

# GNSS を用いた迅速かつ高精度な位置決定に関する研究（第 1 年次）

実施期間 令和 7 年度～令和 8 年度  
地理地殻活動研究センター 高松 直史  
宇宙測地研究室

## 1. はじめに

GNSS を用いたキネマティック精密単独測位（以下「PPP」という.）は、リアルタイム地殻変動監視において強力な解析手法であるが、アンビグイティ解決を行わないフロート解では数時間程度の周期で座標値の精度が不安定化する.これは位相バイアス（衛星・受信機内部の信号処理による遅延、軌道誤差、大気遅延誤差から構成）の存在により、座標値や対流圏遅延などの解析における一連の推定パラメータの分離が困難となるためである.この周期帯での測位性能を安定化させるには、位相バイアスを事前に推定することでパラメータの分離を改善する PPP with ambiguity resolution（以下「PPP-AR」という.）の適用が有効である.位相バイアスの推定には一定の空間規模を持つ GNSS 観測ネットワークが必要となるが（Ge et al., 2008）、精度の高い位相バイアスの推定には、地域規模のネットワークの活用やネットワークを構成する受信機種の一貫が有効であることが知られている.本研究では、これらのネットワーク構成が PPP-AR での地殻変動監視に及ぼす影響を調査し、地殻変動監視に最適な PPP-AR の枠組みを検討した.

## 2. 研究内容

PPP-AR 解析は①ネットワーク側の処理である位相バイアス推定と②ユーザ側の処理である座標値算出からなる.①では 80 点の全球観測網（global uncalibrated phase delay. 以下「gUPD」という.）、Trimble Alloy 受信機で構成される GEONET 69 点の地域観測網（regional uncalibrated phase delay. 以下「rUPD」という.）、TOPCON NET-G5 受信機で構成される GEONET 69 点の地域観測網（regional uncalibrated phase delay with TOPCON NET-G5 receivers. 以下「rUPDwTPS」という.）の 3 種類のネットワークで解析を行った.②では、各ネットワークで推定した位相バイアスを適用し、GEONET 全点の座標値算出を行った.この際、フロート解（以下「float」という.）の算出も同時に実施した.①、②ともリアルタイム処理を模し GFZ リアルタイム軌道・時計プロダクト（Brack et al., 2025）を適用の上、30 秒間隔の後処理解析を行った.解析ソフトウェアには GFZ の RTPPP を用いた.地殻活動が比較的静穏な 2025 年 6 月 17 日～30 日までをノイズ特性を把握するための解析期間とし、これに加え日向灘の地震（M7.1；2024 年 8 月 8 日）とトカラ列島近海の地震活動（2025 年 6 月 26 日～7 月 3 日）の解析も行った.ノイズ特性の評価は標準偏差（以下「STD」という.）、Fix 率（以下「FR」という.）の各指標により行い、地殻変動イベントの評価は時系列や地殻変動場をスタティック解（F5 解とその 6 時間解）と比較し行った.変動場の整合性を定量化するために、variance reduction（以下「VR」という.）と呼ばれる、スタティック解とキネマティック解の各変動場の一致度を 0 から 100%で表現した指標を導入した.

## 3. 得られた成果

### 3.1 ノイズ特性

図-1 は「石岡（ISHI）」における 1 週間の座標時系列である.float では数時間程度のゆらぎ、gUPD

では短周期のノイズが卓越しているが、rUPD ではこれらを抑えた安定した時系列が得られている。期間内全点で平均した STD は float では東西 1.38 cm，南北 1.20 cm，上下 3.54 cm のところ，rUPD では東西 0.83 cm，南北 0.91 cm，上下 2.99 cm となり，最大 40%の改善を得たとともに，水平成分では mm レベルの精度を達成した。また全点平均の FR は gUPD では 97.0%のところ，rUPD では 98.6%に向上し，より確実にアンビギュイティが解決されたことが分かる。これらの結果は地域観測網の有効性を支持するものである。

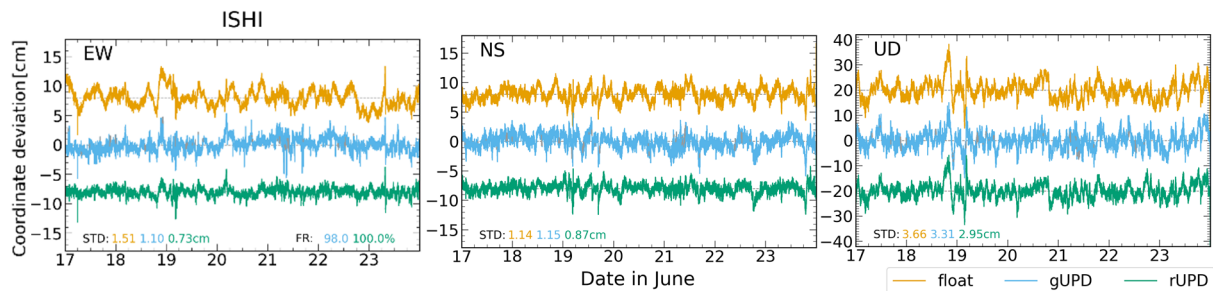


図-1 IGS 点「ISHI」における座標時系列図

右から東西 (EW)，南北 (NS)，上下 (UD)。いずれも一定のオフセットを与えて描画。灰色の点線は各キネマティック解析戦略の平均値。日付は協定世界時。

### 3.2 地殻変動検知能力

日向灘の地震ではスタティック解析により電子基準点「宮崎 (1088)」で最大となる 13 cm を超える水平変位が観測された (図-2a, b)。スタティック解からの残差変動場からは，gUPD でややノイズレベルが大きいことがうかがえ，これは VR の小ささにも表れている (図-2d)。地域観測網を用いた場合は様子が異なり，ネットワーク側とユーザ側の受信機が一致する場合には安定して高い VR が得られるが，そうでない場合には低下するケースが見られた (図-2e, f)。このことから，地域観測網の適用時における，ネットワーク側とユーザ側の受信機の一致が，地殻変動監視では肝要であることが示唆される。

トカラ列島近海では，7 月 2 日 5 時頃 (協定世界時，以下同様) から，宝島の北西沖で地震活動が活発化し，6 時 26 分に M5.6 の地震が発生，その後 10 時頃に活動が低下した (図-3a, c)。島内の電子基準点「宝島 (1243)」では，スタティック解により一連の活動の前後で南方向に約 4 cm の変動が捉えられた (図-3b)。rUPD ではノイズに乱されている時間帯はあるものの，スタティック解と同程度かつ同方向の変動が捉えられた (図-3b)。この変動が瞬間的な変位ではなく，一連の活動に同期した遷移的な変位であることがキネマティック解析により明らかになったことは，特筆すべき点である。

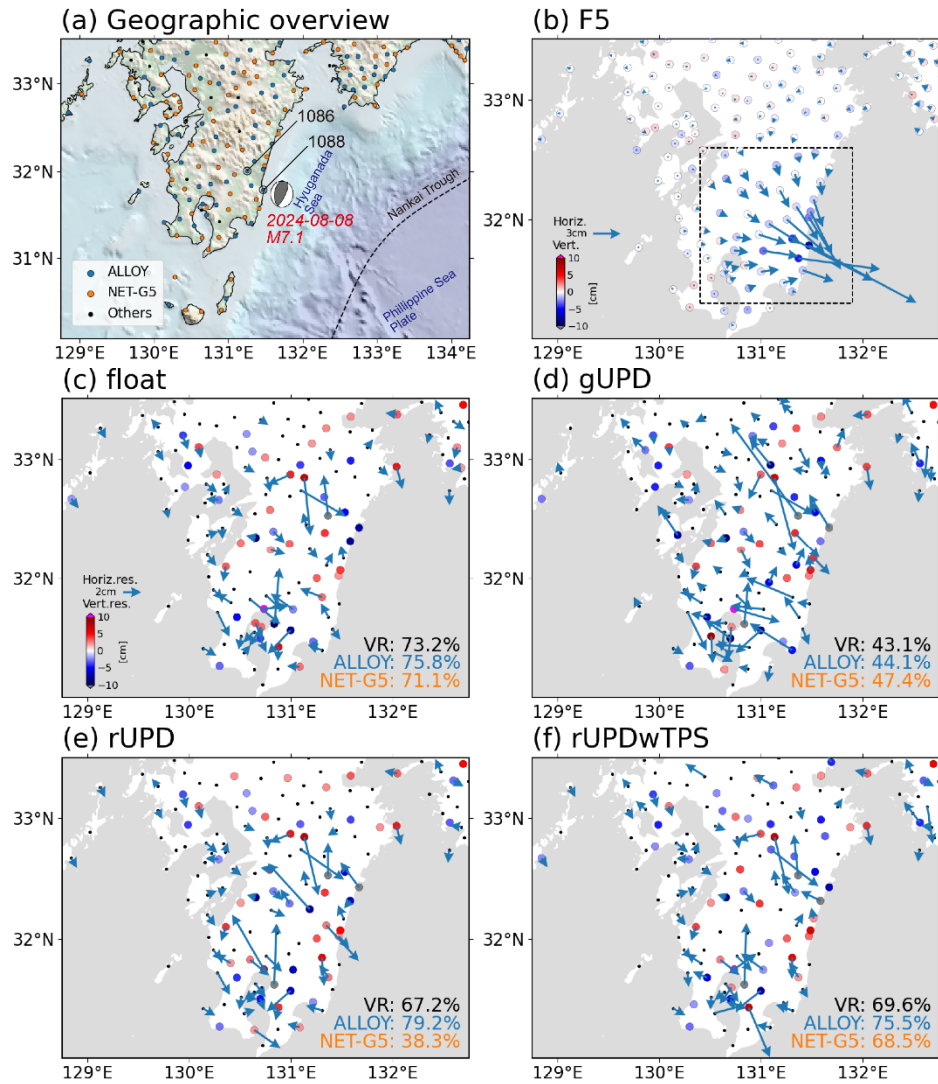


図-2 2024年8月8日日向灘の地震（M7.1）を対象とした事例解析

(a) 地理的概要, (b) F5 解から求めた地殻変動場, (c)-(f) 各キネマティック解析で求めた地殻変動場（F5 解からの残差を表示）. 残差が水平 1 cm, 上下 2 cm となる点は位置のみプロット. (c)-(f) の VR は (b) の黒点線枠内の電子基準点で計算した値で, 受信機種ごとの VR もその下部に表示.

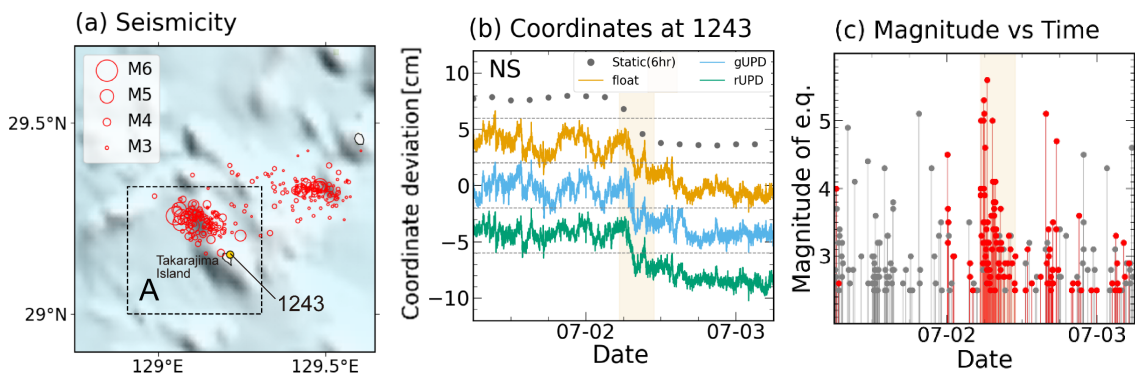


図-3 宝島の群発地震（2025年6～7月）を対象とした事例解析

(a) 地震活動, (b) 電子基準点「宝島」における座標時系列, (c) 地震活動時系列. (c) の赤色は (a) の領域 A 内の活動. 地震活動が活発化した時間帯を薄橙色で塗りつぶして表示 (b, c). 日付は協定世界時.

### 3.3 新たな PPP-AR の枠組みの検討

3.1 及び 3.2 の結果を踏まえ、受信機種ごとに電子基準点をグループ分けし、各グループで位相バイアス推定と座標値推定の一式を行う新たな PPP-AR の枠組みを考案した（図-4）。従来の相対測位では対象地域に応じてその都度参照点を選定する必要があったが、離島など地理的な制約がある地域では適切な参照点を選定することが困難であった。しかし、この枠組みでは、一旦ネットワークを構成すれば離島を含めたネットワーク内全域の包括的な地殻変動監視が可能となる。

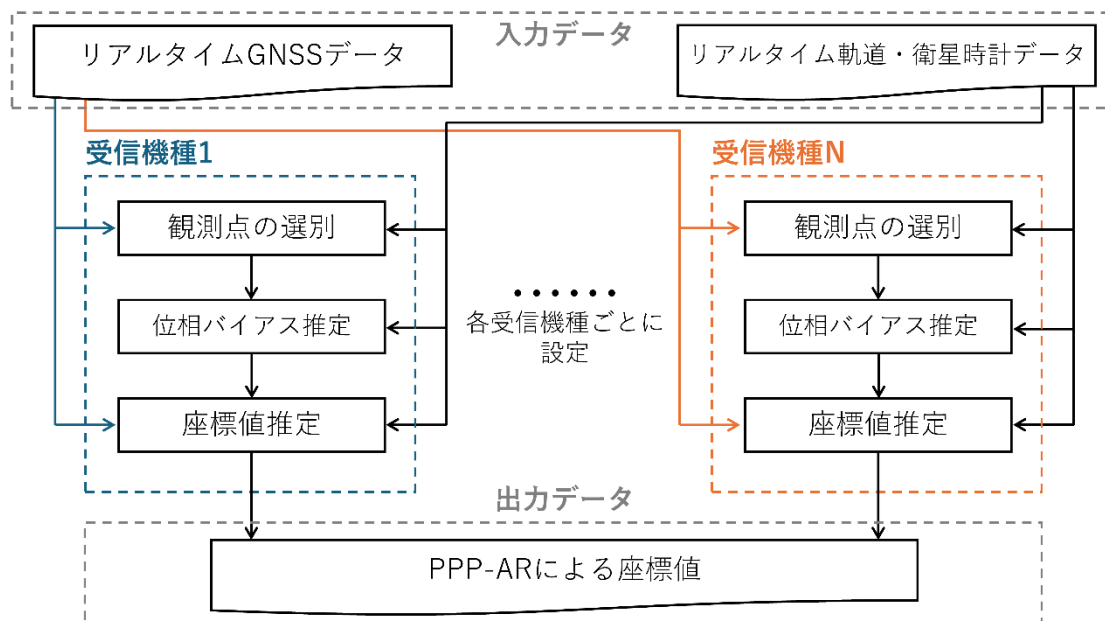


図-4 新たなリアルタイム PPP-AR の枠組み

## 4. 結論

PPP-AR の性能向上には地域観測網の適用とネットワーク側とユーザ側の受信機種の一致が重要であり、結果として様々な周期帯の地殻変動検知能力を高めることが分かった。これを踏まえ、電子基準点を受信機種ごとに分類し、位相バイアス推定と座標値推定を一体的に実施する新たな PPP-AR の枠組みを提案した。これにより地震時地殻変動のような瞬間的な変動だけでなく、群発地震や火山活動に伴い短時間で進行する変動、地震後早期の余効変動等の遷移的な変動の監視に貢献することが期待される。

## 謝辞

本研究では、ドイツ地球科学研究所（GFZ）所有の RTPPP（Real-Time Precise Point Positioning）及び Real-time orbit and clock products（Brack et al., 2025）を使用させていただきました。

## 参考文献

- Brack, A, He, S, Du, S, Wickert, J (2025): Real-time GNSS for geosciences: Initial assessment of new data products from GFZ, EGU General Assembly 2025.
- Ge M, Gendt G, Rothacher M al, Shi C, Liu J (2008): Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations. Journal of Geodesy 82 (7), 389–399.