### 「レーザー伸縮計と超伝導重力計で観測された 地球の固有振動

- 2007年9月のスマトラ地震を例にして - 」

国立天文台 水沢VERA観測所 田村良明

共同利用代表 京大防災研究所 森井 亙

メンバー 京都大学 川崎一朗、福田洋一、

東 敏博、早河秀章

東大地震研新谷昌人、高森昭光

東大海洋研 今西祐一

東大宇宙線研 大橋正健、内山 隆、三代木伸二

国立天文台 田村良明、花田英夫

筑波大 池田 博 産業総合研 名和一成

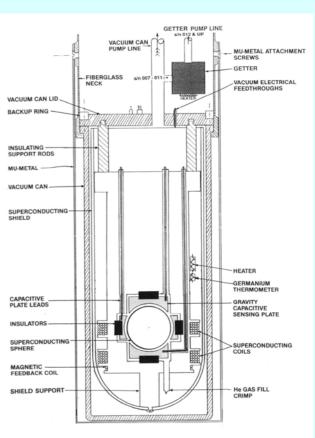
<sup>&#</sup>x27;07.12.14 宇宙線研究所共同利用発表会

#### 内 容 (神岡で実施している地球物理観測の紹介)

- 1. 重力変化の観測
- 2. 地球の自由振動(重力計、ひずみ計)
- 3. 重力の時間変化 (絶対重力測定、地下水の影響)
- 4. レーザ地震計 (地震計のスケール検定)

# 1. 重力変化の観測





超伝導重力計(SG)

相対的な重力変化を測る

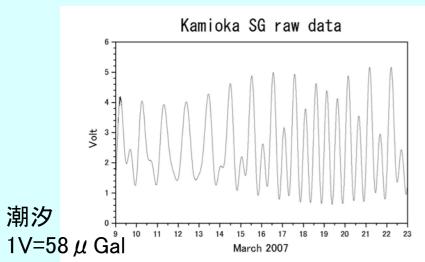
センサー部

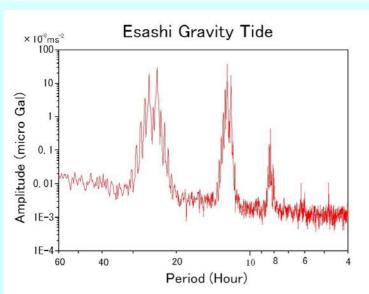
# 重力加速度 $1 \mu$ Gal の大きさとは

- 地上重力 約1000Gal の 10<sup>-9</sup> (10<sup>-8</sup>ms<sup>-2</sup>)
- 1m 離れた 150kgの質量がおよぼす引力
- 気圧 3hPa の変化による引力
- 高さ3mmの違い

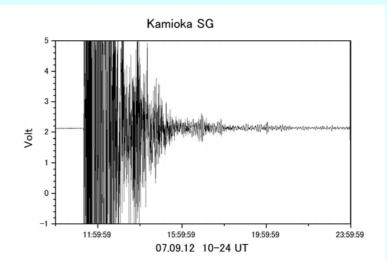
超伝導重力計(SG)は、現象がある程度継続すれば、 $0.01\sim0.003\,\mu$  Gal の変化を捉える能力がある。

# 重力観測データの例

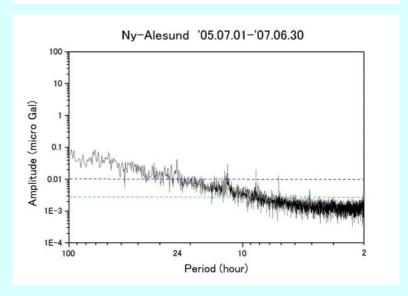




潮汐スペクトル(江刺にて)

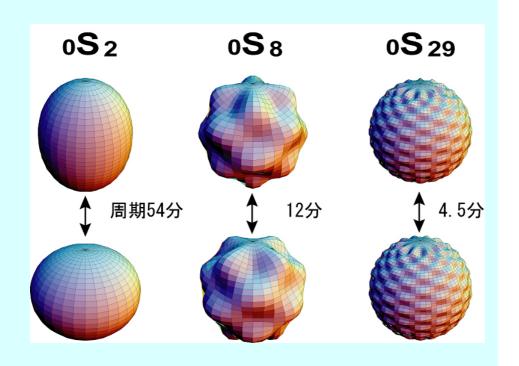


地震



潮汐残差スペクトル(ノイズレベル)

# 2. 地球の自由振動

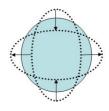


伸縮モードのイラスト

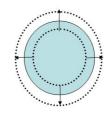
イラストは須田直樹氏による

地球自由振動による半径方向の振動の例

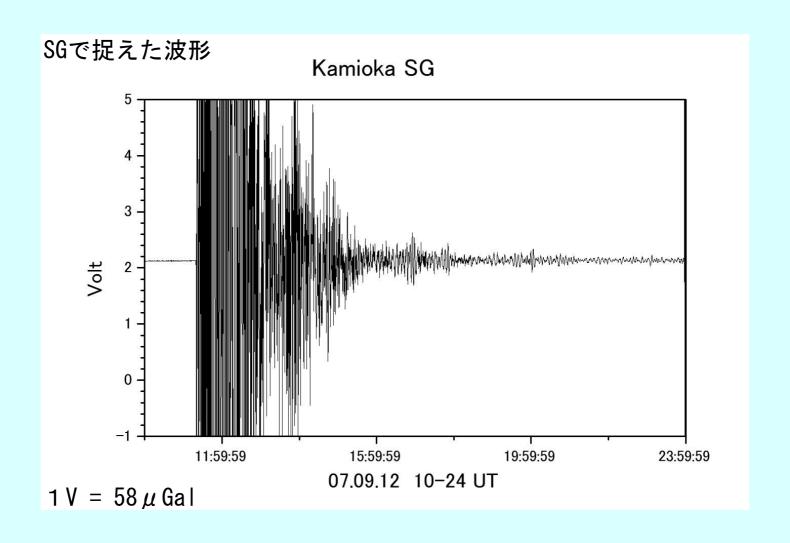
。S。(周期:約53.9分)



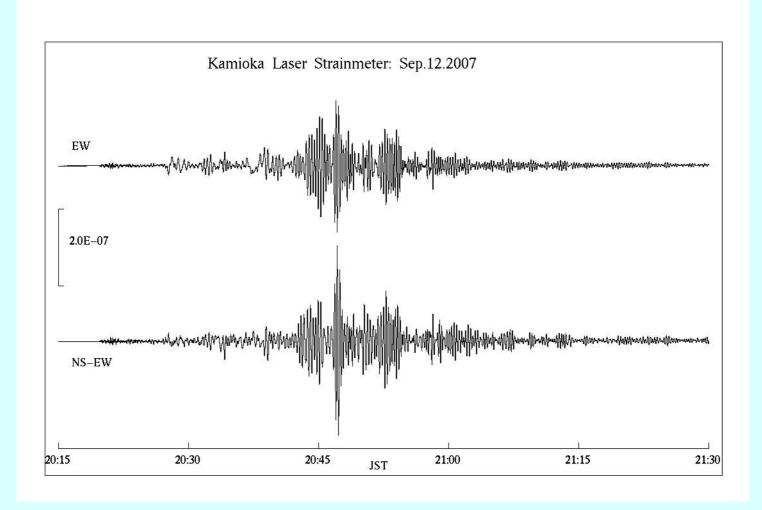
。S。(周期:約20.5分)



# 2007年9月12日スマトラ地震 M8.4



#### 神岡レーザひずみ計で観測された2007年スマトラ地震の波形



# 重力データのスペクトル Free oscillation of the Earth (Sumatra M8.4) Amplitude (micro gal $10^{-8} \text{ms}^{-2}$ ) 0.1 0.01 1E-3 Sep. 12, 2007 1E-4

2.0

Frequency (mHz)

0.5

1.0

1.5

地震発生後、多数のモードが励起されている。

3.0

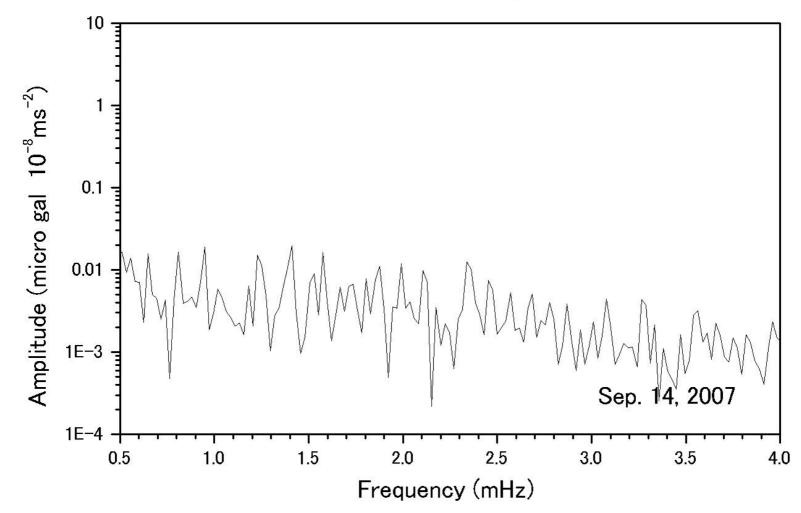
3.5

4.0

2.5

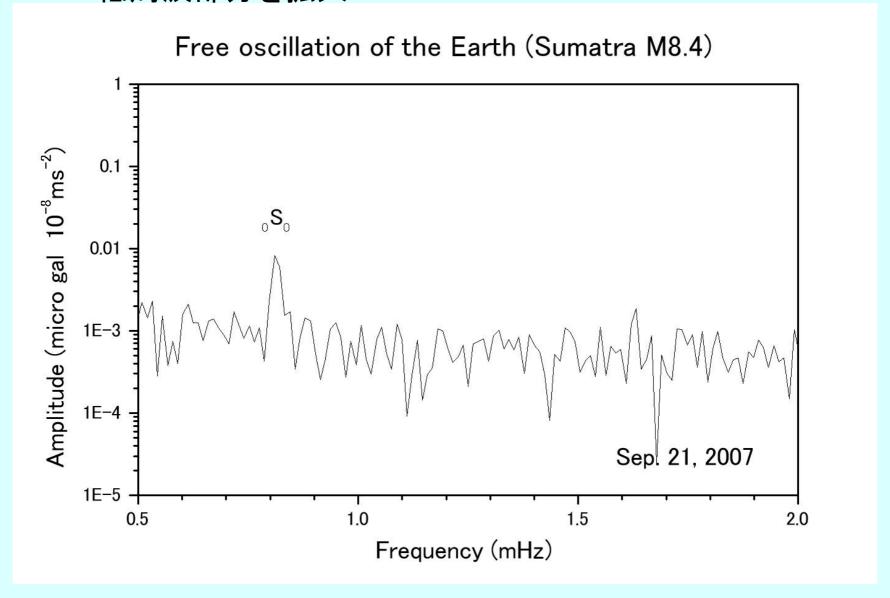
#### 重力データのスペクトル



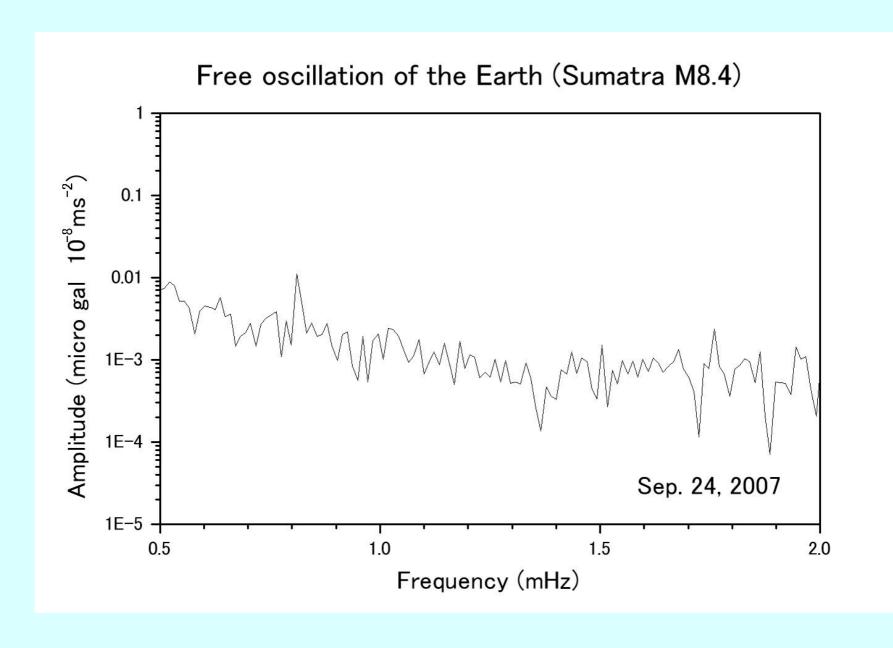


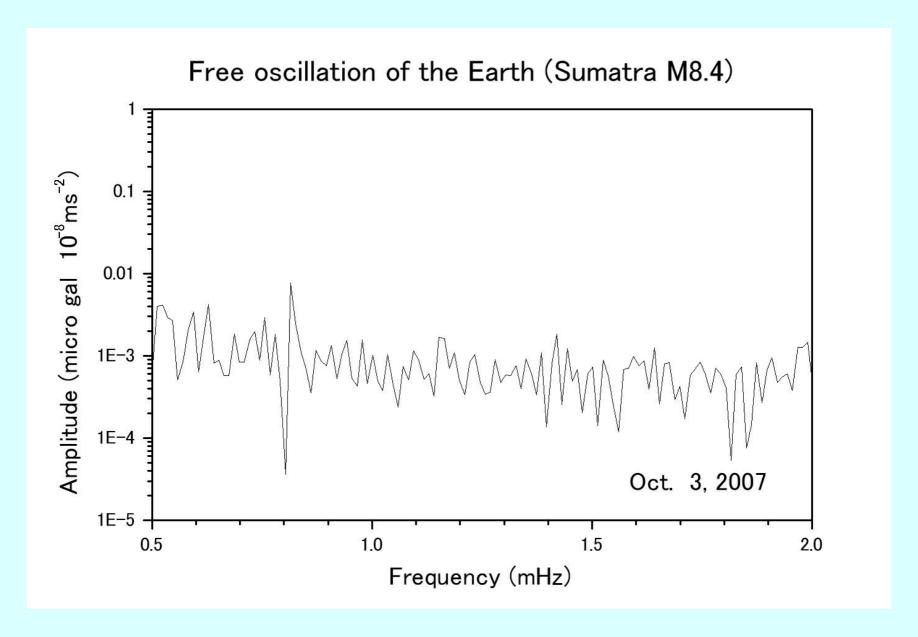
2日後: 高い周波数成分が減衰している。

#### 低周波部分を拡大

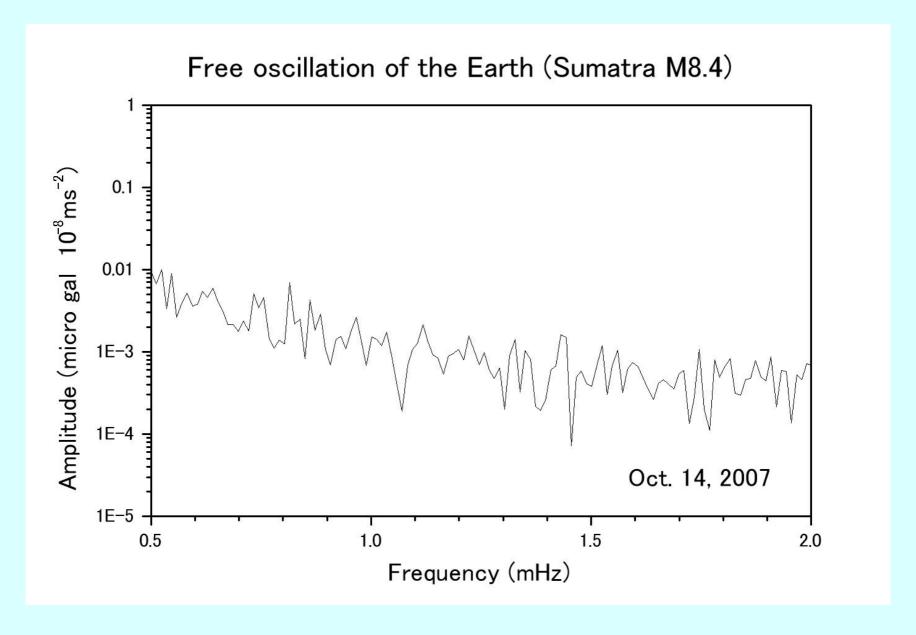


9日後: <sub>0</sub>S<sub>0</sub>モード以外は減衰している。



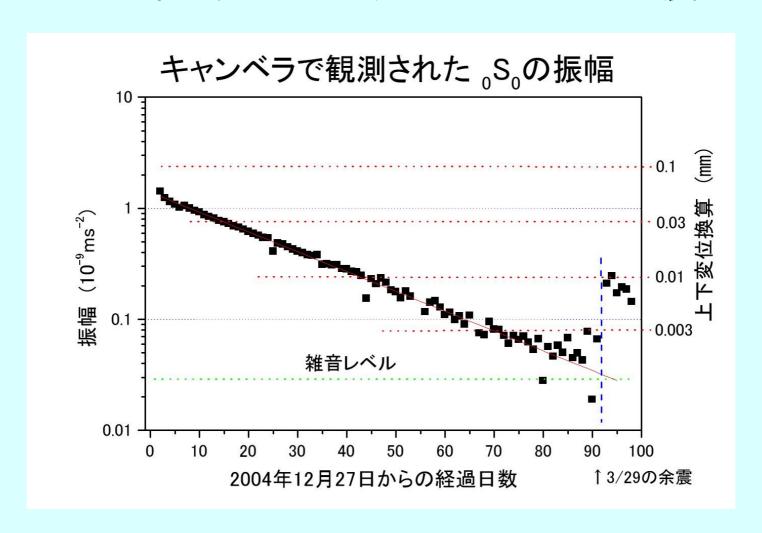


<sub>0</sub>S<sub>0</sub>モードはまだ観測されている。



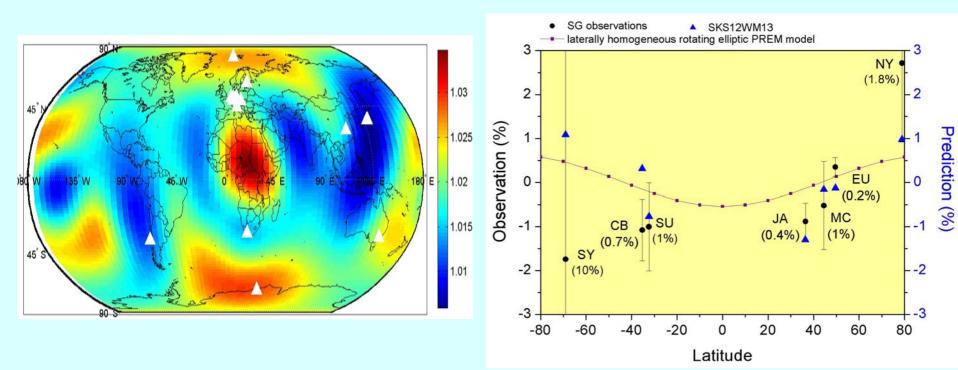
約1ヶ月後: 検出できるほぼ限界。

#### 2004年12月スマトラ・アンダマン地震



2004年のスマトラ地震の $_{0}S_{0}$ モードの振幅は2007年の10倍あった。

# 2004年スマトラ地震の解析 $_0$ S<sub>0</sub>モード振幅の各地の観測(GGP点:SGによる国際観測網) 地球内部の水平方向の非均質性が $_0$ S<sub>0</sub>の振幅分布に関係する。

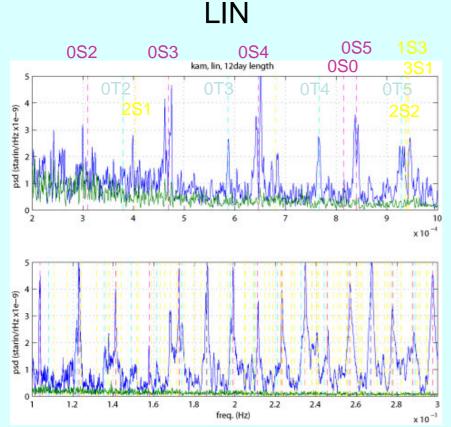


Rosat. S. et. al., 2007, Earth Planet Space, 59, 307-311 より.

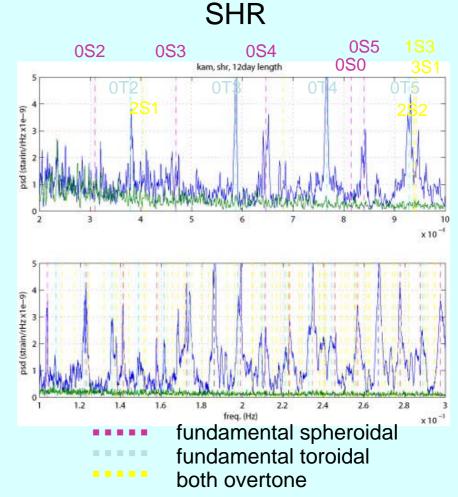
レーザ ひずみ計

# 2004 Sumatra Event (M9.0)

京大 早河 森井 This event excited strongly low-frequency normal modes below 2mHz. Kamioka laser strainmeter detected these modes.



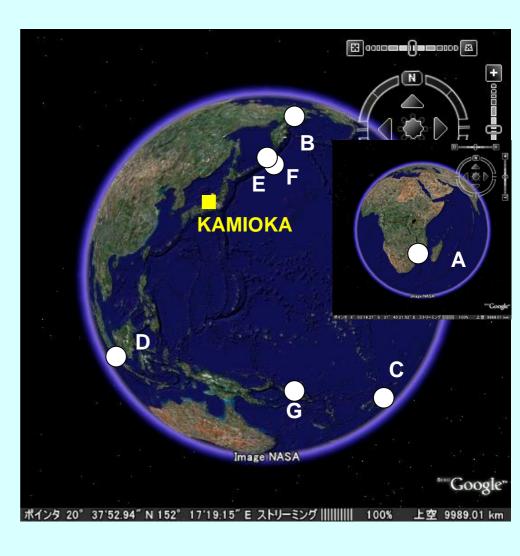
blue: the averaging over 6days with event green: the averaging over 6days without event



# Large Events: 2006-2007

#### 2006-2007, over M7.5

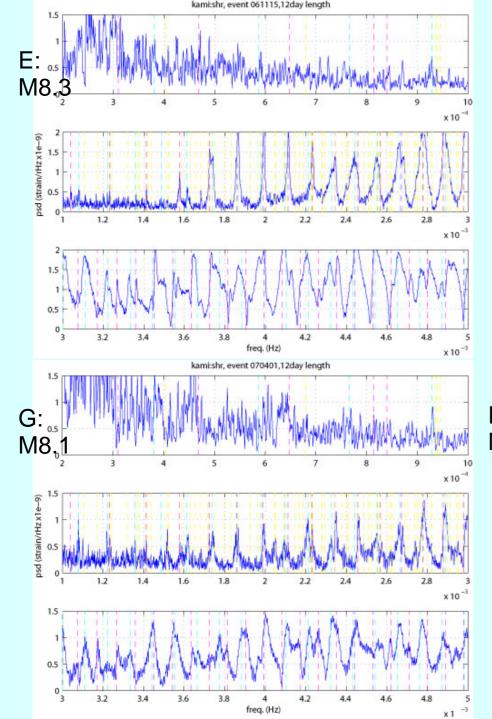
- \*: 2006.01.27 M7.6
- A: 2006.02.22 M7.5
- B: 2006.04.20 M7.6
- C: 2006.05.03 M7.9
- D: 2006.07.17 M7.7
- E: 2006.11.15 M8.3
- F: 2007.01.13 M8.2
- \*: 2007.01.21 M7.5
- G: 2007.04.01 M8.1



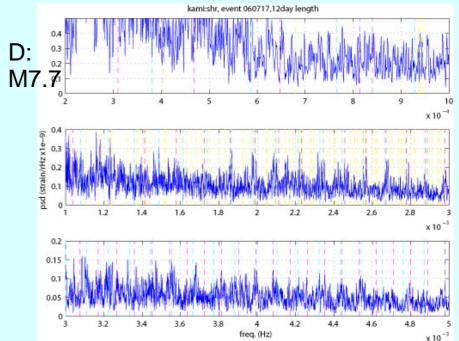
<sup>\*&#</sup>x27;s are missing for maintenance.

We analyze only the shear strainmeter except for G event.

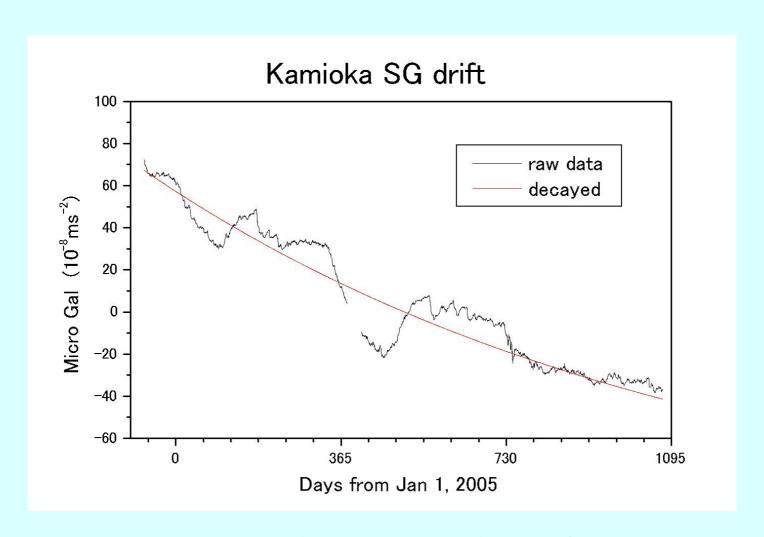
F is not shown because of bad condition.



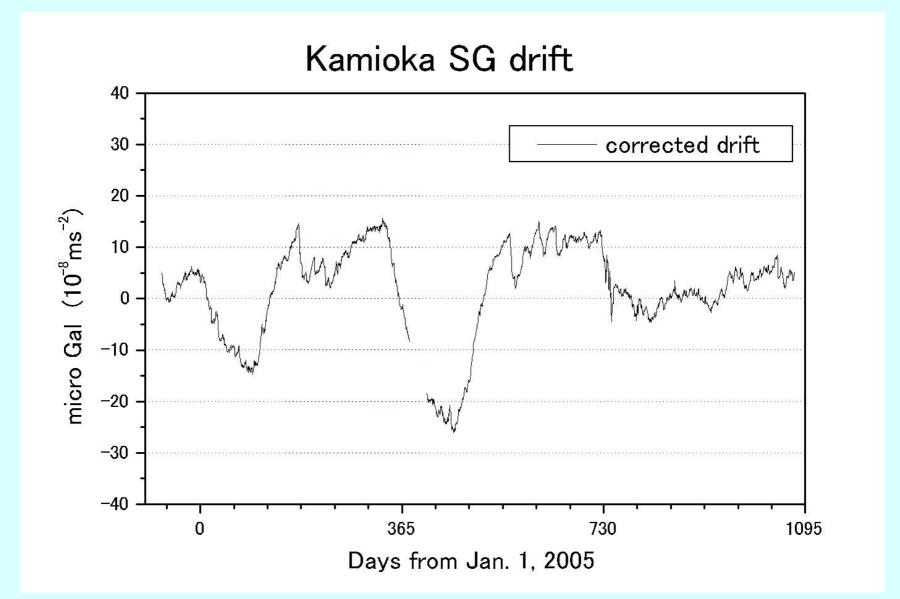
- Normal modes over 1mHz are detected in almost all.
- Over M8 event, modes of 2-3mHz are excited strongly and 0T5 is detected.
- Noise level rises below 1mHz suddenly.
- Event D was Tunami-earthquake.
  The normal modes below 3mHz are excited.



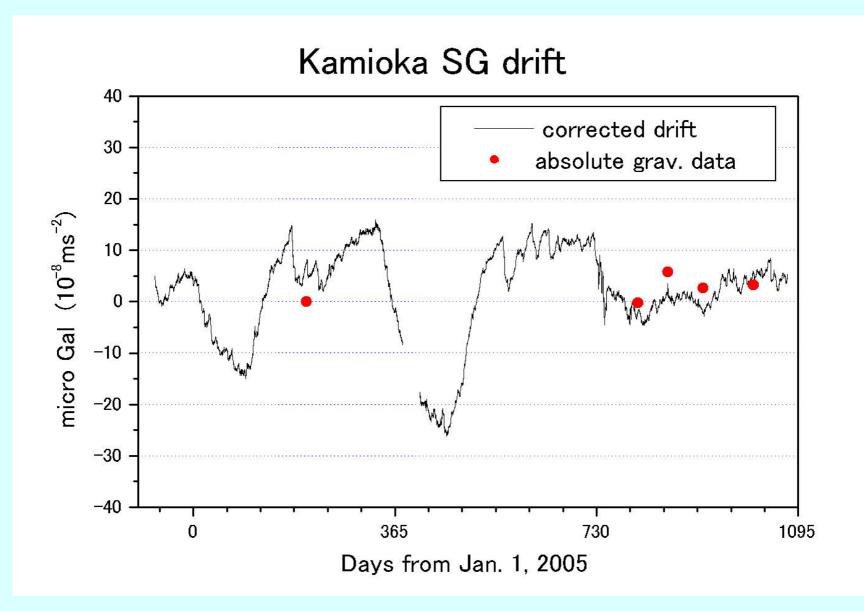
## 3. 重力の時間変化



観測された相対的な重力変化。潮汐と気圧変化の影響を除いたもの。



指数関数的なドリフト成分を除いた値。冬場に重力が減少し、4月半ばに増加している。 2006年はカミオカンデの注水との関連を考えたが、地下水位変化による自然現象と考え られる。2007年は積雪が少なかったため、現象が再現されていない。



絶対重力測定(AG)の結果・との比較。半年より短期の重力変化はSGによる観測が、半年から1年以上の長期変化はAGの観測が有利である。

# 京都大学絶対重力計 FG5#210





京大 東、早河、 福田



4. レーザ地震計の自己校正に関する研究 (地震研 新谷)

通常の地震計の校正・・・ 工場で振動台を用いて特性を測定

設置後の校正係数の変化の可能性

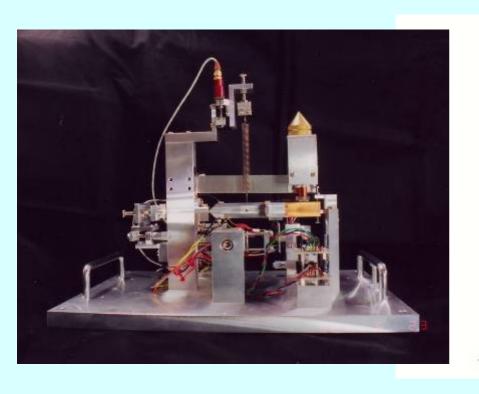
- ・移動・設置時の力学的影響等(振り子等の変形)
- ・設置場所の環境(気温・湿度等)の違い
- ・経年変化(電気回路ドリフト、力学系のクリープ等)

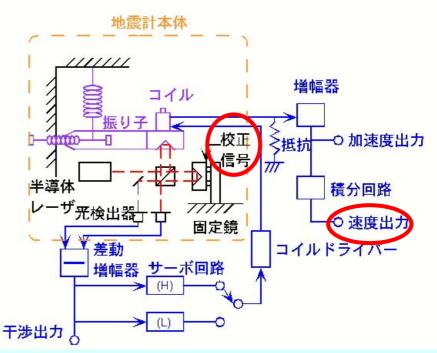
レーザ地震計はレーザ波長を用いて自己校正が可能 (in-situでの校正)

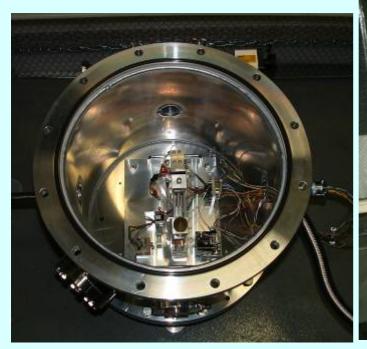
・・・既存の広帯域地震計(CMG)、超伝導重力計(SG) との同一サイトでの比較観測 精度・・・・~1%程度を目標

#### レーザー波長(851.6nm)を用いた校正の原理

校正信号で固定鏡を振動 ・・・ 擬似地面振動 レーザー波長で校正された擬似信号からの予想値 と実際の出力を比較 ー> 校正係数









真空容器中のレーザー地震計を超伝導重力計のそばに設置

2007/2/20 17:04 インドネシア M6.0 などで両者の振幅を比較。

# おわりに

今年度で観測終わりではない。継続的な観測を維持したい。

- SG: GGP(国際的にデータ交換)
- 積雪、地下水による重力変化
  1 µ Galの桁まで現象を説明できるか。
  SGとAGを組み合わせた観測が有力。