

RTKによるセンチメートル級 位置計測技術の基礎と応用



東京海洋大学、ライトハウステクノロジー・アンド・コンサルティング


高須 知二

2018-05-16@東京海洋大学 越中島

時間割

| | |
|------------------------|-------------|
| (1) GNSS測位の仕組み | 9:30-10:30 |
| (2) 受信機を使ってみよう (実習) | 10:40-11:40 |
| (3) RTKの原理 | 12:40-14:00 |
| (4) RTKLIBを使ってみよう (実習) | 14:10-15:20 |
| (5) RTKおよびGNSS測位の応用 | 15:30-16:30 |

自己紹介

- ソフトウェア・エンジニア
 - 宇宙開発分野: 人工衛星、地上系 等
 - 得意分野: 解析系 ...
 - コードは20年以上書いている ...
- 現在の所属と仕事
 - 東京海洋大学 客員研究員 (11年) 
GPS/GNSS精密測位技術
衛星軌道の精密決定
 - ライトハウステクノロジー・アンド・コンサルティング (5年)
実用準天頂衛星 (QZSS) システム開発
MADOCAの開発 (JAXA)
QZSS L6受信機の開発 (MADOCA, CLAS)



3

GNSS受信機コレクタ



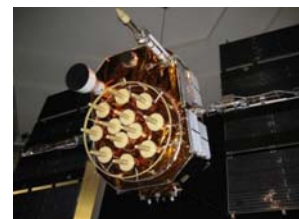
4

(1) GNSS測位のしくみ

5

GNSSとは何か

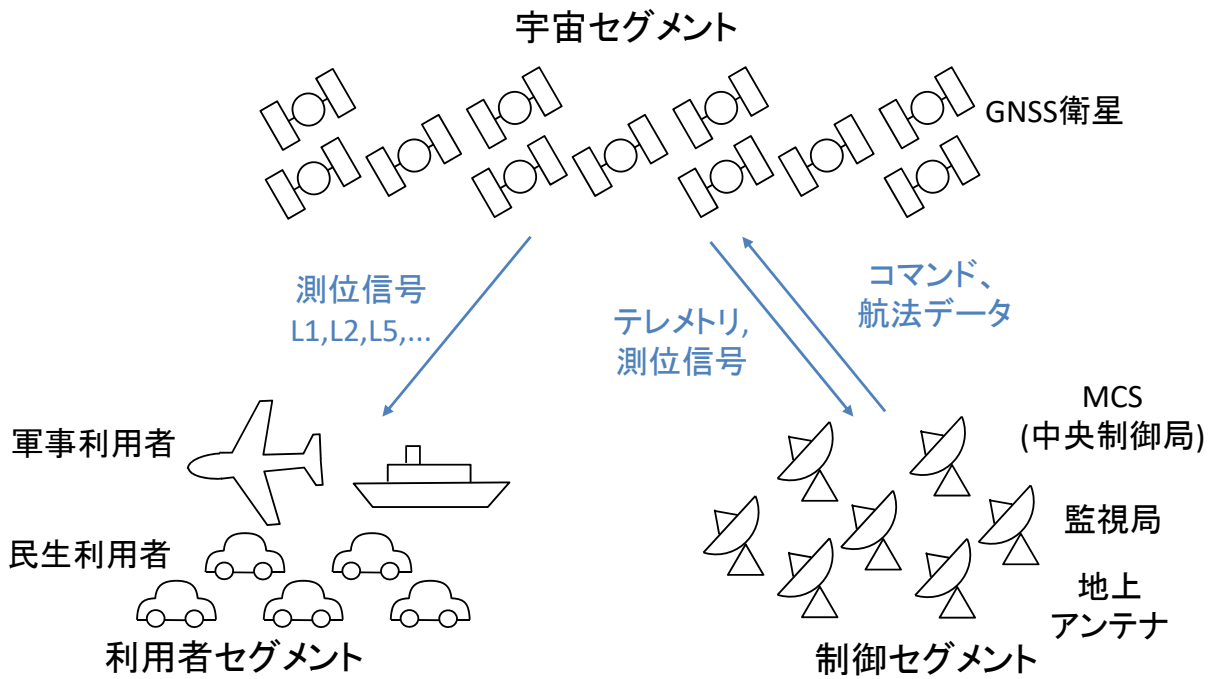
- GNSS (全地球航法衛星システム)
 - GPS (米国)
 - GLONASS (ロシア)
 - Galileo (欧州)
 - BeiDou (中国)
- RNSS (地域航法衛星システム)
 - QZSS (日本)
 - IRNSS (インド)
- SBAS (静止衛星型衛星航法補強システム)
 - WAAS, EGNOS, MSAS, SDCM, GAGAN



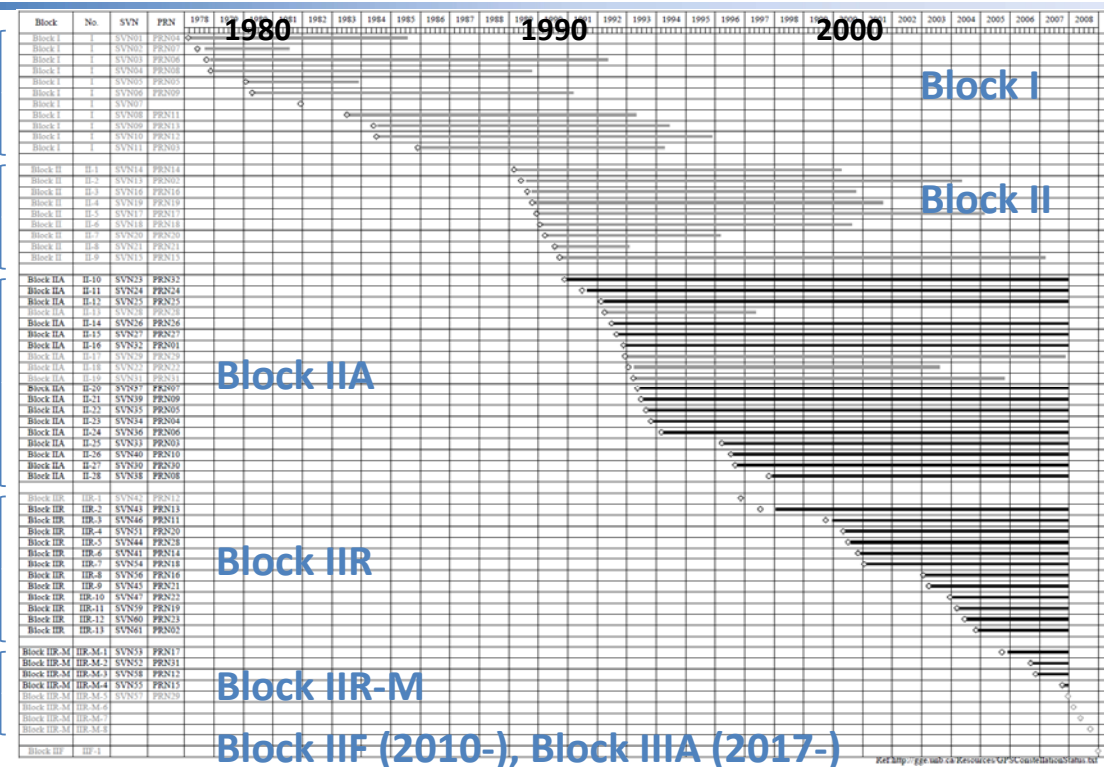
(<http://www.ion.org/museum>)

6

GNSSシステム



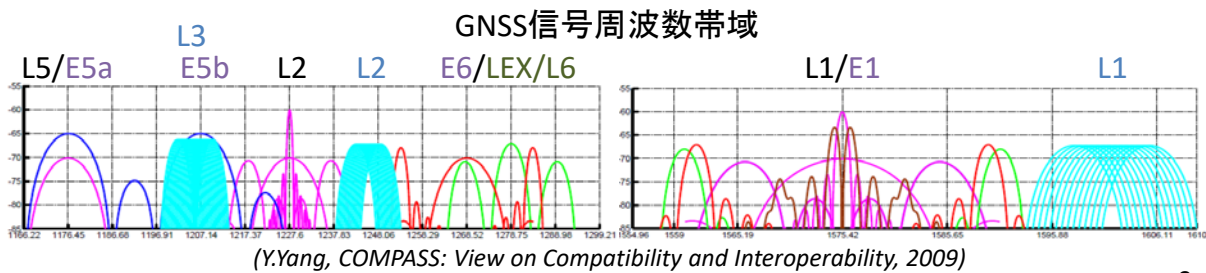
GPS衛星



GNSS衛星及び信号帯域

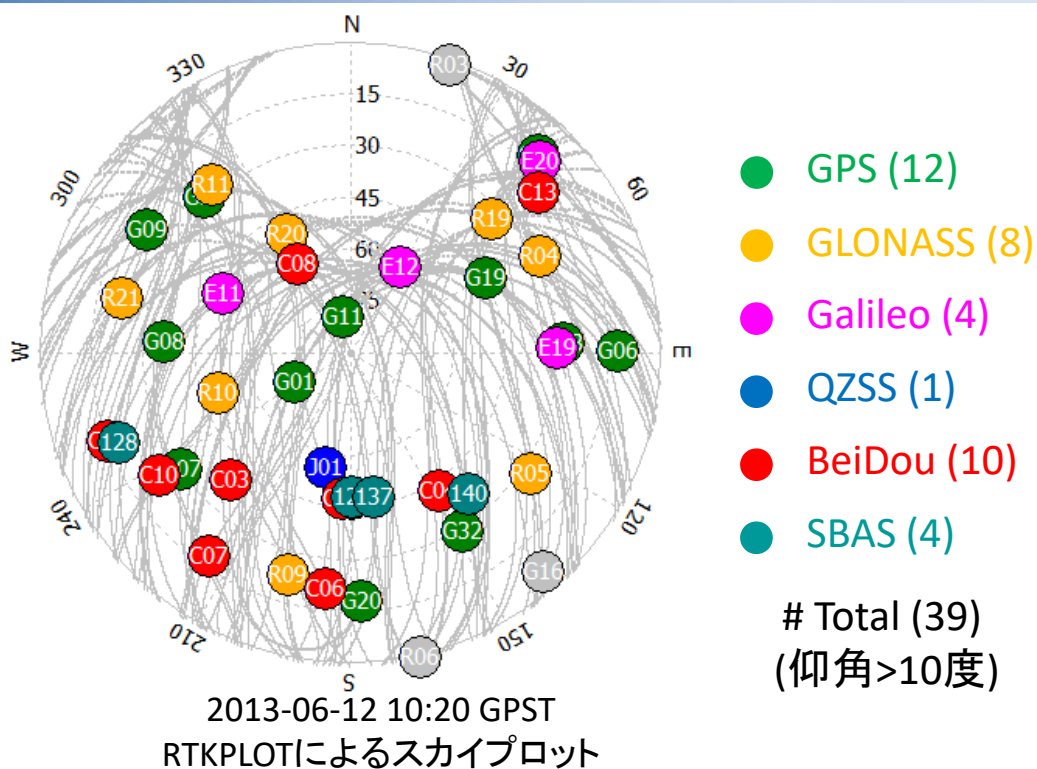
GNSS衛星の数

| システム | 2010 | 2014 | 2017 | 2020 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| GPS | 31 | 31 | 32 | 32 |
| GLONASS | 23 (+2) | 24 (+3) | 24 (+3) | 24 (+3) |
| Galileo | 0 | 4 | 18 | 27 (+3) |
| BeiDou | 6 | 16 | 35 | 35 |
| QZSS | 1 | 1 | 4 | 7 |
| IRNSS | 0 | 1 | 7 | 7 |
| SBAS | 7 | 8 | 11 | 11 |
| 合計 | 68 | 86 | 134 | 149 |



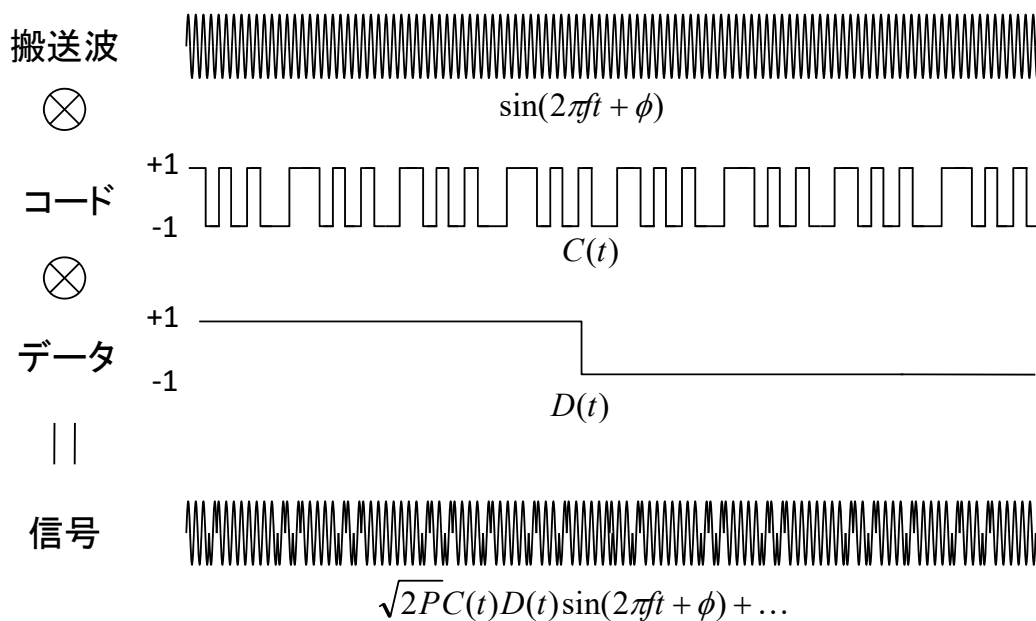
9

東京上空のGNSS衛星配置



10

GNSS信号の構造

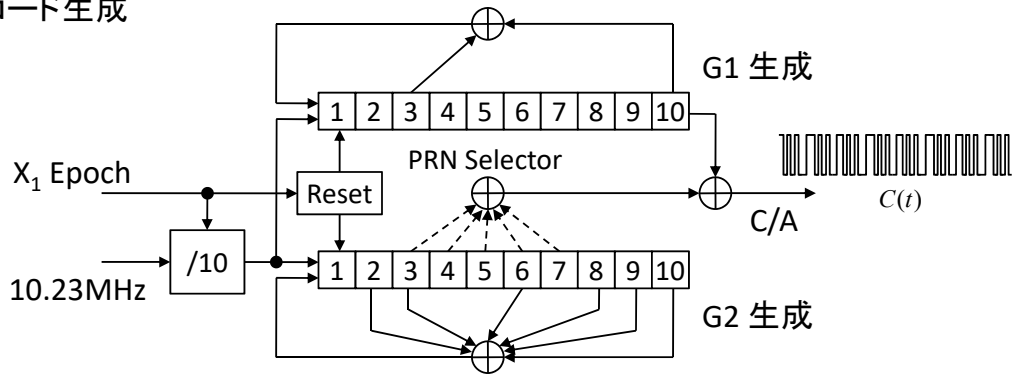


GNSS信号の仕様

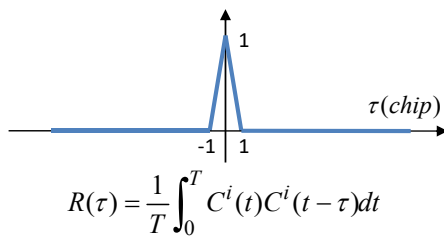
| 周波数(MHz) | | コード | 変調 | データレート | GNSS |
|----------|--------------|---------|-----------------|------------|----------------------|
| L1/E1 | 1575.42 | C/A | BPSK (1) | 50 bps | GPS, QZSS |
| | | | | 250 bps | QZSS (L1-SAIF), SBAS |
| | | P(Y) | BPSK (10) | 50 bps | GPS |
| | | L1C-d/p | MBOC (6,1,1/11) | -/100 bps | GPS (IIIA-), Galileo |
| | | L1C-d/p | BOC (1,1) | -/100 bps | QZSS |
| L1 | 1602+0.5625K | C/A | BPSK | 50 bps | GLONASS |
| L2 | 1227.60 | P(Y) | BPSK (10) | 50 bps | GPS |
| | | L2C | BPSK (1) | 25 bps | GPS (IIRM-), QZSS |
| L2 | 1246+0.4375K | C/A | BPSK | 50 bps | GLONASS |
| L5/E5a | 1176.45 | L5-I/Q | BPSK (10) | -/100 bps | GPS (IIF-), QZSS |
| | | E5a-I/Q | BPSK (10) | -/50 bps | Galileo |
| E5b | 1207.14 | E5b-I/Q | BPSK (10) | -/250 bps | Galileo |
| E6/LEX | 1278.75 | E6-I/Q | BPSK (5) | -/1000 bps | Galileo |
| | | LEX | BPSK (5) | 2000 bps | QZSS |

PRN(疑似雑音)コード

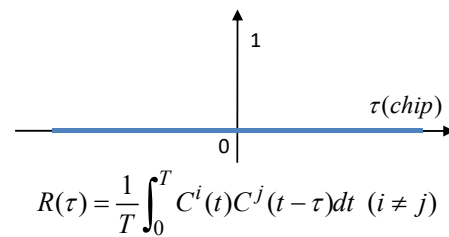
C/A コード生成



自己相関関数

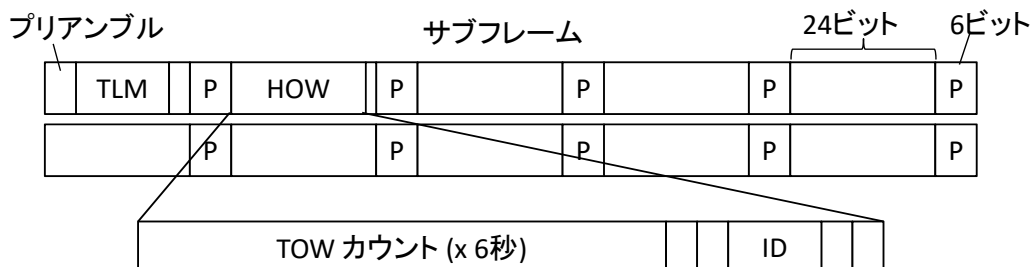
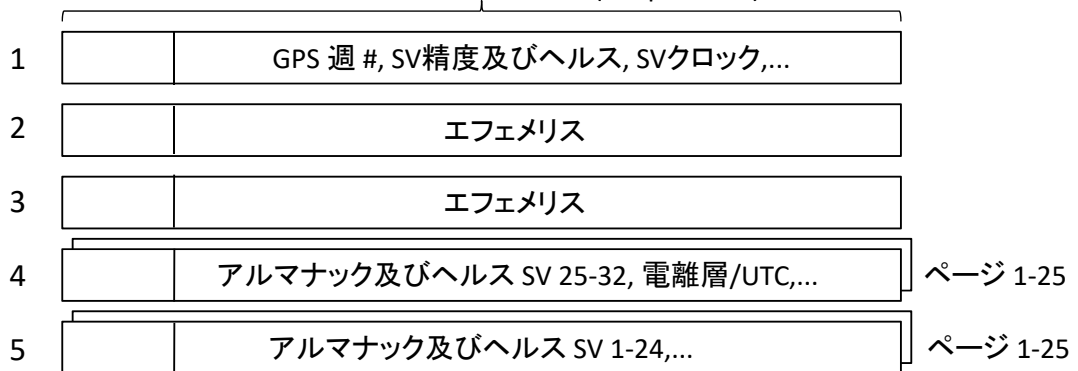


相互相関関数



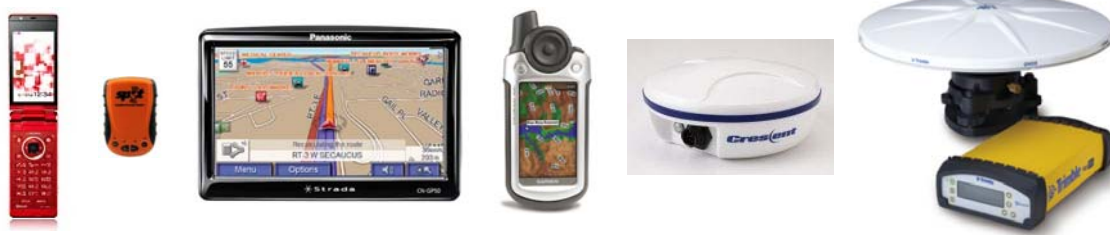
GPS航法データ

サブフレーム 30ビット x 10ワード = 300ビット (50bps x 6秒)



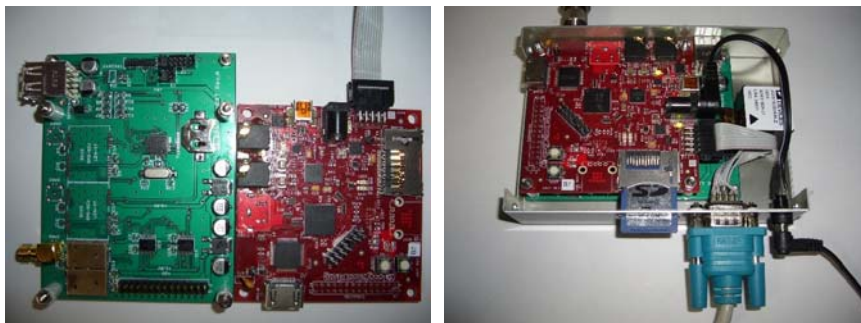
GNSS受信機

市販受信機: \$20 - \$30,000



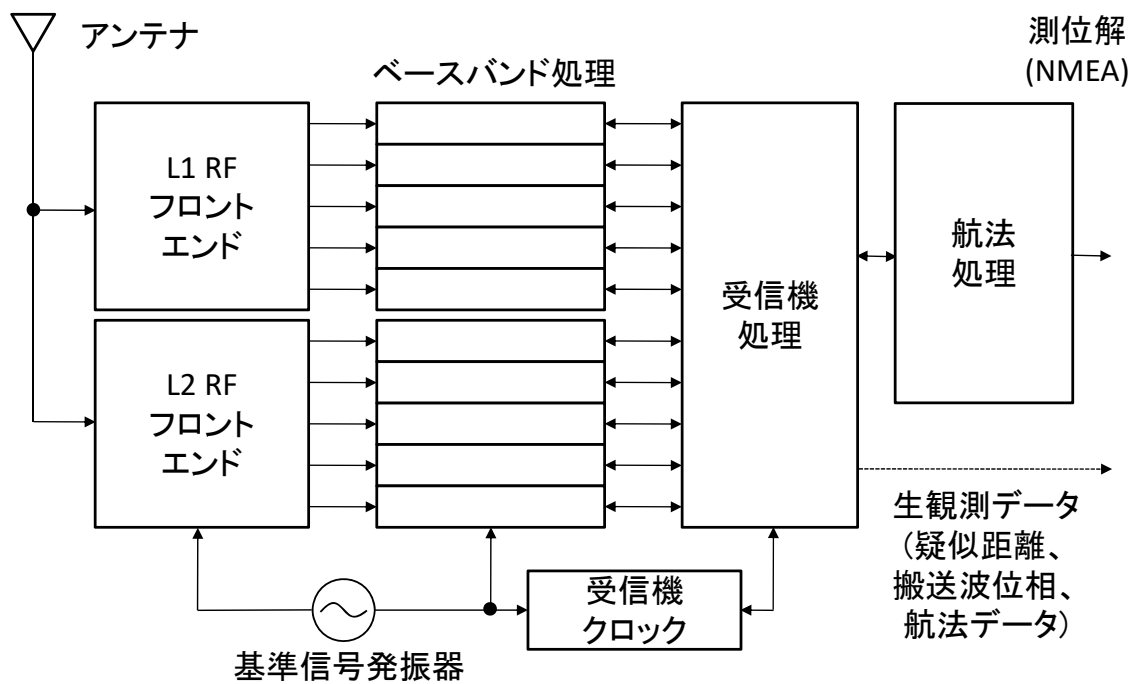
SiRF, u-blox, Garmin, Hemisphere, Trimble, Leica, Topcon, NovAtel, JAVAD, Magellan, ...

自作GPS受信機: \$400



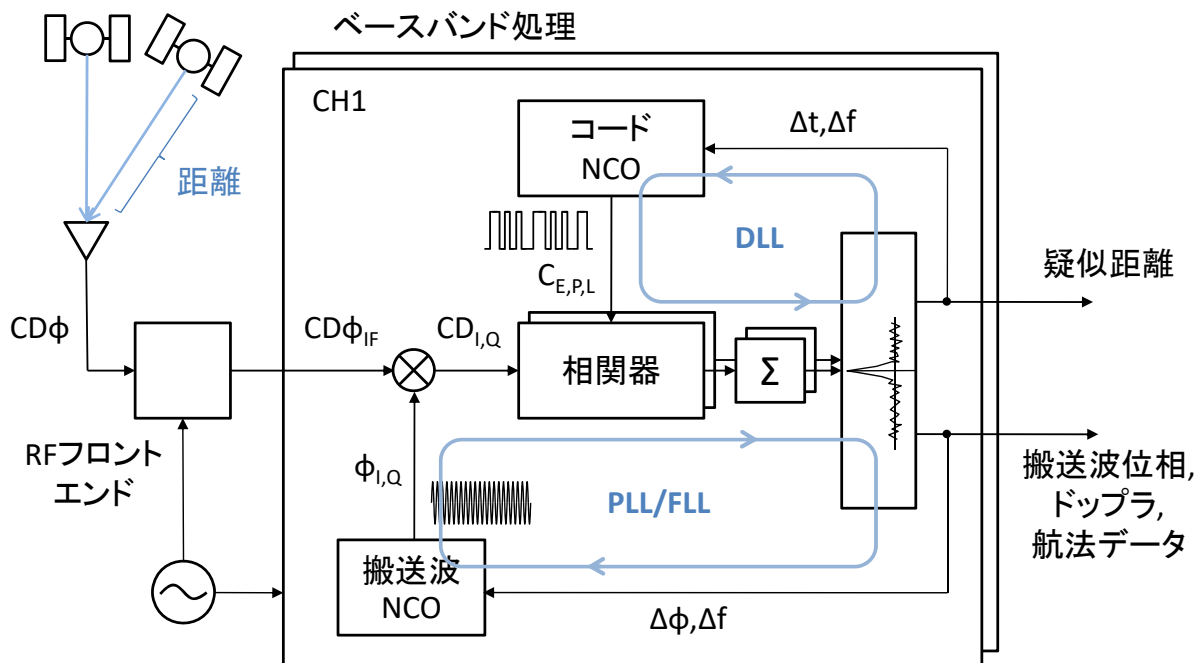
15

GNSS受信機の内部構造



16

GNSS受信機の内部動作



17

GNSS受信機/航法処理

- 受信機処理
 - 信号捕捉 : ドップラ/コード位相探索
 - コード追尾 : DLL (Delay Lock Loop)
 - 搬送波追尾 : PLL/FLL (Phase/Freq Lock Loop)
 - 航法データ復調 (エフェメリス,...)
 - 疑似距離、搬送波位相生成
- 航法処理
 - GNSS測位演算 (単独, DGPS, RTK, ...)
 - 座標変換
 - 入出力メッセージ処理 (NMEA, RTCM, ...)

18

GNSS測位演算

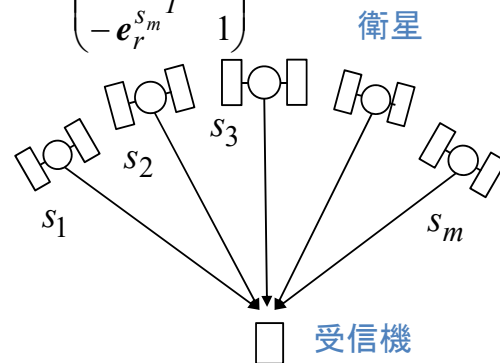
$$\mathbf{x} = (\mathbf{r}_r^T, cdt)^T, \quad \mathbf{y} = (P_r^{s_1}, P_r^{s_2}, P_r^{s_3}, \dots, P_r^{s_m})^T \text{ 疑似距離}$$

$$\mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}) = \begin{pmatrix} \rho_r^{s_1} + \hat{c}dt - cdT^{s_1} + I_r^{s_1} + T_r^{s_1} \\ \rho_r^{s_2} + \hat{c}dt - cdT^{s_2} + I_r^{s_2} + T_r^{s_2} \\ \rho_r^{s_3} + \hat{c}dt - cdT^{s_3} + I_r^{s_3} + T_r^{s_3} \\ \vdots \\ \rho_r^{s_m} + \hat{c}dt - cdT^{s_m} + I_r^{s_m} + T_r^{s_m} \end{pmatrix} \quad \mathbf{H} = \begin{pmatrix} -\mathbf{e}_r^{s_1 T} & 1 \\ -\mathbf{e}_r^{s_2 T} & 1 \\ -\mathbf{e}_r^{s_3 T} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\mathbf{e}_r^{s_m T} & 1 \end{pmatrix}$$

距離 受信機 衛星
クッククック

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{r}}_r^T \\ \hat{c}dt \end{pmatrix}^T \quad \begin{array}{l} \text{受信機位置 +} \\ \text{受信機クック} \end{array}$$

$$= \hat{\mathbf{x}}_0 + (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{y} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_0))$$



19

(2)
受信機を使ってみよう

20

u-blox NEO-M8T

NEO/LEA-M8T
u-blox M8同時並行受信GNSSタイミング・モジュール

- GPS/QZSS, GLONASS, BeiDouの同時並行受信
- 業界最高の精度・追従感度
- 静止 (Survey-in) モードと単一衛星タイミングにより最適化された精度と可用性
- 低デューティサイクル動作による最小の消費電力
- 同歩数モニタリングとアラーム機能による高精度性の実現
- マルチGNSS Rawデータ、IMESメッセージ、データ対応
- LEA-5T, LEA-6TおよびNEO-6Tとの下位互換性

製品バリエーション

| | | |
|---------|--|---------|
| LEA-M8T | u-blox M8 GNSSタイミング・モジュール 55.75 USD (250 - 499 pcs)より | カートに入れる |
| NEO-M8T | u-blox M8 GNSSタイミング・モジュール 48.87 USD (250 - 499 pcs)より | カートに入れる |

Related links

- EVK-8/EVK-M8
- NEO-M8T / LEA-M8T Product Summary
- NEO-LEA-M8T Data Sheet

<https://www-u-blox.com>



21

u-center 8.28

COM23 - u-center 8.28

Messages - UBX - RXM (Receiver Manager) - RAWX (Multi-GNSS Raw Measurement Data)

Local Time: 1988:151536.991000000 [s]

| SV | Sig. | G. | Pseudo Range [m] | Carrier Phase [c] | Dopple. | Lock_T | SNR1 | PR Std. | CP Std. | DD S |
|------|------|----|------------------|-------------------|---------|--------|------|---------|---------|------|
| G102 | L1C | - | 21477231.23 | 112862613.08 | 1630.6 | 64500 | 42 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G103 | L1C | - | 21080911.63 | 110702115.46 | -3995.9 | 64500 | 40 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G09 | L1C | - | 18621154.69 | 37743226.04 | 763.5 | 64500 | 49 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G09 | L1C | - | 18886023.74 | 35246720.89 | 1347.7 | 64500 | 48 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G12 | L1C | - | 21532004.38 | 113469795.05 | 488.4 | 64500 | 43 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G17 | L1C | - | 17699995.78 | 94041916.84 | -1235.3 | 64500 | 51 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G19 | L1C | - | 17720756.47 | 93195241.15 | -382.4 | 64500 | 49 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| R17 | L1OF | -5 | 17725483.10 | 94606287.83 | -2291.6 | 3000 | 51 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| R106 | L1OF | -4 | 16865101.28 | 88531234.38 | 398.7 | 64500 | 48 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| G23 | L1C | - | 15723910.95 | 103645945.69 | -392.2 | 64500 | 49 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| Q01 | L1C | - | 25276777.07 | 185306218.90 | -1258.6 | 64500 | 47 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| R22 | L1OF | -3 | 2110949.87 | 112681989.59 | 2958.7 | 64500 | 44 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |
| R109 | L1OF | -1 | 16416675.06 | 96493399.81 | -3861.8 | 64500 | 49 | 0.32 | 0.004 | 0.1 |

Configure - GNSS Configuration

UBX - CFG (Config) - GNSS (GNSS Config)

| ID | GNSS | Configure | Enable | Channels min | max | Signals |
|----|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-----|-------------|
| 0 | GPS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 8 | 16 | L1C/A |
| 1 | SBAS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0 | 0 | L1C/A |
| 2 | Galileo | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0 | 0 | E1 |
| 3 | BeiDou | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0 | 16 | B1 |
| 4 | IMES | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0 | 0 | L1C/A |
| 5 | QZSS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | 3 | L1C/A L1SAF |
| 6 | GLONASS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 8 | 14 | L1OF |
| 7 | IRNSS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | | |

Number of channels available: 20
Number of channels to use: 20

22

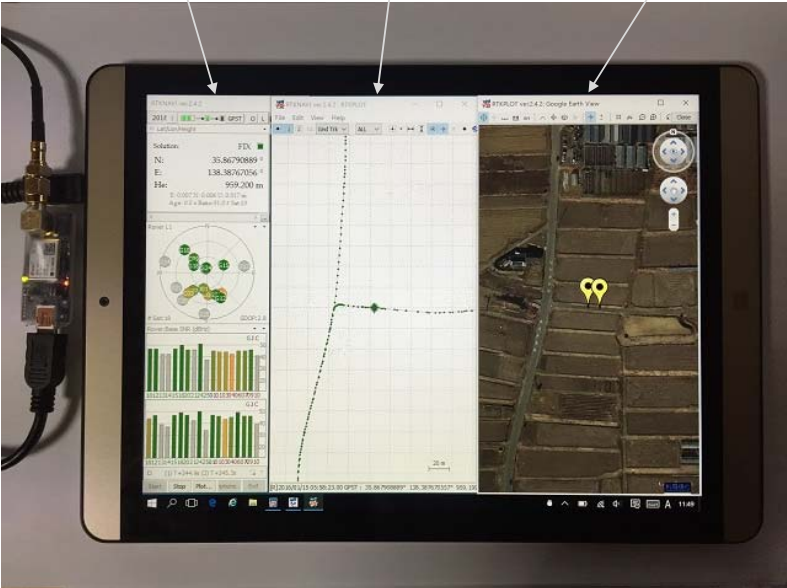
u-centerを使って受信機内部を覗く

- Message View
 - NMEA
 - MON - HW
 - NAV - ORB, PVT, SAT, SVINFO,
 - RXM - RAWX, SFRBX
- Configuration View
 - DGNSS, GNSS
 - MSG
 - PORT, RATE
 - NAV5
 - PORT

23

u-blox M8T + RTKLIB (1)

RTKNAVI RTKPLOT RTKPLOT (GE View)



Receiver:
CSG Shop
u-blox NEO-
M8T card

ONDA
V919 Air CH
9.7"
(2048x1536)
ATOM X5-8300,
RAM 4GB,
Flash 64GB

Com Link to base-station: Y-mobile WiFi Router

24

u-blox M8T + RTKLIB (2)



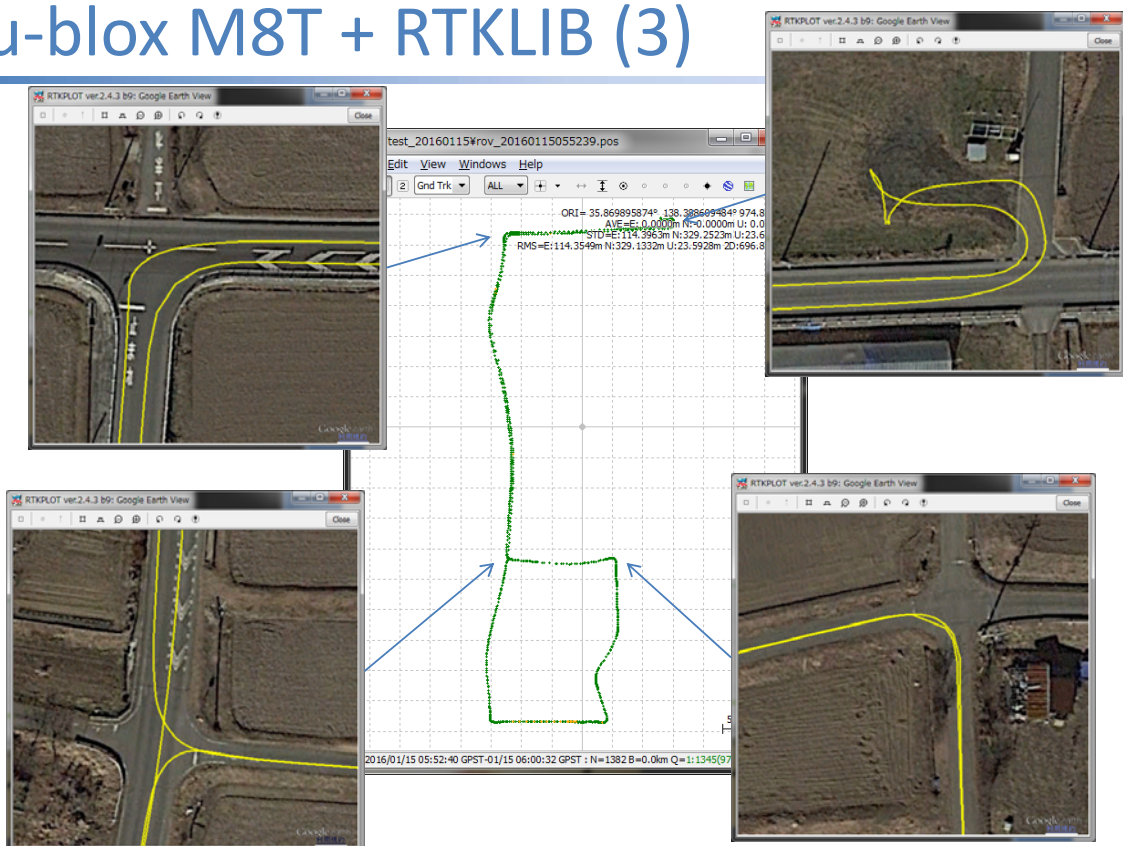
Receiver:
CSG Shop
u-blox NEO-
M8T card

Antenna:
Tallysman
TW4721



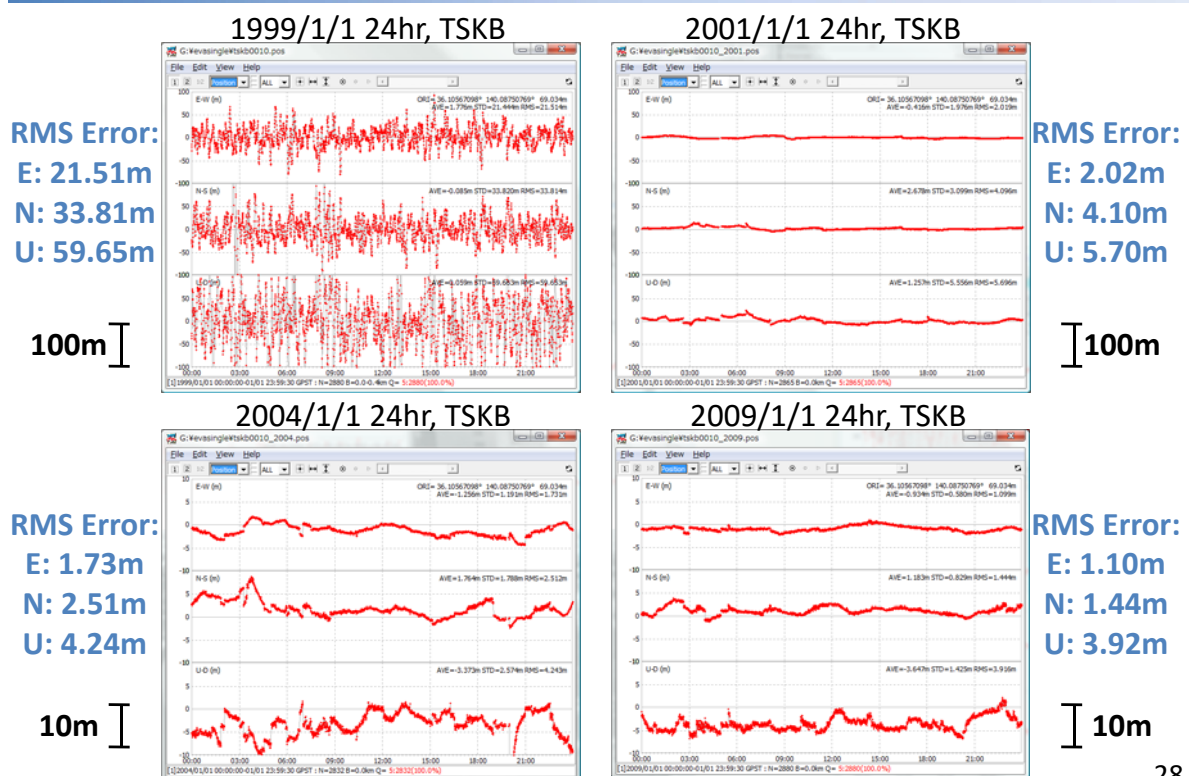
Tallysman
TW2400

u-blox M8T + RTKLIB (3)



(3) RTKの原理

GNSS標準測位 (コード測位) 誤差



コード測位 vs 搬送波測位

| | 標準測位(コード測位) | 高精度測位(搬送波測位) |
|-------------|--|---|
| 観測量 | 疑似距離 (コード) | 搬送波位相 + 疑似距離 |
| 受信機ノイズ | 30 cm | 3 mm |
| マルチパス | 30 cm - 30 m | 1 - 3 cm |
| 感度 | 高感度 (C/N0<15dBHz) | 低感度 (C/N0>35dBHz) |
| 連続性 | - | サイクルスリップ |
| アンビギュイティ | - | 推定/AR |
| 受信機価格 | 安価 (~\$100) | 高価 (~\$20,000) |
| 精度 (RMS) | 3 m (H), 5 m (V) (単独) 1 m (H), 2 m (V) (DGPS) | 5 mm (H), 1 cm (V) (静止) 1 cm (H), 2 cm (V) (RTK) |
| 応用 | 航法, 時刻, ... | 測量, 地図, ... |

29

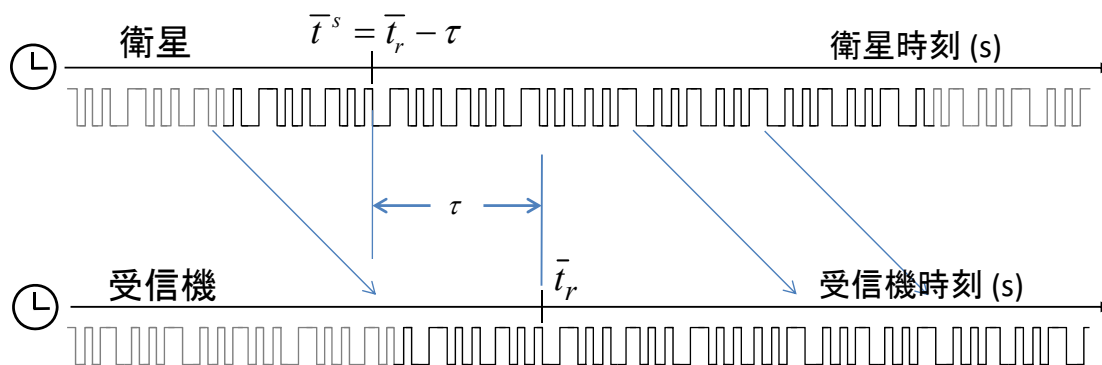
疑似距離

定義:

$$P_r^s \equiv c\tau = c(\bar{t}_r - \bar{t}^s)$$

(m)

The pseudo-range (PR) is the distance from the receiver antenna to the satellite antenna including receiver and satellite clock offsets (and other biases, such as atmospheric delays) (*RINEX 2.10*)



30

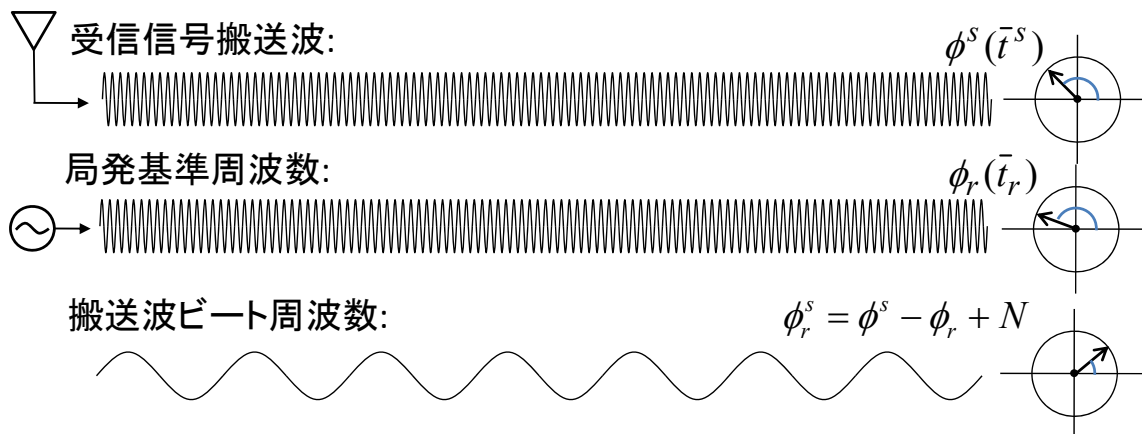
搬送波位相

定義:

$$\phi_r^s = \phi^s - \phi_r + N$$

(cycle)

... actually being a measurement on the beat frequency between the received carrier of the satellite signal and a receiver-generated reference frequency. (RINEX 2.10)



31

RTKの技術要素

- 二重位相差
 - 搬送波位相による高精度観測値
 - 衛星・受信機時計誤差消去
 - 暦誤差+電離層+対流圏遅延消去(短基線)
- 高速アンビギュイティ(整数値バイアス)決定
 - 高速な高精度解
 - 高速初期化(瞬時～数分)
 - 高速再初期化(移動体・スリップ対応)

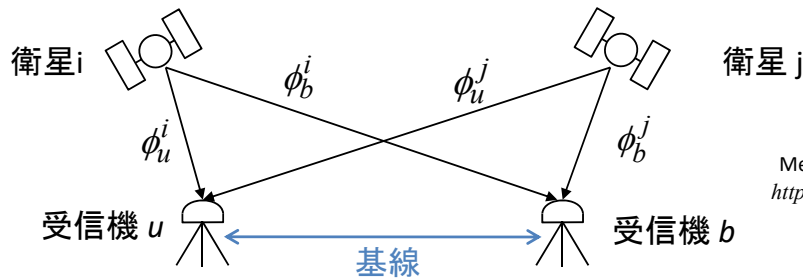
32

二重位相差

$$\begin{aligned}\Phi_{ub}^{ij} &\equiv \lambda((\phi_u^i - \phi_b^i) - (\phi_u^j - \phi_b^j)) \\ &= \rho_{ub}^{ij} + c(dt_{ub}^{ij} - dT_{ub}^{ij}) - I_{ub}^{ij} + T_{ub}^{ij} + \lambda B_{ub}^{ij} + d_{ub}^{ij} + \varepsilon_\Phi \\ &= \rho_{ub}^{ij} - I_{ub}^{ij} + T_{ub}^{ij} + \lambda N_{ub}^{ij} + d_{ub}^{ij} + \varepsilon_\Phi \\ dt_{ub}^{ij} &= dt_u^{ij} - dt_b^{ij} = 0, dT_{ub}^{ij} = dT_{ub}^i - dT_{ub}^j \approx 0 \\ B_{ub}^{ij} &= (\phi_{u,0} - \phi_0^i + N_u^i) - (\phi_{b,0} - \phi_0^i + N_b^i) - (\phi_{u,0} - \phi_0^j + N_u^j) + (\phi_{b,0} - \phi_0^j + N_b^j) = N_{ub}^{ij}\end{aligned}$$

(短基線+同一アンテナ)

$$\begin{aligned}\Phi_{ub}^{ij} &\approx \rho_{ub}^{ij} + \lambda N_{ub}^{ij} + \varepsilon_\Phi \\ I_{ub}^{ij} &= I_{ub}^i - I_{ub}^j \approx 0, T_{ub}^{ij} = T_{ub}^i - T_{ub}^j \approx 0, d_{ub}^{ij} = d_{ub}^i - d_{ub}^j \approx 0\end{aligned}$$



Memo for Misra & Enge:
<http://gpspp.sakura.ne.jp/diary200608.htm>

33

基線解析

非線形最小二乗:

未知パラメータ:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{r}_u^T, N_{ub}^{s_2 s_1}, N_{ub}^{s_3 s_1}, \dots, N_{ub}^{s_m s_1})^T$$

観測ベクタ:

$$\mathbf{y} = (y_{t_1}^T, y_{t_2}^T, \dots, y_{t_n}^T)^T$$

観測モデル:

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = (\mathbf{h}_{t_1}(\mathbf{x})^T, \mathbf{h}_{t_2}(\mathbf{x})^T, \dots, \mathbf{h}_{t_n}(\mathbf{x})^T)^T$$

$$\mathbf{H} = (\mathbf{H}_{t_1}^T, \mathbf{H}_{t_2}^T, \dots, \mathbf{H}_{t_n}^T)^T$$

観測誤差共分散:

$$\mathbf{R} = \text{blkdiag}(\mathbf{R}_{t_1}, \mathbf{R}_{t_2}, \dots, \mathbf{R}_{t_n})$$

解法:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}_0 + (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{h}(\mathbf{x}_0))$$

$$\mathbf{y}_{t_k} = (\Phi_{ub,t_k}^{s_2 s_1}, \Phi_{ub,t_k}^{s_3 s_1}, \dots, \Phi_{ub,t_k}^{s_m s_1})^T$$

$$\mathbf{h}_{t_k}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} \rho_{u,t_k}^{s_2 s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_2 s_1} + \lambda N_{ub}^{s_2 s_1} \\ \rho_{u,t_k}^{s_3 s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_3 s_1} + \lambda N_{ub}^{s_3 s_1} \\ \vdots \\ \rho_{u,t_k}^{s_m s_1} - \rho_{b,t_k}^{s_m s_1} + \lambda N_{ub}^{s_m s_1} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{H}_{t_k} = \begin{pmatrix} -\mathbf{e}_{u,t_k}^{s_2 s_1 T} & \lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\mathbf{e}_{u,t_k}^{s_3 s_1 T} & 0 & \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\mathbf{e}_{u,t_k}^{s_m s_1 T} & 0 & 0 & \dots & \lambda \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_{t_k} = \begin{pmatrix} 4\sigma_\phi^2 & 2\sigma_\phi^2 & \dots & 2\sigma_\phi^2 \\ 2\sigma_\phi^2 & 4\sigma_\phi^2 & \dots & 2\sigma_\phi^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 2\sigma_\phi^2 & 2\sigma_\phi^2 & \dots & 4\sigma_\phi^2 \end{pmatrix}$$

\mathbf{r}_b : 基準局座標

34

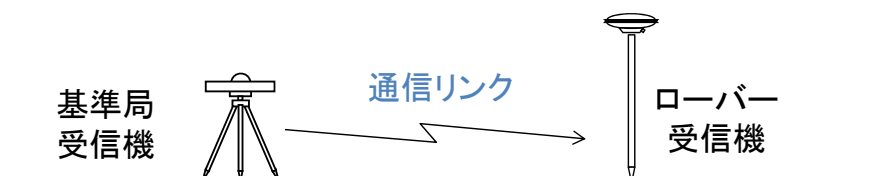
アンビギュイティ決定

- 目的
 - 精度改善
 - 収束時間高速化
- 多数の過去研究開発
 - 単純四捨五入
 - WL/NL手法
 - 受信機座標空間探索
 - アンビギュイティ空間探索
 - AFM, FARA, LSAST, LAMBDA, ARCE, HB-L³, Modified Cholesy Decomposition, Null Space, FAST, OMEGA, ...

35

RTK (リアルタイムキネマティック)

- 基線解析による精密測位技術
 - ローバアンテナ位置のリアルタイム算出
 - 通信リンク
 - OTF (オンザフライ) 整数アンビギュイティ決定
 - 精度: $1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm} \times \text{基線長 (水平RMS)}$
 - 応用: 測地測量, 建設機械制御, 精密農業等



36

RTKの応用 (1)



Geodetic Survey



Construction Machine Control



Precision Agriculture



ITS (Intelligent Transport System)



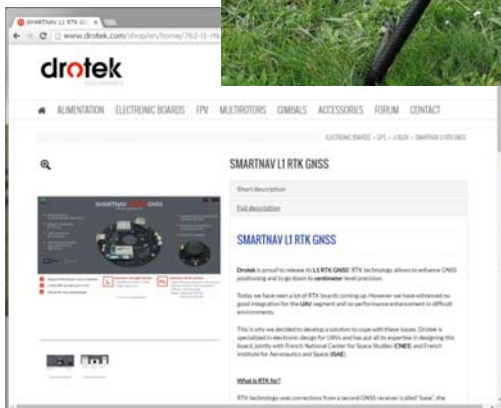
Mobile Mapping System



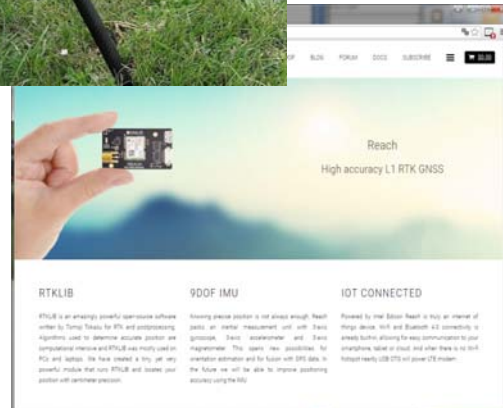
Sports

<http://www.trimble.com>, <http://www.leica-geosystems.com>, <http://www.gpsworld.com> 37

RTKの応用 (2)

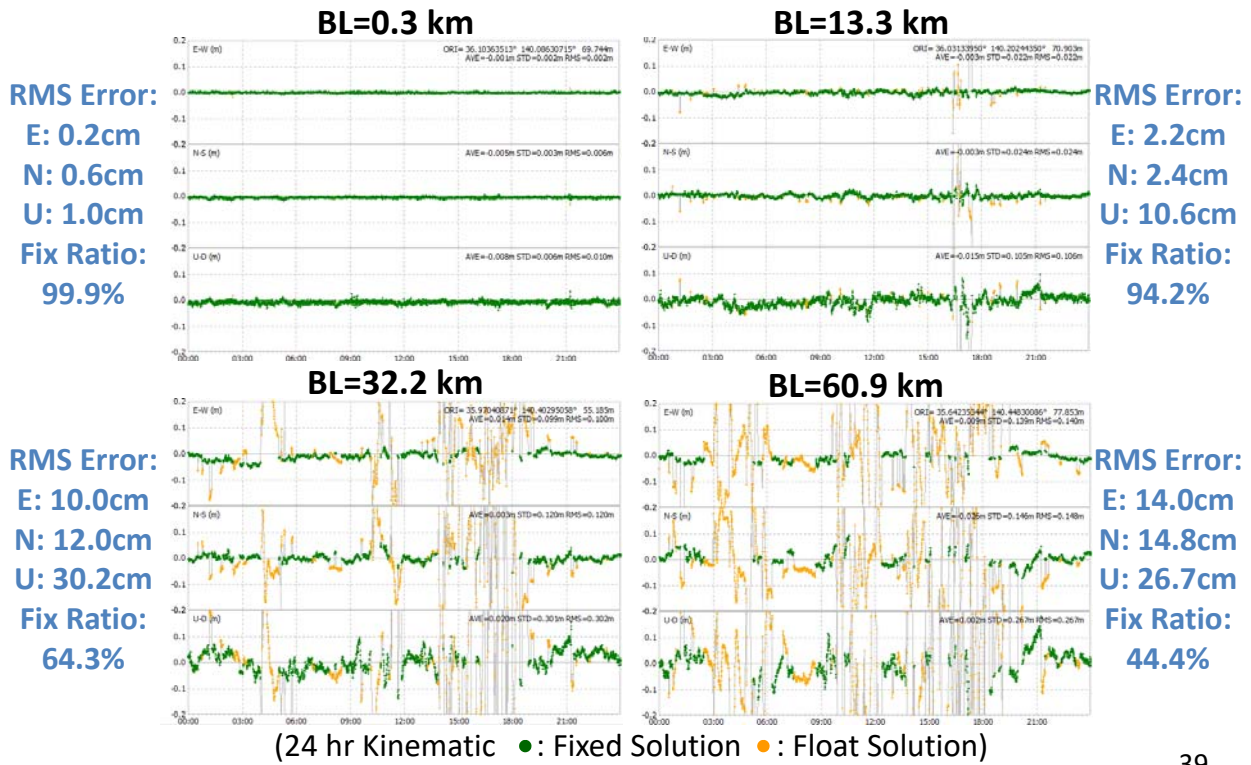


<http://www.drotek.com>



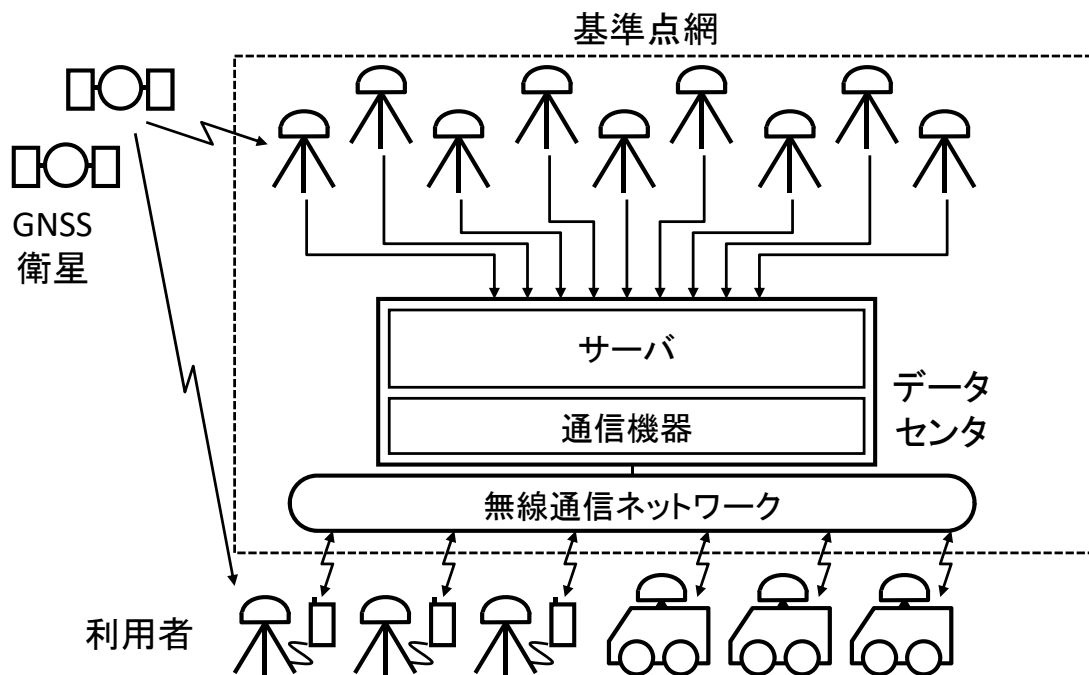
<http://www.emlid.com>

基線長の影響



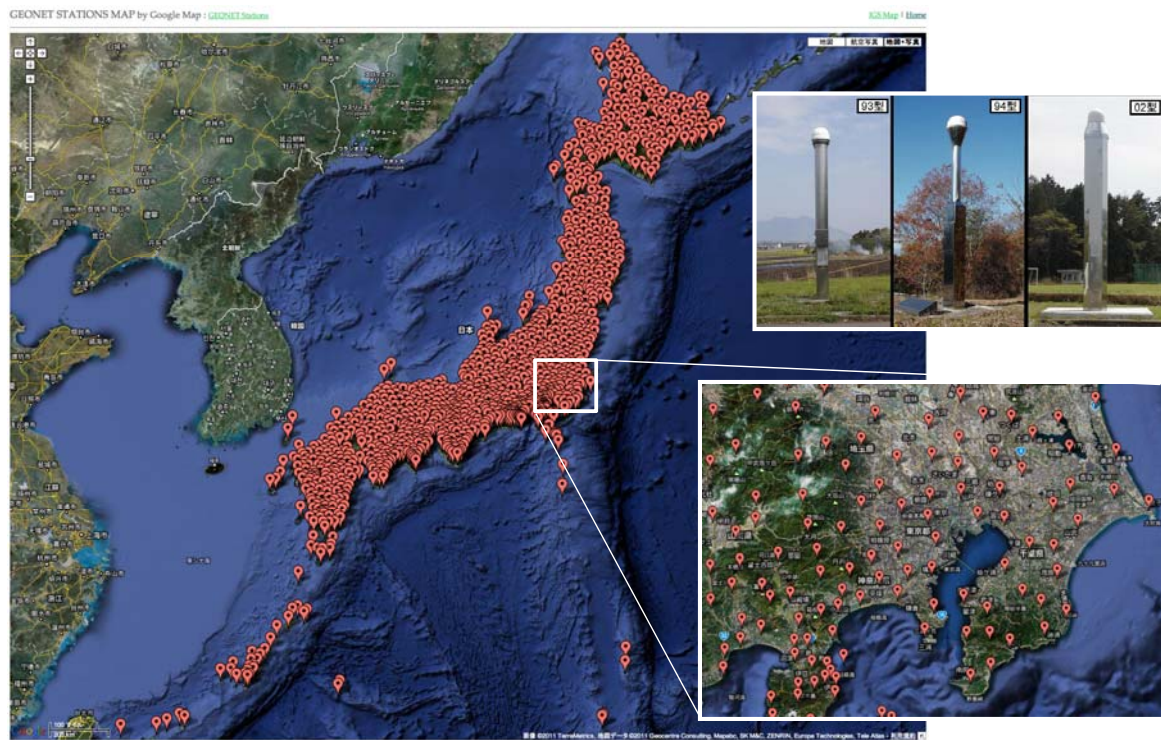
39

ネットワーク型RTK



40

GEONET



(<http://terras.gsi.go.jp/ja/index.htm>)

41

NRTKサービス

- 国内NRTKサービスプロバイダ
 - ジェノバ (<http://www.jenoba.jp>)
 - 日本GPSデータサービス (<http://www.gpsdata.co.jp>)
 - 日本テラサット (<http://www.terasat.co.jp>)
- 主要サーバソフトウェア
 - Trimble GPSNet/RTKNet
 - GEO++ GNSSMART
 - Leica GNSS Spider

42

RTKの制約

- 受信機コスト
 - 2周波受信機は未だに高価 (¥100～300万/台)
- 基準点設置・運用
 - 単独受信機のみで測位できない
- 基線長制限
 - 10～20 kmを越える基線で性能悪化
- 利用可能エリア制限
 - 基準点近傍エリアのみ
 - 広域利用には非常に多数の基準点が必要

43

RTKLIB

- OSS GNSS測位解析パッケージ
 - 開発開始 : 2006年
 - 現行バージョン : ver. 2.4.2 p13
 - ライセンス : BSD 2-clause
- API + AP
 - オールインワンパッケージ
 - Windows : GUI AP
 - その他 : CUI (CLI) AP



ダウンロード

<https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB>

44

RTKLIB: 履歴

- 2006/4 v.0.0.0 初期バージョン (RTK+C 講義用)
- 2007/1 v.1.0.0 単機能後処理基線解析AP
- 2008/7 v.2.1.0 後処理AP追加
- 2009/1 v.2.2.0 リアルタイムAP追加、NTRIPサポート
OSS配布開始
- 2009/5 v.2.2.1 RTCM, NRTKサポート, 受信機追加
- 2009/12 v.2.3.0 GLONASSサポート, 受信機追加
- 2010/8 v.2.4.0 PPP、長基線RTKサポート, 受信機追加
- 2011/6 v.2.4.1 QZSSサポート, 受信機追加
- 2013/4 v.2.4.2 Galileo, BeiDouサポート追加
- 2018/2 v.2.4.2 p13 (各種バグ修正)

45

RTKLIB: 特徴

- GNSS衛星による標準及び高精度測位:
 - GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDou and SBAS
- リアルタイム及び後処理測位モード:
 - Single, SBAS, DGPS, RTK, Static, Moving-base and PPP
- 標準フォーマット/プロトコル及び受信機サポート:
 - RINEX 2/3, RTCM 2/3, BINEX, NTRIP 1.0, NMEA0183, SP3, RINEX CLK, ANTEX, NGS PCV, IONEX, RTCA-DO-229, EMS,
 - NovAtel, JAVAD, Hemisphere, u-blox, SkyTraq, NVS, ...
- リアルタイム通信:
 - シリアル, TCP/IP, NTRIP 及びファイル

46

RTK (従来)

Antenna: ~¥400K



Receiver: ~¥2,000K

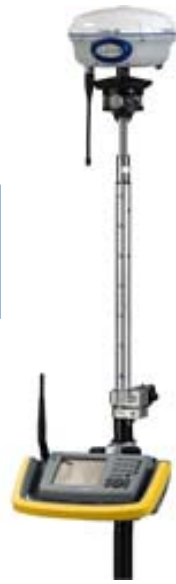


基準局

GPS



Antenna-Receiver: ~¥2,000K



Controller: ~¥500K

移動局

全部で
1式¥500万位

<http://www.trimble.com>

RTK with RTKLIB

Antenna: \$75.45



Receiver: \$74.99



基準局

GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDou



Antenna: \$75.45



Receiver: \$74.99



移動局

全部で
1式¥6万位

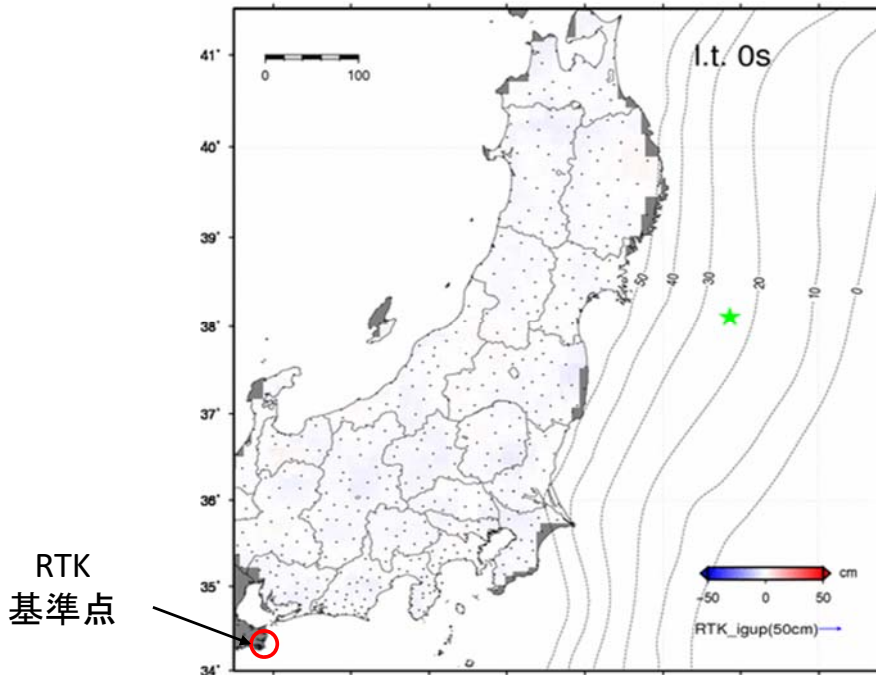
PC (流用)



Windows Tablet \$179



RTKLIB: 応用例



Y. Ohta et al., Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting base on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), JGR-solid earth, 2012

地理院REGARD

GPS活用震源・規模特定
来春から本格運用
地理院など

巨大地震が起きた際、GPSで正確な位置を計測している全国1300カ所の電子基準点のずれをもとに、震源や規模を数分で特定する技術を国土地理院などが開発、来春から本格運用を始めることがわかった。地理院は気象庁などへのデータ提供も検討中だ。電子基準点で地震をとらえるイメージ

GPS衛星が運用する人工衛星からの電波をもとに、地球上の位置を正確に計測するシステム。カーナビや携帯電話などで使われている。電子基準点は高さ約5mの柱で、内部にGPS衛星からの電波を受信機や通信機器などが収納されている。全国に平均して約20m間隔で設置されている。

気象庁の地震計ではすぐ規模を算出できなかった東北日本震災級の地震にも対応できるという。地震の規模や震源の素早い特定は津波の予測にも生かせる。地理院によると、電子基準点は地球の上空を回るGPS衛星の電波を受信し、1秒ごとに正確な位置を測定している。高精度な位置情報は、電子基準点がある場所ですべての地震変動をとらえるのにも役立つ。そのため、地理院は1995年の阪神大震災後から各地で設置を進めてきた。

東日本大震災後、地理院

の宮川康平・地震調査官や東北大の太田雄策准教授らは、電子基準点が地震で動いた向きや大きさを素早く分析し地震の規模や発生場所を自動的に割り出す技術を開発。来年4月から全国の電子基準点の動きをリアルタイムで監視する「REGARD」というシステムが稼働することになった。背景には、東日本大震災で地震計が振り切れ、規模の分析に時間がかかったことがある。気象庁は発生直後、マグニチュード(M)を実際より小さく発表し、M9.0と確定したのは2日後。宮川さんによると、REGARDを使うと3分ほどで計算できたという。ただREGARDはM8级以上の巨大地震が対象で、小さな地震では電子基準点が大きく動かないためにとらえられないという。(福島晋吾)

朝日新聞
2014/12/31

(4) RTKLIBを使ってみよう

51

RTKLAUNCH (APランチャ)

- 以下ファイルダブルクリック
...¥seminar_2018¥rtklib_2.4.2p13¥bin¥rtklaunch.exe

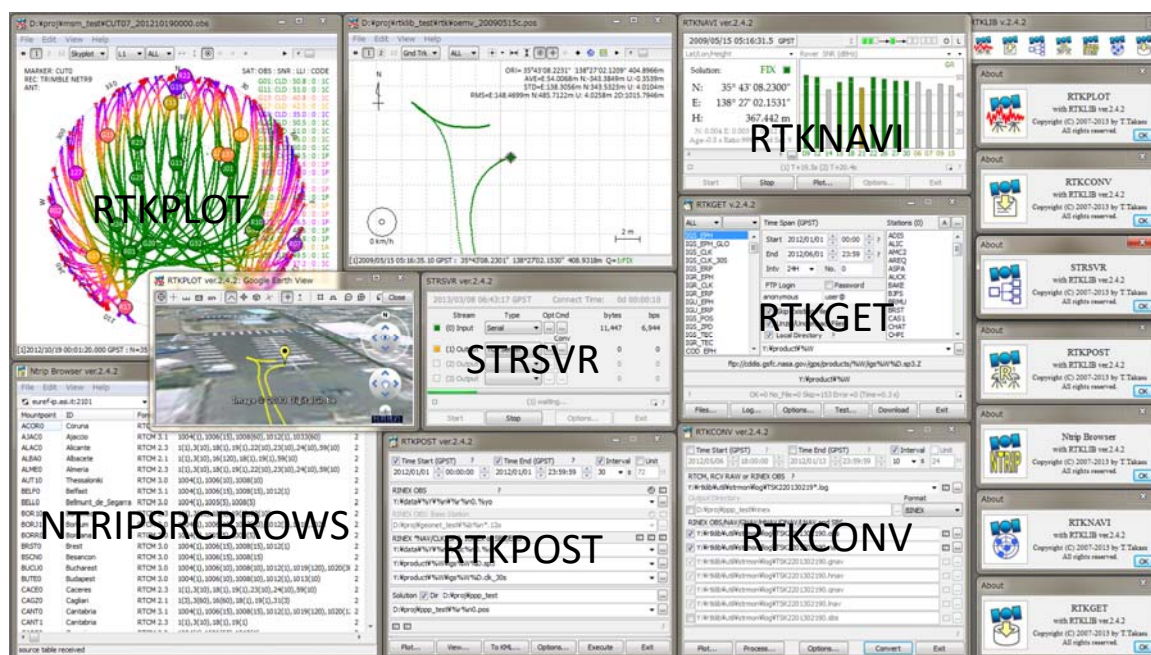


RTKPLOT STRSVR NTRIPBR RTKGET
RTKCONV RTKPOST RTKNAVI

- デスクトップにショートカット作成

52

RTKLIB: GUI AP (Windows)



53

RTKLIB AP

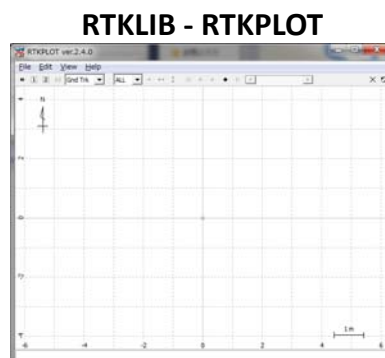
| | 機能 | GUI AP (Windows) | CUI AP |
|-----|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| (1) | APランチャ | RTKLAUNCH (3.1) | - |
| (2) | リアルタイム測位 | RTKNAV1 (3.2, 3.3, 3.5) | RTKRCV (3.11, A.1) |
| (3) | 通信サーバ | STRSVR, (3.3) | STR2STR (3.11, A.5) |
| (4) | 後処理測位 | RTKPOST (3.4, 3.5) | RNX2RTKP (3.11, A.2) |
| (5) | RINEX変換 | RTKCONV (3.6) | CONVBIN (3.11, A.4) |
| (6) | GNSSデータ・測位解プロット | RTKPLOT (3.7, 3.8) | - |
| (7) | GNSSデータダウンローダ | RTKGET (3.9) | - |
| (8) | NTRIPブラウザ | NTRIPBROWS (3.10) | - |

() マニュアル章番号

54

RTKLIB例題 (1)

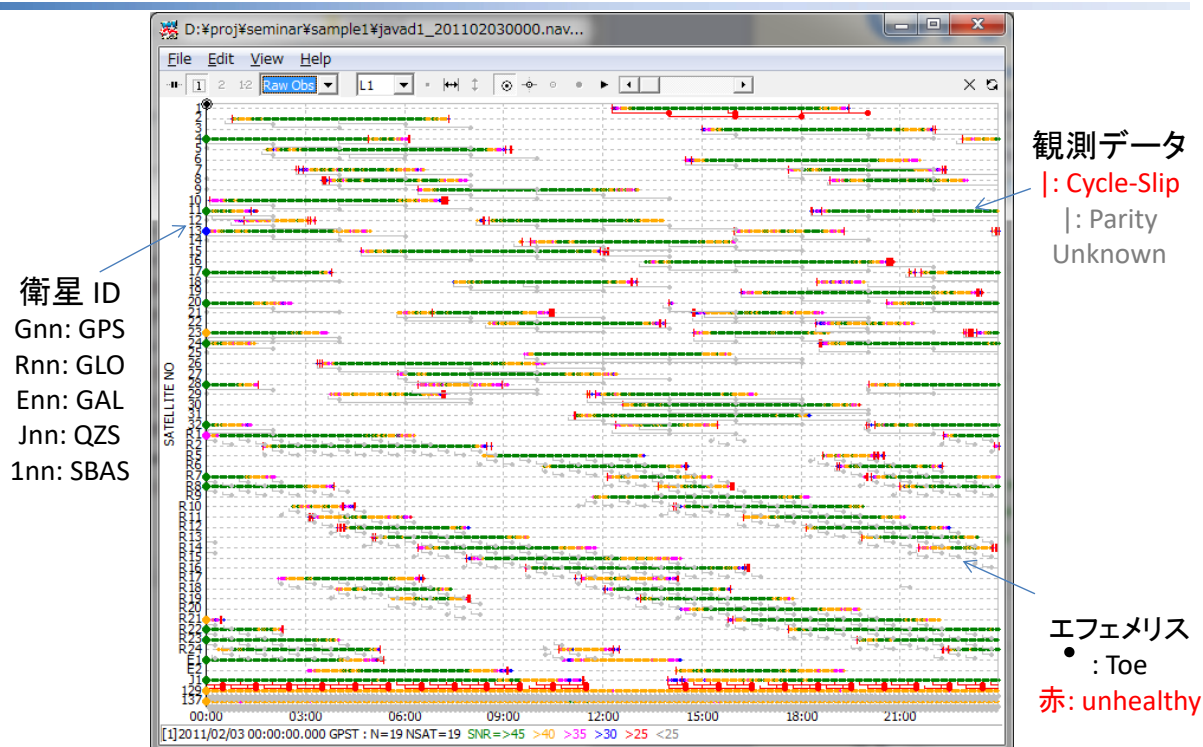
- RTKPLOT 起動
- 以下メニュー実行:
File - Open Obs Data...
seminar_2018¥sample1¥
javad1_201102030000.obs



JAVAD DELTA受信機

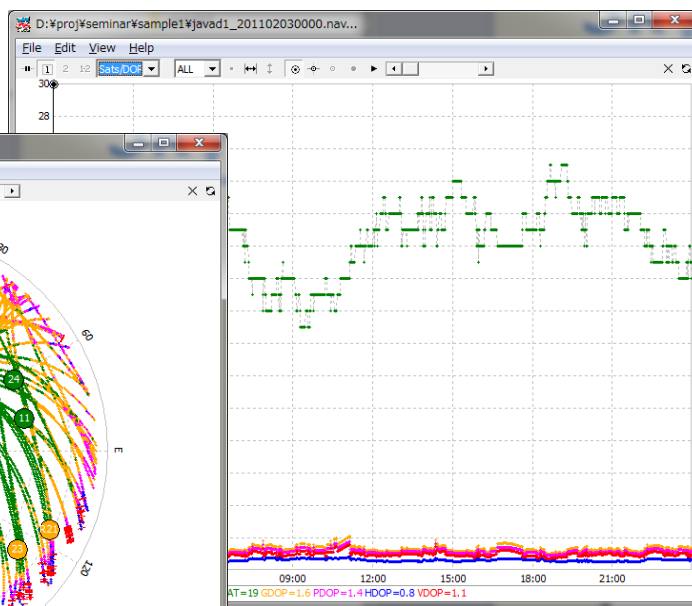
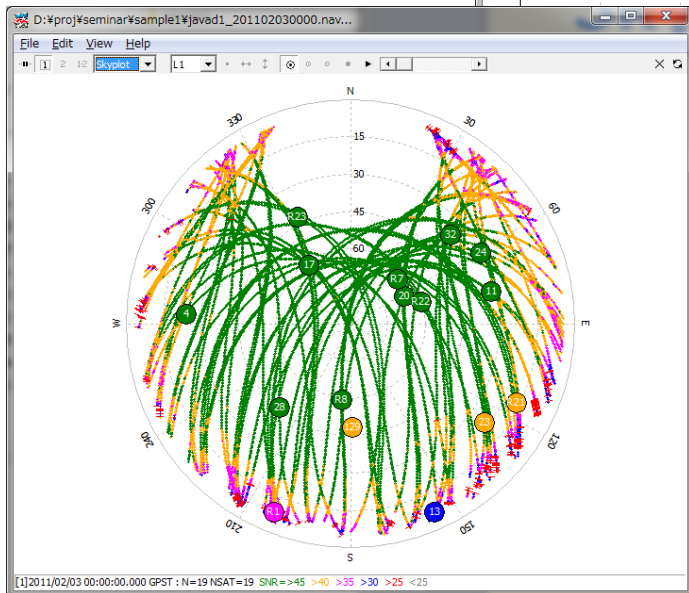
Acknowledgment:
Sample data were captured by JAVAD DELTA receiver provided by JAXA

RTKLIB例題 (2)



RTKLIB例題 (3)

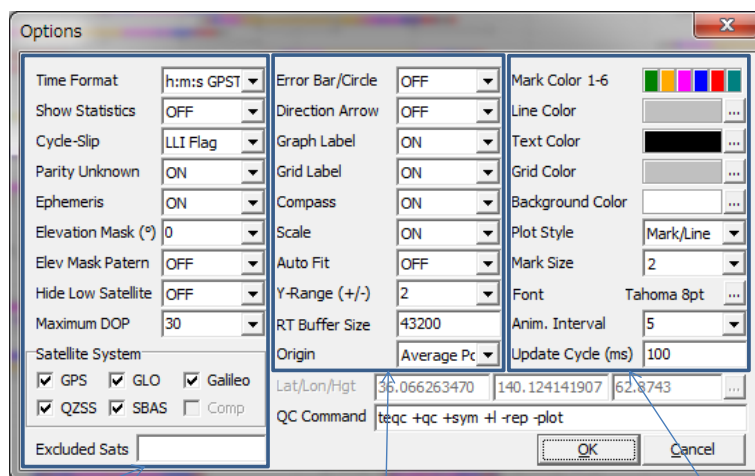
スカイプロット



可視衛星数及びDOP

RTKLIB例題 (4)

RTKPLLOT - Options



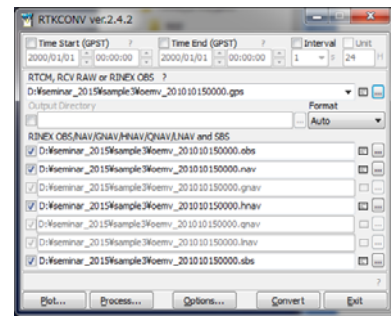
観測データ設定

測位解オプション

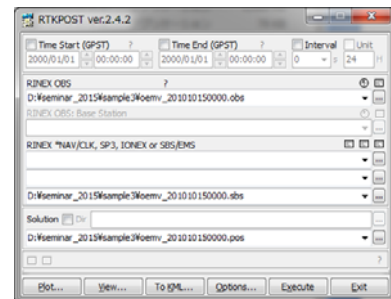
共通オプション

RTKLIB例題 (5)

- RTKCONV実行
- 入力データの設定
seminar_2018¥sample3¥
oemv_201010150000.gps
- "Convert..."ボタン押下
- RINEXデータ確認
- "Process..."ボタン押下
- RTKPOST起動
- "Options..."ボタン押下



RTKCONV

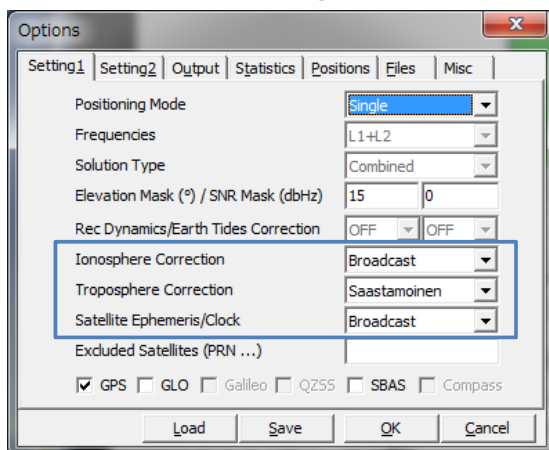


RTKPOST

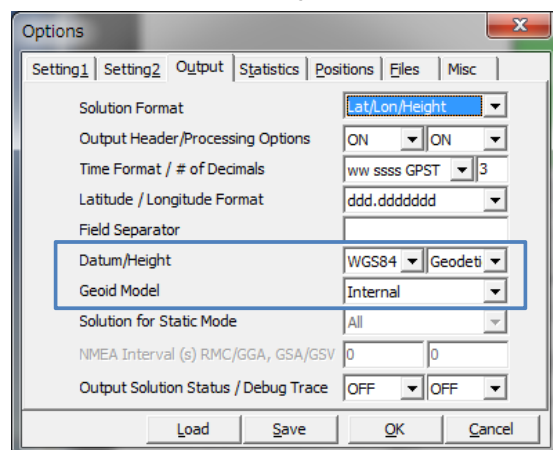
RTKLIB例題 (6)

RTKPOST - Options

Setting1

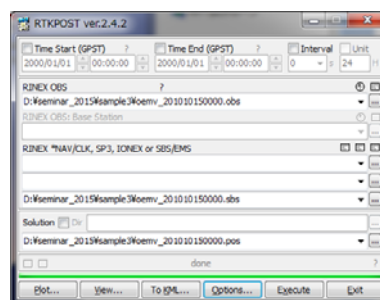


Output

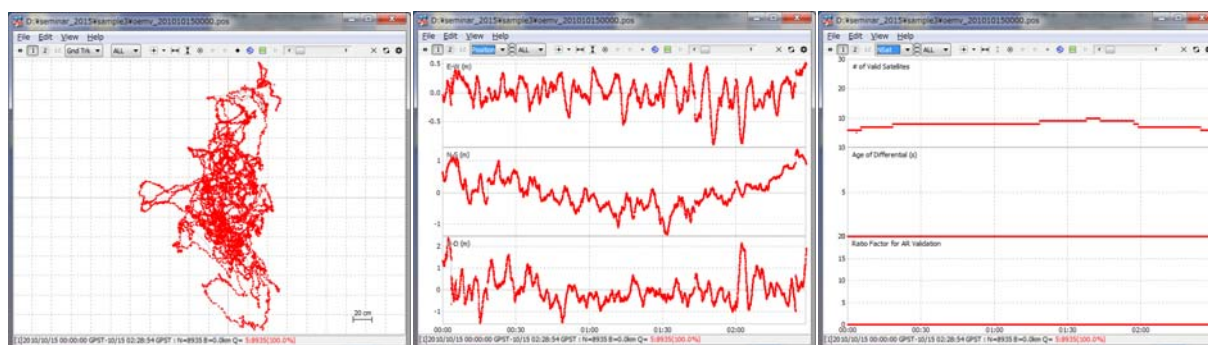


RTKLIB例題 (7)

- "Execute"ボタン押下
- "Plot..."ボタン押下
- RTKPLOT起動
- "Position" or "NSat"選択



RTKPOST



RTKPLOT (Gnd Trk)

RTKPLOT (Position)

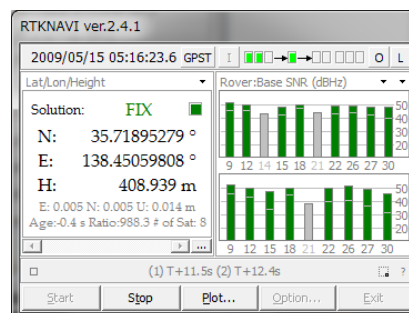
RTKPLOT (NSat)

61

プレイバックデータによるRTK

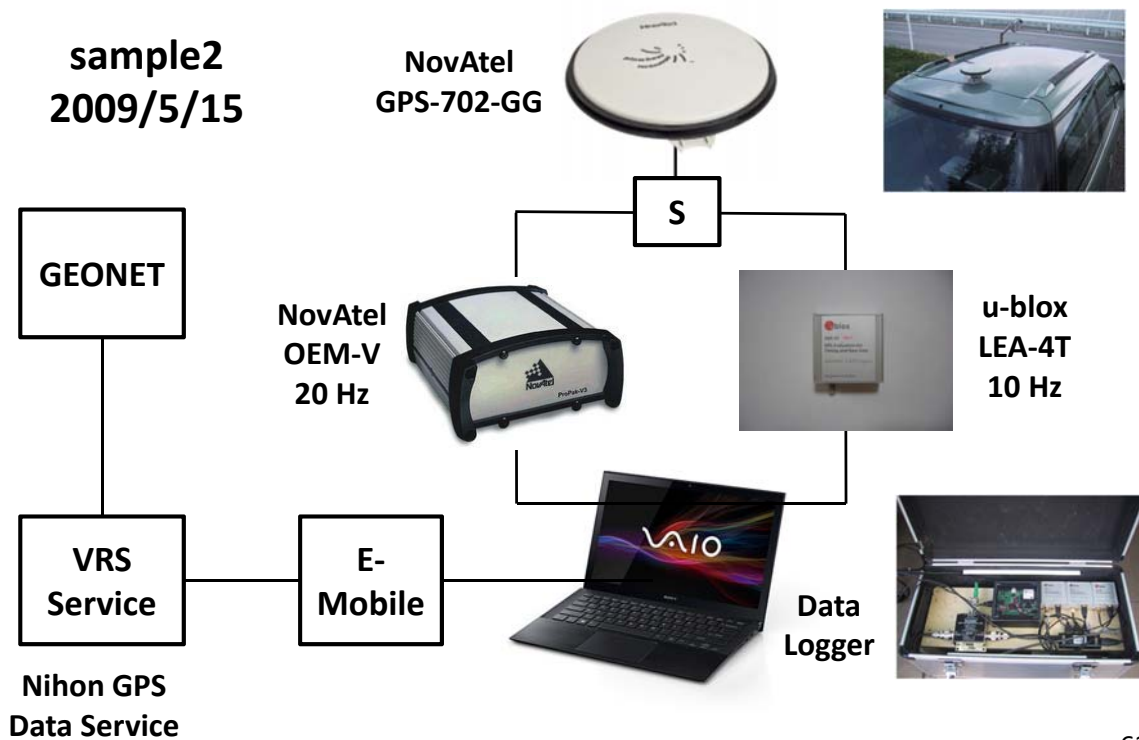
- **Program**
rtklib_2.4.3p13¥bin¥rtknavi.exe
- **Data 1**
sample2¥
oemv_2009515c.gps (NovAtel)
ubx_20090515c.ubx (u-blox)
0263_20090515c.rtc3 (VRS)
- **Data 2**
sample7¥
nov_201604250304.gps (NovAtel)
ubx_201604250304.ubx (u-blox)
ref_201604250304.gps (NovAtel)

RTKNAVI

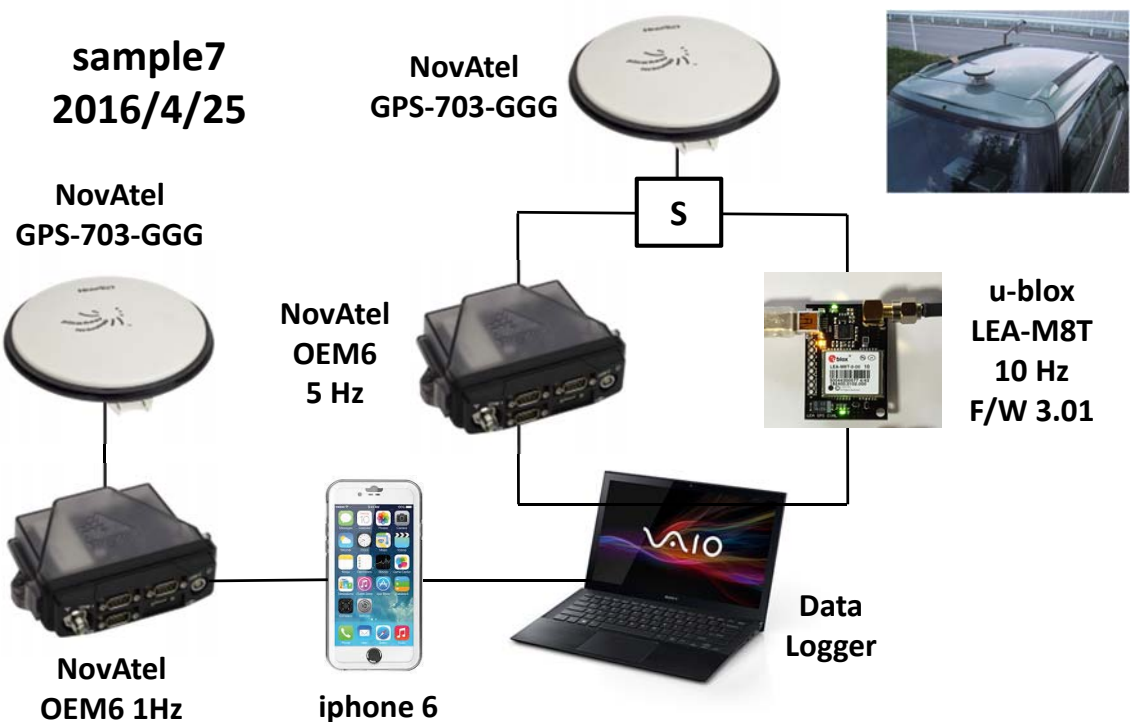


62

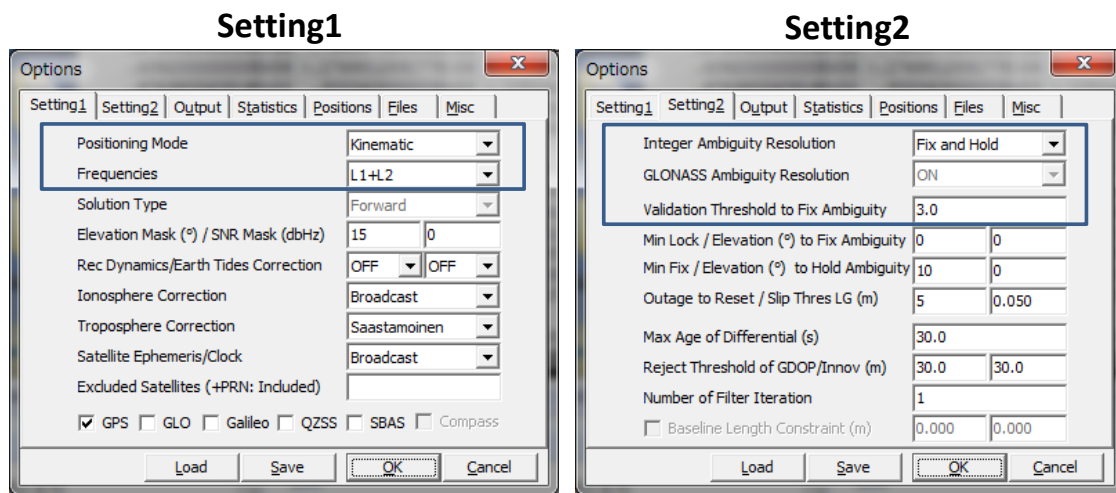
プレイバックデータ (1)



プレイバックデータ (2)



RTKNAVI - オプション



65

トラ技RTKスタータキット + RTKLIB

移動局

基準局

RTKスタータキット (u-blox M8P)
GPS, GLO/BDS, GAL, QZS L1



Harxon HX-CSX601A
L1, L2, L5 ALL



PC + RTKLIB (RTKNAVI)

R



Trimble BD982
L1, L2, L5, ALL

66

(5) RTKおよびGNSS測位の応用

67

QZSS (準天頂衛星)

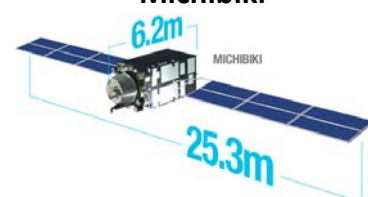
- 開発
 - 日本 (JAXA→内閣府, 内閣府)
- 衛星コンステレーション
 - 1 衛星, 4衛星 (3QZO+1GEO), 7衛星
 - 高度: ~36,000km
 - 軌道傾斜角: 43度, 離心率: 0.075 (QZO)
 - 2010/9/11「みちびき」打上
- 信号 (「みちびき」)
 - L1C/A, L1C, L2C, L5: GPS互換
 - L1-SAIF/L1S, LEX/L6: 補強

QZSS衛星地上軌跡



(IS-QZSS 1.2)

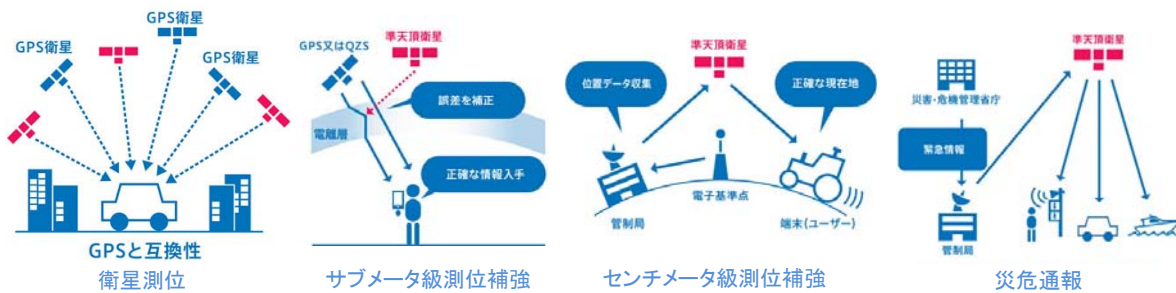
“Michibiki”



(<http://qz-vision.jaxa.jp>)

68

QZSS (準天頂衛星)

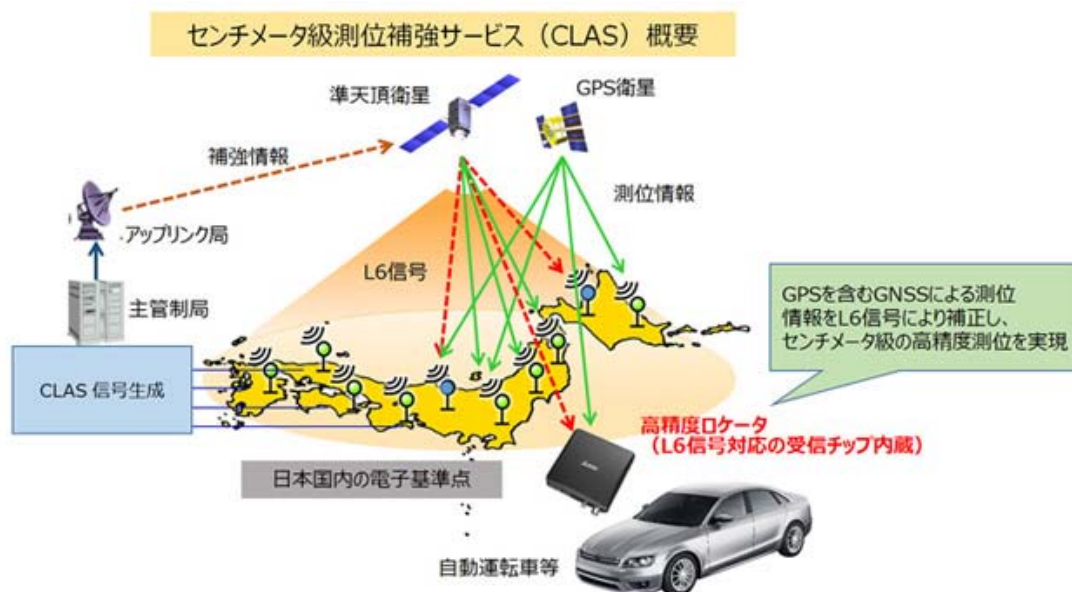


| | 2010年度 | 2011年度 | 2012年度 | 2013年度 | 2014年度 | 2015年度 | 2016年度 | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 |
|---------------|------------------------|--------|--------------|-----------------|--------|--------|----------|----------|------------------------|--------|
| 衛星 打上げ | ① 初号機打上げ (準天頂軌道) | | | | | | 2号機打上げ ② | 3号機打上げ ③ | 4号機打上げ ④ | |
| システム 構築・整備 | | | | 1機体制 基本/詳細設計 | | システム整備 | | | 4機体制 オープンサービス 運用 | |
| | | | 技術実証・利用実証・運用 | | | | | | | |

(<http://qzss.go.jp>)

69

CLAS (センチメータ級測位補強サービス)

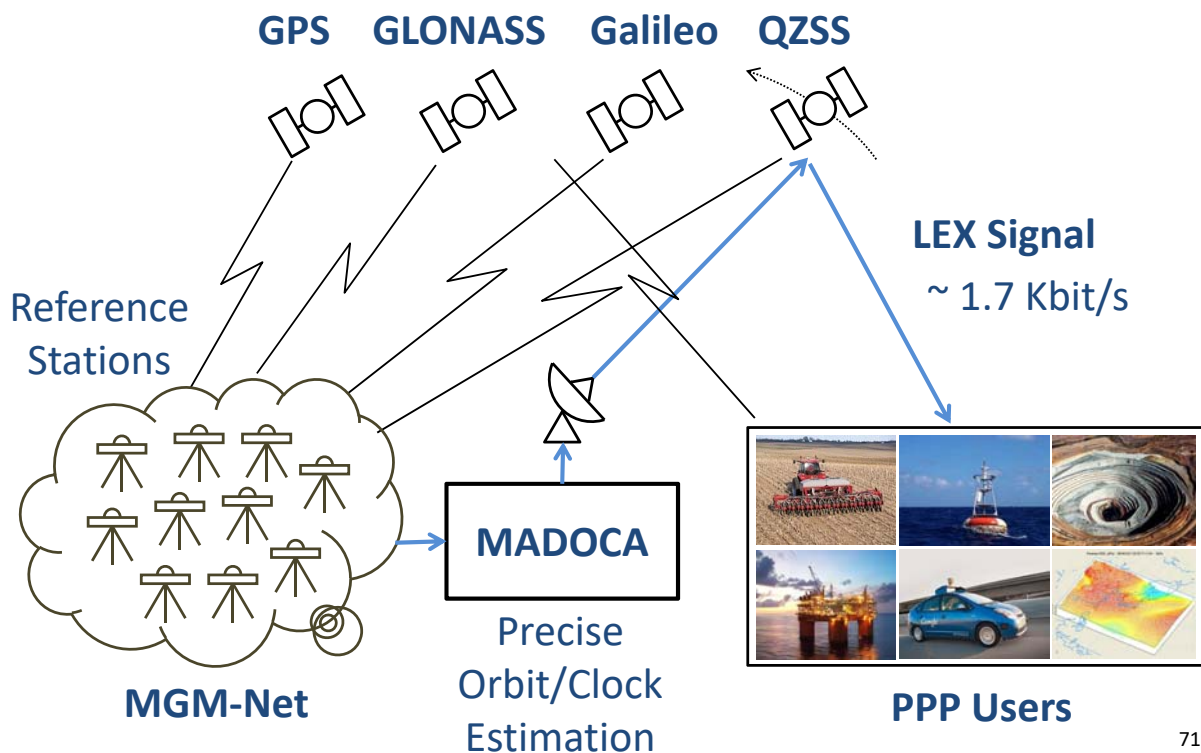


GNSS : Global Navigation Satellite System (全地球航法衛星システム)

(<http://www.mitsubishielectric.co.jp>)

70

MADOCA-PPP



71

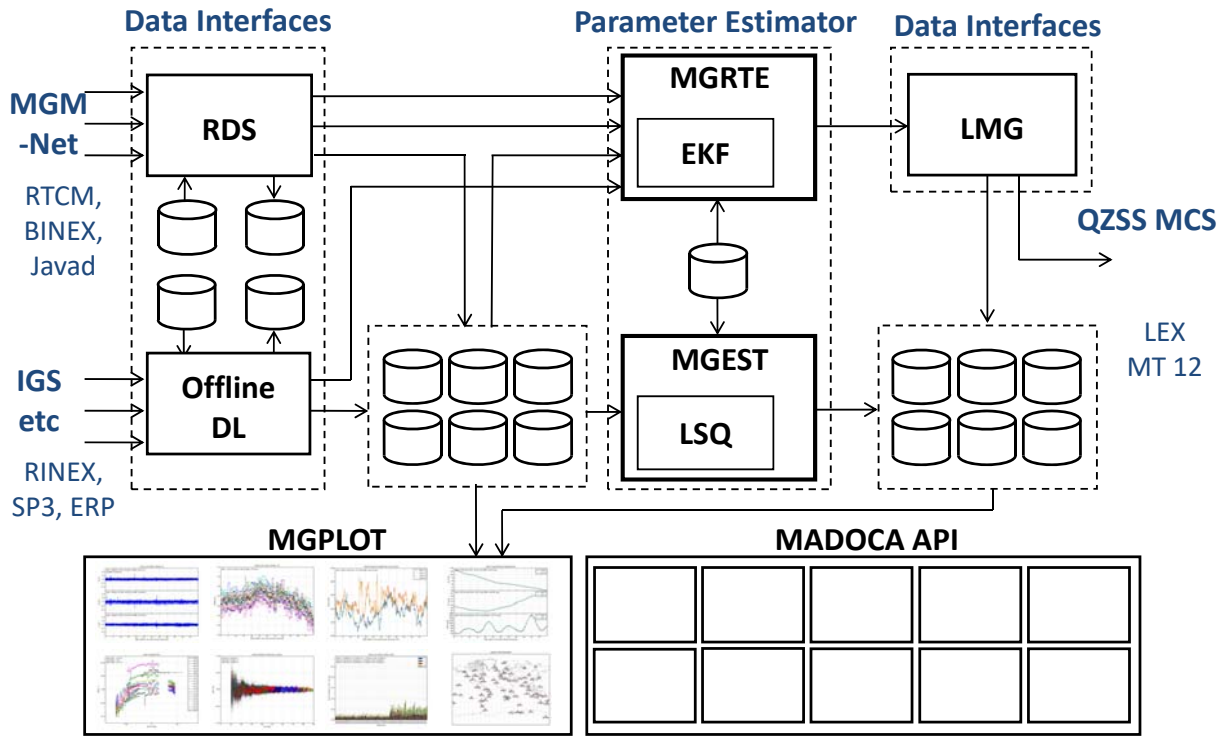
MADOCA (1)

**Multi-GNSS Advanced Demonstration tool
for Orbit and Clock Analysis**

- **For real-time PPP service via QZSS LEX**
 - Many (potential) applications over global area
- **Precise orbit/clock for multi-GNSS constellation**
 - Key-technology for future cm-class positioning
- **Brand-new codes developed from scratch**
 - Optimized multi-threading design for recent CPU
 - As basis of future model improvements

72

MADOCA (2)



73

MADOCA-PPP

The image shows two screenshots of the QZ-vision web interface. The left screenshot displays the **Experiment Schedule** (実験スケジュール) for GPS Week 1761, with a red box highlighting the **JAMA-LEX** and **JAMA-LEX (MADOCA)** entries. The right screenshot shows the **Interface Specifications for QZSS-IS-QZSS** (準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書), with a red box highlighting the **MADOCA-LEX** and **MADOCA-LEX Format** download links.

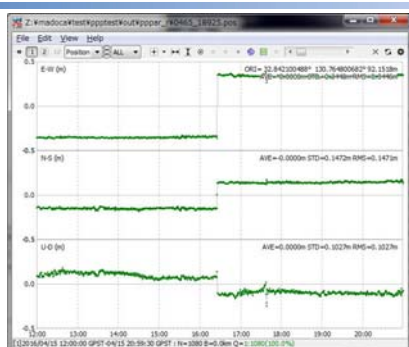
Schedule

LEX Data Format

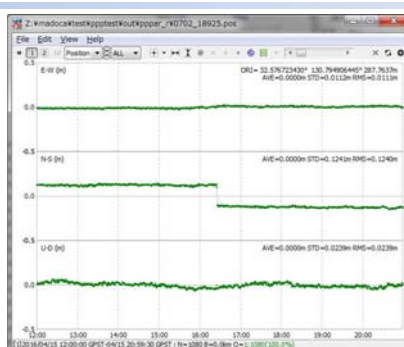
74

MADDOCA PPP応用

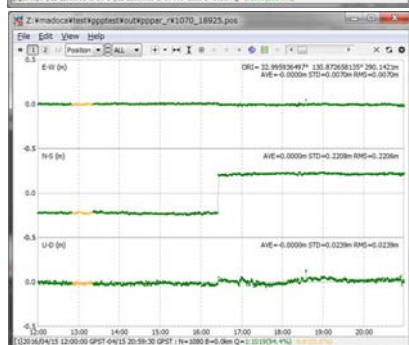
熊本
(0465)



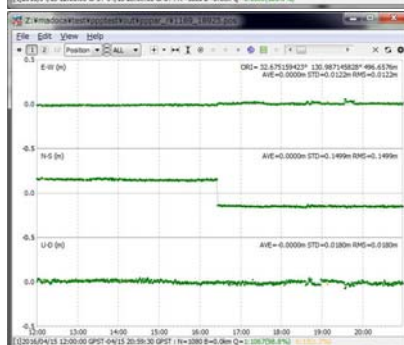
泉
(0702)



菊池
(1070)



矢部A
(1169)



2016/4/15 16:25 GPST 熊本地震(本震)による電子基準点変位の後処理PPP解析
(RTKLIB 2.4.3 b9, Kinematic-PPP-AR, 暦/FCB: MADDOCA最終暦)

75

RTKセミナー: まとめ

- GNSS測位の仕組み:内部で大がかりな仕掛けが、GPSだけじゃないよ
- u-blox M8T受信機を例題に受信機内部を探ってみた
- RTKの原理:色々面倒だけど1cm測位
- RTKLIB:RTK応用のプラットフォームとなるか
- RTKおよびGNSS測位の応用:期待は大きいけどホントに実用になるのか

76