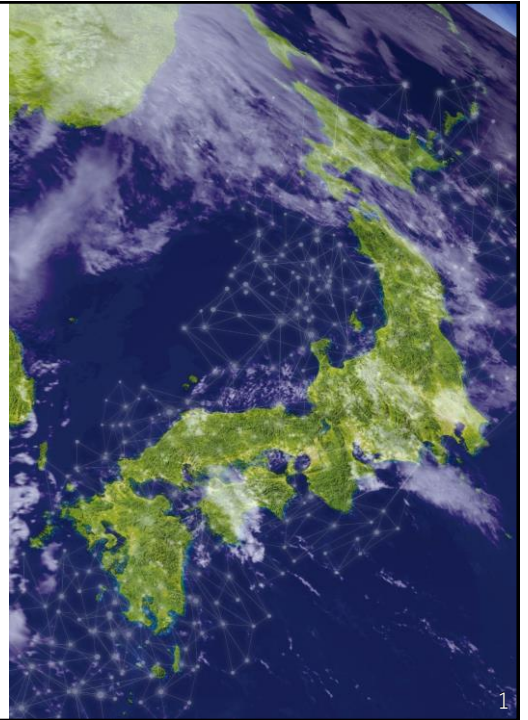


宇宙天気ユーザーズフォーラム @NICT 2025-03-07

高精度GNSS測位への 電離圏擾乱の影響

—2024年5月の大規模宇宙天気現象—

藤原 智・細谷 素之・来田 倍周
株式会社ジェノバ



1

1

概要



- GNSSによる高精度測位とは
- 電離圏擾乱によるGNSS測位の誤差
- 2024年5月の大規模宇宙天気現象の
高精度測位への影響
- 今後の対策

2

2

株式会社ジェノバ と GNSS高精度測位



高精度GNSS補正情報配信サービス

- 国土地理院の**電子基準点**（約1300点）を利用
- 国家座標に基づく信頼性、安定性、**数センチメートルの位置精度**の測位を実現
- 対象 高精度GNSS測位ユーザー
測量、土木・建設、農業、UAV...



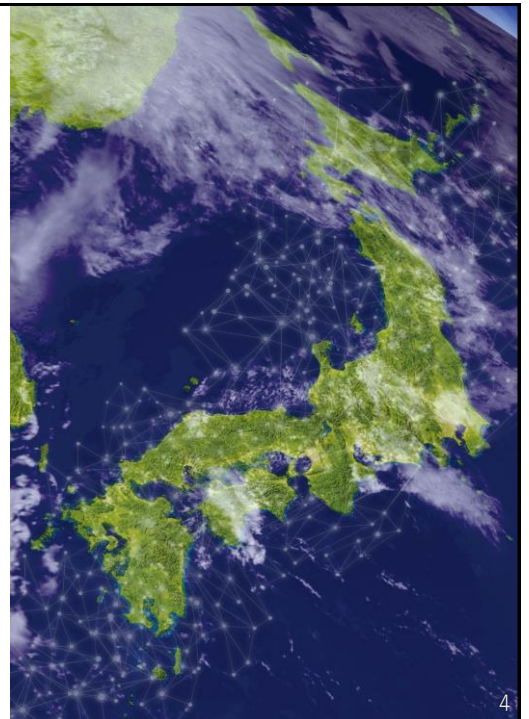
<https://www.jenoba.jp/>

Copyright © JENOBA, All Rights Reserved.

3

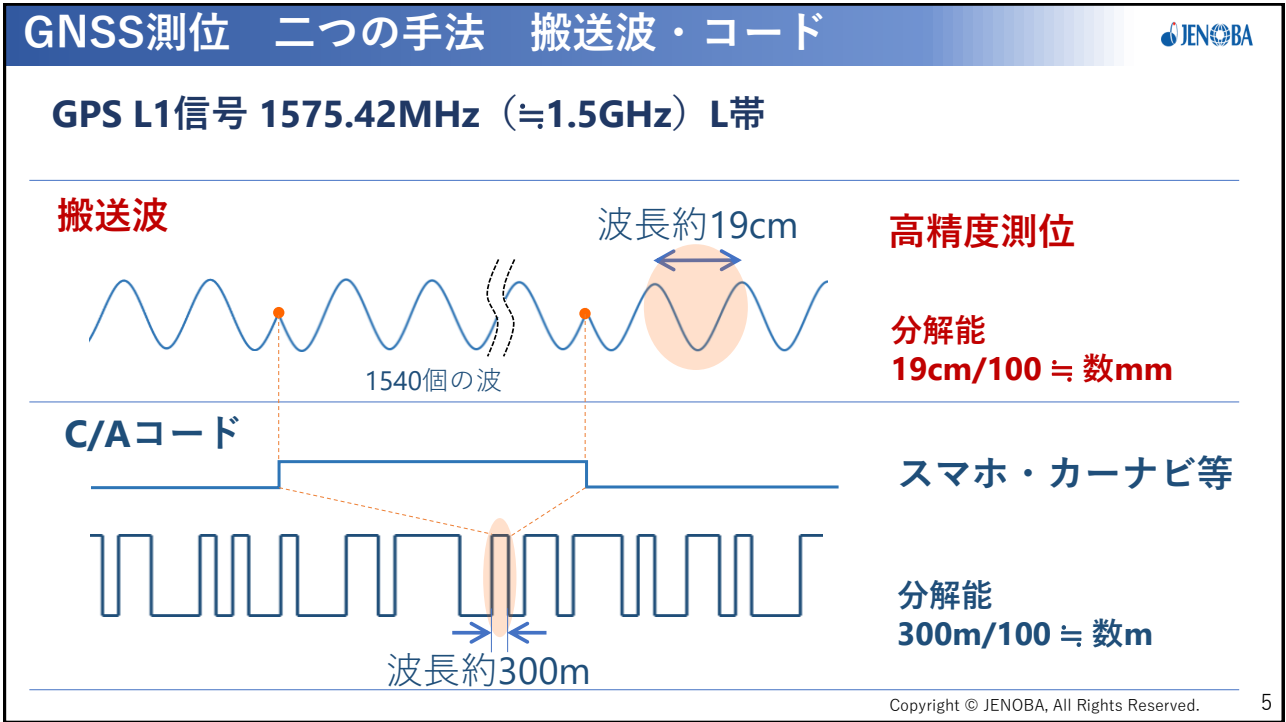
3

高精度GNSS測位と 電離圏による擾乱

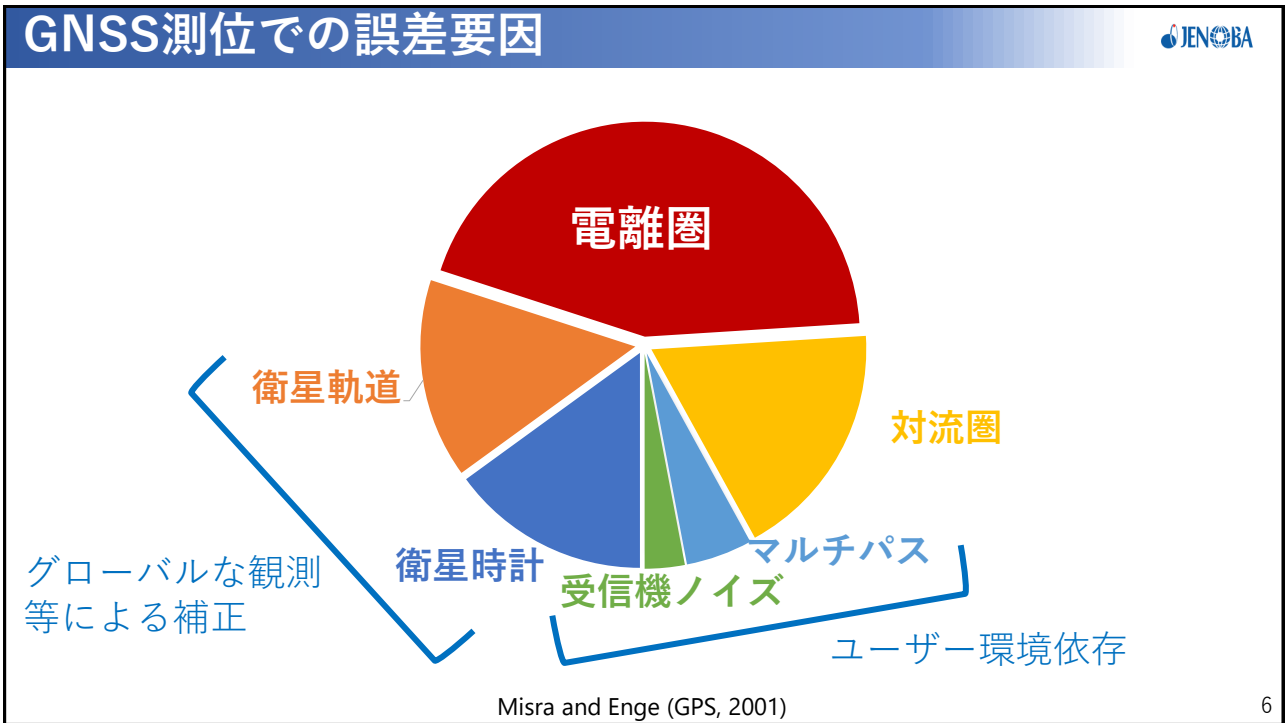


4

4



5



6

電離圏でのGNSS電波の遅延



■ 経路上の全電子数（TEC）に比例

■ 周波数の2乗に反比例

L1 1.5GHz

L2 1.2GHz

→ 2周波利用で補正可能

GNSS衛星



電離圏

TECに比例した遅延

→ 2周波で補正可能

地表面

GNSS受信機

Copyright © JENOB, All Rights Reserved.

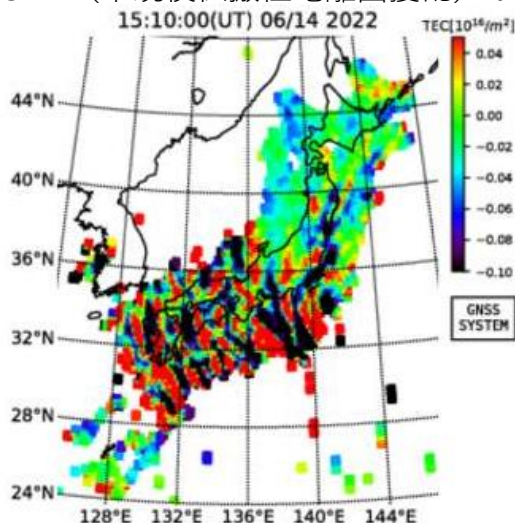
7

7

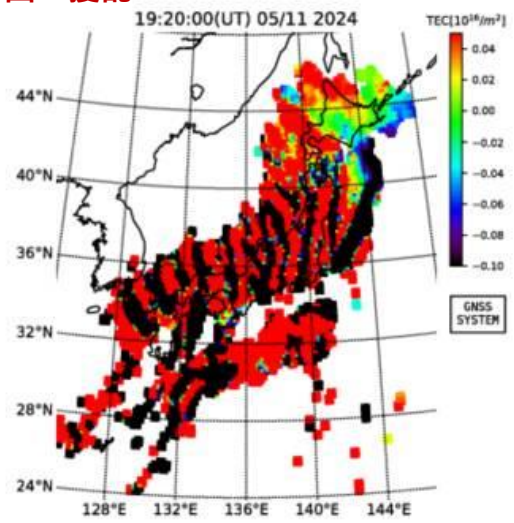
電離圏擾乱パターンは縞々？



2022年6月14日00:10JST TEC(15min win)
MSTID（中規模伝搬性電離圏擾乱）？



2024年5月12日04:20JST TEC(15min win)
今回の擾乱



<https://aer-nc-web.nict.go.jp/GPS/GEONET/MAP/>

8

8

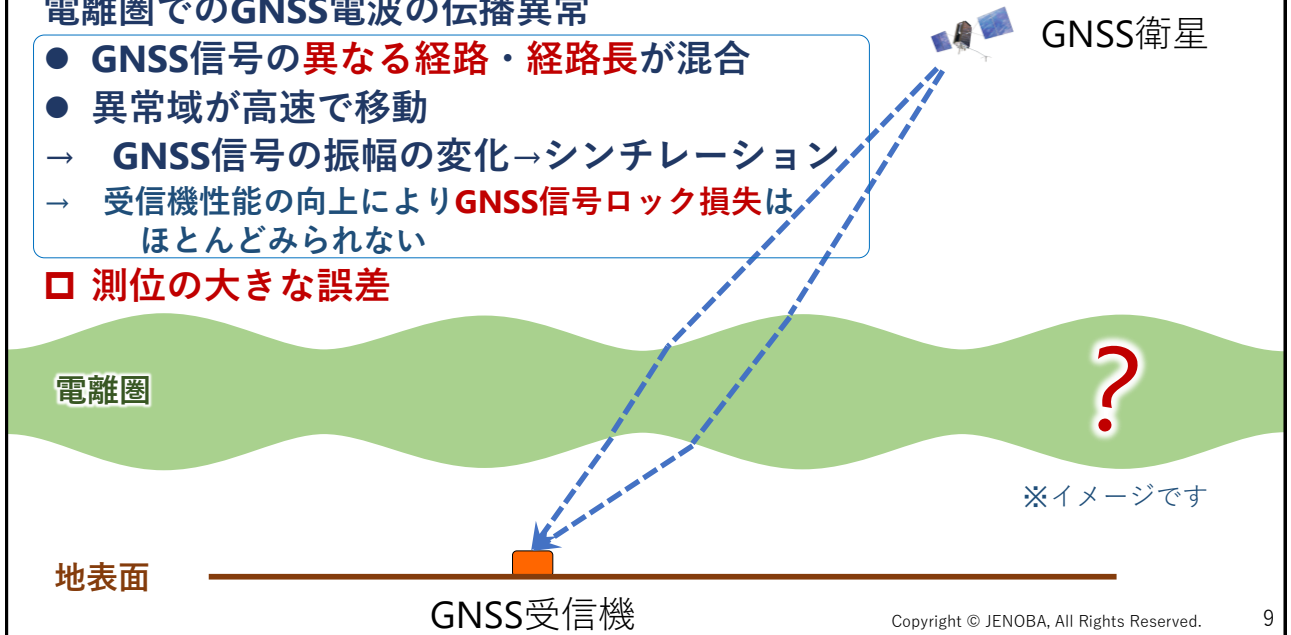
電離圏でのGNSS電波の遅延

JENOBA

電離圏でのGNSS電波の伝播異常

- GNSS信号の異なる経路・経路長が混合
- 異常域が高速で移動
- GNSS信号の振幅の変化→シンチレーション
- 受信機性能の向上によりGNSS信号ロック損失はほとんどみられない

□ 測位の大きな誤差



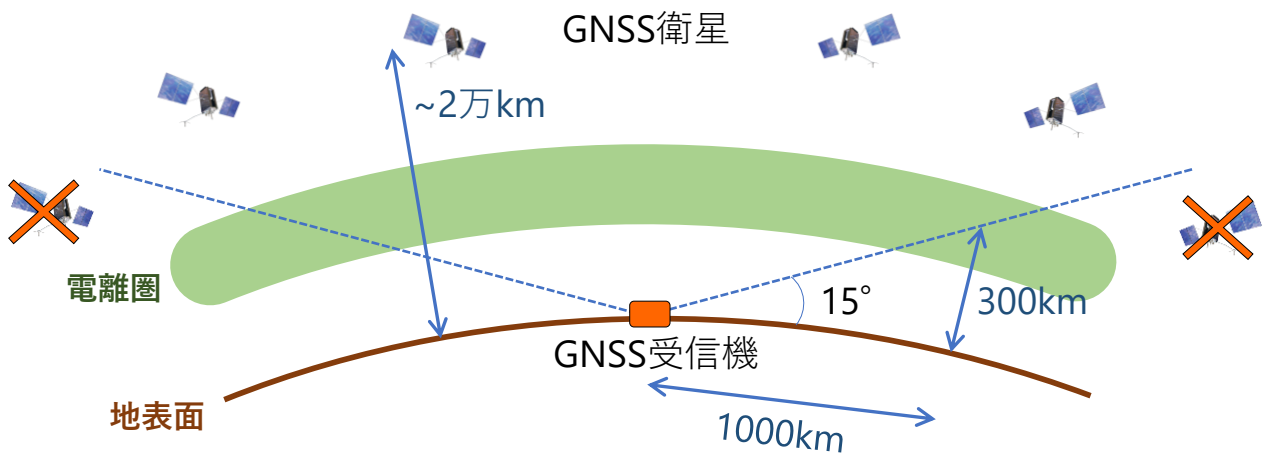
Copyright © JENOBA, All Rights Reserved.

9

9

電離圏の影響の範囲

JENOBA



- 仰角 15° （測量での標準）以上の衛星を利用 電離圏・マルチパスで精度低下
- GNSS受信機を中心として
半径約1000kmの電離圏の影響を受ける

Copyright © JENOBA, All Rights Reserved.

10

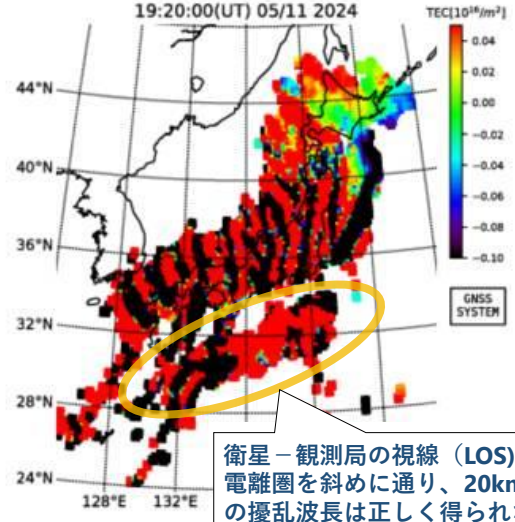
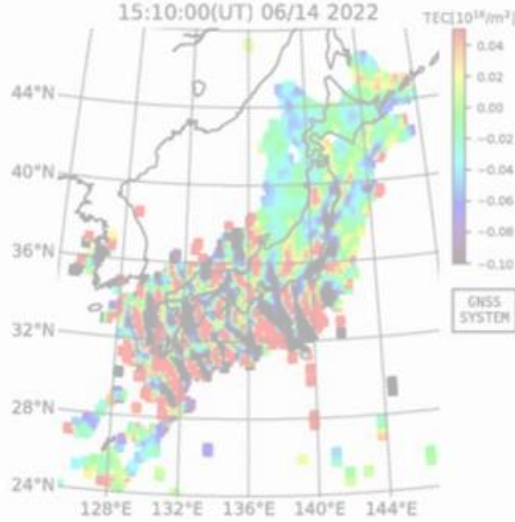
10

電離圏擾乱パターンは縞々？



2022年6月14日00:10JST TEC(15min win)
MSTID (中規模伝搬性電離圏擾乱) ?

2024年5月12日04:20JST TEC(15min win)
今回の擾乱



衛星-観測局の視線 (LOS)が
電離圏を斜めに通る、20km程度
の擾乱波長は正しく得られない

<https://aer-nc-web.nict.go.jp/GPS/GEONET/MAP/>

11

11

高精度測位 FIX解とFLOAT解



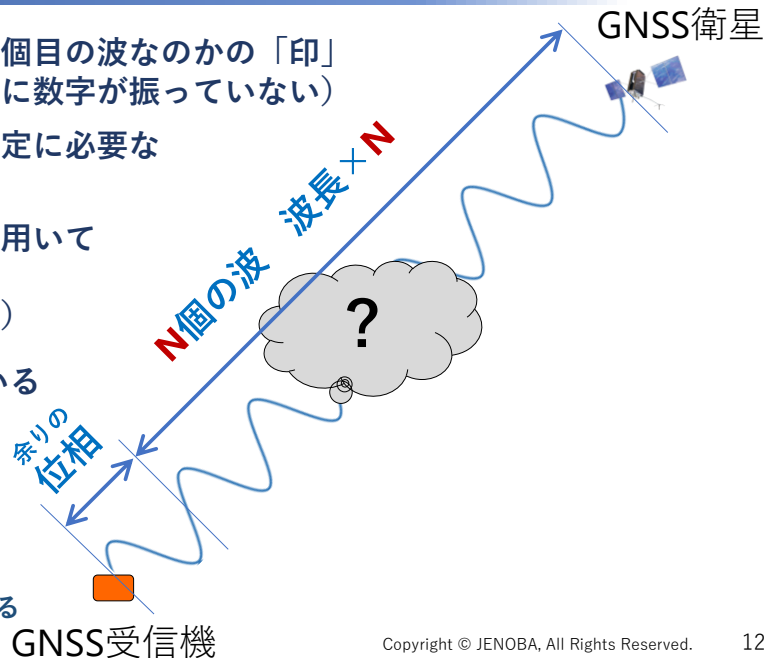
- 搬送波位相には衛星から何個目の波なのかの「印」がついていない (ものさしに数字が振っていない)
- 衛星から受信機間の距離決定に必要な波の数 **N** は未知数
- 多数の衛星や複数周波数を用いて解析処理で **N** を決定 (整数値アンビグイティ)

○ **FIX** 解 **N** の解が得られている

○ **FLOAT** 解 **N** が不定

FIX/FLOAT は測位解の
相対的な精度指標

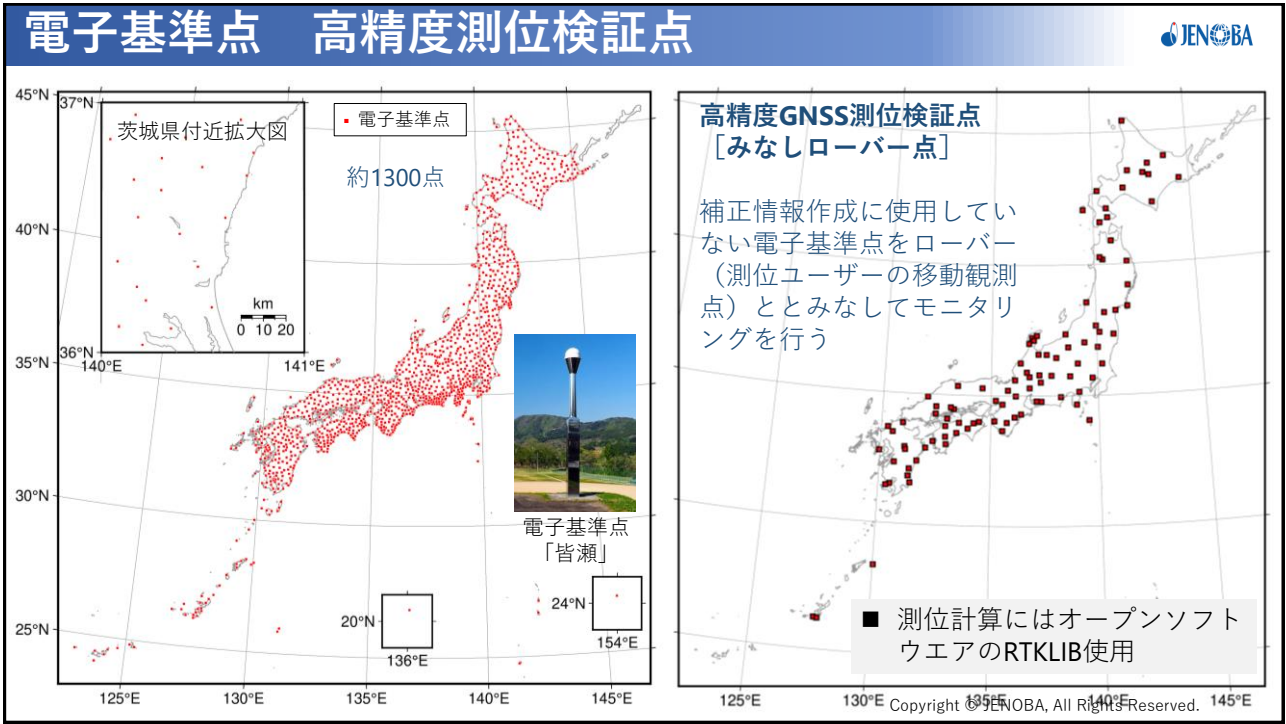
※受信機・解析によって基準は異なる



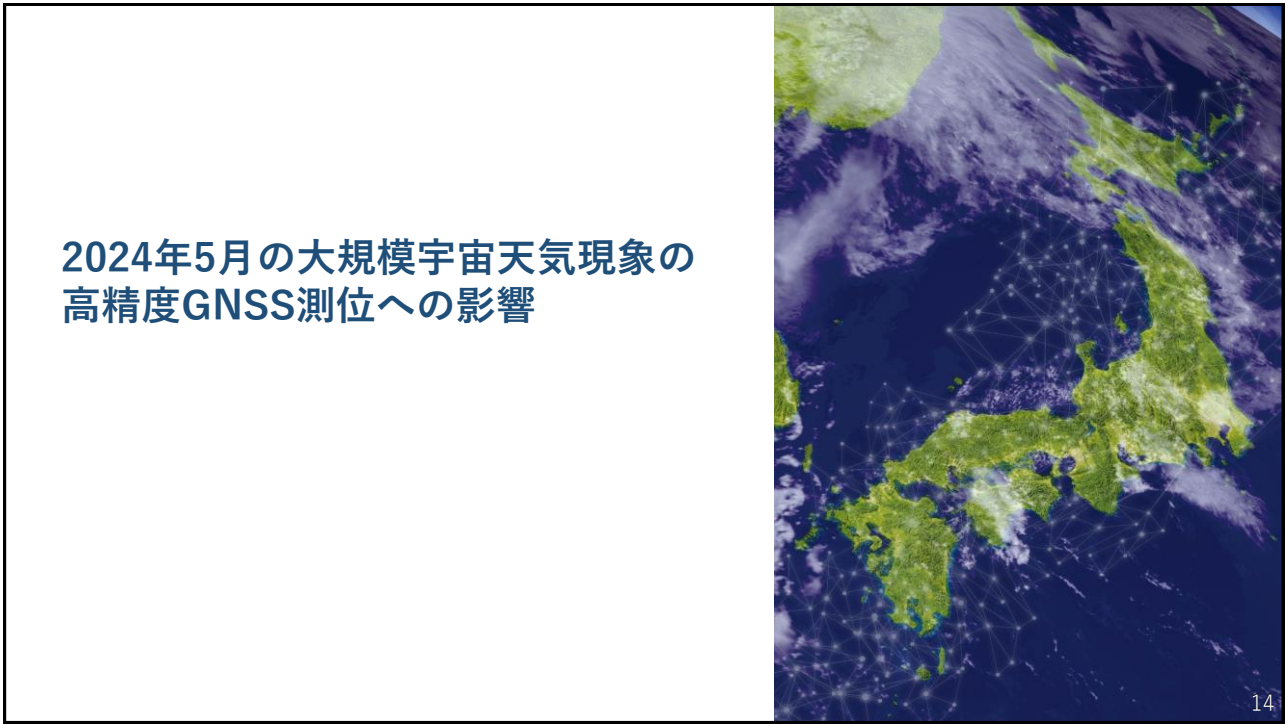
Copyright © JENOB, All Rights Reserved.

12

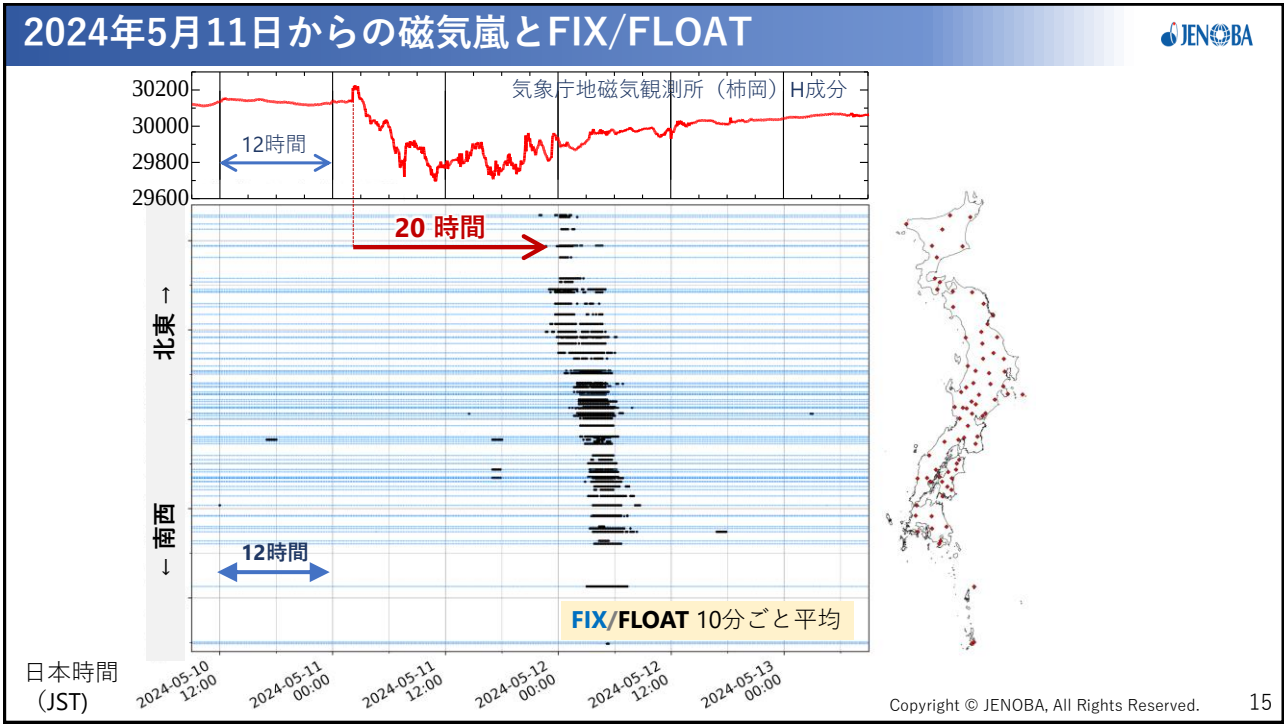
12



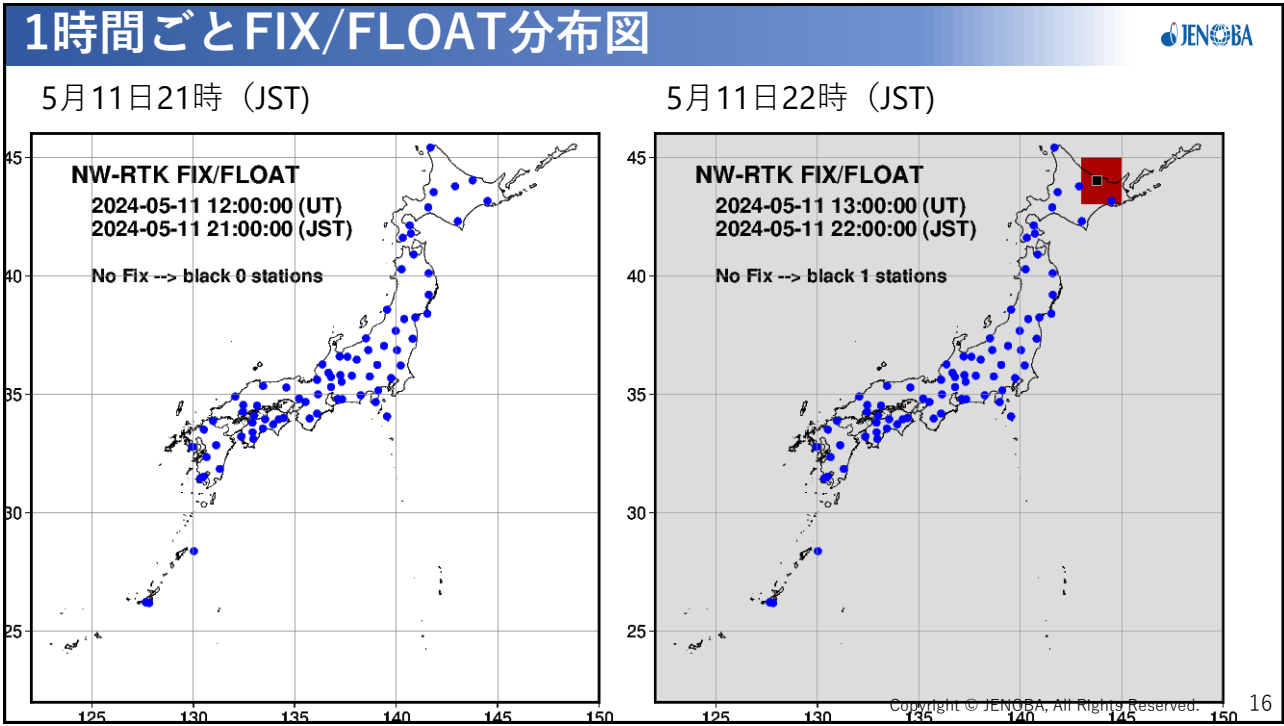
13



14



15



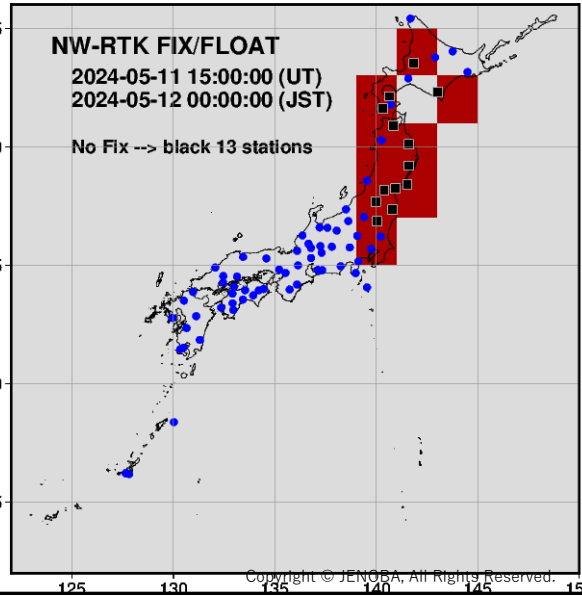
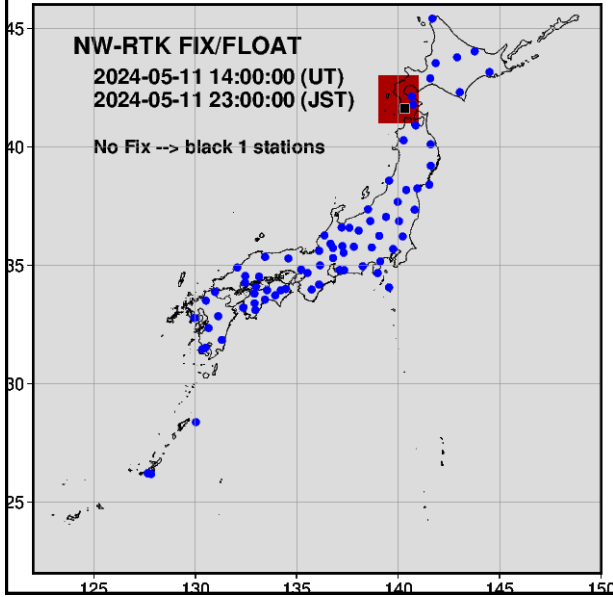
16

1時間ごとFIX/FLOAT分布図



5月11日23時 (JST)

5月12日00時 (JST)



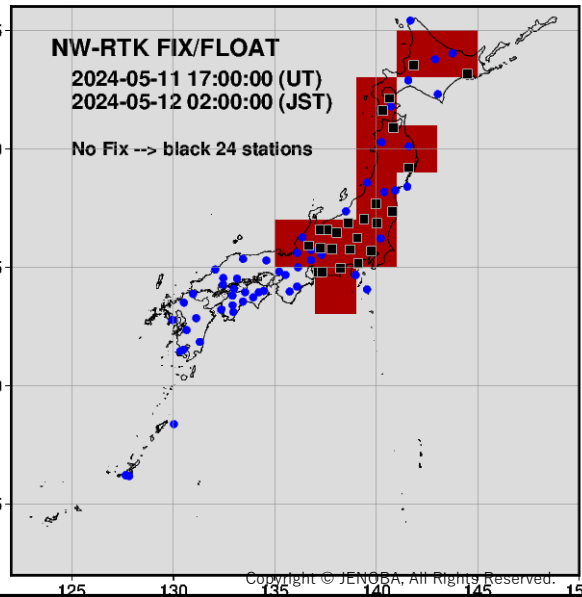
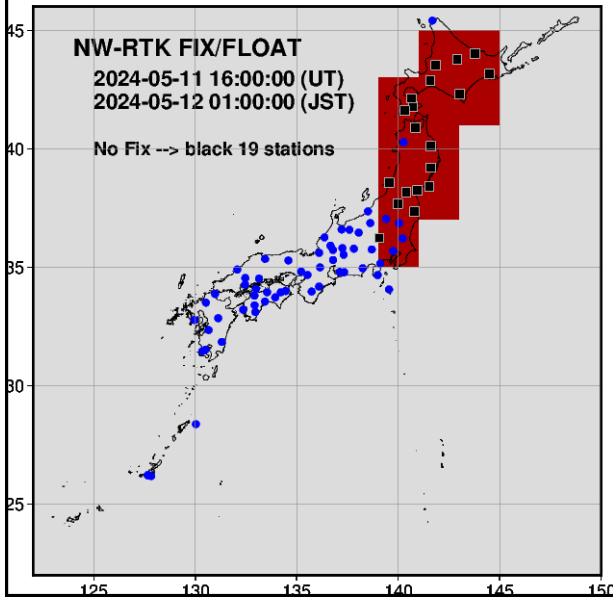
17

1時間ごとFIX/FLOAT分布図

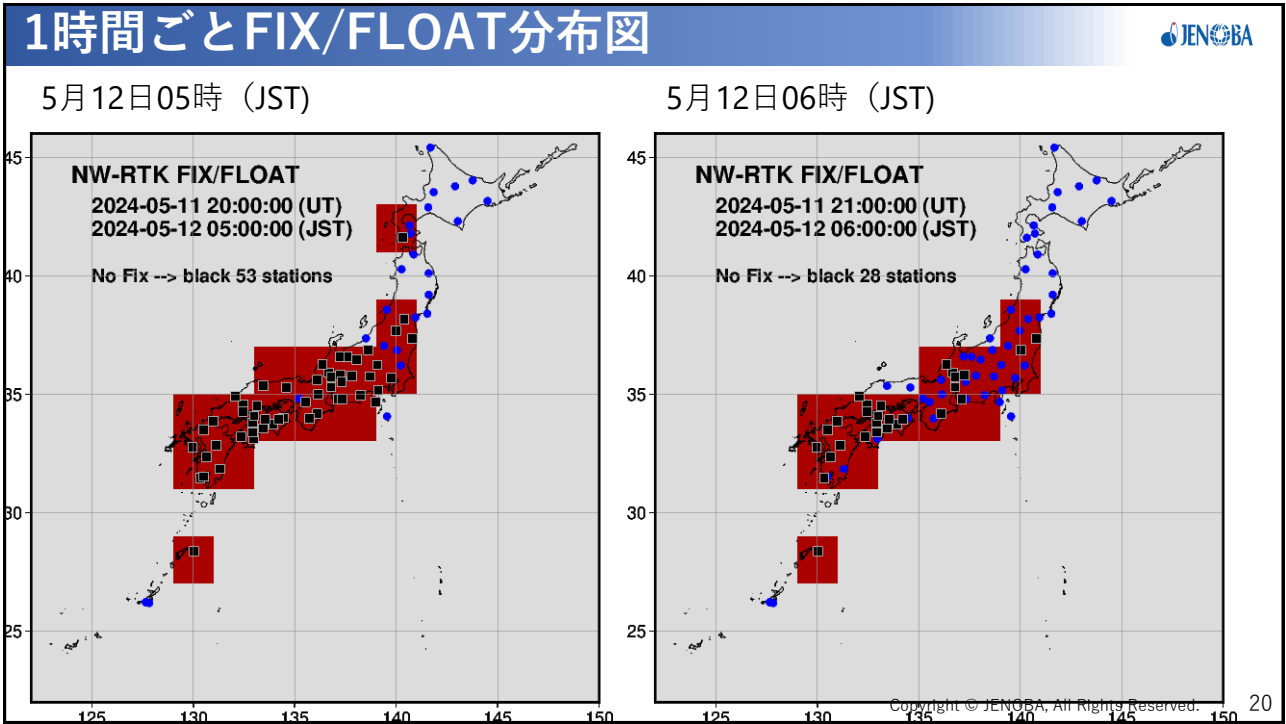
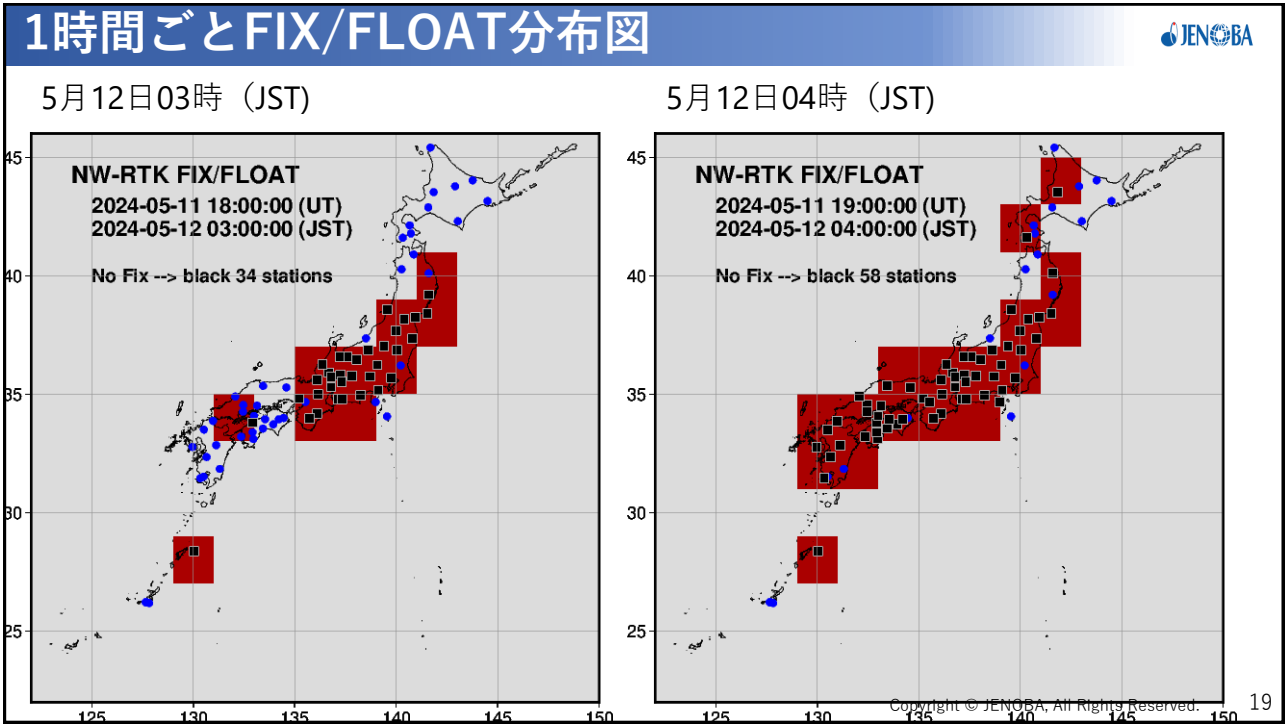


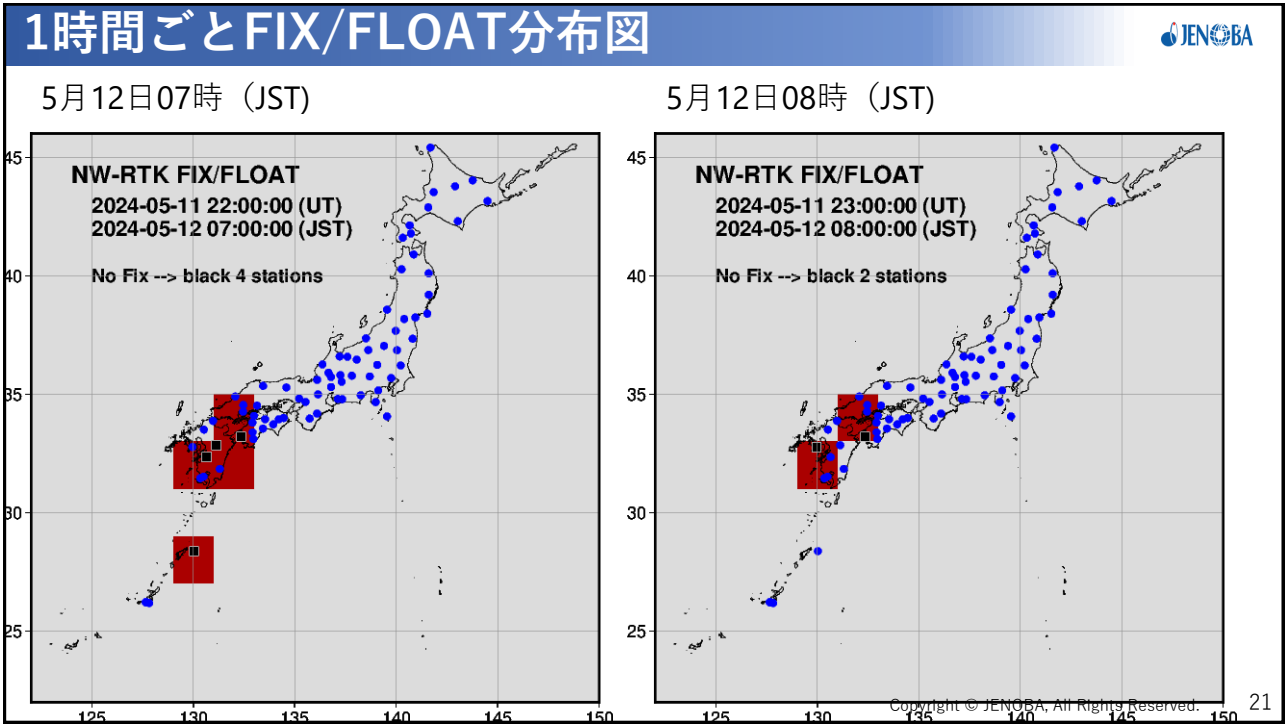
5月12日01時 (JST)

5月12日02時 (JST)



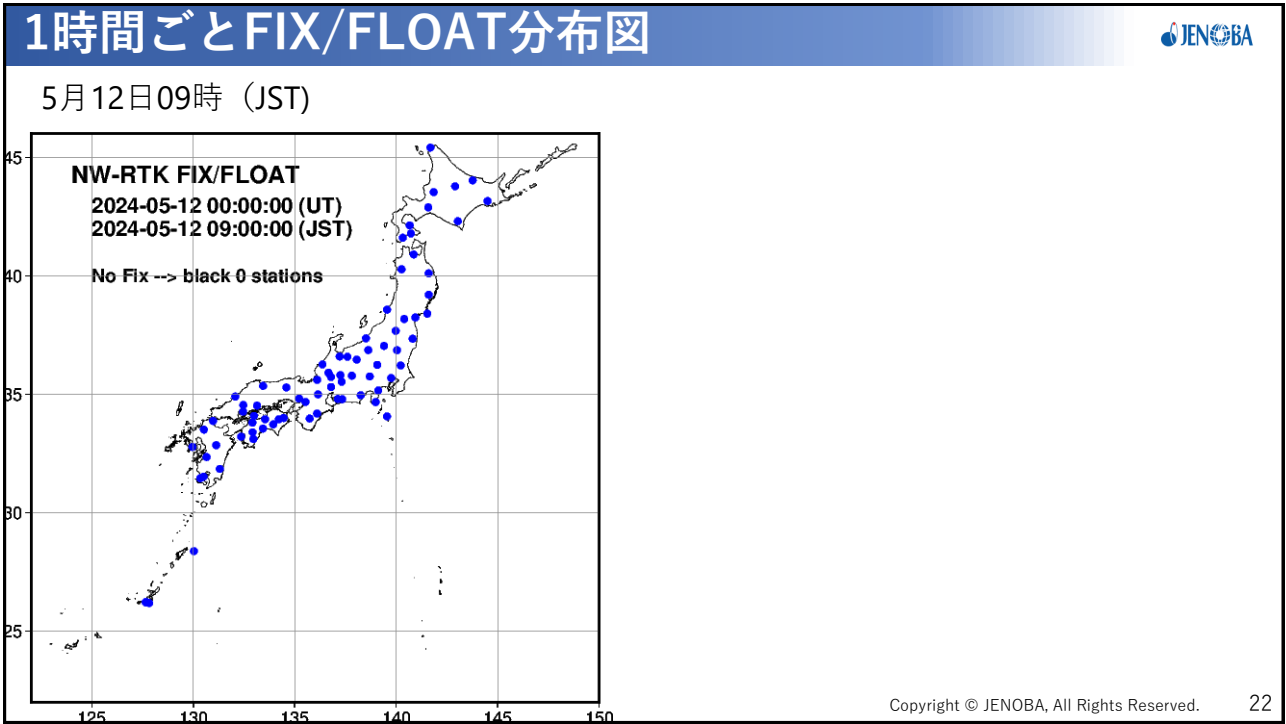
18





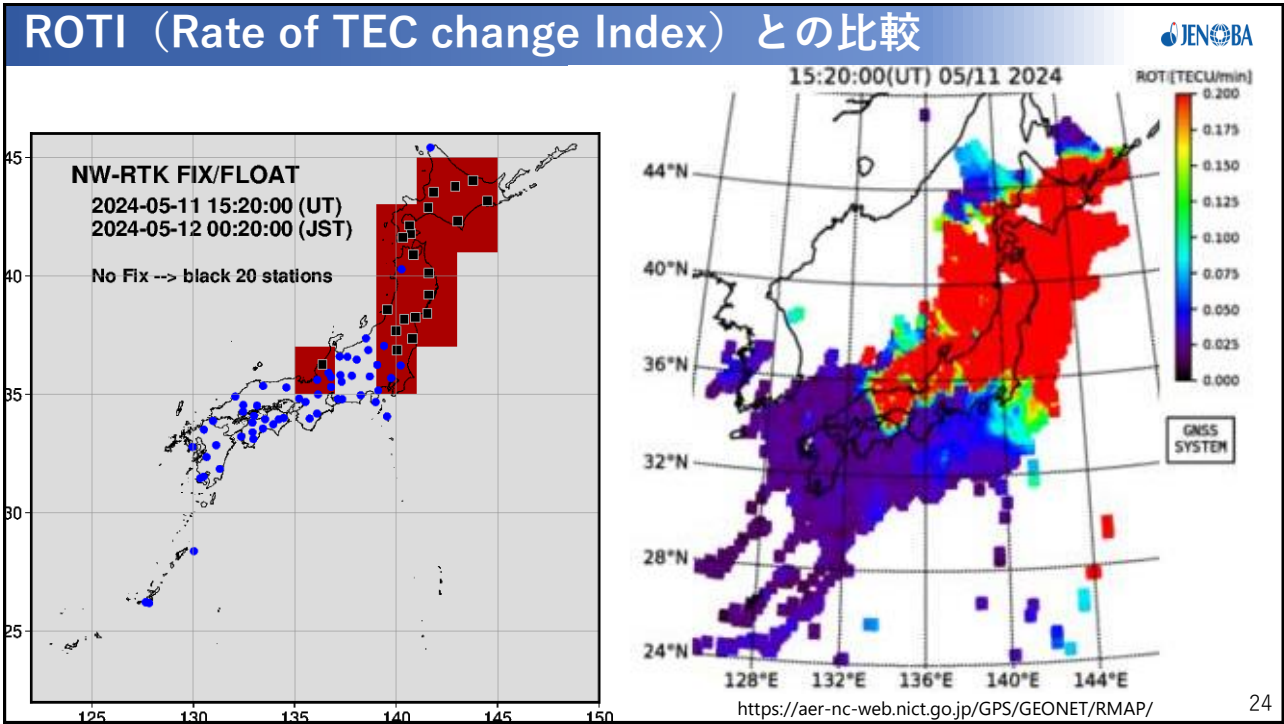
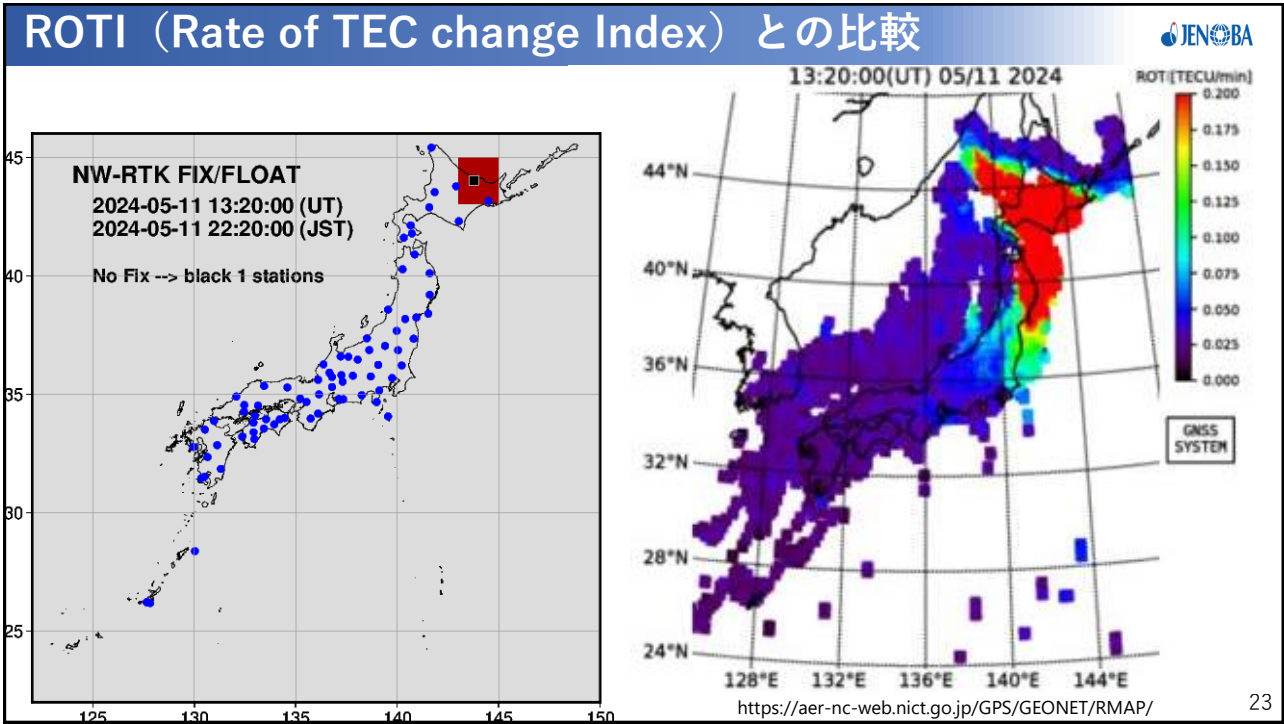
21

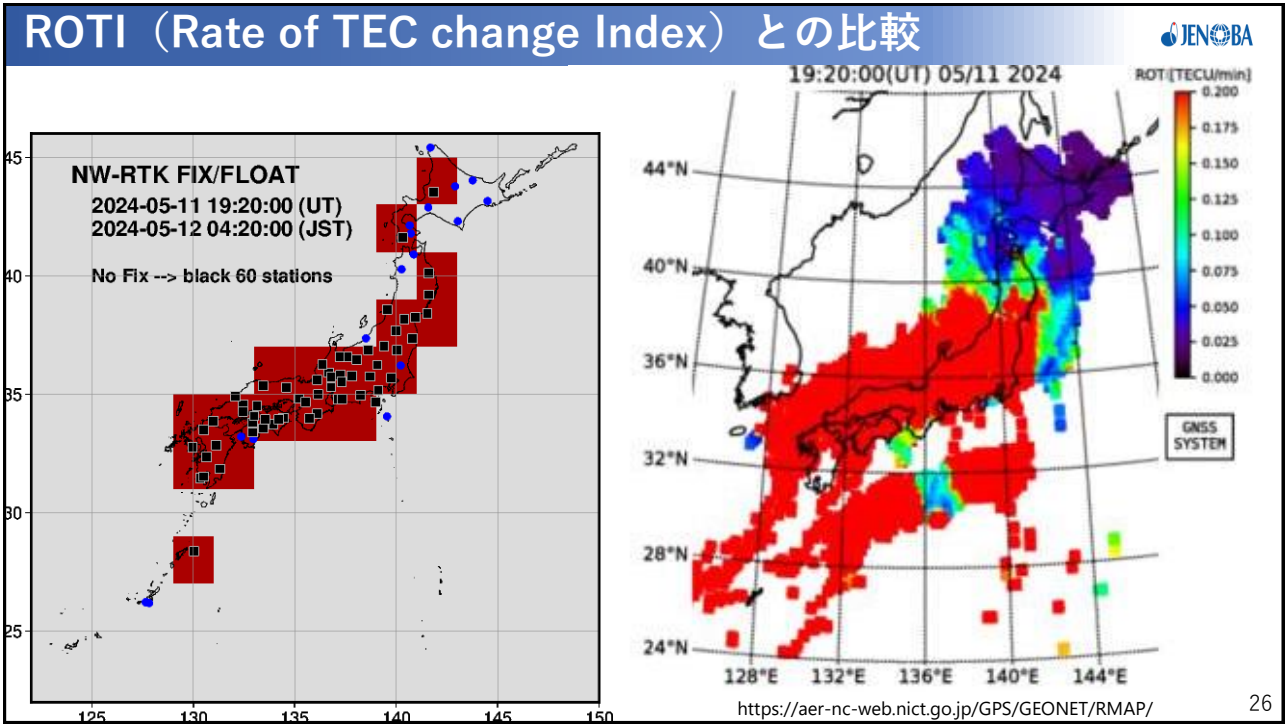
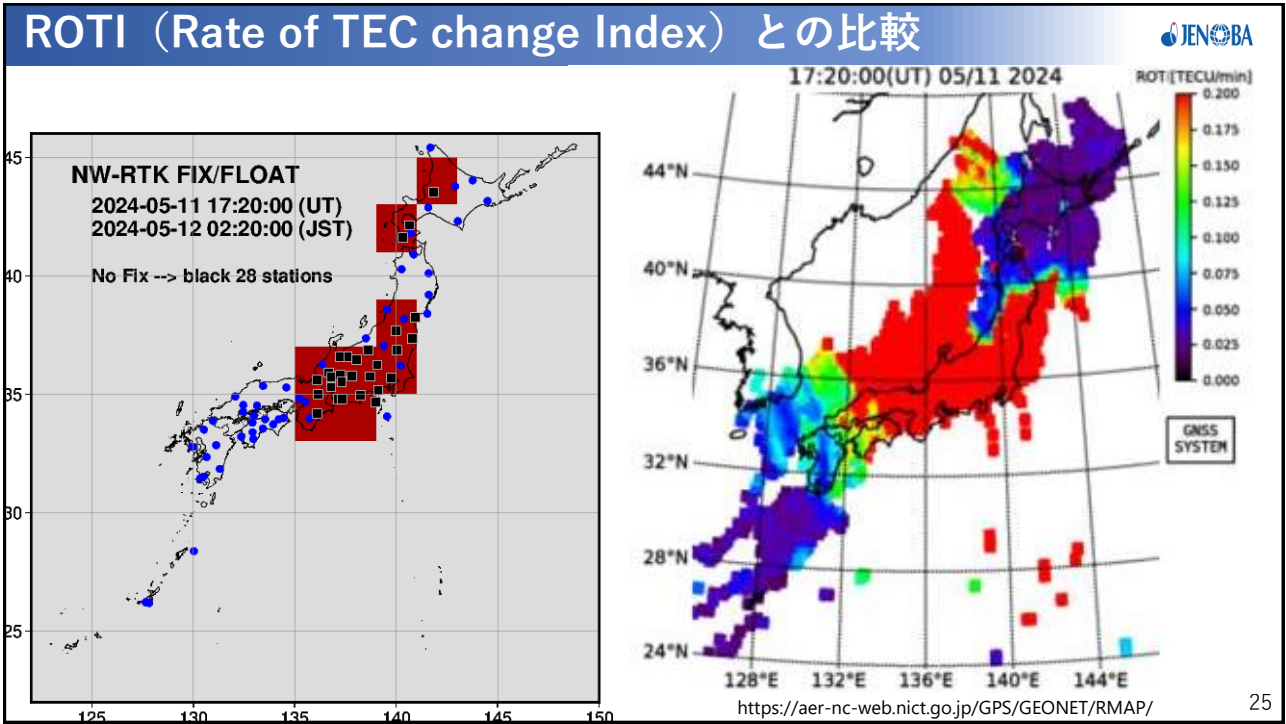
21

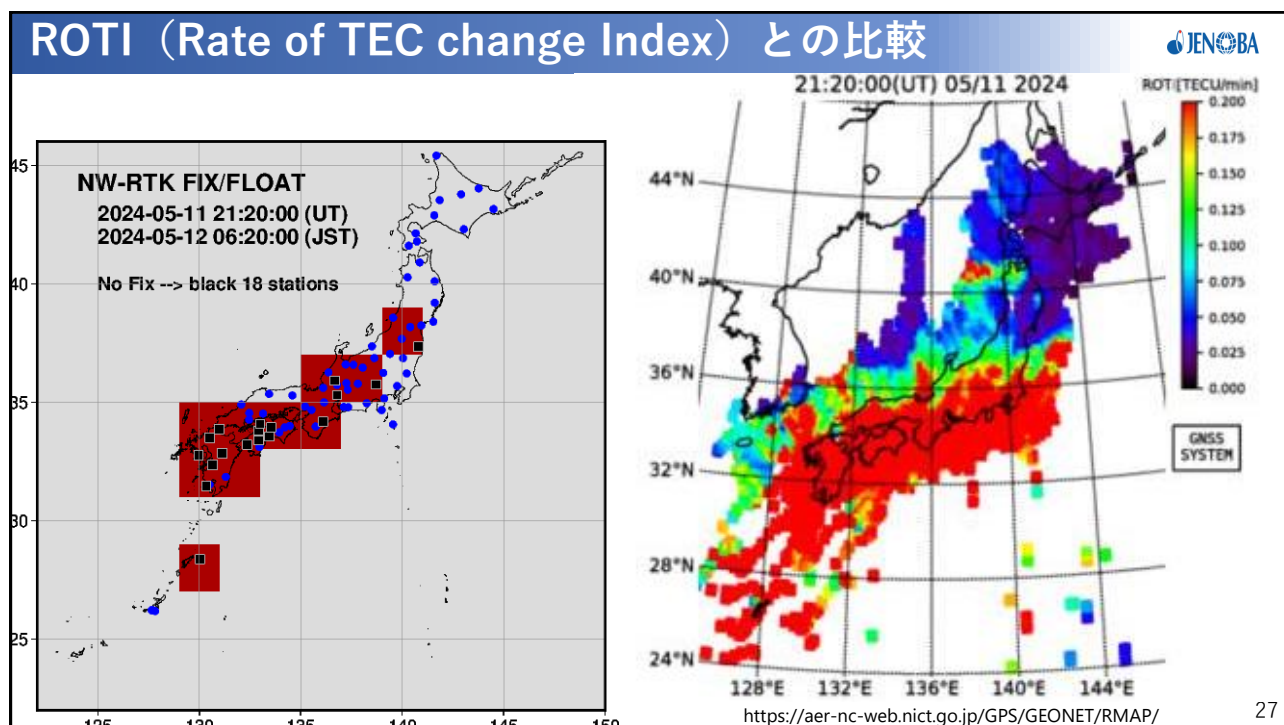


22

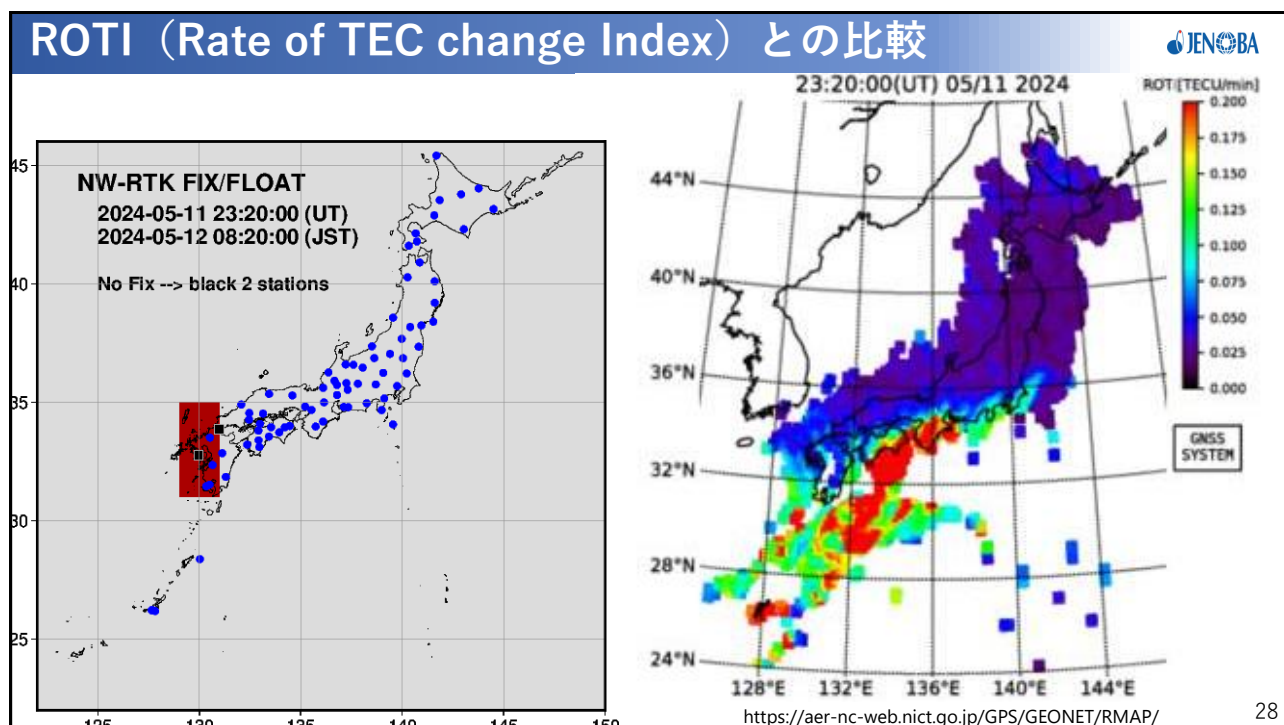
22







27



28

5月11日～12日の高精度測位への影響



- 広範囲で測位精度の低下（FIX解が得られない）が発生
- 磁気嵐の急始SSCから約20時間後に影響が始まり、GNSS局ごとに6時間程度継続して影響が現れた
- 時速500km程度で北東→南西方向へ移動
- 影響地域は直径1000km以上
- MSTID（中規模伝搬性電離圏擾乱）の移動パターンに似ている
ただし、**擾乱の程度は極めて大きい**
- 通常のMSTIDであれば、悪条件（電波障害等）のGNSS局のみかつ短時間だけ影響を受けるが、今回はほぼすべてのGNSS局が長時間影響を受けた
- **土曜深夜～日曜朝**だったため、社会的影響は目立たず

29

29

今後の対策 高精度測位の安全・安心な利用には？



- 測位側の対策
 - 擾乱に強い測位用ハードウェア・ソフトウェアの開発
 - 自動位置制御機器での自立運用 ← **機械にわかる情報も！**
- 各種情報の提供・利用
 - 平常時からの啓蒙
 - 宇宙天気**予報**
「具体的な」予測情報
→ **いつ・どこ・どのような影響**があるのか？（cf 地震予知3原則）
→ **2024年5月・10月・2025年1月**の太陽活動の影響の違いは？
 - 宇宙天気**現況**（リアルタイムでの状況把握）

Copyright © JENOB, All Rights Reserved.

30

30