

RTKの基線長を延ばす手法の検討

情報通信工学研究室

尾関友啓

GNSSとは



カーナビ



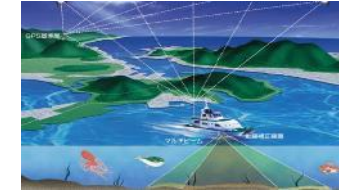
ECDIS & AIS



ドローン



津波ブイ



水深測量

GNSS

(Global Navigation Satellite System)

GPS



QZSS



BDS



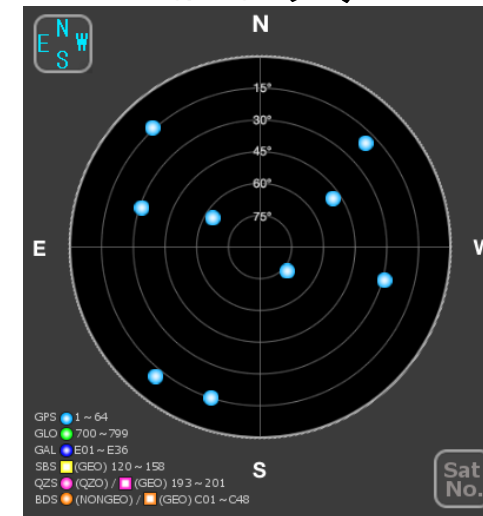
GLONASS



GALILEO

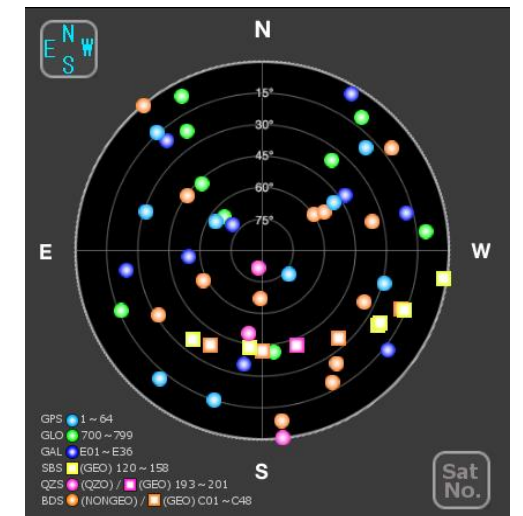


GPSのみ



9機

GPS&QZSS&BDS &GLONASS&GALILEO



54機

測位精度の向上

GNSSとは？



カーナビ



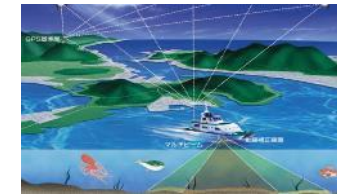
ECDIS & AIS



ドローン

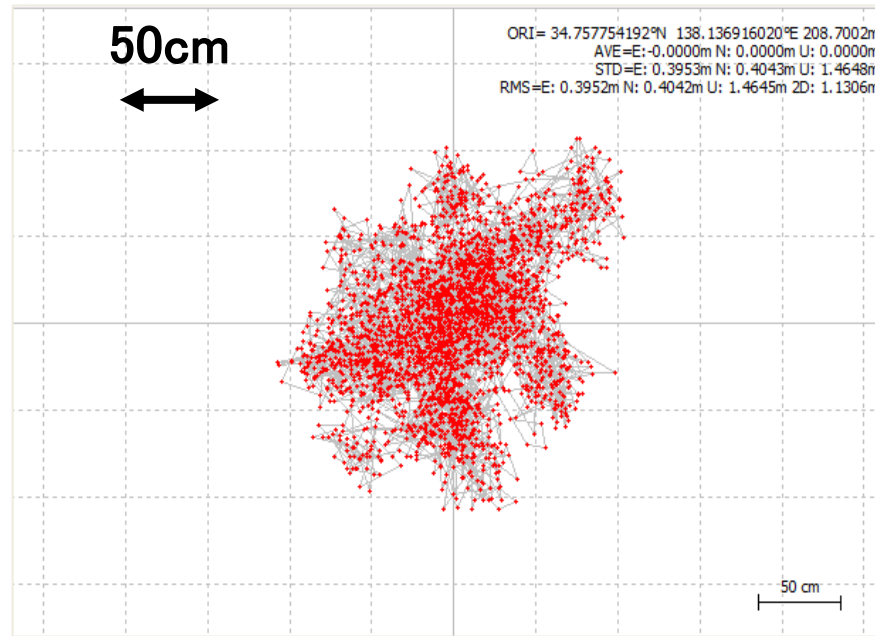


津波ブイ



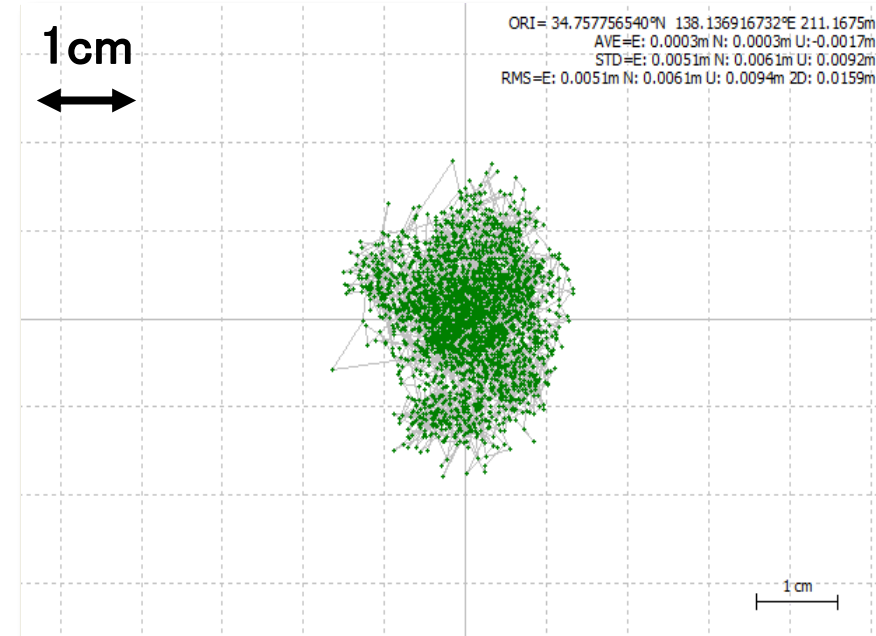
水深測量

単独測位



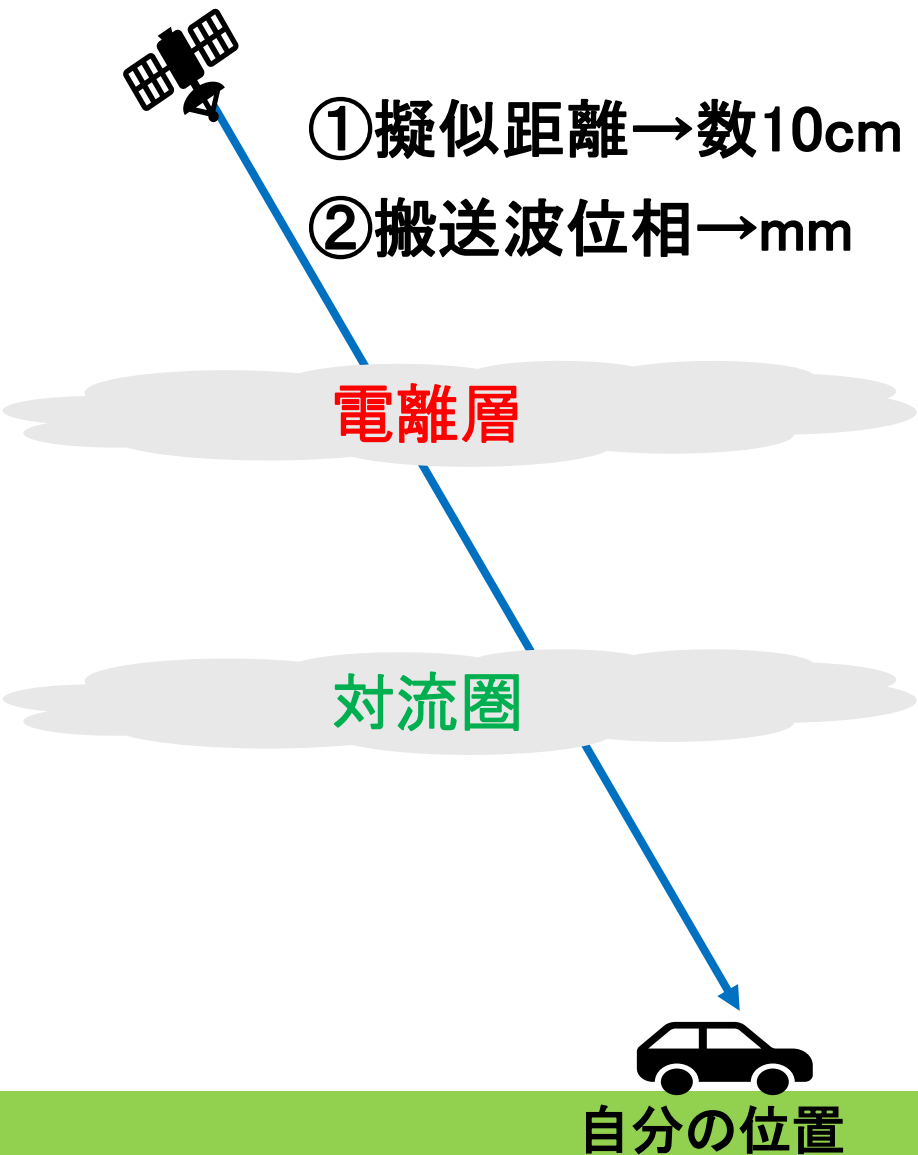
精度: 数m

RTK測位 (Real Time Kinematic)



精度: 1cm

RTK測位とは？



RTKは搬送波位相を利用

$$\varphi_{rov}^{sv1} = \rho_{rov}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{rov}) - ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1} + mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1} + \lambda N_{rov}^{sv1}$$

幾何学距離

電離層遅延量

マルチパス

搬送波位相バイアス

クロック誤差

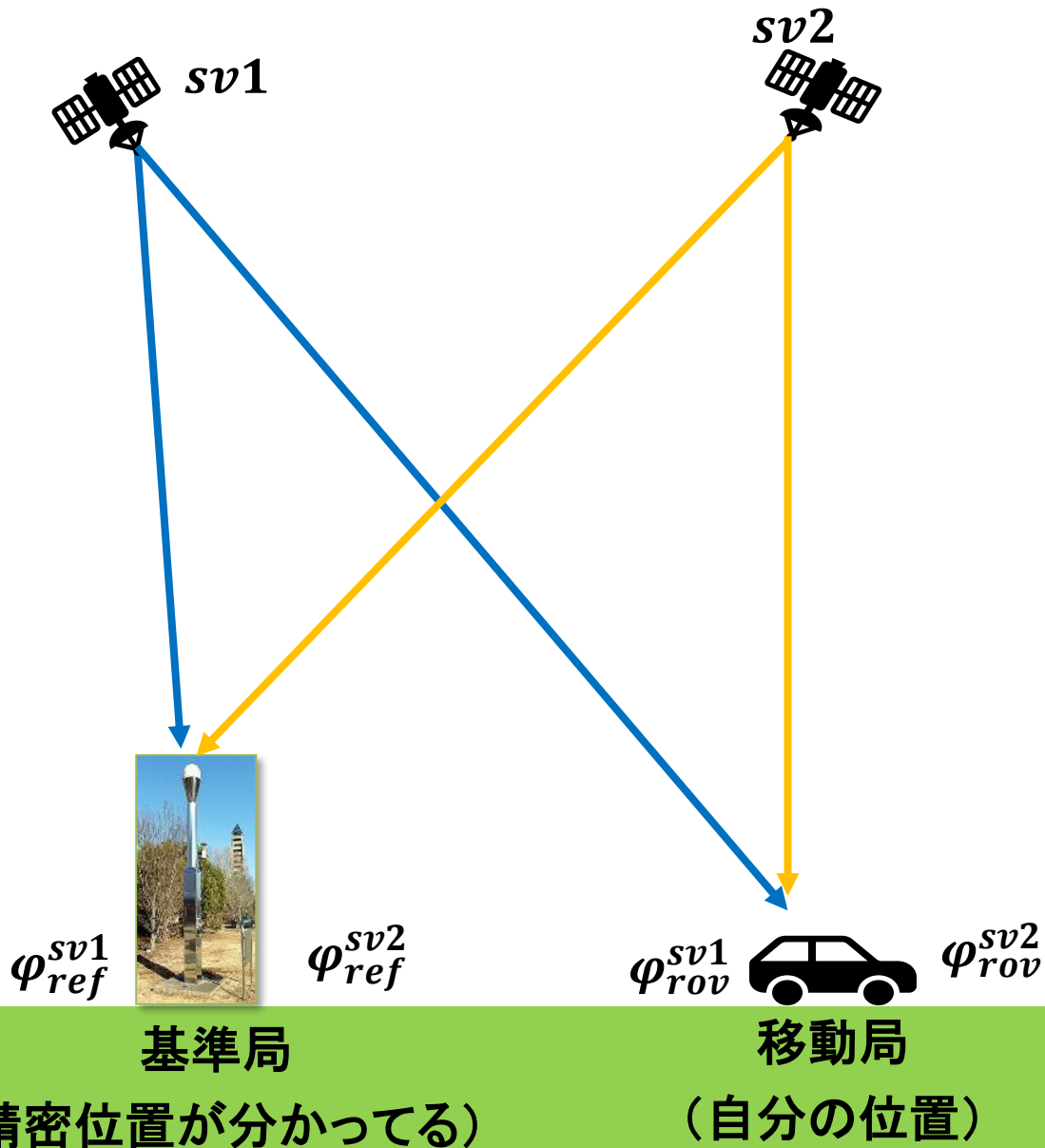
対流圏遅延量

雑音

自分の位置情報が含まれている

誤差項が4つ

RTK測位とは？

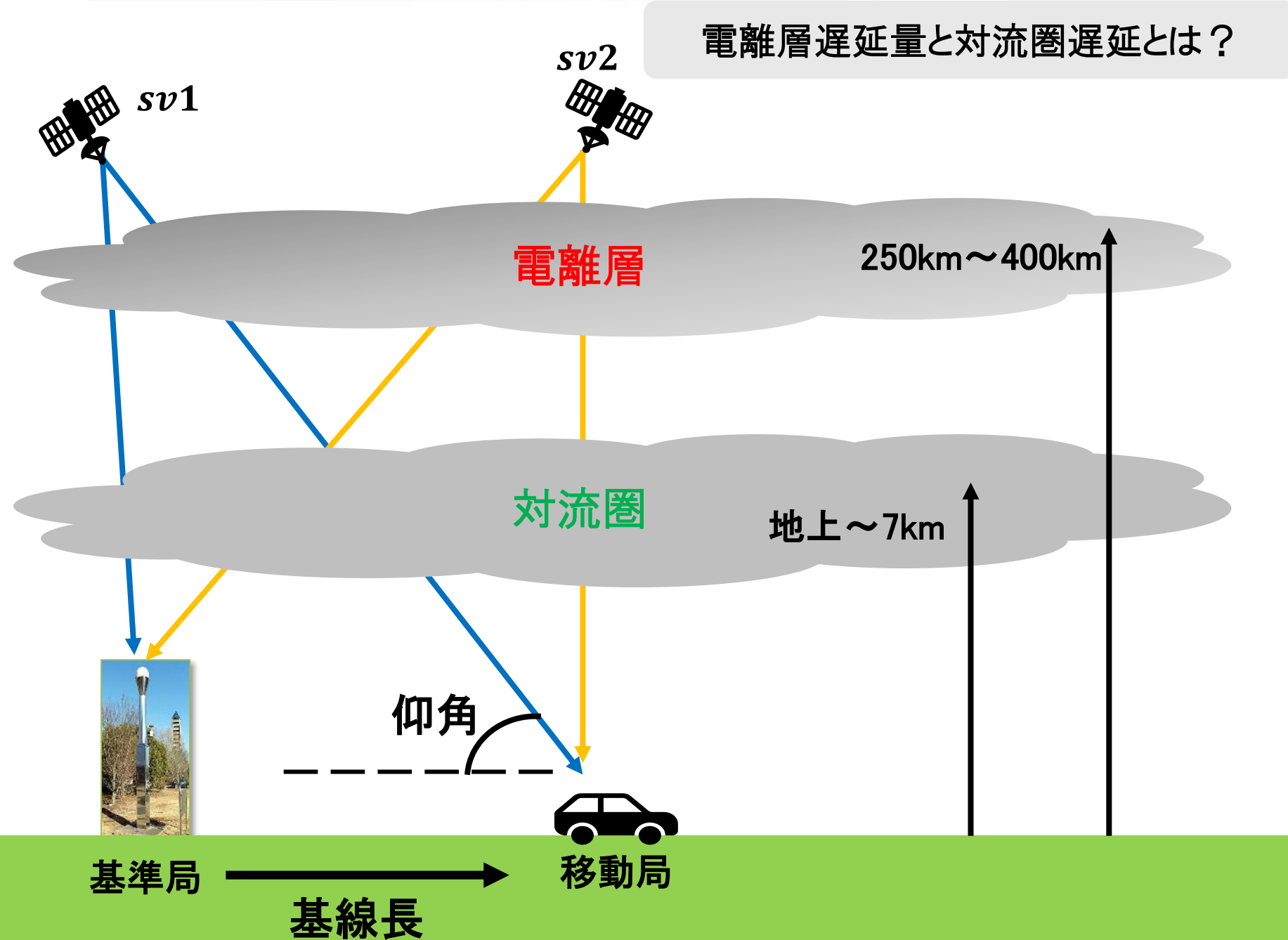


二重位相差を作る

$$\begin{aligned}\varphi_{rov_ref}^{sv1_sv2} &= (\varphi_{rov}^{sv1} - \varphi_{ref}^{sv1}) - (\varphi_{rov}^{sv2} - \varphi_{ref}^{sv2}) \\ &= \rho_{rov}^{sv1} - [\rho_{ref}^{sv1} - \rho_{rov}^{sv2} + \rho_{ref}^{sv2}] \\ &\quad + [ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1} + N_{rov}^{sv1} - ion_{ref}^{sv1} - tropo_{ref}^{sv1} - N_{ref}^{sv1} \\ &\quad - ion_{rov}^{sv2} - tropo_{rov}^{sv2} - N_{rov}^{sv2} + ion_{ref}^{sv2} + tropo_{ref}^{sv2} + N_{ref}^{sv2}]\end{aligned}$$

クロック誤差が消去できる

RTK測位とは？

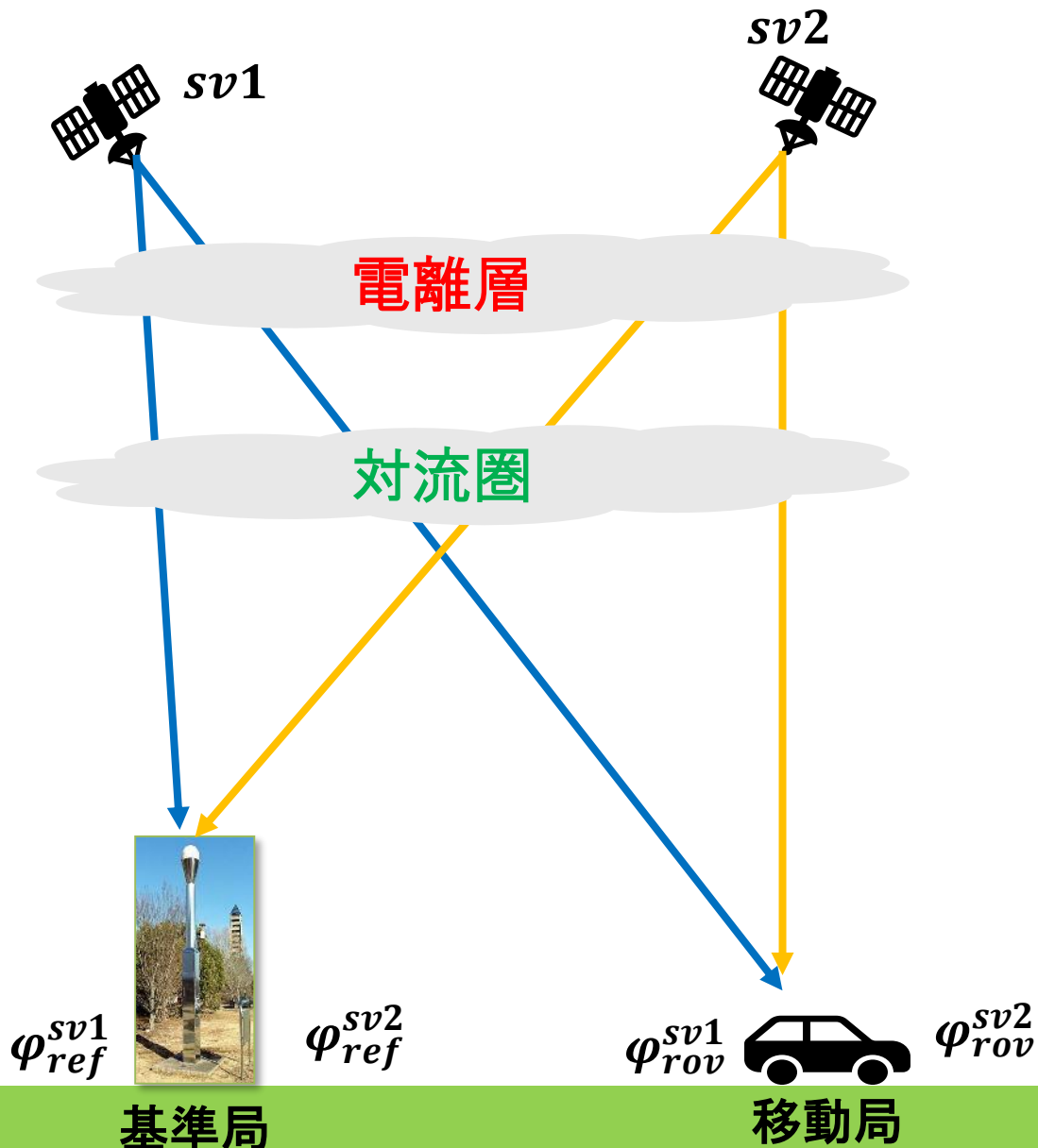


遅延は電波が通過する際の
屈折によって発生

遅延量は通過距離によって変化する
→**低仰角**の衛星ほど遅延量は大きい

電離層、対流圏の通過場所がほぼ同じ
&
衛星の仰角がほぼ同じ
→**遅延量がほぼ等しくなる**
目安 20km~30km

RTK測位とは？



二重位相差

$$\begin{aligned}\varphi_{rov_ref}^{sv1_sv2} &= (\varphi_{rov}^{sv1} - \varphi_{ref}^{sv1}) - (\varphi_{rov}^{sv2} - \varphi_{ref}^{sv2}) \\ &= \rho_{rov}^{sv1} - \rho_{ref}^{sv1} - [\rho_{rov}^{sv2} - \rho_{ref}^{sv2}] \\ &\quad + N_{rov}^{sv1} - N_{ref}^{sv1} + N_{rov}^{sv2} - N_{ref}^{sv2}\end{aligned}$$

電離層遅延量、対流圏遅延量も消去できる

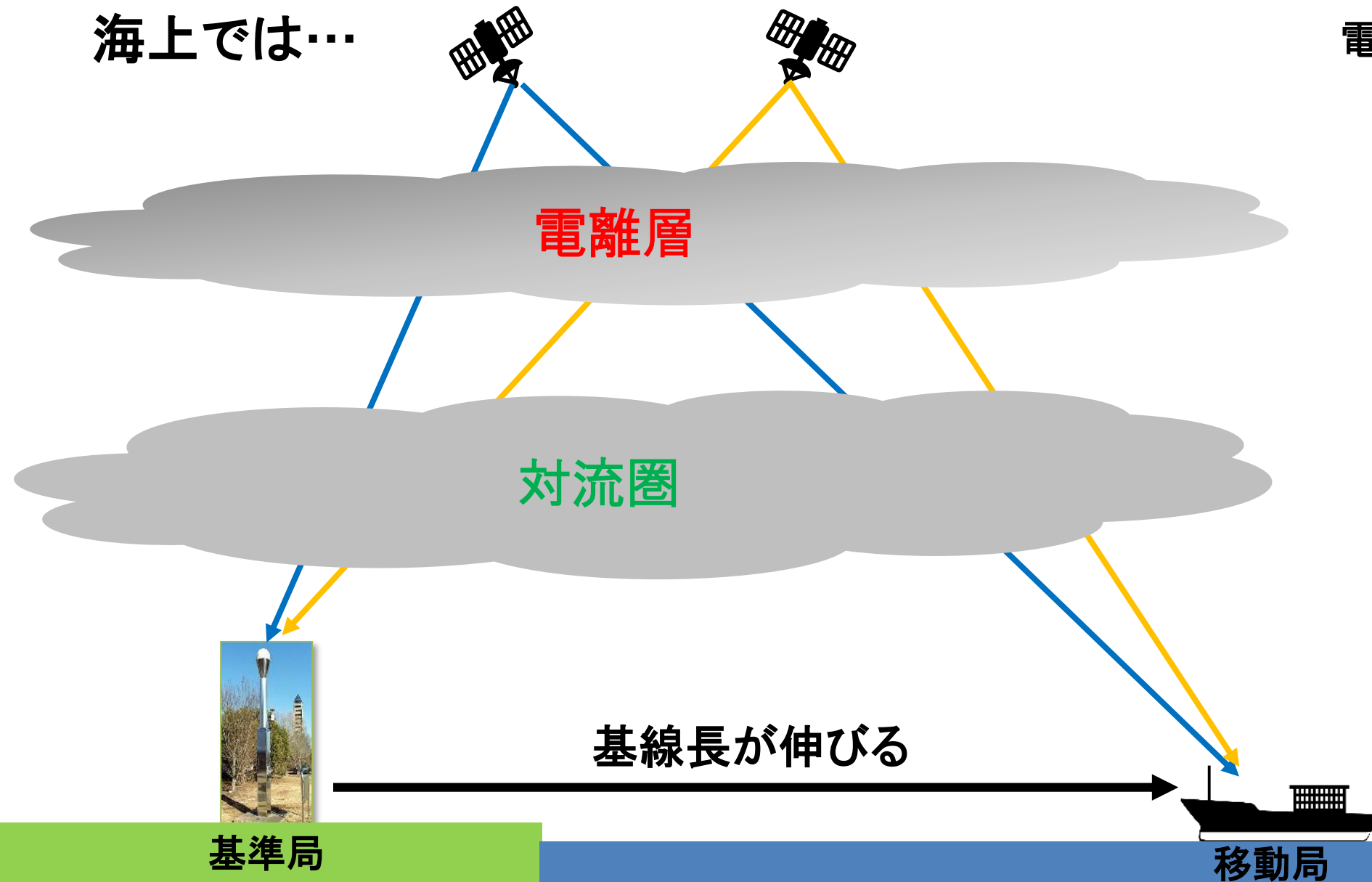
$$\begin{aligned}&= \rho_{rov}^{sv1} - \rho_{ref}^{sv1} + \rho_{rov}^{sv2} - \rho_{ref}^{sv2} \\ &\quad + N_{rov}^{sv1} - N_{ref}^{sv1} + N_{rov}^{sv2} - N_{ref}^{sv2}\end{aligned}$$

最小二乗法で推定 → 自分の位置がcm級でわかる

(精密位置が分かってる)

研究背景

海上では…



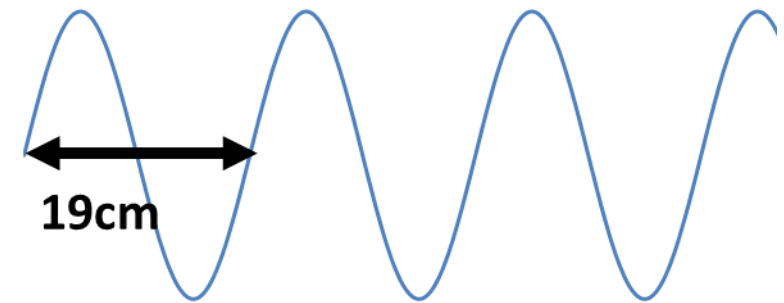
電離層、対流圏の通過場所が異なる

&

衛星の仰角が異なる



2重位相差で消去できない



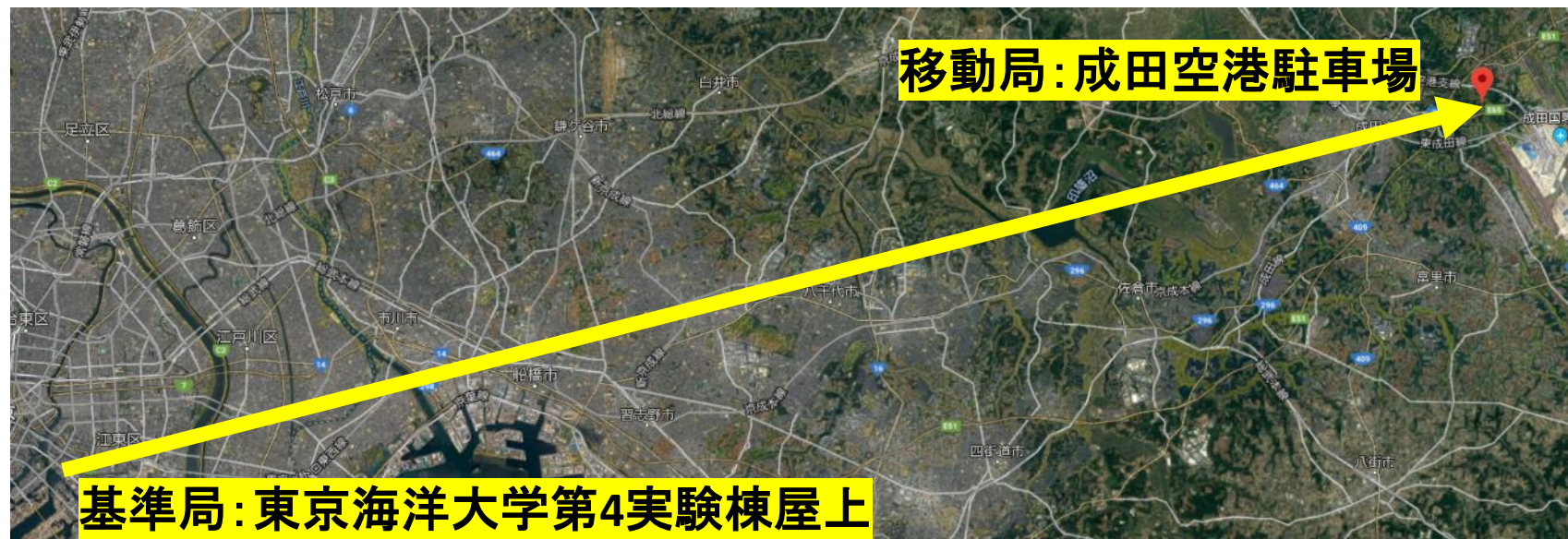
RTKができない可能性…

実験概要

使用データ	2019/10/06 0600~1200(UTC) 基準局：東京海洋大学第4実験棟 移動局：成田空港駐車場
使用衛星	GPS,QZSS,BDS,GALILEO
測位間隔	1秒(1Hz)
使用受信機	Trimble NetR9
基線長	53km
マスク角	15度

マスク角とは・・・

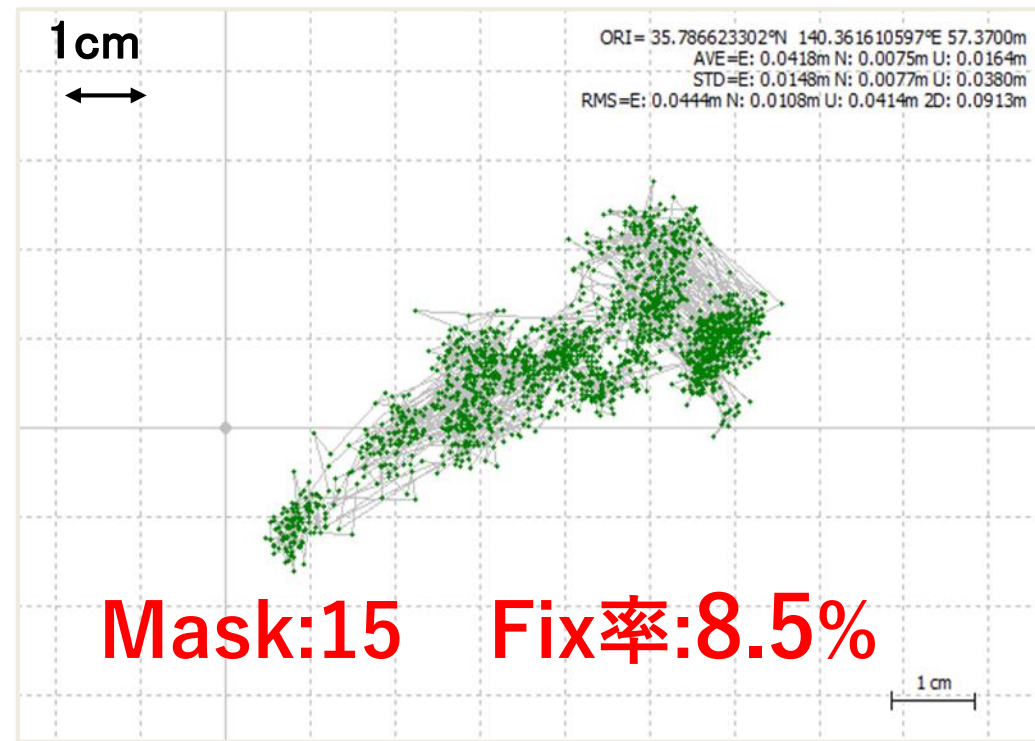
測位に使用する衛星の最低仰角



Trimble NetR9



https://www.nikon-trimble.co.jp/products/product_detail.html?tid=108



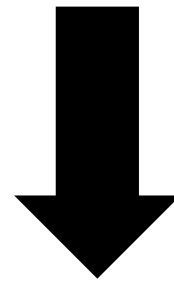
2重位相差だけでは誤差が取り切れていない

Fix率とは・・・

cm級の測位ができた割合

研究テーマ

RTKの基線長を延ばす手法の検討



電離層遅延量 & 対流圏遅延量を除去

提案手法①

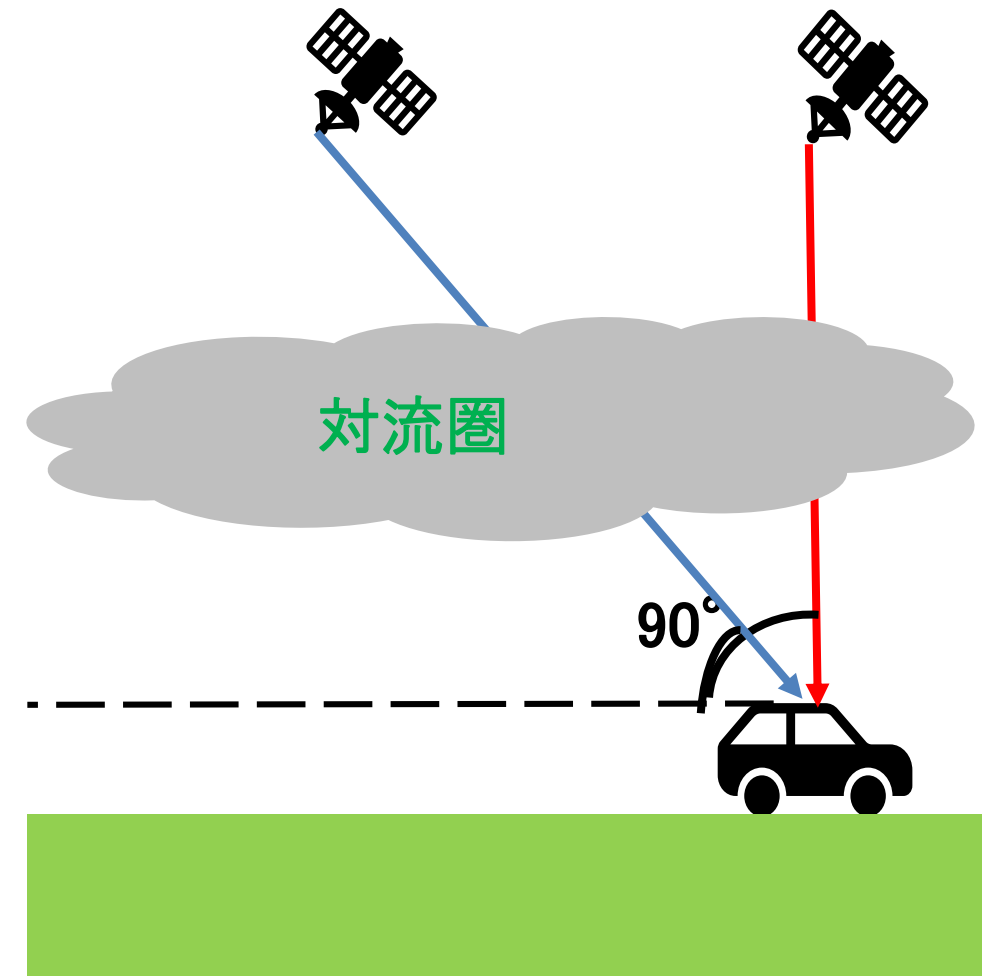
提案手法①

対流圏遅延量を補正するモデル: UNB3m及びNeilのマッピング関数を使用して、RTKを行う

UNB3m: 仰角90度における対流圏遅延量を求めるモデル

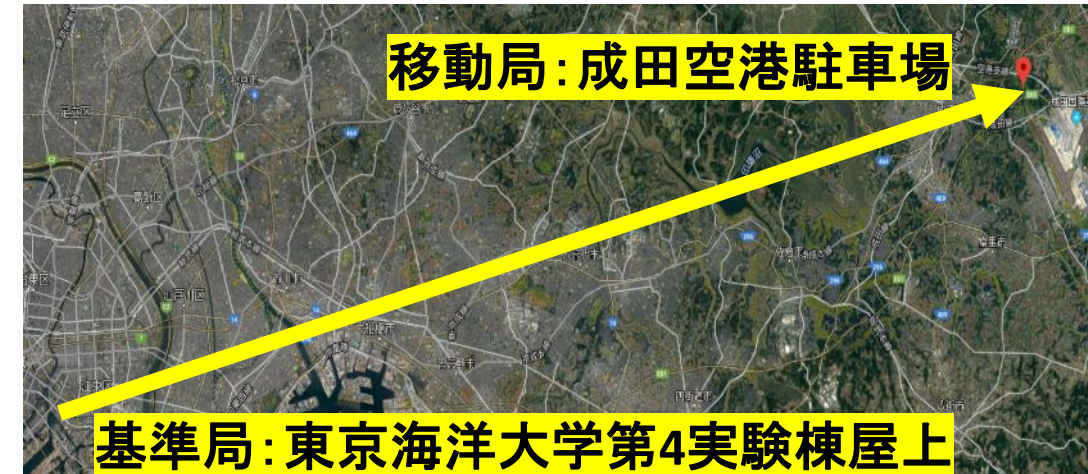
Neilのマッピング関数: 仰角90度における対流圏遅延量を
任意の仰角に変換する関数

過去の研究から、
優れた対流圏遅延量補正モデルであることが分かっている



実験概要

使用データ	2019/10/06 0600~1200(UTC) 基準局：東京海洋大学第4実験棟 移動局：成田空港駐車場
使用衛星	GPS,QZSS,BDS,GALILEO
測位間隔	1秒(1Hz)
使用受信機	Trimble NetR9
基線長	53km



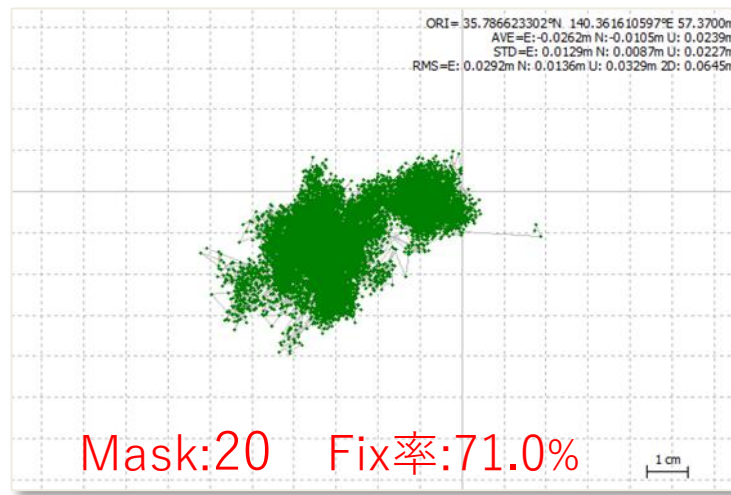
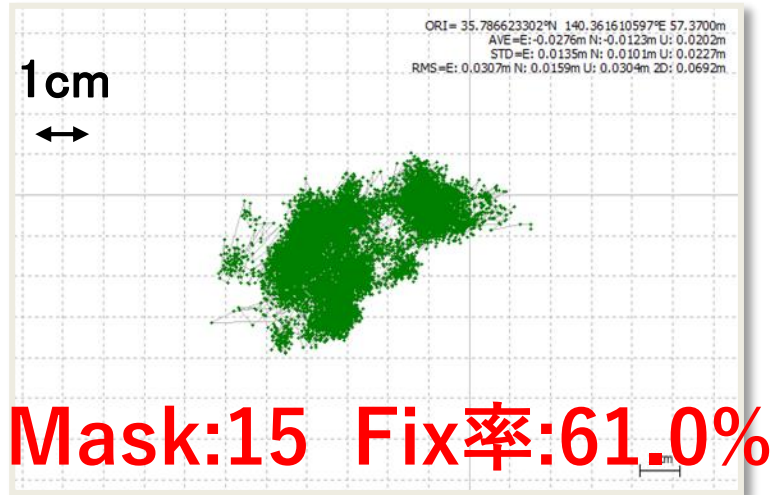
解析条件

マスク角を $15^{\circ} \rightarrow 20^{\circ} \rightarrow 25^{\circ} \rightarrow 30^{\circ}$ と上げていく
→対流圏遅延量、電離層遅延量の影響を見る

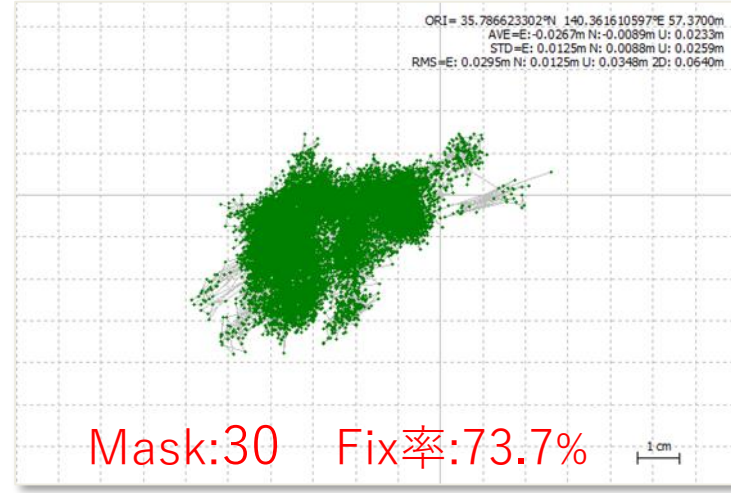
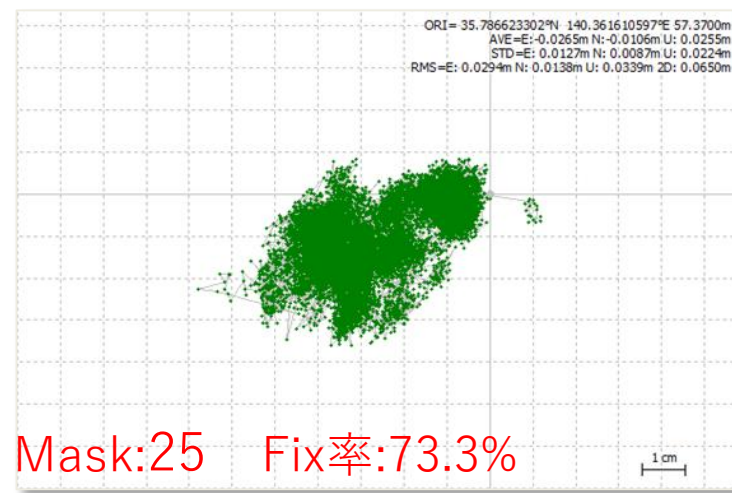
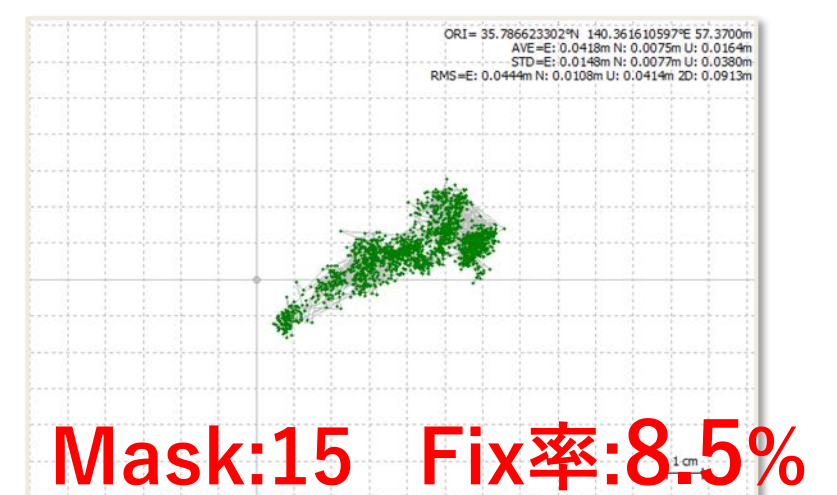
評価指標

Fix率を比較

提案手法①を用いた場合



2重位相差だけの場合



Fix率が大幅に向上

提案手法②

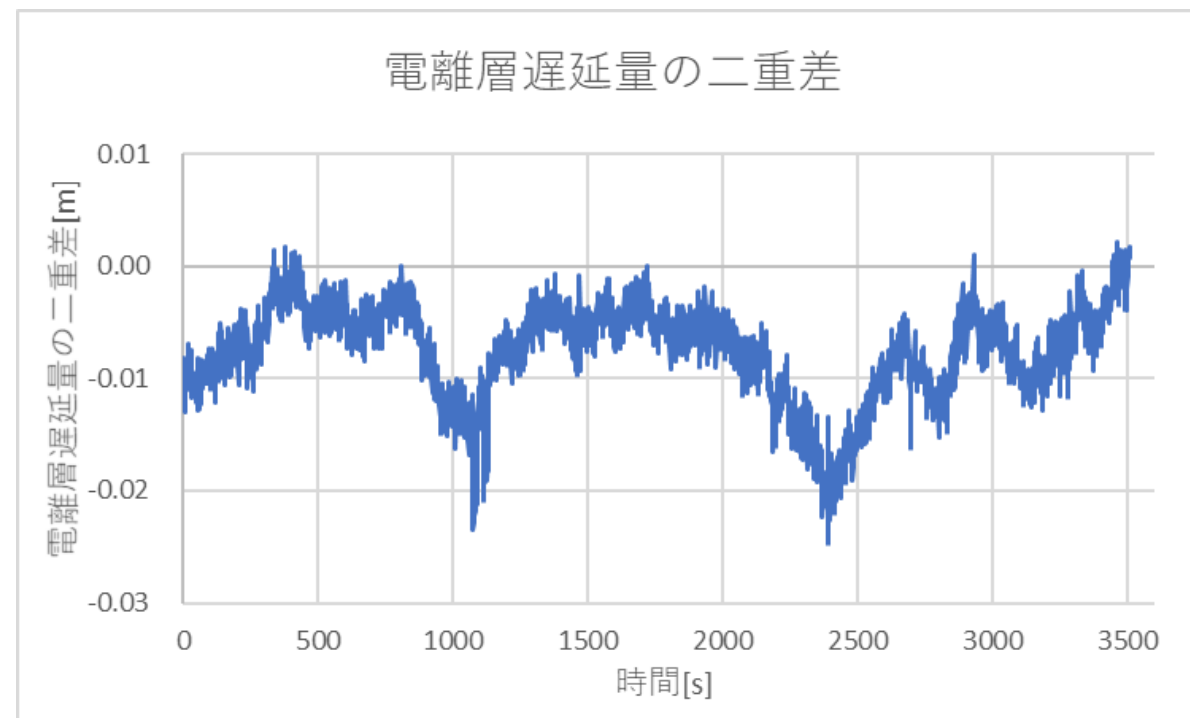
さらにFix率を向上させられないか？

$\varphi_{rov_ref}^{sv1_sv2} = (\varphi_{rov}^{sv1} - \varphi_{ref}^{sv1}) - (\varphi_{rov}^{sv2} - \varphi_{ref}^{sv2})$ → 受信機で求めている

$$\begin{aligned} &= \left[\rho_{rov}^{sv1} + N_{rov}^{sv1} \right] - \left[\rho_{ref}^{sv1} + N_{ref}^{sv1} \right] - \left[\rho_{rov}^{sv2} + N_{rov}^{sv2} \right] + \left[\rho_{ref}^{sv2} + N_{ref}^{sv2} \right] \\ &\quad - \left[ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1} \right] + \left[ion_{ref}^{sv1} + tropo_{ref}^{sv1} \right] \\ &\quad - \left[ion_{rov}^{sv2} + tropo_{rov}^{sv2} \right] + \left[ion_{ref}^{sv2} + tropo_{ref}^{sv2} \right] \end{aligned}$$

電離層遅延量を逆算できるのでは？

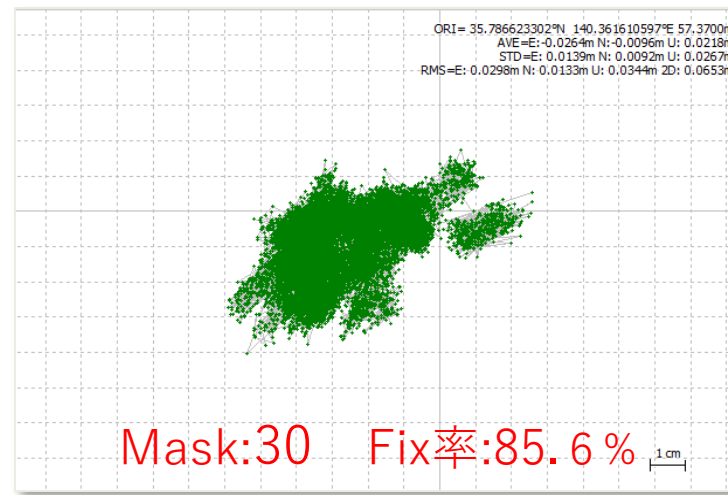
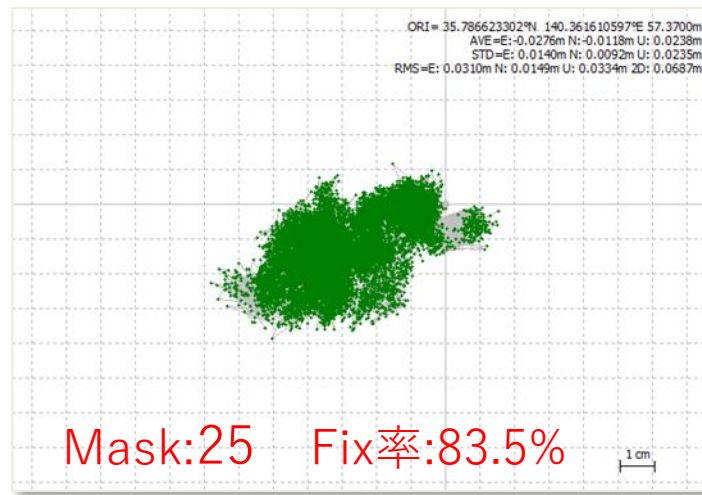
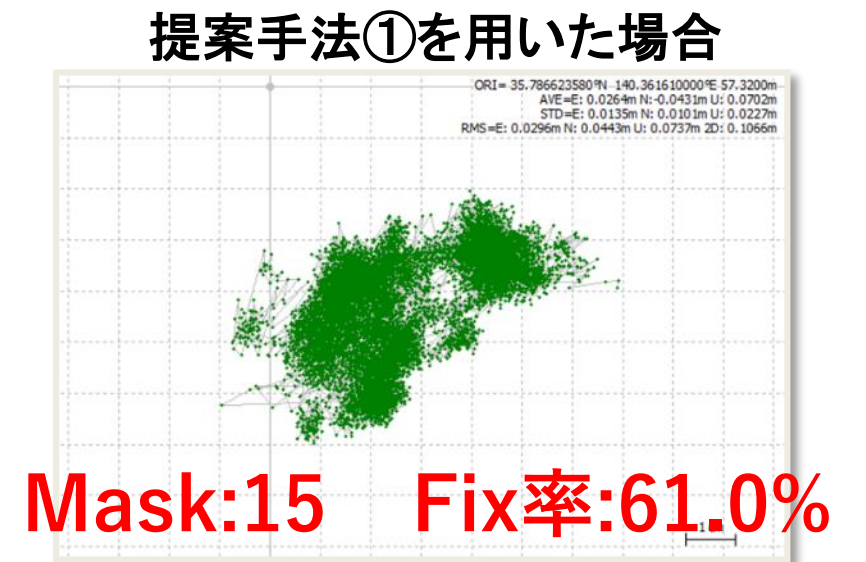
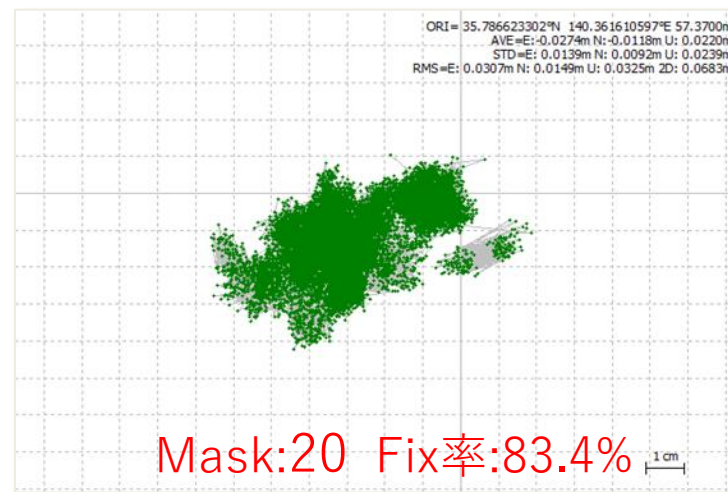
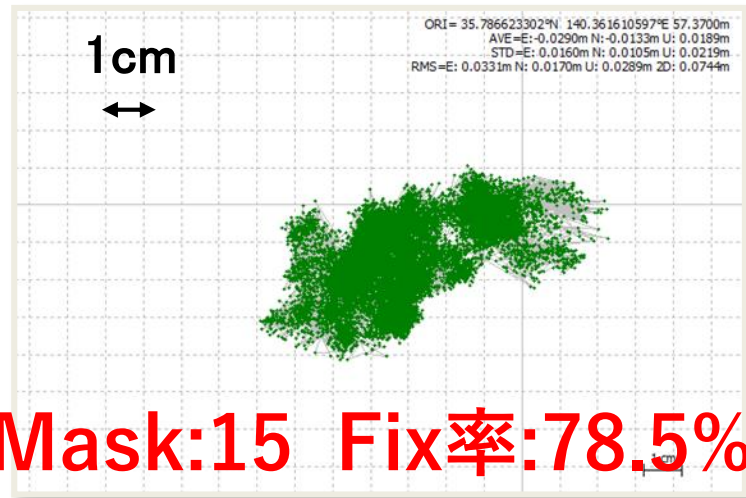
電離層遅延量は短時間では変化しない！



提案手法②

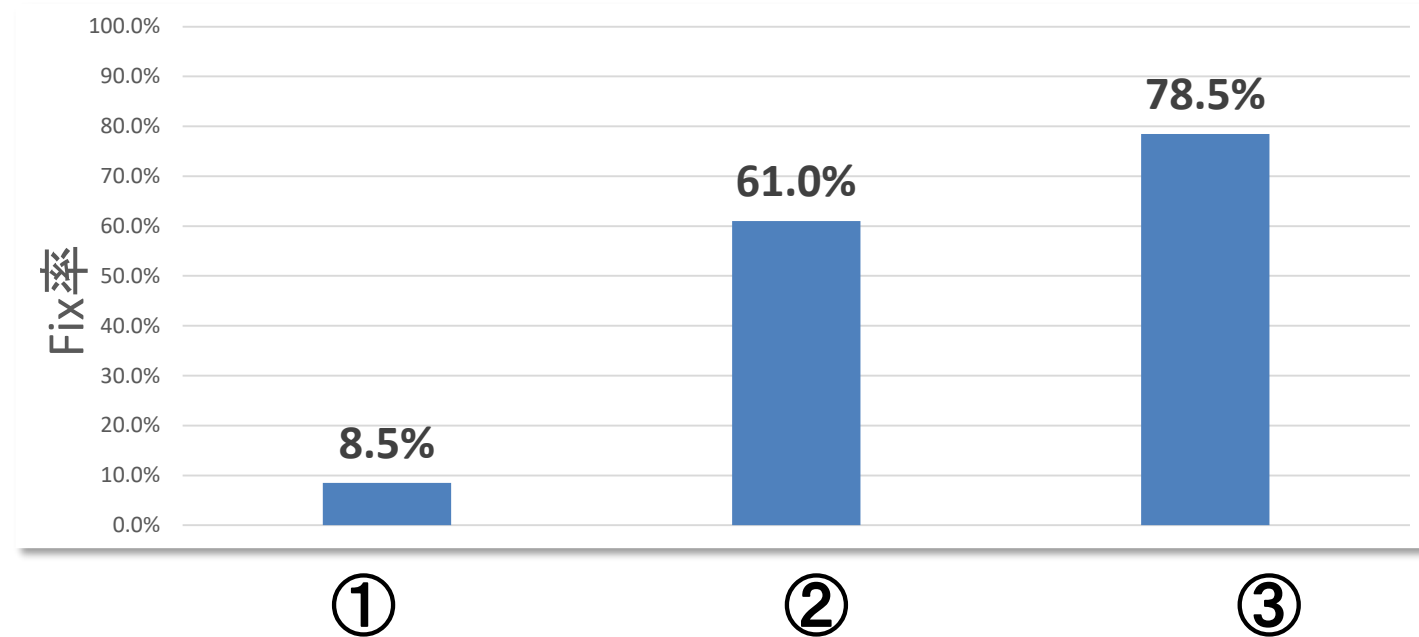
逆算した電離層遅延量を使用して、RTK行う

実験結果②



Fix率が向上

- ・提案手法を用いることで、Fix率をマスク角15度の時、8.5%→78.5%まで向上できた



- ①: 二重位相差のみ使用
- ②: UNB3m及びNeilのマッピング関数を使用
- ③: 逆算した電離層遅延量を使用

- ・Fix率をさらに向上させるためには、
電離層遅延量、対流圏遅延量の補正の最適化が必要
→カルマンフィルターの使用
- ・現在遅延量補正を最適化するカルマンフィルターを構築中