

国際高等研フェロー研究会  
「京大地球物理学研究百年(その3)」  
2010年2月13日(土)10:00～13:00  
京都大学理学部6号館301号室

# 京大地球物理学研究の現状と将来の展望 — 固体地球物理学分野 —

福 田 洋 一

# 地球物理学分野



太陽惑星系電磁気学  
講座 (2名)

(地球電磁気学分野)

大気圏物理学講座(6名)

(気象学分野)

(物理気候学分野)

水圏地球物理学講座 (4名)

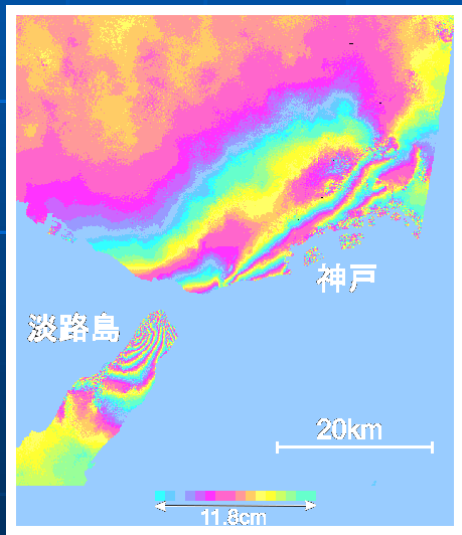
(海洋学分野)

固体地球物理学講座 (6名)

(測地学分野)

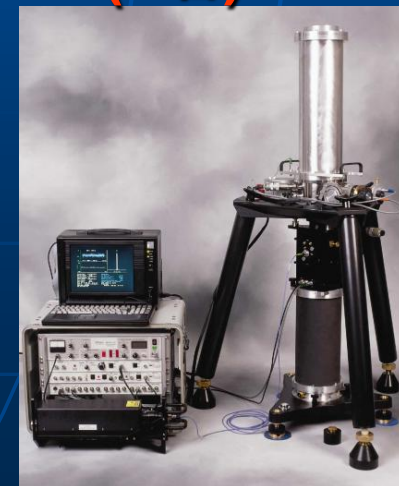
(活構造学分野)

(地震学分野)



附属地球熱学研究施設 (9名)

附属地磁気世界資料解析センター(4名)



# 地球物理履修の流れ

地球物理学分野系登録 3回生 定員29名

## 課題演習

DA, DB 地球惑星科学課題演習(前期)  
DC, DD 地球惑星科学課題演習(後期)

## 地球物理学分野 課題研究

T1 電磁気圏  
T2 大気圏・水圏  
T3 固体圏

大学院地球物理学分野 定員42名 → 33名

## 固体地球物理学関係の分科(6分科)

測地学及び地殻変動論、地震学及び地球内部物理学、火山物理学  
地殻物理学及び活構造論、環境地圏科学、地球熱学

◆ 地球惑星科学専攻 地球物理学分野 ◆

○ 地球惑星科学専攻地球物理学分野の分科内容

地球物理学を主とする分野には、次の分科がおかれている。

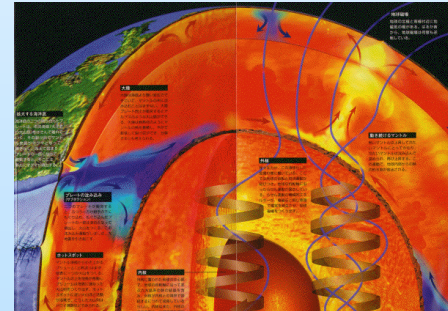
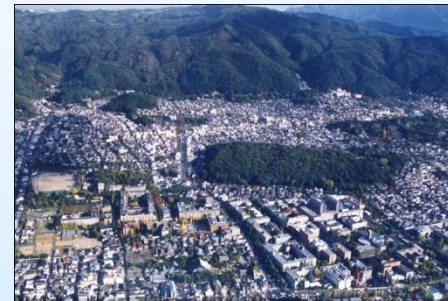
A. 固体地球物理学関係の分科

分科名	教員名	(所属)	分科の内容
測地学及び 地殻変動論	福田 洋一 宮崎 真一 車 敏博 橋本 学 川崎 一朗 大谷 文夫 寺石 眞弘 森井 互 徐 培亮	(地球) (#) (#) (防災) (#) (#) (#) (#) (#)	この分科では、重力計、傾斜計および伸縮計などの連続観測データに基づく地殻変動と地球潮汐の研究、重力測定による地下構造の推定の研究、光波測距儀やGPS受信機などを用いた精密測位の研究、人工衛星アルティメータ・衛星重力データなどを用いた地球重力場とジオイドの精密決定の研究、並びに、それらの研究に必要な観測計器および観測システムの開発などをおこなう研究対象としている。この分科には、地球物理学教室と防災研究所地震予知研究センターが関与している。
地震学及び 地球内部物理学	中西 一郎 平原 和朗 久家 慶子 宮崎 真一 大倉 敬宏 飯尾 能久 川崎 一朗 西上 欽也 橋本 学 Mori, James J. 大見 土朗 片尾 浩 澁谷 拓郎 竹内 文朗 深畑 幸俊 柳谷 俊 加納 靖之 宮澤 理絵 福島 洋	(地球) (#) (#) (#) (阿蘇) (防災) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#)	地震学及び地球内部物理学の研究は、地球内部の破壊現象としての地震そのものの理解(地震の物理)、地球物理学諸現象の発生場である地球内部の構造・物性の理解(地球内部物理)、および、これらの総合として地震発生の子知をめざすものである。 現在行われている研究には、地震波動・地震発生機構・地震活動・地殻構造及び地球深部構造・テクトノフィジクス・地震予知などに関する観測的、解析的、実験的、数値計算によるシミュレーション的研究がある。 これらの研究は、主として理学研究科地球物理学教室、同地球熱学研究施設、及び防災研究所で行う。
火山物理学	鎌山 恒臣 古川 善紹 大倉 敬宏 宇津木 充 石原 和弘 井口 正人 味喜 大介 山本 圭吾 神田 径 為栗 健	(阿蘇) (#) (#) (#) (防災) (#) (#) (#) (#) (#) (#)	固体地球物理学の研究対象として火山現象を取り上げ、火山の本性を解明するとともに、固体地球の性状を明らかにする。研究内容を大別すると、火山活動に伴うさまざまな地球物理学の変動(地震活動・地殻変動・地磁気の変化・地熱の変化など)をとらえて、火山活動の様相を解明する。この研究は、火山噴火予知の方法を探る基礎研究ともなる。次に、火山体の構造をさまざまな地球物理学的方法(地震動・重力・地磁気など)を用いて解明する。さらに、火山活動はマグマの生成・上昇・噴火のすべての過程をたどるものであって、その根源は上部マントルにあるので、火山現象を通じて上部マントルの性状を解明する問題も研究対象となる。なお、研究の場合は、主として理学研究科附属地球熱学研究施設・火山研究センター(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)と防災研究所附属火山活動研究センター(鹿児島県鹿児島市)、および地球熱学研究施設京都分室(京都市)である。

分科名	教員名	(所属)	分科の内容
地殻物理学及び 活構造論	堤 浩之 竹村 恵二 岩田 知孝 松波 孝治 浅野 公之	(地球) (別府) (防災) (#) (#)	この分科に關与する研究室は、地球物理学教室と防災研究所にある。この分科では、固体地球の諸現象、とくに人間社会に關係の深い諸問題を、物理学および地形学・地質学的手法で解明し、また、それを通じて地球科学及び地球物理学の新たな課題を見出すことを主な研究目的としている。例えば、活断層・活褶曲・活傾動を初めとして、第四紀の地殻運動(活構造・ネオテクトニクス)を地形学・地質学・地球物理学的手法で解明し、大地震の長期的予震発生間隔の究明やある地域の最大地震動の予測、ある活断層から発生する地震規模の推定などの研究を行う。具体的には、空中写真・衛星画像・精密地形図などの判読、地形・地質調査、反射法地震探査・試雑資料の分析や対比などの手法を用いて、活構造の特徴・成因・機構などを解明する研究を行う。震源の物理を考慮した地震波の発生機構、不均質媒質内での地震波の伝播機構、および表層地質・地形構造によって2次的に励起される地震波の生成・伝播機構を地震動の観測的手法や、弾性波動論など理論的手法に基づいて解明する研究を行う。さらに、これらの知見を統合した強震動予測や地震危険度評価に関する基礎的および応用的研究を行う。地殻構造の物理探査法の研究、地表踏査による地形・地質と試雑資料との対比、それら調査法の精度向上、地殻上部の詳細な物性の解明やそれらの成因に関する研究を行う。
環境地質科学	石原 和弘 千木良雅弘 Sidle, Roy C. 関口 秀雄 釜井 俊孝 本峯 章 諏訪 浩 井口 正人 福岡 浩 寺嶋 智巳 山本 圭吾 神田 径 汪 亮武 王 功輝 味喜 大介 為栗 健	(防災) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#) (#)	地圏を対象とした地球科学の諸学問分野を総合して、人類の生活の場である地球表層陸地部の環境に関する基礎的、応用的研究を行う。この分科で扱う主な研究領域は大別すると次の通りである。1) 都市や集落が形成されている平野部および山麓部における地すべり、液状化・すべり面液状化などの地盤崩壊現象は大きな環境劣化要因である。地すべり学、地形学、土質力学、地質学などの知識を用いて、これらの地盤崩壊現象を中心とした地盤環境の研究を行う。2) 都市域の急崖、および道路、鉄道などの都市域をつなぐライプラインに近接した急斜面からの土砂や岩石の崩落による災害が増加しつつある。地形発達史、水文地形学、地盤調査・探査法などの知識を用い、かつ地域の社会的条件を考慮して斜面環境の研究を行う。3) 起伏の大きい山体では、山体の変形、風化による地盤物性の変化、崩壊、土砂流などによる削剥、運搬、堆積に伴って激しい環境変動が生じている。地質学、地形学、水文学などの知識を総合して、これらの現象を中心とした山地環境について研究する。4) 火山噴出物からなる独特の地形・地質と降灰・溶岩流出・火砕流など種々の形態の噴火現象は火山地域の環境に大きな影響を与えている。火山地質学、予知計測学、火山災害論、火山岩石学などの知識を総合して火山活動が環境に与える影響を研究する。
地球熱学	竹村 恵二 大沢 信二 川本 竜彦 山本 順司 柴田 知之 鎌山 恒臣 古川 善紹 大倉 敬宏 宇津木 充 福田 洋一	(別府) (#) (#) (#) (#) (阿蘇) (#) (#) (#) (#) (地球)	この分科では、地球内部熱源に起因するさまざまな現象の解明を目的として、実験的ならびに理論的な研究を行う。そのための野外調査の拠点として、世界的に火山・地熱活動の最も活発な地域の一つである中部九州地域に、理学研究科附属の地球熱学研究施設・本部(大分県別府市)と地球熱学研究施設・火山研究センター(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)が設置されており、地球熱学研究施設京都分室(京都市)との提携のもとに研究がすすめられている。研究内容に応じて、これらの施設およびそこに備えられている地震・地殻変動・地磁気・地熱などの観測設備や各種の分析機器を利用できるほか、両施設に蓄積されている研究資料を用いることができる。具体的な研究テーマとしては、地熱流体の流動・水文循環過程、火山・地熱活動の特性、火山地質とテクトニクス、岩石・熱水相互作用、地下熱構造の発達過程、地殻・マントルの熱過程などがある。こうした多様な研究テーマに対応するため、陸水物理学・火山物理学・地殻物理学・地球内部物理学・構造地質学・地球化学・地球物質科学など、多岐にわたる関連学問分野の協力のもとに学習と研究を行う。

# 課題演習DA 月曜日3・4限

1. 測地学
  2. 活構造学
  3. 地震学
  4. 地球熱学
- \* 1課題: 3回



# 課題演習DC 月曜日3・4限

- ・宇宙測地データに触れる
- ・計算弾性力学
- ・活断層と内陸直下型地震
- ・地球の鼓動を探る
- ・マグマから噴火まで

(2009年度)

半期をかけて一つのテーマに取り組む

# 課題研究T3 主な研究課題

マントルとコアの構造  
地殻構造  
地震波の数値計算と応用  
マントル対流とプレート運動  
岩石の破壊機構  
高温・高圧下の物性  
地震発生過程  
応力場の形成と活構造  
歴史地震  
地震前兆現象の仕組み  
地震観測法

超伝導重力計や絶対重力計を用いた  
地球潮汐、地球自由振動  
重力時間変動の研究  
GPSやSARを用いた地殻変動の研究  
衛星重力や衛星高度計など  
衛星データの応用研究  
活構造と地形形成  
地震の長期予測  
海溝型巨大地震の発生履歴  
地下構造探査の実験と理論  
地震波動の特性と地震動災害  
火山活動の解析  
マグマと地球内部の物質循環

**テーマが決まっているわけではなく自分で決める！**

# 平原 和朗 教授

hirahara@kugi.kyoto-u.ac.jp



## 最近興味を持っていること

### ●地震発生サイクルシミュレーション

計算機の中で地震を発生させ、地震発生予測(?)

特に、近い将来発生する南海トラフ巨大地震をなんとかしたい

(足元の活断層(琵琶湖西岸・花折断層)についても)!

### ●地震波形を用いて地球内部(の時間変化)を見る

レーザ関数トモグラフィー: 日本列島の地殻・上部マントルの3次元微細構造

地震波干渉法: できれば時間変化をとらえたい

(流体移動? 地震前・後に変化?)



# 中西 一郎 教授

ichiro@kugi.kyoto-u.ac.jp

- 研究紹介

- 地球内部構造

グローバル

地球マントルの3次元構造

地球内部不連続層の微細構造

日本周辺

プレートの沈み込みと火山との関係

# 久家 慶子 准教授

keiko@kugi.kyoto-u.ac.jp

<http://www-seis.kugi.kyoto-u.ac.jp/keiko/>



## 私自身の最近の主な興味

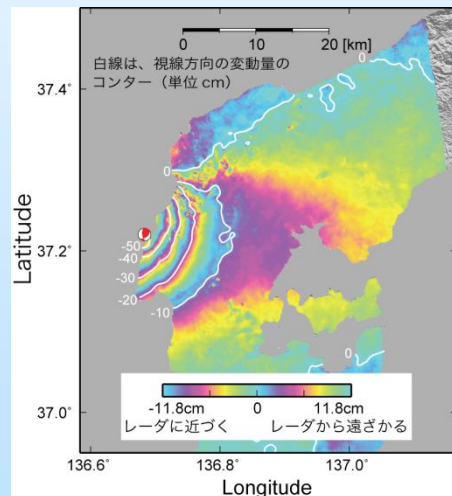
プレートテクトニクスに潜む未解決な問題

最近は、上部マントル構造と、そこでの地震発生のダイナミクス

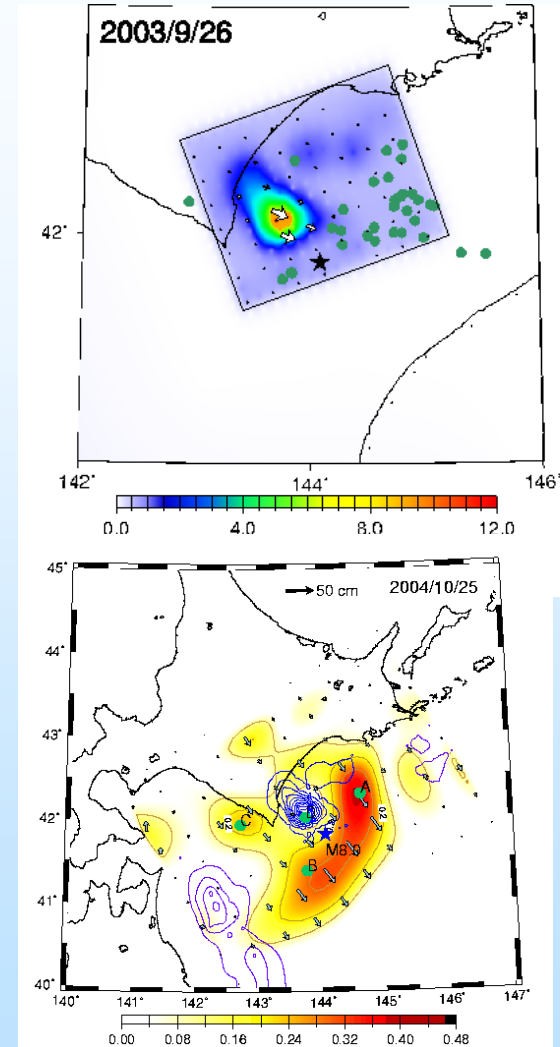
- ◆ 深い地震が沈み込むプレート内でどのように起こっているか
  - 観測された地震波形の解析から実際の出来事を明らかにする
  - 地震の破壊シミュレーションで起こることを予測・解釈する
- ◆ プレート内部および沈み込み帯含む周辺の構造はどうなっているか
  - 地震波形の解析や地震活動から推定する

# 宮崎真一 准教授

shinichi.miyazaki@kugi.kyoto-u.ac.jp



2007年能登半島地震による地殻変動を示すSAR干渉画像。地震により、斜め西方向(入射角47度)に最大50cm程度地表が近づいたことを示している。



GPS地震計(1秒サンプリングGPS)から得られた2003年十勝沖地震の地震時(上)および30日後(下)のすべり量分布(単位m)。地震時にすべった領域(コンター)の周辺で地震後もゆっくりずるとすべっていることがわかる。

# 堤 浩之 准教授

tsutsumh@kugi.kyoto-u.ac.jp

(活構造学, 古地震学, 変動地形学)



海溝型巨大地震の研究  
隆起サンゴ礁調査

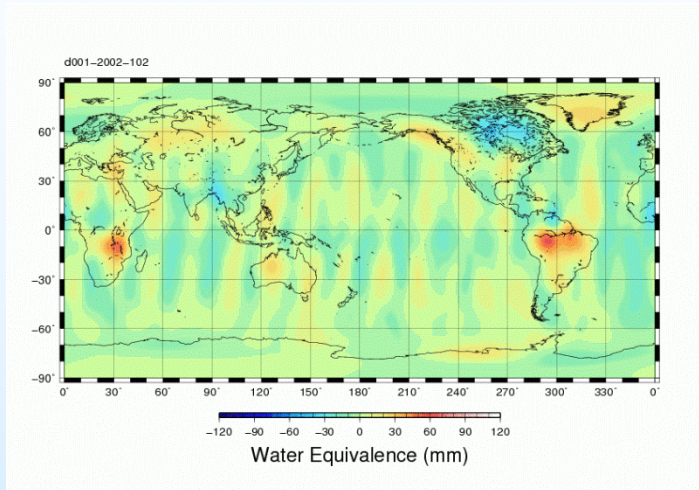


内陸活断層の研究  
トレンチ調査

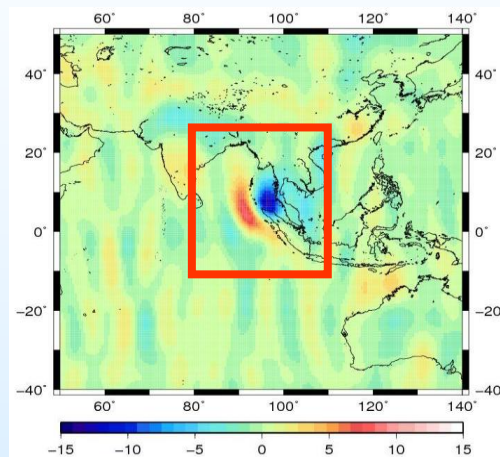
# 福田洋一 教授

fukuda@kugi.kyoto-u.ac.jp

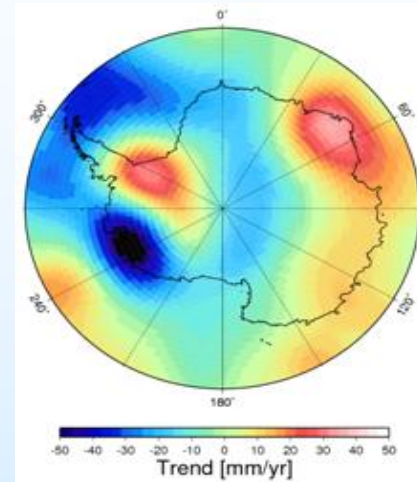
## ☆衛星重力ミッションGRACEを用いた研究



GRACEが捉えた陸水変動



GRACEが捉えた2004年スマトラ地震による重力変化



GRACEが捉えた南極の氷床変動

## ☆精密重力測定、精密計測



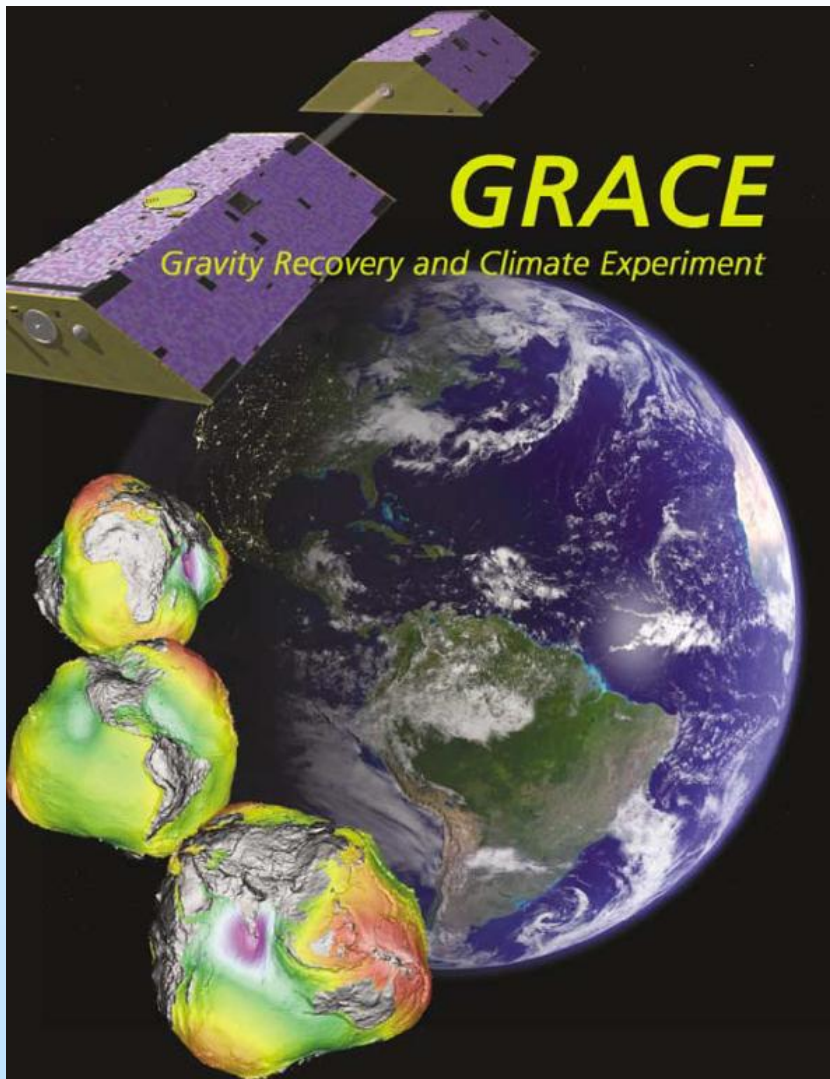
南極昭和基地での絶対重力測定(右)と超伝導重力観測(左)。



インドネシア(チビノン)での超伝導重力観測  
赤道域から地球のダイナミクスにせまる。



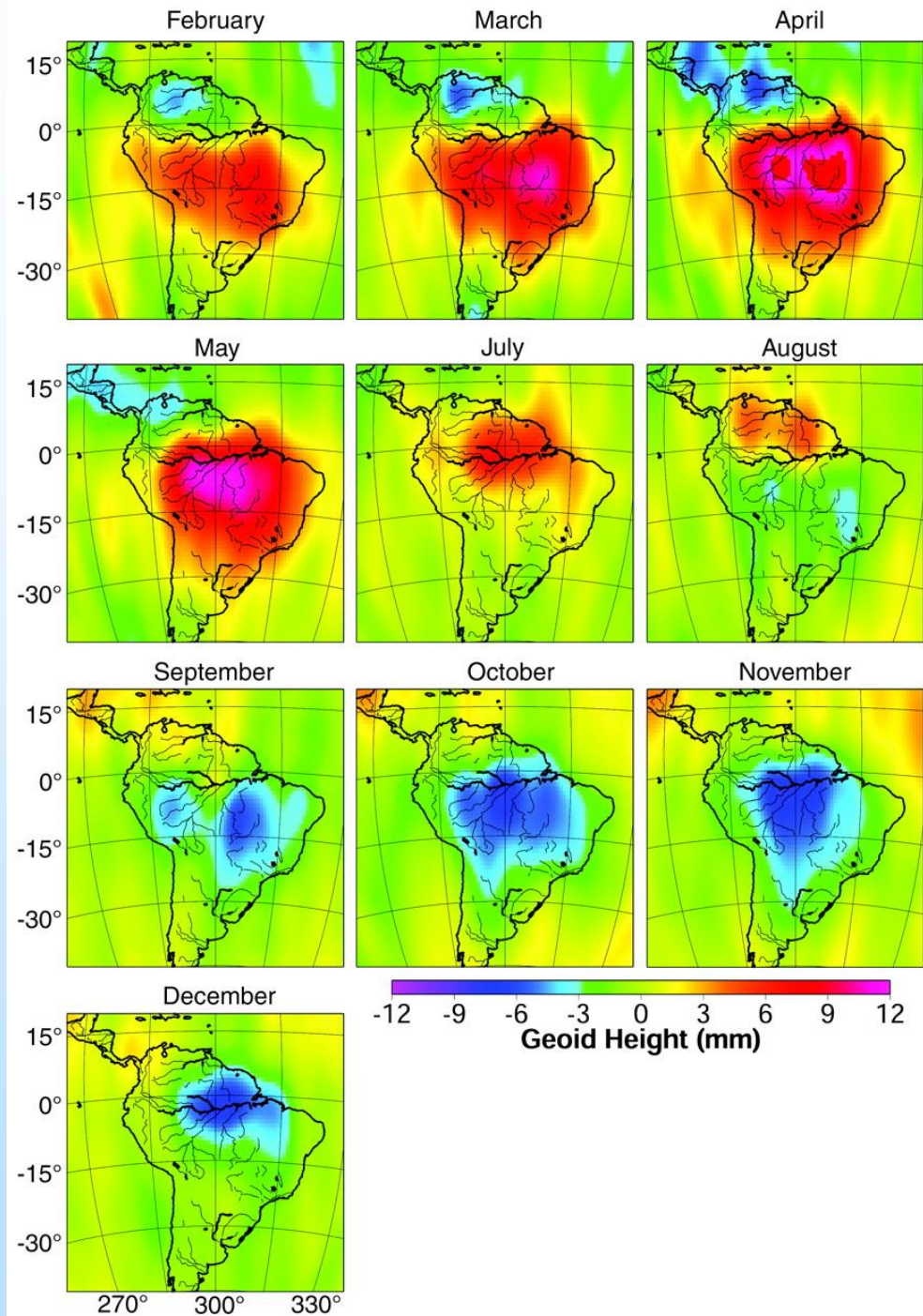
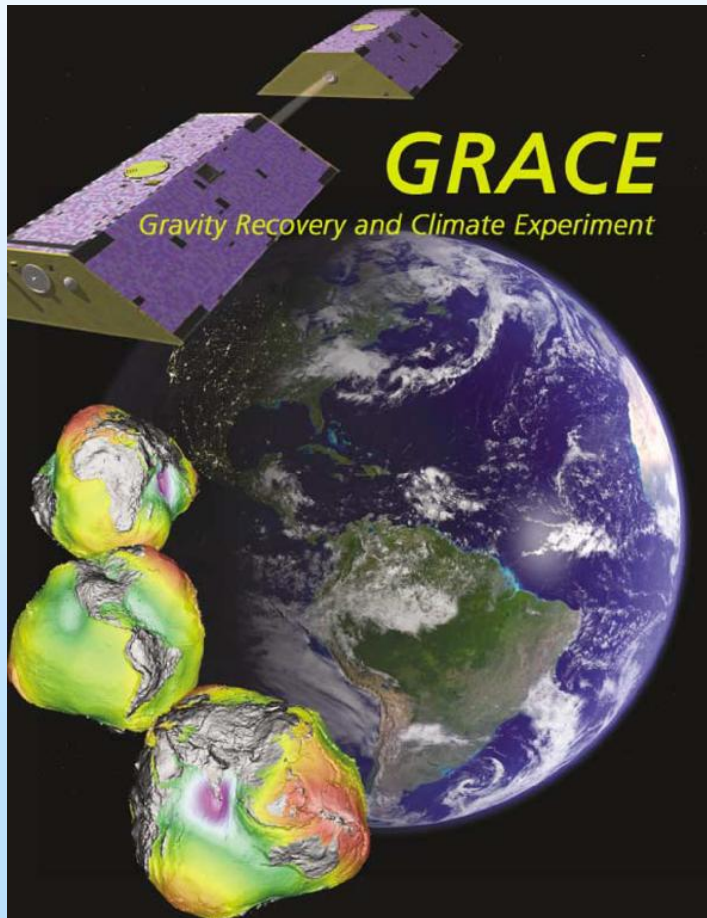
ポータブル絶対重力計の地下水変動、  
地盤沈下などへの応用



- ・2002年3月17日打ち上げ
- ・NASA(米),GFZ(独)の共同ミッション
- ・L-L SSTによる地球重力場(の変化)の測定
- ・ターゲット
  - 全球水循環
  - 海洋ダイナミクス
  - 海水準変動(海面上昇)
  - 氷床変動
  - PGR、GIA
  - 固体地球変動(地震)
  - マントルダイナミクス
  - 大気ダイナミクス

# GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System

Tapley et al.,  
Science, Vol. 305, July, 2004

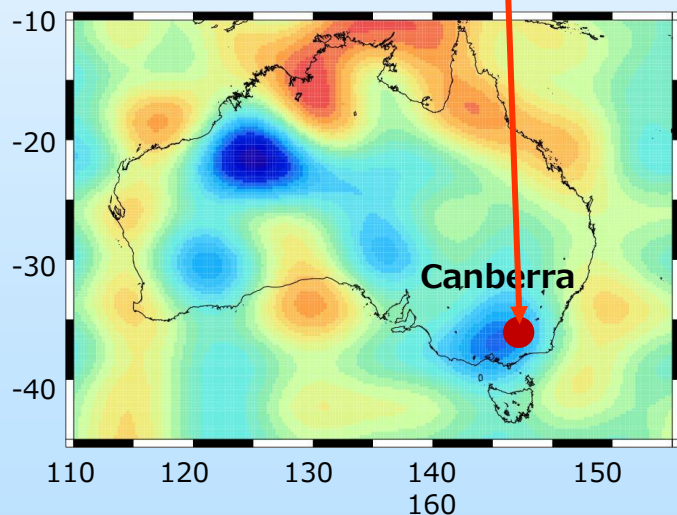
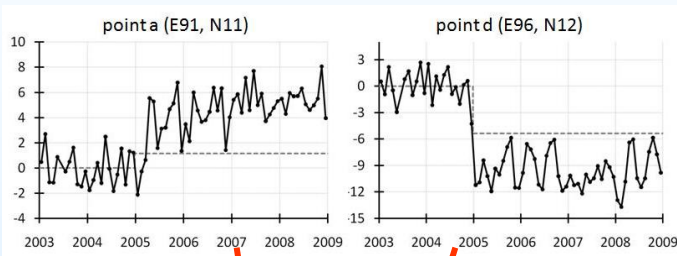
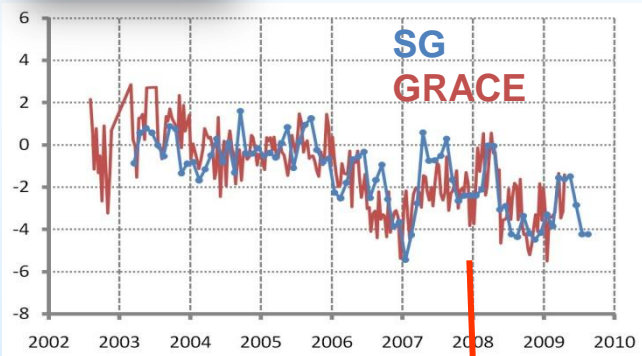


# GRACEを利用した研究(海外の動向)

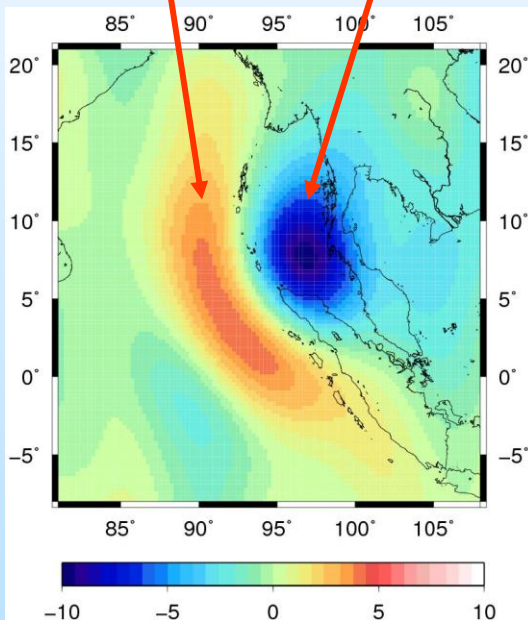
- IUGG2007(ペルージャ)
  - IAG関係の発表でタイトルの一部にGRACEを含むもの: ポスター19/153, 口頭17/61
- IAG2009(ブエノスアイレス)
  - 重力関係ポスター(28) 地上:衛星(11:17)
  - 重力のみならずジオダイナミクスセッションで多数の発表
- IUGG2011(メルボルン)
  - Union: Water cycle
  - Inter-Association: Monitoring the continental hydrosphere
  - IAG: Monitoring and modelling mass displacements



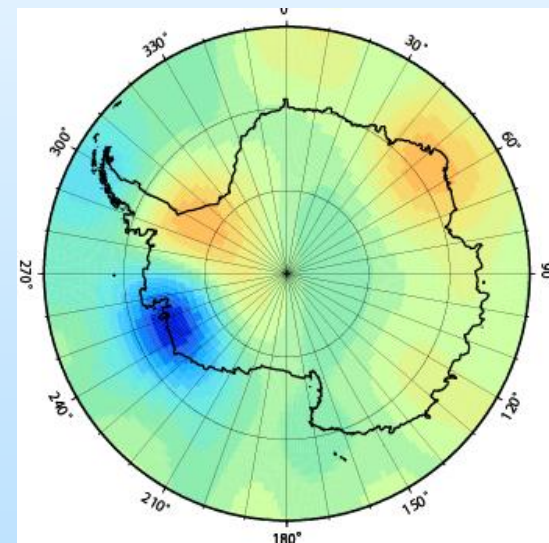
# GRACEデータの応用



オーストラリアの干ばつ



スマトラ地震

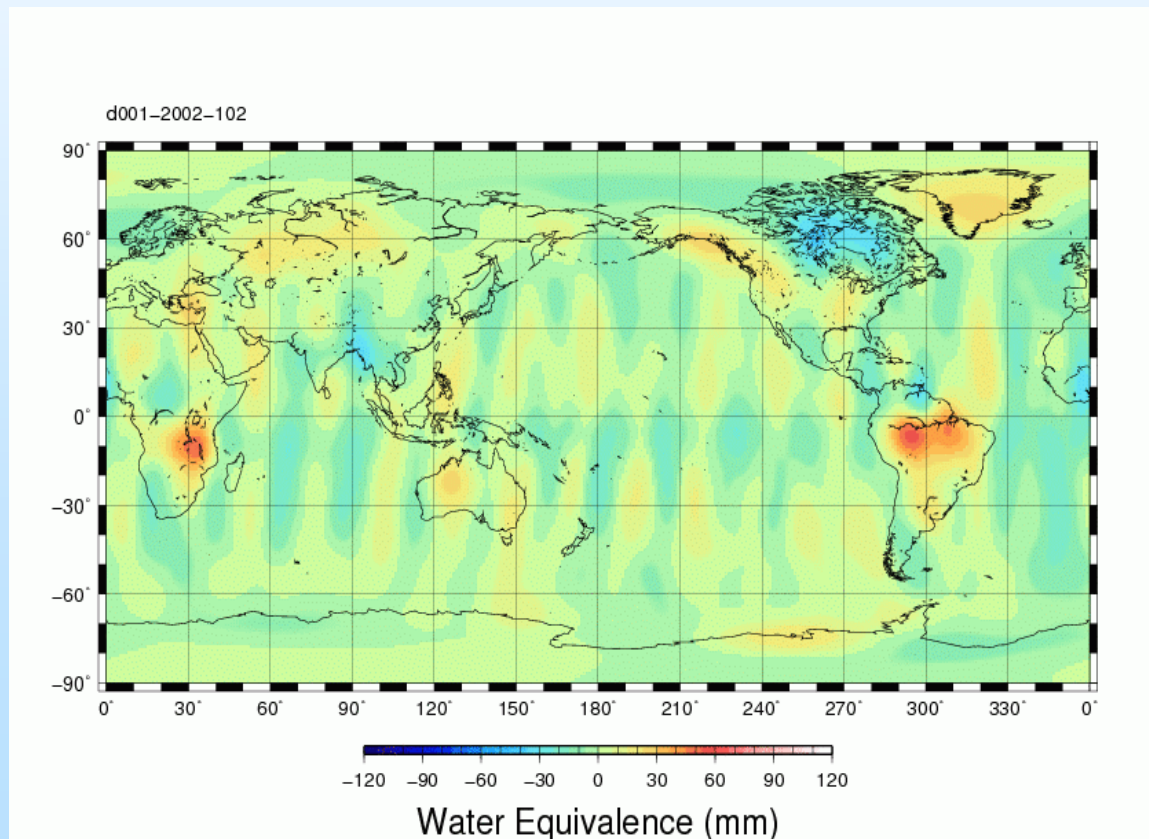


南極の氷床変動

# GRACE Level 2データ

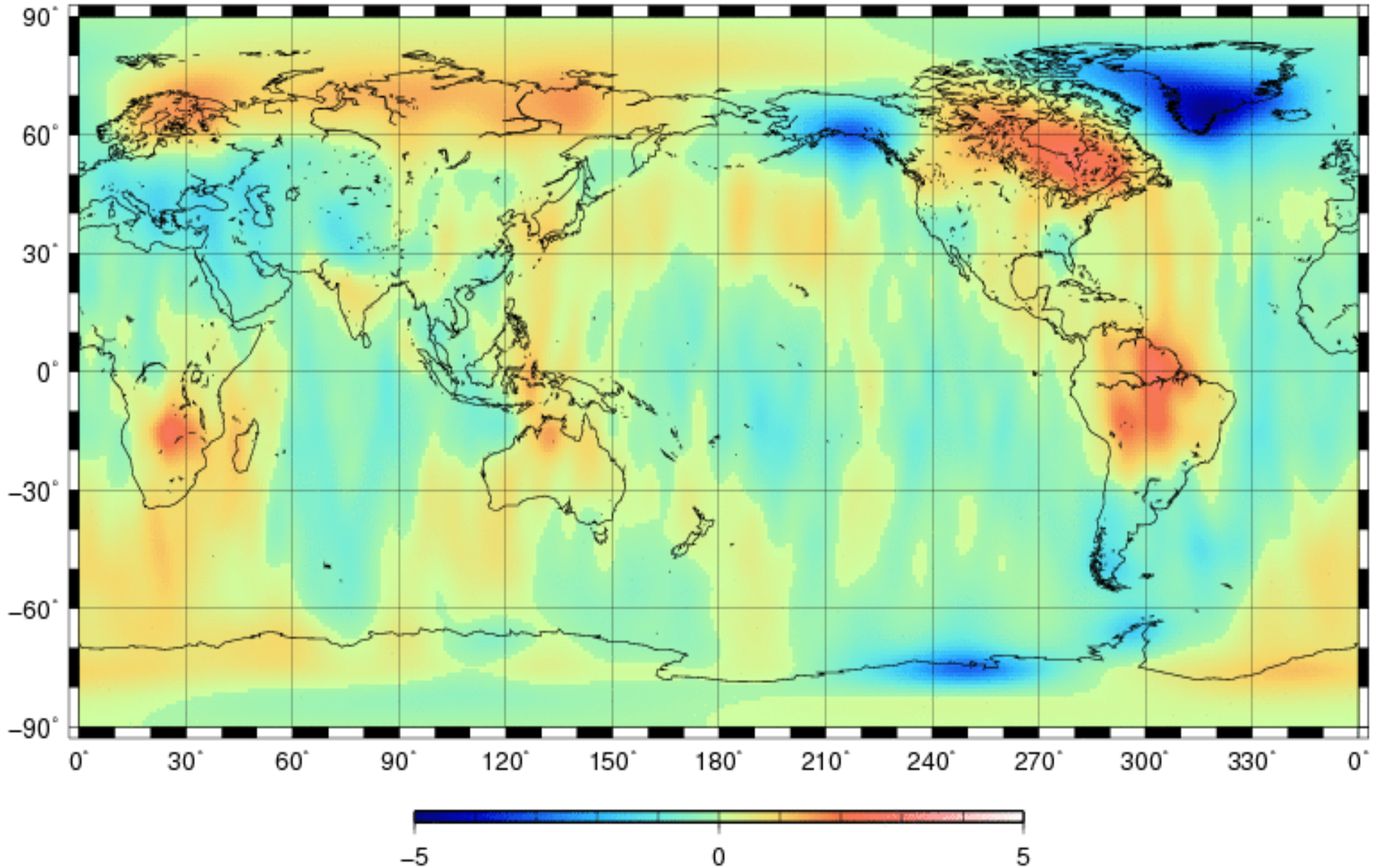
重力場球面調和関数係数 (Stokes係数) 時系列

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r}\right)^{l+1} \bar{P}_{lm}(\sin \phi) \left(\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{lm} \sin(m\lambda)\right)$$



# GRACEによるジオイドの経年変化

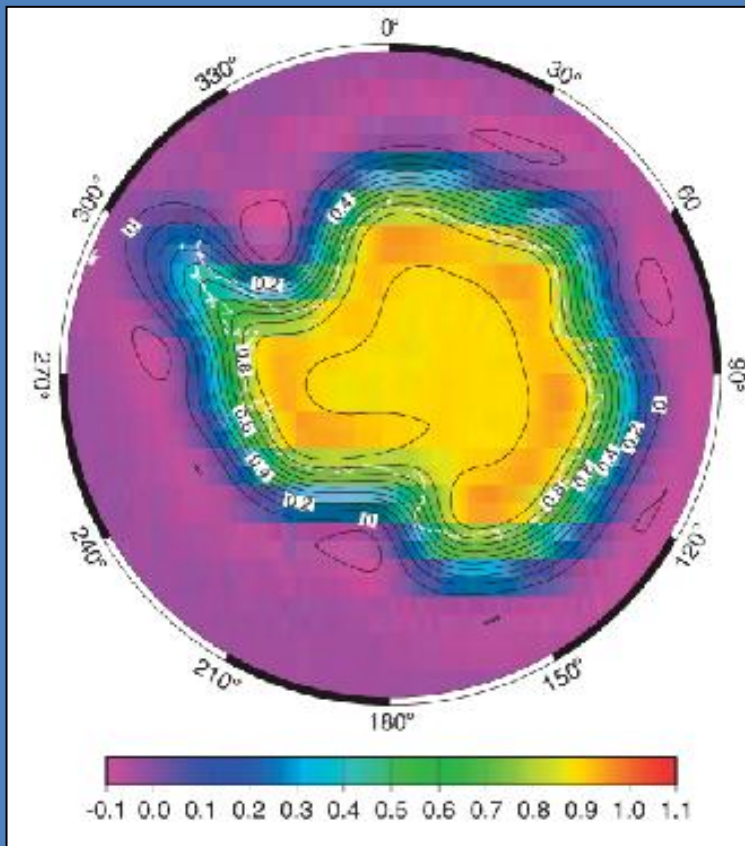
Geoid Trend (mm/year)



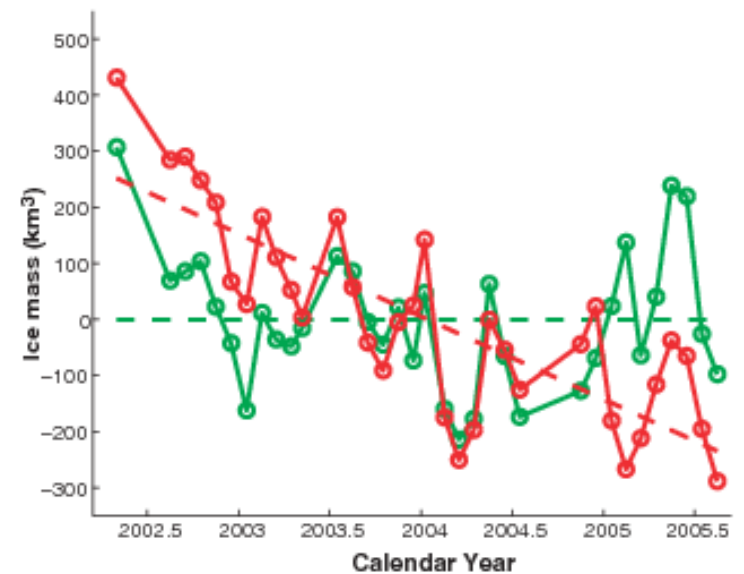
# GRACEを使った南極氷床変動の研究

Velicogna and Wahr (Science, 311, 2006)

(34 months data from April 2002 to August 2005)



**Fig. 3.** Monthly ice mass changes and their best-fitting linear trends for WAIS (red) and EAIS (green) for April 2002 to August 2005. The GRACE data have been corrected for hydrology leakage and for PGR.



# 南極氷床変動の特徴

Filchner-Ronne

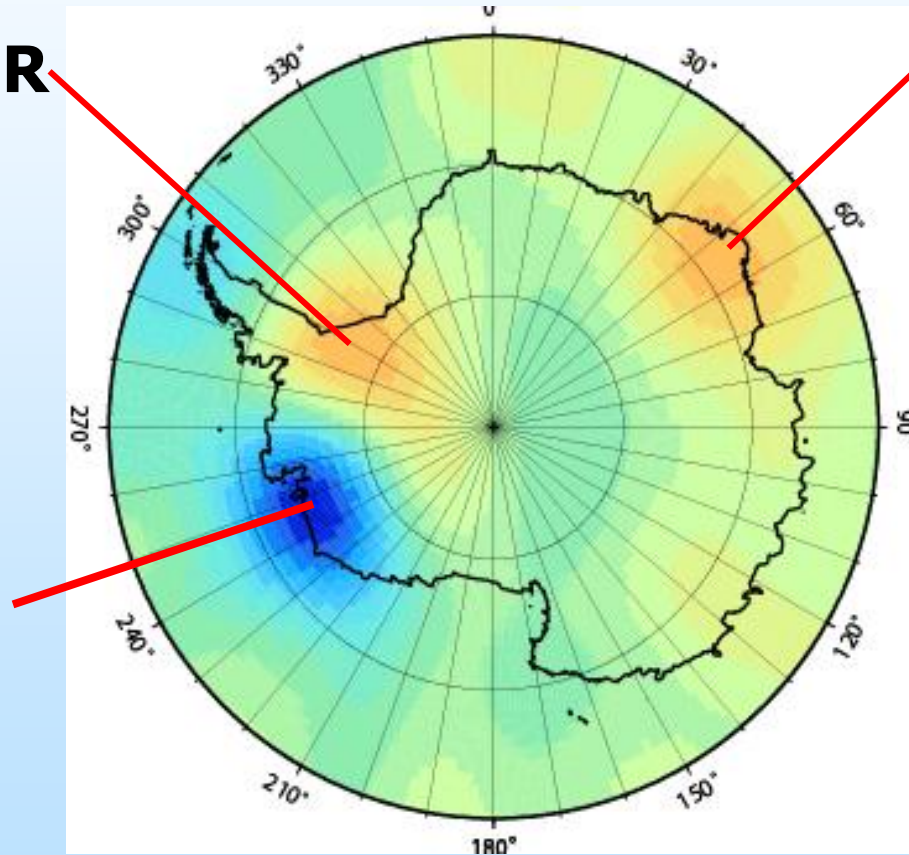
降雪, PGR

白瀬氷河

降雪

Pine

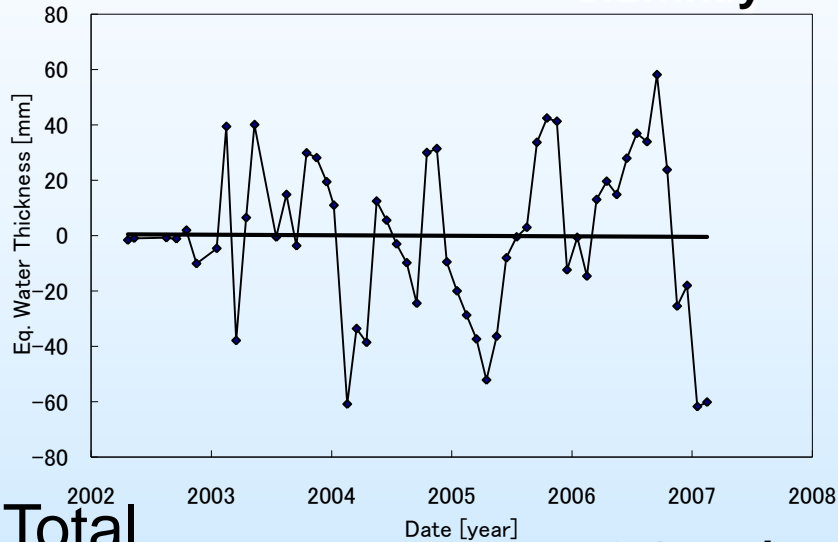
融解



# 大陸スケールでの質量変動

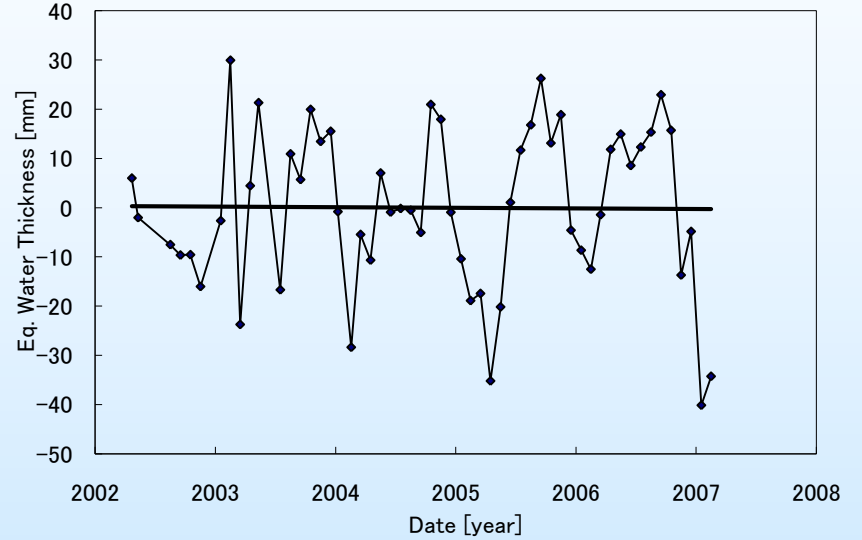
WAIS

-0.2mm/y



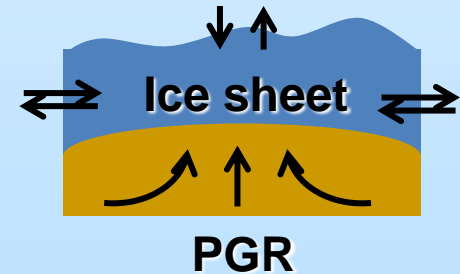
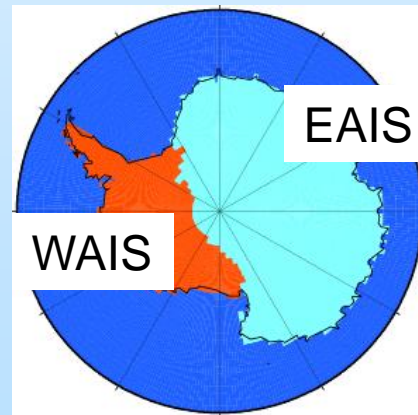
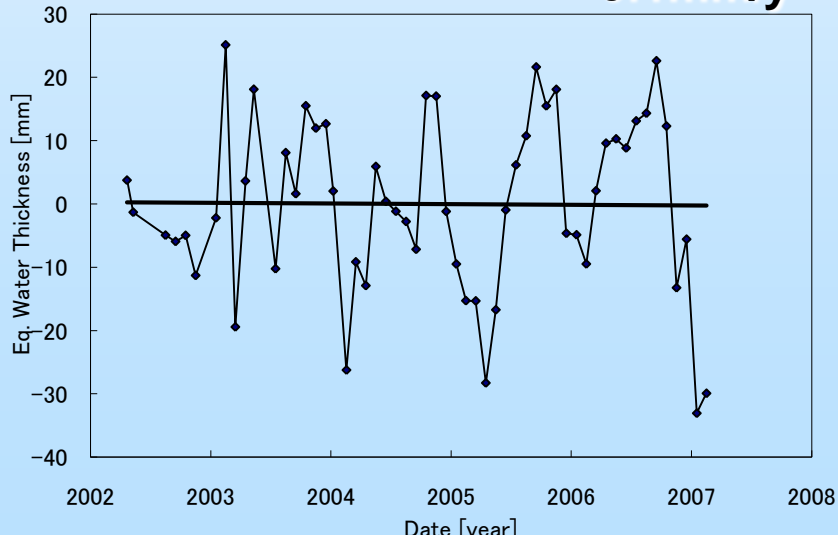
EAIS

-0.1mm/y



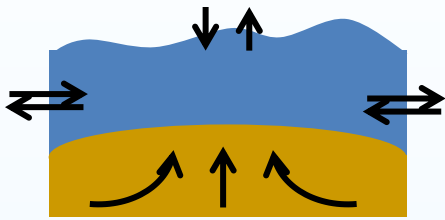
Total

-0.1mm/y



UTCSR RL04

[mm/yr] (water thickness eq.)



## GRACE

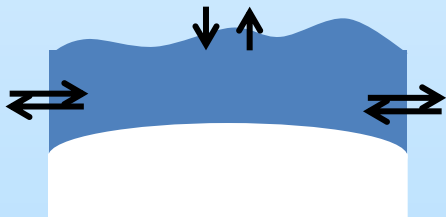
	WAIS	EAIS	Total
UTCSR	-0.2	-0.1	-0.1
GFZ	10.1	9.5	7.1
JPL	1.4	-1.7	-0.7



## Post Glacial Rebound

PGR Model	WAIS	EAIS	Total
ICE-3G	34.1	9.1	15.7
ARC3+HB	20.2	0.3	5.5
ARC3+D91	25.6	6.9	11.9
ARC3+ANT3	21.6	7.1	10.9
ARC3+ANT4	18.1	6.3	9.4
ARC3+ANT5	10.5	5.3	6.6
ARC3+ANT6	5.4	1.7	2.7

—)



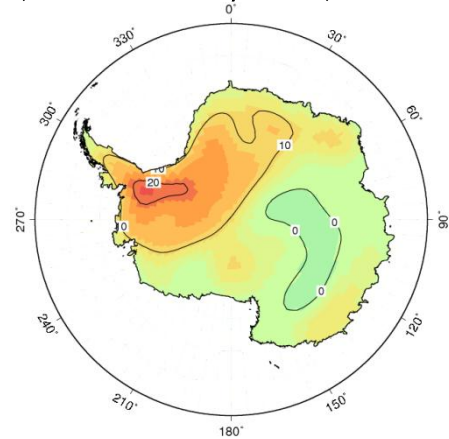
## Ice Mass Changes

	WAIS	EAIS	Total
UTCSR	-34.3 ~ -5.6	-9.2 ~ -1.8	-15.8 ~ -2.8
GFZ	-24 ~ +4.7	+0.5 ~ +7.8	-8.6 ~ +4.4
JPL	-32.7 ~ -4.0	-10.7 ~ -3.3	-16.3 ~ -3.4

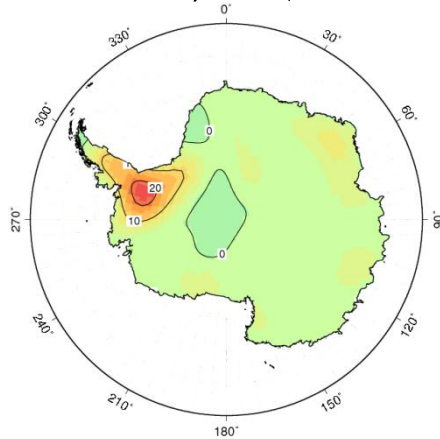
[mm/yr] (water thickness eq.)

# 南極でのGIAモデル

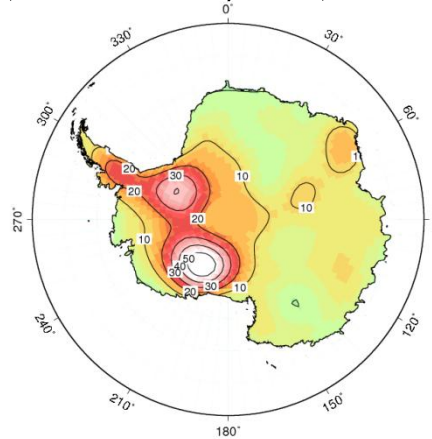
ARC3+ANT5  
(Nakada et al., 2000)



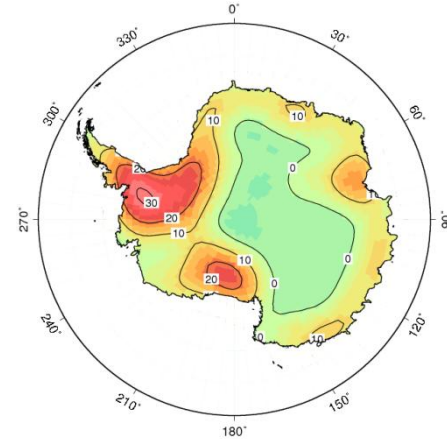
ARC3+ANT6  
(Nakada et al., 2000)



ICE-5G  
(Paulson et al., 2007)



IJ05  
(Ivins, 2009)

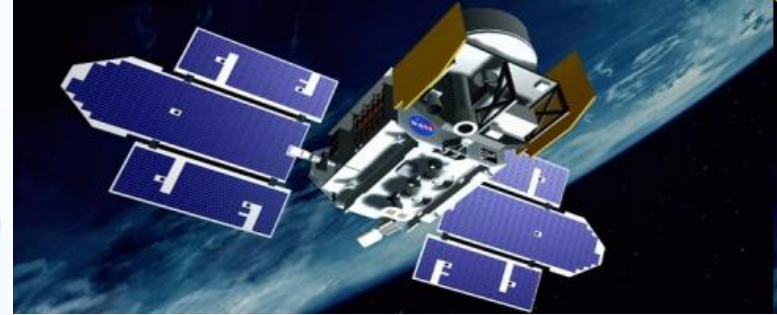


GIA model	ARC3+ANT5	ARC3+ANT6	ICE-5G	IJ05
Ice model (Antarctica)	ANT5	ANT6	ICE-5G	IJ05
Lithospheric thickness	100 km	100 km	90 km	100 km
Upper mantle	$5 \times 10^{20}$ Pas	$5 \times 10^{20}$ Pas	$9 \times 10^{20}$ Pas	$1 \times 10^{21}$ Pas
Lower mantle	$5 \times 10^{22}$ Pas	$5 \times 10^{22}$ Pas	$3.6 \times 10^{21}$ Pas	(1) $6 \times 10^{22}$ Pas (2) $1 \times 10^{22}$ Pas

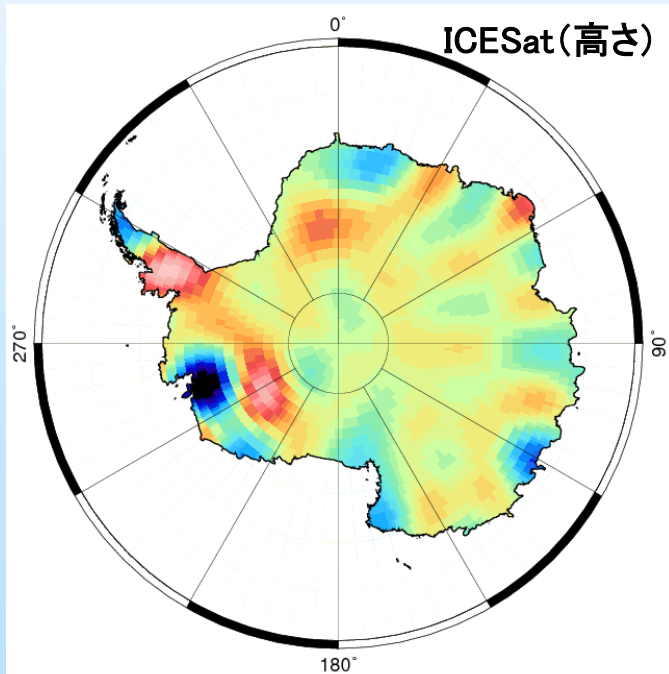


# ICESat

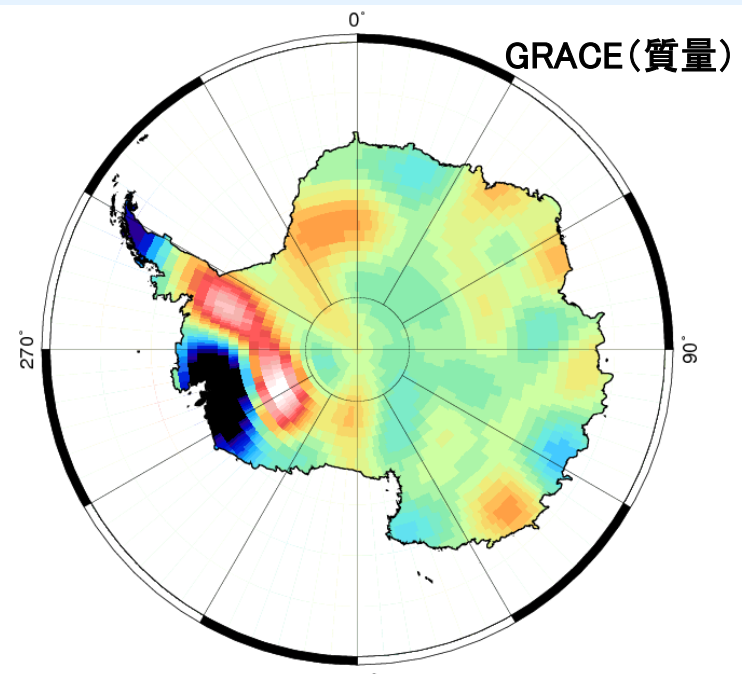
(Ice, Cloud, and land Elevation Satellite)



- ・2003年1月12日打ち上げ
- ・GLAS (The Geoscience Laser Altimeter System)  
データによる氷床高変化
  - 91-day repeat
  - 2003.10 – 2008.03 (13 setのデータ)

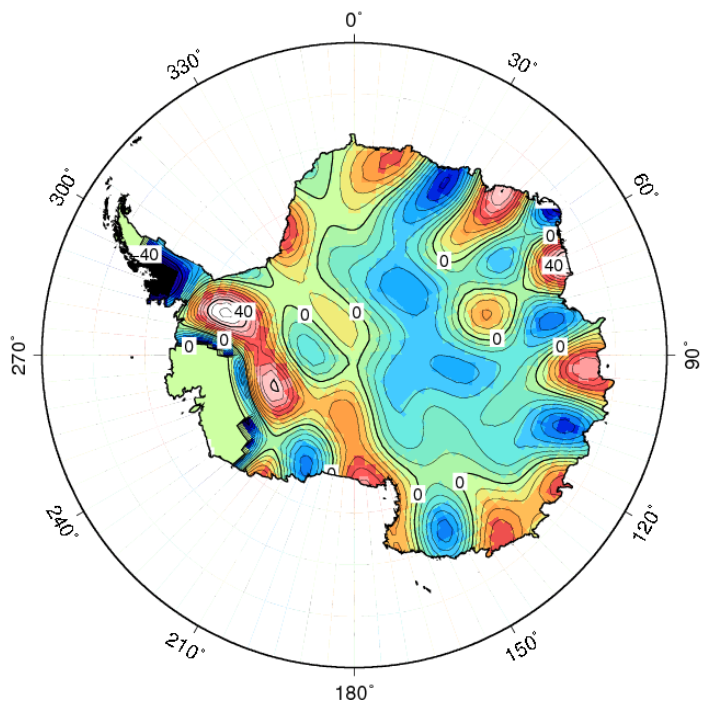


Elevation change [mm/yr]

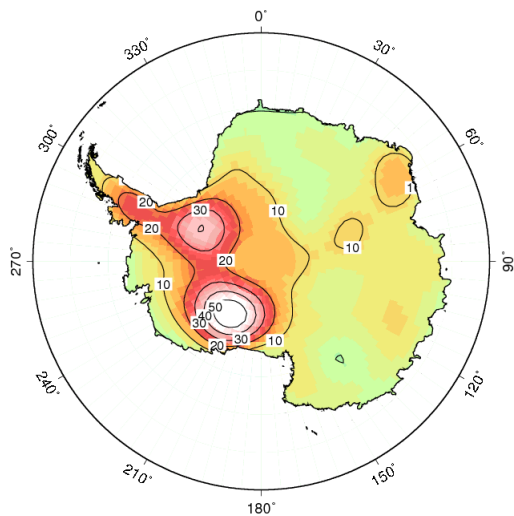


Mass change in water thickness equivalence [mm/yr]

# GIAモデルと比較

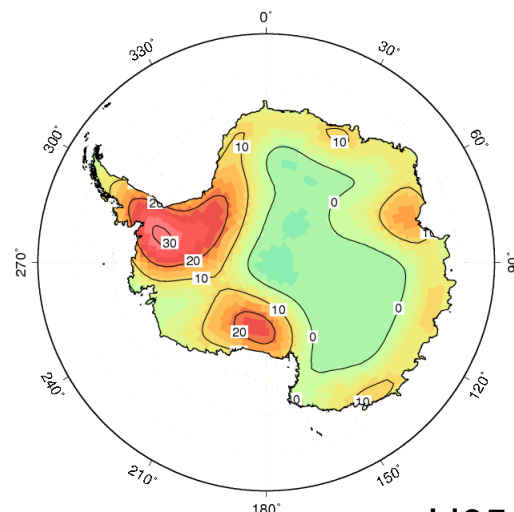


**151 Gt**



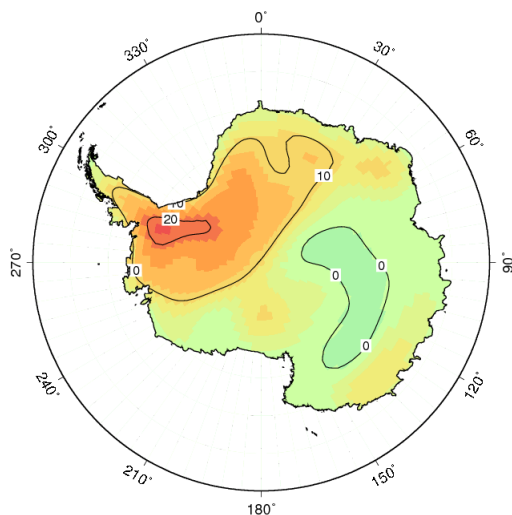
ICE-5G

**162 Gt**



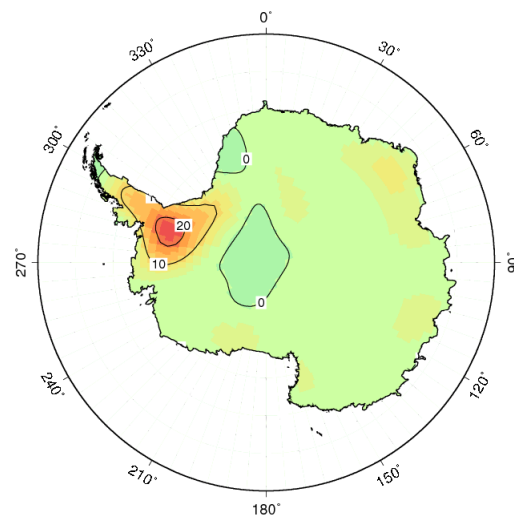
IJ05

**4 Gt**



ARC3+ANT5

**99 Gt**



ARC3+ANT6

**40 Gt**

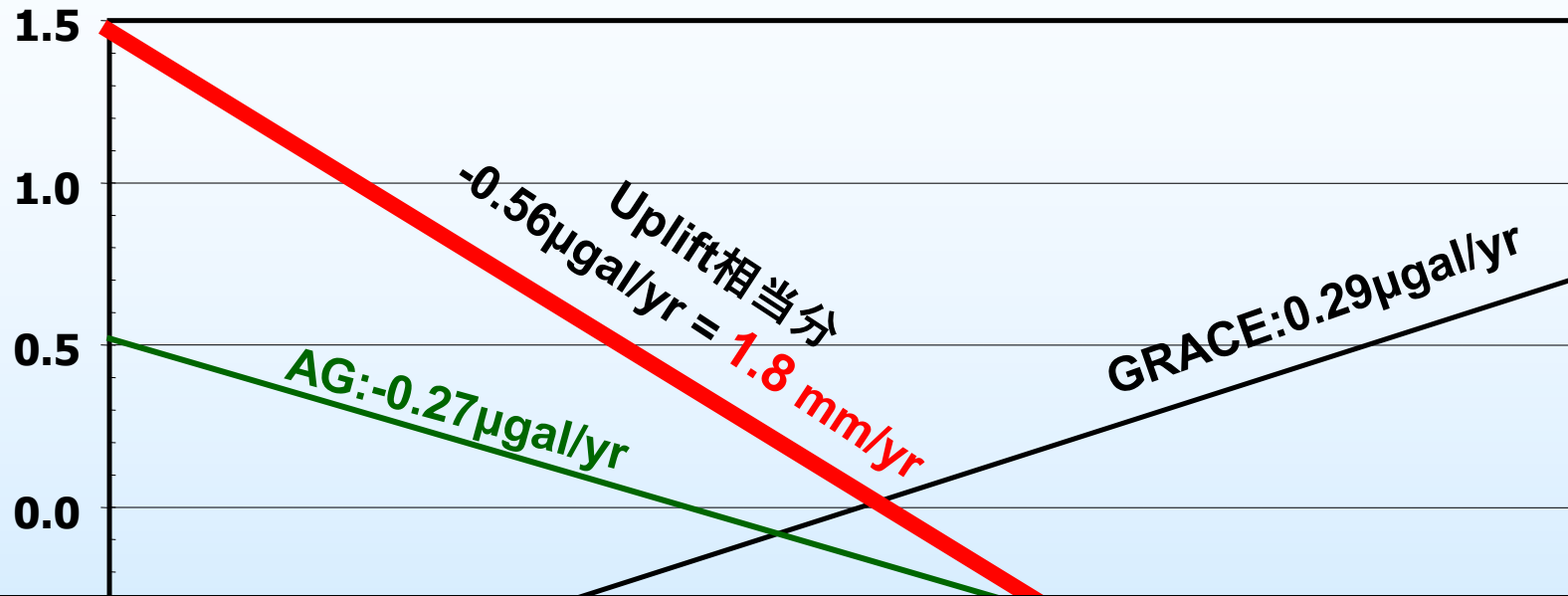
# 昭和基地での 絶対重力測定



重力計室



# 昭和基地での重力変化



Up (mm/year)

reference

(After Fukuzaki et al., 2005)

$4.6 \pm 2.2$

VLBI (1999–2003), this paper

$2.3 \pm 0.3$

GPS (1999–2003), this paper

$2.5 \pm 0.3$

GPS (1999–2004), JPL website (2005)

$-2.7^*$

DORIS (1993–1996), Crétaux et al. (1998)

$0.2 \pm 0.6$

DORIS (1993–1997), Soudarin et al. (1999)

$8.6 \pm 1.9$

DORIS (1999–2002), IDS website (2005)

# GRACE研究を例に

- 新しい手法・手段、その変化の速さ
  - GPS～25年、InSAR～20年、GRACE～10年(2013年？頃まで)
- 極めて学際的
  - 固体地球物理にとどまらない
  - GPS(気象、電離層、...)
- 大型プロジェクト
  - 衛星観測
  - スーパーコンピューター
- 国内、国外での関心の違い
  - 外国ではすごい人気
  - 日本では？
- 将来展望：
  - 戦略として京大地球物理をどう発展させるか
  - 学生に何を伝えるか

おわり