

2024.08.29 測位技術振興会  
研究発表会

# 既知の基線解析に基づくNLOS検出と 移動体測位への応用

立命館大学

情報通信システム研究室

林龍我, 久保幸弘

# 目次

---

- 研究背景
- 提案手法
- 実験 1
- 実験 2
- まとめ

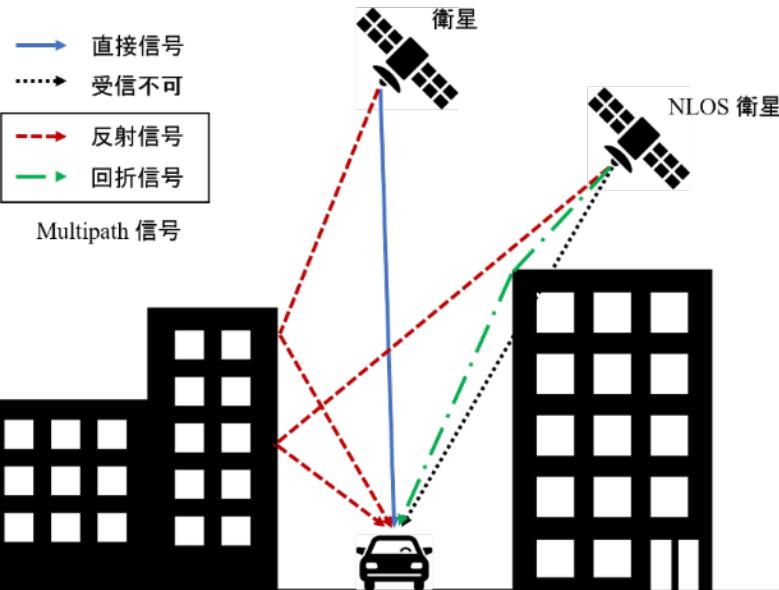
# 研究背景

衛星測位は環境が良い場合は高精度な測位が可能

問題点：都市部や山間部等の 電波の届きにくい環境 で測位精度が低下する



反射や回折によって生じるマルチパス信号の影響



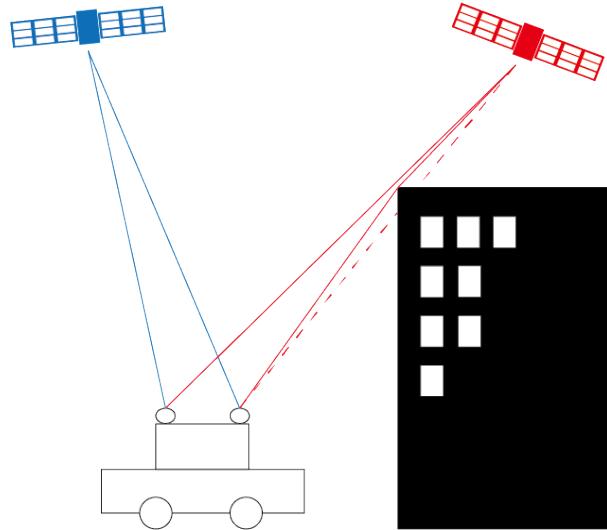
## NLOS(Non-Line-Of-Sight)衛星

直接信号が障害物に阻まれて受信できない衛星  
直接信号を受信できないため,  
既存のマルチパス補正方法では補正できない。

研究目的：NLOS衛星の検出を行い、  
都市部等での測位精度の向上

# 提案手法

## NLOS衛星の存在による測位精度の劣化を利用



2 アンテナ間の既知の基線長と  
相対測位の結果を比較



NLOS衛星が含まれる場合  
測位結果に矛盾が生じる

魚眼カメラ, 3Dシ  
ミュレーションなど  
が不要

### 先行研究

- ・魚眼カメラで撮影した写真を画像処理する判別手法※1
- ・3次元地図を用いた電波伝搬のシミュレーション結果との観測値を比較する判別手法

※1. S. Kato *et al.* : NLOS Satellite Detection Using a Fish-Eye Camera for Improving GNSS Positioning Accuracy in Urban Area, JRM, 2016

※2. N.Kbayer, M. Sahmoudi: Robust GNSS Navigation in Urban Environments by Bounding NLOS Bias of GNSS Pesudoranges Using a 3D City Model, ION GNSS+, 2015

※2

# NLOS検出アルゴリズム

---

1. 2つのアンテナを、距離  $L$  だけ離して設置する ( $L$  は既知である)。この2つのアンテナの座標を  $u$  および  $k$  とし、相対測位を行う。その結果として  $u, k$  の基線ベクトル  $\check{x}$ 、アンテナ間の距離  $\check{d}$  を得る。

$$\check{x} \equiv [u - k] = \begin{bmatrix} x_u - x_k \\ y_u - y_k \\ z_u - z_k \end{bmatrix} \quad \check{d} = \|\check{x}\|$$

2. 使用衛星が5機以上の場合において  $L$  と  $\check{d}$  を比較し、差分があらかじめ定めた閾値より大きいときNLOS衛星が存在すると判断する。

$$|\check{d} - L| > \text{threshold}$$

# NLOS検出アルゴリズム

---

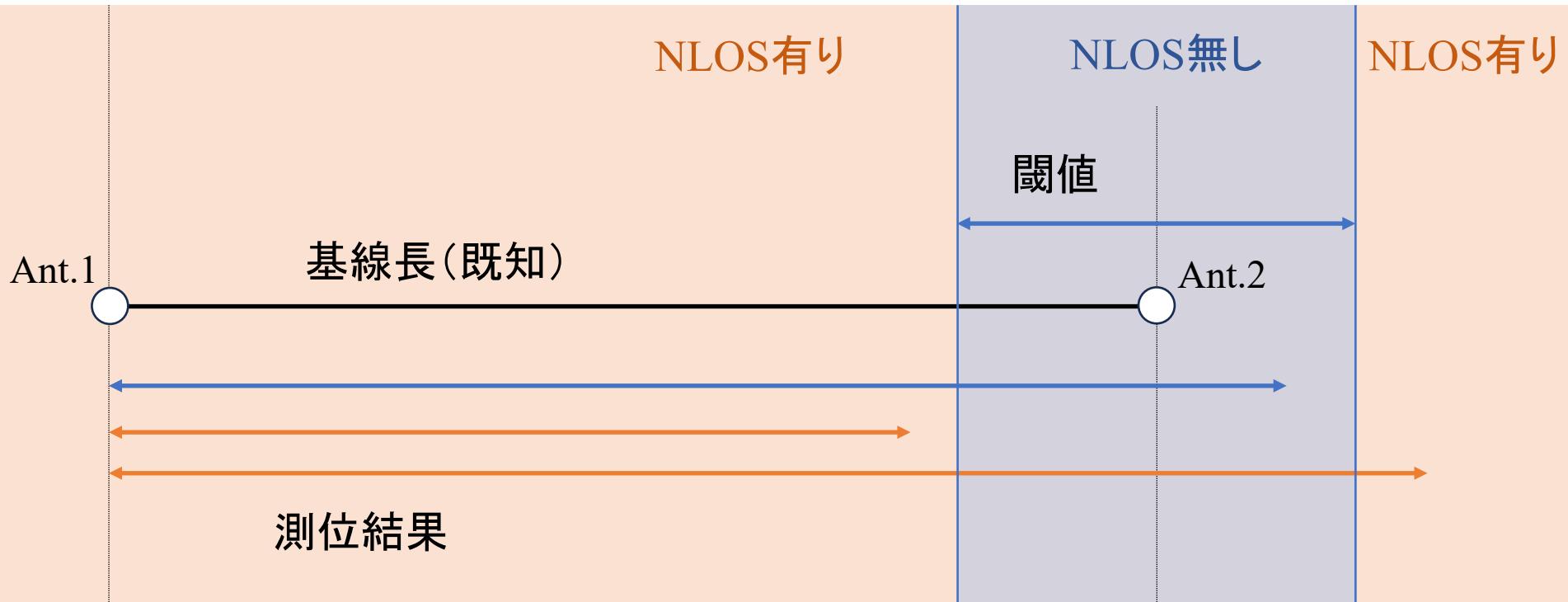
3. NLOS衛星が存在すると判断したとき, 観測している衛星  $p_1, p_2, \dots, p_{n_s}$  から1つ衛星を除外し, 相対測位を行う. これをすべての組み合わせで行う. ここで観測衛星のうち  $p_q$  を除外したときの相対測位により  $\check{d}_q$  を得る.

$$\check{d}_q = \|\check{x}_q\|, \quad (q = 1, 2, \dots, n_s)$$

4. 全ての衛星の組み合わせから, 基線長との差分が最も小さいときに測位から外している衛星  $p_q$  をNLOS衛星であると判断する. ただし, 衛星を除外せずに求めた測位結果の差分  $|\check{d} - L|$  が  $|\check{d}_q - L|$  より小さいときはNLOS衛星は存在しないと判断する.

$$q = \underset{q \in \{1, 2, \dots, n_s\}}{\operatorname{argmin}} |\check{d}_q - L| \quad \text{ただし, } |\check{d}_q - L| < |\check{d} - L|$$

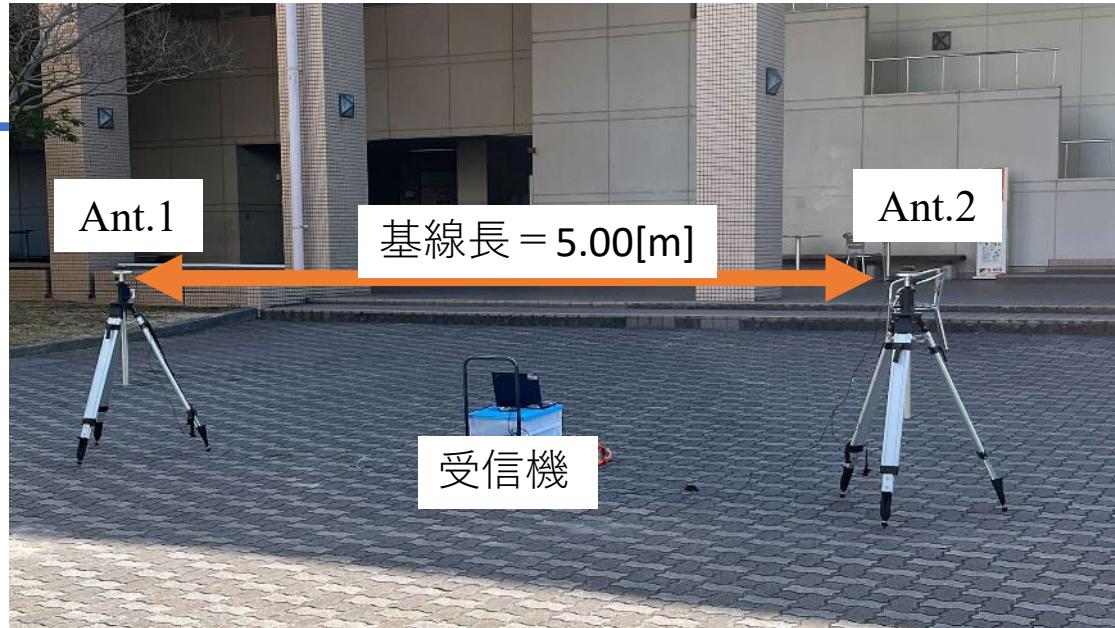
# NLOS検出アルゴリズム



# 実験条件

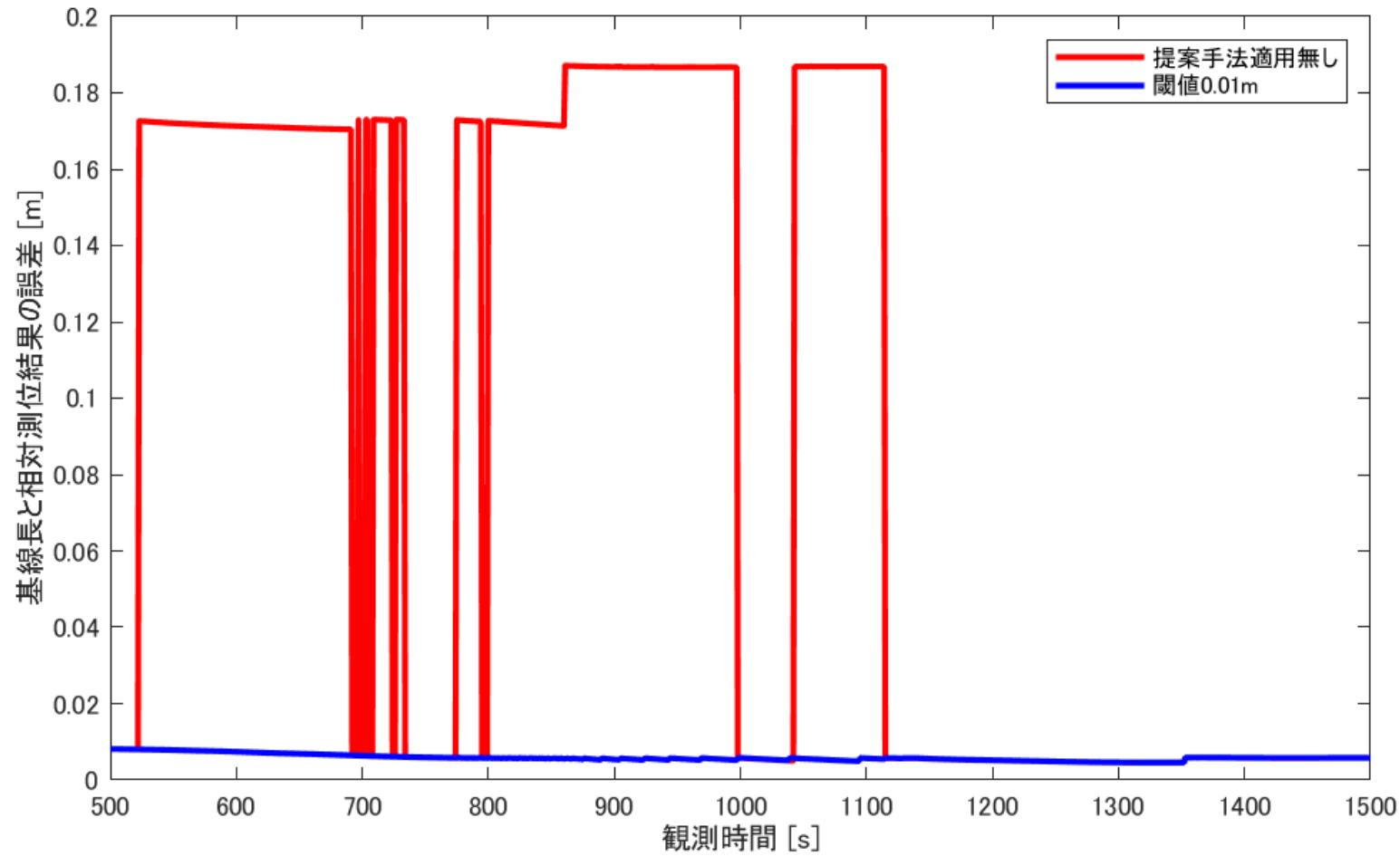
## 使用機器

アンテナ : u-blox ANN-MB-00-00  
受信機 : Septentrio mosaicHAT



観測日	2023年02月09日
観測開始時刻 (GPST)	04:30'43
観測終了時刻 (GPST)	06:04'36
基線長	5.00[m]
仰角マスク	0[deg.]
使用衛星システム	GPS
観測量	L1 搬送波位相, CAコード擬似距離
時間更新間隔	1[s]
測位方法	相対測位

# 実験結果①



差分が $0.17[m]$ となり閾値を超えた  
→衛星を除外し、差分が小さくなる衛星が存在した

# 実験結果③

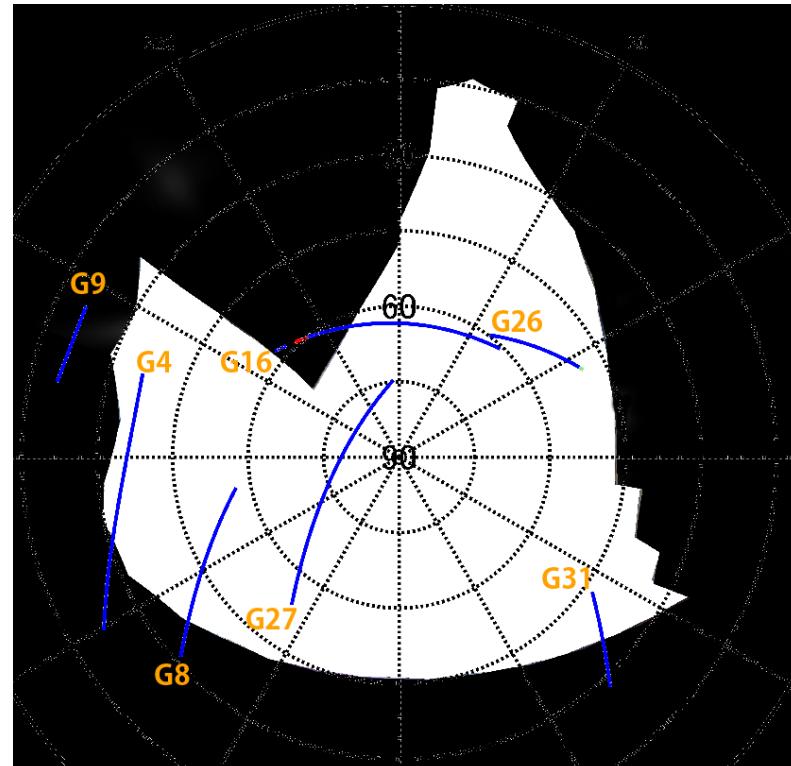
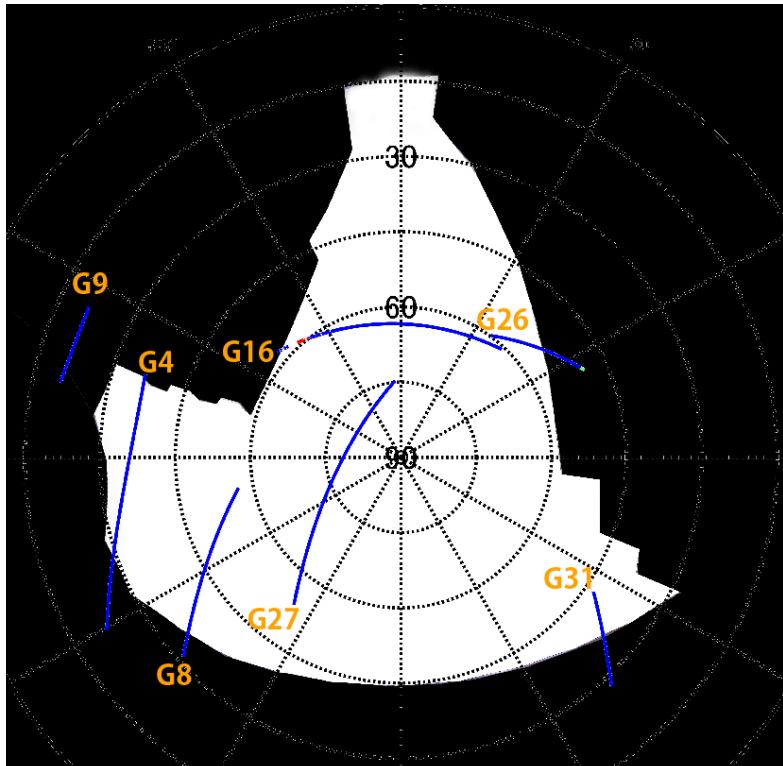


アンテナ 1 の  
空画像



— 実験結果①における除外衛星  
— 使用衛星

アンテナ 2 の  
空画像



# 考察

- G16衛星の赤色部分
  - NLOS衛星判別アルゴリズムにより、G16衛星の除外が発生した
  - G16衛星の除外は建物領域で行っている



NLOS衛星の一部を判別可能

## まとめ

本手法により、片方のアンテナに対してのみNLOSである、かつ影響の大きい衛星の検出に成功した。

# 実験 2

- ・実験目的

NLOS衛星を含む実データを用いたNLOS衛星のrawデータの動きの確認

- ・実験方法

観測中にNLOS衛星が含まれると考えられるルートを歩行・停止し、相対測位を行う。（停止地点は地図上の①～④）

測位結果と衛星軌道情報から算出した衛星位置間の幾何学的距離とrawデータから得られた擬似距離・搬送波位相積算値の比較を行う

歩行ルート

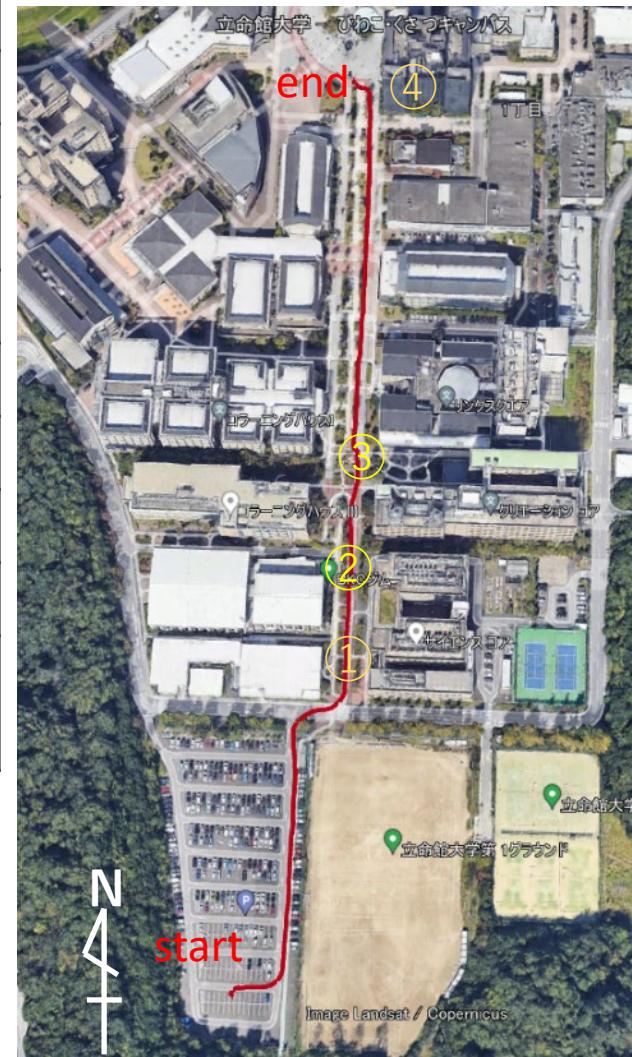


# 実験条件

観測日	2024年6月19日
観測開始時刻(GPST)	06:10'20
観測終了時刻(GPST)	06:23'30
仰角マスク	15[deg.]
使用衛星システム	GPS, Galileo, QZSS
観測量	擬似距離, 搬送波位相*
時間更新間隔	1[s]
測位手法	相対測位
使用アンテナ	ANN-MB-00-00 (u-blox)
使用受信機	Mosaic-Hat Mosaic-X5

\*GPS, QZSSはL1, L2  
GalileoはL1周波数帯のみ利用

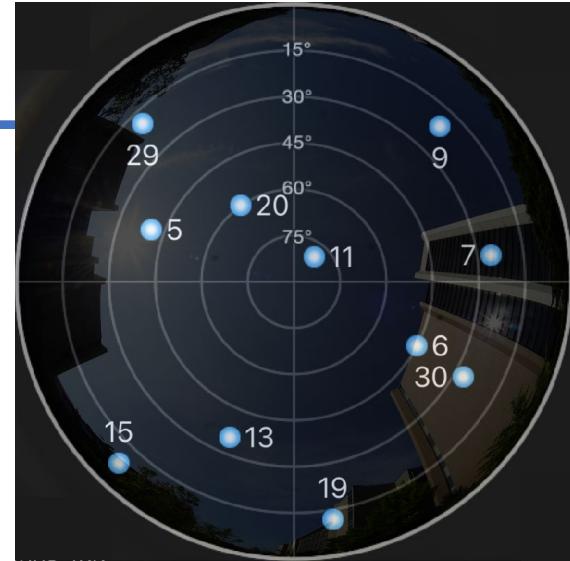
歩行ルート



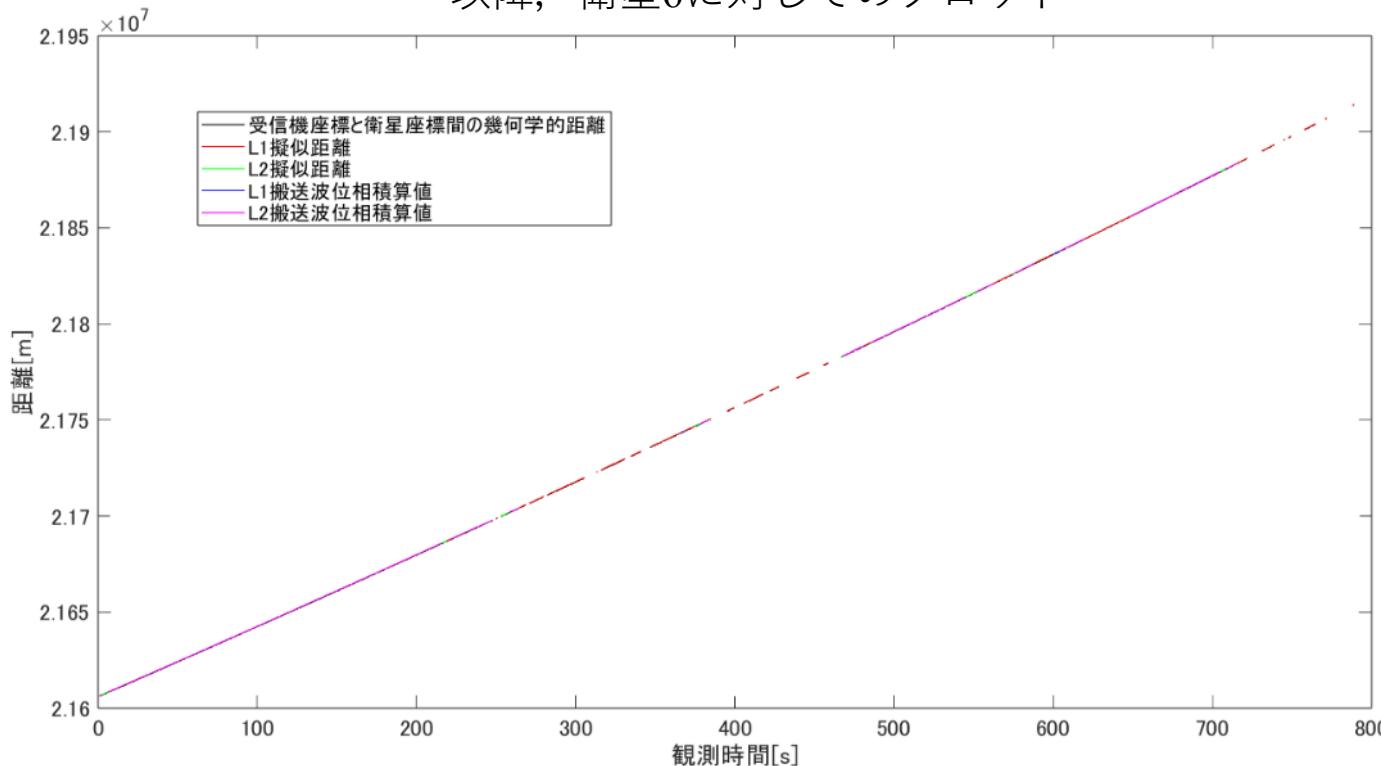
# 実験結果2.1

Rawデータから得た擬似距離に対して単独測位時に推定した受信機時計誤差  $\delta t_{u,N}$ , 衛星時計誤差  $\delta t_N^p$  を利用して補正した擬似距離

$$\rho_u^{p'} = r_u^p + c\{(\delta t_u - \delta t_{u,N}) + (\delta t^p - \delta t_N^p)\} + \delta I_u^p + \delta T_u^p + \varepsilon_u^p$$



以降、衛星6に対してのプロット



$r_u^p$  : 衛星  $p$ , 受信機  $u$  間  
の幾何学的距離

$\delta t_u$  : 受信機時計誤差

$\delta t^p$  : 衛星時計誤差

$\delta I_u^p$  : 電離層遅延

$\delta T_u^p$  : 対流圏遅延

$\varepsilon_u^p$  : 観測誤差

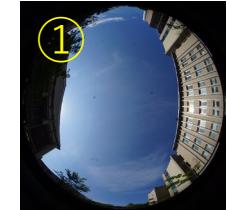
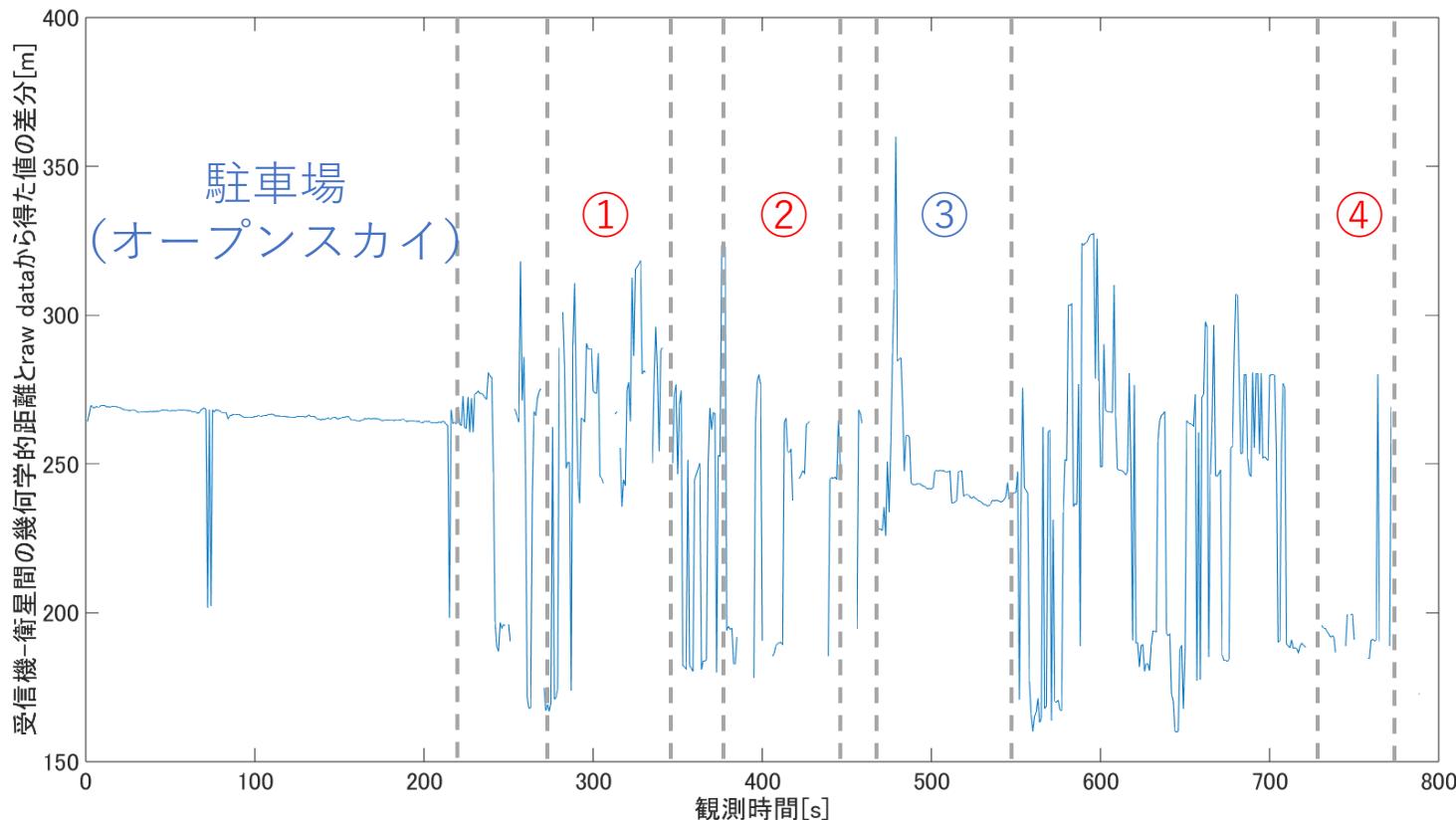
# 実験結果2.2

実験結果2.1で求めた衛星ー受信機間距離と  
各種時計誤差を補正したrawデータとの差

$$r_u^{p'} - r_{u,N}^p = \{(x_{u,N}^2 - 2x_{u,N}x^p - x_u^2 + 2x_ux^p) + (y_{u,N}^2 - 2y_{u,N}y^p - y_u^2 + 2y_uy^p) + \dots\} \\ + c\{(\delta t_u - \delta t_{u,N}) + (\delta t^p - \delta t_N^p)\} + \delta I_u^p + \delta T_u^p + \varepsilon_u^p$$

安定して観測されている  
L1擬似距離を採用

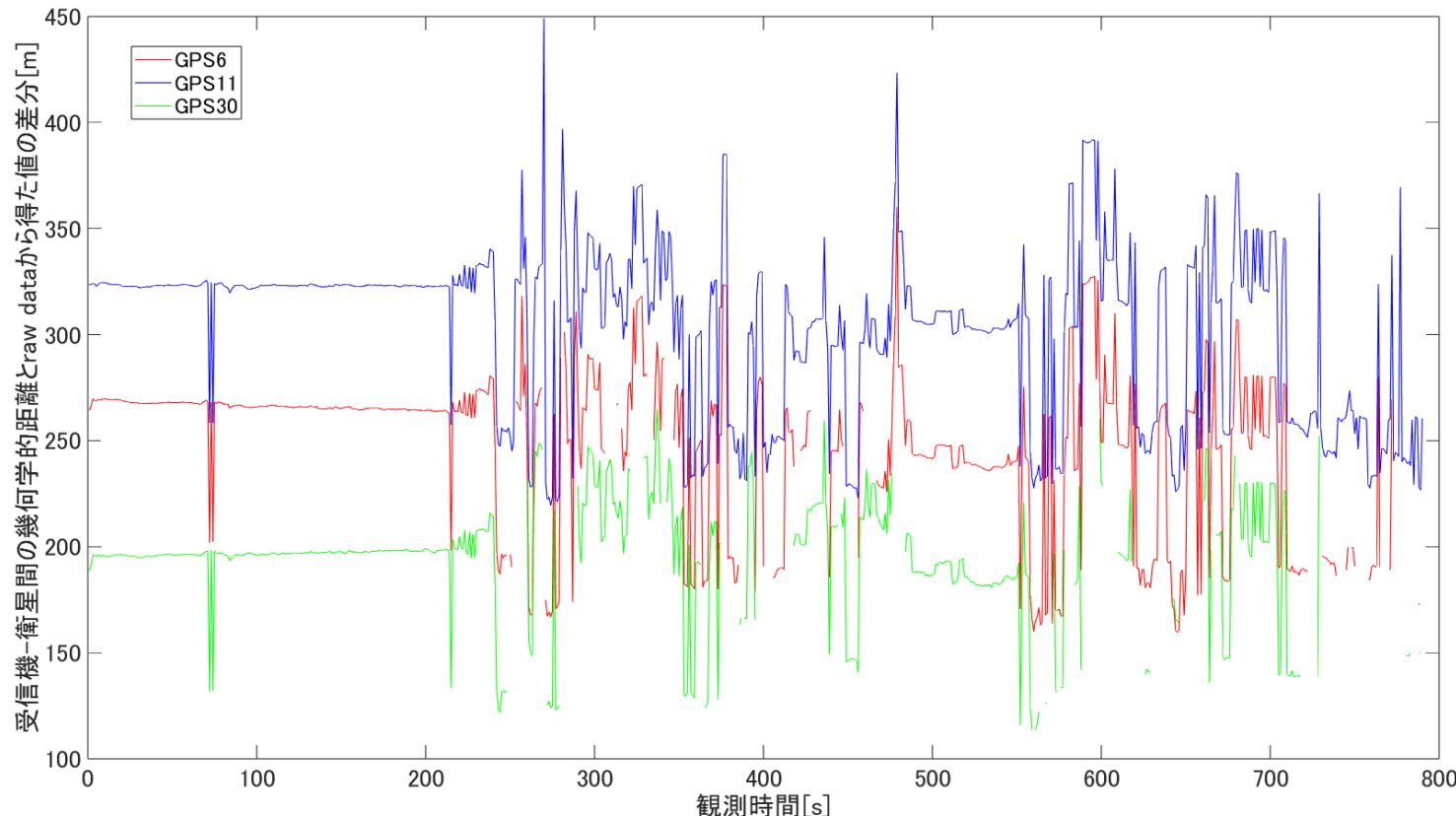
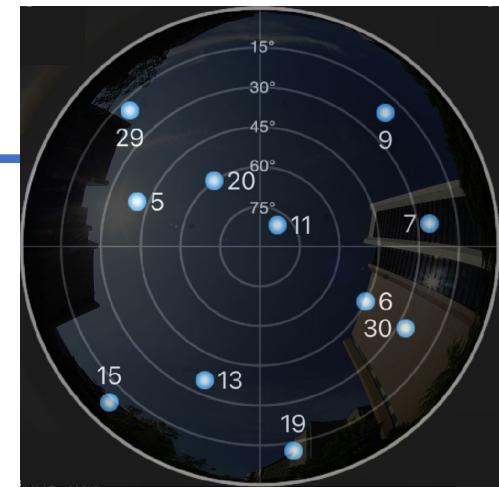
$$r_u^p = \sqrt{(x^p - x_u)^2 + (y^p - y_u)^2 + (z^p - z_u)^2}$$



# 実験結果2.3

複数の衛星で確認

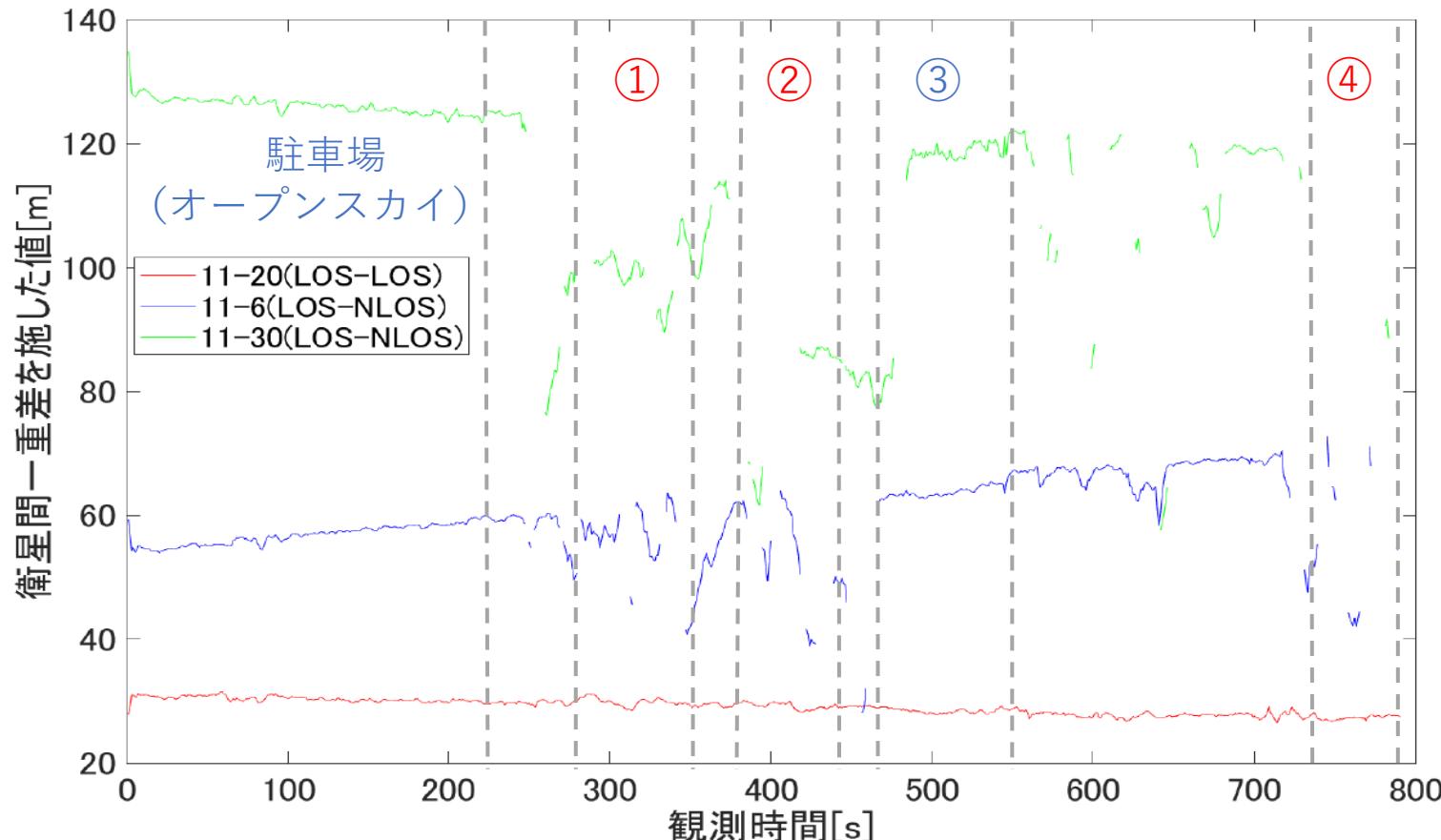
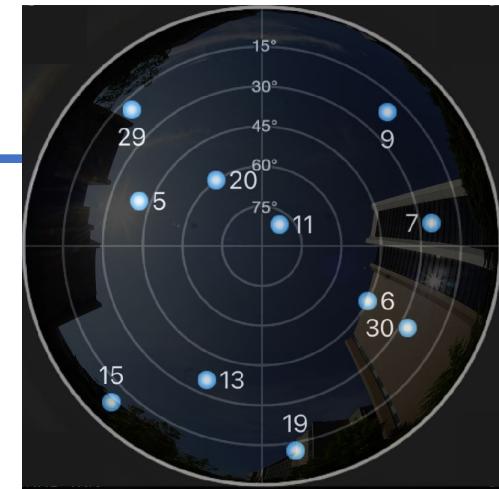
(NLOSの6, LOSの11, 6に近いNLOSの30)



# 実験結果2.4

実験結果2.3に対して衛星間一重差を取り、  
LOSとNLOSそれぞれの場合で比較

$$(\rho_u^{p'} - r_{u,N}^p) - (\rho_u^{q'} - r_{u,N}^q) = \{(2x_u x^p - 2x_{u,N} x^p) - (2x_u x^q - 2x_{u,N} x^q) + \dots\} \\ + c\{(\delta t^p - \delta t_N^p) - (\delta t^q - \delta t_N^q)\} + \delta I_u^{pq} + \delta T_u^{pq} + \varepsilon_u^{pq}$$



# 考察

## LOS-LOS間での場合

建物に囲まれている①, ②, ④の地点においても大きな変動もなく安定した結果が得られた

## LOS-NLOS間での場合

駐車場や③では安定しているが, ①, ②, ④等の地点では大きく変動しいる

以上の点から実験結果2.4における衛星6, 30の擬似距離の変動はNLOSであることの影響だと考えられる.

今後の方針として, 提案手法によるNLOS判別を画像処理や今回行った一重差による解析などと併用していくことで包括的なNLOS衛星の検出を行っていきたい