



# 地磁気世界資料解析センター News

## 1. 新着地磁気データ

前回ニュース (2016年5月25日発行, No.157) 以降入手、または、当センターで入力したデータのうち、オンラインデータ以外の主なものは以下のとおりです。

オンライン利用データの詳細は (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/catmap/index-j.html>) を、観測所名の省略記号等については、観測所カタログ (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/catmap/obs-j.html>) をご参照ください。

また、先週の新着オンライン利用可データは、(<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/onnew/onnew-j.html>) で御覧になれば、ほぼ2ヶ月前までさかのぼることもできます。

### Newly Arrived Data

- (1) Annual Reports and etc. (off-Line) : NGK (May. - Jun., 2016)
- (2) Kp index : (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index-j.html>) : (May - Jun., 2016)

## 2. AE 指数と ASY/SYM 指数

2015年12月-2016年5月のAE指数暫定値が公開されました。

[http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae\\_provisional/index-j.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_provisional/index-j.html)

また、2016年5-6月のASY/SYM指数を算出し、ホームページに載せました。

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/index-j.html>

## 3. 荒木 徹 元地磁気センター長が JpGU フェローを受賞



<写真1: 授賞式風景  
(撮影: 桂華邦裕氏) >

太陽風に対する地球磁気圏応答の物理過程解明を中心とする太陽地球系物理学への貢献、および地球惑星科学データの保存と提供活動における貢献による功績により、2016年度の日本地球惑星科学連合フェローに、荒木徹 元センター長が選出されました。

( <http://www.jpogu.org/jpogu-fellowship/2016/fellow-tohru-araki.html> )

荒木先生は、1990年から2000年まで、当センターのセンター長を併任され、また、国際科学会議(ICSU)世界資料センターパネル(WDC-Panel)中央局委員、国内では地球電磁気学研究連絡委員会委員、地球物理研究連絡委員会データ問題小委員会委員長、情報学研究連絡委員会委員、測地学審議会STEP検討小委員会委員・臨時委員、地球観測情報システム検討委員会委員などを歴任され、研究だけではなく、地球科学関連のデータ保存とサービスの問題にも長年にわたり熱心に取り組まれておられます。



<写真2: 会場にて(右は津田敏隆前 JpGU 会長)>

#### 4. 地磁気センサーが短時間に動いた場合の回転角の計算方法

トカラ列島中之島で実施している地磁気観測で用いているフラックスゲート型磁力計のデータ（毎秒平均値）が、1月19日と2月24日のいずれも夜の8時あるいは9時台の2~3秒以内にステップ状の変動を示した（表1）。変動前、X軸は水平面内ではほぼ磁北、Y軸はそれに垂直で東が正、Z軸は鉛直下向きになるよう設置されていた。このような変動は、通常、センサーが急に動かされた場合に見られる。センサーは3本の石突きで、コンクリートブロックの上に固定した受け台の上に乗せられていて、簡単には動かない。また、センサーはブロックの壁と、上に載せた厚い合板で覆われている。ただ、センサーから信号を取り出すケーブルを強く引くと石突きが受け台から外れてセンサーが回転する可能性はある。

年度末の時間的および出張旅費の制約から、島には当分行けそうになかったため、回転角を求めて、データを補正することにした。データは2回ともほんの2-3秒内に変動していることから、その間の磁場変化は無視できると仮定して、前後のデータの比較から回転角を求める方法を考えた。特に難しいことをしているわけではないので、既に同じ方法がどこかに記載されているかもしれないが、web等で探した限りでは見つからないので、今後のご参考までに、以下に今回考案した簡易な方法を記載する。

##### (1) 解くべき式

図1の右上が元の、すなわち回転前の直交座標系(X,Y,Z)で、それが3次元的に回転して、(X',Y',Z')に移動したとする。図でBと記されている太い矢印は、地磁気のベクトルで、回転した2-3秒間は変化がなかったと仮定する。この回転は、X'軸に関しα、Y'軸に関しβ、Z'軸に関しγ回転させることにより、磁場Bを成分で表記したベクトル(x',y',z')から(x,y,z)に戻すことができる。各回転は、3x3の行列による直交変換で、図1の下の式で表現される。

(x,y,z)および(x',y',z')は回転直前と直後の観測値で与えられており、α、β、γの3つが未知数で、この式は解けるはずである。しかし、三角関数の関係式を使って単純化する必要があり、なかなか面倒そうに見える。そこで、次のように考える。

#### 1月19日と2月24日夜発生した急な磁場センサーの回転

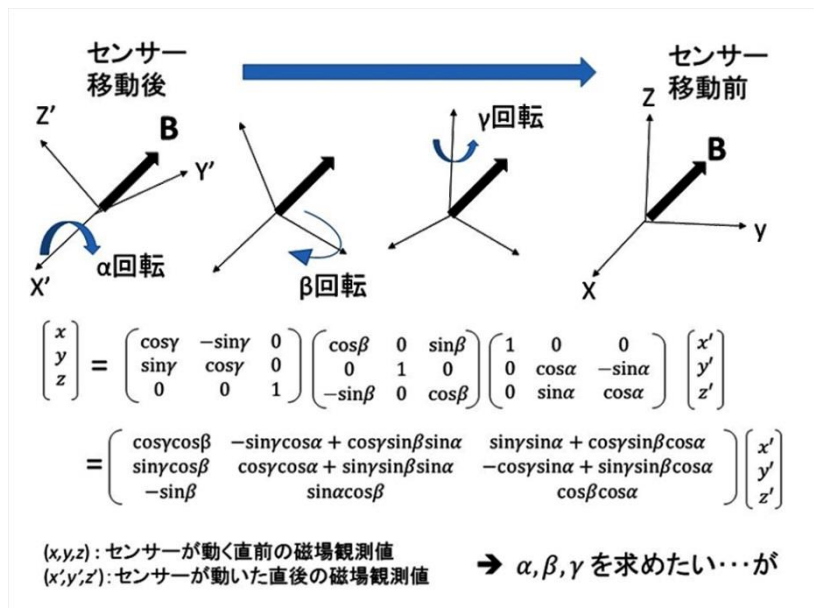
(1) 1/19 at 41466 sec(UT)

Year	Mon	Day	Sec	X (nT)	Y (nT)	Z (nT)
2016	1	19	41462	34026.43	-51.57	30828.11
2016	1	19	41463	34026.47	-51.02	30828.13
2016	1	19	41464	34026.44	-51.29	30828.20
2016	1	19	41465	34026.27	-52.55	30828.46
2016	1	19	41466	33998.62	529.49	30816.23
2016	1	19	41467	31058.56	12052.43	31634.80
2016	1	19	41468	30957.75	12228.08	31679.39
2016	1	19	41469	30957.72	12228.24	31679.40
2016	1	19	41470	30957.82	12227.73	31679.60

(2) 2/24 at 45810 sec(UT)

Year	Mon	Day	Sec	X (nT)	Y (nT)	Z (nT)
2016	2	24	45807	30964.37	12212.48	31681.50
2016	2	24	45808	30964.37	12212.48	31681.51
2016	2	24	45809	30964.37	12212.48	31681.51
2016	2	24	45810	28648.26	16181.98	31528.93
2016	2	24	45811	24321.25	23358.20	31247.59
2016	2	24	45812	24321.51	23357.92	31247.59
2016	2	24	45813	24321.56	23357.81	31247.64
2016	2	24	45814	24321.37	23357.84	31247.76
2016	2	24	45815	24321.34	23357.81	31247.80

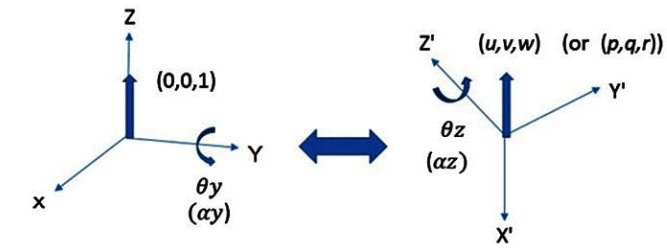
<表1: 急な変動を含む前後のデータ>



<図1: 求めたい回転行列>

(2) 座標変換

図 2 上の右に示した座標系(X',Y',Z')は、回転前あるいは回転後の座標で、太矢印で示した地磁気ベクトルは規格化して単位ベクトルにする。この単位ベクトルを、Z 軸上の単位ベクトルからまず Y 軸の回りに(θy あるいは αy)回転し、次に Z'軸の回りに(θz あるいは αz)回転して、規格化した回転直前、あるいは、回転直後の磁場ベクトルに変換する。回転直前の座標系で規格化した磁場ベクトル成分を(u,v,w)、回転直後の座標系で規格化した磁場ベクトル成分を(p,q,r)とすると、Z 軸上の単位ベクトル(0,0,1)との間には、それぞれ、図 2 の下に示した関係が成り立つ。θy と θz、あるいは αy と αz は、図 2 右下



(u,v,w): センサーが動く直前の磁場観測値を規格化 (単位ベクトル)  
 (p,q,r): センサーが動いた直後の磁場観測値を規格化

規格化した観測値から求まる

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_z \cos\theta_y & -\sin\theta_z & \cos\theta_z \sin\theta_y \\ \sin\theta_z \cos\theta_y & \cos\theta_z & \sin\theta_z \sin\theta_y \\ -\sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_y \cos\alpha_z & \cos\alpha_y \sin\alpha_z & -\sin\alpha_y \\ -\sin\alpha_z & \cos\alpha_z & 0 \\ \sin\alpha_y \cos\alpha_z & \sin\alpha_y \sin\alpha_z & \cos\alpha_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}$$

$\theta_y = \cos^{-1}(w)$   
 $\theta_z = \cos^{-1}(u/s \sin\theta_y)$

$\alpha_y = \cos^{-1}(r)$   
 $\alpha_z = \cos^{-1}(p/s \sin\alpha_y)$

(p,q,r) → (0,0,1) → (u,v,w) と変換する行列をセンサーが動いた直前と直後のデータから求めて、それを、動いた後のデータに掛けて、元の座標系に戻す。

<図 2 : 左上の座標を媒介して、変換を 2 段階に分けて考える>

に示すように、規格化した磁場ベクトル成分から計算できるので、図 2 下の 2 つの行列を掛けることにより、回転直前のベクトル成分を回転直後のベクトル成分から求めることができる。すなわち、Z 軸にのみ大きさ 1 の成分を持つ座標を媒介して、回転を 2 段階に分けて考える。

(3) 結果

図 3 に、このようにして求めた実際の回転角を示す。1 月 19 日、および 2 月 24 日の 2 度の回転とも、ほぼ鉛直軸の回りの回転で、2 度とも、西に 20 度余り回転したことがわかる。すなわち、あわせて約 44 度西に回転したと推測された。

以上の計算では、フラックスゲート磁力計の 3 つのセンサー軸が直交しており、また、各センサーの感度は同じであると仮定している。しかし、実際にはわずかながら誤差があるはずで、その場合は、磁場の絶対値は保存しない。すなわち、回転の前後で絶対値が変化する。実際、この場合は 36 nT 変化した。これは全磁力 45000 nT 余りの 0.8% に相当する。

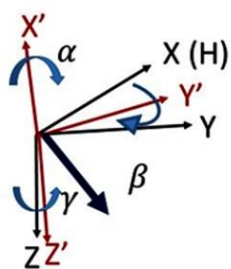


図2の 2つの(3x3)行列の積をAとする

$$A = \begin{bmatrix} A11 & A12 & A13 \\ A21 & A22 & A23 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix}$$

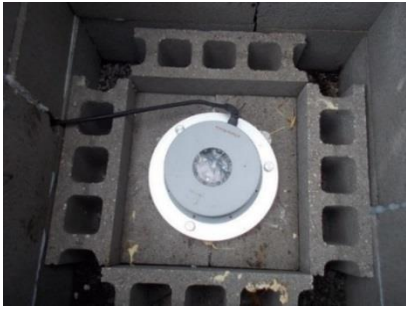
各軸廻りの回転角 (degree)

**1月19日の移動を元に戻す回転**  
 α= -0.52 β= 1.31 γ= -21.46

**2月24日の移動を元に戻す回転**  
 α= 0.53 β= -0.55 γ= -22.32

**2度の移動の合成を元に戻す回転**  
 α= -0.44 β= 0.46 γ= -43.78

<図 3 : 回転角度の計算結果>



<写真1：回転前（左，昨年撮影）と回転後（右，今回撮影）>



<写真2：センサーハット>



<写真3：原因?>

6月6日から9日まで、トカラ中之島に出張することができ、センサーの状態を確認したところ、上記推定のとおり、石突きが受け台からはずれて、西に約40度程度回転していることが確認でき（写真1）、元に戻すとともにケーブルに余裕を持たせた。

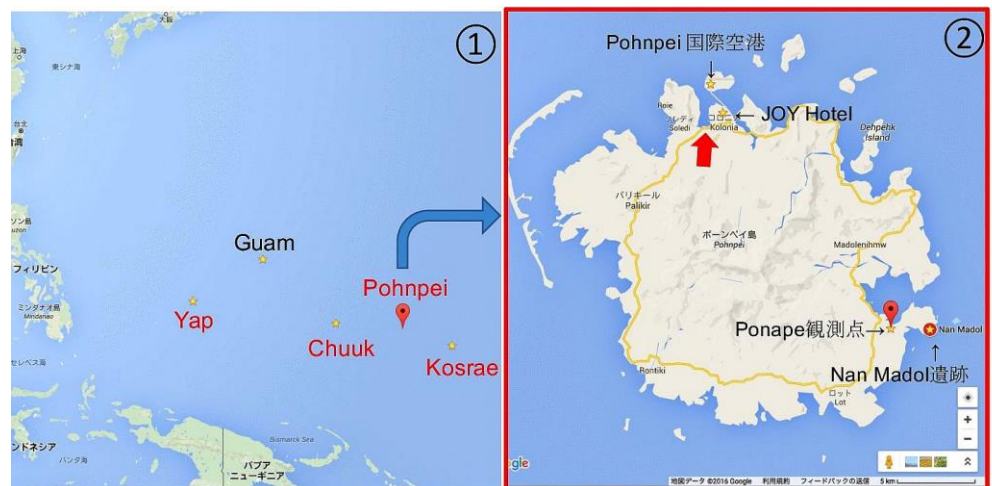
何故強い力が加わってセンサーが回転したかは定かではないが、両日とも風の強い寒い日で、ケーブルの長さに十分な余裕を取っていなかったため、放牧されている牛が、竹藪の茂みの冷たい風の来ないセンサー設置場所（写真2）で暖を取りに入り、引っかけたのではないかと想像している。放牧の柵外なのに牛の糞が落ちていたこともそれを裏付ける。

（家森 俊彦）

## 5. Ponape 島での地磁気絶対観測の報告

筆者は、2016年4月に東京大学地震研究所(以下、地震研)に着任後、海半球観測研究センター准教授・清水久芳氏から、地震研グループが続けてきたポナペ島(Ponape)における地磁気絶対観測に同行する機会をいただいた。本稿では、Ponape 島で行われている地磁気連続観測と、筆者が参加した Ponape 島での地磁気絶対観測出張(2016年7月7-13日)の概要について報告する。

まず、多くの方にとって馴染みの薄い Ponape という場所について紹介したい。Ponape 島はミクロネシア連邦の Pohnpei 州(State of Pohnpei)に属する直径20kmほどの島である(図①、②)。(ポンペイ(Pohnpei)は、通称で用いられるポナペ(Ponape)の現在の正式呼称である。1979年独立時より、現地語の Pohnpei が正式名となった。以下、Ponape を地域名、Pohnpei を正式名称として用いるが意味の違いはない。)ミクロネシア連邦は、ヤップ島(Yap)、チューク島(Chuuk)、ポンペイ島(Pohnpei)、コスラエ島(Kosrae)の4島を主体とする4つの州で構成される(図①)。日本から Pohnpei



<写真①②：Pohnpei 島の位置と Ponape 観測点の位置関係。JOY Hotel は今回の出張で利用したホテル。図②の赤い矢印は図⑧の写真の撮った視線の方向を示している。>

島へのアクセスでは、まず Guam に渡り、UNITED 航空の国際定期便を利用して、Guam→Chuuk→Pohnpei の経路でようやく Pohnpei 島に到着する。Pohnpei 島のパリキール(Palikir)がミクロネシア連邦の首都であり、Pohnpei 島にはミクロネシア連邦の人口 11 万人の約 3 割にあたる約 34000 人が居住している。興味深いことに、ミクロネシアは、第一次世界大戦から第二次世界大戦の終わりまで日本が統治しており、その間に多くの日本人が移住したため、現在でも多くの日系人が居住し、日本文化が生活に強く根付いている。例えば、食事は日本人に馴染み深いものが多く、ホテルのレストランでは、すき焼き定食、そうめん定食などを味わうことができた。日本から約 3700km 離れた太平洋の島国で、食べ慣れた日本食が食べられたことは大きな驚きであった。

次に、Ponape での地磁気連続観測について述べる。Ponape では、主に東大地震研のグループにより 1992 年から地震観測が、1997 年から地磁気の観測が始まっている。これらは、1996 年から五カ年計画で始まった海半球ネットワーク計画 (OHP: Ocean Hemisphere network Project, <http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/en/ohp/index.html>)による地震・電磁気・測地観測網の一端を担っている。OHP の太平洋陸上地磁気観測については Shimizu and Utada (1999, EPS)に、また、実際の Ponape における磁力計の設置については小山他(1998)に詳細な記述があるので、参照されたい。OHP による地磁気観測は、オーバーハウザー型プロトン磁力計による全磁力観測と、フラックスゲート磁力計による三成分観測の組み合わせで行われている。フラックスゲート磁力計により得られる地磁気三成分データは、気温・傾斜変化等の影響によりオフセットがドリフトしやすいため、絶対三成分値として使用するためには、定期的な地磁気三成分の絶対観測により下駄となる基線値を求めて、補正を行う必要がある(Shimizu and Utada, 1999)。Ponape 観測点では、1999 年よりこれまで、年一回の絶対観測が行われており、その結果を基に磁場三成分データの基線値補正が行われている。



<写真③：オーバーハウザー型プロトン磁力計。>

本年は、7月7-13日の旅程で絶対観測出張が組まれており、筆者も参加できることとなった。今回の観測出張は、清水久芳氏、地震研技術部の宮川幸治氏、研究員の南(筆者)の三人体制であった。7日午前11時の便で成田空港を立ち、約三時間でグアムに到着後グアムで一泊した。翌朝8時20分グアム発の便でChuukを経由し、Pohnpei島についたのは、8日午後1時頃である。今回は、何事もない空の旅であったが、清水氏の話では、台風の影響などでGuamからPohnpeiに渡れなかったこともあるという。Ponapeは日本と2時間の時差があるが、Guamで一泊した際にすでに1時間時差があり、違和感なく現地での活動に移った。筆者は、地磁気の絶対観測に参加するのが初めての経験であり、本出張によって、その多くを学ぶことができた。絶対観測は、FT型磁気儀(図⑥)を用いて、地磁気の偏角・伏角を測定し、同時刻のプロトン磁力計の全磁力値を利用して、地磁気三成分の絶対値を計算する。筆者は、宮川氏が読み上げる角度の値を、野帳に記録する記録係であった。鬱蒼と茂る熱帯の林の中で、一時間弱かかる観測の間、じっと耳を澄まして角度の記録を続ける仕事は、思っていたよりも忍耐を要し、したたる汗をしきりに拭いながらの観測であった。他の仕事等の都合もあり、中3日のPonape滞在で行えた絶対観測は計6回であったが、大きな飛び値もなく、無事観測を終えることができた。清水氏によれば、今回の絶対観測の結果から得られた三成分の基線値は、これまでの基線値変化傾向に沿うものであり、良好な結果とのことである。北緯6.84度、東経158.31度に位置するPonape観測点(図②)では、IGRF-12 (Thebault et al., 2015) から



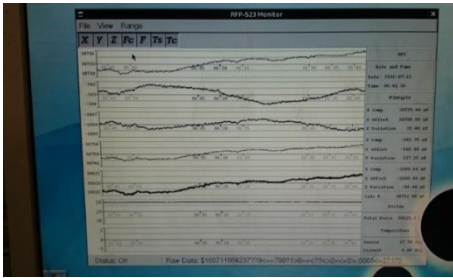
<写真④：観測小屋の前の筆者(左)と清水氏(右)。>



<写真⑤：観測小屋内部の様子。>



<写真⑥：FT型磁気儀と観測中の宮川氏。>



<写真⑦：観測小屋内のモニタ。時系列は上から、フラックスゲートによるX、Y、Z成分、合成全磁力、オーバーハウザーによる観測全磁力が表示されている。>



<写真⑧：図②の赤矢印の視線で撮った、夕暮れ前の写真。>

計算される2016年の磁場の伏角がわずかに正となるが、Ponapeの絶対観測結果では、伏角が負となる点が興味深い。Ponape島はもともと火山島であるため、負の伏角は、表層付近の岩石の強い磁化が原因と考えられる。また、この強い磁化の影響により、Ponape観測点付近では磁場傾度が大きく、20m程度離れたフラックスゲート磁力計とプロトン磁力計の設置点間では、全磁力において800nT程度の差があることもわかっている。Ponape観測点における正確な観測結果は、太平洋上の他島の観測点と共に、磁場モデルなどの全球的な地磁気解析において非常に重要であり、解析結果を大きく拘束しうる。今回、その重要な地磁気観測の一端を担えたことに、大きな意義を感じた。

余談であるが、先日、トルコのイスタンブールで開かれた第40回世界遺産委員会(2016年7月10-20日)において、Ponape観測点にほど近いナンマドール(Nan Madol)遺跡(図②)がミクロネシア連邦初の世界遺産に認定された。空港からNan Madol遺跡への陸路は、現在、Ponape観測点から僅か数十メートルの道路を通過する必要があるため、今後観光客が増えた場合、観測点付近の磁氣的静穏な環境が変化することが懸念される。一方で、現在約一時間かかる市街地から観測点までの道が整備され、観測点へのアクセスが大きく改善される可能性もある。いずれにせよ、Ponape観測点を維持していくにあたり、世界遺産Nan Madol遺跡をめぐる今後のPonapeの動向には注意が必要と思われる。

最後に、筆者に絶対観測参加の貴重な機会を与えてくださった清水久芳准教授と、拙い記録係に忍耐強く絶対観測のいろはを教えてくださいました宮川幸治氏に、この場をお借りして深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 小山茂、歌田久司、浜野洋三 (1998), “海半球用磁力計のポンペイ観測点への設置”, 技術研究報告(東京大学地震研究所) No. 2, 125 – 129.
- Shimizu, H., & H. Utada (1999), “Ocean hemisphere geomagnetic network: its instrumental design and perspective for long-term geomagnetic observations in the Pacific”, *Earth, planets and space*, 51(9), 917-932.
- Thebault, E., et al. (2015), “International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation”, *Earth, Planets and Space* 2015, 67-79.

(東京大学地震研究所 日本学術振興会特別研究員(PD) — 南 拓人)