

DECIGO Pathfinder で実現実証される技術の応用

-- 惑星重力場観測衛星 --

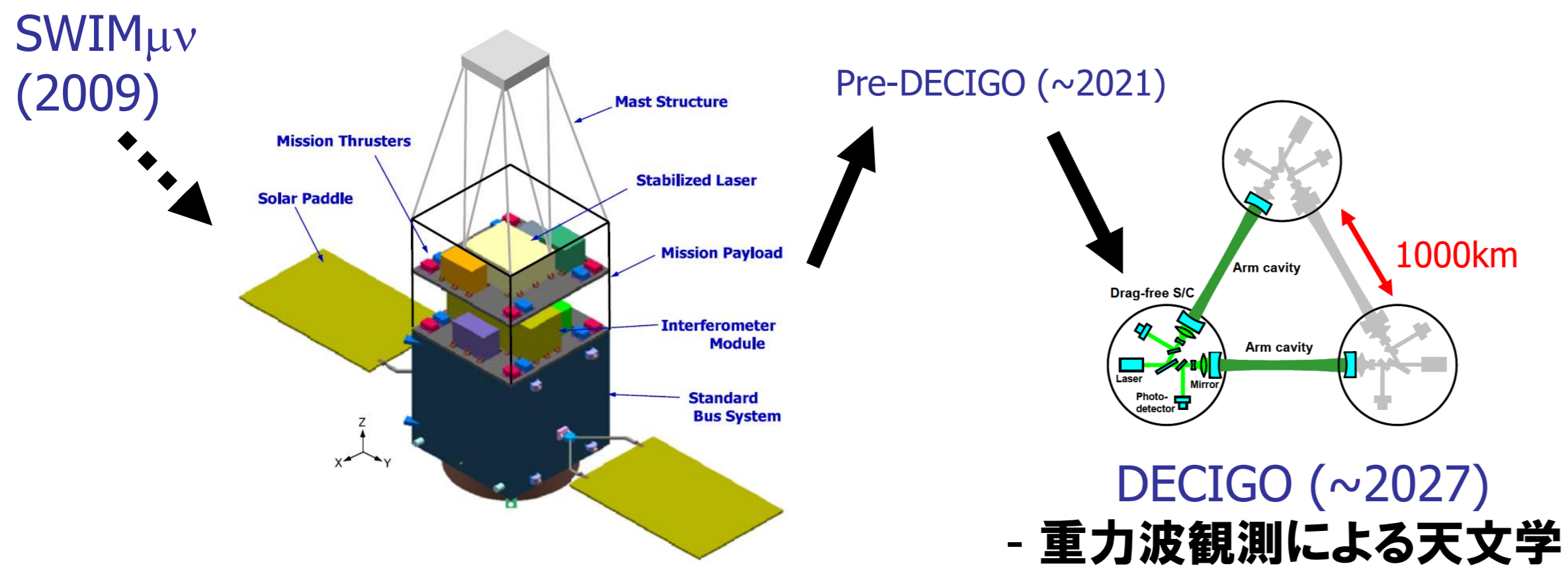
穀山 渉 (東大理), 正田 亜八香 (東大理), 安東 正樹 (京大理), 麻生 洋一 (東大理), 坪野 公夫 (東大理)

*e-mail: kokuyama@granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp

Abstract

DECIGO Pathfinder(DPF)は、宇宙における精密計測技術を実証し重力波観測を行うとともに、これまでにない精度での地球重力場の観測も可能になると考えられている。そこで本ポスターでは、DPFミッション部を火星、金星、水星、月の周回軌道に投入し、重力場探査に応用した場合を考えた。その場合、過去のミッションと比較して、2~5桁程度よい精度での測定ができることが判明した。このような高感度の重力プローブを用いて惑星のどのような現象が見えるのか、検討する価値があるかもしれない。

1. DECIGO Pathfinder (DPF)



DECIGO Pathfinder (~2015)

- 衛星内にFabry-Pelot Cavityを保持
- 太陽同期極軌道
- 重力波の観測・地球重力場の観測を行う

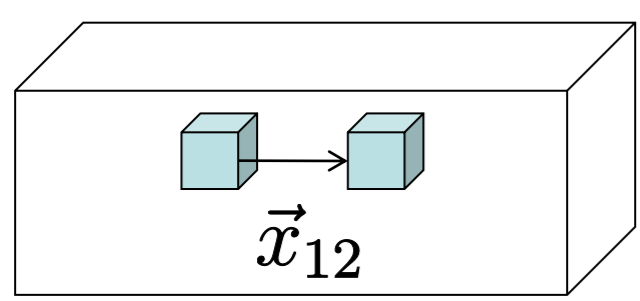
Talk by M.Ando (S3-08)
Posters by S.Moriwaki, T.Akutsu, A.Shoda, M.Musha, W.Kokuyama, S.Sato, & Y.Michimura (P3-150~157)

2. DPFによる地球重力場観測

(参考:A.Shoda, et al. P3-150)

2.1 観測方法 Satellite Gravity Gradiometry (SGG)

重力場 $U(\vec{x}_1)$ $U(\vec{x}_2)$



DPFのFabry-Pelot Cavityは重力場の2階微分に対し感度がある。(重力勾配計としてはたらく。)

$$\text{マス同士の相対的な力: } \vec{F}_{12} = - \left(\frac{\partial}{\partial \vec{x}_{12}} \right)^2 U(\vec{x})$$

DPFは地球を周回しながら $F_{12}(t)$ (の垂直成分)を測定
→ 逆問題を解いて $U(\vec{x})$ を再構成する。

The Dynamic Simulation (Time-wise Approach) Method [1,2]

Uの球面調和関数展開

$$U(r, \lambda, \phi) = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r} \right)^{l+1} P_{lm}(\sin \phi) [C_{lm} \cos m\lambda + S_{lm} \sin m\lambda]$$

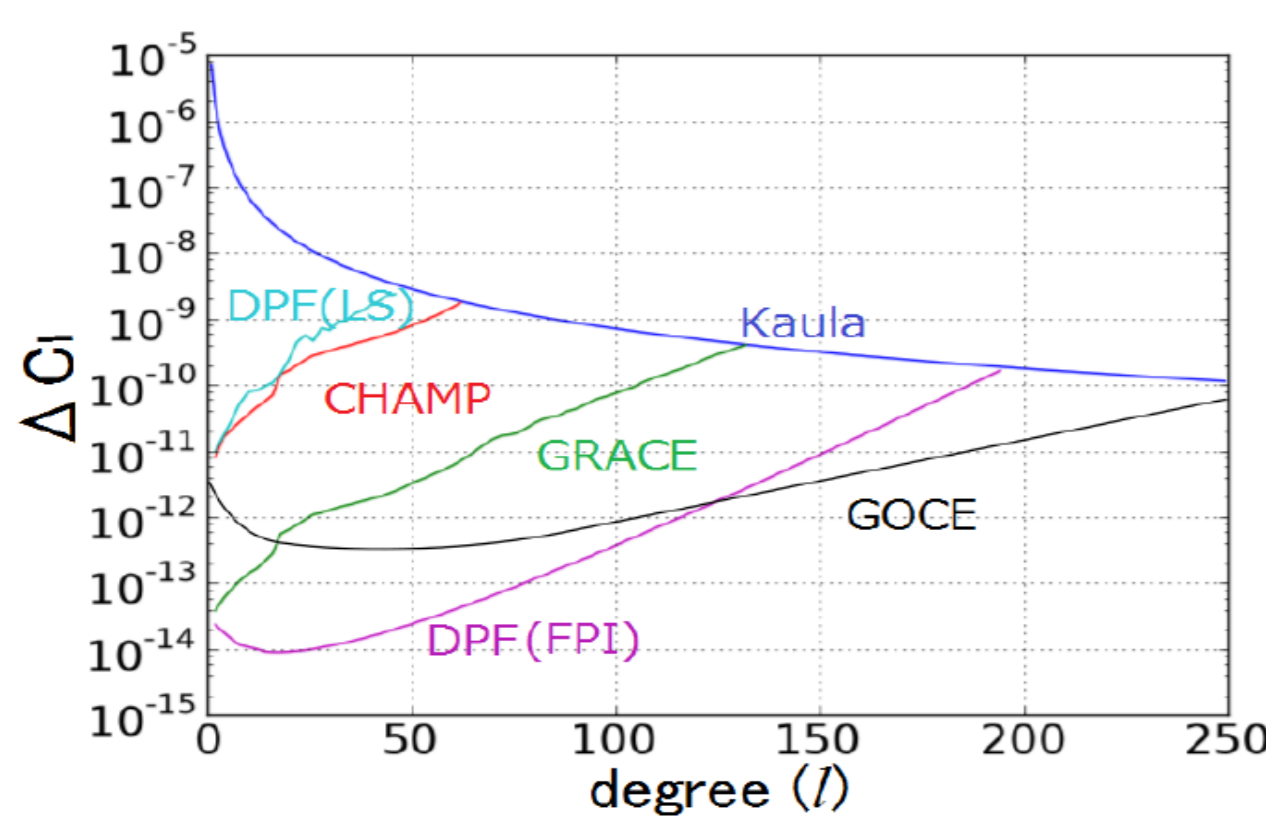
の係数 C_{lm}, S_{lm} が求まる。

$$\rightarrow \text{次数ごとの係数のエラーは } \Delta c_l = \sqrt{\sum_{m=0}^l ((\Delta C_{lm})^2 + (\Delta S_{lm})^2)} \text{ となる。}$$

今回、DPFのノイズレベルから Δc_l を計算した。

2.2 予想される感度

計算パラメータ: 高度500km, ノイズレベル 3×10^{-14} m/s² (1Hz以下)



Kaula Model : C_{lm} が大きめに従う法則

120次程度までは、GOCEよりも良い

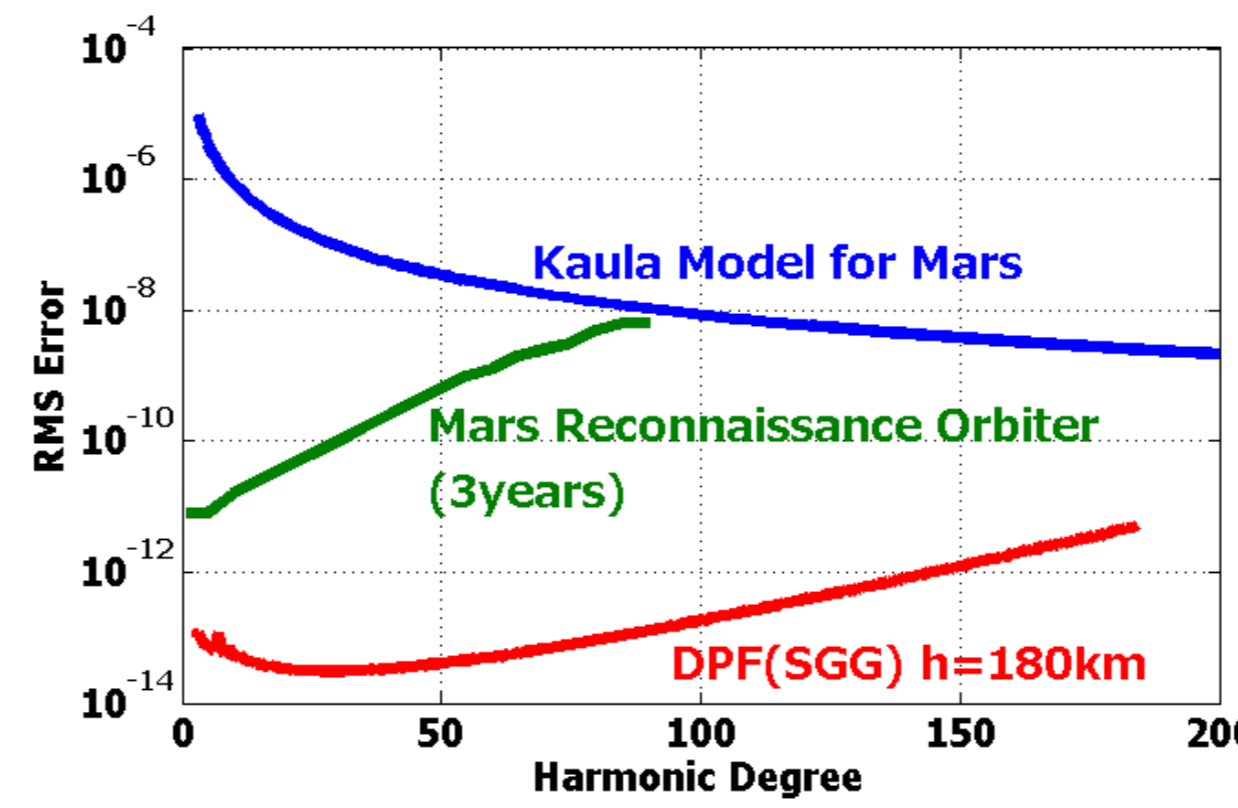
DPFのミッション部はコンパクトなシステム、かつ高精度
→ 惑星重力場の高精度な計測にも応用の可能性

3. 惑星重力場観測衛星への応用

3.1 推定測定精度

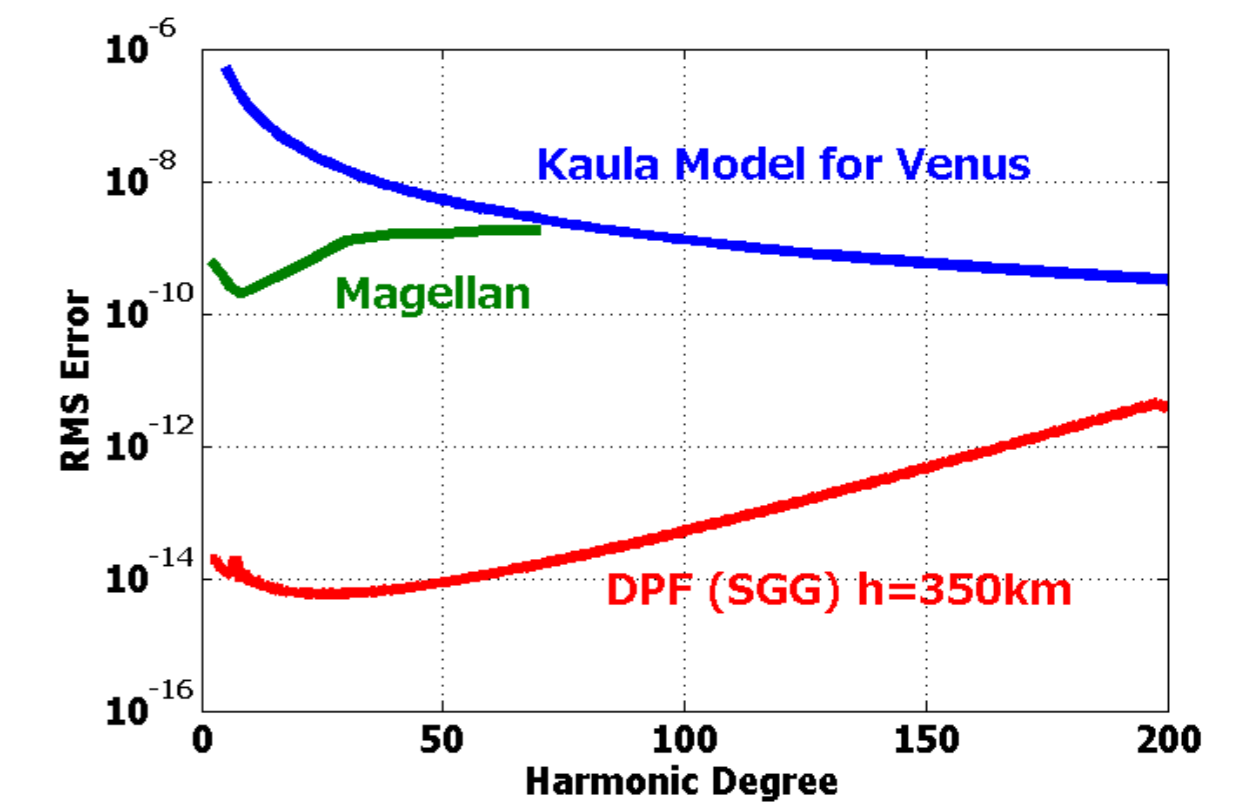
各惑星周回軌道にDPF相当の感度の検出器を投入したときの観測精度を評価した。

(1)火星 (高度180 km)



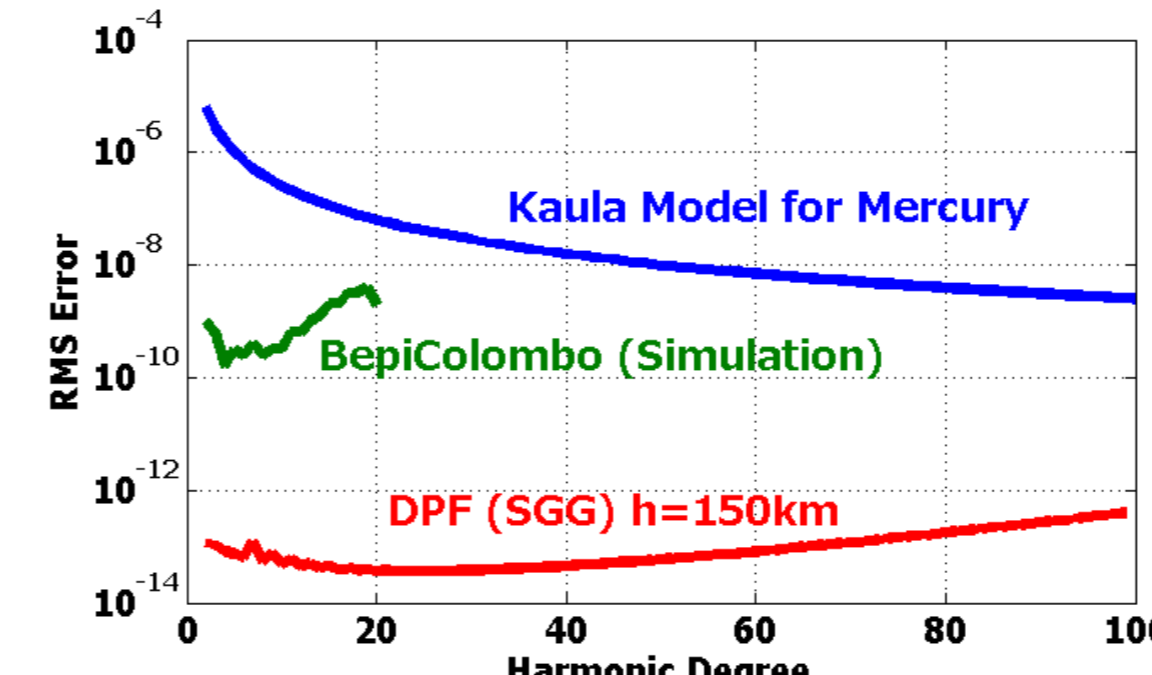
MRO[3]より2~5桁良い

(2)金星 (高度350km)



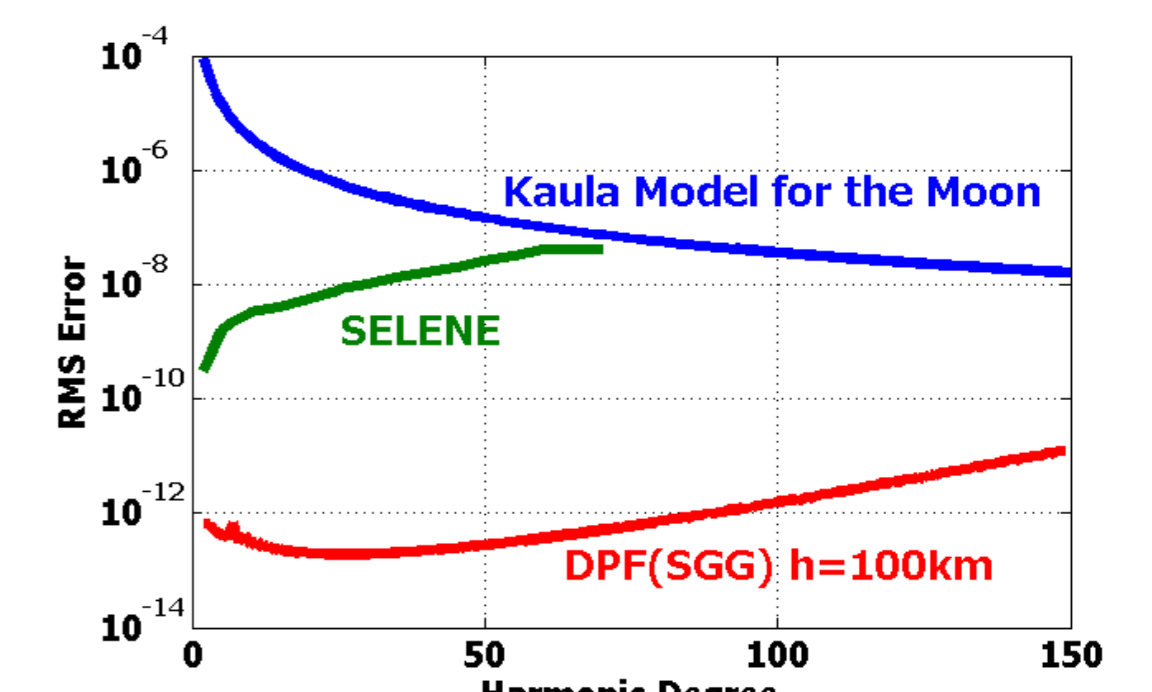
Magellan[4]より5桁程度良い

(3)水星 (高度150km)



BepiColombo[5]より3~4桁良い

(4)月 (高度100km)

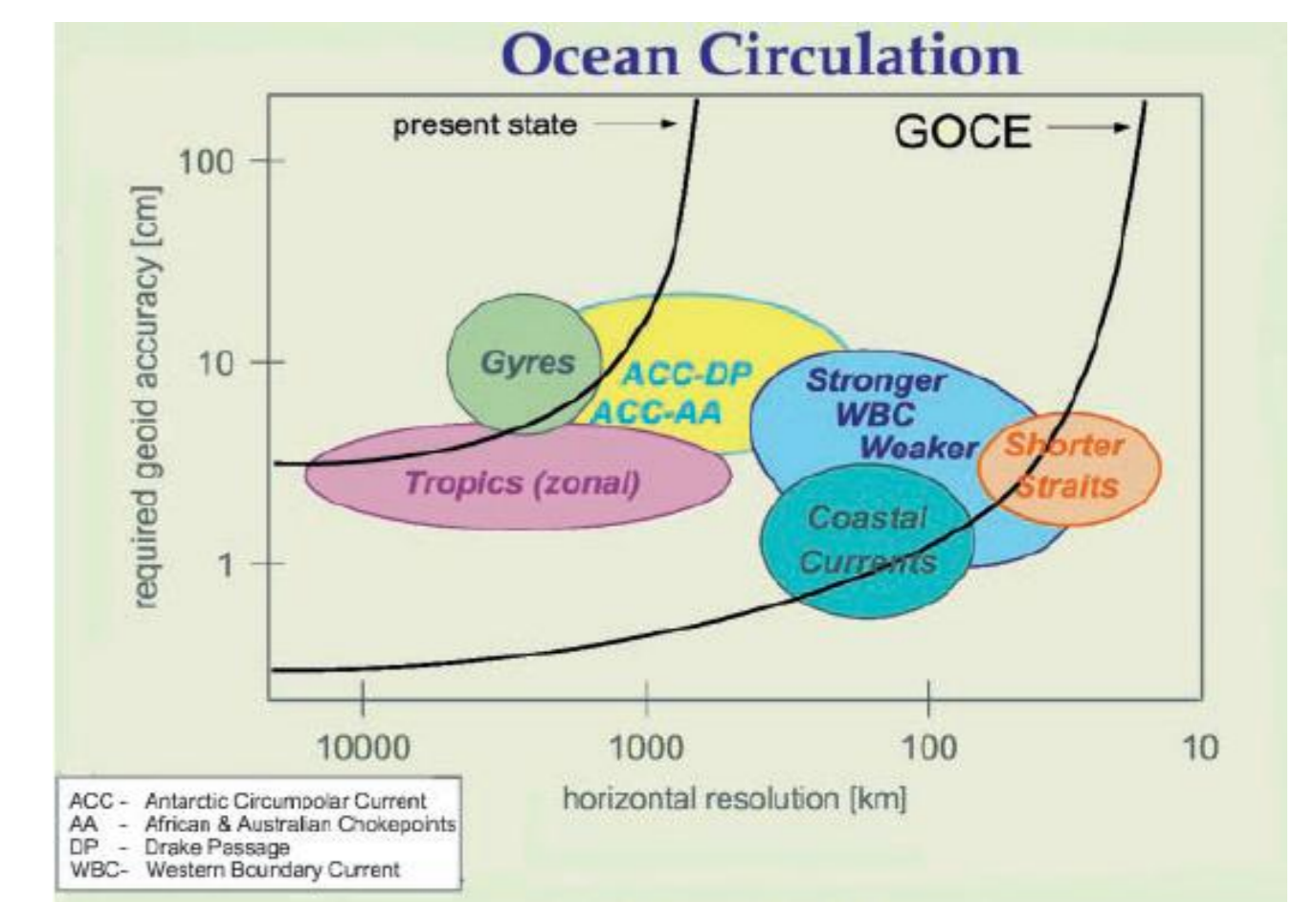
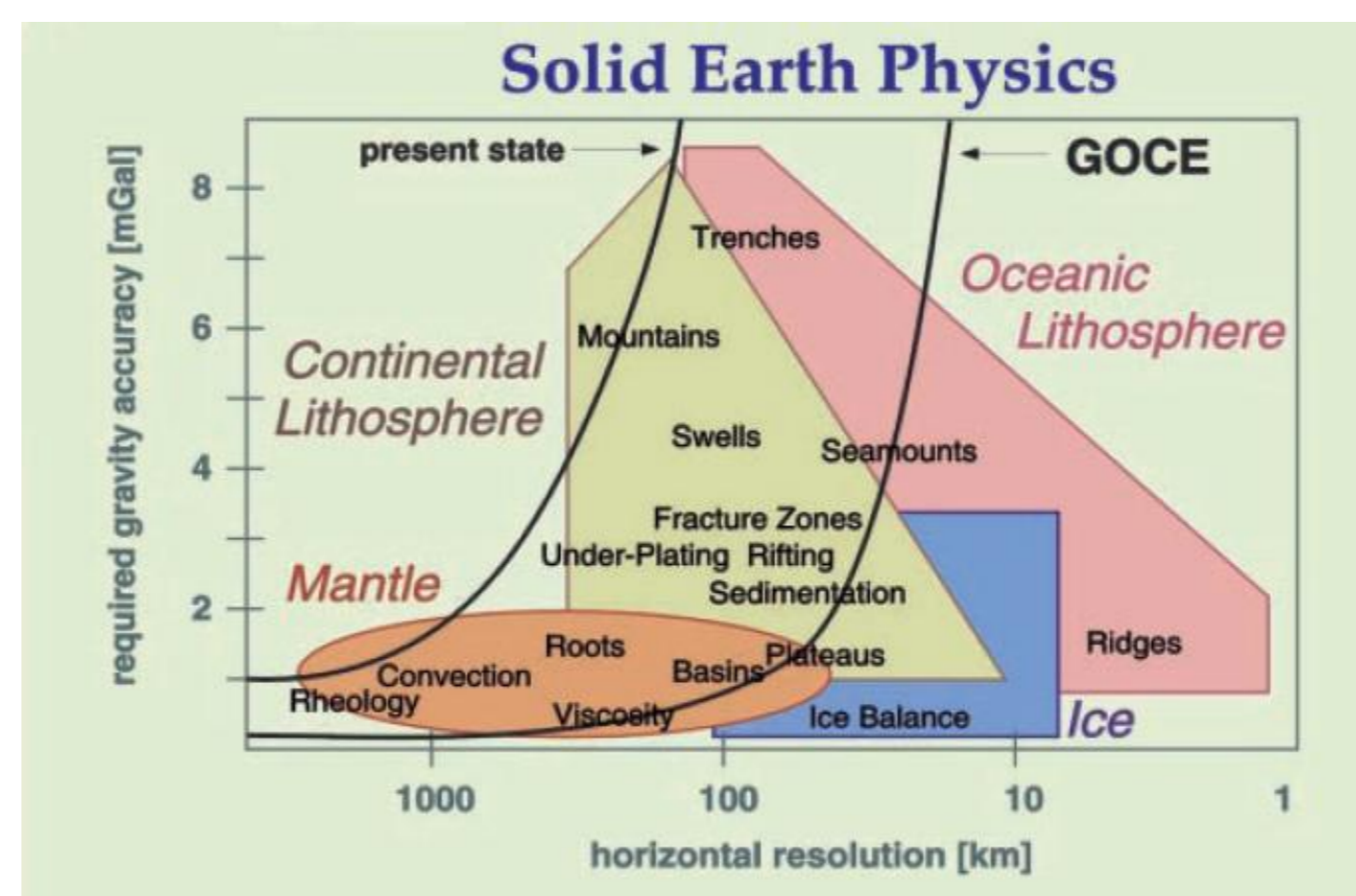


「かぐや」[6]より4~5桁良い

いずれも既存の観測より数桁良い精度の測定。また、かなり高次の重力場まで観測可能になる。

3.2 サイエンスターゲットの考察

GOCEによる地球重力場観測のサイエンス[7] から引用



固体惑星物理: マントル、陸圈、海底地形のさまざまな物理現象

水循環: 熱帯雨林や様々なスケールでの海流

地表~地殻でダイナミックな変動のある、金星や火星で面白い観測ができる可能性?

- 例 ・火星 → 極冠の氷の循環とその季節変動、コアの状態など
- ・金星 → 厚い大気の下での地殻状態、火山活動、マントルの動きなど

要検討: 海や大気が地球とは違う惑星で、GOCE並みの観測によって何がみえるのか?

3.3 その他の応用

・精密な惑星大気モデルの構築

ドラッグフリー制御により 大気抵抗を打ち消す
→ 惑星の上層大気密度が詳細に計測できる
→ 惑星大気の物理、Aerobraking 等に役立つ?

・探査機搭載USOの精度向上

搭載超高安定レーザーは、周波数標準でもある
→ 光コムにより電波周波数と同期させれば、USOと同等
cf.) Planet-C 搭載 USO : アラン分散 $\sim 10^{-13}$ (1-100 sec)
→ 2桁程度向上できる可能性
→ 軌道決定の精度向上、惑星大気温度分布測定、etc.

3.4 DPFとの技術的な比較

DPFとの違い項目	地球周回軌道	惑星周回軌道
GPS	あり	なし
大気モデル	詳細あり	大まかなもの
地上の支援	詳細な軌道決定あり	難しい

- ・軌道決定・制御
- ・姿勢安定化
- ・熱環境
- ・データ通信

→ いずれも難易度上昇

DPFミッション部: ~200kg → 軽量化の必要性?

References

- [1] R. Rummel, et al: *Publ. Geodesy*, **39** (1993).
- [2] E. Schrama: *Publ. Geodesy*, **33** (1989).
- [3] A. S. Konopliv, et al: *Icarus*, in Press (2010).
- [4] A. S. Konopliv, W. B. Banerdt, and W. L. Sjogren: *Icarus*, **139** 3-18 (1999).
- [5] A. Milani, et al: *Planetary and Space Science*, **49** 1579-1596 (2001).
- [6] K. Matsumoto, et al: *J. Geophys. Res.*, **115** E06007 (2010)
- [7] H. Rebhan, M. Aguirre, and J. Johannessen: *ESA Earth Observation Quarterly*, (July 2000)