

機械学習によるNLOS検知モデルの構築と 移動体測位への適用に向けた検討

2024/8/29 測位技術振興会 第6回研究発表講演会

大阪公立大学大学院 工学研究科
衛星航法研究室
修士1年 谷村晴生
指導教員：辻井利昭教授

- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

研究背景・目的

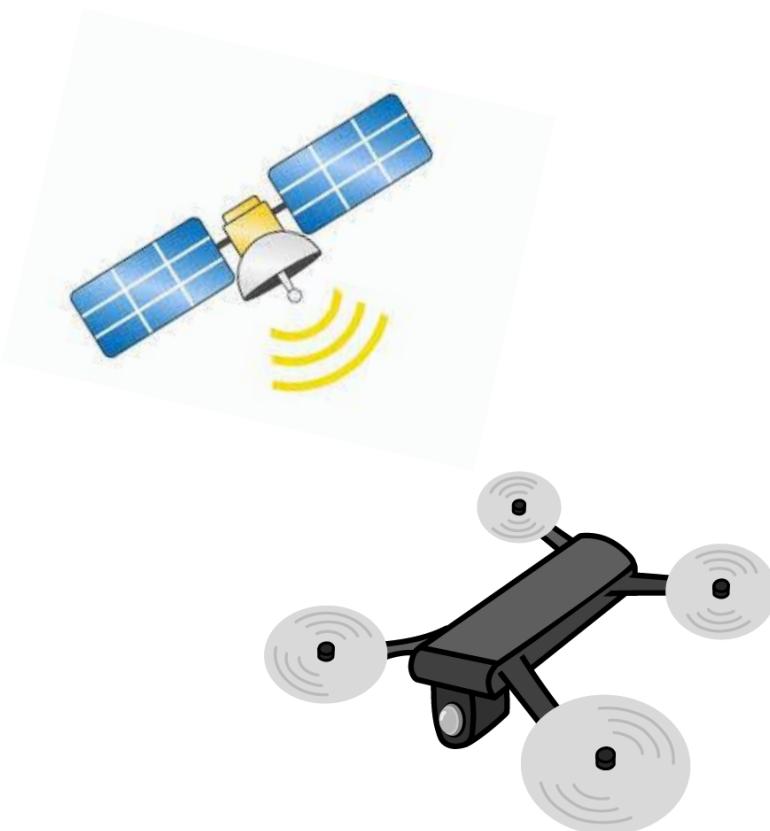
近年、ドローンの自律飛行が注目されており、
都市部での目視外飛行に向けた取り組みも加速している



配送、インフラ点検、災害支援などの
分野での活躍が期待される



https://www.mirait-one.com/miraiz/image/newsflash/newsflash062_1.jpg



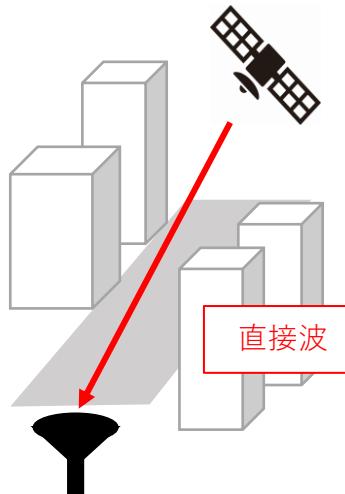
- 都市部などの環境では、GNSS反射波を受信することにより測位精度が低下してしまう
- ドローンに搭載する機器は、低価格で小型のものが望ましい



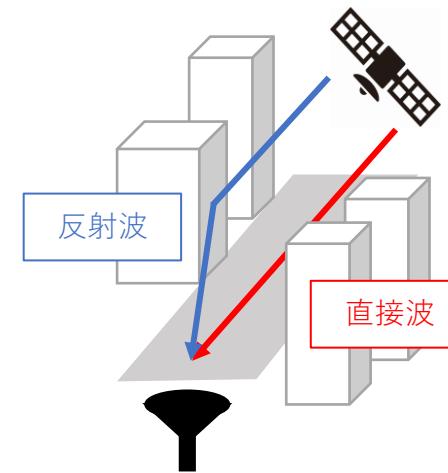
機械学習によって反射波を検知し、測位から除外することで測位精度の向上を目指す

- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

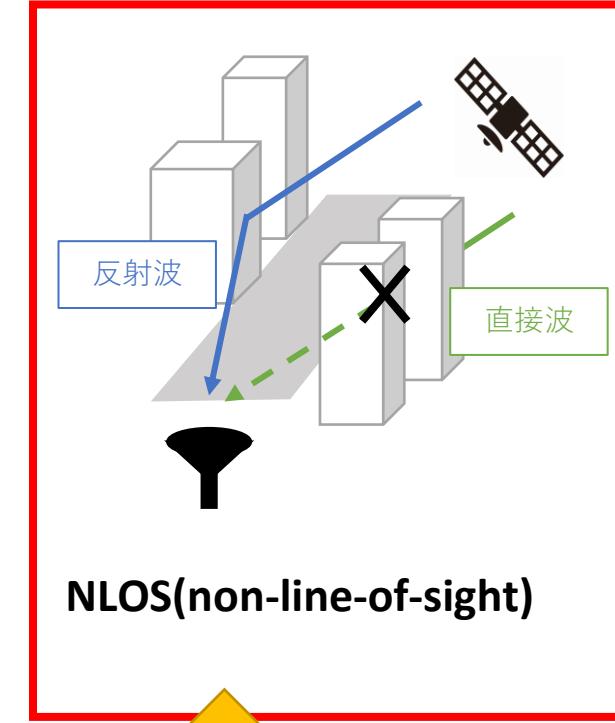
• 信号の分類



LOS(line-of-sight)



Multipath

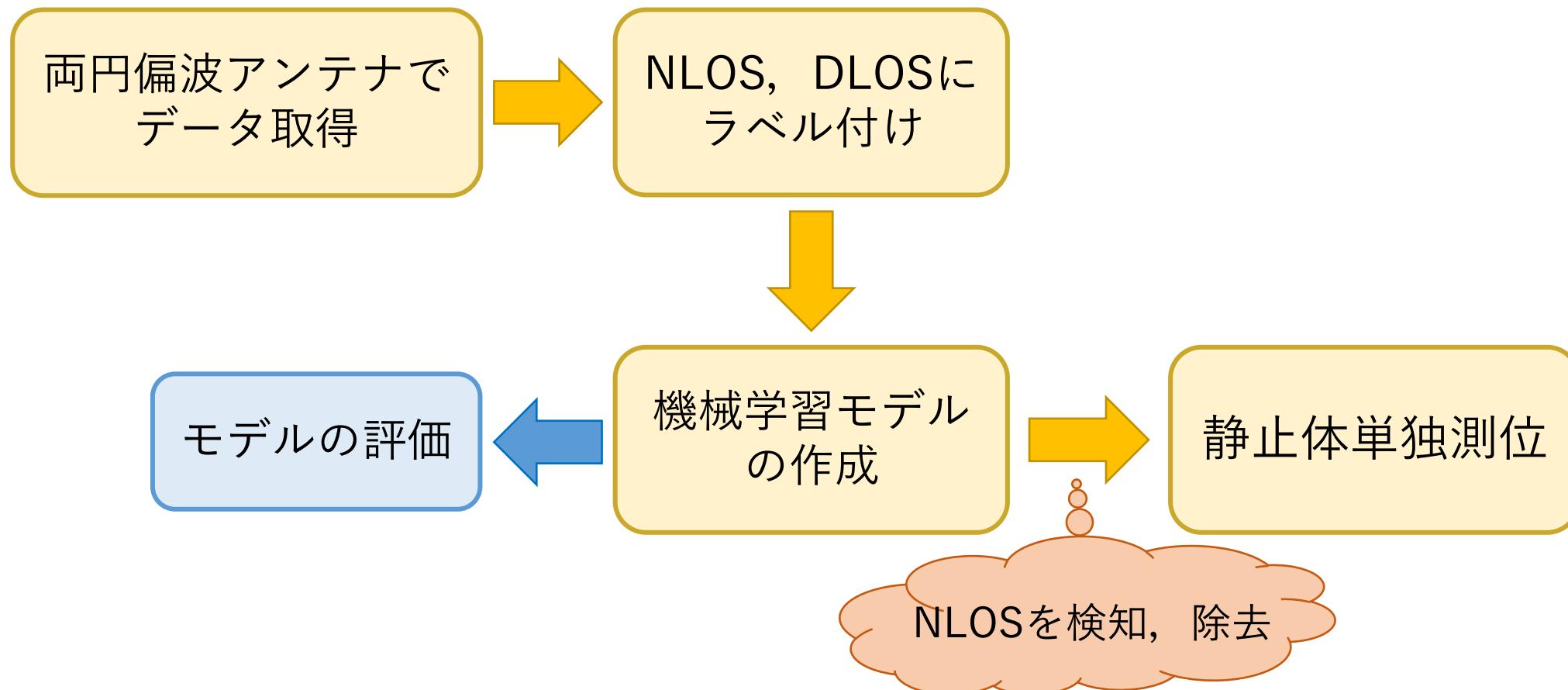


NLOS(non-line-of-sight)

DLOS(direct-line-of-sight)

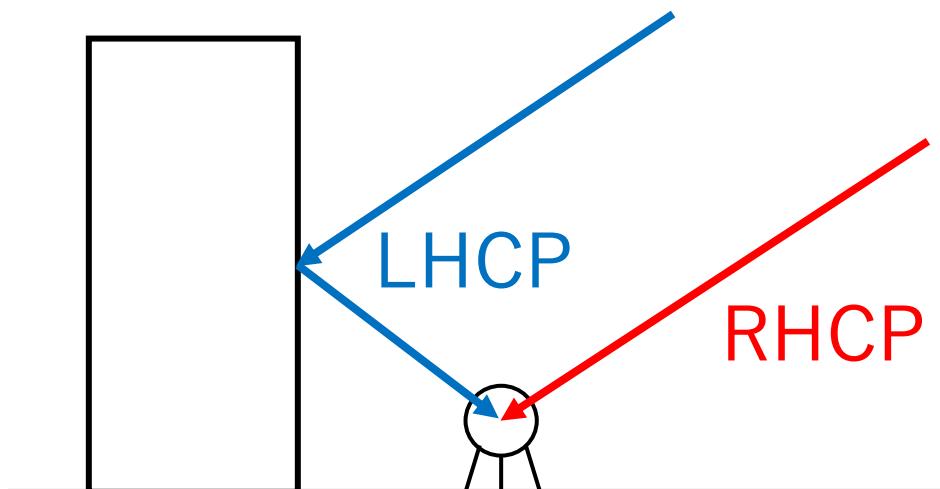
検知, 測位から除外

研究の主な流れ



機械学習に用いる教師データ
のラベルづけ

GNSS信号の性質を利用する

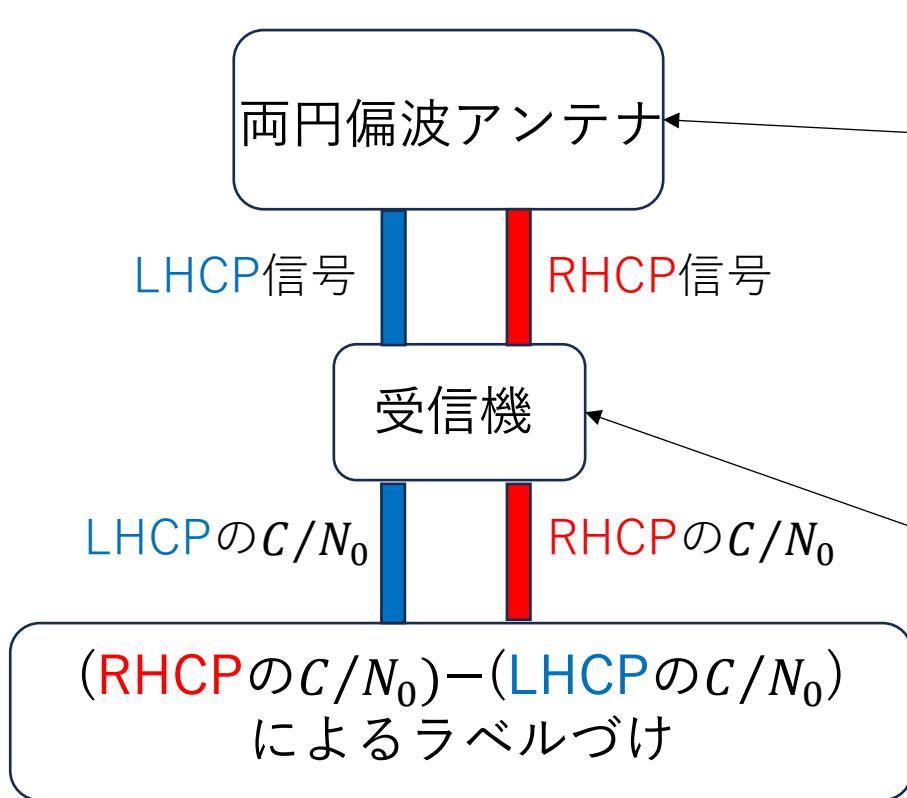


- GNSS信号は一度反射すると右旋円偏波(RHCP)から左旋円偏波(LHCP)へ
- それぞれの信号強度 C/N_0 [dB-Hz]の差によって信号の分類を行う
 $(\text{RHCPの } C/N_0) - (\text{LHCPの } C/N_0)$ の結果が…

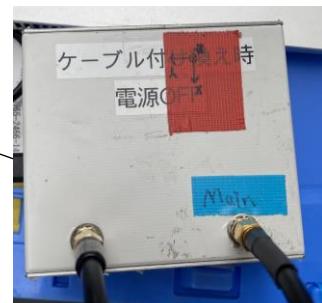
正………DLOS
負………NLOS

NLOS検知モデルの作成

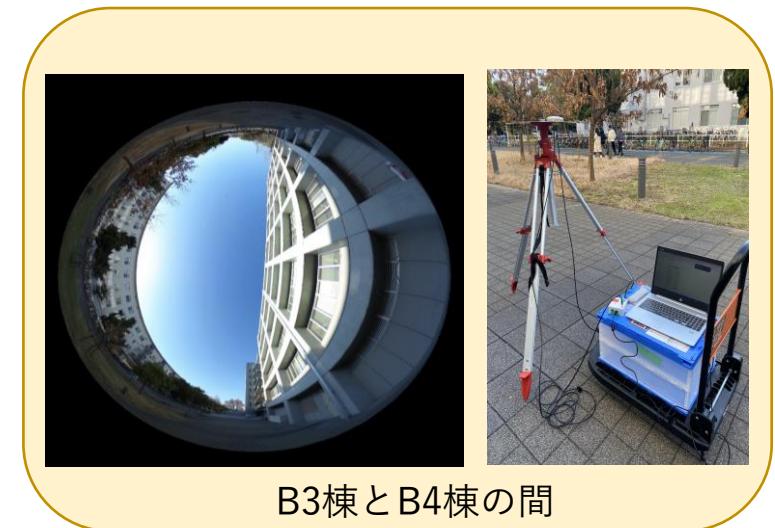
- 教師データに使用するデータを両円偏波アンテナで取得
- データレート1Hz, 2か所で1時間取得



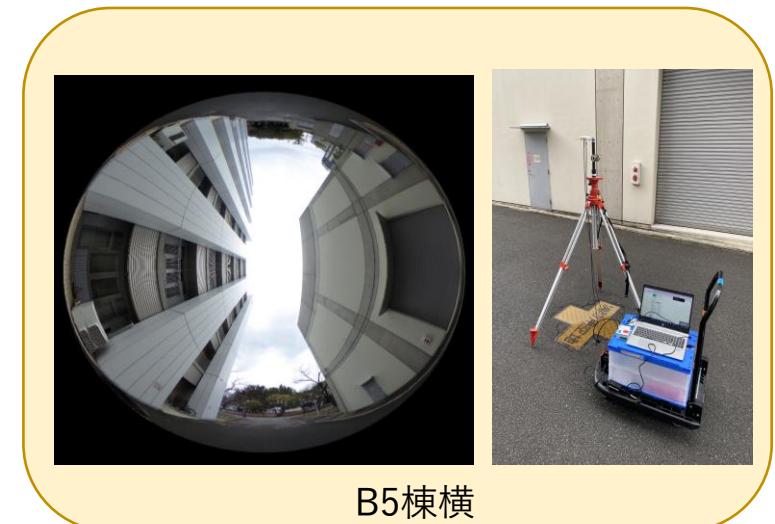
antcom社の
両円偏波アンテナ



Septentrio社の
受信機



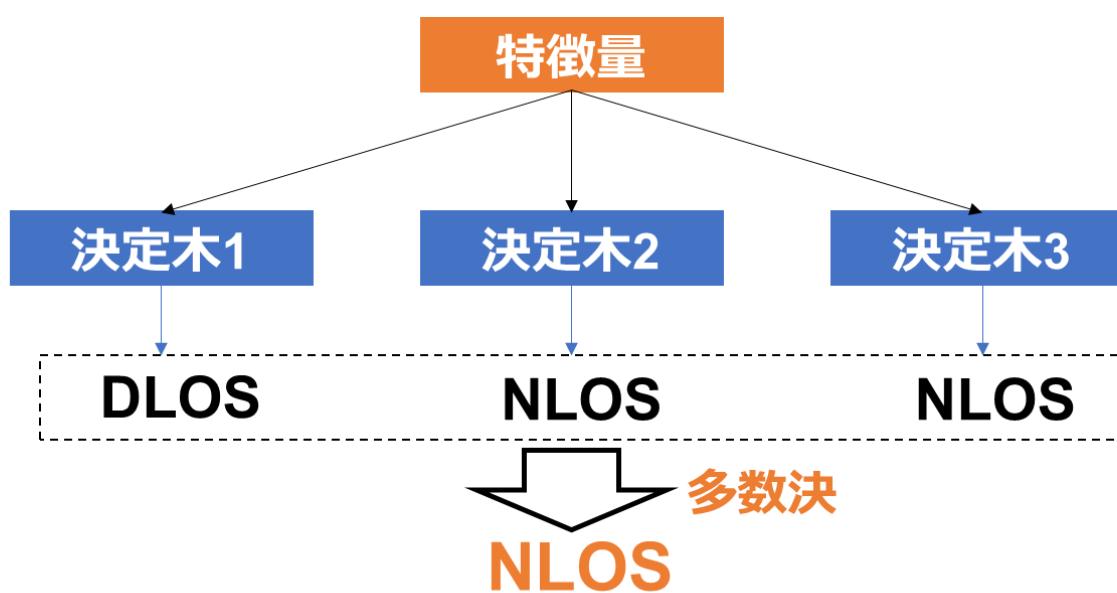
B3棟とB4棟の間



B5棟横

- 分類器の学習アルゴリズムとして、ランダムフォレストを使用

ランダムフォレスト



- 決定木の最大深さ ······ 5
- 決定木の数 ······ 100
- 学習データ：検証データ = 8 : 2

用いる特徴量

衛星仰角EL[deg]

信号強度 C/N_0 [dBHz]

信号強度 C/N_0 の標準偏差

NLOS検知モデルの作成

- 正答率は0.89と高く、分類モデルとして機能
- NLOSのスコアがDLOSよりも低い
→ NLOSとラベル付けされたデータが少なく、学習が不十分か

		Predicted Class	
		NLOS	DLOS
Actual Class	NLOS	1431	1146
	DLOS	516	11991

混合行列

各分類スコア	
正答率	0.89
NLOS再現率	0.56
NLOS適合率	0.73
DLOS再現率	0.96
DLOS適合率	0.91

		Predicted Class	
		NLOS	DLOS
Actual Class	NLOS	TP (True Positive)	FN (False Negative)
	DLOS	FP (False Positive)	TN (True Negative)

2値分類の混合行列(NLOSをtrueとした場合)

$$\text{正答率} ACC = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN}$$

$$\text{再現率} REC = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$\text{適合率} PRE = \frac{TP}{TP+FP}$$

例：NLOS再現率が低い・・・NLOSであるのにDLOSと判断してしまう割合が大きい
NLOS適合率が低い・・・DLOSであるのにNLOSと判断してしまう割合が大きい

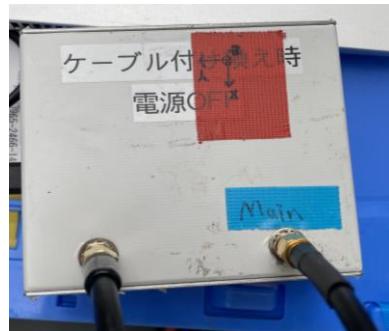
- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

測位への適用

- 新規環境で約10分間の静止体単独測位を行った
- GPS, Galileo, QZSSを使用
- 測位演算にはRTKLIBを使用



Tallysman
パッチアンテナ



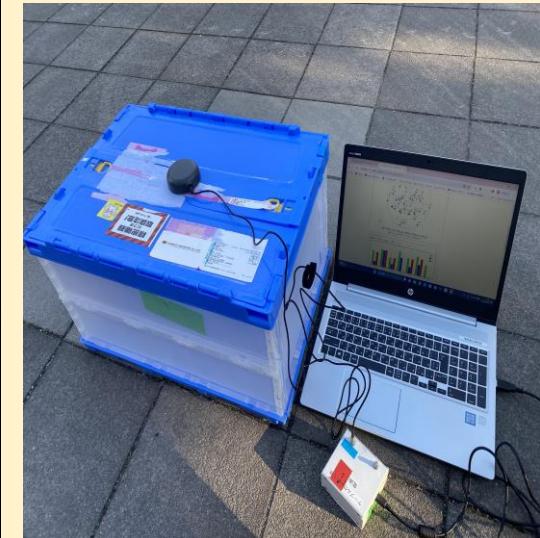
Septentrio社の
受信機

RHCPのみ取得する
通常のアンテナ
(LHCPは必要ない)

受信機は教師データ
取得時と同じ

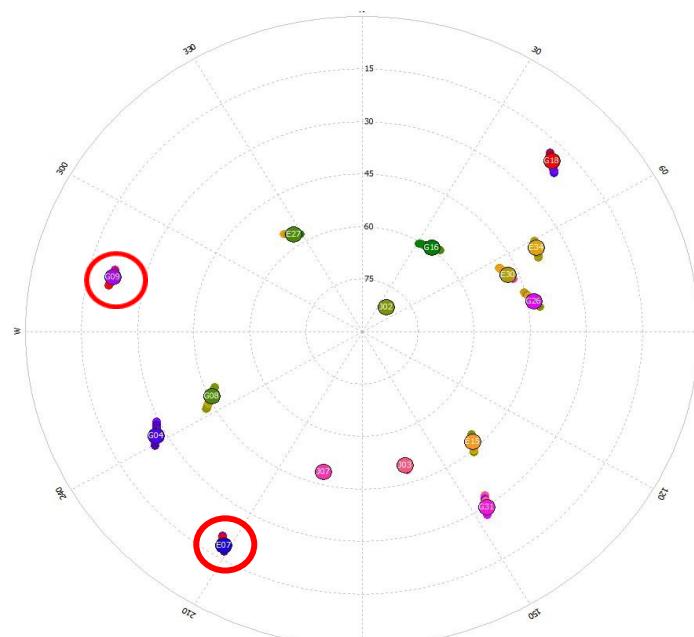


新規環境 (B5棟とB11棟の間)

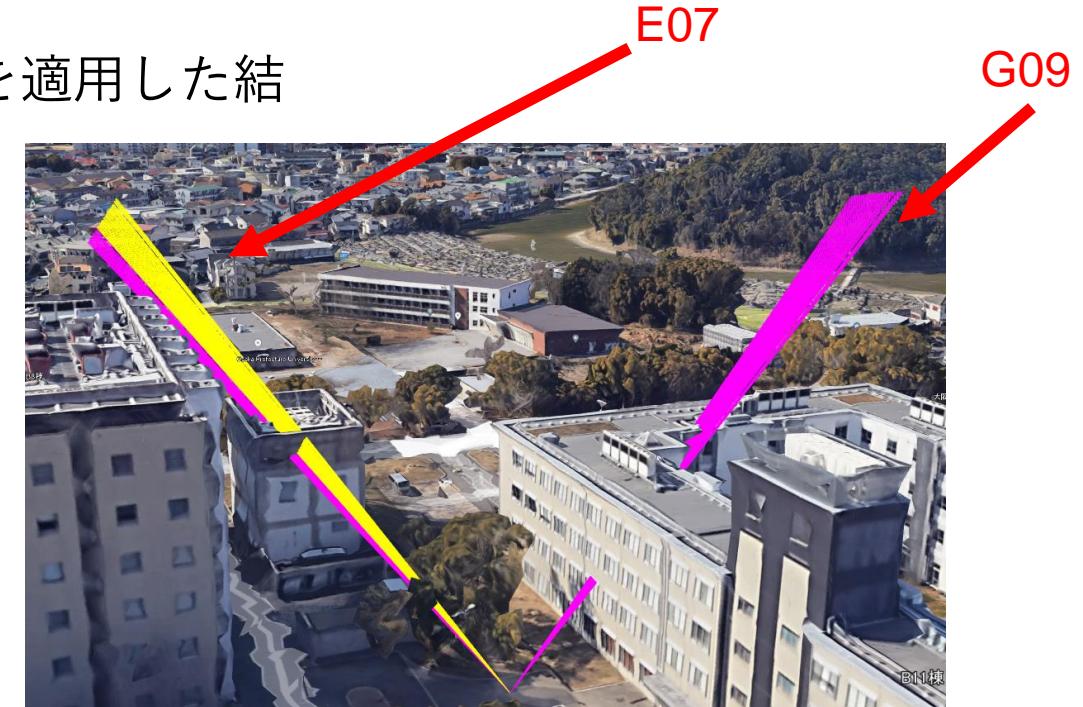


測位への適用

- 過半数の時間でNLOSに分類された衛星を測位から除外
- 今回作成したランダムフォレストの分類モデルを適用した結果、NLOSと分類されたのはG09, E07



実験時刻におけるskyplot

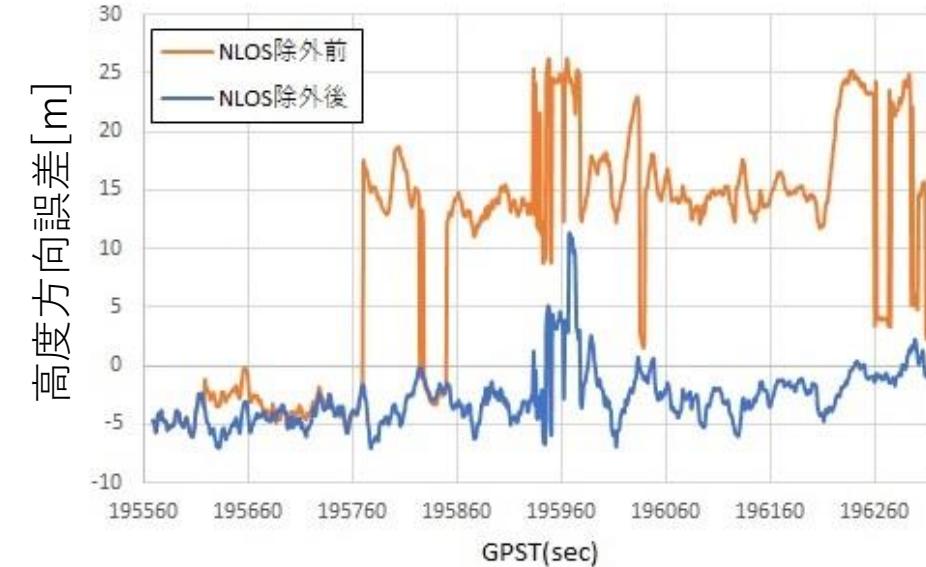
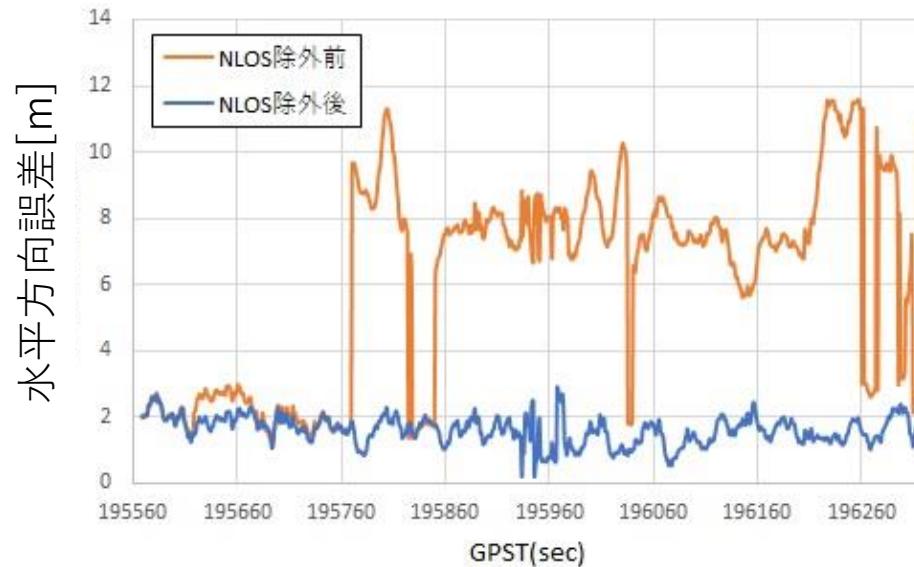


LOS_Checkerによる検証

この2衛星は実際にNLOS信号であると考えられる

測位への適用

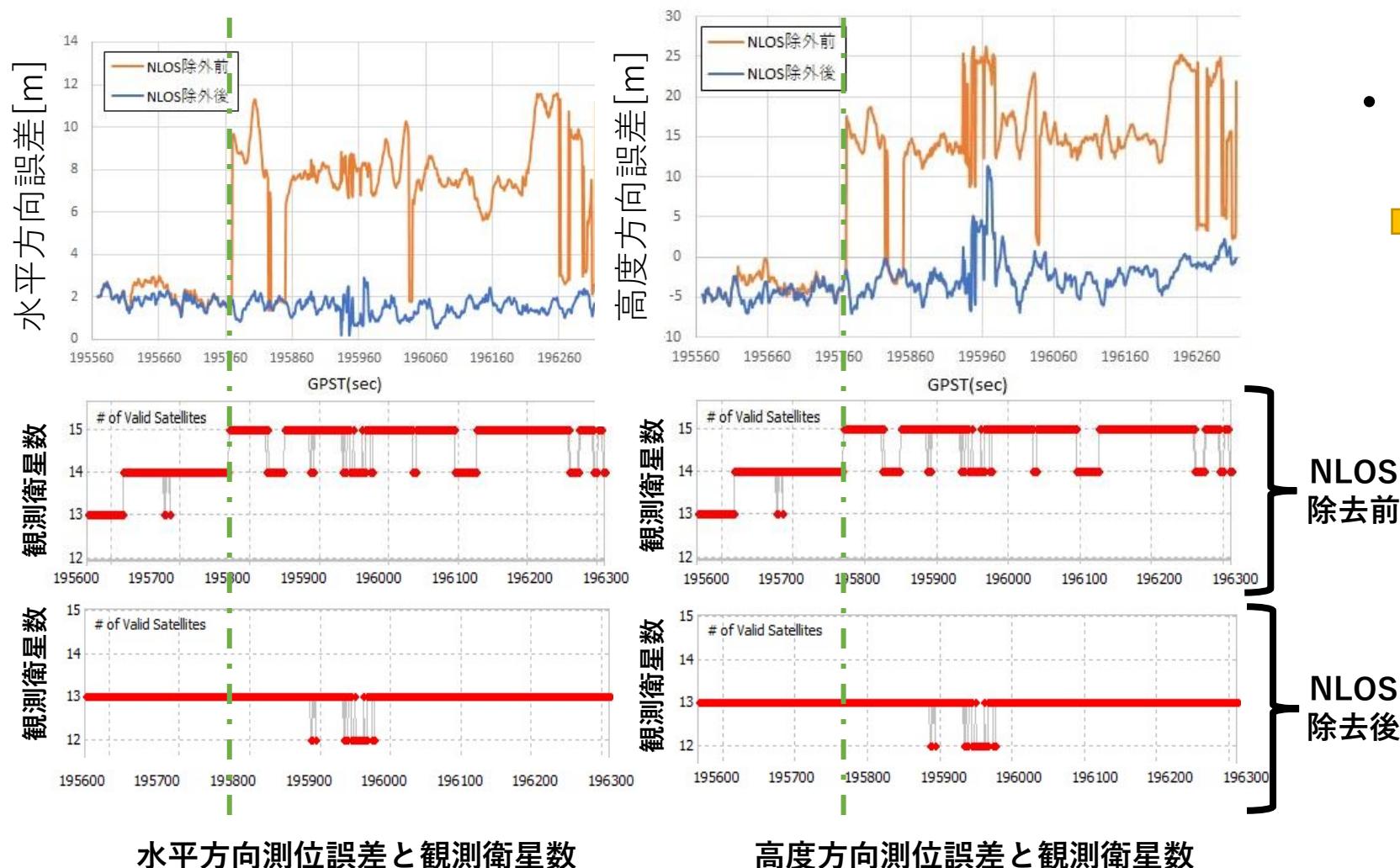
- NLOS除去前と後で測位誤差を比較
- 電子基準点との相対測位を真値とした



	NLOS除去前	NLOS除去後
水平方向誤差 [m]	6.07	1.63
高度方向誤差 [m]	12.04	3.28

73.1%減
72.8%減

測位への適用



- NLOS除去前の誤差の急激な増大

観測された衛星が14機→15機に変化するタイミングと一致



大きな測位誤差の原因となる
NLOS衛星が存在



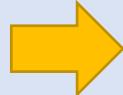
除去することで誤差が大きく低減

- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

機械学習を適用する上での静止体と移動体の違いについて

- 静止体測位

短時間であればNLOS, DLOSの変動は少ないと考えられる



これまでの研究では、観測時間の過半数でNLOSと判定された衛星を全時間(約10分)から除外していた。

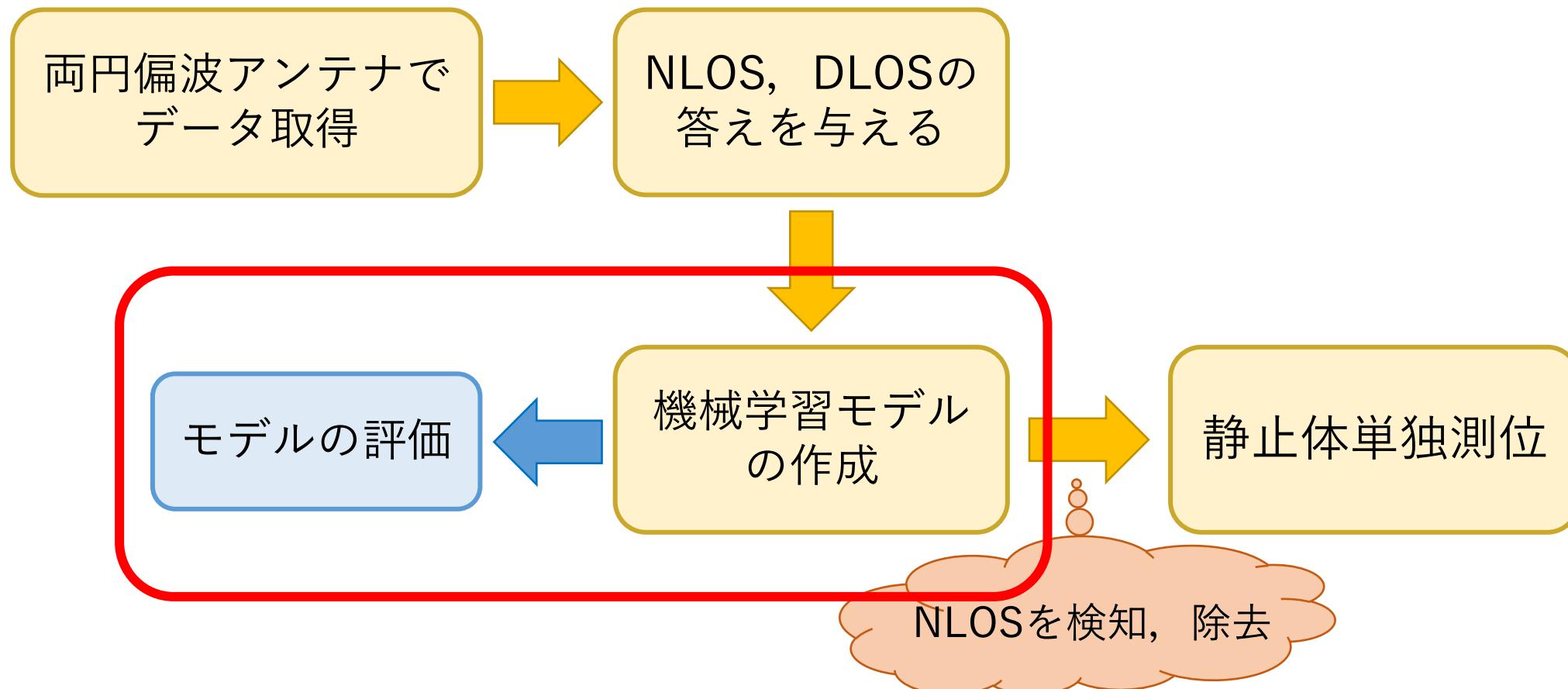
- 移動体測位

周囲の状況が刻々と変化するため、途中でNLOS, DLOSの変動が起きる可能性が高い



より逐次的なNLOS衛星の除外が必要なのではないか

研究の主な流れ



より移動体に適したモデルの構築

方位角に関する特徴量[1]の導入

- 移動体特有の特徴を反映できるのではないか
- 何らかの別の手法で移動体の進行方向の方位角を推定しておく必要がある

観測エポックごとにNLOS衛星を除外して測位できるようにする

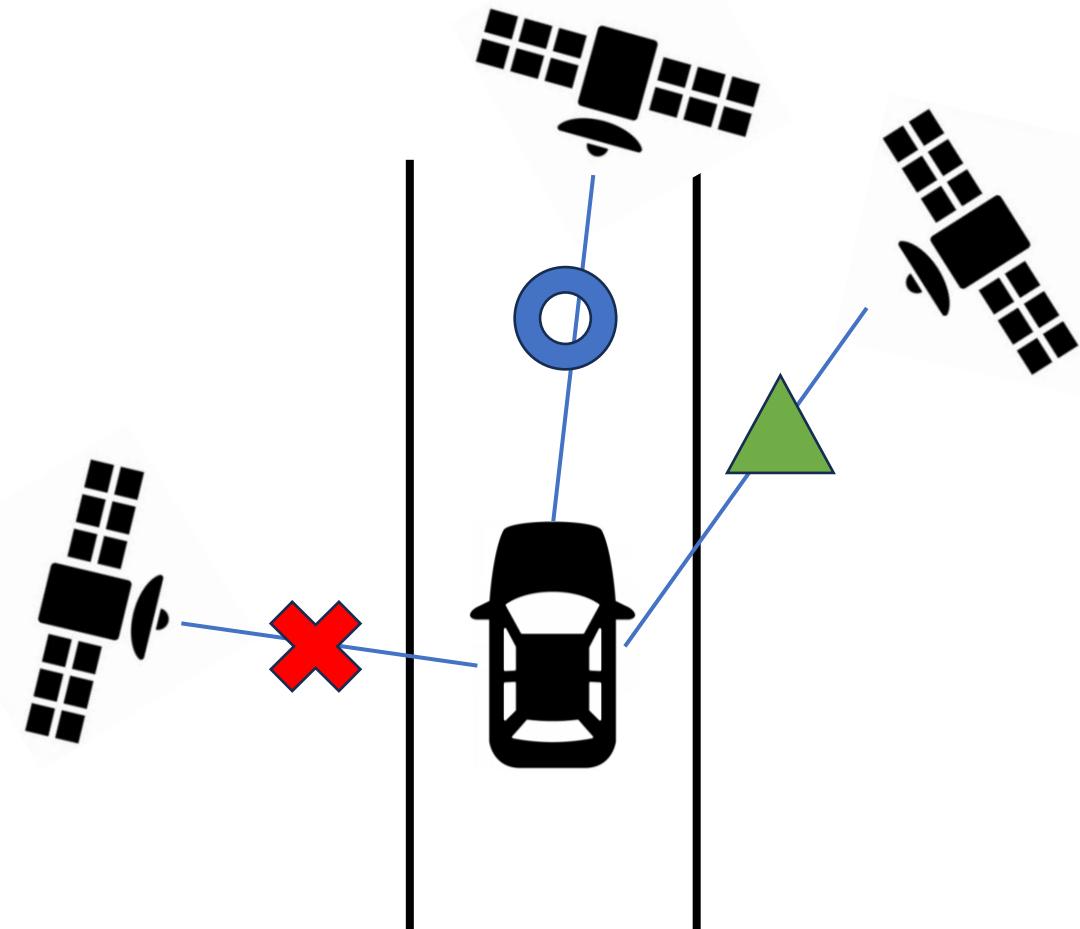
- 観測エポックごとにNLOSと検知された衛星をobsファイルから削除

[1] L. Li, M. Elhaji, Y. Feng, W.Y.Ochieng, “Machine learning based GNSS signal classification and weighting scheme design in the built environment: a comparative experiment” Satellite Navigation, 2023.

都市部等での移動体の走行では・・・



特徴量として導入するためにこの指標を数値的に表したい

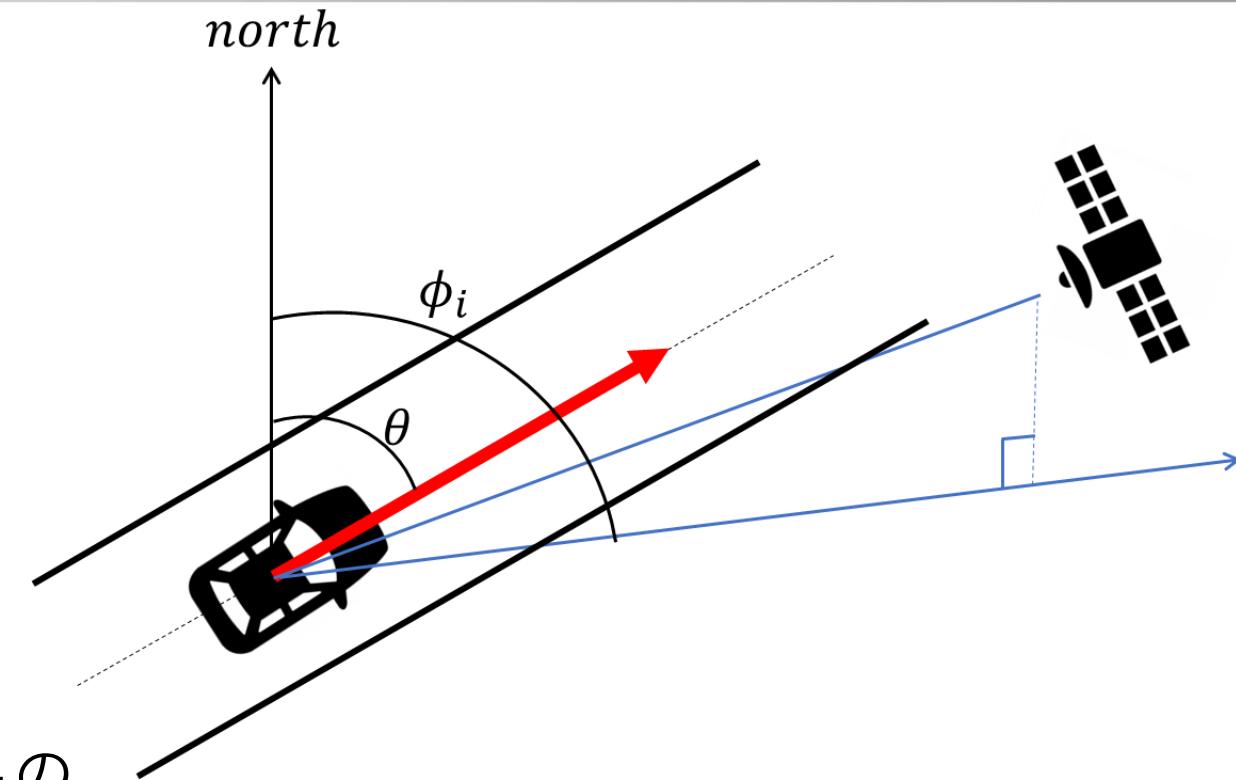
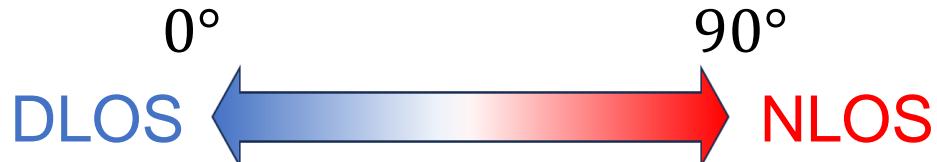


移動体測位への適用に向けて

$$\alpha = |(\phi_i - \theta + 180)\%360 - 180|$$
$$AZ_{NLOS} = \min(\alpha, 180 - \alpha)$$



この計算によって移動体の車線からの衛星の方位角を $[0^\circ, 90^\circ]$ の範囲で求めることができる



θ : 進行方向の方位角 [deg]

ϕ_i : 衛星*i*の方位角 [deg]

AZ_{NLOS} : 導入する特徴量 [deg]

移動体測位への適用に向けて

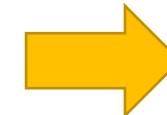
従来モデル

		Predicted Class	
		NLOS	DLOS
Actual Class	NLOS	1431	1146
	DLOS	516	11991

正答率	0.89
NLOS再現率	<u>0.56</u>
NLOS適合率	0.73
DLOS再現率	0.96
DLOS適合率	0.91

AZ_{NLOS}追加後

		Predicted Class	
		NLOS	DLOS
Actual Class	NLOS	1956	757
	DLOS	529	11842



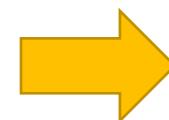
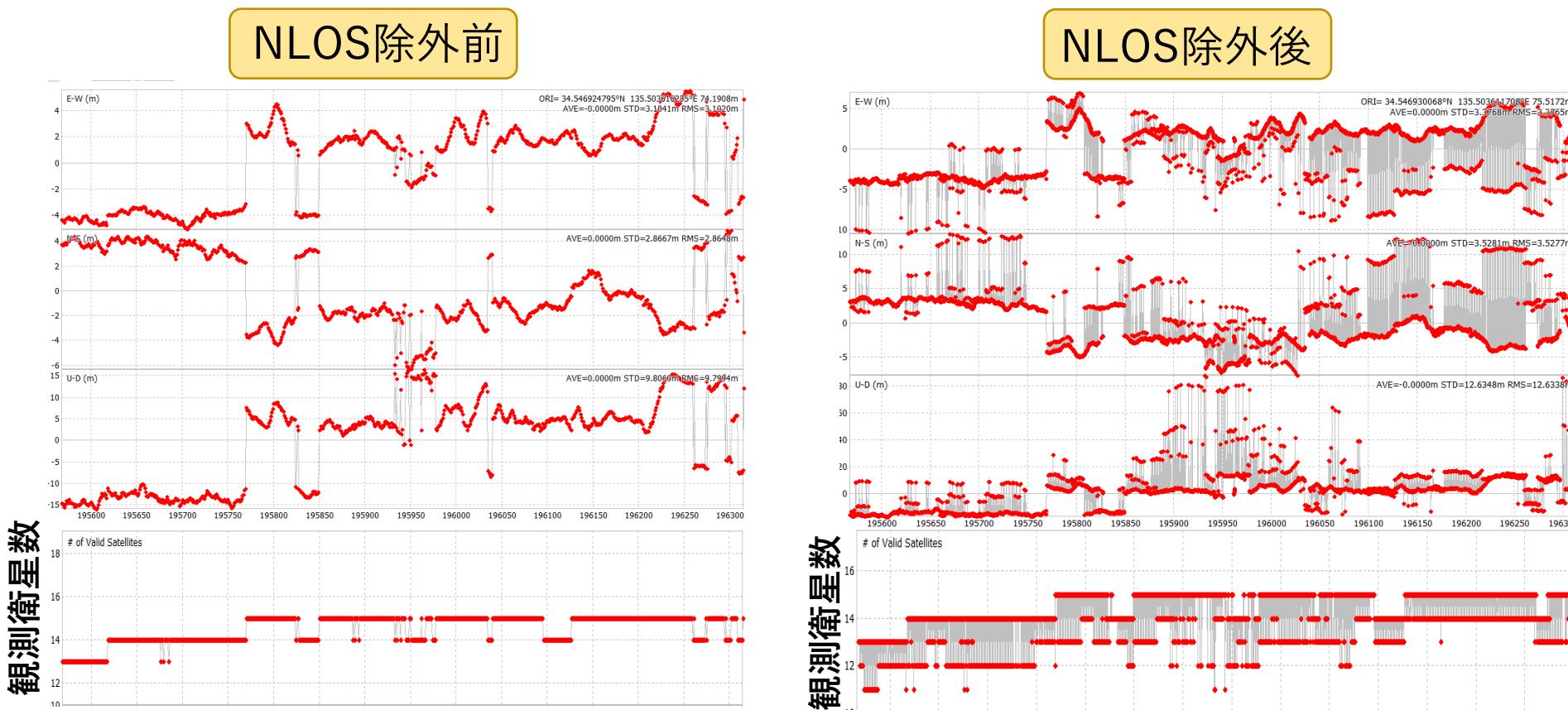
正答率	0.91
NLOS再現率	<u>0.72</u>
NLOS適合率	0.79
DLOS再現率	0.96
DLOS適合率	0.94

例：NLOS再現率が低い・・・NLOSであるのにDLOSと判断してしまう割合が大きい

NLOS適合率が低い・・・DLOSであるのにNLOSと判断してしまう割合が大きい

移動体測位への適用に向けて

卒論発表時のNLOS除外を観測エポックごとの逐次的なものに変えたところ、かえって測位解のばらつきが大きくなり、精度が悪化した



観測衛星数の変動が大きいことが原因か



- 研究背景・目的
- 研究方法、NLOS検知モデルの作成
- 静止体単独測位への適用
- 移動体測位への適用に向けて
- まとめと今後の課題

- まとめ

- 両円偏波アンテナを用いて教師データのラベルづけを行った
- ランダムフォレストによる信号分類モデルを作成した
- 実際にNLOSと分類された衛星を除外することによって通常の測位機器においても測位精度の向上が確認できた
- AZ_{NLOS} の導入によって、分類スコア自体の性能が向上した

• 今後の課題

- 移動体データに適用して AZ_{NLOS} の有無での違いを確認する
- 逐次的なNLOSの除外に対応できるような測位演算処理を検討する
- 逐次的なNLOS除外はその分類が正しいことを前提として効果を発揮する
と考えられるため、教師データ作成手法についても見直す