

Feb. 1, 2019 (第11回SAPT懇話会)



# G-RitZによる測位 精度の検証

立命館大学 理工学部  
電気電子工学科  
久保幸弘(ykubo@se.ritsumei.ac.jp)



# CONTENTS

---

## ① G-RitZとは

- 1.1 G-RitZの構成
- 1.2 G-RitZ Toolboxの開発状況
- 1.2 G-RitZ POSの開発状況
- 1.3 G-RitZ POS (PPP)の機能概要
- 1.4 G-RitZ POS (PPP)の動作イメージ
- 1.5 G-RitZ POS (PPP)の測位演算概要

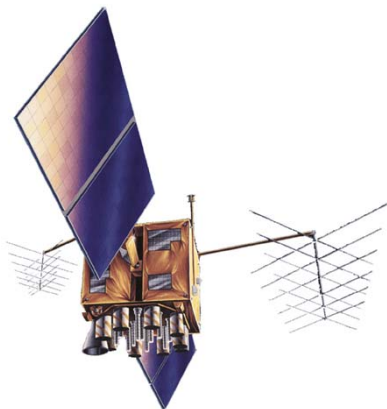
## ② PPP測位結果の一例

- 2.1 実験条件
- 2.2 衛星数と配置
- 2.3 ENU誤差
- 2.3 対流圏遅延推定値
- 2.3 RTKPOSTとの比較



## G-RitZとは

- G-RitZ:  
立命館大学システム制御工学研究室(旧杉本研), 情報通信システム研究室(久保研)でのGNSS研究活動を通して作成されたGNSS測位ソフトウェア
- 開発言語: Matlab
- G-RitZと共に提供される「G-RitZ Toolbox」の関数群から構成されています. ソフトウェアとしての機能の充実化と同時に, Matlab Toolboxとしての利用のし易さを目指す
- ユーザは, G-RitZを改造したり, Toolboxを活用して独自のアプリケーション開発も可能





## G-RitZの構成

衛星測位技術の理解・修得  
独自の工夫の付加



測位に必要な一通りの機能を備えた、実用的なS/W

• ツールボックス:  
G-RitZ Toolbox

- 測位プログラムを構成する関数群
- 充実したヘルプ(関数仕様)
- 基礎となる理論のドキュメント
- 関数群を組み合わせて、測位プログラムを作成するまでの方法, 理論の理解

• 測位プログラム:  
G-RitZ POS

- 基礎的なプログラムを基にして, 実用性を兼ね備えたS/W
- 動作の説明と基礎となる理論のドキュメント

## G-RitZ Toolboxの開発状況（概要）

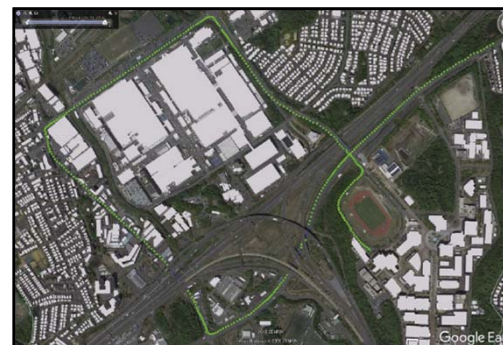
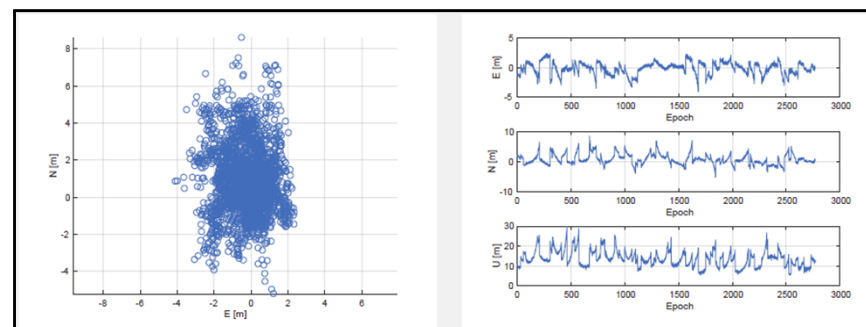
衛星測位技術の理解・修得  
独自の工夫の付加

- ツールボックス:  
G-RitZ Toolbox

- 測位プログラムを構成する関数群
- 充実したヘルプ(関数仕様)
- 基礎となる理論のドキュメント
- 関数群を組み合わせて、測位プログラムを作成するまでの方法, 理論の理解

【ほぼ公開できる状態】

- 測位に必要な基礎的関数とそのドキュメント
- GPS単独測位(静止, 移動)





# G-RitZ Toolboxの開発状況 (1/3)

## 解説文書

| フォルダ名 | ファイル名                  | 説明  | 種別     | ドキュメントファイル          |
|-------|------------------------|---|--------|---------------------|
| root  | Understanding_GNSS.pdf | 「基礎から学ぶGNSS測位アルゴリズム」<br>サンプルプログラム・関数の解説文書 | ドキュメント | <a href="#">PDF</a> |

## 各章共通のファイル等

| フォルダ名          | ファイル名        | 説明   | 種別    | ドキュメントファイル          |
|----------------|--------------|--|-------|---------------------|
| root           | add_path.m   | G-RitZ_toolboxをパスに追加するスクリプト<br><b>Matlabの起動毎に実行して下さい</b> | スクリプト |                     |
| G-RitZ_toolbox | set_global.m | 諸定数をまとめて定義するスクリプト  | スクリプト | <a href="#">ソース</a> |

## 第1章 (衛星測位の原理と数学的準備)

| フォルダ名 | ファイル名        | 説明              | 種別        | ドキュメントファイル          |
|-------|--------------|-----------------|-----------|---------------------|
| root  | project1_1.m | 測位演算の原理         | サンプルプログラム | <a href="#">ソース</a> |
|       | project1_2.m | 測位演算の原理 (最小2乗法) |           | <a href="#">ソース</a> |

## 第2章 (GPS時刻と時刻の取り扱い)

| フォルダ名                   | ファイル名             | 説明                                | 種別        | ドキュメントファイル                                |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|---|
| G-RitZ_toolbox          | ymd2juliday.m     | 年月日からユリウス日を求める                    | 関数        | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | juliday2ymd.m     | ユリウス日から年月日を求める                    |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | ymdhms2weeksov.m  | 年月日時分秒からGPS週番号, SOWを求める           |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | weeksov2ymdhms.m  | GPS週番号, SOWから年月日時分秒を求める           |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | set_time_struct.m | 時刻情報を構造体配列にセットする                  |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | tdiff.m           | 時刻差 (秒) を求める                      |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                         | ymd2juliday_all.m | ymd2julidayの制限無し版                 |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
| G-RitZ_toolbox/calender | calcontr.html     | GPSカレンダー表示<br>(calindex.htmlがメイン) | html      | <a href="#">カレンダーを表示</a>                  |
|                         | calindex.html     |                                   |           |   |
|                         | gencal.html       |                                   |           |   |
| root                    | project2_1.mlx    | 第2章の各関数の動作確認                      | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>                       |
|                         | project2_2.mlx    | ユリウス日の計算例                         |           | <a href="#">実行例</a>                       |

## G-RitZ Toolboxの開発状況 (2/3)

### 第3章 (座標系とその変換)

| フォルダ名          | ファイル名          | 説明                | 種別        | ドキュメントファイル                                |
|----------------|----------------|-------------------|-----------|---|
| G-RitZ_toolbox | llh2xyz.m      | 測地座標から直交座標を求める    | 関数        | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | xyz2llh.m      | 直交座標から測地座標を求める    |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | xyz2enu.m      | ECEF座標からENU座標を求める |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | enu2xyz.m      | ENU座標からECEF座標を求める |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | azel.m         | 衛星の仰角・方位角を求める     |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
| root           | project3_1.mlx | 直交座標・測地座標の変換      | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>                       |
|                | project3_2.mlx | ECEF・ENU座標間の変換    |           | <a href="#">実行例</a>                       |
|                | project3_3.mlx | 衛星の仰角と方位角を求める     |           | <a href="#">実行例</a>                       |
|                | project3_4.mlx | 測地座標の表現方法を確認する    |           | <a href="#">実行例</a>                       |

### 第4章 (GPS衛星の軌道と衛星時計誤差)

| フォルダ名          | ファイル名          | 説明                              | 種別        | ドキュメントファイル                                |
|----------------|----------------|---------------------------------|-----------|---|
| G-RitZ_toolbox | possat_alm.m   | アルマナックと時刻から衛星座標を計算する            | 関数        | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | yumaread.m     | YUMAアルマナックからデータを読み取り、構造体配列に格納する |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | skyplot.m      | 衛星の配置をプロットする                    |           | <a href="#">ソース</a>   <a href="#">ヘルプ</a> |
| root           | project4_1.mlx | 衛星座標・速度を求める                     | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>                       |
|                | project4_2.mlx | YUMAアルマナックを用いて衛星飛来予測            |           | <a href="#">実行例</a>                       |

### 第5章 (航法メッセージ)

### 第6章 (単独測位 ～アルゴリズムの構築)

| フォルダ名 | ファイル名          | 説明                | 種別        | ドキュメントファイル            |
|-------|----------------|-------------------|-----------|-----------------------|
| root  | project6_1.mlx | 単独測位を行ってみる        | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>   |
|       | project6_1sc.m |                   |           | <a href="#">ソースのみ</a> |
|       | project6_3.mlx | 簡略版衛星時計誤差を用いた測位結果 | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>   |
|       | project6_3sc.m |                   |           | <a href="#">ソースのみ</a> |
|       | project6_4sc.m | 受信機座標計算過程の確認      | サンプルプログラム | <a href="#">ソース</a>   |



## G-RitZ Toolboxの開発状況 (3/3)

### 第7章 (RINEXデータフォーマット)

| フォルダ名          | ファイル名           | 説明                                      | 種別        | ドキュメントファイル            |                     |
|----------------|-----------------|---|-----------|-----------------------|---------------------|
| G-RitZ_toolbox | rinexo_hread3.m | RINEX観測データファイルのヘッダ情報を読み取り構造体に格納する       | 関数        | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | rinexo_dread3.m | RINEX観測データファイルのデータ部分を1エポック分読み取り構造体に格納する |           | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | read_eph.m      | RINEX航法データファイルの内容を読み込む                  |           | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | eph_search.m    | read_ephで読み込んだエフェメリスから適切なデータを選択する       |           | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
| root           | project7_1.mlx  | 単エポックの測位演算                              | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project7_1sc.m  |   |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
|                | project7_2.mlx  | 複数エポックの測位演算                             |           | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project7_2sc.m  |   |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |

### 第8章 (単独測位 ~実用的なプログラム)

| フォルダ名          | ファイル名             | 説明                          | 種別        | ドキュメントファイル            |                     |
|----------------|-------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------|---------------------|
| G-RitZ_toolbox | sat_posG.m        | 放送層を用いてGPS衛星の座標、衛星時計誤差を求める  | 関数        | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
|                | ppls_simple.m     | 最小2乗法による受信機座標、受信機時計誤差の推定を行う |           | <a href="#">ソース</a>   | <a href="#">ヘルプ</a> |
| root           | project8_1.mlx    | 関数の活用                       | サンプルプログラム | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project8_1sc.m    |                             |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
|                | project8_2.mlx    | 衛星の指定・時刻の指定                 |           | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project8_2sc.m    |                             |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
|                | project8_3.mlx    | 表示の改良・計算結果の格納               |           | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project8_3sc.m    |                             |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
|                | project8_4.mlx    | 測位結果のプロット・1日分の測位            |           | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project8_4sc.m    |                             |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
|                | project8_5.mlx    | 移動体のデータを処理してみる              |           | <a href="#">実行例</a>   |                     |
|                | project8_5sc.m    |                             |           | <a href="#">ソースのみ</a> |                     |
| project8_6sc.m | 測位結果をKMLファイルに出力する | <a href="#">ソースのみ</a>       |           |                       |                     |

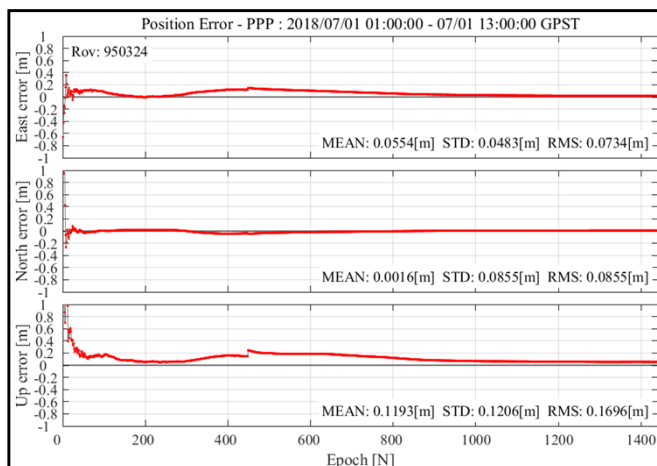


## G-RitZ POSの開発状況 (概要)

- 相対測位 (RTK)
  - ① マルチGNSS対応中
  - ② Toolbox側との整合対応中
  - ③ ドキュメント整備中

【もう少しで公開できる状態】

- 精密単独測位 (PPP)
  - ① Toolbox側との整合対応中
  - ② ドキュメント整備中
  - ③ 異常観測値に対する処理を改善中



測位に必要な一通りの機能を備えた、実用的なS/W

• 測位プログラム:  
G-RitZ POS

- 基礎的なプログラムを基にして、実用性を兼ね備えたS/W
- 動作の説明と基礎となる理論のドキュメント



## G-RitZ POS(PPP)の機能概要

- マルチGNSS対応
  - ① GPS, Glonass, Galileo, BeiDou, QZSS
- RINEX3対応
  - ① データ入力は基本的に後処理
- 精密暦対応
  - ① 軌道(sp3), クロック(clk)
- 1周波, 2周波, 電離層フリー結合選択可
- 電離層補正 (IONEX, Klobuchar) 対応  
推定 (ZID, ZID+Grad) も可能
- 対流圏補正
  - ① モデル (Saastamoinen, Magnavox, Hopfield)
  - ② ZWD, ZWD+Gradの推定も可能
  - ③ 対流圏マッピング関数 (4種類)
- アンテナ位相中心補正対応
  - ① 衛星側 (atx), 受信機側 (pcv)
- 潮汐補正
  - ① 潮汐補正パラメータ (blq)
  - ② 地球回転パラメータ (erp)
- DCB (Differential Code Bias) 補正
- FCB (Fractional Cycle Bias) 補正
- 仰角マスク
- 仰角による重み付け
- Phase wind-up補正
- 観測雑音分散に対する適応型カルマンフィルタの適用
- static, kinematic対応
  - ① (速度or加速度or躍度)を一次マルコフモデルとしたダイナミクス



# G-Ritz POS(PPP)の動作イメージ

【実行画面】

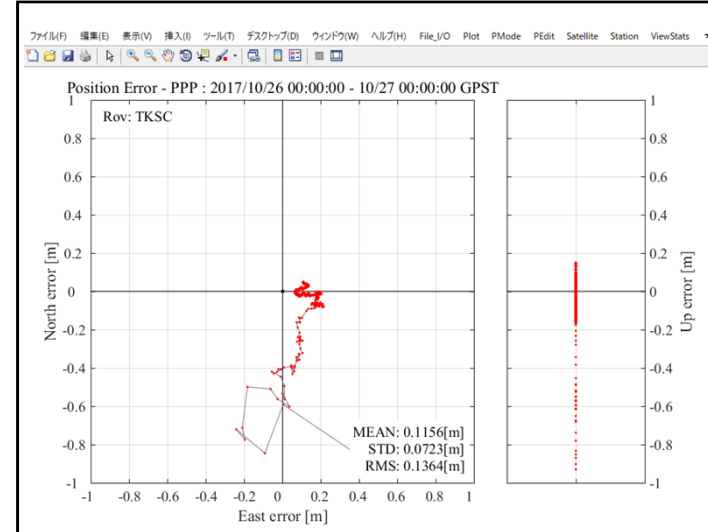
```

コマンドウィンドウ
-----%
% G-Ritz Ver. 0.1-beta
%
%
%
初期設定ファイル名を拡張子なしで入力してください>>
ini_ppp1

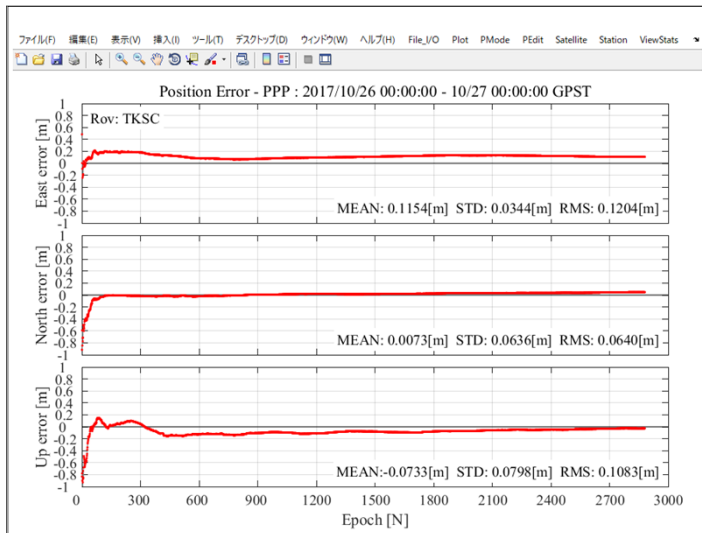
[ OK ] 測位モード:      単独測位
[ OK ] RINEX-OBS:      TKSC2990.17o
[ OK ] 解析開始日時:   2017/10/26/00/00/00.000 (WEEK:1972, SOW:345600.000)
[ OK ] 解析終了日時:   2017/10/26/24/00/00.000 (WEEK:1972, SOW:432000.000)
[ OK ] 観測量:         GPS 電離圏フリー結合(C1C, L1C C2W L2W)
[ OK ] ISP3:          gbm19724.sp3
[ OK ] 電離圏補正:     なし
[ OK ] 対流圏補正:     Saastamoinenモデル
[ OK ] P1-C1 DCB補正: OFF
[ OK ] 仰角マスク:    15 [deg.]
[ OK ] 重み付け:      なし
[ OK ] 使用しない衛星: 指定なし
[ OK ] 推定法:        カルマンフィルタ
[ OK ] IENU原点座標: [-3961263.4090; 3308913.7080; 3734564.5870]
[ OK ] 画面出力:      OFF(10パーセント刻みの進行状況のみ表示)

測位演算を開始します。何かキーを押してください。
1:  0:  0  0.000*  0.000*  0.48432  -0.91623  -0.83295  9  PRN:  6  1  19  17  28  11  3  23  22
2:  0:  0  30.000* 30.000*  0.00227  -0.59131  -0.78008  9  PRN:  6  1  19  17  28  11  3  23  22
3:  0:  1  0.000*  0.000*  -0.09297  -0.84567  -0.90247  9  PRN:  6  1  19  17  28  11  3  23  22
4:  0:  1  30.000* 30.000*  -0.24242  -0.72061  -1.06076  9  PRN:  6  1  19  17  28  11  3  23  22
5:  0:  2  0.000*  0.000*  -0.19709  -0.77593  -0.92086  9  PRN:  6  1  19  17  28  11  3  23  22
    
```

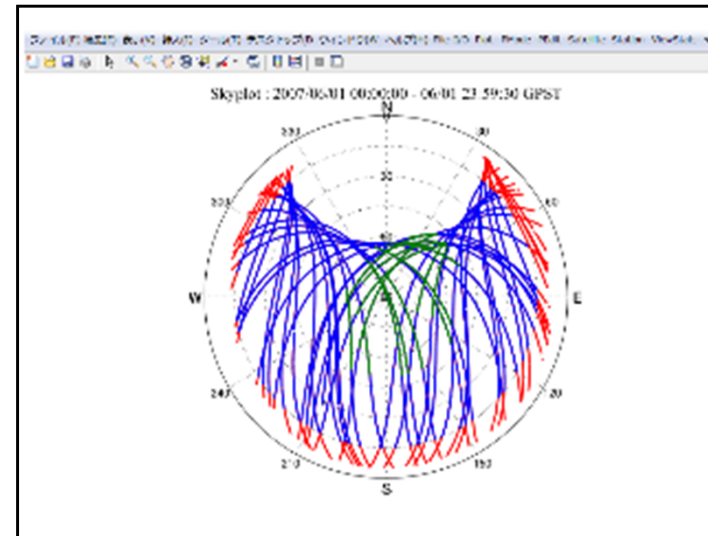
【測位結果H-V表示】



【測位結果時系列表示】



【衛星配置表示】





# G-RitZ POS (PPP) の測位演算概要 (1/7)

## 観測モデル

### コード疑似距離

$$\rho_{CA,u}^p(t) = r_u^p(t, t - \tau_u^p) + c[\delta t_u(t) - \delta t^p(t - \tau_u^p)] + \delta I_u^p(t) + \delta T_u^p(t) + e_{CA,u}^p(t)$$

$$\rho_{PY,u}^p(t) = r_u^p(t, t - \tau_u^p) + c[\delta t_u(t) - \delta t^p(t - \tau_u^p)] + \frac{f_1^2}{f_2^2} \delta I_u^p(t) + \delta T_u^p(t) + e_{PY,u}^p(t)$$

### 搬送波位相

$$\lambda_1 \Phi_{L1,u}^p(t) = r_u^p(t, t - \tau_u^p) + c[\delta t_u(t) - \delta t^p(t - \tau_u^p)] - \delta I_u^p(t) + \delta T_u^p(t) + \lambda_1 (N_{L1,u}^p + \phi_{wind}) + \varepsilon_{L1,u}(t)$$

$$\lambda_2 \Phi_{L2,u}^p(t) = r_u^p(t, t - \tau_u^p) + c[\delta t_u(t) - \delta t^p(t - \tau_u^p)] - \frac{f_1^2}{f_2^2} \delta I_u^p(t) + \delta T_u^p(t) + \lambda_2 (N_{L2,u}^p + \phi_{wind}) + \varepsilon_{L2,u}(t)$$

- $t$  : 受信機  $u$  における真の受信時刻
- $\tau_u^p$  : 衛星  $p$  から受信機  $u$  への伝搬時間
- $r_u^p(t, t - \tau_u^p)$  : 衛星  $p$  と受信機  $u$  との幾何学的距離
- $c$  : 光速 ( $= 2.99792458 \times 10^8$  [m/s])
- $\delta t_u$  : 受信機時計誤差
- $\delta t^p(t - \tau_u^p)$  : 時刻  $(t - \tau_u^p)$  での衛星  $p$  の時計誤差
- $\delta I_u$  : 電離層屈折効果
- $\delta T_u$  : 対流圏屈折効果

- $\lambda_1$  : L1 帯の波長 [m]
- $\lambda_2$  : L2 帯の波長 [m]
- $N_{L1,u}^p, N_{L2,u}^p$  : 整数値バイアス
- $\phi_{wind}$  : phase wind up 効果
- $e_{C1,u}^p, e_{C2,u}^p$  : コード疑似距離観測雑音
- $\varepsilon_{L1,u}(t), \varepsilon_{L2,u}(t)$  : 搬送波位相観測雑音

## G-Ritz POS (PPP) の測位演算概要 (2/7)

電離圏フリー結合 (線形化後)

$$\begin{aligned}\rho_{IF,u}^{p*} &= \underbrace{g_{\hat{u}}^{p*}}_{\text{red}} (\mathbf{u} - \underbrace{s^{p*}}_{\text{green}}) + \underbrace{c}_{\text{red}} [\underbrace{\delta t_u^*}_{\text{blue}} - \underbrace{\delta t^{p*}}_{\text{green}}] + \underbrace{\delta T_u^{p*}}_{\text{green}} + \underbrace{e_{IF,u}^{p*}}_{\text{green}} \\ \Phi_{IF,u}^{p*} &= \underbrace{g_{\hat{u}}^{p*}}_{\text{green}} (\mathbf{u} - \underbrace{s^{p*}}_{\text{red}}) + \underbrace{c}_{\text{red}} [\underbrace{\delta t_u^*}_{\text{blue}} - \underbrace{\delta t^{p*}}_{\text{green}}] + \underbrace{\delta T_u^{p*}}_{\text{green}} + \underbrace{\lambda_{IF}^*}_{\text{blue}} (\underbrace{N_{IF,u}^{p*}}_{\text{green}} + \underbrace{\phi_{wind}}_{\text{green}}) + \underbrace{\varepsilon_{IF,u}^{p*}}_{\text{green}}\end{aligned}$$

$$\rho_{IF}(t) = \frac{f_1^2 \cdot \rho_{C1,u}^p(t) - f_2^2 \cdot \rho_{C2,u}^p(t)}{f_1^2 - f_2^2} \quad \Phi_{IF}(t) = \frac{f_1^2 \cdot \lambda_1 \Phi_{L1,u}^p(t) - f_2^2 \cdot \lambda_2 \Phi_{L2,u}^p(t)}{f_1^2 - f_2^2}$$

全衛星で共通: 受信機座標  $\mathbf{u}$ , 光速  $c$

システム毎: 受信機時計誤差  $\delta t_u^*$ , 波長  $\lambda_{IF}^*$

| システム                 | GPS    | Glonass | Galileo | BeiDou | QZS    |
|----------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| *                    | G      | R       | E       | C      | J      |
| $\lambda_{IF}^*$ [m] | 0.1070 | 0.1051  | 0.1089  | 0.1083 | 0.1070 |

各衛星毎: その他の変数, 定数

# G-Ritz POS(PPP)の測位演算概要(3/7)

## 対流圏遅延モデル

$$\delta T_u = M_h(E_u^p) ZHD_u + M_w(E_u^p) \times \left( 1 + \frac{G_N \cos(A_u^p) + G_E \sin(A_u^p)}{\tan(E_u^p)} \right) ZWD_u$$

$$ZHD_u = \frac{0.0022768 P_0}{1 - 0.00266 \cos(2\varphi_u) - 2.8 \times 10^{-7} h_u}$$

Saastamoinen model

$$ZWD_u = 0.0022768 \times \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) \times e$$

$$M_h(E) = \frac{1}{\sin(E) \frac{0.00143}{\tan(E) + 0.0445}}$$

Chao Hydrostatic Mapping Function

$$M_w(E) = \frac{1}{\sin(E) \frac{0.00035}{\tan(E) + 0.017}}$$

$\delta T_u$  : 対流圏遅延量  
 $E_u^p$  : 受信機 u に対する衛星 p の仰角  
 $A_u^p$  : 受信機 u に対する衛星 p の方位角  
 $M_h(E_u^p)$  : 静水圧遅延マッピング関数  
 $M_w(E_u^p)$  : 湿潤遅延マッピング関数  
 $ZHD$  : 天頂静水圧遅延  
 $ZWD$  : 天頂湿潤遅延

$G_N$  : 大気遅延勾配南北成分  
 $G_E$  : 対地遅延勾配東西成分  
 $P_0$  : 受信機 u に対する気圧 [hPa]  
 $h_u$  : 受信機 u の標高 [m]  
 $\varphi_u$  : 受信機 u の緯度 [rad]  
 $e$  : 水蒸気分圧 [hPa]  
 $T$  : 地上気温 [度]

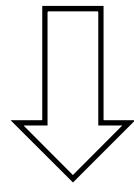
## G-RitZ POS(PPP)の測位演算概要(4/7)

### 対流圏遅延の推定

$$\delta T_u = M_h(E_u^p) ZHD_u + M_w(E_u^p) \times \left( 1 + \frac{G_N \cos(A_u^p) + G_E \sin(A_u^p)}{\tan(E_u^p)} \right) \underline{ZWD_u}$$

$$\underline{ZWD_u} = 0.0022768 \times \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) \times e$$

$e$  : 水蒸気分圧 [hPa]  
 $T$  : 地上気温 [度]



$$\delta T_u = M_h(E_u^p) ZHD_u + M_w(E_u^p) \times \left( 1 + \frac{G_N \cos(A_u^p) + G_E \sin(A_u^p)}{\tan(E_u^p)} \right) (ZTD_u - ZHD_u)$$

未知量として推定

$ZTD$  : 天頂全遅延  
 $G_N$  : 大気遅延勾配南北成分  
 $G_E$  : 対地遅延勾配東西成分



## G-RitZ POS(PPP)の測位演算概要(5/7)

### その他の補正量

- PCO : アンテナ位相中心オフセット (衛星、受信機) [数mm ~]
- PCV : アンテナ位相中心変動 (衛星、受信機) [数mm ~]
- DCB : 衛星コード間バイアス (衛星)[数cm ~数十cm]
- 地球潮汐 : 局位置変動 (受信機) [数cm ~数十cm]
- Phase Wind-up 効果 (衛星) [数mm ~数cm] ...



補正情報を用いて補正





## G-RitZ POS(PPP)の測位演算概要(6/7)

状態方程式 (キネマティック版) スタティック時は赤字部分を削除

$$x_{t+1} = F_t x_t + \omega_t$$


$$x_t \equiv [u_e, u_n, u_u, \underline{v_e, v_n, v_u}, a_e, a_n, c\delta t_u^{*T}, c\dot{\delta t}_u^{*T}, ZTD, G_N, G_E, N_{IF,u}^{p*T}]^T$$

| 状態変数                               | モデル      |        |        |
|------------------------------------|----------|--------|--------|
|                                    | E        | N      | U      |
| 受信機座標 $(u_e, u_n, u_u)$            | 速度の積分    | 速度の積分  | 速度の積分  |
| <b>速度</b> $(v_e, v_n, v_u)$        | 加速度の積分   | 加速度の積分 | 一次マルコフ |
| <b>加速度</b> $(a_e, a_n)$            | 一次マルコフ   | 一次マルコフ |        |
| 受信機時計誤差 $c\delta t_u^{*T}$         | ドリフトの積分  |        |        |
| 受信機時計ドリフト $c\dot{\delta t}_u^{*T}$ | 一次マルコフ   |        |        |
| 対流圏全遅延 $ZTD$                       | ランダムウォーク |        |        |
| 対流圏遅延勾配南北 $G_N$                    | ランダムウォーク |        |        |
| 対流圏遅延勾配東西 $G_E$                    | ランダムウォーク |        |        |
| アンビギュイティ $N_{IF,u}^{p*}$           | ランダムウォーク |        |        |

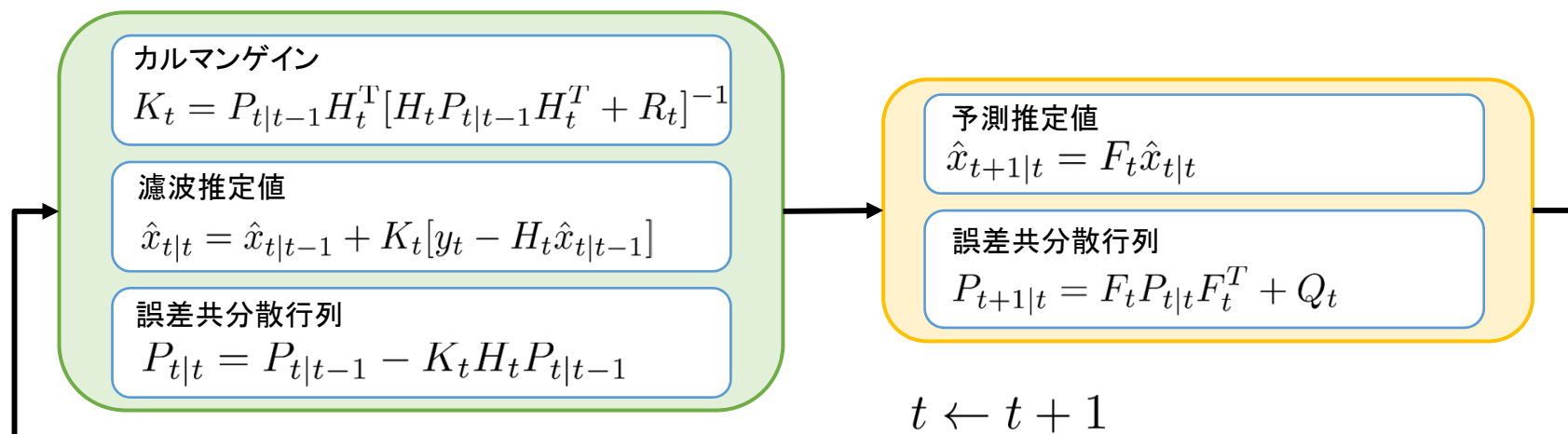
# G-Ritz POS (PPP) の測位演算概要 (7/7)

観測方程式 (キネマティック版) スタティック時は赤枠部分を削除

$$\begin{bmatrix} \rho_{IF,u}^{p*} \\ \Phi_{IF,u}^{p*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{\hat{u}}^{p*} & O^* & O^* & II^* & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) \frac{\cos(A_{\hat{u}}^{p*})}{\tan(E_{\hat{u}}^{p*})} & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) \frac{\sin(A_{\hat{u}}^{p*})}{\tan(E_{\hat{u}}^{p*})} & O^* \\ G_{\hat{u}}^{p*} & O^* & O^* & II^* & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) \frac{\cos(A_{\hat{u}}^{p*})}{\tan(E_{\hat{u}}^{p*})} & M_w(E_{\hat{u}}^{p*}) \frac{\sin(A_{\hat{u}}^{p*})}{\tan(E_{\hat{u}}^{p*})} & \lambda_{IFI}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ a \\ c\delta t_{\hat{u}}^* \\ c\delta t_{\hat{u}}^* \\ ZTD \\ G_N \\ G_E \\ N_{IFI,\hat{u}}^{p*} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{IF,u}^{p*} \\ \varepsilon_{IF,u}^{p*} \end{bmatrix}$$


 $y_t = H_t x_t + v_t$

カルマンフィルタによる推定





# CONTENTS

---

## ① G-RitZとは

- 1.1 G-RitZの構成
- 1.2 G-RitZ Toolboxの開発状況
- 1.2 G-RitZ POSの開発状況
- 1.3 G-RitZ POS (PPP)の機能概要
- 1.4 G-RitZ POS (PPP)の動作イメージ
- 1.5 G-RitZ POS (PPP)の測位演算概要

## ② PPP測位結果の一例

- 2.1 実験条件
- 2.2 衛星数と配置
- 2.3 ENU誤差
- 2.3 対流圏遅延推定値
- 2.3 RTKPOSTとの比較



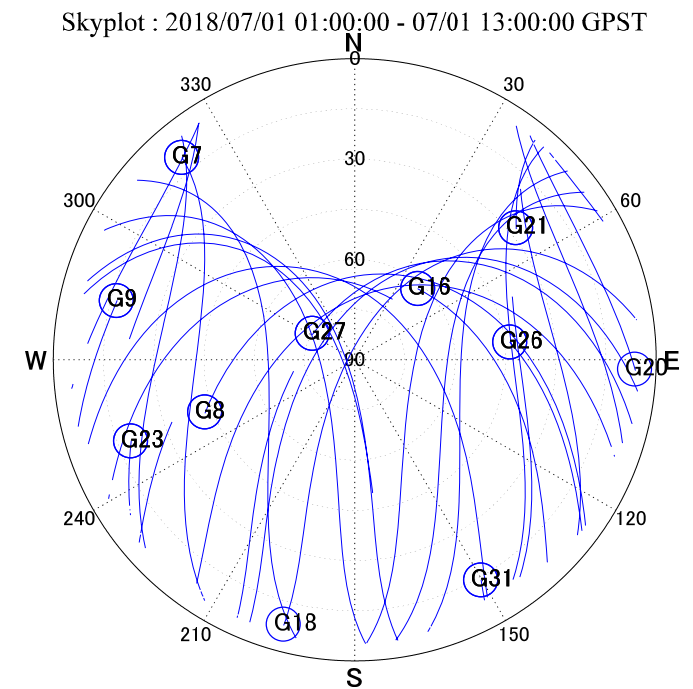
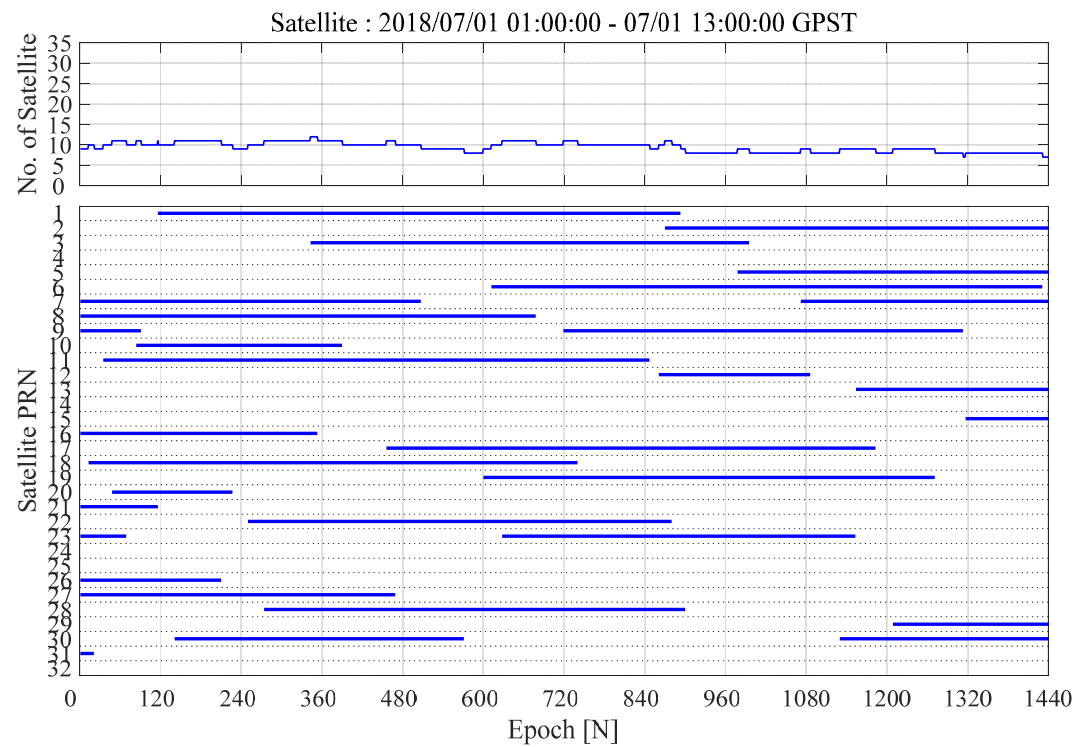
## PPP測位結果の一例（実験条件）

---

- PPP（スタティック，GPS2周波，電離層フリー結合）
- 電子基準点 つくば1
- 受信機：TRIMBLE NETR9，アンテナ：TPSCR.G5 GSI
- 2018年7月1日，1:00～13:00，30秒／epoch
- 衛星軌道，クロック：MADOCA暦final
- アンテナ位相中心補正：IGS
- DCB補正：IGS MGEX (CAS, Chinese Academy of Sciences)
- 電離層補正：IGS final
- 測位誤差評価のための局座標：地理院F3解

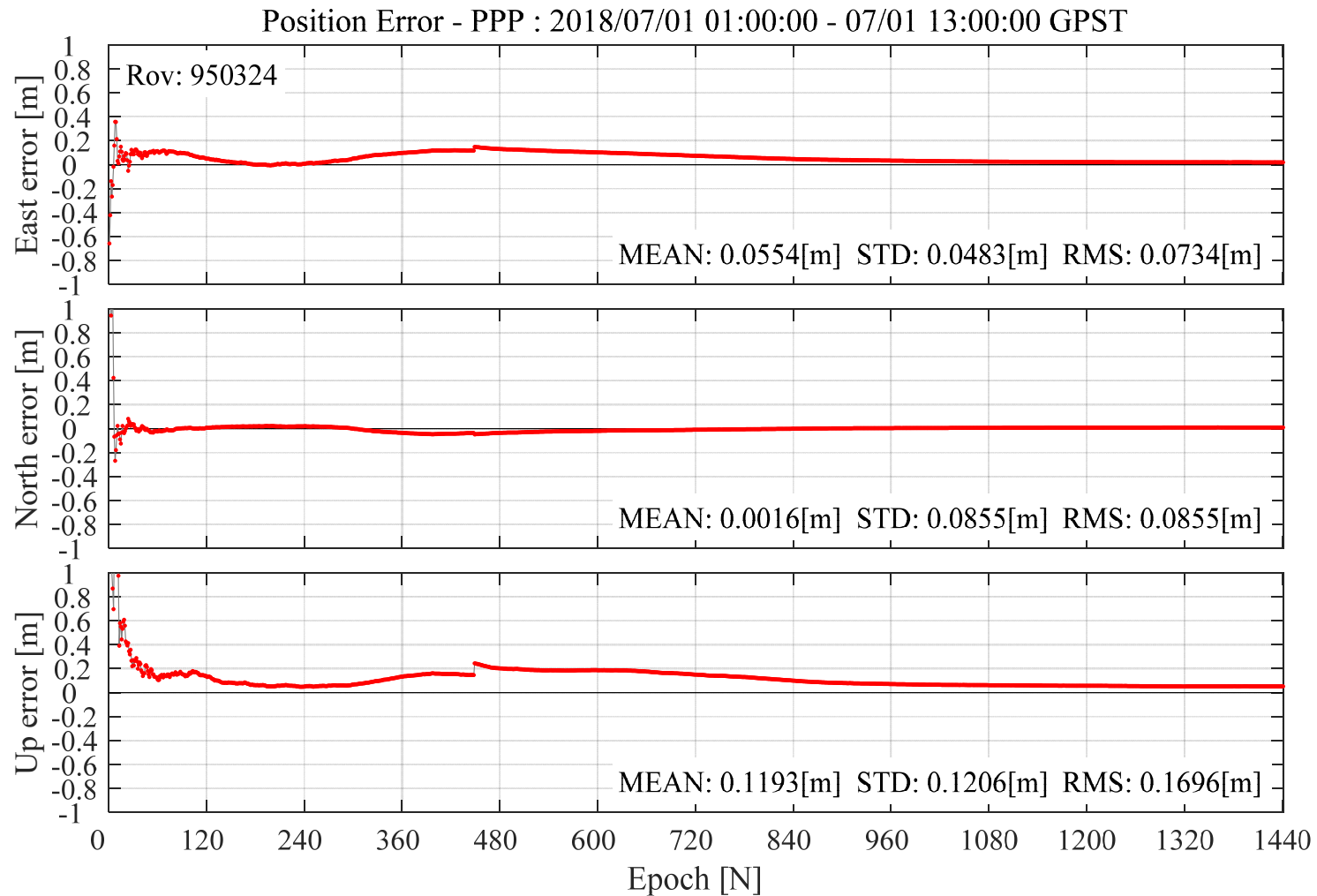


# PPP測位結果の一例（衛星数と配置）



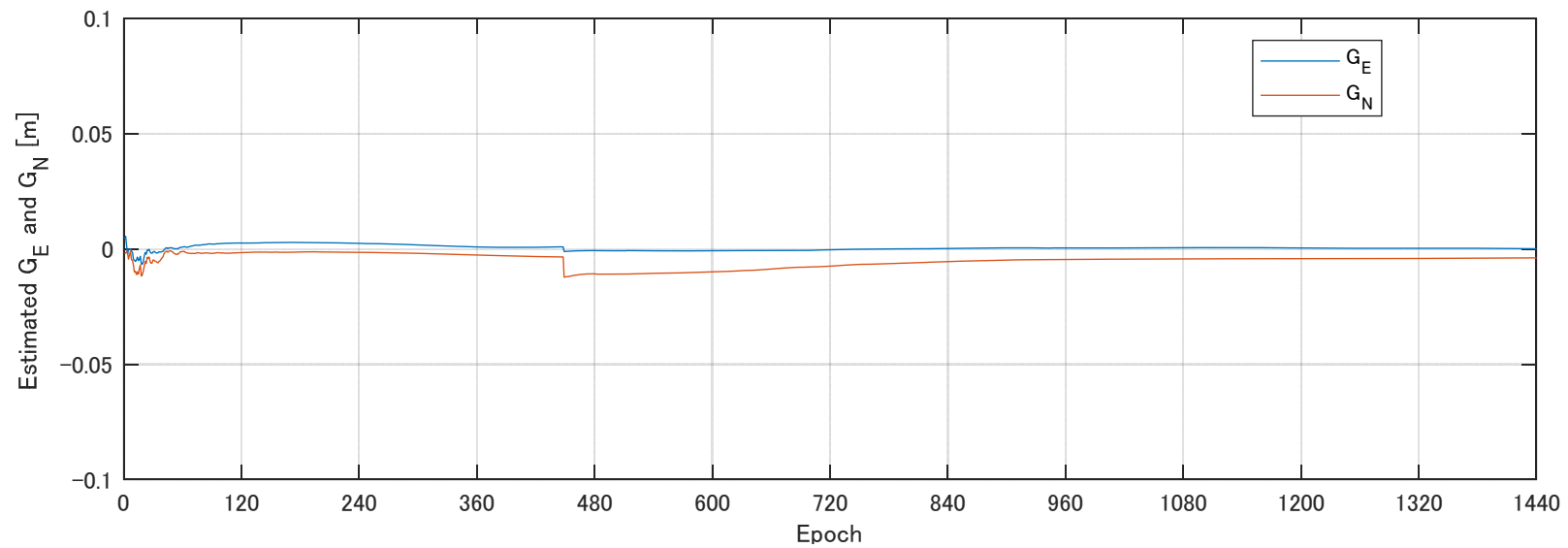
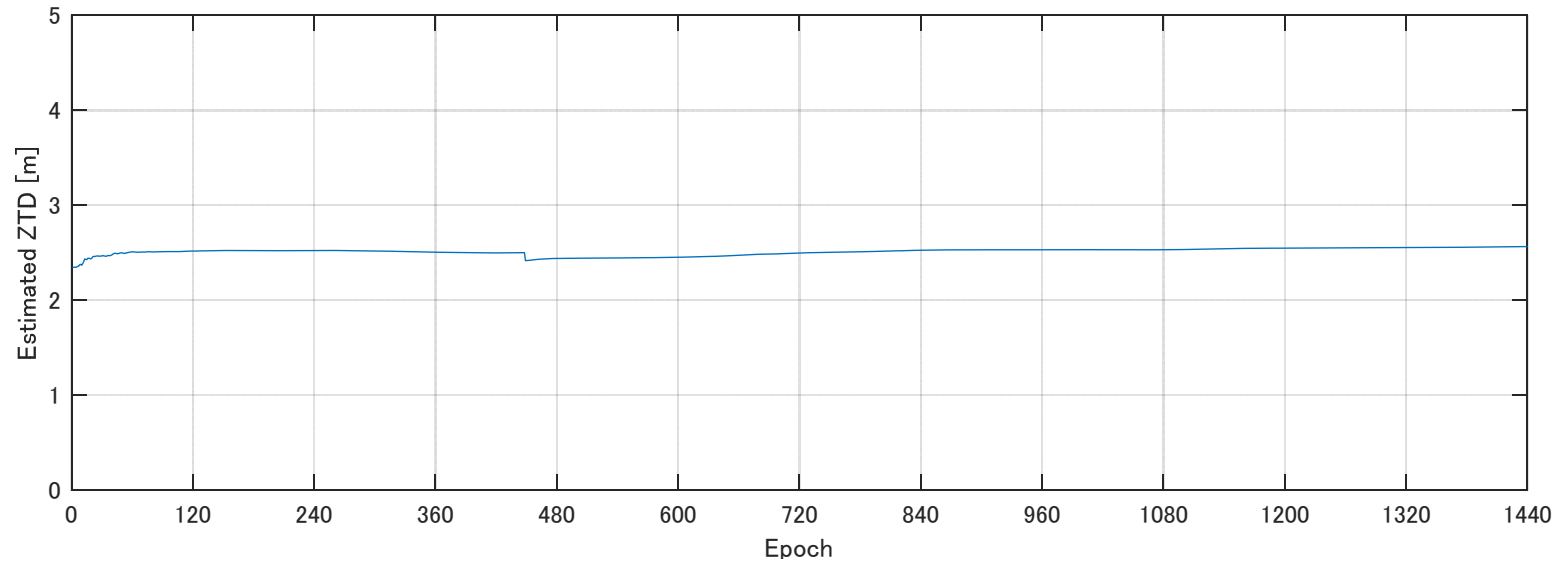


# PPP測位結果の一例(ENU誤差)





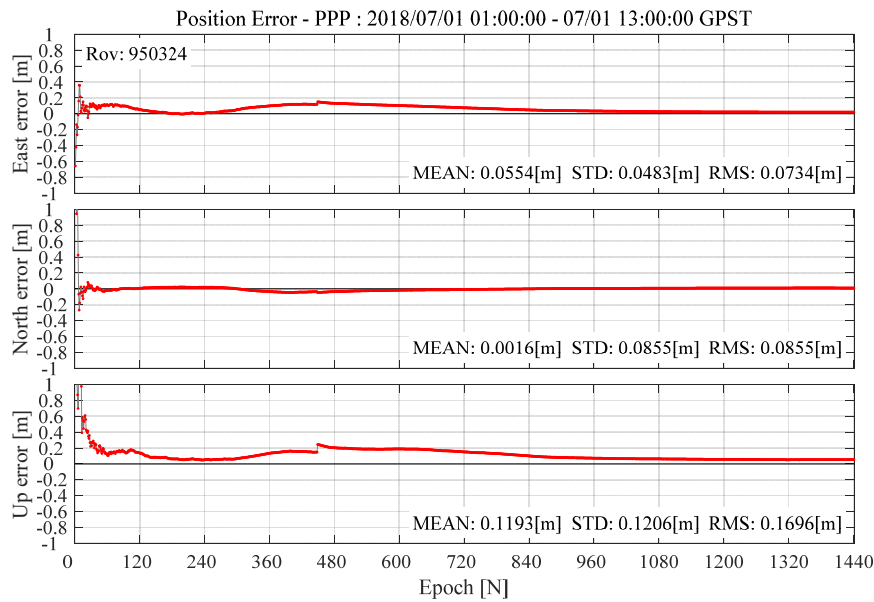
# PPP測位結果の一例(対流圏遅延推定値)



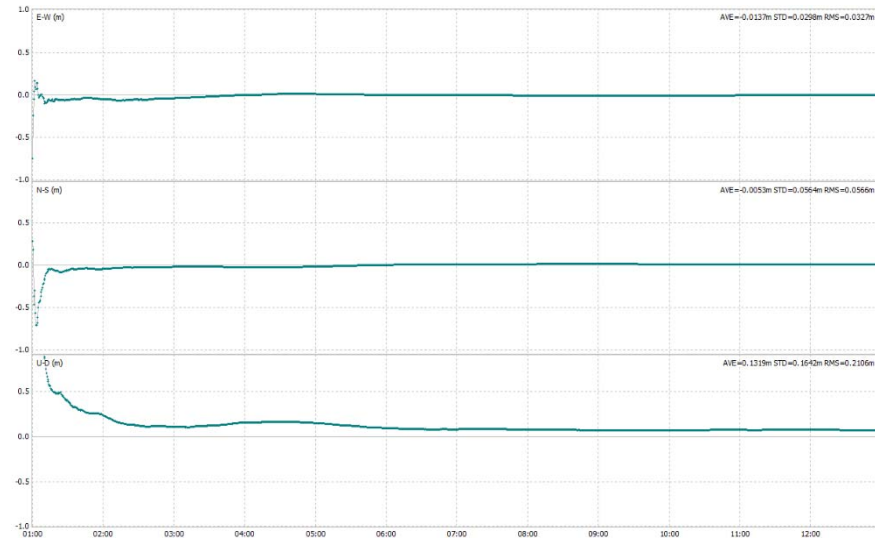


# PPP測位結果の一例(ENU誤差)

G-RitZ POS (PPP)



RTKPOST



```

pppsetup
-----
% G-RitZ Ver. 0.1beta
%
%
初期設定ファイル名を指定して入力してください
in1.app1

{
  測位モード:      単独測位
  測位ID:          7652998.176
  測前時刻日時:    2017/10/26/00/00/00.000 OMEK:1972, SW:345600.000
  測前時刻日時:    2017/10/26/24/00/00.000 OMEK:1972, SW:432000.000
  測前時刻:        GPS 衛星時刻-時刻(CLT, LIT, CW, L2X)
  測前時刻:        gmt19724.us3
  測前時刻補正:    なし
  測前時刻補正:    Saastamienモデル
  測前時刻補正:    OFF
  測前時刻補正:    15 (deg.)
  測前時刻補正:    設定なし
  測前時刻補正:    カルマンフィルタ
  測前時刻補正:    (-1961261.4096, 338913.7888, 3734564.5878)
  測前時刻補正:    OFF (180°-セント制の座標形式のみ表示)
}

測位計算を開始します。何かキーを押してください。
1: 0: 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000* 0.0000*
2: 0: 0.30.0000* 30.0000* 0.00227* -0.59131* -0.78808* 9 PRN: 6 1 19 17 28 11 3 23 22
3: 0: 1.0.0000* 0.0000* -0.00205* -0.84657* -0.90247* 9 PRN: 6 1 19 17 28 11 3 23 22
4: 0: 1.30.0000* 30.0000* -0.24242* -0.72861* -1.06876* 9 PRN: 6 1 19 17 28 11 3 23 22
  
```

RTKPOST ver.2.4.2

Time Start (GPST) ? 2018/07/01 01:00:00 Time End (GPST) ? 2018/07/01 13:00:00 Interval Unit

REINEX OBS ?

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\BIGPRC

Solution [X] Dir C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\Result

C:\Users\yuku\_ssd\Desktop\Gps\1\test\新しいフォルダ-WG-RitZ\_software\Result\21101820\_pos

done

Plot... View... To RM... Options... Execute Exit



ご清聴ありがとうございました

E-mail: [ykubo@se.ritsumei.ac.jp](mailto:ykubo@se.ritsumei.ac.jp)