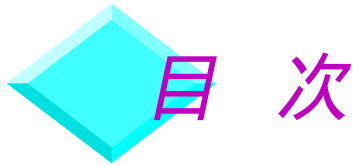


ジョイントシンポジウム
「衛星重力観測と衛星アルティメトリーの新時代」
国立天文台水沢観測センター
2001年8月6日

衛星重力ミッションデータを如何に利用するか

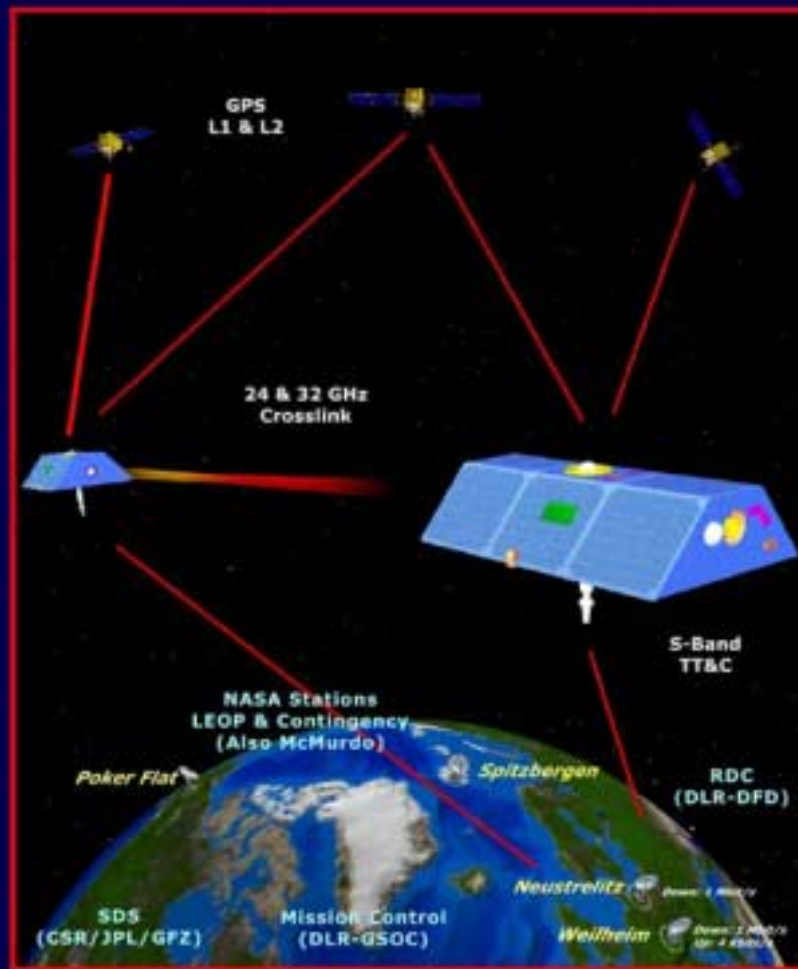
京都大学大学院理学研究科
福 田 洋 一



目次

- GRACE のレビュー
 - Data Products
 - Degree Variance による精度見積もり
- GRACE が感じる重力場
 - 軌道 450 km の重力異常とジオイド
 - 軌道に沿っての重力場変化
- GRACE データのシミュレーション
 - 軌道に沿っての静的重力場
 - 気圧の重力効果
 - 水荷重による重力効果

GRACE Mission



GRACE Mission

Science Goals

High resolution, mean & time variable gravity field mapping for Earth System Science applications.

Mission Systems

Instruments

- KBR (JPL/SSL)
- ACC (ONERA)
- SCA (DTU)
- GPS (JPL)

Satellite (JPL/DSS)

Launcher (DLR/Eurockot)

Operations (DLR/GSOC)

Science (CSR/JPL/GFZ)

Orbit

Launch: November 2001

Altitude: 485 km

Inclination : 89 deg

Eccentricity: ~0.001

Lifetime: 5 years

Non-Repeat Ground Track

Earth Pointed, 3-Axis Stable



GRACEのデータ

- Level 0 data センサーデータ

 - K-Band Phase Data 10Hz sampling

 - GPS Data(Orbit Det.) 1Hz sampling

 - GPS Data(Occultation) 50 Hz sampling

- Level 1 data

 - K-Band Ranging (Biased Range & Derivatives) ~5s sample rate

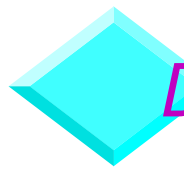
 - Geophysical Corrections(データ、ソフト)

 - 地球潮汐、海洋潮汐、大気、...

- Level 2 data

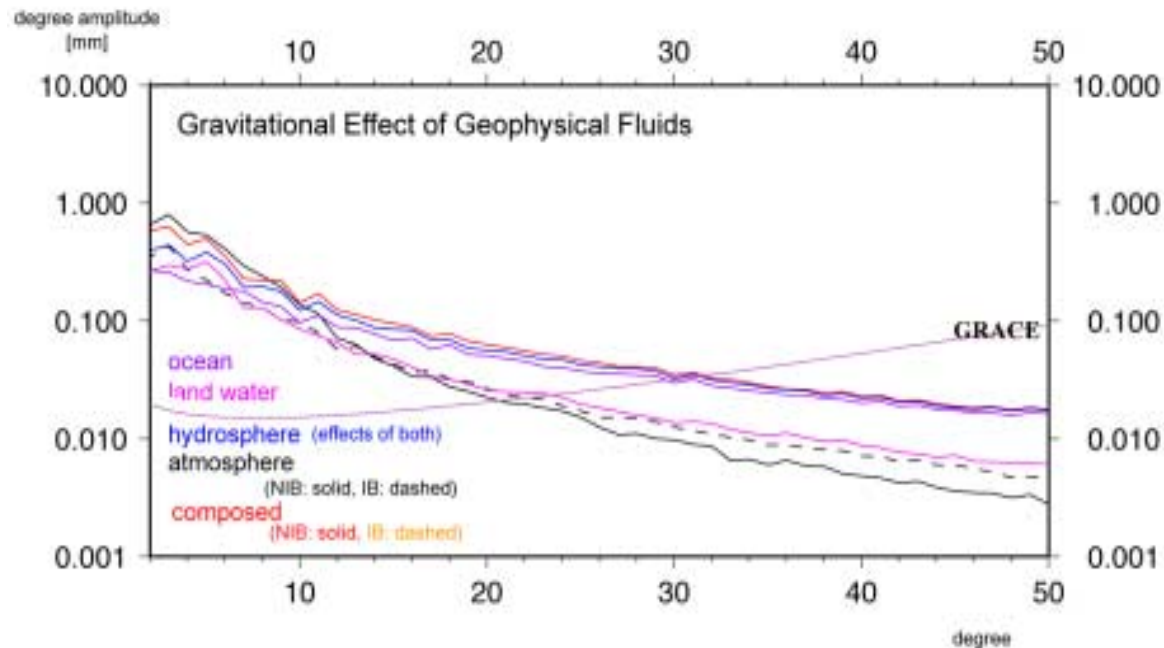
 - 重力場球面調和関数係数(Stokes係数) 時系列

 - 100次 / 1~2ヶ月



Degree Varianceとしての精度の見積もり

測定誤差の伝播と重力場の打ち切り誤差の影響に基づく統計的な評価
(Jekeli and Rapp, 1980)



- 時間分解能については直接にも触れていない
- 高度と空間分解能(グリッドサイズ)
- 時間分解能は上を達成するための間接的な条件



Commission Error

$$m(N) = \frac{R}{\sqrt{\gamma(R+h)}} \sqrt{\frac{\Delta\sigma}{4\pi}} \underline{m(\Delta V_H)} \left[\sum_{n=2}^{n_{\max}} \frac{\beta_n^2 (2n+1)}{2(1-P_n(\cos \underline{\psi_{pq}}))} \left(\frac{(R+h)^2}{R^2} \right)^{n+1} \right]^{1/2}$$

$m(\Delta V_H)$: range rate error

$\underline{\psi_{pq}}$: Satellite Separation

h : altitude

$= d1 * d2$ (radians)² : area element

$d1$: along trace intervals

$d2$: orbit spacing

重力場変動成分の見積もり

$$\begin{pmatrix} \Delta \overline{C}_{l,m}(t) \\ \Delta \overline{S}_{l,m}(t) \end{pmatrix} = \frac{3}{4\pi} \frac{1+k_l'}{2l+1} \frac{1}{R\rho_{ave\ Earth}} \iint \Delta\rho(\theta, \lambda, t) P_{l,m}(\cos\theta) \begin{pmatrix} \cos m\lambda \\ \sin m\lambda \end{pmatrix} d\sigma.$$

: 面密度の変化

大気、海洋、陸水などの質量変化を であらわす。



Degree Varianceによる評価の問題点

- 軌道が全球を覆う間の速い変動成分が考慮されていない
- 変動成分が空間的に均質である保障がない
- 軌道方向により感度の違いが考慮されない

ノイズ・シグナルの見落しの可能性

精度・分解能を平均場 (degree variance)
としてではなく見積もること



衛星軌道に沿ったデータのシミュレーション

- 衛星軌道位置の計算

ケプラー軌道を仮定

軌道傾斜角89度, 離心率0.005, 平均高度450km

- 軌道上でのジオイド(衛星速度)の計算

グローバルモデル:

EGM - 96から軌道位置のジオイドを計算

ローカルモデル (日本周辺):

地表重力異常データ (S&S)を用い球面FFT法で軌道高度でのジオイドを計算

時間変動成分

表面気圧(1999年ECMWF, 6時間毎)データ軌道上のジオイドへの影響を計算

重力場変動による衛星の速度変化

$$\frac{1}{2} \hat{v}^2 - V = E$$

全運動エネルギーと位置エネルギー

$$\hat{v} = v_m + v$$

$$V = U + T$$

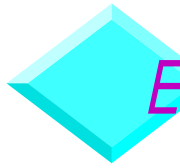
$$\frac{1}{2} v_m^2 - U = E$$

変動成分と平均成分に分解、
速度の2次の項を無視する

$$\underline{v} = \frac{T}{v_m} = \frac{\gamma N}{v_m} = \frac{T}{R} \sqrt{\frac{r}{\gamma}} = \frac{\sqrt{r \gamma}}{R} N \cong \underline{1.28 \times 10^{-3} N (m / s)}$$

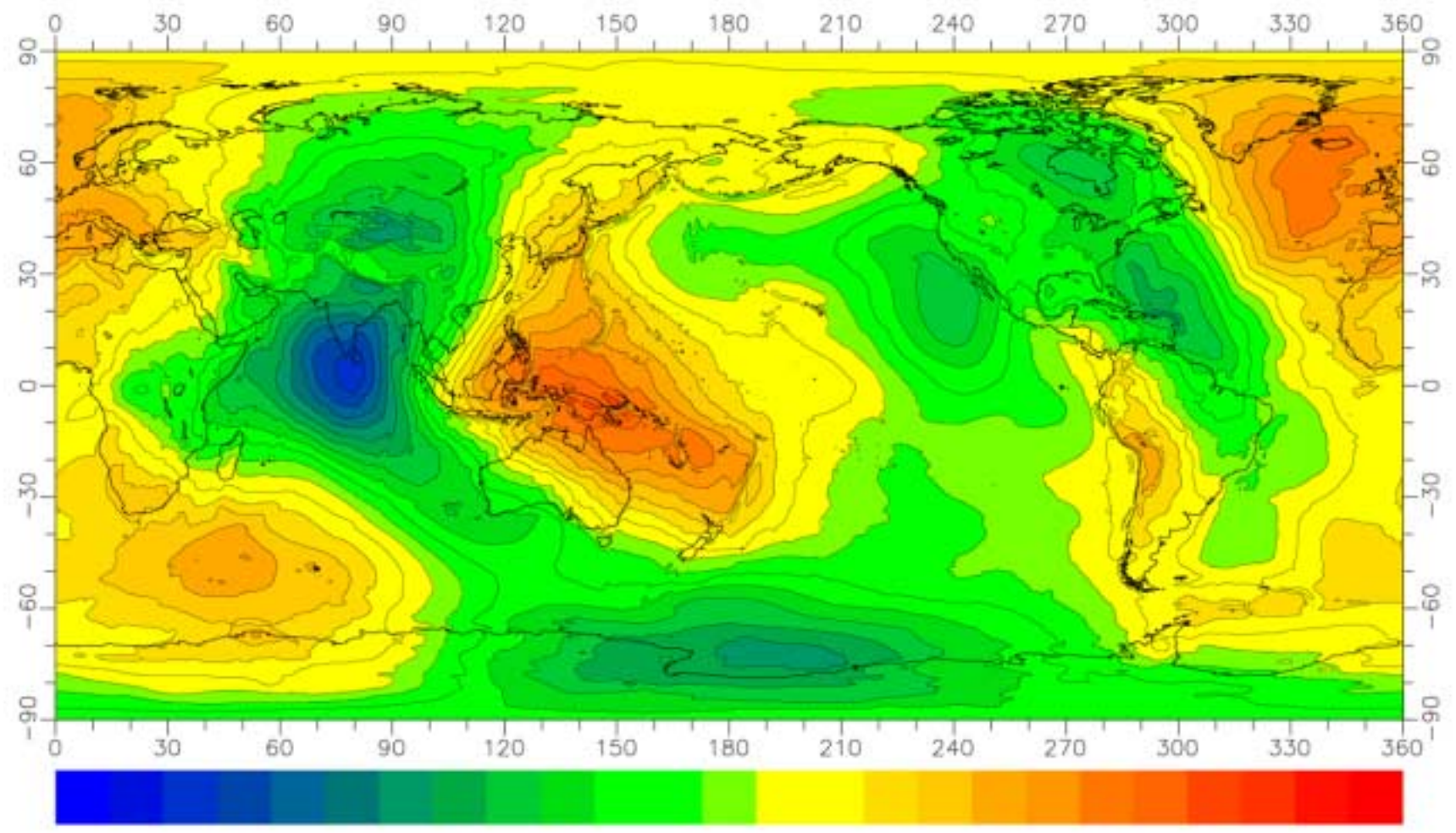
@450km

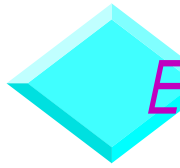
$$1 \text{ mmジオイド} = 1.28 \mu\text{m} / \text{s}$$



EGM96ジオイド(地表)

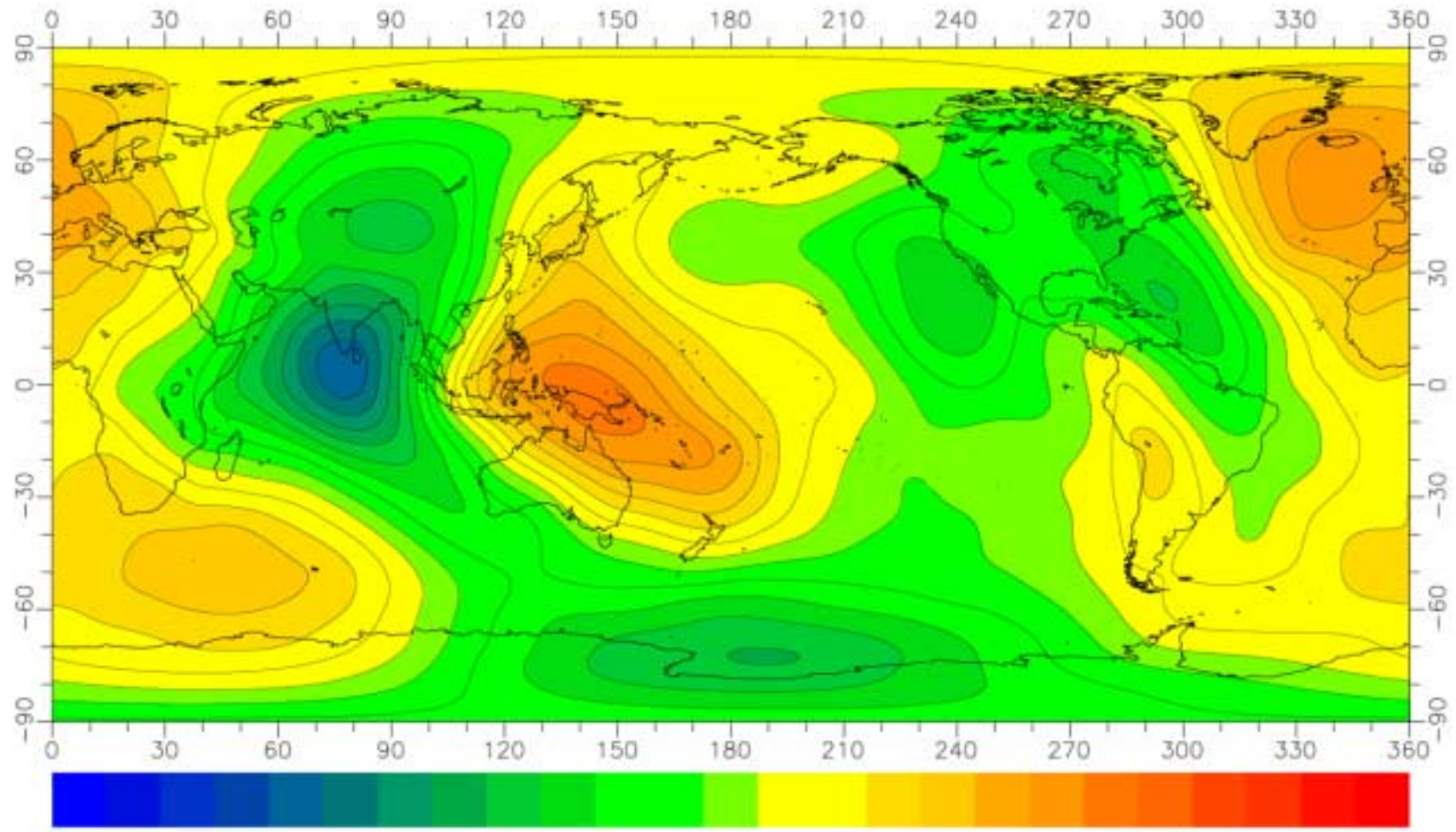
CI : 10m





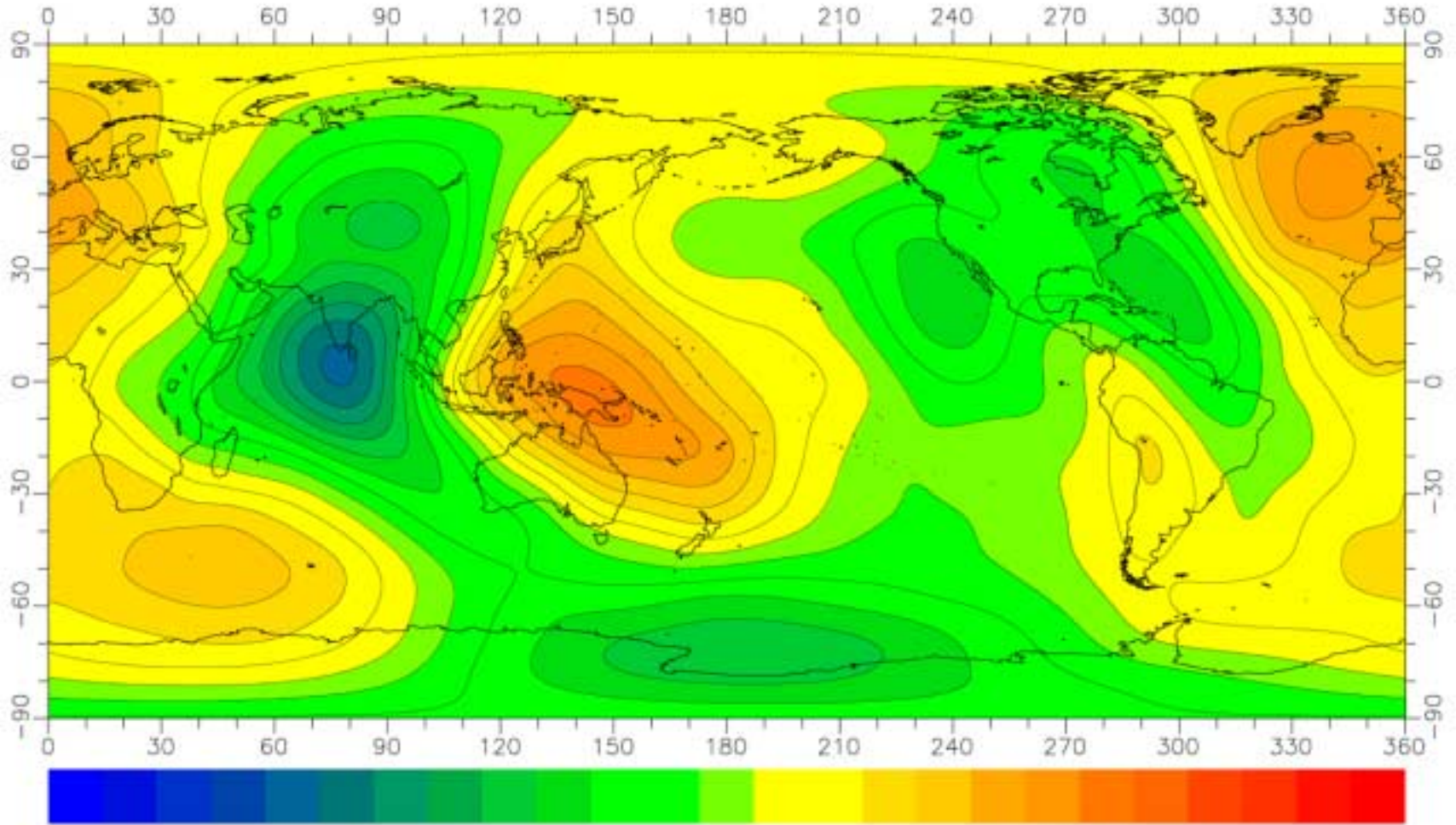
EGM96ジオイド($h=450\text{km}$)

CI : 10m

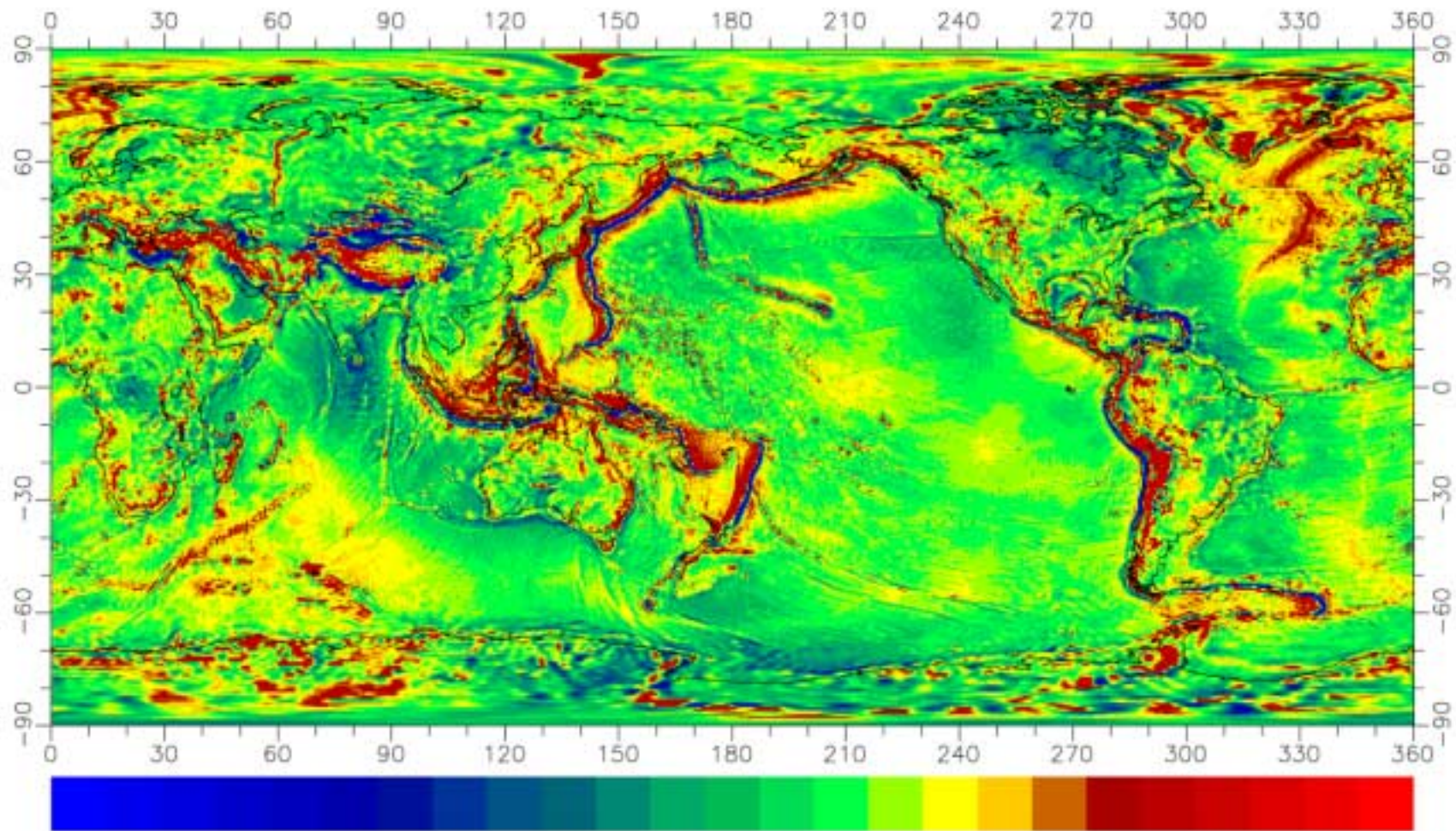


EGM96ジオイド($h=600\text{km}$)

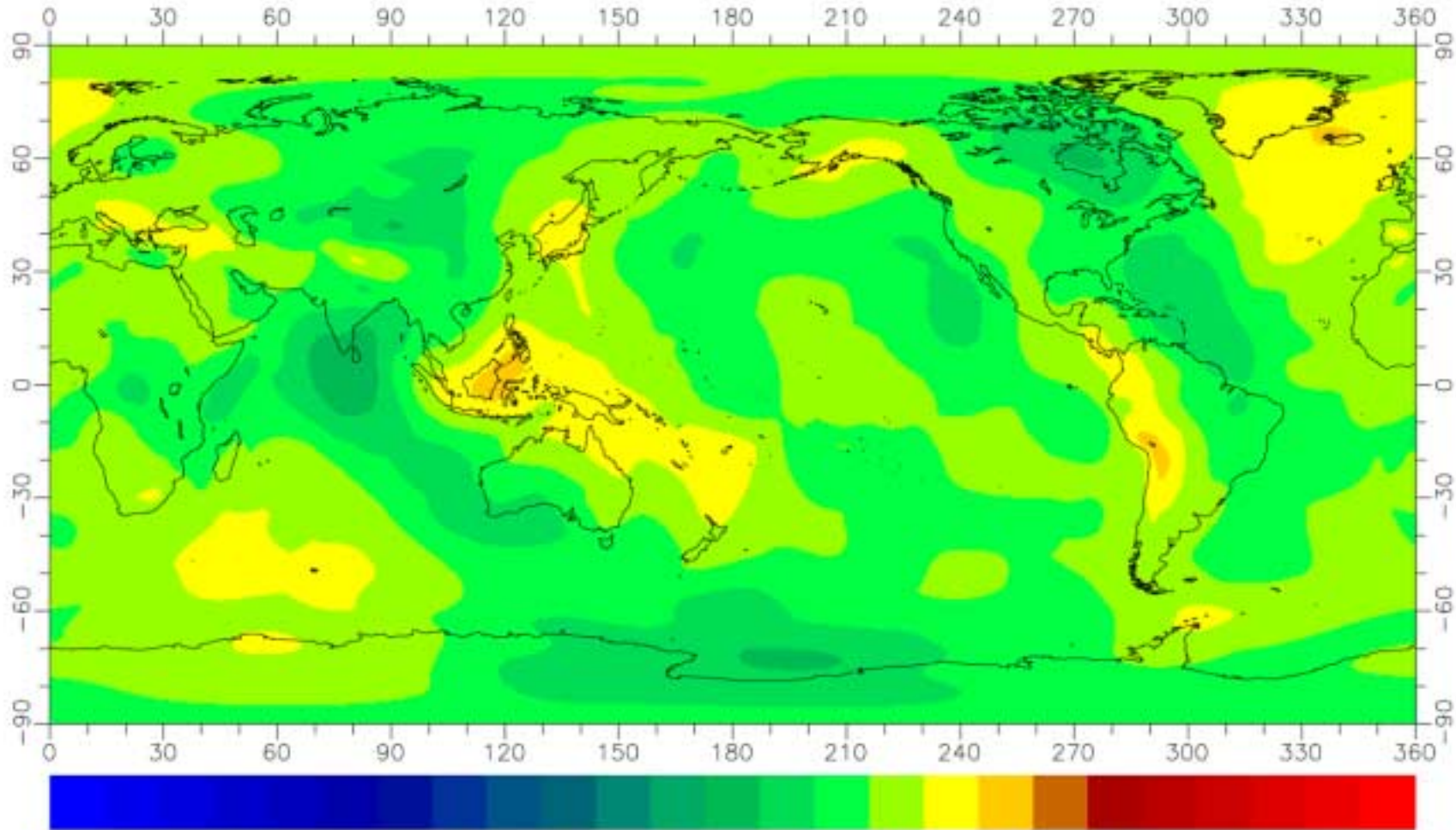
CI : 10m



EGM96重力異常(地表)

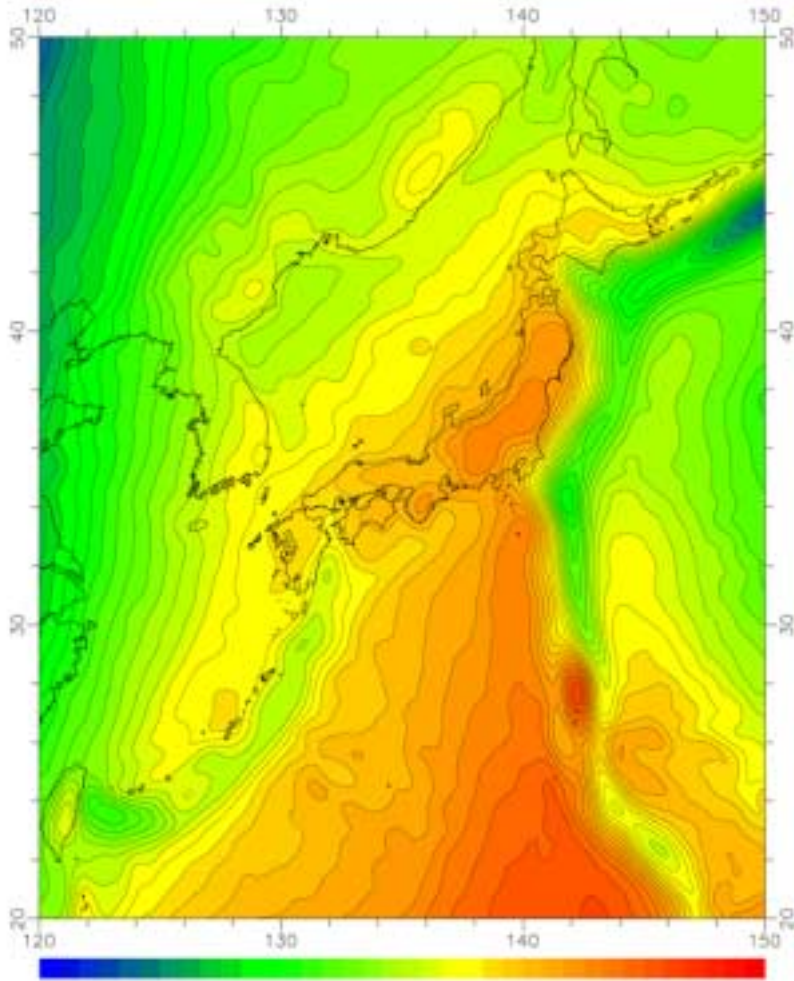


EGM96重力異常($h = 450\text{ km}$)

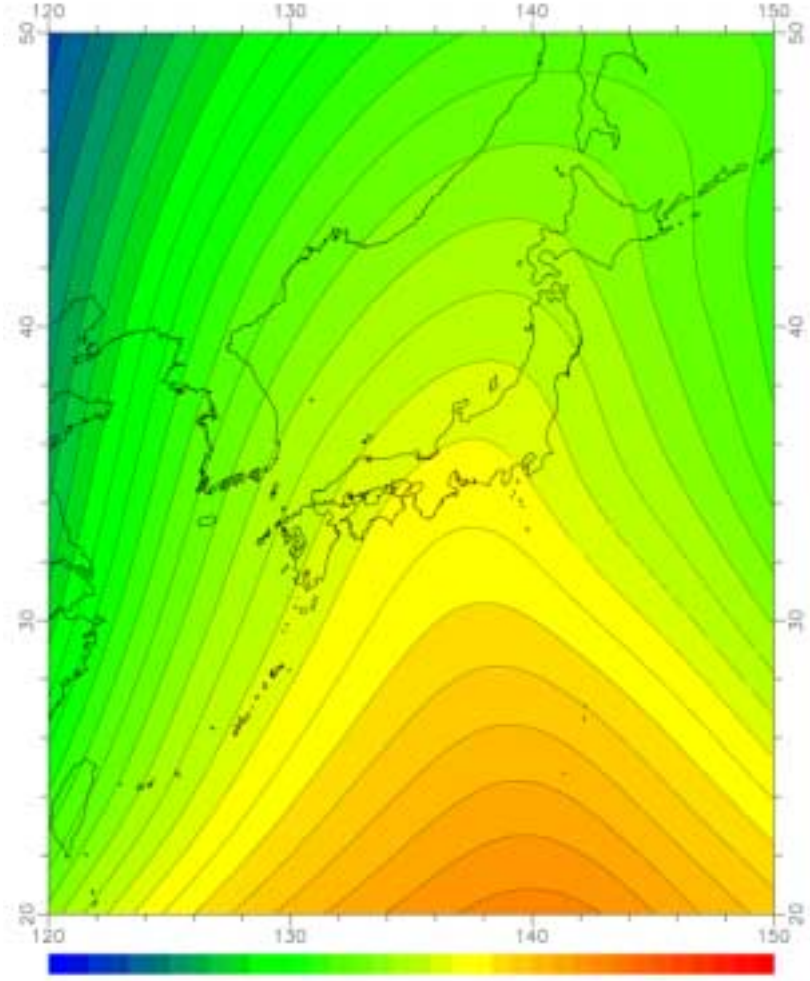


EGM96ジオイド(日本周辺)

CI : 2m



$h = 0$ km

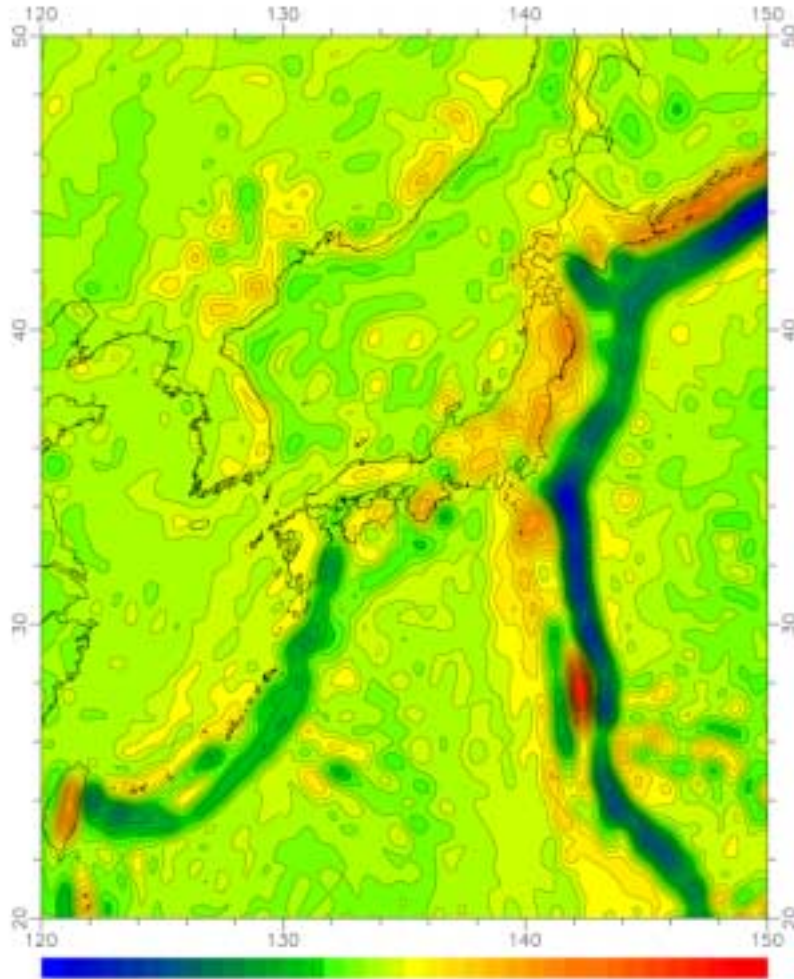


$h = 450$ km

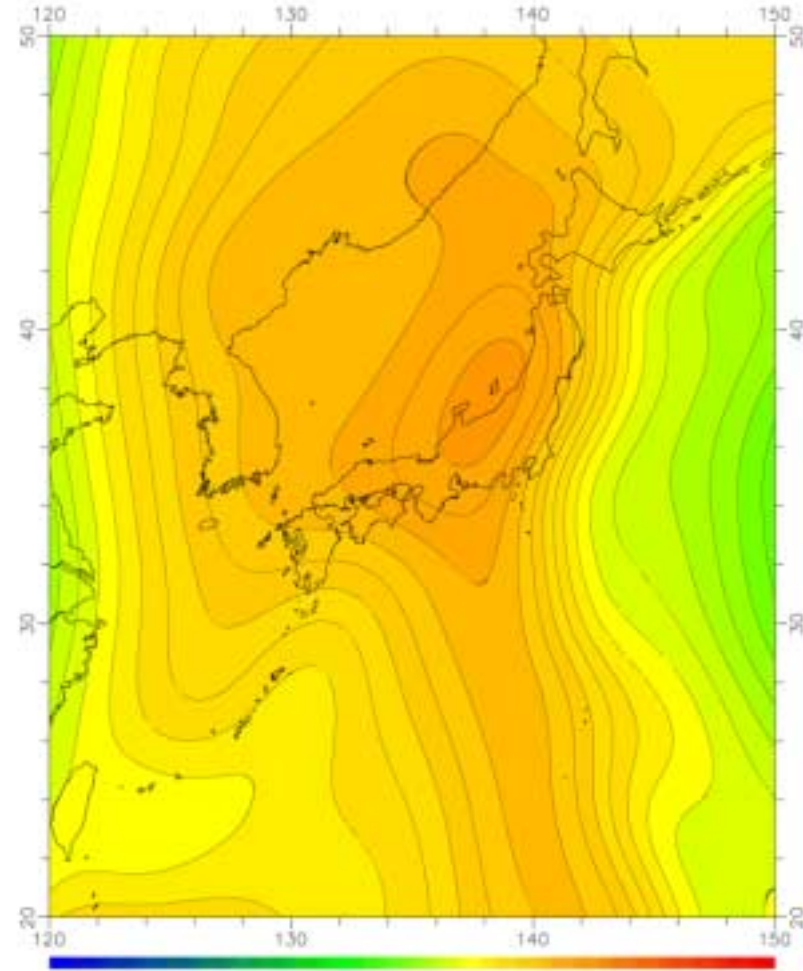
EGM96重力異常(日本周辺)

CI : 50mgal

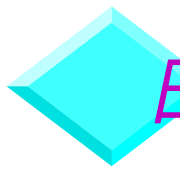
CI : 1mgal



$h = 0$ km

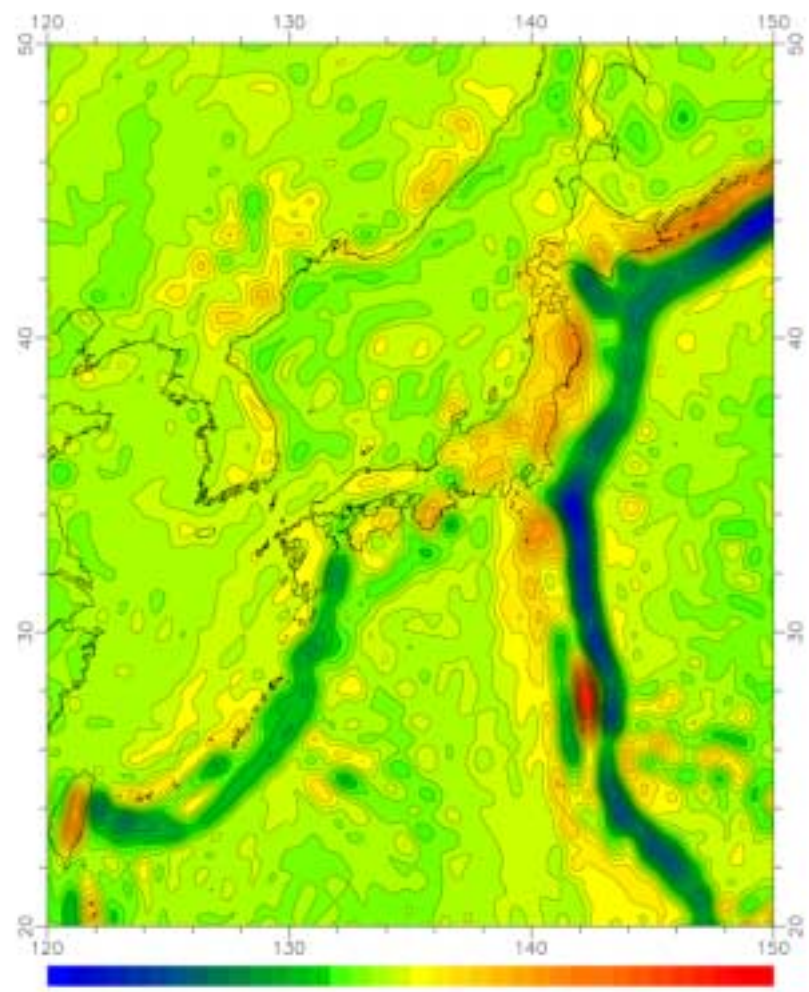


$h = 450$ km



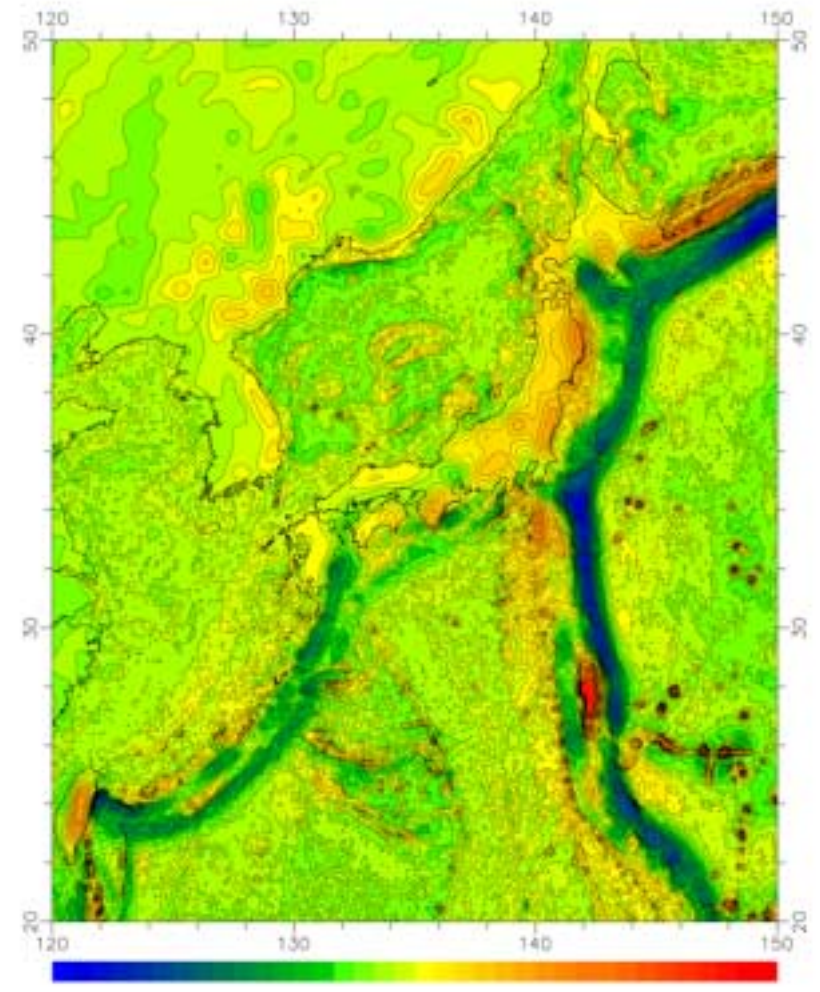
日本周辺の重力異常

CI : 50mgal



EGM - 96

CI : 50mgal

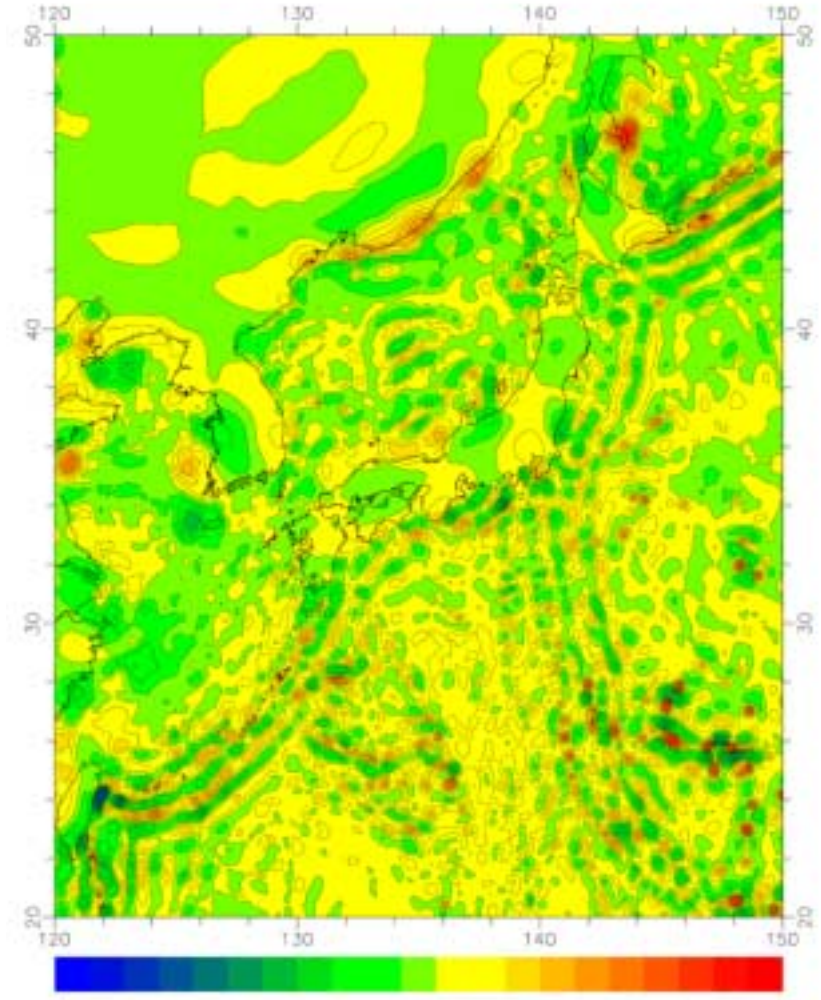


grav.img.9.1(Sandwell & Smith)

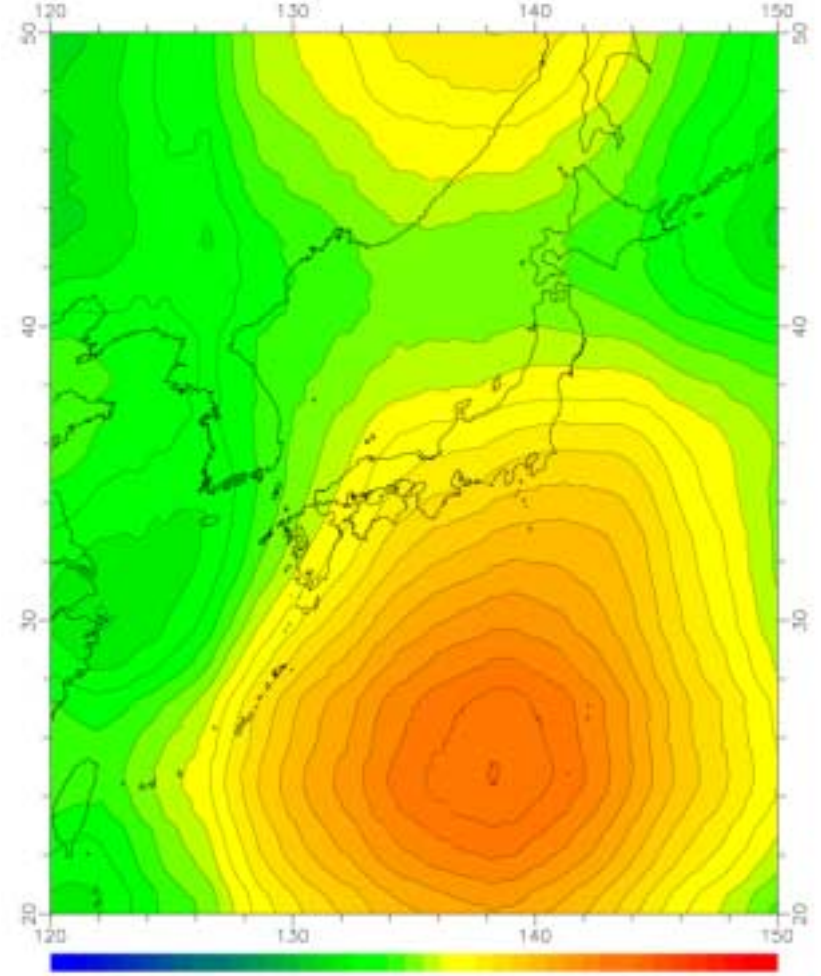
日本周辺の短波長ジオイド

CI : 20cm

CI : 5mm



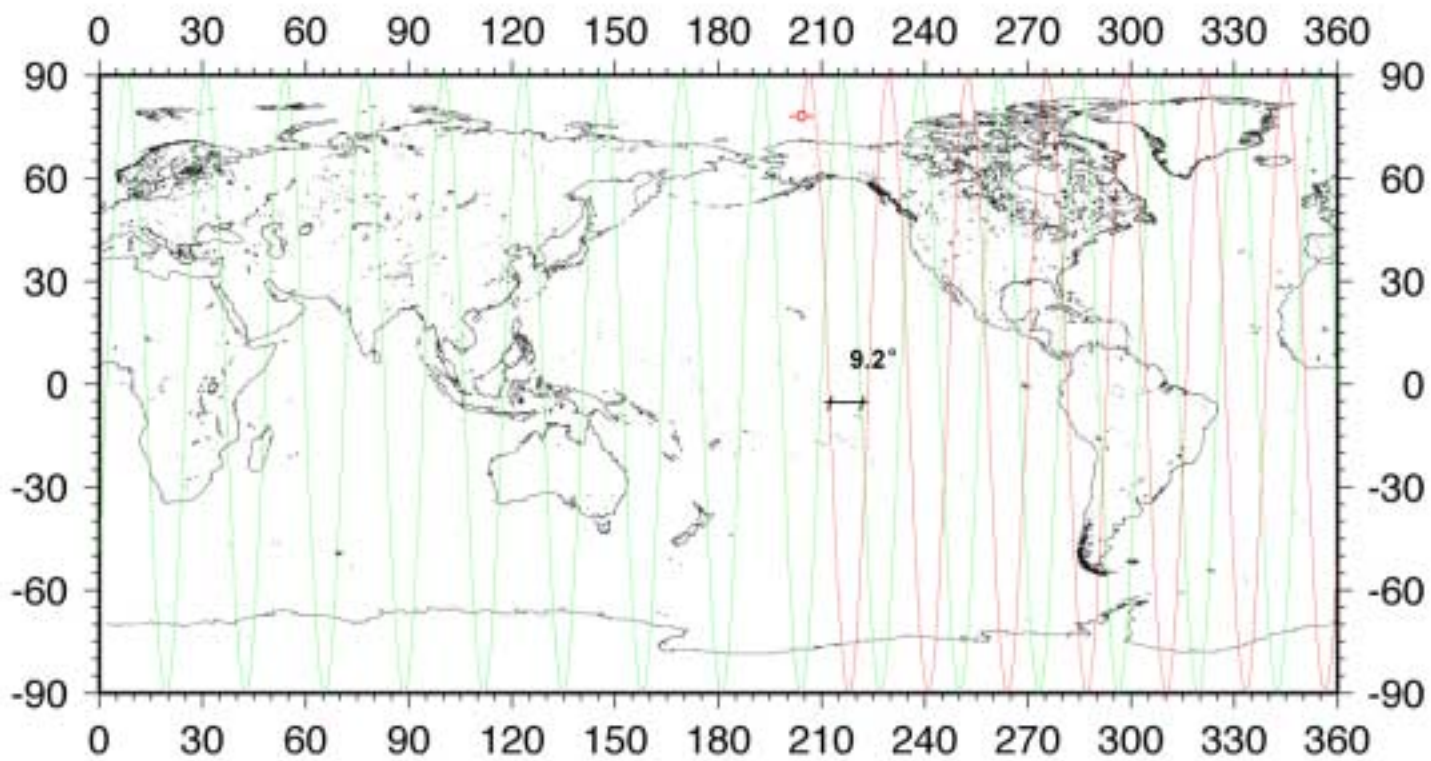
$h = 0 \text{ km}$



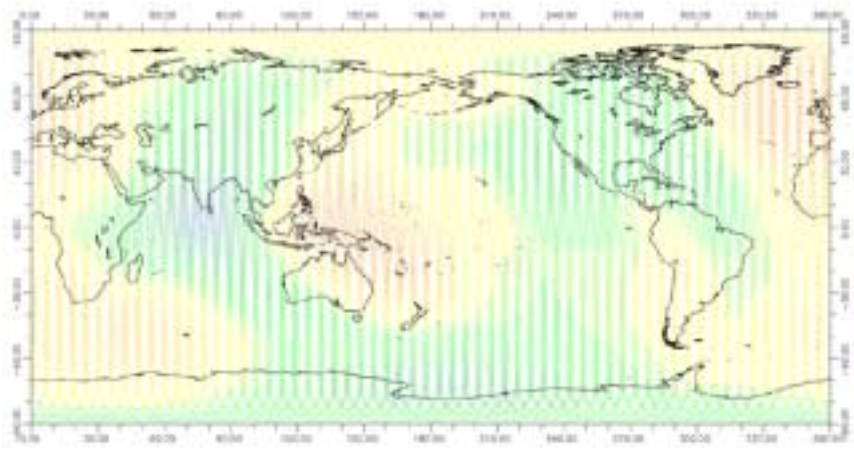
$h = 450 \text{ km}$

衛星軌道

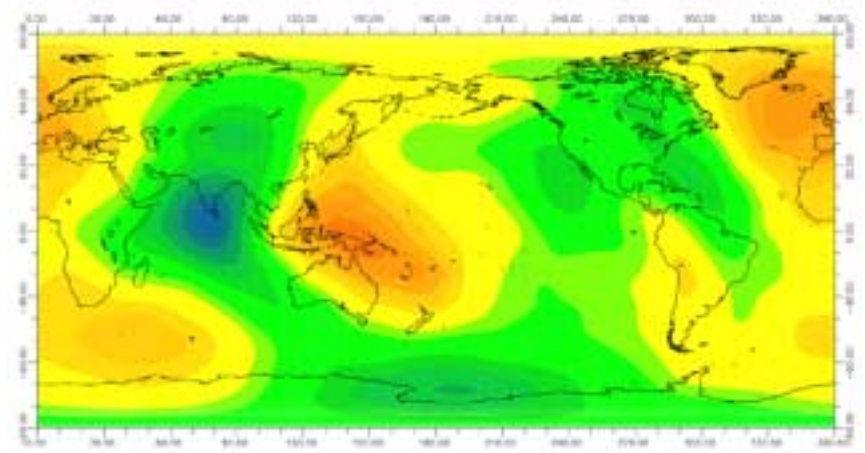
Across-track differences between two cycles



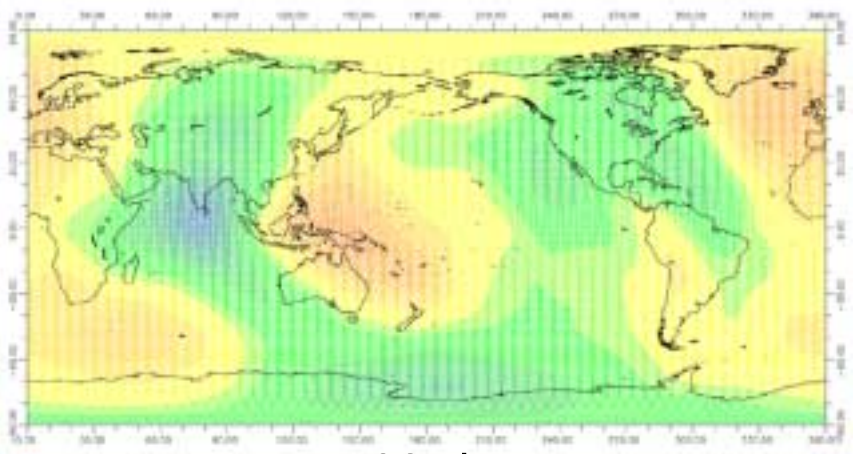
GRACEによる重力場の測定



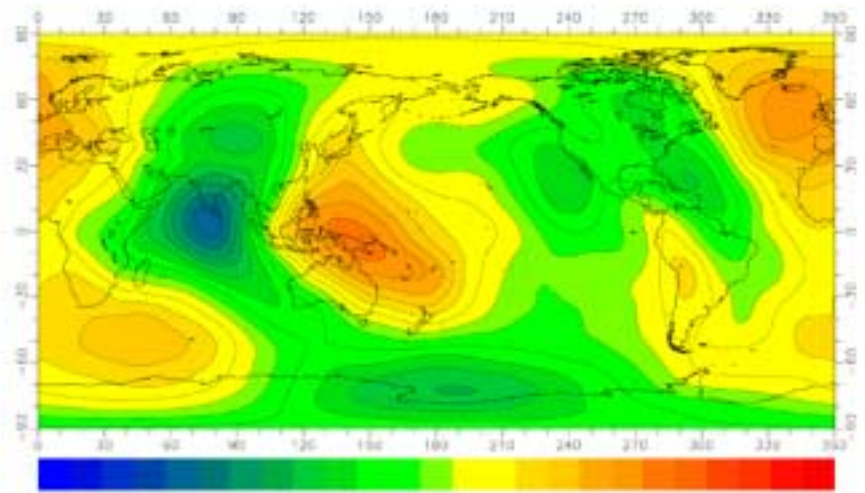
30 days



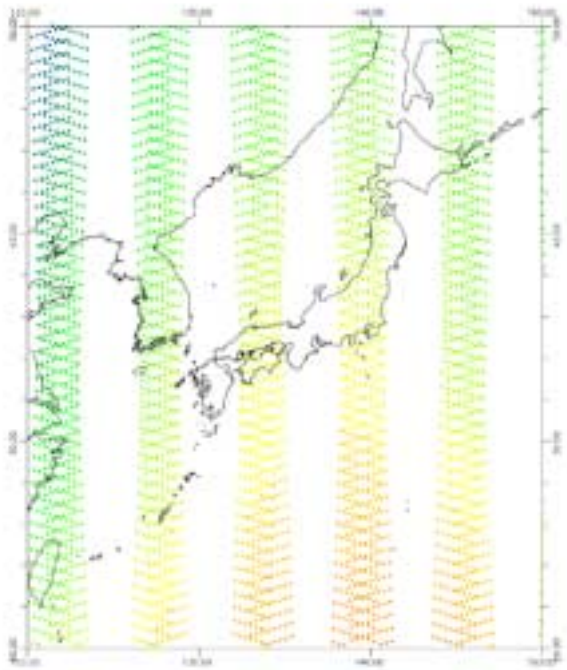
365 days



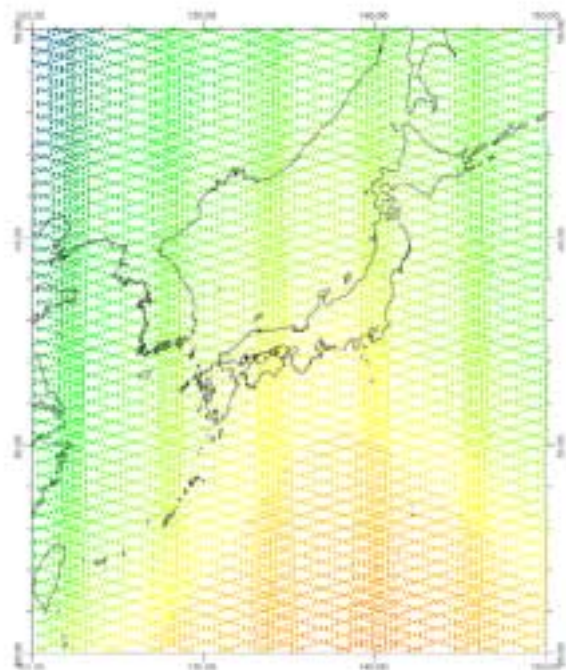
90 days



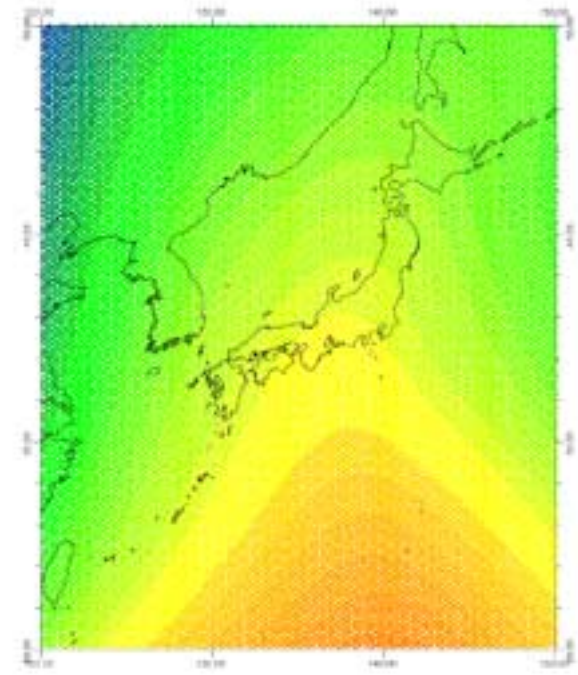
GRACEによる重力場測定(日本周辺)



30 days

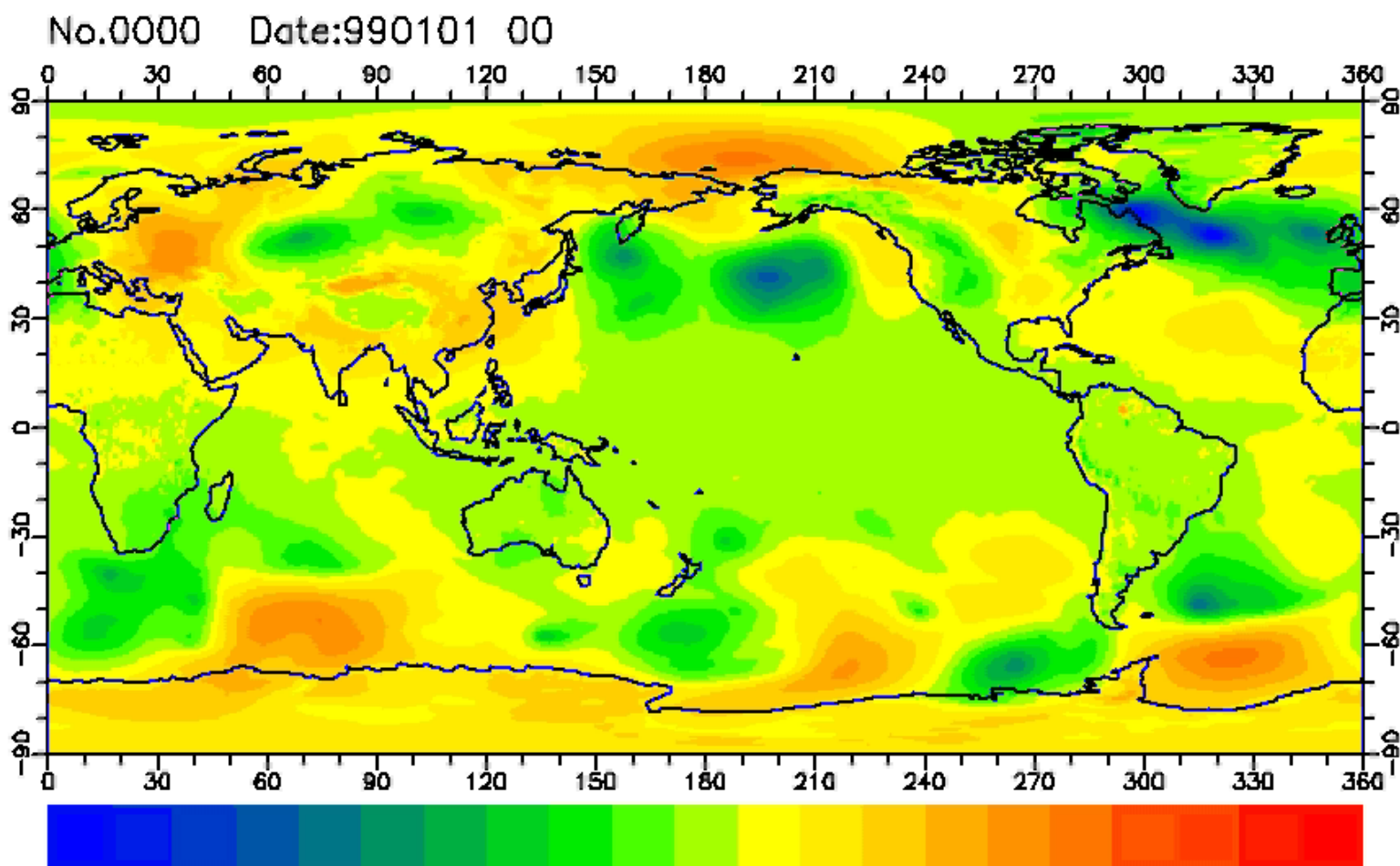


90 days

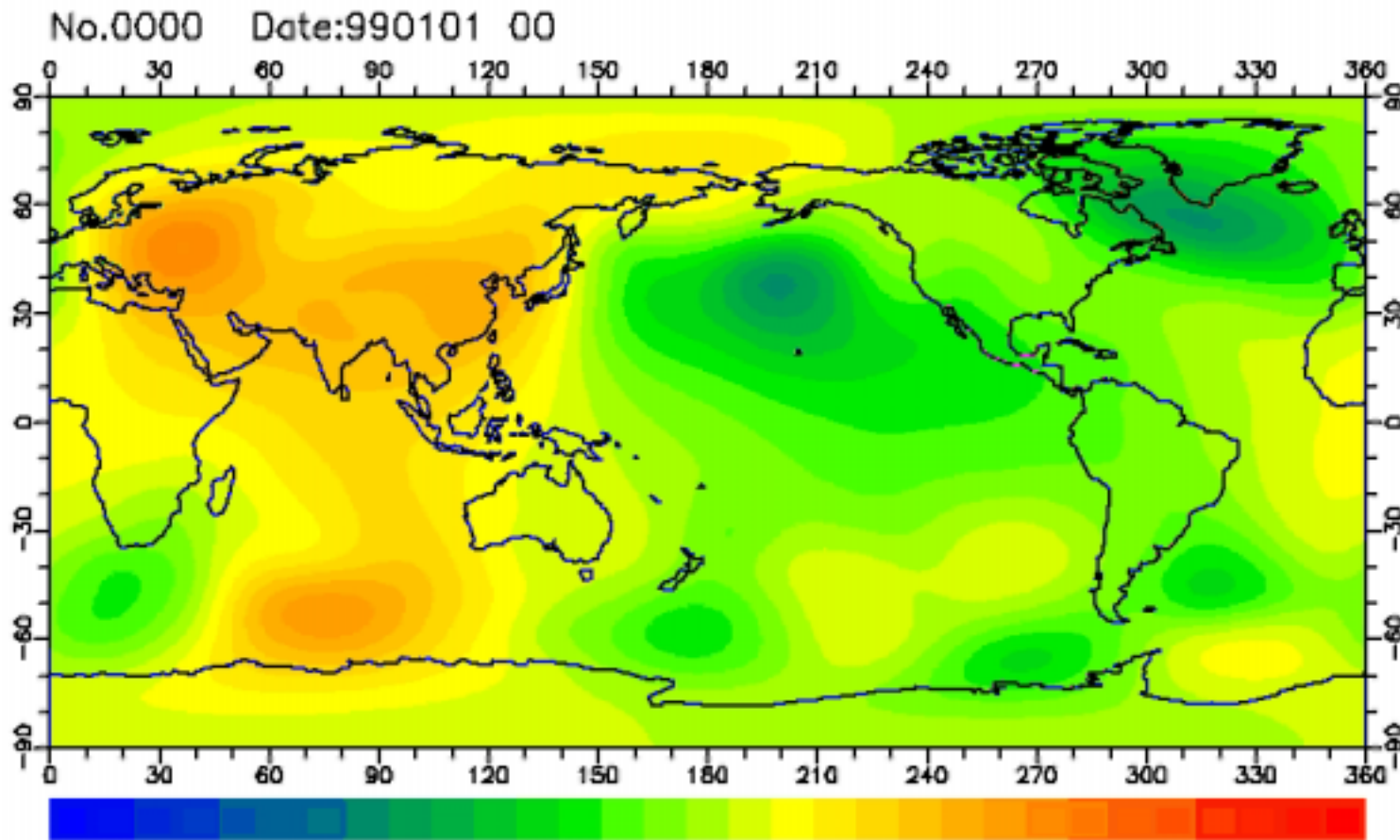


365 days

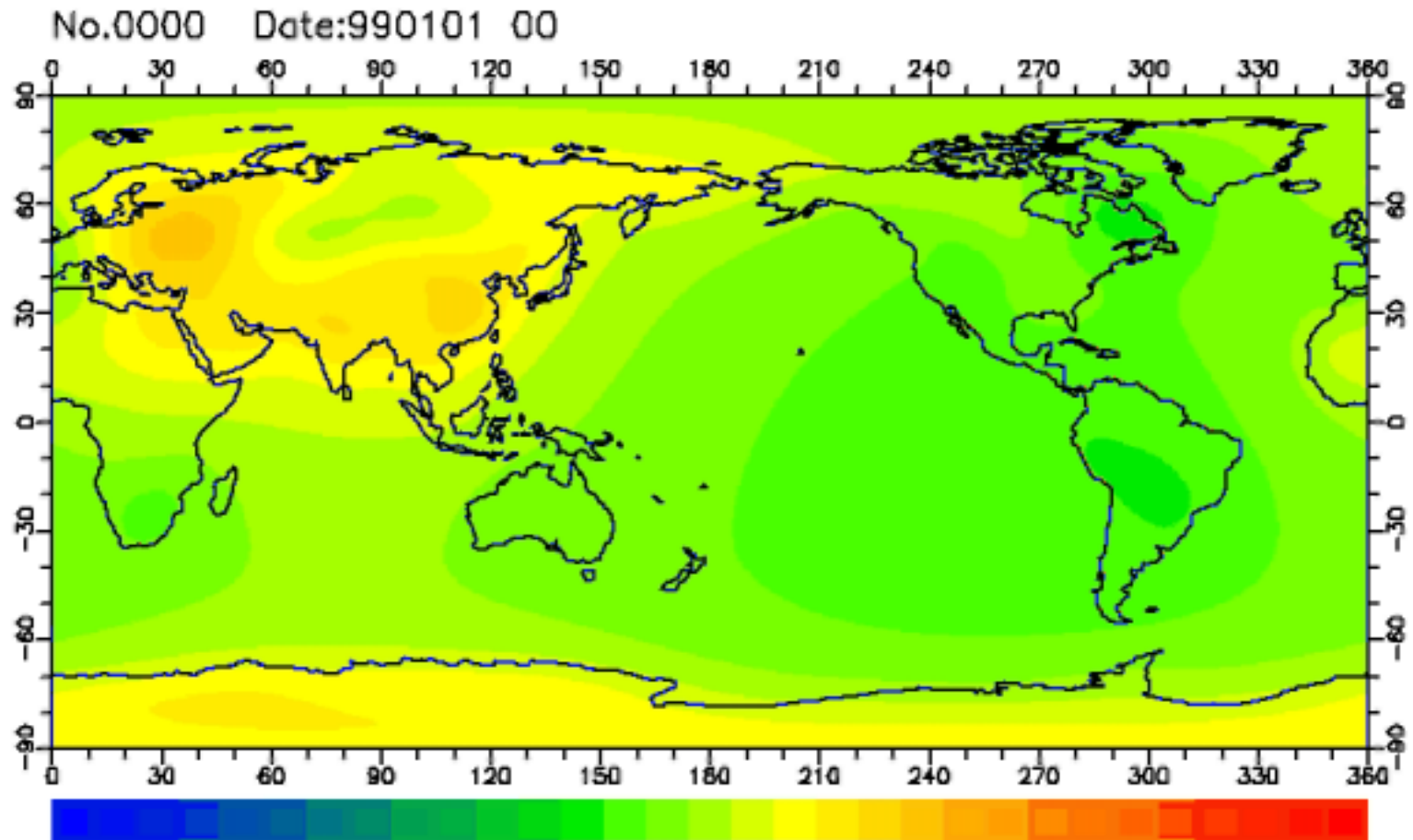
表面気圧 (変動成分)



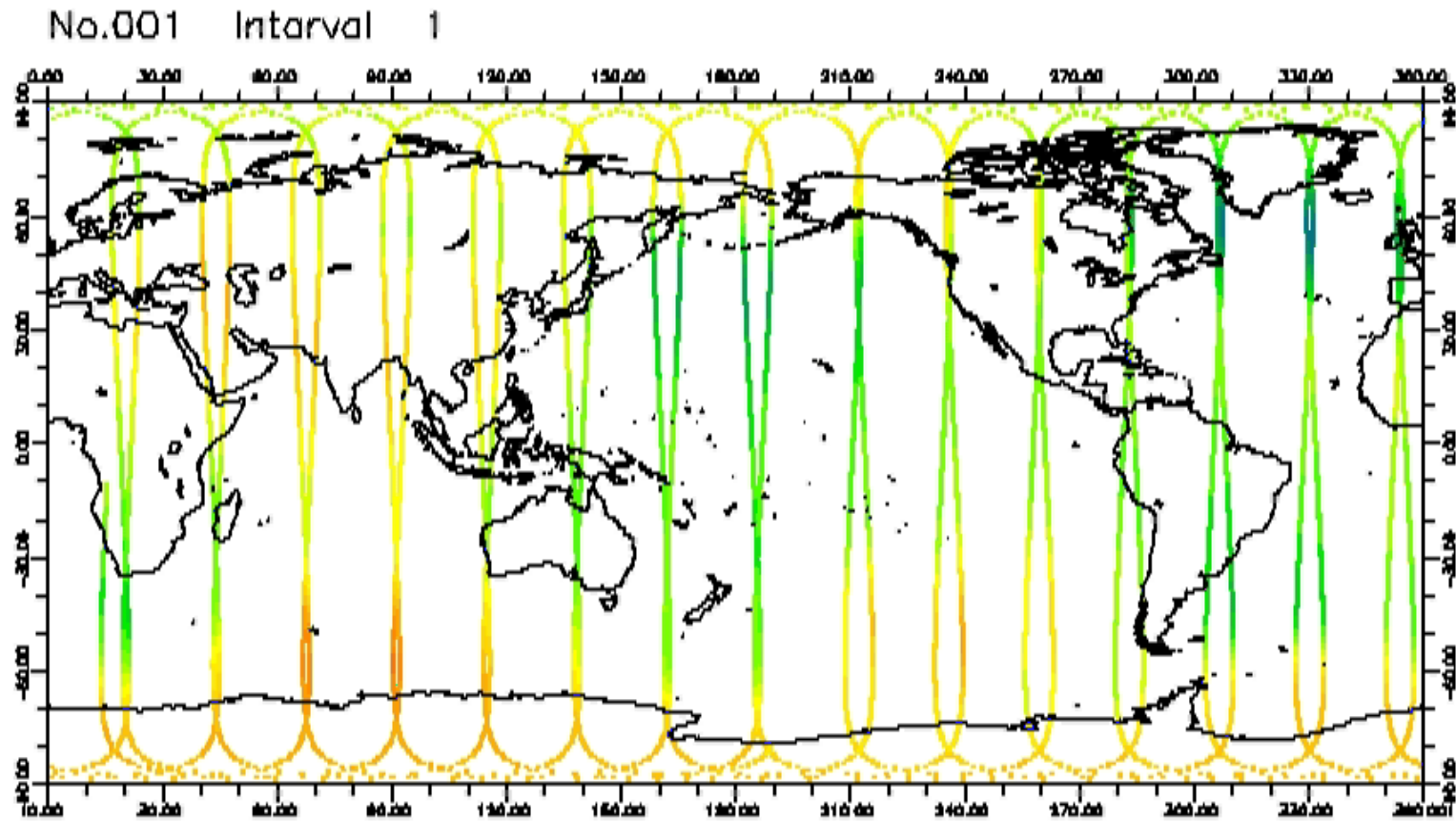
気圧によるジオイド高変化(450km - NIB)



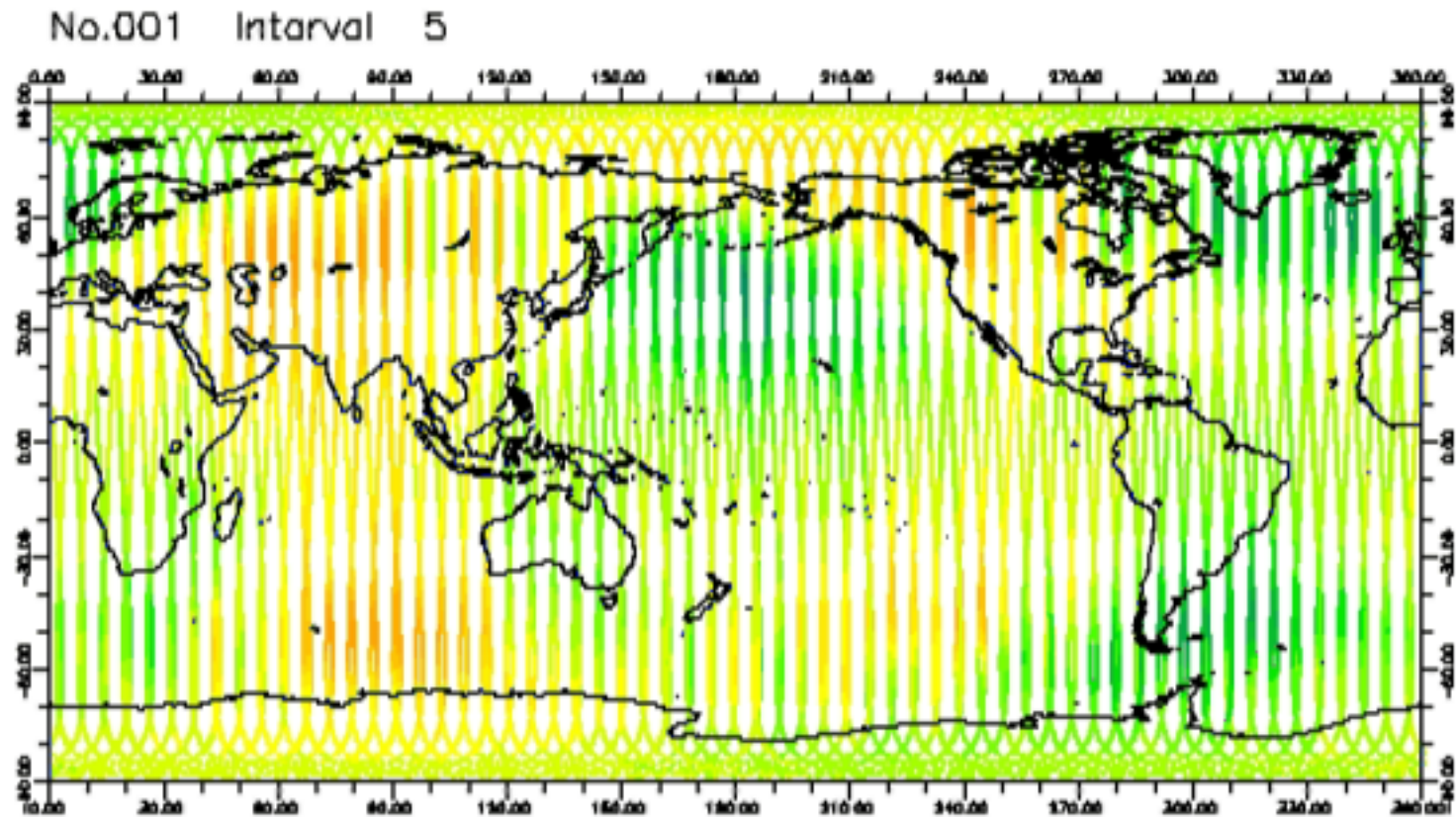
気圧によるジオイド高変化(450km - IB)

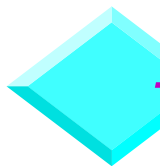


GRACE軌道での気圧の影響 (1日毎)

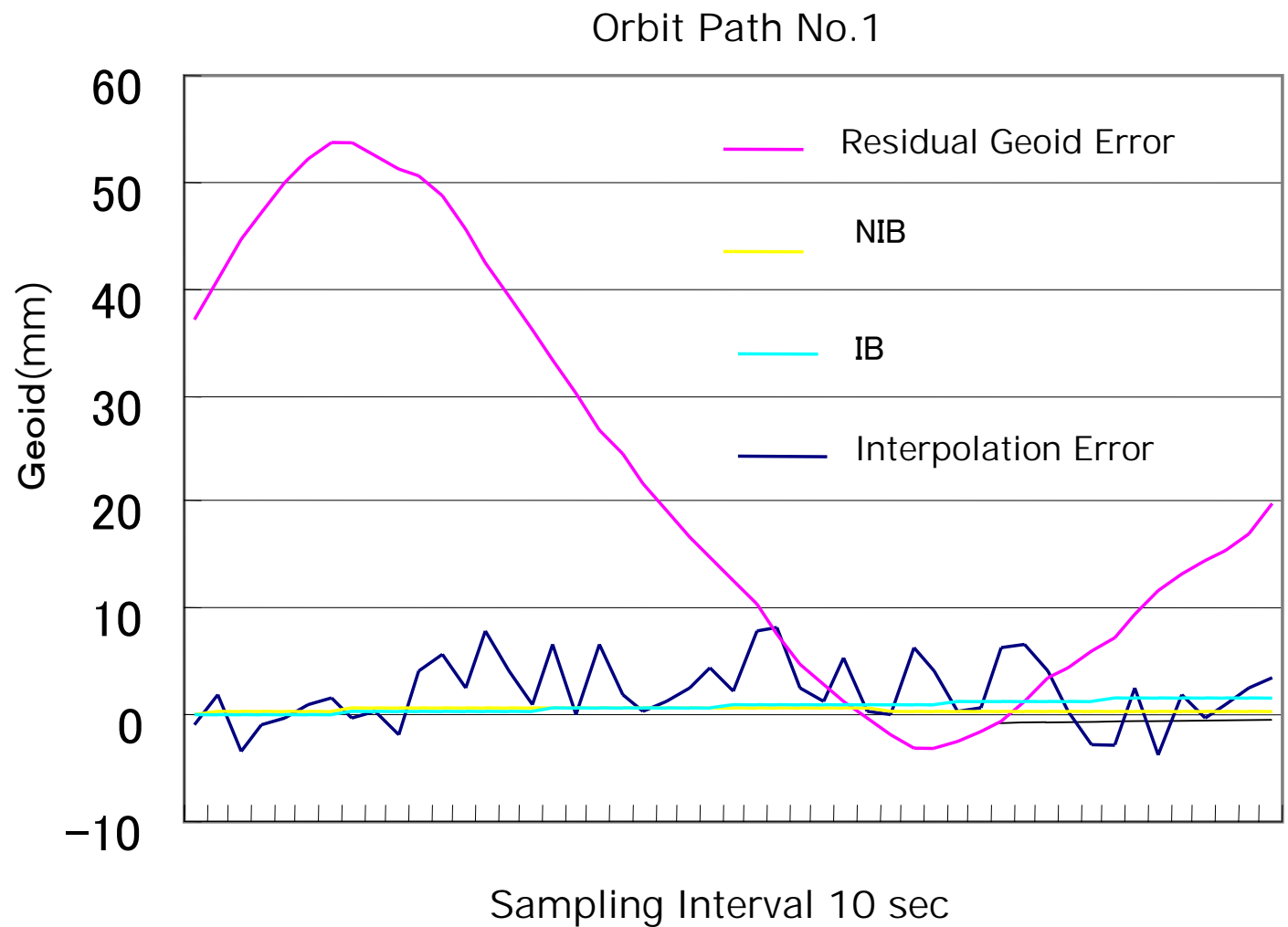


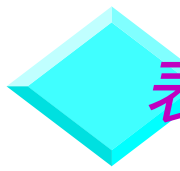
GRACE軌道での気圧の影響 (5日毎)



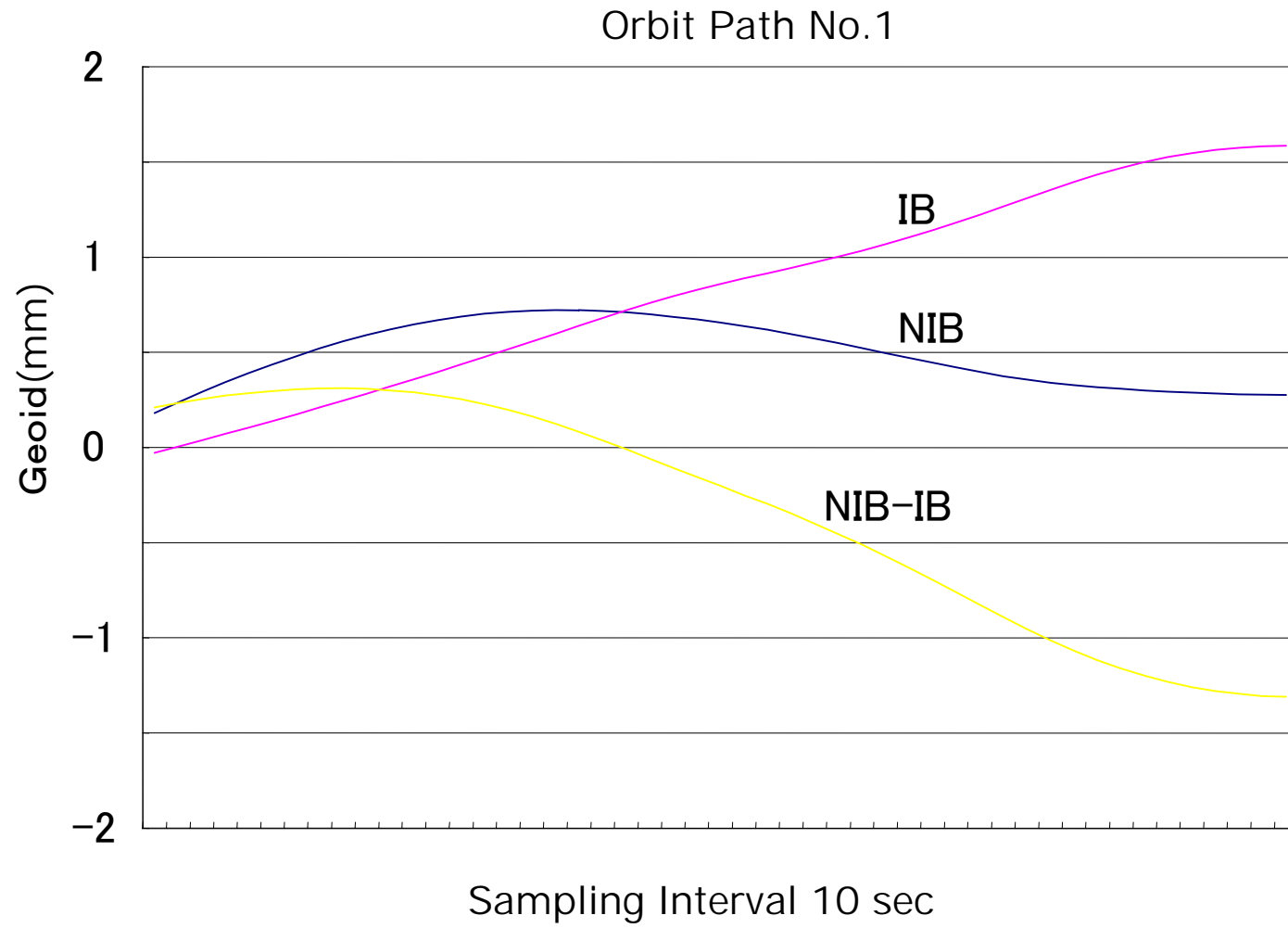


予想されるGRACEデータ(沿軌道)



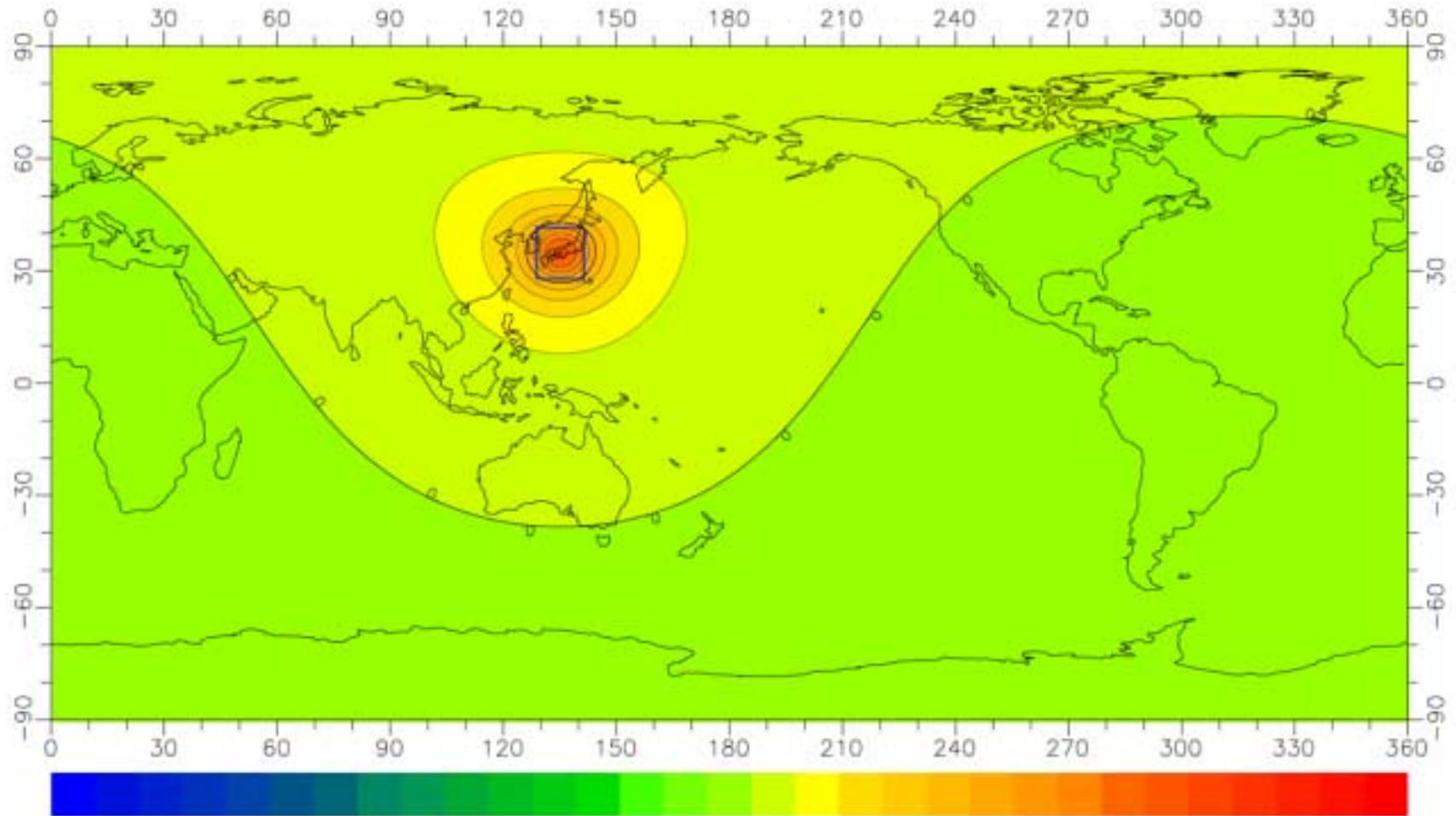


表面気圧の影響(沿軌道)



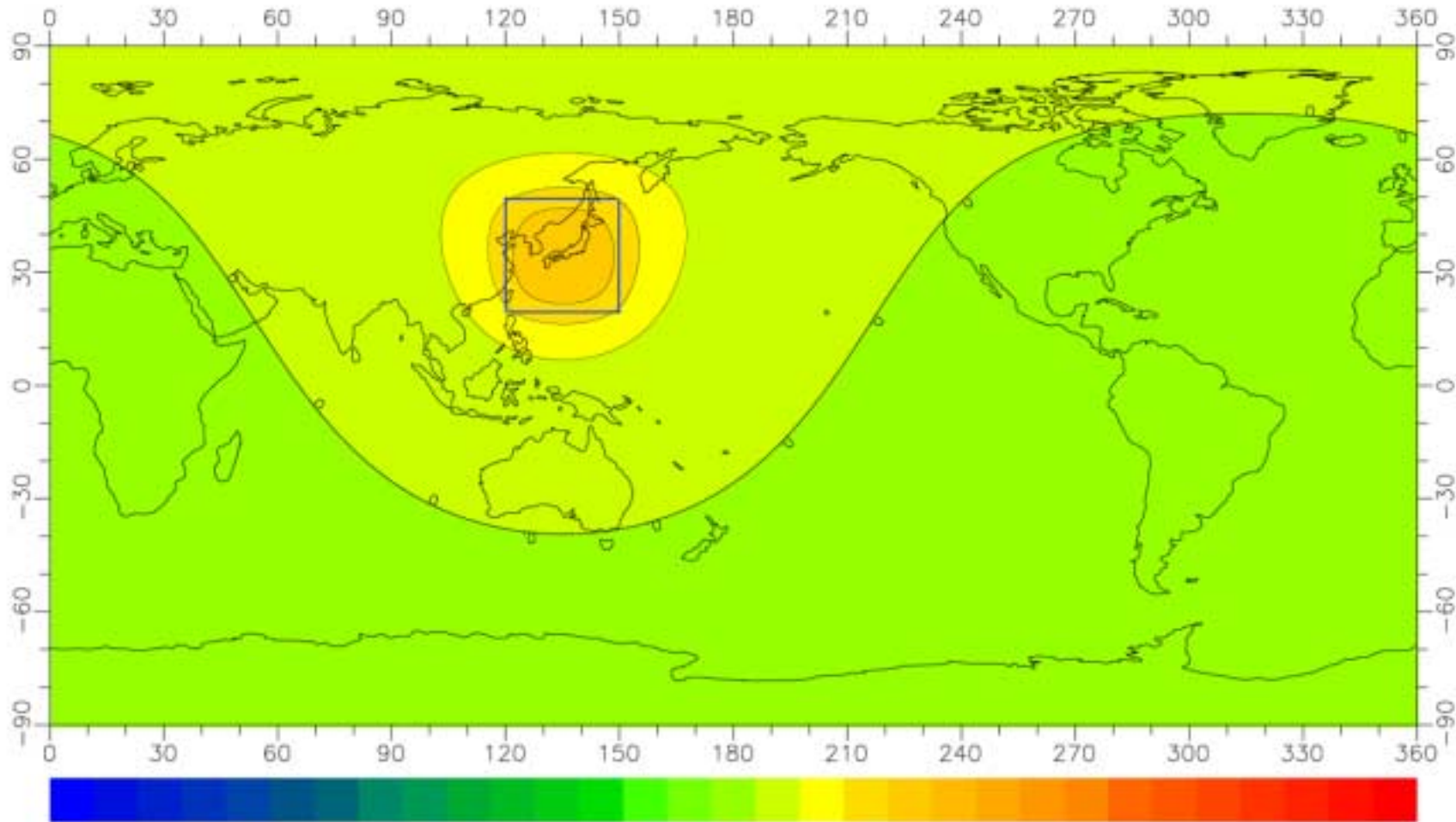
水荷重によるジオイドの変化(1)

10° x10° 100cm厚の水過重 CI : 1mm @ 450km



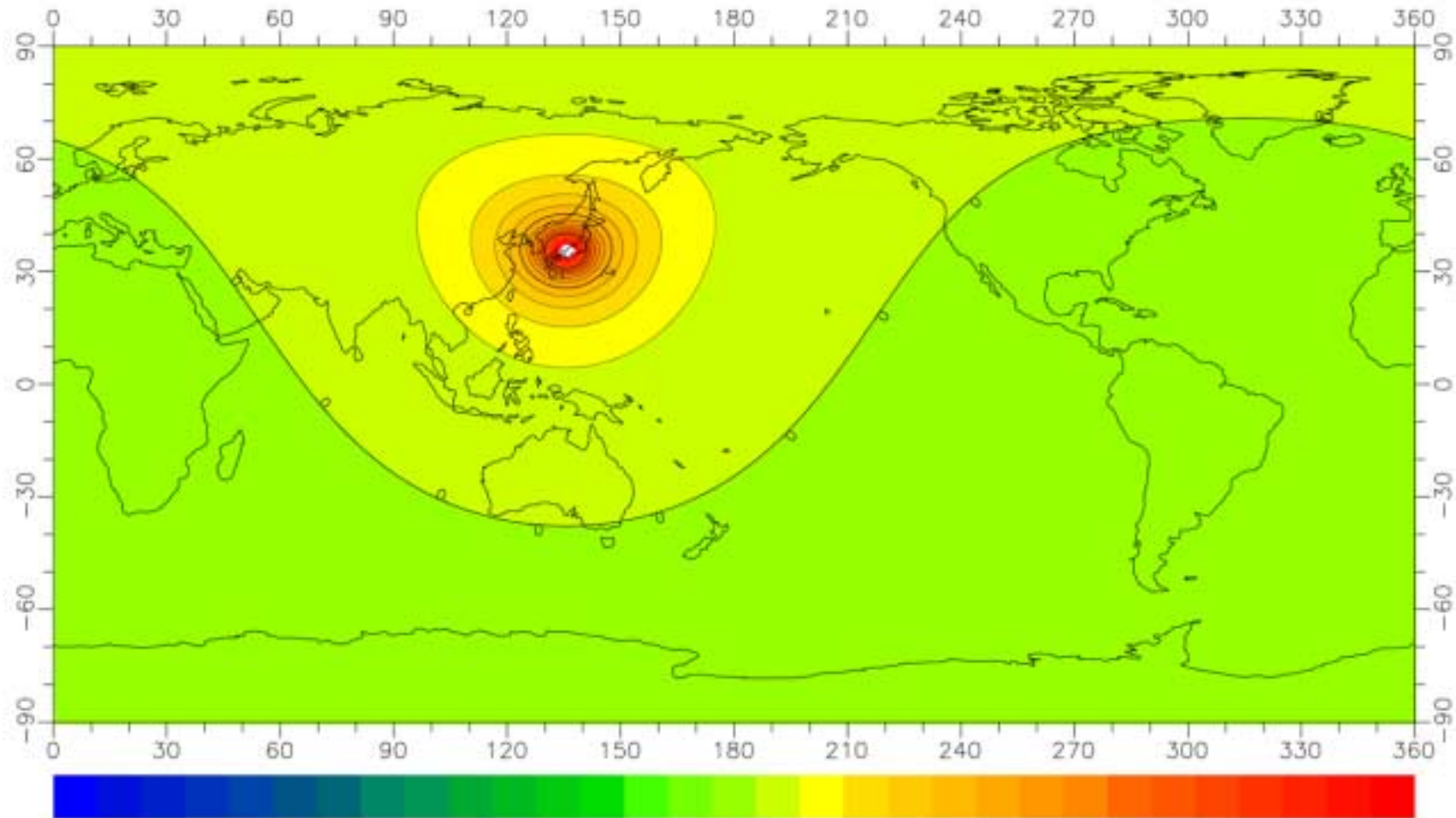
水荷重によるジオイドの変化(2)

30° x30° 10cm厚の水過重 CI : 1mm @ 450km



水荷重によるジオイドの変化(3)

1° x 1° 10cm厚の水過重 CI : 1 μ m @ 450km (Max=0.017mm)





まとめ

- 重力ミッションによってまず成果が得られるのは静的な重力場の研究である
- GRACEのL-L SSTの精度($1 \mu\text{m/s}$)は along trackでの気圧の変化を十分に感じる
- (たぶん)海洋潮汐やその他のGeophysical Correctionsが重要である
- 時空間的な平均によりLevel-2データを作成するためには2ヶ月程度は必要

GRACE-F0のSSIの精度は
GRACEより2 ~ 3桁高い($\sim 1 \text{nm/s}$)