搬送波位相を用いた速度測定

東京海洋大学　情報通信工学研究室

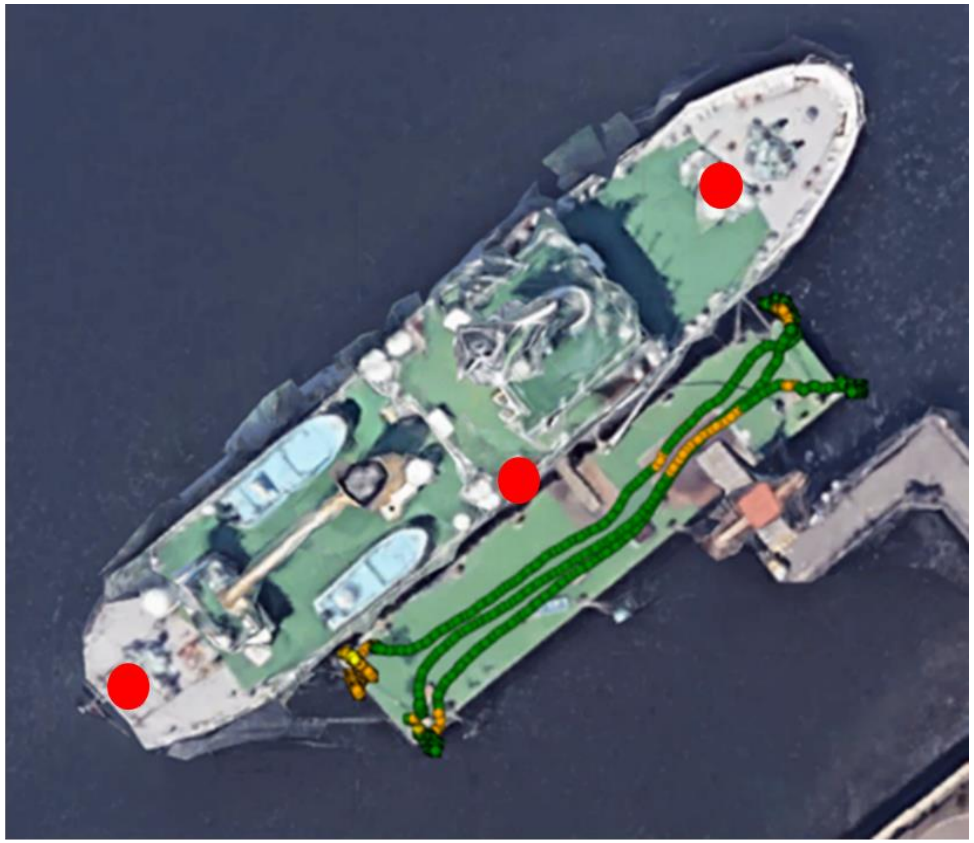
青木　京平

発表内容

- 研究背景
- ドップラー測定値の速度推定方法
- TDCP (Time Differenced Carrier Phases)について
- 実験①オープンスカイ環境下静止体実験
- 実験②悪環境下静止体実験
- まとめ

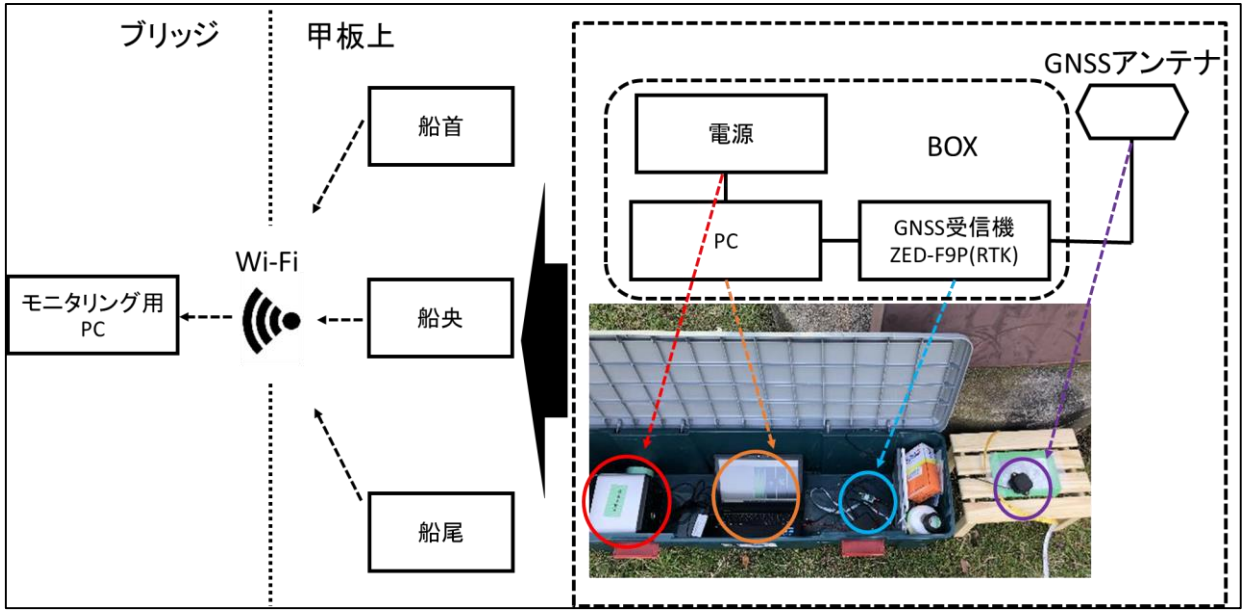
研究背景

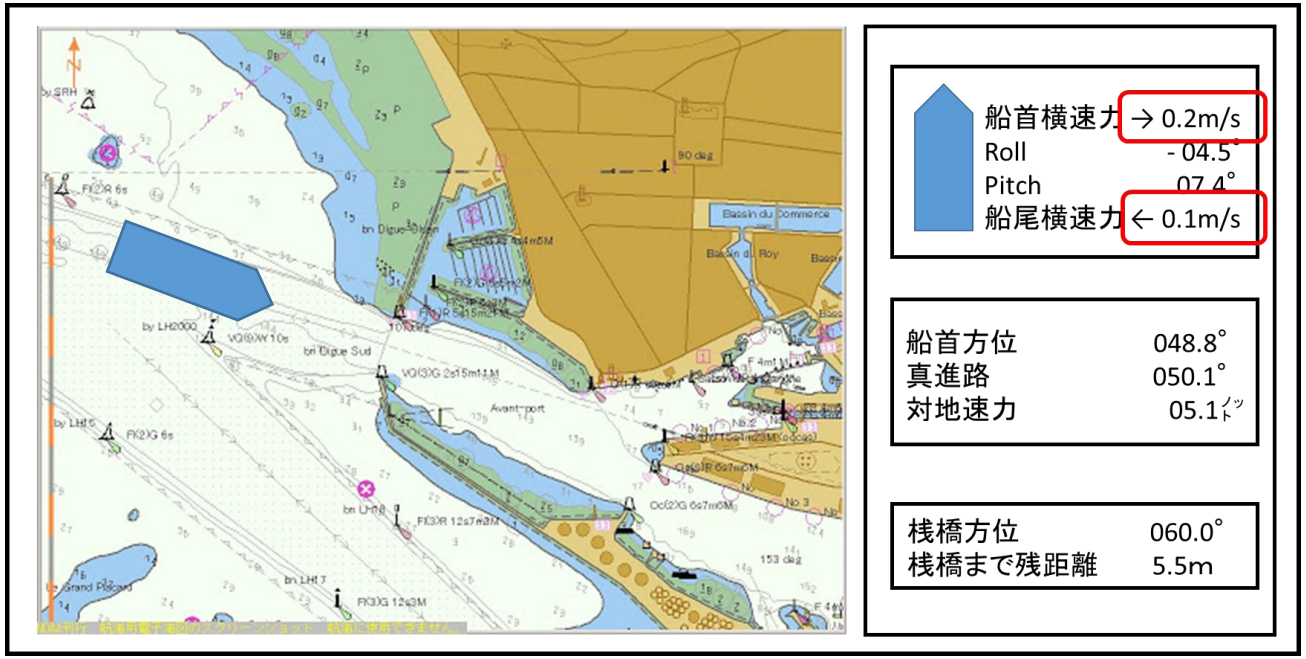
高精度速度利活用例



汐路丸俯瞰図とアンテナ設置位置

● ： アンテナ設置位置





ドップラー測定値について

- 受信機が止まっていても、測位衛星とは相対速度が生じるので、ドップラー効果による周波数偏移が現れる。(以下ドップラー測定値)
- ドップラー測定値から速度（cm / sの精度）を得ることでき、更に測位結果とカップリングさせ位置推定精度を高めることが期待できる。

観測データのヘッダー部

```
 -3961911.4303   3349000.3454   3698219.1013                  APPROX POSITION XYZ
        0.0000         0.0000         0.0000                  ANTENNA: DELTA H/E/N
G   12 C1C L1C D1C S1C C2L L2L D2L S2L C2M L2M D2M S2M       SYS / # / OBS TYPES
R    8 C1C L1C D1C S1C C2C L2C D2C S2C                       SYS / # / OBS TYPES
E    8 C1C L1C D1C S1C C7Q L7Q D7Q S7Q                       SYS / # / OBS TYPES
J    8 C1C L1C D1C S1C C2L L2L D2L S2L                       SYS / # / OBS TYPES
C    8 C1I L1I D1I S1I C7I L7I D7I S7I                       SYS / # / OBS TYPES
             G 3   22573038.112   118622144.298      -2115.363        47.000
             C10   38792655.420   202003517.702      -1576.260        42.000
             C13   40263151.017   209660809.072       -656.907        42.000
             C14   24014673.163   125050732.486        902.101        46.000
             C21   26930924.329   140236396.058      -3297.620        42.000
```

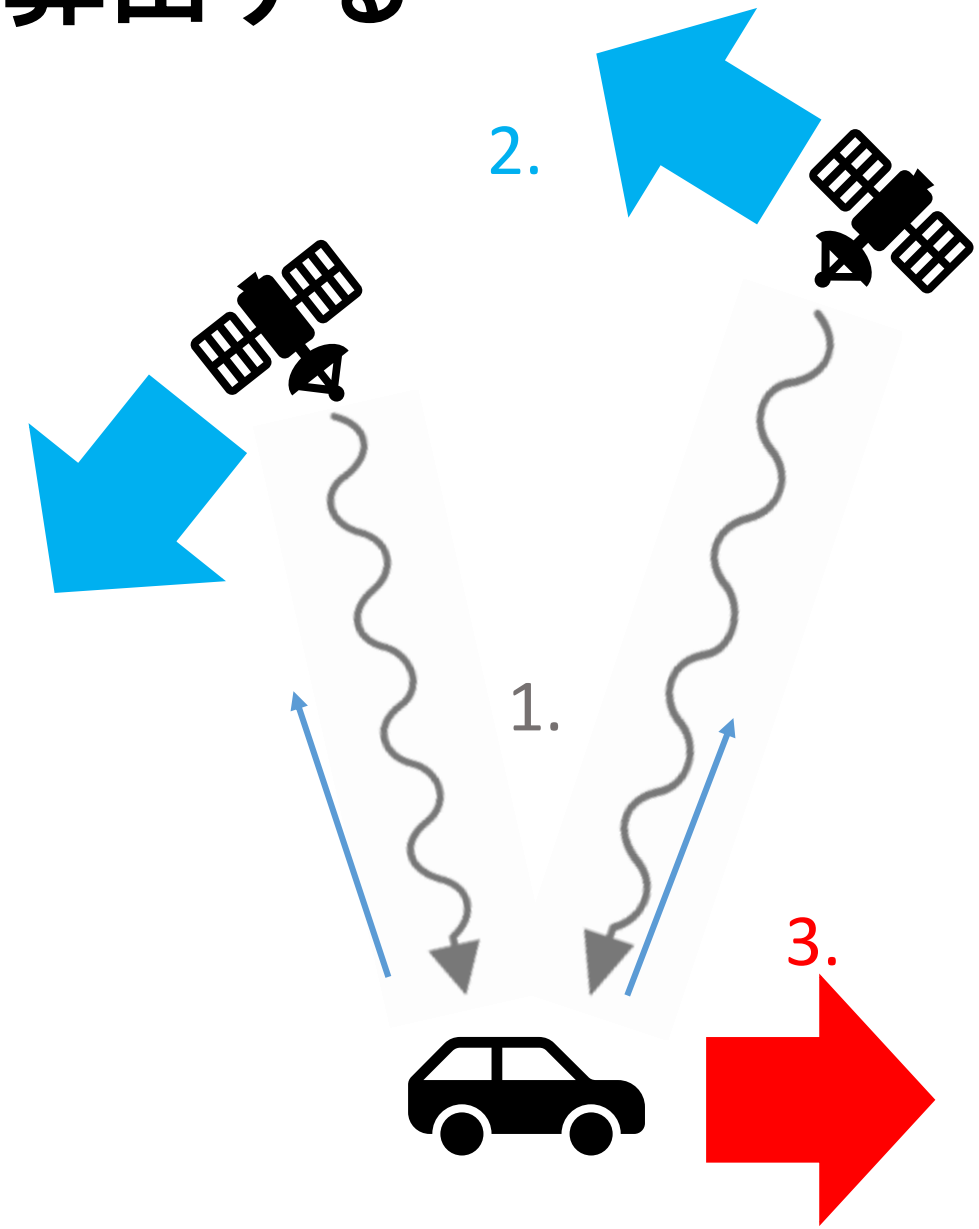
1周波目のドップラー測定値と搬送波位相

ドップラー測定値から速度を算出する

1. ドップラー測定値は、衛星とアンテナの相対速度＋周波数offsetで構成されている。

2. 1エポック後と1エポック前の衛星位置を求め、差し引くことで各衛星速度を得る。また、視線ベクトルを推定位置と衛星位置より計算。

3. 1と2から受信機の速度を推定。（最小二乗法など）



搬送波位相からドップラー観測値の算出について

- GNSS測量での搬送波位相の記録は、ドップラー効果の測量値を連続性に記録したものである。
- つまり、**同じ衛星の搬送波の時間差分(TDCP)**は、速度算出に利用できる。 (Time Differenced Carrier Phases)
- 以下は同時刻のドップラー測定値と搬送波位相の差をプロットしたもの。

	A	B	C
1	GPSTIME	ドップラー観測値	TDCP
2	457587.9998	-3715.773	-3715.658472
3	457588.9998	-3715.605	-3715.611974
4	457589.9998	-3715.587	-3715.465972
5	457590.9998	-3715.425	-3715.355971
6	457591.9998	-3715.327	-3715.389971
7	457592.9998	-3715.624	-3715.49997
8	457593.9998	-3715.878	-3715.747971
9	457594.9998	-3715.714	-3715.979471
10	457595.9998	-3716.246	-3716.028971

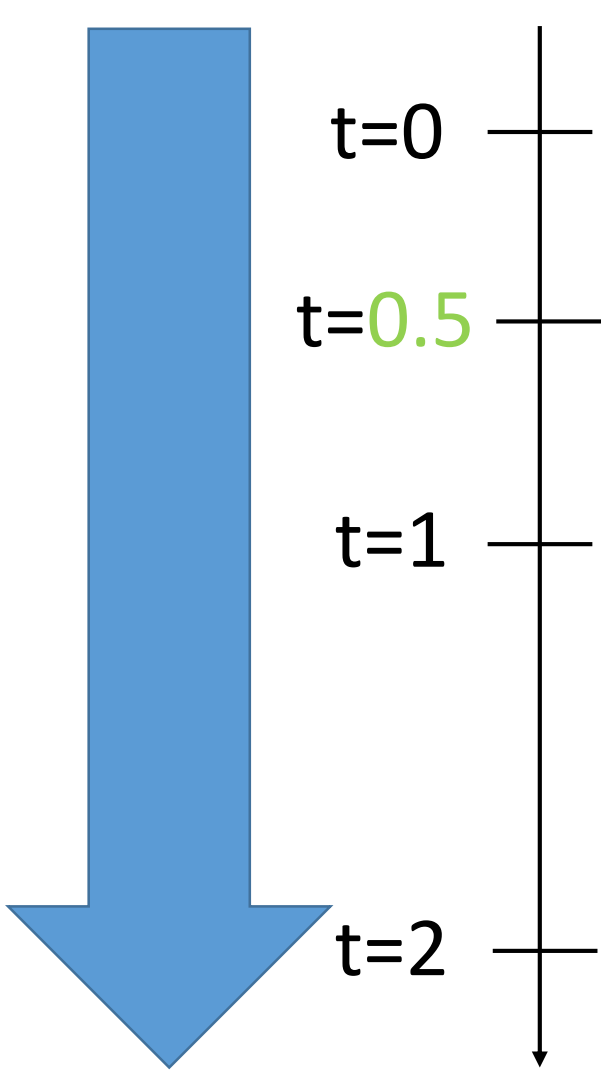
1秒前と1秒後の搬送波を利用

受信機出力（推定方法は不明）

表：ドップラー測定値とTDCP値比較

搬送波位相からドップラー値の算出について

- 後処理におけるTDCPの算出方法は以下の通り



Cp_0 Dp_0

Cp_1 Dp_1

Cp_2 Dp_2

Cp：搬送波位相
Dp： ドップラー観測値

$$TDCP_{0.5} = (Cp_1 - Cp_0)/2$$

$$TDCP_1 = (Cp_2 - Cp_0)/2$$

リアルタイムでは未来の搬送波を得ることができないので、現エポックと1エポック前の搬送波を用いて0.5エッポク前の速度を推定する。

実験①実験概要

- 設置場所:

  東京海洋大学第5実験棟屋上

- 使用機材

  Zephyr_Geodetic_2_RoHS - ublox_ZED_F9P

- 測位時間:

  3時間(ublox_F9P)、1[Hz]

  ※2020年05月29日16時頃～19時頃

屋上アンテナ環境

Zephyrアンテナ

ublox_ZED_F9P

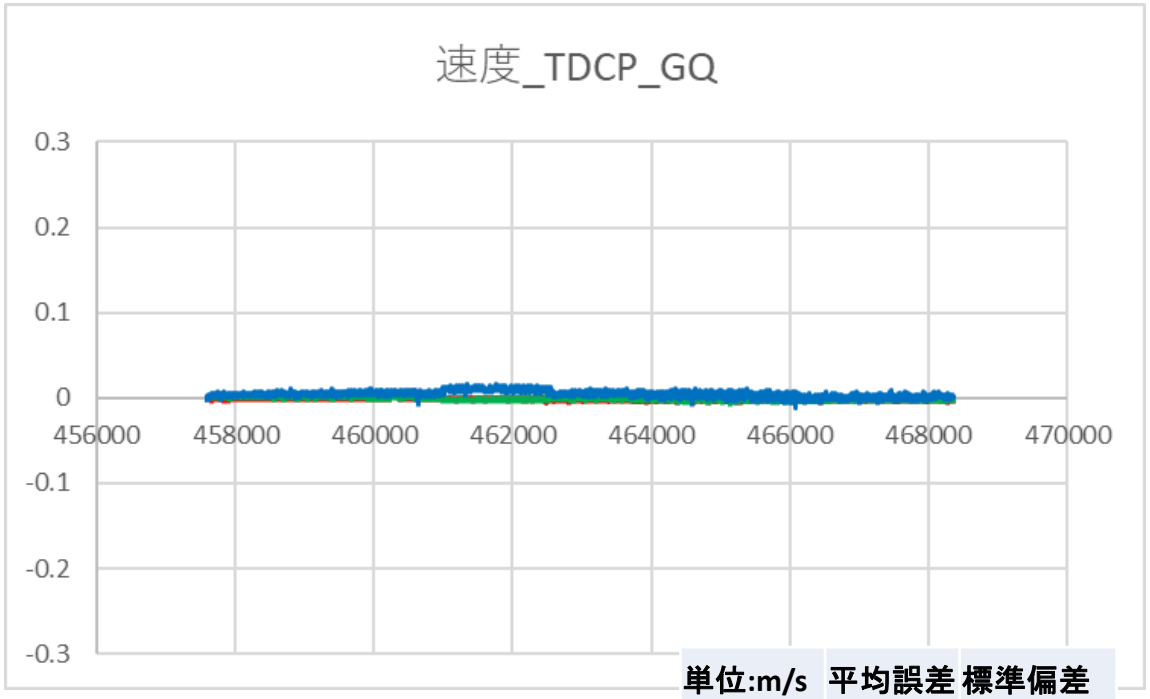
真値
Lat:35.666334328
Lon:139.792201307
Alt:59.763

実験①ドップラー観測値とTDCP比較

横軸　GPSTIME(s), 縦軸　速度(m/s)

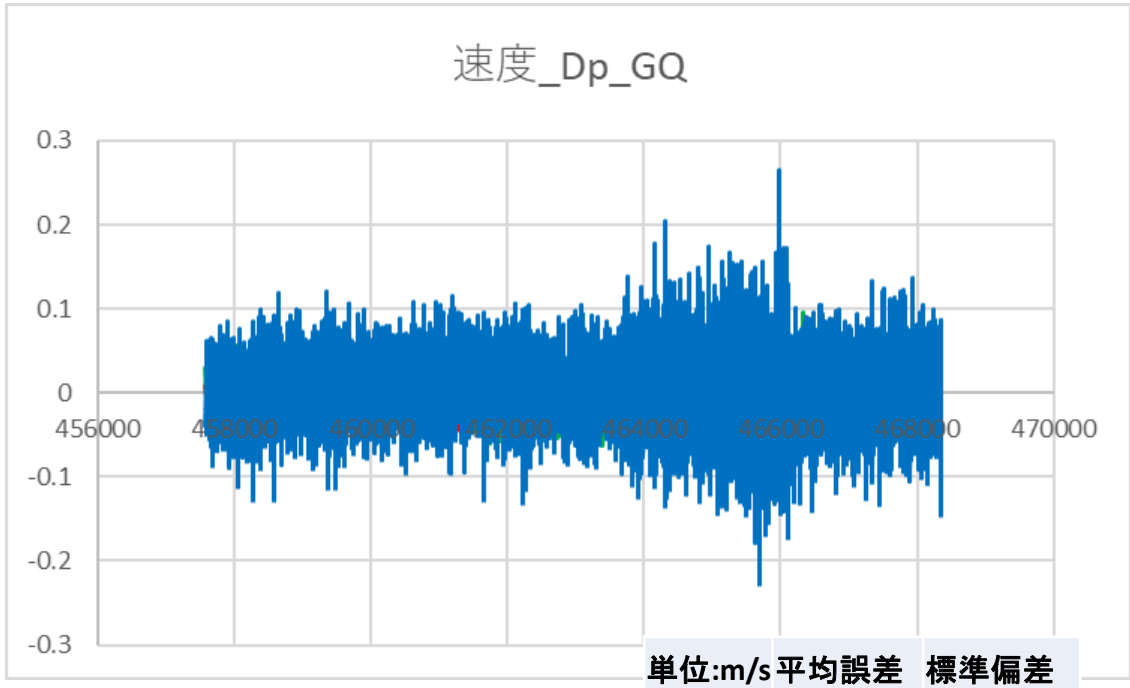
Longitude　Latitude　Altitude

TDCP（±1秒）



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0006	0.0015
経度	-0.0012	0.0013
高度	0.0049	0.0035

ドップラー観測値



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0003	0.0203
経度	-0.0010	0.0163
高度	0.0049	0.0413

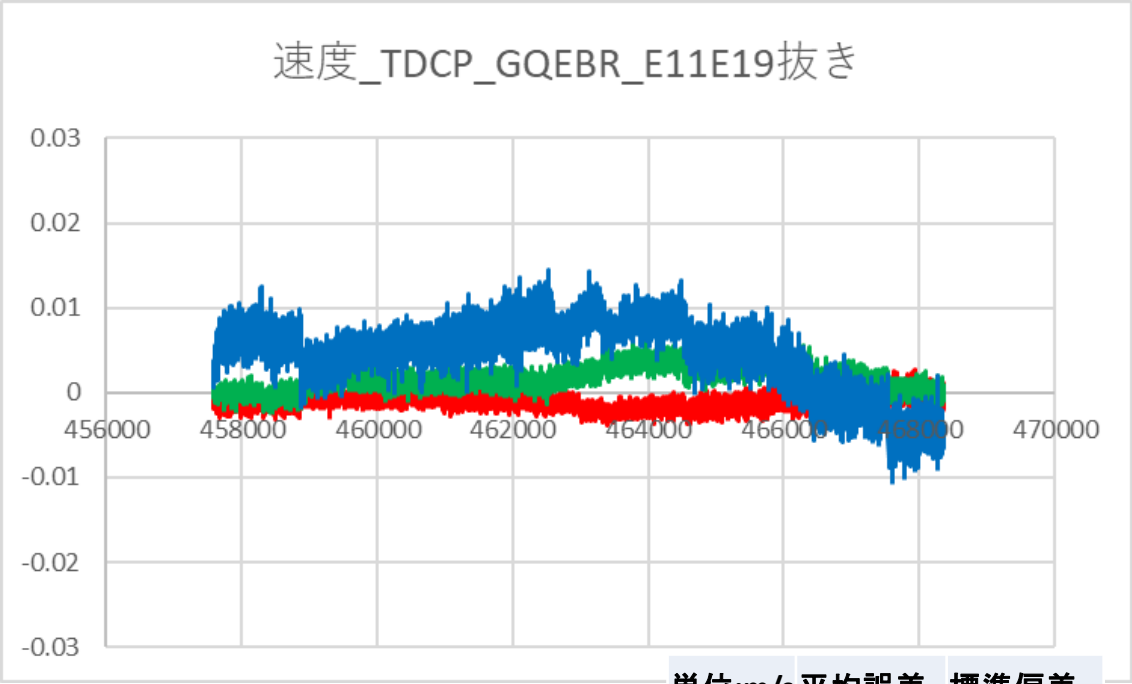
cm/s→mm/sの速度精度に改良された!!

実験① F9P(NAV-PVT)との比較

横軸　GPSTIME(s), 縦軸　速度(m/s)

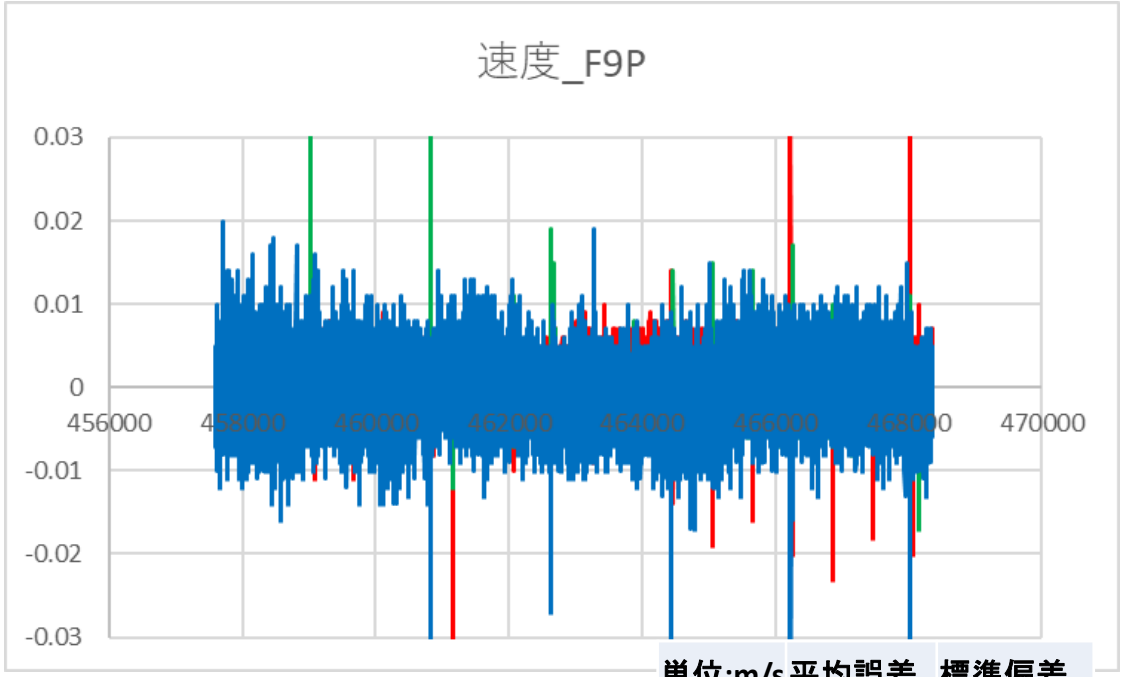
Longitude　Latitude　Altitude

TDCP（±1秒）



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0017	0.0014
経度	-0.0011	0.0008
高度	0.0045	0.0041

F9P



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0005	0.0020
経度	0.0021	0.0022
高度	-0.0019	0.0044

TDCPはバイアスが課題となっている

実験①まとめ

- オープンスカイ環境下の静止点での速度推定を行った。
- ドップラー推定値での速度推定の精度(cm/s)と比較して、TDCPでの速度推定が大きく上回ることが分かった。水平で1.5cm/s程度が1.5mm/s程度（±1秒）になる。
- F9Pの速度推定と比較しても、高精度の速度推定ができている。
- しかし、現状のTDCP速度推定にはバイアスがやや残存するため、バイアスを取り除くという課題が存在する。

実験②概要

- 設置場所:

  東京海洋大学第5実験棟5階

- 使用機材

  AMO_ANNMB00- ublox_ZED_F9P

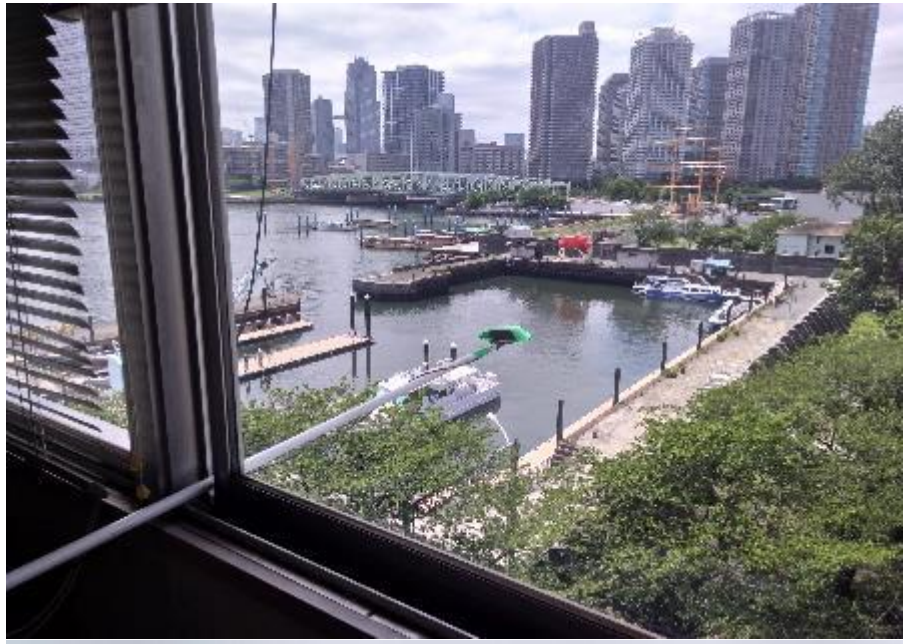
- 測位時間:

  3時間(ublox_F9P)、1[Hz]

  ※2020年06月15日9時頃～12時頃

AMOアンテナ

ublox_ZED_F9P



アンテナ周辺の環境

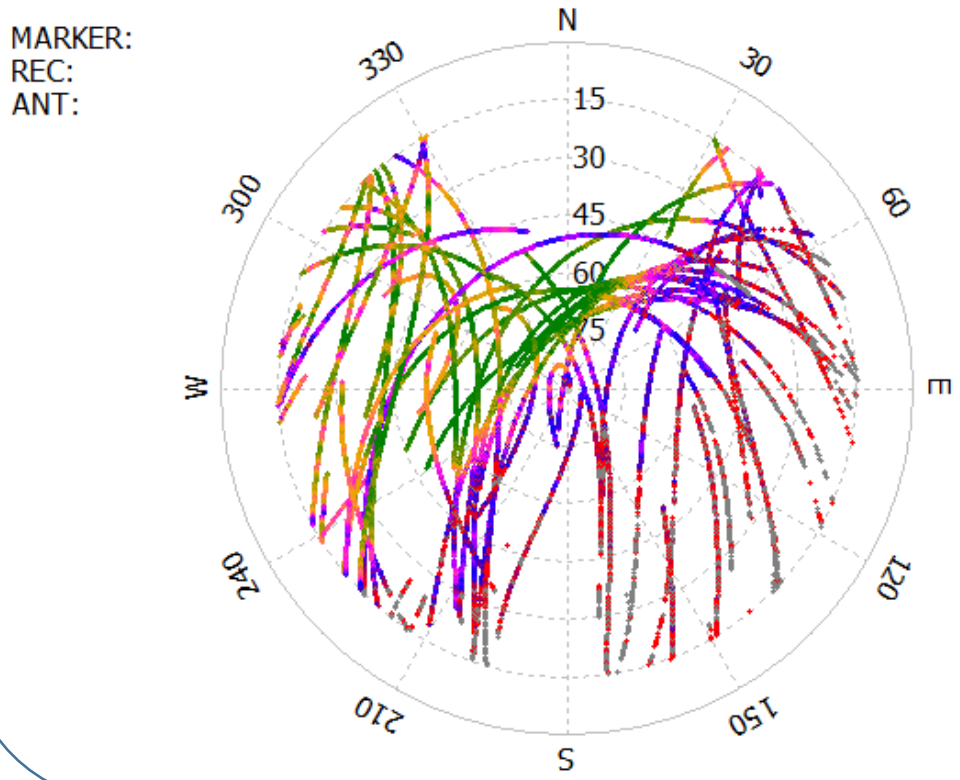
実験②環境条件比較

- 壁際環境と屋上のオープンスカイ環境でのスカイプロット

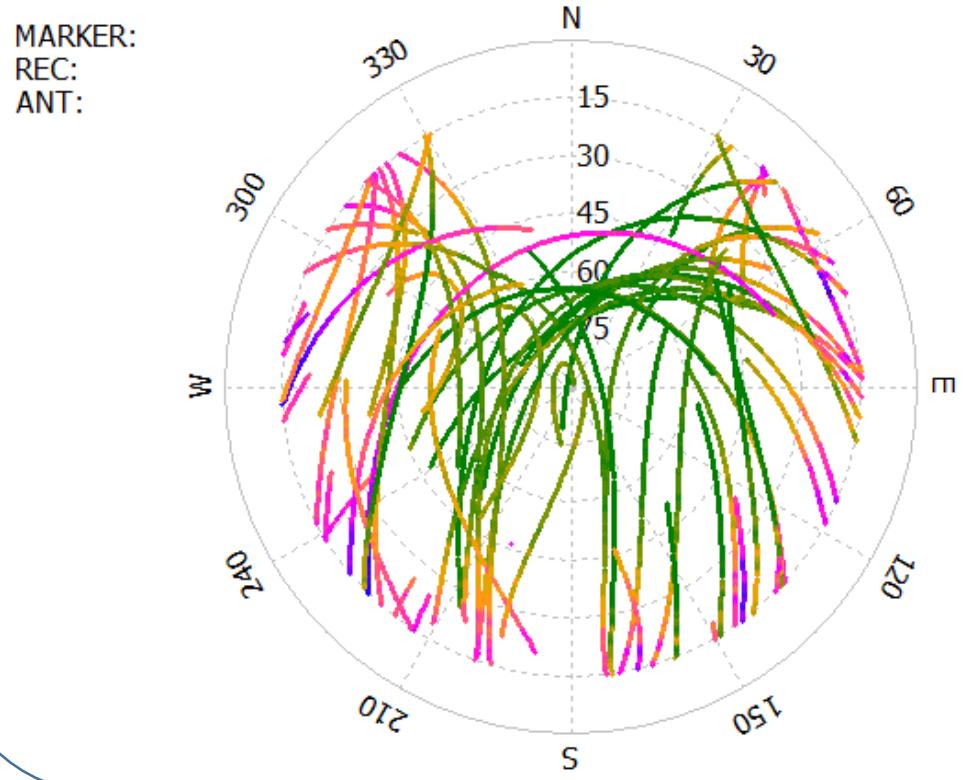
信号強度(SNR)　45以上　40　35　30　25　25以下

良 ⟷ 悪

実験環境



屋上環境

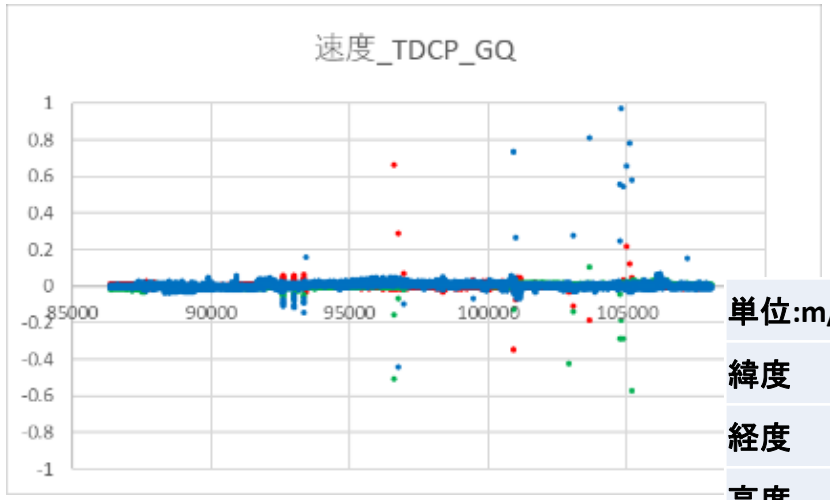


実験②ドップラー観測値とTDCP比較

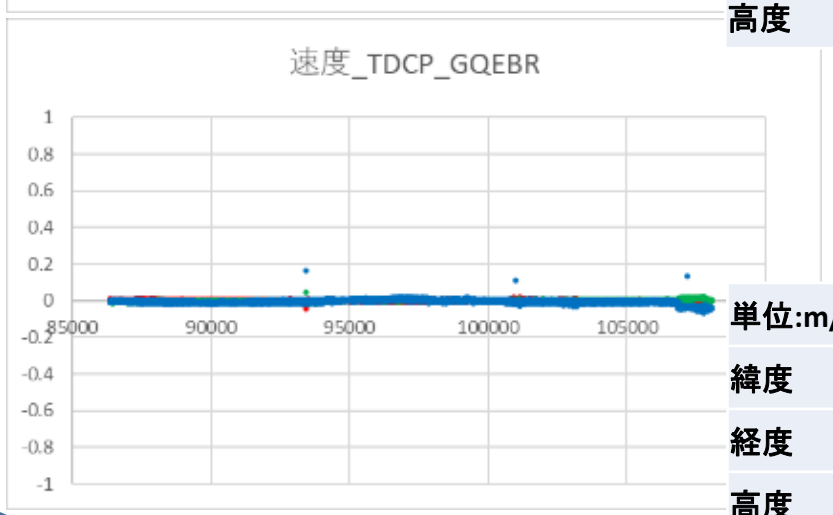
- 横軸　GPSTIME(s)，縦軸　速度(m/s)

Longitude　Latitude　Altitude

TDCP(リアルタイム)

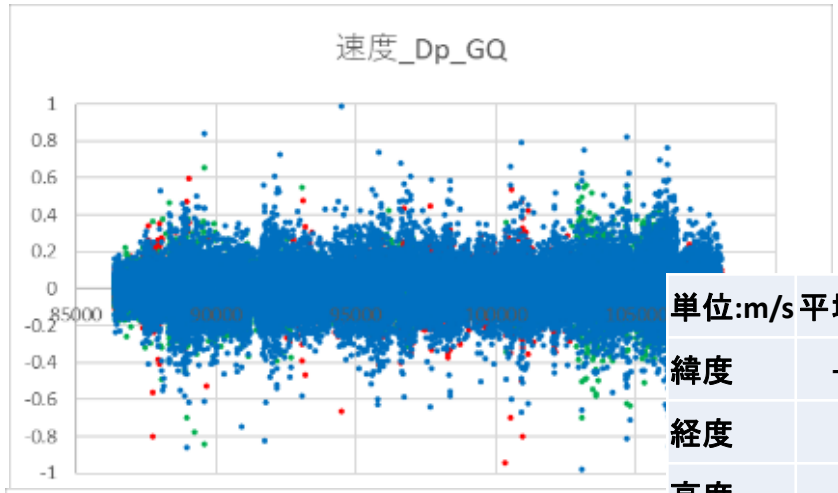


単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0013	0.0277
経度	0.0012	0.0590
高度	0.0053	0.1226

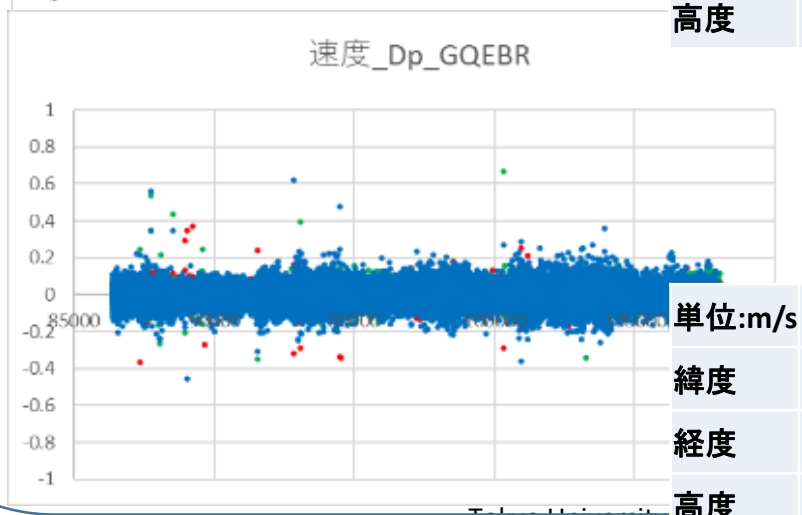


単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0002	0.0046
経度	0.0010	0.0028
高度	-0.0054	0.0101

ドップラー観測値



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0057	0.0772
経度	0.0007	0.0660
高度	-0.0020	0.1276



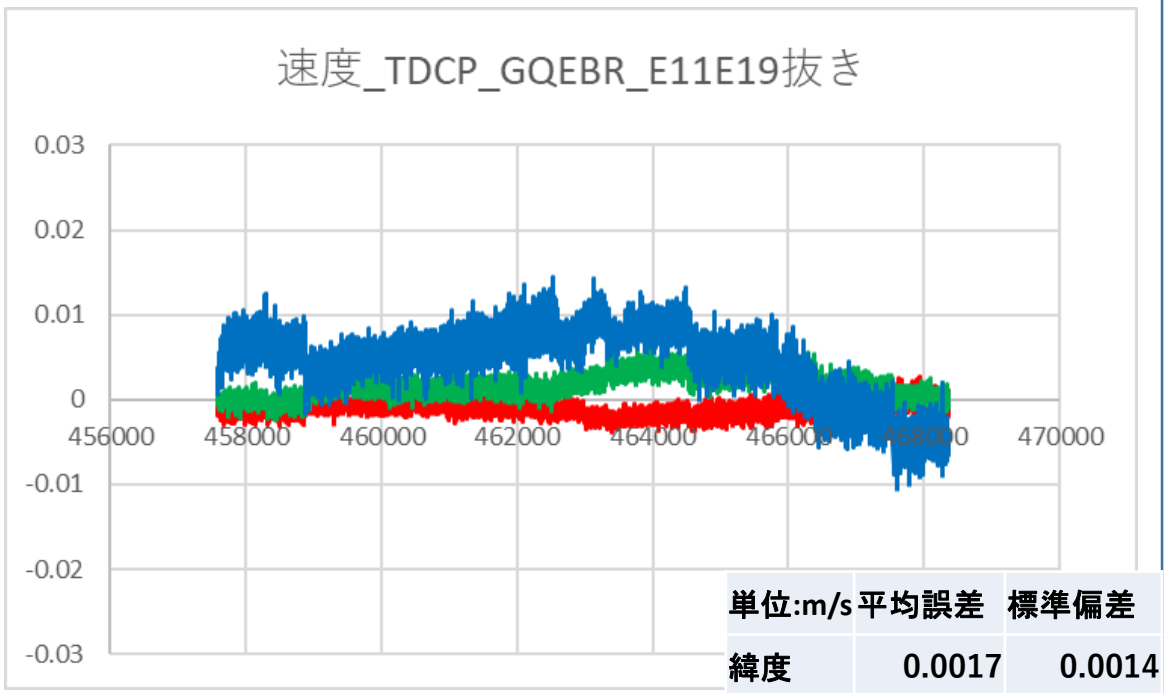
単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0002	0.0349
経度	0.0006	0.0349
高度	-0.0051	0.0592

オープンスカイと悪環境比較

- 横軸　GPSTIME(s)，縦軸　速度(m/s)

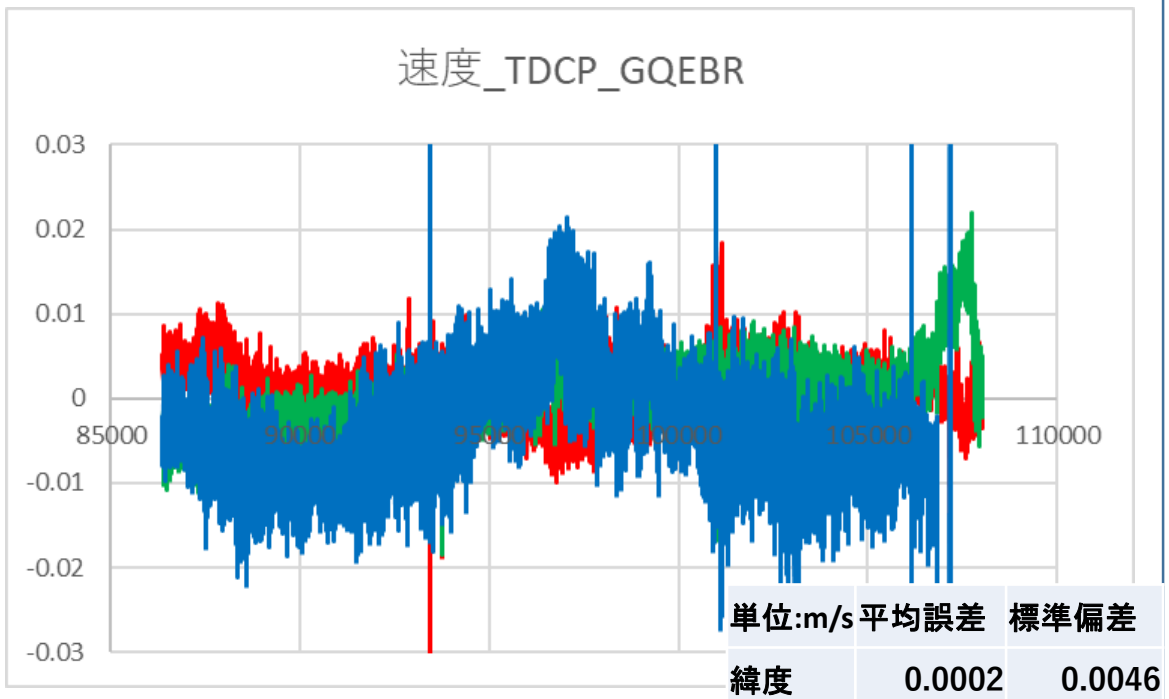
Longitude　Latitude　Altitude

実験①（屋上）



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0017	0.0014
経度	-0.0011	0.0008
高度	0.0045	0.0041

実験②（壁横）



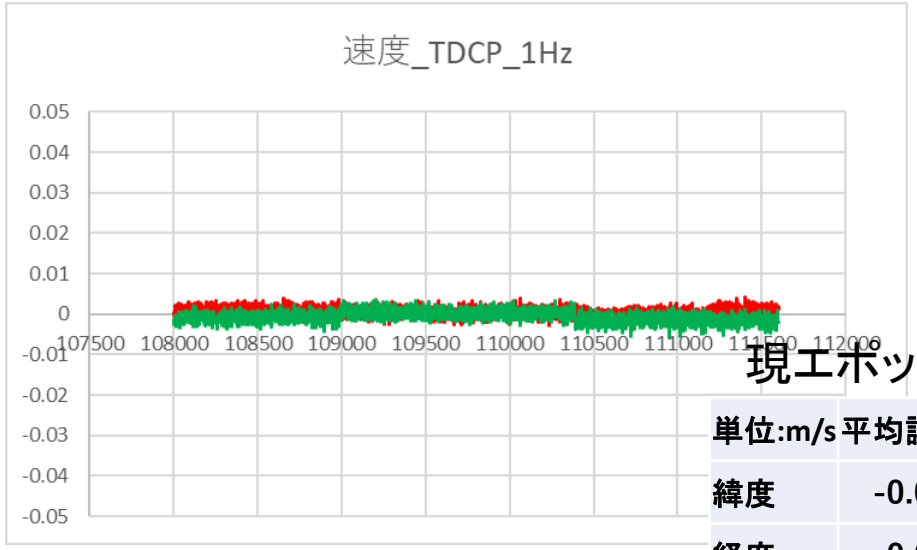
単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0002	0.0046
経度	0.0010	0.0028
高度	-0.0054	0.0101

悪環境下でも良い精度で推定されていることが分かる

参考_速度算出間隔比較

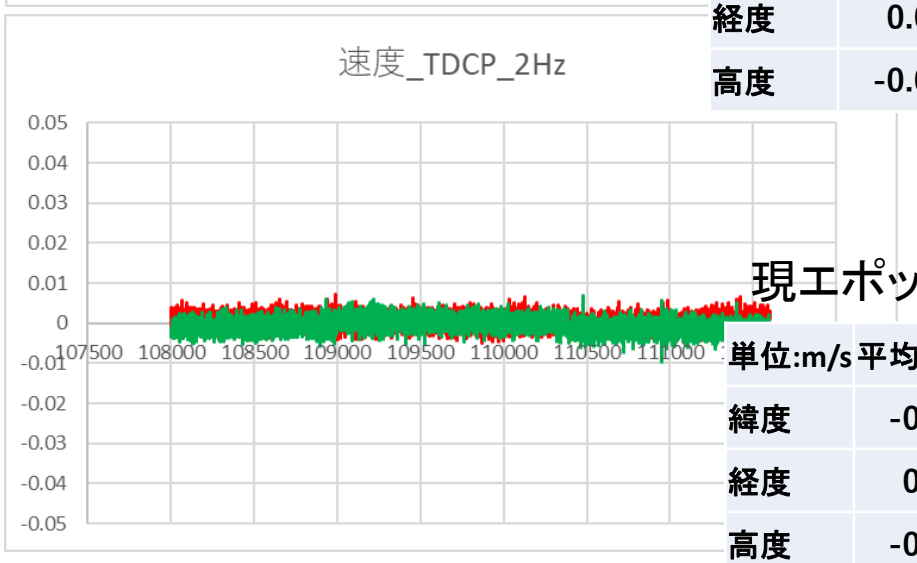
- 横軸　GPSTIME(s)，縦軸　速度(m/s)

Longitude　Latitude　Altitude



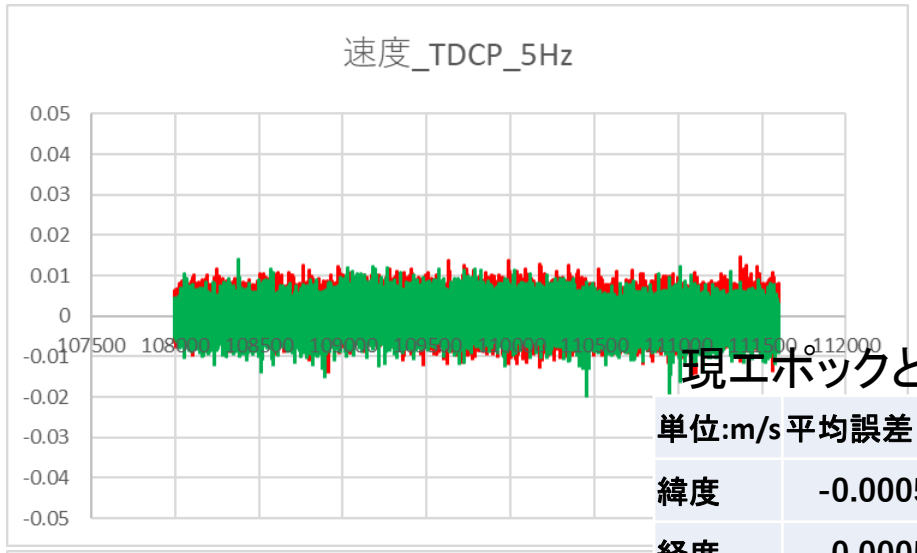
現エポックと1秒前

単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0005	0.0013
経度	0.0005	0.0011
高度	-0.0009	0.0034



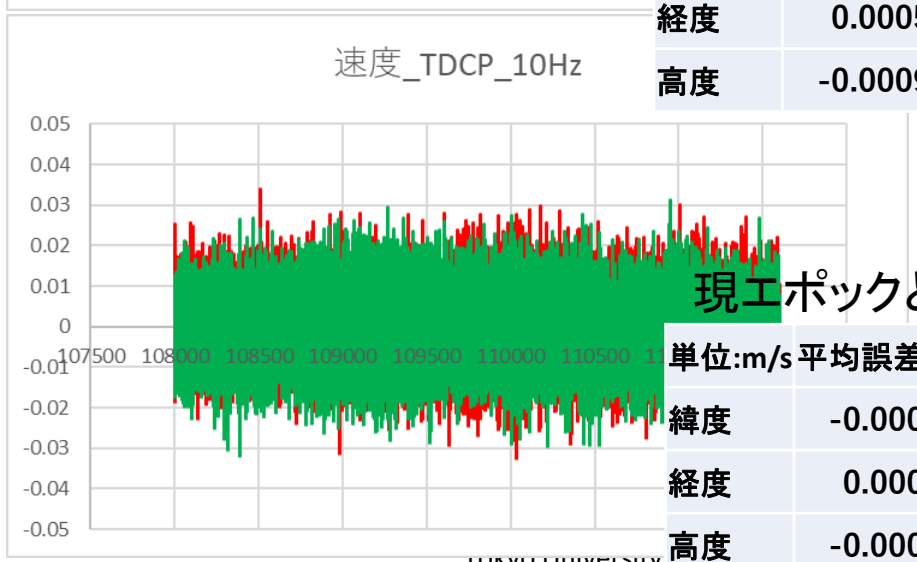
現エポックと0.5秒前

単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0005	0.0018
経度	0.0005	0.0016
高度	-0.0009	0.0043



現エポックと0.2秒前

単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0005	0.0035
経度	0.0005	0.0036
高度	-0.0009	0.0081



現エポックと0.1秒前

単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	-0.0005	0.0076
経度	0.0005	0.0074
高度	-0.0009	0.0167

実験②まとめ

- 悪環境下での速度推定を行った。

- 精度の劣化はみられるものの悪環境下でもドップラー測定値を用いた測定値よりも確実に精度のよい速度を得ることができた（水平で5cm/sから5㎜/s）。瞬間の値としては利用できると予想される。

- 速度算出の間隔比較を行い、5Hzで現時刻と0.2秒前の時刻で推定すると、UBLOXの速度推定値に近いことがわかった。

- オープンスカイ、悪環境ともに、TDCP方式で見られるバイアスの原因を調査することが課題である。ただし、最後の速度算出の間隔比較に用いた結果では比較的小さいバイアスであった。

ご清聴ありがとうございました