

陸域質量変動データベースの構築へ向けて

Preliminary Database of the Mass Variations in Land Areas

仲江川 敏之^{*1}, 飯塚 壮一郎^{*1}

T. Nakaegawa^{*1}, S. Iizuka^{*1}

^{*1} 気象研究所, Meteorological Research Institute

Email: tnakaega@mri-jma.go.jp^{*1}

Abstract:

Database of the mass variation in land areas is preliminarily constructed for the satellite-gravity mission studies. The terrestrial water storages are the dominant signals of the mass variations in land areas, but other signals should be considered as another possible source of the gravitational anomaly. This study collects a variety of possible mass variations in land areas to make use of the signals for the satellite-gravity mission study. The variables includes the terrestrial water storage from the atmospheric analysis data, that derived from a land surface model, lake storages, biomass, atmospheric pressure, mineral dust, biomass deficit due to wild and forest fires, and mass variations due to anthropogenic activities such as mineral minings: oil, coal, natural gas, and iron.

1. はじめに

衛星重力ミッションでは、地球表層流体の変動を全球で推定できることに特徴がある。中でも、比較的シグナルが大きく、しかもこれまで計測できなかった、陸水総貯留量の変動が推定できることは、水文学のみならず、気象学をはじめとした、陸域を対象として含む多くの地球物理学に大きな影響を与えることが期待されている。第一のシグナルである陸水総貯留量は、すでに Tapley et al. (2004) が、GRACE からアマゾン川流域の陸水総貯留量を推定している。この他にも、大陸大河川流域の陸水量(e.g. Rodell and Famiglietti 1999; Ramilien et al. 2004)、三狭ダムの貯水(Boy et al., 2002)、温暖化による陸水量の変化はシミュレーションにより推定可能であることが示されている。

確かに、陸水量は陸域の最も大きな質量変動のシグナルであるが、質量変動という観点から見てみると、他にも質量変動する要素がある。自然現象としては、植物の CO₂ 固定によるバイオマスの変化や、黄砂を代表とする風送ダストなどが挙げられる。陸域には、自然現象以外に、人為活動による質量変動も存在する。たとえば、石油などを始めとする鉱物資源産出などが挙げられる。そこで、本稿では、衛星重力ミッション研究に供するための陸域質量変化データベースの構築へ向けて行っている内容を紹介する。

2. データベースの概要

2.1 自然変動データ

自然変動データに関しては、現在、陸水、土壌水分、積雪、河道貯留、地下水、地表面気圧、風送鉱物ダスト、バイオマスの7つである。これらのうち、絶対量を算定できるものは、積雪、地表面気圧だけで、それ以外のものは相対値しか算定できないものである。以下では各要素について、その算定方法について、説明を行っていく。

I) 陸水総貯水量変動

陸水総貯水量変動は陸域 - 大気結合水収支法(Rasmussen, 1967)を用いて、日本再解析(JRA 実施グループ, 2001: JRA-25)のデータから算定する。大気客観解析値から陸面への正味入力となる(降水量) - (蒸発量)を算定し、これから河川流出量を引くことで、流域への正味入力が見られる。この手法では流域毎にしか総貯留量を算定できない制限があるため、解像度としては全球で70流域程である。また、精度上、時間解像度は1ヶ月である。データ期間は1979年以降で、準リアルタイムでデータ提供が可能である。現時点で、JRA-25は計算中であり、2005年末頃にデータセットの提供が可能となる。図1に Masuda et al.(2001)が米国環境予測センター/大気科学センター客観解析値から求めた陸域貯水量の6月と12月の気候値を示す。

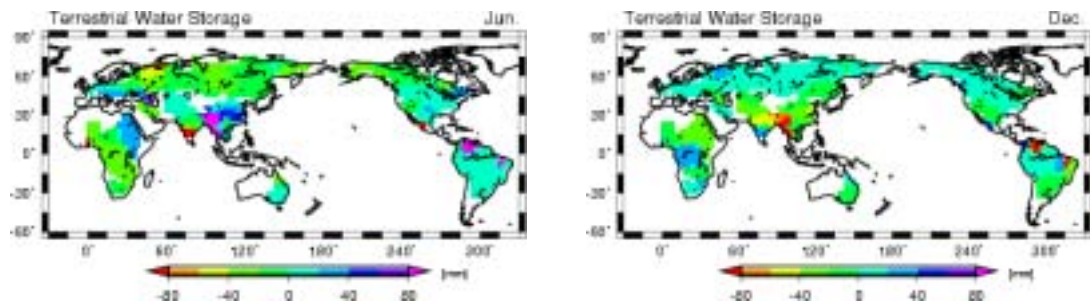


図1: 陸域 - 大気結合水収支法によって算定された陸域貯水量の気候値。左: 6月、右: 12月。
Masuda et al. (2001)のデータによる。

II) 土壌水分量、積雪水当量、地下水量変動、河道貯留変動量

土壌水分量と積雪水当量は現業で運用されている気象庁陸面解析システムが用いられている。このシステムは、気象庁大気陸面 - 生物圏モデル(JMA-SiB) (Sato1989)に、大気強制力を与えて算定したものである。JMA-SiBは鉛直1次元モデルで、木本類、草本類、積雪、土壌熱2層、水3層からなり、グリッド毎に熱収支、水収支を計算する。植生タイプは13種類で、植生タイプが決まると土壌特性も一意に定まるようになっている。大気強制力として、気象庁全球客観解析(GANAL)から得られる気温、湿度、降水、放射が用いられており、6時間値を1時間値へ内挿して、積分に用いている。また、積雪については、地上観測地点の積雪深、SSM/Iの積雪面積データも用いられている。時間解像度は6時間値で、空間解像度は1.125°である。算定する土壌水分量は植生種類によって異なるが、高々3mであり、地下水と河道貯留は含まれていない。この二つを算定するために、地下水 - 河川モデルを用いた。このモデルでは、陸面解析の出力である表面流出と地中流出を入力として、地下水量変動と河道貯留量が算定される。

上記のようにして得られた4要素の和として、陸水量が求められる。ただし、この陸水量と、陸域 大気結合水収支法により求められた陸水総貯水量とは必ずしも一致するものではない。たとえば、湖沼などによる貯留と人為的水管理などの過程はモデルには陽に含まれていない。しかし、河道水と地下水の貯留に関わるパラメータ決定の際に、結合水収支法による陸水総貯留量と河川流量を用いているので、陰に取り込まれていることになっている。この一例として、図 2 にアマゾン川流域における JMA-SiB によって算定されたアマゾン川流域の陸域総貯水量の季節変化を示す。

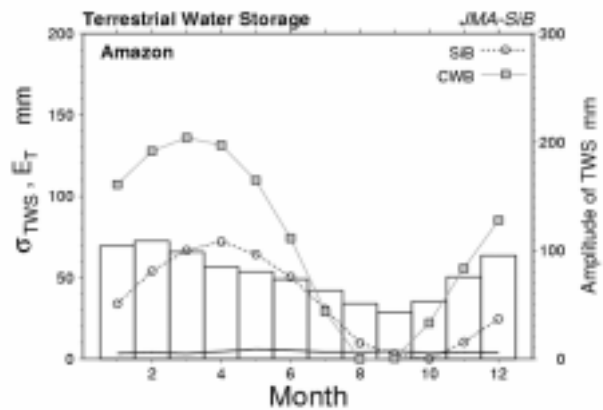


図 2: JMA-SiB によって算定されたアマゾン川流域の陸域総貯水量の季節変化気候値。細実線が JMA-SiB、点線が結合水収支法による陸域総貯水量を表す。棒グラフは JMA-SiB によって算定された年々変動の標準偏差、太実線は GRACE による測定誤差を表している。

III) 湖沼水貯留量変動

湖沼水貯留量変動については、Birkett et al.(1999)による、衛星高度計による観測から推定された湖沼水位と世界湖沼データベースの湖沼面積の積として求めた。これによりデータが公開されている地点は70である。また、世界湖沼データベースには、100の湖沼について、平均的な水位変動幅が示されているので、このデータを用いて、算定される貯留量変動も気候値として算定した。湖岸は緩やかな勾配を持っているのが普通である。すると、湖沼水位変化とともに、湖沼面積が変化するので、湖沼貯水量を推定する場合に考慮する必要がある。湖沼の形状を円と仮定すると、水位変動 h から、と表される。但し、10km 程度の大きな湖沼では、 $r = 3\text{km}$ なので、勾配 5° 度でも、勾配の影響は 10%以下と無視できる。従って、湖沼貯水量の推定に当たっては、湖岸勾配は考慮していない。

IV) 地表面気圧

地表面気圧は上記 JRA-25 のデータを用いた。空間解像度は 2.5° 度、時間解像度は6時間である。期間は 1979 年以降となる。

V) 鉱物ダスト収束量

風によって飛ばされる砂や土を総称して鉱物ダストと呼ぶ。春先に日本へやってくる黄砂は、その典型例であり、黄河中流域に位置する黄土高原は黄砂の起源であるとともに、より西からの風送ダストの収束により形成されたものである。日本への飛来量は $1\text{g}/\text{m}^2$ 程度で、風送ダスト収束量は、大気大循環モデル MJ98 と結合した全球対流圏エアロゾル化学輸送モデル MASINGAR により算定された。このモデルは、非海塩起源硫酸塩、炭素系、鉱物ダスト、海塩起源のエロゾルを含み、移流、サブグリッドスケールの渦拡散と対流による輸送、地表面からの物質の放出、乾性・湿性沈着、化学反応を扱っている。移流はセミラグランジュ法によって計算される。計算に当たっては、NCEP/NCAR の再解析値データを用いてナッジングシすることにより、モ

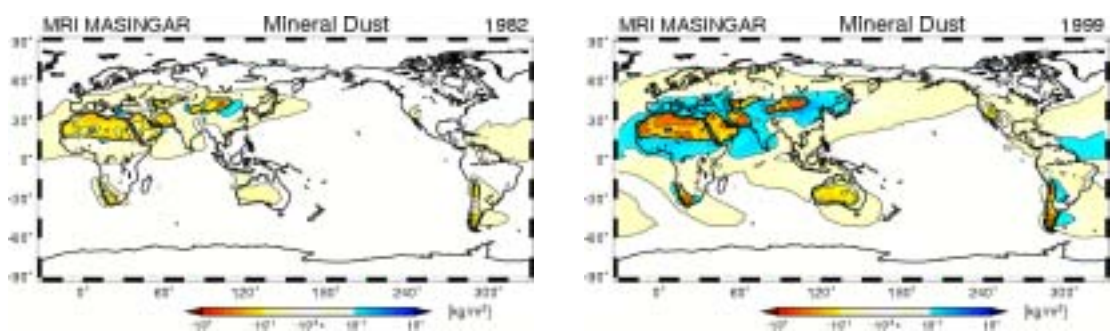


図 3: 鉱物ダスト収束量の積算値。左: 1982 年、右: 1999 年。値は 1979 年 1 月 1 日から、各年の 12 月 31 日までの積算値で表されている。Tanaka et al. (2003) のデータを基に算定した。

デル気候値へドリフトすることなく、現実的な計算が可能となっている。鉱物ダストは 10 種類の粒径が扱われ、射出率の土壌乾湿依存性、移流、拡散、雲に関係した過程(積雲対流、降水)などによって、放出量と沈降水量が算定される。計算期間は 1949 年から 2002 年までで、空間解像度は T63、時間解像度は 1 ヶ月である。図 3 に 1982 年と 1999 年に対する結果を示す。

VI) バイオマス変動量

バイオマスとは植物の単位面積当たりの植物質量で表される。バイオマスは、正味一次生産量(NPP)の 4 倍程度とされているので、Nemani et al. (2002) の NPP データを用いた。Nemani et al.(2002)は、衛星観測植生特性と NCEP 気候データを、生産効率モデル(PEM)に与えて、NPP を算定した。衛星観測データから、土地被覆、葉面積指数、光合成活性放射吸収量を決定する。最低・平均気温、湿度と直達日射量の日データは NCEP/NCAR 再解析プロジェクトを利用している。PEMは既存のパラメトリックモデルとよく似ていて、PARからNPPを算定するのに用いられる。計算では、まず、FPAR、PARと地上気象観測値から日全第一次生産量(GPP)が求められ、次に維持や成長による呼吸量が求められ、この差としてNPPが求められる。これを2倍することにより、バイオマス変動量とした。空間解像度は 0.5 度で、時間解像度は 1 ヶ月である。図 4 に 1982 年と 1999 年の積算値を示す。

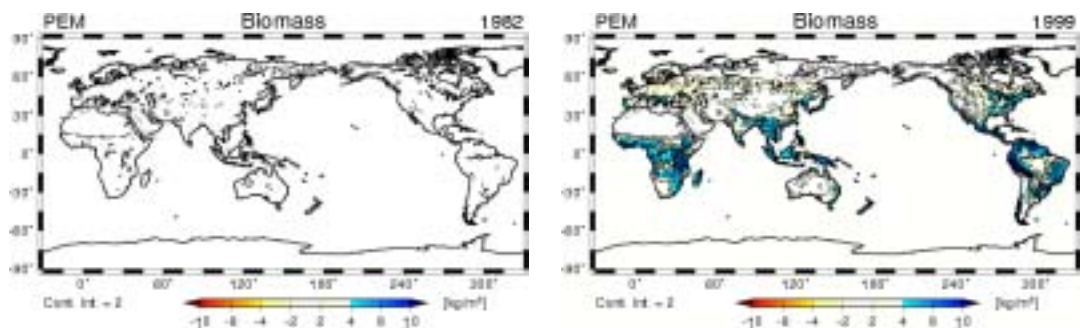


図 4: バイオマス増加量の積算値。左: 1982 年、右: 1999 年。値は 1982 年 1 月 1 日から、各年の 12 月 31 日までの積算値で表されている。Nemani et al. (2003) のデータを基に算定した。

VII) その他の質量変動

上記以外で、検討すべき自然現象による質量変動として、森林・草原火災が挙げられる。火災地域のデータは、衛星観測データを解析することにより得られる。例えば、生きている植生であれば、蒸散により、葉温はあまり高くないが、死んでいる植生では蒸散がないため葉温が高くなることを利用して、火災地域を同定する手法(Ahern et al. 2001)などがあり、2000年については全球データセット(GLOBALSCAR)がある。しかし、その火災によって、どれだけ質量変動があるかを推定することは極めて難しい。木本類では、火災により炭化して、枯れるものもあれば、葉や表面のみが炭化するだけで、生き続けるものもある。従って、現時点では、火災地域の衛星データの所在を明らかにすることに留める。

2.2 人為的質量変動データ

人為的な質量変動としては、地下資源鉱物の産出が挙げられる。まず、現在運用されている衛星重力ミッション GRACE で推定できる質量変動は、160,000km²の空間スケールで水換算10mm程度である。これを質量換算すると1.6x10⁹tとなるので、世界生産でこれ以上産出している、石炭、原油、天然ガス、鉄鉱石、ボーキサイト、石灰石を対象とする。採掘では、一方的に質量は減少するので、数10年スケールの減少を対象とし、将来の質量変動推定精度向上を勧告して、10⁷t/年以上の産出がある場合のみをデータベース化した。これらのデータベースでは、採掘地点名、国名、緯度経度、産出量のデータからなっている。産出量については、2000年の値がほとんどである。

I) 石炭、天然ガス、鉄鉱石、アルミニウム、天然ガス

アメリカ地質調査所の国別鉱物データの採掘場リストに掲載されていて、上記の産出量を超える採掘場を、データベース化した。天然ガスは通常、エネルギー量でまとめられているが、変換係数を用いて質量に直した。

II) 石油

Simon(2001)の油田Top100を元に作成した。但し、石油の採掘については、増進回収法など原油を採取する際に、水や天然ガスなど加えるため、質量としては原油と水の比重の差の

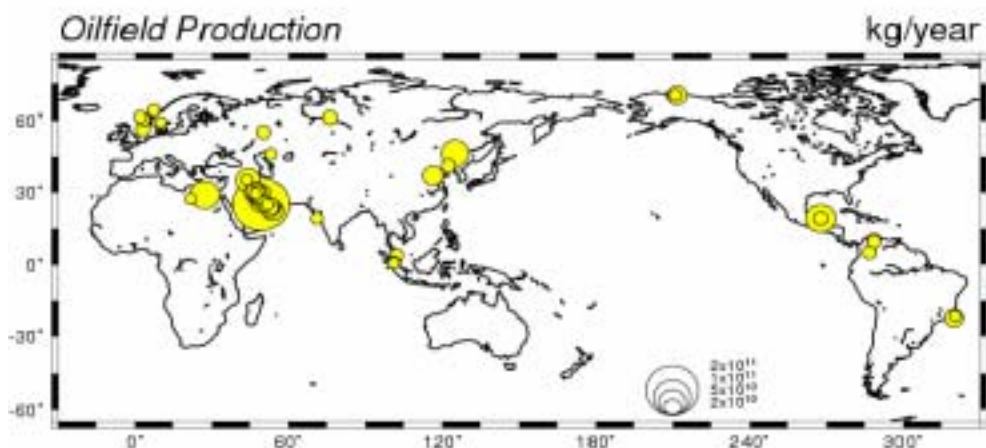


図5: 油田の地理的分布とその年産出量。Simon (2000)のデータを基に作成。

10%だけが変化すると考えられる。図5に油田別産出量の地理的分布を示す。

3. まとめ

本研究では、衛星重力ミッションの研究に利用するための、陸域の質量変動に関わる現象の主なものを選び、データセットとしてまとめた。現在は、まだ整備段階であり、できるだけ早い段階での公開を目指している。データセットとして、含まれていない現象、不備な点などが多々あると思われるので、様々な意見を取り入れていきたい。

参考文献

- Ahern, F., J.G.Goldammer, and C. Justice (eds.), "Global and regional vegetation fire monitoring from space: Planning a coordinated international effort," SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, p.302, 2001.
- C. M. Birkett, "Contribution of TOPEX (NRA) radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands," *Water Resources Research*, 34, 5, 1223-1239, 1998.
- J. P. Boy and B. F. Chao. "Time-variable gravity signals during the water impoundment of China's Three-Gorges Reservoir," *Geophys. Res. Lett.* 29, 24 2200 10.1029/2002GL016457, 2002.
- JRA-25 実施グループ, "JRA-25 長期再解析計画について," *天気*, 48(12), 909-915, 2001.
- Masuda, K., Y. Hashimoto, H. Matsuyama and T. Oki, "Seasonal cycle of water storage in major river basins of the world," *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3215-3218.
- G. Ramillien, A. Cazenave and O. Brunau, "Global time variations of hydrologic signals from GRACE satellite gravimetry," *Geophys. J. Int.* 158 813-826.
- E.M. Rasmusson, "Atmospheric water vapor transport and the water balance of North America." *Monthly Weather Review*, 95, 403 - 425, 1967.
- M. Rodell and J. S. Famiglietti, "Detectability of variations in continental water storage from satellite observations of the time-variable gravity field," *Wat Resour Res.*, 35(9), 2705-2723 1999.
- T. Y. Tanaka, K. Orito, T. T. Sekiyama, K. Shibata, M. Chiba, and Hiroshi Tanaka, "MASINGAR, a global tropospheric aerosol chemical transport model coupled with MRI/JMA98 GCM: Model description," 53(4), 2003.
- B. D. Tapley, S. Bettadpur, J. C. Ries, P. F. Thompson, and M. M. Watkins, "GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System," *Science*, 503-505, 2004 .
- R.R. Nemani, C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni, S. W. Running, "Climate driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999," *Science*, 300, 1560-1563, 2003.