

平成21年 5月22日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18253005
 研究課題名（和文）環太平洋ネットワーク観測による宙空領域へのエネルギー・物質流入過程の研究
 研究課題名（英文）Study on Energy and Momentum Transfer from the Solar Wind into the Geospace using Circum-pacific Network Observations
 研究代表者
 湯元 清文（YUMOTO KIYOHUMI）
 九州大学・宙空環境研究センター・センター長
 研究者番号：20125686

研究成果の概要:既存の環太平洋地磁気ネットワーク(CPMN)に新たなリアルタイムデータ収集システム(MAGDAS)、電離層電場観測レーダ、宇宙線計等を有機的に組み合わせた、全球的準リアルタイム環太平洋ネットワーク観測網の完成とそれを用いた「宇宙災害予測」に向けた海外学術調査を実施した。この全球的ネットワーク観測から、太陽活動や太陽風変動に対する地球磁気圏・電離圏の電磁プラズマ環境の長周期変動から過渡的応答に関する成果を得ることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2007年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
2008年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
年度			
年度			
総計	32,600,000	9,780,000	42,380,000

研究分野：太陽地球系科学

科研費の分科・細目：数物系科学・超高層物理学

キーワード：宇宙天気、極域擾乱、赤道域ネットワーク、物質・流入過程、環太平洋地磁気ネットワーク観測、太陽風変動、IHY/CAWSES

1. 研究開始当初の背景

21世紀に入り、人類の生活圏が宙空(磁気圏-電離圏-大気圏)領域に拡大するにつれて、太陽面爆発に伴う放射線の飛来、宇宙デブリ(ゴミ)、さらに磁気嵐による電磁プラズマ粒子擾乱による通信・放送・気象観測・GPS測地などの宇宙機への災害が深刻に懸念されている。このような宇宙災害を最少にし、安心・安全な社会基盤の確保の為に宙空領域の電磁プラズマ粒子環境変動をグローバルに捉え、そのメカニズムを究明する為の全球的

な地上ネットワークを用いた観測的基礎研究が緊急の課題になっている。

2. 研究の目的

本研究では、既存のシベリア、日本、東南アジア、オーストラリア、メキシコ、北米の環太平洋域の観測点と東南アジア、インド、アフリカ、ブラジル、ペルーの経度の隔たった磁気赤道沿いの観測点からなる環太平洋地磁気ネットワーク(CPMN)に、新たなリアルタイムデータ収集システム(MAGDAS)、電離層電場観測レーダ、リオメータ、宇宙線計等を有

機的に組み合わせた全地球的規模の準リアルタイム環太平洋ネットワーク観測網の完成と、それをを用いた「宇宙災害予測」に向けた海外学術調査を実施する。

3. 研究の方法

(1) 磁気赤道に位置するブラジルのサンルイス、ペルーのアンコン、アフリカのエチオピア、ナイジェリア、コートジボアールと西太平洋の多点でのグローバルモード電磁擾乱や南米での高エネルギー粒子異常流入の同時観測のため磁力計、宇宙線計の観測を行う。

(2) 西太平洋の磁気赤道付近に位置するヤップ、フィリピン（セブ、ダバオ）、マレーシア（ランカウイ）の赤道ジェット電流と地磁気・ULF波動の定常観測、さらに電離層レーダとの共同観測を実施する。

(3) ロシアのヤクーツク宇宙物理研究所との共同で、オーロラ帯のチキシー、チョコラダーク、コテルニー島、並びにカツビューで光学・電磁環境の調査を行い、オーロラ嵐や太陽風変動に伴う電磁場変動の観測研究を始める。

(4) ロシア・カムチャッカの宇宙科学研究所との共同で、パラツンカ及びマガダンで電磁環境の調査を行い、中緯度での地磁気・ULF波動の同時観測を継続実施する。

(5) 空洞共鳴振動モードの特異点となるプラズマポーズ付近のシベリアのズリヤンカで磁場観測調査を行う。

(6) オーストラリア東海岸沿いの地磁気多観測点やタスマニアのミュオン計の機器点検・調整後に観測を実施する。

(7) カムチャッカのパラツンカに新たなFM-CWレーダを設置し、その磁気共役点である、オーストラリアのキャンベラ郊外地、母子里とその磁気共役点のバースビルで地磁気変動の観測を行う。

(8) インドネシアのマナド、パレパレ及びクパンの3観測点での地磁気・ULF波動の観測を行う。

(9) 海外の人工衛星計画との組織的共同観測のための打合わせや衛星データの収集を行う。

(10) IHY国際会議等で発表し、海外機関との情報交換や共同研究についての検討を行う。

4. 研究成果

(1) 赤道ジェット電流を表すリアルタイムEE-indexの構築とその太陽風中電場依存性。

EE-indexは、宙空環境の短期的および長期的な変動をリアルタイムでモニターすることを目的として九州大学の宙空環境研究センター(SERC)が提案した世界的に新しい地磁気指数である。基本的な導出方法はUozumi et al. (2008)に詳説されている。EE-indexの導出

には磁気赤道域CPMN/MAGDAS観測点のデータが使用される(図1-1)。

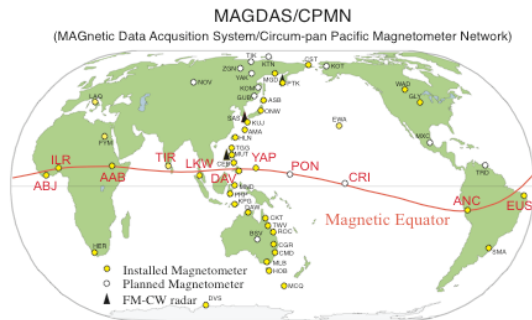


図1-1. CPMN/MAGDAS観測点とEE-Index作成の為の磁気赤道観測点

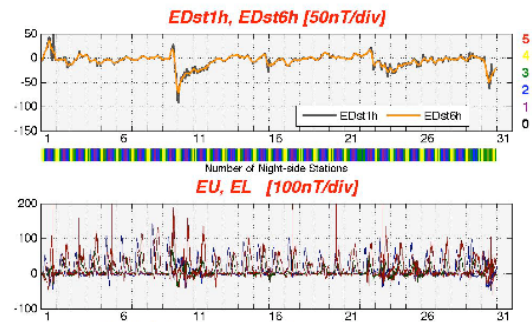


図1-2. 赤道域のCPMN/MAGDAS観測点から求めたEE-Index(EDst, EU, EL)値

CPMN/MAGDASには、観測したデータを最大5分間隔でインターネットを通じSERCに送る「リアルタイムデータ転送システム」が備わっているため、磁気赤道域で観測されたデータをすぐに解析・指数化し、その時々々の宙空の状態を速報することが可能である。

EE-indexは、EDstとEU, ELという3つの指数群から構成される(図1-2)。EDstはどの地方時でも同程度変動するグローバルな擾乱成分、EUとELは特定の地方時でのみ変動するローカルな擾乱成分を表す。EUは東向きのローカルな等価電流、ELは西向きのローカルな等価電流による変動に相当する。EDstとEU, ELは、次のように言い換えることもできる。経度の違う複数の磁気赤道域観測点の磁場のH成分を並べたとき、どの観測点でも同位相で現れる変動がEDst、地方時が異なることによって位相がずれて現れる変動がEU, ELに当たる。

EE-indexから、EUが中長期的、また短期的な変動をしていることがわかった。そこで、EUをDp(極域からの侵入電場による変動)とDd(ダイナモ電場による変動)とに分離し、両者の太陽風中電場(IEF Ey)応答性を調べた。その結果、両者とも太陽風中電場に対し、少なからず反応することがわかった。ただし、IEFが「AC的」か「DC的」かの違いによって、応答に違いがあることも判明した。

AC 的な太陽風中電場に対し、磁気赤道域はその電場の向きと同じ方向に電流を流して応答することがわかった。逆に、DC 的な電場に対しては、電磁圏の「何か」に作用して、極域にかかったのとは逆向き応答をした。この DC 的な太陽風中電場を変換して磁気赤道域に逆の効果をもたらす“何か”の正体を探ることが今後の課題である。

(2) CPMN 観測に基づく赤道ジェット電流の長期変動特性。

CPMN 各観測点の東向きジェット電流 (EU) 振幅、太陽放射 F10.7、磁気赤道領域と低緯度領域の EU 振幅比 (DAV/MUT) に関して数年スケールでプロットし、長期変動を世界に先駆けて調べたものが図 2 である。その結果、以下のことがわかった。

- ① EU 振幅には磁気赤道や低緯度に関係なく太陽活動の 11 年周期変動がみられる (図中)。
- ② EU 振幅比には太陽活動の 11 年周期に対応した変動はみられない (図下)。

まず、太陽放射 F10.7 では 2000~2002 年で極大期を迎えている太陽活動 11 年周期変動 (山) をはっきりとみることができ、これに対応して EU 振幅でも同様の山構造を確認することができる。F10.7 に注目すると 2001 年頃に一度太陽放射が弱まっており、この弱まりが EU 振幅の変動にもみられることから、EU 振幅の山構造は太陽の 11 年周期活動に依存したものであると言える。

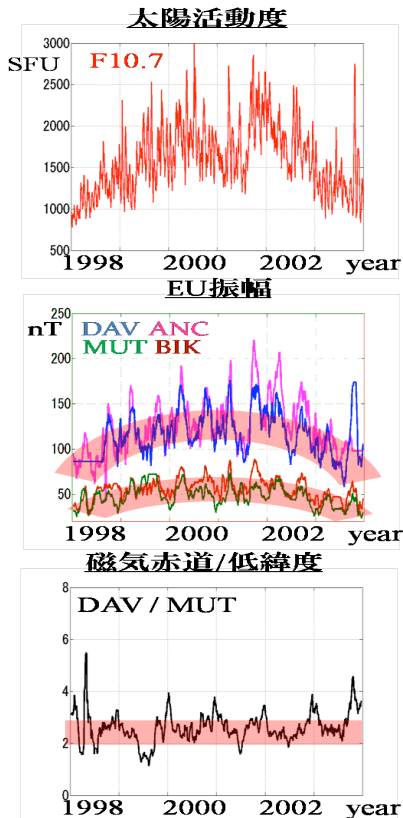


図 2. 太陽活動度-EU 振幅-磁気赤道/低緯度振幅比の相関性

また、低緯度領域にも山構造がみられることから太陽活動の 11 年周期が Sq 電離層電流に作用していると云える。さらに、磁気赤道領域と低緯度領域で EU 振幅の山構造の大きさが違うことから、太陽活動から受ける影響の大きさも EU 振幅の大きさに比例していると云える。一方、EU 振幅比には太陽活動への依存はみられない。EU 振幅比に太陽活動への依存がみられないということから、Sq 電離層電流の成分と赤道ジェット電流 Eej 成分が太陽活動の 11 年周期から及ぼされる影響の比率が一定であるということが結論される。

(3) 世界規模で同時観測される『DP 2 型変動』(Disturbance Polar of second type) と呼ばれる地磁気変動現象からみた太陽風変動に対する地球磁気圏・電離圏の応答メカニズムの解明。

DP 2 変動は、波形が太陽風中の変動に似ていることで、起源は太陽風変動であると考えられ、太陽風の影響がどのように磁気圏・電離圏・地上へ伝搬するのか理解するのに重要な現象である。太陽風中の磁場変動が地上にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにすることを目的として、太陽風中の磁場の向きが南向き・北向きと切り替わることによって地上にもたらされる DP 2 型と呼ばれる地磁気の変動を解析した。

本研究では DP 2 変動への新たな切り口として、夜側に着目することでより深い太陽風変動に対する磁気圏・電離圏応答の理解と発展へつなげるため、(i) 昼側 DP 2 発生時、夜側地上磁場の変動有無の確認、(ii) 各 DP 2 イベント毎の太陽風 (動圧 Psw, 磁場 IMF Bz, 電場 Ey_sw) との強度比較の 2 項目について解析を行った。その解析結果を以下にまとめる。

- ① 昼側 DP 2 イベントの約半数は、同様な波形をもつ夜側 DP 2 を伴う。
- ② 夜側 DP 2 の振幅は、太陽風電場 Ey (dawn-

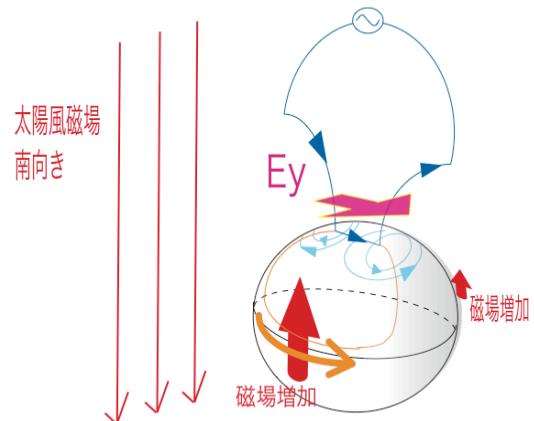


図 3. 夜側 DP 2 を伴う昼側 DP 2 変

to-dusk 電場) の強度と良い相関をもつ。
 ③ 夜側 DP2 を伴わない昼側 DP2 の振幅は、太陽風電場 E_y との関連は薄い。

どのようなメカニズムで昼側と同様な変動が夜側にも現れているのか (図3. 参照: 夜側 DP2 の発生メカニズム) を解明することが今後の課題である。これまでの解釈のみでは説明ができず、今後は、その解明へむけて新たな全球的地上及び衛星同時観測・解析を行う必要がある。夜側 DP2 を引き起こす直接的な要因は電離層電流ではなく、磁気圏にあると考えられる。磁気圏中の動圧変動で説明することができるが、今回の解析では磁気圏中の動圧変動の発生機構の解明までには至らなかった。

(4) 地上 Pc5 INDEX による太陽風速度のリアルタイム推定。

地上磁場データから、太陽風速度をリアルタイムに推定することを目的に、Pc5 地磁気脈動の活動度を Pc5 INDEX に指数化し、その Pc5 INDEX と太陽風速度との統計的な相関性とその有効性を調べた。その解析の結果、① Pc5 INDEX と ACE 衛星で観測された太陽風速度とを比較すると、Pc5 INDEX と太陽風速度には大変良い相関があることが分かった。② 11 年分の推定した太陽風速度と太陽活動との関係を調べたところ、極小期に向かうにつれて、太陽風速度が高速になっていることが分かった (図4. 参照)。

これらの結果と考察から、Pc5 INDEX は太陽風速度と良い相関があり、地上磁場のデータから太陽風速度を推定する指標として有用であることが分かった。

これまでの母子観測点における Pc5 INDEX を現在リアルタイムでデータを観測している久住観測点の Pc5 INDEX へと変換し、久住の Pc5 INDEX を用いた太陽風速度を推定

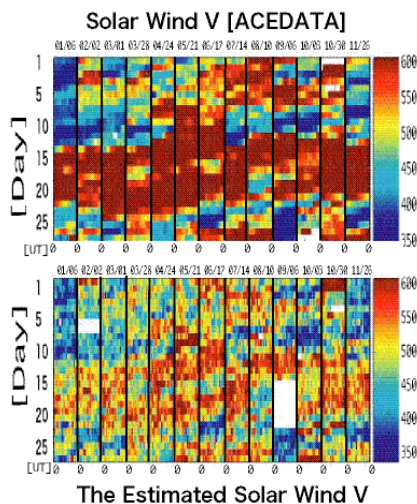


図4. 上: ACE 衛星で観測された太陽風速度、下: 地上 Pc5INDEX データを用いて推定した太陽風速度の一年間の変化

するリアルタイムモニタリングシステムを構築し、宙空環境研究センターのホームページに掲載してある。

(5) オーロラ嵐(サブストーム)に伴う Pi2 地磁気脈動の発生特性。

オーロラが突然輝き爆発的に広がっていく現象はオーロラサブストームと呼ばれている。サブストームの研究は長い歴史を持っているが、その発生メカニズムはいまだ解決されていない長年の謎である。オーロラサブストーム開始時には、Pi2 地磁気脈動という 40~150 秒程度の周期を持つ突発的な地磁気脈動 (ULF 波動) がグローバルに観測されることが知られている。

本研究では磁気赤道域の Pi2 地磁気脈動によりサブストームを監視・オンセットを決定する方法を確立するために、九州大学の地磁気ネットワーク CPMN/MAGDAS の磁気赤道域で観測された Pi2 地磁気脈動の発生特性を解析した。その結果 (図5)、① 10~13LT の昼間の磁気赤道域の観測点で、Pi2 振幅の赤道異常増加が確認された。② 観測点での周囲全磁力が弱いところでは Pi2 振幅大きく、全磁力が強いところでは Pi2 振幅が小さい傾向も観られた。

これらのことから、赤道 Pi2 地磁気脈動は、昼側では赤道ジェット電流変動、夜側は空洞共鳴振動に関連していることが結論された。

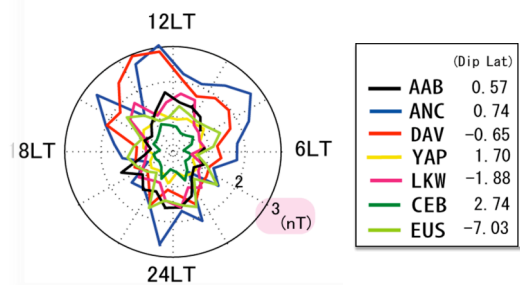


図5. 磁気赤道 Pi2 振幅の LT 依存性

(6) 磁気嵐急始(SC)時の地上磁場・電離圏電場変動の同時観測研究。

地上磁場変動の要因の一つである電離圏電場・電流の観測のために、FM-CW レーダを2000年に福岡県篠栗町 (磁気緯度; 23.2° , 磁気経度; 199.6°) に設置し、2003年から電離圏ドップラー観測を行っている。このドップラー観測では短周期 (観測は3秒サンプリング) の電離圏電場変動を観測する事ができるため、多くの地磁気現象を捉えることができる。

図6に2003/11/4 6:26UT に起こった SC (地磁気急始) 時の地上磁場及び電離圏電場変動に対応する電離圏ドップラー周波数の変動を示す。図上段が地上磁場 H 成分 (久住, サンタマリア)、下段が FM-CW レーダ (SSG: 篠栗) で観測したドップラー周波数 Δf の変動

である。ドップラー周波数のポジティブな振れは電離圏が鉛直下向きの速度を持っていることを表し、ネガティブに振れているときは電離圏が鉛直上向きの速度を持っていることを意味する。この SC イベントにおける FM-CW レーダ観測点篠栗は 15:26 LT であり、昼側に位置している。レーダの観測周波数は 8.0MHz、地上磁場データではほぼ同時に両観測点で地上磁場 H 成分の急増が見られ (図 6 点線部)、ドップラー周波数 Δf も点線を境にし、ネガティブな変動をしている。つまり、東向き電場を観測していることになり、この電場変動分は東向き 0.69mV/m である。

2006 年 9 月より、ロシア・カムチャッカ半島・パラツンカにおける、FM-CW レーダ・ドップラー観測が開始された。篠栗との 2 点同時観測により、より信頼度の高い同時観測・解析研究が期待される。さらに、電離圏ドップラー観測では電離圏電場以外に、太陽放射の変動、伝搬性電離圏擾乱 (TID: Traveling Ionosphere Disturbance)、スボラディック E などの特異現象、地震、火山の爆発など、様々なものが考えられるが、そのようなローカルな電離圏現象と SC 電場伝播のようなグローバルな電離圏現象を区別するために、非常に有効な観測機器を世界に先駆けて完成することが出来た。

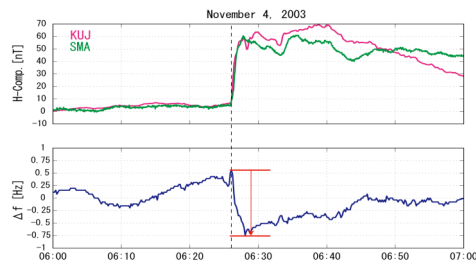


図 6. 久住、南米サンタマリアの地磁気 SC 変動と篠栗での電離圏 SC 電場変動記録

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 66 件)

1. Yumoto, K., S. Ikemoto, M. G. Cardinal, (以下 13 名) (2009): A new ULF wave analysis for seismo-electromagnetics using CPMN/MAGDAS data, *Physics and Chemistry of the Earth (J. Phys. Chem. Earth)*, 34, 360-366, 査読有
2. Maeda, G., K. Yumoto and the MAGDAS Group (2009); Progress report on the deployment of MAGDAS, *Earth Moon Planet*, vol. 104, pp. 271-275, 査読有
3. Yumoto, K., and STPP Sub-committee (2009); International heliophysical year activities in Japan, *Data Science Journal*, Vol. 8, S14-S23, 査読有

4. 巻田和男, 星野光男, 高野元春, 増田耕平 (2008), 沖縄に設置したフォトメータとその観測結果, 拓殖大学理工学研究報告, Vol. 10, No. 2, 71-75, 査読有
5. Yumoto K. and the MAGDAS Group (2007), Space weather activities at SERC for IHY, *Bull. Astr. Soc. India* 35, 511-522, 査読有
6. Uozumi, T., H. Kawano, A. Yoshikawa, M. Itonag, and K. Yumoto (2007); Pi 2 source region in the magnetosphere deduced from CPMN data, *Planet Space Science*, 55, 849-857, 査読有
7. Tokunaga, T., H. Kohta, A. Yoshikawa, T. Uozumi, and K. Yumoto (2007); Global features of Pi 2 pulsations obtained by Independent Component Analysis, *Geophys. Res. Lrtt.*, Vol. 34, L14106, 査読有
8. Abe, S., H. Kawano, J. Goldstein, S. Ohtani, S. I. Solovyev, D. G. Baishev, and K. Yumoto (2006); Simultaneous identification of plasmaspheric plume by a ground magnetometer pair and IMAGE EUV, *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, A11202, 査読有

[学会発表] (計 284 件)

1. 宗像一起 et al., Large-scale sidereal anisotropy of ~5 TeV Galactic cosmic rays and the heliosphere, *Voyagers in the Heliosphere meeting*, Hawaii, USA, January 11, 2009
2. Yumoto, K., et al., MAGDAS Project at SERC for Space Weather, the Egypt-Japan Geosciences Forum, December 17, 2008, NRIAG in Cairo, Egypt
3. Kawano, H., et al., Estimation of the magnetospheric plasma density from the ground by using ULF waves observed by MAGDAS/CPMN, 14th ICCP2008, Fukuoka, Japan, Sept. 8-12, 2008
4. Yumoto, K., et al., MAGDAS Project at SERC for Space and Lithosphere Weather, Intl. WS on New Astronomical Facilities in Peru, in honor to M Ishitsuka, Lima, Peru, July 01, 2008
5. 宗像一起 et al., Sky-maps of the sidereal anisotropy of galactic cosmic ray intensity and its energy dependence, AOGS 5th Annual General Meeting, June 18, 2008 in Busan, Korea
6. Yumoto, K., et al., MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System) project and its preliminary results, UN/ESA/NASA/JAXA/BAS WS on IHY 2007, Sozopol, Bulgaria, June 5, 2008

7. Yumoto K. et al., MAGDAS Project for Space Weather and Its Preliminary Results, VI Latin American School of Geomagnetism-ELAG, Vassouras, Brazil, 25-30 Nov, 2007
8. Yumoto K. et al., Ultra Large Terrestrial International Magnetic Array: A Global Magnetometer Network for STP research, International CAWSES Symposium, Kyoto University, Japan, 23-27 October, 2007
9. Kawano H. et al., Monitoring the plasmaspheric plasma density with MAGDAS/CPMN magnetometer network, International CAWSES Symposium, 2007/Oct/23-27, Kyoto, Japan
10. Yumoto K. et al., Electric and magnetic field changes at low latitudes during SC, Asia Oceania Geosciences Society 4th annual meeting, Queen Sirikit National Convention Centre, Bangkok, Thai, July 30 - August 4, 2007
11. Yumoto K. et al., MAGnetic Data Acquisition System (MAGDAS) for Space Weather Study at SERC, IAGA at the IUGG General Assembly 2007, Perugia, 2-13 July, 2007
12. Yumoto K. et al., Space Weather Activities at SERC for IHY: Magnetic Data Acquisition System (MAGDAS), 2nd UN/NASA Workshop on the International Heliophysical Year and Basic Science, Bangalore, India, November 27 -December 1, 2006
13. Yumoto K., Characteristics of Super Magnetic Storms During October, 2003-November, 2004, Western Pacific Geophysics Meeting, Bijing, China, July 24-27, 2006
14. Yumoto K. et al., MAGDAS Project for Space Weather, XIIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, Central Geophysical Observatory, Belsk, Poland, May 19-24, 2006

[図書] [産業財産権] 無し。

[その他]

ホームページ等

<http://magdas.serc.kyushu-u.ac.jp/>

<http://magdas2.serc.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

湯元 清文 (YUMOTO KIYOHUMI)

九州大学・宙空環境研究センター・
センター長

研究者番号：20125686

(2) 研究分担者

河野 英昭 (KAWANO HIDEAKI)

九州大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：60304721

吉川 顕正 (YOSHIKAWA AKIMASA)

九州大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号：70284479

篠原 学 (SHINOHARA MANABU)

九州大学・宙空環境研究センター・

学術研究員

研究者番号：10403982

宗像 一起 (MUNAKATA KAZUOKI)

信州大学・理学部・教授

研究者番号：40221618

安江 新一 (YASUE SHINICHI)

信州大学・全学教育機構・准教授

研究者番号：80020668

加藤 千尋 (KATO CHIHIRO)

信州大学・理学部・准教授

研究者番号：50252060

巻田 和男 (MAKITA KAZUO)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号：40129945

瀬戸 正弘 (SETO MASAHIRO)

東北工業大学・工学部・教授

研究者番号：60085412

(3) 連携研究者

塩川 和夫 (SHIOKAWA KAZUO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：80226092

西谷 望 (NISHITANI NUZOMU)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：10218159

糸長 雅弘 (ITONAGA MASAHIRO)

山口大学・教育学部・教授

研究者番号：60213104

北村 保夫 (KITAMURA YASUO)

東北工業大学・工学部・助手

研究者番号：90085423

北村 健太郎 (KITAMURA KENTARO)

徳山工業高専門・機械電気工学科・助教

研究者番号：60380549

田中 良昌 (TANAKA YOSHIMASA)

情報・システム研究機構・新領域融合研究

センター・融合プロジェクト研究員

研究者番号：50425766