

平成27年度測位航法学会全国大会セミナー

# GNSS測位入門からRTKLIBの活用まで (その1)



東京海洋大学 高須知二

2015-04-22 ~ 2015-04-23@東京海洋大学 越中島

# 時間割

(1)	GNSS測位入門	4/22 (水)	9:30-10:20
(2)	RTKLIBの概要と導入 (実習)		10:30-11:20
(3)	RTKLIBの基本操作 (実習)		11:30-12:20
(4)	GNSS測位の基礎		13:30-14:20
(5)	RTKPOSTによる単独測位(1) (実習)		14:30-15:20
(6)	RTKPOSTによる単独測位(2) (実習)		15:30-16:20
(7)	基線解析とRTKの基礎	4/23 (木)	9:30-10:20
(8)	RTKPOSTによる基線解析 (実習)		10:30-11:20
(9)	RTKNAVIによるRTK (実習)		11:30-12:30
(10)	RTKの応用		13:30-14:20
(11)	RTKLIBによる複合解析 (実習)		14:30-15:20
(12)	RTKLIBの活用		15:30-16:20

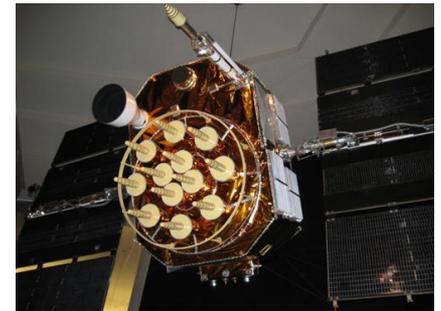
---

(1)  
GNSS測位入門

# GNSS

---

- 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>)

# GNSSの応用分野

軍事応用: ...

民生応用:

## 航空航法

着陸誘導  
国内ルート誘導  
海上ルート誘導  
飛行場  
遠隔操作  
ヘリコプター操作  
航空機高度管理  
衝突回避  
トラフィック管理

## 陸上航法

運行監視  
配車管理  
ルート最適化  
法令順守

## 海上航法

海洋航法  
沿岸航法  
港/接岸航法  
水路交通

## 静止測位及び時刻

資源探査  
水路測量  
航法支援  
時刻配信  
測地測量  
地理情報システム (GIS)

## 宇宙

打上  
飛行/軌道  
再突入/着陸  
姿勢制御

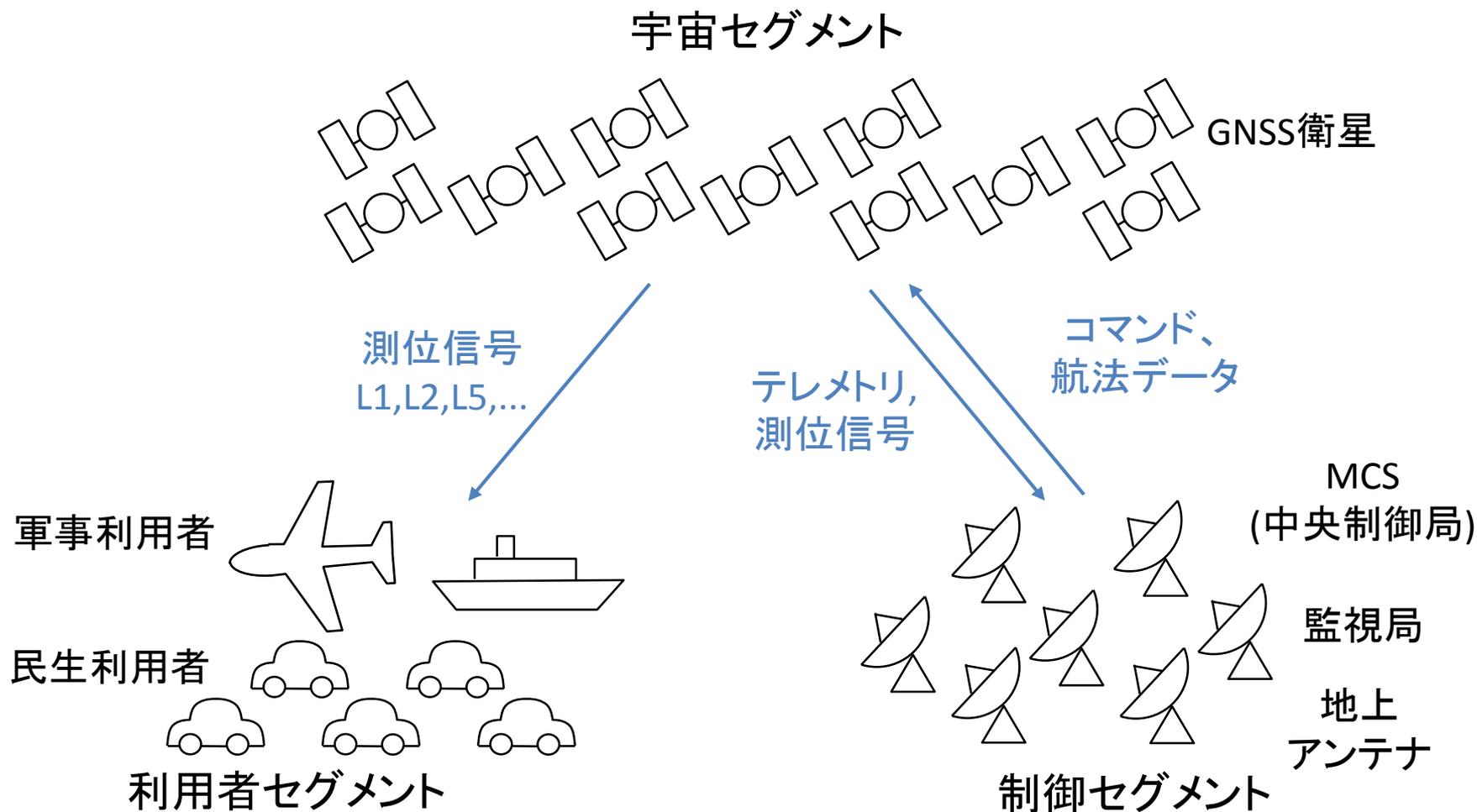
## 搜索及び救助

位置報告/監視  
接近支援  
座標検索  
衝突防止

...

(B.W.Parkinson, *Introduction and Heritage of NAVSTAR, the Global Positioning System*, 1994)

# GNSSシステム

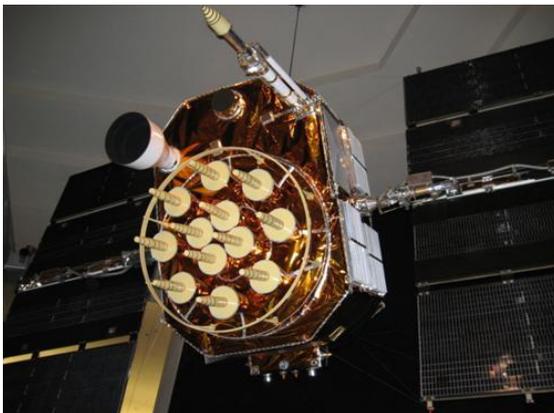


# GPS宇宙セグメント

- 衛星コンステレーション
  - 6 軌道面 x 4 = 24 衛星 (ノミナル)
  - 高度: 20,100km
  - 軌道傾斜角:  $55^\circ$
  - 周期: 1/2 恒星日 (11h 58' 2")

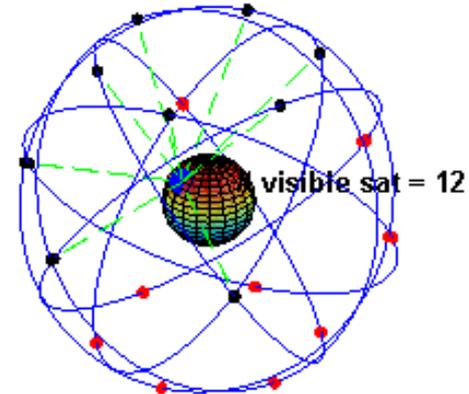


GPS Block II



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

軌道面



(<http://en.wikipedia.org/wiki>)



# GPS信号

---

- 測位信号
  - L1C/A : Block IIA, IIR
  - L1C : Block IIIA -
  - L1P(Y), L2P(Y) (軍用) : Block IIA, IIR, ( -2020)
  - L2C : Block IIR-M -
  - L1M, L2M (軍用) : Block IIR-M -
  - L5 : Block IIF -
- 衛星多重化
  - CDMA (符号分割多重アクセス)

# GPS地上セグメント



L-Band



S-Band



■ MCS at Schriever AFB, CO  
& Alternate MCS at VAFB

● 16 Monitor Stations  
6 OCS + 10 NGA

▲ 12 Ground Antennas  
4 GPS + 8 AFSCN



■ MCS Master Control Station Schriever AFB	■ AMCS Alternate MCS Vandenberg AFB
--	---

▲ GPS Ground Antennas
▲ AFSCN Remote Tracking Stations

(L.C.P.Harrington, GPS Status and Modernization, 2009)

# GLONASS (グロナス)

---

- 開発
  - 旧ソ連、及びロシア
- 衛星コンステレーション
  - 3 軌道面 x 8 = 24 衛星 + 3 予備 (FOC)
  - 高度: 19,100 km, 軌道傾斜角: 64.5°
  - GLONASS, GLONASS-M (2003- ), GLONASS-K (2011- )
- 信号
  - L1C/A, L1P (FDMA: 1602+n x 0.5625 MHz)
  - L2C/A, L2P (FDMA: 1246+n x 0.4375 MHz)
  - L3 CDMA (GLONASS-K- )



# Galileo (ガリレオ)

---

- 開発
  - 欧州連合 及び 欧州宇宙機関
- 衛星コンステレーション
  - 3 軌道面 x 9 = 27 衛星 + 3 予備 (FOC)
  - 高度: 23,200km, 軌道傾斜角: 56°
  - 試験衛星: GIOVE-A (2005), GIOVE-B (2007)
  - 2012 4 衛星 (IOV), 2014/15 18 Sats, 2016/17 FOC
- 信号
  - E5a (OS,CS), E5b (OS, SoL, CS)
  - E6a (PRS), E6b/c (CS), E1a (PRS), E1b/c (OS, SoL, CS)



# BeiDou (北斗)

---

- 開発
  - 中国
- 衛星コンステレーション
  - フェーズ I (-2012): 3 衛星 (GEO)
  - フェーズ II (-2017): 14 衛星 (5 GEO, 5 IGSO, 4 MEO)
  - フェーズ III (2017-): 35 衛星 (5 GEO, 3 IGSO, 27 MEO)
  - 2015/3: 14 Sats (5 GEO, 5 IGSO, 4 MEO)
- 信号
  - Phase II: B1, B2, B3
  - Phase III: B1, B2, B3 (L1C, L5 GPS互換?)

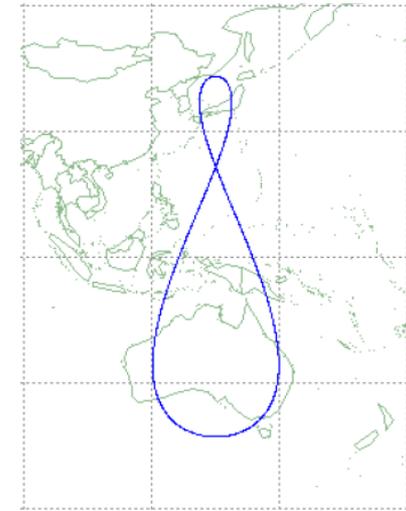


<http://www.beidou.gov.cn>

# QZSS (準天頂衛星)

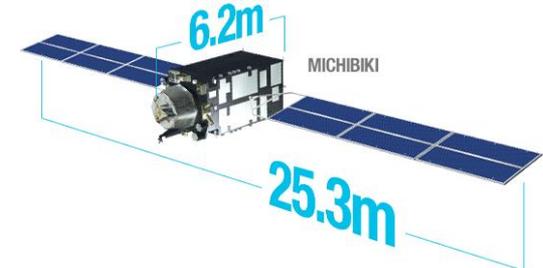
- 開発
  - 日本 (JAXA, 内閣府)
- 衛星コンステレーション
  - 1 衛星 (IOC), 4衛星, 7衛星 (FOC)
  - 高度: ~36,000km, 軌道傾斜角:  $43^\circ$
  - 離心率: 0.075
  - 2010/9/11「みちびき」打上
- 信号 (「みちびき」)
  - L1C/A, L1C, L2C, L5: GPS互換
  - L1-SAIF, LEX: 補強

QZSS衛星地上軌跡



(IS-QZSS 1.2)

“Michibiki”

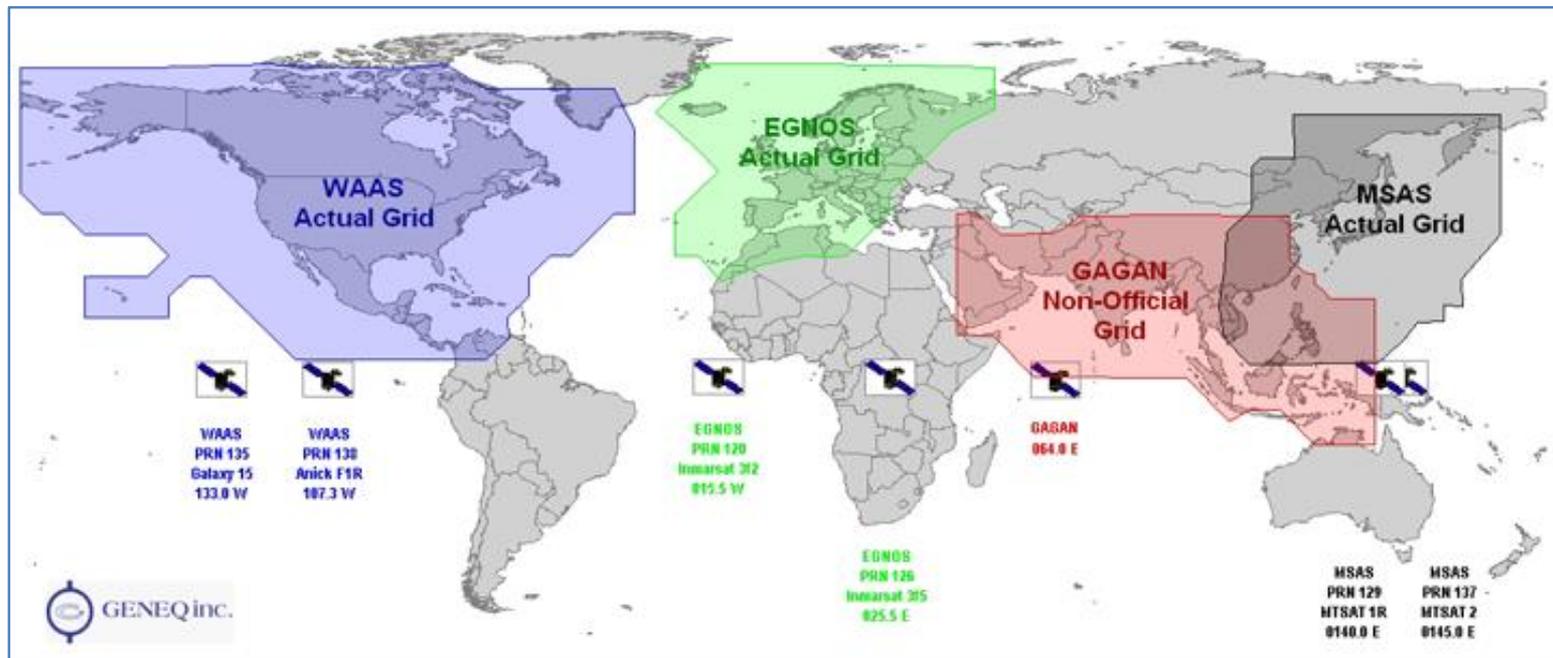


(<http://qz-vision.jaxa.jp>)

# SBAS(静止衛星型衛星航法補強システム)

システム	開発	運用	静止衛星		
			PRN	衛星	静止位置
WAAS	US, DOT, FAA	2003/7-	135	Galaxy 15	133W
			138	Anik F1R	107.3W
EGNOS	ESA, EC, Eurocontrol	2009/10,- 2011/3- (SoL)	120	Inmarsat-3 AOR-E	15.5W
			124	Artemis	21.5E
			126	Inmarsat-3 IOR-W	25E
MSAS	日本、 国土交通省	2007/9-	129	MTSAT-IR	140E
			137	MTSAT-II	145E
SDCM	ロシア	2014-	?	Luch-5A	16E
			?	Luch-5B	95E
			?	Luch-4	167E
GAGAN	インド, AAI, ISRO	2011-	127	GSAT-12	?

# SBASサービスエリア



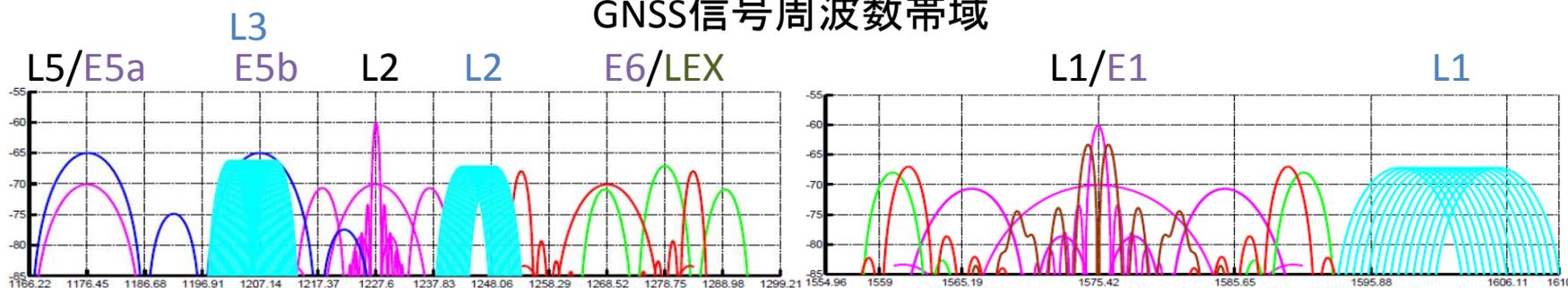
(by GENEQ Inc.)

# GNSS衛星及び信号帯域

GNSS衛星の数

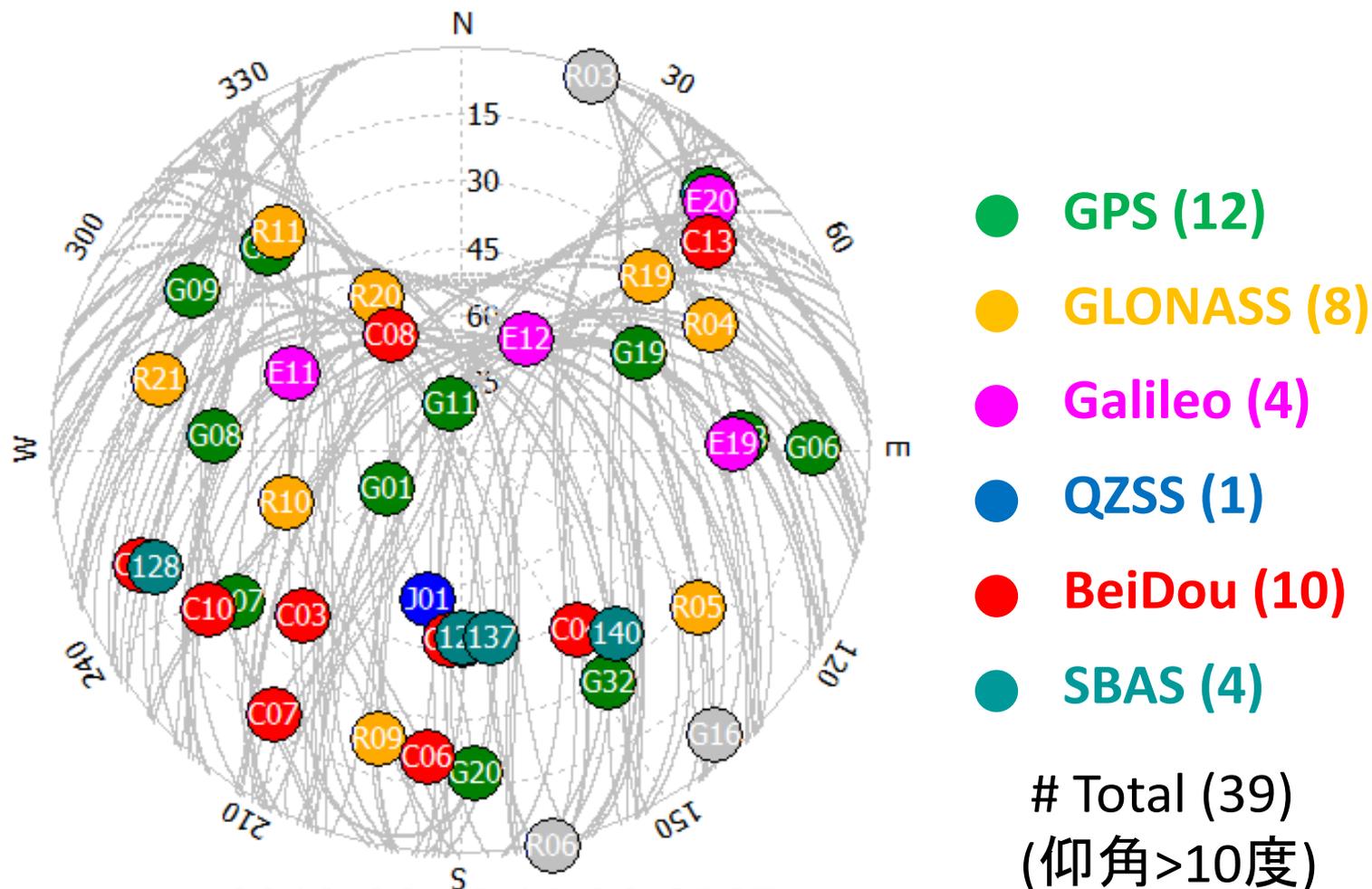
システム	2010	2014	2017	2020
GPS	31	31	32	32
GLONASS	23 (+2)	24 (+3)	24 (+3)	24 (+3)
Galileo	0	4	18	27 (+3)
BeiDou	6	16	35	35
QZSS	1	1	4	7
IRNSS	0	1	7	7
SBAS	7	8	11	11
合計	68	86	134	149

GNSS信号周波数帯域



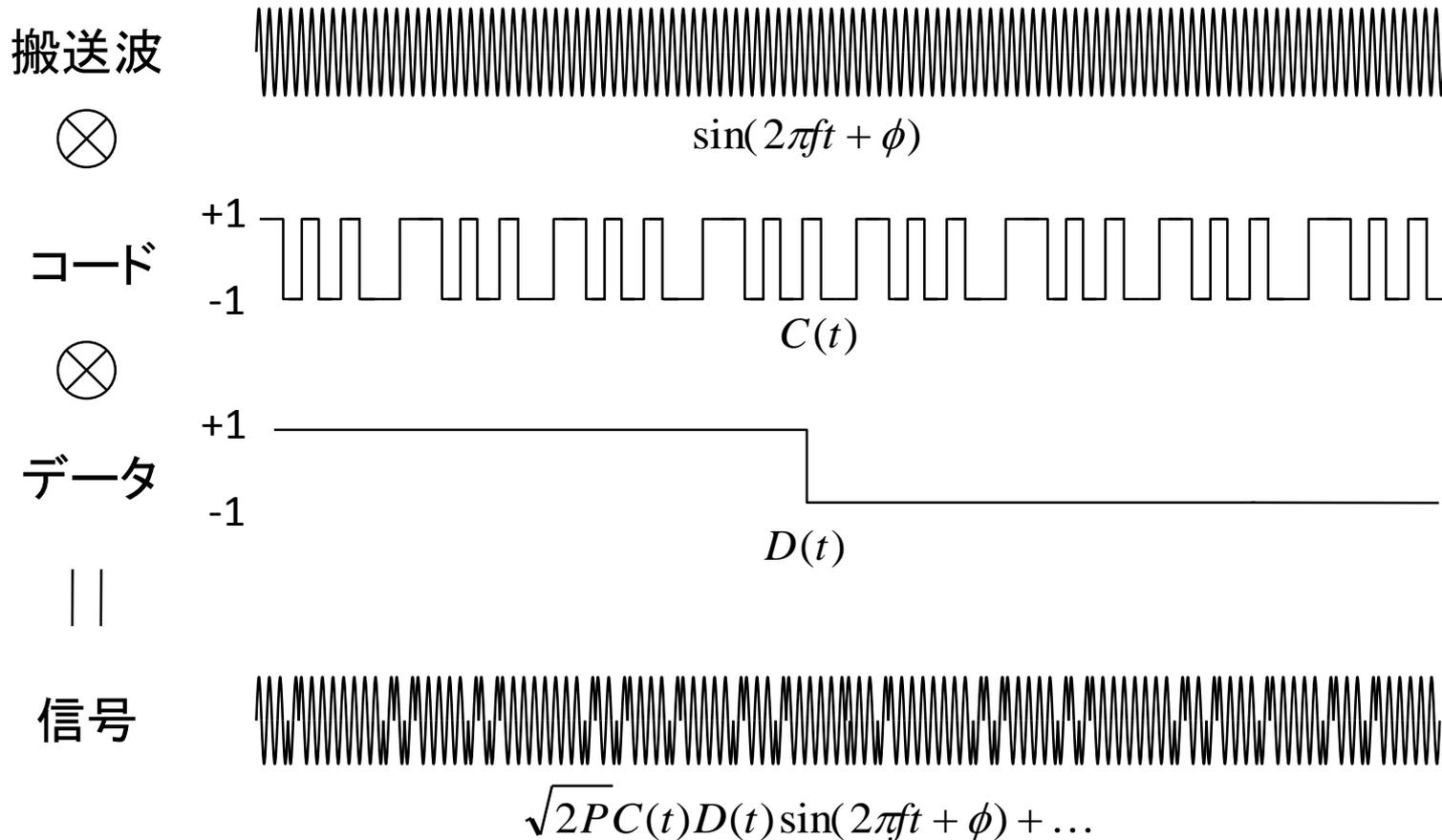
(Y.Yang, COMPASS: View on Compatibility and Interoperability, 2009)

# 東京上空のGNSS衛星配置



2013-06-12 10:20 GPST  
RTK PLOTによるスカイプロット

# GNSS測位信号の構造

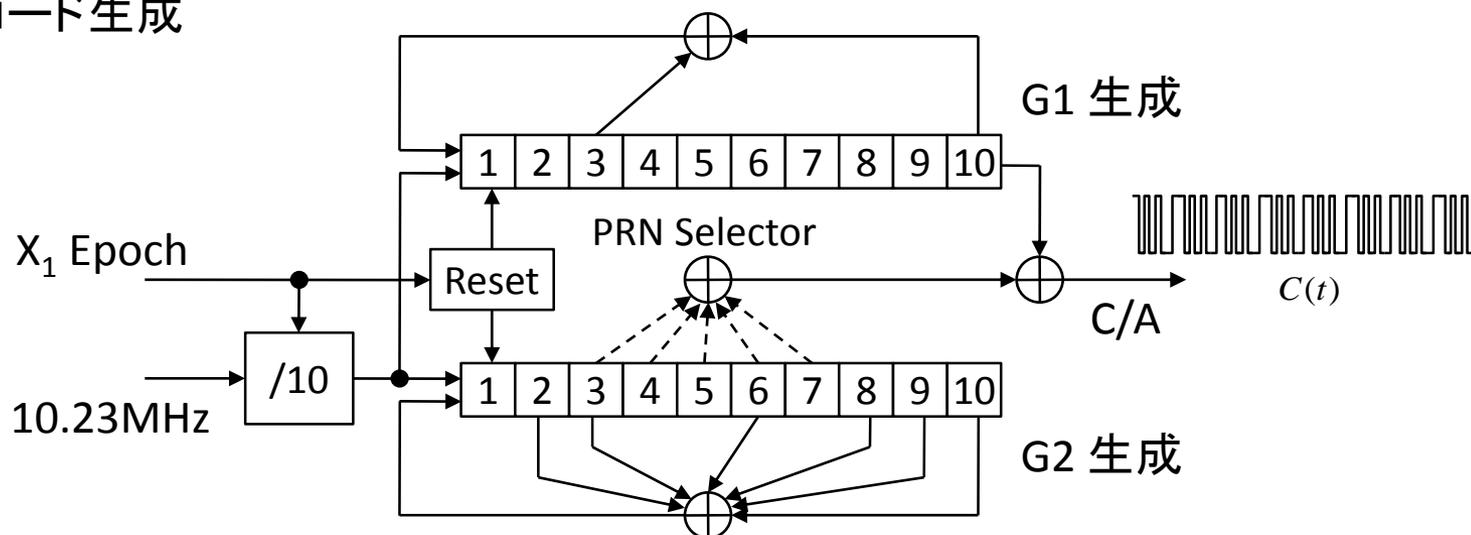


# GNSS測位信号の仕様

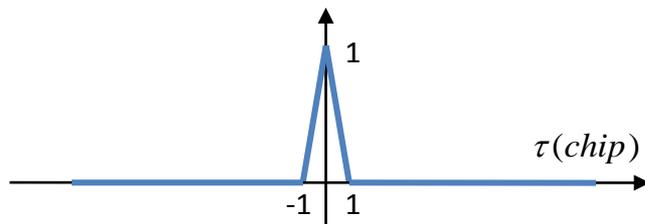
周波数(MHz)		コード	変調	データレート	GNSS
L1/E1	1575.42	C/A	BPSK (1)	50 bps	GPS, QZSS
				250 bps	QZSS (L1-SAIF), SBAS
		P(Y)	BPSK (10)	50 bps	GPS
		L1C-d/p	MBOC (6,1,1/11)	-/100 bps	GPS (IIIA-), Galileo
		L1C-d/p	BOC (1,1)	-/100 bps	QZSS
L1	1602+0.5625K	C/A	BPSK	50 bps	GLONASS
L2	1227.60	P(Y)	BPSK (10)	50 bps	GPS
		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

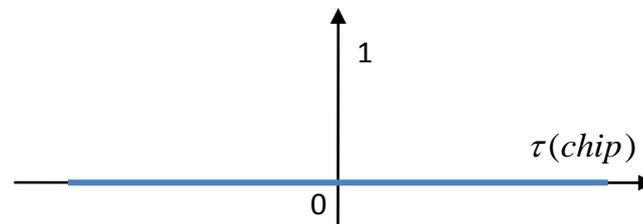


自己相関関数



$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T C^i(t) C^i(t - \tau) dt$$

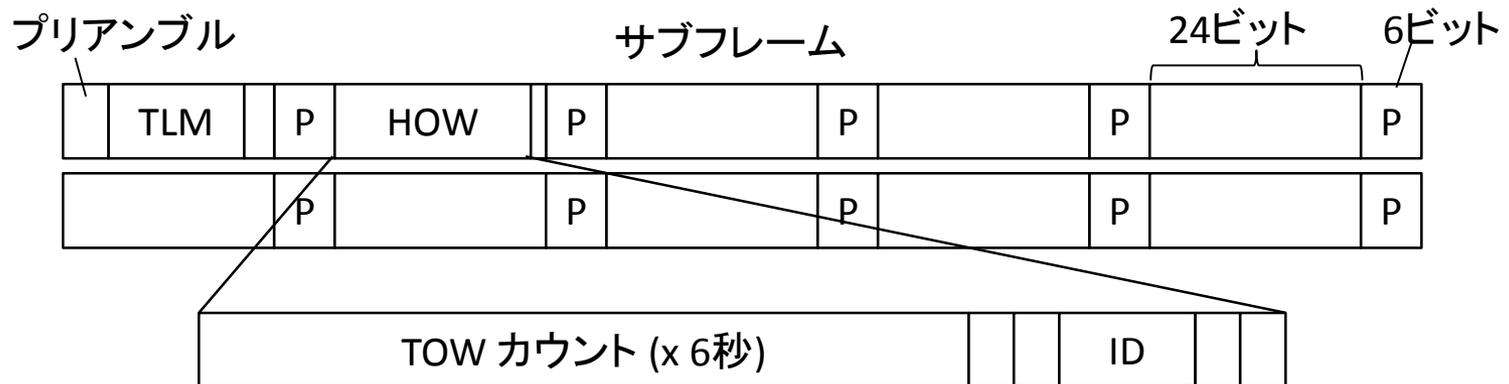
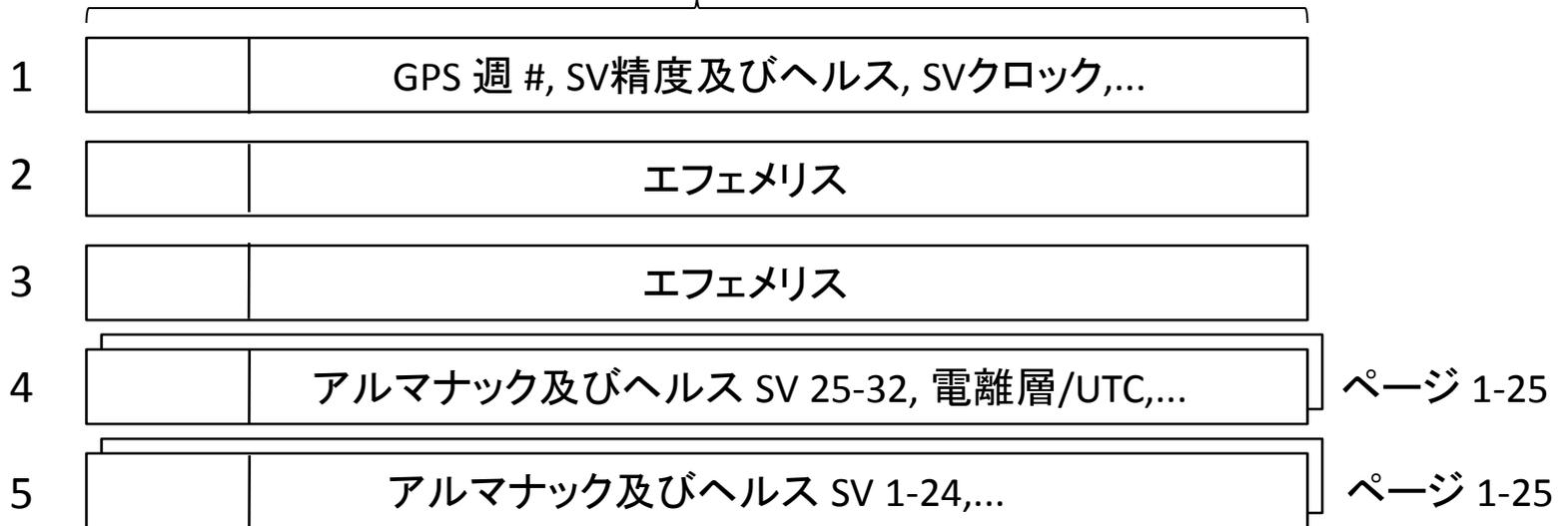
相互相関関数



$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T C^i(t) C^j(t - \tau) dt \quad (i \neq j)$$

# 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測位の原理

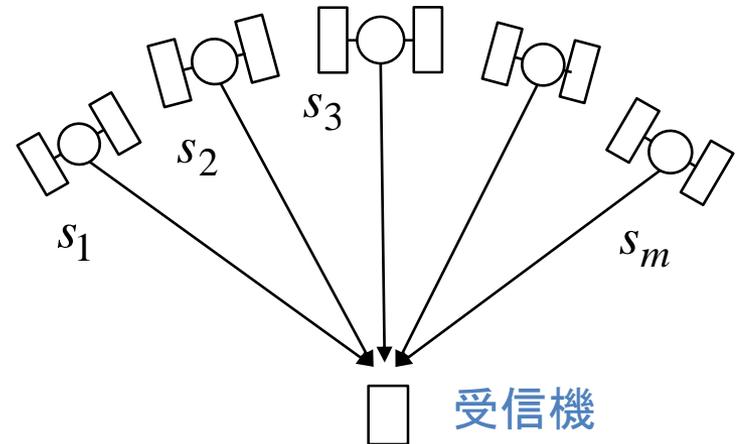
$$\mathbf{x} = (\mathbf{r}_r^T, cdt)^T, \quad \mathbf{y} = (P_r^{s_1}, P_r^{s_2}, P_r^{s_3}, \dots, P_r^{s_m})^T \quad \text{疑似距離}$$

$$\mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}) = \begin{pmatrix} \rho_r^{s_1} + c\hat{d}t - cdT^{s_1} + I_r^{s_1} + T_r^{s_1} \\ \rho_r^{s_2} + c\hat{d}t - cdT^{s_2} + I_r^{s_2} + T_r^{s_2} \\ \rho_r^{s_3} + c\hat{d}t - cdT^{s_3} + I_r^{s_3} + T_r^{s_3} \\ \vdots \\ \rho_r^{s_m} + c\hat{d}t - cdT^{s_m} + I_r^{s_m} + T_r^{s_m} \end{pmatrix}$$

距離 受信機 衛星  
クッククック

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} -\mathbf{e}_r^{s_1 T} & 1 \\ -\mathbf{e}_r^{s_2 T} & 1 \\ -\mathbf{e}_r^{s_3 T} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\mathbf{e}_r^{s_m T} & 1 \end{pmatrix}$$

衛星



受信機

$$\hat{\mathbf{x}} = \underbrace{(\hat{\mathbf{r}}_r^T, c\hat{d}t)^T}_{\text{受信機位置 + 受信機クック}} \\ = \hat{\mathbf{x}}_0 + (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{y} - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_0))$$

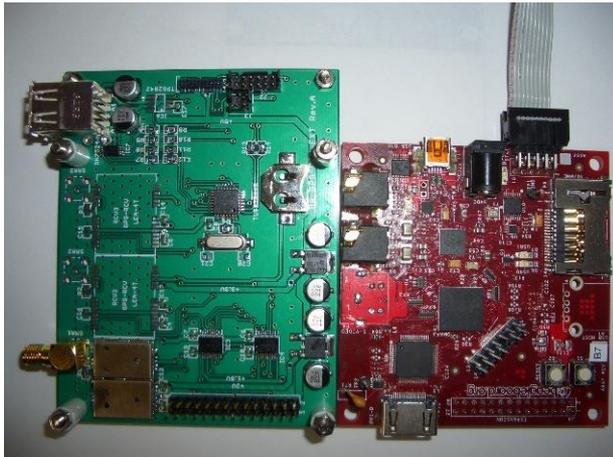
# GNSS受信機

市販受信機: \$20 - \$30,000

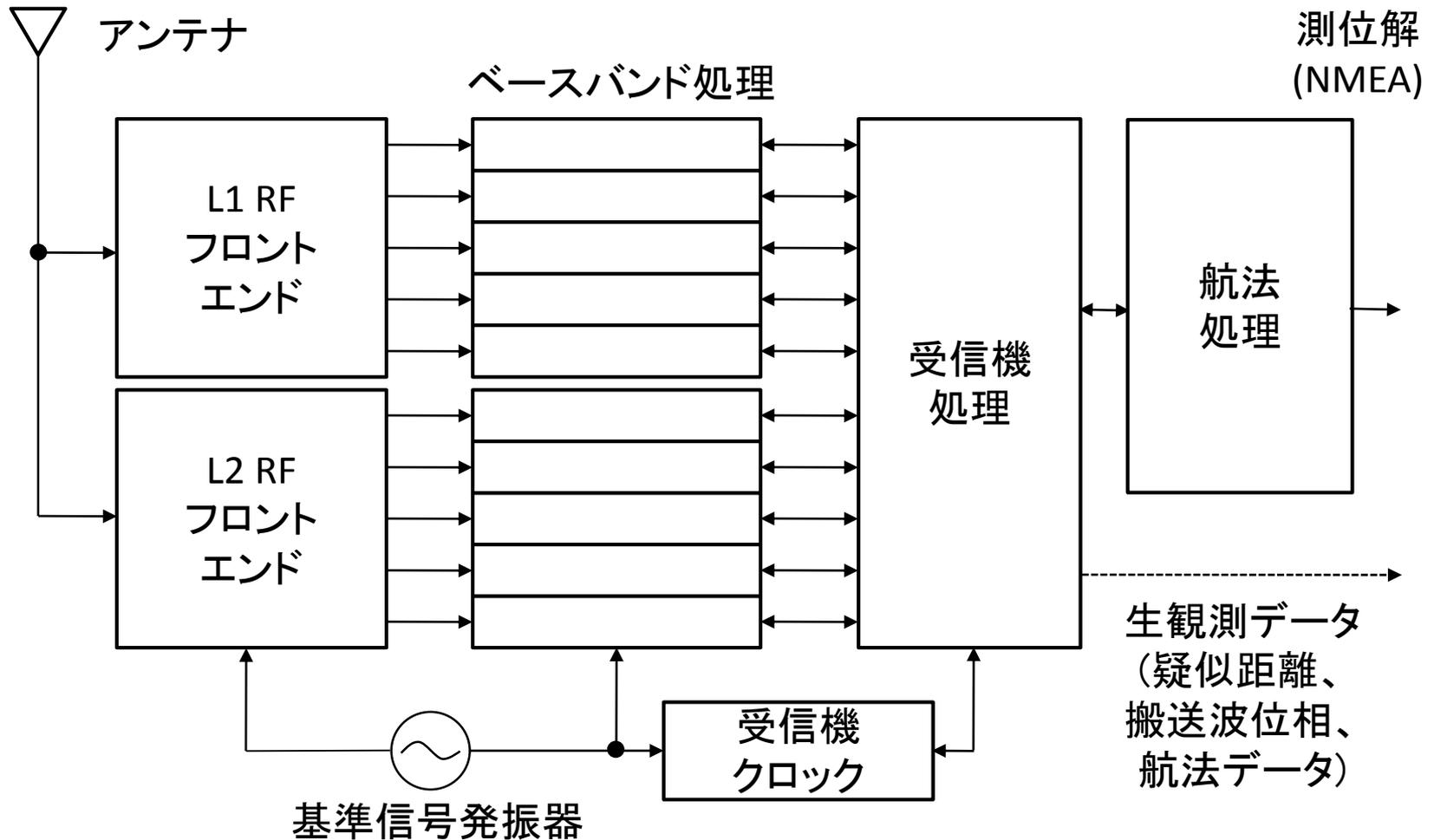


SiRF, u-blox, Garmin, Hemisphere, Trimble, Leica, Topcon, NovAtel, JAVAD, Magellan, ...

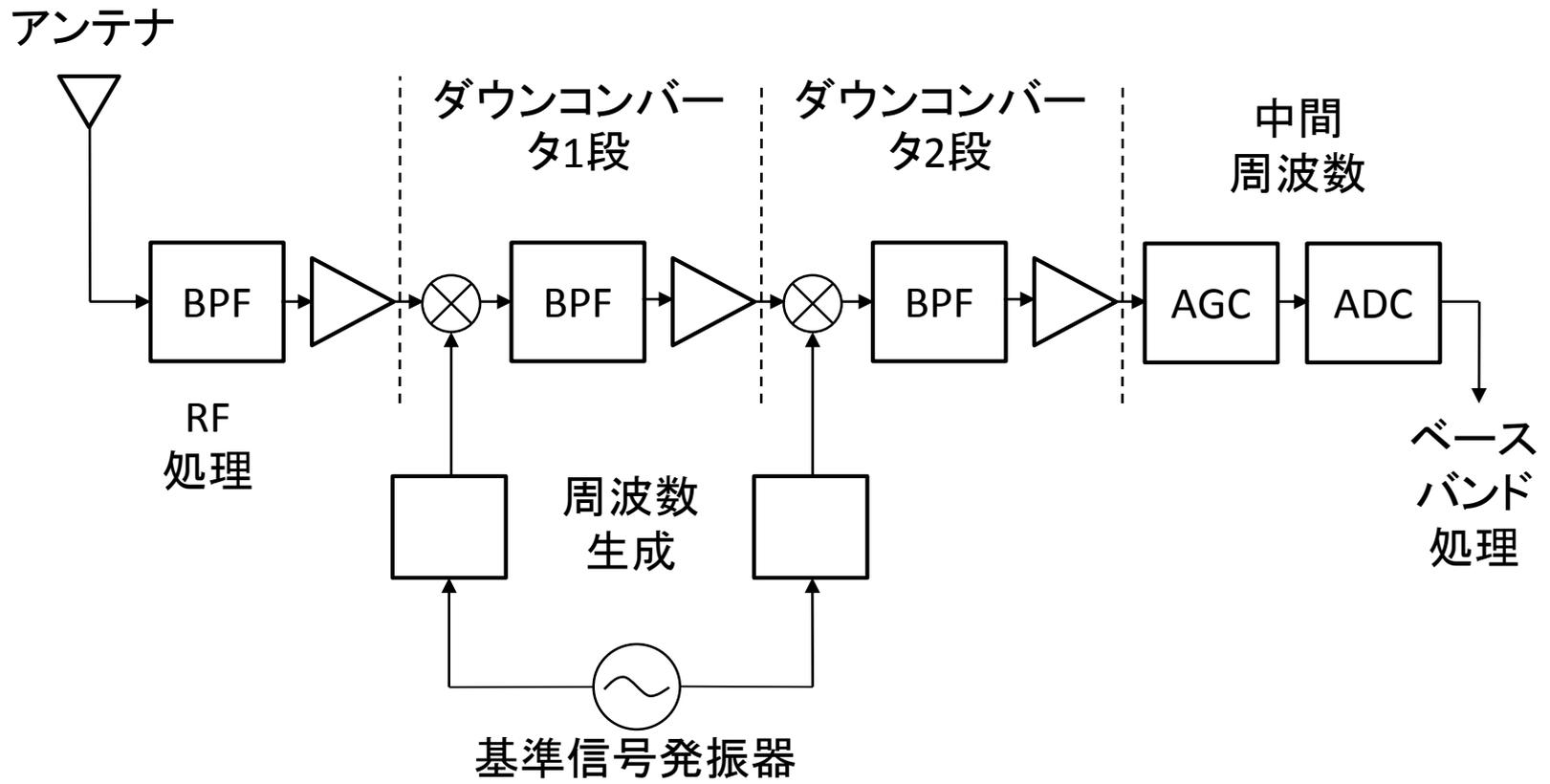
自作GPS受信機: \$400



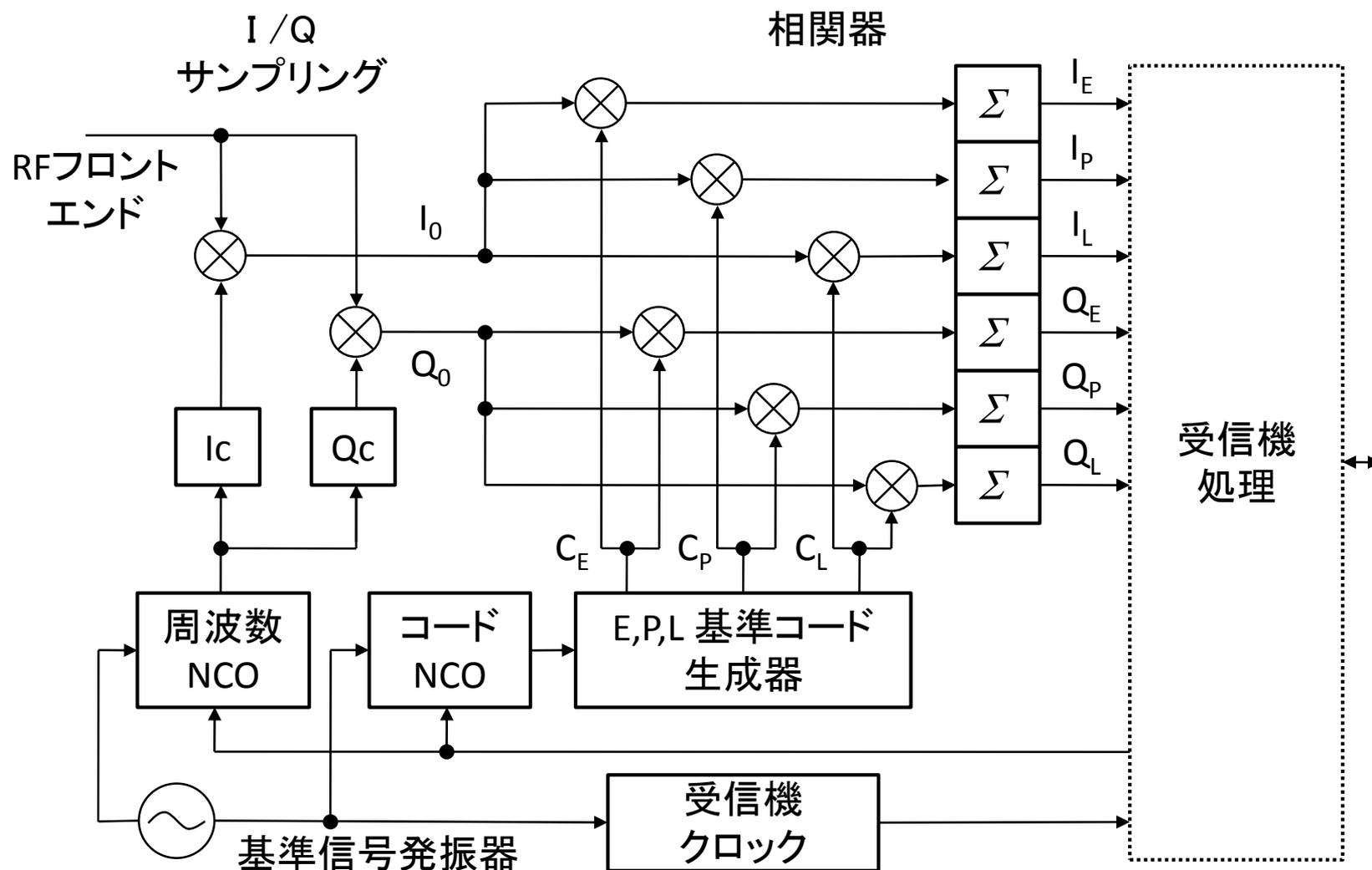
# GNSS受信機の構造



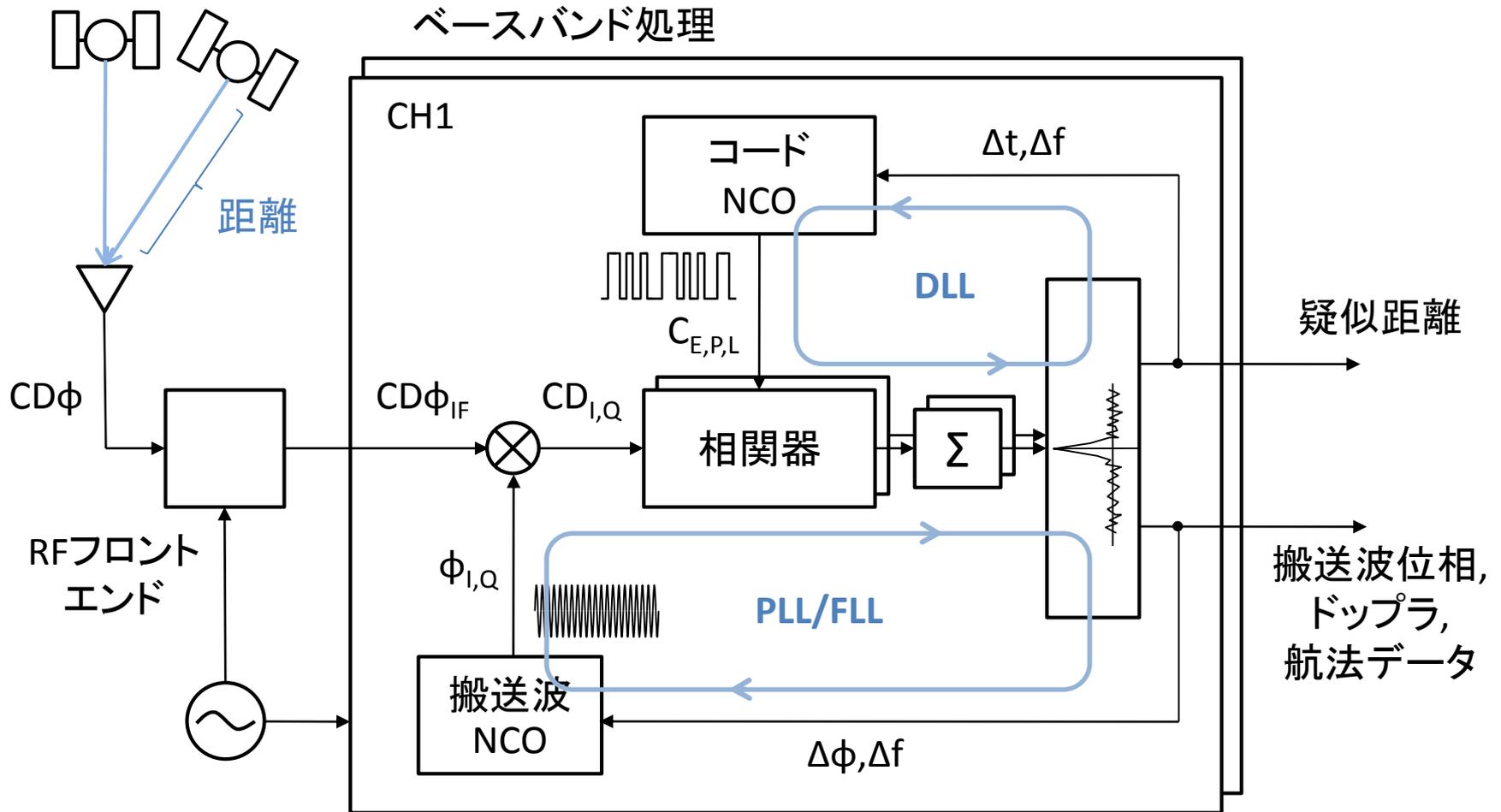
# RFフロントエンド



# ベースバンド処理



# コード/搬送波追尾



# 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)
  - 航法データ再生 (エフェメリス,...)
  - 疑似距離、搬送波位相生成
- 航法処理
  - 測位アルゴリズム (単独, DGPS, SBAS, RTK, ...)
  - 座標変換
  - 入出力メッセージ処理 (NMEA, RTCM, ...)

# RTKLIBの位置付け

---

- GNSS受信機「航法処理」を外部計算機上で実装
  - 複数GNSS、複数信号のサポート
  - 各種測位アルゴリズムのサポート
  - リアルタイム及び後処理
  - 各種入出力メッセージ/ファイルのサポート
  - 可搬性: PCまたは組込計算機
- GNSS受信機「受信機処理」は含まれていない
  - 別途GNSS受信機が必要
  - 処理には「生観測データ」を出力する受信機または出力された「生観測データ」が必要

---

(2)  
RTKLIBの概要と導入

# 実習用プログラムのインストール

---

- USBメモリの以下ディレクトリをディレクトリごと自分のノートPCの適当な場所にコピー。

seminar\_2015

¥rtklib\_2.4.2p11

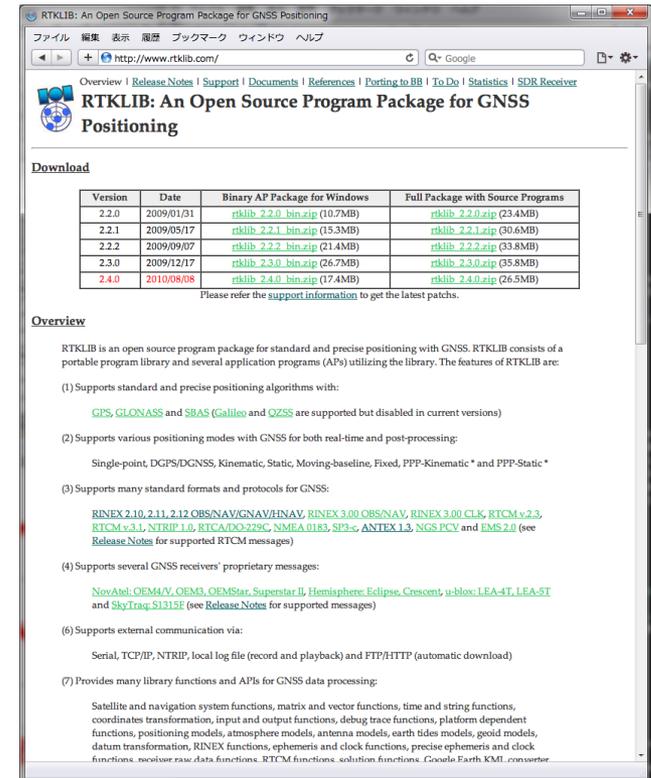
¥sample1

...

¥googleearth

- USBメモリが使えない場合以下からダウンロード。  
[http://www.rtklib.com/data/seminar\\_2015.zip](http://www.rtklib.com/data/seminar_2015.zip)

- 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 p11
  - 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



RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning

Download

Version	Date	Binary AP Package for Windows	Full Package with Source Programs
2.2.0	2009/01/31	<a href="#">rtklib_2.2.0_bin.zip</a> (10.7MB)	<a href="#">rtklib_2.2.0.zip</a> (23.4MB)
2.2.1	2009/05/17	<a href="#">rtklib_2.2.1_bin.zip</a> (15.3MB)	<a href="#">rtklib_2.2.1.zip</a> (30.6MB)
2.2.2	2009/09/07	<a href="#">rtklib_2.2.2_bin.zip</a> (21.4MB)	<a href="#">rtklib_2.2.2.zip</a> (33.8MB)
2.3.0	2009/12/17	<a href="#">rtklib_2.3.0_bin.zip</a> (26.7MB)	<a href="#">rtklib_2.3.0.zip</a> (35.8MB)
2.4.0	2010/08/08	<a href="#">rtklib_2.4.0_bin.zip</a> (17.4MB)	<a href="#">rtklib_2.4.0.zip</a> (26.5MB)

Please refer the [support information](#) to get the latest patches.

Overview

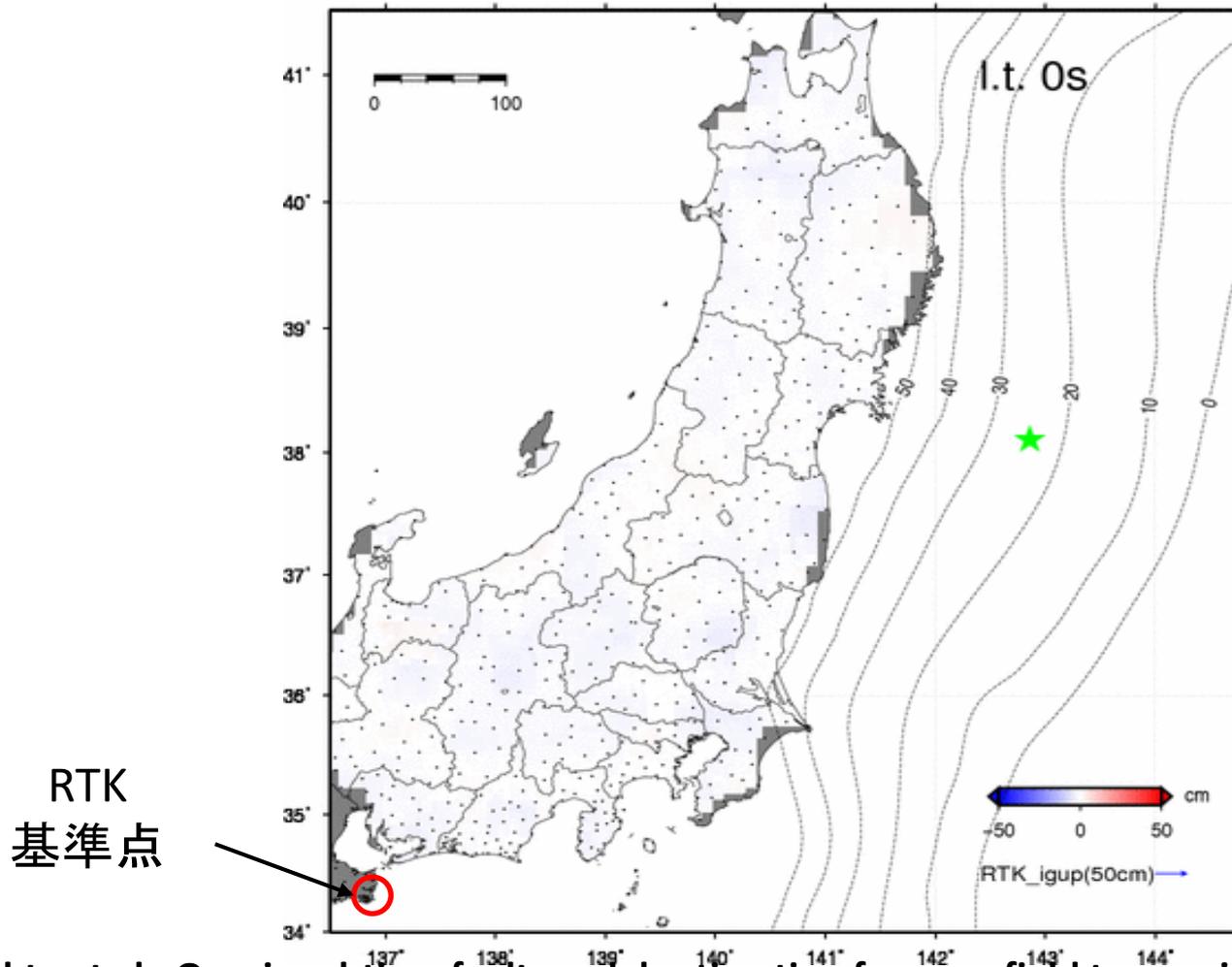
RTKLIB is an open source program package for standard and precise positioning with GNSS. RTKLIB consists of a portable program library and several application programs (APs) utilizing the library. The features of RTKLIB are:

- (1) Supports standard and precise positioning algorithms with:  
GPS, GLONASS and SBAS (Galileo) and QZSS are supported but disabled in current versions
- (2) Supports various positioning modes with GNSS for both real-time and post-processing:  
Single-point, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-baseline, Fixed, PPP-Kinematic \* and PPP-Static \*
- (3) Supports many standard formats and protocols for GNSS:  
[RINEX 2.10, 2.11, 2.12 OBSNAV/IGNAV/HNAV, RINEX 3.00 OBSNAV, RINEX 3.00 CLK, RTCM v.2.3, RTCM v.3.1, NTRIP 1.0, RTCADDO-222C, NMEA 0183, SP3C, ANTEX 1.3, NGS PCV and EMS 2.0](#) (see [Release Notes](#) for supported RTCM messages)
- (4) Supports several GNSS receivers' proprietary messages:  
[NovAtel: OEM4/V, OEM3, OEMStar, Superstar II, Hemisphere Eclipse, Crescent, u-blox: LEA-4T, LEA-5T and SkyTraq: S1313F](#) (see [Release Notes](#) for supported messages)
- (6) Supports external communication via:  
Serial, TCP/IP, NTRIP, local log file (record and playback) and FTP/HTTP (automatic download)
- (7) Provides many library functions and APIs for GNSS data processing:  
Satellite and navigation system functions, matrix and vector functions, time and string functions, coordinates transformation, input and output functions, debug trace functions, platform dependent functions, positioning models, atmosphere models, antenna models, earth tides models, geoid models, datum transformation, RINEX functions, ephemeris and clock functions, precise ephemeris and clock functions, receiver raw data functions, RTCM functions, solution functions, Google Earth KML converter

ダウンロード

<http://www.rtklib.com> or  
<https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB>

# 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

# 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
- 2015/4 v.2.4.2 p11 (各種バグ修正)

# 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

# RTKLIB: パッケージ構造

RTKLIB	
¥src	: RTKLIBライブラリソースプログラム
¥rcv	: GNSS受信機依存ソースプログラム
¥bin	: Windows用実行形式バイナリおよびDLL
¥data	: サンプルデータ
¥app	: APビルド環境
¥rtknavi	: RTKNAVI (GUI)
¥rtknavi_mkl	: RTKNAVI_MKL (GUI)
¥strsvr	: STRSVR (GUI)
¥rtkpost	: RTKPOST (GUI)
¥rtkpost_mkl	: RTKPOST_MKL (GUI)
¥rtkplot	: RTKPLOT (GUI)
¥rtkconv	: RTKCONV (GUI)
¥srctblbrows	: NTRIP source table browser (GUI)
¥rtkrcv	: RTKRCV (CLI)
¥rnx2rtkp	: RNX2RTKP (CLI)
¥pos2kml	: POS2KML (CLI)
¥convbin	: CONVBIN (CLI)
¥str2str	: STR2STR (CLI)
¥appcmn	: GUI AP共通ルーチン
¥icon	: アイコンデータ
¥mkl	: Intel MKLライブラリ (C++ Builder用)
¥test	: テストプログラムおよびデータ
¥util	: ユーティリティ
¥doc	: 文書ファイル

# RTKLAUNCH (APランチャ)

---

- 以下ファイルダブルクリック  
...¥seminar\_2015¥rtklib\_2.4.2p11¥bin¥rtklaunch.exe



**RTK PLOT   STRSVR   NTRIPBR   RTKGET**  
**RTKCONV   RTKPOST   RTKNAVI**

- デスクトップにショートカット作成

# 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	RTKNAVI (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

# RTKLIB: GUI AP (Windows)

The image displays a collection of screenshots for various RTKLIB GUI applications:

- RTKPLLOT**: Shows a network graph of stations with colored lines and labels like 'RTKPLLOT' and 'Google Earth View'.
- RTKNAVI**: Displays a solution for a rover, showing coordinates (N: 35° 43' 08.2300", E: 138° 27' 02.1531", H: 367.442 m) and a bar chart of rover SNR (dBHz).
- RTKGET**: Shows a configuration window for data retrieval, including 'Time Span (GPST)', 'Stations', and 'FTP Login' options.
- STRSVR**: Displays a stream monitoring window with columns for 'Stream', 'Type', 'OptCmd', 'bytes', and 'bps'.
- RTKPOST**: Shows a configuration window for post-processing, including 'Time Start (GPST)', 'Time End (GPST)', and 'Interval' settings.
- RTKCONV**: Displays a configuration window for converting data, including 'Time Start (GPST)', 'Time End (GPST)', and 'Output Directory' settings.
- Ntrip Browser**: Shows a list of mountpoints for Ntrip streaming, with columns for 'Mountpoint', 'ID', and 'Format'.

# RTKLIB: 受信機サポート

形式	データメッセージ							
	GPS 生観測データ	GLONASS 生観測データ	GPS エフェメリス	GLONASS エフェメリス	ION/UTC パラメータ	アンテナ情報	SBAS メッセージ	その他
RTCM v.2.3	Type 18, 19	Type 18, 19	Type 17	-	-	Type 3, 22	-	Type 1, 9, 14, 16
RTCM v.3.1	Type 1002, 1004	Type 1010, 1012	Type 1019	Type 1020	-	Type 1005, 1006, 1007, 1008, 1033	-	SSR corrections
NovAtel OEM4/V/6, OEMStar	RANGEB, RANGECMPB	RANGEB, RANGECMPB	RAWEPHEMB	GLO-EPHEMERISB	IONUTCB	-	RAWWAAS-FRAMEB	-
NovAtel OEM3	RGEB, RGED	-	REPB	-	IONB, UTCB	-	FRMB	-
NovAtel Superstar II	ID#23	-	ID#22	-	-	-	ID#67	ID#20, #21
u-blox LEA-4T, LEA-5T	UBX RXM-RAW	-	UBX RXM-SFRB	-	UBX RXM-SFRB	-	UBX RXM-SFRB	-
Hemisphere Crescent, Eclipse	bin 96	-	bin 95	-	bin 94	-	bin 80	-
SkyTraq S1315F	msg 0xDD (221)	-	msg 0xE0 (224)	-	msg 0xE0 (224)	-	-	msg 0xDC (220)
JAVAD (GRIL/GREIS)	[R*],[r*],[*R],[*r],[P*],[p*],[*p],[D*],[*d],[E*],[*E],[F*]	[R*],[r*],[*R],[*r],[P*],[p*],[*p],[D*],[*d],[E*],[*E],[F*]	[GE],[GD],[gd]	[NE],[LD]	[IO],[UO],[GD]	-	[WD]	[~],[::],[RD],[SI],[NN],[TC], QZSS Data, Galileo Data
Furuno GW10 II	msg 0x08	-	msg 0x24	-	msg 0x26	-	msg 0x03	msg 0x20

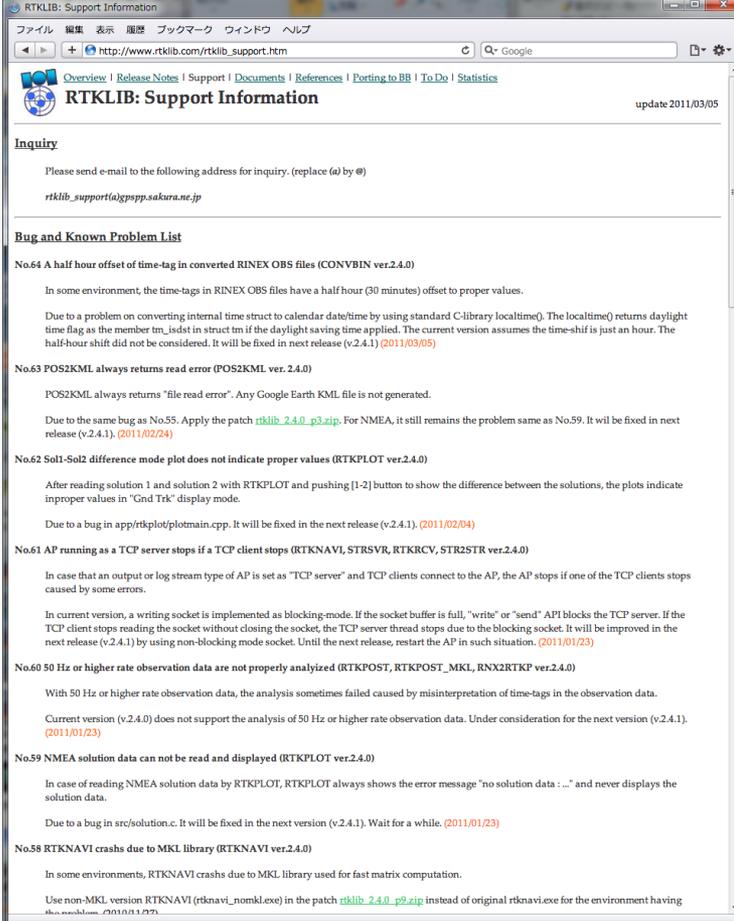
# RTKLIB: 参照文書

RTKLIB ver. 2.4.1 Manual		
		Draft 2011-01-27
Contents		
1	Overview.....	1
2	System Requirement.....	3
3	Instructions.....	4
3.1	Installation.....	4
3.2	Real-time Positioning with RTKNAVI.....	5
3.3	Configure Input, Output and Log Streams for RTKNAVI.....	17
3.4	Post-Processing Analysis with RTKPOST.....	23
3.5	Configure Positioning Options for RTKNAVI and RTKPOST.....	27
3.6	Convert Receiver Raw Data to RINEX with RTKCONV.....	39
3.7	View and Plot Solutions and Observation Data with RTKPLOT.....	42
3.8	NTRIP Source Table Browser.....	52
3.9	Use Console APs of RTKLIB.....	54
4	Develop and Link user AP with RTKLIB.....	55
Appendix A Console AP Commands.....		56
A.1	RTKRCV.....	56
A.2	RNX2RTKP.....	59
A.3	POS2KML.....	61
A.4	CONVBIN.....	62
A.5	STR2STR.....	65
Appendix B File Formats.....		66
B.1	Positioning Solution File.....	66
B.2	SBAS Log File.....	69
B.3	Solution Status File.....	70
B.4	Configuration File.....	72
Appendix C Library APIs (Application Program Interfaces).....		75

Copyright (C) 2007-2010 by T. Takasu. All rights reserved.

i

rtklib\_2.4.2/doc/manual\_2.4.2.pdf



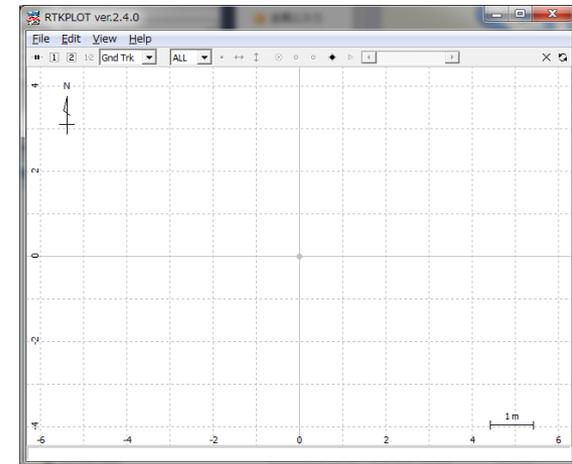
The screenshot shows a web browser window titled "RTKLIB: Support Information". The address bar displays "http://www.rtklib.com/rtklib\_support.htm". The page content includes a navigation menu with links for Overview, Release Notes, Support, Documents, References, Porting to BB, To Do, and Statistics. The main content area is titled "RTKLIB: Support Information" and includes an "Inquiry" section with an email address "rtklib\_support@igspp.sakura.ne.jp". Below this is a "Bug and Known Problem List" with several entries, each describing a specific issue and its resolution status. The list includes items No.64, No.63, No.62, No.61, No.60, and No.59, covering topics like time-tag offsets, read errors, display modes, TCP server issues, and observation data analysis.

http://www.rtklib.com

# RTKLIB例題 (1)

- RTKPLOT 起動
- 以下メニュー実行:  
File - Open Obs Data...  
seminar\_2015¥sample1¥  
javad1\_201102030000.obs

## RTKLIB - RTKPLOT



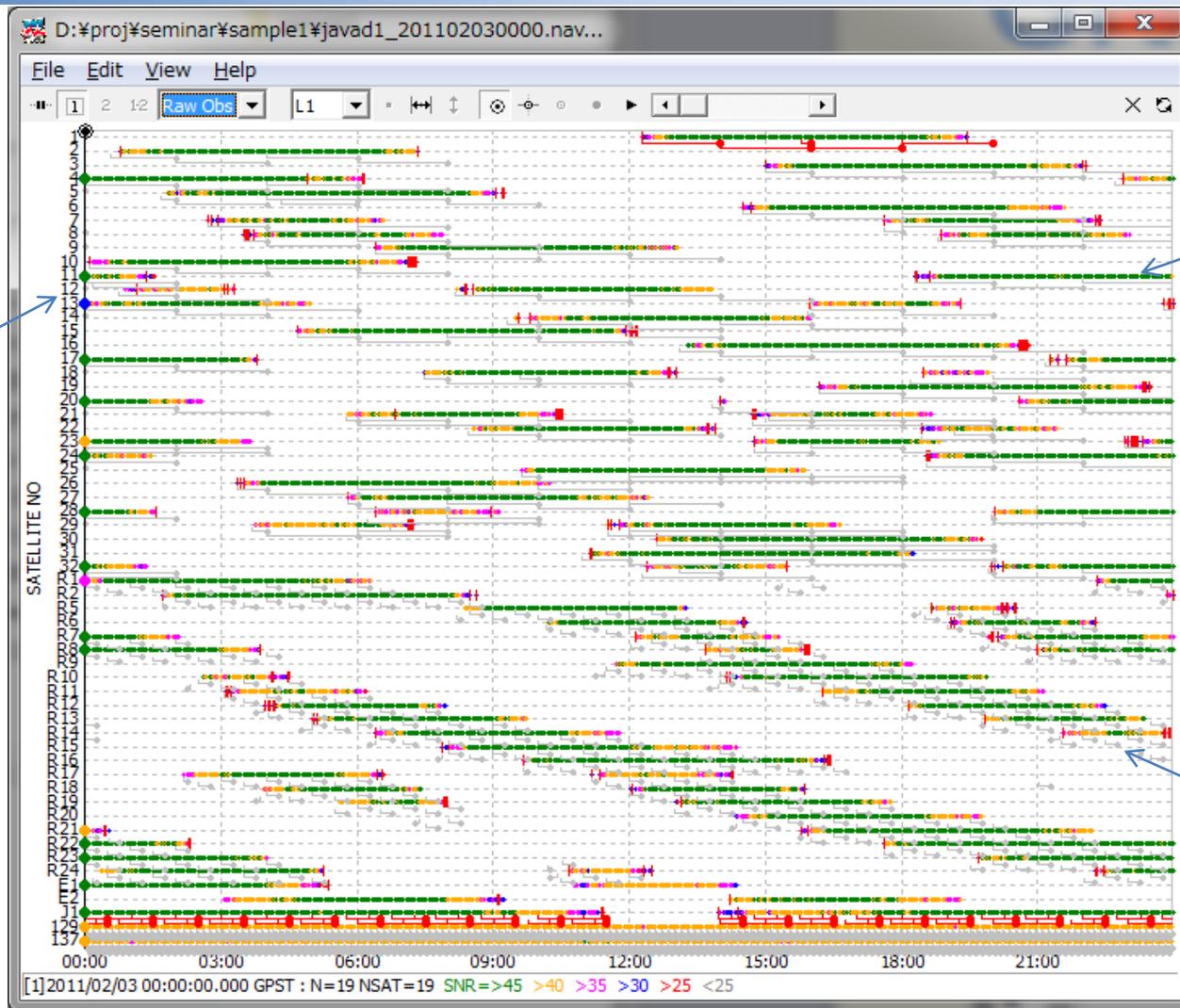
JAVAD DELTA受信機

**Acknowledgment:**

**Sample data were captured by JAVAD DELTA receiver provided by JAXA**

# RTKLIB例題 (2)

衛星 ID  
Gnn: GPS  
Rnn: GLO  
Enn: GAL  
Jnn: QZS  
1nn: SBAS



観測データ

|: Cycle-Slip

|: Parity

Unknown

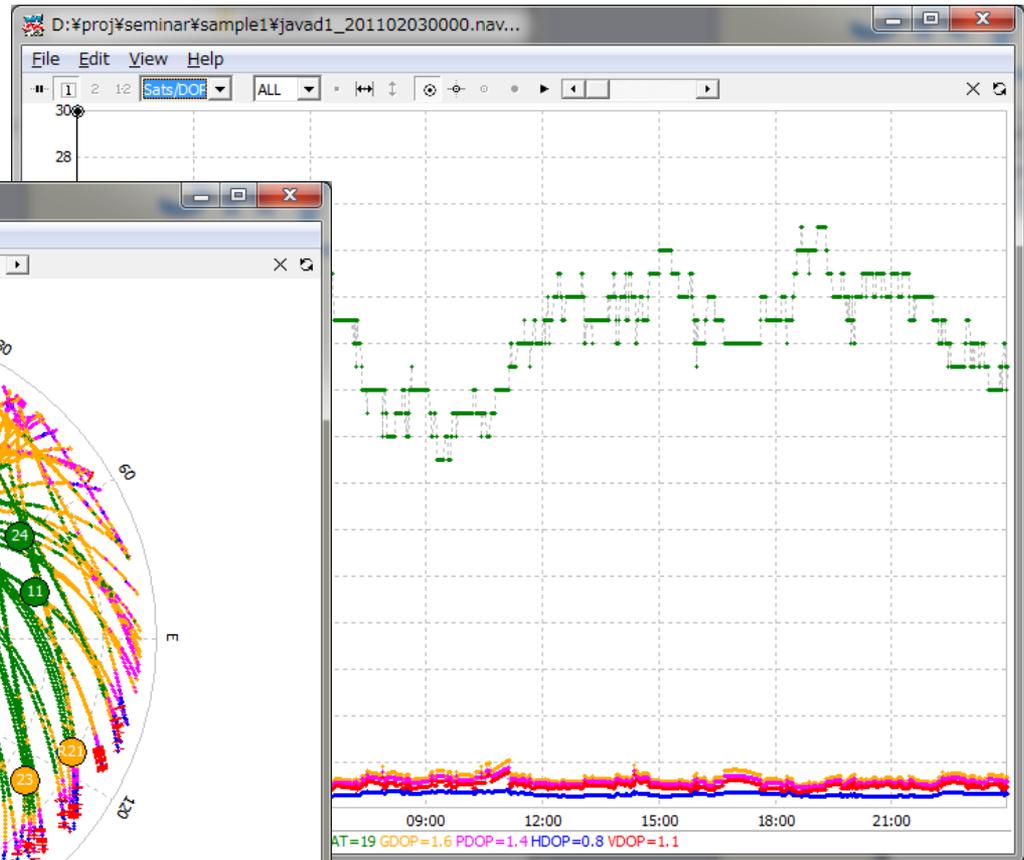
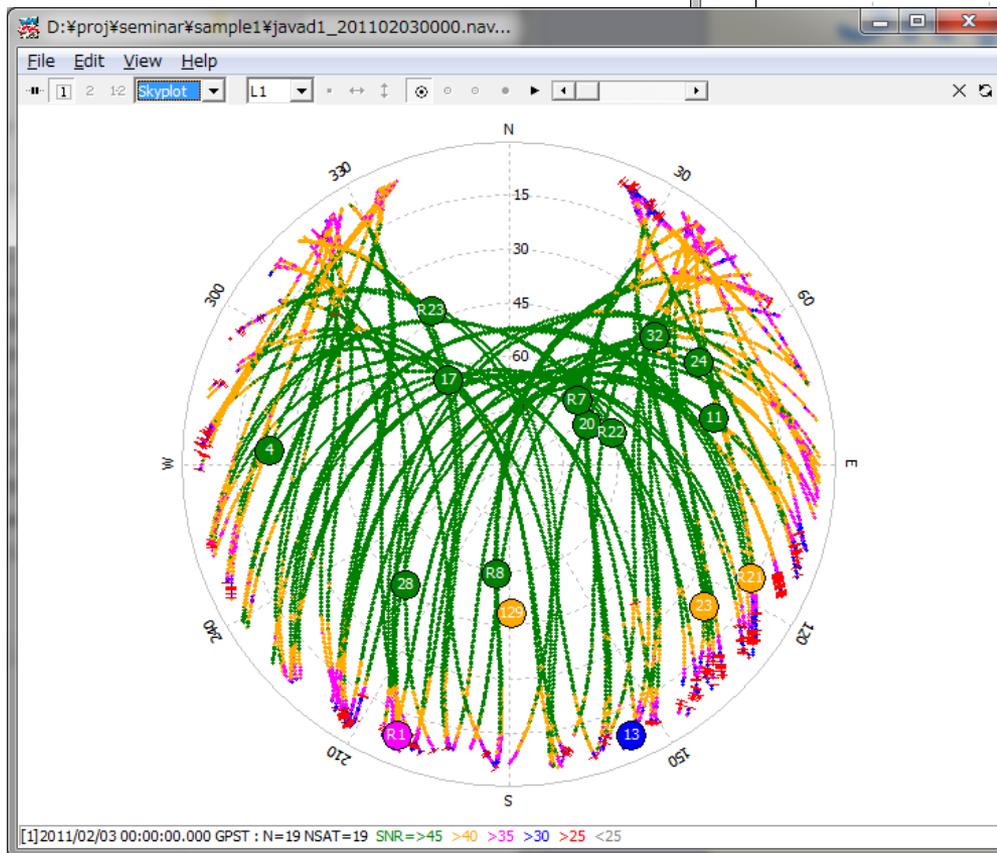
エフェメリス

• : Toe

赤: unhealthy

# RTKLIB例題 (3)

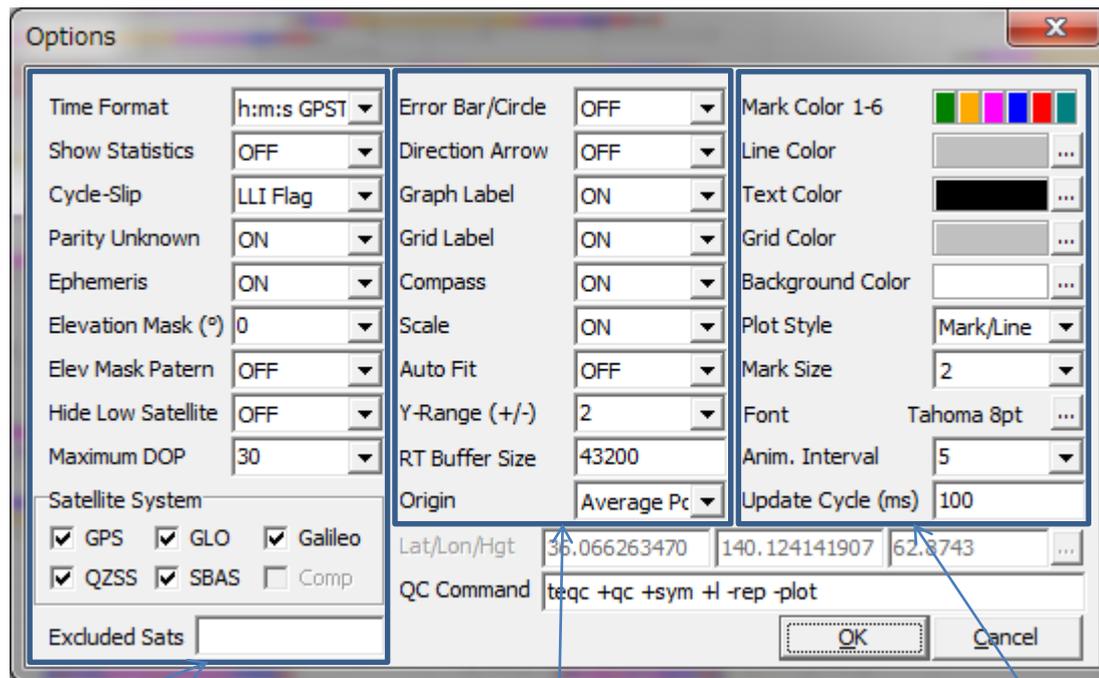
## スカイプロット



可視衛星数及びDOP

# RTKLIB例題 (4)

## RTKPLOT - Options



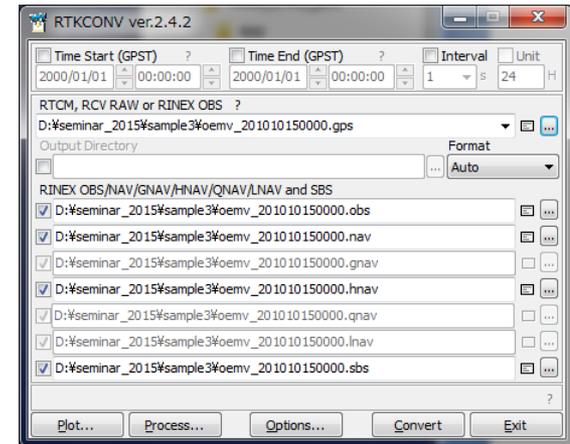
観測データ設定

測位解オプション

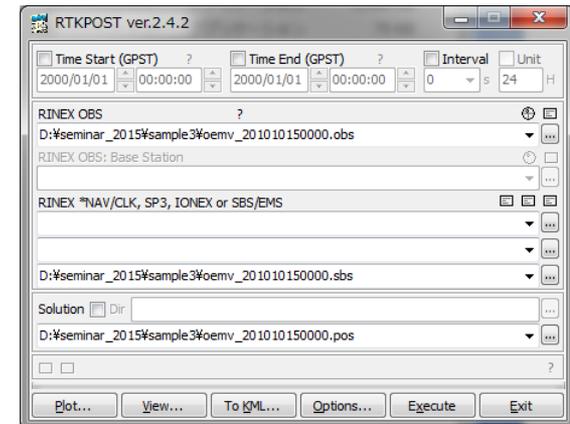
共通オプション

# RTKLIB例題 (5)

- RTKCONV実行
- 入力データの設定  
seminar\_2015¥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

The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Setting1' tab selected. The 'Ionosphere Correction' setting is highlighted with a blue box. The 'Broadcast' option is selected for Ionosphere Correction, Saastamoinen for Troposphere Correction, and Broadcast for Satellite Ephemeris/Clock. Other settings include Positioning Mode: Single, Frequencies: L1+L2, Solution Type: Combined, Elevation Mask: 15, SNR Mask: 0, Rec Dynamics/Earth Tides Correction: OFF, and various satellite system checkboxes (GPS, GLO, Galileo, QZSS, SBAS, Compass).

Positioning Mode	Single
Frequencies	L1+L2
Solution Type	Combined
Elevation Mask (°) / SNR Mask (dbHz)	15 / 0
Rec Dynamics/Earth Tides Correction	OFF / OFF
<b>Ionosphere Correction</b>	<b>Broadcast</b>
Troposphere Correction	Saastamoinen
Satellite Ephemeris/Clock	Broadcast
Excluded Satellites (PRN ...)	
<input checked="" type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> GLO <input type="checkbox"/> Galileo <input type="checkbox"/> QZSS <input type="checkbox"/> SBAS <input type="checkbox"/> Compass	

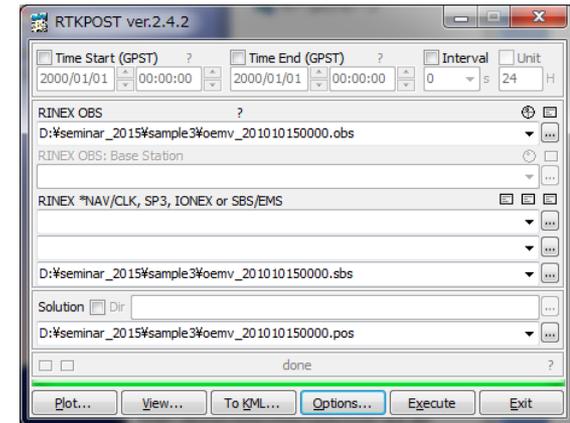
### Output

The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Output' tab selected. The 'Datum/Height' setting is highlighted with a blue box. The 'WGS84' and 'Geodetic' options are selected for Datum/Height, and 'Internal' for Geoid Model. Other settings include Solution Format: Lat/Lon/Height, Output Header/Processing Options: ON, Time Format: ww ssss GPST, # of Decimals: 3, Latitude/Longitude Format: ddd.ddddddd, Field Separator: empty, Solution for Static Mode: All, NMEA Interval: 0, and Output Solution Status/Debug Trace: OFF.

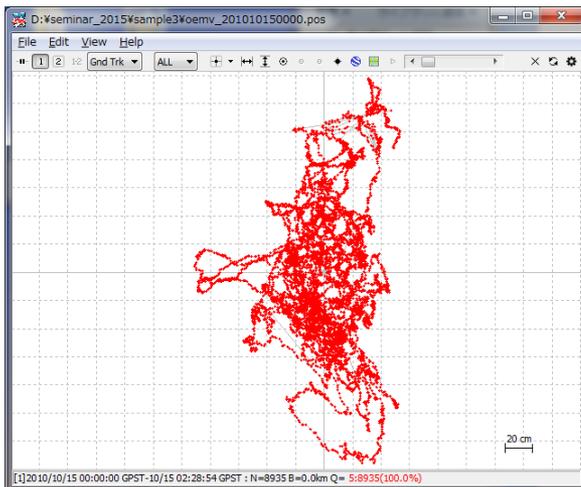
Solution Format	Lat/Lon/Height
Output Header/Processing Options	ON / ON
Time Format / # of Decimals	ww ssss GPST / 3
Latitude / Longitude Format	ddd.ddddddd
Field Separator	
<b>Datum/Height</b>	<b>WGS84 / Geodetic</b>
Geoid Model	Internal
Solution for Static Mode	All
NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV	0 / 0
Output Solution Status / Debug Trace	OFF / OFF

# RTKLIB例題 (7)

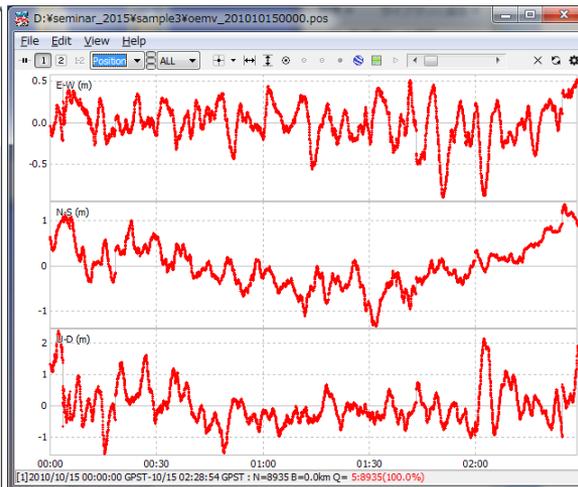
- "Execute"ボタン押下
- "Plot..."ボタン押下
- RTKPLOT起動
- "Position" or "NSat"選択



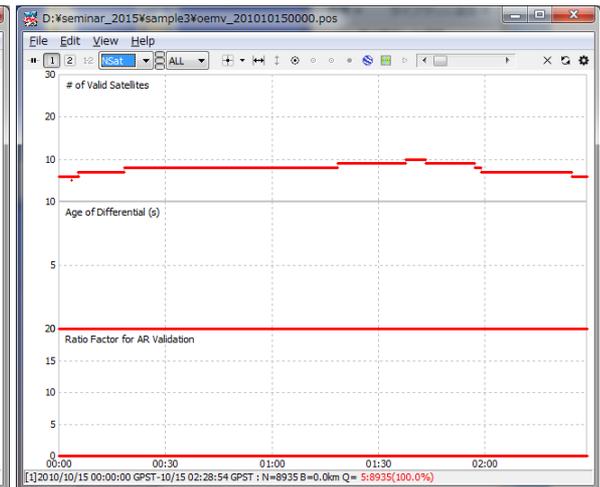
RTKPOST



RTKPLOT (Gnd Trk)



RTKPLOT (Position)



RTKPLOT (NSat)

---

(3)  
RTKLIBの基本操作

# RTKLIBの基本操作

---

- RTKPLOT 
- RTKCONV 
- STRSVR 
- RTKPOST 
- NTRIPBROWS 
- RTKNAVI 
- RTKGET 

---

(4)  
GNSS測位の基礎

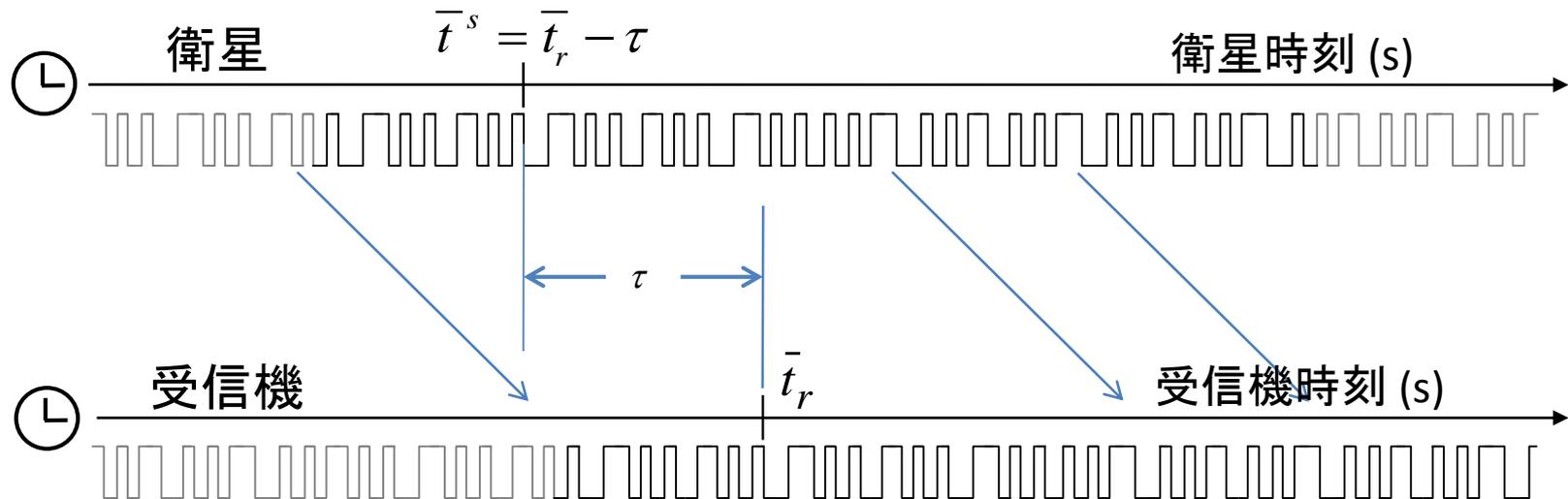
# 疑似距離

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*)



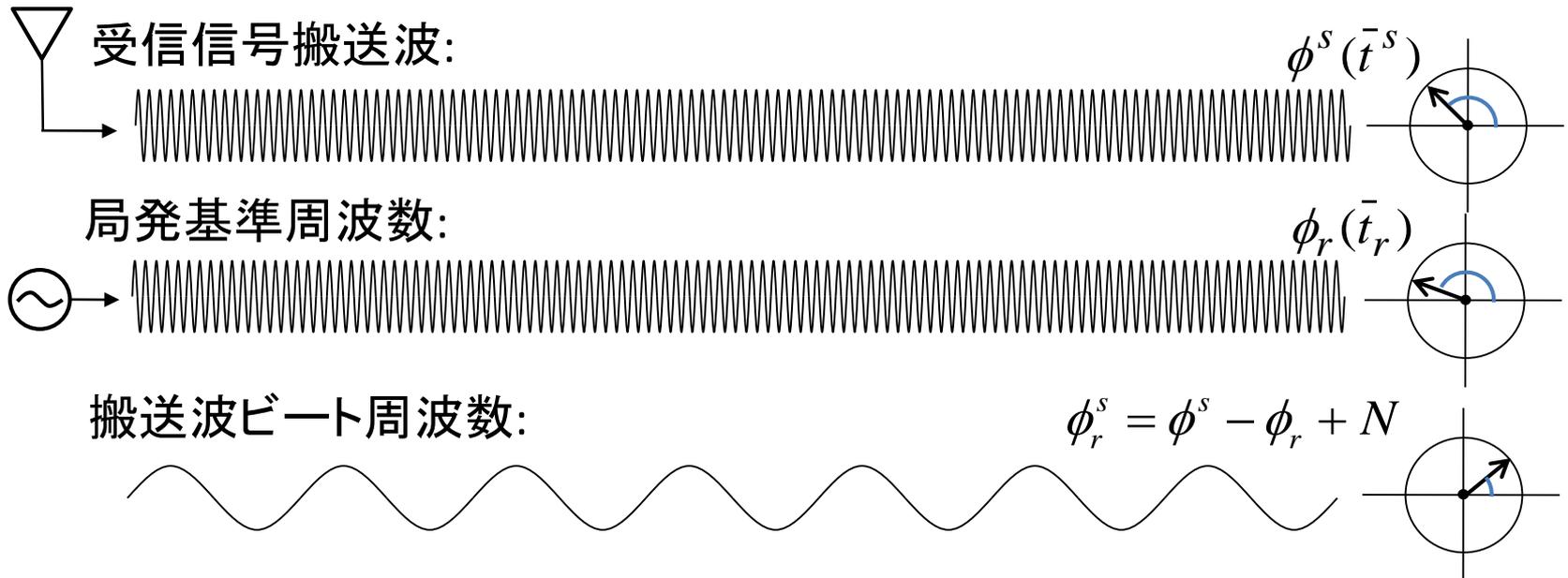
# 搬送波位相

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)



# 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, ...



# 搬送波位相モデル (1)

搬送波位相:

$$\phi_r^s = \phi_r(t_r) - \phi^s(t^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi \quad (\phi_{r,0} = \phi_r(t_0), \phi_0^s = \phi^s(t_0))$$

$$= (f(t_r + dt_r - t_0) + \phi_{r,0}) - (f(t^s + dT^s - t_0) + \phi_0^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi$$

$$= \frac{c}{\lambda}(t_r - t^s) + \frac{c}{\lambda}(dt_r - dT^s) + (\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \varepsilon_\phi \quad (\text{cycle})$$

$$\Phi_r^s \equiv \lambda \phi_r^s = c(t_r - t^s) + c(dt_r - dT^s) + \lambda(\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \lambda \varepsilon_\phi$$

$$= \underline{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s)} - I_r^s + T_r^s + \lambda B_r^s + \underline{d_r^s} + \varepsilon_\phi \quad (\text{m})$$

搬送波位相バイアス 補正項

疑似距離:

$$P_r^s = \underline{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s)} + I_r^s + T_r^s + \varepsilon_p$$

# 搬送波位相モデル(2)

搬送波位相バイアス:

$$\underline{B_r^S} = \phi_{r,0} - \phi_0^S + N_r^S \quad (\text{cycle})$$

$N_r^S$  : 整数アンビギュイティ

$\phi_{r,0}$  : 受信機初期位相

$\phi_0^S$  : 衛星初期位相

補正項:

$$\underline{d_r^S} = -\mathbf{d}_{r,pc0}^T \mathbf{e}_{r,enu}^S + \left( \mathbf{E}_{sat \rightarrow ecef} \mathbf{d}_{pc0}^S \right)^T \mathbf{e}_r^S + d_{r,pcv} + d_{pcv}^S - \mathbf{d}_{disp}^T \mathbf{e}_{r,enu}^S + d_{pw} + d_{rel} \quad (\text{m})$$

$\mathbf{d}_{r,pc0}$  : Receiver Antenna Phase Center Offset

$d_{r,pcv}$  : Receiver Antenna Phase Center Variation

$\mathbf{d}_{pc0}^S$  : Satellite Antenna Phase Center Offset

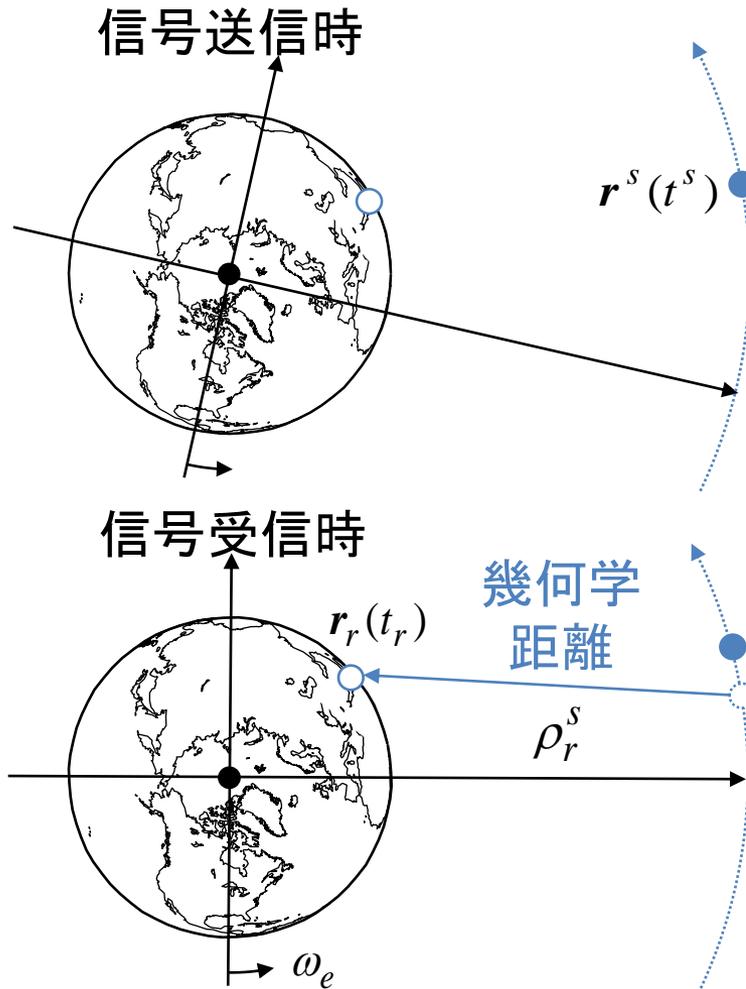
$d_{pcv}^S$  : Satellite Antenna Phase Center Variation

$\mathbf{d}_{disp}$  : Site Displacement

$d_{pw}$  : Phase Wind-up Effect

$d_{rel}$  : Relativistic Effect

# 幾何学距離



## 信号伝搬時間

$$t^s = \bar{t}_r - P_r^s / c - dT(t^s)$$

(1)

$$\rho_r^s = \left\| \mathbf{U}(t_r) \mathbf{r}_r(t_r) - \mathbf{U}(t^s) \mathbf{r}^s(t^s) \right\|$$

(2)

$$\rho_r^s \approx \left\| \mathbf{r}_r(t_r) - \mathbf{R}_z(\omega_e(t_r - t^s)) \mathbf{r}^s(t^s) \right\|$$

(3)

$$\rho_r^s \approx \left\| \mathbf{r}_r(t_r) - \mathbf{R}_z(\omega_e \rho_r^s / c) \mathbf{r}^s(t^s) \right\|$$

(4)

$$\rho_r^s \approx \left\| \mathbf{r}_r(t_r) - \mathbf{r}^s(t^s) \right\| + \frac{\omega_e(x^s y_r - y^s x_r)}{c}$$

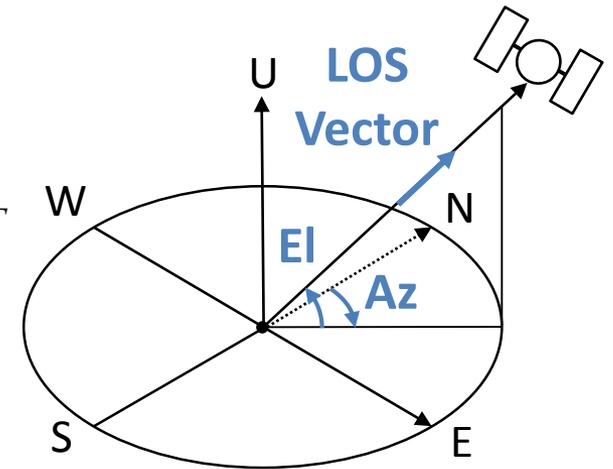
サニャック効果補正

# LOS (Line-of-Sight) ベクタ

LOS ベクタ:

$$\mathbf{e}_r^S = \frac{\mathbf{r}^S - \mathbf{r}_r}{\|\mathbf{r}^S - \mathbf{r}_r\|}, \quad \mathbf{e}_{r,enu}^S = \mathbf{E}_{ecef \rightarrow enu} \mathbf{e}_r^S = (e_e, e_n, e_u)^T$$

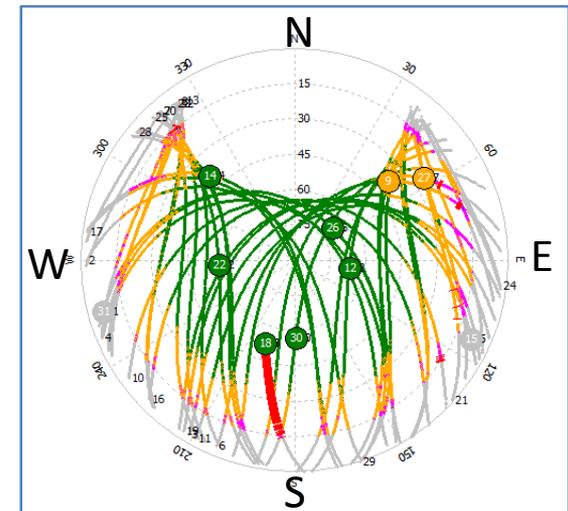
$$\mathbf{E}_{ecef \rightarrow enu} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{pmatrix}$$



衛星方位角・仰角:

$$Az = \text{ATAN2}(e_e, e_n)$$

$$El = \arcsin e_u$$



# 誤差源及びDOP

---

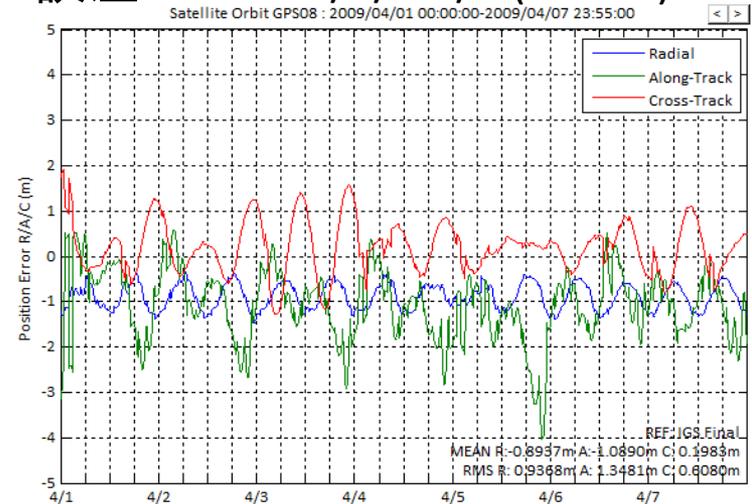
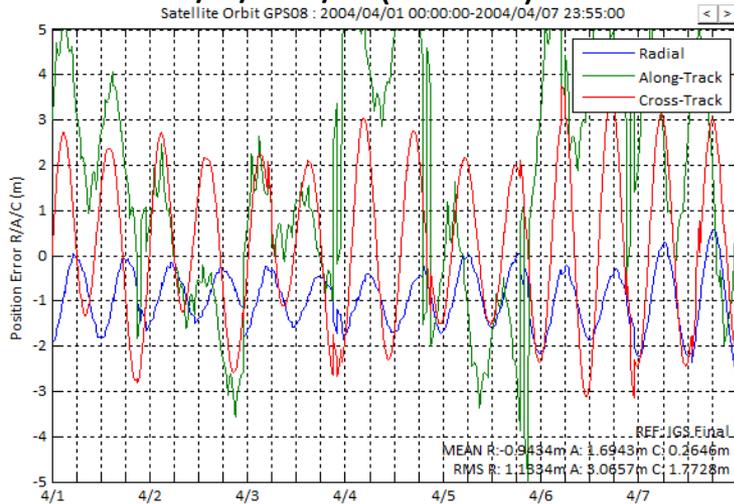
- 誤差源
  - エフェメリス/SVクロック誤差
  - 電離層モデル誤差
  - 対流圏モデル誤差
  - マルチパス
  - 受信機雑音
  - その他誤差
  - S/A (Selective Availability)
- 衛星-受信機幾何学配置
  - DOP (Dilution of Precision)

# エフェメリス/SVクロック誤差

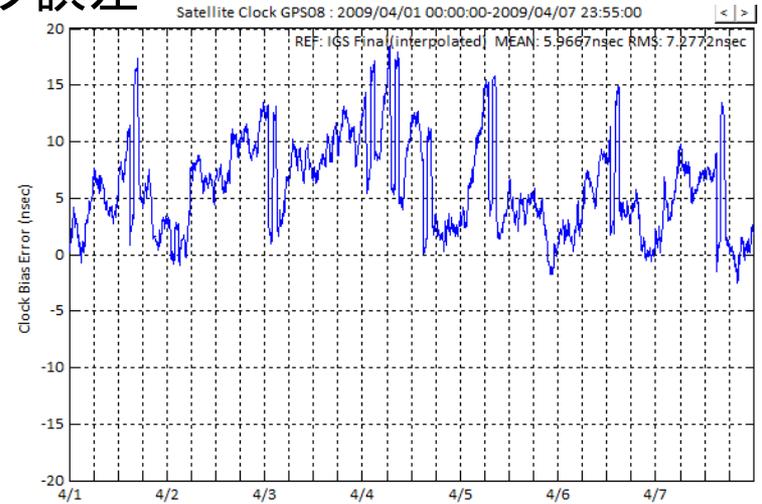
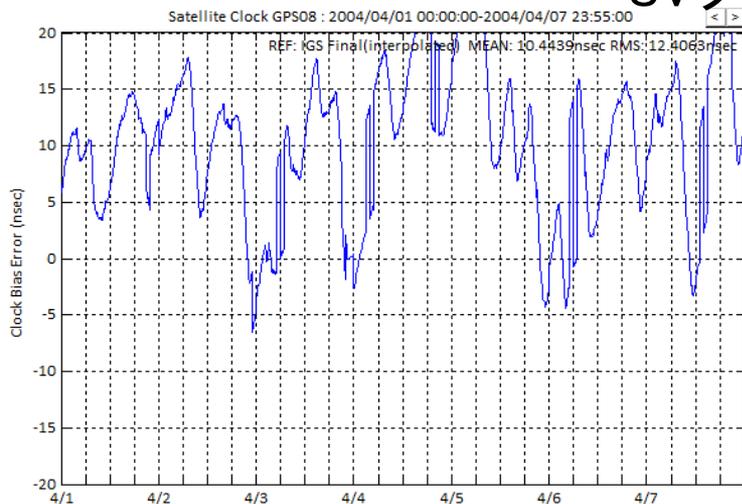
2004/4/1-4/7 (PRN08)

エフェメリス誤差

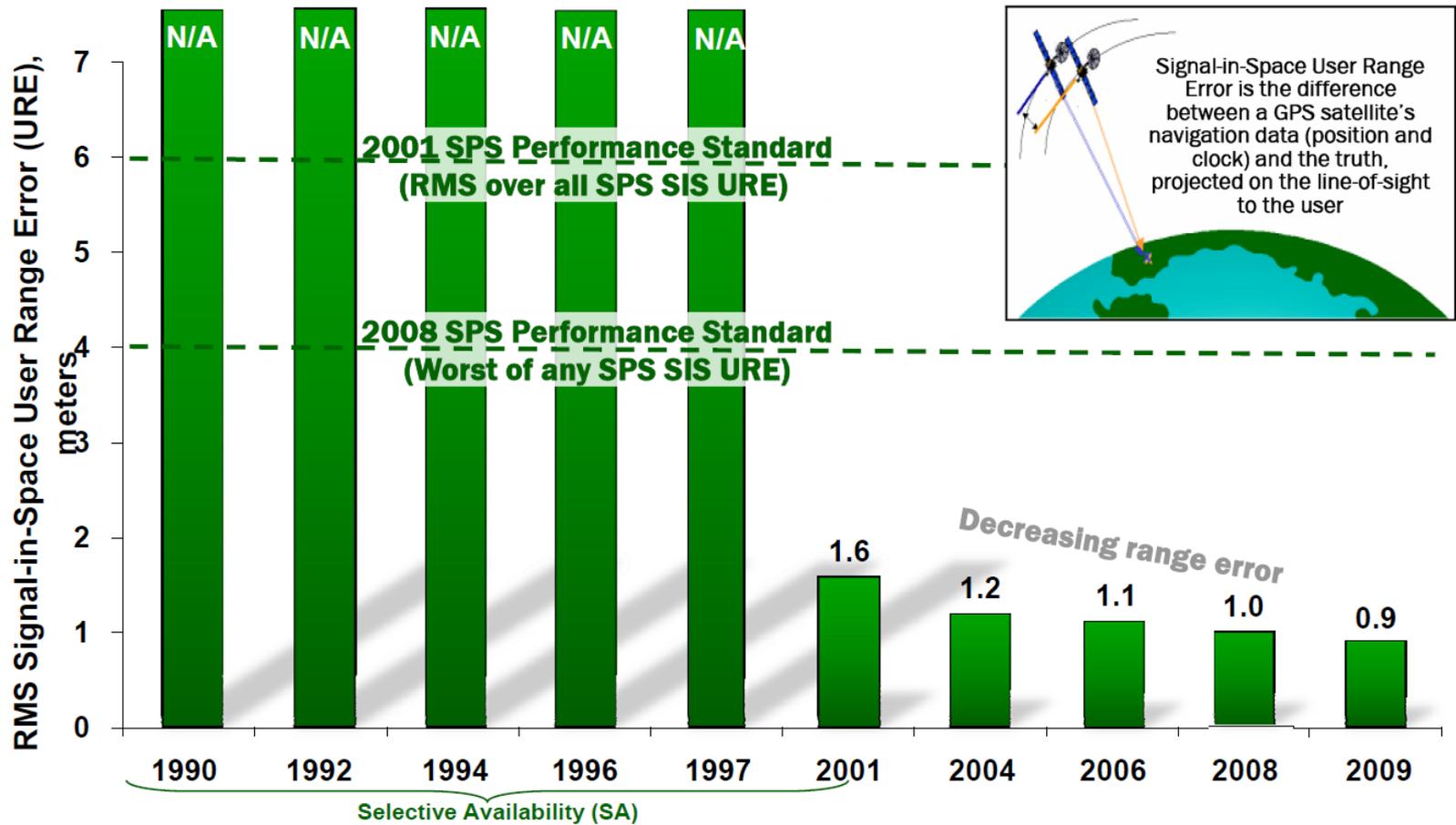
2009/4/1-4/7 (PRN08)



SVクロック誤差



# GPS SIS-URE

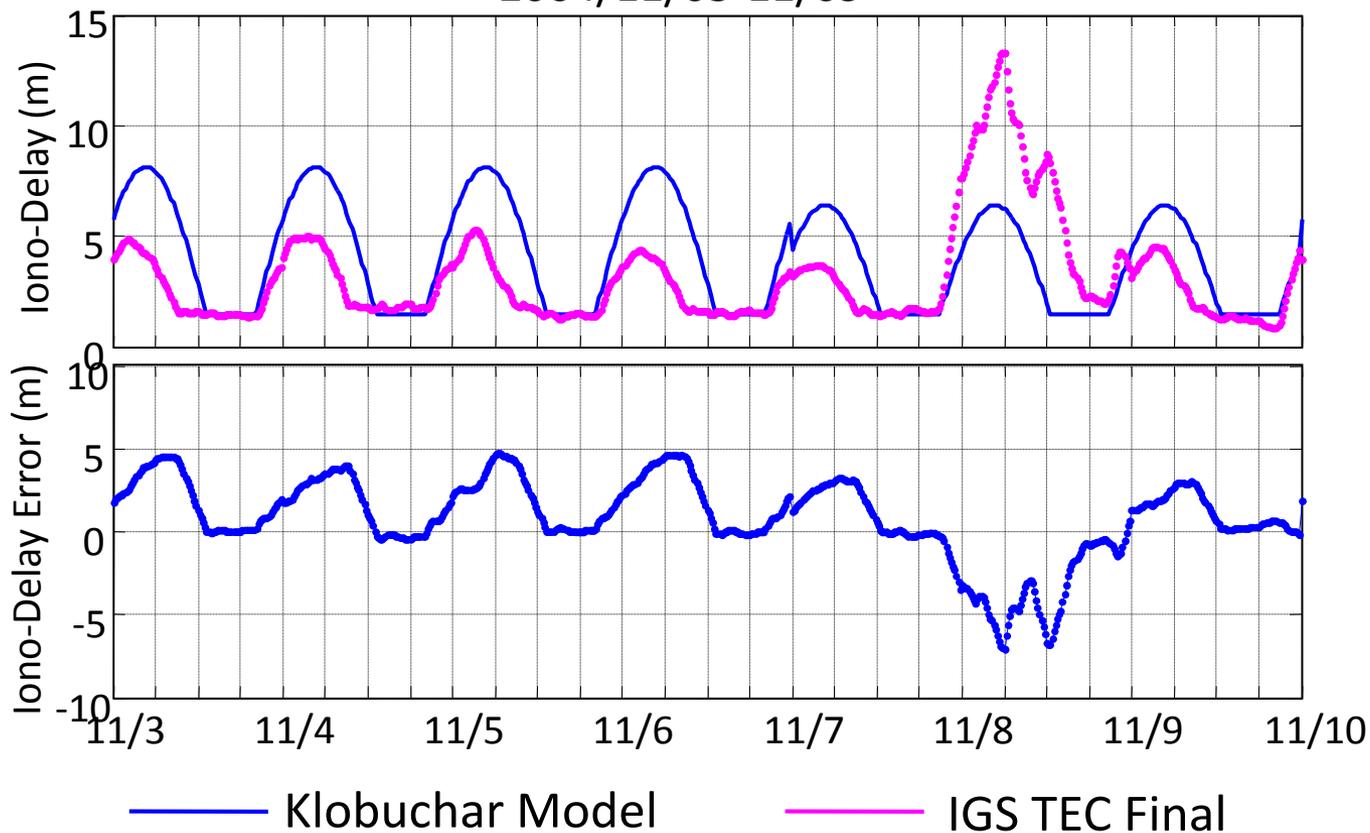


*L.S.Steiner, GPS Program Update to CGSIC 2010, Sep 21, 2010*

# 電離層モデル誤差

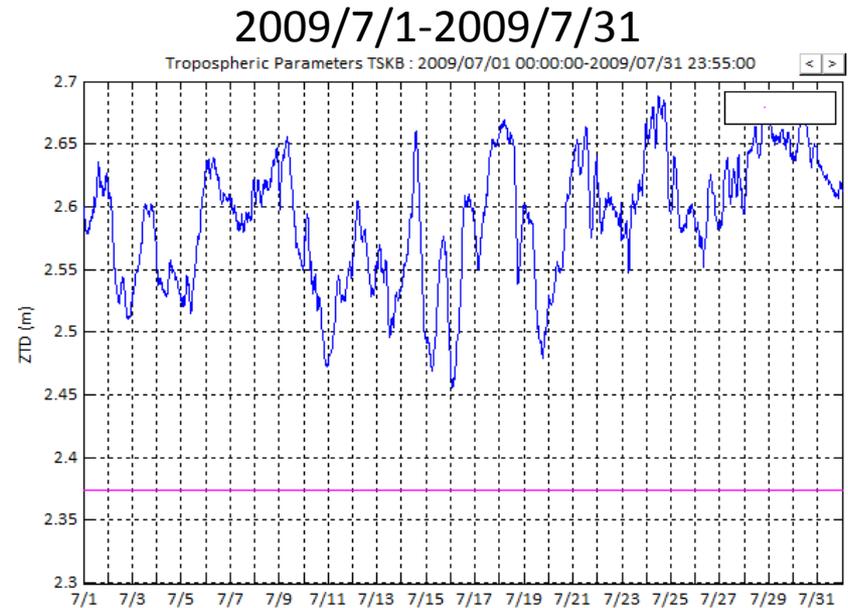
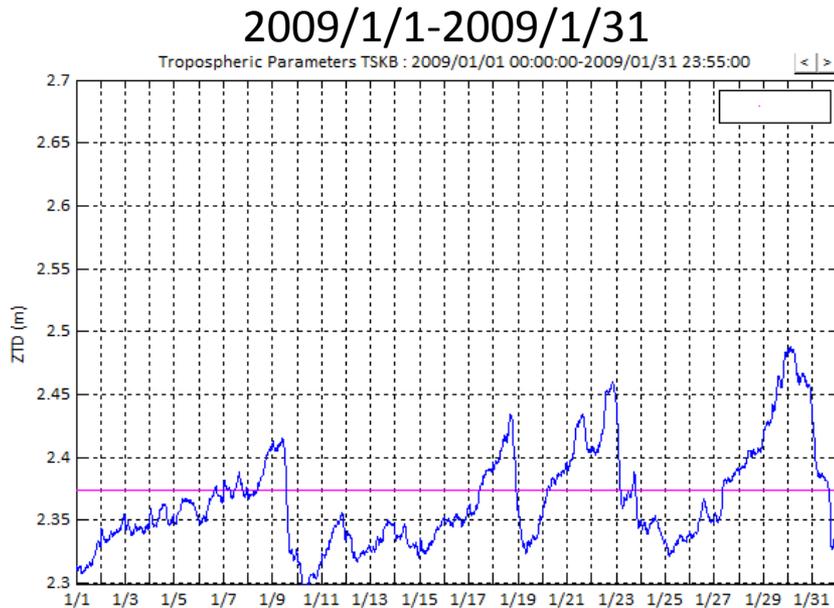
Zenith Ionospheric Delay (L1) at TSKB

2004/11/03-11/09



# 対流圏モデル誤差

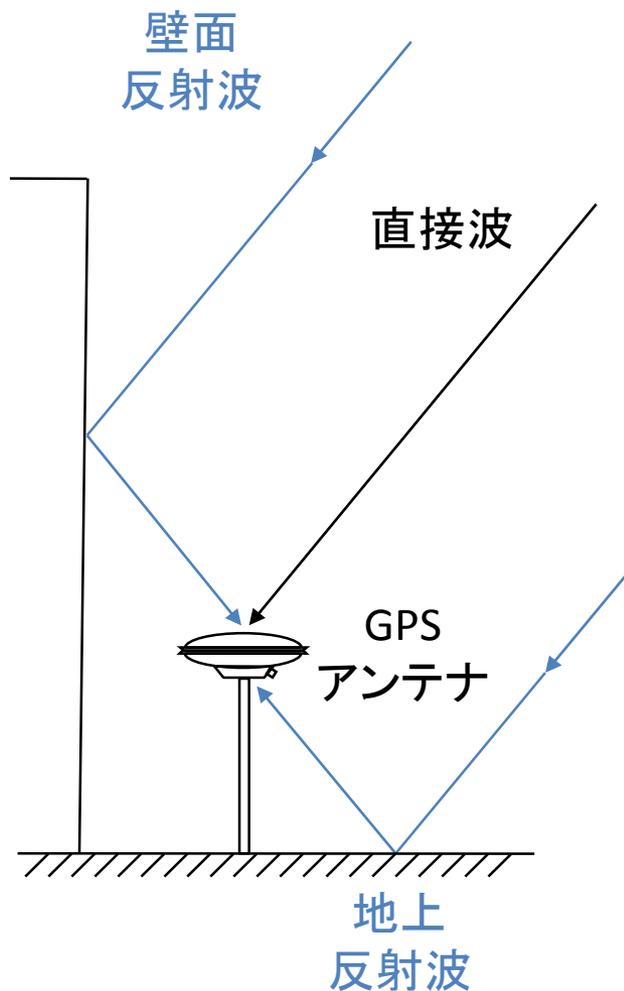
## ZTD (Zenith Total Delay) at TSKB



— Saastamoinen Model

— Estimated by PPP

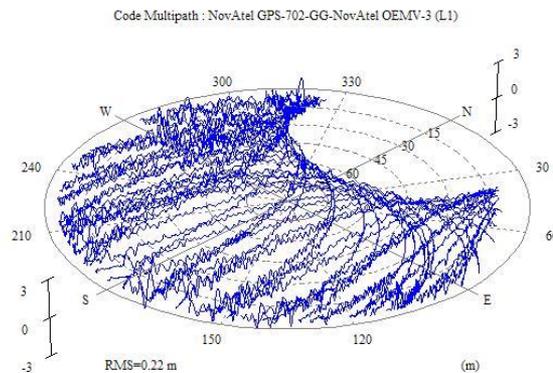
# マルチパス



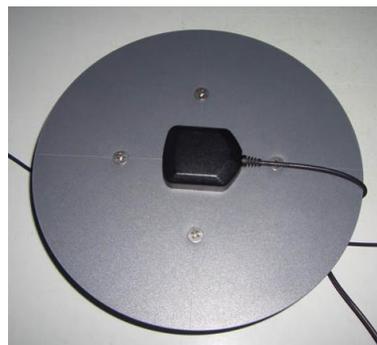
## 測量用アンテナ



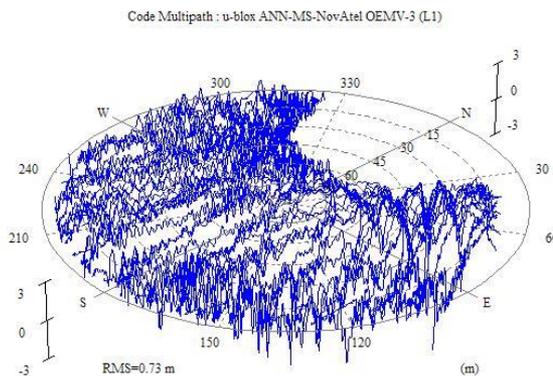
NovAtel  
GPS-702-GG



## 一般アンテナ



u-blox ANN-MS



# DOP

## GDOP, PDOP, HDOP, VDOP

$$GDOP = \sqrt{q_{ee} + q_{nn} + q_{uu} + q_{tt}}$$

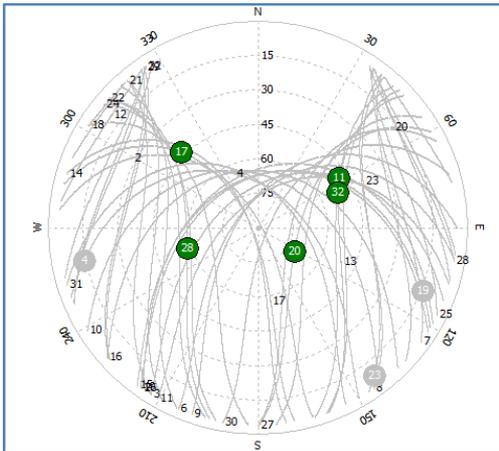
$$PDOP = \sqrt{q_{ee} + q_{nn} + q_{uu}}$$

$$HDOP = \sqrt{q_{ee} + q_{nn}}$$

$$VDOP = \sqrt{q_{uu}}$$

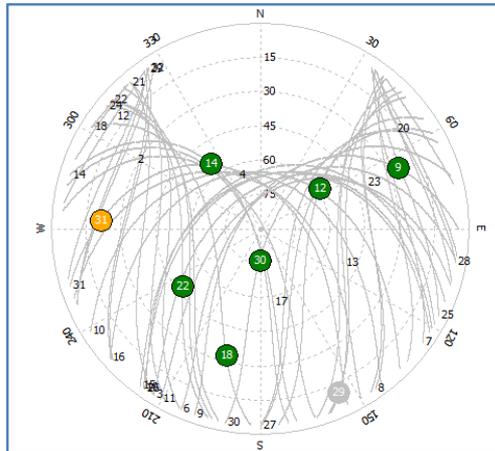
$$Q = (H^T H)^{-1} = \begin{pmatrix} q_{ee} & q_{en} & q_{eu} & q_{et} \\ q_{ne} & q_{nn} & q_{nu} & q_{nt} \\ q_{ue} & q_{un} & q_{uu} & q_{ut} \\ q_{te} & q_{tn} & q_{tu} & q_{tt} \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} -\mathbf{e}_{r,enu}^s & T & 1 \\ -\mathbf{e}_{r,enu}^s & T & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\mathbf{e}_{r,enu}^m & T & 1 \end{pmatrix}$$

# of satellites = 5



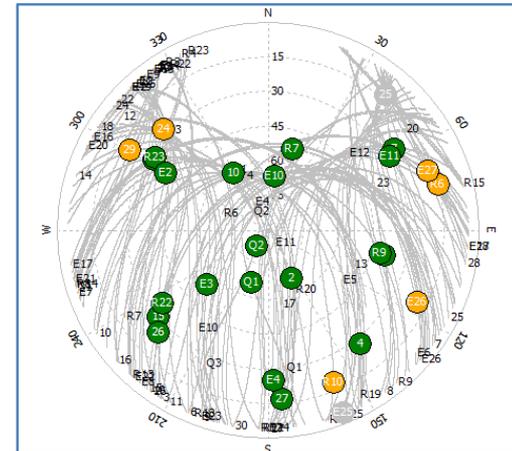
GDOP=33.4 PDOP=25.9  
HDOP=8.1 VDOP=24.7

# of satellites = 7



GDOP=2.5 PDOP=2.1  
HDOP=1.2 VDOP=1.8

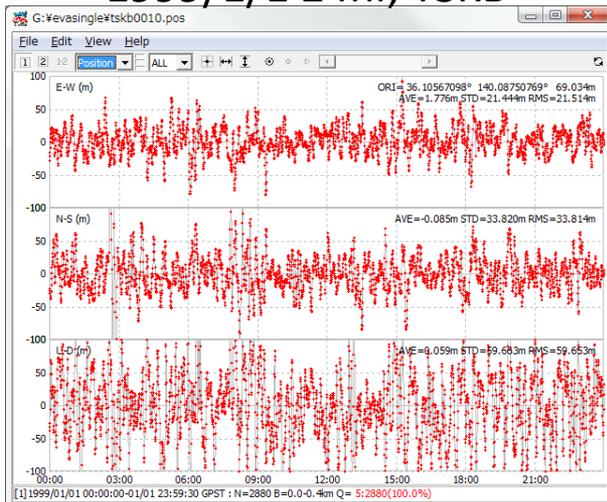
# of satellites = 27



GDOP=1.2 PDOP=1.0  
HDOP=0.5 VDOP=0.9

# 单独测位误差

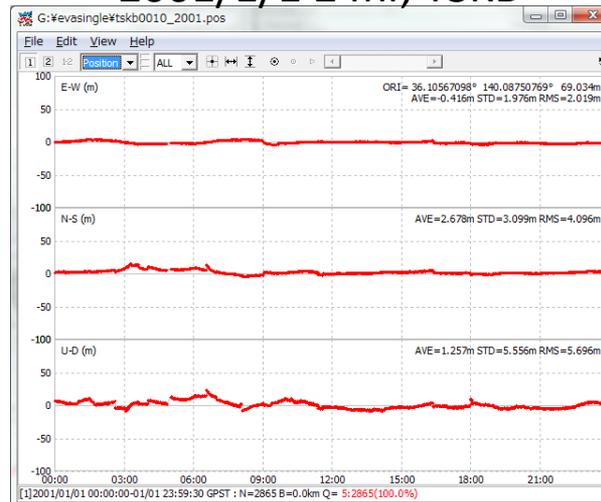
1999/1/1 24hr, TSKB



RMS Error:  
 E: 21.51m  
 N: 33.81m  
 U: 59.65m

100m

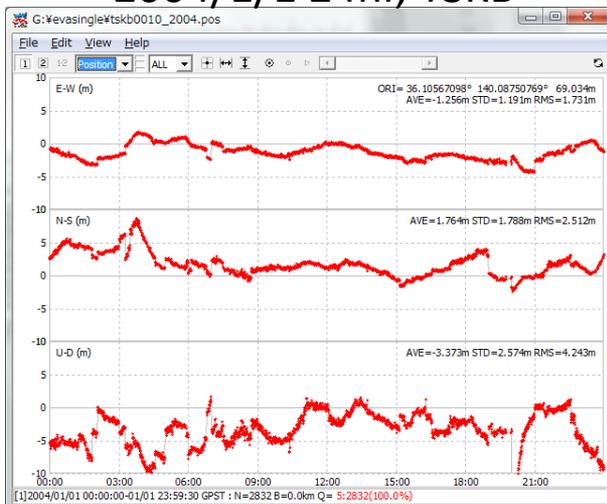
2001/1/1 24hr, TSKB



RMS Error:  
 E: 2.02m  
 N: 4.10m  
 U: 5.70m

100m

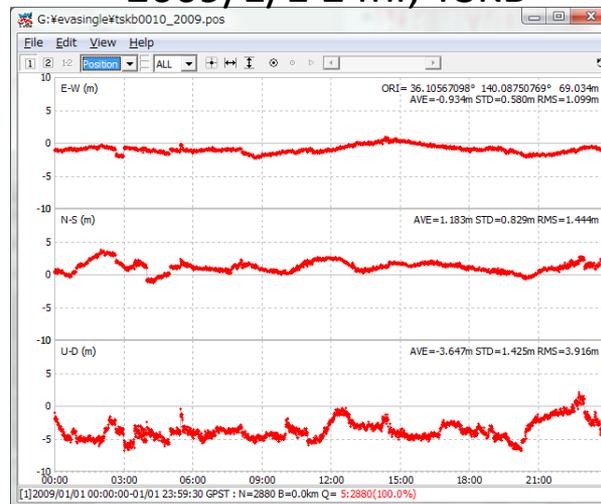
2004/1/1 24hr, TSKB



RMS Error:  
 E: 1.73m  
 N: 2.51m  
 U: 4.24m

10m

2009/1/1 24hr, TSKB



RMS Error:  
 E: 1.10m  
 N: 1.44m  
 U: 3.92m

10m

# DGPS (ディファレンシャルGPS)

---

- ディファレンシャルGPS/GNSS
  - 座標が既知の固定基準局
  - 衛星毎疑似距離補正量(PRC)
  - 補正情報のユーザへの放送
  - 受信機依存以外の誤差項の消去
- DGPSサービス
  - 衛星経由DGPS: OmniSTAR, SkyFix, StarFix
  - 海上DGPS: 海上保安庁 (中波ビーコン)
  - 国内DGPS: VHF/FM, 携帯網, インターネット

# RTCM SC-104

## RTCM 2.3

## RTCM 3.1

Type	Message	Type	Message
1	Differential GPS Corrections	1001	L1-Only GPS RTK Observables
3	GPS Reference Station Parameters	1002	Extended L1-Only GPS RTK Observables
10	P-Code Differential Corrections	1003	L1&L2 GPS RTK Observables
11	C/A-Code L1, L2 Delta Corrections	1004	Extended L1&L2 GPS RTK Observables
17	GPS Ephemerides	1005	Stationary RTK Reference Station ARP
18	RTK Uncorrected Carrier Phase	1006	Stationary RTK Ref. Stn. ARP with Hgt.
19	RTK Uncorrected Pseudorange	1007	Antenna Descriptor
20	RTK Carrier Phase Corrections	1008	Antenna Descriptor & Serial Number
21	RTK Pseudorange Corrections	1013	System Parameters
22	Extended Reference Station Parameter	1014	Network Auxiliary Station Data
23	Antenna Type Definition Record	1015	GPS Ionospheric Correction Differences
24	Antenna Reference Point (ARP)	1016	GPS Geometric Correction Differences
59	Proprietary Messages	1019	GPS Ephemerides

# 誤差バジェット

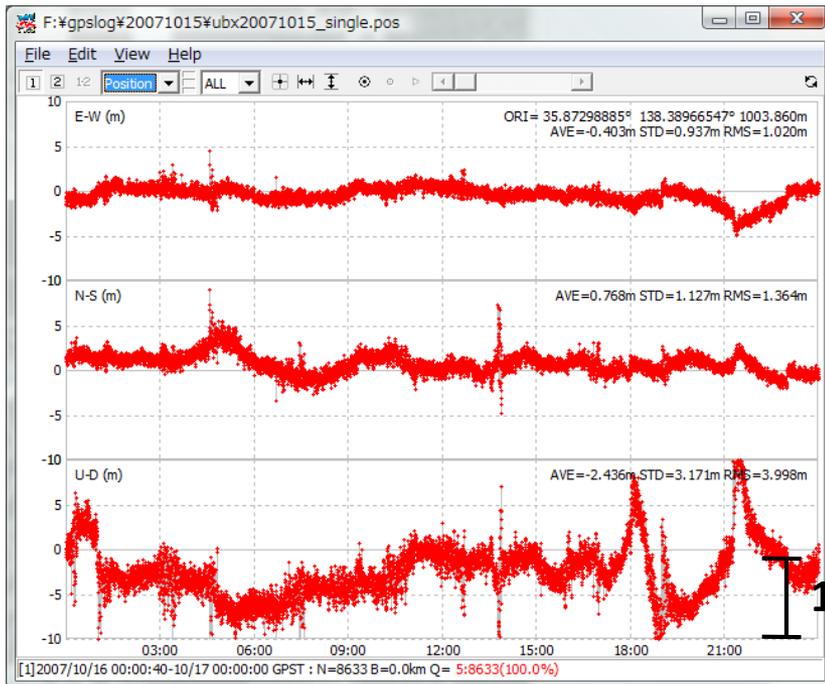
誤差源	単独測位		DGPS (BL=100km)		SBAS DGPS	
エフェメリス誤差	1.0 m		0.1 m		0.1 m	
SVクロック誤差			0.0 m			
電離層モデル誤差	1.5 m		0.2 m		0.2 m	
対流圏モデル誤差	0.3 m		0.1 m		0.3 m	
マルチパス	1.0 m		1.2 m		1.0 m	
S/A	0.0 m		0.0 m		0.0 m	
受信機雑音	0.3 m		0.3 m		0.3 m	
UERE	2.1 m		1.3 m		1.1 m	
HDOP/VDOP	1.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.5
水平/垂直 誤差 (RMS)	3.2 m	5.3 m	2.0 m	3.3 m	1.7 m	2.8 m

# DGPS (SBAS)

## 单独測位

RMS Error:

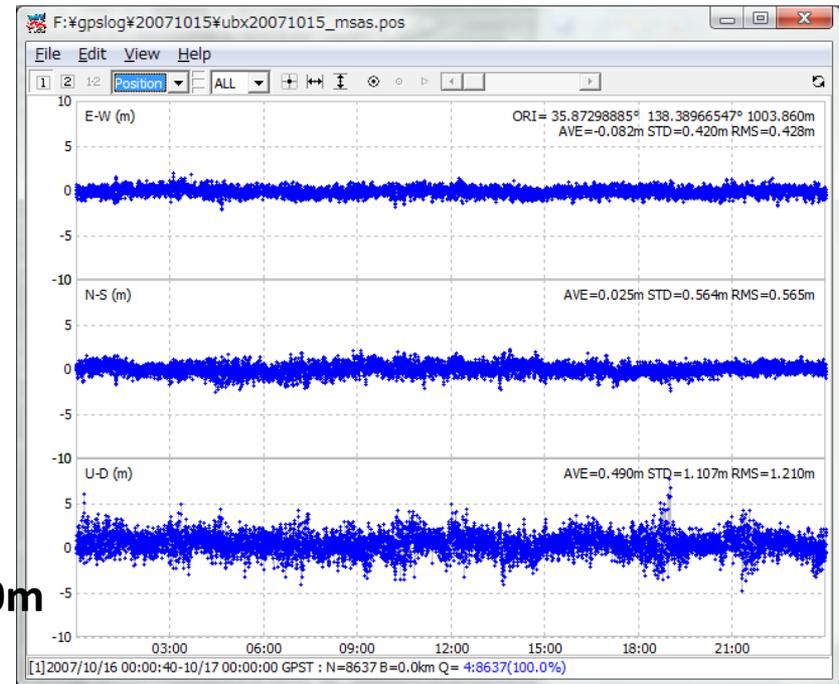
E: 1.02m N: 1.36m U: 4.00m



## SBAS DGPS (MSAS)

RMS Error:

E: 0.43m N: 0.57m U: 1.21m



(2007/10/16 24hr, Antenna: NovAtel GPS-702-GG, Receiver: u-blox AEK-4T (raw),  
Processing S/W: RTKLIB 2.1.0, All Corrections=ON, Ranging=ON)

# PPP (精密単独測位)

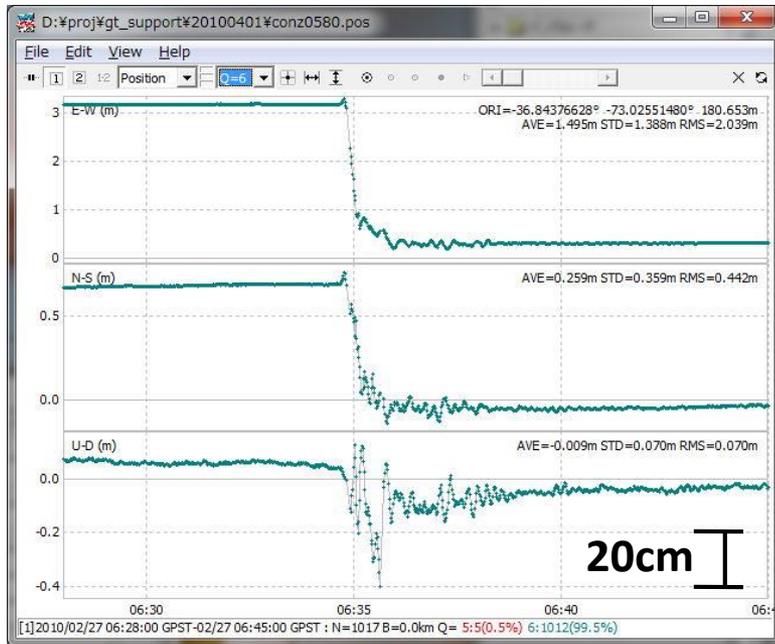
---

- 特長
  - 単独受信機 (基準点不要)
  - 多数点の解析効率
  - 精密暦 (高精度軌道クロック)
  - 典型的には後処理、近年リアルタイム
- 応用
  - GPS地震計
  - GPS気象学
  - LEO衛星のPOD (高精度軌道決定)
  - 高精度時刻比較

# キネマティックPPP vs スタティックPPP

## キネマティックPPP

Station: IGS CONZ

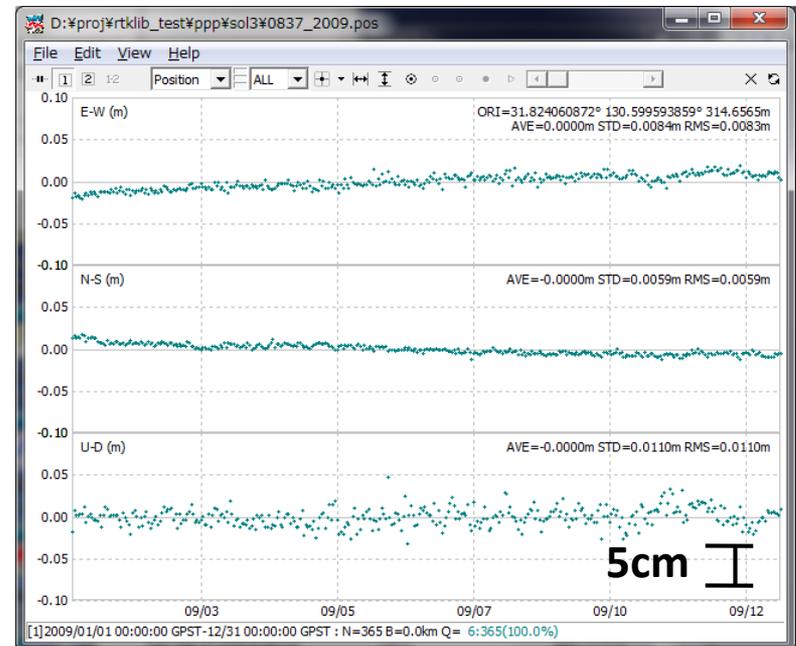


2010/2/27 6:28-6:45 GPST

Interval: 1 s

## スタティックPPP

Station: GEONET 0837



2009/1/1-2009/12/31

Interval: 1day

# 標準データフォーマット

---

- RINEX (Receiver Independent Exchange)
  - テキストベース標準GNSSデータファイル形式
  - 後処理解析用
- RINEXタイプ
  - OBS: 観測データ
  - NAV: 航法データ, (GNAV: GLONASS, HNAV: SBAS)
  - MET: 気象データ
  - CLK: クロックプロダクト
- RINEXバージョン
  - ver. 2 (2.10, 2.11, 2.12), ver. 3 (3.00, 3.01, 3.02)

# RINEX OBS

2.10 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE  
 RTKCONV 2.4.0 20110423 090647 UTC PGM / RUN BY / DATE

Receiver Time Tag

MARKER NAME  
 MARKER NUMBER  
 OBSERVER / AGENCY  
 REC # / TYPE / VERS  
 ANT # / TYPE  
 APPROX POSITION XYZ  
 ANTENNA: DELTA H/E/N  
 WAVELENGTH FACT L1/2  
 # / TYPES OF OBSERV  
 TIME OF FIRST OBS  
 TIME OF LAST OBS  
 END OF HEADER

1	1										
8	C1	L1	D1	S1	P2	L2	D2	S2			
2010	10	15	0	0	0.0000000				GPS		
2010	10	15	2	28	54.0000000				GPS		
10	10	15	0	0	0.0000000	0	10G	6G23G16G19G21G13G	3G31S29S37		
20849928.484		109567124.316						1939.684	45.000	20849930.125	
85377001.480		1511.441						41.000			
22450960.859		117980618.953						1062.035	42.000	22450959.898	
91932917.910		827.555						38.000			
20790247.117		109253470.496						334.336	45.000	20790246.844	
85132587.789		260.520						41.000			
24794846.031		130297776.969						3763.289	38.000	24794848.422	
101530723.414		2932.430						32.000			
23378478.469		122854746.020						860.133	40.000	23378477.977	
95730986.191		670.234						34.000			
24155219.492		126936537.238						2611.234	35.000	24155223.109	
98911564.082		2034.727						33.000			
21765068.656		114376223.133						3035.375	42.000	21765071.242	
89124339.934		2365.223						38.000			
21044041.703		110587188.461						-1456.918	45.000	21044041.797	
86171830.961		-1135.266						42.000			
37172827.633		195344531.559						2.965	38.000		
37203973.328		195508183.188						-0.992	39.000		
10	10	15	0	0	1.0000000	0	10G	6G23G16G19G21G13G	3G31S29S37		
20849559.430		109565184.891						1939.090	45.000	20849561.062	

Types of OBS

- C,P\*: Pseudorange
- L\*: Carrier-phase
- D\*: Doppler Freq
- S\*: CNO (dBHz)

Satellite List

- nn, Gnn: GPS
- Rnn: GLONASS
- Jnn: QZSS
- Enn: Galileo
- Snn: SBAS

# RINEX NAV

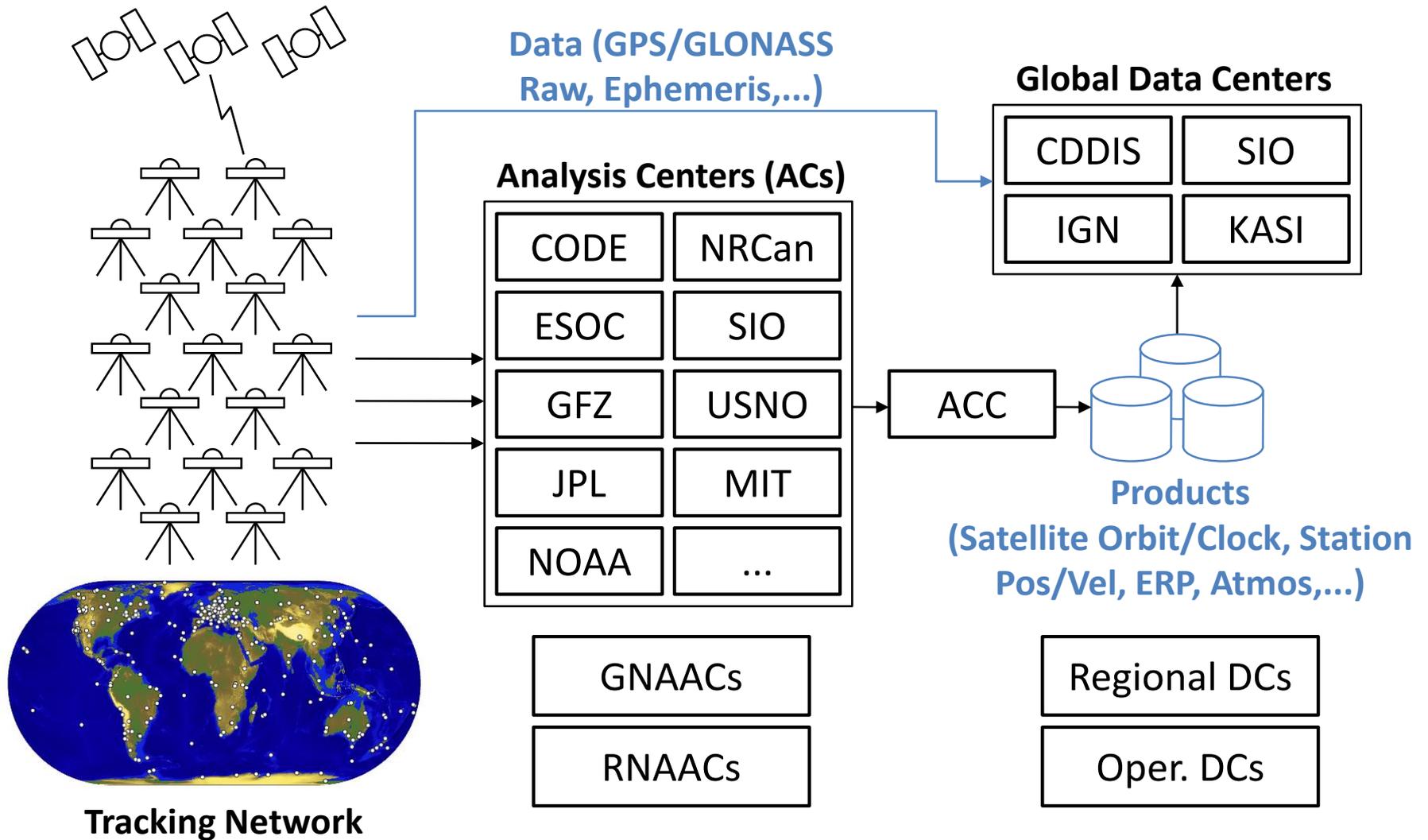
2.10 N: GPS NAV DATA				RINEX VERSION / TYPE						
RTKCONV 2.4.0				20110423 090647 UTC PGM / RUN BY / DATE						
1.1176E-08	0.0000E+00	-5.9605E-08	0.0000E+00	ION ALPHA						
9.0112E+04	0.0000E+00	-1.9661E+05	0.0000E+00	ION BETA						
-.838190317154E-08	-.310862446895E-13	61440	1606	DELTA-UTC: A0,A1,T,W						
15	LEAP SECONDS									
END OF HEADER										
31	10	10	15	2	0	0.0	-.724568963051E-06	.352429196937E-11	.000000000000E+00	
							.810000000000E+02	.105937500000E+02	.427089218552E-08	-.148856857180E+01
							.571832060814E-06	.746127020102E-02	.472925603390E-05	.515378055573E+04
							.439200000000E+06	-.176951289177E-06	.679765366385E-02	.540167093277E-07
							.978380240916E+00	.300062500000E+03	-.105249752834E+01	-.819426989566E-08
							.142863093678E-10	.100000000000E+01	.160500000000E+04	.000000000000E+00
							.240000000000E+01	.000000000000E+00	-.130385160446E-07	.810000000000E+02
							.432006000000E+06	.000000000000E+00		
6	10	10	15	2	0	0.0	.455596484244E-03	-.140971678775E-10	.000000000000E+00	
							.230000000000E+02	-.352500000000E+02	.500699427569E-08	.227090783348E+01
							-.185333192348E-05	.616293260828E-02	.853091478348E-05	.515365624428E+04
							.439200000000E+06	.104308128357E-06	.204411629865E+01	.353902578354E-07
							.934819176502E+00	.200625000000E+03	-.936257940341E+00	-.811783814054E-08
							.169649923743E-09	.100000000000E+01	.160500000000E+04	.000000000000E+00
							.240000000000E+01	.000000000000E+00	-.512227416039E-08	.230000000000E+02
							.432006000000E+06	.000000000000E+00		
...										
PRN	Toc	SV_clock_bias	SV_clock_drift	SV_clock_drift_rate						
	IODE	Crs	Delta_n	M0						
	Cuc	e	Cus	sqrt(A)						
	Toe	Cic	OMEGA	Cis						
	i0	Crc	omega	OMEGA_DOT						
	IDOT	Codes_on_L2_ch	GPS_Week_#	L2_P_data_flag						
	SV_accuracy	SV_health	TGD	IODC						
	Trans_Time	Fit_interval	spare	spare						

# 精密暦

---

- 高精度衛星軌道クロック
  - 後処理またはリアルタイム
  - 全世界の基準局網データを解析
- フォーマット:
  - 軌道: NGS SP3
  - クロック: NGS SP3 or RINEX Clock拡張
- 内容:
  - 軌道: 衛星ECEF位置 (CoM)
  - クロック: 衛星及び基準局クロックバイアス

# IGS: 国際GNSS事業



# IGSプロジェクト

		最終暦 (IGS)	速報暦 (IGR)	超速報暦 (IGU)		放送暦
				観測値	予報値	
精度	軌道	~2.5 cm	~2.5 cm	~3 cm	~5 cm	~100 cm
	クロック	~75ps RMS ~20ps STD	~75ps RMS ~25ps STD	~150ps RMS ~50ps STD	~3 ns RMS ~1.5 ns STD	~5 ns RMS ~2.5 ns STD
レイテンシ		12-18 日	17-41 時間	3-9 時間	リアル タイム	リアル タイム
更新頻度		毎週 火曜日	毎日 17 UTC	03, 09, 15, 21 UTC	03, 09, 15, 21 UTC	-
間隔	軌道	15分	15分	15分	15分	日毎
	クロック	衛星: 30秒 局: 5分	5分	15分	15分	日毎

(2009/8, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>)

---

(5)  
RTKPOSTによる単独測位(1)

# RTKPOSTによる単独測位(1)

---

- RTKCONVによる受信機ログのRINEX変換
- RTKPLOTによる観測データ解析
- RTKPOSTによる単独測位
- RTKPLOTによる測位解プロット
- Google Earthによる測位解表示
- RTKCONVオプション
- RTKPOSTオプション
- RTKPLOTオプション

---

(6)  
RTKPOSTによる単独測位(2)

# RTKPOSTによる単独測位(2)

---

- RTKGETによる精密暦ダウンロード
- RTKPLOTによる観測データ解析
- RTKPOSTによる精密単独測位
- RTKPLOTによる測位解プロット
- RTKGETオプション
- RTKPOSTオプション