく御説明していただけますでしょうか。

○説明者 まず、本研究で対象としたいと思っている現象としては、まず、継続時間の短い余効変動やスロースリップという現象が挙げられます。後者については、その始まるの部分をより細かい時間分解能で地殻変動を捉えることによって、プレート間すべりの機構の理解に役立つことがわからないかというようなことを考えています。また、海溝型の地震について、どのように断層すべりが推移していくのかということも対象と考えています。それぞれのターゲットについて事例を調査して、個々のケースごとにこういう解析を行えば地殻変動が抽出できますよというように手法開発を行いたいと考えております。

○委員 そうすると、ここで場合分けをされて、手法をそれぞれ開発されるということ

すけれども、それはある程度それぞれの変動要因ごとにタイプ分けをされてということですね。

○説明者 はい、そう考えております。

○委員 それは、ある程度長い期間、一般性を持ってケースごとに使っていけるようなものをここで開発するということですね。

○説明者 はい、そうなるように取り組んでいきたいと思っております。この研究を行う中で、なるべくそうした成果が得られるように取り組みたいと考えております。

○委員 そうなるととてもいいものができるのではないかと。手法がいろいろな使えるものになるので、そのあたりはいいと思ったのですが、場合分けをされるときに非常にいろいろな場合があるのではないかと思いますので、そういった面でうまく場合分けしていただけだと思います。どうもありがとうございました。

○委員長 ほかにはいかがでしょうか。——なければ、この課題はこのぐらいにします。