

GNSS（全地球測位システム）の現状と オープンソース測位技術に関する研究

創造都市研究科 / 学術情報総合センター

吉田 大介

研究の目的

- 高度な知識と技術が求められる

高コストな高精度測位技術の低コスト化

- 高精度測位技術の利用促進のための Web サービス開発

科研・若手 (B) 2014-2016 「相互利用可能な低コスト高精度測位処理 Web サービスの開発」

科研・若手 (B) 2012-2013 「クラウド・グリッドコンピューティングを用いた測位処理 Web サービスの開発」

Double Frequency Pro GPS

~ 2,000,000 yen



2-3 cm

Single Frequency Pro GPS

~ 300,000 yen



15-30 cm

Low cost GPS

~ 10,000 yen



3-5 m

GPS受信機の精度と費用 *精度は移動時

本日の内容

- 全地球測位システム（GNSS）
と準天頂衛星システム（QZSS）
- GNSS受信機
- オープンソース測位処理ソフトウェア
- 今後の展開

From GPS to GNSS



GPS is not the only positioning system available

Other countries apart from US are building global (or regional) satellite systems

GNSS → Global Navigation Satellite System

GLONASS

BeiDou

Galileo

QZSS

IRNSS

Russia

China

Europe

Japan

India

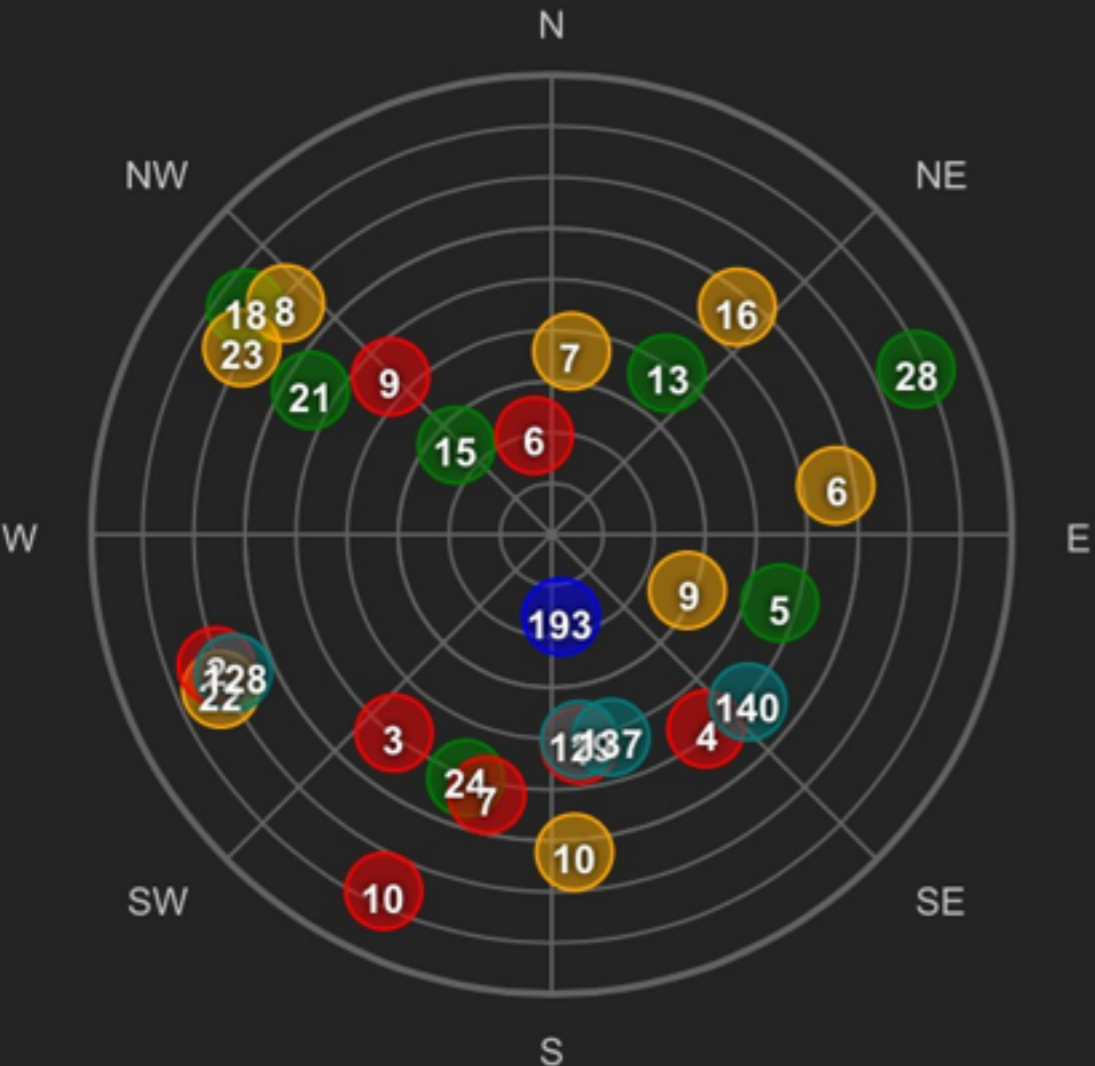


Global

Regional

SKY PLOT

2015/1/29 13:1, Lat: 34.59 Lon: 135.51
Mask:10 deg, HDOP:0.5, PDOP:1.1



SKY PLOT

NSAT / DOP

SAT MAP

● GPS ● GLO ● GAL ● BDS ● QZS ● SBS

10 deg

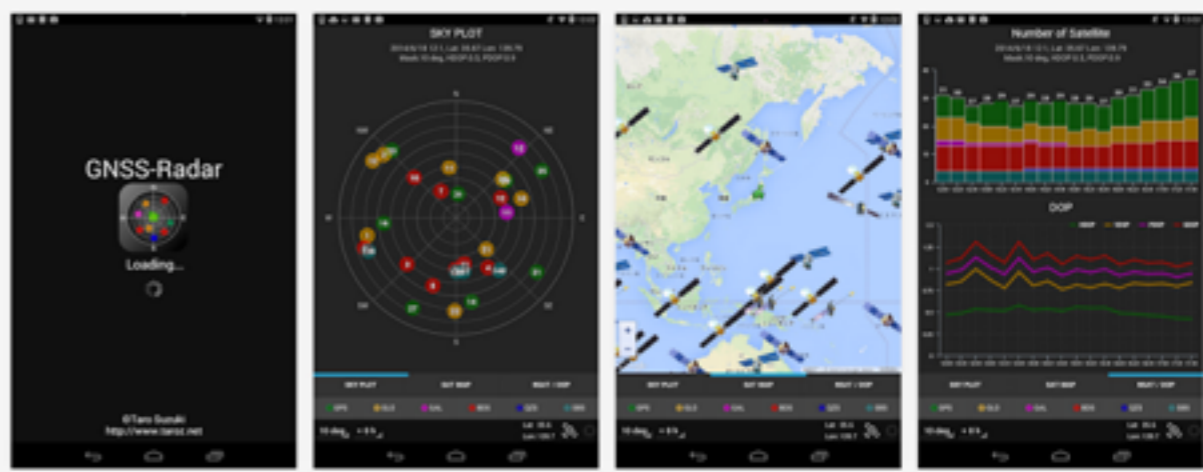
+ 0 h

Lat: 34.5

Lon: 135.5



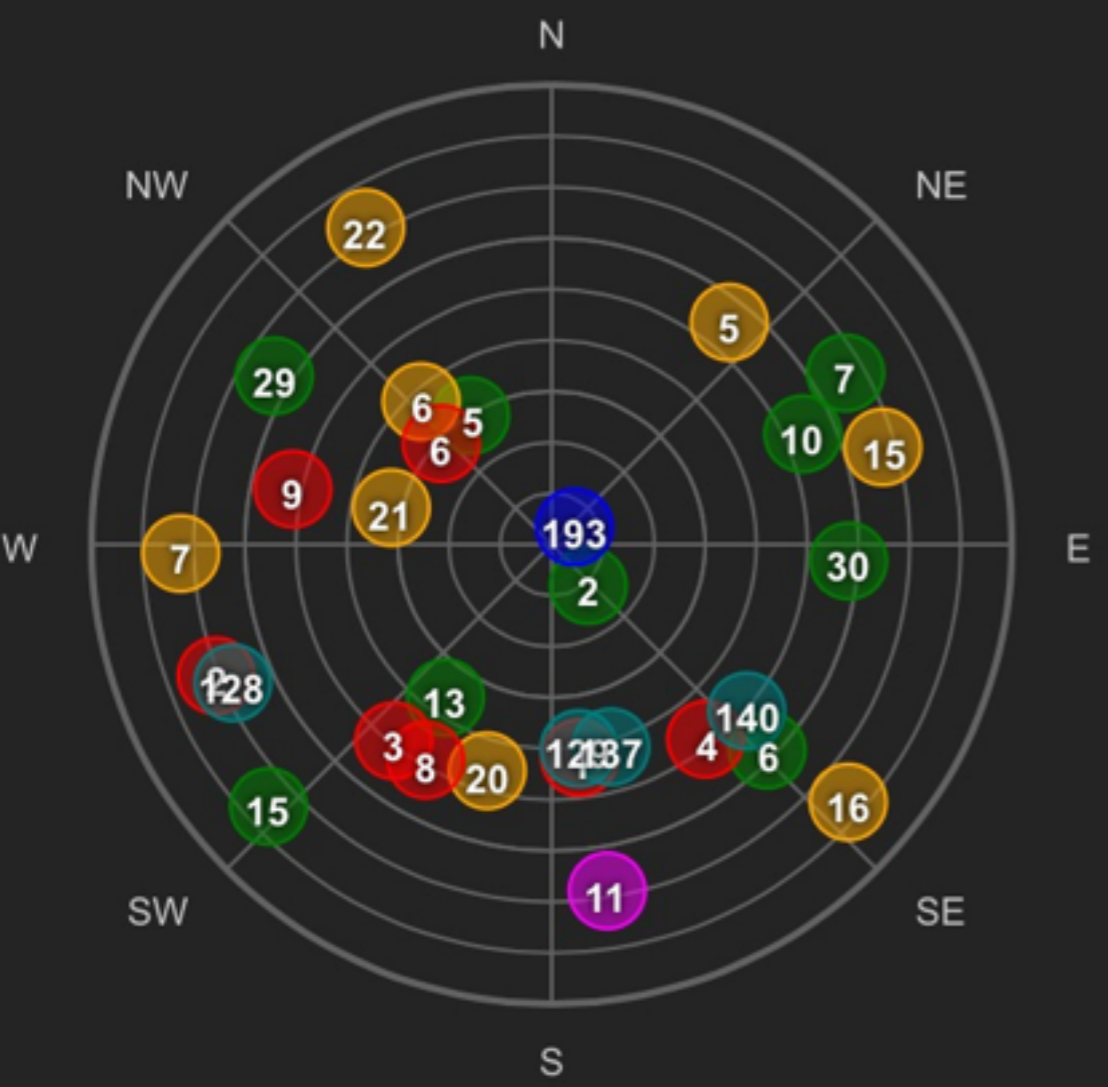
2015/1/29 13:01 の
杉本キャンパス上空の衛星配置



<http://www.taroz.net/GNSS-Radar.html>

SKY PLOT

2015/1/29 10:23, Lat: 34.49 Lon: 135.55
Mask:10 deg, HDOP:0.5, PDOP:1.0

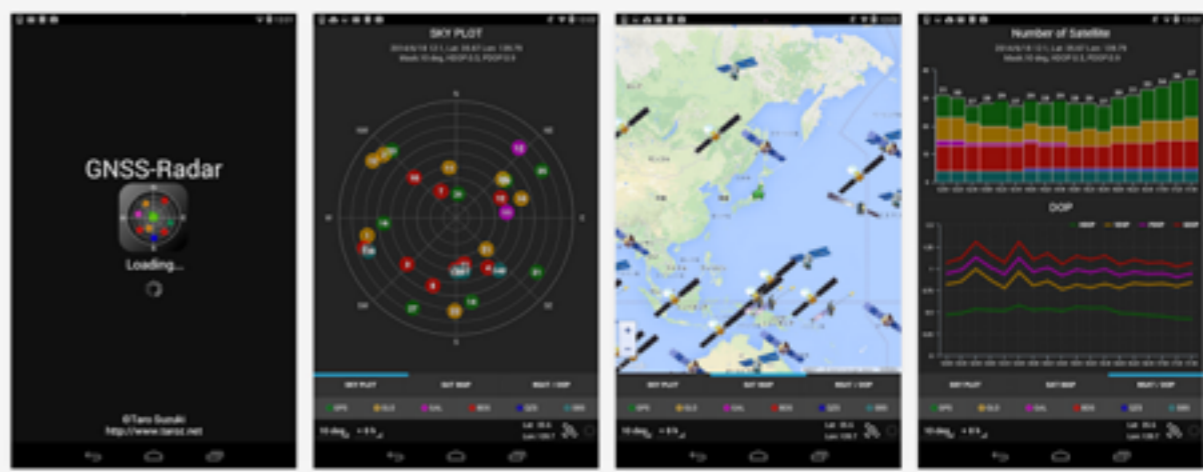


2015/1/29 10:23 の
杉本キャンパス上空の衛星配置

SKY PLOT NSAT / DOP SAT MAP

● GPS ● GLO ● GAL ● BDS ● QZS ● SBS

10 deg + 0 h Lat: 34.4 Lon: 135.5



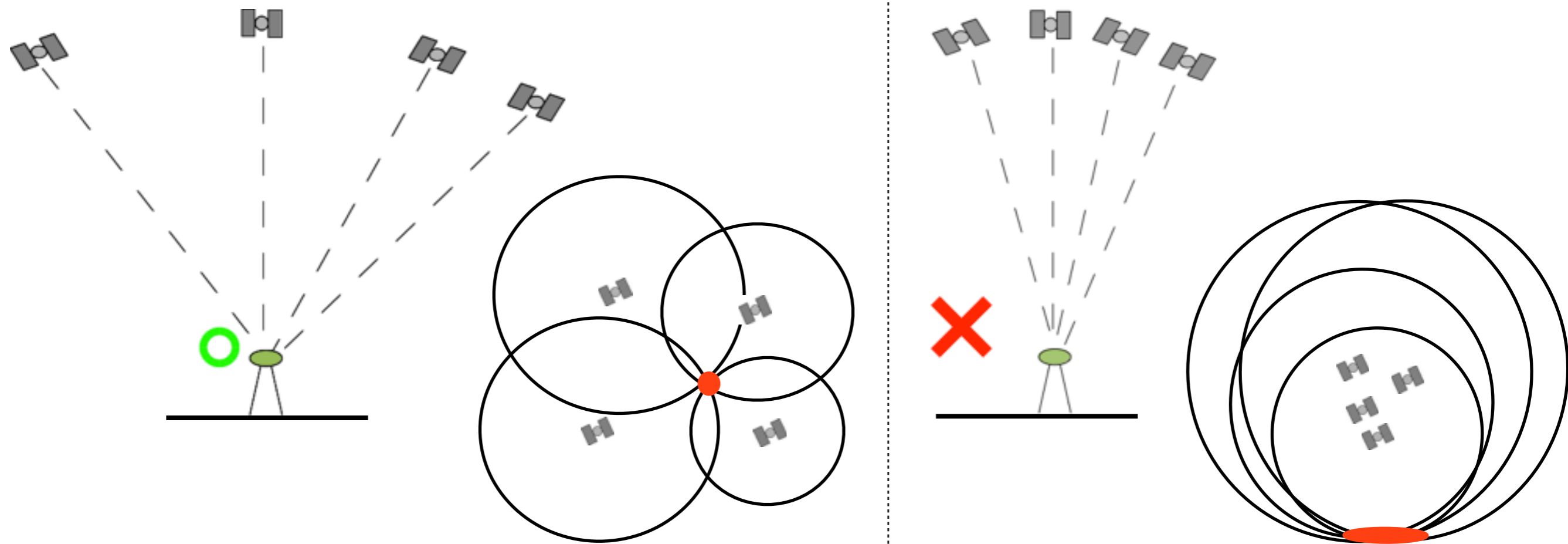
<http://www.taroz.net/GNSS-Radar.html>

GPS測位

衛星と受信機間の電波の到達時間により距離を測定
3Dの位置計測には4機以上の衛星が必要

GPS 誤差要因

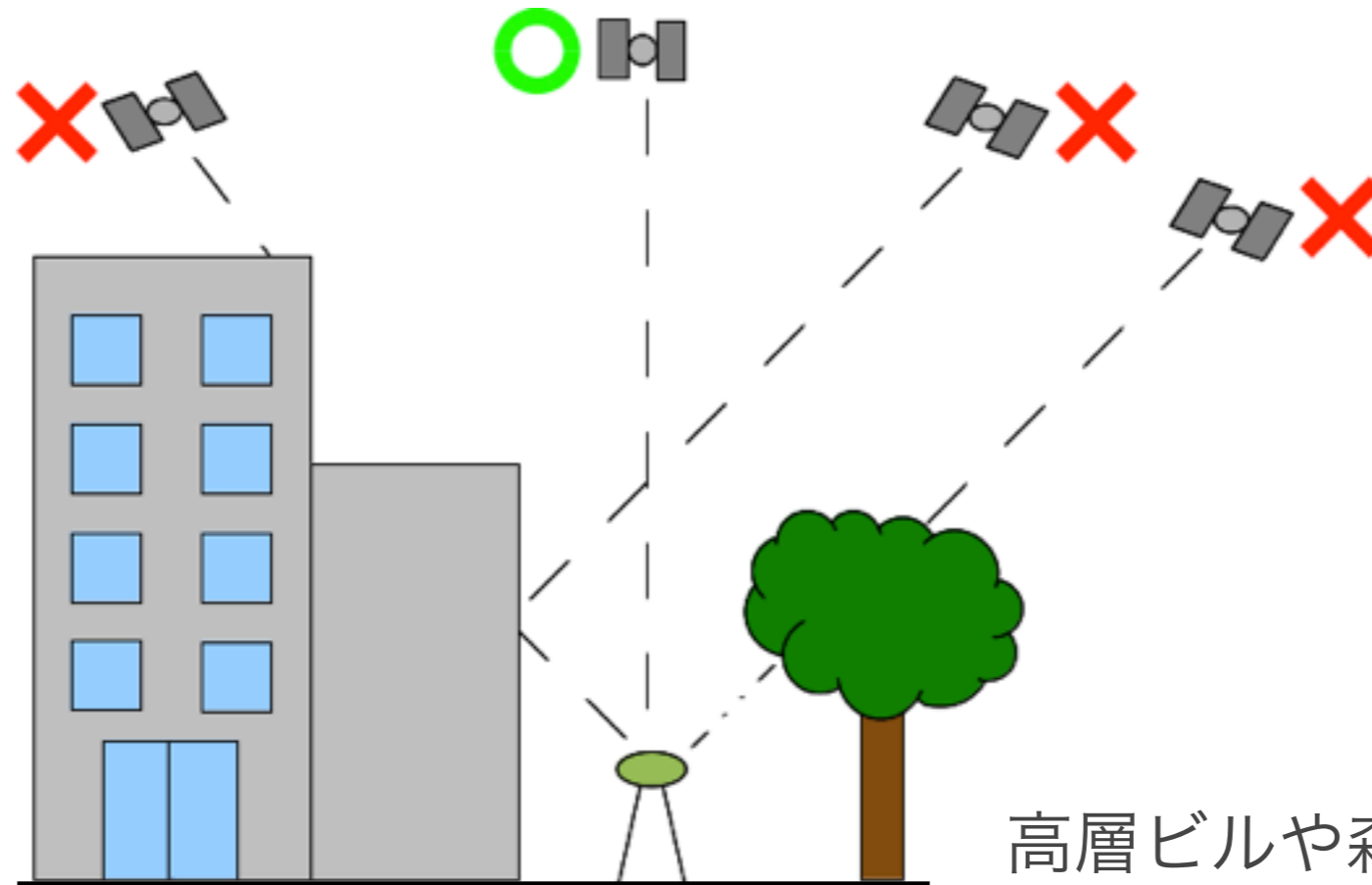
~~衛星の配置~~



マルチGNSS (QZSSやGLONASS) の利用
DOP (精度低下率) によるフィルタリングで改善可能

GPS 誤差要因

~~建造物等による反射（マルチパス）や遮断~~



- SNR（信号対雑音比）の重みによる測位
- 道路データによるマップマッチング により改善可能

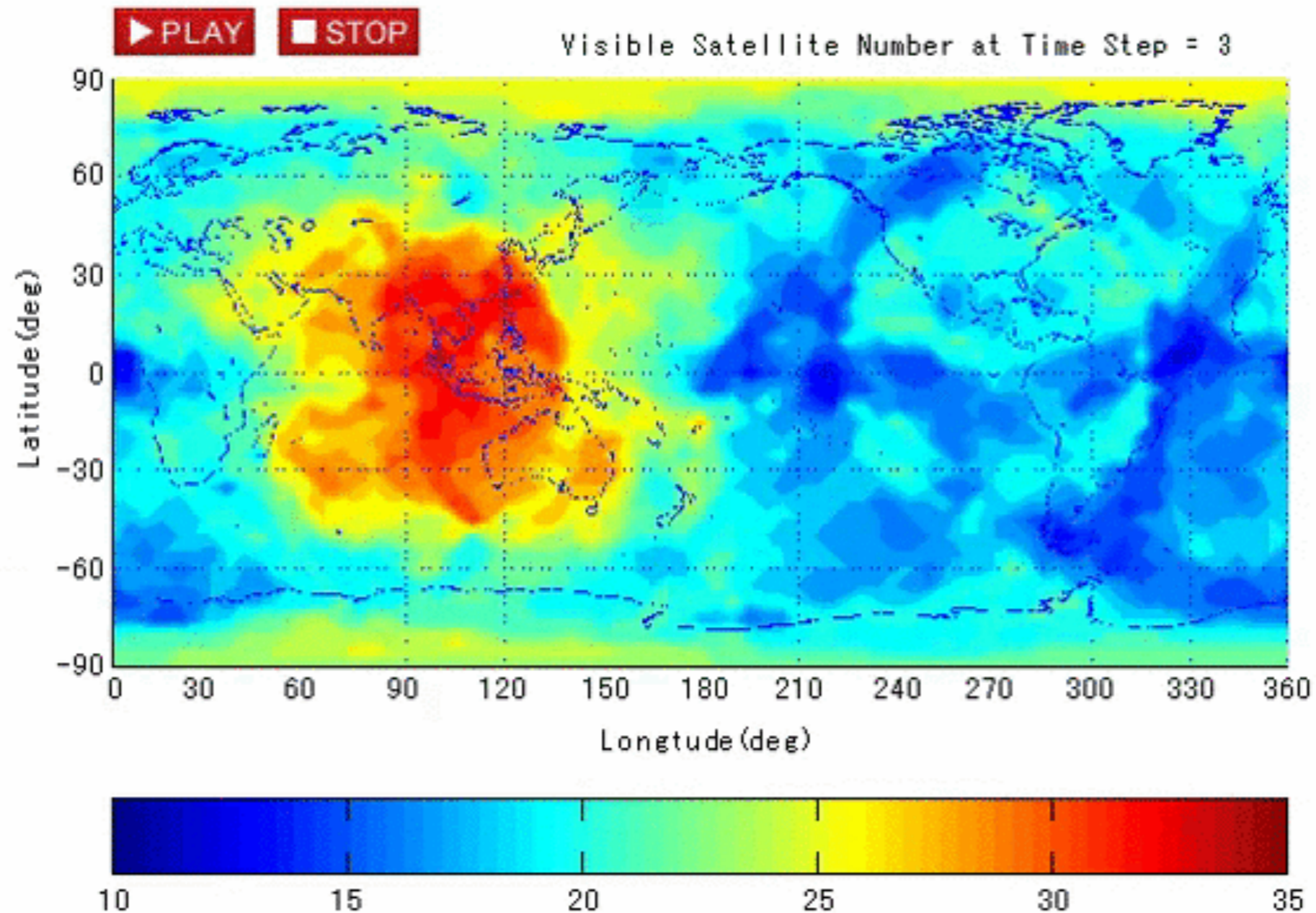
Current status of GNSS

System	Number of SVs in orbit	Number of planned SV	Orbital altitude	Will include geostationary satellites?
GPS	32	32	20,180 km	NO (WAAS)
GLONASS	24	24 (30)	19,140 km	NO (SDCM)
Galileo	4 (test phase)	30	23,222 km	NO (EGNOS)
BeiDou-2 (COMPASS)	4 5	27 (MEO) 3 (IGSO)	21,528 km 35,786 km	YES (5 + BeiDou-1)
QZSS	1	7	32,000 – 40,000 km	YES (3 + MSAS)
IRNSS	3	7	-	YES (3 + GAGAN)

GNSS availability

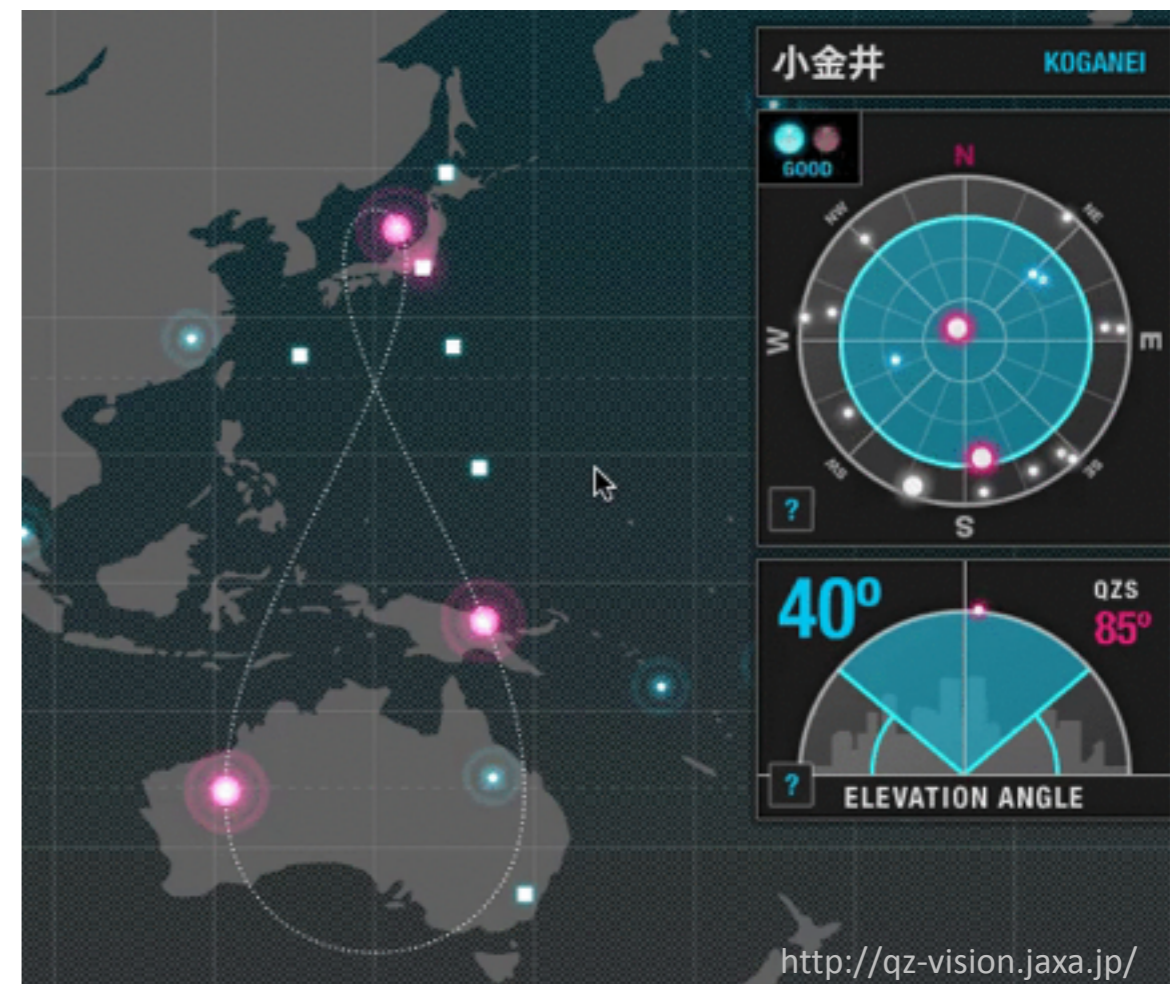
Number of GNSS satellites that will be available depending on the location on the globe

Asia Oceania Region is Showcase of New GNSS Era
GPS+GLONASS+Galileo+COMPASS+IRNSS+QZSS



準天頂衛星システム (QZSS: Quasi Zenith Satellite System)

- GPS互換の日本の衛星測位システム
- 2010年9月に初号機「みちびき」が打ち上げ
- 準天頂に位置し，1機で1日8時間日本付近をカバーする
- 17年度に3機を打ち上げ，最終的には7機体制



<http://gpsworld.com/consumer-oemhandhelddown-and-deep-10830/>
(20150106)

準天頂衛星システム (QZSS: Quasi Zenith Satellite System)

・ 衛星安否確認サービス 「Q-ANPI」

・ 災害・危機管理通報サービス

・ **サブメータ級の補強サービス**

・ **センチメータ級の補強サービス**

-> 科研・若手 (B) 2014-2016

「相互利用可能な 低コスト高精度測位 処理 Web サービス の開発」

信号名称	初号機	2~4号機		配信サービス	中心周波数
	ブロックIQ	ブロックIIQ	ブロックIIG		
	準天頂軌道	準天頂軌道	静止軌道		
	1機	2機	1機		
L1C/A	○	○	○	衛星測位サービス	1575.42MHz
L1C	○	○	○	衛星測位サービス	
L1S	○	○	○	サブメータ級 測位補強サービス 災害・危機管理通報 サービス	
L2C	○	○	○	衛星測位サービス	1227.60MHz
L5	○	○	○	衛星測位サービス	1176.45MHz
L5S	-	○	○	測位技術実証サービス	
L6	○	○	○	センチメータ級 測位補強サービス	1278.75MHz
Sバンド	-	-	○	衛星安否確認サービス	2GHz帯

準天頂衛星システムサービス株式会社

<http://www.qzs.jp/services/index.html>

GNSS対応製品 (GPS+GLONASS)

iPhone 5 (S)

<https://www.apple.com/jp/iphone-5s/specs/>



スペースグレイ



ゴールド



シルバー

位置情報

Assisted GPSおよびGLONASS

デジタルコンパス

Wi-Fi

携帯電話通信

iBeaconマイクロロケーション



Nexus 9 (16 GB、Wi-Fi、インディゴブラック)

働く人も、楽しむ人も

Nexus 9 は Google の新しいタブレットです。Android™ 5.0 Lollipop を搭載し、仕事にも遊びにも使えます。ジャストサイズの 8.9 インチのディスプレイと前面ステレオスピーカーを備えています。

カラー



メモリ



通信方式



Nexus 9 の技術仕様

- GNSS (GPS、GLONASS、北斗) に対応
- Bosch ジャイロスコープ / 加速度計
- AKM 製の磁力計とホール効果センサー
- Capella 周囲光センサー

QZSS対応製品

準天頂衛星システムサービス株式会社
<http://www.qzs.jp/products/index.html>



スマートフォン

メーカー	製品名	対応サービス
COVIA	CP-F03a 【FLEAZ】 F5 (CP-F50aK) / F4s (CP-F40s)	衛星測位サービス(L1C/A)



タブレットPC

メーカー	製品名	対応サービス
ASUS	【VivoTab】 Note 8 M80TA-WHITE / Smart ME400C / TF810C	衛星測位サービス(L1C/A)
東芝	【REGZA】 AT501 / AT503	衛星測位サービス(L1C/A)
富士通	【ARROWS】 QH55/M / WQ1/M / NEW QH55/S / NEW WQ1/S	衛星測位サービス(L1C/A)

QZSS対応製品

準天頂衛星システムサービス株式会社
<http://www.qzs.jp/products/index.html>



カーナビゲーション

メーカー	製品名	対応サービス
アルパイン	全機種	衛星測位サービス(L1C/A)
ガーミン (GARMIN)	全機種 (nuviシリーズ)	衛星測位サービス(L1C/A)
クラリオン	UA-1138A	衛星測位サービス(L1C/A)
ケンウッド	NEW 全機種 (MDVシリーズ)	衛星測位サービス(L1C/A)
セイワ	全機種 (PIXYDAシリーズ)	衛星測位サービス(L1C/A)
パナソニック	【Strada】 CN-R300WD / CN-R300D / CN-E200D 【Gorilla】 デカゴリラ7全機種 スタンダードモデル全機種 CN-GP735VB-A CA-APC131B	衛星測位サービス(L1C/A)
ユピテル	YPF7500-P / YPB7400-P/HVT-4 30	衛星測位サービス(L1C/A)

(注) 「全機種」については、販売終了品を除く



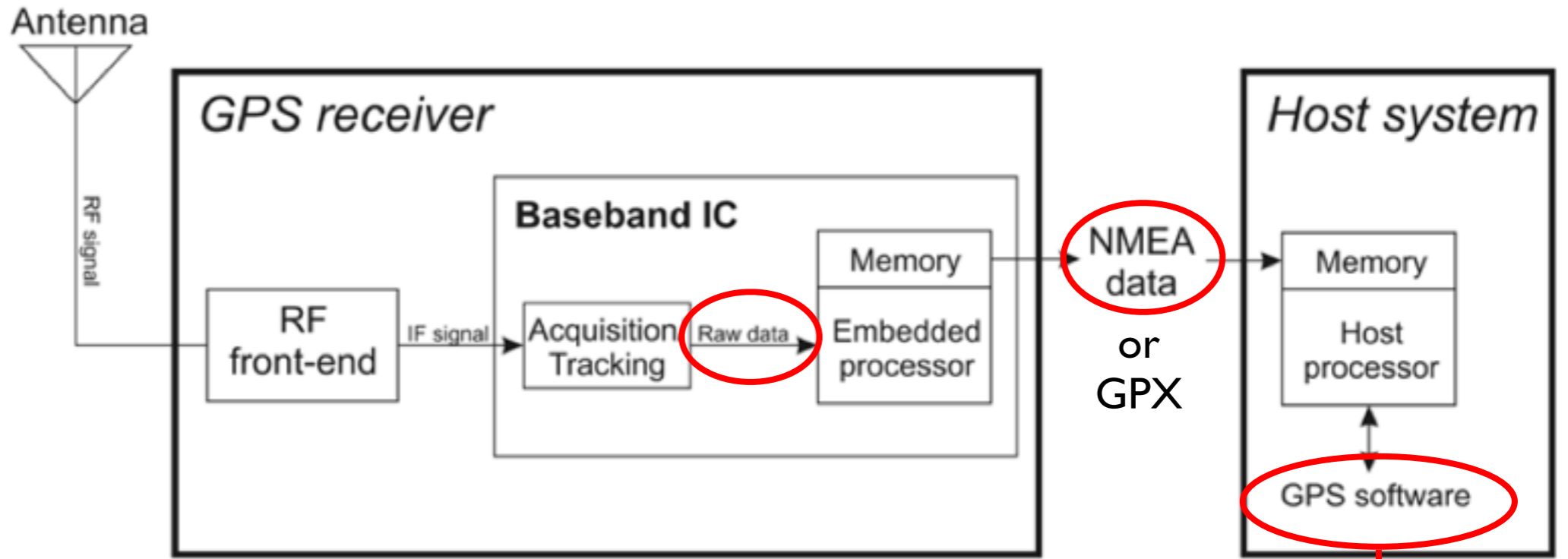
ドライブレコーダー

メーカー	製品名	対応サービス
ガーミン (GARMIN)	【GDR】 190J / 43J / 35D / 33J / 32	衛星測位サービス(L1C/A)
コムテック	HDR-201G	衛星測位サービス(L1C/A)

Processed Data vs Raw Data



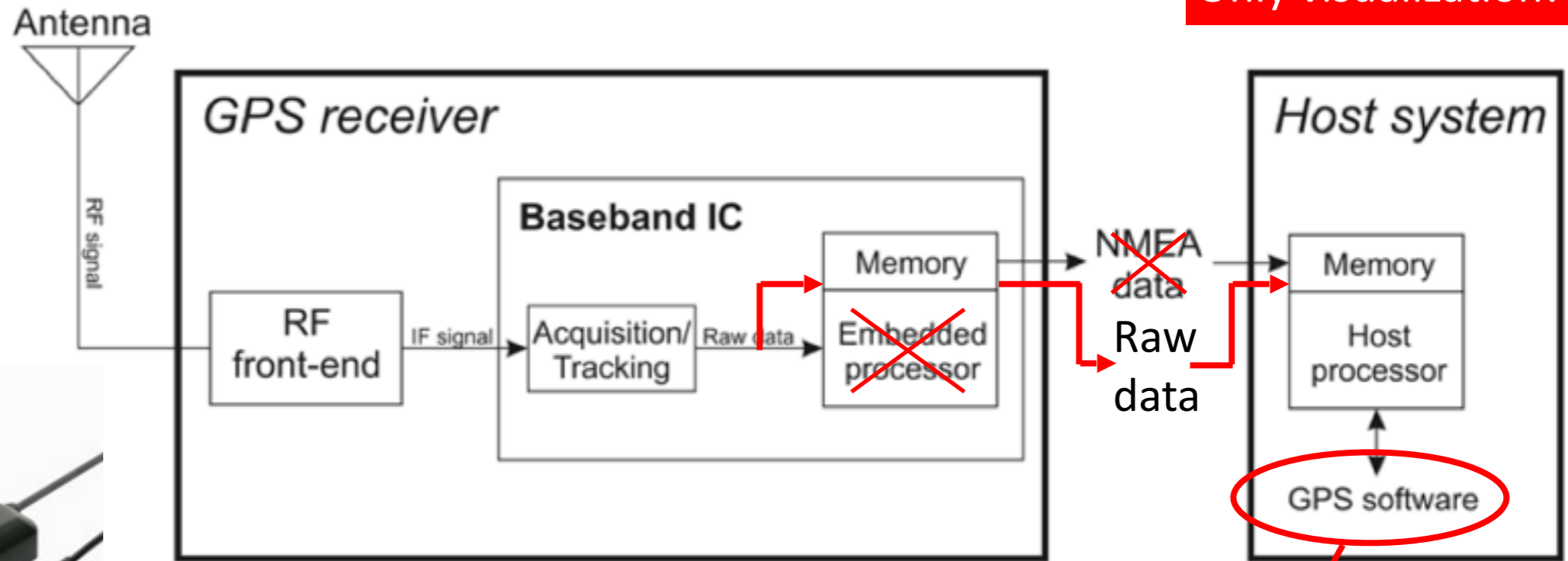
Garmin GPSmap 60CSx



Only visualization!



u-blox EVK-4



Data processing, etc.

低コストGNSS受信機 (数万円)

GPS
GLONASS
Galileo
BeiDou
QZSS

GPS



NVS

SkyTraq

u-blox 4T

u-blox 6T

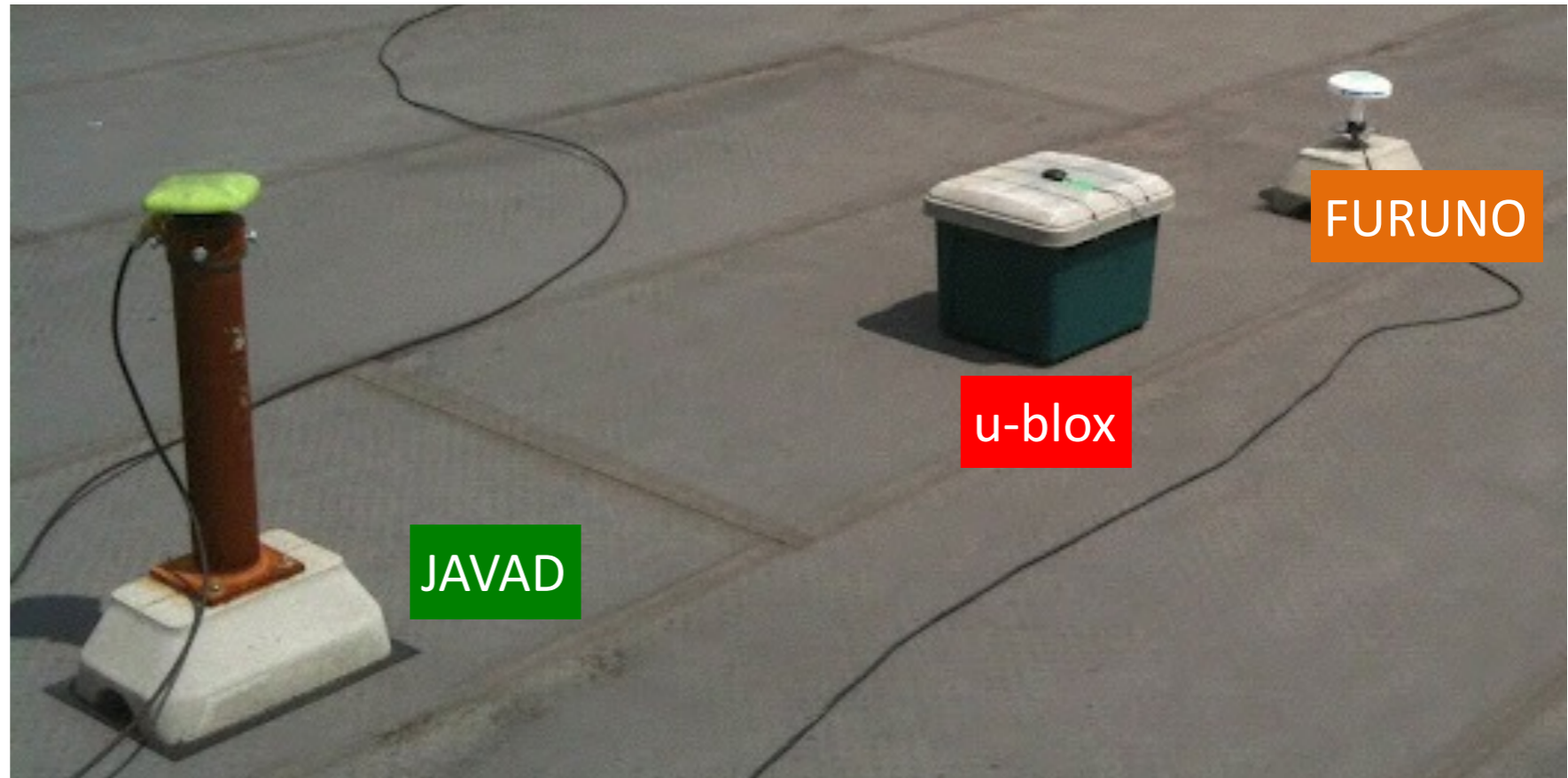
Testing low-cost GPS receivers @RISH, Kyoto univ.

Geodetic (dual-frequency) receiver: **JAVAD**

~ 25,000 USD

Mid-cost single-frequency receiver: **FURUNO**

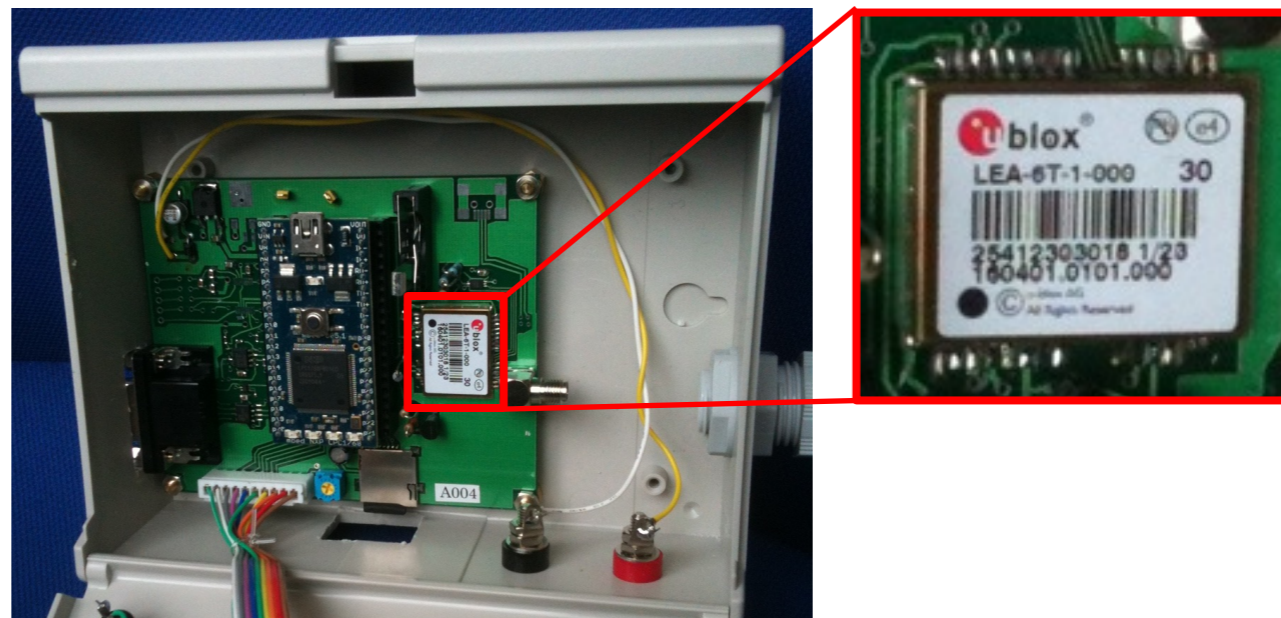
~ 6,000 USD



Low-cost single-frequency receiver: **u-blox**

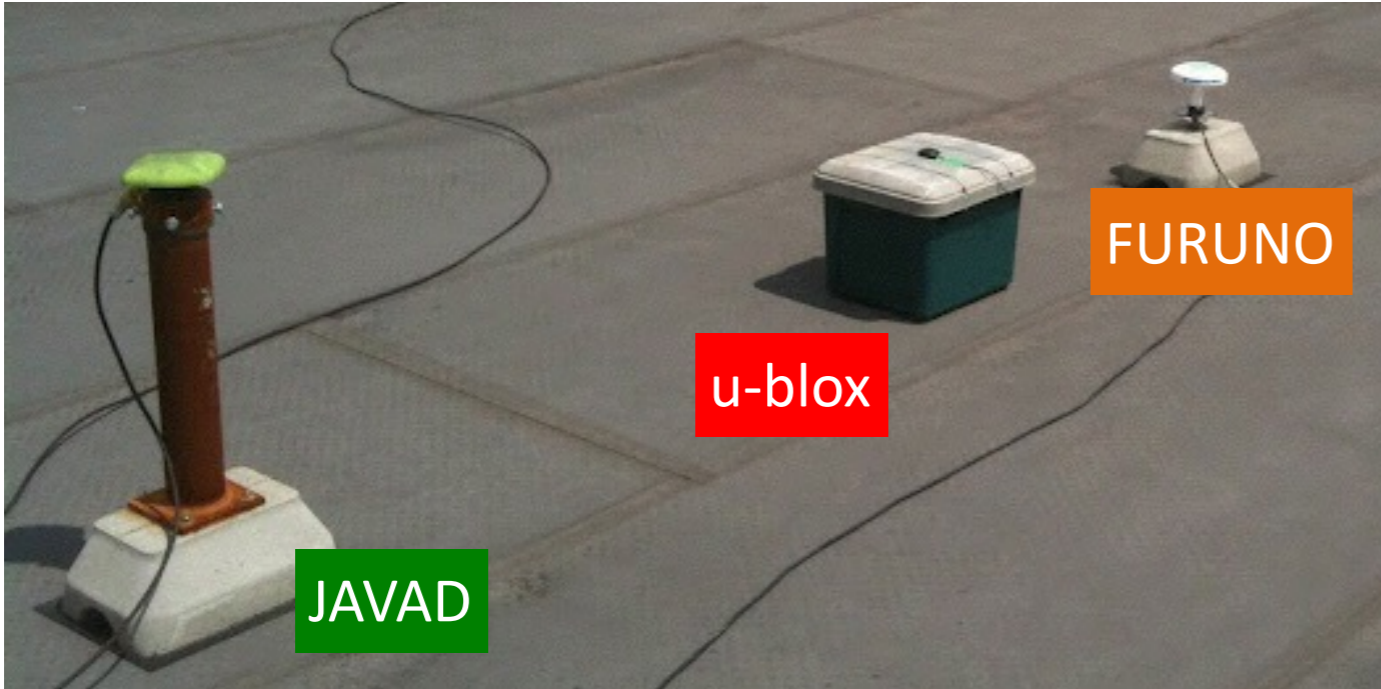
~ 600 USD

(raw data logger prototype built at Osaka City University)



Experiment by Dr. Realini

GPS receiver comparison @RISH, Kyoto univ.



JAVAD: geodetic
 FURUNO: mid-cost
 u-blox: low-cost

<i>Number of epochs: 2686</i>	JAVAD L3- JAVAD L1	JAVAD L3- FURUNO L1	JAVAD L3- u-blox L1
Mean	1.0 mm	1.1 mm	0.8 mm
St. Dev.	2.2 mm	2.3 mm	3.1 mm
RMSE	2.5 mm	2.6 mm	3.3 mm
Cost	~ 25,000 USD (dual freq.)	~ 6,000 USD (single freq.)	~ 600 USD (single freq.)

@大和川河川敷 2013/09/25



使用したGNSS機器一式

2周波型受信機 vs 低コスト受信機

@大和川河川敷 2013/09/25



低コスト受信機

2周波型受信機

GNSSデータ長期観測実験

2014/11/26～現在

@学術情報総合センター屋上



アンテナ

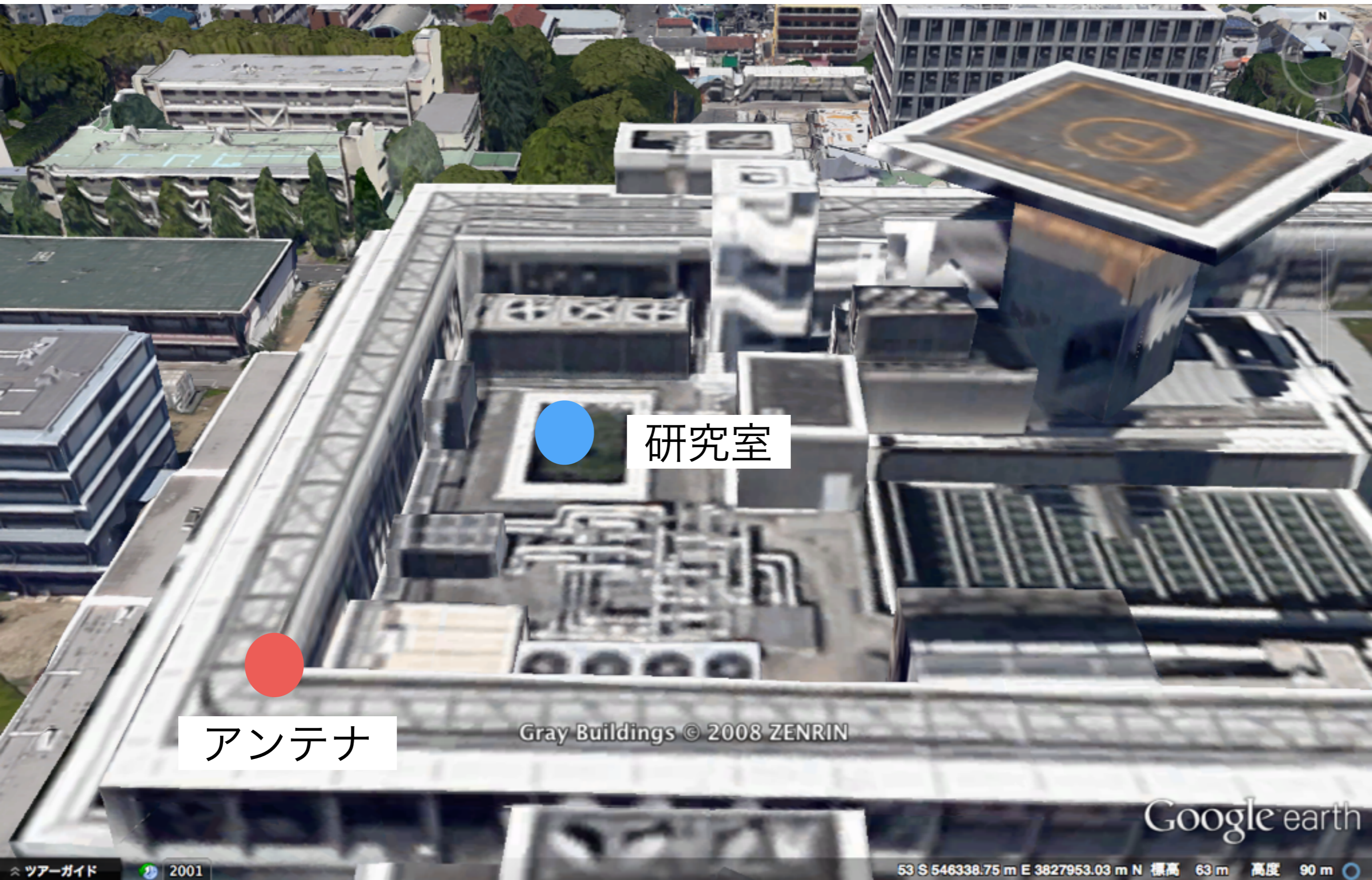
Gray Buildings © 2008 ZENRIN

Google earth

GNSSデータ長期観測実験

2014/11/26～現在

@学術情報総合センター屋上



研究室

アンテナ

Gray Buildings © 2008 ZENRIN

Google earth

受信機 ←

アンテナ



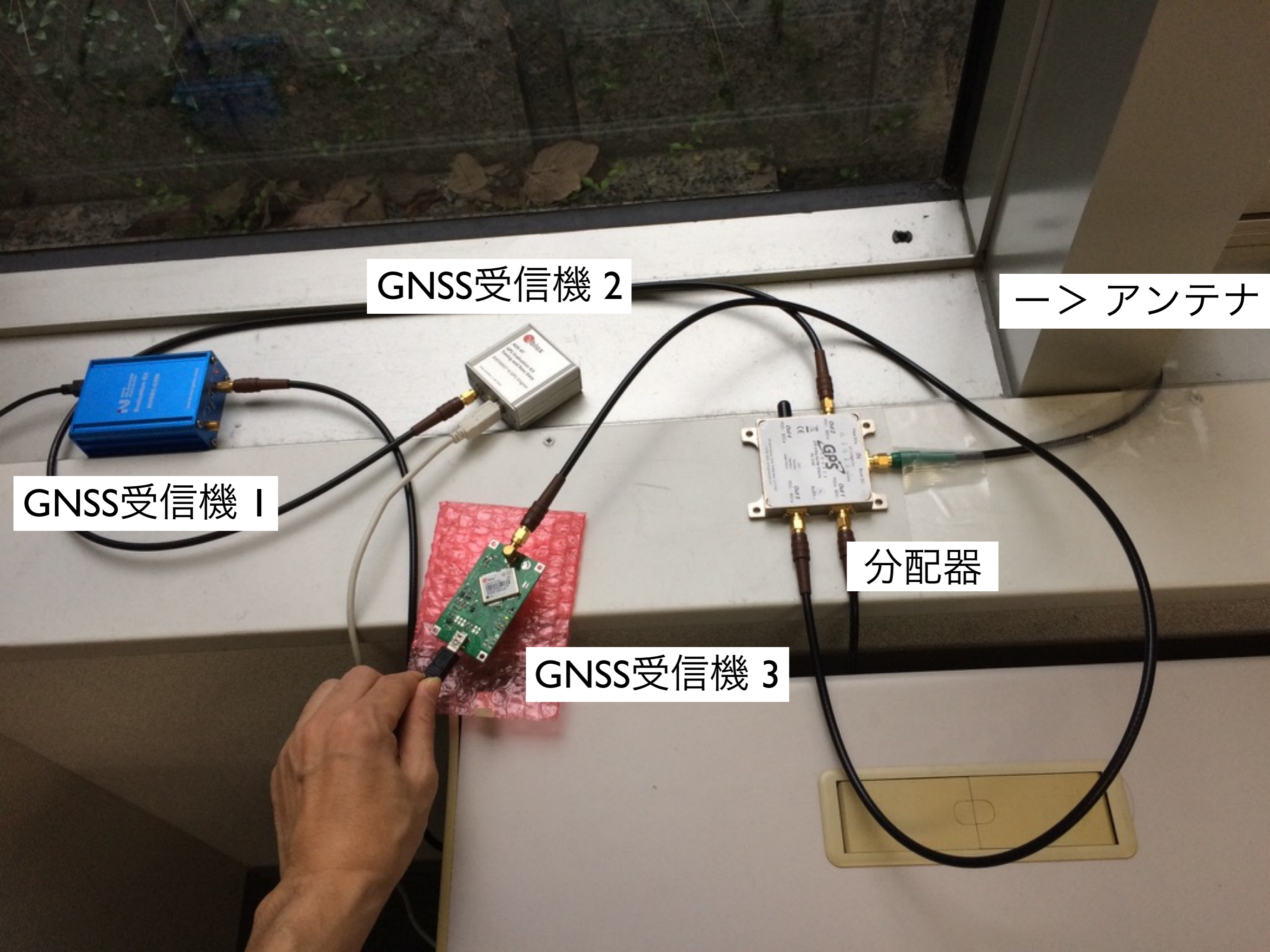
GNSS受信機 2

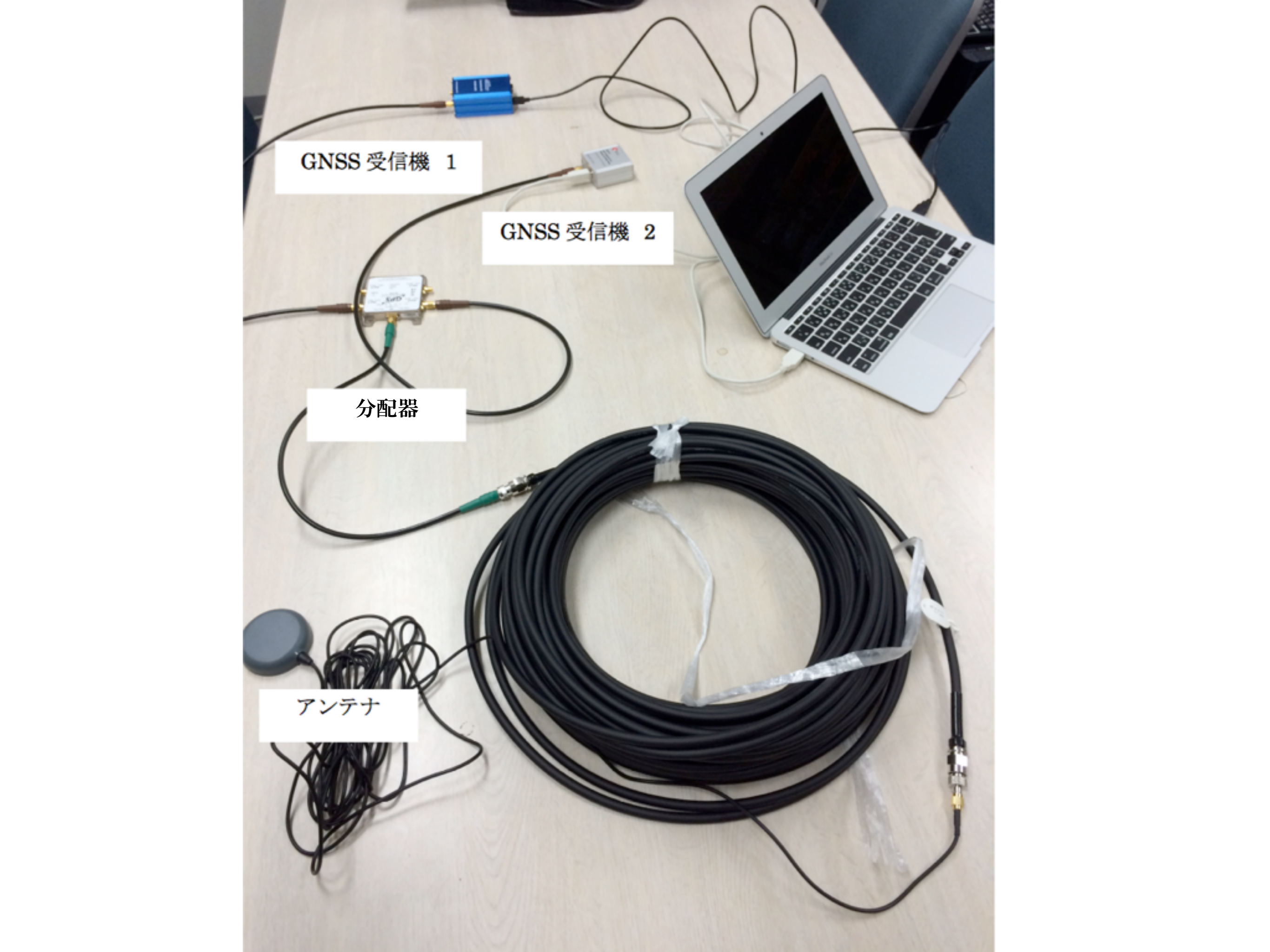
→ アンテナ

GNSS受信機 1

分配器

GNSS受信機 3



A photograph of a GNSS receiver setup on a light-colored wooden desk. A silver laptop is open on the right side. A blue GNSS receiver is connected to a white antenna module, which is in turn connected to a large coil of black coaxial cable. The cable is connected to a smaller white antenna module, which is connected to a grey antenna. A power source is connected to the blue receiver. Labels in white boxes with black text identify the components: 'GNSS 受信機 1' (GNSS Receiver 1), 'GNSS 受信機 2' (GNSS Receiver 2), '分配器' (Splitter), and 'アンテナ' (Antenna).

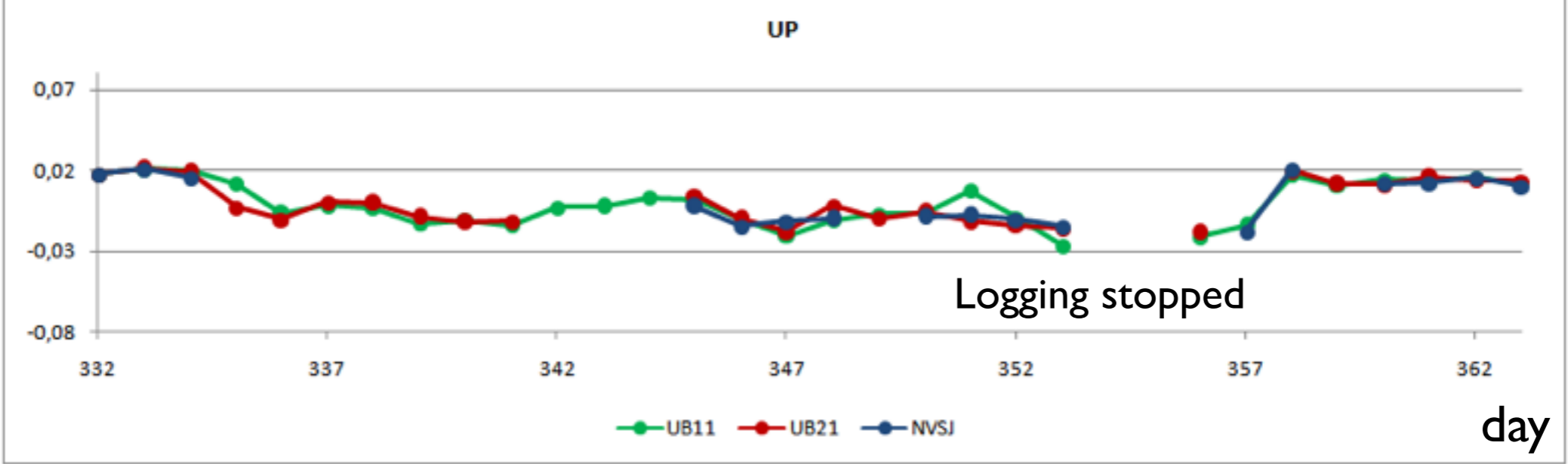
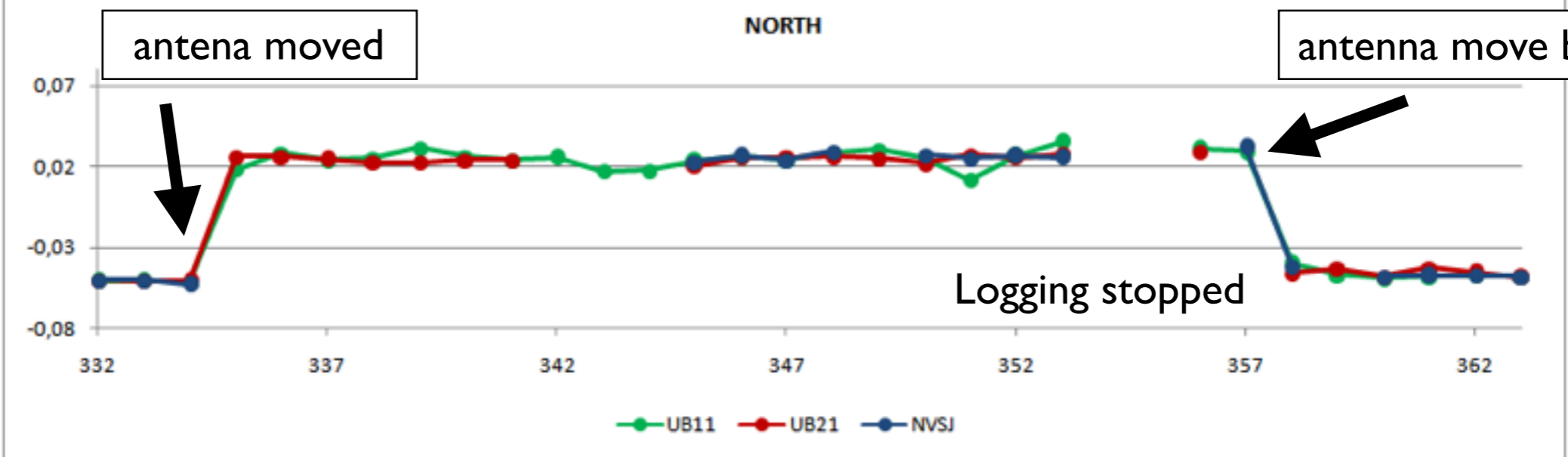
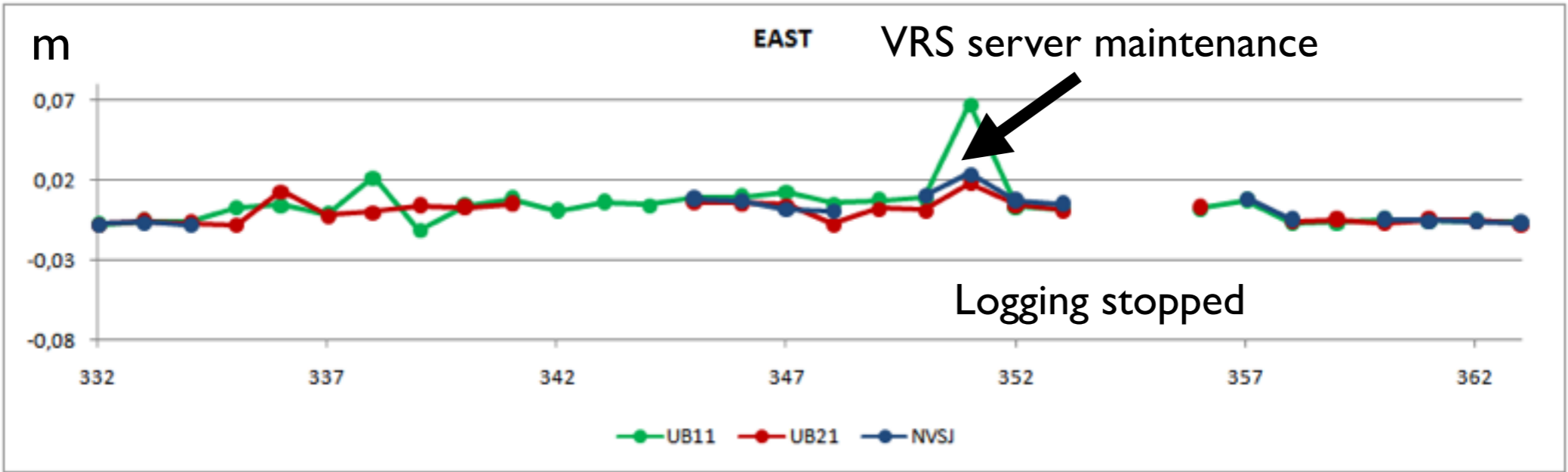
GNSS 受信機 1

GNSS 受信機 2

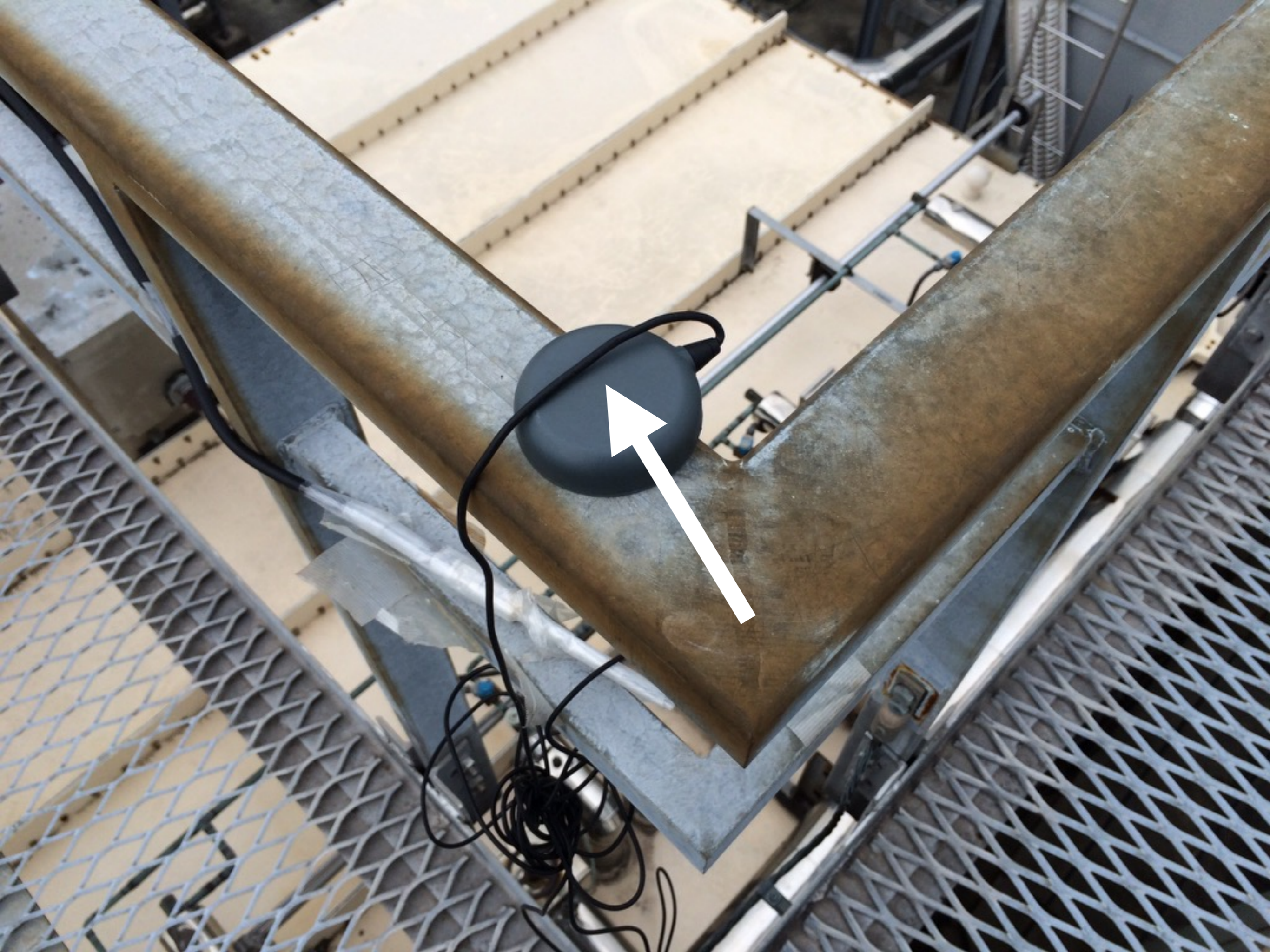
分配器

アンテナ

GPS only processing



day





<http://www.gogps-project.org>

goGPS

open source positioning software

goGPS project open source positioning software

goGPS MATLAB 0.4.2
goGPS MATLAB version 0.4.2 is available for [download](#).

Main changes introduced since v0.4.1beta:

Core:
Added an outlier detection and removal method based on a Leave-One-Out (LOO) procedure (it's applied to all Least-squares and Kalman filter solutions)

Added the use of antenna PCO/PCV to correct phase observations

Input:
Added support for NVS receivers (with GPS, GLONASS, Galileo and QZSS observations; only GPS and GLONASS navigation data); *This development was supported by the JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (Issue No. 24700105)*

Added support for reading receiver antenna phase center offset from ATX files

Added new functions that read RINEX files and synchronize observations among different receivers

Added batch processing (i.e. automated processing of multiple input RINEX files)

Output:
Automatic generation of daily RINEX files, following the standard RINEX file naming scheme, for both rover and master decoders

Added hourly file division for rover and master monitors. Increased the number of digits for counting the hours in the filename (from 2 to 3).
Added a check to avoid overwriting existing files for rover and master monitors

Added output PDF with plots of the code and phase residuals of each satellite

Knowledge partners:
POLITECNICO DI MILANO
OCU
Technology partners:
GReD
CRYMS
galileian
Supporters:
OSGeo.JP
Georepublic
JENOB

Typical functions of GNSS processing software

DATA ACQUISITION

Format decoding, data reading (RINEX, RTCM, proprietary formats, ...)

PROCESSING

Parameter estimation (position, atmospheric parameters, clocks, ...)

OUTPUT

Format encoding, data writing (text files, KML, GPX, ...)



goGPS



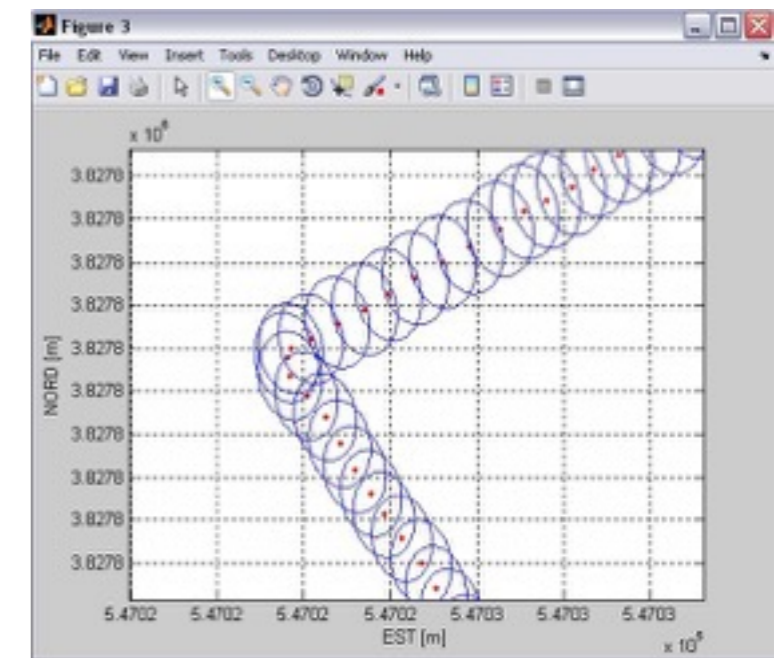
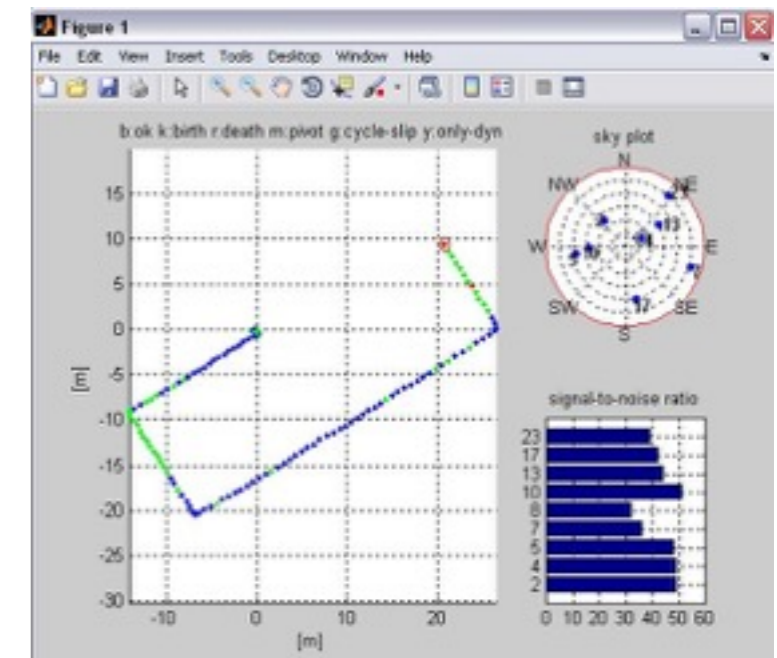
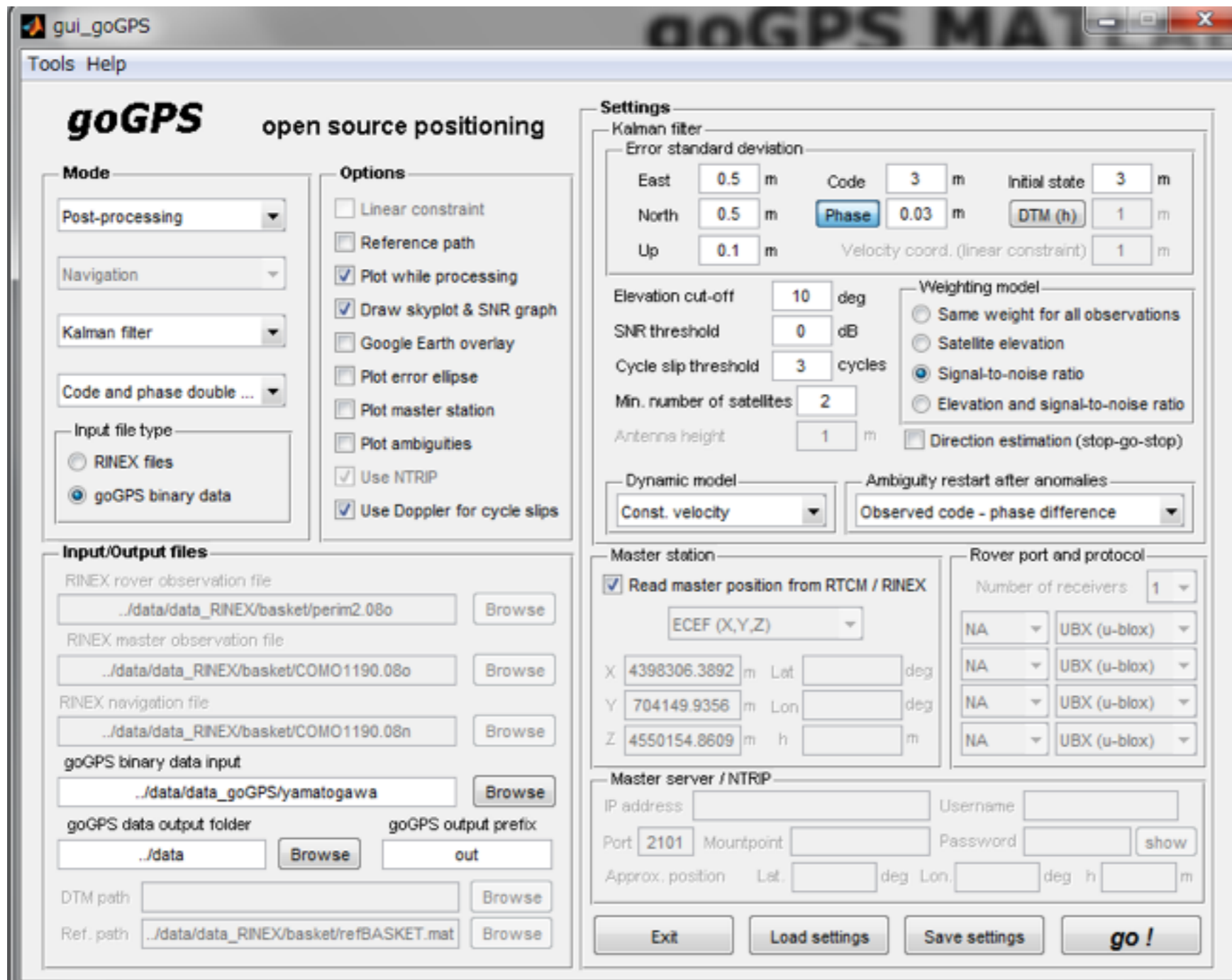
GPS observations, ephemeris, ...

Least-squares adjustment, Kalman filtering, ...

Estimated parameters, variance/covariance matrices, ...

goGPS MATLAB

- developed in MATLAB 7.6+
- GUIs available
- Real-time and post-processing
- works on both Windows and UNIX
- single-frequency (L1) positioning



goGPS Java WebUI

goGPS project open source positioning software

ZOO

Select Observation data.
[sample data](#)

Obs

yamatogawa_rovers.obs (136.68KB) - 5467.3828125KB/s

Select Navigation data.
[sample data](#)

Nav

yamatogawa_rovers.nav (9.1KB) - 9099.609375KB/s

Select Master observation data.
[sample data](#)

Master Obs

yamatogawa_master.ob... (182.17KB) - 182166.9921875KB/s

5 m
10 ft

15085238.98746, 4108426.41327

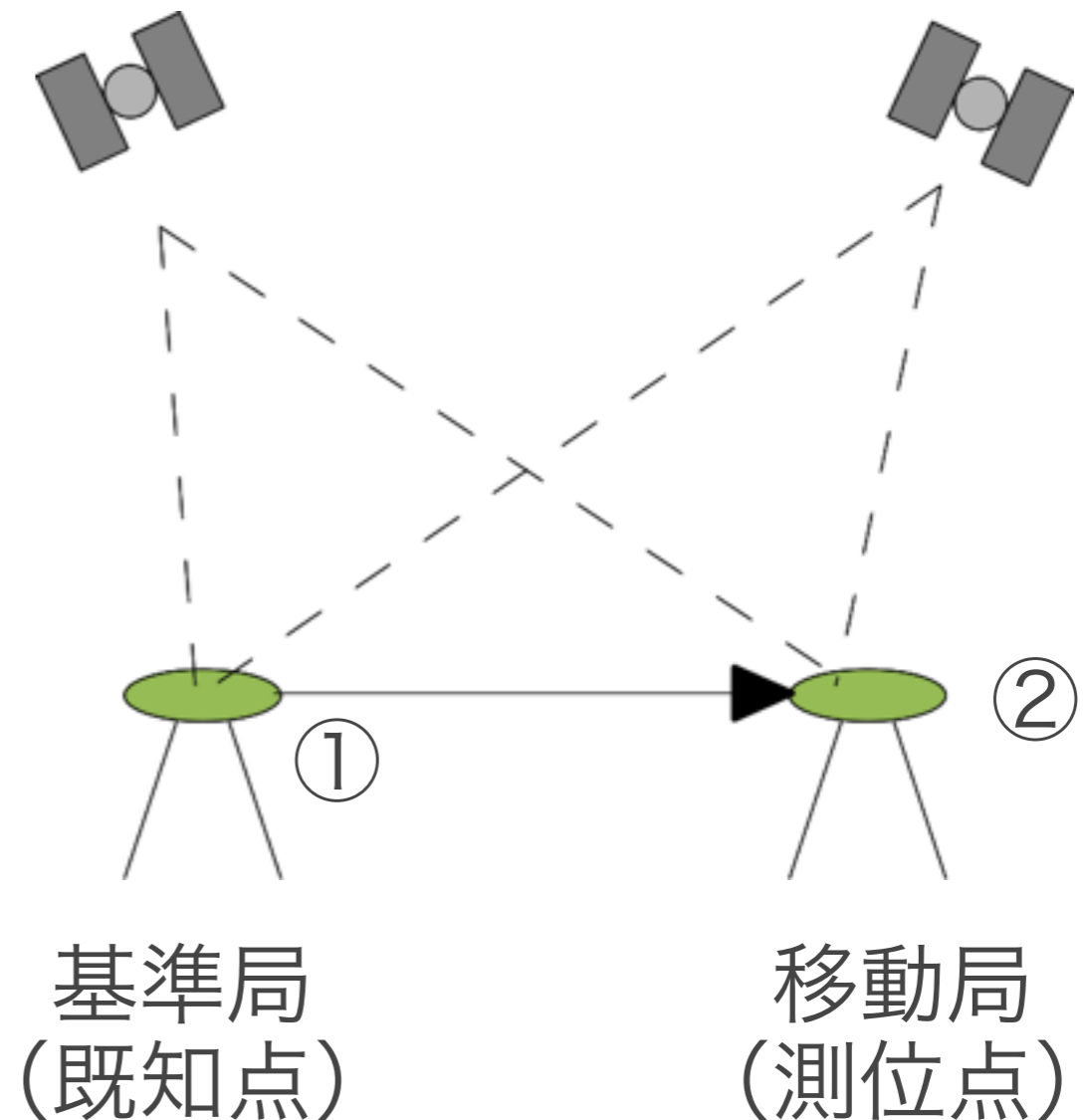
GPS 誤差要因

- ~~衛星軌道~~
- ~~衛星時計~~
- ~~電離層と対流圏遅延~~
- 受信機雑音

受信機の問題なので
相対測位や他の方法でも
除去不可

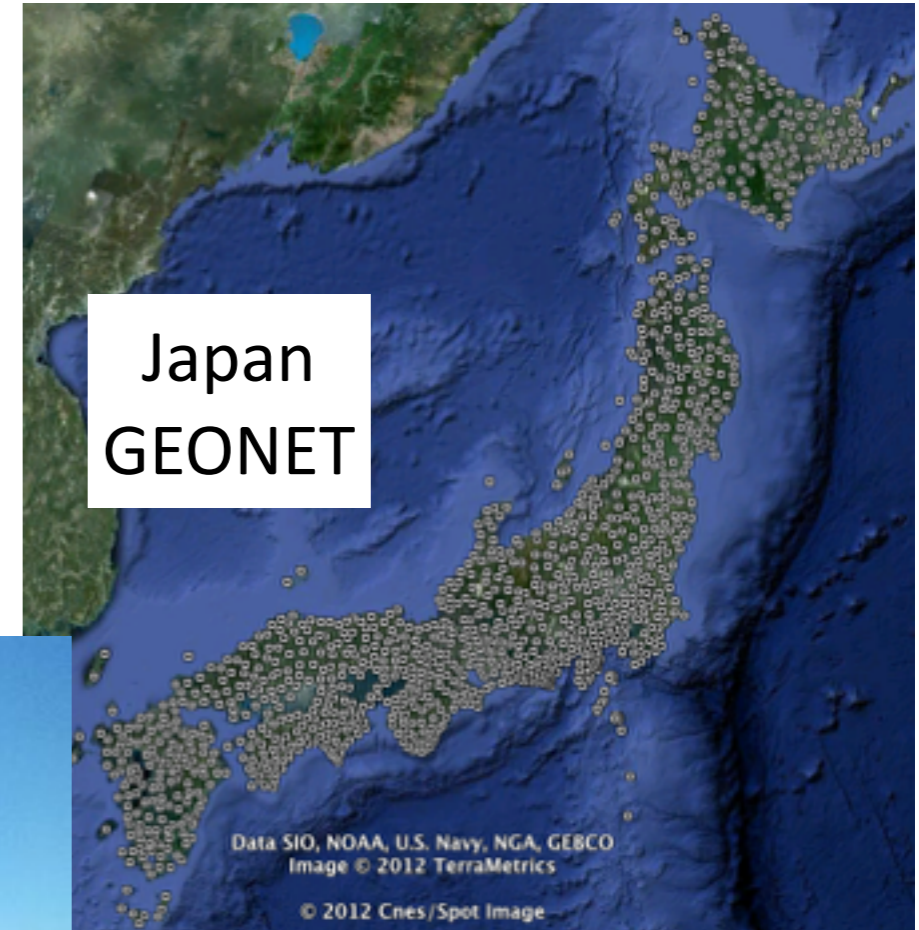
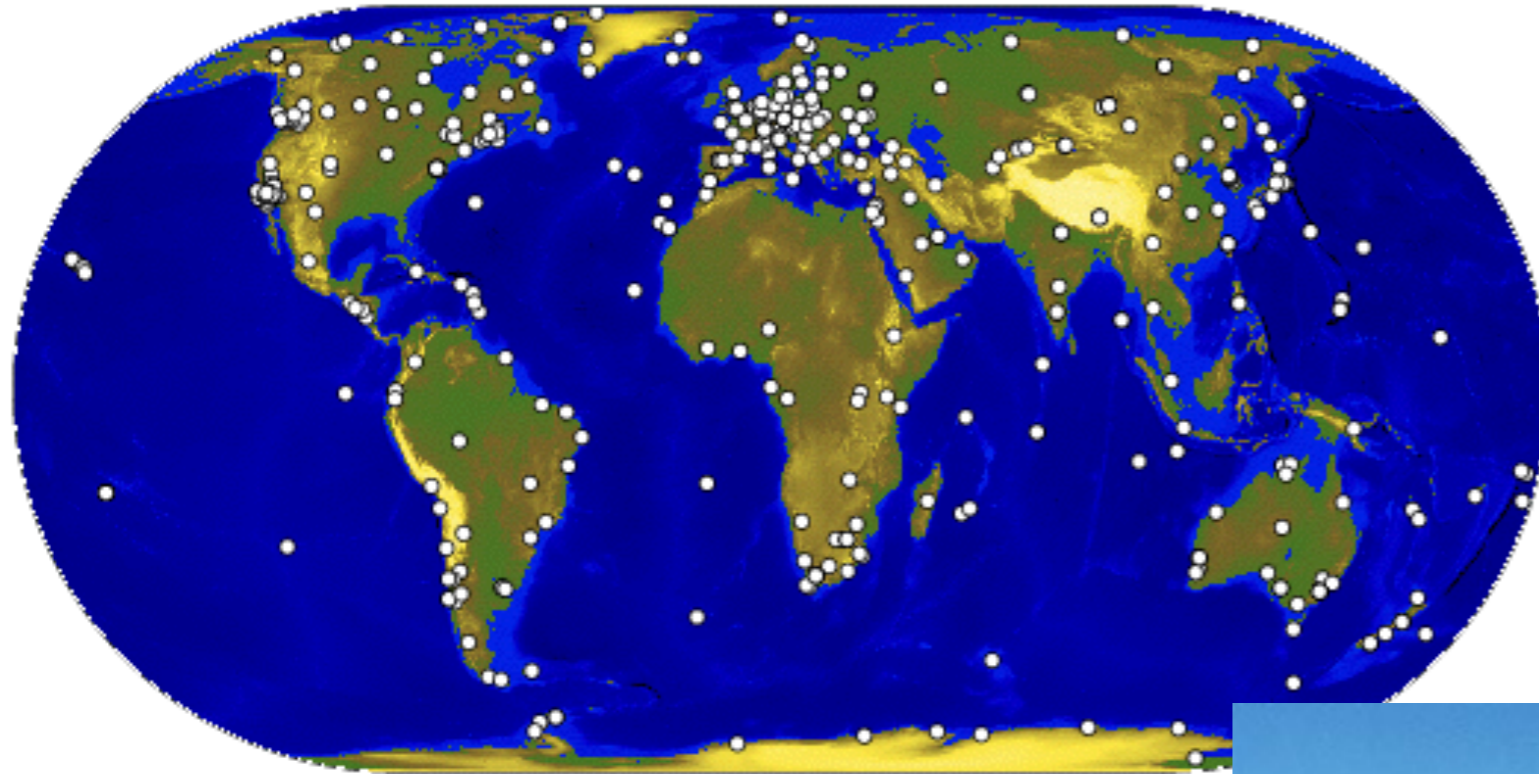
相対測位

- ① 基準局で計測した
測定誤差を移動局へ送信
- ② 移動局で誤差を補正し位置を求める



Networks of permanent GNSS stations

IGS Tracking Network



Europe EPN



電子基準点「つくば3」；茨城県つくば市



ネットワーク型GNSSとは



ジェノバの特許技術
地殻変動補正について



<検証事例>
大阪工業大学大学院様
単点観測法の基準点測量

The Power of Positioning

株式会社ジェノバは高精度測位を実現する
ネットワーク型GNSSデータを配信しています。



よくあるご質問

- 「通信困難な地域でのネットワーク型RTK法」とは？
- 震災地域でのデータサービスは利用できますか？
- ネットワーク型GNSSを使用するメリットは何ですか？
- ネットワーク型GNSS利用時に使用した電子基準点は教えてもらえるのですか？

▶ [もっと見る](#)

テクニカルガイド

- 従来の測位方式との違い
- ネットワーク型測位の仕組み
- 測量分野でのネットワーク型GNSSのメリット

▶ [もっと見る](#)

ネットワーク型GNSSサービス

→ JENOBA方式 (仮想点)

ネットワーク型GNSSサービス

→ PAS方式 (面補正)

ジェノバからのお知らせ

▶ [一覧](#)

2014年12月2日 [「平成26年\(2014年\)11月22日長野県北部地震」関連情報2 - 地震に伴う基準点測量成果の停止について -](#)

2014年12月1日 **ネットワーク型GNSSサービス
料金改定スタート**

2014年12月1日 [年末年始休業日のお知らせ \(2014-2015\)
2014年12月27日\(土\)~2015年1月4日\(日\)](#)

2014年11月25日 [「平成26年\(2014年\)11月22日長野県北部地震」関連情報1 - 地震に伴う電子基準点の変動について -](#)

2014年11月11日 [ネットワーク型GNSSサービス \(JENOBA方式\) 2014年12月1日付け 料金改定のお知らせ](#)

今後の展開

- 他の構造物（送電塔、高速道、etc.）、地すべり監視への応用
- 無人機への搭載
 - > より高精度な無人機の制御
 - > デジタル地形モデル作成処理の高速化
- GNSS気象学
 - > ゲリラ豪雨の予測

