

QZSSシステムへのLEO衛星群追加について

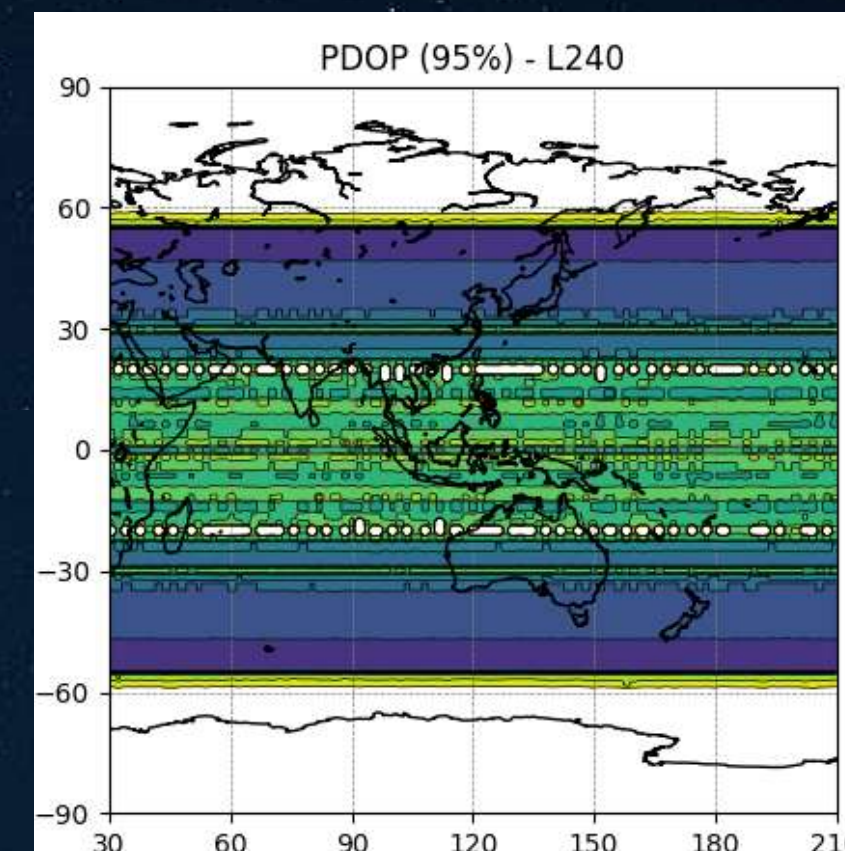
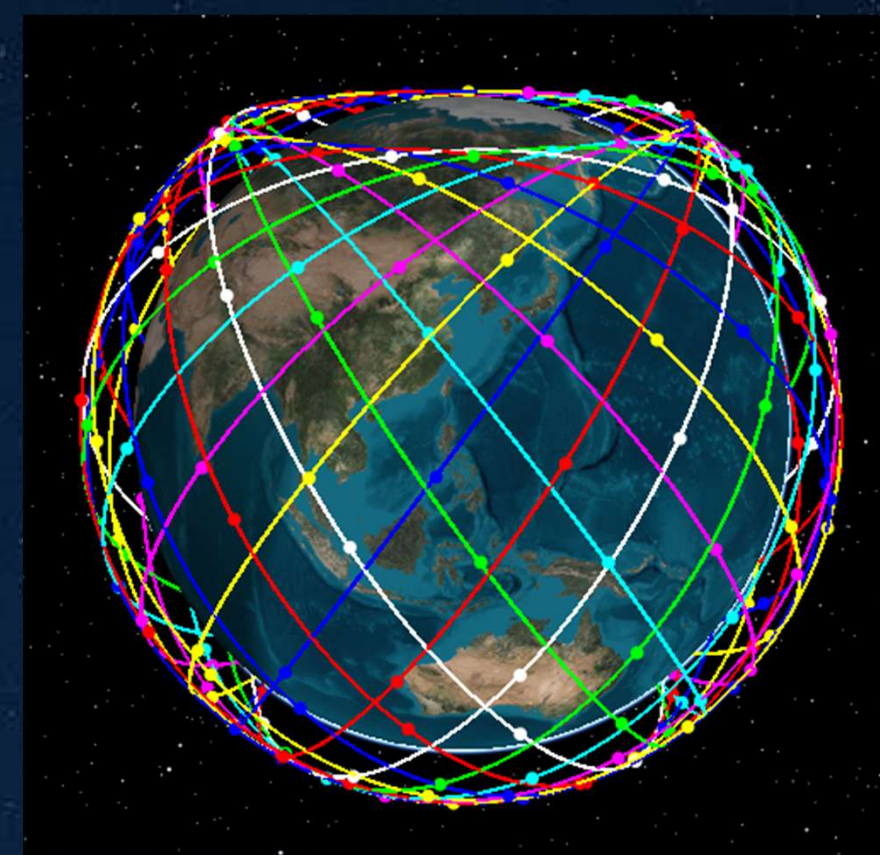
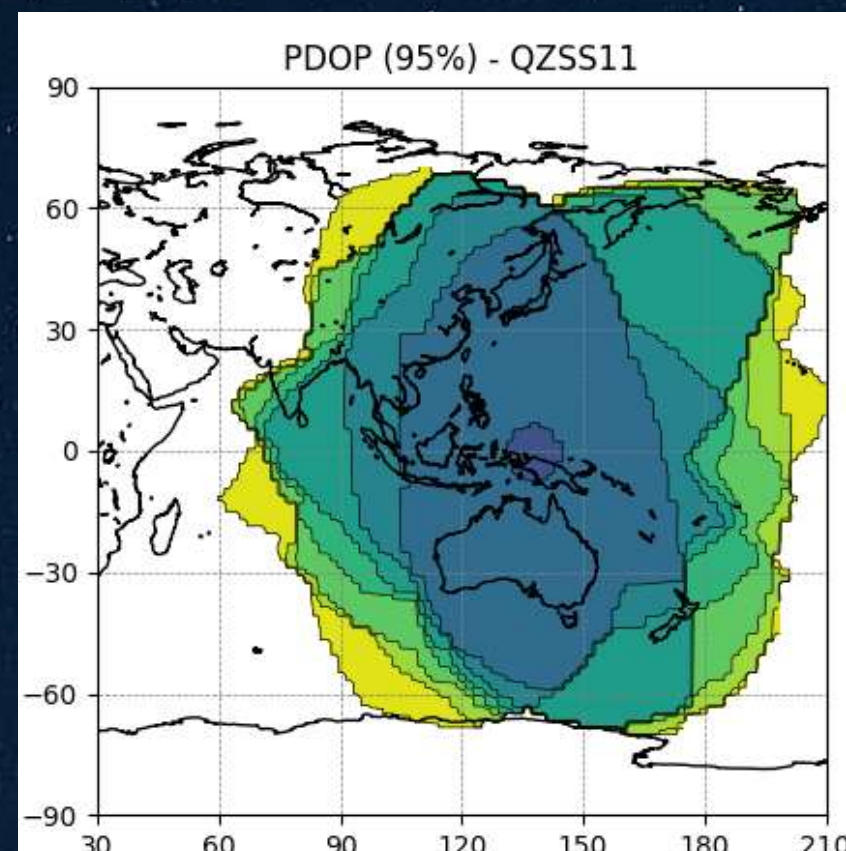
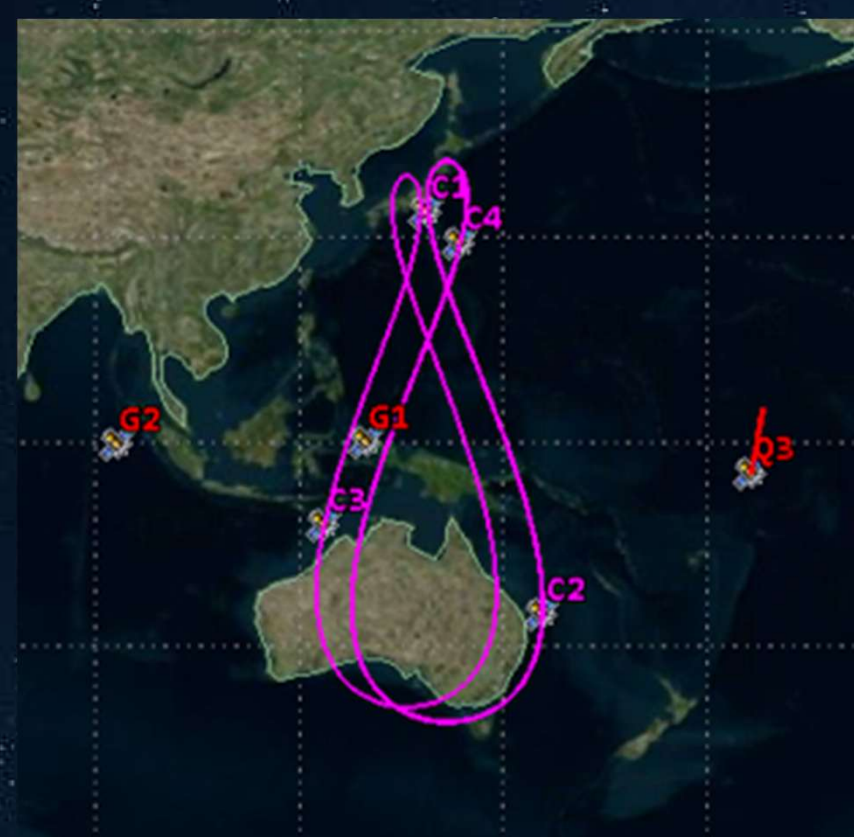
レジリエントPNTワークショップ

2026年7月29日

- 第一部: QZSS・LEO統合測位・補正情報サービス
 - 解析の目的
 - シミュレーション構成と環境
 - 評価結果（衛星数、PDOP、測位精度）
 - LEO衛星によるMADOCA-PPPサービスエリアの拡大
 - まとめ
- 第二部: 軌道上監視局
 - 背景
 - 軌道上監視局のコンセプト
 - 実データを用いた性能評価
 - 今後の計画

解析の目的

全球で利用可能なLEO PNT信号と、アジア太平洋地域で利用可能なQZSS信号を組み合わせることによる利点を評価



期待される利点:

- 相補的なDOP特性 → PNT性能の向上
- QZSSの幾何配置変化は緩やか → LEO衛星の高速な軌道運動により収束時間が短縮
- MADOCA-PPPのグローバル配信

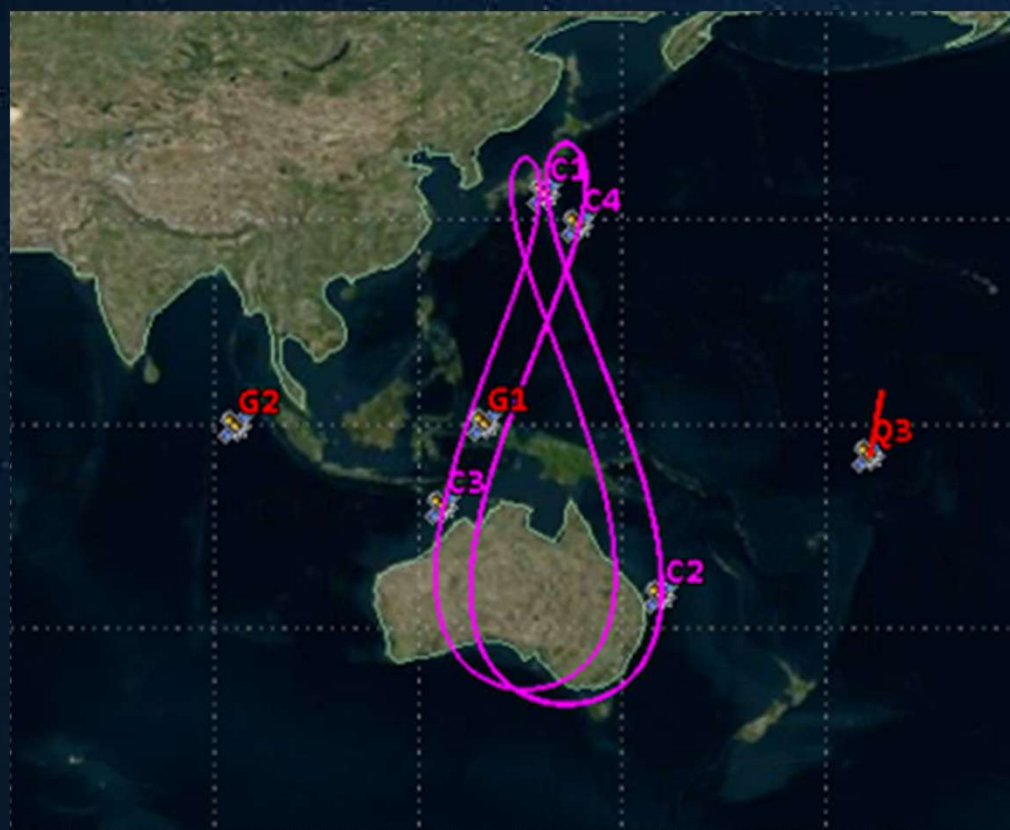
衛星コンステレーション構成

想定QZSSコンステレーション

QZSS-7 (PS-QZSS-005)

4 IGSO satellites
2 GEO satellites at 90.5° E/127° E
1 Quasi-GEO satellite at 175°W

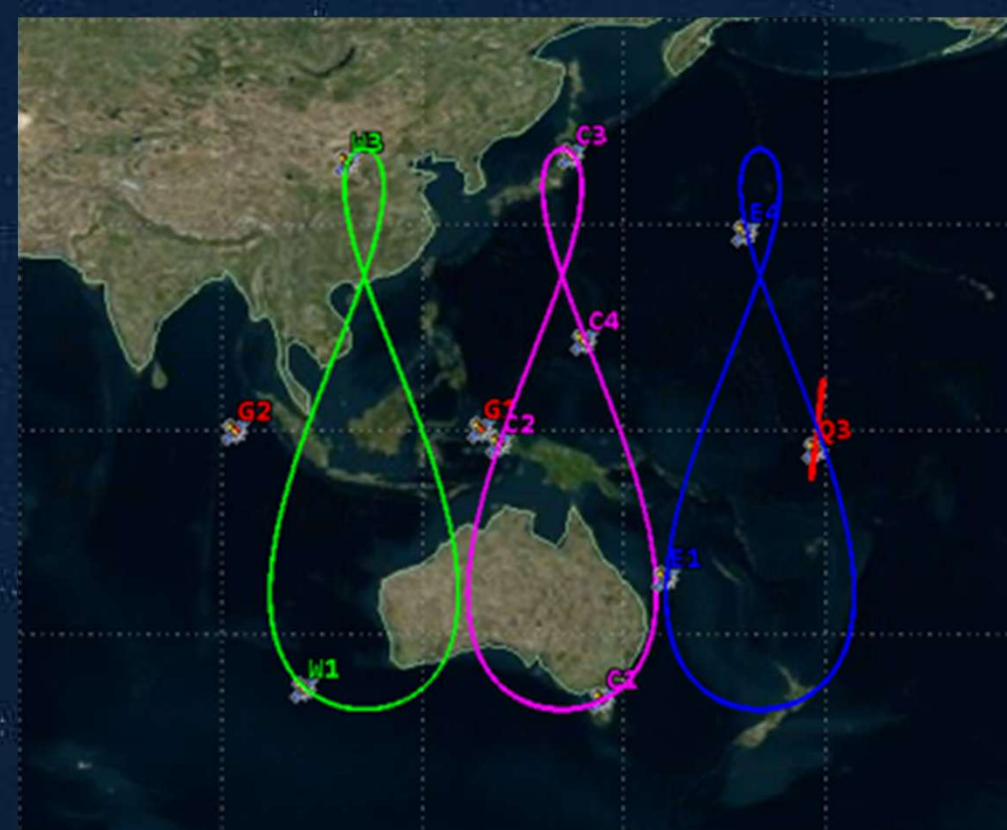
Ground Track:



QZSS-11 (potential configuration)

8 IGSO satellites
2 GEO satellites
1 Quasi-GEO satellite

Ground Track:

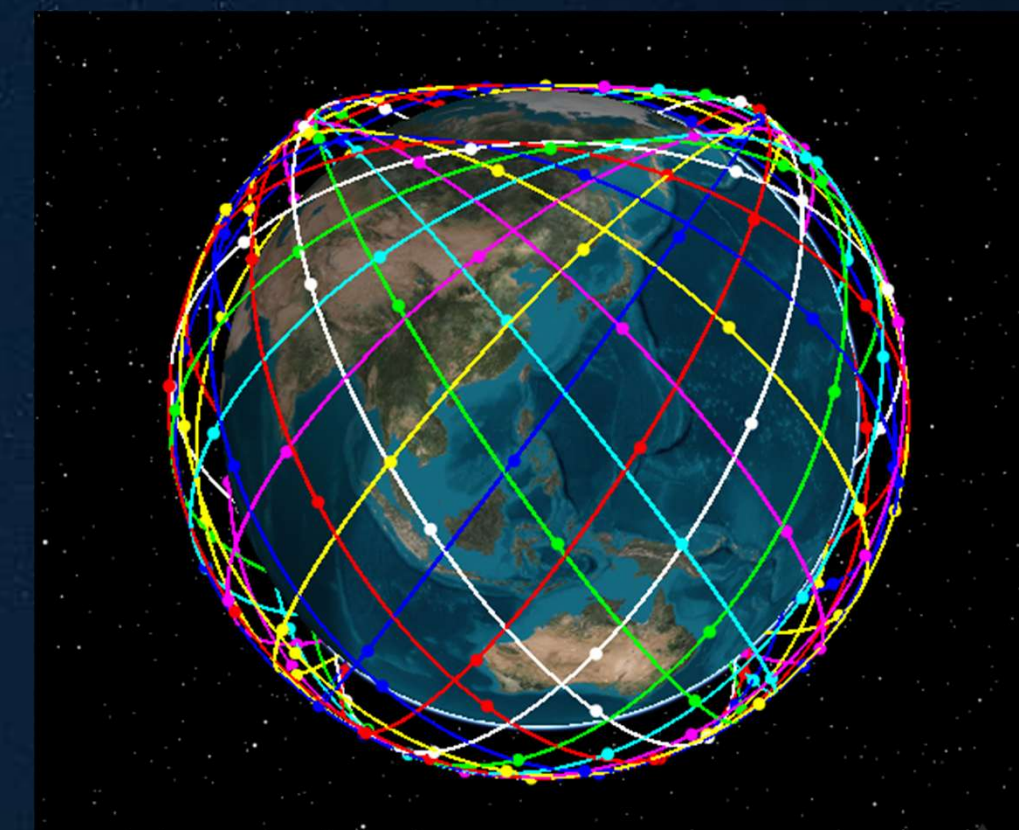


想定LEO PNTコンステレーション

LEO-PNT-240 (potential configuration)

Walker Delta
55°
240/24/1
975 km

Orbital distribution:



信号とユーザー位置構成

アジア太平洋地域の14地点のユーザ位置について、QZSSおよびLEO PNTのシミュレーションデータを生成した。

QZSS observation data:

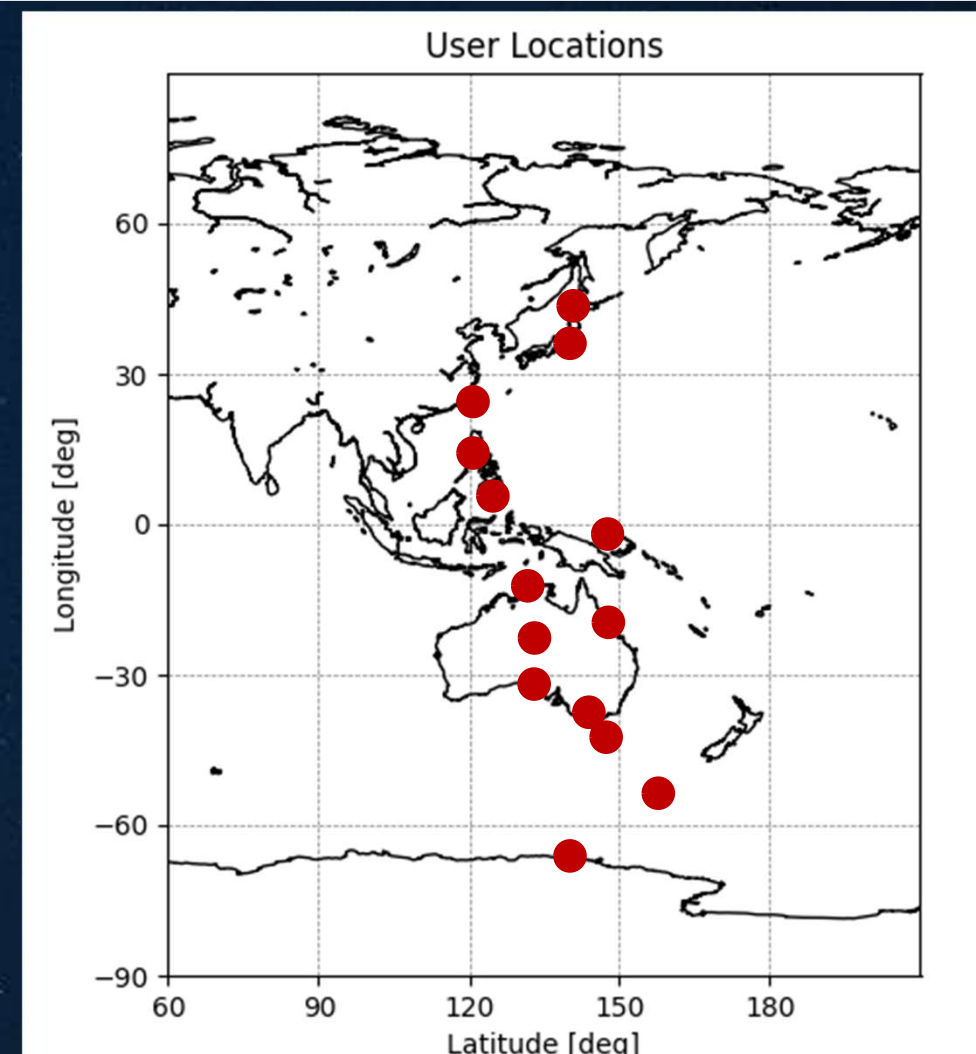
- **Dual-frequency L-band** observables (L1C/L5)
- SISRE of **15 cm (RMS)**
- Observation noise up to 83cm (RMS) for L1C(P)
- Observation noise up to 12cm (RMS) for L5(Q)
- Multipath error not accounted
- 1st order frequency-dependent ionospheric delay
- Ionospheric delay eliminated via **IF combination**
- User elevation cut-off angle is 10 degrees

LEO PNT observation data:

- **Single-frequency C-band** observables (5010-5030 MHz)
- SISRE is **20 cm (RMS)**
- Observation noise up to 25cm (RMS)
- Multipath error not accounted
- 1st order frequency-dependent ionospheric delay
- Ionospheric delay corrected with an **accuracy of 20 TECU**
- User elevation cut-off angle is 10 degrees

ユーザー位置

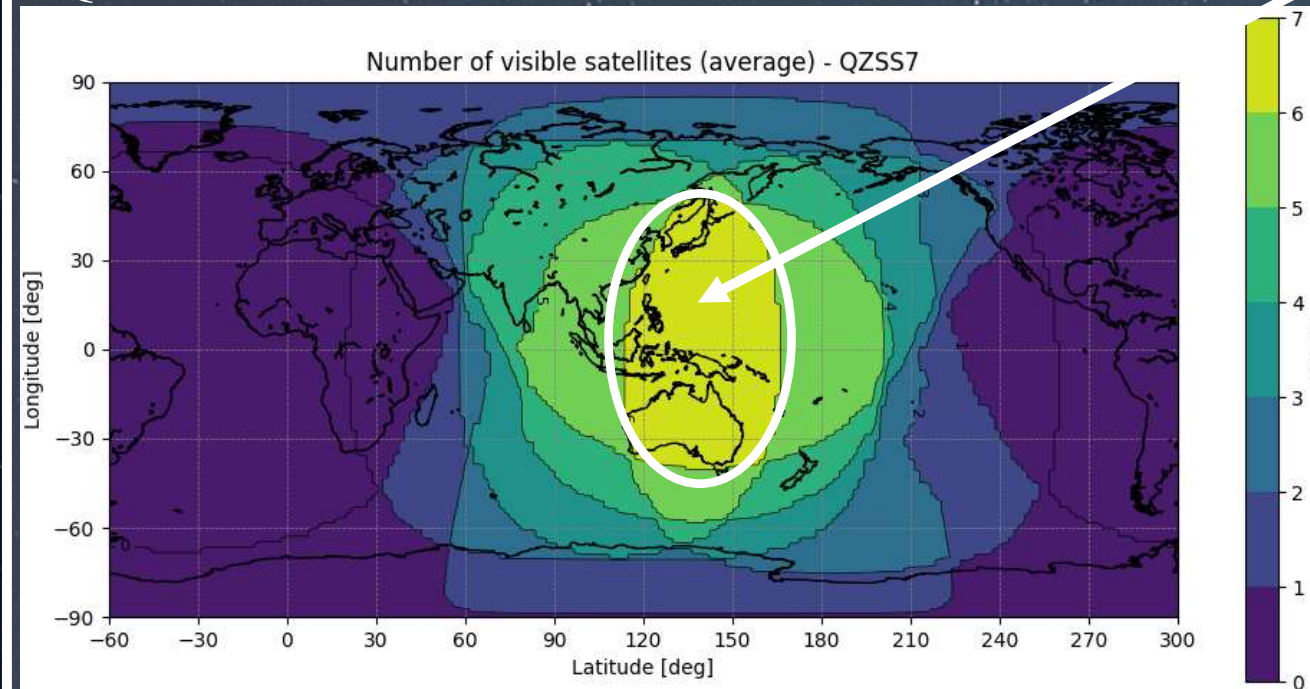
Location	Region	Lat. [°]	Long. [°]	Height [m]
Shintotsukawa	JP	43.529	141.845	118.5
Tsukuba	JP	36.067	140.131	69.1
Taoyuan	TW	24.954	121.165	203.1
Taguig	PH	14.535	121.041	86.7
General Santos City	PH	6.065	125.132	121.1
Lombrum	PG	-2.043	147.366	116.3
Darwin	AU	-12.844	131.133	125.1
Cape Ferguson	AU	-19.269	147.056	88.1
Alice Springs	AU	-23.670	133.886	603.2
Ceduna	AU	-31.867	133.810	144.7
Melbourne	AU	-37.829	144.975	40.6
Hobart	AU	-42.805	147.439	41
Macquarie Island	AU	-54.500	158.936	-6.8
Dumont d'Urville	AQ	-66.665	140.002	-3.4



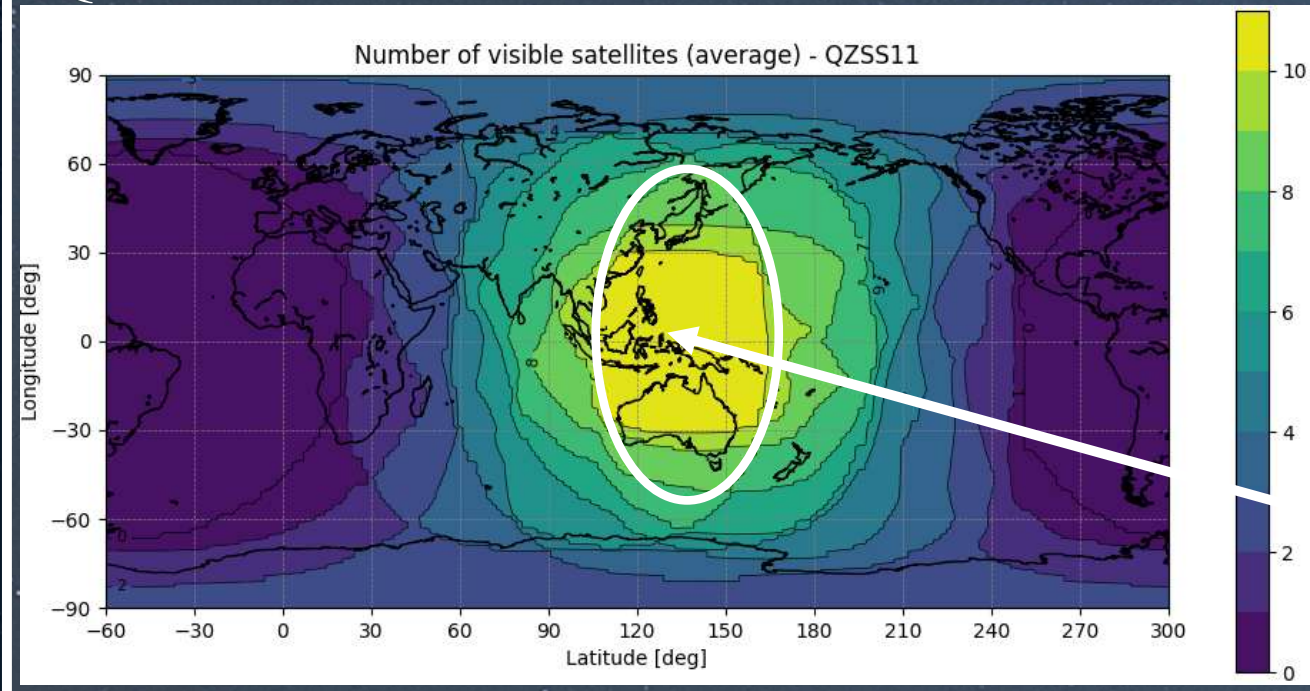
衛星数の評価結果（期間平均）

QZSSのみ

QZSS-7



QZSS-11

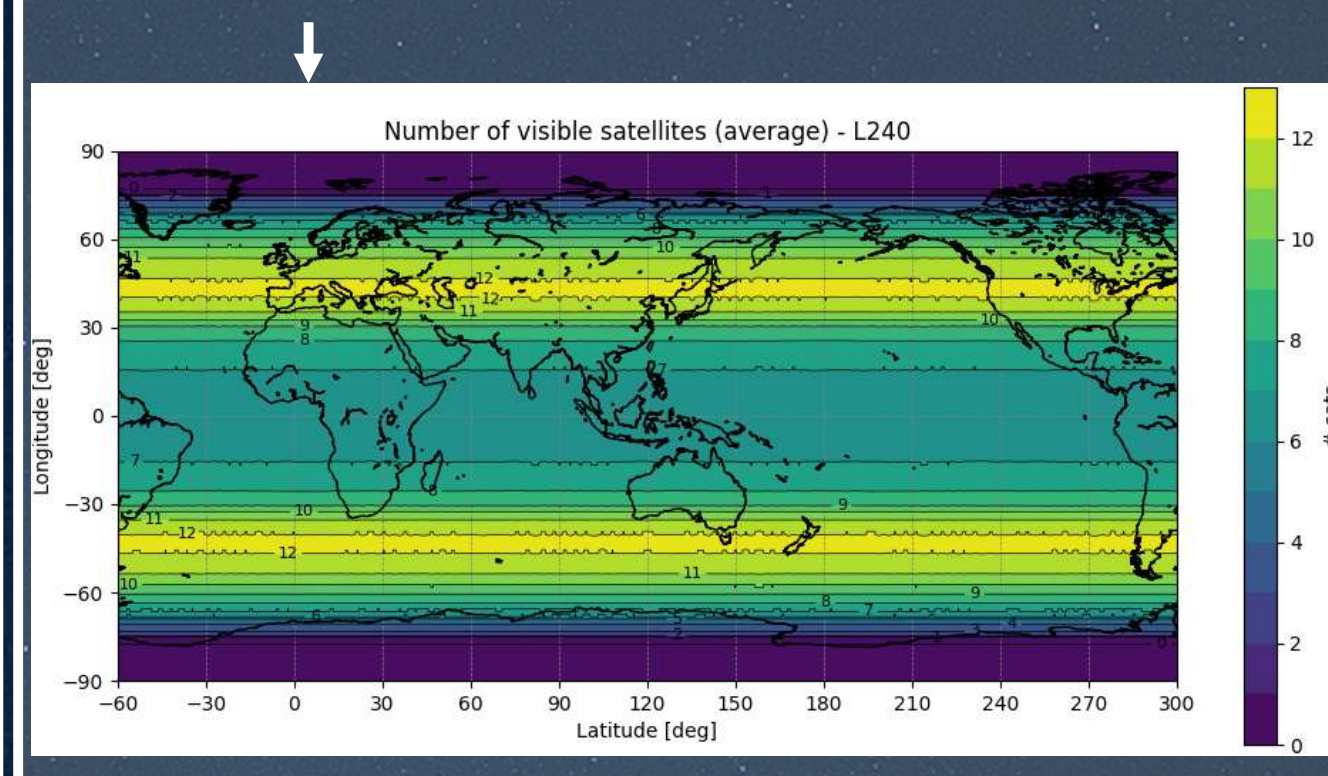


6機以上の衛星

12機以上の衛星

LEOのみ

全世界カバレッジ

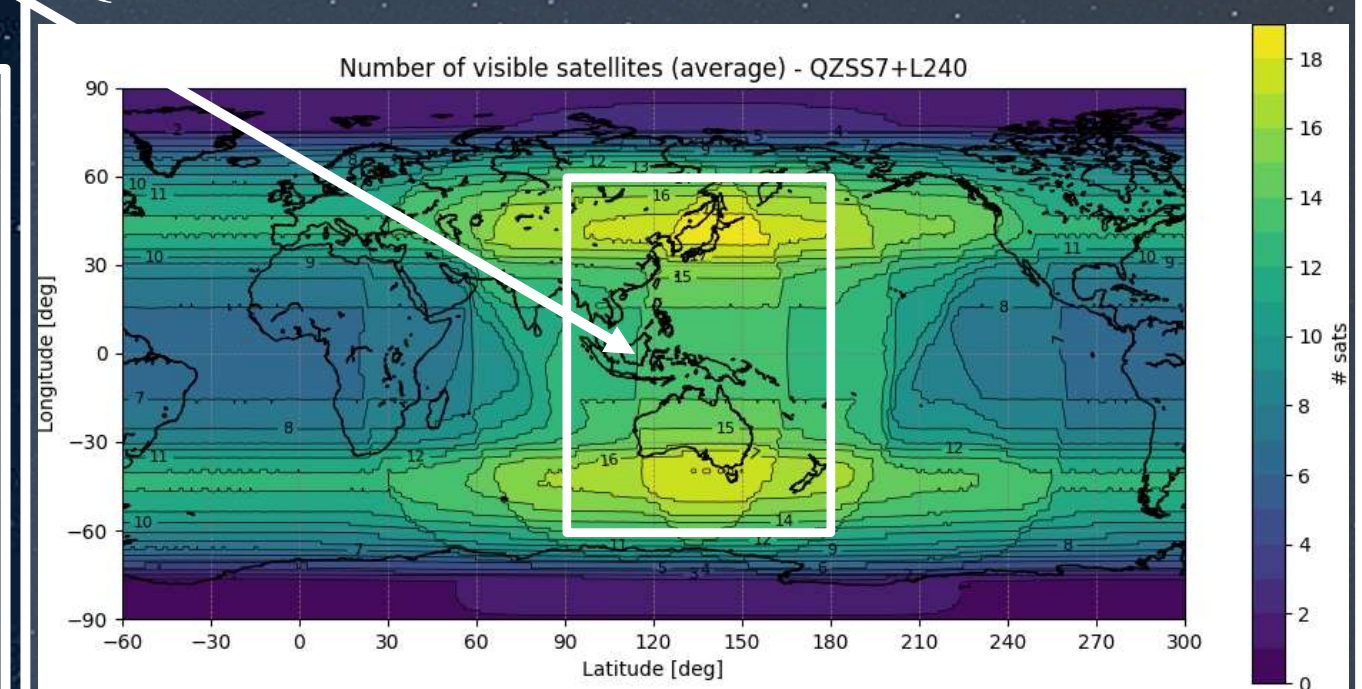


8機以上の衛星

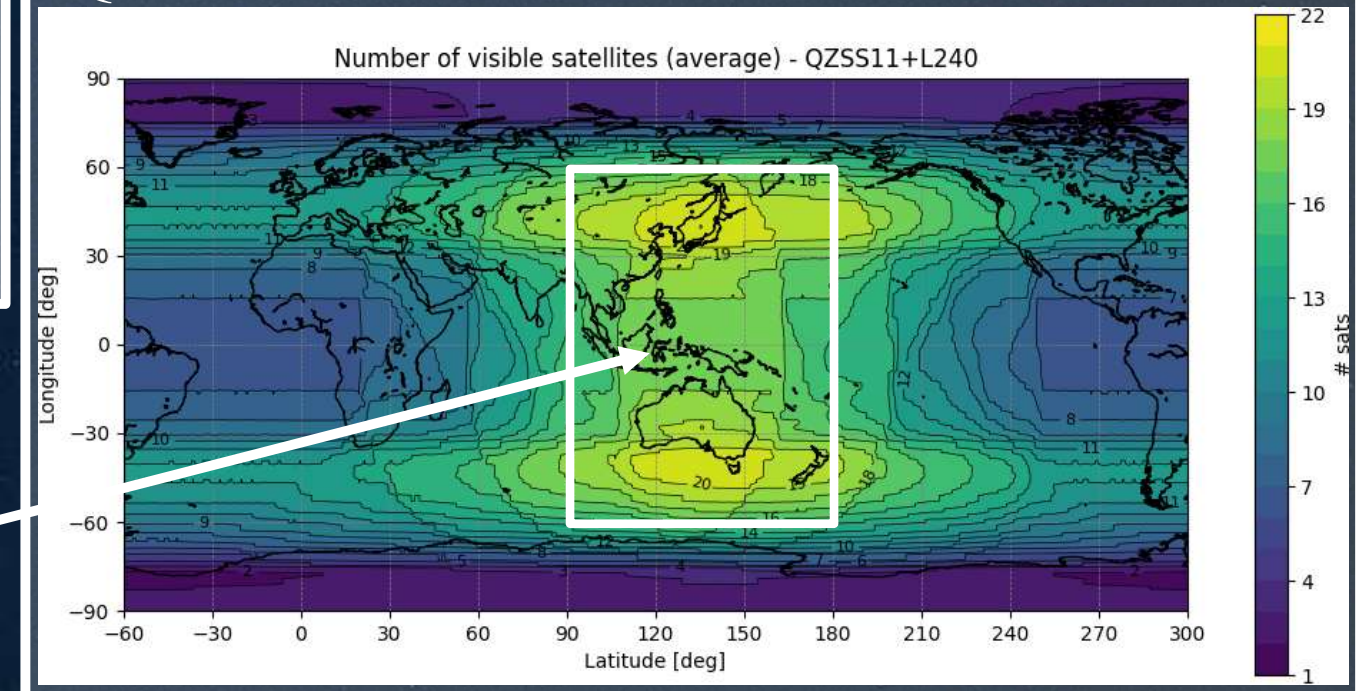
15機以上の衛星

QZSS + LEO

QZSS-7



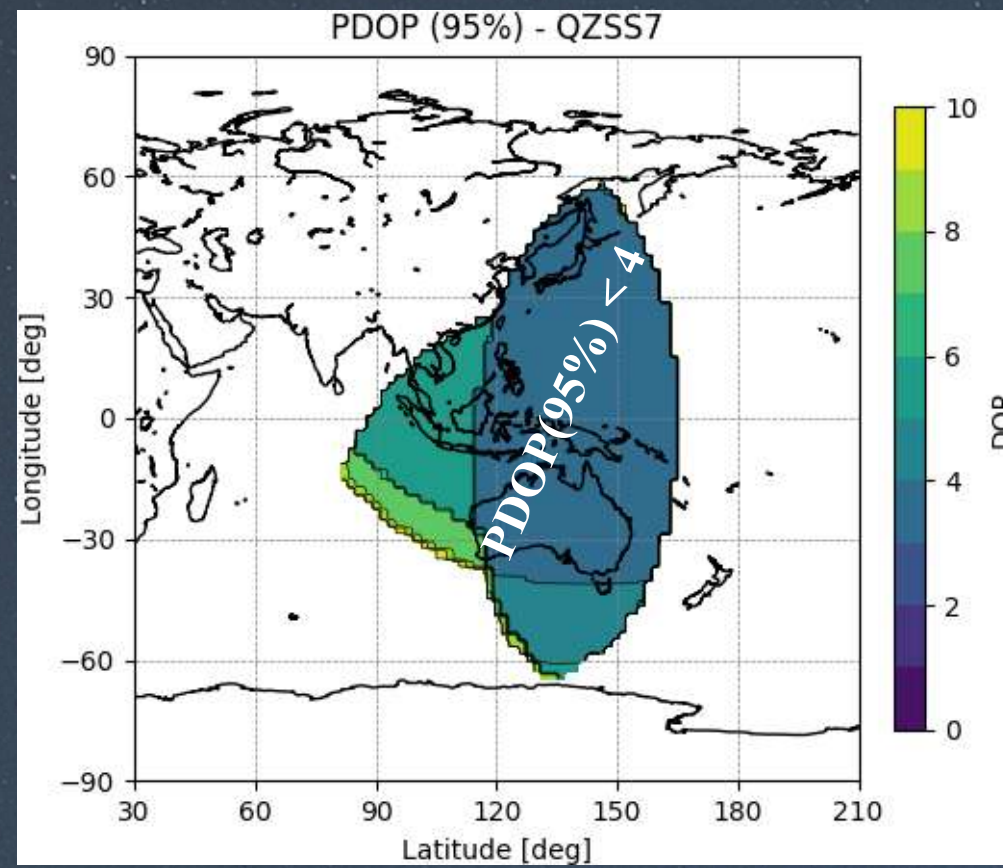
QZSS-11



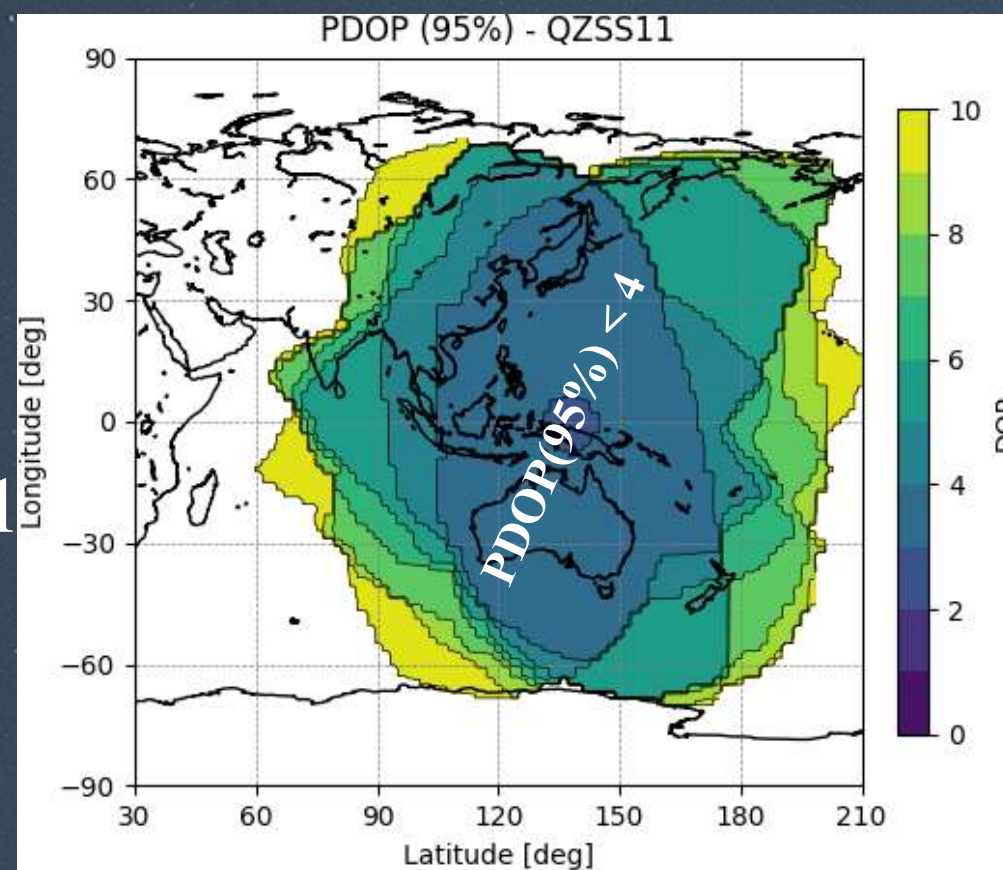
Position Dilution of Precision (PDOP) の評価結果

QZSSのみ

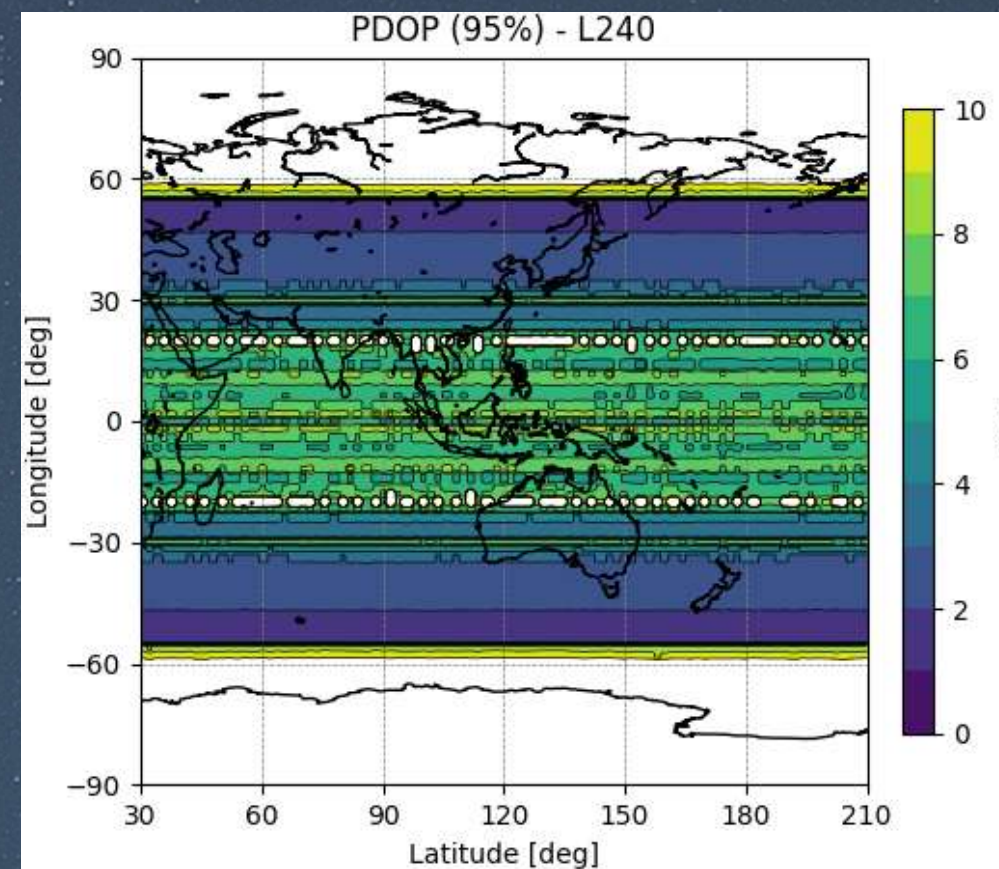
QZSS-7



QZSS-11

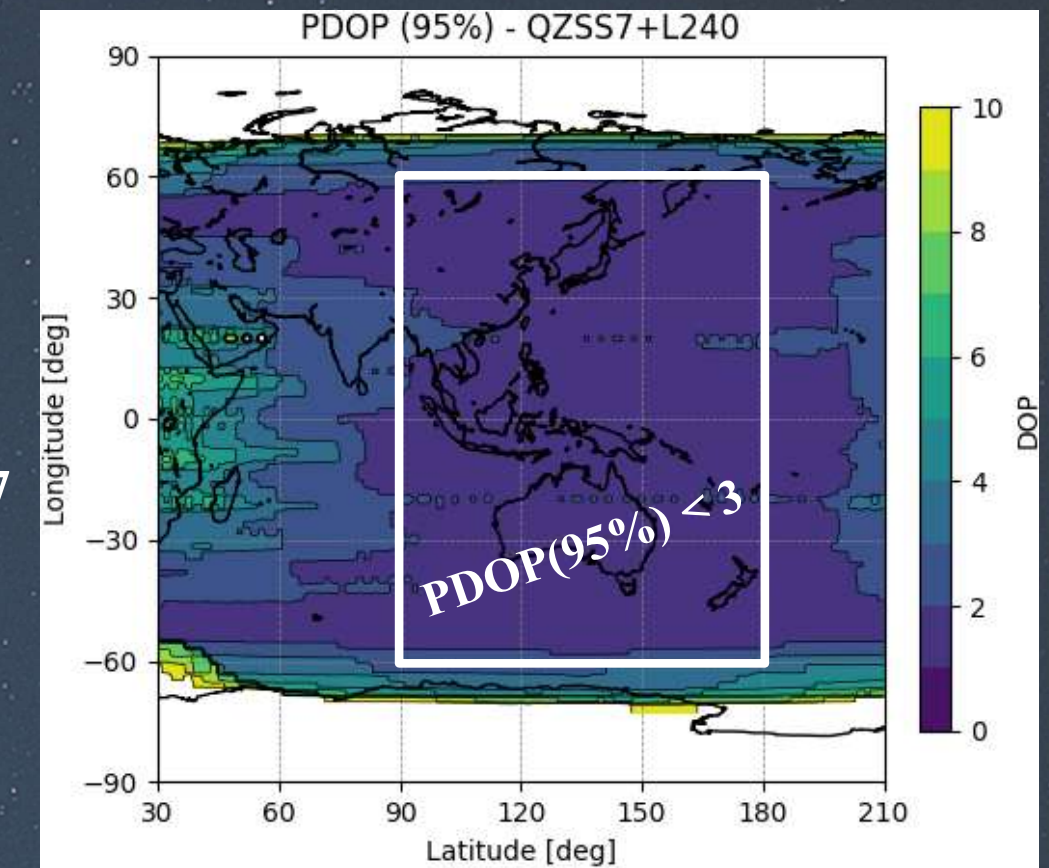


LEOのみ

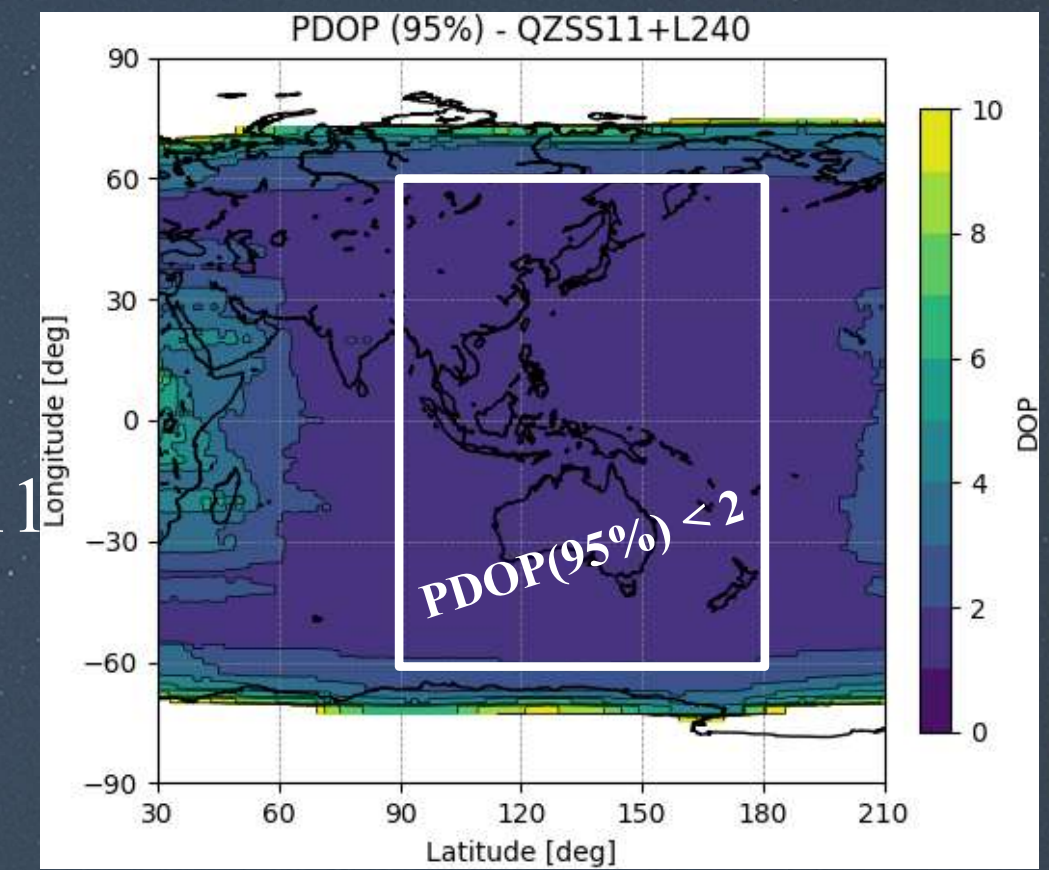


QZSS + LEO

QZSS-7



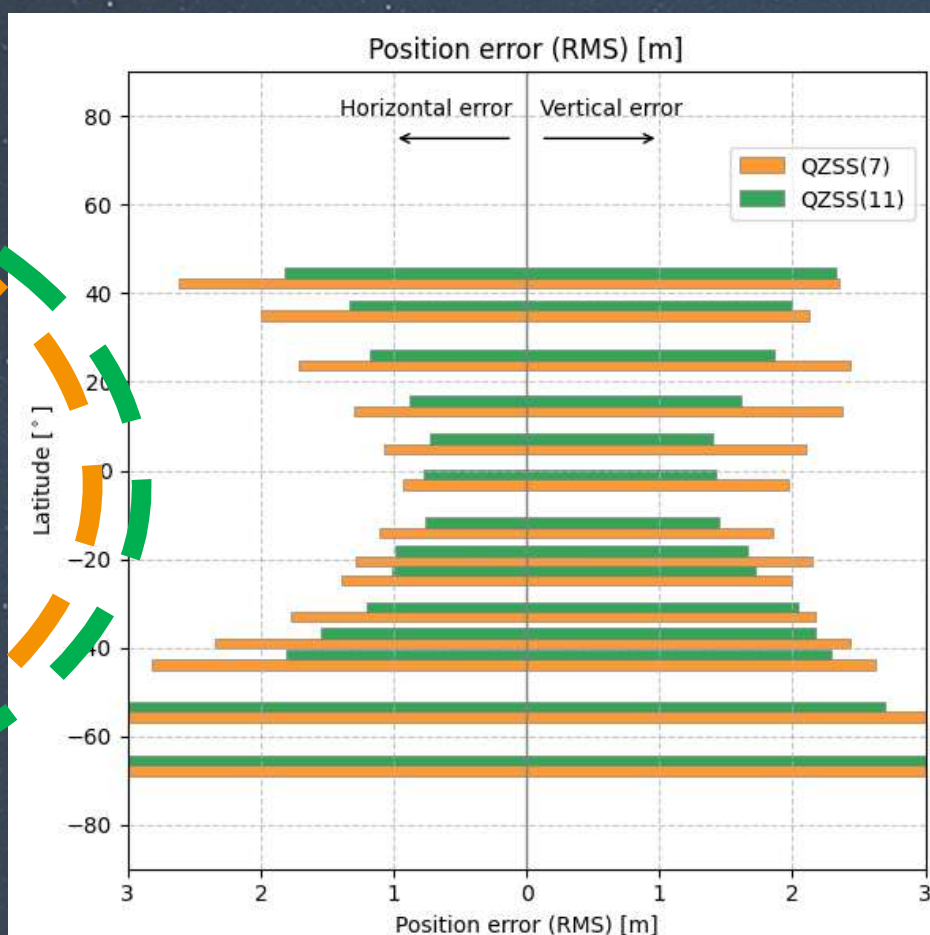
QZSS-11



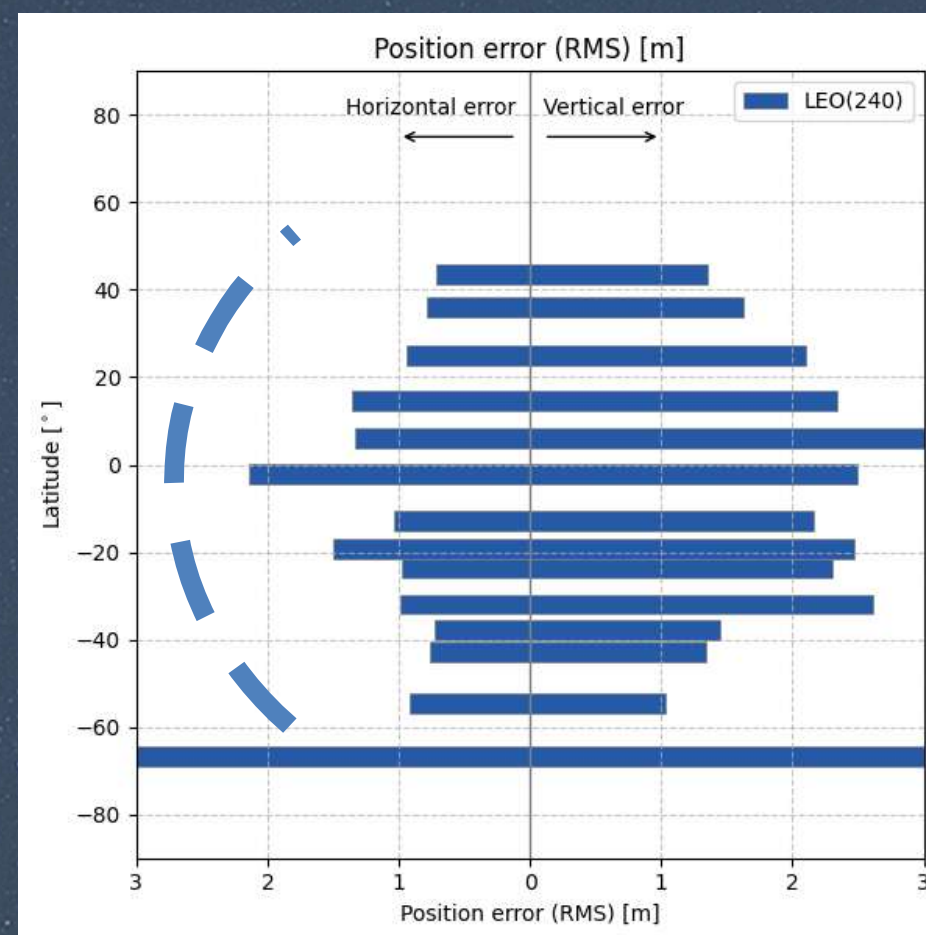
測位精度の評価結果

QZSSとLEO PNTの併用により測位誤差が低減し、
緯度60° 以内では均一な性能を実現

QZSSのみ

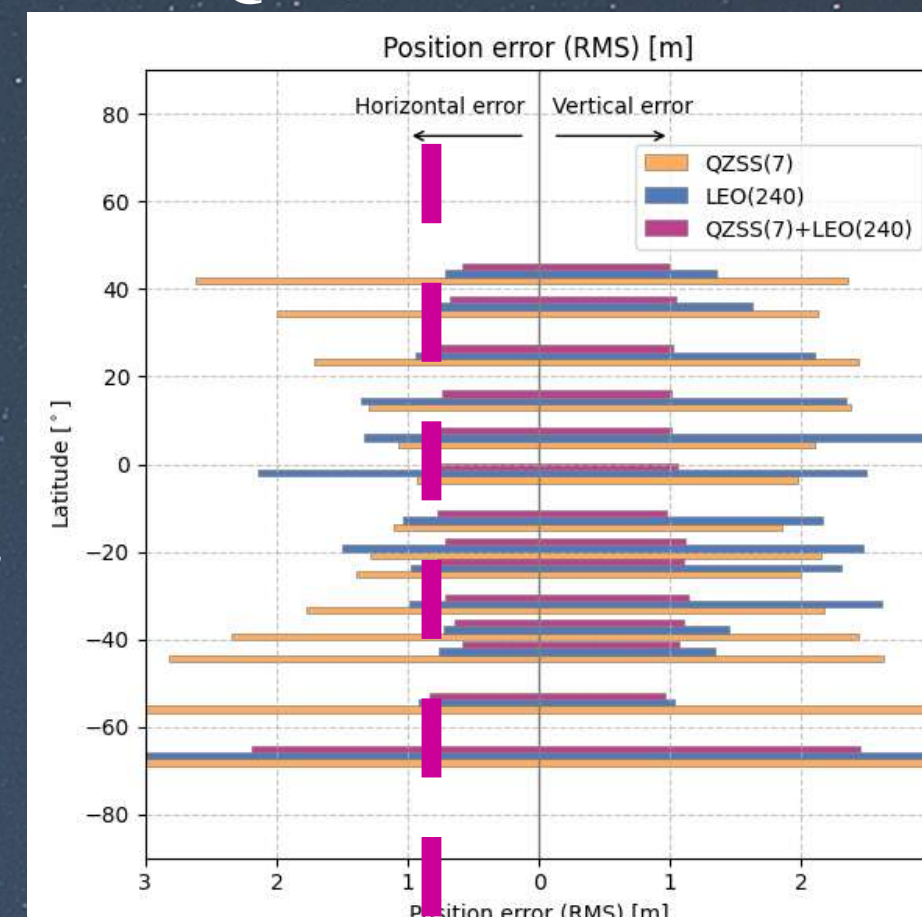


LEOのみ



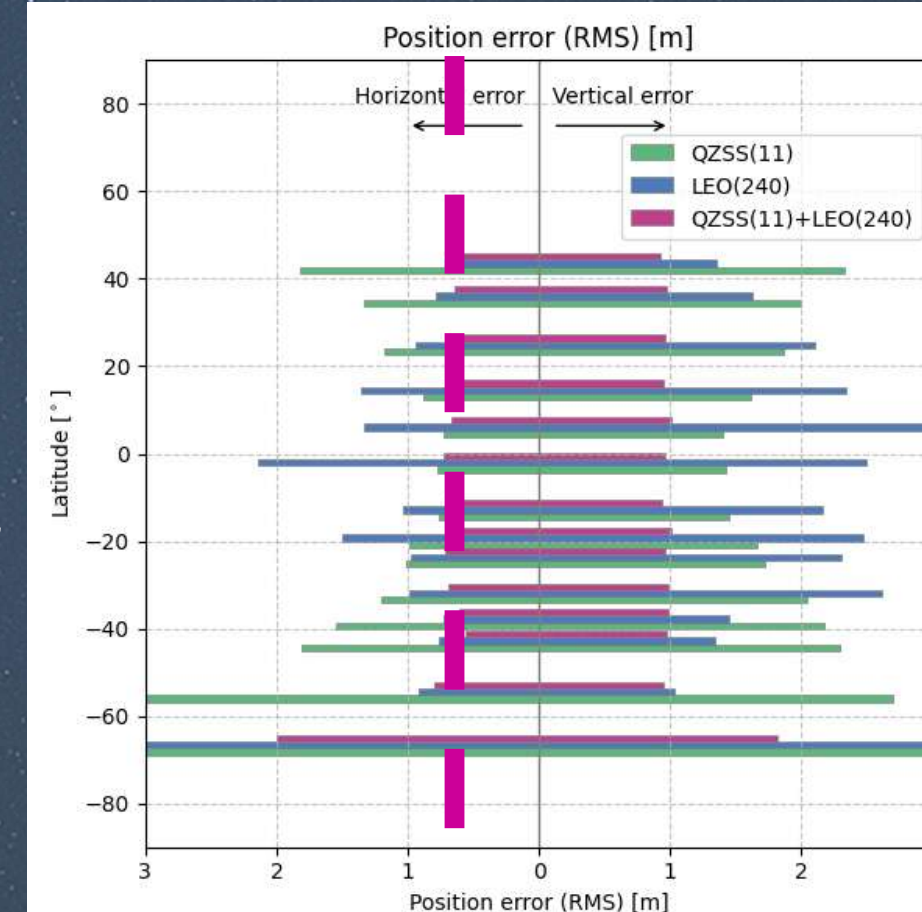
QZSS + LEO

QZSS-7



With **QZSS-7 + LEO-PNT-240**:
Absolute H/V errors < **0.84m/1.14m (RMS)**
Max. H/V error difference of **0.25m/0.18m**

QZSS-11

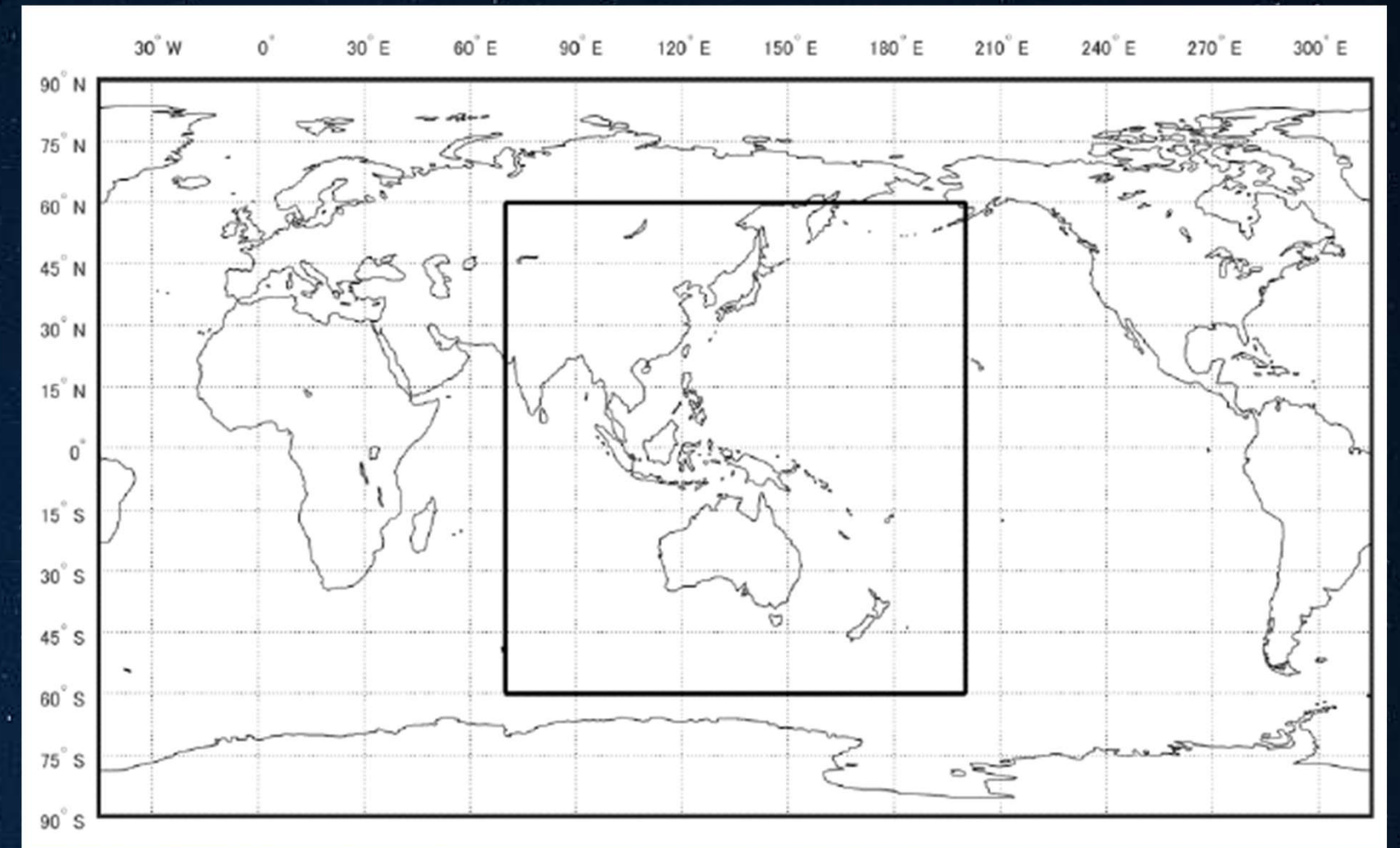


With **QZSS-11 + LEO-PNT-240**:
Absolute H/V errors < **0.80m/1.01m (RMS)**
Max. H/V error difference of **0.24m/0.09m**

LEO衛星によるMADOCA-PPP配信

MADOCA-PPPサービスエリア:

“MADOCA-PPPは、仰角10度以上のQZSSが1機以上、
仰角10度以上の補強対象衛星が20機以上見える
範囲で利用可能である。”



LEO PNT衛星がQZSS L6信号を受信してMADOCA-PPPデータを
中継することで、MADOCA-PPPサービスエリアの拡大が期待できる



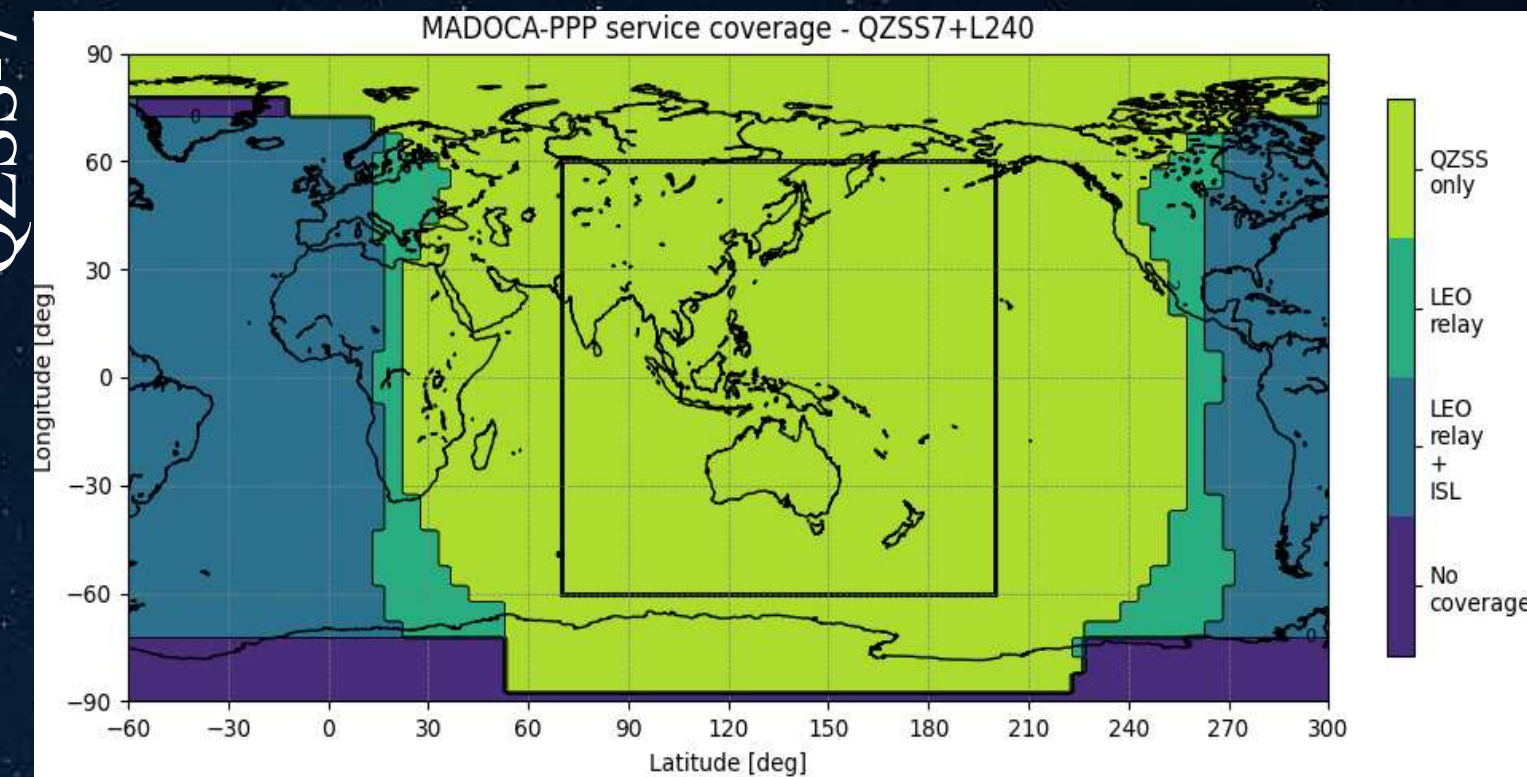
LEO衛星によるMADOCA-PPPサービスエリアの拡大

MADOCA-PPP配信について、以下の3つの方式を検討する:

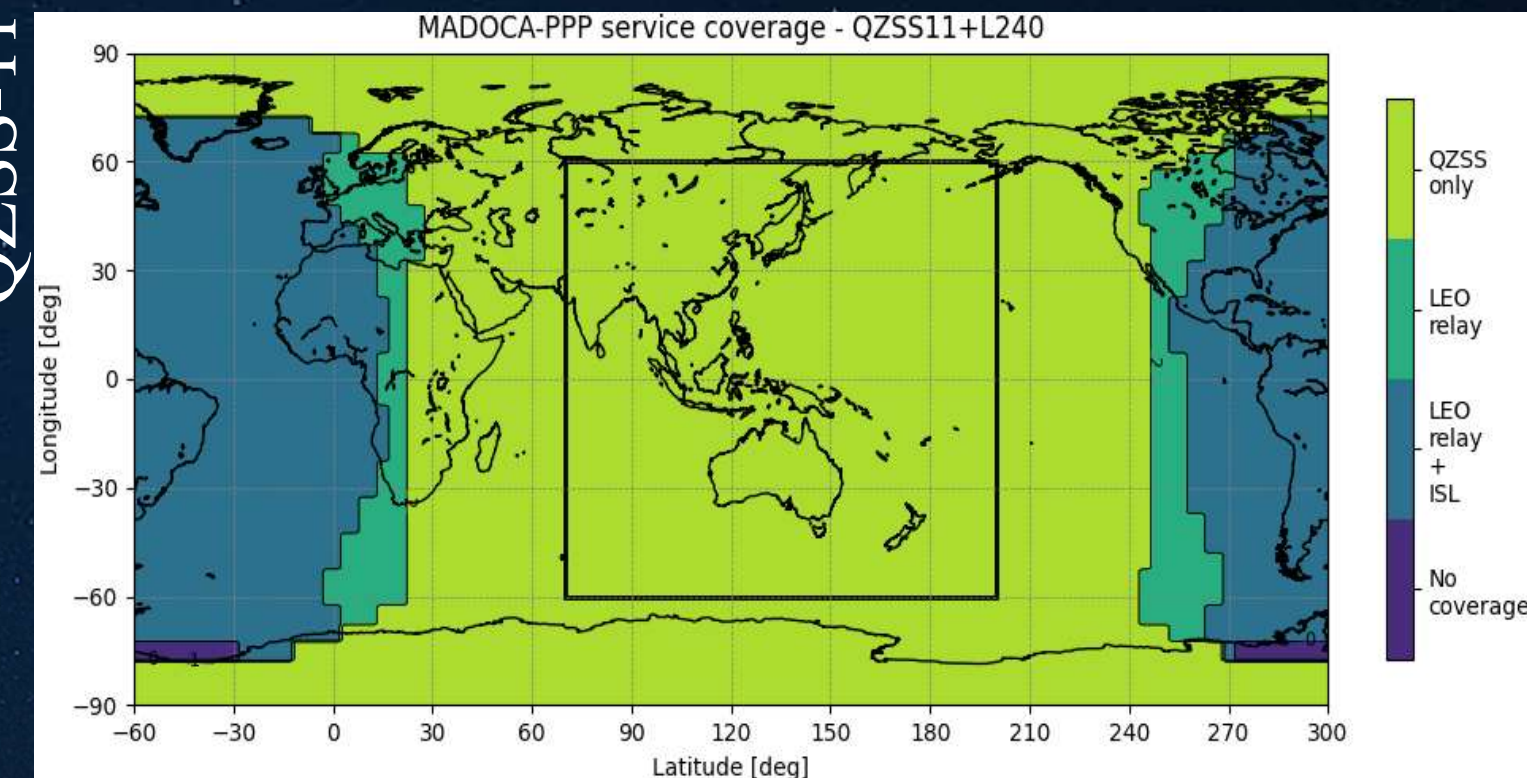
- ① **QZSSのみ:**
 - QZSSのL6信号のみにより配信
- ② **LEOリレー:**
 - QZSSのL6信号により配信
 - QZSSを直接視認するLEO衛星による配信
- ③ **LEOリレー+ISL:**
 - QZSSのL6信号により配信
 - QZSSを直接視認するLEO衛星による配信
 - 軌道面内ISLで接続されたLEO衛星による配信



QZSS-7



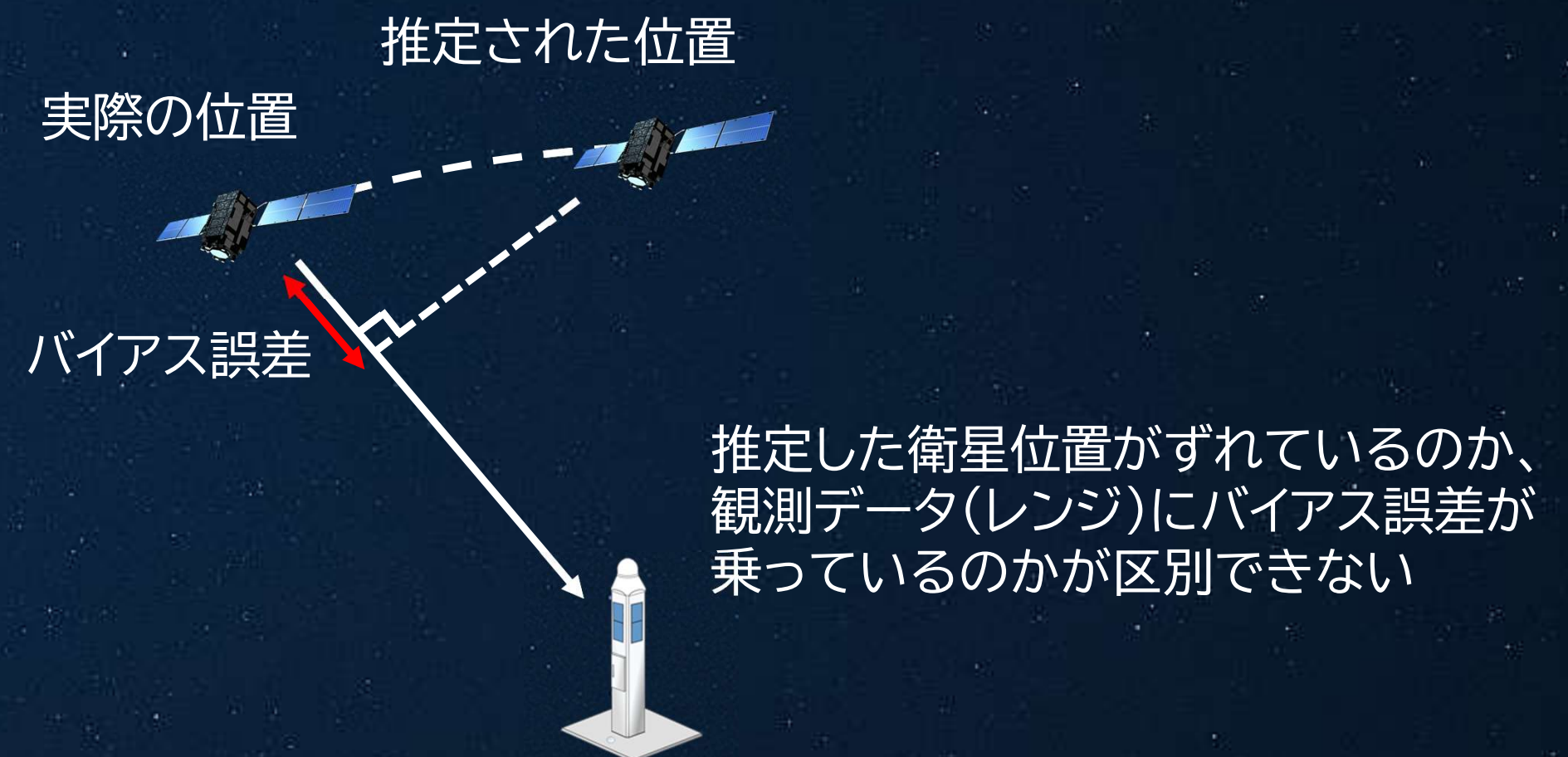
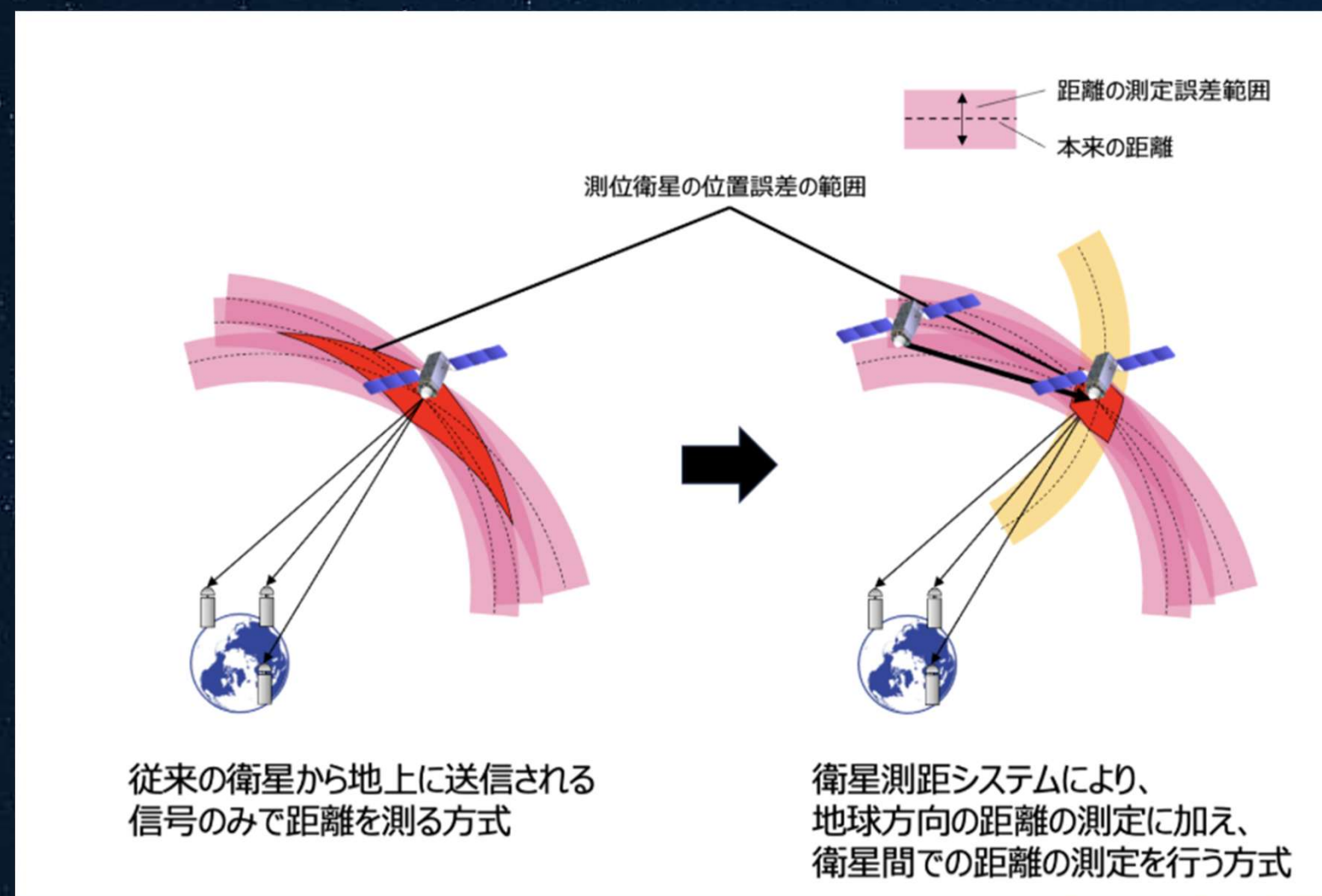
QZSS-11



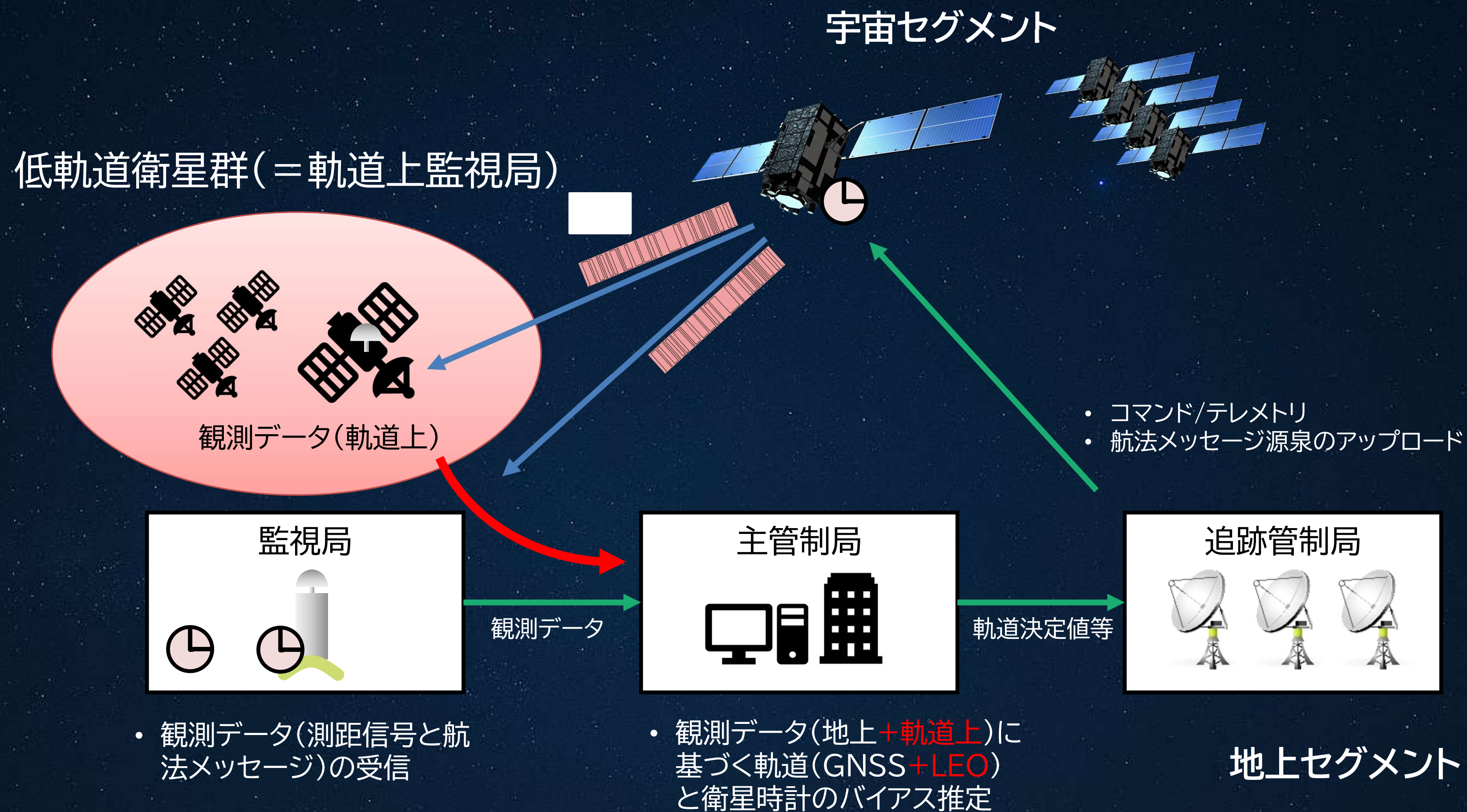
*Multi-layer PNT Enabled by QZSS and LEO PNT:
Analysis in the Asia Pacific Region,
Galletti et al., Proceedings of ION ITM 2026*

準天頂軌道の精密軌道決定の課題

1. 可観測性の低さ: 衛星→観測点方向の偏りが大きく、衛星-地球方向と直交する成分(進行方向等)の軌道誤差が大きくなる(左図)。衛星間測距等の手段により改善可能。
2. 他パラメータとの相関が大きい: 静止軌道の場合、地表面との幾何学関係が変化しないため、軌道の誤差と観測データ(レンジ)のバイアス誤差が分離できない(右図)。



軌道上監視局のコンセプト

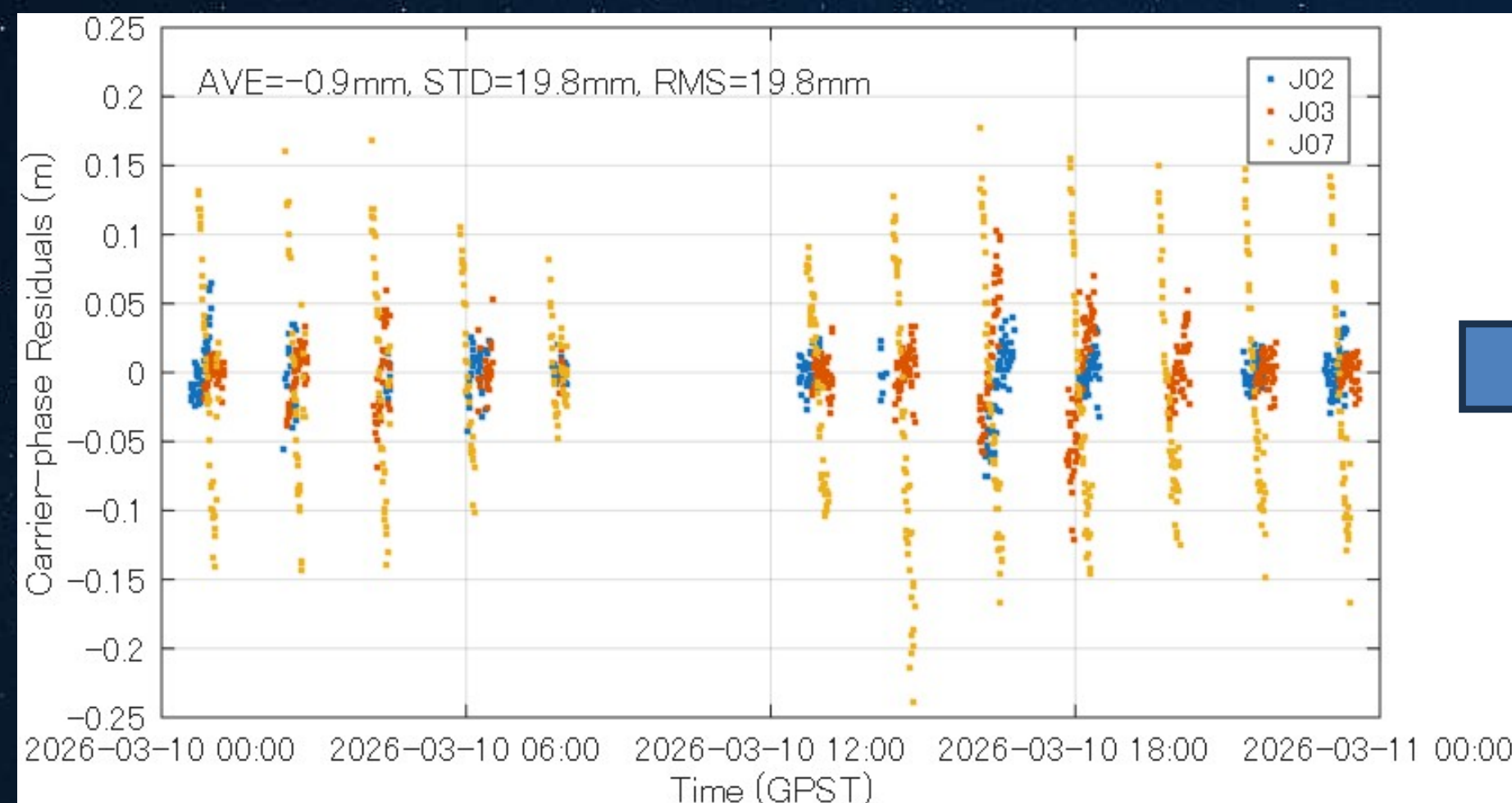


実データを用いた性能評価

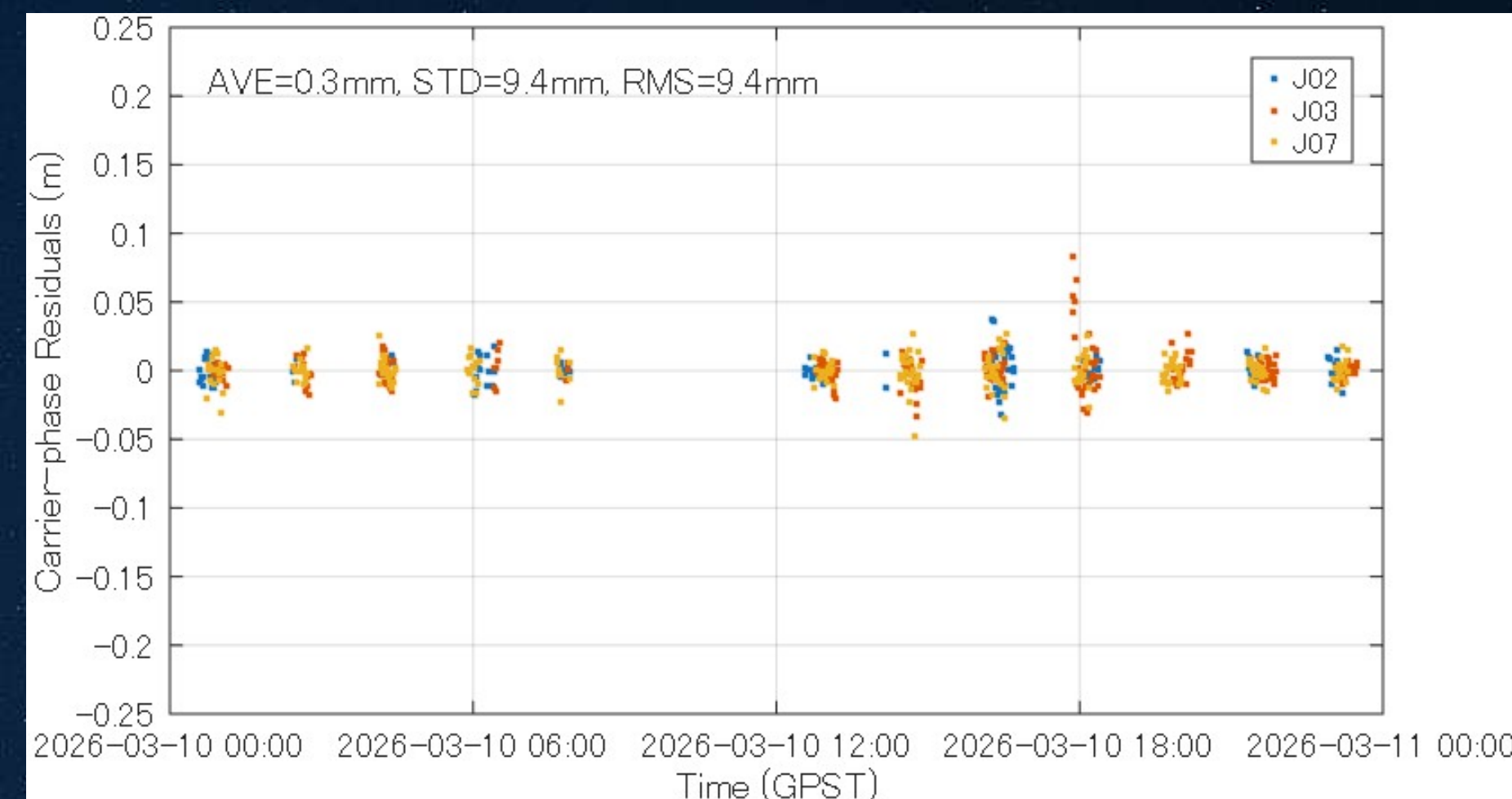
軌道上監視局の効果(オンボードPPP実証)

- オンボードPPP実証で取得した観測データ(2026年3月10日)と地上監視局のみで推定したQZSS衛星の軌道(JAXA最終暦)の間には、レンジデータの不整合がみられる(左図)。
- 軌道上監視データを適用することで、地上監視局では見えないQZSS衛星の軌道誤差を検知し、その誤差を補正できることを確認(右図)。

Akiyama et al. (2026)



JAXA最終暦に含まれる準天頂軌道のQZS-2(J02), -4(J03) 及び静止軌道のQZS-3(J07)の搬送波位相残差



オンボード受信機の観測データに基づき、 準天頂衛星の軌道を推定した後の搬送波位相残差

軌道上監視局の技術実証

