

精密単独測位型RTK（PPP-RTK）を用いた リアルタイム地殻変動把握技術の開発

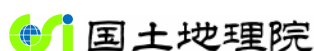
【研究期間】

平成27年4月～平成30年3月（3年間）

【予算】

特別研究経費 33,077 千円（3年間の総額）

国土地理院 地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室
宗包 浩志



Geospatial Information Authority of Japan

本研究の背景



リアルタイムキネマティック測位(RTK)から得られる 地殻変動情報の防災への活用が進んでいる

● RTKとは

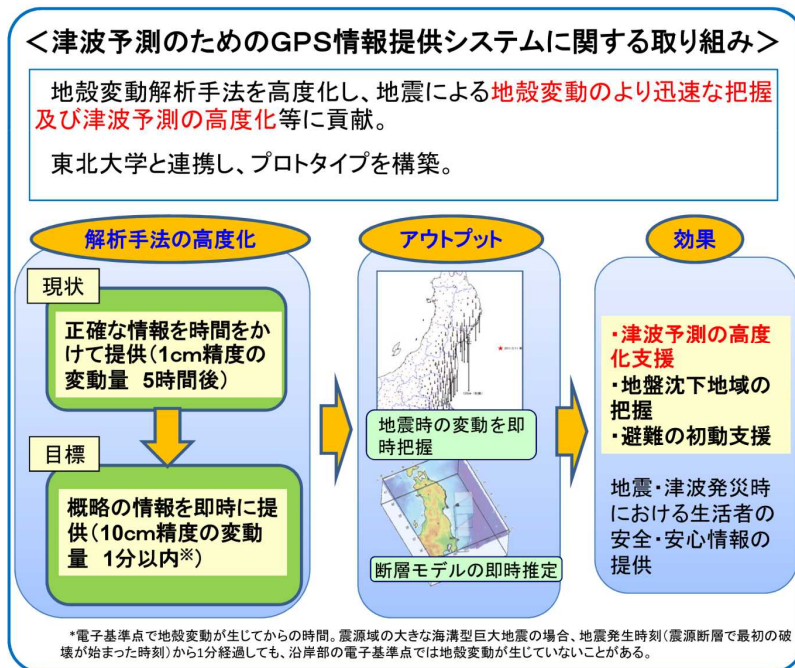
参照基準局と観測局におけるGNSSデータからリアルタイムで参照基準局を基準とした観測局の位置変化を計算する技術

◆ RTKから得られる地殻変動情報の特徴

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">① リアルタイム② 振り切れない③ ゆっくりとした変動も捉えられる |  | <ul style="list-style-type: none">・超巨大地震の規模の即時的把握・ゆっくりした地震・火山現象の検知
（津波地震・火山でのマグマ移動など）
などに威力を発揮 |
|---|---|---|

より即時性が求められる、発災時の初動体制の整備などに活用が期待

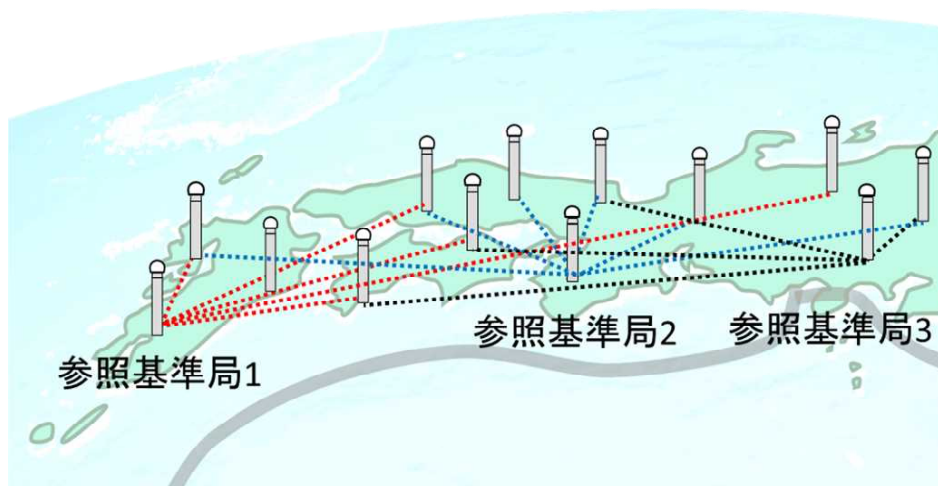
国土地理院の取り組み 電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)



地理院報道発表資料(2012.4.6)

Slide 3

REGARDシステムの課題



現行システムでは複数の参照基準局を用い、相対測位を実施

- 計算負荷が大きい→運用コストが高い、マルチGNSS化による精度改善が困難
- 参照基準局が欠測した場合に測位解を算出できない

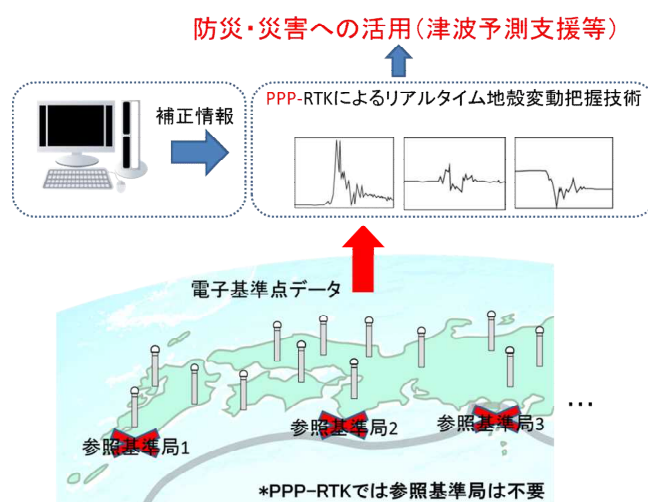
Slide 4

精密単独測位型リアルタイムキネマティック (PPP-RTK)解析システムとは

PPP-RTKは、参照基準局と観測局間の相対測位を行うRTKとは異なり、別途準備した衛星の補正情報（衛星時計・軌道情報など）を用いながらそれぞれの観測局で単独測位を行う技術である

計算負荷が非常に軽いという利点→REGARDの課題解決につながる技術

*ただし、RTKに匹敵する精度を出すには高品質の補正情報が必要



Slide 5

本研究の背景・目標

リアルタイム地殻変動把握のための PPP-RTK解析システムの課題

座標値のばらつきが通常のRTKに比べて大きい

- ✓ 提案当時（H26）は補正情報の精度が悪く
水平単成分のばらつきが5cm程度

* 電子基準点間のRTKの場合、基線長にもよるが概ね1～2 cm程度



地殻変動把握のためには、ばらつきが2cm程度に抑えられることが望ましい

目標

高品質の補正情報を生成し、ばらつきが2cm程度で電子基準点の座標時系列を生成可能なPPP-RTK解析システムの構築

- 高品質の補正情報を生成可能な補正情報生成エンジンの検討
- 精度向上技術の検討（マルチGNSS化、整数不確定性決定【AR】）
- 上記を組み込んだPPP-RTK解析システムの構築

Slide 6

ばらつきが2cm程度で電子基準点の座標時系列を生成可能なPPP-RTK解析システムの構築

リアルタイムの解析システムに比べ、後処理の解析システムのほうが、評価・チューニングが容易であることから、まずはPPP後処理キネマティック解析システム（PPP後処理システム）を構築し、それに基づいてPPP-RTK解析システム（PPPリアルタイムシステム）を構築することとした

STEP 1: PPP後処理システムの構築

- ・補正情報生成エンジンの選定
- ・解析システムの構築
- ・システムのチューニング

STEP 2: PPPリアルタイムシステムの構築・評価

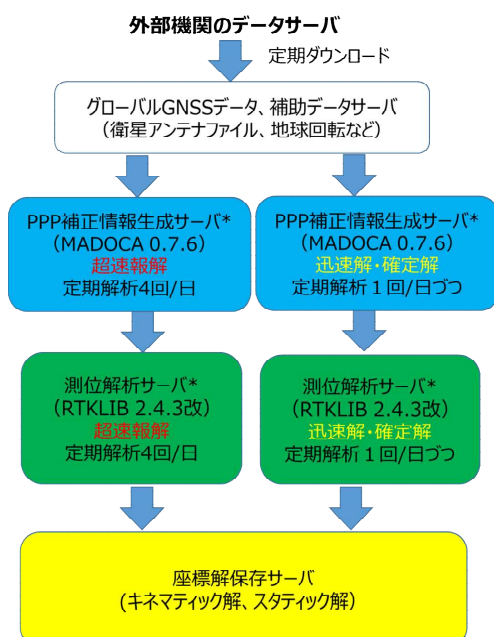
- ・解析システムの構築
- ・システムのチューニング

Slide 7

STEP1: PPP後処理システムの構築

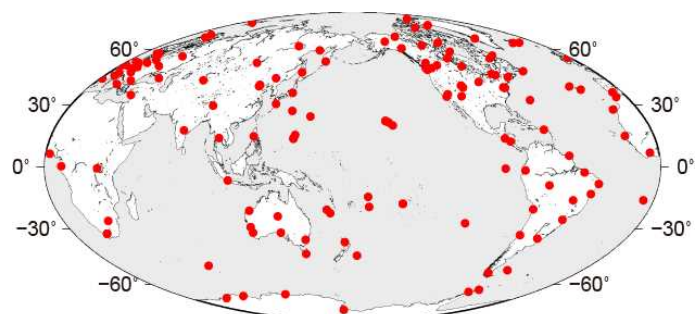
補正情報生成エンジンとして、PPP後処理キネマティック解析による精度評価などを踏まえ、宇宙航空研究開発機構(JAXA)で開発されたMADDOCAを選定し、システム構築・チューニングを実施

システムの構築

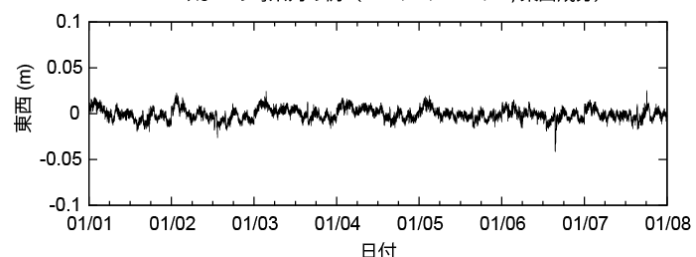


*PPP補正情報生成サーバ・測位解析サーバは現状では共用

使用した観測点の例（確定解）



つくば1の時系列の例（2014/01/01-01/07; 東西成分）



・チューニングにより安定的なPPP後処理キネマティック解析が可能になった

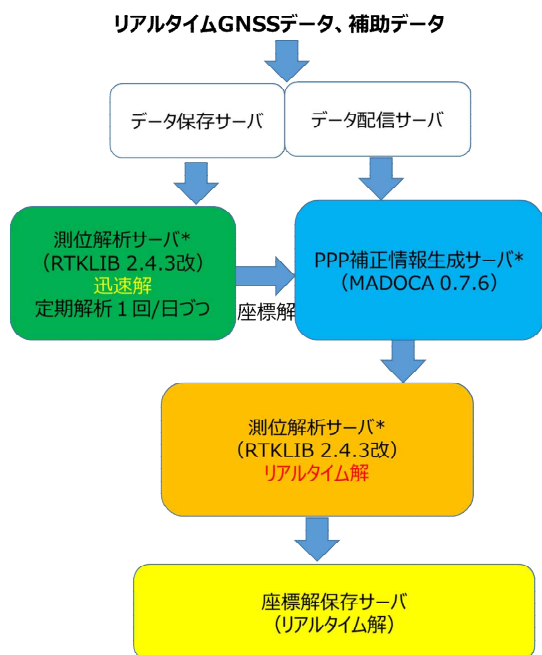
・マルチGNSS化、ARが効果があることが分かった（参考資料）

Slide 8

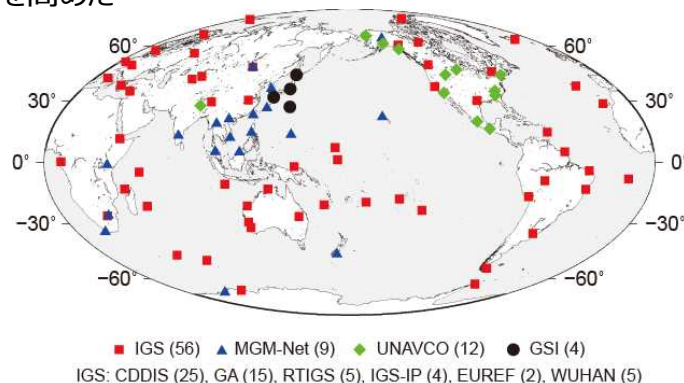
STEP2: PPPリアルタイムシステムの構築・評価

PPP後処理システムのチューニング結果を反映させつつ
PPPリアルタイムシステムを構築した

システムの設計・構築



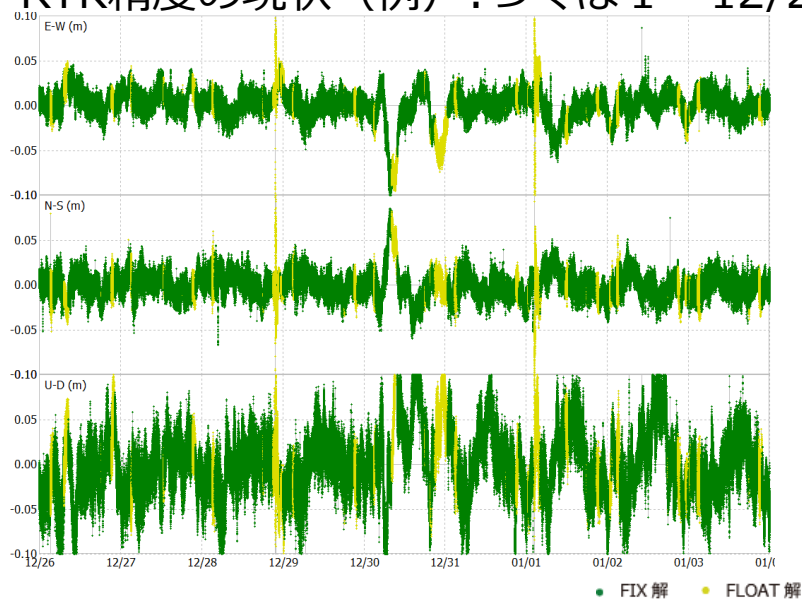
- ・GPSおよびGLONASSを受信している観測点を中心に選定
- ・リアルタイムデータ受信は不安定なため、**複数のデータサーバから受信**することで、受信観測点の減少による精度劣化リスクを軽減
- ・固定点座標についてPPP後処理キネマティック解析システムで**日々推定して更新**することで観測点座標の精度を高めた



Slide 9

STEP2: PPPリアルタイムシステムの構築・評価

● PPP-RTK精度の現状（例）：つくば 12/26-01/03



- *マルチGNSS (GPS+GLONASS)
- *ARあり
- * Fix率87.9%

リアルタイム解析のばらつき：(東西, 南北, 上下)(mm) = (17, 14, 36)

- ・目標精度（水平単成分のばらつきが2cm以下）を達成できる見込み
- ・今後100局程度の観測点でPPP-RTK解析を実施し、長期安定性等を評価予定

Slide 10

ARの効果の評価

解析戦略の違いによる座標解のばらつきの例

つくば1 (2017/12/26-01/03)

	東西成分(mm)	南北成分(mm)	上下成分(mm)
GNSS+AR	17	14	36
GNSS+NOAR	18	15	38

- ・ARの効果が見られる
- ・顕著な誤決定事例は見られなかった

Slide 11

当初目標の達成度

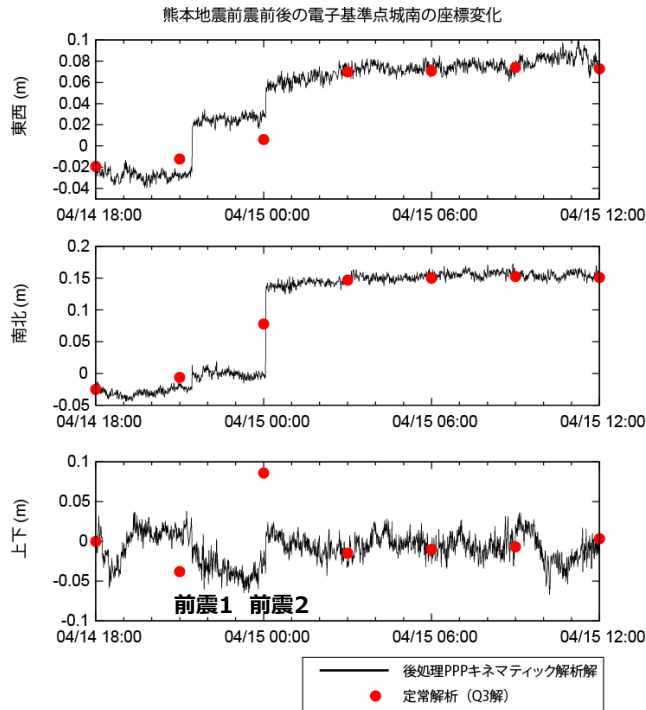
目標	実施内容
PPPリアルタイムシステムの完成	PPPリアルタイムシステムを構築した。補正情報生成エンジンとして宇宙研究開発機構で開発されたMADOCAを採用し、また、複数のデータサーバから提供される計90観測点程度のリアルタイムデータを用いることで、当初目標としていた水平単成分のばらつきで2cmという精度を安定的に達成できる見込みがたつた。

→ 目標達成の見込み

Slide 12

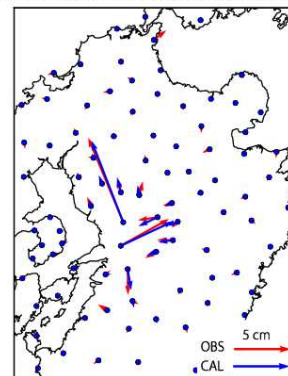
波及効果：PPP後処理システムの活用

PPP後処理システムを用いた地殻変動解析

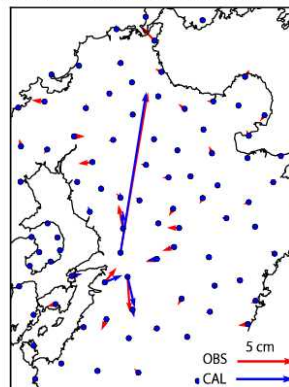


・定常解析(Q3解) では困難だった
前震1 (M6.5)と前震2(M6.4)
の分離が可能になった

4月14日21時26分に発生した地震による地殻変動(水平成分)



4月15日00時03分に発生した地震による地殻変動(水平成分)



Slide 13

成果活用の見込み

1. 本研究で開発されたPPPリアルタイムシステムは、南海トラフ地震に関する地殻変動監視機能の強化の一環として、測地観測センターが運用する **電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)** の堅牢性強化のために実装される
2. 本研究で開発されたPPP後処理システムは、今後対象観測点を他機関が保有する観測点（気象庁など）にも拡大した上で、地殻変動研究に活用される
3. 本研究で得られた知見は特別研究「迅速・高精度なGNSS定常解析システムの構築に関する研究」において活用される

Slide 14

・マルチGNSS解析については、現状のGPSおよびGLONASSに加えて準天頂衛星、Galileo、BeiDouなどを追加することで更に精度が向上し、PPP-ARの安定性が向上するという報告があり、引き続き検討が必要
(Geng et al. (2017), AGU Fall meeting)

Slide 15

謝辞

- ・本研究の実施にあたっては宇宙研究開発機構(JAXA)よりMADOCAソフトウェアの提供を受けた
- ・本研究で用いたオープンソース測位ソフトウェアRTKLIBは東京海洋大学 高須氏により公開されているものである

Slide 16

STEP1: PPP後処理システムの構築

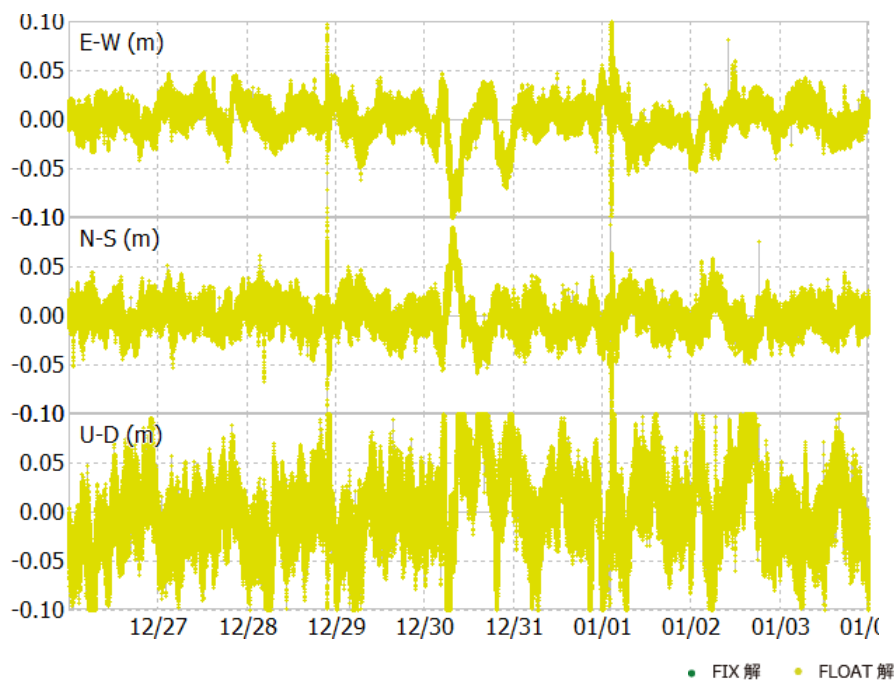
マルチGNSS化、ARの効果の評価

解析戦略の違いによる座標解のばらつきの例
つくば1 (2014/01/01-01/07)

	東西成分(mm)	南北成分(mm)	上下成分(mm)
GNSS+AR	6.4	8.0	14
GNSS+NOAR	7.1	8.1	14
GPS+AR	8.2	9.9	16
GPS+NOAR	8.9	11	17

- ・マルチGNSS化の効果が顕著
- ・ARも若干の効果が見られる

● PPP-RTK精度の現状（例）：つくば1 12/26-01/03

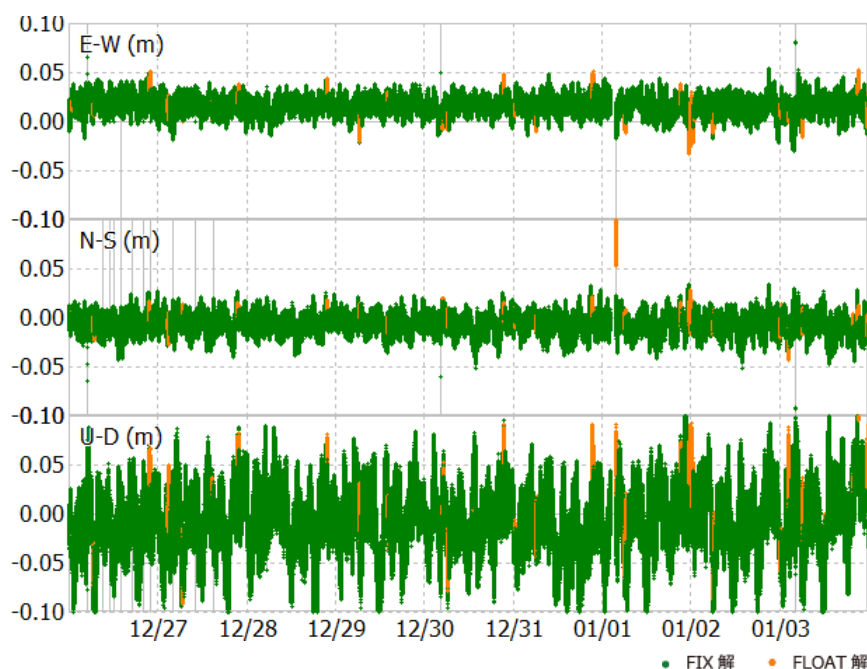


*マルチGNSS
(GPS+GLONASS)
*ARなし

リアルタイム解析のばらつき：(東西, 南北, 上下)(mm) = (18, 15, 38)

Slide 19

● REGARDの現状（例）：つくば1 12/26-01/03



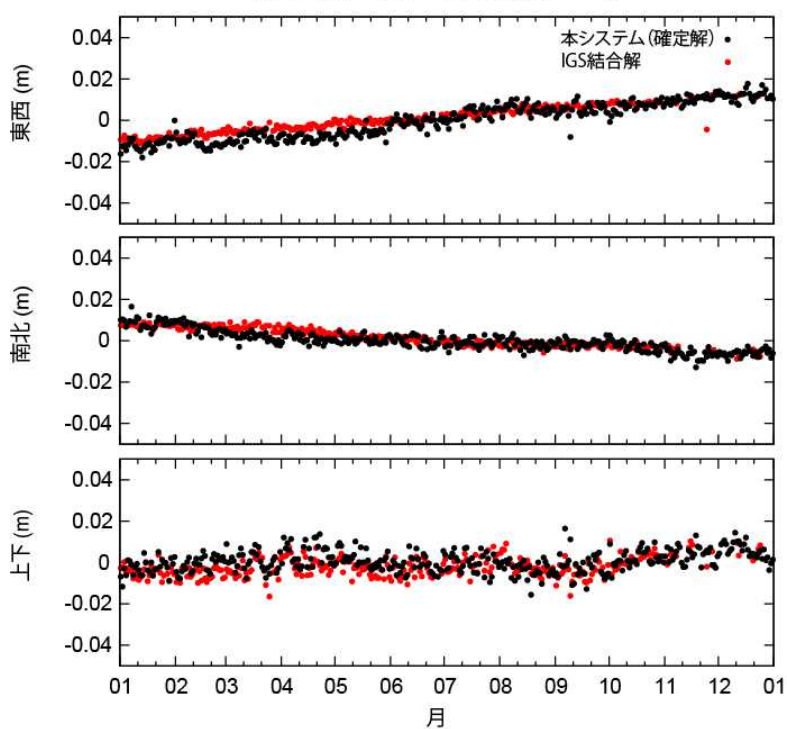
*マルチGNSS
(GPS+GLONASS)
*ARあり
*Fix率97.2%

リアルタイム解析のばらつき：(東西, 南北, 上下)(mm) = (10, 9, 32)

Slide 20

長期的な座標解の安定性の評価

電子基準点つくば2Aの座標変化(2015年)



- ・ IGS結合解と整合的な座標解（一日値）の推定が可能

Slide 21