

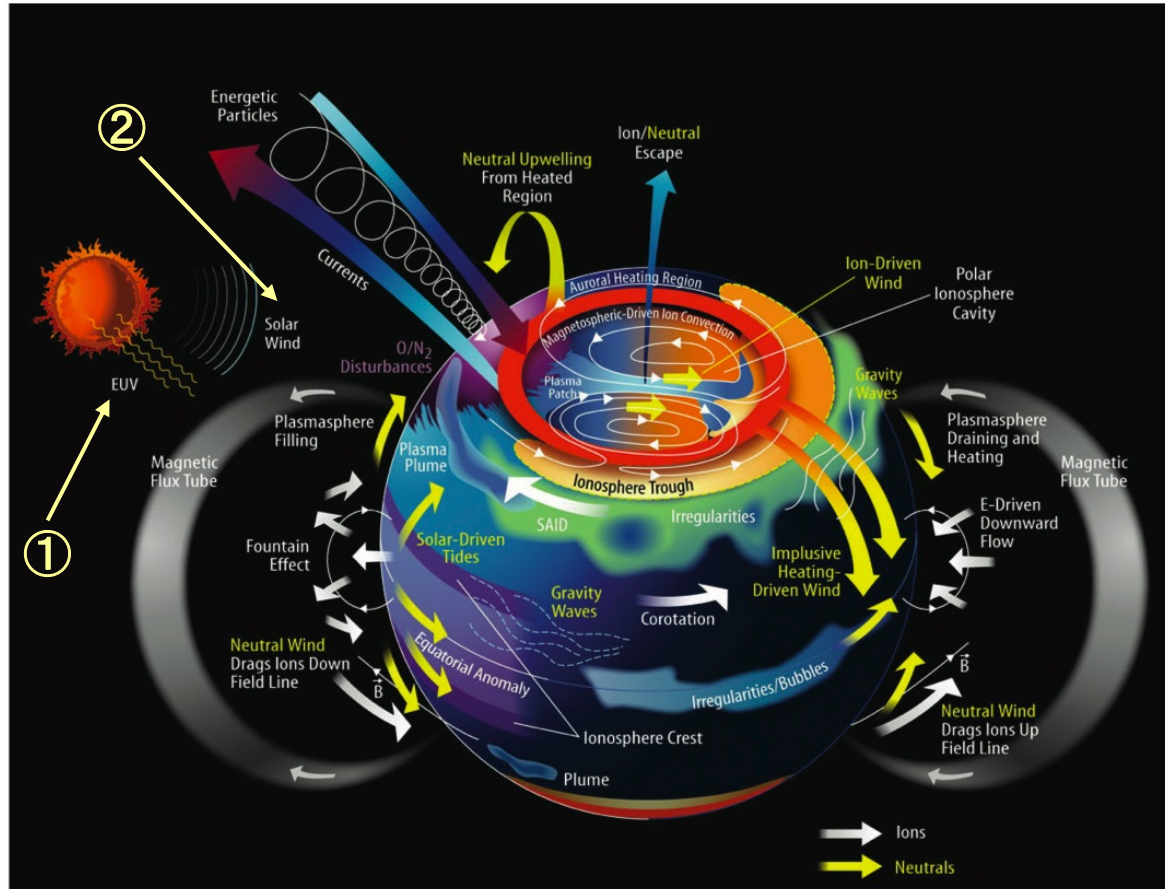


IUGONETツールがもたらす太陽地球科学研究への貢献

新堀淳樹¹・八木学¹・田中良昌²・谷田貝亜紀代³・梅村宣生³・上野悟⁴・小山幸伸⁵・阿部修司⁷・IUGONETプロジェクトチーム

¹京大生存研、²東北大PPARC、³名大STEL、⁴京大天文台、⁵京大地磁気センター、⁶九大ICSWSE

1.1 太陽地球系結合過程における地球大気変動



[http://de.wikipedia.org/wiki/Da
tei:ionosphere-
Thermosphere_Processes.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Da%20tei%3Aionosphere-Thermosphere_Processes.jpg)

太陽エネルギー

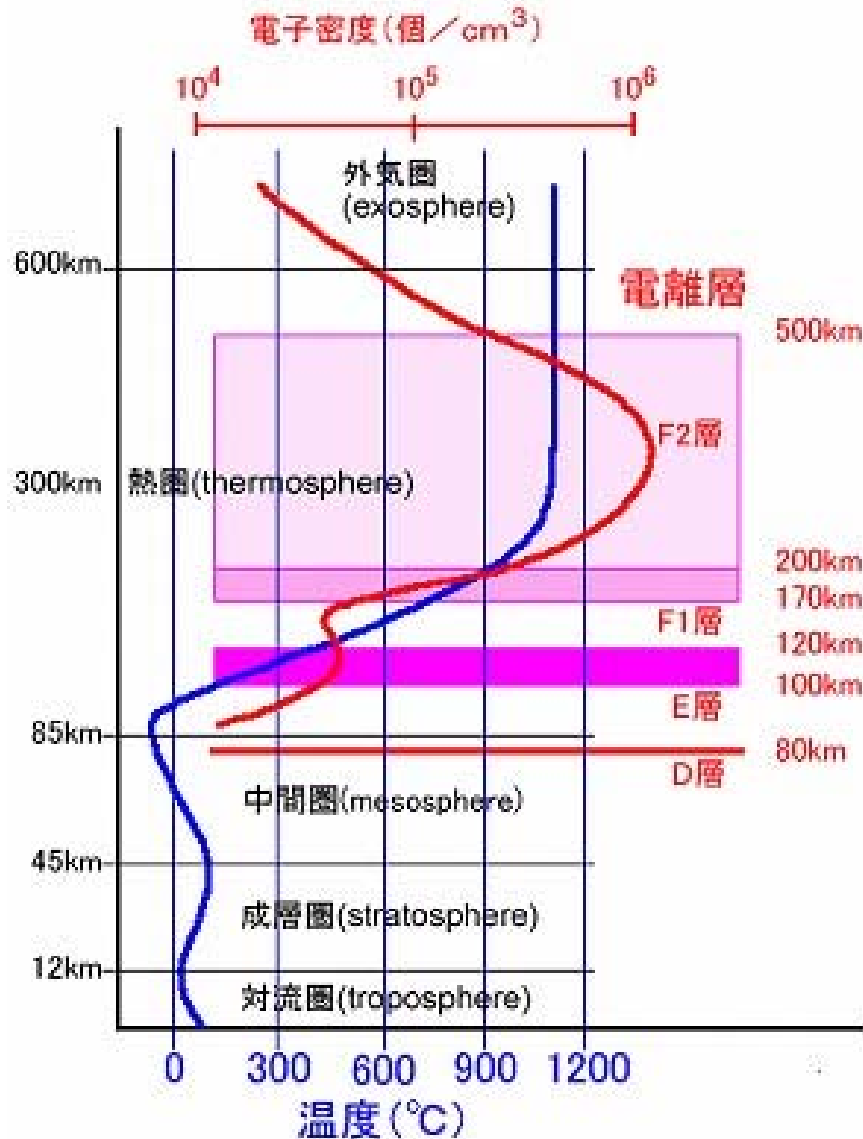
①放射=太陽光

②粒子=太陽風

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

1.2 地球大気の領域間結合



緯度、経度、高さ方向をもつ3次元の(長期)観測データを組み合わせた統合解析が必要

太陽活動による影響大
(ex. 電離圏・熱圏の11年変動)

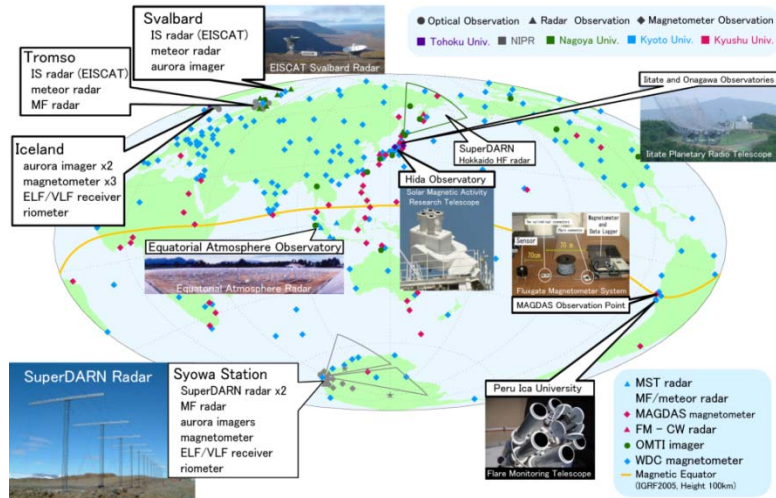
両者の影響をうける領域?

下層大気現象による影響大
(ex. 地球温暖化に伴う温度変化)



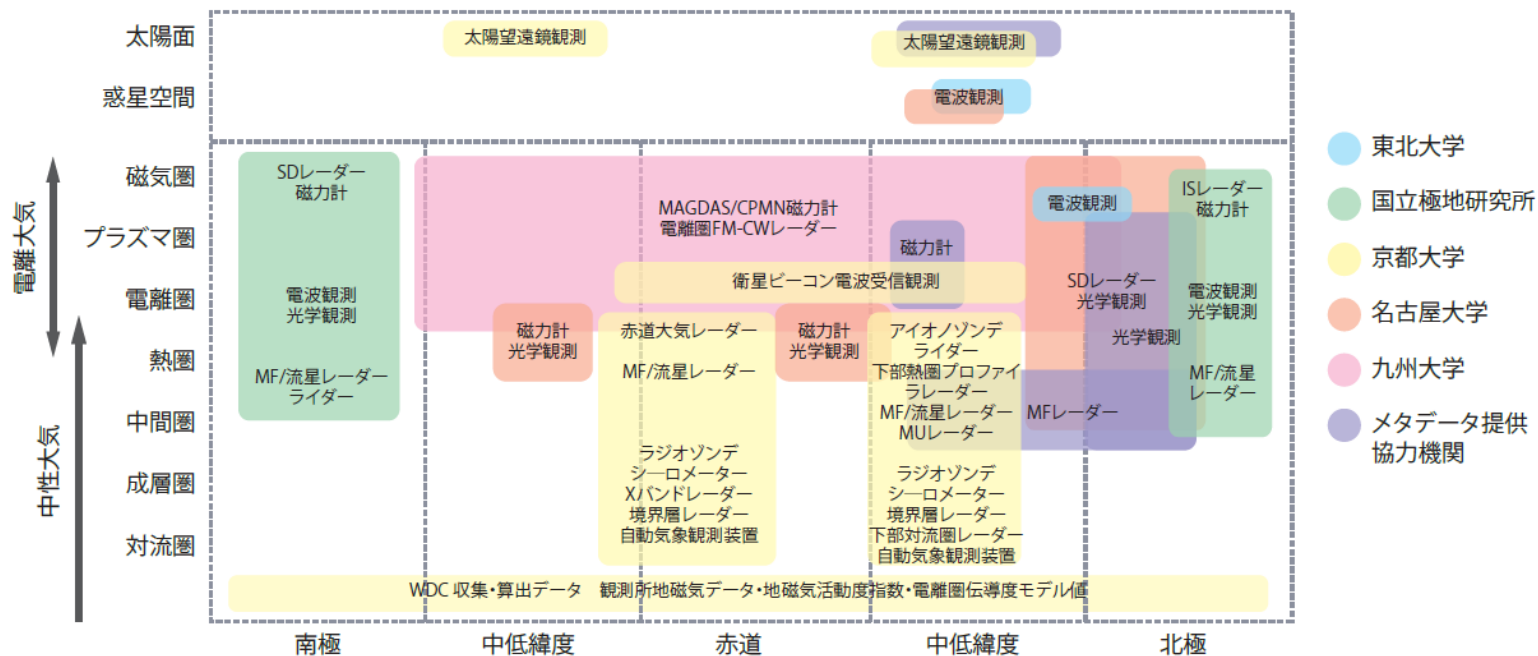
2. IUGONET 全球地上観測データと問題点

2.1 IUGONET 観測データの種類とカバーする領域



全球地上ネットワーク観測

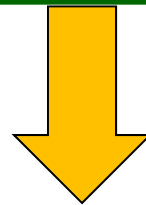
IUGONET参加機関・大学は、赤道から両極域にいたる地球上で、また地表面からプラズマ圏、遠くは太陽圏までの広汎な高度領域にまたがる観測データを保有



2.2 なぜ、太陽地球結合系における分野横断研究が進まないか？

1. 様々な観測データへのアクセス・統合解析の壁

- 各分野を専門とする各機関・大学で収集された観測データの分散化
- 各観測データに関する記述の不足←HP、論文を参照
(パラメータの意味、サイエンス研究への適用例)
⇒各データ間の取り扱いにポテンシャルが異なる
(e.g., フォーマット、コンタクト、データの置き場)
⇒⇒データの利用者にとって、統合解析を行いにくい環境
- データ利用者の専門的知識の偏り



IUGONETデータ解析システムの利用

2.2 なぜ、太陽地球系の高度領域間の研究が進まないか？

2. 研究者の興味・関心の不連続性

○高度100 kmの関所 ←ここを境に研究者の興味が大きく異なる

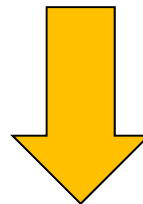
○研究の取り組み方も異なる(中性流体 vs プラズマ粒子)

○分野間をまたがる研究者間の交流は疎遠??

※近年の若手研究者・大学院生の特徴として、自分の取り扱う分野以外の関心が非常に薄い

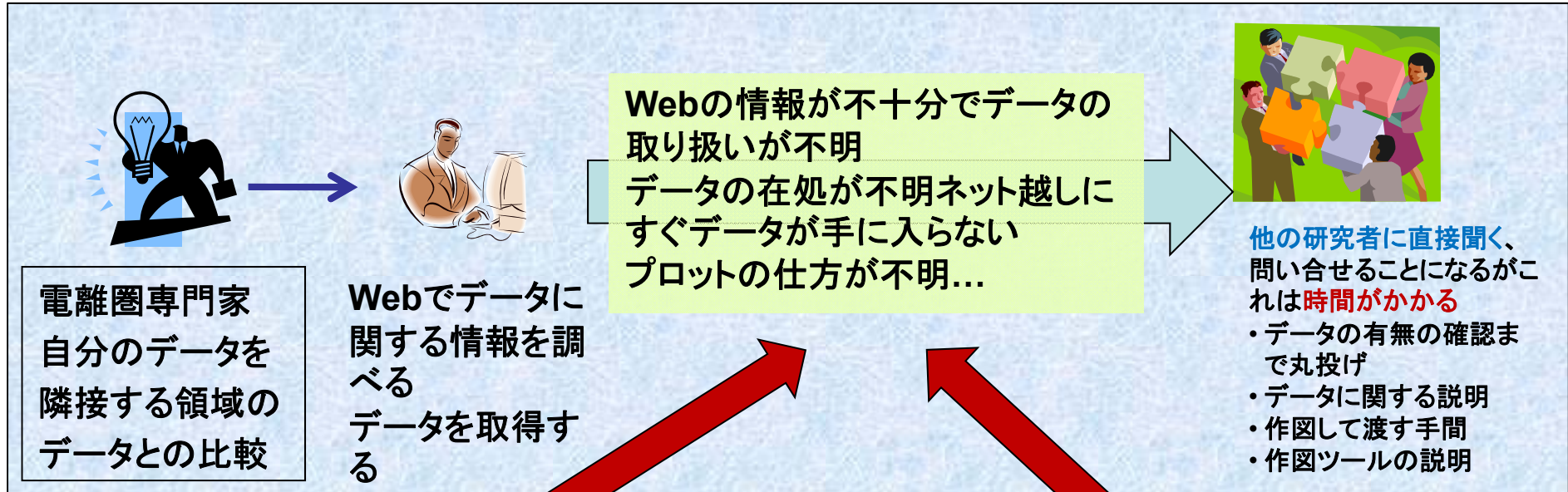
⇒指導教員が提示する研究テーマに依存

○自分の得意とする分野のデータしか使っていない



データ解析講習会が鍵(興味を引く題材の選定)

3.1 IUGONETデータ解析システムによるデータの利活用



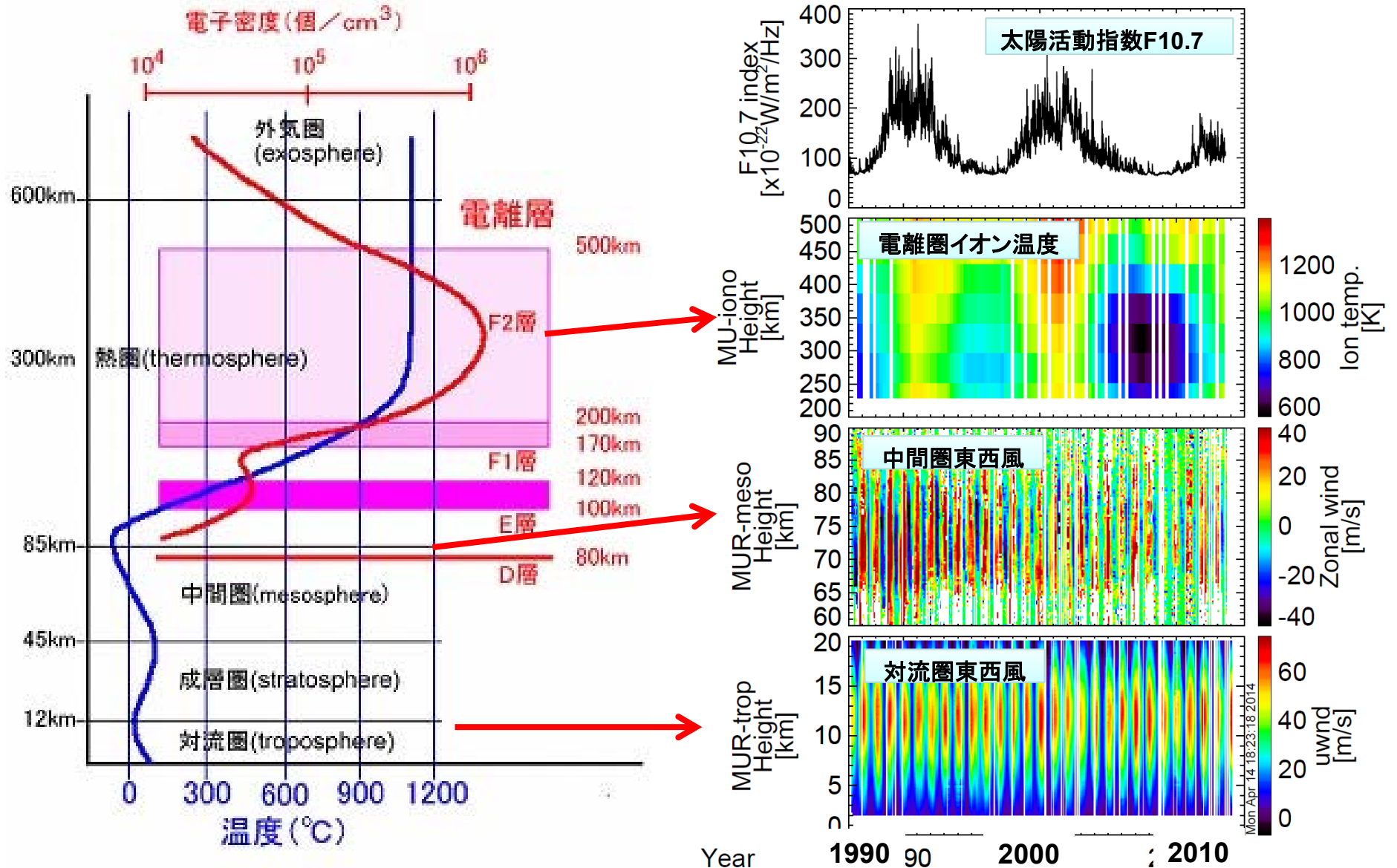
メタデータDB

- 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(UDAS)

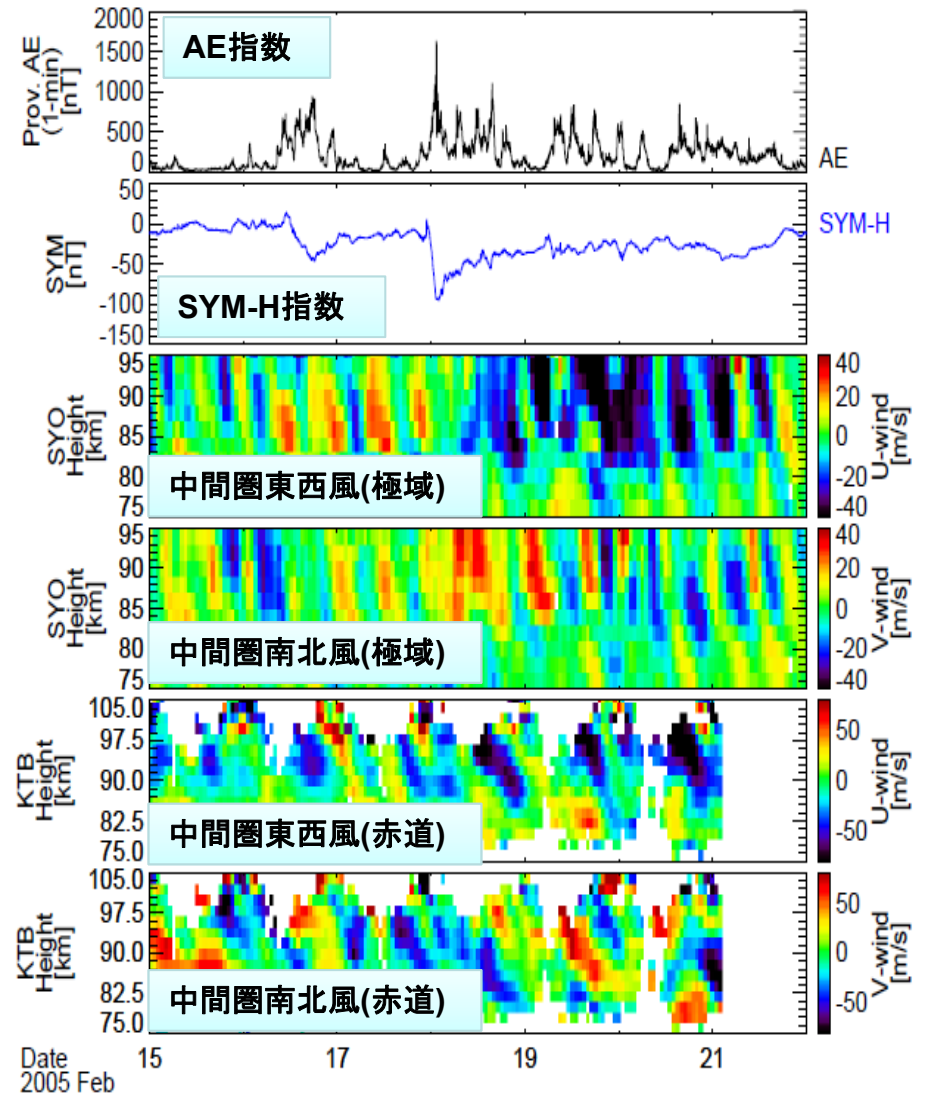
- 異種データをとにかく並べてプロットできる (時系列で比較)
- 公開データについては日時指定で自動でダウンロード
→ プロット
- **統計検証ツール、高度な周波数解析などの機能もある**

3.2 異なる地球大気層の長期観測データの並列プロット

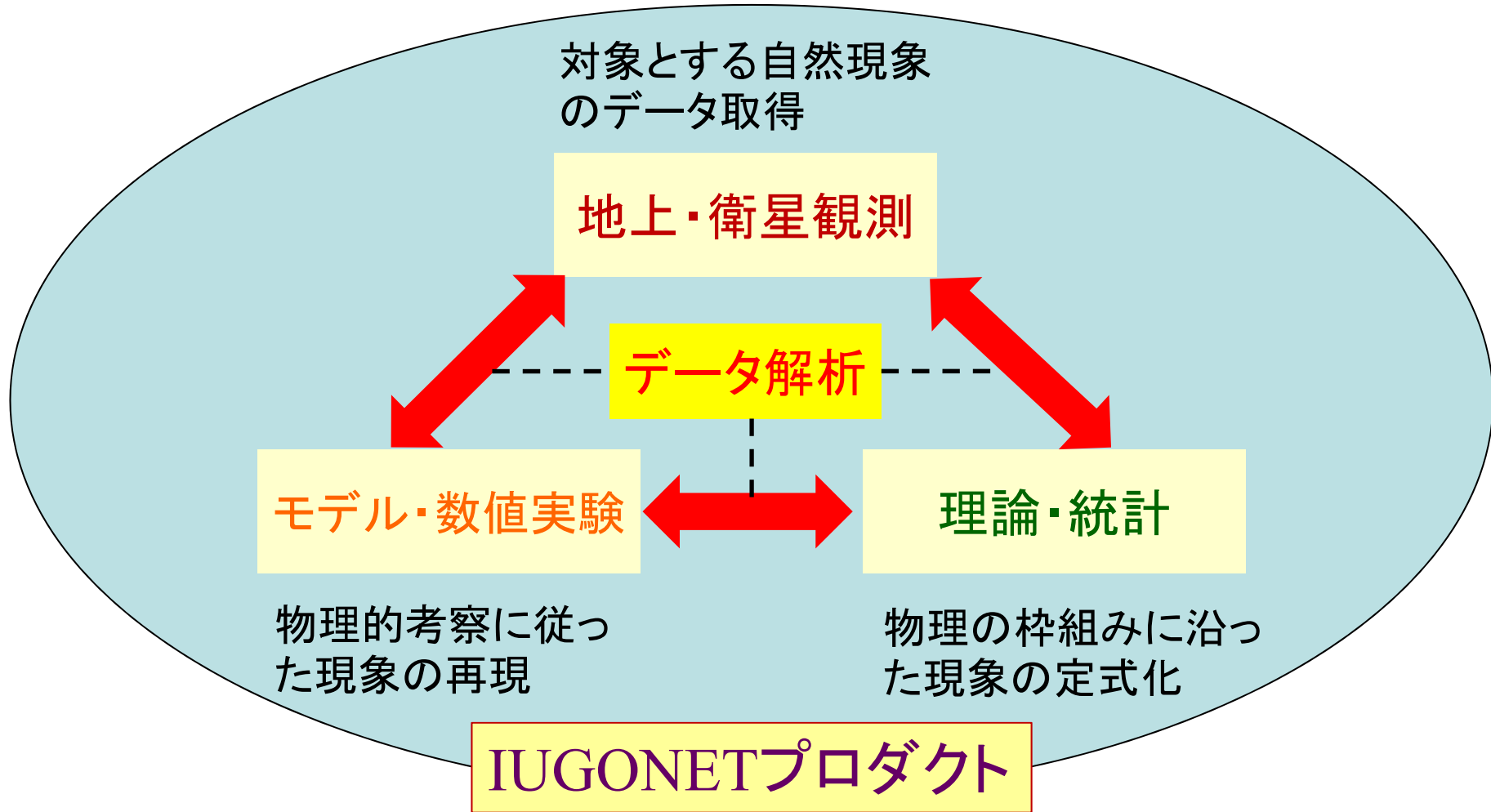


3.3 どのような研究に貢献可能か？

- 異なる地球大気層間の相関に関する発見的研究の促進とこれまでに確立されているパラダイムの妥当性の精査
 - 異種のデータを検索・取得できる
 - 異種のデータを簡単に並列プロットすることが可能
 - 高度なデータ解析、及び解析結果の統計検定も可能
- 古いデータの発掘、データベース整備の士気を高める
 - より長期の変動を研究可能
(宇宙気候・気候変動)
- 長期変動という見方でデータを調査
 - 間欠イベントの出現・変動特性を抽出
(磁気嵐、成層圏昇温、太陽活動、...)
 - 極端・異常現象の頻度特性



3.4 太陽地球系科学における研究IUGONETプロダクトの位置づけ



客観的なデータ解析に基づく現象の発見と実験結果の検証・再現

4.1 IUGONETプロダクトを用いた研究テーマ

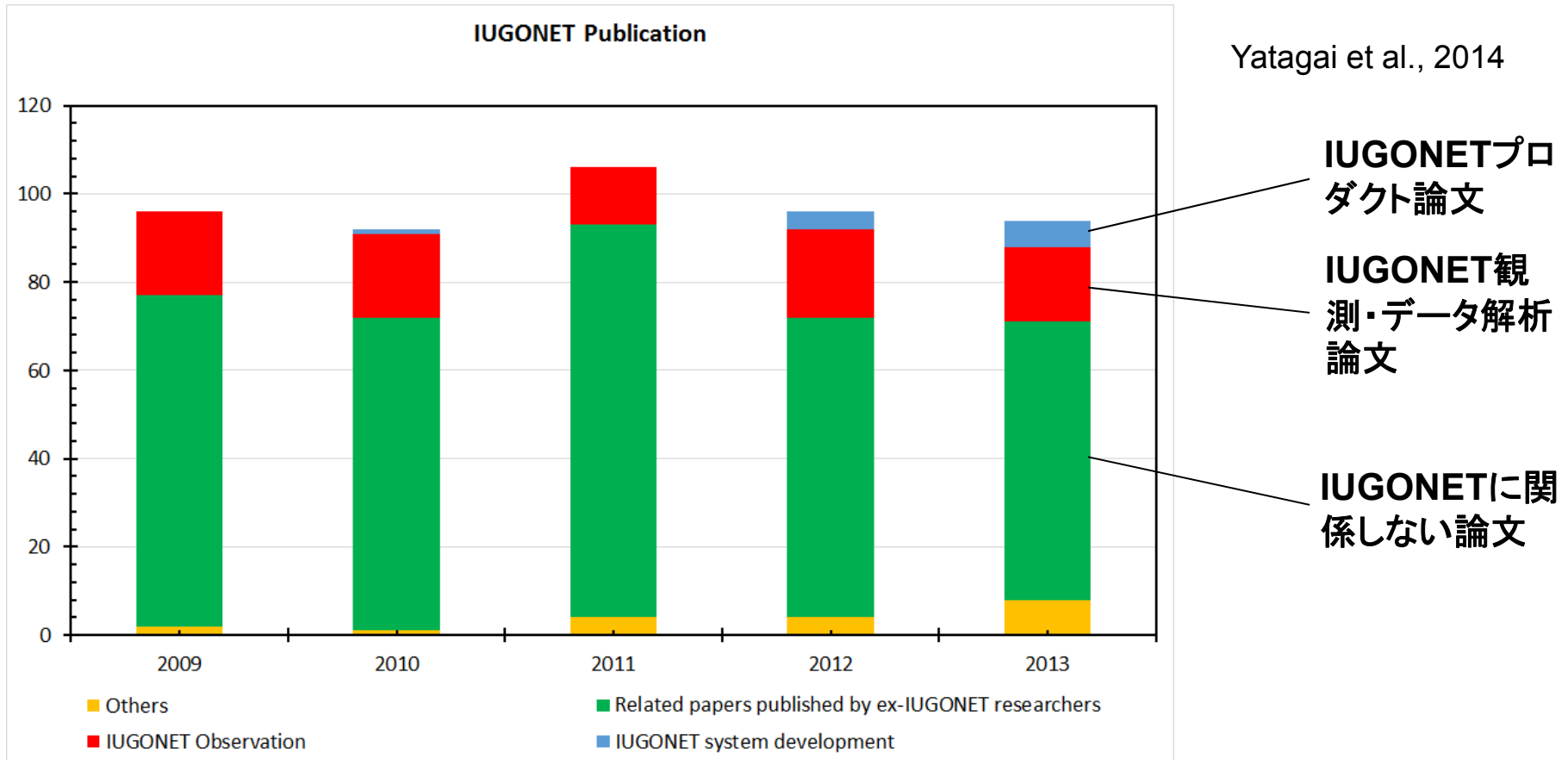
＜超高層大気長期変動に焦点を当てた研究例＞

No.	サイエンス・ターゲット	データ
1	太陽紫外線放射量の長期変動と地球大気変動の相関 (太陽11年周期変動はどの大気層まで現れるか?)	太陽彩層輝度・紫外線データ 風速、温度データなど
2	地磁気静穏日変化から推察される超高層大気の長期変動特性 (太陽紫外線変動が地磁気変動に与える影響の他にどのような影響があるか?)	太陽彩層輝度・紫外線データ 地磁気データ(静穏時) 電離圏伝導度モデル値
3	中間圏一下部熱圏(MLT)領域における風速の長期変動のメカニズム (中間圏準2年周期変動を引き起こす要因は何か?)	赤道MLT領域での風速(MFレーダー, 流星レーダー観測) 太陽活動データ、ラジオゾンデデータ
4	赤道ジェット電流の強度変動の要因とその長期変動 (赤道MLT風速変動との相関関係はあるか?)	地磁気データ、赤道MLT領域の風速、太陽彩層輝度、F10.7指数
5	磁気嵐時の熱圏と下層大気の風速変動の関係 (中間圏、成層圏で何か特徴的な風速変動はないか?) (Disturbance dynamoの傍証となるような変動は?)	グローバル地磁気データ、地磁気指数、大気レーダー、流星レーダー、ファブリペロー干渉計



4. IUGONETプロダクトを用いた研究成果

4.2 IUGONETメンバーを含む査読付き論文数



IUGONETプロジェクトが始まった2009年以降、論文の出版数は90-100前後で推移しているが、**IUGONETプロダクトが公開された2011年以降、IUGONET観測・データ解析論文数に劇的な変化(増加)は見られない**

⇒IUGONETプロダクトを用いたサイエンス成果を上げる必要がある

○2009年5月から開始されたIUGONETプロジェクトにより、各連携機関と協力機関の実データベースの拡充・整備が進むとともに、それらのデータを取り扱う解析ツールが開発され、超高層大気長期変動の研究基盤が整った。

○その結果、異なる大気層間の相関に関する発見的な研究とこれまでに提唱されたパラダイムの妥当性の精査に関する研究が促進された。

■太陽分野と超高層大気分野の観測データを総合的に取り扱う電離大気と中性大気の相互作用に関する研究分野

⇒グローバルな地球大気の上下間結合の研究の進展

1. 太陽活動の影響

(その影響がどの大気層まで伝わっているか?)

2. 下層大気の大気長期変化の影響

(地球大気固有の変動・・・中間圏QBO、長期トレンド)

■長期解析だけでなく、極端気象・宇宙天気現象解析にも貢献可能

1. 低緯度オーロラの出現特性やその頻度分布

2. 集中豪雨の頻度など

○IUGONETプロダクト(MDDDB/UDAS)の輝きを永続、または増
せることができるのは、“開発員”ではなく、“IUGONETユー
ザー”そのものである

●開発員オーソドックスなものは作れるが、何のインプットなし
に研究テーマに特化したツールを開発できない

⇒ユーザーからの要望・意見が重要

●もっといい研究テーマを選定・提案できるのは、個々のユー
ザーであり、IUGONETプロダクトはそのためにある

○学生教育へIUGONETプロダクトの導入は必須

●若い世代ほど新しいものへの適応力がある

(その後もIUGONETプロダクトを使ってくれる可能性あり)

●IUGONET連携機関の先生方は、学生にはできる限り
IUGONETプロダクトを利用できる研究テーマを進めるべき





4. IUGONETデータ解析システムが切り開くサイエンス

4.2 サイエンス研究に対するIUGONETプロダクトの位置づけ

ターゲット：	磁気嵐時の磁気圏-電離圏-熱圏環境の変動	
アプローチ：	複合系の物理	物理素過程
	太陽風-磁気圏-電離圏-熱圏におけるエネルギーと物質の結合系	中性大気と電離大気の相互作用 環電流と放射線帯の形成過程
研究手法：	<ul style="list-style-type: none">・地球周辺の宇宙・大気環境を探るための衛星測器の開発・地上観測ネットワークの拡張・IUGONETデータ解析システムを利用した地球周辺の宇宙・大気環境の時間・空間変動に関する総合解析	
意義：	磁気嵐の理解と新しいパラダイムの確立	普遍的宇宙プラズマ物理学の理論・観測・実験による検証
	人類の活動に身近な宇宙環境の理解	双極子磁化天体の物理への拡張 (木星・土星など)

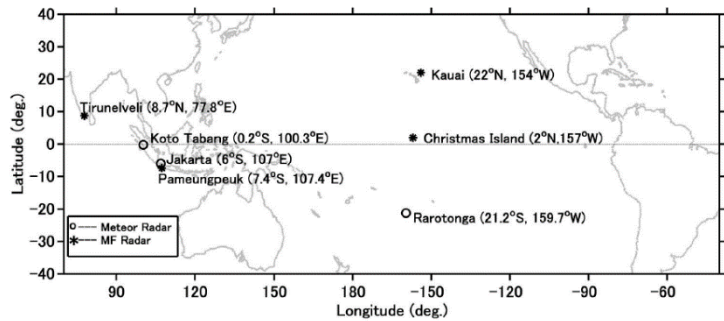
4.3 IUGONETプロダクトを利用した主なサイエンステーマ

＜超高層大気長期変動に関連したテーマ＞

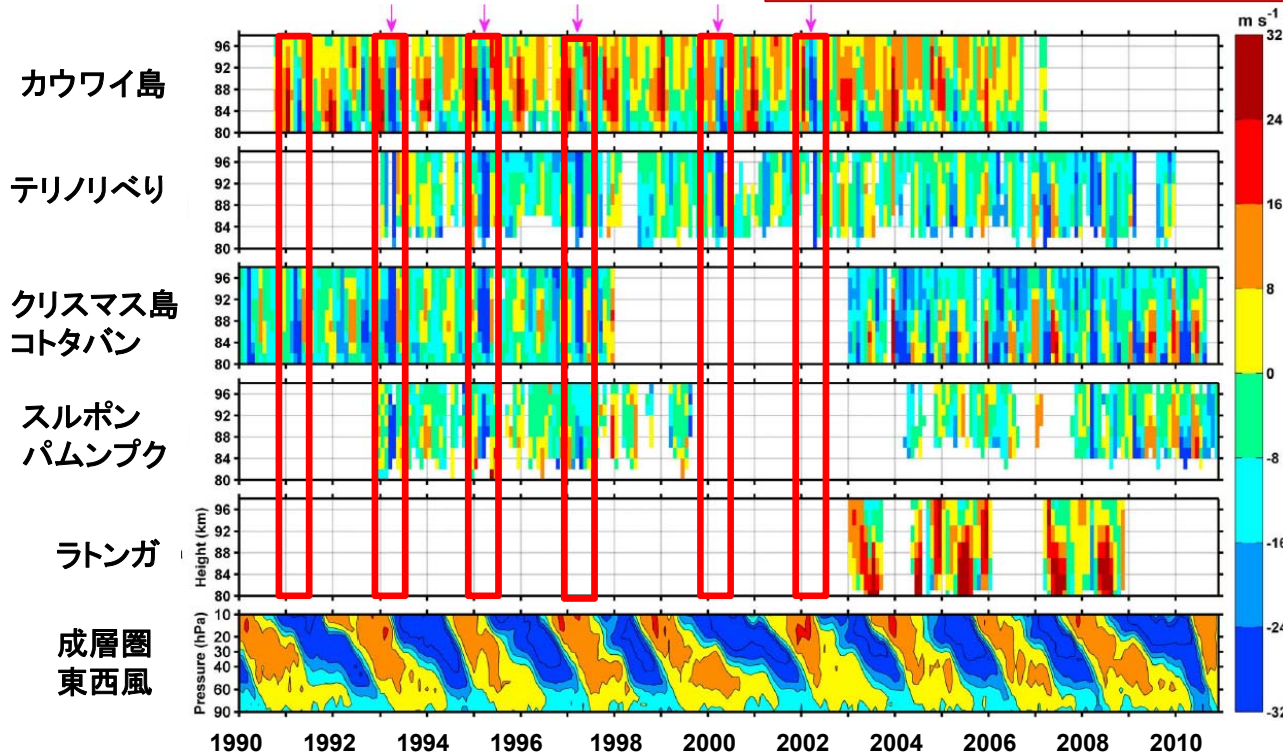
No.	サイエンス・ターゲット	データ
1	太陽紫外線放射量の長期変動と地球大気変動の相関 (太陽11年周期変動はどの大気層まで現れるか?)	太陽彩層輝度・紫外線データ 風速、温度データなど
2	地磁気静穏日変化から推察される超高層大気の長期変動特性 (太陽紫外線変動が地磁気変動に与える影響の他にどのような影響があるか?)	太陽彩層輝度・紫外線データ 地磁気データ(静穏時) 電離圏伝導度モデル値
3	中間圏ー下部熱圏(MLT)領域における風速の長期変動のメカニズム (中間圏準2年周期変動を引き起こす要因は何か?)	赤道MLT領域での風速(MFレーダー, 流星レーダー観測) 太陽活動データ、ラジオゾンデデータ
4	赤道ジェット電流の強度変動の要因とその長期変動 (赤道MLT風速変動との相関関係はあるか?)	地磁気データ、赤道MLT領域の風速、太陽彩層輝度、F10.7指数
5	磁気嵐時の熱圏と下層大気の風速変動の関係 (中間圏、成層圏で何か特徴的な風速変動はないか?) (Disturbance dynamoの傍証となるような変動は?)	グローバル地磁気データ、地磁気指数、大気レーダー、流星レーダー、ファブリペロー干渉計

4.4 具体的な長期変動に関する研究事例の紹介-1

＜赤道下部熱圏・中間圏(MLT)領域における風速の長期変動＞



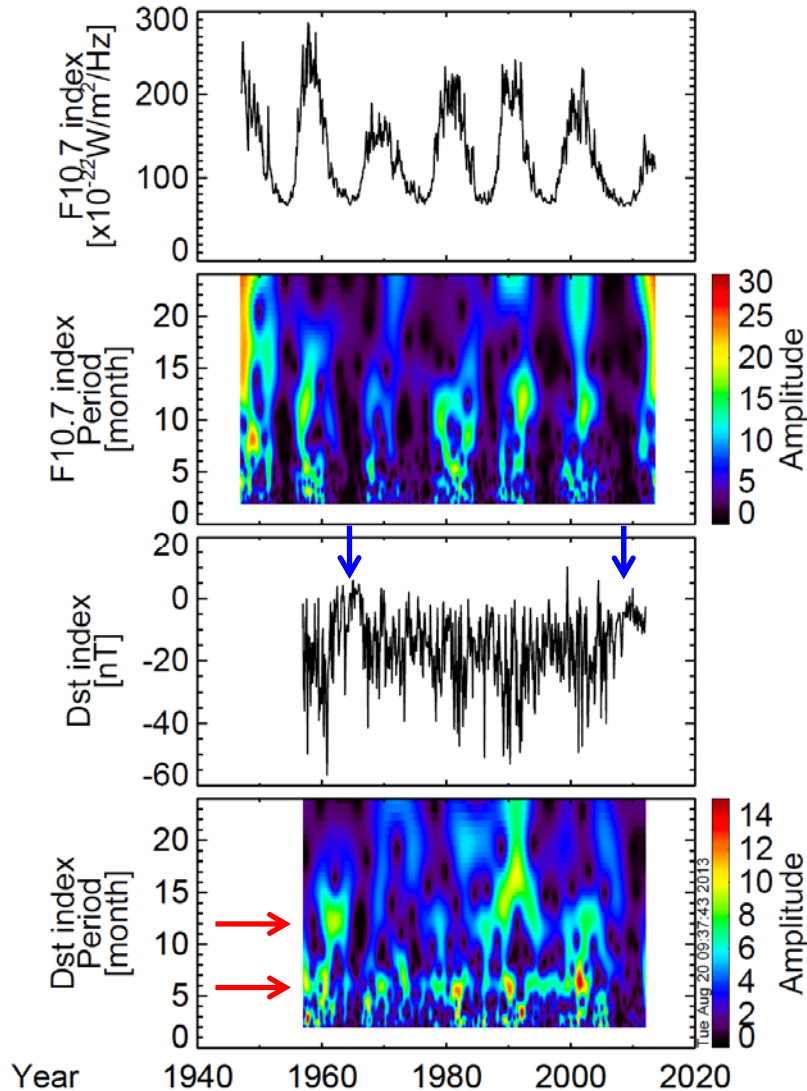
高度80-90kmの赤道下部熱圏・中間圏における東西風は、**準2年周期の間隔をもって西向きの風速が強められる。**
 その現象は、2002年以降出現しておらず、その時期を境に地球大気変動が変わった??



成層圏QBOとの関係も詳細な関係は不明。
 中間圏準2年周期変動のメカニズムもよくわからない

4.4 具体的な長期変動に関する研究事例の紹介-2

＜太陽活動と地磁気指数の長期変動解析＞

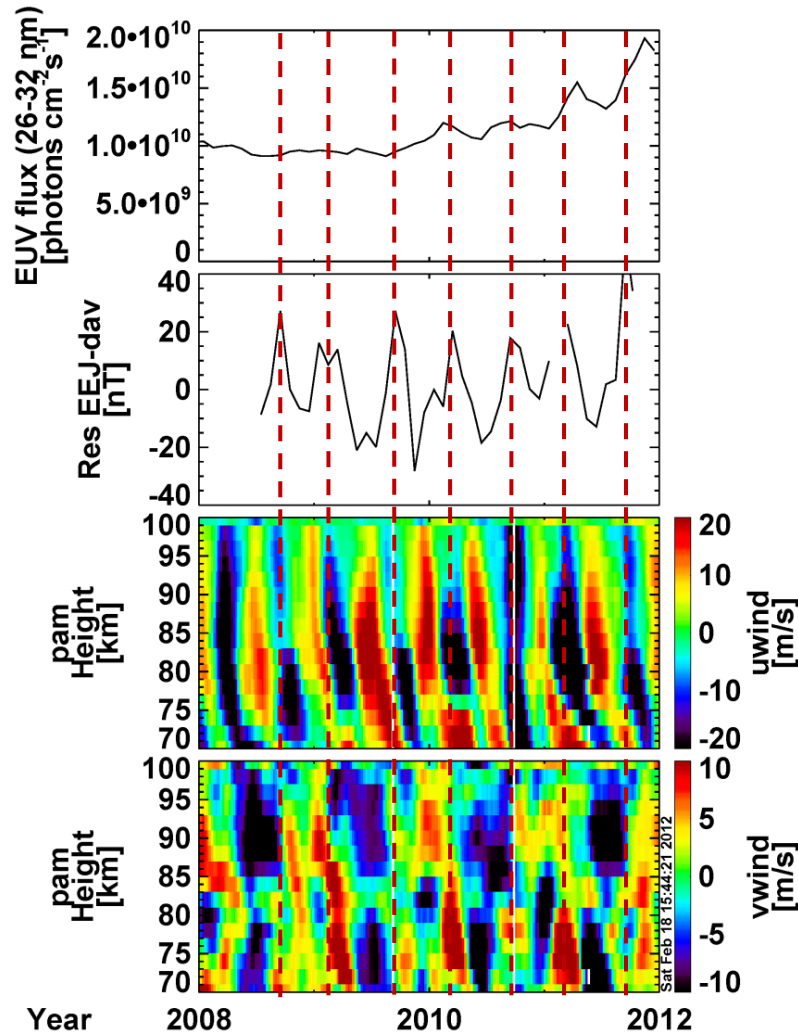


1ヶ月平均値の太陽F10.7指数と地磁気Dst指数とそれらのS変換解析

- 地磁気Dst指数には、半年と1年周期変動が見られる
特に、**22/23太陽サイクル極小期に定常的に半年周期変動が出現している**
- **23/24太陽サイクル極小期では、特に際立った周期変動が見られない**
55年間で初めて
- 19/20, 23/24太陽活動サイクルの極小期におけるDst指数の変動は小さい
その太陽活動度の大きさは小さくなる傾向にある

4.4 具体的な長期変動に関する研究事例の紹介-3

＜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＞



九大共同研究

阿部修司・池田大輔・湯元清文(九大)・新堀淳樹・谷田貝亜紀代(京大生存研)

[内容]

高度80-130kmの領域を流れる赤道ジェット電流に関係するCowling 伝導度の変化とMLT領域の風速変動の関係を明らかにする。

特に、東西成分の風速が作る鉛直方向のダイナモ電場との関係も考察する。

[使用データ]

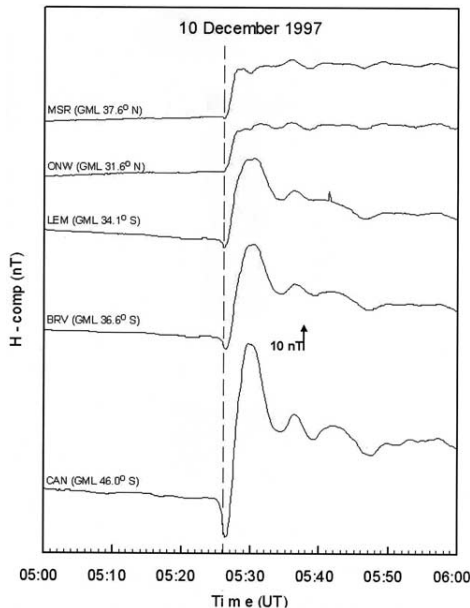
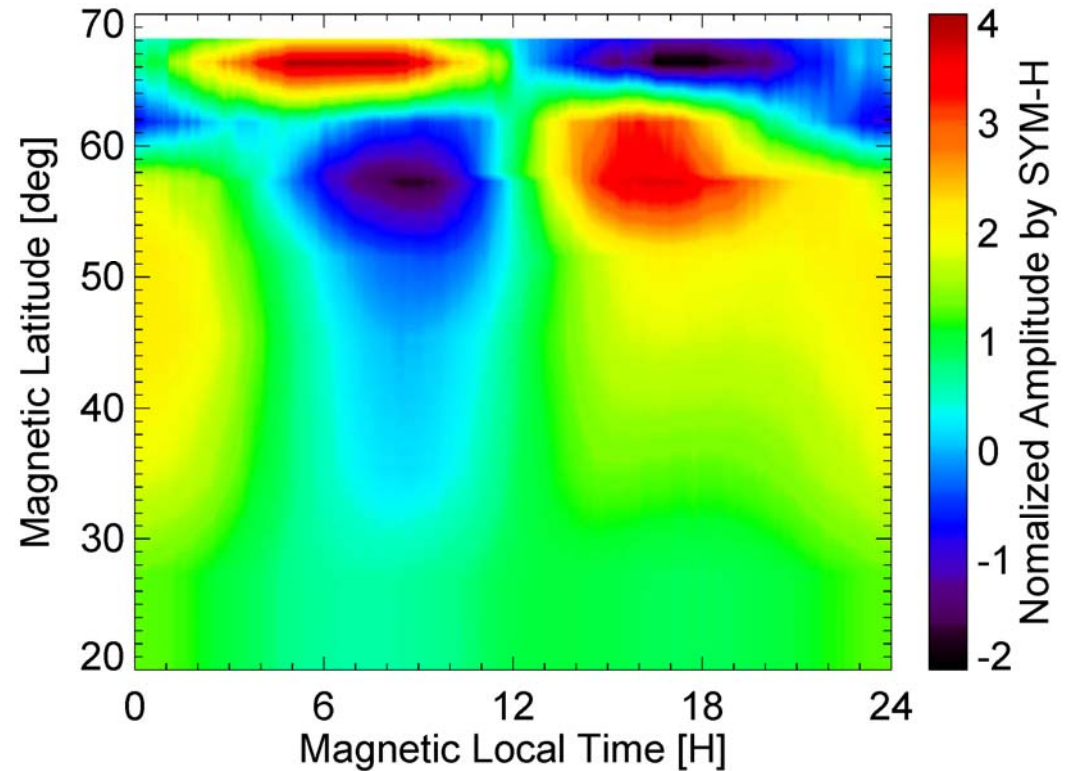
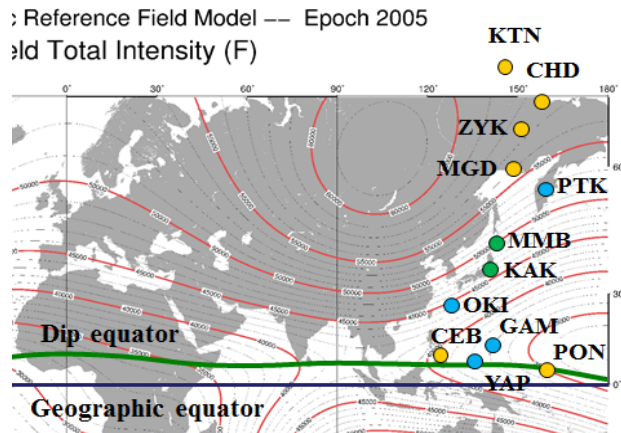
地磁気@九大(1996年~現在)

熱圏風@京大(1992年~現在)

高度80-100 kmの東西風が西向きになるにしたがって、赤道ジェット電流の強度が増大することが分かった

4.5 長期データベースを用いたイベント統計解析研究事例の紹介

<磁気急始(SC)に伴う地上磁場変動の磁気緯度と地方時依存性>

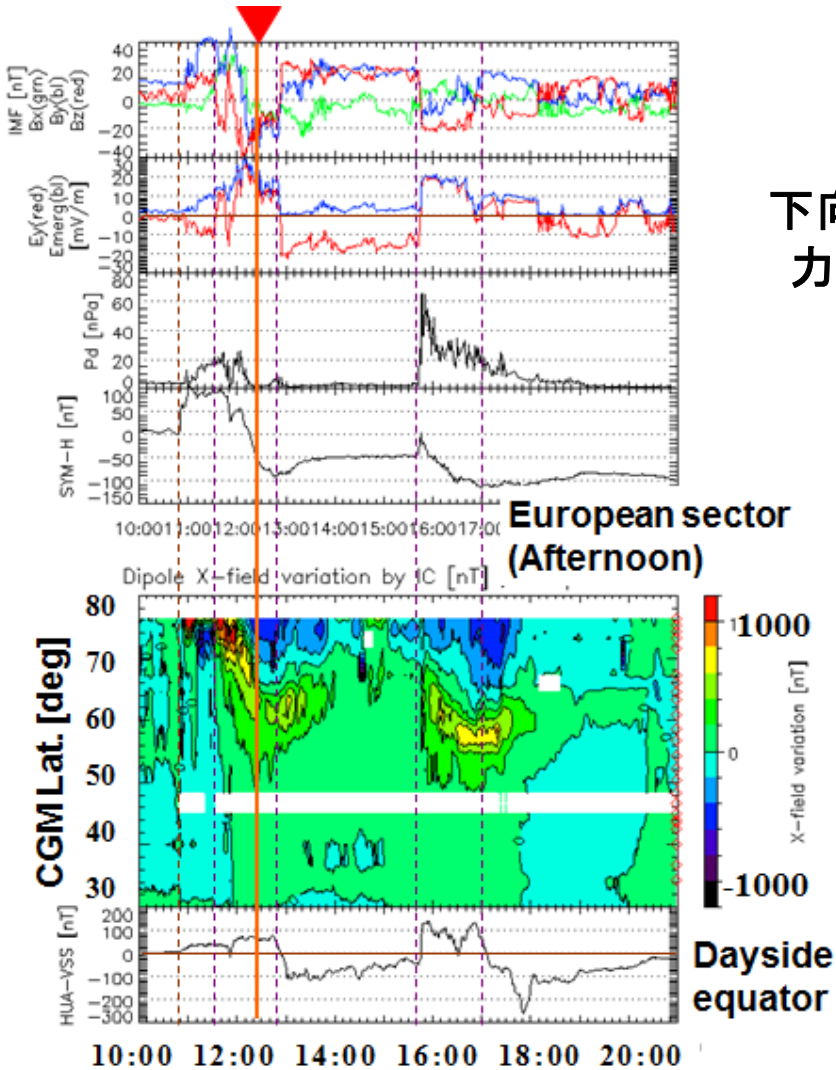


磁気急始(SC)
に伴う地上磁場
変動

長期(1996-2010年)でかつ多点の地磁気観測データから、磁気急始(SC)に伴う地上磁場変動の詳細な磁気緯度と地方時の依存性を明らかにした

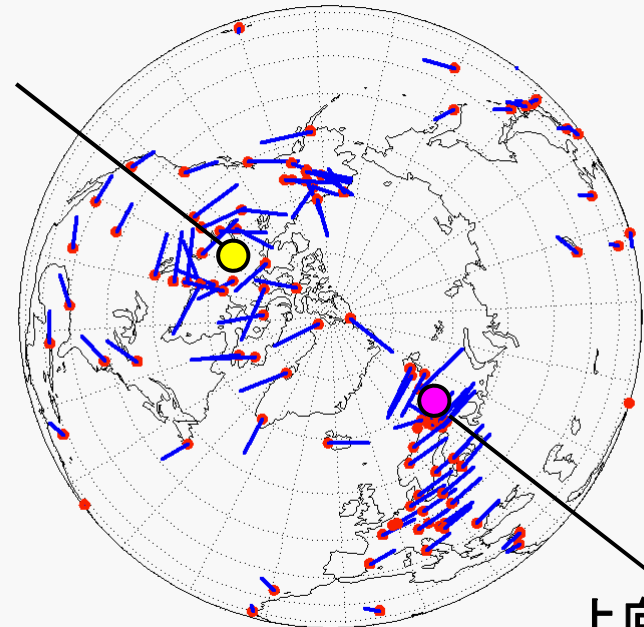
4.6 データの揃っているイベント解析研究事例の紹介

＜磁気嵐時における地磁気変動から推察されるグローバルな電流分布＞



磁気嵐主相 2002/05/23
12:30 UT

下向き沿磁力線電流



上向き沿磁力線電流

領域1型沿磁力線電流系の増強と共に昼間側赤道ジェット電流の増大が見られた

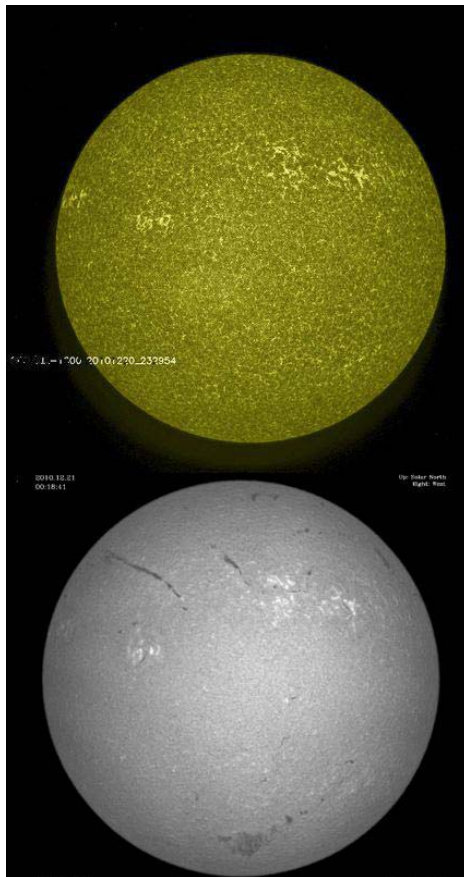
Shinbori et al., 2013



2.4 各機関との共同研究紹介(名大大型共同研究)

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

浅井歩・磯部洋明(京大宇宙ユニット)・塩田大幸(理研)・羽田裕子(京大天文台)・草野完也・徳丸宗利・藤木謙一(名大STE 研)・横山正樹(和歌山大)・上野悟(京大天文台)・新堀淳樹・林寛生(京大生存研)



[内容]

太陽極端紫外線画像データなどに基づいて地球の超高層大気に影響を及ぼしやすい太陽紫外線放射量の要因の把握と、過去の太陽彩層画像データから長期にわたる紫外線放射量の推定を行い、地球の超高層大気への影響を考察する

[使用データ]

彩層全面観測@飛騨天文台(1991年~現在)

[IUGONET 成果物へのフィードバック]

○太陽画像データの整備の促進

(生存研ミッション研究、北井代表)

○解析ソフト(UDAS)の拡充

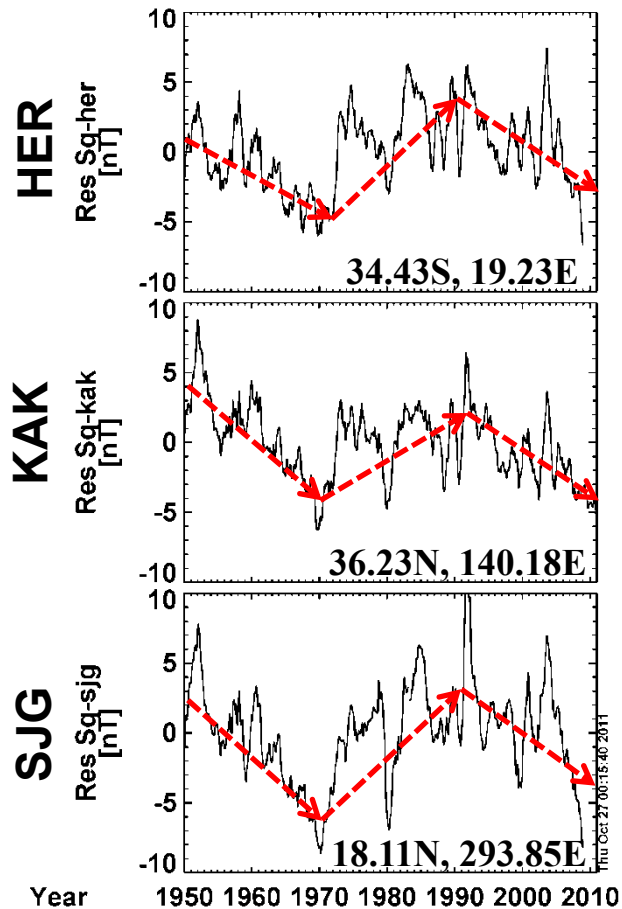
2次元データプロットの開発、fitsライブラリーの実装

○太陽・超高層研究者との連携、交流促進

2.4 各機関との共同研究紹介(名大大型共同研究)

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

新堀淳樹・谷田貝亜紀代(京大生存研)・小山幸伸・能勢正仁(京大地磁気センター)・堀智昭・大塚雄一(名大 STE 研)・林寛生(京大生存研)



[内容]

IUGONET 参加機関がもつ長期的な全球的な地磁気データと地磁気指数(Kp)、および熱圏下部・中間圏の中性大気風データを用いて、全球的な Sq 場の振幅の長期変動とその物理機構を明らかにする

[使用データ]

地磁気@京大・名大・NIPR地磁気(1886年~現在)
熱圏風@京大

[IUGONET 成果物へのフィードバック]

- 地磁気・熱圏風データの整備の促進
- 解析ソフト(UDAS/TDAS)のバグ修正

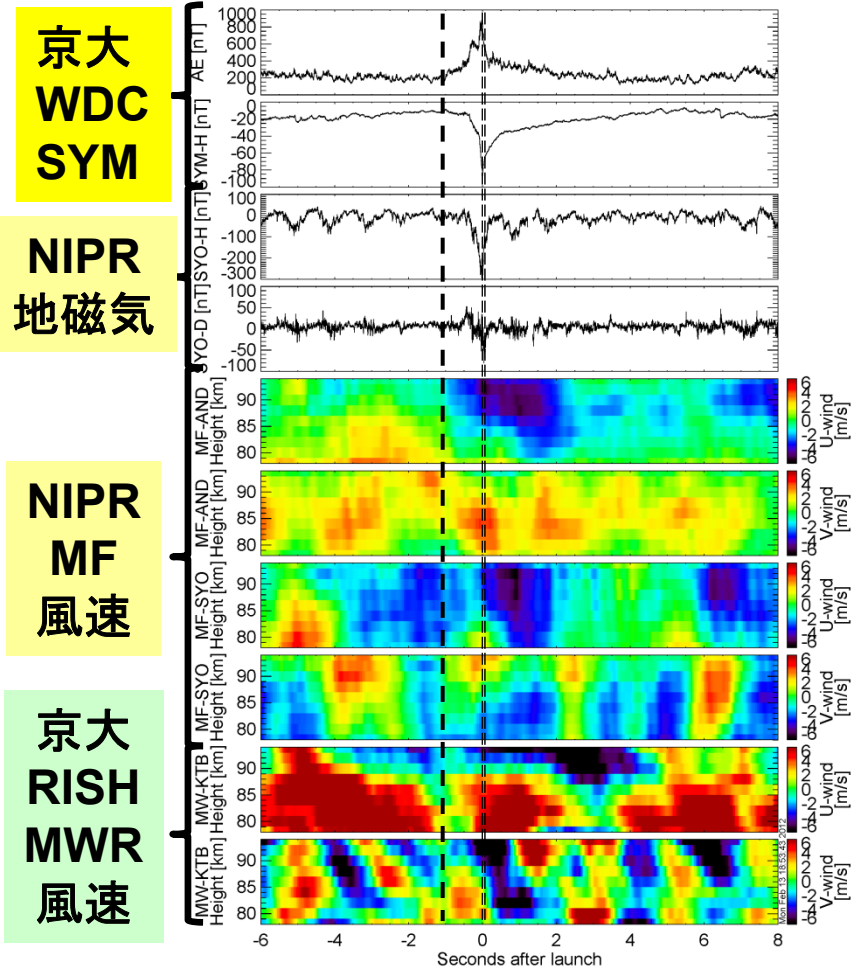
100年以上のデータを取り扱えるように修正

これまでのTDASでは、時刻表示等に問題があった

2.4 各機関との共同研究紹介(極地研共同研究)

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

新堀淳樹(京大生存研)・堤雅基・富川喜弘・田中良昌(極地研)・小山幸伸(京大地磁気センター)・堀智昭(名大STE研)



[内容]

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

[左図]

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

[IUGONET 成果物へのフィードバック]

- 地磁気・熱圏風データの整備の促進
- 解析ソフト(UDAS/TDAS)の拡充

日変化成分を取り除くアノマリー解析ツールの作成

2次元等価電流マップの作成ツール(予定)

2.4 各機関との共同研究紹介(九大共同研究)

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

阿部修司・池田大輔・湯元清文(九大)・新堀淳樹・谷田貝亜紀代(京大生存研)

[内容]

80km-130kmの領域を流れる赤道ジェット電流に関連するCowling 伝導度の変化と中間圏・熱圏下部の風速変動との関係を明らかにする。

特に、東西成分の風速が作る鉛直方向のダイナモ電場との関係も考察する。

[使用データ]

地磁気@九大(1996年~現在)

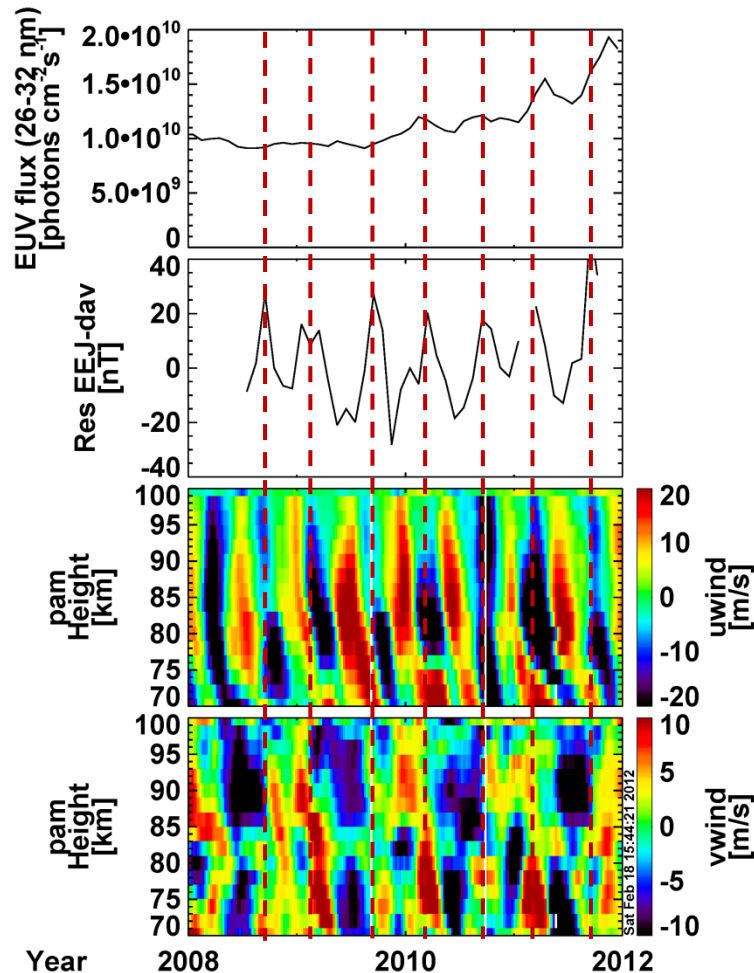
熱圏風@京大(1992年~現在)

[IUGONET 成果物へのフィードバック]

○地磁気・熱圏風データの整備の促進

○解析ソフト(UDAS/TDAS)の拡充

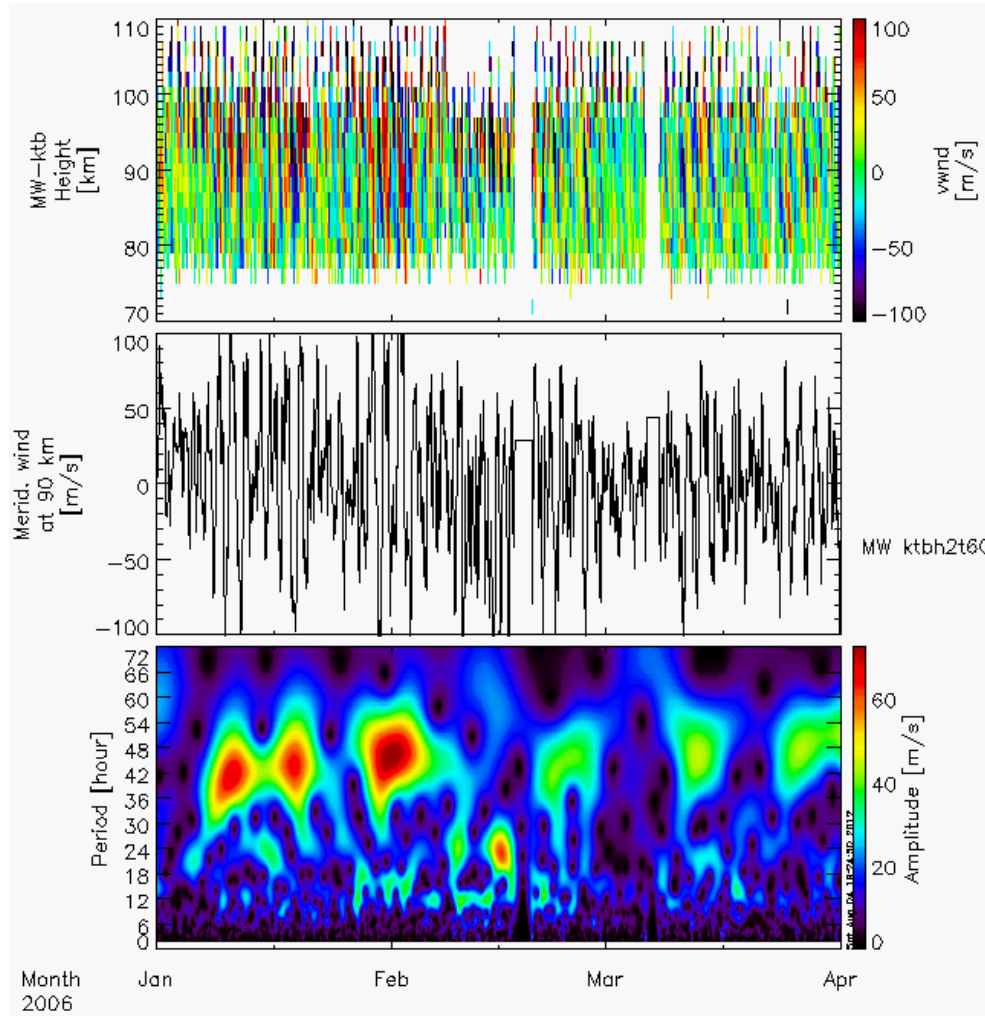
各種データのロード関数の作成



2.5 学生教育への参加-1

多様な太陽地球環境データの相関解析及びその統計検定パッケージの開発

濱口良太(京大情報学)・津田敏隆・新堀淳樹(京大生存研)



[内容]

異なる観測データの相関解析結果に対して統計的に有意であるかの客観的な判定を行う統計検定パッケージの開発

統計検証パッケージ

1. データ補間(線形補間、欠損値処理)
2. 差の検定
3. スペクトル解析
(ヒルベルト、S変換も含む)
4. 無相関検定
5. トレンド検定

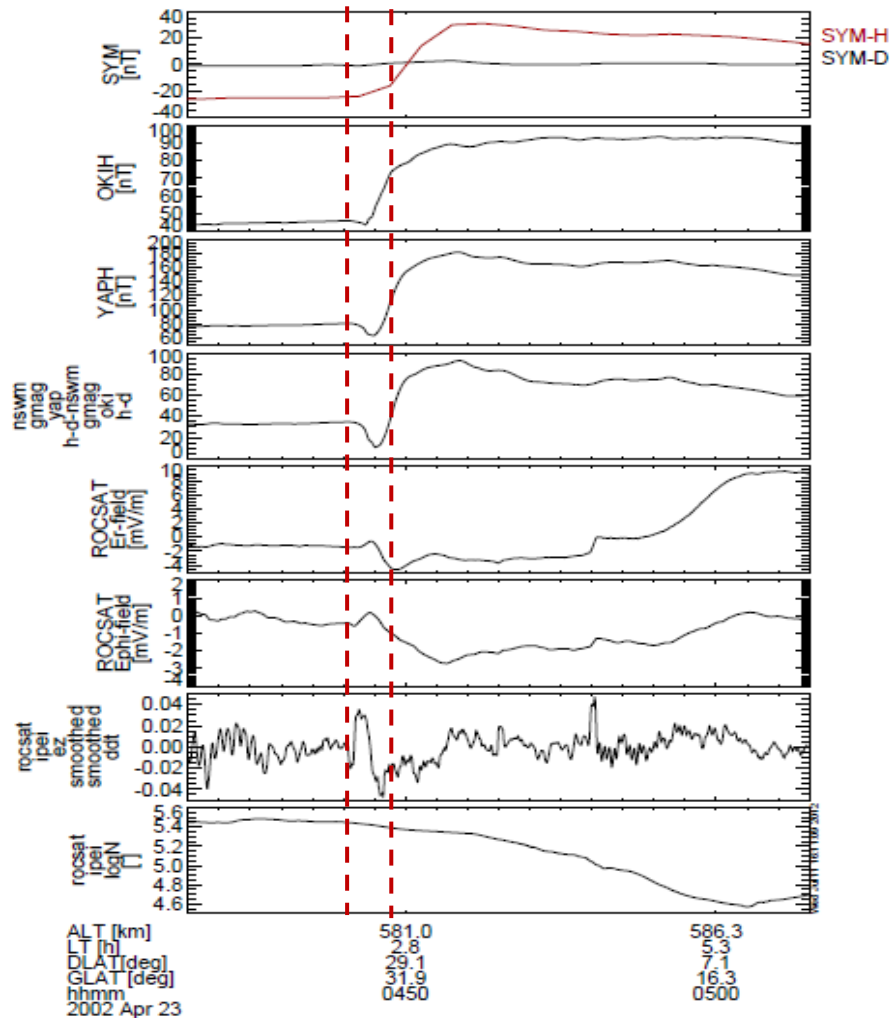
[IUGONET 成果物へのフィードバック]

- 解析ソフト(UDAS/TDAS)の拡充
UDAS/TDASに無いデータ比較解析ツールの追加

2.5 学生教育への参加-2

低軌道衛星観測による地磁気嵐急始時の中低緯度における電場応答の研究

高橋直子・笠羽康正(東北大)・西村幸敏(UCLA)・菊池崇・新堀淳樹(京大生存研)



[内容]

ROCSAT-1衛星のプラズマドリフトと多点地上磁場データとを比較し、磁気急始(SC)に伴う電場の瞬時伝搬の全球性・普遍性を検証する。

[使用データ]

地磁気指数@京大

地磁気@京大・NIPR・NICT

ROCSAT衛星@NASA/CDAWeb

[IUGONET 成果物へのフィードバック]

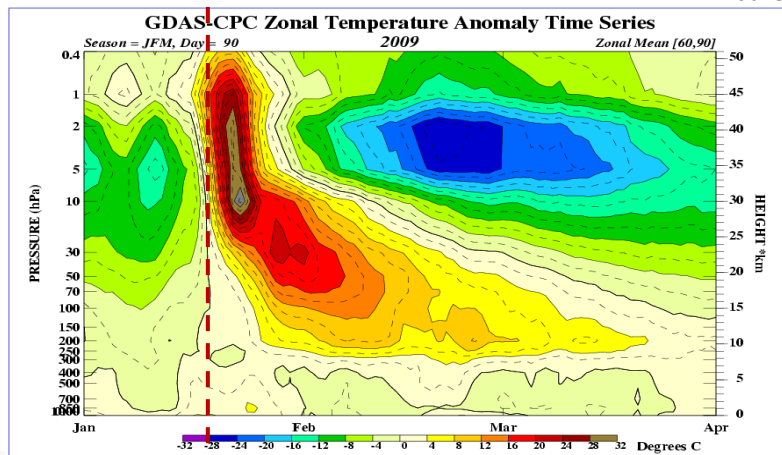
○MDB/UDASのユーザー獲得

○地上-衛星データ比較研究への応用

2.6 解析講習会への題材選定

https://encrypted-tbn1.google.com/images?q=tbn:ANd9GcQvC-un0diGJ7ihhrp_OGGD7Sp_PRpSeB86E88GuwRI-EHzkAlbCZg

成層圏・対流圏の温度変化 (90N-60N)

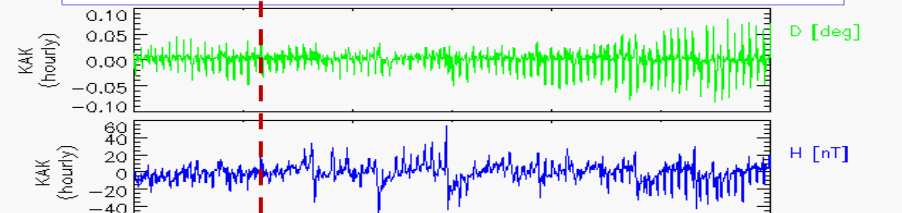


2009年1月の成層圏突然昇温時における超高層大気データの解析実習

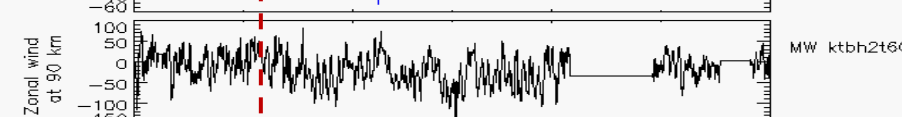
[内容]
 気象と超高層大気データの包括的な統合解析を行い、IUGONETプロダクトの利便性を参加者に実体験してもらう。

[日時]
 2012年8月10日10:00-
 極地研

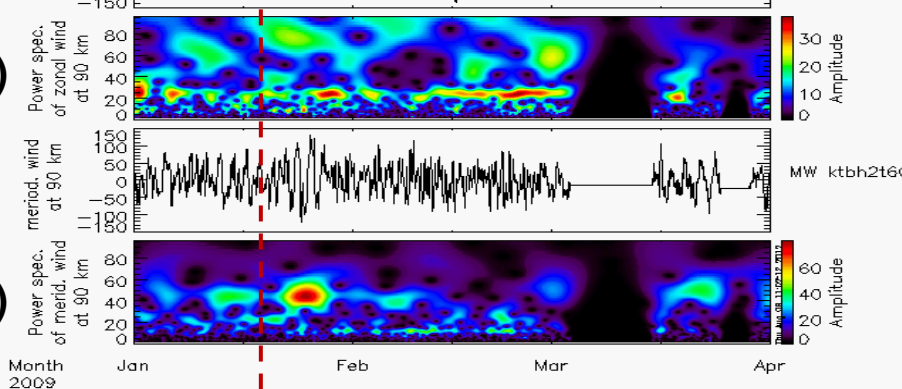
地磁気 (柿岡)



東西風 90 km (コタバソ)



南北風 90 km (コタバソ)



[IUGONET 成果物へのフィードバック]

- 解析ソフト(UDAS/TDAS)のユーザーの獲得・拡充
- 題材で使用したテーマの論文化

意義・重要性

IUGONETプロジェクトで開発された太陽地球観測データ解析のためのインフラがSTP分野の研究にどういう形で利用・貢献できるのかという事例を学术论文、学会発表やデータ解析講習会を通じて多くの研究者や大学院生への周知



このインフラのユーザーの獲得や観測データの利用と解析の促進、及び分野横断研究の推進に必要不可欠

結果-1

- 開発製品の性能評価や新たな開発項目(バグ修正、機能追加、インターフェースの改善など)の発見
- IUGONET 参加機関における4つの共同研究と2つの大学院生の教育研究への利用

結果-2

1. 太陽観測データに対応するようにメタデータ検索システムの改善
2. 解析ソフトウェア(UDAS)に含まれていない解析機能の追加への試み
3. 長期データ解析に対応した TDAS の時刻ルーチンの改訂

サイエンス研究への貢献

○気象分野と超高層大気(STP)分野の観測データを取り扱う電離大気と中性大気の相互作用に関する研究分野

⇒グローバルな地球大気¹の上下間結合の研究の進展

1. 太陽活動の影響(太陽紫外線が超高層大気に与える効果)
2. 下層大気²の長期変化の影響(地球温暖化の効果)

※特に、中間圏・熱圏下部域(70-110 km)は、1と2の両方の影響を受けていると考えられている。

○長期解析だけでなく、極端気象・宇宙天気現象解析にも貢献可能

今後の展開

○IUGONET のプロダクトの開発状況に応じて、まだ整備されていない地上観測データのデータベース化が各参加機関内で進むとともにIUGONET外部機関からのデータ提供が行われることが予想される

⇒これまで以上の多様な地上観測データの相関解析が可能。

○メタデータベース検索やUDAS の多くのユーザーを獲得

1. 多くの学会や研究集会(データ解析講習会)

2. 大学院生や学部生が集まる「夏の学校」

などを通じて共同研究や学生教育の内容を紹介していく予定。

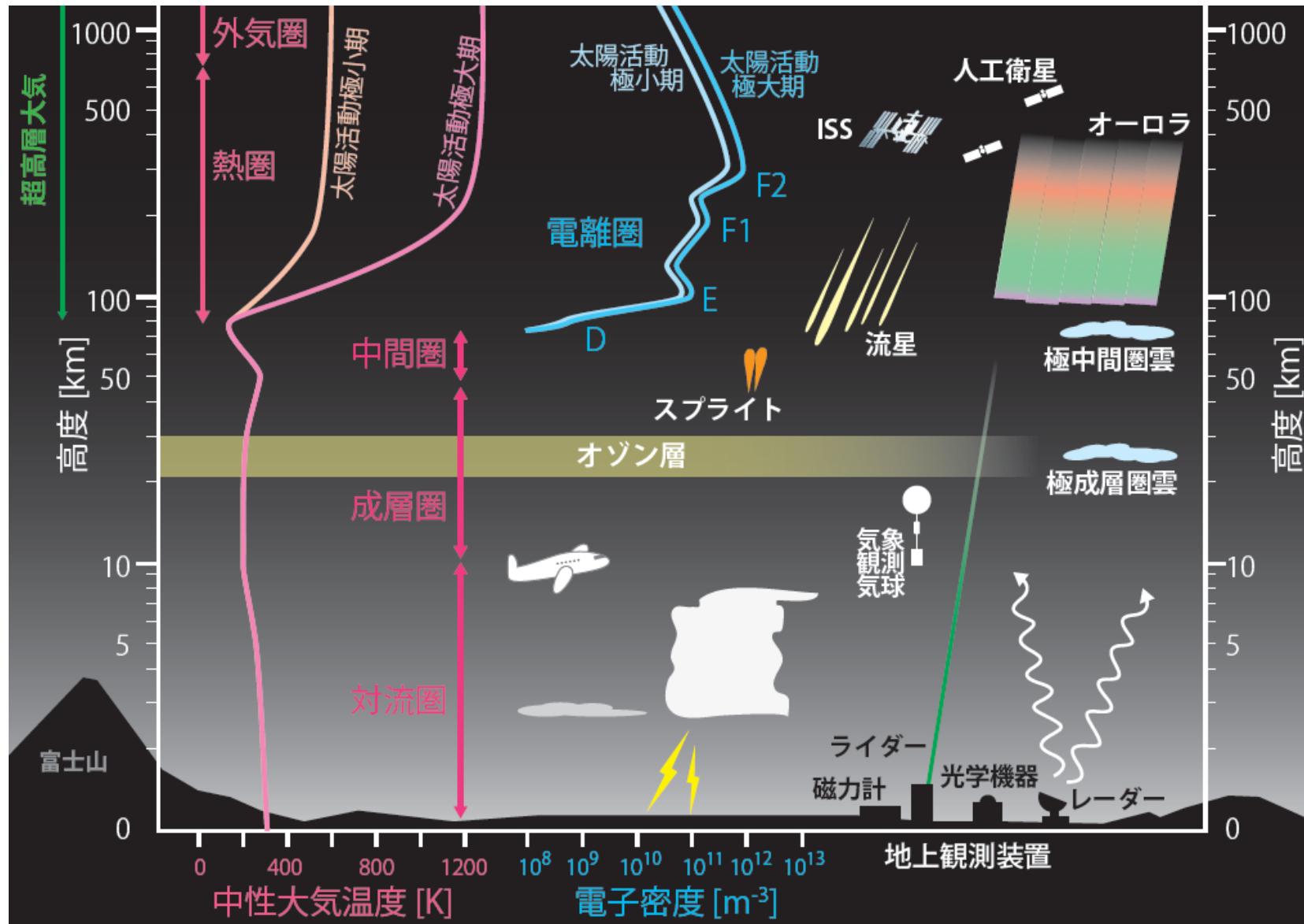
⇒適切な題材を選択する必要あり

2.1 IUGONETの年次計画

項目		H21	H22	H23	H24	H25	H26	備考
バーチャル 情報拠点	構築と運営	システム導入						多点情報交換システムを各機関に導入し、緊密な連携体制を実現する。
	拡大							プロジェクトの成果を総括し、関連他分野への拡大や統合を検討する。
メタデータDB システム	システム開発	プロトタイプ調査・開発	公開バージョン開発	一般に公開				DSpaceをベースに、メタデータの登録・検索などを行うシステムを開発する。
	システム運用				計算機環境の増強・更新			メタデータDBの定常運用を行う。定期的なカスタマイズを行う。
メタデータ	共通フォーマット策定	Ver.1の策定	ドキュメント整備	必要に応じてフォーマットのアップデートを実施				超高層大気地上観測データに適した共通のメタデータフォーマットを策定する。
	メタデータ作成		メタデータ作成スタート	一般に公開	後半はDB化されていないデータや比較的古いデータなどを中心に扱う			各機関の観測データからメタデータを抽出し、DB化する。
データ解析 ソフトウェア	調査・仕様策定	開発環境整備 仕様策定	ドキュメント整備					各機関の観測データに即した可視化・解析ソフトの仕様を策定する。
	プログラム開発		プログラム開発スタート	一般に公開	後半はDB化されていないデータや比較的古いデータなどを中心に扱う			IDL+TDASを用いたプログラム開発を進める。
その他	観測DB再整備		メタデータ作成・解析ソフト開発に対応した再整備		後半はアナログデータのデジタル化など、DB化されていないデータの整備も行う			各機関で観測DBの再整備を進める。未公開データについてもDB化に取り組む。
	サイエンス研究への応用			開発プロダクトを利用して、各機関の観測データを用いた分野横断型の解析研究を行う				開発プロダクトの自己評価および実践的な利用方法の紹介を行う。
	情報発信・アウトリーチ活動	ホームページ立ち上げ		開発プロダクトに関する定期的な講習会やSNSを利用したチュートリアル動画の配信などを実施する				IUGONETの開発プロダクトが研究インフラとして根付くための普及・宣伝活動を行う。

1. はじめに

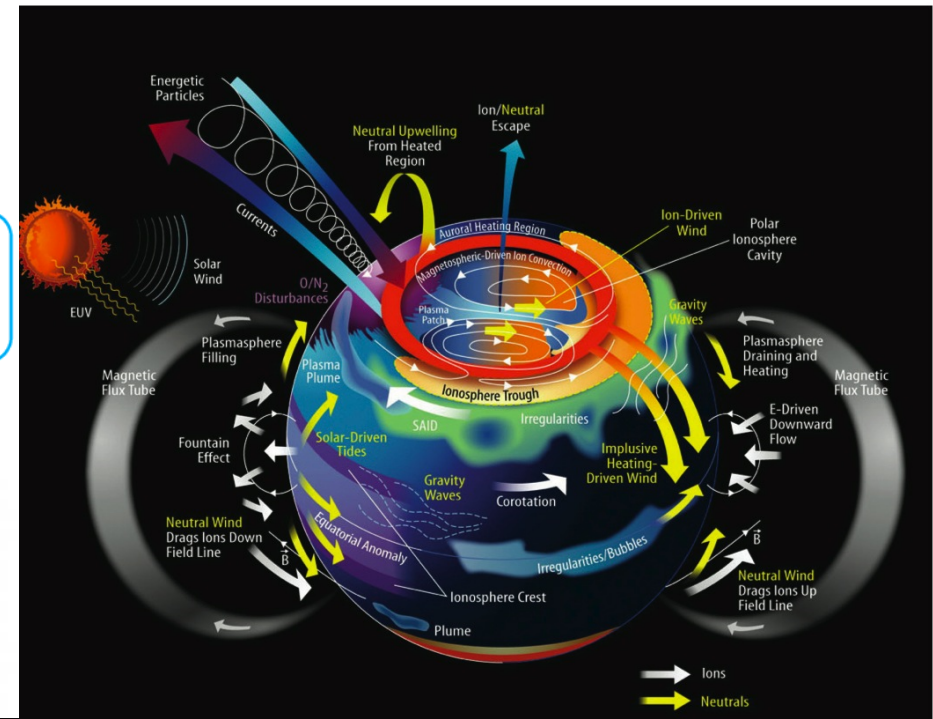
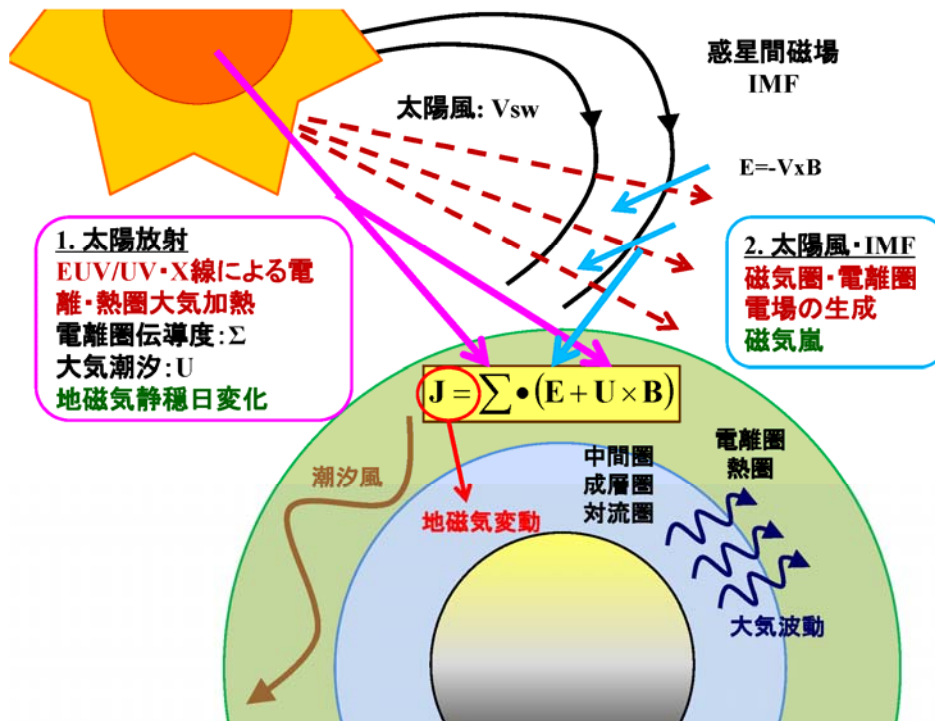
1.1 地球大気の構造と諸現象



1.2 太陽地球系結合

太陽-太陽風-磁気圏-電離圏-大気圏結合

[http://de.wikipedia.org/wiki/Da
tei:ionosphere-
Thermosphere_Processes.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Da%20tei%3Aionosphere-Thermosphere_Processes.jpg)



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