

○説明者 2枚目のスライドに今回、説明する内容を示しています。まずGEONETの背景について簡単に説明したあとに、GEONETの現状の課題について紹介をいたします。その各課題に対して、実施している個別の研究課題について説明をいたします。そのあと学会の発表や論文等の状況について説明をして、最後にまとめと今後の取り組みということで紹介をいたします。

1枚めくっていただいて3枚目のスライドになります。ご存じとは思いますが、GEONETの概要について午前中も見学でご覧になっていた内容ですが、GEONETは国土地理院が全国に展開しているGPSの連続観測網でして、1240点の電子基準点からなるGPSの連続観測点と、それらのデータを処理するGPSの中央局で構成されています。

各電子基準点では、毎秒GPSのデータを観測していき、それらはIP-VPNの回線を用いてGPS中央局にリアルタイムに転送されています。

GPS中央局では、それらのデータを解析して地殻変動監視に用いるほか、外部にも無償で提供して、測量や研究分野に利用されています。

4枚目のスライドにGEONETの目的ということで、大きく2つの目的を持っています。1つ目は測量標としての役割で、こちらは従来の三角点と同様、各電子基準点が測量の基準点として国内の測地網維持のために利用されています。

もう1つの目的としては、連続観測による地殻変動監視で、こちらは防災や地球科学分野で利用されています。

これらの観測データに関しては、下に示していますが、国土地理院のホームページから無償で公開していて、測量や研究分野で利用をいただいているところです。

続いて5枚目のスライドでGEONETの現状について簡単に説明します。

ご存じとは思いますが、公共工事の施工や地図作成など、国土管理の上で測量というのは現在必要不可欠な技術となっていますが、昔からさまざまな測量の技術が利用されてきています。近年ですと、GPSが利用できるような環境が整ってきていますので、その高い精度、あるいは効率性から、今ではGPSの測量が測量の主流技術となっています。

左下に示している図は、国や地方公共団体が行う公共測量について、従来型の地上測量とGPS測量の利用されている比率を調査した結果になります。この種の測量の3分の2では現在、GPSを利用する状況になっています。

それから、日本は地震や火山活動が活発な国ですので、GPS測量の技術は地殻変動の

観測にも利用されています。

右の図は、2004 年の新潟県中越地震前後の地表の動きを示しているものですが、このように現在、GEONETは、測量や地殻活動監視の面で社会的にも重要なインフラとして使われています。

続いて 6 枚目のスライドになりますが、もう 1 つ、今回の GEONET の高度化という話に直結する最近の流れとして、各国の次世代衛星測位システムの計画について紹介いたします。

これまで衛星測位分野はほぼ GPS のみの状況でしたが、現在、各国あるいは地域で独自の衛星測位システム開発が進んでいます。例えばロシアの GLONASS ですかヨーロッパの Galileo、昨年、初号機が打ち上がりましたが、日本の準天頂衛星である QZSS、中国の COMPASS があります。それから、アメリカに関しても、現在、既存の GPS に信号を増やすなどの近代化計画を進めているところです。

これらの衛星測位システムを利用できるようになると、衛星測位に利用できる衛星数、あるいは周波数が増加し、衛星の可視性、あるいは測位精度の向上につながると期待されており、GEONET も今後、これら GNSS に対応していくことが求められています。

そういった背景を踏まえて、現状の課題を 2 つほど紹介いたします。これらは現在進めている研究課題の目的につながるものです。

まず 1 つ目の課題を 8 スライド目に示していますが、1 つ目は都市部、山間部といった上空視界が限られている場所で GPS が使えない問題です。こちらの左の図は銀座の松屋周辺の図をあらわしていますが、このような場所で、例えば道路の測量をしようとしても、周りにビルがたくさんあるため上空視界が遮られ、上空に測位に必要な数の衛星が見えないため GPS 測量ができない問題があります。

このように GPS が使えない場所では地上測量を行うしかないわけですが、地上測量は人も時間もかかりますので、衛星測位に比べて作業コストがかかるといった問題があります。

こちらの右の絵は、同じく銀座で、GPS に加えてそのほかの GNSS 衛星が飛んでいたらどのように見えるかをシミュレートしたのですが、GPS 以外の衛星が追加されることによって、上空に見える衛星の数が増えて衛星測位ができるような環境になり、それによって測量作業の効率がぐんと向上することが期待されています。

次のスライドですが、2 つ目の課題としては時間の問題です。通常の GPS の測量でも、

観測や解析にかかる時間を短くしたいというニーズはありますが、さらにその必要性が高いのが災害など発生した際の緊急時になります。

国土地理院では、電子基準点のデータを解析して大きな地震や火山噴火の前後の地殻変動を観測していますが、これらの解析結果については、災害の予測あるいは避難活動で非常に役に立つということで、できれば早く出してほしい、できるだけ早く出してほしい、というニーズがあります。

こちらに示している右側の図は、先日の東北地方太平洋沖地震時の水平方向及び上下方向の地殻変動量を示しているものですが、情報をすぐに得ることができれば、地震の断層モデルの推定や地震規模の推定の精度の向上に利用できるほか、例えば地盤沈下によって津波や高潮被害がありますよ、といった警報を出すことも可能になります。

一方、こういった情報がいいかげんな精度のものであった場合には逆に社会に混乱を来してしまう危険性もあります。正確な変動量を出すには観測に十分な時間が必要となりますので、現状では結果が出るまでに3時間のデータを使用し、解析1時間、評価1時間で大体5時間ぐらい時間を要してしまうという課題があります。

これがもし準リアルタイムに解析することが可能となれば、より防災や減災への効果が期待されますので、この点での調査研究も非常に必要性が高いということで現在取り組んでいます。

こういった背景を踏まえて、個別の研究課題として11スライドに示しています3課題を現在進めています。

その3つは、電子基準点のGPS近代化計画への対応に関する研究、次世代衛星測位システムの測量への応用手法の研究開発、リアルタイム解析の信頼性向上に関する研究の3課題です。

それぞれの詳細について12スライド目から説明をいたします。

まず1つ目が電子基準点のGPS近代化計画への対応に関する研究ということで、タイトルはGPS近代化と書いてあるのですが、GPSだけに限らず、各国のGNSSに対応できるようにGEONE Tを拡張していく研究です。

具体的には、現在、GPSのみに対応している電子基準点、あるいは中央局を、今後、GNSSに対応できるように機器更新を行うとともに、機器更新を行ったときにどのような影響があるかを調査する内容になっています。

実際に昨年度までに行った成果を13スライド目に示しています。

GPS以外の衛星を受信するためには、既存の電子基準点の機器をGNSS対応の機器に交換する必要がありますが、特にアンテナを交換する際には、地殻変動の連続監視を行っていますので、そういった観点から影響がないかを前もって評価していく必要があります。

左図の上段に現在の定常解析の模式図を示していますが、現在、定常解析を行う際には、国土地理院構内にある「つくば1」という点を固定点にして各点の座標を求めています。そこで試験解析ということで、国土地理院の建物の屋上にGNSSアンテナを用いた観測点を設置して、「つくば1」の代わりにその点を仮の固定点とみなして、定常解析と同じように解析を行って影響について調査を行いました。その結果を右のグラフに示しています。こちらは栃木県の宇都宮という点から鹿児島県の出水という観測点までの基線について水平成分、それから、上下成分を示しているものです。実験の際には、模擬観測点のアンテナを10日ごとに交換して、現在使用しているアンテナで得られた結果との差をプロットしています。実験に用いたアンテナは全4種類ですが、上下成分に1つのアンテナで若干ばらつきが見られているものの、1000kmの基線長で概ね1cm程度の範囲におさまっており交換による影響はほとんどないと考えています。1つオフセットが見られたアンテナについては、今年度継続でもう一度調査を行いたいと考えています。

14スライド目に今年度以降の計画を示していますが、まず今年度に関しては、昨年度までに実施した以外のGNSS対応アンテナがありますので、それについても影響を調査することを考えています。24年度、25年度については、実際に現在使っているGPSの衛星の測位信号、L1とL2の2つの測位信号がありますが、それ以外の測位信号を含めて解析したときに、どのような影響があるかを調査する予定です。こちらに示している図は、電子基準点のGNSS対応機器への更新予定を示しています。全国に1240点ありますので、一度に交換するのは予算上もなかなか難しいということで、今の計画ですと2020年までに計画的に更新を進めていく予定です。

続きまして、めくっていただいて15スライド目からが2つ目の研究課題の、次世代衛星測位システムの測量への応用手法の研究開発です。これは各国のGNSSを実際に測量に利用した場合に、どのような効果があるかを検証するための研究になっています。

主に2つの点からアプローチをしまして、1つはGNSSを利用することによって測位可能性がどれくらい向上するかという点です。もう1つは、同じくGNSSを利用することによって測位精度がどの程度向上するかの評価です。この研究の中では、シミュレ

ータを実際に開発してまだ飛んでいないGNSSのデータを模擬的に作成していますが、その際に対象とするのは、測位信号の互換性という観点から、GPS、準天頂、Galileoの3種類で評価を行っています。

16 スライド目に、1つ目のターゲットである測位可能性の向上についての評価結果を示しています。評価の仕方は、衛星の配置状況から、測位精度をあらわすPDOP値が一般的に6より小さくなるときに測位可能であるという目安がありますので、そのPDOPが6より小さくなる時間の割合を評価しています。

模擬の観測点ですが、左図の上に☆印で示していますが、新宿地区に模擬の観測点を設定して、実際にその上空でどのように衛星が見えるかを評価しています。右側にグラフが2つありますが、実際にGPSのみの場合と、GPSとQZSS、これが上段です。それからGPSとQZSSとGalileo、これが下段になりますが、それぞれを組み合わせた場合の各時間帯の測位可能時間を示したものです。GPSのみが青になりますが、それに比べるとほかのGNSSを組み合わせた赤の時間が長くなっているということは明らかです。

こちらの結果を表に集計したものを左下に示します。GPSに加えて準天頂、あるいはGalileoを組み合わせることによって都心部でも衛星測位が可能な時間が50%から95%近くまで向上することがわかりました。

続いて17 スライド目に測位精度についての評価結果を示していますが、こちらも同じく都市部に模擬観測点を設定してシミュレータで作成した模擬観測データを作成し、そのデータを解析して実際にその点がある座標値との差を評価しています。左側に示している図がその結果ですが、GPSのみの場合は水平、上下とも10cmを超える測位精度であったものが、主にGalileoを加えることによってその精度が1cm以下まで改善される結果が得られています。

実際、GPSのみでこれほど精度が落ちることはないのですが、これは上空視界が制限されていて観測できる衛星数が少ないような場合に特に精度が悪くなってしまい、その値に引っ張られてここまで精度が落ちているということです。右にあるグラフは、得られた解析結果のうち、真の座標から水平2cm、上下3cm以内におさまっていた解の割合を示しています。こちらもGPSにGalileo、あるいはQZSSを加えることですべての解が真の座標の付近におさまる結果が得られています。こういった結果から、GPSにGNSSを加えることによって測位精度の面でも向上が期待され、それは特に上空視界が制限されているときに顕著であるという結論が得られています。

最後に 18 スライド目からリアルタイム解析の信頼性向上に関する研究について報告します。

午前中の見学の際にも簡単に説明しましたが、現在、ほぼ全点の電子基準点から毎秒のデータをリアルタイムに取得していますので、環境的にはそのデータを利用してリアルタイム解析ができる状況になっています。実際に国土地理院でも幾つかリアルタイム解析用のソフトウェアを導入しているのですが、現在、主に 2 つの問題点があります。

1 つは 3 時間、あるいは 6 時間といった一定のデータ量を使用して解析する定常解析に比べて、データ量の数が少ないため測位精度が落ちるという点、もう 1 つは、解析までに要する時間の問題で、現在、国土地理院が導入しているソフトウェアでは、ライセンスの数、あるいはサーバの能力の関係で、すべての電子基準点のデータをリアルタイムに解析することが不可能な状況になっています。そのため地震が発生したあとには、地殻変動が予想される地域を想定して手動でクラスターを組んで解析する作業が必要になっています。

こういった背景を踏まえて、本課題では、リアルタイム解析の精度の向上と自動起動化による時間短縮をターゲットに研究を実施しました。

次のスライド 19 枚目から平成 22 年度までの成果を示しています。

解析精度の向上に関しては、ソフトウェア自身の処理方法の問題もあるのですが、そのほかに設定条件に起因する部分があります。例えば与える初期座標をより正しい値にする、あるいは基線長を適切なものにするといった周辺の解析戦略を見直すことによる効果がありますので、そういったところを見直すことによって安定的に解が得られるようにチューニングを行いました。

左のグラフは、平成 20 年、岩手・宮城内陸地震のデータを使った後処理解析の結果になります。rtNET 及び RTD という 2 つのソフトで解析を行って比較検証を行っていますが、いずれのソフトの解析結果でも、地震に伴う変動をとらえることができます。ただし、ここには示していませんが、変動量が 1 m を超えるような大きな場合には解が不安定になって得られないという課題も別に得られています。

もう 1 つ時間に関しては、リアルタイム解析の自動起動化を行っています。こちらは気象庁から出される緊急地震速報をキックオフにして、震源位置近傍の電子基準点を自動でクラスタリングして解析を始めるシステムになります。右の図に示しているのが同じく岩手・宮城内陸地震を例に、自動クラスタリングの妥当性について検証した結果になります。こちらの図で少し見にくいですが、青で囲まれた範囲が解析の対象点になります。赤い☆

印で示している震源周辺の電子基準点が自動クラスタリング処理でもきちんと含まれることが確かめられました。

20 スライド目に今年度及び来年度以降の予定を示しています。今年度の予定としては、まず過去の地震時のデータを再度解析を行って、今回、開発を行った自動クラスタリングの妥当性、あるいは測位精度について検証を進める予定です。それから、地殻変動量が非常に大きい場合に解が不安定になる課題がわかっていますので、その安定性についても調査研究を進めていきたいと考えています。

将来的には地震発生時に即時にリアルタイム解析を実施して、地殻変動データから震源断層モデルなどの情報を速やかに提供できるような仕組みが作れることを最終的な目標としています。ただ、こちらについては、原理的にはすぐできそうですが、実際に外部に出すとなると、それなりの信頼性というのが求められますので、そこは非常に難しい部分でもあります。そういったところの向上を挑戦していきたいと考えています。

続きまして学会発表・論文等の状況で 22 スライド目に示しています。学会発表については、今回、発表した内容に関しまして5件、論文については、主に国土地理院内の年報になりますが、8件まとめています。

最後にまとめと今後の取り組みということで 24 スライド目に示しています。GEONETは現在、測量や地殻変動監視の面で重要な社会インフラとなっています。今後、GPSから各国のGNSSへの対応や、特に災害時の迅速な地殻変動情報の提供が求められています。

それらの課題を踏まえて現在、3つの研究課題を進めていて、まず電子基準点のGPSの近代化については、GNSSアンテナによる影響がほとんどないことをこれまでに確認して、今後、新たな測位信号を用いた場合の影響について調査を行う予定です。それから、次世代GNSSを利用することによって測量分野での衛星測位の可能率、あとは測位精度の向上が十分期待できることを確認しています。さらにリアルタイム解析については、解析戦略の見直しによって精度及び緊急地震速報を用いた自動起動化による時間短縮に取り組んでいまして、今後は過去の地震時の例を用いてさらに精度検証を進めていく予定です。

以上でご報告を終わります。ありがとうございました。

○委員長 どうもありがとうございました。

それでは、これに関しまして委員の方から質問、あるいは意見をどうぞ。

○委員 今のお話を伺っていて、ハードウェアの更新による高度化はわかるのですが、例

えばそれを解析するほう、ソフト関係の高度化が少し見えないのですが、例えばGNSS、新しく周波数が入ってくれば、当然線型結合も新しいのが出ますね。それによって長距離の基線が楽に解けるとか、いろいろ出てくると思うのですが、そうすると今、使っているベルニーズそのままでは解けないですね。ベルニーズに高度化してもらうか、ほかのソフトを入れるのか、自前で開発するのか、その辺の見込みはどうなっているのでしょうか。

○説明者 今回の資料には入っていないのですが、この研究とは別に平成 23 年度から 4 カ年の計画で次世代GNSSに対応した新たな解析ソフトウェアを作る新しいプロジェクトを立ち上げていて、その中でQZSSも含めてGNSSを解析できるソフトウェアの構築に関する研究を進めて参ります。

○委員 それは国土地理院独自で作るとのことですか。

○説明者 そうですね、外部の有識者の先生方や大学機関と協力して、オールジャパンで作っていかうというような、国土地理院がとりまとめになって作っていかうというような体勢で取り組んでいく予定です。

○委員長 ほかにはよろしいですか。

○委員 地震が起きたときのリアルタイム解析というのが重要だということは、今回の東北の地震でも非常に大きな成果が出ていて、東北大も出していて、非常に有効だということがわかったのですが、リアルタイムデータを幾ら現場で一所懸命取っていても、その途中、ネットワークがつぶればデータが来なくなりますね。それがまだネットワークに関しては確保されてないですね。それが確保されないと、いつまでたってももしものときにはデータが来ないおそれがあると少しこわくて使えないということがあるので、その辺もどうなんでしょうか。ネットワークまで含めてリアルタイムの利用というのは。

○説明者 実はこれとはまた別に電子基準点の通信の二重化を行ってまして、午前中も簡単に説明したのですが、ネットワークが普段つながらなくなってもパケット通信で取れるように行っています。電子基準点の受信機の中には 1 秒データが保存されていますので、後処理、リアルタイムではないのですが、パケット通信を用いて受信機の中にデータを取りにいて、そのデータを使って解析をすることが今できるところかなと考えています。

○委員 そうするとあとから取りにいけば、リアルタイム性はなくなりますね。

○説明者 そうですね。

○委員 一番ほしいところがあとになってしまうということになりませんか。行ってみたら、被災地というか、一番信号の大きいところが停電なり何かでデータが来なくなって、

そこはあとからということになるから、本当は一番シグナルが大きくてほしいところが結局リアルタイム間に合わないことになりかねないですか。

○説明者 確かにそれはあり得ますね。ただ、今回の地震のときでも、停電はすぐ起きたのですが、実際に通信回線が止まったのは、それよりも少しあとだったということもあります。地震後の観測データも 30 分ぐらいは取れる状態だったので、そういったデータを使ってきちんと解析することができれば、すべて全域が一瞬でデータが来なくなるというよりは、一部は来ないけれども、そのほかの生きている点のデータで解析をすることによって補完できるのかなというのは期待しています。

○委員 今のお話に関連して、二重化は FOMA なり 3G 携帯を使って、通常のケーブル以外にもやれるというのは 1 つあるわけですね。その場合でも結局基地局がつぶれるとだめになるわけですね。基準点が生きていればバッテリー駆動でも何とかして情報を送りたいというのが一番厳しい状況でも期待されると思うのですが、何かそういった方向については検討はされていますか。通信の確保で。

○説明者 今時点では、ついこの間、二重化したばかりというところもあって、それ以外の方法はまだ具体的にはないのですが、いただいたご意見を踏まえて考えてみたいと思います。

○委員 実は私の親しいのが 1 人内閣官房の参与になったのがいまして、非常時の通信に関して、例えば自衛隊の無線を使ってインターネットの L3 に結びつけるとか、それから、あと気球みたいなものを仮の基地局にして何とか通信するとか、これは研究レベルですが、何かそういった研究もあって、その参与になった人から、そういうので研究がないかと聞かれたので、私も大分調べて、こういうことを研究している人がどこの大学にいるというリストを送ったりしたのですが、いざというときは意外と知られてないといえますか、それであと実際やろうとしても、制度が結構逆に妨げになるのですね。特に通信は非常に法的にしばられていますので。ですから、それをある面、超法規的に判断するとかというようなことも必要になってきたりするようですが、せっかく国土地理院のこういう情報は貴重ですから、そういったときでも何とか活かせるような工夫をぜひ期待したいと思います。

○説明者 はい、ありがとうございます。

○委員 内閣なり、お役所なりのそういった面のリーダーシップがしっかりしていれば多分できないことはないと思うのですね。今回、非常に政府の対応が悪いというのは一般的

な話になっていて、なかなかうまくいかないわけですが、被災している国民の立場からすると、本当に通信したいときに通信がだめになっているというので、やはり私もいろいろ情報が入ったので、そういったところも少し、これは研究というよりは、そういったもののある種の調査なり、逆にリクワイアメントの抽出みたいになるかと思うのですが、そういったこともぜひされておくとうろしいのではないかと思います。

○説明者 わかりました。一応、通信で補足させていただきますと、離島などでは衛星携帯を使ってデータを取得する仕組みもございます。全点にそれをつけるというのはなかなか難しいと思うのですが。

○委員 ケース・バイ・ケースになってしまうと思うのです。ケース・バイ・ケースをすべてやるのは不可能でしょうから、ある面、サンプル的にでも結構だと思うので、可能性を少し追求しておく、いざというときに意外と助かる場面があり得るのではないかと思います。

○説明者 はい、わかりました。ありがとうございます。

○委員 今、JAXAが準天頂衛星1基だけを打ち上げられて、それがどう役に立つか検証してほしいというところ、いろいろ声をかけておられますが、国土地理院としてそれに対して何かやっておられるのか。やっておられるとしたらどんなことをやっておられるのかをお聞かせいただきたいのですが。

○説明者 国土地理院でもJAXAと一緒に取り組んでいるところがございまして、もともと補強の信号の開発を行っていたのですが、今、ご指摘があった補完、GPSの1つとして使ったときにどうかといった精度評価もしようということで、実際に一緒に観測を行っています。国土地理院が持っている基線場でQZSSを取れる受信機を設置して、GPSとQZSSを組み合わせで解析したときにどれぐらい精度が向上するのかといったような研究というか、一緒に解析を行って調査を行うというようなところでは連携をしています。

○委員 ではまさにやっておられるところだと解釈していいわけですね。

○説明者 そうです。

○委員長 ほかにありませんか。