

# ILC北上候補サイト周辺のGNSSによる地盤変動 の把握について

関根一郎、若竹亮（戸田建設）

吉岡正和、佐貫智行（東北大学）

久保信明（東京海洋大学）

1. はじめに
2. 地球潮汐の影響の有無を考慮したPPP解析による地盤変動調査
  - 2.1 PPP解析
  - 2.2 PPP解析による地盤変動解析結果
3. 基線解析による電子基準点の相対変位調査
  - 3.1 基線解析による電子基準点の相対変位調査方法
  - 3.2 基線解析による電子基準点の相対変位調査結果
4. まとめ

# 1. はじめに (1/2)

- 国際リニアコライダー (ILC) は、**政府の関心表明**を受け日本への誘致が期待されている。
- ILCの安定的な運転を確実なものとするためには、**地盤の変動がILCに与える影響**を把握する必要がある。
- 大型の衝突型加速器の性能 (**ルミノシティ**) は**地盤変動の影響**を受ける。例えばKEKB、スーパーKEKBやLHC (CERN) は**地球潮汐の影響**を補正しながら運転している。
- **KEKBでは周長3kmに対して20ミクロン程度の補正量**になるし、さらに気圧変動の影響も受けるので、それも補正している。
- リング型衝突加速器の場合、2つのビームは同じトンネル内を周回するので、影響は緩和されていると思われるが、**ILCにおいては電子、陽電子リニアックは独立な加速器**と考えるべきで、**地盤変動の影響はリング型より大きいと推察**される。
- またKEKBは浅深度地下、LHCは大深度地下で両者とも土被りは全周に亘り一様であり、かつ地質は堆積層である。それに対し**ILCは均質な花崗岩体**であり、**かつ土被りが全線にわたって変化**する。従って候補サイトにおける地盤変動について理解を深めることは極めて重要である。

# 1. はじめに (2/2)

- 地盤は地球潮汐の影響で動いている。北上候補サイトの地盤は均質な硬岩（花崗岩）であるため、その動きはコヒーレントであると推定されるが、実際にどうなのか調べる必要がある。
- そのため、ILCの建設候補地とされている北上花崗岩体近傍に位置する電子基準点のデータを調べた。その手法として地球潮汐の影響の有無を考慮できるPPP（Precise Point Positioning）解析を採用して、地球潮汐の影響を把握した。
- さらに、サイト周辺の電子基準点の相対的な変位を算出する基線解析を行い、ILCに与える影響を考察した。
- なお、解析には国土地理院から発表されているGNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)のデータ（GPS（米国）、みちびき（日本）、ガリレオ（欧州）の衛星データ）を使用した。

## 2.1 PPP解析

Real Time Kinematic GPS

Precise Point Positioning

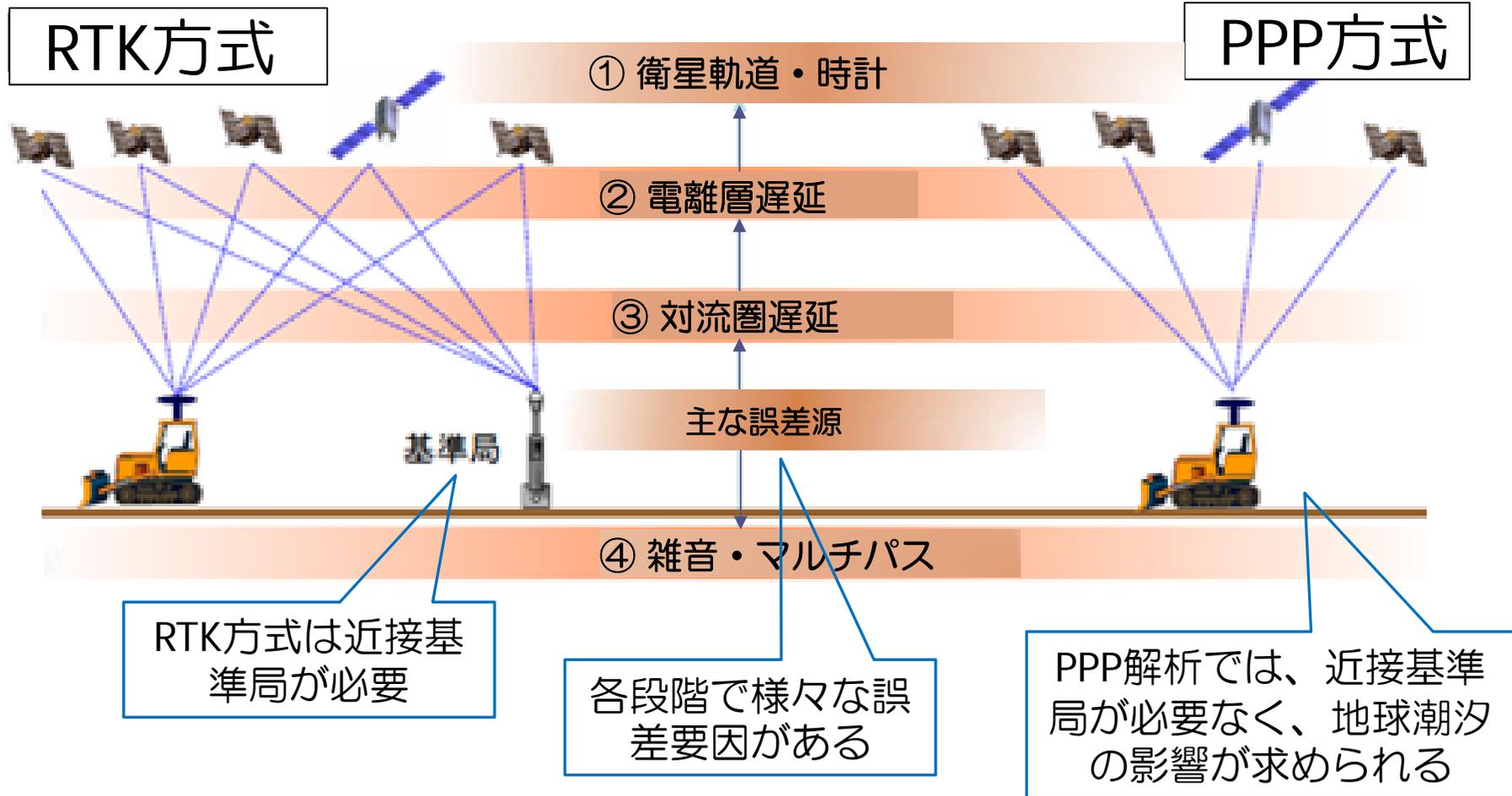


表-1 誤差要因と誤差軽減

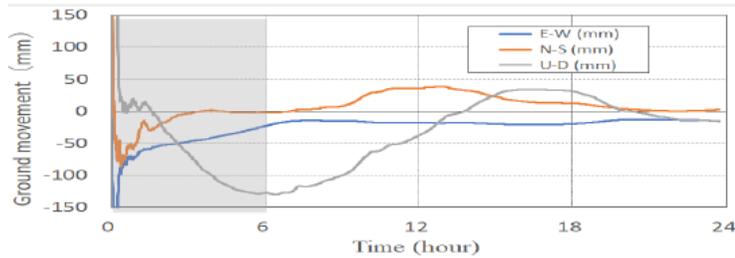
誤差要因	潜在的な誤差の大きさ	誤差軽減
衛星クロック	2m (rms)	cmレベル精度の衛星クロック
衛星軌道	2m (rms) 視線方向の精度	cmレベル精度の衛星位置情報
電離層遅延	2-10m (天頂) 傾斜係数 3 at 5°	二重周波数とすることにより完全に軽減できる
対流圏遅延	2.3-2.5m (天頂) 傾斜係数 10 at 5°	cmレベルの精密なモデル
マルチパス (オープンスカイ)	コード測位方式: 0.5-1m 搬送波測位方式: 0.5-1cm	搬送波測位方式を使用
受信機ノイズ	コード測位方式: 0.25-0.5m 搬送波測位方式: 1-2mm	搬送波測位方式を使用

表-2 RTK方式と PPP方式の比較

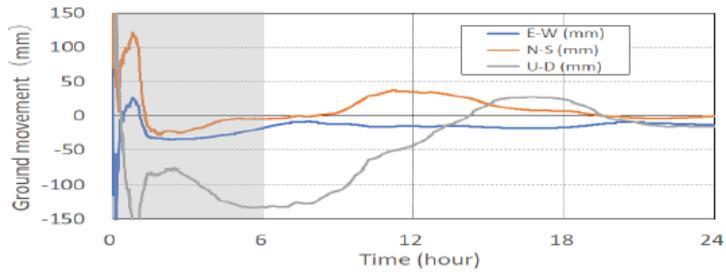
	RTK	PPP
近接基準点 の必要性	あり	なし (大陸をまたがる広域 に数十局必要)
補正データの受信	必要	必要 (衛星経由が多い)
精度	通常1cm以内	数cm
収束に要する時間	瞬時	10~20分 (受信機に依存する)



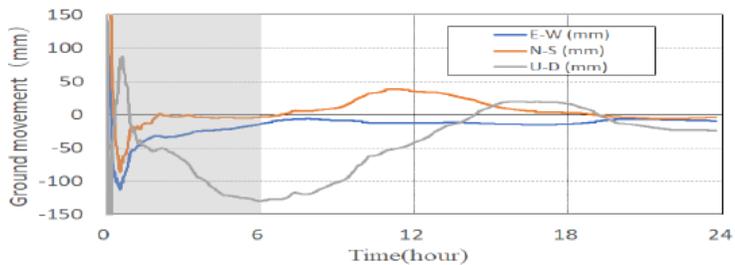
図-2 PPP解析に用いた  
電子基準点の位置と  
ILCの計画位置



a) Esashi



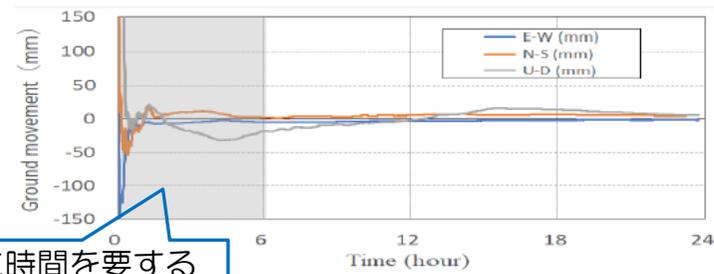
b) Iwate Daito



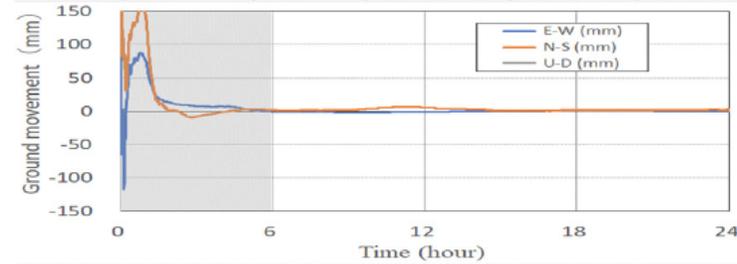
c) S Motoyoshi

図-3 2019.1.1の地球潮汐の影響を含んだPPP解析の結果

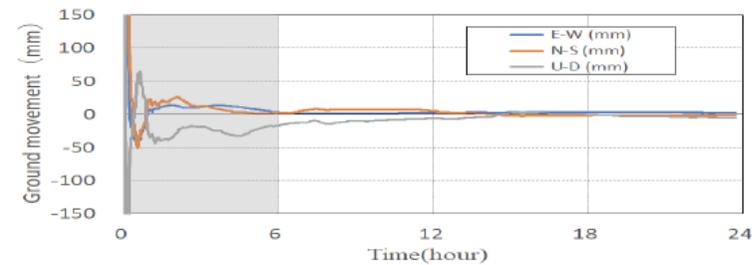
- 地球潮汐の影響と考えられる変動が大きい。
- コヒーレントな動きである



a) Esashi



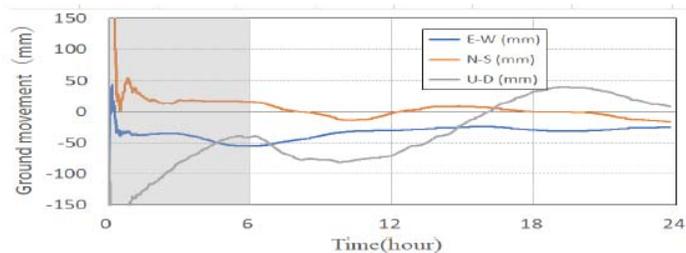
b) Iwate Daito



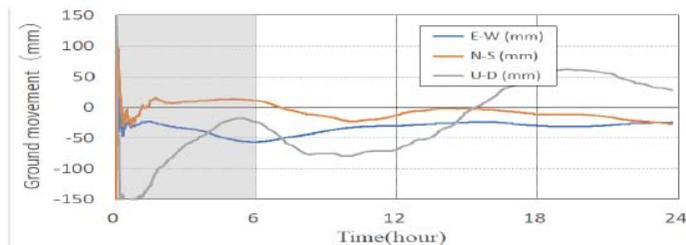
c) S Motoyoshi

図-5 2019.1.1の地球潮汐の影響を除いたPPP解析の結果

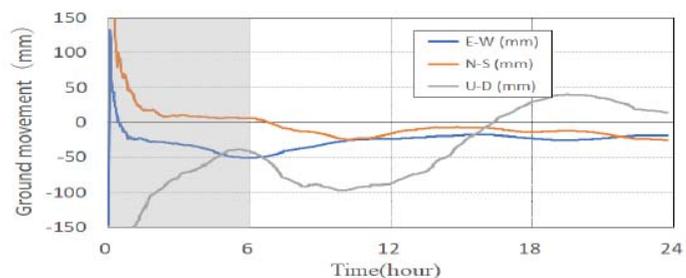
- 地球潮汐の影響を除くと5mm以内の変動である



a) Esashi



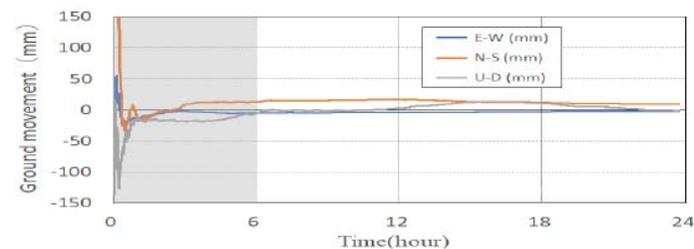
b) Iwate Daito



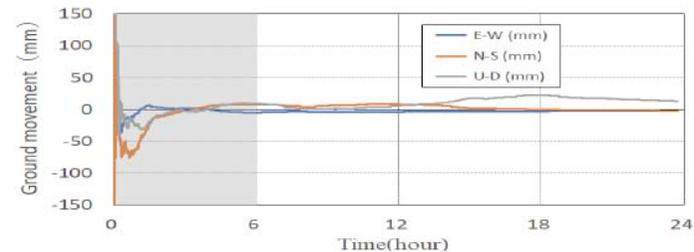
c) S Motoyoshi

図-4 2019.1.8の地球潮汐の影響を含んだPPP解析の結果

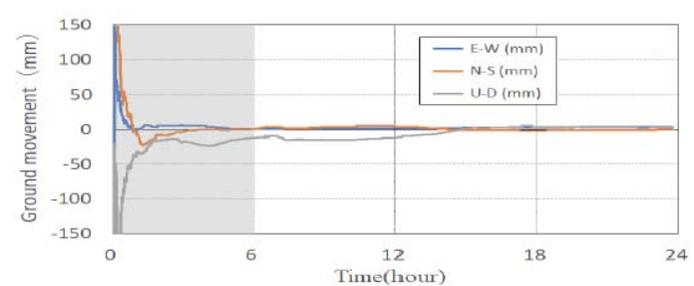
• 2019.1.8も同様な傾向を示した。



a) Esashi



b) Iwate Daito



c) S Motoyoshi

図-6 2019.1.8の地球潮汐の影響を除いたPPP解析の結果

• 誤差を含めても、E-S、N-S方向に10mm以内、U-D方向に20mm以内と安定していることがわかった。



- 岩手大東を中心にして電子基準点間の相対的な変位を検討
- 岩手大東 ↔ S本吉間では収束しなかったため、岩手川崎Aを介して、岩手大東 ↔ S本吉間の相対変位を求めた

図-2 基線解析に用いた電子基準点の位置とILCの計画位置

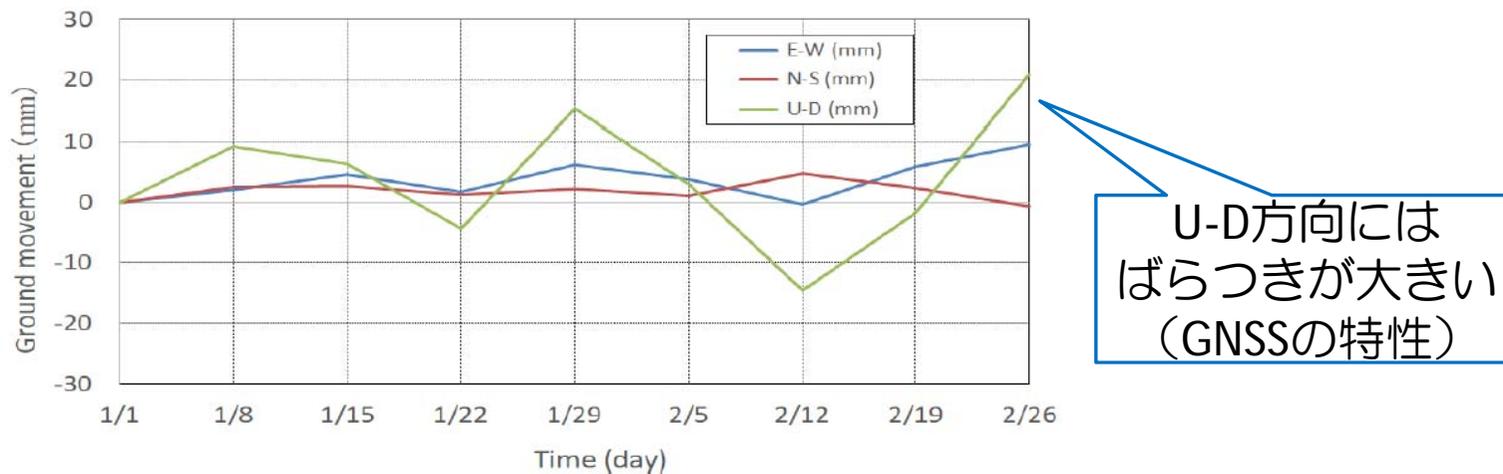


図-8 基線解析による岩手大東と江刺間の相対位置変位 (2019.1.1~2.26)

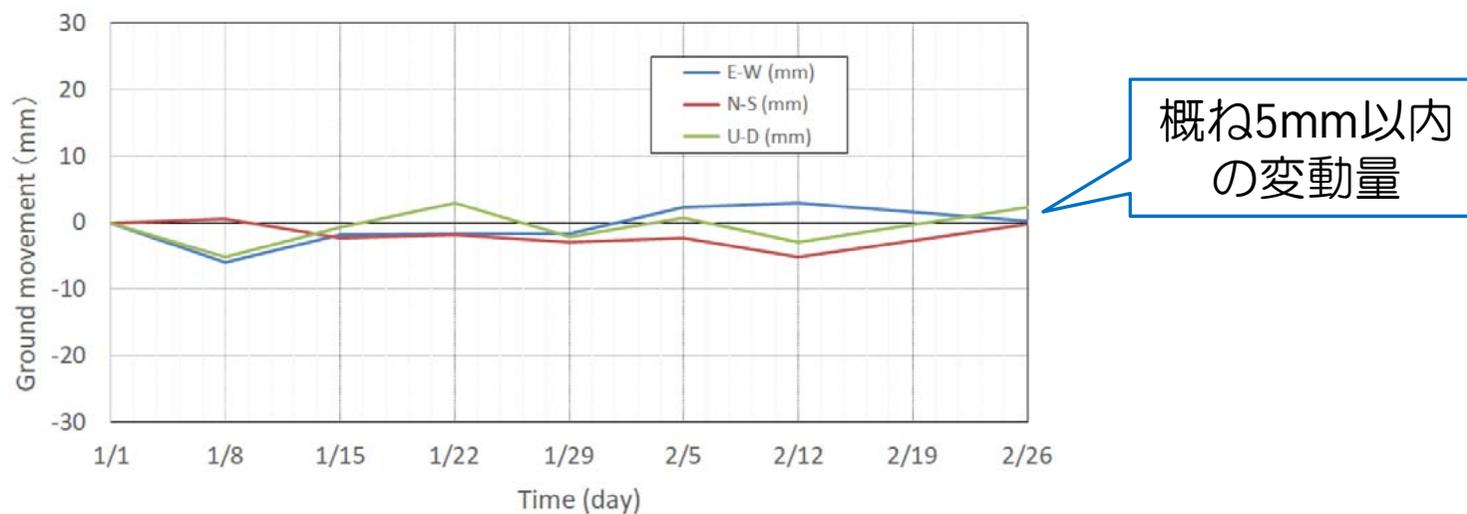


図-9 基線解析による岩手大東とS本吉間の相対位置変位 (2019.1.1~2.26)

Table 3: 基線解析による電子基準点間の最大変位置量

(2019.1. 1～2019.2.26)

電子基準点	E-W方向 (mm)	N-S方向 (mm)	U-D方向 (mm)
岩手大東 ⇔ 江刺	9.6	4.8	20.8
岩手大東 ⇔ 住田A	2.9	4.7	12.0
岩手大東 ⇔ 水沢A	4.5	3.5	16.8
岩手大東 ⇔ 気仙沼	2.9	3.5	19.3
岩手大東 ⇔ 岩手川崎A	2.4	3.1	6.5
岩手大東 ⇔ S本吉	3.0	5.1	5.1

- 電子基準点間の変動は、E-W、N-S方向には概ね5mm以内、U-D方向には20mm以内との結果が得られた。
- ILCでは、ビーム軌道にフィードバックをかけることもできるので、この変動は十分に小さいと言える。
- この結果は国土地理院の示す「日々の座標値（F3解）」と同等のオーダーであることを確認している。

## 4. まとめ

- ILC候補サイト周辺の電子基準点の最近の変動状況を調べた。地盤は地球潮汐によって変動しており、PPP解析により地球潮汐も含めた変動を求め、それがコヒーレントな変動であることを示した。
- PPP解析結果から地球潮汐の影響を補正することにより、誤差を含めてもE-W,N-S方向に10mm以内、U-D方向に20mm以内の変動であり、地盤は安定的であることが明らかになった。
- 基線解析による相対変位の解析では、GNSSの誤差を含め、E-W,N-S方向に概ね5mm以内、U-D方向に20mm以内との結果が得られた。この地盤変動はゆっくりした動きであり、ILCではビーム軌道にフィードバックをかけることができるので、問題がないレベルの変動と言える。
- 今回の検討は、地表に設置された電子基準点で得られたデータから検討している。ILC施設の土被りは約20m～600mとされており、地下の岩盤の変動は地表とは異なることが考えられ、それは参考文献[3]で検討されているが、今後さらに詳細な検討を要する。

ご清聴ありがとうございました