



マルチメッセンジャー天文学に関する 地震研究所の取り組みと展望

新谷昌人 (Akito ARAYA)

(地震研, Earthquake Research Institute, U-Tokyo)





地震研究所創立の経緯(History)



1891 濃尾地震
(M8.1, 死者 7,273名)



1923 関東大震災'(Kanto eq.)
(M7.9, 死者 105,385名)



1892 文部省震災予防調査会



1925 地震研究所



東京大学 地震研究所

固体地球科学研究 (Solid-Earth Science)

いろいろな機器を用いて、地球の内部で起こる現象を観測しています。地震計、GPS、重力計、人工衛星等



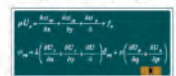
地球全体

ターゲットは

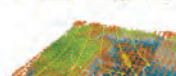
結構な場に目をし、われわれ人命を脅かした地震、地盤の崩れ、火山や地盤を揺らす、地震、火山現象を研究し、そのメカニズムを明らかにして、被害を減らして、安全な社会を築いていくことを目指しています。

地震の揺れを科学する

スーパーコンピュータを使って大規模な揺れ(強震動)を再現・予測。役に立っています。3次元モデルによる震動解析や強震動解析で発生するゆらぎ、揺れ(長期変動)が東部断層に集まり、群発断層などの大型建築物を長時間大揺れ揺らすことが分かってきました。



地震



2011年東日本地震 (M9.1) は、断層帯の深部から発生し、大規模な揺れをもたらしました。この地震は、断層帯の深部から発生し、大規模な揺れをもたらしました。



深海底でなまずを追う

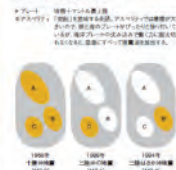
海底地震計の開発・適用



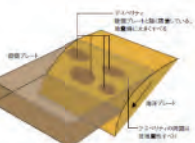
巨大地震の多くは、海底下で発生します。陸上観測だけでは、海の下で何が起きているかはわかりません。海底下で何が起きているかを調べるには、海底地震計を用いた観測が必要です。現在、深海底で観測する観測システムを開発・適用し、日本地震の発生メカニズムの解明に貢献しています。

地震を起こす“つぼ”アスベリテの発見

東北地方の三陸沖では、海溝プレートが陸溝プレートの下に沈み込み、地震が頻りに発生します。海溝沈没の直前、地震の活動がプレート面が一帯に集中する現象は、アスベリテと呼ばれる特定の領域に集中して起きていることが分かった。アスベリテの場所は、海溝沈没の直前、地震が頻りに発生する領域です。



1994年 1995年 1996年 二つのプレートが衝突し、地震が頻りに発生する。



室内で地震を起こす

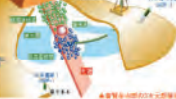
地下で発生する岩石の破壊現象(「地震」)は、実験室で再現することができます。実験室で再現する地震は、地下で発生する地震と、同じメカニズムで発生します。実験室で再現する地震は、地下で発生する地震と、同じメカニズムで発生します。



火山

見えないマグマを追いかける

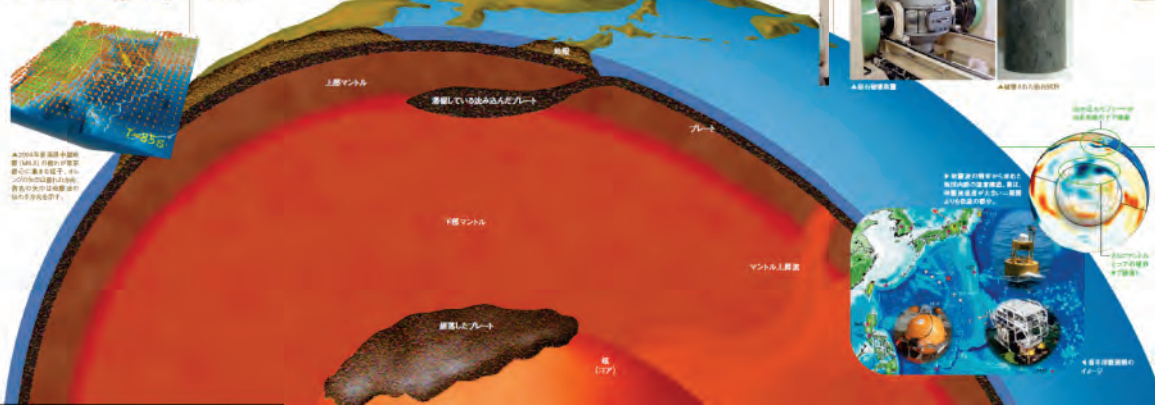
湯浅山、伊豆大島、富士山、三宅島の火山に、地震・地殻変動・電磁気などの観測を行い、マグマの移動の監視と噴火機構の解明に向けた研究を行っています。震動観測では、マグマの移動に伴って発生する地震活動を観測しています。最近では、人工衛星が観測した地表変動によるマグマの火山の膨張や、半導体レーザーを利用した山の高度変動観測も進んでいます。



地球内部

海半球から地球をのぞく

太平洋を中心とする「海半球」で、海底地震計、地殻変動計などの観測機器を展開し、地球内部の構造や変動を明らかにしています。海溝や海溝内帯に観測することにより、海溝からマントルに伝わる地殻プレートの400-600kmの深さで、なぜかいたる所で地震が頻りに発生している原因が明らかになりました。この観測は「国際大洋観測計画」で、2006年公開の映画「日本沈没」でも日本を沈没させる原因(1)として紹介されました。



次世代ニュートリノ科学・マルチメッセンジャー天文学連携研究機構

- 研究推進体制の強化
- 国際的な競争力強化
- 大型プロジェクトの推進
- 新たな学知の創出
- 次世代リーダーの育成

宇宙線研究所

地震研究所

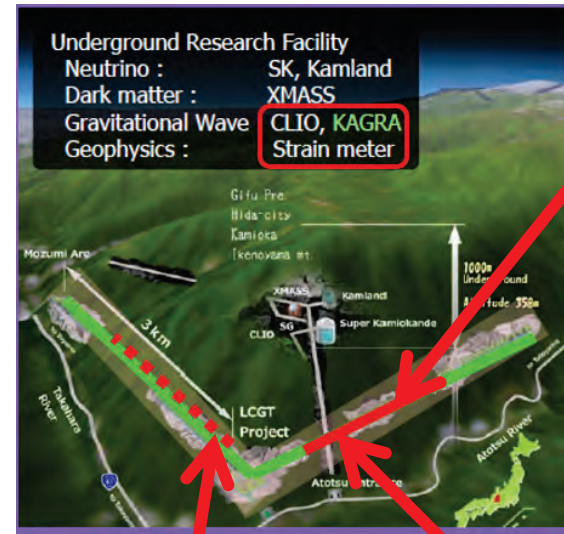
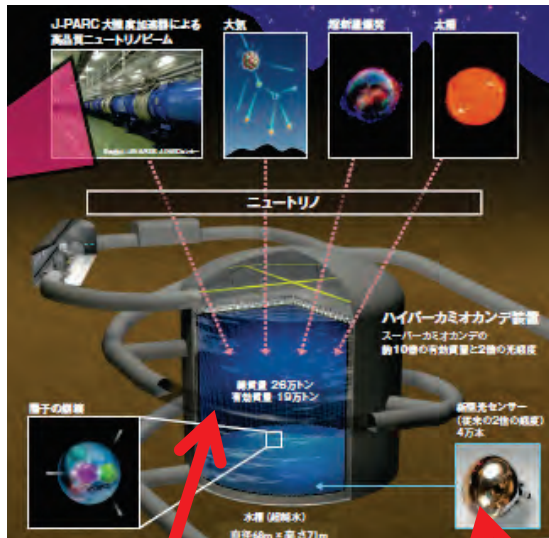
【ハイパーカミオカンデの実現】により
 「理論から実験・観測まで一貫通貫した研究体制の構築」と
 「世界の中心となるニュートリノ研究拠点の創設」につなげる。
 本学の強みを生かしたマルチメッセンジャー天文学を推進する。

カブリ数物連携宇宙研究機構

大学院理学系研究科

HK

KAGRA



ひずみ観測

巨大空洞の
地殻活動監視

光検出器、
電子回路の開発

坑道環境モニター

地面振動観測

地震研究所メンバー

部局名	地震研究所	
氏名	職名	所属
中井 俊一	教授	物質科学系研究部門
田中 宏幸	教授	高エネルギー素粒子地球物理学研究センター
新谷 昌人	教授	観測開発基盤センター
加藤 愛太郎	教授	地震予知研究センター
加納 靖之	准教授	地震予知研究センター
武多 昭道	助教	高エネルギー素粒子地球物理学研究センター
高森 昭光	助教	地球計測系研究部門

地球化学

高エネルギー素粒子地球科学

固体地球計測

観測地震学

歴史地震・ひずみ計測

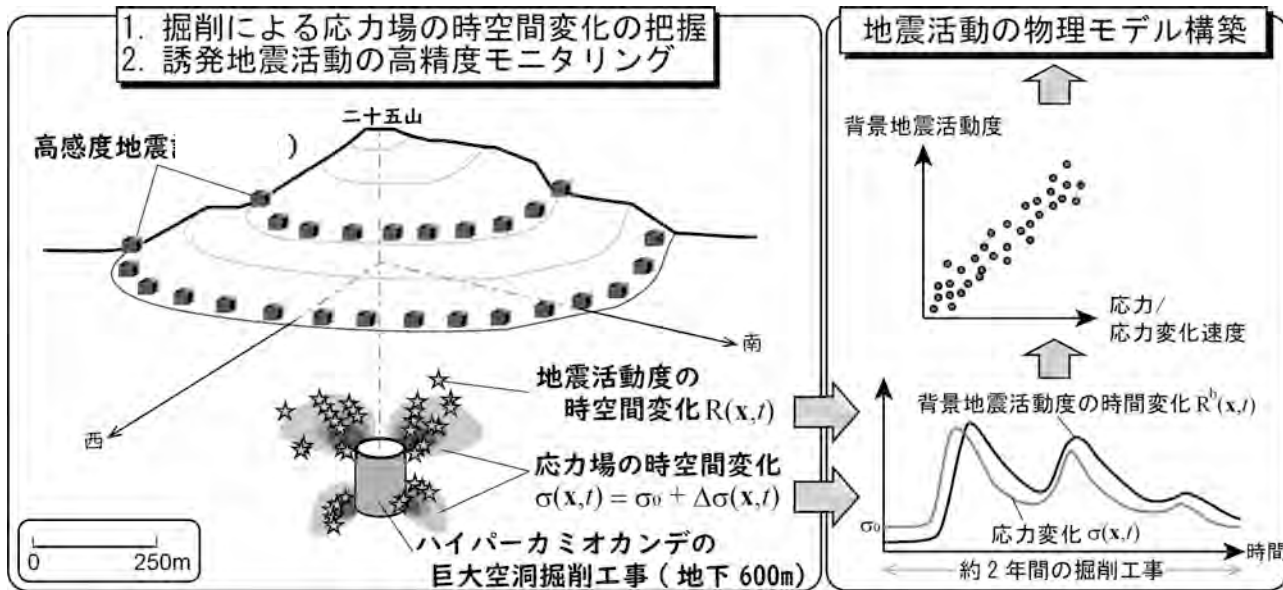
高エネルギー素粒子地球科学

固体地球計測

巨大空洞掘削時の地殻活動モニタリング

タイトル：「巨大空洞掘削時の地殻活動モニタリングに基づく地震活動と応力場の関係性の解明」
(科研費・基盤 (B))

主なメンバー：加藤 (東大地震研) ・ 浅岡 (東大宇宙線研) ・ 熊澤 (統計数理研究所)



大空洞掘削工事によって生じる**応力場の時空間変化**の把握と、**誘発地震活動**の高精度モニタリングを通して両者の関係性を明らかにする ⇒ 地震活動と応力変化に関する新しい知見が期待される

稠密地震観測網を用いた誘発地震活動の高精度な把握

地震観測点の展開：半径約600mの円周内に計34点設置
設置間隔：約100～500 m

機材：高感度地震計（固有周期1秒） +
データロガー（LS8800, HKS-9700） +
GPSパッチアンテナ

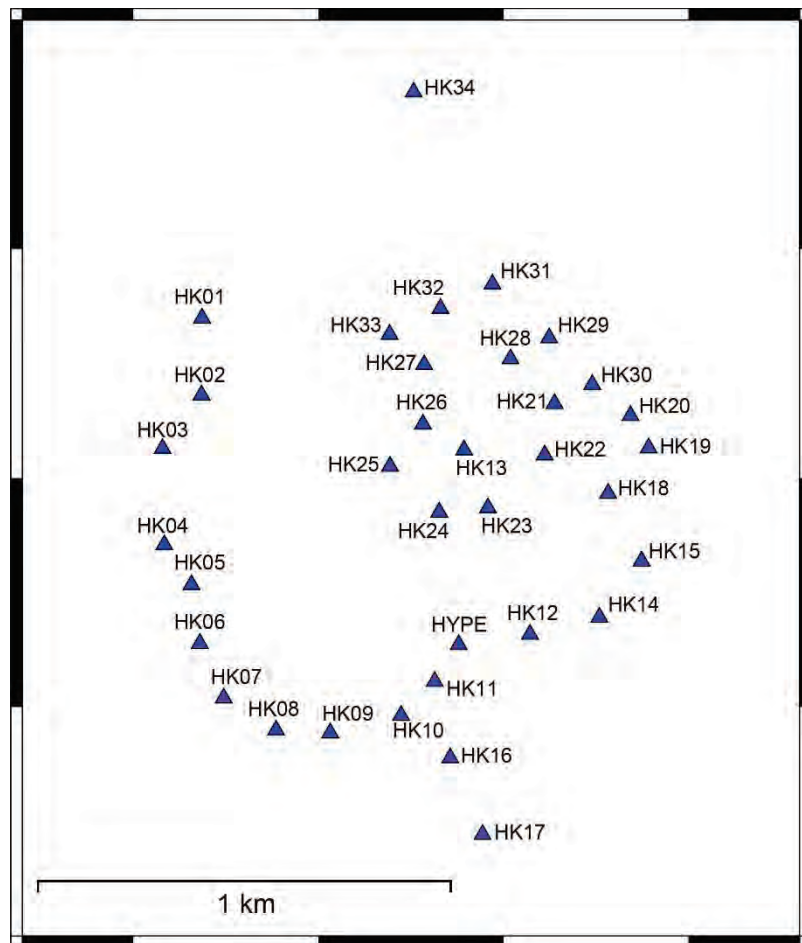
サンプリング周波数：200Hzサンプリング（連続波形記録）

設置作業：2022年9月6日～26日

保守作業：2022年11月7日～11日
記憶媒体とバッテリーの交換・追加
豪雪対策
（観測ボックスの強度対策,
GPSパッチアンテナの高さ調整,
観測機材の頑強な固定等）

保守作業：2023年6月6日～13日

保守予定：2023年11月6日～



稠密地震観測網の設置状況



稠密地震観測網の設置状況



まとめ

- ・ **ハイパーカミオカンデのほぼ直上**に設置した**オンライン地震観測点**と**稠密地震観測網**を整備することで、**地震活動のモニタリング性能を強化**した。
- ・ 2022年9月26日～11月4日の稠密地震観測網の連続波形データを用いて**イベント検出・震源決定（初期解析）**を行ったところ、イベントは主に**2つのクラスター**に分かれているように見える。また、**マグニチュード-1.6程度**のイベントまでなら十分に検知可能である。
- ・ 今年度は、稠密地震観測網を維持し連続波形データの蓄積を進めるとともに、**発破の記録を用いることで速度構造を最適化し、イベントの震源決定の精度向上を目指す。**

Application of the neutrino oscillation

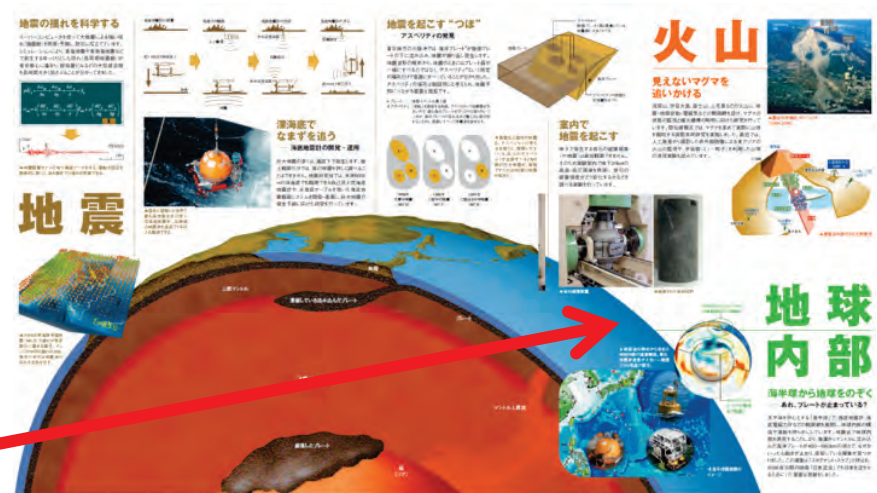
- Oscillation probability is uniquely determined by
 - Energy, time of flight(=flight length), 3 mixing parameters, 2 mass differences, CP violation phase, and the electron density
- Mixing parameters and mass differences are measured by reactor ν , solar ν , beam ν , atmospheric ν
- Energy and flight length are observable
- ***The oscillation probability measurement can be used as a probe of the electron density of the deep earth!*** (Nicolaidis 1988)
 - anti-neutrinos are not sensitive to electron density
- The ratio of electron density to matter density is equal to the ratio of the atomic number to mass number(Z/A)



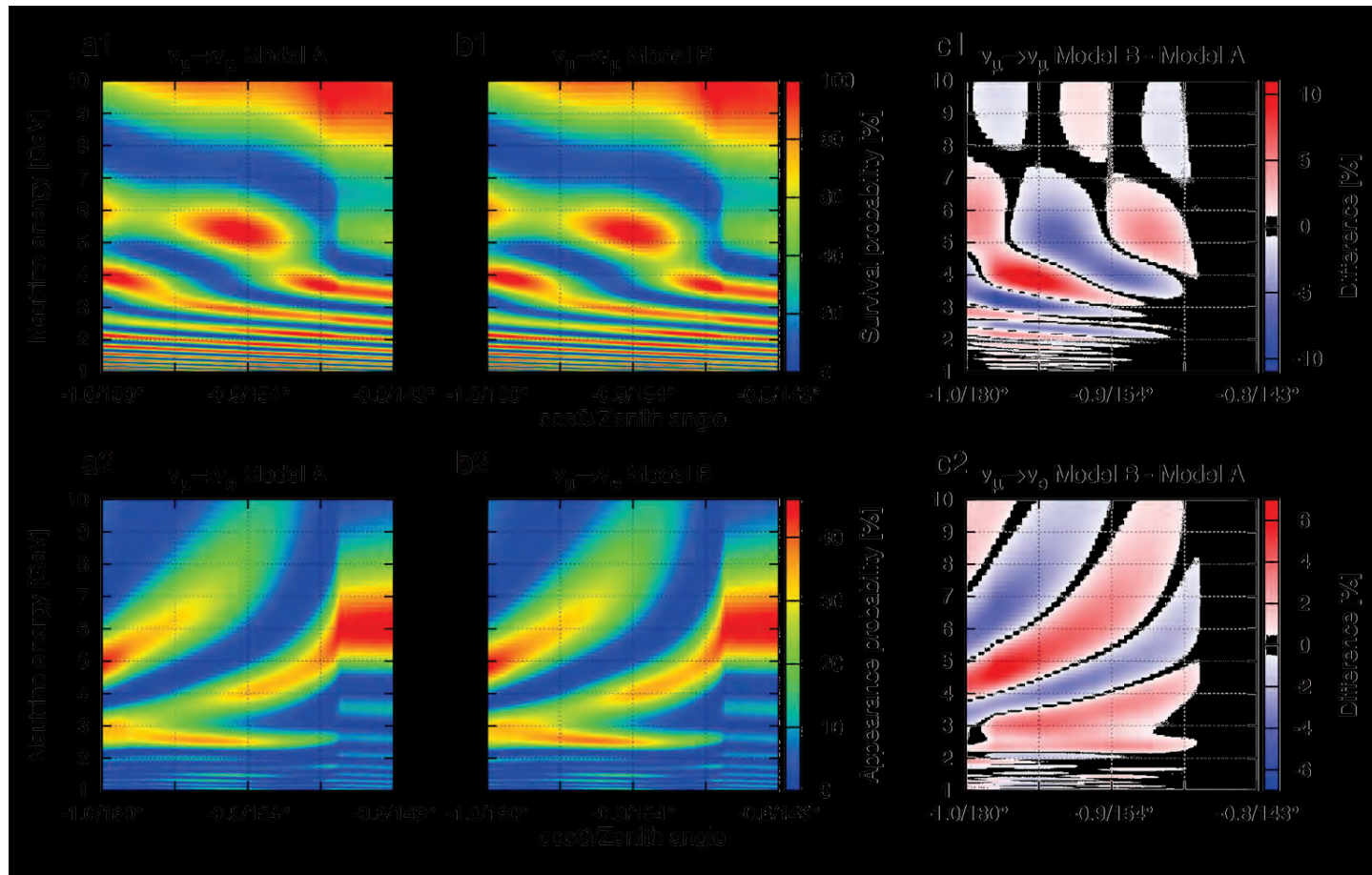
- **Matter density \rightarrow Composition**
- **Composition \rightarrow Matter density**

**Seismic waves, Gravity
+ Composition (neutrino)**

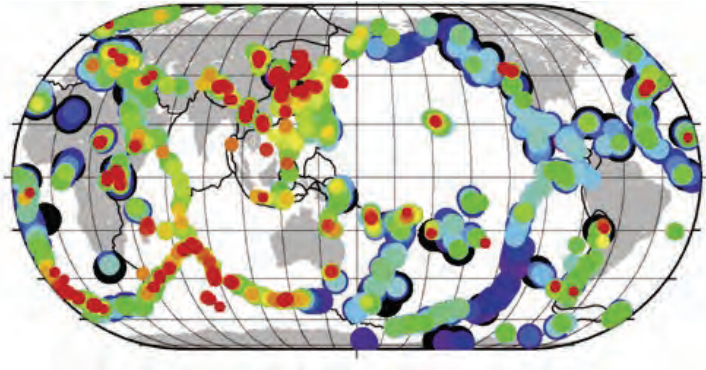
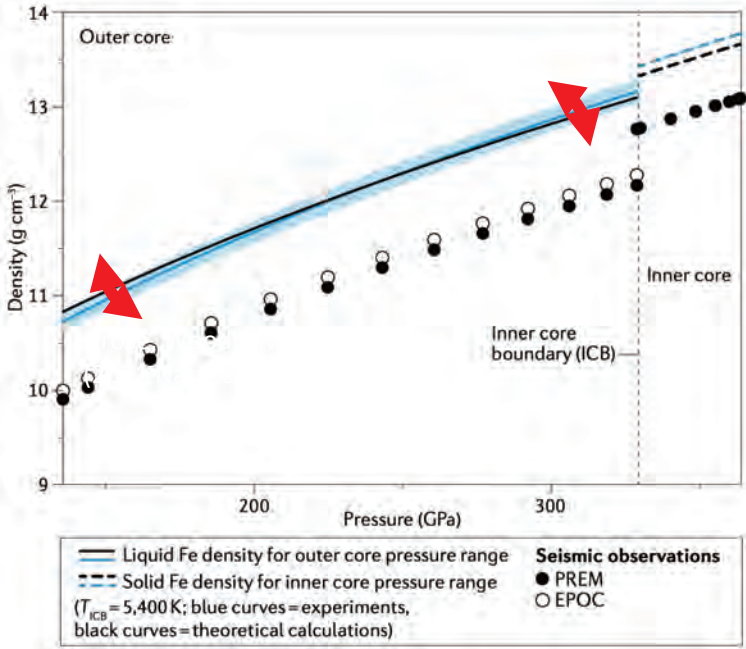
ν



Outer Core Composition Oscillograms (Fe vs Fe+2wt%)

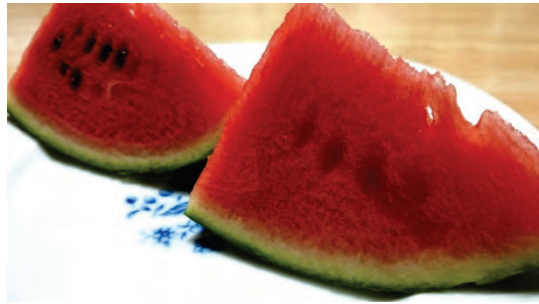


Possible geophysics case



Hydrophilic Hydrophobic

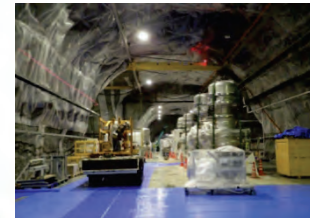
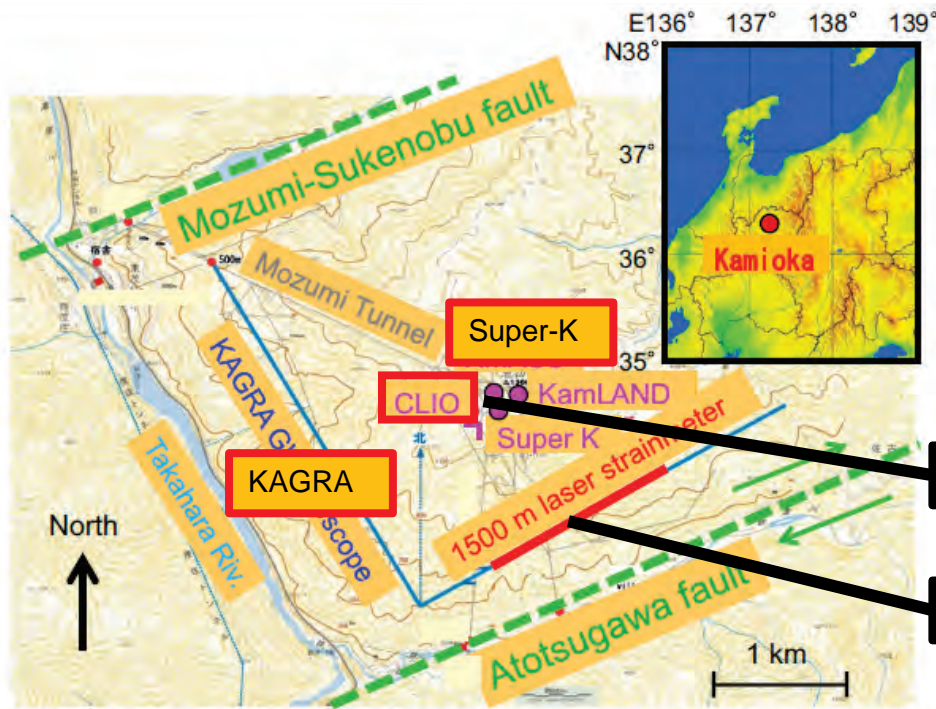
- Composition/density difference of the mantle
- East/West hemi.
- Water/Land hemi.



- Density gradient of OC
- Composition of OC must be homogeneous.

- Is mantle homogeneous ?

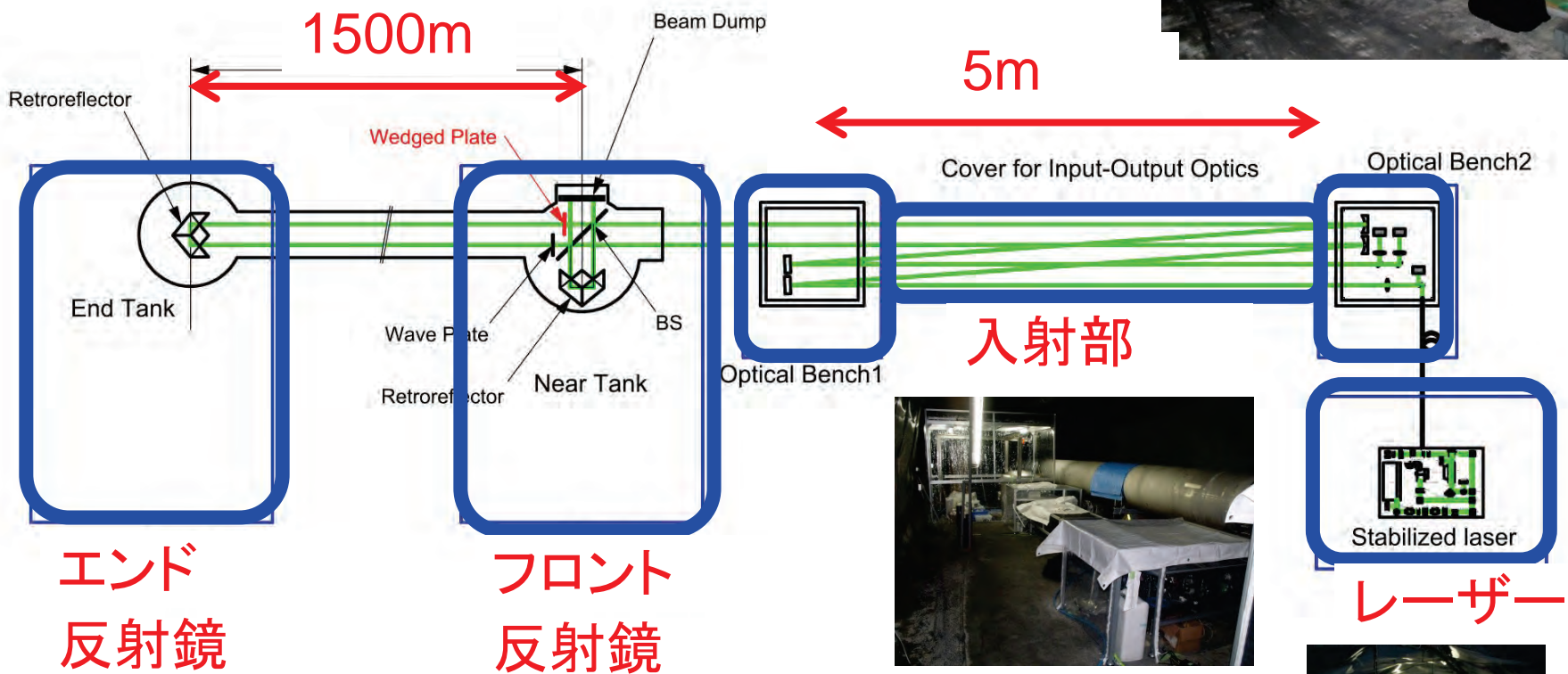
重力波検出器 (KAGRA/CLIO) サイトとレーザーひずみ計



100m strainmeter

1500m strainmeter

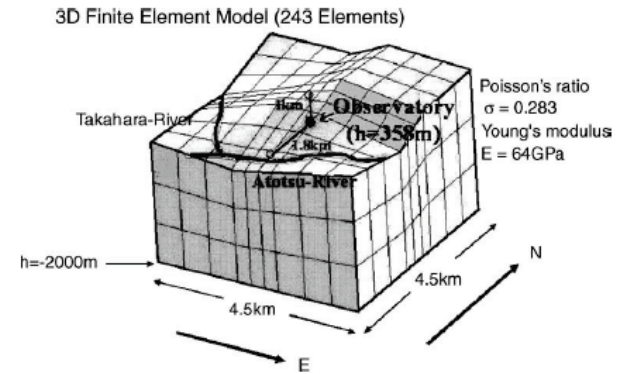
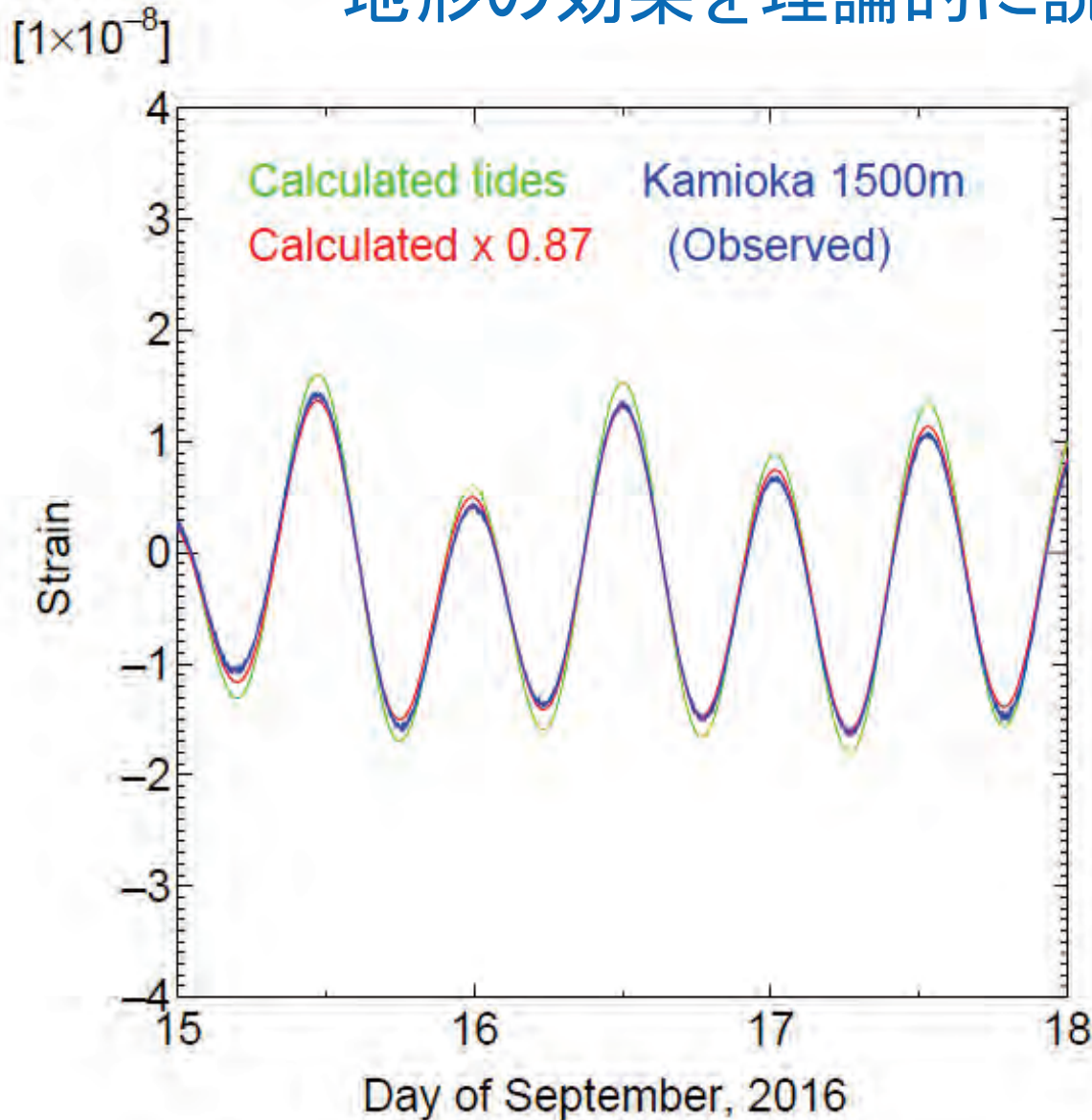
1500mレーザーひずみ計



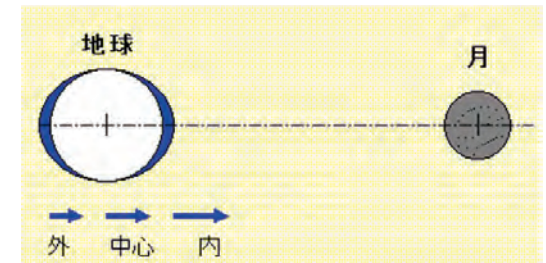
定常的に観測されるひずみ・・・地球潮汐

・・・地形の効果を実験的に説明

Araya et al. (2017)

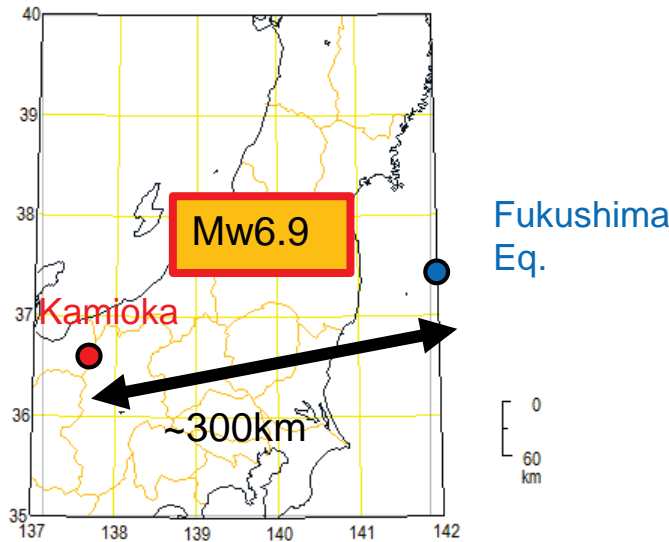


FEMによる計算

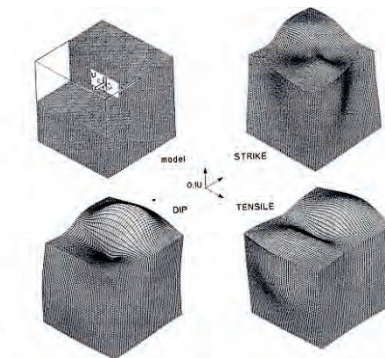
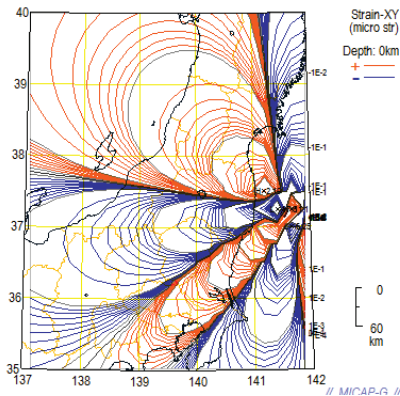
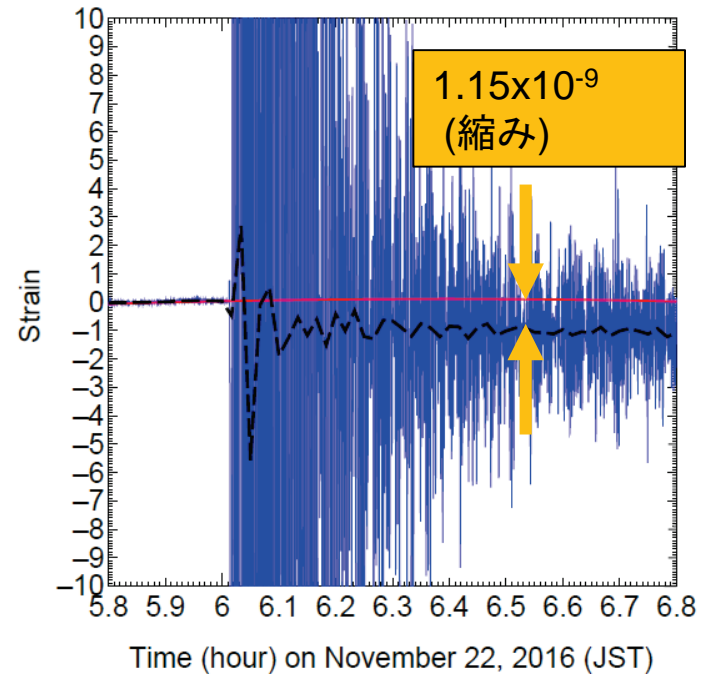


地震の断層運動にともなう地殻変動

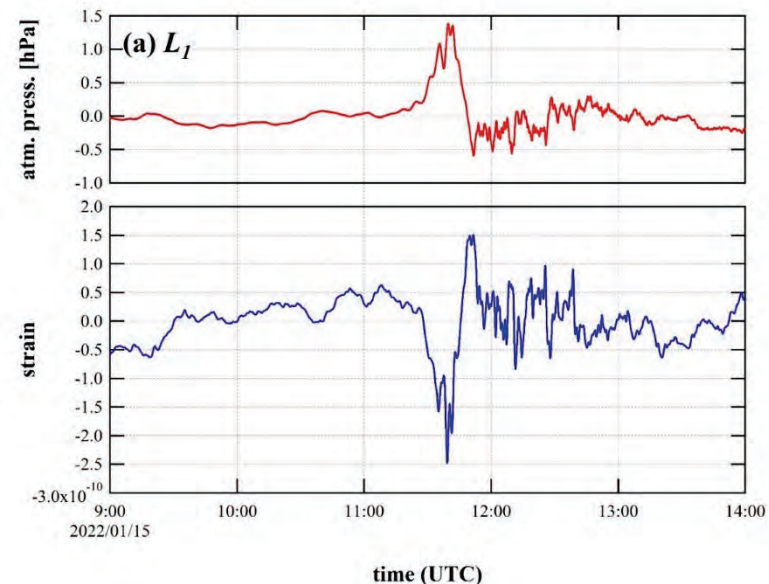
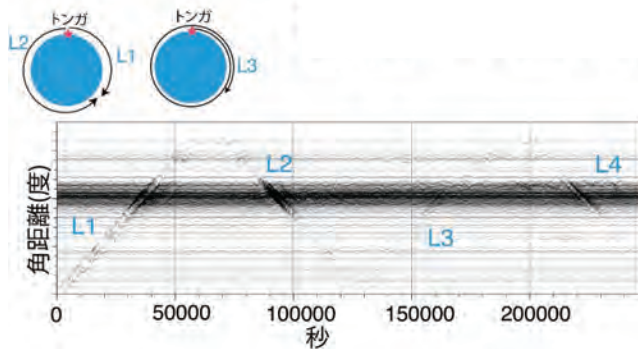
... 10^{-9} → 1500mの距離が1.5ミクロン縮む



[1×10^{-9}] Calculated tide x 0.87 GIF 1-minute average



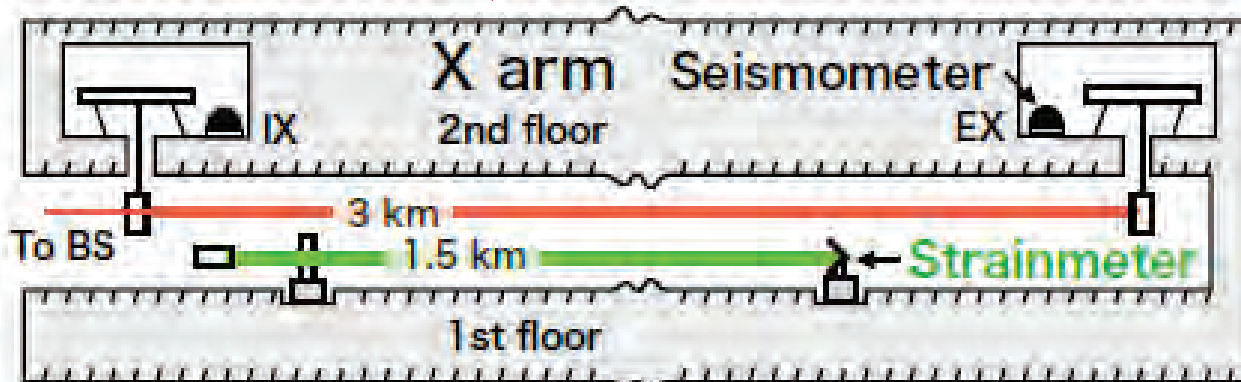
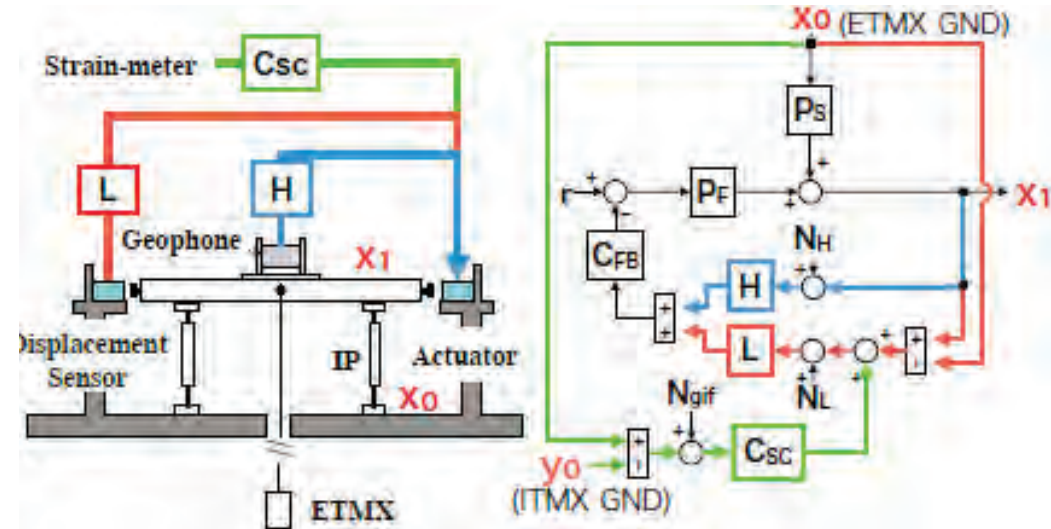
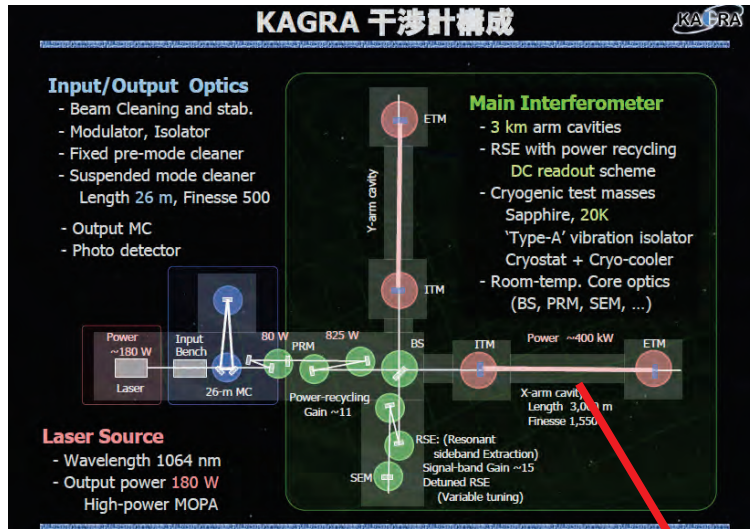
トンガ噴火（2022）の大気ラム波によるひずみ変化・・・気圧の波が引き起こした地面のひずみ



Nishida (2022)

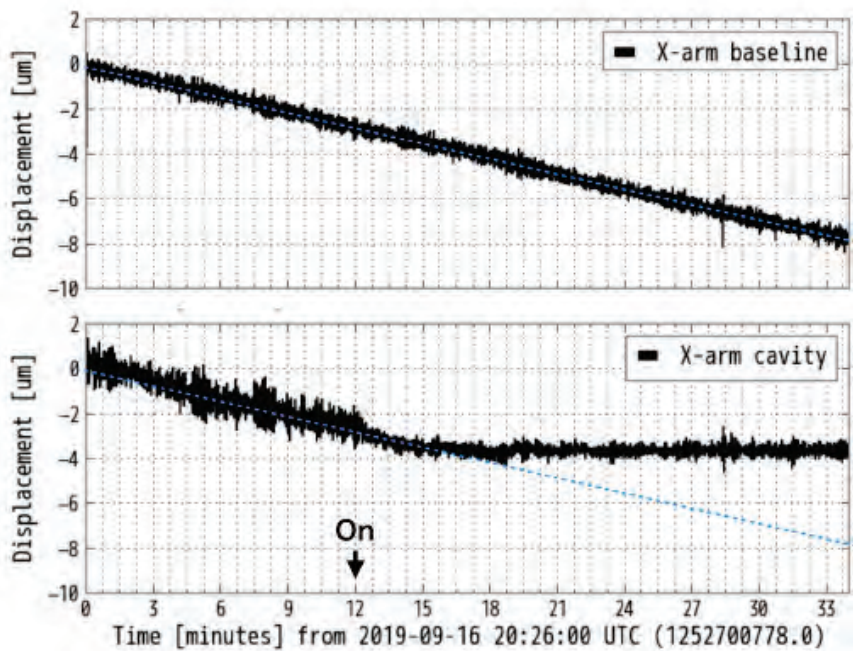
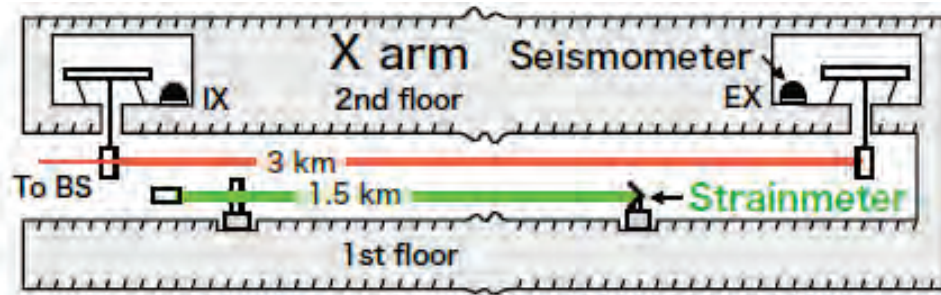
ラム波による気圧変化と
神岡坑内のひずみ
Takamori et al. (2023)

ひずみ信号を用いたKAGRA基線長の制御実験(Miyo, 2020)

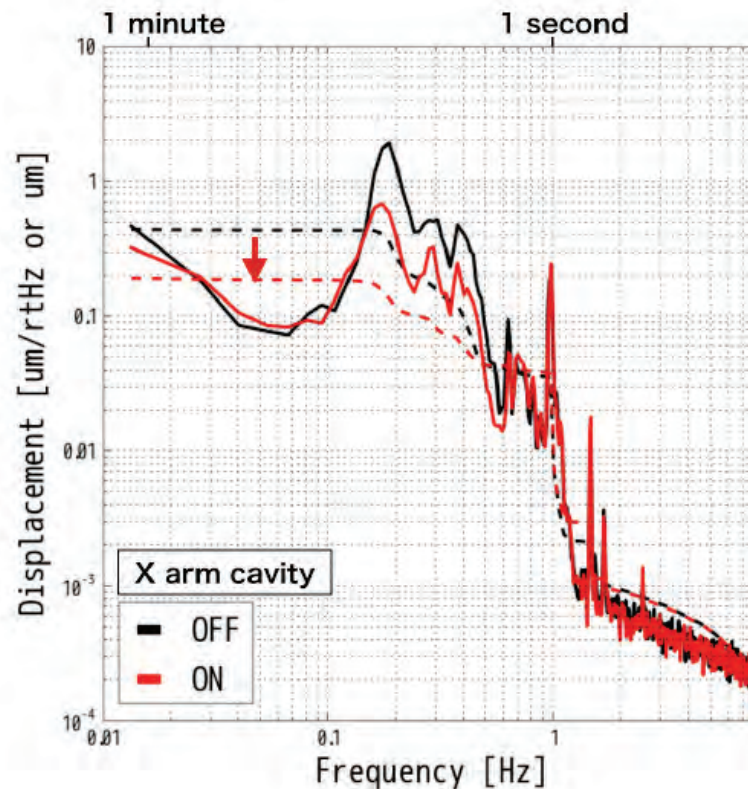


ひずみ信号の補正により、KAGRA基線長のドリフトと地面振動が低減

T. Akutsu et al., PTEP, 2021



Baseline motions observed by the GIF (top) and the change in length of the KAGRA X-arm cavity (bottom).



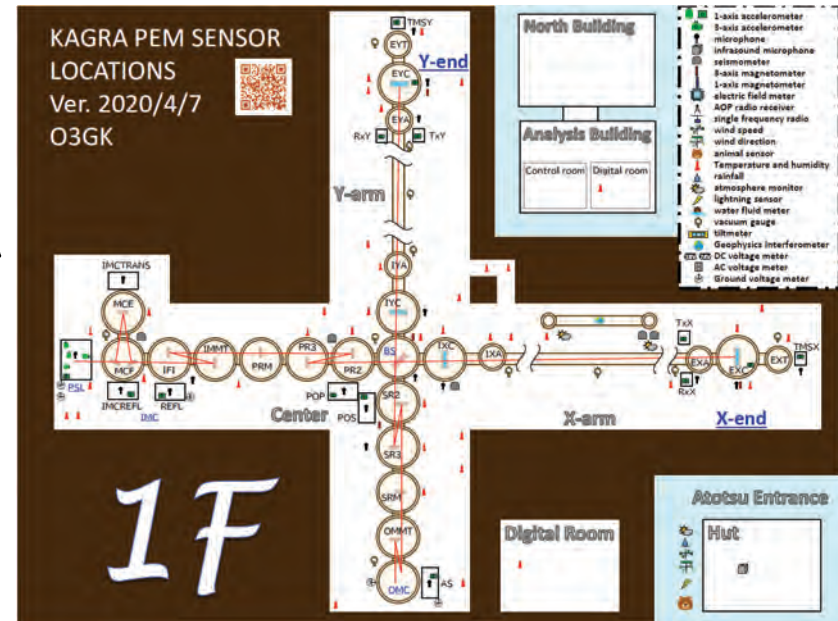
RMS of cavity length mainly due to microseisms reduced to ~50 %

KAGRA坑内環境の観測

T. Akutsu et al., PTEP, 2021

- 環境モニター（Physical Environmental Monitors: PEM）

- 地面振動（地震計, 加速度計）
- 気温（温度計）
- 気圧（気圧計, インフラサウン
- 磁場（磁束計）
- 音響（マイク）
- 水流（流量計）
- 雨量, 積雪モニター etc.



Akutsu et al.(2020)

- 地物干渉計（Geophysics Interferometer: GIF）
 - レーザーひずみ計
 - 基線長1500 m @ KAGRA坑内（2016 -）
 - 基線長100 m @ SK坑内（2003 -）

まとめ

・HKやKAGRAは**地下環境**に展開される大型検出器であり、**地盤の監視や計測データの共有**を通じて地震研は貢献

・一方、計測されたデータは地下深部の稠密で**低雑音**の貴重なデータであり、**新たな地球科学の知見**につながる

・HK観測開始後には**素粒子地球科学**との連携を期待

