

(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」中間評価

○委員長 それでは、早速議事に移りたいと思います。議事の1番目、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」の中間評価になります。

国土地理院から御説明のほうをお願いいたします。

○発表者 本日は1つ目の課題について御説明をいたします。お手元にあります資料1-3を前の画面に映しながら、成果の進捗状況の概要を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6年度までの5年間で進める計画でございます。本年で3年目となります。

まず初めに、本研究の背景についてレビューをした後に各成果の概要について説明をさせていただきますという順番で進めていきます。

近年、国土の位置を測る技術や環境には大きな変化が出てきました。従来、国土の位置というのは位置情報、例えば緯度や経度などの決まった情報を持った基準点からの相対的な距離、相対的な位置関係で決められてきておりました。

一方、近年では、こうした基準点を經由せずに直接緯度、経度の位置情報を誰もがいつでもどこでも得られる、そういった時代になりつつあります。よくこれを高精度測位社会の到来と呼んでおりますけれども、最近では、こうした様々なアプローチで位置情報取得が可能になりつつあります。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ではありません。

それは、日本には固有の問題があるためです。それは地殻変動となります。日本は複数のプレートに囲まれて、常に陸地が変形をするという宿命にあります。10年も経過すれば数十cmを超えるような位置のずれが生じます。また、大きな地震の際にはメートルオーダーで地面が動いて、内部が複雑に変形するという宿命を持っております。

こうした地殻変動は位置情報と位置の不整合を生むということになります。左側に示しますように、基本的に位置情報というのは不変です。ここで位置情報という言葉の使い方はすけれども、ある地物が固有に持っている位置の経度であるとか、緯度であるとか、そ

ういう位置の情報を位置情報と定義して、この場では使わせていただきます。

この位置情報は、基本的には不変であります。例えば基準点は固有の位置情報を持っており、地図を作成する場合も位置情報を基に作られるわけです。こうして共通の位置情報に皆がアクセスできるわけでありますが、しかし、日本では、右側にありますように地殻変動が進行して、実際の位置は時々刻々変化をしていきます。こうした状況というのは、例えば測位した位置座標を地図に載せるという場合に問題が生じてきます。

地殻変動によって、測る時期によって、このように位置が変化することになり、測った位置を仮に地図上に載せても、測った時期によって場所がずれてしまうということが生じてしまいます。もしこの場合、ずれた分を計測できていれば、その分を補正して正しい位置の地図上にプロットができる、こういう仕組みができます。毎日位置を計測してモデル化してあげれば、簡便に任意の時点からの位置情報を取得できるという仕組みが成り立ち、さらに、このモデルが空間上至るところにあれば、いつでもどこでも位置情報にたどり着けるという仕組みが成り立ちます。つまり、こうした補正によって正しい位置情報にアクセスできる環境となり、これが高精度な測位社会を支える基盤となっていくと言えます。

こうした位置情報の管理を支える補正量の把握などには位置の変化、そして位置の基準の時空間変化を詳細に計測すること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本の柱、定常時及び災害時——主には地震時をターゲットにしていますが、災害時の位置情報管理に関する研究開発、そして、さらに高さの位置情報管理に関する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た研究でございまして、具体的には、研究提案時にこのようなGNSSやSAR等の宇宙測地技術の開発高度化を目標として掲げました。後にまた説明いたしますが、それぞれのテーマが持つ課題に対して以下のような数値目標も掲げてあります。本日は、このような技術的な目標の下で進めてきた研究の進捗について、その概要を御説明させていただきます。

まず初めに、定常時に関する研究成果についてです。

現在、地理院では、定常時において、このような位置情報の管理をしております。つまり動いた分を補正して、正しい位置情報に戻してあげるということです。この機能、システムを我々はPOS2JGDと呼んで皆様にサービスを提供しているところですが、電子基準点を用いて経年的な変化分を計測して、元の位置情報に変換するという仕組みをこのように整備しております。現在、補正量は、こうした電子基準点の日々の時系列データを使って、3か月ごとに5 km間隔の格子点上の情報としてパラメータを更新して提供していると

ころであります。

しかしながら、誰もがいつでも高精度の位置を得られる時代においては、この補正量の更新の頻度、そして計測の迅速性には課題がございました。また、どこでも位置を得られる時代においては、この5 km間隔という提供では局所変動に対応できないという課題も残されています。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のモデル、そして、それを基にした空間のモデルを構築し、現在の仕組み、POS2JGDをさらに高度化させる、本研究では定常時地表変動モデルと呼びますが、このモデルの構築を目指しているところであります。

研究期間の前半では、特に任意の時点の位置情報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てまいりました。その成果をここで少し御説明いたします。本開発では、こうした一次関数であるとか指数関数、log関数などの組み合わせを使ってモデル化するというのを試みているところです。一見簡単なフィッティングのように見えますけれども、これを全国1300局以上の電子基準点で20年以上にわたるデータを対象といたしますと、樹木の影響などモデル化しにくい要素というのが様々に入ってきて、安定的なモデルは簡単ではないということがあります。そこで、本研究では安定したモデル化を実現するために、下半分に示しますような個々の要素技術を開発してまいりました。ここでは、その代表的な2点について成果をお示しいたします。

まず、定常解析結果の誤差の低減処理機能を紹介させていただきます。この図では、灰色が定常解析解の日々の座標、つまり観測値です。黒色の実線がフィッティングモデル、そして下にある緑色が両者の残差を示します。フィッティングの良し悪し、この緑色のばらつきはピーク・トゥ・ピークで大体2 cmぐらいあることが分かります。このような背景の下、定常解析解のストラテジーの特徴を考慮しまして、つくば1に含まれる誤差、これが全国の局に共通に乗っかっているという可能性を考慮しまして、共通誤差を差し引くという技術を開発して実装してございます。その結果が右側の図になります。先ほど見た緑色のデータのフィッティングの質を示す指標ではありますが、この残差、ピーク・トゥ・ピークで約5 mm程度に落ち着いていることが分かります。この研究ですけれども、ここでさらに注目していただきたいのは、こういった残差を抑えることで、ちょうどここで2004年の釧路沖地震が発生しているのですけれども、この釧路沖地震の余効変動が非常にクリアに浮き出してくる、判読しやすくなったという成果も得られております。それを基にして、さらにこのモデルをフィットしますと、log関数を入れたほうが統計的によいという、さら

に進んだ結果にたどり着きまして、全体として非常によいばらつき、残差の小さいモデル化が可能になっております。これによって、高精度なモデル化が可能になる1つの要素技術を身につけたということになります。

これに加えて、モデル化の際の樹木の影響というのを低減させる技術も開発してきました。ここに示しますのは兵庫県の観測点であります。図の見方は先ほどと同じですが、注目していただきたいのは、途中ばらついている部分があります。信頼性に欠ける部分が途中の時系列にあります。これは実は樹木の影響で、このように下の写真にありますように、樹木が成長すると解がばらつくという性質があります。このデータに対して標準的にフィッティングを行いますと、信頼性のある2018年以降のフィッティングにもずれが見られます。それは信頼性のないところにもフィッティングしようとする結果ですけれども、これに対して、我々は今回の研究開発でPPPと言われる高精度単独測位法を少し応用した技術を開発しております。ここでは、この手法が樹木の影響に非常にセンシティブであるということから、その標準偏差、解の質が悪いところはモデルのフィッティングのところで重みを落としてあげる、そういうようなモデルフィッティングの技術を開発いたしまして、全体の時系列をモデル化するというを行いました。適用した結果が右の図にございますけれども、このように2018年以降の信頼できる時系列データのフィッティングがよくなって、全体のモデル化が高度化したという結果を得ております。

以上、今回開発した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残差というのを大きく向上する成果を得ております。こうした連続的な関数によるモデル化を高精度に実現することによって、今回は幾つかの効果も見られております。その1つは、大規模地震に強い位置情報管理が可能となるということです。右側の図に東北地震の際の女川の観測局のフィッティングの例を示してございますけれども、東北地震後のように早く大規模に進行する余効変動では、3か月ごとの補正情報では実際の位置との乖離が顕著となってきます。この場合だと10cmを超えるような現実の位置との乖離が出てきます。こうした中、連続的なモデル化の実現によって、現実との乖離を小さくするという成果を得ております。そしてまた、連続化することによって、1日ごとの位置情報管理が可能になります。任意の時点の位置情報の変換も可能になるという効果も得ているところでございます。さて、時間方向のモデル化に関する技術開発を受けまして、引き続き任意の地点での位置情報管理を可能にするための空間方向のモデル化手法の開発を進めているところであります。

空間方向のモデル化に向けまして、空間分解能の課題を克服するために現在観測手段の高度化を進めているところでございます。その観測手段の高度化の取り組んでいる1つに小型GNSS観測装置の開発がございまして、これは左上の図にあるものでございます。安価で小型の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、現在、房総半島に30点程度の観測点を展開している最中でございます。今後、このデータを使って試験観測を通じて空間分解能の高度化にチャレンジしていくことを予定しております。さらに、これに加えて、右側に示しますように、SARの面的データによって空間分解能の向上も目指しているところであります。この開発ではSAR時系列解析技術を高度化させて、図に示すように、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。この技術、ツールは既に事業でも利用されておまして、その成果が一般公開されるという波及効果も生んでいるところでございます。

次に、災害時に関する研究成果について御紹介をいたします。

災害時、特に地震時がターゲットですが、地震時においては、別の位置情報の管理の仕組みが整備されています。それは、地震によって大きな変動が生じた場合には位置情報そのもの、それ自体を変更するということです。これは、我々の世界では測量成果の改定と言いますけれども、こういった位置情報の更新の方法が2つございます。1つが、左上に示しますように、実際に変動量を計測する、実測をするということです。その実測した値を基にして位置情報を更新していくという仕組みです。一方、全てを測ることはできませんので、もう一つの方法としては、パラメータを作成して、そのパラメータによって位置情報を変換するということです。このパラメータは内挿処理によってモデル化してつくられるものです。右側に示しますのが、熊本地震で作られた座標改定パラメータの例となります。

しかしながら、この方法でございまして、特に標石基準点での実測に時間がかかるという課題があります。実際、熊本地震では、位置情報の更新に約5か月を要しております。また、実測は当然基準点の間隔に律速されますので、その間隔より狭い領域で起こる局所変動の内挿処理というのには限界があつて、適切な位置情報更新が困難になっているという状況もございまして、実際、熊本地震でも、ここに示しますように、断層近傍では要求精度を満たさないパラメータとなつてしまつて、そのパラメータを提供できなかった空白域がございまして、そこで本研究では、衛星によるリモート観測によって地表変動を計測し、迅速性を向上させること。そして、さらに解析の高度化で、高い精度で面的に3成分計測

を実現する、そして空間分解能を向上させるということを目的としてまいりました。これによって位置情報を更新するモデルを、今回我々は災害時地表変動モデルと呼びますが、その成果について御紹介いたします。

目的達成のために、本研究では合成開口レーダー、SARを用いて地震時の位置情報管理の向上を目指してきました。SARは高い空間分解能を持つ計測技術ではありますが、変位成分が衛星と地面の1方向のみの計測になってしまうというもので、基本的には位置情報管理には適さない技術であります。そこで本研究では、多方向の観測データを活用することで3成分の計測を面的に行う技術の開発・高度化を実施いたしました。その成果を熊本地震を通じて御紹介いたします。

ここに示しますのが、熊本地震における地殻変動をSARの3次元解析で捉えたものです。熊本地震の3成分をこのように面的に計測できる成果を得ておりますが、重要なポイントの1つは、まず空間分解能が約50mで3成分の計測を実現しているということです。これによって、断層近傍の複雑な局所変動も計測が可能になっております。また、本研究では計測精度の推定も定式化している点も成果の一つでありまして、その精度を算出すると上下成分、東西成分で約1cm、南北成分で約5cmの計測精度を実現しているということが確認できております。こうした高精度の3次元計測が可能になったことで、以下の効果が位置情報管理において出てくると考えているところです。

まず1つ目は、実際の成果改定量、位置情報の変換量と整合的な計測が実現されているということが確認されたことです。これはGNSS電子基準点での成果改定量と比較したのですが、残差の標準偏差を見ても数cmの差で収まっており、位置情報管理に必要な精度をおおむね確保していると考えられます。2つ目に、補正パラメータの提供範囲を拡大させることができるということです。熊本地震時にはここに示しますように、赤枠内の部分では空間内挿による推定値が要求精度を満たさずにパラメータが提供できなかった領域が存在しました。実はこの中には非常に多くの基準点が存在しています。この基準点に対して補正パラメータを提供できなかったということがあったわけですが、一方、ここに示す要求精度を満たすSARの結果、色がついている部分ですが、その結果は赤枠内においても計測できる領域が増えているということを意味しております。複雑な変動場においても、SARの直接観測量を補正量としてそのまま利用できることから、結果的に補正量の提供範囲を拡大させることにつながる可能性を意味しております。3つ目に、補正量の提供までの時間短縮も期待できるという点がございします。熊本地震の場合は地上観測に

よる改測などを経て、成果改定までに約5か月を要しております。一方、SARによる補正量は、当時の観測を考慮いたしますと地震後約2週間程度でこの出力が可能であります。つまり、このことは提供時間の大幅な短縮が期待できるということを意味していると我々は考えております。

SAR 3次元解析の成果と効果は以下のようにまとめられまして、空間分解能、そして時間分解能を向上することができたと我々は考えております。さらに、これに加えて、このたびの技術開発を通じて中規模地震時の位置情報管理の高度化にも貢献することができる、そういったポテンシャルを持っているのではないかと考えてもおります。右の図は2016年に起きたM6級の内陸地震時の変動です。このときには、実は電子基準点の羽合という観測局だけが位置情報を更新しております。しかしながら、実際に変動を継続してみますと、断層沿いでは10cm以上の変動がありまして、そこには多くの基準点があるということから、こうした技術が標準的に使えるようになると成果停止の検討、補正パラメータ作成の検討、そういったものに直接寄与するものと考えております。

最後に、高さの管理に関する研究について御紹介いたします。

高さ系というのは、少し特殊な仕組みで成り立っております。標高というのは、水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されるものです。それゆえ、標高の位置情報管理には基盤として使われるジオイドの管理が必要になってきます。実は一般的には、このジオイドというのは時空間変化は無い非常に安定したものとして扱われるのがほとんどであります。cmスケールのところまでターゲットに入れますと、地震や気候変動によって変化し得るということが知られております。しかしながら、その時空間変動を監視する環境が地理院の中では今まで整備されていないというのが問題でありました。そのため、本研究において技術開発をいたしたところです。本研究では、2つのターゲットを設定いたしまして、定常時の経年的な変化の算出機能を開発すること、そして地震時の瞬間的なジオイドの変化を算出する機能の開発というものに取り組んでまいりました。

その成果の一つが、ここに示すものであります。定常時における経年的な変化を監視するための機能です。本機能は、地理院では初めて整備したものであります。こうした重力衛星データを使って得られる結果、ここに一つ例が出ておりますが、この機能によって中長期的な時空間変化の長波長成分をミリ精度で監視することが可能になっております。今後、温暖化等で海水面が変動することが予想されますけれども、こうした変化を監視して

標高の管理に活用するということが期待されるということです。

これに加えて、地震時に伴うジオイド変化の推定機能も開発しております。この機能も地理院では初めて整備されたものとなります。これによって、地震発生直後に断層モデルを基にしたジオイド変化を迅速に推定可能となる環境が整備されたこととなります。また、本機能は今後想定される巨大地震の事前シミュレーションにも活用が期待される場所でもあります。右下に示しますのが、想定される南海トラフ地震のモデルを使ったときのジオイド変化の空間分布を示したものでありますが、四国のところで1 cm程度の変化が見てとれます。こうした結果はジオイド・モデルの改定の検討等に今後活用されるということが期待される場所でもあります。

最後に、本研究の3つの柱となる開発を通して、現行の仕組みも踏まえ、このような4次元の位置座標の管理の仕組みが提案できるのではないかと考えている場所でもあります。まず、定常時、観測者がいろいろな方法で測位をして位置情報を得ます。しかしながら、これは地殻変動の影響で位置情報からずれがありますので、このモデルを使って補正することで正しい位置情報に戻すことができます。こうして時間方向に連続的な位置のモデル化がされると、さらに任意の地点の位置情報にもたどり着きます。もし途中で地震が発生して位置に不連続なずれが生じた場合には災害モデルの変換パラメータを用いまして、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では再び定常時モデルとしてモデル化され、任意の時点の位置情報に変換が可能となります。さらに、ジオイド・モデルを使うことでそれぞれ標高にも変換できるという仕組みができて、これらによって、標高体系を含めた高精度な測位社会に対応できる4次元の位置情報の管理が実現していくものと期待される場所でもあります。

最後に、まとめをいたします。研究提案時において、このような各技術について提案させていただいている場所ですが、3年を経まして開発目標を達成した技術開発が半分以上を占めており、順調な進捗状況と我々は考えております。

次に、こうした個々の技術開発の進捗によって、当初設定した研究の3つの柱における開発も順調に進んで、残る大きな課題は定常時における空間方向のモデル化ということになります。来年度以降は、この課題について取り組む予定です。

こうした開発を通じて、それぞれ以下のような代表的な効果も生まれてきました。研究提案時に設定した迅速性、そして空間分解能における数値目標の一部も既に達成しているものと認識している場所でもあります。

以上のような研究開発を通じまして、以下のような成果の公表も進んでいる状況でございます。

こうした3年間の成果を受けまして、引き続き研究を残りの2年で進める予定であります。一番大きな課題は、定常時地表変動モデルの空間方向のモデル化作業です。これで任意の時点のみならず、任意の地点、場所での位置情報管理に資するモデルを構築できると考えております。引き続き技術開発を進めてまいりたいと考えているところです。

発表は以上です。

○委員長 発表ありがとうございました。

それでは、次に資料1-1の中間評価表につきまして、事務局から説明をお願いいたします。

○研究企画官 それでは、事務局から説明をさせていただきます。

資料1-1、中間評価表でございます。研究課題名は、先ほどから申しているとおり、「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」。

1番から、ページめくっていただいて9番までに関しましては、今の説明で入っておりますので、説明は省略させていただきます。

10番、中間評価時点における達成度の分析というところを要約して御紹介させていただきます。

必要性の観点からの分析というところでございますけれども、近年、高精度測位社会が発展する中、複雑で大規模な地殻変動が進行している我が国においては、共通の位置情報を享受できる仕組みと技術は必要不可欠であるという判断をしているところです。本研究で開発、高度化された技術に関しましては、これらの課題を解決するものでありまして、高精度測位社会において4次元の位置情報を適切に管理するために必要な技術であると判断をしているところであります。

2番目の効率性の観点からの分析となりますけれども、こちらに関しましては、これまで実施してきた既存の研究内容、開発された技術がございます。こういった成果を活用して発展させ、研究にかかるコスト、時間というものを効率化してきたところでございます。また、知識や技術が必要なプログラムの開発等に関しましては直営で実施するとして、研

究全体を通じて効率的な研究を進めているところであります。

さらに、今回の研究において種々の技術開発に対応できるように、各分野を専門とする研究官がそれぞれの開発要素を担当し、実施する体制を敷いて研究全体を効率的に進めてまいったところであります。

3番の有効性の観点からの分析ですけれども、本研究で開発する定常時及び災害時の地表変動モデルというものに関しましては、先ほど申しましたように、複雑な地殻変動が進行している我が国の国土においては、共通の位置情報を享受するための基盤となるものであって、本研究で遂行されるモデルの構築及びそれらを支える要素技術の開発の有効性は高いと考えております。高精度測位社会において必要不可欠なものを本研究の成果は提供しているという意味で有効性は非常に高いものと考えておりますし、各分野の事業や研究業務においても、波及効果という観点からも多くの波及効果を生めるという観点からも有効性は高いものであると考えているところであります。

11番の中間評価時点において残された課題と新たな方向性に関しましては、先ほどの研究の講評の中で御紹介いたしましたので、省略をさせていただきます。

最後に総合評価のところ、これは先日行われました測地分科会でいただきました評価について、ここで紹介をさせていただきます。

測地分科会におかれましては、継続という評価をいただきました。コメントといたしましては、当初の目標にある国家座標の4次元化に向けた研究開発が着実に進んでおり、論文等の成果も多く、科学的に見ても十分よい研究が進んでいると考える。ジオイドのモニタリングも含め、残りの研究で進歩を期待したい。本研究の成果は広く社会で活用される見込みで、研究後半は、実際のユーザーを考えた上でどういうふうに成果をアウトプットしていくか、業務として使えるような形、社会の様々な位置情報、それらに溶け込ませていけるような形、どういう形がいいのかを含めて検討していただきたいというコメントをいただいているところであります。

以上で終わります。

○委員長 ありがとうございます。

それでは、ただいまの事務局からの説明につきまして、測地分科会主査からコメントがあればよろしく願いいたします。

○委員 今、御説明がありましたように、測地分科会としましては、ぜひこのまま継続していただきたいというような結論となりました。御説明ありましたように、十分進捗も見込めるということ、そして研究課題自体も重要性は非常に高いと認められるということで、ぜひあと残りの2年間で頑張っで継続していただきたいということでございます。以上になります。

○委員長 ありがとうございます。

それでは、委員の先生方から御質問や御意見をお願いいたします。ウェブ参加の委員の先生は挙手機能でお知らせください。いかがでしょうか。

○委員 まず、この資料、すごくよくまとまっていて、この場はあまり褒めちゃいけないかもしれないけれども、多分、地理院さんの研究って、やらなきゃいけないこととやりたいこと、やれることをうまく詰め込むのが難しいと思うのですけれども、それが上手に作られているなと思って感動しています。

細かいところで質問は、前回の分科会で多分出なかった質問だと思うのですが、小型GNSSは地面への固定はどうか、あるいは今後に関して、GEONETと同じピラーをずっと固定するのが現実的かどうかとか、その辺の見込みについてお伺いしたいです。

○発表者 御質問ありがとうございます。今現在、房総半島に備えつけてありますのは、例えば小学校の屋上のところに、ここに写真が無いのですが、1mにも満たないような台を固定して、そこに設置するというをしています。アンテナ、もしくはここに示しますような受信機器、バッテリー等が入ったボックスをそこに設置しています。ですので、1回設置して、しっかり固定して安定性を図るというような観測をしております。これでまずは、房総半島においては精度をどれくらい出るものかということを検証して、さらにモデル化をして、実際に位置情報管理にどこまで役に立つのかという流れで進めていく予定です。

これとは別に、観測の独立性というのがどこまで担保できるか。独立で観測して、どこまで精度が出るものかということ、これとはまた別に少し試験観測をしているところがあります。現在、三脚の少し大きめのものを開発して、そこにアンテナを乗せて、どこまで安定した測位ができるかというようなことも試しております。そうした機動的な観測、地殻変動観測のためにどこまで使えるものかということに開発を進めていければなと現在

考えているところです。

○委員長 そのほかにはいかがでしょうか。

○委員 御説明ありがとうございます。すごく分かりやすかったです。

民間のほうでの位置情報の利用について、先ほど院長のほうからもありましたが、様々なDXに活用しているというところではあるのですが、今まで例えばアプリなどからスマートフォンの位置情報でビッグデータを取るというのは結構主流ですけれども、X、Y方向の精度はかなりよくなっている一方で、高さ方向というのがまだまだ民間では活用できていないというような状況がありました。

今回、ジオイド・モデルのお話を、すごく興味深く拝聴しました。今、スマートフォンでは、ブラックボックスなのですが、iOSで出てくる高さは標高、アンドロイドは楕円体高ということで、それぞれ違う高さの成果が吐き出されてくるわけです。そういった意味でも精度が上がっていくということは重要で、例えば建物の中の階層であったりとか、そういったものを算出する際に大いに役に立つのではないかなというのはちょっと感じました。意見です。ありがとうございました。

○発表者 コメントありがとうございました。アンドロイドとiOSの標高と楕円体高の違いというのは、我々がまさにターゲットとしているようなところかと思えます。今現在、事業とも絡めながらの進め方でありますけれども、我々国土院では航空重力測量を、ジオイド・モデルの高精度化を目的にやっております。このモデルの目標精度というのが約3cmとなっております。ですので、そういった楕円体高からジオイド・モデルを使って標高に変換するという精度もそれに匹敵するようなものになるかと期待しておりますし、我々も目指しているところでございます。

○委員 発表ありがとうございました。進展状況をお聞きして非常に驚いているところでございます。今後、あと2年の結果を非常に楽しみにしております。

2つ質問があります。1つが、大きくは国家座標の4次元化ということですが、そもそも日本の状況は今のプレゼンでよく分かりました。相当なところに来ていると思われるのですが、そもそも海外で国家座標の4次元化というのはどの程度進んでいるのか。その比較において、日本の現状を評価するとどうなるのかというのが1つ目です。

○発表者 ありがとうございます。まず、海外は国によっていろいろな事情がございますけれども、今、非常にダイナミックに動いている国は幾つかあります。1つは北米、アメリカとカナダです。これは、2022年に動的な座標系というのを導入しつつあります。

もう一つ先進的に進んでいるのはオーストラリア、ニュージーランドです。特にオーストラリアは動的な、要するに時間方向を考えた位置情報の管理という仕組みを既につくってありまして、それを実際に動かしているというところなんです。そういう意味では非常に先進的であります。

我々もある意味ではセミ・ダイナミック補正という、時間を少し意識した位置情報管理は既に始めていますので、世界の中でもかなり先端的な位置にいると考えております。オーストラリアが今少し進んでいる状況かと思えますけれども、ただ、オーストラリアの場合には、実は我々と少し違った事情がありまして、オーストラリアの位置の動的な時間変化というのは、基本的にはプレートモーションです。国全体が内部変形しないで、そのままプレートの動きに沿って動いていく。ですので、実は彼らの静止した位置情報と、あと動的に今期座標の位置情報に変換する橋渡しが必要なのですけれども、その橋渡しは単純にプレートモーションだけなのです。オイラーポールがあれば基本的には変換が可能という非常に単純なものですが、我々のような内部変化が非常に複雑な国においては、やはりそれだけでは足りないという意味では、我々が4次元の座標系に持ち込もうとしている研究内容というのはかなりチャレンジングなこともしておりますし、実際、そのような仕組みで動かしてもいるというところになります。

その意味ではニュージーランドは非常に近い位置にありまして、我々国土地理院、ニュージーランドの地理空間情報局の一つであるLINZという情報局があるのですけれども、そこと文書の取り交わしをして、地理空間情報の情報交換等をできるようにしております。実は昨年11月も、そこにおられる参事官を筆頭に、私も含めてそのLINZに行って、現在の位置情報の管理の仕組みについて最新の情報を仕入れてきているところであります。こういった情報も使いながら、日本に適した位置情報管理の仕組みにたどり着ければなど考えているところです。

○委員 ありがとうございます。

もう一つ、プレゼンの11ページにあるフィッティングの推定の式ですけれども、非常に技術的なことをお伺いします。対数関数2つと指数関数と一次関数の式ですが、どうやってここに行き着いたのかというのが技術的に非常に興味があります。

○発表者 ありがとうございます。基本的に一番分かりやすいのは、この $v \cdot t$ の部分です。これはリニアな速度変化です。通常、先ほどちょっとオーストラリアを例に挙げましたけれども、ある種、一定速度で全体が動くような簡単なものであれば、この $v \cdot t$ だけ

で大丈夫なのですが、問題になるのは、東北地震のときにあったような余効変動です。余効変動というのは、こういうような地震が起きた後、曲率をもって進んでいくという傾向にあります。これは地震学の中で既に古くから研究されている分野でありまして、その背景にある物理も考えてlog等を使ってモデル化しています。logがいい、エクスポネンシャルがいい、という様々な議論はありますが、logやエクスポネンシャルを採用したというところは、そのような物理も考えて適用しているところでもあります。

○委員 ありがとうございます。

○委員 まず、御説明どうもありがとうございました。位置情報を4次元で取得して、それが国家座標で使われる、そういう時代になったのだなというのを非常に興味深く拝聴いたしました。

それで、やっぱり我が国のような災害が非常に多い国、特に地震災害に関して、これからもっともっと気をつけていかなければいけない、対応を迅速にしなければいけない、そういう国では必要性が非常に高い御研究だと思います。

お聞きしたいのはスライド32ページで、今後どうやって御研究を進めていくか、書かれているかと思います。1点目と2点目について、もう少し詳しく御説明いただけるとありがたいです。よろしく願いいたします。

○発表者 コメントありがとうございます。

上から説明してまいります。先ほど時間方向のモデルはある程度けりがついたということで、各場所ごとにああいような時間変化のモデルができておりますので、それを空間方向につなげていくのですけれども、実際に観測できている場所というのは離散的なんです。基本的には電子基準点がある場所において分かれていますけれども、その中間の地点、こういうところは補間せざるを得ない。補間するとき、今までは単純な内挿の仕方ではしかなかったんで、こういった局所的なものをどこまで複雑に、要するに空間的に短波長の変動をどこまで再現できるか、モデル化できるかということが今後の課題になってくると思います。

これについては2つ方向がありまして、1つは、そもそも空間補間をする手法そのものを少し複雑化させようということでございます。ここにはKriging法とか最小二乗法コロケーション法と書いてありますけれども、これは要するにモデル化された位置の情報を使って、どうやって観測してないところの短波長をうまく再現できるかということ考えた手法になっております。

このときに我々がもう一つターゲットにしていきたいのが、実は先ほど途中で樹木の影響があって、あまり信頼性のできない時間帯、エポックもあるという説明をさせていただきましたが、全ての時間において、そして全ての観測点において同じような質でデータが取れているという保証はないわけです。それぞれに誤差のばらつきがあるわけです。そういった誤差のばらつき、それはモデルの質にも出てきますけれども、そういったそれぞれの各観測点、そして各観測日のそういった良し悪しをうまく空間補間にも取り入れることができるように重みをしっかりつけて、そして出てきたモデルに対しても、どれぐらいの信頼性のものできているかという信頼具合というものを定量化できればなということを狙っています。こういった少し具体的な方法を検討しているということを御紹介させていただいたところであります。

2点目については途中でもお話ししたように、そもそも観測するデータが、実測値があればモデルは高度化できますので、その観測手法も高度化していこうというようなものになります。

次に、ジオイド変化の算出のほうですけれども、空間分解能を向上させる取組です。現在、定常的な経年変化でターゲットにしているのは、余効変動のような大きな質量変化がある場合とか、あとは氷河が溶けて海水が上昇する、そして密度が変わるといようなものですが、現在の研究では衛星の実測でやっています。ただし、衛星データというのは、それほど空間分解能が高くありません。大体100kmとか、そういったオーダーになってしまいます。それ以上、短波長のを引き出そうとすると、もう少し物理モデルに従ったようなことも入れていく必要があり、これによって、さらに高度化できるのではないかと我々は考えております。物理モデルに依った、観測とは違ったアプローチで推定していこうとしています。そして、さらに実測のデータと融合してモデルを高度化させるというような方向にしたいと考えております。

2つ目のものですが、これは今度は逆で、地震時においては、断層モデル、これは地震学的なアプローチで出てくる結果ですが、それをうまく利用してジオイドの瞬間的な変化を捉えてあげようというような技術だったので、今度は逆に、それだけだと、あくまでモデルですので、現実と微妙に離れているところもあるかもしれないので、実際のデータを組み込んでより精度がよくなるのではないかと、そういうことを見込んだ研究アプローチになってございます。

3点目に関しては、最後はそれぞれ個々の技術開発を進めておりますけれども、それを

例えばGUI（Graphical User Interface）を使って表示する、そして我々が分析を容易にできるというような、そういった統合的なソフトウェアを最後に開発して、それを研究だけではなくて事業ベース、そして、それに関する研究も含めてですけれども、ほかにも波及させていこうと考えております。そういった研究開発も同時に進めていこうという意図で記載させていただきました。

○委員 最後のところで、やっぱり今までの研究成果がうまく、成果を基に各いろんな技術をまとめていただいてソフトウェアを開発していただけると、国土地理院さんだけではなく、もっと一般にも普及していただいて、研究者が研究ベースでも利用させていただくようになっていただけるとありがたいなと思いました。

あと、ジオイド変化のところですけども、同化手法というところを非常に興味深く御拝聴いたしました。どうもありがとうございます。

○委員長 ありがとうございます。

そのほか、ございますか。

ちょっと私のほうから1点なのですが、この研究から外れるかもしれませんが、SARの解析の話なんですけど、先日のトルコの地震の後、国土地理院が非常に早く、その変動の様子を発表されたと思うんですけども、これは、この研究成果に乗っかっているものなのかどうかというところ、ちょっと興味でお伺いしたいんです。

○発表者 質問ありがとうございます。現段階では、直接ここにはかかってきませんが、ただ、観測されたデータを使って、ここで御紹介した3次元の変位場に解析をして分析するということは今後できますので、こうした高度化した技術を使って進められればなと思っております。そうすることによって、今現在の提案させていただいている研究ともリンクしていくかと思えます。

○委員長 この成果を世界的に使っていくという点で非常に重要なとは思いました。どうもありがとうございます。

そのほか、先生方からございますでしょうか。

○委員 ありがとうございます。私自身は、やはりどのように成果をアウトプットしていくのかというところが関心を持っておりまして、具体的にスライド21で示されておりましたように、熊本では補正パラメータの提供までに約5か月かかった。それが本研究では約2週間で提供できるというところの目標達成ができているということ伺っているのですが、それが例えば災害対応時に、これまでと、それから本研究の成果を踏まえてど

のように貢献し得るのかというところの点において、より具体的なイメージが持てるような御説明をいただけたらありがたいなというのと、個人的には、私の被災地の現場感覚で言うと、位置がずれていたため、情報と実際がずれていたがために、なかなか救援要請しているところの場所が特定できずに時間がかかったというようなこともあるのです。位置情報の高精度化によって、その情報と、それから実際のずれが少なくなることによって、いち早く救援活動ができるとか、そういった成果が期待されるのかなと思っていたのですが、ぜひ教えていただければと思います。

○発表者 御質問ありがとうございます。

まず、災害時のところに少し焦点を絞って回答させていただきます。現在の迅速性を考えると、一番効果のある使い方というのは復興、復旧というところで一番の効果を発揮すると考えております。こうした基準点の位置情報というのは、その後の復興・復旧工事とか、あとは地籍ですね、土地の情報の更新とか、そういったものに実は直接かかってくる、そして現在大きな影響を持っているところなんです。そういったところで効率的に使っていただければなと思っています。

一つ事例を申し上げますと、熊本地震の際には、ちょうど今示している赤枠内のところが補正パラメータを提供できなかったところで、実際、我々も実は300点ぐらい、後で改測をしているというところなんですけれども、地籍の担当の部門が国土交通本省にありまして、そこで地籍の測量というのを独自にやっております。そこでは地籍の目的にかなうレベルのものをつくるために900点程度、また実測をして、そしてパラメータをつくっているというようなことが熊本地震のときにありました。

実はこのパラメータを作るのに大体1年ぐらいかかっているんです。そうすると、いろいろな土地の取引とか、そういったものに多分影響があったと思うんですけれども、そういったものに対して、より迅速にパラメータを実測値として提供できる可能性があるというところに、こういった技術開発のアウトプット、アウトカムがあるのではないかと期待しているところです。

○委員 2週間というところで、リアルタイムの救助というよりは、やはり復旧、復旧のところに寄与するということの印象はあったのですが、具体的に御説明いただきましてよく分かりました。ありがとうございます。

○委員長 ありがとうございます。

そのほか、ございますでしょうか。

それでは、この課題については、講評については後ほど議論を行いたいと思います。ありがとうございました。