IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

メタ情報のデータベースを利用した
分野横断型地球科学研究の進展
2012/02/22-23

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究

Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

# 平成24年度のIUGONETサイエンスタスクチームの活動報告と地磁気日変化の振幅に見られる超高層大気の長期変動

○ IUGONETサイエンスタスクチームの活動報告

○地磁気日変化の振幅に見られる超高層大気の長期変動

新堀 淳樹[1] ・小山 幸伸[2] ・林 寛生[1]・能勢 正仁[2]・大塚雄一[3]・ 堀智昭[3]・
IUGONET プロジェクトチーム

[1]京都大学生存圏研究所、[2]京都大学地磁気センター、

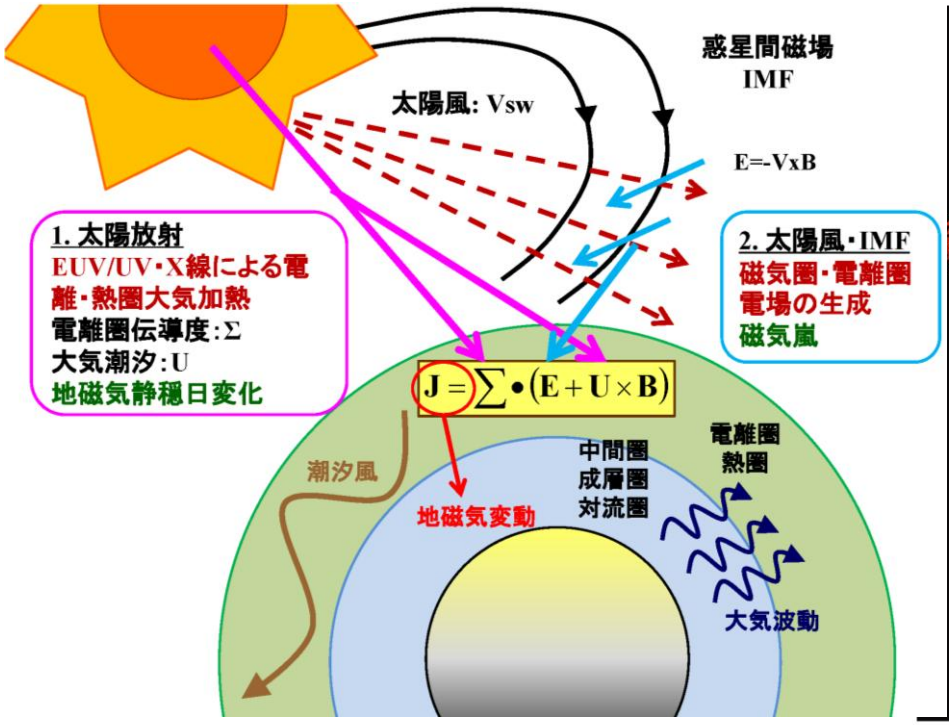
[3]名古屋大学太陽地球環境研究所

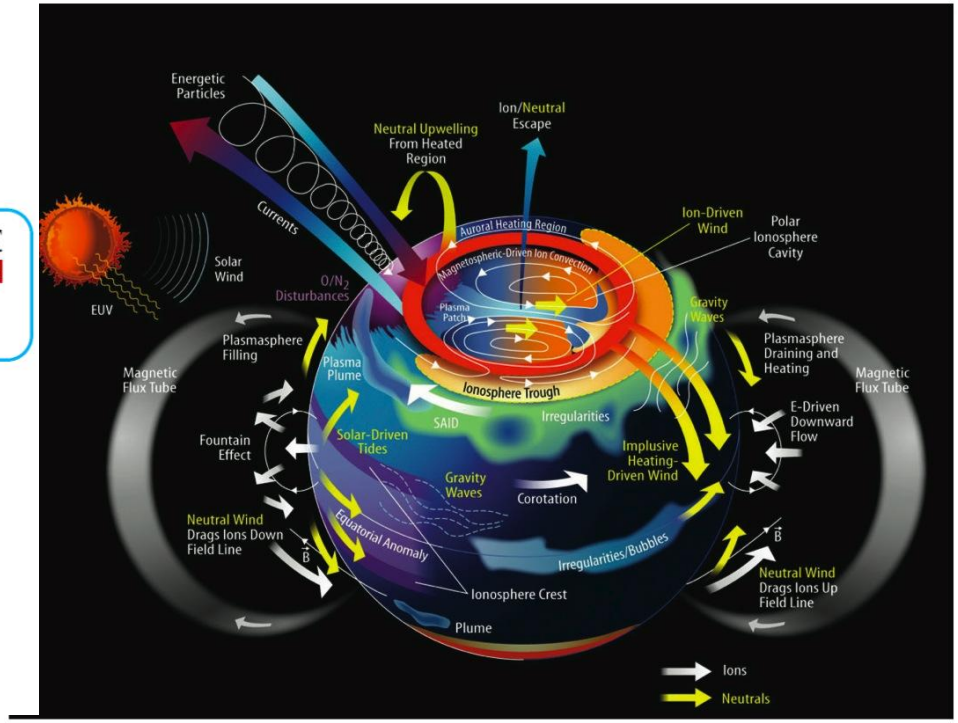
# 0. 序

## 0.1 超高層大気の領域間結合

http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ionosphere-Thermosphere_Processes.jpg

## 太陽−太陽風−磁気圏−電離圏−大気圏結合




太陽風や磁気圏などの上方からの電磁エネルギーの流入と下層大気からの力学的エネルギーの流入が介在

極域−赤道域間の結合も強く、複雑な開放系

# 0. 序

## 分野横断型のデータ解析による太陽地球系物理学研究の進展

磁気圏専門家
自分のデータを
隣接する領域の
データとの比較

Webでデータに
関する情報を調
べる
データを取得す
る

Webの情報が不十分でデ
ータの取り扱いが不明
データの在処が不明ネット
越しにすぐデータが手に入
らない
プロットの仕方が不明…

他の研究者に直接聞く、問い合
せることになるがこれは時間が
かかる
- データの有無の確認まで丸投げ
- データに関する説明
- 作図して渡す手間
- 作図ツールの説明

### メタデータDB

○日時、緯度・経度などの物理パラメータによるデータセットの存在・在処の検索、キーワードによる検索

説明、Instrument論文、コンタクト先、データポリシー、データパラメータ、…

○実データDBと連動することによりデータファイル単位の検索

### 統合解析ツール

- 異種データをとにかく並べてプロットできる (時系列で比較)
- 公開データについては日時指定で自動でダウンロード
  → プロット
- FFTやwaveletなどの周波数解析などの機能もある

# 1. IUGONETサイエンスタスクチームの活動報告

## 1.1 サイエンス研究を行う意義と現在進めている研究テーマ

### 開発プロダクトを用いた研究推進の重要性

- 開発プロダクトの性能評価と開発項目の発見
  - バグ修正、機能追加、インターフェイスの改善、etc.
- 開発プロダクトの使用例紹介
  - ユーザーの獲得、データ利用・解析の促進、分野横断研究の推進

**【研究テーマ】**

- 地磁気静穏日変化の振幅変動に見られる超高層大気の長期変動
  [京大地磁気センター、名大STE研、京大生存研]
- 磁気嵐時におけるグローバルな地磁気変動と電離圏擾乱ダイナモとの関係
  [京大生存研、極地研、京大地磁気センター、名大STE研]
- 赤道ジェット電流の強度変動と熱圏・中間圏における大気擾乱との関係
  [九大宙空、京大生存研]
- 太陽画像データ解析に基づく、超高層大気への太陽紫外線の影響
  [京大天文台、京大生存研、名大STE研]
- 流星分布の長期変動解析・統計検証
  [京大生存研・学生]

## 1.2 学会での発表や論文執筆状況

### 1. 学会での発表状況

**〇学会：JPGU=1件、SGEPSS=4件、IUGG=1件、AGU=1件**

**〇研究会など： 7件(以上)**

### 2. 論文執筆状況

1. **Shinbori, A., Y. Tsuji, T. Kikuchi, T. Araki, A. Ikeda, T. Uozumi, S. I. Solovyev, B. M. Shevtsov, S. Watari, T. Nagatsuma, K. Yumoto, and the IUGONET project team, Magnetic local time and latitude dependence of amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements and its seasonal variation, 2012 (95%完成)**
2. **T. Hori, A. Shinbori, N. Nishitani, T. Kikuchi, S. Fujita, T. Nagatsuma, O. Troshichev, K. Yumoto, … , Evolution of negative SI-induced ionospheric flows observed by SuperDARN King Salmon HF radar, 2012 (95%完成)**

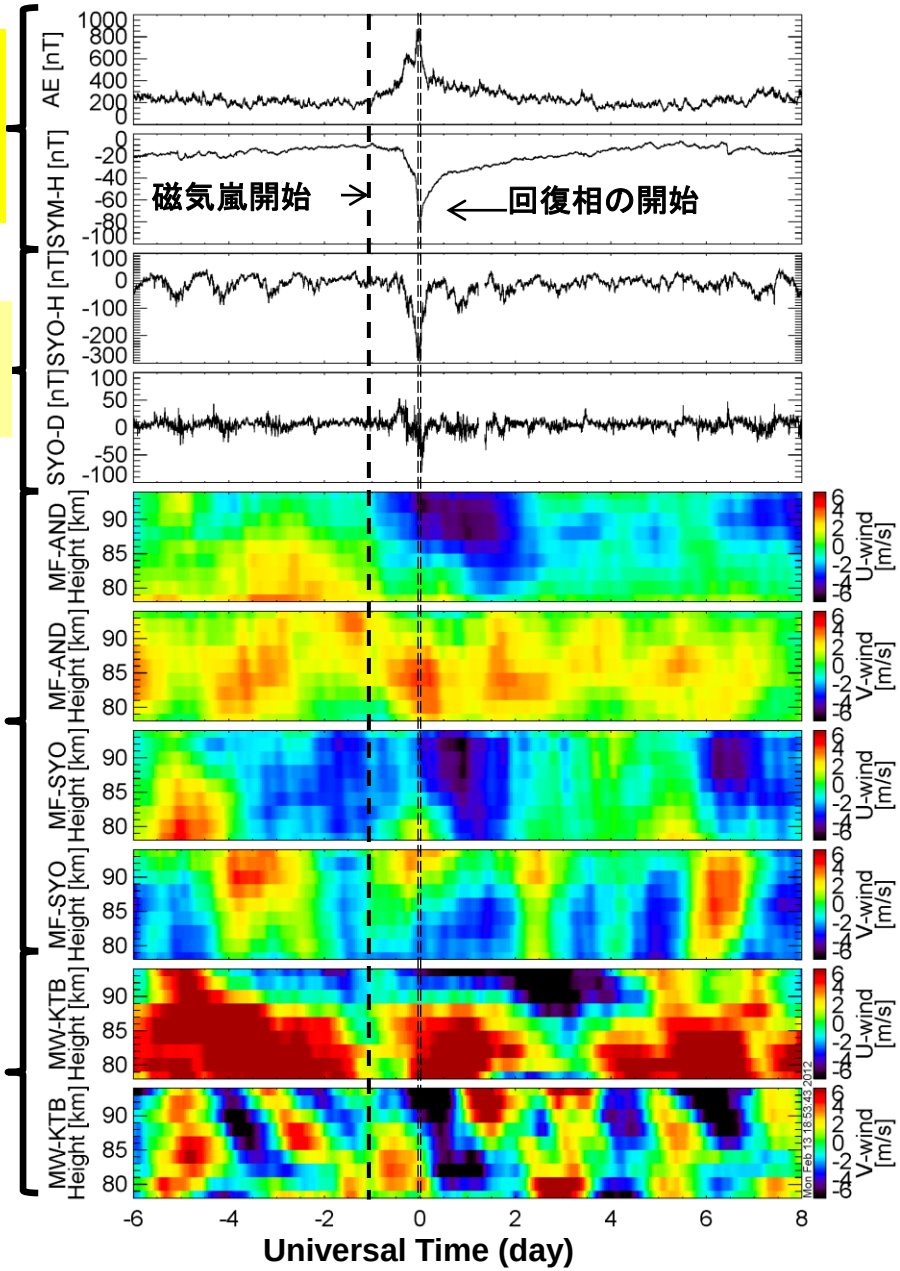
# 2. 各機関との共同研究の紹介

京大
WDC
SYM

NIPR
地磁気

NIPR
MF
風速

京大
RISH
MWR
風速




## <磁気嵐におけるグローバルな地磁気変動と電離圏擾乱ダイナモとの関係>

**[研究目的]**

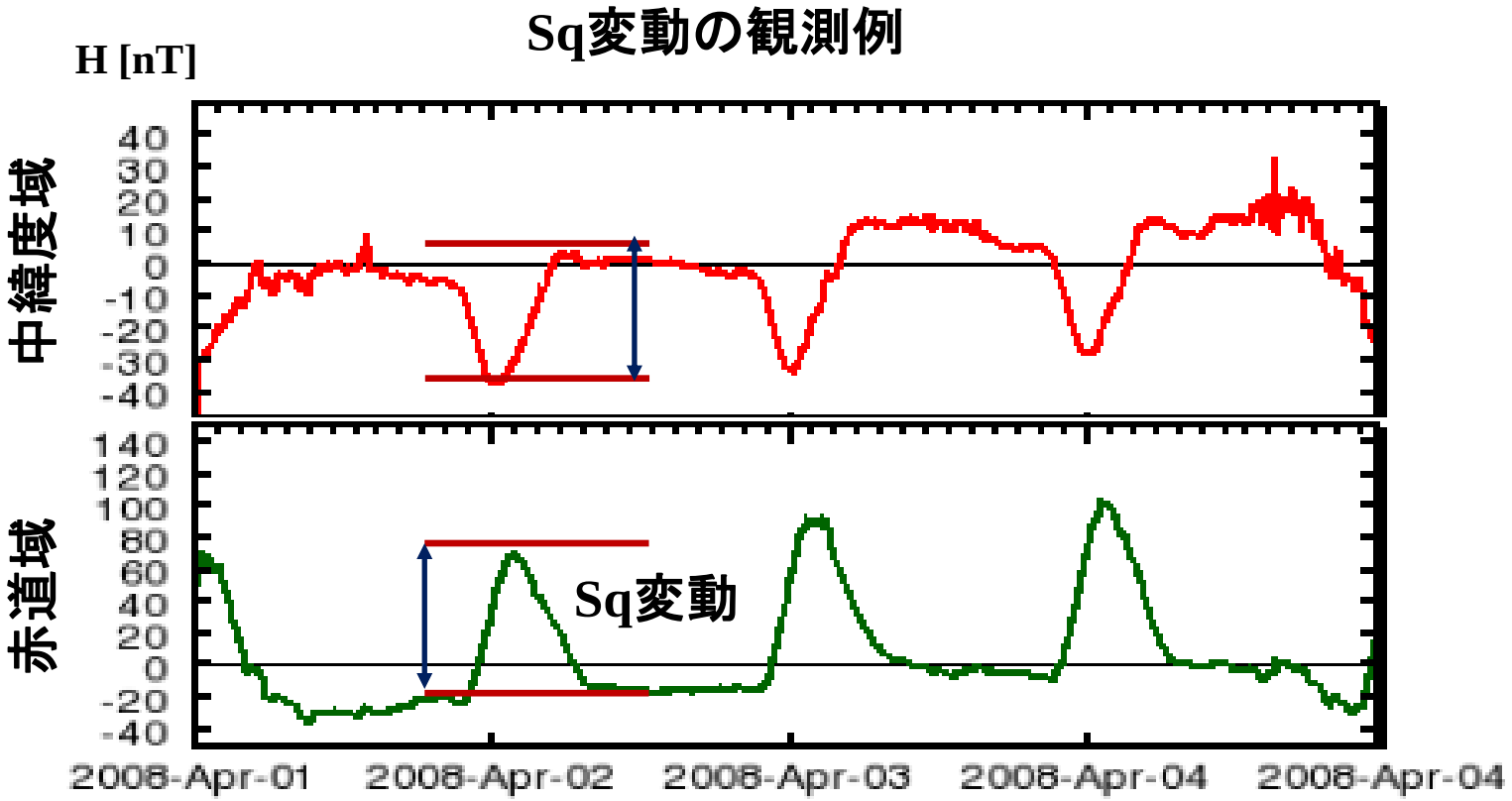
磁気嵐時に生み出された電磁エネルギーが極域の熱圏大気へ流入して発生する電離圏擾乱がどのような時間スケールで発達し、赤道域へ伝搬していくかについて明らかにする

**2005年の1年間に発生した磁気嵐イベント(31例)の統計解析**

代表される地磁気静穏日における平均データの差し引きを実行

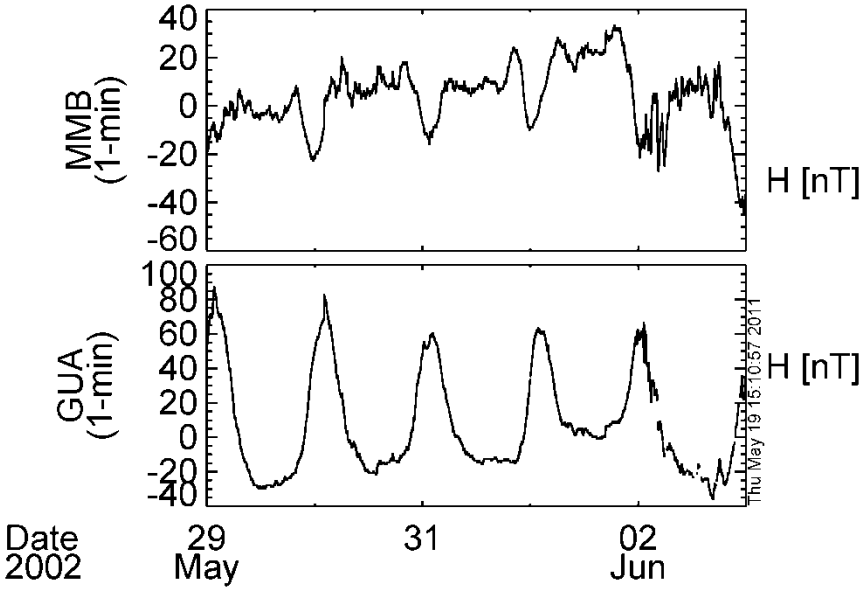
**[偏差(アノマリー)解析]**

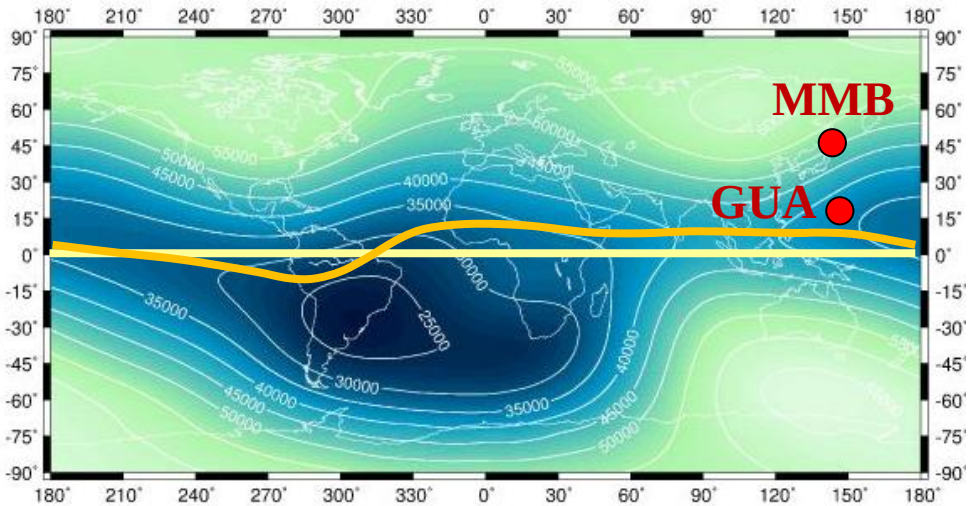
# 地磁気日変化の振幅に見られる超高層大気の長期変動

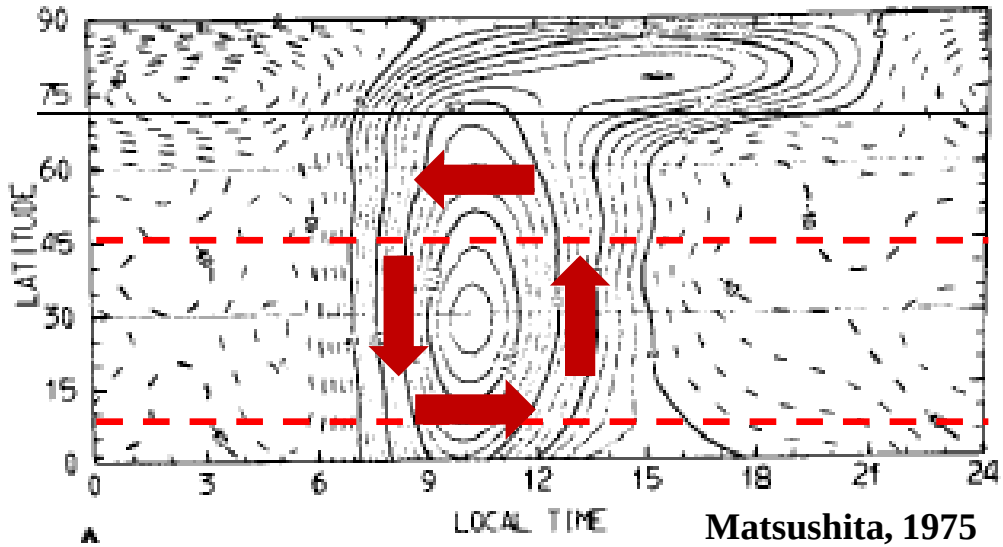


# 3-1. はじめに

## 3.1.1 地磁気日変化




Matsushita, 1975

**擾乱の少ない磁気的静穏時の地磁気の日変化は、Sq (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)と呼ばれ、電離圏高度の中性風によって駆動される電離圏電流がその要因である**

# 3-1. はじめに

## 3.1.2 地磁気静穏日変動の振幅を決めるもの

### ○地磁気日変動(Sq)の振幅

アンペールの法則から電離圏電流の大きさに比例する

オームの法則から電離圏電流の大きさは、電離圏電気伝導度の大きさと起電力の大きさの掛け算に等しい

$$\mathbf{J} = \sum \cdot \left( \mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B} \right)$$

### ○電離圏伝導度(Σ)の変化

太陽活動依存性＝太陽放射(UV/EUV)の11年周期性

季節依存性＝地球の自転軸の傾きの効果

地磁気永年変化＝磁場減少による伝導度の増加

### ○起電力(UxB)の変化

太陽潮汐風(+地磁気永年変化)の変化

# 3-1. はじめに

## 3.1.3 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

| | 観測点数 | 太陽データ | Sq場の経年変動 | 主磁場の永年変化の影響 | 特記事項 |
|---|---|---|---|---|---|
| Sellek [1980] | 3点 | 太陽黒点数 | あり 増加傾向 | あり | 親論文 |
| Schlapp et al., [1990] | 11点 | 太陽黒点数 | あり 増加傾向 | あり | Hermanusでは、モデル予測値よりも経年変動が1桁ほど小さい |
| Macmillan and Droujinina [2007] | 14点 | F10.7 | あり 観測点に依存 | 議論はしているが、明示していない | Sq場の年変動は、太陽放射のプロキシとして使える |
| Elias et al. [2010] | 3点 | 太陽黒点数 | あり 増加傾向 | あり | 地球温暖化による電離圏変動がSq場の変動に存在する可能性を示唆 |

# 3-1. はじめに

## 3.1.4 これまでの問題点と目的

[問題点]

○使用している地磁気観測点の長期解析の不足

○分野間の観測データを用いた統合解析の不足

○解析手法やそれに至る仮定の問題

**[目的]**

**IUGONETプロジェクトから提供される長期の地磁気と太陽活動の指標となるF10.7を用いて、全球的なSq場の振幅の長期変動の要因を明らかにする**

**(1) 多点の地磁気観測点や熱圏風速の長期データ解析**

**IUGONETで開発したメタデータDB検索と統合解析ソフト(UDAS)を最大限に利用することで研究推進の効率化の図った**

**(2) 解析手法の改良**

**地磁気静穏日の閾値の具体化**

**太陽活動依存性の指標としてF10.7フラックスを利用**

# 3-2. 解析手法

## 3.2.1 使用観測データ

地磁気データ(1時間値、1900年以降のデータ):京大WDC

地磁気指数(Kp指数、1932年-2010年) :京大WDC

太陽F10.7フラックス(1947年-2010年) :NGDC/NOAA

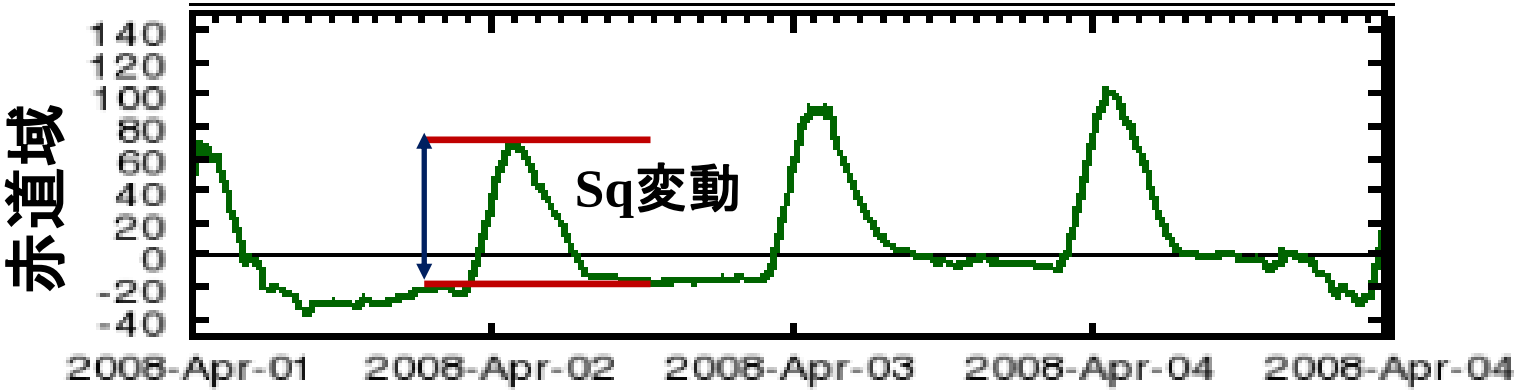
熱圏下部中性風(1日平均値) :京大RISH

## 3.2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

〇地磁気静穏日: Kp指数の1日の最大値が4未満

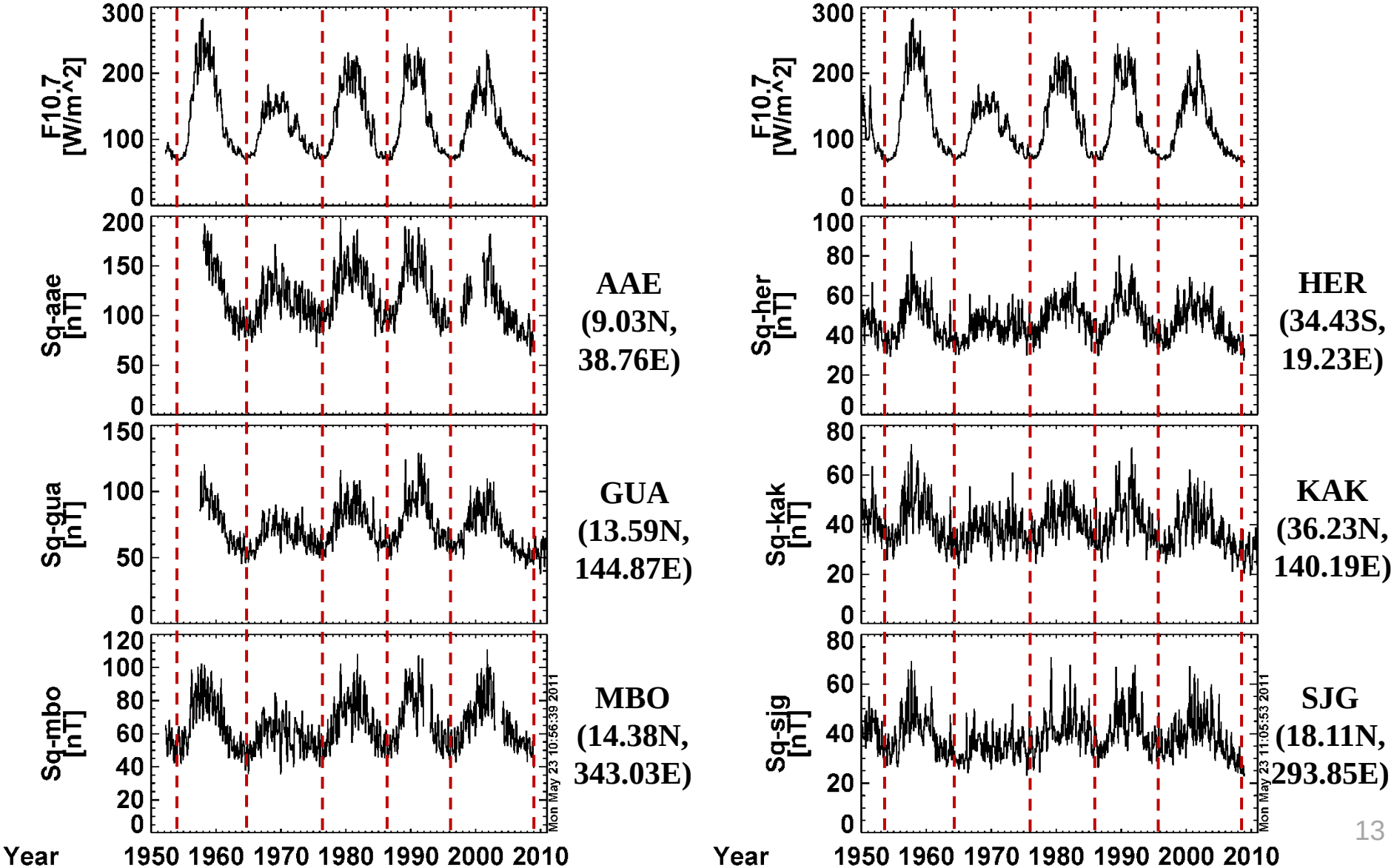
〇 Sq振幅:1日の変化の最大と最小の差を1月平均値

〇太陽活動依存性の除去:2次回帰曲線からのずれを計算



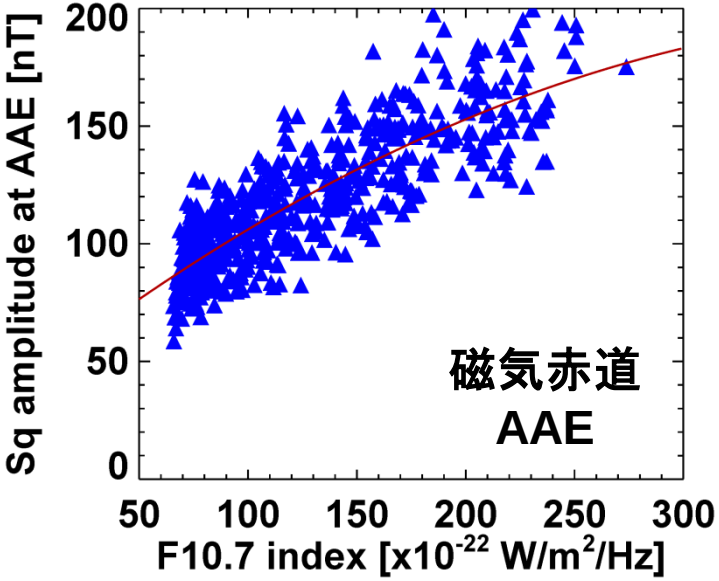
# 3-3. 解析結果

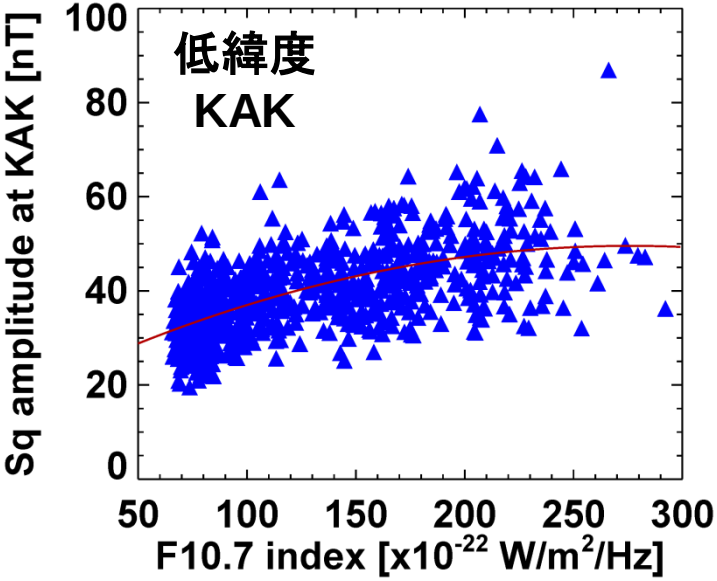
## 3.3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)

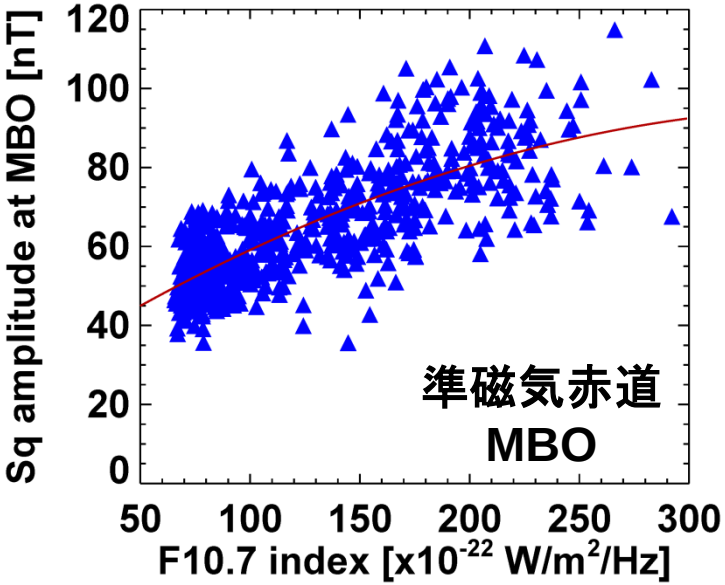


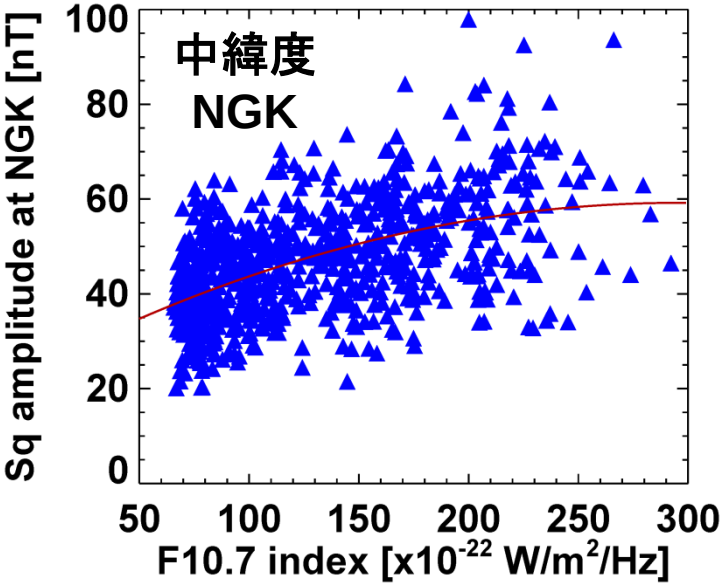
# 3-3. 解析結果

## 3.3.3 Sq場の振幅と太陽F10.7指数との対応関係




**Sq場の振幅とF10.7指数のデータ**

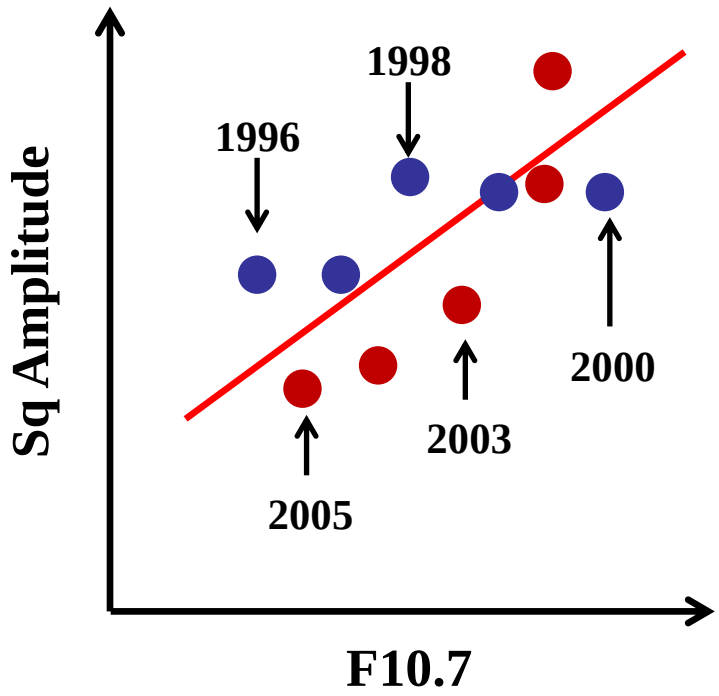
**1ヶ月平均**

**上に凸型をした2次曲線の関係**

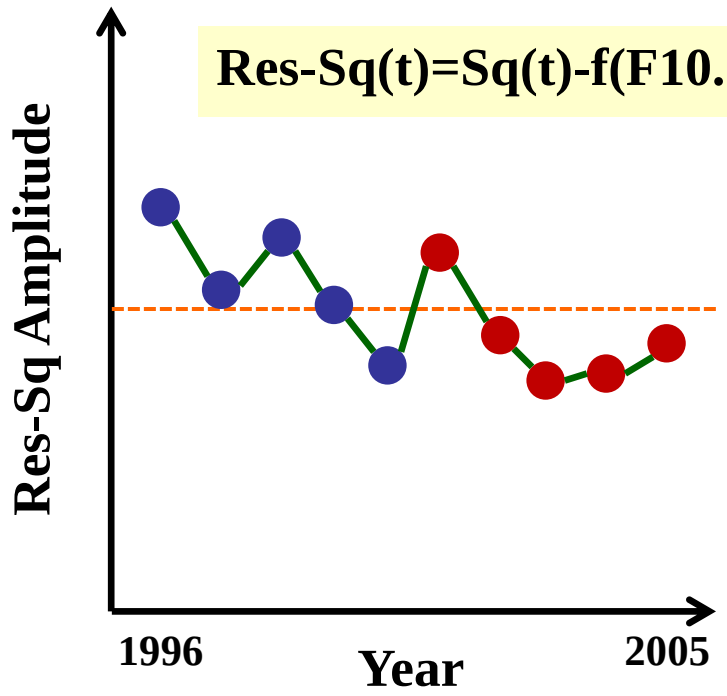
# 3-3.解析結果

## 3.3.4 Sq場の振幅から太陽活動依存性の除去

**F10.7とSq振幅の相関図**




**回帰曲線からのずれの時系列プロット**



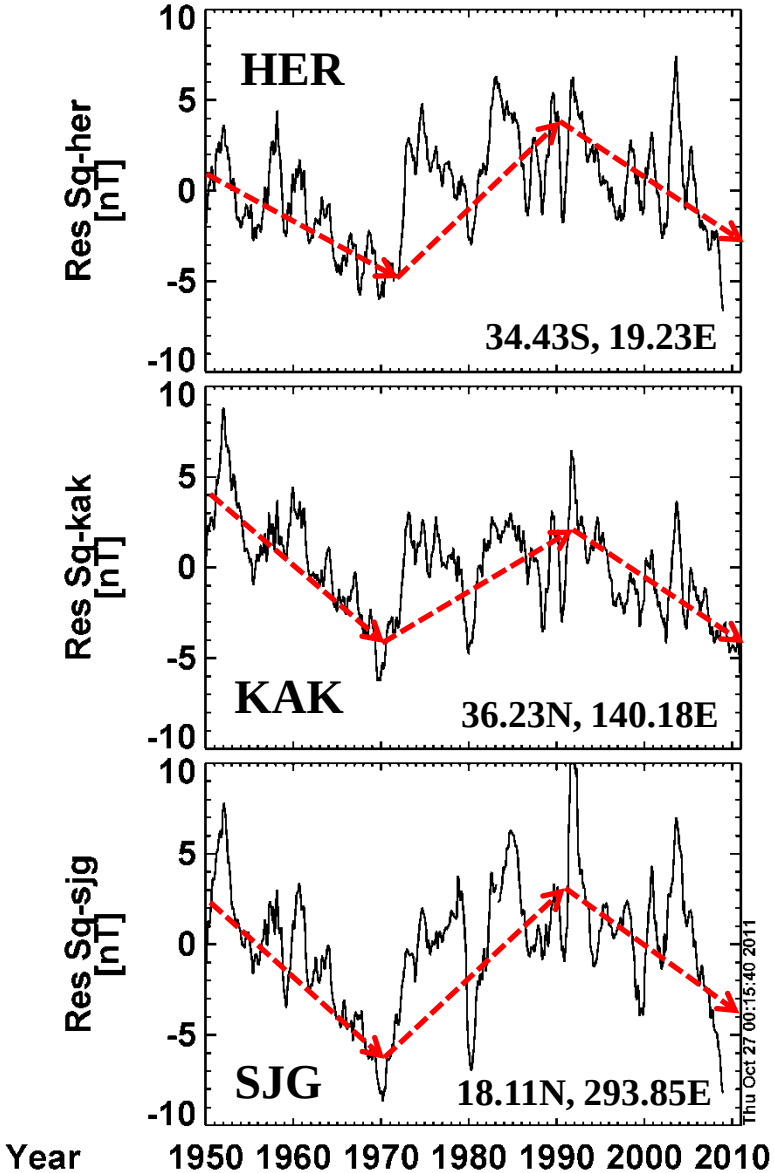

**太陽活動に依存する成分を除去**

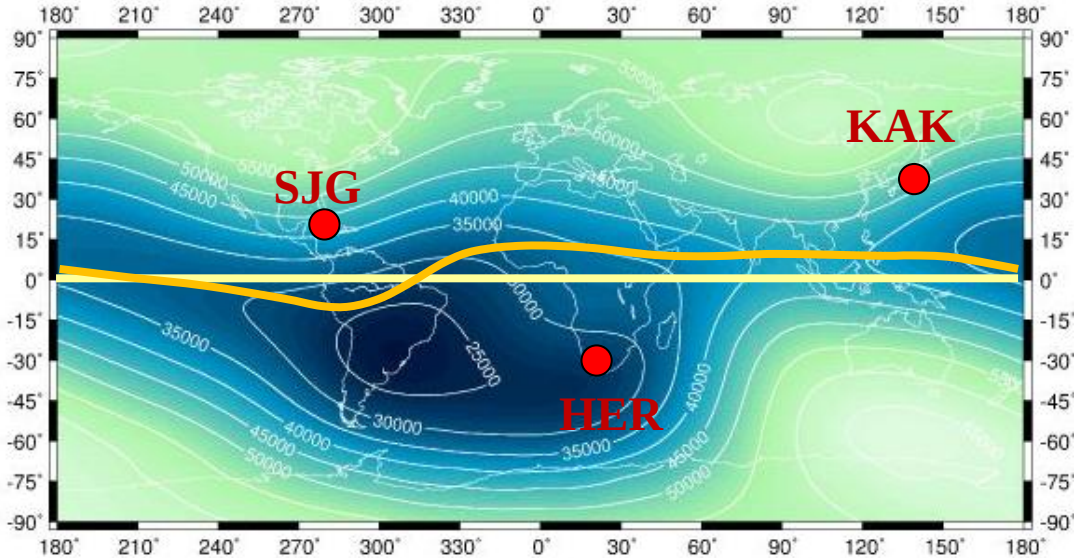
**Sq振幅に影響する残りの成分**

**＝地磁気永年変化＋地球大気密度の変化＋熱圏の中性風の変化**

# 3-3. 解析結果

## 3.3.6 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)




SJG、HER、KAKの位置

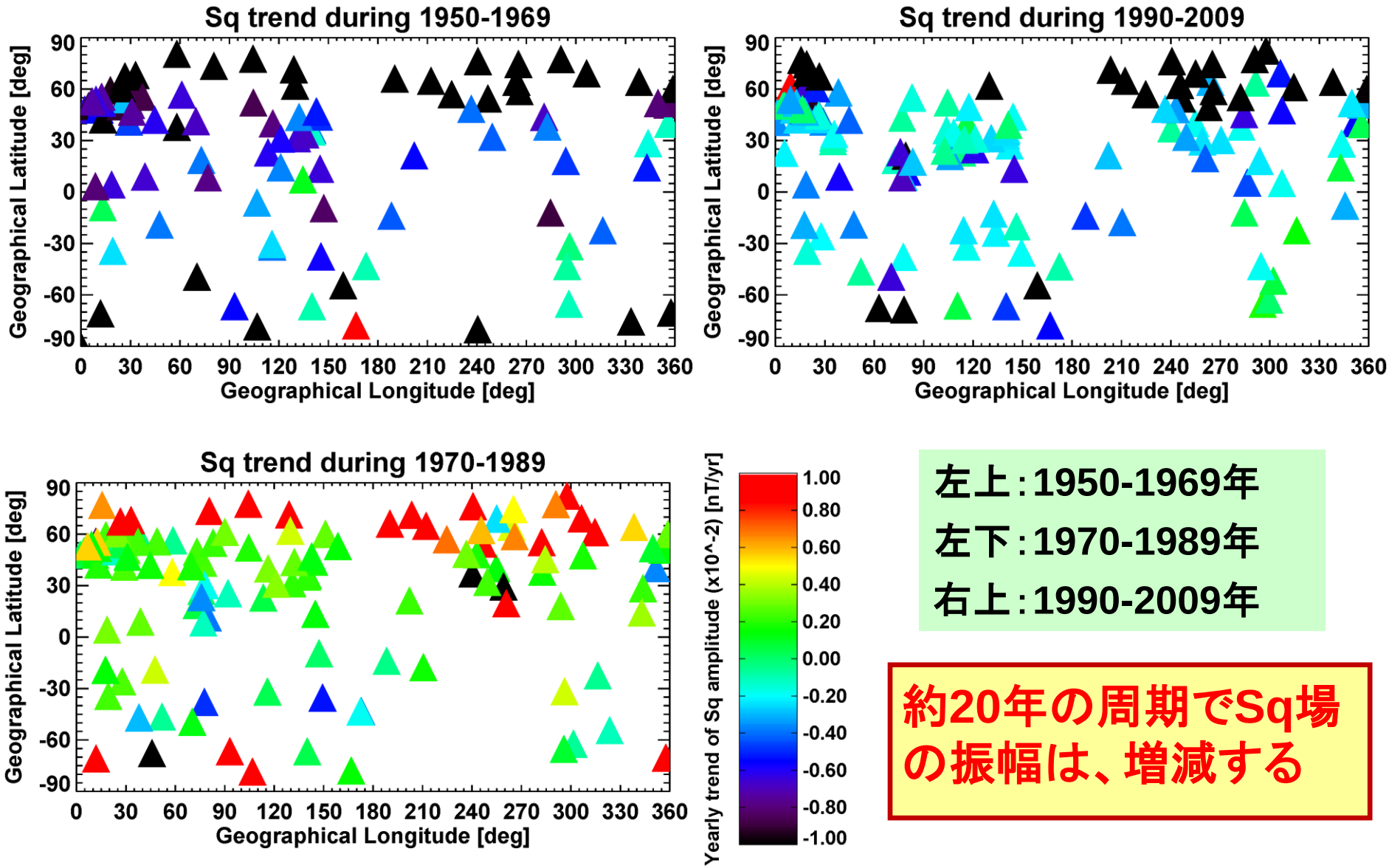
○Residual-Sq場の振幅は、各観測点で増加・減少する期間がほぼ同期

⇒グローバルな現象

○1970年と2010年代で振幅が極小

# 3-3. 解析結果

## 3.3.7 Res-Sq場の振幅の経年変化(地理分布)




左上：1950-1969年

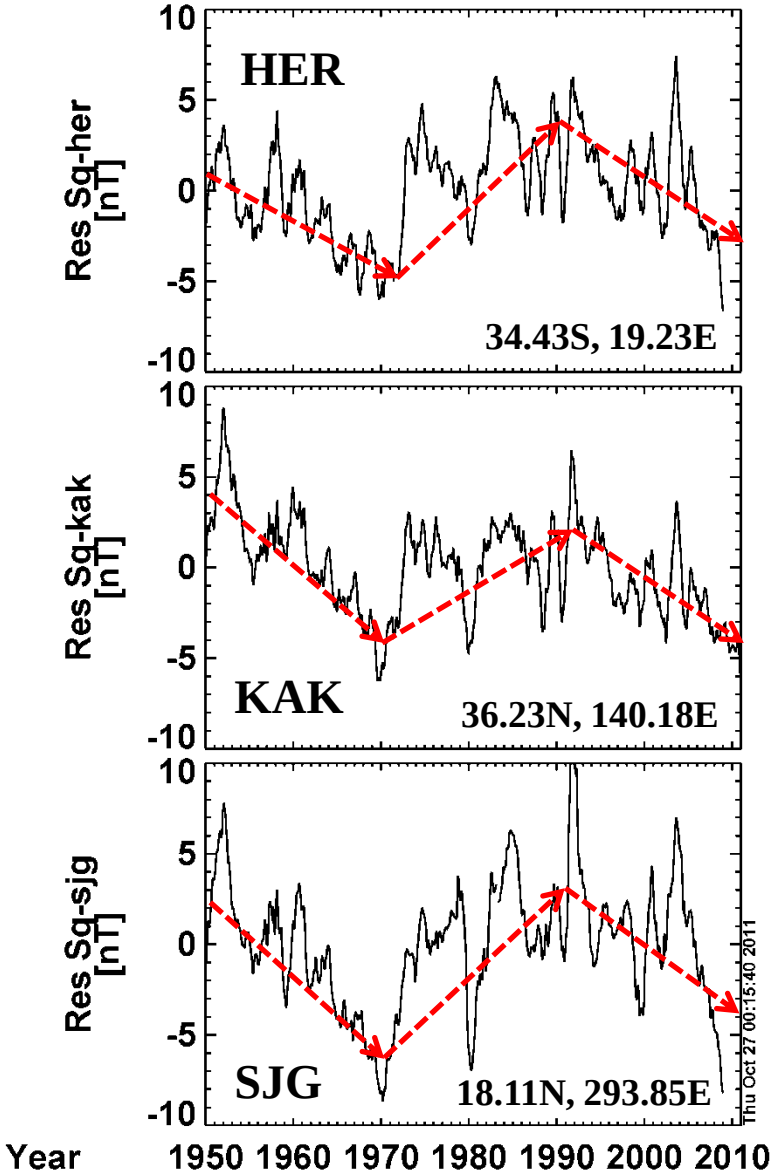
左下：1970-1989年

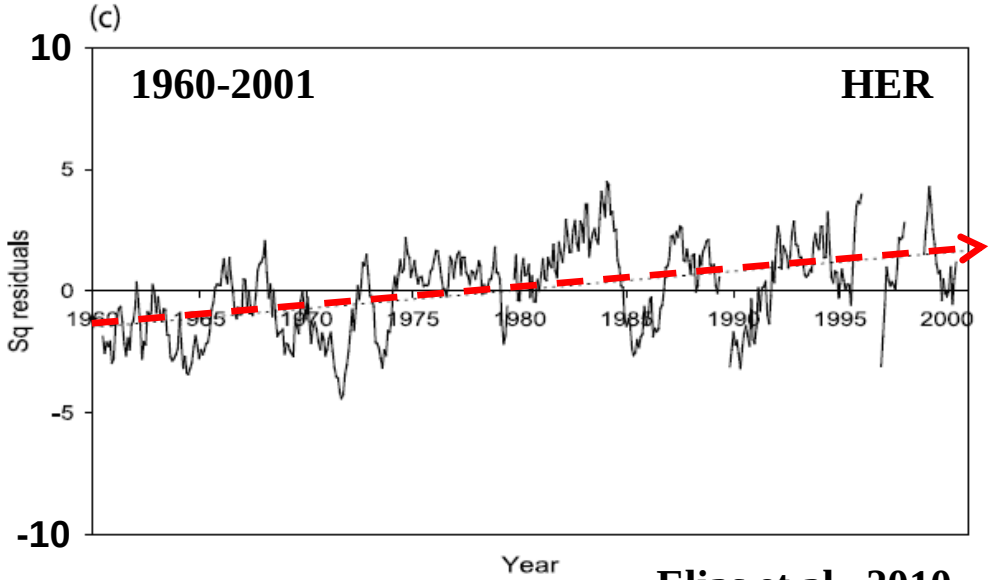
右上：1990-2009年

**約20年の周期でSq場の振幅は、増減する**

# 3-4. 考察

## 3.4.1 これまでの研究結果との比較




Elias et al., 2010

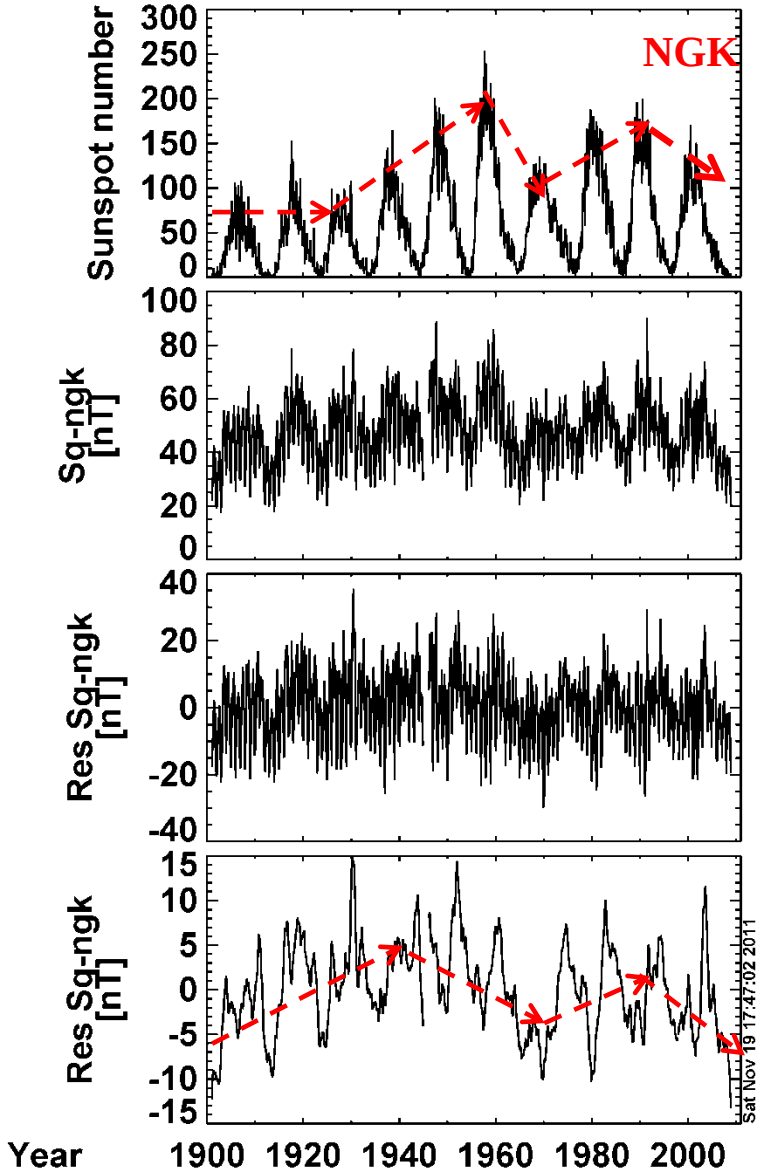
○Sq場の経年変動は、単純に増加傾向ではなく、20年ごとに増加・減少を示す。

○Elias et al. [2010]で報告されているような単なる増加傾向は見えない

⇒1970-1990年の増加期だけしか解析していなかったため?

# 3−4. 考察

## 3.4.2 約100年の地磁気変動の経年変化(太陽黒点使用)




太陽黒点数
1ヶ月平均値

Sq場の振幅
1ヶ月平均値

太陽活動を差し引いたSq場の振幅
1ヶ月平均値

太陽活動を差し引いたSq場の振幅
1年の移動平均値

○TDASの問題により、1900年をまたぐプロットができない

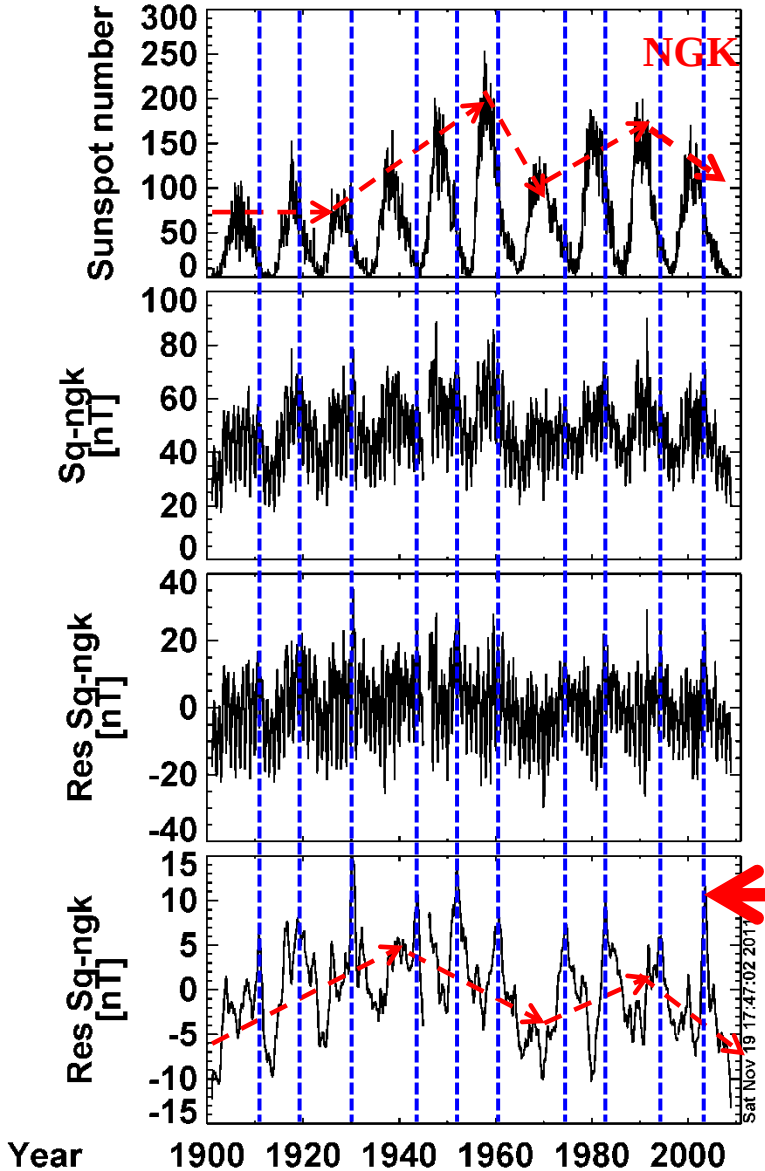
○増加傾向
1900-1940 (40年)
1970-1990 (20年)

減少傾向
1940-1970 (30年)
1990-2010 (20年)

○Res-Sq場の急激な振幅増大が太陽活動減退期に発生

# 3−4. 考察

## 3.4.2 約100年の地磁気変動の経年変化(太陽黒点使用)

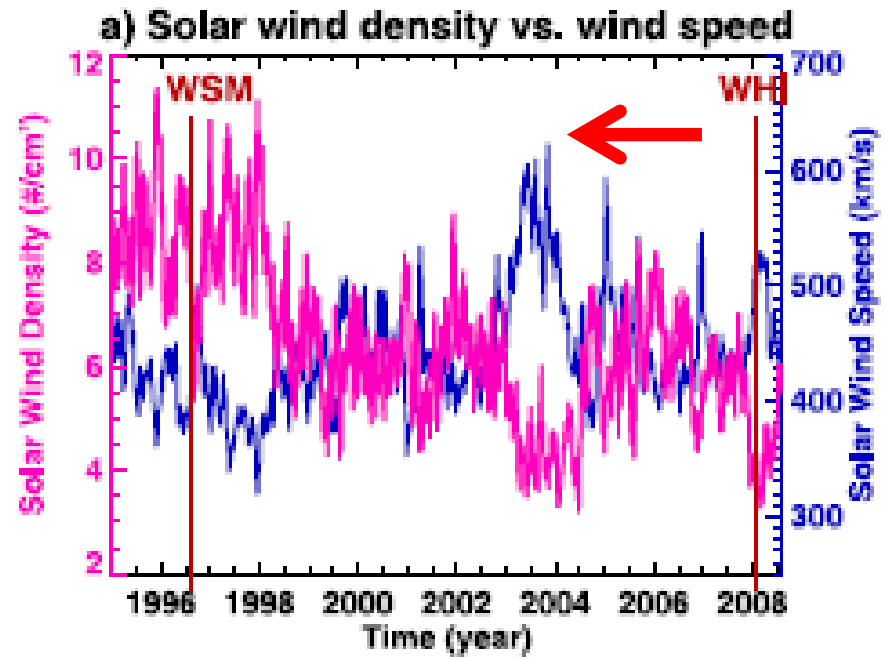



太陽黒点
1ヶ月平均

Sq場の振
1ヶ月平均

太陽活動
いたSq場の振幅
1ヶ月平均値

太陽活動を差し引
いたSq場の振幅
1年の移動平均値




1990-2010 (20年)

○Res-Sq場の急激な振幅増大が太陽活動減退期に発生

## 3.4.3 電離圏電気伝導度を用いたRes-Sq場の振幅の評価

**Sq場の振幅は、オームの法則から電離圏を流れる電流の大きさに比例**

$$\mathrm{J}_{sq} = \sum \cdot \left( \mathrm{E}_p + \mathrm{U} \times \mathrm{B} \right)$$

**その電離圏電流は、上式のように、電離圏電気伝導度と中性風駆動の起電力項の掛け算(非線形)として変動する**

**電離圏電気伝導度は、太陽活動による電離圏電子密度変動成分以外に地磁気の永年変化による長期的な変動が入っている**

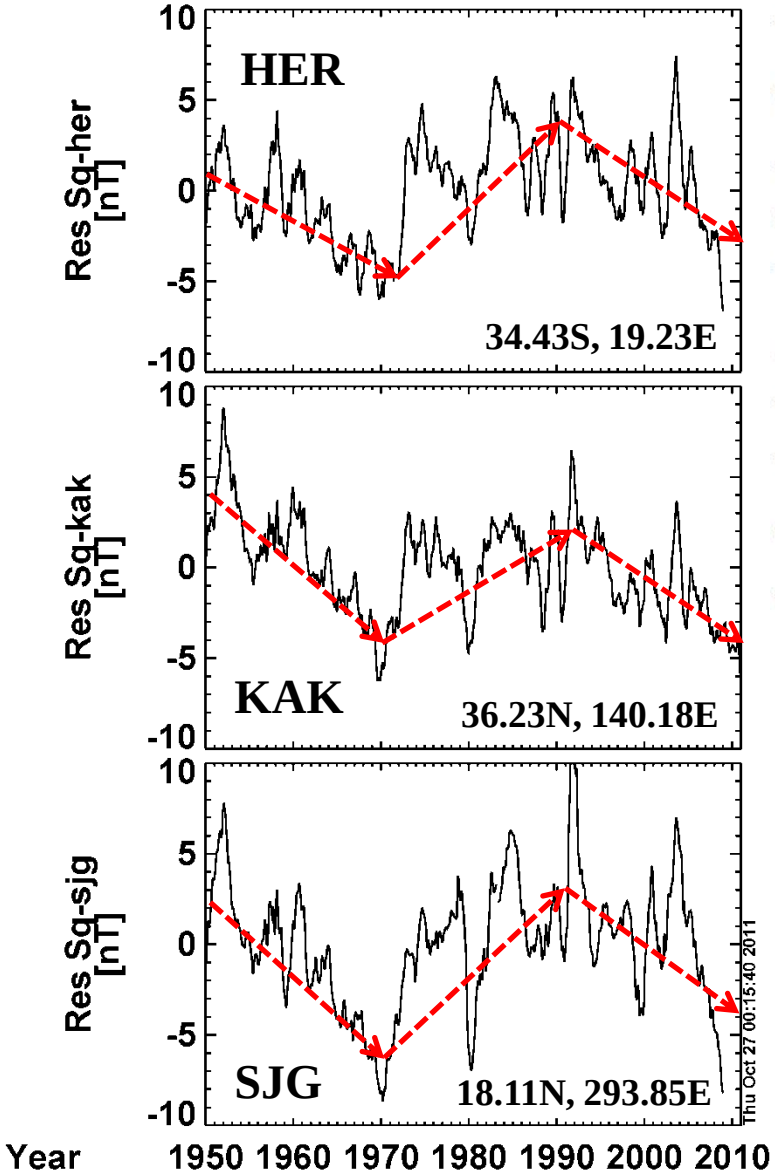
**⇒伝導度は背景磁場の大きさに依存する**

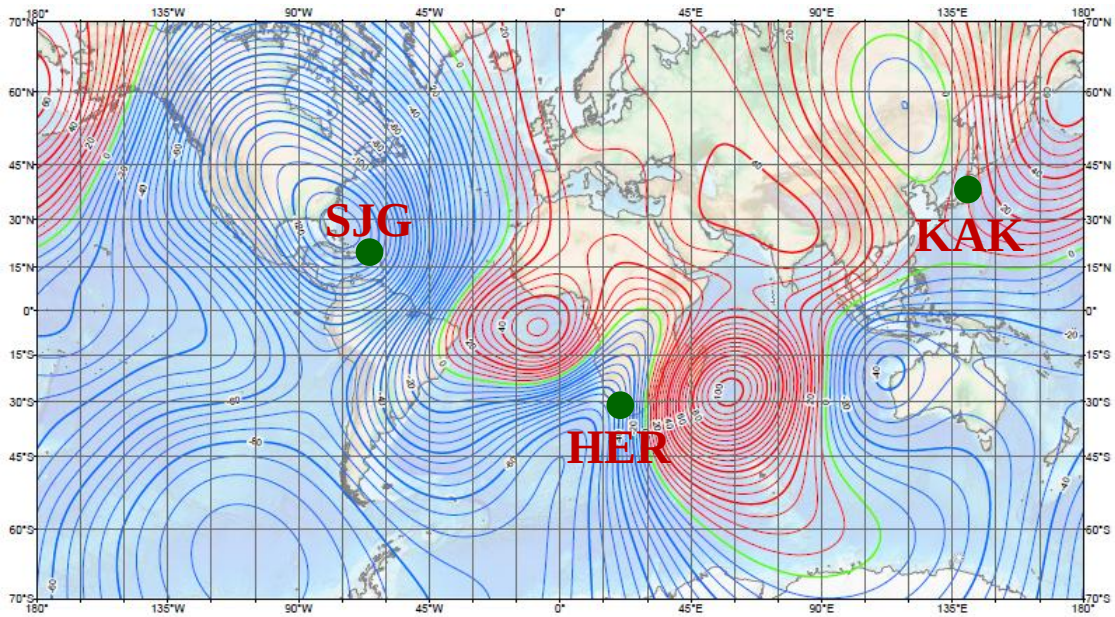
**電離圏電気伝導度のモデル値で規格化したSq場の振幅で解析する必要**

$$\sigma_P = \frac{\varepsilon_0 \omega_e^2 \nu_{en}}{\nu_{en}^2 + \Omega_e^2} + \frac{\varepsilon_0 \omega_i^2 \nu_{in}}{\nu_{in}^2 + \Omega_i^2}$$

# 3−5. 考察

## 3.4.4 電離圏電気伝導度を用いたRes-Sq場の振幅の評価




地磁気の永年変化の全球分布

**HER: -40 nT/yr**

**KAK：+10 nT/yr**

**SJG: -62 nT/yr**

**地磁気の永年変化から予測されるSq場の長期変動とは異なる**

**地磁気の減少⇒Σの増加⇒Sq場の振幅増加**

# 3−5. 結論

〇1947-2010年までの太陽F10.7指数と地磁気データを用いて、地磁気静穏日変化(Sq)の振幅の太陽活動依存性とその長期トレンドの解析を行った。

特に、2-4は、本解析で新しく得られた事項である。

1. Sq場の振幅は、太陽活動11年周期に同期して変動し、太陽放射フラックス(F10.7)が最大となる極大期には、Sq場の振幅が増大する。

2. 太陽活動11年周期と差し引いたSq場の振幅の長期変動は、必ずしも増加傾向の経年変動を示すとは限らず、その振幅は、約20-40年の周期？で増加・減少する。

その周期は、各年において規則性はない

3. 2と同様の傾向が太陽風駆動の極域Sqp変動にも現れており、駆動源の違いにもかかわらず、傾向が中低緯度のSq場の振幅の長期変動の特徴に類似している。

⇒グローバルな地球大気の長期変動を反映?

4. F10.7指数とSq場の振幅の関係は、必ずしも線形関係でなく、高いF10.7指数(150以上)では、Sq場の振幅の増加率が減少する。

# 3-6. 今後の方針

〇今後の方針:

**1. 電離圏電気伝導度モデル値を用いた定量的評価**

電離圏電気伝導度モデル値との相関解析を行い、背景磁場の減少・増加に伴うSq場の振幅変動を取り除き、超高層大気の長期変動の寄与を定量的に評価する

※現在、電気伝導度の計算ルーチンの開発中

IUGONETのサービスツールとして将来的に公開予定

**2. 中間圏・熱圏下部(MLT)の中性風との相関解析**

F10.7指数とSq場の振幅との周波数・コヒーレンス解析をSq場の振幅とMLT領域の風速との相関解析を行う

MLT領域の使用予定観測データ

⇒MF、流星レーダー、信楽MUレーダー