

地磁気観測所ニュース

No. 75

令和3年(2021年)6月



目次:

○所長着任のご挨拶	1
○論文紹介	
・短基線による地電位差観測の長期安定性に関する調査	2
・大気電場観測室周辺的环境変化による観測値への影響 —数値計算による竹藪伐採の影響量の見積もり—	3
○研究発表	4
○南極だより	6
○コラム	7
・地磁気観測の歴史 第2回	

所長着任のご挨拶

4月1日付で、地磁気観測所長を拝命した齋藤誠です。

当観測所はここ茨城県石岡市柿岡の地で、世界各国との連携のもと、我が国の標準観測所として100年以上にわたり、高精度な地磁気観測を継続しています。柿岡のほか、北海道の女満別、鹿児島県の鹿屋、東京都の父島をあわせ、日本列島をカバーするように4か所からなる観測網を展開し、総勢約30名の所員が業務にあたっています。その観測成果は国内はもとより世界的にも高く評価されており、これは、これまで長年、当観測所を支えてきた諸先輩方や現在業務にあたっている職員各位の努力に加え、観測環境の維持等にご理解・ご支援いただいていた気象庁内外の関係各位のおかげであると考えています。



地磁気というのは、グローバル(全球的)な現象であり、地球内部の核の対流運動などの他、太陽活動など地球外からも影響を受け、長期的・短期的に変動しています。東京で磁石の針が示す方向(地磁気の偏角)は、ここ350年間で東から西へ約15度ずれているというデータもあります。しかし、地磁気の大きさは、身近で利用されている人工磁場と比較してかなり小さい(例えば、肩こりにきくという磁気健康器具の数千分の1程度)のものであり、またその変動量は最も大きい原因である太陽フレアによるものでも、地磁気全体の1パーセント程度です。このようなわずかな変化を観測するためには、人工的なノイズをできるだけ小さくする必要があり、地磁気観測所では、関係者のみなさまのご理解・ご協力のもと、観測環境の維持に努めるとともに、観測機器の維持管理や新たな機器の開発、観測・解析技術を研鑽してそれを後継者へ継承するという努力を続け、世界のKAKIOKAと評価される高精度の観測を継続してきました。

私自身は、気象庁入庁後、これまで、地震火山防災業務に長く従事してきました。地震・津波・火山による被害を少しでも防止・軽減したい、国民の皆様の生命・財産を守るということに貢献したいという意識をもって仕事をしてきました。ここ地磁気観測所では、防災に直結する業務はほとんどありませんが、社会生活に影響を及ぼすこともある磁気嵐の監視や、火山活動の把握のための全磁力の観測・監視、また、船舶や航空機で使用される羅針盤や磁気儀などの検定業務も行っており、国民生活の安全・安心の確保につながる業務を行っています。また、地震火山業務を担当していた時代にも経験した、地元のジオパーク活動等を通じた地域貢献についても取り組んでいるところです。これらの業務を通じた社会貢献に努めるとともに、これまで諸先輩方が築き上げてきた世界のKAKIOKAブランドを引き継ぎ、より発展させるよう、観測環境の保全、機器の維持管理、観測・解析技術の向上といった地磁気観測業務の基本についても忘れないように取り組んでまいりたいと考えています。皆様の変わらぬご指導ご鞭撻よろしく申し上げます。

論文紹介

短基線による地電位差観測の長期安定性に関する調査

森永健司、外谷 健

地磁気観測所テクニカルレポート第13巻 第01, 02号, p7-18, 2016年2月

地磁気観測所の地電位差観測(=地電流観測)は1932年の第2回国際極年を機に開始されました。地電位差観測は、銅板や炭素棒で作成された電極を2カ所に埋設し、2つの電極間の電位差を測定します。地電位差観測で測定される電圧は、地磁気変化に伴う電位差変化(誘導電位差)と埋設した電極と電極周辺の土壌との分極によって生じる電位差(接触電位差)があります。地磁気観測所の地電位差観測は、誘導電位差の長期的な変化をとらえることが観測目的です。

誘導電位差は埋設した電極間の距離(基線長)が長いほど観測される信号が大きくなります。接触電位差は基線長によらず埋設した電極と周辺の土壌の状態により信号の大きさが決まります。1988年までは電極を観測所の郊外に埋設し、基線長1kmほどで観測を実施していました。しかし1988年に諸事情により観測所構外に埋設した電極を使用することができなくなり、電極を地磁気観測所構内に埋設して、基線長200mほどで観測を実施することになりました。

図1は観測開始から2010年までの地電位差観測の月平均値のプロットです。図1を見るとわかるように、1950年代半ばまでは観測方法を試行錯誤していたためか、安定した計測値とは言えませんが、1950年代半ば以降は非常に安定した観測値が得られています。しかし、1988年に基線長の短い観測に変更してからは、観測値が不安定になっていることがわかります。原因は基線長が短くなったことにより、誘導電位差の変化が小さくなり、信号に含まれる降水等による接触電位差の変化が相対的に大きくなったためです。

短い基線長による地電位差観測で長期的に安定した観測データを得るには、接触電位差をいかに小さくできるかがポイントとなります。本調査では、使用期限が3年と短いものの接触電位差が非常に小さいとされている平衡電極を新規に埋設し、現用電極と比較調査を実施しました。併せて、構内に過去に埋設された複数の銅板電極を使用して、構内のほぼ中央に埋設してある電極を中心として複数の電極ペアで観測を実施しました(多極法による地電位差観測)。

図2に多極法による地電位差観測で使用した電極の埋設位置を示します。埋設場所が違う複数の電極の長期安定性や降水時の変動の違いを確認し、電極の埋設場所による接触電位差の違いを調査しました。

調査の結果、平衡電極による観測データは現用の銅板電極と同様に降水による接触電位差の変動が大きく観測されることが判明しました。多極法による観測データを調査すると、降水による変動が大きい電極ペアと小さい電極ペアがあることがわかりました。1989年に実施した構内のボーリング調査の結果及び、2007年に実施したVLF-MT観測による地磁気観測所構内の地下構造調査の結果と比較すると、地表面を占めるローム層の厚さの違いにより降水による変動が異なる傾向が見られました。また、電極ペアの埋設深度が違う場合、明瞭な年周変化が現れることも判明しました。地中埋設した温度計のデータと比較したところ、埋設

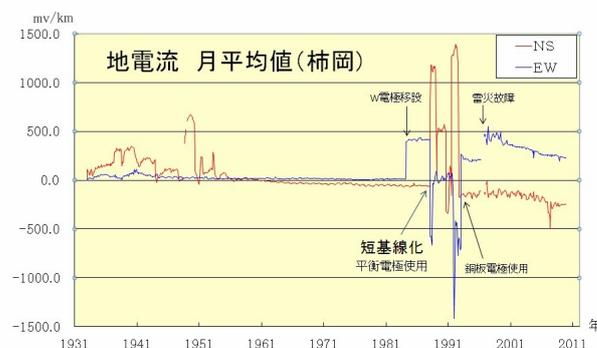


図1 月平均値プロット図

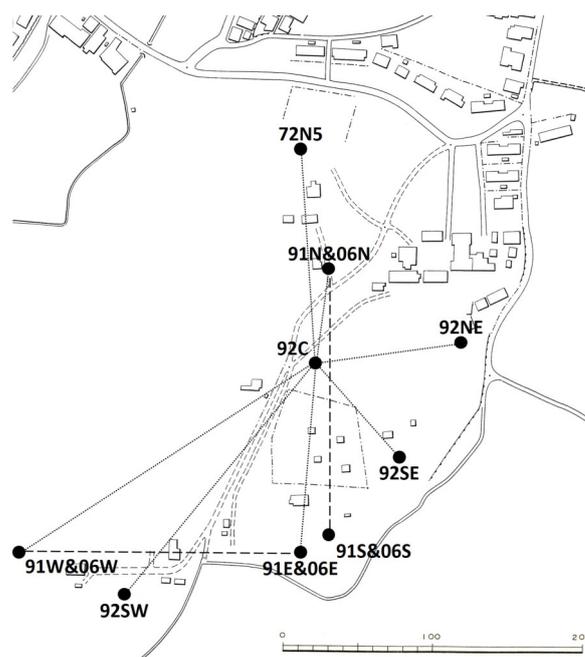


図2 電極の埋設位置

深度の違う電極ペアの年周変化と埋設深度による地中温度の差は良い相関関係があることがわかりました。

この調査結果を基に電極の埋設場所を選別し、地中温度も同時に測定することで、短基線での地電位差観測の観測精度向上が期待されます。



大気電場観測室周辺の環境変化による観測値への影響 —数値計算による竹藪伐採の影響量の見積もり—

長町信吾、外谷 健、吉武由紀

地磁気観測所テクニカルレポート第10巻 第01号, p1-8, 2013年2月

大気電場は雷雲などの気象条件の他、大気汚染の程度や電離層の状態などによって変化することが知られており、地球環境を監視する手段の一つといえます。柿岡では1932年から大気電場の観測が開始されましたが、2021年2月に観測終了となり、その長い歴史に幕が下ろされました。約90年という長期間の定点観測は世界的にもほとんど例がなく、大変貴重なデータであると言えます。

大気電場の観測では、地形や植生などの観測環境を維持することが重要です。しかし、少なくとも1950年代には存在しなかった竹藪が、(いつ頃からかはわかりませんが)観測施設の近傍まで繁殖し、2000年代には観測値に影響を与えているのではないかと懸念されるようになりました。本論文では、竹藪の成長による観測値への影響と、2009年に行われた竹藪の一部伐採による影響を数値計算により評価することを試みました。

写真1が1959年当時の観測施設の写真です。施設周辺に背の高い植物はないように見えます。一方で写真2が2009年(一部伐採前)です。写真1と2では見ている角度は異なりますが、それでも竹藪の浸食が相当に大きいことが分かります。

2009年8月から10月にかけて、この竹藪の観測施設に最も近い部分、20m×12mの範囲を伐採しました。写真3が伐採後の様子です。写真右側の範囲が伐採されたことが分かりますが、同時に伐採できたのは竹藪のほんの一部分だということもわかつています。

これら竹藪の成長と伐採の影響を、静電場が従うラプラス方程式を数値計算で解くことによって評価しました。図1(a)が竹藪が無かった場合、(b)が2009年の伐採前、(c)が伐採後の電場分布を計算した結果です。竹藪によって電場が歪められている様子が分かると思います。この結果から、竹藪の成長により、観測値が元の値の約半分に減少している可能性があること、伐採によって観測値が伐採前に比べて約1.2倍に増加するであろうことがわかりました。

図2に1932年から2010年までの実際の観測値を示します。実線で示されている柿岡の観測値は、1980年ごろを境に減少し、2009年には1980年代に比べて約3分の1まで減少しています。これは数値計算による結果(約半分に減少)よりも大きな減少幅です。一方で、破線で表される女満別の観測結果も2000年ごろから減少していることから、竹藪以外の要因による減少傾向が重なったことで、実際の減少幅が計算値よりも大きくなったものと考えられます。また、2010年の観測値は2009年の観測値の約1.5倍に増加しています。これも計算値より大きい増加幅ですが、伐採の有無にかかわらず年毎の自然変動も存在するため、伐採の効果と自然変動が重なった結果と考えられます。



写真1

1959年の大気電場観測施設周辺の様子。中央の建物が観測施設だが現在は植生のため、左上に見える建物までは見通せなくなっている。



写真2

2009年の竹藪伐採前



写真3

2009年の竹藪伐採後

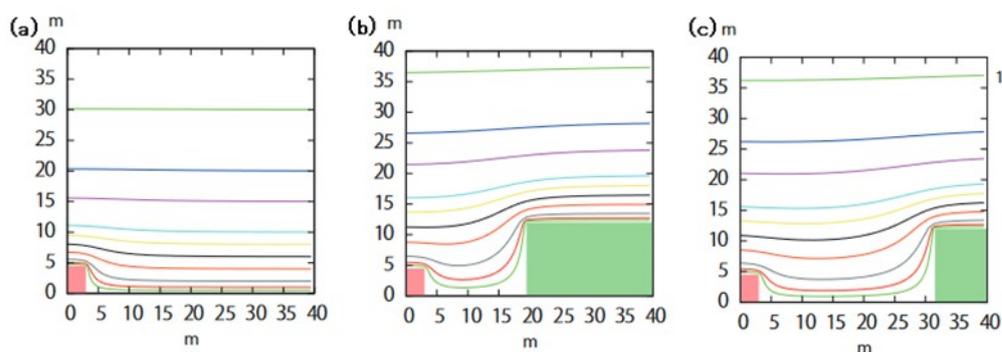


図1 数値計算の結果

(a)が竹藪が一切ない場合、(b)が竹藪伐採前、(c)が竹藪伐採後。左下の赤い四角の範囲が観測施設、右下の緑の四角の範囲が竹藪を表す。水平に伸びている線が等電位面を表す。竹藪の存在が電場を歪めている様子が分かる。

このように、数値計算の結果が観測値と完全に一致するものではありませんでしたが、障害物による観測値への影響を数値計算で推定しうる可能性を示すことができました。2017年にもさらに広い範囲で竹藪伐採が行われましたが、その時も同様の数値計算が行われ、実際の観測値の変化とおおむね妥当との結果が得られています*1。

*1 海東恵美、仰木淳平、長町信吾、大川隆志
大気電場観測室周辺の竹藪伐採による観測値への影響
—フィールドミル電場計を用いた調査—
地磁気観測所テクニカルレポート
第15巻 第1号 p1-7 2018

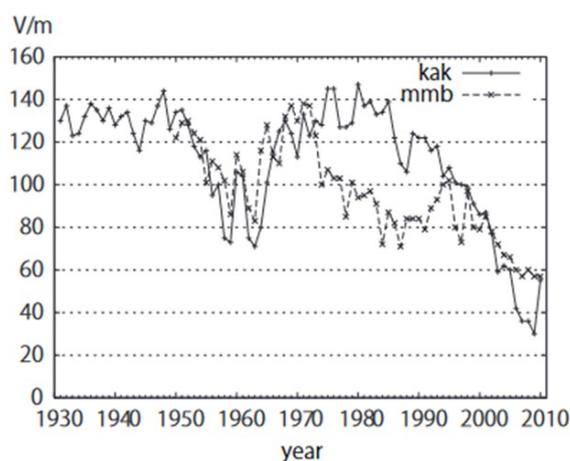


図2 大気電場の年平均値
実線が柿岡、破線が女満別を表す。



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&

研究発表

2020年度Conductivity Anomaly (CA) 研究会 *1 (令和3年1月7日～8日, オンライン開催)
「火山での精密磁場観測における諸問題」

山崎明

火山性の全磁力変化は、火口周辺の観測点と火山活動の影響を受けない山麓参照点との全磁力差を求めることにより抽出することができる。しかしこれまでの観測を通して、さまざまな要因によるノイズのあることが知られるようになった。これらノイズのなかで、D I 効果、地表の岩石磁気の年周変化、落雷による異常帯磁の問題について、これまでの調査結果のレビュー講演をおこなった。このうち落雷に伴う磁場の局所的異常変化について紹介する。

火山活動に伴う地磁気変化を検出するため、プロトン磁力計を用いた全磁力観測が国内では一般的におこなわれている。この全磁力観測において、稀ではあるが落雷に伴い局所的な異常変化を起こすことが知られている。草津白根山の例では、連続観測点3点において、1990年から2020年の30年間に計3回の落雷に伴う異常変化が発

生じた。プロトン磁力計のセンサー付近に落雷があると、瞬間的な大電流に伴う強い磁場が発生し、落雷した地点の岩石や土壌が等温残留磁化（IRM）を獲得する。この磁化の影響で、全磁力は落雷に伴いステップ状に数nT程度の異常変化を起こす。加えてさらに厄介なのは、獲得したIRMは不安定な残留磁化であるため、時間の経過とともに徐々にこの磁化を失う性質があることである。このため、落雷後の全磁力は、数カ月から数年程度の時間をかけて、ステップ状に変化した全磁力が、元に戻るセンスに徐々にドリフト（余効変動）をおこすことになる。従って、落雷の影響を受けた観測点では、余効変動が収まるまでしばらく火山性の全磁力変化の判断は慎重に行わなければならない。

*1 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) に設置された分科会



日本大気電気学会第99回研究発表会（令和3年1月8日，オンライン開催）

「降雹発生直前の大気電場の変化と雷雲の構造」

— 2012年5月6日・2017年6月16日・2018年5月24日地磁気観測所 —

熊本真理子

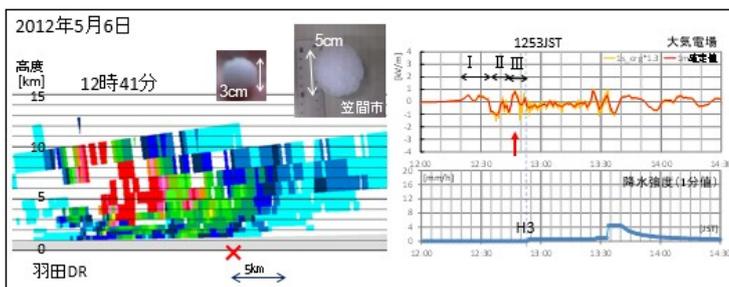
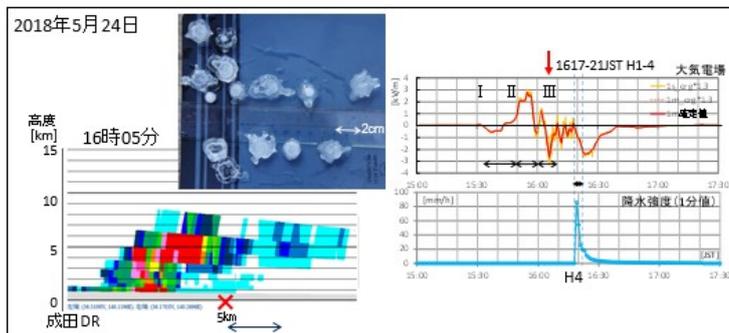
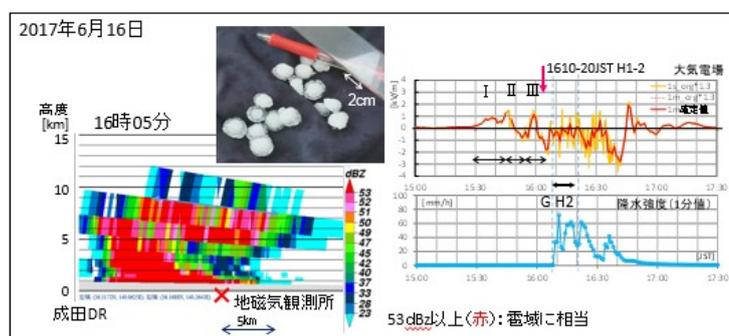
降雹を伴うシビアストームは、突然の短時間強雨、突風、ダウンバースト、竜巻などの被害が発生することがありますが、数100m～数kmの狭い領域で、5-10分程度の短時間に発生するため、実態を捉えられた事例は限られています。

降雹直前のドップラーレーダーの反射強度の鉛直断面図（進行方向：左から右へ）と大気電場と降水強度（1分値）の時間変化
上から順に図1、図2、図3

地磁気観測所では2017年6月16日16時10-20分に直径約2cmの大きさが揃った球状の降雹（図1）、2018年5月24日16時13-17分に直径1-2cm、最大4cmの不規則な形状・大きさの降雹（図2）がありました。どちらもレーダーエコーの経路は、加波山方面から地磁気観測所に至っていました。このほか、2012年5月6日北条の竜巻*1の直後である12時53分に直径3cmの降雹が地磁気観測所構内で、13時15分に笠間市*2で直径5cmの降雹がありました（図3）。

地磁気観測所では1939年から地表面付近の大気電場の連続観測を実施していましたが、シビアストームの到来から降雹発生までの時間に、この大気電場に大きな変化がみられ、特に降雹直前の5-10分前には正・負の極性が変わる顕著な変化が確認できました。レーダーエコーの時間変化から、3事例とも上空4-5kmに5-20km程度の雹域コア*3が広がり、降雹発生時にこの急減とともに、地磁気観測所付近や笠間市で雨量が観測されています。

降雹をもたらすシビアストームでは、降雹の前に進行方向前方にヴォールトと呼ばれる強い上昇流域があり、上空に雹域コアが広がっていることが知られています。気象庁レーダーや成田空港や羽田空港のドッ



プラーレーダーから雷雲の構造を調べたところ、上層雲がかかりはじめ(I)、中層雲が厚くなり(II)、上空4-5km付近に雹域コアがかかり始めた頃(III)、大気電場の正・負の極性が極めて大きく変化し、降雹とともに大気電場は0付近になることが確認できました。

レーダーエコーの時間変化とともに、大気電場の変化から、降雹直前の数分前に上空の雹域コアの到来を知ることができれば、屋内の安全な場所への避難など、直前に危険を避けるための判断材料になる可能性が見いだせました。

*1 平成24年5月6日に茨城県つくば市付近で発生した竜巻について

気象庁報道発表資料 <https://www.jma.go.jp/jma/press/1206/08b/toppu120608.html>

*2 地磁気観測所から北東13kmに位置する

*3 反射強度53dBz以上の領域

大気電気学会誌 Vol.15 No.1 (No.98) 2021 p.61-62

南極だより

第62次南極地域観測隊は、令和2年11月20日に横須賀港から南極観測船「しらせ」(写真1)に乗船して、南極・昭和基地に向けて出港しました。通常は、飛行機でオーストラリアに到着後、西オーストラリア州のフリーマントルで「しらせ」に乗り込みます。しかし、今回は新型コロナウイルス感染症対策のため、横須賀で2週間の隔離生活を行ない、日本から南極まで無寄港、無補給で航海することになりました。

昭和基地は、日本から直線距離で約14,000km離れたリュツォ・ホルム湾東岸、南極大陸氷縁から西に4kmの東オングル島に位置しています。そのため、昭和基地までの航海は約1ヵ月を要します。(図1)

赤道を越え、さらに海上を南下するにしたがい、「吠える40度、狂う50度」とよばれる卓越風が強い海域を通過します(写真2)。このあたりになると船酔いで体調を崩す隊員も増え、私も連日酔い止めを服用してなんとか乗り切りました。荒れる海域を通過すると、冰山(写真3)が現れ、海氷が厚くなっていきました。ペンギン(写真4)も見え始め、まだ見ぬ南極大陸に期待が膨らみます。

「しらせ」はラミングと呼ばれる後退と前進を繰り返し、艦首を氷に乗り上げて割りながら進む航法で、順調に航行しました(写真5)。そして遂に、令和2年12月19日、昭和基地近くに停泊した「しらせ」からヘリコプターに搭乗し昭和基地に到着しました。いよいよ昭和基地での活動が始まることに、緊張と感動で胸がいっぱいになりました。次回は、昭和基地での夏作業、越冬生活について記載します。

(稲村友臣)



写真1

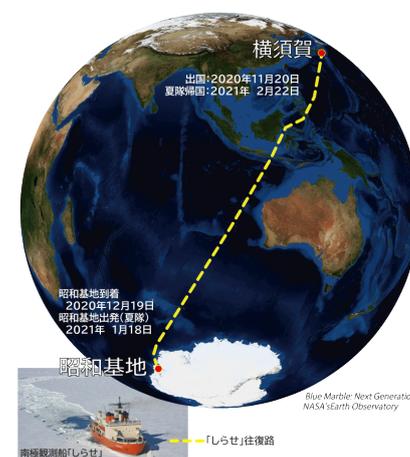


図1 国立極地研究所提供



写真2

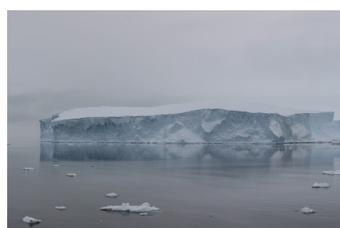


写真3



写真4



写真5

コラム 地磁気観測の歴史 第2回

地磁気観測業務について知っていただくために、地磁気観測所の歴史をコラムとして掲載しています。第2回目は『地磁気観測のはじまり』をお届けいたします。

◇地磁気観測のはじまり◇

近代的な地磁気観測が産声を上げたのは19世紀の初めのことです。ドイツの地理学者であり探検家でもあるフンボルトが、中南米の探検調査旅行（1799-1804）において地磁気に関するある発見をしました。それは「方位磁針に振動を与えると、その振動の周期が場所によって違う」ということでした。これは場所によって地磁気に強弱があることを意味しており、さらにその発見をもとに「赤道に近づくと地磁気が弱まる」ということも発見しました。

1804年に帰欧してからフンボルトはこの成果を発表し、世界中で地磁気を観測するべきであると主張しました。それに注目したのが19世紀最大の数学者であるガウスです。フンボルトもまたガウスの才能を高く評価しており、1828年にガウスと直接顔を合わせた際に地磁気の研究を強く勧め、また新進気鋭の物理学者ウェーバーと引き合わせました。このガウスとウェーバーのタッグはその後、世界的な地磁気観測を大きく押し進めていくこととなります。

フンボルトの発見は「場所によって地磁気に強弱がある」ことでしたが、フンボルトが行った観測方法では「どちらの地点で地磁気が強いかわかるか」「実際の地磁気の強さがどれくらいかわかるか」はわかりません。例えるなら、2つの地点で標高の差は分かったとしても、実際の標高は分からない、というのと同じです。これを解決したのもガウスでした。1832年に発表された「THE INTENSITY OF THE EARTH'S MAGNETIC FORCE REDUCED TO ABSOLUTE MEASUREMENT（邦題：絶対的な観測に還元された地磁気）」と題された論文に示された観測手法は、地磁気の強さそのものを測ることができるものでした。この観測手法が確立したことによって、地磁気の「偏角」「伏角」「強さ」の3要素（前号コラムの図3参照）の観測が可能となり、地磁気の「完全な姿」を測定できるようになったのです（ガウスは他にも地磁気について重要な研究を行っています。次号では、この観測手法の詳細も含めてガウスの功績について特集します。乞うご期待！）。

ガウスとウェーバーは、翌年の1833年にゲッティンゲン大学（ドイツ）に地磁気観測所を設立します。それを皮切りに、欧州全体にガウスの観測手法をもとにした地磁気観測所がつけられていきます。また、2人はフンボルトの支援の下で「ゲッティンゲン磁気協会」を設立し、世界中の観測所による観測結果の収集、解析を行いました。イギリスのサビーネが主導した「磁気十字軍」によって、当時大英帝国の植民地であったカナダからタスマニアにわたる巨大な地磁気観測網が出来上がったこともあって、1836年から1841年までのゲッティンゲン磁気協会の活動期間中、最大で53もの観測所がその事業に参加したようです。残念ながら「磁気十字軍」の観測所は、短期間で解体されたものが多かったようですが、このような世界規模の地磁気観測は、地磁気の世界的な分布や、磁気嵐の全球的な性質など、地磁気の理解を大きく進めることにつながりました。



ゲッティンゲンの街中にあるガウスとウェーバーの銅像(左)とガウスの墓(右)

◇日本における近代的な地磁気観測のはじまり◇

近代的な地磁気観測の波が日本に訪れるのは1883年のことです。欧州に比べて50年も遅れてしまったのは、当時の日本の情勢に原因があります。

日本は1853年に浦賀にペリーが来航するまで鎖国をしていました。さらにペリー来航を契機に約200年間も続いた徳川幕府が揺らぎ始め、明治維新を経て明治新政府の時代へと移り変わっていきます。激動の時代、日

本各地で混乱の続くなか、地磁気観測をしている場合にはなかったのでしょう。

この混乱がひと段落し、明治新政府が「富国強兵」をスローガンに掲げ、欧州の技術を取り入れ始めた1880年頃になってようやく地磁気観測が日本に伝わる機会がやって来ます。それが「第1回国際極年」です。「第1回国際極年」とは、1882年8月1日～1883年9月1日に世界的に行われた地磁気・極光・気象の国際共同研究のことで、1875年にオーストリアの海軍大尉であり北極探検家でもあるヴァイプレヒトが計画を提唱し、ローマで開催された第2回気象公会の賛成を得て、12か国が参加し、極地域と中緯度を含めた約40の観測所で共同観測が実施されました。そもそも日本は参加する予定ではなかったのですが、日本に縁故のあるフランスの物理学者アンリ・ベクレルが、フランス駐在公使を通じて日本に参加するよう勧告したため、急遽、参加することになりました。

勧告を受け、日本では3つの機関で地磁気観測を実施することになりました。本来であれば3つの機関で同時に地磁気観測を実施する必要はないのですが、前述の通り、近代化が始まったばかりの日本では未だ行政機構にまとまりがなかったため、指名された、若しくは挙手した機関全てが観測を実施することになりました。

1つ目の機関は海軍水路局観象台(当時)です。最初は海軍に所属する機関でしたが、第1回国際極年終了後の1888年に、海軍から文部省に観象台の建物および天文業務が移管され、東京大学付属の「東京天文台」(現在の国立天文台)として天文・暦に関する業務を行うこととなります。

海軍水路局観象台では、敷地内でドイツのカール・バンベルグという会社に作らせた観測測器を使い、1882年11月から1887年ごろまで偏角、伏角、水平方向の地磁気の強さについて月に2回の観測を実施し、日中には3時間おきに観測をしていた時期もあったようです。

2つ目は農商務省地質調査所(現在の産業技術総合研究所地質調査総合センター)です。「地質調査所百年史」によると、こちらもドイツのカール・バンベルグ製の観測測器を購入し、1882年8月から1883年8月にかけて月に2回、偏角、伏角、水平方向の地磁気の強さの観測を行っていたということが記されています。

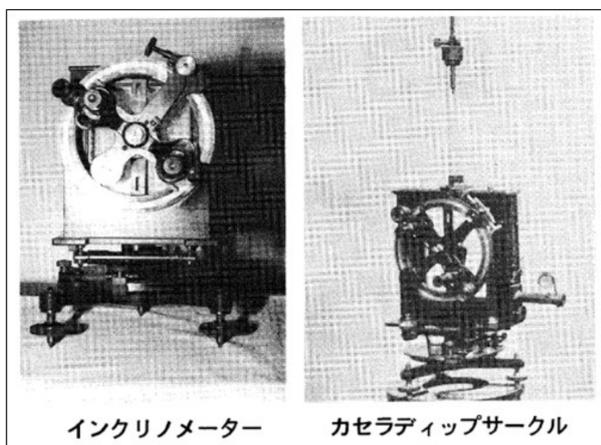


写真1 カール・バンベルグ製の観測用機械。偏角と伏角を観測できる。

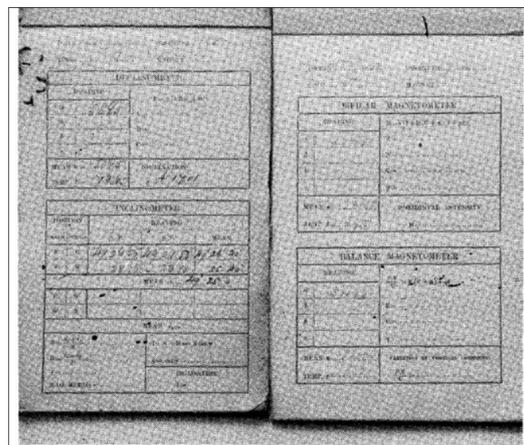


写真2 第1回極年時の観測野帳

さて、3つ目は内務省地理局(現在の気象庁)と工部省電信局です。

当時の赤坂区麻布今井町42番地の敷地内に「磁気試験所」を設立し、1883年3月15日から偏角、伏角、水平成分の観測を実施しました。観測測器については詳細な情報は残っていないのですが、当時の報告の中に「当初全く舶来の機器がなかったため、自分たちで数台を製造して備えた」という記述があり、何と職員手製の観測測器で地磁気観測を実施したようです。また、同報告には1883年3月15日から8月までの半年間は毎時観測、9月以降は1日8回観測(3時間毎)という記述もありました。第1回国際極年を契機に開始されたこの地磁気観測は、そのまま地理局の東京気象台に引き継がれ、1886年3月15日まで観測を継続しました。

この時の観測成果は残念ながら観測野帳2冊のみしか現存していないのですが、後日行われた全国磁気測量(1893～1896)時に発表されたknott・田中館の論文に、第1回国際極年時の内務省地理局の観測結果が引用されています。

それでは引用されたデータをプロットして柿岡の2020年のデータと比べてみましょう。

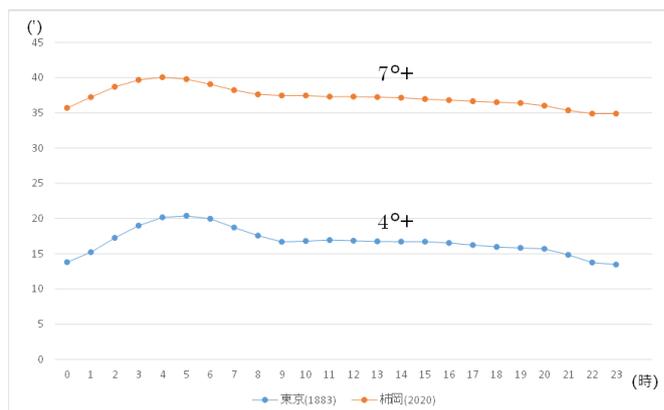


図1 1883年東京と2020年柿岡の1日の地磁気変化

引用されたデータをプロットしてみると、1日の間の地磁気変化(日変化と呼びます)がきれいに見えていることが分かります。エクセレント！

さて、今回は近代における地磁気観測の始まりをお届けしましたが、いかがでしたでしょうか。連載は第2回になりますが、まだ柿岡の「か」の字も出てきておりません。もうしばらくお待ちください。

第3回は中央気象台(現在の気象庁)での地磁気観測のお話です。

(技術課 神谷亜希子)

(参考文献)

地磁気観測所「地磁気観測百年史」1983

高木純一「電気の歴史：計測を中心として」1967

木幡重雄「電磁気の単位はこうして作られた」2003

山本晴彦「帝国日本の気象観測ネットワークⅢ 水路部・陸軍気象部」2017

植村栄治「地磁気に関するガウスの研究について」2011, 第22回数学史シンポジウム報告集

https://www2.tsuda.ac.jp/suukeiken/math/suugakushi/sympo22/22_luemura.pdf

(参考URL)

ガウスとフンボルトの書簡集

<https://books.google.co.jp/ebooks/reader?id=0ycLAAAAMAAJ&hl=ja&printsec=frontcover&output=reader>
国立天文台HP

<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/CEF2BBCB2FB3A4B7B3BFE5CFA9C9F4A4C8C5ECB5FEC5B7CAB8C2E6.html>
国土地理院HP

<https://www.gsi.go.jp/kanto/kantokansokushisetsu.html>
日本経緯度原点

<https://www.gsi.go.jp/common/000198164.pdf>

産業総合研究所地質調査総合センターHP

<https://www.gsj.jp/information/gsj-history/index.html>

ゲッティンゲン磁気協会：Wiechert地震観測所HP

<https://www.erdbebenwarte.de/en/goettinger-magnetischer-verein/>
wikipedia:sabine

https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Sabine

David P. Stern, 大いなる磁石、地球

<http://www.phy6.org/earthmag/demagint.htm>



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

表紙写真 : ゲッティンゲン(ドイツ)の象徴的建造物「ガチョウ番の娘リーゼルの泉」 (浅利晴紀)