

火山における地磁気全磁力観測に影響する磁場擾乱の統計的特徴

笹岡 雅宏, 山崎 明 (気象庁地磁気観測所)

Statistical characteristics for magnetic disturbance concerned with geomagnetic total intensity observations on volcano

Masahiro Sasaoka, Akira Yamazaki (Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency)

Abstract

Statistical characteristics of magnetic disturbance were investigated by using K-index for the observation during 1992 - 2010 at the Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency. It is found that the periodicities of six-months and four-months in monthly statistics (the mean, standard deviation, and skewness) of the K-index one-day sum are strictly dependent on those of mean difference between international five quiet and disturbed days; and the skewness of the monthly distributions equals zero statistically at around the K-index criteria values for geomagnetic quiet and disturbed days. The base-line of geomagnetic H component is also found using the linear relation of the monthly mean and standard deviation at Kakioka during 2001 and during 2009, which shows good agreement with the standard base-line on data of all international five quiet days of previous five years.

1. はじめに

気象庁では、活動的火山における火山活動監視の一環として、地磁気全磁力観測を有力な観測種目として実施している。全磁力連続観測には太陽活動等の外部要因により誘導される磁場変動が含まれるため、ほぼ慣例的に、同様な外部磁場変動を含む参照点（火山から離れた地点）との全磁力差を求めて火山性磁場成分を抽出する。火山には過去の噴火形成によりもたらされた局所的な磁気異常が存在し、太陽活動に起因する磁気嵐等に伴う地上磁場擾乱は観測点により異なる（所謂 DI 効果）。特に太陽活動が活発化している時期には、全磁力差に外部擾乱の影響が顕著に残り、火山活動監視の障害となる場合がある。これまで DI 効果を軽減するため、参照点の地磁気 3 成分による補正手段が試みられてきた（所謂 DI 補正）。この DI 補正においては、参照点の擾乱成分を用いた解析により観測点の擾乱成分を抽出しようとするので、適当なベースラインを基準にして参照点の観測値を擾乱成分と磁氣的に静穏な成分とに分けることがまず必要となる。例として、緯度補正した Dst 指数を擾乱成分として分離して静穏なベースラインを月別に求める手法などが挙げられる（例えば、加藤, 1985）。ここでは、Dst 指数を算出する際に用いる、過去 5 年間の国際 5 静穏日に基づいて導出されるベースライン（以下、標準ベースライン）を採用する (Sugiura and Hendricks, 1967)。このベースラインを利用した、気象庁地磁気観測所が実施している伊豆半島東部における全磁力観測の解析例を第 1 図に示す。第 1 図は、柿岡を参照点とし地磁気 3 成分から DI 補正した結果と全磁力差とを比較したものであり、特に 4 月上旬や 9 月下旬に見られる外部擾乱の影響が補正により軽減されているのが分か

る。著者らはこの他 DI 補正による副作用としてトレンドが異常に変化しないか、という点にも注意を払っている。本ベースラインの DI 補正への採用が適当かどうかは議論の余地があるが、上述した Dst 指数から求めるベースラインと本質的に同等であること、また第 1 図を見る限り DI 補正前後に顕著なトレンドの相違は認められないことなどから利用上の不都合はないだろう、と考える。

最近、太陽活動が活発になりつつあり、火山全磁力観測においても磁場擾乱が目立ち、静穏の磁場の大きさが判別しにくい状況が増えたのでデータ補正の必要性が高まってきた。そこで、火山における地磁気全磁力観測に影響する磁場擾乱の月別統計から外部磁場変動の特徴を見つけて観測値との相関関係を探し、上述した標準ベースラインと比較できる静穏な地磁気の大きさを月毎に見出せないか、と考えた。標準ベースラインは年別に評価されるので、火山全磁力観測への利用では月毎に内挿することが考えられるが、本稿では月別値として評価する。また本稿では、擾乱指数である Dst 指数の代わりに、扱いやすさから試行的に地磁気観測所の K 指数を利用する。具体的には、1992~2010 年までの K 指数日合計値の月別分布の統計量（平均、標準偏差、歪み）を求めて、先ず磁場擾乱の統計的特徴について調査し、次に静穏のベースラインを月別に導出する手法について検討した。

2. K 指数の月別統計の特徴

現在、K 指数 (K-index) は気象庁地磁気観測所のホームページでも公開されている。第 2 図は、女満別を例として、1992~2010 年の期間中、磁場擾乱の顕著な 2001 年と最も静穏な 2009 年についてそれぞれ求めた K 指数日合計値の 3 月の度数分布である。「日毎の地磁気活動度」の分類（上記のホームページを参照）によると、2001 年の K 指数日合計値が擾乱に該当する基準 23 以上の分布が 2009 年より大きい。図中、青色と赤色部分はそれぞれ国際 5 静穏日と国際 5 擾乱日に相当する。これら静穏日と擾乱日を除くと、月別度数分布は左右の偏りが小さくなり対称性が良い。特に国際 5 擾乱日については、月別度数分布の歪みを大きくする傾向がある。第 3 図は、1992~2010 年までの 1 年毎の月別統計量の自己相関コレログラムである。K 指数日合計値の月別の平均、標準偏差及び歪みのほか、国際 5 擾乱日と国際 5 静穏日との平均差についてもプロットされている。図中見られる周期のうち 6 ヶ月周期については、よく知られた太陽活動周期の一つに相当すると思われる。一方、4 ヶ月周期も目立っている。国際 5 擾乱日と国際 5 静穏日の平均差にもこの 4 ヶ月周期が目立ち、標準偏差の自己相関コレログラムとよく似ている。分布幅の周期が、月別度数分布の両端（国際 5 擾乱日及び国際 5 静穏日）の持つ周期性に強く依存していることが分かる。第 4 図は、地磁気観測所の 3 観測点（女満別、柿岡、鹿屋）の 1992~2010 年までの月別分布について、平均に対する標準偏差そして歪みとの関係を示す。図中の線形近似の関係から、月別平均は、標準偏差に対しては正、歪みに対しては負の相関を示す。歪みについて、月別平均が大きいほど歪みは負になる傾向が見られる。次に、国際 5 擾乱日及び国際 5 静穏日を除いた場合の月別分布と国際 5 擾乱日のみを除いた場合の月別分布の両方の歪みについても調べた。第 5 図は、1992~2010 年について、月別分布の両端の有無を考慮した場合の平均に対する歪みとの近似直線の関係を示す。第 5 図左は国際 5 擾乱日及び国際 5 静穏日がある場合の平均と歪みの近似直線のプロットであり、第 5 図中央は国際 5 擾乱日及び国際 5 静穏日を除いた場合、第 5 図右は国際 5 擾乱日のみを除いた場合である。第 5 図左によると、K 指数日合計値の月別平均の大きい方から歪みがゼロとなるのは鹿屋、女満別、柿岡の順であるが、これは観測点

の緯度の相違による地磁気擾乱の大きさの差が反映している。即ち統計的に赤道に近い地点に次ぎ、極に近い地点は擾乱が大きい。第 5 図左から第 5 図右への順に、歪みがゼロとなる K 指数日合計値の月別平均は、およそ 22, 17, 11 である。これらの値は、K 指数の日合計値と「日毎の地磁気活動度」との関係によると、「擾乱」と「やや擾乱」、「やや擾乱」と「やや静穏」、そして「やや静穏」と「静穏」についてそれぞれ分類する際の境界に概ね対応する。統計的な歪みの正負の境界が、K 指数日合計値の解釈としての地磁気活動度の分類に対応することは、月別分布の特徴の意味を探る上で興味深い。K 指数日合計値の月別分布の統計的な歪みは「擾乱」と「やや擾乱」を特徴付けるが、国際 5 擾乱日を除くだけで残りの月別分布は、統計的に「やや静穏」と「静穏」を特徴付ける分布に変わることになり、分布の統計的特徴が極端に変わることが示された。第 5 図中央の直線は、傾きが第 5 図左及び右と比較して小さくまたゼロに近い。第 2 図に例示したが、統計的にも国際 5 擾乱日及び国際 5 静穏日を除いた場合には月別度数分布の対象性は相対的に良いことが分かった（正規分布に近い）。この場合、歪みがゼロとなる K 指数日合計値の月別平均は、地磁気活動度の解釈としては「やや静穏」と「やや擾乱」の境界となり、2 元論的には静穏となるか擾乱となるかを分ける。国際 5 擾乱日と国際 5 静穏日を除くと、残りの K 指数日合計値の月別分布は静穏か擾乱かを統計的に特徴付ける分布となることが示された。

3. K 指数の月別統計を利用したベースライン導出

第 6 図は、2001 年 4 月と 2009 年 4 月について、柿岡の地磁気 H 成分と標準ベースラインの比較である。2001 年は太陽活動が活発な時期にあたり、2009 年は近年稀にみる低調な時期であった。2009 年については日変化を除けば、2001 年に見られるようなベースラインを下回る Dst の急な発達は見られない。火山全磁力観測では、擾乱成分を無視するために夜間の中央値又は平均がよく利用されてきたが、ここでは統計的関係を基に擾乱成分の大きさを評価することを試みる。もし、観測値から得られた統計的特徴が K 指数の統計的特徴と関連があるとすると、第 4 図で示したような線形関係を利用して月別の地磁気擾乱の大きさを推定できないだろうか？柿岡の地磁気 H 成分について、夜間をつなぐ直線を基準とした偏差から、夜間値 (0:00~4:00LT) の月別標準偏差を求め、第 4 図上段中央の線形関係から疑似的指数を求める。次に 1 年毎に 12 ヶ月分の夜間中央値と疑似的指数から回帰分析により疑似的指数に相関する成分を夜間中央値から差し引いて月別ベースラインを得る（疑似的指数を用いた夜間中央値の補正手法）。但し、1 年間の疑似的指数が全て負の場合は月別夜間中央値を月別ベースラインとする。また、年別のベースラインは月別ベースラインの平均とする。2001 年と 2009 年について柿岡の地磁気 H 成分を対象に、導出したベースライン（赤線）、夜間中央値（青線）、標準ベースライン（黒線）を第 7 図に示す。2001 年の Dst の発達の影響を受けた 4 月の標準ベースラインを下回る夜間中央値は、本補正により標準ベースラインに近い値になった。一方、10~12 月の夜間中央値については、本補正により 4 月ほど大きな増加の修正は見られなかった。部分的ではあったが、夜間中央値に対する月別の補正の効果が確認された。地球電磁氣的に静穏な 2009 年については、夜間中央値は 1 年を通じて標準ベースラインに近い。次に 2001 年と 2009 年の（年別）ベースラインを表 1 に示す。表 1 には、比較のため標準ベースラインと夜間中央値を記載した。導出したベースラインは、標準ベースラインと良い一致を示す。

4. まとめ

火山における地磁気全磁力観測に影響する磁場擾乱を把握する目的で、1992～2010年までの期間で、K指数日合計値の月別統計量（平均、標準偏差、歪み）から統計的特徴について調べた。いずれの月別統計量についても、よく知られた太陽活動周期の一つである6ヶ月周期が見られたほか、4ヶ月周期も目立った。国際5擾乱日と国際5静穏日の平均差にもこの4ヶ月周期が目立つため、月別度数分布の両端（国際5擾乱日及び国際5静穏日）の持つ周期性が月別統計量に反映していることが示された。月別平均は、標準偏差に対しては正、歪みに対しては負の相関を示し、月別平均が大きいほど歪みは負になる傾向が見られた。また、K指数の日合計値と「日毎の地磁気活動度」との関係によると、K指数日合計値の月別分布の統計的な歪みは「擾乱」と「やや擾乱」を特徴付けるが、国際5擾乱日を除くだけで残りの月別分布は、統計的に「やや静穏」と「静穏」を特徴付ける分布に変わり、分布の統計的特徴が極端に変化することが示された。更に、国際5擾乱日及び国際5静穏日を除いた場合には月別度数分布は正規分布的であることが分かった。これらの結果から、K指数日合計値の月別統計は、国際5擾乱日及び国際5静穏日の影響を強く受けることが示された。

2001年と2009年について、K指数の統計的關係を利用して柿岡の地磁気H成分の静穏ベースラインを導出した。本稿で行った静穏ベースラインの導出手順は次の通りである。①地磁気H成分の夜間をつなぐ直線を基準とした偏差から夜間値(0:00～4:00LT)の月別標準偏差を求め、第4図上段中央の線形關係から疑似的指数を求める。②12ヵ月分の地磁気H成分の夜間中央値と疑似的指数から回帰分析により疑似的指数に相関する成分を夜間中央値から差し引いて月別ベースラインを得る（疑似的指数を用いた夜間中央値の補正手法）。但し、1年間の疑似的指数が全て負の場合は月別夜間中央値を月別ベースラインとする。③年別のベースラインは月別ベースラインの平均とする。実際には、太陽活動の低調な2007～2010年の疑似的指数は全て負であったので、この期間は月別夜間中央値を月別ベースラインとすることになる。部分的ではあったが、夜間中央値に対する月別の補正の効果が確認された（第7図左）。また同様な補正の効果は、太陽活動が比較的活発であった1998～2002年にかけて見られた。導出した（年別）ベースラインは、標準ベースラインと良い一致を示した（表1）。磁場擾乱の月別統計に基づいて算出されたベースラインが標準ベースラインと整合的であることが示された。一方、1992～2010年について統計的に、柿岡の地磁気H成分の夜間中央値（夜間平均）は1～4月より9～12月の方が小さく、疑似的指数は、4月、10月、11月については大きい、12月は小さく3月、9月と同程度である。月別の補正では、特に10月と11月についてはまだ十分ではない。

K指数は、擾乱の変化に対してスケールによって数値が与えられるので、Dst指数と異なり実際の観測値と直接比較できない。本稿では、K指数日合計値の月別標準偏差の特徴を通じて、地磁気H成分と磁場擾乱成分の関連付けを試みた。他の地磁気成分については扱わなかった。

参考文献

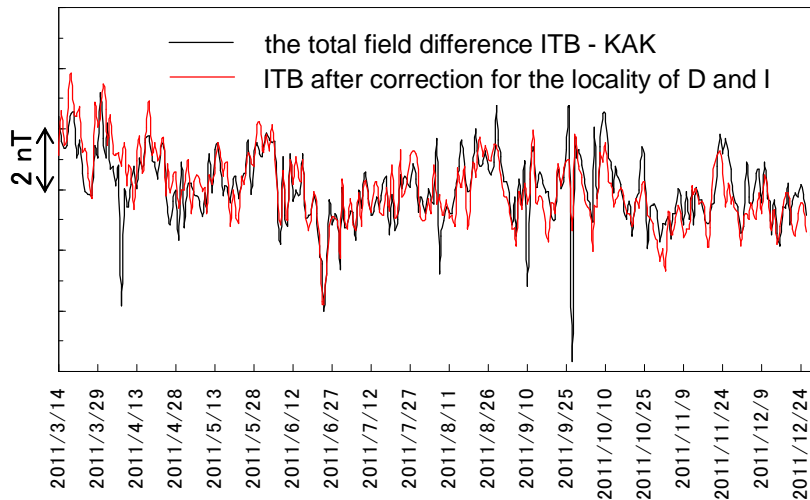
加藤 誼司, 阿蘇火山の地磁気観測 (I), 地磁気観測所要報, 21, 1, 31-46, 1985.

Sugiura, M., and S. Hendricks, Provisional hourly values of equatorial Dst for 1961, 1962 and 1963, NASA Tech. note D-4047, 1967.

表1 柿岡で求めた地磁気H成分のベースライン比較.

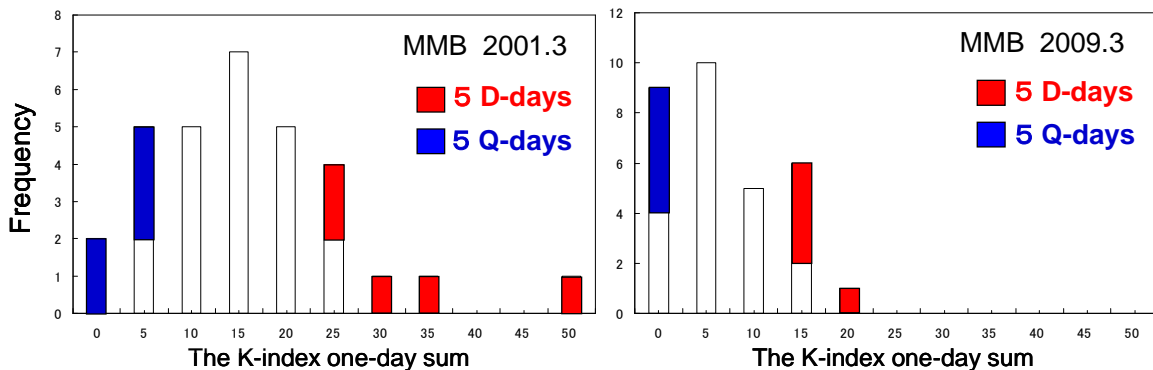
Table 1: A comparison of found modified base-line (BL), standard BL, and median at night (0:00-4:00LT) at KAK during 2001 and during 2009.

	modified BL (nT)	standard BL (nT)	median at night (nT)
2001	30012.4	30012.7	30015.4
2009	29983.1	29983.4	29982.6



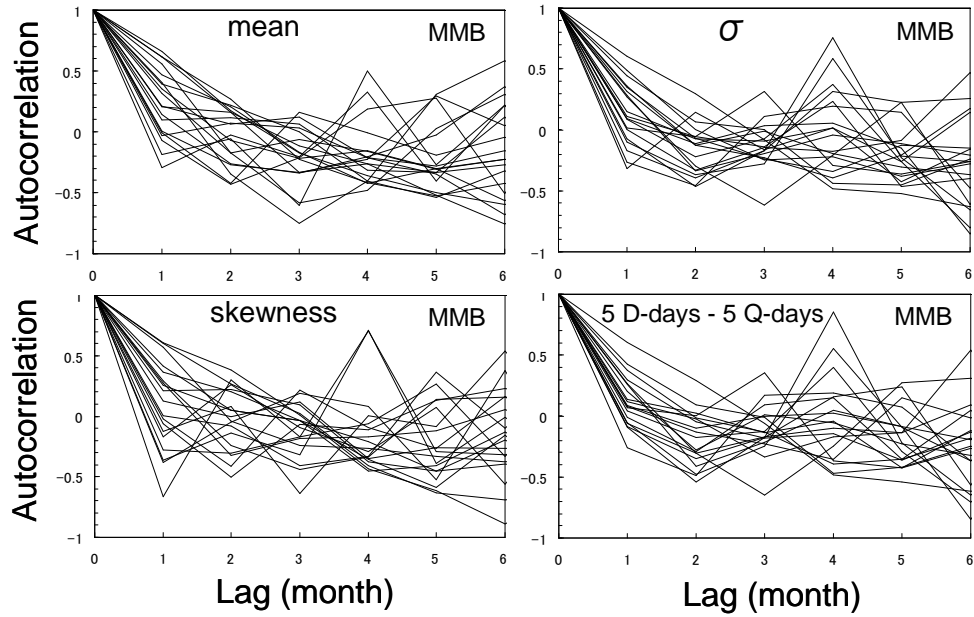
第1図 伊豆半島東部 (ITB) における気象庁地磁気観測所観測点の全磁力変動. 黒線は柿岡との全磁力差, 赤線は柿岡を参照点とするDI補正の効果を示す.

Fig.1 Variation of geomagnetic one-day value at Izu-Tobu (ITB) during March 2011 – December 2011. Black and red lines correspond to the total field difference Izu-Tobu – Kakioka (KAK) and Izu-Tobu after correction for the difference of declination (D) and inclination (I) between compared station and the reference station, respectively.



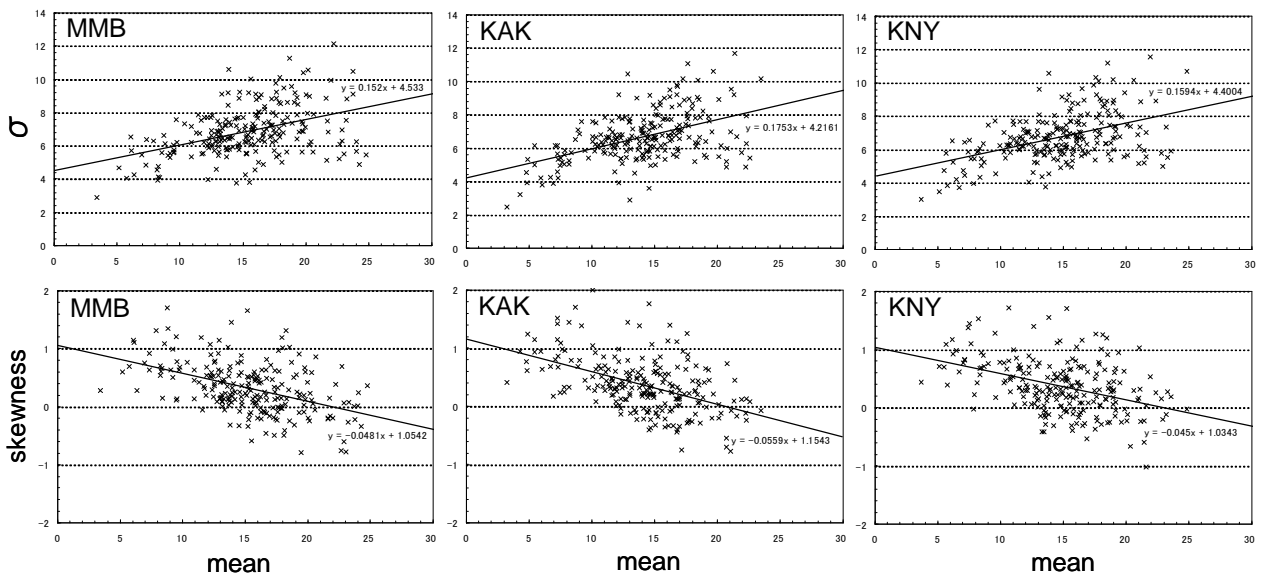
第2図 女満別のK指数日合計値の月別度数分布. (上)2001年3月の期間, (下)2009年3月の期間.

Fig.2 Histogram plot of frequency distribution of the K-index one-day sum at Memanbetsu (MMB) during (above) May 2001 and during (bottom) May 2009.



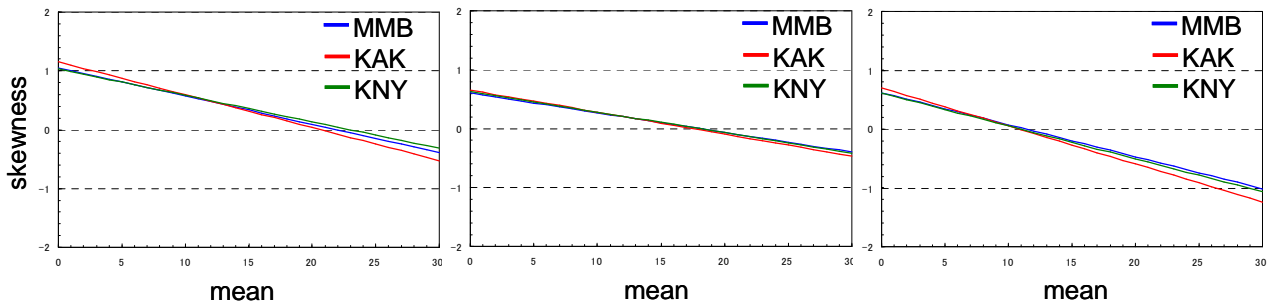
第3図 K指数日合計値の月別統計量の自己相関コレログラム. (上左)平均, (上右)標準偏差, (下左)歪み, (下右)国際5擾乱日と国際5静穏日の全磁力差.

Fig.3 Autocorrelogram of monthly statistics on the K-index one-day sum for each year during 1992 - 2010: (above left) the mean, (above right) standard deviation (σ), (bottom left) skewness, and (bottom right) mean difference between international five quiet and disturbed days.

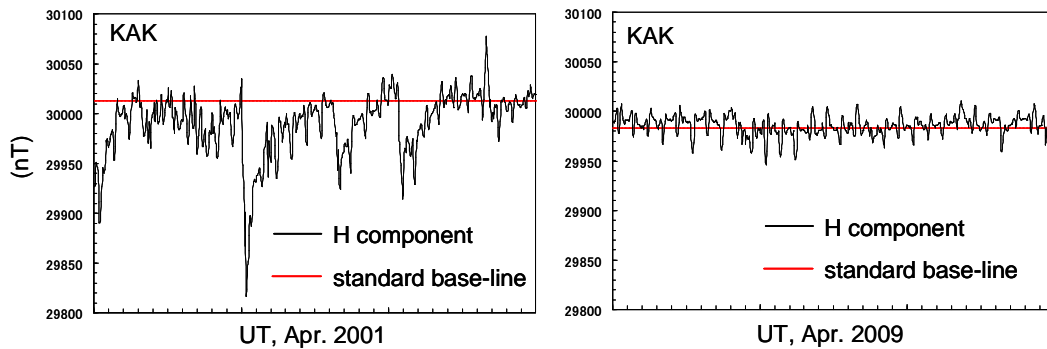


第4図 K指数日合計値の平均に対する標準偏差そして歪みとの関係. (左)女満別, (中)柿岡, (右)鹿屋.

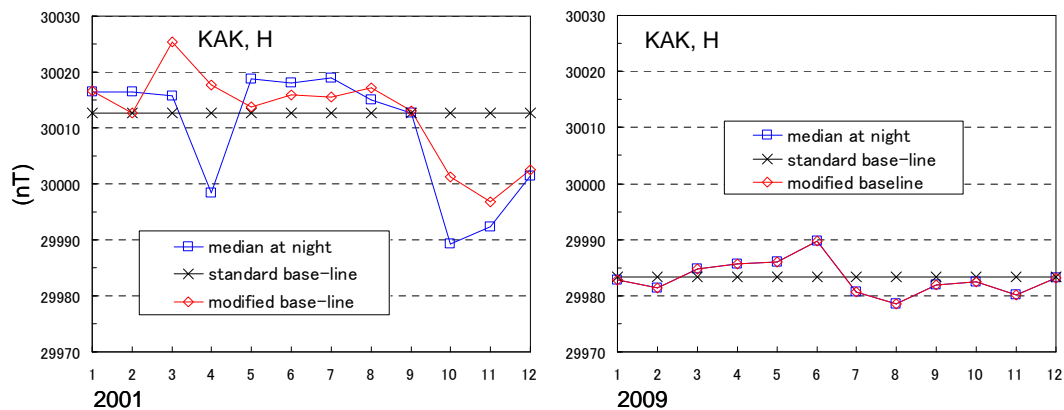
Fig.4 Scatter plot and its linear relation of (above) the monthly mean and standard deviation (σ), and (bottom) the monthly mean and skewness on the K-index one-day sum at (left) Memanbetsu (MMB), (middle) Kakioka (KAK), and (right) Kanoya (KNY) during 1992 - 2010.



第5図 月別分布の両端の有無を考慮した場合の平均に対する歪みとの近似直線の関係. (左)全てのデータに基づく結果, (中)国際5静穏及び擾乱日を除いた結果, (右)国際5擾乱日のみを除いた結果.
 Fig.5 Linear relation between the monthly mean and skewness of the K-index one-day sum on (left) full data set, (middle) data without international five quiet and disturbed days, and (right) data without international five disturbed days at MMB (blue line), KAK (red line), and KNY (green line) during 1992 – 2010.



第6図 柿岡の地磁気H成分毎時値と標準ベースライン. (左) 2001年4月, (右) 2009年4月.
 Fig.6 Variation of one-hour value of geomagnetic H component (black line) and standard base-line (red line) from all international five quiet days of previous five years at KAK during (left) April 2001 and during (right) April 2009.



第7図 柿岡の地磁気H成分のベースラインの月別値. (左) 2001年, (右) 2009年.
 Fig.7 Variation of monthly value of found modified base-line (red line), median at night (blue line), and standard base-line (black line) for geomagnetic H component at KAK during (left) 2001 and during (right) 2009.