

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析

内山庄一郎（国立研究開発法人 防災科学技術研究所）

[uchiyama@bosai.go.jp](mailto:uchiyama@bosai.go.jp)

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析

“成功は（失敗は）その時点で約束されている”

# L1-DGNSSとRTKLIBによるPPK解析：はじめに

## GNSSで観測したBaseとRoverのデータを使って、RTKLIBでは何をしているのか？

- ▶ 基線ベクトルを求めている
  - 基線ベクトル：BaseとRoverの三次元的な位置関係（距離と向き）
- ✓ Roverの座標は基線ベクトル解析の結果を利用して間接的に求めた値
  
- ▶ Roverの座標を得るまでプロセス
  1. BaseからRoverまでの基線ベクトルを求める
  2. Baseの座標を原点としてRoverの座標を求める
  3. ユーザーが設定した出力座標系に合わせて座標変換
  4. Rover座標を解析結果（.posファイル）に出力
- ✓ BaseとRoverの位置関係（基線ベクトル）は、Base座標に関わらず一定。すなわち、Base座標に誤差（位置ズレ）があれば、Roverの座標も同じ位置ズレを持った値になる
- ✓ Roverの絶対座標を得ようとする場合、Baseの絶対座標を求める必要がある
  - Baseの絶対座標：正確には、Baseのアンテナ位相中心の座標（Baseを設置した地面の座標ではない）

※各種の用語は後のページで解説

# L1-DGNSSとRTKLIBによるPPK解析：計画

## 処理フロー

1. 計画（事前作業）
2. 測量（現地作業）
3. 解析（屋内作業）

## 計画

- Base設置場所の検討
  - 開空率：物理的に空が開けていること。観測期間中の衛星が多く飛来する方角を確認する
  - GDOP（次ページ）：観測期間中の衛星配置の状況を確認する
  - ✓ GNSS Radar: <http://www.taroz.net/GNSS-Radar.html>
- Baseの絶対座標を得る方法の選択：【重要】Base座標にかかわらず基線ベクトルは一定
  1. 既知点上に設置する（Base座標を計測により求める作業は不要）
  2. 電子基準点からPPKでBase座標を求める（電子基準点をBase、ユーザーBaseをRoverとしてPPK解析）
  3. 既知点をRoverで計測し、Base座標を逆算する
  4. Baseの精密な絶対座標は不要（Base座標としてシングル解（一般的なGNSSロガーと同じ）を使用）
- 電子基準点・既知点の選択
  1. 近隣の電子基準点と基線長の確認（複数の地点を確認）
  2. 近隣の既知点と基線長の確認（複数の地点を確認。維持管理対象点または看視対象点を選択）

L1-DGNSS：L1バンド（1542 MHz前後）の搬送波を使用した相対測位

Base：基準局（固定局）

Rover：移動局

電子基準点：国土地理院が整備するGNSSを使用した基準点

既知点：国土地理院が維持管理し測量成果が公開されている基準点

基線長：BaseとRoverの直線距離

基線ベクトル：BaseとRoverの三次元的な位置関係（距離と向き）

PPK：Post processing kinematic, 後処理によってBaseとRoverの基線ベクトルを解析する処理。Roverがキネマティック（移動体）、スタティック（定位置）に関わらずPPKと呼ぶ

絶対座標：空間上で唯一無二の座標値

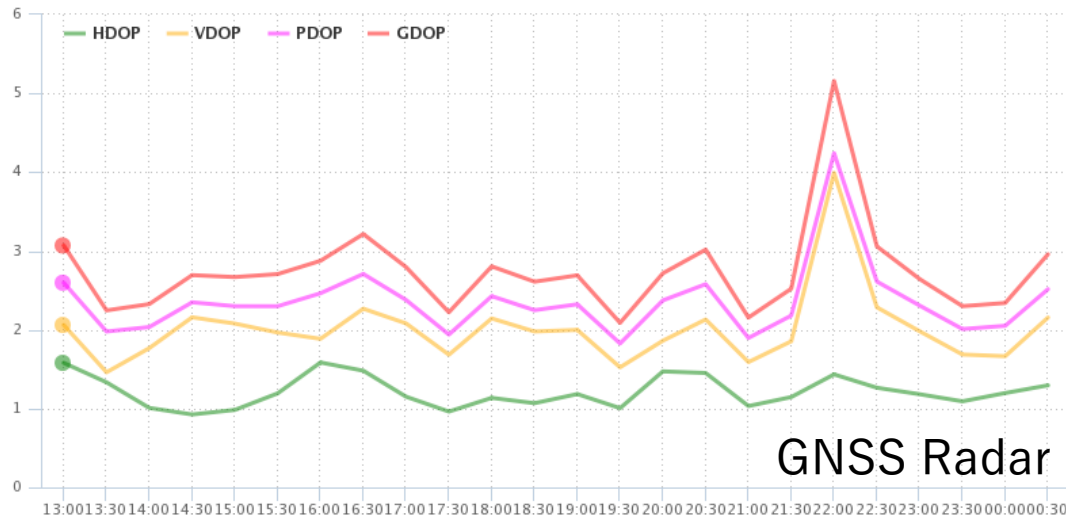
シングル解：コードシグナルを使用した単独測位解（一般的なGNSSロガーと同じ方式）



# 計画：Base設置場所の検討

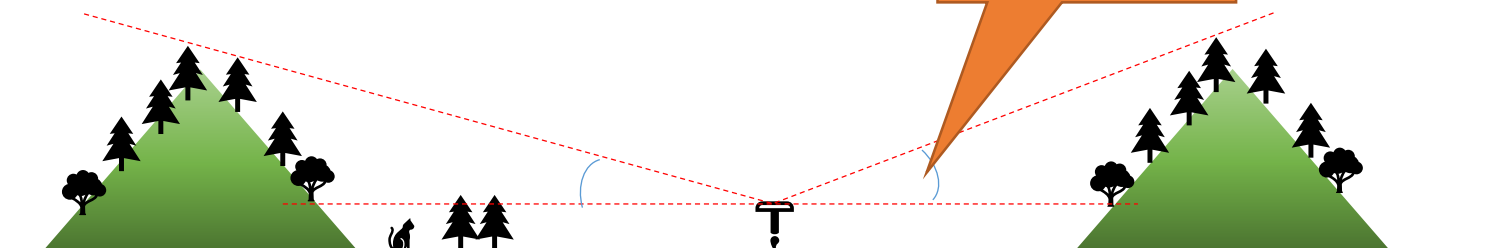
## Base設置場所の検討

- 開空率：物理的に空が開けていること。観測期間中の衛星が多く飛来する方角を確認する
- GDOP：観測期間中の衛星配置の状況を確認する
- ✓ GNSS Radar: <http://www.taroz.net/GNSS-Radar.html>



DOP: Dilution of precision (精度低下度合い)  
衛星の配置により変化する測位精度の低下度合い  
GDOP: Geometric DOP, 計画時はこの値を参照  
PDOP: Position DOP  
VDOP: Vertical DOP  
HDOP: Horizontal DOP, UAV飛行計画時に使用

遠方の地形も  
遮蔽物になる



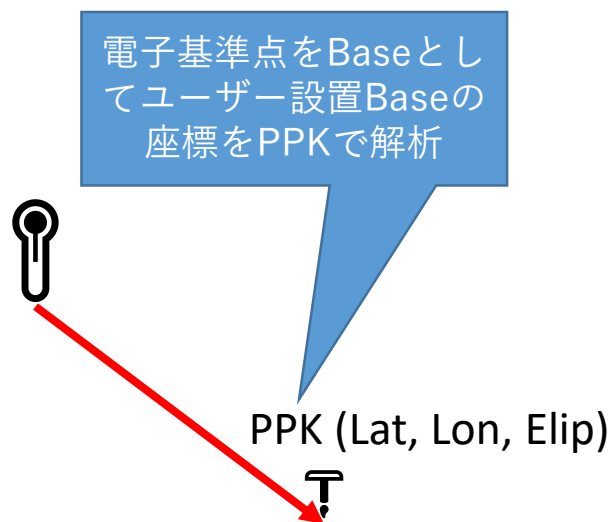
# 計画：Baseの絶対座標を得る方法

## Baseの絶対座標を得る方法の選択

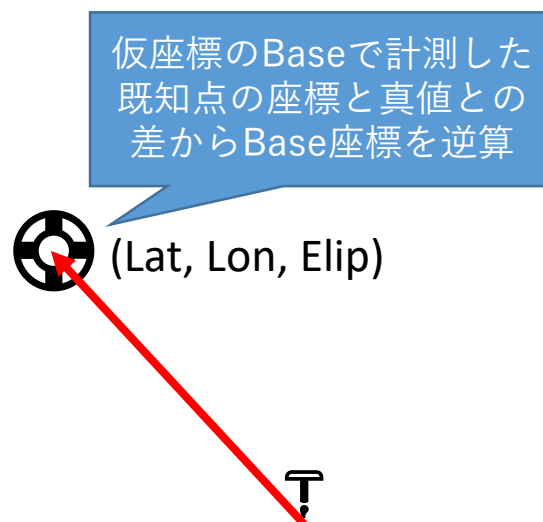
1. 既知点上に設置する（Base座標は既知）
2. 電子基準点からPPKでBase座標を求める
3. 既知点（※）をRoverで計測し、Base座標を逆算する
4. Baseの精密な絶対座標は不要（Base座標はシングル解）



1. 既知点上に設置する



2. 電子基準点からPPK



3. 既知点座標から逆算



4. 精密な座標は不要

※電子基準点は既知点として利用できない。Roverを設置したくても、既にそこには電子基準点が建っている

# 計画：電子基準点・既知点の選択

## 電子基準点・既知点の選択

1. 近隣の電子基準点と基線長の確認（複数の地点を確認）
  2. 近隣の既知点と基線長の確認（複数の地点を確認。維持管理対象点または看視対象点を選択）
- ✓ 国土地理院「基準点成果等閲覧サービス」

<https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/top.html>



項目	内容
基準点コード	TR16441428801
ICタグ(ucode)	00001800000000030BD48A46D2EF7FC1
等級種別	一等三角点
電子基準点番号	01
電子基準点観測点番号	
基準点名	札幌南端
部号	743
成果品質	1974年以前観測されている
基準点維持の分類	看視対象点
電子基準点取り付け	不明
観測区分	
ソフトウェアバージョン	不明
備考	
登録年月日	2014/04/01
成果状態	正常
20万分の1地誌番号	札幌
5万分の1地誌番号	札幌
成果区分	世界測地系(測地成果2011)
北緯	43°04'29".6573
東経	141°21'13".3896
標高(m)	14.90
平均角度極端(番号)	12
平均角度極端(X)(m)	-102380.675
平均角度極端(Y)(m)	-72987.659
真北方向角(計算値)	0°36'43".72
縮尺係数(計算値)	0.999966
縮尺係数	
縮尺	
点の記号	<input type="checkbox"/> 点の記号(作成年月日) <input checked="" type="checkbox"/> 点の記号
	<input type="checkbox"/> ログインすると閲覧できます
現況写真	<input type="checkbox"/> 現況写真 <input checked="" type="checkbox"/> 現況写真
遠景写真	<input type="checkbox"/> 遠景写真
近景写真	<input type="checkbox"/> 近景写真

- 第2条 この規程で維持管理する基準点は、次の各号のとおり分類する。
- 一 維持管理対象点 計画的に維持管理する基準点
  - 二 措置対象点 基準点又はその測量成果に異常等が生じた基準点のうち計画的に廃点（第6条第1項に規定）を進める基準点
  - 三 看視対象点 前二号のいずれにも属さない基準点

国土地理院測地部（2017）基準点維持に関する規程及び同運用基準

現地訪問の際は「点の記」と「現況写真」が頼り



## 計画：既知点は予備も含めて選択する

### 既知点は必ずしも利用できるわけではない（「点の記情報」を熟読）

- 計測できない理由は無数にある。予備地点をいくつか用意する
- ✓ 保護枠が移動し柱石が傾いていたり
- ✓ 柱石の設置状態が不安定化していたり
- ✓ 周囲に高い木や建物があったり（GNSS電波の受信障害）
- ✓ 構造物の中に取り込まれていたり（どうやって測るの・・・）
- ✓ 植生や落ち葉や土砂に深く埋積していたり（まずは掃除から・・・）
- ✓ 存在しなかったり... etc.



保護枠ずれ、柱石傾動



クラックのなかでグラグラ



フェンスと一体化

# 計画：電子基準点データの使用

## Baseの座標を電子基準点で求める場合

### 1. 電子基準点RINEXファイルを入手

- 国土地理院「電子基準点データ提供サービス」Webサイト

<http://terras.gsi.go.jp/>

- ✓ 「国土地理院共通ログイン管理システム」ユーザー登録が必須
- ✓ Webブラウザ版とFTP版のアカウントは別

### 2. 電子基準点の測量成果（座標値）を調べる

- 国土地理院「基準点成果等閲覧サービス」

<https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/top.html>

- ✓ RTKLIBの解析に必要な座標値は経緯度と楕円体高（標高ではない）

- 国土地理院「ジオイド高計算」

<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/geoid/calcgh/calcframe.html>

- ✓ 以前の資料をご覧の方へ「日々の座標値（F3）」は使用しないでください

**RINEX**：Receiver Independent Exchange Format, GNSS受信機の汎用フォーマット

標高 = 楕円体高 - ジオイド高

楕円体高：GNSSが求める高さ。任意の地点における地球の中心からの距離と、モデル化した地球の形状（楕円体）との差

Geoid（ジオイド）：海面の平均位置にもっとも近い「重力の等ポテンシャル面」。ジオイドから測った高さが標高

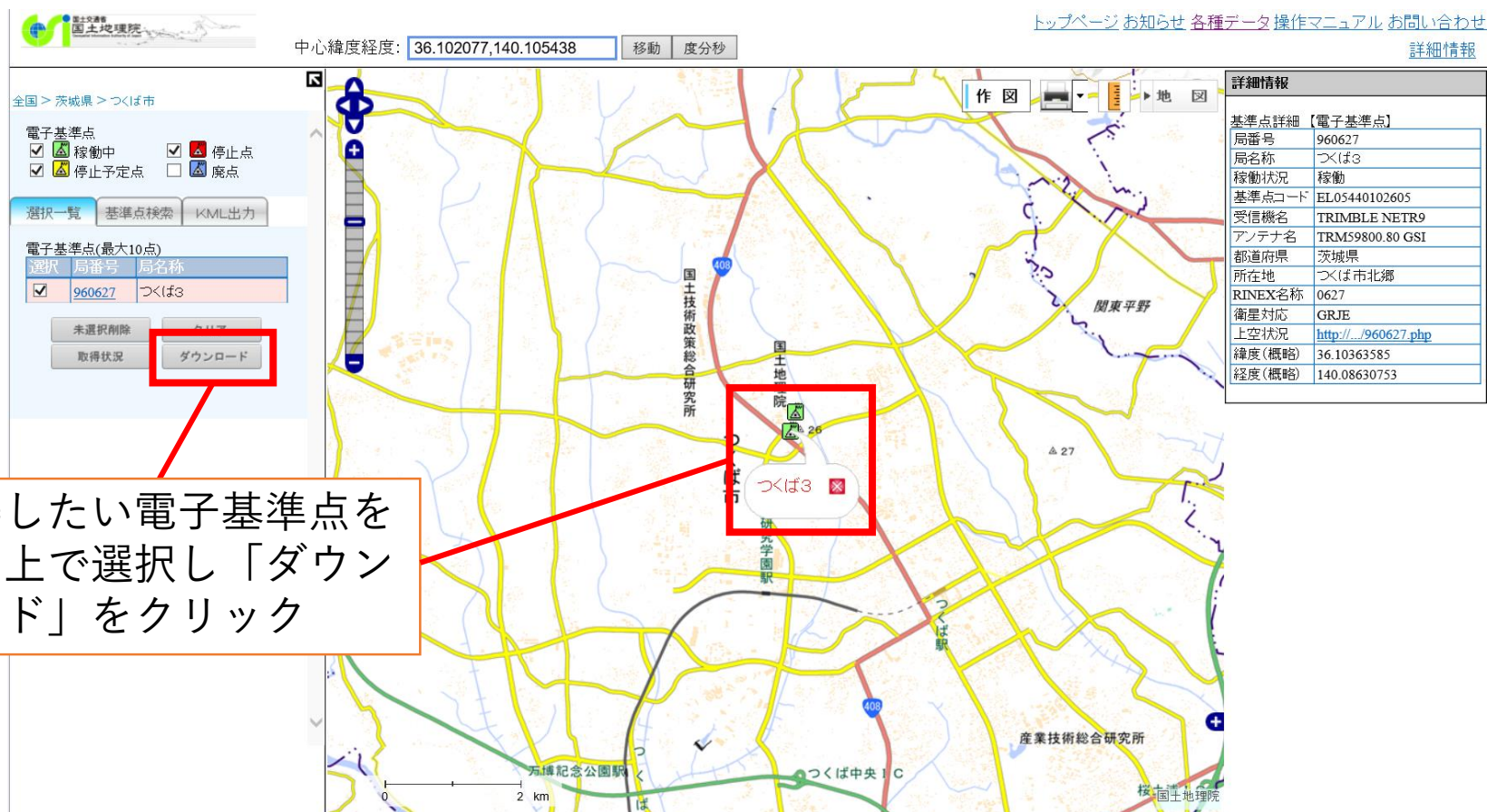


# 計画：電子基準点データの使用

## 電子基準点RINEXファイルを手入

- 国土地理院「電子基準点データ提供サービス」Webサイト

<http://terras.gsi.go.jp/>



全国 > 茨城県 > つくば市

中心緯度経度:  移動 度分秒

電子基準点

稼働中  停止点

停止予定点  廃点

選択一覧 基準点検索 KML出力

電子基準点(最大10点)

選択	局番号	局名称
<input checked="" type="checkbox"/>	960627	つくば3

未選択削除 取得状況 **ダウンロード**

詳細情報

基準点詳細【電子基準点】	
局番号	960627
局名称	つくば3
稼働状況	稼働
基準点コード	EL05440102605
受信機名	TRIMBLE NEIR9
アンテナ名	TRM59800.80 GSI
都道府県	茨城県
所在地	つくば市北郷
RINEX名称	0627
衛星対応	GRJE
上空状況	<a href="http://.../960627.php">http://.../960627.php</a>
緯度(概略)	36.10363585
経度(概略)	140.08630753

取得したい電子基準点を地図上で選択し「ダウンロード」をクリック

# 計画：電子基準点データの使用

## 電子基準点RINEXファイルを手入

- ✓ tar, gz圧縮されたままでRTKLIBで使用可能
- ✓ 「一日毎のデータ」は2日後からダウンロード可能

データダウンロード

[閉じる](#)

局番号	局名称	RINEX	受信機名	アンテナ名	所在地
020882	札幌2	0882	TRIMBLE NETR9	TRM69800.80 GSI	札幌市手稲区星置3条

衛星：GRJE  
RINEX: ver 3.02

任意時間のデータダウンロード(7日前～現在)最長1日

※7日前から現在までのデータを1時間単位で指定してダウンロードできます。1度にダウンロードできるデータの期間(開始日時から終了日時までの時間)は、最大で24時間です。

時刻種別  JUST  OUTC

開始日時 2018年 07月 27日 14時 00分 00秒

終了日時 2018年 07月 27日 14時 59分 30秒

衛星 GRJE G:GPS, R:GLONASS, J:QZSS, E:Galileo

RINEX ver ver3.02

任意時間のデータダウンロード

1日毎のデータダウンロード(～2日前)最長10日

※2010年4月1日から2日前までのデータを1日毎にダウンロードできます。1度にダウンロードできるデータの期間(開始日時から終了日時までの日数)は、最大で10日間です。

時刻種別 UTC

開始日 2018年 07月 25日

終了日 2018年 07月 25日

衛星 G G:GPS, R:GLONASS, J:QZSS, E:Galileo

RINEX ver ver2.11

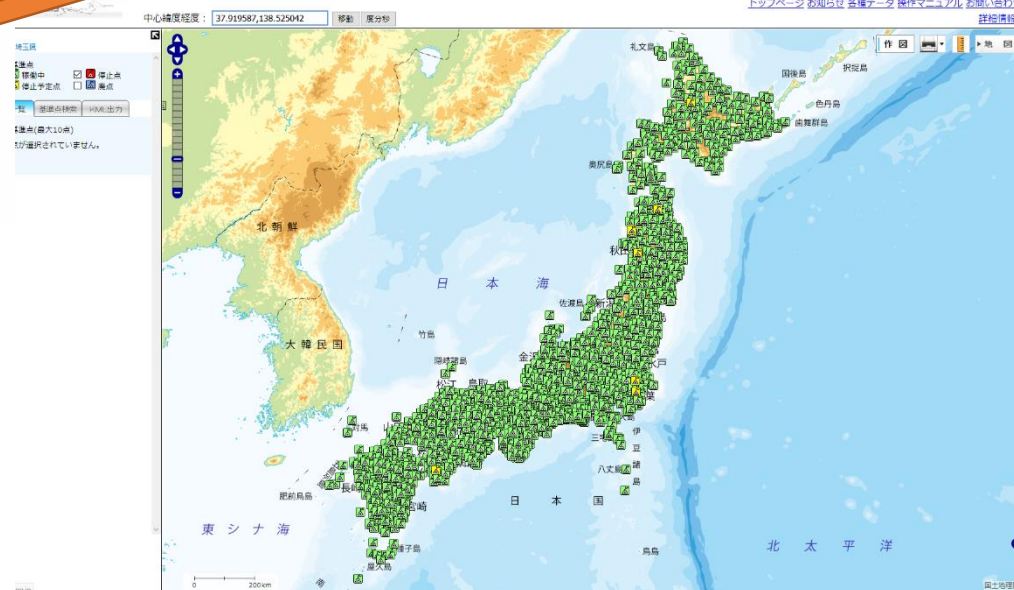
1日毎のデータダウンロード

衛星「GRJE」について

(1) Galileo及びL5を提供する電子基準点一覧に掲載されている電子基準点については、

「GPS+GLONASS+QZSS+Galileo」の観測データがダウンロードできます。


(2) 上記(1)以外の電子基準点については、「GPS+GLONASS+QZSS」の観測データがダウンロードできます。



# 計画：電子基準点データの使用


## 電子基準点データ（3種）のダウンロード

GRJE, RINEX ver 3.02

 0882208g.18N.tar.gz


2018/07/27 16:40

gz Archive

 0882208g.18o.gz

2018/07/27 16:40

gz Archive

 GSI\_PCV.TXT

2018/07/27 16:43

TXT ファイル

1. RINEX観測ファイル（拡張子に”o”が含まれるファイル）
2. RINEX衛星軌道情報ファイル（拡張子に”N”が含まれるファイル）
3. PCV補正データ（GSI\_PCV.TXT）

任意時間のデータダウンロード

衛星 GRJE  
RINEX ver 3.02

局番号	観測日時(JST)	観測ファイル	衛星軌道情報ファイル
020882	2018/07/27 15:00:00 ~ 2018/07/27 15:59:30	<a href="#">ダウンロード</a>	<a href="#">ダウンロード</a>

[データダウンロードページへ戻る](#)

一括ダウンロード

**電子基準点観測データのファイル名について**  
電子基準点の観測データファイルの名称は、定められた規則に従ってつけられます。ファイルはgzip形式で圧縮されています。

ssssddd?.yyo : 観測データファイル  
ssssddd?.yyn : 衛星軌道情報ファイル  
ssss : 観測局の番号もしくは名称を表します。  
ddd : 観測した日の通算日を表します。  
yy : 観測した日の西暦下2桁を表します。2009年では09となります。  
? : [セッション番号の詳細はこちら](#)をご覧ください。

観測局の番号は、以下の約束に従って割り当てられています。

電子基準点	ssssの数字	
92年度設置点	「2???」	例 92110 「つくば1」 → 2110
93年度設置点	「3???」	例 93002 「八郷」 → 3002
94年度以降設置点	「0???」	例 940050 「新潟」 → 0050
	「1???」	例 950228 「世田谷」 → 0228
		例 960603 「母島」 → 0603
		例 021062 「福岡」 → 1062

各種データ

[トップページ](#)

[観測データ取得画面へ](#)

日々の座標値[F3]

対流圏遅延量推定値[F3]

PCV補正データ

精密層


保守作業リスト

上空状況

リアルタイム通信状況

基準点コード一覧

電子基準点停止状況

 : ログイン不要のページ




Copyright. Geospatial Information Authority of Japan. ALL RIGHTS RESERVED.



## 計画：電子基準点データの使用

### PCV補正データ（GSI\_PCV.TXT）のダウンロード

✓ RTKLIBでは、拡張子を「.pcv」に変更しておくともスムーズに認識される

 0882208g.18N.tar.gz	2018/07/27 16:40	gz Archive	12 KB
 0882208g.18o.gz	2018/07/27 16:40	gz Archive	180 KB
 GSI_PCV.pcv	2018/07/27 16:43	PCV ファイル	3 KB

PCV: Phase Center Variation, アンテナ位相中心変動

受信するGNSS電波の入射角度によって、アンテナの位相中心（電氣的なアンテナ位置）が変化する。これをアンテナの種類ごとに補正する情報が「PCV補正データ」

✓ 国土地理院の電子基準点を使用する場合は、必ず使用する

# 計画：電子基準点データの使用

## 電子基準点の測量成果（座標値）を調べる

➤ 国土地理院「基準点成果等閲覧サービス」

<https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/top.html>

✓ RTKLIBの解析に必要な座標値は経緯度と楕円体高（標高ではない）

### 基準点成果等閲覧サービス

国土地理院が設置した各種基準点の成果及び測量法第42条に定められた、測量成果の写しについて閲覧することができます。

**お知らせ**

- 本サービスにおける情報の誤りについて（平成30年6月22日更新）  
基準点基本情報内の「『電子基準点取り付け』情報において、「取り付いている」「取り付いていない」に誤りがない」といった誤りが存在、修正に向け作業を行っております。三角点が電子基準点に取り付けは、[問い合わせフォーム](#)よりお問い合わせください。
- 本サービスPC版サイトをリニューアルしました（平成30年2月14日）

**マニュアルのダウンロードについて**

[ユーザーマニュアル\(タブレット版\)](#) [pdf: 0.56MB]  
[ユーザーマニュアル\(PC版\)](#) [pdf: 2.21MB]

**公共測量等にご利用いただく場合**

- 本サービスより出力された基本基準点成果表は、公共測量を実施する際にご利用可能です。  
公共測量で使用する際は、謄抄本交付された成果表を求められる測量計画機関に御確認の上、御利用ください。なお、重点点の緯度、経度には御利用できません。
- 測量成果・測量記録の謄抄本交付について。（過去の基本基準点成果・点の記も謄本交付できません）
- 測量標及び測量成果の無断使用は測量法により罰せられることがあります。使用承認を得て使用してください。
- 基準点が設置されている土地に立ち入る際は、土地の所有者（管理者）の承諾を得てください。

**基準点検索入口**

クリックで右画面へ

電子基準点のアイコンをクリックして詳細情報を表示

緯度・経度  
楕円体高

**基準点詳細【基本基準点】**

測量標及び測量成果の無断使用は測量法により罰せられることがあります。使用承認を得て使用して下さい。

**基準点基本情報** [解説](#)

基準点コード	EL06441628703	取り置き
ICタグ(ucode)		
等級種別	電子基準点	
冠字番号		
電子基準点観測点番号	020876	
基準点名	石狩	
番号		
成果品質	1974年以降観測されている	
基準点維持の分類	維持管理対象点	
電子基準点取り付け		
標高区分	水準測量による	
ワンストップサービスの可否		

**基準点成果情報** [解説](#)

登録年月日	成果状態
2014/04/01	正常

20万分の1地勢図名 札幌  
5万分の1地形図名 石狩  
（地形図番号）札幌市（地形図番号）011

北緯	43°14'25".9125
東経	141°20'45".4397
標高(m)	8.854
楕円体高	40.59

平面直角座標(X)(m) -83975.375  
平面直角座標(Y)(m) -73421.316  
真北方向角(計算値) 0°37'09".67  
縮尺係数(計算値) 0.999966  
作業内容 標高改算  
作業年月日 20140320

● 点の記情報(作成年月日) [解説](#)  
● ログインすると閲覧できます

**測量写真** [解説](#)

遠景写真  
近景写真

細かい話：水準測量で求めた標高とジオイドモデルで求めた標高とは異なる。RTKLIBでは標高はジオイドモデルから求める。このため、ジオイドモデルで電子基準点の位置のジオイド高を求め、標高とそのジオイド高の和から楕円体高を求めるほうが合理的かもしれない

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析

“誤差が大きい？高精度だよ。ポールの傾きがよく出ている”

# その機材、電波法に適合していますか？：測定の前に…

## 電波法への準拠

- 技術基準適合証明等のマーク（技適マーク）がない機器を使用すると違法になるおそれがある

- 例) 海外製（個人輸入、業者が少量を輸入）
- 例) 最新の機器（技適申請が完了していないかもしれない）



現在の技適マーク（H7.4～）

旧タイプの技適マーク  
(S62.10～)

- 総務省「電波利用ホームページ」の解説を参照

[http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/monitoring/summary/qa/giteki\\_mark/](http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/monitoring/summary/qa/giteki_mark/)

- 同ページにて技術基準適合証明等を受けた機器の検索が可能

<http://www.tele.soumu.go.jp/giteki/SearchServlet?pageID=js01>

- EMLID社のReach RS, Reach RTKは国内使用可能

✓ 基盤がIntel Edison（工事設計認証番号007-AC0199）のため、そのまま利用可能（↑）

- 同社の新製品Reach RS+, Reach M+は技適申請が完了していない

✓ 国内で使用すると違法。一年以下の懲役又は百万円以下の罰金（電波法第110条）



# L1-DGNSSとRTKLIBによるPPK解析：測量

## 測量（現地作業）

### 1. 取得する測位衛星システムと頻度の設定

- 標準は、GPS, GLONASS, QZSS, 5 Hz
- ✓ 移動体の場合、頻度を上げると小さい動きも再現できる（かも）
  - 10 m/sで飛行するUAVの場合、5 Hzでは2mごとの計測となる
- ✓ 取得する測位衛星システムの種類や頻度を上げるとデータ量が増える
- ✓ BeiDou（中国）は日本上空の飛来数が多いが、電子基準点で取得していない

### 2. Baseの設置、観測開始

- Baseの最短観測時間の目安：電子基準点からの基線長（km）×10分（最短45分）
- ✓ 通常、Rover観測作業中に十分に長い時間の観測が可能

### 3. 測量地点にRoverを設置し、観測を開始

- Roverの観測時間：3分～
- ✓ 開空率が低い、基線長が長い、薄い植生の遮蔽、GDOPが高い場合は時間を延長

### 4. Baseの観測終了



# 測量：Base/Roverの設置と観測の一般的な注意事項

## 注意事項

- Base
  - ✓ 開空率が高く、揺れず、出入りがない場所
- Rover
  - ✓ バイポッドは風向きに正対して設置する
  - ✓ 風が強い日はポールに手を添えておく

Baseの設置状況



Rover観測の様子



Roverの設置状況

# 測量：Roverの設置と観測

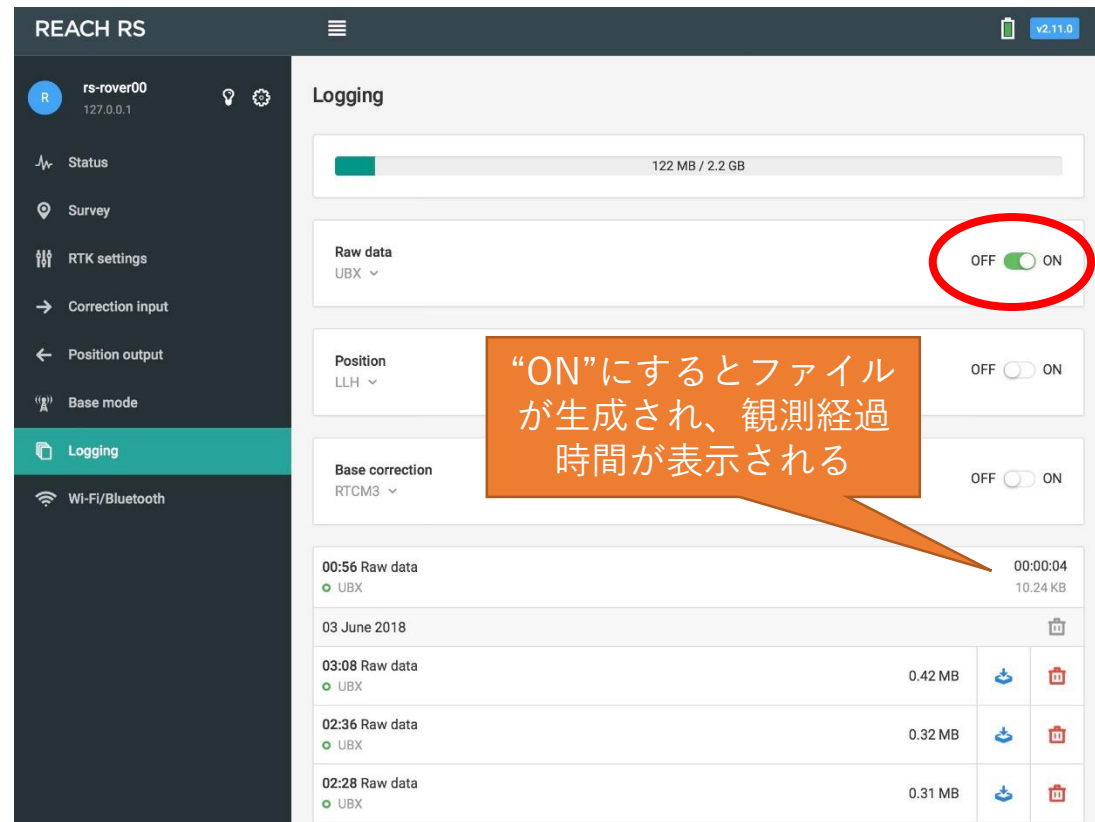
## Roverの設置と観測（EMLID Reach RS/RTKでの操作例）

1. 測量地点にRoverを設置（可能な限り、厳密に垂直に）  
2 mのポールが20分（0.33度）傾いた場合、水平方向に1.3 cmの誤差が生じる
  - ✓ 精密かつキャリブレーションされたポールを使用する
  - ✓ 設置は慎重、丁寧に！！
  - ✓ 気泡管を斜め上から見ているようではNG
2. 観測を開始（Raw dataを”on”）
  - ✓ 風による転倒、揺れを警戒
3. 写真撮影
  - 計測環境の遠景写真（複数）
  - 計測地点の近接写真
4. 観測を終了（Raw dataを”off”）

Static測量なら少しの揺れは問題ないか？  
経験的にも、感覚的にも、計測中の揺れは厳禁。地球の公転速度は約30 km/s, 自転速度は約472 m/s, 衛星の速度は約3.9 km/s (GPS)であり、人間にとっては「動かない地点」であっても、宇宙スケールでは超高速で移動し、衛星との位置関係も相対的かつ連続的に変化している。



Rover計測環境の撮影



REACH RS v2.11.0

rs-rover00 127.0.0.1

Status

Survey

RTK settings

Correction input

Position output

Base mode

Logging

Wi-Fi/Bluetooth

Logging

122 MB / 2.2 GB

Raw data  
UBX  OFF  ON

Position  
LLH  OFF  ON

Base correction  
RTCM3  OFF  ON

00:56 Raw data  
UBX 00:00:04  
10.24 KB

03 June 2018

03:08 Raw data 0.42 MB

02:36 Raw data 0.32 MB

02:28 Raw data 0.31 MB

“ON”にするとファイルが生成され、観測経過時間が表示される

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析

“Fixしない？衛星を減らしてみたら？”



# L1-DGNSSとRTKLIBによるPPK解析：解析

## 解析（屋内作業）

1. Base/Rover受信機からUBXファイルをダウンロード
  - ✓ uBlox社の受信機を使用した場合
2. RTKCONVでUBXをRINEXファイルに変換
  - ✓ 電子基準点に合わせてRINEX ver.3.02を使用
3. RTKPOSTでRoverの座標を求める
  - 定位置を計測した場合の測位モードはStaticを使用
  - ✓ Baseの座標が未知の場合：Roverの座標は相対値
  - ✓ Baseの座標が既知の場合：Roverの座標は絶対値
4. Roverの座標を得る
  - 解析結果（.pos）のテキストファイルを参照
  - ✓ Fix解の場合：Ratio = 999.9となった最終行の座標
  - ✓ Float解の場合：Ratioが最も高い行の座標

## 事前準備（ダウンロードする）

1. RTKLIB（RTKCONVやRTKPOSTなどの解析ソフトウェア群。最新版はrtklib 2.4.2 p13）

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

2. GSIGEO2011（ジオイドモデル）

✓ 最新版は「日本のジオイド2011」（Ver.2），ただしRTKLIB 2.4.2では日本全域に対応していない（正常動作しない地域がある）

[http://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geoid\\_model.html](http://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geoid_model.html)

UBX：GNSS受信機メーカーのu-Blox社のファイル形式

RTKCONV：GNSSファイル形式変換ソフトウェア

RTKPOST：基線長ベクトル解析ソフトウェア

相対座標：シングル解のBase座標を使用し、PPKで求めたRoverの座標。BaseとRoverの位置関係（基線ベクトル）は変わらないので、Rover同士の位置関係も変わらない。また、後日Base座標が正確に求めれば、Rover位置の絶対位置を得ることも可能

測位モード：定位置を計測する場合はStatic、移動体を計測する場合はKinematicを使用する。コードシグナルを使用した単独測位の場合はSingleを使用する

Fix解：ARの確度が高い（3以上）場合のRoverの座標値

Float解：ARの確度が十分には高くない（3未満）場合のRoverの座標値。ただし、コード測位よりは精度が良い

AR：Ambiguity resolution, 衛星とアンテナの距離の正確さ

## 用語：解析の前に…

測位衛星システムの3文字（1文字）略号：GPS (G), GLO(R), GAL(E), QZS(J), SBS(S), BDS(C), IRN(I)

電波が通過する層：Ionosphere（電離層）, Troposphere（対流圏）。層の状態により伝搬遅延（誤差）が生じる

エポック・サイクル：取得する測位衛星システムのデータの単位（頻度と同じ）

サイクルスリップ：電波遮蔽等によりGNSS信号が瞬間的に途切れること。解析がリセットされ、精度が低下する

RTKLaunch：RTKLIBソフトウェア群のランチャー

RTKCONV：GNSS観測データのファイル形式変換ソフトウェア

RTKPLOT：GNSS観測データの図化ソフトウェア。obsファイル、posファイルのいずれも図化できる

RTKPOST：GNSS観測データの後処理ソフトウェア

.obs：GNSS観測データ

.nav：エフェメリス（放送暦、概略の衛星軌道情報、ナビゲーションファイルとも）

精密暦：解析により求められた高精度な衛星軌道情報。PPKの解析精度も向上するが公開まで約12日間かかる

.pos：測位解（解析結果）データ

.sbs：SBAS衛星の観測データ情報、あまり使用しない

ECEF：Earth Centered Earth Fixed, 地心地球固定座標系

Lat/Lon：経度・緯度座標。RTKLIBでは、十進（dd.ddddddddd）、度分秒（dd mm ss）のどちらの単位も利用可能

EL Mask：高度マスク。地表を0度、天頂を90度として、解析に使用しない低高度側の閾値。

SNR Mask：信号強度マスク。解析に使用しないノイズレベルの信号を排除する閾値

SNR: Signal noise ratio, 信号とノイズの比。値が大きいほど信号強度が強い（ノイズが少ない）

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析：事前準備

# 事前準備：RTKLIBのダウンロード

## RTKLIBのダウンロード

- 最新版のソースコード

<https://github.com/tomojitakasu>

- ✓ ソースコードを読むとマニュアルにない機能の意味がわかる（時もある）
- ✓ 現在はgithubで最新版の開発・公開が行われているもよう

- 最新版のバイナリ（開発者ではない人はこちら）

[https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB\\_bin](https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB_bin)

- WindowsのGUIで使用するならバイナリ（exeファイル）を使用する
- ✓ binフォルダ全体をダウンロード

## 事前準備：RTKLIBの動作確認

### RTKLIBが動かない場合

講習会などでよくある現象

- Executeをクリックしても処理ができない、エラー終了する
  - 「管理者として実行」する
  
- 処理は開始されるが、ファイルが出力されない
  - ダウンロードするバージョンを変えてみる
  
- どうしても処理ができない（正しく動かない）
  - 正常動作している人のバイナリファイルのコピーをもらう

# 事前準備：GSIGEO2011のダウンロード

## GSIGEO2011（ジオイドモデル）のダウンロード

- 最新版「日本のジオイド2011」（Ver.2）
  - ✓ RTKLIB 2.4.2は最新のジオイドモデルに対応していない（正常動作しない地域がある）  
[http://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geoid\\_model.html](http://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/geoid_model.html)
- 国土地理院「ジオイド高計算」
  - RTKLIBでは楕円体高で計算し、このWebサイトでジオイドを求めてもよい  
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/geoid/calcgh/calcframe.html>

# 事前準備：GSIGEO2011のダウンロード

## GSIGEO2011（ジオイドモデル）のダウンロード

国土地理院「基盤地図情報ダウンロードサービス」

<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>

- 使用するファイル：gsigeo2011\_ver2.asc
- ✓ RTKLIB 2.4.2は最新のジオイドモデルに対応していない（正常動作しない地域がある）



基盤地図情報 ダウンロードサービス

ログイン 基盤地図情報サイト 地理院ホーム

ダウンロード データの説明 利用者登録 各種資料 更新情報 お知らせ 利用規約 使い方 FAQ お問い合わせ

### ジオイド・モデル「日本のジオイド2011」(Ver.2)の提供

「日本のジオイド2011 (Ver.2)」は、「世界測地系(日本測地系2011)」における座標値で示された任意の位置でのジオイド高を求めるためのジオイド・モデルファイルです。

▼ASCII形式 ▼XML形式 (OPGIS準拠) ▼GML形式

#### ASCII形式のデータのダウンロード

**gsigeo2011\_ver2\_asc.zip [1,348KB] ※ダウンロードの際にはログインが必要です**

※平成28年4月1日に公開した「日本のジオイド2011」(Ver.2)について、平成28年4月4日の差し替え前にダウンロードしたファイルを使用した際に、一部の解析ソフトにおいて不具合が発生することが確認されました。当該期間(4月1日から4日)にダウンロードされた方は、お手数ですが再度ダウンロードをお願いします。4月5日以降にダウンロードされたファイルは問題ありません。なお、現在お使いのファイルで出力された結果が正しいかどうかにつきましては、「[ジオイド高計算](#)」ページで計算されるジオイド値が使用ソフトで出力された値と同じになるかどうかをご確認頂けます。ご迷惑をおかけし申し訳ございません。ご不明な点がございましたら[こちら](#)までご連絡下さい。

パッケージ内のファイル名	ファイルの説明
gsigeo2011_ver2.asc	ジオイド・モデルファイル
gsigeome_asc.exe	ジオイド高内挿計算プログラム (Windows用)
gsigeome_asc.for	ジオイド高内挿計算プログラム (ほかのプラットフォーム用)
asc取扱説明書.pdf	ジオイド高内挿計算プログラムの使用方法などの記載
input.dat	ジオイド高内挿計算プログラムへの入力データファイル例

<https://fgd.gsi.go.jp/download/help.html>

# RTKLIBによる解析

1. 計画

2. 測量

3. 解析：観測データのダウンロード

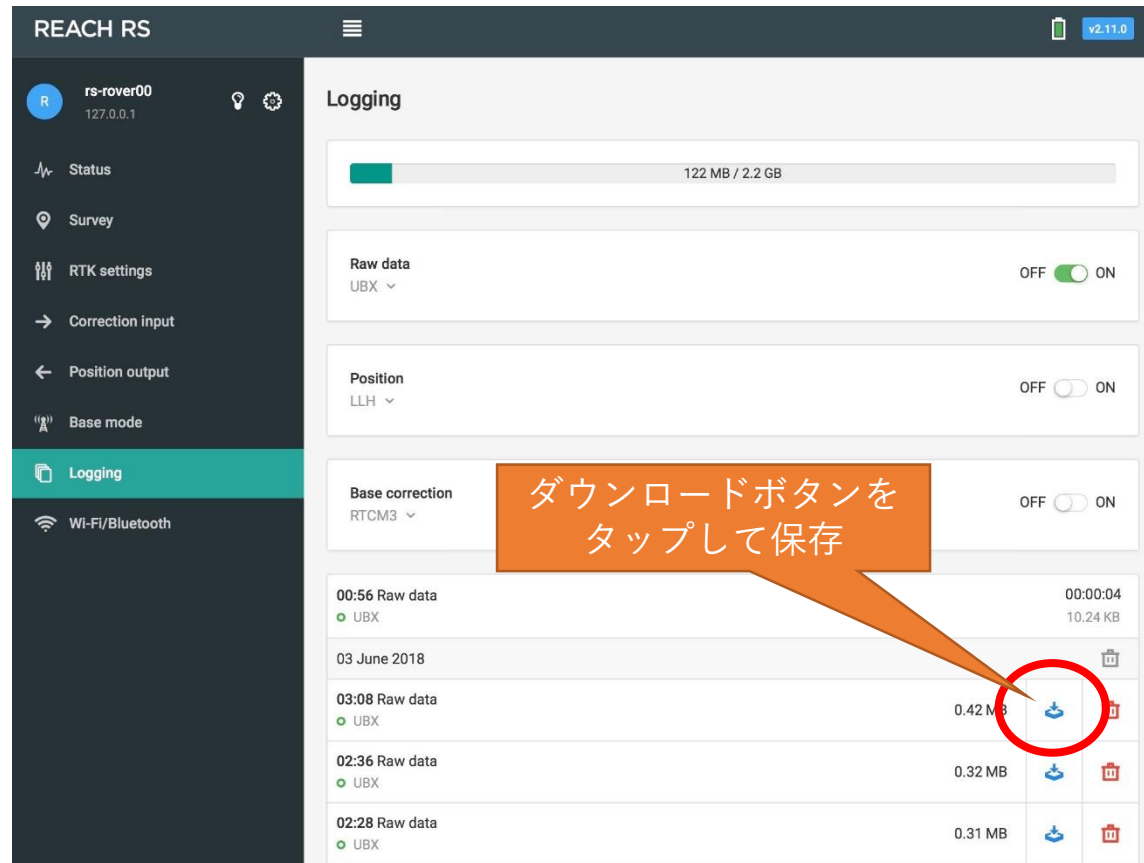
“観測データが無い？…現地で確（以下略）”



# Base/Rover受信機から観測データをダウンロード

## 観測データ（UBXファイル）のダウンロード

- EMLID Reach RS / Reach RTKの例
- 受信機にWi-Fi接続し、観測データをダウンロード



REACH RS

rs-rover00  
127.0.0.1

Status

Survey

RTK settings

Correction input

Position output

Base mode

Logging

Wi-Fi/Bluetooth

Logging

122 MB / 2.2 GB

Raw data  
UBX  OFF  ON

Position  
LLH  OFF  ON

Base correction  
RTCM3  OFF  ON

00:56 Raw data  
UBX 00:00:04  
10.24 KB

03 June 2018

03:08 Raw data  
UBX 0.42 MB 00:00:04

02:36 Raw data  
UBX 0.32 MB 00:00:04

02:28 Raw data  
UBX 0.31 MB 00:00:04

ダウンロードボタンを  
タップして保存

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析：RINEX変換

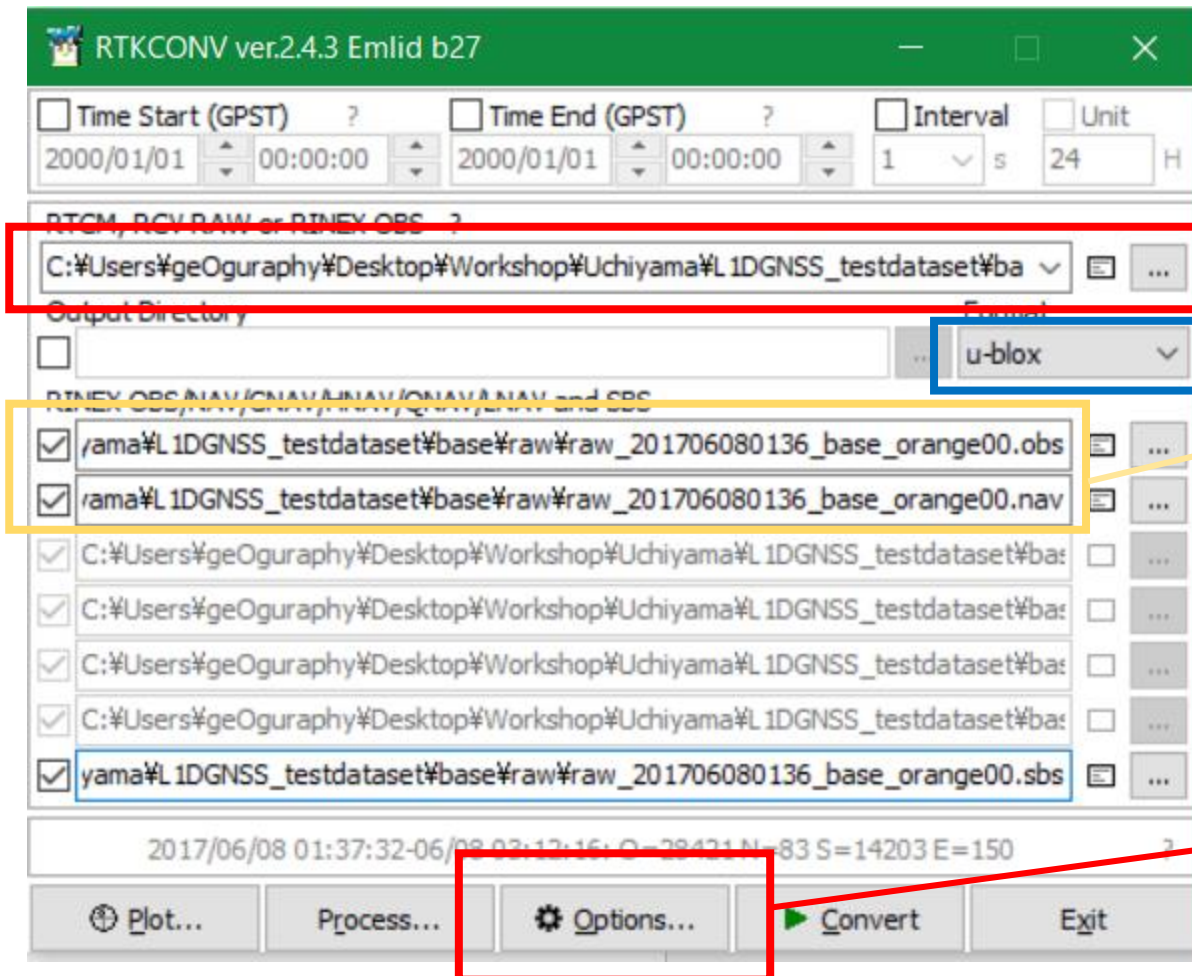
# RTKCONVでUBXをRINEXファイルに変換

## RTKCONVで観測データをRINEXファイルに変換

- ✓ 電子基準点に合わせてRINEX ver.3.02を使用
- ✓ RTKLIBの解析ではRINEX形式のデータを使用する
- Reach RS / Reach RTKではu-blox社のネイティブファイル（.ubx）形式で保存される
- RTKCONVは各社のネイティブファイルをRINEXに変換するツール
  - ✓ 一部のメーカーの観測データは変換できない（ファイル仕様が公開されていない）
- ✓ 変換元ファイル名にアスタリスク「\*」を使用すると、連続しているが分割されて生成された複数ファイルを一つのRINEXファイルに変換可能
- ✓ 開始・終了の年月日時分秒を指定すると、その期間のRINEXファイルを出力することもできる（動作が軽くなる）

# RTKCONVでUBXをRINEXファイルに変換

## RTKCONV (RTKLIB/bin/rtkconv.exe)



Reachからダウンロードした観測データ  
(.ubxファイル)

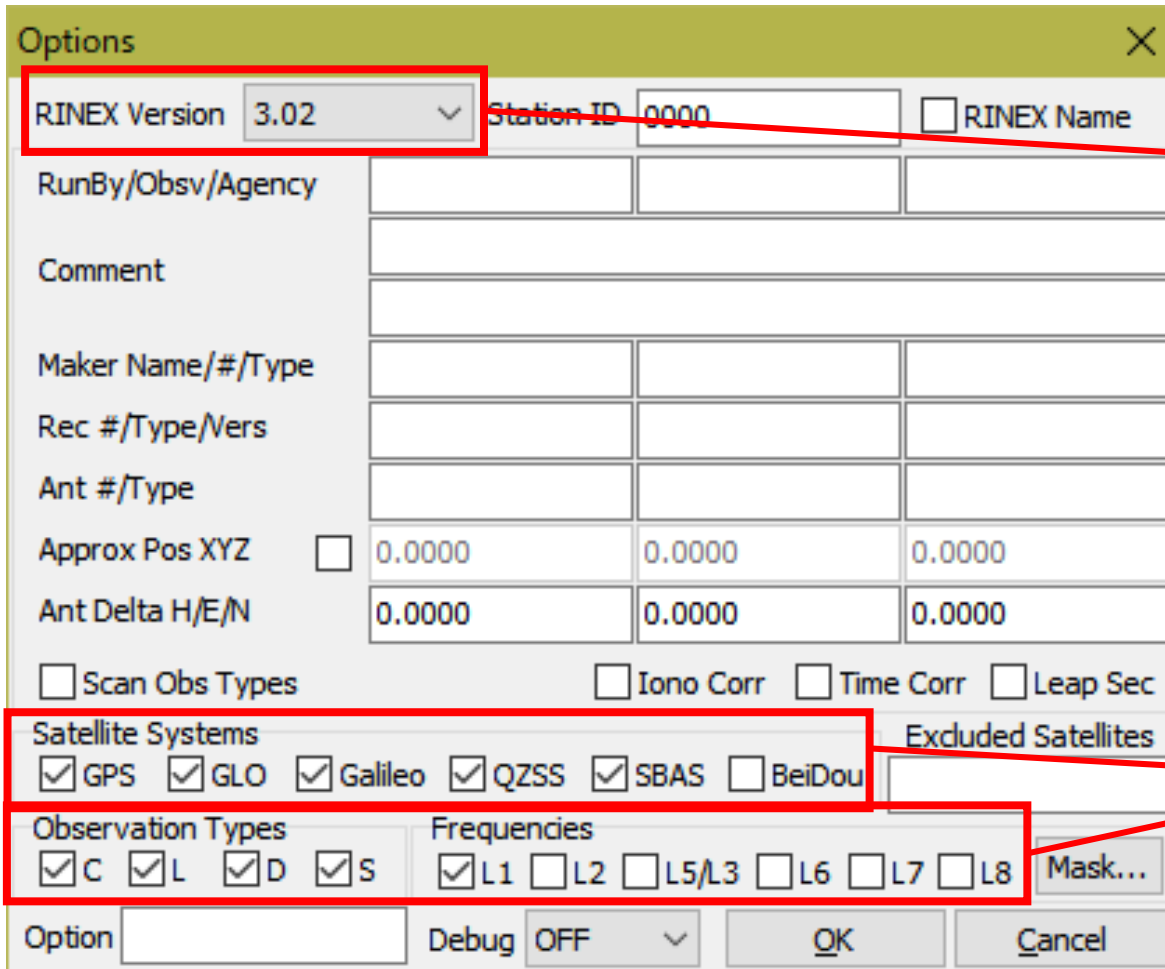
Auto→u-blox

.obs, .navが生成されることを確認

OptionsからRINEXのバージョンを設定

# RTKCONVでUBXをRINEXファイルに変換

## RTKCONV (RTKLIB/bin/rtkconv.exe)



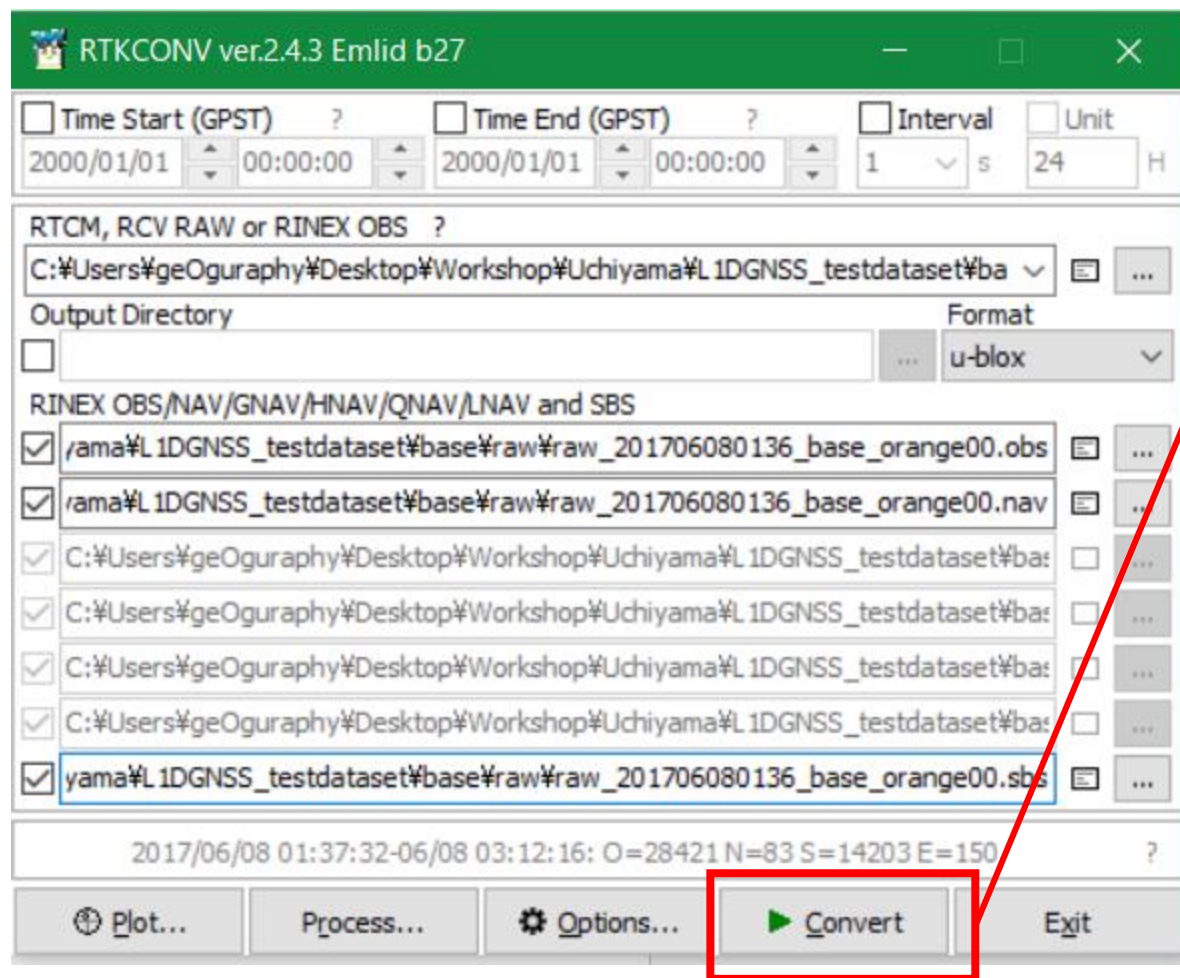
Options dialog box showing configuration options for RTKCONV. The RINEX Version is set to 3.02. The Station ID is 0000. The RINEX Name checkbox is unchecked. The Satellite Systems section includes GPS, GLO, Galileo, QZSS, SBAS, and BeiDou. The Observation Types section includes C, L, D, and S. The Frequencies section includes L1, L2, L5/L3, L6, L7, and L8. The Mask... button is visible. The Debug option is set to OFF.

ver 3.02を選択

オリジナルデータに含まれないものは変換されない  
ので、全部チェックでもOK

# RTKCONVでUBXをRINEXファイルに変換

## RTKCONV (RTKLIB/bin/rtkconv.exe)



Convertすると指定した場所にRINEXファイルが生成される

名前	更新
raw_201806300339.hnav	2018,
raw_201806300339.nav	2018,
raw_201806300339.obs	2018,
raw_201806300339.sbs	2018,

# RTKLIBによる解析

1. 計画

2. 測量

3. 解析：PPK解析

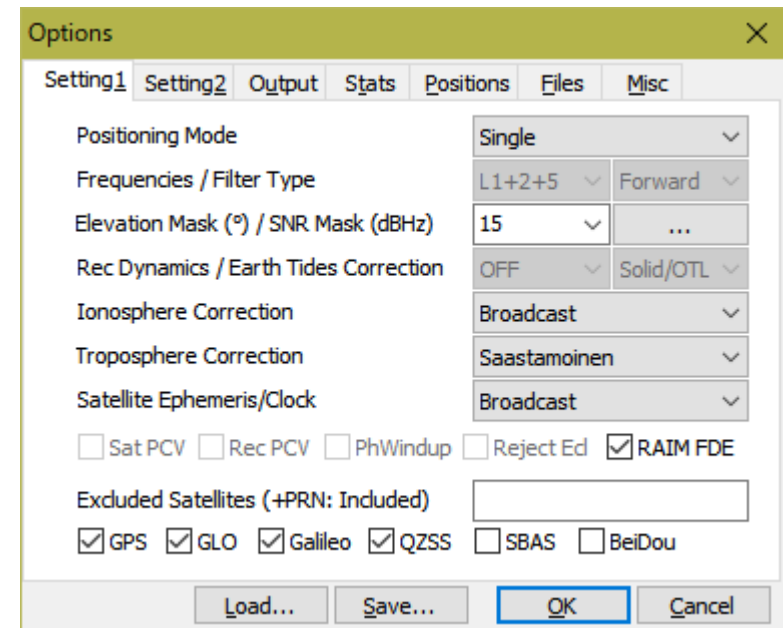
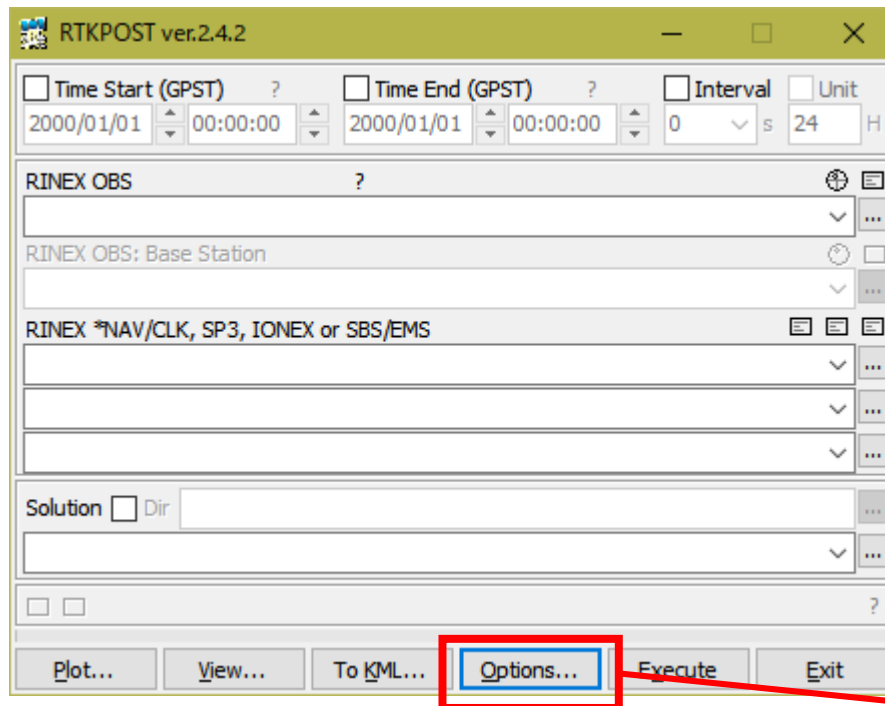
解析の基本手順をBaseの絶対座標を使用しない例で示す



# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

- rtkpost.exe: 一般的にはこちらを使用
- rtkpost\_mkl.exe: インテル® マス・カーネル・ライブラリーが利用可能な環境の場合



クリックすると右のような  
Options画面が開く



# RTKPOSTでRoverの座標を求める

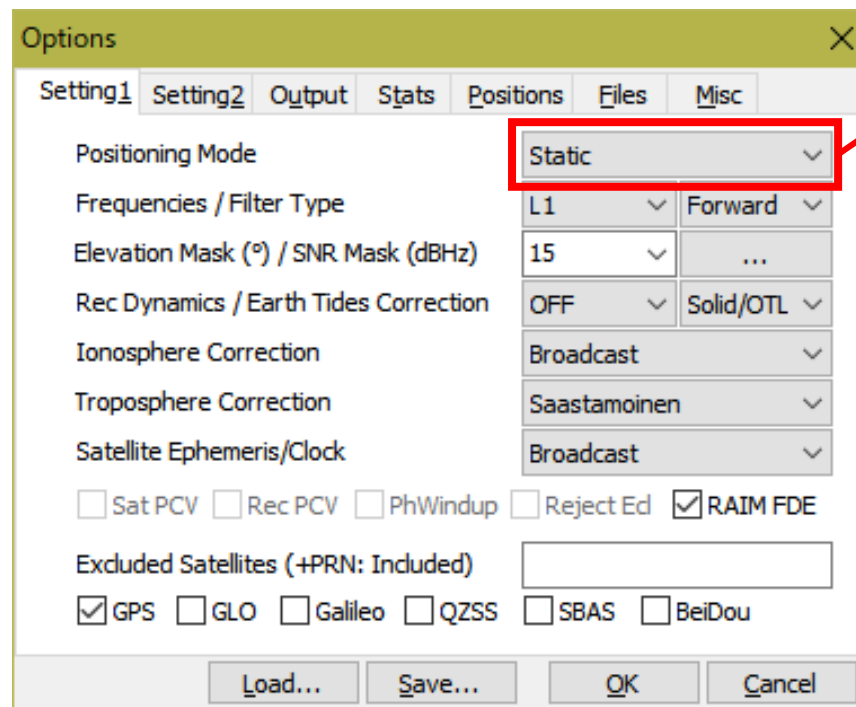
## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

➤ 初めてRTKPOSTを使用する時のみ、以下の操作を最初に行う

### 1. Options画面の”Positioning Mode”を”Static”に変更

- ✓ Static: 定位置の地点を観測する場合
- ✓ Kinematic: 移動体を観測する場合

### 2. “OK”をクリックしてOptions画面を閉じる

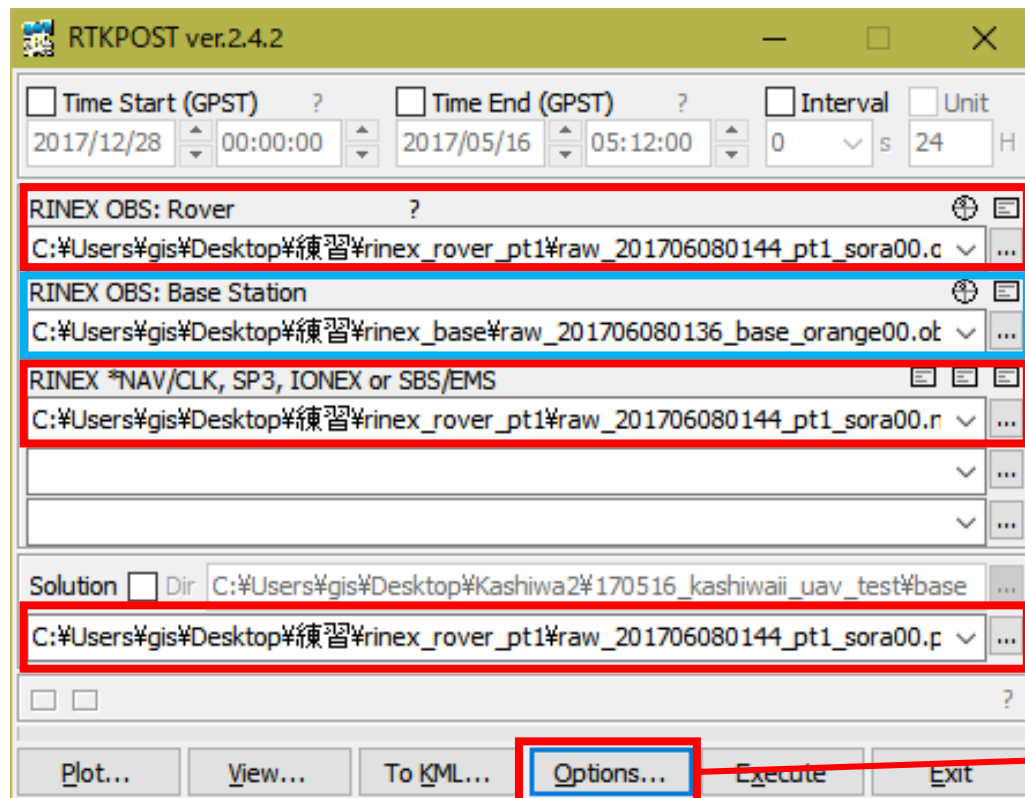


Staticを選択

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

- Base/Roverの観測データ（RINEXファイル）を設定する
- ✓ Base/Roverの各ファイルを設定する欄に注意
- ✓ Options画面で”Static”に設定していない場合、Baseファイルを設定できない



Roverの観測ファイル (.obs)

Baseの観測ファイル (.obs)

Roverの軌道ファイル (.nav)

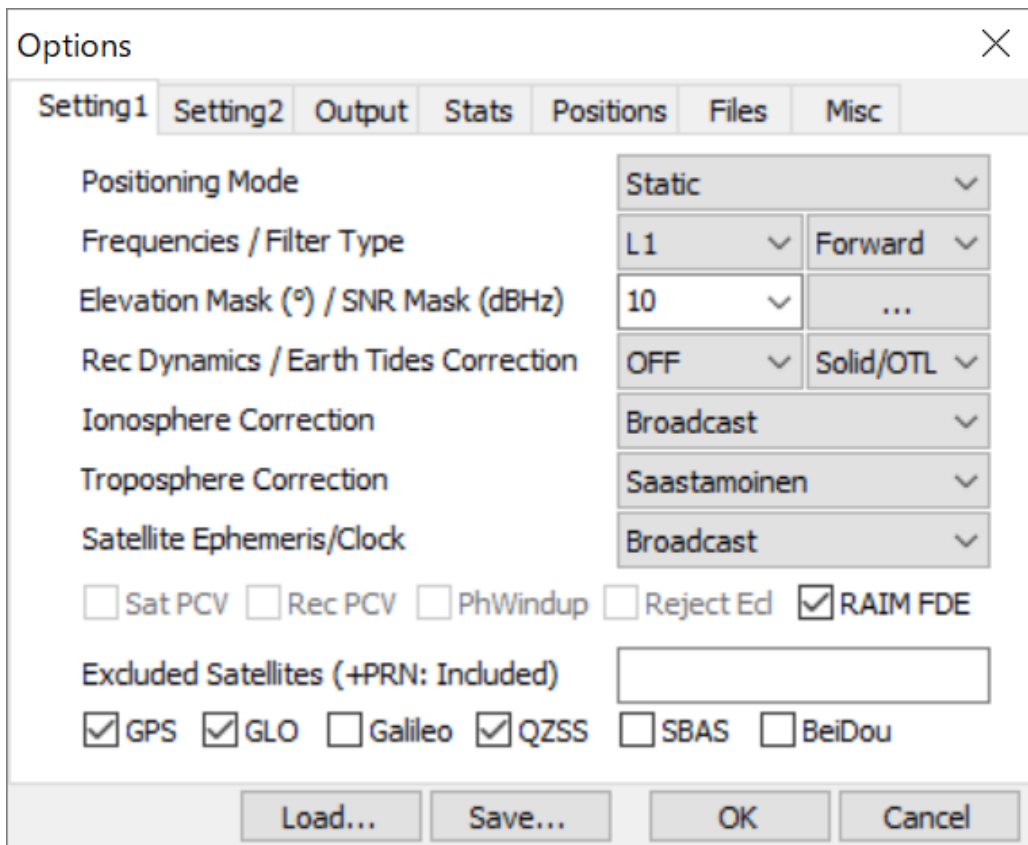
Rover座標の解析結果 (.pos)

設定後、”Options”をクリック

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

### Options “Setting1”の設定



Options dialog box, Setting1 tab. The dialog has tabs for Setting1, Setting2, Output, Stats, Positions, Files, and Misc. The Setting1 tab is active. The options are as follows:

- Positioning Mode: Static
- Frequencies / Filter Type: L1 / Forward
- Elevation Mask (°) / SNR Mask (dBHz): 10 / ...
- Rec Dynamics / Earth Tides Correction: OFF / Solid/OTL
- Ionosphere Correction: Broadcast
- Troposphere Correction: Saastamoinen
- Satellite Ephemeris/Clock: Broadcast
- Sat PCV
  Rec PCV
  PhWindup
  Reject Ed
  RAIM FDE
- Excluded Satellites (+PRN: Included):
- GPS
  GLO
  Galileo
  QZSS
  SBAS
  BeiDou

Buttons: Load..., Save..., OK, Cancel

Positioning Mode: Static

Frequencies: L1

Filter Type: Forward

Elevation Mask: 10°

SNR Mask: 下の図 (35dbHz以下をマスク)

Rec Dynamics: OFF

Earth Tides Correction: Solid/OTL

Ionosphere Correction: Broadcast

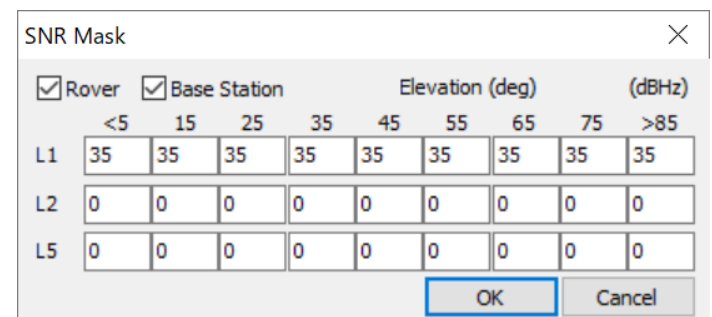
Troposphere Correction: Saastmoinen

Satellite Ephemeris/Clock: Broadcast

RAIM FDE: Checked

Excluded Satellites: 空欄 (スペース区切り)

GPS/GLO/QZSS: Checked



SNR Mask dialog box. The dialog has checkboxes for Rover and Base Station, both checked. The table shows SNR Mask values for L1, L2, and L5 satellites across different elevation angles.

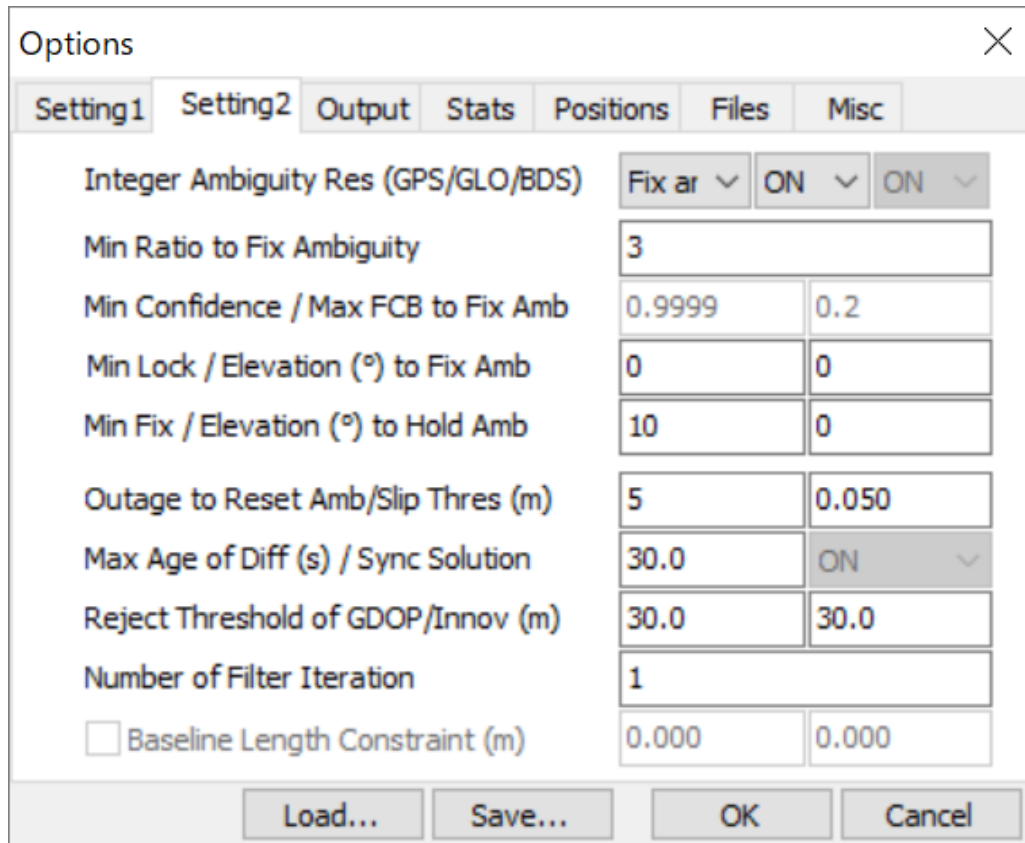
	Elevation (deg)								
	<5	15	25	35	45	55	65	75	>85
L1	35	35	35	35	35	35	35	35	35
L2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Buttons: OK, Cancel

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

### Options “Setting2”の設定



The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Setting2' tab selected. The dialog contains various configuration options for RTKPOST. The 'Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS)' is set to 'Fix ar', 'ON', and 'ON'. The 'Min Ratio to Fix Ambiguity' is set to 3. The 'Min Confidence / Max FCB to Fix Amb' is set to 0.9999 and 0.2. The 'Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb' is set to 0 and 0. The 'Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb' is set to 10 and 0. The 'Outage to Reset Amb/Slip Thres (m)' is set to 5 and 0.050. The 'Max Age of Diff (s) / Sync Solution' is set to 30.0 and ON. The 'Reject Threshold of GDOP/Innov (m)' is set to 30.0 and 30.0. The 'Number of Filter Iteration' is set to 1. The 'Baseline Length Constraint (m)' is set to 0.000 and 0.000. The dialog has buttons for 'Load...', 'Save...', 'OK', and 'Cancel'.

Option	Value 1	Value 2
Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS)	Fix ar	ON
Min Ratio to Fix Ambiguity	3	
Min Confidence / Max FCB to Fix Amb	0.9999	0.2
Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb	0	0
Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb	10	0
Outage to Reset Amb/Slip Thres (m)	5	0.050
Max Age of Diff (s) / Sync Solution	30.0	ON
Reject Threshold of GDOP/Innov (m)	30.0	30.0
Number of Filter Iteration	1	
Baseline Length Constraint (m)	0.000	0.000

Integer Ambiguity Res (GPS): Fix and Hold

Integer Ambiguity Res (GLO): ON

- ✓ BaseとRoverが同じ機材の場合

Integer Ambiguity Res (GLO): Auto Cal

- BaseとRoverの機材が異なる場合

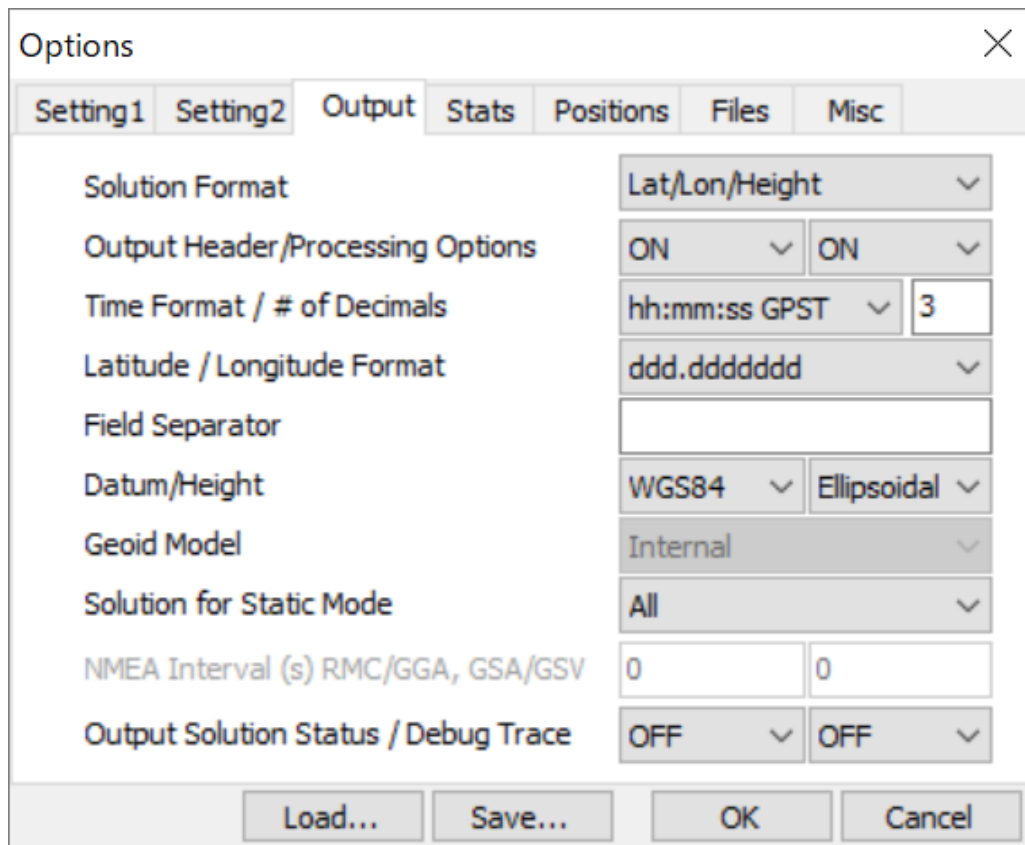
Min Ratio to Fix Ambiguity: 3

その他の項目はデフォルト値

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

### Options “Output” の設定



The screenshot shows the 'Options' dialog box with the 'Output' tab selected. The settings are as follows:

Setting	Value
Solution Format	Lat/Lon/Height
Output Header/Processing Options	ON
Time Format / # of Decimals	hh:mm:ss GPST 3
Latitude / Longitude Format	ddd.dddddd
Field Separator	
Datum/Height	WGS84 Ellipsoidal
Geoid Model	Internal
Solution for Static Mode	All
NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV	0 0
Output Solution Status / Debug Trace	OFF

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

Solution Format: Lat/Lon/Height

Datum: WGS84

Height: Ellipsoidal

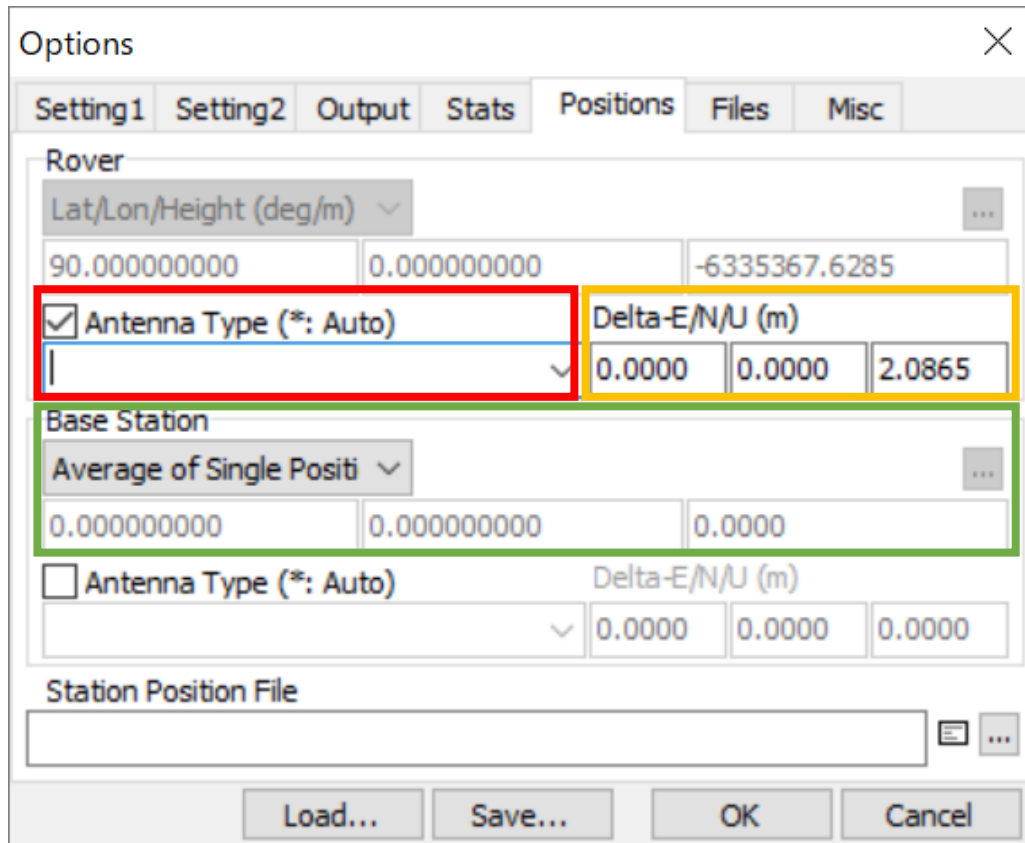
- ✓ Roverの高さは楕円体高が出力される。標高を出力する場合は別項参照

その他の項目はデフォルト値

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

### Options “Positions”の設定



Options dialog box, "Positions" tab. The "Rover" section is highlighted with a red box, and the "Delta-E/N/U (m)" fields are highlighted with a yellow box. The "Base Station" section is highlighted with a green box.

Rover		
Lat/Lon/Height (deg/m)	...	
90.000000000	0.000000000	-6335367.6285
<input checked="" type="checkbox"/> Antenna Type (*: Auto)	Delta-E/N/U (m)	
	0.0000	0.0000 2.0865
Base Station		
Average of Single Positi	...	
0.000000000	0.000000000	0.0000
<input type="checkbox"/> Antenna Type (*: Auto)	Delta-E/N/U (m)	
	0.0000	0.0000 0.0000

Station Position File

Buttons: Load... Save... OK Cancel

Roverの項目を設定

Antenna Type: Checked (空欄)

Delta-E/N/U: 0.0000, 0.0000, アンテナ高

- ✓ Rover機材のアンテナ高をメートルで入力する
- ✓ Reach RSの例：レンジポール+アダプター (21.5 mm) + アンテナ位相中心高 (65 mm)

Base Stationの項目を設定

Average of Single Positionを選択する

その他の項目はデフォルト値

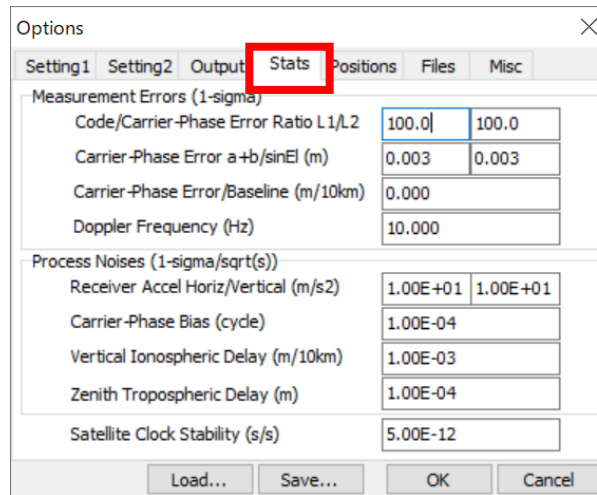
# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

Options “Stats”, “Files”, “Misc” の設定

➤ すべてデフォルト

✓ 空欄にすべきところは空欄であることを確認する



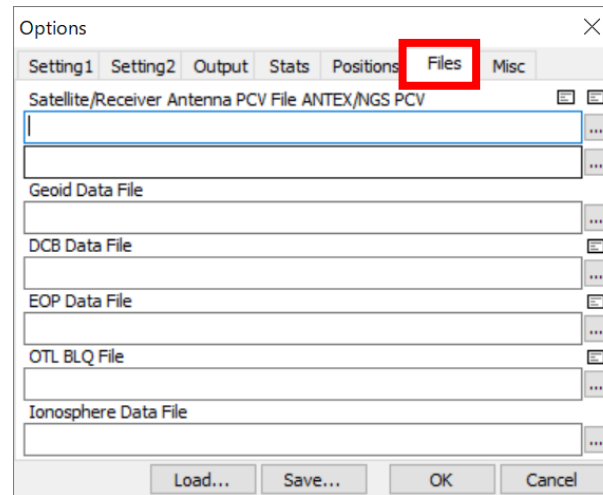
Options dialog, Stats tab. The Stats tab is highlighted with a red box. The dialog shows various measurement and process noise parameters.

Measurement Errors (1-sigma)	
Code/Carrier-Phase Error Ratio L1/L2	100.0   100.0
Carrier-Phase Error a+b/sinE1 (m)	0.003   0.003
Carrier-Phase Error/Baseline (m/10km)	0.000
Doppler Frequency (Hz)	10.000

Process Noises (1-sigma/sqrt(s))	
Receiver Accel Horiz/Vertical (m/s <sup>2</sup> )	1.00E+01   1.00E+01
Carrier-Phase Bias (cycle)	1.00E-04
Vertical Ionospheric Delay (m/10km)	1.00E-03
Zenith Tropospheric Delay (m)	1.00E-04
Satellite Clock Stability (s/s)	5.00E-12

Buttons: Load..., Save..., OK, Cancel



Options dialog, Files tab. The Files tab is highlighted with a red box. The dialog shows various file paths for data files.

Satellite/Receiver Antenna PCV File ANTEX/NGS PCV

Geoid Data File

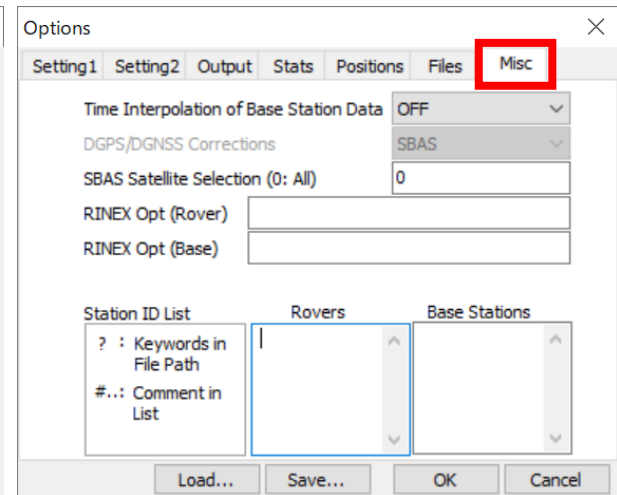
DCB Data File

EOP Data File

OTL BLQ File

Ionosphere Data File

Buttons: Load..., Save..., OK, Cancel



Options dialog, Misc tab. The Misc tab is highlighted with a red box. The dialog shows various options for data processing and station selection.

Time Interpolation of Base Station Data OFF

DGPS/DGNSS Corrections SBAS

SBAS Satellite Selection (0: All) 0

RINEX Opt (Rover)

RINEX Opt (Base)

Station ID List

	Rovers	Base Stations
? : Keywords in File Path		
#...: Comment in List		

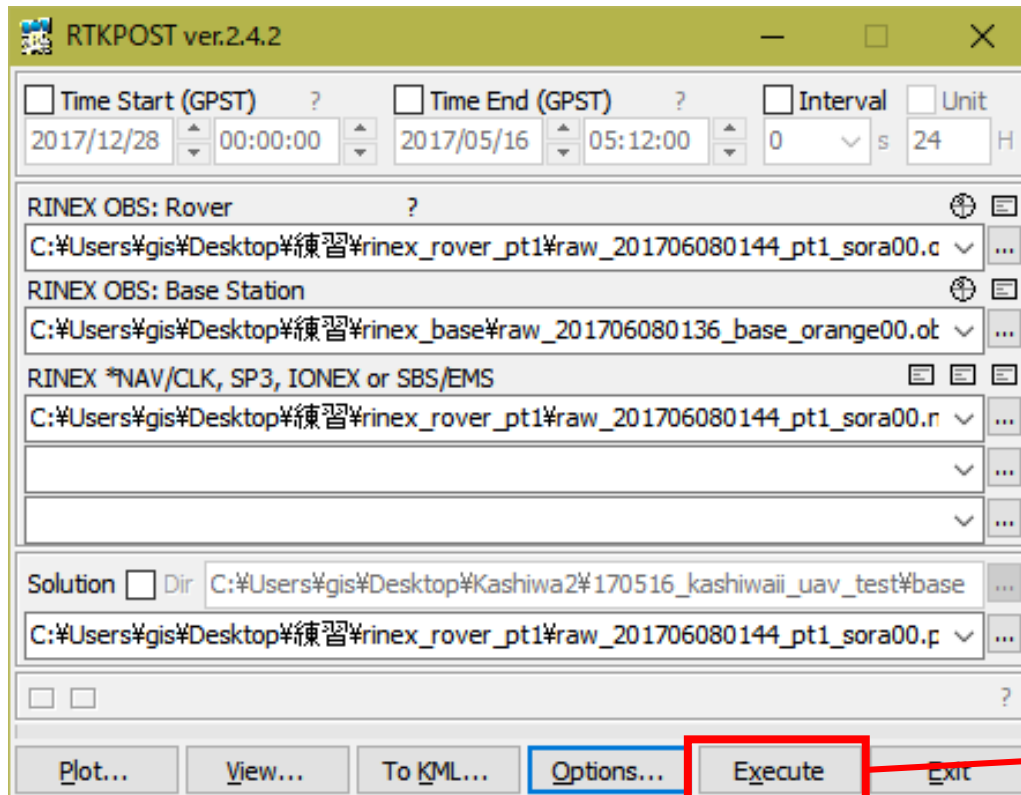
Buttons: Load..., Save..., OK, Cancel



# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## RTKPOST (RTKLIB/bin/rtkpost.exe)

1. Base/Roverの観測データ（RINEXファイル）を設定しましたか？
  2. Optionsのすべてのタブの設定項目が適切であることを確認しましたか？
- ✓ Optionsは以前の設定値を記憶しているため、解析のたびに確認が必要



”Execute”で解析開始！



# RTKLIBによる解析

1. 計画

2. 測量

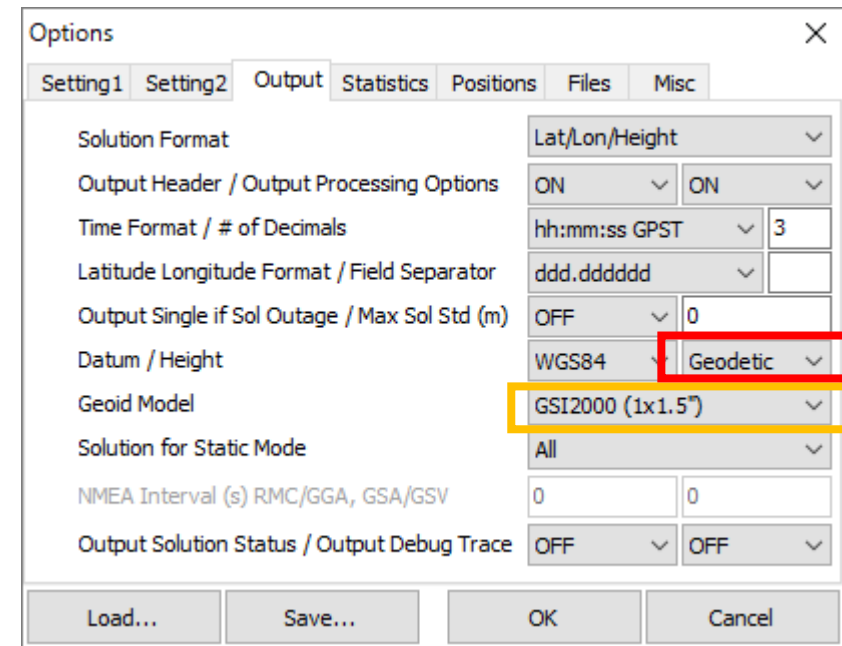
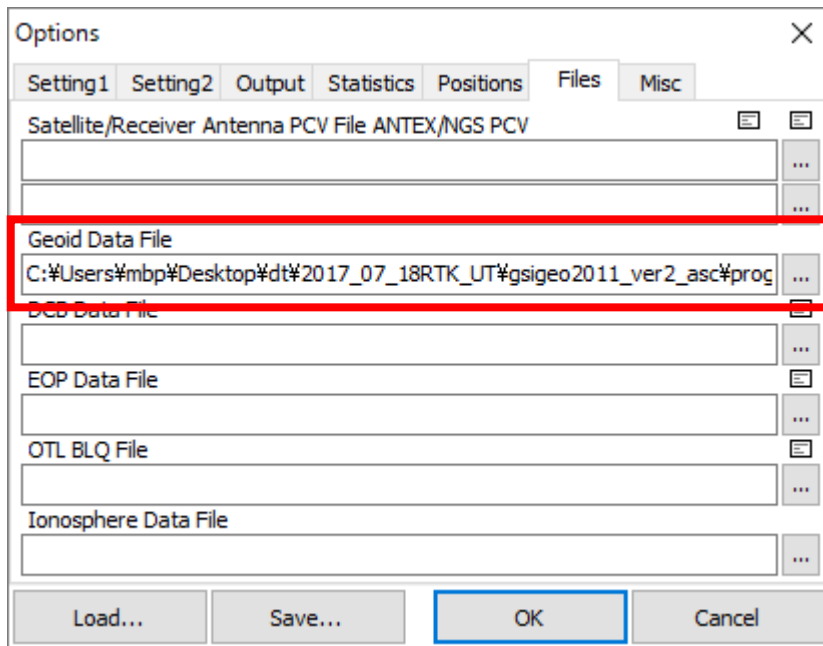
3. 解析：参考情報

標高の取得、電子基準点データの使用、Base絶対座標の使用

# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## 【参考1】 Roverの「標高」を出力する：RTKPOSTにGSIGEO2011を設定する

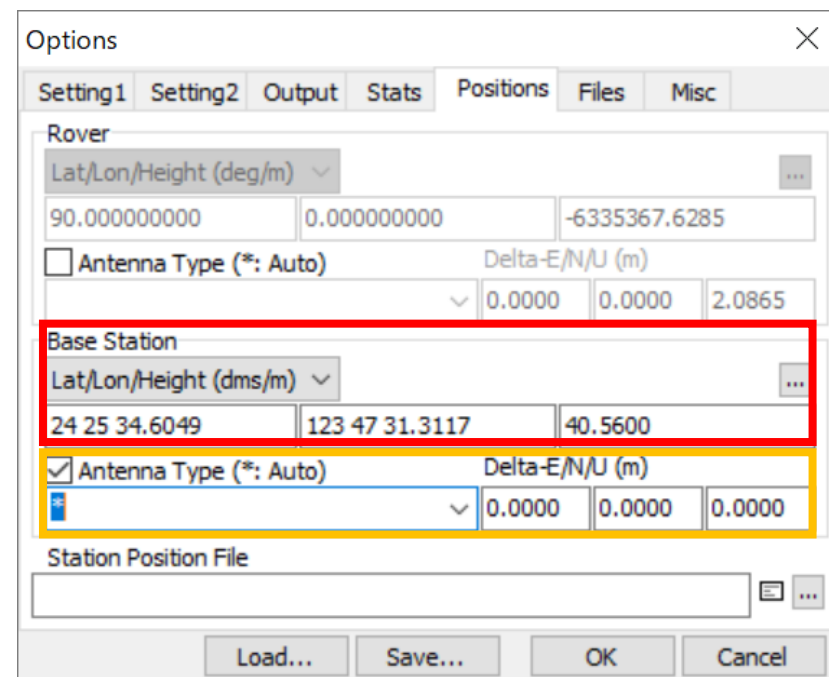
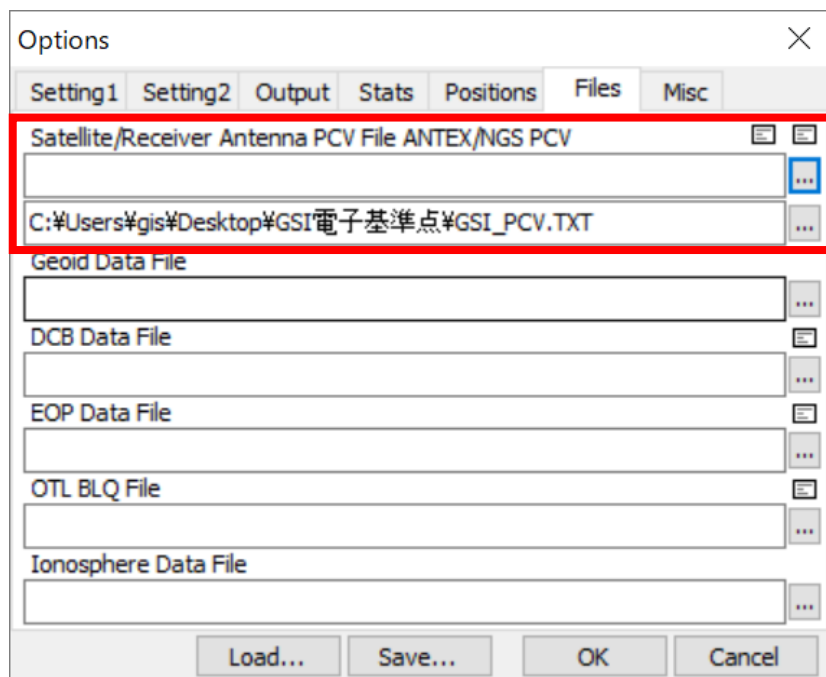
1. “Options”を開いて
  2. “Files”タブの”Geoid Data File”にgsigeo2011\_ver2.ascを指定（左図）
  3. “Output”タブの”Datum / Height”で”Geodetic”を指定（右図）
  4. 同タブの”Geoid Model”で“GSI2000 (1x1.5)”を指定（右図）
- ✓ RTKLIB 2.4.2は最新のジオイドモデルに対応していない（正常動作しない地域がある）



# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## 【参考2】電子基準点データの使用：RTKPOSTに座標とPCV補正ファイルを設定する

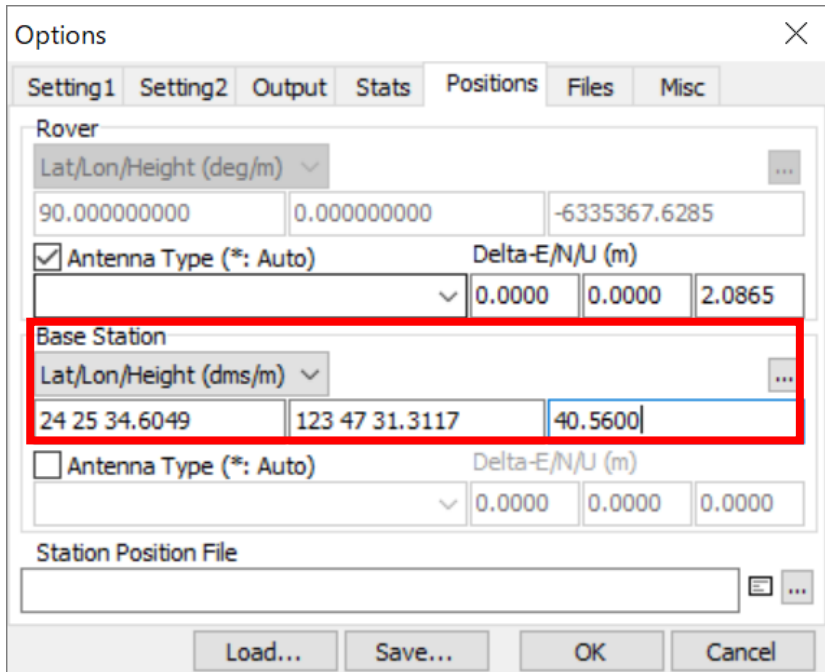
1. “Options”を開いて
2. “Files”タブの”Receiver Antenna PCV File”にGSI\_PCV.pcv（または.TXT）を指定（左図）  
✓ 受信機のアンテナファイルは2行目に指定する。1行目は衛星のアンテナファイルを指定する欄
3. “Positions”タブの”Base Station”に電子基準点の座標＋楕円体高を入力（右図）
4. 同タブのBase Stationの”Antenna Type”に「\*」（自動選択）を入力（右図）



# RTKPOSTでRoverの座標を求める

## 【参考3】 Baseの絶対座標の使用：RTKPOSTにBase座標を設定する

1. “Options”を開いて
2. “Positions”タブの”Base Station”にBaseの絶対座標 + 楕円体高を入力  
✓ dmsで入力する場合、度分秒の数値を半角スペースで区切る
3. 同タブのBase Stationの”Antenna Type”のチェックを外す  
✓ PPK解析では、Baseアンテナ位相中心の位置からRoverまでの基線ベクトルを求めるため、Baseのアンテナ高の入力は不要。入力すると「アンテナを設置した地面」の高さを意味する。そこじゃない。



Options

Setting1 Setting2 Output Stats Positions Files Misc

Rover

Lat/Lon/Height (deg/m) ...

90.000000000 0.000000000 -6335367.6285

Antenna Type (\*: Auto) Delta-E/N/U (m)

0.0000 0.0000 2.0865

Base Station

Lat/Lon/Height (dms/m) ...

24 25 34.6049 123 47 31.3117 40.5600

Antenna Type (\*: Auto) Delta-E/N/U (m)

0.0000 0.0000 0.0000

Station Position File

Load... Save... OK Cancel

# RTKLIBによる解析

1. 計画
2. 測量
3. 解析：成果出力

# Roverの座標を出力する

## Roverの座標を得る

- 解析結果 (.pos) のテキストファイルを参照
- ✓ Fix解の場合：Ratio = 999.9となった最終行の座標
- ✓ Float解の場合：Ratioが最も高い行の座標

25	%	GPST	latitude(deg)	longitude(deg)	height(m)	Q	ns	sdn(m)	sde(m)	sdu(m)	sdne(m)	sdeu(m)	sdun(m)	age(s)	ratio
26	2018/06/30	02:35:49.800	38.894015431	140.851845659	325.9591	2	14	0.5456	0.4920	1.4048	-0.1716	0.1448	-0.4374	0.00	1.1
27	2018/06/30	02:35:50.000	38.894015011	140.851845513	326.0593	2	14	0.3888	0.3505	1.0032	-0.1220	0.1057	-0.3134	0.00	1.2
1009	2018/06/30	02:39:18.400	38.894000219	140.851868353	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0000	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1070	2018/06/30	02:39:18.600	38.894000219	140.851868353	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1071	2018/06/30	02:39:18.800	38.894000219	140.851868353	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1072	2018/06/30	02:39:19.000	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1073	2018/06/30	02:39:19.200	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1074	2018/06/30	02:39:19.400	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1075	2018/06/30	02:39:19.600	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1076	2018/06/30	02:39:19.800	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1077	2018/06/30	02:39:20.000	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1078	2018/06/30	02:39:20.200	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1079	2018/06/30	02:39:20.400	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1080	2018/06/30	02:39:20.600	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1081	2018/06/30	02:39:20.800	38.894000219	140.851868354	326.7788	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1082	2018/06/30	02:39:21.000	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1083	2018/06/30	02:39:21.200	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1084	2018/06/30	02:39:21.400	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1085	2018/06/30	02:39:21.600	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1086	2018/06/30	02:39:21.800	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1087	2018/06/30	02:39:22.000	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1088	2018/06/30	02:39:22.200	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1089	2018/06/30	02:39:22.400	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1090	2018/06/30	02:39:22.600	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1091	2018/06/30	02:39:22.800	38.894000219	140.851868354	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1092	2018/06/30	02:39:23.000	38.894000219	140.851868355	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9
1093	2018/06/30	02:39:23.200	38.894000219	140.851868355	326.7789	1	14	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0001	0.0001	-0.0001	0.00	999.9

デスクトップ#2018\_06\_30Aratosawa\_GNSSRover#0235\_3Raw\_201806300235LLH\_UBase.pos - sakura 2.1.0.0

ファイル(F) 編集(E) 実行(X) 検索(S) ツール(T) 設定(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

1 % program : RTKPOST ver.2.4.2  
 2 % inp file : C:\Users\gis\Desktop\2018\_06\_30Aratosawa\_GNSSRover#0235\_3Raw  
 3 % inp file : C:\Users\gis\Desktop\2018\_06\_30Aratosawa\_GNSSUbase#raw\_20180630  
 4 % inp file : C:\Users\gis\Desktop\2018\_06\_30Aratosawa\_GNSSRover#0235\_3Raw  
 5 % obs start : 2018/06/30 02:35:49.8 GPST (week2007 527749.8s)  
 6 % obs end : 2018/06/30 02:39:23.2 GPST (week2007 527963.2s)  
 7 % pos mode : static  
 8 % freas : LI  
 9 % solution : forward  
 10 % elev mask : 15.0 deg  
 11 % dynamics : off  
 12 % tidecorr : on  
 13 % ionos opt : broadcast  
 14 % tropo opt : saastamoinen  
 15 % ephemeris : broadcast  
 16 % navi sys : gps glonass  
 17 % amb res : fix and hold  
 18 % amb glo : on  
 19 % val thres : 3.0  
 20 % antenna1 : ( 0.0000 0.0000 2.0885)  
 21 % antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)  
 22 % ref pos : 38.898764181 140.859111186 389.4557  
 23 %  
 24 % (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal, Q=1:fix, 2:float, 3:sbas, 4:dpps, 5:single, 6:prn, ns=# of satellites)  
 25 % GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdun(m) age(s) ratio  
 26 2018/06/30 02:35:49.800 38.894015431 140.851845659 325.9591 2 14 0.5456 0.4920 1.4048 -0.1716 0.1448 -0.4374 0.00 1.1  
 27 2018/06/30 02:35:50.000 38.894015011 140.851845513 326.0593 2 14 0.3888 0.3505 1.0032 -0.1220 0.1057 -0.3134 0.00 1.2  
 28 2018/06/30 02:35:50.200 38.894015079 140.851845221 326.1057 2 14 0.3183 0.2869 0.8218 -0.0998 0.0872 -0.2670 0.00 1.1  
 29 2018/06/30 02:35:50.400 38.894015245 140.851845158 326.1354 2 14 0.2760 0.2468 0.7129 -0.0865 0.0769 -0.2231 0.00 1.2  
 30 2018/06/30 02:35:50.600 38.894015340 140.851844996 326.1504 2 14 0.2471 0.2227 0.6392 -0.0774 0.0682 -0.1998 0.00 1.2  
 31 2018/06/30 02:35:50.800 38.894015516 140.851844838 326.1618 2 14 0.2256 0.2034 0.5830 -0.0707 0.0624 -0.1826 0.00 1.1  
 32 2018/06/30 02:35:51.000 38.894015572 140.851844953 326.2177 2 14 0.2090 0.1883 0.5400 -0.0655 0.0578 -0.1691 0.00 1.1  
 33 2018/06/30 02:35:51.200 38.894015730 140.851844156 326.2741 2 14 0.1955 0.1762 0.5053 -0.0613 0.0542 -0.1583 0.00 1.1  
 34 2018/06/30 02:35:51.400 38.894015781 140.851844056 326.3618 2 14 0.1844 0.1662 0.4785 -0.0578 0.0512 -0.1493 0.00 1.1  
 35 2018/06/30 02:35:51.600 38.894015881 140.851844082 326.4072 2 14 0.1750 0.1577 0.4521 -0.0548 0.0486 -0.1416 0.00 1.0  
 36 2018/06/30 02:35:51.800 38.894015804 140.851844191 326.4525 2 14 0.1698 0.1504 0.4311 -0.0523 0.0464 -0.1351 0.00 1.0  
 37 2018/06/30 02:35:52.000 38.894015496 140.851844333 326.4970 2 14 0.1598 0.1440 0.4128 -0.0501 0.0444 -0.1294 0.00 1.0  
 38 2018/06/30 02:35:52.200 38.894015398 140.851844440 326.5201 2 14 0.1535 0.1383 0.3966 -0.0481 0.0427 -0.1243 0.00 1.0  
 39 2018/06/30 02:35:52.400 38.894015123 140.851844556 326.5375 2 14 0.1479 0.1333 0.3822 -0.0463 0.0412 -0.1198 0.00 1.0

1行 1桁 CRLF 25 SWS REC 挿入

Fix解の場合：  
Ratio = 999.9となった最終行の座標を使用

# RTKLIBによる解析

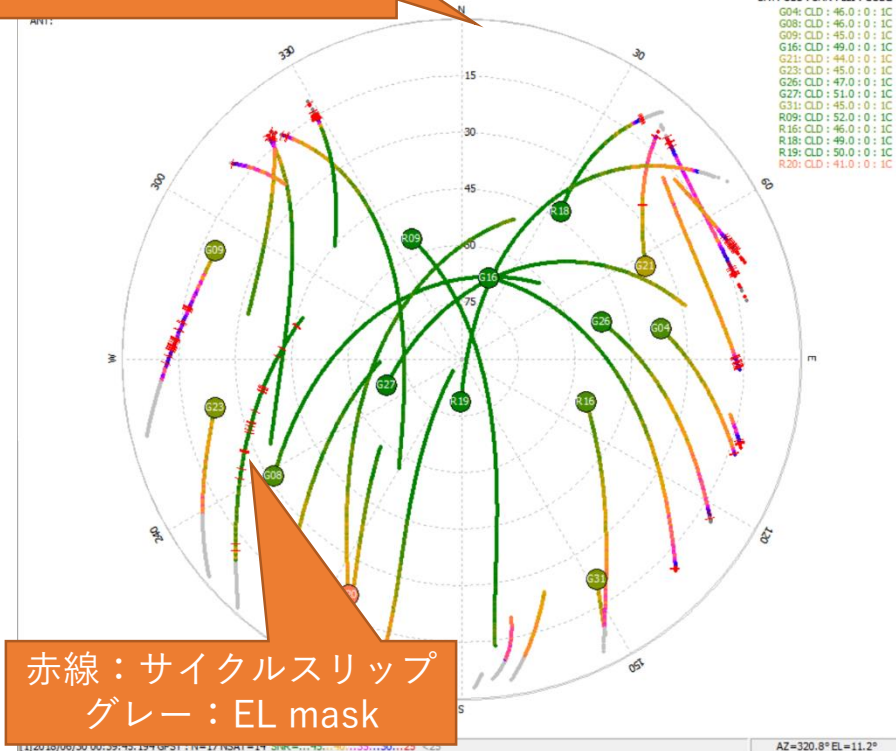
1. 計画
2. 測量
3. 解析：ノウハウ

# 【解説1】 RTKPLOT

## RTKPLOT (RTKLIB/bin/rtkplot.exe)

- GNSS観測データ (.obs) と解析結果 (.pos) を図化するソフトウェア
- ✓ 観測データの図化：受信衛星の数と品質（高度、SNR、マルチパス）の評価
- ✓ 解析結果の図化：解の品質（Grd Trk, Position, AR）の評価

外側：地平線（0度）  
中央：天頂（90度）



Options			
Time Format	h:m:s GPST	Error Bar/Circle	Bar/Circle
Lat/Lon Format	ddd.ddddd	Direction Arrow	ON
Show Statistics	ON	Graph Label	ON
Cycle-Slip	LLI Flag	Grid/Grid Label	Grid/Label
Parity Unknown	ON	Compass	ON
Ephemeris	ON	Scale	ON
Elevation Mask (°)	15	Auto Fit	ON
Elev Mask Pattern	OFF	Y-Range (+/-)	5
Hide Low Satellite	OFF	RT Buffer Size	10800
Max NSAT/DOP	30	<input type="checkbox"/> Time Sync Port	10071
Max Multipath	10	Coordinate Origin	Average Pct
Receiver Position	RINEX Hea	Lat/Lon/Hgt	90.000000000 0.000000000 0.0000
Satellite System	<input checked="" type="checkbox"/> GPS <input checked="" type="checkbox"/> GLO <input checked="" type="checkbox"/> GAL <input checked="" type="checkbox"/> QZS <input checked="" type="checkbox"/> SBS <input type="checkbox"/> BDS <input checked="" type="checkbox"/> IRN	QC Cmd	teqc +qc +sym +l -rep -plot
Excluded Sats (+Sn: Included)		RINEX Opt	
		TLE Data	C:#Users#mbp#Desktop#seminar_2017#sample8_
		TLE Sat No	C:#Users#mbp#Desktop#seminar_2017#sample8_
		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

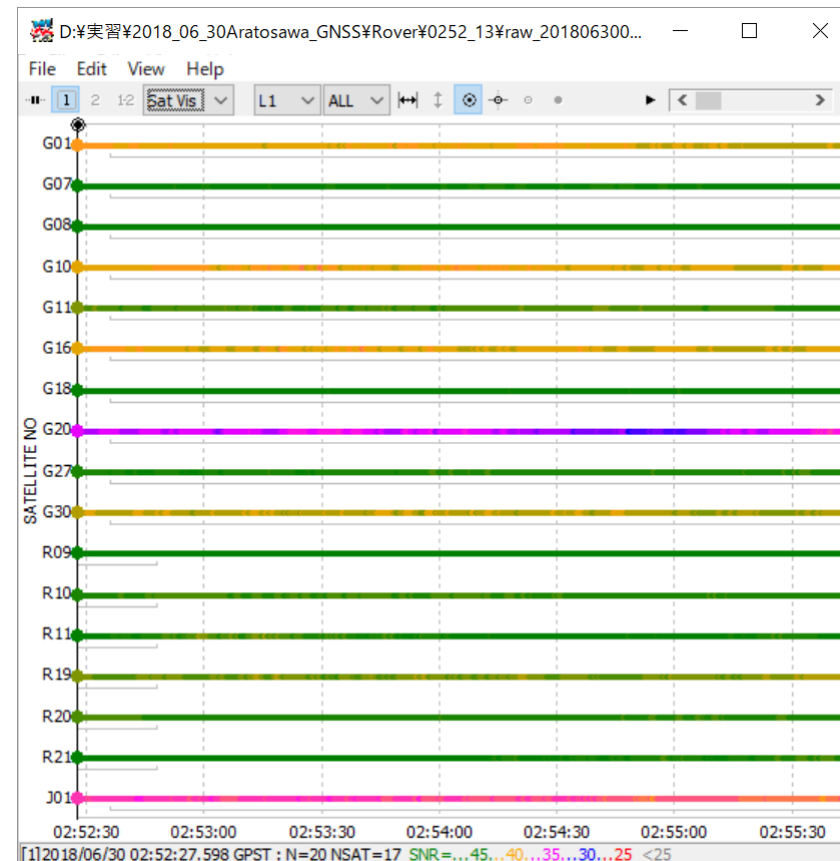
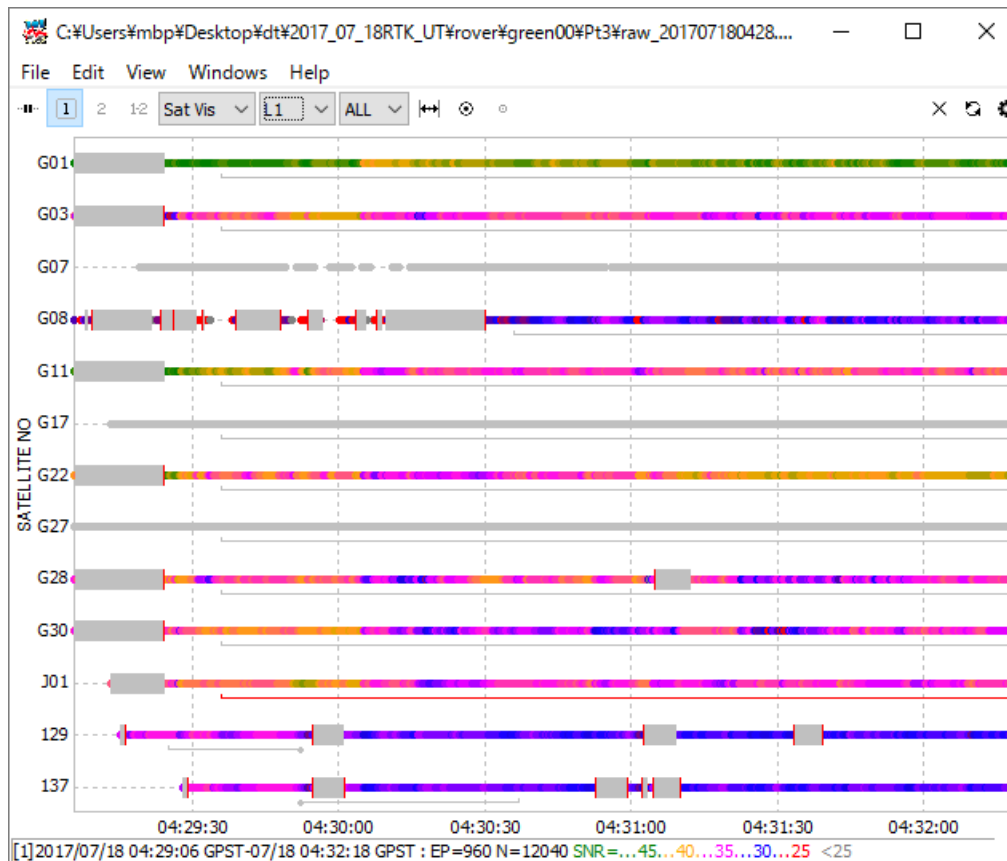
左：観測データのSkyplot（SNR色分け表示）  
右：RTKPLOTのOptions画面



# 【解説1】RTKPLOT (.obs)

## GNSS観測データ (.obs) の図化：BaseとRover両方の観測データについて評価する

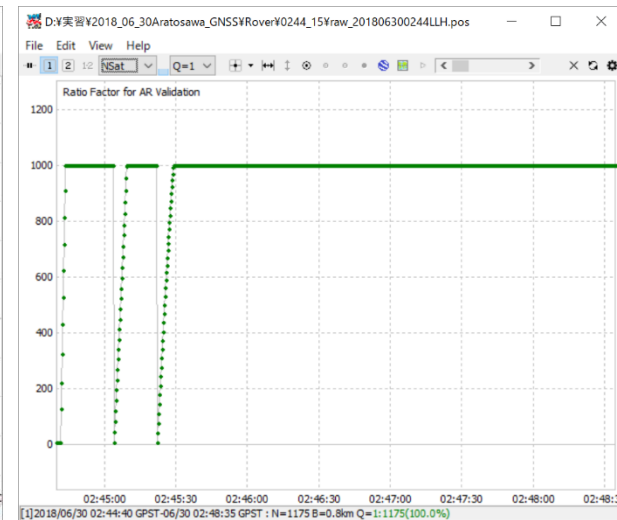
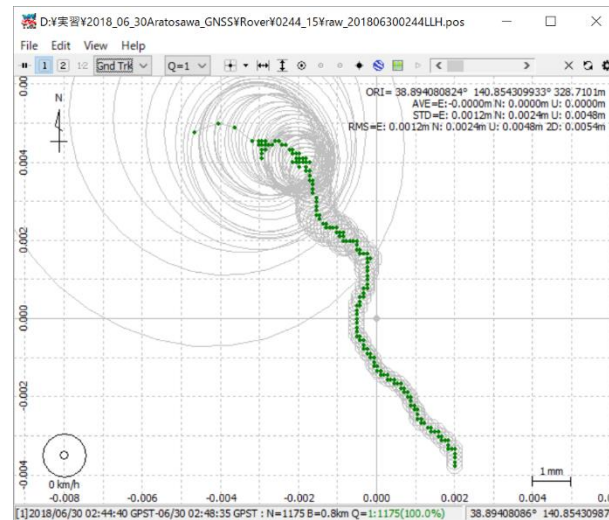
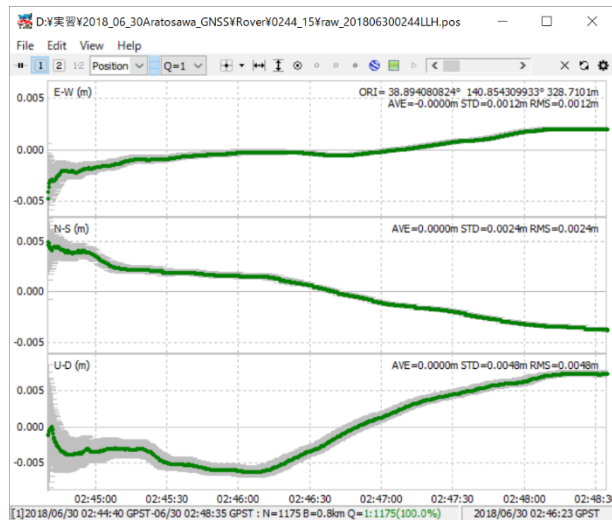
- 受信衛星の数と品質（高度、SNR、マルチパス）の評価
- ✓ 左の例は全体的にSNRが低く（35dbHz以下）、Fix解は得られないかもしれない
- ✓ 右の例は受信状態が良いが、G20, J01のSNRが低く、解析から除外したほうが良いかもしれない



# 【解説1】RTKPLOTT (.pos)

## 解析結果の図化 (.pos) の図化

- 解の品質 (Grd Trk, Position, AR) の評価
- ✓ 下の図は同じ解析結果を図化したもの。観測期間の全エポックでFix解が得られている
- ✓ 左はPosition図。E-W, N-S, U-D (XYZ) 各軸の位置の変動を見る。いずれも  $\pm 5$  mm以内であり、良好
- ✓ 中はGrd Trk図。マスの目盛は1 mm。グレーの円はエラーサークルで、時間の経過とともに小さくなっていく。南北8 mm、東西5 mmの範囲にすべての解が収まっている
- ✓ 右の図はRatio Factor for AR Validation図。Ratio Factorの最大値は1,000。解析期間中のほとんどのエポックで1,000を示し、変動も少ない。安定した測位解が得られている

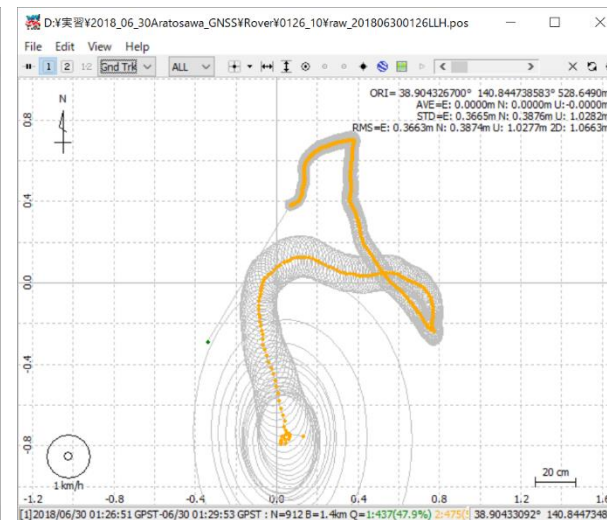
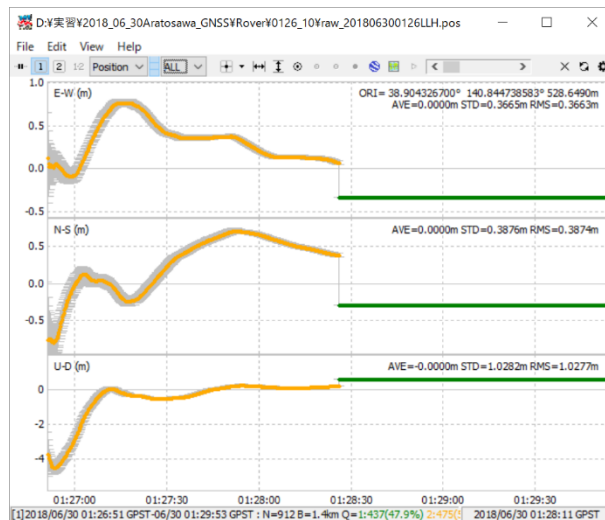


# 【解説1】 RTKPLLOT (.pos)

## 解析結果の図化 (.pos) の図化

➤ 解の品質 (Grd Trk, Position, AR) の評価

- ✓ 下の図は同じ解析結果を図化したもの。観測期間の前半がFloat、後半がFix解となった
- ✓ 左はPosition図。Float解（オレンジ色）の水平方向は1 m、垂直方向は4 mの変動がみられる
- ✓ 中はGrd Trk図。マス目の目盛は20 cm。エラーサークルは時間の経過とともに小さくなり、Float解は南北1.6 m、東西1 mの範囲に収まる。Fix解は中央左下の1点に収束している
- ✓ 右の図はRatio Factor for AR Validation図。Ratio Factorはゆっくりと上昇するが、最大値の1,000に達した後は安定している



# 【解説2】 L1-DGNSS測量と解析のポイント

## 計画

- 同じ測位衛星システム内で5つ以上の衛星を、良いSNRで受信が継続できること
- 受信環境が最も良好で安定した場所にBaseを配置する。建物の屋上がベスト。車の屋根の上も可
- Baseの周辺は立ち入り禁止。サイクルスリップや振動による精度劣化が生じる
- 基線長を小さくする（Baseを観測領域の中央に置く）
- 雨天や濃霧など、BaseとRoverの上空の大気状態が異なると誤差も増加する（二重差による誤差要因の相殺ができない）。基線長のZ方向の差が大きい場合も同様。長期観測ではそうした影響も考慮し、気象データを用いた対流圏遅延補正を行う必要がある（中島・他、2018）

## 測量

- アンテナ高は2 m以上とする（人間や植生による電波遮蔽の低減）
- Roverは過酷な自然環境の中でも丁寧に作業できる人が担当する
- 設置精度を最大限に高める（NG：石突の位置ズレ、ポールの傾き、計測中の揺れ）
- 揺れは厳禁（地球は自転し、公転し、衛星も地球を周回する。計測中の僅かの揺れでも悪影響がある）
- 高さのあるものから可能な限り離れて計測する（電波遮蔽軽減）
- アンテナを直接、地面に置いて計測しない（電波遮蔽の元凶）

## 解析

- 低高度でもSNRが高い場合は解析に使用する
- 植生の葉っぱは電波を通すが、SNRを低下させる
- SNRが低い、SNRが低い状態で安定しない、サイクルスリップがある衛星は除外する
- 観測期間の途中で登場する衛星は、除外したほうが良い場合もある（ARがリセットされる）
- パラメータをいじって無理やりFixさせない（衛星の除外を除き全Roverを同じ条件で解析する）

# L1-DGNSS精度検証

既知点との比較による

結論：基線長が短く、ノイズが少なければよい

# 場所

- 東北地方の飛行機から見える大きな地すべり地形  
計測地点間の最大標高差 202.4 m, 最長Baseline 1.4 km
- Base: 1点（座標未知点）
- Rover: 14地点（座標既知点）
- Rover仕様：EMLID Reach RS
  - 機器の公称精度：水平  $5.0 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times D$ , 垂直  $7.0 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times D$
  - Dの最大値 = 1,400 m, 水平 6.4 mm, 垂直 8.4 mm
  - アンテナ高 2.0865 m, 60分気泡管  
気泡が標線円に接するとアンテナ位置が水平方向36.42 mmズレる。  
実際には標線円の中心位置を狙って設置する
- 座標既知点：GNSS 1級測量機1周波スタティック法
  - 機器の公称精度  
水平  $3.0 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm} \times D$ , 垂直  $5.0 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm} \times D$
  - Dの最大値 = 1,880 m, 水平 3.94 mm, 垂直 5.94 mm

# 手法

- Rover計測時間：3分
- Rover設置方法
  - モノポール石突を既知点の杭頭を中心位置にある凹みや釘の中心にあてる
- RTKPOST解析処理
  1. Base最近隣点の既知座標からBase座標を逆算
  2. RTKPOSTで残り13点の座標を求める
- 精度検証2種
  1. 13点の座標と既知点座標との比較（Last of 999.9）
  2. Last of 999.9とAve of 999.9の比較



# 結果1：既知点との比較

- Base最近傍の既知点（1点）  
Base絶対座標の逆算に使用
- 残り13点の既知点
  - Fix 11点
  - Float 2点
  - 既知点座標エラー1点（除外）
- Fix地点のうち1点（0113-11）で最大ratioが 471.4  
この地点の座標値はratio 471.4のエポックを採用  
Aveではratioが100以上のエポックを使用して平均値を計算

UserBase座標の逆算  
に使用した既知点  
(0056-18)

# 結果1：既知点との比較

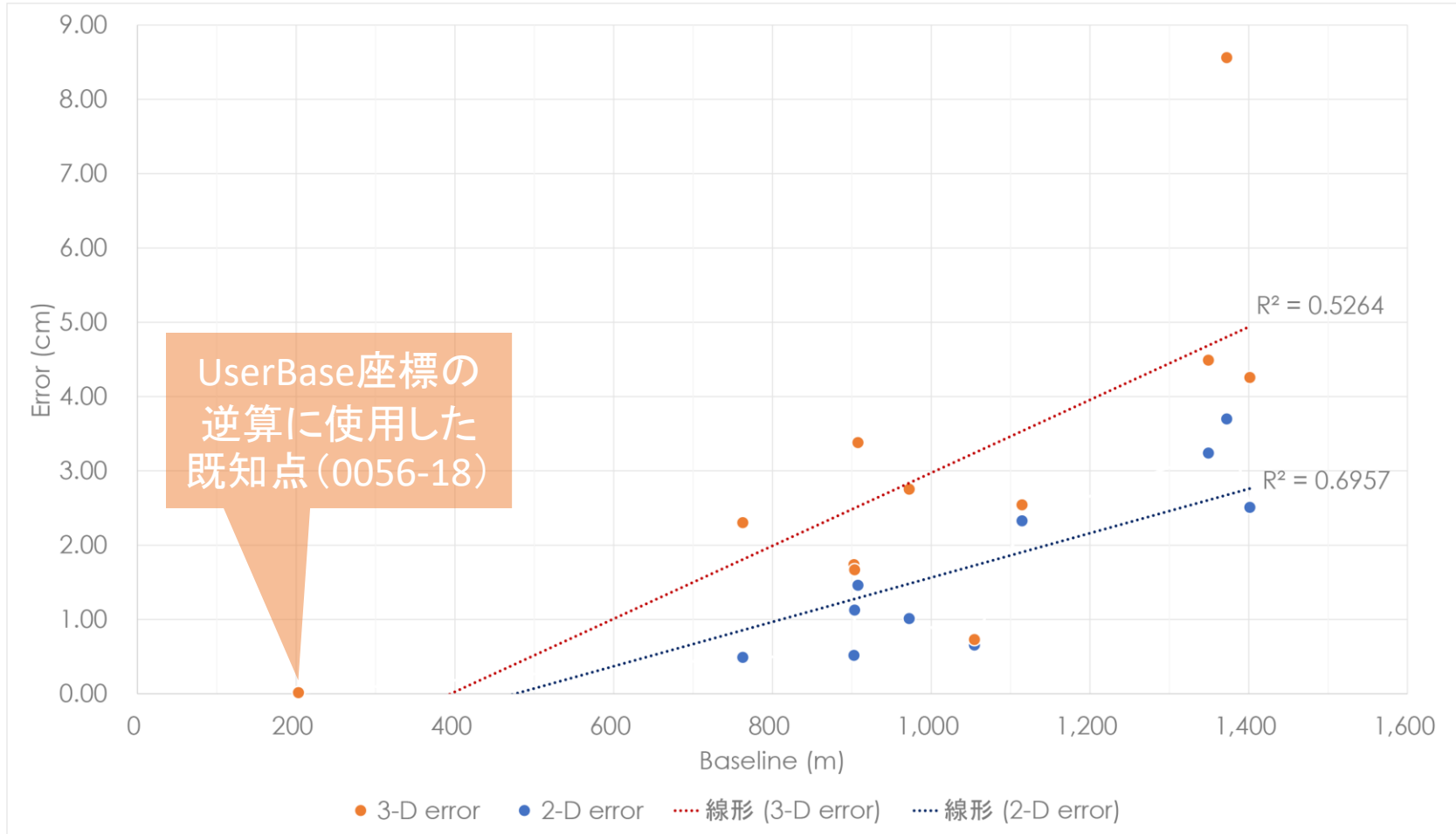
Point	Dx (cm)	Dy (cm)	Dz (cm)	D2d (cm)	D3d (cm)	Baseline (m)
0056-18	—	—	—	—	—	202.9794
0244-15	0.42	-0.25	-2.25	0.49	2.30	762.8570
0235-3	-0.45	0.25	-1.66	0.51	1.74	902.7656
0218-17	-0.24	-1.10	-1.23	1.13	1.67	903.6539
0226-4	0.98	-1.08	-3.05	1.46	3.38	907.8866
0252-13	-0.46	0.90	-2.56	1.01	2.75	972.4379
0209-6	-0.07	-0.65	-0.32	0.65	0.73	1054.6794
0201-7	0.89	-2.15	1.02	2.33	2.54	1114.4736
0126-10	1.06	-3.06	3.11	3.24	4.49	1349.3543
0118-b1	-0.45	-3.67	7.72	3.70	8.56	1372.3277
0113-11	-2.15	-1.29	3.44	2.51	4.26	1401.6490
<b>Average</b>	<b>-0.05</b>	<b>-1.21</b>	<b>0.42</b>	<b>1.70</b>	<b>3.24</b>	
Max	1.06	0.90	7.72	3.70	8.56	
Min	-2.15	-3.67	-3.05	0.49	0.73	
<b>SD</b>	<b>0.91</b>	<b>1.35</b>	<b>3.25</b>	<b>1.11</b>	<b>2.09</b>	

水平（D2d）：Ave 1.70 cm, SD 1.11

三次元（D3d）：Ave 3.24 cm, SD 2.09

統計の集計値（Average, SD）には0056-18の結果は含めていない

# 結果1：既知点との比較



水平（2-D）：Baselineとの相関係数 0.6957

三次元（3-D）：Baselineとの相関係数 0.5264

※相関係数は0056-18を含めた値

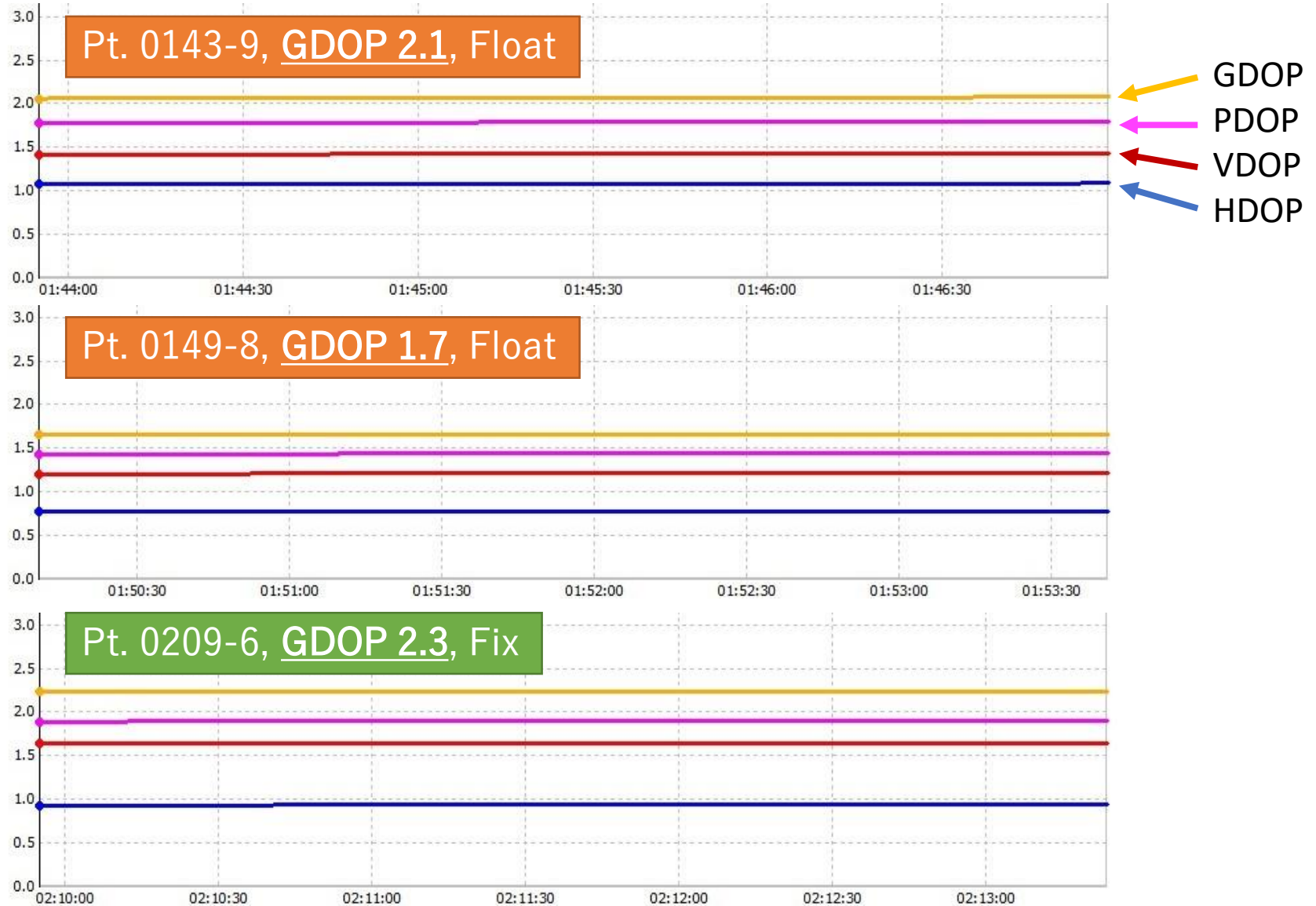
## 結果2：Float解となった2地点

Point	Dx (cm)	Dy (cm)	Float解		Baseline (m)	
			Dz (cm)	D2d (cm)		D3d (cm)
0143-9	-29.76	70.86	-19.55	76.86	79.30	524.9225
0149-8	-29.59	62.31	18.05	68.98	71.30	886.6581
<b>Average</b>	<b>-7.78</b>	<b>15.71</b>	<b>2.23</b>	<b>72.92</b>	<b>75.30</b>	
<b>SD</b>	<b>1.28</b>	<b>1.81</b>	<b>3.39</b>	<b>3.94</b>	<b>4.00</b>	

水平（D2d）：Ave 72.92 cm, SD 3.94

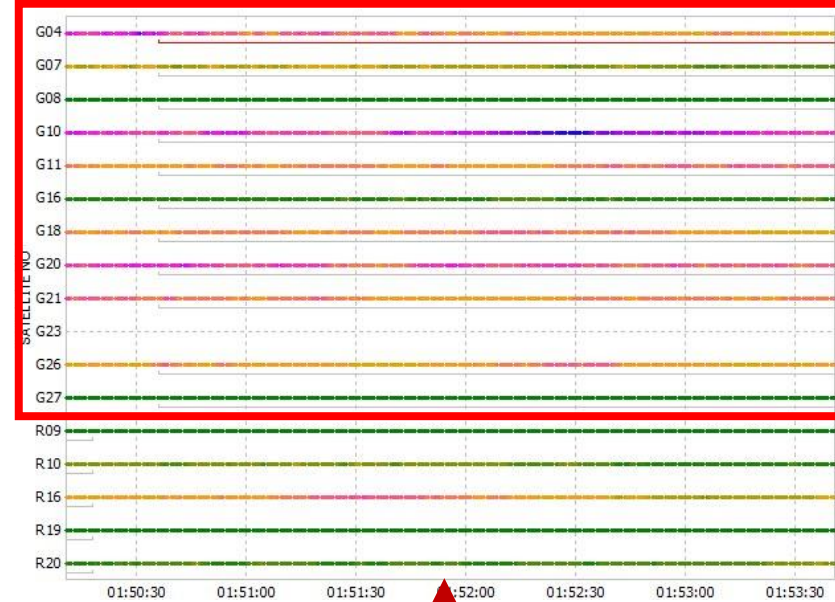
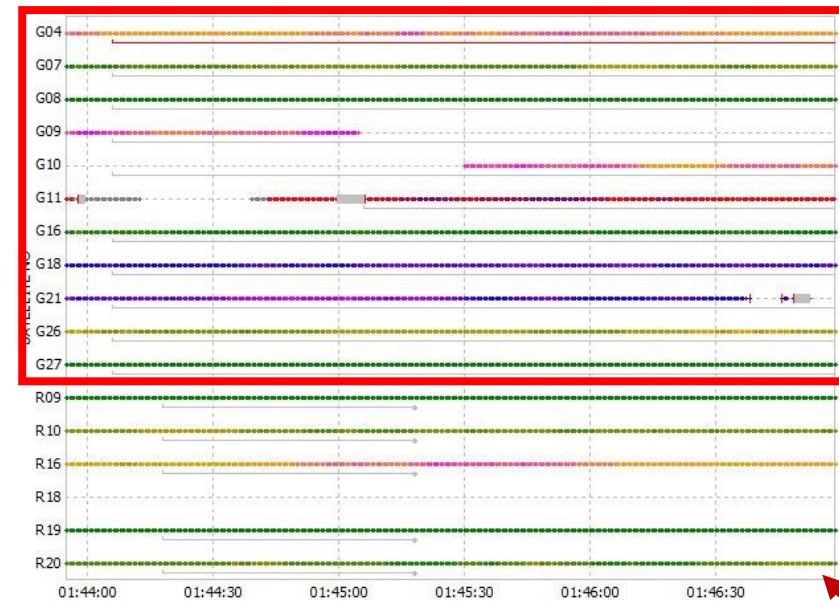
三次元（D3d）：Ave 75.30 cm, SD 4.00

# 結果2：Float解となった2地点



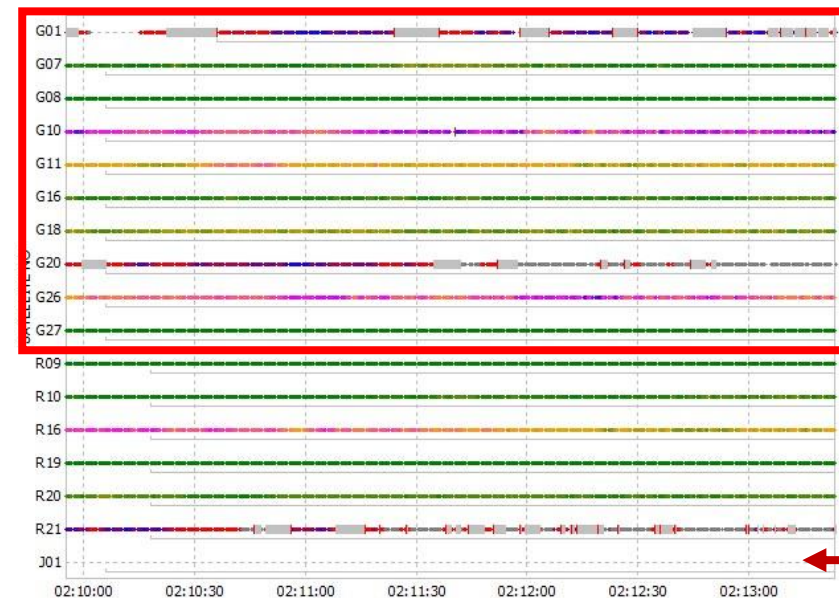


# 結果2：Float解となった2地点



Pt. 0143-9, Float

Pt. 0149-8, Float



Pt. 0209-6, Fix

- Float解となった2地点では、同じ衛星システム内（GPS）で健全なSNR（35dbHz）を維持できた衛星は4つ
- 対して、Fix解となった地点では6衛星

# 結果4：Last 999.9とAve 999.9の差

	Point	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	D2d (mm)	D3d (mm)
UserBase 座標の 逆算に 使用した 既知点	0056-18	—	—	—	—	—
	0244-15	-3.7	2.0	7.2	4.2	8.3
	0235-3	-0.7	1.2	0.5	1.4	1.5
	0218-17	-1.2	-1.0	5.0	1.6	5.2
	0226-4	0.9	-4.6	2.8	4.7	5.5
	0252-13	-0.9	0.7	-2.3	1.1	2.6
	0209-6	-0.6	-1.0	6.9	1.2	7.0
	0201-7	-0.3	-0.5	-0.1	0.6	0.6
	0126-10	1.0	-0.5	-1.8	1.1	2.1
	0118-b1	-0.7	0.0	0.7	0.7	1.0
	0113-11	-0.3	0.0	0.4	0.3	0.5
	<b>ave</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.4</b>	<b>1.9</b>	<b>1.7</b>	<b>3.4</b>
	<i>max</i>	1.0	2.0	7.2	4.7	8.3
	<i>min</i>	-3.7	-4.6	-2.3	0.3	0.5
	<b>SD</b>	<b>1.2</b>	<b>1.7</b>	<b>3.2</b>	<b>1.4</b>	<b>2.7</b>

水平 (D2d) : Ave 1.7 mm, SD 1.4

三次元 (D3d) : Ave 3.4 mm, SD 2.7

統計の集計値 (Average, SD) には0056-18の結果は含めていない

# 結果4：Last とAveを既知点と比較

UserBase座標の逆算  
に使用した既知点

	Last of 999.9					Ave of 999.9				
	Dx (cm)	Dy (cm)	Dz (cm)	D2d (cm)	D3d (cm)	Dx (cm)	Dy (cm)	Dz (cm)	D2d (cm)	D3d (cm)
0056-18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0113-11	-2.15	-1.29	3.44	2.51	4.26	-2.18	-1.29	3.48	2.53	4.30
0118-b1	-0.45	-3.67	7.72	3.70	8.56	-0.52	-3.67	7.79	3.71	8.63
0126-10	1.06	-3.06	3.11	3.24	4.49	1.16	-3.11	2.93	3.32	4.43
0201-7	0.89	-2.15	1.02	2.33	2.54	0.86	-2.20	1.01	2.36	2.57
0209-6	-0.07	-0.65	-0.32	0.65	0.73	-0.13	-0.75	0.37	0.76	0.85
0218-17	-0.24	-1.10	-1.23	1.13	1.67	-0.36	-1.20	-0.73	1.25	1.45
0226-4	0.98	-1.08	-3.05	1.46	3.38	1.07	-1.54	-2.77	1.88	3.34
0235-3	-0.45	0.25	-1.66	0.51	1.74	-0.52	0.37	-1.61	0.64	1.73
0244-15	0.42	-0.25	-2.25	0.49	2.30	0.05	-0.05	-1.53	0.07	1.54
0252-13	-0.46	0.90	-2.56	1.01	2.75	-0.55	0.97	-2.79	1.12	3.01
<b>Average</b>	<b>-0.05</b>	<b>-1.21</b>	<b>0.42</b>	<b>1.70</b>	<b>3.24</b>	<b>-0.11</b>	<b>-1.25</b>	<b>0.62</b>	<b>1.76</b>	<b>3.18</b>
Max	1.06	0.90	7.72	3.70	8.56	1.16	0.97	7.79	3.71	8.63
Min	-2.15	-3.67	-3.05	0.49	0.73	-2.18	-3.67	-2.79	0.07	0.85
<b>SD</b>	<b>0.91</b>	<b>1.35</b>	<b>3.25</b>	<b>1.11</b>	<b>2.09</b>	<b>0.94</b>	<b>1.40</b>	<b>3.16</b>	<b>1.14</b>	<b>2.15</b>

Last of 999.9 :

水平Ave 1.70 cm, SD 1.11, 三次元Ave 3.24 cm, SD 2.09

Ave of 999.9 :

水平Ave 1.76 cm, SD 1.14, 三次元Ave 3.18 cm, SD 2.15

# 考察1：L1-DGNSS精度検証

- 現時点では、最良の精度が得られる簡易測量手法ではないか
- 短距離Baseline（今回は1.4 km）であれば、Fixすれば良い精度が得られる
  - 水平（D2d）：Ave 1.70 cm, SD 1.11
  - 三次元（D3d）：Ave 3.24 cm, SD 2.09
- 三次元精度（U-D精度）はもっと良い可能性がある
  - 基準点計測時の杭頭の正確な高さ基準面が不明であった（プロは三脚を使用する）。高さのある釘が打ってあったり、十字が刻んであったり、傾いていたり、様々な状態であった
- 精度検証は何を検証しているのか：誤差 = 観測誤差 + 機器設置誤差 + 既知点誤差
- 水平精度をみる限り、観測者による機器設置誤差は小さい（自画自賛。）
- PPK-L1GNSSそのものの観測精度と、それ以外の要素（機器設置誤差、既知点誤差）との分離は難しいが、機器設置誤差は誤差全体の主要因となる可能性がある
- Fix解を得るための指標：GDOPとSNR
- Float解となった地点のGDOPはFix解地点と比較しても悪くはない。しかし、全体的にSNRが低い。SNRが低くなった要因は、植生の葉による遮蔽が考えられる

# 考察2：LastとAveの比較

➤ どちらを使用してもほぼ同じ結果。Last of 999.9が良いのでは

## □LastとAveの座標の差

水平（D2d）：平均1.7 mm, SD 1.4

三次元（D3d）：平均3.4 mm, SD 2.7

## □既知点との比較

水平平均 1.70 cm, SD 1.11, 三次元平均 3.24 cm, SD 2.09

水平平均 1.76 cm, SD 1.14, 三次元平均 3.18 cm, SD 2.15

## • メリット・デメリット

Last of 999.9を使用する場合：

◎ 一行のコピペで座標の取得が完了。作業が楽

× 999.9の山が複数ある場合や、Positionの変化傾向が大きい場合に悩む

Ave of 999.9を使用する場合：

◎ Positionの変化が大きくても全体の傾向に近い値が得られる（だろう）

× 作業が面倒（posの成形、999.9の抜き出し、座標値の平均）

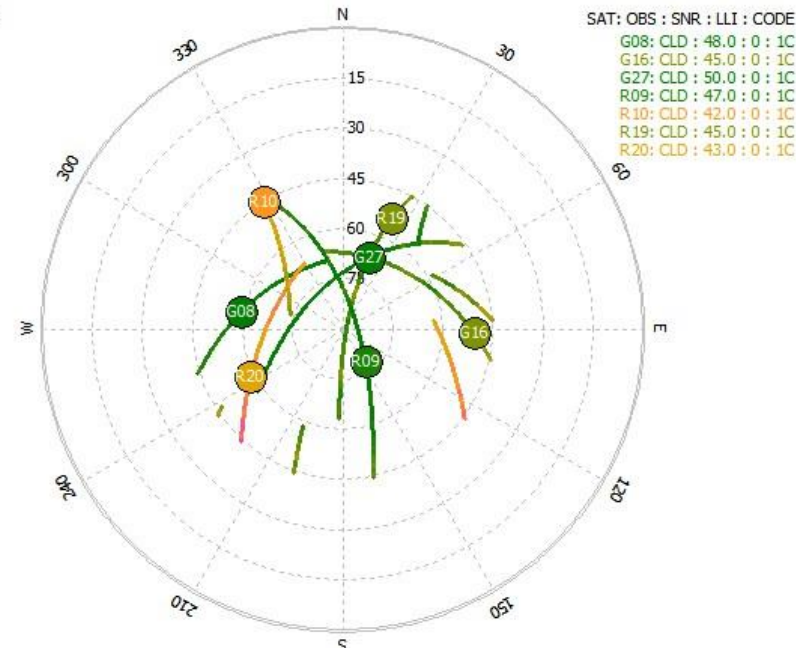
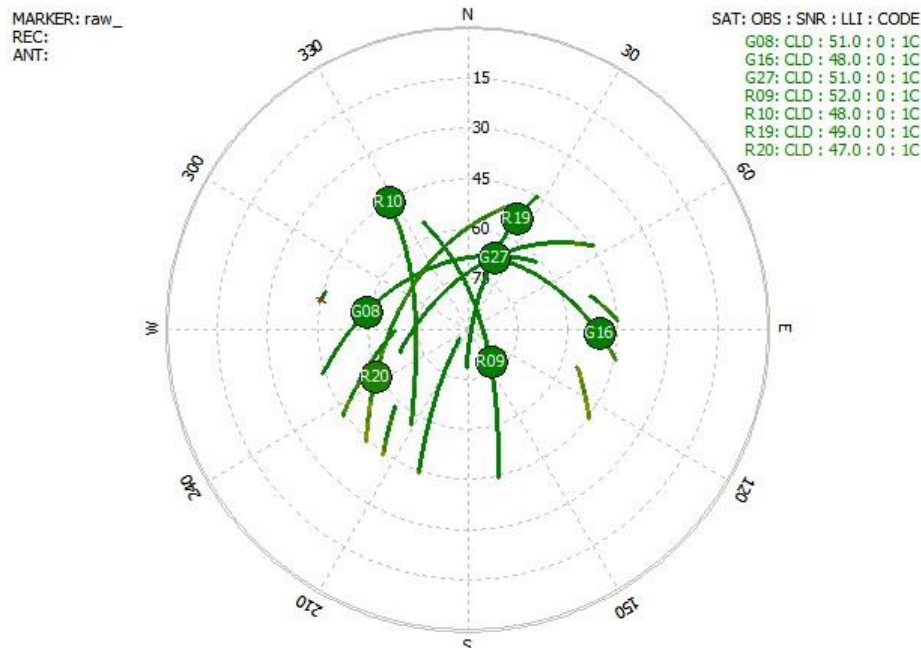


# 参考：Reach RS / Reach RTK

## ➤ アンテナ利得の大きいReach RSのほうが有利

- Reach RS: アンテナ TW2706, LNA Gain 28 db typ.
- Reach RTK: アンテナ TW4721, LNA Gain 26 db min.

(乱暴な) 単純計算ではRSのアンテナのほうが1.26倍利得が大きい



左：Reach RS, 右：Reach RTK, EL mask: 45 deg.

同じ衛星の電波を受信しているがReach RTKのほうがSNRが低い（解析には不利）



# おすすめ文献、引用文献

## おすすめ文献

- ✓ 測位衛星技術株式会社 (2016) GNSSの基本知識 Version 1.0.  
<https://gnss.co.jp/wp-content/uploads/2016/07/ddd790b4eae745d43594c4f302b14761.pdf>
- ✓ 高須知二 (2013) RTKLIB: Documents.  
[http://www.rtklib.com/rtklib\\_document.htm](http://www.rtklib.com/rtklib_document.htm)
- ✓ rtklibexplorer (2018) Brog.  
<https://rtklibexplorer.wordpress.com/>

## 引用文献

- 中島伸一郎・古山陽太・林佑一郎・Nguyen TRUNG KIEN・清水 則一・廣川誠一 (2018) 急傾斜長大斜面のGPS三次元変位計測における誤差補正の効果と長期連続モニタリング結果. 日本地すべり学会誌, Vol. 55, No.1, pp.13-24.
- 内山庄一郎・齋藤仁 (2018) センチメートル級の地形変化抽出を目指した 地上基準点のGNSS観測 (速報). 第9回GIS-Landslide研究集会および第5回高解像度地形情報シンポジウム発表要旨集, pp. 28-30.
- 内山庄一郎 (2018) 必携ドローン活用ガイド. 東京法令出版. (印刷中)