

(1) 特別研究課題「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」終了時評価【審議】

○委員長 それでは議事の1番目に移ります。先ほど申し上げました特別研究課題「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」終了時評価について、それでは最初に、国土地理院宇宙測地研究室の小林室長から説明をお願いいたします。よろしくお願いいたします。

○発表者 よろしくをお願いいたします。宇宙測地研究室の小林から御説明させていただきます。

お手元の資料1－3、前のスライドのほうにも映しておりますが、この資料を用いまして説明させていただきます。

本研究は、「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」と題しまして、令和2年度から令和6年度までの5年間の研究で取り組んできたものでございます。2年前に中間評価をこの場でもさせていただきました。本資料は、中間評価の資料も含めて、全体の成果概要の説明という流れで説明したいと思います。既に説明した内容につきましては、できるだけ簡潔に説明をして、中間評価以降の成果に軸足を置きながら御紹介をさせていただきたいと思っております。

まず初めに、本研究について、その概要、背景について説明させていただきます。

近年、国土の位置を測る技術や環境に大きな変化がございます。従来、日本の国土の位置は、緯度、経度等の決まった位置情報を持つ基準点からの相対関係で決定してきた背景があります。近年、基準点を経由せずに直接緯度、経度等の位置情報を誰もがいつでもどこでも取得可能となるような社会が到来しつつあります。

しかしながら、このことは、誰もが共通の位置情報を正確に享受できるということを実は保障するものではございません。それは日本には固有の問題があるためです。それが地殻変動となります。日本は複数のプレートに囲まれて常に陸地が変形しております。10年もすれば数十cmを超える位置のずれが発生いたしますし、また、大きな地震の際には、mオーダーで複雑に大地が変形して、位置のずれというものが発生いたします。

こうした地殻変動は、本来不変の位置情報と実際の位置に不整合を生むことになります。基本的にある地点での位置情報は不変です。例えば基準点は固有の位置座標を持って、地図はその位置情報を基につくられるわけです。しかしながら、地殻変動が進行し、実際の

位置は時々刻々と変化をしてきます。

こうした状況は、例えば測位した位置座標を地図に載せる場合に問題が生じることになります。例えば地殻変動によって、測る時期によって、位置が変化することになり、その測った位置を地図上に載せても、測った時期により、場所がずれて表示されてしまいます。しかしながら、この場合、ずれた分を計測できていれば、その分を補正することによって、正しい位置にプロットが可能となりますし、さらにこれを毎日計測してモデル化できれば、簡単に任意の時点から位置情報を取得可能となります。さらにこのモデルが空間上至るところにあれば、任意の地点の位置情報にたどり着けるということになります。すなわち、こうした正確な補正が正しい位置情報へのアクセスを可能として、高精度な測位社会を支える基盤となると考えます。

こうした位置情報の管理を支える補正量の把握には、位置の時間、そして空間、両方の変化の詳細な計測が不可欠となってきます。このような背景の下、本研究では、以下の3本柱の研究開発を設定いたしまして、現在の位置情報管理の高度化を図ることを目指しました。

具体的には、研究提案時に、ここに示しますように、GNSS、SARなどの各宇宙測地技術の開発、高度化を、左下に示すような数値目標も含めて設定させていただきました。本日は、このような目標の下、進めてきた研究の成果の概要について、簡単にではありますが、説明をさせていただきます。

それではまず1つ目に、定常時に関する研究成果について御紹介いたします。

現在、地理院では、電子基準点を用いて、経年的な変化分を計測して、それを空間的に内挿補間することで、その地面の動きの補正量を取得し、元の位置情報に変換するという仕組みを整備しております。しかしながら、いつでも高精度の位置を得られる時代においては、補正量の更新頻度等にまだ課題が残されておりますし、どこでも位置を得られる時代においては、局所変動に必ずしも対応し切れていないという課題がございます。そこで、本研究では、任意の時点から位置情報にアクセスできる時間モデルの構築、それを基にして、任意の地点の位置情報にアクセスする空間モデルの構築を実施いたしました。現在のモデルをさらに高度化させた定常時地表変動モデルの構築を目指した研究の取組となります。

研究期間の前半におきましては、任意の時点の位置座標に変換することを目指して、電子基準点の座標時系列の時間方向のモデル化を実施したところです。既に中間評価で報告

させていただきましたので、今日の資料においては1枚で説明させていただいておりますが、安定したモデル化を実現するために、樹木の影響軽減等の技術をはじめとした要素技術、様々な要素技術を左側に書いておりますが、開発いたしまして、それら、要素技術を適用することで、全国の電子基準点におけるフィッティングの精度というものを大きく向上する成果を得ているところでございます。

この時間方向のモデル化に引き続きまして、任意の地点における位置変化計測の高度化をさらに後半では実施したところです。現在の仕組みでは、空間のモデル化はクリギング法と呼ばれる内挿補間手法を利用しております。基本的には従来法でも大きな問題はありませんが、従来法の短所として、観測値の持つ誤差を十分反映し切れていないという課題がございました。そこで、誤差を反映可能な、より信頼性の高い手法として、重み付きクリギングという手法を開発して、その適用を試みたところです。

このスライドにおきましては、電子基準点、千葉花見川、これは東京湾の奥にある電子基準点であります。千葉花見川を含む計算例をここに示しております。左下に示しますように、この点は樹木の影響で、2020年から数年間、10cm近い見かけの隆起を誤差として含む異常点となっております。これに対して従来法を適用すると、右上にありますように、見かけの局所変動が誤差として出現してしまいますが、新手法を適用することによって、この見かけの変動を有意に低減して、妥当なモデル化が可能となっているところでございます。こうした新手法の開発によって、異常値に対する堅牢性を向上させる手法開発に取り組んだと認識しているところでございます。

こうした時間モデル、そして空間モデルを全国の電子基準点、1300点余りに適用いたしまして、直近約20年間の定常時地表変動モデルをプロトタイプとして構築いたしました。今回の研究で開発した要素技術等を含めた構築のための解析フローを左側に示しておりますが、この研究を通じて、複雑なフローもこのように系統的に整備したところでございます。いずれにしても、本技術を通しまして、4次元で位置情報を管理するための基盤モデルというものを構築する効果を得たところでございます。

また、これは中間評価でも少し触れさせていただきましたが、東北地震後のように、早く大規模に進行する余効変動に対しても、正確な位置座標補正が可能になっております。大規模地震に強い位置情報管理が高度化されたということで、タイトルにございますように、災害に強い基盤の確立に貢献する技術開発ができたのではないかというふうに認識しているところでございます。

また、この定常時地表変動モデルの高分解能化には、そもそも観測データの高分解能化も必要となってきます。

そこで、本研究の取組では、観測技術の開発も実施したところでございます。その一つが、小型のGNSS観測装置の開発です。小型装置で多点観測することで、空間分解能の向上を目指して、房総半島において精度検証を含めて試験観測を実施したところでございます。ある程度、多点観測でありますので、結果は自明なところがありますけれども、左のスライドにお示ししますように、定常時地表変動モデルの高分解能化を実現しております。

また、本機器開発におきましては、研究期間中に幾つかの想定外の成果も得られているところでございます。それを右側に示しておりますが、1つは、昨年2月の房総半島沖のゆっくりすべりの検出、そして、能登半島地震の余効変動の検出であります。特に能登半島地震におきましては、地震発生直後にGNSS観測ができていなかった、非常に隆起の大きかった半島西部におきまして観測点を展開することに成功しております。初期の余効変動検出に貢献したという成果を得られているところで、小型による可搬性能を遺憾なく発揮できた事例かと認識しております。こうした成果におきましては、研究の途中ではございませうけれども、地震調査委員会等で地震活動評価にも活用していただいたところでございます。

本研究開発、小型の観測装置の開発でございますが、ここで得られた技術や知見は、今年度から開始いたしました新しい特別研究課題でもさらに発展させて開発を進めていく予定となっております。

これに加えまして、観測データの高分解能化を進めるために、SARの面的データによる空間分解能の向上も取組として行いました。具体的には、SARの干渉SAR時系列解析技術を高度化させて、左図に示しますように、国土全域を数十mの分解能で観測することを実現しております。本技術、そしてツールは、既に事業でも活用されておまして、幾つかの波及効果も得られているところでございます。右側にお示ししておりますが、1つは火山の活動評価、既に標準的ツールに成長しております。また、SARを測量の分野でも使おうということを狙いまして、その促進を図るために、測量マニュアルを策定するという活動も行いました。こうした事業での実際の活用にもつながる技術開発の成果となっているものでございます。

次に、災害時に関する研究成果について御紹介いたします。これについては中間評価で既に成果を御説明させていただいておりますので、ここでは簡単に御説明をさせていただきます。

きます。

地震時につきましては、位置情報管理として別の仕組みが整備されております。地震によって大きな変動が発生した場合には、位置情報そのものを更新することをしております。そして、この更新自体は、実際にずれの量を測る、実測による改測と呼ばれるもの、もしくはパラメータを使った計算によって情報を更新していく改算と呼ばれる、この2つのパターンを使うのですが、しかしながら、ここにも幾つかの課題が存在しておりました。その一つが、迅速性の問題でありまして、標石基準点におきまして実際に測るということは非常に労力のかかるものでありまして、時間がかかるという課題がございました。熊本地震の場合には約5か月かかっております。

また、基準点の間隔は、より狭い領域で起こる局所変動、これは特に内陸の大規模地震の場合には、局所変動は大きな問題になってきますが、それに対応するための空間分解能が不足していたという課題がございました。そこで、本研究におきましては、衛星によるリモート観測によって地表変動を迅速に計測すること、そして、面的な3成分計測によって空間分解能を向上するということを目標に研究を進めてきたところでございます。その目的達成のために、本研究では、干渉SARを用いて、地震時の位置情報管理の向上を目指したところでございます。

干渉SARは、御存じのように、高い解像度を持つ計測技術ではございます。しかしながら、変位の計測精度は、衛星と地上を結ぶ斜め方向の1成分という短所がありまして、このままでは位置情報管理に適さない技術でありました。そこで、本研究では、干渉SARを多方向の観測で実施することで、3成分計測を実現し、面的にその位置のずれを測るという技術の開発・高度化を実施したところでございます。

この研究の取組におきましては、特に熊本地震において、その技術を適用して検証いたしました。その検証の結果、災害時の位置情報管理の高度化につながる成果となったものと認識しております。具体的には、中間評価で御報告させていただいたとおり、SARによる面的な変動計測によって、まず補正パラメータの提供範囲を大幅に拡大する、そういったポテンシャルを持つ技術となっていること、そして、補正量の提供までの時間短縮も可能とする効果につながる、こういった技術開発だったと認識しております。

以上のようにSAR 3次元解析の成果と効果をまとめますと、左側の表のようになっておりますが、位置情報管理の迅速性、空間分解能の向上に大きく貢献する成果となっております。

また、本研究におきましては、M6クラスの中規模の地震時の位置情報管理、これはなかなか今まで対応が大変だった、困難だった対象、イベントでもございますが、そういったものも対象にしながら、位置情報管理ができる、そういった効果を期待できる技術開発となっております。

最後に、高さ、標高の管理に関する取組でございます。高さに関しては、特殊な仕組みで位置が成立しております。標高は平均海面に相当するジオイドと呼ばれる基準から地表までの距離で定義いたします。それゆえ、標高の位置情報管理には、その基盤として使われるジオイド・モデルの管理が必要となってきます。一般的にジオイドというのは、時間的にも空間的にも非常に安定しておりまして、固定、変わらない、変化をしないということで扱われるのが一般的なのですが、しかしながら、cmスケール、mmスケールを対象に出しますと、地震や気候変動などで変化し得るということも知られております。しかしながら、そういった時空間変動を監視する環境が今まで地理院の中に整備されていないという課題がございました。そこで、標高の基準となるジオイドの定常時、そして、災害時の時空間変化を把握する技術を開発するということを研究の取組といたしたところでございます。

本研究の成果の一つは、地震時に伴うジオイド変化の推定機能の開発となります。これは中間評価でも御説明させていただきましたが、それ以降、さらに粘弾性緩和によるジオイド変化の推定機能も含め、高度化を進めてきたところです。こうした機能は、地理院では初の整備となります。地震発生直後に断層モデルを用いまして、こうしたジオイド変化を直営で推定可能となるようになりました。このことは災害時の対応という観点からいたしますと、すぐに国土地理院の中でこうした推定を可能とするものになりまして、災害時の対応の迅速性の向上というものにつながる開発になると考えているところでございます。

また、右側に、想定される南海トラフ地震を対象としたジオイド変化の計算量を示しておりますが、今後、日本周辺で想定される巨大地震の事前シミュレーションへの活用等も期待されるところでございます。

さらに定常時における経年的な変化を監視するための機能開発も進めてきたところでございます。中間評価以降の成果といたしましては、後氷期回復等のジオイド変化に影響を及ぼす複数の要因について推定する機能を開発して、その分析も進めております。細かなところはスライド49から53に書いておりますが、いずれにしましても、本機能も地理院で

初めて整備されるものでございます。この開発によって、中長期的なジオイドの時間変化をmm精度で監視可能になりまして、ジオイドの監視、そして、将来的なジオイド改定の検討というものに使うことができる環境が整備されたということになります。

また、本開発は、従来の固定されたジオイド面、ジオイドは変化しないという世界から、動的な基準面、基準面が変わり得るという世界に拡張できるということも意味しております。高さの基準の時間変動も加味した4次元の位置情報管理を行うという、さらに高度な位置情報管理基盤をこの開発によって構築するに至ったというふうに認識しているところでございます。

最後に、本研究の3つの柱となる開発を通しまして、現行の仕組みも踏まえて、このような4次元の位置座標の管理の仕組みを提案できるのではないかと考えているところでございます。

まず、定常時におきましては、ある観測者が位置を測った場合、地殻変動等の影響で位置座標からずれを補正してあげて、成果と呼ばれる位置情報に到達、変換が可能となります。また、連続的なモデル化をしておりますので、任意の時点の位置にも変換が可能となります。また、大きな地震が起きて、位置に不連続なずれが生じた場合、災害時モデルを用いまして、位置情報を更新することが可能になります。また、地震後の余効変動等は、再び定常時モデルとしてモデル化され、任意の時点の位置に変換が可能となります。また、こうした位置情報をジオイド・モデルを介して標高に換算できることになります。したがって、これらによって、標高体系も含めて、高精度測位社会に対応できる4次元の位置の管理が実現すると考えているところでございます。

しかしながら、これは非常に理想的な世界でありまして、実際にこれを任意の時点へ変換するということは非常に複雑になってきます。例えばスライドでお示しさせていただきますが、基本形は右上のように、ある時点の位置を測り、そして、ユーザーがある任意の時点に変換したい場合には、地表変動分を加減算してあげて、補正をしてあげれば、位置情報は変換できます。また、基準点などの決まった位置情報にたどり着くためには、地殻変動で動いた分、そして、ここは調整パラメータが必要なのですけれども、いずれにしても調整パラメータは固定なので、その加減算で十分その成果にたどり着くことができます。

しかしながら、実際にはこのような単純なことにはなっていません。というのも、実際には既存の仕組みもございます。いろいろな複雑なパターンで蓄積してきたパラメータがございますので、そういったものを加味しながら変換していく必要があります。

前のスライドで示していますが、東北地震の後から東北地震の前の位置座標に変換する事例を示したものでございますが、これは例えば東北地震の後の位置座標から前に移るためには、まず地震後の地表変動分を補正してあげます。そして次に、調整項を1つかませてあげます。さらに位置情報が更新されておりますので、ほぼ地殻変動ですけれども、その分を補正してあげます。さらに、地震前の世界での調整項を1つかませてあげて、さらにその任意の時点へ向けて地表変動としてずれた分を補正してあげるといような経路をたどる必要がございます。このように日、場所によって、位置座標の変換というのは非常に多岐にわたります。

それをスライドの55から56に幾つかのパターンを示しております。西日本の場合、北海道の場合、また、熊本地震のように内陸で大きな地震があった場合、幾つかパターンがございます。それぞれに対して、それぞれの変換方法があります。非常に複雑になっております。そこで、本研究では、こうした複雑な変換を機械的に実施可能とするための定式化を行いました。具体的にはここに示しますA、B、C、Dのような変換式をそれぞれのパターンにつきまして定式化いたしまして、これによって統合的な処理、機械的な処理が可能となっております。

本研究では、最後に、定式化されたものを使いまして、新たな位置情報変換のためのソフトをプロトタイプ版として開発を試みたところです。

そこで、最後に、地表変動モデルの構築の流れと、これを用いた位置情報変換ツールについて概観して、本研究開発成果をまとめさせていただきます。

まず、4次元の位置情報管理のためには時間モデルを作成いたします。ここに幾つかの要素技術をかませて時間モデルを作成いたします。これをまずデータベース化します。本研究では、このデータベース化されたものをさらに分析するというソフトウェアもこのように開発しております。いずれにしても、時間モデルを用いて、今度は空間モデルをつくります。これは実際につくった日本列島の空間モデルでございます。これによって、定常時において、4次元での位置情報の管理が可能となります。これに加えて、地震が発生したときのために、災害時地表変動モデルをかませる、もしくは既存の変換パラメータをかませるということで、これで完全な4次元の位置情報管理が可能となります。そのためのソフトウェアを開発したところでございます。

これは任意エポック座標表示サイトと仮名でつけさせていただいておりますが、こうしたものをつくっておりますが、ちょっとその動作の様子を前でお示ししますと、これは例

例えば2010年1月1日から2020年の10年後の位置変化を計算するものでございます。標高、楕円体高等をユーザーが選べまして、ここに任意の位置を指定しますと、計算を開始することができます。そうすると、変換後の位置座標、そして補正量が出てくるようになります。この事例では、東北の宮城県の事例でございますけれども、間に東北地震を挟んでおります。2010年の位置、ここでは赤丸で示しております。2020年、10年後、青丸で示しておりますが、このように補正量が計算できることとなります。この例では、東北地震において、右下にお示ししておりますが、道路をまたぐような変動が見られます。このように日本の国土においては、地図においても分かるような位置の変化が起き得ることとなります。共通の位置情報を享受するには、こうした変動の補正が極めて重要と分かる一つの事例かと思っておりますけれども、このソフト、サイトを使いますと、複雑な変換処理をユーザー側は意識することなく、補正が可能となっております。本研究で得られた幾つかの開発は、補正の高度化に貢献していくものと認識しているところでございます。

最後に、本研究成果の達成度等をまとめ、分析をさせていただきます。

中間評価におきましては、委員の先生方から、これは一部抜粋しておりますが、研究終了時までの取組への期待、御指摘をいただいていたところでございます。これに対して、中間評価以降、それぞれ対応、そして波及効果がございました。それを右側に示しておりますが、いただいた意見の中には、技術開発の中で、例えばジオイドのモニタリングの進捗を期待したいという御意見をいただいております。これについては、先ほど御説明いたしましたとおり、経年的な変化を計算できる機能等を開発したところでございます。

また、こうした研究成果を、業務の中でどのような形で溶け込ませていくか、そういった御指摘もいただきました。これにつきましては、例えば最後にお示しましたようなサイトを作成いたしまして、業務でも使えるような形につくり上げているところでございます。

また、途中、開発した成果、ツールは、それぞれ実際の事業で使う段階のものであるというふうに判断したものは、事業のほうに下ろして使っていただいているところでございます。

また、社会の中でこういった研究成果をどのようにアウトプットしていくかというような御期待の声もいただいております。先ほど幾つか例をここでお示しておりますが、1つの例としては干渉SARのところで説明したように、測量の世界でもこの研究成果が使えるように、測量成果のマニュアルが策定されるというような波及効果につながる研究成果

になっているかと考えております。

また、こうした成果を広く世界にアピールすることも期待されておりました。これにつきましては、国際誌、そして、国際学会等でその成果を発表することで、御期待に応えた具体的な取組をしてきた次第でございます。

最後に、研究提案時において、各技術について、こうした開発内容を計画しておりましたけれども、各技術開発、ほぼ予定どおり着手して終了しているところでございます。

また、本研究開発を通じて、3本柱を含め、それぞれ以下のような成果、そして、代表的な効果を得たところであります。また、数値目標に対しても達成しているというふうに認識しているところでございます。

研究成果の公表でございますが、ここに示しますように、発表論文等を含めて成果を出しているところです。詳しくは資料1－2を御覧ください。

最後に、本研究成果と今後の地理院の施策の関係について述べて、本説明を終えさせていただきます。

左側のほうに示しますように、今年度、4月1日付で、今後10年間で国土地理院が目指すべき施策として、基本測量に関する長期計画というものを公表しております。この中で、4次元の国家座標のアクセスを向上させるということなどが施策の目標になっておりまして、それを支える技術開発も進めるというようなことをうたっております。この課題の評価の次に、研究開発基本計画の評価もさせていただくところでございますが、そのフォローオンの計画も今年度の4月から始まっております。研究開発計画と題しておりますが、その中でも4次元の国家座標を維持管理するための技術開発をするとうたっております。この研究は、今年度で終わる予定ではありますが、引き続き、こうした目標の下、開発を進めていくところでございます。そして、こうした技術の整備、開発を通して、地理院内での施策に反映させて、それが延いては高精度測位社会を支えるものであるとか、G空間社会の実現に裨益していくものと我々は考えているところでございます。

簡単ではございますが、説明を以上とさせていただきます。

○委員長 ありがとうございます。それでは、ただいまの説明について、測地分科会の主査から補足説明等ございましたらよろしく申し上げます。

○委員1 今御説明いただいた内容を測地分科会のほうでも事前に審議させていただきまして、十分に目標を達成できたのではないかと、大変すばらしい成果が上がっているというような意見を委員の皆様からいただいているところでございます。

私からは以上になります。

○委員長 それでは、委員の皆様から御質問や御意見、よろしくお願いいたします。

私のほうから、ちょっと初歩的な質問で申し訳ないのですが、先ほど地理院地図の中に点の移動を示すということが出てきたのですが、これは同じ緯度経度の座標を持った点がこの位置に移動するというのを図に表すとうなるという話になるのでしょうか。実際には地殻変動があっても、上物は全部一緒に動くので、点としては地理院地図上というか、地図上では移動しないと思うのですけど。

○発表者 そうです。ある地点を指定したときに、分かりやすいのは地殻変動によってこれだけ動いたというふうに理解していただくと。

○委員長 そのあたりの説明というか、これをどういうふうに使っていくかというところで、よく分かっている人はこれを理解できると思うのですが、素人的にはちょっと不思議な感じがしてしまうところがあるので、これを使う人は専門家しかいないと思うのですが、そのあたりが分かるように説明していただければと思います。

ほかにございますでしょうか。

○委員2 御説明、どうもありがとうございました。非常に興味深い、素晴らしい研究成果を上げていらっしゃるって、非常に強く感銘いたしました。

1点目の質問としては、この御研究の成果はものすごく多大な御研究成果を上げられているので、逆に、次の段階としてはどういうふうにこの研究成果を発展させられるのかなというのが関心を持ちました。スライド14のところで、一部の研究成果につきましてはもう始まっていらっしゃる特別研究で活用されているという御発言があったかと思いますが、そこについてお聞かせいただけたらと思います。

2点目につきましては、私の個人的な関心でもございますが、スライド12のところで、クリギング法が使われていて、新規開発として、重み付きのクリギングをされているということをお聞かせいただいたかと思います。その特性のところで、観測値の誤差情報ですが、重み付きに使われているということですが、誤差情報はどういうふうに取得されているのか、把握されているのか、そこについて、多分お時間の関係で少し簡単にお話しされました。時間の関係だと思いますが、もしよろしければお聞かせください。

○発表者 御質問ありがとうございます。

まず、1点目の今後のところでありますけれども、幾つかの観点があるかと思います。まず、技術開発側でいきますと、完成度には粒度がありまして、まだ伸ばせるところがあ

ります。例えば地表変動モデルに関しましては、特に災害時はある程度実用に近いものかと思うのですが、定常時のほうは、例えば、ちょうどここも異常点と言われるところですが、実はデータがどんどん実際の値から外れていく理由というのが、本当に地面が動いている場合なのか、実際のところは樹木の影響なのだと思いますが、判定する技術というのはなかなか難しいところがあります。今回の開発の中で、中間評価のところでは成果の一つとして説明させていただきましたけれども、PPPの誤差情報を使って、ある程度、樹木の影響を判断できる指標になるのではないかとすることは研究成果の一つとしてあったのですが、実際にこれを運用していこうとするときには、すぐに判断できるかというようなところも問題になってきます。ですので、そういったところに関して、どこまで技術側が今後開発できるのかというところはまだあるかと思います。

また、もう一つ申し上げますと、例えば昨年、ALOS-4という衛星が上がりました。今回の研究の提案時には、ALOS-4は2020年の打ち上げということで、ALOS-4を活用して、地表変動モデル、モデル化を高度化しようということを狙っていたのですが、衛星の打ち上げの延期もございまして、昨年打ち上がったばかりだということで、残念ながら、この研究の中では取り組めなかったところがあります。ですので、これから新しいデータが、地表変動を計測するときに精度を高めることが期待されるデータになってきますので、これを実際に使ってどこまで変動モデル、モデル化を高度化できるのかというところは、技術側としてはまだまだ開発する要素はあるかと思っております。そういったところを技術的なところで開発を進めていくということをしていきたいと考えております。

2点目の重み付きグリッキングですが、実際、重みは我々も非常に悩んだところなのですが、1つは、先ほどPPPの誤差情報、ばらつきですね、そこを1つ指標に使おうということで、ここでは試しにそれを使っております。ある程度そこで適用効果が見られたので、まずそこを使ってみています。あとは実際にフィッティングモデルの残差を使うとか、いろいろ試行はしておりますので、ここはもう少し高度化の余地はあるかなと考えているところであります。

○委員2 特に災害時にはこうした研究が一番基盤になる情報を提供されているので、こうした情報を基に、ほかの省庁ないしは民間の方々が復旧復興支援に向かわれると思いますので、ぜひ研究を御継続いただけたらと思います。どうもありがとうございました。

○委員3 発表、ありがとうございました。

2点あります。14ページと25ページですが、まず25ページから。このダイナミッ

ク・ジオイド・モデルの分解能、時間的な例えばインターバル、どれぐらいの間隔で、どれぐらいの精度で計測ができるのかというのを、どこかで説明があったらすみません、改めてお聞かせいただけますか。

○発表者 モデル化につきましてはいろいろな種類のデータを同化しておりまして、モデル化をした中で時間分解能がある程度決まるというところもございます。その点に関して解析者の松尾から少し補足があります。

○松尾主任研究官 まず、時間分解能は1か月で計算していて、空間分解能は100kmで計算しております。精度については十分に評価し切れていないところがあるんですけども、少なくとも0.1mm/年ぐらいは正しいです。衛星データとの比較で検証していて、それぐらいでは合っておりますが、精度評価についてはまだ十分に切れてないところはございます。

○委員3 当然それは今後改善していくことになるんですよ。

○松尾主任研究官 そうですね。それは一般研究というカテゴリーがあって、そこでもっと深く見ていきたいと思っています。

○委員3 分かりました。それについて、ダイナミック・ジオイド・モデルで非常に興味があるのが、学術的な興味なのですけども、そういうジオイドをそういうインターバルで分解能で計測できるようになると、学術的にも大きな展望があると思われます。どういったものが考えられるのかをお聞かせください。

○松尾主任研究官 1つは光格子時計でポテンシャル計測というものがあまして、それは高さ変化を超高性能な時計で計測するという技術が今できつつあるのですけれども、その中で、計測されたポテンシャル変化の解釈にこのモデルが活用することができるので、それは新しい科学への応用の一つかなと思っています。

○委員3 分かりました。

14ページなのですが、技術的な関心があります。なぜRaspberry Piに決めたのか。それと、Raspberry Piを使うにあたり別の小型PCを検討されたのでしょうか。

○発表者 御質問ありがとうございます。

実はRaspberry Piを使うのは、測位をするというだけを考えて若干オーバースペックなところがありまして、実は受信機のほうである程度測位をすることは可能でありまして、それだけで閉じることは可能なのです。ただ、Raspberry Piを使うと、それ以上の拡張の可能性があって、ちょっと今回の研究ではそこにとどまっておりますけれども、今度、下

のところに、今年度から始まった新規特別研究とありますけれども、これに実は新たに加速度計、MEMS加速度計をつけて、もう少し付加価値をつけた測地観測装置をつくらうとしています。そうした拡張性を考えたときには、我々もプロではありませんけれども、Raspberry Piのようなものを基盤にして展開していったほうが、まだ開発はしやすいのではないかというふうに考えておまして、これをベースにしてまずは進めてみようということで、どうしても問題が生じたときには、ほかのところを考えていこうかと考えております。

○委員3 安定性は全く問題ないんでしょうね。ここで使っているということは。

○発表者 現状ではそうです。

○委員3 気温と湿度等の条件にも。

○発表者 夏場、房総半島のところでずっと置いて、夏、70℃とかなっていましたがけれども、それでも一回も止まらずに動いていましたので。

○委員3 さすが。ちなみにコンピューター言語は何を使ってプログラミングをしているんでしょう。

○発表者 我々はLinux系統を使っております。

○委員3 Linuxの何を使っているんだろう。

○発表者 基本的にはシェルで既存のものを組んで動かしています。

○委員3 それをネットでつないで、遠隔でインストールして整理しているのかしら。

○発表者 インストールはリモートでやる場合もありますし、リモートではない場合もありますけれども、運用はリモートで全て飛ばしてやっています。

○委員4 国土地理院しかできないような研究成果だなと思いながら拝聴しました。

2点あります。1つは確認なのですが、スライド27ページの位置座標の4次元の変換のところなのですが、成果停止中の期間の任意の日の値も、これは変換で出せるということですか。

○発表者 注記を書いてございますけれども、※で精度が悪いという注記をさせていただいているところが幾つかございます。これはスライド55とか56で幾つかの変換パターンがある中でもやっぱりそういうところがありまして、厳密に高精度にやろうとすると、そこは本来は排除すべきでありますけれども、その精度を我慢できるというユーザーに関しては、ある精度で一応計算できる、変換できるというところでございます。

○委員4 精度の問題があるとはいえ、余効変動の途中だと思うんですが、そこで

値が出せるのはなかなかすごいことだなと思いました。

あと、もう1点なのですが、今もちょっと話がありました、スライド14の小型GNSS観測装置です。能登のような災害時に投入されるというのは第一優先だと思うのですが、それ以外の平常時の運用みたいなルールがあれば教えてください。

○**発表者** 特段、現状では、技術開発、装置の開発の段階ですので、運用の整備は具体的にはない状況です。

○**委員5** 目標をほぼ達成されたように理解しました。

私、専門外なのでちょっと教えてほしいのですが、こういうことをやっている国は外国ではあるのですか。日本独自のものと考えていいのでしょうか。

○**発表者** やはり幾つか位置が動くというところがありますので、こういったことをやっているところはございます。4次元で動的な位置座標管理をするという点で言えば、オーストラリアはいち早くそれをやり始めたところで、2020年からそういった取組をしていますし、今は北米、カナダとアメリカ合衆国は、2022年から逐次新しい座標の基準系をつくっておりまして、それが2025年までに整備されるという目標になっています。ここは完全な4次元の動的な位置座標管理を目指しているところであります。

ただ、だからといってこの2か国が完全に進んでいるかというのは、評価の仕方によると思います。基本的に動的な管理というのは、剛体運動、プレートが全体的に動いて、何も中が変形しないでオイラー極だけで回転して動く、これだけで回転するだけで加減算だけで位置座標を変換できますので、シンプルな仕組みなのですね。ただ、日本の場合には、どうしてもプレートが押し寄せて、内部の変形が非常に激しい、空間不均質が激しいというところなので、今、我々は、完全に4次元の動的なところには行き着いていませんけれども、かなり複雑なことをしなくてはいけない。その中でも、セミ・ダイナミックという仕組みの中で、それをできるだけ補正しようとしている取組をしているものですので、そういったところを考えますと、日本は世界でもかなり進んだ国であるかなと思っております。

○**委員5** もう1点、これは上位目標としては、国家座標の高精度化ということにつながると思うのですが、時間軸が入ってくると、過去にさかのぼって使うということも想定されているのだろうと思うのですが、どのくらいまでさかのぼれるのか教えてください。

○**発表者** 現状では、今我々がつくった中では、東北地震を境にするところまでをつくっ

ております。もちろん、理屈上は、精度を抜きにすれば、標石の基準点だけの世界に戻れることは戻れるのですけれども、そのあたりはニーズ等の勘案で、今後、開発のニーズが出てくればというところかと思います。

○委員6 甚だ興味的な質問で、的外れかもしれないのですけれども、ジオイド・モデルで、ジオイドの変化を定量的に把握、監視する環境が未整備ということで、今回様々な研究をされてきたということなののですけれども、この技術、成果を具体的にどのように社会に還元していくのかという点において、具体性があまり見えなかったのですけれども、そこを御説明いただきたいというのが1つあります。

私の素人的な考えでは、例えばなののですけれども、25枚目のスライドでも、日本周辺のジオイドが最大約0.5mm、1年間でその速度で変化しているということで、非常に僅かな変化ではあると思うのですけれども、例えば航空機の高度というのは電波高度計とか気圧高度計等で飛行機と地上との高さを見ています。そこに安全に着陸するための新たな情報としてこの成果を活かせる道はあるのでしょうか。例えば国交省の管制塔等で求められている情報の中に、こういったジオイドのデータが貢献できるのかどうか、素人視点で恐縮ですが、これを一例に、どのように社会に役立つ情報として還元できるのか、その見解についても教えていただけるとありがたいです。

○発表者 御質問ありがとうございます。

まず、ジオイドの変化ですけれども、変化をするといっても、ここに示しますように、非常に小さなものですので、現状の実社会の中ですぐ問題が出てくるといふふうには我々は考えておりません。ただ、この研究の背景にありますように、高精度測位社会ということで、通常の人たち、研究者とか専門家の方でなくても、cmレベルのものが求められるような時代になってきましたので、そういったニーズに対して将来応えられ得る、その基盤を将来的につくるためバックキャスト的なアプローチでつくっておくというところに、この研究に関する基本的なコンセプトがあるのかなと思っております。ただ、時間がたと蓄積していった、場合によってはcmスケールで変わっていくこともあるかと思っておりますので、そういったときのためにしっかり迅速に対応できるというようなところを基盤整備したというふうに位置づけていただけると、御理解いただけるかなと思っております。

来年度、標高に関しては、標高の成果を改定するというを国土地理院では行います。幾つか効果とか狙いはあるのですけれども、その一つに、元期と呼ばれる標高の出発点ですね、時間管理の時間の出発点をつけようというのも一つの効果になっています。これは

今後、高さも時間管理をしていこうというときに、出発点が決まっていますので、非常に細かいことを知りたいユーザーの方々にとっては、時間をかけて動いた分、補正してあげることができるようになってきます。そういった社会になってきたときに、そういったユーザーの方々のために、こうしたジオイド、動的なジオイドが必要になった社会になったときには役に立っていくのではないかと考えております。

○委員長 そのほか、いかがでしょうか。

それでは、大体議論、コメントが出そろったようですので、議事(1)につきましては終了させていただきますと思います。