

(1) 平成27年度新規特別研究課題事前評価

精密単独測位型RTK (PPP-RTK) を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発

○委員長 それでは、早速ですけれども、議事に入らせていただきます。

本日は、まず議題(1)として精密単独測位型RTK (PPP-RTK) を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発で、まず地理院から説明いただいて、それから分科会から報告いただいて、その後で皆さんの御意見をいただくとしたいと思います。では、地理院から説明をお願いします。

○発表者 おはようございます。では早速、内容について説明させていただきます。

お手元の資料1-1をごらんください。この課題は精密単独測位型RTKという比較的新しいRTK、GNSSを使って即時的に自分の位置を把握するという技術ですけれども、その中でも精密単独測位型という新しい技術を使って、リアルタイムに地殻変動を把握して、防災に活用しようというそのための基礎的な研究であります。

特別研究で、研究の期間としては27年4月から30年3月の3年間で計画してございます。ここには記載しておりませんが、予算規模としては年間1000万掛ける3年、それぐらいのオーダーで想定してございます。

以下の資料の内容につきましては、パワーポイントのほうでまとめて説明させていただきますので、まためくっていただいて、資料1-3をごらんください。

まず、本研究を立ち上げるに至った背景について簡単に説明させていただきます。スライド2ですけれども、リアルタイムキネマティック測位(RTK)をリアルタイム地殻変動監視に使う、防災へそれを活用しようという大きな流れがございまして、もともとリアルタイムで、例えば地震の規模を把握するとか、それをもって津波の規模を予測するとか、そういうものは地震計のほうで、精度が非常によいということでありまして、従来は地震計で行われていたものでございます。しかしながら、GNSSを使っても即時的にみずからの位置がわかるようになってきて、それを使うと、従来の地震計ではなかった新しい情報、補完的に得られる情報があるということで、地殻変動のほうも使っていこうじゃないかという動きが、特に東北地方太平洋沖地震の後に高まっているという背景がございまして。

先ほど申しましたGNSSでRTKをやって何のメリットがあるかということでございます。下の赤字でタイトルを書いているところでございますけれども、①のリアルタイムというのは地震計同様、当たり前のことですが、もう1つ、大切な特徴としては振り切れない。地

震計の場合は、微弱な地面の動きを検知するという観点ではいいのですけれども、振動が大きくなると振り切れてしまう。もちろん振り切れないような長針計というのもございますけれども、GNSSは振り切れないという特徴があります。

③としまして、ゆっくりとした変動も捉えられるということがございます。これは、一般に地震計はある特定の地面の揺れの周波数だけに感度があって、それ以外のところは感度が落ちる。意図的に落とすこともございますけれども、そういうものでございます。しかしながら、GNSSはどのような周波数のシグナルでも均等に捉えられる。周波数特性がフラットであることがありまして、これが非常に重要な特性でございます。ここに書いたように、ゆっくりとした変動を捉えられるということで、地震や火山現象の検知、津波地震とか火山でのマグマ移動などが検知できることもございますけれども、さきの東北地方太平洋沖地震におきましては、地震計が特定の周波数だけを検知するような地震計で津波予測をしたところが、地震の規模が正確に検知できなかったということで、津波予測という観点では、地震の規模は即座に正しく把握しないといけないということで、GNSSについては、そのほうが得意な分野でございますので、それに活用しようという研究等も多々発表されたということでございます。

めくっていただきまして、実際に国土地理院でも、先ほど申しました津波予測支援、巨大地震が起こったときに、即時に地震の規模を把握して、それを津波予測に役立てようと、気象庁と協力して、我々は地震の規模を推定するということで、その結果をもって、気象庁が津波予測にそれを活用するというスキームで共同研究が走っておりまして、国土地理院の側では、津波予測のためのGPS情報を提供システムということで、そういうリアルタイムのキネマティック測位を用いまして、電子基準点の変動を検知して、それを用いて断層モデルを推定する。そういうシステムを構築しておりまして、昨年度ようやく全国の電子基準点で解析ができるようになりまして、今年度からその試験運用が開始されているという状況でございます。このシステム自体は非常によくできたシステムで、この目的のためにはほぼ完成したシステムと言えそうですけれども、実際にこれを高度化することで、さらにメリットが見込まれるので、ぜひそれをやりたい。

スライド4です。例えば、現行のシステムで地殻変動の検知精度10cmでございますけれども、それをさらにもっと高精度化することによって非常に得られるものが大きいということがございます。まずは巨大地震が起こったときの地震の規模の把握ということで言いますと、精度がよくなることによって、地殻変動の検知時間、現在は地震が起こった後の

前後の、ある程度1分とか2分とか平均をとりまして、その差で地殻変動を把握しているのですけれども、その時間を短縮できることで、より速く地震の規模が把握できる可能性はある。これは津波予測支援という観点では非常に重要な項目かなと思います。

さらに、対象となる現象が拡大する可能性がございまして、現状では、巨大な海溝型地震に伴う地殻変動をターゲットにして、そのためのシステムということでございますけれども、これがより精度が向上しますと、先ほど申し上げたとおり、地殻変動のメリットでございます周波数特性によらないということで、プレート境界でのゆっくりすべりや余効変動も把握可能になる。これが可能になりますと、例えば連動型の地震で、海溝型で巨大地震が起こったときに、その後の地殻変動、余効変動を正確にモニターすることで、次のどういうふうに発展していくのかをリアルタイムで押さえられる可能性がある。また、火山では従来ローカルなネットワークである程度実用化されていますけれども、火山活動に伴って地殻変動を把握して、マグマの移動とかというのは、ゆっくりとした時間でダイナミックに動く現象でありまして、そういうのが検知できるようになるということで、同一のシステムで非常に幅広い現象に対応できる。そういうことがありますので、さらにそれを高度化するのは、防災上もかなりメリットがあるということでございます。

めくっていただきまして、スライド5です。では、実際の今のシステムをそのまま高精度化できるのかといいますと、現状ではちょっと課題があることをここで説明しております。従来は、このシステムは相対測位型RTKと一般に呼ばれるものでございまして、基準局からの相対的な変動を調べるというものでございます。これについては、精度を高く保つためには複数の基準局が必要になるわけですが、逆に基準局をふやし過ぎますと、例えば巨大地震が起こったときに、基準局も自分が動いてしまう。そうなってしまうと、正確な地殻変動の把握は困難であるということがございます。さらに、こういう基準局と観測点との差をとって計算する方式は、計算負荷的にも非常に大きいもので、現行のシステムでもかなり巨大なシステムですが、さらなる規模の拡大とかマルチGNSS化、これは後ろに用語集としてまとめてございますが、GPS以外のGLONASSとかGalileoとか、そういう衛星をいっぱい使って精度を上げるということですが、そういうことがありますと、データがふえますので、処理が困難になるという問題がありまして、新しい技術による精度の向上が求められているということでございます。

下のスライド6で、その方法となり得るのが今回提案いたします精密単独測位型のRTKシステムでございます。下にポンチ絵で示しておりますけれども、このシステムはどうい

うものかといいますと、最初に全点ということではなくて、限られた20～30点とか、そういうもので衛星の精密な位置とか、あと衛星の時計のずれとか、それを補完するような情報とか、そういうものを一旦求めまして、あと各観測点での位置を決めるのには、その情報を使ってやる。だから、お互いに相対的な位置関係を求めるのではなく、一旦そういう補正情報を求めてしまって、そこからは各点での絶対的な位置を単独測位によって求めるという技術でございます。

メリットとしましては、基準局を用いないので、地殻変動量の絶対値の推定が容易であるとか、あとは最終的にネットワークで補正情報を整正するときも、限られた点数でやりますので、さほど重くないし、一旦そこを求めてしまえば、各観測点で単独測位をすることになりますので、非常に軽いシステムでスケラビリティがいい。例えば、ネットワークの問題は別としまして、計算機1台で処理が終わってしまうというすぐれた特性を持つものでありまして、先ほどスライド5で申し上げました、従来型のRTKの問題を解消する新技術として期待されておりまして、地理院のみならず、世界中で研究が進められているという新技術でございます。

次にスライド7です。では、現行のこのシステムをすぐ導入可能かといいますと、そうではありませんで、比較的この技術自体は新しい技術でございます、まだまだ改良の余地がございます。その改良の余地を並べてみましたけれども、まず1つは座標値安定性の向上、非常に期待される技術ですけれども、現段階では水平の各成分で5 cmぐらい、下に2DRMSでPPP-RTKを施行した結果の2DRMSを並べてみますけれども、平均して2DRMSで10 cmを切るぐらいで、水平で言うと、5 cmをちょっと超えるぐらい。現状での実力はこれぐらいなものであります。最終的にはこれを2 cmぐらいにしたい。それは、先ほど申し上げたような現行システムの精度向上のメリットを享受するためには、2 cmぐらいが必要だということでございますけれども、さらに技術開発が必要で、そのめどは世界中で研究されておりましてある程度立っておりまして、専門的なことになりますが、巻末に用語集としてまとめてございますけれども、整数不確定性の決定とか、あとマルチGNSS化で要素技術が提案されているので、これを完成に持っていくということでもあります。

さらに課題としましてはスライド8です。このような補正情報、衛星の精密な位置とか衛星の時計のずれ、時刻情報とかいいますのは、もうある程度オペレーショナルに国際機関から最近配信が開始されたところでありまして、入手可能なものでありますけれども、そういうものは日本の地殻変動について責任を負っている機関ではございません。例えば

そういう補正情報が途切れて、地殻変動のモニタリングができなくなったことがあっても、責任をとってくれないということでありまして、それは我々の手でやる必要があるだろうということと、あと上で申しあげました整数不確定性の決定、さらに精度を向上させるための一要素ですけれども、そのための補正情報は、いずれにせよ、自ら出す必要があるということで、測位側だけじゃなくて、こういう外部機関に依存しない補正情報の整正でも我々がやるべきことがあるということでもあります。

さらに、これは非常に若い技術でありまして、各研究機関で、例えばスナップショットでこれだけ精度が出たよという研究は非常に多くあるのですけれども、例えば地殻変動の監視という観点で問題はないかどうか。値が急に飛んだりしないかとか、欠測はあるのかとか、微妙なゆったりとした揺らぎはどうかとか、そういう観点で評価された例は今までございません。我々は、地殻変動をちゃんと検知するという観点から、こういうシステムを組み上げて、地殻変動という観点でどうだろうということを検証する必要があるということで、そういう試験もする必要があるだろうということでもあります。

めくっていただきまして、以上をまとめますと、最終的にはPPP-RTKのプロトタイプを構築して、実際にこれはリアルタイムの地殻変動把握で使えるのかを調べたいということでもあります。そのために目標をブレークダウンしまして、最初にプロトタイプの開発で、スライド7で申しあげたような要素技術の開発と、あとプロトタイプの試作をやる。それを用いまして、スライド8の下で申しあげたようなリアルタイムの地殻変動への導入を想定した試験運用をして、問題点を洗い出して、実際に使えるのかを調べることをやるということで、その計画を立てました。

下が工程表ですけれども、最初の2年間はだまかにPPP-RTKのプロトタイプを開発して、ちゃんと測位ができて、補正情報も自分でできるよという状態に持っていく。最後の1年で試験運用を試みる。この試験運用につきましては、この研究が終了後も、実際に運用する組織であります測地観測センターのほうで、引き続き共同でずっと試験を続けていくということでもありますけれども、第1弾の試験としてこの中でやるということでございます。

めくっていただきまして、最後まとめますと、想定される成果としましては、座標再現性で水平各成分2cmというプロトタイプができるということで、さらにそういう現場での評価を踏まえつつ、これを将来的には地殻変動業務に活用するという方向で検討をして、そのためのプロトタイプとして使えるということと、あと実際の即時的なメリットとしま

しては、現行のリアルタイム地殻変動把握業務、津波予測支援もそうですけれども、そういう現状の業務についてパラレルで走らせることによって、そこで現行のシステムの基準点の変動の把握とか、あとクロスチェックとかに使えるということで、検知能力が向上するというところでございます。

あと波及効果としましては、この補正情報は共通の、よそでも使えるものでありまして、そういうのも外に出すことで、日本とか世界的にPPP-RTKの利用を促進できる。特に津波の検知のためにブイにGPSをつけて、直接海の高さを測るGPSブイの研究が日本も含め世界中でやられているわけですが、本研究で開発したものは、ターゲットとしては、例えば上下では5 cm程度と想定してまして、そういう津波の検知の目的でも十分使えるものになると考えていますので、そういう分野の方と連携して使っていただくことも考えております。

あとは、測量利用への発展は比較時間の問題で難しい面もございますけれども、非常に簡便な測量方法となり得るので、将来的にも検討したいということと、あとはリアルタイムの品質情報になりますので、それを提供していくということでございます。

以上で説明を終わらせていただきます。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、分科会の議論について、分科会主査からお願いします。

○主査 6月5日に測地分科会を開きました。結論的にはこの研究を進めていただきたいということです。

出た意見とか質問を言いますと、1つは、ちょっと技術的な話になるのですが、補正情報のつくり方について細かい質問がありました。それはともかくとして、特に地理院側の方がおっしゃっていたのが、この補正情報、単に外部の補正情報を使うだけではなしに、国土地理院独自でつくっておくのが、この研究だけでなく、今後に向けても重要だという話がございました。

あと資金、1年間1000万ぐらいで、3年間で3000万ぐらいだそうですけれども、特別研究として、特にやるのにどういう使い道になるのかという質問をしたところ、1年目、2年目はプログラミング、特にリアルタイムで動くプログラムをするのに外注をする必要があるという話、3年目になると、監視の評価、つくり上げたのがどの程度使えるかを評価するのに外部に出す必要があるという話でした。

あと、日本独自の準天頂衛星も使えるのかという質問がありましたけれども、今のところ

ろ、GPSとGLONASSだけだけれども、将来的にはそういうのも重要なので考え得るという話でした。

あと、こういう研究は民間でも結構進められているので、民間での研究を横でちゃんと見ながら進める必要もあるし、場合によっては、民間と共同研究するということも必要になるかもしれない。そんな意見が出ました。

○委員長 どうもありがとうございました。

今の分科会の意見といいますか、見解も含めて、それでは、皆さんの御意見、あるいは御質問を受けたいと思いますので、よろしくお願いします。

○委員 この研究の1つの大きな課題は多分計算負荷ではないかという気がするのですが、計算負荷の問題があるがゆえに、負荷が小さいようなアルゴリズムとか手法ということになりますか。私ももともとは通信の専門家だったんですが、最近の動向はそれほど詳しいわけではないのですけれども、ちょうど先週、インターロップという国際会議があって、シスコの副社長さんの基調講演をお伺いしたんですが、最近のデータセンターは物すごい技術革新があって、ある状況があれば、それに応じてサーバーとか、最近はもうルーターとかスイッチも全部電子化されていますので、そういう設定を一挙に変えてしまって、瞬時に必要な計算量をぼんとデータセンターの中で処理するという技術がかなり発達してきているそうです。今お話を聞いていて、こういった用途にそれが使えるのではないかという気がちょっとしたのですが、その辺については検討か何かされていますでしょうか。

○発表者 今御指摘いただいたようなことについては、我々だけでなく業界、我々の測地という観点からしても、そんなに対応が進んでいない。そういうダイナミックに計算量を動かすとか、そういうものについては余り進んでいないことがありまして、それは事業規模が、例えばeコマースとか、そういうすごく市場規模がでかいところは、そういう技術開発が進むということだと思うのですけれども、我々はちょっとパイが少ないというので、どちらかというところ、でも、計算量の問題は非常に深刻なので、計算量自体を削減して、アルゴリズムを提案する方向で進んでおりまして、それもこの一環であります。

従来の基線解析、相対的な測位ですと、単純に言いますと、観測点がN点だったら、組み合わせとしては $N \times N^{-1}$ のベースラインで解くのが通常で、この場合は、基準点はもっと削減しますので、そこまではいかないのですけれども、 N^2 オーダーの計算負荷がかかるということでもあります。PPPの場合は、オーダーとしてはNにあって、スケーラビリティが非常にいいというので、この方式が提案されたのは、そういう計算負荷対策が非常に大き

いというところですよ。

○委員 私のほうは、むしろこういった分野のアプリケーションをやっている人が、今のeコマースなんかよりは、もっと国民の生命、財産みたいな、防災みたいなところで応用できないかみたいな話も実はあったのです。ですから、むしろそういったテーマに非常に密接につながり得るので、そういう人たちも関心を持ってくれるのではないかという気がちょっします。ちょっとそういった方向で検討していただければという気がしますけれども、よろしくお願ひしたいと思います。

○発表者 今御指摘いただいたようなハードウェア的な対応も、いろいろ関心を持って情報収集してみたいと思います。ありがとうございます。

○委員 ありがとうございます。昔、VRS-RTKなんかというのがあったような気がするけれども、そのような原理の今の応用版ですか。

○発表者 おっしゃっていただいたのがVRSですか、仮想基準点方式というものですけれども、基本的に発想は似ているのですが、今回のものは、そこまで精度は要求しない。そういうものでありまして、VRSの場合は仮想基準点ということで、周囲の電子基準点のデータを合成して近くの基準点ということでやるのですけれども、今回は補正情報としてGNSS衛星の時刻と精密な軌道を使うということで、VRSとかに比べて軽いシステムになるということで、多少VRSのほうが精度が出るのは当然ですが、そことトレードオフで軽いシステムを志向したということです。

○委員 もう1つは、外の補正情報が途絶えたときには、地理院の電子システムで復旧するということですね。その辺は何かVRSと近いのじゃないですか。全然電子基準点の情報を使わなければ、今のおっしゃるとおりですが、その両方を組み合わせたような気がするけれども。

○発表者 補正情報を訂正するときのデータの点数として、VRSとかはもう全部の電子基準点を使って、最寄りのものを使ってきて計算するということですが、この場合は、補正情報としては、例えば20~30点とか非常に限られた点数ですぐ計算できるということで、計算負荷という意味では、VRSに比べると圧倒的に少ないし、ネットワークの負荷としても少ないというメリットがあるということです。

○委員 2cmの、どうやって決めたんですか。今の計算時間とのトレードオフなのか、あるいは参加する基準点の数の間の距離なのか、その辺どうなのか。

○発表者 正直申し上げまして、2cmというのは、いろいろな方がなぜ2cmなのかという

御指摘を受けるところです。1つは、2 cmでいろいろな対象が広がるとか、時間が早くなると、2 cmではいいだろうということと、あと技術的な側面で言いますと、このPPP-RTKという方式を使う以上、1 cmを切るのはちょっと難しい。それはなぜかと言いますと、今おっしゃられたVRSとかだと、例えば大気の誤差とか、観測点である程度周囲共通に出る誤差は、周りの補正情報を使うことで消去できるので、その分精度の向上が見込まれるのですけれども、今ここで考慮しているのは、衛星の時計と位置、それだけしか考慮していないので、どうしても観測点固有の大気の擾乱の誤差とか、そういうのは残ってしまうので、ちょっと難しいところはある。

実際相対測位型のRTKで見ましても、短い基線だと、そういう誤差が消去されるので、非常に精度がいいのですけれども、基線が600kmとか700kmとかそれぐらいになると、そういうお互いに誤差が相殺されるメリットがなくなってきた、逆に共通の衛星が見えないとか、そういう問題が出てきますので、今の現状でやってみた感触では、基線長で600 kmぐらいになると、PPP-RTKのメリットが出てくるかなということがあります。それをアンビギュイティを決めたりいろいろやることで、もっと短いところまでトレードオフを持ってきて、そうすると、全国一律の仕様で監視ができる。短いところはいいけれども、長いところはだめだよとか、そういうことがなくて、一様に監視できるので、国土地理院の地殻変動監視という意味ではいいシステムなのかなと思っています。

○委員 大変興味深いお話をありがとうございます。私はいろいろ教えていただきたいことがあります。先ほど地震計との対比ということをおっしゃっていたのですが、この観測でリアルタイムでやることによって、どのぐらいまでの時間、分解能のものができるのかということと、例えばスライド6にある、同じことですがけれども、波のグラフの横軸の時間のイメージ、津波予測にどのぐらいで生かしていけるのかということについて伺いたいです。

○発表者 最初に時間分解能のことで申し上げますと、基本的には1秒間隔と思っていたのであれば、だから、1秒サンプリングのものがエポックごとに出てくるということであり、それをを用いまして津波を検知するわけですが、実際には、地殻変動を検知するために前後平均する必要があったりとか、あとは実際に地震波がまず来て、永久変位というのはもうちょっと後で来るので、それを待たなきゃいけないという原理的な問題もあって、規模としては3分ぐらいでマグニチュードが推定できればいいなということだと思います。

○委員 計算の時間としても秒単位というか、数秒単位で計算が可能で、1分とかそのぐらいの中で1秒間隔の動きがわかってくるというイメージですか。

○発表者 実際の変位って、波も含めまして、地面の動きは1秒単位で出てくるということです。だから、ある意味地震計として使えるものでもありまして、実際にこれを地震計として使って、波として動きを捉えて、それでどう滑ったのかをモデル化する。そういう研究もあるのですけれども、今回の場合は永久変位を取り出すことで、その平均をして処理するということですが、動き自体は1秒単位で全部出てくるというものです。

○委員 ありがとうございます。

○委員 御説明どうもありがとうございました。ちょっと教えていただきたいところが2点ございまして、1点目がスライド9の中のPPP-RTK導入のためのフィージビリティ評価を可能とするということですが、この評価の中身についてどういうことをされるのか教えてください。

2点目としては、スライド17で、私が聞き逃したのかもしれないのですが、閾値10cmと閾値4cmの図が2つございます。これの意味するところが何かちょっとそのまま、急いで説明されたのではないかと思いますので、もう少し詳しく教えていただけたらと思います。よろしくお願いいたします。

○発表者 ありがとうございました。最初のフィージビリティスタディーって何のことかということです。実際にこういう業界で、こういう方式がいいよとか、そういう研究発表は、例えば2～3日とか、それぐらいで、座標の再現性がこれぐらいよくなったよとか、そういうふうな評価しかやらないのが通常ですけれども、実際に地殻変動のスナップショットで見たときに、座標のばらつきが多少よくなったとしても、それが地殻変動として、検知として使えるというものではないです。例えば地殻変動として問題になるのは、解が出ないところがあったという、そういうのは問題ですし、あと値が急に飛んじやったというのも、それは地殻変動して誤検知につながりますので、そういうことは問題ですし、あとゆっくりした変動を捉えるのが得意と言いましたけれども、それで誤差としてそういうゆっくりした変動が乗ってしまうと、それは座標再現性への寄与としては余りなかったとしても、それはゆっくりとした、ある意味周波数の長いような誤差が乗ってしまっただけは、それは問題なので、そういう地殻変動を検知するという観点で、悪影響を与えそうな項目を、今述べたようなものを設定しまして、そういう観点でどうかを調べたいということでございます。

あと、スライドの17で、これは説明しなかったということですが、これはどういう意図でつけた図かと申しますと、現行の津波予測支援というシステムが、地殻変動の検知能力が大体10cm、10cmの地殻変動がわかるよということでありまして、それに対して閾値4cmといったのは、例えば水平の片成分で、ある程度長いところの座標再現性で2cm出たら、4cmの地殻変動がわかるよねということなので4cmを設定したということでございます。そうしますと、例えばここでM7級の断層すべりが起きたときに、10cmだと、このエリアの電子基準点でしかわからないのに、4cmになると、これだけ広い範囲の電子基準点でわかるよということで、要は検知される点数がふえることは、より安定した地震のイメージが得られるということですから、この精度を向上することで、これだけメリットがありますよといったことを言うためにつけた図です。

○宇宙測地研究室長 ちょっと補足しますけれども、17ページの図で青くハッチしてあるところが検知されるであろう地下のプレート境界のすべりの場所です。したがって、もし10cmしか観測の精度がなかった場合には、青で示されたようなところのすべりが検知できるだけでございますけれども、これが4cmまで精度が向上すると、その領域が広がってきて、こういうところで滑れば、それが検知できるといった図になっております。

○委員 大変興味のある御発表ありがとうございました。実業務的な発想からすると、例えばスライド16にあるメリット・デメリット表を見ると、恐らく通常の精密測量では、干渉測位などはVRSを使いますので、非常に精度よく測れる。PPP-RTKは×だということで、そういうものには使えないということですが、逆に考えると、計算負荷だとか検出可能な地殻変動が絶対値ということですから、例えば、従来地理院でもよく研究されている防災の分野だとか、森林の長期の把握だとか、そんなに精度は必要ないけれども、逆にこのデメリットをその分野に生かすシステムができた場合に、1台の安価な計算機でできるとか、VRSの補正情報をつくるのに費用がかからないとかとなると、簡単に防災だとかほかの分野で、そんなに精度は必要はないよというところに、この技術が使っていけるんじゃないかなと思いました。地殻変動とか精密測量と考えると、どうしてもこの◎というところではないとだめだよということになるのですけれども、その逆もあるのかなと思います。PPP-RTKがそういう分野にも応用できるような考え方もしていただけると、おもしろいかなと思いました。

○発表者 ありがとうございます。まさに御指摘のとおりでありまして、直接VRSみたいな精度の高いものと競合しても勝ち目はないということでありまして、うまく応用できる

分野を探す。精度を向上させる努力も一方でしつつ、応用できる分野を考えていって、そこを法的な枠組みを含めて整備するのがこの次の仕事かと思っていまして、実際、例えばアメリカとかでもう既にこれは商用サービスとして始まっていると思います。PPP-RTKを使いまして、農業機械の制御では、実際にもうサービスがトリンプル社で始まっていたりしますので、ある程度精度の要らない自動コントロール、農業機器とかそういう車とかのコントロールとか、そういう用途には結構今でも使われているということです。

○委員長 では、ちょっと私から質問といいますか、あれですが、先ほど来から計算負荷の問題があるみたいなことですが、これは、日本全国を一遍にやるのか、それとも地震が動く範囲みたいなのはある意味で限られていますので、そういう範囲をやるのかで負荷はかなり違ってくる。1200点一遍にやるのか、100点ぐらいで済むのかで全然違いますね。どんなあたりを考えて、一応負荷が大きいということを言っているのか、ちょっとわかりにくかったので教えてください。

○発表者 このシステムの将来像としましては、電子基準点を全て使った全国の地殻変動の監視を志向したものでありまして、そのためにどうすればいいかということで、計算負荷を軽減するという目的でこれを提案するということです。個別のエリアを限定した解析システムも当然考えられまして、例えば、特に火山とかそういう限られた領域では、それ用のネットワークを使ってそれをやったほうが精度はいいのですけれども、想定し得る現象全てにそういうネットワークを組んでおくのは非現実的ですので、1つのシステムである程度オールマイティに監視がしたい。そういうこともありまして、全国型のシステムを提案したいということです。

○委員長 全国型ですね。さっきのこれで言うと、スライド16、短基線、精度は高い、それで計算負荷はというのだけれども、これが少なければ、今のような火山ぐらいだったら、計算負荷はほとんどないですね。

それから、これは相対値となっているのだけれども、基準のある点の絶対値を出しちゃえば、絶対値で表現できますね。だから、その辺のどの程度の範囲を想定して今後やっていくのかみたいなことで、かなり計算負荷の問題は解決できるという感じがしますし、もう1つ、基本的には、今までの基準局というか、何型って言いましたっけ、相対測位型でやったときと、これで直接やったときとの比較をちゃんとしておかないとだめですね。今まで何か試行的に少し比較したことはありますか。

○発表者 結構比較はやっていまして、実際に基準局が動かない場合、そういう運がいい

場合においては、大体両者等価のものを出すのは調べておりまして、例えば、ここの図でつけています、ちょっと見にくくて申しわけですけれども、スライド17の下のスライド18は、PPPでやったものと、あと基準局が動かないもの、PPPが赤で基準局が動かない、そういう点を使って相対測位をやったものです。これは経過時間0秒のところで下に下がっている。そういう地殻変動、これは火山の地殻変動ですけれども、それをあらわしています。ほとんど同じだということがわかっていただけるかと思います。だから、基準局が動かない場合については、相対的にやっても大丈夫ですけれども、逆に基準局が動いてしまうと、青のように、全くこういう変動が検知できないということがあります。現象が起って、事後に最適な基準局を使って計算する。そういうことは当然できるわけですが、リアルタイムで監視しているときに、この基準局は、動いた、動いていないというのをリアルタイムで見きわめるのはちょっと困難ですので、リアルタイム的な用途からすると、基準局によらず絶対値が得られるメリットはあるのかなと思います。

○委員長 基準局が動いたか、動かないかはすぐわかるのではないのですか。だって、個別の点が動いたか、動かないかもわかるようなことを考えているわけでしょう。だから、基準局の計算が絶対値を出すのはそれほど問題ないでしょう。

○発表者 御指摘いただいたのは、ハイブリッド型というか、これで絶対値を押さえつつ、そういう相対型の干渉測位で変動を知るというシステムでよろしいですかね。

○委員長 だから、問題は1点1点でも絶対値でわかりますということだから、基準局自身だったら、やはり絶対値がわかるわけで、あと相対的にこうやっているのを絶対値の変動分だけ差し引きすれば、絶対値として当然出てきますね。だから、その部分の時間というか、計算負荷とか時間の問題だと思うのだけれども、数が少なければそれほど負担にならないし、それほど時間が経過しないで、ほとんどリアルタイムで今の計算がちらっとできるのではないかということがあるのだけれども、どうですかということです。

○発表者 まさにそれは御指摘いただいたとおりでありまして、そういうハイブリッド型の基準局の動きをPPPで押さえ、あとは相対測位でやるという方式もちろん考えられます。それは当座このシステムの完成してからの運用としましては、例えば今の津波支援システムの基準局の変動がないというのをモニターするのに使いたいと思いますし、将来的な、ちょっと精度がどれぐらい出て、あと計算負荷がどれぐらいというそのトレードオフもありますけれども、そういう御指摘いただいたようなハイブリッドな、基準局を幾つか設けて、その基準局の動きはPPPで見るよというシステムも非常に有望かと思いますの

で、それは検討したいと思います。

○委員長 いや、たまたまスライド16とかそういうのが出てきたので、それならば、その辺も考えてということをやちょっと気がついたものですからということです。

もう1つは、個別にたくさんやっていくのですが、そういう中には、先ほどもちょっと出ていた1個だけ変に動くのが出てきたりしますね。そういうあたりをチェックするシステムは当然考えていると思うのですが、それは従来もやられたように、気象データとかそういうのとの関係でやっていくことになると思うのです。これは1200点みたいな一遍にやってこれをチェックしようとする、そっちだけでもかなり時間がかかるというか、あるいは計算負荷があつて、数点の基準局でちゃんとそれをやって相対的でやったほうが、かえって誤差が出たりとか楽になったりとかということはありませんか。そういうちょっと心配があるのですけれども、そのあたりはどうですか。

○発表者 もちろん個別の観測点で、例えば何か近くを大きい車が通つてとかそういうので、個別の観測点で飛びが出るのは当然考えられるのですけれども、逆に相対測位ですと、基準局が変な誤差の影響を受けてしまうと、それが全ての点に伝播してしまう。そういうこともございまして、逆にPPPのほうが影響が限定される。この点が悪いというのがわかる意味で、誤差の検知は楽なのかなと思います。そこから先の処理は相対でもPPPでも同じですけれども、原因の特定という意味ではPPPのほうがむしろ簡単になるのかなと。

○委員長 その辺は考えていただくとして、もう1つは、津波の話がしばしば出てきているのですけれども、津波の場合は垂直変動のほうがむしろ大きく影響して、そのあれはかなり難しいというか、精度を上げていくのがなかなか難しく、ここは水平のほうに主眼を置いているようですけれども、垂直のほうの精度を上げるとか、あるいはこのあたりをもう少し適用していくとか、考えていくということは考慮の中には入っていないんでしょうか。

○発表者 御指摘いただいた垂直のほうですけれども、現在の津波の検知システムは断層のモデルをつくる。そこから間接的に津波の高さを調べるということで、必ずしも上下を直接使うということではないのですけれども、一方で、先ほど申しましたとおり、ブイにGPSを積んで津波を直接検知するのは、上下方向の精度が非常に重要になってくるということで、本研究でアメニティゼネレーションをぜひやりたいと思っているのですけれども、それをやることによって、上下の精度もある程度安定することが想定されるので、それでどこまでいけるかというのは調べてみたいと思います。

○委員長 多分上下の精度をどういうふうにして上げていくかというのは、世界的な課題というところがあるので、それも1つ地理院が主導的にというか、やってもらえると、案外存在感を示すのではないかという感じはしましたということです。

ほかにはどうでしょうか。

○委員 先ほどのデータセンターでの負荷の話に関係するのですが、膨大な計算をそういった形でバーチャライズしてリアルタイムで処理してしまう考え方の背景には、そういったアルゴリズムとかプログラミング自体も、極力そういうバーチャライゼーションに適したやり方をとることが要件になるわけです。ですから、そのためには特定のプログラミング言語であるとかというよりは、むしろ計算のためのサブルーチンみたいなAPI、そういったものを標準化していった、それをさらにいろいろ分担していくことによって、物によっては並列化するとか、そうやって負荷を減らすことになると思うのです。何かそういった工夫もされていますか。

○発表者 並列化に関してはそんな大々的にやるのは難しいのですけれども、個別のルーチンで並列化可能なルーチンを使ってということでは、特にコア数が最近ふえてきたのもあって、そういうのをを使って高速化するのは考えられるかなと思います。あとは物理的にいわゆるばらばらで点ごとに何か分担する。何かそういう大ざっぱなやり方でも効果があるかと思いますので、そこら辺はうまくやれるように工夫したいと思います。

○委員 ただ計算だけじゃなくて、結局、ある条件下で起こったことをいかにしていろいろな政治的な判断とか、具体的な対処に対して情報を伝達するところまで考える必要があると思うのです。だから、そういったある面トータルなモデルのうちでの計算量がどうかという形になると思うのですけれども、多分そういったある種のより抽象的なレベルでの構造といったものが必要になるのではないかという気がします。その辺もいろいろお考えいただければと思います。

○発表者 ありがとうございます。検討してみます。

○委員長 ほかにないでしょう。多分今の件に関しては、計算回数をいかに少なくするかというあたりがかなり主点ですね。それで短くしようということです。

○委員 準天頂衛星に関しましては使用しないということの説明だったように聞こえたのですけれども、その理由とか何かデメリットであるとかいうことを教えていただければと思います。

○発表者 準天頂衛星に関しては、使用しないというよりは、今の現状で使用ができない。

そういうことで準天頂という話をちょっとしたのですけれども、それは今の準天頂で、リアルタイムに準天頂の軌道と、例えば精密な時刻情報とか、そういうものをリアルタイムで解析するような現状にはなっていないということがあります。例えばIGSという国際的な衛星の機関で、いろいろな機関が解析した結果を持ち寄って、そういうものをサービスとして提供しているのですけれども、その中で準天頂はまだ入ってきていない。1つは、日本独自の、ある意味日本の地域的な測位システムであるということで、まだ国際的な対応はそんなに進んでいないというのがあるのですけれども、この研究の中で、うまくすると、例えばJAXAのほうで開発された準天頂のそういう軌道を受けてするようなソフトウェアみたいなのを導入できるか。そういう検討もしておりますし、そういうのができれば、データはとっているんで、準天頂を使えるようにはなるのではないかなと思います。

○委員 これの3年間よりももうちょっと先になれば、そういうのも使えるようになってくる可能性があるということですね。

○発表者 この研究の枠の中でも、なるべく衛星数は増やしたいですし、特に国産の衛星で国土地理院としては使うべきだと思いますので、できるだけそういう方向で検討したいと思います。

○委員長 ほかにありませんか。

なければ、では、この課題はこれで切り上げたいと思います。講評をすることになっていきますので、委員の方、隣の部屋に移っていただいて、1課題ですので、そんなに時間はかからないと思います。とりあえず向こうに移っていただいて、皆さんの意見を聞きたいと思いますので、よろしくお願いします。