

## 研究課題終了時評価表

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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<br>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 131,360千円 (5年間の総額)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 5. 分科会委員        | (主査)高橋 浩晃、青木 陽介、大坪 俊通                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 6. 研究開発とその成果の概要 | <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。これら技術を通して構築した時間モデルにより、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、任意の地点における位置情報管理の高度化のため、重み付きクリギングによる新しい空間内挿手法を開発し、異常値に対して堅牢性の高いモデル化を実現した。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。これらにより、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の構築環境が整った。時間モデル及び空間モデルを基に、直近20年間の全国の定常時地表変動モデルのプロトタイプを作成し、さらに、4次元の座標変換処理の定式化を行った。これらを基に、4次元の位置情報を統合的に変換処理するソフトウェアを開発した。</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次元変位解析機能を開発・高度化した。4方向による干渉SARやSB I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)に用いられる座標補正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。また、従来は対応が困難だった中規模の内陸地震についても位置情報の更新パラメータの作成を可能とす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。粘弾性緩和による余効変動、後氷期回復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の時空間変化の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</p> |

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | <p>デルの改定の必要性の検討等への利活用環境が整備された。また、将来、高さを 4 次元で管理するためのダイナミック・ジオイド・モデルの基盤技術を確立した。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 7. 終了評価時点における当初目標の達成度 | <p><b>【当初目標】</b></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> <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。</p> <p>(3)解析ソフトウェアの構築</p> <p>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。</p> <p><b>【達成度】</b></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>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した)。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、補正情報の算出が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。</p> <p>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に向上するための基盤技術が確立され、地表変動モデルの高分解能化が実現化した。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だ。また、小型GNSS観測装置を地震活動の観測に適用することで、令和6年能登半島地震の余効変動等の検出に成功する波及効果も生んだ。</p> <p>(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</p> <p>SAR3次元変位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</p> |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                | <p>～数百mに大幅に向上させることができた。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という成果も得られた。</p> <p>(3)解析・分析ソフトウェアの構築</p> <p>SAR3次元変位解析及び干渉SAR時系列解析のためのソフトウェア、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ソフトウェア、マルチGNSS-PPPにより位置を算出する解析ソフトウェア及びL5帯を利用したPPP解析機能を開発した。これら各開発技術を用いて災害時及び定常時の地表変動モデルを構築するためのソフトウェアを開発した。さらに、これらモデルを基に、任意の地点における任意の時点への位置変換の処理を統合的に実施するソフトウェアも開発した。これら開発により、複雑な処理を考慮することなく4次元の位置(情報)を変換することを実現した。</p> <p>以上、各研究項目における目標は達成されており、さらに、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。本研究全体を通して、当初目標は達成されたと言える。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p>8. 必要性、効率性、有効性等の観点からの評価</p> | <p>(1)必要性の観点からの評価</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「C/LAS」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・高度化された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評価</p> <p>SAR3次元変位解析、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、担当研究官にとって専門的な知識や技術を要するソフトウェアのグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)操作機能の開発や小型GNSS観測装置の開発には、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た。</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</p> |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-----------|-------------|------------|-------------|------|----------------|-----|----|
|                         | <p>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評価</p> <p>本研究で開発した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、2024 年度に打ち上げられた国産 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>                                                                                                            |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
| 9. 研究成果の公表状況及び今後の利活用、課題 | <table> <tr> <td>研究報告書</td><td>26編</td></tr> <tr> <td>発表論文(査読付)</td><td>8編(国内1、海外7)</td></tr> <tr> <td>発表論文(査読なし)</td><td>9編(国内8、海外1)</td></tr> <tr> <td>口頭発表</td><td>58件(国内39、海外19)</td></tr> <tr> <td>特許等</td><td>0件</td></tr> </table> <p>1)SAR3次元変位解析や干渉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、日本とその周辺で経年的に進行するジオイド変化や巨大地震発生時のジオイド変化の時空間分布の監視等、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。</p> <p>3)地表変動モデルやモデル作成のための要素技術は、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)本研究で開発された4次元の位置情報の変換処理に係るソフトウェアは、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、地理地殻変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> | 研究報告書 | 26編 | 発表論文(査読付) | 8編(国内1、海外7) | 発表論文(査読なし) | 9編(国内8、海外1) | 口頭発表 | 58件(国内39、海外19) | 特許等 | 0件 |
| 研究報告書                   | 26編                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
| 発表論文(査読付)               | 8編(国内1、海外7)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
| 発表論文(査読なし)              | 9編(国内8、海外1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
| 口頭発表                    | 58件(国内39、海外19)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |
| 特許等                     | 0件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |     |           |             |            |             |      |                |     |    |

|                                |                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>10. 総合評価<br/>(測地分科会で記入)</p> | <p>①. 十分に目標を達成できた<br/>2. 概ね目標を達成できた<br/>3. あまり目標を達成できなかった<br/>4. ほとんど目標を達成できなかった</p> <p>定常時の位置情報管理並びに災害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、また解析ソフトウェアの構築など、当初の目標を十二分に達成したと認められる。</p> |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|