

リモートセンシングによる地形・地殻変動把握に関する研究（第1年次）

実施期間
地理地殻活動研究センター

平成 27 年度～平成 30 年度
飛田 幹男

1. はじめに

SAR干渉解析 (InSAR) のアルゴリズムは、SARセンサーの諸元、及び地殻・地盤変動現象（地震、火山活動、地盤沈下、地すべり）の特性に適合することが必要であり、解析者独自のソフトウェア開発が有効である。国土地理院がNASAのジェット推進研究所 (JPL) と共同で初期開発を行ったソフトウェア"GSISAR"は、当初JERS-1衛星のSAR干渉解析を対象にし、その諸元に適合した改善を加え、平成7年兵庫県南部地震（1995年）、サハリン北部地震（1995年）、鹿児島県北西部の地震（1997年）、岩手山の地震（1998年）に伴う地殻変動等を画像として捉えて、多くの実績をあげた。その後、ALOS PALSARセンサーへの適合化を行い、GSISARの実行形式プログラムを核とし日本語GUIによる制御を取り入れた"新GSISAR"（初版）を、2004年、測地部宇宙測地課が実現した。GSISAR及び新GSISARは密接な整合・連携が図られつつ逐次改良が加えられている。2006年から2011年にはALOSによるLバンドSAR観測により、平成19年能登半島地震、平成19年中越沖地震、スマトラ南部沖の地震（2007年）、平成20年岩手・宮城内陸地震、中国・四川省の地震（2008年）、東北地方太平洋沖地震（2011年）等の際に地殻変動分布図を公表、これらを基に作成した震源断層モデルを通して、地震像の解明や地すべりの研究などに貢献してきた。なお、本研究は平成19年度から平成26年度に実施された一般研究「地殻変動計測のためのSAR画像分析の高度化に関する研究」の後継に位置する研究であり、SARとUAVを含む地形・地殻変動把握に適したリモートセンシング技術を対象に、技術開発の一端を担うことを目的とする。

2. 研究内容

本研究では、平成26年5月に打上げられたLバンドSAR衛星であるALOS-2（だいち2号）の諸元、及び地殻変動計測に適合した解析ソフトウェアの開発・改良を行うとともに、SAR画像分析手法の高度化を行う。開発した成果は、測地部の高精度地盤変動測量事業で利用している干渉解析ソフトウェアへ逐次反映させている。

平成27年度は、これまで新燃岳火口内外の地形変化計測を阻んでいた10mDEHMJapanを更新した。

3. 得られた成果

3.1 霧島山周辺の10mDEHMJapanの更新

SAR干渉解析における地形縞シミュレーションにおいては、1枚の画像あたり5億回～100億回程度DEMファイルにアクセスする。高速なSAR干渉解析のために高速アクセスを可能とするよう、またSAR解析が準拠する楕円体高DEHMを利用できるようGS110mDEHMJapanを開発した（飛田，2009）。

新燃岳火口の地形は2011年1月の噴火による溶岩ドーム形成により大きく変化した。その後、2015年初旬までに地形が安定したため、基本図情報部により基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ（標高）の該当部分が再作成され、2015年4月頃に国土地理院Web上のファイル“FG-GML-4730-67-DEM10B-20150224.xml”が更新された。これと日本のジオイド2000を用いて新たな10mDEM（'473067.ssi'）及び10mDEHM（'473067_dehm.ssi'）を作成した。ファイルサイズは、どちらも1,687,500 bytesである。これらは、地形縞シミュレーションプログラム'SimDem10'によって利用される。図-1はSimDem10と10mDEHMによる地形縞計算値である。更新前後を比較すると、溶岩ドームに相当する位相の違いが見られ、現状に合わない地形データを用いて地殻変動検出を行うと

数センチメートルの誤差となってしまうことが確認された。

4. 研究成果の活用

本研究により更新された楕円体高データ10mDEHMは、新GSISARで初めて新燃岳火口内溶岩の膨張性地殻変動を捉えることに直接貢献した（図-2）。

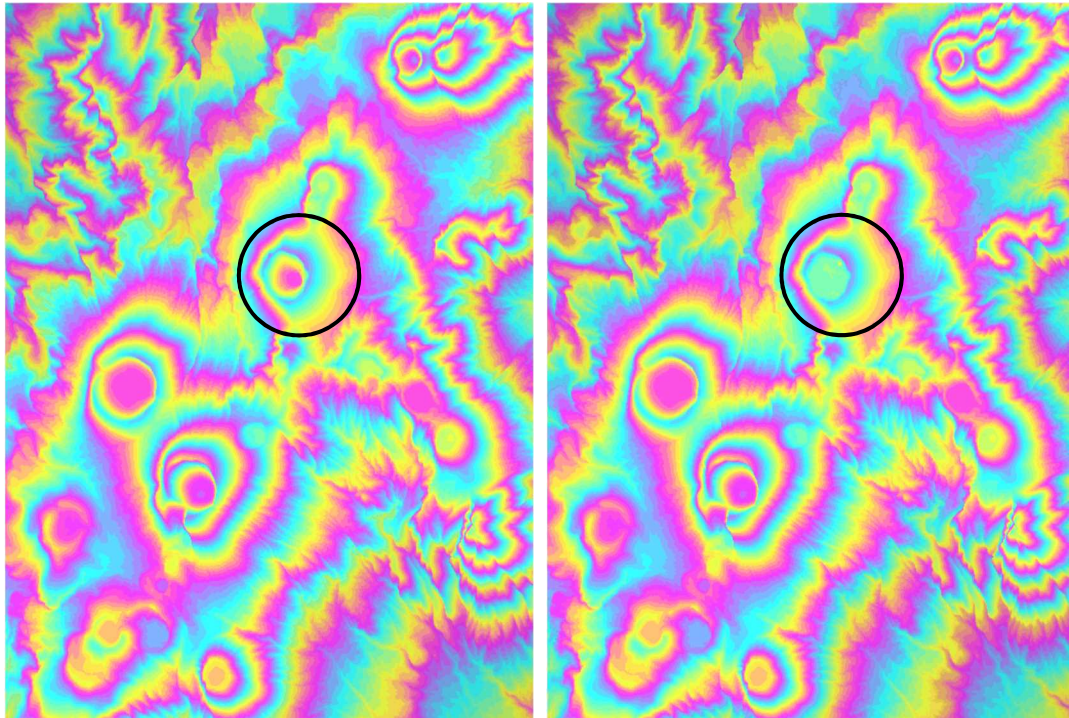


図-1 2014/10/28-2015/04/14間の霧島山付近のALOS-2干渉地形縞シミュレーション結果の比較。(左)更新前の10mDEHMに基づく地形縞,(右)更新後の10mDEHMに基づく地形縞. 円内の特に新燃岳火口内で2011年の噴火に伴う溶岩ドーム形成に関連した地形変化が見られる. なお, 地形縞シミュレーションプログラムは'SimDem10'.

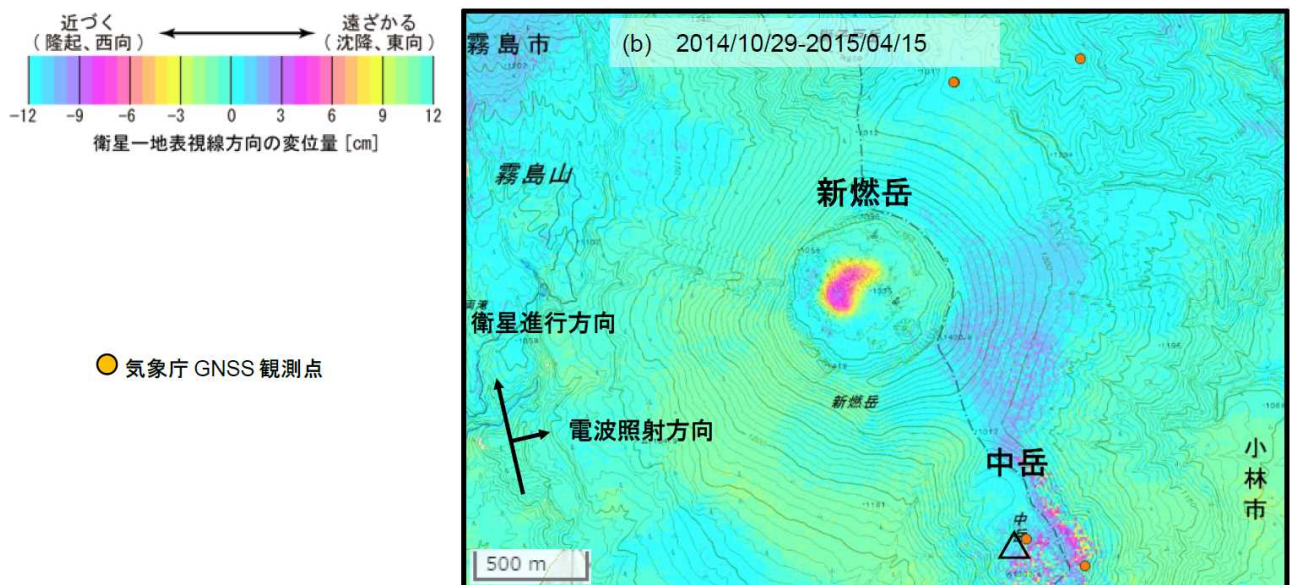


図-2 更新後の10mDEHMを用いて干渉解析を実施した結果のSAR干渉画像. 新燃岳火口内で, 火口縁と比較して衛星に近づく向きの変動がみられる.(第132回火山噴火予知連絡会国土地理院資料より)

ハザードマップにおける災害予測および避難情報伝達の 機能向上に資する地理学的研究（第1年次）

実施期間	平成27年度～平成29年度
地理地殻活動研究センター	中島 秀敏
地理情報解析研究室	中埜 貴元

1. はじめに

本研究は、科学研究費補助金（研究課題番号：15H02959；研究代表者：鈴木康弘名古屋大学教授）の予算によるもので、(1) 現状のハザードマップの体系的整理、(2) 災害予測地図の高度化、(3) 防災地図および避難情報伝達機能の高度化、(4) 防災地理教育への展開、の4つを柱とし、御嶽山噴火災害、広島豪雨災害、東日本大震災および南海トラフ地震の津波災害・地盤災害、活断層による直下型地震災害を例に、ハザードマップの具体的な改良案を提示し、今後の我が国のハザードマップ整備の総合的なあり方について地理学の立場から積極的に提言することを目的としている。国土地理院は、地盤災害（揺れやすさ、液状化）、活断層（地震）、土砂災害等の災害予測地図の高度化とハザードマップの体系的整理を担当する。

2. 研究内容

本研究は、多数の研究者が参画して複数のハザードマップを対象として研究を進めるため、まず、研究者間での現状のハザードマップに関する問題意識の共有やこれまでの研究成果等の情報交換、及び研究全体の進め方（作業分担等を含む）の意識共有が必要であり、平成27年度は参画研究者間での研究ミーティングを中心に実施した。

全体ミーティングは、2015年6月7日と2015年8月31日に実施した。この2回の全体ミーティングでは、2014年8月の広島豪雨災害を例とした土砂災害ハザードマップや情報伝達における問題点、2014年御嶽山噴火や2015年口永良部島の火山噴火を例とした火山ハザードマップ全体及び情報伝達に関する問題点、2014年11月長野県北部の地震を例とした活断層と被害との関係などについて議論が交わされた。国土地理院からも、三陸沿岸の津波ハザードマップと東日本大震災における津波浸水範囲概況図との重ね合わせ事例や、国土地理院内で運用している「地震時地盤災害推計システム（SGDAS）」の概要について情報提供した。

その他、国土地理院内では、これまでの関連研究成果の再整理を実施した。

3. 得られた成果

土砂災害ハザードマップについては、現状は各都道府県が作成している土砂災害危険箇所や土砂災害警戒区域の情報を基に画一的に作成されているが、土砂災害危険箇所データについては取得精度や位置精度に問題がある部分もあり、2014年広島豪雨災害を対象に、被災範囲を災害前の情報からどの程度予測可能であったかを、航空写真や3Dツールを用いて検証する必要があるという結論に至った。

火山ハザードマップについては、現状の噴火警戒レベルとハザードマップとの違いや火山の多様性により生じる課題についての議論があり、2015年口永良部島噴火に伴う火砕流の被災地域と、噴火前に作成された各種ハザードマップの比較による地形と被災範囲の関連性や、現在ハザードマップのな

い常時／非常時観測の火山における今後のハザードマップの在り方，また，タイムスケールのオーダーを広げたハザードマップ作成について検討していくこととなった。

その他のハザードマップについても，従来のハザードマップの作成過程を検証し，問題点を整理していくこととした。

情報伝達については，2011年の名古屋市の全市避難勧告や2013年伊豆大島土砂災害における特別警報未発令問題などを例に，特別警報をめぐる混乱などについて議論され，近年実用化が進むGISベースでの避難指示通知システムなどの利用も想定した，実用的な情報伝達に関する議論が必要であるという結論に至った。

その他，国土地理院内では，活断層（地震）関連のハザードマップに関連し，2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の浅部地下構造（断層傾斜角）と被害との関係を検討する研究を実施し，中埜・宇根（2015）に成果をまとめるとともに，中埜・岩橋（2016）にその概要をまとめた。

4. 結論と残された課題

本年度は，研究者間で問題意識と情報共有を行うことで，研究の方向性や課題を整理した。また，活断層と被害との関係については，2014年長野県北部の地震を事例に，研究成果を論文にまとめることができた。今後は，国土地理院が担当する揺れやすさマップ，液状化ハザードマップ，土砂災害ハザードマップが，現状どのように作成されているのかを調査・分析し，情報伝達の観点も踏まえて，どのような情報を掲載すべきなのかについても検討していく必要がある。

参考文献

中埜貴元，岩橋純子（2016）：地形・土地被覆情報の防災への活用に関する研究（第2年次），平成27年度調査研究年報，ページ未定。

中埜貴元，宇根寛（2015）：2014年長野県北部の地震で出現した地表地震断層における地中レーダ浅部地下構造調査，活断層研究，43号，133-148。

行政等における地理空間情報の流通・利活用の高度化に関する研究 (第2年次)

実施期間

平成26年度～平成30年度

地理地殻活動研究センター

下山 泰志

1. はじめに

国土地理院の行う測量行政や各種事業は社会の様々な分野に役立っているが、それらの社会・経済効果を体系的に明らかにするための研究はこれまで十分なされてこなかった。そのため本研究では、測量事業・関連行政施策等の必要性、社会に与える効果等を示すための方策を検討するものである。

なお、本研究で平成26年度に検討した内容は、三次元の地理空間情報の整備・活用についての研究であったが、その内容は平成27年度から国土交通省総合技術開発プロジェクト(総プロ)のもと実施している「3次元地理空間情報を活用した安全・安心・快適な社会実現のための技術開発」の一環で実施することとなったことから、本年度から、研究の目的を上述の内容に変更した。本稿では平成27年度から検討する新たな内容について記述し、昨年度の研究内容に続く内容については、総プロの上記標題に委ねることとする。

2. 研究内容

2.1 研究開発の概要

社会において測量がどのような分野で役立っているかを検討するにあたり、まず、本省のストック効果についての検討(インフラ政策研究会, 2015)を参考に、i)「測量が社会全般に役立っていることの説明方法を確立するための検討」を行う。

次に、i)をブレイクダウンして検討する必要があるが、それには利用分野からの観点を具体的に検討するほか、測量事業、関連行政施策等(以下「測量の施策等」という。)の観点からの検討が必要である。前者は、ii)「測量が利用されている分野についてそれぞれ具体的にどう役に立っているかの説明方法の確立」、また後者は、iii)「国土地理院あるいは測量計画機関が実施している測量の施策等の社会への貢献への整理」として、ストック効果の観点から検討する。さらに、できるだけ効果の度合いを数値で表現するため、iv)「効果の定量化」(測量の施策等についてどの程度の効果があるかを、できる限り金銭等の数値で表現する方策)、についても検討する。

なお、検討にあたり、外部の測量関係者から意見を聴取する場として、筑波大学大学院システム情報工学研究科の堤教授が平成27年8月に設置・主宰され、有志が参加する「測量の(社会・経済)効果に関する研究会(仮称)」(以下「研究会」という。)の場をお借りすることについて、研究会の参加者からのご了解をいただいた。研究会の参加者は、堤教授と国土地理院のほか、全国測量業団体連合会、日本測量協会、日本測量調査技術協会、地図調製技術協会、日本地図センター(順不同)である。

2.2 研究の実施方法

上に述べた各検討項目のうち、i)及びiii)については、研究センターが関係各部・センターの協力を得つつ、また研究会の意見を聞きつつ検討する。平成27年度は、i)については「ストック効果に関する院内幹部打合せ」(以下「幹部打合せ」という。)を開催し、測量を利用する分野を特定しつつ、それらを含めて測量が社会活動に貢献することを示す方法について検討を行った。また、iii)については、同様に幹部打合せにおいて、電子基準点、VLBI、干渉SAR、UAV、アーカイブ、電子国土基本図、防

災地理情報及び公共測量の8項目にわたり検討した。これら i)と iii)の検討結果に基づき、現在院内で進めている広報戦略の取組の一環として、パンフレットを作成した。

ii)については、i)で整理した測量の利用分野ごとに、研究会の協力も得つつ、その利用分野の社会への重要性をあわせて説明する資料を作成する。平成27年度は、情報化施工など一部の利用分野に対して資料を作成した。

iv)については、当面、道路の整備効果の費用便益分析の方法を参考に、iii)において中核となる測量の施策等の効果を算定する方法を検討する。平成27年度は、電子基準点の効果について検討するとともに、地図の成果に対する効果の試算に取り組むための準備作業を行った。

3. 得られた成果

3.1 測量が社会全般に役立っていることの説明方法の確立（上記 i)）

測量が社会活動全般に役立っていることを説明する方法の検討において、オーストラリアが作成した VLBI の必要性を説明する資料を参考に、各部・センターの協力を得て3つのレベル（階層）から構成される図を作成し、幹部打合せで議論をいただいた。

当該図の中で、上の階層に位置する図は、我々の生活に密着した各分野が、測量の施策等の恩恵を受けていることを示した図である。この中では、防災、施設管理、都市計画といったインフラ関係施策だけでなく、カーナビや移動支援など新たな成長分野においても恩恵を受けていることが分かるように配慮した。

中の階層に位置する図は、我が国の測地基準系や基本図整備を示した図（国レベルを表した図）で、我が国の基準点が、国全体の測地基準系を確立していること、そして地殻変動を明らかにしていること、基準点に基づき基本図を整備していることなどを示すものである。

そして、下の階層に位置する図が、測地基準系を確立するための VLBI、重力測量等について示した図である。特に VLBI については、我が国の原点座標を定めるための国際共同観測を行っていると同時に、うるう秒の計算にも使われるなど、我々の生活に身近な部分でも効果があることを示した。

さらに、中と下の階層に示す測量の施策等に関わる取組が、上に示す我々の生活を成り立たせていることを示した。

このようにして作成した図は、現在院内で進めている広報戦略の中のアピールポイントプロジェクトの一環として、地図と測量のストック効果の概要を説明するためのパンフレット（背広の内ポケットに三つ折りに入れられることから、通称「三つ折パンフレット」と呼んでいる。）の第1弾（No.1）の作成に使用した。（なお、三つ折パンフは、その後さらに No.2 として「地理院地図」、No.3 として「国土地理院のしごと一測る、描く、守る」、No.4 として「電子基準点」を作成した。また、これらシリーズの名称を、本省の広報戦略の取組内容を参考に、「伝える」から「伝わる」へ」とすることとなった。）

この3つの階層の図を実際に職員が説明するのは難しいことから、説明のシナリオを作成して内部ページに掲載し、地方測量部を含めて院内で共有化することで、院全体の説明レベルの向上を図った。この説明のシナリオは、一般向け、教育者向け、子供向け、産業界向けの4パターンを用意した。

なお、これら資料を作成するにあたっては、院内のみならず、研究会等の場において堤教授をはじめとする関係者から御意見をいただき、改善を図った。

平成28年度も、引き続きわかりやすく全体像を示す方法について検討する予定である。

3.2 測量が利用されている分野について具体的にどう役に立っているかの説明方法の確立（上記 ii)）

測量技術あるいは測量成果を利用しているいくつかの分野について、説明方法についての検討を行

った。詳細は現在でも検討中であるが、ベースとなる考えとしては以下のとおりである。

まず測量の利用分野が社会あるいは国民にとってどのような利益をもたらしているかの具体的な説明が必須となる。これは測量自らの説明というより、成果あるいは技術の利用者の立場を代弁することを意味する。測量を利用している分野は、国民の生活に欠かせず、かつその効果がわかりやすいものが多い。それを考慮すれば、その施策の意義をまず説明することは、それほどの労力をかけずして自らの価値を高めることができるという意味で効果的である。

情報化施工であれば、施工の効率化（生産性向上）、新規入職者への支援（未熟な作業員であっても機械のガイドを受けることで熟達する）がよく言われるが、それに劣らず重要なのが、緊急時の施工すなわち緊急復旧が切迫している危険な箇所でも、人命の損失の心配なく作業を行うことが可能、という点である。すなわち、測量が間接的に人命損失への懸念を解消している、という説明が可能であることである。我々の安心・安全につなげた説明は有効であり、できる限りそれに関連づけた説明が望ましいが、それを編み出すためには、測量の利用分野で行われている内容を、十分に理解する必要がある。

次に、測量技術が、利用分野にどのように貢献しているかという説明が求められる。例えば情報化施工であれば、測位の観点からは、電子基準点を用いた GNSS 測量技術等により、建設機械の正確な現在位置がリアルタイムで取得可能で、作業の効率化に寄与するという説明であり、また地図の観点からは TS を用いた測量技術等により、効率的に横断面の測量や横断面図等の図面が作成可能、といった説明ぶりである。

平成 27 年度は情報化施工やカーナビ、防災、文化財保護など一部の分野での資料作成にとどまったが、平成 28 年度以降、その他の利用分野も含めて引き続き検討する。

3.3 国土地理院あるいは測量計画機関が実施している測量の施策等の社会への貢献の整理（上記 iii）

ii)が利用分野からの検討であることに対し、iii)は測量の施策等から社会への貢献を整理する方法の検討である。平成 27 年度は、幹部打合せにおいて、8 つの施策等（電子基準点、VLBI、干渉 SAR、UAV、アーカイブ、電子国土基本図・地理院地図、防災地理情報、公共測量）に対し、経済、暮らし、防災・減災、歴史文化・観光・教育の視点から、想定される効果を整理した。

例えば電子基準点の効果については、情報化施工及び IT 農業の普及、準天頂衛星の補強サービス実現、海外展開の推進、巨大地震の後の早急な成果改定への対応、学校の地理教育への活用など、数多くあることが確認された。また、アーカイブについても、企業等による土地の立地条件の確認、生活に密着した情報としての活用、災害発生危険性の把握、歴史・地理の理解・教育・研究用等の利用など、様々な効果があると整理できた。

この中で、電子基準点については、三つ折パンフレットを作成した。パンフレットでは、上でまとめた効果をさらに整理し、電子基準点の役割を、測量の基準、位置情報サービスの支援、地殻変動の監視と地図更新への貢献、という 3 点に集約させ、測量以外の者にもわかりやすく理解できるよう努めた。人工衛星を使って測量する原理についても若干の解説を試みた。

平成 28 年度は、必要に応じて内容の精査を行い、測量の個別の施策についてパンフレット等の作成に取り組むとともに、3.1 あるいは 3.2 の検討をする中で、必要が生じたものについてさらに詳細を検討する予定である。

3.4 効果の定量化（上記 iv）

測量分野の効果の定量化は、その目的により大きく 2 つの考え方がある。1 つは施策を行う前に想定する効果と費用を明確にする、事前の効果分析であり、道路等の整備においてはこの分析結果をもとに、整備方法が 1 つに絞られる（国土交通省道路局ほか、2008；国土交通省、2009）。もう 1 つは、

施策を行った後に実際に現れた効果を測ることすなわち事業評価であり、ある事業を行うことでどの程度の効果が現れたかを統計数値等を拾いつつ分析するものである（常木，1990）。

効果については、本来、波及効果を含めさまざまな側面を検討する必要がある（中村，1997；御巫・森杉，1981），また、最終的には事前と事後の両方をカバーする研究を行う必要があると考えられるが、平成27年度は、手始めに、事業評価の観点から、電子基準点でどの程度の効果があったかについて、費用の節減と新たな事業の創出の観点から定量的に示すことを試みた。

どの程度事業が行われているかについては、国土地理院に公共測量の届けがあることから、それを活用して抽出し、電子基準点が存在することにより節減された費用を試算した。具体的には、H26に実施された公共測量の1級～3級基準点測量のうちGNSS測量で実施されたものを対象に、各級それぞれの総点数に対し、H26のGPSに関する積算方法と、H5のTSによる積算方法による予定価格を比較し、その差を節減された費用とみなして試算した。さらに、地図作成についても、H26に実施された、同時調整の工程が明確に存在する公共測量について、標定作業が効率的になると仮定し、同様に節減費用を試算した。なお、民間の測量でも地図作成等において同様の作業がかなりの程度実施されているが、必要な資料の収集が困難であるため、算定には加えなかった。以上を考慮した節減の割合は、誤差を多めに考慮しても、年間10億円～20億円の範囲にあると推定できた。

さらに、新たな事業の創出についての検討を行った。航空レーザ測量は、GNSS測量の普及の恩恵が大きい測量であり、H26で約7000km²実施された。そのほか、MMSや情報化施工、VRS測量の実施を含め、GNSS測量の普及により、あわせて数十億レベルの事業が創出していることなどが判明した。電子基準点の整備は、このように社会・経済効果が高い事業であることを示している。

今後は地図整備の効果についても検討を行うこととしている。平成27年度は、測量成果の使用承認申請（測量法第30条に基づく国土地理院長あての申請）について、使用する対象となる基本測量成果の内容・数量を明確にする作業を行った。この結果を用いて、平成28年度、地図の利用効果の定量的な分析を検討する予定である。

4. 結論と今後の課題

平成27年度は、上述の4つの課題毎に検討を行い、今後の道筋を確立することができた。特に、広報戦略に関する活動と連携することにより、埋もれかねない本研究の成果を広く提示する機会に恵まれたことは幸運であった。

平成28年度も、上述の課題ごとに述べたとおり検討を進めることとしており、あと数年かけ、測量分野の社会・経済効果を把握する体系を確立していきたい。

参考文献

- インフラ政策研究会（2015）：インフラ・ストック効果，中央公論新社。
- 国土交通省道路局，都市・地域整備局（2008）：費用便益分析マニュアル。
- 国土交通省（2009）：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）。
- 御巫清泰，森杉寿芳（1981）：社会資本と公共投資，新体系土木工学49，技報堂出版。
- 中村英夫（1997）：道路投資の社会経済評価，東洋経済新報社。
- 常木淳（1990）：公共経済学，新経済学ライブラリー，新世社。