

荷重変動データベースの構築

情報通信研究機構
鹿島宇宙技術センター

瀧口 博士

内容

✓ 背景

- » 荷重変動おさらい
 - 計算方法, 変動量
 - 荷重変動補正例

✓ 荷重変動データベース

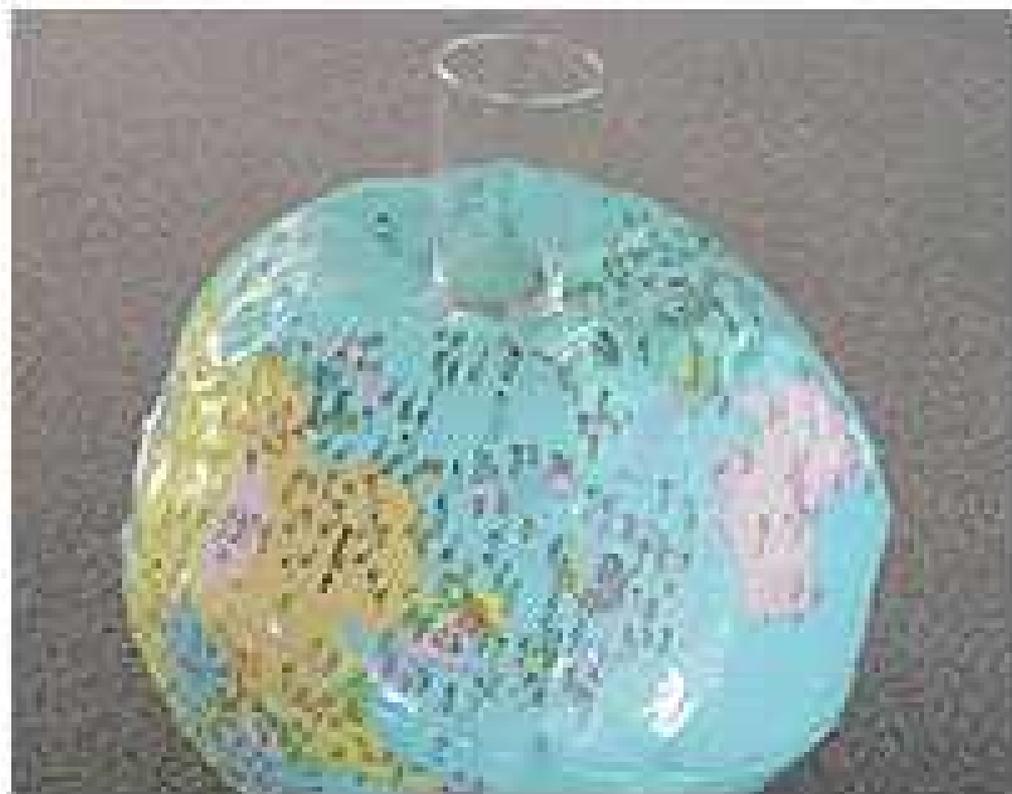
- » 概要
- » 開発スケジュール
- » 応用



背景

荷重変動おさらい

✓ 地球表層流体



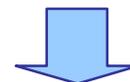
✓ 大気

✓ 海洋

✓ 陸水

✓ etc.

» 質量分布の変化



荷重変動

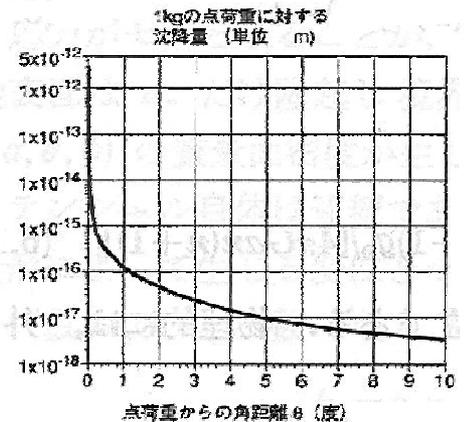
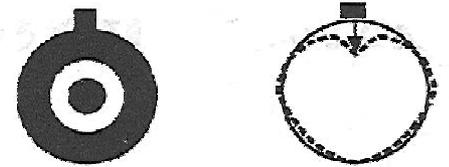
荷重変動の計算方法

✓ Convolution Method (Farrell, 1972)

- › 質量分布とグリーン関数によるコンボリューション積分
- › 鉛直方向の弾性変形

$$L(\theta', \lambda') = \rho \iint H(\theta, \lambda) G_L(\phi) T(\alpha) dS$$

- › ρ : 平均密度(大気や海水)
- › H: **入力データ** (大気圧変動)
- › G_L : Green関数 G-B/1066A地球モデル
- › T: 方位角 α における三角関数
- › 海陸データ
 - 世界 : $5' \times 5'$ ($0.083^\circ \times 0.083^\circ$)
 - 日本周辺 : $1.5'' \times 2.25''$ (約 $50 \times 50\text{m}$)



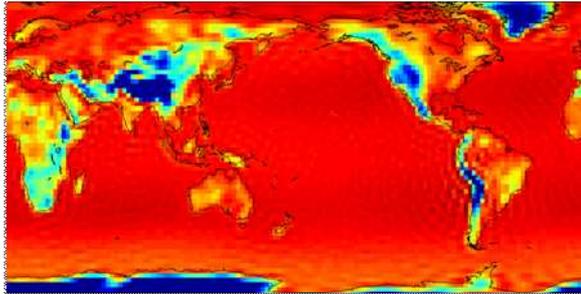
現代測地学 p272 図6.1.5
 (a) 点荷重に対する弾性体地球の変形.
 (b) Farrell (1972)

荷重変動

入力データ

大気圧

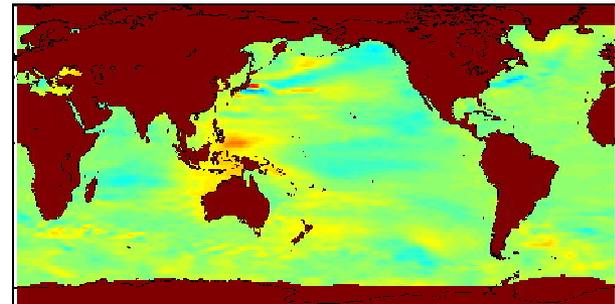
Mean Surface Pressure 1996 - 2004



e.g. NCEP/NCAR Reanalysis 1
Surface Pressure
2.5° × 2.5° / 6時間

海面高変動

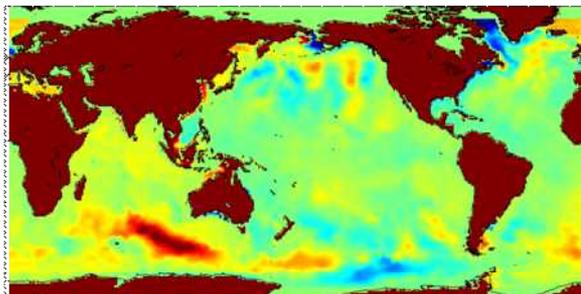
Mean Sea Level 1996 - 2001



e.g. Topex/Poseidon
WOCE version 3
1.0° × 1.0° / 5日
海面温度を用いて補正 (6mm/)

海洋底圧力

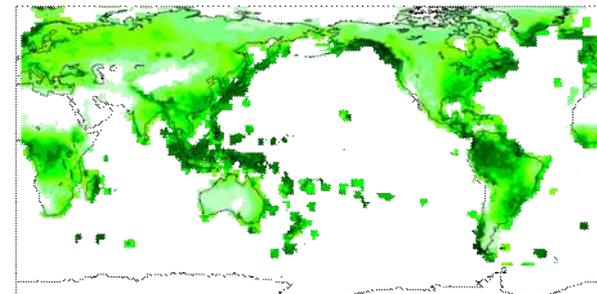
Mean Ocean Bottom Pressure 1996 - 1999



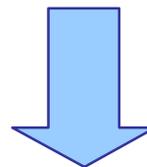
e.g. ECCOモデル
1.0° × 1.0° / 12時間毎

土壌水分

Mean Soil Moisture 1996 - 2004



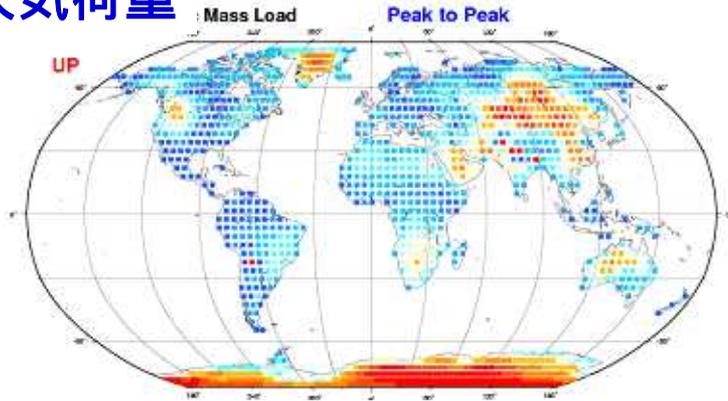
e.g. Yun Fan and
Huug van del Dool [2004]
0.5° × 0.5° / 月平均



荷重変動

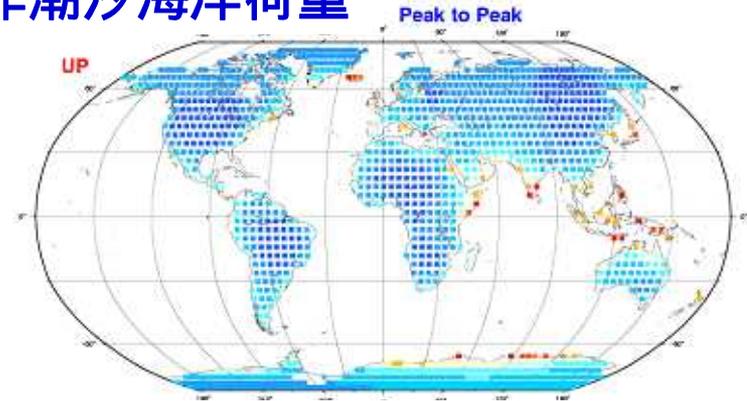
垂直成分

大気荷重



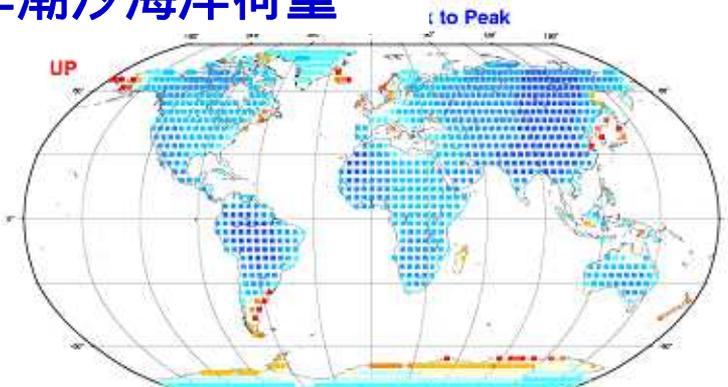
内陸部で大, 水平成分: 2mm , 垂直成分: 6mm

非潮汐海洋荷重

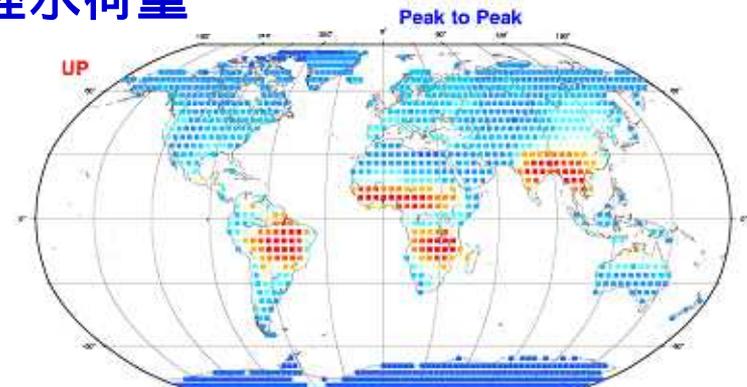


海岸線で大, 水平成分: 3mm , 垂直成分: 10mm

非潮汐海洋荷重



陸水荷重



水平成分: 3mm , 垂直成分: 15mm

T/P と ECCO で地域差, ECCO-NTOL が相対的に変位小

- ✓ 精密測位において荷重変化の影響は無視できない
 - » VLBIやGPSで実際に観測される
 - » 非定常・非周期変動を議論する為には周期変化(=荷重変動)は取り除かなければならない

- ✓ 影響小
 - » 地震時の変動
 - 振幅が大きく, タイムスケールが短い
 - » プレート運動などの定常変動
 - タイムスケールが長い

- ✓ 影響大
 - » 地震後の余効変動
 - » ゆっくり地震
 - » 火山活動
 - 振幅が小さく, タイムスケールが周期変化に近い

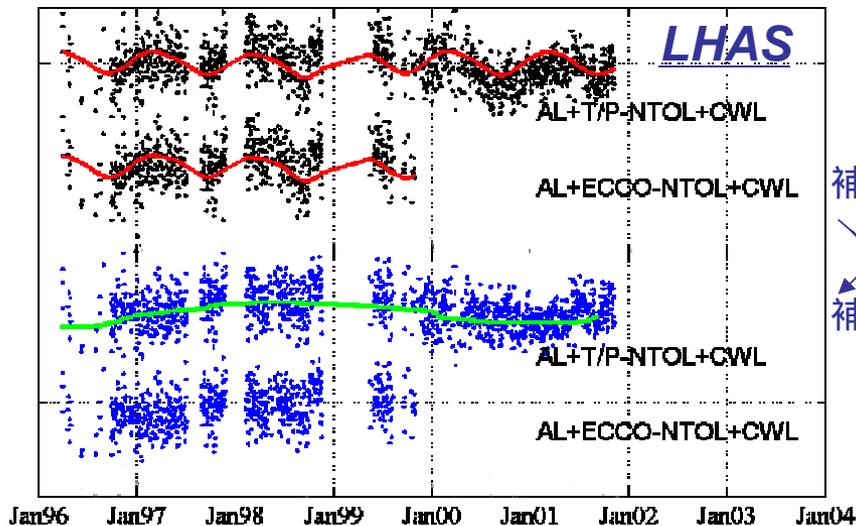
ノイズ

荷重変動の補正例

GPS座標時系列

$$\text{Corrected GPS} = \text{GPS} - (\text{Load}_1 + \text{Load}_2 + \dots + \text{Load}_n)$$

単純に、水平・垂直成分毎にGPS座標時系列から求めた荷重変動時系列を差し引く



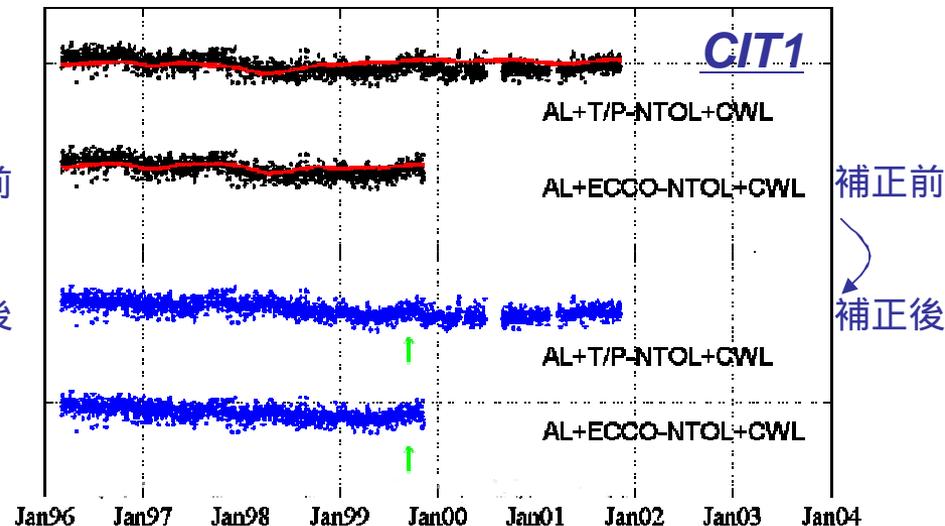
隠れていた長周期の変動が現れる

周期性

20% 軽減 (AL+T/P-NTOL+CWL)

IGS : 水平成分 2~7%,
垂直成分 20%

GEONET : 水平, 垂直成分 20%



長周期な変動を取り除くと、別の変動が現れる

時系列

隠れていたシグナルを抽出

ローカルな変動

長周期の変動, 一時的な変動, 変動の変化
別の荷重の変動, 環境変化, 人口ノイズ

荷重変動の補正例

SLR解析

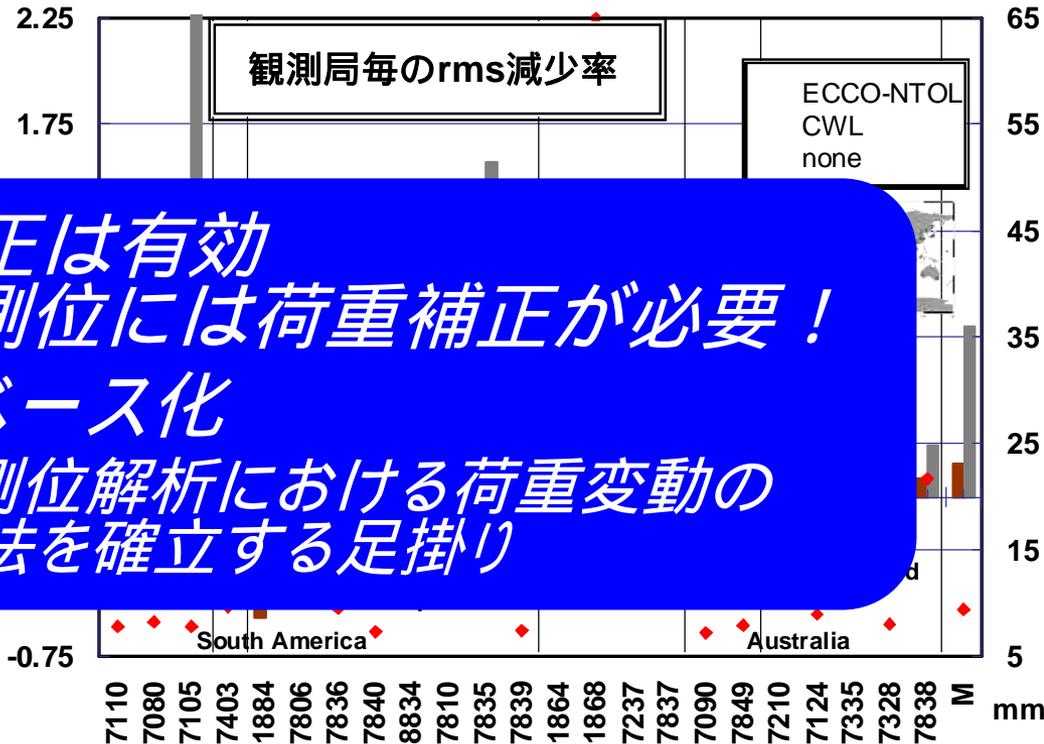
✓ SLR解析時にモデルとして補正

解析: concerto ver.4
測距値残差のrms で評価

rms減少率

	none rms (mm)	ECCO-NTOL rms (mm) (%)	CWL rms (mm) (%)
199701	9.535	9.519 0.16	
199801	9.473	9.445 0.29	
199901	9.205	9.206 -0.01	
200001	9.738		
200101	9.249		
mean	9.440	9.390 0.2	

✓ 荷重補正は有効
精密測位には荷重補正が必要！
✓ データベース化
✓ 精密測位解析における荷重変動の補正方法を確立する足掛り



rms減少率(366日間)
ECCO-NTOL 0.2 %
CWL 0.8 %

荷重変動データベース

✓ コンセプト

- » 精密測位において荷重変動の影響は無視できない
 - 非定常・非周期変動を議論する為には,
周期変化(荷重変動)は取り除かなければならない
 - 観測される地球物理学現象に伴う荷重変動は計算可能

» 計算可能な荷重変動は計算して取り除く!

» ルーチン化

- グローバルデータ
- 時空間分解能
- 今後も更新されるもの

荷重変動データベース

ネットワーク経由で、ユーザーの要求する、任意の地点、任意の時間における各種荷重変動を計算し、提供する。

入力情報

地点情報 (x, y, z / lat, lon, height)
時間情報 (yyyy, mm, dd [hh])

オプション

荷重

- 大気荷重

大気圧 : NCEP, ECMWF, JRA ...
(IB仮定 on/off ...)

- 非潮汐海洋荷重

海面高度 : Topex/Poseidon, Jason-1 ...
(ステリックハイト補正 on/off, 係数変更 ...)
同化モデル : ECCO ...

- 陸水荷重

土壌水分 : NASA GLDAS ...

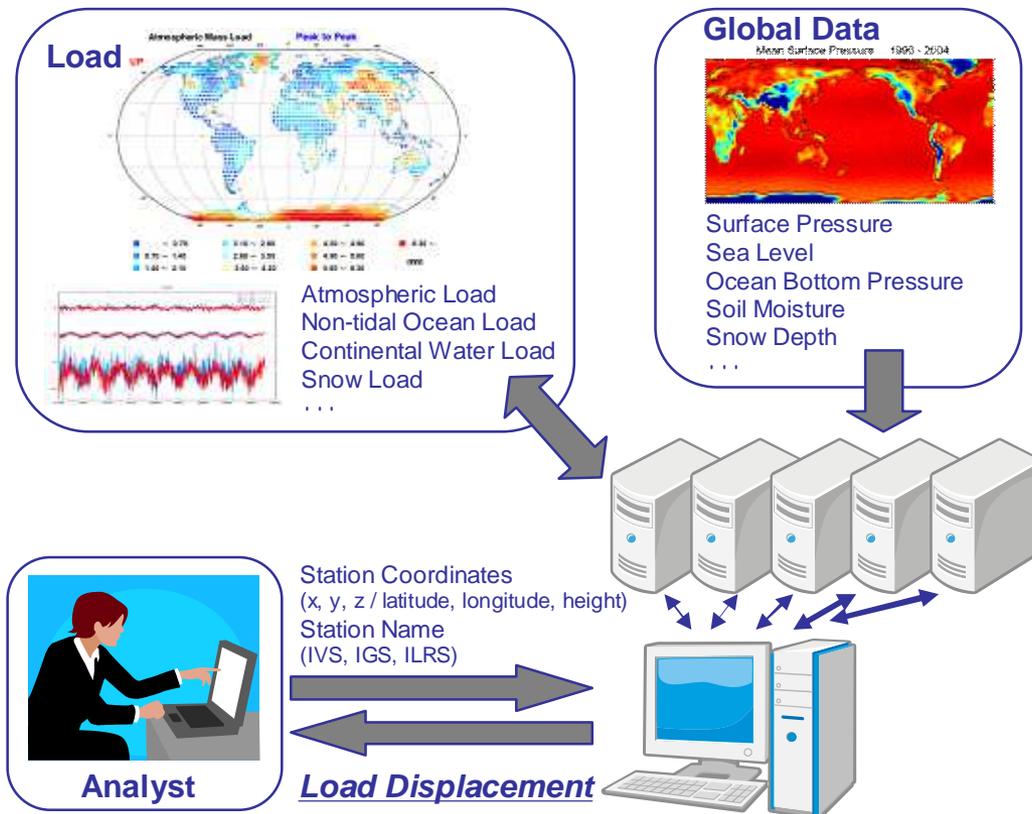
- 積雪荷重

積雪 : NCEP, ECMWF, JRA ...

Landseaグリッド

出力

荷重変動 (x, y, z / lat, lon, height)
時系列 or グローバルグリッド



荷重変動データベース

開発スケジュール

- ✓ 現在：
 - » コマンドラインベースで、任意の地点の荷重変動を計算可能。

- ✓ 平成21年度末：
 - » コマンドラインベースで、任意の地点、任意の時間における荷重変動計算に対応。
- ✓ 平成22年度始：
 - » Webブラウザ経由での荷重変動計算に対応。
- ✓ 平成22年度中頃：
 - » 計算された荷重変動の試験。
- ✓ 平成22年度末：サービス開始。

荷重変動データベース

✓ 類似サービス

» Global Geophysical Fluid Center

- by Supecial Bureau on Loading (SBL), IERS
- 大気荷重
 - Products for research
 - Operational products

» Atmospheric pressure loading service

- by Leonid Petrov
- 大気荷重

» 非潮汐海洋荷重 陸水荷重

- not found

- **主要観測局のみ**
- **更新されていない**
(SBL:2009年12月現在)

荷重変動データベース

期待される応用

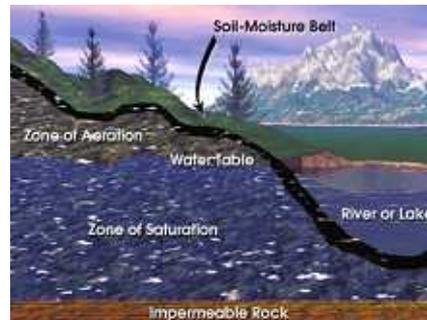
» 精密測位の荷重補正

- 測地インバージョン
- 地震の余効変動や火山活動

荷重変動に埋もれているシグナルの検出

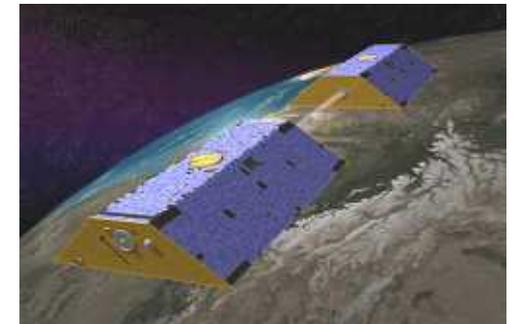
» 環境モニター

- 全体像の把握
- 水環境の変化



» 重力

- 変位 重力変化
- 衛星重力・地上観測と比較



応用

荷重変動補正

解析時にモデルとして組み込む

✓ 精密衛星軌道決定ソフトウェア

- » *concerto*
 - NICT製

concerto (大坪さん, Fortran77)
SLR

concerto version 4
(大坪さん, 後藤さん, 久保岡さん, Java)
SLR
オプション: 荷重変動補正

c5++
SLR, GPS, VLBI

concerto version 4 for data transfer
(後藤さん, C++)
GPS
オプション: 荷重変動補正

テスト解析中
時間切れ

まとめ

- ✓ 荷重変動データベースを構築中
 - » 来年度末にサービス開始予定



重力コミュニティへ寄与？

*Thank you very much
for your attention.*

本研究は科研費(21740333)の助成を受けたものである。