



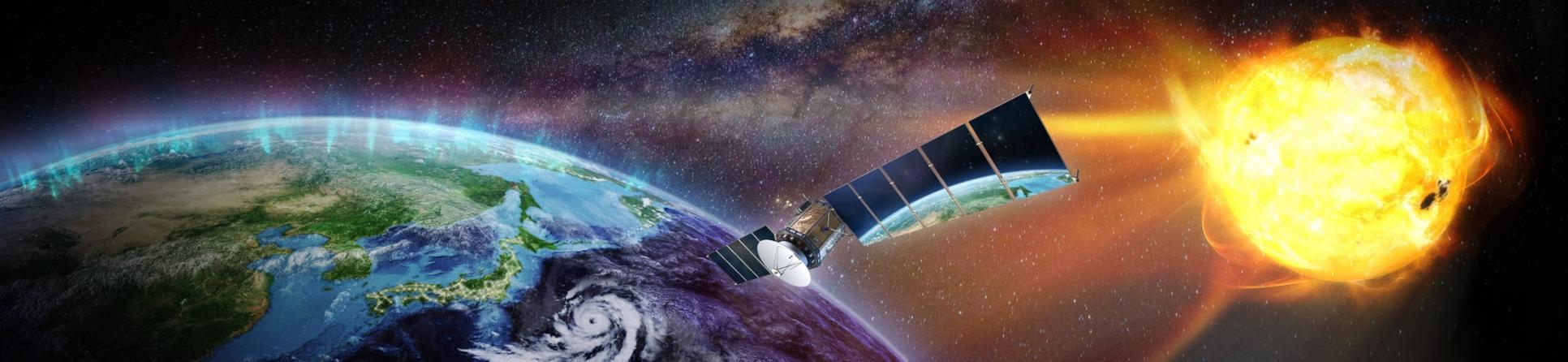
宙を拓くタスクフォース  
総務省、2019年3月1日



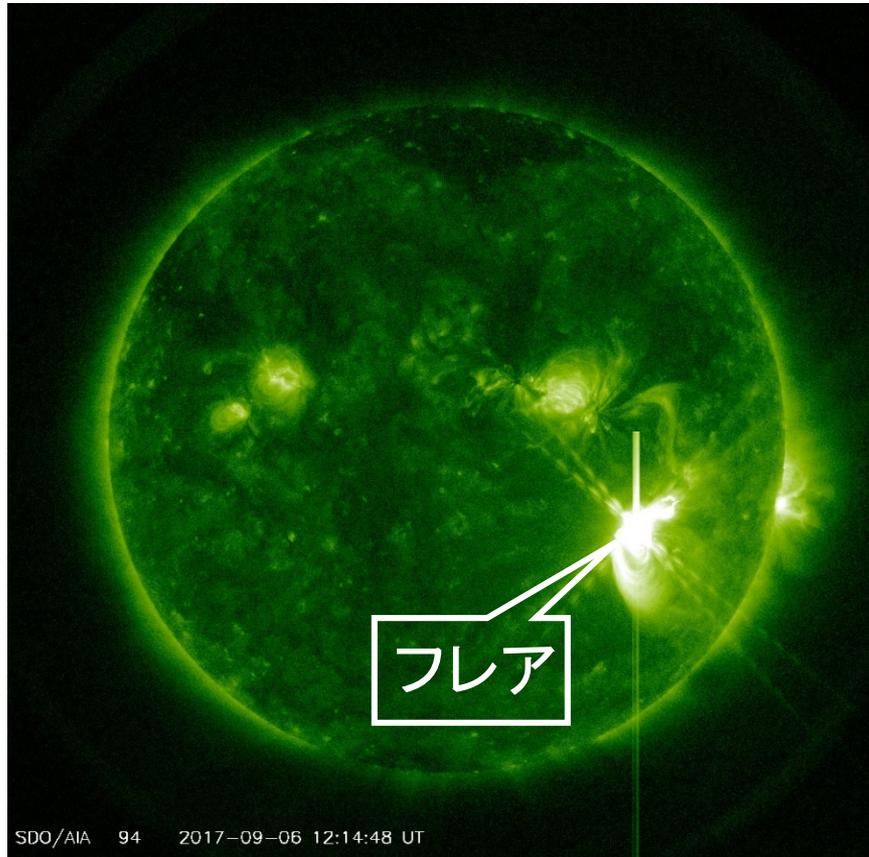
# 宇宙時代の社会基盤としての 宇宙環境予測に向けた 取り組みについて

草野完也

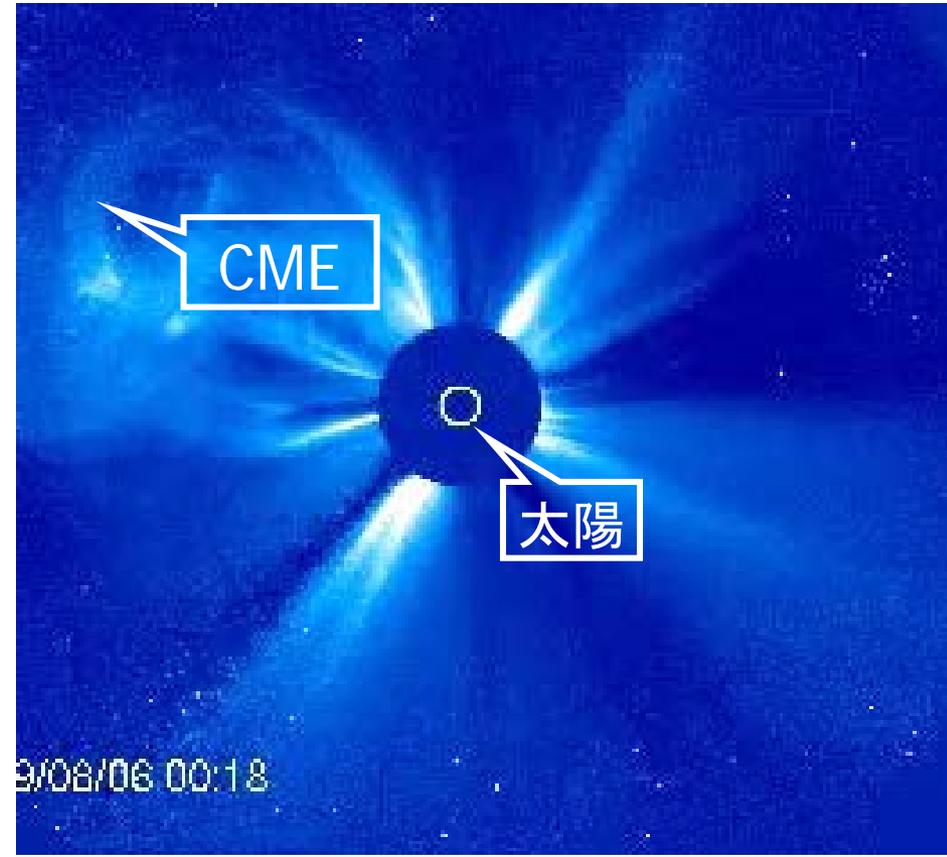
名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE)



# 太陽面爆発：フレアとCME

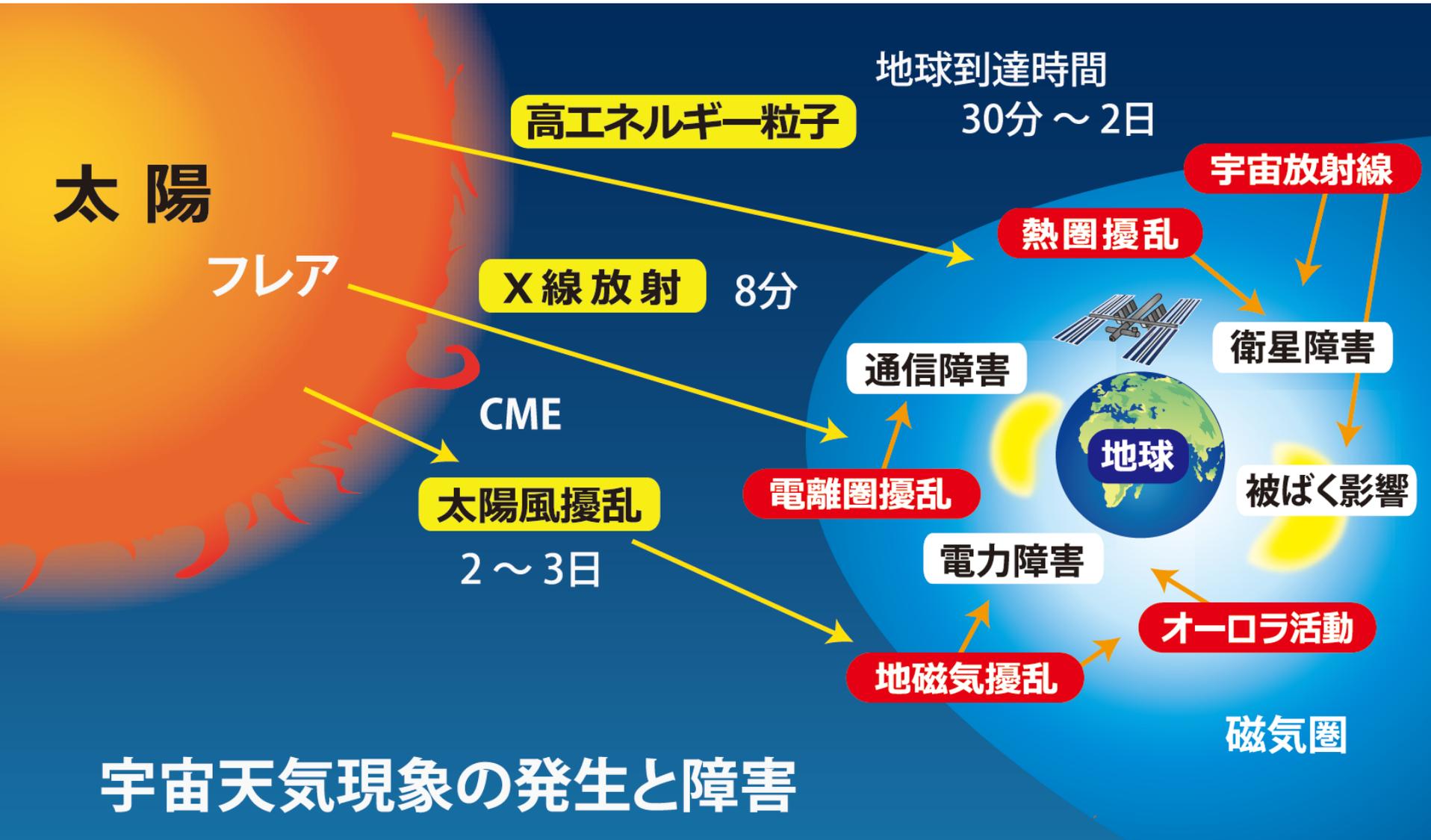


**太陽フレア**: 太陽表面とコロナからの突発的な発光(電磁波放射)を伴う爆発現象



**CME(コロナ質量放出)**: 大量のコロナプラズマが爆発的に惑星間空間へ放出される現象

# 宇宙環境の短期的擾乱現象



# 宇宙環境変動の社会影響

- 宇宙放射線
  - 衛星帯電・被曝(大フレア時に約100mSv被曝の可能性)
    - 2014年1月ISSへの補給機打上延期
  - 航空機被曝(大フレア時に約4mSv被曝の可能性)
    - 2012年1月アメリカ連邦航空局が極航路の一時的変更を勧告
- 電離圏擾乱による測位・通信障害
  - デリンジヤー現象によって短波通信が不通、航空無線等でも障害
  - GPS測位精度低下
- 大気抵抗変動による衛星影響
  - 衛星軌道・姿勢影響(2000年7月:X線天文衛星「あすか」障害)
- 地磁気誘導電流による電力網障害と停電
  - 1989年3月の巨大磁気嵐(Dst~540 nT)によりケベック州で大停電。
- 気候影響
  - 太陽活動の大極小期(グランド・ミニマ)における小氷期の発生可能性

# 人工衛星への影響例(大気ドラッグ)

- 1989年ケベック・イベント
  - 3月10日X4.5 フレア発生
  - 3月13-14日最大級磁気嵐発生
    - ケベック州で大規模停電
    - 多くの衛星が追尾不能(下図)

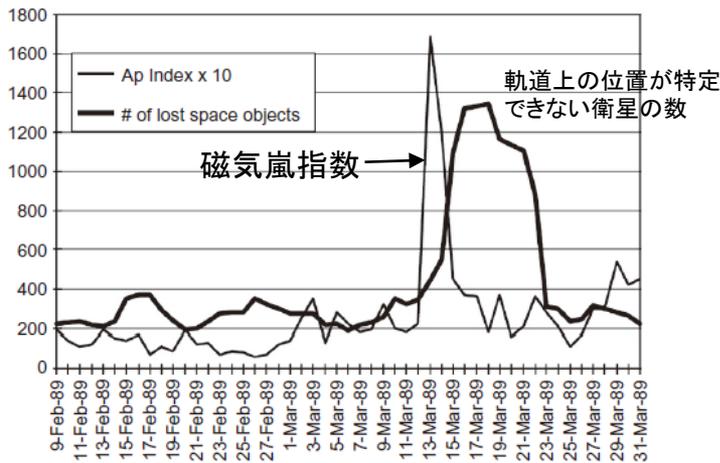


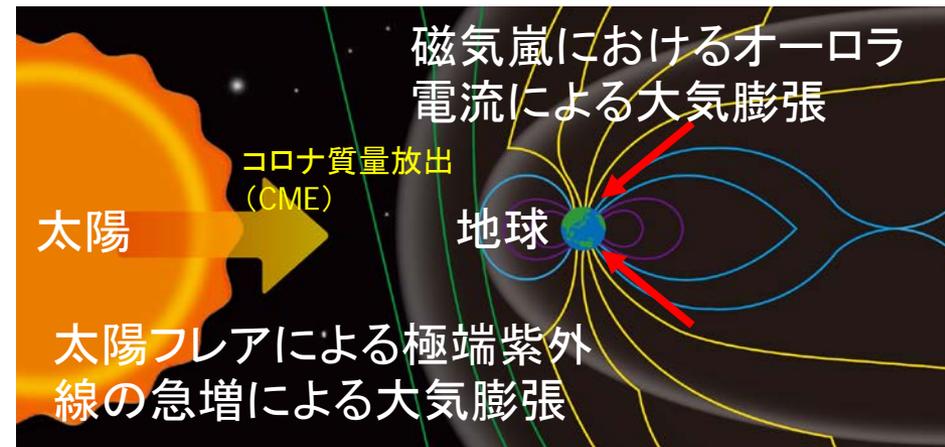
FIG. 7  
During the great geomagnetic storm of March 1989, atmospheric drag caused a huge increase in the number of space objects whose location had become unknown, as shown by the peak in the number of lost space objects. This follows the spike in the geomagnetic index Ap caused by the storm.

Courtesy U.S. Air Force, Air University: Space Primer, Chapter 6 on Space Environment. [http://www.au.af.mil/au/awc/space/primer/space\\_environment.pdf](http://www.au.af.mil/au/awc/space/primer/space_environment.pdf).

Extreme Events in Geo-space Origins, Predictability, and Consequences  
Edited by Natalia Buzulukova  
2018 Elsevier Inc.

- 2000年バスターユ・イベント
  - 7月14日X5.7 フレア発生
  - X線観測天文衛星「あすか」

太陽フレアによる大気膨張による姿勢擾乱と、その後の緊急運用中に起こった蓄電池の電力枯渇のため2000年7月15日以降観測中止。太陽活動の活発化に伴い徐々に軌道高度を下げ、2001年3月2日に大気圏に再突入。



# 激甚宇宙天気災害の可能性

## ■ 超キャリントン・クラス

- 樹木年輪中の炭素同位体解析 西暦774~775年及び、西暦992~993年にキャリントン・イベントの10倍程度の放射線急増事象が発生したことを発見 (名大: Miyake et al. 2012 *Nature*, Miyake et al. 2013 *Nature Comm.*)
- 太陽型恒星の超巨大フレアの可能性(京大: Maehara et al. 2012 *Nature*)

## ■ キャリントン・クラス

- 1859年9月 Dst~-1760nT (キャリントン・イベント)  
現代において発生すれば、衛星障害、通信・測位障害など**全地球的な激甚宇宙天気災害**を引き起こす。(被害総額10~100兆円と試算)
- 2012年7月 推定Dst~-1182nT (地球に到達した場合の推定)  
太陽の裏面で発生したため地球には到達しなかったが、もし2週間前に発生した場合、地球に到達し、大規模被害をもたらしたと考えられる。(Baker et al. 2013)

## ■ サブ・キャリントン・クラス

- 1989年3月 Dst= -589nT ケベック州大停電
- 2000年7月 Dst=-301nT X線観測衛星「あすか」制御不良
- 2003年10月 Dst= -422nT スウェーデン、南アフリカで送電システム障害、火星探査機Mars Odyssey障害

Dst: 地球磁気圏に流れる軸対称な環電流の強さを表す地磁気活動度指数

# 宇宙天気災害への対応

---

- 宇宙インフラの適切な設計
  - 宇宙環境変動の適切な上限想定
- 宇宙嵐の正確な予測
  - 太陽フレアの発生予測(発生時刻、爆発の規模)
  - CMEの地球影響の予測(到達時間、速度、磁場)
  - 社会インフラへの影響の予測
- 太陽地球環境の長期変動の予測
  - 太陽周期活動の環境影響の理解
    - 低軌道衛星への大気影響、地球放射線帯の長期変動
  - 次期太陽周期活動の予測

# 太陽地球圏環境予測:

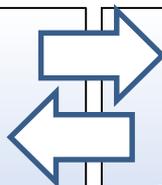
我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成



## 科学的重要課題の 抜本的解決

- 太陽フレアの発生機構
- 地球放射線帯における粒子加速機構
- 太陽活動の気候影響プロセスの特定 など

大学・JAXA・国立天文台等



## 社会基盤としての 宇宙天気予報の飛躍的発展

- 社会に役立つ予測スキームの開発  
(通信、電力、衛星・航空機等への影響予測)
- 激甚宇宙天気災害に備える宇宙天気  
ハザードマップを世界に発信

情報通信研究機構・電子航法研究所等

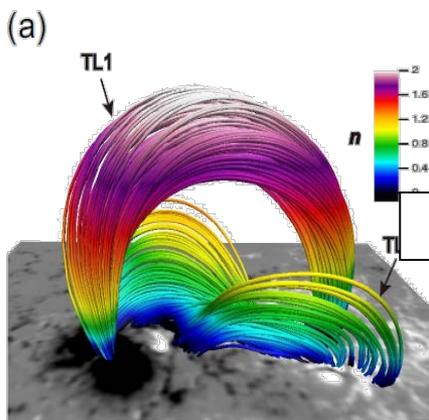
組織・学問領域を超えた連携

## 基礎科学研究と予測研究の相乗的発展

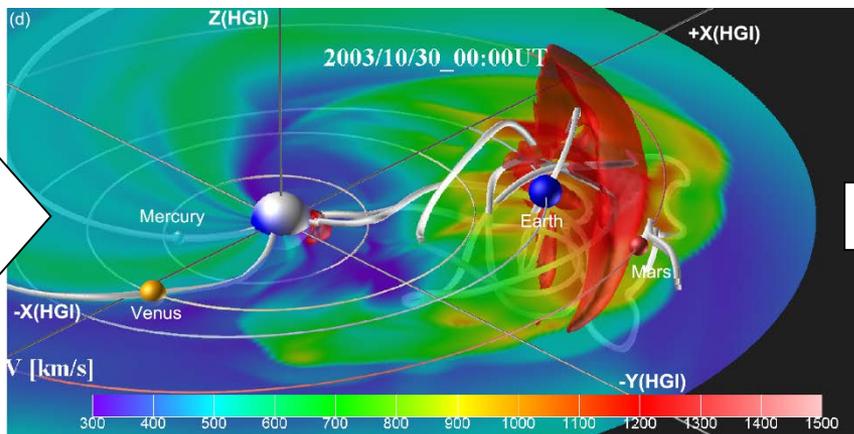


全国20機関より天文学・地球電磁気学・気象気候学など分野を超えた100名以上の研究者が参加

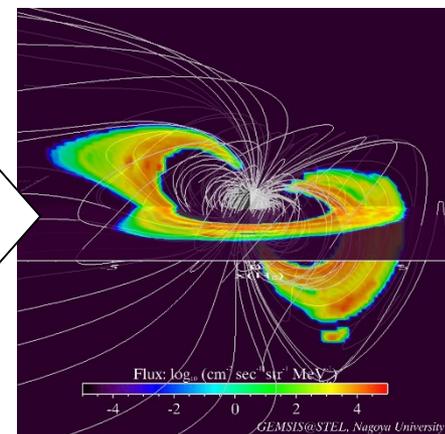
# 組織を超えた宇宙環境予測の開発



太陽黒点とコロナ磁場のモデル  
(名大、JAXA、国立天文台)



太陽フレアとコロナ質量放出(CME)のモデル  
(名大、NICT)

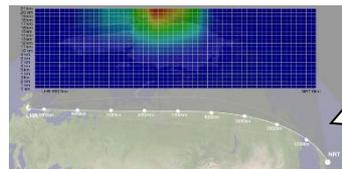


地球電磁気圏・宇宙放射線のモデル  
(名大、京大、NICT)

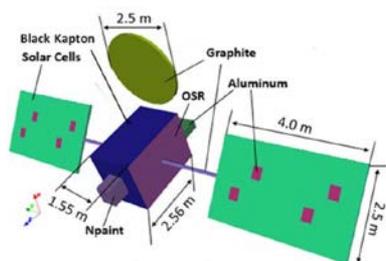
## 分野横断型の総合研究

太陽、宇宙空間、地球電磁気圏、大気、電磁波、電力、電波工学、地質学など、様々な分野の連携による統合モデルの開発

大学、研究所、民間会社など産官学の連携による総合的研究の継続が重要



宇宙放射線被曝モデル  
(原子力機構、極地研)

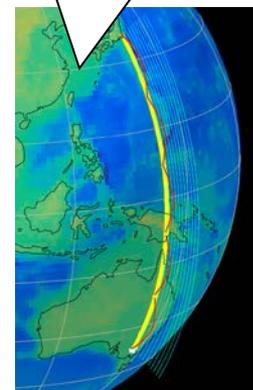


衛星帯電モデル  
(大阪府立大)



電力会社と協力した実証実験

地質モデルを考慮した地磁気誘導電流モデル(京大)

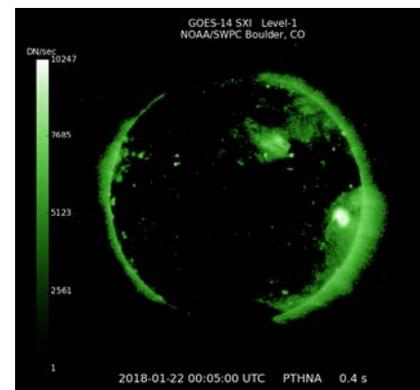


短波電波伝播シミュレータ  
(NICT、電子航法研)

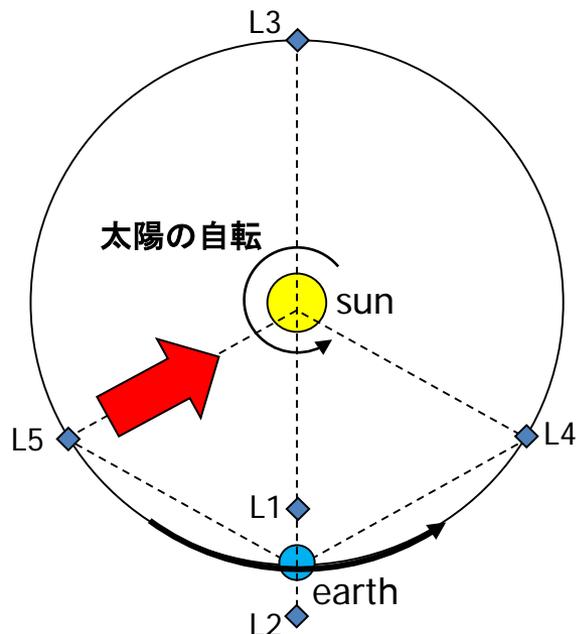
# 社会基盤としての宇宙環境監視

## ■ 科学観測衛星と共に、社会基盤としての宇宙監視システムの充実が必要

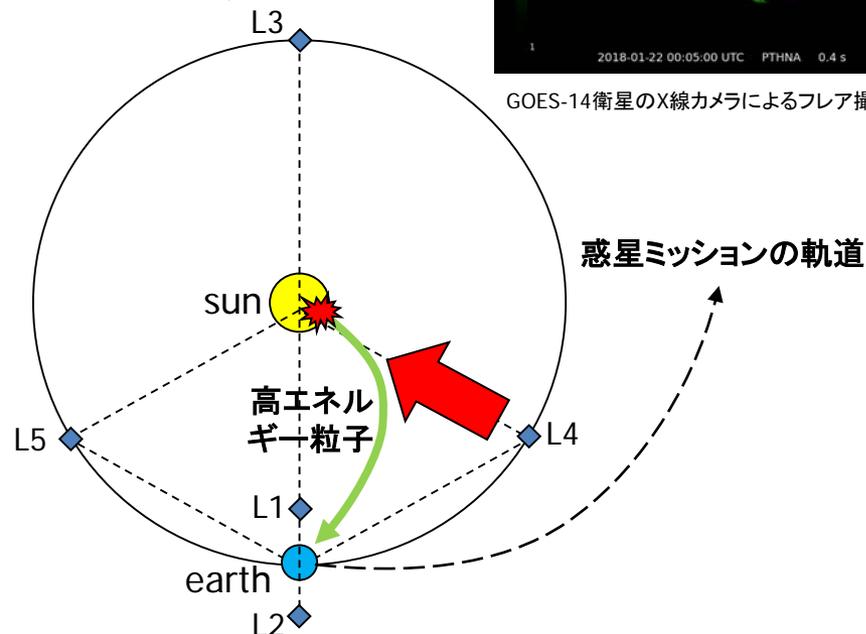
- 現状: 米国のGOES衛星(GSO)、DISCOVER衛星 (L1)
- 計画: 複数のラグランジュ点における太陽活動と宇宙空間の監視ミッション計画が海外で進行中: 欧州 (特に、英国)、中国、インド、米国(NASA, NOAA)、ロシア



GOES-14衛星のX線カメラによるフレア撮像



L5ミッション: 太陽裏面から現れる活動領域の早期監視



L4ミッション: 太陽高エネルギー粒子のソース領域の早期監視、惑星ミッションの支援

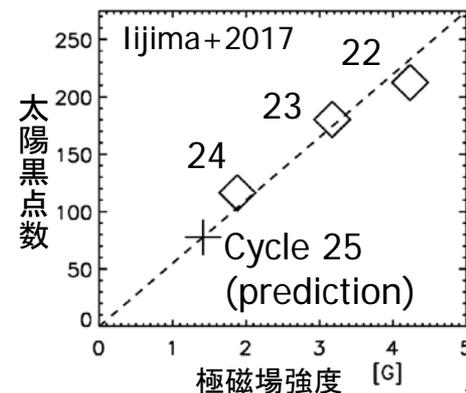
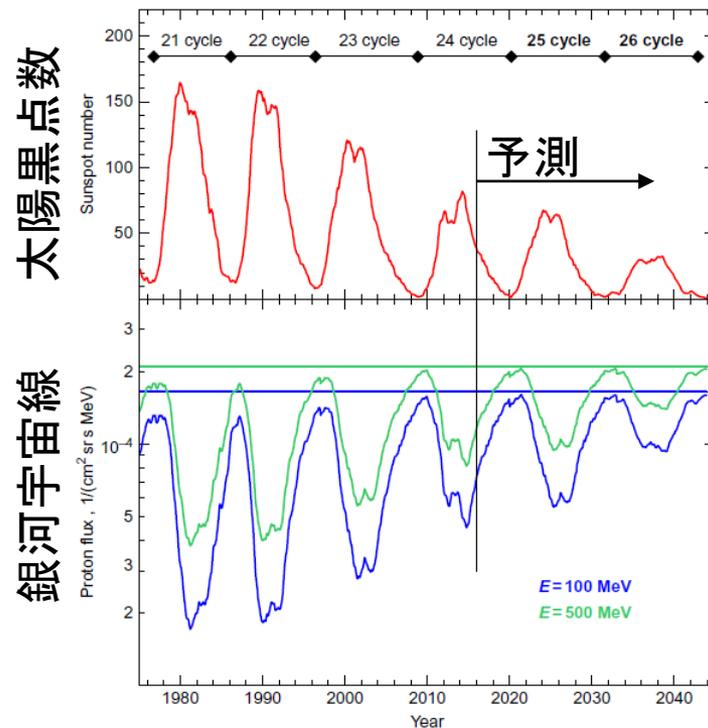
# 宇宙環境の長期変動

- 太陽黒点は約11年周期で増減するが、その活動度は周期によって大きく変化。
- 太陽黒点活動はフレア発生に関係すると共に、地球の超高層大気や宇宙放射線を変化させるため、衛星運用に影響を与える。  
それ故、太陽活動の長期変動は人類の宇宙活動計画にとって重要



- 第22周期より黒点活動は低下し続けている。
- 次期周期(第25周期)の黒点活動が注目され、その予測が各国の研究機関で進められている。

Kuznetsov+2017



# まとめ

- 宇宙環境変動の正確な理解が、将来の宇宙利用には不可欠である。
  - 特に、フレア爆発に伴う宇宙環境変動は、人類の宇宙活動に甚大な被害を与える潜在的なリスクをはらんでいる。また、太陽活動の長期変動は宇宙開発と宇宙機の長期運用に大きな影響を与える。
- 宇宙を人類の新たな活動領域として安全に開拓するためには、宇宙環境の変動を事前に予測するための研究開発とそれを監視する体制を整えることが不可欠。
  - 宇宙環境変動予測は挑戦的な課題であり、従来の領域を超えた総合的研究を、中長期的な視点から産官学の連携で進める必要がある。
  - NICTと大学などの協力で進めてきた新学術領域PSTEPはそのための特徴的なビジネスモデルとなり得る。