

(1) 平成24年度終了特別研究課題 終了時評価

① 世界測地系における国内位置基準の監視の高度化に関する研究

○委員長 早速ですが、次第の議事(1)平成24年度終了特別研究課題終了時評価に入っていきたいと思います。

まず①世界測地系における国内位置基準の監視の高度化に関する研究ということで、地理院の説明者から御説明いただいて、その後に分科会で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ことで進めさせていただきたいと思いますので、よろしくお願いします。

○説明者 最初の課題について、御説明させていただきます。

本研究の資料ですけれども、資料1-3のスライドの2面割りつけのものがあると思いますので、そちらに沿って説明させていただきます。

初めに研究タイトルにございます国内位置基準という用語の定義についてです。本研究におきましては、日本列島の骨格となる基準点の世界測地系における座標値とさせていただいております。現在、日本において、測量成果は特定の時点、特定の元期と呼びますけれども、そのときにおける座標値を採用しております。つまりスタティックな値ということになります。ただし、皆さん御存じのとおり、日本列島はプレート運動ですとか地震、火山といった経年変化が非常に大きいです。ですので、現在ではセミ・ダイナミック補正を行いまして、元期に引き戻すという方法を採用しております。

続きまして、スライド3に移らせていただきます。このグラフは新潟県の出雲崎と呼ばれます電子基準点の座標値、これは東西成分ですけれども、それをプロットしたグラフになります。このように地震時、中越沖地震ですとか、東北地方太平洋沖地震といったときに大きくジャンプしております。さらに、地震後に余効変動となります徐々に変わっていくような非定常な変動を起こしております。ですので、こういった非定常な変動も考慮して時系列的に位置基準を監視することが必要となってきます。

国土地理院ではVLBIとGEONETと呼びますGNSSの連続観測点がございまして、その解析を今まで繰り返して行っておりまして、約10年余りがたちました。例としまして、スライド4に鹿児島県の始良局でVLBIとGPSで測定された水平位置座標の変化をグラフとしてあらわしております。これらのデータを用いまして、非定常な変動成分を考慮しながら時系列的に整合した位置基準を監視する手法が必要となります。

続いて、本研究の背景の2番目となりますけれども、VLBIについては、国際的にはVLBI 2010と呼ばれます新たな観測仕様へ移行することが既に決定しております。したがって、国内VLBIについても国際網とのリンクを維持していくために、その対応策について、あわせて研究を行いました。

以上の背景のもと、目的としては世界測地系における監視手法の構築として、目標の1つ目が時系列的に解析する手法開発、2番目として国内VLBI観測をシミュレーションにより評価し、VLBI 2010に対応するための技術的な指針を作成するといったしました。

スライド7番に移らせていただきます。目標(1)に掲げました研究課題について、ここで詳細を御説明させていただきます。

まず①ですけれども、GEONET、電子基準点については、通常の解析、我々はF3解と呼んでおりますが、それを使用して非定常な地殻変動をモデル化し、世界測地系において平滑化された各点の位置を決定いたしました。続きまして、VLBIについては、VLBIの国際観測等を通じてグローバルな解析を行いました。3番目として、①から出てくる答えと②から出てくる答えの整合性を評価いたしました。

ただし、スライド8番に示しますように、この整合性を評価する上で重要な役割は、コロケーション測量と呼ばれるものになります。始良のVLBI-GPS、GEONETは同じサイト内にありますけれども、全く同じ場所ではございませんので、20mから30m、もっと長いところだと300mぐらい離れていたりしますので、その位置関係を高精度に求める測量が必要となりまして、これをコロケーション測量と呼んでおります。スライド9番には以上の手法の流れを示させていただいております。

続きまして、スライド10番をごらんください。GEONETについての解析例をこちらのグラフではあらわしております。電子基準点の札幌という場所の点について、東西南北、上下のそれぞれの座標を2000年から2012年までプロットしております。赤で示したものが世界測地系における日々の座標値になります。青はそれを平滑化した時系列を示しております。

続きまして、スライド11番です。国内VLBIのグローバル解を求めて①との整合性を評価ということで、VLBI、GEONETの整合性を評価するために、先ほどコロケーション測量を御説明させていただきましたが、その結果も含めてVLBI、ダイレクトで求めたもの——ダイレクトというのは青矢印になります——と、もう一つはコロケーションを2回通じまして、赤い矢印の計算で、この点で差があるかどうかというものを比較いたしました。この結果をスライド12から14まで評価しております。

スライド12は始良観測局の整合性を見たものでして、今回、この整合性を見るに当たりまして、一つ注意しなければならない部分があります。始良については、GPSのアンテナ交換を2003年に行っております。ですので、これ以降のデータの整合性を見ることにいたしました。このばらつきがあるわけですが、その平均値が水色の破線で書かれた場所として、環閉合差と呼びますけれども、その平均値は南北成分で9mm、東西成分でマイナス5mm、上下成分で0mmとなっております。

これと同じようにしまして、スライド13番には北海道の新十津川局について整合性をチェックいたしました。こちらは、南北方向は5mm、東西はマイナス1mm、上下はマイナス5mmという結果が得られております。最後に、父島基線においても、同じように5mmの整合性が得られております。

次にスライド15番になります。これを用いまして、1cm以内でVLBIとGEONETは整合しているということが確認できました。非定常地殻変動を時系列的にモデル化して平滑化するという本手法が有効であることがわかりました。

続きまして、目標（2）に当たります。新しいVLBI観測手法、VLBI 2010への対応を念頭に置きまして、将来の国内VLBI観測の技術指針を作成いたしました。これには実データがあるわけではございませんので、シミュレーションにより評価するというを行いました。

シミュレーションのやり方ですけれども、スライド17番をごらんください。初めに、VLBIシミュレーターの導入を行ったんですが、ウィーン工科大学で開発したVieVSと呼ばれますVLBIの解析ソフトウェアを使いまして、この中にVie-SIMと呼ばれますシミュレーションを行うような機能がついておりまして、そちらを使用しました。

続きまして、さまざまな観測パターンをここでシミュレーションしなければなりませんので、効率よく実施するために入力及び出力のAPIを備えて、リレーショナル・データベースと組み合わせるシステムを開発いたしました。これによりまして、大量に生成されたシミュレーションデータを高速かつ大容量なものから検索・抽出が容易にできる仕組みといたしました。

スライド19番に、観測のシミュレーションを行う際に与えたパラメータの組み合わせを示しております。キーとなりますパラメータとしては、パラボナアンテナの動くスピード、パラボナアンテナの受信感度、そして、どの周波数帯を観測するかの周波数帯域とそのチャンネル数となっております。

評価方法について、スライド20番に示しております。2000年から2009年までの10年間のシミュレーションデータを生成して、データ取得頻度はマンスリーで行っております。プレート運動に代表される定常整備については、除去した上で得られた3次元位置のRMSを計算いたしました。その結果をスライド21から22に示しております。

スライド21の上の行、Aについては現行の仕様となっております、その下のA'が、現行のままですけれども、親局、基準局を石岡の新しい局に変えたという内容になっております。その下、Bはアンテナの感度を向上させた場合、Cは駆動速度を向上させた場合というのを例として挙げさせていただきました。

1枚目のスライド21はバンド幅が512メガヘルツというものだったんですが、VLBI 2010の特徴でありますバンド幅を現行の約8倍に広げました4000メガヘルツ、つまり4ギガヘルツ幅なんですが、そちらにした例がスライド22になります。Dはバンド幅の向上、Eはさらに感度も上げた場合、Fについては、比較のためですけれども、VLBI 2010のフルスペックで整備した場合を書かせていただきました。さらに、Gはもっと小さなパラボナアンテナで観測できないかということで実験しておりますモードで観測した場合の精度も評価いたしました。

以上のように、現在、シミュレーション結果を取りまとめしております、その評価から要求精度に応じたVLBIの技術指針を作成しております。よって、目標(2)は達成できる見込みとなっております。

続きまして、本研究成果の活用と波及効果について説明させていただきます。活用については、平滑化手法により位置基準の監視業務、そしてVLBI技術指針を参考にして将来の国内VLBIの方針検討に活用できると考えております。波及効果としては、大規模地震の変動の際の成果改訂に役立つ。さらにVLBIシミュレーションについては国土地理院以外にも有効な手法になっていると思っております。

次に有効性の観点からです。VLBIとGEONETの平滑化の時系列を求めて両者を比較した結果、その差はほとんどなく、監視の上で有効な手段だったと考えております。続きまして、効率性ですけれども、VieVSと高速データ検索、抽出できるシステムの整備により効率的に評価が行えたと思っております。以上、スライド26にそのまとめを書かせていただきました。

以上で説明を終わらせていただきます。

○委員長 ありがとうございました。

引き続いて分科会の評価結果の説明をお願いします。

○委員 この研究終了時評価ですけれども、資料1－4に書いてあるとおりでございます。内容が2つあって、1つはVLBI観測とGPSのGEONET観測結果がどれだけ適合するかということのチェック、またその手法を確立するということで、実際コロケーションも行って1cm程度の精度で両者が一致しているということが確認できたということは非常によかったと思います。また、VLBI 2010に対応した技術指針の取りまとめについては、今後、これからVLBIの新しいシステムをどうするかということが国土地理院内で大きな問題になるし、特に予算的にも関係してくることですけれども、どの程度をやれば、どの程度のことまで言えるかということがきちんと出てきたということで、この研究は十分成果があったと判断いたしました。

以上です。

○委員長 どうもありがとうございました。

皆さんの意見をお聞きしたいんですが、その前に地理院側に、資料のところで、1－4の後に資料1－5があるんですね。今のものに関して新規研究課題提案書、これはどういうふうな取り扱いをしようとしているんですか。

○研究企画官 これは、この研究を立てる際に新規研究課題として御審議いただいたときの参考として配付させていただきました。

○委員長 ということのようですので、今の発表と評価結果の説明を参考にしながら、皆さんの御意見を伺いたいと思いますので、よろしくお願いします。

ちょっと教えていただきたいというか、質問です。事例として始良が出たり札幌が出たりという感じですが、例えばスライド10は札幌ですよ。始良のほうで同じようにやったら、同じようなものが出てくるんですか。なぜ、わざわざ事例の場所を変えたのかわからなくて、何か。

○説明者 それにつきましては、まずスライド10から先に御説明させていただきます。ちょうど東日本大震災が起きたところを含んでおりますので、例えば東北地方の点でやりますと、その変動が大きくなり過ぎてしまいまして、それ以外の部分がただ真っ直ぐになってしまうというふうにしか見えませんでしたので、この手法が有効だということがわかるような変動量を持っているものとして札幌を選択させていただきました。

続きまして、スライド11ですとか、それ以外の12からについては、コロケーション測量がやられていないと比較できませんので、現時点でコロケーション測量は始良と父島、新十津

川、そして、つくばのほうでしかやっておりませんので、そちらを掲載させていただきました。

○委員長 札幌の例のところは、コロケーションをやられているところを取り上げたら、どんなふうな表現になっているのかみたいなことのほうが、差が見えにくいみたいなことのようにですけども、差が見えにくいところは当然小さいわけですね。小さいところは小さく出ちゃった可能性もあるみたいな、そんなニュアンスを一般的には感じちゃうということなので、説明のあれがあれですが、言わんとしていることはわかります。

もう一つ事実のあれとして、今のところで、比較3：つくば－父島ですね、これのところも有意な差は見られないという表現をされているんですが、この中の東西は左から右に何となく傾きがあるような感じがしないでもない。回帰は有意ですか、無意ですかみたいな、それはやられていますか。回帰とか相関が有意であれば、単純に平均値で有意な差があるとか何とかではなくなりますね。

○説明者 その点は、ばらつきを見ていただくとわかるかと思います。ばらつきそのものの絶対値が大きいものですから、それにフィッティングさせてやりますと、ほとんど変化はないというのが得られております、こちらからは。

○委員長 こういうのは、トレンドを調べるとき、トレンドの角度が小さいと、平均値をとってばらつきをやると、こっちのほうとこっちのほう、上下で違っても、要するに誤差の範囲に入っちゃうんです。でも、トレンドが正確に出ちゃうと、それは単純に誤差がないというわけじゃなくて、変化していますという表現にされる、統計上は表現されるんですけども、そのあたりは。

○説明者 先ほどの説明で明確に答えられなかったんですが、リニアの成分と季節変動につきまして、両方とも推定はしておりまして、その結果、その成分はないというふうに、有意ではないと見た後で、この手法を適用しております。

○委員長 そうですか。わかりました。事実のあれとして、そんなところがちょっと気になったということです。

ほかの方、どうぞ。

○委員 全く素人的な質問ですが、誤差が1 cm以下ぐらいであるということですけども、これはもっと精密にすれば非常に有効な活用ができるとか、もっと精密にするためにはどういうことをやればもっと精密になるのでしょうか。

○説明者 今の御質問がV L B I 2010に対応しております、V L B Iに関して言えば、V

ＬＢＩ 2010ですと、パラボナアンテナはわざと小さ目に、13mぐらいのものにしまして、速く駆動する、そしてなるべくたくさんの星からの電波を受信して求めるというのは非常に有効だと言われておりまして、そのあたりの駆動系のギアのスピードアップですとか、そういったところをやるのが有効だというのは国際的にも言われております。

○委員 今のお話からすると、むしろＶＬＢＩのほうに誤差要因が大きくあるということになるわけですか。

○説明者 直接には比較しづらいんですが、現状ですと、ＧＰＳのほう、ＧＥＯＮＥＴのほうはデイリーで答えが出てきます。ＶＬＢＩのほうは毎日観測できるような状態ではないので、マンスリーということになりますので、直接はなかなか比較できません。環閉合差をとりましても、どちらが悪いというのはわかりませんので、そのあたりは今後、研究していかないといけない事項だと思っています。

○委員 わかりました。

それから、ＶＬＢＩシミュレーターでウィーン工科大学のプロダクトを導入されたということですが、これはかなり権威があるものと位置づけられるものなんですか。

○説明者 最近になって非常に力をつけてきたという印象を私は持っております。ＶＬＢＩにつきましては、アメリカのＮＡＳＡですね、ゴダードスペースフライトセンターのグループが1970年代ぐらいからかなり力をつけていたんですが、最近になりますと、ＩＴ技術の目覚ましい発展ですとか、そういったところに逆におくれを取っているような状況がアメリカには見えます。今回のウィーン工科大学は短期間で素晴らしいソフトウェアを開発して、どんどんバージョンアップをしていくというふうになっております。ここに非常にいいメリットがあるなと思ひまして、私は採用しました。

○委員 むしろ地理院でこういったソフトを開発するという可能性はないでしょうか。

○説明者 非常に答えにくい質問ですが、私自身がもっと力があれば、そういったこともできるかと思いますが、現状では力不足で申しわけないとしか言いようがありません。

○委員長 ほかにはどうでしょうか。

○委員 今のお話とも関係すると思うんですが、分科会からの報告で、今後の地理院の業務にとって非常に重要な研究になるということ、特に技術指針の取りまとめですね。最後にチラッとおっしゃったように、当然、今後の予算との問題も絡んでくると。

今のお話は、ゴダードも確かに世界トップを走ったんですけれども、御承知のように、ＮＡＳＡの予算もどんどん削られていく中で、逆にいろいろ新しいところが出てきて、そうい

う中に地理院が挑戦していけるかどうかというのも、技術力の問題よりも予算を含めた周囲の環境ですね、そういうことになってくる。2010仕様にあわせていくためには、そのあたりのことも非常に重要になってくると思うので、分科会の評価を私も尊重しますが、今回の研究は大変成果を上げられたと思うので、これを踏まえて環境整備のほうででも前へ進めるように頑張ってくださいなと思っております。

○委員長 ほかにはどうでしょうか。

○委員 単純な質問なんですけれども、スライド3で非定常的な地殻変動を考慮してということがあります。地震活動はわかりますけれども、火山活動は噴火のときだけじゃなくて事前にも動いておりますが、そこら辺のことは問題にはならない……。定常と非定常をどのように分けているのかということをお聞きしたいんです。

○説明者 本研究で定常と呼ばれているのは、いわゆるプレート運動ですとか、本当にリニアな成分だけを考えております。それ以外の変動は全て非定常という扱いで研究しております。

○委員 そうしますと、事前に火山活動で動いているのは、定常、非定常、どちらで。

○説明者 リニアに変化したまま戻らないというのが我々の言っている定常というところですよ。火山活動のように、波を打ったり、そういったものは全部非定常のほうで平滑化して取り扱っております。

○委員 質問の内容が適切かどうかかわからないんですが、今からいろんな地点でたくさんのデータを取っていかれるということなので、この研究はその入り口だと思いますけれども、データが取れたとき、波及効果の中で実際に国内の基準点の監視をされていくと、具体的な測量作業をする人にとっての作業規定には、この研究はどういうふうに効果をあらわしてくるのかなというのを聞きたかったんですけど。

○説明者 その辺は研究側の立場から言えないんですけれども、一つの例として、セミ・ダイナミック補正がやられておりますが、それが1年毎、年度毎に段階的にオフセットで引いていくという、取り除いていくような補正なのですが、それがもっと高頻度になったり、例えばマンスリーで行われていくとか、そういうことはあり得るかもしれません。ただ、測量作業そのもの、そして測量法そのものについても、今のところはスタティックな値でやるというのが前提ですので、そのあたりから大きく変わらないと、公共測量ですとか、そういったところまでいかないのではないかと思います。

これは研究者の立場だけでは言いにくい、答えにくい部分ですので、申しわけございませ

ん。

○委員長 GEONE Tの方は毎日、毎日、測っていて、ぶれていますよね。平滑化することとは、大雑把に言って、平均値をずうっと追っていくみたいなことですよ。VLBIは、ある意味で、ある瞬間ではかったものですよね。それが一致するというのは、VLBIではかる前の一ヶ月ぐらいの平均値で大体合うという意味ですか、大雑把に言うと。トレンドだと、後ろのほうがわからなかったら、その地点はわかりませんよね。だから、GEONE Tで一ヶ月後まで測ってからトレンドを引いて誤差を観測しましたということだと、一ヶ月後でなければ検証できないみたいなことになる。即時的に何かをやろうとすると、先行されているGPSの観測値とVLBIの観測値がどういうふうに一致するかみたいなことを検討しないと即時的には対応できないみたいな。そのあたりはどうですか。

○説明者 今回行いましたのは、GEONE Tのほうは日々、座標値を使っております。VLBIについては、御指摘のとおり、まばらにあるような状況ではありますけれども、基本的には瞬間、瞬間というものがその場で得られますので、その日とは言いませんけれども、近々に解析することができますので、後ろ一カ月ですとか、そういったところまでデータはなくても、普通の解析の段階では、それは必要ないです。ただ、大きな地震が起こった場合には、その後の余効変動については、1カ月かそれ以上の期間のデータがないと推定は難しいというのが現状です。

○委員長 勘違いしていたのかな。平滑化という表現をしていますよね。GPSの平滑化とって、一種のトレンドの線を引いて、それと、ある月のVLBIの値の差を出しているというわけじゃないですか。

○説明者 そのとおりでございます。

○委員長 ですよ。だから、GPSの瞬間、瞬間というのは、実際の平均値のところから、かなりずれていますよね。大雑把に言うと、1cmとか何ミリとかみたいな形で、この幅だけずれているから、瞬間だけ取り出して何かやったら、もっと誤差がたくさん出てきそうな感じがするんだけど。その辺の手法を僕は勘違いしているのかな。

○宇宙測地研究室長 平滑化という言葉が妥当ではなかったかもしれません。スライド10をごらんください。地殻変動と言われるもので、地震時に各点で瞬間的にずれる時があります。その後、大きな地震の場合は余効変動といってダラダラと地下ですべっていき、それがGEONE Tが置かれた各点の地表でも変化することがあります。

そういったものが左側の2つ目の四角のところに書いてありますが、定常的なプレート運

動では時間に対して直線的に変化し、地震のときは跳びます。それ以外に、余効変動はログ関数であるとかエクスポネンシャル関数であるとか、国土地理院のGEONETの地殻変動監視グループの研究で、どういう変化をしそうだというのがモデルとして提示されるようになりました。

それから、特別な事情としては、アンテナそのものに加工して、アンテナをつけかえたりすると場所がずれます。そういうものは跳びになりますが、そういう多様な変化をするということがGEONETの監視などでわかってきました。日々の座標の位置はばらつきが、グラフをごらんいただいても分かるとおおり、大きくなっています。気象による誤差などによってばらついたりするのが大きいのです。そういうものよりも高精度に位置を調べたいということで、これまでに分かってきた変動様式をモデル化し、その例を青色で示しておりますが、これでより信頼度の高い位置を日々求めて、これをGEONETの世界測地系における位置として扱うということです。

こうして得られるものについて、VLBIの月ごとの解と比較をするという処理で結果を示しています。ということですので、数値的に平均を取るというのではなくて、データに含まれている変化の中で物理的な変化を数式モデルとして仮定して求めたものを使います。そのような方法で信頼度を上げようという処理をしているというのを、ここでは、平滑化と呼んでいます。

一方、地殻変動をよりよく理解しようという地殻変動の研究グループによりまして、できるだけ即時的に正しい地殻変動を求めようという研究に日々取り組まれています。即時的な検出は、そちらで対応されているのですが、それらの成果を集約して我々は信頼度のある日々の位置をできるだけ早く求めようということで研究に取り組んでおります。

大きな変動の後には時間経過で少しずつ変化するパターンが出たりしますため、1カ月後ぐらいまでは見ないと、こういう青い線で示されるようなモデル化はできませんので、正しい位置を調べるためには、それぐらいの時間は必要かなと思っているということでございます。

○委員長 この部分の平滑化という言葉と線の引き方みたいなのが適正性を少し欠いているような感じがしたということです。

ほかにはどうでしょうか。――なければ、この案件はこのぐらいにさせていただきます。