

Geomagnetic Jerk 強度の地方時依存性と外部起源磁場の寄与

長尾大道 家森俊彦 中野慎也 (京都大学理学研究科)

Local Time Dependences of Intensities of Geomagnetic Jerks and Contributions of External Magnetic Fields

H. Nagao, T. Iyemori, and S. Nakano

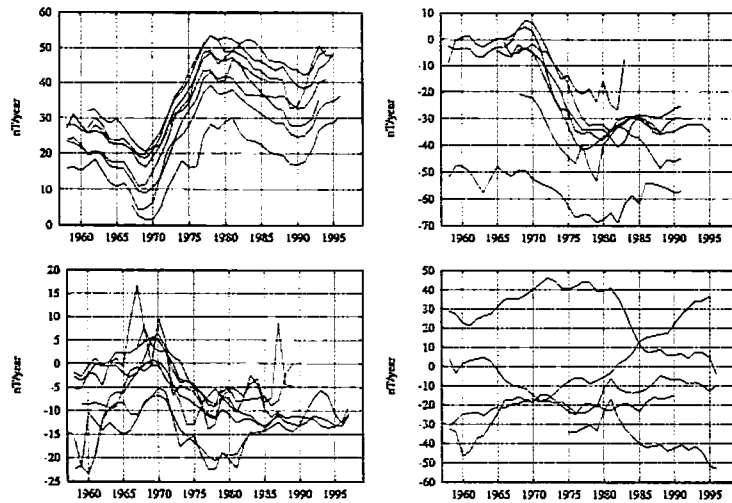
Graduate School of Science, Kyoto University

1 序

地磁気の時系列データには、外核中の流体金属のダイナモ作用による内部起源磁場、電離層電流や磁気圏電流などによる外部起源磁場、さらには地中および海洋に誘導される電流による磁場などが含まれている。これらを厳密に分ける手段は現在のところ存在しないが、外核と地上の間には有限の電気伝導度を持つマントルが存在するため、内部起源磁場の比較的短周期の成分は地上には現れない。また、外部起源磁場は太陽の 11 年周期を除いては、それほど大きなエネルギーを持っていない。したがって、地磁気データの比較的長周期の成分は内部起源磁場、短周期の成分は外部起源磁場であると言えるが、境界がどこにあるのかは、マントルの電気伝導度の大きさにもより、まだはっきりとはしていない (例えば、Currie [1968])。

さて、地磁気永年変化の分野の未解決の問題の一つとして、geomagnetic jerk と呼ばれる現象がある。これは Courtillot et al. [1978] が指摘したのが初めてで、地磁気年変化量のトレンドが、ある年を境に急激に変化する現象であり、これまでに 1969 年、1978 年、そして 1991 年頃に起きたことが報告されている (例えば、Kerridge et al. [1985]、Golovkov et al. [1989, 1991]、Cafarella et al. [1995]、Macmillan [1995])。jerk の起源 (地球内部か地球外部か) および分布 (グローバルかローカルか) については、いまだに論争中である (例えば、Malin et al. [1982]、De Michelis et al. [1998])。もしこの現象がコア起源なのであれば、下部マントルの電気伝導度の上限値を見積もることができる可能性もある (例えば、Achache et al. [1980]、Ducruix et al. [1980]、McLeod [1992]、Backus [1983])。

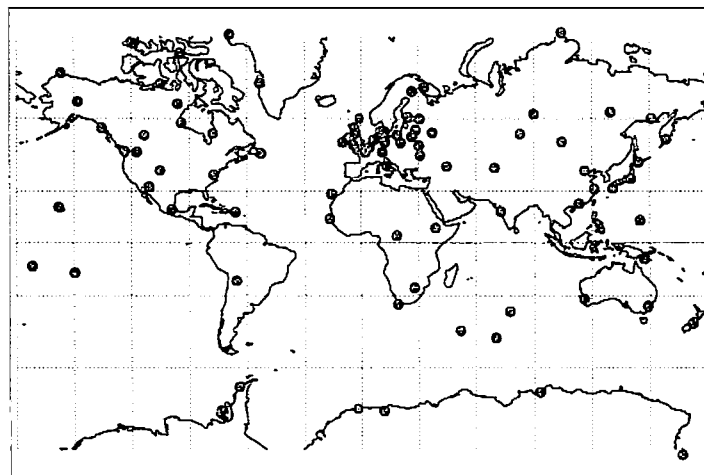
jerk を解析する際のデータとしては、これまでは主に年平均値あるいはせいぜい月平均値が用いられてきたが、これらのデータには多くの外部擾乱場が含まれていると考えられる。そこで本研究では、1 時間平均値から求めた local time ごとの年平均値を用いて jerk 強度を計算し、単純な年平均値から求めた jerk 強度にどの程度の外部起源磁場が含まれるかを見積もる。少なくとも、地方時に依存する変動場は外部起源磁場と考えられるからである。



第 1 図 ヨーロッパ (左上)、北アメリカ (右上)、東アジア (左下)、南半球 (右下) における、地磁気年変化量。

2 データおよび解析方法

本研究では、京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センターのデジタル化された地磁気 1 時間値を用いた。jerk の解析には、少なくとも 10 年以上の連続かつ安定なデータを必要とするが、国際地球観測年である 1957 年以降のデータでこの条件を満たすものは、第 2 図に示した 85 ヶ所の観測所であった。ここでは、 X 、 Y および Z の 3 成分を用いる。地磁気 1 時間値データからは、各地方時ごとの年平均値および単純な年平均値を求めておく。



第 2 図 本研究で用いた 85 ヶ所の地磁気観測所の分布

解析方法としては、地磁気年変化量の時系列 $\dot{E}_{LT}(t)$ に 11 年の moving window をかけ、window 内に jerk の解析ではよく用いられる bilinear 関数

$$\dot{E}_{LT}(t) = \begin{cases} a_1(t - t_0) + b_1 & (t_0 - 5 < t \leq t_0) \\ a_2(t - t_0) + b_2 & (t_0 \leq t < t_0 + 5) \end{cases} \quad (1)$$

による fitting を行なう。ここで、 t および t_0 の単位は年であり、 t_0 は window の中心の年である。また、係数 a_1 、 b_1 、 a_2 および b_2 は、最小自乗法によって決定する。このとき、jerk の強度は次の式で与えられる。

$$\delta\ddot{E}_{LT}(t) = a_2 - a_1 \quad (2)$$

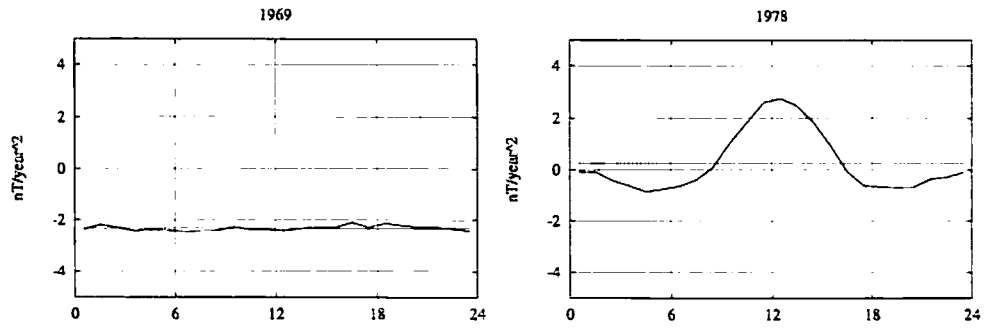
なお、この方法は非常に簡単ではあるが、jerk が起こった年を客観的に決めることはできない上、window の幅の取り方にも任意性があるため、批判を受けることも多い（例えば、Alldredge [1984, 1985]）。jerk が起こった年を客観的に決める方法も考案されている（例えば、Alexandrescu et al. [1995, 1996], Stewart et al. [1995]）。

3 解析結果と考察

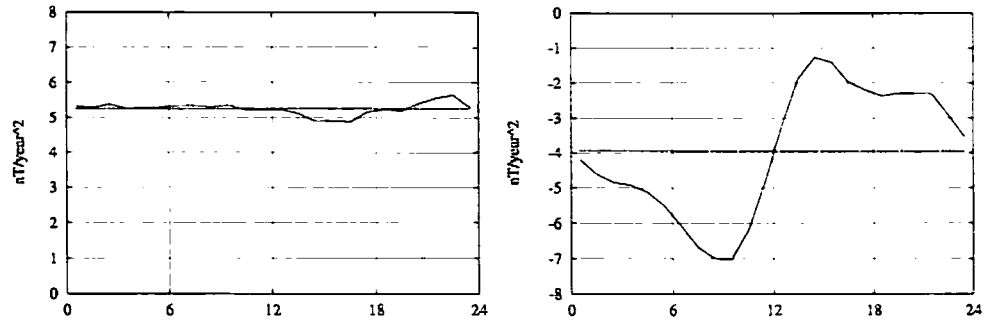
第 3 図は、Hartland での 1969 年および 1978 年の jerk 強度を地方時ごとに示したものである。明らかに、1969 年と比較して、1978 年の jerk 強度は強い地方時依存性が見られる。単純な年平均値を用いて求めた jerk 強度も第 3 図に示したが、この値は地方時依存性を含めた値となっていると考えられる。

第 4 図は、真夜中の年平均値から求めた jerk 強度と、単純な年平均値から求めた jerk 強度の差を、第 5 図は、Solar Radio Flux (F10.7) の 3 階時間微分値を示している。両者には相関があり、第 4 図の差が太陽活動の影響であることがよく分かる。jerk 強度が数 nT/year² 程度の現象であることを考えると、この差は無視できない。真夜中の年平均値は外部擾乱場の影響が少ないと思われるため、jerk の解析には真夜中の年平均値を用いるべきである。

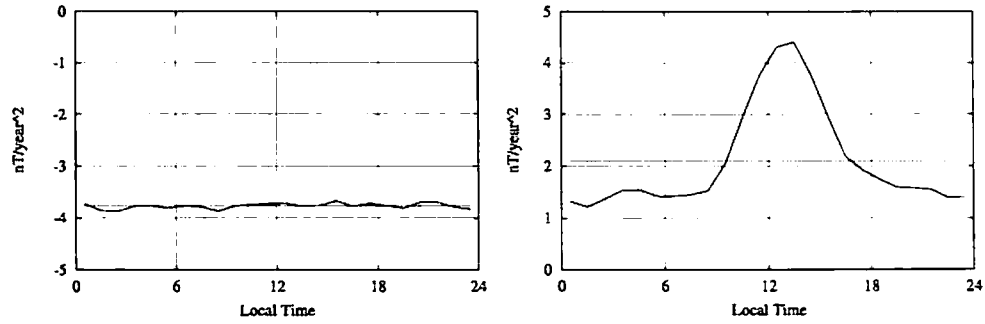
X



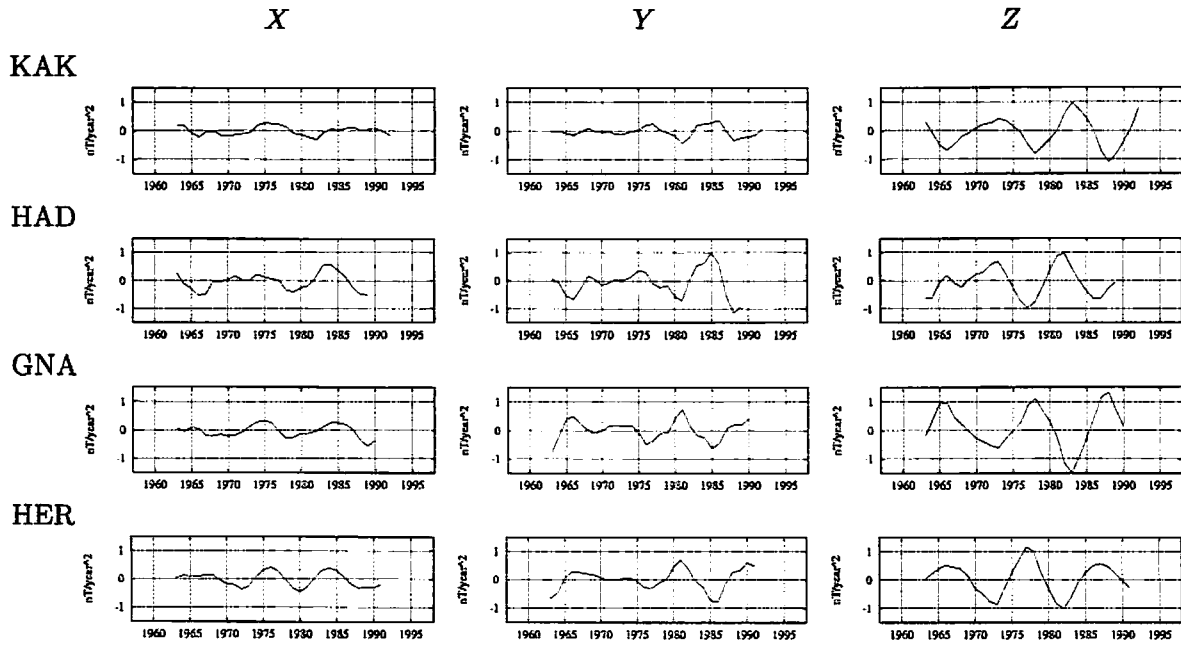
Y



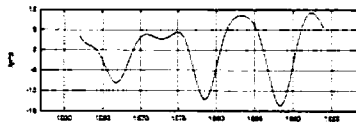
Z



第 3 図 Hartland における jerk 強度の地方時依存性。左側が 1969 年、右側が 1978 年の jerk 強度である。また、実線が地方時ごとの年平均値から求めた jerk 強度であり、破線は単純な年平均値から求めた jerk 強度である。



第 4 図 Kakioka、Hartland、Gnangara、Hermanus における、真夜中の年平均値から求めた jerk 強度と、単純な年平均値から求めた jerk 強度の差。



第 5 図 Solar Radio Flux (F10.7) の 3 階時間微分値。

4 まとめ

第 1 節で述べたように、jerk の解析の際のデータとして、これまではすべての地方時にわたって平均された年平均値が用いられてきた。本研究では、多くの外部擾乱場が含まれていると思われるこのデータの使用に批判的な立場をとり、世界 85 ヶ所の地磁気観測所の 1 時間平均値から地方時ごとの年平均値を求めて、jerk 強度にどの程度の外部起源磁場が含まれているかを見積もった。

その結果、jerk 強度には太陽活動の影響と思われる地方時依存性があることが分かり、やはり単純な年平均値から求められた jerk 強度には、外部擾乱場の影響が少なからず含まれていることが確認できた。このことから、jerk の解析には、真夜中の年平均値を用いることが適当であると言える。

References

- Achache, J., V. Courtillot, J. Ducruix, and J. L. Le Mouël, The late 1960's secular variation impulse: further constraints on deep mantle conductivity, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **23**, 72-75, 1980
- Alexandrescu, M., D. Gibert, G. Hulot, J. L. Le Mouël, and G. Saracco, Detection of geomagnetic jerks using wavelet analysis, *J. Geophys. Res.*, **100**, 12557-12572, 1995
- Alexandrescu, M., D. Gibert, G. Hulot, J. L. Le Mouël, and G. Saracco, Worldwide wavelet analysis of geomagnetic jerks, *J. Geophys. Res.*, **101**, 21975-21994, 1996
- Allredge, L. R., A Discussion of Impulses and Jerks in the Geomagnetic Field, *J. Geophys. Res.*, **89**, 4403-4412, 1984
- Allredge, L. R., More on the alleged 1970 geomagnetic jerk, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **39**, 255-264, 1985
- Backus, G. E., Application of mantle filter theory to the magnetic jerk of 1969, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **74**, 713-746, 1983
- Cafarella, L. and A. Meloni, Evidence for a geomagnetic jerk in 1990 across Europe, *Annali di Geofisica*, **38**, 451-455, 1995
- Courtillot, V., J. Ducruix, and J. L. Le Mouël, Sur une accélération récente de la variation séculaire du champ magnétique terrestre, *C. R. Acad. Sc. Paris, Serie D*, 1905-1098, 1978
- Currie, R. G., Geomagnetic Spectrum of Internal Origin and Lower Mantle Conductivity, *J. Geophys. Res.*, **73**, 2779-2786, 1968
- Ducruix, J., V. Courtillot, and J. L. Le Mouël, The late 1960s secular variation impulse, the eleven year magnetic variation and the electrical conductivity of the deep mantle, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **61**, 73-94, 1980
- Golovkov, V. P. and A. O. Simonyan, Jerks in the Secular Geomagnetic Variations in the Period 1930-1980, *Geomagn. Aeron.*, **29**, 148-151, 1989
- Golovkov, V. P. and A. O. Simonyan, Sudden Changes in the Secular Variations of the Geomagnetic Field during the Late 1970s, *Geomagn. Aeron.*, **31**, 117-121, 1991
- Kerridge, D. J. and D. R. Barraclough, Evidence for geomagnetic jerks from 1931 to 1971, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **39**, 228-236, 1985
- Macmillan, S., A geomagnetic jerk for the early 1990's, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **137**, 189-192, 1996
- Malin, S. R. C. and B. M. Hodder, Was the 1970 geomagnetic jerk of internal or external origin?, *Nature*, **296**, 726-728, 1982
- McLeod, M. G., Signals and Noise in Magnetic Observatory Annual Means: Mantle Conductivity and Jerks, *J. Geophys. Res.*, **97**, 17261-17290, 1992
- Michelis, P. D., L. Cafarella, and A. Meloni, Worldwide character of the 1991 geomagnetic jerk, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 377-380, 1998
- Stewart, D. N. and K. A. Whaler, Optimal piecewise regression analysis and its application to geomagnetic time series, *Geophys. J. Int.*, **121**, 710-724, 1995