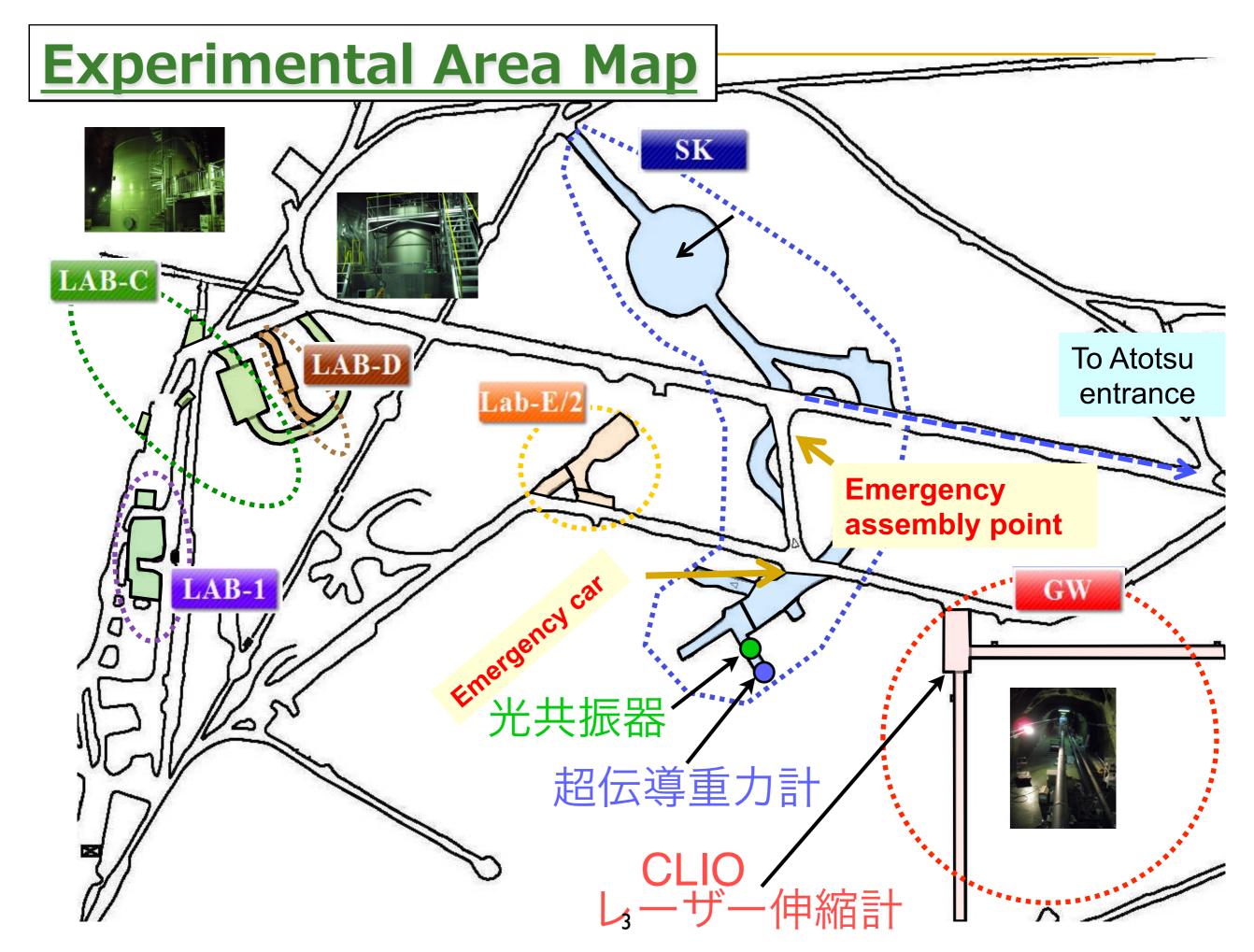
# 神岡での重力波観測

(X)

Takashi Uchiyama ICRR, the University of Tokyo

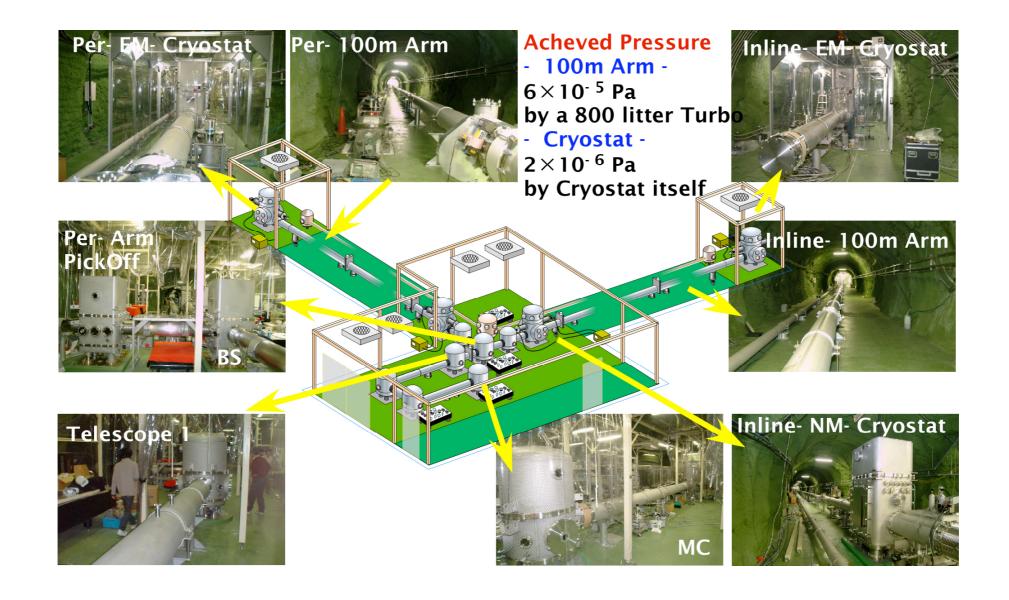
# 関連する研究課題

- I. 神岡での重力波観測(X)
  - 研究代表者:大橋正健(東大宇宙線研)
- 2. 第三世代重力波望遠鏡を目指した低温シリコン鏡の研究 (I)
  - 研究代表者: 三代木伸二 (東大宇宙線研)
- 3. 超狭線幅光源のための光共振器の開発
  - 研究代表者:井戸 哲也 ((独)情報通信研究機構 光・時空標準グループ)
- 4. レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究
  - 研究代表者: 田村 良明(国立天文台 水沢VLBI観測所)



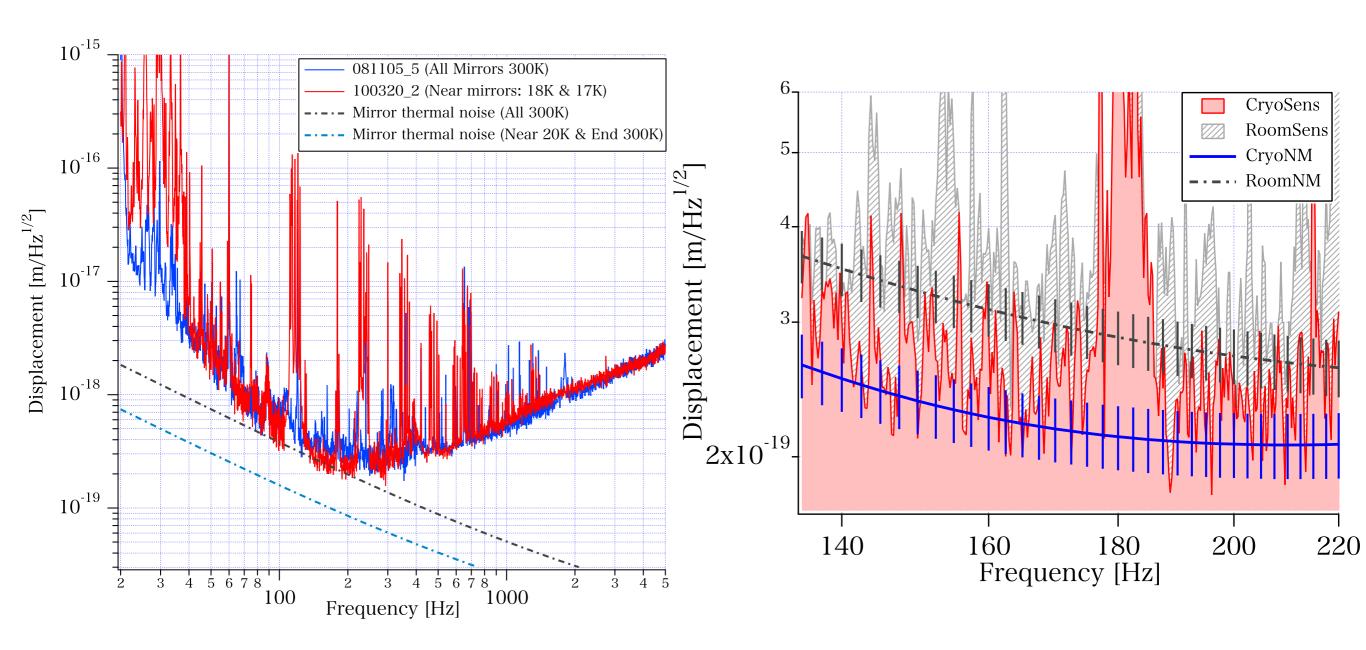
## 神岡での重力波観測

## **CLIO**



- LCGTのプロトタイプとして、2002年より建設開始、2006年完成。
- 世界唯一の低温レーザー干渉計型重力波検出器。
- 基線長100m、4枚のサファイア鏡を20Kに冷却、神岡地下設置。
- ・ 鏡の冷却による熱雑音低減の効果を確認。
- レーザー伸縮計も同実験室に設置。

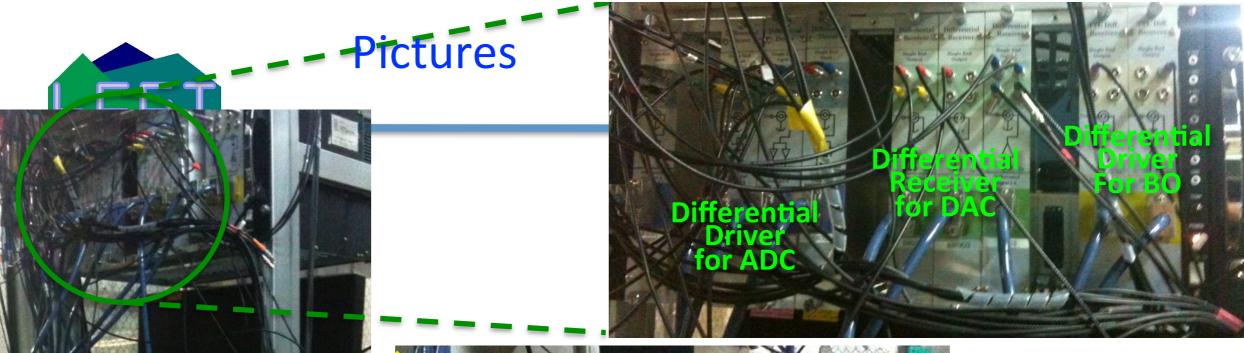
#### Reduction of thermal fluctuations in cryogenic mirrors

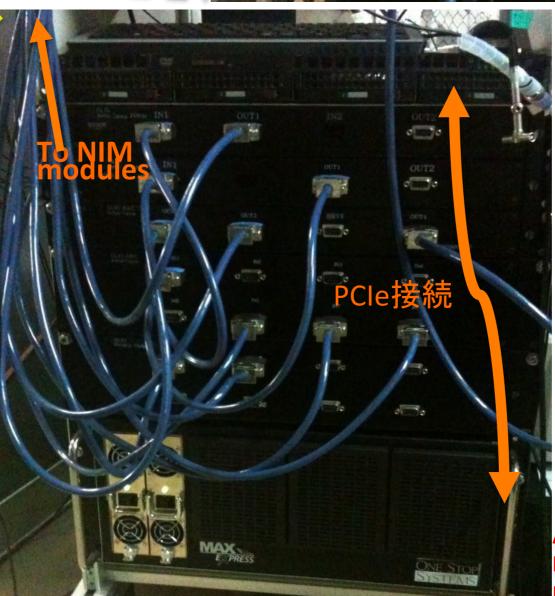


#### Submitted to PRL

# Digital control

- LCGTではCLIOよりも遙かに複雑な制御系を組み合わせて干渉計を運転します。
- 従来のアナログ回路を組み合わせた制御系では無く、DAC、ADC、計算機を組み合わせたデジタル制御システムがLIGO、VIRGOで開発され運用されています。
- LCGTでの利用を視野に入れ、LIGOで開発されたデジタ ル制御システムをCLIOに導入しました。
- CLIOの干渉計制御に成功し、感度測定を行いました。





Real time PC CentOS 5.2+real time kernel 4core x 2 Xeon

Anti Imaging filters
Anti Alias filters

**DAC** adapter

**ADC** adapter

**Binary output adapter** 

ADC/DAC<br/>In Expansion Chassis

ADC:32ch/枚、\$4K DAC:16ch/枚、\$3.5K

Binary Output:32ch/枚、\$250

6W-G1100724

#### AD/DAC noise

#### **CLIO** sensitivity 10<sup>-11</sup> ADC noise 10<sup>-12</sup> DAC noise Displacement noise (m/rHz) Digital best (2010/08/19) 10<sup>-13</sup> 20K Analog best (2010/03/20 ADC/DACのノイズそのものはそれぞれ数μV/rHz 10<sup>-14</sup> 段のWF/DWF - WF:zero@5Hz, pole@50Hz 10<sup>-15</sup> - DWF:pole@1Hz, zero@50Hz ADC/DAC noiseはアナログベストの一桁下 残りはデジタル固有のノイズというよりはCLIO自身のノ 10<sup>-16</sup> 10<sup>-17</sup> 10<sup>-18</sup> **10**<sup>-19</sup> 10<sup>-20</sup> 10<sup>-21</sup> 10<sup>3</sup> 10<sup>2</sup> 10 Frequency (Hz) J**GWQ=Q8/Q9/2010 01:16:38** \*Avg=17/Bin=4L \*BW=0.187493

## Silicon Mirror R&Ds

- CLIO, LCGTでは単結晶サファイア鏡を20K以下に冷却します。
- サファイア鏡の欠点
  - レーザー吸収が大きい→発熱が大きく冷却が難しい。
  - 大質量の鏡の作成が困難→レーザー輻射圧雑音の低減が困難。
- サファイアに代わる素材として、単結晶シリコン鏡を用いた低温干渉計が提案されています。

## Why Silicon for 3<sup>rd</sup> Generation GWD

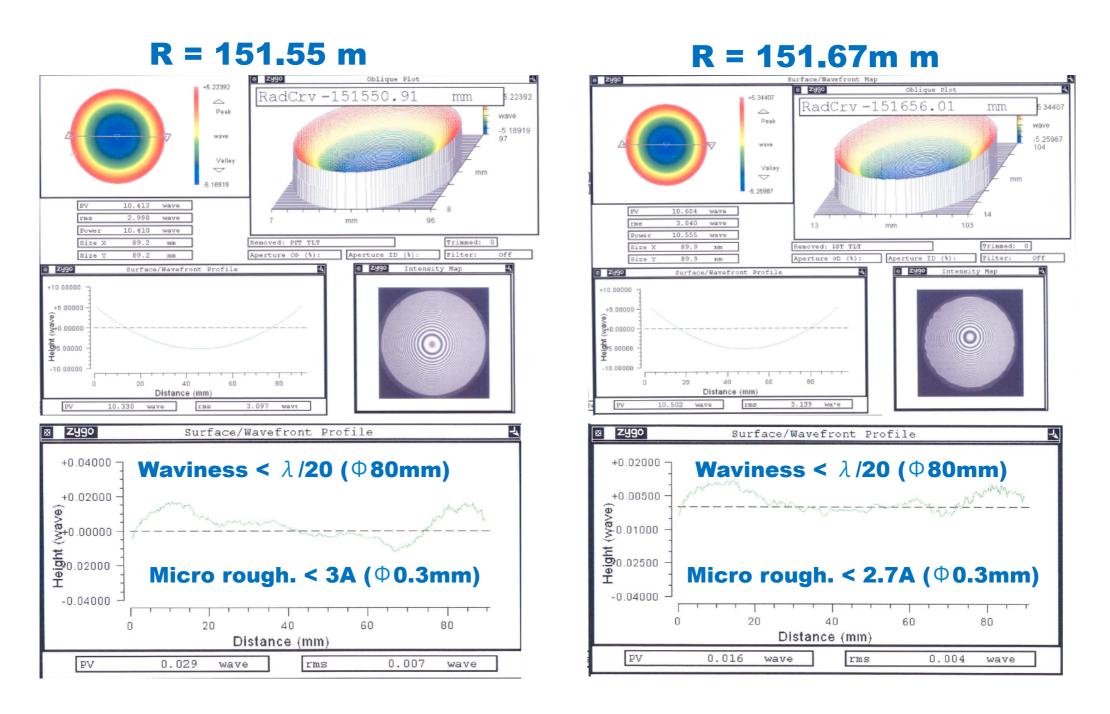
#### Good Aspects

- Less absorption for 1.5um wavelength (<1ppm/cm).</li>
- High thermal conductivity at cryogenic temperature.
   (comparable with sapphire)
- Low mechanical loss at cryogenic temperature
- No birefringence.

### Required R&Ds

- Polish and low loss coating on silicon substrate.
- Verification of less absorption and mechanical loss.
- High power and stable laser for 1.5 um wavelength.
- Install Silicon mirrors in CLIO for these R&Ds

## Two silicon substrate polishing results



CLIOで使用可能なシリコン鏡の研磨が完了しました。

## To do after 2012

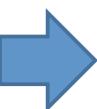
- Coating at 1um (not 1.5um)
  - To check cryogenic thermal conductivity.
  - To check low mechanical loss
- After these,
  - Polish again at more good quality.
  - Coat low loss coating films.
  - Install 1.5um wavelength laser.

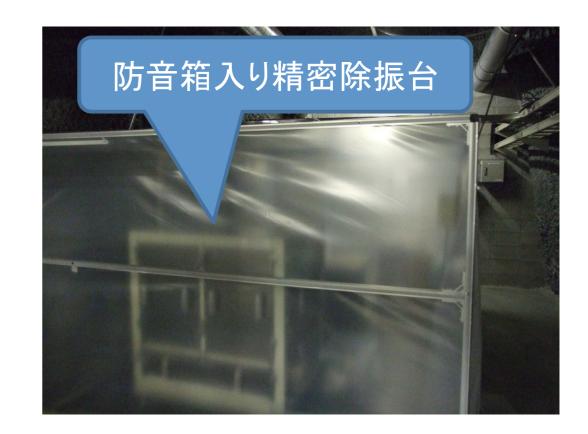
超狭線幅光源のための光共振器の開発

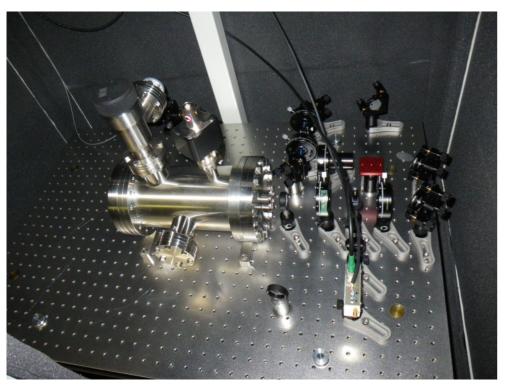
- 目的:次世代周波数標準に必要とされる狭線幅 レーザー光源の実現。
- 安定な光共振器が必要。
- 現在は熱雑音で制限されている。
- 熱雑音の影響を下げる→共振器長を伸ばす。
- 共振器長を伸ばす。→地面振動の影響が増大。
- 地面振動の小さい神岡へ行こう。
- 成果:実験室の整備が進み、低振動環境が実現されました。

### 超狭線幅光源用光共振器研究スペース

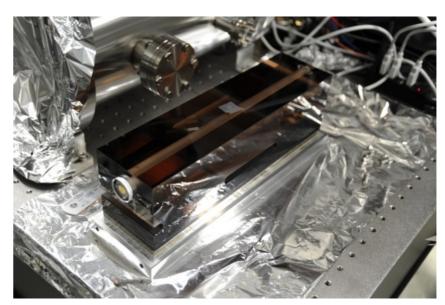






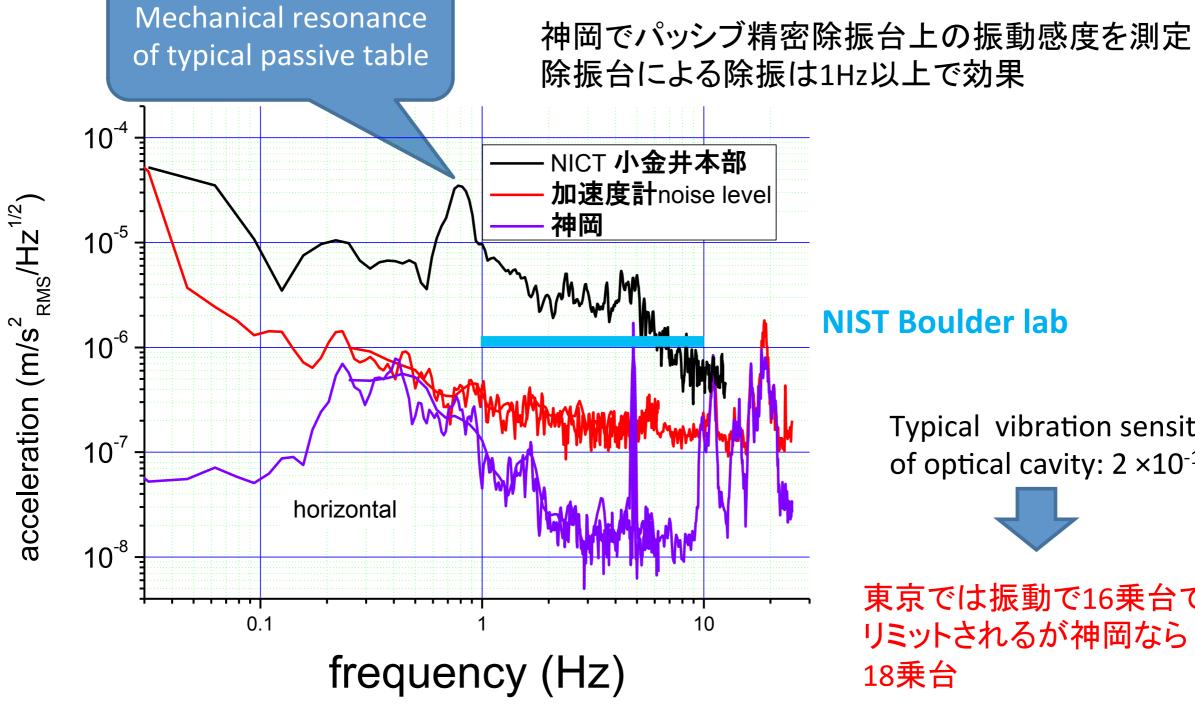


防音箱内部



長尺共振器 フィネス>50万を確認

### 1-2桁小金井より良好な振動環境



#### **NIST Boulder lab**

Typical vibration sensitivity of optical cavity: 2 ×10<sup>-11</sup>



東京では振動で16乗台で リミットされるが神岡なら 18乗台

- 東日本大震災当時の状況
  - CLIOで2名(スタッフ+学生)が作業中。
  - 地震発生に気づかず。
  - 停電、機器の故障は発生せず。ただし、懸架された鏡は低周波で 大きく揺れ、制御不能に。
  - インターネットの接続が停止していたため外部情報から遮断。
  - 外部からの電話連絡により地震の発生を認識。
- レーザー伸縮計、超伝導重力計は観測運転を維持し、貴重なデータの 取得に成功。
  - 現在、慎重に解析を進めています。

### レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による 地球の固有振動の研究(継続)

国立天文台 京大防災研究所 京都大学 東大地震研究所

東大宇宙線研究所 筑波大学 産業技術総合研 田村良明、寺家孝明 川崎一朗、森井 亙、加納靖之 福田洋一、風間卓仁 新谷昌人、今西祐一、高森昭光、 堀 輝人 大橋正健、三代木伸二、内山 隆 池田 博 名和一成

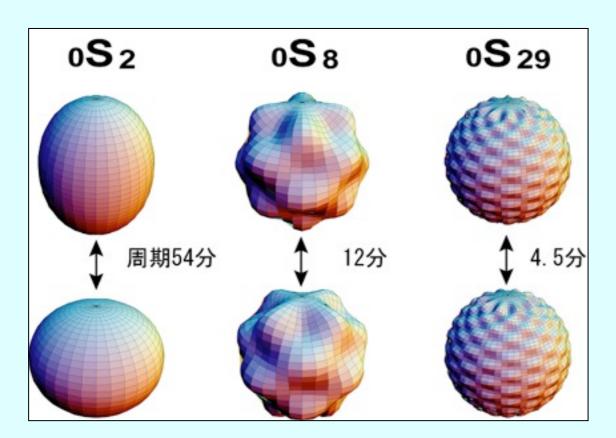
計16名

採択予算額 15万円 支出 神岡出張旅費 GWグループの予算と一括して管理

'11.12.17 宇宙線研究所共同利用研究成果研究会

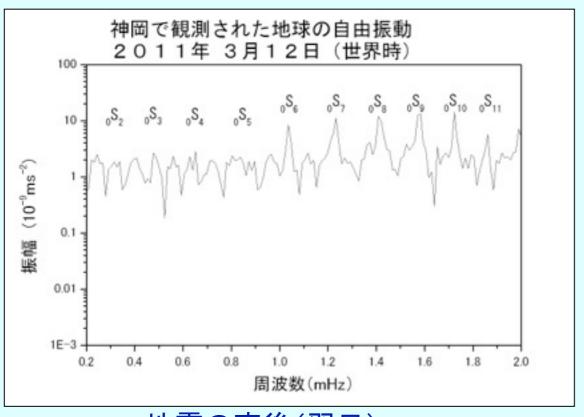




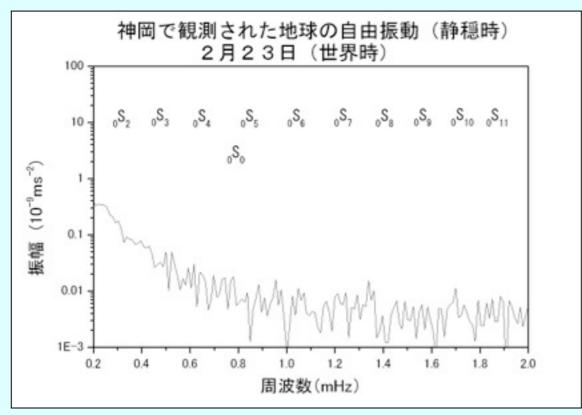


レーザ伸縮計(右)と超伝導重力計(左)を組み合わせて、地球の自由振動の観測を行う。

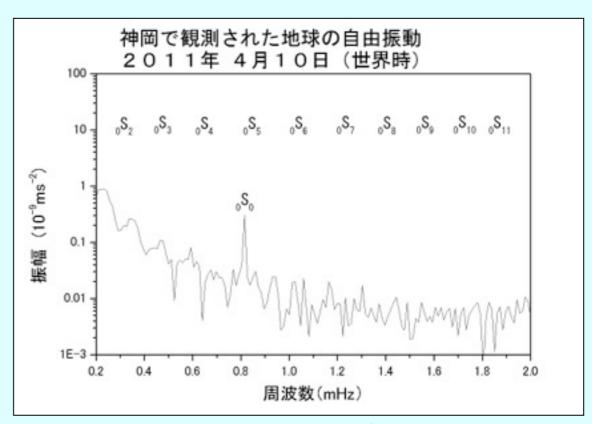
近年の巨大地震 2010年2月27日 チリ地震 (M8.8) 2011年3月11日 東北太平洋沖 (M9.0)



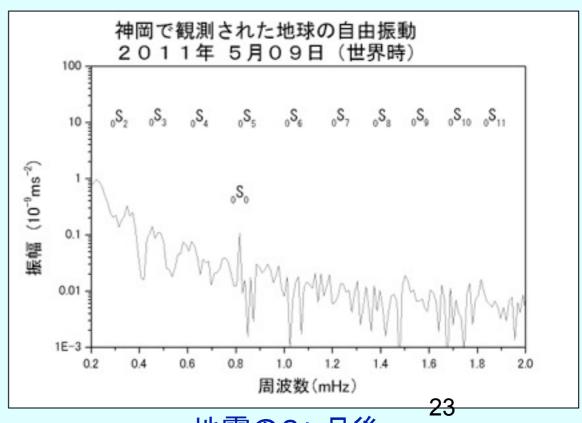
地震の直後(翌日)



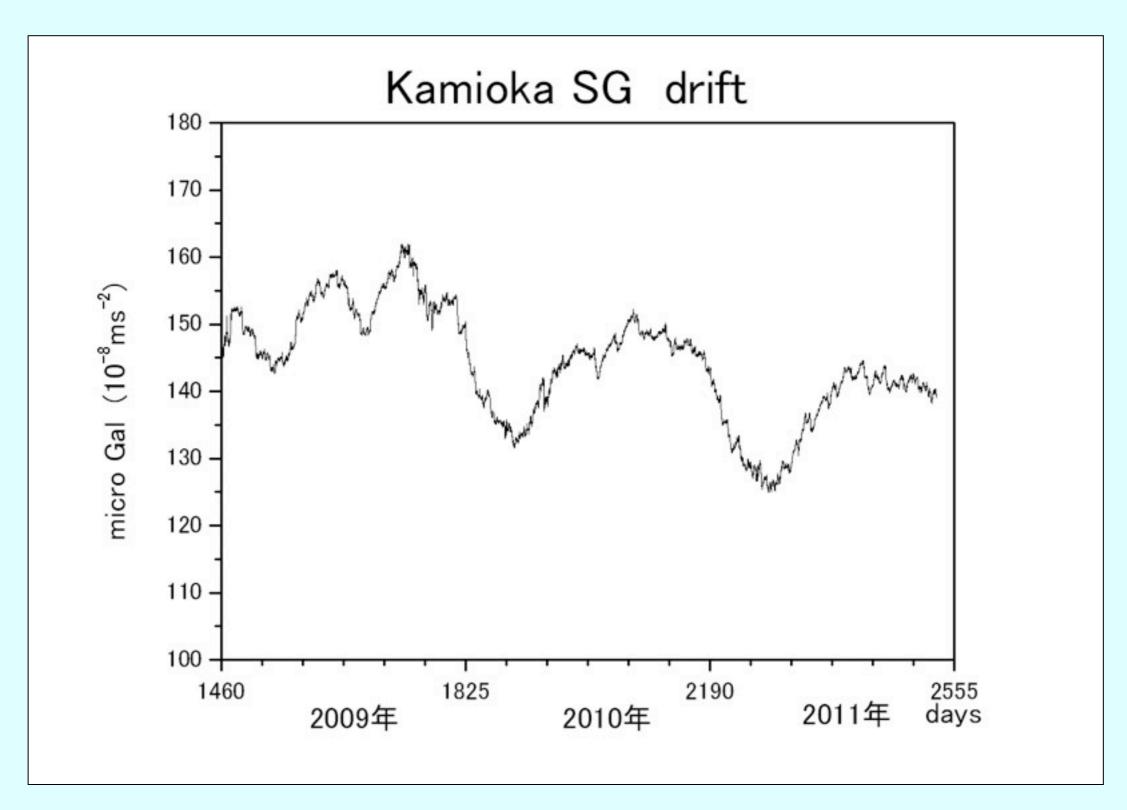
静穏時のスペクトル例(2010年2月23日)



地震の1ヶ月後



地震の2ヶ月後

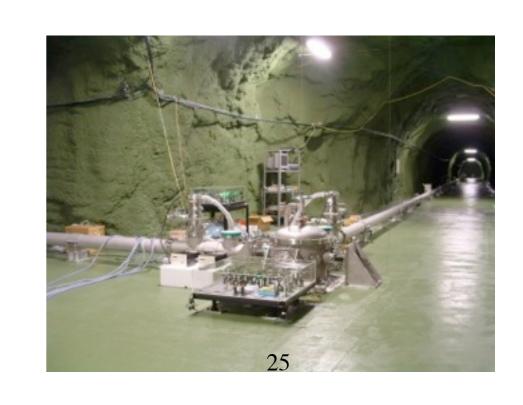


最近3年間の重力変化、大きな年周変化が記録されている。 3月11日の地震発生時には機械的な跳びが発生し、地震に伴う 重力変化は検出できていない。(図では跳びを補正済み。)

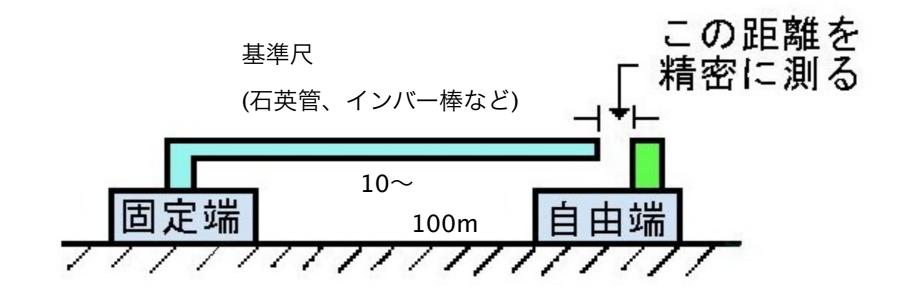
#### レーザー伸縮計を用いた地震に伴う地殻変動の観測

#### 内容

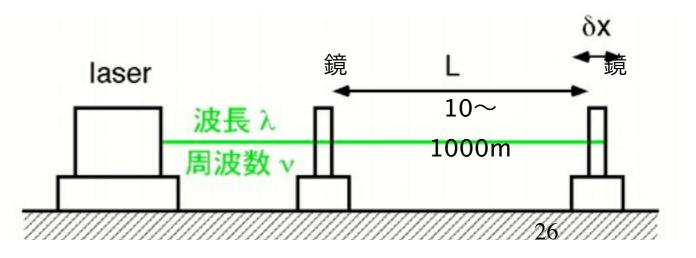
- ・地震に伴う地殻変動の観測は、地震の正確な規模や ひずみ理論の検証に不可欠
- ・従来は震源の近くのみで観測されていた。
- ・神岡レーザー伸縮計で、海域地震・深発地震など遠方のイベントが観測可能となった
- ・・・海域・深発地震の規模 (モーメント)の測地学的決定、 ひずみ理論の検証



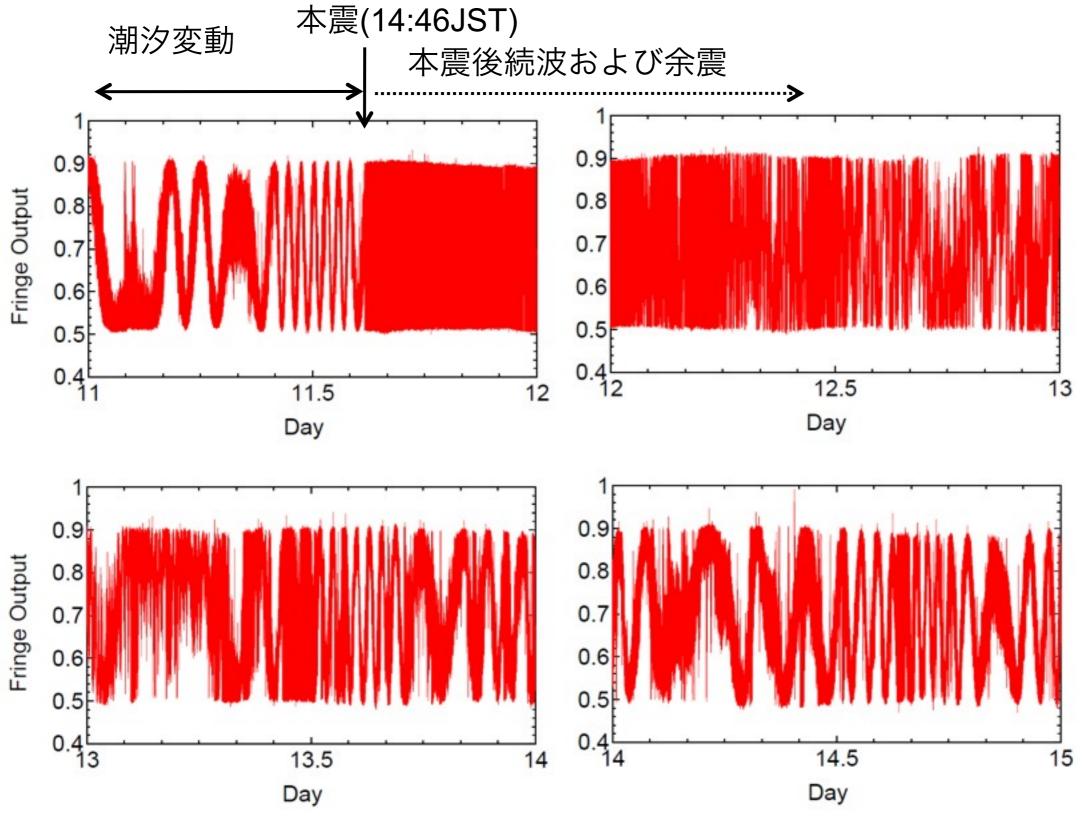
## 従来の石英管/インバー伸縮計 揺れによる基準尺のスリップなどにより、地震に伴う地殻変動の検知は困難



レーザー伸縮計 光のものさし・・・スリップなし



#### 3.11地震時の干渉縞波形。数時間継続した本震後に多数の余震



干渉縞ー>ひずみの変換作業を継続。