

# 地磁気観測所ニュース

No. 74

令和2年(2020年)12月



## 目次:

○論文紹介	1
・土壌掘削による磁気異常とその経年的安定性 —鹿屋の絶対観測室内の磁気異常調査から—	
・東北地方太平洋沖地震の災害後に伊豆半島 東部で偶然観測された人工擾乱	
○研究発表	4
○南極地域観測隊員の紹介	5
○コラム	5
・地磁気観測の歴史 第1回	

## 論文紹介

### 土壌掘削による磁気異常とその経年的安定性 —鹿屋の絶対観測室内の磁気異常調査から—

山崎明、重野伸昭、山本輝明、熊谷佳子、伊藤信和  
地磁気観測所テクニカルレポート 第8巻 第01,02号 p1-10 2011年3月

地面を掘削し再び埋め戻すと、掘削した範囲の土壌全体が持っていた残留磁化<sup>\*1</sup>の向きはランダムになるので、全体としての残留磁化が失われます。そのランダムな状態がいつまでも不変のままかどうかについては、これまで岩石磁気学的な研究がほとんどなされておらず、実はあまりよくわかっていません。長い年月を経て徐々に地球磁場方向に磁化されることもあるかもしれませんが、もしそうであれば、地磁気永年変化の精密観測に影響があることが考えられます。

本論文では、土壌掘削によって生じた鹿屋地磁気観測施設絶対観測室内の磁気異常<sup>\*2</sup>分布について、10年後の再測量により土壌磁化の経年的な安定性を調査した結果について報告しています。基礎的で地道な研究になりますが、精密な地磁気観測を行う上ではとても重要なテーマと言えます。

鹿屋の地磁気絶対観測室は1995年に新しく建造されました(写真1,2)。完成から二か月後に絶対観測室内の全磁力分布をプロトン磁力計により調査したところ、室内全体に振幅が20nT程度の磁気異常が存在することがわかりました(図1)。



写真1  
鹿屋地磁気絶対観測室外観



写真2  
鹿屋地磁気絶対観測室内

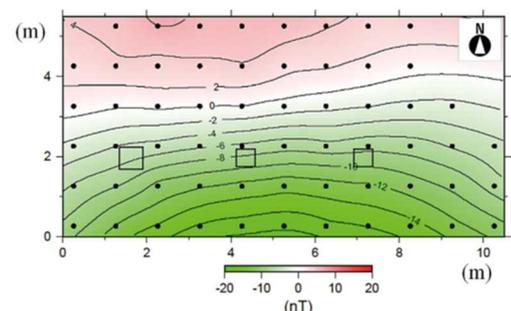


図1 鹿屋絶対観測室内の全磁力分布

図中の黒点は1m間隔の磁気測定の測点を示し、中央部にある正方形の口印は器械台を示す。全磁力を測定した高さは床面から1.5m(地表高2.5m)である。図中のコンター間隔は2nT。

絶対観測室の建造前に実施した磁気測量ではそのような磁気異常は認められていませんでしたので、建造作業によって生じたこととなります。この磁気異常の原因を、器械台を設置するための絶対観測室地下の土壤掘削(写真3)が原因で生じたものと仮定し、掘削した領域を直方体モデルで近似して数値計算を行ったところ、図1の全磁力分布をよく再現できたことから、土壤掘削によって生じた磁気異常であると結論づけることができました。さらにモデル計算により、実測が困難な地磁気三成分(X, Y, Z)の分布を推定することができました。

次に懸念されたのは、土壤掘削で生じた磁気異常が今後も経年的に安定な状態のままかどうか、という点でした。仮に安定せずに磁気異常が小さくなっていくとすれば、地磁気永年変化の精密観測に影響が及んでしまいます。これを確かめるために、2004年8月と2005年3月に再測量した結果、室内の磁気異常にはほとんど変化は認められず、10年程度のタイムスケールでは安定していることが確認できました。

その一方で、振幅が概ね1nT以下と小さな規模ですが、室内の全磁力分布が僅かに時間変化していることも分かってきました。著者らはこの僅かな時間変化について、火山での全磁力観測でしばしば確認されている全磁力の年周変化<sup>\*3</sup>と同様に、磁気異常を形成している絶対観測室周辺の土壤磁化が気温の季節変化に伴い年周変化するためではないかと推定しています。いずれにしても土壤磁化の年周変化の問題については本論文で紹介した調査だけでは十分とは言えず、今後さらに調査を進める必要があります。



写真3  
鹿屋絶対観測室地下の  
土壤掘削作業

- \*1 残留磁化とは永久磁石の性質のことで、土壤には磁鉄鉱など磁性鉱物が少し含まれており、微弱ながら永久磁石の性質を持っています。
- \*2 磁気異常とは一般に周囲に比べ磁気分布が異なっていることを意味します。磁気異常は土壤磁化分布の不均質によって生じます。
- \*3 本文で述べている年周変化とは、観測点周辺の土壤磁化の強さが気温の季節変化に伴いわずかに変化するため、地表の磁気分布がわずかに年周的に変化することを意味しています。



## 東北地方太平洋沖地震の災害後に伊豆半島東部で偶然観測された人工擾乱

笹岡雅宏、大和田毅、有田真、山崎明、田口陽介、小河勉\*  
「伊豆半島東部における地殻の上下変動と関連する地磁気全磁力変動」より  
地磁気観測所テクニカルレポート第11巻 第01, 02号, p13-26, 2014年3月

地磁気観測から自然現象による変動成分の特徴を調査するためには、観測値に含まれる自然現象以外の変動成分(人工擾乱)について十分理解しておくことが必要です。しかし、人工擾乱について紹介した文献は少なく、時には自然による地磁気変化と誤認することもあります。

ここでは、2011年に伊東市の市街地に近い玖須美元和田(KSM)において地磁気連続観測を実施中に、偶然捉えられた人工擾乱について紹介します。

伊豆半島東部(伊東市沿岸～沖合)では1970年代半ばから、地震の群発活動と地殻の隆起を伴う異常な地殻活動が活発化しました。この地域の群発地震は、主にマグマの貫入に伴って発生すると考えられており、地殻変

動と地震に伴う地下の熱や岩石応力の変化を捉える目的で、地磁気変化を検出するための全磁力観測網が大学等研究機関により整備されました(図1)。

人工擾乱が観測された調査期間(2010~2012年)の地震活動について少し補足します。2010年の地震活動は静穏でしたが、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(M9)が発生すると、小規模な地震の発生頻度が増加し、7月には伊豆半島東方沖を震源とする地殻変動を伴う小規模な群発地震活動が発生しました。震源は深さ約9kmから始まって約7kmまで浅くなりましたが、ごく浅部へのマグマ上昇を示す低周波地震や火山性微動は観測されず、数日で地震活動はおさまりました。

KSM観測点は住宅街に隣接しており、全磁力観測は生活圏の擾乱に晒される可能性がありましたが、人工擾乱が全磁力観測に与える影響については十分把握できていませんでした。代表的な人工擾乱としては、市街地を走るJR伊東線(以後伊東線)の電車の運行が挙げられます。電車によって生じる磁界のうち、地磁気観測に影響する主因は、レールから大地に漏れる電流に基づくものであることが知られています。そのため人間活動に伴う人工擾乱の全磁力観測への影響を避けて、主に夜間データを調査に利用していました。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による災害の影響により、KSM観測点付近の伊東線がしばらく運休になりました。その後、伊東線は復旧しましたが、復旧前後で全磁力日変化の擾乱に相違が確認されました。図2は、国際5静穏日\*から選んだ伊東線復旧前後の全磁力日変化の比較を示します。伊東線復旧作業中(運行停止中)の全磁力日変化では、12時から17時までの時間帯における人工擾乱は、夜中から朝の内までと同程度にまで抑えられましたが、伊東線復旧後には増加しました。この時間帯における人工擾乱の主な要因が電車の運行であることが示されました。また、5時から12時までの時間帯及び17時以降については、電車の運行以外の人工擾乱の影響が残ることが分かりました。玖須美元和田と柿岡との全磁力差についても、人工擾乱の大きさには同様な傾向が見られました。

それまで日平均を用いることが調査に適さない主な理由を電車による擾乱の混入と想定していましたが、偶然観測された結果から、実際には電車以外の生活圏の人工擾乱も無視できない大きさであることが窺えました。日中の人工擾乱から電車の影響分だけ切り分けて観測できることは滅多になく、非常に稀有なデータを得ました。特に、生活圏に隣接する場所で地磁気観測を行う場合、電車のような目立つ要因以外による人工擾乱の出現にも留意する必要があります。

\*GeoForschungsZentrum(GFZ)によって示された条件に基づいて、ひと月の中で擾乱が小さい日を順に5つ選んだもの(International 5 quietest days)



図1 伊豆半島東部における地磁気全磁力連続観測点(●)の配置図

地磁気観測所の観測点：玖須美元和田(KSM)，東京大学地震研究所の観測点：湯川(YKW)，与望島(YOB)，川奈(KWN)，奥野(OKN)，池2(IK2)

同図にGPS連続観測電子基準点[宇佐美，伊東(伊東A)，小室山，伊東八幡野]の位置(■)を示す。伊東と伊東Aは隣接する。

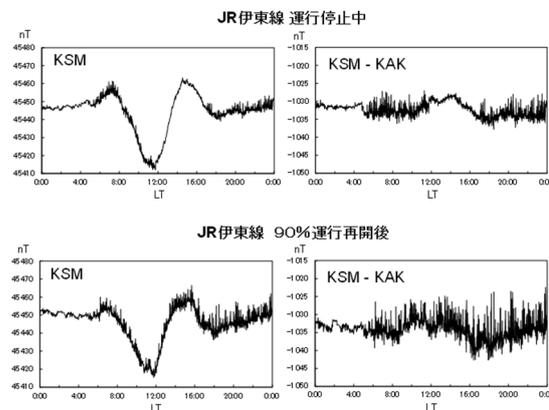


図2 玖須美元和田観測点(KSM)へ及ぼす電車擾乱の影響

(上段左) J R伊東線復旧作業中の玖須美元和田の全磁力日変化(3月15日)，及び(上段右)玖須美元和田と柿岡(KAK)の全磁力差。(下段左) J R伊東線復旧後の玖須美元和田の全磁力日変化(3月27日)，及び(下段右)玖須美元和田と柿岡の全磁力差。3月15日及び27日はともに国際5静穏日である。

## 研究発表

日本地球惑星科学連合2020年大会（令和2年7月12日～19日，オンライン開催）  
「本白根山における2018年噴火後の自然電位および地磁気全磁力観測（2）」

山崎明、飯野英樹（気象庁地震火山部）、有田真、下川淳

2018年1月23日に草津白根山の本白根山で水蒸気噴火が発生したことを踏まえ、噴火後の本白根山地下浅部の熱活動の状態を把握することを目的に2018年および2019年に本白根山山頂部において自然電位および全磁力の繰り返し観測を実施しました。

自然電位が形成される主な原因は地下水の流動と考えられ、火山においては自然電位の分布から熱水対流の状況を推定することが期待でき、これまでも多くの火山で調査観測がおこなわれています。

自然電位の第一回目の観測は、2018年6月に本白根山山頂部周辺の約130点において実施しました（図1）。電極は銅・硫酸銅電極を使用し、測定間隔は約50m、測定方法は全電位法（基準となる電極を設置固定し、電線を伸ばしながら約50m間隔で移動し、もう一つの電極で固定電極からの電位を測定）を採用しました。第二回目の観測は、2019年7月に第一回観測と同じ測線で同様の手法により実施しました。その結果、本白根山山頂部周辺では200～500mVの正の電位分布を示すことがわかりました。特に鏡池の西～南西側や、2018年噴火の主噴火口がある鏡池北火砕丘の周縁部などで局所的に電位の高い領域が認められました（図2）。

2018年と2019年の観測結果を比較すると、自然電位は概ね同じ分布を示しており、この一年間に大きな電位変化のなかったことが確かめられました。しかし詳細に見ると、2018年噴火時の主噴火口である鏡池北火砕丘の北東部において2018年観測に比べ2019年観測では数10mV程度の有意な電位の低下が認められ、噴火後の火山活動の鎮静化と調和的であるようにも考えられます。

地磁気全磁力観測については、噴火後の本白根山山頂部周辺に全磁力繰り返し観測点を10点設置し携帯型のプロトン磁力計を用いて観測をおこないました。これまで2018年に3回、2019年に2回の計5回の繰り返し観測を実施しました。その結果、火山活動に関係するような全磁力変化は認められず、噴火後の本白根山において明瞭な熱消磁もしくは冷却による帯磁は確認されませんでした。



図1 本白根山での自然電位測定地点（黄色）褐色で示した3箇所のマークは2018年噴火の火口を示す。

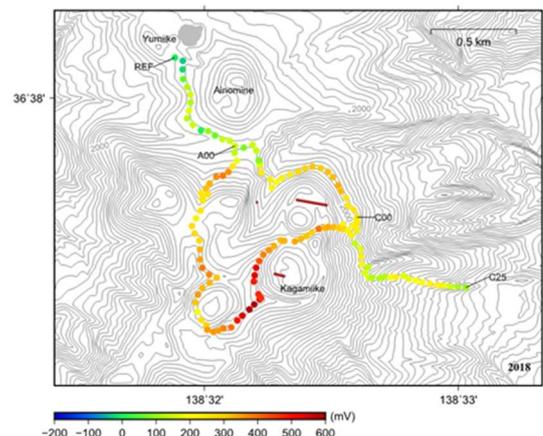


図2 本白根山の自然電位分布（2018年測定地形効果の補正済み）



今回紹介した論文は、下記の地磁気観測所ホームページからご覧いただけます。  
[https://www.kakioka-jma.go.jp/publ/journal\\_DB/index\\_j.php?no=3&](https://www.kakioka-jma.go.jp/publ/journal_DB/index_j.php?no=3&)

## 南極地域観測隊員の紹介

2020年11月20日から2022年3月22日まで、第62次南極地域観測隊として昭和基地での地磁気観測を実施します。宙空圏部門を担当し、磁場と荷電粒子の相互作用が重要な磁気圏・電離圏の研究において不可欠な高精度の地磁気観測の実施と指導を行います。初めての南極観測隊で緊張しておりますが、自分の力を存分に発揮できるよう精進してまいります。

(技術課 稲村友臣)



## コラム 地磁気観測の歴史 第1回

地磁気観測業務について知っていただくために、今回から新しくコラムとして「地磁気観測の歴史」を当所の業務変遷と共に掲載していきます。第1回目は、『人類と磁石』と題して、これまで人類は磁石とどのように付き合ってきたのかについてお話しします。

『人類と磁石』

◇磁石のはじめて◇

人類はどれくらい昔から「磁石」を認識していたのでしょうか。

書物で初めて磁石について述べたのは、紀元前600年ごろのギリシャの哲学者タレスだと言われています（タレス自身の書物は現存していないようですが、紀元前300年ごろのアリストテレスの書物にそう述べられています）。ただし、タレスは「磁石を発見した」と主張したのではなく、「万物には靈魂が備わっている」という主張の例として磁石を引き合いに出しただけのようなのです。しかし、これにより古代ギリシャで発見された「ロードストーン」（天然磁石が、当時すでに身近な存在であった可能性がうかがえます。ロードストーンが作られた経緯ははっきりしていませんが、ある決まった結晶構造の磁鉄鉱に雷などが落ちてきたと考えられています）。

はっきりと磁(慈)石の性質について触れられたのは、紀元前239年ごろの「呂氏春秋」という古代中国の文献だとされています。「石鉄之母也 以有慈石 故能引其子（磁石は鉄の母のよう 磁石は母が子供を引き寄せるかのように鉄を引き寄せる）」と、無機質な磁石に対してとても温かみのある表現がされています。すでにこの頃には磁石と鉄との関係が分かっていたようです。

◇磁石の応用◇

では、磁石で方角が分かる、という事実はいつごろから知られていたのでしょうか。

実は紀元前200年ごろにはすでに中国に「指南儀」というスプーン型の磁石を用いて方角を知る道具（占術盤）が存在していました。それが11世紀には「指南魚」（図1, 2）という、磁石を水に浮かべて方角を知る航海用の道具へと発展しました。指南魚を見て何かを思い出しませんか。そうです、羅針盤（方位磁石）にそっくりです。中国ではこの頃すでに、羅針盤の原型が出来上がっていたようです。ヨーロッパの羅針盤の普及については後述していますが、中国から伝えられたという説と、同時期にヨーロッパでも独自に開発されていた説が唱えられていて、はっきりとはしていません。しかし、その後のヨーロッパの大航海時代を担う重要なアイテムになったことは確かです。

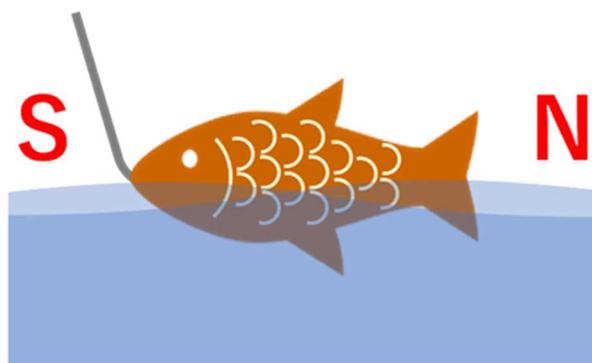


図1 指南魚

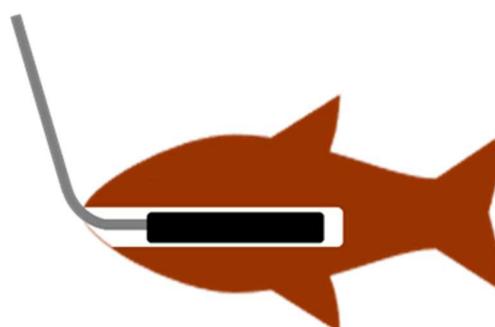


図2 指南魚の断面図  
木製で中に磁石が埋め込まれている

◇磁石と方角◇

そもそもなぜ磁石で方角を知ることができるのでしょうか。実は磁石が「地磁気」から力を受けるからなのです。ここからは磁石と地磁気についての理解がどのように進んでいったのか整理してみましょう。

13世紀のヨーロッパ(航海用の羅針盤が使われ始めた時期)には、「磁石は天の極から力を受けている」言い換えれば「地磁気の起源は地球の外にある」と考えられていました。しかし、この考え方は偏角と伏角の発見によって大きく変わることになります。

実は、きちんと作られた方位磁石でも、N極は正確には北を向きません。この真北からのずれのことを偏角と呼びます(図3)。

磁化された鉄針が真の南北を示さないということは1088年頃に沈活(しんかつ)が「夢溪筆談」の中で記しているものが一番古いとされていますが、ヨーロッパで磁石の指向性をいつ知ったのかははっきりしていません。書籍に残っているものでは、アレキサンダー・ネッカムの「事物の本性について」(1187年)で航海用コンパスについて記載されているものが最古です。

その後のペトロス・ペレグリヌスが磁石には二つの異なった極があり、異種の極には引力が働くという物理的考察を「磁気書簡」に残しており、そこから天文用の浮かぶコンパスと同様に船乗り用の乾式コンパスが開発されていきました。

乾式コンパスが開発されると、人々が海に出るようになっていきます。その中、大西洋横断中のコロンブスが、偏角が場所によって異なることを発見しました。

コロンブスの発見のとおり偏角は場所によって異なりますが、1日のうちの時刻によって(朝、昼、晩などで)は大きく変化したりはしません。このことは、方位磁石が受ける力の源が、天ではなく地球上にあることを示唆しています。

また、上下方向にも動くように作られた方位磁石では、磁針が水平には保たれず、上下方向にも傾きます。この水平面からのずれのことを伏角と言います(図3)、16世紀にハルトマンとノーマンにより独立に発見されました。

1600年になるとイギリスのギルバートが「磁石論」という著書の中で、球形磁石と回転磁針を使った実験により、地球を大きな磁石と考えれば伏角を説明できることを示しました(図4)。こうして地

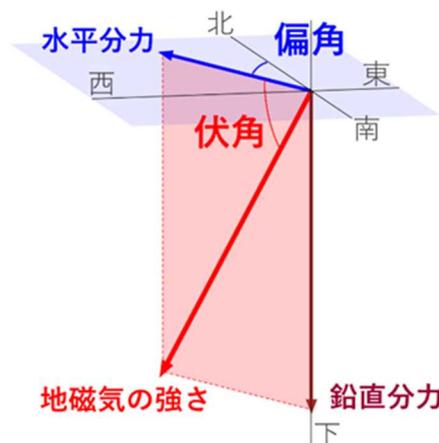


図3 地磁気ベクトル図

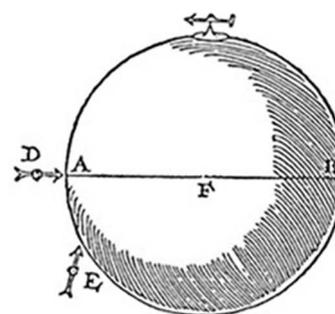


図4 球形磁石(テララ)と回転磁針：地磁気観測所HPより  
球形磁石の上では場所によって磁針の向きが変わる様子が描かれている

磁気は天から受ける力ではなく、地球自体が発している力であることが明らかになったのです。

コロンブスに代表されるような偏角の測定は、16世紀から18世紀にかけて盛んに行われたようで、中でもハレー彗星で有名なエドモンド・ハレーが1702年に出版した大西洋の偏角分布図(図5)は、世界最初の磁気図と言われています。この時代に、広大な範囲での偏角観測を行っています。わたしたちの想像しうる以上の苦労があったことがうかがえます。

同じ頃の日本の様子はというと、1600年ごろから長崎周辺の海(船)上で外国の貿易船による偏角観測が行われていました。日本人による最古の偏角測定の記録は、元禄7年(1694年)の高知県の天文学者 谷秦山(たに じんざん)によるもので、当時の高知の偏角は東に $5^{\circ} 40'$ であったようです(谷秦山による偏角測定は、地磁気世界資料センター京都のニュースNo. 142に詳しい記載があります)。また、19世紀初めに伊能忠敬が日本地図を作成する際に偏角測定を行ったことは広く知られています。

今回は、人類が磁石を発見して以来、様々な考察や研究・実験が行われ、実用化されるまでの様子を紹介しましたが、今も昔も“探求心”こそが技術の進歩を支えてきたことが感じられますね。

今回は『地磁気観測のはじまり』と題して、いよいよ地磁気観測がどのように始まったのかについてお話しします。

(技術課 吉武由紀)

#### (参考文献)

地磁気観測所「地磁気観測百年史」、1983

山本義隆「磁力と重力の発見」みすず書房、2003

今道周一「Secular Variation of the Magnetic Declination in Japan」,Memoris of the Kakioka Mag. Obs. Vol. 7, No. 2 1956

力武常次「なぜ磁石は北をさす-地球電磁気学入門」講談社、1978

辻本元博「篠崎長之論文に見る1694年高知での谷秦山による最古の地震偏差観測」,地磁気世界資料センター 京都のニュースNo. 142, 閲覧日 2020-09-18, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/news/1311.pdf>



図5 ハレーの偏角分布図:Princeton Library Historical Maps Collectionより



年2回(6,12月)発行

編集・発行 気象庁地磁気観測所 総務課 〒315-0116 茨城県石岡市柿岡595  
TEL : 0299-43-1151 FAX : 0299-43-1154 (総務課)

ホームページ : <https://www.kakioka-jma.go.jp/> E-mail : [kakioka@met.kishou.go.jp](mailto:kakioka@met.kishou.go.jp)

表紙写真 : 長野県湯の丸高原での南極観測隊の冬訓練の様子(稲村友臣)