



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

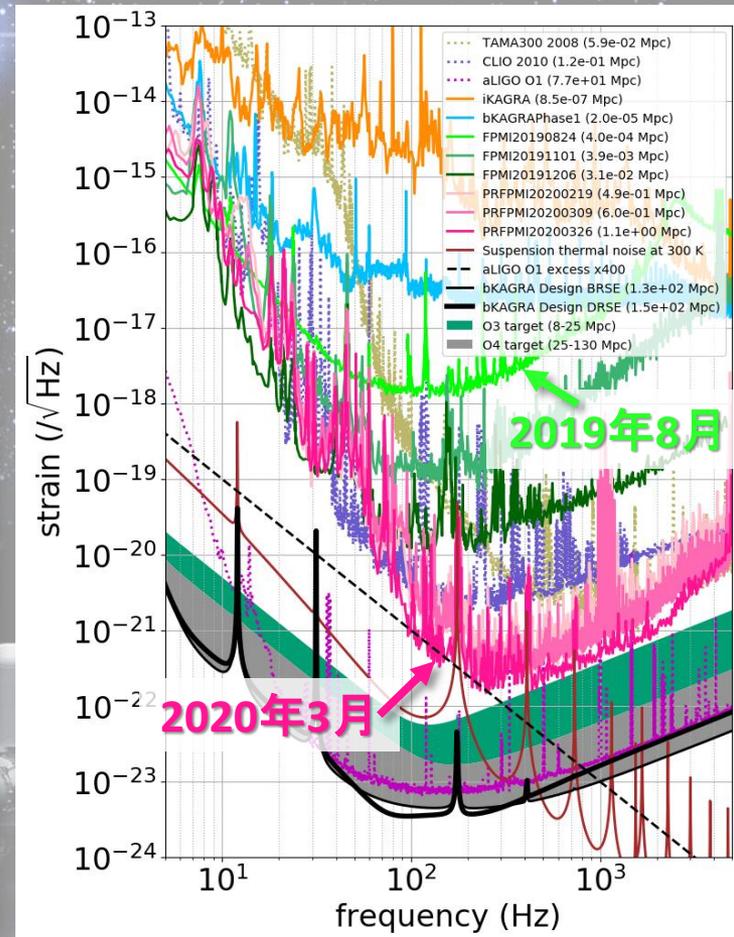
2021年5月19日(水)

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」

2021年領域研究会

D班公募研究課題

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA



- 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)
- 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2022年6月以降開始予定のLIGO-Virgo-KAGRA共同観測(O4)に向け、諸々の改修工事が進行中

重力波観測における環境雑音

地面振動

- 地震や波浪、機械など
- 鏡や真空容器を揺らす



磁場雑音

- 電子機器や落雷など
- 鏡を揺らす・エレキノイズになる



音響雑音

- 実験装置や空調設備など
- 鏡や真空容器を揺らす



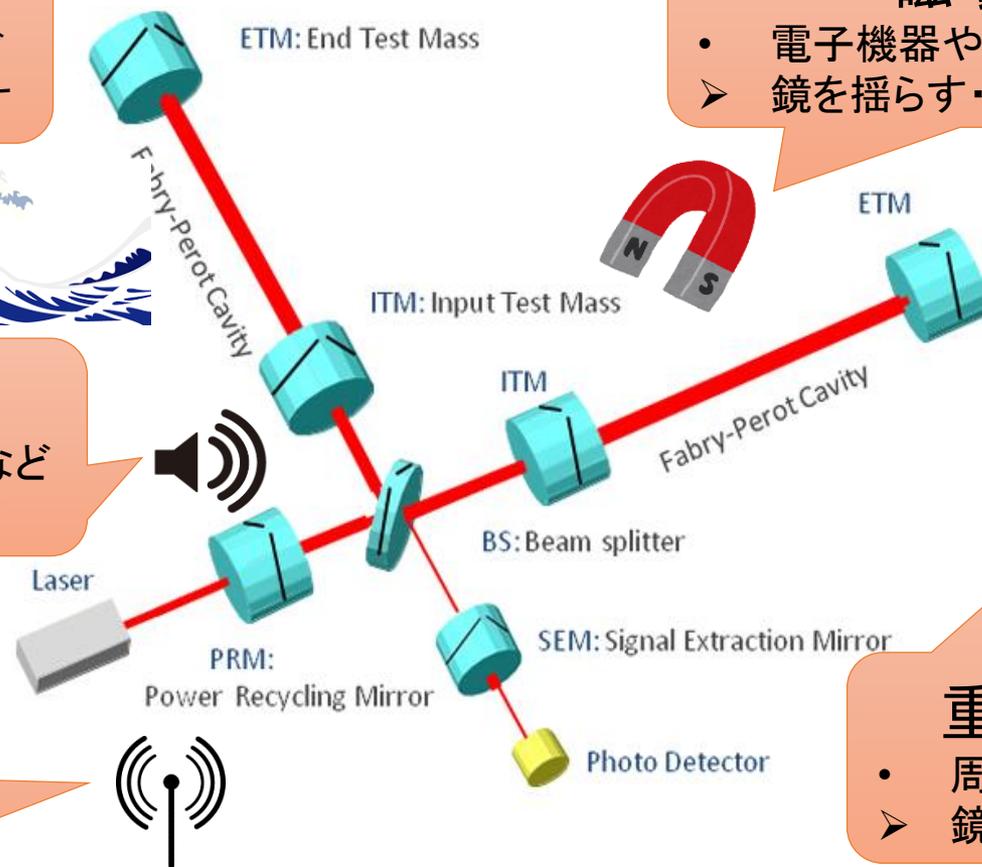
電波・電位差

- 電子機器など
- エレキノイズになる



重力場雑音

- 周りの物質の運動
- 鏡を揺らす



KAGRA PEMの詳細については
PTEPの[overview paper](#)(→)や
今年1月に行った[超新星研究会](#)
のスライド等を参照

ACCEPTED MANUSCRIPT

Overview of KAGRA: Calibration, detector characterization,
physical environmental monitors, and the geophysics
interferometer 

T Akutsu, M Ando, K Arai, Y Arai, S Araki, A Araya, N Aritomi, H Asada, Y Aso, S Bae ... Show more

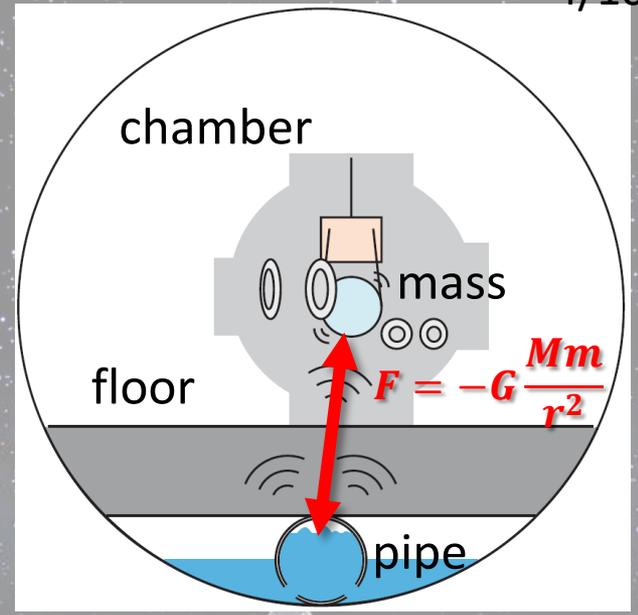
Progress of Theoretical and Experimental Physics, ptab018, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptab018>

Published: 22 February 2021 [Article history](#) ▼

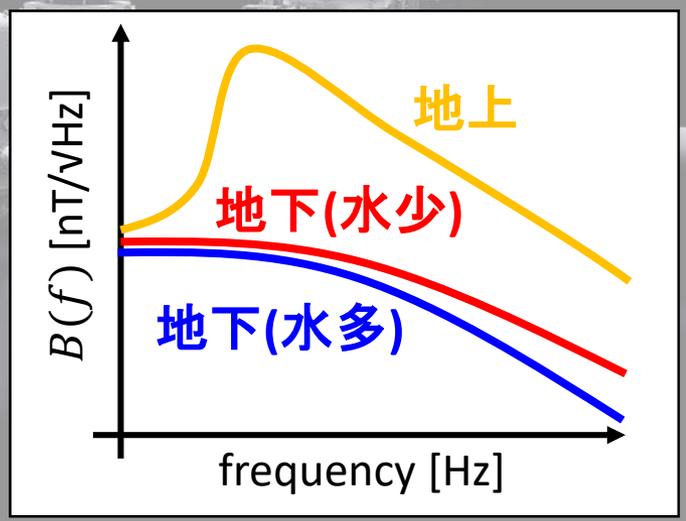
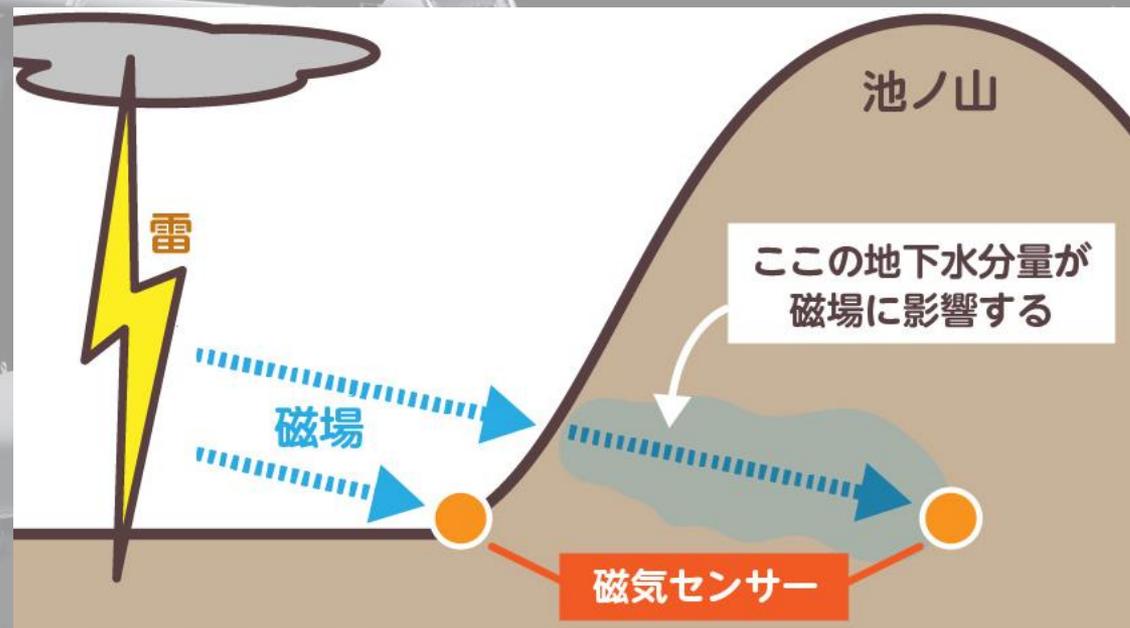
本研究のコンセプト

神岡の地下水(土壤中および排水路)はKAGRAの観測に様々な影響を及ぼす

- 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
 - 湧水・滴水に対する地下施設の安全管理
- 地下水分量の変動はLow BG実験にも重要な情報



落雷磁場スペクトルを地上と地下で比較することで、地下水分量変動をモニターする

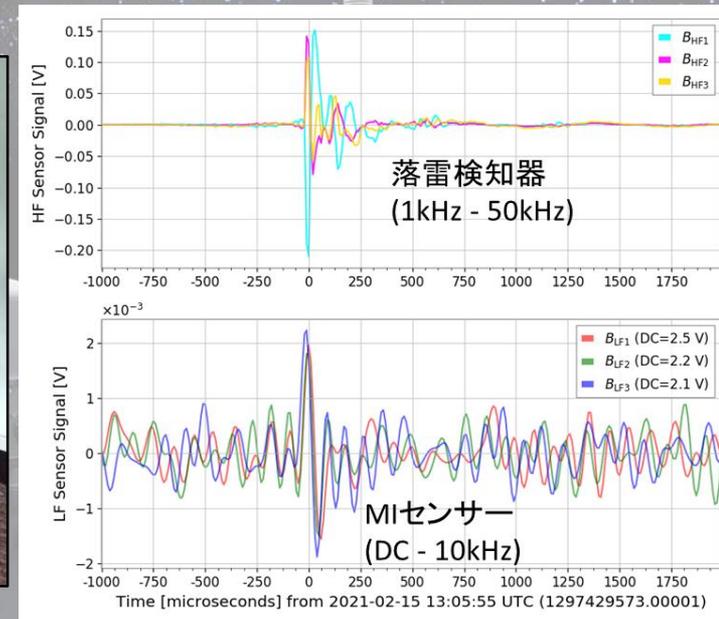
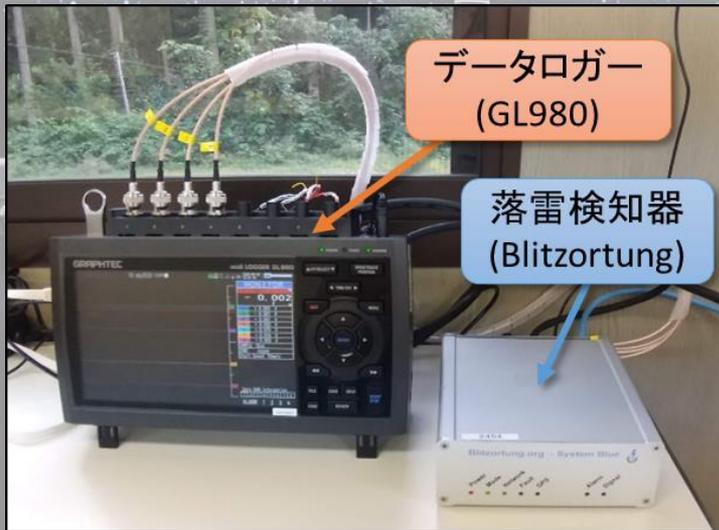


雨量や排水量とも比較する

LBGT7 (2021/3/25)での報告まとめ

5/10

- 地上落雷検知器の波形読み出し環境を整えた
 - <https://arxiv.org/abs/2103.06516>
- 地上にDC-10kHzに感度のある磁気センサーを設置した
 - イベントは取れてはいるがS/Nが悪く、改善が必要

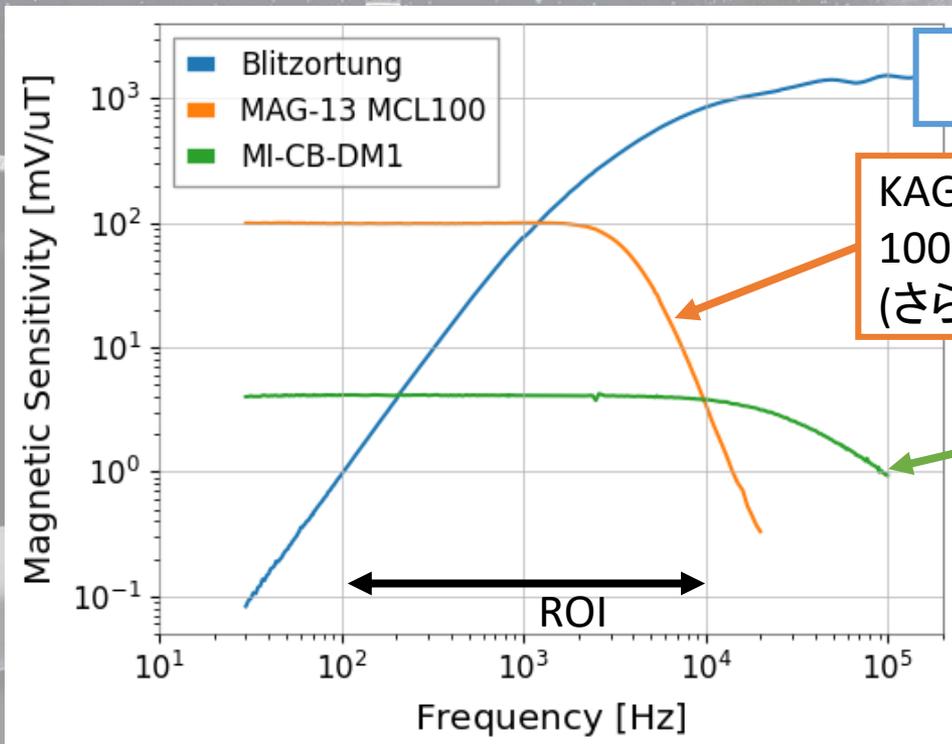
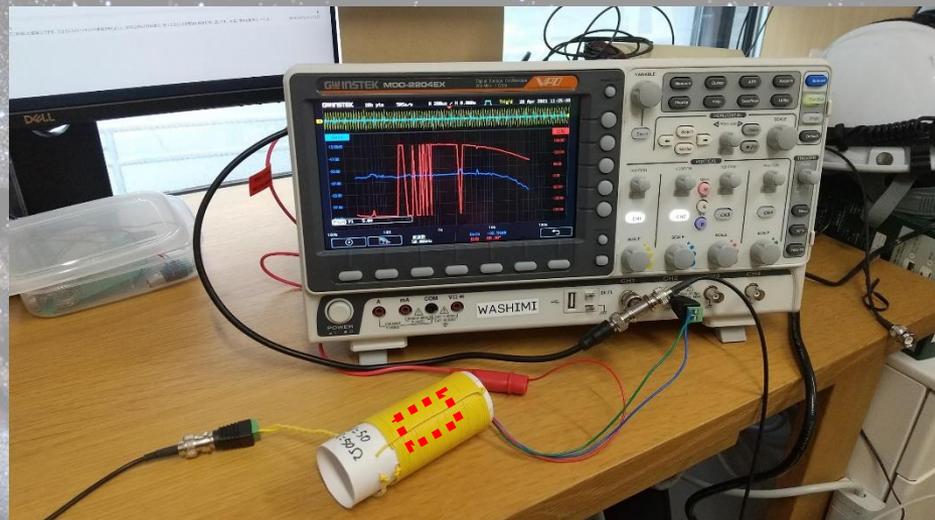


- KAGRATunnel内の排水量調査と水流計常設を行った
- KAGRATunnel内外の環境 γ 線を測ってみた

今回は、雷観測装置のアップデート進捗について報告する

磁気感度較正

伝達関数測定機能のあるオシロと手製コイルを使って、各センサーの磁気感度キャリブレーションを行った。



落雷検知器

KAGRA坑内で使用している磁力計
100mV/uT, DC~3kHz
(さらにアンプで100倍にして運用)

KAGRA坑口に設置した磁力計
4mV/uT, DC~10kHz

➤ 2桁程度の感度向上が必要

磁力感度向上案

① アンプを入れる

- ・ マイク用アンプを改造して使用

② 高感度の型番を使う

- ・ 感度120倍だが、狭帯域
- ・ 1kHz以上は解析的に補正

秋月電子通商



トップページ | 商品カタログ | 新品 | お知らせ | 注文方法 | 振込先 | よくある質問 | ダウンロード | 配送状況確認 | ログアウト

トップ > 組立キット > オペアンプ関連 > オペアンプキット > 高感度マイクアンプキット

AAA



高感度マイクアンプキット

[AE-MICAMP]
 通販コード K-05757
 発売日 2012/05/16
 メーカーカテゴリ 株式会社秋月電子通商

高感度アンプ付コンデンサーマイクロホンのキットです。マイコンで外來ノイズの影響を最小限にしております。基板サイズは標準のバランスを両立しています。マイコンのADコンバータ入力として、DCバイアスを乗せた出力となっております。電源電圧は5V推奨です。

- 主な仕様
- アンプ部
 - ・電圧増幅率：100倍(40dB)
 - ・周波数特性：50Hz~6kHz(-3dB、実測値)
 - ・周波数特性：50Hz~10kHz(-6dB、実測値)
 - ・電源電圧：DC2.5~5V(5V推奨)
 - ・使用オペアンプ：OPA344

- 📖 この商品を友達に教える
- 🌟 お気に入りに追加する

<https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/products/>

Sensitivity

Model	AMI306M	Type DM	Type DH	Unit
Appearance	現在使用			
Appearance				—
Magnetic characteristics				
Measurable Range	± 1,200	± 300	± 2	uT
Saturation Magnetization	± 1,200	± 300	± 40	uT
Sensitivity	600LSB/100 uT	4.0 mV/uT	1,000.0 mV/uT	—
Measurable Frequency	DC to 1K	DC to 10K	0.1 to 1k	Hz(@-3dB)
Output Linearity	≤ 2	≤ 2	≤ 2	%FS
Noise Density	0.2 uT(RMS)	15nT/Hz ^{1/2}	30 pT/Hz ^{1/2}	—

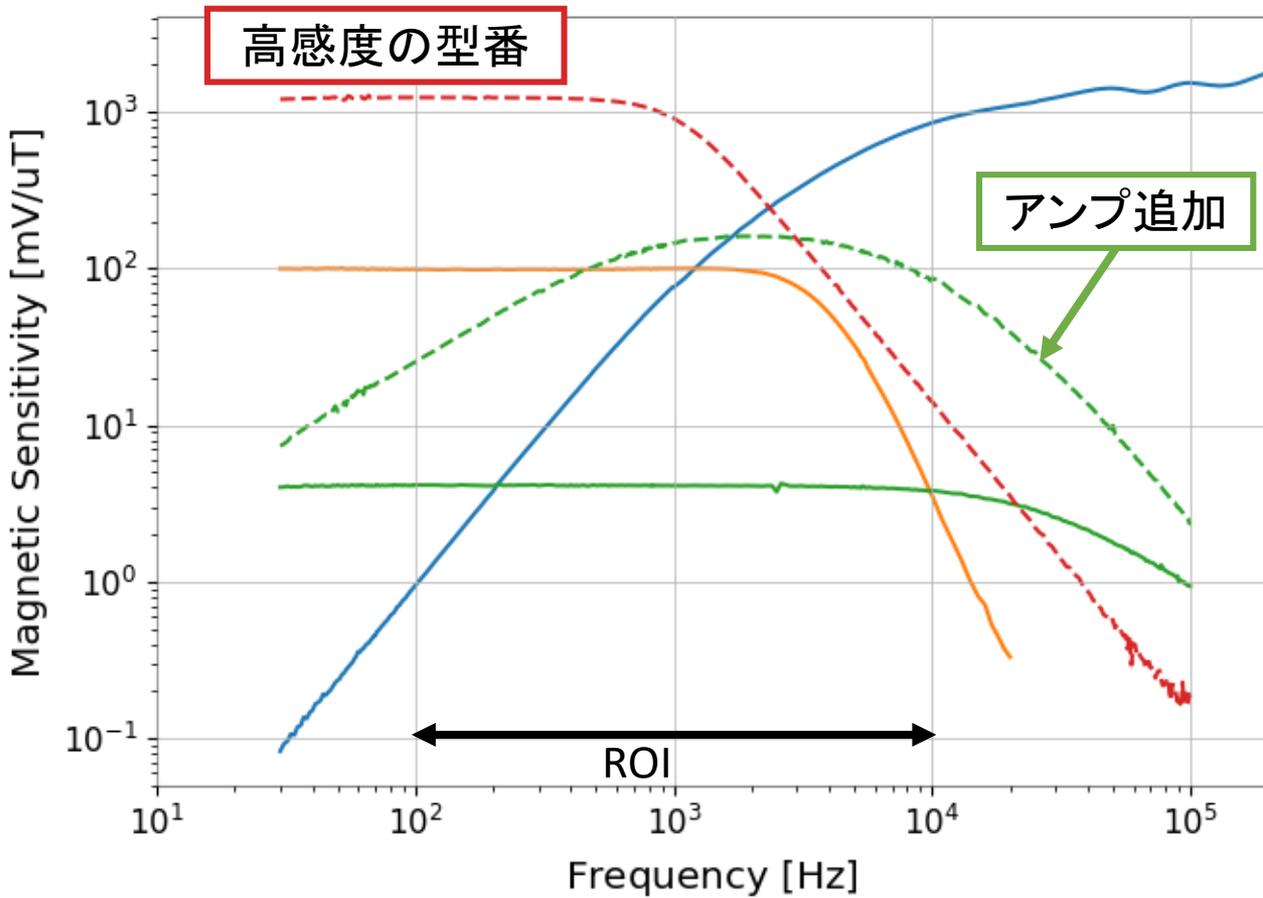
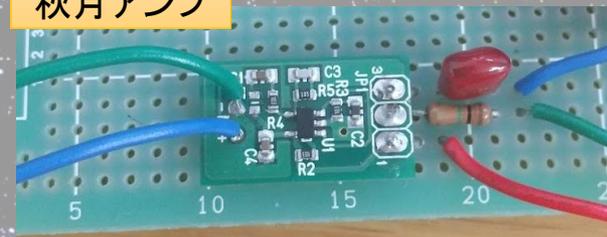
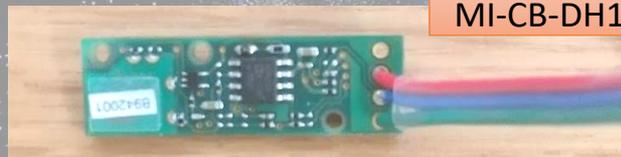
改良版の磁気感度(実測)

秋月アンプ

MI-CB-DM1

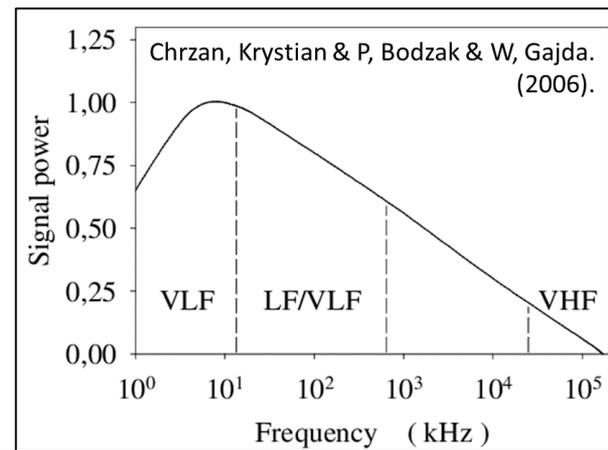


MI-CB-DH1



- Blitzortung
- MAG-13 MCL100
- MI-CB-DM1
- MI-CB-DM1 + Akitsuki AMP
- MI-CB-DH1

[参考] 落雷磁場スペクトル



これから、両者で実際に雷データ取得を行う

地磁気地電流法による伝導度測定

Magnetotellurics (MT)法 : 地中の電気伝導度を測定する手法の一つ。(結構大変)

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \mathbf{Z} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}$$

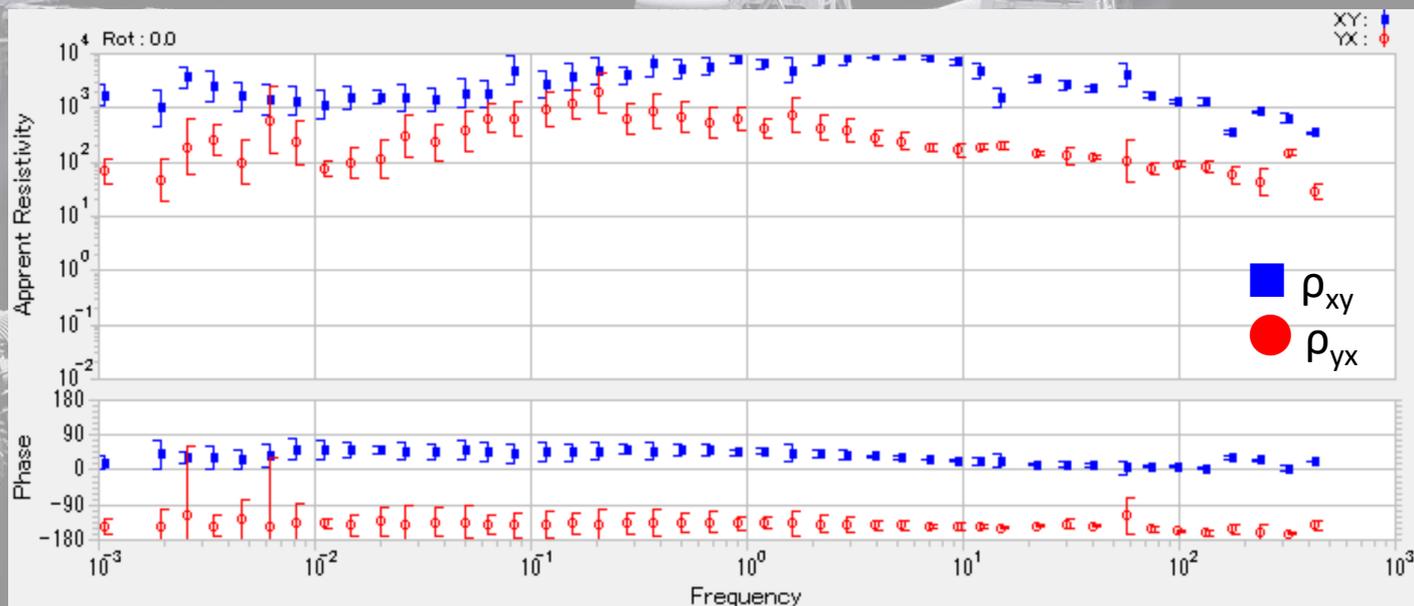
$$\rho_{xy} = \frac{1}{5f} |Z_{xy}|^2$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{5f} |Z_{yx}|^2$$

MT setup



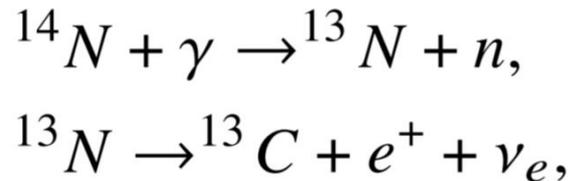
地熱技術開発株式会社の協力のもと、KAGRA坑口近くで測定を行った。



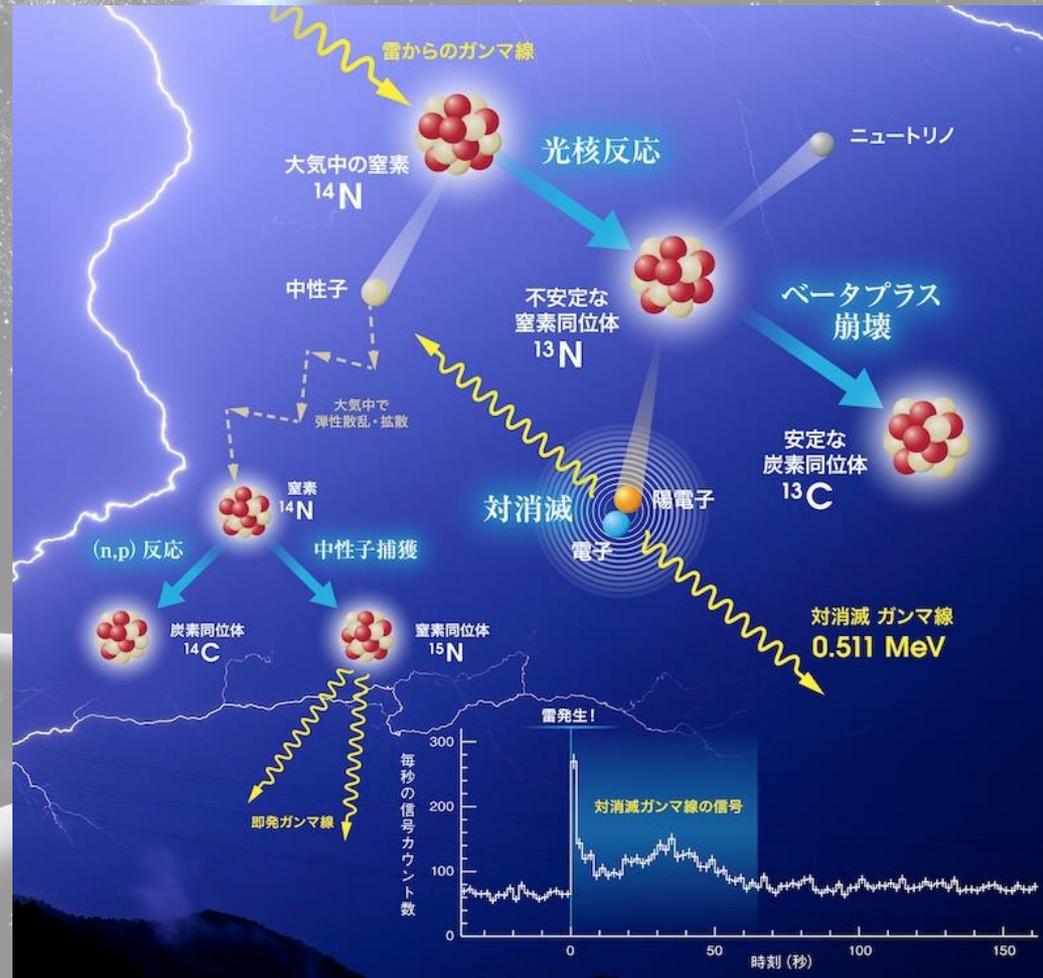
ニュートリノとの同時観測に向けて ^{10/11}

[T.Enoto et al., Nature 551, 481-484 \(2017\) & press release](#)

雷放電の直前に、雷雲から高エネルギーの γ 線が放出されることが知られている



神岡付近で落雷が発生した際、KamLANDやCANDLESとKAGRAで同期したイベントを観測できる可能性アリ
($Q=2\text{MeV}$ なので、SKでは厳しい?)



前段階の研究として、理研・榎戸氏の協力のもと雷雲 γ 線検出器を神岡地上に置いてフラックス評価&磁場との同時観測を行う準備を進めている。(興味のある方はご連絡ください！)

まとめ

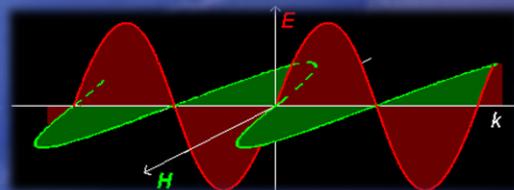
- KAGRAの観測に様々な影響を及ぼす神岡の地下水分量変動を、落雷磁場スペクトルを用いてモニターする。
- 現在使用しているセンサー各種の磁気感度較正を行った。
- 地上磁力計の高感度化を2通り試した。
- 地質調査の手法(MT法)で地中電気伝導度を測定した。
- KAGRAとニュートリノ検出器の同時イベント観測に向け、神岡地上での雷雲 γ 線観測の準備を進めている。

A futuristic space station or orbital facility is depicted in space. The station consists of several large, cylindrical modules connected by long, thin tubes. The modules have various mechanical details, including pipes, valves, and structural supports. The station is set against a backdrop of a starry night sky with a prominent, bright blue star in the upper center. The word "Backup" is overlaid in the center of the image in a large, white, sans-serif font. The overall scene is rendered in a dark, monochromatic style with blue and white highlights.

Backup

Thunder cloud
「雷雲」

Light → "Lightning"
「雷光・雷明」



Discharging
↓
"Lightning stroke"
「落雷・雷放電」



Sound → "Thunder"
「雷轟」

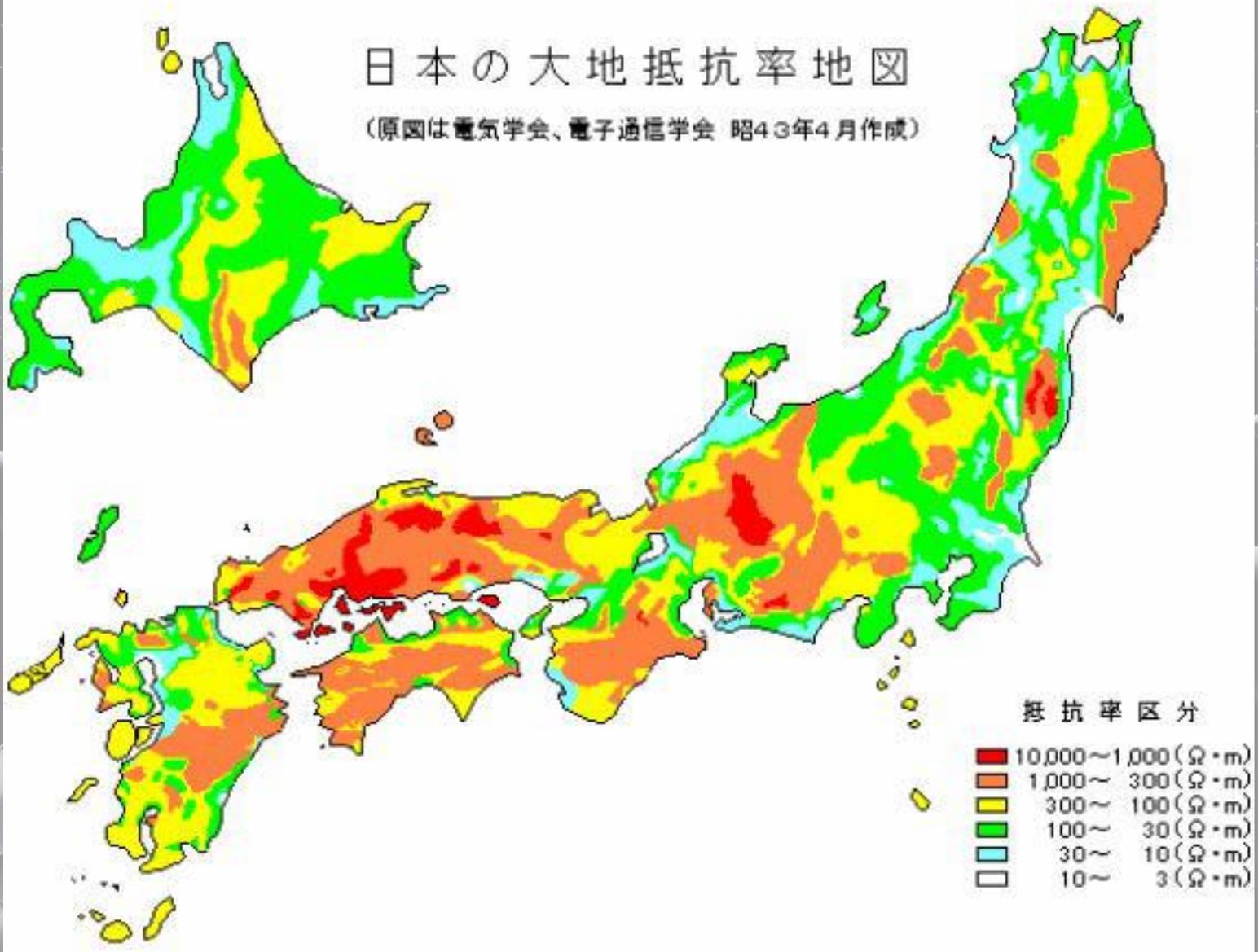
Hitting → Lightning strike
「雷擊」

Thunderbolt →



日本の大地抵抗率地図

(原図は電気学会、電子通信学会 昭43年4月作成)



Bartington MAG-13MCL100

<https://www.rockgateco.com/product/mag-13/>



Mag-13[®] Specifications

Performance

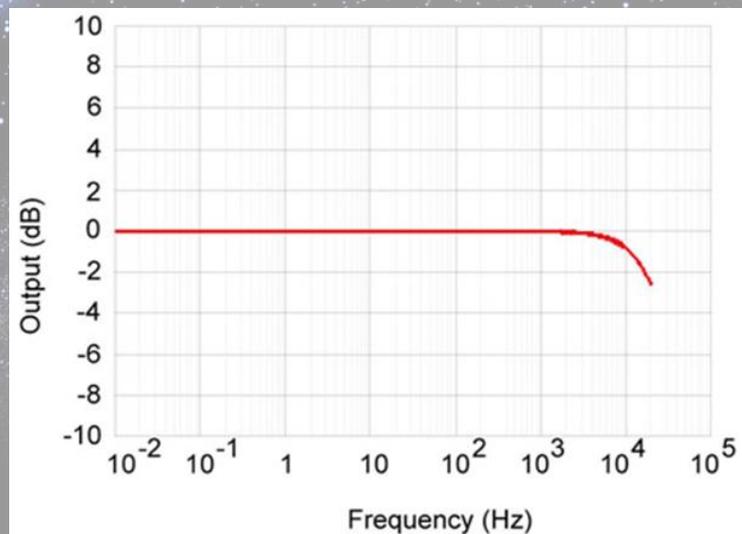
Number of axes	Three
Polarity	+ve non-inverting output when pointing North
Bandwidth (-3dB)	>3kHz (-11dB/octave roll-off)
Measurement noise floor: Standard <u>L (low)</u> Q (very low) Z (ultra low)	6 to ≤ 10 pTrms/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1Hz <u><6 pTrms/$\sqrt{\text{Hz}}$ at 1Hz (60, 70 and 100 μT range only)</u> <5 pTrms/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1Hz (60, 70 and 100 μT range only) <4 pTrms/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1Hz (60, 70 and 100 μT range only)

Scaling Dependent Performance Parameters

Measuring range (μT)	± 60	± 70	<u>± 100</u>	± 250	± 500	± 1000
Scaling (mV/ μT)	166	143	<u>100</u>	40	20	10

AICHI STEEL MI-CB-DM1

<https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/products/type-dm.html>

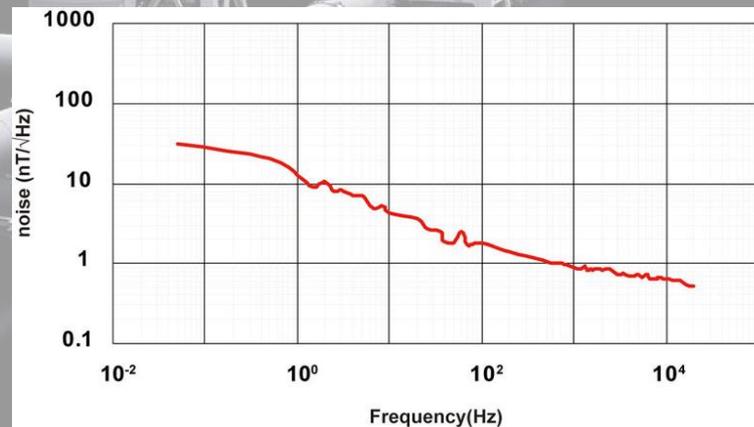


■仕様

条件：電源電圧+5.0V 1MHz動作 +25°C

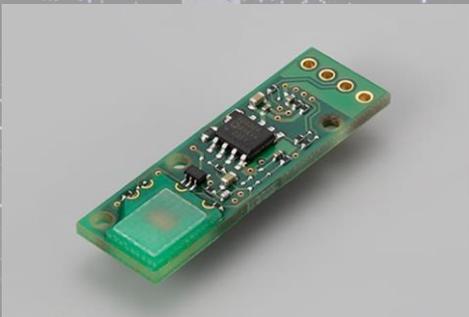
項目	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
動作範囲	—	—	±300	—	μT
直線性	FS=± 300mT	—	0.2	2.0	%・FS
原点電圧	0mT	2.0	2.5	3.0	V
磁気感度	—	3.0	4.0	5.0	mV/μT
周波数応答	—	DC~10k			Hz
ノイズ	0.1~10Hz	—	200	—	nTp-p
	@1Hz	—	15	—	nT/√Hz

μT：マイクロテスラ = 10ミリガウス

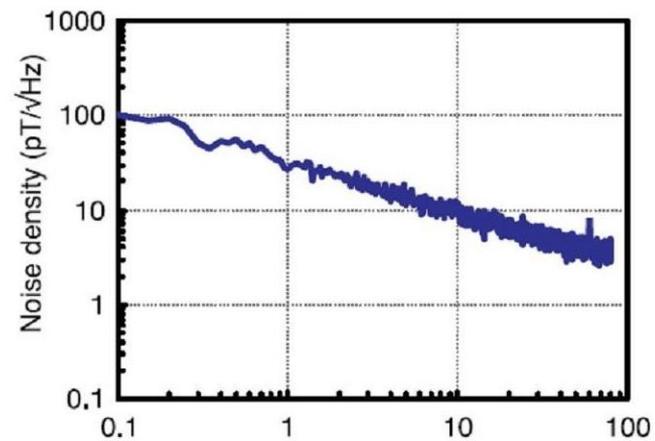


AICHI STEEL MI-CB-DH1

<https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/products/type-dh.html>



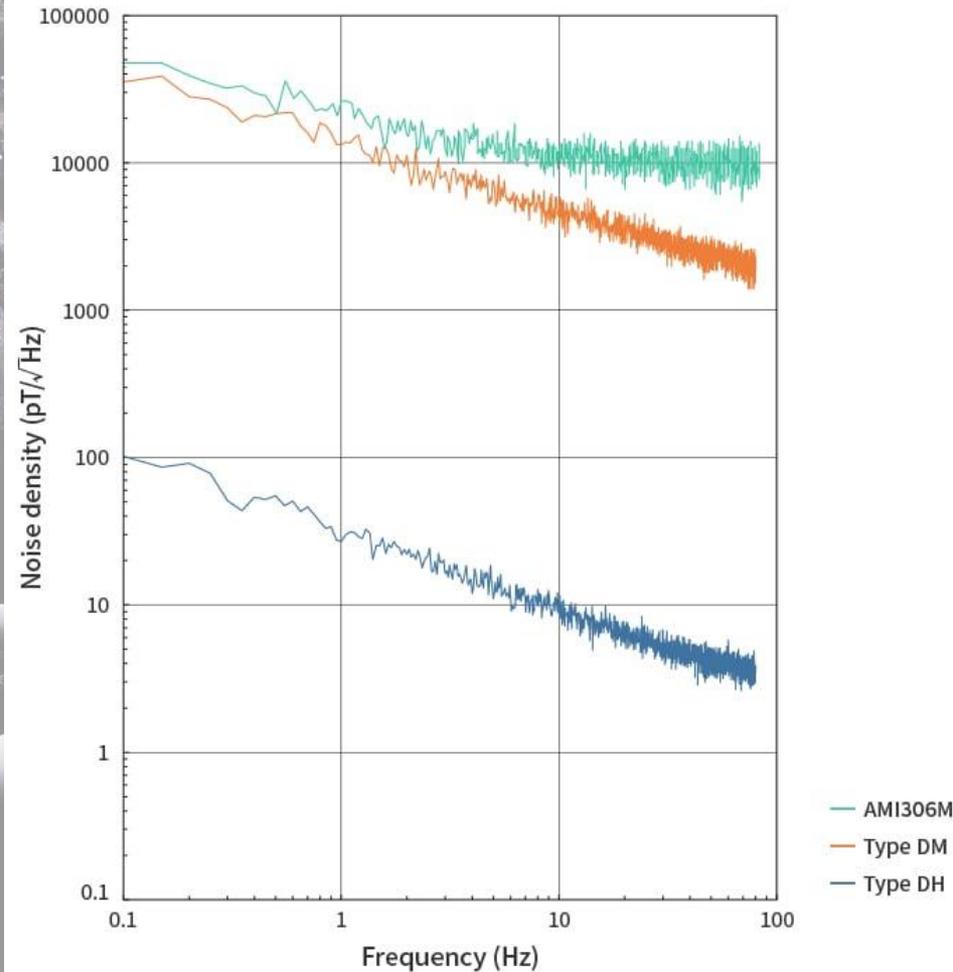
型番	MI-CB-1DH
電源電圧	5.0V (Typ.)
磁気変動検出範囲	4.0 μTpp (at $\pm 40 \mu\text{T}$ DC field)
感度	1V/ μT
周波数応答	0.1Hz to 1kHz @ -3dB
出力直線性	Less than 2%FS
ノイズ	200pT/ 1σ (1Hz to 1kHz)
基板サイズ	35mm \times 11mm
動作電流	single type 15mA; multi type 6mA



AICHI STEEL MI-sensor

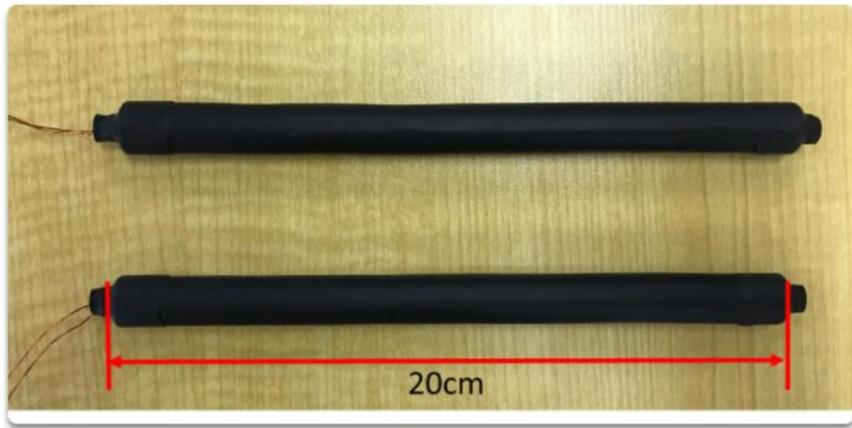
Sensitivity

Model	AMI306M	Type DM	Type DH	Unit
Appearance				
Appearance				—
Size	2.2×2.0×1.0	10.4×31.5×4.6	11×35×4.6	mm
Interface	I2C	Analog Output	Analog Output	—
Axis	3	1	1	Axis
Supply Voltage	1.7 to 3.6	+5	+5	V
Operation Temperature	-20 to 85	TBD	-20 to 60	°C
Current Consumption	0.15 (@20sps)	Single (S) : 16 Multi (M) : 8	Single (S) : 6 Multi (M) : 6	mA
Output Range	N/A	TBD	0.5 to 4.5	V
Magnetic characteristics				
Measurable Range	± 1,200	± 300	± 2	uT
Saturation Magnetization	± 1,200	± 300	± 40	uT
Sensitivity	600LSB/100 uT	4.0 mV/uT	1,000.0 mV/uT	—
Measurable Frequency	DC to 1K	DC to 10K	0.1 to 1k	Hz(@-3dB)
Output Linearity	≤ 2	≤ 2	≤ 2	%FS
Noise Density	0.2 uT(RMS)	15nT/Hz ^{1/2}	30 pT/Hz ^{1/2}	—

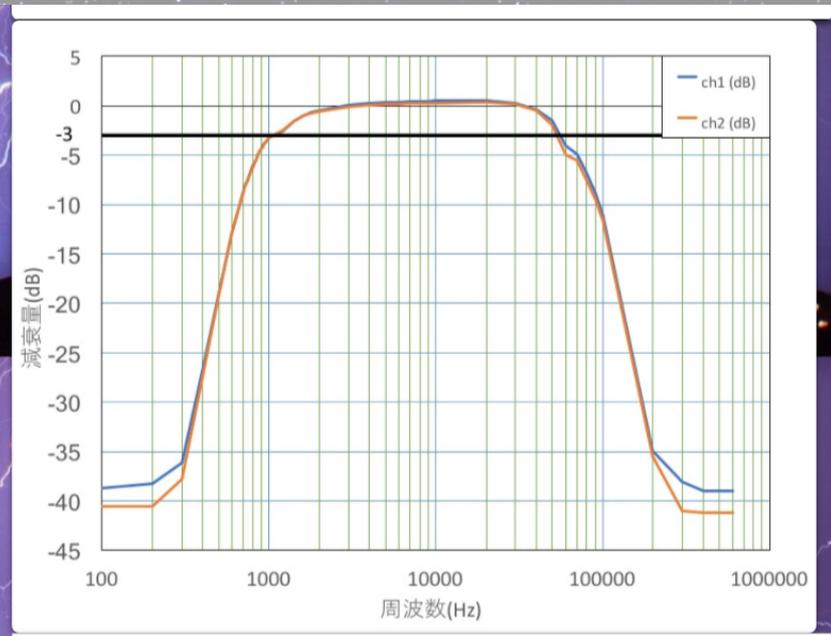


Blitzortung system blue H-antenna

<http://www.5656jp.com/result3.html>



長さ20cmのフェライトアンテナ



磁界アンプです。

周波数特性は、1-50kHz