

神岡坑内における精密地球物理観測 と地殻活動のモデリング

高森 昭光(東大地震研)

概要

- 神岡坑内での観測
 - 地下観測の目的
 - これまでの共同利用研究課題

- 本年度の研究報告
 - CLIO 100 mひずみ計のデータ収録系開発
 - 1500 mひずみ計(GIF)のデータ分析とKAGRAへの応用

- 今後の計画

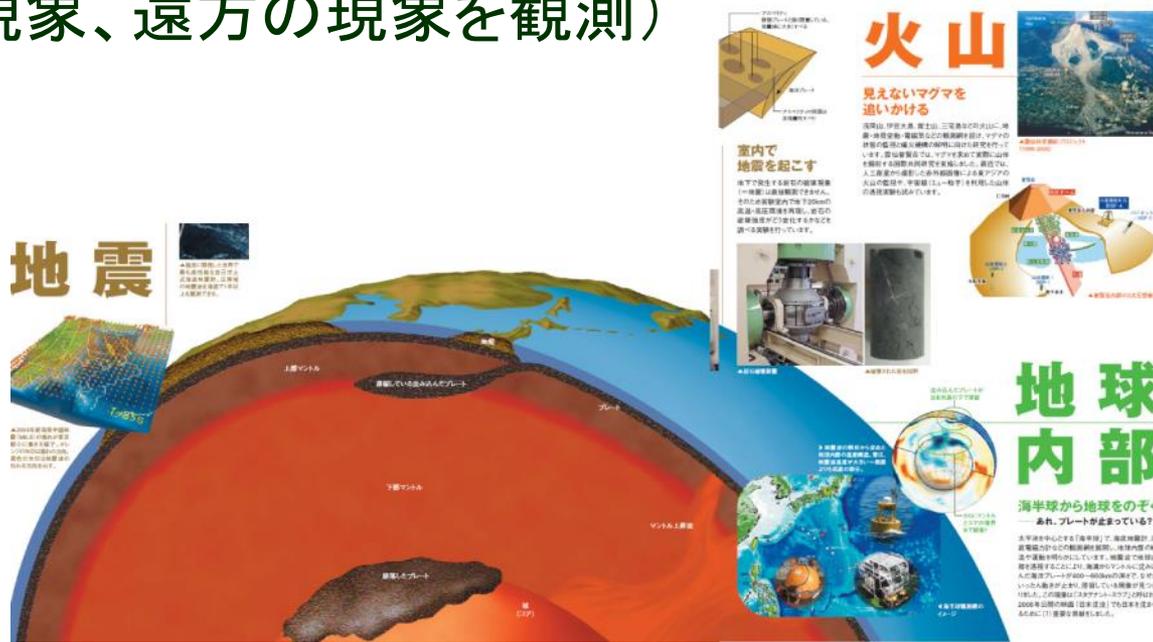
神岡坑内での観測

□ 目的: 地殻活動・地球内部構造の研究

- 現象: 地震・地殻変動・自由振動・潮汐・火山活動など
- 観測手法: 地震波・地殻ひずみ・重力など

□ 神岡坑内観測のメリット

- 安定、擾乱の少ない環境 ⇒ **高精度**観測が可能(より微細な現象、遠方の現象を観測)



これまでの採択課題

□ 2003～2005年度

- 神岡地下施設におけるレーザー伸縮計を用いた地球ダイナミクスの研究(竹本修三 他)

□ 2007～2012年度

- 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(森井亙、田村良明 他)

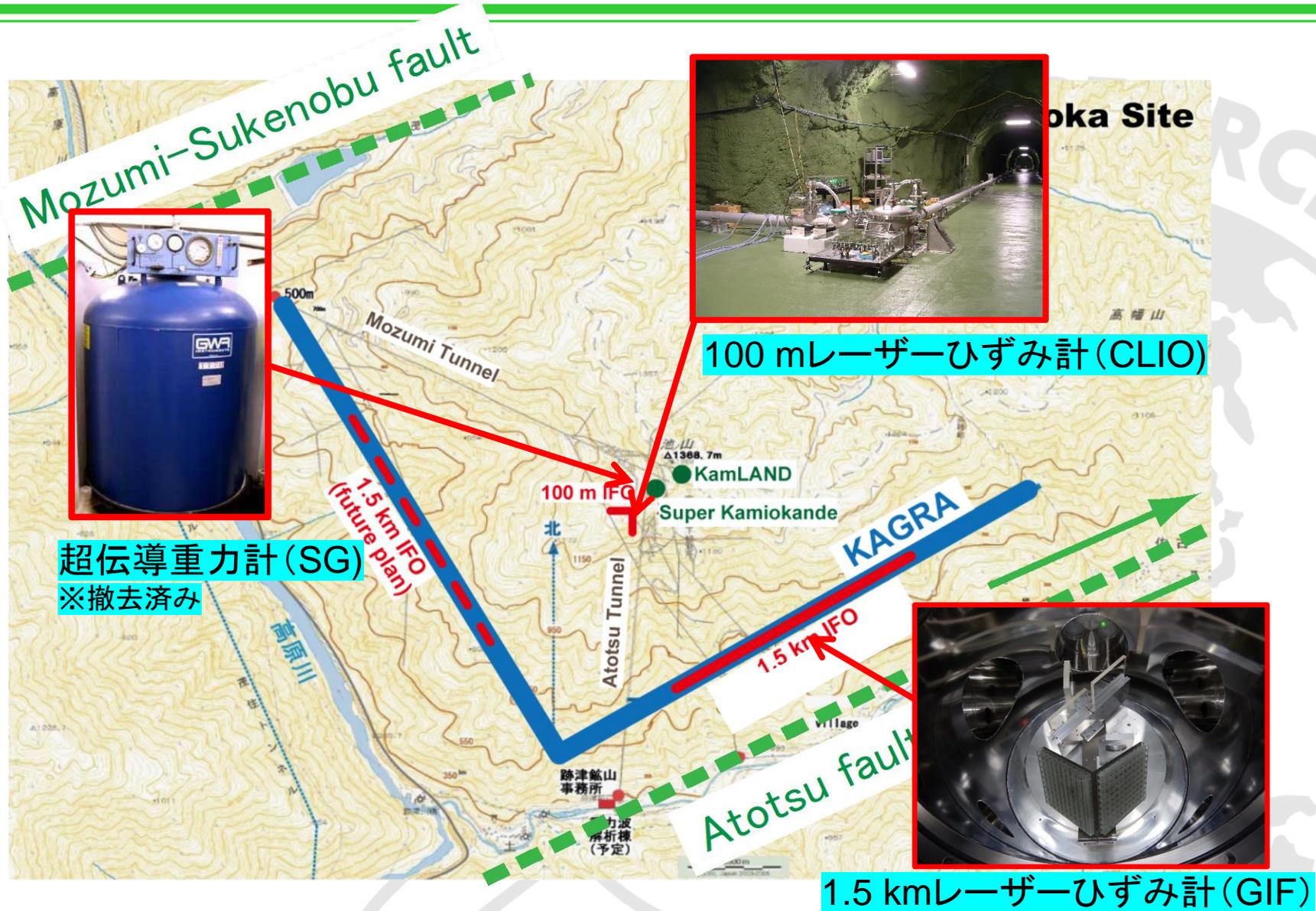
□ 2013～2016年度

- 坑内地球物理観測でとらえる水と雪のダイナミクス(今西祐一、新谷昌人 他)

□ 2017年度～継続中(本課題)

- 神岡坑内における精密地球物理観測と地殻活動のモデリング(新谷昌人 他) **2020年度査定額:20万円(旅費)**

神岡地下観測装置



レーザーひずみ計による地殻変動観測

□ CLIO100 mひずみ計による観測例

■ 周波数安定化レーザーの波長を基準に地面の伸縮を観測

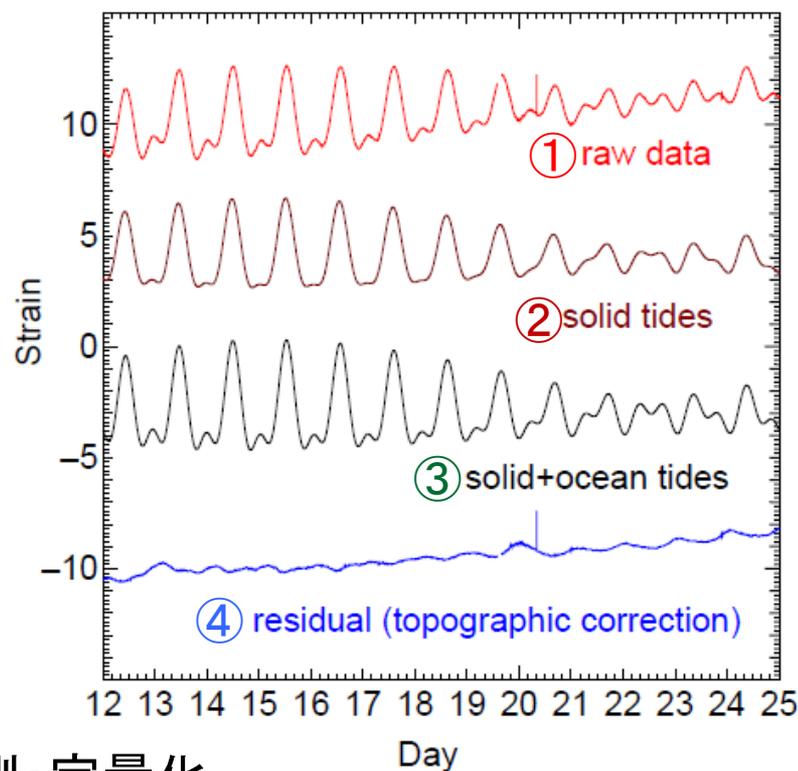
観測データ: 潮汐成分が卓越①

グローバルなモデルによる補正
(個体地球潮汐②+海の荷重効果③)

ローカルな地形効果による補正④

⇒潮汐成分はほぼ除去(精度5%以内)

$[1 \times 10^{-8}]$



残差より、地殻変動や地震の余効変動を観測・定量化

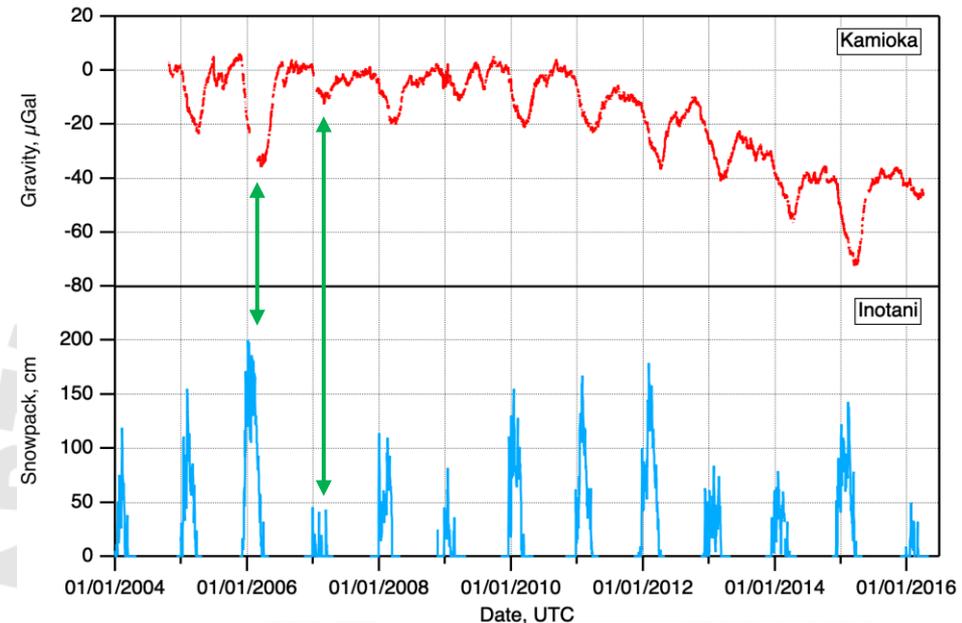
重力観測

□ 超伝導重力計 (SG) による観測

- マイスナー効果で浮上させた超伝導球の高さを基準に重力変動を測定

SGによる、長期変動および
季節変動の観測
※ SGは現在撤去済み

観測例 (右図):
重力値変動 (上段) と
積雪量 (下段) に相関



□ 絶対重力計 (FG5) による観測

- 落体の運動から重力加速度 (g) を測定
- 神岡坑内に標章を設定
- ◆ 観測を継続 ⇒ 長期変動を記録



観測ネットワーク

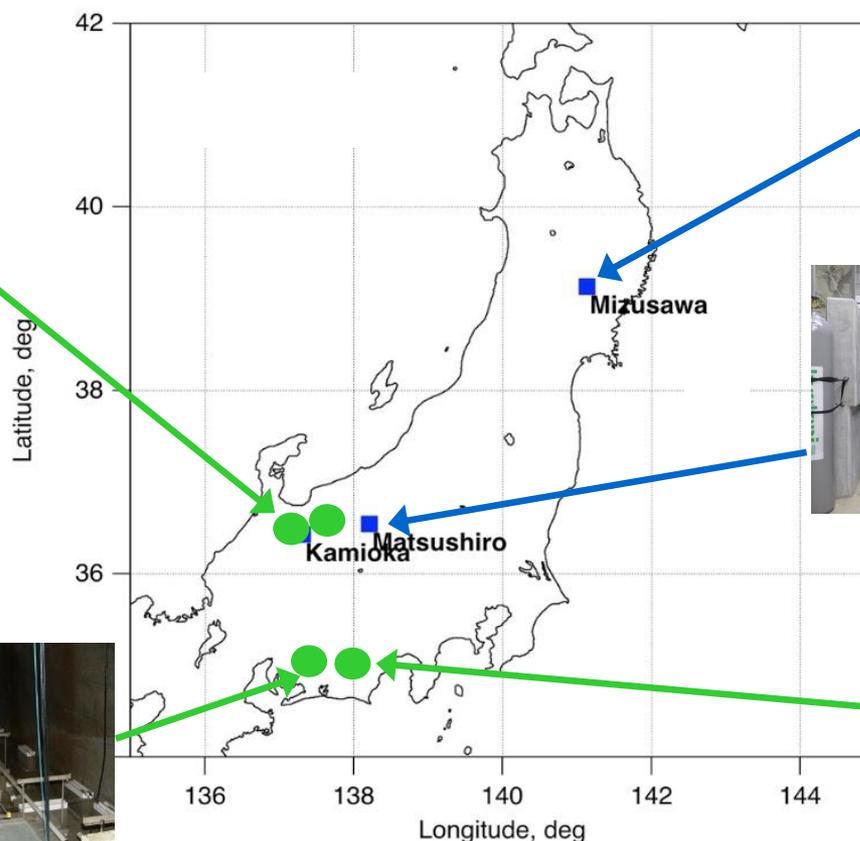
□ 高精度観測装置の面的展開

- レーザーひずみ計(●)と超伝導重力計(■)



神岡 GIF & clio
(東大)

犬山 30 m
(名大)



水沢(国立天文台)



松代(東大・気象庁)



船明400 m(気象研)

本年度の研究報告(1)

□ CLIO 100 mひずみ計の新収録系(DAQ)開発

■ 他のひずみ計と同系統のハード、ソフトウェアに統一化

◆ 独自環境→商用ベースの開発環境(National Instruments LabVIEW)に変更: 汎用性を高め、継続的なサポートを利用

➤ 長期の観測維持

➤ 実際に、移行予定時期を前にして旧DAQが故障

◆ 利用可能な時刻基準など、異なる条件に合わせてカスタマイズ

サイト	収録装置	ソフトウェア	時刻基準
CLIO	ADC(TEAC)+GPIB →cRIO(NI)	独自ソフトウェア →NI LabVIEW	NTP+1pps(GPS基準, SKより)従来はRb時計を併用
GIF	PXI(NI)	NI LabVIEW	NTP+IEEE1588
犬山	収録装置(白山工業) →cRIO(NI)	スタンドアロン収録 →NI LabVIEW	GPS
船明	cRIO(NI)	LabVIEW	GPS

本年度の研究報告(1)

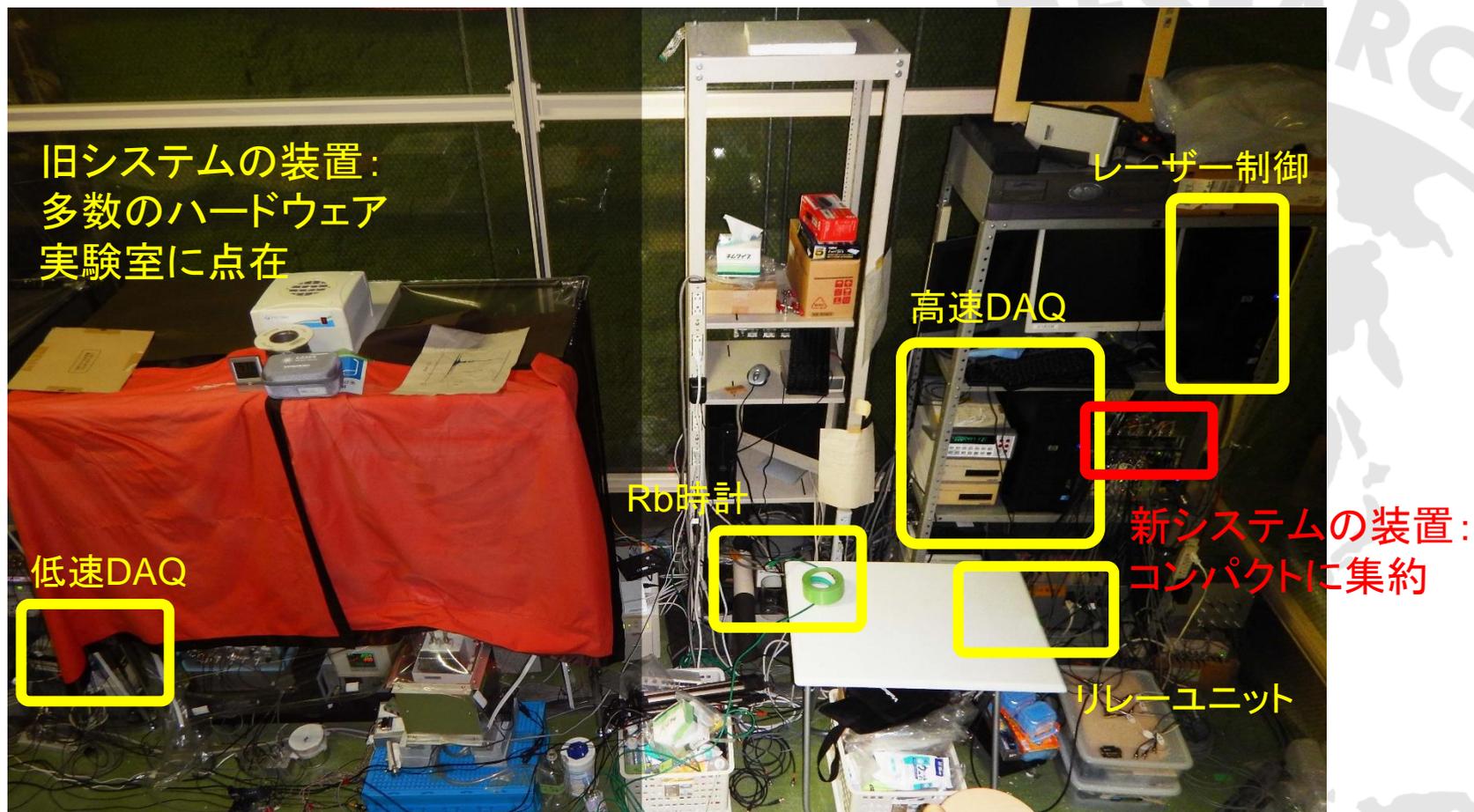
□ 新旧収録系の比較

機能	旧システム	新システム
干渉計信号収録 (高速系)	<ul style="list-style-type: none">・収録PC(linux)・ADCユニット(16 bit)・Rb時計(ADC外部クロック)	<ul style="list-style-type: none">・cRIOユニット (24-bit ADC)・サポートPC(データバックアップ)
干渉計信号収録 (低速系)	<ul style="list-style-type: none">・マルチチャンネルDMM・Sunワークステーション	
レーザー周波数安定化回路制御	<ul style="list-style-type: none">・制御PC(linux)・DMM(参照信号取得)・リレーユニット(自作)	
環境信号収録	<ul style="list-style-type: none">・フィールドレコーダー (16 bit・スタンドアロン動作)	

単機能→集約・高性能化

本年度の研究報告(1)

□ 新・旧収録装置の配置



※旧システムには写真の他にも、sunワークステーションやフィールドレコーダー等もある

本年度の研究報告(1)

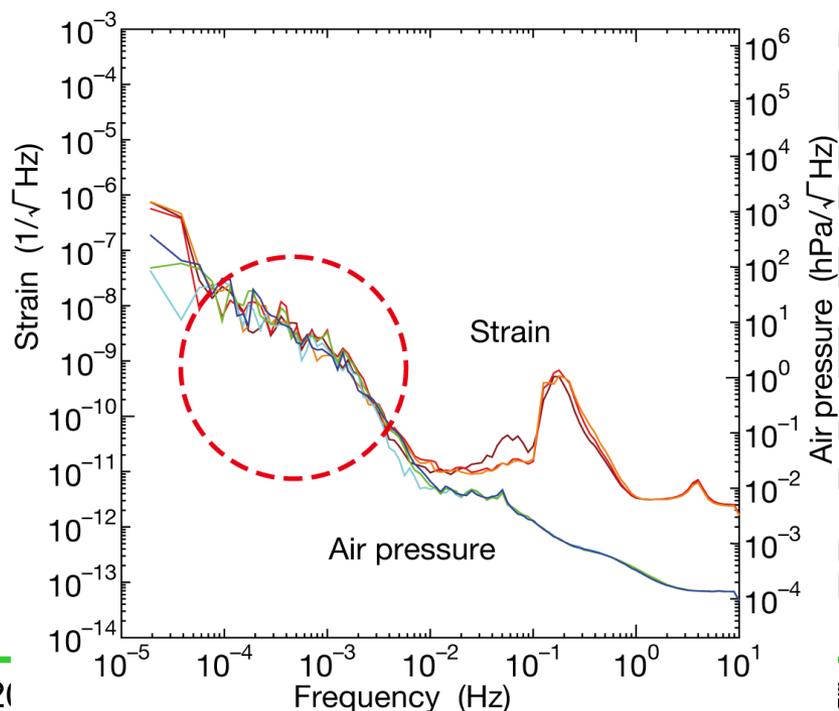
□ CLIO 100 m新DAQのサンプリング

- 時刻基準: NTP + GPS 1pps (SKより分岐IRIG-B)に同期
 - ◆ 秒以上の時刻はNTP、正秒をGPS 1pps信号に同期して取得
 - ◆ cRIO FPGAの内部クロック(40 MHz)のカウントを制御
 - 精度約100 nsecの時計を実現
- リサンプリング: 50 kHz → 1 kHz & 200 Hz
 - ◆ ADCモジュールの自走クロック50 kHzでサンプリング、各サンプルに上記の時計でタイムスタンプを付与(nsec単位)
 - ◆ 正秒から1/1000秒間隔のデータを線形補間して記録(1 kHz)
 - ◆ 1 kHzサンプルから5点平均でリサンプリング(200 Hz)
 - 1 kHz: 干渉縞信号など主信号を記録
 - 200 Hz: レーザー光強度信号など補助的な信号記録
- 環境モニタ: 1 Hzでの低速記録
 - ◆ 温湿度、気圧など

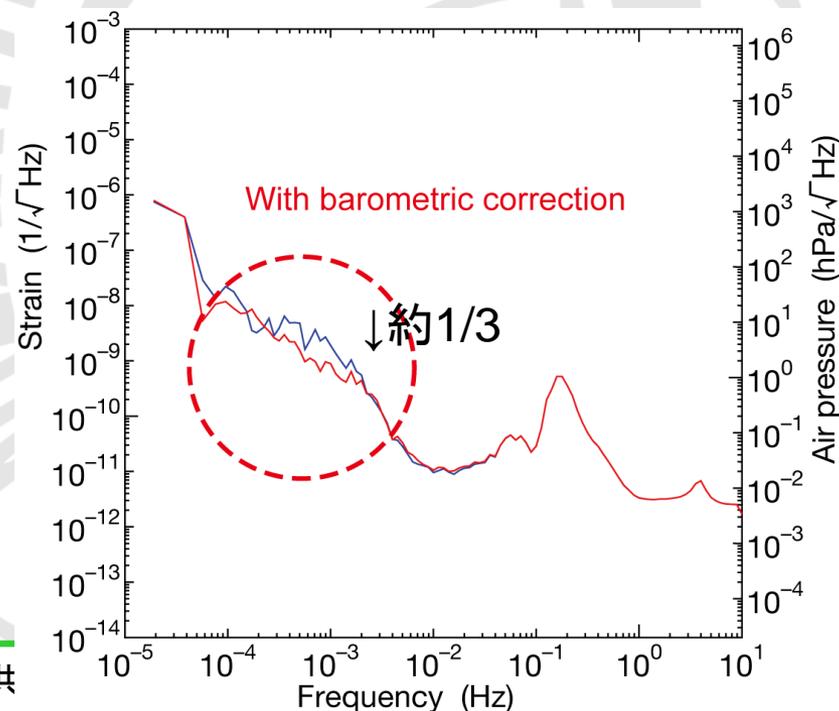
本年度の研究報告(2)

□ 気圧変化とひずみの相関(GIF)

- 坑内気圧とひずみスペクトルが低周波(0.1~1 mHz)で同形(左図)
 - 坑内気圧を用いたひずみ補正(右図)
 - ◆ 低減率は約1/3とあまり高くない
 - ◆ 気圧変動によりひずみが支配される荒天時も同様
- ⇒ 坑内の局所的な気圧だけでなく、**広域的な気圧変動の影響を示唆**



21



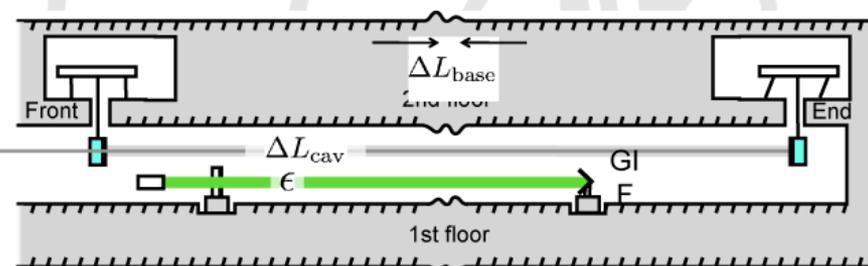
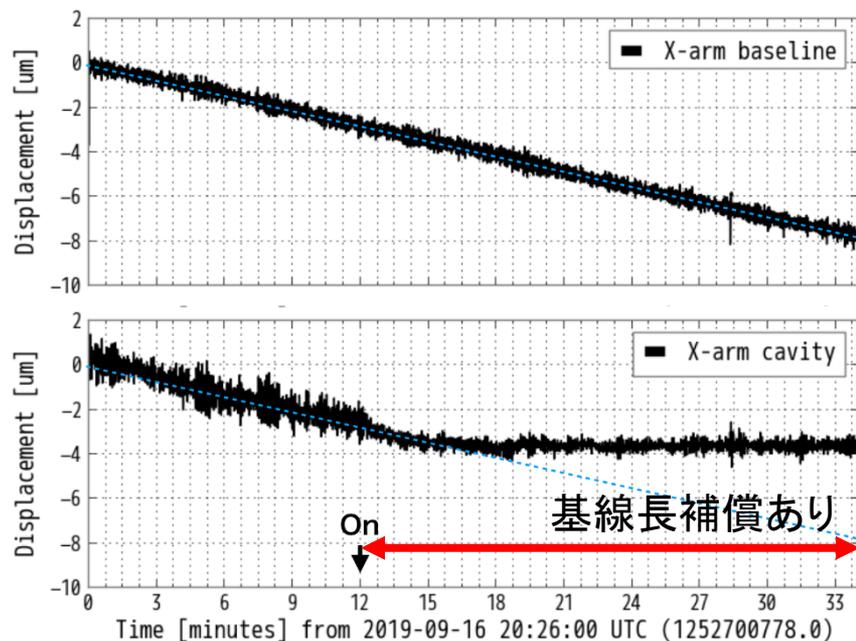
泉研共

本年度の研究報告(3)

□ KAGRAの基線補償を実証

- GIFで基線長変動を実測、KAGRAにフィードフォワード
 - ◆ 理論(潮汐)では予想できない、気圧や地下水の影響を含む
 - ◆ 地震計を用いた方式(LIGO)を制限する水平加速度-傾斜カップリングに影響されない

⇒ KAGRA独自、**観測安定性を高める**効果が期待できる



(左上) GIFによる基線長変動実測値
(左下) KAGRAの共振器長変動

今後の計画

- CLIO, GIFのレーザーひずみ計同時長期観測
⇒ひずみ3成分、気圧、地下水圧の影響の検証
新DAQによるデータ利用システム開発

- 標章上での絶対重力計測を継続
⇒長期地殻変動の計測
※今年度は実施できなかったが、来年度再開予定



準備中のFG5

- 中部～東北のひずみ/重力観測ネットワークを用いた地殻活動観測