

第12回マルチGNSSによる高精度測位技術の開発に関する委員会

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 (H23～26年度)

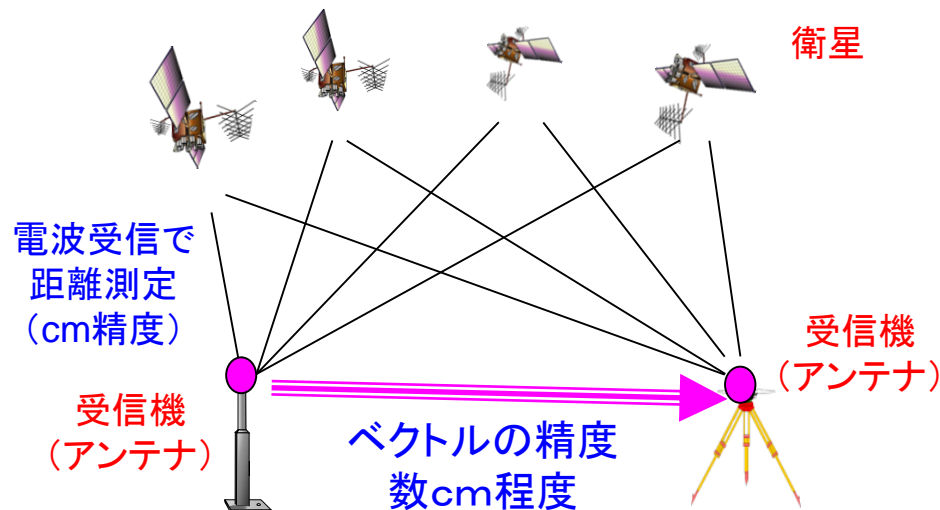
国土交通省総合技術開発プロジェクト 成果報告(素案)

平成27年3月20日

国土地理院
測地観測センター



- 国土管理の各工程で、**高精度測位** (cm級) は不可欠。
 - 公共工事の用地取得・施工、地図作成、地殻変動把握、情報化施工 等
- 近年、**GPS衛星**を用いた高精度測位技術が普及。
 - GPS測量は、地上測量(トータルステーションによる測量)より効率的で、今では、基準点測量の3分の2がGPS利用
 - 全国に設置されたGPS連続観測網(**電子基準点**)は、地震・火山活動等の予測など防災に寄与



高精度測位技術

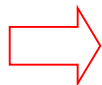
同時に別々の場所に受信機を設置し
相対的な位置(ベクトル)を求める

研究開発の課題

課題① 都市部・山間部でGPSが使えないことへの対応



ビル等の影響でGPSによる高精度測位が不可能



地上測量が必要

課題② 高精度測位の短時間化への対応

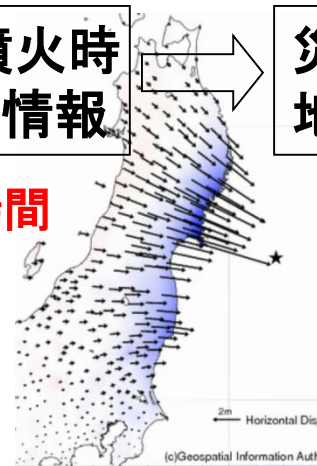
- GPS測量の観測・解析に要する時間の短縮化が必要
- 地震・火山噴火等の災害時の緊急対応では、災害の状況に応じた適切な避難活動を支援するため、地殻変動情報の迅速な提供が必要

地震・火山噴火時の地殻変動情報

災害対策本部
地方公共団体

提供まで5時間

- 観測 3時間
- 解析 1時間
- 評価 1時間



災害の予測、避難活動での活用

もっと早く

国土地理院の電子基準点(GEONET)

衛星測位の環境変化：GPSからマルチGNSS利用へ (Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム)

- | | |
|---------------|---------------------------------------|
| ・GPSの近代化*(米国) | 2010年5月 初の近代化衛星打上げ。以後、近代化衛星に順次入替 |
| ・準天頂衛星(日本) | 初号機(みちびき) 2010年9月11日打上げ。2010年代後半に4機体制 |
| ・GLONASS(ロシア) | 24機で運用中 |
| ・Galileo(EU) | 2010年 初の実用機4機打上げ。2014年に2機打上げるも軌道投入失敗 |

近い将来(2010年代後半)各国のGNSSが本格稼働

利用可能な衛星数の増加 GPS 30機⇒GNSS 70機

衛星数増加による可視性の向上

利用できる周波数信号の増加 2周波⇒4周波**

情報量の増加により解析速度が向上

・GPSの近代化

1999年1月にゴア米国副大統領は新しいGPS近代化政策を発表。
世界中の民間、商用、科学分野へのサービスを強化するために、
将来のGPS衛星に新しい民生信号と周波数を追加。

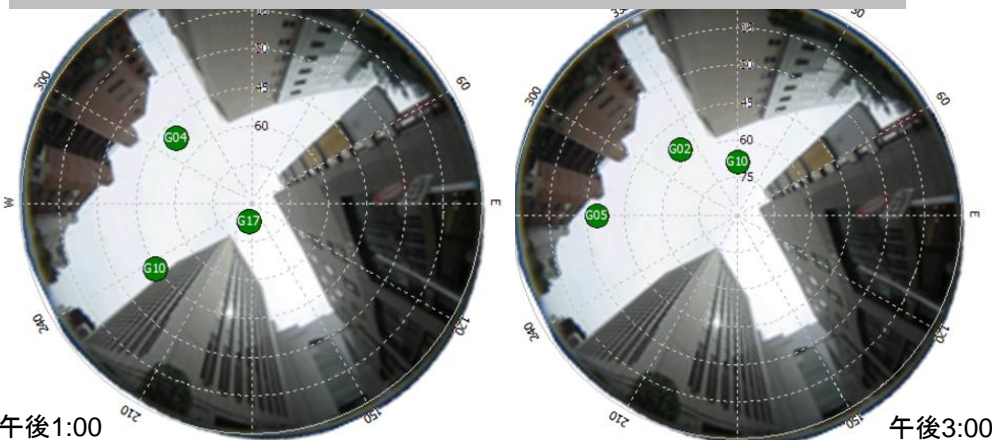
** GalileoのE6信号(有償)を含めた場合

マルチGNSSのメリット

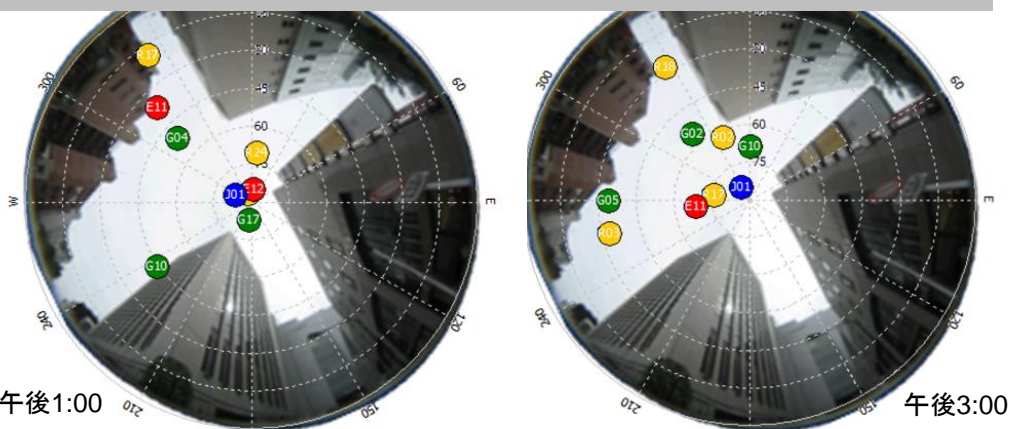
課題① 都市部等でGPSが使えないことへの対応

マルチGNSSが適用できれば可視性が向上、多くの衛星が利用可能

GPSのみ 衛星数 3機 ⇒ 高精度測位 不可



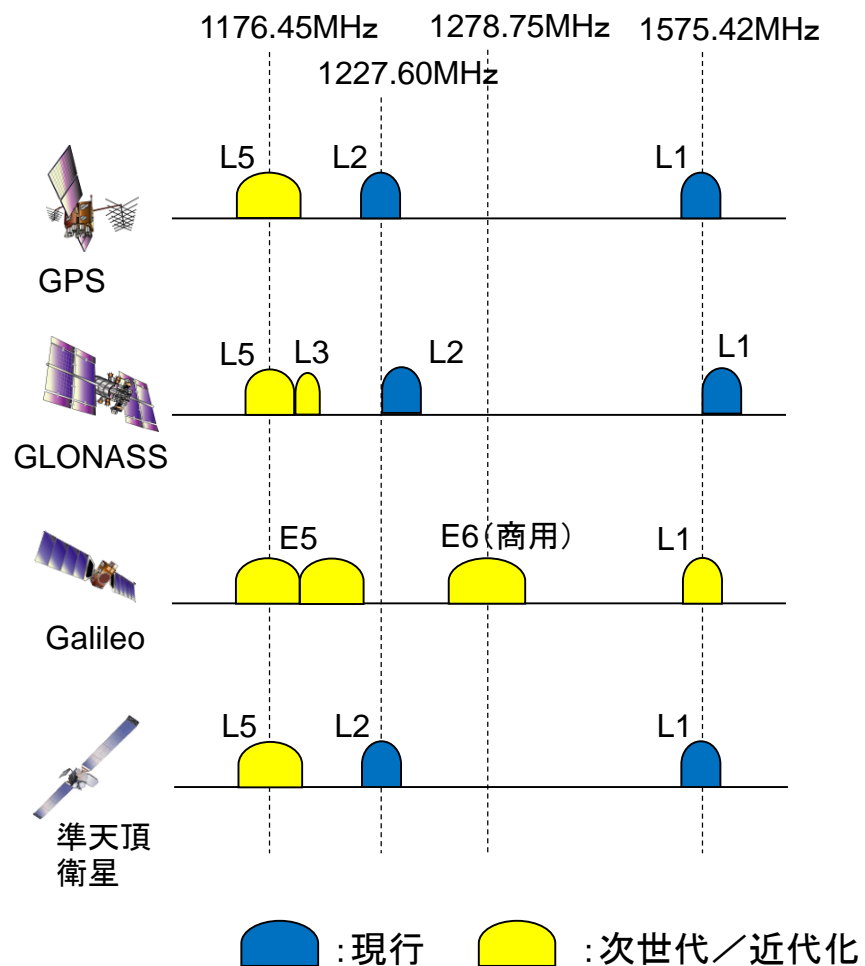
GPS ● + 準天頂 ● + GLONASS ● + Galileo ●
合計8~9機 ⇒ 可能



2013年11月13日の東京銀座の可視衛星

課題② GPS高精度測位の短時間化への対応

マルチGNSSが適用できれば情報量が増加し、解析速度の向上が可能



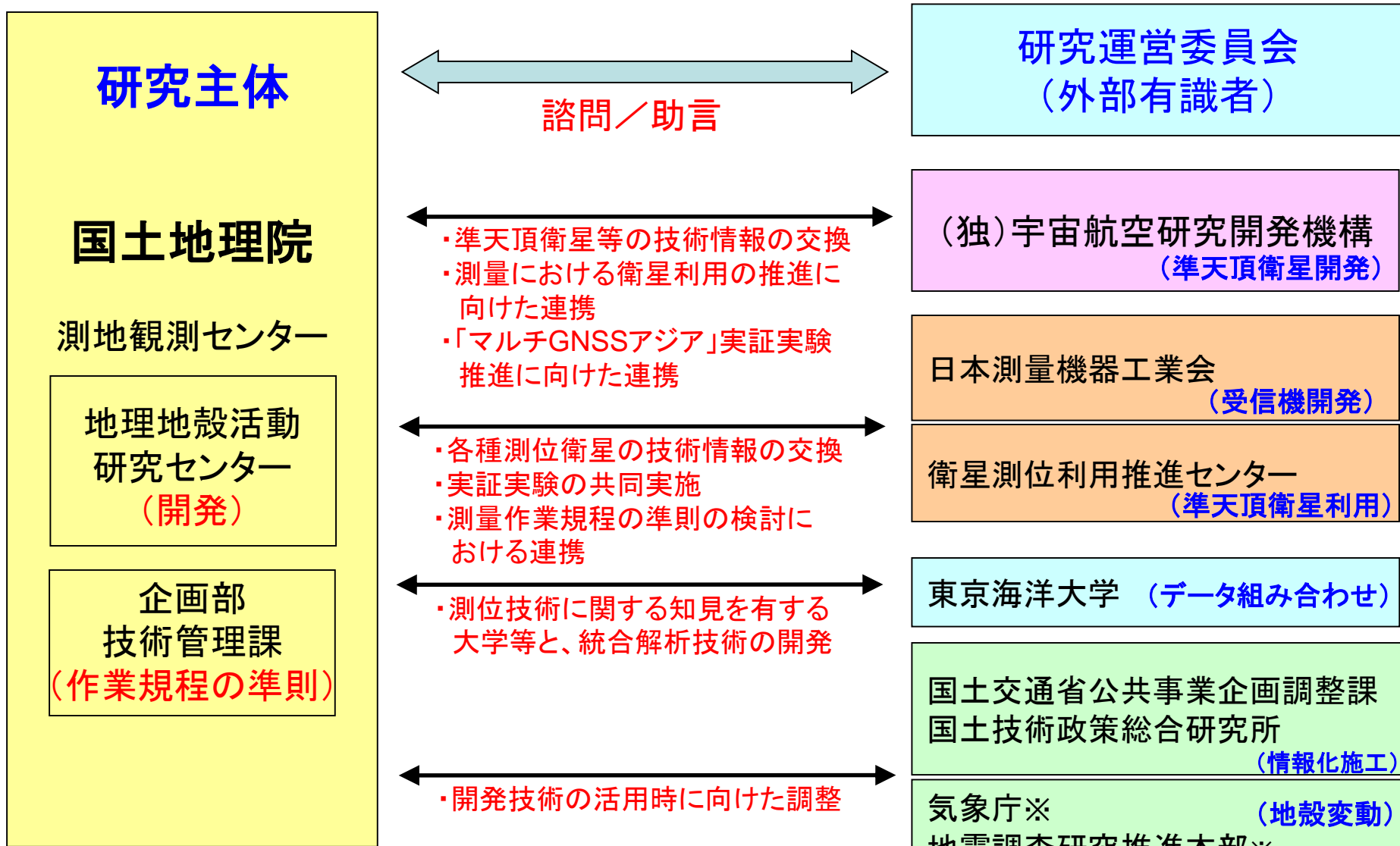
今後、GNSSから送信される予定の
民生用測位信号の周波数帯(概要)

マルチGNSSによる高精度測位技術の開発・標準化により
衛星測位システムの利用を拡大する環境を構築し
高度な国土管理を実現

- 従来のGPSでは困難であったビル街等での測量を常時実現
(トータル・ステーションではなく、測位衛星を使えることによる
コスト削減)
- GPS測量に比べ現地での観測時間を約半分にして測量が可能
(観測時間短縮によるコスト削減)
- 地殻変動量の提供時間を約半分に短縮
(災害時により効果的な応急対策が可能)
- マルチGNSS解析・利用技術のアジア地域等への国際展開

実施方針・体制

- 国土地理院が主体となり、関係部局、大学・研究機関等と連携して実施



※プロジェクト終了後に調整予定

研究運営委員会(外部有識者)

- 測量・測位分野の学識経験者や関係者から各種アドバイスを頂くために設置
- 各年度3回開催、資料はホームページで公開

加藤 照之 (委員長)	東京大学地震研究所教授
大坪 俊通	一橋大学大学院社会学研究科教授
市川 隆一	情報通信研究機構電磁波計測研究所時空標準研究室 研究マネージャー
小暮 聡	宇宙航空研究開発機構第一利用ミッション本部 衛星測位システム技術室ミッションマネージャー
坂井 文泰	電子航法研究所航法システム領域主幹研究員
竹下 順明	衛星測位利用推進センター第二事業部長
橋本 靖彦	日本測量機器工業会GPS測量機器部門会委員 (ライカジオシステムズ株式会社)
長谷川浩司	日本測量調査技術協会位置情報・応用計測部会 副部会長(国際航業株式会社)
日置 幸介	北海道大学大学院理学研究院教授
細谷 素之	電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 基盤技術WG座長(株式会社ジェノバ)
安田 明生	東京海洋大学海洋工学部プロジェクト研究員

(敬称略)

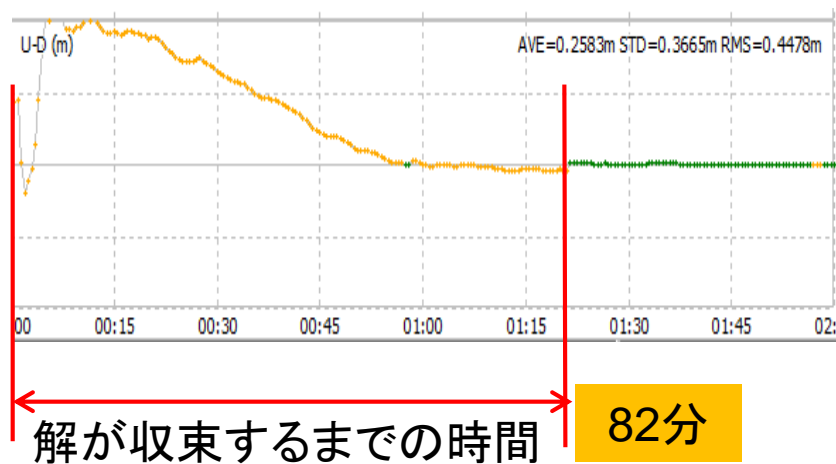
技術開発の流れ

研究項目	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度
(1) マルチGNSSの解析技術等の開発				
①解析技術の開発 (理論的検討、アルゴリズム開発、技術情報収集など)	衛星系の組合せに関する調査検討	複数周波数信号及び衛星系の組合せに関する技術開発	衛星系の組み合わせに関する技術開発	解析技術全体の改良
	複数周波数信号の組合せに関する調査検討		地殻変動解析に関する技術開発	
	衛星系、受信機及び解析ソフトウェアの技術仕様調査	衛星系及び受信機の技術仕様調査		
②精度評価技術の開発、プログラムの実装 (解析、データ生成、可視性評価)	解析システムの基本設計	解析システムの詳細設計及びプロトタイプ開発 (2周波、QZS/GLO)	マルチGNSS解析システムの開発(第1版) (3波、QZS/GLO/GAL)	解析システムの改良 (第2版) (大規模網、PPP-AR)
	データ生成システム(シミュレータ)の開発	データ生成システム(シミュレータ)の改良		
(2) 解析技術の検証と確立				
①シミュレーション実験			シミュレーションデータによる実験	シミュレーションによる目的に応じた観測・解析条件の導出
②現地試験観測・実証実験	アンテナ・受信機調達 マルチGNSS現地試験観測	現地試験観測、データの品質評価	現地試験観測によるマルチGNSS解析の検証	現地実証実験による解析技術の検証
(3) 高精度測位技術の標準化				
①公共測量作業規程の準則の改正案		(準則の一部改正)	準則改正案の検討	マニュアル案取りまとめ (準則改正はH27以降)
②地殻変動把握等への適用指針(案)			地殻変動等の適用指針案検討	技術解説とりまとめ(地殻変動把握編、情報化施工編)

成果：L5信号を利用した解析技術の開発

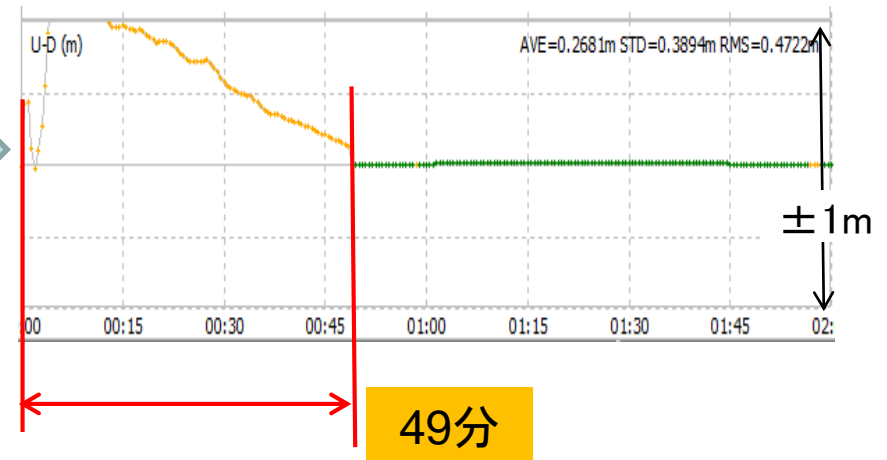
- ① 新しい周波数帯(L5)の信号を利用して、同じ精度をより短い観測時間で達成する解析手法を開発

L1+L2(従来手法)



L1+L2+L5

● Fix解: 高精度な解 ● Float解



測位方式:スタティック 基線長:126km 観測時間:2時間

- 長基線でのシミュレーション例だが、60%に短縮

② GLONASSの系統誤差を除去する方法を開発

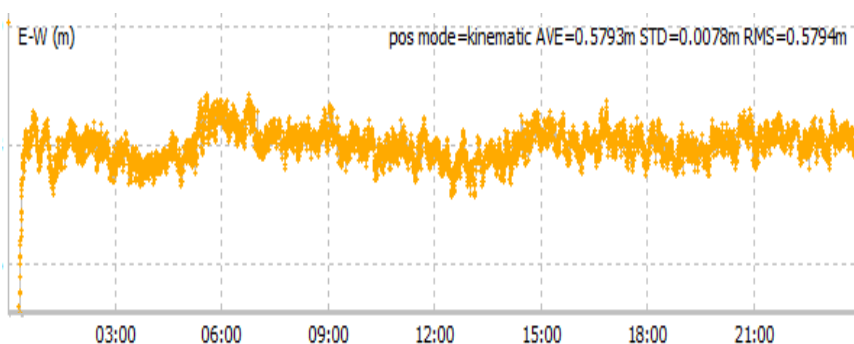
GLONASSでは、受信機の回路で、受信機種ごとに異なる系統誤差が発生
(GLONASS周波数間バイアス:IFB)

→ 異機種受信機間でのGLONASSを含む解析に影響あり

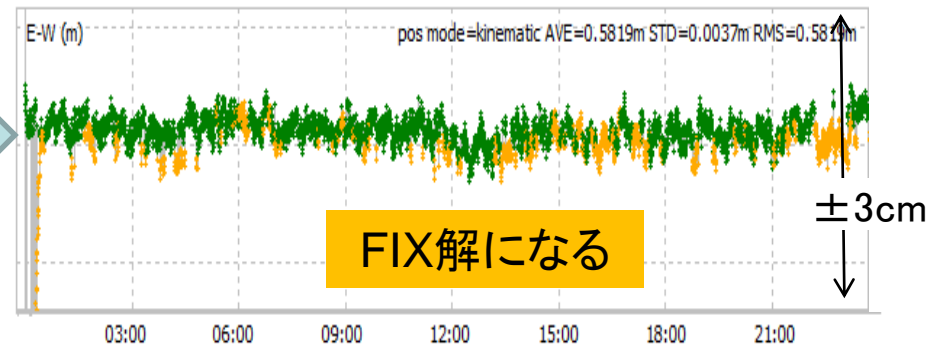


事前推定値で補正する方法を開発

GPS+GLONASS(補正なし)



GPS+GLONASS(補正あり) ●Fix解 ●Float解



測位方式:キネマティック 基線長:1m 観測時間:24時間

- 異機種受信機間でもGLONASSで安定した測位が可能に

③ 近代化GPS、準天頂衛星の系統誤差を除去する方法を開発

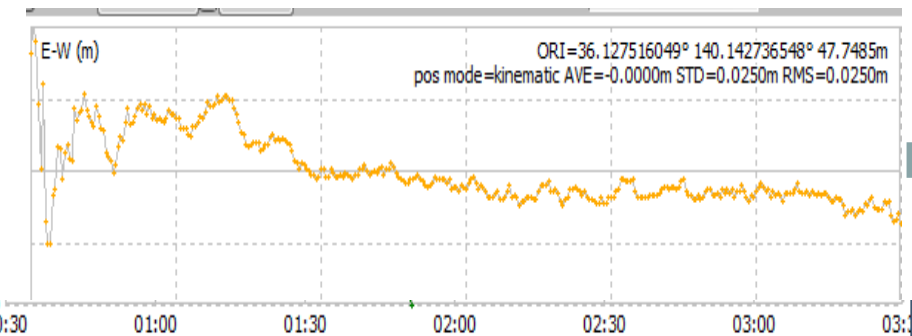
新しい信号(L2C)を利用する場合、従来の信号(L2P(Y))との位相のずれが受信機種ごとに異なる(1/4サイクルシフト問題)

→ 異機種受信機間での近代化GPS、準天頂衛星を含む解析に影響あり

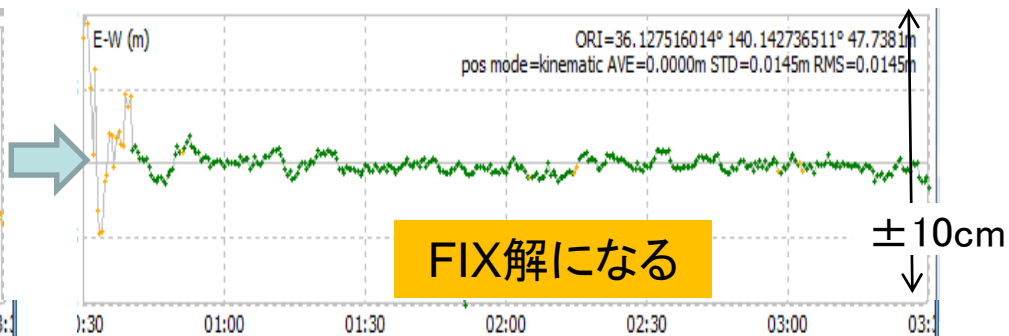


代表的な受信機種のL2CとL2P(Y)のずれを調べ、補正する方法を開発

GPS+準天頂衛星(補正なし)



GPS+準天頂衛星(補正あり)



測位方式:キネマティック 基線長:11km 観測時間:3時間

- 異機種受信機間でも近代化GPS、準天頂衛星で安定した測位が可能に

④ 異なる衛星系間で発生する受信機の系統誤差を除去する方法を開発

複数の衛星系を利用する場合、受信機の回路で、受信機種ごとに異なる系統誤差が発生(衛星系間の受信機ハードウェアバイアス: ISB)

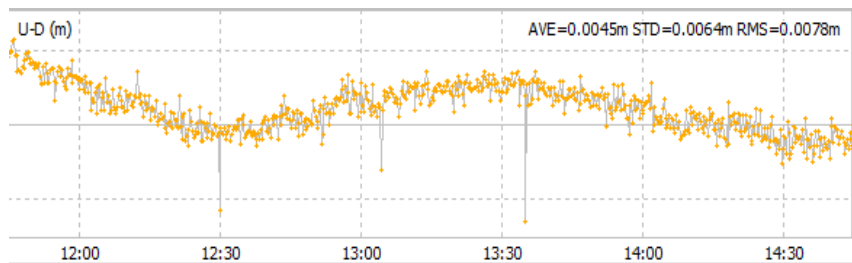
→ 異機種受信機間で異なる衛星系間の位相差を取る解析※に影響あり



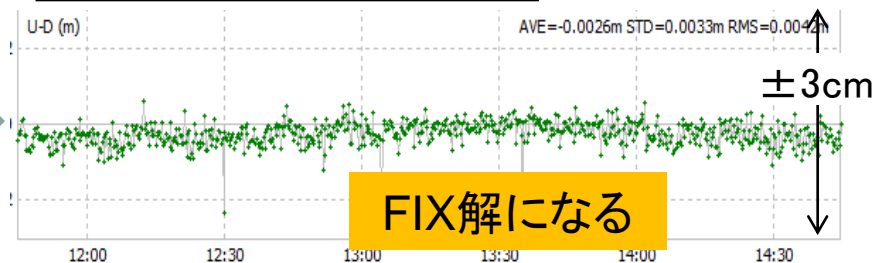
※統合解析。どの衛星系の組み合わせでも
4衛星で測位可能 → ビル街や山間部で有効

1) 準天頂衛星・Galileoでは、事前推定値で補正する方法を開発

GPS+Galileo(補正なし)



GPS+Galileo(補正あり) ●Fix解 ●Float解



測位方式:キネマティック 基線長:0m 観測時間:3時間

● 異機種受信機間でも準天頂衛星、Galileoで安定した測位が可能に

2) GLONASSでは、ISBが受信機再起動や温度で変化することを確認

● 異機種受信機間でGLONASSを利用するには2衛星以上必要

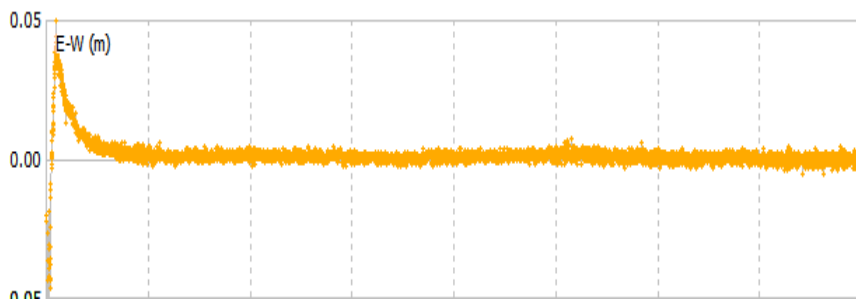
⑤ BeiDouの系統誤差を除去する方法を開発

BeiDouを利用する場合、衛星の軌道のタイプ※による位相のずれが、受信機種ごとに異なる(1/2サイクルシフト問題) ※静止軌道、中軌道、傾斜対地同期軌道
→ 異機種受信機間でのBeiDouを含む解析に影響あり

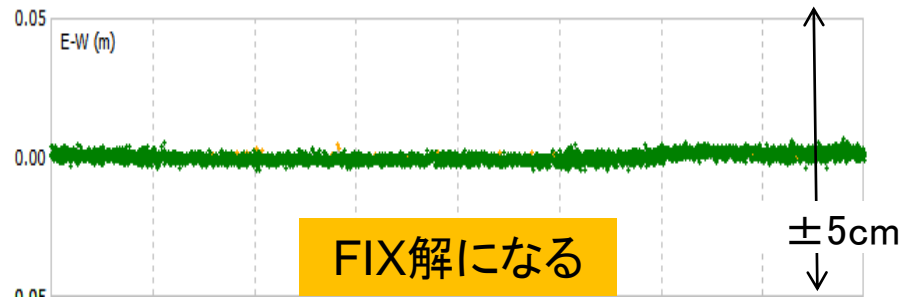


2機種の受信機の衛星軌道毎のずれを調べ、補正する方法を開発

GPS+BeiDou(補正なし)



GPS+BeiDou(補正あり)



測位方式:キネマティック 基線長:0m 観測時間:24時間

- 異機種受信機間でもBeiDouで安定した測位が可能に
→ BeiDouについては、もう少し検証を進める必要がある

- ⑥ マルチGNSSのデータを統合的に利用して、短時間に高精度の位置情報を取得し、測量等に適用することが可能なソフトウェアを開発

マルチGNSS解析システム

GSILIB

(GNSS Survey Implementation Library)

GPS、準天頂衛星、GLONASS、GalileoのL1、L2、L5信号を利用した測量計算が可能なプロトタイプを開発

← 研究用のオープンソースソフトウェアである

RTKLIB v2.4.2 p4(東京海洋大、高須氏)をベースに開発

H27年1月8日にオープンソースライセンスで公開
(先行して、プロトタイプをH25年11月14日に公開)

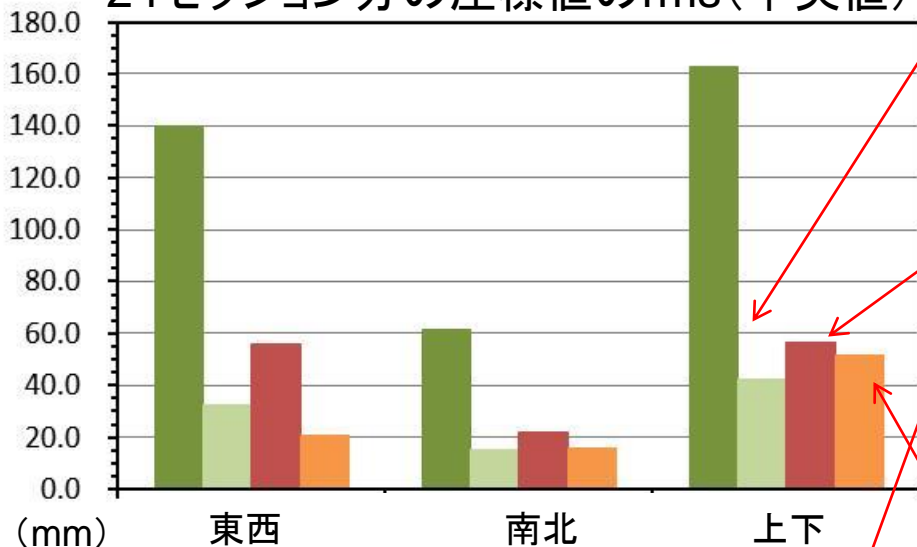
成果：地殻変動解析技術の開発

⑦ 地殻変動情報の提供短縮に向けた新しい解析手法を開発

1時間データによる精度評価 (GEONET)

■ 基線解析(GPS) ←従来手法 ■ PPP(GPS)
■ 基線解析(GPS+GLO) ■ PPP-AR(GPS)

24セッション分の座標値のrms(中央値)



従来手法(基線解析)

- GPSの1時間データでは安定した解が出ないが、**GLONASSの追加で安定**

新手法①(精密単独測位 PPP)

- 従来手法にGLONASSを加えた解より安定性は劣るが、**実行時間が30分の1**
- PPPへのGLONASS追加**

新手法②(PPP-AR*)

- 従来手法にGLONASSを加えた解と**安定性は同等で、実行時間が30分の1**
- GLONASS追加には、外部の補正情報が必要(今後の検討課題)**

解析手法	プロセス実行時間 (分)
基線解析(GPS)	12
基線解析(GPS+GLONASS)	15
PPP(GPS)	0.5
PPP-AR(GPS)	0.5

*PPP: Precise Point Positioning
AR : Ambiguity Resolution

- ⑧ プロジェクトの成果を踏まえ、公共測量の作業規程の準則第17条機器等及び作業方法に関する特例)3項に適用するマニュアル案を策定予定

マルチGNSS測量マニュアル —近代化GPS、Galileo等の活用—

測量作業においてマニュアル案を適用することで、作業規程の準則では規定されていない以下の作業が可能に

- Galileoを含む観測
- L5帯を利用した3周波解析
- ISB補正を適用したGPS-Galileo間での統合解析
- GLONASS単独の利用

H27年度以降、このマニュアル案のうち一般的な事項(GalileoやL5帯の利用)について、公共測量の作業規定の準則への追加を提案する

研究開発の必要性、効率性、有効性

(必要性)

- L5を出す近代化GPSは、まだ8機。Galileo整備にも若干の遅れがある。一方、準天頂衛星は2018年に4機揃う予定。中国BeiDouの台頭も目覚しい
→ これらGNSSを賢く国土管理に使う研究開発は必要

(効率性)

- 東京海洋大のオープンソースソフトウェアに、開発した要素技術を実装 → ゼロからの開発ではなく効率的

(有効性)

- 公共測量の「作業規程の準則」改正という成果が得られる
(先行して、一部改正済み)
- 準則17条の「マルチGNSS測量マニュアル案」を公開予定
- 地殻変動解析の成果は、国土地理院GEONETに適用予定

目標達成の見通し(1) アウトプット

- マルチGNSSの解析技術

(周波数の組み合わせ)

- L1, L2, L5の組み合わせのアルゴリズムを定式化

(衛星系の組み合わせ)

- GLO固有の受信機誤差(IFB)の時間安定性を確認

- 異機種受信機間では補正が必要(可能)

- GPS-QZS、GPS-GAL間の受信機誤差(ISB)の

- 時間安定性を確認 → 統合解析は可能

- △ GPS-GLO間の受信機誤差(ISB)が再起動や温度で変化

- GLOを含む統合解析は困難(GEONETでは可)

※GLO: GLONASS、 GAL: Galileo、 QZS: 準天頂衛星システム、

IFB: GLOの周波数間バイアス、 ISB: 衛星系間の受信機ハードウェアバイアス

統合解析: 異なる衛星系間の位相差も使って解析する方法。

可視衛星数が少ない時に有効。

目標達成の見通し(2) アウトプット

- 解析技術の検証

- ソフトウェア・シミュレータは完成

- △ L5, Galileoの現地検証が不十分

- シミュレーションによる検証を強化

- H27年度以降も電子基準点データで検証を継続

- 高精度測位技術の標準化

- GPSとQZS併用による測量精度を確認(H23~24)。
作業規程準則に反映(H25年3月29日)

- △ Galileo検証は最終年度(H26)にずれ込む

- H26年度にマルチGNSS測量のマニュアル案、
準則改正案を固め、H27年度の準則改定を目指す

目標達成の見通し(3) 効果の発現

- 従来のGPSでは困難であったビル街等での測量を常時実現
 - GPS以外の衛星利用で測量可能エリアは拡大
 - △ GPS(QZS)+GLOで4衛星という極限での測位は困難
 - 都心での「常時」実現は困難(環境に依存)
- GPS測量に比べ現地での観測時間を約半分にして測量
 - 多衛星系やL5の利用により短縮は可能
 - △ 75%までの短縮をマニュアル化
- 地殻変動量の提供時間を約半分に短縮
 - GEONETに適用可能な新手法(PPP)を開発
- マルチGNSS解析・利用技術のアジア地域等への国際展開
 - GNSS地域ワークショップに毎回参加し、成果をPR

(実施方針)

- プロポーザル方式による外注作業で、衛星測位にノウハウを有する大学・企業に各種業務を委託
- プログラム開発では結果的に複数企業がチェックを実施
- オープンソースソフトウェアのRTKLIB(東京海洋大)をベースとしたことは、国産ソフトの支援にもつながった

(体制)

- 国土地理院主体のコンパクトな体制で効率的に研究を推進
- 有識者委員会には、我が国の衛星測位の第一人者を網羅
- 情報化施工分野にも働きかけ(H24年度より測地観測センター長が情報化施工推進会議メンバー)
- **地殻変動分野への成果普及は今後**

研究計画全体の妥当性

(妥当性)

- 世界的な衛星測位の進展を背景に、時宜を得た研究開発であり、研究を推進する価値は変わっていない

(懸念事項)

- 中国のBeiDouへの対応
→ 今後の衛星の整備状況や受信機市場を注視

(参考)平成26年2月までの成果物

- プロジェクト Webサイトで公開
(http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html)
 - 有識者委員会資料(第1～11回)
 - H23～26年度 成果品
 - 衛星系／複数周波数信号の組合せ 報告書
 - マルチGNSS解析システムの基本／詳細設計書
 - GSILIBプロトタイプ → H25/11/14公開
 - GSILIB ver1.0 → H27/1/8公開
 - 技術指針検討資料 など
- 公共測量の作業規程の準則(国土交通大臣告示)
 - 一部改正 H25/3/29

- 論文
 - 写真測量とリモートセンシングVol.52, No.4, 2013
 - 日本航空宇宙学会誌Vol.62, No.5, 2014
 - 国土地理院時報Vol.125, 2014
- 海外シンポジウム
 - アジアオセアニアGNSS地域ワークショップ(H24/12/10マレーシア、H25/12/2ベトナム、H26/10/9タイ)
- 国内学会
 - 地球惑星科学連合大会(H24/5/25、H25/5/23幕張、H26/4/28横浜)
 - GPS/GNSSシンポジウム(H24/10/24、H26/10/30東京)
 - 日本測地学会講演会(H24/11/1仙台、H25/10/30立川、H26/11/6つくば)

- 国内学会(続き)
 - 宇宙科学技術連合講演会(H25/10/10米子、H26/11/12長崎)
 - 極域科学シンポジウム(H26/12/2立川)
 - その他
 - 建設マネジメント技術(H23年5月号)
 - 国土地理院報告会(H25/6/7、H26/6/6東京)
 - QZSSユーザミーティング(H25/2/13、H26/4/25東京)
 - リアルタイム測位利用技術講習会(H26/10/29東京)
 - QSUS発表会(H27/3/18東京)
- H27年度以降、国土地理院報告(Bulletin of the GSI)や測地学会誌へ投稿予定