



KAGRA



NAOJ
Gravitational Wave
Project Office

科研費
KAKENHI

落雷磁場を利用した 神岡地下水分量の長期観測

国立天文台 鷺見貴生

2020年6月3日(水)

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」

2020年度オンライン領域研究会
兼 第六回極低放射能技術研究会

自己紹介



氏名：鷺見貴生 (WASHIMI, Tatsuki)

所属：国立天文台 重力波プロジェクト

身分：学振PD

KAGRAにて、主に環境雑音対策を担当

【過去】

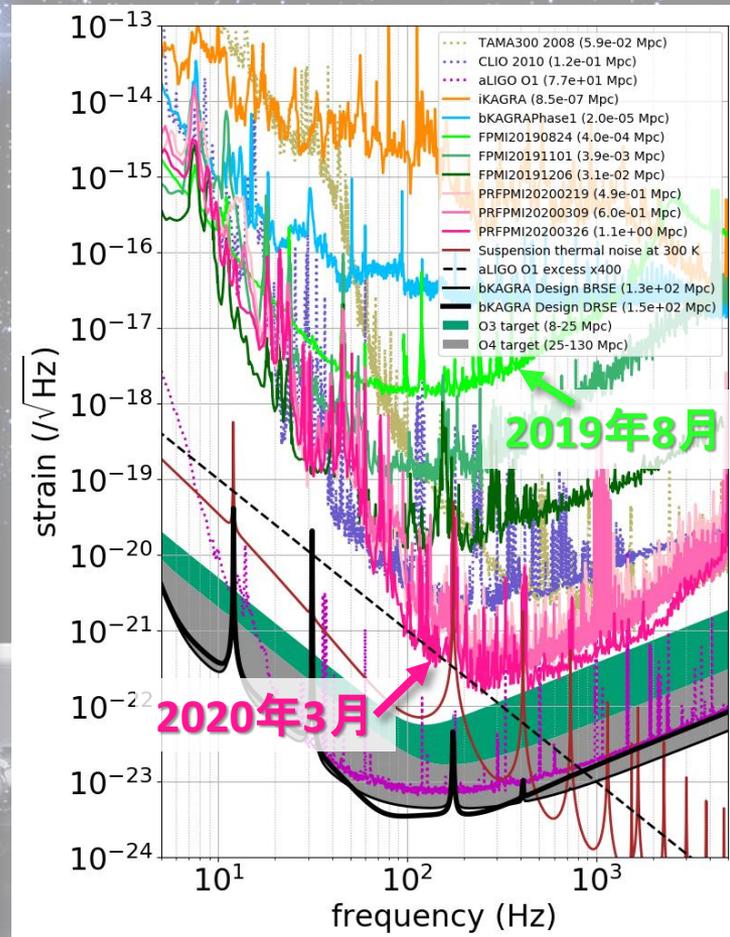
学生時代はANKOK実験で、主にTPC
開発を担当

- 旧 新学術「地下素核」でお世話になりました
2018年12月にPh.D@早稲田

よろしくお願ひします

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

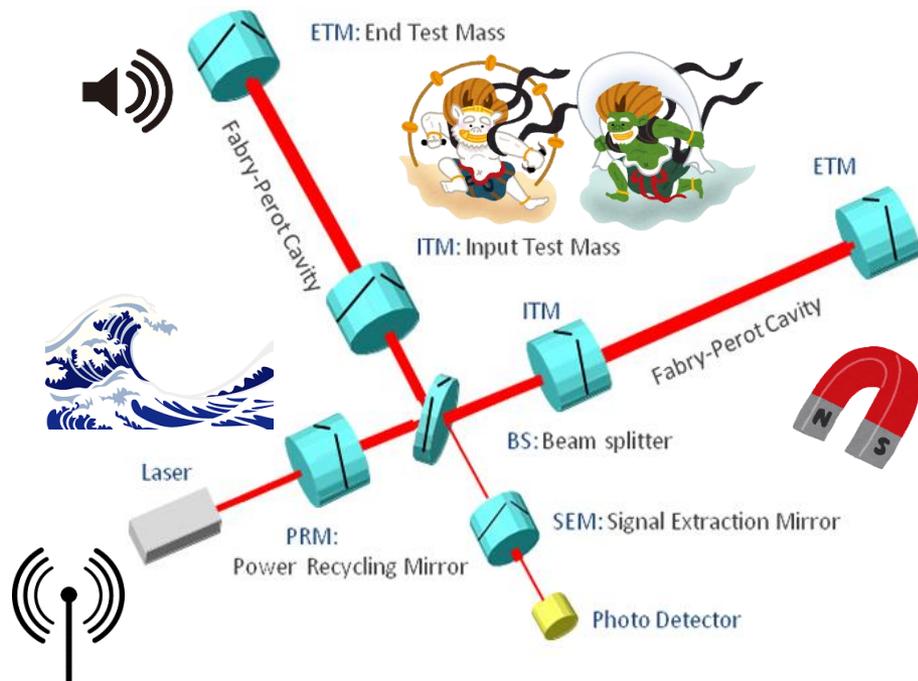
3/11



- 飛騨市神岡町 池ノ山 地下200~300m に建設されたレーザー干渉計
 - 世界で唯一、地下施設・低温鏡の重力波検出器 (もうひとつの地下宇宙)
- 2014年にトンネル完成、2019年に装置完成
- 2020年4月に2週間、GEO600(ドイツ)との共同観測を行った
- 現在はコロナウイルスと頻発する地震の影響で suspended mode

重力波観測における環境雑音

- ◆ **Vibration & Sound** from machines, Seism, ...
 - Vibration of optics (laser, mirror,...), vacuum apparatus (chamber, view port, ...)
- ◆ Sound (Density fluctuation of air)
 - Fluctuation of refractive index
 - Newtonian noise
- ◆ **Magnetic field**
 - coupling to the actuator magnets
- ◆ Radio frequency waves (MHz)
 - beat noise
 - coupling to the laser modulations
- ◆ Electrical noise
 - all readout and control electronics
- ◆ gravity gradient
- ◆ cosmic ray
- ◆ etc ...



➡ Targets of Physical Environmental Monitors (PEM)

直接的な雑音となる重力波観測帯域(10 Hz ~ 数kHz)だけでなく、up/down conversionによる雑音(scattered light, beatなど)や干渉計制御に影響する量(基線長、室温など)の長期モニターも行っている

KAGRA坑口の落雷検知器

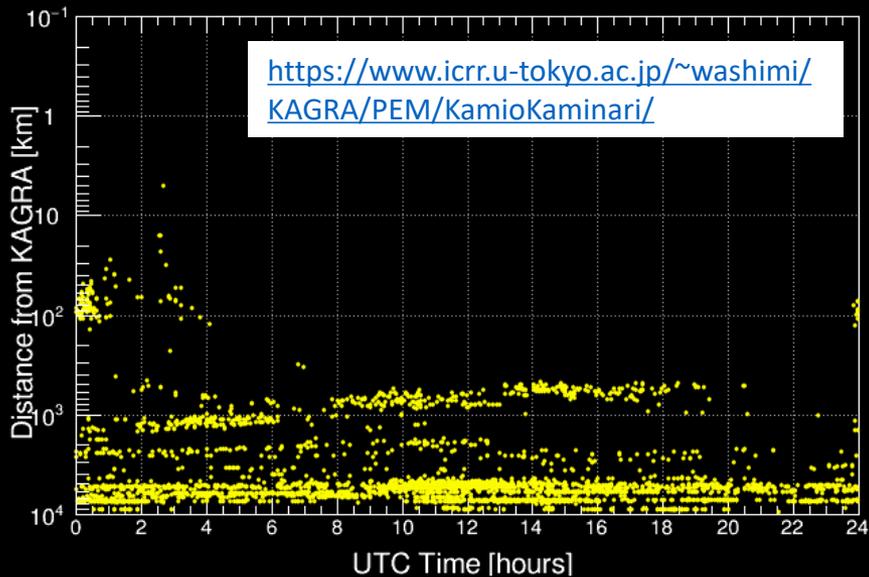
KAGRAトンネル入口に落雷検知器を設置

- 湘南工科大学の協力の元、[Blitzortung.org](https://www.blitzortung.org/)の観測ネットワークに参加
- 落雷の時刻と位置を記録し、webページ上でKAGRAからの距離をplotしている (1日1回自動更新)
- 周波数帯域 1kHz – 50kHz, 現状では波形保存なし
- [余談] 検知器を設置したら、落雷頻度が激減した

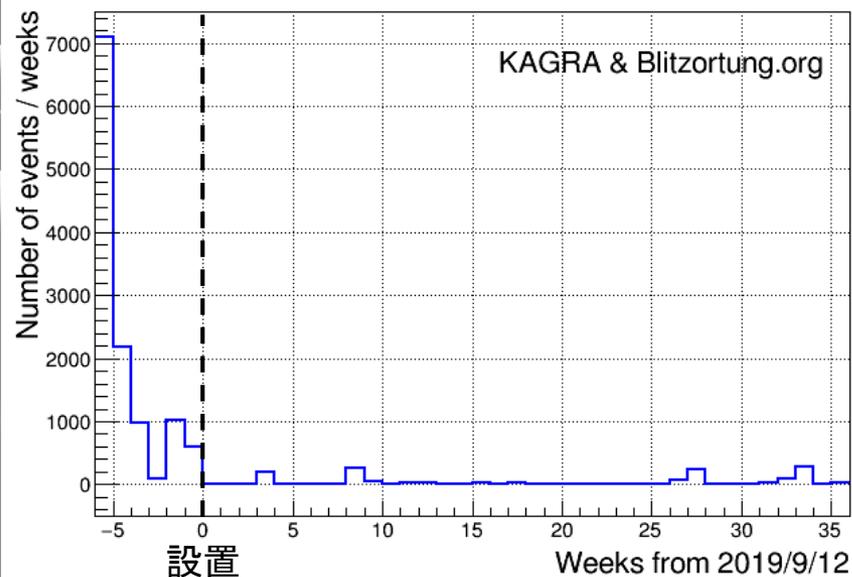
設置の様子
(2019/9/12)



2020/03/22 UTC



Nearby lightnings (<100 km)



落雷磁場スペクトル

雷磁場の周波数スペクトルは、一般に

- ~5 kHz にピークを持つ
- 高周波側にテールを引く ($1/f$, $1/f^2$)

といった構造をことが知られており、坑口の落雷検知器でも確認されている。

落雷による磁場は、KAGRA坑内に設置されている磁気センサーでも観測されている。

- スペクトルの構造は単調減少
- センサーの使用帯域は DC - 3 kHz

➤ 地中の電気伝導度による表皮効果の影響と考えられる。

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}}$$

δ : 侵入長
 μ : 透磁率 ($\sim \mu_0$)
 σ : 電気伝導率
 ω : 角振動数 ($= 2\pi f$)

神岡地下 ($\sigma \sim 1/400 \text{ } \Omega\text{m}$) の場合、
 $\delta \simeq 100\text{m}@1\text{kHz}$, $\delta \simeq 3\text{km}@10\text{Hz}$

科研費申請書に載せた図→

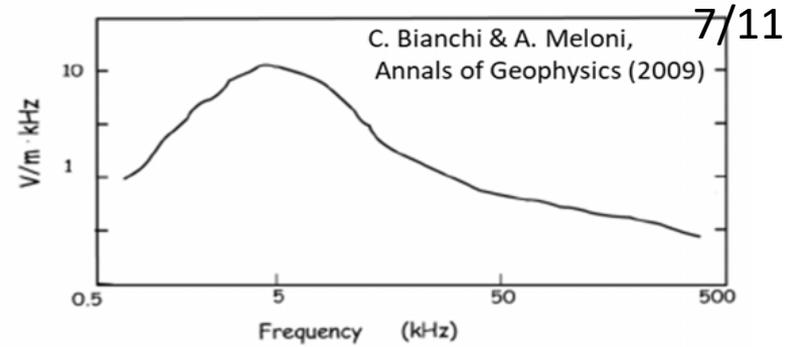


図2. 落雷電磁波のスペクトル(文献値)

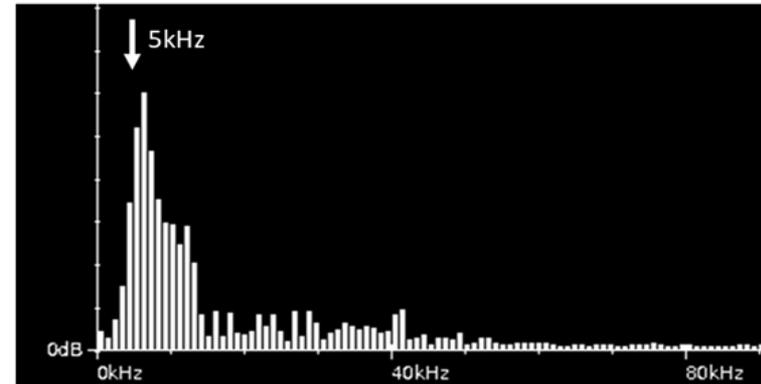


図3. 落雷磁場のスペクトル(神岡地上)

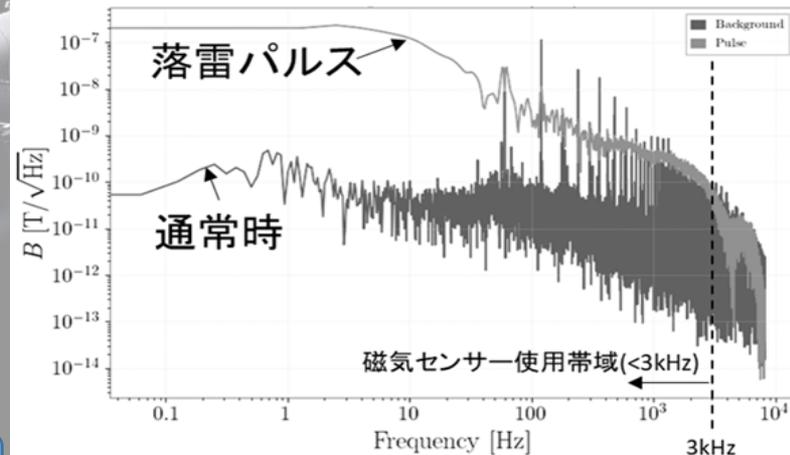


図4. 落雷磁場のスペクトル(神岡地下)

落雷磁場を利用した地下水分量観測

地中の電気抵抗率は、一般に水分量が多いほど小さくなり、実際に防災や農業の分野で地下水流動調査などに用いられている。

Archieの式

$$\frac{1}{\sigma} = \rho = a\varphi^{-m}S^{-n}\rho_w$$

φ : 地盤の隙間率

S : 水飽和度

ρ_w : 水の比低効率

a, m, n : 定数



地上と地下に同じセンサーを設置して磁場スペクトル比をとることで、地下水分量の季節変動をモニターする。

(落雷位置情報を用いることで、あわよくば方向分布の測定も)

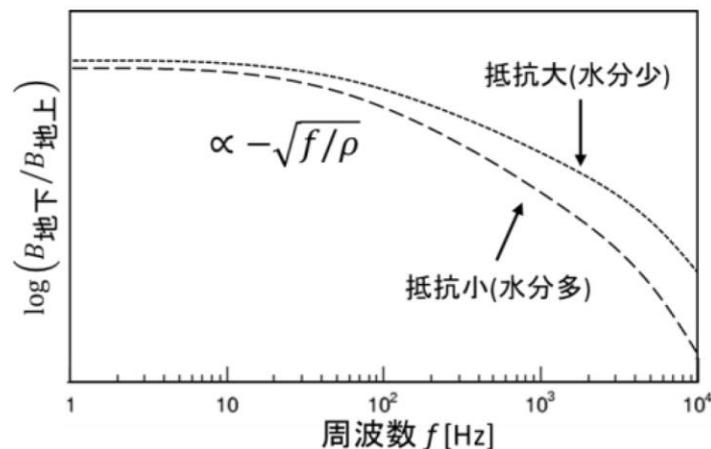


図5. 磁場の地下/地上比と周波数の関係

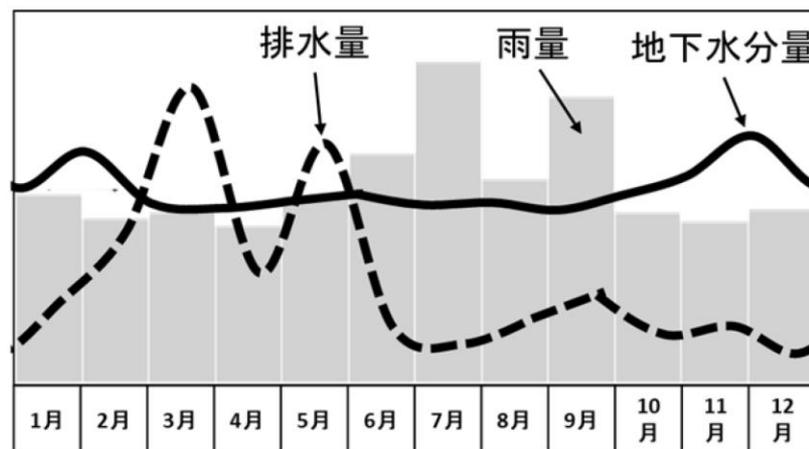


図6. 本研究によって得られるデータのイメージ

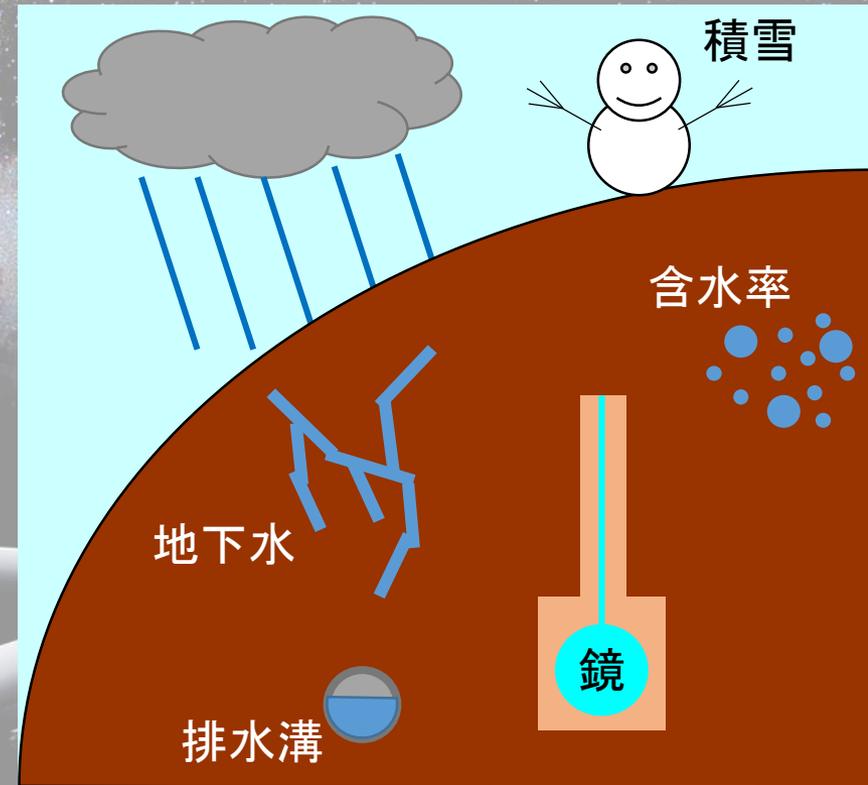
既存の実験設備を活用することで、低コスト・低マンパワーで実施可能

地下水分量モニターの意義

KAGRAにおける地下水の影響

- ◆ 重力波観測における雑音
 - ・ 光学定盤や真空容器の振動
 - ・ 重力場雑音 (Newtonian noise)
- ◆ 光学系の制御・アライメントへの影響
 - ・ 干渉計ロックの妨げ
 - ・ 地殻歪の長期変動
- ◆ 地下施設の安全管理
 - ・ 湧水・滴水

降水量や排水量は直接測定が可能だが、地下水や土壌含水の情報も得られるとなおよい。(時間差、空間分布など)



地下素核実験 (DM, v)

- ◆ 宇宙線や環境中性子のフラックスの季節変動との相関
- ◆ 水のフィルタリングや温度コントロールなど

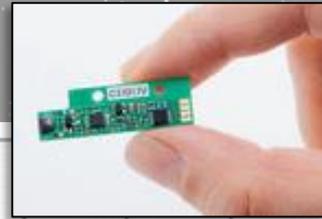
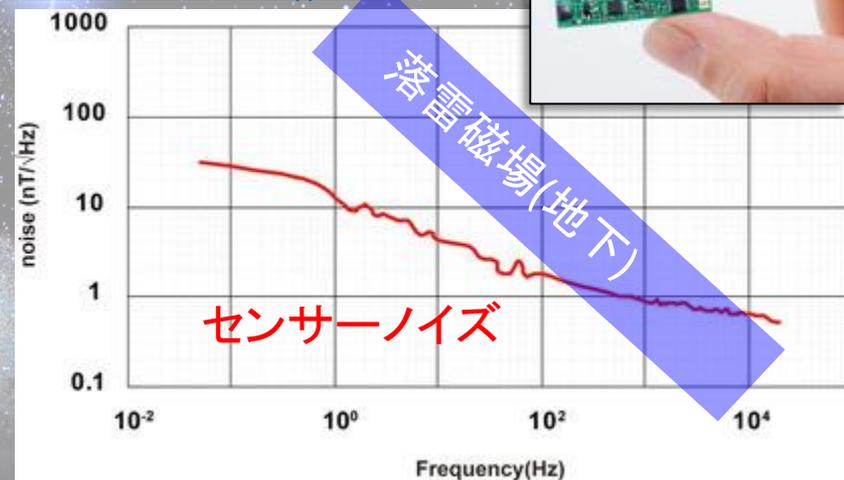
各種センサーの現状と増強計画

10/11

磁気センサー

- ✓ フラックスゲート式を地下の中央・X-end・Y-endに設置済み
 - 2019年6月から常時データ取得
 - 観測帯域 DC - 3kHz
- 感度は落ちるが広帯域の磁気インピーダンス素子を地上と地下に導入する
 - 観測帯域 DC - 10kHz
 - ~1万円/1個

<https://www.aichi-mi.com/home/>
高感度磁気センサ/type-dm/



落雷検知器

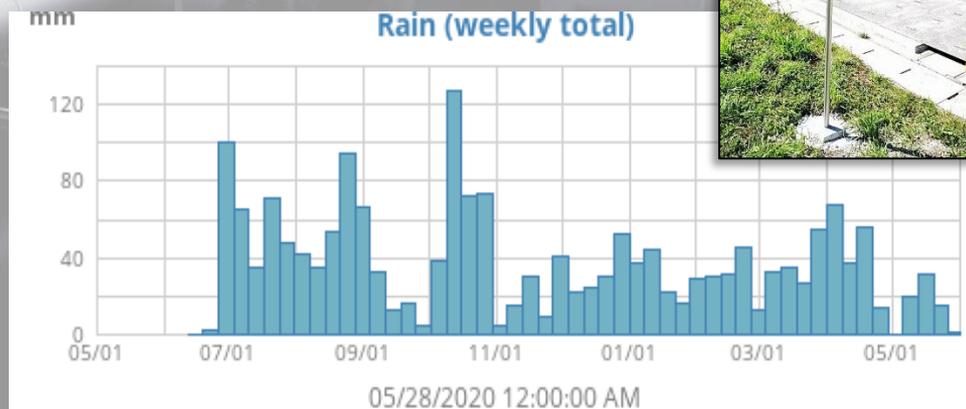
- ✓ 現在は時刻のみを記録 (アナログ出力端子はある)
- データロガーを設置し、波形データを取得する

雨量計

- ✓ 2019年7月に市販の気象計を導入

流量系

- 本研究費で購入予定



まとめ

- KAGRAは神岡地下における重力波観測実験
 - もうひとつの「地下宇宙」
- 地下水分量モニターは重力波と極低BG実験の両者に共通する課題
 - 特にD01班の中性子測定と親和性が強い
- 重力波観測の雑音となる落雷を逆に利用
 - KAGRA PEMを用いることで、低コスト・低マンパワーで遂行可能