

# SELENE月重力場解析における VLBIの寄与

松本晃治

( 国立天文台RISE推進室 )

---

# はじめに



## SELENE重力場ミッション概要

- ・ SELENE : 2007年夏期打ち上げ予定
- ・ 重力場ミッションに関連する観測機器: RSAT & VRAD
- ・ 月の裏側の重力場の直接観測: RSATによる4-wayドップラー観測
- ・ ドップラー & VLBIによる子衛星Rstarの軌道決定(4-wayドップラー観測の基準)

## 重力場解析に関するシミュレーション研究

- ・ 2003年度VERA UMで第一報を報告済  
ただし、2005年打ち上げの軌道要素、Rstar運用立案ソフト開発前、上海 & ウェッセル局含まず、4way時Rstar軌道誤差=0の仮定。

## 本報告では、

- ・ 2007年夏期打ち上げの軌道要素に基づく解析
- ・ 実運用で行われるRstarの観測モード切替を模擬し、これに基づき観測データ取得条件を考慮。
- ・ 使用する予定の全てのVLBI局を含めたシミュレーション
- ・ Rstar軌道に誤差がある場合の重力場推定精度の見積もり

On-orbit configuration of SELENE  
(before separation of two small sub-satellites)

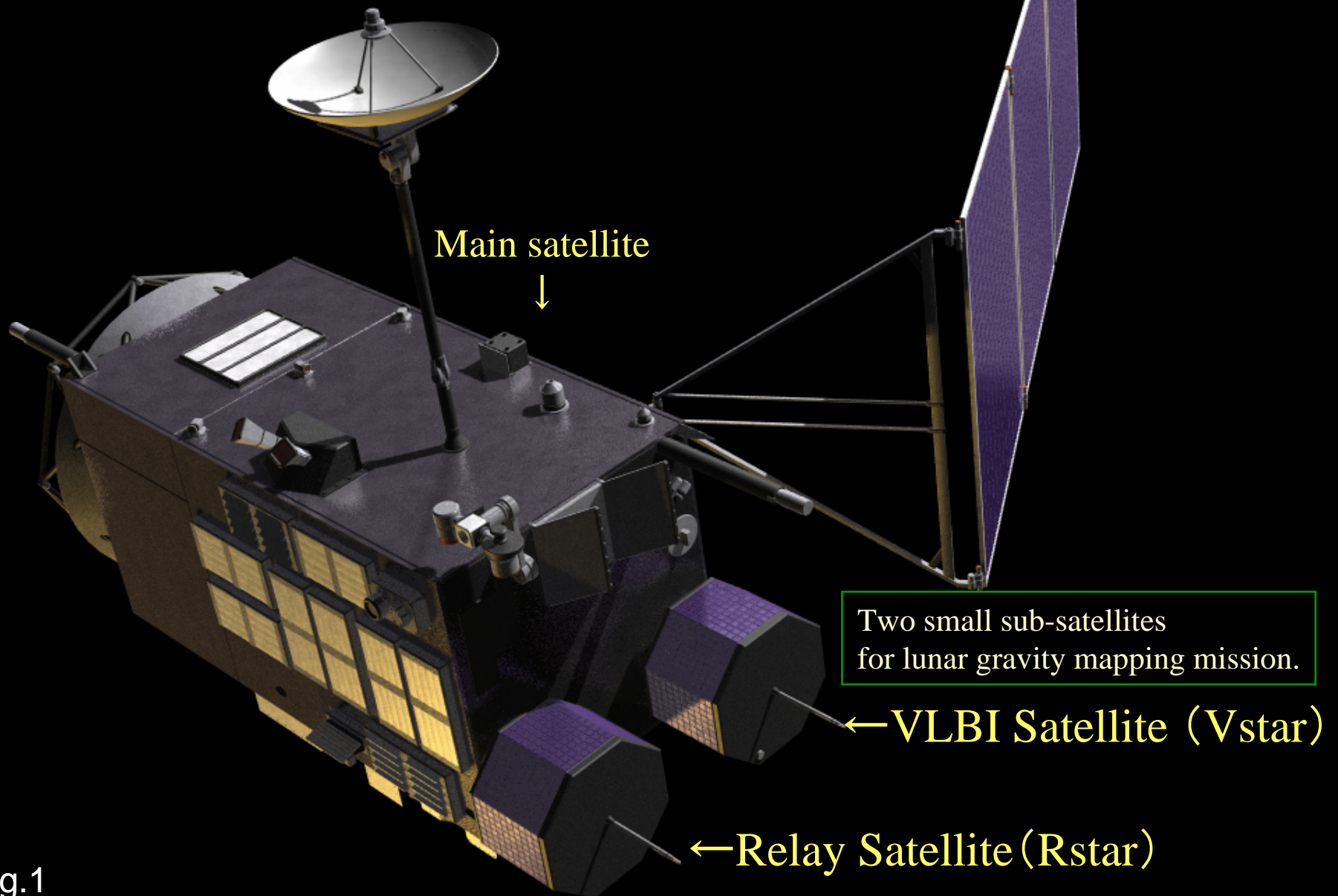
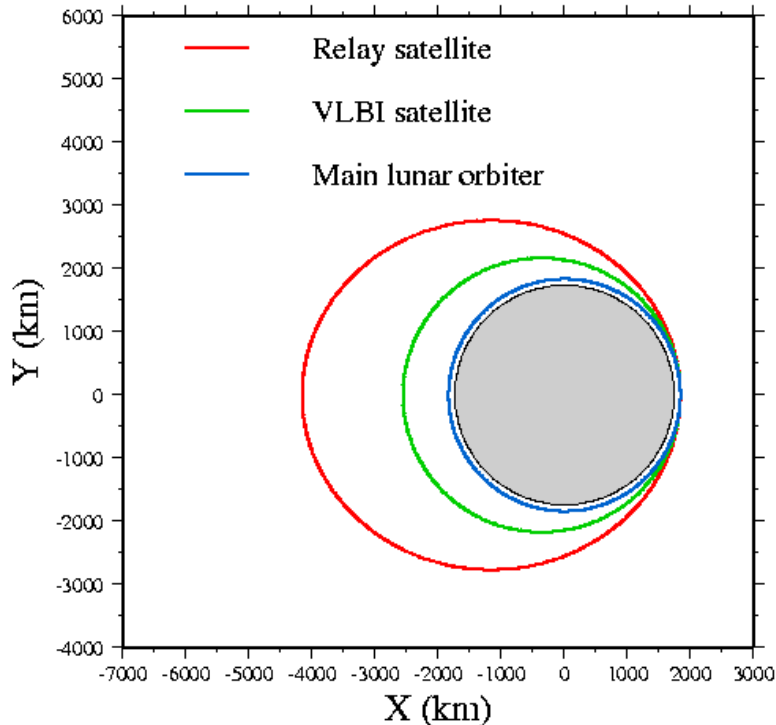


Fig.1

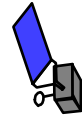
# Three satellites constellation



Combination of **high**,  
**middle** and **low** altitude  
satellites



Gravity field retrieval  
through wide-range of  
wavelength.



● Main Sat : 100km × 100km



● Vstar : 100km × 800km



● Rstar : 100km × 2400km

# 2-way Doppler measurement

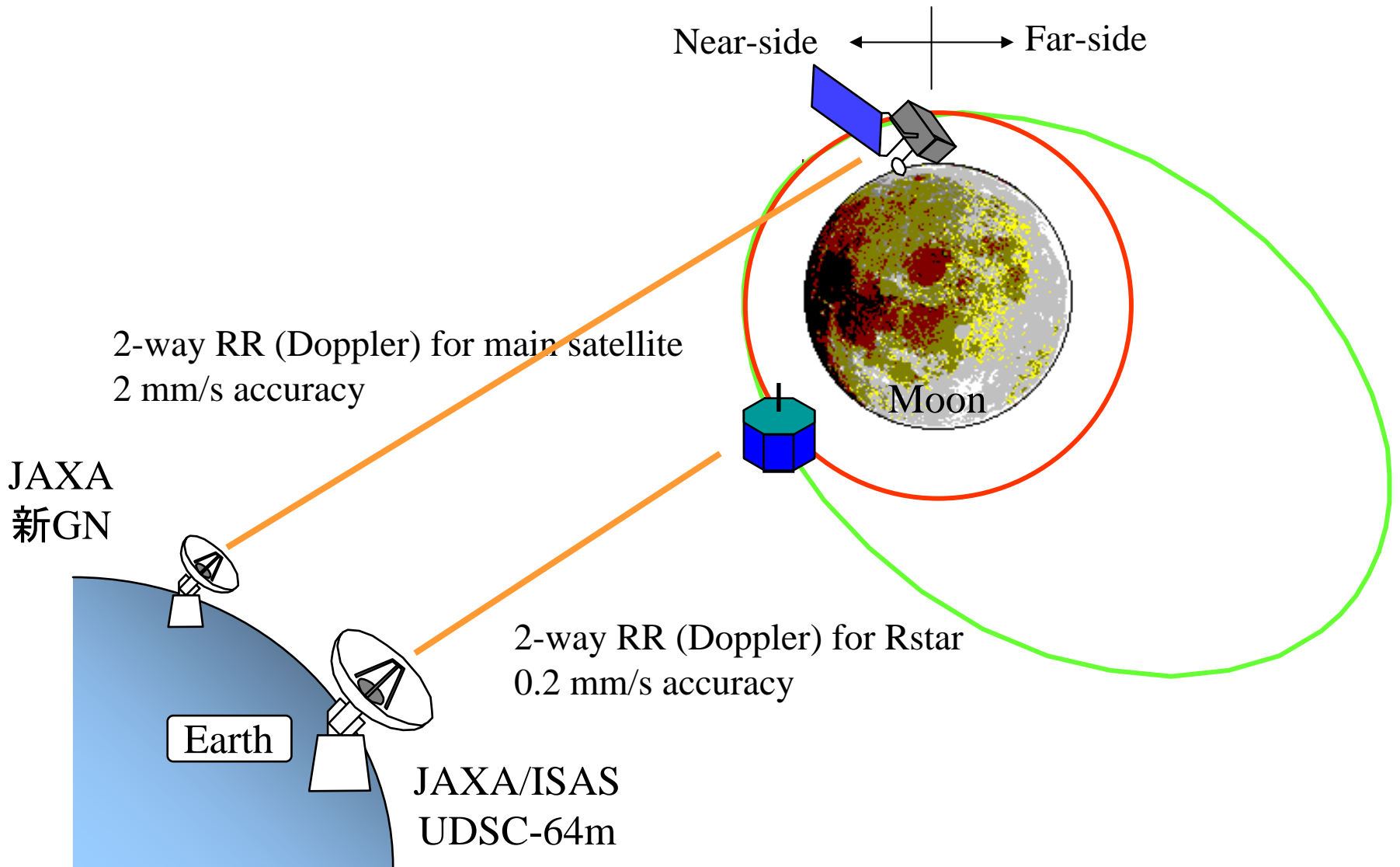


Fig 3

# 4-way Doppler measurement

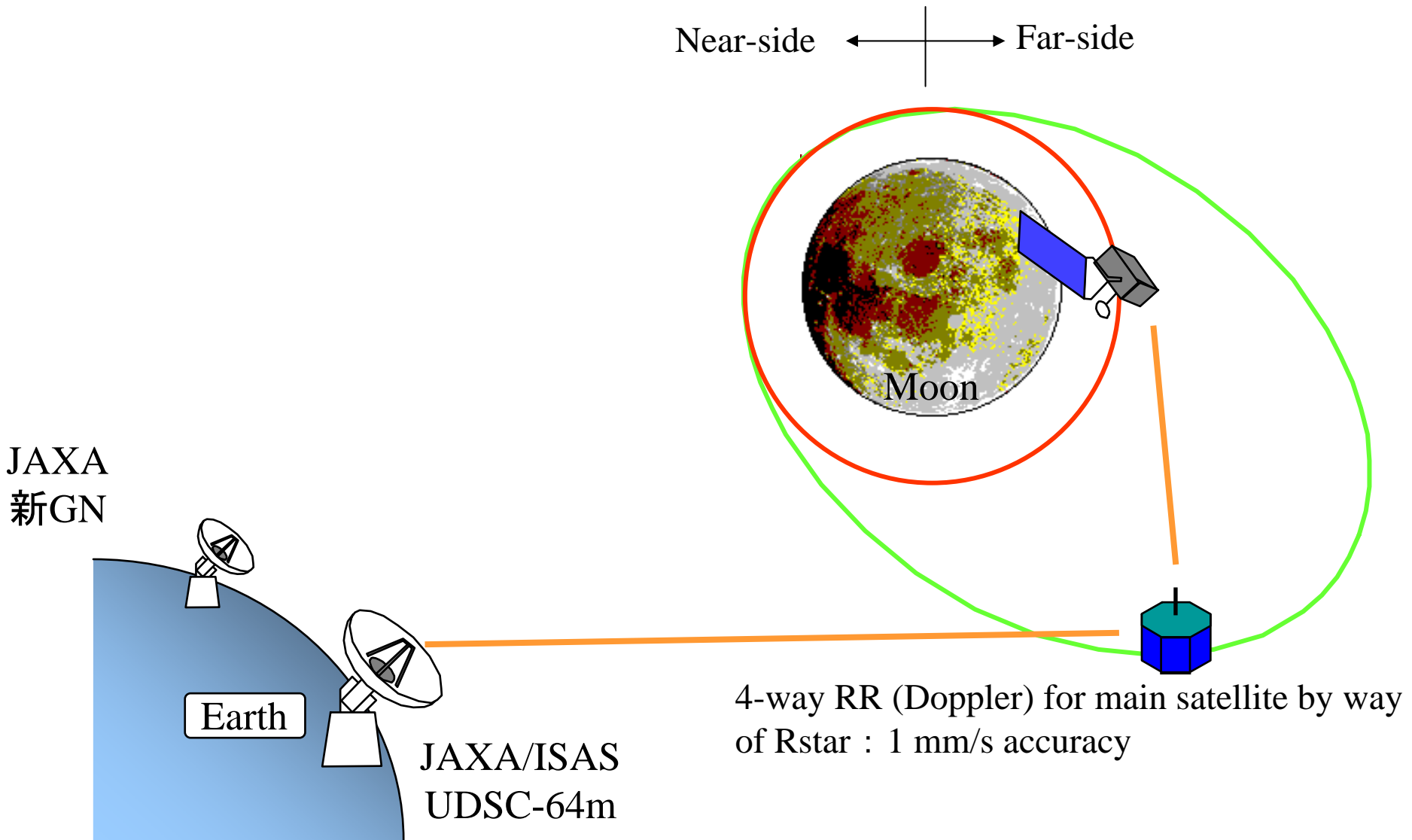


Fig 4

# Differential VLBI measurement

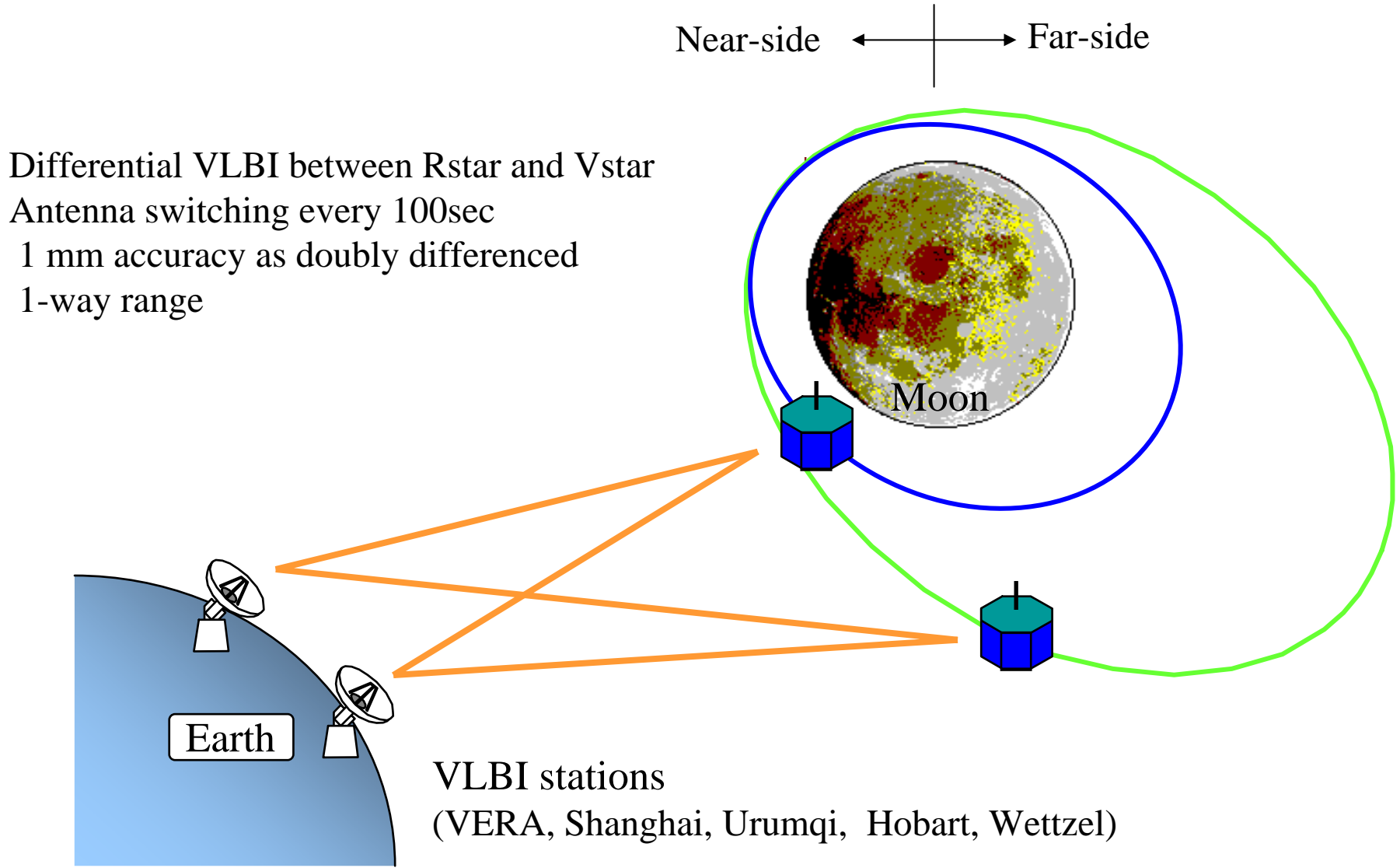


Fig 5

# Numerical simulation



LP100K (true field)

Simulate observation and add noise

Main: 2-way Doppler (2.0mm/s)

4-way Doppler (1.0mm/s)

Rstar: 2-way Doppler (0.2mm/s)

R·Vstar:  $\Delta$  VLBI

Doubly differenced 1-way range (1.0mm)

Various limitation on data acquisition.

- 1year mission duration
- Rstar mode switching is simulated (Fig. 6参照)
- Visibility condition (ground station – satellite, satellite – satellite)
- Ground station limitation (UDSC 6h/day, VERA 8h/day, 3days/week foreign VLBI participation of 2 months)
- 4-way & DVLBI only when Rstar is illuminated throughout a revolution.

Estimated gravity field & covariance

Inversion

Combine normal matrices

Arc parameter estimation  
Normal matrix generation(75x75)  
Arc length: about 1 day  
(!! Actual arc length for R·Vstar is expected to be longer than 1 day → future analysis)

Initial gravity model  
LP100K clone  
(LP100K  $\pm$   $\delta$  Cnm, Snm)



Fig. 6 Rstar モード切替の例

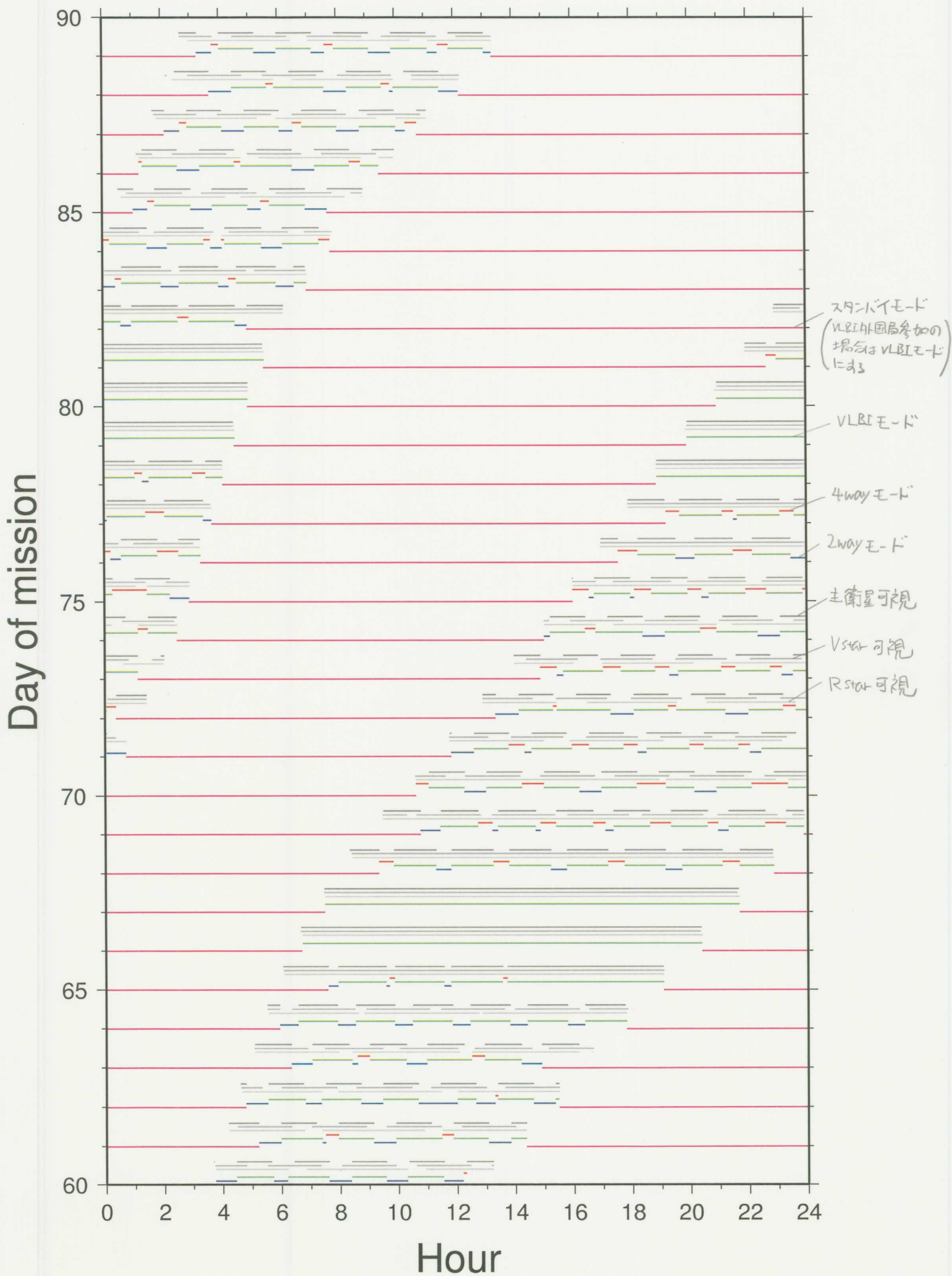
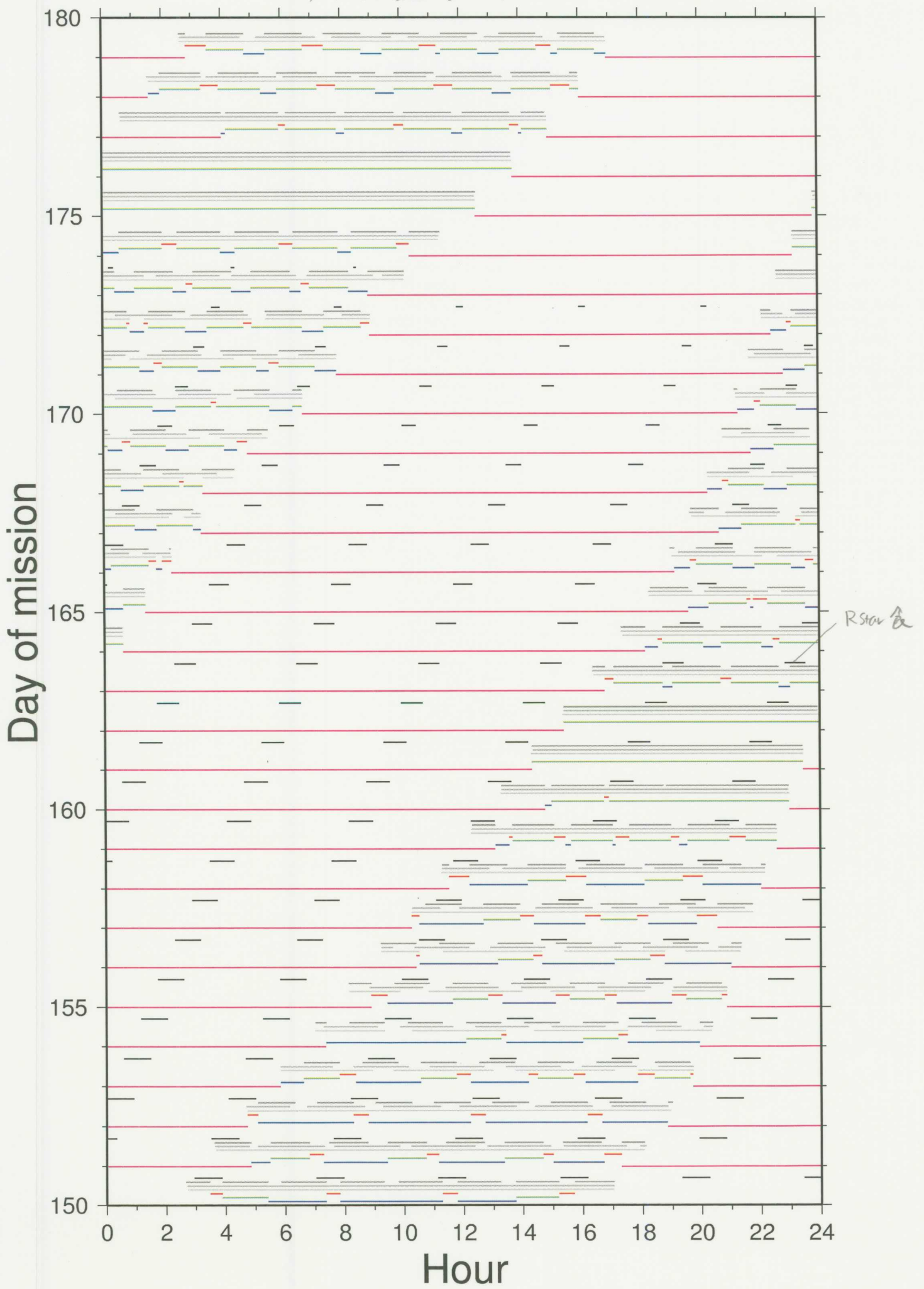
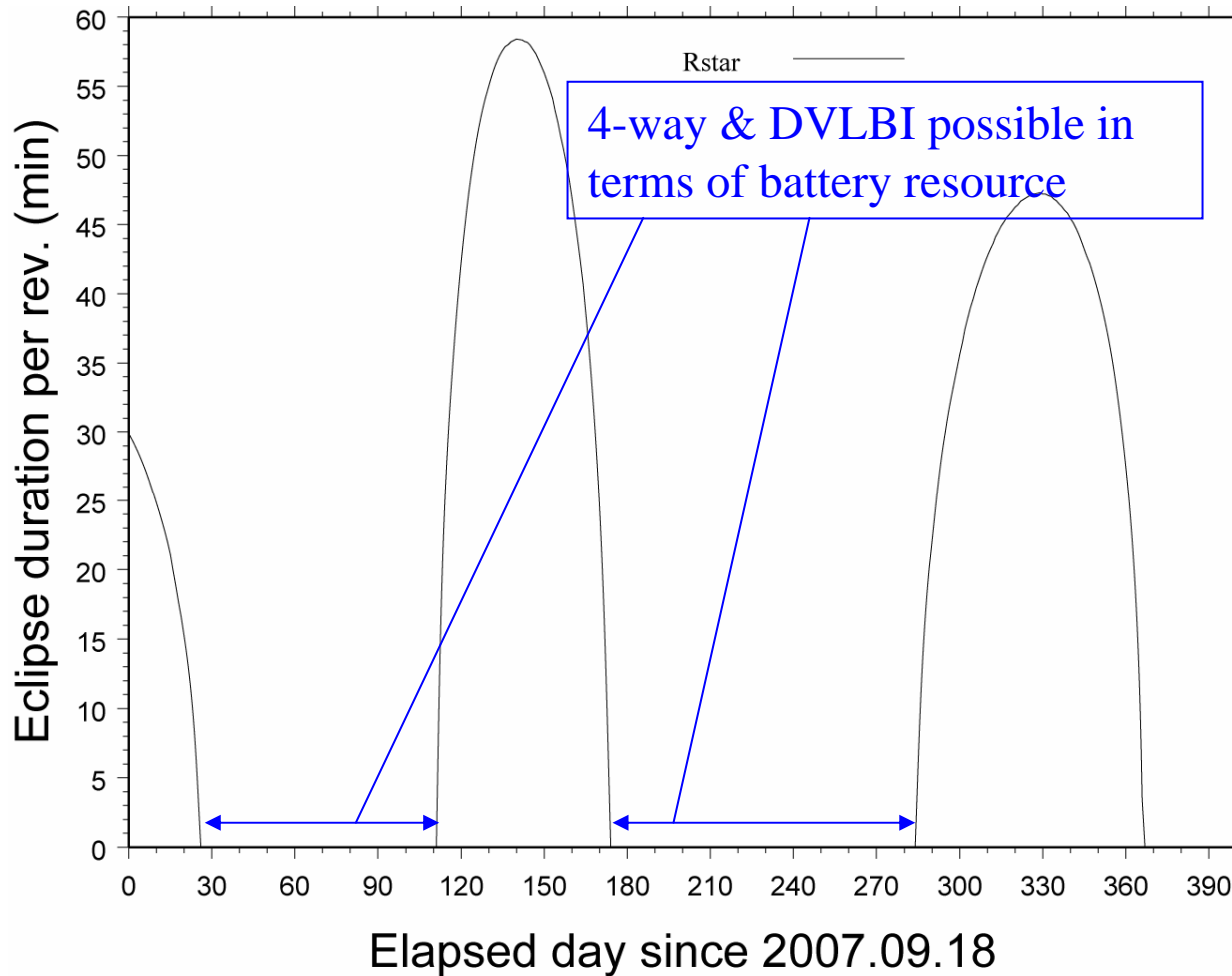


Fig. 7 食期間中のRstarモト切替の例

4-way VLBI 観測時間は減るか. 不可能ではない.



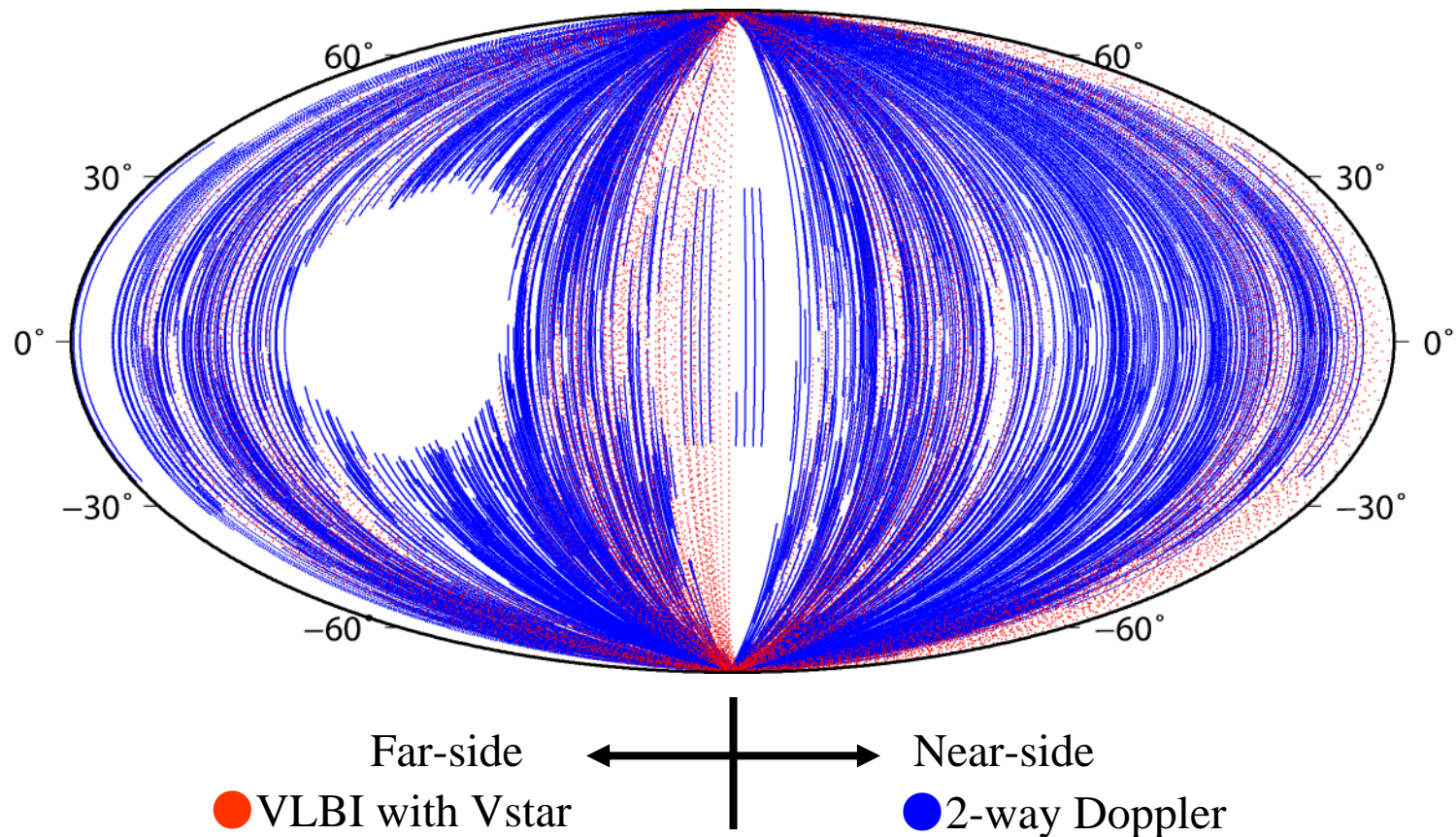
# Rstar食解析



！！注：食期間中でもバッテリーDODの制限値(18%)を超えないような運用を行うことも検討中(Fig. 7参照)。

Fig 8

# Doppler and VLBI data coverage of Rstar



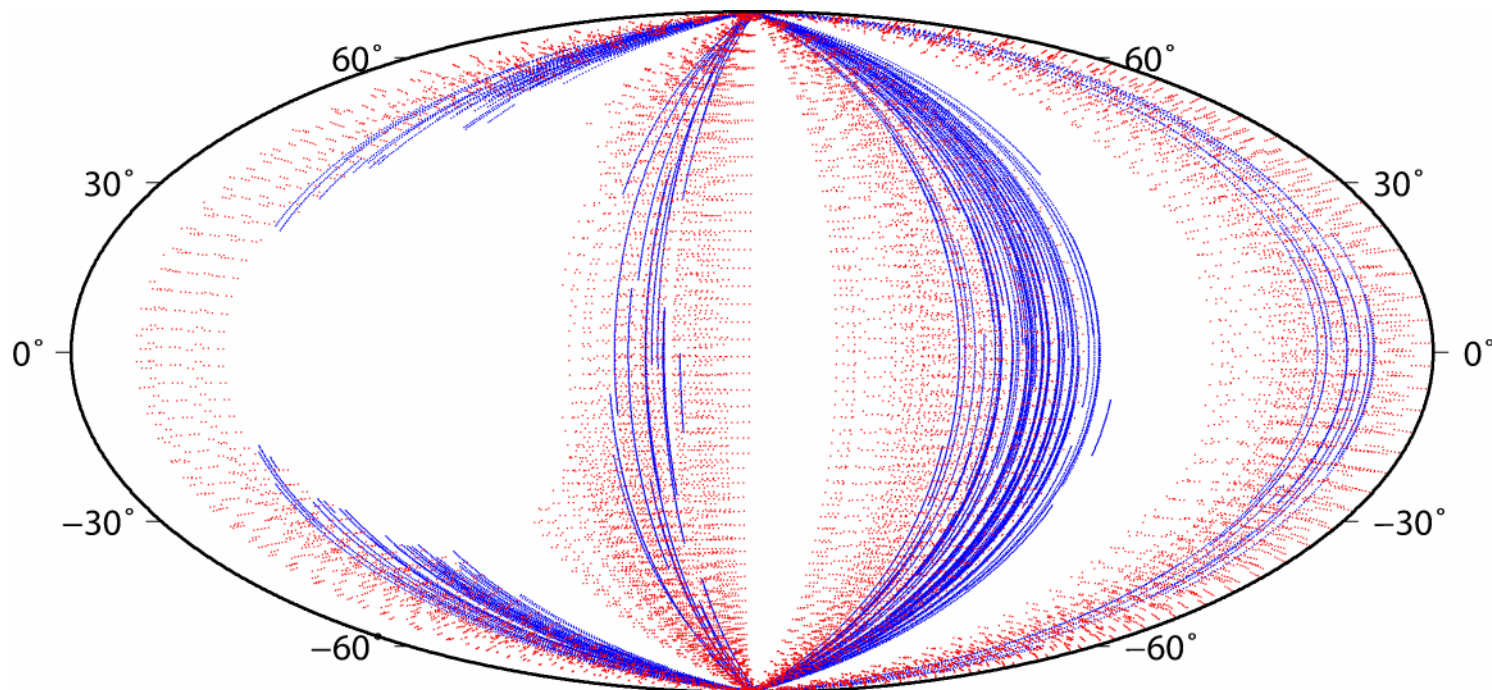
縁辺部のデータ抜け

ドップラー: 主衛星可視時にRstarのドップラー観測をしないというSELENE運用制限のため。

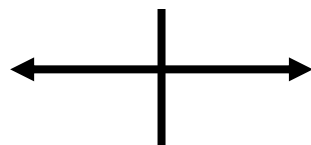
VLBI : 7パスサイクルのうち、1,2,3パスにVLBIを行うという仮定のため。

→長期運用計画による調整が必要。

# Doppler and VLBI data coverage of Vstar



Far-side



Near-side

● VLBI with Rstar

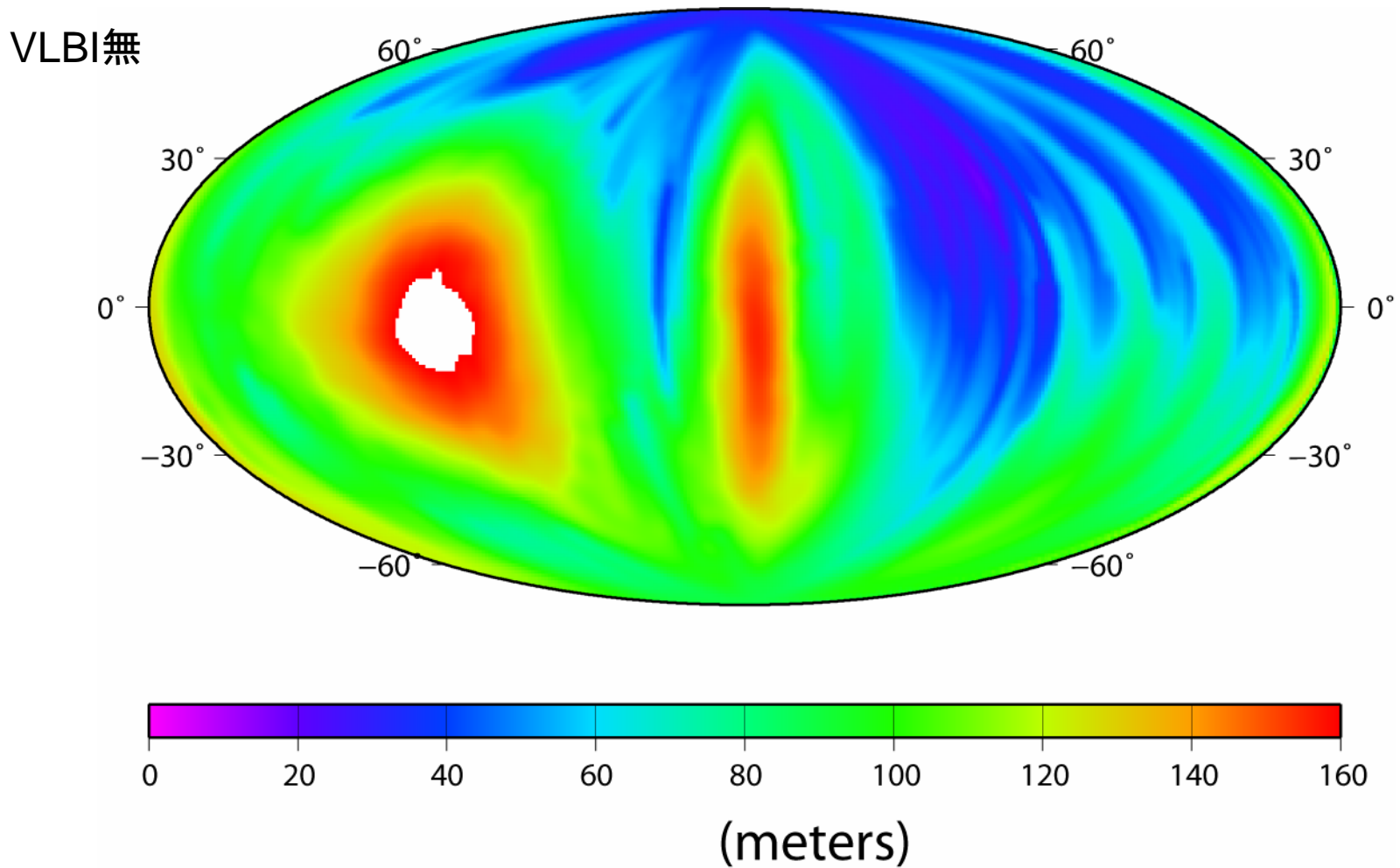
● 2-way Doppler

データ抜け

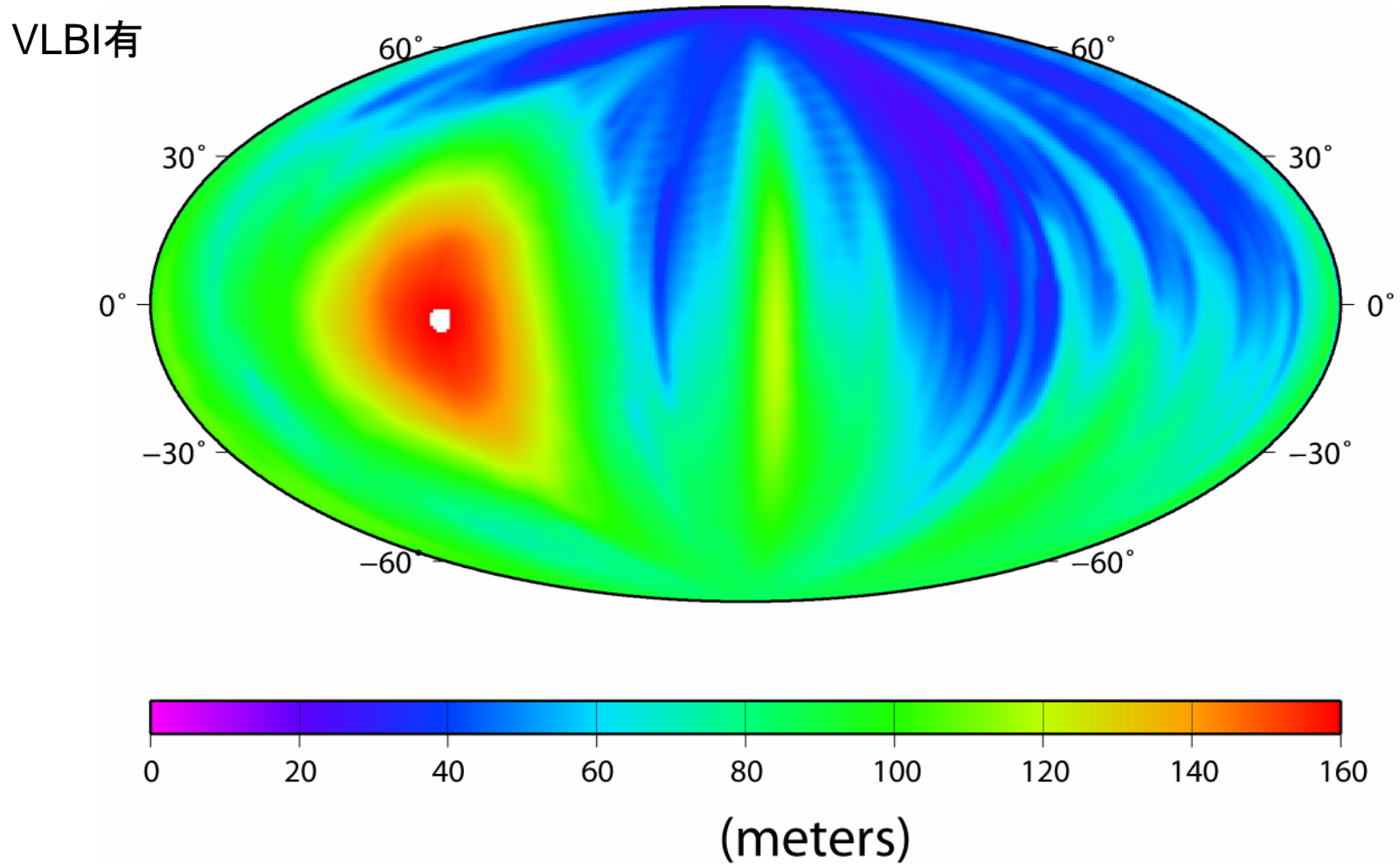
ドップラー: 週に1パスというSELENE運用制限のため。7パスサイクルのうち第1パスを仮定。→長期運用計画による調整が必要。

VLBI : 7パスサイクルのうち、1,2,3パスにVLBIを行うという仮定のため。→長期運用計画による調整が必要。

Fig 10

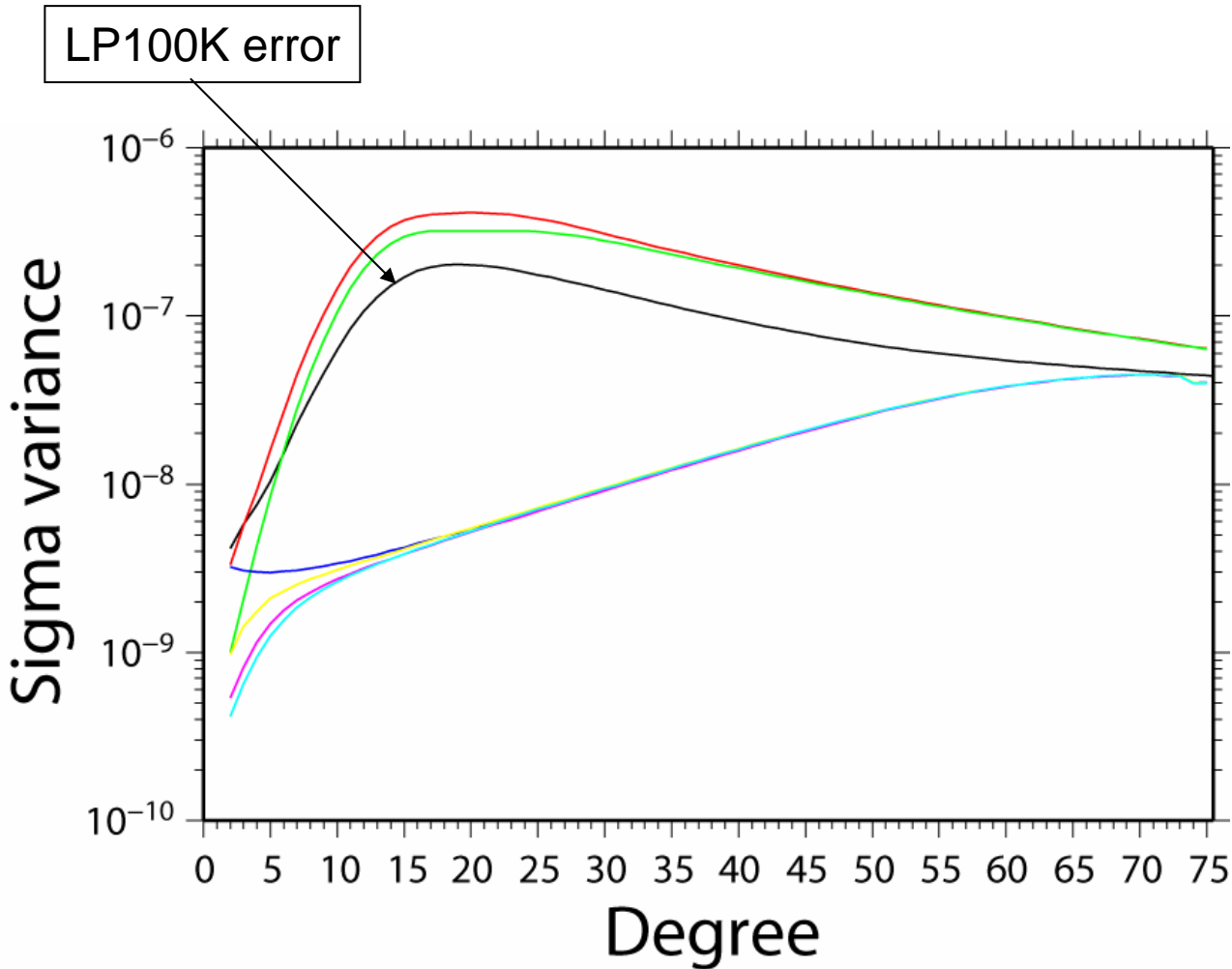


!!! 注: 主衛星の追跡データは含まれていない



!!! 注: 主衛星の追跡データは含まれていない

# Error spectrum



- (1) RVstar 2WRR
- (2) RVstar 2WRR + DVLBI
- (3) 主衛星2W+4WRR Rstar軌道誤差215m
- (4) 主衛星2W+4WRR Rstar軌道誤差0m (ideal case)
- (5) (2)+(3)
- (6) (2)+(4)

215m → VLBIを入れた時のRstar軌道誤差。ここで、軌道誤差は真の軌道と決定軌道との差から計算。LP100Kcloneモデルに基づく計算なので、iterationを進めればもっと小さくなる。

Fig 13



# まとめ



- ・2007年夏期打ち上げの軌道要素を用いて重力場解析シミュレーションを再実施
- ・観測データ取得条件をRstar運用モードに基づいて計算
- ・データカバレッジの不均質を避けるため、VLBI観測実施パスは長期計画に基づいて決める必要がある(Vstarの2WRRも同様)。
- ・R・Vstarの追跡データのみを考えた場合、VLBIを加えることにより、全体的に誤差は小さくなる。ただし、誤差は短波長成分が支配的。
- ・誤差のスペクトルで見ると、2次の項でfactor 3の改善。
- ・Rstar軌道に215mの誤差があると仮定すると、主衛星の2-way & 4-wayドップラーデータを用いて構築される重力場の精度が、次数2~15で劣化(Rstar軌道が4-way観測の基準となるため)。
- ・ただし、R・Vstarの軌道は低次項の推定に威力を発揮するため、3衛星全ての追跡データを合わせた最終的な解への影響は小さい(Fig. 13の(5)と(6)の比較)。

## 今後の予定

- ・R・Vstarのアーケ長を1日より長くした場合の解析
- ・食期間中にも4-wayおよびVLBI観測が可能とした場合の解析