

GPS、海面高度計、験潮儀データに基づいた 海面上昇に関する測地学的研究

宇宙測地学研究室 4年 空閑将吾

1.はじめに

近年、地球温暖化による海水準の上昇が世界的な問題になっている。海水準変動の現状はどのようになっているのか。Cazenave & Nerem (2004)によるレビューにまとめられている海水準変動の観測結果や要因と、Davis et al. (2005)、Johannessen et al. (2005)による南極氷床やグリーンランド氷床の変化に関する最近の研究成果を紹介した上で、GPS、海面高度計(アルチメータ)、験潮儀などの測地学的データから、日本近海の海水準変動速度について論ずる。

2.海水準変動の観測結果と要因

海水準変動を直接的に測定する方法には、験潮儀による観測と衛星によるアルチメータ観測がある。験潮儀観測は昔からあり、データが豊富にあるが、「地殻上下変動があると真の海水準変動と異なる値が得られる」という問題がある。験潮儀観測による地面に相対的な海水準変動速度の世界平均は、 $1.5 \pm 0.5 \text{ mm/yr}$ (Church et al., 2001)である。

一方、アルチメータは全海域で地球重心に対する海面高を求めることが出来るが、新しい技術のためデータはまだ少ない。アルチメータ観測による絶対的な海水準変動速度の世界平均は、 $2.8 \pm 0.4 \text{ mm/yr}$ (Nerem & Mitchum, 2001a, 2001b)である。

また、アルチメータ観測により、全海域で一定であると考えられてきた海水準変動速度に地域性があることが分かった。

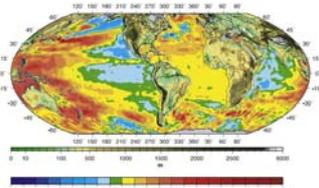


図1. 海水準変動速度の分布 (Cazenave & Nerem, 2004)
世界平均の10倍もの速度で上昇しているところや、逆に下降しているところもある。

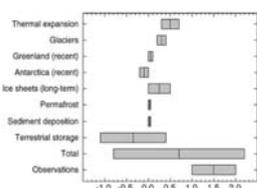


図2. 海水準変動を引き起こす要因それぞれの寄与の概算と験潮儀での観測値 (Church et al., 2001)
個々の要因毎に誤差が大きく、どれが海水準変動の主要な原因かは分からない。また、概算の合計と観測値に差があるが、誤差が大きいため有意に異なるとは言えない。

3.氷床厚の変化による影響

南極やグリーンランドの氷床は海水準変動に大きく影響する。氷の収支の状態を定量的に把握するには、氷床の厚さの変動を測定することが有効である。Davis 他 (2005)は、ERS-1、ERS-2のデータを用いて全南極氷床の70%に当たる内陸部分の氷床の厚さの変化を測定した。その結果、南極では海水準に換算して $0.12 \pm 0.02 \text{ mm/yr}$ もの氷床厚の増大があることが分かった。また、Johannessen 他 (2005)も同様にグリーンランド氷床の厚さの変化を測定した。それにより、グリーンランドでは海水準に換算して $0.07 \pm 0.01 \text{ mm/yr}$ の氷床厚の増大があることが明らかになった。

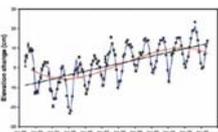


図3. 東南極の氷床の表面の標高の変化 (Davis et al., 2005)
1992年から2003年までの平均で1.8cm/yrずつ氷床が厚くなっている。安定した増加がある1995年以降の平均は、2.2cm/yrである。

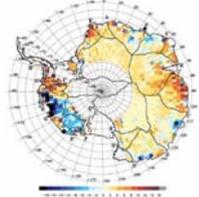


図4. 東南極の氷床の厚さの変動速度の分布 (cm/yr) (Davis et al., 2005)

西南極では氷床厚の増大と減少が両方見られるが、東南極の内陸部では広範囲にわたって氷床厚の増大が見られる。東南極の分布は、ECMWFの予測から得られた同期間の降雪量の変動の分布と大まかに一致している。

Elevation band (m)	DRM (cm/yr)	Standard error (cm/yr)	Area (10 ⁶ km ²)
<1.5	-0.02 ± 0.09	0.4 ± 0.04	155.1
1.5-2	0.01 ± 0.05	0.3 ± 0.02	2208.2
2-2.5	0.02 ± 0.04	0.3 ± 0.02	3068.0
2.5-3	0.04 ± 0.03	0.3 ± 0.02	4026.0
3-4	0.07 ± 0.02	0.3 ± 0.02	4462.0
>4	0.12 ± 0.02	0.3 ± 0.02	1462.0

表1. グリーンランドの様々な標高を持つ地帯毎の変動速度、標準偏差、面積 (Johannessen et al., 2005)

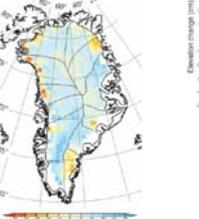


図5. グリーンランドの氷床の厚さの変動速度の分布 (cm/yr) (Johannessen et al., 2005)

内陸部の標高が高い地域の多くでは正の変動が見られる。一方、氷河の河口付近では大きな負の変動が見られる。

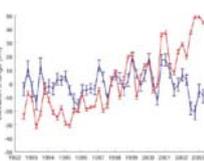


図6. グリーンランド氷床の厚さの時間変化 (Johannessen et al., 2005)
赤: 高度1500m以上、青: 高度1500m未満。2000年に降トレンドがずれてきている。

4.解析手法

本研究では、絶対的な海水準変動速度を求めるために、験潮データをGPS測位データにより補正するという手法を用いた。これにより験潮データから地殻変動の影響を取り除くことが出来る。

$$\text{海水準変動速度} = \text{験潮儀観測での海面高変動速度} + \text{GPS局の上下速度}$$

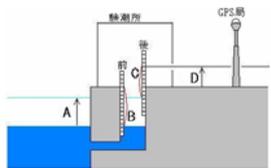


図7. GPSによる験潮データの補正の原理
この場合、 $A = (B - C) + D$ が成立立つ。なお、見易くするため変動前の験潮儀を左に、変動後の験潮儀を右に配置している。

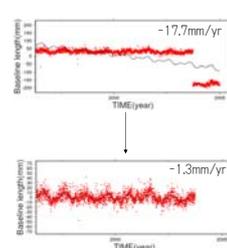


図8. 類似GPS局(北海道日高支庁)の上下変動の例 (上)修正前、(下)修正後を比較して示す。

2003年9月の十勝沖地震の前後でデータが切れている。このような場合、前後どちらかを切り捨てて計算する必要がある。今回はデータのより長い地震前のデータを用いた。験潮・GPS両データとも、このようなデータの瞬間的な「飛び」を避け、期間内の変動のトレンドが一定になるような期間を選んで計算している。

5.解析結果

5-1.相対的な変動速度の分布

日本近海の海水準変動速度を求めるため、日本国内の98ヶ所の験潮所とその最寄りのGPS連続観測点を選び、それぞれにおける相対的な海水準変動速度と上下速度を求めた。

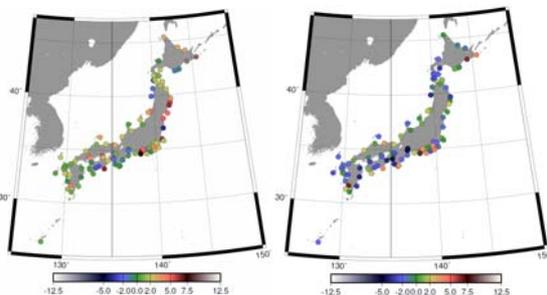


図9. (左)験潮儀観測による地面に相対的な海水準変動速度の分布 (mm/yr)
(右)GPS観測点の沈降速度の分布 (mm/yr)

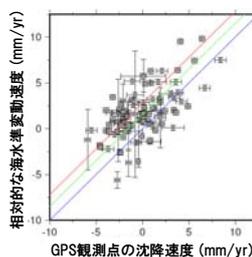


図10. GPS観測点の沈降速度と、験潮儀観測による相対的な海水準変動速度の相関
青: 海水準が変動していない場合 (0.0mm/yr)
緑: 験潮儀観測による海水準変動速度の世界平均 (1.5mm/yr) (Church et al., 2001)
赤: アルチメータ観測による海水準変動速度の世界平均 (2.8mm/yr) (Cazenave & Nerem, 2004)

相互相関係数 = 0.6

青い線から上にずれるほど絶対的な海水準変動速度が大きいことを示す。

5-2.日本近海の絶対的な海水準変動速度

験潮儀観測による地面に相対的な変動速度とGPS局の上下速度から、絶対的な変動速度を求めた。今回の研究からは、日本近海の絶対的な海水準変動速度は平均 $1.9 \pm 0.25 \text{ mm/yr}$ と結論づけられる。また、個々の地点での海水準変動速度のばらつきを表す標準偏差は 2.4 mm/yr となった。

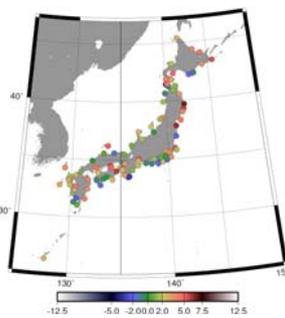
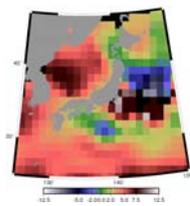


図11. (左)絶対的な海水準変動速度の分布 (mm/yr)
(右)アルチメータ観測による絶対的な海水準変動速度の分布 (mm/yr) (Cazenave & Nerem, 2004のデータによる)



6.考察

今回の解析で得られた海水準変動速度は、顕著な地域性を示している。例えば、北海道東部や東北地方太平洋側では上昇傾向、東海地方や四国南西部では下降傾向にある。しかしこの地域性は、アルチメータ観測で得られた海水準変動速度の地域性と必ずしも一致しておらず、地域によっては(東北地方太平洋側、東海地方など)異なる傾向が見られる。

今回用いた手法は、海面高のトレンドが験潮・GPS両データの観測期間を通じて一定であることを前提にしている。しかし今回の解析においてはGPS測位データが約10年分しかないのに対し験潮データは長いもので約50年分あるというような観測期間の差がある。この影響が、アルチメータ観測で見られた地域性と異なる地域性が見られるといった結果を引き起こしている可能性がある。

しかし今後、GPS測位データや験潮データがカバーする時間幅が十分に長くなり、また解析に用いるデータ期間を慎重に検討することにより、データ期間の場所による差の影響を取り除くことが出来ると考えられる。さらに、アルチメータ技術だけでは観測できなかった、細かい地域性を観測できるかもしれない。

7.参考文献

Cazenave, A. and R. Nerem, 2004, Present-day sea level change: observation and causes, Rev. Geophys., 42, R63001
David G. Vaughan, 2005, How Does the Antarctic Ice Sheet Affect Sea Level Rise?, SCIENCE, VOL 308, pp.1877-1878
Davis et al., 2005, Snowfall-Driven Growth in East Antarctic Ice Sheet Mitigates Recent Sea-Level Rise, SCIENCE, VOL 308, pp.1898-1901
GEONET http://terras.gsi.go.jp/gps/geonet_top.html
Johannessen et al., 2005, Recent Ice-Sheet Growth in the Interior of Greenland, SCIENCE, VOL 310
海岸昇陸検知センター <http://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html>
国土地理院, 2004, 地震予知連絡会会報, 第66巻, pp.595-610
国土地理院の験潮 <http://tide.gsi.go.jp/>