

ETC2.0をはじめとしたITSの最新動向

国土交通省 道路局 道路交通管理課
高度道路交通システム(ITS)推進室 課長補佐

糸氏敏郎
ITOUJI Toshiro

ITS(高度道路交通システム)の取組みとして、平成27年8月から全国展開している「ETC2.0」は、大量の情報の送受信が可能で、ドライバーへの様々な情報提供だけでなく、経路情報の把握が可能となるなど、安全、円滑な道路交通の実現に大きく寄与するシステムである。本稿ではETC2.0をはじめとする最近のITSに関する取組みについて紹介する。

1 はじめに

ITSは、最先端のICT(情報通信技術)を活用して、人・道路・車を一体のシステムとして構築するものであり、高度な道路利用、ドライバーや歩行者の安全性等の実現とともに、交通事故や渋滞、環境問題、エネルギー問題等の様々な社会問題の解決に貢献するものである。国土交通省では、ITSの取組みとして、全国の高速道路上を中心にITSスポットを設置し、平成23年8月よりITSスポットサービスを開始している。平成26年10月にはサービスの名称をETC2.0に変更し、道路利用者への情報提供に加え、車両側から収集可能となる経路情報を活用して新たなサービス等の導入検討を進めている。さらに近年では、ICTの進展によって生成・収集・蓄積等が可能になる多種多量のビッグデータを活用し、新たなサービスの提供や業務の効率化等を実現することが期待されており、次世代のITSを進める上で重要なテーマの一つとなっている。

本稿では、このETC2.0サービスの取組み状況など、最近のITSに関する取組について紹介する。

2 ETC2.0サービスの内容

2.1 ETC2.0サービスの概要

ETC2.0では、ETC(ノンストップ自動料金支払いシステム)で活用している、国際標準化された高速・大容量通信を用いることによって、道路に設置された路側機と自動車に搭載されたETC2.0車載器等による様々なサービスの実現が可能となっている(図-1)。

都市間高速道路では10~15km間隔、都市内高速道路では約4kmの間隔で路側機を設置し、全国の高速道路上で、世界初となる路車協調サービスを提供している(図-2)。

ETC2.0は、これまでの情報提供サービスと比べ



図-1 ETC2.0サービスの仕組み

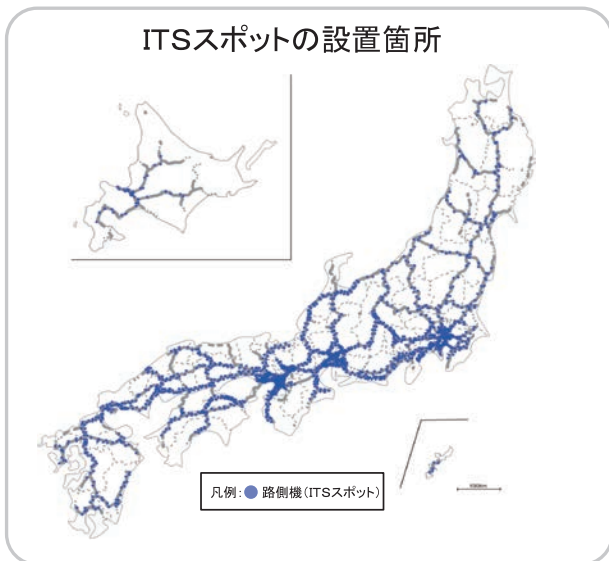


図-2 路側機 (ITSスポット) の設置箇所

て、大量の情報の送受信が可能となることや、車両の経路情報の把握が可能となることなど、格段に進化した機能を有しており、道路利用者はもちろん、道路政策に様々なメリットをもたらし、安全・円滑な道路交通の実現に大きく寄与するシステムとなっている。

2.2 広域的な渋滞情報の提供

県境を越える広域な高速道路や、様々なルートが考えられる都市圏内の高速道路の道路交通情報をリアルタイムで提供することで、カーナビが最速ルートを検索し、その時々最新の最新情報に従った最速ルートが賢く選択される。

これまでのFM-VICSでの渋滞情報は都道府県単位に限られていたが、ETC2.0では、道路延長で最大約1,000kmの道路を対象に、区間ごとの所要時間のデータをカーナビに提供し、カーナビ側が瞬時に最速ルートを計算して案内することが可能となっている(図-3)。

2.3 安全運転支援

ETC2.0は、通常時は広域な道路交通情報を提供する路側機であるが、各道路の交通安全上の課題に合わせて、安全運転支援に関する情報を提供している。

例えば、事故多発地点においては、カーブ先などの見えない渋滞を自動検知し、音声や画像により、渋滞

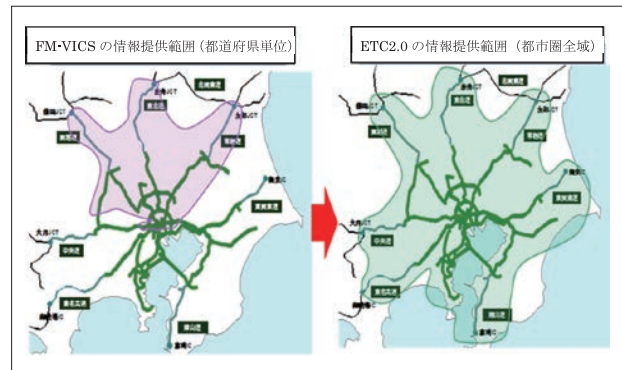


図-3 既存のFM-VICSとETC2.0による情報提供範囲の比較(首都圏)

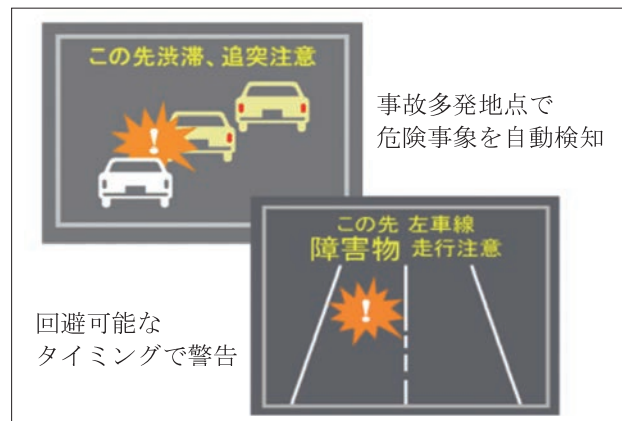


図-4 安全運転支援情報提供内容

末尾への追突事故を注意喚起している。また、首都高速では、落下物や故障車などが年間5万件(10分に1件)も発生しており、障害物の手前の回避可能なタイミングで警告している(図-4)。

3 ETC2.0プローブ情報の活用

3.1 ETC2.0プローブ情報の特徴

ETC2.0では、対応車載器の搭載車両が路側機の下を通過した際、プローブ情報として、走行履歴及び挙動履歴のデータ(表-1)を収集することが可能である。ETC2.0プローブ情報では走行開始地点や走行終了地点等の情報は収集されず、車両または個人を特定するための情報は含まれないことから、個人情報やプライバシーに配慮したデータ形式となっている。

ETC2.0プローブ情報は、利用上一定の条件はあるものの、これまでの統計データや車両感知器等からのデータによる分析と比較すると、以下のようなメ

表-1 プローブ情報として収集する情報

走行履歴データ	挙動履歴データ
・時間、位置(緯度、経度)、速度 等	・時間、位置(緯度、経度)、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度 等
※走行距離が200m毎または進行方向が45度以上変化した場合に記録	※加速度が±0.25G超または、ヨー角速度が±8.5deg/s超変化した場合に記録

リットがある。

- (1)前後加速度、左右加速度等が計測可能であり、これまでの事故統計データ等による分析に加えて、急ブレーキ、急ハンドル等の大量の危険挙動データによる危険箇所の分析が可能となる。
- (2)車両感知器等を利用した計測よりも、多くの断面による詳細な走行速度の分析が可能となる。
- (3)通過経路に応じた旅行速度等、目的に応じた様々な分析が可能となる。

3.2 特殊車両通行許可制度への活用

重さや寸法が制限値を超える大型車(特殊車両)が道路を通行しようとする際は、個別に通行経路を特定して、道路管理者に申請(特車許可申請)を行い、通行許可を得る必要がある。

ETC2.0車載器を装着した車両については、途中の通行経路を確認することが可能なことから、事前に経路を特定しなくても、通行経路の情報を得ることが可能となる。また、大型車誘導区間においては、自治体等が管理する区間を含めて、国が一元的に審査システムを用いて審査を行うことが可能であるため、複数経路の審査を容易に行うことができる。こうした新しい技術や仕組みを活用し、平成28年1月25日より、ETC2.0装着車への特車通行許可を簡素化する「特車ゴールド」の制度を開始したところである(図-5)。

これにより、ETC2.0の搭載車が大型車誘導区間を走行する場合は、その時々渋滞や事故を避けた効率的な輸送経路を選択することが可能となり、物流効率化への効果が期待される。

特に、電子データを活用した自動審査システムを強化し、通行許可を迅速化するため、車両に搭載して効率的に道路面上の地物データを取得するためのセンシング技術の公募を平成28年9月から実施し、検

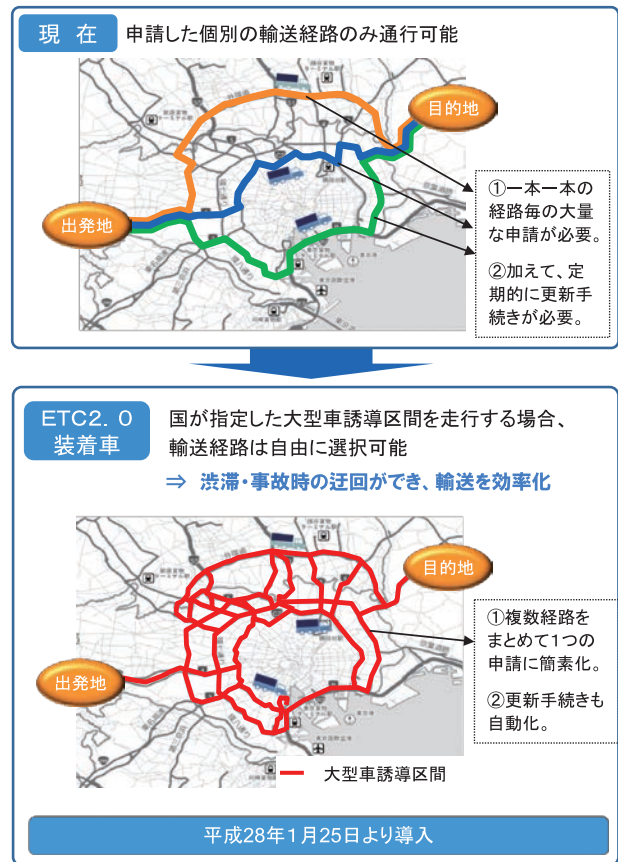


図-5 特車ゴールドの概要



図-6 車両搭載センシング技術

証を行っている(図-6)。

3.3 ETC2.0を用いた車両運行管理支援サービス

プローブ情報を物流事業者が活用できるようになれば、正確な到着時刻を予測することによる荷待ち時間の短縮だけでなく、危険箇所をピンポイントで特定することによる安全確保など、生産性の向上につながる運行管理が可能となる。

ETC2.0を活用した運行管理支援サービスは、平成27年11月より社会実験への参加者公募を開始し、平成28年2月に12組17社で第Ⅰ期の社会実験を開始している。また、平成28年9月には第Ⅱ期の社会実験参加者を公募している(図-7)。

3.4 渋滞と事故を減らす賢い料金

ETC2.0から収集されるプローブ情報に個別の車両を特定できる仕組みを付加することで、個別の車両の経路情報を把握することが可能となる。そこで、渋滞、事故等の状況に応じて利用者が複数ルートを経く選べるシステムの導入を検討している(図-8)。

特に、首都圏等の大都市部においては、環状道路の整備に伴って経路選択の幅が飛躍的に増加している。経路情報を収集・蓄積可能なETC2.0により、渋滞、事故等の状況に応じて賢く経路選択を行うドライバーに対する優遇措置が可能となることから、将来、道路ネットワーク全体の有効活用につながる事が期待されている。

4 おわりに

本稿では、ITSに関する最近の取組を紹介した。今後も、ETC2.0の特長を活かしたサービスの拡大を進めるとともに、自動運転などITS分野の最先端の技術

開発動向を見据え、引き続き、道路交通問題の解決に向けた取り組みを推進していく。

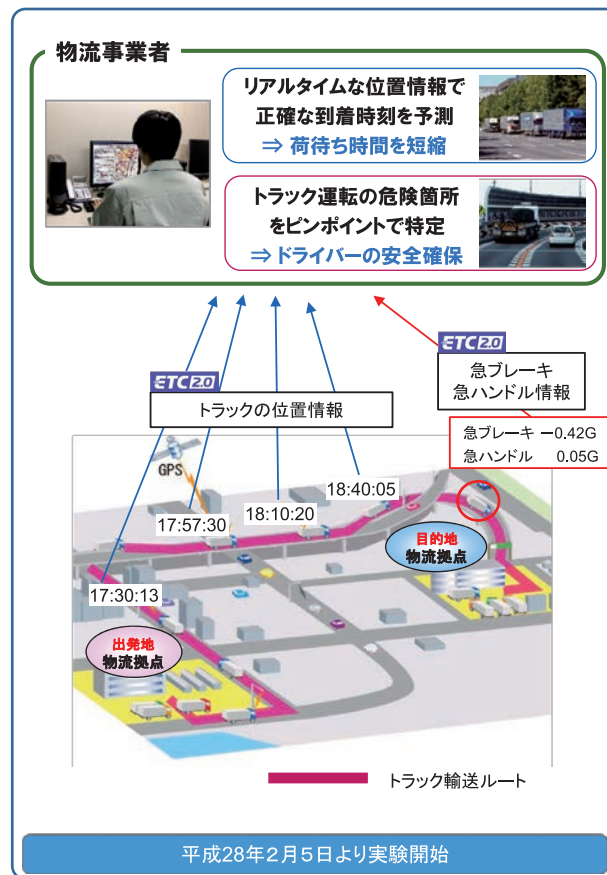


図-7 ETC2.0車両運行管理支援サービス

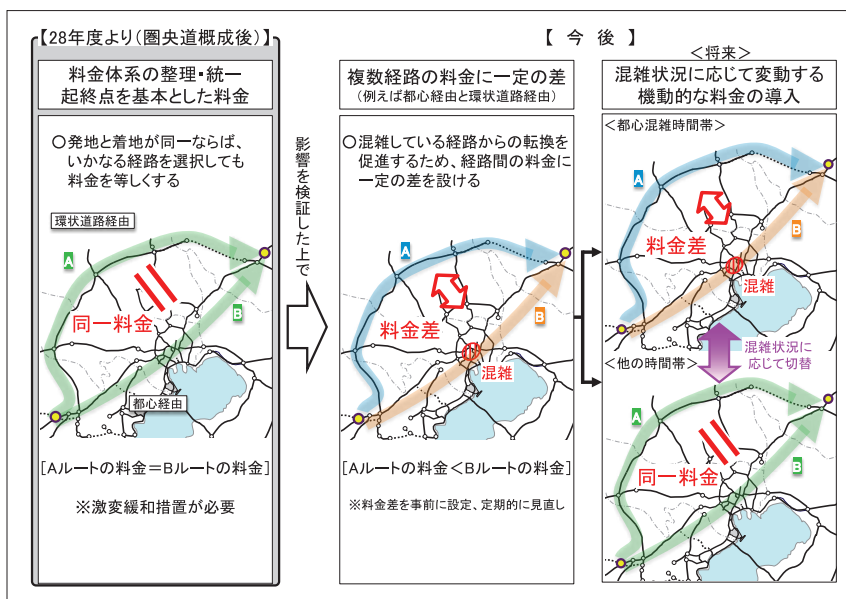


図-8 首都圏の料金体系の段階的な見直し(イメージ)

測地技術の変遷と電子基準点

国土交通省 国土地理院 測地観測センター 電子基準点課 課長補佐 石川典彦
ISHIKAWA Norihiko

1 はじめに

日本における地図作成に必要な地球上の位置を決定する測地技術は、アメリカが開発したGlobal Positioning System(GPS)の登場以降、劇的な変化を遂げることとなった。それを支えた重要なインフラが、国土地理院が全国に展開した電子基準点網である。電子基準点(図-1)とは、GNSS^{*1}衛星からの電波を、地上で連続的に観測する施設である。全国各地の電子基準点と、各電子基準点の観測データの収集、データ提供及び日々の座標値の算出を行う中央局(国土地理院本院に設置)とからなるGNSS連続観測システムの全体を、GEONET(GNSS Earth Observation Network System)と呼んでいる。このシステムにより、それぞれの電子基準点を測量の基準として用いることで、既設の基準点での観測作業より大幅に効率化された。また、時々刻々と進むわが国の地殻変動を全国ほぼ一様に監視することを可能とし、日本の地殻変動研究を飛躍的に進めることに貢献している。

2016(平成28)年で、GEONETが誕生して20年となるが、電子基準点の本格的な整備は、1993(平成5)年に始まった。その後、阪神・淡路大震災を契機に設置された国の地震調査研究推進本部は、1997(平成9)年に策定した「地震に関する基盤的調査観測計画」において、全国にGNSS連続観測施設を設置する

^{*1} GNSS (Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム) は、GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星 (QZSS) 等の衛星測位システムの総称である。

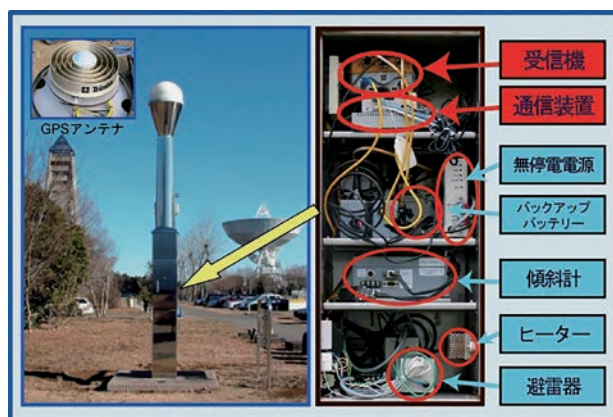


図-1 電子基準点

ことを計画している。電子基準点の設置はこの計画への対応でもあった。

現在、電子基準点の数は約1,300点に達し、一つの国をほぼ均等にカバーするGNSS連続観測網としては、世界で最も高密度のものとなっている。本稿では、まず電子基準点網の整備以前に行われていた測地技術の変遷について述べ、その後、電子基準点網の整備の歴史と、現状と将来について述べる。

2 電子基準点以前

2.1 経緯儀による測量

日本の位置の基準の枠組みを決める一等三角測量(図-2)は、1883(明治16)年に始まり、1915(大正4)年に日本全国(一部離島除く)の測量が完了した。これに先立ち、三角網に大きさを与えるために網の一辺に基線尺を用いて測定する基線測量が1882(明治15)年から1913(大正2)年までに全国15カ所の

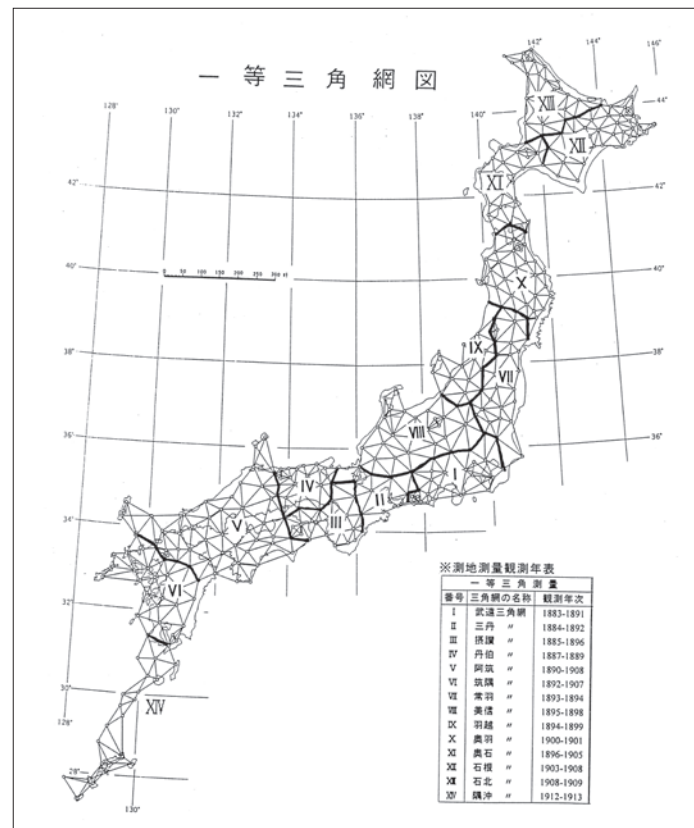


図-2 一等三角測量網図

基線において実施された。

我が国の一等三角点は1883(明治16)年武蔵三角網に着手以来、1915(大正4)年千島三角網に至る15ブロックを32年かけて設置したものである。三角点同士を結んで三角形を作り、それをつなげて網を構成していく。この三角網のかたちを決めるのが角観測であり、経緯儀を使用して観測していく。一等三角点の点間距離は25km前後で、一等三角点の間にさらに二等三角点を設置して、順次網目の大きさを縮めて、三等三角点までは、点間距離は4km平均、5万分の1地図を作る基準点として利用された。

この三角測量は、測距儀が測量の主流となる昭和40年代まで実施された(図-3)。

2.2 測距儀による測量

1951(昭和26)年に国土調査法が制定され、地籍調査事業が本格的に始まり、地籍測量に必要な基準点の測量を国土地理院が担うこととなった。基準点の測量に関して、当初、三角測量方式で四等三角点



図-3 一等三角測量観測風景

を、平野部、隠蔽地等では距離測定に鋼巻尺を使用した多角測量方式で二等多角点を設置していた。1964(昭和39)年頃から電磁波測距儀が実用化され、距離測定の精度と能率が飛躍的に向上したことにより、四等三角測量も多角測量方式が主流となった。その後、光波測距儀が実用化され、1980年代前半に、経緯儀と光波測距儀が一体化された、測量機器(トータル

ステーション)が開発され、多角測量の効率が向上した。

1974(昭和49)年から開始される第三次基本測量長期計画において、測地基準系の維持、日本列島の地殻変動の解明を目的として「精密測地網測量」が事業化された。精密測地網は、一・二等三角点で網を組んだ一次基準点網と、三等三角点を主とした二次基準点網で構成されている。

一次基準点測量の測量方式は、光波測距儀と経緯儀による距離測定、角観測を組み合わせたアンブレラ方式が当初採用されたが、所要精度の確保と経費の関係から、原則として三辺測量方式に変更された。なお、比高差が大きい点間では傾斜補正の精度を上げるため鉛直角の観測も同時に行われた。

一次基準点測量の使用機器は1989(平成元)年まで光波測距儀(図-4)が主体であったが、1990(平成2)年からは一部の地区でGPS測量機が導入され、1993年にはすべての地区でGPS測量機が使用されることとなった。1993(平成5)年に第2回目の全国測量が終了したが、翌年からの第五次基本測量長期計画からは高度基準点測量に移行した。

一方、二次基準点測量の測量方式は経緯儀や光波測距儀を用いた任意多角測量方式や三辺測量方式が採用された。1990(平成2)年からはGPS測量機が導入され、1993(平成5)年まで行われた。第五次基本測量長期計画では地域基準点測量に名称を変更して実施している。



図-4 光波測距儀 (AGA社ジオジメーター 8型)

2.3 宇宙技術による測量

宇宙測地技術による測量は、1961(昭和36)年に米海軍が軍事目的に人工衛星航法システムであるNNSS(Navy Navigation Satellite System)の運用により開始された。NNSSは、衛星の出す電波のドップラー効果を地上の受信装置で測定し、鉛直線偏差の影響を受けずに観測点の三次元位置を決定するものである。1967(昭和42)年に一般船舶の航法用として民間にも公開され、当時このシステムの持つ高精度性から、測地目的にも世界各国で広く使用された。

国土地理院においても、国内測地網の規正及び離島位置の決定のため、光学方式による人工衛星の測量を実施してきた。しかし、これは雨雲等の天候により観測が不可能になることがあった。そこで、1976(昭和51)年に、電波を観測するため天候に左右されず、人工衛星観測よりも機動的な観測が可能なNNSSを導入した。

NNSSによる測量は、日本の測地系と世界測地系の結合、測地網の規正、離島の位置決定、ジオイド高の検出等を目的とし、観測は、国内はもとより南極等で実施した。NNSSによる測量は1990(平成2)年まで行われたが、それ以降、より精度の高いGPSによる測量に移行した。

他方、国土地理院では、測地網の規正、プレート運動及び地殻変動の検出等を目的として、VLBI技術を用いた超長基線測量を行うため、1981(昭和56)年より、口径5mのアンテナをもつ可搬型VLBI観測装置を開発した。VLBI(Very Long Baseline Interferometry: 超長基線電波干渉法)では、はるか数十億光年の彼方から地球に届く同じ電波星(準星:クエーサー)の電波を複数のアンテナで受信し、原子時計の時刻をもとに相関処理をすることにより、電波の到達時刻の差(遅延時間)を求め、その差から何千kmも離れたアンテナ間の位置関係を数mmの誤差で測ることができる技術である。

この可搬型VLBI観測装置は、通信総合研究所(当時)のVLBI鹿島局を主局として全国9ヶ所で観測実施し、プレート運動を検出する等一定の成果をあげた。その後、1992(平成4)年に通信総合研究所から国土地理院へ鹿島局が移管され、1995年(平成7)年



図-5 VLBI石岡局全景

から順次新十津川局、父島局、始良局と整備し、1998(平成10)年には、口径32mのアンテナを有するつくば局が国土地理院構内に設置され、VLBI固定局として整備された。

その後、1992(平成4)年から電子基準点の全国配備が進んだことにより、日本全国の高密度、高頻度な観測が可能となったため、VLBI観測は、当初の目的から変わってプレート運動の検出、ITRFの維持・高精度化、電子基準点網の点検等、全地球的規模の観測を担うこととなった。固定局のうち、鹿島局(2002年度解体)、つくば局では、DOSE(固体地球力学観測計画)やCORE(地球回転連続観測事業)などの国際共同観測に参加してきた。また、1999(平成11)年にIVS(国際VLBI事業)が発足し、国土地理院を含めた全世界のVLBI関連機関が加盟し、IVSの下で国際VLBI観測等を実施してきた。2016(平成28)年には最先端のVLBI観測施設を整えた石岡測地観測局が本格運用を開始し、2017(平成29)年からつくば局の役割を引き継ぐ予定である(図-5)。

2.4 GPS登場

国土地理院がGPS受信機を最初に導入したのは、1986(昭和61)年度末で、その次年度よりGPSによる試験観測を実施してきた。試験観測を開始した当時は、日本で観測可能なGPS衛星数が少なかったため、十分な精度が得ることが容易ではなかった。このような制約のある観測条件の下で精度を向上させるために取り組んだことの 하나가、人工衛星の精密軌道決定

であった。このため、新十津川、つくば、鹿屋、父島の4カ所に軌道追跡局を整備し、国土地理院独自の軌道決定を行っていた。また、精密測地網測量、基準点測量、地殻変動観測といった光波測距儀で実施されていた従来の測量にGPSを使用する試みが1990年代の前半に精力的に行われた。このような試みを経て、1992(平成4)年のGPS衛星の完全配備以降、GPSを利用した測量が実用化するに至ったのである。GPSによる測量の実用化は、従来、測量作業の効率を大きく左右してきた天候と視通の問題を解決し、国土地理院の測量の歴史の上で画期的なものであった。

3 電子基準点時代

3.1 電子基準点黎明期

1993年3月に基準点体系分科会最終報告書が提出された。「いつでも」「どこでも」「必要な精度で」位置の情報の基準を提供するため、数年間の討論を重ね、明治以来の基準点体系に代わる電子基準点を導入した新基準点体系がまとまった。そして、この報告書において初めて「電子基準点」という用語が使用された。

国土地理院では、基準点体系分科会最終報告書に基づき、第5次基本測量長期計画(1994(平成6)年～2003(平成15)年)では、電子基準点測量を事業計画に組み入れた。

最初に大規模な観測点網を構築する契機となったのが、1993(平成5)年の補正予算として、基準点体系分科会最終報告書に基づいた電子基準点整備である。地震予知連絡会が重点的に観測を強化する地域として観測強化地域に選定した南関東・東海地域にGPS連続観測点を110点、平均点間距離約15kmで設置した。この110点のGPS連続観測点は、1994(平成6)年4月に本格運用が開始された。このシステムは、COSMOS-G2(Continuous Strain Monitoring System with GPS by GSI)と呼ばれた。

また、1994(平成6)年度に、全国の広域的な地殻変動の検出と高精度な測地網を構築することを目的として全国にほぼ均等に100点が整備され、1994(平成6)年10月1日より本格運用された。このシステムの名称は、GPS Regional Array for PrEcise Surveyingを略して、GRAPESという。GRAPESの運

用開始から3日後、「平成6年(1994年)北海道東方沖地震」が発生し、GRAPESはこの地震に伴う地殻変動を検出した。従来、地殻変動の検出には基準点上の現地測量により多くの年月を要していたが、GRAPESによるGPS観測で数日のうちに検出されたことは多くの関係者に衝撃を与えた。

1996(平成8)年度には、阪神・淡路大震災を契機に新たに400点を整備し、全国610点の電子基準点網とCOSMOS-G2、GRAPESを統合したシステムを構築して、GPS Earth Observation Network System(GEONET)が誕生した。また、同年度に国土地理院に測地観測センターが設置され、電子基準点等を一体的に運用していくこととなった。さらに、期を同じくして、測量法施行規則が改正され、電子基準点が測量標として追加され、電子基準点の名称とともに、測量標として認められることとなった。

3.2 電子基準点成長期

阪神・淡路大震災以降、電子基準点網は全国高密度に整備され、1997(平成9)年度末までに947点の電子基準点を設置した。

1997年8月に地震調査研究推進本部から公表された地震に関する基盤的調査観測計画の中で「20~25km程度の間隔で全国に偏りなくGPS連続観測施設(電子基準点)を設置することが適当と考えられる。」とされ、国土地理院では、この基盤的調査観測計画を踏まえ、1999(平成11)年12月に基本測量長期計画の見直しを行い、全国20~25km間隔で電子基準点を1,200点整備する計画に変更した。そして、2002(平成14)年に253点を増設し、目標の1,200点が整備され平均点間距離は約20kmとなった。

2002(平成14)年に設置した電子基準点には、これまでより高精度な観測を行うため、アンテナにはマルチパスに強いDorne Margolin T型のチョークリングアンテナを採用した。アンテナ架台は日射による架台の変形の影響を軽減するために二重管プレーにし、積雪地域についてはさらにレドームへの積雪を軽減するための改造を行った。また、富士山山頂と南鳥島など電力線や電話線のない場所にも設置し、ソーラー発電や衛星携帯電話等を採用し観測を実施している。そして、既設の電子基準点について

も、Dorne Margolin T型チョークリングアンテナに交換してアンテナタイプを統一するとともに、レドームが設置されていなかった電子基準点については架台改修を行い、レドームを設置した。また、同時にシステムの改造を実施し、観測データの通信網については、従来の電話回線から仮想閉領域通信網(IP-VPN: Internet Protocol-Virtual Private Network)による常時接続回線に移行し、リアルタイムにデータ(1秒値データ)を取得して電子基準点中央局へ送ることが可能となった。1秒値データは、リアルタイムデータ配信システムを経由し、配信機関へ分配され、位置情報サービス事業者へ配信されるようになった。一方、1秒値は3時間毎にRINEX形式へ変換され、3時間毎に6時間分のデータを提供することが可能となった。併せて3時間毎に6時間分のデータを解析することが可能となった。システム全体の改造としては、大容量のデータの高速処理や将来の電子基準点等の増設を視野に入れた拡張性をもったものになった。

2002(平成14)年の改正測量法の施行により我が国でも世界測地系が採用され、電子基準点の測量成果(座標値)が公共測量等で利用できるようになった。1999(平成11)年8月よりインターネットで30秒毎の観測データは、受信機に依存しない標準形式(RINEX形式)で公開されており、公開当初は観測データの利用者は研究者が主だったが、公共測量に利用できるようになったことにより、広くGPS測量(相対測位)の基準データとして利用されることとなった。また、位置情報サービス事業者がリアルタイムデータを利用してネットワーク型RTK測位のサービスを開始した。これにより精度よくリアルタイムで位置を決定することができるようになり、公共測量や工事測量、不動産登記等に広く活用されることとなった。

3.3 電子基準点の将来

現在の電子基準点には、測量の基準点として設置されたもの以外に、元々地殻変動観測や験潮場の海面変動の監視を目的とした点等の観測局があった。しかし、東日本大震災以降はこれらも電子基準点として取り扱うこととし、現在では全国約1,300点の

電子基準点がある(図-6)。

電子基準点が登場した頃に世界で運用されていた衛星測位システムは、GPSのみであったが、現在では準天頂衛星システム(QZSS)、GLONASS衛星、Galileo等様々なGNSSが運用を開始しつつある。このような複数のGNSSが運用される時代に対応するため、電子基準点でもマルチGNSSへの対応を進め、2013(平成25)年に従来のGPSに加え、準天頂衛星、GLONASSのデータの提供を開始し、2015(平成27)年度末には、Galileoのデータ提供も開始した。この一連のマルチGNSS対応により、従来のGEONETもGNSS Earth Observation Network system (GEONET)と名称を変え進化している。

電子基準点は、今や測量の基準点としての役割ばかりでなく、地殻変動観測の分野では、電子基準点の観測データを解析した結果、日々の日本列島の地殻変動がわかるようになり、地殻変動の研究の進歩に寄与し、そのほか、位置情報サービス、天気予報、学術研究等を支えるインフラとして不可欠なものになっている。

国土交通省では、2013(平成25)年3月にとりまと

めた情報化施工推進戦略で、「電子基準点を利用したネットワーク型RTK法による衛星測位技術は、今後GPS衛星以外の測位衛星の併用により、測位可能な時間と場所の増大と安定性の向上が期待されている。ネットワーク型RTK法では、施工現場毎に設置している基準局が不要となるなどのメリットがあるため、情報化施工での活用の拡大が期待されている技術である。」としており、現在、さらに発展させてi-Constructionとして推進している。

民間等では、リアルタイム測位サービスを強化するため、民間独自のGPS連続観測点を追加整備して、観測密度を上げる動きがあり、電子基準点のデータとあわせて、高精度に位置決定をする技術により、移動体分野で自動運転技術の実用化を目指している。

今後も、様々な分野での利用も期待される電子基準点であるが、国土地理院としては、今後も電子基準点の高度化をはじめ、GNSSを賢く測量や測位に使うことができる環境の整備に努めていきたい。

4 おわりに

全国に電子基準点を設置してから20年以上経ち、点数も今や1,300点を超え、インフラとしてはなくてはならないものまでに成長した。電子基準点の観測データ利用者も、測量のみならず、研究や様々な分野で使われ、電子基準点を故障無く運用し、観測データを遅滞なく提供することが使命となっている。今後、常時安定稼働させるため、計画的な機器・設備の更新、また、受信データの品質確保等の課題があるが、今後とも電子基準点が幅広く利用されるために努力していきたい。

参考文献

- 1) 国土地理院、国土地理院の測量事業・技術の変遷、国土地理院時報第100集、p8～23、平成15年3月31日発行
- 2) 国土地理院、電子基準点1,200点の全国整備について、国土地理院時報第103集、p4～50、平成16年2月29日発行
- 3) 辻宏道・宮川康平・山口和典・矢萩智裕・大島健一・山尾裕美・古屋智秋、電子基準点のGNSS対応、「国土地理院時報第124集」、p139～147、平成25年12月27日発行
- 4) 日本測量協会、測量・地図百年誌、日本測量協会、p74～84

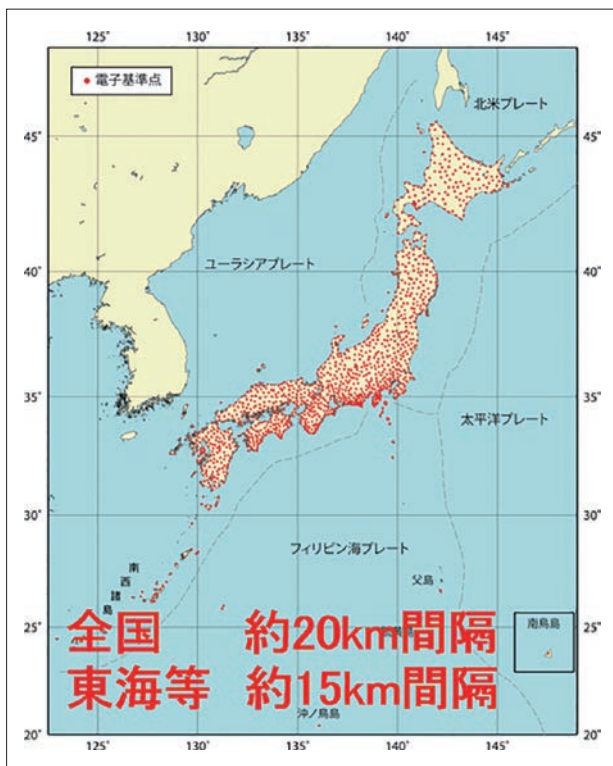


図-6 電子基準点配点図

作業規程の準則に関する最新動向

国土交通省 国土地理院 企画部 技術管理課 課長 島田信也
SHIMADA Nobuya

1 はじめに

「公共測量作業規程」は、測量法(昭和24年法律第188号)第33条で以下のとおり規定されている。「測量計画機関は、公共測量を実施しようとするときは、当該公共測量に関し観測機械の種類、観測法、計算法その他国土交通省令で定める事項を定めた作業規程を定め、あらかじめ、国土交通大臣の承認を得なければならない。これを変更しようとするときも、同様とする。2公共測量は、前項の承認を得た作業規程に基づいて実施しなければならない」。

次に「作業規程の準則(平成20年国土交通省告示第413号)」(以下「準則」という。)は、測量法第34条で、「国土交通大臣は、作業規程の準則を定めることができる」と規定され、測量計画機関が公共測量作業規程を作成する際の規範となるものとされている。

国土地理院では、この準則について、測量技術の進展及び利用環境、利用者のニーズを踏まえ適切な規程、規範となるよう調査検討に取り組んでいるところである。

一方で近年の技術革新はめざましく、準則に記載されていない新たな測量技術や作業方法が次々と誕生している現状がある。代表例としては、無人航空機(以下「UAV」という。)や地上レーザスキャナーを用いた測量があげられる。このような新たな測量技術について、準則第17条第2項では、所定の精度が確保できるのであれば、使用できると定めている。

国土地理院では、これまで新たな測量技術等に対応するための作業マニュアルを用意し、準則に反映

されるまでの間はこのマニュアルに従って公共測量を実施できるような措置を講じてきている。

現在、国土地理院のホームページでは、GNSS測量による標高の測量マニュアル(平成25年4月制定、平成27年7月一部改正)をはじめとして数種類の作業マニュアルが公開されており、後段で紹介する。

2 「準則」の一部改正について

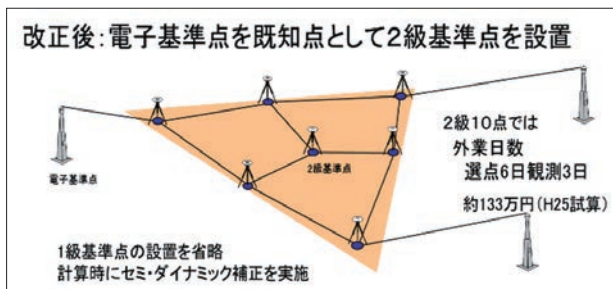
国土地理院では準則について、その一部改正を平成28年3月31日に行った。

主な改正内容は、①「電子基準点のみを既知点とした基準点測量」の適用拡大、②「車載写真レーザ測量」の新規追加、③「多言語表記による図式」の新規追加であり、その概要を簡単に紹介する。

2.1 「電子基準点のみを既知点とした基準点測量」の適用拡大

本改正は、電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル(平成26年4月一部改正)を準則に反映させたものである。

改正前までは1級基準点測量でのみ利用可能となっていた、電子基準点のみを既知点とする方法を2級基準点測量にも利用できるようにしている。また、4級基準点測量においても、既知点が電子基準点または電子基準点のみを既知点とする方法で設置された基準点を使用するなど一定の条件を満たせば上位の3級基準点測量を経ずに行うことができるように緩和している。これらにより、基準点測量のコストダウン及び、作業の効率化が可能となっている。(図-1)



改正前：1級基準点設置後に2級基準点を設置

電子基準点を既知点として1級基準点を設置

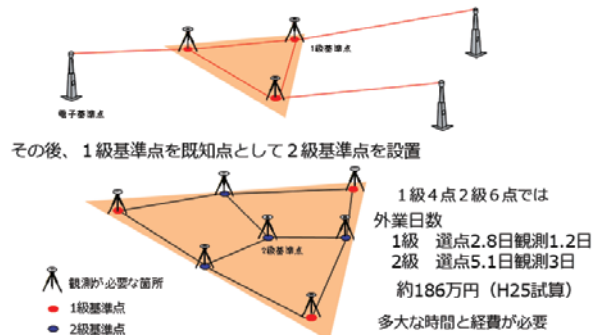


図-1 電子基準点を既知点とした2級基準点設置

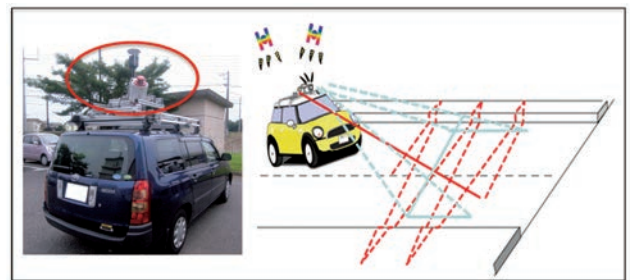
要点を整理すると以下の3点になる。

- ①電子基準点のみを既知点として、1級基準点を設置せずに2級基準点測量を行うことができる。
- ②2級基準点測量において、電子基準点のみを既知点として用いることで、従来行っていた既知点の現地での観測が不要になった。
- ③4級基準点測量において、電子基準点のみを既知点として設置した基準点を既知点とする場合、路線の辺数や路線長が緩和された。これにより、2級基準点から3級基準点を設置しなくとも直接4級基準点測量を行うことができるようになった。

2.2 「車載写真レーザ測量」の新規追加

本改正は、移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル(案)(平成24年5月制定)を準則に反映させたものである。

車載写真レーザ測量は、通称「MMS」とも呼ばれるもので、地形測量及び写真測量に利用できる技術である。特徴は、車両に自車位置姿勢データ取得装置及び数値図化用データ取得装置等を搭載した計測・解析システムを用いて、実際に走行することで道路及びその周辺の地形、地物等を測定し、取得したデータ



作業工程

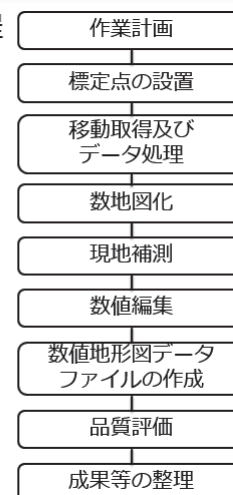


図-2 車載写真レーザ測量の作業工程

から数値図化機及び図形編集装置により数値地形図データを作成することができるというものである。(図-2)

本測量では、数値地形図データの地図情報レベルは500又は1000を標準としており、道路台帳や下水道台帳関連の測量での効率化が期待されている。

2.3 「多言語表記による図式」の新規追加

本改正は、外国人向けの地図整備に利用する標準的な英語表記および図式の基準を準則に規定したものである。

訪日外国人旅行者の円滑な移動や快適な滞在のための環境整備を進める上で、多言語に対応し外国人にわかりやすい地図を普及させることが重要である。そこで、地図における地名等の英語表記基準や外国人が直感的に理解しやすい地図記号を新たに追加している。(図-3、4)

この図式で示す地図記号は、外国人向けのものである。既存の地形図の地図記号は当面変更の予定はない。

項目	地図記号	項目	地図記号	項目	地図記号
郵便局	✉	病院	🏥	レストラン	🍴
交番	👮	銀行/ATM	🏦	公衆便所	🚻
神社	⛩	ショッピングセンター/百貨店	🛒	温泉	♨
教会	🏛	コンビニエンスストア/スーパーマーケット	🛒	鉄道駅	🚉
博物館/美術館	🏛	ホテル	🏨	空港/飛行場	✈

図-3 外国人向けとして新たに追加された地図記号



図-4 伊勢志摩サミットでの利用例

3 新たな測量技術への対応について

現在、準則第17条(機器等及び作業方法に関する特例)に対応したマニュアルの整備状況は以下のとおりであり、国土地理院公共測量のページから公開している。

- ・GNSS測量による標高の測量マニュアル(平成25年4月制定、平成27年7月一部改正)
- ・マルチGNSS測量マニュアル(案)(平成27年5月制定、平成27年7月一部改正)
- ・UAVを用いた公共測量マニュアル(案)(平成28年3月制定)

以下に、それぞれの概要と現在整備に取り組んでいる地上レーザ測量マニュアル(案)について紹介する。

3.1 GNSS測量による標高の測量マニュアル(平成25年4月制定、平成27年7月一部改正)について

本マニュアルは、ジオイド・モデル「日本のジオイ

ド 2011」と GNSS 測量により、準則第 47 条第3項に規定されている3級水準測量の作業方法を定めたものである。

水準点は、準則第2編第3章「水準測量」において規定される作業方法により標高を求めている。しかし、水準点は主要国道沿いのみを設置されていることが多いため、測量実施地域の近傍に既設の水準点がない場合は、遠方の水準点から、多大な時間と経費をかけて水準測量を行っているのが実状である。近年、GPS、準天頂衛星、GLONASS 等の衛星測位システムの充実及び国土地理院のジオイド・モデルの高精度化により、スタティック法によるGNSS観測で3級水準測量のレベルで標高の測量が行えるようになった。これらにより標高の測量は効率化を図ることが可能となったが、電波の大気による遅延(大気遅延)は標高に大きく影響を及ぼす場合があることから、作業地域の気象条件に十分注意することが必要である。

3.2 マルチGNSS測量マニュアル(案)(平成27年5月制定、平成27年7月一部改正)について

近年、米国の GPS だけでなく、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo、日本の準天頂衛星システムといった各国の衛星測位システム(GNSS)の利用が可能になり、複数の種類の測位衛星や新たな周波数帯の信号が利用できる「マルチ GNSS」の環境が整いつつある。測量分野でも、こうしたマルチ GNSS の信号を賢く活用することで、ビル街や山間部等といった上空視界に制約があり GPS だけでは測量が難しい地域でも、測量できる場所や時間の拡大が期待されている。また、新しい L5 信号を利用して3周波測位を行うことで、従来と同じ精度をより短い観測時間で達成することも期待されている。本マニュアルは、このような期待に応えるべく、国土地理院が行った技術開発や実証実験に基づき、現在配備中の GNSS や L5 信号の今後の利用の進展を想定し、GPS、GLONASS、Galileo 及び準天頂衛星システムといったマルチ GNSS の信号を単独若しくは複数組み合わせる測量により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示したものである。なお、

準則第37条(観測の実施)第2項第二号口に規定するGNSS 衛星の組合せは、本マニュアルに規定するGNSS 衛星の組合せの一部であり、本マニュアルは準則の規定を拡大するものとなっている。

3.3 UAVを用いた公共測量マニュアル(案)(平成28年3月30日制定)について

国土地理院では、平成27年度にUAV測量の導入に向けて、有識者による「UAVを用いた空中写真測量に関する調査検討委員会」を開催し、作業方法等を整理して「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」をとりまとめた。これはi-Construction推進のために国土交通省が整備・公表した15の基準類の1つである。

本マニュアル(案)では、UAVに搭載された民生用デジタルカメラで撮影した空中写真と、三次元形状復元(SfM/MVS(Structure from Motion / Multi-View Stereo))計算ソフトを使用して、三次元点群データを作成する方法を示している。この方法で作成される三次元点群データを用いることで、例えば任意の線に沿った地形断面図の作成や、一定範囲内の土量計算等を行うことが可能となっている。なお、この測量方法では、三次元形状復元計算ソフトが、重複して撮影された空中写真から特徴点を自動抽出し、標高等を算出することから、土木工事現場などでは草木が存在しない裸地の場所での測量に適用することを原則としている。

UAVの進歩はめざましく、半年前に発売された機種が陳腐化してしまうほどの勢を持っている。したがって、マニュアルの内容は継続して更新し続けていく必要があることから、実際の利用実態などを踏まえつつ、作業方法などについて、継続して見直し

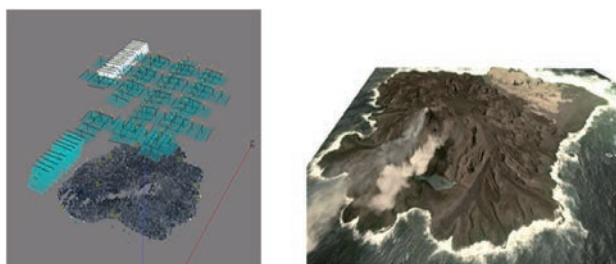


図-5 UAVで撮影した空中写真を用いた三次元点群測量のイメージ

作業に取り組んでいる。

3.4 地上レーザ測量マニュアル(案)の検討について

近年、レーザ技術が発達し、測量分野では「航空レーザ測量」が平成20年の全部改正で、「車載写真レーザ測量」が平成28年の一部改正でそれぞれ準則に規定されている。

地上レーザ測量とは、地上に設置したレーザスキャナーにより、対象物を高速でスキャンして対象物までの距離や反射強度を測定し、三次元点群データや数値地形図データを作成する技術である。

本マニュアル(案)では、準則第17条第2項を適用し公共測量として実施された地上レーザ測量のマニュアルや、民間事業者が独自に整備した地上レーザ測量のマニュアル等を幅広く情報収集し、これらを踏まえて公共測量で利用できる標準的な地上レーザ測量のマニュアルとして、平成28年度中に取りまとめることを目指しているものである。

また近年は、UAVに搭載できるレーザスキャナーに関する技術開発も進んでいる。空中写真による測量では困難であった草木が生えている地域でも、ある程度正確な地表面の形状が得られるなど、詳細な地形の測量への応用が期待されていることから、こちらについても、早期のマニュアル作成を視野に情報収集を進めている。

4 まとめ

公共測量作業規程の規範となる準則は、測量技術の進歩やその利用環境に伴い、それに応じた適切な規程、規範となることが求められている。今後もマルチGNSS測量やUAVによる測量の新技术への対応を進める予定である。

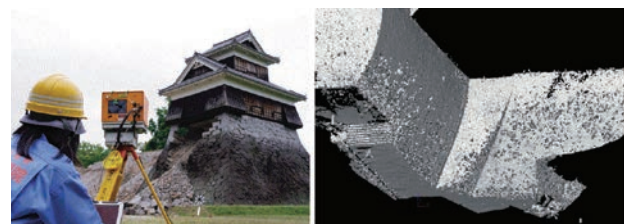


図-6 熊本城復旧支援のための地上レーザ計測事例

地殻変動と測量成果管理

国土交通省 国土地理院 測地部 測地基準課
基準管理係長 山下達也
YAMASHITA Tatsuya

1 はじめに

国土地理院では、国土管理や社会経済活動に資することを目的として、我が国の位置の基準である三角点・水準点・電子基準点を維持・管理し、それらの位置情報(緯度・経度・標高)を測量成果として公表・提供している。測量成果に関して、国土地理院が所管する測量法の第31条では、地殻変動等により現況に適合しなくなった場合、速やかに修正しなければならないと定めている。地学的に見ると、日本列島とその周辺にはプレートと呼ばれる固い岩盤が複数存在しており、それらが互いに近付き合い、常に地殻変動が生じている。そのため、国土地理院はプレートの動きや、地震に伴う地殻変動を掌握し、再測量と計算によって測量成果を修正している。本稿では測量成果の修正の一例として、平成28年(2016年)熊本地震に際して行った測量成果の改定について述べる。

2 平成28年熊本地震における測量成果の改定

2.1 測量成果の公表停止

熊本県とその周辺では、4月14日に発生した地震(マグニチュード6.5)を皮切りに、4月16日に本震(マグニチュード7.3)が発生した¹⁾。地震前後の電子基準点の変動量を解析した結果、最大で約1mの水平変動を示す点が熊本県内に存在すること、加えて5cm以上の水平変動を示す点が、大分、福岡、長崎、宮崎の各県にも存在することが判明した。この結果に基づき、当該地域の測量成果の公表を4月16日に停

止した。その内訳は、水平変動量が5cm以上の電子基準点38点、天草市と苓北町を除く熊本県全域と38点の電子基準点が設置されている市町村にある全ての三角点4,169点、熊本県内の水準点296点の合計4,503点である(図-1)。

2.2 電子基準点の測量成果改定

測量成果の公表を停止した電子基準点38点のうち、37点の新たな測量成果を5月19日に公表した。周辺の樹木による受信データの品質低下が確認されていた残りの1点については、伐採により受信データの品質を改善し、6月16日に測量成果を公表した。地震による変動後の新しい測量成果は、4月28日~30日までのデータに基づき、基線解析と称する点間の相対位置関係を求める計算と、網平均計算と呼ばれる統計的に尤もらしい位置を定める計算を実施する

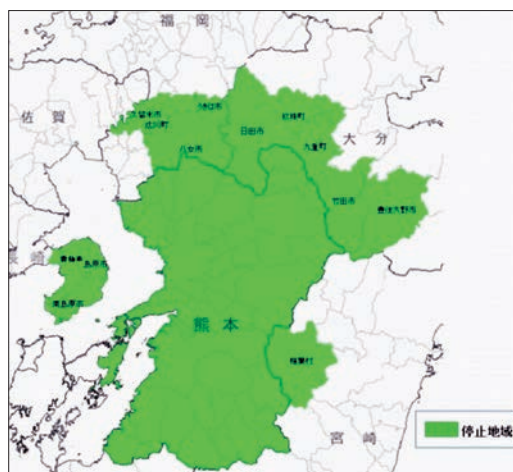


図-1 電子基準点、三角点の測量成果の公表を停止した地域。

ことで決定した。なお電子基準点の測量成果改定量の最大値は、水平方向で1.03m(南阿蘇村)、上下方向でそれぞれ+0.28m(南阿蘇村)、-0.19m(熊本市)であった。電子基準点の新しい測量成果は、後続の三角点の測量成果改定に使用した。

2.3 三角点の測量成果改定

2.1節で述べたとおり、測量成果の公表を停止した三角点は4,000点を超過しており、全点を早期に再測量するには必要な人員・予算が膨大となり、効率も悪い。過去の大規模な地震においては、複雑かつ大きな地殻変動が生じている地域と、変動の空間変化がなだらかな地域に分けて三角点の測量成果の改定を実施した。複雑かつ大きな地殻変動が生じている地域では全点再測量し、変動の空間変化がなだらかな地域では、一部の三角点で行った再測量の結果に基づいて補正パラメータを構築し、残りの三角点の測量成果を計算により改定してきた。ここで補正パラメータとは、空間補間と呼ばれる数的手法によって推定した地震に伴う地殻変動の空間分布データである。平成28年熊本地震においても、過去の地震と同様の方針を採用することとした。

(1) 全点再測量による改定域と補正パラメータによる改定域の決定

2つの改定域の境界を決定するため、熊本県益城町、西原村を中心に緊急GNSS観測を実施するとともに、JAXAの人工衛星ALOS-2の干渉SARデータの解析を実施した。ここで干渉SARとは人工衛星に搭

載したレーダーを利用した観測技術であり、同じ場所で2回以上観測を行い、その差をとると地表面の変動を面的に捉えることができる²⁾。干渉SAR解析画像より、布田川・日奈久断層周辺には、変動の大きさや向きが大きく変化していることを示す干渉縞の間隔が狭い地域が複数存在することがわかった(図-2)。そこでこれらの地域を避ける形で補正パラメータによる改定域を決定した。以上の判断のもと、455の三角点の再測量を実施した。

(2) 再測量の実施と補正パラメータの構築

再測量によって得られた三角点の成果改定量(水平及び上下方向)を図-3に示す。水平方向の最大値

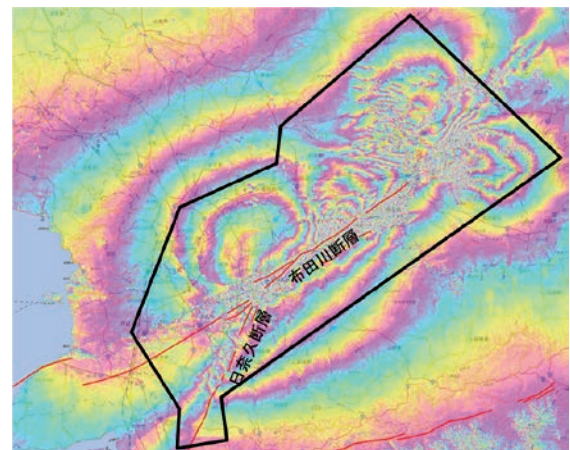


図-2 干渉SAR解析画像の一例
(解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA)。黒線は解析画像に基づいて決定した全点再測量による改定域と、補正パラメータによる改定域の境界を表す。図中の断層線は地震調査研究推進本部の主要活断層帯データに基づいている。

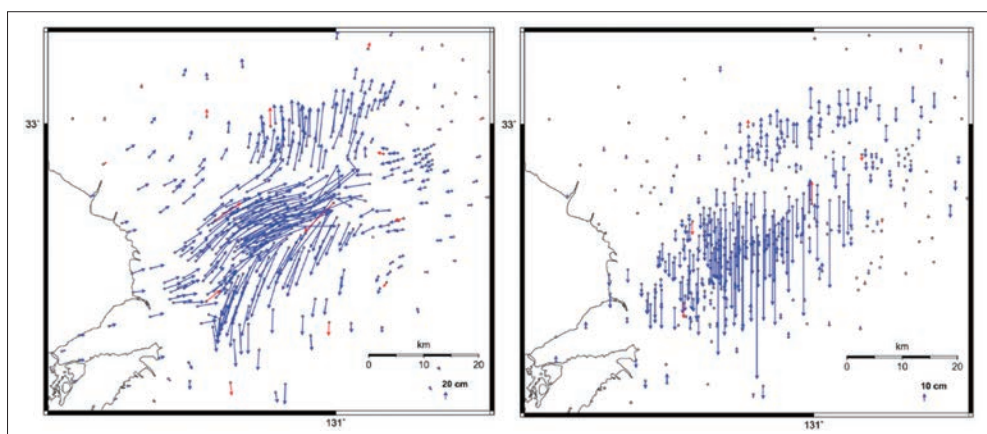


図-3 再測量で得られた三角点(青矢印)、電子基準点(赤矢印)の変動量。左が水平方向、右が上下方向の変動量を表す。

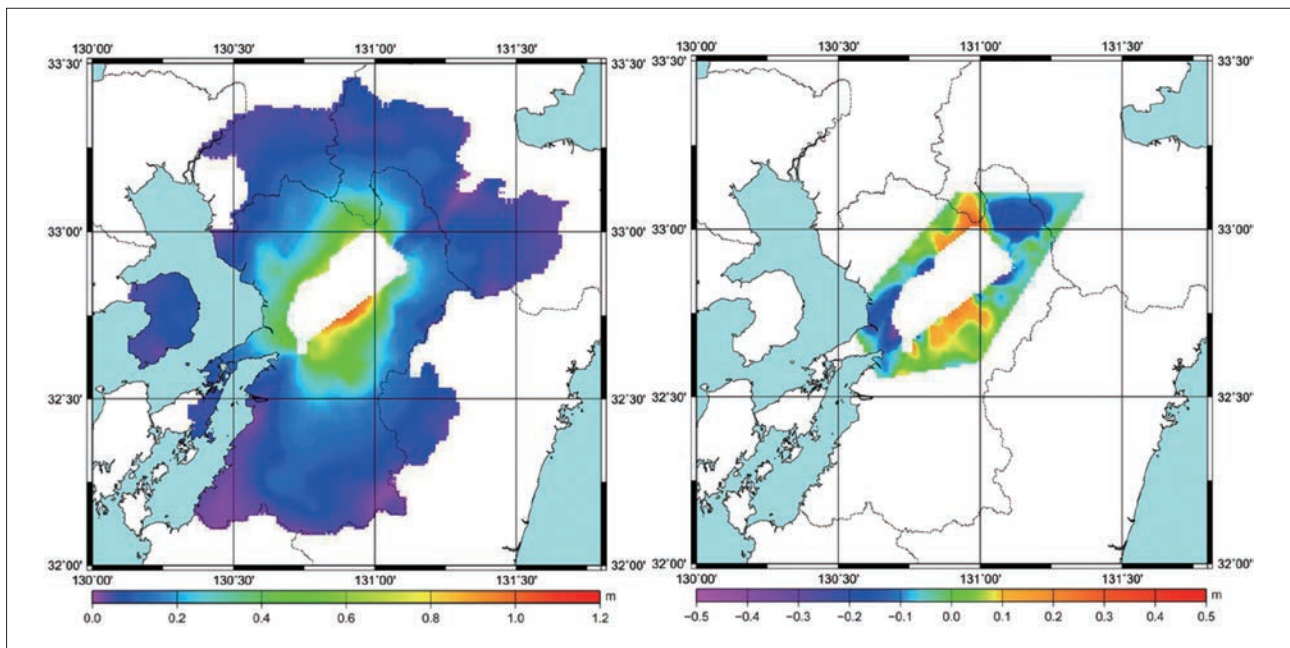


図-4 補正パラメータの空間分布。左が水平成分、右が上下成分を表す。

は1.78m(西原村)、上下方向の最大値はそれぞれ+0.40m(益城町)、-1.88m(西原村)であった。布田川・日奈久断層から離れた所では、観測者から見て断層の向こう側の地域が右方向にずれるような水平変動が認められ、おおむねなだらかに空間変化をしている。一方、上下変動については、断層から離れた所ではばらつきが大きく、なだらかな空間変化とは言いがたい。しかしその上下変動量は小さかったため、これらの領域については、上下方向の補正パラメータの適用エリアから除外することとした。

構築した補正パラメータの空間分布を図-4に示す。パラメータによる改定量について、水平方向の最大値は0.96m(御船町)、上下方向の最大値はそれぞれ+0.28m(阿蘇市)、-0.30m(宇土市)であった。

(3) 測量成果公表と補正パラメータ公開

全点再測量による改定域の新しい測量成果は8月31日、補正パラメータによる改定域の新しい測量成果は9月12日に公表した。また構築したパラメータは、地方公共団体の有する基準点の測量成果改定等に利用できるよう、9月12日に以下のウェブページで公開した。

<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun40037.html>

また、パラメータによる改定量は、以下のウェブページで計算することも可能である。

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/patchjgd/index.html>

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/patchjgd_h/index.html

2.4 水準点の測量成果改定

過去の水準点の測量成果改定においては、古典的ながら最も高精度な高さの測量方法である水準測量(バーコード付の標尺、レベルと呼ばれる機器等を用いて、水準点間の比高を得る測量)を実施してきた。今回も従来方針に基づき、約1,000kmにわたる水準測量を実施した(図-5)。但し、大規模な土砂崩れで分断された阿蘇大橋付近では水準測量が実施できない。そこで今回はGNSS測量によって約2km離れた川の両岸の水準点間の比高を得た(図-5)。ここで問題となったのはこの手法が十分な精度を満たしているかどうかであったが、これを確認するため環閉合差を算出した。環閉合差とは、閉じた路線について一周分の比高を足し合わせた量のことであり、観測誤差が全くない場合にはゼロ、観測誤差が大きい場合にはその値も大きくなる傾向がある。国土地理院で

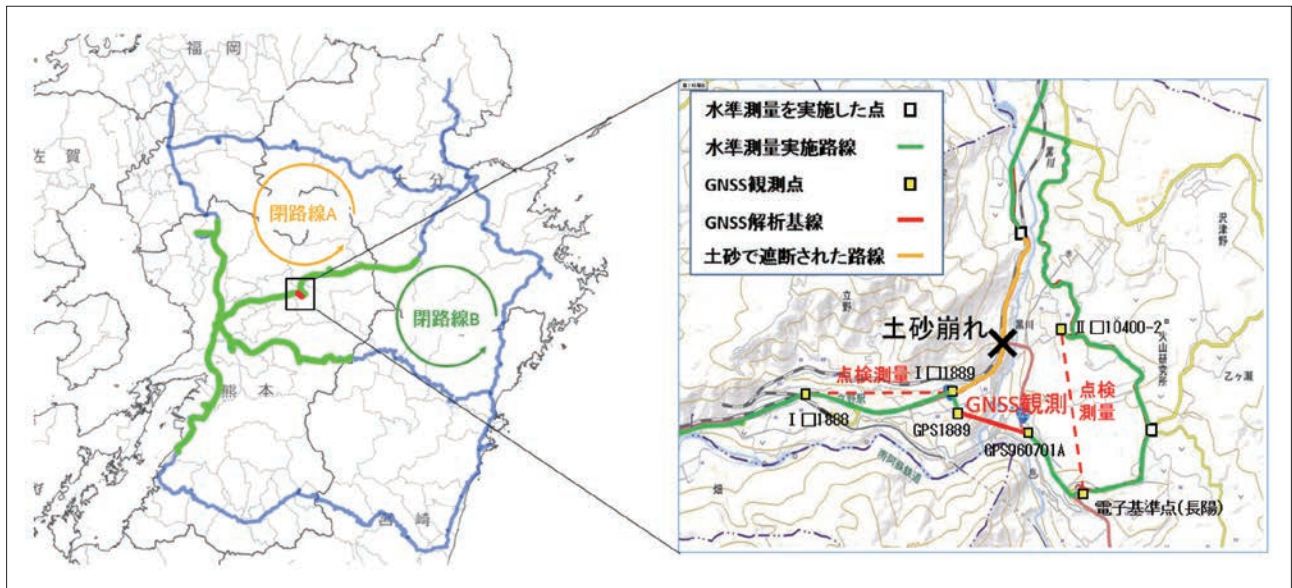


図-5 再測量を実施した水準点の路線。

青線と緑線は水準測量を実施した区間、赤線はGNSS観測を実施した区間を表す。また緑線は水準点の測量成果を改定した区間を表す。

は観測の精度を確保するため、観測距離に応じた環閉合差の許容範囲を設けており、図-5の閉路線A、Bの許容範囲はそれぞれ37.3mm、39.8mmであった。これに対し、閉路線A、Bでの環閉合差はそれぞれ7.4mm、11.0mmであり、許容範囲を下回った。以上より、GNSS測量による比高のデータ取得は十分な観測精度を有していると見込まれたため、阿蘇大橋周辺でのGNSS測量の結果を採用することとした。

前回の観測と今回の観測の結果を比較し、山鹿市、八代市、五ヶ瀬町、竹田市にある4つの水準点よりも地震発生域に近い領域にある155の水準点の測量成果を8月31日に改定することとした(図-5)。これらの4点は震源から十分離れており、地震に伴う変動の影響を受けていないことが確認されたためである。4点の水準点の標高を既知として固定した網平均計算を行い、統計的に尤もらしい標高を算出した。測量成果の改定量の最大・最小値はそれぞれ+21.5cm(南阿蘇村)、-90.5cm(大津町)であった。また測量成果公表を停止していた残りの水準点については、8月31日にその公表を再開した。

3 おわりに

平成28年熊本地震では、発災から約5ヶ月後に三角点・水準点・電子基準点の測量成果の改定を完了した。これらの測量成果は、熊本とその周辺域の各市町村における公共測量や地籍測量等において利用され、当該地域の復旧・復興に資するものと期待される。今後も大規模な地震が発生した際には、迅速かつ誤りのないよう測量成果の改定を実施していきたい。今回の地震で迅速な対応が可能となったのは、発注先の測量業者の協力に因る所も大きい。また、ALOS-2の原初データの所有権はJAXAにあり、国土地理院とJAXAの間の協定及び地震SAR解析WGの活動に基づき提供された。この場を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 気象庁：「平成28年(2016年)熊本地震」について(第38報)、平成28年5月14日報道発表
- 2) 国土地理院：干渉SARホームページ
<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/>

地理空間情報技術とICTの融合 —「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」の概要—

国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター
地理情報解析研究室 主任研究官 田中宏明
TANAKA Hiroaki

今や出かける際に多くの人にとって、スマートフォンやタブレット等が欠かせなくなっている。特に、初めての場所に行くには、事前若しくは途中で、地図アプリで所在地や目的地を確認し、乗り換えを経路検索アプリで調べることが当たり前になりつつある。ユーザーからすれば、ICTの集結であるスマートフォンやタブレット等で何がどう行われているのかを意識することはない。しかし、そのスマートフォンやタブレット等の中では、位置を測る「測位」と地理空間情報のデータベースである「地図」がインフラとして働いている。こうしたインフラをさらに安全・安心・快適な社会実現に活用するための取り組みを紹介する。

1 はじめに

地球上の自分の位置を知る手段として、GPSに代表される衛星測位システムが広く使われるようになって久しい。近年では、GPS(米国)のみならず、グロナス(GLONASS：ロシア)、ガリレオ(Galileo：欧州)、ベイドゥ(BeiDou：中国)など、数多くの国々が独自の測位衛星を打ち上げており、衛星測位システムはこれらを統合的に利用するマルチGNSS(全球測位衛星システム：Global Navigation Satellite System)へと移行しつつある。さらに、我が国で運用され、GPSと同じ電波を取得できる「みちびき」が今までの1機体制から2018年には4機体制となり、準天頂衛星システムの常時観測が実施され、高精度測位情報が24時間利用可能となる。

また、ICTの進歩に伴い、デジタル地図などの地理

空間情報技術も急速に発展している。そして、測量技術の進歩に加え、液晶ディスプレイの高精細化と記憶装置の大容量化はデジタル地図の高精度化をもたらした。通信の高速化はこの高精度な地図の携帯端末等での利用を容易にし、スマートフォンやタブレット等の爆発的な普及は、高精度地図を手軽に持ち歩く環境を実現した。これらにはGPS受信機も内蔵されているため、自分の位置を高精度な地図上で知ることのできる環境が実現しつつある。

このような技術に支えられ、場所ごとに適切な生活・観光などの情報提供を行うサービスのみならず、外国人や障がい者等の円滑な行動を支える移動支援(ナビゲーション)や、高精度測位を活用した新サービスの実現が多方面から期待されている。

一方、社会環境に目を向けると、我が国が抱える大きな課題として「人口減少、超高齢化社会」がある。自立した生活を支えるためにも、自動車やパーソナルモビリティの自動運転による利便性向上・日常生活確保、高齢者や弱者の移動支援(ナビゲーション)・見守り、効率的なインフラ維持管理、災害時の適正な誘導による安全・安心の確保など、様々な分野で高精度測位を活用した新サービスの実現が期待されている。

これらを受け、国土交通省では、2020年東京オリンピック・パラリンピックを契機に、訪日外国人や高齢者、障がいを持つ方々など、誰もが目的地へ円滑に移動できるためのバリアフリー・ユニバーサルデザインの一層の推進に取り組んでいる。

しかし、この実現のためには、技術的に解決せねばならない様々な課題が存在している。

例えば、衛星測位は、高層ビル街などでは衛星から

の電波が建物等で複雑に反射・回折して測位精度が低下することが知られている。また、屋内や地下街などでは衛星からの電波がほとんど届かないため、そもそも衛星測位を直接利用できない。衛星に代わる測位手段としてWi-Fiやビーコンなどを使った屋内測位手法が開発されているものの、様々な技術が混在していること、機器の設置が必要なこと、位置情報を相互活用するしくみが確立していないこと、衛星測位との連続性に乏しいことなどから、普及が進んでいない。

また、測位した位置を正しく周囲の状況と照らし合わせるためには、正確な地図が必要である。特に、空間の高度利用が進み、しばしば改修が行われている都市部では、測位精度に見合った屋内外双方で連続した空間を3次的に表す高精度な地図が必要とされている。しかし、屋内においては、地下街等のような自由に通行できる公共的屋内空間であっても、公開されている地図の多くはフロアマップのような見取り図レベルのものが多く、測位情報と連携できるような高精度な地図は非常に少ない。地図の表示項目も、屋内3次元地図の基本的体系が確立していないこともあり、その表現が統一のとれたものとなっていない。

国土地理院では、これらの課題を解決するために、3次元地理空間情報(測位情報と屋内3次元地図)を最も基本的な社会基盤と位置づけ、国が主導して技術的に方向付けすることで、これら基盤整備の効率化・迅速化を図るとともに、標準化に向けた技術開発を進めることが急務であるとの認識に立ち、国土交通本省の関係部局とも連携し、国土交通省総合技術開発プロジェクト「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」を平成27年度から3年計画で進めている。

2 位置情報基盤を構成する 位置特定インフラの仕様検討

GNSS測位機能がスマートフォンやタブレット等に搭載され、屋外における位置情報サービスは広く普及し、高度に利用されてきている。一方で、屋内、地下及びそれらと屋外との境界等(以下、「屋内外空間」という。)において、Wi-Fiアクセスポイント等を位置が既知であるタグとして利用した測位を行うことが期待され、一部でサービス実験が行われているもの

の、タグ情報から取得できる位置情報や付帯情報が不統一であることから、タグの設置した者の関係者以外が別個のサービスを提供することは難しく、広域でシームレスな屋内外空間での測位の普及を妨げる要因になっている。

そのため、屋内外空間における位置情報サービスの普及や一般化を進めるには、タグ情報から取得できる位置情報や付帯情報の記述方法等に関する基準を定め標準化するとともに、共有のデータベースから誰もが位置情報等を入手できるしくみの構築が必要となっている。

このような背景を踏まえ、平成27年8月に、「位置情報基盤WG」を設置し、有識者、JR東日本、東京メトロ、東京都及び国土交通省内の関係各局を構成員として最新の位置情報サービスにも適用が可能な位置情報基盤の整備に関する検討を開始し、「いつでも・どこでも・誰でも必要な精度の位置情報が容易に利用できる社会の実現」に向け、「位置情報基盤整備を構成するパブリックタグ情報共有のための標準仕様(案)」(以下、「標準仕様(案)」という。)の策定を行っている。

標準仕様(案)の概要

標準仕様(案)は、タグの位置情報を共有するため、位置情報の記述方法や位置情報を利用する際に必要となる項目の標準化を図るものであり;

- ・パブリックタグ：位置情報を共有することが可能なタグ
- ・プラットフォーム：タグ情報を登録・利用するデータベース
- ・API：データベースに登録された情報を利用・共有するためのツール

の3つの構築を柱として構成している。

また、標準仕様(案)は、平成27年度に引き続き、平成28年度に国土交通省が取り組む測位サービス関連施策へ適用しており、課題の抽出とフィードバックを行うことで、より実効性の高い内容への改正を適宜行っている。

パブリックタグの要件と設置場所の選定

位置特定に利用可能なタグのうち、標準仕様(案)に基づき位置情報や属性情報が標準化され、それら

の情報を誰でも検索・取得・利用可能な状態にあり、そのキーとして場所情報コードを使用するものを「パブリックタグ」として定義している。

パブリックタグとして用いるタグの種類は、タグを一意に特定できるID(場所情報コードを標準とし、他に、Wi-FiアクセスポイントのMACアドレス、iBeaconのUUIDとメジャー、マイナーコードなど、タグを一意に特定できるID)の発信又は読み取りが可能であれば、特に指定はしていない。

タグの設置場所は、簡単な測定で位置が求められることを念頭に選定を行うこととし、Wi-Fi、BLE、音波などの規格により一定の範囲に信号を搬送するタグを利用する場合は、スマートフォン等の端末が、それらの信号の発信位置を特定できればよいため、人の目に触れにくい天井や梁、柱などであっても構わない。

一方で、NFCやQRコードといった近距離での読み取りが必要なタグの設置場所は、誰もが同一の地点と認識できるような固定地物の特徴的な地点(建物の角、出入口など)を標準とした。

パブリックタグの位置情報

タグの位置情報は、測量法第11条に規定する世界

測地系に基づき、緯度、経度及び高さ(階層)を測定して登録する。また、タグの設置位置の精度区分やその信頼度を表す指標、タグが利用可能かどうかの可用性を表す指標などについて、今後検討を行い具体的に記載することとしている。さらに、商業施設内や公共地下空間などの場合には、必ずしも世界測地系に整合した図面等の資料が存在するとは限らない。こうした場所でも、将来的にタグを容易に登録できるよう、地物の固有名詞や図面等の局所的座標など、地理座標によらず位置を特定可能な様々な表現により登録するための項目を登録情報の書式として設定している。

プラットフォームの運用と管理、公開

パブリックタグの情報を登録及び管理し、その情報を、誰でも検索、取得、利用可能とするデータベースであるプラットフォームは国土地理院が管理を行っている。

なお、当面は、プラットフォームのプロトタイプとして「場所情報コード閲覧システム」を使用し、場所情報コードを発行するために必要な手続きや申請様式は、様々なタグをできる限り簡単にパブリックタグとして登録できるよう配慮の上、標準仕様(案)で



図-1 パブリックタグ情報の共有化への概念

定めている。

パブリックタグ情報の利用

登録されたパブリックタグ情報はAPIを使用して検索条件をhttpリクエストとして送信することにより、検索結果をJSON形式で取得可能とし、使用できる環境を拡大したほか、携帯電話の圏外などにおいて、APIに直接アクセスができない場合や複数のパブリックタグに高頻度でアクセスする場合などには、事前にテキストファイルをプラットフォームよりダウンロードして通信を介さない利用を可能としている。

このように標準仕様(案)は、屋内外空間における位置情報の共有化を図るために必要な技術要件を定めているものであり、様々な分野での技術革新や社会からの要請を踏まえて、随時、その内容を検討し、更新していくものであり、その状況については、国土地理院ウェブサイトなどを通じて情報発信を行っていききたい。

3 屋内3次元地図の整備・更新技術の開発

高精度測位サービスによって位置が正確にわかったとしても、「北緯〇度〇分〇秒、東経〇度〇分〇秒」という情報をユーザーに直接伝えてもそのままでは非常に利用しにくい。こうした高精度測位から得た情報をプロットできる屋内3次元地図が、体系的・安定的に整備・維持更新され、誰でも容易に活用できる環境が必要である。

このため、複雑な都市空間の3次元構造を表現できる基盤的な屋内3次元地図を効率的に整備・更新する技術を既存の地図や要素技術を活用して開発している。また、関連技術を応用することにより高精度な屋内3次元地図を効率的に作成・修正する技術を開発することとしている。

具体的には、都市部における駅や地下街などの公共的屋内空間は、複数の施設管理者が混在している点、整備手法が未確立である点等を理由とし、高精度測位に対応したシームレスな地図の整備が進んでいない。そこで、公共的屋内空間における屋内3次元地図仕様の検討を行うとともに、BIM(Building

Information Modeling)やCIM(Construction Information Modeling)等の設計図面、フロアマップ等の既存情報について、それぞれが持つひずみ等の誤差を解析・補正するとともに、地球上の3次元座標等と整合させ、それぞれの接続関係を示す情報を付与することにより、これらを基盤的地図として統合する技術を開発している。これにより、必要な精度を確保しつつ、屋内3次元空間を表す基盤的地図を効率的に整備することが可能となる。

また、屋内空間における頻繁な改修や増改築に対応するため、MMS(モバイルマッピングシステム)や近接写真測量などの既存技術の活用・最適化、連続写真や深度センサにより立体をモデル化する技術を応用することにより、改修・改築がされた箇所の新たな地図情報を効率的かつ廉価に取得、作成、更新する技術を開発している。

加えて、これらの技術を官民で活用できるよう、屋内3次元地図の整備・更新マニュアルを作成するものである。

屋内地図標準仕様(素案)の検討

屋内空間の地図データのうち基盤的な部分を共通利用可能とするための仕様について検討している。その基本方針は以下の通りである。

- ・通常時の歩行者ナビだけではなく非常時の避難誘導など、できるだけ多くの目的に対応すること
 - ・視覚障がい者、車いす利用者、高齢者、外国人など、なるべく多くの人が利用できること
 - ・効率的で廉価な整備・更新方法に対応すること
- 現在は、以下の取り組みを進めている。

先行研究事例を含め、様々な屋内3次元地図の整備に関する調査を実施し、関係者に意見聴取を行い、階層構造を表現する基盤的な地図の共通仕様として、壁、床面などをはじめとする一般的な対象物のほか、エレベータ、吹き抜け、螺旋階段等、屋内空間に特有の地物を定義した仕様素案を提示した。素案には、ネットワークとしての経路、面としての移動可能範囲、他の階層、地図との接合のための情報、目標物等が含まれる(図-2)。

既存の地図データを活用し、作成実証及び実証実



図-2 標準仕様（素案）で示される屋内3次元地図の概念例

験を行い、標準仕様(案)としてとりまとめることとしている。

今後は、データの信頼性評価の概念を取り入れ、任意の座標系で作られているデータと地理座標系との整合性を効果的に確保する手法を検討するとともに、複雑な構造や歩行者動線を考慮して、上記の標準仕様(素案)を改良する計画である。

最終的には、官民が適切な役割分担の中で共通の基盤的地図が整備・共有され、広く各方面で活用されることを可能とするように、屋内3次元地図の標準仕様を広く一般に公開し、施設管理者やアプリ開発者、関係各部署等と連携して活用を促していきたいと考えている。

4 おわりに

今回開発する成果は、標準仕様、基準・ガイドラインあるいはマニュアルなどの形で広く一般に公開す

ることにより、官民による測位環境の整備・改善と屋内3次元地図の円滑な整備・更新が可能な環境が技術的に整うと考えている。そして、施設管理者や地域との連携により、共通基盤としての屋内外測位環境や屋内3次元地図が整備され、歩行者移動支援、見守り、パーソナルモビリティなどの自動走行支援、災害時の避難誘導など、様々なシーンにおいて活用されることを期待している。

もちろん、そのためには技術開発と並行して、持続可能な形での新サービス創出のためのしくみづくりが不可欠である。このため、関係部局・府省等による取組の成果を反映していくとともに、様々な検討主体と協力して検討を行いつつ、技術開発の段階から関連団体やサービスプロバイダ等と協議調整を行うことにより、各種新サービスの早期創出を目指し、開発する技術や標準仕様の浸透を促進していきたいと考えている。

準天頂衛星システム「みちびき」

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局
準天頂衛星システム戦略室 企画官 **坂部真一**
SAKABE Shinichi

1 はじめに

準天頂衛星システム「みちびき」とは、準天頂軌道の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのことで、英語ではQZSS(Quasi-Zenith Satellite System)と表記する。

衛星測位システムとは、衛星からの信号によって位置情報を計測するシステムのことで、米国のGPSがよく知られており、準天頂衛星システムを日本版GPSと呼ぶこともある。GPSや準天頂衛星システム等の測位衛星システムのことを一般的にGNSS(Global Navigation Satellite System)と呼ぶこともある。

本稿では、衛星測位のしくみ、及び準天頂衛星システムの概要を紹介する。

2 衛星を使って位置を計測するとは？

衛星を使って位置を計測することを「衛星測位」と言う。衛星測位は、GNSS衛星からの信号を受信することにより受信地点の位置・時刻を特定する技術である。

GNSS衛星からの測位信号には、①衛星の軌道情報(衛星の位置に関する情報)及び②衛星に搭載されている原子時計の時刻情報が含まれている。

衛星からの信号発信時刻と受信地点の受信機の信号受信時刻の時間差 Δt に信号の速さ(光速度)を乗じると、衛星と受信機との距離が求まる。

地球上の位置は3次元であるため、受信地点の位置

を決定するためには、未知数が3つの連立方程式を解く必要があり、3つの異なるGNSS衛星から受信地点の距離計測が必要である。

しかし、GNSS衛星に搭載されている原子時計(衛星間の時計の時刻合わせも正確に行われている。)の正確さに比べ、地上の受信機に組み込まれているクォーツ時計の正確さははるかに劣るため、それぞれの衛星・受信地点間で測定された距離には、受信機の時計が持つ誤差の影響が含まれている。この時計の誤差の影響を除くため、4つ以上のGNSS衛星による観測で受信地点の正確な位置を計測することができる。



図-1

3

日本の衛星測位システム 〔準天頂衛星システム「みちびき」〕

3.1 整備・開発スケジュール

準天頂衛星システム「みちびき」は、東日本大震災のちょうど半年前の平成22年9月11日に種子島から初号機を打ち上げ、これまではJAXA(宇宙航空研究開発機構)が運用を担当していた。

平成23年に4機体制となることが閣議決定され、2～4号機(準天頂軌道2機、静止軌道1機)の3機分の開発予算が平成24年度から認められ、平成29年度の打ち上げに向け、開発を行っている。

また、初号機も含めた衛星4機の運用は、PFI事業(民間資金等活用事業)として平成30～44年度で行うこととなっており、「正式サービス」の開始は平成30年4月を予定している。

平成27年1月には新しい宇宙基本計画が策定され、初号機後継機と7機体制について次のように規定され、準天頂衛星システムの継続性・拡充性が担保されることとなった。

- ・平成27年度から初号機後継機の検討に着手し、確実に4機体制を維持
- ・平成29年度をめどに7機体制の開発に着手し、平成35年度をめどに運用を開始

3.2 運用体制

準天頂衛星システム事業は、PFI事業として内閣府から受注した準天頂衛星システムサービス株式会社(QSS)が担当し、QSSが準天頂衛星の運用やサービス

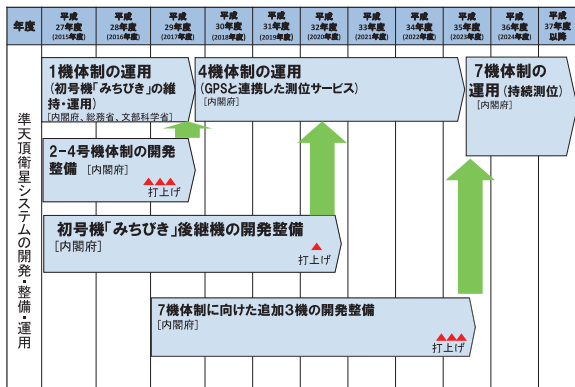


図-2

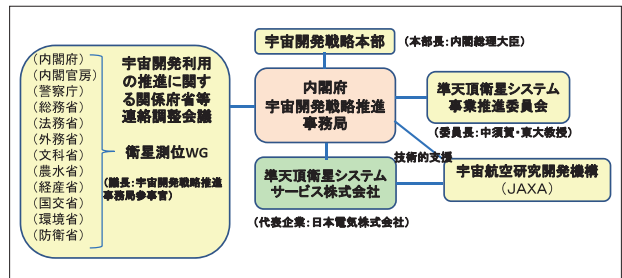


図-3

の提供に必要な施設整備及びサービスの提供を行う。

また、人工衛星の開発は、初号機は既に運用中であるところ、2号機～4号機の開発については、内閣府から受注した三菱電機株式会社が2017年度中の打ち上げに向けて準備を進めている。

また政府側の体制としては、「宇宙開発利用の推進に関する関係府省等連絡調整会議」の「衛星測位ワーキンググループ」において政府内のニーズの把握や連絡調整を行い、「準天頂衛星システム事業推進委員会」において有識者による事業管理を行うとともに、JAXAからは技術的支援を受けている。

3.3 準天頂衛星システムの構成

システム全体は、衛星システムと地上システムとユーザへ提供されるサービスから構成される。

システム全体を統括し、また提供される各種信号を生成する主管制局、衛星と地上との間で信号のやりとりをする追跡管制局、そして衛星が正しく信号を発信しているかを監視する監視局で地上システムは構成される。主管制局と追跡管制局は日本国内に配置されているが、監視局は海外にも多く設置されている。

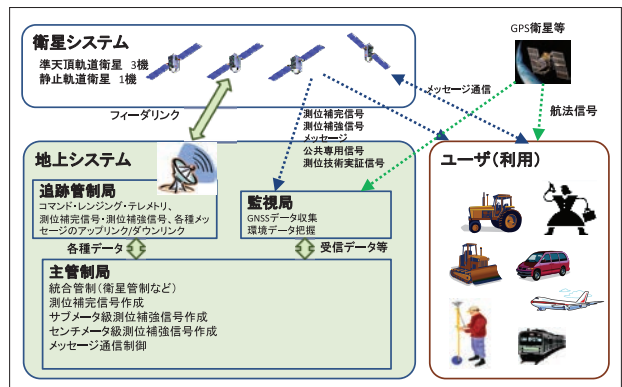


図-4

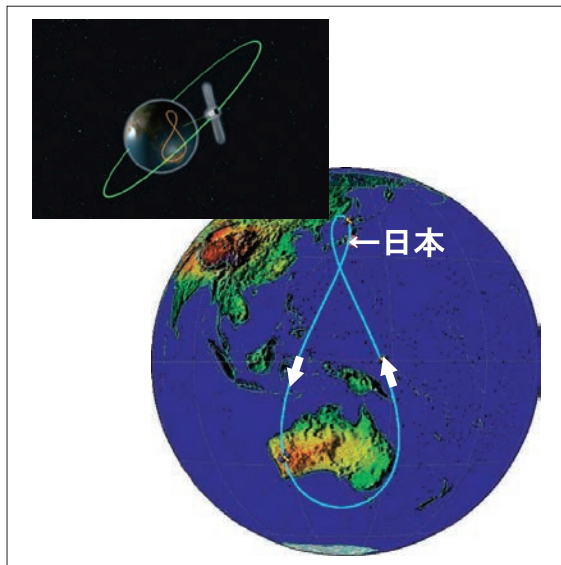


図-5

3.4 準天頂衛星の軌道

準天頂衛星の軌道は4機体制の場合、「準天頂軌道(3機)」及び「静止軌道(1機)」の2種類である。「静止軌道」は赤道面上にあり、高度約36,000kmの円軌道で、地球の自転と同期して約24時間で1周する軌道である。一方「準天頂軌道」は、静止軌道に対して軌道面を40～50度傾けた楕円軌道で、東経135度近傍を中心とした「8の字」を描き、日本の真上に長く滞在するという特徴を持っている。

3.5 提供されるサービスの概要

準天頂衛星システムに具備されている以下の3つの機能を活用し、

- ① GPSの補完機能
- ② GPSの補強機能
- ③ メッセージ機能

以下のサービスを提供する。



図-6



図-7

注：左図はGPS衛星のみで計測した結果、右図はGPS衛星に準天頂衛星を加えて計測した結果で、右図の方がより道路に沿っており、位置精度が高いことがわかる。

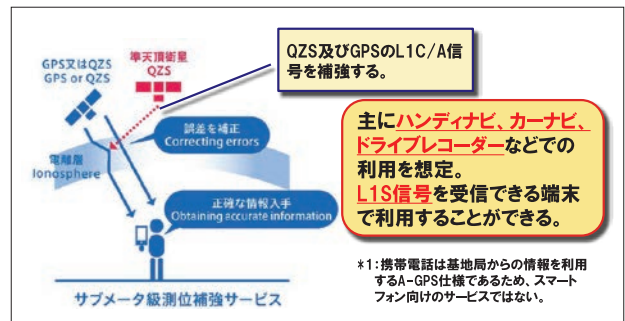


図-8

- (i) 衛星測位サービス
- (ii) サブメータ級測位補強サービス
- (iii) センチメータ級測位補強サービス
- (iv) 災害・危機管理通報サービス「災危通報」
- (v) 衛星安否確認サービス「Q-ANPI」

(i) 「衛星測位サービス」は、これまでJAXAが提供してきたサービスを継続する形で、QSSが提供する。GPSと同一周波数で同期した時刻系の測位信号を準天頂衛星から送信することで、ユーザはGPS信号と併用して使用することができ、高精度測位や時刻同期を行うことができる。

(ii) 「サブメータ級測位補強サービス」は、衛星測位における誤差を軽減するための情報を送信するものである。

電離層等の誤差を補正するため、DGPS方式という測位の差分情報を準天頂衛星から送信する方法により、電離層擾乱の大きな南方地域においても他の地域と同等精度での測位を可能とし、水平精度1m(95%値)の高精度測位を実現します。

(iii) 「センチメータ級測位補強サービス」は、衛星測位における誤差を高度に軽減するための情報を送

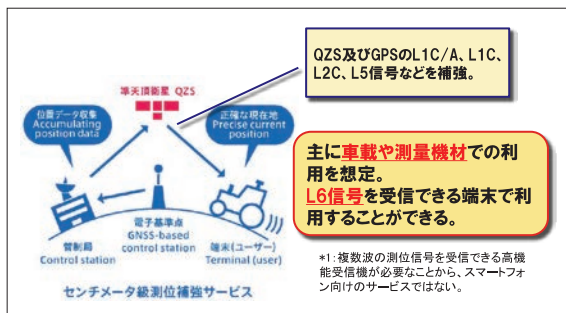


表-1

国・地域	システム名称	位置精度	体制
米国	GPS	約10m	31機体制
ロシア	GLONASS	約50~70m	24機体制
欧州	Galileo	約1m	2016~ 30機体制
中国	BeiDou(北斗)	約10m	2020~ 32機体制
インド	NAVIC	約10~20m	2016~ 7機体制
日本	準天頂衛星システム	数cm等	2023~ 7機体制

報や支援情報等をやりとりするサービスです。

4 海外の衛星測位システム

海外では、米国、ロシア、欧州、中国、インドが衛星測位システムを開発・運用中である。

測位衛星の機数では、日本は他国よりも少ないが、日本は測位誤差が数cm級の高精度な測位サービスを提供しているところに優位性がある。

また、衛星測位関連市場の国際的動向としては、

- (i) 世界の衛星測位市場は約500億ユーロ(2013年)で年々拡大(2019年まで約8.3%、2023年までに約4.6%の年平均成長率)
- (ii) 衛星測位産業の地域別シェアは、①米国31%、②日本26%、③欧州25.8%、④中国7%、⑤韓国5%
- (iii) 衛星測位市場の分野別予測(2013-2023年)では、位置情報サービスと道路輸送の2分野が約9割

という状況であり、衛星測位はかつてないビジネスチャンスであると言える。

5 おわりに

準天頂衛星システム「みちびき」は、今年度中に初号機をJAXAから内閣府に移管し、1ヶ月程度の調整期間を経たのち、測位関係3サービスを「試験サービス」として先行的に提供開始する予定である。

準天頂衛星システムについては、以下のウェブサイトから、最新情報、紹介映像、技術情報、活用事例等を紹介している。

<http://qzss.go.jp/>

また、「みちびき」やGPS衛星が今どこを飛んでいるのかわかるスマホアプリ「GNSS View」や、メールマガジン「みちびきメール」を配信している。上記サイトからダウンロード・購読登録下さい。

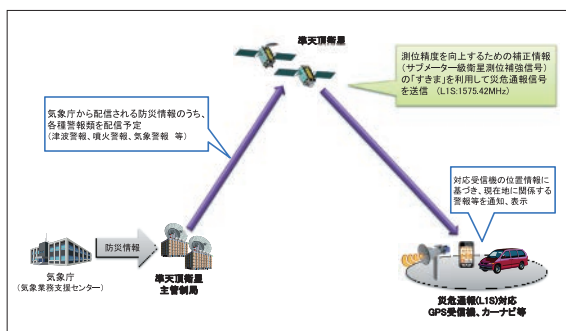


図-10

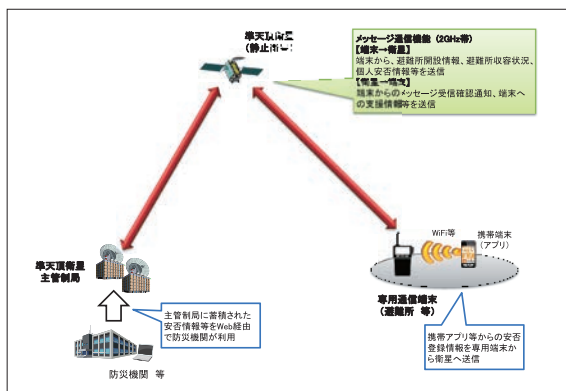


図-11

信するものです。

国土地理院が運用する電子基準点のデータを利用して計算された高精度測位情報を準天頂衛星から送信する方式により、移動体でも水平精度12cm(95%値)の高精度測位を実現します。

(iv) 災害・危機管理通報サービス「災危通報」は、防災・危機管理担当の政府機関から、津波、噴火等の各種警報等を準天頂衛星を経由して地上に送信するサービスです。

(v) 衛星安否確認サービス「Q-ANPI」は、大規模災害時に、避難所等と防災機関の間を結び、個人安否情