

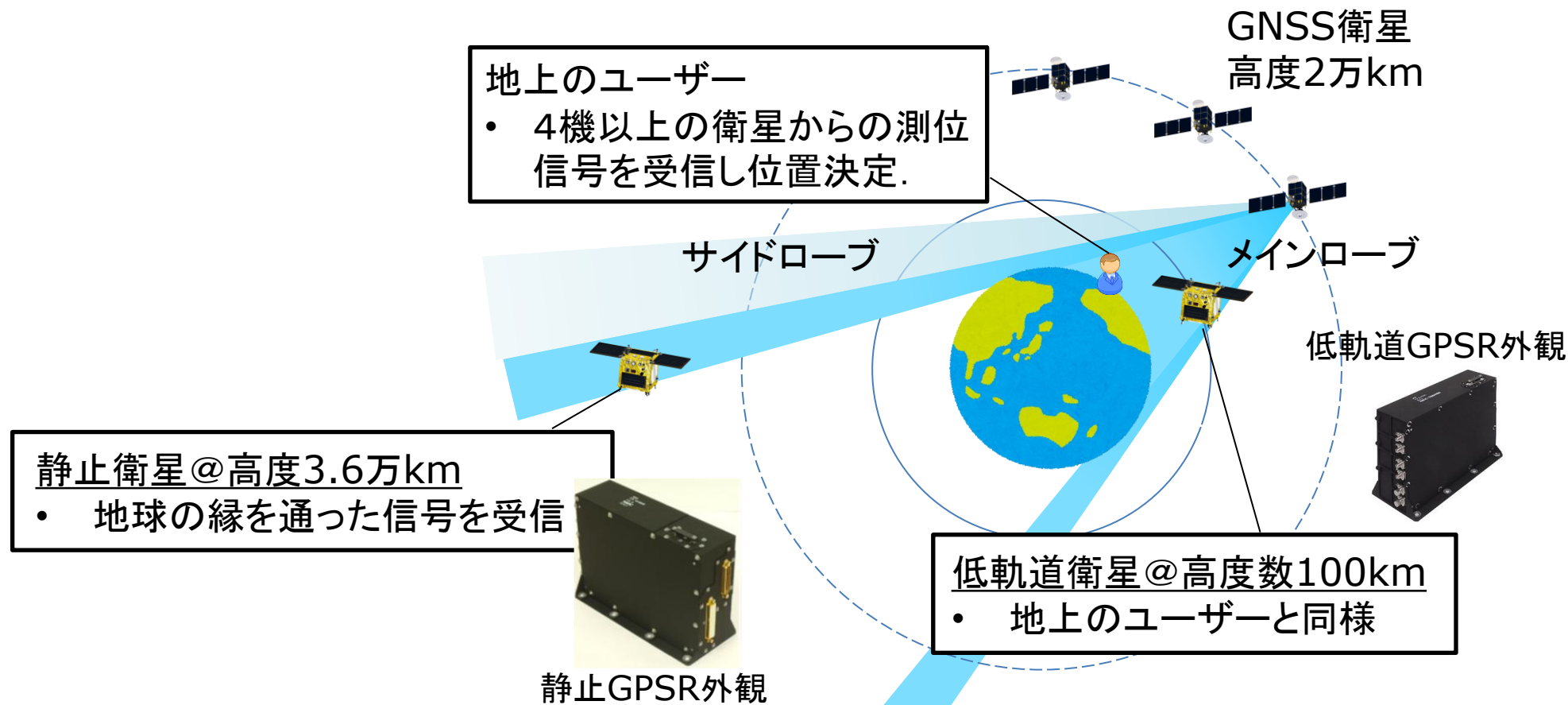
レジリエントPNTワークショップ

衛星搭載GNSS受信機への影響

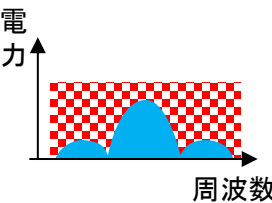
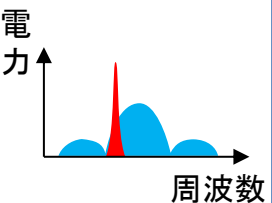
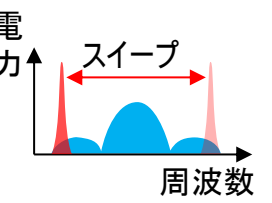
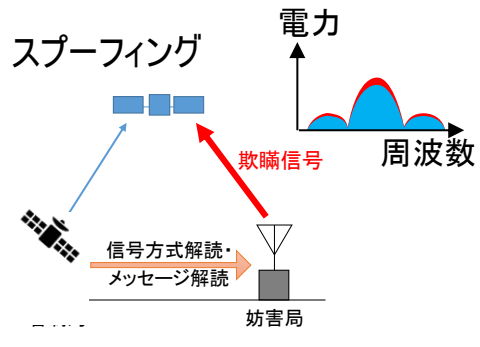
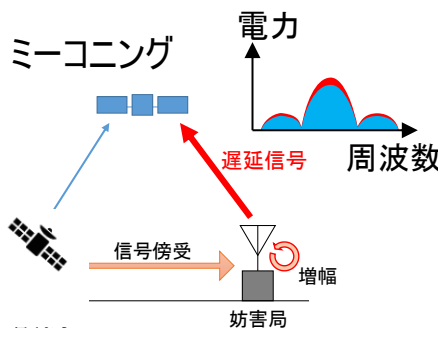
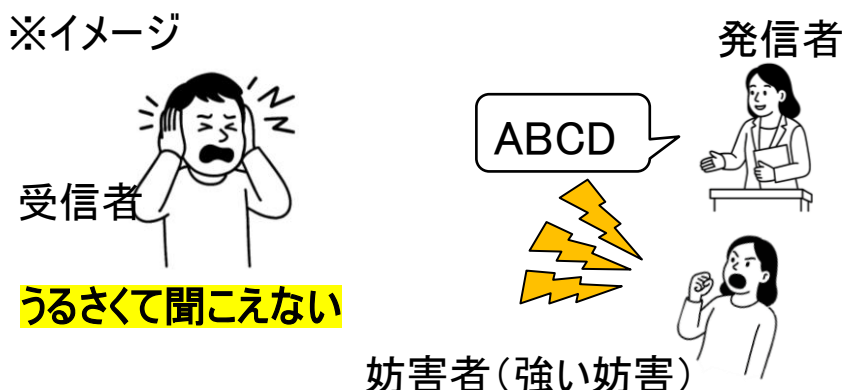
令和8年7月29日

宇宙航空研究開発機構 研究開発部門

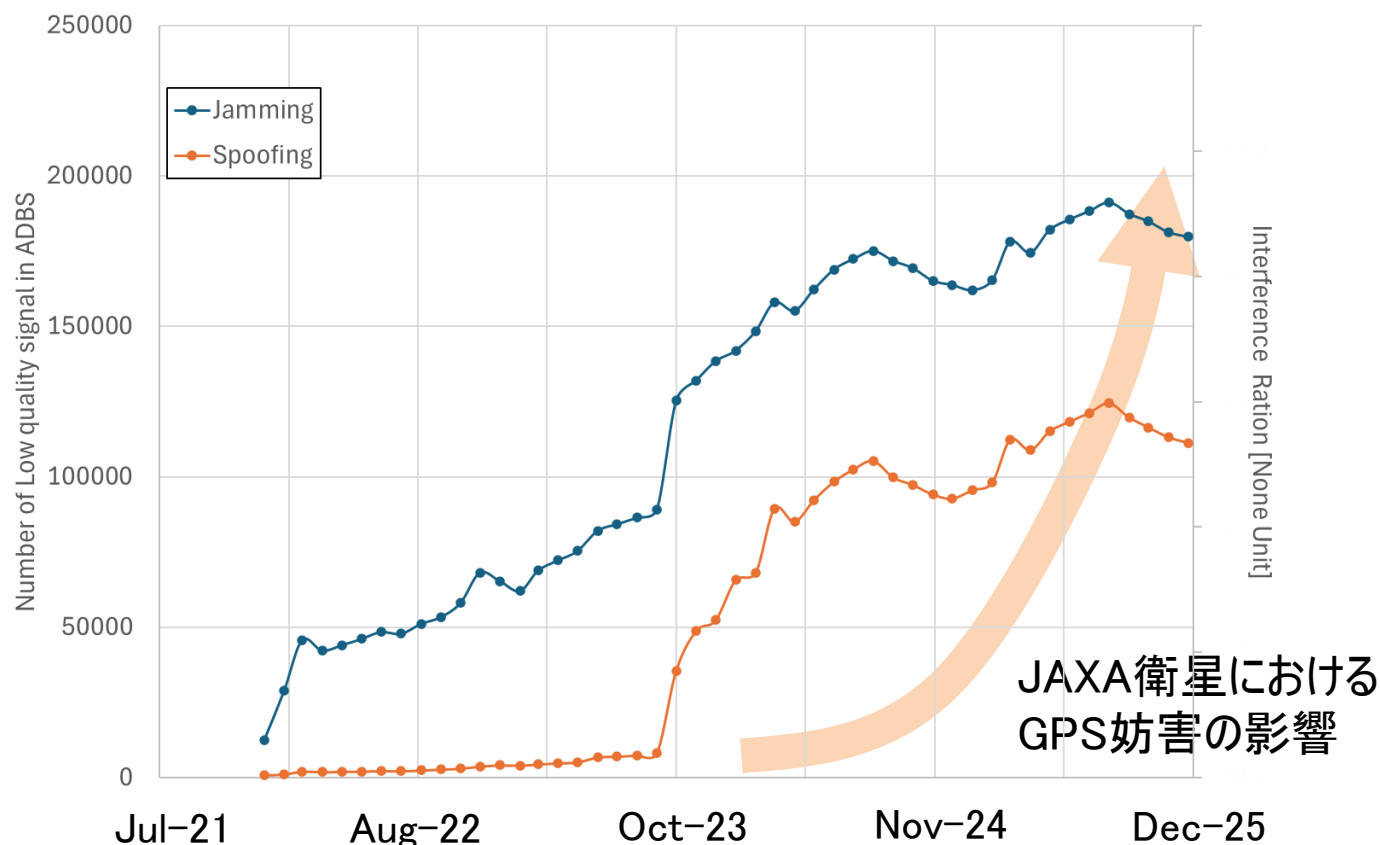
日高萌子



- 高精度かつリアルタイムに位置決定ができるため、多くの低軌道衛星でGNSS受信機を搭載.
- 静止衛星等でもGNSSが利用されはじめており、JAXAとNECスペーステクノロジーは静止軌道で利用可能な受信機を開発完了済み.

ジャミング	スプーフィング(ミーコニング含む)
測位信号と同一周波数で強い妨害電波を発することで、所望信号を受信しにくくする。	偽の測位信号を模擬した欺瞞信号を発することで、偽情報を受信させる。
ノイズジャミング パルスジャミング  トーンジャミング  スweepジャミング 	スプーフィング  ミーコニング 
※イメージ  発信者 受信者 うるさくて聞こえない 妨害者(強い妨害)	※イメージ  発信者 受信者 本物のような偽情報で混乱 妨害者(なりすまし)

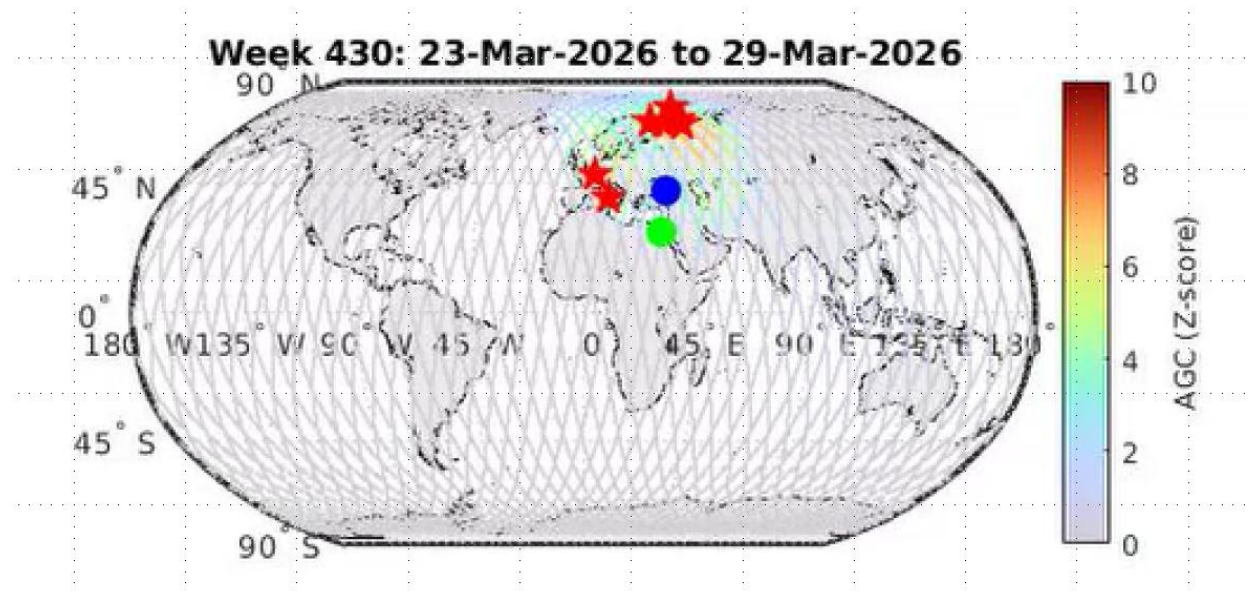
※ ADS-B: 航空機がGNSSで自身の位置や高度を計算し、周囲の航空機や地上の管制塔へ自動的に定期送信するシステム。特定地域上空における精度劣化や位置飛びでGPS妨害の様子を把握可能。



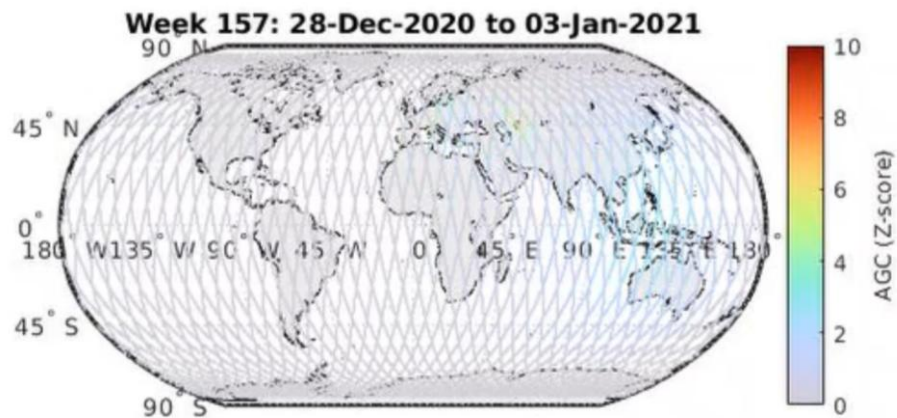
GNSS妨害数の遷移 (2021-2025)

※Stanford大学のデータベースをもとに作成

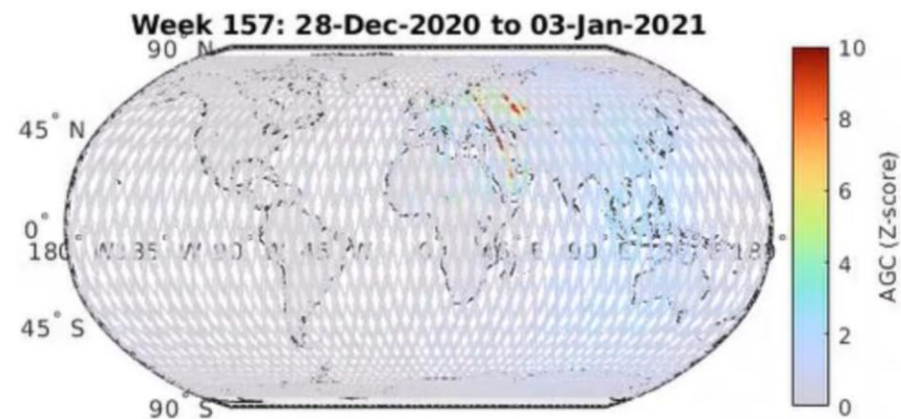
- JAXAが運用する低軌道衛星の多くには、JAXA/NECスペース社製のGPS受信機が搭載されている。
- 低軌道衛星に搭載されたGPS受信機のAGC(オートゲインコントロール)の値に着目することで、地上の妨害電波が軌道上に及ぼす影響を把握可能。
- GPS航法停止箇所は、★(赤星)で表示。衛星運用の一環として停止している箇所も存在。
- 欺瞞信号受信箇所は下記のように表示。
 - (緑丸): 観測残差が正方向に大きい場合。疑似距離が長くなる方向に欺瞞。
 - (青丸): 観測残差が負方向に大きい場合。疑似距離が短くなる方向に欺瞞。未来時間の信号を受け取っているので、航法メッセージを直接操作していると考えられる。



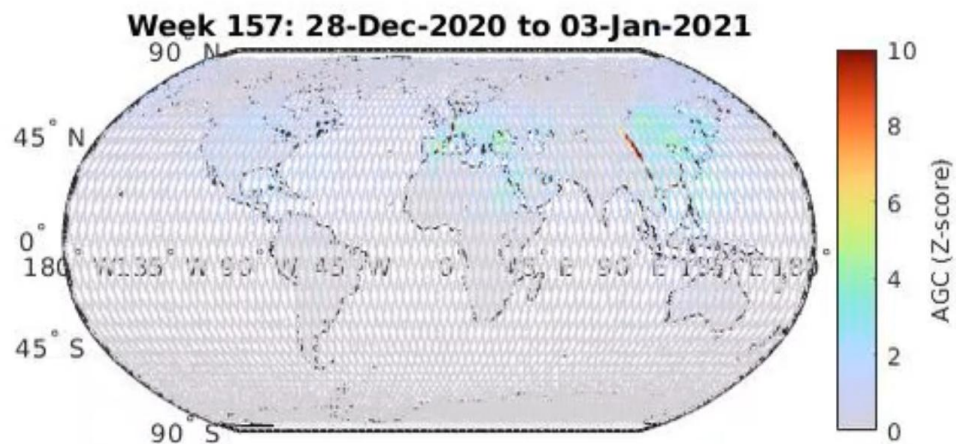
衛星A/4世代



衛星B/ 4世代



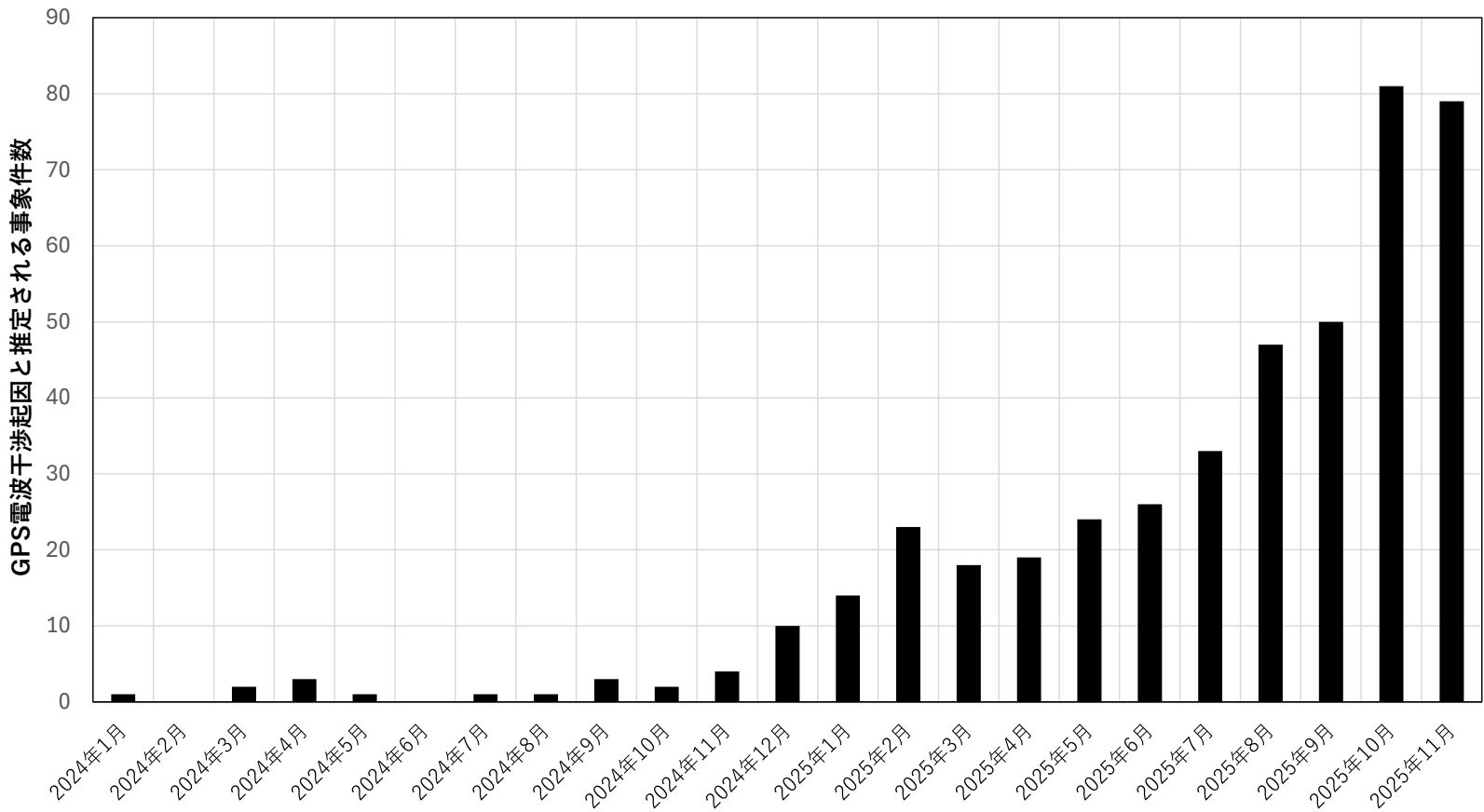
衛星C/5世代



- ★: GPS航法停止
- : 欺瞞(残差正)
- : 欺瞞(残差負)

軌道上電波環境の変遷～異常発生件数のトレンド～

- 低軌道衛星では、地上由来の妨害波が原因と思われる事象が、2025年から増加している。
- 一方で、静止衛星では2021年頃から、地上干渉波が原因と思われるGPS信号異常が確認されている。

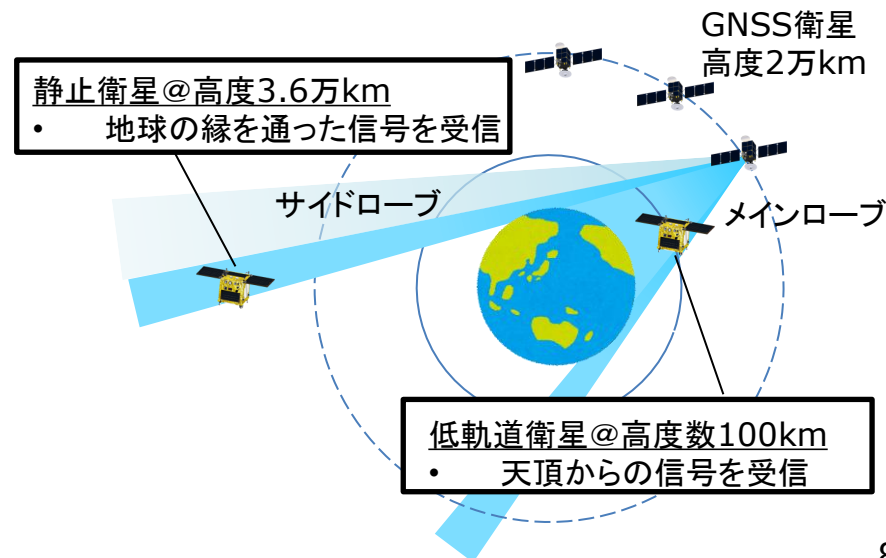


低軌道衛星におけるGNSS妨害数の遷移 (2024-)

	低軌道GPSR	静止軌道GPSR
信号レベル	強い	比較的弱い
アンテナ方向	反地心指向	地心指向
ダイナミクス	干渉地域上を10分程で通過	地球の自転と同期するので、 干渉地域上空に留まる

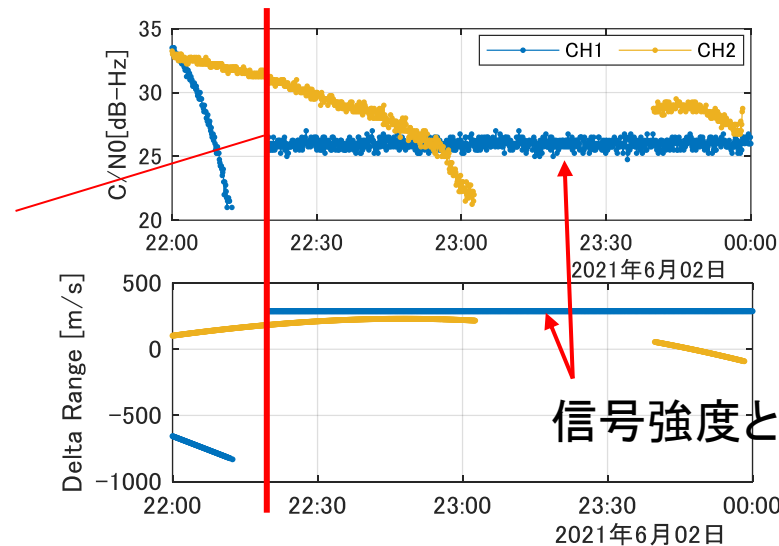
赤文字：妨害波の影響を受けやすくなる項目

微弱信号を受信するため、利得が高いアンテナを地球に指向させる静止GPSRの方が、妨害電波の影響を受けやすい。



- 2020年11月に打ち上げた「光データ中継衛星」に搭載し、国内ではじめて静止軌道におけるGPS軌道決定に成功.
- 打ち上げ以降、発信源が不明な干渉波を受信し、該当する受信チャンネルが長時間使用できなくなる事象が発生.
- 干渉波の特徴は以下
 - 信号強度とデルタレンジ(搬送波位相の変化量)がほぼ一定
⇒ 発信源は光データ中継衛星と位置関係が変わらない
 - 地上再現試験の結果L1帯の干渉波でのみ発生
 - 信号捕捉に成功するが航法メッセージの復調ができない

CH1の干渉波の
受信タイミング



干渉波受信時の静止GPSRの挙動(2021年6月)

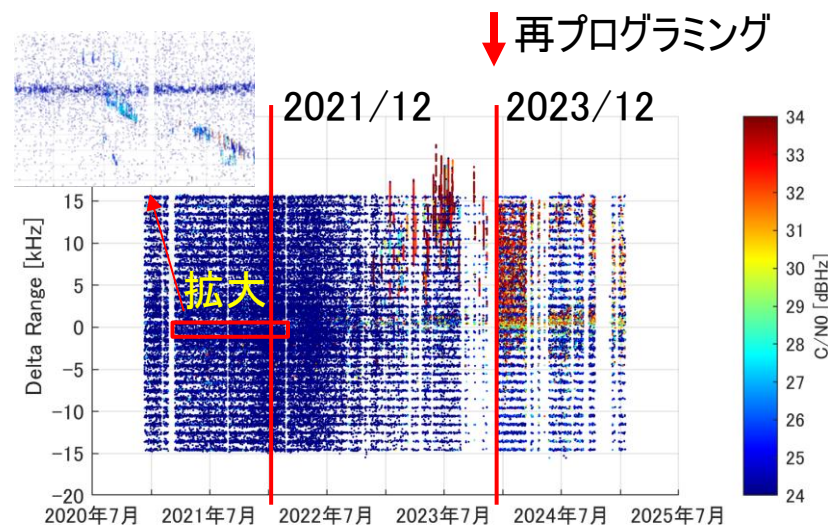
□ 打ち上げ～現在に至るまで、干渉波の様子が時々刻々と変化.

- ～2021年12月頃
 - デルタレンジが1kHzの整数倍付近に均等に存在. 地上試験の結果との一致性から、干渉波はCWだと考えられる.
- ～2023年12月
 - デルタレンジが0kHzの近傍に干渉波が集中し、C/N0が増大. これは干渉波がC/Aコードで拡散されている場合の挙動と一致する.
 - 軌道上再プログラミングによるソフトウェア更新を実施し、航法性能が改善.
- 2023年12月以降
 - 干渉信号のC/N0がさらに増大.

事象発生当初は衛星航法補強システム
(SBAS)を干渉源の候補として有力視



信号の様相が変化すること
紛争地域由来のGPS妨害波が顕在化していたこと
から、地上干渉源の影響が疑われた

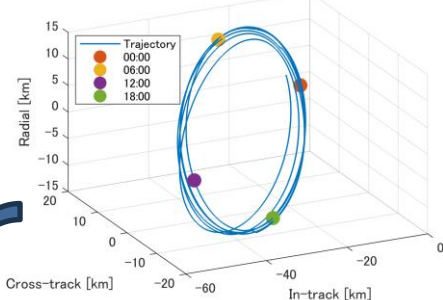


干渉波の時間変化の様子

(実データ)

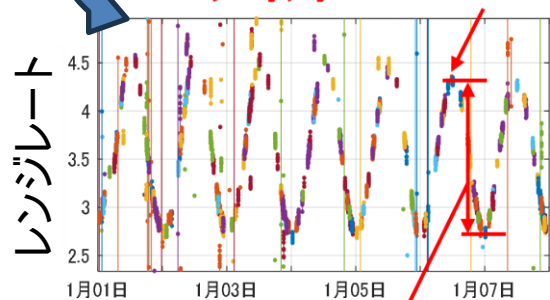
静止GPSRで実際に観測された干渉波

光データ中継衛星の相対軌道



僅かな位置変化によって
レンジレートが一気に決まる

ピーク時刻: 1/6 11:44 - 12:08



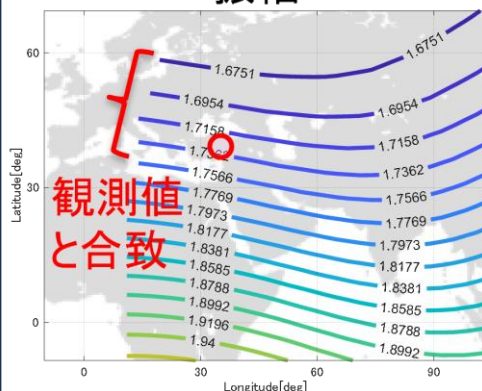
振幅: 1.6 - 1.7 m/s

(シミュレーション)

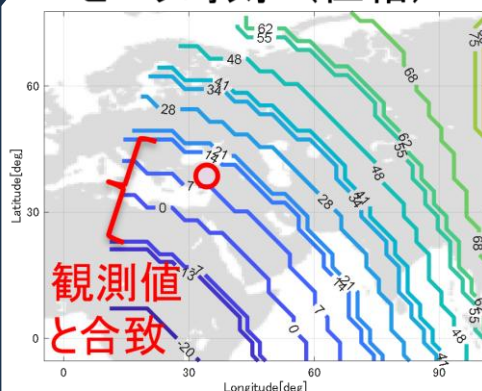
衛星軌道歴から各地表点についてレンジレート※を計算した結果

振幅

※2物体間の視線方向速度



ピーク時刻※(位相)



※12:00からの差分(分)で表示

地上干渉源の解析結果まとめ

国名	緯度 [deg]	経度 [deg]	振幅 [m/s]	ピーク時刻
(観測値)	-	-	1.6 - 1.7	11:44 - 12:08
Iraq	36.2	44.0	<u>1.71</u>	12:15
Syria	33.5	36.3	<u>1.73</u>	<u>12:06</u>
Israel	29.6	34.9	<u>1.75</u>	<u>12:02</u>
Russia	55.8	37.6	<u>1.64</u>	12:34
India	34.1	74.8	<u>1.70</u>	12:45
Ukraine	45.0	34.1	<u>1.68</u>	12:17

静止GPSRの観測値を詳細解析した結果, 中東地域の地上紛争地域が干渉源の可能性が高い

- JAXA研究開発部門では衛星搭載用のGPS受信機を開発し、主に政府衛星に搭載し、現在に至るまでデータ取得・解析を行っている。
- 世界情勢の不安定化に伴い、地上の紛争地域から飛翔体等に向けて発信されたGPS妨害電波が、軌道上まで到達してしまい、衛星運用に支障が出ている。
 - 静止衛星に搭載したGPS受信機の方が妨害電波の影響を受けやすく、我々が把握する限り2021年頃より妨害電波の影響が確認されている。
 - 妨害電波の信号レベルが上昇するに従って、2025年頃からは、低軌道衛星に搭載したGPS受信機でも影響が顕著になり始めている。
- このような状況において、安定した宇宙機の運用を実現すべく、対策検討を続けている。対策検討の状況については、後述の発表で詳細を述べる。