

地磁気データで楽しんだ地球と宇宙の研究

家森俊彦

(附属地磁気世界資料解析センター)

私は地球電磁気学講座の出身で、指導教官は前田坦先生でした。1981年に、理学研究科附属地磁気世界資料解析センター(地磁気センター)の助手として採用していただいて以来、途中の2年間 NASA/GSFC に行かせていただいた以外、約35年間ずっと理学研究科でお世話になりました。地磁気センターは、ICSU 傘下の World Data Center for Geomagnetism (地磁気世界資料センター)として世界中の地磁気観測データを収集・加工・データベース化して、全世界の利用者にサービスするため、文科省により1977年4月に理学研究科付属施設として設置された組織で、それ故、データサービスが第一の任務です。しかし、理学研究科附属の教育・実験施設として、研究と教育の任務もあります。前田先生からは、時間の半分程度をデータサービスに使ってくれば、あとは何を研究しても構いませんよと最初に言っていただき、十分な研究時間を確保することができました。おかげで、地磁気に関する様々なことに手を出すことができました。ここでは、客観的な学術的意義はともかく、私自身が、「これはおもしろい!」、「やった!」と思った結果について振り返り、紹介させていただきます。

リストにしますと、下記の5件が喜びの記憶として鮮明に思い出されます。

- (1) 線形予測理論の地磁気指数への応用 (1979)
- (2) 巨大振幅 Pc1 地磁気脈動の検出 (1989)
- (3) サブストームの発生で磁気嵐が減衰 (1996)
- (4) スマトラ地震による地磁気脈動の発見 (2005)
- (5) 磁気リップル現象の確認 (2015)

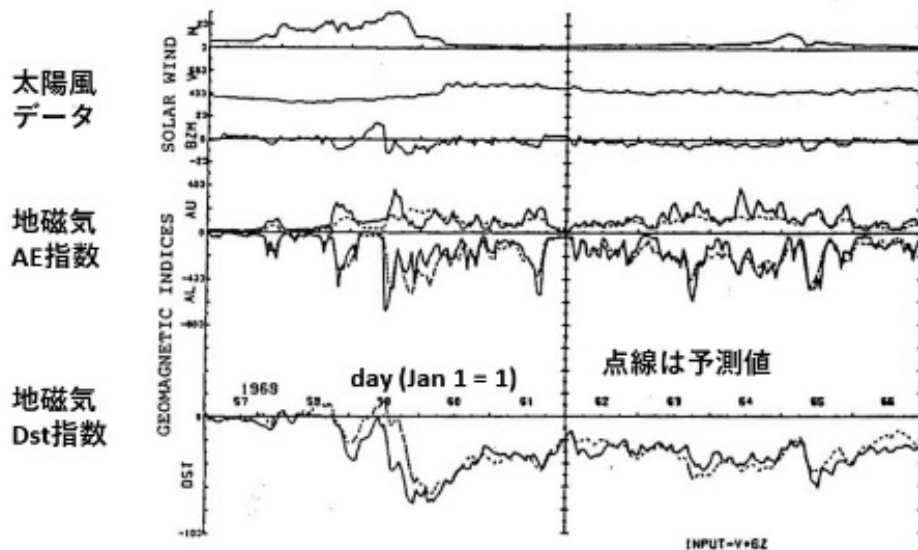
(1)の線形予測理論の地磁気指数への応用は、当時京都産業大学の教授をされていた故・井上雄二先生の集中講義からヒントを得たもので、宇宙天気予報の情報理論に基づく予測のはしりのようなことでした。NASAの太陽風のデータブックからせつせとパンチカードに入力し、Dst 指数や AE 指数のデータから、それらの間のインパルス応答関数を求め、太陽風から地磁気指数をある程度再現(予測)することができたときは、大変うれしく思いました。[論文 1,2]



地磁気指数(AE指数とDst指数)の変動を太陽風データから予測するのに使ってみよう

$$w(t + \delta t) = \int_0^{\infty} h(\tau) f(t - \tau) d\tau$$

f(t): 入力(太陽風データ)
w(t+δt): 出力(地磁気指数)
h(τ): インパルス応答



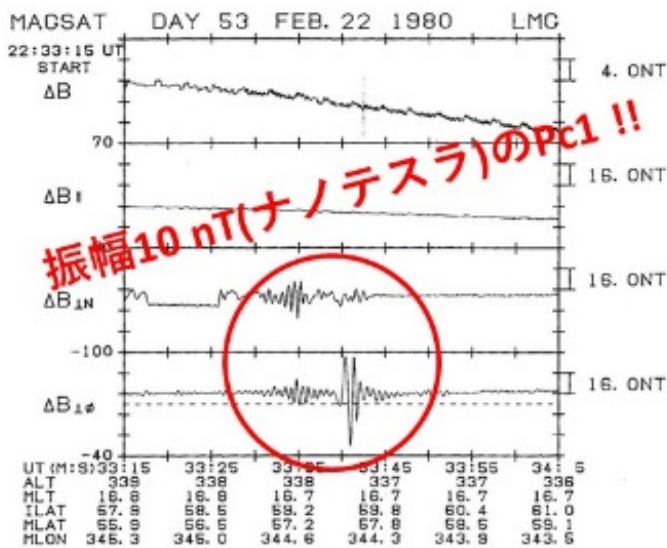
(2) 巨大振幅Pc1地磁気脈動の検出 (1989)

Pc1: 周期0.2 - 5.0秒の連続的地磁気脈動

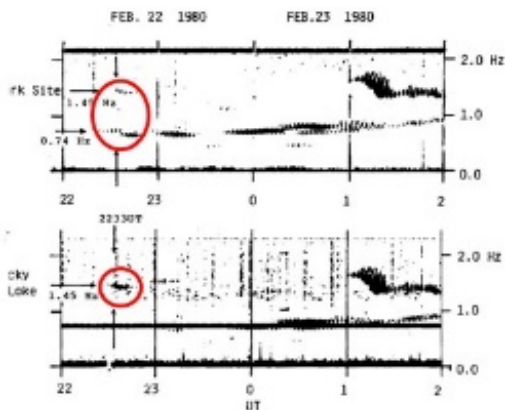


イオン・サイクロトロン波の生成理論
→ プラズマポーズ付近を診てみよう

Iyemori and Hayashi: Pc 1 Micropulsations Observed in the Ionosphere



地上では通常0.1nT以下の振幅
(カナダでの地上同時観測)



(Iyemori & Hayashi, 1989)

(2)の巨大振幅 Pc1 地磁気脈動の検出は地上で観測される Pc1 型地磁気脈動が、宇宙空間で磁気圏から電離圏に入射してきている領域では、振幅が2桁、あるいは3桁も大きいことを見つけたもので、非常に驚きました。これは、NASA/GSFC に滞在中、DE-2 衛星のラングミュアプローブ責任者 L.Brace が、電子温度の上昇でプラズマポーズの位置がわかるという話をしていたことにヒントを得たものです。ちなみに私は、杉浦正久先生の下で、DE-1 衛星の磁力計の in-flight calibration を行っていました。[論文3, 4]

(3)のサブストームの発生で磁気嵐(Dst 指数)が減衰することは、地磁気 Dst 指数(毎時値)の高時間分解能(毎分値)版作成の試みと、極域電流を中緯度の磁場変動でモニターできるかもしれないという思いつきで始めた中緯度 ASY/SYM 指数算出で気がつきました。サブストームの発生で磁気嵐(Dst 指数)が減衰することは、当時の常識、すなわち、磁気嵐はサブストームが頻繁に発生するために発達することを否定する内容だったため、論文が受理されるまで、また、受理をされたあともコメントが出たりして難航しましたが、G.L.Siscoe や V.M.Vasyliunas らの理論家がこの結果を基に論文を書き、援護射撃をしてくれたことはたいへんありがたく思いました。[論文5]

磁気嵐(Dst) = Σ (サブストーム(AE)) と信じられていたがサブストームの発生でDst (SYM-H)が逆に減衰 !!

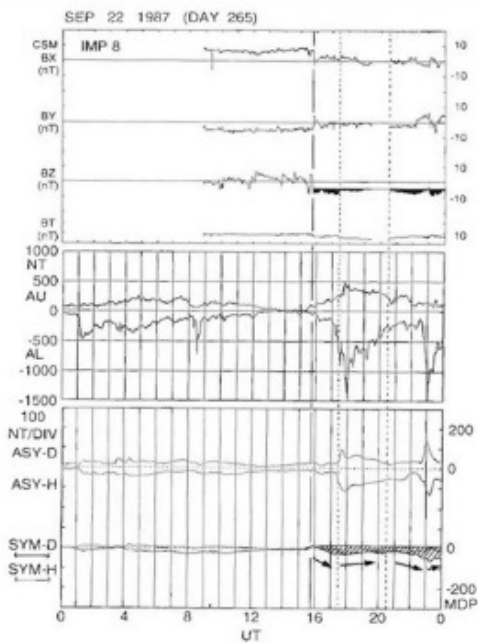


Fig. 3. An example of the comparison of the AE, ASY and SYM indices with the IMF for a weak storm period. The arrows in the bottom panel emphasize the tendency of the Dst-field variation

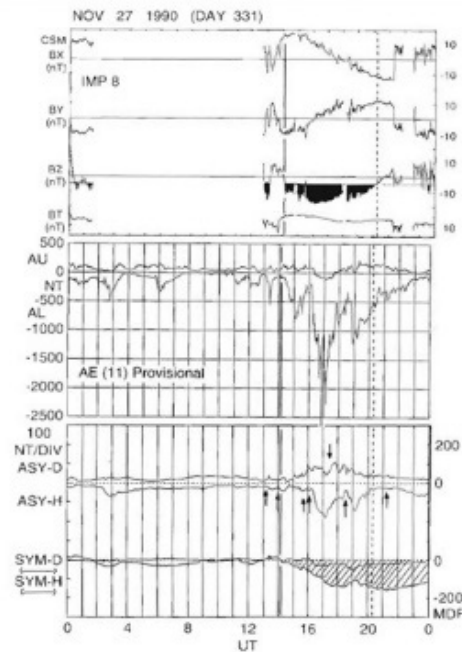
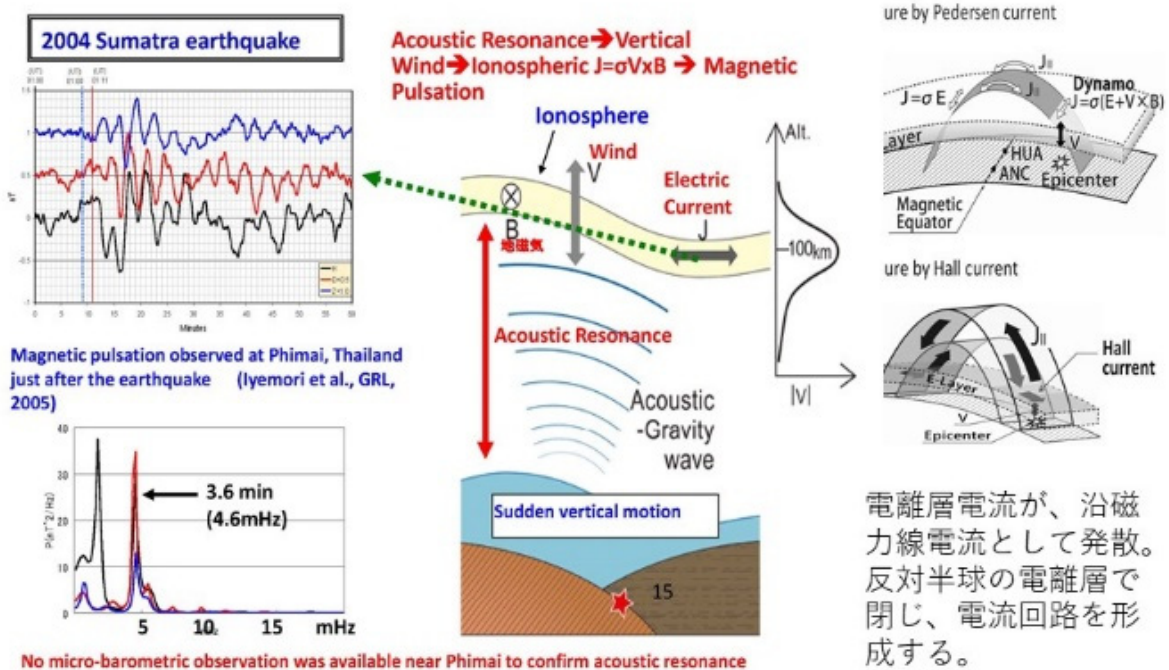


Fig. 4. A comparison of the AE, ASY and SYM indices with the IMF for a storm period. The arrows in the lower panel indicate the onset time of substorms determined from the Pi2 pulsation onset on the ground

(4)のスマトラ地震による地磁気脈動の発見は、21世紀COE予算で、地磁気観測所のないタイで地磁気観測をしてみようと始めた矢先に発生したスマトラ地震の際、その直後に低緯度としては奇妙なPc5型地磁気脈動が観測されたことから、地表と熱圏との間の音波共鳴現象が、電離層に電流を流す可能性について思いついたものです。パワースペクトルの周期が、理論的に予測されている共鳴周期と極めてよく一致すること、また、防災研から21世紀COEに参加されていたJim Mori先生から、ピナツボ火山噴火に伴う音波共鳴の論文を紹介していただき、そのような解釈に自信を持つことができました。[論文6]



重力音波共鳴による電離層ダイナモの仮説



(5)の磁気リップル現象の確認は、下層大気から伝搬した短周期の大気波動が電離層に電流を流し、それが発散して中低緯度に微細な沿磁力線電流構造を作っていると大学院学生の研究から私たちは確信していましたが、大抵の研究者は地磁気脈動の時間変化に違いがないと疑っていました。低高度精密磁場観測衛星(Swarm)で測定された磁場変動を解析することにより、磁気圏から伝搬してきた地磁気脈動の時間変化ではなく、確かに沿磁力線電流の空間構造であることを確認したことで決着を付けることができました。磁気リップル現象という名前は、生成メカニズムも念頭

において学生と共に私たちが付けた名前で、今後一般的に使われることを期待しています。[論文7,8,9]

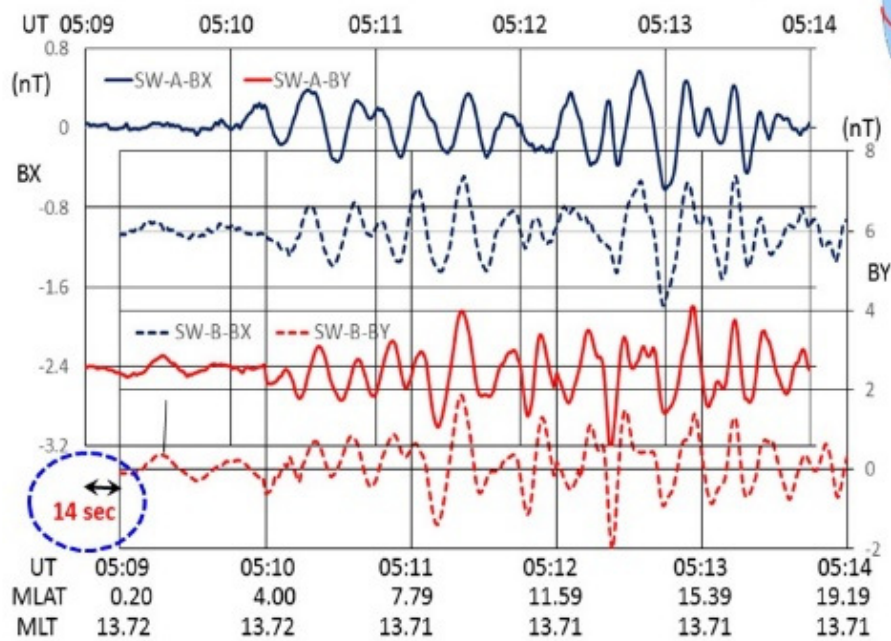
「磁気リップル現象 = 沿磁力線電流の空間構造」の確認

December 2, 2013

Swarm衛星(ESA)
2013.11.22打ち上げ

Time separation = 14 seconds

SWARM A & B MAG BX and BY Comp. 2013.12.02 (Time Separation: 14 seconds)



(Iyemori et al., 2015)

約 10 年に一度の「興奮」と「喜び」というのは、他の研究者の方達と比べて多いのか少ないのかわかりませんが、以上のような驚きと満足を得られたことを振り返ってみて気がついたことは、これらが、地磁気センターの職員として、データサービスを行ってきたことと深く結びついていること、また、セミナーや教育を通して、様々な地球物理学分野の知識・情報を得られる環境にあったことです。その点で、京都大学の地球物理学の歴史と分野の広さ、研究者の層の厚さを実感すると共に、データサービスを行うこと、教育を行うことは、単に人の為だけではなく、自分自身のためであることを再認識しました。

このような素晴らしい環境で 35 年間あまり働かせていただき、研究上の感動を何度も味わわせていただくことができたことに深く感謝いたします。

[参照論文]

1. Iyemori, T., H. Maeda and T. Kamei, Impulse response of geomagnetic indices to interplanetary magnetic field, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 31, 1-9, 1979.
2. Iyemori, T. and H. Maeda, Prediction of geomagnetic activities from solar wind parameters based on the linear prediction theory, in *Solar-Terrestrial Predictions Proceedings*, Vol. IV, ed. by R.F. Donnelly, March 1980.
3. Iyemori, T. and K. Hayashi, Pc1 micropulsations observed in the ionospheric F-region, *J. Geophys. Res.*, 94, 93-100, 1989.
4. Iyemori, T., M. Sugiura, A. Oka, Y. Morita, M. Ishii, J. A. Slavin, L. H. Brace, R. A. Hoffman and J. D. Winningham, Localized injection of large amplitude Pc1 waves and electron temperature enhancement near plasmapause observed by DE2 in the upper ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 99, 6187-6199, 1994.
5. Iyemori, T., and D. R. K. Rao., Decay of the Dst component of geomagnetic disturbance after substorm onset and its implication to storm substorm relation, *Ann. Geophys.*, 14, 608-618, 1996.
6. Iyemori, T., M. Nose, D.-S. Han, Y. Gao, M. Hashizume, N. Choosakul, H. Shinagawa, Y. Tanaka, M. Utsugi, A. Saito, H. McCreadie, Y. Odagi, F. Yang, Geomagnetic pulsations caused by the Sumatra earthquake on December 26, 2004, *Geophys. Res. Lett.*, VOL. 32, L20807, doi:10.1029/2005GL024083, 2005.
7. Iyemori, T., Y. Tanaka, Y. Odagi, Y. Sano, M. Takeda, M. Nosé, M. Utsugi, D. Rosales, E. Choque, J. Ishitsuka, S. Yamanaka, K. Nakanishi, M. Matsumura, and H. Shinagawa (2013), Barometric and magnetic observations of vertical acoustic resonance and resultant generation of field-aligned current associated with earthquakes, *Earth Planets Space*, 65, 901-909.
8. Nakanishi, K., T. Iyemori, K. Taira, and H. Lühr (2014), Global and frequent appearance of small spatial scale field aligned currents possibly driven by the lower atmospheric phenomena as observed by the CHAMP satellite in middle and low latitudes, *Earth Planets Space*, 66:40, doi:10.1186/1880-5981-66-40.
9. Iyemori, T., K. Nakanishi, T. Aoyama, Y. Yokoyama, Y. Koyama, and H. Lühr (2015), Confirmation of existence of the small scale field-aligned currents in middle and low latitudes and an estimate of time scale of their temporal variation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL062555.