



IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

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

太陽活動と高層大気の長期変化 (地球側)

- 新堀淳樹、林寛生 (京大RISH)
- 上野悟 (京大天文台)
- 磯部洋明、浅井歩 (京大宇宙総合)
- 横山正樹 (和歌山大宇宙教育)

1. はじめに

1.1 地磁気変動の要因とその種類

(1) 地球内部の核の対流運動(地球内部電磁気学)

永年変化、地球磁場減少、地磁気逆転

(2) 太陽活動との関わり(超高層大気物理学、宇宙気候学)

○太陽放射：電磁波

(中性大気の電離、大気潮汐、地磁気日変化)

⇒太陽活動周期と超高層大気変動

○太陽風：物質

(磁気嵐・オーロラ活動)

⇒太陽自転周期、11年活動周期との関連性

(3) 地殻の活動(地震学・火山物理学、地球物質科学)

火山・地震活動との関連性

プレートテクトニクス

1.1 地磁気変動の要因とその種類

(2) 太陽活動との関わり

○太陽放射を駆動源とする地磁気変動

擾乱の少ない磁氣的静穏時の地磁気日変化:

Sq (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)

発生要因:

電離圏高度の中性風が荷電粒子を磁場を横切った方向に引きずることで駆動される電離圏電流

Stewart[1883]:

地磁気変動の原因は地球の超高層大気を流れる電流であるという仮説を提唱

Chapman and Bartels[1940]:

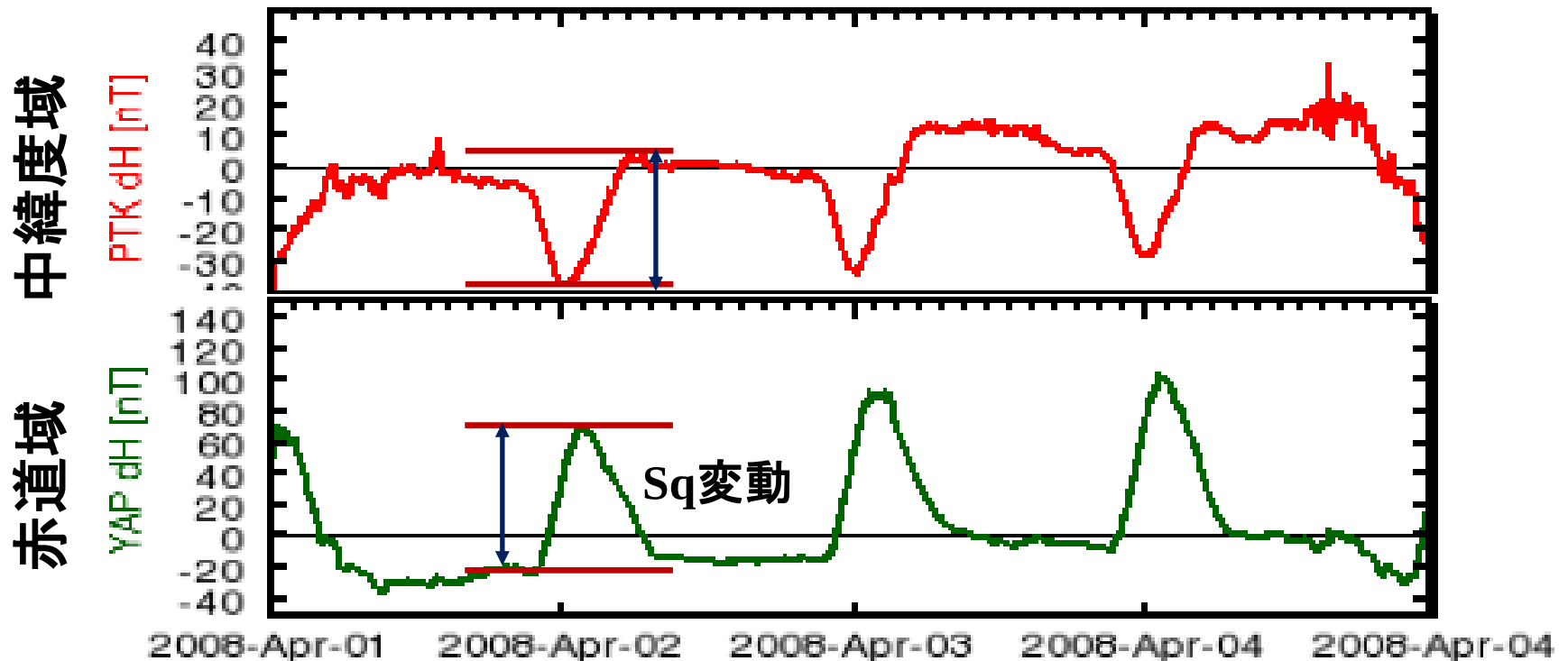
数学的に完全な電離層ダイナモ理論体系の構築

1.2 地磁気静穏日変動の要因

(1) Sq変動の観測例

2008/04/04

UDAS-GUIで作成



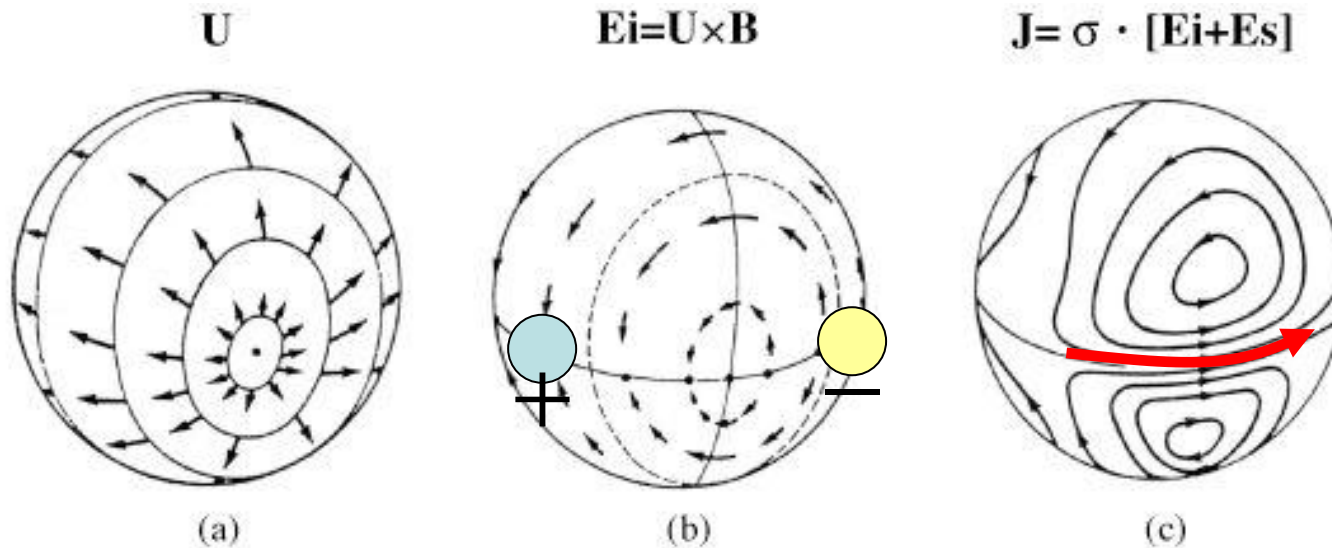
中緯度: 水平成分の負の変動⇒西向き電流

磁気赤道(熱帯域): 水平成分の正の変動⇒東向き電流

1. はじめに

1.2 地磁気静穏日変動の要因

(2) Sq変動のメカニズム



- (1) 電離圏高度の中性大気の大気潮汐運動 U が太陽放射等で駆動(a)。
- (2) この運動に伴い電離圏の荷電粒子が地球磁場 B を横切る動き U によって、誘導起電力 E_i が発生(b)。
- (3) E_i による電荷の移動により、朝側に正電荷、夕方側に負電荷が蓄積され、分極電場 E_s が発生(c)。
- (4) その結果、電離圏内にオームの法則に従う電流 J が流れる(c)。

1. はじめに

1.3 地磁気静穏日変動の振幅を決めるもの

○Sq場の振幅←電離圏電流の大きさ

←電離圏電気伝導度＋地球磁場強度＋風速

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

○電離圏電気伝導度←地球磁場強度＋太陽放射

$$\sum_P = \int_{h_1}^{h_2} \left[\frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne}^2}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni}^2}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

$$\sum_H = \int_{h_1}^{h_2} \left[\frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne} \Omega_e}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni} \Omega_i}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

Ω ←磁場強度に比例、イオン種に反比例

v ←中性大気密度に比例(スケールハイトに関係)

n_e, n_i ←太陽放射強度に比例

1.4 地磁気静穏日変動からわかること

○電離圏の状態変化: 電離圏伝導度(Σ)の変化を捉える

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

地球磁場の永年変化＝外殻の対流運動

地球温暖化の影響＝電離圏の高度変化、電子密度変化

○中間圏・熱圏の状態変化: 起電力($U \times B$)と Σ の変化を捉える

中緯度の南北風の変化＝起電力($U \times B$)の変化

赤道(熱帯域)の東西風の変化＝ Σ の変化

⇒AO(中緯度)、SAO、QBO(熱帯)、太陽活動: 自然現象

地球温暖化の影響: 人為現象

IUGONETプロジェクトに属する2機関(京大地磁気センター・生存圏研究所)が保有している長期の地磁気、及び熱圏・中間圏における中性風データを用いて、Sq振幅の長期変動の以下の事項を明らかにする。

(1) どのような太陽活動依存性があるか？

○太陽放射と電離圏伝導度との関係

(2) 太陽活動22と23周期の極小期における違いはあるか？

○異なる極小期の電離圏の状態の違い

(3) 熱圏風速とSq場の振幅にはどのような関係があり、その風速には太陽活動依存性はあるか？

IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

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

京都大学(RISH・理学研究科)、名古屋大学、九州大学、東北大学、国立極地研究所による大学間連携プロジェクト

多様で膨大な量の観測データが分散して存在

メタデータ(メタ情報)のデータベースで横断検索を可能に

分野を横断したデータの総合解析による新しい研究を促進

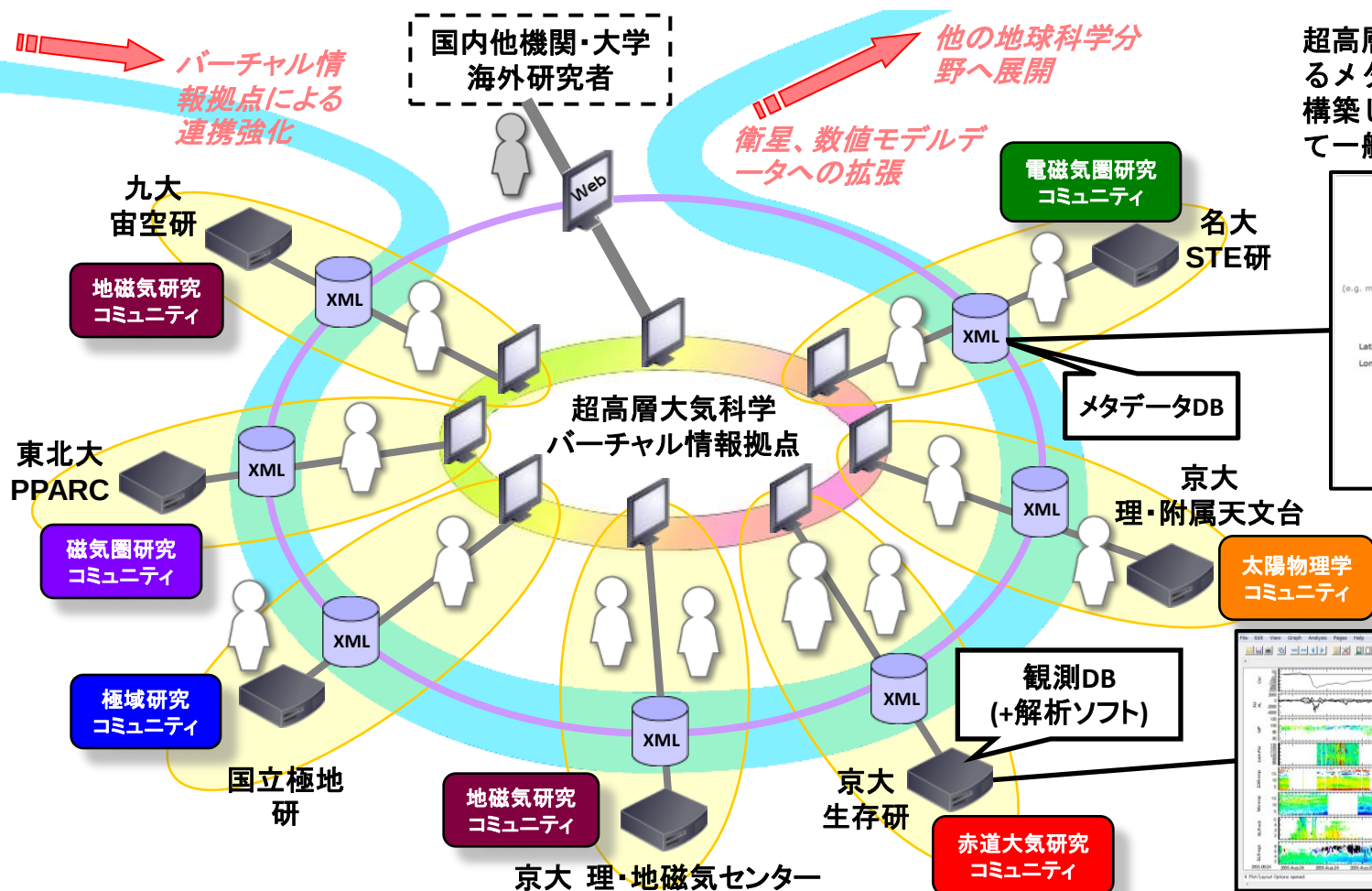
バーチャル情報拠点による連携強化

国内他機関・大学
海外研究者

他の地球科学分野へ展開

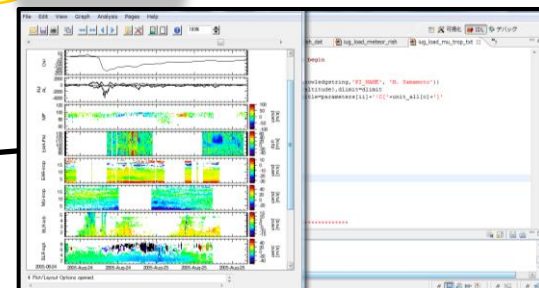
衛星、数値モデルデータへの拡張

超高層大気の観測データに関するメタデータのデータベースを構築し、インターネットを通して一般に公開する



The screenshot shows the IUGONET web interface. It includes a search bar with a dropdown menu for "Search" and a "Search" button. Below the search bar are input fields for "Time from:" and "Time to:" (UTC), "Spatial coverage" (Latitude: Southernmost, Northernmost, Easternmost, Westernmost), and "NumericalData", "Granule", "Instrument", and "Observatory". A "Search" button is located below these fields. At the bottom, there is a link to "Add IUGONET Button to Google Toolbar".

各機関が所有する観測データの可視化・解析ツールの開発も行う



3.1 使用観測データ

地磁気データ(1時間値、1950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

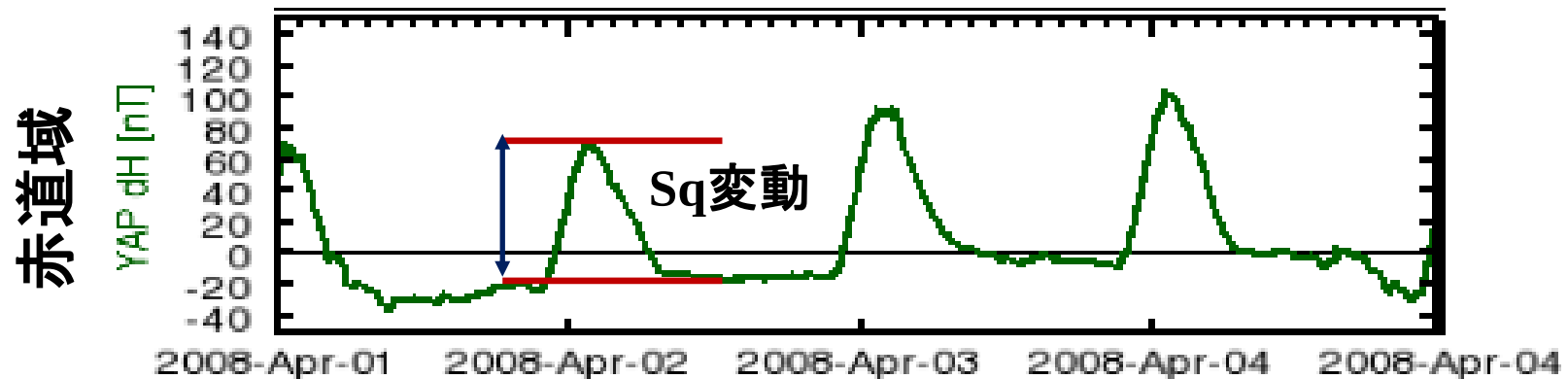
熱圏下部中性風(1日平均値): 京大RISH

3.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

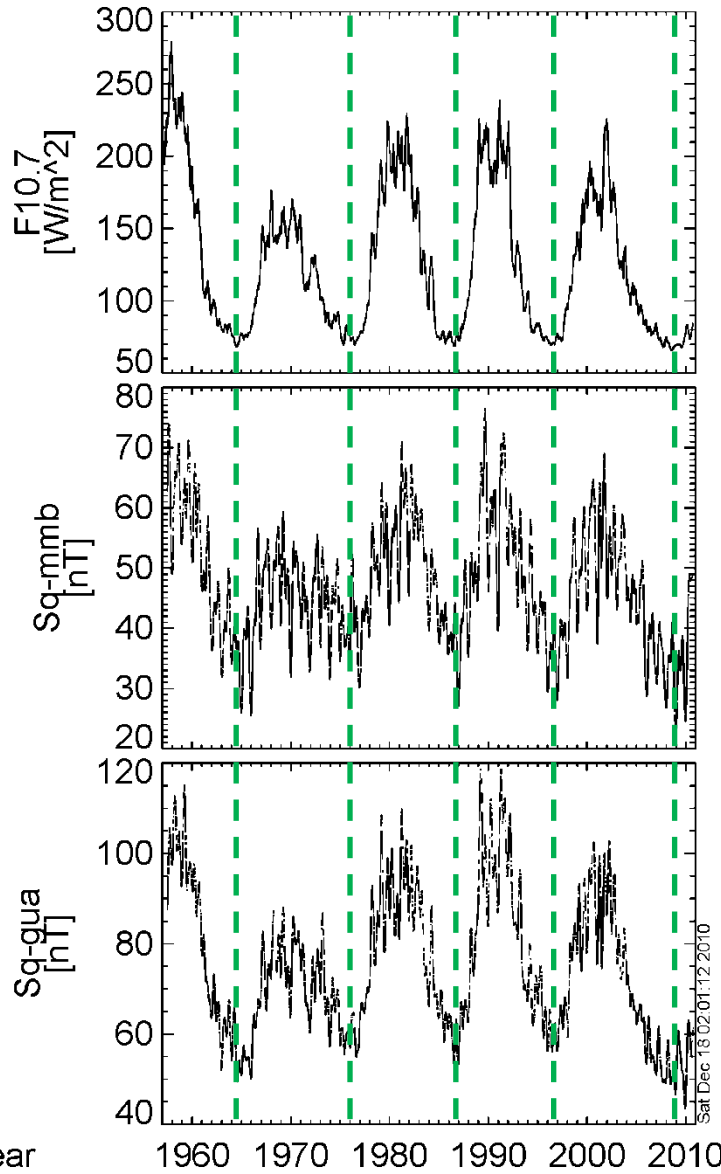
○地磁気静穏日: Kp指数の一日の総和が24以下

○Sq振幅: 一日の変化の最大と最小の差

○太陽活動依存性の除去: 2次回帰曲線からのずれを計算



4.1 地磁気日変化の長期変化(太陽活動との比較)



上段: 太陽F10.7フラックス

中段: Sq場の振幅

観測点: 女満別(MMB)

(43.91N, 144.19E)

下段: Sq場の振幅

観測点: グアム(GUA)

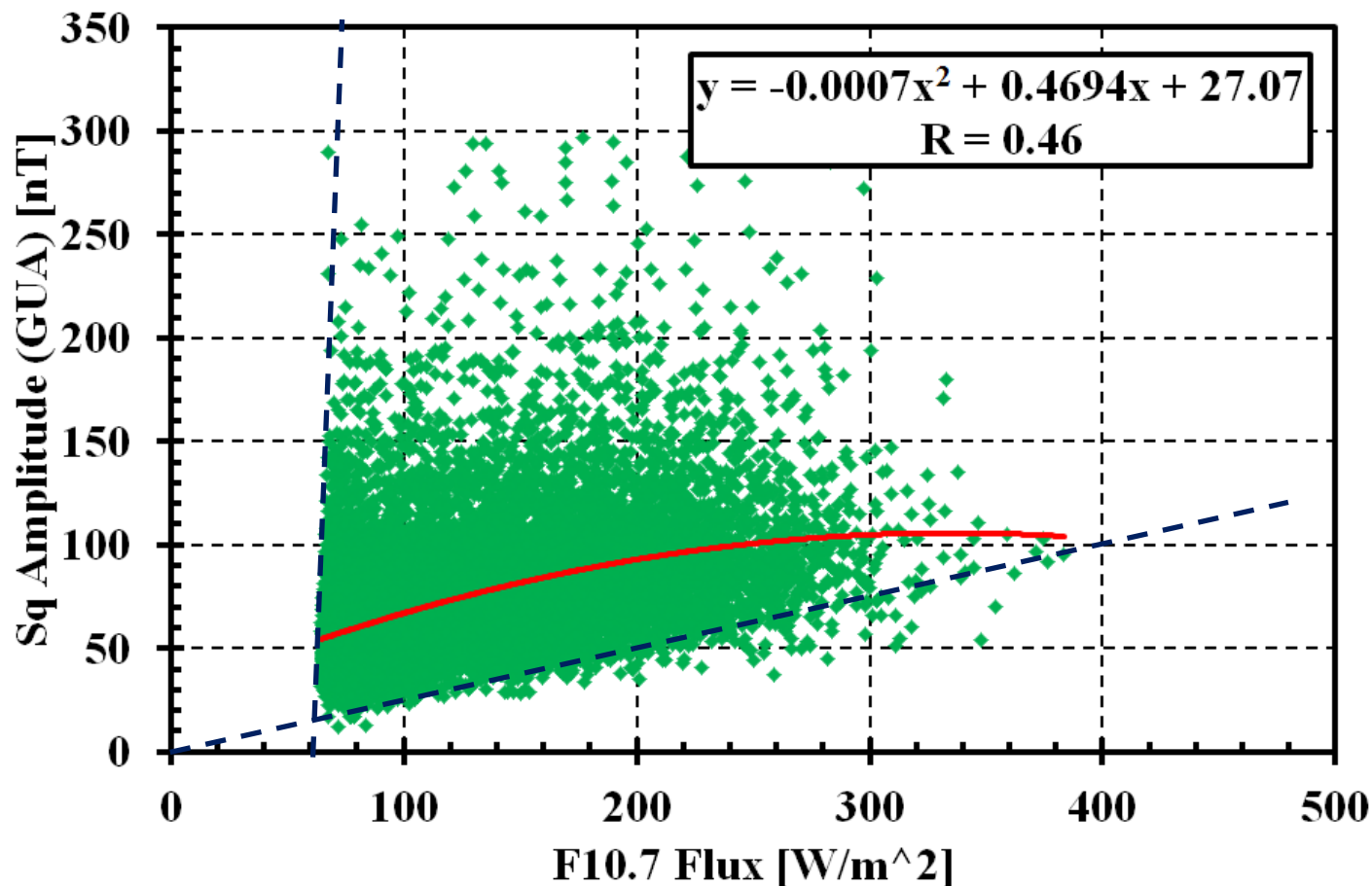
(13.59N, 144.87E)

※90日の移動平均値

※太陽活動11年周期変動に呼応してSq場の振幅が変化する

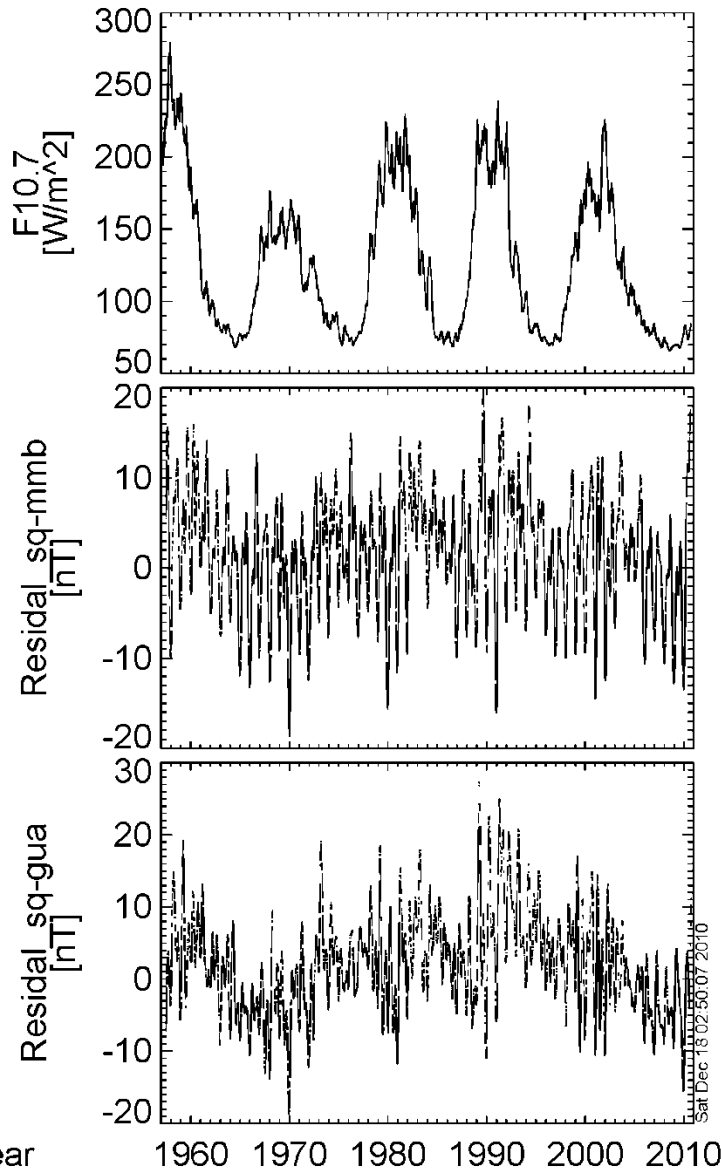
太陽放射強度に電離圏伝導度の大きさが比例

4.2 太陽F10.7フラックスとSq振幅の関係



回帰曲線からのずれの変化が**太陽活動(11年周期成分)以外を因子とする成分**(季節変化、電離圏、熱圏の長期変化)を表す

4.3 地磁気日変化の長期変化(太陽活動11年周期成分を除去)



上段: 太陽F10.7フラックス

中段: Sq場の振幅

観測点: 女満別(MMB)

(43.91N, 144.19E)

下段: Sq場の振幅

観測点: グアム(GUA)

(13.59N, 144.87E)

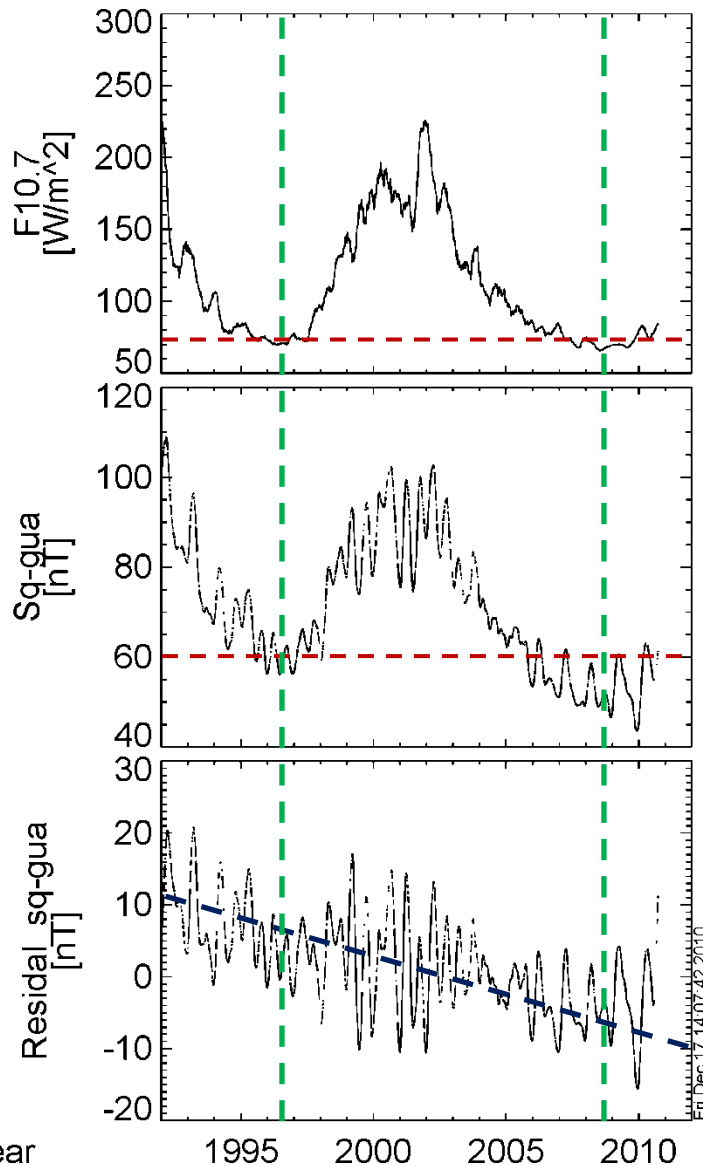
※90日の移動平均値

※1970-1990年: 増加傾向

1990-2010年: 減少傾向

2010年のレベルがほぼ1970年の
ものと等しい

4.4 太陽活動22、23周期の極小期におけるSq振幅の違い



22周期の極小: 1996-1997年

23周期の極小: 2008-2010年

※F10.7フラックス値:

5-10 $[\text{W/m}^2]$ の減少量

全体の変動量の1.5-3.0%

※Sq場の振幅:

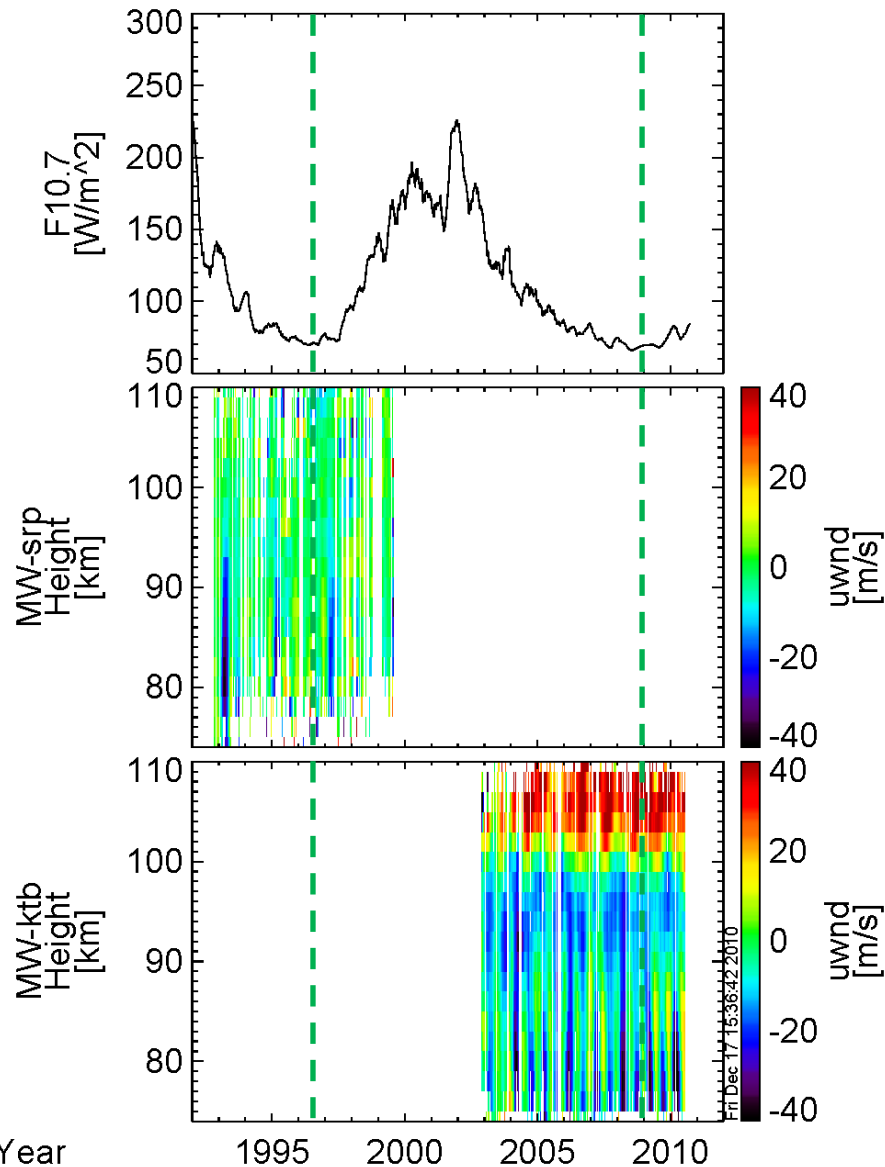
10nT以上の減少量

全体の変動量の10-20%

※太陽活動を差し引いたSq場の振幅の経年変化は負の変化を示す

今極小期で最小

4.5 太陽活動22、23周期の極小期の熱圏風速とSq振幅の違い



上段: 太陽F10.7フラックス

中段/下段: 熱圏東西風

観測点: スルポン

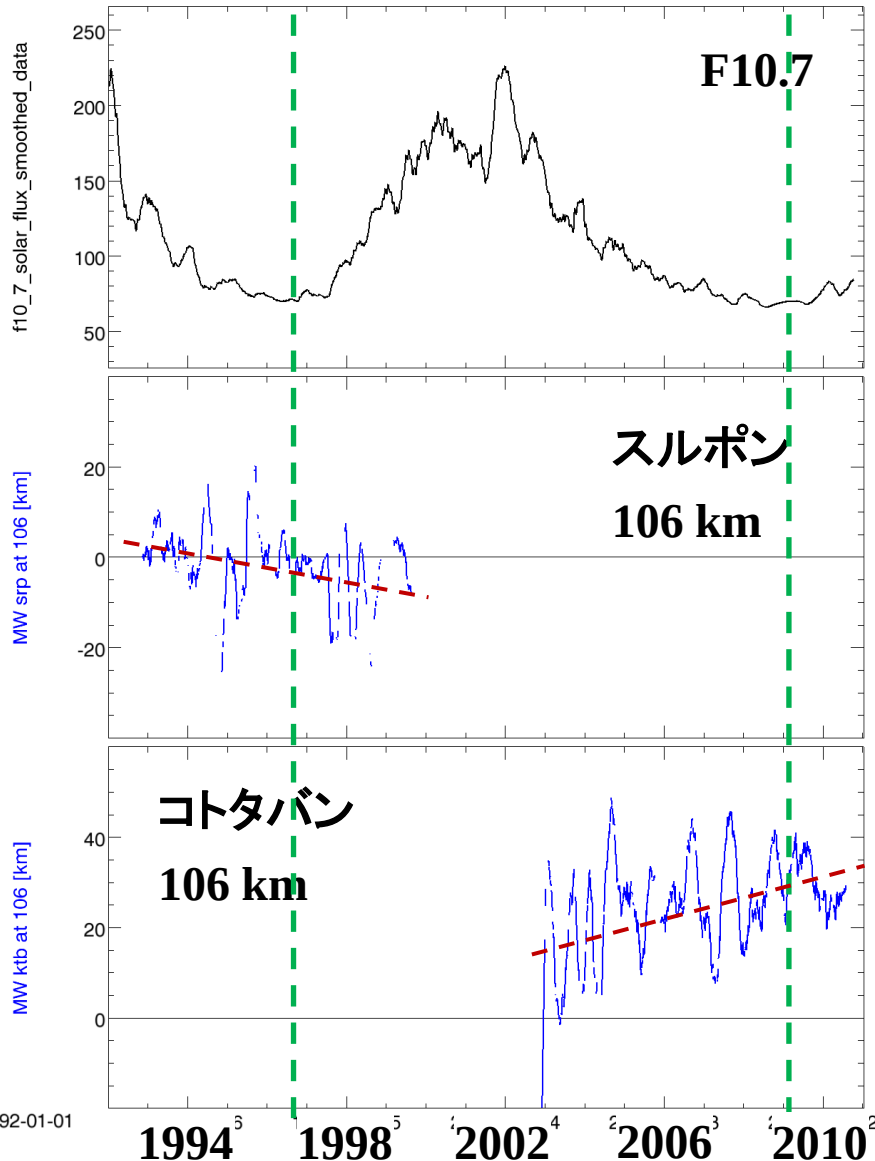
コタバン

※90日の移動平均値

※太陽活動22、23周期の極小期の熱圏下部・中間圏の東西風速を比べると明らかに異なる

平均場のオフセットがコタバンの風速分布に見受けられる

4.5 太陽活動22、23周期の極小期の熱圏風速とSq振幅の違い



上段:F10.7フラックス

中段/下段:熱圏東西風

観測点:スルポン

コタバン

高度:106 km

※二つの極小期で**右下がり**と**右上がり**のトレンドが高度106kmの東西風速にみえる

太陽活動依存性?

観測装置の違い?

5.1 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由

○Sq場の振幅←電離圏電流の大きさ

←電離圏電気伝導度＋地球磁場強度＋風速

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

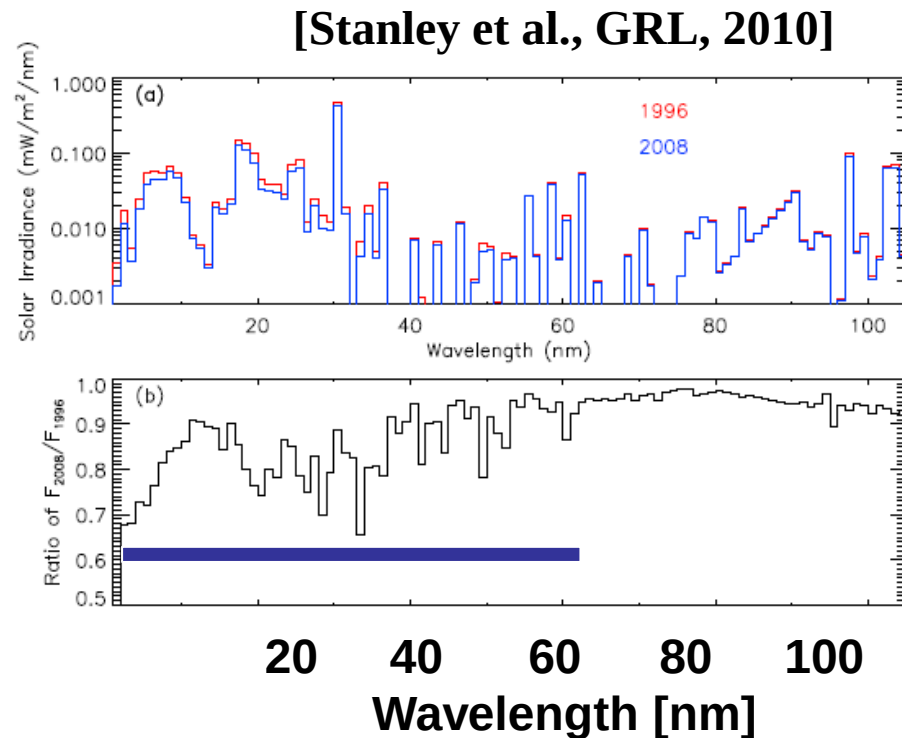
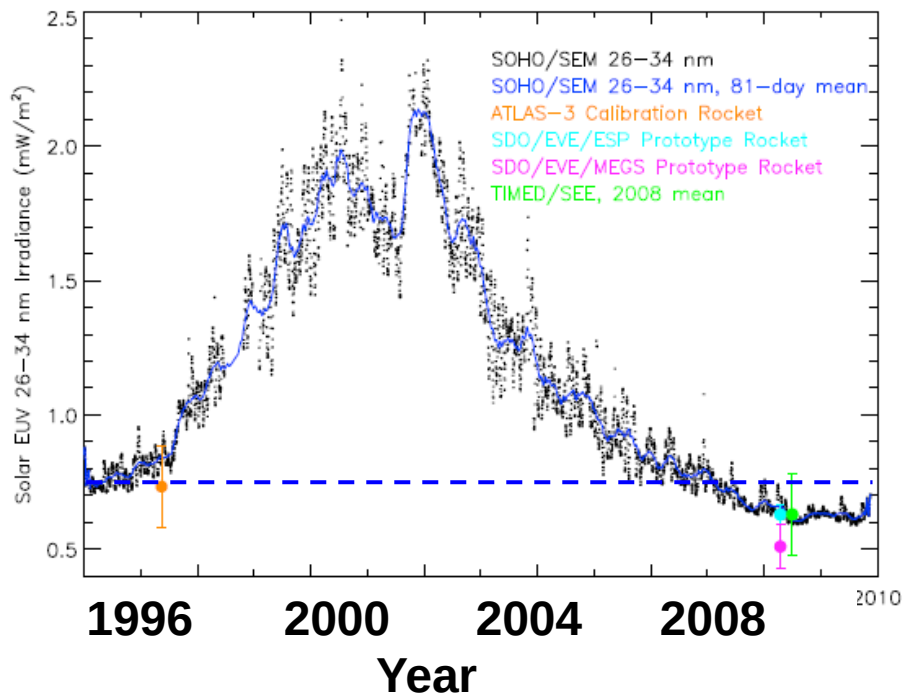
○電離圏電気伝導度←地球磁場強度＋太陽放射

$$\sum_P = \int_{h_1}^{h_2} \left[\frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne}^2}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni}^2}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

$$\sum_H = \int_{h_1}^{h_2} \left[\frac{n_e}{m_e v_{ne}} \frac{v_{ne} \Omega_e}{v_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i v_{ni}} \frac{v_{ni} \Omega_i}{v_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] e^2 dh$$

 Ω ←磁場強度に比例、イオン種に反比例 v ←中性大気密度に比例(スケールハイトに関係) n_e, n_i ←太陽放射強度に比例

5.2 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由



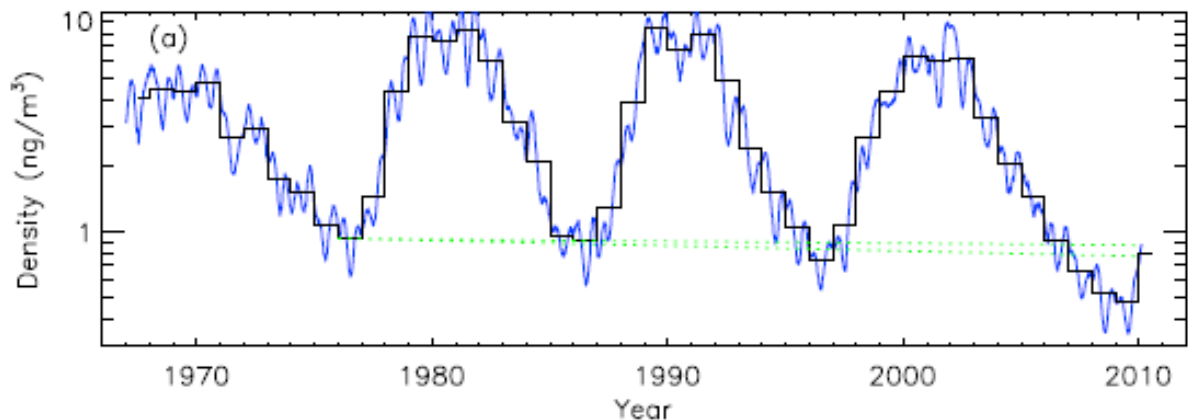
太陽23サイクルにおける24-34nmのEUV変動

1996年と比べて2008年のフラックス値が15%程度減少

1996年と2008年における太陽EUVフラックスの比

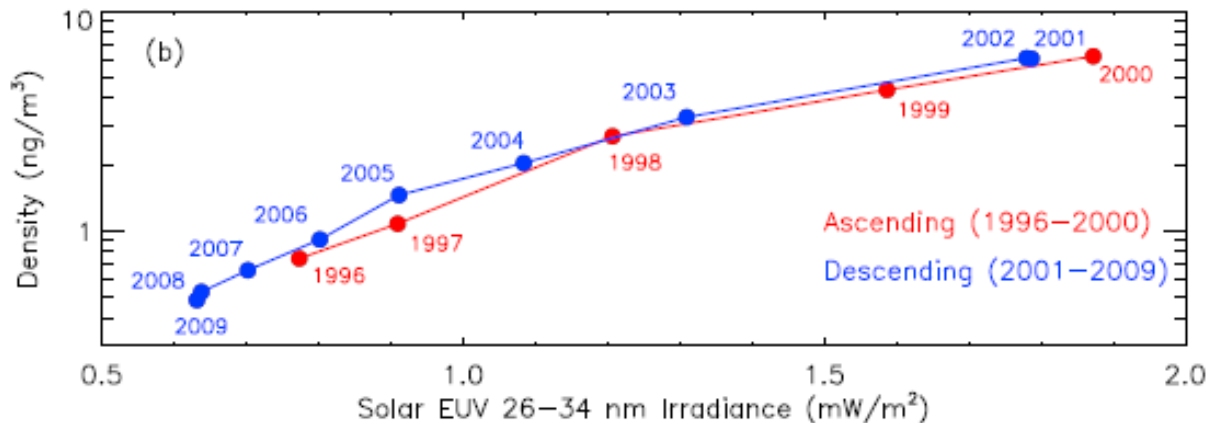
60 nm以下の波長領域で減少量が大いことがわかる

5.3 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由



[Stanley et al., GRL, 2010]

上段: 高度400kmにおける衛星観測に基づく熱圏大気密度の年変動



下段: 太陽EUVを関数として熱圏大気密度をプロット

太陽23サイクルの極小期における熱圏大気密度は、**前サイクルのものよりも約20%小さく**、CO₂大気増加に伴う寒冷化の影響よりもはるかにその変化は大きい。

5.4 今サイクルの極小期のSq振幅が小さい理由

23周期の極小期は、熱圏大気の電離やその密度分布を決める**太陽EUV(60nm以下)フラックスが前サイクルのものよりも低く、減少した期間が長い**ために、地球大気に降り注ぐ放射エネルギーがかなり低いことが特徴である



電離圏の電子密度が低くなるばかりか、中性大気密度が減少するため、電離圏電気伝導度が減少し、電離圏電流が流れにくくなる

⇒**電子密度と衝突周波数の両方が変化**

その結果、Sq場の振幅が減少する

ただし、**熱圏大気の温度分布が変化するため、大気の循環が変化し、Sqの起電力(UXB)に影響がでる可能性もある**

- 1957年から2010年までの長期の期間における太陽F10.7放射フラックスとIUGONETの保有する地磁気、及び熱圏・中間圏風速のデータを用いて、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。その結果、以下のような結果が得られた
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、1990年を境に増加から減少に転じる傾向を示す。特に、太陽活動22と23サイクルの極小を比べると、Sq場の振幅が10%程度減少する。**その減少量は、F10.7の減少量に一致せず、EUVフラックスの減少量に一致する。**
 3. 熱圏・中間圏における風速変動も太陽22と23サイクルの極小期で分布が大きく異なる。その要因は、今のところ不明。