

# 京都大学大学院理学研究科附属 地磁気世界資料解析センター

World Data Center for Geomagnetism, Kyoto  
Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism  
Graduate School of Science, Kyoto University

# 地磁気世界資料解析センター 概要

地磁気データを用いた学部・大学院学生の教育

世界中の研究者および一般社会への地磁気データのサービス

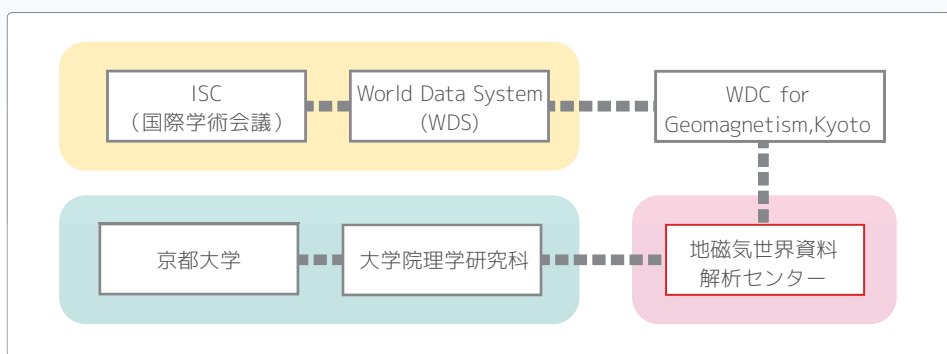
地磁気データを活用した宇宙空間および地球内部現象の研究

三要素が相互に作用して、より高度な教育・サービス・研究が可能となります

地磁気世界資料解析センターは、京都大学大学院理学研究科の附属施設という側面に加えて、国際組織である世界資料システム (WDS) の一翼を担うという側面を持っています。大学の施設として、学生の教育や地球電磁気学の研究に携わる一方、世界資料センターとして、世界中から地磁気データを収集し、研究者や一般利用者へデータを配布するといったサービス

を行っています。

「教育」・「サービス」・「研究」の三要素を一つの施設が兼ね備えているということは、他の研究組織やデータセンターにはない大きな特長であり、これこそが地磁気世界資料解析センターにおいて、先進的で高度な教育・サービス・研究を行える理由となっています。



世界の地磁気観測所からデータが集まります



赤点：地磁気観測所（1882年以降）



# 地磁気

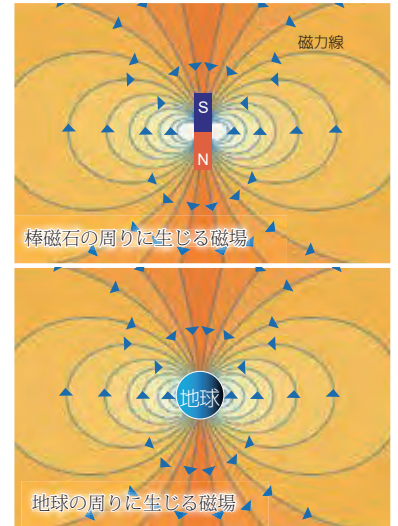
を研究することの重要性

## 地磁気とはなんだろう？

地球はそれ自身が大きな磁石になっています。磁石の周りに磁場ができるのと同様に、地球の周りには磁場が生じています。これが地磁気です。北極には S 極が、南極には N 極があるため、

地磁気のおおよその向きは水平面では「南から北」、鉛直面では「北半球で上から下、南半球で下から上」となります。

日本付近では、水平方向の地磁気の強さは約 30,000nT、鉛直方向の地磁気の強さは 35,000 ~ 40,000nT です。

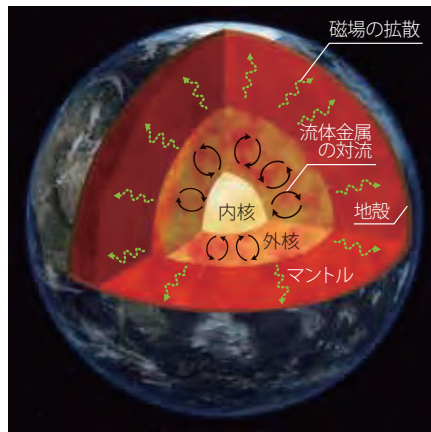


天体の持つ磁場強度	太陽	水星	金星	地球	月	火星	木星	土星	天王星	海王星	中性子星	(磁石星) magnetar
固有の磁気モーメント (Am <sup>2</sup> )	11年周期で変動極性逆転	2.8x10 <sup>19</sup>	<10 <sup>18</sup>	7.7x10 <sup>22</sup>	<1.1x10 <sup>16</sup>	<10 <sup>19</sup>	1.5x10 <sup>27</sup>	4.7x10 <sup>25</sup>	3.7x10 <sup>24</sup>	1.9x10 <sup>24</sup>		
磁気赤道上の磁場強度 (nT)	約 5x10 <sup>5</sup> (一般磁場)	約 3.1x10 <sup>2</sup>	微弱	約 3x10 <sup>4</sup>	微弱	微弱	約 4x10 <sup>5</sup>	約 2x10 <sup>4</sup>	約 3x10 <sup>4</sup>	約 2x10 <sup>4</sup>	約 10 <sup>16</sup>	約 10 <sup>19</sup> (?)
オーロラ		-	△	○	-	-	○	○	○	○		

※ nT (ナノテスラ) は磁場の強さ (磁束密度) を表す単位。市販されている貼付用磁気治療器の磁場の強さは約 10<sup>8</sup>nT。

## 地磁気はどうしてできるのだろう？

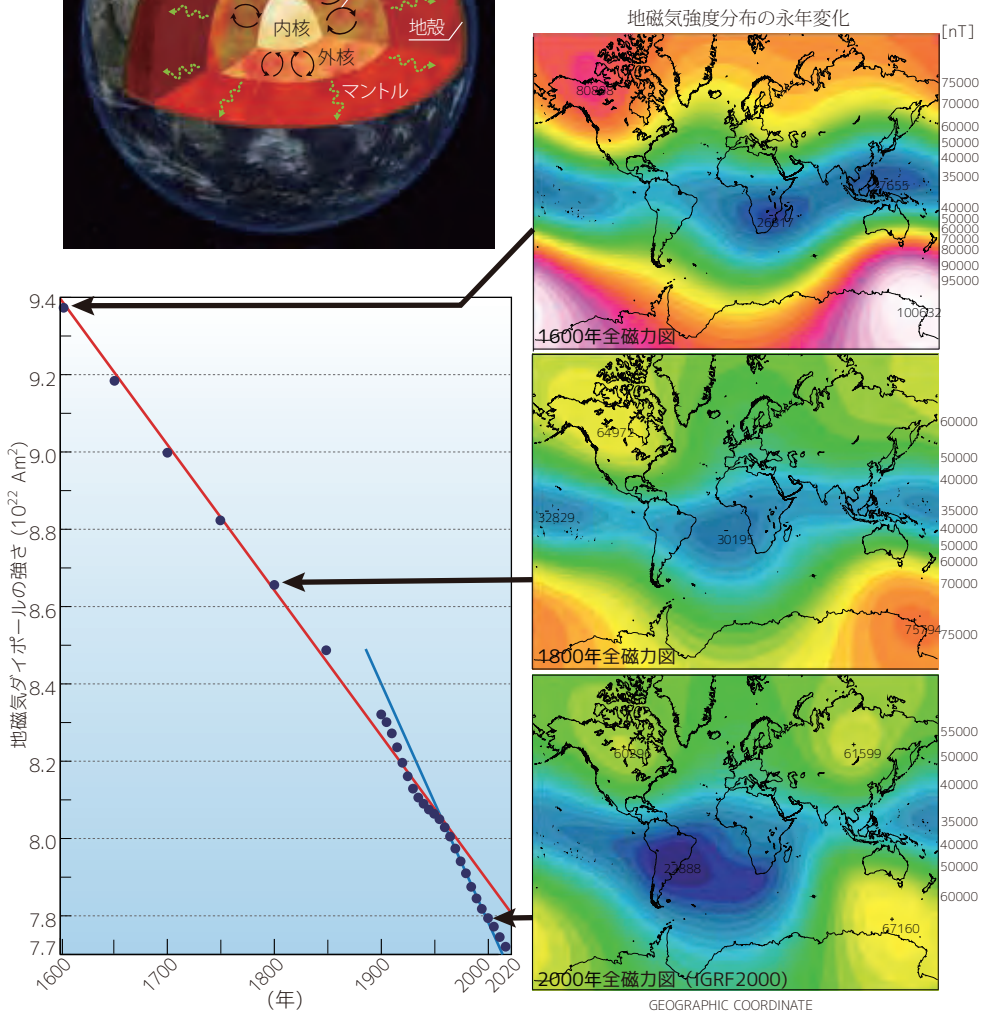
地球が大きな磁石になっている理由として、ダイナモ作用が重要な働きをしていることは事実ですが、その詳細はまだよく分かっていません。それを調べるためには、長期間・広範囲の地磁気データを収集して、研究する必要があります。ダイナモ理論は太陽や他の恒星・惑星の磁場成因にも応用できるので、地磁気の成因を調べることは他の天体の研究にも役に立ちます。

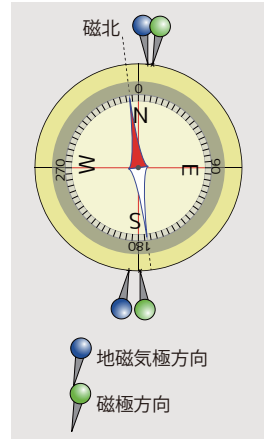
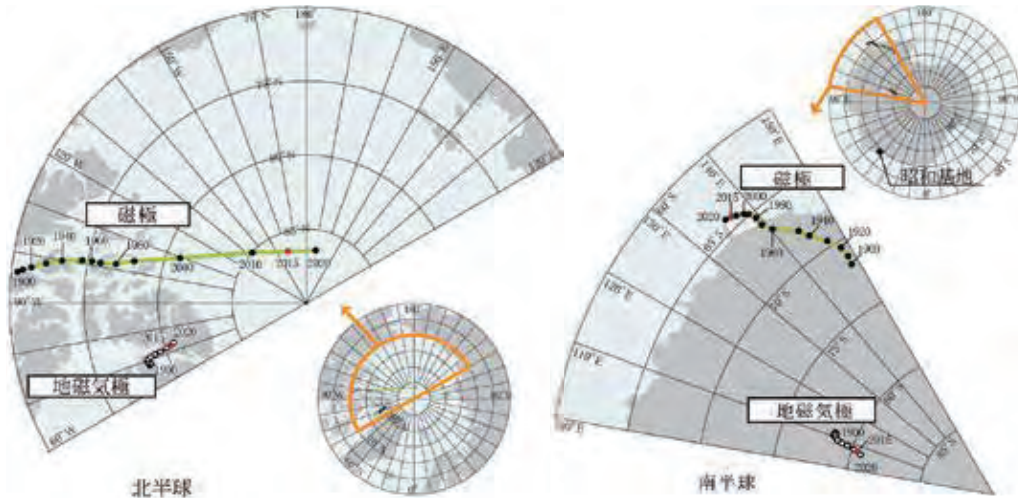


### ダイナモのイメージ図

内核：固体の金属核  
 外核：液体の鉄やニッケルでできた層。流体金属の対流と磁場の相互作用により、新たな磁場が作られます。[ダイナモ作用]  
 マントル：厚さ約 2,900km の岩石層。外核内で作られた磁場はこの中を減衰しながら伝わり、地磁気として観測されます。  
 地殻：厚さ 5 ~ 35km の岩石層。私たちはこの上に住んでいます。

地球磁場はこの数百年あまりの間減少を続けています。この速さで減少を続けると、あと 1000 年足らずで消失する計算になりますが、将来本当にその通りになるのか、あるいは、一時的な減少で再び磁場強度が回復していくのか、結論を出すことは容易ではありません。





## 地球には

北に S 極、南に N 極があるような磁場（地磁気）が存在するため、方位磁石の N 極はほぼ北を指しますが、その向き（磁北）は真北ではなく偏角と呼ばれる角度だけずれています。また、地磁気極と磁極という 2 種類の極が定義されますが、地磁気は複雑な分布をしているため、磁北が地磁気極や磁極方向を指し示すわけではありません。さらに、重心で支えられた方位磁

針は水平にはならず、北半球では概ね N 極が俯角と呼ばれる角度だけ下を向きます。

「地磁気極」とは地磁気を地球中心にある短い棒磁石で近似したときの、その軸が地表と交わる地点のことです（地磁気南極、地磁気北極）。これに対し「磁極」とは鉛直方向に自由に動く方位磁針が鉛直となる地点のことで、南北両半球それぞれ磁南極、磁北極と呼ばれます。ただし磁石としては地磁気南極や磁南極が N 極、地磁気北極や磁北極が S 極です。左図は国際標準

地球磁場モデル（IGRF-12）による 1900～2020 年の地磁気極と磁極の位置を示したもので、地磁気のゆっくりした変化（永年変化）によって移動しています。

右図は IGRF-12 による 2015 年の京都での磁北と、地磁気極と磁極の方向を示しています。現在、偏角が西向きなのは、シベリアのバイカル湖付近が北半球でもっとも地磁気が強く、そちらに方位磁針の N 極が引かれるためと考えられます。

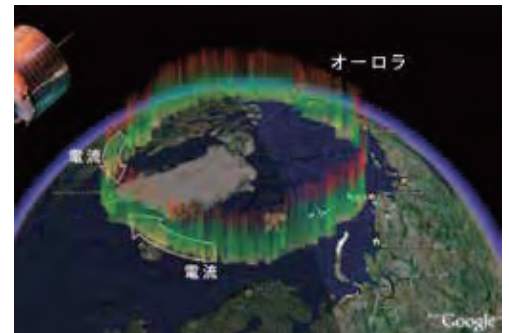
## 地磁気は地球周辺のプラズマを支配する

大気圏より高いところの地球周辺の空間は真空ではなく、電荷を帯びた粒子（電子やイオン）で満たされています。この粒子群をプラズマといいます。地磁気はこのプラズマの挙動を支配します。

太陽から地球に向かって流れてくる超音速プラズマ流「太陽風」(300～1000km/s) は、地磁気存在のため、地球に直接侵入することなく、脇へ逸れて流れていきます。その結果、地球の

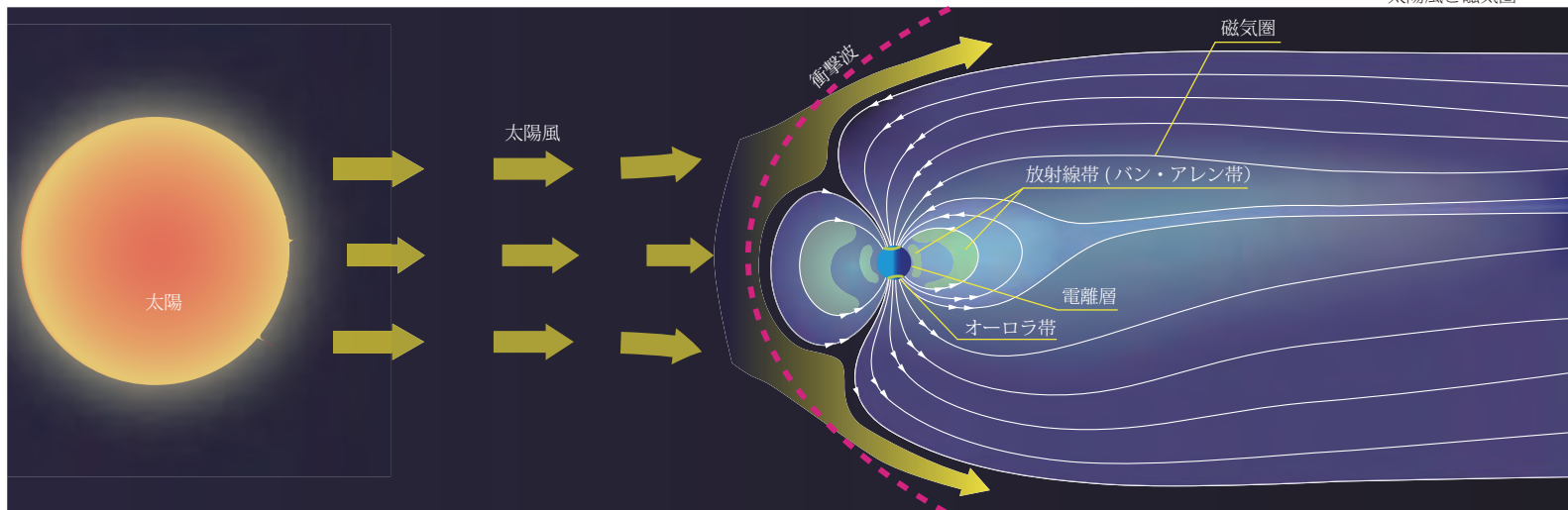
周辺には「磁気圏」とよばれる空間が形成されます。また、後述するサブストームの時にオーロラが起こるのは、地球近傍のプラズマが地磁気の変化によって振舞いを変え、地球へ降り注ぐためです。

このように、地球近傍空間でおこる現象を研究するためには、地磁気は欠くことのできない基本的な物理量なのです。宇宙空間物理学の分野では、多くの研究者たちが地磁気データを利用しています。

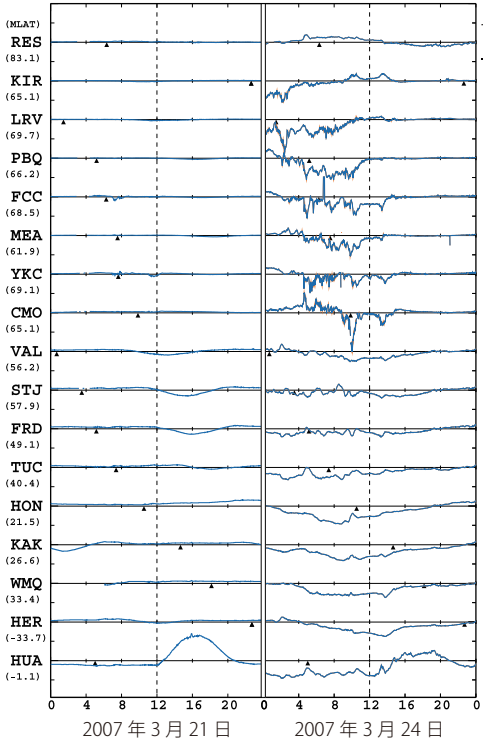


オーロラは極地を取り巻く環状の領域に出現します。電離層には強い電流が流れ、地上に磁場の変動を引き起こします。

太陽風と磁気圏



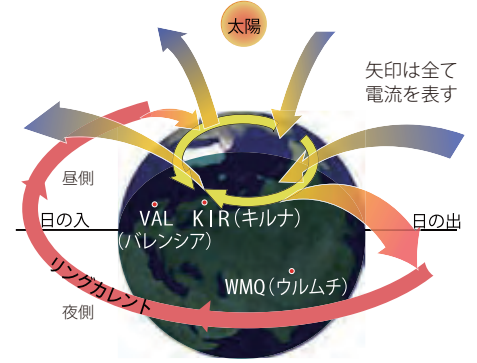




**地磁気は**常に変化しています。10 万年から 100 万年程度の非常に長い期間には向きが逆転することもあります。方位磁針の N 極が南を指すということも大昔には何度も起こったのです。10 年から 1000 年の長い期間には、地球の磁場の強さと向きが変わる「永年変化」が生じます。数日程度の期間では、地磁気が非常に大きく乱れる（減少する）ことがあり、これは「磁気嵐」と呼ばれています。もっと短い期間（数 10 分程度）では、極域の上空を流れる強い電流によって、極域の地磁気に変化する「サブストーム」という現象もあります。この時には、明るいオーロラが激しく変化します。左図はキルナ、バレンシア、ウルムチの他、地上の様々な場所で観測された地磁気変動です。3月21日（左）はほとんど地磁気の変動が見られません。しかし 3

月 24 日（右）では激しい地磁気の変動が記録されており、この日は下図のような非常に複雑な大電流系が地球の周りを取り囲んでいたと考えられます。

また、地磁気は太陽の自転および太陽活動の周期に基づくと考えられる 27 日・11 年といった決まった周期でも変動を繰り返して、さらに地球の自転により 1 日周期でも変動しています。

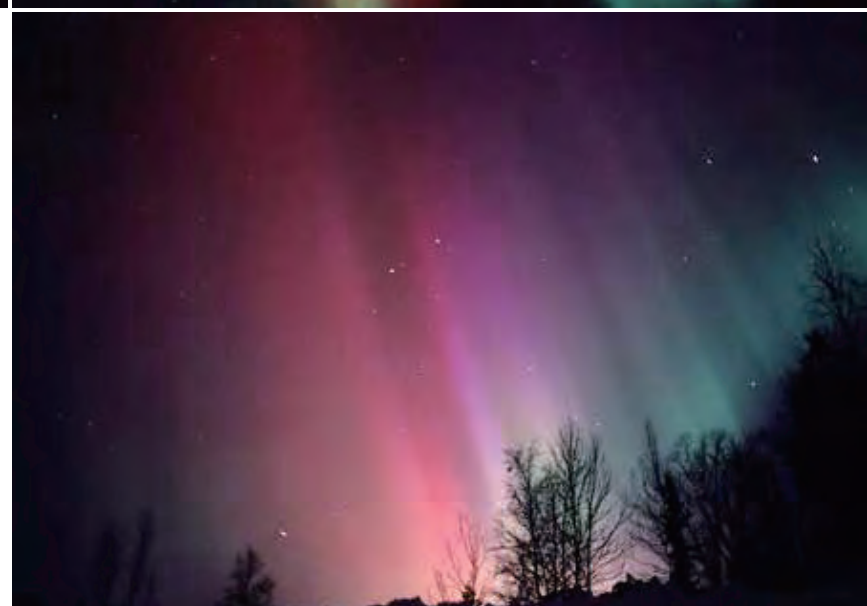


カーテン状オーロラ



コロナ状オーロラ

オーロラがすじ状に見えるのは、宇宙空間の電子が磁力線に沿って地球に降り注ぐ際、大気とぶつかり発光させるためです。ピンクは上空約 80km の窒素分子、緑は高さ約 100 ~ 200km の酸素原子、紫は約 200 ~ 300km の窒素分子イオン、赤は約 200 ~ 500km の酸素原子が発光に起因します。オーロラを真下から見ると、遠近法の原理により、高いところで光る赤いオーロラは中心に寄るため、放射状に広がって見えます。コロナ状オーロラとよばれています。（スウェーデンのキルナにて山内正敏博士撮影）

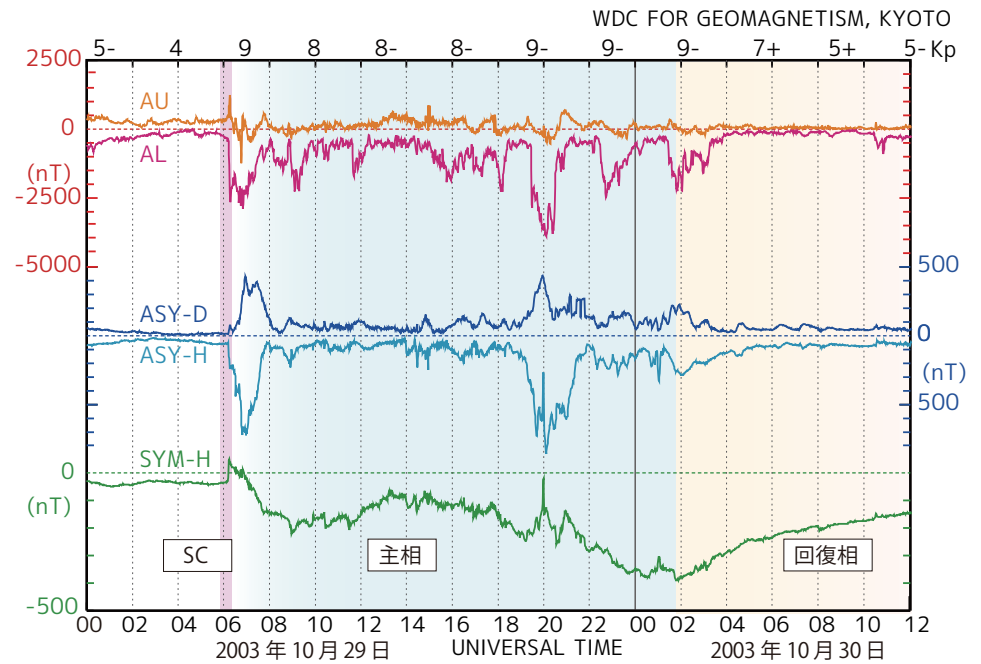


## 地磁気研究の社会的意義

地磁気は社会生活と無関係ではありません。地磁気が大きく変化する磁気嵐の時には、放射線帯が発達するため、人工衛星にトラブルが頻発します。また、極域の地磁気に変化するサブストームの時には、上空に流れる電流の急激な変化によって石油パイプラインや高電圧送電線に誘導電流が流れ、こうした施設に悪影響を及ぼすことが報告されています。これらの現象を事前に予測するための「宇宙天気予報」計画が日本・米国などですめられており、地磁気研究の果たす役割はますます大きくなっています。

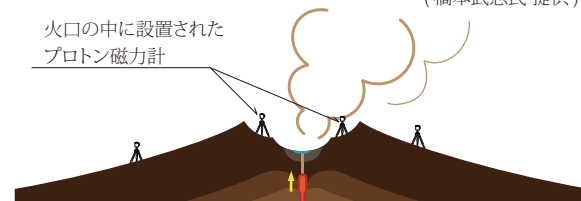
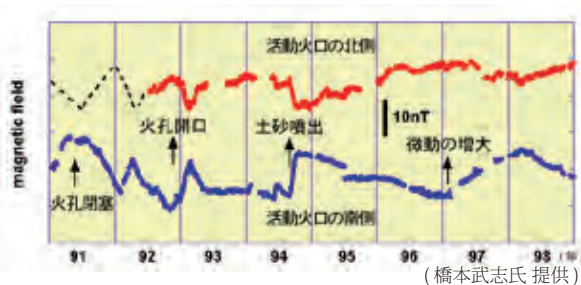
前日に太陽で起きた巨大フレアによる太陽風が地球を直撃し、2003年10月29日世界時6時頃から始まった磁気嵐は、今のところ21世紀最大の嵐で、「ハロウィン・イベント」と呼ばれています。この影響で人工衛星が一時的に停止したり、一部の航空機の無線通信に障害が出たりしました。アメリカ・テキサスではオーロラが観測されました。

下図は当センターで算出している地磁気指数の変化です。2003年10月29日の世界時6時頃から、地磁気の突然の増加（SC）を伴った磁気嵐が始まっています。極域では強いサブストームが発生し、AE（AU・AL）指数（橙・ピンク）は2500nT以上変動しています。中・低緯度では大きな磁気嵐に発達している様子がSYM-H指数（緑）からわかります。磁気嵐が発生すると高エネルギー粒子から成る放射線帯（バン・アレン帯）が発達します。



地磁気は地球内部の構造とその変化を探るためにも重要です。火山噴火や地震に伴い地球の内部構造に変化が起きるので、それに対応して地磁気も変化します。地磁気を利用して、火山噴火や地震の予知を行う試みもなされています。

右図は、阿蘇中岳近傍における地磁気全磁力変化の例。火山活動の変化に対応し、地磁気も変化しています。



阿蘇中岳での地磁気観測

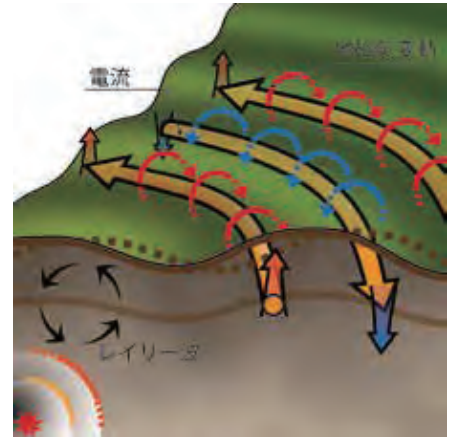
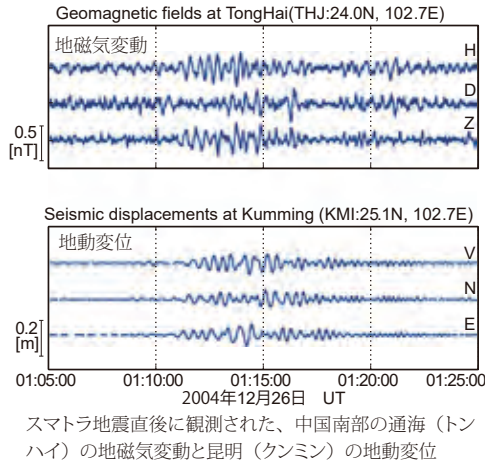


阿蘇山の火口の噴火 (火山研究センター提供)



## 地震に伴う地磁気の変化

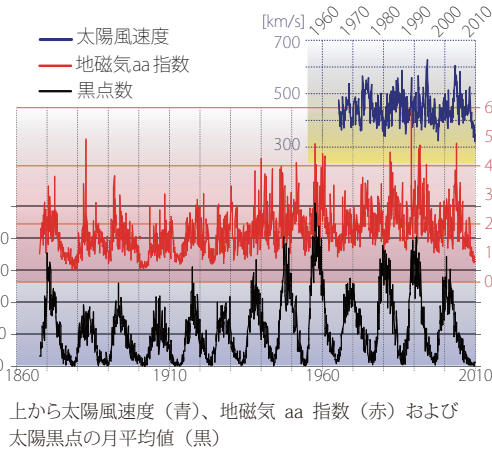
地震に伴い電磁場が変化するという数多くの報告がありますが、観測データの信頼度、人工ノイズとの区別、物理メカニズムの特定など様々な問題があり、確実な観測的事実を積み上げてゆく必要があります。右図に示したのは2004年12月のスマトラ沖地震の際、中国南部で観測された磁場と地震のデータで、振幅の大きな約25秒前後の長周期地震波動に伴い地殻が地球の磁場の中で動くことによる発電（ダイナモ）作用が地中に電流を流し、それが図のような磁場の振動として観測されたと考えられます。



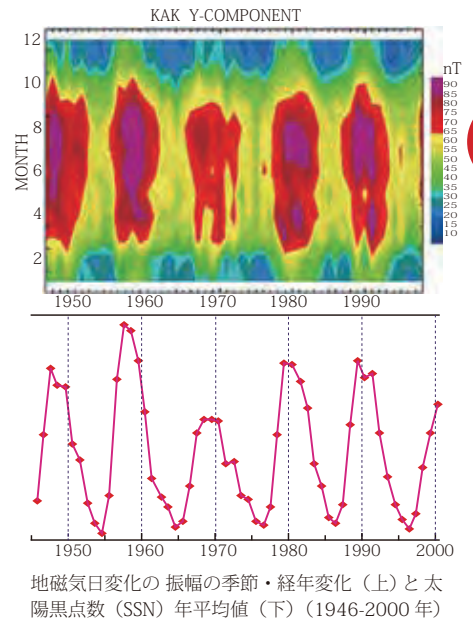
## 太陽活動の長期変動を反映する地磁気の変動

太陽活動が気候の長期変動に深く関わっていることが明らかになりつつあります。

地磁気変動は、太陽風の速度や磁場の向きなどにより支配されているので、太陽活動度について太陽黒点数とは独立な情報を与えます。古くからある地磁気のデータを調べることで、人工衛星による太陽風の直接観測開始よりも100年以上前の太陽風の状態を推定することもできます。



上から太陽風速度（青）、地磁気 aa 指数（赤）および太陽黒点の月平均値（黒）



地磁気日変化の振幅の季節・経年変化（上）と太陽黒点数 (SSN) 年平均値（下）(1946-2000年)

## 歴史建築に痕跡をとどめる地磁気変化

江戸時代初期に建造された大規模建築には、方向が地理的南北あるいは東西から明らかにずれているものがあります。

例えば、1603年に徳川家康が西日本の諸大名に築城させた京都の二条城のお堀は、地図を見ると明らかなように、ほぼ正確に地理的真北を向いている堀川通から東（時計回り）に約3度傾いています。この原因として、二条城の築城に際しては、方位磁石（コンパス）を用いて南北を決めたからであろうといわれています（『建築技術史の謎を解く』西和夫著 1986年彰国社）。

現在、京都市付近では方位磁針は7.1度西を指しますが、考古磁気学分野の研究から、江戸時

代初頭は西日本では方位磁針は約5度前後東を指していたことがわかっており、上記解釈を裏付けます。同様の例として、やはり江戸時代初期に建立された南禅寺三門も、同様に東に約5度真北からずれて建てていることが地図から読み取れます。すなわち歴史建築の向きからも、方位磁針（地磁気）の向きは、過去400年の間に約10度も変化したことがわかります。このように、地磁気変化は、人間活動の時間スケールで歴史的建造物にもその痕跡を残すことがあります。

二条城周辺の地図に、堀の向き（赤線）と地理的南北の向き（細線）を重ねた。堀の向きは、堀川通と比べて約3度東に傾いている。（右上）  
二条城東大手門前の堀。青破線は現在の堀の縁を示し、赤破線は現在の磁北に堀の方向を向けるとどのように見えるかを示す。（右下）



# 学部

授業科目を担当し、毎年数名の卒業研究指導を行っています。

## 電離気体電磁力学

太陽地球系物理学を学ぶ上で必要となる電磁流体力学・プラズマ物理学の基礎理論、電離層から磁気圏および惑星間空間について講述する。

## 地球電磁気学

地磁気の測定・解析方法、地磁気ダイナモ理論、古地磁気学、電気伝導度構造など地球内部電磁気学分野の紹介と、これらをさらに深く学ぶ上で必要となる基礎理論の講義。

## 地球科学実験 [全学共通科目]

大学キャンパス内で地磁気の測定を行い、その変化について考察する。

## 地球惑星科学課題演習

### [流体地球系]

地球上の流体现象(流動・波動)を観測実習やデータ解析、モデリングを行うことで研究手法を実習し、電離気体電磁力学や地球電磁気学の講義で得た知識のさらなる理解を目的とする。

## 地球惑星科学課題研究

### [T1. 電磁気圏]

電離気体電磁力学や地球電磁気学で学んで得た知識を基に、与えられたそれら分野の個別の課題について、教員の指導の下で研究をすることにより、研究の現場を体験し、研究の方法を修得することを目的とする。



# 地磁気データを用いた教育

## 大学院

自然電磁環境情報学講座(協力講座)として、京都大学大学院理学研究科の教育に参加し大学院学生の研究指導を行っています。

## 太陽惑星系電磁気学 I, II

電離圏・磁気圏の物理過程や地球内部電磁気学を研究するための観測手法や数値シミュレーション技法など、専門的知識を当センターと地球物理学教室の教員が、各々の専門分野を中心に講義を分担して行う。【修士課程科目】

## 応用地球電磁気学

地殻構造と地球内部の活動の関係について、地球電磁気学的手法を用いた地震予知、火山噴火予知の観点から講述と実習を行う。【修士課程科目】

## 太陽惑星系電磁気学ゼミナール II, III

太陽地球系物理学分野の英語文献の輪読と内容について議論を行い、教員が解説と指導を行う。【修士課程科目】

## 太陽惑星系電磁気学ゼミナール II, III

個別あるいは数名の少人数を対象に、研究テーマに応じ、得られた成果についての助言を与えらるとともに、討論を行う。【博士課程科目】

(詳細は理学部「教科の手引き」および理学研究科「学事要項」参照)



## 教育施設としての役割

大学院院生・学部学生が研究や演習を行う過程で必要な地磁気データや計算機設備を提供しています。毎日、数名から10名前後の大学院院生・学部学生が当センターを利用しています。



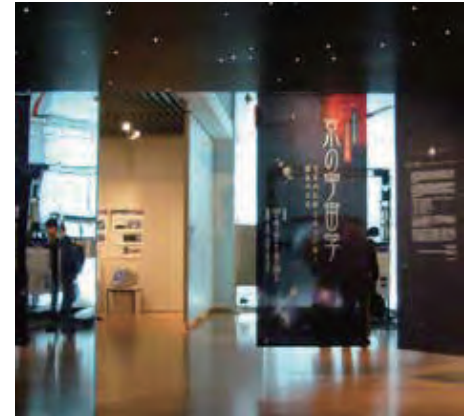
海洋研究開発機構の研究船「かいらい」船上で海底電磁気観測ステーションの組み立てに勤しむ大学院院生(左)と教員(右)。背後に7000m級潜水船「かいこう7000II」が見える。

## パブリック・アウトリーチ

専門知識や最新の研究結果を一般社会に向けて分かりやすく解説することにも力を注いでいます。これまでに、隔月発行している地磁気センターニュースやホームページでの用語解説、オープンキャンパス、高校生および海外の大学生向けのセミナー、教育関係者への知識・資料提供、毎年発刊される『理科年表』(丸善)の編集、国立科学博物館やサイエンスアゴラなどでの科学展示 Dagik (ダジック) プロジェクト、京都大学総合博物館『京の宇宙学』への出展などの活動を行ってきました。



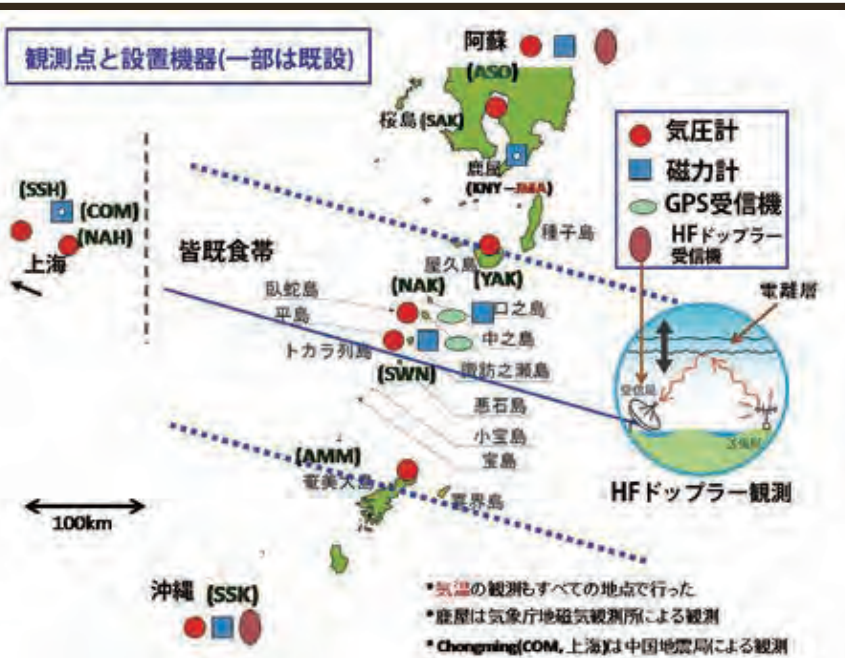
国立科学博物館・Dagik 展示



屋久島



南極観測船(上海)



上海にて撮影



上海



奄美・大島北高校



上海にて撮影

## 皆既日食観測 (2009年7月22日)

皆既日食が大気圏・電離層および地磁気に及ぼす効果をトカラ列島や上海、沖縄、九州で学生とともに総合的に観測しました。



## World Data Center for Geomagnetism (地磁気世界資料センター) の運営

1957年に国際地球観測年(International Geophysical Year)のプロジェクトの一つとして、地磁気観測体制の国際的な整備が行われました。そこで取得された地磁気データをはじめ、さまざまな観測データを収集・配布するための組織としてWorld Data Center(世界資料センター)が設立されました。この組織は、日本、

アメリカ、ロシア、ヨーロッパ各国、中国などに存在する各研究機関(センター)が運営しています。

わが国では京都大学大学院理学研究科の附属施設である地磁気世界資料解析センターが「地磁気世界資料センター・京都(World Data Center for Geomagnetism, Kyoto)」を運営しています。

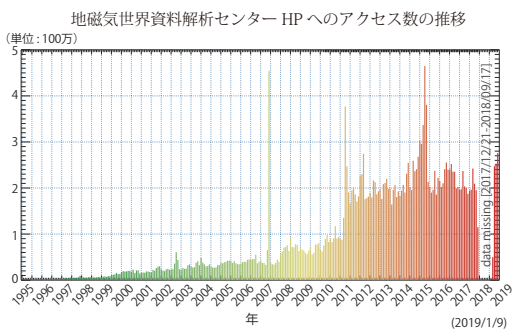
## データの収集・保存

WDCの一組織として、世界の約150カ所の地磁気観測所からデータを収集し、保存してい

ます。データは観測所からの郵送の他、静止衛星やインターネット経由で収集しています。保存データの概要は以下の通りです。

収集データの期間	1848年-現在(主として1957年以降)
媒体	マイクロフィルム 約9300巻(オリジナルは約5000巻) マイクロフィッシュ 約10000枚 データブック 約3400冊, 磁気図 約80枚, ディスク 約10TB
データの種類	地磁気データ (約400ヶ所の地磁気観測所) デジタルデータ: 1秒値, 10秒値, 1分値, 2.5分値, 1時間値 アナログデータ: ノーマルランマグネトグラム, ラピッドランマグネトグラム 地磁気指数: AE指数, Dst指数, K <sub>p</sub> ・K <sub>n</sub> ・K <sub>s</sub> ・K <sub>m</sub> 指数, Ap・aa指数, ASY・SYM指数 磁気図: 等値線図
地電流データ	1時間値, ノーマルランテルリグラム, ラピッドランテルリグラム
人工衛星磁場データ	GOES, ETS-VI, Oersted, SWARM, その他
その他の関連データ	太陽, 惑星間空間, 磁気圏, 電離層データ

# 地磁気データの サービス



## データの配布

収集・保存したデータは、全世界の利用者のリクエストに応じて無償で配布しています。配布の方法は、媒体を用いた従来のやり方が、デジタルデータをネットワーク経由で配布する方

法に大きく移行しています。

World Wide Webやanonymous FTPを通して、全世界から連日多数の利用があります。2019年12月現在、当センターのホームページへは1カ月あたり約270万件のアクセスがあります。

## 地磁気指数の算出と公開

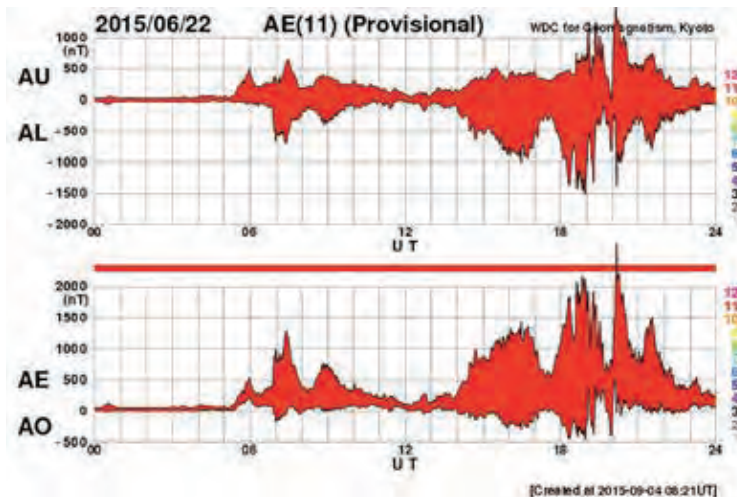
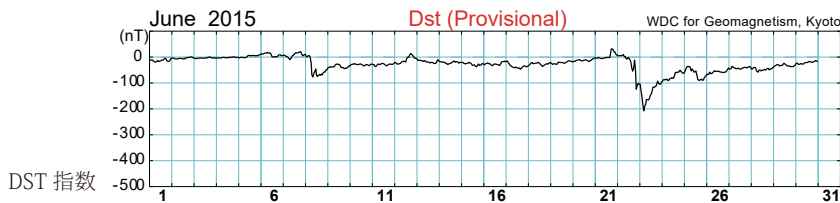
地磁気指数は、地磁気の変動程度を表現するもので、地球電磁気学・宇宙空間物理学の研究には非常に重要なものです。地磁気資料解析センターでは、AE指数・Dst指数・ASY指数の3種類の地磁気指数を算出し、公開しています。(AE指数はオーロラ出現領域、Dst指数は中低緯度域、ASY指数は中低緯度域で経度によって異なる地磁気擾乱をそれぞれ表しています。)こうした地磁気指数の算出は1981年から現在に至るまで中断することなく続けられています。

これに対し国際地球電磁気学超高層大気物理学会(International Association of Geomagnetism and Aeronomy)および太陽地球系物理学・科学委員会(SCOSTEP)は「WDC for Geomagnetism, Kyotoに感謝の意を表明する」という決議を計7回にわたって採択しました。

近年になってデータ収集がネットワークを介して行えるようになったことや、宇宙天気予報へ取り組みが始まったことを受けて、地磁気指数をリアルタイムで算出し、ホームページ上で公開しています。







峰山観測室（京都府京丹後市峰山町）



商用通信衛星とインターネットを組み合わせたデータの長時間送信（タイ・ピマライ大気科学観測所）



トカラ列島中之島での磁場観測

### 磁場観測

峰山や信楽の他、タイやインド、中国、さらには海底（北西太平洋盆、西フィリピン海盆）に磁力計を設置し、磁場観測を行っています。得られた地上磁場観測データはリアルタイムで処理され、地磁気解析センターに送信されます。このリアルタイムデータは、ホームページで公開されています。

また、ロシアの観測所にも磁力計を設置し、

静止軌道衛星およびインターネット経由で地磁気データを収集する計画も実施しています。このデータは、世界的に最も広く使われているAE地磁気指数を迅速に算出するためには不可欠なものであるため、多くの研究者がこの計画に期待しています。最近ではスペイン、トルコ、グルジア、ペルーなど各国との共同観測計画も進めつつあります。

### データ収集・サービス方法の研究

宇宙天気予報計画に必要な地磁気観測データを、世界各地からリアルタイムで収集する計画に参加し、インターネット、無線通信、および通信衛星のデータ中継機能を利用した送信方法について研究しています。また、それによって実際に収集したデータから地磁気指数の

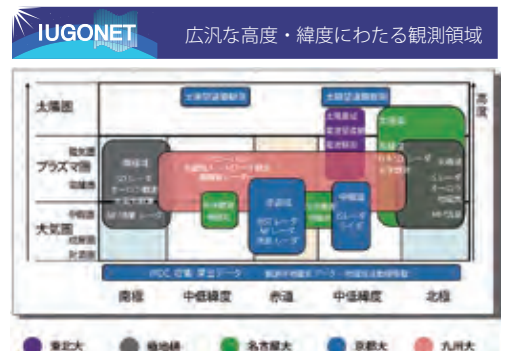
準リアルタイムサービスを提供しています。

最近では国外に磁力計を設置し、データを収集することにも力を注いでいます。また、古くからの地磁気観測データが大量に記録されているマイクロフィルムをデジタル画像ファイルへ変換、オンライン化するシステムの開発にも取り組んでいます。

### 大学間連携プロジェクト『超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究』（略称：IUGONET）の推進

超高層大気には、太陽紫外線や太陽風の他に、下層の対流圏・成層圏・中間圏からもエネルギーや運動量が流入しています。それらが複合して、全地球規模の大気大循環やその長期変動、磁気圏のプラズマ対流などに大きな影響を与えてい

ることが近年明らかになってきました。地磁気センターを含む IUGONET では、全地球に展開している磁力計、レーダー、太陽望遠鏡等の観測データに関するメタデータ・データベースシステムを構築し、各種観測データを有機的に利用した総合解析を促進します。さらに、様々な現象が複雑に絡み合う超高層大気の長期変動のメカニズム解明を目指します。



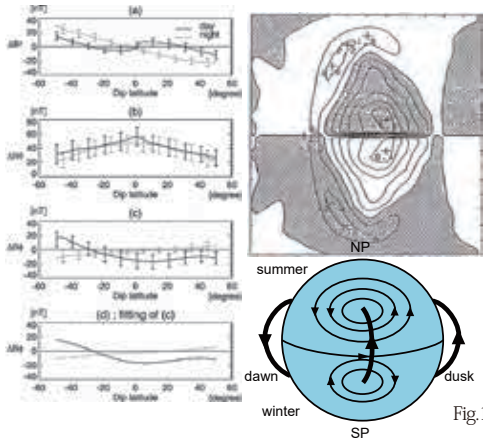


Fig.1

### 電離層ダイナモ電流の研究

京都大学理学部地球物理学教室で行われてきた電離層を流れる電流の生成に関する長年の研究の伝統を引継ぎ、計算機シミュレーションと人工衛星やレーダーによる観測を活用して、この分野における最先端の成果を上げています。人工衛星による精密磁場観測データの解析では、理論および地上磁場観測から存在を予想されていた南北両半球のSq電流渦の中心付近か

ら磁力線に沿って両半球の間を流れる沿磁力線電流の存在を確認することに成功しました。

Fig.1 エールステッド磁場観測衛星で確認された南北Sq電流渦間を流れる沿磁力線電流。そのため、昼間側赤道付近の磁場東西成分(左図最下段)がマイナスの値になっている。右上はシミュレーションで得られた電離層上端での沿磁力線電流の図(ハッチ部分が入る向き)、右下がそれに基づく模式図で、左図に示した磁場変化はこのような電流系に起因すると考えられる。

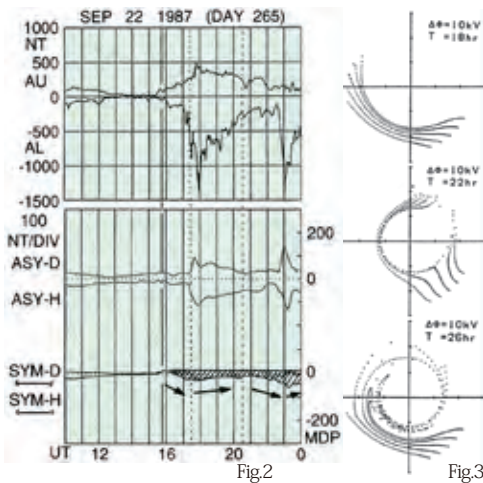


Fig.2

Fig.3

### 磁気嵐とサブストームの研究

磁気嵐やサブストームの発生メカニズムを理解するだけでなく、定量的に再現、あるいは予報するため、京都大学大型計算機を活用した現実的な磁気圏内での荷電粒子トレーシングによる磁気嵐電流系の再現実験を世界で初めて行うと共に、当センターで算出している地磁気指数

を用いた解析的研究でさまざまな成果をあげています。

Fig.2 地磁気指数の解析で明らかになった磁気嵐とサブストームの関係

Fig.3 磁気嵐中の荷電粒子トレーシング結果

## 地磁気データを活用した宇宙空間および地球内部現象の研究

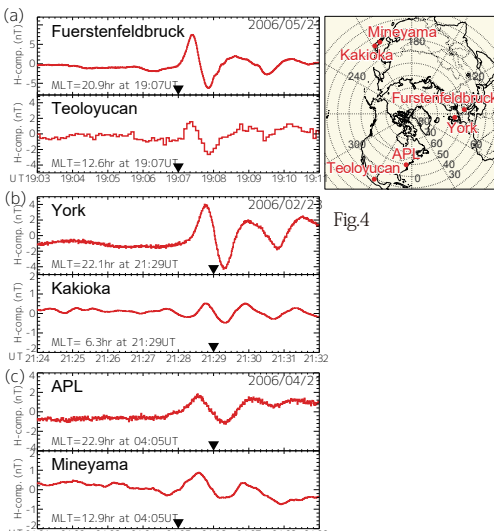


Fig.4

### 地磁気短周期変化の研究

電磁流体力学の地球物理学的应用例として、さまざまな地磁気脈動現象や、太陽風の中の衝撃波が地球の磁気圏を圧縮した結果おこるSC(Sudden Commencement)とよばれる地磁気水平成分の急増現象について、最新の高時間分解能地磁気観測データや人工衛星による太陽風・

磁気圏内での観測データを組み合わせ、総合的解析を行ってきました。また、経度方向に離れた6つの地磁気観測所でPi2型地磁気脈動を自動検出し、その結果を地磁気センターのホームページからリアルタイムで表示することにより、宇宙天気予報計画の一翼も担っています。

Fig.4 Pi2型地磁気脈動のリアルタイム検出の様子

### 地磁気永年変化の研究

地磁気を作り出す地球流体核内のダイナモ作用の解明に重要であると考えられる数百年から数千年の時間スケールの磁場変化を、歴史時代の遺跡から検出するための研究を行っています。

Fig.5 古代窯跡(7世紀の瓦窯)における残留磁気測定を試み



Fig.5

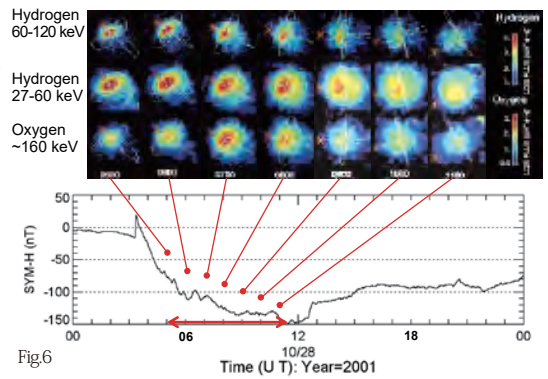


## 磁気圏構造とダイナミクスの研究

人工衛星観測計画には、データ解析の面から積極的に参加し、磁場および粒子データを収集・データベース化しています。その結果、これまで知られていなかった電流系の発見や、一部の研究者によって理論的には予測されていた電流系の存在を確認することなどにも成功しました。その他にも、高エネルギー粒子観測データ

を活用し、地上の磁場変動とリングカレント粒子の変動の間には、予想に反するような例があることを発見しました。

Fig.6 リングカレント粒子から生成された高エネルギー中性粒子の時間変動（上図）と、地上磁場変動を平均化した SYM-H 指数の時間変動（下図）の比較



## 地球内部および海洋底の電磁気学的研究

地球内部を観測的に調べる手段の一つとして、地磁気観測データは非常に重要です。当センターでは、データを収集提供するだけでなく、収集したデータを活用して、地磁気の成因の解明に寄与する地球深部の電気伝導度構造の研究も行っています。また深海底における電磁場の長期観測計画に参画し、装置の開発とデータ解析を行っています。世界で初めて、水深 5000 メートル以上の深海底で観測された長期間の磁場データを公開しました。現在では、北西太平洋海盆に 1 点 (NWP 点)、西フィリピン海盆に 1 点 (WPB 点) の計 2 点で海底電磁場 5 成分の連続観測を実施しています。NWP 点では 2001 年 8

月から、WPB 点では 2006 年 6 月からデータが得られています。

Fig.7 船上から投入される海底電磁気観測ステーション (SeaFloor ElectroMagnetic Station, SFEMS)。この装置は、オーバーハウザー型絶対全磁力計とフラックスゲート型三分磁力計を搭載し、海底で複数年の無人連続観測が可能。



Fig.8 海底で潜水艇「かいこう 7000II」を用いた設置作業中の SFEMS。海底観測点での長期観測では、既設機に隣接して代替機を潜水艇により敷設する事で装置の入れ換えを行う。手前に見えるのは、潜水艇のマニピレータ (海洋研究開発機構の「かいこう 7000II」により撮影)。

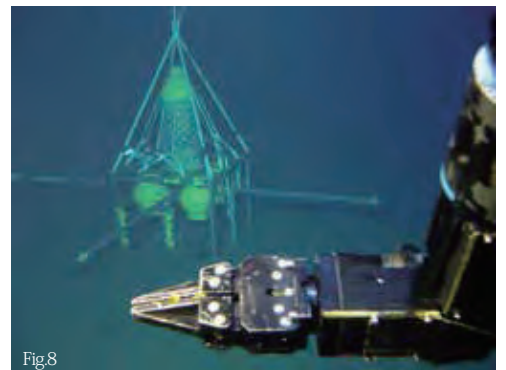
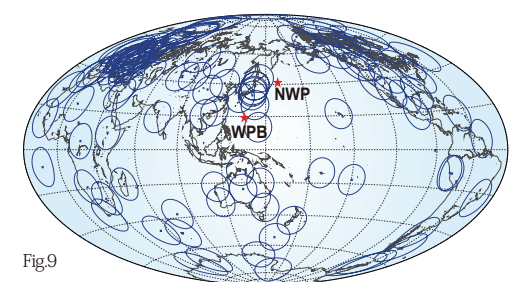


Fig.9 世界の地磁気観測所分布。円の半径は 1000km。赤い星印が、当センターで維持・運営している海底長期電磁気観測点。



## 地球表層を起源とする超高層電磁気現象の研究

オーロラや磁気嵐、Pi2 型地磁気脈動に代表される超高層電磁気現象の大部分は、太陽・太陽風のエネルギーが源と考えられていますが、地震や火山噴火、台風などにエネルギー源を持つ地磁気脈動も存在することがわかりました。当センターでは、電磁場の観測だけでなく、地表と超高層の橋渡しをする超低周波数の音波に着目した微気圧変動の観測も行っています。

Fig.10 2004 年のスマトラ大地震の時に、タイ・ピマroi 観測所で観測された、地震が原因とみられる地磁気脈動現象

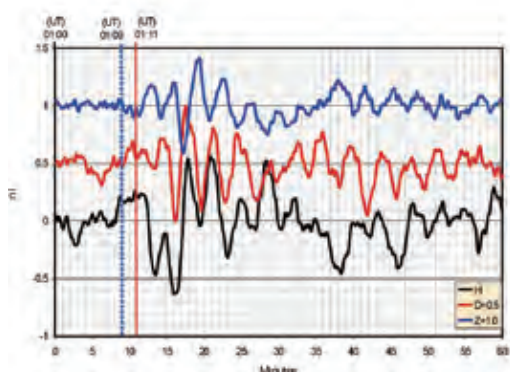


Fig.10

Fig.11 地震に伴う音波が地磁気脈動を発生させるメカニズム

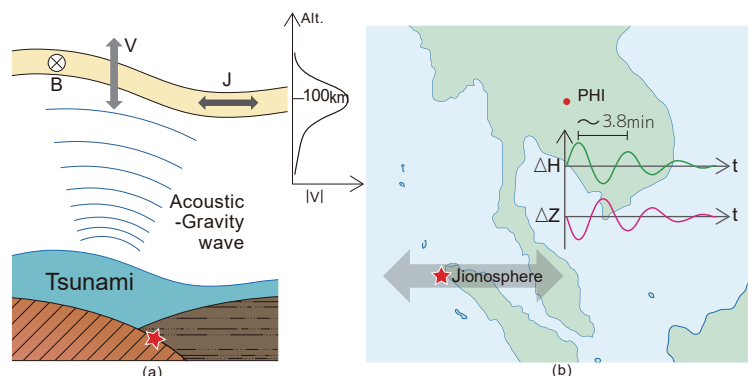


Fig.11



## 地磁気の観測 タイ・ビマーイ観測所の例

地磁気は向きと大きさ(強度)を持つベクトル量で、それらの絶対値を正確に決める地磁気絶対観測と、刻々の変化を測定する変化磁場観測があります。絶対観測は通常、磁力計を載せた非磁性のセオドライ

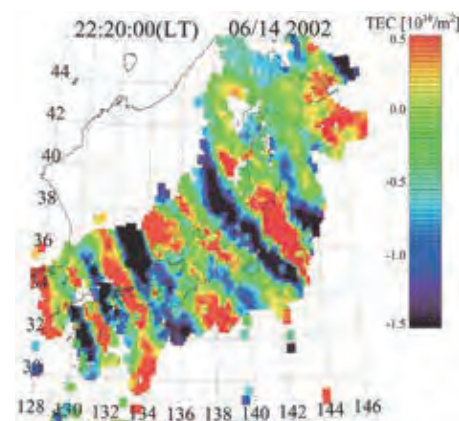
トを使って角度の1秒まで正確に測定する必要があります。また、変化磁場観測には、人工的な電磁ノイズのない環境が必要です。

磁場はミクロの世界から大宇宙まで、いたるところで基本的な役割を果たしています。地磁気世界資料解析センターが所属する理学研究科だけでも、さまざまな自然界の磁場に関する研究が行われています。地磁気の研究も下記のような異なる領域における研究も基本原理は共通しているので、お互いに有用な知識・情報の交換および共同研究をすることができます。

## 理学研究科における 関連する研究

### 火山活動に伴う地磁気変化の研究

理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センターでは火山の噴火活動に伴う磁場変化の検出と噴火の仕組みの解明を目指しています。



[<http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/>]  
(太陽惑星系電磁気学講座提供)

### 太陽表面現象の研究

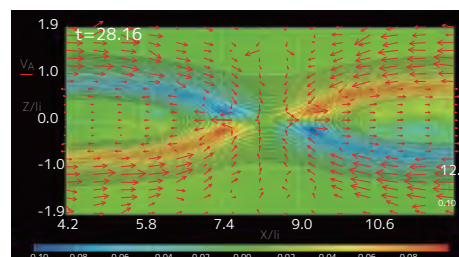
太陽表面で発生するフレアなどの激しいプラズマ現象には磁場が本質的な役割を果たしていることが知られています。理学研究科附属天文台では、太陽表面の詳細な観測を行うとともに、数値シミュレーションを用いた理論的研究も行っています。

### 熱圏・電離圏大気の研究

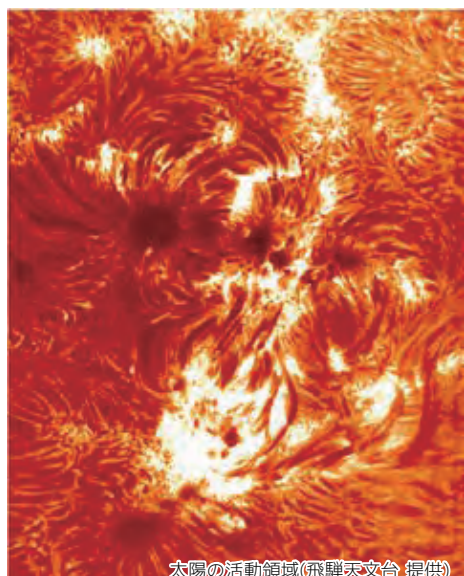
磁気圏からのエネルギー流入によって熱圏・電離圏大気には様々な擾乱現象が発生し、通信や精密測位に影響を及ぼします。地球物理学教室太陽惑星系電磁気学講座では、GPS電波や光学的観測手法を用いて熱圏・電離圏に発生する大気・プラズマ擾乱の生成と伝搬メカニズムを研究しています。

### 地球・惑星磁気圏プラズマの研究

地球物理学教室太陽惑星系電磁気学講座では地球や惑星の電磁圏を構成しているプラズマの特性や磁場の構造、それらのダイナミクスに関する研究を衛星や地上観測のデータの解析や計算機シミュレーションによって行っています。



磁気リコネクションの計算シミュレーション  
(太陽惑星系電磁気学講座提供)





# 沿革

## 前身：国際地球観測地磁気世界資料室

1957年、国際地球観測年 (International Geophysical Year) 事業の実施にあたり、国際学術連合会議のIGY特別委員会は、観測データの流通を促進するため、全世界にいくつかの世界資料センター (World Data Center) を設置することを提案しました。地磁気研究で実績のあった京都大学理学部

はその一つ WDC-C2 for Geomagnetism を引き受けることになり、1957年12月に京都大学附属図書館に国際地球観測地磁気世界資料室が開設されました。

そのセンターには事務官1名が配置され、臨時事業費と理学部、工学部、教養部の関係教官の奉仕により19年間にわたってデータサービスを行いました。

## 日本学術会議における検討

1976年5月の国際協力事業特別委員会 STP 分科会において世界資料センターのあり方について検討がなされました。その結

果、世界資料センターは地球物理学研究の推進に今後ますます重要な役割を果たすものと考えられるので、現存するセンターを組織として確立するとの結論を得ました。



## 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 理学研究科1号館5F  
Tel:075-753-3929 Fax:075-722-7884  
URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

## センターへのアクセス

京都駅より	京都市営バス「京大農学部前」すぐ	市バス17系統 約35分
京阪出町柳駅より	徒歩15分	
地下鉄今出川駅より	市バス203系統 約10分	
地下鉄東山駅より	市バス31・201・206系統 約10分「百万遍」下車、徒歩	



## 地磁気世界資料解析センター設立後のあゆみ

1977年4月18日

京都大学理学部附属地磁気世界資料解析センター設立  
専任教官として助教授1名の配置

1979年 新館 (理学部4号館)3階に移転

1980年 助手ポストの新設

1981年 AE 指数のデータブック第1号の発行・配布

1982年 技官ポストの新設

1983年 地磁気データベース「GEOMAG」構築

NASAより Group Achievement Award 受賞

1986年 Dst 指数の算出開始 (1985年10月分より)

1988年 太陽地球系物理学データベース「STP」構築

1990年 信楽 MU レーダー観測所で磁場観測開始

「地磁気センターニュース」(隔月刊) 発行開始

高時間分解 Dst 指数 (ASY/SYM 指数) 算出開始

1993年 INTERMAGNET 計画による準リアルタイムデータ収集開始

1995年 防災研究所峰山観測室で磁場観測開始

ロシア・ティクシー観測所 (TIK) から気象衛星

ひまわり経由のデータ送信開始

WWW ホームページサービス開始

1996年 リアルタイム AE・Dst 指数・地磁気データ・Pi2 地磁気脈動検出開始

1998年 京都大学大学院理学研究科附属となる

1999年 教授ポストの新設

2000年 アナログ資料のオンライン化開始

中国・ウルムチ (WMQ) で地磁気観測を開始

2004年 タイ・ピマーイで地磁気観測を開始

2005年 トルコ・イズニック、阿蘇からの実時間データ転送開始

2007年 グルジア・トビリシ (TFS) に磁力計を設置

Pi2 地磁気脈動指数算出開始

2008年 インド・アリバグ (ABG) に磁力計を設置、実時間データ転送開始

2009年 理学研究科1号館5階に移転

大学間連携事業「超高層大気長期変動の地球上ネットワーク観測・研究」(略称 IUGONET) 開始

エディンバラセンターとのミラーリング開始

## 地磁気世界資料解析センター World Data Center for Geomagnetism, Kyoto





$$B(r) = \frac{\int \int \int d^3 r' j(r') \times (r - r')}{|r - r'|^3}$$

$$u_g = \left( \frac{m\omega_{\perp}^2}{2qB^4} \right) B \times \frac{\nabla B^2}{2}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$u_e = \left( \frac{m\omega_{\parallel}^2}{qB^4} \right) B \times [(B \cdot \nabla) B]$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$P_n^m(\cos\theta)$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \cdot D = \rho_e$$

$$u_{\perp} = E \times B / B^2$$

$$J = \sigma(E + v \times B)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\sigma/\mu_0} \nabla^2 H - \nabla \times (v \times H)$$

$$W = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{r}{R} \right)^{2n+1} P_n^m(\cos\theta) (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi)$$

$$W = W_e + W_i = \sum (W_{en}^m + W_{in}^m) = \sum ((e_{en}^m \cos m\phi + e_{in}^m \sin m\phi) r^{2n+1} P_n^m(\cos\theta) + (i_{en}^m \cos m\phi + i_{in}^m \sin m\phi) R^{2n+2}/r^{n+1} P_n^m(\cos\theta))$$

$$B = -\mu_0 \nabla W$$

$$e_{n-a}^m = ((n+1)a_n^m + n\alpha_n^m) / ((n(2n+1))\mu_0)$$

$$i_{n-a}^m = (a_n^m - \alpha_n^m) / ((n+1)\mu_0)$$

$$X = \mu_0 / r \partial W / \partial \theta, Y = -\mu_0 / (r \sin\theta) \partial W / \partial \phi, Z = \mu_0 \partial W / \partial r$$