

平成28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

2016-04-26 ~ 2015-04-27@東京海洋大学 越中島

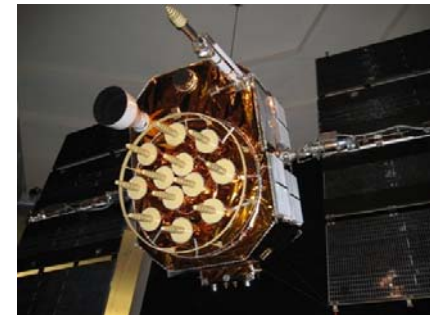
時間割

(1)	GNSS測位入門	4/26 (火)	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	4/27 (水)	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

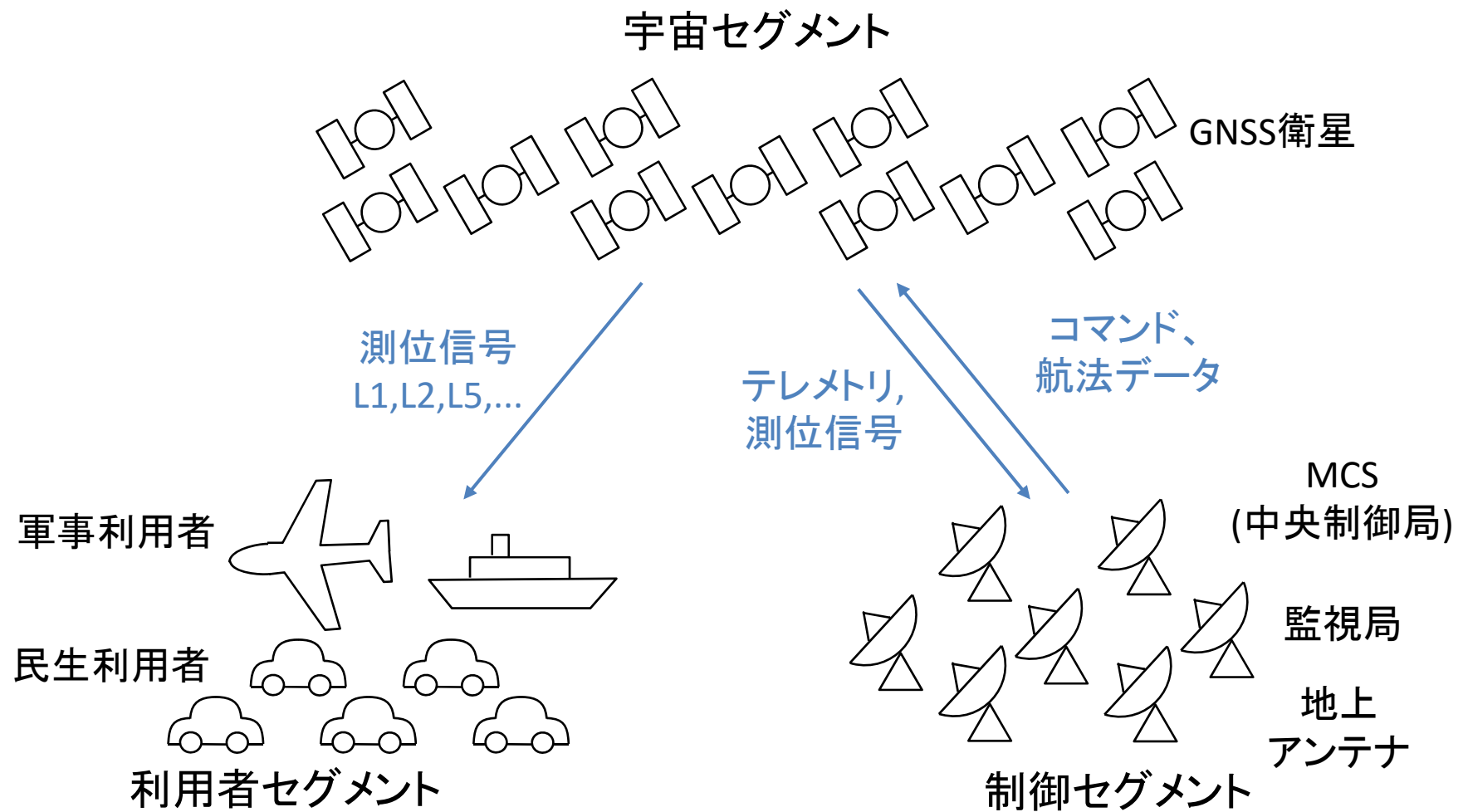
搜索及び救助

- 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

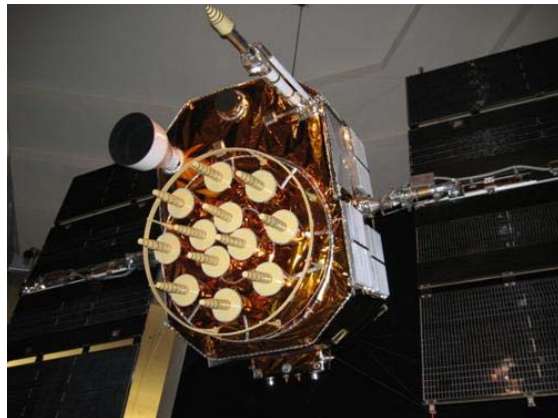


GPS宇宙セグメント

- 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°
 - 周期: 1/2 恒星日 (11h 58' 2")

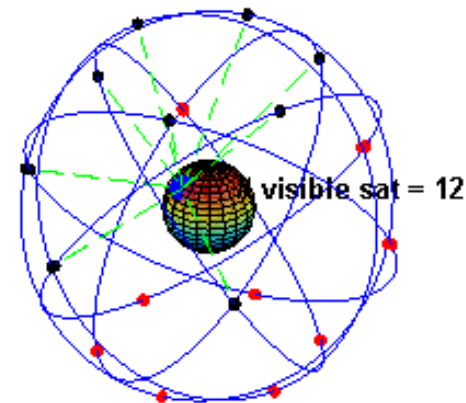


GPS Block II



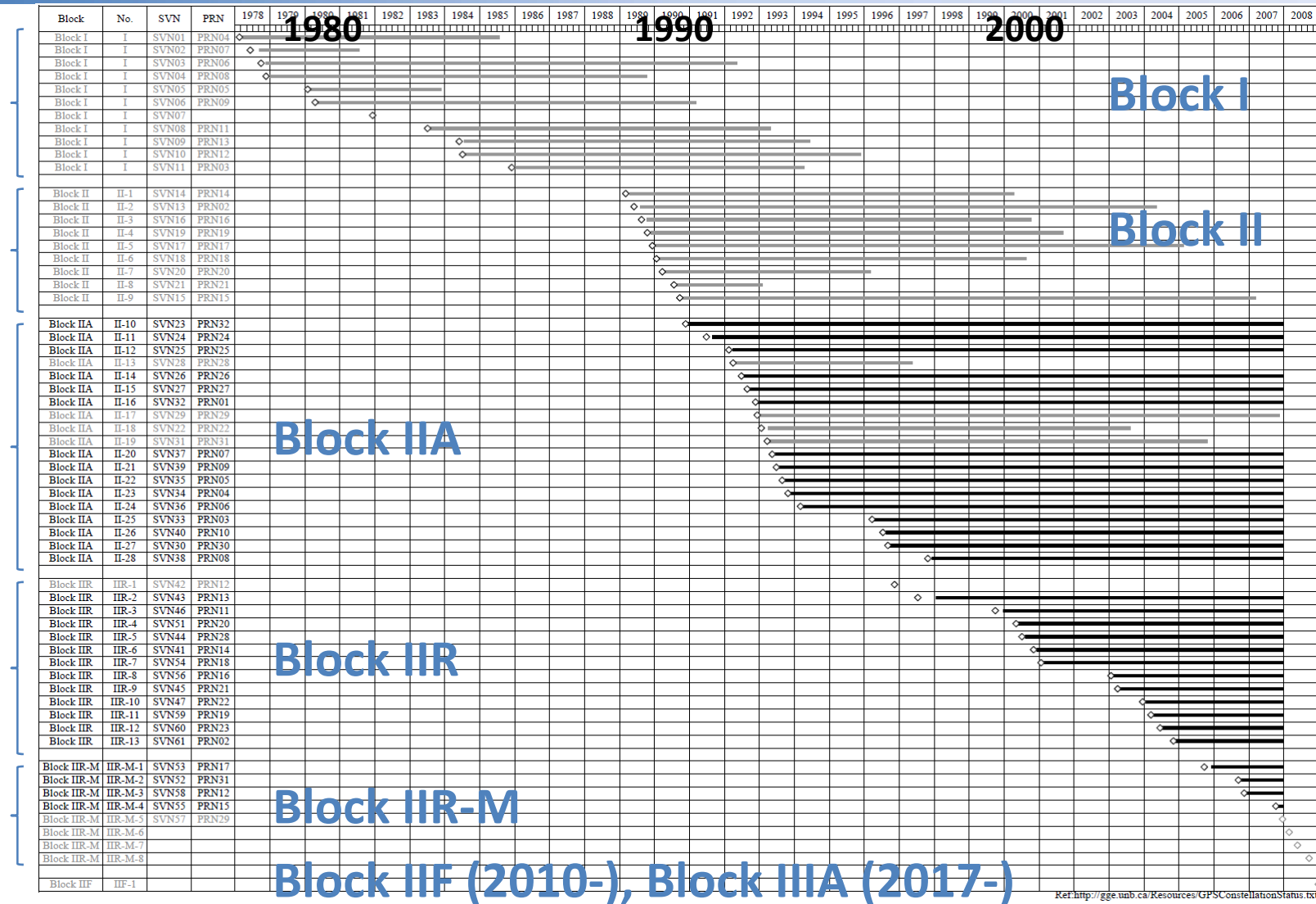
(<http://www.ion.org/museum>)

軌道面



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

GPS衛星



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



(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: $1602+n \times 0.5625$ MHz)
 - L2C/A, L2P (FDMA: $1246+n \times 0.4375$ MHz)
 - L3 CDMA (GLONASS-K1-)



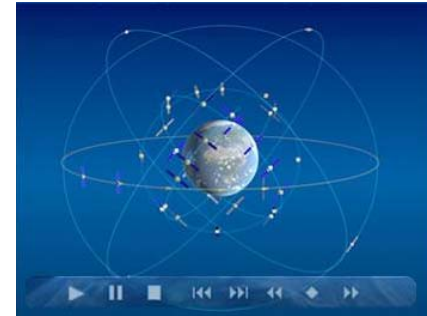
Galileo (ガリレオ)

- 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)
 - 2016/3: Ⅱ: 5 GEO, 8 IGSO, 4 MEO, Ⅲ: 2 IGSO, 3 MEO 計22
- 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)

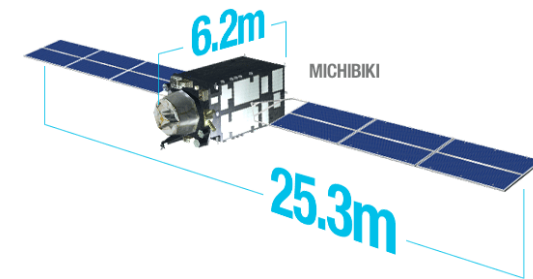
- 開発
 - 日本 (JAXA→内閣府, 内閣府)
- 衛星コンステレーション
 - 1 衛星, 4衛星 (3QZO+1GEO), 7衛星
 - 高度: ~36,000km
 - 軌道傾斜角: 43度, 離心率: 0.075 (QZO)
 - 2010/9/11「みちびき」打上
- 信号 (「みちびき」)
 - L1C/A, L1C, L2C, L5: GPS互換
 - L1-SAIF/L1S, LEX/L6: 補強

QZSS衛星地上軌跡



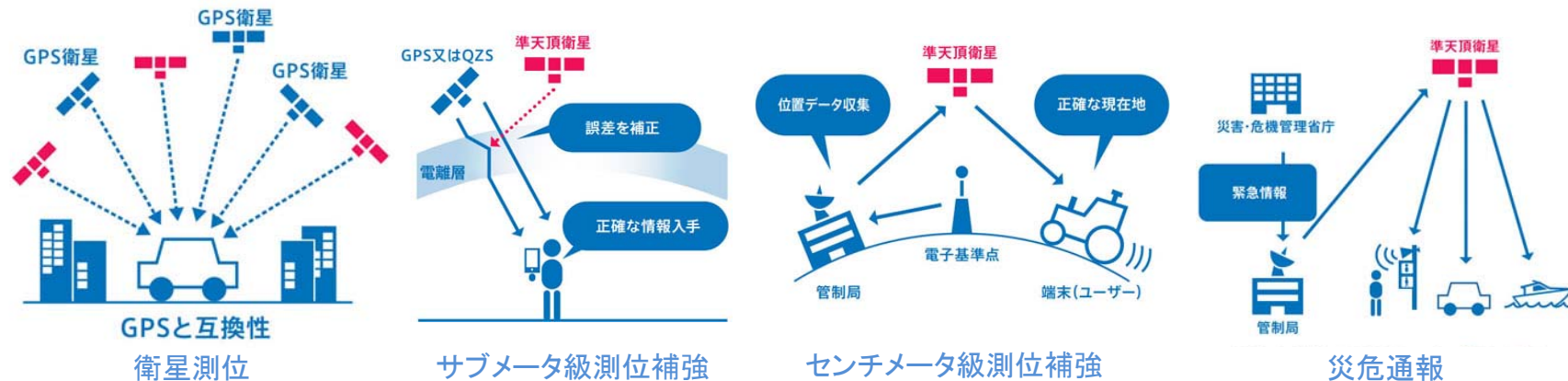
(IS-QZSS 1.2)

“Michibiki”



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

QZSS (準天頂衛星)

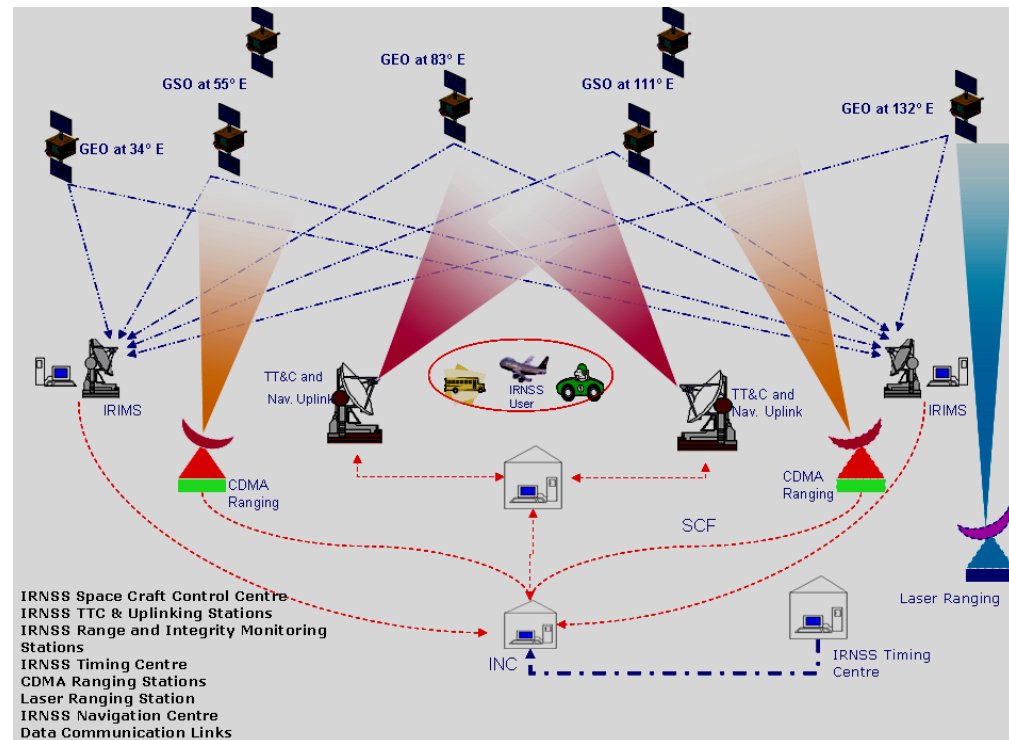


	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
衛星 打ち上げ	① 初号機打ち上げ (準天頂軌道)							2号機打ち上げ ② 3号機打ち上げ ③ 4号機打ち上げ ④		
システム 構築・整備				1機体制	基本/詳細設計	システム整備			4機体制	
				技術実証・利用実証・運用					オープンサービス 運用	

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

IRNSS

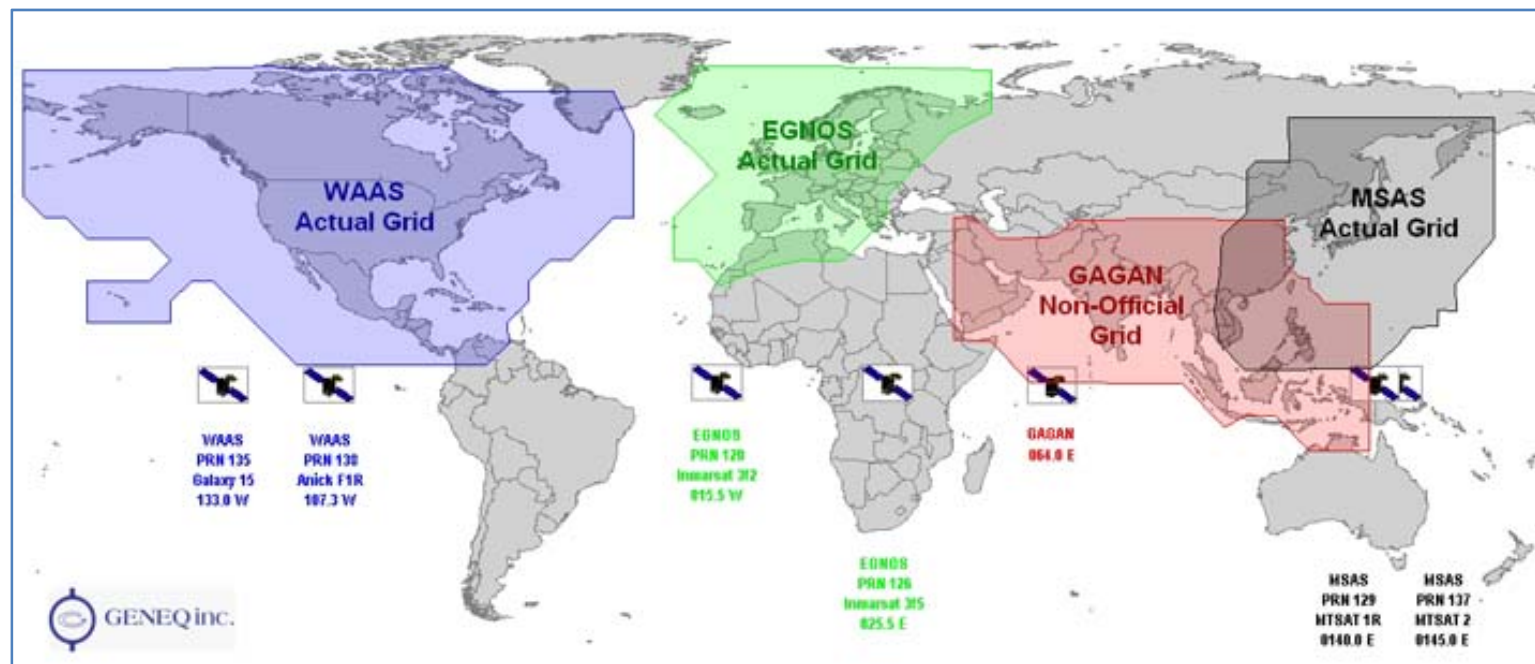
- 開発
 - インド
- 衛星コンステレーション
 - 2 x 2 IGSO + 3 GEO
 - 2016/3 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F 計5
 - 2016/4/28: 1G打上
- 信号
 - L5, S: OS + PRS



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-	138	Telesat Anik F1R CRE	133W
			135	Galaxy 15 CRW	133W
			133	Inmarsat 4F3 AMR	98W
EGNOS	ESA, EC, Eurocontrol	2009/10,- 2011/3- (SoL)	120	Inmarsat-3 AOR-E	15.5W
			124	ESA Artemis	21.5E
			126	Inmarsat-3 IOR-W	25E
			136	SES-5	5E
MSAS	日本、 国土交通省	2007/9-	129	MTSAT-IR	140E
			137	MTSAT-II	145E
SDCM	ロシア	2014-	140	Luch-5A	167E
			125	Luch-5B	16E
			141	Luch-5V	95E
GAGAN	インド, AAI, ISRO	2011-	127	GSAT-8	?
			128	GSAT-10	?
			139	GSAT-15	?

SBASサービスエリア



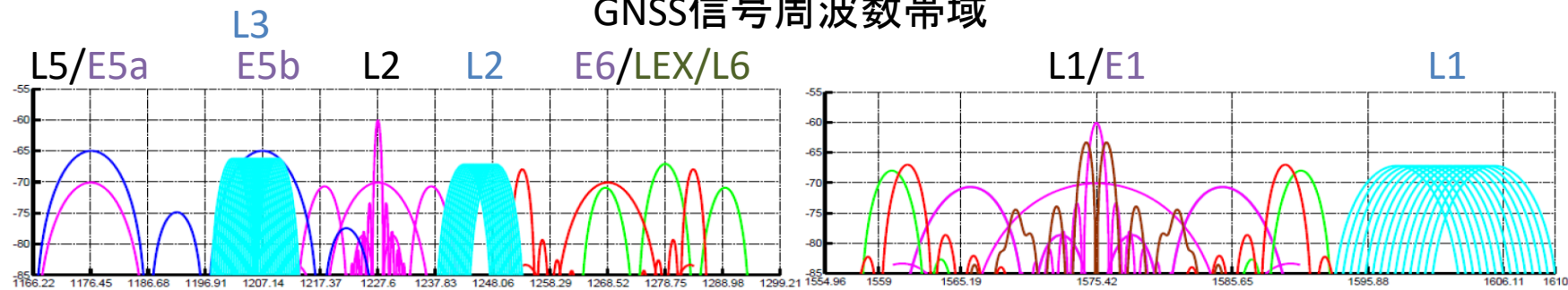
(by GENEQ Inc.)

GNSS衛星及び信号帯域

GNSS衛星の数

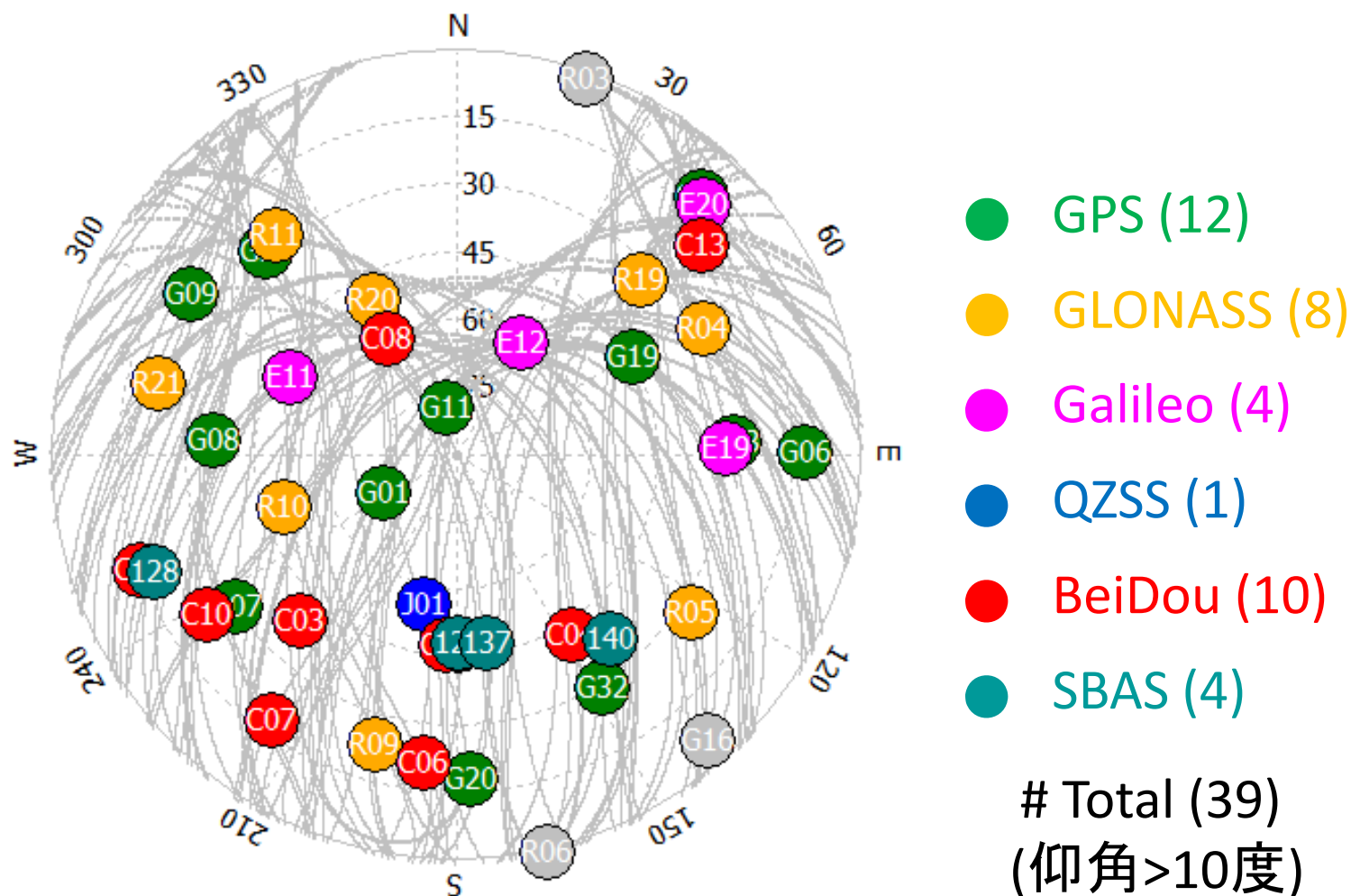
システム	2010	2014	2017	2020
GPS	31	31	32	32
GLONASS	23 (+2)	24 (+3)	24 (+3)	24 (+3)
Galileo	0	4	18	27 (+3)
BeiDou	6	16	35	35
QZSS	1	1	4	7
IRNSS	0	1	7	7
SBAS	7	8	11	11
合計	68	86	134	149

GNSS信号周波数帯域



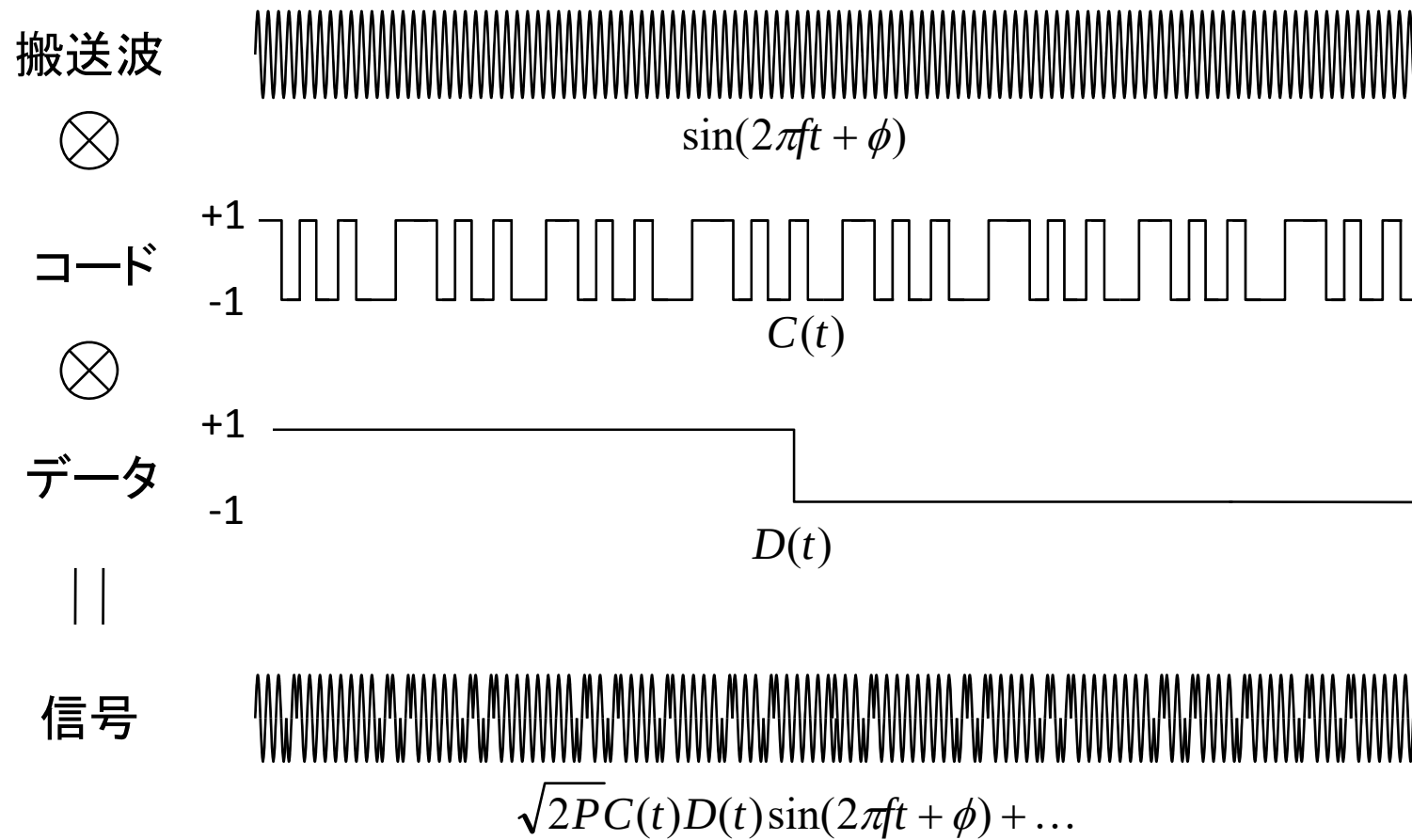
(Y.Yang, COMPASS: View on Compatibility and Interoperability, 2009)

東京上空のGNSS衛星配置



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

GNSS測位信号の構造

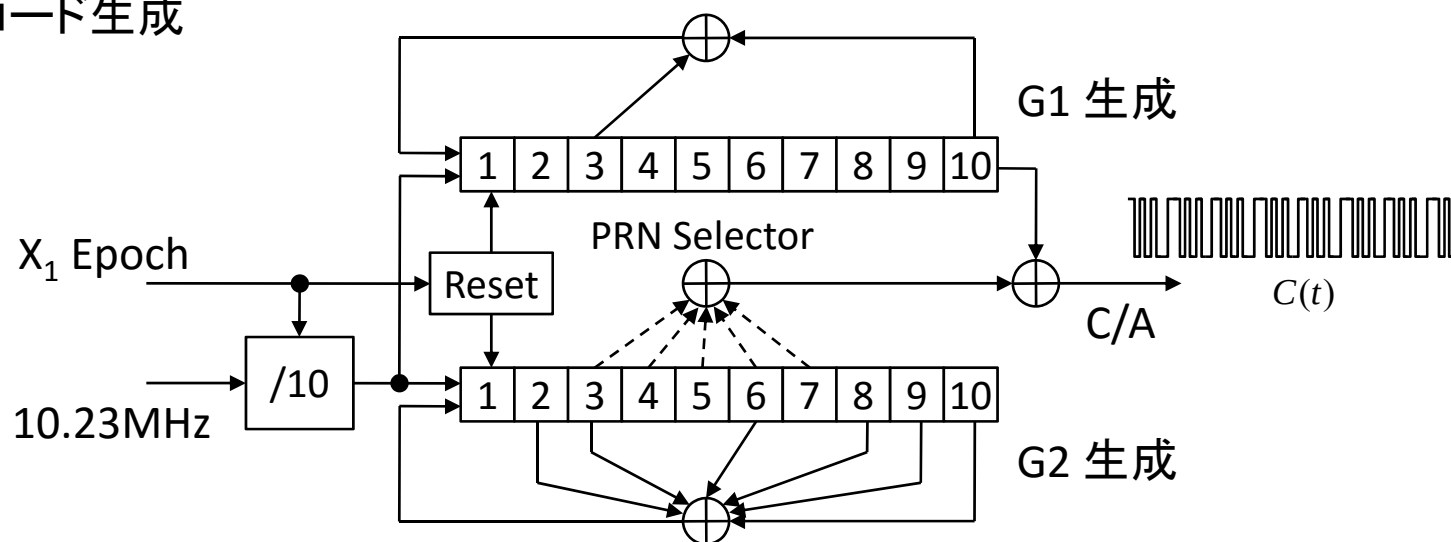


GNSS測位信号の仕様

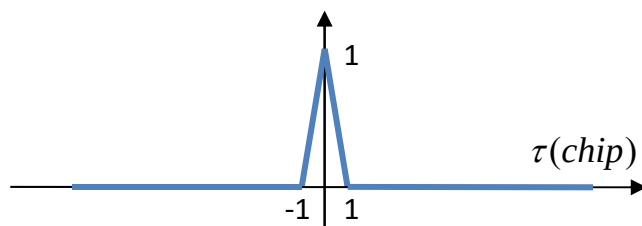
周波数(MHz)		コード	変調	データレート	GNSS
L1/E1	1575.42	C/A	BPSK (1)	50 bps	GPS, QZSS
				250 bps	QZSS (L1-SAIF), SBAS
		P(Y)	BPSK (10)	50 bps	GPS
		L1C-d/p	MBOC (6,1,1/11)	-/100 bps	GPS (IIIA-), Galileo
		L1C-d/p	BOC (1,1)	-/100 bps	QZSS
L1	1602+0.5625K	C/A	BPSK	50 bps	GLONASS
L2	1227.60	P(Y)	BPSK (10)	50 bps	GPS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

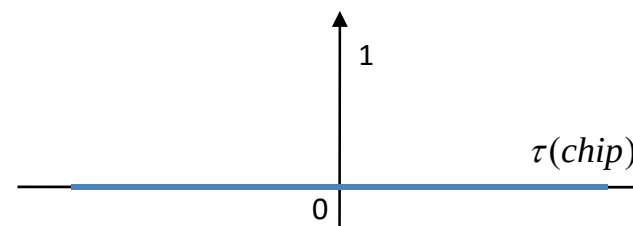


自己相関関数



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

相互相関関数

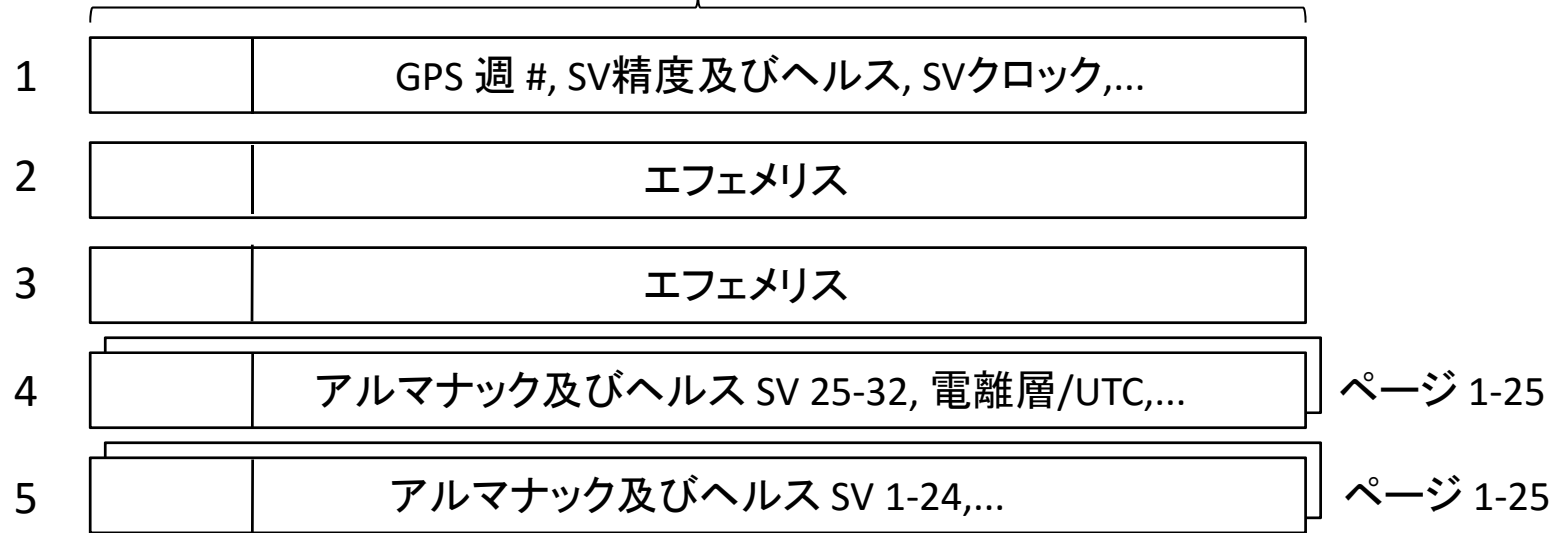


$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T C^i(t) C^j(t - \tau) dt \quad (i \neq j)$$

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)

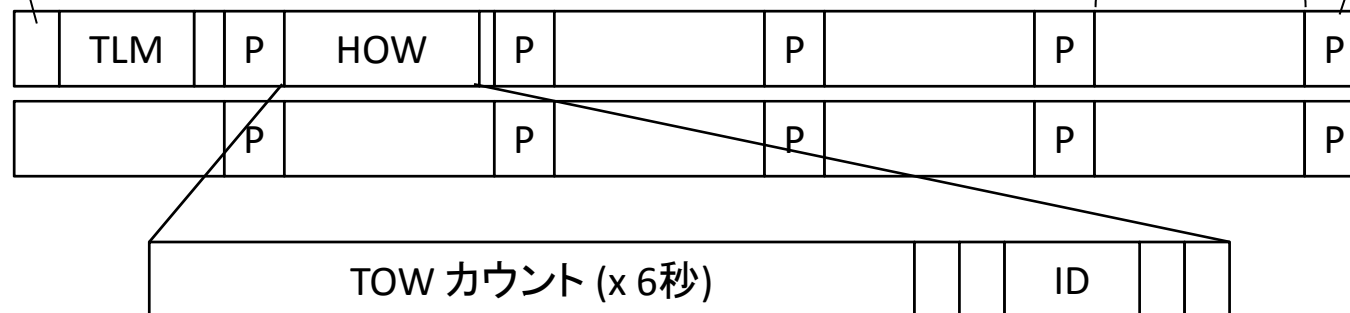


プリアンブル

サブフレーム

24ビット

6ビット



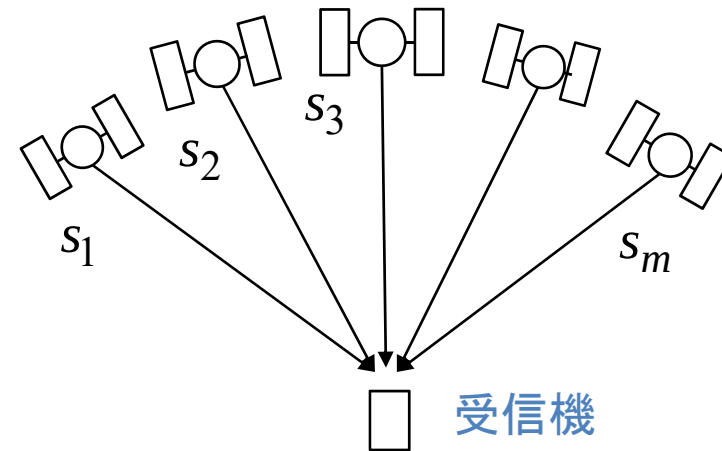
GNSS測位の原理

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

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

距離 受信機 衛星
 クロック クロック

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



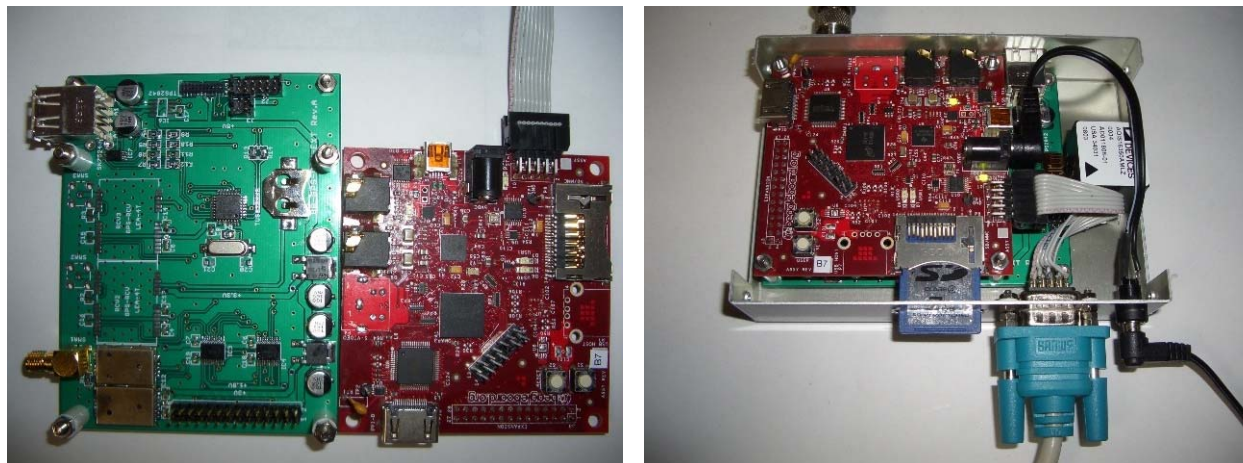
GNSS受信機

市販受信機: \$20 - \$30,000

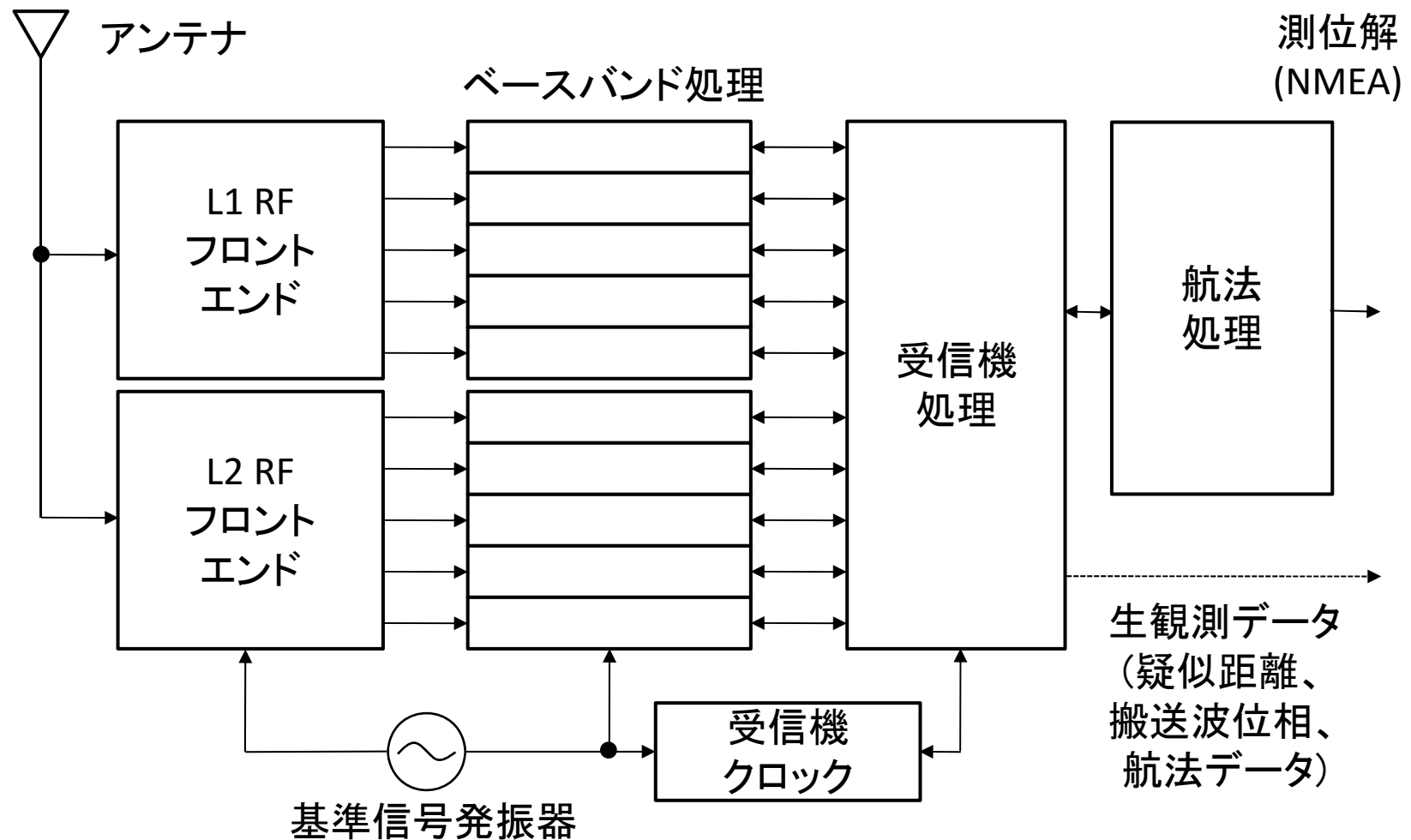


SiRF, u-blox, Garmin, Hemisphere, Trimble, Leica, Topcon, NovAtel, JAVAD, Magellan, ...

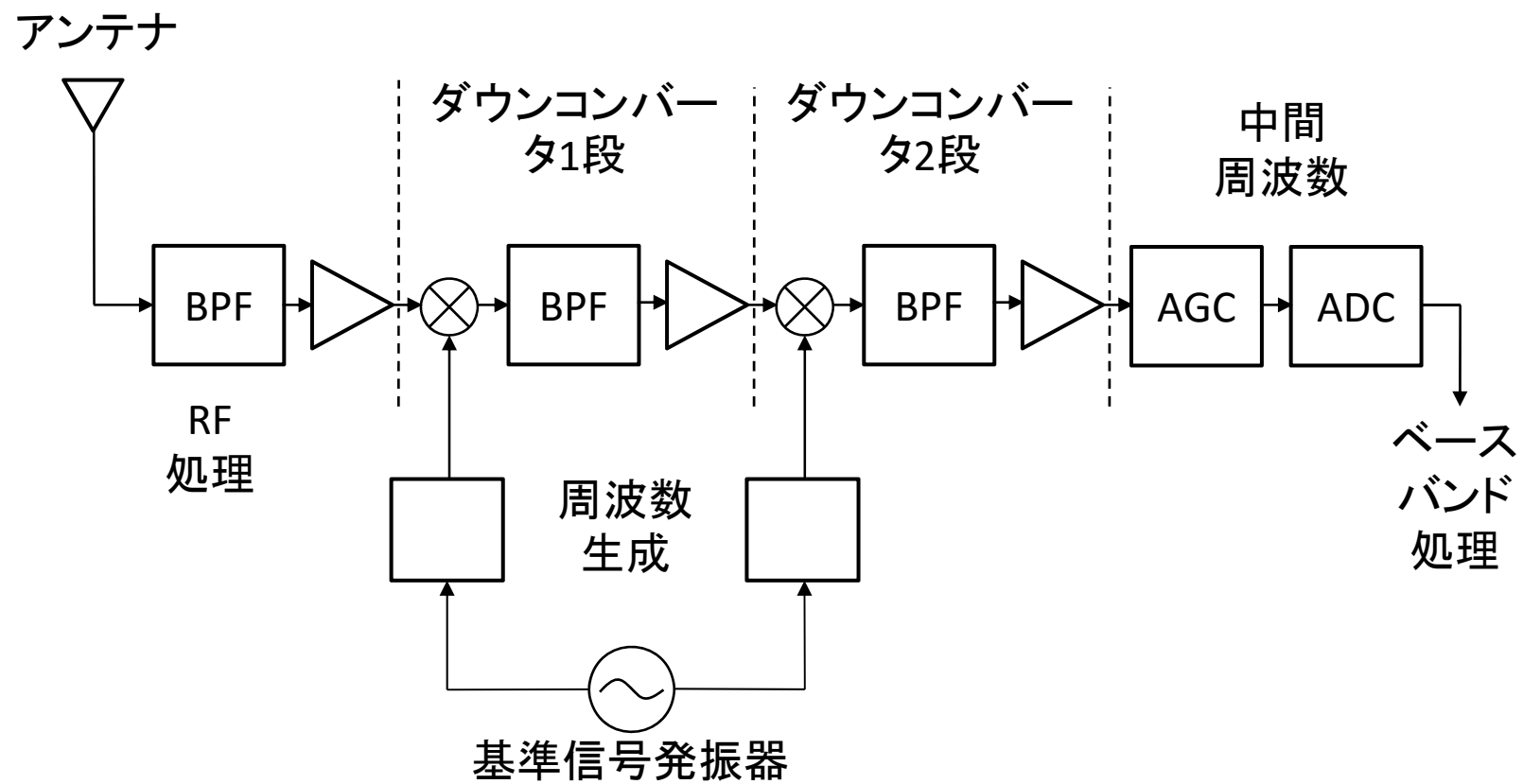
自作GPS受信機: \$400



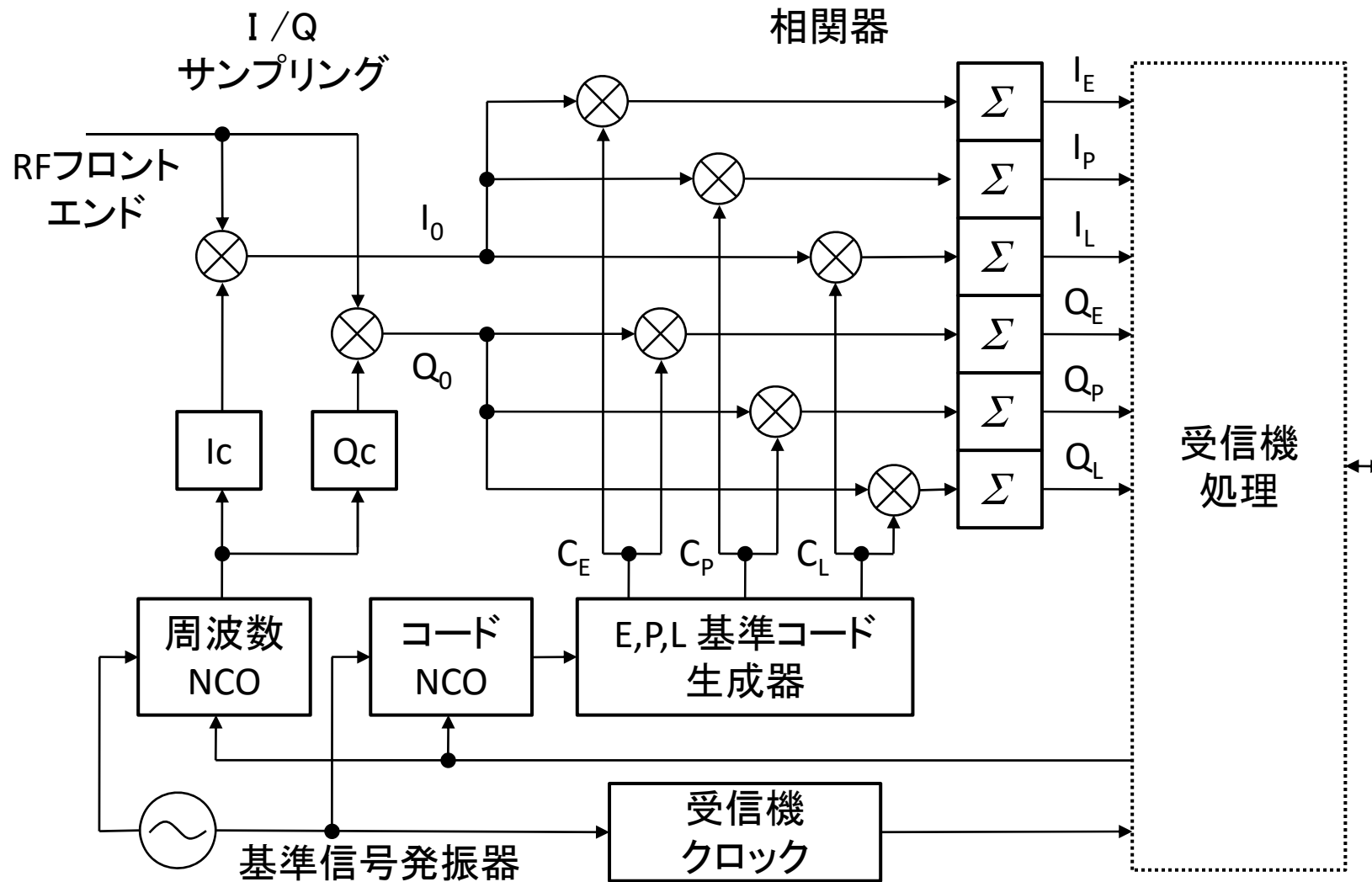
GNSS受信機の構造



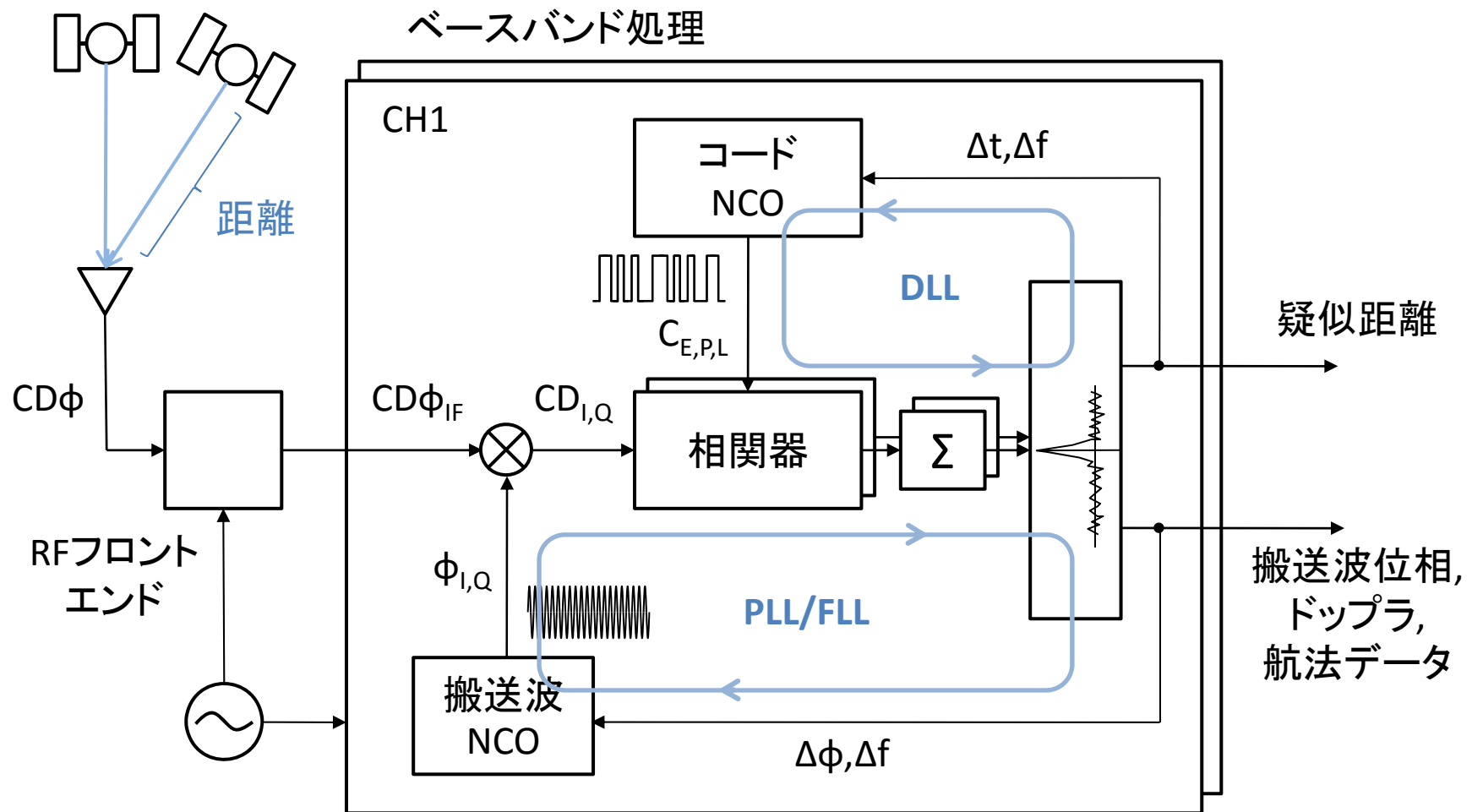
RFフロントエンド



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_2016

¥rtklib_2.4.2b9

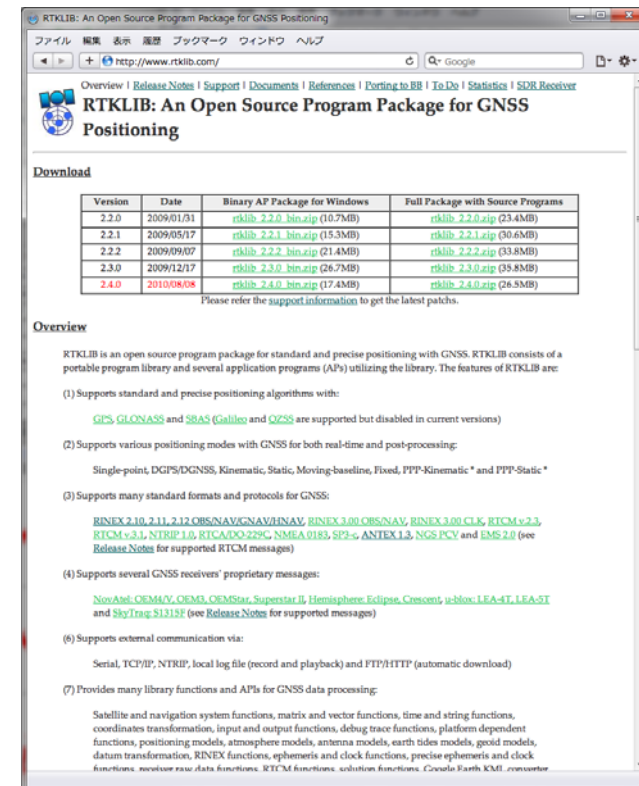
¥sample1

...

¥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_2016.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



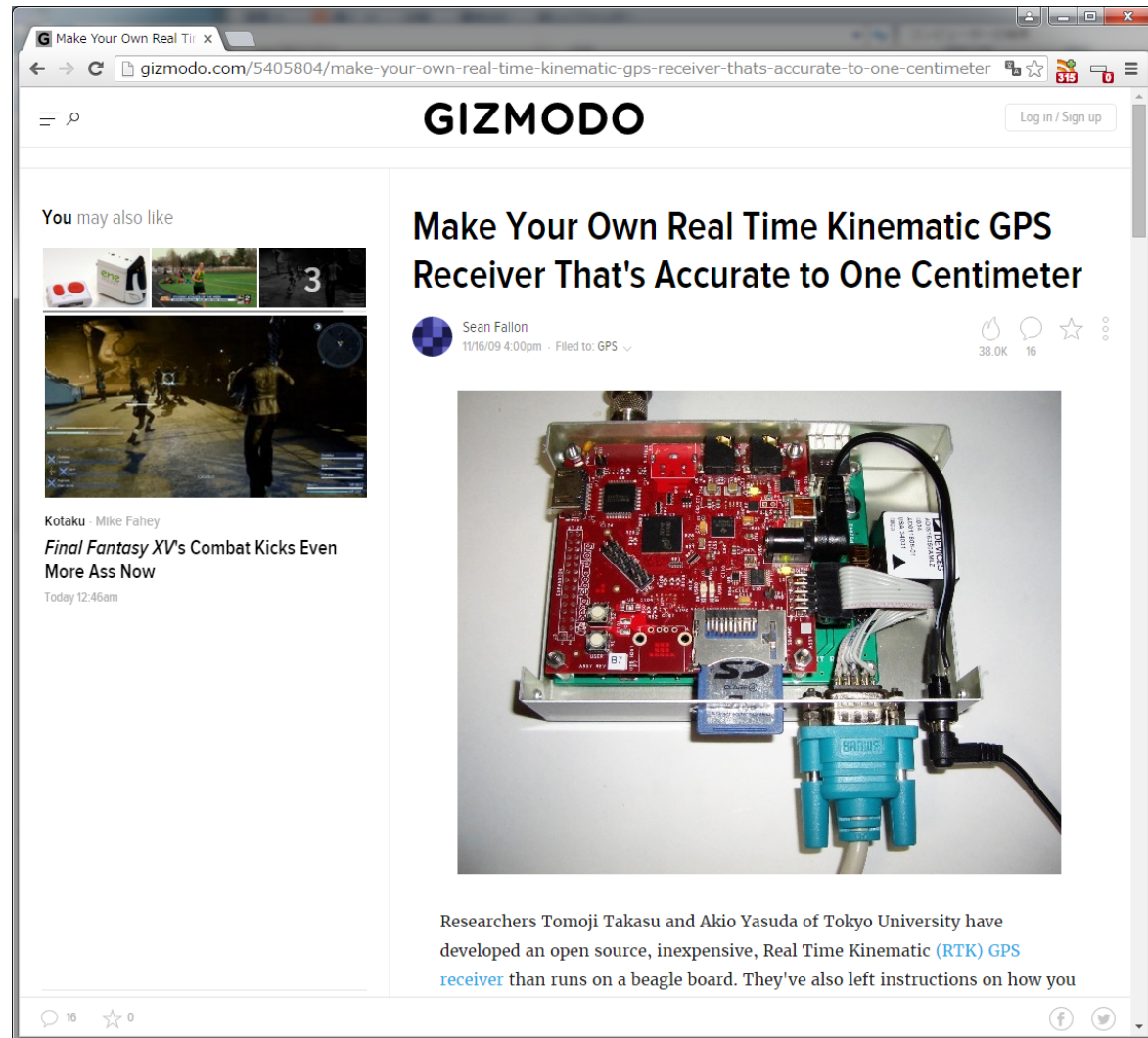
ダウンロード

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

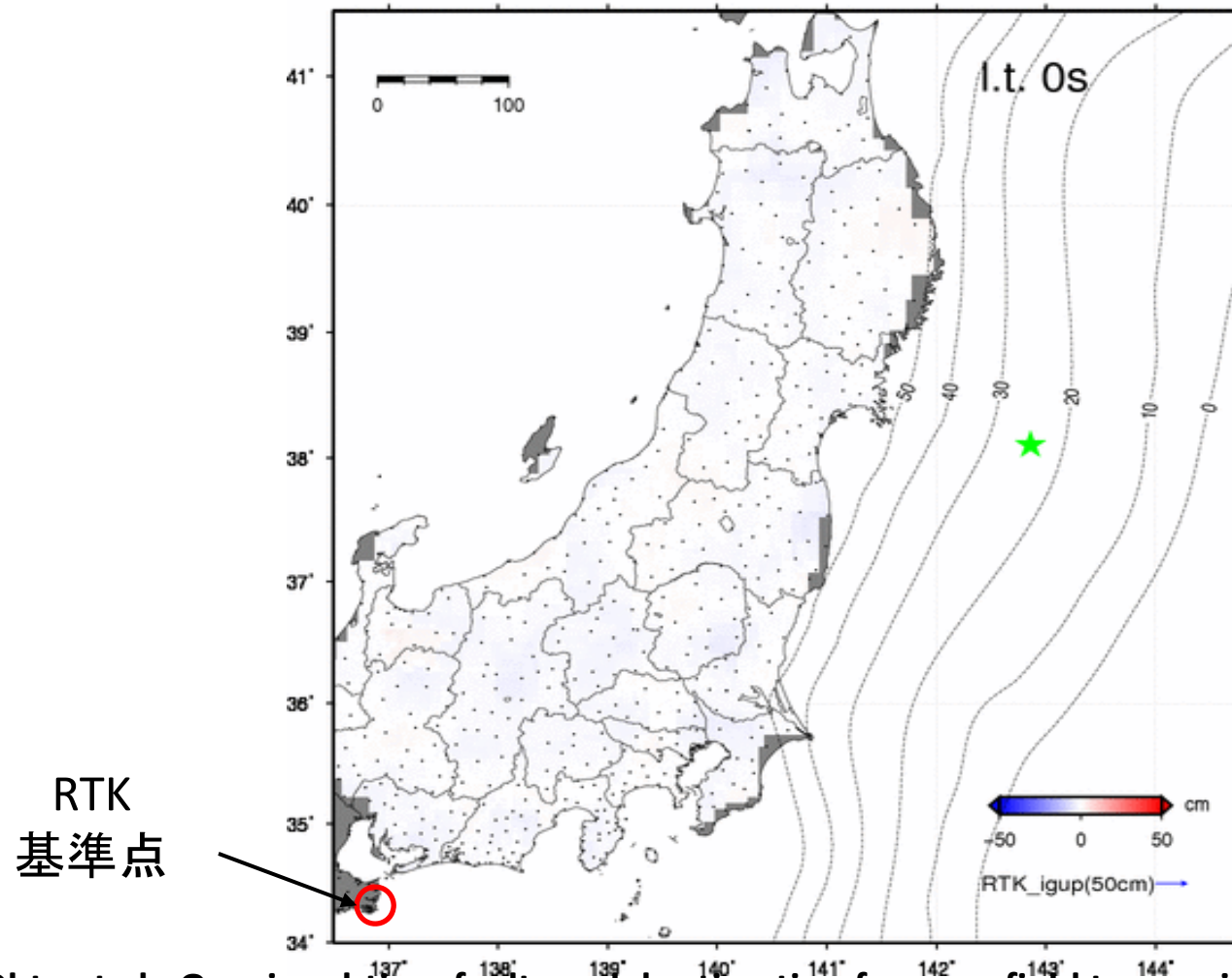
RTKLIB応用例 (1)

GIZMODO
2009/11/16

(Beagle Board
+ u-blox LEA-4T
+ ADI MEMS-IMU)



RTKLIB: 応用例 (2)



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)
¥rtkrvc	: RTKRVC (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_2016¥rtklib_2.4.2b9¥bin¥rtklaunch.exe



RTKPLT STRSVR NTRIPBR RTKGET
RTKCONV RTKPOST RTKNAVI

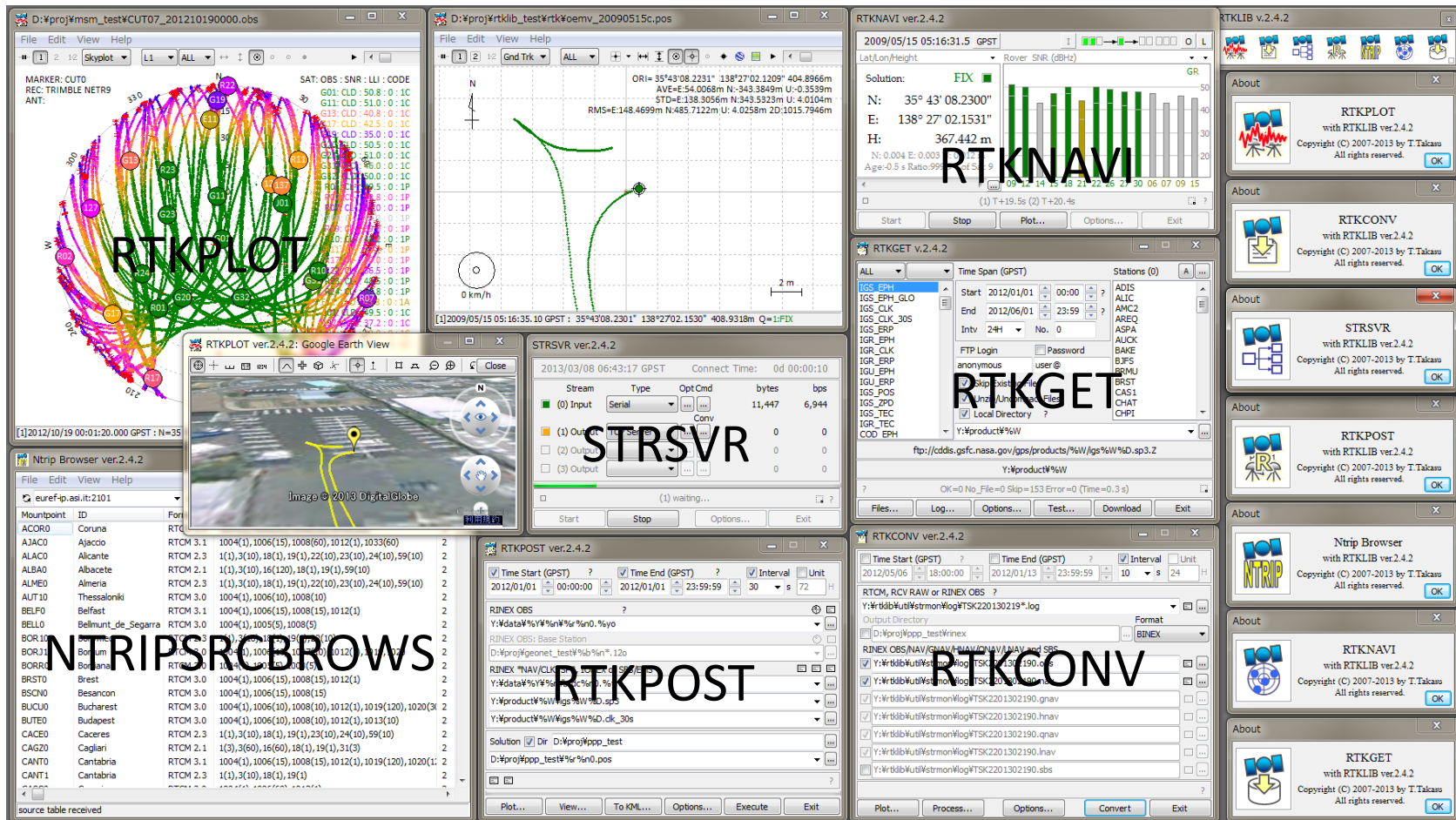
- デスクトップにショートカット作成

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)



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
NovAtel OEM4/V/6, OEMStar	RANGEB, RANGECMPB	RANGEB, RANGECMPB	RAWEPHEMB	GLO- EPHEMERISB	IONUTCB	-	RAWWAAS- FRAMEB	QZSS, Galileo, BeiDou
NovAtel OEM3	RGEB, RGED	-	REPB	-	IONB, UTCB	-	FRMB	-
NovAtel Superstar II	ID#23	-	ID#22	-	-	-	ID#67	ID#20, #21
u-blox 4T, 5T, 6T, 6P, 7P, M8T	UBX RXM-RAW RXM-RAWX	UBX RXM-RAWX	UBX RXM-SFRB RXM-SFRBX	UBX RXM-SFRB RXM-SFRBX	UBX RXM-SFRB RXM-SFRBX	-	UBX RXM-SFRB	QZSS, Galileo, BeiDou (M8T)
Hemisphere Crescent, Eclipse	bin 96, bin76	bin66	bin 95	bin65	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, Galileo
Furuno GW10 II	msg 0x08	-	msg 0x24	-	msg 0x26	-	msg 0x03	msg 0x20
BINEX	0x7F-05	0x7F-05	0x01-02	0x01-03	-	-	-	QZSS, Galileo, BeiDou

Others: NVS NVC08C-CSM, Trimble RT17, Septentrio SBF

RTCM 3 サポート

Message	GPS	GLOASS	Galileo	QZSS	BeiDou	SBAS
OBS Compact L1	1001~	1009~	-	-	-	-
Full L1	1002	1010	-	-	-	-
Compact L1/2	1003~	1011~	-	-	-	-
Full L1/2	1004	1012	-	-	-	-
Ephemeris	1019	1020	1045/6*	1044	1047/63*	-
MSM 1	1071~	1081~	1091~	1111~	1121*~	1101*~
2	1072~	1082~	1092~	1112~	1122*~	1102*~
3	1073~	1083~	1093~	1113~	1123*~	1103*~
4	1074	1084	1094	1114	1124*	1104*
5	1075	1085	1095	1115	1125*	1105*
6	1076	1086	1096	1116	1126*	1106*
7	1077	1087	1097	1117	1127*	1107*
SSR Orbit Corr.	1057	1063	1240*	1246*	1258*	1252*
Clock Corr.	1058	1064	1241*	1247*	1259*	1253*
Code Bias	1059	1065	1242*	1248*	1260*	1254*
Combined	1060	1066	1243*	1249*	1261*	1255*
URA	1061	1067	1244*	1250*	1262*	1256*
HR-Clock	1062	1068	1245*	1251*	1263*	1257*
FCB	2065+	2066+	2067+	2068+	2069+	-
Antenna Info	1005 1006	1007 1008	1033			

* based on draft, ~ only encode, + RTKLIB extention

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 APIs of RTKLIB	54
4	Develop and Link user AP with RTKLIB	55
Appendix A Console AP Commands		56
A.1	RTKRCV	56
A.2	RIN2RTKP	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.

1

rtklib_2.4.2/doc/manual_2.4.2.pdf

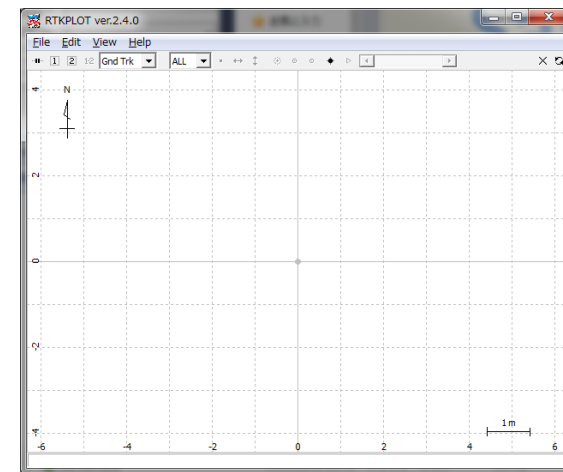


http://www.rtklib.com

RTKLIB例題 (1)

- RTKPLOT 起動
- 以下メニュー実行:
File - Open Obs Data...
seminar_2016¥sample1¥
javad1_201102030000.obs

RTKLIB - RTKPLOT

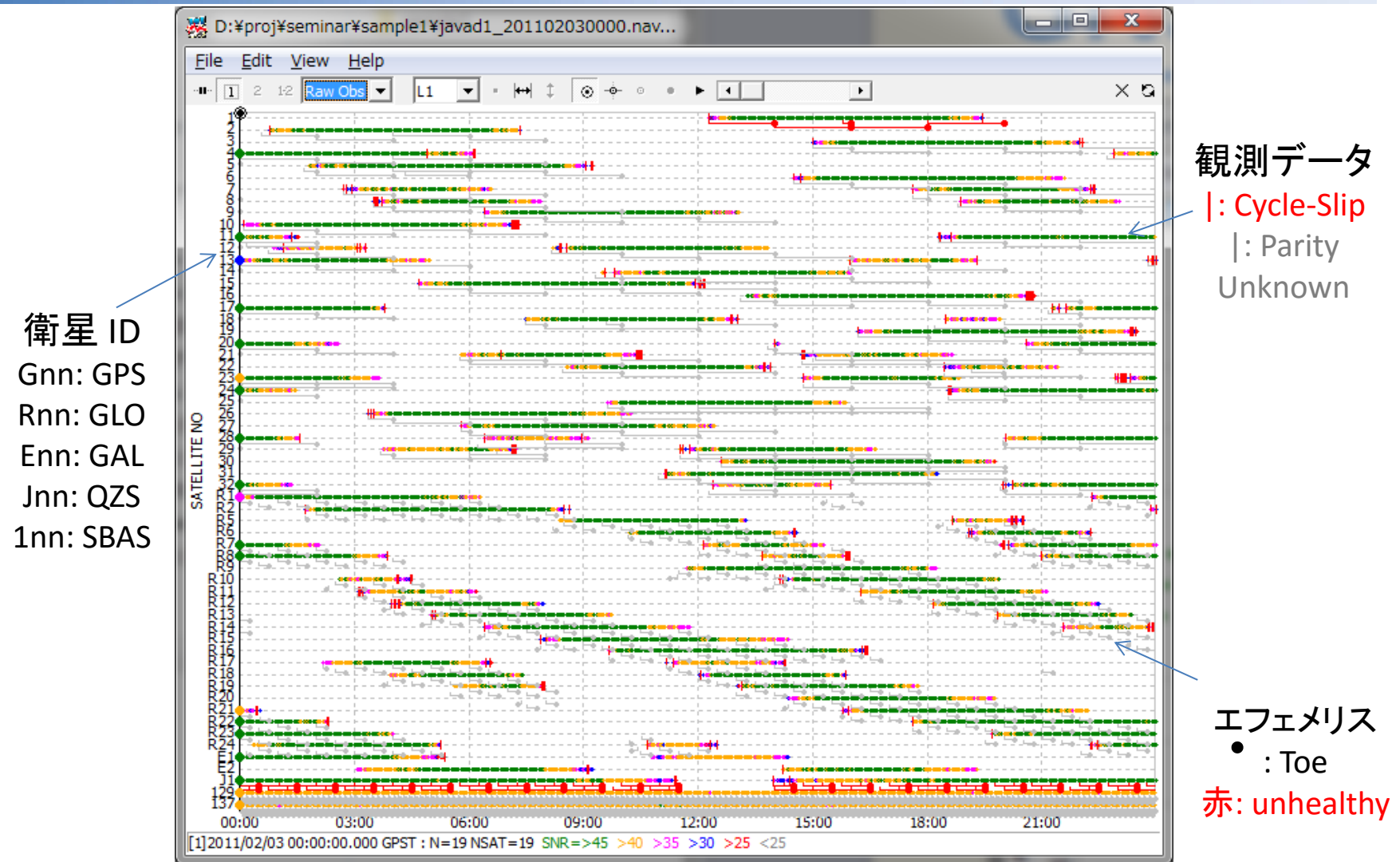


JAVAD DELTA受信機

Acknowledgment:

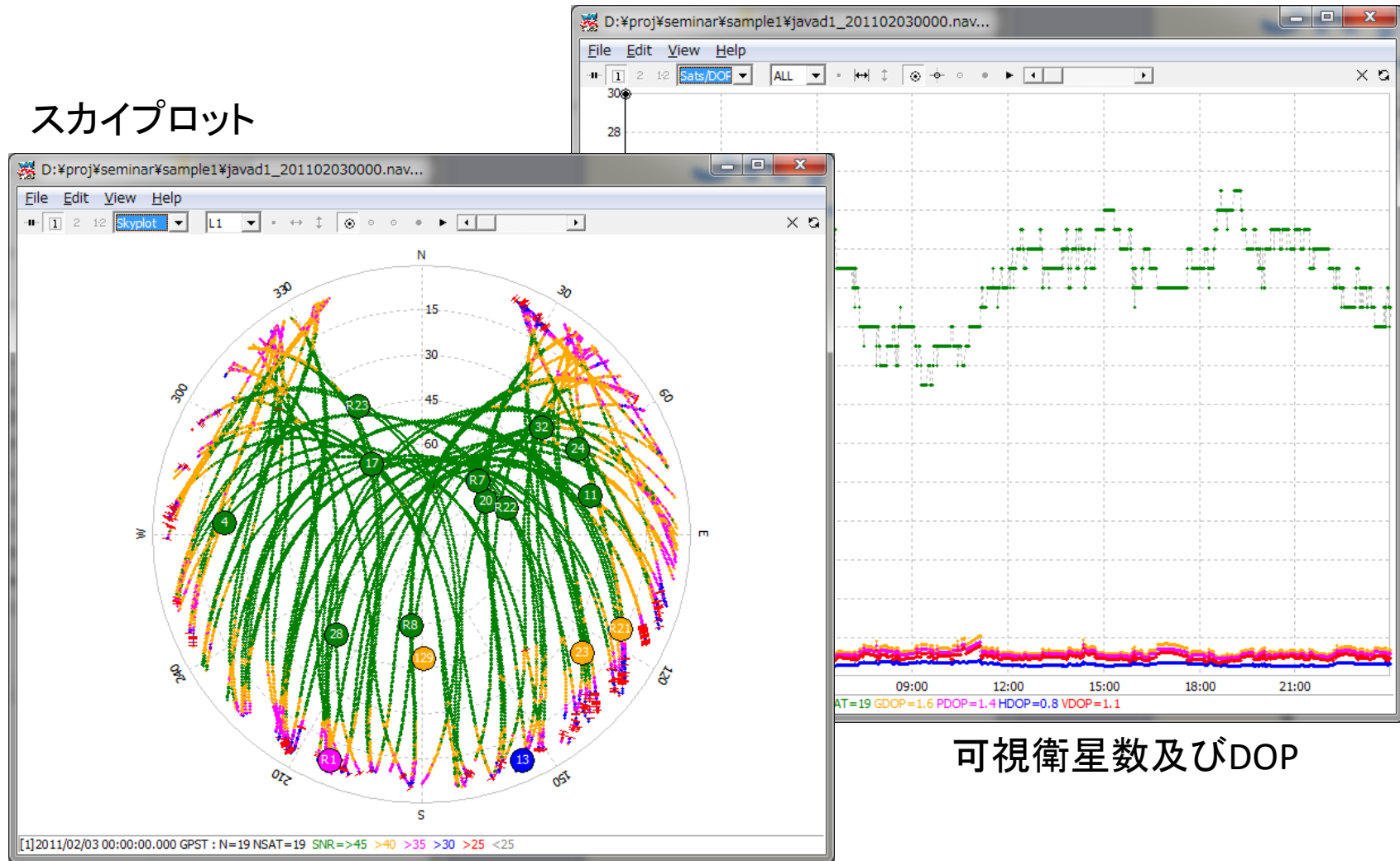
Sample data were captured by JAVAD DELTA receiver provided by JAXA

RTKLIB例題 (2)



RTKLIB例題 (3)

スカイプロット



RTKLIB例題 (4)

RTKPLOT - Options

Options

Time Format	h:m:s GPST	Error Bar/Circle	OFF	Mark Color 1-6	[Color Selection]
Show Statistics	OFF	Direction Arrow	OFF	Line Color	[Color Selection]
Cycle-Slip	LLI Flag	Graph Label	ON	Text Color	[Color Selection]
Parity Unknown	ON	Grid Label	ON	Grid Color	[Color Selection]
Ephemeris	ON	Compass	ON	Background Color	[Color Selection]
Elevation Mask (°)	0	Scale	ON	Plot Style	Mark/Line
Elev Mask Pattern	OFF	Auto Fit	OFF	Mark Size	2
Hide Low Satellite	OFF	Y-Range (+/-)	2	Font	Tahoma 8pt
Maximum DOP	30	RT Buffer Size	43200	Anim. Interval	5
Satellite System		Origin	Average Pc	Update Cycle (ms)	100
☒ GPS ☒ GLO ☒ Galileo		Lat/Lon/Hgt	35.066263470 140.124141907 62.8743		
☒ QZSS ☒ SBAS ☐ Comp		QC Command	teqc +qc +sym +l -rep -plot		
Excluded Sats					

OK Cancel

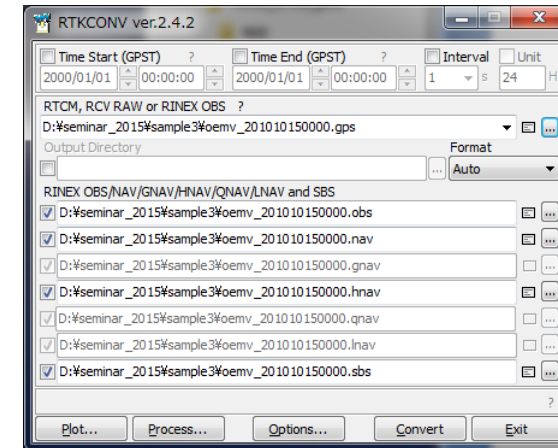
観測データ設定

測位解オプション

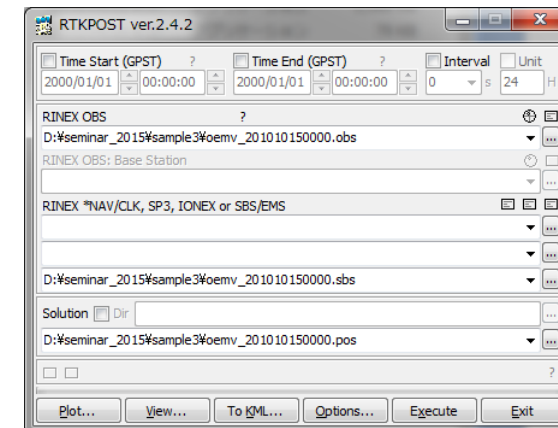
共通オプション

RTKLIB例題 (5)

- RTKCONV実行
- 入力データの設定
seminar_2016¥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

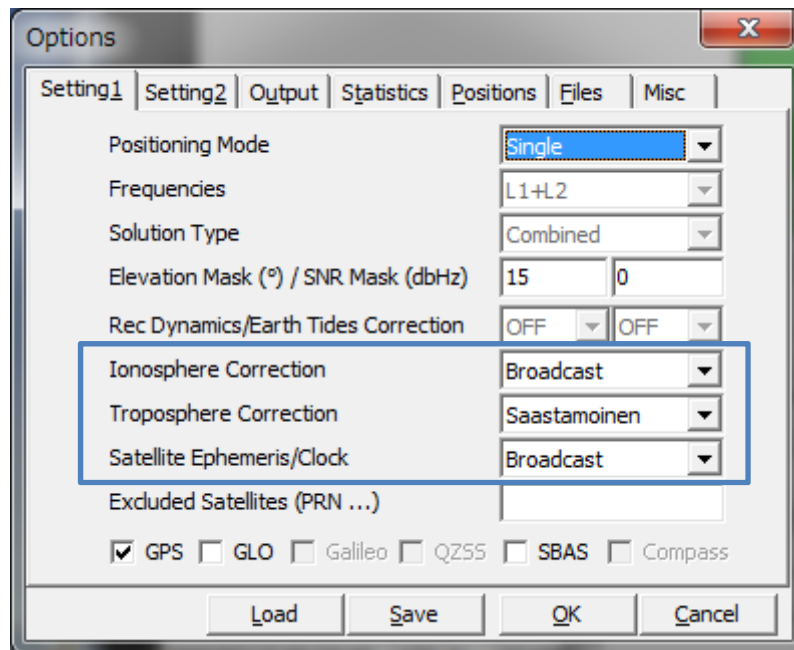


RTKPOST

RTKLIB例題 (6)

RTKPOST - Options

Setting1

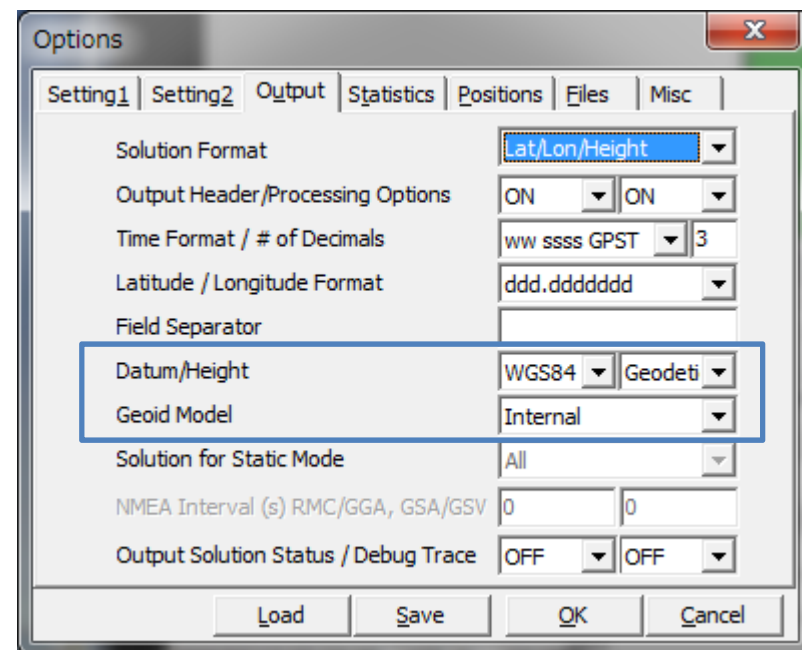


The 'Setting1' tab of the RTKPOST Options dialog box shows the following configurations:

- Positioning Mode: Single
- Frequencies: L1+L2
- Solution Type: Combined
- Elevation Mask (°) / SNR Mask (dbHz): 15 / 0
- Rec Dynamics/Earth Tides Correction: OFF / OFF
- Ionosphere Correction: Broadcast
- Troposphere Correction: Saastamoinen
- Satellite Ephemeris/Clock: Broadcast
- Excluded Satellites (PRN ...):
- GPS: ☒ GLO: ☐ Galileo: ☐ QZSS: ☐ SBAS: ☐ Compass: ☐

Buttons at the bottom: Load, Save, OK, Cancel.

Output



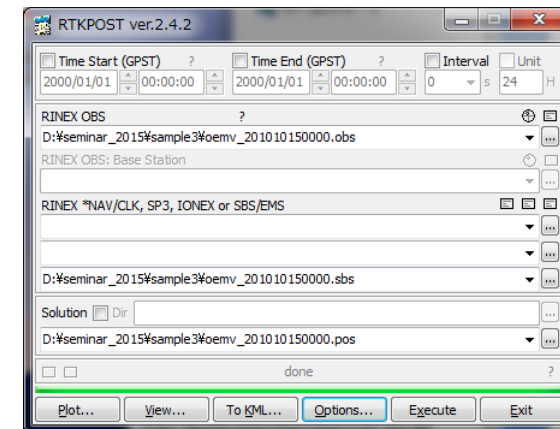
The 'Output' tab of the RTKPOST Options dialog box shows the following configurations:

- 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:
- Datum/Height: WGS84 / Geodetic
- Geoid Model: Internal
- Solution for Static Mode: All
- NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV: 0 / 0
- Output Solution Status / Debug Trace: OFF / OFF

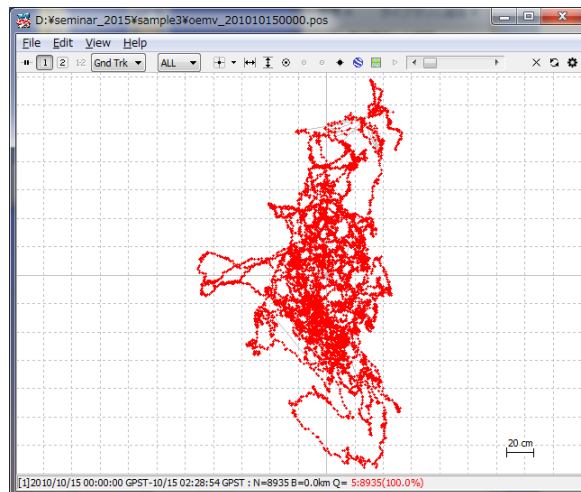
Buttons at the bottom: Load, Save, OK, Cancel.

RTKLIB例題 (7)

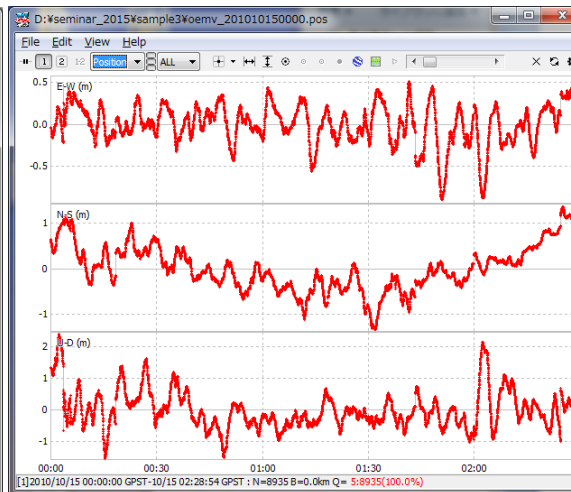
- "Execute"ボタン押下
- "Plot..."ボタン押下
- RTKPLOT起動
- "Position" or "NSat"選択



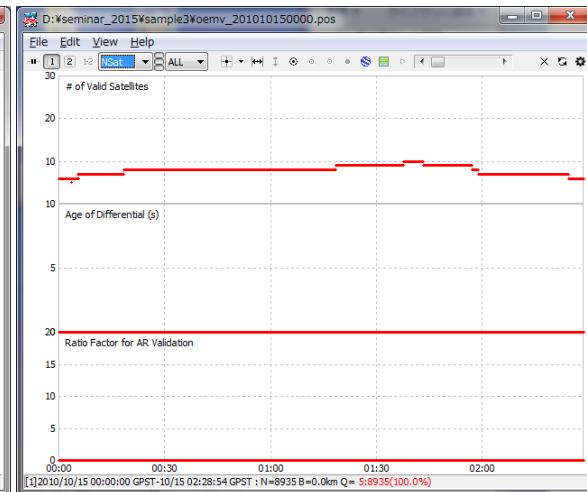
RTKPOST



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

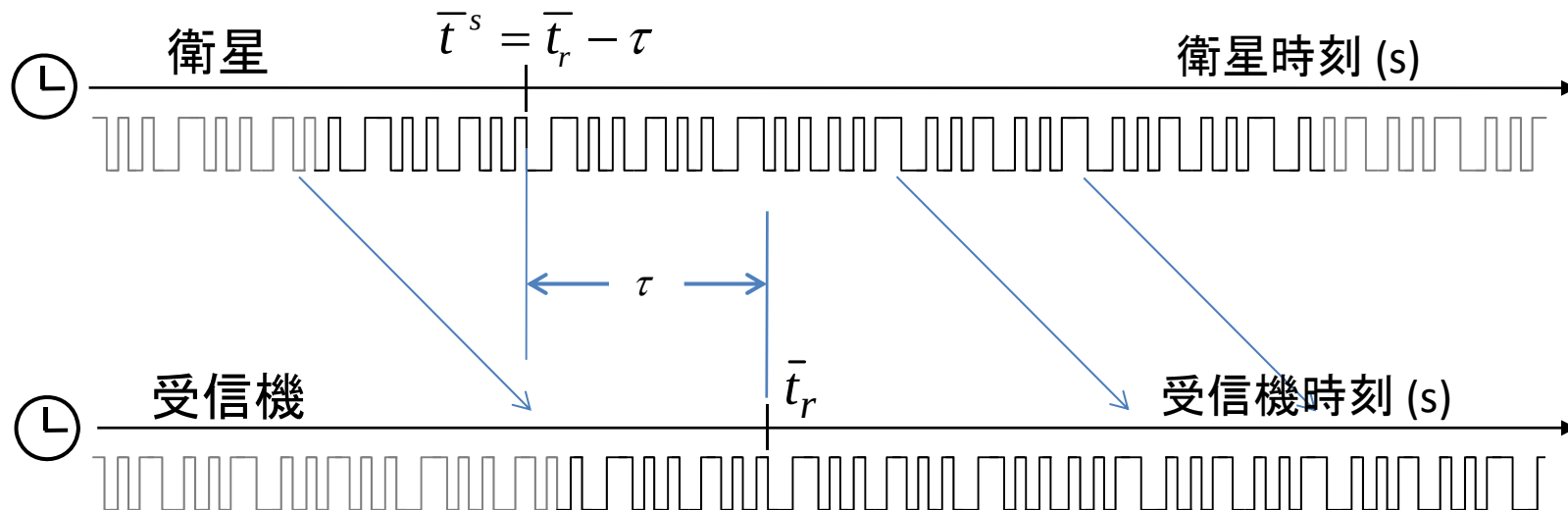
疑似距離

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*)



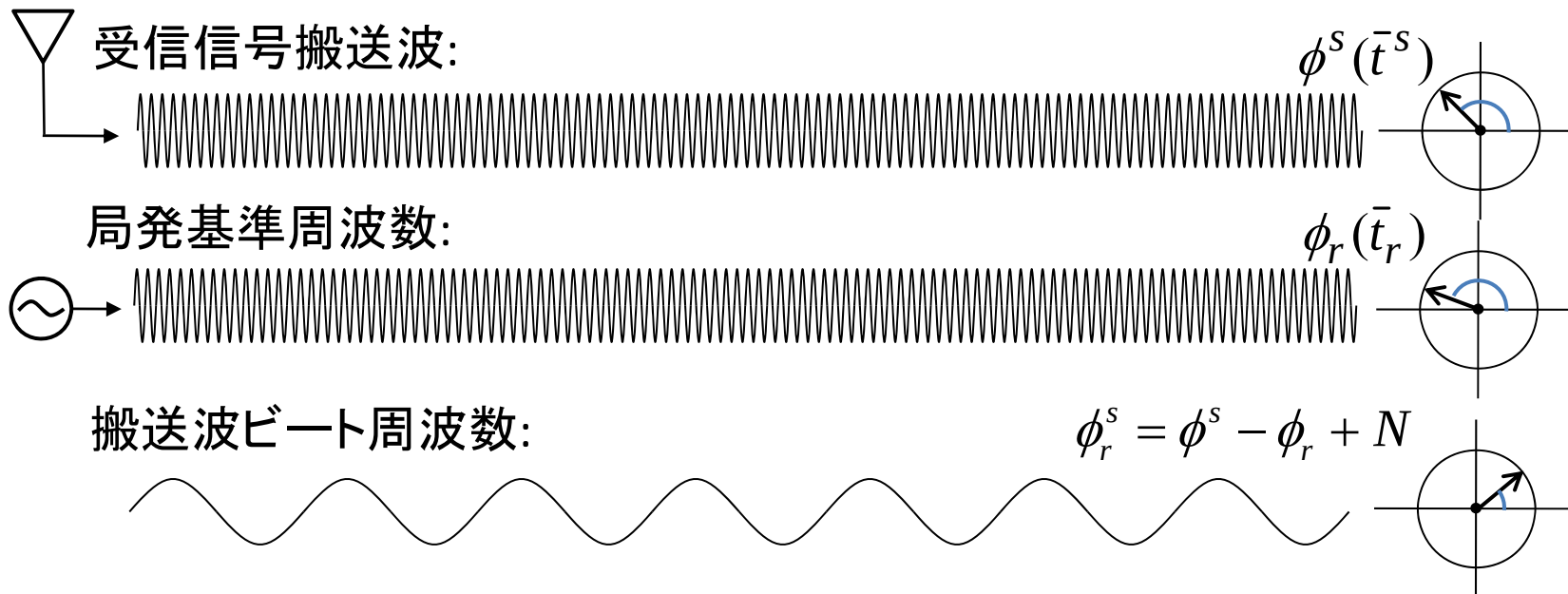
搬送波位相

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)

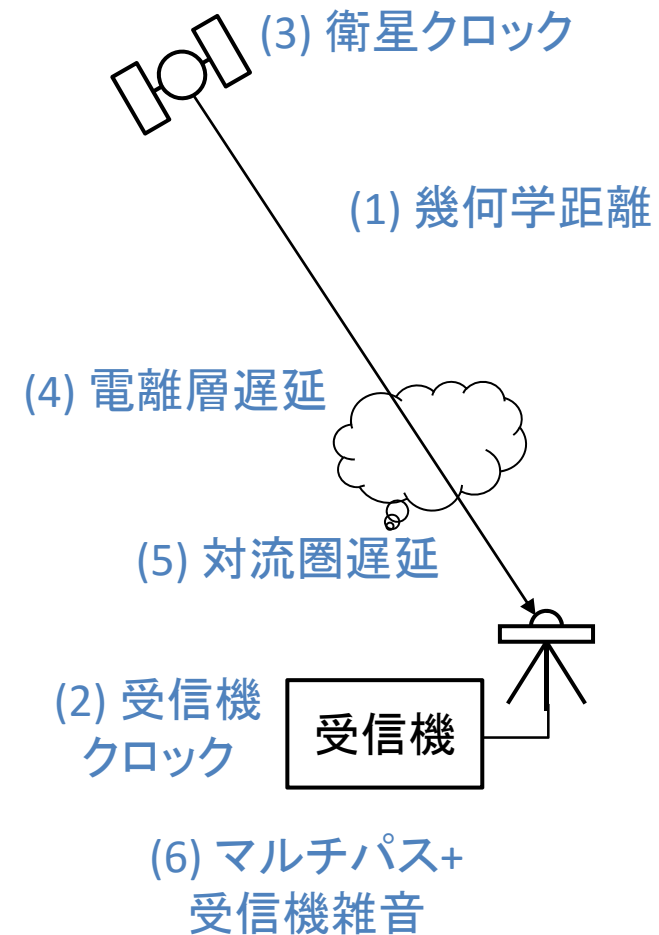


コード測位 vs 搬送波測位

	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, ...

疑似距離モデル

$$\begin{aligned} P_r^s &\equiv c\tau \\ &= c(\overline{t_r} - \overline{t^s}) \\ &= c((t_r + dt) - (t^s + dT^s)) + \varepsilon_P \\ &= c(t_r - t^s) + c(dt_r - dT^s) + \varepsilon_P \\ &= (\underbrace{\rho_r^s}_{(1)} + \underbrace{I_r^s}_{(2)} + \underbrace{T_r^s}_{(3)}) + c(\underbrace{dt_r}_{(4)} - \underbrace{dT^s}_{(5)}) + \varepsilon_P \\ &= \underbrace{\rho_r^s}_{(1)} + c(\underbrace{dt_r}_{(2)} - \underbrace{dT^s}_{(3)}) + \underbrace{I_r^s}_{(4)} + \underbrace{T_r^s}_{(5)} + \underbrace{\varepsilon_P}_{(6)} \end{aligned}$$



搬送波位相モデル (1)

搬送波位相:

$$\begin{aligned}\phi_r^s &= \phi_r(t_r) - \phi^s(t^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi & (\phi_{r,0} = \phi_r(t_0), \phi_0^s = \phi^s(t_0)) \\ &= (f(t_r + dt_r - t_0) + \phi_{r,0}) - (f(t^s + dT^s - t_0) + \phi_0^s) + N_r^s + \varepsilon_\phi \\ &= \frac{c}{\lambda}(t_r - t^s) + \frac{c}{\lambda}(dt_r - dT^s) + (\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \varepsilon_\phi & \text{(cycle)} \\ \Phi_r^s &\equiv \lambda\phi_r^s = c(t_r - t^s) + c(dt_r - dT^s) + \lambda(\phi_{r,0} - \phi_0^s + N_r^s) + \lambda\varepsilon_\phi \\ &= \underbrace{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s) - I_r^s + T_r^s}_{\text{搬送波位相バイアス}} + \underbrace{\lambda B_r^s + d_r^s}_{\text{補正項}} + \varepsilon_\phi & \text{(m)}\end{aligned}$$

疑似距離:

$$P_r^s = \underbrace{\rho_r^s + c(dt_r - dT^s) + I_r^s + T_r^s}_{\text{搬送波位相バイアス}} + \varepsilon_P$$

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

ϕ_0^S : 衛星初期位相

補正項:

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

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

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

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

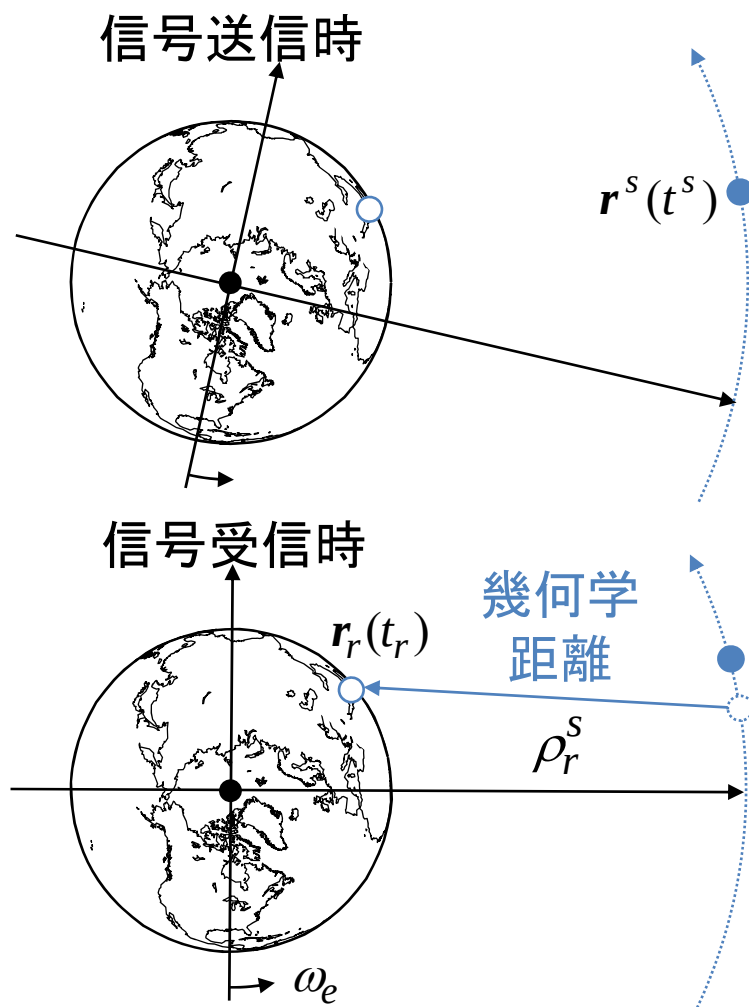
d_{pcv}^S : Satellite Antenna Phase Center Variation

$\mathbf{d}_{disp}$: 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)

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

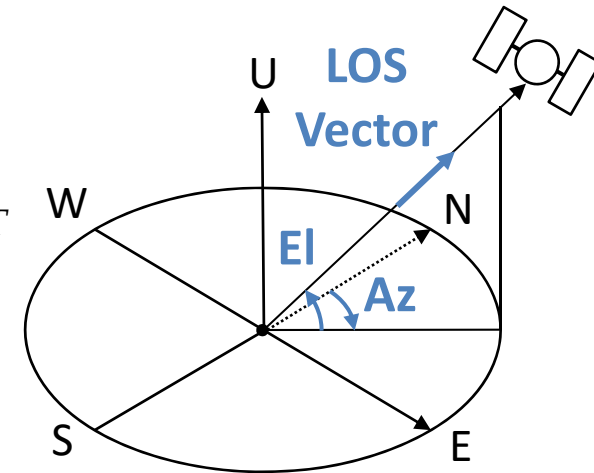
サニャック効果補正

LOS (Line-of-Sight) ベクタ

LOS ベクタ:

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

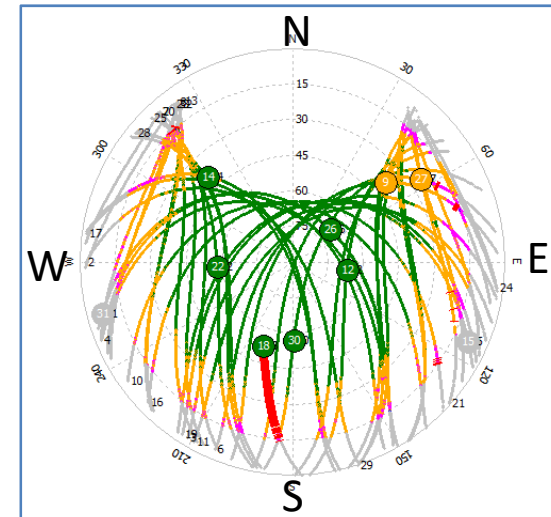
$$\mathbf{E}_{ecef \rightarrow enu} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{pmatrix}$$



衛星方位角・仰角:

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

$$El = \arcsin e_u$$

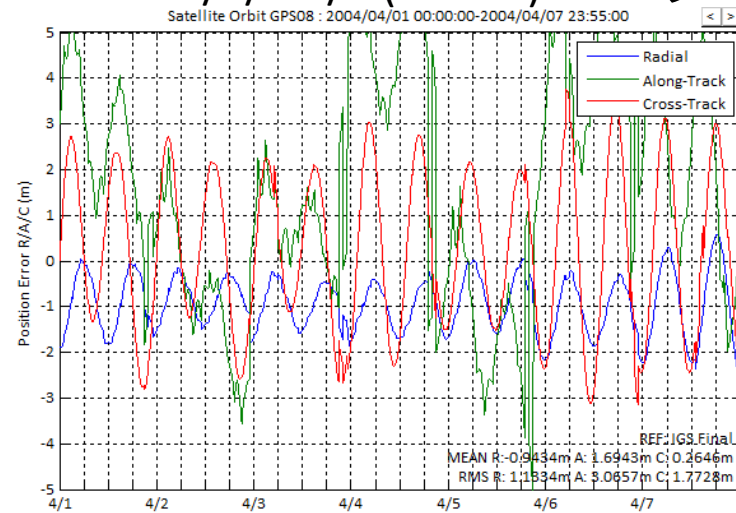


誤差源及びDOP

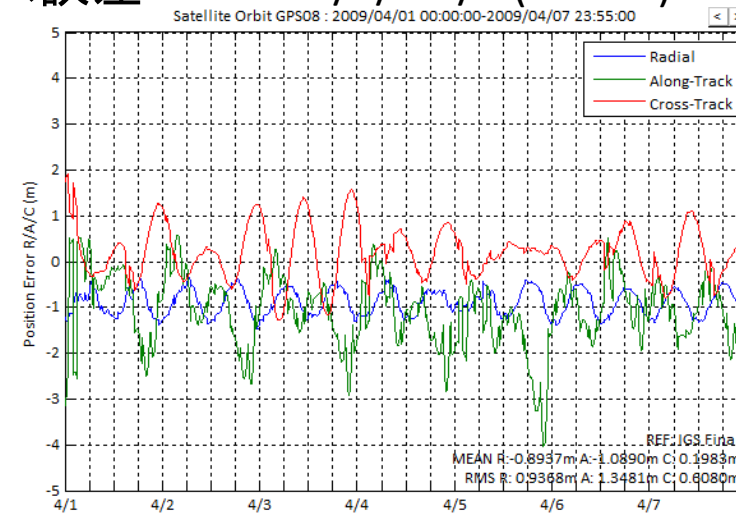
- 誤差源
 - エフェメリス/SVクロック誤差
 - 電離層モデル誤差
 - 対流圏モデル誤差
 - マルチパス
 - 受信機雑音
 - その他誤差
 - S/A (Selective Availability)
- 衛星-受信機幾何学配置
 - DOP (Dilution of Precision)

エフェメリス/SVクロック誤差

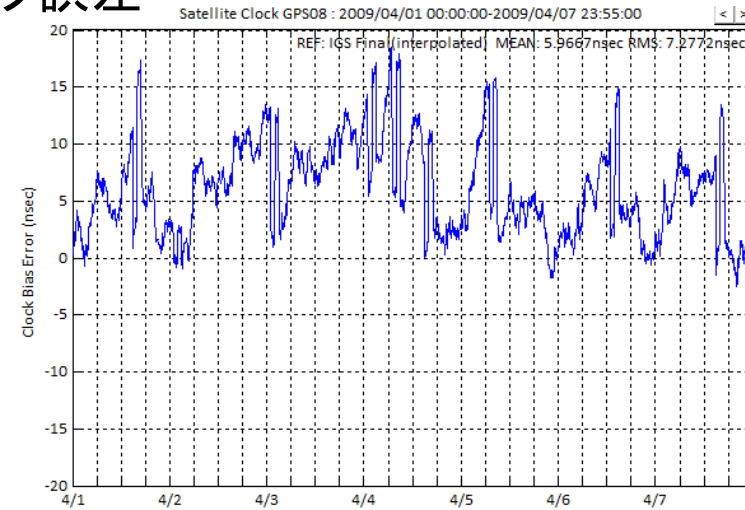
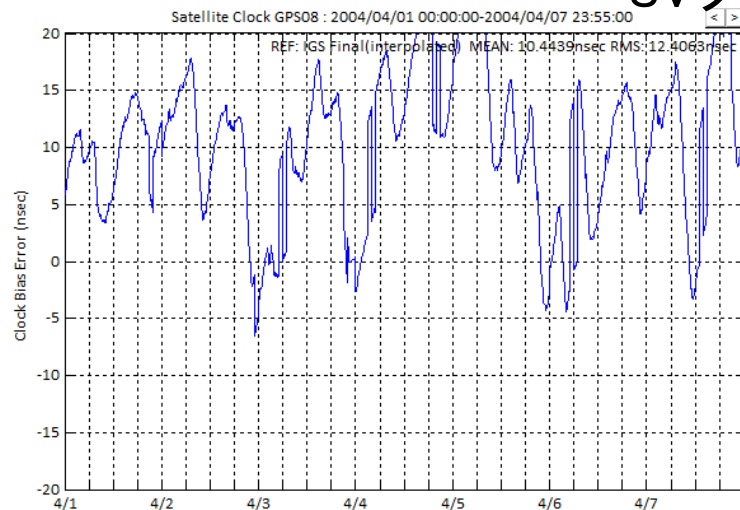
2004/4/1-4/7 (PRN08) エフェメリス誤差



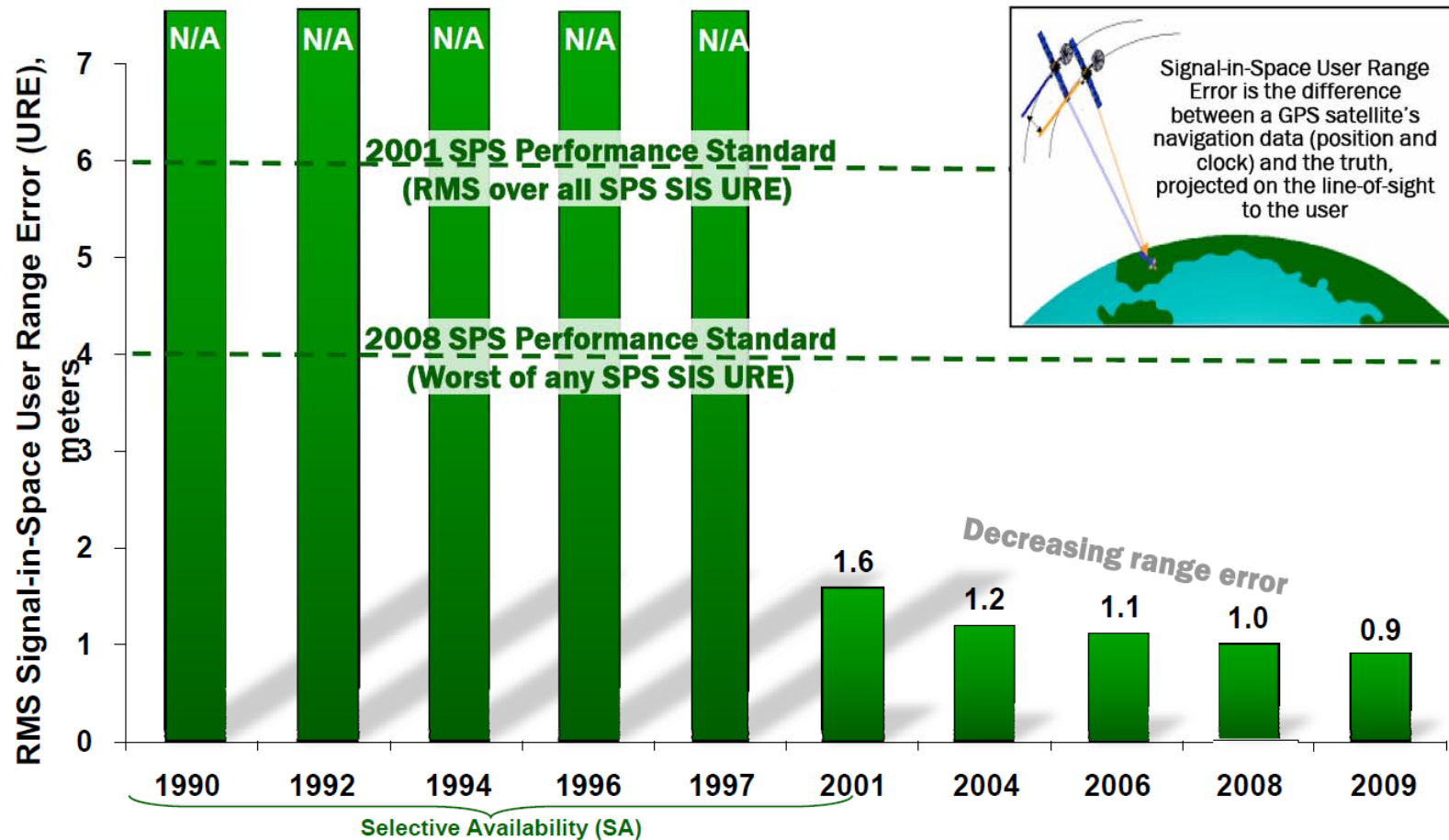
2009/4/1-4/7 (PRN08)



SVクロック誤差



GPS SIS-URE

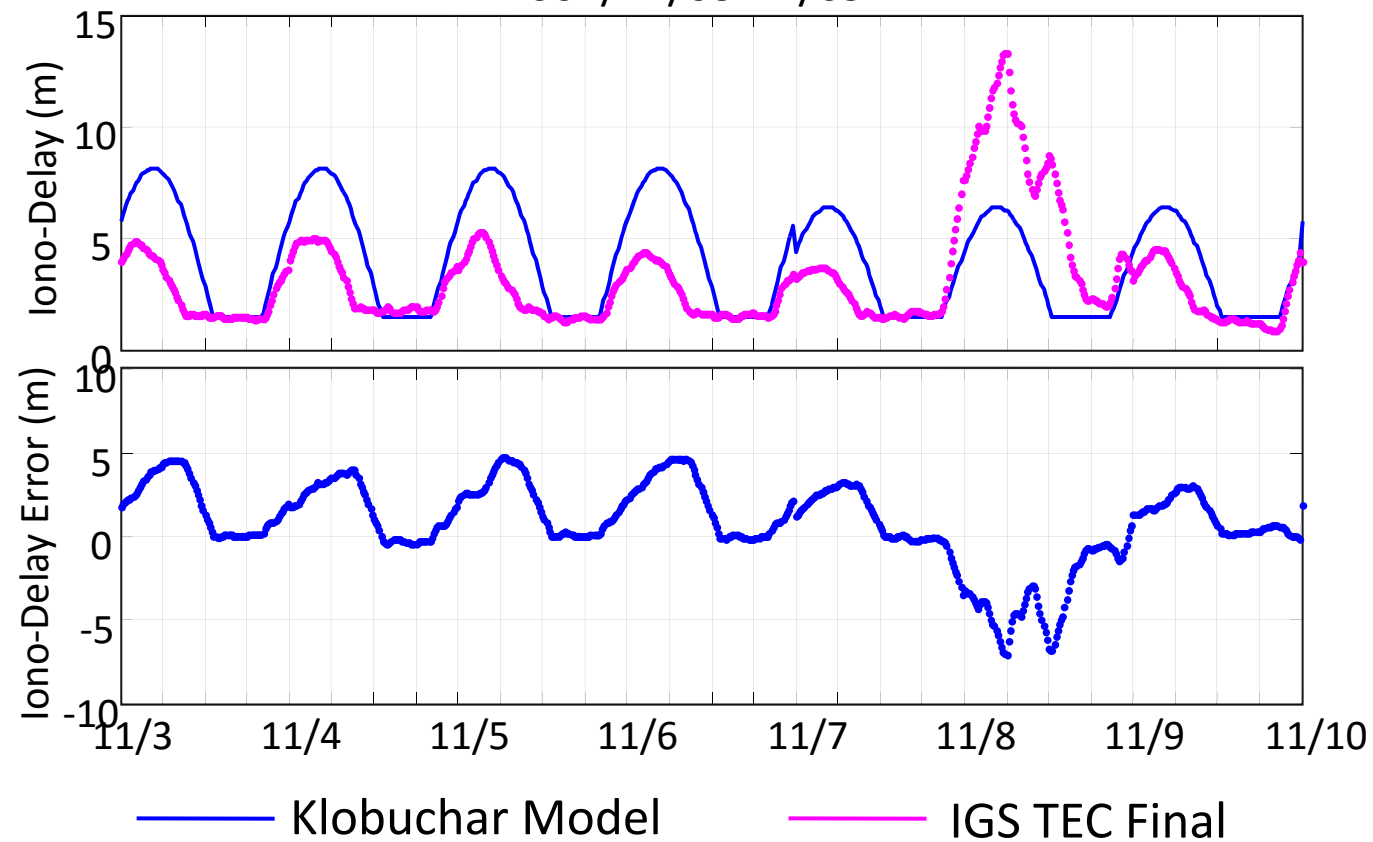


L.S.Steiner, GPS Program Update to CGSIC 2010, Sep 21, 2010

電離層モデル誤差

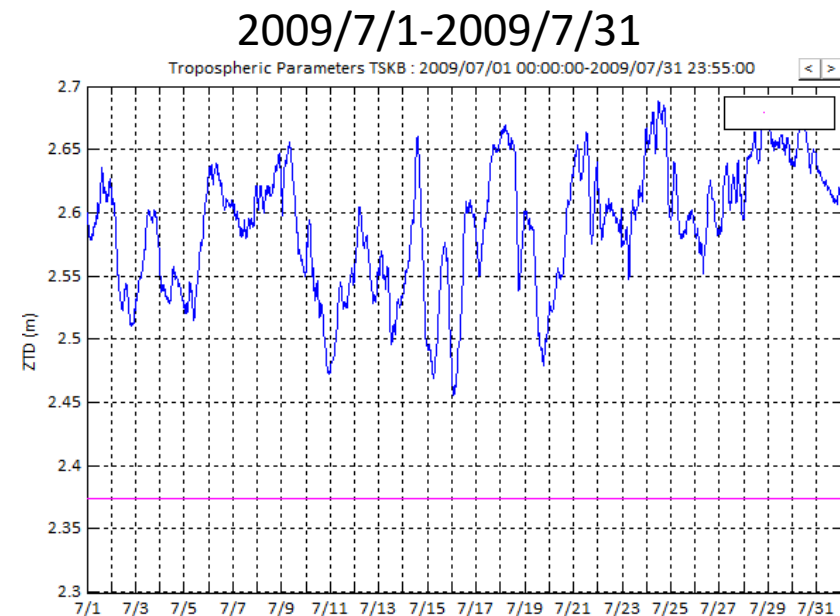
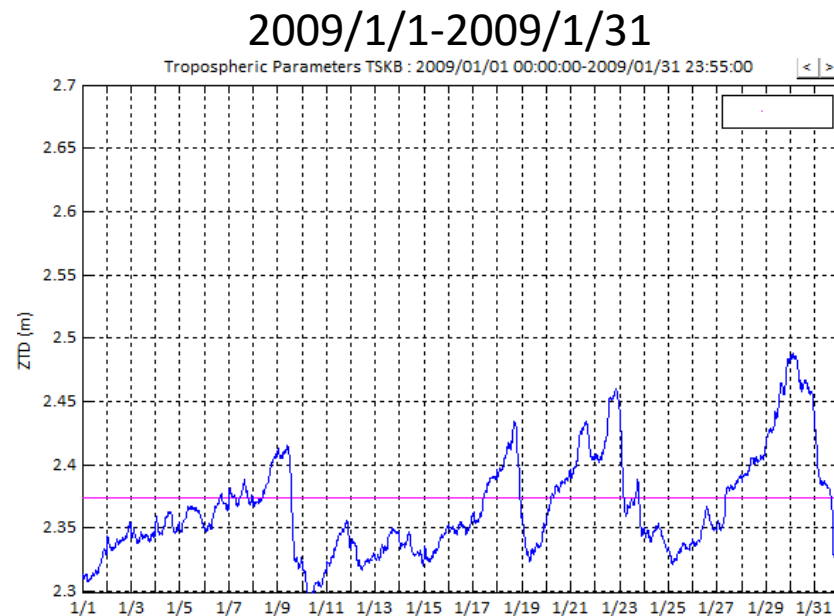
Zenith Ionospheric Delay (L1) at TSKB

2004/11/03-11/09



対流圏モデル誤差

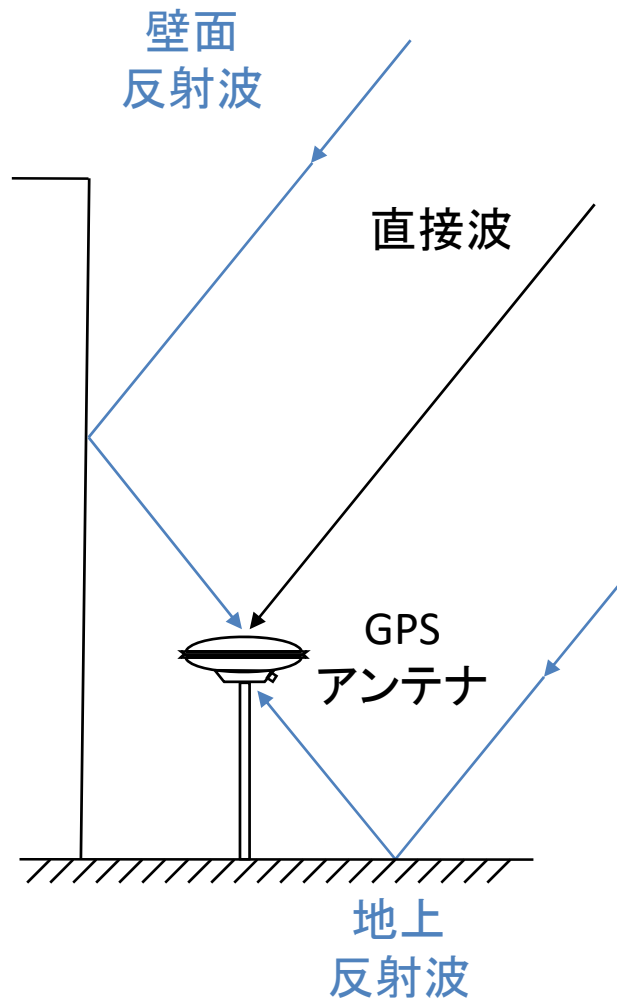
ZTD (Zenith Total Delay) at TSKB



— Saastamoinen Model

— Estimated by PPP

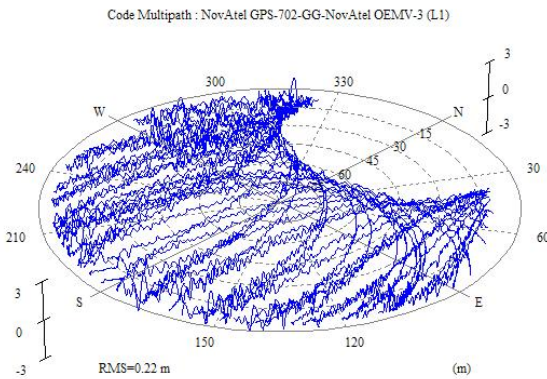
マルチパス



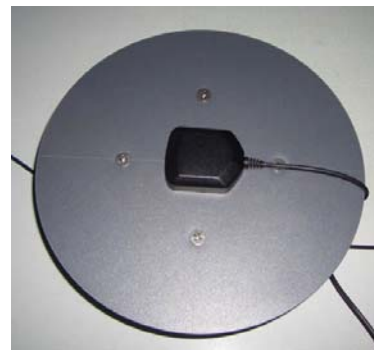
測量用アンテナ



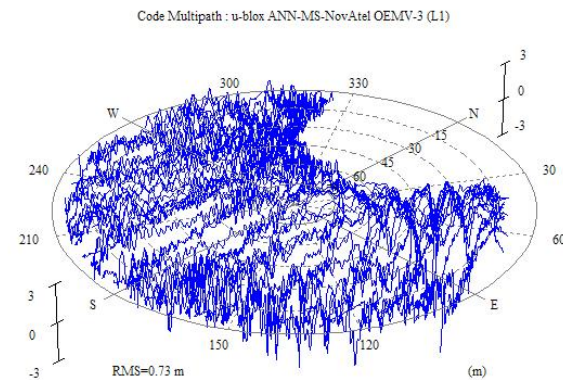
NovAtel
GPS-702-GG



一般アンテナ



u-blox ANN-MS



DOP

GDOP, PDOP, HDOP, VDOP

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

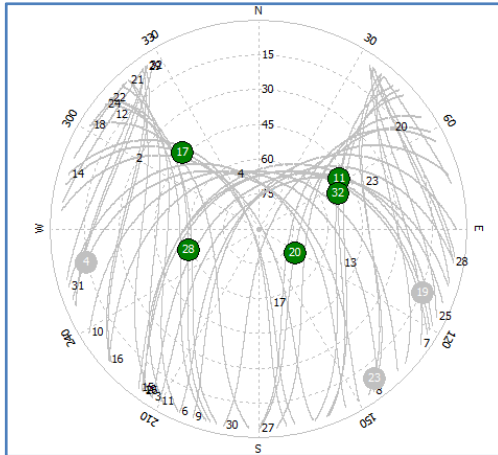
$$PDOP = \sqrt{q_{ee} + q_{nn} + q_{uu}}$$

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

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

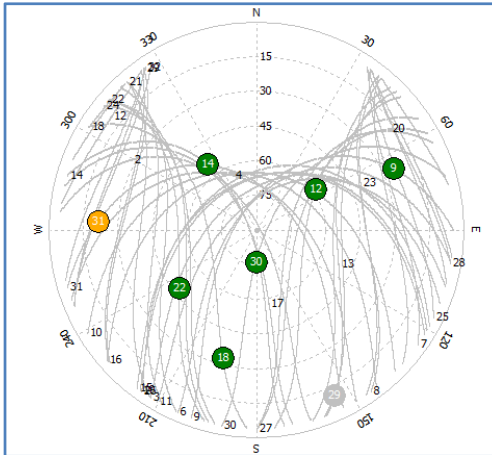
$$Q = (H^T H)^{-1} = \begin{pmatrix} q_{ee} & q_{en} & q_{eu} & q_{et} \\ q_{ne} & q_{nn} & q_{nu} & q_{nt} \\ q_{ue} & q_{un} & q_{uu} & q_{ut} \\ q_{te} & q_{tn} & q_{tu} & q_{tt} \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} -\mathbf{e}_{r,enu}^{s_1 T} & 1 \\ -\mathbf{e}_{r,enu}^{s_2 T} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\mathbf{e}_{r,enu}^{s_m T} & 1 \end{pmatrix}$$

of satellites = 5



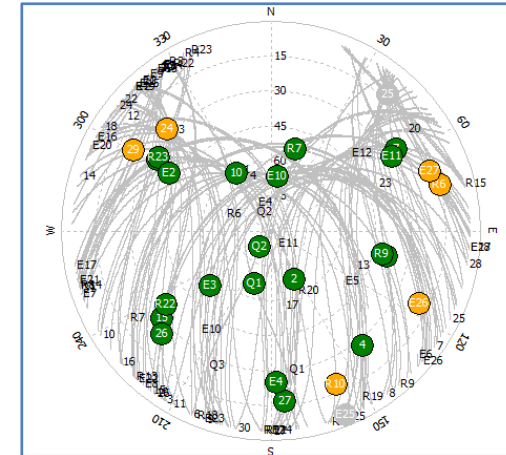
GDOP=33.4 PDOP=25.9
HDOP=8.1 VDOP=24.7

of satellites = 7



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

of satellites = 27



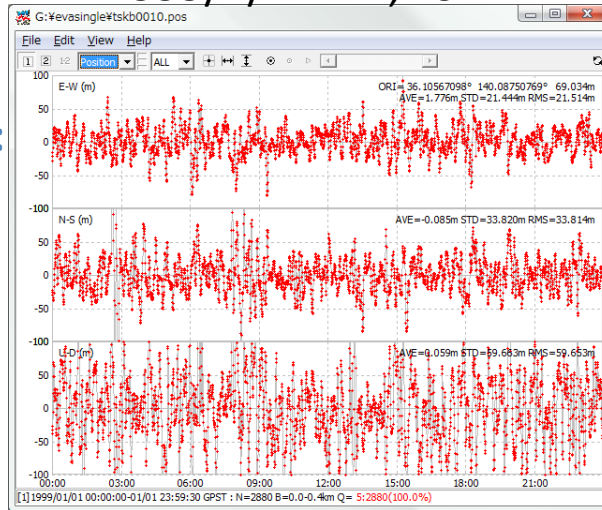
GDOP=1.2 PDOP=1.0
HDOP=0.5 VDOP=0.9

単独測位誤差

1999/1/1 24hr, TSKB

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

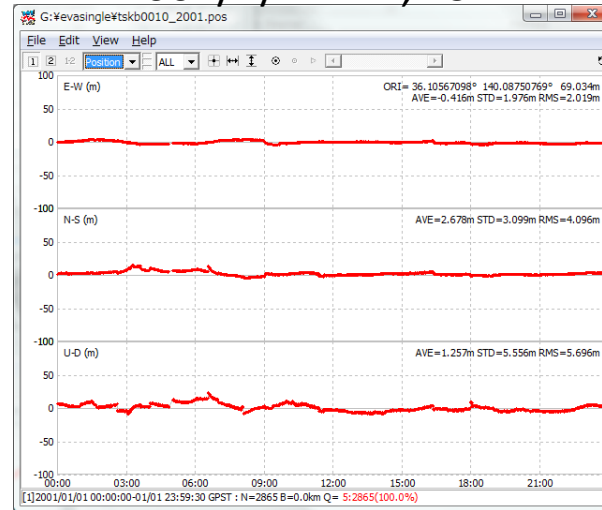
100m



2001/1/1 24hr, TSKB

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

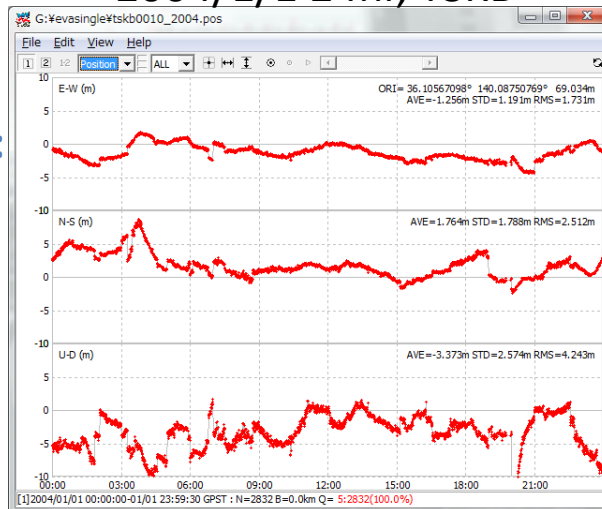
100m



2004/1/1 24hr, TSKB

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

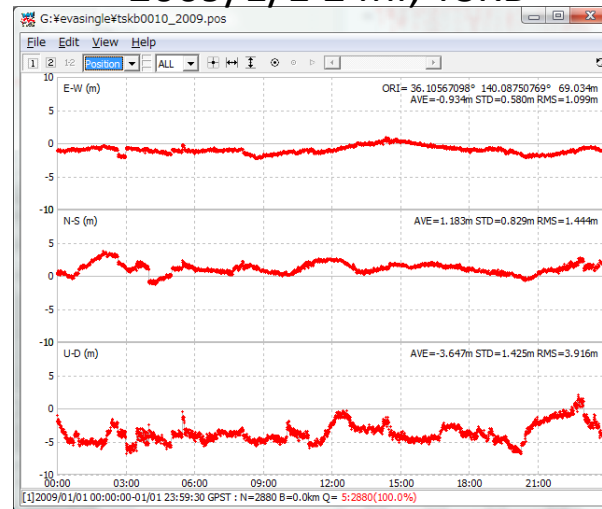
10m



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

Type	Message
1	Differential GPS Corrections
3	GPS Reference Station Parameters
10	P-Code Differential Corrections
11	C/A-Code L1, L2 Delta Corrections
17	GPS Ephemerides
18	RTK Uncorrected Carrier Phase
19	RTK Uncorrected Pseudorange
20	RTK Carrier Phase Corrections
21	RTK Pseudorange Corrections
22	Extended Reference Station Parameter
23	Antenna Type Definition Record
24	Antenna Reference Point (ARP)
59	Proprietary Messages

RTCM 3.1

Type	Message
1001	L1-Only GPS RTK Observables
1002	Extended L1-Only GPS RTK Observables
1003	L1&L2 GPS RTK Observables
1004	Extended L1&L2 GPS RTK Observables
1005	Stationary RTK Reference Station ARP
1006	Stationary RTK Ref. Stn. ARP with Hgt.
1007	Antenna Descriptor
1008	Antenna Descriptor & Serial Number
1013	System Parameters
1014	Network Auxiliary Station Data
1015	GPS Ionospheric Correction Differences
1016	GPS Geometric Correction Differences
1019	GPS Ephemerides

RTCM: The Radio Technical Commission for Marine Service

誤差バジェット

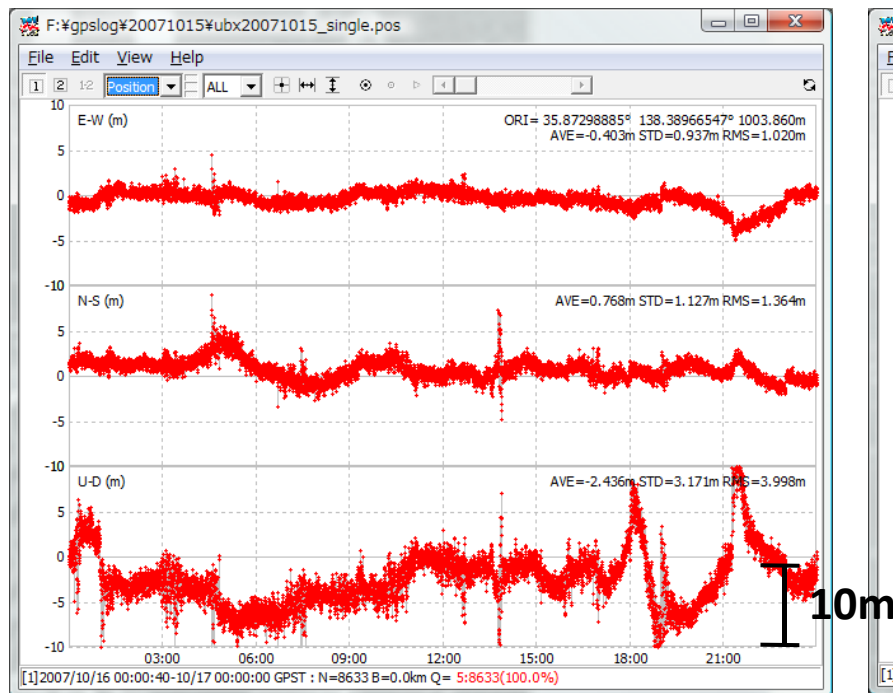
誤差源	単独測位		DGPS (BL=100km)		SBAS DGPS	
エフェメリス誤差	1.0 m		0.1 m		0.1 m	
SVクロック誤差			0.0 m			
電離層モデル誤差	1.5 m		0.2 m		0.2 m	
対流圏モデル誤差	0.3 m		0.1 m		0.3 m	
マルチパス	1.0 m		1.2 m		1.0 m	
S/A	0.0 m		0.0 m		0.0 m	
受信機雑音	0.3 m		0.3 m		0.3 m	
UERE	2.1 m		1.3 m		1.1 m	
HDOP/VDOP	1.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.5
水平/垂直 誤差 (RMS)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

DGPS (SBAS)

单独测位

RMS Error:

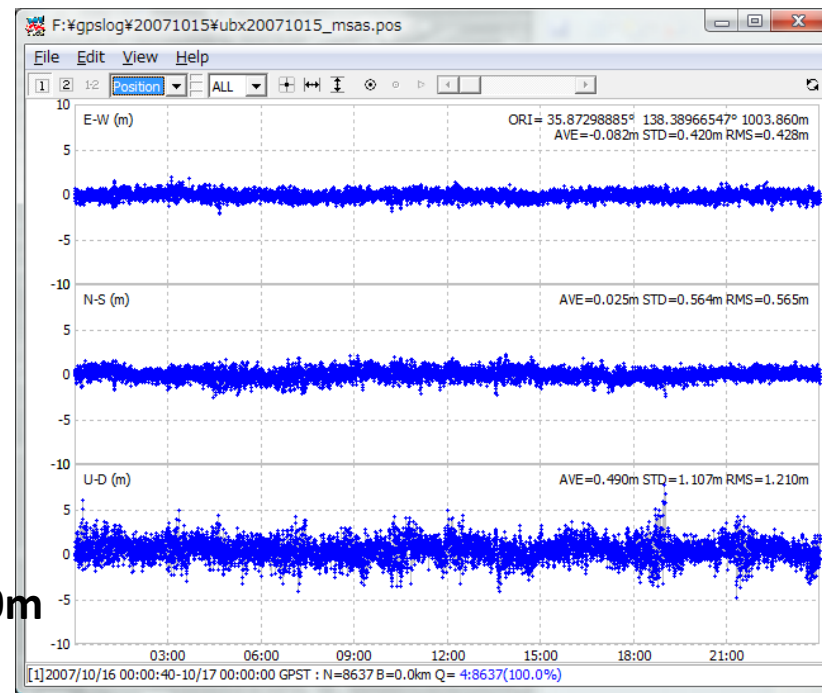
E: 1.02m N: 1.36m U: 4.00m



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)

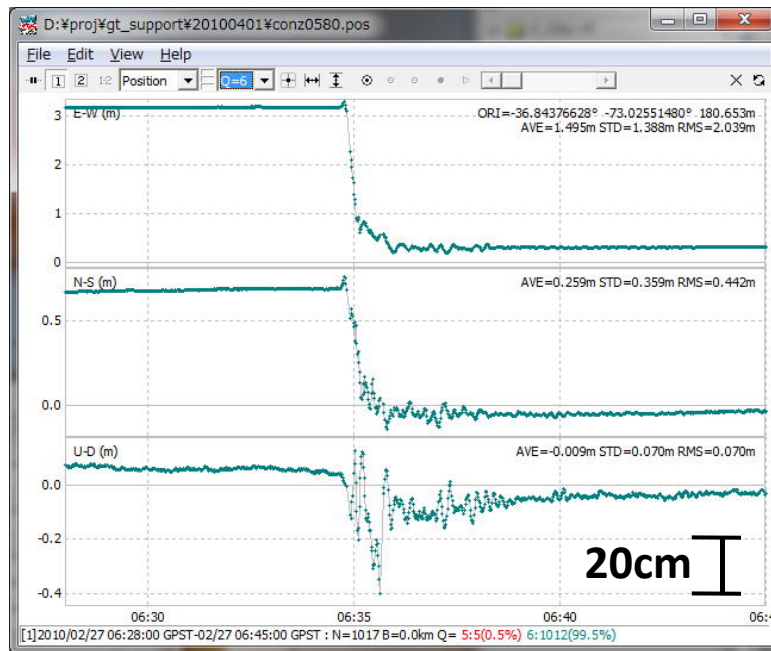
PPP (精密単独測位)

- 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

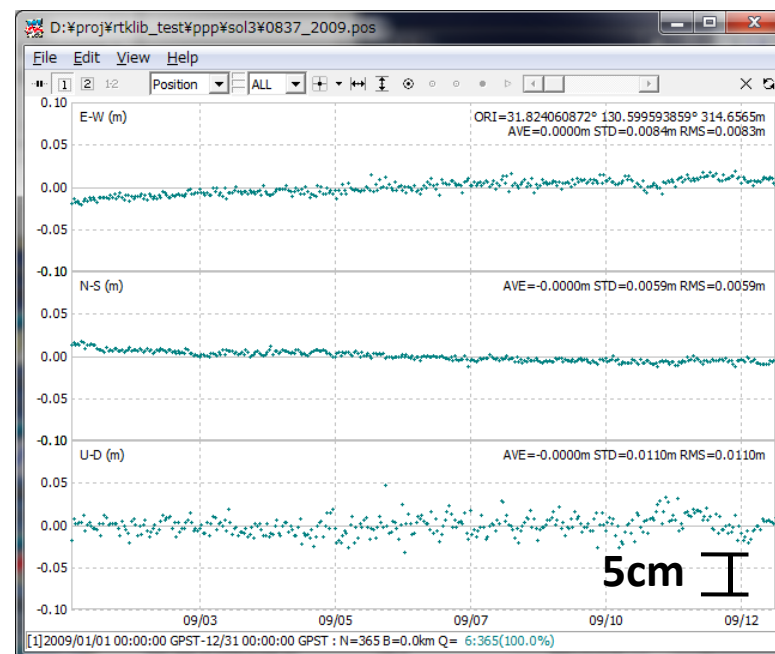


2010/2/27 6:28-6:45 GPST

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	
										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	
10	10	15	0	0	0.0000000	0	10G	6G23G16G19G21G13G	3G31S29S37	20849930.125	
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	20849561.062	
20849559.430					109565184.891			1939.090	45.000	20849561.062	

Receiver Time Tag

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

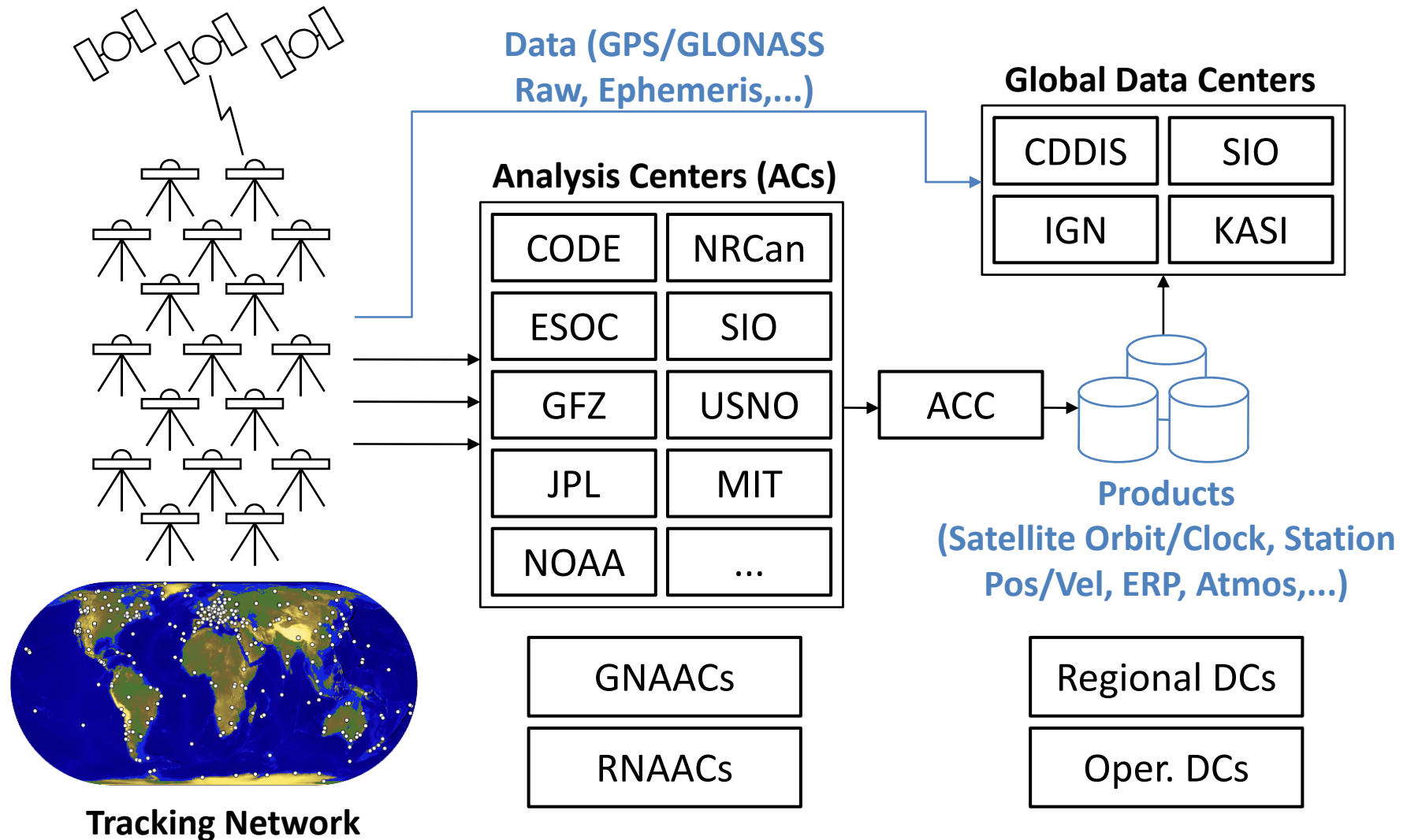
RINEX NAV

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プロダクト

		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://igscb.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