

D P F による地球重力場観測

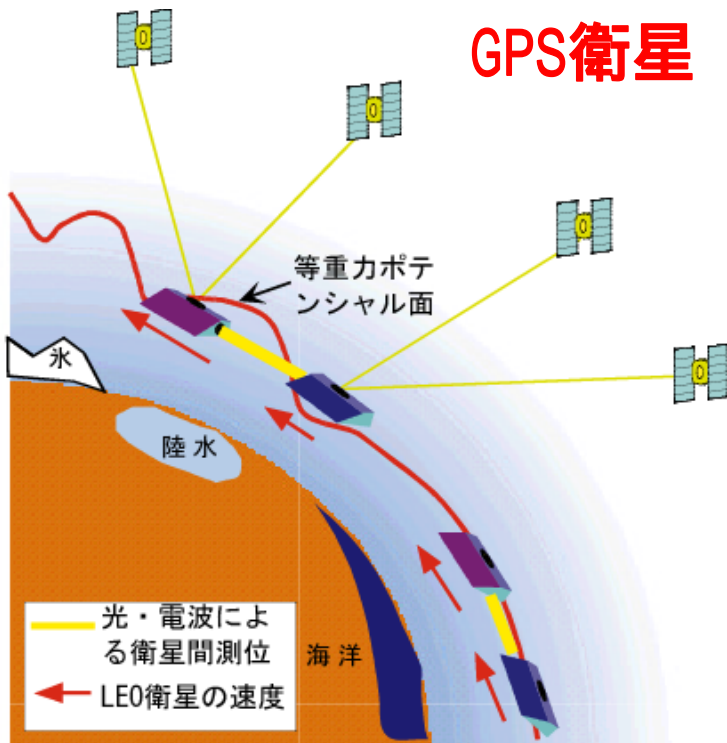


新谷昌人 (東大地震研究所)

- D P F による重力場観測の可能性
- 論点等

衛星による地球重力場観測（衛星重力ミッション）

... 人工衛星の軌道から地球重力ポテンシャルを検知。
軌道検知用GPS受信機等および加速度計で構成。



地球重力場観測の意義

Globalな重力ポテンシャルの決定

-> 密度分布のモニタ

- ・ 地球規模の水の監視技術
（海洋・陸水・氷床等）

地球環境モニタ

- ・ 地震・火山噴火にともなう
地殻変動の検知・予測

重力ミッション用衛星

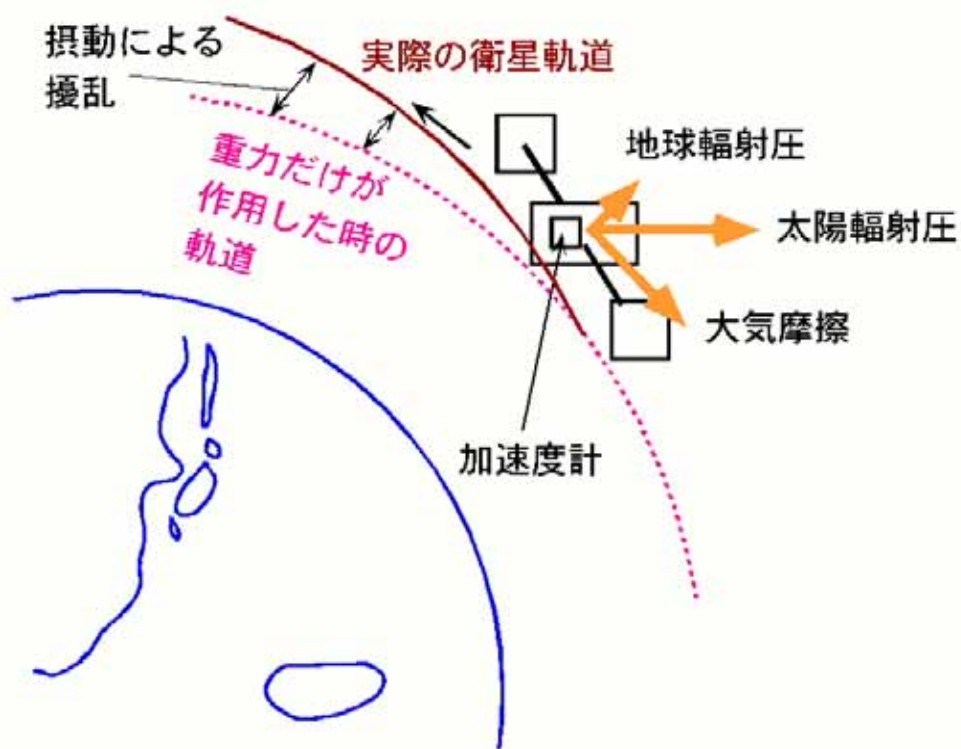
- drag-free 衛星 + GPS受信機 (位置情報)

あるいは

- 通常衛星 + GPS受信機 (位置情報)
 - + 加速度計 (dragの検知)
-

加速度計による非重力擾乱の補正

非重力擾乱 . . . 大気抵抗、太陽・地球輻射圧 ($10^{-5} \sim 10^{-8} \text{m/s}^2$)



加速度計による衛星軌道補正

衛星軌道のdrag

-> 衛星搭載加速度計で
非重力擾乱を検知、
dragを補正

精度 $\sim 10^{-11} \text{m/s}^2$
(0.1mm/周回に相当)
-> ジオイド分解能

DECIGOパスファインダー (DPF)

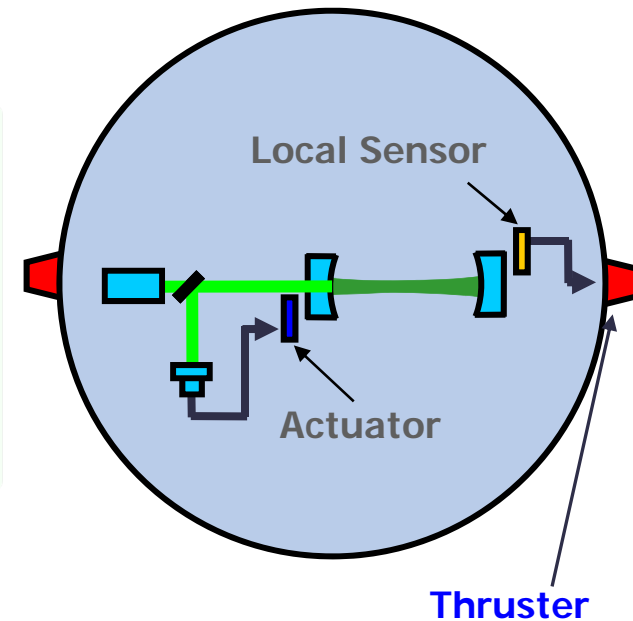
小型衛星 1 機 (95cm立方x2, 350kg)

地球周回軌道 (高度 500km, 太陽同期軌道)

フリーマス x2 → 基線長30cmのFP共振器

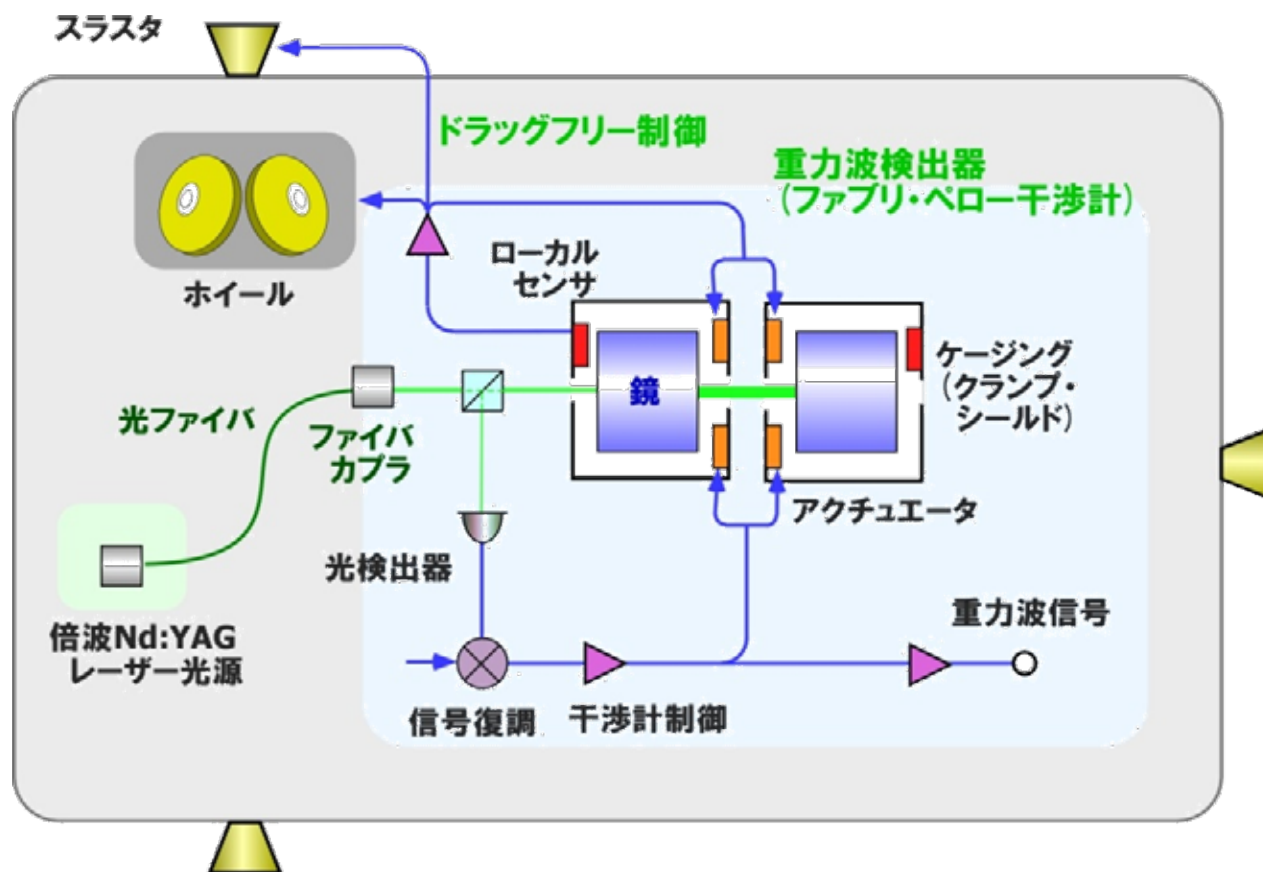
レーザー光源とその安定化システム

ドラッグ・フリーの組み込み



D P F の構成

- Fabry-Perot共振器 + drag free制御による重力波検出



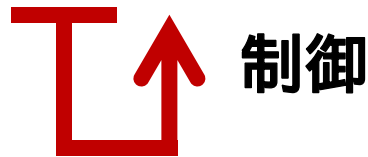
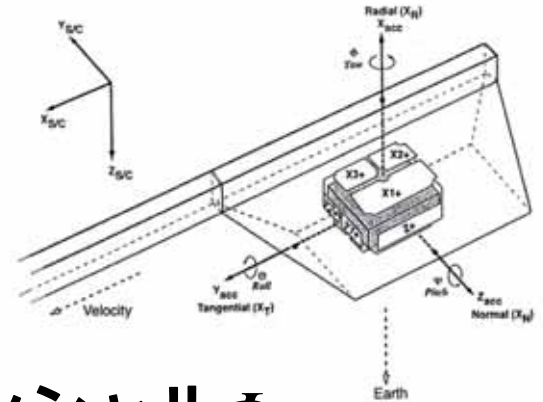
D P F による重力場観測

1 . C H A M P 方式

テストマスの位置制御 - > 非重力擾乱の検出

G P S による軌道情報 (x)、重力ポテンシャル ϕ

$$\begin{aligned}V_{X1*} &= V_X + V_\theta \\V_{X2*} &= V_X - V_\theta + V_\psi \\V_{X3*} &= V_X - V_\theta - V_\psi \\V_{Y1*} &= V_Y + V_\theta \\V_{Y2*} &= V_Y - V_\theta \\V_{Z*} &= V_Z\end{aligned}$$



$$\frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \phi = \text{const.}$$

摂動近似 - >

非重力加速度 (a_{ext}) $\sim 10^{-5} \text{m/s}^2$

(太陽輻射圧、大気抵抗等)

(Drag-free制御を使わない場合)

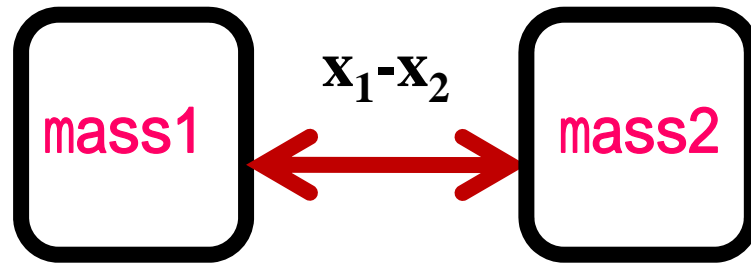
Drag-freeの連続使用時間？

$$\Delta \left(\frac{dx}{dt} \right) \propto \Delta \phi$$

D P F による重力場観測

2 . G R A C E 方式

Fabry-Perotによる相対位置検出 (x_1-x_2)



平均距離 L_{av}

$$\varepsilon = \frac{x_1 - x_2}{L_{av}} \quad \text{時間変動} - \> \quad \frac{d\varepsilon}{dt} \propto \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r} \right)^{l+1} \bar{P}_{lm}(\sin \phi) (\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{lm} \sin(m\lambda))$$

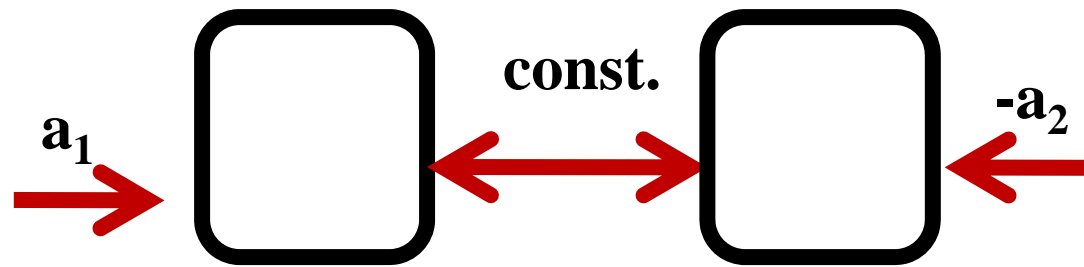
空間微分 - $\>$ 短波長成分が強調される

DPFによる重力場観測

3. GOCE方式



Fabry-Perot + 制御による加速度勾配検出 ($a_1 - a_2$)



平均距離 L_{av}

$$\Delta a = a_1 - a_2 \quad - > \quad \frac{\Delta a}{L_{av}} \approx \frac{\partial g_x}{\partial x} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r}\right)^{l+1} \bar{P}_{lm}(\sin \phi) (\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{lm} \sin(m\lambda))$$

短波長がより強調。低軌道でないともリット少ない

論点等

1 . 検出方法

CHAMP(ϕ)、GRACE($\frac{\partial\phi}{\partial x}$)、GOCE($\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}$)

その他 (新方式?、未測定物理量)

・ 狙うサイエンス

static (測地系)、時間変動 (水、地震、火山)

空間波長・次数 (低次 - > global、高次 - > 表層)

その他 (未観測領域、1点勝負)

・ 差別化

小型衛星（安い、早い）を活かした観測

数を増やせる - > 時間・空間分解能の向上

Challenging mission（使い捨て？）

モジュール化(GPS+加速度計) - > 他ミッションに
相乗り

・ リソース

人員（開発・運用）

- ・・・ GW系（開発メイン、地上計画との両立？）
- ・・・ 地物系（解析メイン？、開発？）
- ・・・ 運用・データ公開（？）

・ リソース

予算? . . . JAXA (戦略的、機器開発、
小型衛星、、、)

技術 . . . 地上干渉計 (Fabry-Perot、
マイケルソン干渉計)
安定化レーザー、制御

宇宙仕様 (耐振、真空、熱、放射線) ?

低周波信号 (0.01Hz以下) ?

500km軌道->90分周期->70秒で500km

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r}\right)^{l+1} \bar{P}_{lm}(\sin \phi) (\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{lm} \sin(m\lambda))$$

評価方法 . . . 地上では限界あり

・スケジュール

B B M、E M、F M . . . 各 1 ~ 2 年 ?

- > 遅くとも打ち上げ 3 ~ 4 年前には B B M 完成 ?

3 号機 . . . 2 0 1 5 年 ?

新規開発項目は難 ?

進行中

- ・安定化レーザー
- ・ハウジング
- ・レーザーセンサー (- > CHAMP方式想定)