

最近のGRACEデータのリリースについて

- * GRACE data centerから

 - Monthly gravity field solutions
(UTCSR, GFZ, JPL) (Release 04)

- * GRACE Tellusから

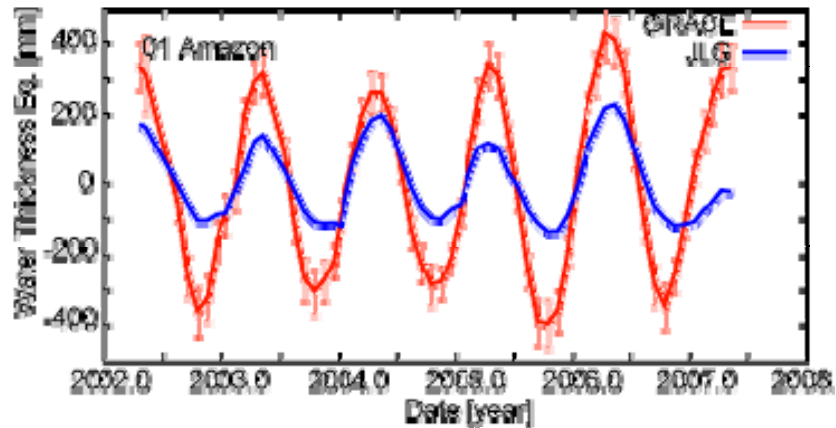
 - GRACE MONTHLY MASS GRIDS
(for UTCSR, GFZ, JPL)
Data centerの解をafter processing

- * CNS/GRGSから

 - Every 10 day gravity field solutions (version 2)

UTCSR RL 04とモデルの年周成分の比較(昨年度)

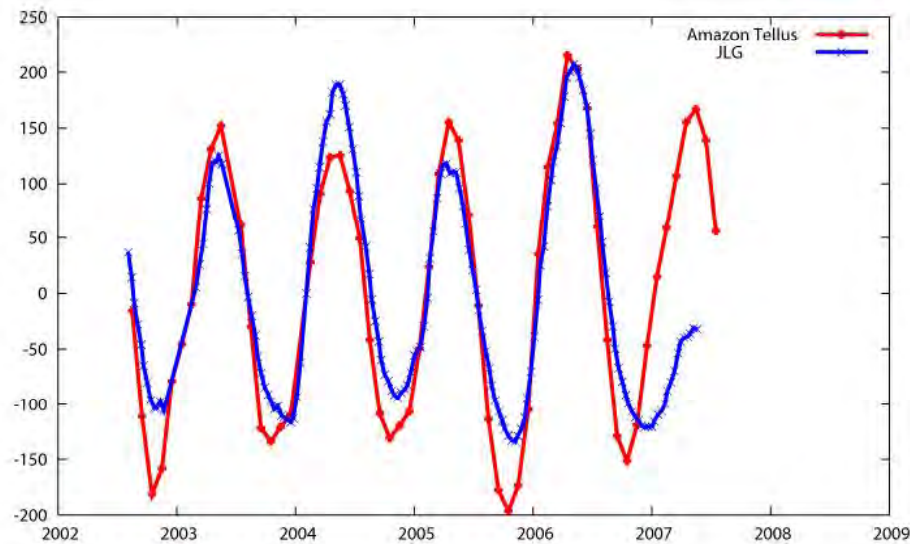
Amazon流域の例



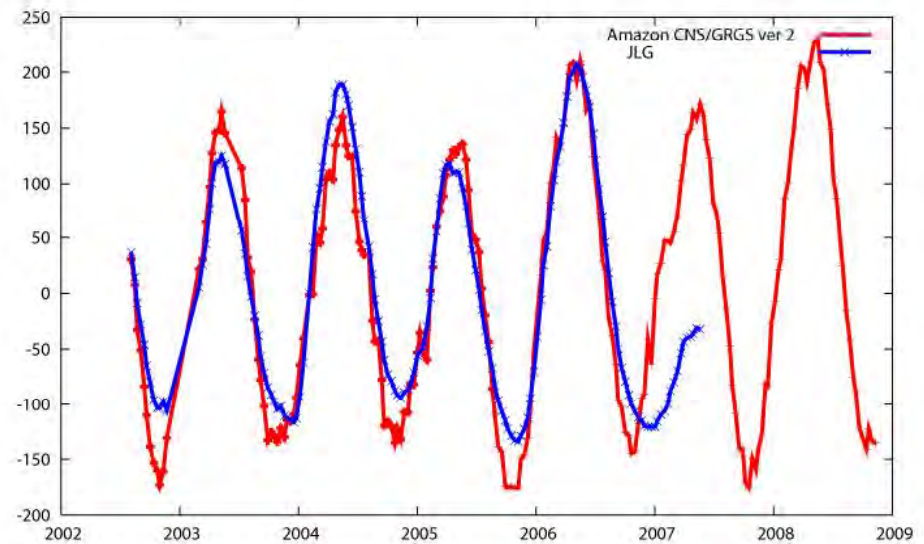
位相:ほとんどの流域で良い相関

振幅:中高緯度地域の流域では良い相関、低緯度地域で1.5-4倍GRACEの振幅が大

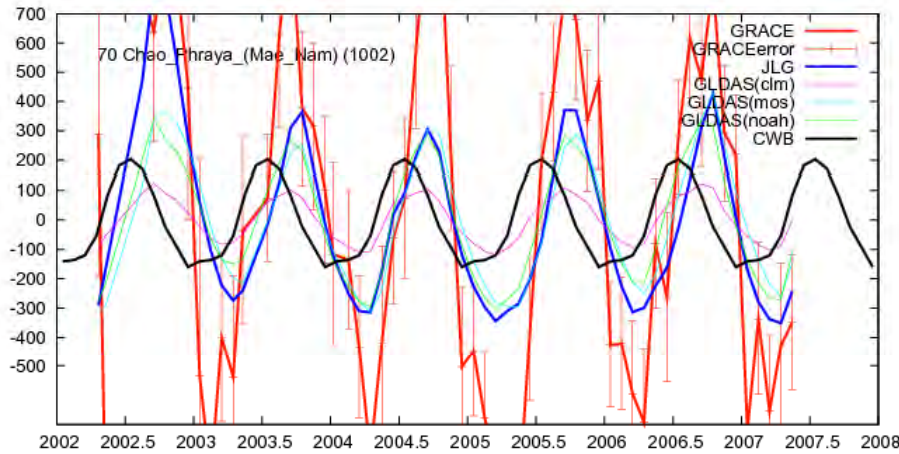
GRACE Tellus



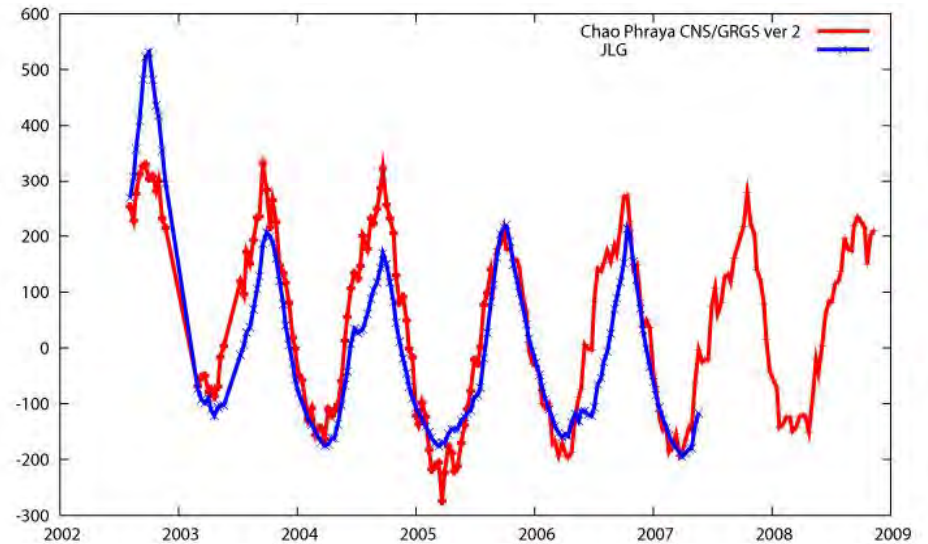
CNS/GRGS ver 2



チャオプラヤ流域



CNS/GRGS ver 2



何が変わったのかというと

Tellus, CNS/GRGS ver 2

* De-stripping処理に工夫

* 誤差の多い短波長域は使用しない

CNS/GRGS ver 2

* Background の重力場の改良

→ 空間分解能の向上

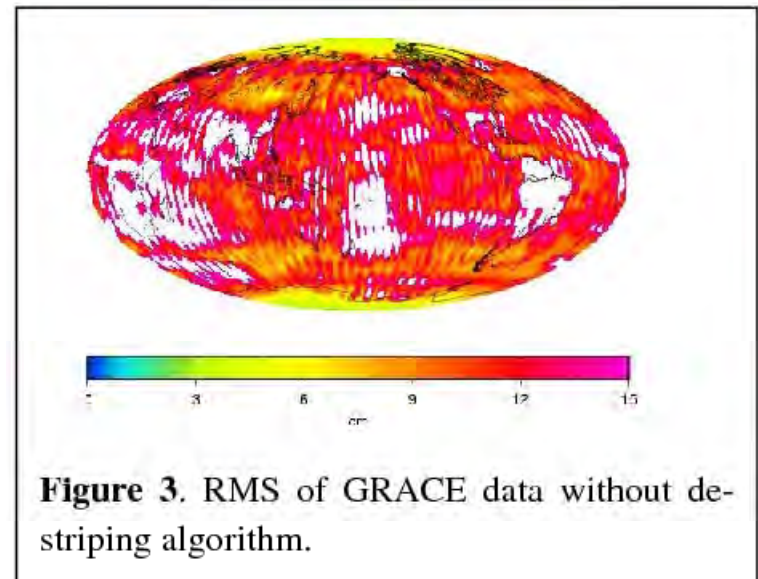
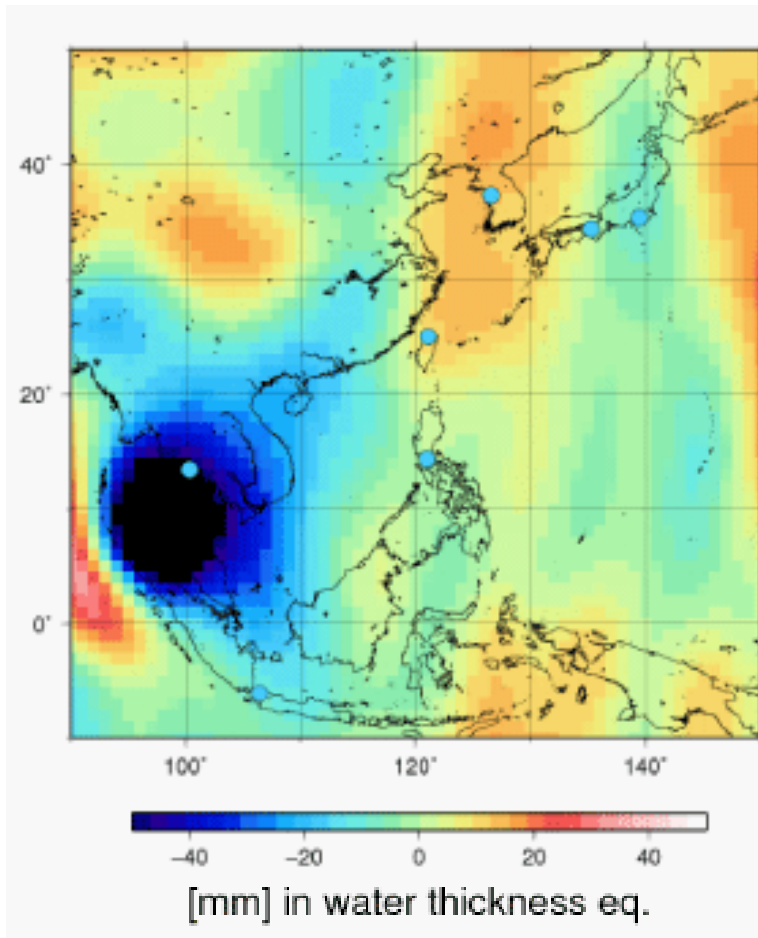


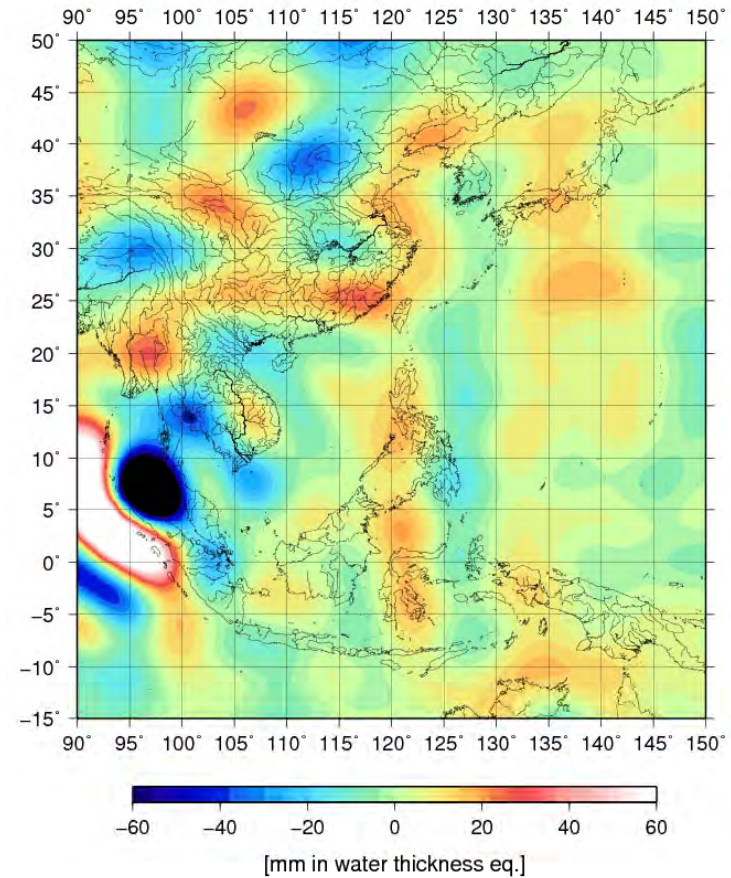
Figure 3. RMS of GRACE data without de-stripping algorithm.

(Chambers, 2007)

プロジェクト対象地域の経年変化トレンド

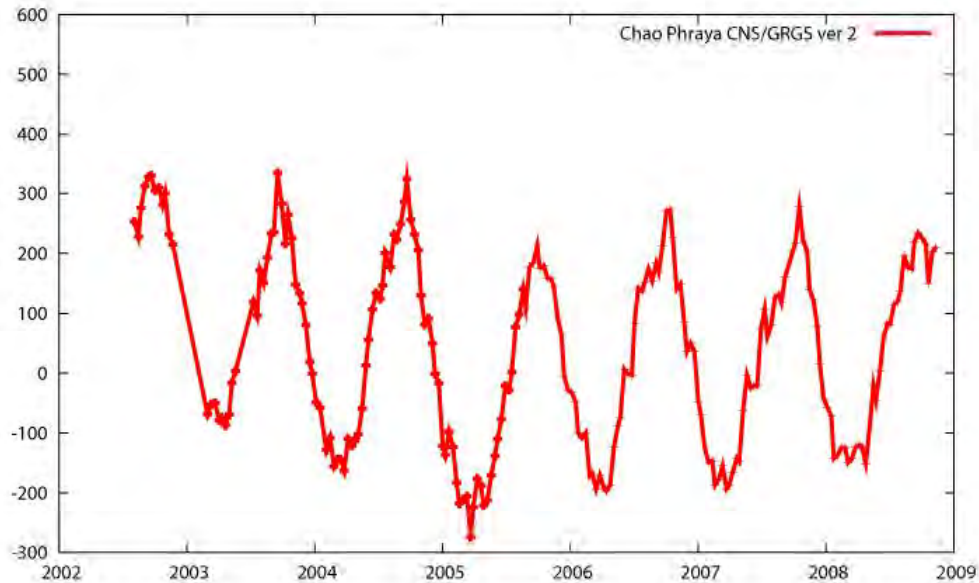
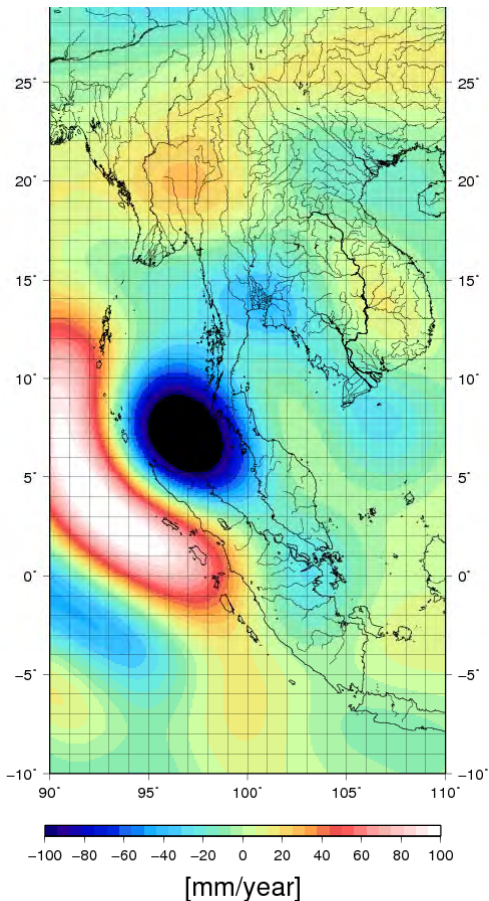


2002-2007のトレンド
(600 km filtered)
(UTCSR RL04)



2002-2008のトレンド
(up to degree 50)
(CNS/GRGS ver 2)

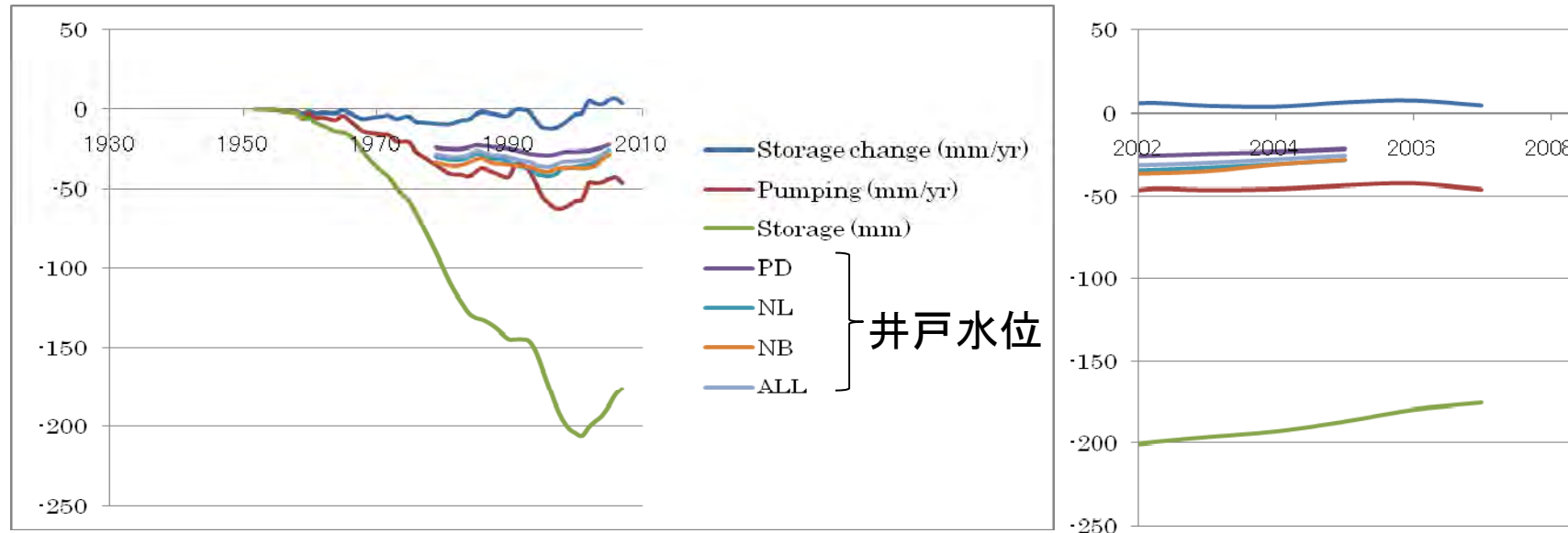
バンコク周辺の経年変化トレンド



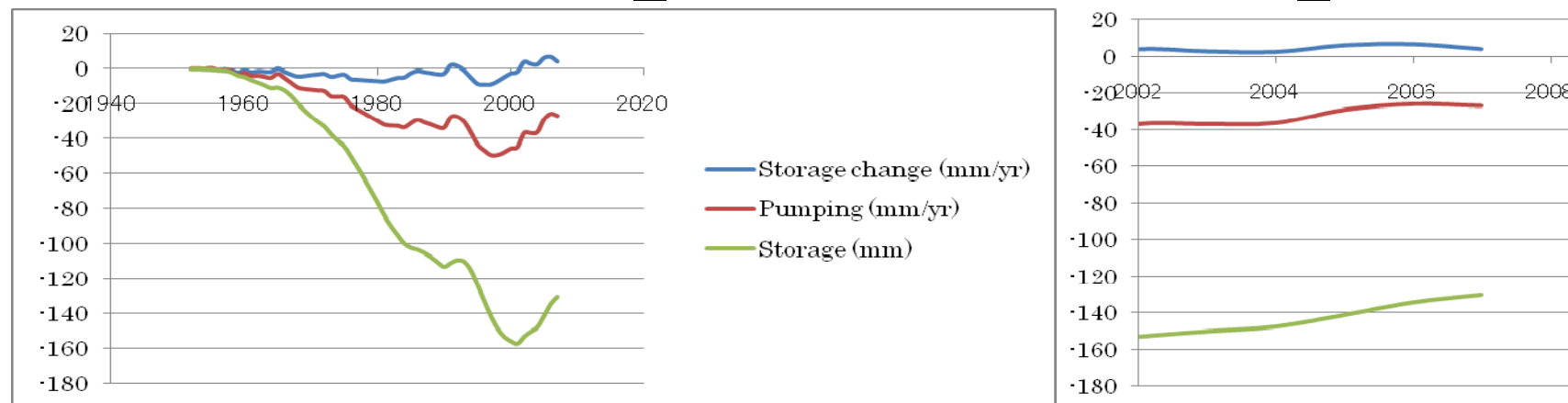
- * 2005年はじめあたりまで減少のトレンド、それ以降はほぼ一定
- * 減少のピークは流域全体でなくバンコクあたりにあるように見える

→山中先生に2002年以降の地下水流動モデル計算を依頼

70x70 km (UTM-east_640-710 km、UTM-north_1490-1560 km)

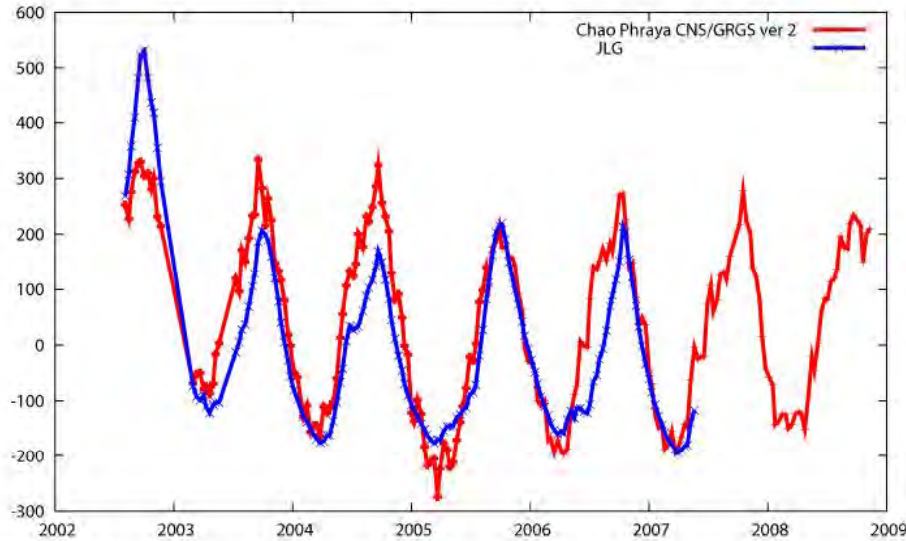


120 × 120km (UTM-east_600-720 km、UTM-north_1480-1600 km)



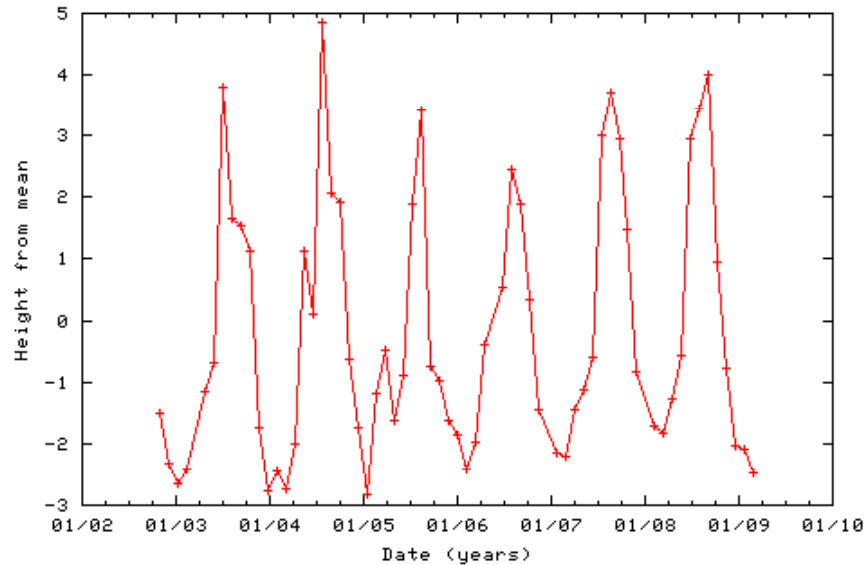
地下水貯留量、井戸水位とも2002年以降に回復傾向

→GRACEトレンドは被圧帯水層の地下水貯留量とは対応していない

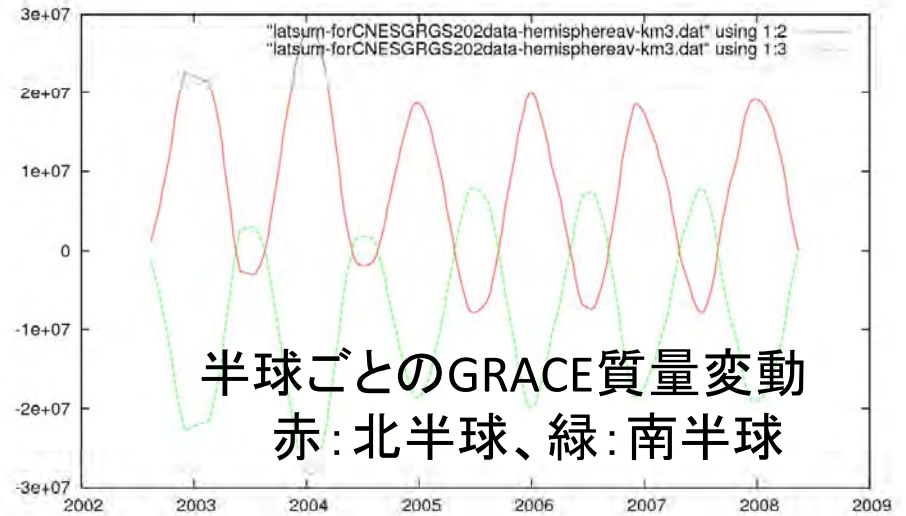


グローバル陸水モデルの出力
とは似た傾向
→不圧もしくはバンコク粘土層
内の貯留量変化か、もしくは地
表水体の変化では

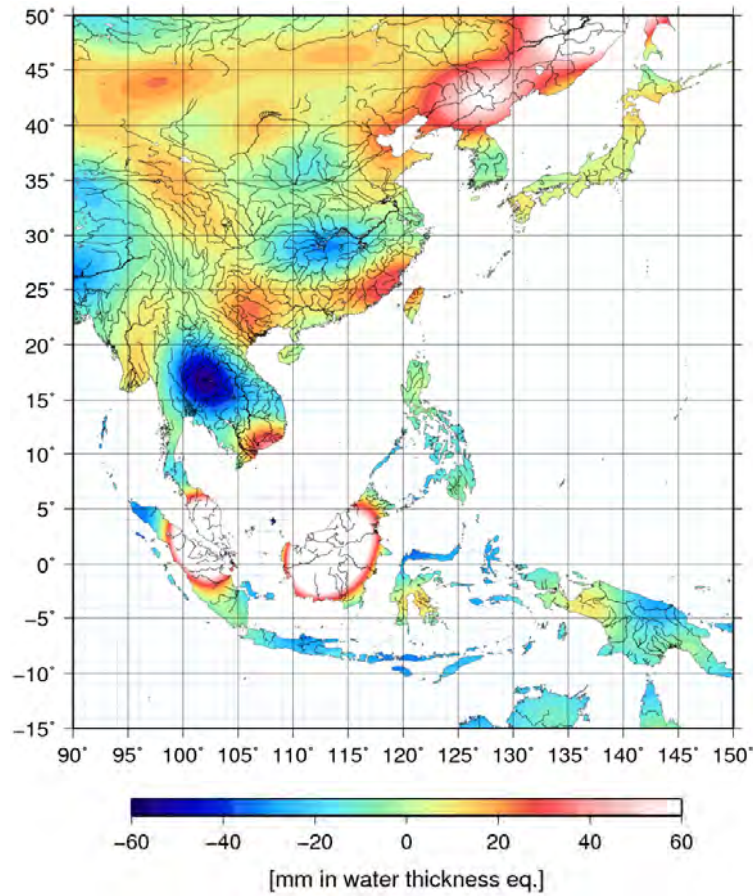
EnviSat衛星高度計から得られた河川
水位→相関ありそうなポイントもあり



グローバルなスケールの水の移動

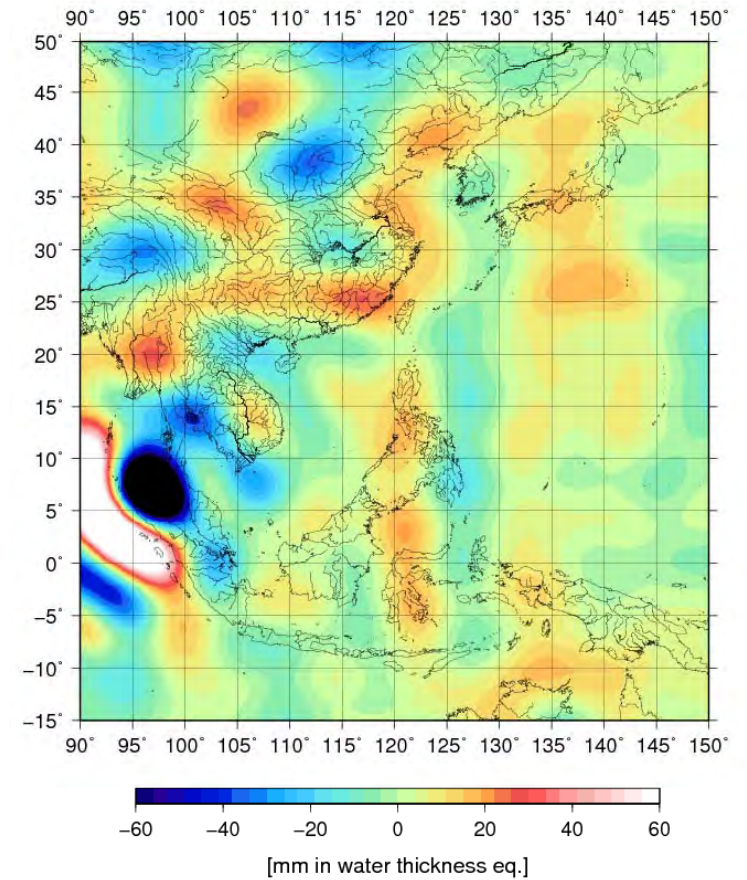


半球ごとのGRACE質量変動
赤:北半球、緑:南半球



モデルトレンド

ただし、モデルではインドシナ
全体が減少の傾向



GRACEトレンド

- * 減少トレンドの原因はおそらくグローバルスケールの変動
- * ただ、大きな減少がみられる場所は、何らかのローカルな要因(地質など?)が関係しているのかもしれない

* その他のプロジェクト対象地域周辺の変動

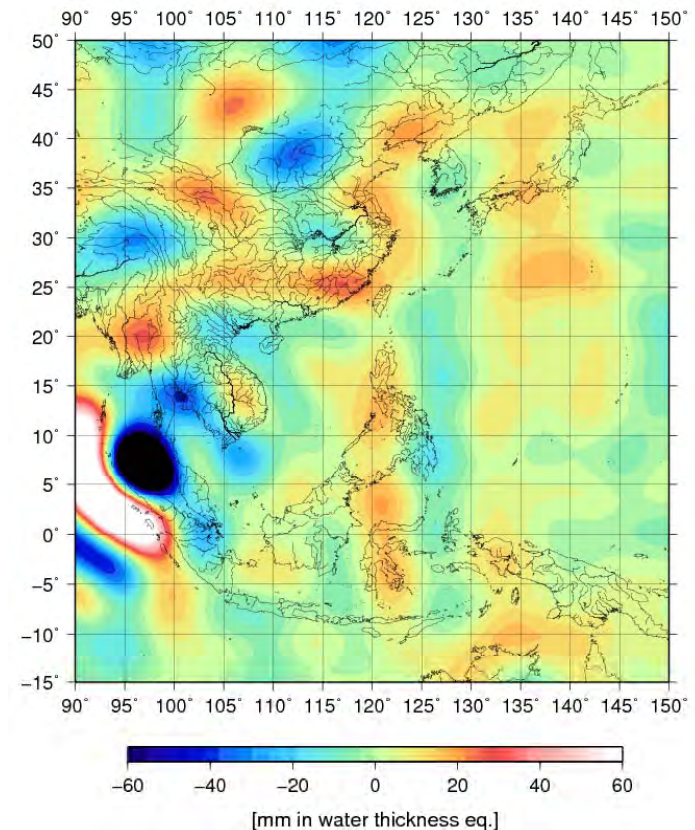
減少: バンコク

やや増?: マニラ、タイペイ、オオサカ

やや減?: ソウル、ジャカルタ

ほぼゼロ?: トウキョウ

コメント等ありましたらよろしくお
願いします。



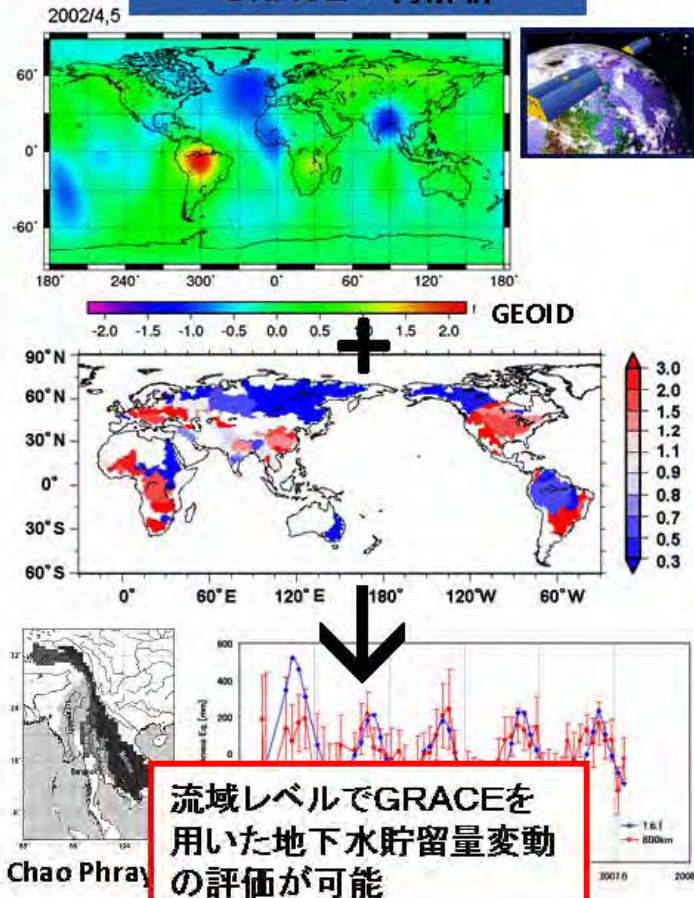
A10型絶対重力計国内テストおよび ジャカルタ現地調査概要

西島 潤（九州大学大学院）
福田洋一・長谷川 崇（京都大学大学院）

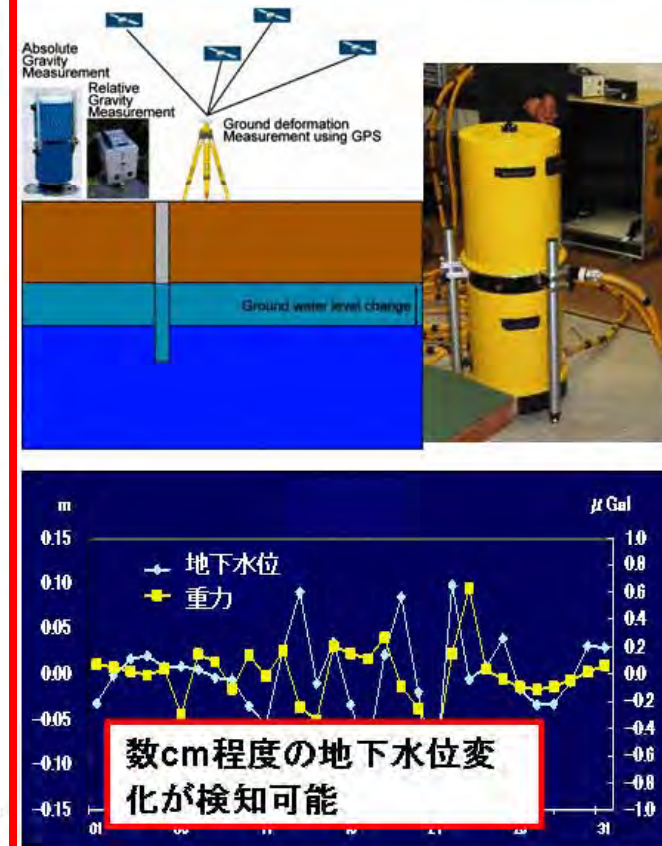
本研究の背景・目的

水G(重力班)

GRACE + 再解析



現場での重力測定



調査内容

- ◆ A10絶対重力計の国内テスト
- ◆ ジャカルタ現地調査
(GPS・絶対重力測定・相対重力測定)

A10型絶対重力計国内テスト測定

国内での測定

実験室内

地球研（2007年12月～）

九州大学伊都キャンパス1F実験室（2008年1月～）

京都大学理学部重力測定室（2009年5月～）

野外調査

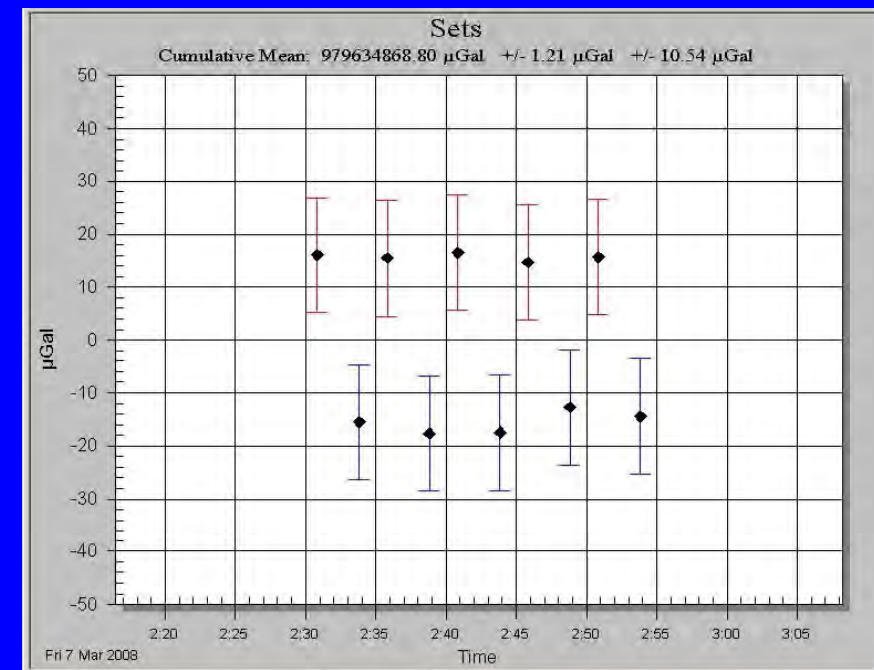
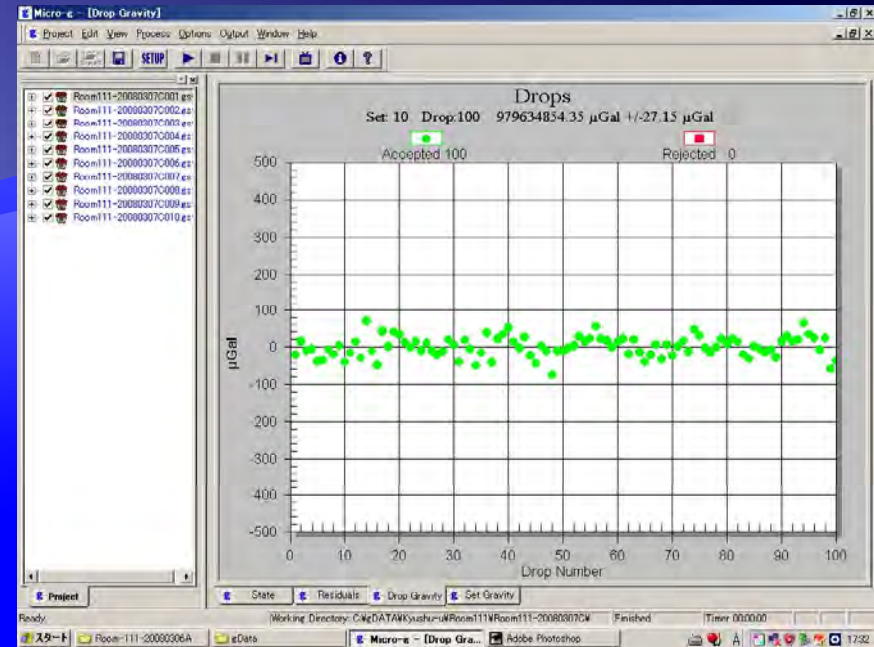
滝上地熱発電所（2008年2月，4月，12月，2009年6月）

大阪（2008年12月，2009年6月，10月）

熊本（2009年6月）

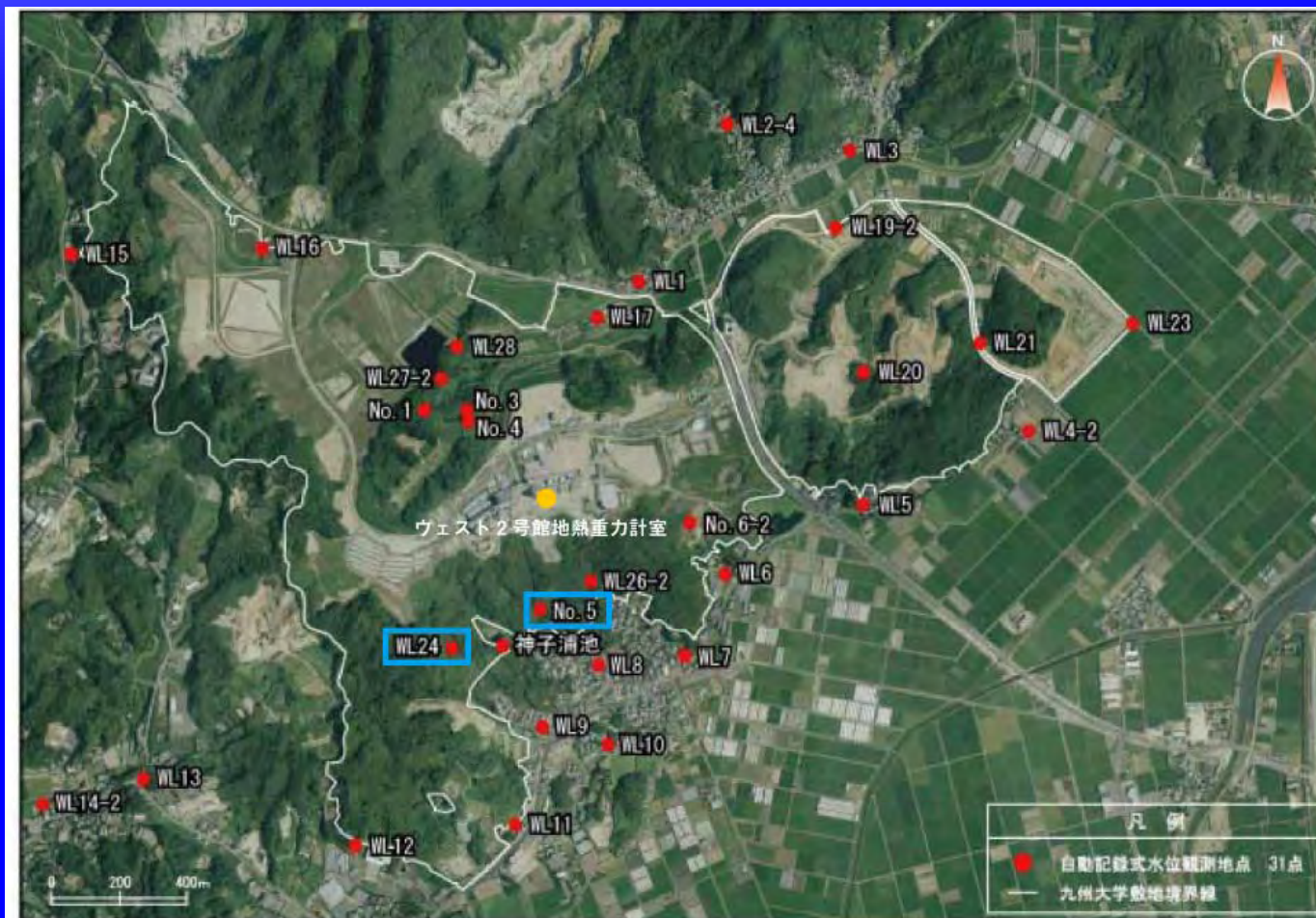
測定仕様

- ◆ Drop interval: 1 second
- ◆ Number of drops/ 1 set: 100
- ◆ Set interval: 5 minutes
- ◆ Number of set: 10



測定結果（2008年3月～2009年10月）

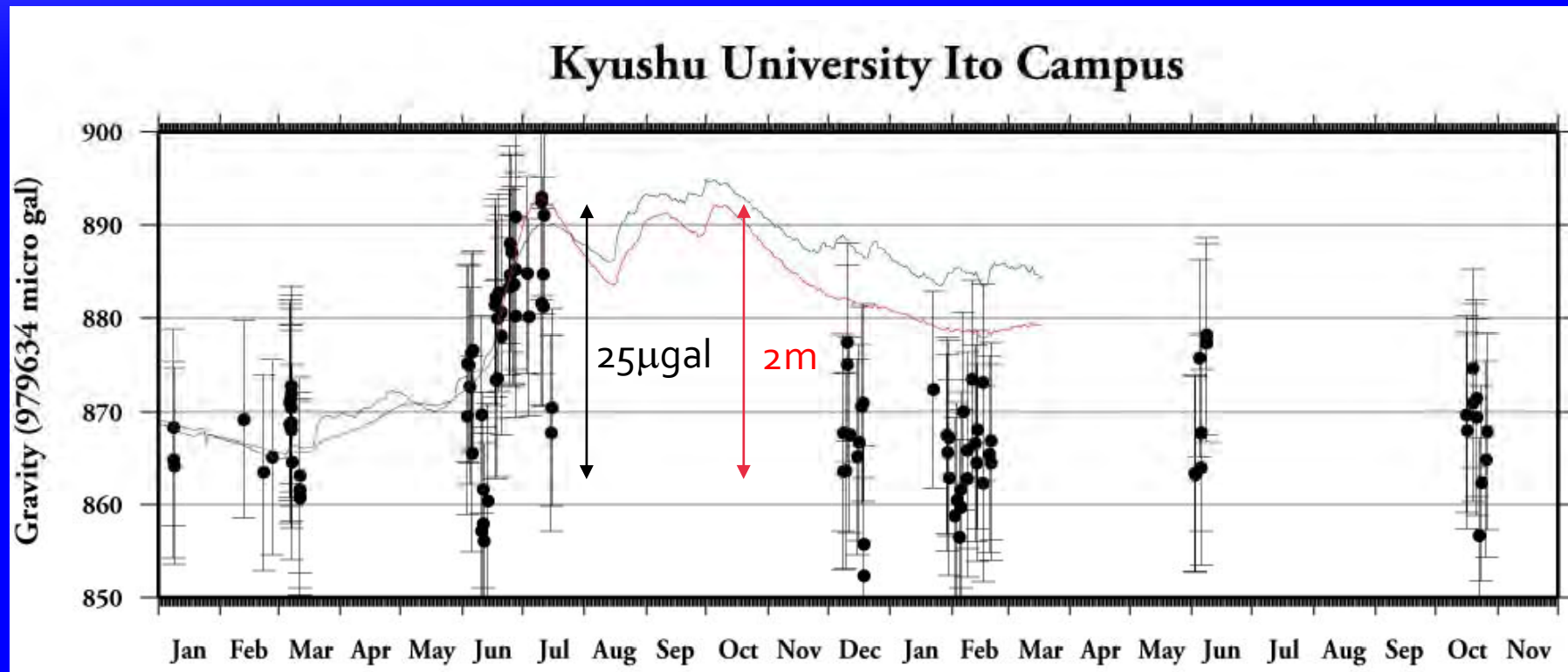
九州大学伊都キャンパス



※航空写真は、平成18年8月撮影のものである。

測定結果（2008年3月～2009年10月）

九州大学伊都キャンパス



重力変化 Δg : 25 μ gal



地下水位変化 Δh

No.5: 2.3m

No.24: 2.0m

帯水層

$$\Delta g = 2\pi G\phi\Delta h$$

G: 万有引力定数

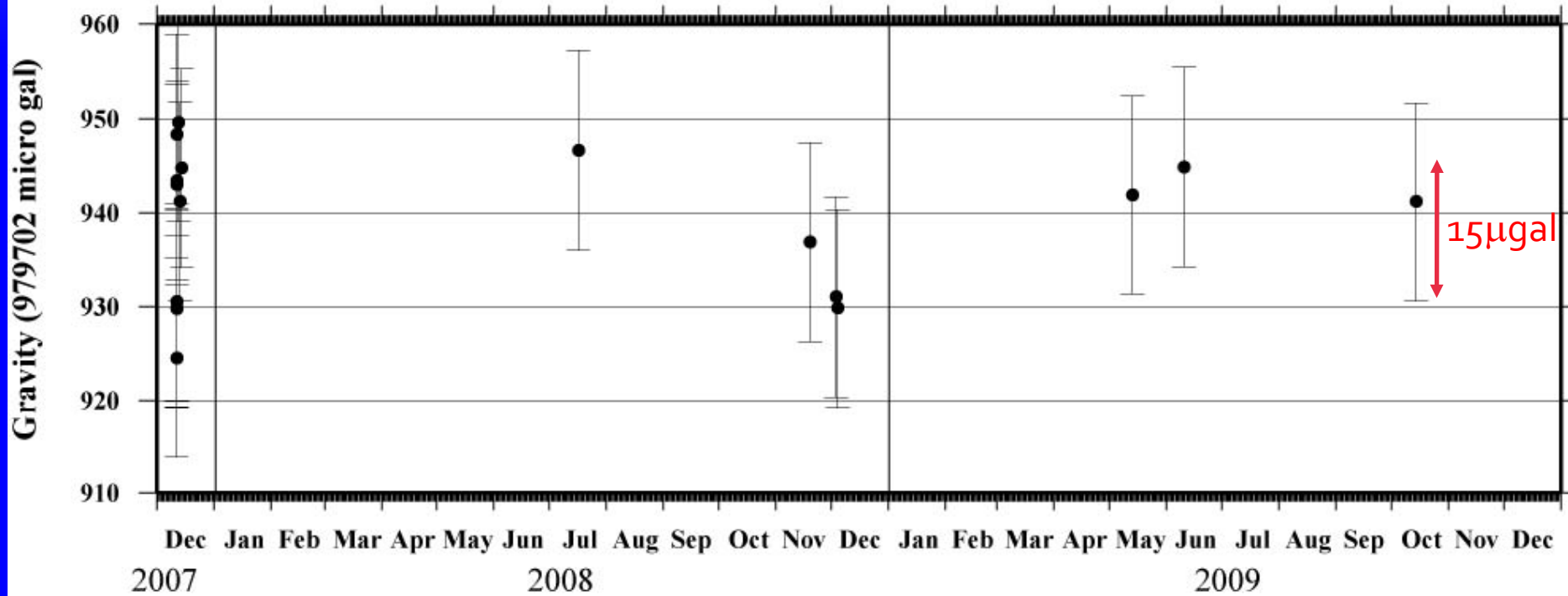
ϕ : 帯水層の空隙率

Δh : 地下水位変化量 (m)

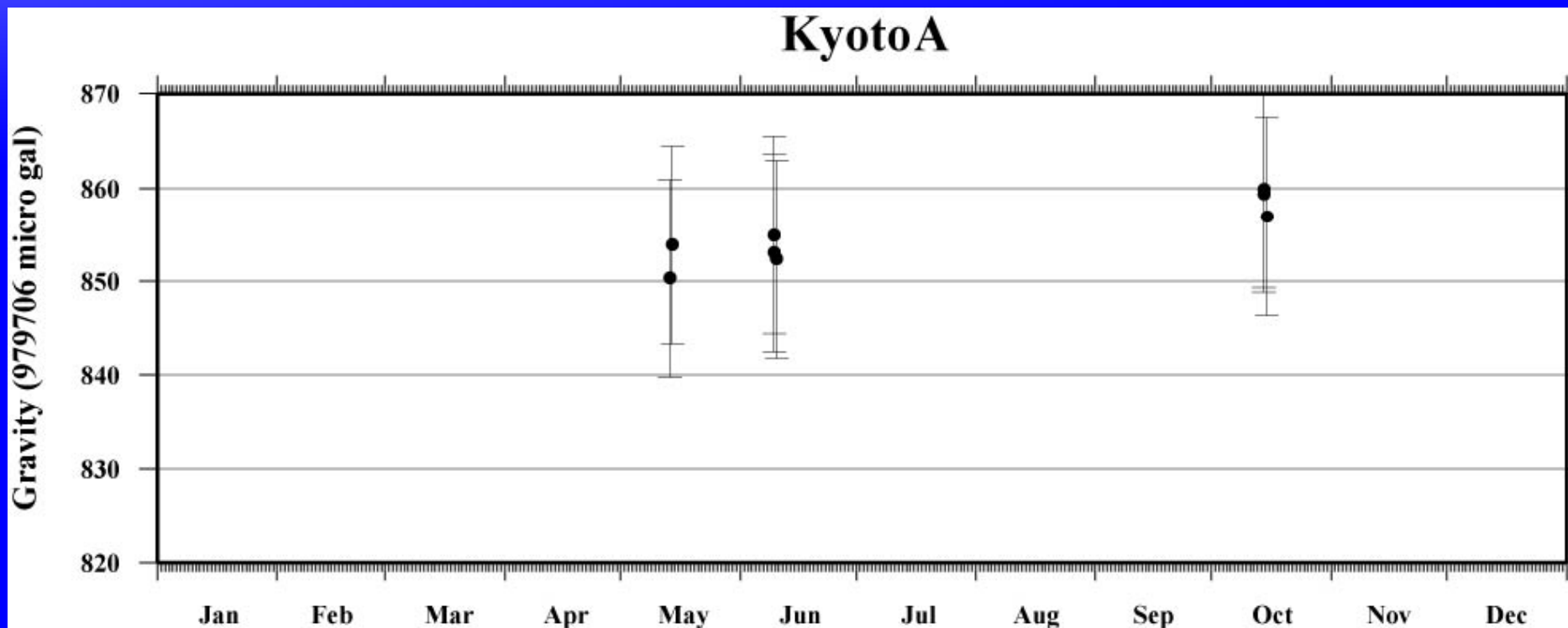
帯水層の空隙率が26~30%あれば、観測井の地下水位変化で観測された重力変化を説明することが可能

測定結果（2007年12月～2009年10月） 地球研（Room12）

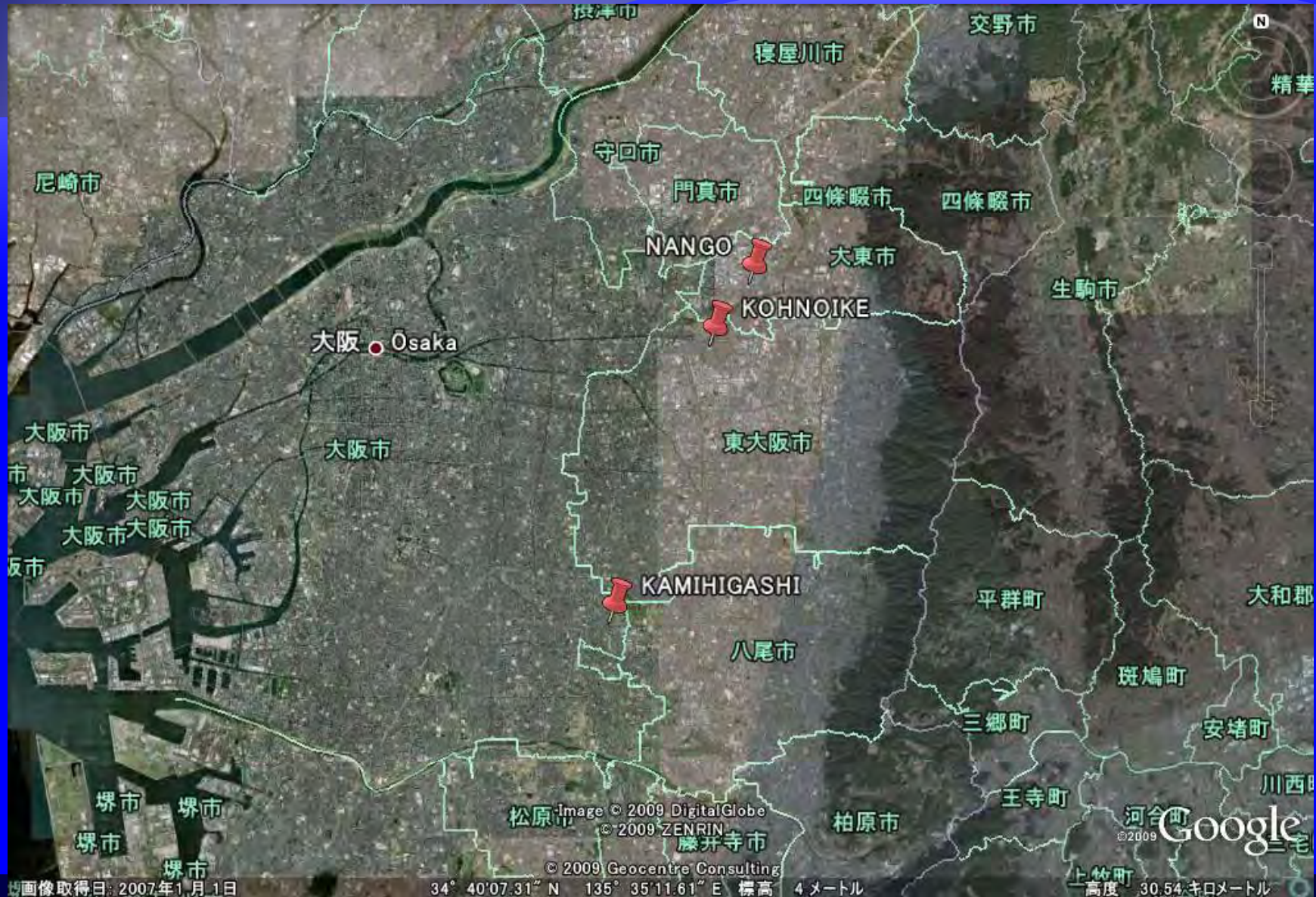
RIHN



測定結果（2009年5月～2009年10月） 京都大学理学部（重力測定室）

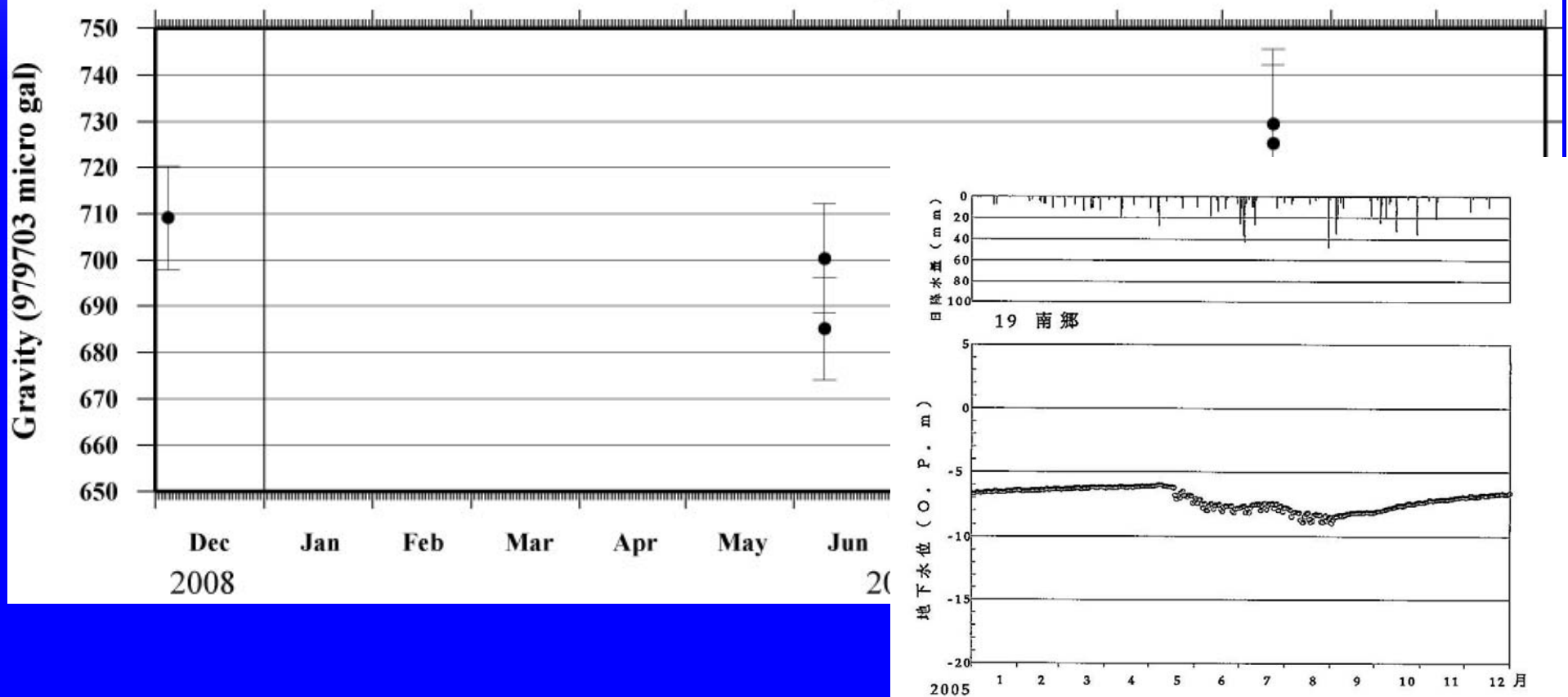


大阪における重力測定

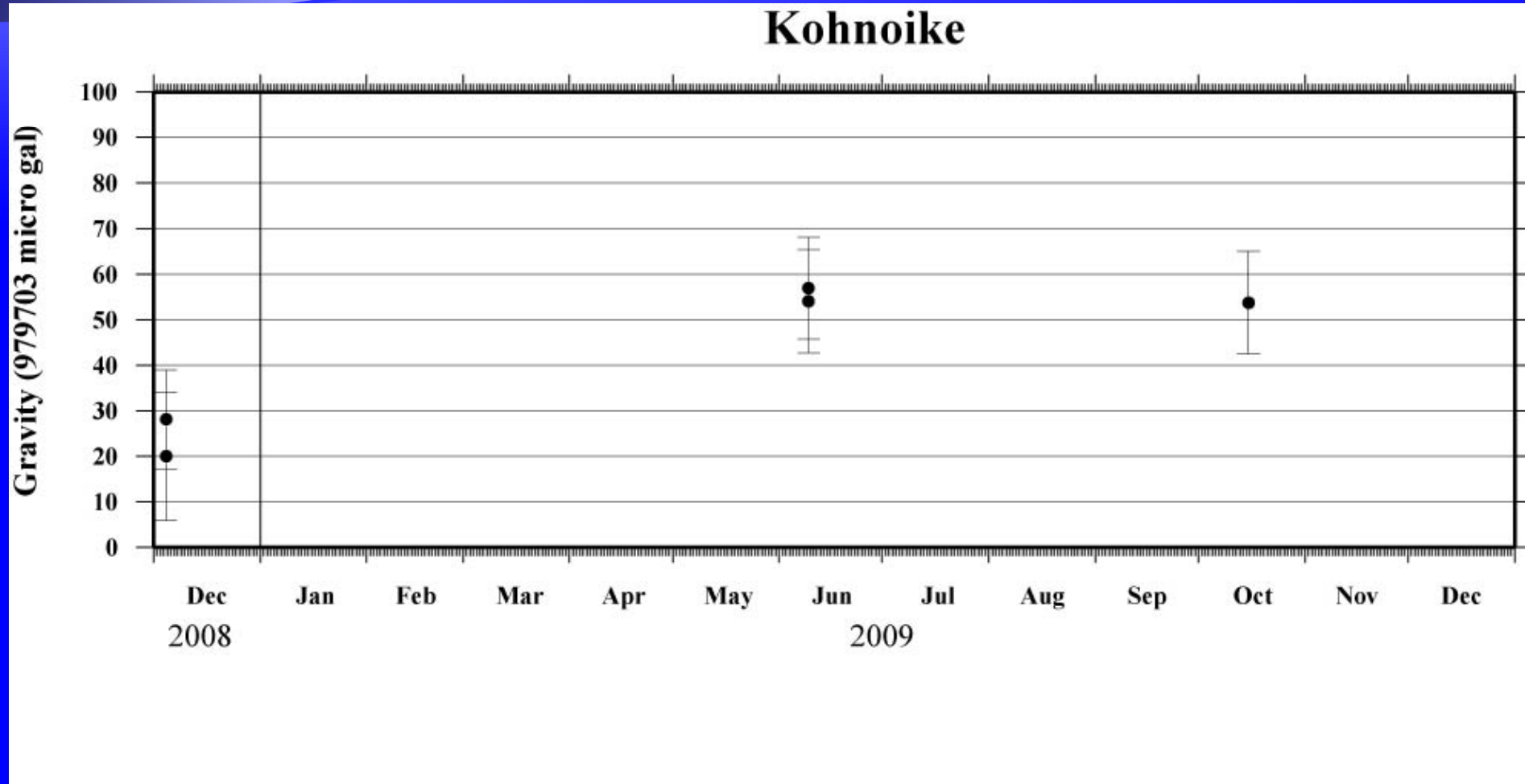


NANGO観測点測定結果 (2008年12月～2009年10月)

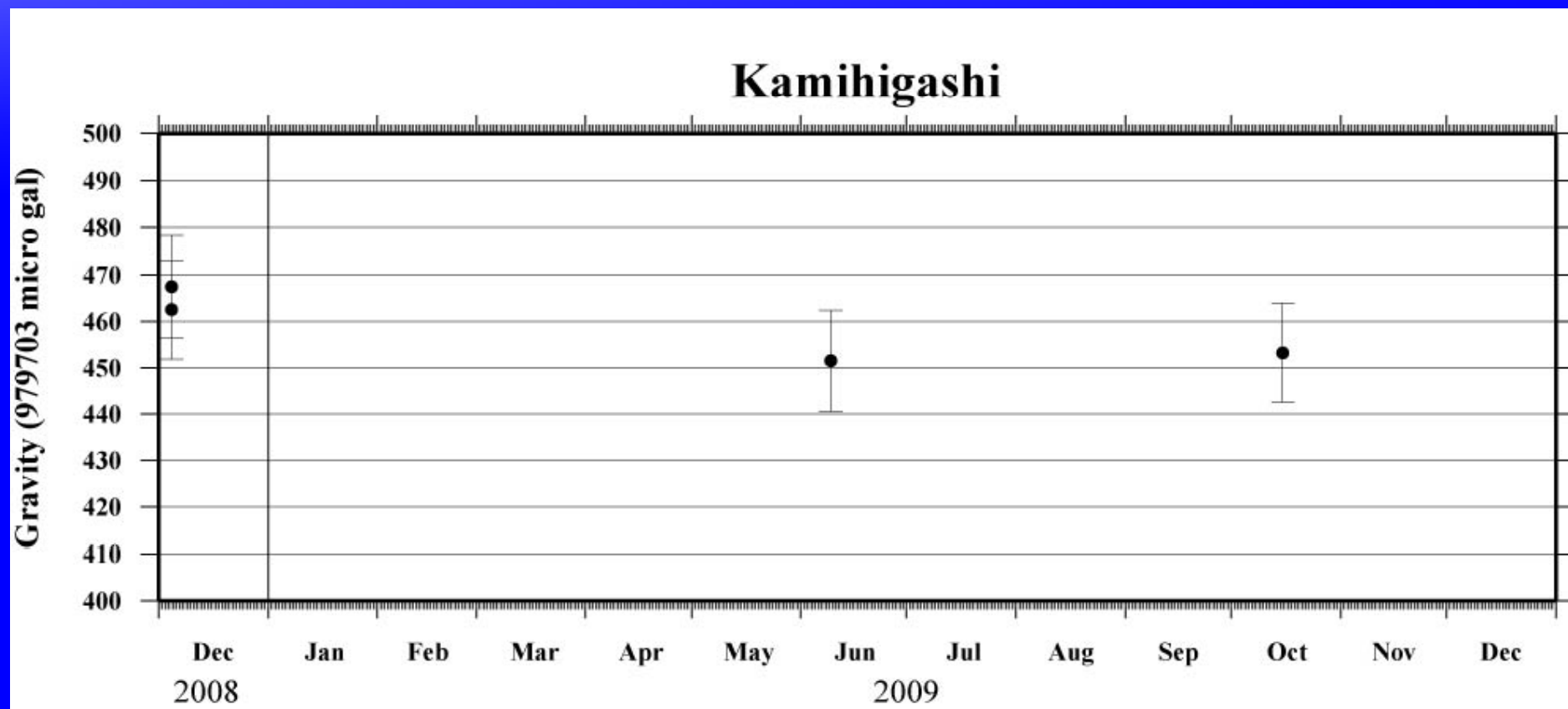
Nango



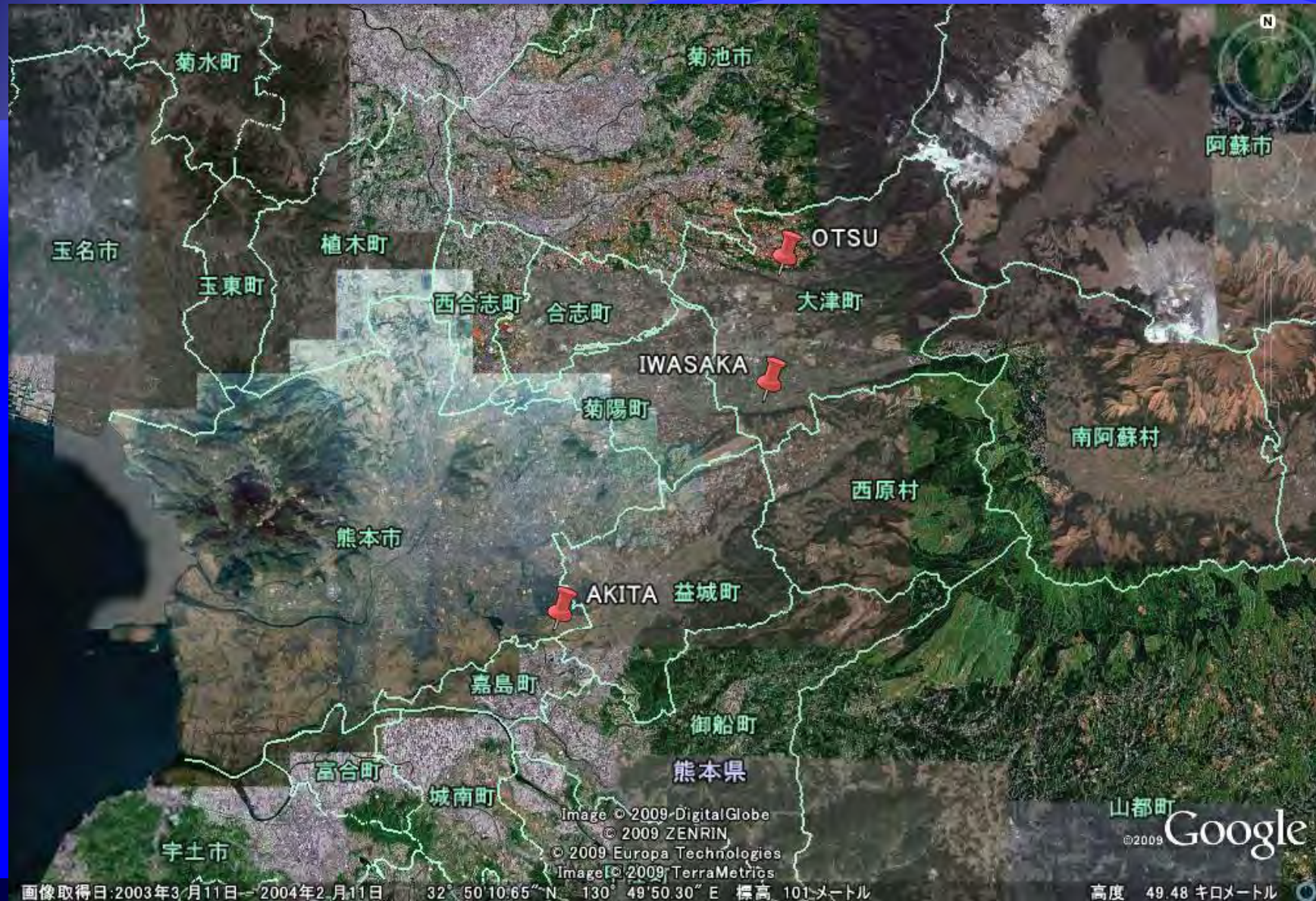
KOHNOIKE観測点測定結果 (2008年12月～2009年10月)



KAMIHIGASHI観測点測定結果 (2008年12月～2009年10月)



熊本重力測定点

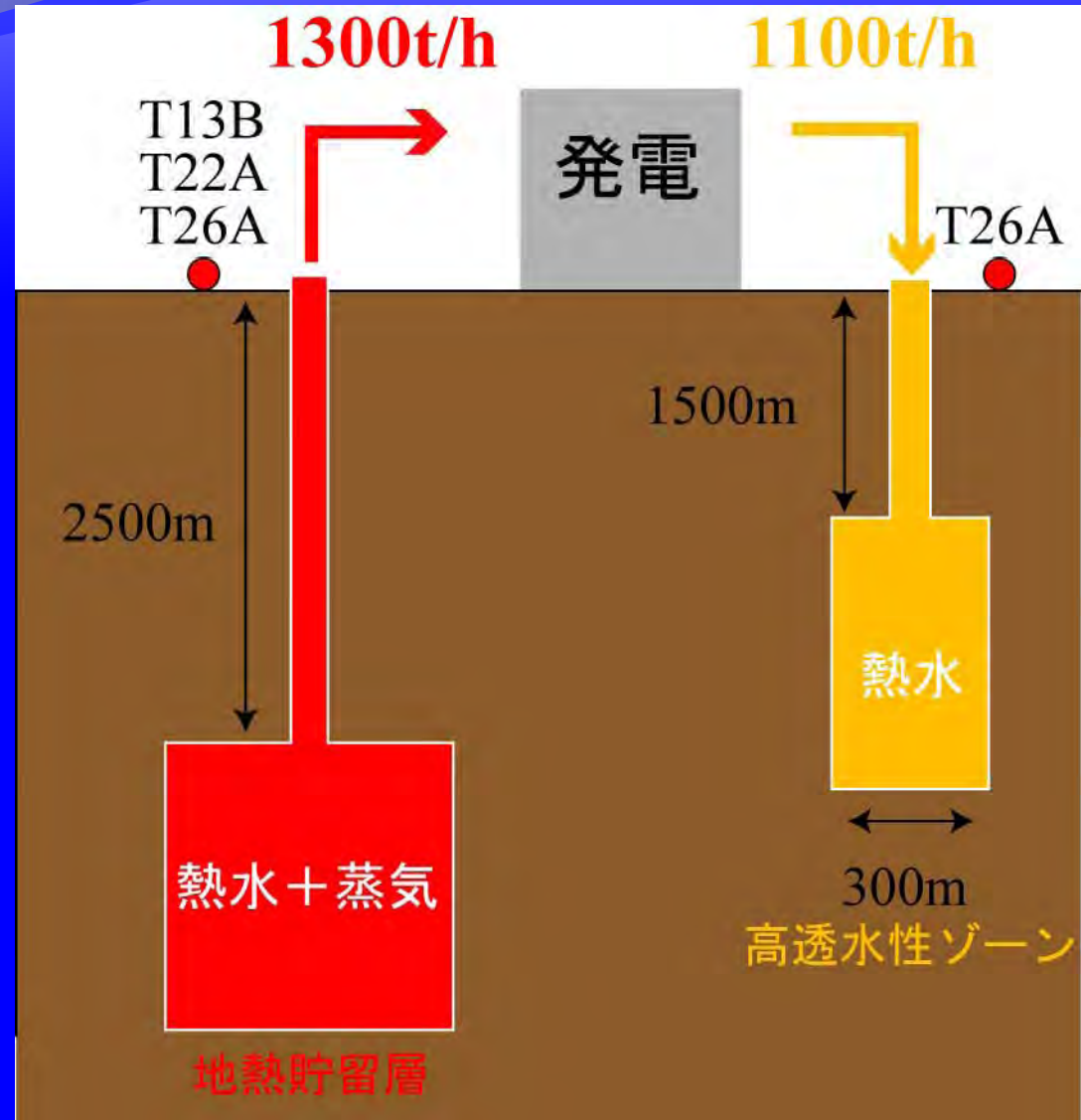


滝上地熱発電所での測定結果

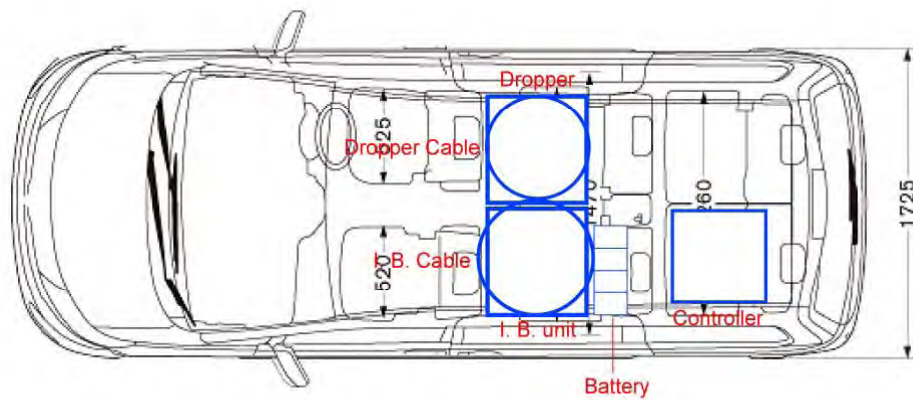


九州電力滝上地熱発電所
(大分県玖珠郡九重町)

- ◆ 2008年4月3日からメンテナンスのため約2週間生産・還元を停止



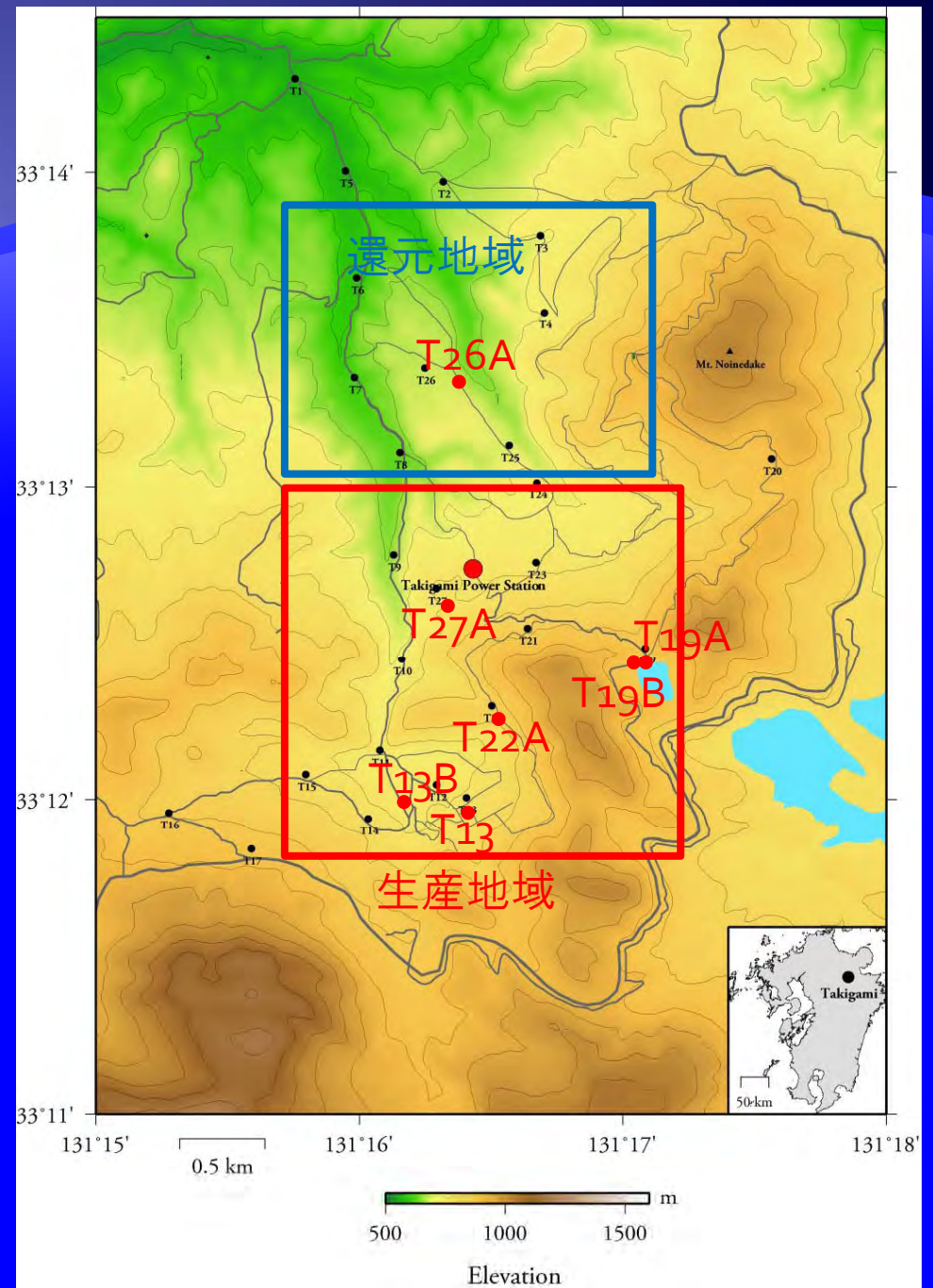
A10型絶対重力計



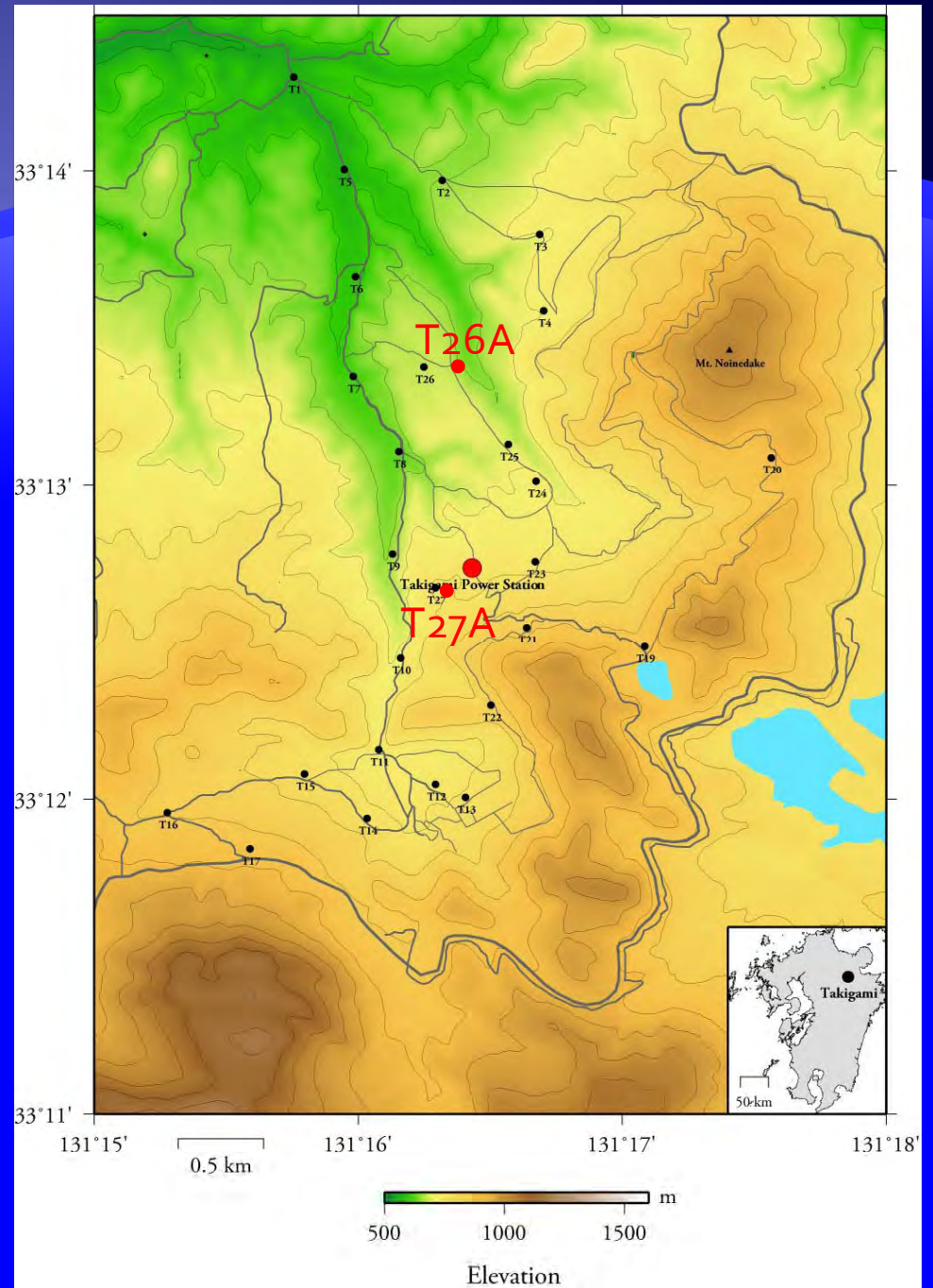
単位: mm



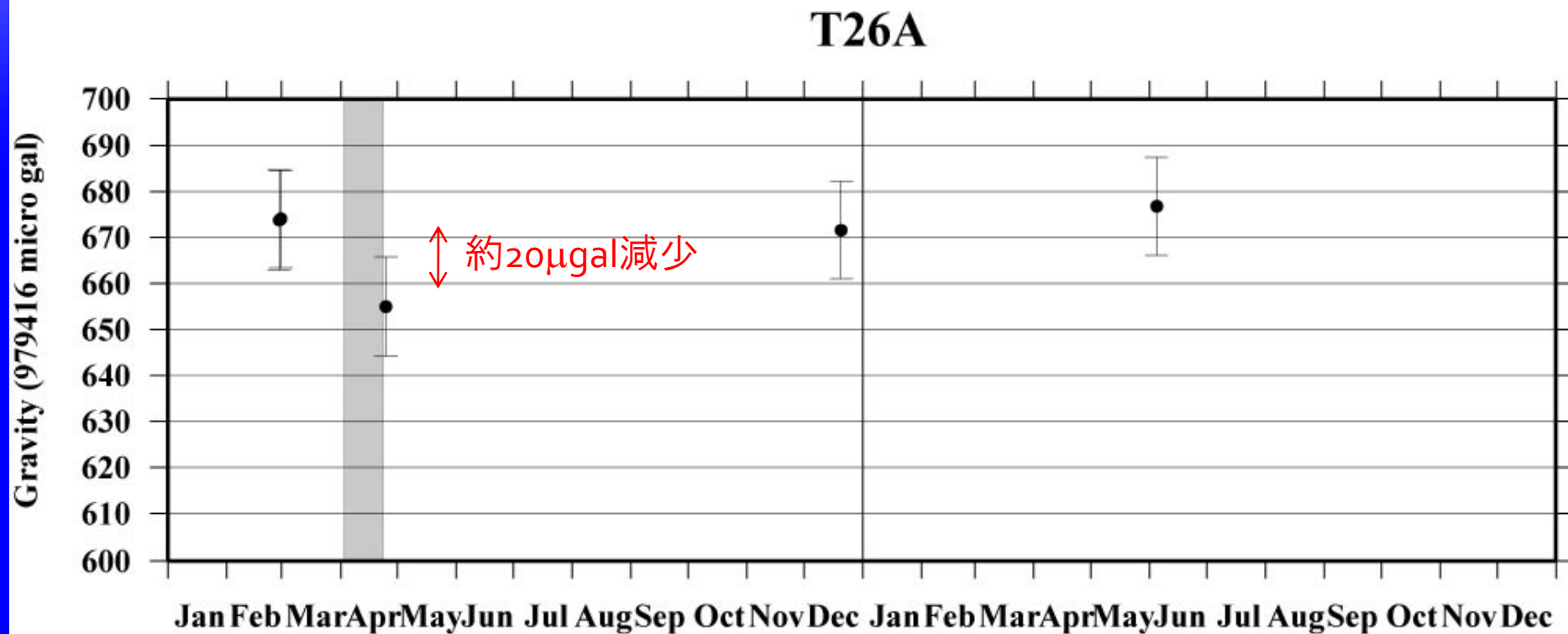
測定点配置図



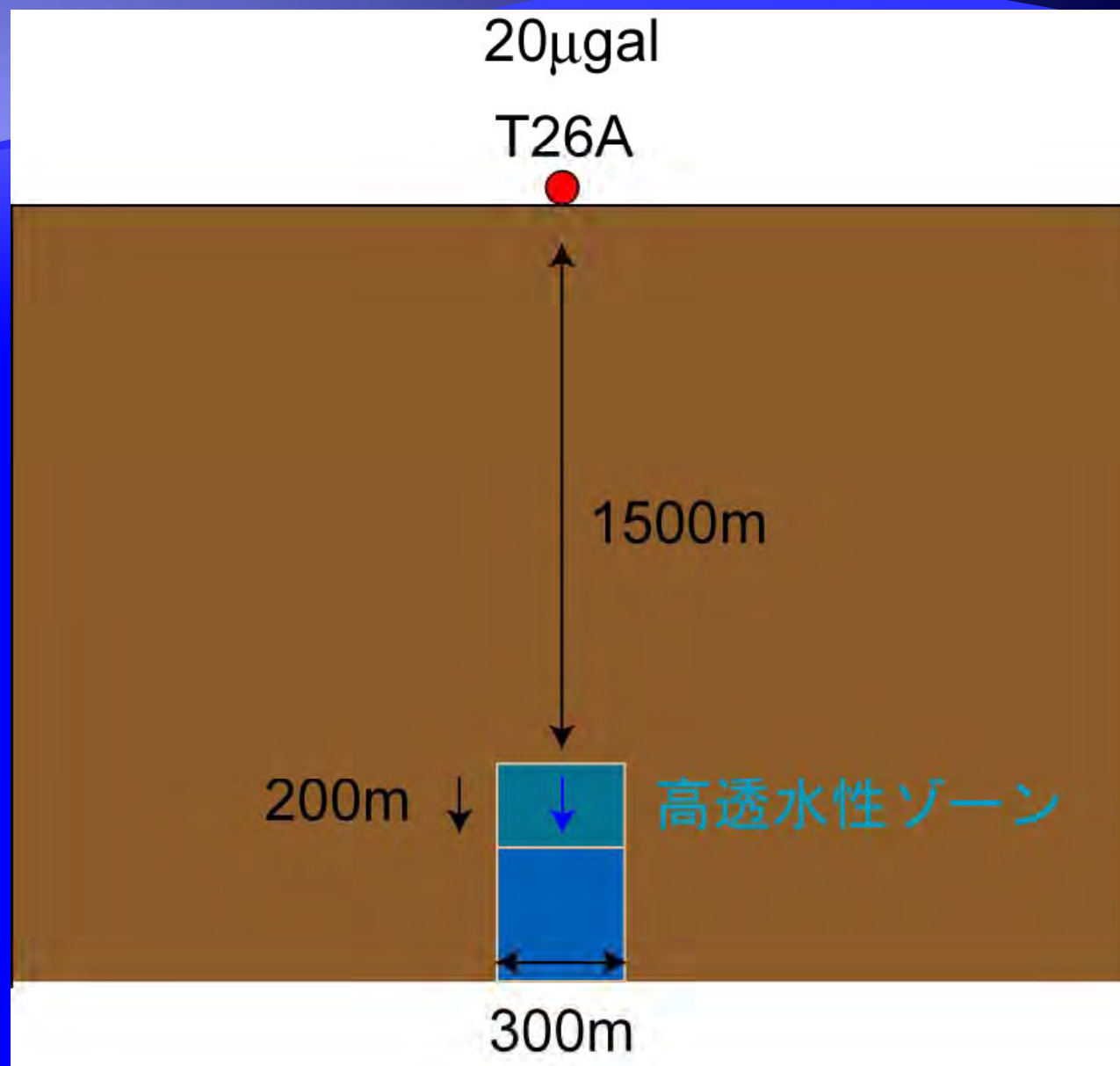
重力変化 (2008年2月～ 2009年6月)



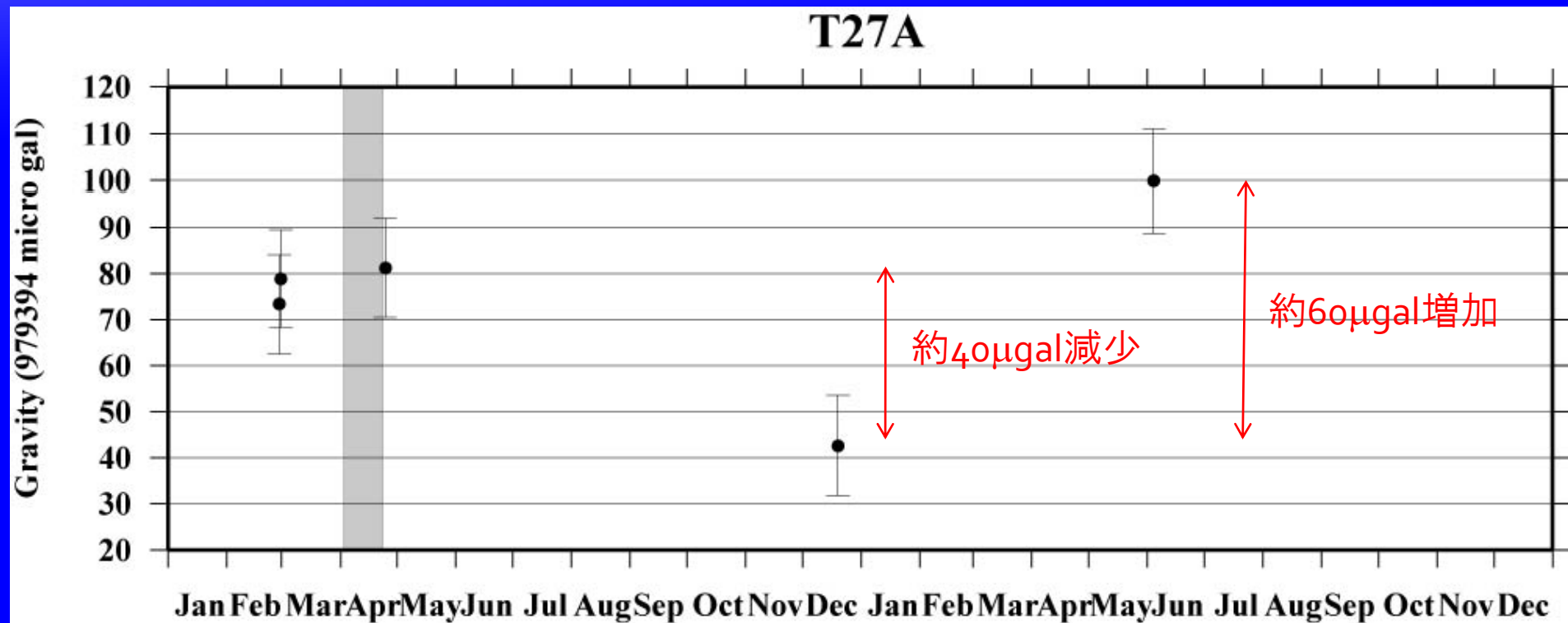
還元地域での重力変化 (2008年2月～2009年6月)



空隙率15%の高透水性
ゾーンからメンテナンス
前に還元された熱水が失
われれば地表において
20 μ galの重力変化が
生じる



生産地域での重力変化 (2008年2月～2009年6月)



2009年ジャカルタ現地調査

調査概要

- ◆ GPSを用いた地盤沈下量測定（ITB）
- ◆ A10絶対重力計を用いた重力測定
- ◆ Scintrex相対重力計を用いた重力測定

実施期間

2009年7月14日—8月6日

重力測定点



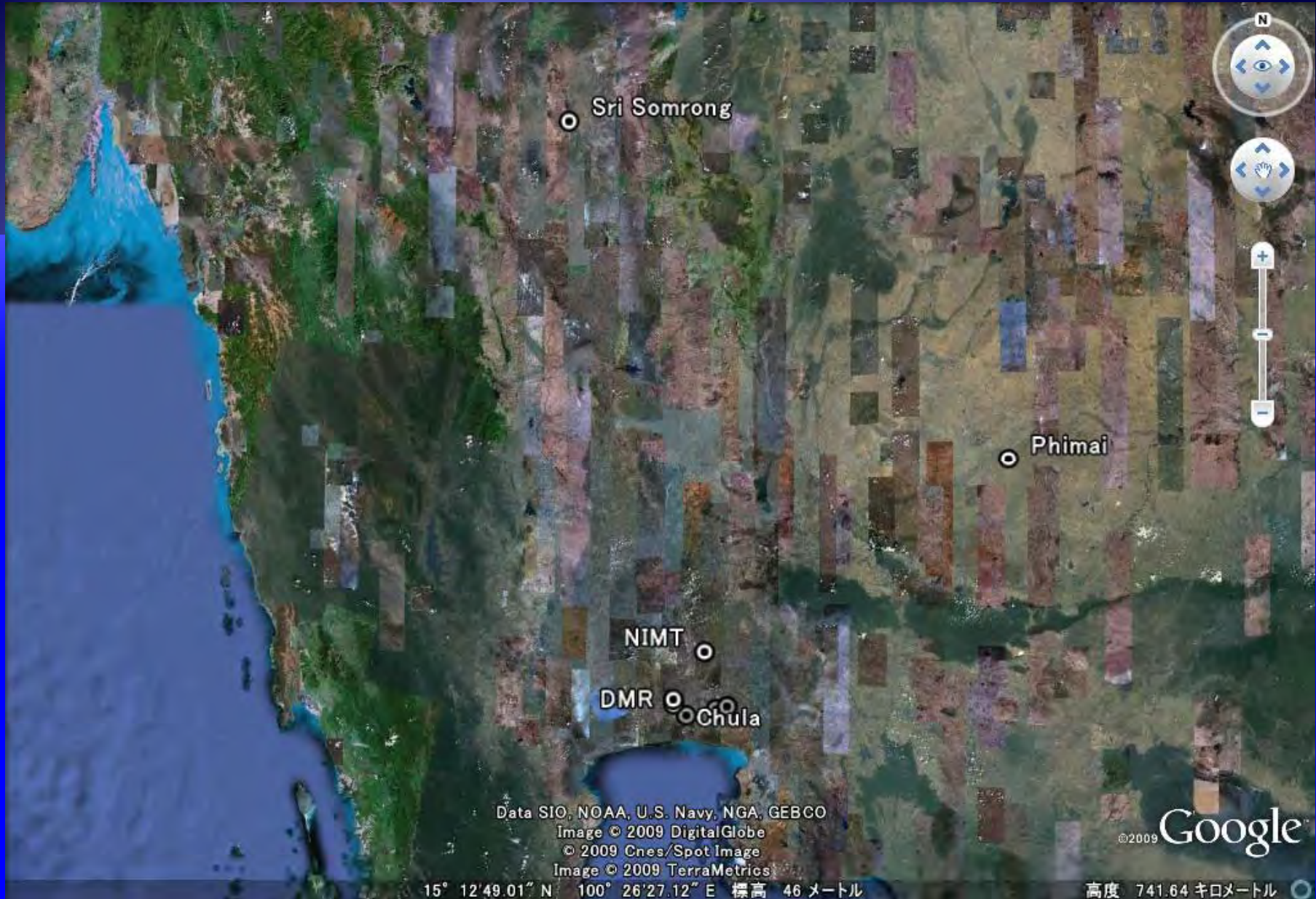


ジャカルタ重力変化



まとめ

- ◆ 地下水位変化に引き起こされたと考えられる重力変化が観測された。
- ◆ 今後観測を継続することにより地下水位変化によって引き起こされたものかどうか評価を行う予定。



Sri Somrong

Phimai

NIMT

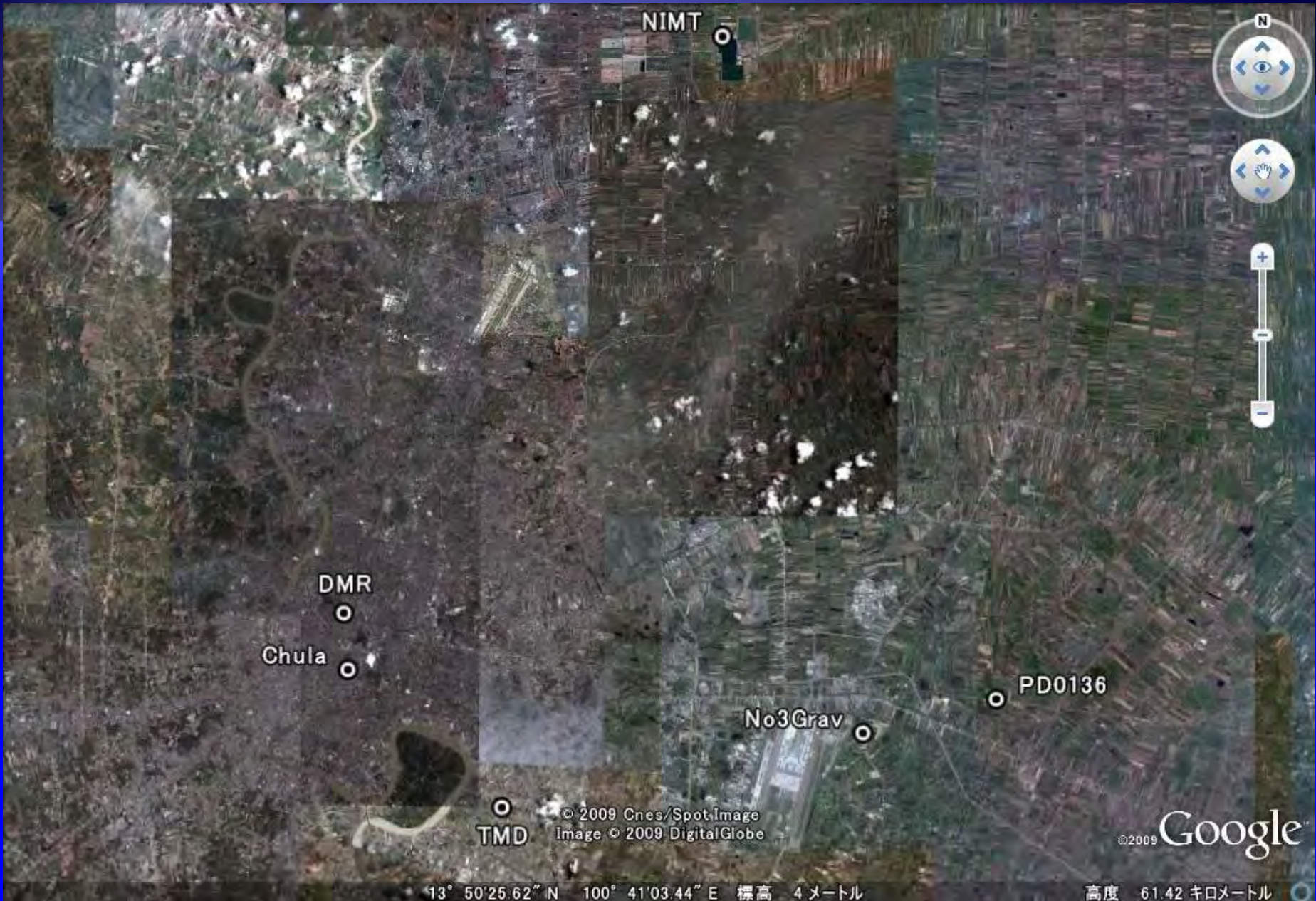
DMR Chula

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2009 DigitalGlobe
© 2009 Cnes/Spot Image
Image © 2009 TerraMetrics

15° 12'49.01" N 100° 26'27.12" E 標高 46 メートル

©2009 Google

高度 741.64 キロメートル



NIMT

DMR

Chula

TMD

No3Grav

PD0136

© 2009 Cnes/SpotImage
Image © 2009 DigitalGlobe

©2009 Google

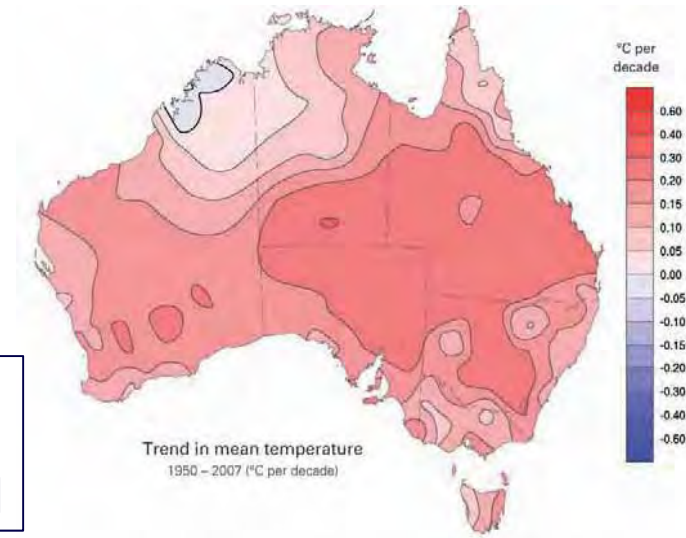
13° 50'25.62" N 100° 41'03.44" E 標高 4メートル

高度 61.42 キロメートル

オーストラリアの陸水貯留量の長期変化

GRACE, SG及び、地上陸水データを用いた研究

Fig. Trend in mean temperature
(1950~2007 °C per decadal)
[Hennessy *et al.* 2008]



オーストラリアの陸水貯留量の長期変化

GRACE, SG及び, 地上陸水データを用いた研究

- 大陸スケールでの気候の変動？
1950年以降の気温の上昇：0.97°C [Hennessy *et al.* 2008]
- 2006年に歴史的な旱魃が発生
流域スケールで陸水貯留量が減少
 - その後の回復過程

内容

GRACEでみる陸水貯留量の長期変化

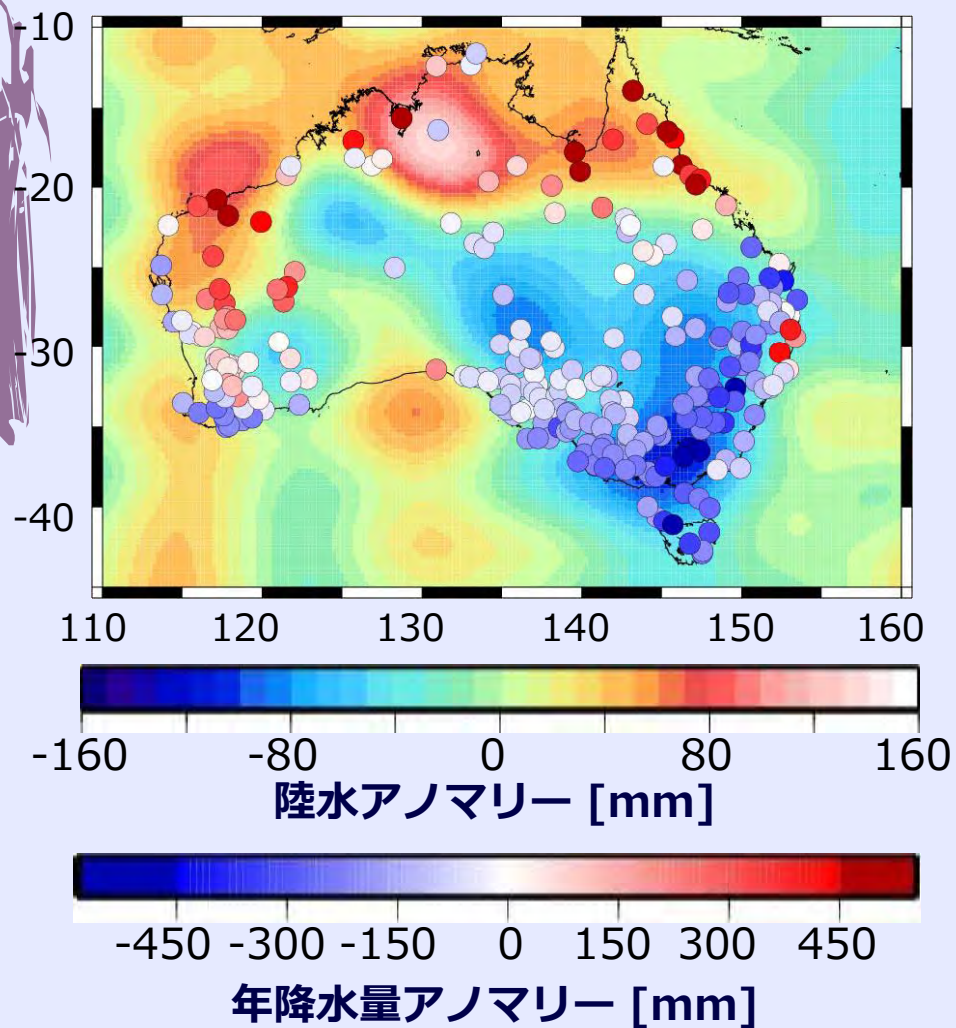
- 2006年の旱魃の影響とその後の回復

GRACEデータと地上重力・土壌水分観測の比較

- 数100kmスケール — ローカルスケール
- 総貯留量の変化 — 深さ90cm以浅の変化

2006年の旱魃に伴う陸水変化 (GRACE Obs.)

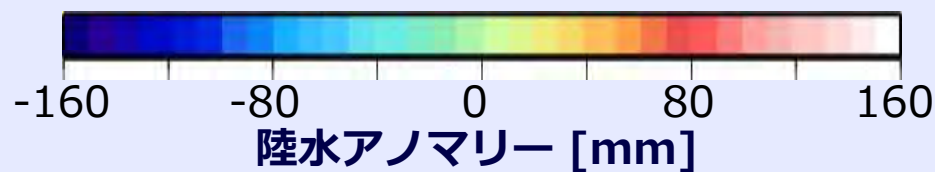
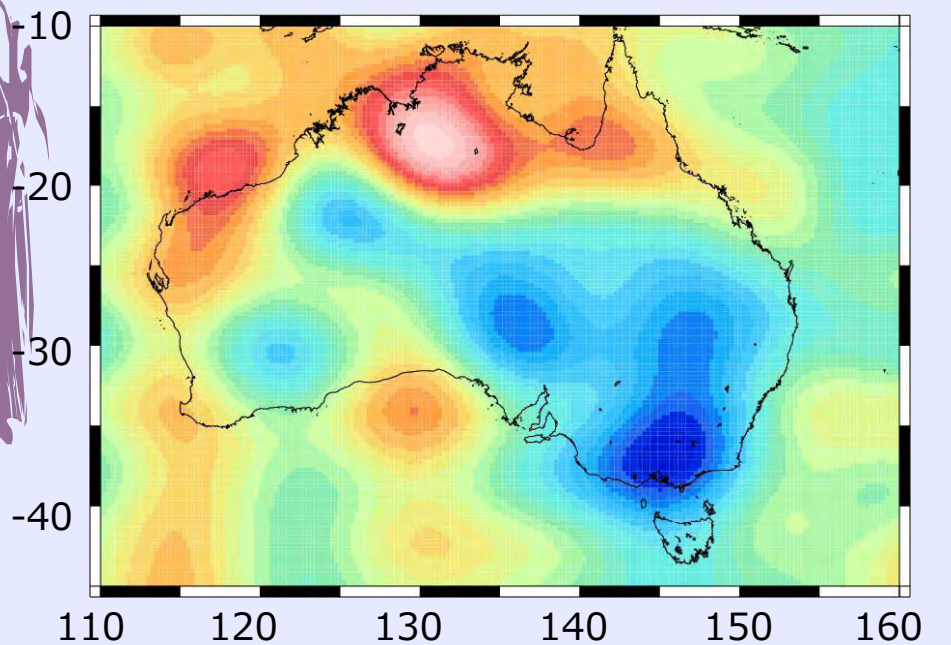
□ 2006年の平年値 - 2003年~2005年の平均値



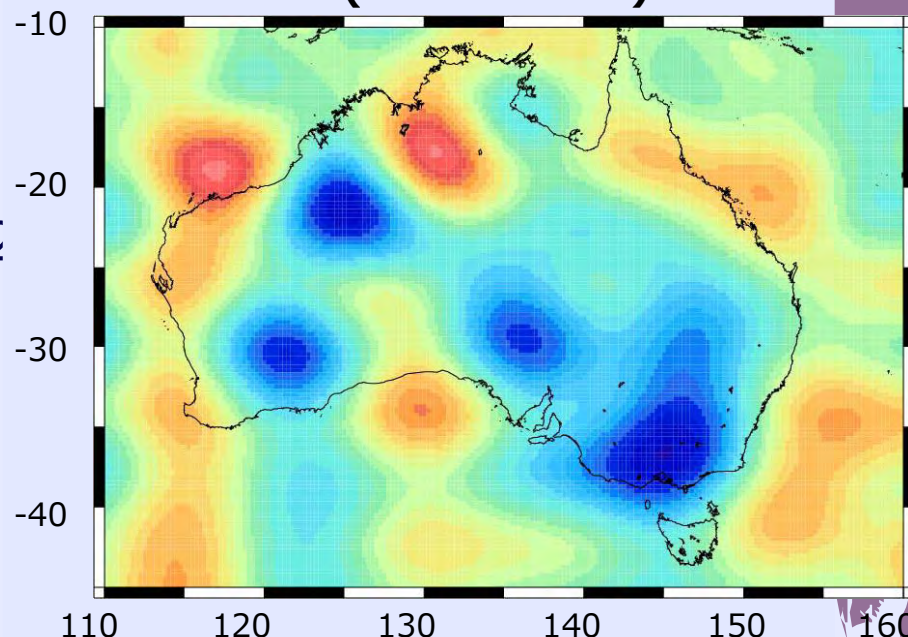
降雨の減少に対応して
オーストラリア南東部
の陸水貯留量が減少

旱魃後 ...

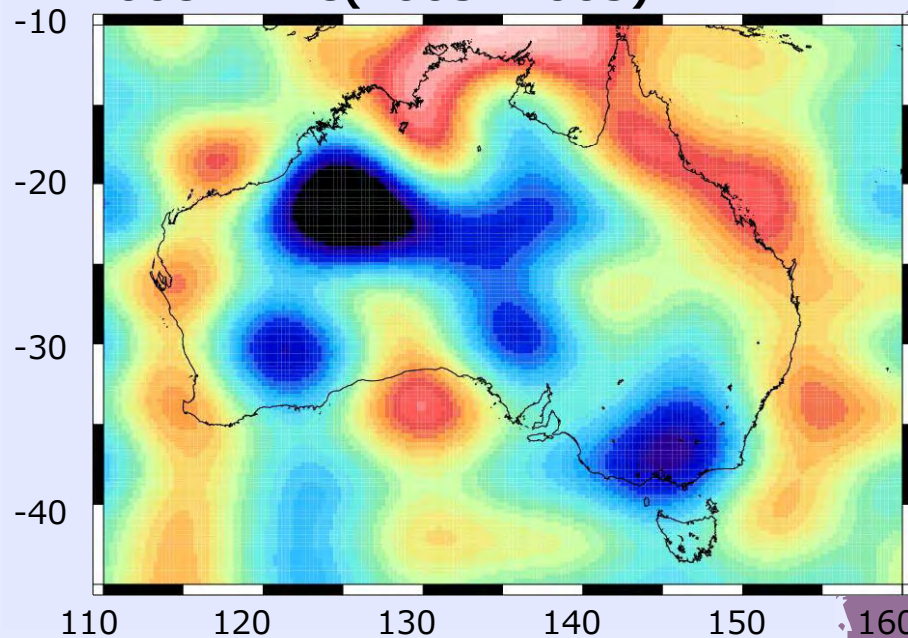
□ 2006年の平年値 - 2003年~2005



2007 - Ave(2003~2005)



2008 - Ave(2003~2005)

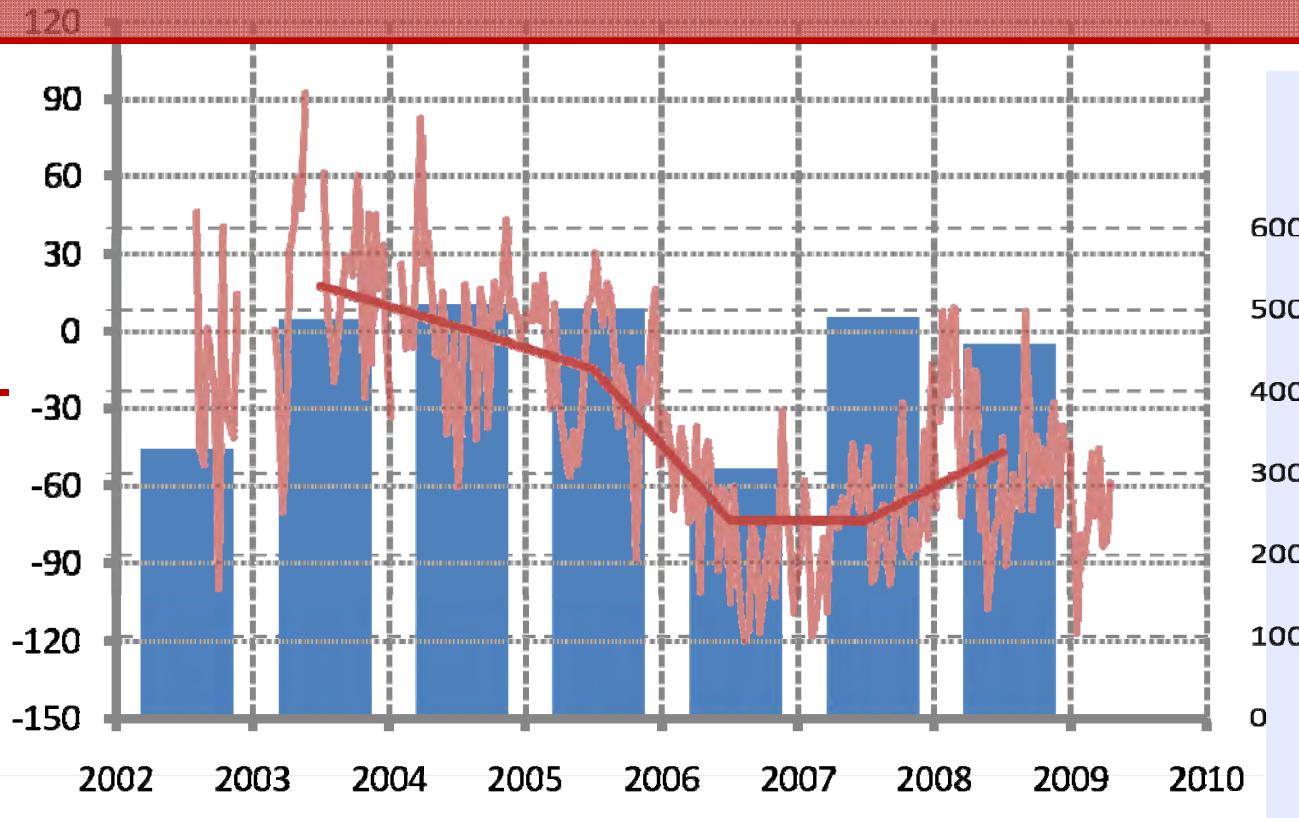


Murray-Darling川流域平均の時系列

GRACE Obs.

2006年の旱魃後、降水量は回復しているにもかかわらず
陸水量は旱魃前の水準まで回復していない

陸水
アノマリー
[mm]



流域平均の
年降水量
[mm]

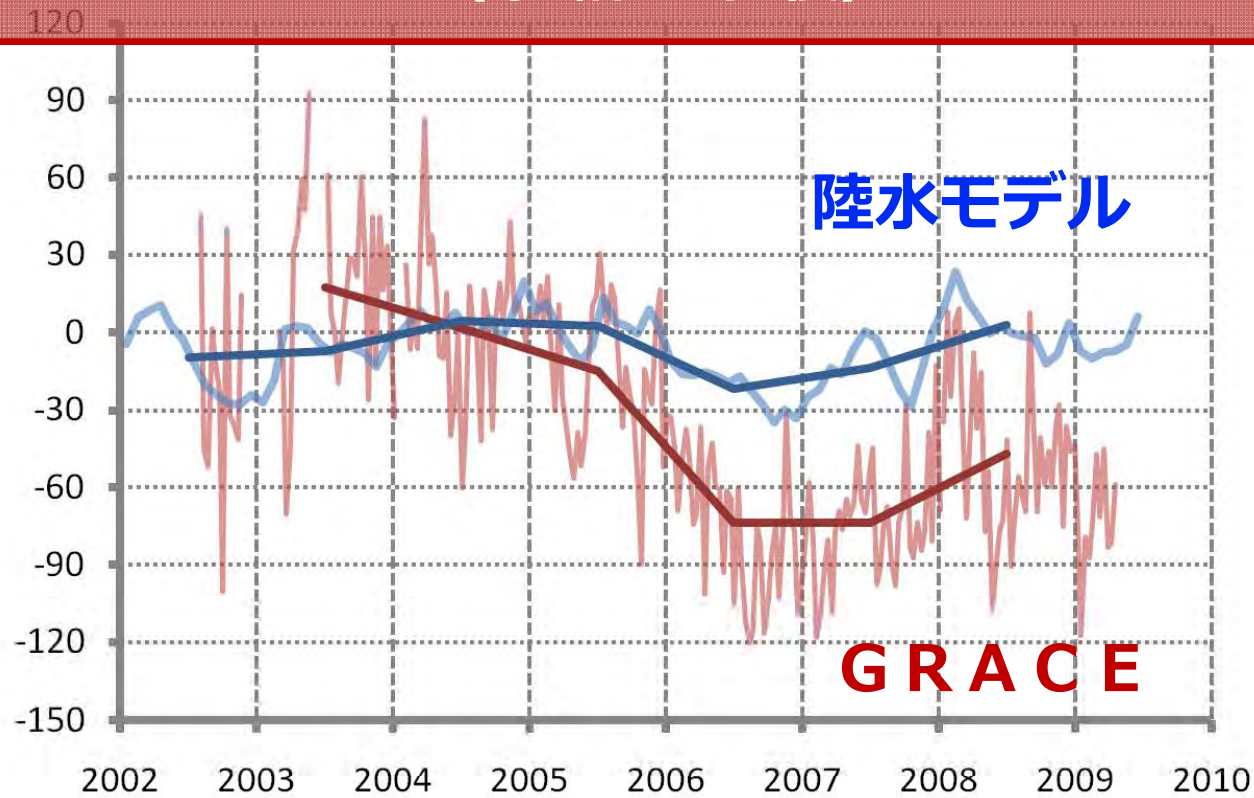
※ 年周・半年周成分は除いてある

Murray-Darling川流域平均の時系列

GLDAS (noah)モデルとの比較

モデルは旱魃時の陸水による減少を再現できていない
(振幅 & 回復)

陸水
アノマリー
[mm]

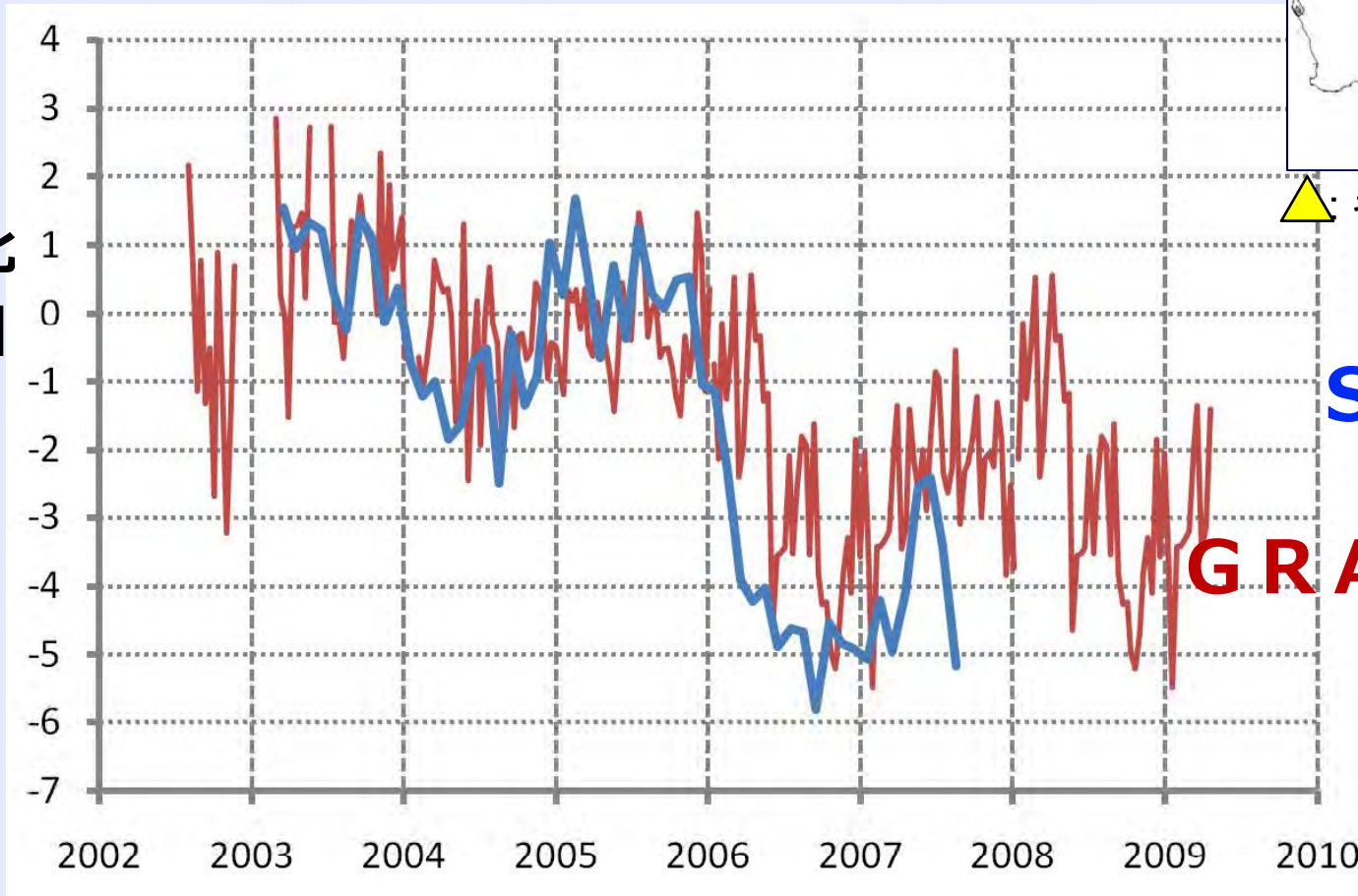


※ 年周・半年周成分は除いてある

GRACEデータと地上の重力観測

キャンベラの超電導重力計 (SG)

重力変化
[μGal]



▲: キャンベラ

SG

GRACE

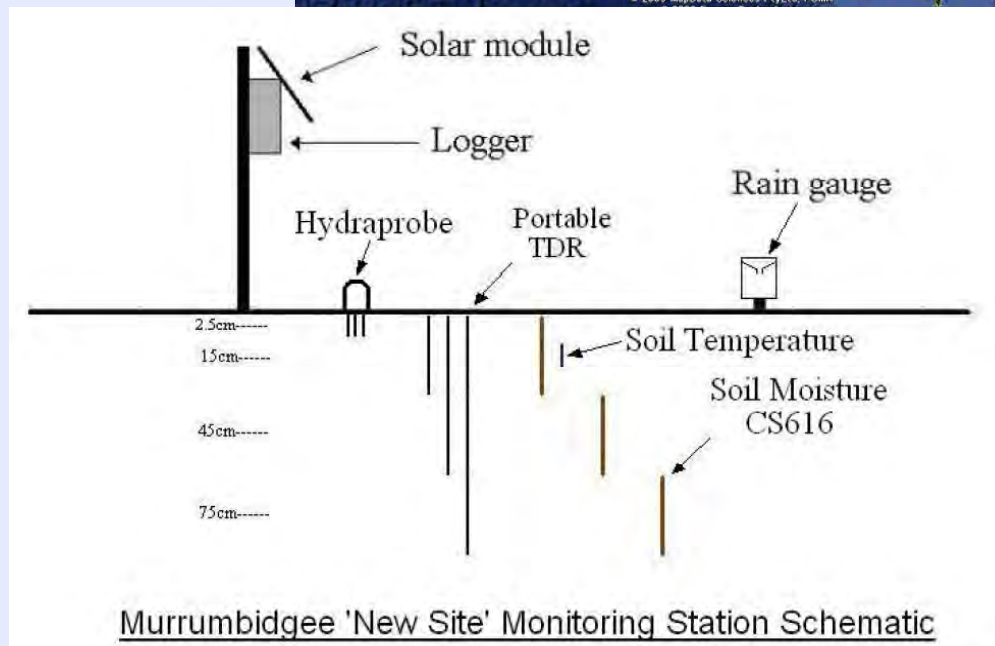
※ 年周・半年周成分は除いてある

土壌水分計ネットワーク

Murrumbidgee Monitoring Network

[Yeoh et al. 2008]

- CS616 Soil Moisture Sensors
キャリブレーションにより誤差は5%v/v以下
- 0-30cm, 30-60cm, 60-90cmにセンサー
- 14地点の平均値 (2004年以降～)



モデルとの比較

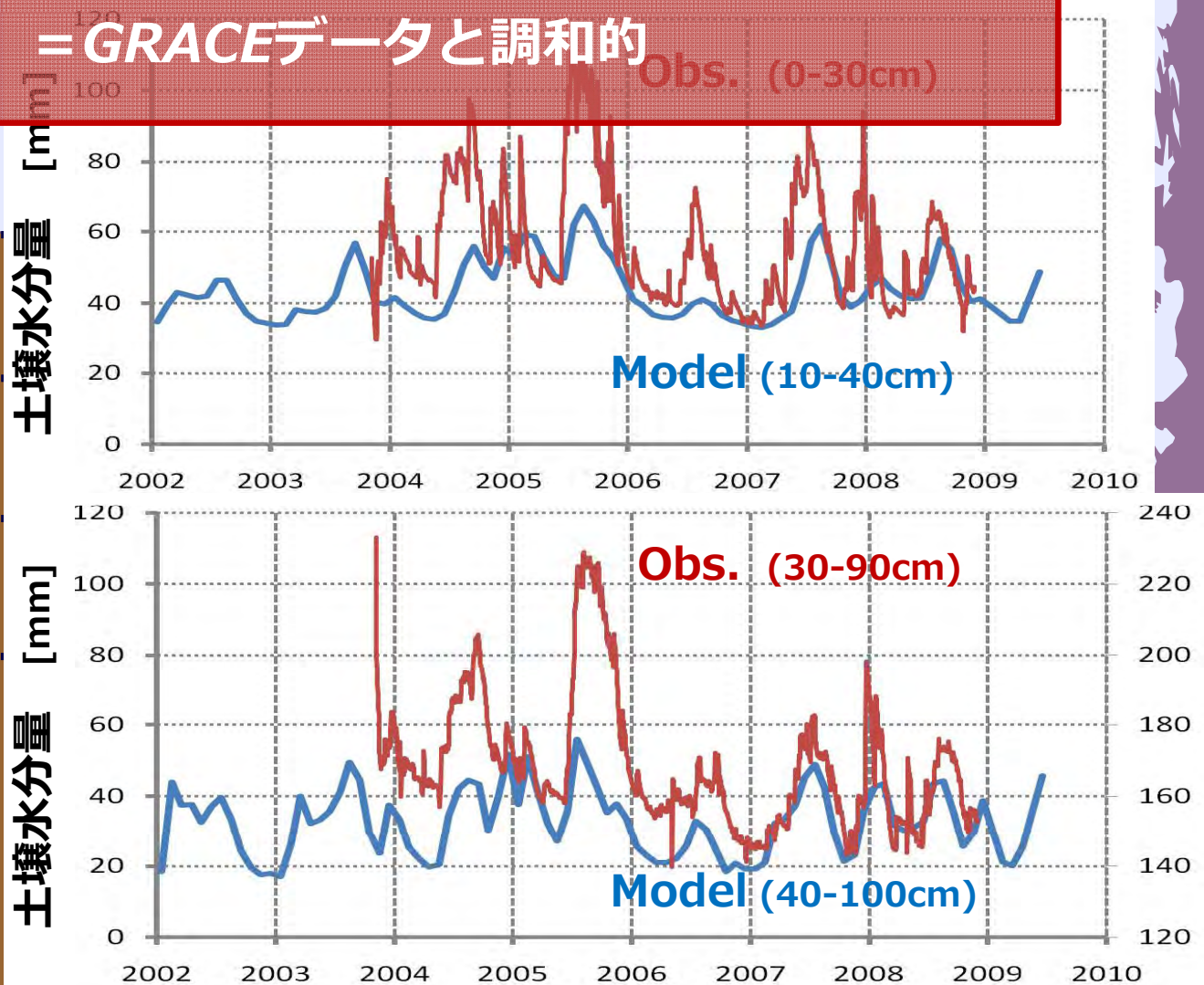
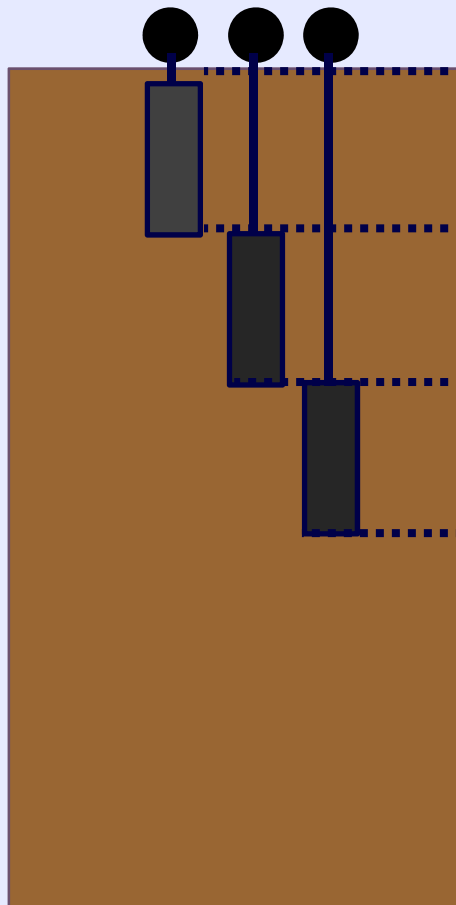
Murrumbidgee Monitoring Network

CS616 Soil Moisture

>

モデルの変化量は観測よりも小さい

= GRACEデータと調和的



GRACEデータとの比較

Murrumbidgee Monitoring Network

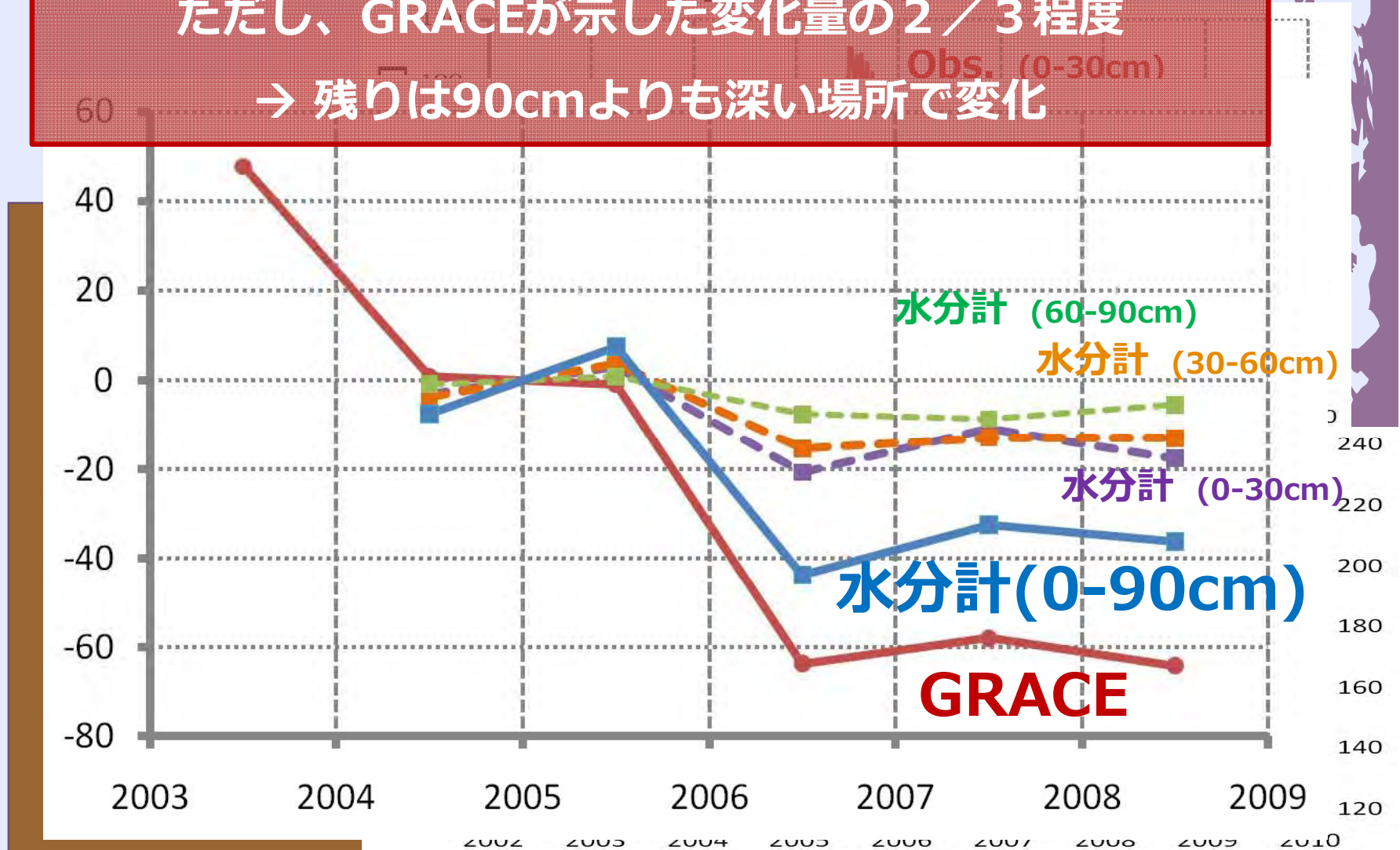
CS 616 Soil Moisture Sensors

> キャリブレーションにより誤差レベルは5%以下 [Yeoh et al. 2008]

土壤水分計のデータはGRACEと調和的

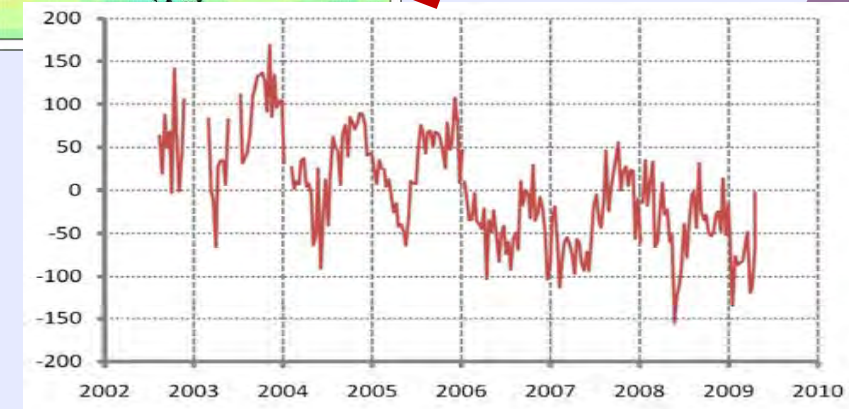
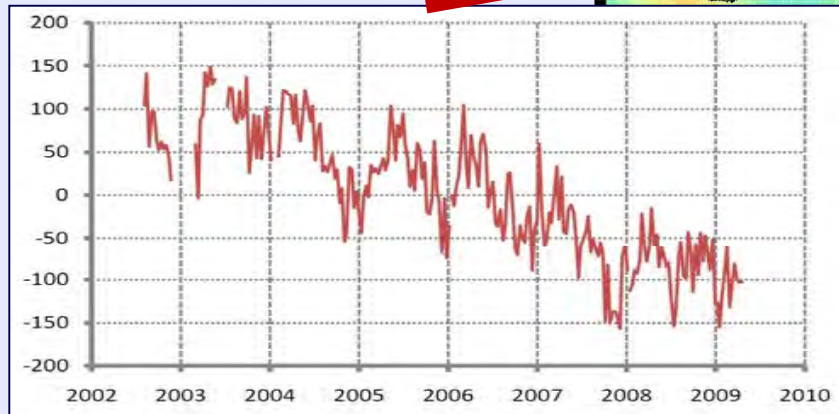
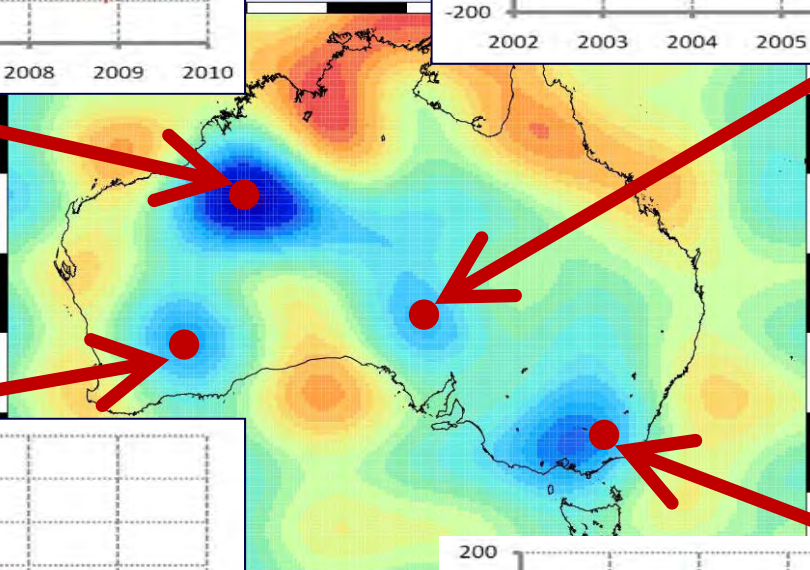
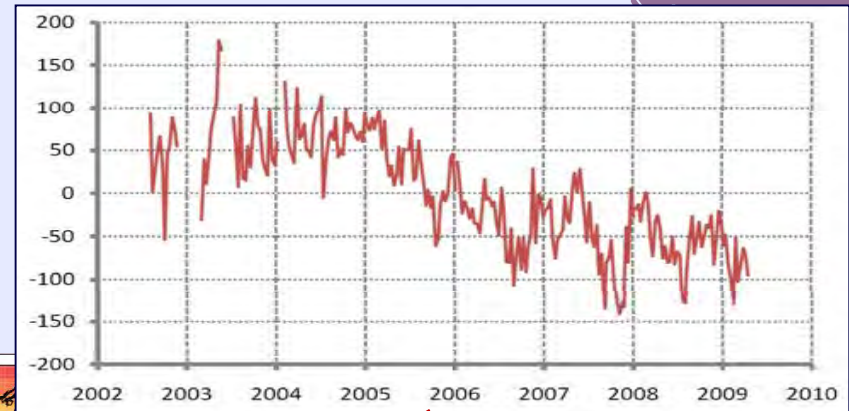
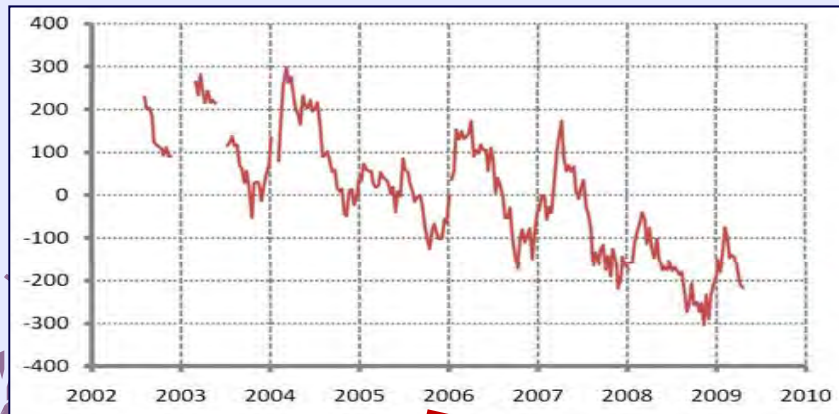
ただし、GRACEが示した変化量の2/3程度

→ 残りは90cmよりも深い場所で変化

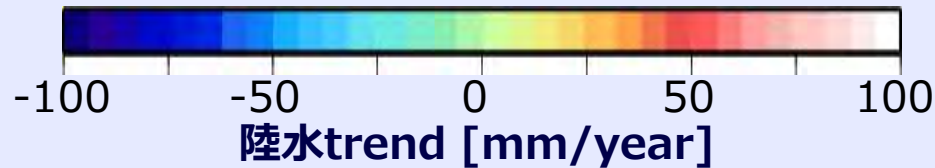


まとめ

- 2006年の旱魃により減少したオーストラリア南東部の陸水貯留量は、旱魃前の水準まで回復していない。
- 陸水モデルはこの地域の陸水の長期変化を再現できていない。
- 土壌水分・地上重力データはGRACEデータと調和的。
ただし、土壌水分観測が示した変化量はGRACEの観測量
2 / 3程度で、残りは地下1mよりも深い場所で変化した
と考えられる



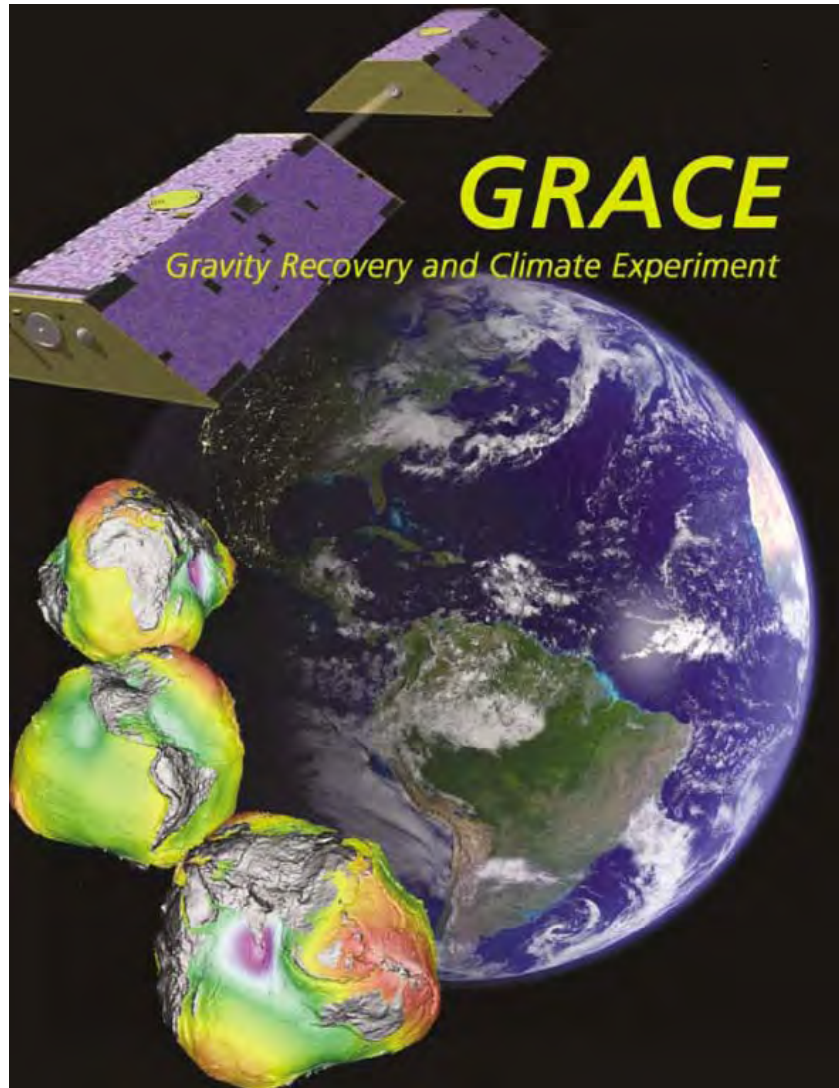
130



重カグループ概要

福田洋一(京大院理)

地球研地下環境プロジェクト全体会議
2009年10月29日
ホテルピアザびわ湖(大津市)



Absolute Measurements



Relative Measurements



- 福 田 : 全体概要
(仲江川 : GRACE一モデルTWSコメント)
- 西 島 : A10絶対重力計による野外測定
国内、インドネシア
- 山 本・長谷川 : GRACE、高度計データ利用

観測計画概要

	H18年度 2006	H19年度 2007	H20年度 2008	H21年度 2009	H22年度 2010
バンコク	(2007) 3月 予備調査 重力探査	(2008) 2-3月 予備調査 実施せず	(2008) 2-3月 本調査 A10+GPS	(2009) 9月 本調査 A10+GPS	(2011) 追加調査? A10+GPS
ジャカルタ	9月 予備調査 重力探査	8-9月 GPS 重力探査	8-9月 本調査 A10+GPS	7-8月 本調査 A10+GPS	7-8月 本調査 A10+GPS
国内		A10テスト観測 (地熱地帯) 2月滝上	A10テスト観測 (地熱地帯) 4月、12月 大阪、12月	A10テスト観測 熊本、九重 6、11月 大阪 6、10月	A10テスト観測 (地熱地帯) 大阪
備考		秋-冬 A10導入			

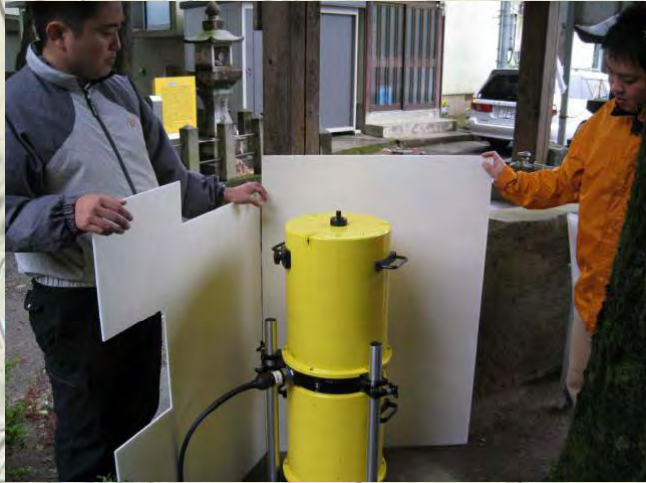
2009(H21)度研究計画

- ・ フィールド調査
 - － インドネシア
 - ・ 7月13日～8月5日、A10観測、相対重力、GPS(ITB)
 - ・ Jakarta、Bandung、~~Semarang~~の地盤沈下
 - ・ Kamojang地熱フィールド(滝上と対比)
 - － タイ
 - ・ 9月17日～27日の間
 - ・ A10はジャカルタから直送
 - ・ やや広域での将来の絶対重力基準点となる測定
 - － バンコク(6点、屋内4点)、スラブリ、ピーマイ、シーサムロン
 - － 国内観測
 - ・ 地熱(滝上)、熊本(地下水) 2009年6, 11月
 - ・ 大阪(地下水) 2009年6月、10月





大津



菊池郡

岩坂

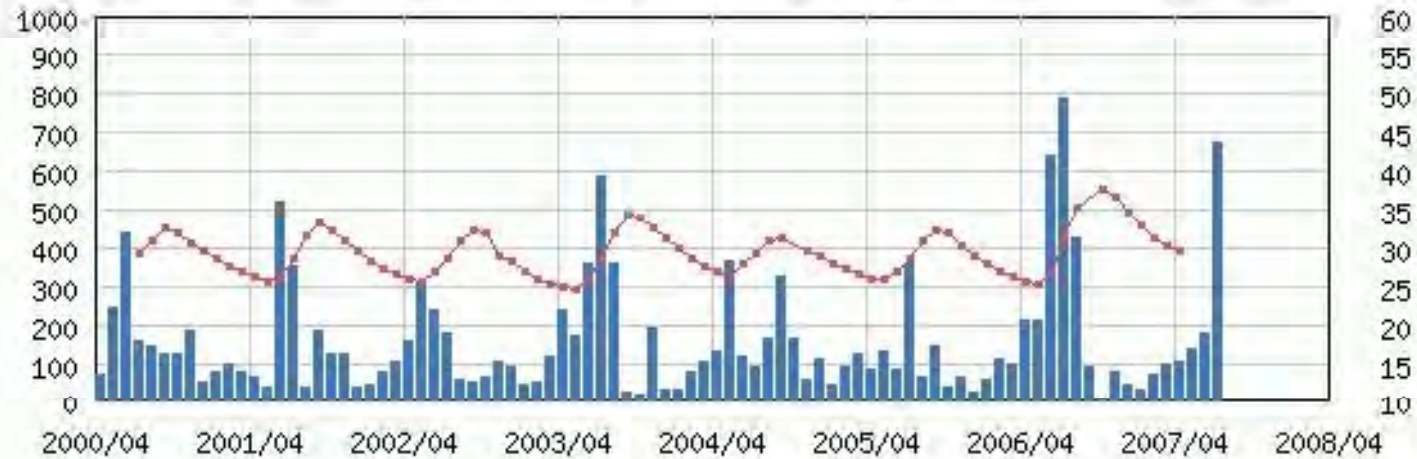


秋田

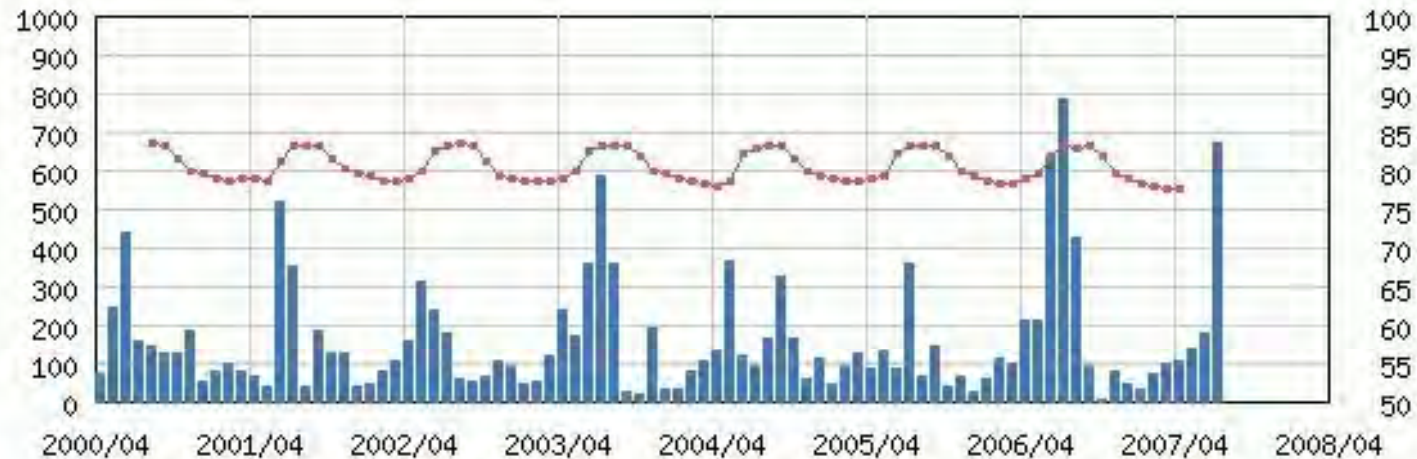


岩坂

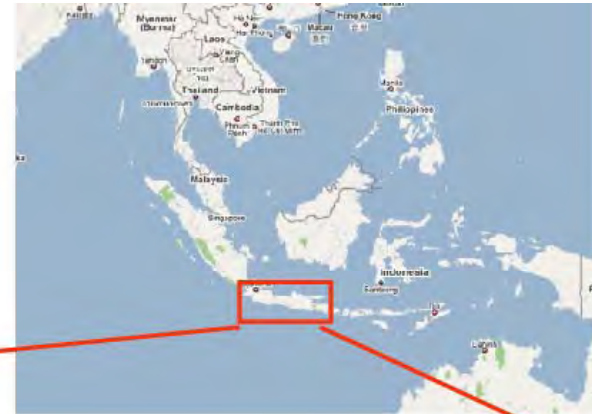
月別降水量と大津中島水位観測井の水位経年変化



月別降水量と大津中島水位観測井の水位経年変化



Survey Areas





Repeatability

Station	Date	G (μ gal)	N of Set.	Set Scat.	Uncertainty	Diff
LIPI	2009/7/25	978139874.2	10	5.9	10.7	
	2009/8/3	978139860.1	10	6.6	10.7	-14.1
KUNI	2009/7/26	978140091.1	7	3.5	10.6	
	2009/8/3	978140073.0	10	6.4	10.7	-18.2
CEBA	2009/7/25	978148144.3	5	1.6	10.6	
	2009/7/25	978148155.6	8	16.7	12.1	11.3
GNBO	2009/7/26	978145688.9	10	19.3	12.2	
	2009/7/26	978145674.7	5	21.9	14.4	-14.2
LIPI-GS	2009/7/27	977965179.8	10	4.8	10.6	
	2009/7/27	977965182.4	8	4.3	10.7	2.5
BNG1	2009/7/28	978011060.5	10	11.4	11.1	
	2009/7/30	978011074.0	9	5.0	10.7	13.5
CMH2	2009/7/28	978008045.7	8	51.5	21.0	
	2009/7/28	978008035.5	9	41.8	17.5	-10.2
	2009/7/29	978008025.2	8	30.0	14.9	-10.3
KUJU	2008/2/28	979416653.2	10	4.1	10.6	
(Geothm)	2008/2/29	979416654.2	10	6.7	10.8	1.0

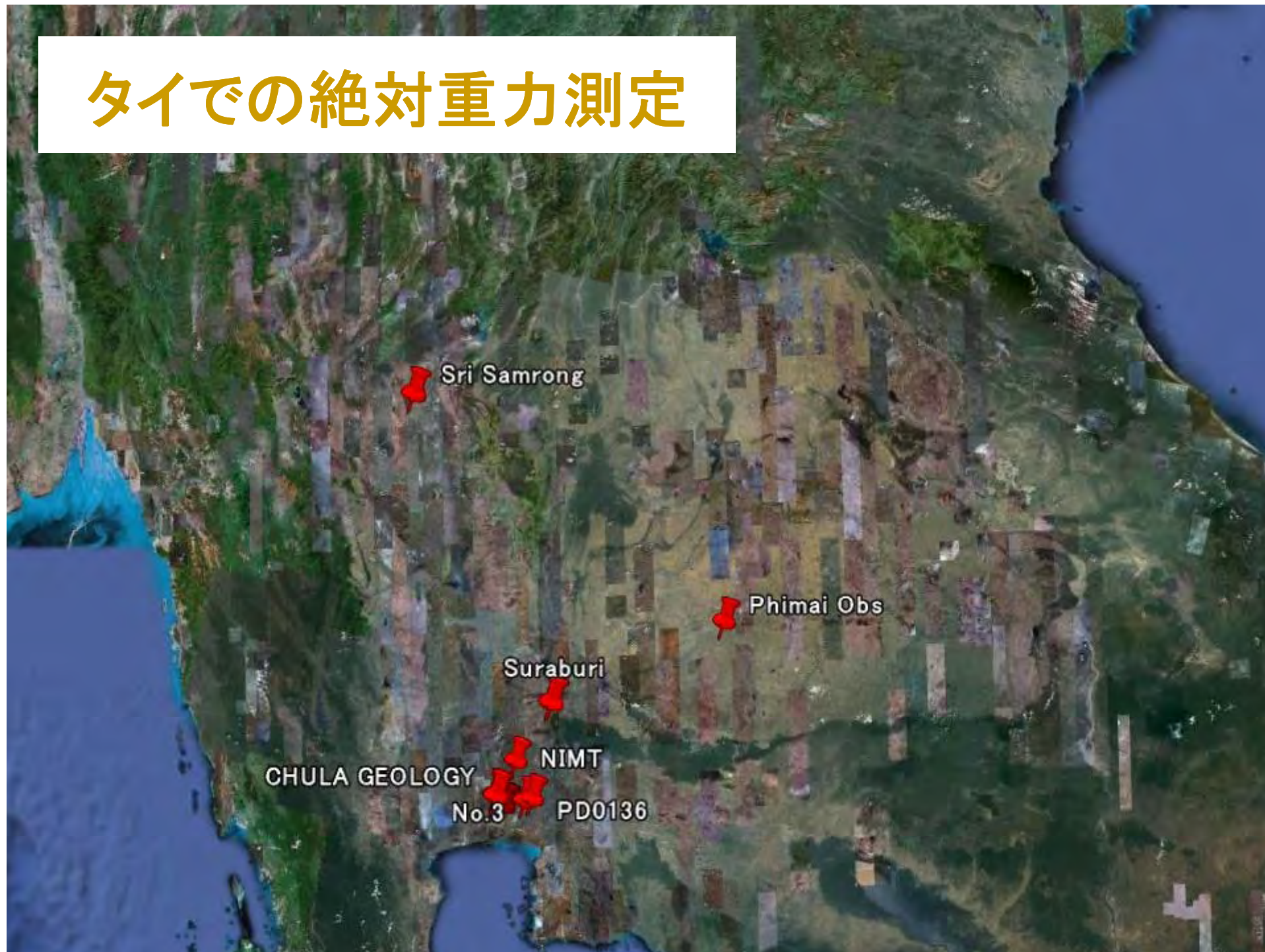
A10-#017

- 2007年12月： 総合地球環境学研究所に納入
- 2008年1月： 京都一→九大学に移送(後、九大で随時測定)
- 2008年2月、4月： 九重(滝上地熱発電所)での測定
- 2008年6月： オートレベル不調、ボード交換
- 2008年7月： 九大一→京都一→インドネシアへ移送
- 2008年8月～9月： インドネシアでの測定
- 2008年10月： インドネシア一→京都
- 2008年11月： イオンポンプ交換、FRINGE出力減少
- 2008年12月： 大阪での測定、九大に移送、九重での測定
- 2009年2月～4月： MGL返送、オーバーホール(イオンポンプ増設)
- 2009年5月： つくば一→京都一→九大移送、TTLボード交換
- 2009年6月： 熊本、九重、大阪測定、インドネシアに発送
- 2009年7月～8月： インドネシアでの測定(高温時に不調)
- 2009年9月： タイでの測定
- 2009年10月： タイ一→京都、大阪での測定、九大に移送
- 2009年11月： 熊本、九重(阿蘇)測定予定

A10測定の実況

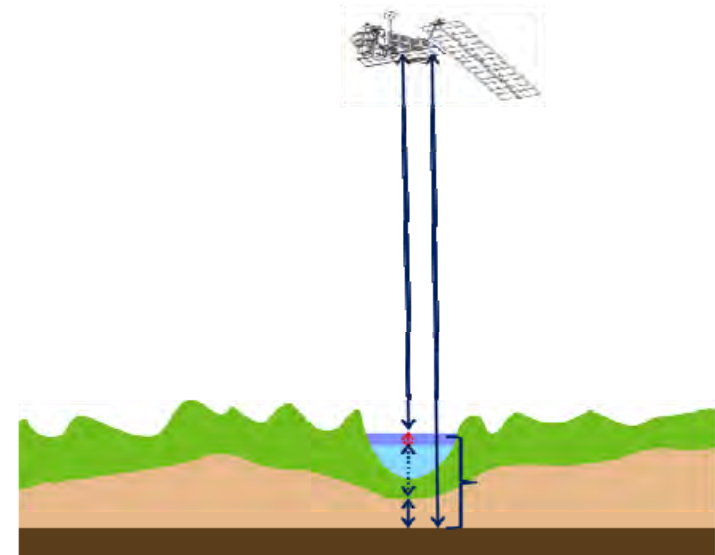
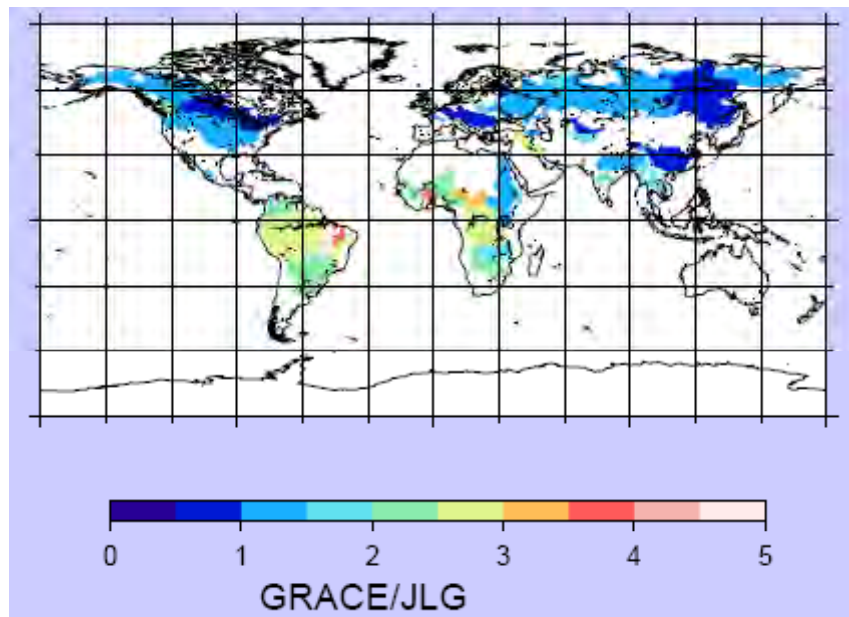
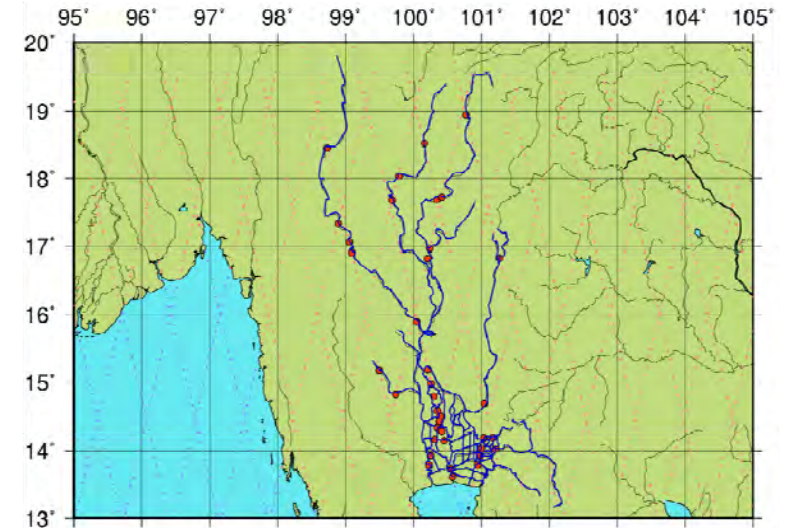
- 野外で静かな環境では10 μ galの精度は達成されている
- 都市ノイズの大きいところではそれに規定される
- ジャカルタの地盤沈下は検出可能
- 大阪季節変動は検出限界？
- 九重は重力変化を捉えている、たぶん熊本も検出できるだろう

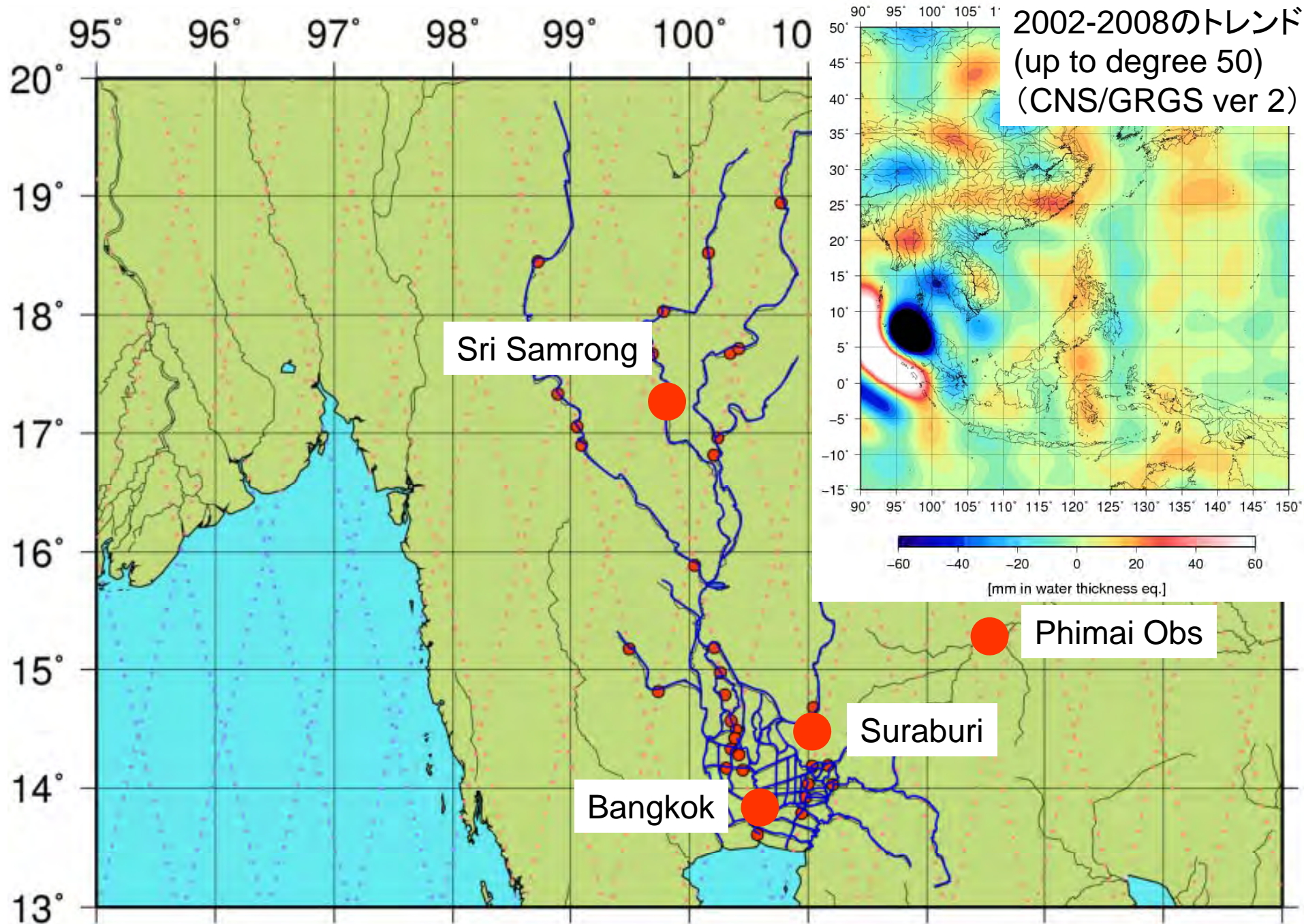
タイでの絶対重力測定



衛星 (GRACE、Altimeter) データ解析

1. インドシナ半島でのモデルとの比較
2. 世界主要河川流域でのモデルとの比較
3. 経年変化の検出 (インドシナ、オーストラリア)
4. アルティメータデータの利用





Sri Samrong



Suraburi



NIMT

PD0136

No.3

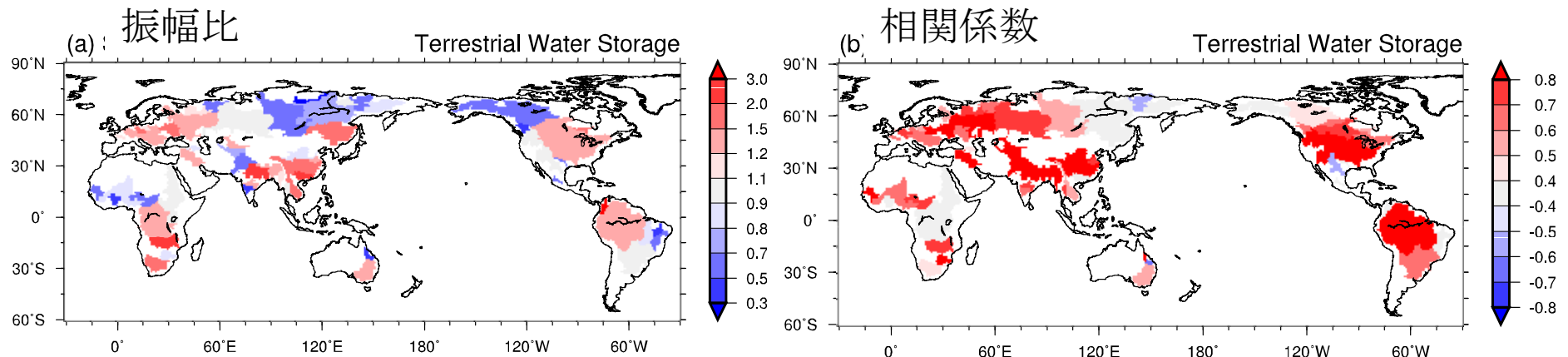


陸水総貯留量改良年表

2006. 土壤水分量 + 積雪水当量 (=TWS₂₀₀₆)

2007. TWS₂₀₀₆ + 河道貯留量 + 地下水貯留量

2008. TWS₂₀₀₇ + 河川流速・地下水滞留時間調節

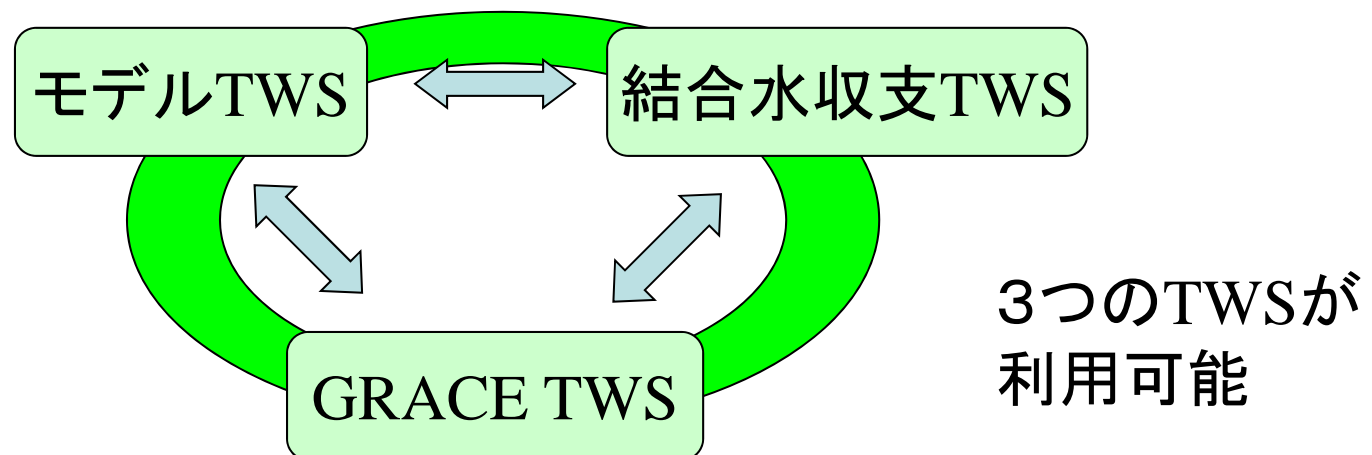


TWS₂₀₀₈ と結合水収支法TWSとの比較

GRACE TWSデータの利用法 (1)

- 最近、フランスのグループが独自に解析したGRACEの10日毎の解から推定されるTWSは、アマゾン川、コンゴ川等の熱帯地域流域で振幅が小さくなり、このプロジェクトでモデル計算してきたモデルTWSと結果が一致するようになってきた。

これからの比較は、



GRACE TWSデータの利用法 (2)

3つデータが揃ったことで、

- 2者による勝ち負けでない比較が可能、
- いずれの手法も欠点を持ち合わせているので、3者で相補的に改良を行うことが可能、である。

GRACE TWSの応用的研究、利用

- 旱魃、洪水のモニタリング
 - インド地下水の長期低下傾向 (Rodell et al. 2006)
 - 2006年オーストラリアの旱魃 (Hasegawa et al. 2008)
- 長期予報の際の土壌水分初期値としての利用
 - 来月開催のECMWF/GLASS Workshop on Land Surface Modelling, Data Assimilation and the implications for predictability に参加して、情報収集

世界的に
未着手^{の筈}

ダウンスケーリング

衛星、モデルデータを如何に地上観測(都市スケール)に近づけるか

衛星データ:

GRACE L2データ (空間スケール300 km)

GRACE L1データ (~200km程度?)

アルティメータ、軌道に沿っては10km、軌道間は100~300km

モデル:

- ・GRACEのトータルの流域平均を拘束条件として
モデルパラメータのチューニング

- ・ネスティング

グローバルモデルの値を、ローカルモデルの境界条件とする
(ローカルモデルの境界からの流出入などにより取り入れる)

原理的には可能

地上データ:

- ・衛星データ、モデルを拘束する

まとめ

- 絶対重力測定（フィールド測定）
 - 国内フィールドでのテスト（九重、大阪、熊本）
 - インドネシア・ジャカルタでの測定
 - 他の地上データを含めた解釈
- 衛星データ、モデル、地上測定結合
 - インドシナ半島（タイ・バンコク）
 - TWSモデルの改良
 - ダウンスケーリング
 - 地上重力測定の補正・結合