

GEONET 運用 20 年：課題と展望 Twenty-year Successful Operation of GEONET: What's Next ?

測地観測センター

辻宏道・畑中雄樹・檜山洋平¹・山口和典²・古屋智秋・川元智司

Geodetic Observation Center

Hikomichi TSUJI, Yuki HATANAKA, Yohei HIYAMA,

Kazunori YAMAGUCHI, Tomoaki FURUYA and Satoshi KAWAMOTO

要 旨

1996 年に二つの GPS 観測網を統合して生まれた GEONET は、運用 20 年の節目を迎えた。全国を約 1,300 点の電子基準点で覆う世界最大級の GNSS 連続観測網は、測量、地殻変動観測、地震火山防災に不可欠なツールであるばかりでなく、i-Construction や自動運転等の測位、天気予報等に役立つ社会インフラとなっている。ここでは GEONET の歴史と成果、課題と展望を述べる。今後も地殻変動の連続的な監視にはもちろん、衛星測位がさらに進化しても、その性能を最大限に発揮させ、測位結果と社会を結びつけるために、GNSS 連続観測網は必要である。

1. はじめに

国土地理院の GPS 連続観測システム (GEONET : GPS Earth Observation NETwork system) は、1995 年の阪神・淡路大震災の後、南関東・東海地域の GPS 観測網 (110 点) と、全国 GPS 連続観測網 (100 点) を統合し、さらに 400 点の観測点 (電子基準点) を増設して構築され、1996 年 4 月に 610 点で運用を開始した。2003 年に 1,200 点となり、国土を約 20km 間隔で覆う GPS 連続観測網ができあがった。

GEONET は、地震調査研究の基盤的観測網であり、平時においては、プレート運動に伴う日本列島の「定常的な地殻変動」の様相を明らかにしている。地震発生時には 2003 年十勝沖地震のように「地震時の地殻変動」や、地震後も地殻変動が継続する「余効変動」を捉えている。また地震波の放出を伴わない「スロースリップ現象」を日本各地で発見するなど、地震調査研究に不可欠なツールとなっている。2000 年有珠山噴火等の際には地下のマグマの動きを捉え、火山活動の推移の予測にも貢献している。

一方、GEONET は、我が国の測地基準点体系の骨格でもあり、世界測地系に準拠した基準点の測量成果 (「測地成果 2000」など) の計算に利用されている。測量法改正により 2002 年に世界測地系が導入されると、電子基準点は GPS 測量の基準点として直

接利用可能となり、公共測量の効率化に貢献した。またリアルタイムでの観測や民間へのデータ配信も開始され、リアルタイムで cm 級の測量を行う環境が官民連携により国内に整備された。

GEONET は当初米国の GPS だけを観測していたが、2010 年に我が国の準天頂衛星システム (以下「QZSS」という。) 初号機が打ち上げられたことを契機に、各国が整備を進めてきた衛星測位システム (以下「GNSS」という。) を利用できるよう、受信機器や中央局システムの拡充を進めた。2013 年には全点で QZSS とグロナス (GLONASS, ロシア) の観測を開始し、GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation NETwork system) に進化した。利用できる衛星数が増えることで特にリアルタイム測位の精度が安定し、建設機械の自動制御を行う ICT 施工 (以下「i-Construction」という。) での利用が拡大した。2016 年からはガリレオ (Galileo, 欧州連合) の観測も開始している。

2011 年東北地方太平洋沖地震で、GEONET は観測史上最大の水平変動を記録した。しかし当時はリアルタイム解析を行っておらず、この情報は巨大津波の予測に利用できなかった。この教訓を踏まえ、巨大地震発生時に概略の地殻変動を即時に把握して地震規模を推定するシステムを開発し、現在では国土の概略の地殻変動を約 20km の空間分解能で常時モニターできるようになっている。

20 年間の運用と改良を経て、GEONET は測量、地殻変動観測、地震火山防災、i-Construction、自動運転、天気予報、QZSS による cm 級測位サービス等に役立つ社会インフラとなっている。近年では、日本での運用経験を生かし、電子基準点の海外展開に向けた動きが政府レベルで始まっている。

電子基準点は、国土地理院の GNSS 連続観測点のうち、測量法に基づく座標値 (測量成果：経緯度と標高) を持つものと整理している。このため、当初は研究目的で設置した観測点でも、利用者ニーズに基づき測量成果を与えたものについては電子基準点

と扱っている。これらを含めた電子基準点の数は、2017年3月現在、1,318点となる。

電子基準点の名称が一般的になり、「電子基準点の海外展開」のように普通名詞として利用されることがある。混乱を避けるため、この文脈では CORS (Continuously Operating Reference Stations) と記し、測量法に基づく狭義の電子基準点と区別する。

2. 歴史

1994年から2004年までの電子基準点の整備経緯や展望は、国土地理院時報の小特集「電子基準点1,200点の全国整備について」等にまとめられている(測地観測センター, 2004; 国土地理院 GEONET グループ, 2004)。本稿では、これを前後に拡張し、我が国に GPS が導入された1987年から、GEONET 運用20年が経過した2016年までの約30年間の主な出来事を整理する。詳細な年表は付録にある。

この30年間は、概ね、1) GEONET ができるまで(1987~1995)、2) GEONET が GPS 観測網として確立するまで(1996~2009)、3) GNSS 対応とリアルタイム解析が進展するまで(2010~2016)の3時期に大別できる。図-1は、上記2)、3)の時期に対応する GEONET の進化をまとめたものである。

2.1 GEONET ができるまで

2.1.1 GPS の導入と連続観測の始まり

1980年代後半に米国の衛星測位システム GPS が利用可能になると、その信号を用いて cm 級の精度で2点間の相対測位を行う干渉測位方式が開発され、日本でも測量での実用を目指し、1987年から試験観測が始まった。その優れた精度や性能(10kmの基線の測定誤差1~2cm、全天候型、点間見通し不要、3次元測位、効率性等)が確認されると、光波測距儀(EDM)に代わる新技術として基本測量に利用されるようになった。基準点上での繰り返し測量による地殻変動観測の自然な延長として、固定局での連続観測が、火山活動の活発化した伊豆半島東部や雲仙岳で1990年に始まった。また1991年には、GPS 測量の精度を左右する衛星の軌道情報(精密暦)を算出するため、国内 VLBI (超長基線電波干渉計) 観測局付近に GPS 軌道追跡局が設置された。これらが国土地理院における GPS 連続観測の始まりである。なお国内独自の精密暦作成は、その後国際事業での取り組みに移行していく。

2.1.2 電子基準点構想と初期の GPS 連続観測網

米国による GPS の整備は順調に進み、1993年には計画通り24機が揃った。この年、全国に GPS の連続観測点を設けて国家基準点体系の骨格とする構想が生まれる(国土地理院基準点体系分科会, 1993)。

これが「電子基準点」の始まりである。地震・火山国かつ経済大国の日本では、新たな地殻変動観測手法である GPS 連続観測への期待は高く、この構想は1993年補正予算を用いて実現される。1994年4月には関東・東海地域を110点でカバーする地殻連続歪監視施設(Continuous Strain Monitoring System with GPS by GSI, 以下「COSMOS-G2」という。)が、また同年10月には全国を100点でカバーする全国 GPS 連続観測網(GPS Regional Array for Precise Surveying, 以下「GRAPES」という。)ができあがり、運用が始まった。電子基準点の形状は2つの網でやや異なるが、いずれも高さ5mの強固なステンレス製ピラーに GPS アンテナや受信機、通信機器等を組み込んだもので、ピラーは現在も利用されている。電話回線(ISDN等)によって観測データを定期的に回収し、GPSの基線解析を行う中央局システムも独立に運用されていた。

2.1.3 初期の観測網の活躍

観測網の整備は1994年の北海道東方沖地震(M8.2)や三陸はるか沖地震(M7.6)、1995年の兵庫県南部地震(M7.3)の発生に間に合い、地震前後の日々の座標値を比較することで、地震後数日で、地震に伴う地殻変動の空間的な分布を明らかにすることができた(Tsuji et al., 1995; Hashimoto et al., 1996)。地震は地下で発生した岩盤の破壊(断層運動)による揺れが伝わる現象であるが、GPSによって得られる地表の変動は、地下でどのような断層運動が起きたかをモデル化する際に地震計とは独立の情報を与えることができる。さらに三陸はるか沖地震では、地震後も地殻変動が継続する余効変動が初めて観測された(Heki et al., 1997)。このように初期の段階で GPS 連続観測が地震調査研究に有効であることが認められたことが、その後の発展につながった。GRAPES と COSMOS-G2 は、それぞれ基準点を管理する測地部と、地殻変動を調査する地殻調査部(現在の地理地殻活動研究センター)が運用していたが、これらの施設と技術が1996年に融合されて GEONET となった。これは日本において測量と地殻変動観測が表裏一体の関係にあることを示唆している。

2.2 GEONET の誕生と GPS 観測網の確立

2.2.1 GEONET の誕生と点数の拡大

阪神・淡路大震災後の補正予算により、電子基準点を400点増設し、二つの観測網を統合した総数610点の GEONET の運用が1996年4月に始まった。その運用を行う測地観測センター(衛星測地課、地殻監視課の2課体制)も同年5月に新設された。

阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて設置された地震調査研究推進本部において、GEONET は地震に関

する基盤的調査観測と位置づけられ、「20~25km 程度の間隔の三角網を目安にして全国的に偏りなく GPS 連続観測施設を設置」することが計画された(地震調査研究推進本部, 1997)。電子基準点の増設は続き、1997 年までに 887 点、1998 年までに 947 点、2003 年までに 1,200 点、2008 年までに 1,240 点という世界最大の GPS 連続観測網ができていく。富士山頂、南鳥島、沖ノ鳥島等の例外を除くと、いずれも高さ 5m のピラーだが、2002 年以降は熱変形を防ぐため二重管となっている。2003 年にアンテナは世界的に定評のあるチョークリング型アンテナに統一された。

2.2.2 地震・火山活動に伴う地殻変動の観測

この間、GEONET により、2000 年鳥取県西部地震 (M7.3)、2001 年芸予地震 (M6.7)、2003 年十勝沖地震 (M8.0)、2004 年新潟県中越地震 (M6.8)、2005 年福岡県西方沖の地震 (M7.0)、2007 年能登半島地震 (M6.9) 及び新潟県中越沖地震 (M6.8)、2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) 等に伴う地殻変動が観測された。十勝沖地震や岩手・宮城内陸地震等では、地震後の余効変動も観測された。また、地震波の放出を伴わない断層運動(スロースリップ現象)による地殻変動が、GEONET によって 1996 年に房総半島で初めて観測され、1997 年には豊後水道で、2001 年には東海地方でも観測された。さらに長年の観測の蓄積により、プレート運動に伴う日本列島の定常的な広域地殻変動の様相も明らかとなってきた。

1990 年以降の雲仙岳での経験を踏まえ、電子基準点は火山活動に伴う広域の地殻変動を観測できるように配置された。この結果、2000 年の有珠山噴火では、地下のマグマの移動に伴う山体の膨張を観測し、住民避難の判断等に活用できた。この際、日々の座標値だけではなく、6 時間データを用いた解析を 3 時間毎に実施し、時間分解能を向上させて変動の監視にあたった。商用電源や固定電話が利用できない火山周辺において電子基準点を補完するため、太陽電池や衛星携帯電話を備えた可搬型の GPS 火山変動リモート観測装置(以下「REGMOS」という。)が開発され、1998 年に岩手山に初めて投入された(平井, 2000)。

2.2.3 世界測地系の導入と測量での利用

明治時代に天文観測によって原点数値が定義された我が国の経緯度の基準(日本測地系)や、日本測地系に基づいて作られた各種地図の経緯度は、GPS 測位で得られる世界測地系(WGS84)と、東京周辺では約 450m のずれがあった。1998 年には、GPS の普及に備え、我が国の経緯度の基準を世界測地系とするため、基準点や地図の座標値を「測地成果 2000」

に改定する計画が決まった。この際、GEONET は茨城県鹿島での VLBI 国際観測によって得られた世界測地系(International Terrestrial Reference Frame, 以下「ITRF」という。)を全国に展開させるために骨格的な役割を果たした(測地成果 2000 構築概要編集委員会, 2003)。

世界測地系を経緯度の基準として導入する測量法改正により、2002 年以降、電子基準点は公共測量(基準点測量)に直接利用できるようになった。既に 1999 年から、観測データは受信機メーカーに依存しない標準フォーマット(RINEX)で国土地理院のウェブサイトから提供されていた。基準点測量では、測量する点(新点)に GPS 受信機を設置して所定の時間観測を行い、近くの電子基準点で同時に観測された GPS データをダウンロードして、新点と電子基準点間の基線解析を行う。その際、電子基準点の座標値(測地成果)を固定することで、測地成果に基づく新点の座標値を決定できる。ただし、GPS は幾何学的な測位方法なので、平均海水面(ジオイド面)からの高さである標高を直接求めることはできない。GPS で得られる楕円体高から標高を求めるには、その差に相当する「ジオイド高」が必要になる。2003 年には、重力モデル及び GPS/水準法によるジオイド高を補間して作った「日本のジオイド 2000」が公表されて国内どこでもジオイド高が補間計算できるようになり、GPS 測量でも数 cm の精度で標高が得られるようになった(Kuroishi et al., 2002)。

2.2.4 リアルタイム測位の環境整備

世界測地系が導入された 2002 年には、地殻変動の監視を強化するため、電子基準点の 1 秒間隔の観測データを常時接続の通信回線(IP-VPN)を使ってリアルタイムで収集するシステムも整備された。このデータを利用するとリアルタイムで cm 級測位が可能となるため、測量の効率化や測位の高精度化を期待する民間の要望に応え、リアルタイムデータの配信が開始された。当初は 200 点だけだったが、2003 年には 931 点、2004 年には約 1,200 点に拡大され、全国で電子基準点によるネットワーク型 RTK(Real time Kinematic)-GPS 測位の環境が整った。国土地理院は、非営利のデータ配信機関に無償でリアルタイムデータを提供し、データ配信機関はデータの品質管理やデータを希望する民間事業者への配信を行う。データ配信機関の経費は民間事業者が共同で負担し、国費を投入しない仕組みである。ネットワーク型 RTK-GPS 測位には VRS(仮想基準点)方式や FKP(面補正パラメータ)方式があるが、いずれも公共測量で利用可能となり、測量の効率化に貢献した。しかし測位分野での利用の拡大には、GNSS の登場を待つ必要があった。

2.2.5 日々の座標値の改善

電子基準点の座標値には、公共測量で用いる測量成果(測地成果 2000 等)とは別に、日々の観測データを解析して得られる「日々の座標値」がある。いずれも ITRF における座標値であるが、測量成果が過去のある時点(元期;げんき)における座標値であるのに対し、日々の座標値はプレート運動や地殻変動によって、時間とともに変化する今期(こんき)の座標値である。日々の座標値の計算には、国際 GPS 事業(2005 年、国際 GNSS 事業に改名。以下「IGS」という。)が作成した衛星の軌道情報である IGS 最終暦(Final orbit)と、Bern 大学で開発された基線解析ソフトウェア Bernese 等が利用されている。1996 年当初の解析戦略は F0 と呼ばれ、座標系は ITRF94 に基づくものだが、その後も改良は精力的に続けられた(畑中, 2006)。2001 年にはアンテナ架台形式毎の位相特性(PCV)モデルや海洋潮汐荷重変形などの最新モデルを採用した、ITRF97 に基づく F1 解析が導入された。2003 年にほぼ全点のアンテナがチョークリング型に統一されたことを踏まえ、2004 年には受信機種毎の解析を廃し、ITRF2000 に基づく F2 解析が導入された。IGS 最終暦の入手に観測後 2 週間以上の時間を要するため、観測後 2 日程度で入手できる IGS 速報暦(Rapid orbit)を用いた R2 解析や、6 時間の観測データを IGS 超速報暦(Ultra Rapid orbit)により 3 時間毎に解析する Q2 解析も、この時から行われた。2006 年から開発が進められ 2009 年に公開された F3 解析では、大気遅延勾配の推定、アンテナの絶対位相特性モデルの採用、ITRF2005 への変更、解析固定点における座標の取り扱いの変更等が行われ、GPS の解析戦略としては概ね完成した。F1 解や F2 解の精度(RMS)は、水平 2~3mm、高さ 10mm 程度であり、F3 解では前線通過時などのばらつきや網全体の年周期的なスケール誤差が小さくなっている(畑中ほか, 2005; 中川ほか, 2009)。

2.2.6 天気予報への活用

大気中の水蒸気は GPS に誤差をもたらすノイズだが、天気予報には精度向上をもたらすシグナルである(小司ほか, 2009)。1990 年代に始まった測地学と気象学の学際研究「GPS 気象学」の結果、2009 年に GEONET データから求められた水蒸気量が、気象庁の数値予報に取り込まれ、そのスコアを改善している(気象庁・国土地理院, 2009; 小司, 2015)。

2.2.7 測量における地殻変動の補正

公的な測量・地図作成では、蓄積された莫大な地理空間情報との整合性を保つため、水平位置の基準として測量法に基づく基準点の測量成果(元期における世界測地系の座標値)を用いることが求められ

る。しかし実際には、地震がなくても定常的な地殻変動の蓄積により、基準点の位置は測量成果の示す位置から徐々にずれていく。このずれを補正して正確な測量を行うため、2009 年 4 月に、電子基準点の「日々の座標値(F3)」から作られたセミ・ダイナミック補正パラメータが公開され、精度を要する公共測量に適用されるようになった(田中ほか, 2006, 檜山ほか, 2010)。この方式では、元期の測量成果にセミ・ダイナミック補正を施して今期の座標値に直し、その上で各種測量計算を行った後、過去の地理空間情報との整合性をとるため、セミ・ダイナミック補正で元期における座標値に戻す。全国でこのような補正を行うには、国土を一定の密度で覆う GEONET のような観測網が不可欠となる。

このように、測量、地殻変動観測、地震火山防災はもとより民間によるリアルタイム位置情報サービス、天気予報にまで GEONET の役割は広がり、2009 年には社会的なインフラとなっていた。

2.3 GNSS 対応とリアルタイム解析の進展

2.3.1 様々な GNSS への対応

運用開始以来、GEONET の G は GPS のことで、観測衛星は米国の GPS だけだったが、GPS 近代化計画(新たな民生用信号を含む次世代 GPS 計画)の進展と並行して、ロシアのグロナス、日本の QZSS、欧州連合のガリレオなどの整備が進んできた。これらの衛星測位システムは総称して GNSS(Global Navigation Satellite Systems)と呼ばれる。2010 年の QZSS 初号機「みちびき」の打ち上げや、GPS 近代化の進展、そして利用者のニーズを踏まえ、GEONET では GPS 以外の GNSS への対応も順次進めることとし、2010 年には、更新時期を迎えた GPS 受信機の GNSS 受信機への更新を開始した。2012 年には GEONET の G は GNSS となり、GNSS 連続観測システムに改名している。東日本大震災の復興支援のため GNSS 対応は前倒しされ、2013 年には全国の電子基準点で QZSS 及びグロナスの観測やデータ配信が可能となった。グロナス等の併用による衛星数の増加は、都市部や山間部等、上空の視界に制約がある地域においてネットワーク型 RTK 測位の性能を安定的なものとし、i-Construction での利用が大きく伸びた要因とされる(辻ほか, 2013; Tsuji et al., 2013)。2016 年には欧州連合のガリレオや近代化 GPS の L5 信号の観測を 786 点の電子基準点で開始し、2019 年頃には全点での観測を計画している。

QZSS では、GEONET のデータを用いて GNSS 測位の誤差要因を軽減し、リアルタイムで cm 級測位を行う補強サービス(以下「CLAS」という。)の運用が予定されている(内閣府, 2012)。

2.3.2 東日本大震災への対応と測地成果 2011

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) では、GEONET により、震源域に近い電子基準点「牡鹿」(宮城県石巻市)で東南東方向に約 5.3 m, 上下方向に約 1.2 m 沈降など、東北地方から関東甲信越地方の広い範囲で顕著な地殻変動が観測され、地震メカニズムの解明等に貢献した (Nishimura et al., 2011, 水藤ほか, 2011)。津波で浸水した太平洋沿岸域では、地震時の地殻変動により数十 cm~1m 程度沈降した地域があり、高潮等への警戒を呼びかける際にこの情報が引用されて GEONET が減災に直接貢献した。

この地震では本震後も余震や余効変動が継続し、電子基準点成果の改定方法や時期の判断は困難を極めた。GEONET で観測される余効変動速度が、年 1 回のセミ・ダイナミック補正パラメータで対応できる程度に小さくなった 2011 年 5 月 24 日を元期として、新たな測量成果を 5 月 31 日に公表した。この計算には、ITRF2008 に基づく、つくばでの VLBI 国際観測の結果が利用された。その後公表された三角点等の測量成果とあわせ、この座標値のセットを「測地成果 2011」と呼ぶ (檜山ほか, 2011)。北海道や西日本の測量成果は未改定のため測地成果 2000 と同じだが、それらも含めて測地成果 2011 と呼ぶので、測地成果 2011 は 2 つの元期を持つ (西日本・北海道：1997 年 1 月 1 日, 東日本：2011 年 5 月 24 日)。

2.3.3 常時リアルタイム解析による津波予測支援

東日本大震災当時、GEONET のリアルタイム解析は常時行っておらず、未曾有の地殻変動がわかったのは本震から約 5 時間後であった。地震計の特性上、余りにも巨大な地震については正確なマグニチュードがすぐに計算できないため、この地震では津波高の予測が過小評価となった。しかし、概略の地殻変動が GNSS から即時にわかれば、巨大地震の地震規模を十分な精度で推定し、津波予測を支援できる (Ohta et al., 2013)。これは、従来は精度を重視して 3 時間以上のデータを用いた解析結果を使っていたのに対し、スピードを重視して常時 RTK 測位を行うという発想の転換である。この考え方を具体的に実装したものとして東北大学や気象研究所との共同研究により、巨大地震発生時に概略の地殻変動を即時に把握して地震規模を推定し、津波予測支援に役立てるリアルタイム GNSS 解析システム (以下「REGARD」という。)が開発され試験運用が始まった (Kawamoto et al., 2015, 川元ほか, 2016)。津波予測支援はこれからだが、国土の概略の地殻変動を GEONET で常時モニターできるようになり、2016 年熊本地震では REGARD で地殻変動が確認された (Kawamoto et al., 2016a, b)。

2.3.4 防災対応力及び維持管理の強化

GEONET は、リアルタイムで測量・測位・地殻変動観測を行うツールであり、防災対応上、極力システムを止めないよう対策に努めている。2010 年には携帯電話のポケット通信で通信回線を二重化し、東日本大震災直後のデータ収集に効果を発揮した。データ解析を行うサーバ室は宇宙測地館 1 階、3 階に二重化されているが、2014 年に 3 階サーバ室も床免震化した。2013 年までにほぼ全点で 72 時間対応の無停電装置を整備した。2015 年には火山周辺の電子基準点 (67 点) で架台強化・太陽電池設置を行った。2016 年は 33 点に太陽電池を設置した。2016 年度には設置後 20 年以上が経過し老朽化した鋼管製の引込柱 (電力線及び通信線を電子基準点まで引き込む柱) 約 540 本をコンクリート製のものに更新した。

測地観測センターは 1996 年に GEONET と同時に設置されたが、20 年後の 2016 年、インフラとなった GEONET を確実に運用するため、電子基準点課が新設されて 3 課体制となった。

F3 解析が 2009 年に公表されて以来、Bernese ソフトウェアの更新や電子基準点の GNSS 対応等の変化があり、現在、ITRF2014 に基づく GPS とグロナスを併用する解析戦略 (F4) の開発を進めている。QZSS はリアルタイムの解析で用いられる。

このように、運用 20 年の節目を超えた現在、様々な課題に対応しつつ、GEONET はリアルタイムで国土の位置を捉える GNSS 連続観測網に進化している。

3. 成果

GEONET は社会に何をもたらしたのか、今までの記述や各種文献に基づき、改めて整理する。

3.1 日本の広域的な地殻変動を cm レベルで把握し 地震火山活動の調査研究や防災・減災に貢献

付図 1~4 は、全国の電子基準点が過去 20 年間に水平方向にどれだけ動いたかを半年毎に示したものである。4 つのプレートに囲まれた日本列島が、プレート運動や地震・火山活動等によって徐々に変形していく様子が捉えられている。GEONET 運用 20 年の集大成であり、地殻変動が複雑で地震・火山活動が頻発する日本に住むことの意味を考えさせる良い教材である。動画版を国土地理院ウェブサイトに掲載している (国土地理院, 2017)。

3.1.1 地震・火山活動に伴う地殻変動

GEONET が捉えた地震・火山活動に伴う地殻変動情報は、遅滞なく、気象庁、地震防災対策強化地域判定会 (いわゆる東海地震の判定会)、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会、地震予知連絡会等の関連機関に提供され、地震・火山活動のメカニズムの評

価や減災のための活動に活用されている（提出資料は各委員会ウェブサイトで閲覧可能）。GEONET で遅滞なく得られる地震時の地殻変動分布は震源断層の位置や被害状況と関連し、大地震の連鎖発生や余震に関する情報が得られるため（鷺谷，2009），減災

に役立つ。また 2000 年有珠山噴火ではマグマの移動に伴う山体の膨張や収縮を観測し、住民避難や火山活動終息等の判断に利用された。東北地方太平洋沖地震後の沿岸域の地盤沈下情報は、高潮等の警戒のためにマスコミで活用された。

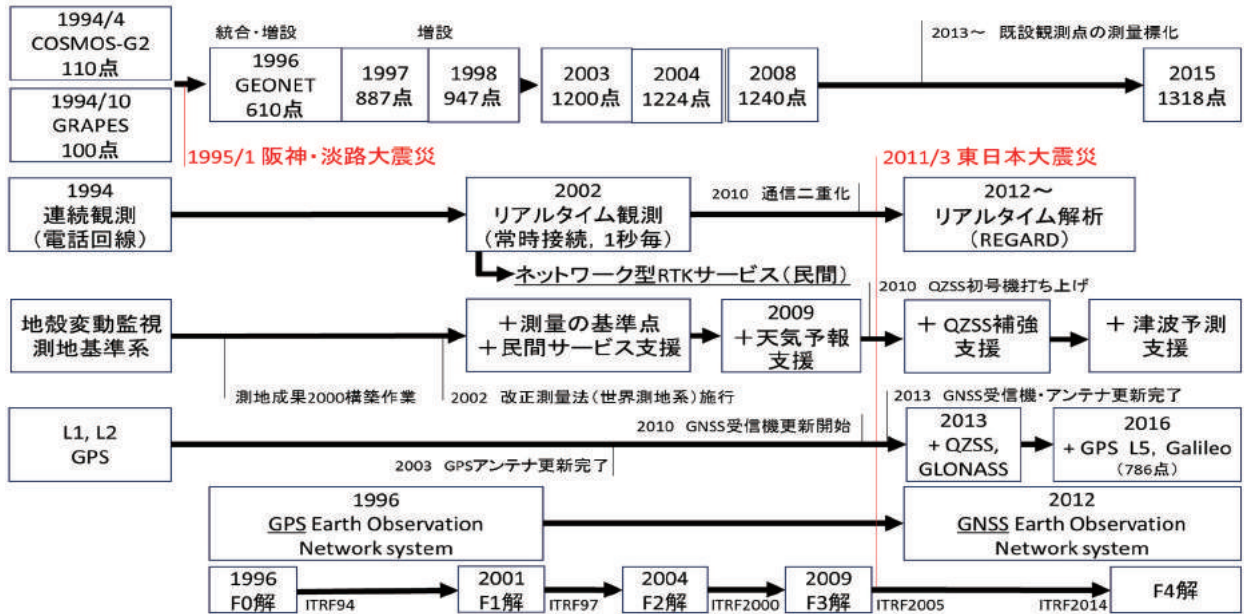


図-1 20年間の GEONET の進化. 説明は 2 章を参照のこと.

地震に伴う地殻変動カタログ（木村・宮原，2013）によれば，GEONET で観測された最大の変動は，水平成分では東北地方太平洋沖地震の 5.40 m (M 牡鹿) だが，上下成分では岩手・宮城内陸地震の断層直上で観測された 2.08m の隆起（栗駒 2）である。

火山周辺において電子基準点の地殻変動観測を補完するため，気象庁や大学等と連携しながら，全国 10 箇所程度の火山に REGMOS を展開している。他機関が火山周辺に設置した GNSS 観測点のデータも入手し，GEONET と一緒に統合解析を行っている（今給黎・大脇，2011）。

3.1.2 余効変動やスロースリップの発見

GEONET の日々の座標値の時系列には，地震時や火山活動に伴う地殻変動以外に，定常的なプレート運動，プレート間カップリングによる地殻変動，地震後の余効変動，スロースリップによる地殻変動などの地球物理的な信号が含まれる（西村，2009）。この分野で GEONET が果たした貢献には，「新潟ー神戸歪み集中帯の発見」（Sagiya et al., 2000），「プレート境界におけるスロースリップの発見」（Sagiya, 2004；鷺谷，2009；Nishimura et al., 2013）等があり，「本震による滑りと余効変動とを分離し，さらに余効変動がどのように時間発展したのかを初めて求め

た」（岩田，2013），「地殻の定常的な変動だけでなく地震時の変化，およびこれまで認識されていなかったスロースリップの存在が明らかになってきた。これらの現象は，巨大地震の発生予測に貢献する可能性がある」（小原，2016）と評価されている。また東北地方太平洋沖地震後，地震前と比べて桁違いの速度で余効変動が進んでいるが，この余効変動は測地的に計測された地殻変動と地学的に求められた地殻変動の矛盾を解消する鍵とされる（西村，2012）。

3.1.3 リアルタイムでの地殻変動観測

GEONET の GNSS データを常時リアルタイムで解析し，巨大地震発生時の地殻変動分布から断層モデルを即時に推定する REGARD システムが開発され，国土地理院において運用されている。巨大地震に伴う津波の予測支援や地震・火山活動の監視への適用が期待される（2.3.3）。なお REGARD には，国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発」（国土地理院，2015a）において東京海洋大学の GNSS 解析ソフトウェア RTKLIB（Takasu, 2011）を改良して作成したオープンソースの GSILIB（古屋ほか，2013）が組み込まれている。

3.2 世界測地系に準拠した測地基準座標系を維持し 測量の正確性や効率性を確保

3.2.1 測地基準座標系の維持

世界測地系への移行（測地成果 2000 構築）に GEONET は不可欠であった（2.2.3）。また、巨大地震後の成果改定を効率的に実施できるようになった（2.3.2）。測量で地殻変動の影響を取り除くセミ・ダイナミック補正パラメータは、電子基準点の日々の座標値から作られる（2.2.7）。

3.2.2 公共測量の推進

電子基準点の観測データや測量成果は、測量法に基づく位置の基準として、GNSS を用いる公共測量に利用され、測量の正確性と効率性を確保している。公共測量のうち、基準点測量、航空写真・レーザ測量、計測移動車両による測量（MMS）等に利用されており、これらの市場規模は、2013 年時点で概ね単年度あたり 100 億円程度と考えられる（下山, 2016）。

電子基準点があると、利用者は既知点での GNSS 観測を省略できるので、測量工程が効率化できる。トータルステーションによる基準点測量に比べ、GNSS による基準点測量では作業量を 2~3 割削減できる。最近、電子基準点を活用した新たな測量手法として、スマート・サーベイ・プロジェクト方式による GNSS 水準測量や、マルチ GNSS 測量が可能となっており、効率化が期待される（国土地理院企画部技術管理課, 2013；国土地理院, 2015b）。

3.2.3 国際観測への貢献

1992 年の GPS 試験観測キャンペーン以来、IGS の設立メンバーとして、国際協力によって GNSS の軌道決定などを行う IGS に協力している。現在、つくば、新十津川、始良、父島、南鳥島、南極昭和基地にある観測局の GNSS データを IGS に提供している（南鳥島以外はリアルタイム提供）。IGS の精密暦は GEONET の日々の座標値の計算に利用される重要な情報である。また IGS や GEONET などの GNSS 観測データ（RINEX）の保管に標準的に利用される Compact RINEX フォーマット（通称「Hatanaka フォーマット」）は、地震分野で使われるアルゴリズムを応用したもので高い圧縮率を有するが、これは IGS のために国土地理院から提案されたものである（Hatanaka, 1996, 2008）。

3.3 リアルタイム高精度測位の環境を整え

i-Construction 等の測位分野発展に貢献

3.3.1 民間ネットワーク型 RTK サービス事業を創出

電子基準点のリアルタイムデータを加工して民間が提供するネットワーク型 RTK-GNSS サービスでは、即時に数 cm の精度で地図や測量で用いられる

座標値を求めることが可能で、i-Construction や農機の自動走行等を支えている。

国内でネットワーク型 RTK サービスを行う配信事業者は現在 3 社（ジェノバ、日本 GPS データサービス、日本テラサット）あり、その業務は順調に拡大している。サービス内容は各社のウェブサイトを参照されたい。GPS とグロナスを併用すると測位精度が安定するので、一部のリース用重機にはデフォルトでネットワーク型 RTK-GNSS が組み込まれている。北海道などでは、トラクターの自動走行のためネットワーク型 RTK が利用される事例が増えている。GPS とグロナスに加え、QZSS のための補正情報を配信する事業者もある。

3.3.2 準天頂衛星システムの補強サービスを支援

2017 年 6 月に QZSS 2 号機が無事打ち上げられ、2018 年度からは 4 機体制の下、誤差数 cm の精密測位サービスが提供される（内閣府, 2017）。この CLAS（Centimeter Level Augmentation Service）と呼ばれるサービスは、特に自動走行・安全運転支援や高精度位置情報サービスでの利用が期待されている（三菱電機, 2016）。機器の小型軽量化が進めば、補正情報が測位信号と一緒に放送される特徴を生かし、一般での活用も期待される。CLAS では電離層遅延や対流圏遅延といった地域によって異なる誤差要因を補正するため、稠密に設置された電子基準点のリアルタイムデータが利用される（2.3.1）。そのデータはデータ配信機関を通して提供されている。

3.4 天気予報、地球科学の発展に寄与

3.4.1 天気予報のスコア改善

気象庁は 2009 年 10 月より GEONET データから求めた上空の水蒸気量を数値予報に利用し、豪雨等の予測スコアを改善している（2.2.6）。

3.4.2 日本上空の電離層のマッピング等

GNSS の L1 及び L2 周波データを利用することにより、日本上空の電離層が面的にモニター可能であり、GEONET は日本上空の電離層研究に活用されている（Saito et al., 2002; Seemala et al., 2014）。ロケット打ち上げによる電離層の擾乱も観測できる（Ozeki and Heki, 2010）。東北地方太平洋沖地震では地震後に極めて大きな電離層の擾乱が観測された（Rolland et al, 2011）。この巨大地震の前に電離層に異常が見られたとの主張があるが論争中である（Heki and Enomoto, 2014; Iwata and Umeno, 2016）。

3.4.3 地球科学の人材育成

GEONET の観測データや解析結果は当初から遅滞なくウェブサイト等で公開され、国内外の地球科

学を中心とする研究者によって広く利用され、地球科学の進展や研究者の育成に貢献した。

3.5 その他の寄与

3.5.1 教育

電子基準点は、上空視界を確保して安定的に運用するため、小中学校等の校庭に設置される場合が多い。教育と広報を兼ね、電子基準点の設置校に出前授業を行うプロジェクト（通称「学校へ行こう」）を2016年度から国土地理院地方測量部等と協力して進めている。2017年度までに21校を訪問し、約1,300人の児童、生徒に電子基準点の役割等を伝えた。

3.5.2 開発途上国への技術協力

GNSSへの関心の高まりを受け、2015年から国際協力事業団（JICA）研修として、電子基準点に関する研修コースを国土地理院で開設している（中川ほか、2014）。開発途上国の測量技術者が毎年10名程度参加している。

4. 課題と展望

20年間に様々な課題が生じたが、逐次対応を行い、運用の改善やシステムの改良を進めてきた。4章では、現在対応中の課題や、今後想定される課題について述べ、将来のGEONETの在り方を展望する。事柄の性格上、将来の方針には現時点での著者の推測に基づくものも含まれ、状況の変化等により今後変更することがある。

4.1 システムの安定運用

4.1.1 確実な保守

GEONETは止めてはならないインフラであり、現在、観測データの取得率99.5%以上、電子基準点から配信機関までのデータ遅延1秒以内という目標を設けている。99.5%は、全国任意の場所でネットワーク型RTK測位（VRS方式）が使えない時間を1日20分以内にするために必要な取得率に相当する。またネットワーク型RTK測位の現場に補正情報を2秒以内に届ける必要があるとのことから、途中のデータ配信機関での遅延を1秒以内としている。現在、取得率（99.8%）や遅延時間（平均0.3秒）は目標を満たすが、その維持には確実な保守が必要である。

電子基準点の主要機器である受信機は、補正予算で更新されることが多かったが、今後は計画的に平準化して最新型受信機への更新を行う予定である。2016年度から毎年200点ずつ7年サイクルで全点更新を行う計画が進んでいる。現地の電子基準点の保守は外部委託しており、異常発生時には原則7日以内に復旧される。中央局システムの運用・保守も外部委託しており、夜間・休日も含めGEONETは監視

されている。設置後20年程度が経過し老朽化が目立った鋼管製の引込柱（電気・電話用）は2016年度までに全体の半数が原則としてコンクリート柱に更新された。アンテナの実質耐用年数は受信機より長い。前回更新は2013年なので、将来的に更新を検討する必要がある。ステンレス製ピラーは、沿岸部等で表面に錆びが見られる点があるが、構造的には安定であり、更新は相当先と考えている。約600点の電子基準点は校庭等の公有地に設置されているが、学校の統廃合や工事等に伴い、やむなく電子基準点を近くに移転することも年に数件程度発生する。

4.1.2 観測データの品質確保

電子基準点は、比較的観測条件の良い場所に設置されているが、周辺環境の変化によって観測データの品質が低下し、測位結果に影響が出ることがまれにある。利用者への注意喚起を国土地理院ウェブサイトに掲載している（国土地理院、2016）。

一番多いのは、周辺の樹木が伸長し低仰角の衛星が観測できなくなって、測位結果に系統的な誤差が生じるケースである。電子基準点は4年に一度現地調査を行い、適宜伐採も行っているが、樹木の伸長が著しい地点では調査の頻度を高める必要がある。

近年発生した深刻な課題は、携帯電話のLTEサービスの開始後に生じた特定受信機種への電波干渉である。携帯電話基地局の近くにある電子基準点において、LTEサービスの信号が出されると同時に、GNSSの受信強度が低下し、かつ、振幅が数cm、周期が数週間を持つ見かけの上下変動が観測された。周期変動のメカニズムは不明だが、GPSアンテナに比べて受信周波数帯の広いGNSSアンテナが隣接周波数帯のLTE信号を拾い、アンテナ等のプリアンプが飽和して受信強度が下がったと思われる（辻ほか、2016）。2017年3月までに20点で同様な現象が見られたが、アッテネータ（減衰器）を挿入してプリアンプの飽和を避けることで、見かけの上下変動は概ね解消している。この現象は、今のところ、電子基準点のチョークリング型GNSSアンテナに接続したTrimble NetR9受信機で確認されている。

4.1.3 観測網の維持

電子基準点の総点数は、地震調査研究推進本部の法定計画にある「20～25km程度の間隔」に基づく。その背景には、この間隔で全国を覆うと、内陸のどこで被害地震（概ねM6.5以上）が起きても地殻変動を観測できることが、マグニチュードMと地殻変動範囲の半径r（km）との関係式（壇原、1979）

$$\log r = 0.51 M - 2.26$$

から期待されることがある（M6.5で直径23km）。地震調査研究のため、引き続き、現在と同程度の観測

網の維持は必要である。

個別の状況に応じた観測網の見直しは適宜行っている。例えば、水準測量との比較のため御前崎周辺に設置した高精度比高観測点 (25 点) は 2km 間隔だったが、間引いても高さの精度は確保できることをシミュレーションで確かめ、9 点に再編して電子基準点とした。また沿岸周辺の測量で電子基準点を使いたいという民間の要請に応え、験潮場等に設置している GPS 連続観測点のうち、既設電子基準点の直近を除く 35 点を電子基準点としている。

GEONET の運用には毎年約 6 億円の経費を投入しており、常にコストダウンが求められる。受信機更新では、オープンベンダー仕様により、まとまった台数を一般競争入札で更新し、経費を節約している。中央局システムや電子基準点の保守においても一者応札とならないようオープンな仕様としている。IP-VPN 通信は枯れた技術で割引率は高いが固定費として予算を圧迫している。GNSS 対応でデータ量が増加する中、遅延時間を抑えることも重要であり、合理的な通信方法の模索を続ける。

電子基準点の費用対効果について、以下の分析がある (下山, 2016)。GEONET の更新経費 (耐用年数での平均) と運用経費の合計は年間 9 億円程度だが、電子基準点により公共測量 (基準点測量, 地図作成) の経費が年間十数億円節約され、年間数十億円程度の事業 (航空レーザ測量, MMS 測量, i-Construction) が創出されており、費用対効果は高い。

4.2 システムの高度化

4.2.1 電子基準点

電子基準点では 2017 年度の受信機更新によりガリレオ及び L5 信号対応がほぼ完了するため、これらの信号は 2018 年度から全国の電子基準点で利用可能となる見込みである。グロナスの新たな信号 (周波数ではなく GPS 等と同様にコード番号によって個々の衛星を識別する CDMA 方式) や、中国の北斗 (Beidou) 等についても、技術情報の公開、受信機メーカーの対応、利用者のニーズ、通信回線の混雑状況等を踏まえ、対応を検討することになる。

電子基準点の防災対応力向上に努め、ほぼ全点で 72 時間対応の無停電装置が整備されているが、太陽電池の設置は全体の 1 割に満たない。強度を高め、日射による熱変形に伴う傾き (ひまわり運動) を防ぐ二重管ピラーも全体の 3 割に留まっている。また引込柱のコンクリート柱への更新も道半ばである。

4.2.2 解析システム

GEONET の中央局システムでは、マルチ GNSS のデータ収集系 (GATE) やリアルタイム解析システムは概成しており、今後は新解析戦略 (F4) を実装し

た定常解析システムの改良に注力する。F4 では、F3 の課題であった国内基線解析のための固定点座標の計算方法の改良 (ITRF2014 に基づくグローバル解析等)、グロナスの併用、対流圏遅延モデルの更新等を行っている。その後、電子基準点への精密単独測位 (Precise Point Positioning, 以下「PPP」という。) の適用や、そのために必要な補正情報の生成も視野に入れている (4.3)。

REGARD の公称精度は、夏場のばらつきを含めるとリアルタイムで 10cm 程度だが、熊本地震では即時に変動監視も可能であったことから、精度の安定性を向上させ、津波予測の支援だけでなく、地震・火山監視にも使いたいと考えている。また常時リアルタイム解析にかなりの計算機資源を要しており、後述の PPP 等による効率化も必要であろう。

宇宙測地館中央局にあるサーバは二重化されているが、理想的にはバックアップは別の建物又は地域にあることが望ましい。宇宙測地館は竣工後 20 年近くが経過し、空調装置などの更新が別途進められている。

4.2.3 データ提供

電子基準点の観測データや解析結果は、国土地理院ウェブサイトから提供されている (国土地理院, 2014)。30 秒毎の観測データ (RINEX) は観測後 1 時間程度で入手可能だが、日々の座標値 (F3) はその算出に IGS 最終暦の公開を待つ必要があり、約 2 週間遅れの提供となる。このため、2015 年より、速報である日々の座標値 (R3) を観測の 2 日後に公開し、研究者に便宜を図っている。これらのデータや結果は政府のオープンデータ戦略に基づき提供されており、出典を明示すれば自由に利用できる。

オープンデータ戦略の下では、様々な利用者によって加工されたデータが世の中に出回ることになる。電子基準点データには GNSS 特有の様々な誤差が含まれているため、データ提供者の責務として利用上の注意をウェブサイトで丁寧に説明するよう努めている。

1 秒毎の観測データは容量が大きくウェブサイトでは提供していないが、大地震や電離層擾乱等の際の 1 秒データは国土地理院技術資料としてオフラインで実費提供されている。一定時間内に届かなければ価値のないリアルタイムデータは、専用回線で非営利のデータ配信機関に国土地理院から無償提供し、民間への提供を委ねている。リアルタイムデータのフォーマットは、米国の研究機関が定めた柔軟性の高い BINEX (UNAVCO, 2011) を利用しているが、今後その利害得失を評価した上で、より良いフォーマットが提案され、関係者の合意が得られた場合には変更する可能性もある。

4.3 精密単独測位への対応

4.3.1 PPP の原理

最近、PPP に基づく cm 級測位を行うための補正情報が、研究機関や民間から提供されている。PPP は、グローバルな解析で精密に決定された衛星軌道や時計補正情報を固定して、各観測点で受信した搬送波位相を最もよく説明する各観測点の座標値を推定する方法である(太田ほか, 2006)。もともと IGS のために GPS の精密暦を作っている米国 JPL のグループが考案した(Zumberge et al., 1997)。PPP では相対測位と違って直接基準点のデータや座標値は必要としない。しかし PPP のための補正情報の計算には、IGS などのグローバルな GNSS 連続観測網(CORS)のデータが利用され、場合によってはローカルな CORS のデータも使って精度や性能を高めることも行われる。

位相観測につきものの整数値アンビグイティ(波数不確定)を整数にフィックスする方法(Ambiguity Resolution)も開発されており、PPP-AR と呼ばれる(Ge et al., 2008)。原理的には PPP-AR では基線解析のフィックス解と同等の精度が得られる。

各プロバイダが提供する PPP 補正情報を利用することにより、利用者は自らの受信機の座標値を、数十分程度の初期化の後、リアルタイムで連続的に得ることができる。精度は数 cm から 10 cm 程度で、ナビゲーション用の単独測位よりはるかに良いが、ネットワーク型 RTK よりも少し悪いのが現状である。Trimble 社の商用 PPP サービス(RTX)では、ローカルな CORS のデータを援用して初期化時間を短縮するオプションを米国等で提供している(Chen, et al., 2011)。

4.3.2 PPP と電子基準点

PPP は、ネットワーク型 RTK が利用できない地域や CORS のない海域での利用が想定されるが、このようなサービスが国内で利用可能になった場合、電子基準点の役割は変化するであろうか。

PPP の精度や初期化時間が許容できる作業では、従来の GNSS 測量の代替となる可能性はあるが、得られる座標値は、測定時点(今期)における ITRF の座標値なので、そのままでは、国内の測量に使われる座標値(元期における ITRF の座標値)とうまく合わない。この違いを補正するためには、電子基準点から得られるセミ・ダイナミック補正パラメータが必要となる。実はこの事情は、現行のネットワーク型 RTK-GNSS や、準天頂衛星システムによる cm 級補強サービスでも同様であり、これらの座標値を地図のものと整合させるために、電子基準点が必要になるのである。

測位結果を既存の地図等と照合せず、その場で使

い捨てる場合でも、基準の異なる座標値を持つ地理空間情報が残され、後に参照されて混乱することを避けるため、できれば公的な地理空間情報の基準となっている測量の位置基準を用いることが望ましい。このためには、セミ・ダイナミック補正に類する方法で、簡単に、測量(元期)と測位(今期)における座標値を変換可能にしておくことが重要である。

米国の RTX の事例に倣えば、電子基準点が稠密に整備されている日本では、PPP の初期化時間の短縮のためにどこでも電子基準点データを利用することができる。実際、電子基準点を用いたローカル補正により PPP の収束時間短縮が確かめられている(小暮, 2016)。また日本周辺の海域で PPP を利用するため、電子基準点データを利用して PPP 補正情報を生成した事例もある(柿本, 2015)。結局、ローカルな大気擾乱等による誤差を補正するには、ローカルな観測データがあった方が有利なのである。

このように、今後 PPP が普及しても、PPP の測位結果と地図とをつなぎ、かつ、その性能を最大限に発揮させるため、地上 GNSS 観測網は欠かせない。

電子基準点の解析を PPP-AR で行うことは時間分解能の向上や計算コストの圧縮につながり魅力的である。事業継続性の観点から、補正情報を外部のプロバイダに頼らず自ら生成することが必要となるかもしれない。JAXA が開発した複数 GNSS 対応の精密軌道クロック推定ソフトウェア(MADCOCA)を利用して、電子基準点の PPP キネマティック解析を行うプロトタイプシステムの研究開発が進行中である(宗包, 2017)。

4.4 連携の強化

4.4.1 他機関 GNSS 観測との連携

国内では、地震火山の調査研究や防災等のため、気象庁、大学、海上保安庁海洋情報部、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所等が GNSS 観測を行っており、国土地理院は協定を結んでデータ交換を行い、データを電子基準点と一緒に解析し統合解析結果として公表している。今後の GNSS のデータアーカイブの整備に向けた協力が求められている。

また民間でも様々な目的のために GNSS 連続観測を行う動きがあり、これらのデータの共有や有効活用の可能性について模索していきたい。

4.4.2 海域観測との連携

近年、海中での音響測距と海面での船舶やブイによるキネマティック GNSS 観測とを組み合わせた、GPS-A と呼ばれる海底地殻変動観測が行われている(佐藤ほか, 2008)。陸域の観測網では把握できない巨大海溝型地震の震源域周辺の情報は貴重であり、国土地理院においても、GPS-A を実施する海上保安

庁海洋情報部に観測データ（1 秒値）の提供を行い、海域における GNSS 観測との連携を図っている。

また、従来より沖ノ鳥島や南鳥島等の離島に電子基準点を設置して地殻変動を観測しており、今後も確実に運用を継続していく。

4.4.3 干渉 SAR

合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar, 以下「SAR」という。）を搭載した衛星による干渉観測では、ほぼ同一の軌道位置から得られた 2 回の観測データの差を取ることで、衛星方向の地表の変動を数 cm の精度で面的に捉えることができる（村上ほか、1997）。近年、この手法は長足の進歩を遂げ、2014 年に打ち上げられた我が国の「だいち 2 号」（ALOS-2）では観測頻度や範囲が格段に向上し、異なる方向からの観測データを組み合わせて 2.5 次元や 3 次元での地殻変動情報も得られるようになっていく（上芝ほか、2016）。

地殻変動観測のツールとしてみた場合、GNSS 連続観測はリアルタイム性や時間分解能、精度に優れているが、現地に観測点が必要なため、干渉 SAR のピクセル毎の空間分解能にはかなわない。一方、GNSS による広域地殻変動情報は、干渉 SAR の各種誤差の補正に利用できる（飛田ほか、2005）。このように地殻変動観測において干渉 SAR と GNSS は相補的な関係にある。点であるが連続観測できる GNSS と、スナップショットであるが面的に観測できる干渉 SAR の組合せは、地殻変動観測の最強の組み合わせかも知れない。

4.5 国際協力

4.5.1 GEONET の汎用性

どうして日本に GEONET が生まれ、インフラとなったのか。4 つのプレートに由来する複雑な地殻変動、高い人口密度と活発な経済活動、これによって昔から繰り返し発生した自然災害、防災や減災への人々の高い意識、明治以来その時々最新の技術を駆使して地殻変動を観測してきた先人たちの存在等を考えると、衛星測位の種が真っ先に日本で花開き、実を結んだのは必然のようにも思える。

では、この技術は、地震・火山災害が多発する一部の国でしか役に立たないのだろうか。そうではない。既に述べてきたように、GNSS 連続観測網は、測量や測位を行う際の位置情報の基盤であり、様々な者が作る地理空間情報を共有し、活用するための土台となる。これから社会資本の整備が進む開発途上国においても、地理空間情報と衛星測位技術を活用して G 空間社会を目指す先進国においても、必要となる社会インフラと考えられる。

4.5.2 海外展開の推進

インフラ・システムの海外展開を支援する日本政府の「経協インフラ戦略会議（議長：内閣官房長官）」では、QZSS のサービスエリアに位置する ASEAN 地域を対象に、電子基準点網構築や QZSS の利用環境整備を進めることが計画されている。また地理空間情報活用推進基本計画（2017 年 3 月 24 日閣議決定）においても、2021 年度には「日本の援助や支援により設置あるいは運用される電子基準点の数を 260 か所程度とする」こととしている。国土地理院は長年の運用で蓄積したノウハウを生かし、相手国への丁寧な技術協力を行っていく。GEONET におけるオープンデータやマルチベンダーの考え方、測量・防災という平時・有事の双方に役立つシステム構築、長年に渡り様々な課題を解決してきた専門家集団の存在は日本の協力を深めるであろう。

4.5.3 IGS への貢献

GEONET データの解析を行う際に、IGS の解析結果（精密暦、IGS 観測局の座標値等）は不可欠である。また、海外展開を進める上で、GNSS 観測のデファクトスタンダードに影響を与える IGS への関与は有利に働く。このため、引き続き IGS の観測局及び準解析センターとしての活動を継続・拡充し、IGS におけるマルチ GNSS 及びリアルタイム解析の流れを推進していく。

5. おわりに

GEONET は運用 20 年の節目を越えたが、測量・測位、防災など、広く社会に役立つインフラとして順調に稼動中である。単独機関が運用する均質な GNSS 観測網としては世界最大で、観測点密度では現在でも世界最高である。このような先進的インフラを用いて世界最高水準で地理空間情報が活用できる舞台が日本に用意されている。

人工衛星による地球観測技術の向上は目覚しいが、現地で連続観測可能という特徴は GNSS 連続観測網ならではのものであり、面的観測が可能な干渉 SAR と連携して、複雑な日本の地殻変動をこれからも明らかにしていくだろう。PPP は海域など GNSS 連続観測網のない場所で有用なツールだが、既に観測網がある地域でも、そのデータを活用して PPP の性能を高めることができる。日本には GEONET が安定的に運用されていることから、利用者は、ネットワーク型 RTK、QZSS からサービスされる CLAS、民間や研究機関が提供する PPP など、幅広いリアルタイム測位の手法を享受できるのである。

ここで電子基準点の役割を改めて整理しておこう。

- 1) 測量の基準となること。
- 2) 地殻変動を観測すること。

- 3) 衛星測位結果(今期)と、測量・地図の位置情報(元期)を関係づけること。地殻変動の蓄積により、同じ世界測地系でも今期と元期の座標値はズレていく。
- 4) 衛星測位の性能を高めるために必要となる現地データを提供すること(QZSSのCLAS支援, PPPの初期化時間短縮など)。
- 今後もGNSSがある限り、位置情報のインフラとしてGEONETの必要性は変わらない。運用20年の節目を過ぎた今、GPS時代の初心に帰り、マルチGNSSへの対応や解析方法の改良等を行い、データの品質やサービスの向上に努めていく。また必要十

分な予算と人材が確保できるよう、広報と教育にも力を注ぐ。さらに産官学と連携を強め、G空間社会の実現や電子基準点の海外展開を支援していく。

謝辞

GEONETの運用と改良には、研究者や測量者からの貴重な意見に加え、測地部、測地観測センター、地理地殻活動研究センターに在籍した多数の職員や、委託先関係者の尽力、院内各部の支援が不可欠であった。

(公開日：平成29年8月21日)

参考文献

- Chen, X., T. Allison, W. Cao, K. Ferguson, S. Grunig, V. Gomez, A. Kipka, J. Kohler, H. Landau, R. Leandro, G. Lu, R. Stolz, N. Talbot (2011) : Trimble RTX, an Innovative New Approach for Network RTK, Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011), Portland, OR, September 2011, 2214-2219.
- 壇原毅 (1979) : 地震による地殻変動範囲とマグニチュードの関係(改訂式), 地震予知連絡会会報, 21, 167.
- 古屋智秋, 酒井和紀, 万所求, 辻宏道, 宮川康平, 畑中雄樹, 宗包浩志, 川元智司 (2013) : GNSS解析ソフトウェアのマルチGNSS対応, 写真測量とリモートセンシング, 52(4), 159-164.
- Ge, M., G. Gendt, M. Rothacher, C. Shi, J. Liu (2008) : Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations, J. Geod., 82, 389-399, DOI 10.1007/s00190-007-0187-4.
- Hashimoto, M., T. Sagiya, H. Tsuji, Y. Hatanaka, T. Tada (1996) : Coseismic displacements of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, J. Phys. Earth, 44, 255-279.
- Hatanaka, Y. (1996) : A RINEX Compression Format and Tools, ION GPS-96 proceedings, September 1996, 177-183.
- 畑中雄樹, 山際敦史, 湯通堂亨, 宮原伐折羅 (2005) : GEONETのルーチン解の精度評価, 国土地理院時報, 108, 49-56.
- 畑中雄樹 (2006) : 地球センサーとしてのGPS連続観測網の高度化-GPS観測量に含まれるシグナルとノイズの分離-, 測地学会誌, 52(1), 1-19.
- Hatanaka, Y. (2008) : A Compression Format and Tools for GNSS Observation Data, Bulletin of the Geographical Survey Institute, 55, 21-30.
- Heki, K., S. Miyazaki, H. Tsuji (1997) : Silent fault slip following an interplate thrust earthquake at the Japan Trench, Nature, 386, 595-598.
- Heki, K., Y. Enomoto (2014) , Reply to comment by K. Heki and Y. Enomoto on "Preseismic ionospheric electron enhancements revisited", J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 6016-6018, doi:10.1002/2014JA020223.
- 平井英明 (2000) : 岩手山における機動観測, 国土地理院時報, 93, 1-11.
- 檜山洋平, 森下遊, 山尾裕美, 湯通堂亨, 越智久巳一, 岩田昭雄 (2010) : セミ・ダイナミック補正の導入について, 国土地理院時報, 120, 55-61.
- 檜山洋平, 山際敦史, 川原敏雄, 岩田昭雄, 福崎順洋, 東海林靖, 佐藤雄大, 湯通堂亨, 佐々木利行, 重松宏実, 山尾裕美, 犬飼孝明, 大滝三夫, 小門研亮, 栗原忍, 木村勲, 堤隆司, 矢萩智裕, 古屋有希子, 影山勇雄, 川元智司, 山口和典, 辻宏道, 松村正一 (2011) : 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う基準点測量成果の改定, 国土地理院時報, 122, 55-78.
- 今給黎哲郎, 大脇温子 (2011) : 火山GPS統合解析データに基づく霧島山の変動源モデル, 国土地理院時報, 121, 183-188.
- 岩田貴樹 (2013) : 固体地球科学における大量データとその解析-日本における近年の展開とその展望, システム/制御/情報, 57(4), 172-177.

- Iwata, T., K. Umeno (2016) : Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 8969-8984, doi:10.1002/2016JA023036.
- 地震調査研究推進本部 (1997) : 地震に関する基盤的調査観測計画,
<http://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku97/s8kei.htm> (accessed May 26, 2017).
- 柿本英司 (2015) : GNSS 連続観測システムの利用事例, *システム/制御/情報*, 59(4), 145-150.
- Kawamoto, S., K. Miyagawa, T. Yahagi, M. Todoriki, T. Nishimura, Y. Ohta, R. Hino, S. Miura (2015) : Development and Assessment of Real-Time Fault Model Estimation Routines in the GEONET Real-Time Processing System, *International Association of Geodesy Symposia*, DOI 10.1007/1345_2015_49.
- 川元智司, 檜山洋平, 古屋智秋, 佐藤雄大, 太田雄策, 西村卓也, 等々力賢 (2016) : 電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) プロトタイプの開発, *国土地理院時報*, 128, 55-66.
- Kawamoto, S., Y. Hiyama, R. Kai, F. Suga, K. Yamaguchi, T. Furuya, S. Abe, N. Takamatsu (2016a) : Crustal Deformation Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by GEONET, *Bulletin of the GSI*, 64, 27-33.
- Kawamoto, S., Y. Hiyama, Y. Ohta, T. Nishimura (2016b) : First result from the GEONET real-time analysis system (REGARD): the case of the 2016 Kumamoto earthquakes, *Earth, Planets and Space*, 68, 190, DOI:10.1186/s40623-016-0564-4.
- 木村久夫, 宮原伐折羅 (2013) : GEONET が捉えた地震に伴う地殻変動カタログの整備, *国土地理院時報*, 124, 57-62.
- 気象庁, 国土地理院 (2009) : 国土地理院電子基準点観測データ (GPS データ) の活用による気象庁メソ数値予報の改善について～水蒸気データをとりこむことにより, 予報精度が向上します～, 報道発表資料,
http://www.jma.go.jp/jma/press/0910/27a/MSM_GPS.pdf (accessed May 26, 2017).
- 小暮聡 (2016) : 高精度測位技術の応用について, 第 13 回クリティカルソフトウェアワークショップ,
<https://www.ipa.go.jp/files/000050351.pdf> (accessed May 26, 2017).
- 国土地理院 (2014) : 電子基準点データ提供サービス, <http://terras.gsi.go.jp/> (accessed May 26, 2017).
- 国土地理院 (2015a) : 高度な国土管理のための複数の衛星測位システム (マルチ GNSS) による高精度測位技術の開発, http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html (accessed May 26, 2017).
- 国土地理院 (2015b) : 「スマート・サーベイ・プロジェクト」-衛星測位を活用した測量業務の効率化-,
<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/ssp/index.html> (accessed May 16, 2007).
- 国土地理院 (2016) : 国土地理院における地殻変動か否かの検討事例, <http://www.gsi.go.jp/kanshi/kentou.html> (accessed May 26, 2017).
- 国土地理院 (2017) : 20 年間の日本列島の水平地殻変動 (動画), <http://www.gsi.go.jp/kanshi/#5-2> (accessed May 26, 2017).
- 国土地理院 GEONET グループ (2004) : GPS 連続観測システム"GEONET" とその展望, *測地学会誌*, 50(2), 53-65.
- 国土地理院基準点体系分科会 (1993) : 新しい基準点体系を求めて, 基準点体系分科会最終報告, 平成 5 年 3 月, p.32.
- 国土地理院企画部技術管理課 (2013) : 公共測量作業規程準則における公共測量での GNSS の利用方法とその技術的背景, *写真測量とリモートセンシング*, 52 (3), 110-113.
- Kuroishi, Y., H. Ando, Y. Fukuda (2002) : A new hybrid geoid model for Japan, *GSIGEO2000, J. Geod.*, 76, 428-436.
- 三菱電機 (2016) : 準天頂衛星 センチメートル級測位補強サービス (CLAS),
https://www.mitsubishielectric.co.jp/automotive/ae2016_nagoya/pdf/qzss.pdf (accessed August 8, 2017).
- 宗包浩志 (2017) : 電子基準点精密単独測位キネマティック解析プロトタイプシステムの構築, *国土地理院時報*, 129, 1-9.
- 村上真幸, 藤原智, 飛田幹男, 新田浩, 中川弘之, 小沢慎三郎, 矢来博司 (1997) : 国土地理院における干涉 SAR による地殻変動検出技術の進展, *国土地理院時報*, 88, 1-9.
- 内閣府 (2012) : 準天頂衛星システムの運用等事業業務要求水準書 (案),
http://www.cao.go.jp/chotatsu/eisei/hoshin/1209_shiryo1.pdf (accessed May 26, 2017).
- 内閣府 (2017) : 第 15 回宇宙開発戦略本部議事概要, <http://www8.cao.go.jp/space/hq/dai15/gijiyousi.pdf> (accessed August 8, 2017).

- 中川弘之, 豊福隆史, 小谷京湖, 宮原伐折羅, 岩下知真子, 川元智司, 畑中雄樹, 宗包浩志, 石本正芳, 湯通堂亨, 石倉信広, 菅原安宏 (2009) : GPS 連続観測システム (GEONET) の新しい解析戦略 (第4版) によるルーチン解析システムの構築について, 国土地理院時報, 118, 1-8.
- 中川弘之, 坂部真一, 浅野妙子, 上野智史, マービット京湖, 徳永和典 (2014) : ODA 対象国を対象にした GNSS 連続観測システムに関するアンケートの結果等について, 国土地理院時報, 126, 31-55.
- 西村卓也 (2009) : 陸域地殻変動観測の現状, 地震 第2輯, 61, 特集号, S35-S43.
- Nishimura, T., H. Munekane, H. Yurai (2011) : The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET, *Earth Planets Space*, 63, 631-636.
- 西村卓也 (2012) : 測地観測データに基づく東北日本の最近 120 年間の地殻変動, 地質学雑誌, 118(5), 278-293.
- Nishimura, T., T. Matsuzawa, K. Obara (2013) : Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118(6), 3112-3125.
- 小原一成 (2016) : スロー地震の発見と巨大地震発生予測への可能性 -測地技術の貢献と期待-, 測量, 2016 年3月号, 6-11.
- 太田雄策, 鷺谷威, 木俣文昭 (2006) : PPP キネマティック GPS の長期安定性評価, 測地学会誌, 52(4), 309-318.
- Ohta, Y., S. Miura, R. Hino, T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Kawamoto, K. Miyagawa, T. Yahagi, K. Yamaguchi, H. Tsuji, T. Nishimura (2013) : Real-time crustal deformation monitoring based on RTK-GPS: Application to 2011 Tohoku earthquake and its improvement for implementation to actual GPS network, IAG Scientific Assembly 2013, Potsdam, Dorint Hotel, September, 2013.
- Ozeki, M., K. Heki (2010) , Ionospheric holes made by ballistic missiles from North Korea detected with a Japanese dense GPS array, *J. Geophys. Res.*, 115, A09314, doi:10.1029/2010JA015531.
- Rolland, L.M., P. Lognonné, E. Astafyeva, E.A. Kherani, N. Kobayashi, M. Mann, H. Munekane (2011) : The resonant response of the ionosphere imaged after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space* 63, 853-857. doi:10.5047/eps.2011.06.020
- Sagiya, T., S. Miyazaki, T. Tada (2000) : Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 157, 2303-2322.
- Sagiya, T. (2004) : A decade of GEONET: 1994-2003 -The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies-, *Earth, Planets and Space*, 56, 29-41.
- 鷺谷威 (2009) : GPS 観測に基づく日本列島の地震テクトニクス, 地震 第2輯, 61, 特集号, S479-S487.
- Saito, A., M. Nishimura, M. Yamamoto, S. Fukao, T. Tsugawa, Y. Otsuka, S. Miyazaki, M.C. Kelly (2002) : Observations of traveling ionospheric disturbances and 3-m scale irregularities in the nighttime F-region ionosphere with the MU radar and a GPS network, *Earth, Planets and Space*, 54, 31-44.
- 佐藤まりこ, 木戸元之, 田所敬一 (2008) : GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測～観測成果と新たな取り組み～, 測地学会誌, 54(3), 113-125.
- Seemala, G. K., M. Yamamoto, A. Saito, C.-H. Chen (2014) : Three-dimensional GPS ionospheric tomography over Japan using constrained least squares, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3044-3052, doi:10.1002/2013JA019582.
- 下山泰志 (2016) : 地図・測量の社会・経済に与える効果の研究 (平成 27 年度), 国土地理院時報, 128, 83-93.
- 小司禎教, 岩淵哲也, 畑中雄樹, 瀬古弘, 市川隆一, 大谷竜, 萬納寺信崇 (2009) : GPS 気象学 : GPS 水蒸気情報システムの構築と気象学・測地学・水文学への応用に関する研究, 測地学会誌, 55(1), 17-38.
- 小司禎教 (2015) : GNSS 地上観測網による水蒸気量推定と気象学への応用に関する研究-2015 年度日本気象学会賞受賞記念講演-, 天気, 62(12), 3-19.
- 測地観測センター (2004) : 小特集 電子基準点 1,200 点の全国整備について, 国土地理院時報, 103, 2-51.
- 測地成果 2000 構築概要編集委員会 (2003) : 測地成果 2000 構築概要, 国土地理院技術資料 B5-No. 20, p.469.
- 水藤 尚, 西村卓也, 小沢慎三郎, 小林知勝, 飛田幹男, 今給黎哲郎, 原慎一郎, 矢来博司, 矢萩智裕, 木

- 村久夫, 川元智司 (2011) : GEONET による平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル, 国土地理院時報, 122, 29-37.
- Takasu, T.(2011) : RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <http://www.rtklib.com/rtklib.htm> (accessed May 26, 2017).
- 田中愛幸, 岩田和美, 豊田友夫, 平井英明, 川口 保, 松坂 茂, 畑中雄樹, 飛田幹男, 黒石裕樹, 今給黎哲郎 (2006) : セミ・ダイナミックな測地系の構築に向けた取り組みについて, 国土地理院時報, 110, 1-9.
- 飛田幹男, 宗包浩志, 松坂茂, 加藤敏, 矢来博司, 村上亮, 藤原智, 中川弘之, 小澤 拓 (2005) : 干渉合成開口レーダの解析技術に関する研究, 国土地理院時報, 106, 37-49.
- Tsuji, H., Y. Hatanaka, S. Takeshi, M. Hashimoto (1995) : Coseismic crustal deformation from the 1994 Hokkaido-Toho-Oki Earthquake Monitored by a nationwide continuous GPS array in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1669-1672.
- 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 (2013) : 電子基準点の GNSS 対応, 国土地理院時報, 124, 139-148.
- Tsuji, H., K. Miyagawa, K. Yamaguchi, T. Yahagi, K. Oshima, H. Yamao, T. Furuya (2013) : Modernization of GEONET from GPS to GNSS, *Bulletin of the GSI*, 61, 9-20.
- 辻宏道, 畑中雄樹, 佐藤雄大, 古屋智秋, 鈴木啓, 村松弘規, 犬飼孝明, 三木原香乃, 高松直史, 中久喜智一, 藤原智, 今給黎哲郎, 飛田幹男, 矢来博司 (2016) : 隣接周波数帯電波の GNSS 観測への影響, 日本地球惑星科学連合大会 講演要旨, <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2016/subject/SGD23-P07/detail?lang=ja> (accessed May 26, 2017).
- 上芝晴香, 三浦優司, 宮原伐折羅, 仲井博之, 本田昌樹, 攪上泰亮, 山下達也, 矢来博司, 小林知勝, 森下遊 (2016) : だいち 2 号 SAR 干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 128, 139-146.
- UNAVCO (2011) : BINEX: Binary Exchange Format, <http://binex.unavco.org/binex.html> (accessed May 26, 2017).
- Zumberge, J. F., M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, F. H. Webb (1997) : Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 102(B3), 5005-5017, doi:10.1029/96JB03860.



1997年10月(0.5年経過)



1998年4月(1.0年経過)



1998年10月(1.5年経過)



1999年4月(2.0年経過)



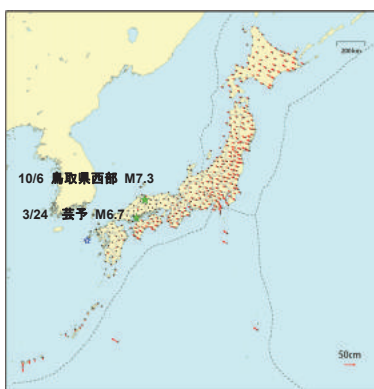
1999年10月(2.5年経過)



2000年4月(3.0年経過)



2000年10月(3.5年経過)



2001年4月(4.0年経過)



2001年10月(4.5年経過)



2002年4月(5.0年経過)



2002年10月(5.5年経過)



2003年4月(6.0年経過)

付図1 1997年4月を基準とした半年毎の日本列島の地殻変動(1997年10月~2003年4月)



2004 年 4 月(7.0 年経過)



2004 年 10 月(7.5 年経過)



2005 年 4 月(8.0 年経過)



2005 年 10 月(8.5 年経過)



2006 年 4 月(9.0 年経過)



2006 年 10 月(9.5 年経過)



2007 年 4 月(10.0 年経過)



2007 年 10 月(10.5 年経過)



2008 年 4 月(11.0 年経過)



2008 年 10 月(11.5 年経過)



2009 年 4 月(12.0 年経過)



2009 年 10 月(12.5 年経過)

付図 2 1997 年 4 月を基準とした半年毎の日本列島の地殻変動 (2004 年 4 月～2009 年 10 月)



2010年4月(13.0年経過)



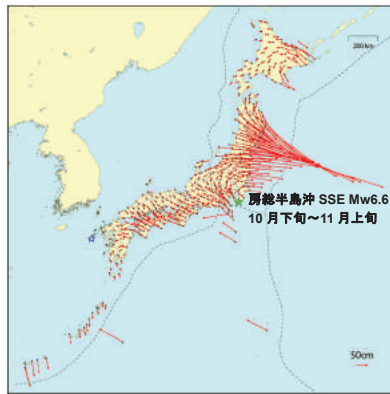
2010年10月(13.5年経過)



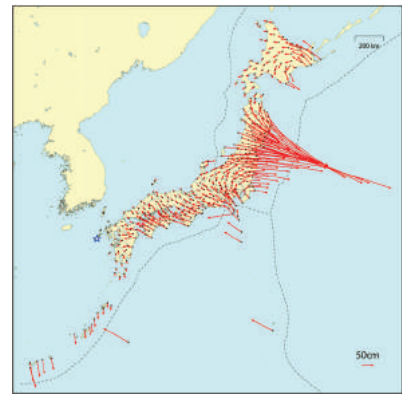
2011年4月(14.0年経過)



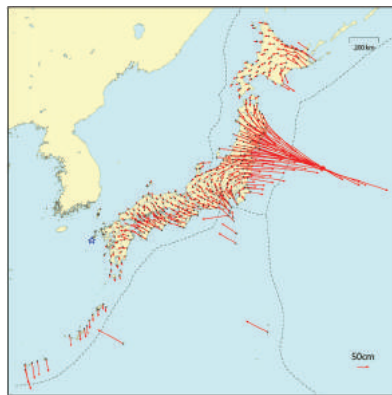
2011年10月(14.5年経過)



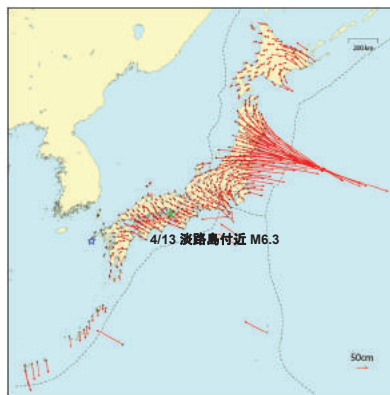
2012年4月(15.0年経過)



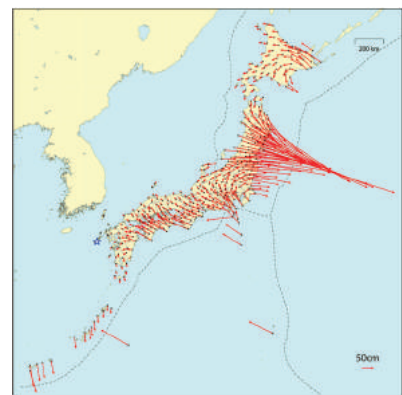
2012年10月(15.5年経過)



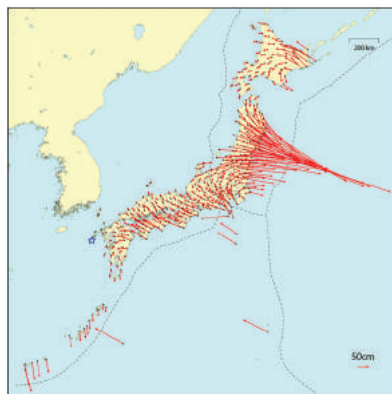
2013年4月(16.0年経過)



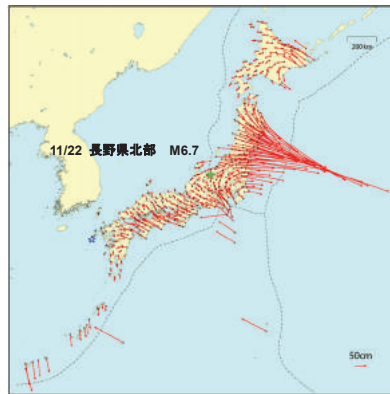
2013年10月(16.5年経過)



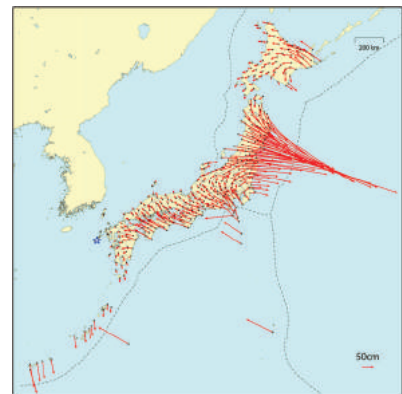
2014年4月(17.0年経過)



2014年10月(17.5年経過)

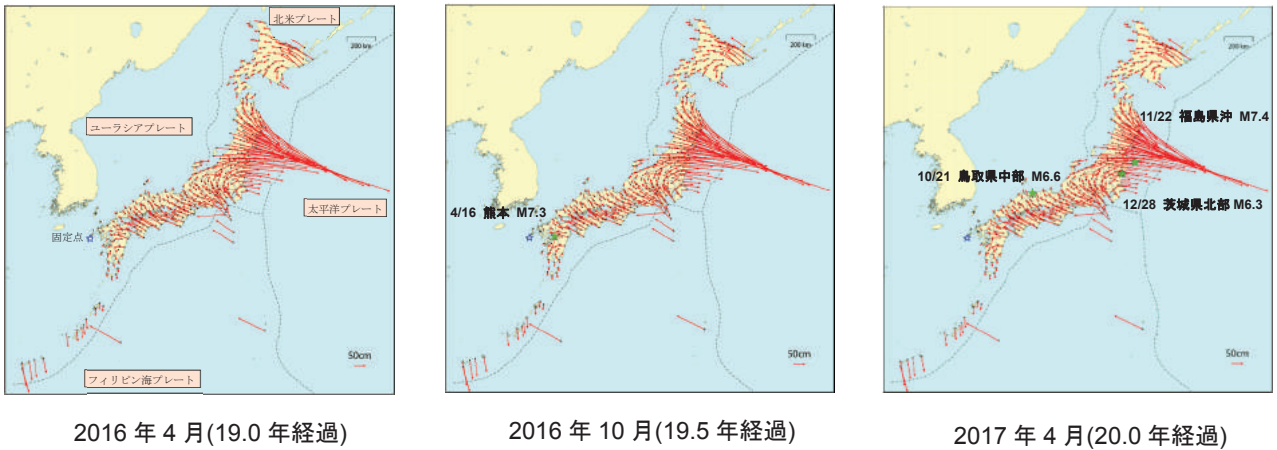


2015年4月(18.0年経過)



2015年10月(18.5年経過)

付図3 1997年4月を基準とした半年毎の日本列島の地殻変動(2010年4月~2015年10月)



付図4 1997年4月を基準とした半年毎の日本列島の地殻変動（2016年4月～2017年4月）

九州地方に設けた固定点☆（電子基準点「福江」）に対する、各電子基準点の基準日からの水平変動量を矢印で表している。右下にあるスケールは50cm。日々の座標値（F3）を利用。基準日を1997年4月にしたのは、世界測地系を採用した測地成果2000の元期（1997年1月1日）にちなむ。当時から存在する約900点を、この図で全て表示すると見にくいので、代表的な点に絞っている。主な地震の震央を★で示す。

これを動画にしたファイルを国土地理院ウェブサイトに掲載している（<http://www.gsi.go.jp/kanshi/#5-2>）。

付録. 電子基準点に関する年表 (1987年~2016年). 黄色のマーク一部分は本文でも言及している. 太字は比較的重要な事項, 赤字は地殻変動に関する事項, 青字は学術または国際活動に関する事項を表す.

暦年	月日	主な出来事
1987 S62	2/10-3/4	国土地理院周辺に GPS 用の試験観測点 (金属標) を設置 (6点)
	3	日本で初めて測量用 GPS 受信機 (マクロメータ II) を導入
	5/21	GPS 試験観測結果について日本測地学会で報告
	10/17-27	GPS による長距離観測 (つくば, 鹿野山, 父島, 宮崎)
	11/11	GPS 試験観測結果について日本測地学会で報告
1988 S63	2	100km 程度の基線 (つくば, 堂平山, 鹿野山) や伊豆大島で試験観測
	3/7-11	GPS と VLBI による基線長の比較観測 (つくば・鹿島間)
	4	GPS 受信機 (ミニマック 2816, トリンブル 4000SX) を導入
	5~9	つくば周辺に GPS 用の基線を設け試験観測
	5/18	GPS 干渉測位方式の精度について日本測地学会で報告
	6/27-7/1	駿河湾周辺精密変歪測量を GPS で実施 (3点)
	10/18-20	日本における GPS 干渉測位方式の精度, 国土地理院の GPS テストフィールド, 国土地理院の GPS による地殻変動観測計画について日本測地学会で報告
	11~12	南関東地方精密変歪測量で GPS (4点) と EDM (14辺) の比較観測
11/21-12/19	日韓共同で GPS 実験観測	
1989 H1	2~3	駿河湾及び首都圏で GPS 試験観測
	4~	GPS 基線場設置のための観測
	6~8	精密測地網二次基準点測量の試験観測 (名古屋), 辺長再現性の試験観測 (首都圏)
	7/25-8/3	7/13 に発生した伊豆半島東方沖海底噴火に関する GPS 観測
	この頃	駿河湾や相模湾地域の精密変歪測量で GPS 試験観測
	10	GPS 衛星軌道解析のための観測 (新十津川, 宮崎, 鹿屋, 父島)
	10/28-11/1	沖ノ島島に一等・三等三角点を設置し GPS 測量を実施. VLBI 観測点 (父島, 宮崎, つくば) を既知点に経緯度を計算
1990 H2	2	伊豆半島東部に GPS 連続観測点を設置し観測を開始 (3点)
	2/28-3/10	精密測地網一次基準点測量 (標準網) で GPS 試験観測
	6/13-22	首都圏 (千葉, 市原) で GPS 観測点を新設し試験観測
	7/9-27	名古屋周辺で GPS/水準法によるローカルジオイド・モデルの決定の有効性を確認
	10/2-25	室蘭地区で精密測地網二次基準点測量を GPS で実施 (14点)
	11/2-12/1	雲仙岳噴火活動把握のための GPS 緊急観測 (11点). 火山活動は 1995 年まで継続
	11~	雲仙岳噴火に関する緊急研究として GPS 連続観測点を設置し観測を開始 (3点)
	この頃	駿河湾 (伊豆半島西岸) で GPS 連続観測点の設置に向けた調査を実施
1991 H3	2/18-3/19	精密測地網一次基準点測量上総地区を GPS で実施 (20点)
	3	国内に GPS 軌道追跡局 (新十津川, つくば, 鹿屋, 父島) を設置
	4	精密測地網一次基準点測量に GPS 受信機 (トリンブル 4000SST) を導入
	この頃	GPS による精密測地網一次基準点測量, 二次基準点測量作業要領 (案) を制定
	7~	精密変歪測量を GPS で実施
	11/6-30	東海地方強化地域一次基準点測量を GPS で実施 (8点). SA (Selective Availability) による精度低下等により制限超過が相次ぐ
1992 H4	この頃	GPS 基線場で GPS 受信機 (トリンブル 4000SST, 4000SSE) の試験観測
	6/23	国際 GPS 地球力学事業 (IGS) のための試験観測開始 (~9/23). 国土地理院も参加
	9~12	雲仙岳ほか 2 箇所の火山変動測量を GPS で実施
	12/7-11	GPS 連続観測網構築に向けて GPS 受信機 (ライカシステム 200) の試験観測を実施
1993 H5	3	GPS を用いる公共測量作業マニュアル (案) を制定
	3	国土地理院技術協議会基準点体系分科会が「新しい基準点体系を求めて」をとりまとめ. GPS 連続観測点に「電子基準点」という名称を初めて使用

	この頃	平成 5 年度補正予算で電子基準点整備が認められる
	7/16-22	北海道南西沖地震 (M7.8) に伴う緊急観測を GPS で実施
	この頃	南関東・東海地域で地殻連続歪監視施設 (COSMOS-G2: Continuous Strain Monitoring System with GPS by GSI) の構築を開始
	12/8	GPS の初期運用宣言 (Block I, Block II 衛星あわせて 24 機)
1994 H6	1/1	国際 GPS 地球力学事業 (IGS) 設立. つくば局 (TSKB) のデータ提供開始
	4	全国 GPS 連続観測網 (GRAPES: GPS Regional Array for Precise Surveying) の構築を開始
	4/1	地殻連続歪監視施設 COSMOS-G2 運用開始 (南関東・東海地域の 110 点)
	4/1	精密測地網高度基準点測量作業規程 (案) を制定. 精密測地網一次基準点測量に替え, 電子基準点を既知点とする精密測地網高度基準点測量を開始
	6/1	第 5 次基本測量長期計画決定. 電子基準点は 640 点を計画
	10/1	全国 GPS 連続観測網 GRAPES 運用開始 (南関東・東海地域以外の 100 点)
	10/4	北海道東方沖地震 (M8.2). 地震に伴う地殻変動を観測
	12/28	三陸はるか沖地震 (M7.6). 地震に伴う地殻変動を観測. その後余効変動も観測
1995 H7	1/7	岩手県沖の地震 (M7.2). 地震に伴う地殻変動を観測
	1/17	兵庫県南部地震 (M7.3). 地震に伴う地殻変動を観測
	1/27	GPS 連続観測点を神戸市周辺に追加設置 (3 点)
	2/21	IGS 理事会が国土地理院に IGS 発足への貢献に対する感謝状を授与
	2/28	平成 6 年度第 2 次補正予算が成立 (GPS 連続観測点の設置を含む)
	3/6	阪神・淡路大震災の震災復興測量協議会と協力し, 被災地域に臨時電子基準点を 8 点設置. 観測データを提供するパソコン通信サービスを開始
	4/27	GPS の完全運用宣言 (Block II 衛星だけで 24 機)
	6/15	神戸市周辺の GPS 機動連続観測を強化 (15 点追加. 計 20 点)
	6/21	新潟県北部で GPS 機動連続観測を開始 (4 点, データは電話回線で転送)
	8/14-18	米国 JPL と協力し, 国土地理院 (つくば) で GIPSY 講習会を実施
	10/6	伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
	11	建設省公共測量作業規程の改正
	11/2	喜界島及び奄美大島へ GPS 連続観測点を設置
1996 H8	3/14	東海機動観測基地開設
	3/19	電子基準点 400 点を増設 (累計 610 点)
	3/31	阪神・淡路大震災に伴う臨時電子基準点情報サービスを終了
	4/1	COSMOS-G2 と GRAPES を統合した GPS 連続観測システム (GEONET: GPS Earth Observation Network System) の運用開始
	4/1	IGS 地域観測網準解析センターとして業務開始
	5	房総半島でスロースリップ現象を初めて観測
	5/11	GEONET の運用等を行う測地観測センターを国土地理院に設置
	7/17-19	GPS 合同シンポジウムを国土地理院で開催
	8/7-8	日米の GPS に関する意見交換会
	8/11	秋田・宮城県境の地震 (M6.1). 地震に伴う地殻変動を観測
	10/15	伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
	10/18	種子島近海の地震 (M6.4). 地震に伴う地殻変動を観測
	10/19	日向灘の地震 (M6.9). 地震に伴う地殻変動を観測
12/3	日向灘の地震 (M6.7). 地震に伴う地殻変動を観測	
12/9	測量法施行規則を改正し, 別表第一に電子基準点標識の形状を記載	
1997 H9	この頃	豊後水道付近でスロースリップ現象を観測
	3	電子基準点 277 点を増設 (累計 887 点)
	3/1	郵政省と共同で電子基準点を利用した RTK (Real-Time Kinematic) 測位の実験実施
	3/3	伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
	3/15	南太平洋地域 (クリスマス島) に GPS 連続観測点を設置
	3/26	鹿児島県北西部の地震 (M6.6). 地震に伴う地殻変動を観測

	4/1	科学技術庁振興調整費による総合研究「GPS 気象学」開始（～2001）
	5	GPS による「地殻変動の概況」を公開（約 900 点のデータを利用）
	5/13	鹿児島県北西部の地震（M6.4）．地震に伴う地殻変動を観測
	6/10	GPS 連続観測による地殻変動情報をウェブサイトで公開（毎月更新）
	6/25	山口県中部の地震（M6.6）．地震に伴う地殻変動を観測
	8/29	地震調査研究推進本部が「地震に関する基盤的調査観測計画」決定．20～25km 間隔の GPS 連続観測網整備を計画
	11/29	南太平洋地域（トンガ）に GPS 連続観測点を設置
	12/19	宇宙測地館が竣工（1 階 床免震）
1998 H10	2/13	宇宙測地館が開館（測地観測センター，GEONET 中央局等を収容）
	2/25-3/7	南太平洋地域（クック諸島ラロトンガ島）に GPS 連続観測点設置（3 点）
	3	電子基準点 60 点を増設（累計 947 点）
	3	国土地理院技術協議会基準点体系分科会（Ⅱ）が「新しい日本の位置基準 測地成果 2000 ～21 世紀に向けた国家基準点体系の再構築～」をとりまとめ
	4/22-28	伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
	5	岩手山の火山活動に伴い，周辺に臨時電子基準点を設置し，観測を強化
	5/29	RTK-GPS に関する技術研究発表会（RTK-GPS 実験推進協議会主催）
	8/21	岩手山中腹に GPS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）を設置
	9/3	岩手県内陸北部の地震（M6.2）．地震に伴う地殻変動を観測
	10/3	岩手山稜線上に REGMOS をヘリコプターで設置し，観測を強化
	10/11-14	GPS 気象学のため UNAVCO を訪問．IGS ワークショップ参加（米国）
11/9-12	米国 JPL と協力し，国土地理院（つくば）で GIPSY 講習会を実施（2 回目）	
1999 H11	2/7-20	南太平洋地域（タラワ島）に GPS 連続観測点を設置
	3/2	南太平洋地域（ミッドウェー）に GPS 連続観測点を設置
	3/26	御前崎周辺に高精度比高観測点を設置（25 点）
	3	科学技術庁より GPS 連続観測点を移管（41 点）
	5/29	御前崎の高精度比高観測点による上下変動の連続観測を開始
	6	南極・昭和基地の観測局が IGS に登録される
	8	電子基準点観測データ（30 秒 RINEX データ）をインターネットで提供開始
	10/18	GPS 国際シンポジウムをつくばで開催
12/1	第 5 次基本測量長期計画改定．電子基準点は 1,200 点を計画	
2000 H12	1/1	コンピュータ西暦 2000 年問題で GEONET に障害（データ提供 1 日遅延）
	3/31	有珠山噴火．噴火 2 日前から地殻変動を観測．3 時間毎の緊急解析を実施
	4/8	南太平洋地域（ガンビエ諸島ラロトンガ島）に GPS 連続観測点を設置
	5/2	米国が GPS の SA を解除
	6/26	三宅島の火山活動及び三宅島・新島・神津島周辺の地震活動に伴う地殻変動を観測
	7/19	RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアルを制定
	8/17-22	磐梯山周辺に GPS 連続観測装置を設置（2 点）
	9/8	糸魚川－静岡構造線に GPS を用いた地殻変動連続観測施設を設置（5 点）
	10/6	鳥取県西部地震（M7.3）．地震に伴う地殻変動を観測
11/9	電子基準点に準拠した cm 精度のリアルタイム測位の有効性を実証するための公開実験を実施（～2/28）	
2001 H13	1	GEONET に新解析戦略（F1）を導入
	1/6	国土地理院，国土交通省の特別の機関となる
	2/5	日米 GPS 全体会合に参加
	3	国際地球回転観測事業（IERS）が国際地球基準座標系（ITRF2000）を公表
	3/7	富士山北部に GPS 機動連続観測点を設置
	3/24	芸予地震（M6.7）．地震に伴う地殻変動を観測
	6	箱根山の火山活動に伴う地殻変動を観測
	6/14	日本列島 100 年間の地殻上下変動を公表
6/15	仮想基準点（VRS）方式等による RTK-GPS 測位に関する研究発表会開催	

	7	東海地方でスロースリップ現象を観測
	10	伊豆大島の火山活動に伴う地殻変動を観測
	11	電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会設立
	12/18	与那国島近海の地震 (M7.3) . 地震に伴う地殻変動を観測
2002 H14	1/7	座標変換ソフトウェア「TKY2JGD」の提供開始
	3	国土交通省公共測量作業規程の改正
	3/31	台湾付近の地震 (M7.0) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/1	改正測量法の施行 (世界測地系) . 電子基準点観測データが公共測量で利用可能に
	4/1	電子基準点「日々の座標値 (F1 解)」提供開始
	5	伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
	5/27	電子基準点のリアルタイムデータ提供を大都市圏等の 200 点で開始
	9/12	富士山頂に電子基準点を設置
	10	房総半島でスロースリップ現象を観測
	11/3	宮城県沖の地震 (M6.1) . 地震に伴う地殻変動を観測. その後余効変動も観測
	12/10	南鳥島に電子基準点を設置
	12/11	電子基準点シンポジウムを開催 (新宿区)
	2003 H15	1/14-16
3		電子基準点 253 点を増設 (累計 1,200 点) (富士山, 南鳥島含む) . 離島等を除き通信を常時接続化 (IP-VPN) . アンテナをチョークリング型に統一. 一部のピラーの二重管化を実施
5		伊豆半島東部の群発地震活動に伴う地殻変動を観測
5/26		宮城県沖の地震 (M7.1) . 地震に伴う地殻変動を観測
5/28		GEONET グループが日本測地学会坪井賞 (団体賞) を受賞
6/2		電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 645 点に拡大
7/26		宮城県北部の地震 (M6.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
9/26		十勝沖地震 (M8.0) . 地震に伴う地殻変動を観測. その後余効変動も観測
10/1		GEONET が国土交通省情報化月間推進会議の議長表彰を受ける
10/8		釧路沖の地震 (M6.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
10/27		電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 931 点に拡大
10/29		豊後水道付近でスロースリップ現象を観測
10/31		福島県沖の地震 (M6.8) . 地震に伴う地殻変動を観測
12/10	電子基準点シンポジウムを開催 (新宿区)	
2004 H16	1/9	第 2 回 GPS 測位技術の標準化検討委員会を開催
	3	東南海・南海地域に電子基準点 24 点を増設 (累計 1,224 点)
	3/1-5	IGS ワークショップ参加 (スイス)
	3/29	解析戦略 (F2) による「日々の座標値 (F2)」の公開
	この頃	アンテナと架台の組み合わせに対する相対位相特性モデルの構築
	7/1	既設電子基準点 947 点の標高成果を改定. 新設電子基準点 253 点の測量成果も公表.
	7/1	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,180 点に拡大
	7/2	ネットワーク型 RTK-GPS を利用する公共測量マニュアル (案) を制定
	9/5	三重県南東沖の地震 (M7.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	9/24	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,178 点に変更
	10/23	新潟県中越地震 (M6.8) . 地震に伴う地殻変動を観測
	11/1	浅間山に GPS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) を 2 点増設
	11/19	新潟県中越地震に伴う電子基準点成果の改定 (4 点)
	11/29	釧路沖の地震 (M7.1) . 地震に伴う地殻変動を観測
	11/30	電子基準点シンポジウムを開催 (大阪市)
	12/6	釧路沖の地震 (M6.9) . 地震に伴う地殻変動を観測
12/14	留萌地方南部の地震 (M6.1) . 地震に伴う地殻変動を観測	
2005 H17	3	東南海・南海地域に電子基準点 5 点を増設 (累計 1,229 点)
	3/20	福岡県西方沖の地震 (M7.0) . 地震に伴う地殻変動を観測

	4/1	2003 年十勝沖地震に伴う基準点成果の改定 (電子基準点 59 点含む)
	4/18	福岡県西方沖の地震に伴う電子基準点成果の改定 (3 点)
	6/6	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,181 点に変更
	6/8	ネットワーク型 RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル (案) を制定
	6/25	沖ノ島島に電子基準点を設置 (累計 1,230 点)
	8/1	航空レーザ測量による数値標高モデル (DEM) 作成マニュアル (案) を制定
	8/16	宮城県沖の地震 (M7.2) . 地震に伴う地殻変動を観測
	9/26	民生用 L2C 信号を送信する GPS 衛星 (Block IIR-M) 打ち上げ. GPS の近代化開始
	11/8	電子基準点シンポジウム開催 (札幌市)
	12/15	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,188 点に変更
2006 H18	2/2	軌道追跡局 (父島, 新十津川 A, 始良, つくば 2A), 電子基準点 (南鳥島) が IGS に登録される
	8	次期解析戦略構築に向けた F3 プロジェクト開始
	9/1	デジタル空中写真測量の公共測量作業マニュアル (案) を制定
	11/5	開発中の F3 解の基準座標系を ITRF2005 に変更 (IGb00→IGS05)
	この頃	アンテナと架台の組み合わせに対する絶対位相特性モデルの構築
	11/15	電子基準点シンポジウム開催 (広島市)
2007 H19	1/15	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,218 点に拡大
	3/25	能登半島地震 (M6.9) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/23	能登半島地震に伴う電子基準点成果の改定 (5 点)
	7/16	新潟県中越沖地震 (M6.8) . 地震に伴う地殻変動を観測
	7/17	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,215 点に変更
	8/17	新潟県中越沖地震に伴う電子基準点成果の改定 (6 点)
	10/31	電子基準点 452 点の付属標を二等水準点とし, 標高成果を公表
2008 H20	3	電子基準点 10 点を増設 (累計 1,240 点) . 解析システムの二重化等の改造を実施
	3/31	公共測量の「作業規程の準則」の全部改正
	6/14	岩手・宮城内陸地震 (M7.2) . 地震に伴う地殻変動を観測. その後余効変動も観測
	8/4	岩手・宮城内陸地震に伴う電子基準点成果の改定 (21 点)
	9/11	十勝沖の地震 (M7.1) . 地震に伴う地殻変動を観測
	11/4	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,217 点に変更
2009 H21	2/2	浅間山噴火. 噴火前の 2008 年 7 月頃から山体膨張を示す基線の伸びを観測
	4/1	解析戦略 (F3) による「日々の座標値 (F3)」の公開
	6/1	硫黄島の電子基準点測量成果を改定
	8/11	駿河湾の地震 (M6.5) . 地震に伴う地殻変動を観測
	10/28	気象庁が, 天気予報 (メソ数値予報モデル) で電子基準点データから得られる水蒸気量 (可降水量) の利用を開始
2010 H22	1/1	基本測量や, 公共測量の一部 (電子基準点のみを既知点とする 1 級基準点測量) に 「セミ・ダイナミック補正」を導入
	1/13-14	第 7 回日米 GPS 全体会合及び第 2 回日米宇宙政策会議参加 (ワシントン)
	1/25-26	第 1 回アジア・オセアニア地域 GNSS ワークショップ参加 (タイ)
	2/27	沖縄本島近海の地震 (M7.2) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3	携帯電話パケット通信による電子基準点の通信二重化 (約 1,100 点) . リアルタイムデータフォーマットを BINEX に統一. 電子基準点の GPS 受信機を GNSS 受信機に更新 (450 点)
	3/2	軌道追跡局父島 A が IGS に登録される
	3/5	豊後水道周辺でスロースリップ現象を観測
	4/1	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,221 点に変更
	5/18	民生用 L5 信号を送信する GPS 衛星 (Block IIF) 打ち上げ開始
	9/11	準天頂衛星初号機「みちびき」打ち上げ
	9/21-24	米国航法学会 (ION) GNSS2010 に参加

	10/18-22	衛星測位システムに関する国際委員会第 5 回総会参加 (イタリア)
	11/1-3	第 2 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップ参加 (オーストラリア)
	12/22	父島近海の地震 (M7.8) . 地震に伴う地殻変動を観測
2011 H23	1/13-14	第 8 回日米 GPS 全体会合及び第 3 回日米宇宙政策会議参加
	1/26	霧島山 (新燃岳) が噴火. 山体周辺は 2009 年 5 月より僅かな伸び. 噴火後は収縮
	3/9	三陸沖の地震 (M7.3) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3/11	東北地方太平洋沖地震 (M9.0) . 北海道から近畿地方に至る広い範囲で地殻変動を観測. その後余効変動も観測
	3/12	長野県北部の地震 (M6.7) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3/15	静岡県東部の地震 (M6.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3/19	電子基準点「牡鹿」のデータを回収. 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動 (水平約 5.3m, 1.2m 沈降) を公表
	3/19	茨城県北部の地震 (M6.1) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3/23	福島県浜通りの地震 (M6.0) . 地震に伴う地殻変動を観測
	3/31	公共測量の「作業規程の準則」の一部改正
	4/1	電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,223 点に拡大
	4/7	宮城県沖の地震 (M7.0) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/11	福島県浜通りの地震 (M7.0) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/12	長野県北部の地震 (M5.6) . 地震に伴う地殻変動を観測
	5/31	東北地方太平洋沖地震に伴う電子基準点成果の改定 (東日本 20 都県の電子基準点 438 点) . 「測地成果 2011」
	6/10	「S 南相馬」損壊のため, GNSS 機動連続観測装置「M 南相馬」を設置
	6/23	岩手県沖の地震 (M6.9) . 地震に伴う地殻変動を観測
	6/27	2011 年度版地殻変動補正パラメータ (セミ・ダイナミック補正) を公開. 以後毎年 1 回公開を継続
	6/30	長野県中部の地震 (M5.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	7/15	「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム (マルチ GNSS) による高精度測位技術の開発」プロジェクト始まる (~2015)
	9	GNSS 実証実験用に近畿・関東地方の 12 点のリアルタイムデータを試験配信
	9/5-9	衛星測位システムに関する国際委員会第 6 回総会参加 (東京)
	9/22	電子基準点 1 秒データによる東北地方太平洋沖地震時の地殻変動を公開
	9/29	福島県浜通りの地震 (M5.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	10/5	富山県東部の地震 (M5.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	10/31	房総半島沖でスロースリップ現象を観測
	11/1-3	第 3 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップ参加 (韓国)
11/8	GNSS 機動連続観測装置を大槌町に設置	
11/21	平成 23 年度第 3 次補正予算が認められる (電子基準点の受信装置等の更新を含む)	
12/8	コロナスが 15 年ぶりに 24 機体制 (完全運用) に復帰	
2012 H24	1/18-19	第 9 回日米 GPS 全体会合及び第 4 回日米宇宙政策協議参加 (ワシントン)
	3/8	「S 南相馬 A」の運用開始に伴い, 「M 南相馬」を撤去
	3/14	千葉県東方沖の地震 (M6.1) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/1	GEONET の名称を GPS 連続観測システムから GNSS 連続観測システムに変更. 電子基準点のリアルタイムデータ提供を全国 1,221 点に変更
	4/1	JST-JICA プロジェクト (2011 年度終了) で設置したジャワ島・スマトラ島の GPS 連続観測点を現地機関に移管
	4/6	津波予測支援のためのリアルタイム解析システム (REGARD) の試験運用を開始
	4/19	電子基準点「小高」 (南相馬市) を復旧
	4/27	硫黄島で 2 日間に 15cm を超える隆起を観測
	7/13	東北地方等の電子基準点 (187 点) で準天頂衛星・グロナスの観測データ提供開始
	9/1	津波予測支援に関する共同研究 (東北大学大学院) を開始

	9/20-22	飛騨山脈（北アルプス）前穂高岳にて GNSS 観測を実施
	10/31	電子基準点のリアルタイムデータ提供を 1,223 点に変更
	12/7	三陸沖の地震（M7.3）． REGARD で有意な地殻変動がないことを確認
	12/8-10	第 4 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップ参加（マレーシア）
2013 H25	2/25	栃木県北部の地震（M6.3）． 地震に伴う地殻変動を観測
	3	全国の電子基準点で GNSS 対応アンテナ・受信機への更新完了
	3	利用者ニーズに応え，研究目的で設置した GPS 連続観測点の測量成果公表（30 点）
	3/8	東北地方太平洋沖地震から 2 年間にわたる地殻変動の特集ページを新設
	3/26	基線解析のバックボーンとしている電子基準点（12 点）の架台を二重管化
	3/29	公共測量の「作業規程の準則」の一部改正
	4/13	淡路島付近の地震（M6.3）． 地震に伴う地殻変動を観測
	4/17	三宅島近海の地震（M6.2）． 地震に伴う地殻変動を観測
	4/26	「GNSS 測量による標高の測量マニュアル」，「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル」の制定及びジオイド・モデルの改定
	5/10	全国の電子基準点で準天頂衛星・グロナスの観測データ提供開始
	7/1	中国・四国・九州地方の電子基準点標高成果をより高精度な値に改定
	7/24-25	第 10 回日米 GPS 全体会合及び第 5 回日米宇宙政策協議参加
	11/10-14	衛星測位システムに関する国際委員会第 8 回総会参加（アラブ首長国連邦）
	11/14	マルチ GNSS 解析ソフトウェア「GSILIB プロトタイプ」を公開
12/1-3	第 5 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップ参加（ベトナム）	
2014 H26	1/2	房総半島沖でスロースリップ現象を観測
	1/27-29	米国航法学会 2014 国際技術会議参加
	4/1	北海道・東北・関東・北陸・中部・近畿・沖縄地方の電子基準点標高成果改定．公共測量における作業マニュアルを改正
	6/9	電子基準点データ提供ページを更新
	6/20	利用者ニーズに応え，験潮場等に設置された GPS 連続観測点等の測量成果公表（39 点）． これらも含めると電子基準点は約 1,300 点に
	7/8	胆振地方中東部の地震（M5.6）． 地震に伴う地殻変動を観測
	7/23-29	伊豆大島近海の地震活動に伴う地殻変動を観測
	9/26	電子基準点リアルタイムデータ配信機関を公募し，日本測量協会を選定
	9/27	御嶽山噴火． 29 日に地殻変動観測結果を公開
	9/30	宇宙測地館 3 階サーバ室免震化
	10/9-11	第 6 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップ参加（タイ）
	10/16-17	GNSS 測地網セミナーに参加（ミャンマー）
	11/9-14	衛星測位システムに関する国際委員会第 9 回総会参加（チェコ）
	11/22	長野県北部の地震（M6.7）． 地震に伴う地殻変動を観測
2015 H27	1/8	マルチ GNSS に対応した解析ソフトウェア「GSILIB」を公開
	2/17	三陸沖の地震（M6.9）． 地震に伴う地殻変動を観測
	2/26	国連総会で地球上の位置の基準を世界各国で連携して維持することを決議
	5/1	「GNSS 測量による標高の測量マニュアル」を一部改正
	5/8	箱根山大涌谷に GNSS 火山変動リモート観測装置（REGMOS）を設置．箱根山の火山活動に伴う地殻変動を観測
	5/13	宮城県沖の地震（M6.8）． 地震に伴う地殻変動を観測
	5/13	箱根山周辺の火山活動に伴う地殻変動情報を公開
	5/18	「日々の座標値（R3）」（速報解）の提供を開始
	5/29	マルチ GNSS 測量マニュアル（案）を制定
	6/12	口永良部島に REGMOS（1 点）を設置（～2016）
	8/19	桜島の火山活動に伴う地殻変動の変動源を推定
	9/14	阿蘇山噴火に伴う地殻変動を観測
	9/30	火山周辺の電子基準点の電源・架台強化（67 点）

	11/1-5	衛星測位システムに関する国際委員会第 10 回総会参加 (米国)
	11/24	電子基準点設置校への出前授業 (略称「学校へ行こう」) プロジェクト開始
	12	紀伊水道周辺でスロースリップ現象を観測 (2014 半ば~2016/10)
	12/7-9	第 7 回マルチ GNSS アジア (MGA) コンファレンス参加 (ブルネイ)
2016 H28	1/14	浦河沖の地震 (M6.7) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4	豊後水道周辺でスロースリップ現象を観測 (2015/12~2016/12)
	4/1	測地観測センターに電子基準点課を設置
	4/1	GPS の新たな周波数信号 (L5) 及びガリレオを含むデータの提供を開始 (786 点)
	4/14	熊本地震 (M6.3) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/16	熊本地震 (M7.3) . 地震に伴う地殻変動を観測. その後余効変動も観測
	4/18	熊本県阿蘇地方の地震 (M5.8) . 地震に伴う地殻変動を観測
	4/29	大分県中部の地震 (M4.5) . 地震に伴う地殻変動を観測
	5/19, 6/16	熊本地震に伴う電子基準点成果の改定 (それぞれ 37 点及び 1 点)
	9/30	御前崎周辺の高精度比高観測点を再編の上, 測量成果を公表 (9 点)
	10/21	鳥取県中部の地震 (M6.6) . 地震に伴う地殻変動を観測
	10/31	火山周辺の電子基準点の太陽光発電装置整備 (33 点)
	11/7-11	衛星測位システムに関する国際委員会第 11 回総会参加 (ロシア)
	11/14-16	第 8 回マルチ GNSS アジア (MGA) コンファレンス参加 (フィリピン)
	11/22	福島県沖の地震 (M7.4) . 地震に伴う地殻変動を観測
	11/24	鳥取県中部の地震に伴う電子基準点成果の改定 (1 点)
11/24	験潮場等の電子基準点 (34 点) で準天頂衛星・グロナスのデータを提供開始. RINEX ver.3.02 形式による GNSS 観測データ提供開始	
12/15	欧州委員会がガリレオの初期サービスを宣言 (18 衛星)	
12/28	茨城県北部の地震 (M6.3) . 地震に伴う地殻変動を観測	
2017 H29	3	電子基準点の老朽化した引込柱を更新 (約 540 点)