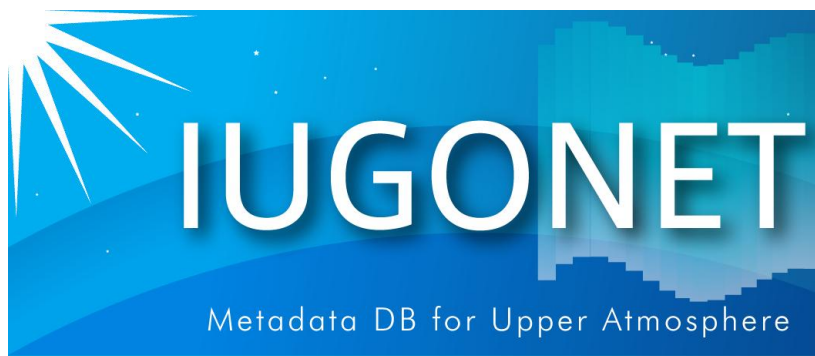




IUGONET年度末報告会@京大RISH

2012/02/28-3/1

超高層大気長期変動の全地球上ネットワーク観測・研究
Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

地磁気日変化に見られる超高層大気の長期変動について

1. IUGONETサイエンスタスクチームの活動内容・報告

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、論文執筆状況

2. 地磁気静穏日変化の長期変動

太陽活動との関係、スペクトル解析結果

新堀淳樹¹・小山幸伸²・能勢正仁²・堀智昭³・大塚雄一³・谷田貝亜紀代¹・IUGONET プロジェクトチーム

¹京大生存研、²京大地磁気センター、³名大STEL

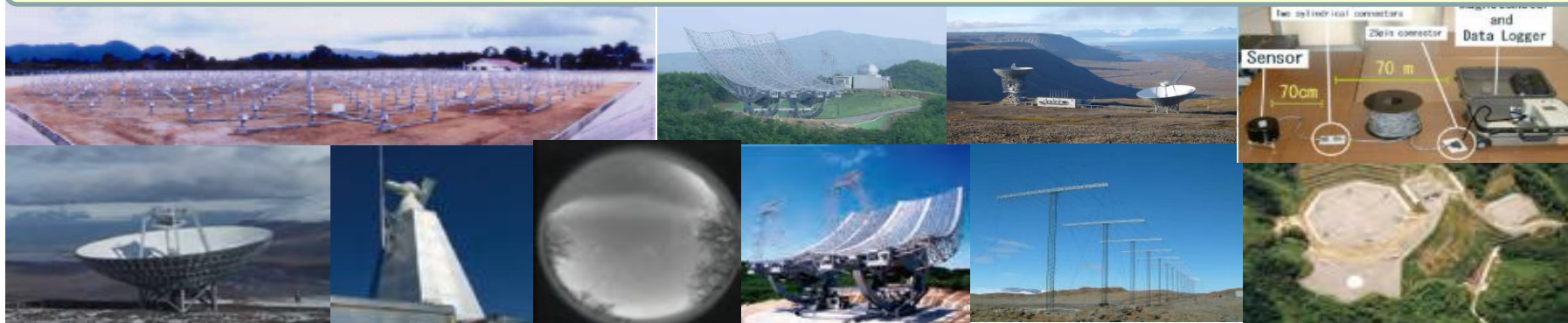
太陽-太陽風-磁氣圈-電離圈-大氣圈結合



⇒多種多様な観測データの収集
と統合解析が必要

0.2 太陽地球観測データ解析・交換システム

様々な太陽地球惑星観測データ

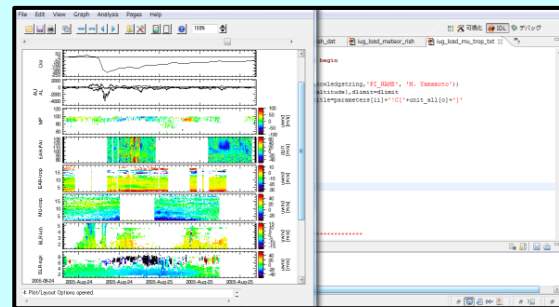


太陽地球惑星観測メタデータ交換システム・解析ソフトウェア

1. メタデータデータベース



2. データ解析ソフトウェア



様々な観測データの統合解析による新しい太陽地球惑星環境変動メカニズムの解明

0.3 IUGONETサイエンスタスクチームの仕事・活動内容

● 開発プロダクトの性能評価、開発項目の発見と提案

- バグ修正→ →GUIの時刻表記、**解析ツールの100年問題の解決**
- 機能追加→ →異種のデータ比較のための統計検定ツール開発
必要な2次元可視化ツールの開発提案
- 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とそのOJT

- 太陽地球大気関連コミュニティにIUGONETシステムの利活用を定着
→ →データ解析講習会、**各種研究会での利活用の紹介**、JpGUブース
- 開発プロダクトの利活用の国際展開および広報活動推進
→ →**海外における観測データ提供元への講習会**、NewsLetter執筆
例：インドネシアのLAPAN研究機関に向けたWebEX講義
- データ整備と利用の促進
→ →過去数十年に蓄積されたアナログデータのデジタル化を促進

0.3 現在進めている主たるサイエンス研究テーマ

【主要研究テーマ例】

- ❖ 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
[九大国際宇宙天気、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]
- ❖ 大気環境変動のための統計解析システムの開発
[京大生存研・学生]
- ❖ 低軌道衛星観測による地磁気嵐急始(SC)の中低緯度における電場応答
[東北大理学研究科・学生]
- ❖ 成層圏突然昇温(SSW)による中緯度電離圏変動
[九大理学研究科・学生]

0.4 学会での発表や論文執筆状況

1. 学会での発表状況

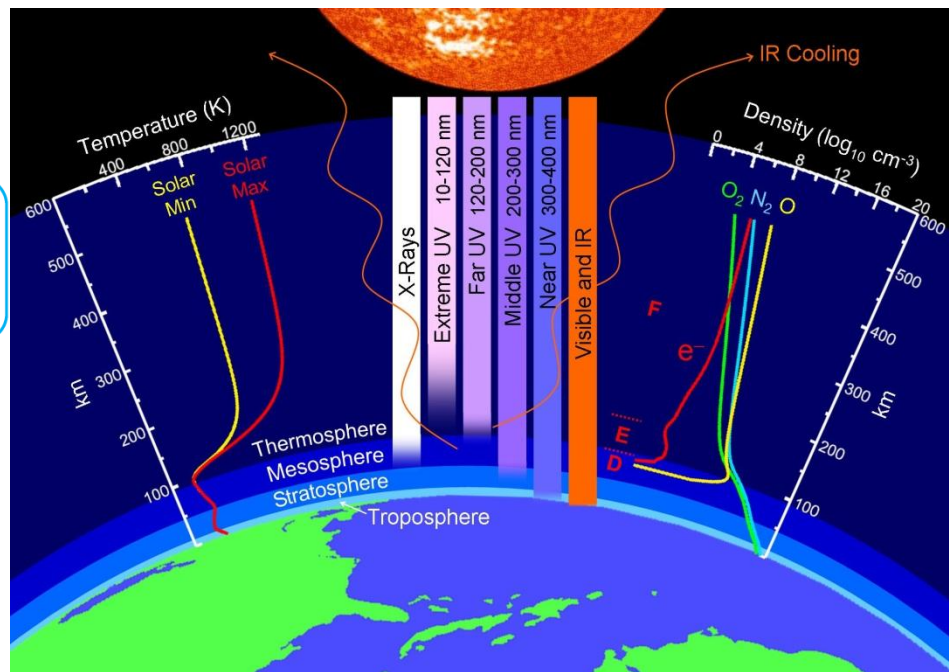
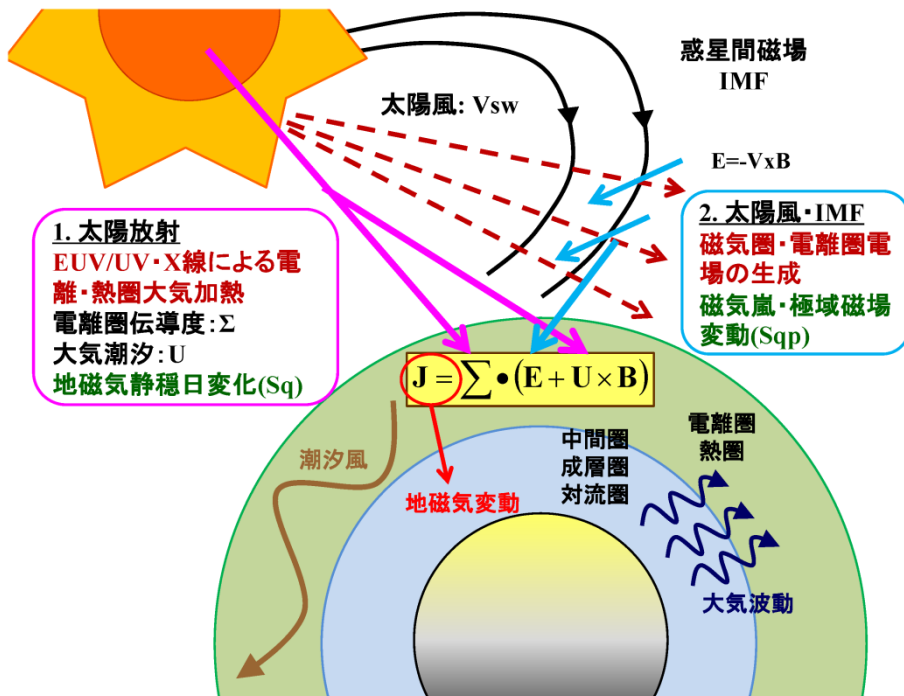
○学会、研究会など： 多数(JpGU, SGEPSS, AGU etc.)

2. 論文執筆状況(受理済み：7本)

1. Tsuji, Y., A. Shinbori, T. Kikuchi, and T. Nagatsuma, Magnetic latitude and local time distributions of ionospheric currents during a geomagnetic storm, J. Geophys. Res., 117, A07318, doi:10.1029/2012JA017566, 2012.
2. Shinbori, A., Y. Tsuji, T. Kikuchi, T. Araki, A. Ikeda, T. Uozumi, D. G. Baishev, B. M. Shevtsov, T. Nagatsuma, and K. Yumoto, Magnetic local time and latitude dependence of amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements and its seasonal variation, J. Geophys. Res., 117, A08322, doi:10.1029/2012JA018006, 2012.
3. Tanaka, Y.-M., Y. Ebihara, S. Saita, A. Yoshikawa, Y. Obana, and A. T. Weatherwax, Poleward moving auroral arcs observed at the South Pole Station and the interpretation by field line resonances, J. Geophys. Res., 117, A09305, doi:10.1029/2012JA017899, 2012.
4. Hori, T., A. Shinbori, N. Nishitani, T. Kikuchi, S. Fujita, T. Nagatsuma, O. Troshichev, K. Yumoto, A. Moiseyev, and K. Seki, Evolution of negative SI-induced ionospheric flows observed by SuperDARN King Salmon HF radar, J. Geophys. Res., 117, A12223, doi:10.1029/2012JA018093, 2012.
5. Kitamura, N., Y. Nishimura, M. Chandler, T. Moore, N. Terada, T. Ono, A. Shinbori, and A. Kumamoto, Storm-time electron density enhancement in the cleft ion fountain, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2012JA017900, 2012.
6. Motoba, T. K. Hosokawa, Y. Ogawa, N. Sato, A. Kadokura, S. E. Milan, M. Lester, Simultaneous ground-satellite observations of meso-scale auroral arc undulations, J. Geophys. Res., 117, A06213, 10.1029/2011JA017291, 2012.
7. Motoba, T., K. Hosokawa, A. Kadokura, and N. Sato, Magnetic conjugacy of northern and southern auroral beads, Geophys. Res. Lett., 39, 8, L08108, 10.1029/2012GL051599, 2012.

1.1 太陽活動と超高層大気変動との関わり

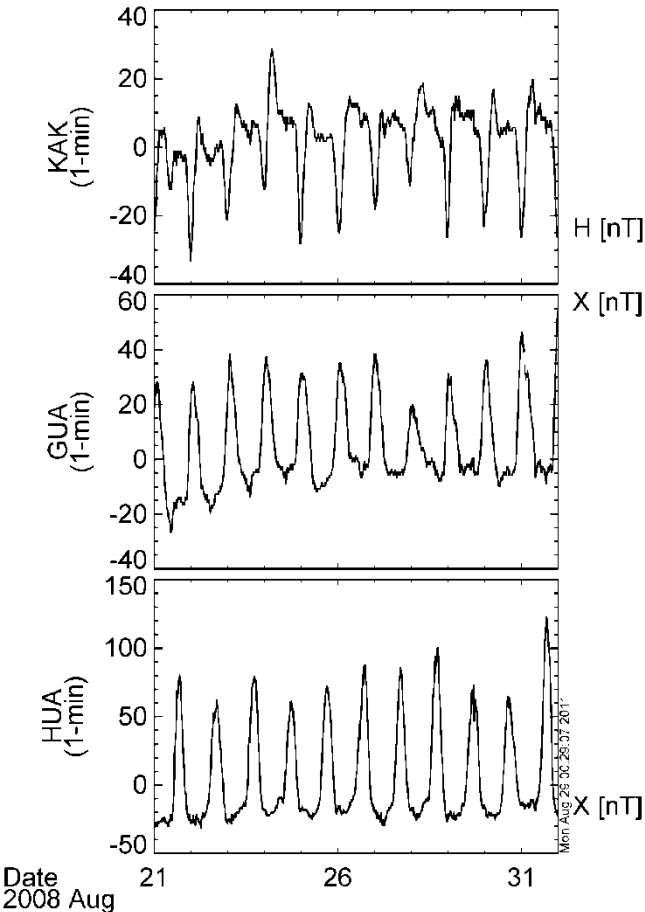
●地磁気静穏日変化の振幅変動に見られる超高層大気の長期変動について



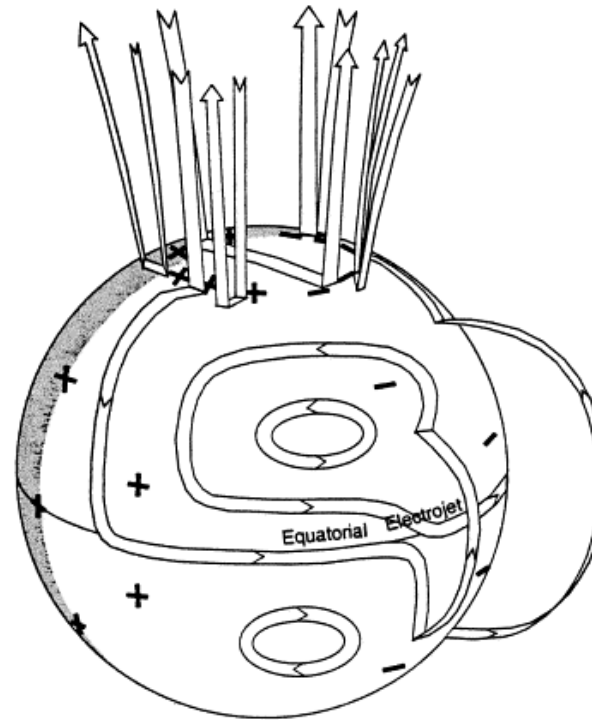
<http://www.redorbit.com/media/uploads/2010/06/124f0b8bda4cf194b249ba36bc6a2ca6.jpg>

様々な長期の観測データ(電子密度、地磁気など)を用いて超高層大気(電離圏、中間圏・熱圏)の長期変動や太陽活動による影響を調べることは、**気候変動や惑星大気変動**の理解に不可欠である

1.2 地磁気日変化(Sq: Geomagnetic solar daily quiet variation)



地磁気日変化の例



地磁気日変化の電流系

[Richmond and Thayer (2000)]

地磁気静穏日変化の振幅を決める要素

○地磁気静穏日変化の振幅

アンペールの法則: $J \propto \Delta B$

オームの法則:

$$J = \Sigma \cdot (E + U \times B)$$

○電離圏伝導度(Σ)の変化

太陽活動 = 太陽紫外線変動

季節変化 = 地球自転軸の傾き

○起電力($U \times B$)の変化

太陽潮汐風と地球磁場の変化

地磁気静穏日変化の振幅を見る意義

地球の超高層大気変動のシグナル(太陽活動、地球温暖化による影響)をみることも可能

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

1.4 本発表の趣旨

[目的]

IUGONETプロジェクトから提供される長期でかつグローバルに展開している観測点の地磁気データを用いて、**全球的な地磁気日変化振幅(Sq場)の長期変動の特徴**を明らかにする。

そして、**適切な太陽関連パラメタとの相関解析を行うこと**によって、そこに見られる超高層大気の長期変動の要因を探る。

(1) 多点の地磁気観測点の長期データ解析

IUGONETで開発したメタデータ・データベース検索システムと解析ソフトを基に研究推進の効率化を図った

(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

2.1 使用観測データ

○太陽関連データ

太陽F10.7指数(1947年-2012年) (提供元 : NGDC/NOAA)

太陽黒点数(1890-2012年) (提供元 : SIDC)

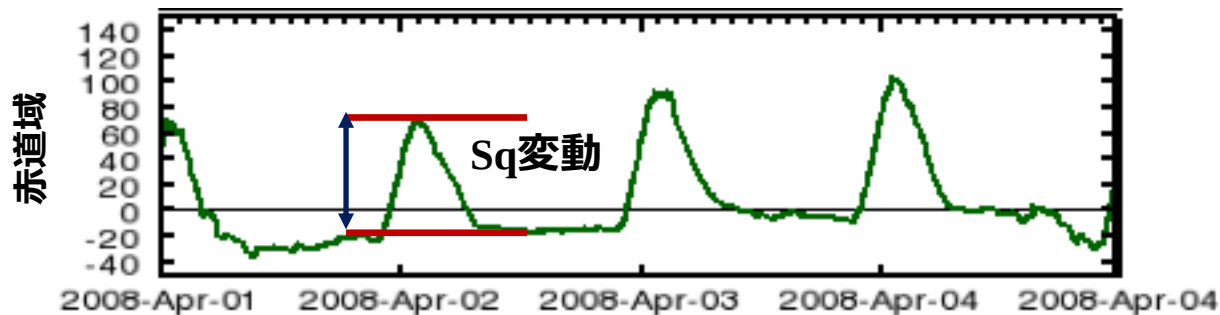
○地磁気関連データ

地磁気データ(1890年以降) : 1時間平均値、180点以上

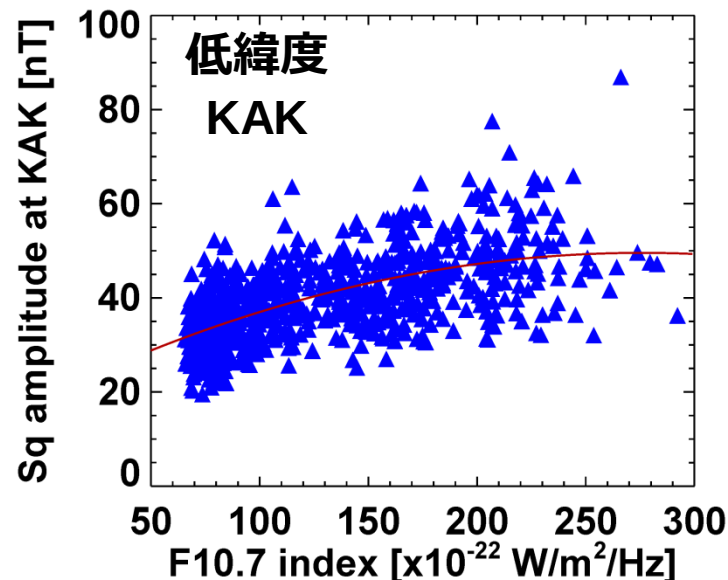
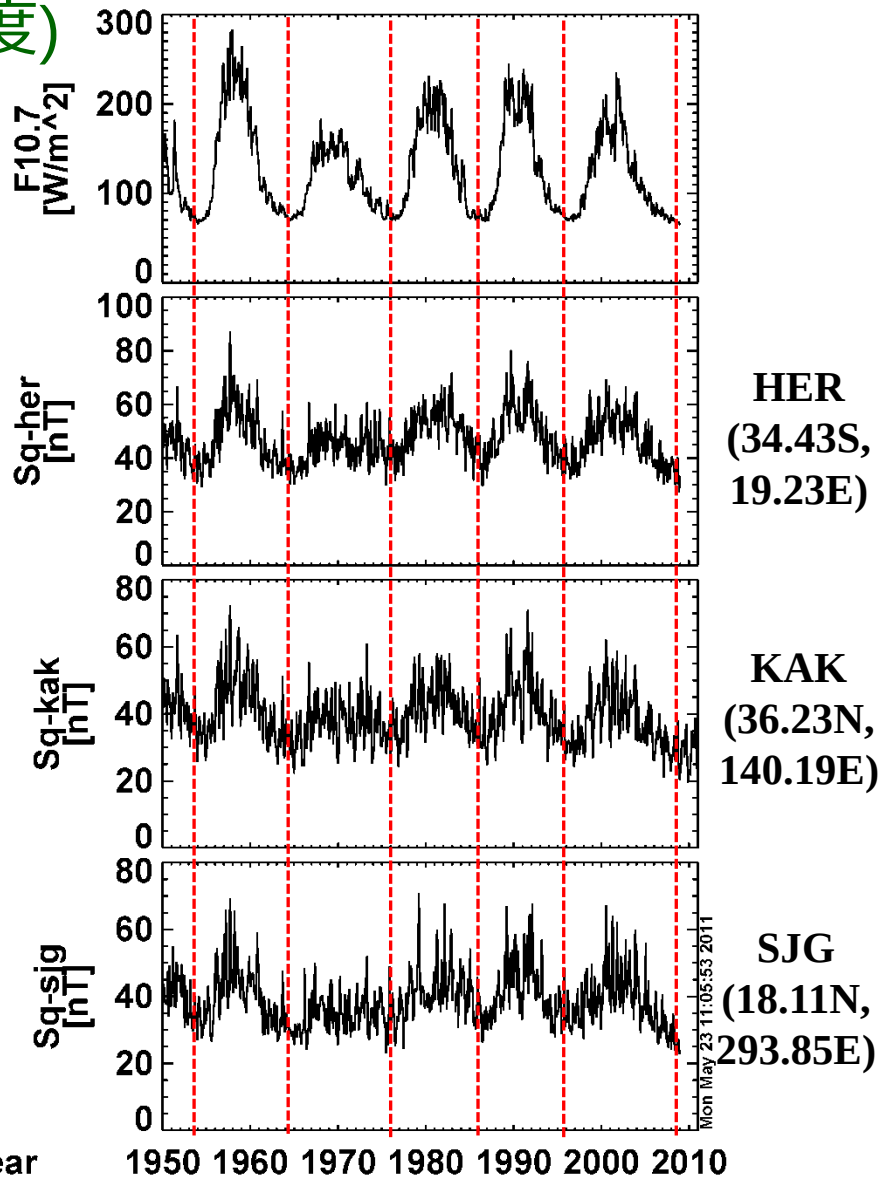
地磁気指数(Kp指数、1932年-2011年) : 3時間値 (京大地磁気センター)

2.2 地磁気静穏日と地磁気静穏日変化振幅の同定方法

- 地磁気静穏日の決定方法 : 地磁気Kp指数の1日のデータの中で最大値が4未満
- 地磁気日変化振幅(Sq場) : 1日の変化の最大と最小の差を1月平均値
- 太陽データとの相関解析 : 線形回帰ではなく、2次回帰曲線からのずれを計算



3.1 地磁気静穏日変化の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



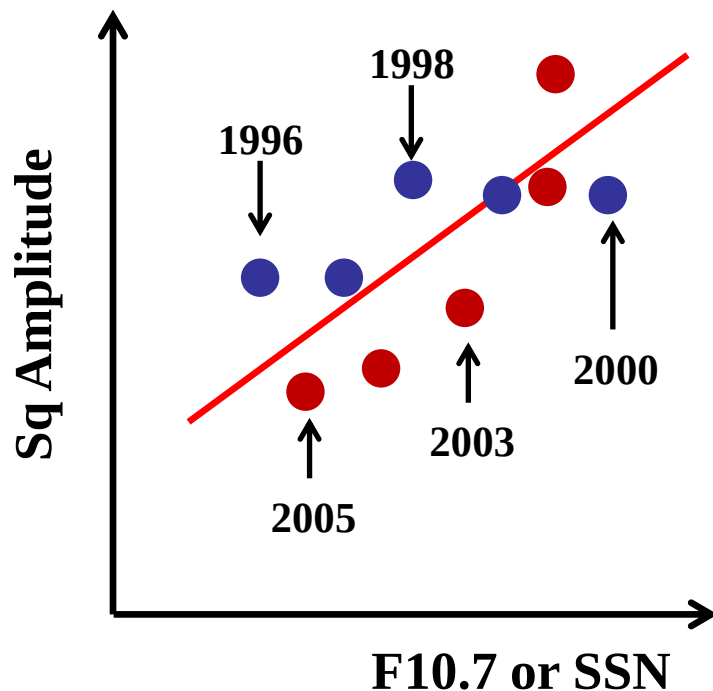
地磁気静穏日変化の振幅は、F10.7指数の変化に呼応して増減する

ただし、各パラメータ同士は完全の1次の比例関係にない

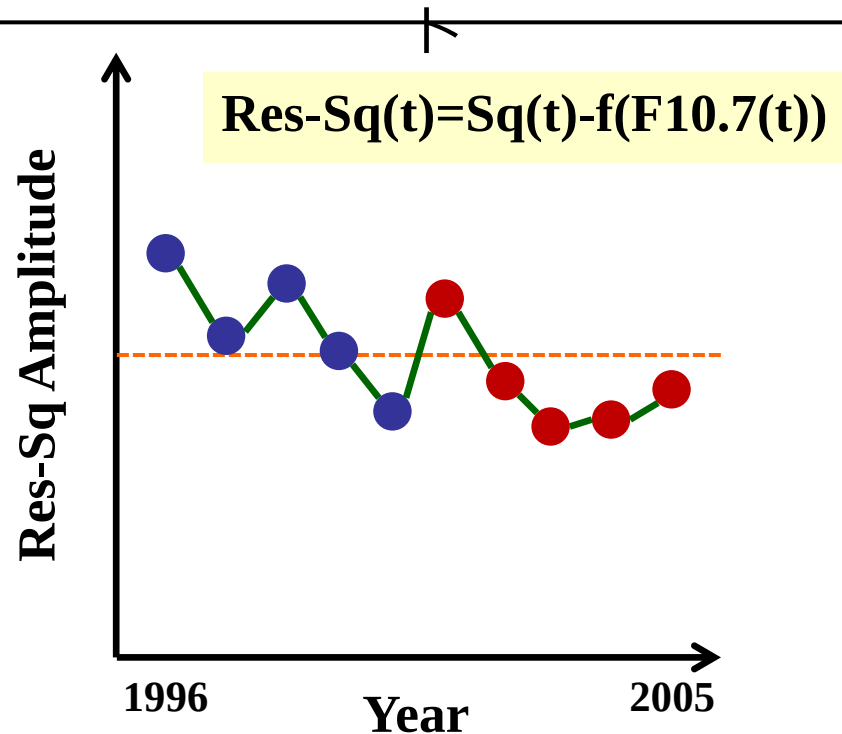
上に凸型をした2次曲線の関係

3.2 地磁気静穏日変化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

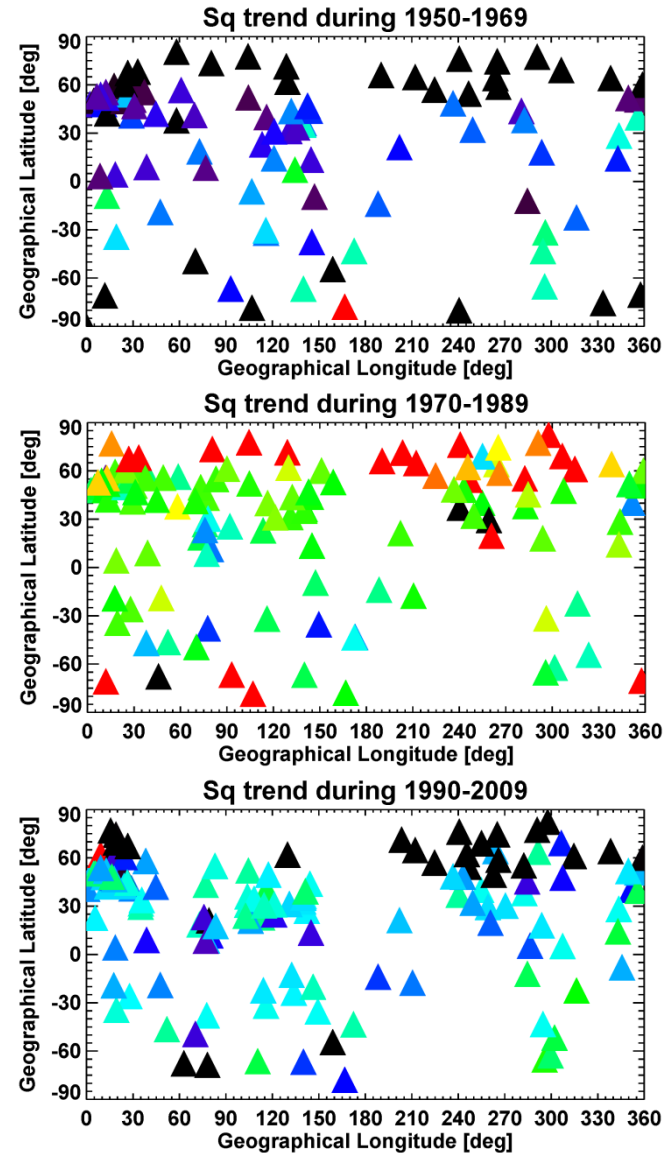
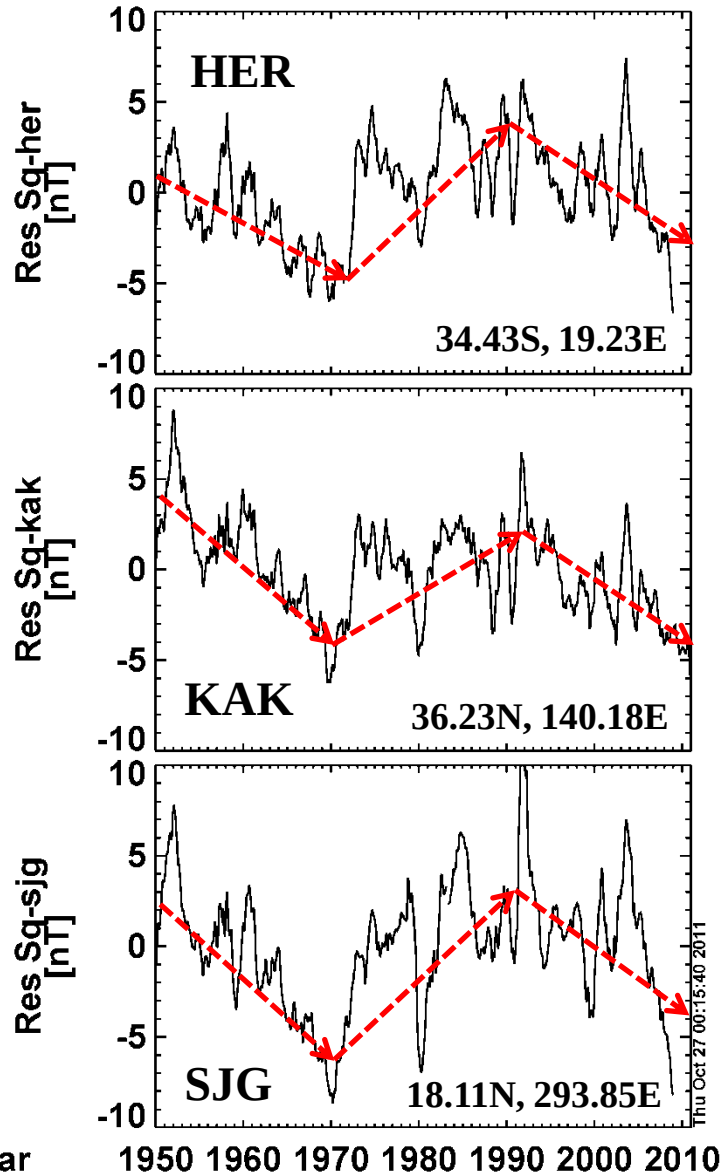


太陽活動による影響をできる限り除去

地磁気静穏日変化の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 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)



約20年の周期で地磁気日変化の振幅は、増減する

Yearly trend of Sq amplitude (x10⁻²) [nT/yr]

1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
-0.20
-0.40
-0.60
-0.80
-1.00

4.1 Res-Sq場の振幅の経年変化の特徴

太陽F10.7指数が使用可能な1950年以降の期間では、太陽活動による影響を小さくした地磁気静穏日変化の振幅は、**約20年ごとに増減を繰り返す特徴**を持つ。

●20年周期の変動は、1950年以前でも成立するか？

太陽磁場反転22年周期と関係??



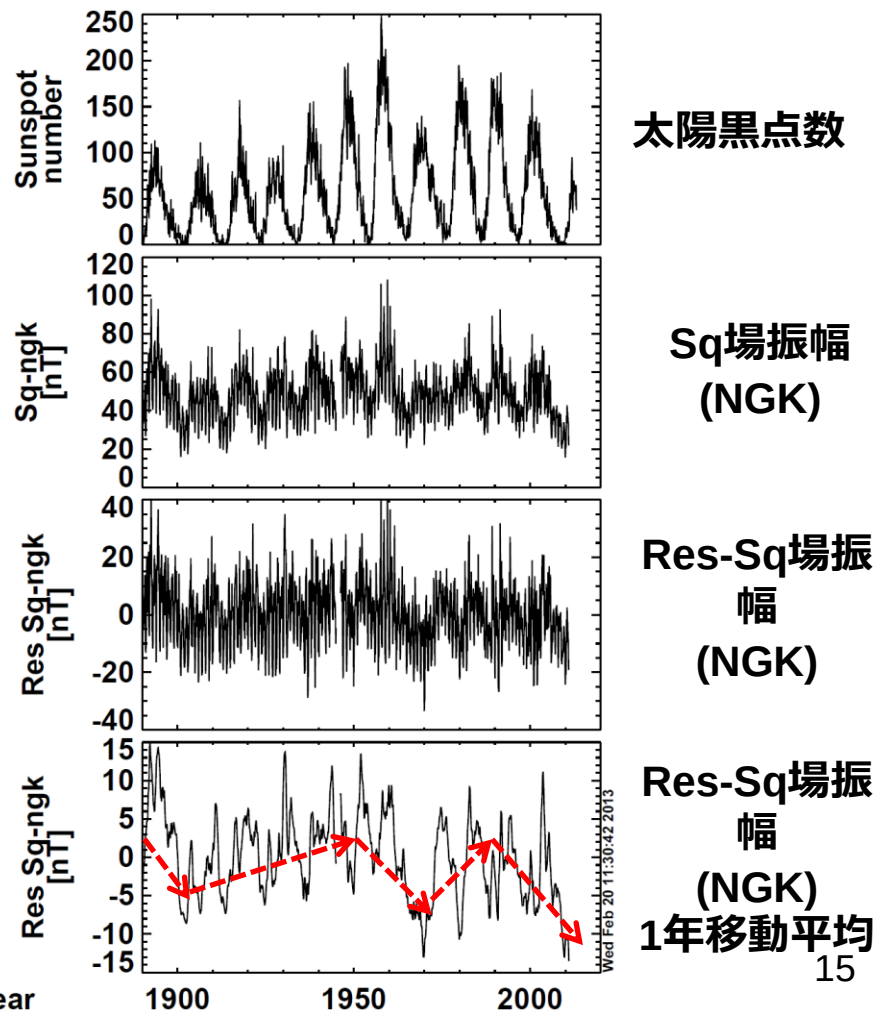
長期に使用可能な太陽活動指標(太陽黒点数)との相関解析、スペクトル解析を実行

太陽活動の影響を小さくした地磁気静穏日変化の振幅の長期変動は、**必ずしも20年の周期では増減することはない**

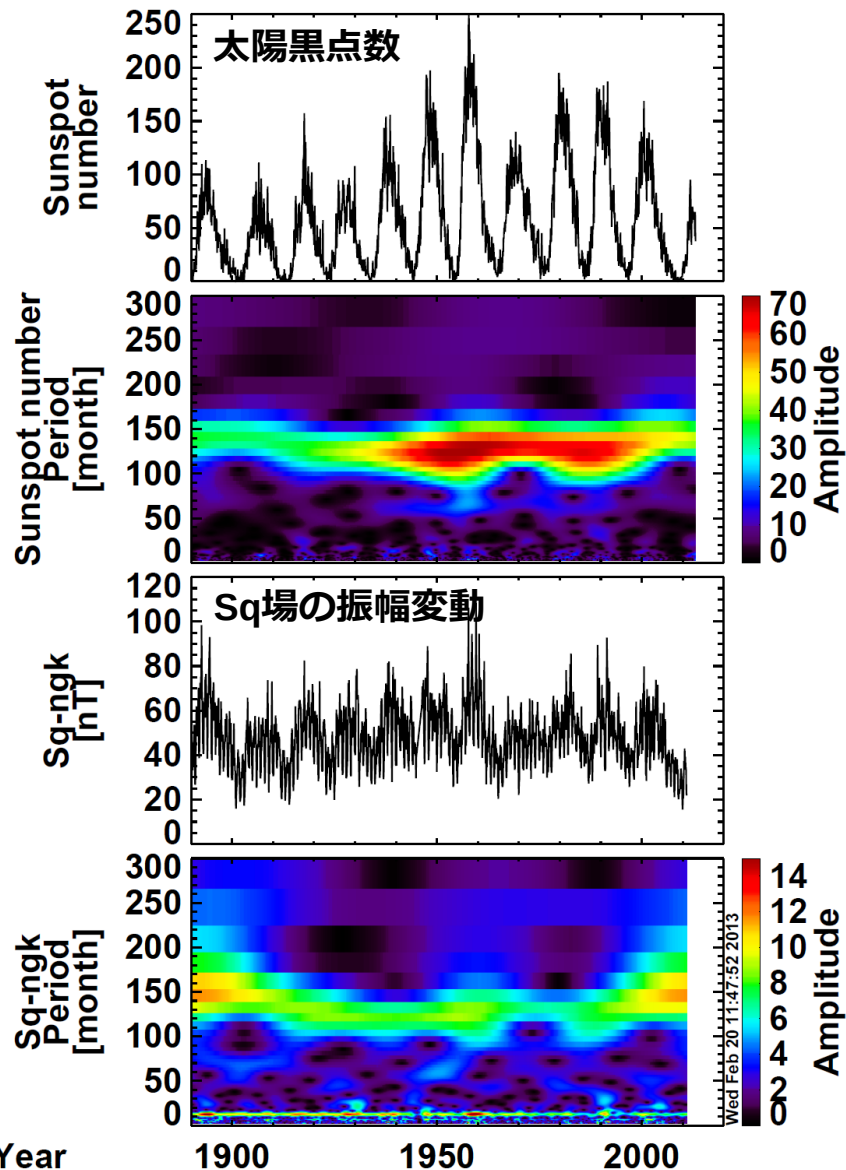
1890-1900年：減少、1900-1950年：増加

1950-1970年：減少、1970-1990：増加

1990年以降：減少



4.2 太陽黒点数、Sq場の振幅に関する周波数解析(長周期)



S変換解析法を適用

非定常な変動現象を捉えるために開発された解析手法[Stockwell, 1996]

窓関数：周波数依存のガウス型関数

太陽黒点数

10-12年周期変動

1930年以降、振幅と周期が顕著に変動

5年周期変動

1930年以降に出現

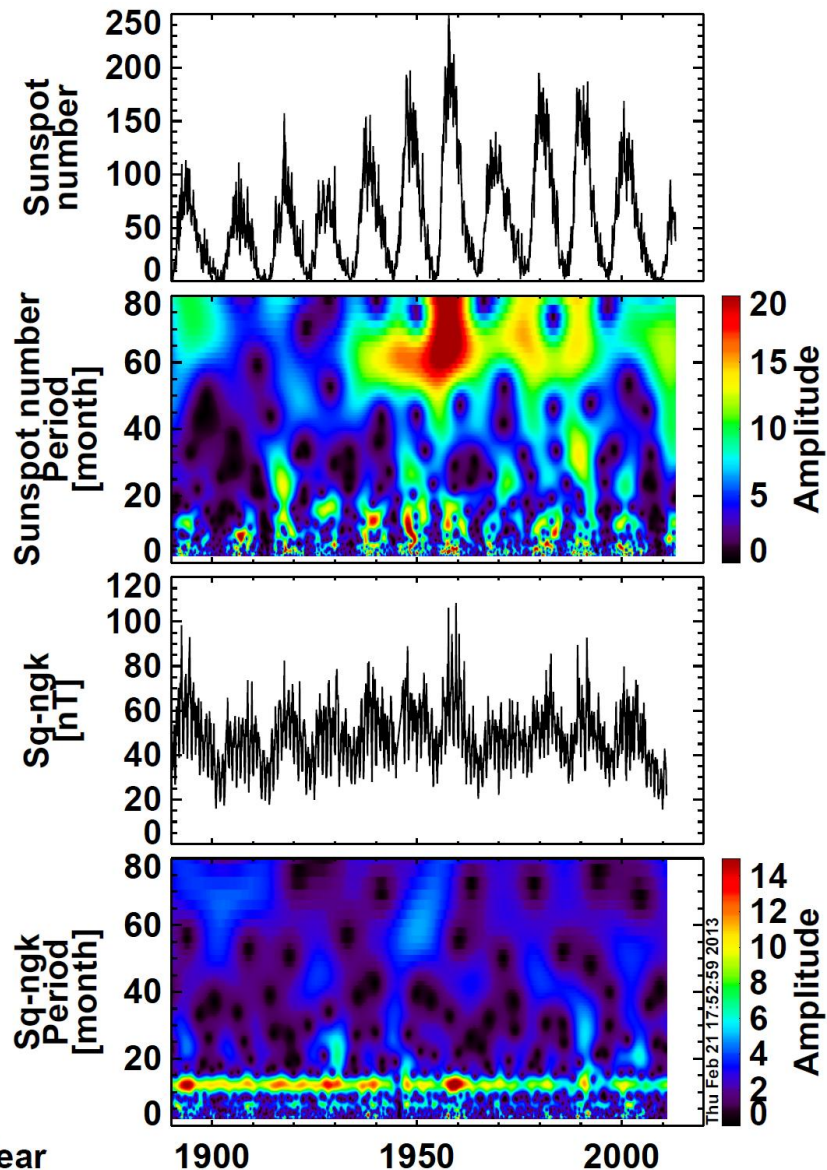
地磁気静穏日変化の振幅変動

地磁気静穏日変化の長期振幅変化も太陽11年活動に同期するが、黒点数の変動振幅には呼応しない

⇒電離圏形成に関する太陽紫外線強度を反映していない？

電離圏の飽和効果？

4.3 太陽黒点数、Sq場の振幅に関する周波数解析(短周期)



太陽黒点数スペクトル

5年周期変動

1930年以降に出現

2年周期変動

時折、出現する(1920, 1950, 1970, 1990)

1.7年以下の周期変動

極大期によく出現

地磁気静穏日変化の振幅スペクトル

1年周期変動(季節変化)

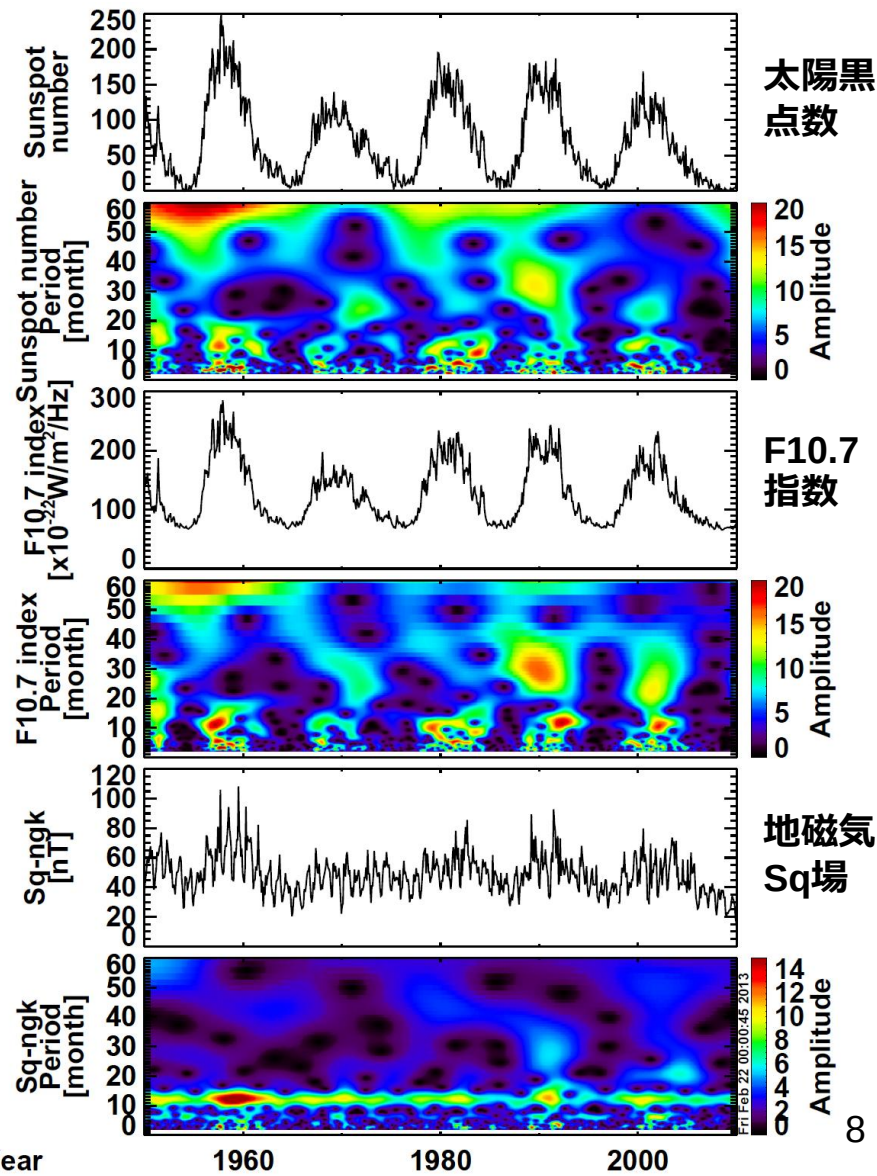
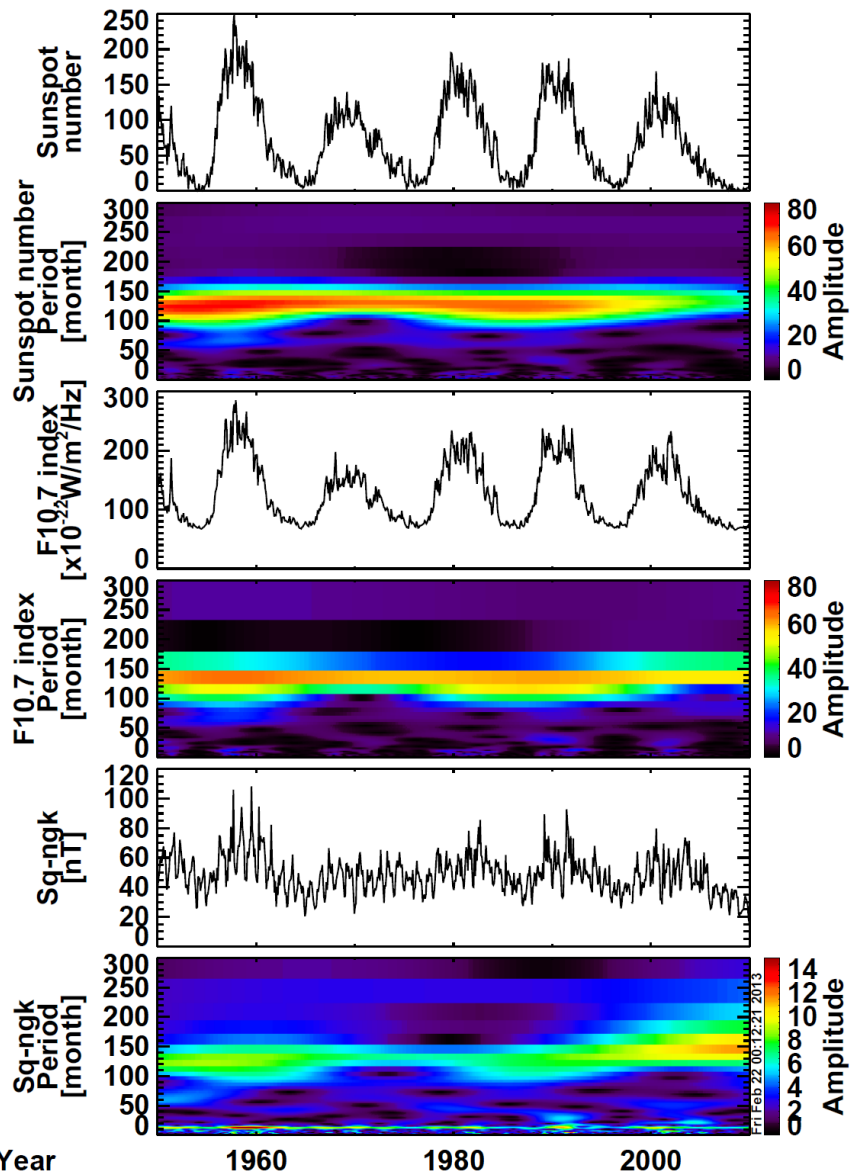
1970年以降、その変動振幅が減少

半年周期変動

1年周期変動よりも振幅が小さい

短周期成分の変動は、太陽黒点数とSq場の振幅とほとんど相関しない

4.4 太陽黒点数、F10.7指数、Sq場振幅の周波数解析比較



○1890年から2010年までの長期における太陽F10.7指数、太陽黒点数とIUGONETから提供された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、その長期トレンド、及び変動の周波数と振幅に関する解析を行った。その結果、以下のような結果が得られた

1. 地磁気静穏日変化の振幅は、**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、地磁気静穏日変化の振幅が増大する。

ただし、周波数解析の結果、太陽黒点数、F10.7から判断される**太陽活動度の大きさに対して、地磁気静穏日変化の振幅は線形的に比例しない。**

また、4-5年以下の短周期成分は、お互いに相関しない。

2. 太陽活動周期と差し引いた地磁気静穏日変化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ない。

したがって、Elias et al. [2010]で報告された**地磁気静穏日変化の振幅の増加傾向は普遍的なものではない**ことが判明した。

1950年以降は、**20年の周期**をもつが太陽活動22年周期との関連性は低い。

3. 地磁気静穏日変化の振幅は、太陽活動指数F10.7フラックスの増加とともに増加していくが、必ずしも、**線形応答ではなく、2次曲線的な応答**をする。

特にF10.7フラックスが**200以上の領域**では、地磁気静穏日変化の振幅の増加は、**鈍くなる傾向**である。黒点についても同様の傾向がある。

4. F10.7指数と地磁気静穏日変化の振幅の関係が線形関係でないため、**実際の超高層大気を電離する紫外線データを用いた解析が必要**である。

ただし、1996年以降しか使用できないため、**地上観測データからの推定値が必要(浅井他)**である。

5. 太陽黒点数とF10.7電波フラックスの周波数解析の結果、基本的に変動パターンはかなり類似しているが、**詳細なスペクトル分布は異なる**(特に、**1990年以降**)

○今後の方針：

1. 太陽紫外線実データを用いたSq場の解析

Res-Sq場の振幅を求めるのに、F10.7指数ではなく、地球超高層大気の電離に効く紫外線データを利用する

Res-Sq場の振幅トレンドにどのような違いがあるかを考察する

2. 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

3. 電離圏TEC値とEUVとの関係の特徴を探る

1997年4月以降の太陽活動1周期以上のGPS-TEC値データとF10.7指数やEUVフラックスにどのような相関関係があるかを調査する

4. 太陽風の長期解析

極域Sq_p場の振幅を決めているのは、太陽風であるため、この太陽活動1周期でどのように太陽風と相関があるか調べる