

太陽活動と宇宙天気 日本と世界の宇宙天気プログラム について

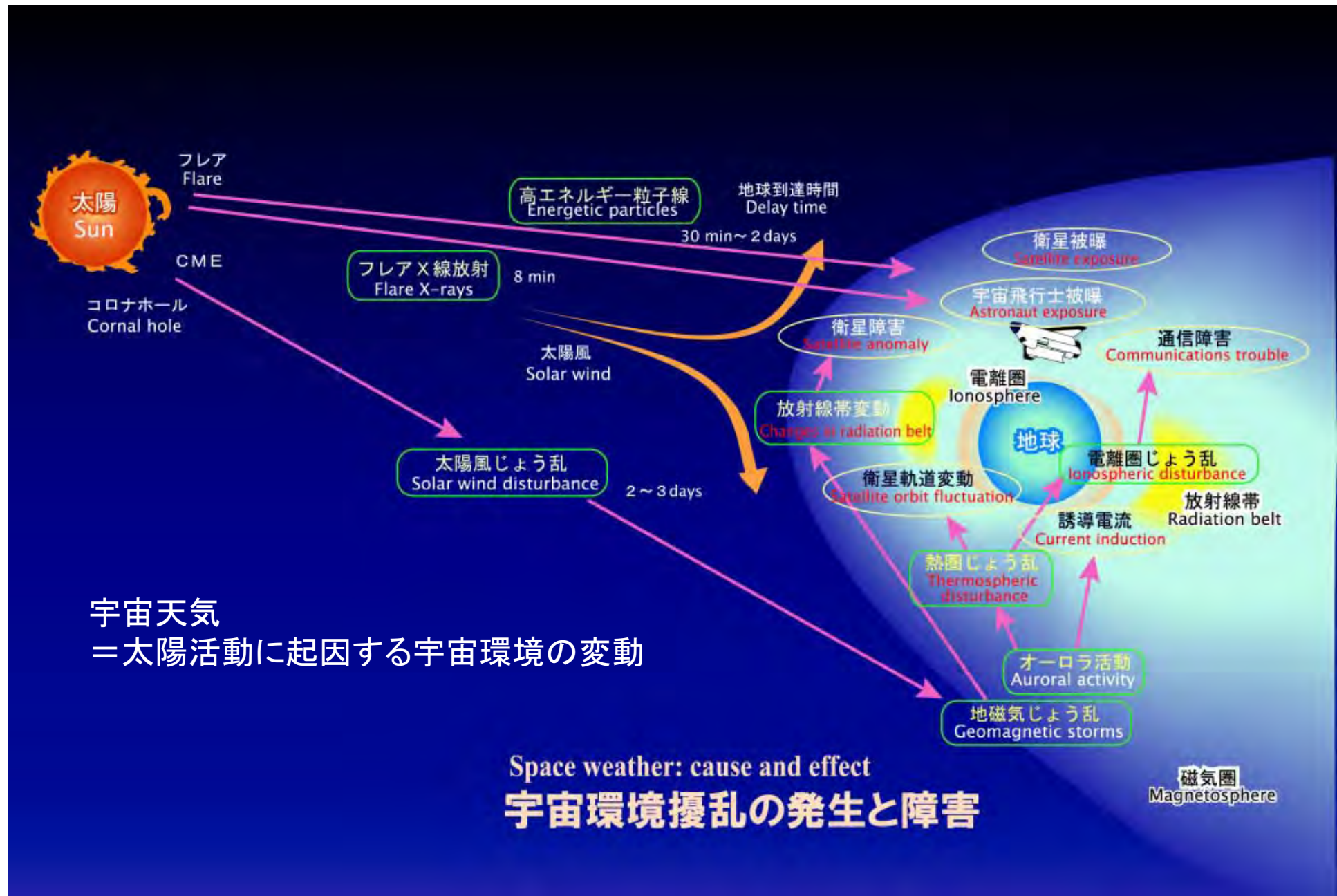
磯部洋明

第4回宇宙政策委員会調査分析部会

2013年6月27日

太陽活動と宇宙天気

NICT



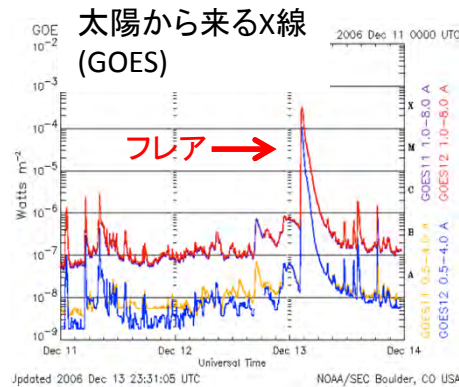
様々な時間スケールで変動する太陽

太陽フレア

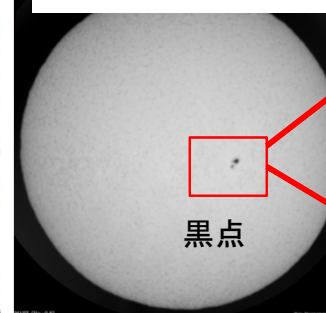
時間スケール: 10分～数時間

黒点の周囲に蓄積された磁気エネルギーが突発的に解放され、電波からX線まで多波長の電磁波が急激に増光する。プラズマ塊の噴出(コロナ質量放出)や高エネルギー粒子も発生。

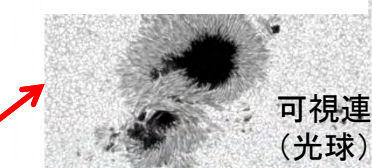
発生頻度は地震と同じベキ乗分布を示し、特に大きいもの(Xクラス)は極大期で年間10回程度。小さいものはより頻繁。



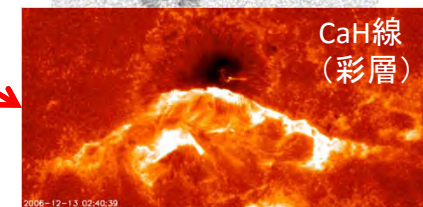
可視連続光 (京大飛騨天文台)



ひので可視光望遠鏡



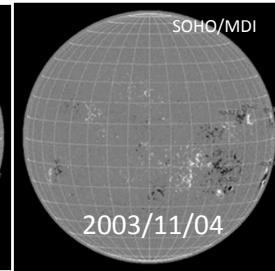
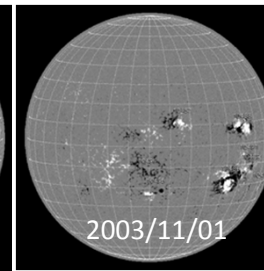
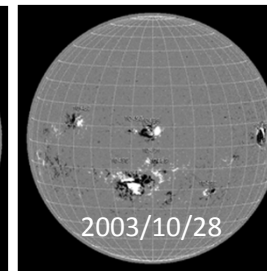
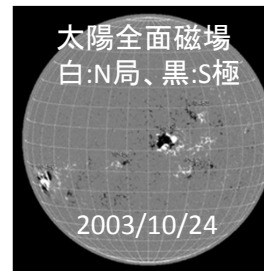
可視連続光 (光球)



活動領域(=黒点群)

時間スケール: ~1ヶ月

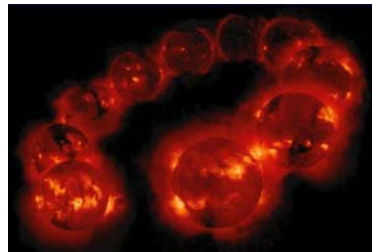
黒点の源となる磁場は太陽内部で作られ、表面に現れる。一つの黒点(群)の寿命は数週間～数ヶ月。地球から見ると太陽の自転(~27日)による変動がある。フレアを起こす活発な領域と、そうでない領域がある。



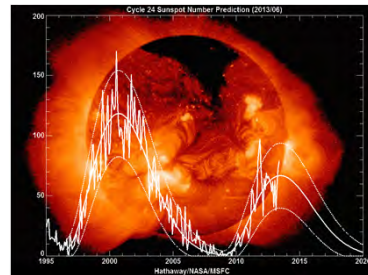
太陽活動周期

時間スケール: ~11年

黒点数は約11年の周期で増減する。メカニズムは不明。2013年は極大期。極小期には黒点はほとんど出ない。



太陽X線の10年間の変化 (ようこう)



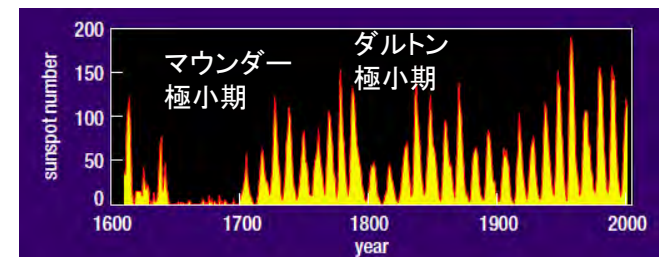
1995-2020年の黒点数の変動と予測

長期変動

時間スケール: >100年

黒点数が極端に少ない時期が数10年続く時期がある(グランド極小期)。17世紀のマウンダー極小期が小氷期だったように、太陽活動と地球気候の間に相関があることが知られている。

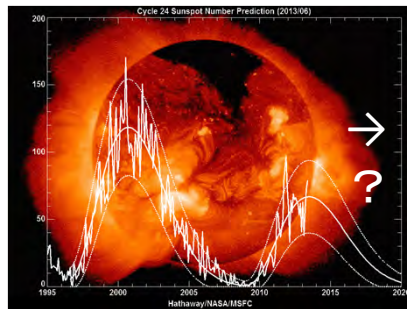
1609年以降の黒点数の変動



太陽活動の異常？

グランド極小期が来る？

- 前極小期(2008-2010年頃)は特に黒点数が少なく、太陽風も極端に弱かった
- 活動周期が延びる(Miyahara et al. 2010)、大局磁場の南北非対称性が現れる(Shiota et al 2012)など、グランド極小期の前触れと考えられている徴候あり
- 気候変動との関係？



黒点数の変動とその予測 (NASA)

図2a: 北極域: 2008年(極小期)

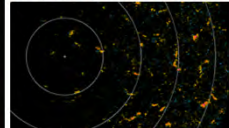


図2c: 南極域: 2009年(極小期)

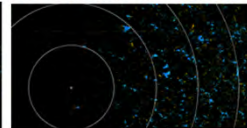


図2b: 北極域: 2011年(反転しつつ)

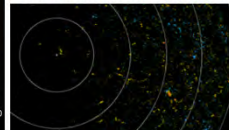
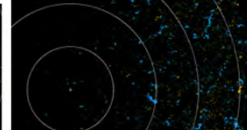


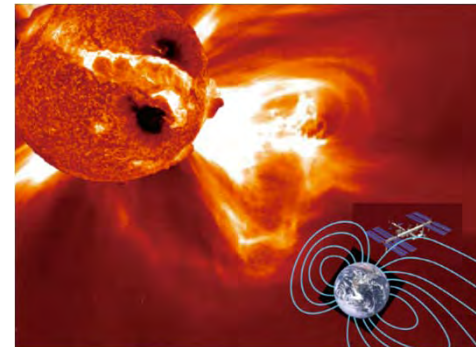
図2d: 南極域: 2012年(北極は反転)



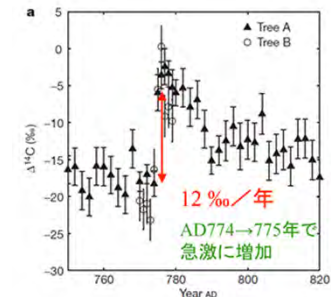
「ひので」が観測した太陽極域磁場反転の南北非対称性(国立天文台のHPより)

超巨大フレアが起きる？

- 知られている最大級の太陽フレアの1000倍ものエネルギーのスーパーフレアが太陽型の恒星で普遍的に起きていることを発見(Maehara et al. 2012)。太陽で起きるとすれば頻度は数千年に1回程度
- 屋久杉年輪中の ^{14}C から、8世紀に大量の宇宙線が飛来した痕跡(Miyake et al. 2012)スーパーフレア？
- 観測史上最大のフレア(1859年)でも、もし今起これば、人工衛星は壊滅的被害。



スーパーフレア想像図(京都大学)



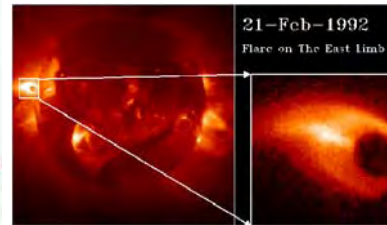
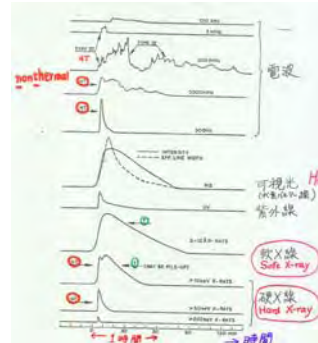
(図 a) AD750-820年までの ^{14}C 濃度。
TreeA, TreeBはそれぞれ別個体の屋久杉のデータ。
名古屋大学のHPより

- グランド極小期が到来するかどうか、地球気候にどう影響を与えるか、スーパーフレアが太陽でも起きるかどうかは、どれもまだ科学的な不確定性が大きく、継続的な研究が必要
- 日本の研究グループはこの分野の研究で世界的な成果を挙げている
- 黒点数が小さい時期にも巨大フレアは起こる。極小期が来る＝安心してよいというわけではない

太陽からやってくるものと地球への影響

電磁波

- フレア発生時にX線、EUV、電波などが急激に増光
- 黒点数の11年周期に伴い、総放射量もわずかに変動する
- 光速で届く＝見た時にはもう遅い
- **フレアの発生が予測できないと予報もできない**



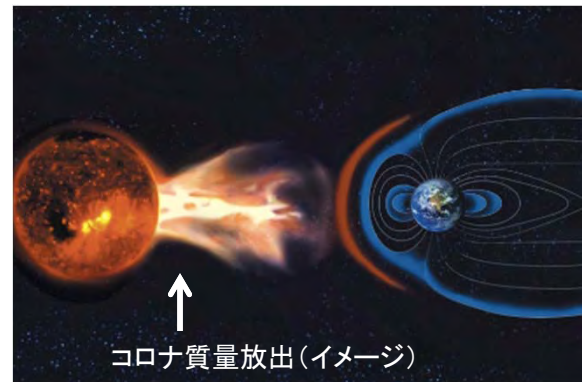
フレアの磁気リコネクション説を確立した「ようこう」のX線観測 (Tsuneta et al. 1992)

地球への影響

- 電離圏異常(通信、測位障害)
- 高層大気の加熱膨張による衛星の大気抵抗増加
- 総放射量又は紫外線の長期変動は地球気候へ影響している可能性
- 超巨大フレアの場合はオゾン層の長期的破壊もありうる(高エネルギー粒子によるNOx生成も効く)

太陽風・コロナ質量放出(CME)

- 太陽風＝常時流れ出しているプラズマ
- フレア発生時には、惑星間空間にプラズマ塊が放出(コロナ質量放出;CME)
- CMEは弱いフレアでも起き、磁気嵐を起こす
- フレア発生時以外にも太陽風変動はある
- **太陽を出てから地球に届くまで1-2日かかる。太陽面・惑星間空間での観測があれば、地球への到来をある程度予報できる**

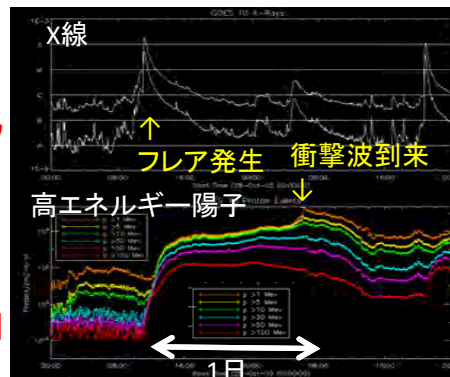


地球への影響

- オーロラサブストーム
- 放射線帯粒子増加
- 地磁気嵐、地磁気誘導電流
- 電離圏異常
- これらの結果としての、衛星及び地上インフラの障害、通信、測位障害

高エネルギー粒子(SEP)

- 数10keV～数GeVの陽子、電子等
- **フレア起源のものはほぼ光速で届く。フレアの発生が予測できないと予報もできない**
- 惑星間空間衝撃波起源のものは徐々に増加し衝撃波(CME)到来時にピーク＝太陽面・惑星間空間の観測から予測できる部分もある

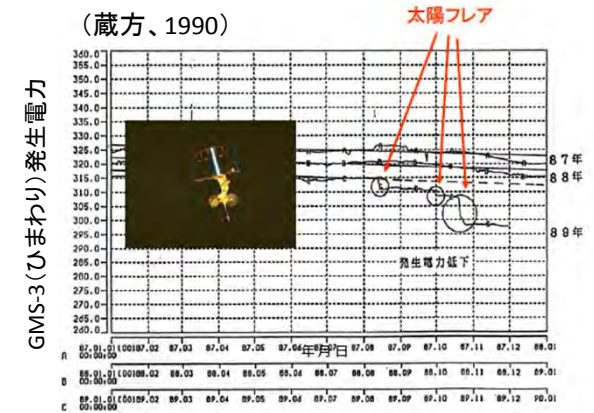


地球への影響

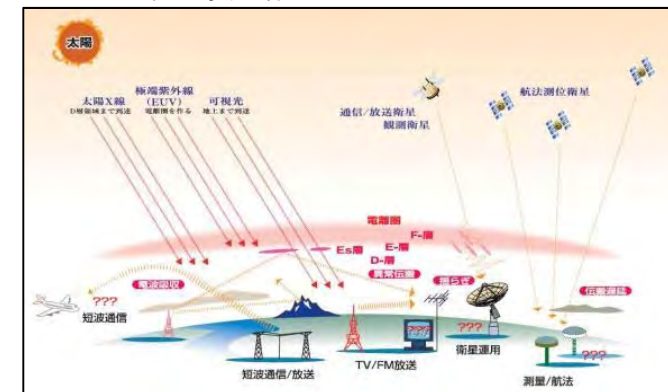
- 宇宙飛行士の被曝。船外活動時は特に危険
- 航空機乗務員の被曝量増加
- 衛星障害
- 電離圏異常(通信、測位)

宇宙天気現象による被害

- 衛星障害
 - － シングライベント: 高エネルギー粒子が回路上に電荷を作り、ソフトウェアエラーが発生)
 - － 深部帯電: 高エネルギー電子等の影響で衛星が帯電し、放電。衛星全損も(1973年DSCII, 1982年GOES4, 1991年MARCUS-A1997年INSAT-2Dなど)
 - － デバイス、太陽電池パネルの劣化、故障(1990年ひまわり、2002年のぞみ、2003年みどり、はやぶさなど)
 - － 急激な大気ドラッグによる姿勢、軌道の変化(2000年あすか)
- 宇宙飛行士、航空機被曝
 - － 大フレア時は船外活動で実効20-30mSv、船内5mSv程度*
 - － ISS内で遮蔽の厚い場所に退避する事例(2003年、2005年)*
 - － 近年で最大の1989年のフレア程度で、静止軌道以遠の船外活動では、数1000mSv(致死量)になる恐れ(五家2006)
 - － 航空機内の放射線増大
- 地上インフラ(主に高緯度地域)
 - － 送電線、発電所への誘導電流(1989年ケベック州で大規模停電、原発の被害も**)
 - － パイプライン腐食
- 通信、測位の障害(詳細はNICT報告)
 - － 電離圏擾乱による電波の異常吸収、散乱、遅延
 - － 衛星そのものの障害による場合も
 - － 補正はできるが、たまに「全く使えない」時も生じる
- いいこと: オーロラが見られる(予報できれば観光産業にプラス)
- 2009年米NASのレポートでは、巨大フレアの経済損失は2兆ドル***



1989年のフレアで被害を受けた米NJ州の原発の変圧器



電離圏擾乱と通信、測位障害(NICT)

*矢部 第7回放射線安全規制検討会航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する検討ワーキンググループ

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/006/shiryo/05061801/003.pdf

**http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/13feb_copuops/

***<http://www.courierpostonline.com/article/20130606/NEWS05/306060027/Space-weather-needs-more-attention-experts-say?gcheck=1>

宇宙天気予報に必要な観測

太陽面観測

SOHO(コロナ、太陽風も)
SDO(コロナ、磁場)
ひので(日、太陽全面X線)
電波(野辺山、平磯等)
地上光学観測(京大飛騨等)

太陽風観測

ACE(L1でその場観測)
電波シンチレーションによる観測(名大等)

地球

GOES(太陽X線、粒子)
地磁気計測(地上)
イオノゾンデ、GPS受信機による電離
圏電子数観測

- その他、研究用の観測衛星や地上観測装置多数
- データは原則どこも公開。世界中の宇宙天気予報機関がほぼ同じデータを使い、宇宙天気情報を出している
- 衛星による定常的なモニター観測(SOHO, SDO, ACE, GOES)は主に米(+欧)
- 日本の衛星は科学的に大きな成果(ようこう、あけぼの、GOETAIL、ひので、れいめいetc)
- 地上観測では大学や国立天文台等の研究機関が長期モニター観測も。