

令和元年6月5日
第48回国土地理院報告会

国家座標と高精度測位 －地殻変動補正システムの構築－

測地部 測地基準課長
岩田 昭雄



- 背景
- 測量と測位で求められる位置の違い
- セミ・ダイナミック補正の概要
- 高精度測位情報の高度活用に向けて
- 取組施策
 - ～測量行政懇談会の提言に応えて～
- 3次元高精度測位社会を支える
- まとめ

明治期からの近代測量は、
角度の計測から距離の計測、さらに衛星電波を用いた計測へと進化

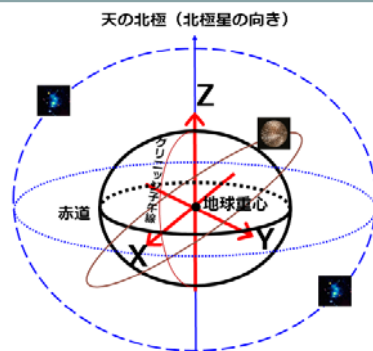


VLBI

国土地理院石岡測地観測局（茨城県）のVLBI観測施設では、宇宙からの電波を世界の複数の観測局とともに観測することで、位置の基準と日本の位置を決定し、プレート運動をmm単位の精度で捉えている。

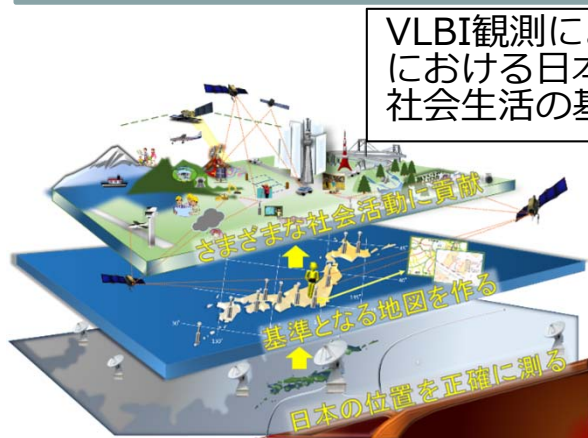
VLBI：超長基線電波干渉法（Very Long Baseline Interferometry）

地球の姿勢、位置の基準を決める



VLBI観測によって天の北極（Z軸）が正確に求まる。

日本の位置を決める



VLBI観測によって決まる地球上における日本の位置は、全ての社会生活の基盤となっている。



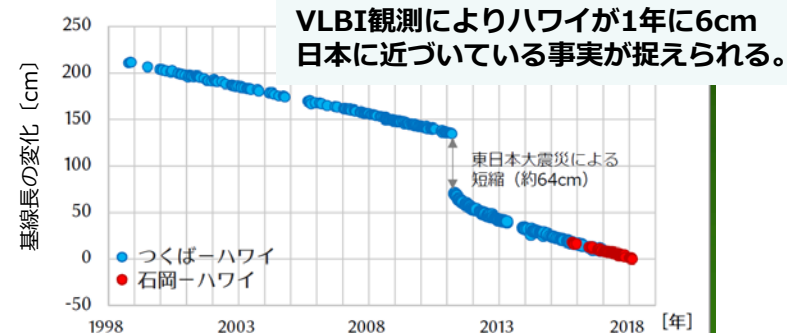
石岡測地観測局



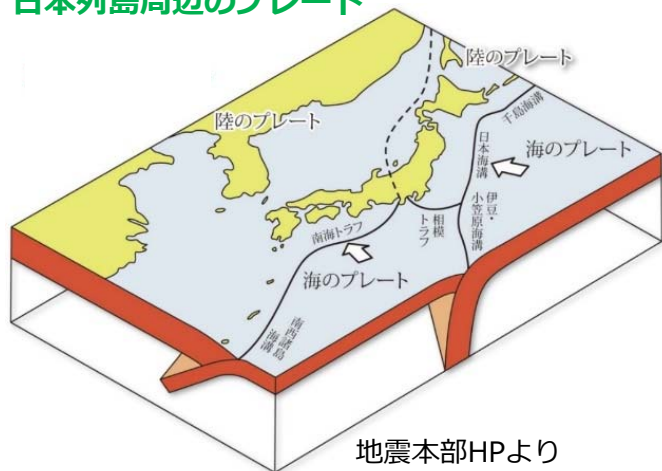
最先端の観測局は世界に6局だけ！

プレート運動を捉える

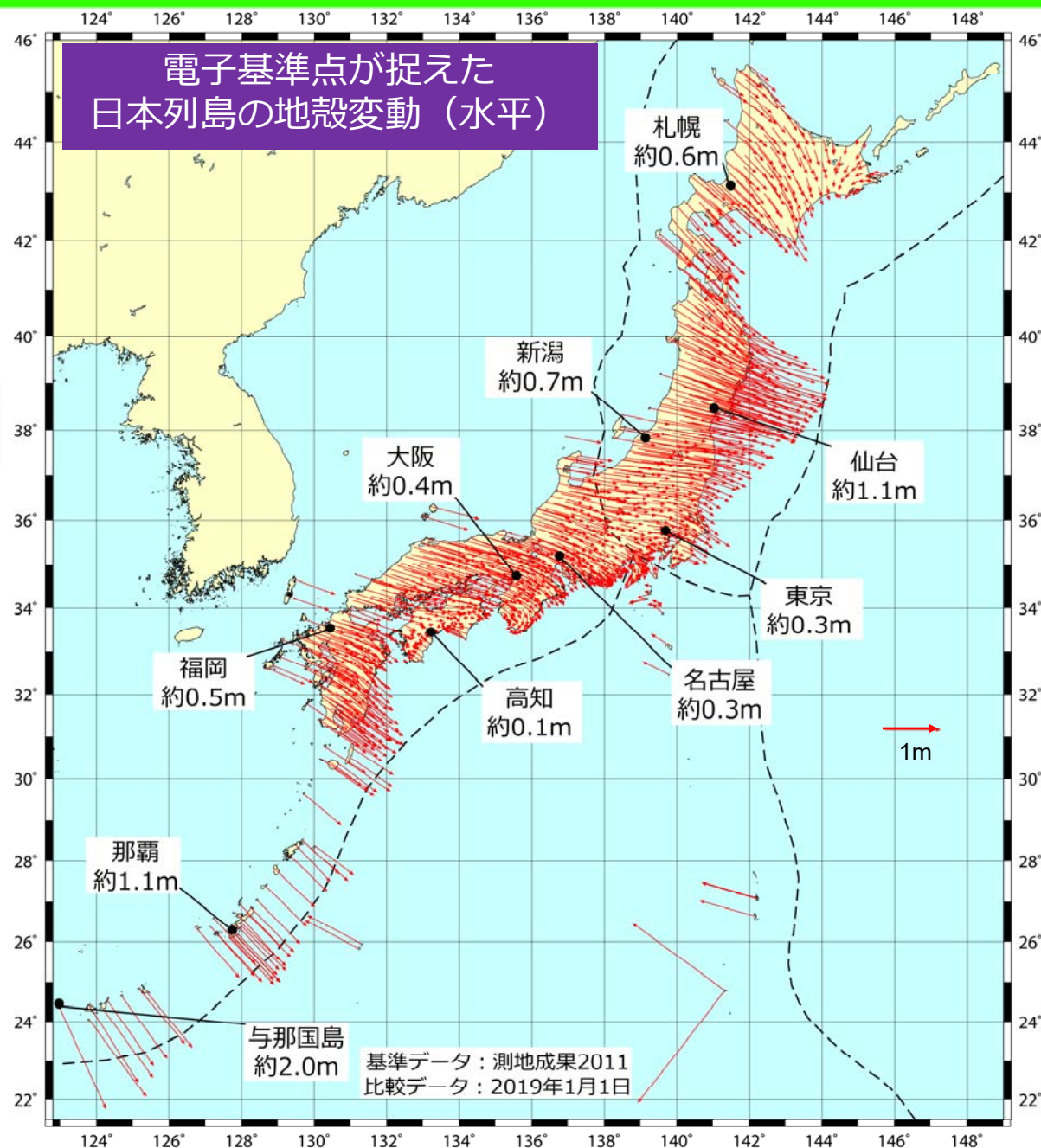
日本とハワイの間の距離の変化



日本列島周辺のプレート



- ◆ 地球はプレートと呼ばれる岩盤で覆われている
- ◆ 日本列島周辺では4つのプレートが衝突
- ◆ 定常的な地殻変動が発生



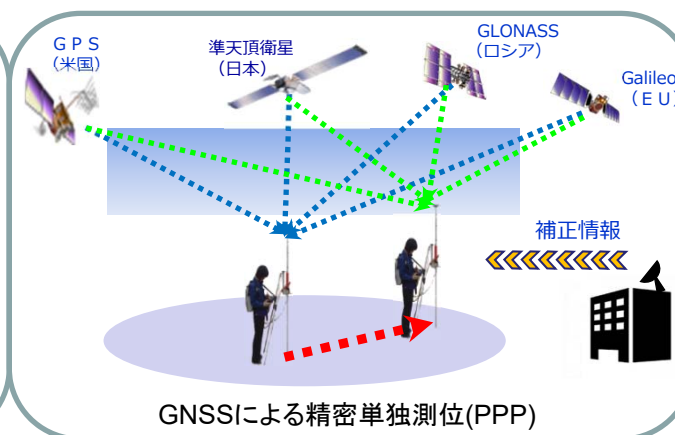
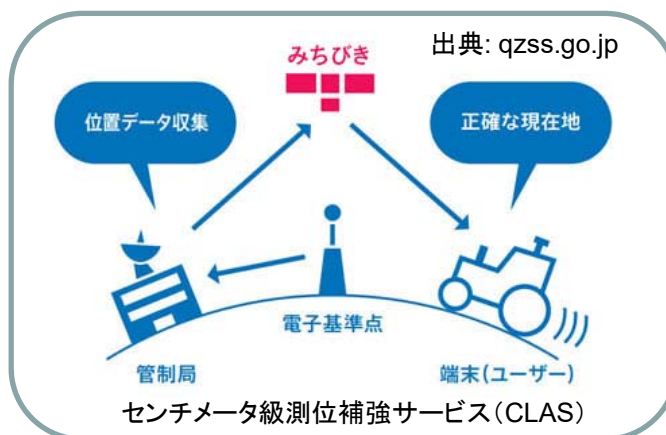
- GPSなどの衛星測位システムを用いた位置計測（測位）技術が普及し、現在では誰もが容易に位置情報を得ることができる
- 2018年11月、日本の準天頂衛星システム(QZSS)のサービスが開始され、より迅速かつ高精度な位置計測が可能となりつつある

衛星測位システム

- ・ GPSに代表される人工衛星から発射される信号を用いて位置計測等を行うシステム
- ・ 現在、GPS(米), QZSS(日), GLONASS(露), Galileo(欧), 等のシステムが整備されている
- ・ カーナビ、携帯電話、測量、地殻変動に加え、自動走行、ドローンによる物流、自動制御など様々な分野で利用

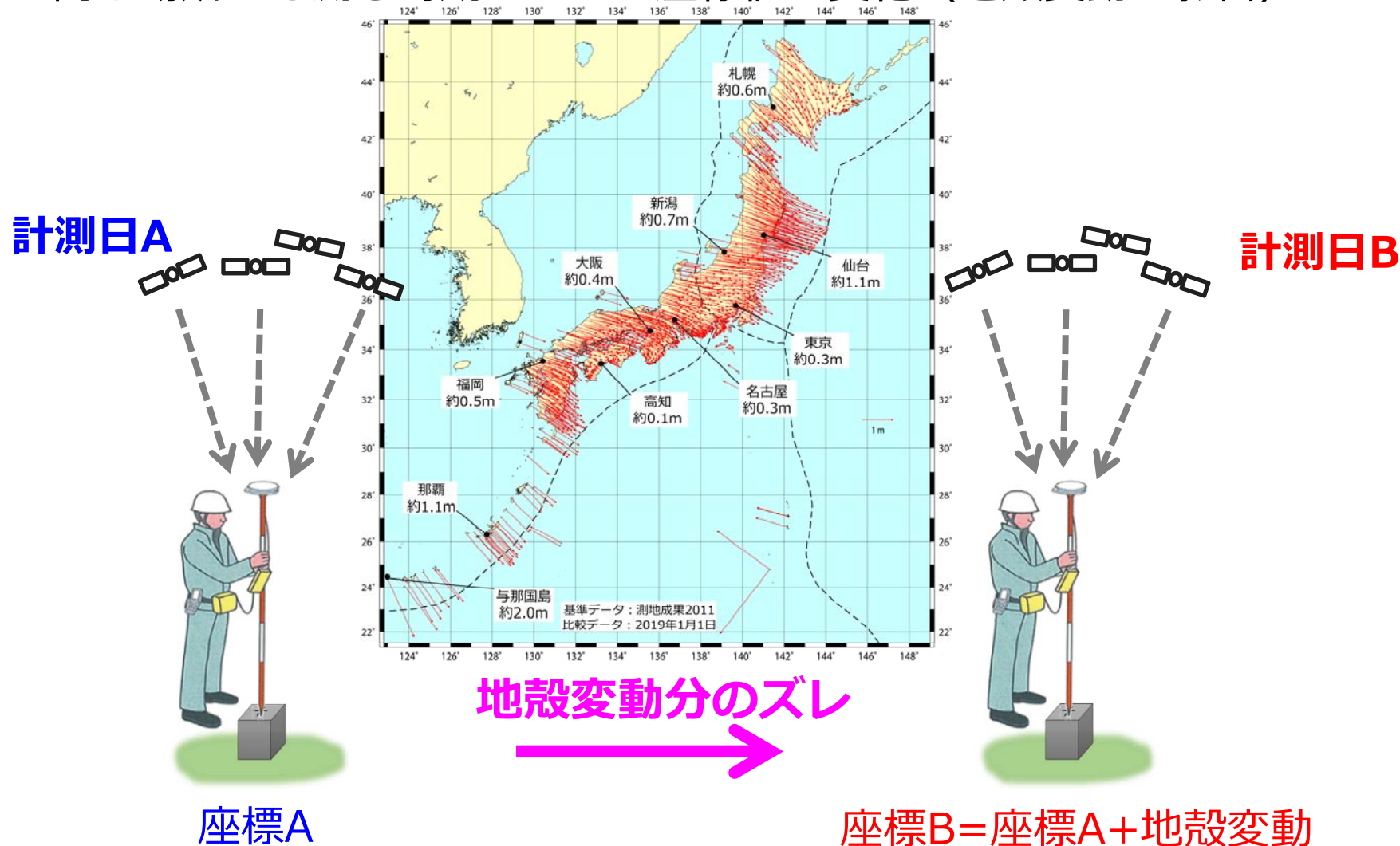


リアルタイム高精度測位技術



・ 地球重心を基準とした計測時点の絶対位置で表示

ー 同じ場所でも測る時期によって座標値が変化（地殻変動の影響）



・測地成果2011の位置（国家座標 ）で表示

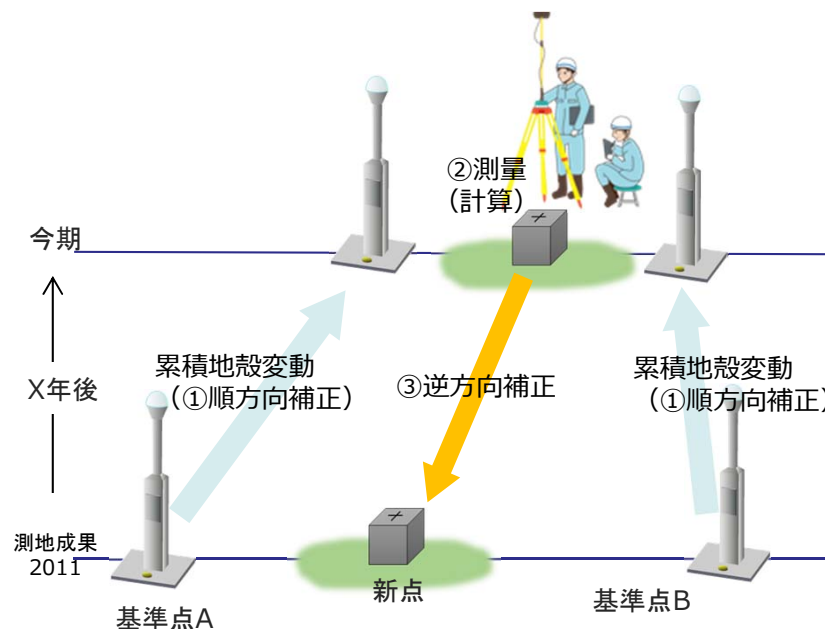
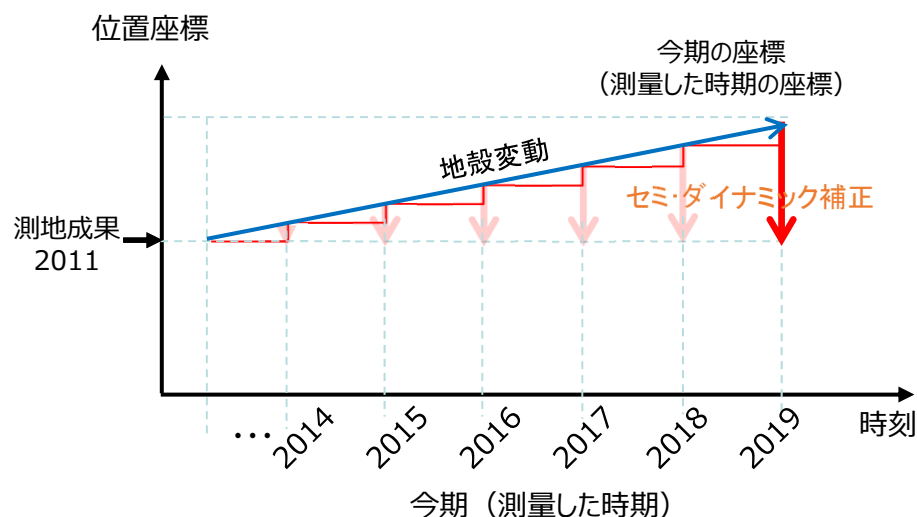
- －測量では相対的な位置関係を計測し順次位置を決定
- －位置の表示が時々刻々変化すると、社会経済活動の混乱や過度な負担

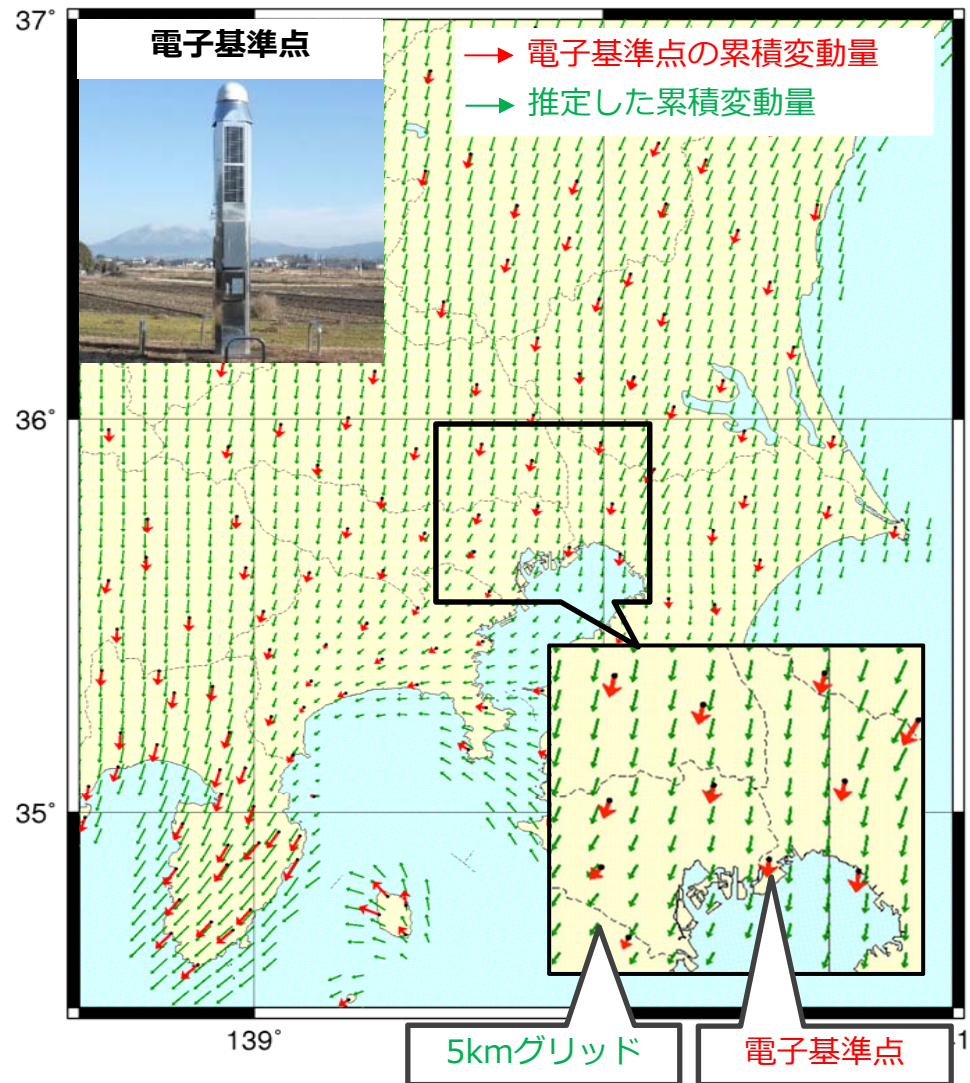


セミ・ダイナミック補正



- 基準点間の**相対位置の時間変化**（地殻変動によるひずみ）を補正
- **地殻変動補正パラメータ**を用いて観測日（今期）の座標から測地成果2011の座標を算出
- パラメータは全国の電子基準点の最終解（F3解）を用いて作成
- 現在は**1年に1回**当該年の1月1日に**更新**、**1年間同じ**パラメータを使用
- 双方向補正 → **パラメータの相対精度が重要**

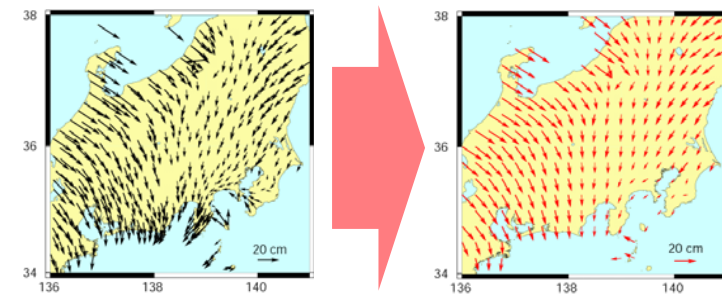




①電子基準点（約20km間隔）データを用いて測地成果2011からの累積変動量を計算

②日本全国を5km間隔で網羅するグリッド（格子線）を設定

③電子基準点の累積変動量から各グリッド点上の値を空間補間で推定

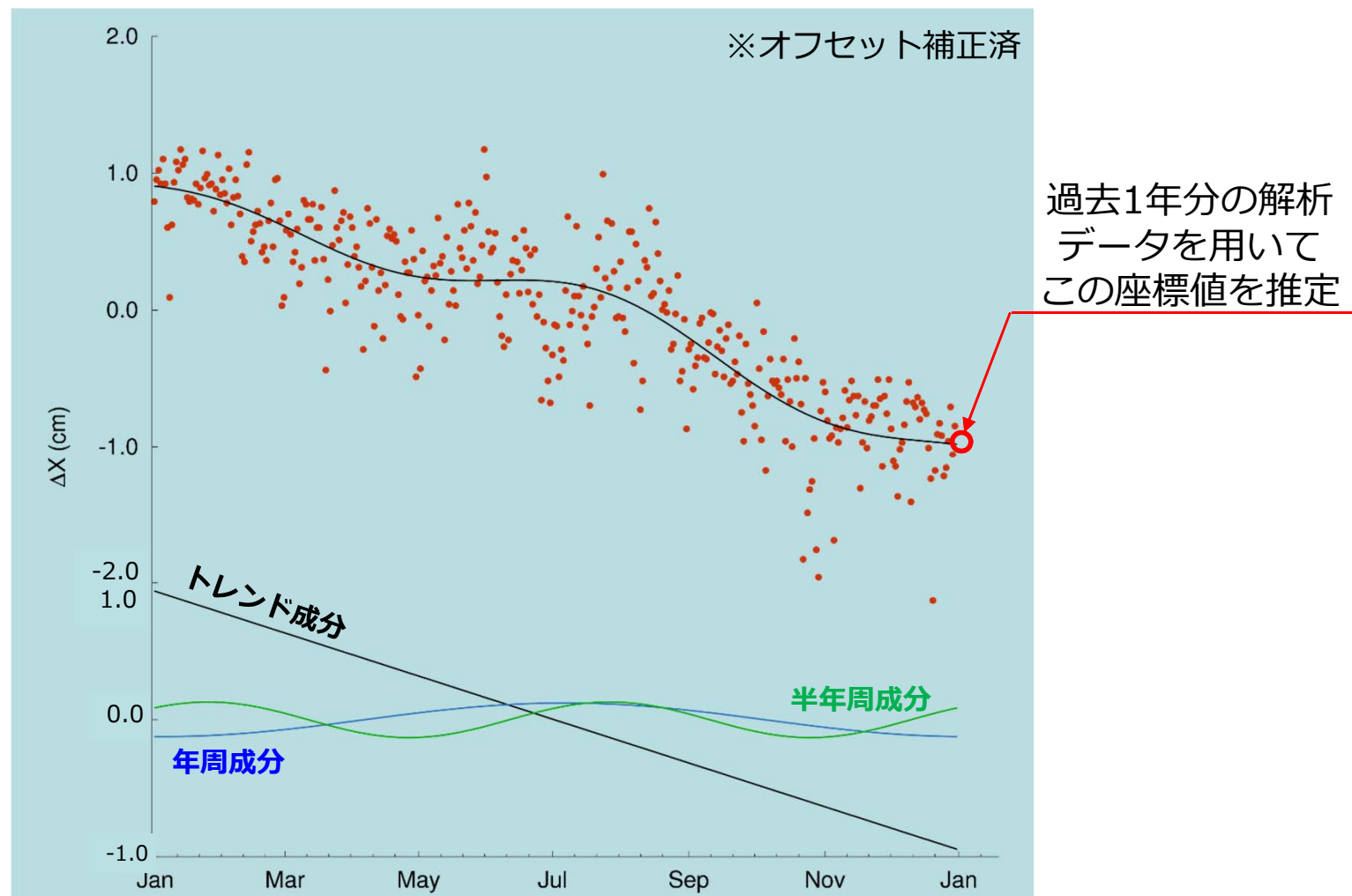


グリッド化

電子基準点の解析データを用いて測地成果2011からの累積変動量を計算

1年分の最終解（F3解）から今期の座標値を推定（モデル式を使用(X成分)）

$$X = (\text{トレンド成分}) + (\text{年周成分}) + (\text{半年周成分})$$



- ・ **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年度に行政懇談会の下に「**測位基盤検討部会**」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

【測位基盤検討部会委員名簿】

- ◎ **佐田 達典**（日本大学 教授）
- **大坪 俊通**（一橋大学 教授）
- 天野 肇**（ITS Japan 専務理事）
- 稲垣 秀夫**（地図調製技術協会 専務理事）
- 植木 睦央**（日本建設機械施工協会）
- 久保 信明**（東京海洋大学 准教授）
- 後藤 史一**（国交省 地籍整備課 企画官）
- 斉藤 和也**（日本測量調査技術協会 専務理事）



「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～

- ① 現状では位置座標を国家座標に揃えて用いることが妥当
- ② 測量分野で実用化されているセミ・ダイナミック補正を活用
- ③ 測位結果を正しく利用するための一般の理解促進も必要

（関係部分抜粋）

- リアルタイム高精度測位を活用した新サービスでは、位置計測により得られた位置情報を既存の地図等と適切に重ね合わせる必要がある



方法1 測位の結果を**国家座標**に揃える

- 既存の地理空間情報（地図等）をそのまま活用
- △ 衛星測位の結果に対して地殻変動の補正が必要になる

「測量行政懇談会」の提言

方法2 測量や地図の座標を**計測時点**で管理

- 測位結果をそのまま使える
- × 膨大な地理空間情報を常時更新する必要がある



社会への影響やコストから見てどちらがベストか？

「測量行政懇談会」の提言

③ 測位結果を正しく利用するための一般の理解促進も必要



測位分野における国家座標と地殻変動補正の重要性を分かりやすく解説した動画を作成

正しい位置なのにズれる？ ～ドラマで描く地図と位置情報の未来～
【国土地理院動画チャンネル】で公開中



本編はこちら



国土地理院 ドラマ

検索



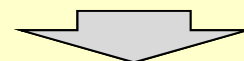
セミ・ダイナミック補正を応用した測位利用のための 新たな補正システムの開発に着手

地殻変動補正システムのイメージ



＜開発に向けたスケジュール＞

2018年度 関係者へのヒアリング
補正データ試作
テストサイト公開



2019年度 プロトタイプシステムの開発
システム提供開始



2020年度
以降 システム運用
継続的な改良
高度化対応

リアルタイム高精度測位を活用した新しいサービス・事業が登場

サービス・事業の種類	要求位置精度	実現時期
自動車の自動運転 	最も高いもので 5 c m 5 c mを設定して いる事業が大半	既に実施済みの事業もあるが、オリンピック・パラリンピックをターゲットに2020年からのサービスを掲げている事業が大半
I C T 施工 		
スマート農業 		
除雪(i-snow) 		
ドローン宅配（物流） 		

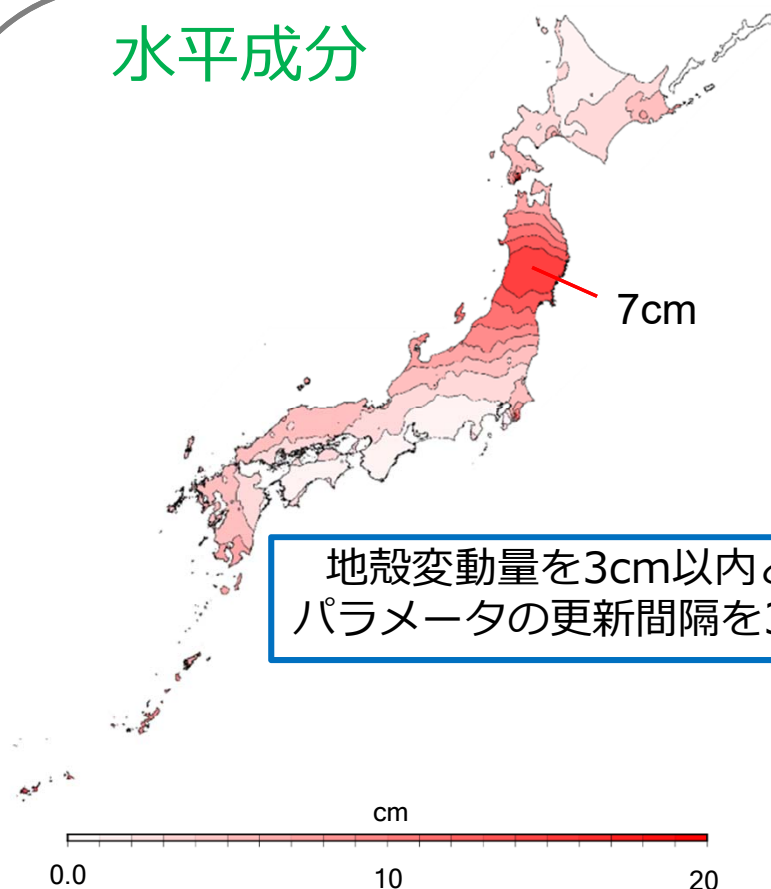
※ヒアリング実施機関からの情報

リアルタイム高精度測位で
要求される位置精度は5cm

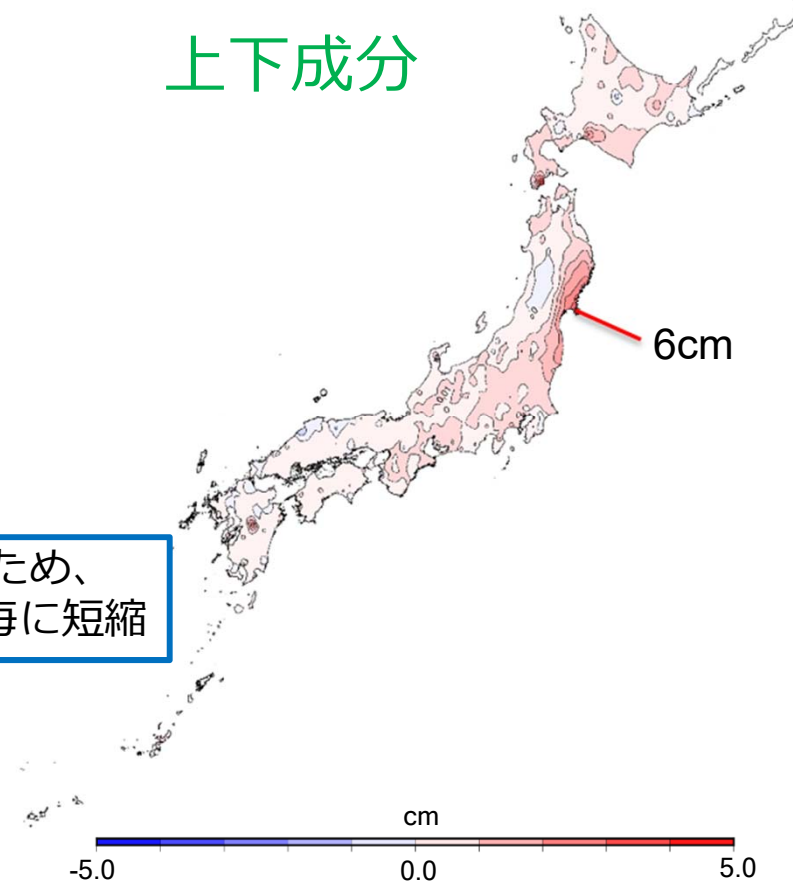
理想的な測位精度
3cmと仮定

地殻変動補正パラメータに求
められる正確度は3cm程度

水平成分



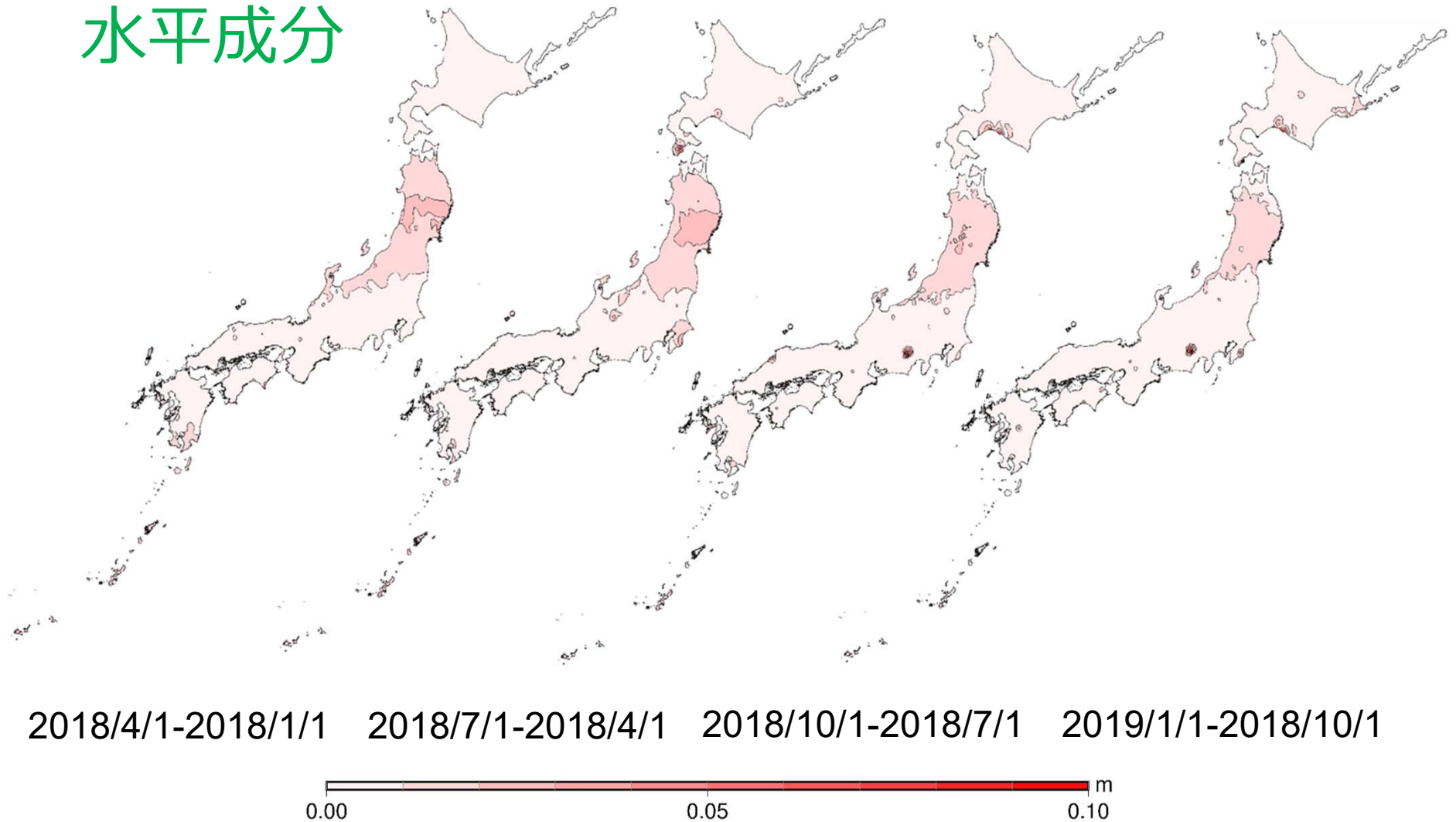
上下成分



地殻変動量を3cm以内とするため、
パラメータの更新間隔を3か月毎に短縮

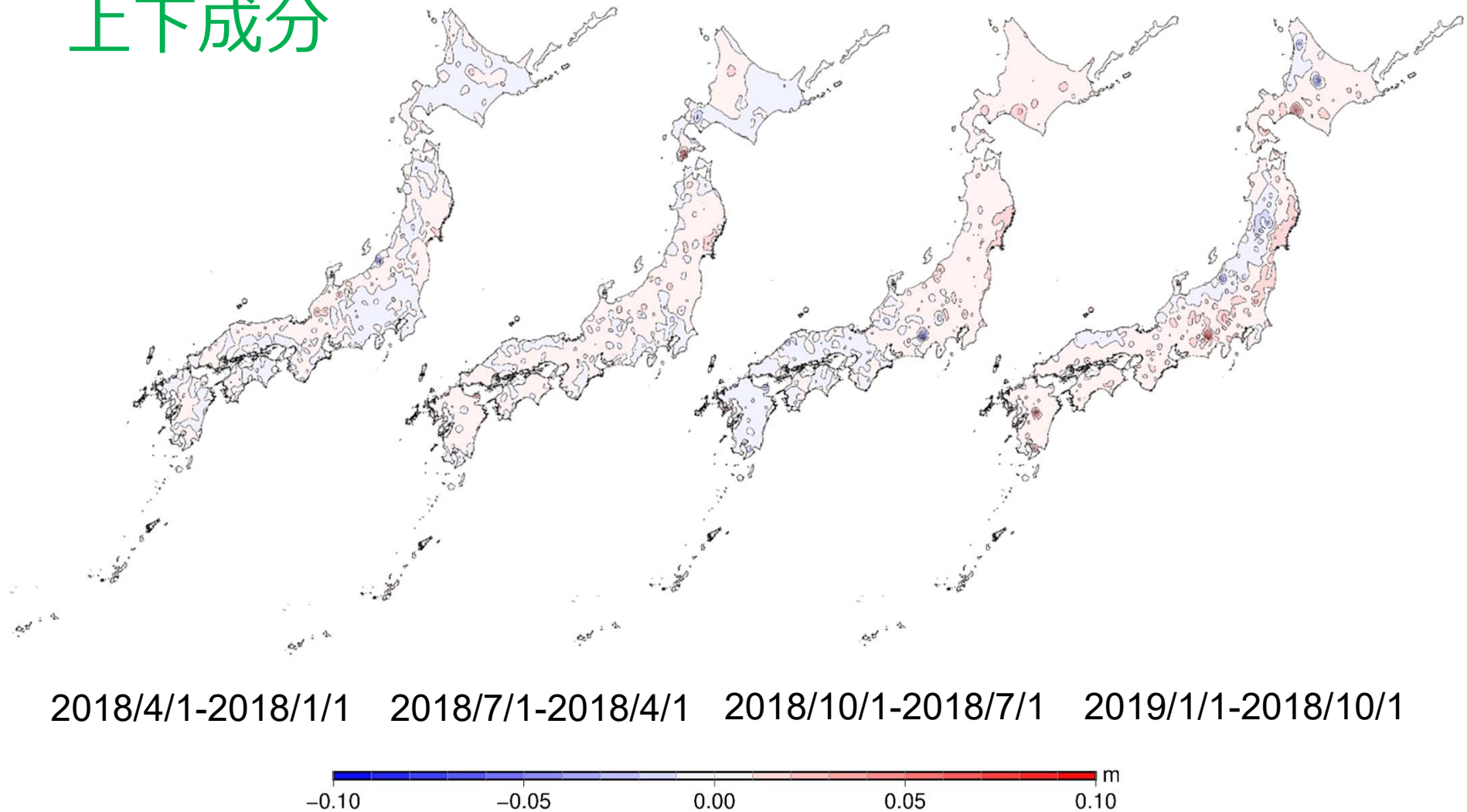
1年間の地殻変動（パラメータの差）
2019/1/1 - 2018/1/1

水平成分



3 か月間の変動量は一部の局所的な地域を除き3cm未満に

上下成分



3 か月間の変動量は一部の局所的な地域を除き3cm未満に

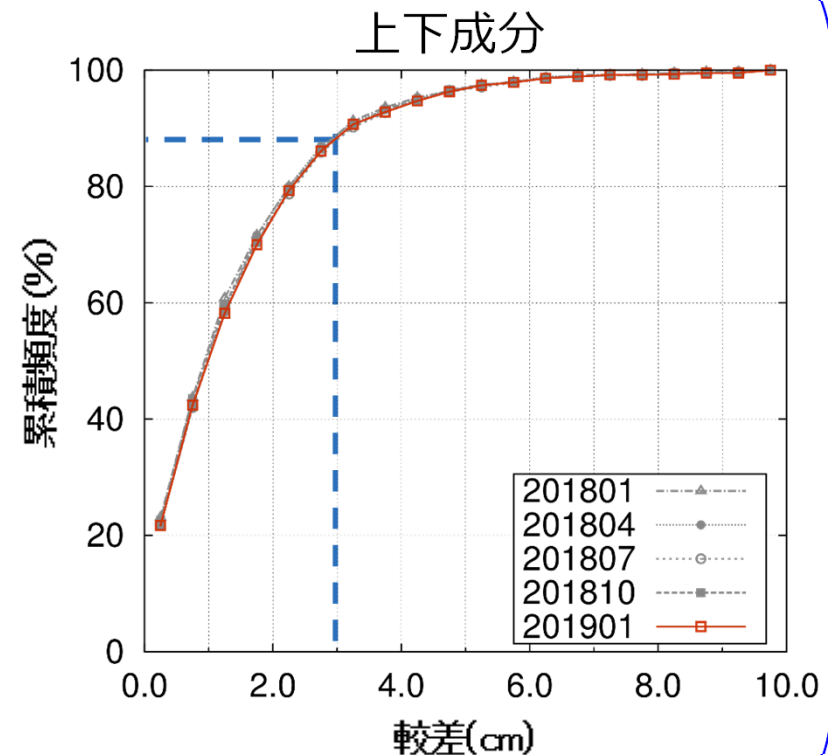
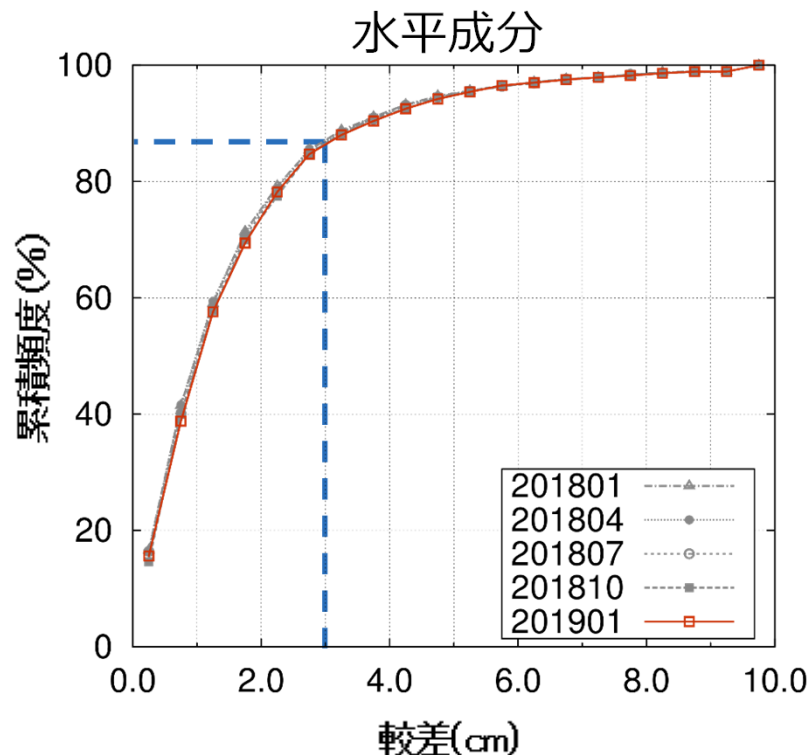
内部評価及び一点抜き交差検定(LOOCV)^{*}を実施

^{*}LOOCV:leave one out cross validation

内部評価（平均二乗誤差）：水平、上下成分とも5mm以下

LOOCV（平均二乗誤差）：水平、上下成分とも25mm以下

LOOCV累積頻度分布



較差3.0cm以内に全体の8割を超える電子基準点

地殻変動補正計算サイト（テスト版）のGUI

平成31年1月16
日からテスト公開

地殻変動補正計算サイト（テスト版） Ver.0.0.1

測位の結果に地殻変動の影響を補正し、測位結果と地図のズレを補正する地殻変動補正の計算を行う試験的なサイトです。

入力値

1点毎の計算

一括計算

使用するパラメータ ▼

入力・出力形式
☒ 緯度・経度 → 緯度・経度
☐ XY → XY
☐ XY → 緯度・経度 + XY

平面直角座標 ▼

入力ファイルの選択 参照...

ファイル名に日本語は使用しないでください。

☒ 入力値を出力する

- ・3か月毎に高頻度化した7期間の補正パラメータを格納（順次追加）
- ・補正パラメータファイルのダウンロード利用も可能

選択されたパラメータファイル

- ・パラメータファイル名：RollBack201810.par Ver.1.0.0
- ・パラメータファイルの説明

測位で得られた計測時点の位置を、既存の地図などの地理空間情報と整合させるためのパラメータです。

対象エリアは、日本全土（一部離島を除く）です。

補正パラメータ基準年月日：2018年10月 1日

補正パラメータ公開年月日：2019年 1月16日

適用期間：2018年11月1日から2019年1月31日までの観測で取得した測位結果を地図と整合させることができます。

- ・一括計算では測位結果の入力ファイルより測地成果2011へ補正したファイルを出力
- ・入力点数は30,000点まで処理可能
- ・REST API 機能による利用へも対応

- ・3か月毎に更新頻度を上げて試作した補正パラメータを用いて、ある時点の測位結果を国家座標に基づく位置に補正するテスト版計算サイトを準備
- ・事前登録のうえで、URLやログインパスワードをお伝えする限定公開方式
- ・セミ・ダイナミック補正のページ又は過去の更新情報にリンク付け

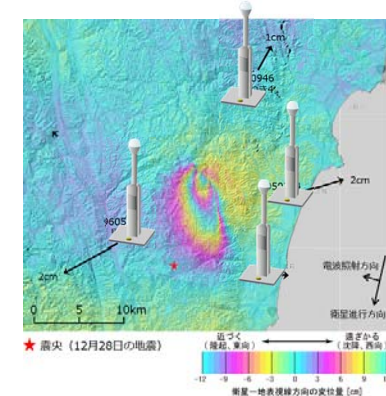
令和元年9月30日まで
公開予定

計算実行

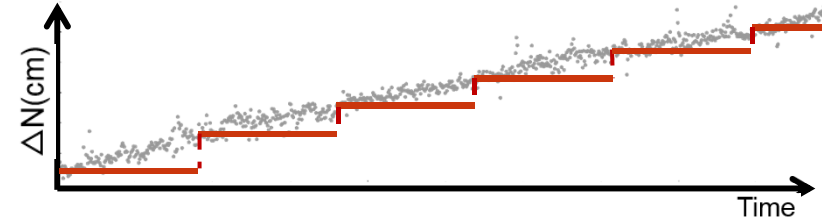
パラメータのダウンロード

パラメータ名	適用期間
RollBack201710.par.zip	2017年11月1日から2018年1月31日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。
RollBack201801.par.zip	2018年2月1日から2018年4月30日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。
RollBack201804.par.zip	2018年5月1日から2018年7月31日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。
RollBack201807.par.zip	2018年8月1日から2018年10月31日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。
RollBack201810.par.zip	2018年11月1日から2019年1月31日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。
RollBack201901.par.zip	2019年2月1日から2019年4月30日までの観測で取得した測位データを地図と整合させることができます。

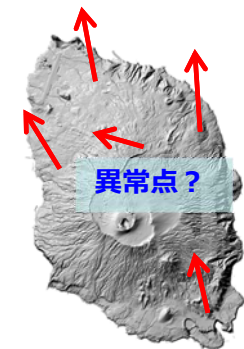
- ① **電子基準点の配点密度より細かい局所的な変動の検出・補正**
干渉SARを利用した地殻変動モデルの活用
民間等GNSS連続観測点の活用



- ② **予測値構築手法の確立**
有効期間内の地殻変動に伴う精度劣化を抑える手法を構築



- ③ **異常点の扱い**
採用・不採用の基準を精査
基準値を設けた自動処理システムの開発

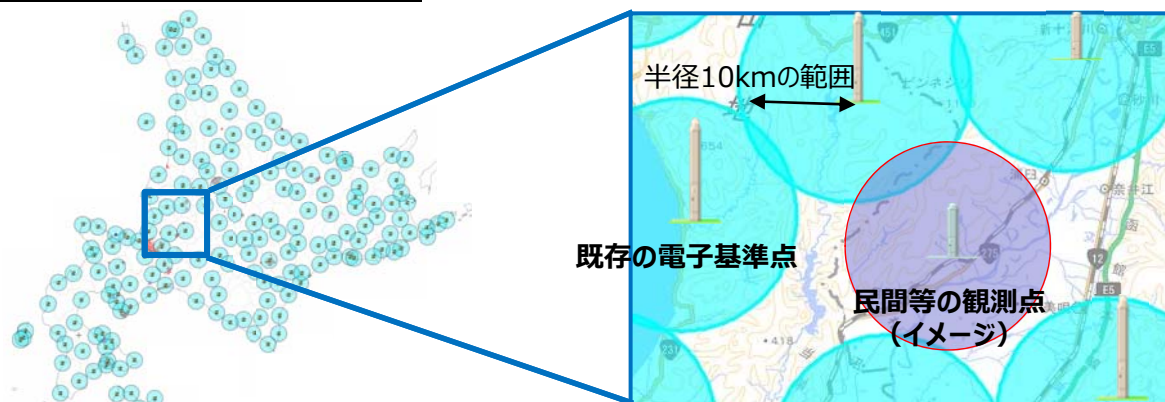


- ④ **地震時の地殻変動補正モデルの作成**
余効変動を考慮した予測モデル及び更新頻度の検討

測量行政懇談会の提言に応え

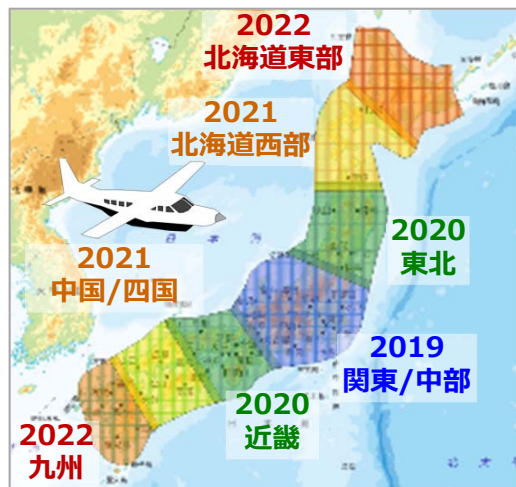
- ◆ 国家座標をベースとした安心安全な測位利用 **地殻変動補正システム**を構築
- ◆ 電子基準点網の充実 **民間等のGNSS連続観測点**の活用

電子基準点の半径10kmの円



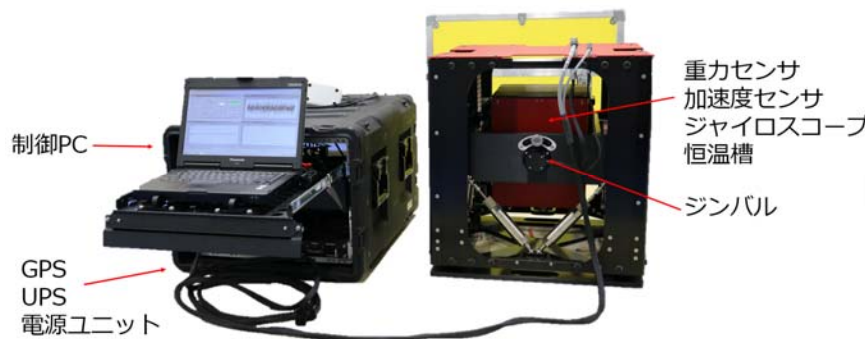
高密度化により、リアルタイム高精度測位の性能が向上するとともに、地殻変動監視の空間分解能が向上

- ◆ 標高計測の仕組みを大転換 **航空重力測量**の実施による精密重力ジオイドの構築



全国の航空重力測量実施計画

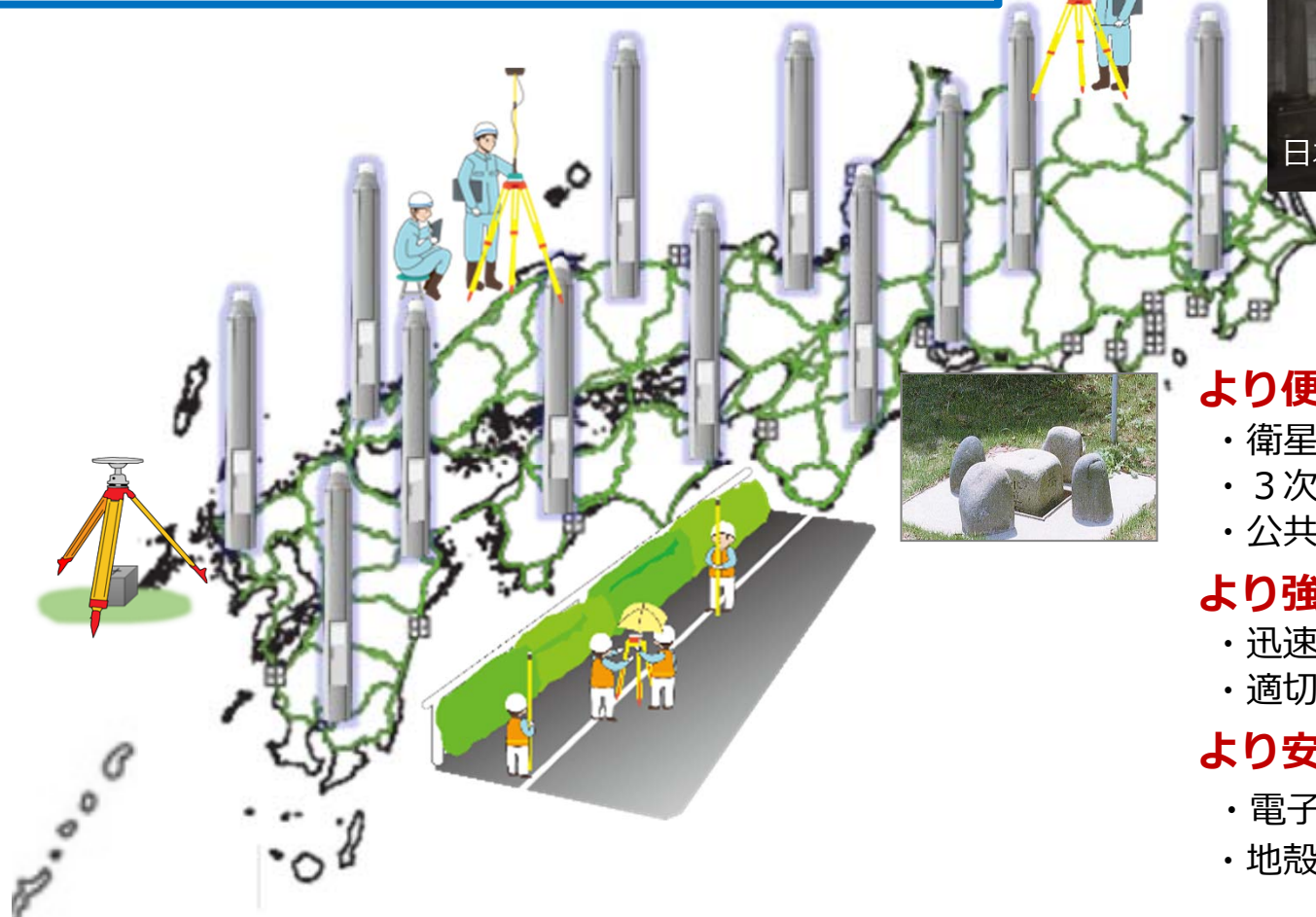
航空重力計 (TAGS-7)



「標高」の計測の仕組みを抜本的に見直し、衛星測位で迅速に標高が決まる社会を実現

参照：明治以来の標高の仕組みを大転換（第47回国土地理院報告会）

- 既存の水準点網と電子基準点網の統合
- 効率的な水準点の成果管理へ
- 水準点から離れた地域でもGNSS測量により簡単に水準点と整合した標高が得られる



水準原点を監視する「東京千代田」

より便利に

- ・衛星測位で誰でも標高を利用
- ・3次元位置を活用したサービス
- ・公共工事等での生産性向上

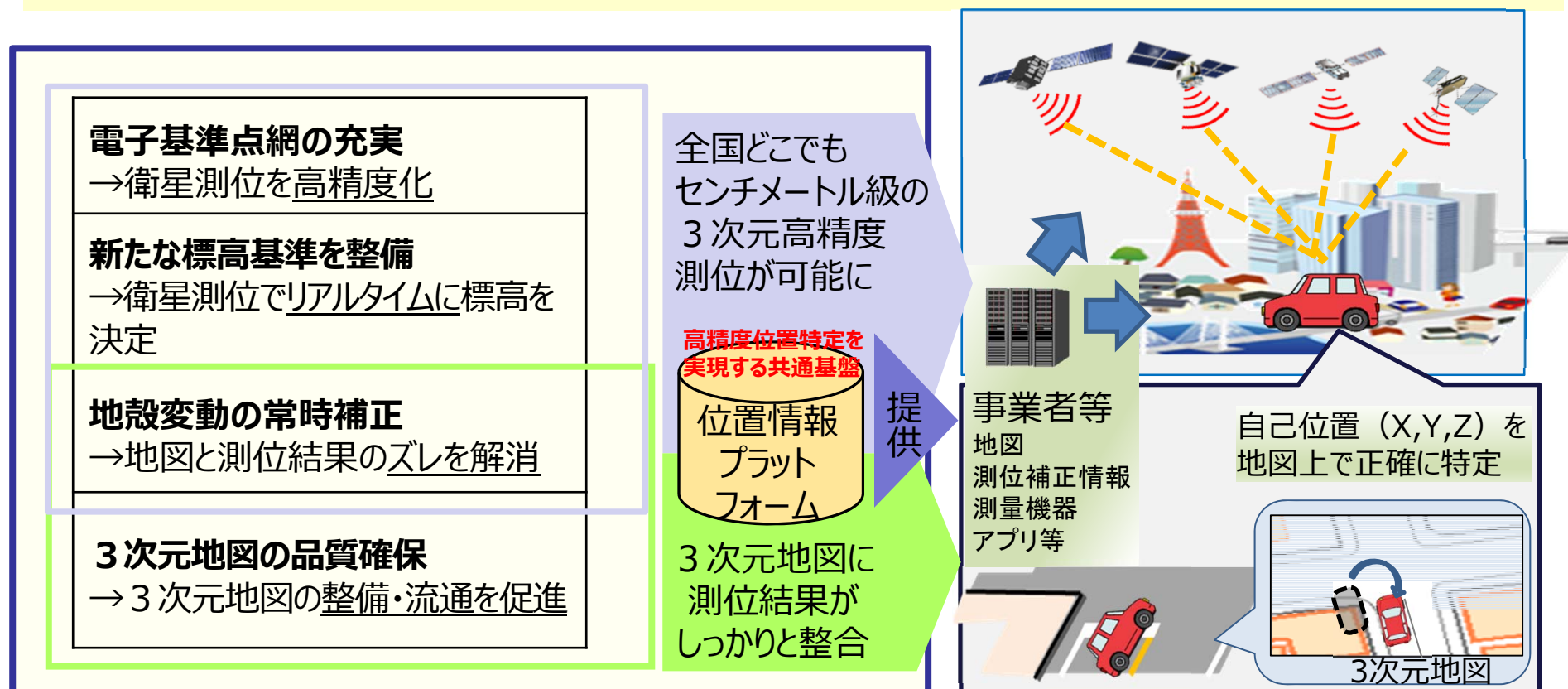
より強く

- ・迅速な復旧/復興作業の実現
- ・適切な津波避難情報等への活用

より安心に

- ・電子基準点網を核に全国均質な標高
- ・地殻変動等の現況変化を適切に反映

いつでも・どこでも・誰でも、センチメートル級の3次元測位結果を地図に重ね合せて活用できるプラットフォーム（共通基盤）を構築。高精度な位置特定で生産性を高めるための共通基盤として社会実装を目指す。



社会全体が共通の基盤上で位置情報を矛盾なく使える環境を整える

自動運転車・ドローンの衝突防止、無人建機・農機により正確な制御等が実現
<新産業・サービスの創出に貢献>

- 国家座標と高精度測位を整合させる施策を開始
 - 社会に位置の基準を提供する国の機関としての責務
- 2020年に地殻変動補正システムの利用環境を提供
- 高頻度地殻変動補正パラメータを試作
 - 3か月毎の更新頻度で変動量3cm以内を実現
 - パラメータの構築精度3cm以内を確認
- 測地施策3本柱として取組
- 位置情報プラットフォームの提供により高精度測位社会を支える