

(1) 平成26年度終了特別研究課題 終了時評価【審議】

地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化に関する研究

○委員長 それでは、議題2つ目の地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化に関する研究、これも地理院から説明いただいて、分科会の評価をいただいて、委員の意見をいただきたいと思います。ではよろしくをお願いします。

○発表者 では、説明させていただきます。資料2-3に沿って説明させていただきます。

本課題は地殻変動監視能力向上のための電子基準点誤差分析の高度化に関する研究で、実際に電子基準点を用いて地殻変動監視をやっていると、誤差が問題になるケースがあって、それについて判別するような情報を提供しようという趣旨で始めたものです。

スライド2です。研究期間は3年でありまして、予算はこれぐらいを使っております。

スライド3です。冒頭に申し上げたとおり、よく地殻変動監視を業務でやっていると、何か座標の時系列が動いて、誤差かもしれないけれども、変動かもしれない、どうしようということがよくあります。今までは、では、もう少し注意して見ましようねということで、例えば何か月も継続してそれをウォッチしてしまして、それでもとに戻ったから誤差だ、とかそういう判断をするわけです。それがもしほかの情報から誤差だということが強く示唆されることであれば、誤差だということがわかって、そういう継続して監視する必要がないということで、監視業務が効率化できることもあります。地理院の地殻変動情報はいろいろなところで使われておりまして、地震調査委員会など外部機関であったりとか、最近是一般でも使う人がございます。そういう方々からこれは地殻変動ではないかということで我々に問い合わせが来た際、我々のほうで、これが誤差だということがわかれば、これは誤差だから見ないでくださいということを自信を持って言えるということで、そういうものがないかという現場としてのニーズがございました。そこで本研究を始めたということでございます。

スライド4です。この研究を始める当初に、地面から反射されるGPSの電波がありまして、通常は直接衛星からの電波を受けているわけですがけれども、運悪く地面から反射してきたものについても、アンテナは上からの感度をよくしようと思うと、下からの感度もどうしてもある程度出てしまうという特性がございます。そういうものが悪さをして、ちょっと地殻変動と紛らわしい誤差が生じることが研究としてわかってきましたので、これについても定量的に見積もっておきたいという動機がございました。

スライド5です。そういうことがありまして、この研究としては、まず地面反射マルチパスの誤差を定量的に評価した上で、今までずっと誤差についての研究をやってきましたので、そういうものとあわせまして、全国の電子基準点で何か異常な変動があったときに、これは誤差なのかどうなのかを判断を支援するような情報を提供するようなシステムをつくりたい。そういう目標を立てて研究を行ってきました。

スライド6です。成果としましては、最初に地面反射マルチパスの定量的評価手法を確立しましたということと、先ほどの誤差かどうかの判断を支援するシステムということで、電子基準点誤差分析システムを構築しましたということが成果になります。電子基準点誤差分析の構築に当たっては、まずどういう情報が有効なのかを検討した上でシステムとして組み上げたということをごさいます、それぞれについて説明させていただきます。

スライド7の地面反射マルチパスの定量的評価手法の確立でございます。これについては、詳細は割愛しますが、これはGPSの受信機で衛星の電波を受信するときに、実際どれぐらいシグナルとノイズの比があるかというのが受信機ごとに出てまいります。それを注意深く見てみますと、地面から来た反射がどれぐらいの強度を持っているかがわかりまして、それがわかると、大体どれぐらいの変動が生じるはずだというのがモデルを通じてわかります。そういうモデルを立てまして、実際に日々の観測される地面反射のマルチパスというか、GPSの受信機が出力するSNのシグナルとノイズが一緒の情報を用いまして、シミュレーションで誤差を推定したということでございます。

これは2点の1年間の例を示していますけれども、ここからわかったこととしましては、水平成分は誤差要因としては無視できるということで、主に地面反射マルチパスは上下にきくものだということでございます。赤線の部分を見ていただくと、標準偏差で3～4mmで、これはどの観測点もそんなに大幅には変わらないのですけれども、若干濃淡はあるということで、左の観測点ですと、緑の線は実際に観測されたもので、赤が推定値です。緑の実際に観測された時系列は非常にノイズがありまして、これは余りきいていないように見えるということがあります。ところが、右の観測点でありますと、緑と赤が同じぐらいのオーダーであって、ところどころ周期的な緑の実際の観測された時系列の変化をシミュレーションが追隨しているように見えるということで、観測点によってどれぐらい地面反射マルチパスがきいているのかを、今回定量的に明らかにすることができたということでございます。

めくっていただきまして、次に電子基準点誤差分析システムの構築でありまして、これ

については、最初にどういう情報があったら誤差かどうかを判断するのに便利だろうかというのを検討しました。幾つか検討して、実際にこのシステムに取り入れているのですが、ここでは時間の都合で、まずキネマティックGPS時系列の活用について御紹介します。

キネマティックGPS時系列は、御存じの方も多いかと思いますけれども、基本的にGPSの観測は、例えば30秒に1回とか、移動体とかですと1秒に1回とか、そういうサンプリングレートでGPSの受信をしているわけです。この手法は、それをまとめて1日平均で1つの座標時系列を出すのではなくて、観測した瞬間瞬間でどう変動が起きているかを計算する手法でありまして、若干ノイズレベルは高くなりますけれども、実際にどうふう地面が動いたかがわかるものであります。

これはノイズに非常に敏感なものでありまして、実際にノイズが多い劣悪な観測点と良好な観測点を比べてみますと、時系列で見ると一目瞭然でありまして、実際にこれは平均化してしまうと余り目立たないのですが、こういうキネマティックGPS時系列で見ますと、悪い観測点が出る。この観測点は悪いから、ちょっと注意して見ようということが言えるということです。

では、左側の図で、ばらつきの大ききみたいのを空間的にプロットしますと、基本的には標高とか地域性に依存するのですが、非常に悪い観測点がばらばらと埋め込まれているような感じでありまして、たとえ変動だと思われても、観測状況が悪くて注意すべき観測点がどこかが一目瞭然である。これはもうこのシステムに入っております。

あと、キネマティックGPSの御利益としましては、誤差の入ったタイミングが非常によくわかるということがございます。実際にこれは既知のものでありますが、電子基準点の周りに木が生い茂っていて非常にノイズが大きい観測点で木を切ったというものです。これは木を切った時間まで特定できる。あるタイミングで非常にばらつきが小さくなっているということがございます。実際にこれはほかのいろいろな観測点で見えますと、何月何日の何時ごろから急にノイズレベルが増大したとか、そういうこともわかるわけがございます。例えばタイミングがわかりますと、このタイミングで何かおかしいことがなかったでしょうかと周りにも問い合わせることができまして、誤差の要因の確認が非常に容易になるということで、これはこのシステムに取り入れてございます。

次にスライド9です。GPS受信機SNRの時系列をそのまま眺めてみるのも有効であることがわかりました。先ほど地面反射マルチパスの定量化のためにこれを使ったという

ことを申しあげましたけれども、これは生で見ているだけで非常に有効な情報になるという事で、基本的に良好な観測点は、夏場、若干SNが悪くなる。それは回路の熱雑音の影響で悪くなるのですけれども、そういうことはあるにせよ、ある一定値を保っているのですが、観測で時系列に異常が見られる観測点は、よくSNRにも異常が出るという事で、ここでは3パターン挙げました。

例えば植生の影響があると、夏場に葉が生い茂るときにSNRが急激に下がって、経年的に木が成長していきますから、SNRも経年的なトレンドを持ちつつ、夏場に急激に落ちるという現象が見られる。次に電波障害が疑われる例ですけれども、あるタイミングで本当にすばっとSNRが急落して、そのタイミングで座標時系列も乱れ始めるということが、これは全国の電子基準点でももう何点か確認されていますけれども、こういうものが起きてくる。あとレドーム、電子基準点に雪がついてしまうと、雪が誘電体ですので、電波に悪影響を与えるということで、SNRが乱れて、これは冬季なので、着雪だと思うわけですけれども、そこで座標時系列も乱れている。逆に言うと、座標時系列が乱れているときに、SNRが冬季乱れていますと、これは着雪だから注意して見ましょうということが言える。こういう活用の仕方ができるということでございます。

めくっていただきまして、こういうことを含めまして、今、電子基準点誤差分析システムを外注で構築してまして、今年度末に完成する予定です。これはデータベースとして、今の地殻監視に使っているGPS座標時系列とは全く別のアルゴリズムで解析した座標時系列を持っていたりとか、あとは既知の誤差源による誤差の時系列を持っていたりとか、先ほどの受信機SNRみたいに、何か誤差を判別するのに助けになるような情報も、このデータベースに含まれております。こういうものを使いまして、実際の観測された異常があった時系列と重ねてみたりとか差をとってみたりとか、あとタイミングを合わせて見てみたりとか、そういうことをやることで、ここの観測点の座標時系列に実際に見られた異常が誤差なのかどうかが見る人にわかるシステムでありまして、これは実際に監視を行っている現場で使っていただくことになっております。

成果としては以上のことですけれども、スライド11で、本研究から派生した成果としましては、電子基準点が実は高さが5mぐらいあるので、特に古い観測点は5mぐらいあって、日射である面が熱せられると、そっちの側が曲がってしまう。そういうことで誤差が生じることがわかっていたわけですけれども、それを定量化したとか、あとキネマティックGPS時系列を地球科学に応用して、こういう火山現象の解明に使ったりとか、そういう

う副産物も多く出た研究であります。有効な成果が出たと考えております。

めくっていただきまして、当初目標の達成度です。実際に計画したことは達成できたということで、目標達成は十分にできたと考えております。

スライド13です。成果活用の見込みとしましては、実際に監視に活用していただくことになっておりまして、現時点ではシステムが未完成ですけれども、特にGPS受信機のSNRが急激に落ちる現象が今問題になっていまして、どの観測点で出ているかとかどういふ影響が出ているかを分析するのに、このプロトタイプ的なものを使って情報提供している段階でございます。

スライド14です。せっかくこういういい情報ができたので、情報としては積極的に外部に展開して行って、誤差情報として出していきたいと思っております。あとは、キネマティックGPSのデータベースとか地球科学的にも有効なものでありますので、こういうものは研究者には積極的に公開していくということで、どんどん利用していただきたいと思っております。

最後、スライド16に行きまして、残された課題と新たな研究開発の方向であります。最初に、先ほど申しましたGPS受信機のSNRが急激に落ちる現象、最近、日本でいろいろなところで電波環境がどんどん悪くなってきて、観測に支障が出ているのはいろいろな項目であるのですけれども、電子基準点も例外ではございません。いろいろな理由でSNRが悪くなっているのがあります。それを監視するとともに、実際に座標時系列に影響が出た例については、メカニズムを解明していくのは今後引き続きやっていく予定でございます。

あとは、今、主に研究者向けということで情報提供を考えております。実はこういう情報は、測量ですとか一般の方に非常に有効な情報ですけれども、実は研究者向けの情報とそういう方々が欲している情報は結構ギャップがあつて、これは本当に誤差なのか、どれぐらいの自信で言えるのか、すばつとってくれると、メカニズムはどうでもいいから、これ、誤差なのどうなのというのを、余り深いことを考えずに言ってくれるというのが一般の方々の要求でございます。そこに至るまでには、我々もいろいろな留保条件がありまして、可能性は高いけれども、こういう可能性もあるしということで、すばつと一筋縄でいかないので、まずはそのような事情を理解していただける研究者向けに公開するということです。最終的には一般的にも使っていただけるような、何か指標であるとか、そういう情報になることを目指して、このシステムを実際に運用していく中でわかった知見も踏まえまして、

今後引き続きそういう研究をしていく予定でございます。

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、引き続いて分科会の評価結果をお願いします。

○委員 資料2-4をごらんください。

まず成果の概要です。今説明があったとおりですけれども、電子基準点の地面反射マルチパスによる誤差を定量的に評価する手法を開発しました。また、電子基準点時系列誤差について、先行研究でなされていた各種の誤差因の検討結果を含む形で、時系列結果に通常とは異なる変動が出た場合に、それが誤差によるものかどうかを分析するシステム、こういうふうに言い切っていいかどうかわかりませんが、そういうシステムを構築したということです。

当初目標の達成度としましては、地面反射マルチパスによる誤差を定量的に評価する手法は開発できた。また、電子基準点誤差分析システムも構築されました。ただ、構築したということで、実際にこれは外注で今つくっている最中だということですが、どの程度有用なものに最終的になるかということは、今後の進展をまだ見る必要があるのではないかと考えております。

成果公表状況は、査読付き国際誌2編を既に公表しておりまして、さらに1編投稿中です。学会発表も6回行っておりますし、国土地理院内部の報告書にも3回発表しています。

成果活用の見込み、構築された電子基準点誤差システムは、国土地理院内部で電子基準点座標解の評価に用いることができる。それとともに、外部のユーザーに対しても、電子基準点の座標値の変動がどの程度まで信頼できるかの判断に利用できるということで、また、今後誤差削減に向けた技術開発にもこのシステムが利用できるということで、活用の方法は非常にいろいろな面であるということです。

達成度の分析ですが、電子基準点の座標値の時系列データは、地殻変動をあらわすものとして、国土地理院内外で広く用いられている重要なデータなわけです。そのデータには当然誤差が含まれておりますけれども、どの程度の誤差なのか、また、その結果がどれだけ信頼できるかというのは非常に重要なことでありまして、今回のシステム開発は、それにある程度応えられるシステムがつくられたわけですが、本当に必要な結果がこれで出るかどうかはまだちょっとよくわからない。まだ完成している状態にはなっていないということです。

残された課題と新たな研究開発の方向です。電波環境の変化が座標誤差に及ぼす影響のメカニズムについて、今後調査を進める必要があります。また、特に外部ユーザーに電子基準点の時系列データの信頼度をわかりやすく示すことができる指標を考える必要があります。先ほどの説明の最後でもおっしゃいましたけれども、特に外部ユーザーに対してどの程度信頼できるかをわかりやすく示すように、これをもとにしていきたいということです。

その他、課題内容に応じ必要な事項としまして、現在、電子基準点の座標値の時系列データは、地震予知などの分野でさまざまな使われ方がしております。実際地殻変動と誤差の分離は、そういう使い方をするときは非常に重要なわけです。ただ、一般の人にそういうデータがぽんといきますと、変動がぽんと出ていけば、何か異常な地殻変動が観測されたのだと思いかねないということで、誤差がどのぐらいあるのかということを一般の人にもわかるような形で知らせる必要、そういう工夫が重要であるということをつけ加えさせていただきます。

総合評価として、研究そのものは、専門的な研究は結構よくやられているのですが、使いやすさというか、特にこれをもとに一般の人にこの程度まで知らせられるという意味で判断すると、まだなかなか完成しているとは言いがたいということで、2番目の概ね目標を達成できたとしました。国土地理院の作成している電子基準点データが民間でさまざまな使われ方をしている現状を考えますと、この研究は非常に重要です。この研究成果を活用して、電子基準点データがどの程度まで有用なのか、また、限界はどの程度なのかということを一般にわかりやすく知らせるように工夫をお願いしたいということです。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、皆さんの意見を伺いたいと思います。

○委員 大変貴重な興味のある御研究をありがとうございました。

もちろんこれをつくっていただいて、ユーザー側からすると、ノイズをどういうふうにして取るかということを提供していただければ大変ありがたいのですが、逆の視点からしますと、私の記憶だと、数年前の研究の中で、電子基準点の設置する場所の地下水が変動したりすると、電子基準点の位置が上がったり下がったりする。そういう場所に設置するのはよくないと。ちょっと記憶間違いかもしれないのですが、どういう場所に設置したらいいかという、たしかそういうようなのがあったと思います。

もちろんこういうノイズのデータを提供していただくのはいいのですが、逆に地

理院側として、不適切である電子基準点は徐々に廃棄してといったらおかしいですが、適切な場所に基準点を設置していくという方向にこの研究成果が使えると、もちろん本来の研究成果はそれでももちろんいいのですけれども、明らかに不適切なデータがずっと出ていくとかノイズがあるところの基準点は、そんなに簡単に撤去はできないのかもしれませんが、それでも時々この基準点はこんな理由でなくなりましたとかという御連絡もいただいているので、この研究成果を逆に精度がきちっととれる場所に電子基準点を設置していくところに応用して使っていただけるといいのかなというのが1点。

前の研究とも関係すると思うのですがけれども、電子基準点を設置する密度を上げて、場所を決めていくときに、こういう成果が使われていくのではないかなということを感じました。本来の趣旨はどんどんやっていただきたいのですが、逆の観点からそのように地理院側が使われていくといいのかな。そういうこともちょっと感じました。

○研究室長 電子基準点は、設置状況が悪かったりとかそういったことについては、多分個別に一つ一つ判断をしていくことになるのであろうと思われまます。ただ、今回のこの研究で出された誤差分析の結果とかは、そのための判断材料の1つにはなるかと思ひますので、そのような活用の仕方は可能かと思ひております。

○委員 非常に興味深い研究をありがとうございます。

2つばかり質問がありまして、1つは、移動体のGPSでも、やはりノイズの問題は深刻で、マルチパスとか、特に建物の影響なんかかなり気にして、そういった研究をされていると思うのです。エコーキャンセラーを使うような研究が多いのですが、そういった分野の研究とは全く異質と考えていいのでしょうか。それともそういうものの一環として位置づけて、そういう成果として見たらいいのかというのが1点と、それから外部ユーザーですが、これは測量関係者と、あと地震予知の関係者と見てよろしいのでしょうか、それともそれ以外も何か想定されているのでしょうか。その2点をお伺いしたいと思ひます。

○発表者 最初に、移動体でのノイズのコントロールと関連するののかという御質問だったのですが、直接は関係しません。移動体で用いられているようなハードウェア的なノイズの除去手法は、実は受信機メーカーで非常によくやられているものでありまして、そういう成果を我々は最新の受信機を設置することによって取り入れている。そういうハードウェア的なノイズのキャンセルはできている。さらに精度を追求する中で、よりよい精度を志向していったときにどうなるかというのが本研究だと理解していただければよろし



いかと思います。

あと、外部ユーザーは地震予知と考えているかということではありますが、もちろんそれだけには限定されず、最終的には測量の方とか興味を持っている一般の方とか広く使っていただけたらと思いますが、もちろん地震予知に関しましても、ユーザーとしてはそういうことも考えられるかと思います。

○委員 ちょっとそれに関連してですが、今インターネットではM2MとかIOTとかいって、センサー情報を上手に取り込んで、今であれば、スマホとかタブレットみたいなもので活用するとか、あとIOT、IOEなんていう言い方で、存在するものに対して全てセンサーをつけて、そういったものを活用したアプリケーションがかなり検討されているわけです。こういった分野にとって、GIS情報は極めて関連性が深いわけです。ですから、電子基準点は固定された非常にフィックスな厳格なデータですが、あと移動体もあるし、例えばいろいろなものにそういうIOTとしての位置情報をつけていった場合には、電子基準点ほどではないのですけれども、一応固定した点として情報として扱おうとしているわけですね。

そういった意味では、今後のいろいろなサービスにおいて、そういうGIS情報と絡めた位置情報がかなり使われていくようになると思いますので、この研究と直接関係するかどうかわからないのですけれども、社会的なニーズとして、そういったGIS情報に絡めてGPSの情報が非常にウエートは高いと思うのです。そういったものをインターネットで活用して、スマホみたいのでどんどん使っていくアプリケーションがふえるとなると、地理院としても、だから、そういった今後の社会的なニーズに対応した技術蓄積といった予測を持った研究テーマを設定するとか、そういったことが社会に貢献していく道になると思うのです。

今後の展望と結びつけるような何かいろいろな研究企画といったアイデア出しみたいなものが、今後必要になってくるのではないかと思いますので、そういったものに対しての基礎データとして電子測位点のデータの時系列変化、その中でノイズがどうなっていくか、そういった見方ができると思うのです。何かそういった取り上げ方をしていただけると、非常にアピールもするのではないかと思いますので、ちょっとそういった感じを持ちました。

○発表者 ありがとうございます。今後検討させていただきます。

○委員 これは非常に実用的ですぐにでも使いたいと思います。ただし、逆に言うと、こ

れは実用過ぎて、研究の面がちょっと欲しい気がします。発表されている査読の分もあるようだから、その査読の内容のようなものがあると、どこが一番工夫されたのかわかると思うのです。恐らくは、ノイズの分類とか類型化とか状況による違いとか、そういうのは多分いろいろされている可能性が高いと思うので、そういうのをもうちょっと盛り込んでいただくと、業務の指導と、あとノイズとの関係、どのような環境に影響されているのかが、モデリングまでいけるかわからないけれども、一般的な使用も出てくるかもしれない。これからどのような使い方、改善、あるいはメンテナンスでのガイドラインに使えると思うのです。

もう1つは補正情報の提供ですね。そうすると、そこら辺も結構センシティブで、いつの時点でどこまでの補正なのか。現在の観測と、では、昨日までのをすぐに補正されているのか、いや、同時にリアルタイムに補正情報がついてくるのか。ユーザーにとってはかなり重要な要素なので、その面を含めてこういうのが検討されているといいのではないかと思います。どうですか。

○発表者 ありがとうございます。研究的にどこがということですが、こういう情報を整備するのがまず重要だと考えております。論文で出したのは、その応用的な研究の部分を出してございまして、これから全国の電子基準点でどういうふうなノイズが類型化されて、そのメカニズムがどうなっているか。そういう分析は今後も継続してやっていきたいと思っております。それが研究としての成果になると考えております。

あと、補正情報に関してですけれども、今回取り扱った情報は、必ずしも全て補正情報として提供できるものではなくて、要は、ノイズの影響はわかるけれども、では、定量的にどれぐらいいきいていて、どれぐらい差し引くとよくなるのかというところまで至るのは一部です。定量化できるものについてはどんどん出していきたいと思っています。もっとも地殻変動監視という立場からすると、若干のディレーはあるようなことを今のところをターゲットに考えております。

○委員 どれぐらいのディレーですか。

○発表者 1週間とか2週間とか、それぐらいでと考えております。

○委員 貴重な研究成果をどうもありがとうございました。

先ほどの御質問にも少し絡んでいますが、この御研究、多分もっともっと進化されると思うのです。最終的にはどういうふうに目指されるのかなというのが非常に興味を持ちまして、例えば、最初の御質問にもありましたように、電子基準点を適切なところに変更す

るために使っていくようなものにするのか、それとも補正情報を自動的に提供できるようなシステムを目指されるのかというのが1点目にお聞きしたいことです。

2点目として、スライド15に汎用のオープンソースのツールを積極的に導入と書かれておられるのですが、そういったところにも、ユーザーとして私なんかだったら、こういうデータを利用させていただく立場から見ると、非常に興味のあるところだと思います。そのところについてお聞かせ願えたらと思います。よろしく願いいたします。

○発表者 最初の質問で、研究として最終的にどこを目指していくかということです。最終的には、今後の課題のところでは書かせていただいたとおりに、一般への情報提供が究極の目標なのかなと考えております。そういう意味では、補正情報を出してということよりも、これはノイズだから見ないでとかここは使わないほうがいいよとか、そういうことが言えたほうが社会的インパクトは非常に大きいと思いますので、そこを志向していく。そこに至るまでにはかなりステップがあるのですけれども、今後このシステムをどんどん進化させて、そういう方向を目指していきたいと思っています。

あと、2番目のオープンソースに関してです。特に時系列の分析に関しては、地球物理だけではなくて、経済学とかそういうところでも非常によく進んでいるところでありまして、具体的には、今回はそういうユーザーが多くあるPythonをベースにつくっていただいて、時系列分析の例えば独立成分分析とか、ああいう時系列の解析に使われるような手法は、そういうオープンソースのものをベースにつくったということでございます。

○委員 非常に興味深いお話、ありがとうございました。

先生方、幾つか御指摘されていますけれども、例えば熱変形の定量的な評価みたいなことが明らかになって、これは国土地理院の中でも、そういった変形が少ない材料の開発などをやっていく根拠になると思いますので、これは国土地理院さんにですけれども、ぜひお願いしたいことが1つございます。

例えば、熱変形のような気象要件によって出てくるノイズは、先ほどのノイズを消去することから考えると、気象観測ベースのものをしないとできないものなのか、あるいはある程度の日照時間から簡単に割り出せるものなのかというのはいかがでしょうか。

○発表者 最初の熱変形の対応ということでありまして。現業のほうで二重管という方式をとっていただいて、中のパイプにアンテナをつけて、日射は外の側が受けて、中は日射の影響を受けないという電子基準点を開発しております。それはこの研究の中でも日射の影響がほとんどないことは示されています。今そういう電子基準点にほとんど置きかわって

るところなので、今後、この影響は余りなくなっていくのだろうと思っています。

あと、気象との関係で、どういうふうに補正できるかということです。熱変形に関しては、例えば大まかに言うと、日射量と非常に関係があることが示されておりまして、スライド11でお示ししたとおりに、これは月ごとの振幅の大きさを示しているのですが、黒で1月とか2月とか12月を囲っていますが、これは日本海側で、冬、雪がちで日射が少ないところで、熱変形の大きさと日射が小さい地域は非常によく対応していることがあります。熱変形に関して言えば、実は電子基準点には傾斜計がついていて、傾斜計とGPSの誤差を結びつけるわけですが、傾斜計のデータを使うと、大体補正がうまくいくことがわかっています。ほかの気象の、例えば水蒸気とかそういうものについては、衛星は結構広い範囲を見ていて、気象の情報1点だけでなかなか代表できるものではないので、まだいろいろ苦戦している途中です。そういう気象を使ってGPSの誤差を減らす努力も、今までもずっと継続しておりますし、今後とも継続していきたいと思っています。

○委員 もう1点ですが、今新たに定量的な評価ができたということを示されていることからわかるように、今まで予測されていて、だけれども、定量化できていないノイズであるとか、あるいは明確には予測されていないけれども、これからまだまだそういったノイズ要素は出てくる可能性があるのか。これが今後こういう研究を進展させていくときには重要だと思うのですが、そのあたりはいかがでしょうか。

○発表者 今まで明示的に気候がわかって、ある程度存在が予測されているものについては、定量化という意味では大体完了したのかなと思っています。今後突発的な、よく理由がわからないけれども、座標時系列に大きな飛びが見られるとか、そういう系統的なものはある程度メカニズムもわかっているのですが、何かよく理由がわからないけれども、突発的に飛んでという現象がよくありまして、今までは何日か見ていると、もとに戻るからいいよねということだったのですが、今後はそういう突発的なノイズについても、メカニズムを意識して調べていこうと思っています。

○委員長 今までのとちょっと関係するのですが、最初の目的の①地殻変動の監視において通常とは異なるシグナルが検出された際に、それが異常であるのか誤差であるのかみたいな、そのあたりについては、例えばスライド9のところの上下成分の真ん中の部分で、上下に動いているところは多分平均的な値だろうということですが、一番右側の下のところできゅっと落ちているところがありますね。この部分で、例えば地殻変動なのか何なのかということ判断しないといけない状況に迫られてきている。これをどうしよ

うかということで始めた研究だと意識していたのですが、今回の場合はもう少し公表のほうで、過去のデータについてどれが誤差でしたみたいなことを表現するような研究に変わっているんで、ちょっと私の認識と違うような気がする。要するに、ある時点である電子基準点が大きな変化を起こした。それは異常であるのか、本当の地殻変動であるのかをある意味で瞬時に判断して知らせないといけないという課題があったわけですね。それについての研究とこれはどんなふうに結びつくかというあたりを少し話していただければと思います。

○発表者 ありがとうございます。今この研究は、過去のものについて理由づけをするものではないかという御指摘でしたけれども、必ずしもそういうことではありません。もちろん過去についてもこういうデータベースは整備するのですけれども、究極の目標としましては、今起こっていることについて、リアルタイムではないにせよ、例えば数日間、さっきの上下ではないですが、こっち側にいっているけれども、これ、どうなのというときに、一応判断する情報が出せることを目指しております。このシステム自体は、若干データによっては遅延があるものはありますけれども、日々データが更新されて、地殻変動を監視する人は、それを日々直近のものを見ながら議論するというシステムになっております。

○委員長 今の数日間みたいな表現だけれども、これは地震予知に関連させてやっているはずだったので、数日間ではなくて数分間ぐらいの間で、この変動が本当に地殻変動なのか、誤差なのかを判断するような方向に向かうべきではなかったかと思っています。要するに、数日だったら、その間にもう地震はある意味では起こってしまいますね。そういうようなことだったような、私の勘違いかもしれないけれども、先ほどの質問とも関連するのですが、何を狙っているかというところで、言葉としては、瞬時にそれが本当の地殻変動か、誤差なのかを判断するような形に持っていきたいということだったのではなかったかという気がしたのです。

○発表者 ありがとうございます。実を言いますと、後ろに当初の計画もお出ししておりますけれども、例えばそういう地震の直前の変動とか申しまして、もう少し長いスパンの中長期的な変動を当初ターゲットにしておりました。短期的なものは、地震予知についても非常に難しいことはわかっているので、例えばスロースリップが起こってどんどん進展していくような、そういう何か月かにわたって起こるような現象とこういうのを区別するというので、中長期的な監視においてという枕言葉をつけて始めたものでございま

す。当初のターゲットとはぶれていないですけれども、もちろん御指摘のとおり、短期的にもすぐわかったほうが当然いいのはそのとおりであります。そういう時間間隔を、今後判断するのにかかる時間がどれぐらいかかって、どれぐらい短くできるのか。そういう視点でも今後研究を継続していきたいと思っております。

○総括研究官 補足説明しますと、先生の御記憶も、非常に確かかと思うのですけれども、回答は今説明のとおりです。ただ、ほかの研究でGNSSによる地殻変動推定における時間分解の向上のための技術開発とか、PPP-RTKを用いたリアルタイム地殻変動とか、そういうものの評価を最近していただいていますので、そちらのほうの御記憶が多少漏れ込んでしまったものかもしれません。

○委員長 ああ、そうでしたか。それは失礼しました。いずれにしても、そのあたりを目指してもらわないと、数日たってからだと遅いみたいなことがあるので、ここの中でもそういうことを目指していただきたいと思えます。

○委員 地理院がこれは誤差だと判断を示すことはもちろんいいことですが、逆にわからない部分もいっぱいあると思います。変動はしているけれども、誤差かどうかわからない。ただ、一般の人は誤差ではないと言われたら、それはシグナルだと思ってしまう人がいるので、研究者ベースでは問題ないと思うのですけれども、例えばスライド9の真ん中の図の下側だと、丸で色をつけられたところ以外にもパルス状の大きな変化があります。だから、こういうのってわからないのです。わからないことはいっぱいあるのだけれども、地理院が誤差と言わなければ、それは即シグナルだと思っている人がいるので、公表するときの仕方だと思うのですが、その辺の工夫が必要ではないでしょうか。

○発表者 ありがとうございます。まさにそれは我々が懸念していることでありまして、実際にこういう監視業務を行っている立場からしますと、お墨つきを与えてはいけません。本当に100%区別できるのだったらいいけれども、そうではないと、そういう公表をするのはできない。事前に相談にというのはそういうことでございます。ですので、実際に最終的にそういうところに至るまでにはまだステップがあって、それは研究的に引き続きやっていくとともに、事情がよくわかって、なおかつ、でも、この情報を有効に活用していただける方については積極的に出していくということで、一般への公表に対しては、最終的にはそこを志向していくのですけれども、まだ引き続き研究を続けていきたいと思っております。

○委員 今の質問にちょっと関連するのですけれども、測量の作業として、それを測量成

果物として出すときに、測量をやっている方がシステムを使うか、使わないかによって測量成果の内容が変わってきてしまいますね。そのあたりもちょっと注意しないと。もう少し先の話だと思うのですが、測量業の人が測量成果物を出すときに、システムを使ったデータとシステムを使わないデータで、成果に差が出てしまうということは非常に大きな問題になると思うので、そのあたりは気をつけないといけない。今の質問と関連していると思うのですが、

○発表者 ありがとうございます。もちろん最終的に、まだ先の話ですが、測量への情報提供ということでありましたら、このシステム、例えば補正情報を提供して、それを使う、使わないで差が出るということがないように、その制度設計等も考えていくことになると思います。

○委員 この研究に基づいて外注でソフトウェアをつくられているという話ですが、一応仕様書をつくって進められておられると思うので、そういう意味では、誤差の要因とか、擾乱のほうの要因も分析し終わっていると想定されると思うのです。大体誤差要因は全部でどのくらいの量があるのでしょうか。

○発表者 今の御質問に対しては2つの側面がございます、まず1つは、このシステムは完全に誤差源を特定できるものもありますけれども、そうでない部分もまだ残っているということです。誤差源としましては、例えば電波の異常だとか、地面を何か大気とか太陽が押す効果とか7～8個入れています、そのほかに比較することで、こっちはこう言っているけれども、こっちは独立のデータでこう言っているから、やはり違うよねと。誤差かどうかを判断できるけれども、誤差源まではわからないのがありまして、そこではまだ誤差源は明確になっていない部分も残念ながらあるということでもあります。

○委員 何か測定データをif-then-elseみたいな形でツリーみたいな形で管理されているのではないかと思うのです。ですから、今後も新たな要因がわかれば、それを追加していくといった感じになるのではないかと思うのです。何かそういったシステムと考えてよろしいのでしょうか。

○発表者 残念ながら現段階ではそこまで至っていないということで、それでも有効に使ってこうということです。御指摘のとおり、最終的にはツリー構造になって、例えばこのインデックスを計算して、このインデックスと合うから、この原因はこれで、これと合わなかったら、こういうインデックスで合うからこの原因と。最終的には全部原因を特定して、これの原因による誤差がもっともらしいというのを出すようなシステムにしたい。

そうならば、一般への情報提供も見えてくるのかなと思って、御指摘のと通りのそういうシステムになるように、今後も研究を続けていきたいと思っています。

○委員長 ほかには。では、どうもありがとうございました。