

(1) 平成29年度終了特別研究課題 終了時評価【審議】

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、早速議事に移りまして、議事(1)の精密単独測位型RTK (PPP-RTK) を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発について、まず国土地理院から御説明をお願いいたします。

○発表者 お手元の資料1をご覧ください。資料1－3のパワーポイントの資料を使って説明させていただきます。ページで言うと15ページになります。

本研究は、精密単独測位型RTKを用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発ということで、新しい技術を使ってリアルタイムに地殻変動を把握するようなシステムをつくりましたというお話でございます。全体で、3年間で大体3000万を少し超すぐらいの金額で行った研究でございます。

まず、本研究の背景ですけれども、RTKといいますと、測量分野等でも幅広く使われている技術ですけれども、地殻変動を把握して防災に役立てようという研究が、この研究を立ち上げる少し前ぐらいから起こってきました。御存知の方も多いかと思いますが、RTKというのはGNSSデータを用いてリアルタイムで位置変化を計算する技術でありまして、地殻変動を検知するという観点で何がメリットかといいますと、まずはリアルタイム、即時性があるということ。1つ大事なのは、振り切れない。こういう目的でよく用いられるのは地震計ですけれども、地震計というのは微小な変動をとるものでして、大きな振動を与えるとは振り切れてしまうことがあって、でも、GNSSは振り切れなくて変容を直接とれるということ。あとは、カバーする周波数帯が非常に広くて、地震波のような短い振動からゆっくりした変動まで幅広く捉えることができるというメリットがあります。例えばこれを用いて、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震の規模を即時的に把握して津波の予測につなげたりとか、あと、ゆっくりした地震とか、火山現象を検知したりとか、いろいろな目的に使えるということで、こういうシステムを世界中でつくることが行われてきたということでもあります。

めくっていただきまして、スライド3ですけれども、国土地理院におきまして、東北地方太平洋沖地震を契機にしまして、我々の持っているGEONETを使えば、東北地方太平洋沖地震、実は当初、地震計だけを使った規模推定では過小評価になったという問題がありまして、その結果、津波の規模も過小予測になっていた。それで避難行動に影響を与えか

ねないということがありまして、でも、我々のGEONETを使えば、正しい地震の規模をリアルタイムに検出できるのではないかという論文が出まして、東北大学の研究者の方と共同で、電子基準点のリアルタイムの解析システム、REGARDといいますけれども、それを構築したということであります。これは現在稼働してまして、全電子基準点について、リアルタイムで地殻変動といいますか、座標の変化を算出しているというシステムでございます。

しかしながら、このシステムは今動いているシステムですけれども、将来を見据えた場合に課題もございます。1つは、現行システムでは複数の参照基準点、動かないだろうと思っている点を使いまして相対測位を行うというものですけれども、これは相対測位を行うということで、計算負荷が大きくて非常に大きなシステムとなっている。現状でも大きなシステムとなっていますし、今、GPSとGLONASSを用いていますけれども、今後、マルチGNSS時代といいまして、Galileoとか、準天頂ももちろんですけれども、いろんな衛星系が入ってきて、より精度が向上できるのではないかという世界の流れになっている中で、規模をこれ以上拡大するのがなかなか困難であるということ。あとは、参照基準点が欠測した場合、冗長性を考慮して現行で3点置いていますけれども、やはり近いほうが、当然精度がよかったりしまして、参照基準点が欠測した場合の扱いが非常に困難だということがあります。

めくっていただきまして、そこで、そのような欠点を解消する可能性がある技術として、この研究を立ち上げる当初提案されてきたのが精密単独測位型リアルタイムキネマティック (PPP-RTK) というシステムでございます。これはどういう特徴があるかといいますと、普通は参照基準点、動かないと思っている点との引き算で相対的な測位をするのですけれども、そこでいろいろな誤差を消去して正確な位置が出せるようにしている。ところが、これは単独測位をして、例えば衛星の時計の誤差の影響とか、いろいろな誤差の影響を受けるのですけれども、そういうものを別途グローバルなネットワークを使って推定して、それを補正情報として用いることで、あたかも単独測位なんだけれども、精度が非常に高く計算できると。そうすると、システムとしても非常に軽量にできますし、そういう欠測の問題もないということで、非常にいいシステムになるのではないかというような希望を抱かせる技術であったわけです。

しかしながら、スライド6ですけれども、問題があったということでもあります。それは、座標値のばらつきが通常のRTKに比べて大きいという問題であります。これは原理的に仕方

がない部分があります。例えば本当に短い距離の間で相対測量した場合に比べると、大気の誤差とか、そういう場合は完全に消えますので、原理的にそこには勝ち目がないのは明白なのですけれども、それにしても、通常のRTKに比べて座標値のばらつきが大き過ぎた。これは主に補正情報の精度が足りないということに起因したわけですから、提案当時、水平の単成分、南北とか、東西とか、1つの成分のばらつきで大体5センチ程度のばらつきがあったということでもあります。実際、今のREGARDですと、基線長にもよりますが、大体1センチ程度ということで明らかな開きがあったと。

地殻変動の把握のためには、やはりばらつきは2センチ程度に抑えたいということで、REGARDの冗長性の確保とか、そういう目的もありまして、別の全く違うアルゴリズムでリアルタイムの電子基準点の測量を行うシステムというのを、このPPP-RTKというものを使って実現したい。それに当たっては、ばらつきを2センチ程度で抑えるようなシステムにしたいということで、この研究を始めたわけでございます。

研究のストラテジーとしましては、まずは高品質の補正情報を生成可能な補正情報生成エンジン。世の中にいろんな研究で出ているものがありまして、その中でどれが最適かを調査したということ。

あとは、精度を向上させるためにいっぱい衛星を使うといいと。マルチGNSS化とか、今回は述べませんが、整数不確定性の決定というPPP-ARという技術とか、いろいろ技術、精度向上のためのテクニックがこの当時考えられたので、それを試してみるということ。

一番大事なことは、実際にそれを用いてリアルタイムで稼働する解析システム、プロトタイプですけれども、それを構築するという目標を立てて本研究を行ったということでもあります。

めくっていただきまして、その目標に対して研究の進め方ですけれども、まず2段階考えました。最初からリアルタイムというと結構ハードルが低くて、チューニングもやりやすいですし、リアルタイム特有の問題で精度が悪くなるということも多々あるので、まずは後処理でPPPの電子基準点の解析をするシステムをつくりました。それを用いて補正情報の生成エンジンの選定だとか、システムを実際に構築して動かしてみ、そのシステムのチューニングを行うということをまずやって、その知見を生かして、今度はリアルタイムシステムを構築するという2段階のステップを踏みました。

まず、STEP 1ですけれども、PPP後処理システムの構築という、スライドで言いますと、

8の部分でございます。実際にいろいろ評価した結果、JAXAで開発されているPPPの補正情報生成のソフトウェアであるMADOCAというものがございます。これが非常に高い性能を示したということで、これを基本の解析エンジンとして採用することにして、それをベースにチューニングを行ったということでもあります。

システムの概要を左側の図に示していますが、MADOCAを使いまして、超速報解って、大体数時間おくれの補正情報と、あと迅速解、確定解という、これが大体2〜3日と2週間程度という、それぐらいの遅れをもって、より精度の高い補正情報を出すという2つの解析、結局、補正情報を3つ出して、それぞれについて座標解を算出して、キネマティック解と、実際に観測点がその間動かないと思って算出したスタティック解もそのまま出すというものであります。後で述べますが、これ自体、非常に有用なシステムとなったということを後で御紹介させていただきます。

実際に右下の時系列を見ていただくとわかるとおり、後処理ということもあるのですが、非常に精度が高いものができたということでもあります。チューニングもうまくいったということで、あとはマルチGNSS化と、先ほど申しましたPPP-ARという技術の効果があることもわかったので、今後、これよりリアルタイムに使っていったということでもあります。

めくっていただきまして、スライド9ですけれども、それで具体的にリアルタイムのシステムを構築したということでもあります。リアルタイムのシステムは左の図ですけれども、ダイアグラムを示していますが、基本的に後処理のシステムと同じで、データがリアルタイムで来るようになったというものですけれども、1つの違いは、リアルタイムで観測点を解析するときに、補正情報を生成するときの固定点の座標を入れる必要がある。そこは動かないと思って補正情報をつくるということをやりますけれども、リアルタイムの場合、こちらで観測点をえり好みできない。そういう高い精度で位置がもともと出ていて、これを使ってくださいというものは実際にあるのですけれども、そういう観測点だけでリアルタイム解析をすると観測点が非常に少なくなってしまうということがありまして、実際にそういう観測点におきまして、後処理のシステムを使って、少し時間遅れはありますが、精度の高い座標解を出して、それを固定点として使ったということでもあります。

あとはマルチGNSSの効果があるということで、少なくともGPS、GLONASSを受信している観測点を選んだということと、リアルタイムのデータを供給している機関というのは複数

あるのですけれども、それはなるべく少量ずつ、いろんなところからとることで、例えばこのサーバーがダウンしているときに補正情報を計算できませんというような事態を避けて、安定的に補正情報を生成できるようにという工夫をしています。

次、スライド10が結果の図ですけれども、今年の冬の「つくば1」という、国土地理院の構内にある電子基準点のリアルタイムのPPP-RTKの精度を、座標解をお示ししていますけれども、大体、リアルタイム解析のばらつきで17ミリとか14ミリということで、目標精度は達成できる見込みということであります。大体、PPPの特徴としまして、もちろん観測点によって、善し悪しというのはあるのですけれども、全国均一にこの座標解が出るということで、目標は全国的に達成できる見込みであるということであります。現在よりもう少し観測点を増やして、100点程度で精度を評価している途中であります。

めくっていただきまして、スライド11ですけれども、これは補足的になりますけれども、ARの効果ということで、そんなに劇的な効果はなかったのですけれども、座標解に若干精度向上が見られました。やっぱりマルチGNSSの効果というのが非常に大きくて、PPP-ARの効果に限定的ですけれども、逆にARを導入して悪いことはなかったということで、本システムでは、これを入れて運用する予定であります。

スライド12で当初目標の達成度としましては、先ほど申しましたとおり、単成分で2センチのばらつきということで目標を立てておりましたけれども、大体、それが達成できる見込みが立ったということで、実際にそういうリアルタイムのシステムが構築できたということで、ほぼ目標は達成できたのではないかと考えております。

成果ですけれども、実際、論文等にもまとめてございまして、資料1の13ページに成果をまとめてございます。論文、査読つき2本、査読なし1本、あと学会発表等でも報告して、この成果というのはコミュニティーに共有を図ってい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13ですけれども、先ほど少し申し上げましたとおり、後処理のシステムも非常に効果が高いというものでございます。これは後処理のシステムで出したキネマティックの30秒間隔でございますけれども、「城南」という熊本の電子基準点ですけれども、熊本地震の前後でどのように動いたかというものを、左側のグラフの黒い線で示してございます。電子基準点で、定常解析で時間間隔が一番短いものというQ3解を赤点で示していますけれども、熊本地震というのは前震から含めて短い間に地震がいっぱい起こったという特異的な地震の時系列を示したということで、Q3解だと、例えば短い3時間遅れで地震が2発起こったという、それぞれ、どういう地震だったのかという

のを捉えるのがなかなか難しいんですけれども、このキネマティック解を用いることで、それぞれをちゃんと分けて、どこでどういう地震すべりが起こったのかが明らかになったということで、このキネマティックの解というのは、これも定常運用を続けて地殻変動の監視にも役立てていきたいと思っています。

スライド14で、最後、成果活用の見込みですけれども、まず1番ですけれども、リアルタイムのシステムというのは、測地観測センターのほうで使うということになっております。南海トラフ地震に関する地殻変動監視機能の強化の一環ということで、巨大地震が起きて、冒頭に申しましたREGARDのシステムがあるのですけれども、その冗長性確保、どんなときでも最低限1つの解は得られるようにということで、このPPPのシステムを拡大して、実際に原価で運用するということになっております。

また、先ほど申しましたとおり、後処理のシステムについては、これは補正情報さえ生成してしまえば電子基準点に限らず、GNSS観測点でも使えますので、例えば国土地理院に気象庁とか、防災科研とか、いろんな機関からGNSSデータが集まっていますので、電子基準点とそういう観測点をあわせて後処理システムで解いて、キネマティックの解と提供していくことを考えております。

最後に、この研究で得られたリアルタイムの知見ですけれども、今、測地研究室で行っております迅速、高精度なGNSS定常解析システムの構築に関する研究。これは似たようなものですけれども、リアルタイムじゃなくて、多少の1時間、2時間程度の時間おくれを許すかわりに、より高精度な座標解を算出するというものですけれども、リアルタイムの知見を生かせるところが多いので、それを生かしていくということであります。

最後に、残された課題ですけれども、先ほど、このシステムというのはREGARDに比べて精度が若干落ちるという、それは後ろに参考情報でREGARDの時系列というのもおつけしていますけれども、やっぱり1.5倍ぐらいばらつきが大きいと。現状では、そういうふうになっています。

原理的に難しいところはあるのですけれども、それに肉薄していくためにはどうすればいいかといいますと、昨年秋にアメリカの地球物理学会がございまして、そこで武漢大学の研究者が同じようなシステムを構築してございまして、この研究で用いたのはGPSとGLONASSだけでございすけれども、Galileoとか、BeiDouとか、あれだけ衛星を入れると、ばらつきで1センチぐらいまでには到達できるんじゃないかと。そういう研究もございましたので、引き続き準天頂衛星とか、そういう、ほかの衛星系も取り入れつつ、より一層の精度

向上を果たしていきたいと考えております。

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、測地分科会でこの内容について事前に議論されておりますので、測地分科会の主査のから御報告をお願いいたします。

○委員 測地分科会は2月2日に開催されまして、お手元の資料の1－4「研究課題終了時評価書」というものですが、前半の部分は省略しまして、6番の成果の概要から以降を簡単に説明いたします。

今も発表者から説明がありましたように、本研究は2段階を経て実施されまして、最初に、後処理のシステムを構築して、必要なパラメータのチューニングであるとか、どういうものを使えばいいかを見きわめをして、その後で実際にそれをリアルタイム化していったということで、研究の進め方としては非常に妥当な方法ではないかと思います。その過程で熊本地震の前震、複数のものを分離できるという非常に大きな副産物も得られました。

リアルタイムシステムの全体のシステム構築に当たりまして、国産の非常に定評のあるソフト、MADCOAとRTKLIBというものを使用したので、非常に短時間に効率よくシステムを構築できたということで、次のページへ行きますと、7番の当初目標の達成度ですが、水平成分のばらつき2センチメートル程度でリアルタイムという当初の目的は十分達成されたと考えます。

成果の公表なのですが、リストはそこに載っているとおりなのですが、委員のほうから意見が出たのは、本研究課題は技術開発を目的とした工学的性質の強いものなので、例えば非常にサーキュラー性の高いサイエンティフィックな国際誌にもっと出したらどうかというような意見も出ました。リアルタイム測位精度の向上というのは防災だけでなく、ほかの科学分野の応用も非常に大きいと考えられますので、今後また、これで終わらずに、そういう分野にどんどん投稿していただきたいと考えました。

成果活用の見込みですが、今申し上げましたように、リアルタイムの高精度の測位というのは応用性が非常に高い。最初に、現在、地理院で動いている「REGARDシステムの監視強化の一環として」とありますが、ひょっとしたら、これは将来的にREGARDを置きかえてしまうようなものになるかもしれないということで、そのぐらいにインパクトが大きいのではないかと思います。

ただ、これも委員会で意見が出たのですが、高精度の補正情報というのは、ほか

の研究だけにとどまらず、応用にとっても、補正情報というのは重要なので、例えばそれを地理院の中だけでクローズするのではなくて、今後オープンにしていく方向を検討していただけないかというのがありました。JAXAとの関連もあると思うのですけれども、その辺は調整していただいて、ぜひ地理院内で検討していただきたいと考えます。

10番の達成度の分析ですけれども、これは先ほど言いましたように、成果としては非常に十分な達成度があるということで、特にREGARDの問題点というのを、こちらはクリアしている。少し精度が足りないというのがありますけれども。それから、定評あるソフトを組み込んだので、短期間に精度を上げることができたということも挙げられると思います。

11番の残された課題のところは、先ほど発表者も言われましたように、マルチGNSS化というのが、まだGPSとGLONASSだけです。今後、ほかの衛星なりを組み合わせたときに、またどういふことがあるか、向上が図られるかということもありますので、引き続き検討していただきたいということです。

1点気になったのは、成果の公表を見ても、地理院の研究と言いつつ、ほとんど発表者の御努力でなされた研究なので、今後、その成果をぜひ地理院のシステムとして、皆さん、情報技術を共有されて、発表者が倒れてもちゃんと稼働するようなシステムにしていっていただきたいと思います。

最後に、総合評価としては十分目標を達成できたと判断しました。

以上です。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、先ほどスライドを使って御説明された内容、それから、今、測地分科会の主査のから総括もいただきましたけれども、この研究全体について御質問とか疑問点がございましたら順次お伺いしたいと思います。どなたからでもよろしいのでお願いいたします。

○委員 大変興味深い研究なのですが、最初に、本研究の背景の中で振り切れないということをおっしゃられて、それは揺れそのものを把握するという意味と捉えていいのですか。

○発表者 そういうことです。

○委員 今回の測位の時間間隔と、揺れまで把握できるというところに関しては、どの程度達成ができたのでしょうか。

○発表者 時間間隔は1秒間隔です。高周波の地震動は無理ですけれども、いわゆる強振動の部分は地震の波形解析にも使えるものであると思います。

○委員 そうすると、今後はこれを配備、実際にやっていくということになったときには、気象庁なんかと連携して、揺れの情報を即時で出していく方向性が出せるという見通しですか。

○発表者 気象庁との関連でいきますと、直接地震計としてということではなくて、実際に今のREGARDのシステムを用いた地震の規模を計算して、それを気象庁に提供しようということ今話は進んでいると聞いております。

○委員 ありがとうございます。

○委員長 どうぞ、ほかに御意見ございましたら。

○委員 今の質問に少し関連するかもしれない。スライド13の、これは当たり前の質問かもしれないですけども、高精度立地測位にしても、地震の後で見ると、確かに違いが読めると。でも、本当に地震が起きているか、起きてないのか、そのボーダーラインのところの評価というのはどのタイミングで……。今、こうやって1秒ごとにデータが計算されるのだけでも、気象庁に提供するとしても、やっぱりリアルタイムに提供して、それで地震の強度の評価に参加できるのでしょうか。

○発表者 地震の大きさに関しては、原理的に地震って、どんどん規模が大きくなっていくものなので、大体3分ぐらいかけて地震の大きさを判断するという、今、REGARDはそういうスキームになっていると思います。それから、規模を関係する機関にお伝えするというような流れなのですけども、津波で言いますと、津波が伝播する速度は地震波よりもっと遅いので、それぐらいの時間遅れがあっても、津波の予測という意味では十分有効なものであると聞いております。

○委員 そうすると、少なくとも数分以内にゆがみの結果を出して警報に加えることができる見通しということですか。

○発表者 そうですね、そういうことになるかと思います。

○委員 それはすごいと思います。

○委員長 よろしいでしょうか。

○委員 はい。

○委員長 ほかに何かございませんでしょうか。

○委員 貴重な御研究の成果をどうもありがとうございました。興味深く拝聴させていただきました。水平単成分のばらつきが2センチ以下を達成されたということなのですけども、2センチ以下でばらつきが、これはその場所によって結構差があるものなのですか。

2センチ以下になるものでも、かなり場所によって、例えばここは1センチ、ここは1.5センチとか、そんな感じで差があるものなのですか。

○発表者 多少はあります。やっぱり条件の悪い観測点、例えば木が周りを。そういう観測点、個々の事情はありますし、あとは季節的に言いますと、水蒸気の影響がどうしても大きいので夏が悪いとか、南の例えば沖縄の観測点は悪いとか、そういう地域性はあるのですけれども、本当に極端な悪い点というのは除けば、そんなに差はないと思っています。

○委員 それほど外れ値になるような極端に悪いところではなくて、大体2センチ以下で落ちついたというか、そんなにばらつきのないような数値が出ているということなのですか。

○発表者 本当に限られた数点、実際の定常観測、長い、いわゆるスタティック解と呼ばれる精密な地殻変動監視でも問題になるような観測点というのが残念ながら数点はあって、そういう点は、リアルタイムは逆にもっと悪くなる。その誤差が拡大するので、そういう観測点はやむを得ないのですけれども、そういう極端な場合を除けば、大体2センチ前後で落ちつくのではないかと考えております。

○委員 もう1点ございまして、スライド21のところでも出てきておりますが、南海トラフ地震に関する地殻変動監視機能の強化の一環としてということなのですが、南海トラフって、物すごく幅広く監視しないといけないですよね。このシステムで対応される範囲もそれと同じ、かなり広い範囲が対象とされるということでしょうか。

○発表者 現状のREGARDシステムもそうですし、このシステムもそうですけれども、実際に運用するに当たっては、全国、全電子基準点で実施する。北から南まで全部ということなので、十分南海トラフの想定震源域といいますか、そこは入っているということです。

○委員 ありがとうございます。

○委員 GPSの精度というのは、RTKにしても、かなり相対的なもので、この補正情報はリアルタイムに気象条件を数学モデルに取り入れて送信されるものですか。

○発表者 このシステムは通常のRTKとは若干違って、水蒸気、特に通常気象に関するものというのは、実は補正情報としては入れてないのです。ですので、冒頭ちらっと、普通のRTKでは距離が短いと誤差が相殺されてというお話をしましたけれども、そういう意味で、中で補正は、観測点単独でそういう水蒸気の影響を除くような処理はしているのですけれども、やっぱり非常に不均一性が、水蒸気の分布がイレギュラーな場合とかはどうしても影響を受けてしまって、そういうのは差をとって消えるということがないので、その点

で、普通のRTKに比べて原理的に少しばらつきが大きくなってしまうというものです。

○委員 その意味で、この結果をどう解釈するかというのは結構あるような気がするけれども、私も前、やったことはあるのですが、こういうのは見た目では当然収束しているのだけれども、あくまで環境条件、このモデリング条件の中での収束なので、では、本当にこのような予測で、例えばこの18ページのばらつきを見ている、ある期間ではミニマムとマキシマムとの間に5～6センチとか、結構あったりするのですよね。例えば13ページの、地震動が直線にきたから、じゃ、振れましたと。これ、どうやって判断すればいいか。アラートとして出すのか、それは一時期の話なのか。今後、この解釈の方法と使い方に関しては、やっぱりたくさん検証する必要があるような気がするのです。

○発表者 それはこの方式に限らず、リアルタイム解析をどう使っていくかという共通の問題であるのですけれども、例えばREGARDシステムでは、1点が大きな変動をしてもだめで、例えばまとまって変動したときをトリガーとするとか、そういう工夫はしています。あとは、結局、最終的に使うもの、プロダクトとして出すものは、それぞれの変容を出すというよりは、それを使ったモデルの部分ですので、各観測点のばらつきというのはある程度軽減されるという期待はございます。

○委員 報告ありがとうございます。2点あります。

1点目は、海外の同じような研究の動向、それから、実績はあるのでしょうか。先ほど論文があって、1センチメートルのばらつきだという話を聞きましたけれども。

それからもう1点、数学モデルとしてのAR、これは私、初めて聞きました。その概略を簡単に説明いただけますでしょうか。

○発表者 まず、海外の研究の動向ですけれども、PPPをリアルタイムで用いるという研究は、主にフランスの国立宇宙研究センター(CNES)というところがございますけれども、CNESが非常に精力的にやっていて、世界的にも定評があったということでもあります。

あと、今はドイツのGFZとかでもやれるようになっていきますし、最近では武漢大学が非常に力を入れてあります。これをやるに当たって、海外の研究機関の補正情報というのも、今、リアルタイムで公開されていますので、それを実際に使ってみたりはしているのですけれども、今回つくった補正情報というのは最高レベルに位置すると自負しています。もちろん、先ほど御紹介した武漢大学の1センチというのは非常に驚異的な結果ですけれども、GPSとGLONASSだけを使ったものということでは世界的に見ても精度がいいものができたということで、これはMADOCAのおかげということもあるのですけれども、そういう現状

であります。

あと、2点目のARに関してなんですけれども、ざっくり言いますと、実際に我々は波の位相を使うのですが、衛星までの距離を計測して、それで衛星の位置がわかっているから自分の位置を求めるというものなんですけれども、精度がいいのは波の位相なので、そうすると、実際に波が幾つ入っていて、それに高精度で計測される残りの部分があるのかという、そこで波が幾つ入っているかというのを決定するのが重要になってきます。それをAR(Ambiguity Resolution)という、整数不確定性の決定といいますけれども、整数不確定性というのは、波が何個分というのが整数5しか入れないので、それで整数不確定性の決定ということをいいます。

これは普通に一般的に使われるものなんですけれども、従来は相対測位にのみ有効な手法であったということです。それは細かいことを申しますと、実際に衛星までの波というのは、整数プラス、距離と1対1に対応しなくて、電子回路に起因するごみの部分があって、それは相対測位では消せるので整数になるのですけれども、ごみの部分が直接1対1で自分の局しか使わないと、その誤差が出てきて、整数が整数にならないという問題があって今までできなかったのですけれども、それをいろんな形で補正情報として、ごみの部分をリアルタイムに推定して入れてやることで、1つの観測点でも整数化することができました。整数化することができますと、波のカウントが整数であるよという制約を入れることになりますので、一般的に精度が向上するという仕組みになっています。

○委員 これは測位技術の研究から生まれた技術なのでしょうか。

○発表者 そうです。

○委員 誰がいつごろ考案したのでしょうか。

○発表者 Ambiguity Resolution自体は本当に古くさかのぼってしまうので、1980年代ぐらいから行われている技術なのであれなのですけれども、PPP-ARということであれば2008年ごろになりますかね。GFZだったと思いますけれども、GFZの研究者が初めて提唱したというのが最初なんじゃないかと思います。

○委員 補足ですけれども、参考情報のところにARの効果の評価というのがあって、これがわかりやすいと思うのです。スライド18の表で見ると余り迫力ないのですけれども、次のページの図で見ると、黄色い上のスライド19のほうだと、途中で急に物すごく不安定になっているようなやつが、ARありだと消えていますよね。こういう、 3σ を超えるような異常イベントの数を数えて、それが何分の1になったとか、そういう評価をするともう少

し迫力のある言い方ができるのではないかなと思うのです。

○委員 ありがとうございます。

○委員 REGARDシステムの課題に1つ、計算負荷が大きいと運用コストが高いということが挙げられております。このPPP-RTKを使用すると計算負荷が非常に軽いという意見。これがあると運用コストが抑えられるということだと思うのですが、今後の実運用を考えたときに、どれほどREGARDとの違いが出てくるのかということと、とはいえ、RTKに匹敵する精度を出すには高品質の補正情報が必要って、この補正をするときの部分を踏まえて、本当にこれ、低コストというか、REGARDに比べて運用面でメリットがあるのか。そこの辺も教えていただければと思います。

○発表者 コストの面で言いますと、補正情報の生成というのは、例えば高精度にするには観測点をふやしてマルチGNSSにしてということですが、基本的に計算機1台で済むようなものです。そこを幾ら高品質にということでも、そこで計算機の台数は必要ないということ。

あとは、REGARDと比べた全体の計算機の台数ですけれども、1つは、いろんな参照基準点を複数とるということがないので、それだけで減るということと、あとは単体で見ても半分ぐらいにはなるのだろうと。その2つの効果で6分の1とか、7分の1とか、その程度には抑えられるのではないかと考えています。例えば今、実際にリアルタイムの計算を試行していても、1台、補正情報の計算機があって、あとは、例えば600点ぐらいのリアルタイムの補正情報を使った測位演算というのが1台の計算機で賄えるというものですので、電子基準点全部を行うのに大体3台ぐらいでできる。今、REGARDは10台ぐらい……。

○測地観測センター長 もっと使っております。今、3つの固定点でやっていますので、1300点の計算が3倍、毎度やっているのです。ですから、サーバーラックに多分20台ぐらい入っています。それが今回かなり減りますので、期待しているところでございます。

○委員長 御質問はほかに何かございませんでしょうか。

○委員 恐らくコストもそうなのですけれども、REGARDの問題としては、必ず基線を組むわけで、参照基準点がこけてしまったときのことを考えて複数持っているということは、基準点から観測点までの距離がそれぞれ違いますよね。当然、基線ですから、距離が長くなれば精度が落ちる。ところが、PPP-ARの場合には単独だから、どの点も同じ条件で、別に遠くなるとか、そういうイメージがないので、その点のメリットも非常に大きいのではないかと思います。

○発表者 ありがとうございます。実際に距離が長くなると、先ほどこのシステムや精度が悪いというお話をしていましたけれども、基線長が長くなると話は別で、共通の衛星が減ってくるという問題もあって、精度があるところで逆転するということがあります。今、概算で、多分、基線長は500キロぐらいで分岐点があるのではないかと考えています。だから、全国一律監視するという観点では、このシステムの精度上のメリットがある部分もあるということをつけ足して。

○委員 単独でこんな高精度ができるとすごいメリットがあるのですけれども、値段はどうなるのですか。とことん安くなって、民間も使えるようになるでしょうか。測位端末。

○発表者 補正情報を用いたということですか。

○委員 はい。

○発表者 補正情報を生成するところじゃなくて、実際に測位演算をするところは非常に軽いものでできますので、一般の方でも使っていただけたと思います。実際、JAXAのほうで、今、準天頂衛星で試験用に、今回構築したシステムと類似の補正情報を送っていたりしますので、それは協議会に入れば多分使えるとか、そういうことだと思うのです。

○委員長 よろしいでしょうか。ほかに何かございますか。大丈夫でしょうか。

それでは、いろいろと御質問もあったと思いますので、この件に関しては、これで終わりにしたいと思います。どうもありがとうございました。