

次世代測位衛星利用の効果と 複数の衛星測位システム(マルチGNSS)測量に向けて

平成28年2月25日
地理空間情報産学官懇談会情報共有会合

国土地理院
北海道地方測量部
岩田昭雄

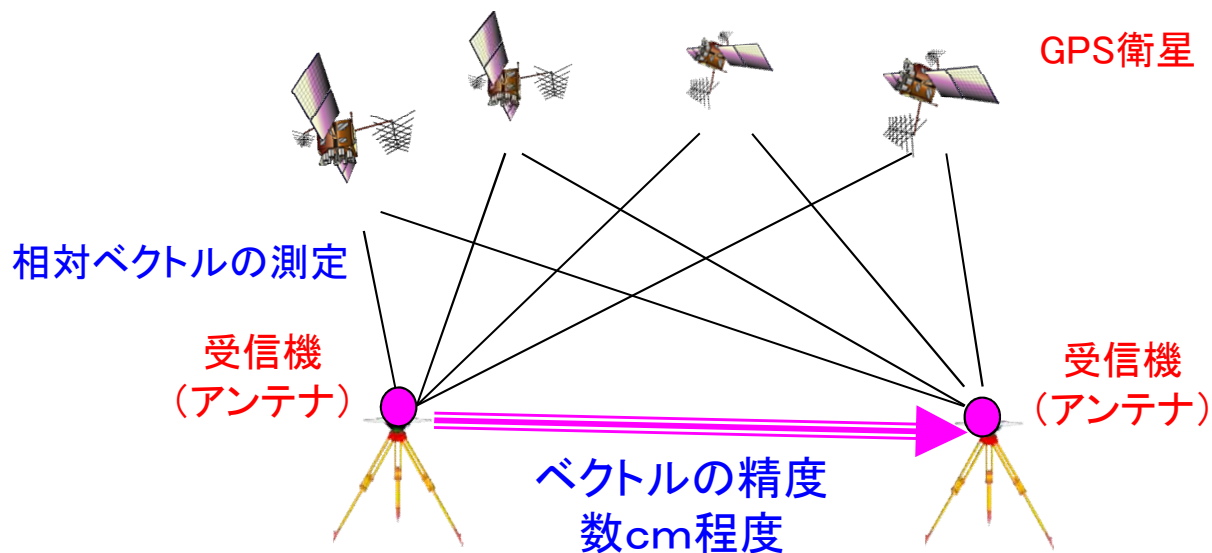
測量分野における測位衛星の利用

■ 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、地殻変動監視、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、公共測量における基準点測量の8割以上がGPS測量



高精度測位技術とは、

相対的な位置 (ベクトル) を求める

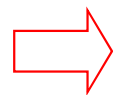
測位衛星の利用における課題①

課題① 都市部・山間部でGPSが使えないことへの対応



(Google Earthを利用)

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

GPSによる高精度測位に必要な4機以上の衛星可視時間率(銀座)



(JAXA資料による)

測位衛星の利用における課題②

課題② GPS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(GNSS連続観測システム)

公共測量基準点測量の事例

公共測量作業規程の準則による基準点測量スタティック法では、10km未満で60分以上、10km以上で120分以上の観測時間が必要とされている。

- ニ GNSS観測は、干渉測位方式で行う。
- イ GNSS測量機を用いる観測方法は、次表を標準とする。

観測方法	観測時間	データ取得間隔	摘要
スタティック法	120分以上	30秒以下	1級基準点測量(10km以上※1)
	60分以上	30秒以下	1級基準点測量(10km未満) 2～4級基準点測量
短縮スタティック法	20分以上	15秒以下	3～4級基準点測量
キネマティック法	10秒以上※2	5秒以下	3～4級基準点測量
R T K 法	10秒以上※3	1秒	3～4級基準点測量
ネットワーク型 R T K 法	10秒以上※3	1秒	3～4級基準点測量
備考	※1 観測距離が10km以上の場合は、1級GNSS測量機により2周波による観測を行う。ただし、節点を設けて観測距離を10km未満にすることで、2級GNSS測量機により観測を行うこともできる。 ※2 10エポック以上のデータが取得できる時間とする。 ※3 FIX解を得てから10エポック以上のデータが取得できる時間とする。		

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。2018年度に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。2015年末で12機が軌道の上に

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機を超える

衛星数増加による可視性の向上

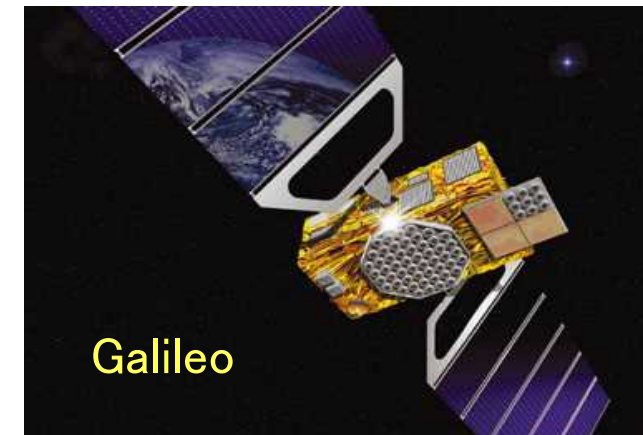
利用できる周波数信号の増加 2周波⇒4周波*

情報量の増加により短時間化への期待

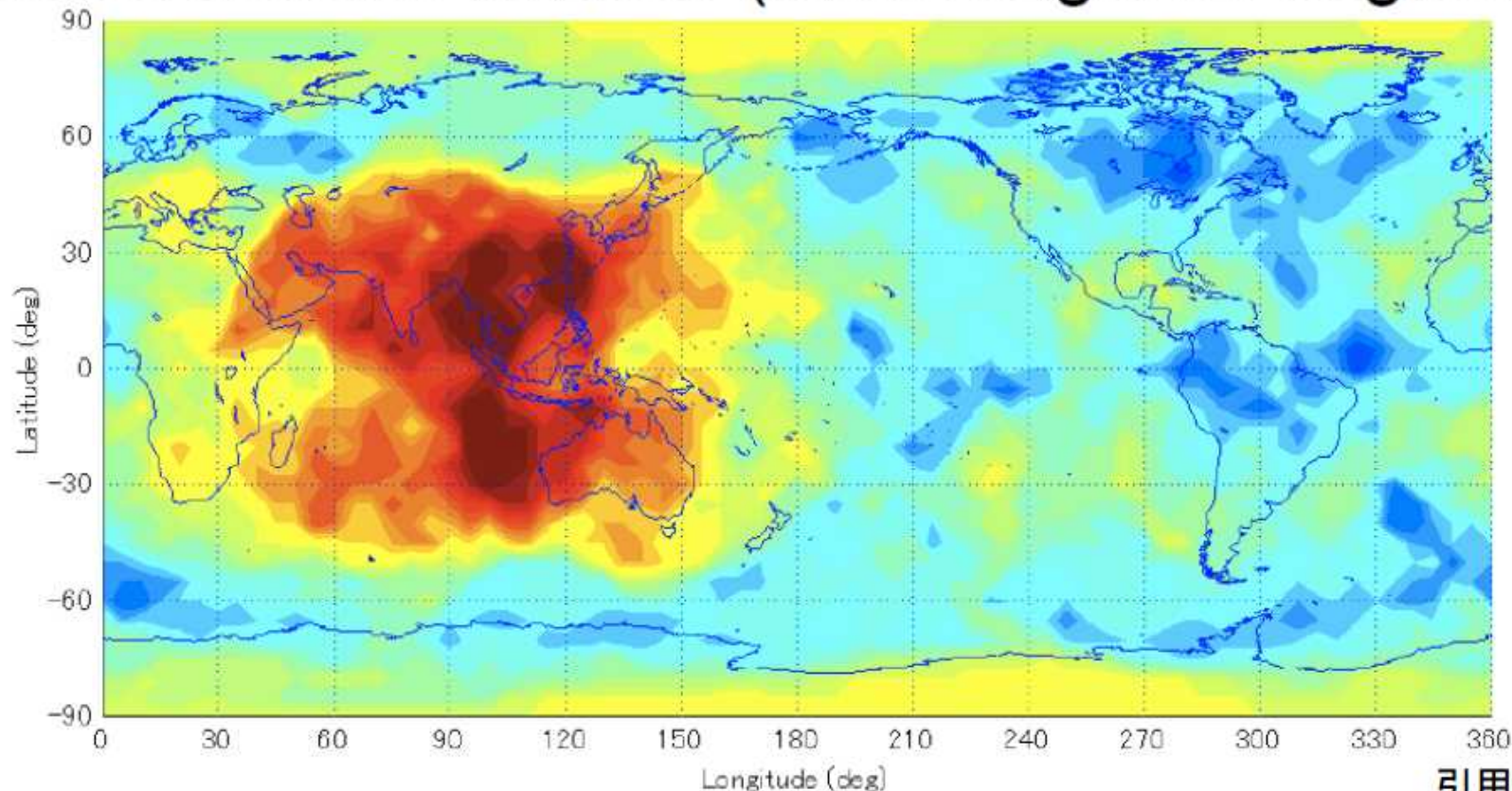
* GalileoのE6信号を含めた場合

複数の衛星測位システム(衛星系)

- GPS : アメリカ
- 準天頂衛星 (QZSS) : 日本
- GLONASS : ロシア
- Galileo : 欧州
- BeiDou (北斗) : 中国



Visible satellite number (mask angle 30 degrees)



引用: JAXA資料

2020:

GPS(27)+Glonass(24)+Galileo(30)+COMPASS(35)+IRNSS(7)+QZSS(3)+SBAS(7)

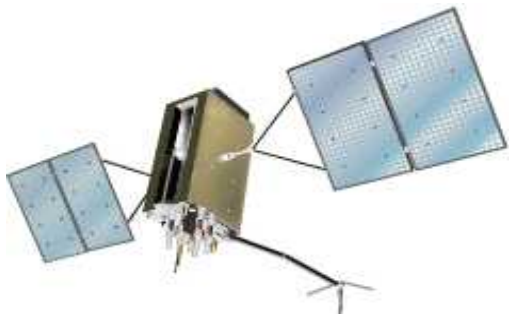


利用可能な衛星の爆発的な増加 ➡ 衛星測位の利用性向上

GPSからマルチGNSS利用へ



近い将来(2010年代後半) 各国のGNSSが本格稼働



GPS (米国)



準天頂衛星 (日本)



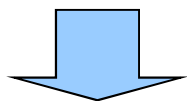
GLONASS (ロシア)



Galileo (EU)

マルチGNSSのメリット①可視性の向上

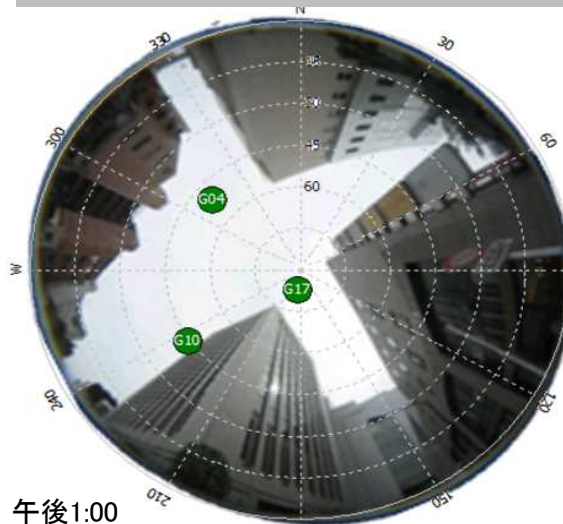
ビル等の影響でGPSが4機以上なく、高精度測位が不可能



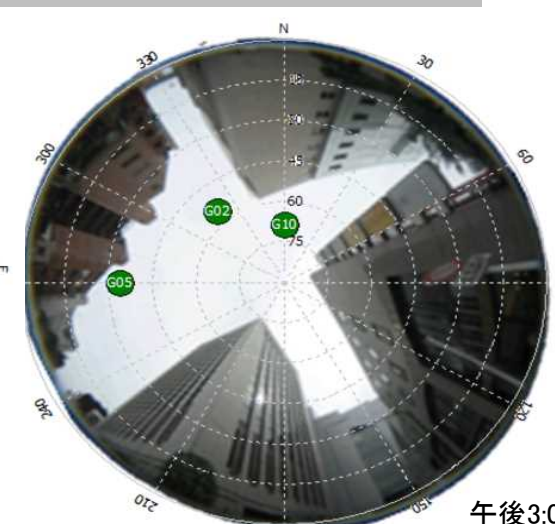
GPSを含め、数多く測位衛星が見えることから、高精度測位が可能に

マルチGNSSの適用で、可視性が向上し、GNSS測量の選択が可能に

GPSのみ 衛星数 3機 ⇒ 高精度測位 不可

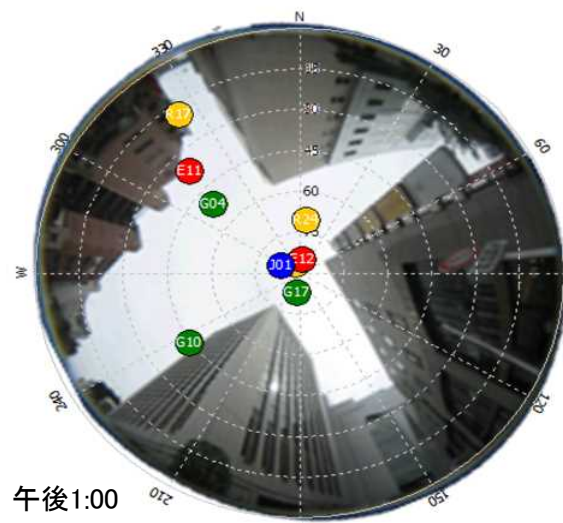


午後1:00

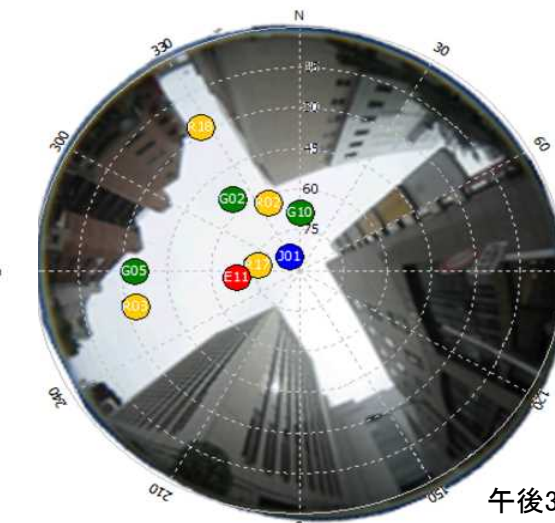


午後3:00

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



午後1:00

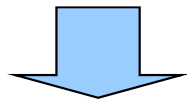


午後3:00

2013年11月13日の東京銀座の可視衛星

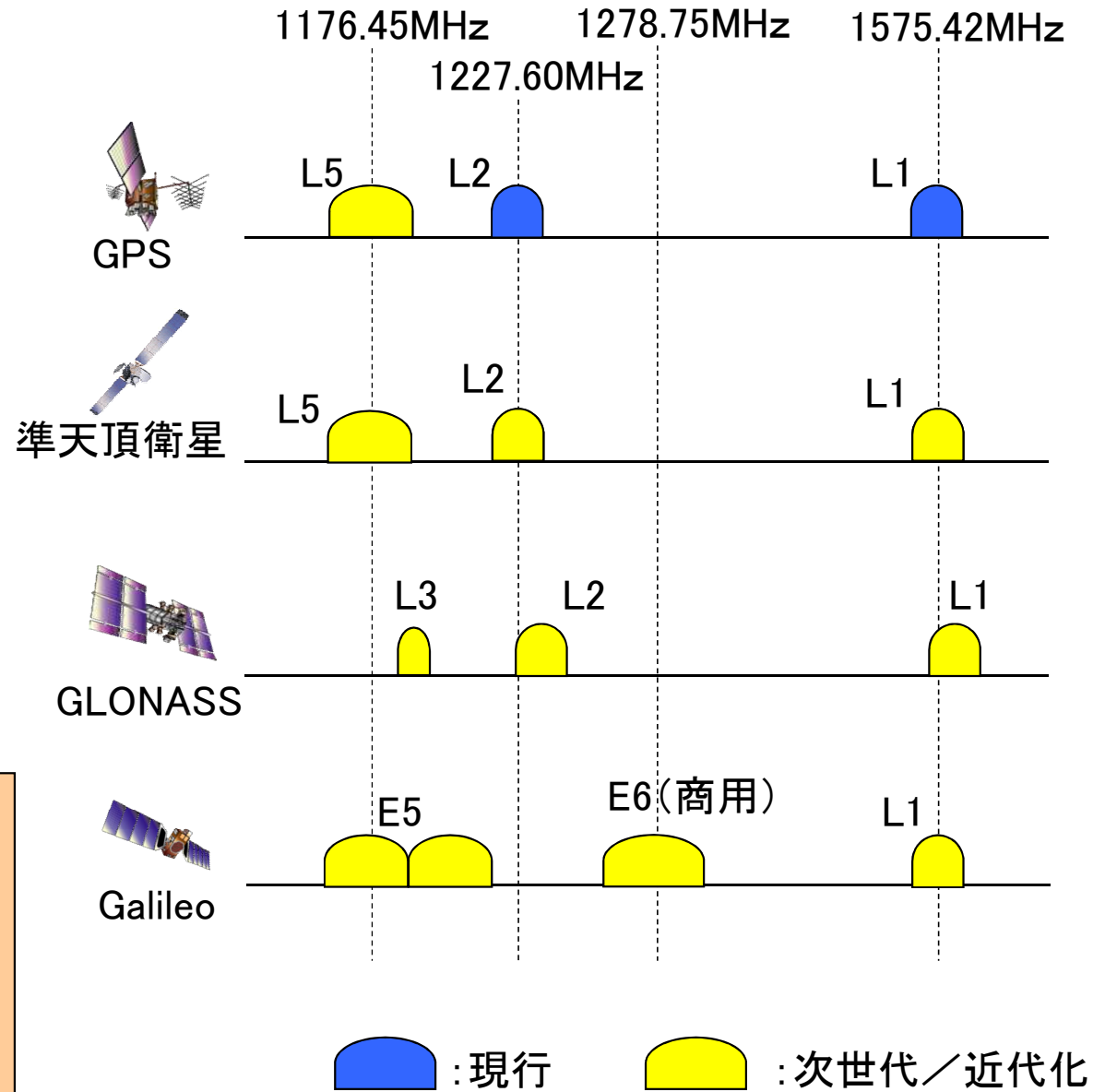
マルチGNSSのメリット②短時間化

L1、L2の2周波数帯を利用



最大L1、L2、L5、E6の4周波数帯が利用可能に

マルチGNSSの適用で、情報量が増加し、必要とする観測時間の短縮が可能に



GNSSから送信される
民生用測位信号の周波数帯(概要)

平成24年度末までに全国のほぼ全ての電子基準点のアンテナ、受信機をGNSS対応(近代化GPS、準天頂衛星、GLONASS、Galileo)型に更新

交換前

交換後

アンテナ



受信機



公共測量の作業規程の準則の一部改正

平成25年3月29日一部改正

<改正前>

第2章 基準点測量
第1節 要旨
(要旨)
第21条 「基準点測量」とは、既知点に基づき、新点である基準点の位置を定める作業をいう。
2 基準点測量は、既知点の種類、既知点間の距離及び新点間の距離に応じて、1級基準点測量、2級基準点測量、3級基準点測量及び4級基準点測量に区分するものとする。
3 1級基準点測量により設置される基準点を1級基準点、2級基準点測量により設置される基準点を2級基準点、3級基準点測量により設置される基準点を3級基準点及び4級基準点測量により設置される基準点を4級基準点という。
4 GNSSとは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称で、GPS、GLONASS、Galileo及び準天頂衛星等の衛星測位システムがある。GNSS測量においては、GPS及びGLONASSを適用する。

<改正後>

第2章 基準点測量	<p style="color: red; font-size: 1.2em; margin: 0;">準天頂衛星をGPSと同等のものとして扱うことができる</p>
第1節 要旨	
(要旨)	
第21条 「基準点測量」とは、既知点に基づき、新点である基準点の位置を定める作業をいう。	
2 基準点測量は、既知点の種類、既知点間の距離及び新点間の距離に応じて、1級基準点測量、2級基準点測量、3級基準点測量及び4級基準点測量に区分するものとする。	
3 1級基準点測量により設置される基準点を1級基準点、2級基準点測量により設置される基準点を2級基準点、3級基準点測量により設置される基準点を3級基準点及び4級基準点測量により設置される基準点を4級基準点という。	
4 GNSSとは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称で、GPS、GLONASS、Galileo及び準天頂衛星システム等の衛星測位システムがある。GNSS測量においては、GPS、GLONASS及び準天頂衛星システムを適用する。 <u>なお、準天頂衛星システムは、GPSと同等のものとして扱うことができる。</u>	

国土交通省総合技術開発プロジェクト(総プロ)
「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」
(平成23～26年度)

最終的には

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拡大環境の構築
- ・高度な国土管理の実現

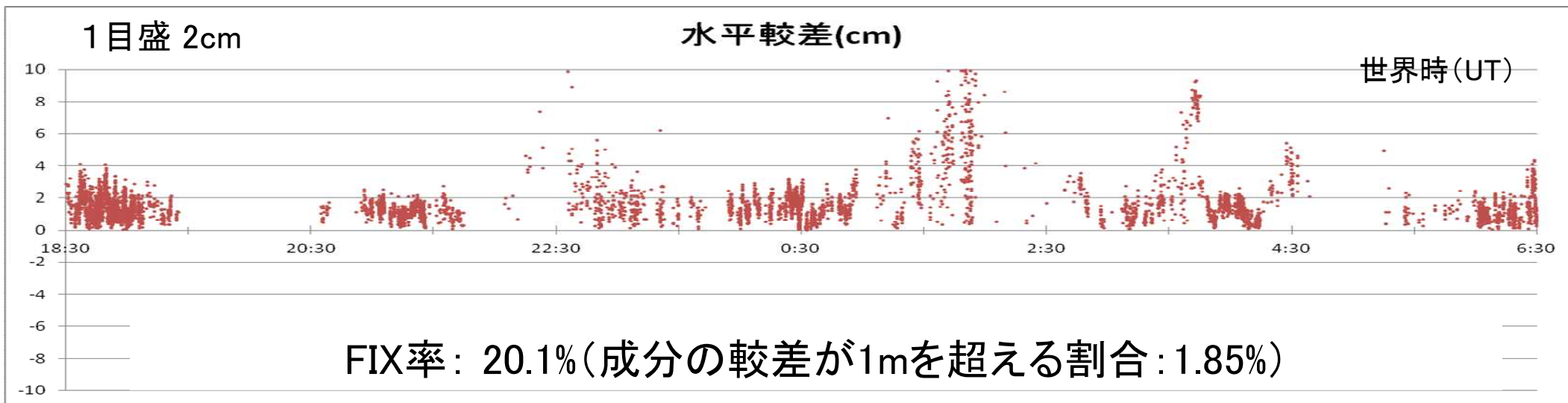
- ビル街等での測量可能エリアの拡大
- 現地での観測時間の短縮
- 地殻変動量の提供時間を約半分に短縮
- マルチGNSS解析・利用技術のアジア地域への国際展開

キネマティック測位 (基線No.1→No.2、距離2km)

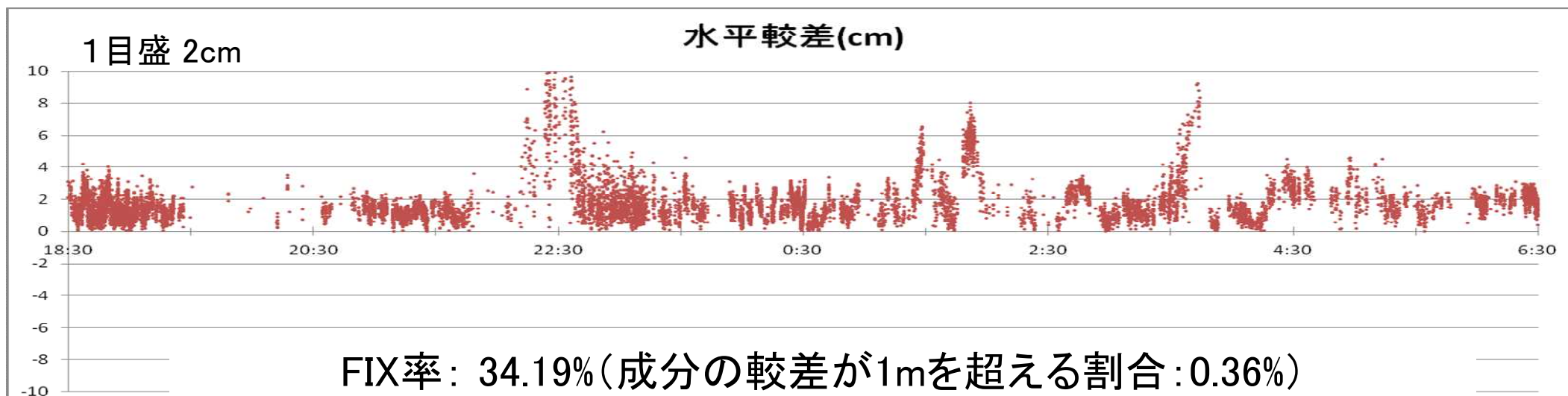
準天頂衛星の観測可能時間

使用衛星系: GPS

FIX解のみプロット



使用衛星系: GPS+準天頂衛星

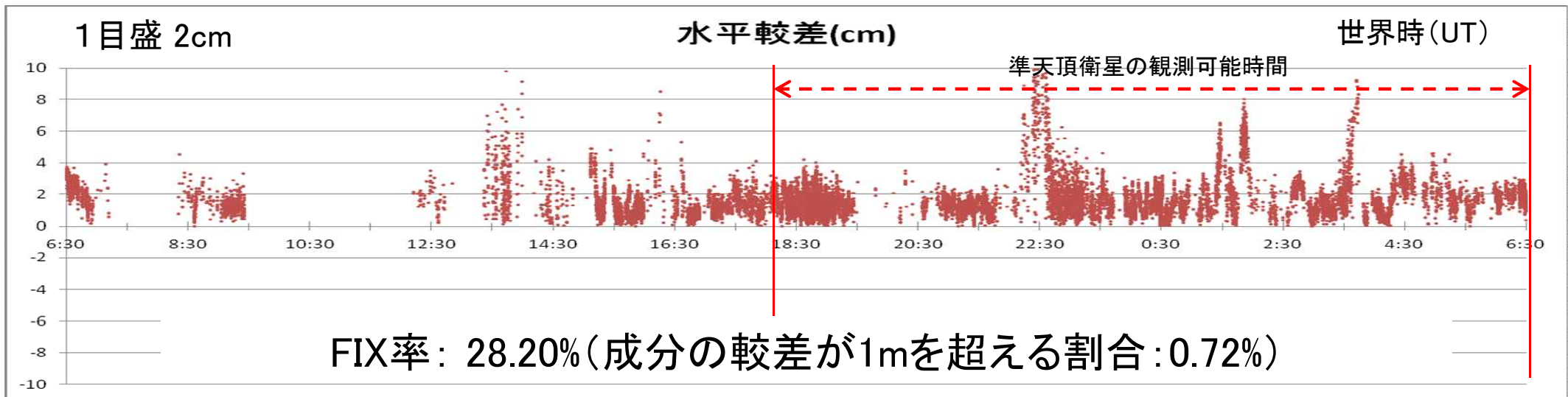


GPSと準天頂衛星の併用により、FIX率が改善

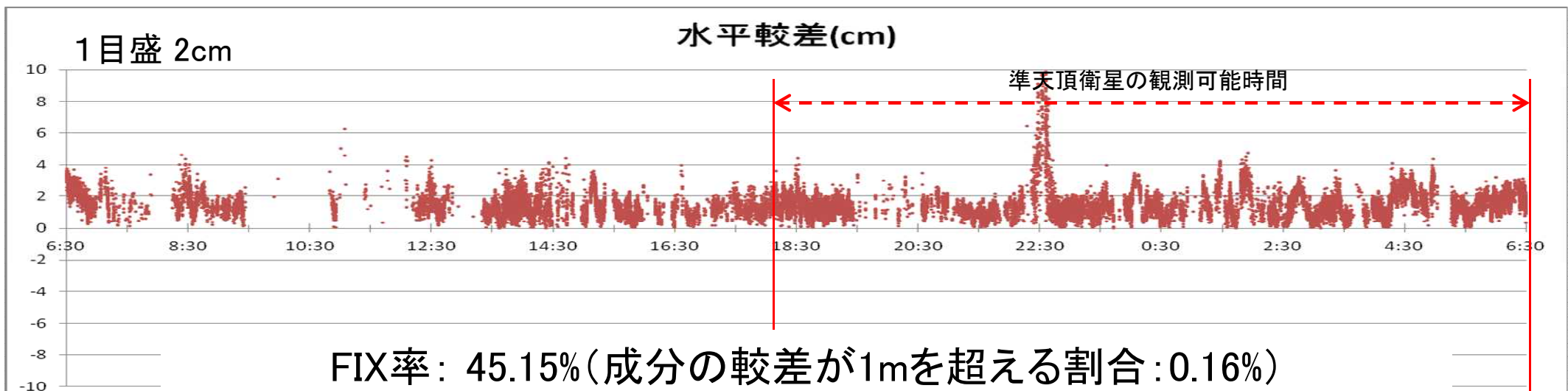
キネマティック測位 (基線No.1→No.2、距離2km)

使用衛星系: GPS+準天頂衛星

FIX解のみプロット



使用衛星系: GPS+準天頂衛星+GLONASS



3衛星系の併用で、さらに高いFIX率が得られる

衛星系を組み合わせる技術

異なる衛星系を組み合わせて“**統合解析**”を行う計算には課題が存在する

統合解析とは、異なる衛星系間で位相差を取る解析手法
これにより、**どの衛星系の組み合わせでも4機**(例:GPS3+GLONASS1)あれば測位が可能になる

→ **ビル街や山間部など上空視界が限られる場所での測位に有効**

統合解析を行うために、主に3つのバイアスを考慮する必要

- (1) IFB (Inter Frequency Bias)
- (2) L2P(Y)-L2C 1/4サイクルシフト
- (3) ISB (Inter System Bias)

衛星系を組み合わせる技術 (IFB)

(1) IFB (Inter Frequency Bias)

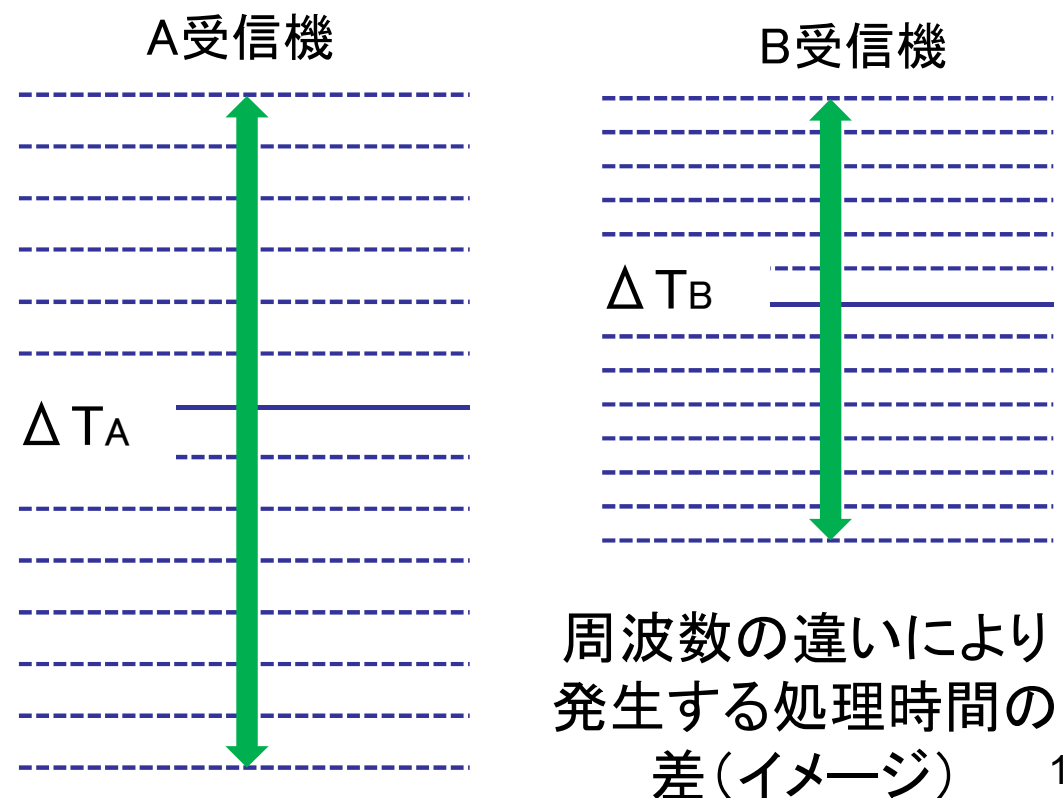
受信機回路を周波数のずれた信号が通ることによって発生するバイアス、GLONASSは信号の周波数を少しずらして衛星を識別するため、IFBが発生し、その大きさは受信機種によって異なる

→ 異機種受信機間におけるGLONASSを含めた解析で補正が必要

※既に多くのソフトウェアで補正可能

チャンネル番号	L1帯周波数 (MHz)	L2帯周波数 (MHz)
6	1605.375	1248.625
3	1603.6825	1247.3125
0	1602.0	1246.0
-3	1600.3125	1244.6875
-6	1598.625	1243.375
-7	1598.0625	1242.9375

GLONASS周波数(抜粋)

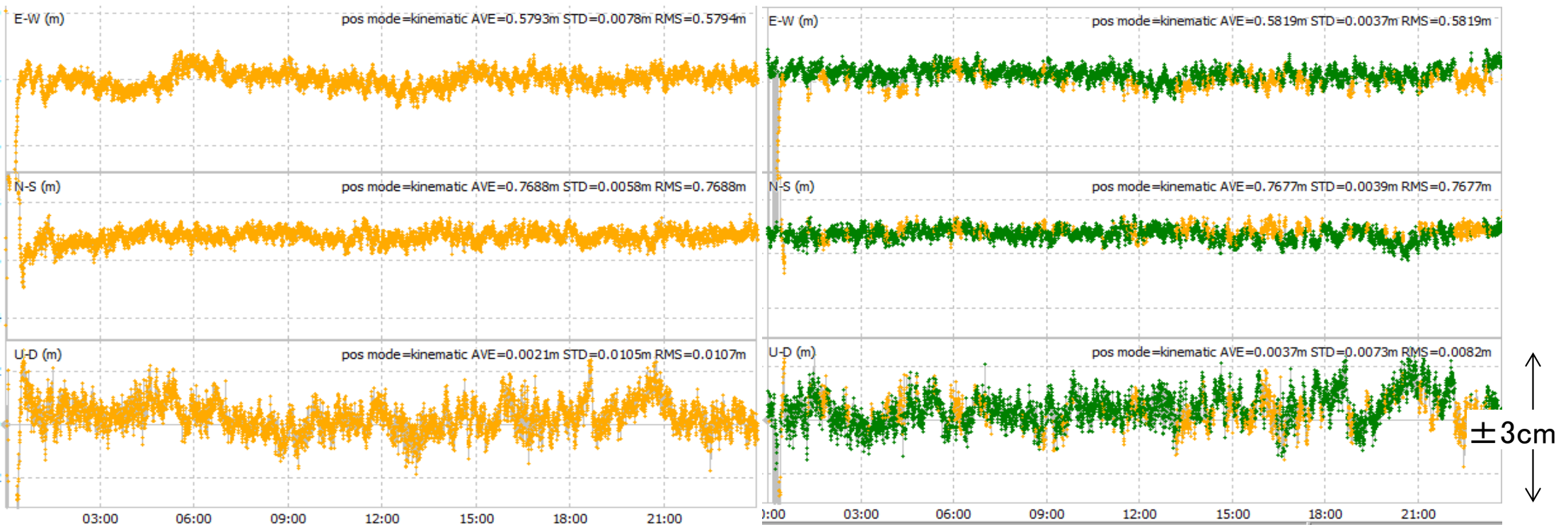


GPSとGLONASSを利用した解析における IFB補正の効果 (A受信機-D受信機) IFB補正量: L1=2.71, L2=2.77

補正なし

補正あり

● Fix解 ● Float解



Fix率 0.0%

● Fix解 ● Float解

Fix率 75.1%

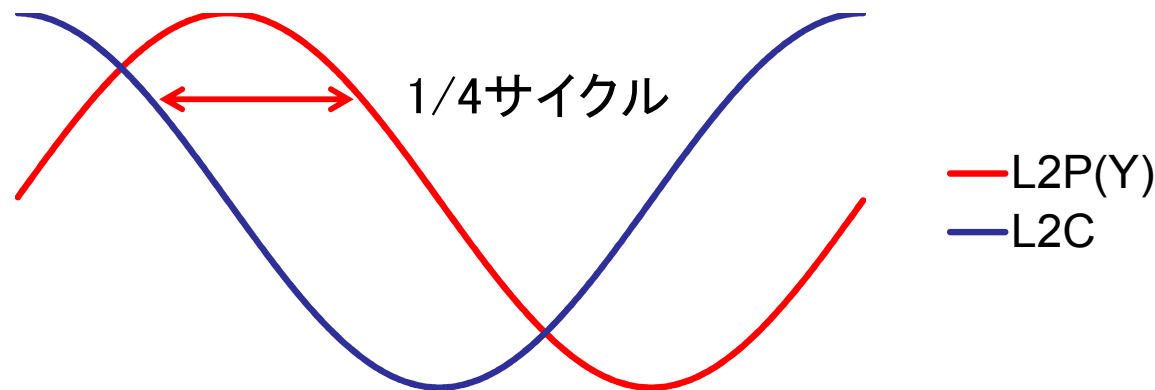
測位方式: キネマティック 基線長: 1m 観測時間: 24時間

IFBを補正することで、Fix率が大幅に改善

(2) L2P(Y)-L2C 1/4サイクルシフト

近代化GPSではL2P(Y)とL2Cを、準天頂衛星ではL2Cを送信している。L2P(Y)とL2Cの間で1/4サイクルのずれが存在し、位相を揃えるための符号が受信機によって異なる。

→ 異なるタイプの受信機間におけるL2P(Y)、L2Cを併用した解析で補正が必要



例

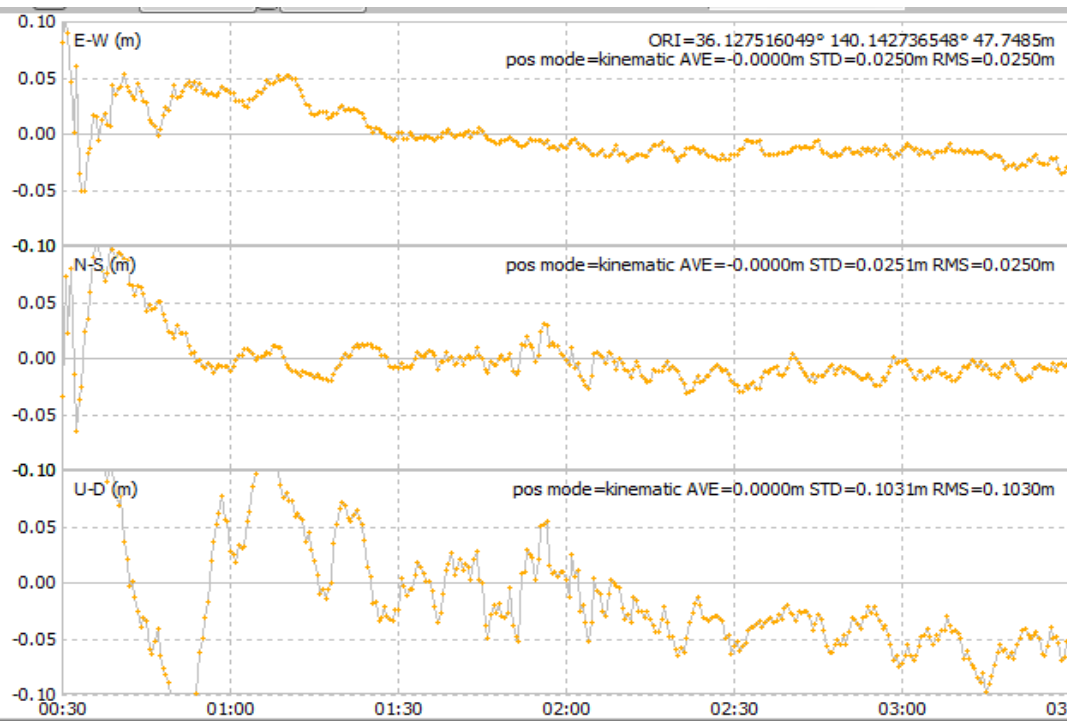
搬送波位相	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
GPS L2P(Y)	0	0	0
GPS L2C	+1/4サイクル	0 (受信機内部で補正)	-1/4サイクル
準天頂衛星 L2C	+1/4サイクル	0 (受信機内部で補正)	-1/4サイクル



事前に受信機がどのタイプか判別しておくことで、補正することが可能

GPSと準天頂衛星でL2P(Y)、L2Cを利用した解析における 1/4サイクルシフト補正の効果 (Aタイプ-Cタイプ)

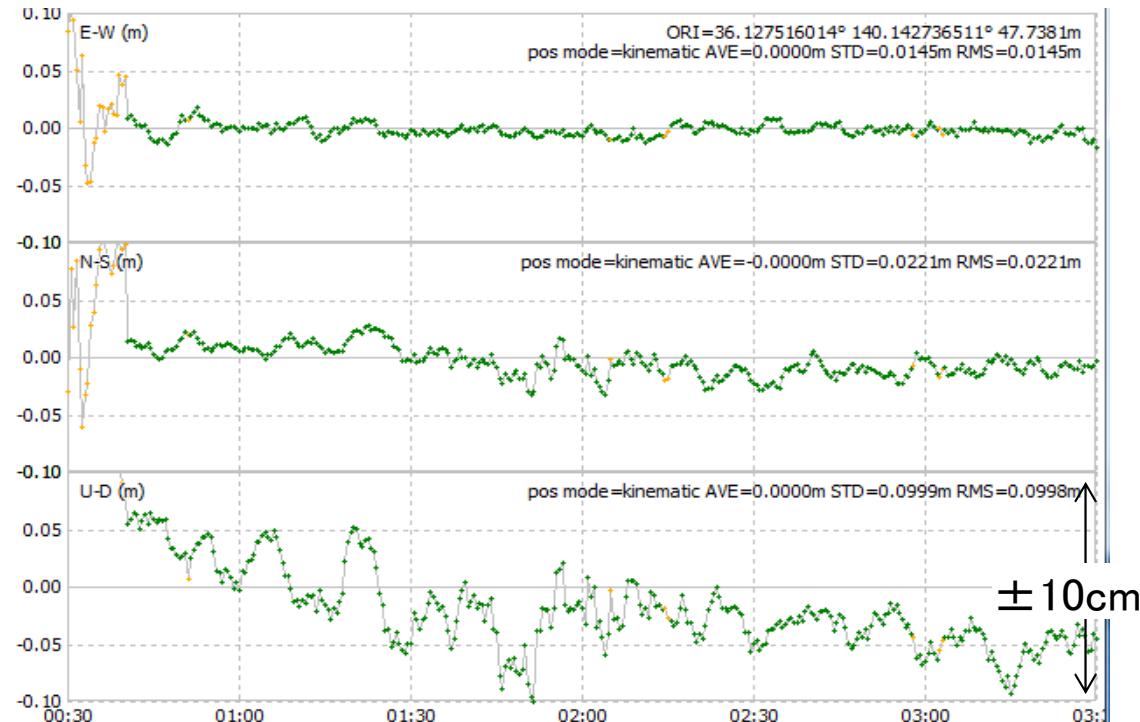
補正なし



Fix率 0.0%

● Fix解 ● Float解

補正あり



Fix率 92.2%

測位方式: キネマティック 基線長: 11km 観測時間: 3時間

1/4サイクルシフトを補正することで、Fix率が大幅に改善

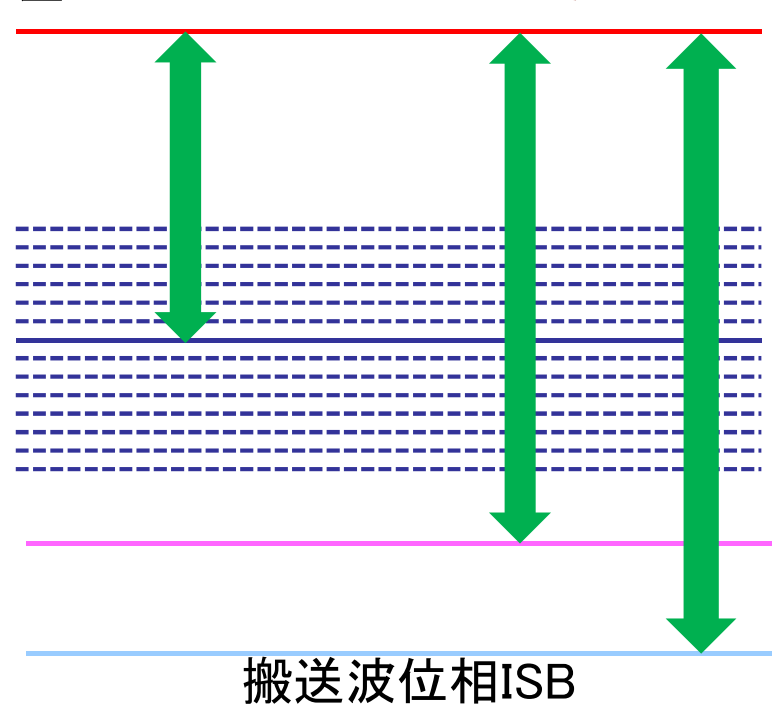
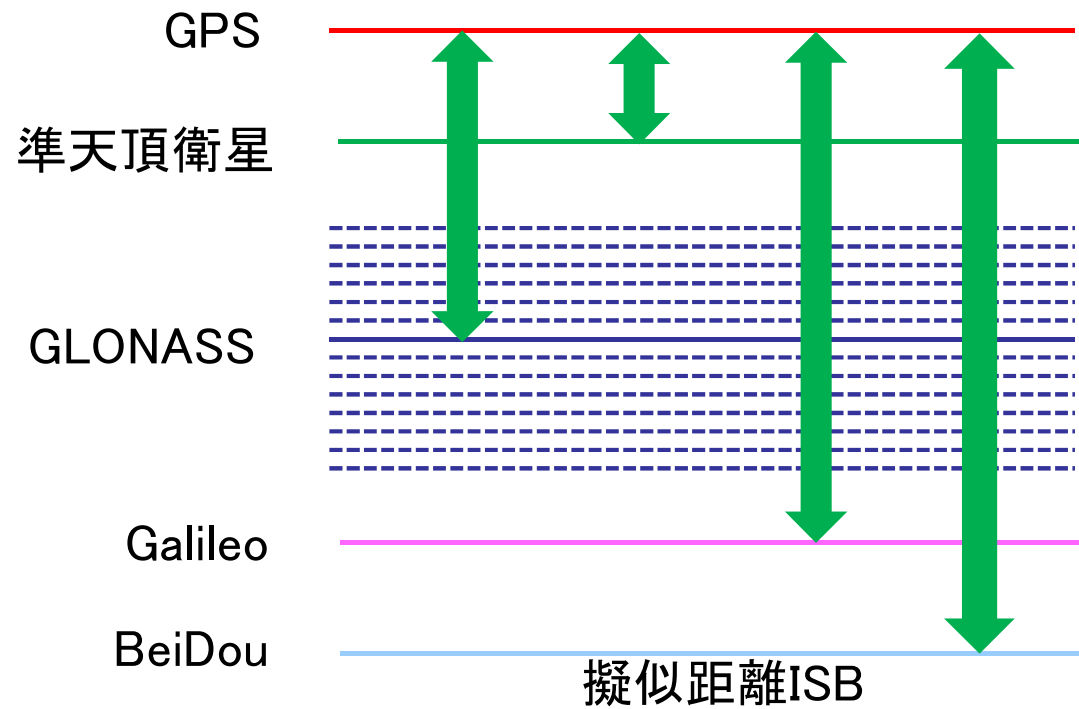
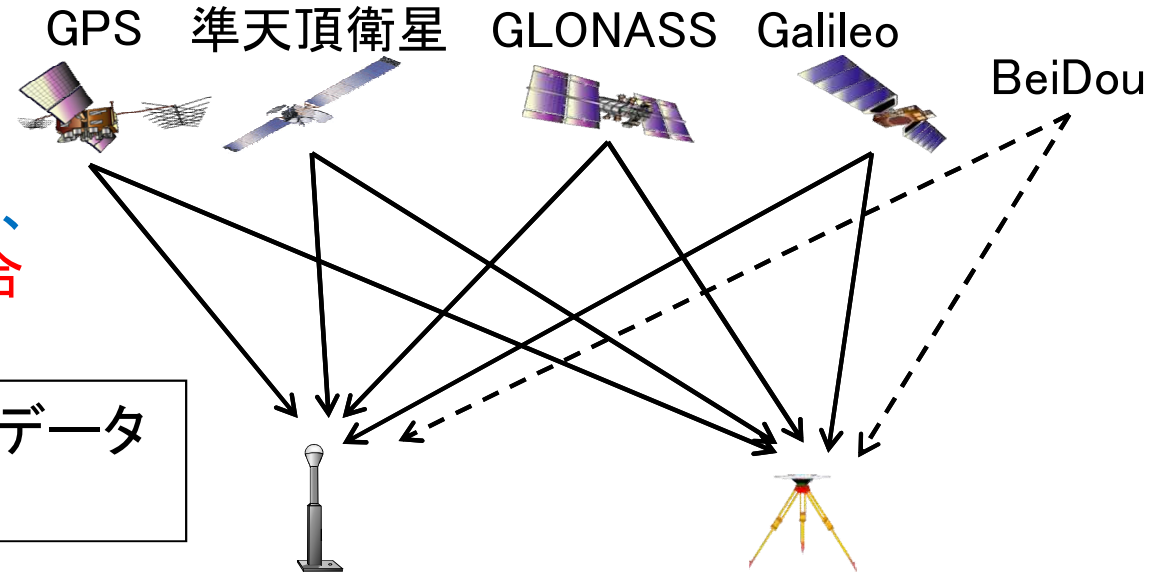
衛星系を組み合わせる技術 (ISB)

(3) ISB (Inter System Bias)

異なる衛星系の信号を処理する際に受信機の回路で発生するバイアス

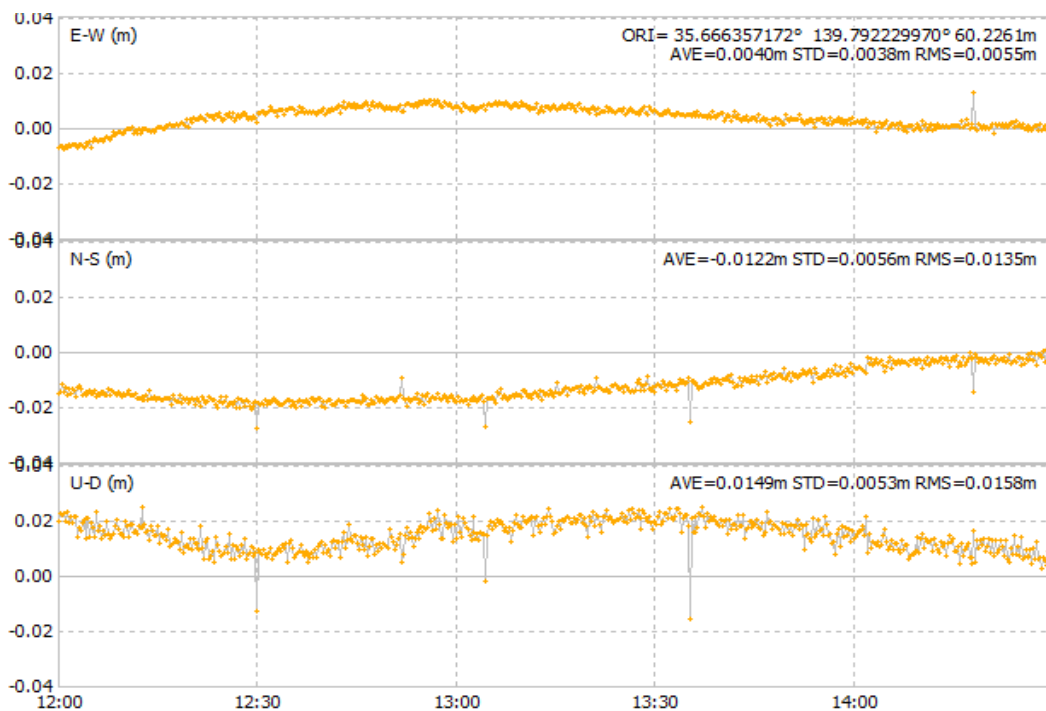
→ 異機種受信機間の基線解析において、異なる衛星系間で位相差を取る解析(統合解析)で補正が必要

ゼロ(短)基線における24時間観測データから相対的なISB推定が可能



GPSとGalileoを利用した解析における ISB補正の効果 (A受信機 - B受信機) ISB補正量: L1=0.093, L5=0.133

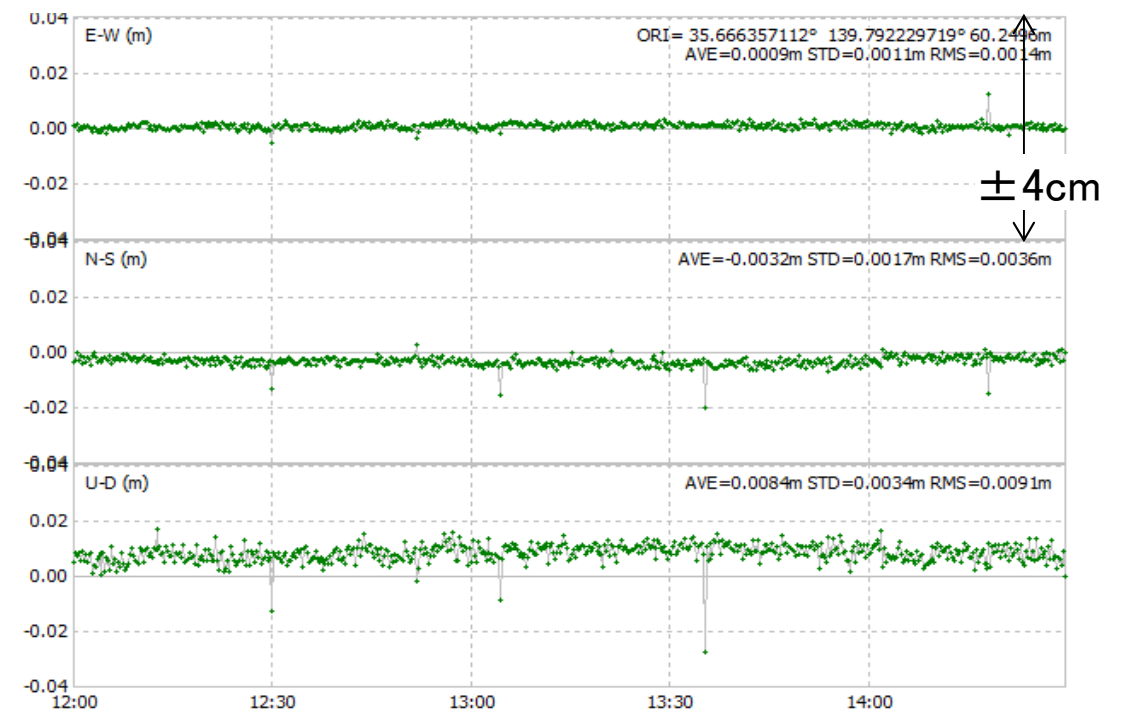
GPS+Galileo (ISB補正なし)



Fix率 0.0%

GPS+Galileo (ISB補正あり)

● Fix解 ● Float解



Fix率 100%

測位方式: キネマティック 基線長: 0m 観測時間: 2時間30分

ISBを補正することで、Fix率が大幅に改善

異なる衛星系間で位相差を取る解析(統合解析)のまとめ

- GPS-準天頂衛星、GPS-Galileoの組み合わせ
 - 擬似距離ISB、搬送波位相ISBとも安定
 - ◆ 事前に推定した値を用いて統合解析することが可能
 - ◆ GPS-準天頂衛星は値が小さいため、補正は不要

- GPS-GLONASSの組み合わせ
 - 搬送波位相ISBが受信機再起動、温度変化で変動する
測位しながら搬送波位相ISBを推定する場合
 - ・ アンビギュイティとの分離が難しい
 - ・ 未知パラメータを増やすと必要な観測データが増える
 - ◆ GPS-GLONASSの統合解析は一般的には困難

GPS、準天頂衛星、Galileoは事前に推定した値でISB補正しての統合解析、GLONASSは従来の混合解析手法が最適か

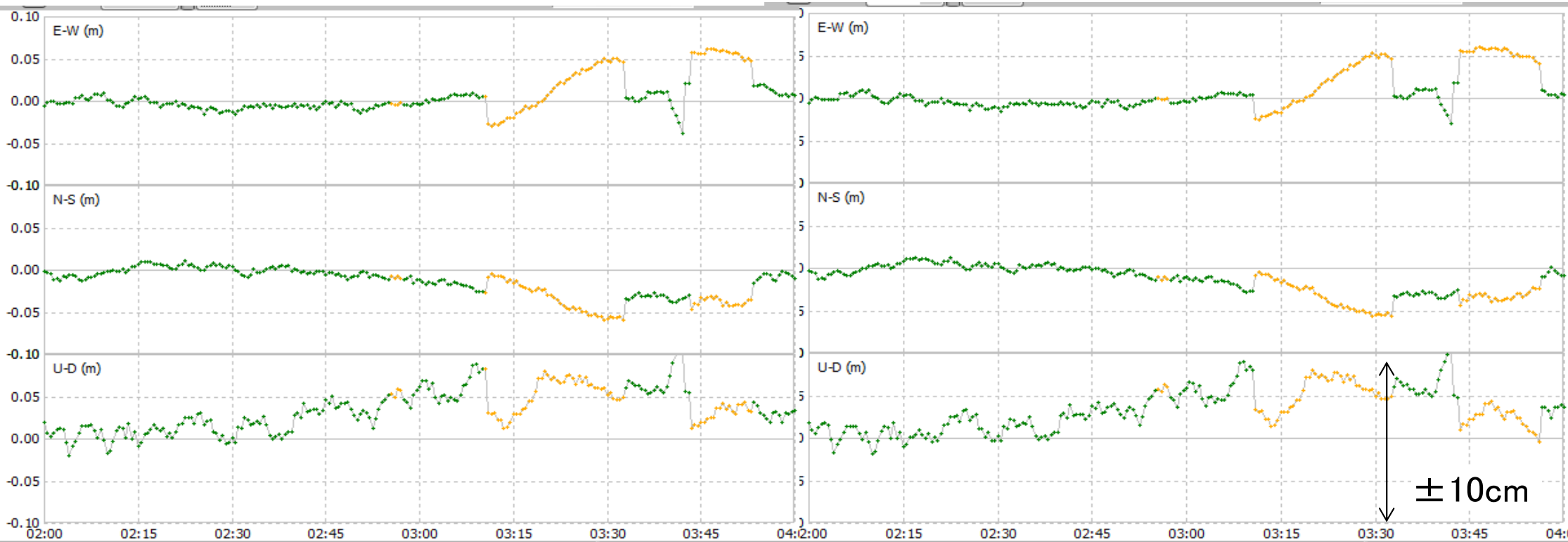
GPS+準天頂衛星を利用した解析におけるL5の効果

L1+L2

(RMS[mm] EW8.5,NS14.0,UD40.1)

L1+L2+L5

(RMS[mm] EW7.3,NS13.9,UD39.0)



Fix率 71.7%

●Fix解 ●Float解

Fix率 69.6%

日時:平成26年9月1日2:00~4:00 (UTC)

測位方式:キネマティック 基線長:11.7km

衛星数:10~13機(内 BLOCKIIF,準天頂衛星 計4機)

L5の利用によりわずかにRMSが減少、精度改善が期待できる。

マルチGNSSの課題と解決策

- ・ GPS+GLONASS(混合解析)は、異機種受信機間でFIX解が得られない
 - ✓ IFBを補正することでFIX解が得られる
- ・ GPS+準天頂衛星のL2P(Y)、L2C利用では、異機種受信機間でFIX解が得られない
 - ✓ L2P(Y)-L2C 1/4サイクルシフトを補正することでFIX解が得られる
- ・ マルチGNSS統合解析による衛星4つの極限状態では解けない
 - ✓ ISBを補正することで解けるが、GPS+GLONASSのISBは受信機再起動、温度変化で変動する
- ・ GPS+Galileoの統合解析は？
 - ✓ ISBを補正することでFIX解が得られる
- ・ L5を含めた3周波による解析は？
 - ✓ L5を利用することで精度が改善される

※ 衛星4つの極限状態:例 GPS3衛星 と GLONASS1衛星

GSILIB

(GNSS Survey Implementation Library)

- ・近代化GPS、準天頂衛星、GLONASS、GalileoのL1、L2、L5信号の解析が可能なソフトウェアを開発、公開
- ・RTKLIB v2.4.2 (Takasu, 2013) をベースに、国土地理院が電子基準点を用いる測量やGEONETの解析等に必要な機能(異機種受信機間の解析機能、複数基線解析等)を付与
- ・平成27年1月8日に国土地理院ホームページで無償公開 (<http://datahouse1.gsi.go.jp/gsilib/gsilib.html>)
- ・オープンソースソフトウェアとして、ユーザは利用・改造が可能



測量分野や測地学で活用され、
マルチGNSSの利用拡大に貢献

マルチGNSS測量マニュアル(案)の公表 平成27年5月29日

平成27年7月22日一部改正
(準天頂衛星システムを明示)

<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/multignss/>

マルチGNSS測量 -近代化GPS、Galileo等の活用-

2015/8/5 更新

マルチGNSS測量マニュアル(案)

<概要>

従来、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システム(GNSS)として、米国のGPS、日本の準天頂衛星システム(QZSS)、ロシアのGLONASSが利用されてまいりました。これらに加え、近年、欧州連合のGalileoや新たな周波数帯(L5帯)の信号を利用する「マルチGNSS」の環境が整ってきました。国土地理院では、このような環境の下、マルチGNSSの信号を単独若しくは複数の組み合わせで行う測量の作業マニュアルを制定しました。

これにより、Galileo、新たな周波数帯(L5)を使用した1~4級基準点測量が実施可能となります。

特徴	メリット
Galileoの使用	・衛星数増→測量できる場所の拡大
L5の使用	・3周波解析→10km以上の基線について観測時間の短縮(120分以上→90分以上)
基線解析(統合解析)	・GPS 3機、Galileo 1機でも使用可
衛星系の組合せ拡大	・観測の選択肢増

<特徴及びメリット>

- [マルチGNSS測量マニュアル\(案\) -近代化GPS、Galileo等の活用-](#) (平成27年7月 国土交通省国土地理院)
- [マルチGNSS測量マニュアル\(案\) -近代化GPS、Galileo等の活用- 解説](#) (平成27年8月 国土交通省国土地理院)

解説も掲載

お問い合わせは[こちら](#)

| [公共測量トップ](#) | [地理院ホームへ](#) |

主な特徴

① Galileoの利用

- 利用可能な衛星数の増
- 衛星系の組合せの拡大

② 新たな周波数帯(L5)の利用

- 新たな2周波解析(L1,L5)
- 3周波解析(L1,L2,L5)

③ 基線解析として統合処理

- GPS(準天頂衛星)とGalileoの組合せに限る

① Galileoの利用 ・利用可能な衛星数の増 メリット

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が拡大する**

都市部における実証実験

解析結果の比較

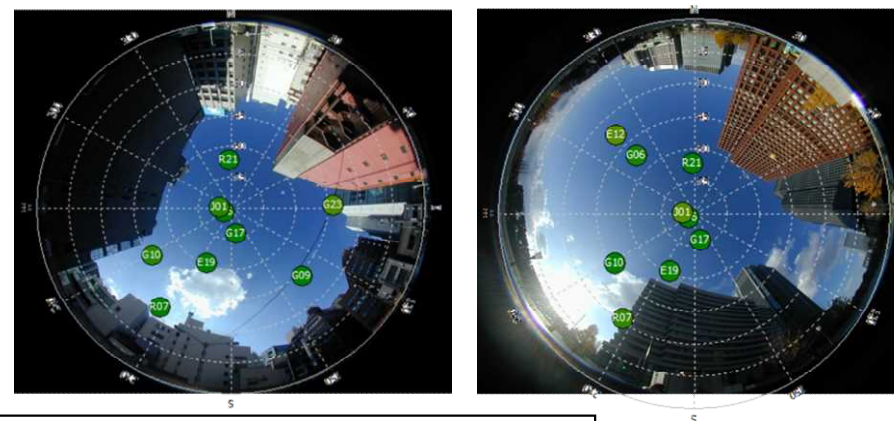
(GPSのみ - 4システム)

2014年12月14日 東京(丸の内)

キネマティックL1解析(1秒間隔)

2地点間距離 約1.5km

2地点の上空視界の状況

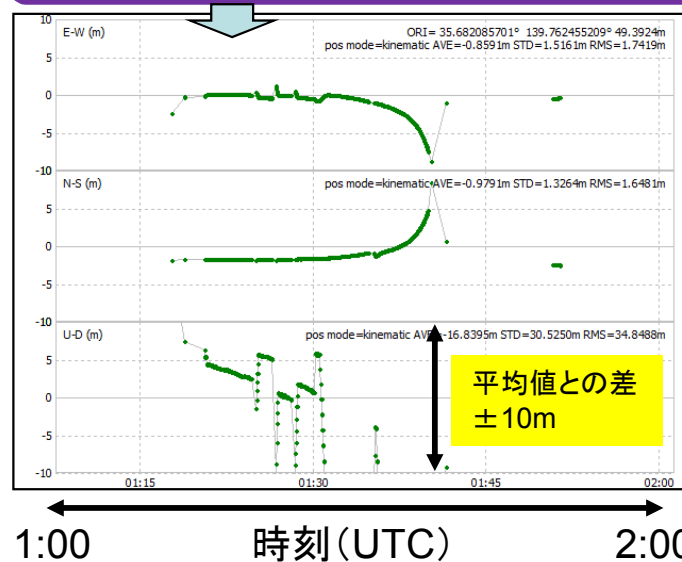


GPSのみの場合 [Fix率 36.4%]

東西

南北

上下



4システムの場合

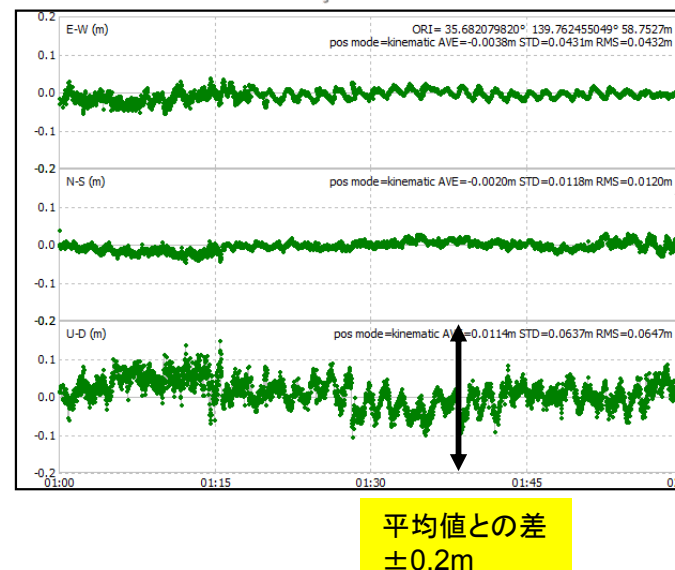
[Fix率 99.7%]

標準偏差

東西 : 4.3cm

南北 : 1.2cm

上下 : 6.4cm



①Galileoの利用 ・衛星系の組合せの拡大

作業規程の準則(2通り)



マニュアル(案)一部抜粋

マニュアル(案)(5通り)

観測方法 GNSS衛星の組合せ	スタティック法	スタティック法 (10km以上) 短縮スタティック法 キネマティック法 RTK法 ネットワーク型RTK法
GPS・準天頂衛星	4 衛星以上	5 衛星以上
GPS・準天頂衛星及び GLONASS衛星	5 衛星以上	6 衛星以上
GPS・準天頂衛星及び Galileo衛星	5 衛星以上	6 衛星以上
GPS・準天頂衛星、 GLONASS衛星 及びGalileo衛星	6 衛星以上	7 衛星以上
GLONASS衛星	4 衛星以上	5 衛星以上
3通り拡大 摘要	① 複数の衛星測位システムの衛星を用いて観測する場合は、各システムについて2衛星以上を用いること。 ② ネットワーク型RTK法による観測では、GPS・準天頂衛星又はGPS・準天頂衛星及びGLONASS衛星を用いること。	

準則

② 新たな周波数帯 (L5) の利用

・3周波解析 (L1, L2, L5) **メリット: 観測時間の短縮**

観測方法	観測時間	データ取得間隔	摘要
スタティック法	120分以上	30秒以下	1級基準点測量 (2周波、10km以上※1)
	90分以上	30秒以下	1級基準点測量 (3周波、10km以上※1)
	60分以上	30秒以下	1級基準点測量 (10km未満) 2～4級基準点測量



3周波解析はGPS・準天頂衛星システムの観測データを使用していきます



従来の観測時間 (120分以上) を **30分短縮** することができます

観測に使用する周波数 GNSS衛星の組合せ	観測に使用する周波数		
	1周波	2周波	3周波
GPS・準天頂衛星	L1	L1+L2 又はL1+L5	L1+L2+L5
GPS・準天頂衛星及び GLONASS衛星	L1	L1+L2	—
GPS・準天頂衛星及び Galileo衛星	L1	L1+L5	—
GPS・準天頂衛星、 GLONASS衛星及び Galileo衛星	L1	—	—
GLONASS衛星	L1	L1+L2	—

③ 基線解析 (統合処理) ◇ GPS・準天頂衛星とGalileo衛星の組合せに限る

メリット

複数の衛星系を利用する場合において、従来の解析手法では各衛星系を2衛星以上使用するが、**1衛星減らすことが可能**

観測方法 GNSS衛星の組合せ	スタティック法	スタティック法 (10km以上) 短縮スタティック法 キネマティック法 RTK法
	GPS・準天頂衛星及びGalileo衛星	4 衛星以上
GPS・準天頂衛星、 GLONASS衛星 及びGalileo衛星	5 衛星以上	6 衛星以上
摘 要	GLONASS衛星を用いて観測する場合は、GLONASS衛星を2衛星以上用いること。	

次世代測位衛星利用の効果と

複数の衛星測位システム(マルチGNSS)測量に向けて

機会がありましたら

これら成果を活用いただき、さらなる
効率化と衛星測位の適用範囲拡大
を実感してください。

地理空間情報産学官懇談会情報共有会合