

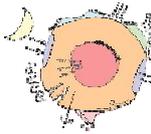
地球表層流体の荷重変動データベースの構築

瀧口 博士 情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター

はじめに

測地学において、GPSやVLBIなどの宇宙測地技術の発展により、地球規模の地殻変動が水平成分でmm、垂直成分でcmのオーダーで捉えられるようになった。しかし、精度向上に伴いプレート運動や地震・火山活動とは異なる周期的な地殻変動も捉えられるようになった。この変動は、地球表層流体が移動することに伴う、質量再分配(荷重変動)による地球の弾性変形と考えられ、大陸内陸部の観測点での上下変動の振幅は最大30mm程度にもなる。この事は、**精密測位解析には荷重変動の補正が必要**であることを意味する。しかしながら、荷重変動の補正は、地球潮汐や海洋潮汐の補正の様に確立した方法やモデル化がなされている訳ではない。

そこで、本研究は、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として、**補正用のデータを計算・提供**しようとするものである。具体的には、精密測位を行う解析者が必要とする任意の地点での荷重変動の影響を、“いつでも、どこでも”計算でき、“だれでも”使用できるように、計算結果を提供するシステムを構築する。



荷重変動の計算方法

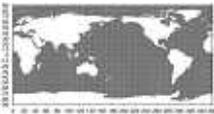
Convolution Method (Farrell, 1972)

地球を弾性体とした場合の地表荷重による変形は、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で計算することが出来る。
鉛直方向の弾性変形は次式で表せる。

$$L(\theta, \lambda) = \rho \iint H(\theta, \lambda) G_L(\phi) T(\alpha) dS$$

- ρ : 平均密度(e.g. 大気や海水)
- H : 入力データ(e.g. 大気圧変動)
- G_L : Green関数
- T : 方位角における三角関数

海陸データ グリッド 5' x 5'



グローバルデータ

大気圧

Urban Surface Pressure (1980-2002)
e.g. NCEP/NCAR Reanalysis 1 Surface Pressure
2.5° x 2.5° / 6時間

海面高変動

Sea Level (1993-2002)
e.g. Topex/Poseidon WOCE version 3
1.0° x 1.0° / 5日
海面温度を用いて補正(6mm/月)

海洋底圧力

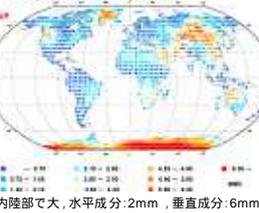
Sea Bottom Pressure (1993-2002)
e.g. ECCOモデル
1.0° x 1.0° / 12時間毎

土壌水分

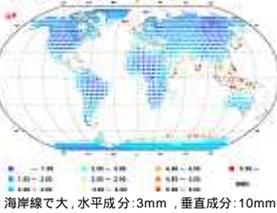
Soil Moisture (1993-2002)
e.g. Yun Fan and Huug van del Dool [2004]
0.5° x 0.5° / 月平均

荷重変動(vertical)

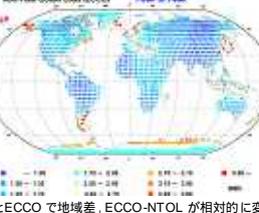
大気荷重



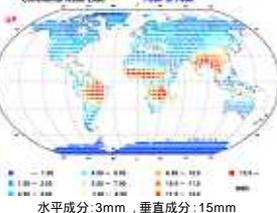
非潮汐海洋荷重



非潮汐海洋荷重



陸水荷重

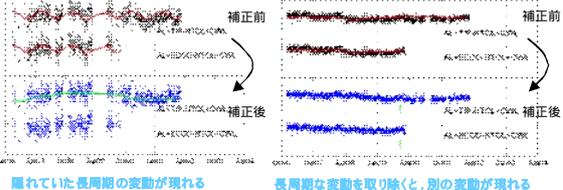


荷重変動の補正例

GPS座標時系列

GPS座標時系列の荷重変動補正は、以下の式のように単純に、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事で行った。

$$Corrected\ GPS = GPS - (Load_1 + Load_2 + \dots + Load_n)$$



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%

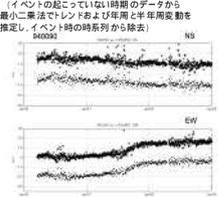
時系列

隠れていたシグナルを抽出
ローカルな変動
長周期的な変動、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



Slow Slip イベント 1997年 豊後水道

従来の方法と荷重補正を比較



Station ID	NS	EW	Station Name
940080	0.91	0.51	DOITSAKI
950487	0.41	0.44	ISHIYU
950447	0.18	0.37	NSHITOSA
950449	0.27	0.39	KHICHIOHTSUKI
950466	0.32	0.30	SEIWA
950472	0.35	0.88	YURUN
950473	0.25	0.41	SAGANOSKI
950474	0.40	0.30	KUJUU
950475	0.30	0.25	DOITAMIE
950477	0.82	0.37	HNOKAGE
950476	0.52	0.41	SHIBA
950480	0.30	0.39	KAWANAMI
mean	0.42	0.40	

rms 0.4mm程度で一致
荷重補正が有効

SLR解析時にモデルとして補正

SLRの観測は、光波を用いている為、晴天時しか観測データが得られない。晴天時は一般的に高気圧であるので、SLR観測で得られる観測点位置は、VLBIやGPSなどから求められたものより低くなる事が知られている。通常の解析では、ローカルな気圧変動と垂直変動から求められたアドミッタンス(-0.35mm/hPa)を考慮して解析が行われる。最近ではグローバルな大気圧データを解析に組み込んだり、大気荷重を計算して、時系列として解析に取り込む研究が行われている。

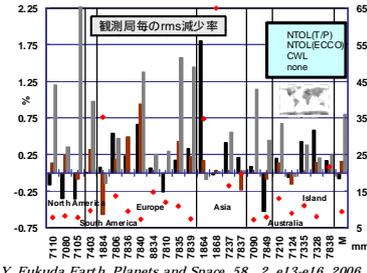
大気荷重だけではなく、非潮汐海洋荷重と陸水荷重など他の荷重を組み込んで解析を行い、どの程度解析精度が向上するか調べた。

解析: concerto ver.4
測距値残差のrmsで評価

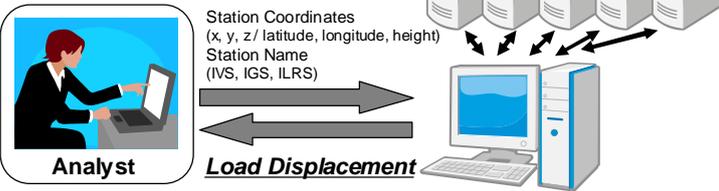
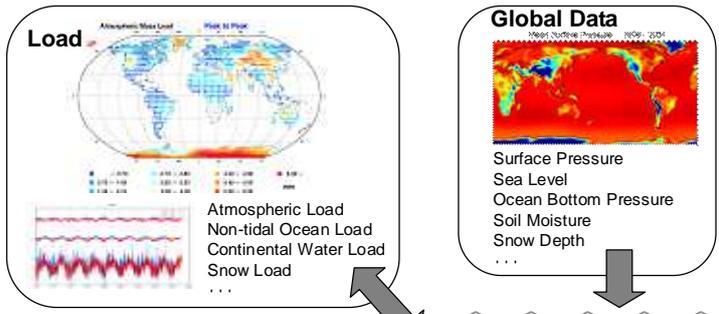
rms減少率(366日間)
T/P-NTOL マイナス
ECCO-NTOL 0.2%
CWL 0.8%

Results rms減少率

	(1) none rms (mm)	(2) NTOL (T/P) rms (mm)	(3) NTOL (ECCO) rms (%)	(4) CWL rms (mm)	(5) rms (%)
199701	9.535	9.534	0.010	9.519	0.168
199801	9.473	9.477	-0.042	9.445	0.296
199901	9.205	9.209	-0.043	9.206	-0.011
200001	9.738	9.737	0.010	9.679	0.606
200101	9.249	9.279	-0.324	9.214	0.378
mean	9.440	9.447	-0.07	9.390	0.2
				9.364	0.8



荷重変動データベース



概要

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	時間情報(yyyy, mm, dd [hh])
地点情報(x, y, z / lat, lon, height)	
選択 - 荷重	
大気荷重 大気圧: NCEP, ECMWF, JRA ... (Inverted Barometer仮定 on/off ...)	陸水荷重 土壌水分: NASA GLDAS ...
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 ...)	積雪荷重 積雪: NCEP, ECMWF, JRA ...
同化モデル: ECCO ...	- Landseaグリッド レベル1~
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

開発スケジュール(予定)

- 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。

期待される応用

GPS座標時系列は、測地インバージョン、地震の余効変動や火山活動の解析に使用されている。荷重変動補正を行うことで、これらの解析結果はより詳細なものになると見込まれる。また、荷重変動そのものも解析補正以外の、環境モニターや衛星重力ミッションと組み合わせることで、様々な波及効果が見込まれる。陸水荷重は、もともと計算に使用する土壌水分のデータが環境モニターとの役割を持つが、水環境の変化を地面の変位に変換することで、実社会における影響をより実感させることができる。また、衛星重力ミッションで捉えられた重力変化と地上観測局での変位の比較から、水環境データの検証も可能である。

本研究は科研費(21740333)の助成を受けたものである。