

災害に強い位置情報の基盤（国家座標） 構築のための宇宙測地技術の高度化に 関する研究

国土地理院 地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室 宮原伐折羅
令和元年 7月

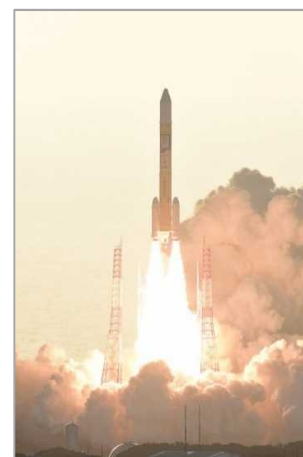
1. 新規課題提案

衛星測位の精度・リアルタイム性の向上

準天頂衛星システム「みちびき」

- 自己完結的な測位衛星システム（日本版GPS）
- サブメータ級測位補強サービス
- センチメータ級測位補強サービス

2017年10月に4号機打ち上げ
2018年11月から本格サービス開始



三菱重工/JAXA



民間によるGNSS測位サービス

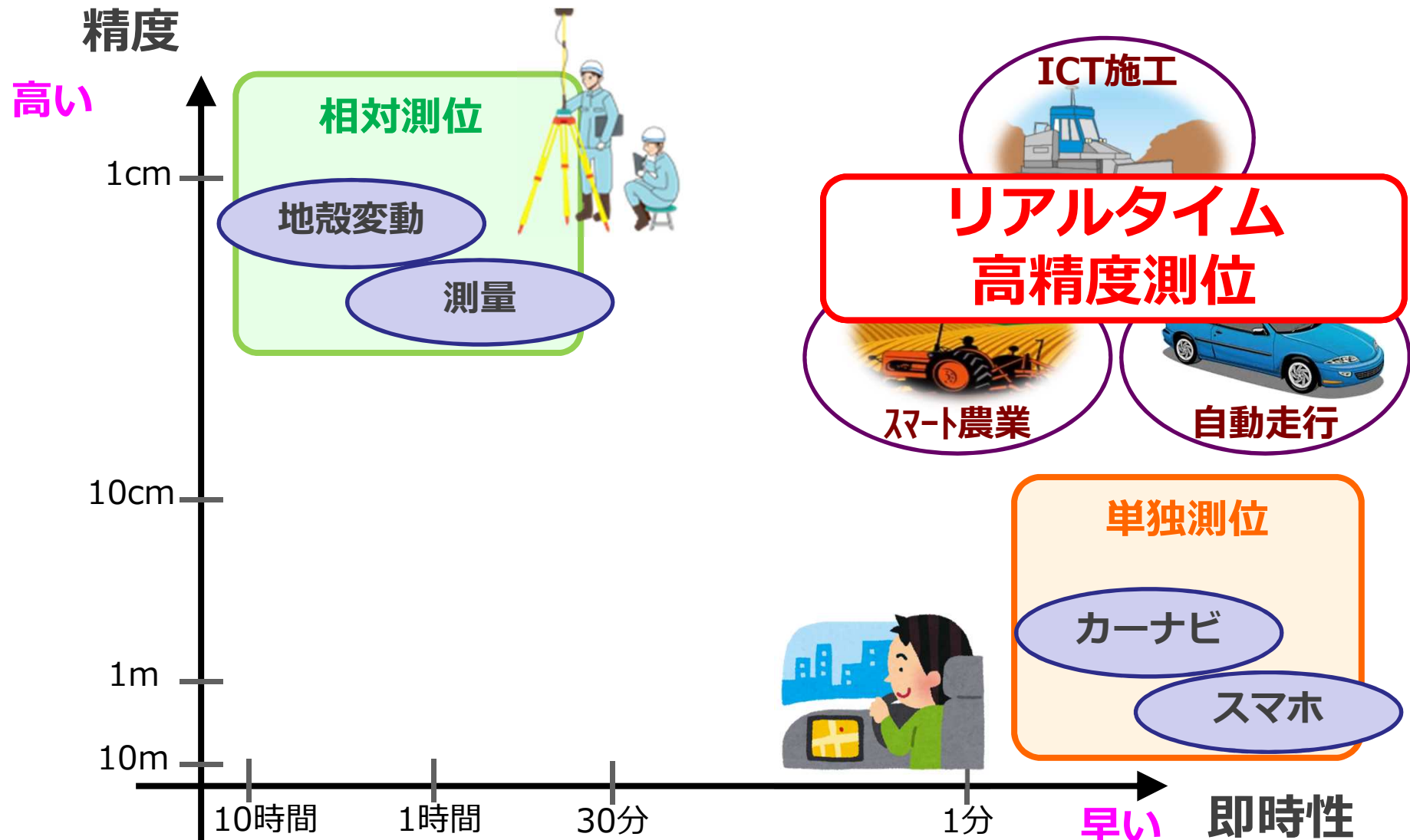
- 複数の民間事業者がサービスを開始
- 精密単独測位（PPP）やネットワーク型RTK
- ほぼリアルタイムで高精度な測位が可能（測位精度:数cm）

➡ **衛星測位によって、数cmの精度で迅速に位置を得ることが可能に**

- それぞれが独自の仕組みを構築し、測位サービスを展開
- 仕組みの異なるサービスの混在による測位のズレにより、混乱・トラブルを招く可能性

① 研究開発の背景・必要性

衛星測位によって、高精度な位置情報をより早く、より簡単に利用可能な社会に



Society5.0 : 内閣府「第5期科学技術基本計画」(平成28年閣議決定)

高精度な三次元の位置情報が未来社会を支える基盤となる



高精度な三次元の位置情報サービスで、様々なGNSS測位サービスが使用される社会



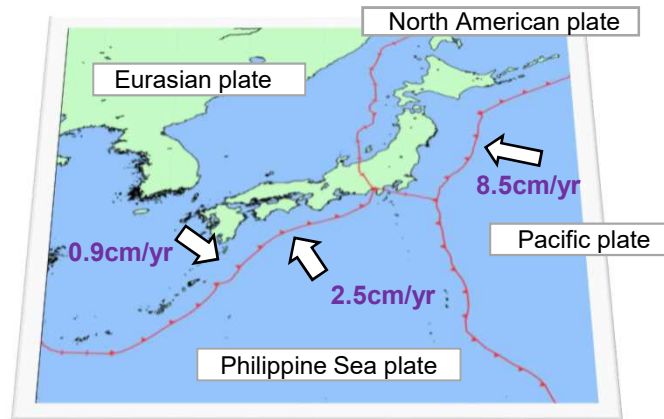
これらの測位サービスでは、地殻変動の補正などそれぞれが独自の仕組みを構築しているため仕組みの混在により、混乱を招く可能性



全てのGNSS測位サービスを互いに変換せず、ズレ無く迅速に利用するには、**日々の地殻変動に対応した位置を与える共通の仕組みが必要**

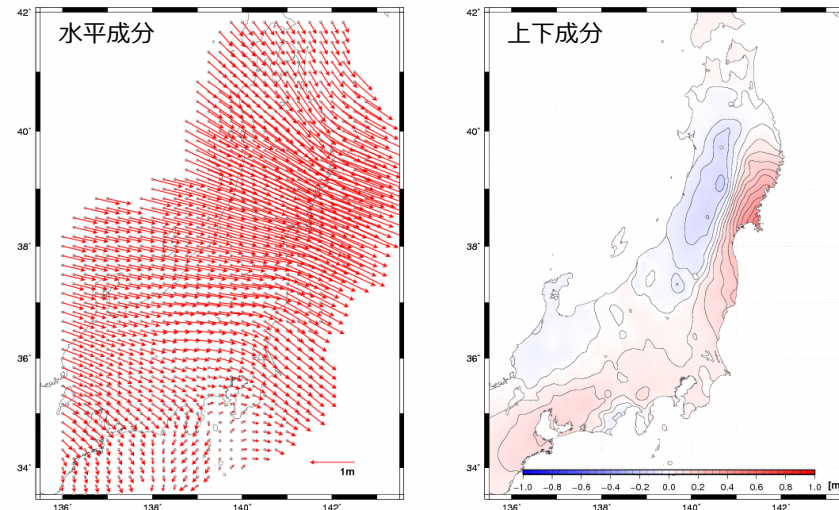
日本の地殻変動（位置の変化）

- 4つの活発なプレートが衝突
- 定常的な地殻変動が生じ、日々累積
- 地震や火山活動の要因



2011年 東北地方太平洋沖地震 (M9.0)

定常時の位置の変化 (GEONET)



地震時の位置の変化 (GEONET)

発生日	地震	最大変動量(cm)	
		水平	上下
2008/06/14	岩手・宮城内陸地震	153.3	208.0
2011/03/11	東北地方太平洋沖地震	539.5	-107.1
2016/04/16	熊本地震	98.0	24.0

位置は、日々少しずつ変化 (10cm/年) し、地震時には、m単位で変動が生じる

現状では、**国家座標の位置の変化を管理する共通の仕組みがない**

また、**地震後に国家座標を提供するために数か月を要している**

⇒ 測位サービスで数cm精度の位置を迅速に得るには、時間とともに変化する
4次元の位置情報を適切に管理できる仕組みが必要

※国家座標：測量の基準に準拠した経緯度、標高、平面直角座標等

国土地理院測量行政懇談会：

- 国土地理院長の諮問機関として、測量行政推進に資することを目的に学識経験者を委員として設置
- H29年度に**測位基盤検討部会**(委員長：佐田 達典(日本大学 教授))を設置し、衛星測位時代の共通の位置の基盤のあり方について議論

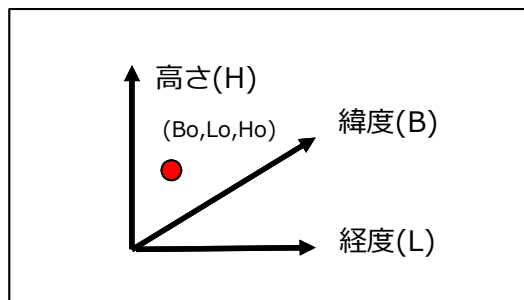
提言

「位置の基準（測地基準座標系）のあり方について」

～準天頂衛星システムが実現する高精度測位社会を支える～

社会的なニーズの高まりにあわせて、地理空間情報を任意の時期で管理する **4次元の測地基準座標系への対応検討が必要**

従来の測地基準座標系（3次元）

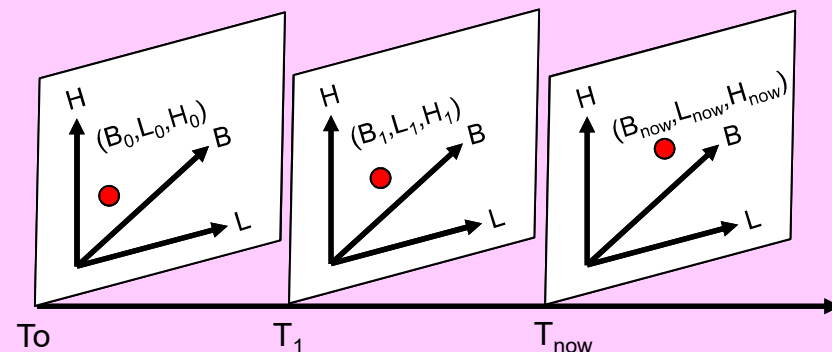


時間によらず常に一定



4次元の測地基準座標系

～測地基準系の時間変化を管理～



【目的】 4次元の測地基準系の構築には、

1. 地球形状（測地基準座標系）の詳細な時空間変化を正確に計測し、
2. 任意の時点の4次元の詳細な位置情報を迅速に利用できる手法・技術が必要となるため、そのための開発を実施

<従来>

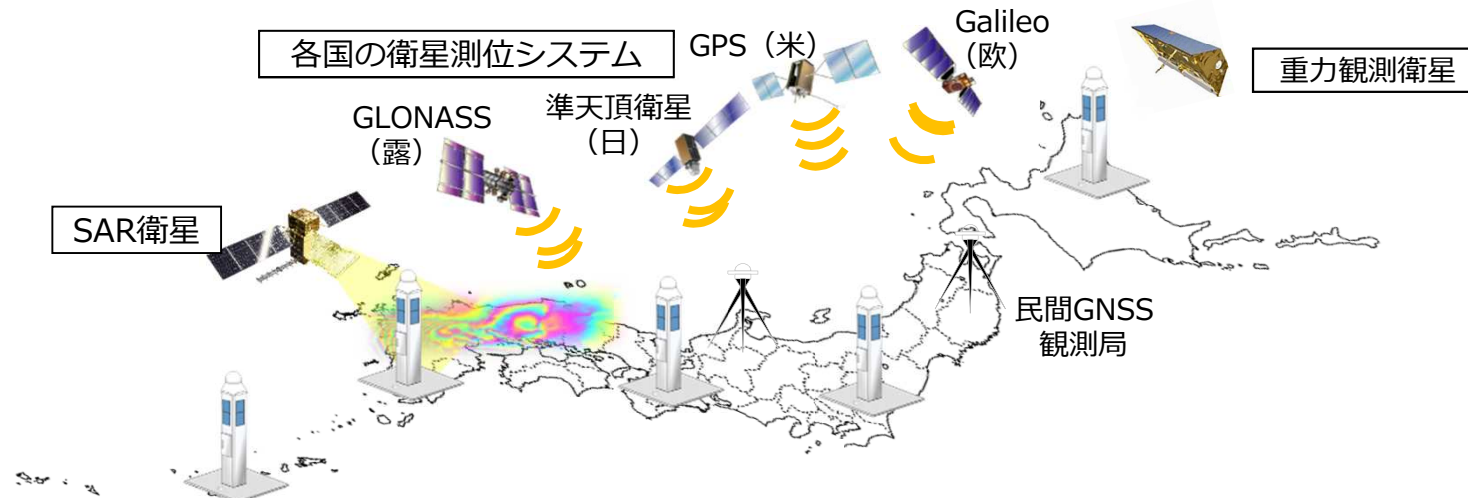
電子基準点及び標石基準点で、定常時・地震時の地殻変動を計測し、国家座標を維持管理。

課題Ⅰ：リアルタイム性が不足

複数の衛星測位システム(マルチGNSS)による精密単独測位(PPP)で迅速に電子基準点の位置を計測する技術を開発

課題Ⅱ：時空間密度が不足

SAR技術や民間GNSS観測局、重力データ等を活用して地殻変動の詳細な空間分布や標高の基準面（ジオイド）の微細な時間変化を計測・監視する技術の開発



【目標】

現在を含む任意の時点の国家座標を迅速に利用可能にする基盤を構築

- 当該研究開発と併せて、4次元の測地基準座標系のプロトタイプを構築
- 上記のプロトタイプにおける国家座標と変化（定常時・地震時）を迅速に計測・監視し、利用者に提供するシステムを開発

【迅速性と分解能の目標】

項目		従来	目標
迅速性	定常時	数週間	数日以内
	地震時	数ヶ月	数日～数週間※
空間分解能	定常時	20km	数km
	地震時	数km～20km	数百m

※ 対象地域の民間GNSS観測局の密度等による

③ 研究開発の内容

目標

任意の時点の4次元の国家座標と地殻変動量を迅速に外部へ提供するシステムの開発

研究開発要素

リアルタイム性の向上

1. マルチGNSS-PPPによる電子基準点の迅速な位置座標算出技術

空間密度の向上

2. SAR技術による電子基準点間の地殻変動計測・監視技術
3. 衛星重力データによるジオイドのモニタリング技術

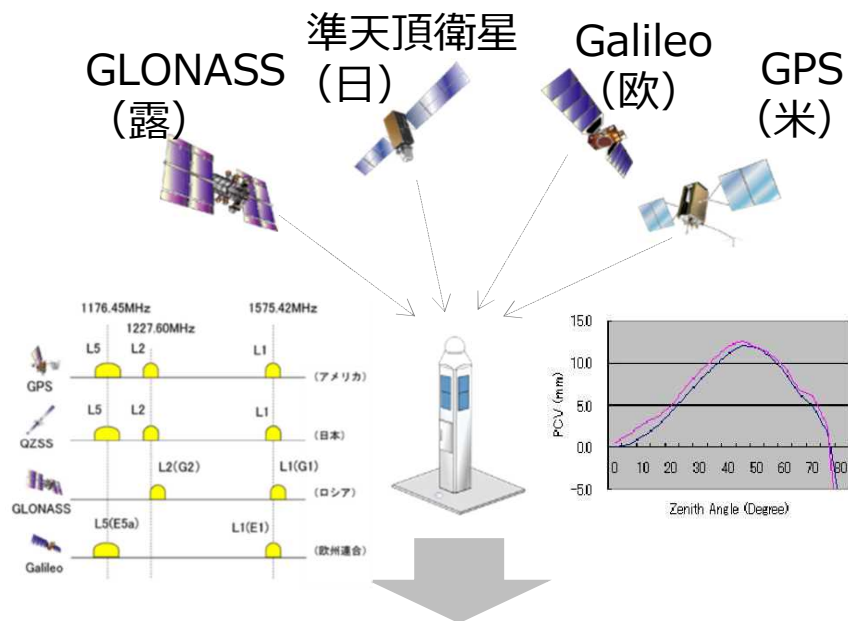


4. 民間のGNSS観測局及びSARデータを用いた地盤変動の詳細なモデル化

1. マルチGNSS-PPPによる全国電子基準点の定常解析技術の開発

新たな衛星系と周波数帯に対応した PPP解析手法

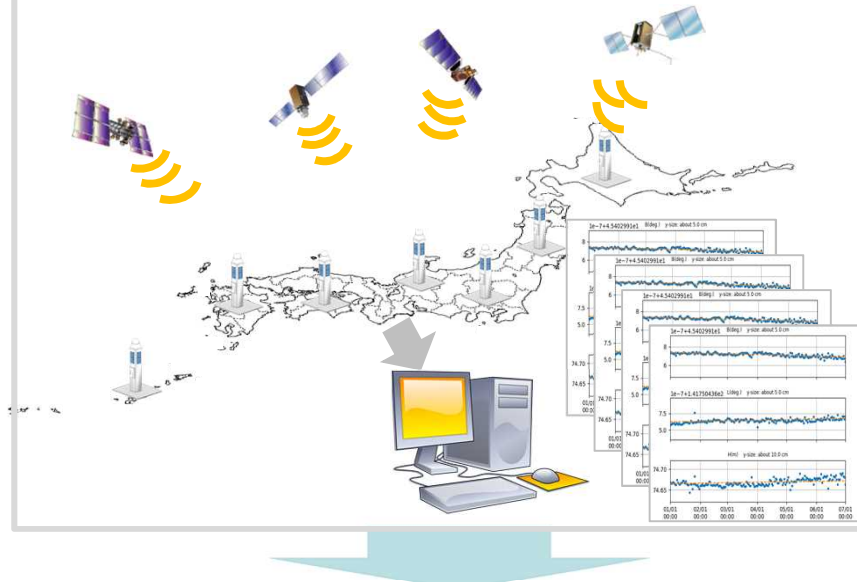
- 観測局のアンテナ位相特性モデル
- マルチGNSS化で導入する事項 (例)
 - 信号間・衛星システム間バイアス
 - 新たな周波数帯



位置決定の迅速性の向上

全国の電子基準点を定常解析する「マルチGNSS-PPPシステム」

- 全国の電子基準点の位置を迅速に決定
- 解の品質：PPP測位解と日本の測地基準座標系やGEONET定常解の乖離の評価、異常点判別

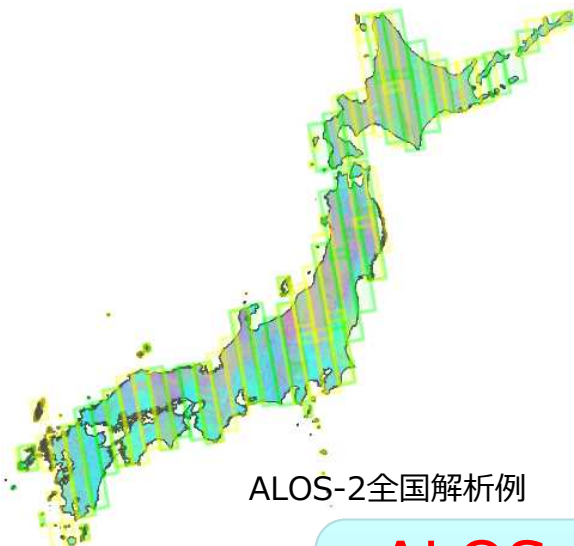


グローバルな基準座標系に準拠した電子基準点の位置を迅速に決定

2. SAR技術による地殻変動計測・監視技術の高度化

【定常時】

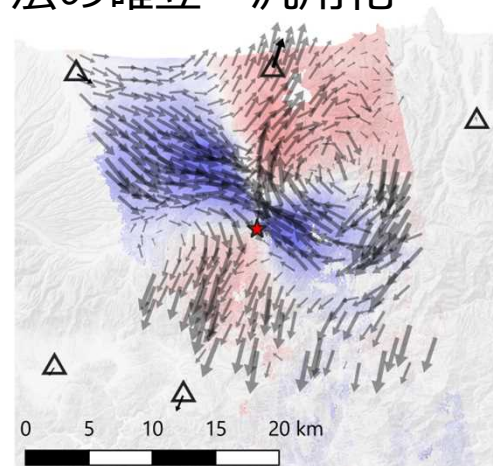
- **時系列解析** を定常的に日本全域網羅的に適用
- 解析手法の効率化・半自動化



ALOS-2全国解析例

【地震時】

- **3D-InSAR** による3次元変動場の詳細把握
- 解析手法の確立・汎用化



2016年鳥取県中部の地震

ALOS-4等の次世代SAR衛星

による膨大なデータをフル活用

【2014-】



ALOS-2

【2020-予定】



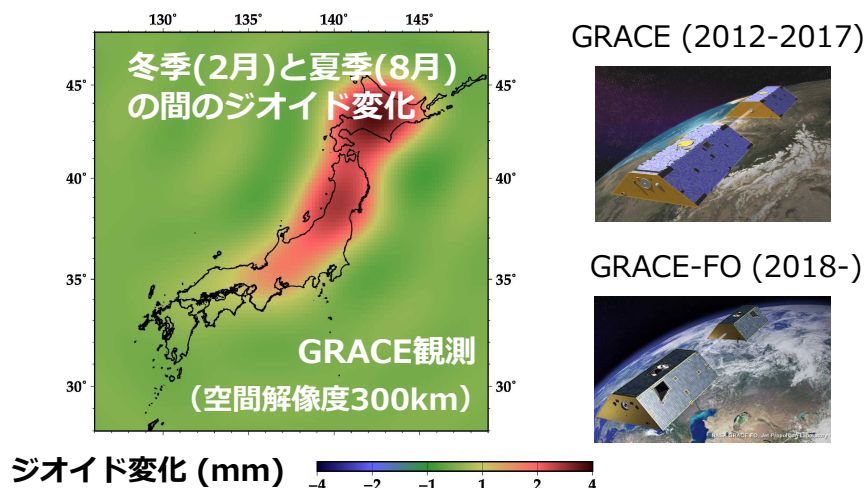
次世代SAR衛星
(ALOS-4等)

電子基準点間の変動を**高密度・高精度**に監視・計測

3. 衛星重力データによるジオイドのモニタリング手法の開発

【定常時】

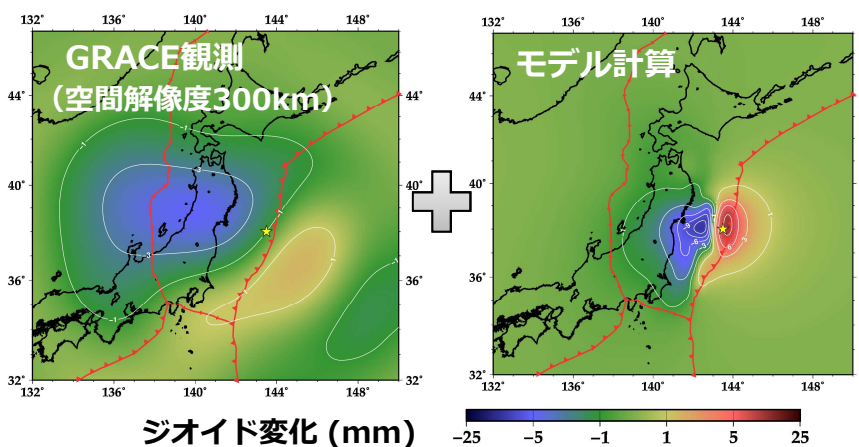
- 重力衛星GRACE-FOのデータを用いて、標高の基準面（ジオイド）の微細な時間変化を監視
- データの収集、時系列解析、評価を自動的に行うシステムを開発



【地震時】

- 地球物理モデルに基づく地震時ジオイド変化モデルの構築
- GRACE-FOデータとジオイド変化モデルの同化手法の導入

2011年東北地方太平洋地震によるジオイド変化



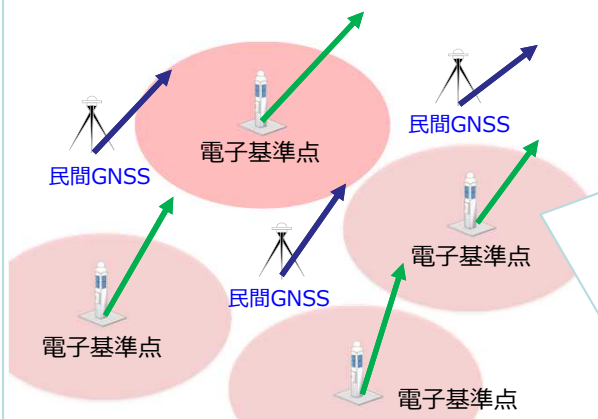
標高の基準面（ジオイド）の安定性を連続的かつ詳細に監視

4. SAR技術・民間GNSS観測局を活用した地表変動モデルの構築

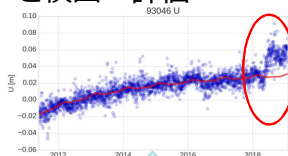
【定常時】

- 民間GNSS観測局データの精度評価
異常点の判別等に係る仕組みを開発
- GNSS解析結果の高さ成分の変動を
SAR技術で検証・評価する仕組みを開発

電子基準点のない地域は、民間等のGNSS観測局データを精査・解析し、地殻変動モデルに使用



SAR時系列解析から局所的な変動の有無を検出・評価

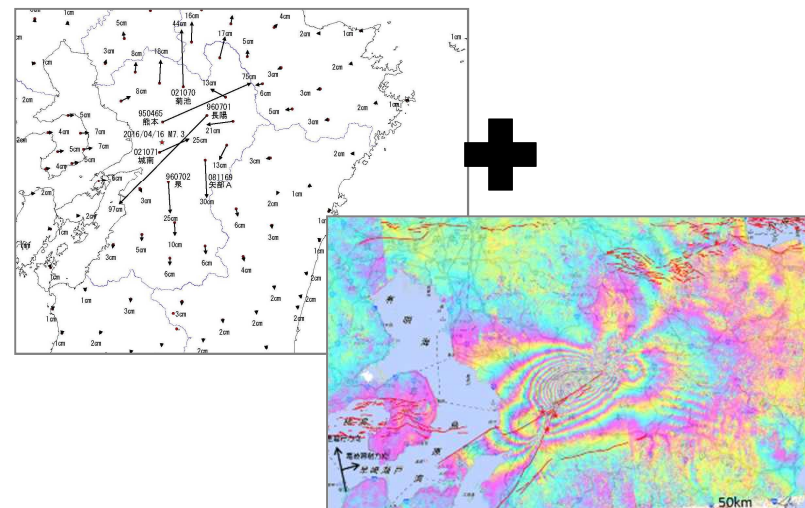


比較



【地震時】

- 3D-InSAR による3次元変動場と
電子基準点 (+ 民間GNSS観測局)
を用いた地表変動モデルを構築するシステムを開発



電子基準点の間の詳細な地殻変動を3D-InSARで補完し
地表変動モデルを構築

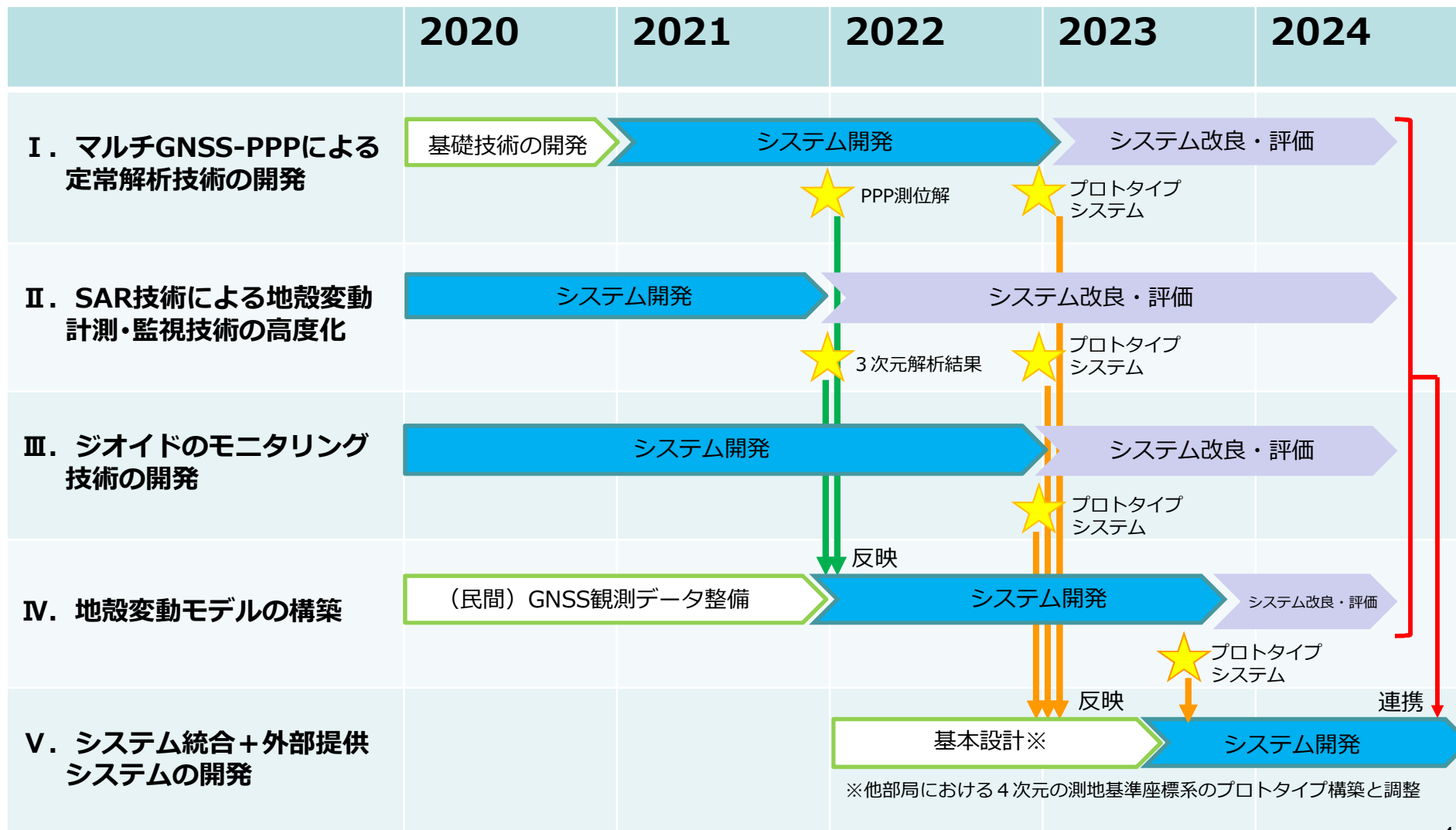
一定の基準日からの地殻変動（定常+地震時）を詳細かつ正確に再現する地殻変動モデルを構築

④ 研究開発の実施体制等

本研究は宇宙測地研究室が実施

【進行管理・統合】 室長（※統合に係るシステム設計等は、室長+主任研究官で実施）

【各要素技術の研究開発】 主任研究官 3 名、研究官 1 名で分担



⑤ 想定される成果と活用方針

【成果】 現在を含む任意の時点の国家座標や地殻変動量を迅速に利用可能にする
基盤を構築

＜提供システムのアウトプット＞

算出・提供情報	ユーザからのインプット情報
電子基準点のリアルタイム国家座標	電子基準点の指定
任意の位置・時間の国家座標	GNSS測位データ（RINEXファイル等）
任意の位置・期間の地殻変動量（変動後の国家座標）	位置座標・変動量算出期間

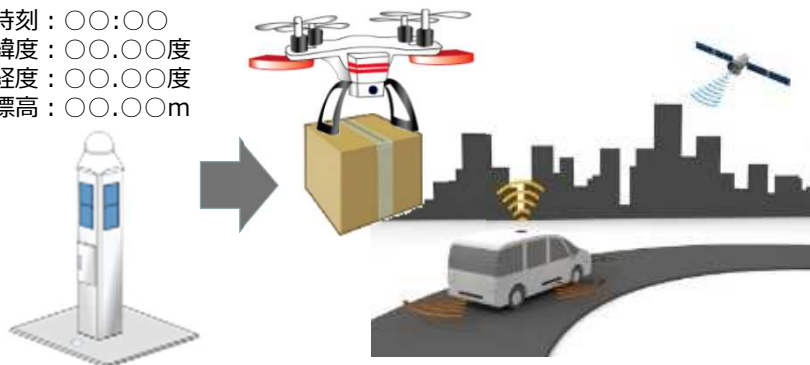
【活用方針】

現実の位置と測位・地図情報等を迅速につないで処理できる環境整備に貢献

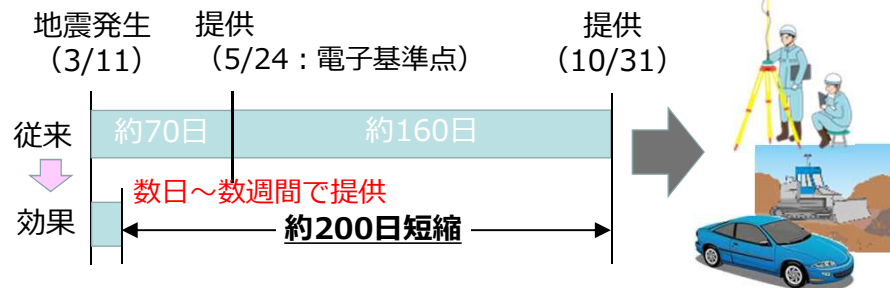
定常時：精密な基準座標系の維持・管理。リアルタイム高精度測位の拡大による新しい産業・ビジネスの拡大。PPP等の導入による測量作業の効率化。

地震時：地震後の正確な国家座標を迅速に提供
⇒ 早期の再測量
⇒ **復旧・復興工事が迅速化**

時刻：〇〇:〇〇
緯度：〇〇.〇〇度
経度：〇〇.〇〇度
標高：〇〇.〇〇m



＜東北地方太平洋沖地震の例＞



2. 事前評価

① 研究開発の方向の妥当性

「国土地理院研究開発基本計画」の重点課題の実施に不可欠

(参考：国土地理院研究開発基本計画)

① 高精度測位環境の構築に向けた研究開発：4次元測地基準座標系の構築

「地殻変動補正の実用化に向けた研究開発や、その更なる高度化に向けた研究を実施するとともに、新たな測地基準座標系の構築に向けた検討にあたり必要な研究についても本計画期間内に進める。」

④ 地球と国土を科学的に把握するための研究開発：地球形状とその変化の詳細な把握に関する研究

「衛星測位、干渉SAR、ジオイドなど高度化が進む測地技術を活用した時空間分解能の高い地球形状の把握に関する研究開発能力の向上を目指す。」

② 国内・国際的研究状況を踏まえての実施の妥当性

○ 国際的な潮流と整合

4次元の測地基準座標系の構築に向けた検討は、諸外国（米国、豪国、ニュージーランド等）で実施。国際会合でも報告あり。

○ 各研究要素に係る国内・国際的な研究状況とも整合

これまでの特別研究・一般研究により各要素の解析技術の知見を蓄積。他機関の取り組みにも整合。

③ 背景・必要性の妥当性

衛星測位の精度・リアルタイム性の向上＋日本周辺の地殻変動（定常時、地震時）

→ 民間等が独自の仕組みで高精度なGNSS測位サービスを展開する可能性

…ズレに起因する様々なトラブルや混乱が生じる可能性大



国が公的な立場から4次元の位置情報管理の仕組みを早急に構築する必要
⇒ そのための研究開発が必要

④ 目標設定の妥当性

社会情勢を見据えた妥当性

【定常時】 cmの精度を必要とする利活用分野では、スロースリップや火山変動などにより微細もしくは局所的な地表変動が電子基準点間で生じた場合でも把握が必要。

【地震時】 地震後の早期復旧・復興には、少なくとも数日～数週間以内に、正確な位置情報が必要。

目標達成の見込み

基礎技術（マルチGNSS-PPPや干渉SAR解析技術等）に関する先行研究の知見と成果を活用して研究開発を行うことで、目標とする迅速性、精度、空間分解能を達成できる見込み。

⑤ 国土地理院が実施すべき妥当性

- 国の機関が**公的な立場**から4次元の位置情報管理の仕組みを早急に構築すべき
- 基準座標系に関する**知見**と、その実現・維持・管理に関する高い**技術力**
- 測量法に基づき日本の測地基準座標系を定め維持してきた**実績**
- 位置の決定における重要インフラである**電子基準点やVLBIを運用**
- **国連の枠組み**に参加しており、**国際標準との整合**を担保することが可能

⑥ 内容、方法、実施体制の妥当性

- 開発要素①～④を各分野を専門とする主任研究官、研究官が担当
- 室長が統轄し、計画、進捗管理を実施
- 定型的な作業やシステムのGUI開発などは外注して効率化

⑦ 省内他部局等との調整の状況

- **測地観測センター**（GEONET運用業務）
マルチGNSS-PPPによる電子基準点の定常解析技術やプロトタイプシステムの開発及び評価に関する調整
- **測地部**（干渉SAR定常解析、セミ・ダイナミック補正、ジオイドモデルの構築業務）
SAR技術による地殻変動計測・監視技術の高度化やジオイドのモニタリング手法の開発、地殻変動モデルの構築や4次元測地基準座標系の構築に関する調整

⑧ 他省庁、異分野等との連携方針等

- **内閣府** : 準天頂衛星システムの利活用の促進
- **東京海洋大学** : マルチGNSSの解析ソフトウェアRTKLIB
- **JAXA** : GNSS軌道暦・時計情報の作成ソフトウェア、ALOS-2/ALOS-4の開発・運用・データ提供
- **一橋大学・情報通信研究機構** : 衛星重力データの解析ソフトウェア

⑨ 成果活用方針の妥当性

【定常時】

- 精密な測地基準座標系の維持・管理
- ビッグデータ等のリアルタイム処理において、収集時期（任意）の違いによるデータ間の位置のズレ（地殻変動の影響）の補正に活用
- 機械の自動運行（経路指示や運行状況確認）等において必要となる現実に即したリアルタイムの位置情報の提供

【地震時】

- 地震後の復旧・復興に係る再測量や工事に必要となる正確な位置情報として活用

正確な国家座標提供までの期間（従来）数ヶ月 ⇒（成果活用後）数日～数週間以内