

磁気インピーダンスセンサーの 地磁気観測への応用

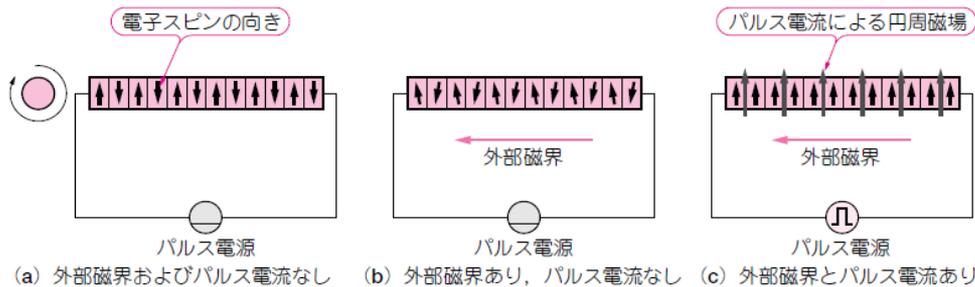
能勢正仁

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

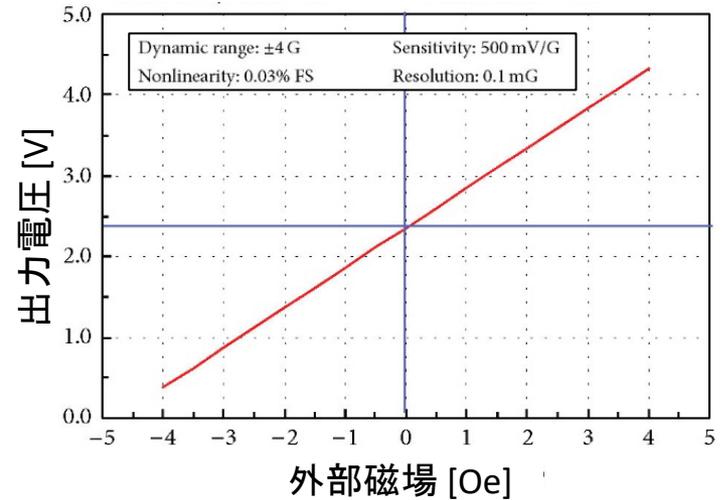
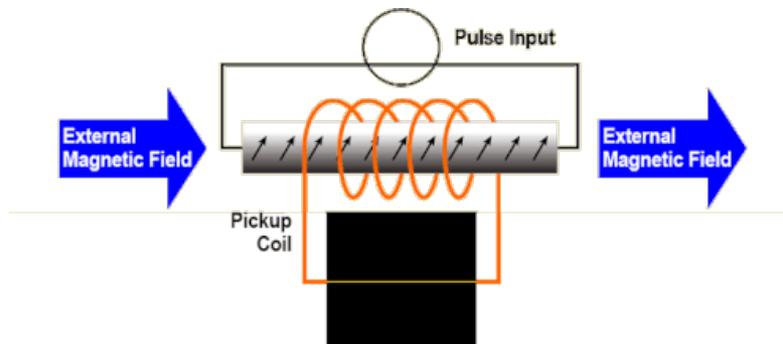
謝辞: 野村大志、前田大輝、市原寛、河野剛健、青山均、浅利晴紀、
平原秀行、長町信吾、海東恵美、国土地理院、熊本篤志、石田祐宣、
足立匠、山本優佳

磁気インピーダンスセンサーの原理

- アモルファス磁性金属ワイヤでは、電子スピン(磁気モーメント)が周回方向に並んだ特殊な磁区構造をしている。
- ワイヤーにピックアップコイルを巻き、そこに誘起される電圧を計測する。
- 外部磁場で傾いていた電子スピンの向きが、表面を流れるパルス電流で揃えられる。その時の磁場変動により、ピックアップコイルに誘導電圧が生じる。



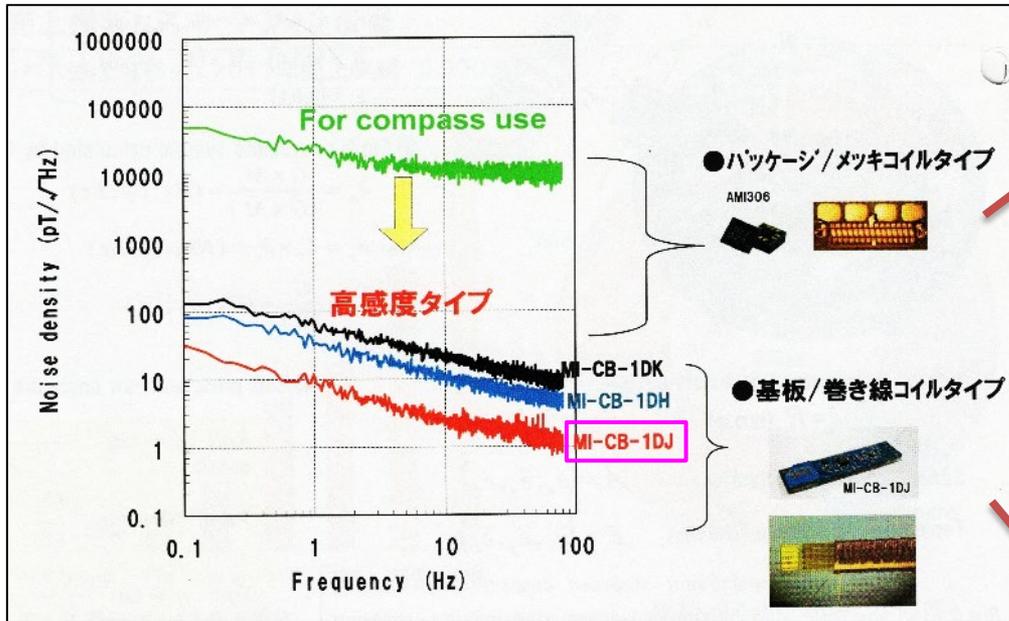
本蔵他 [2003, トランジスタ技術]



Mohri et al. [2015, J. Sensors]

商品化されたMIセンサー

- 電子コンパスの用途で、電子部品パッケージとして商品化されている。
- プリント基板上に巻き線コイルなどを配置して、高感度化したものもある。



アイチマイクロインテリジェント社資料より

3軸電子コンパス AMI306

◆ 構造

2.04×2.04×1 mm

図16 外観

図17 内部構造

◆ ブロック図

図18 ブロック図

MIセンサー素子 (XY)

© AI CHI STEEL CORPORATION 13

センサの構成

(1) アモルファスワイヤ

human hair 150 μm
amorphous wire 20 μm

(2) 巻き線タイプMI素子

13.5×55.5mm

(3) 電気回路
・ACカップリングで地磁気をキャンセル

band pass filter

図20 ナノテラセンサの構成

© AI CHI STEEL CORPORATION 17

高レンジ化されたMIセンサー

- ベースとなるセンサー・・・愛知製鋼製MI-CB-1DJ
- 元々の製品はAC結合が含まれているので、それを取り外す処置。
- 元々のレンジは ± 1000 nTなので、それを50倍に高レンジ化(± 50000 nT)する処置。
(出力電圧を、0-15 Vから ± 15 Vに変更)



Appearance
Size: 10.5x3.0x2.0mm

Nano Tesla Sensor
MI-CB-1DJ

Detector: 1/50,000 weak magnetic variation of geomagnetism
Noise: 100pT/1 σ (0.1Hz~10kHz)

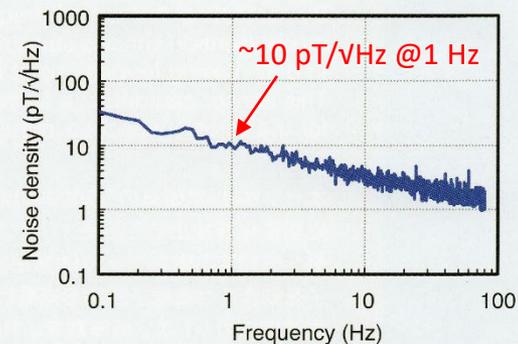
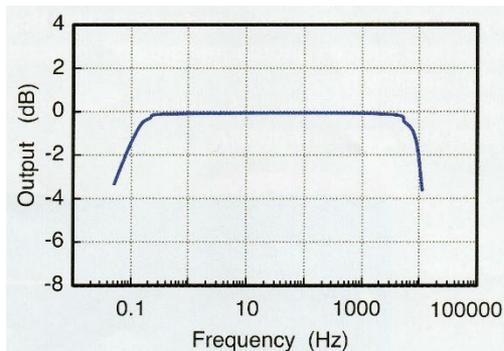
NEW IDEA
(Pulani Powering)

Nano tesla sensor can detect weak magnetic field variation with a noise level of 1 nano tesla (1/50,000 of geomagnetism). This sensor consists of the one way detecting magnetic head (MI element) and the electric circuit operating that MI element.
By restricting the cut-off frequency on the low frequency side to 0.1Hz, this model (sensor) can only detect static magnetic field such as geomagnetism and respond to only moving ferrous object with high sensitivity.
This sensor can detect a ferrous particle with 1/30 mm size, and has been used for the safety inspection in the food and apparel industry.

本センサーは、地磁気の1/50000のnTオーダーの磁界変化を検出できるセンサーです。1方向の磁界を検出する磁気ヘッド(MI素子)と、そのMI素子を動作させる電子回路を搭載しています。低周波側のカットオフ周波数を0.1Hzにすることにより、地磁界などの静磁界において、移動体が検出する磁界変化を高感度で検出します。本センサーは0.1mmオーダーの鉄系金属の検出が可能です。食品、アパレル製品や紡織品の工業製品の鉄系異物検出として活用されています。

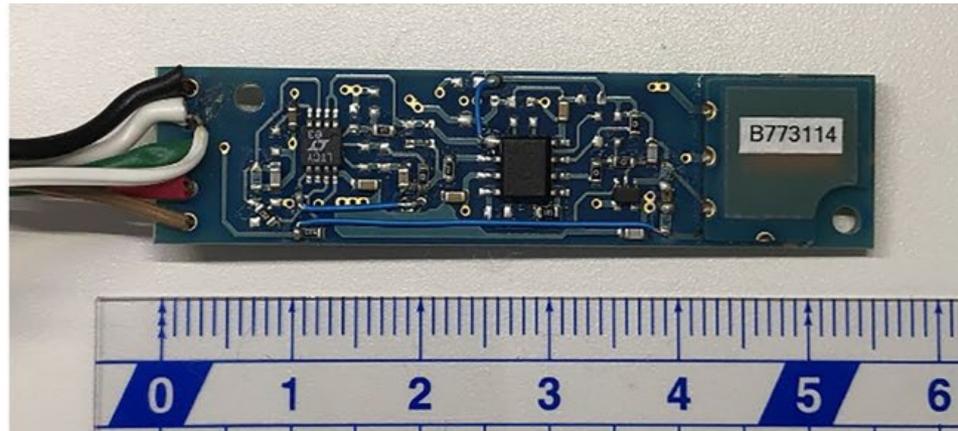
Applied field: +/- 1 nT, 1Hz.
Time: 4 sec
Test in the magnetic shielding box.

| Item | Spec. |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Detecting range of magnetic change 磁気変動検出範囲 | 2.0 μ Tpp (at +/- 30 μ T DC field) |
| Sensitivity 感度 | 5 V/ μ T |
| Frequency response 周波数応答 | 0.1Hz to 10kHz @-3dB |
| Output linearity 出力直線性 | Less than 2 %FS |
| Noise ノイズ | 100pT/1 σ (0.1Hz to 10kHz) |



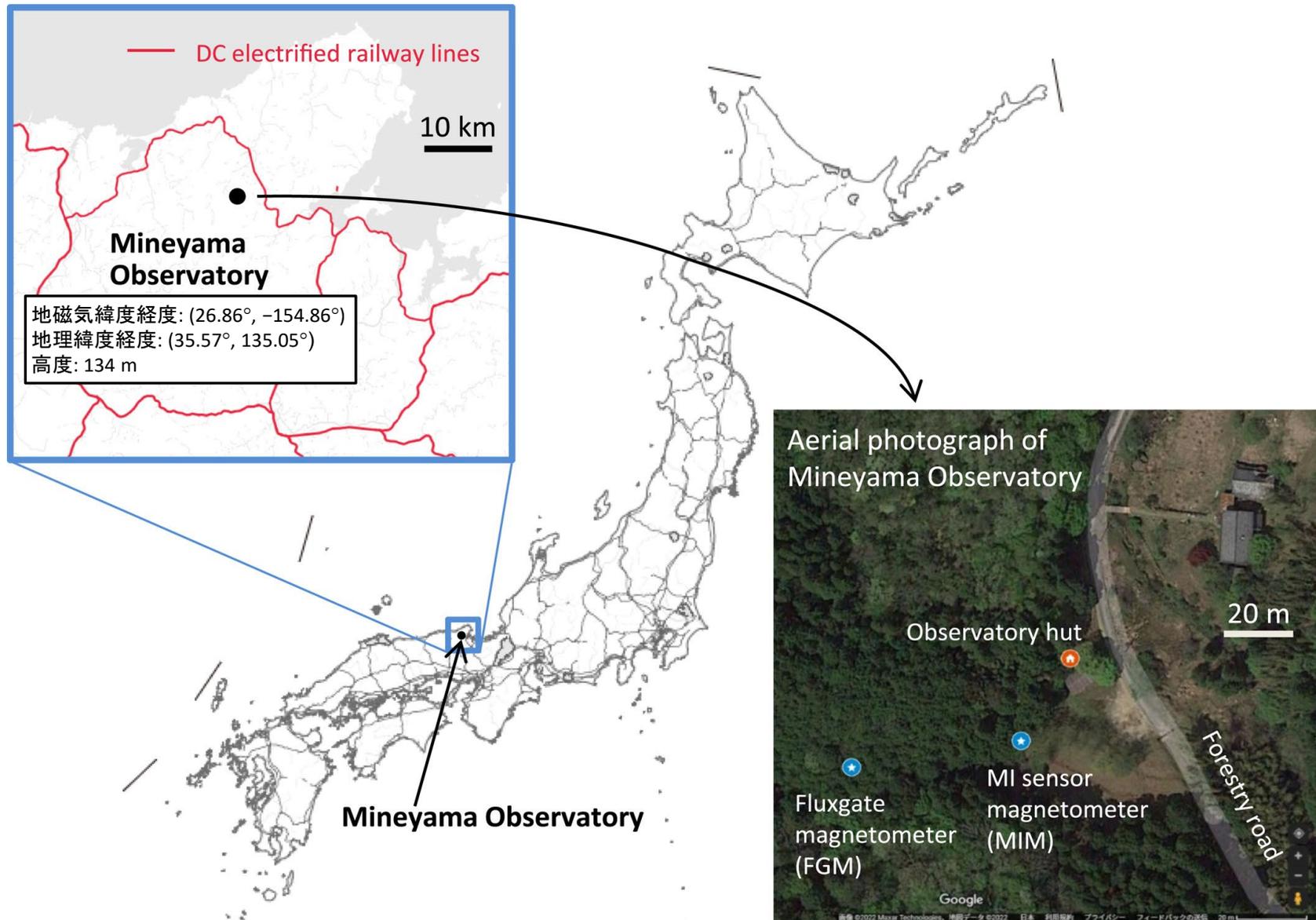
高レンジ化されたMIセンサーによる計測実験

- 高レンジ化されたセンサー(MI-CB-1DJ-MF)を購入(1軸4万円×3本=12万円)して、フィールドでテスト計測を行うことにした。



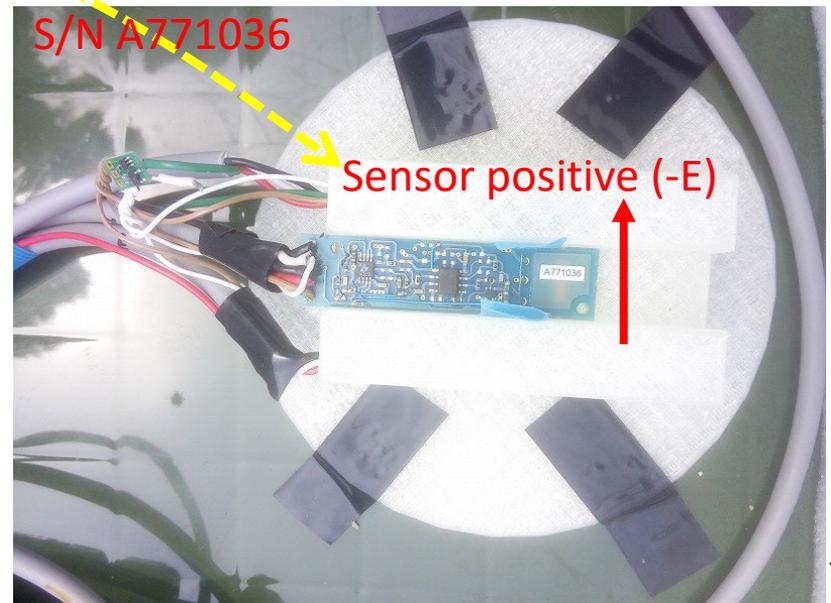
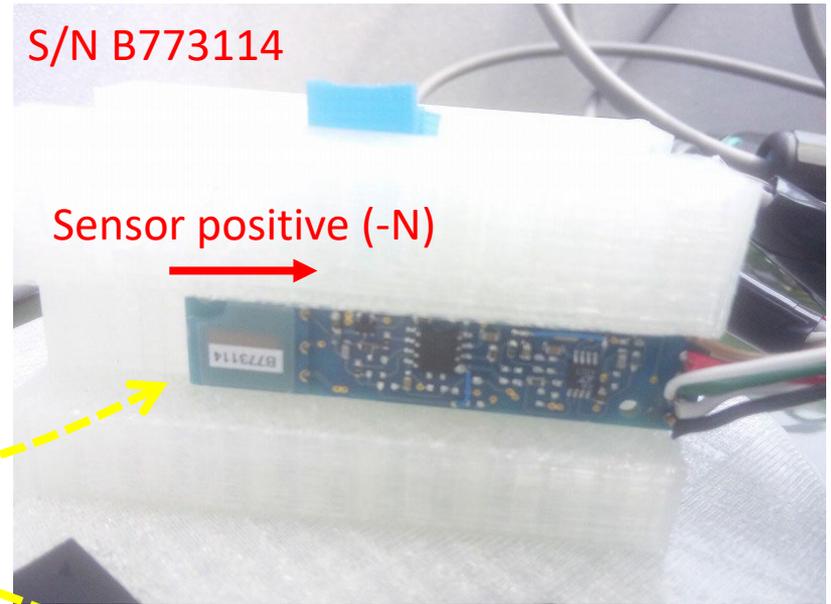
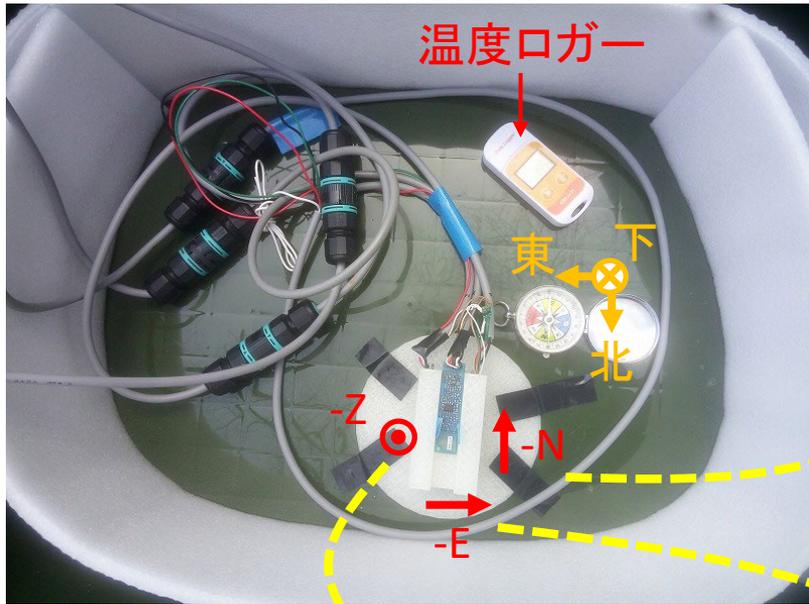
- ロガー + A/Dコンバーター
 - MinGeo製 MagRec-4B+ObsDaq(24 bit)
(<http://www.mingeo.com/prod-magrec4b.html>)
 - 128 Hzでデータ取得。
 - ADCの入力範囲が ± 10 Vなので、それを超えると飽和する?
- データ
 - 2018年3月30日から2018年4月27日まで計測。
 - 平均して作成した1 Hzデータをプロット。

峰山観測所



センサーの状況

- 3Dプリンターで治具を作成し、センサーを簡易に固定している。



設置の状況 (1)



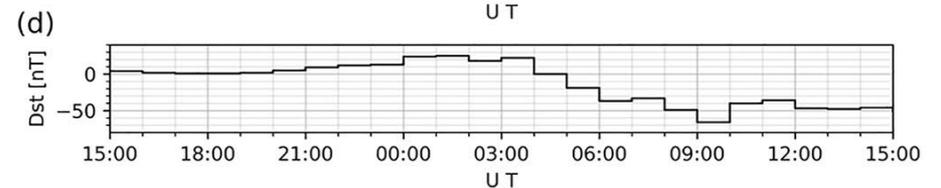
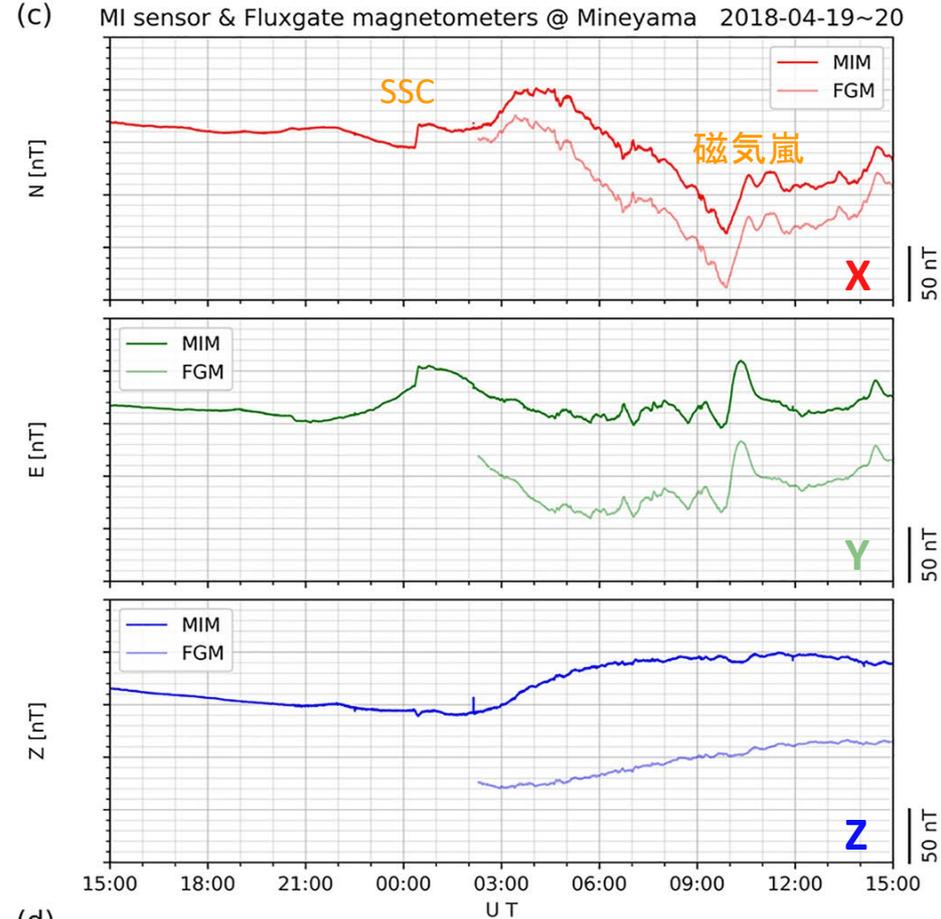
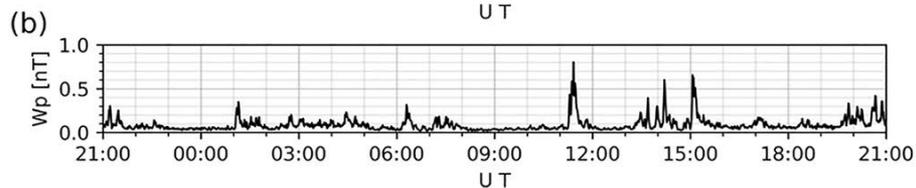
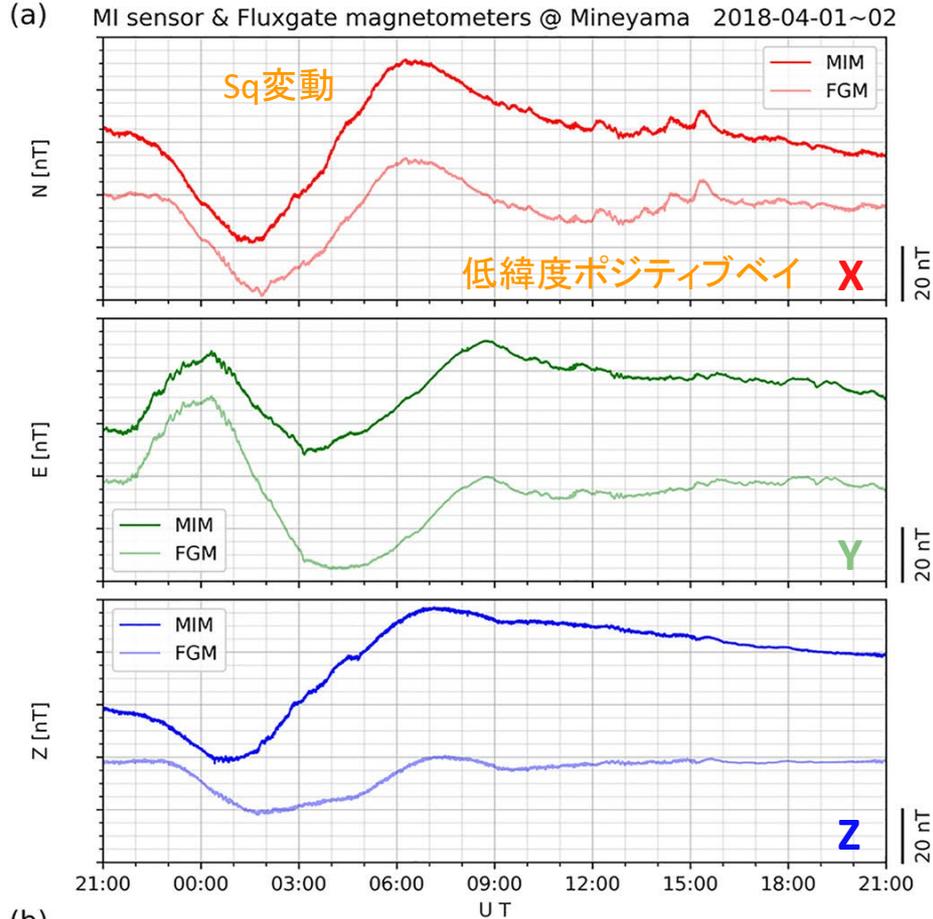
設置の状況 (2)



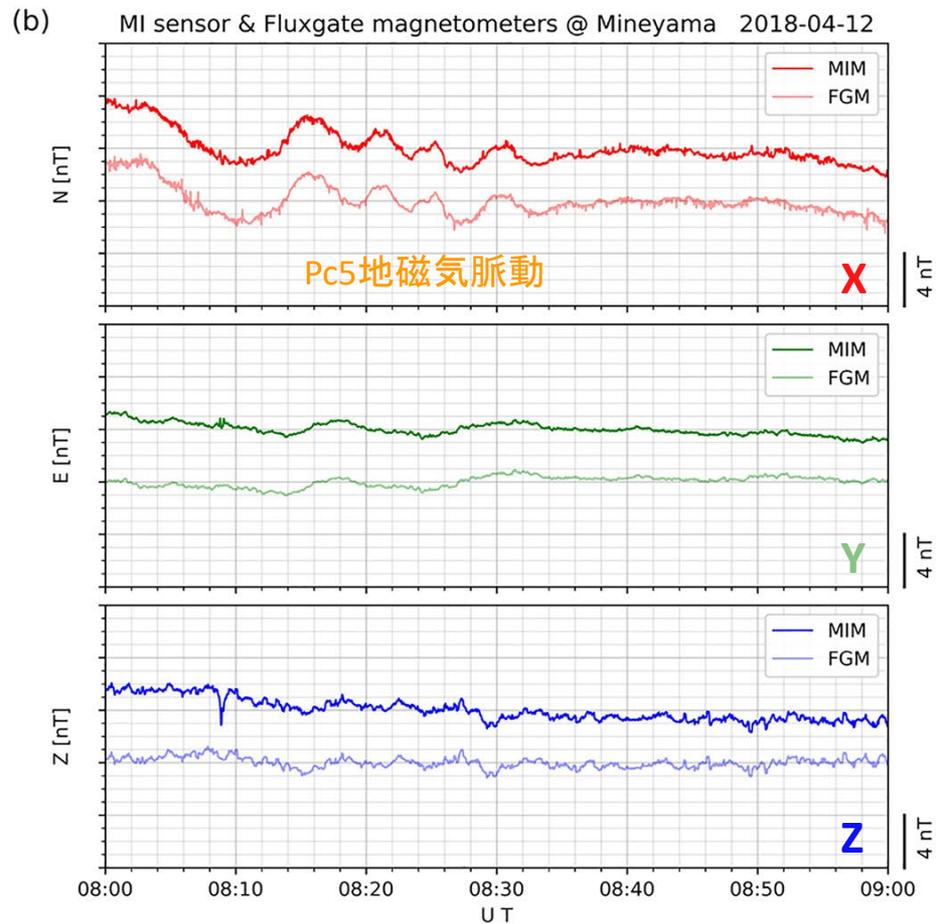
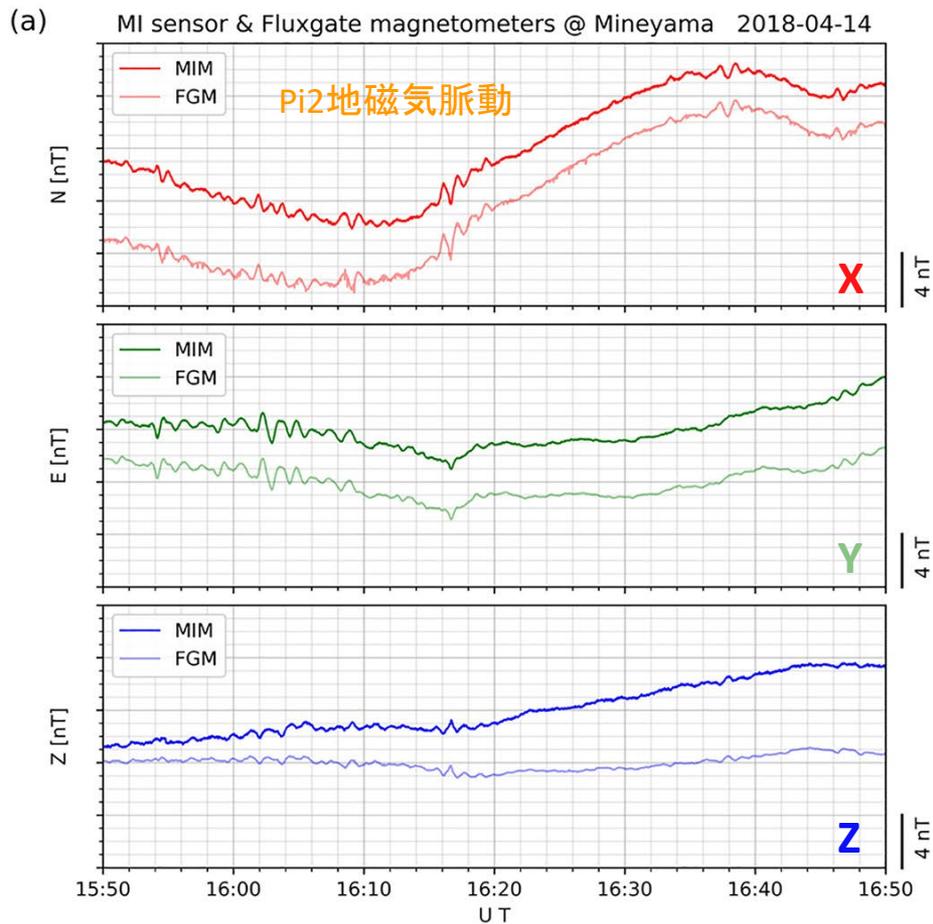
MIセンサーとFluxgate磁力計の比較 (1日プロット)

静穏時

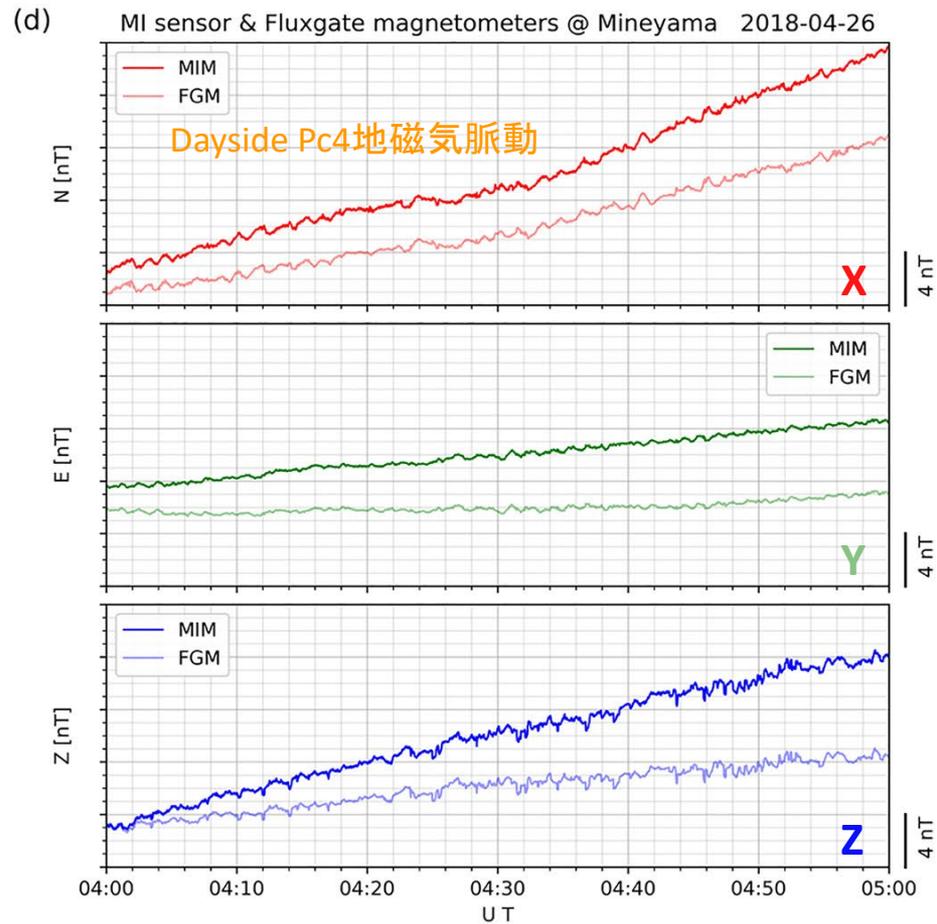
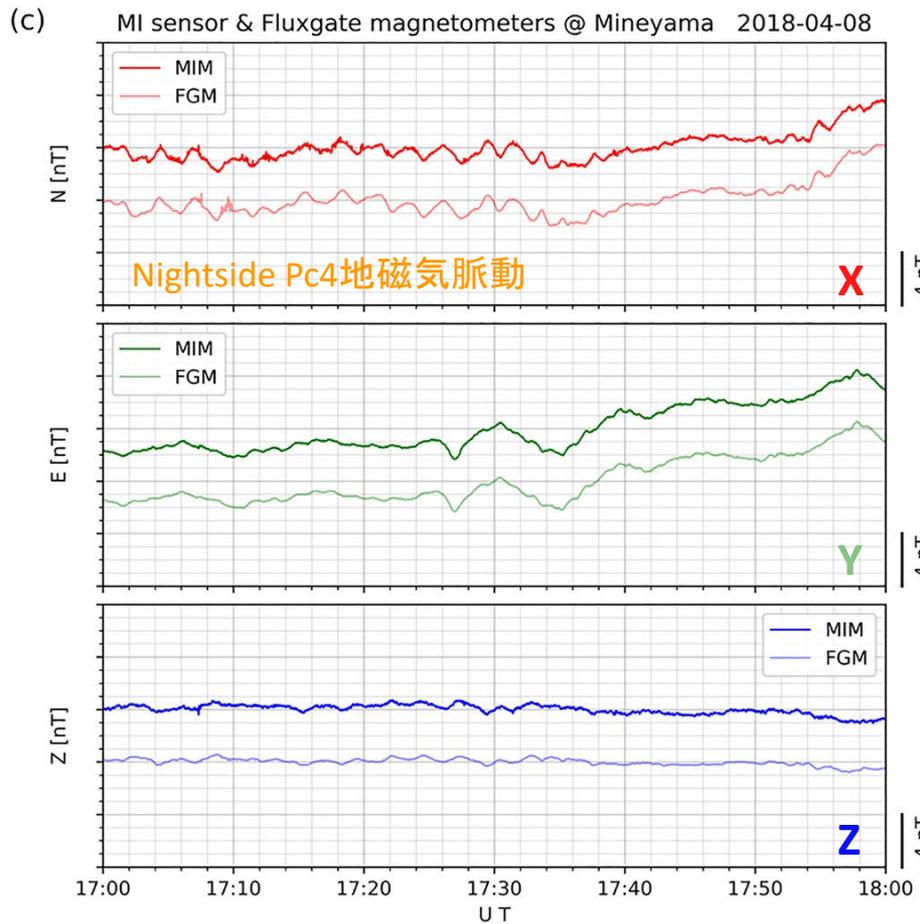
擾乱時



MIセンサーとFluxgate磁力計の比較 (1時間プロット)

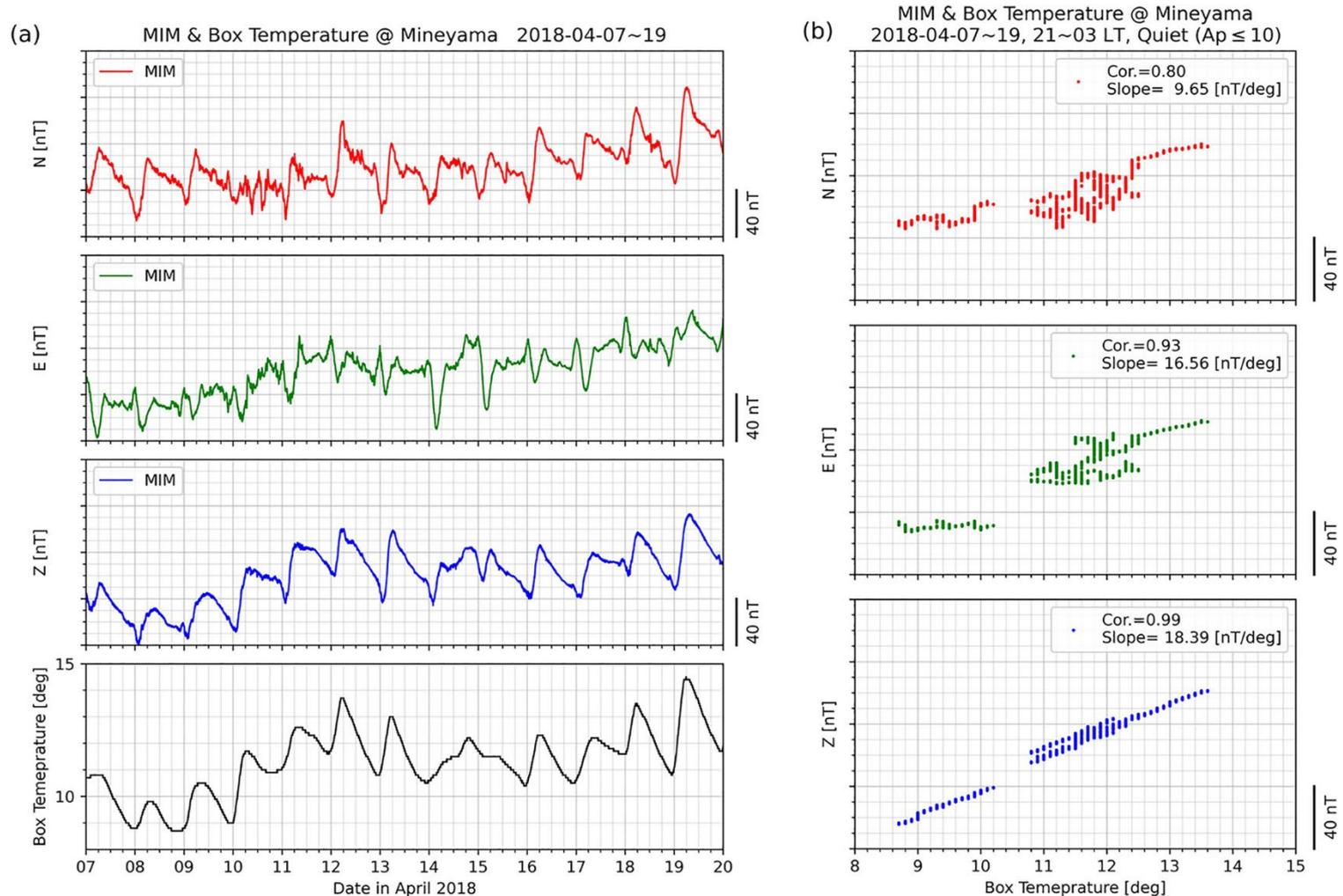


MIセンサーとFluxgate磁力計の比較 (1時間プロット)



温度ドリフト

- どの軸も温度との相関がある。特にE, Z軸については、相関係数が0.9以上と高い。
- 温度係数は、N軸: 9.65 nT/deg, E軸: 16.56 nT/deg, Z軸: 18.39 nT/deg
- フラックスゲート磁力計の温度係数(数nT/deg)に較べてかなり大きい。



Nosé, M., T. Kawano, and H. Aoyama, Application of magneto-impedance (MI) sensor to geomagnetic field measurements, Journal of Geophysical Research, 127, doi:10.1029/2022JA030809, 2022.

JGR Space Physics

Research Article

Application of magneto-impedance (MI) sensor to geomagnetic field measurements

Masahito Nosé✉, Takeshi Kawano, Hitoshi Aoyama

First published: 14 October 2022 | <https://doi.org/10.1029/2022JA030809>

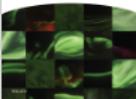
This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process, which may lead to differences between this version and the Version of Record. Please cite this article as doi: 10.1029/2022JA030809

PDF TOOLS SHARE

Abstract

The magneto-impedance (MI) effect was discovered about 30 years ago and a micro-size magnetic sensor utilizing this effect has become commercially available. We make some modifications to the commercially available MI sensors to cover the dynamic range of the geomagnetic field. The total cost of three MI sensors for the two horizontal and one vertical components including the modification is approximately 1/3 of the standard price of triaxial fluxgate magnetometer sensors. For the period of March 30 to April 27, 2018, we conducted experimental observations of geomagnetic field variations with the MI sensor magnetometer (MIM) at the Mineyama observatory, which is located about 100 km north-west of Kyoto, Japan. Data obtained with the MIM are compared with those from the fluxgate magnetometer (FGM) that has been working at the observatory. Results show that the MIM can record geomagnetic field variations such as geomagnetic storm, solar quiet (Sq) variations, low-latitude positive bays, storm sudden commencement (SSC), and long-period geomagnetic pulsations with a peak-to-peak amplitude of ≤ 1 nT that are also detected with the FGM. Power spectra of the geomagnetic field variations measured with the MIM and FGM are almost the same. It is found that the MIM has a larger temperature drift than the FGM. The present study reveals that the MIM is comparable to the FGM in measuring the geomagnetic field variations in a period from a few tens of seconds to a few hours, and is useful for researches in upper atmospheric physics or space physics.

ADDITIONAL INFORMATION
JGR Space Physics



Accepted Articles
Accepted, unedited articles published online and citable. The final edited and typeset version of record will appear in the future.
e2022JA030809

Advertisement

Register and book housing for #AGU22

Early bird rates expire 2 November

REGISTER TODAY!

AGU FALL MEETING | **SCIENCE LEADS THE FUTURE**

Related Information

Recommended

[Penetration of magnetospheric electric fields to the equator during a geomagnetic storm](#)

Takashi Kikuchi, Kumiko K. Hashimoto, Kenro Nozaki

Journal of Geophysical Research: Space Physics

[Comment on "Westward electric field penetration to the dayside equatorial ionosphere during the main phase of the geomagnetic storm on 22 July 2009" by V.](#)

MIセンサーを用いた将来展開

- MI-CB-1DJをベースとして、以下の改良を加えた。→ Z-MI-CB-1DJ (10万円/1軸)
 - 観測レンジを $\pm 80,000$ nTへ拡大、パルス生成器: 基板上
- MIセンサーを用いて、次の2つの将来展開を考えている。
 - 科学ロケットでの実証実験後、超小型衛星などへの搭載。
 - 廉価であることを活かして、稠密磁場観測ネットワークを構築。

MI sensor

(1)

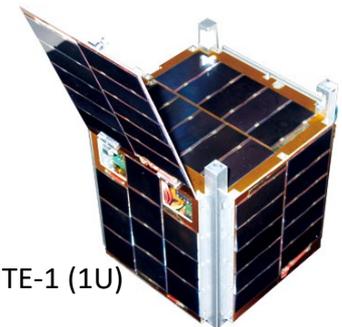


Sounding rocket



https://www.isas.jaxa.jp/en/missions/sounding_rockets/

Microsatellite



CUTE-1 (1U)

<https://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2011/matsunaga/>



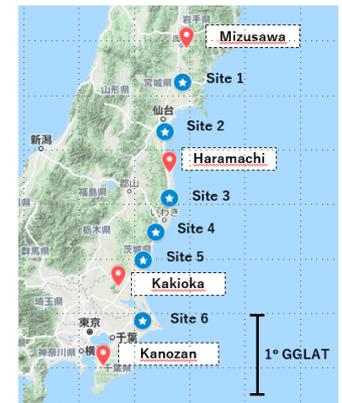
(2)



MIM-Pi
(MI sensor Magnetometer with Raspberry Pi)



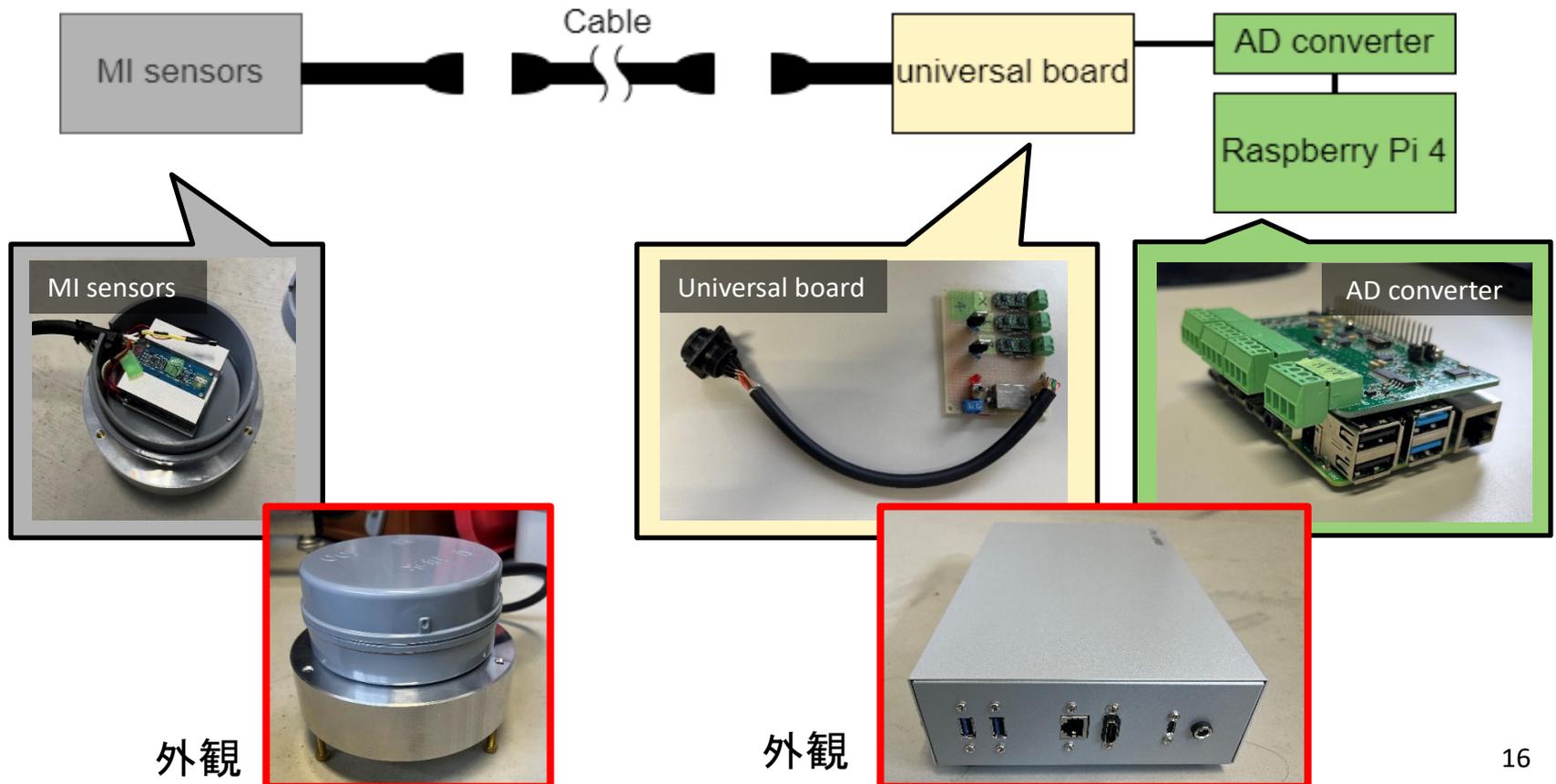
DASI
(Distributed Array of Small Instrument)



MIM-Piの開発

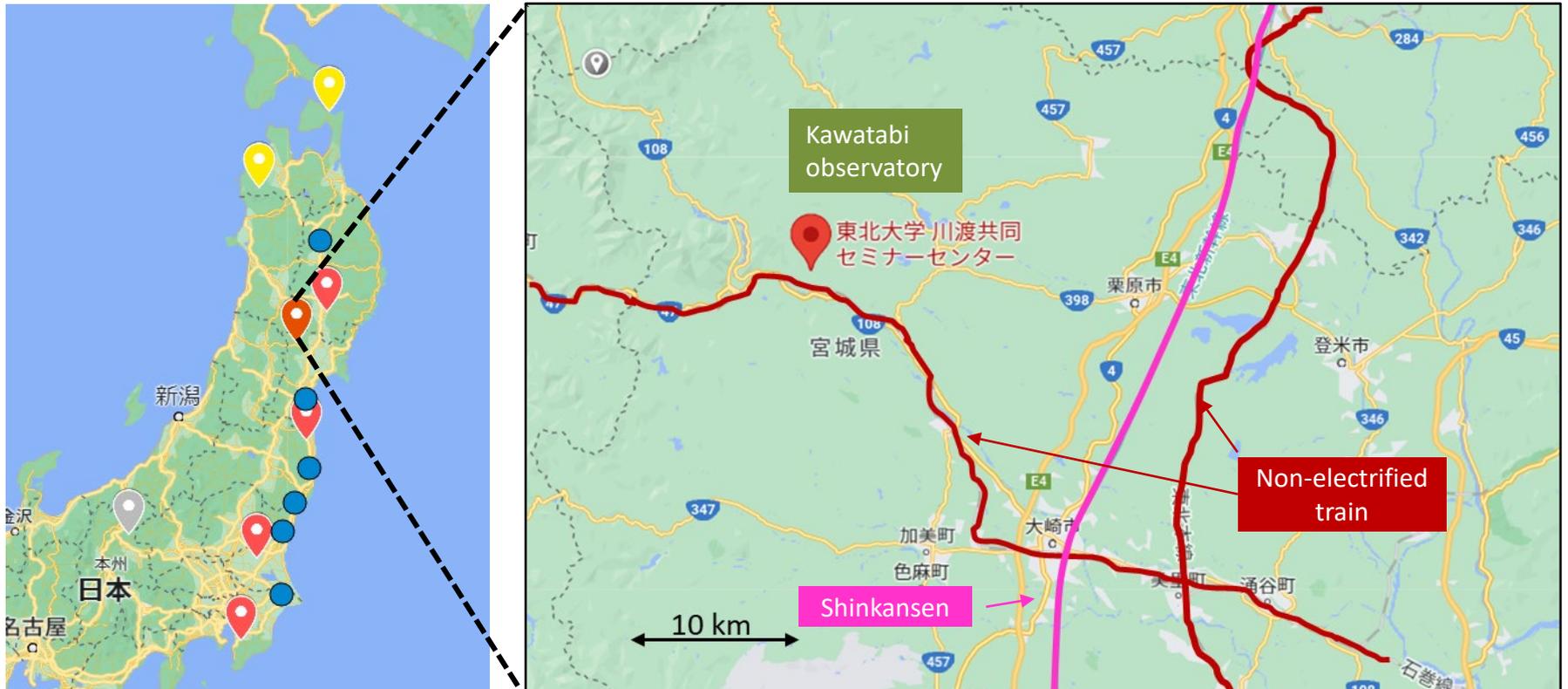
Magneto-impedance magnetometer using Raspberry Pi (MIM-Pi)

- 観測レンジ ± 80000 nT
- A/D変換器 ADPi (AD7794、分解能 24 bit、サンプリング周波数 33 Hz)
- ノイズレベル 7-20 pT/√Hz @1 Hz (カタログ値)
- 費用 約36.6万円



川渡観測所への設置

- 関東-東北地方への稠密磁場観測ネットワーク構築の第一歩として、2022年9月に、川渡観測所へMIM-Pi (1号機)を設置した。
- 東北大学の惑星電波観測施設。
- 地磁気座標: (30.64°, 210.04°)

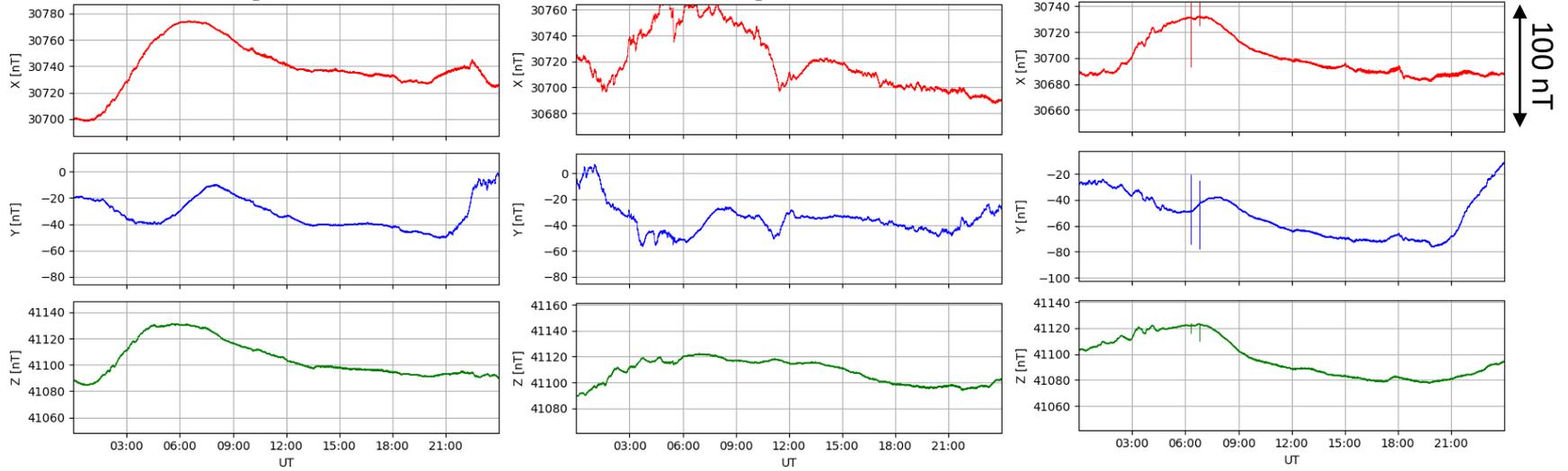


MIM-Pi観測データ (1日プロット) @ 川渡観測所

September 26, 2022

September 27, 2022

September 28, 2022



MIM-Pi (川渡)

00:00

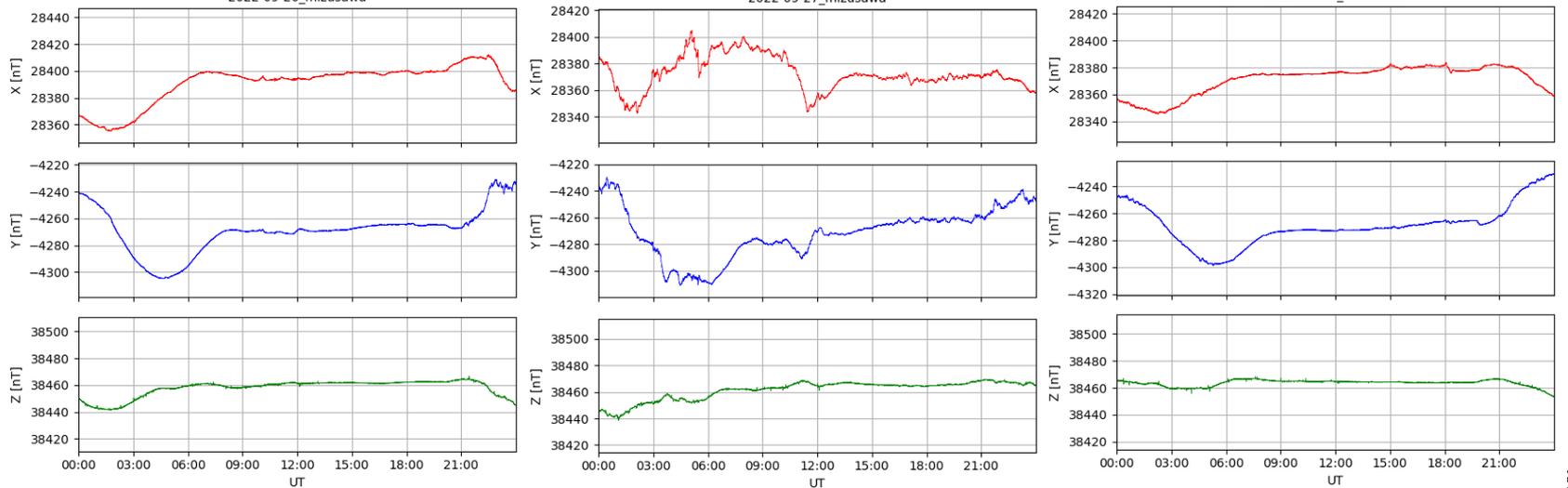
2022-09-26_mizusawa

00:00

2022-09-27_mizusawa

00:00

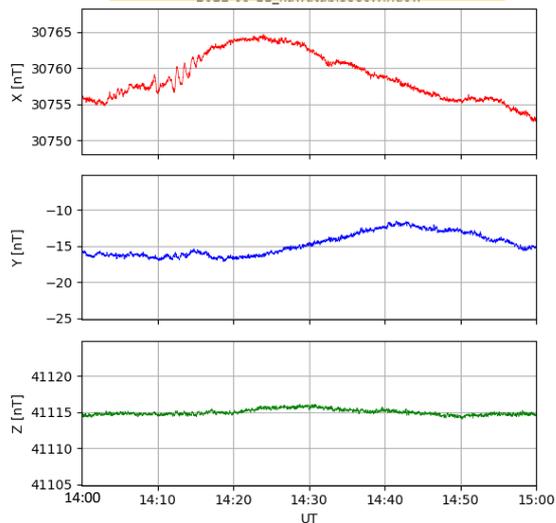
2022-09-28_mizusawa



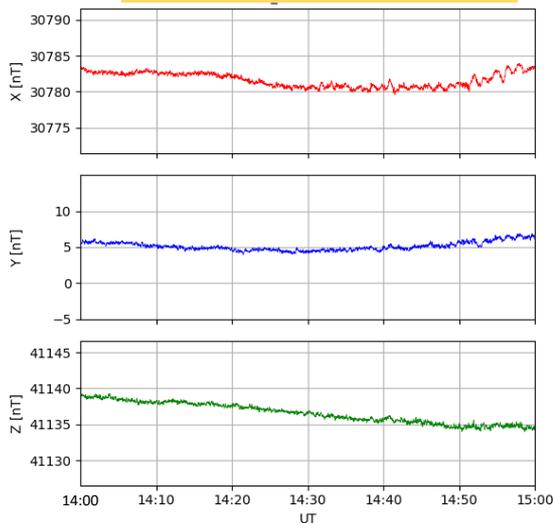
FGM (水沢)

MIM-Pi観測データ (1時間プロット) @ 川渡観測所

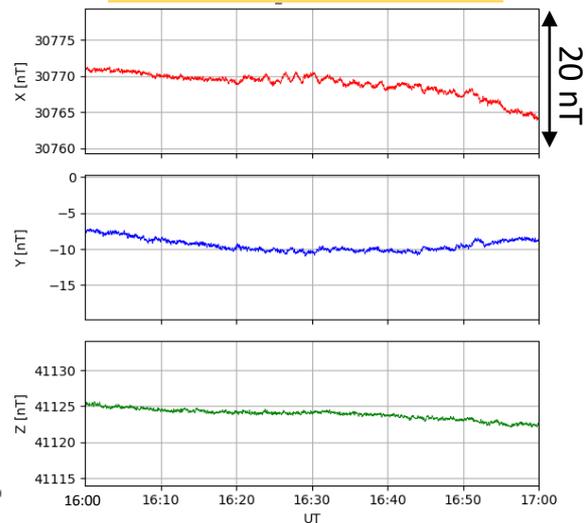
14:00–15:00 UT,
September 11, 2022



14:00–15:00 UT,
September 13, 2022

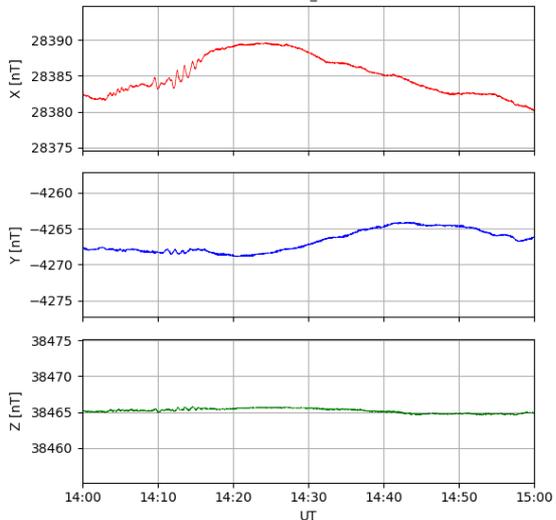


16:00–17:00 UT,
September 16, 2022

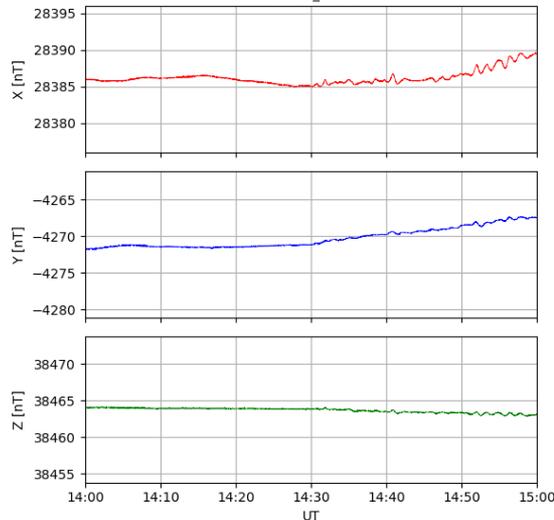


MIM-Pi (川渡)

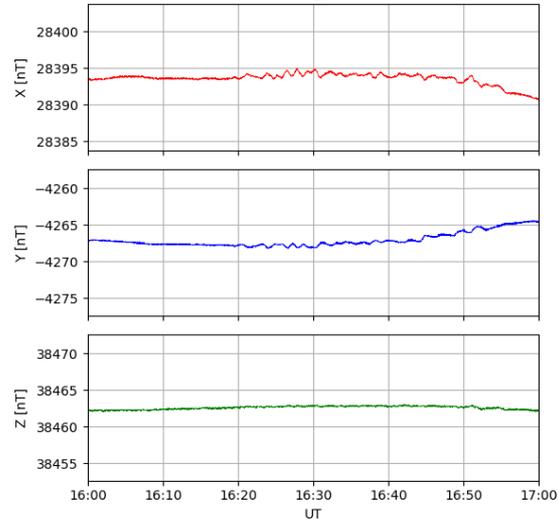
2022-09-11_mizusawa



2022-09-13_mizusawa



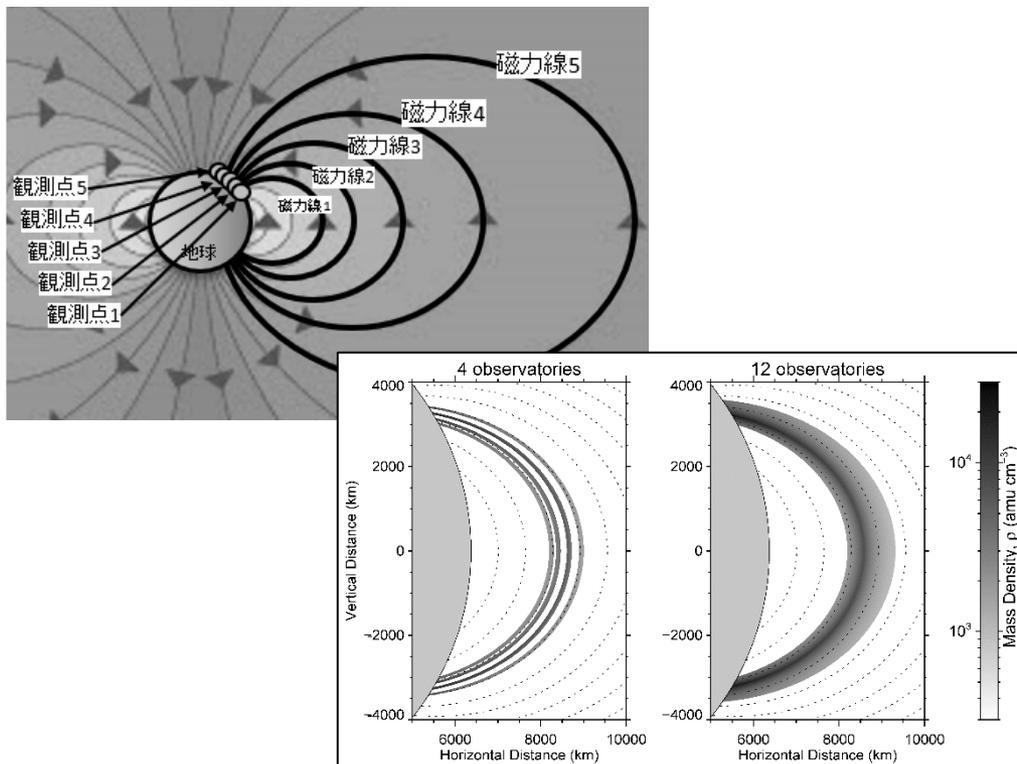
2022-09-16_mizusawa



FGM (水沢)

将来計画

- 2022年11月に白神山地内の敷地(弘前大学)内にMIM-Pi 2号機を設置した。
- 下北自然の家敷地(むつ市)の現地視察・ノイズ状況の調査を行った。来年に設置を予定している。
- 関東-東北(-北海道?)にまたがる稠密磁場観測ネットワークを構築する。
 - プラズマ圏質量密度のモニター



まとめ

- MIセンサーを用いて、峰山観測所でテスト計測を行った。
- フラックスゲート磁力計と同レベルの地磁気データが取得できることが分かった。
 - 温度ドリフトはかなり大きい。・・・数10 nT/deg
 - ノイズレベルはフラックスゲート磁力計より少し高い。・・・20–30 pT/√Hz @1 Hz
カタログ値(実験室)では、7-20 pT/√Hz @1 Hzくらいなので、ADCや降圧、ケーブルなどでノイズレベルが上がっている可能性がある。
- Nosé et al. [2022, JGR doi:10.1029/2022JA030809]で、論文発表を行った。
- 廉価な地上観測用磁力計として、Magneto-impedance magnetometer using Raspberry Pi (MIM-Pi)を開発した。
- MIM-Piは、1台40万円くらいで作成できる。(フラックスゲート磁力計の1/6~1/10)
- MIM-Piによるテスト計測を、稲武観測所、柿岡観測所で実施した。
- 関東-東北地方に、稠密な磁場観測ネットワーク(DASI, Distributed Array of Small Instruments)を展開することを目標としている。
 - プラズマ圏質量密度のモニター、Sq電流系の緯度分布解明などへの利用
- 2022年9月に、宮城県川渡観測所にMIM-Pi 1号機を設置し、定常観測を開始した。
- 2022年11月に、青森県白神自然観測園にMIM-Pi 2号機を設置した。
- 来年に、青森県むつ市にて3号機を設置する予定。