

研究課題中間評価表

1. 研究課題名	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
2. 提案課・室名問合せ先	国土地理院 地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室 代表担当者:宇宙測地研究室 小林 知勝
3. 研究期間	令和2年4月～令和7年3月(5年間)
4. 予算	特別研究経費 84,095千円 (評価時点)
5. 分科会委員	(主査)高橋 浩晃、青木 陽介、大坪 俊通
6. 中間評価時点における成果の概要	<p>4次元の位置情報(国家座標)を管理する基盤を構築するための宇宙測地技術の開発・高度化を以下の通り実施した。</p> <p>(1)定常時の位置情報管理に関する研究</p> <p>電子基準点におけるGNSS時系列データのモデル化技術を開発した。共通誤差の除去処理や精密単独測位(PPP)を利用した樹木の影響低減処理等の新規開発技術を組み込んだ位置座標のモデル化により、全国の電子基準点において任意の時点の位置(情報)への変換が可能になった。これにより、従来の仕組みでは対応困難だった大規模地震直後の急速な余効変動においても位置情報の管理を高い時間分解能で正確かつ迅速に実施できる環境が整備された。また、時間モデルの構築により、取得した今期座標から任意の時点の位置情報への変換が可能となった。</p> <p>これに加えて、位置情報管理の空間分解能を向上させるため、小型GNSS観測装置の開発や干渉SAR時系列解析による全国の地殻・地盤変動の時間推移の面的把握技術の高度化を実施した。これにより、局所変動を考慮した位置情報管理に対応可能な空間モデル構築のための環境が整った。</p> <p>(2)災害時の位置情報管理に関する研究</p> <p>SARによる3次元解析機能を開発・高度化した。4方向干渉SARやSBI法等を組み込んだ統合解析により、高精度な位置変化の3成分計測を断層近傍においても実現し、位置情報の管理の迅速性や空間分解能を向上することに成功した。これにより、位置情報の更新(改算)パラメータの提供範囲の拡大や提供時間の短縮が見込まれる環境が整備された。</p> <p>(3)高さの位置情報管理に関する研究</p> <p>重力衛星データや震源断層モデルから日本及びその周辺におけるジオイド(標高の基準面)の時空間変化を計算する機能を開発した。海面上昇や東北地方太平洋沖地震の余効変動等に伴う経年的変化や大規模地震時に伴う変化を定量的に把握することが可能となった。これにより、従来国土地理院では対応できなかったジオイド監視が可能になったことに加えて、南海トラフ地震を含む日本周辺での大規模地震に伴うジオイド変化の事前シミュレーションや将来におけるジオイド・モデルの改訂の検討等への利活用環境が整備された。</p>
7. 中間評価時点における当初目標の達成度	<p>【当初目標】</p> <p>GNSSやSAR等の宇宙測地技術の開発・高度化により、4次元の位置情報(国家座標)管理のための解析性能・環境を向上させるため、以下を目標として本研究を進めた。</p> <p>(1)定常時の位置情報管理における迅速性及び空間分解能の向上</p> <p>定常時の位置情報管理に関する迅速性を、従来の数週間から数日に向上させる。また、その空間分解能を従来の20 kmから数kmに向上させる。</p> <p>(2)災害時(地震時)の位置情報更新における迅速性及び空間分解能の向上</p>

災害時(地震時)の位置情報更新に関する迅速性を、従来の数か月から数週間に向上させる。また、その空間分解能を従来の数km~20 kmから数百mに向上させる。

(3)解析ソフトウェアの構築

GNSS、SAR、ジオイドに関する各技術を用いた解析が可能なソフトウェアを開発する。さらに、各々の解析結果を統合することで位置(情報)及びその変化を算出し、ユーザーに提供する統合的なソフトウェアを構築する。

【達成度】

(1)定常時の位置情報管理における迅速性及び空間分解能の向上

マルチGNSS-PPPのスタティック解の利用により、定常解析解と同程度の精度で、計測の迅速性を従来の定常解析解(F3解(※研究提案時))の数週間から数日に向上することができた(※研究提案後に、定常解析の最終解(F5解)と整合しほぼ同程度の精度を持つ定常解析解(R5解)が観測の数日後に提供されるようになったため、提案当初に想定した計測の迅速性向上はこれによりほぼ達成される状況となった。ただし、PPPは耐災害性がより高い計測であることから、引き続き計測精度や定常解析解との整合性の向上に向けた技術開発を実施する)。また、電子基準点におけるGNSS時系列データのモデル化技術の開発により、全国の電子基準点において任意の時点の位置(情報)への変換が可能になったことで、補正情報の提供が3か月毎から1日毎に向上した。当初の目標にはなかった課題ではあるものの、大規模地震直後の急速な余効変動に対する効果は大きく、位置情報管理の迅速性(時間分解能)と正確性を大きく向上させた成果となった。

さらに、小型GNSS観測装置の開発や干渉SAR時系列解析による全国の地殻・地盤変動の時間推移の面的把握技術の高度化を実施した。これにより、位置情報管理の空間分解能を従来の20kmから数kmもしくは数百mに向上するための準備が予定通り整った。令和4年度以降、高空間分解能化された計測技術を用いて、位置情報管理(空間方向のモデル化)の空間分解能を向上させる予定である。なお、干渉SAR時系列解析の機能は、測地部の高精度地盤変動測量事業で活用される波及効果も生んでいる。

(2)災害時の位置情報管理における迅速性及び空間分解能の向上

SAR3次元解析機能の開発により、災害時(地震時)における位置情報の更新の迅速性を従来の数か月から約2週間に向上させることができた。さらに、位置情報の更新に必要な位置変化の計測の空間分解能を、従来の数km~20kmから数十m~数百mに大幅に向上させることができた。従って、災害時における位置情報管理の向上に係る研究開発の当初目標は達成された。なお、当初の目標には具体的に掲げられていないが、ジオイド変化を算出する機能の新規開発により、地震直後にジオイド変化の把握が可能となり、標高管理の迅速性を大きく向上させることもできている。

(3)解析・分析ソフトウェアの構築

SAR3次元解析及び干渉SAR時系列解析のためのソフトウェア開発を予定通り令和2年度までに実施した。令和3年度以降、機能改良及び性能評価を実施しているところである。また、定常時及び災害時(地震時)におけるジオイド変化を計算する解析ソフトウェアを予定通り令和3年度までに開発した。令和4年度以降は、機能改良及び性能評価を実施する。さらに、マルチGNSS-PPPにより位置を算出する解析ソフトウェアの開発を実施した。ユーザーが入力したRINEXファイルから位置を算出

	<p>する機能を予定通り令和3年度までに完成させた。算出した値をユーザーに提供する機能については現在開発を進めているところである。</p> <p>各開発技術を用いて災害時の地表変動モデルを構築し位置情報を管理する統合ソフトウェアの開発を予定通り令和3年度から開始した。令和4年度以降、改造を進めていく予定である。定常時の地表変動モデルを構築し位置情報を管理する統合ソフトウェアの開発は、予定通り令和4年度から開始する見込みである。</p> <p>以上、中間評価時点において、当初の目標の一部は既に達成されており、開発された技術の中には、当初の目標を超える波及効果も生んでいる。研究全体を通して予定通り順調に進捗している状況である。</p>								
<p>8. 成果公表状況</p>	<table border="0"> <tr> <td>研究報告書</td> <td>14編</td> </tr> <tr> <td>発表論文(査読付)</td> <td>5編(国内0、海外5)</td> </tr> <tr> <td>発表論文(査読なし)</td> <td>1編(国内1、海外0)</td> </tr> <tr> <td>口頭発表</td> <td>38件(国内27、海外11)</td> </tr> </table>	研究報告書	14編	発表論文(査読付)	5編(国内0、海外5)	発表論文(査読なし)	1編(国内1、海外0)	口頭発表	38件(国内27、海外11)
研究報告書	14編								
発表論文(査読付)	5編(国内0、海外5)								
発表論文(査読なし)	1編(国内1、海外0)								
口頭発表	38件(国内27、海外11)								
<p>9. 中間評価時点における成果活用の見込み</p>	<p>1) SAR3次元解析や干渉SAR時系列解析の機能は、測地部の高精度地盤変動測量事業や基準点成果の管理・更新及び地殻変動補正に関する事業において利活用されることが見込まれる。</p> <p>2) 定常時及び災害時におけるジオイドの時空間変化の監視機能は、測地部の標高体系の管理に関する事業で活用される見込みである。特に、航空重力測量を経て構築される予定の次期ジオイド・モデルの管理に利活用される。</p> <p>3) 地表変動モデルは、測地部の基準点成果の管理・更新や地殻変動補正(POS2JGDやPatchJGD)に関する事業において利活用されることが見込まれる。</p> <p>4) 本研究で開発される解析ソフトウェアは、測地部の当該各事業における業務において利活用が見込まれる。また、地理地殻活動研究センターにおける地殻変動研究等の研究業務においても利用が期待される。</p> <p>5) 各測位サービスで用いられる地殻変動補正や地震後の復旧・復興工事に係る測量等での利活用が見込まれる。</p>								
<p>10. 中間評価時点における達成度の分析</p>	<p>(1) 必要性の観点からの分析</p> <p>近年、準天頂衛星システム「みちびき」によるセンチメートル級測位補強サービス「CLAS」や民間による精密なGNSS測位サービス等が登場し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する我が国において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。こうした背景の下、本研究で開発・高度化される地表変動モデルやそれを構築するための要素技術は、従来の位置情報管理の仕組みや計測技術に内包される課題を解決するものであり、高精度測位社会において4次元の位置情報(国家座標)を適切に管理するための必要性を満たすものである。</p> <p>(2) 効率性の観点からの分析</p> <p>SAR3次元解析、干渉SAR時系列解析、PPP解析、ジオイド解析の機能開発・高度化については、それぞれ、一般研究「SARデータの解析手法の高度化に関する研究(令和元-3年度)」、特別研究「干渉SAR時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究(平成26-30年度)」、特別研究「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(平成27-29年度)」、特別研究「精</p>								

	<p>密重力ジオイドに基づく高さ基準系の構築に関する研究(平成28-30年度)」で開発された処理プログラムを活用して発展させ、研究にかかるコスト・時間を効率化した。測地データの解析に関する知識や技術が必要なプログラム開発、検証作業、ソフトウェアの設計等を直営で実施することで開発費用の削減・抑制を図りつつ、専門的な知識や技術を要するソフトウェアのGUI操作機能の開発や小型GNSS観測装置の開発に費用を重点的に投資して、研究全体を通じて効率的に研究を進めている。</p> <p>種々の技術開発に対応できるよう、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た。また、位置情報管理に係る地表変動モデルの構築については、事業現場の意見をフィードバックさせて効果的かつ効率的にアウトプットを創出するため、関係部署の職員との議論の場を定期的に設けて研究開発を進めた。</p>
	<p>(3)有効性の観点からの分析</p> <p>本研究で開発する定常時及び災害時地表変動モデルは、現在の位置情報管理で使われる定常時地殻変動補正機能「POS2JGD」及び座標補正機能「PatchJGD」を発展させた仕組みと機能を持つ。誰もがいつでもどこでも位置を取得できる高精度測位社会が発達する中、複雑かつ大規模な地殻変動が進行する国土において共通の位置情報を享受するための基盤機能であり、本研究で遂行されるモデルの構築及びそれを支える要素技術の開発の有効性は高い。また、標高の基準であるジオイドの変化を定常時や災害時(地震時)において迅速に定量的把握を可能とする機能は、高精度に位置情報を管理することが求められる社会において必要不可欠なものであり、本研究成果の有効性は高い。</p> <p>さらに、各開発技術は、各分野での事業や研究業務にも個別に利活用が可能であり、それぞれの業務の効率性や正確性を向上させ、波及効果の観点からも有効である。例えば、干渉SAR時系列解析の機能は、既に測地部の高精度地盤変動測量事業で利用され、全国を対象とした地殻・地盤変動の時間推移の面的な定常監視の開始に貢献する波及効果を生んでいる。本解析機能は、次期国産LバンドSAR衛星(先進レーダ衛星(ALOS-4))等にも適用可能であり、ALOS-2衛星以降の地表変動観測にも利活用が見込まれる。</p>
<p>11. 中間評価時点において残された課題と新たな研究開発の方向</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・任意の位置の位置情報を管理するための定常時地表変動モデルの構築 <p>任意の場所での位置(情報)を管理するため、時間方向に加えて空間方向のモデル化も行い定常時地表変動モデルを構築する必要がある。推定された時系列モデルから算出される任意の日付におけるモデル値を用いて適切に空間補間する手法を開発する必要がある。また、小型GNSS観測装置や干渉SAR時系列解析による高い空間分解のデータを定常時地表変動モデルの構築に組み込む手法開発も必要である。</p> ・ジオイド変化の算出の高度化 <p>ジオイドの経年変化は重力衛星データを使用した見積りのため、約300kmの空間分解能にとどまっている。物理モデル(陸水・海洋・粘弾性緩和モデル等)を用いた推定手法の開発により空間分解能の向上を目指す。また、災害時(地震時)におけるジオイドの変化は、震源断層モデルのパラメータを使った理論値であるため正確性に課題が残る。重力衛星データによる観測量を組み込む同化手法の開発により、正確性の向上を目指す。</p> ・統合解析可能なソフトウェアの開発・改造 <p>本研究の成果の実用化に向けて、各開発技術を統合して位置情報の管理が可能な統合ソフトウェアの開発・改造を実施する必要がある。</p>

12. その他、課題内容に応じ必要な事項	特になし。
----------------------	-------

<p>総合評価 (測地分科会で記入)</p>	<p>① 継続 2. 修正継続 3. 大幅修正 4. 中止</p> <p>当初の目標にある国家座標の四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良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て、残りの研究での進捗を期待したい。</p> <p>本研究の成果は広く社会で活用される見込みなので、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、どういう形があり得るのかを含めて検討していただきたい。</p>
----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------