

天文夏の学校2013@宮城蔵王 2013年7月29日 17:30-18:00

# 太陽活動現象が地球に与える多彩な影響

片岡龍峰(国立極地研究所)



aurora3d.jp

前半

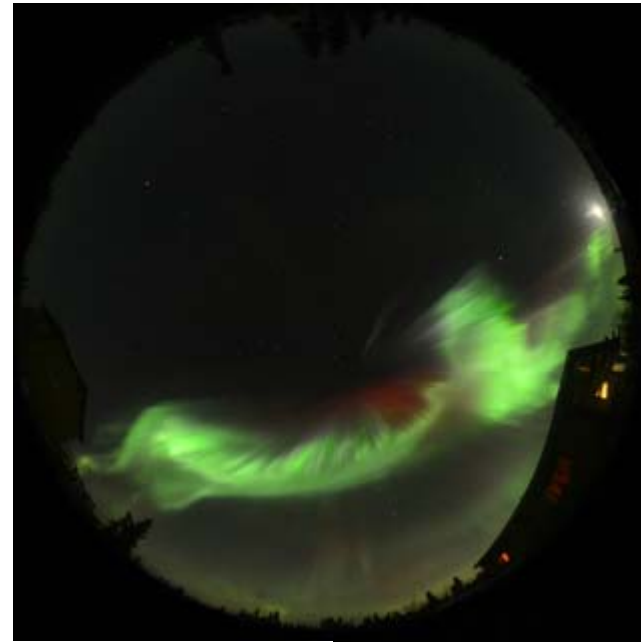
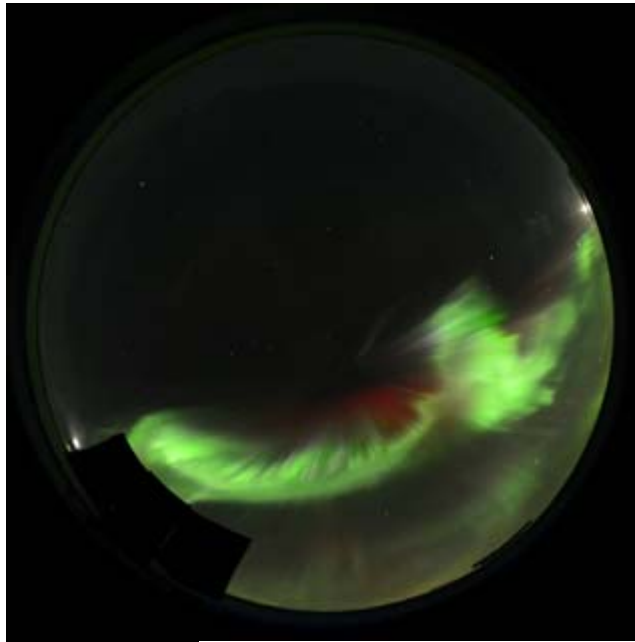
- 1) オーロラ粒子
- 2) ヴァンアレン帯粒子
- 3) 太陽放射線

後半

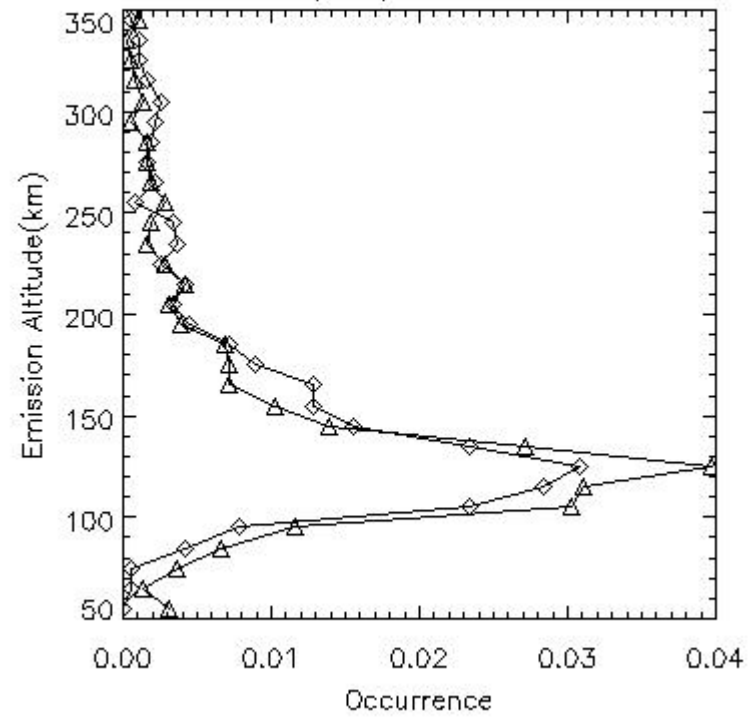
- A) マウンダー極小期
- B) キャリントン磁気嵐
- C) 星雲衝突



Kataoka+2013

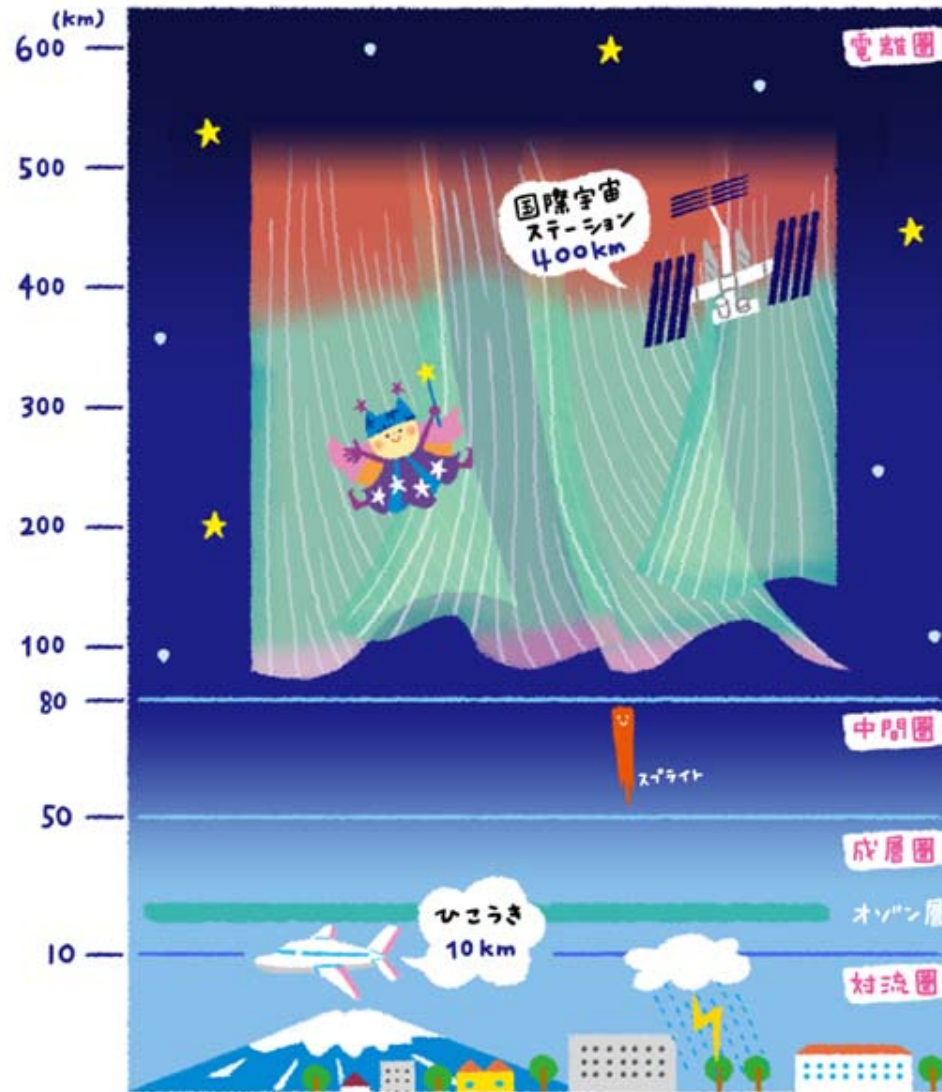


2013/03/17 0917 UT



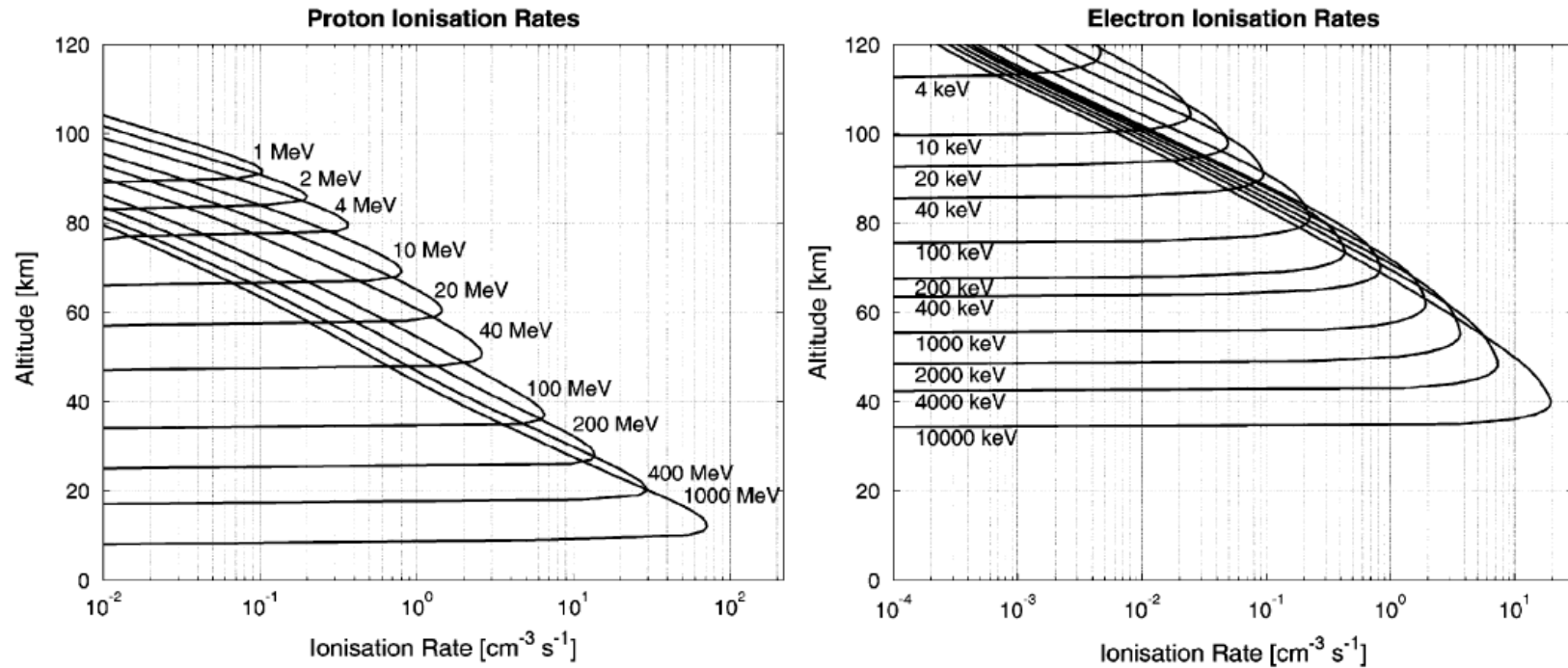


# 対流圏、成層圏、中間圏、熱圏



オーロラ電子 (keV) は電離圏でストップ  
ヴァンアレン帯電子 (MeV) は中間圏でストップ

*E. Turunen et al. / Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 71 (2009) 1176–1189*



**Fig. 3.** Altitude versus ionisation rates for monoenergetic beams of protons 1–1000 MeV (left) and electrons 4–4000 keV (right).

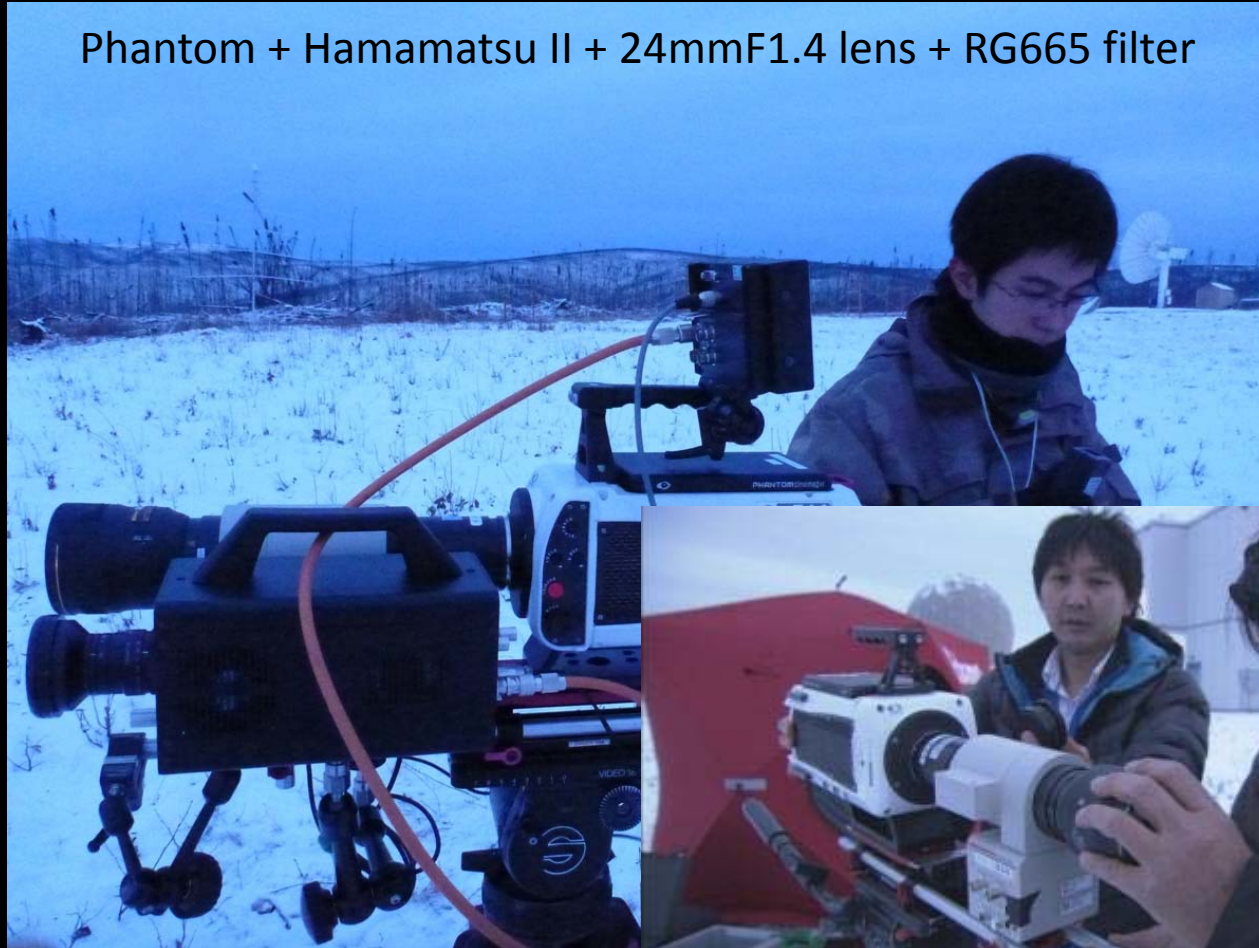
太陽放射線 (MeV) は中間圏でストップ  
銀河宇宙線 (GeV) は対流圏でストップ

「最速」への挑戦。→最速オーロラの発見 (Kataoka+2012)

# NHK「宇宙の渚」

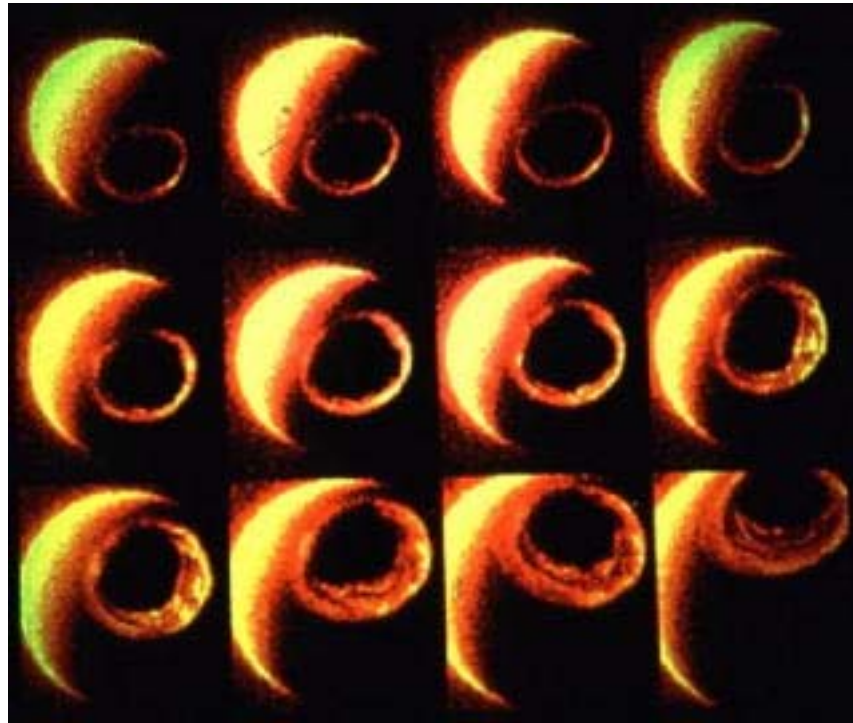
Oct-Nov 2011 Poker Flat Research Range

Phantom + Hamamatsu II + 24mmF1.4 lens + RG665 filter



# オーロラ爆発の発電量は？

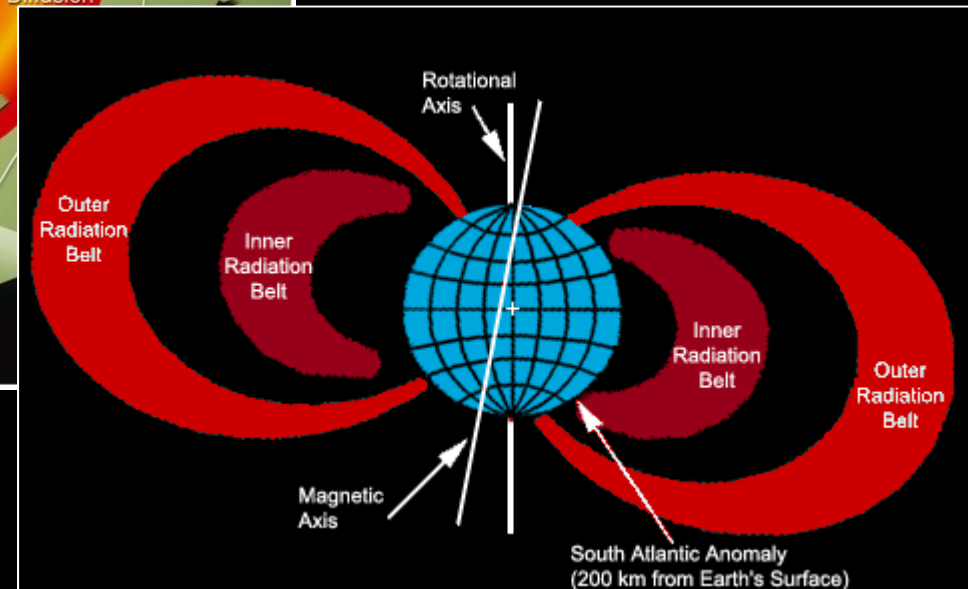
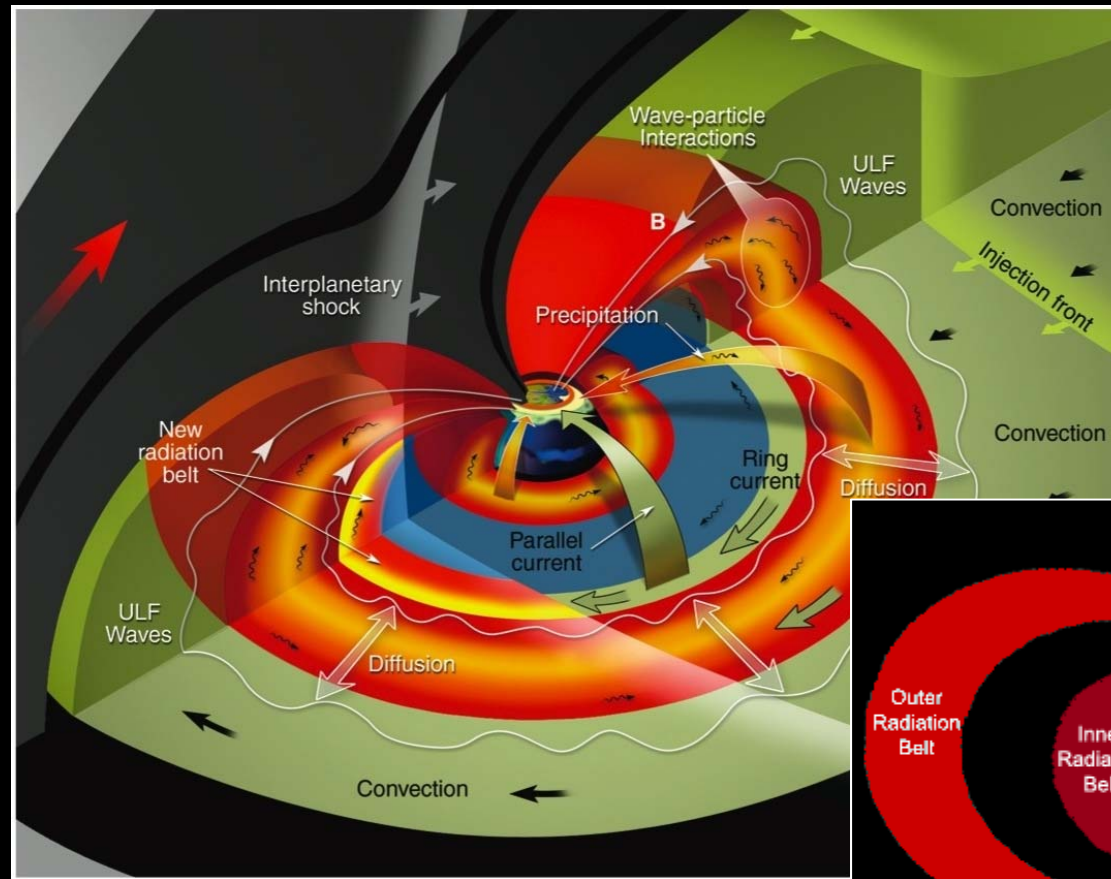
- $100 \text{ kV} \times 100 \text{ MA} = 10 \text{ GW}$ のオーダー



DE-1衛星が観測したオーロラ爆発。  
磁気嵐中に何度も繰り返し発生する。



# 放射線帯 = ヴァンアレン帯

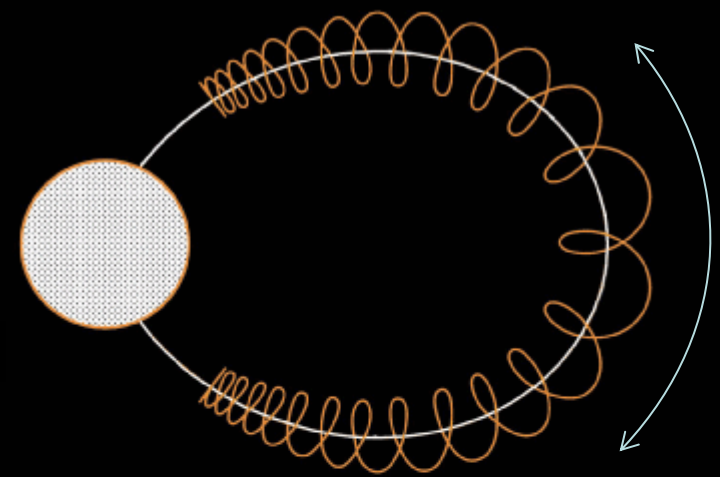




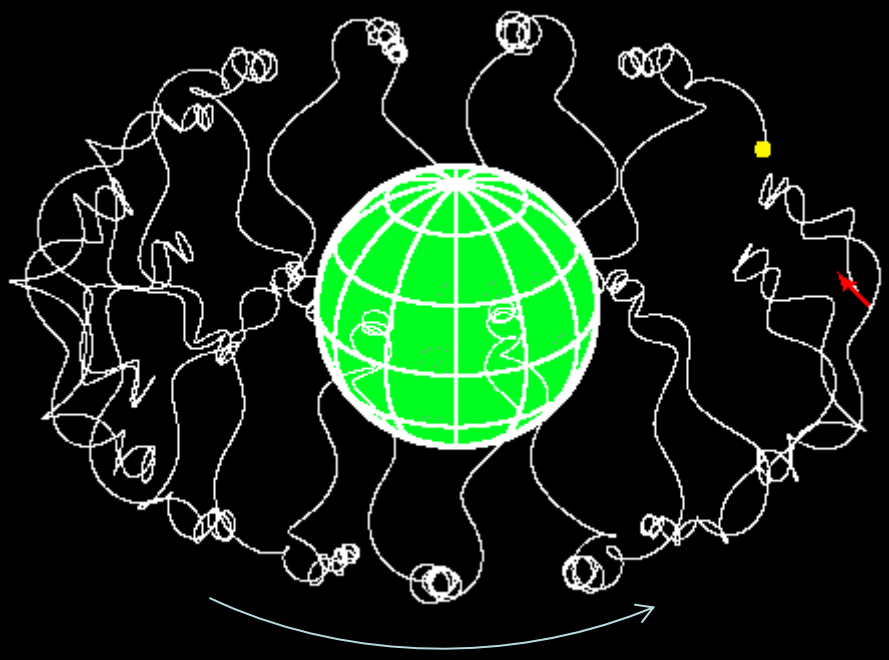
# なぜ陽子や電子が双曲子磁場に閉じ込められる？

- 1. サイクロトン運動(磁場に巻き付く)
- 2. ミラー運動(磁場に沿って跳ね返る)
- 3. ドリフト運動(磁場と垂直にずれていく)

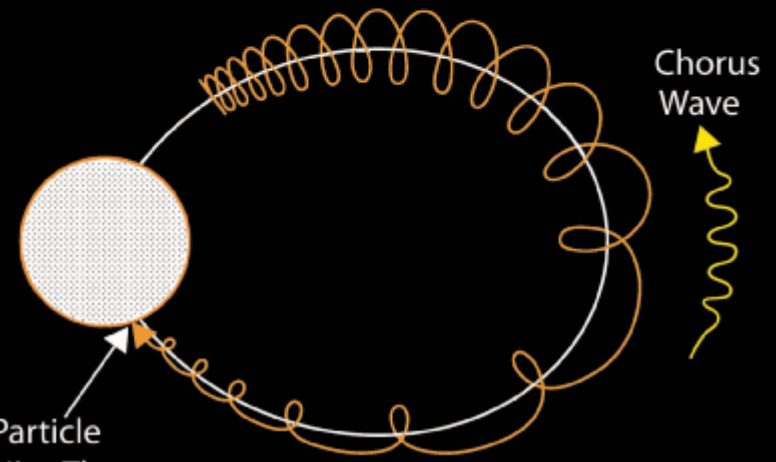
## Wave-Particle Scattering



2. ミラー運動



3. ドリフト運動

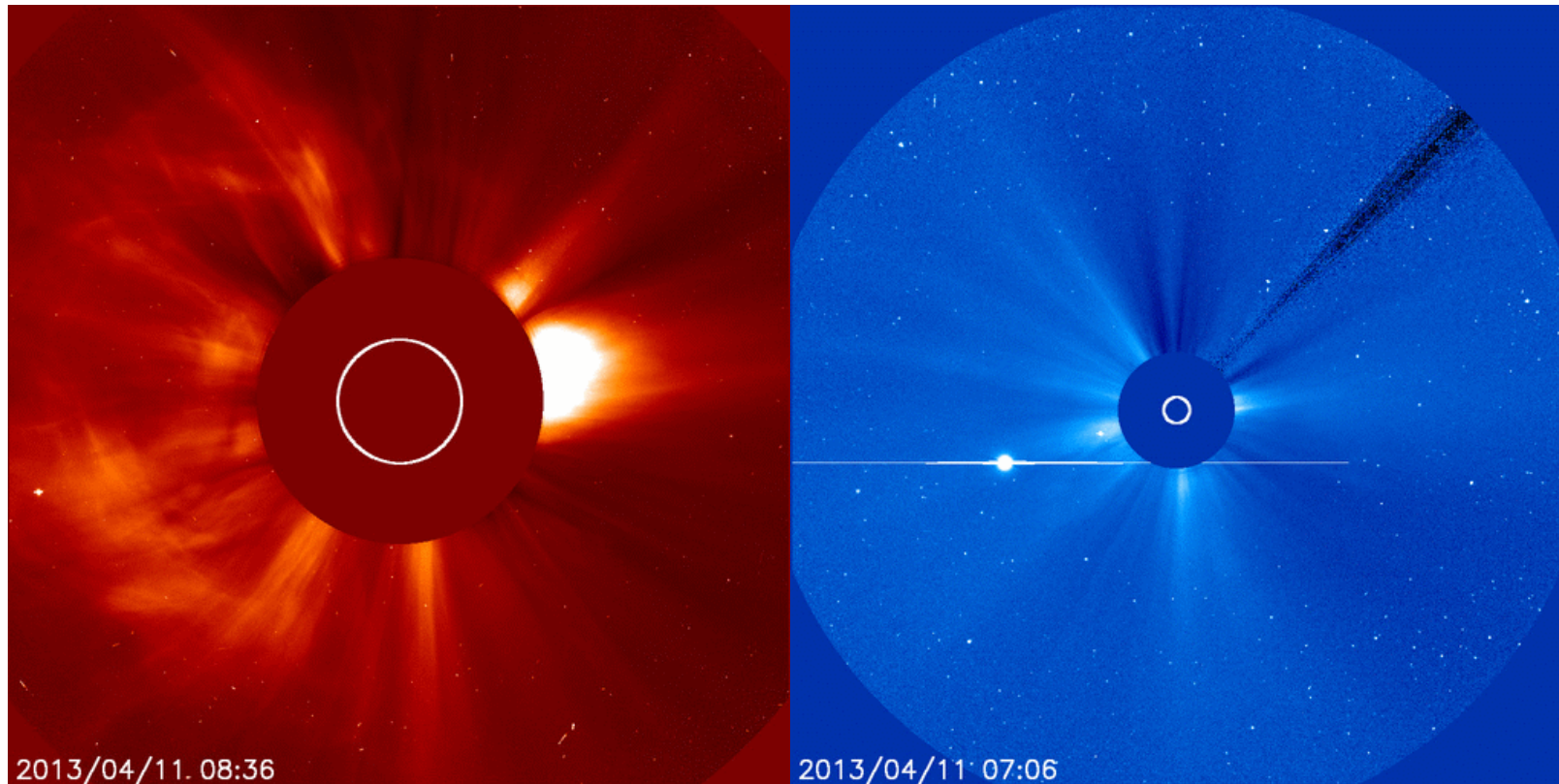


途中で粒子の軌道が曲げられると大気に落ちることある

宇宙天気予報という研究分野がある。地球へのインパクトを予測するにはどうしたらよいか。

# コロナ質量放出と太陽放射線

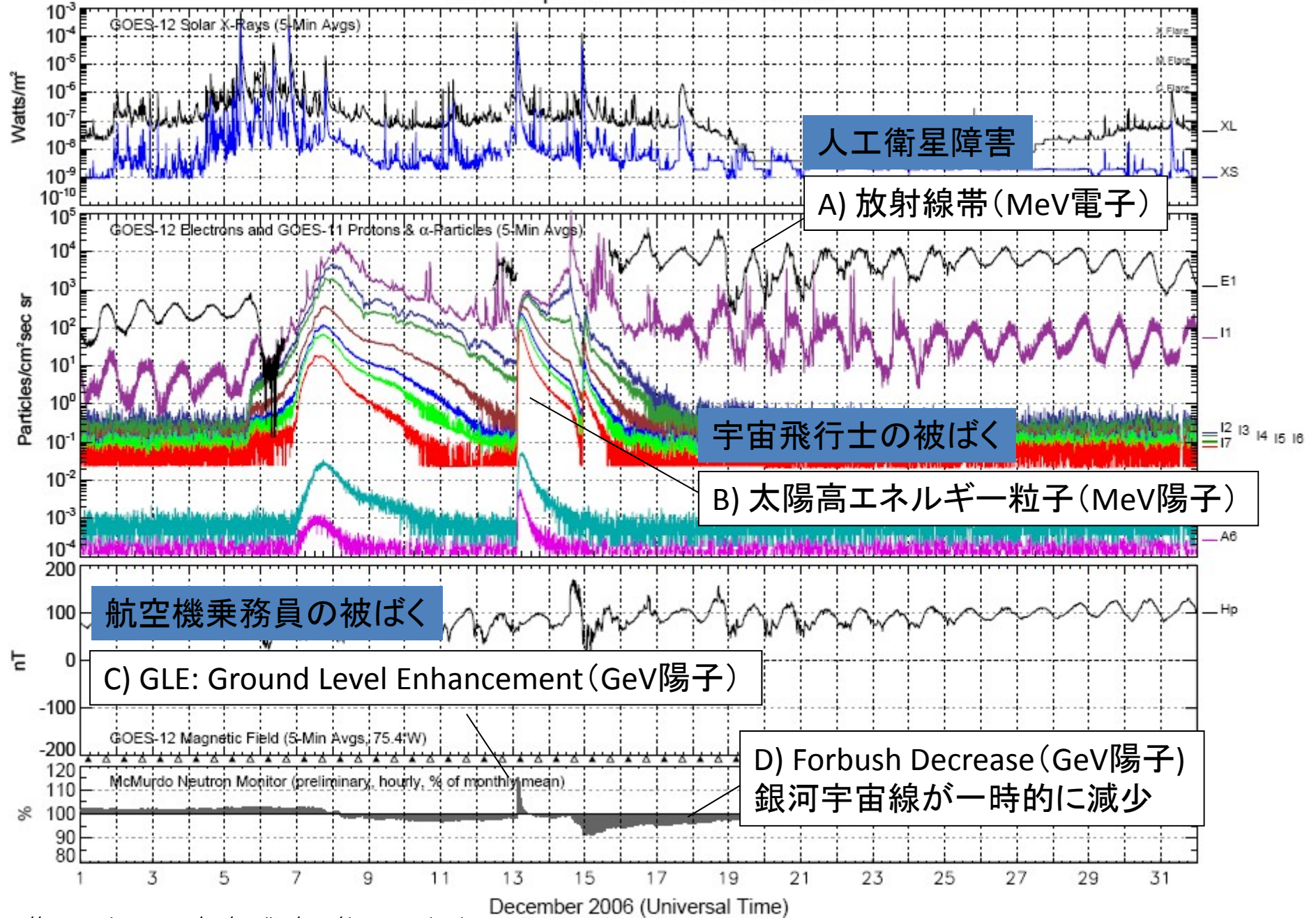
CME = Coronal Mass Ejection





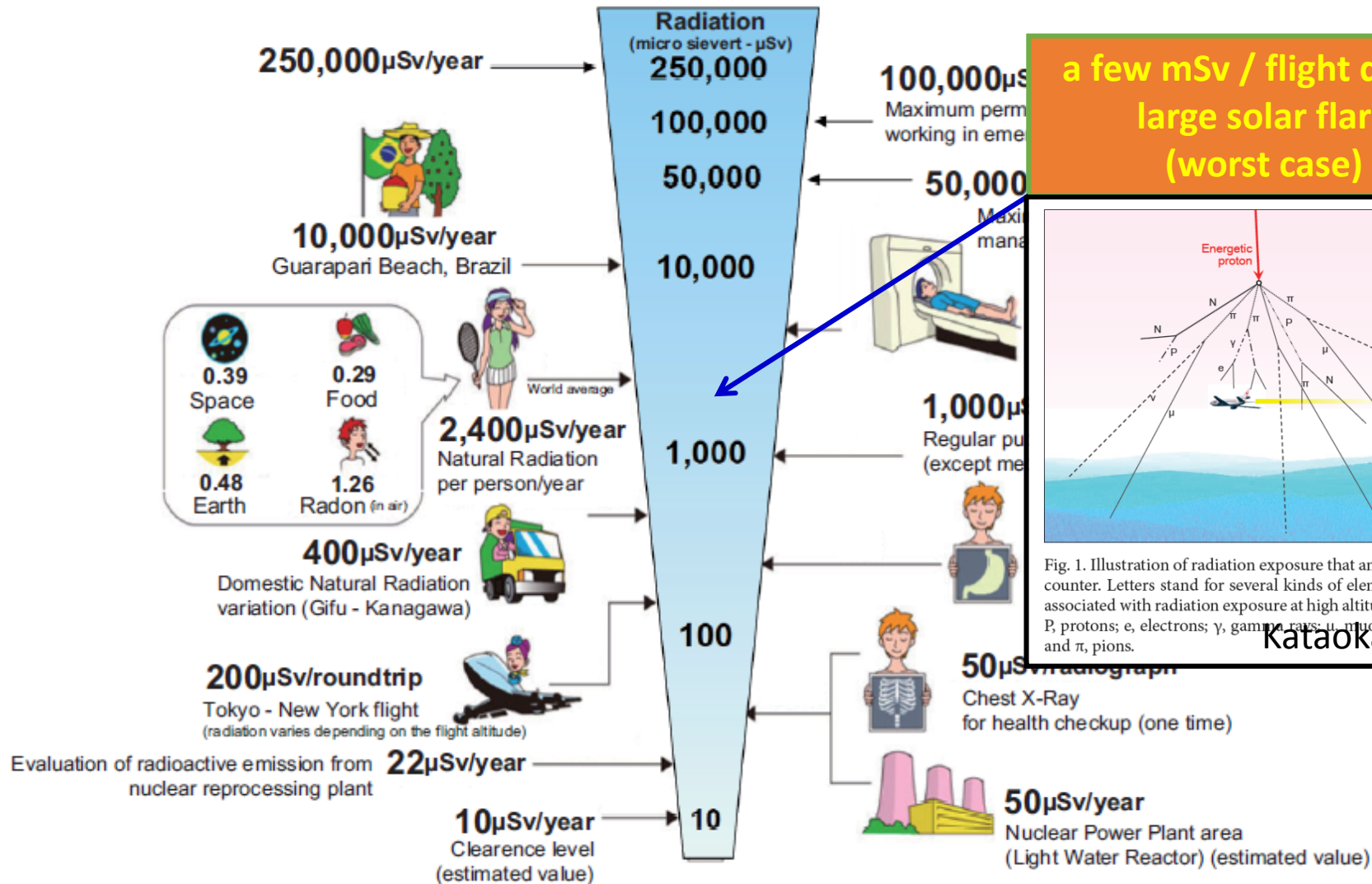
# 放射線嵐の実際の観測データ

GOES Space Environment Monitor





# Background of This Work



a few mSv / flight during large solar flare (worst case)

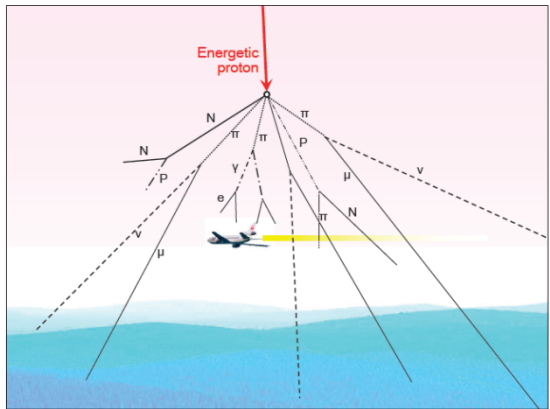
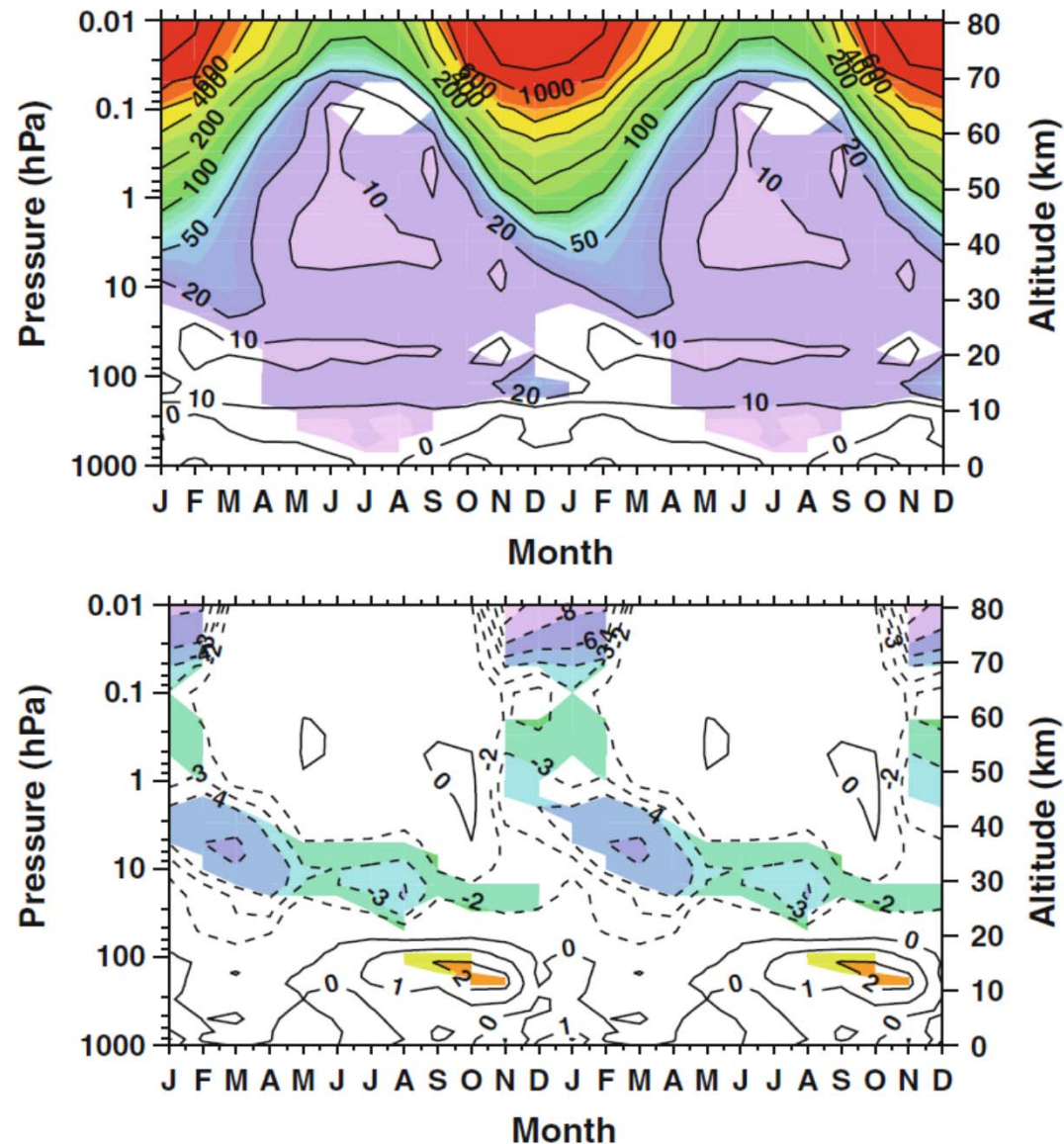


Fig. 1. Illustration of radiation exposure that an aircraft may encounter. Letters stand for several kinds of elementary particles associated with radiation exposure at high altitude: N, neutrons; P, protons; e, electrons;  $\gamma$ , gamma rays;  $\mu$ , muons;  $\nu$ , neutrinos; and  $\pi$ , pions.

Kataoka+2011

## Radiation Exposure Level in Daily Life

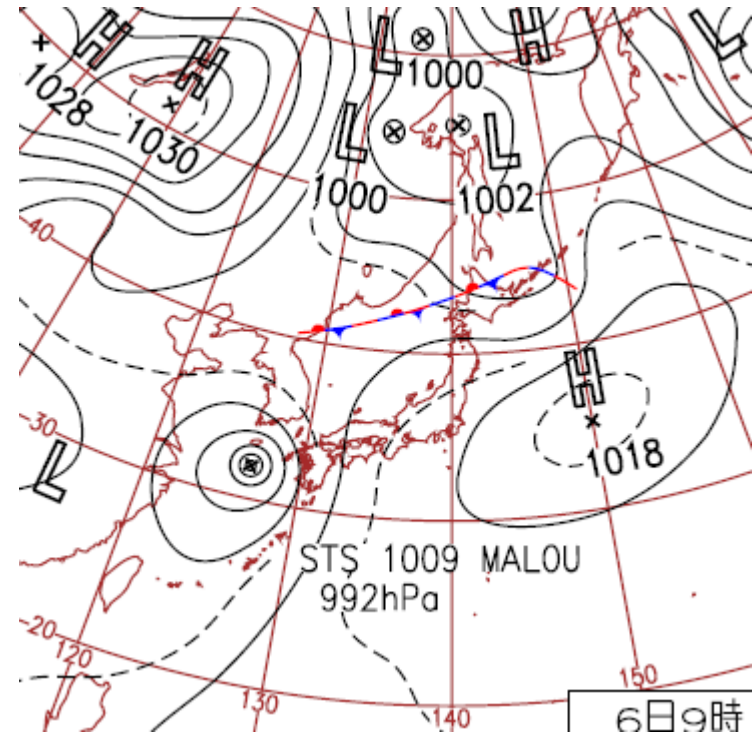
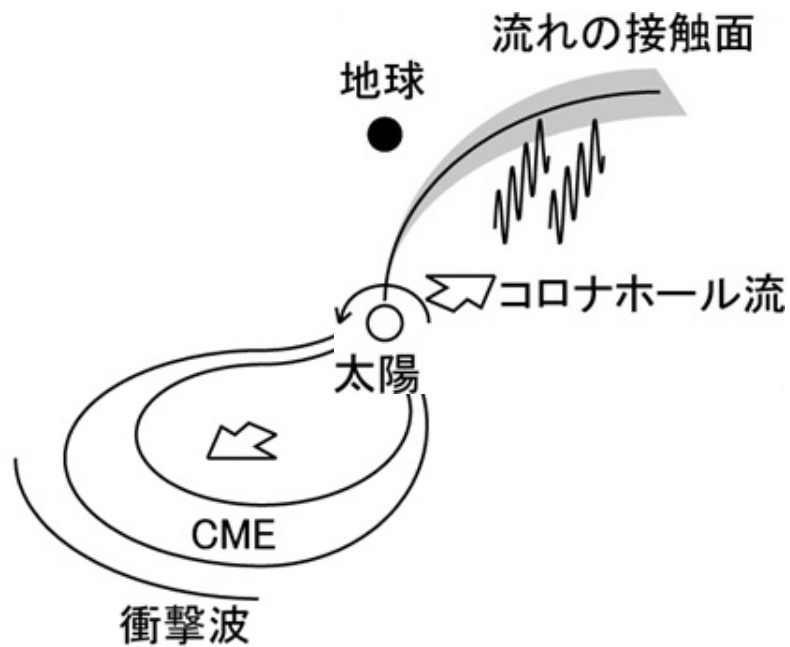


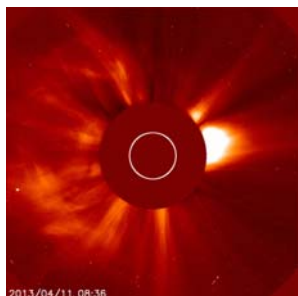


**Fig. 8** Monthly mean response of zonal mean  $O_3$ , (%) to GCR, SPE, and EEP averaged over  $60^\circ$ – $90^\circ$ N. The contours are plotted for:  $-12.0$ ,  $-10.0$ ,  $-8.0$ ,  $-6.0$ ,  $-4.0$ ,  $-3.0$ ,  $-2.0$ ,  $0.0$ ,  $1.0$ ,  $2.0$ , and  $3.0$  %. Results are averaged from 1960 to 2005. Solid contours indicate positive, dotted contours negative changes. Color pattern indicates the regions where the changes are judged statistically significant at or better than 10 % level. Twelve months of the monthly run climatology are repeated



# 「磁気嵐」の2大発生原因は、 宇宙の寒冷前線や台風にとえられる

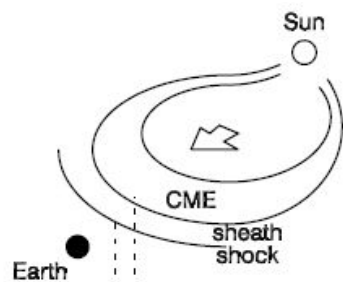




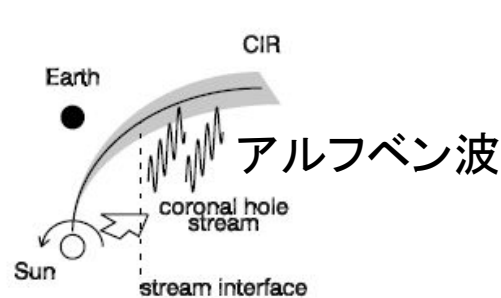
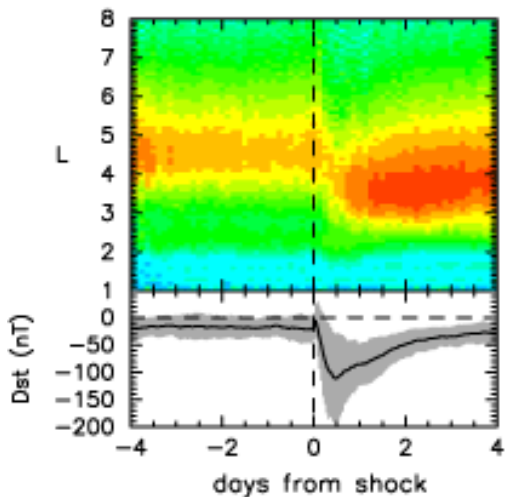
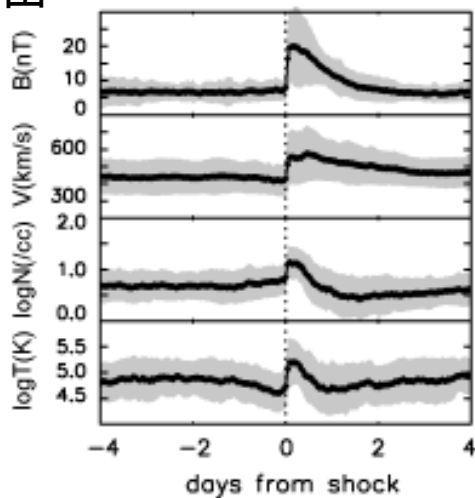
# 1. コロナ質量放出

極大期に多い

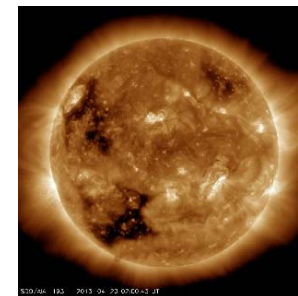
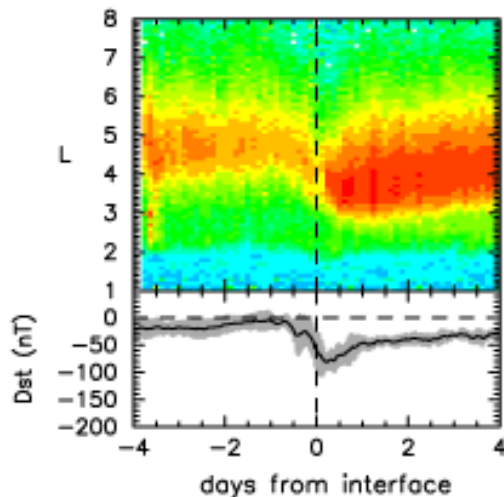
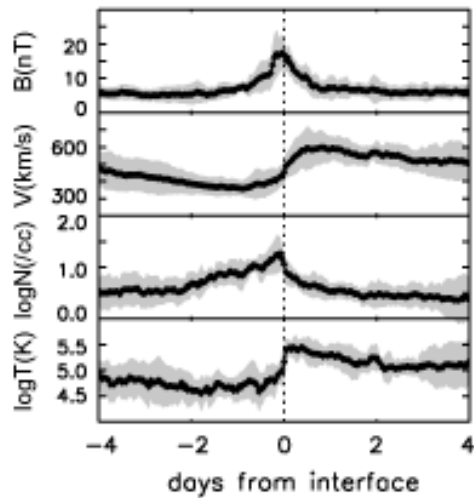
強い磁気嵐  
「急始」あり



CME-shock (1996-2007)



CIR-stream interface (1996-2007)



# 2. コロナホール

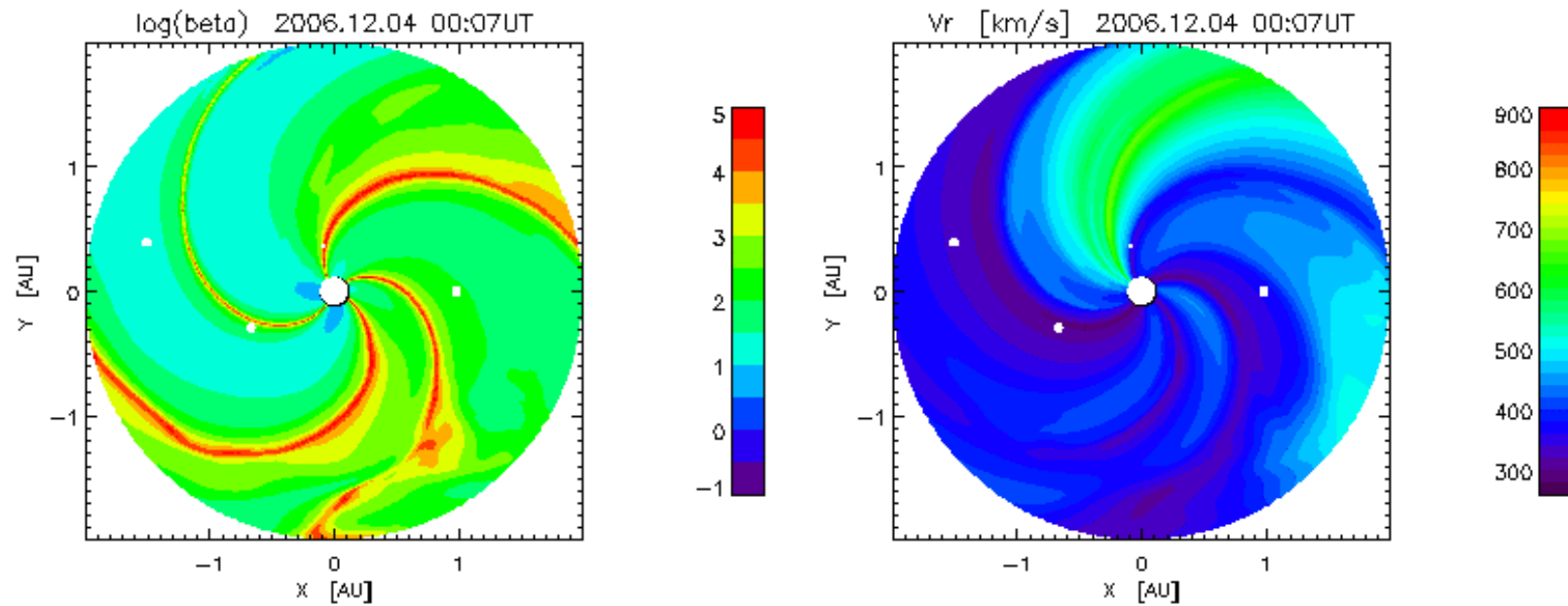
減衰期に多い

衝撃波がない

磁気嵐で放射線帯  
が変化する規則性

だらだら磁気嵐  
「急始」なし

# 磁気流体宇宙天気図ほぼ完成



Shiota+2013 in prep



# 宇宙と地球の過去と未来(後半)

## A) マウンダー極小期

- 長期的に黒点が出ない時代に突入？

## B) キャリントン磁気嵐

- 最大級のフレアの影響は？

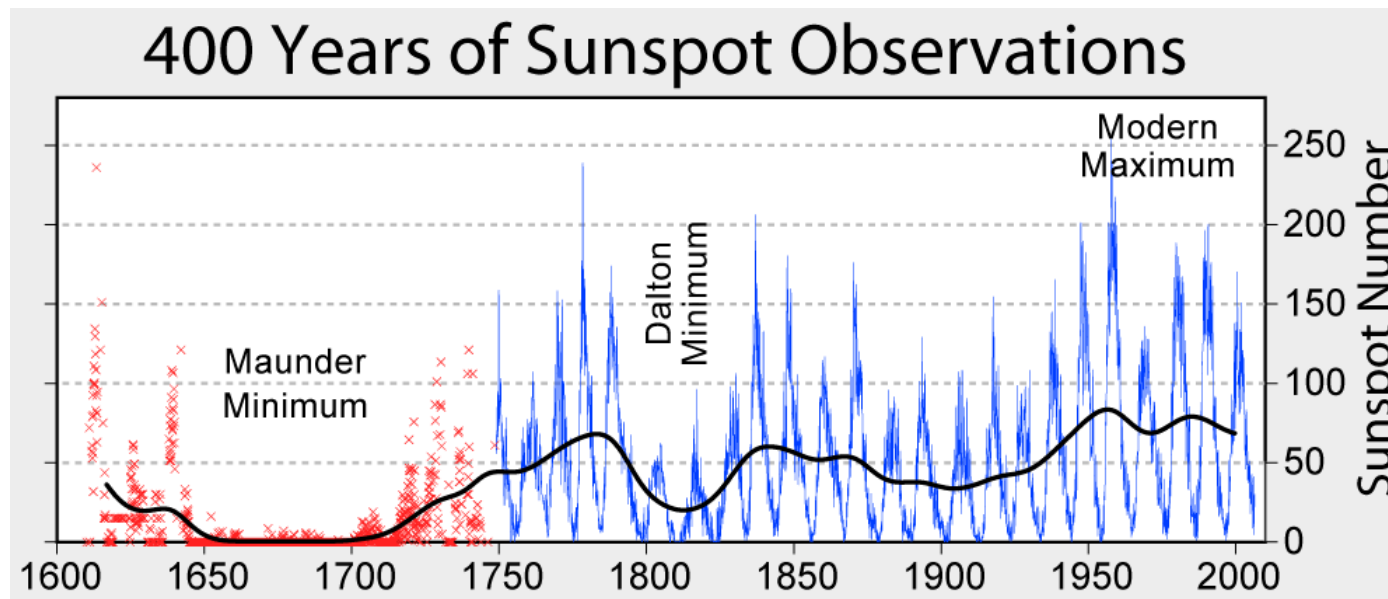
## C) 星雲衝突

- 最悪の宇宙環境は？

黒点が出ない時代に寒冷化するという対応関係があるが、そのメカニズムは明らかではない。

## マウンダー極小期

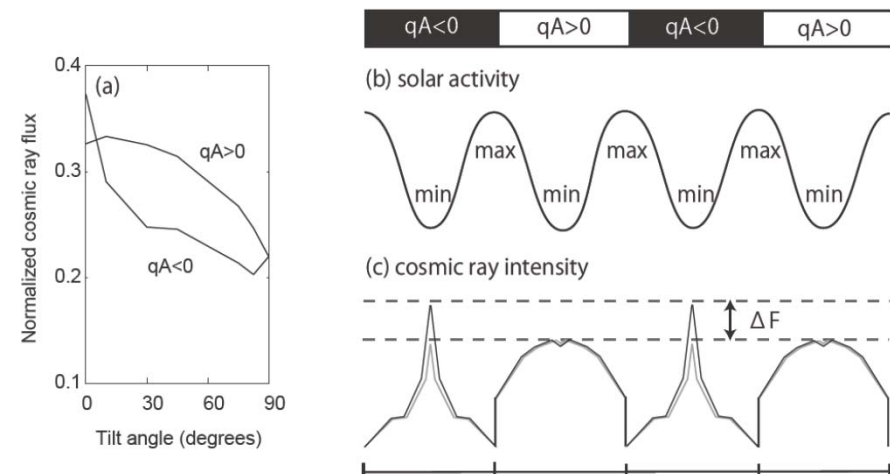
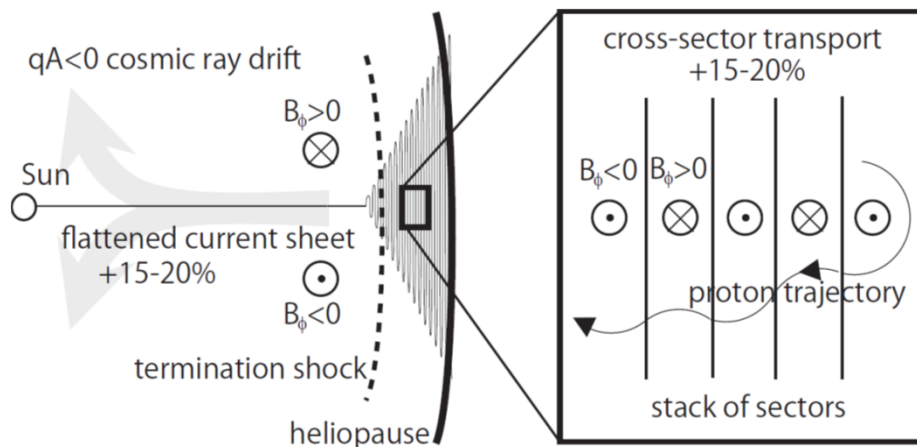
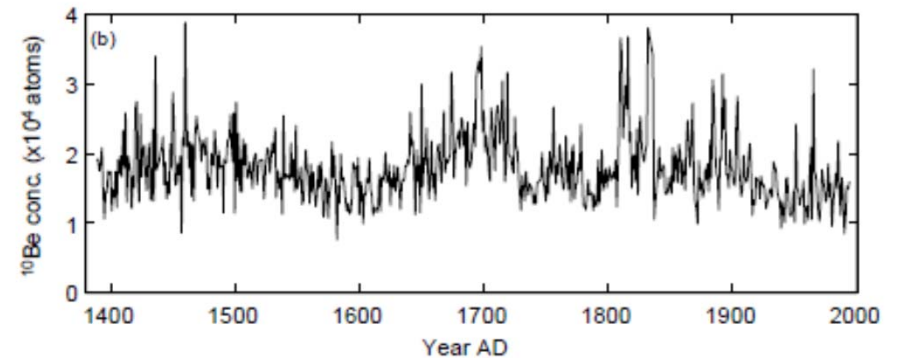
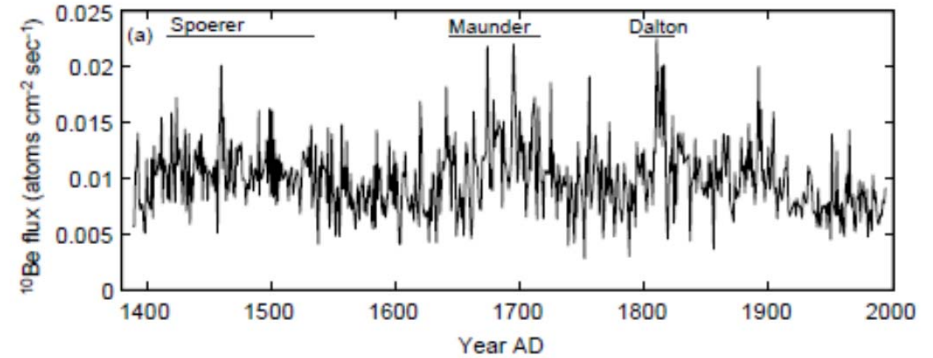
- マウンダー極小期(1645-1715)
- ダルトン極小期(1790-1820)



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sunspot\\_Numbers.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sunspot_Numbers.png)

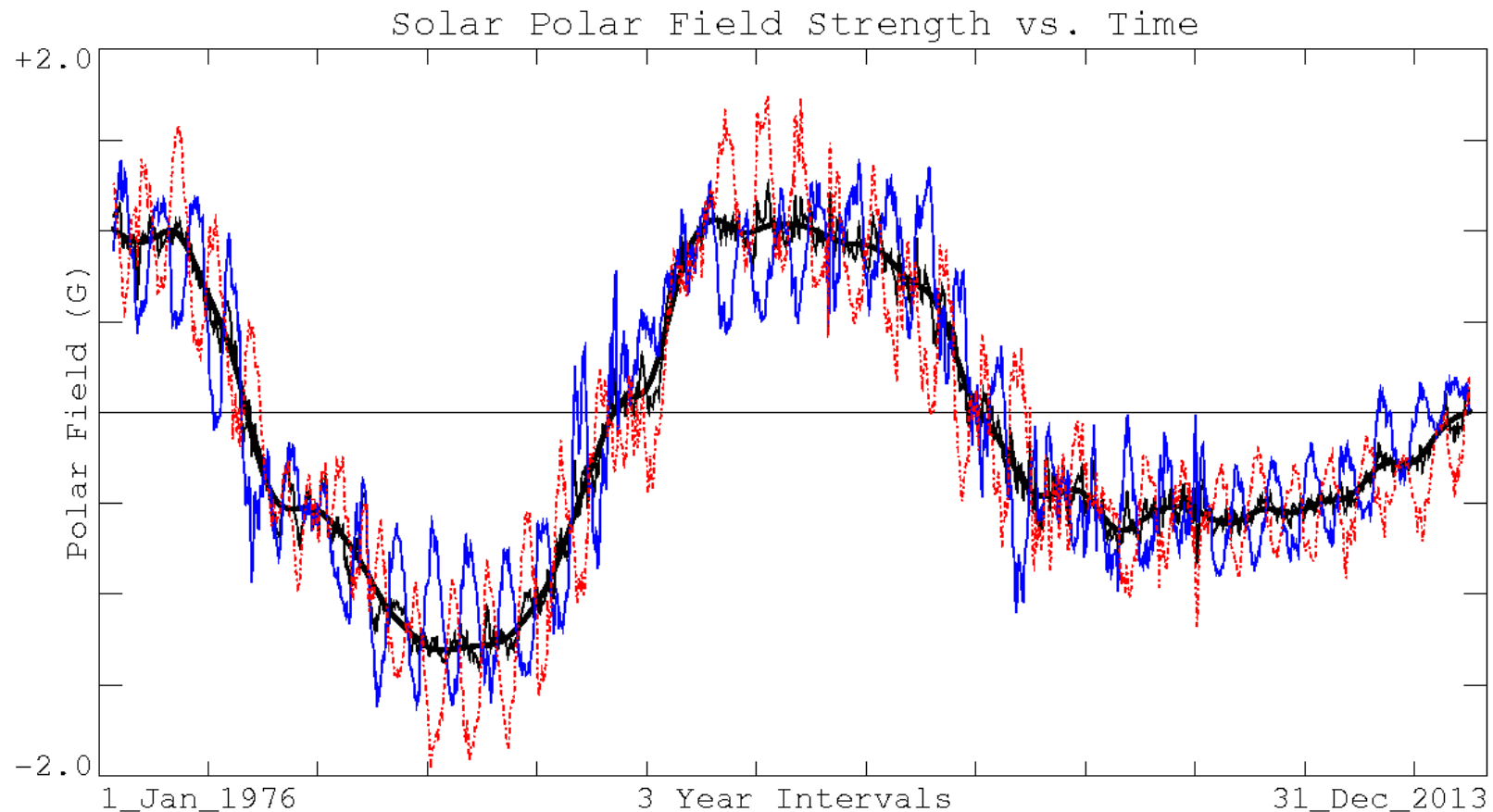
# マウンダー極小期の 大振幅宇宙線異常

Kataoka, Miyahara, & Steinhilber,  
*Space Weather* (2012),  
“Anomalous  $^{10}\text{Be}$  spikes during the  
Maunder Minimum: Possible evidence for  
extreme space weather in the heliosphere”





# マウンダー極小期に突入??

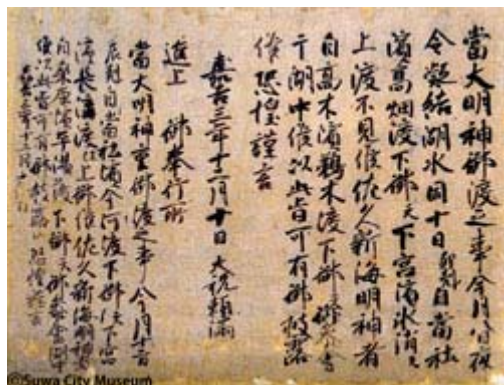


極磁場の反転時期がゆっくりしている。

極磁場の強さも長期的に弱くなっている。(Lockwood+2011GRLなど参考になるかと)

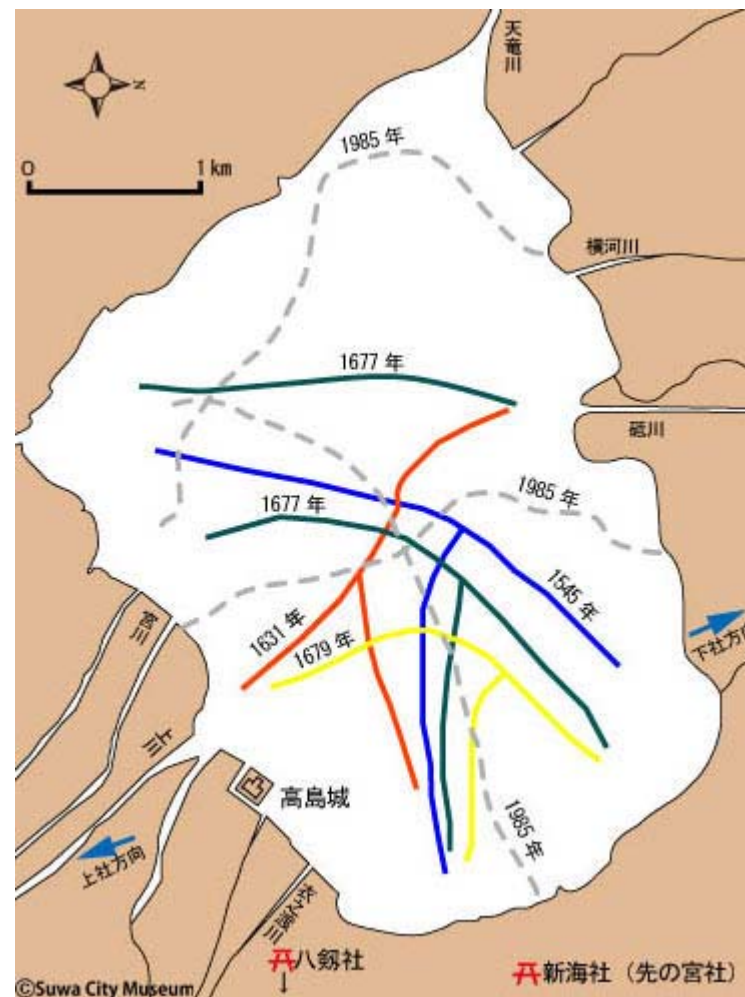
調べてみると面白いかもしれない500年の記録がある。

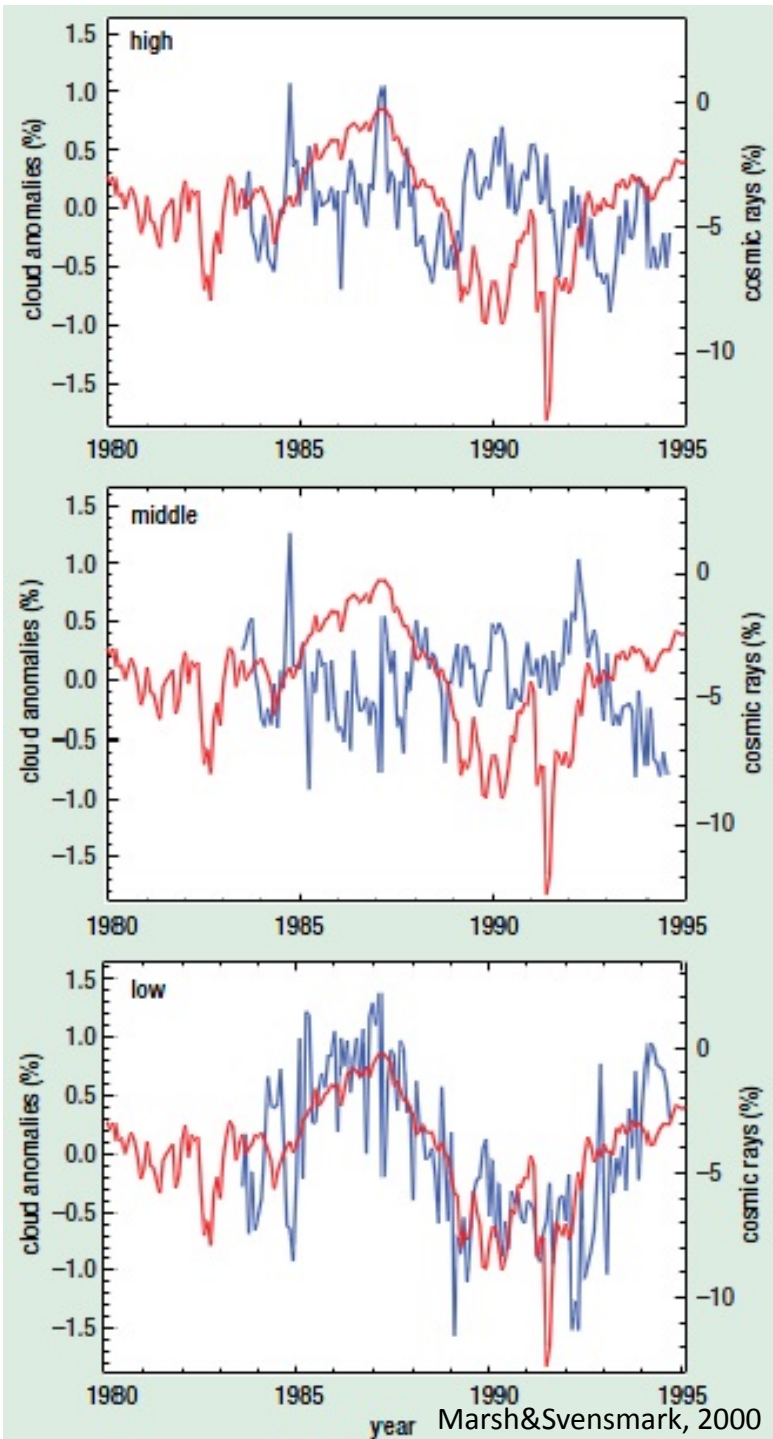
# 諏訪湖の御神渡り



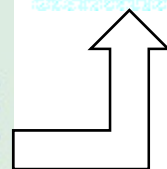
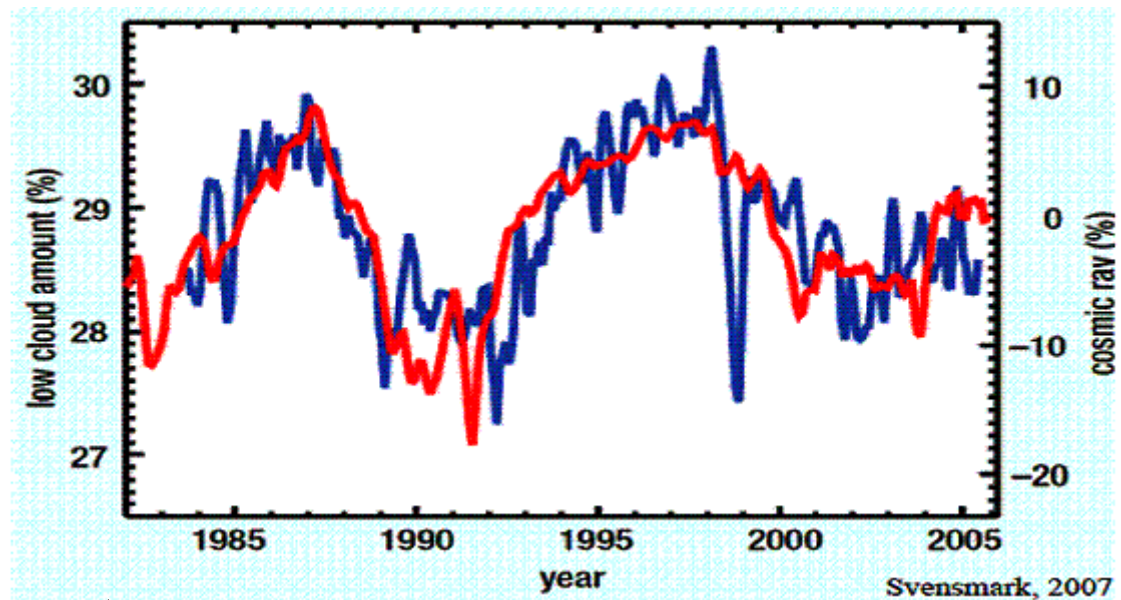
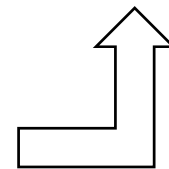
当大明神御渡之事  
今月八日夜湖水凝結せしめ同日  
卯刻当社浜高畑渡より下御て下宮  
浜水消えて上御見え候  
佐久新海明神は高木浜輪木渡より  
下御て湖中に御参会候此旨を以て  
御披露有るべく候 恐惶謹言  
嘉吉三年十二月十日 大祝頼満  
進上 御奉行所

特に江戸時代からは御神渡りのできる方向と農作物の作柄の関係が記録の中で重視され、そのデータは現在の御神渡り神事でも行なわれている「年占い」に反映されている。



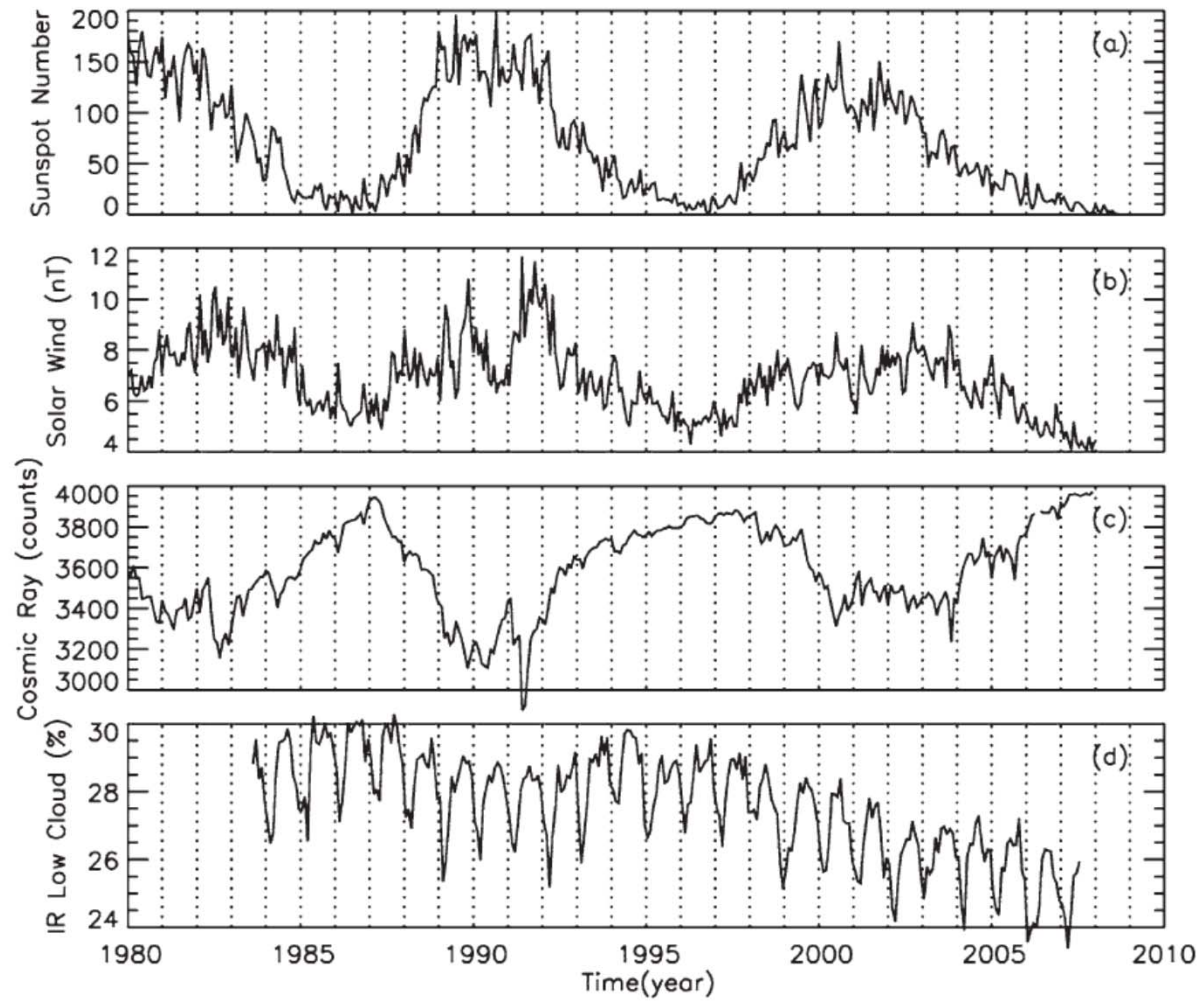


この後の変化は？



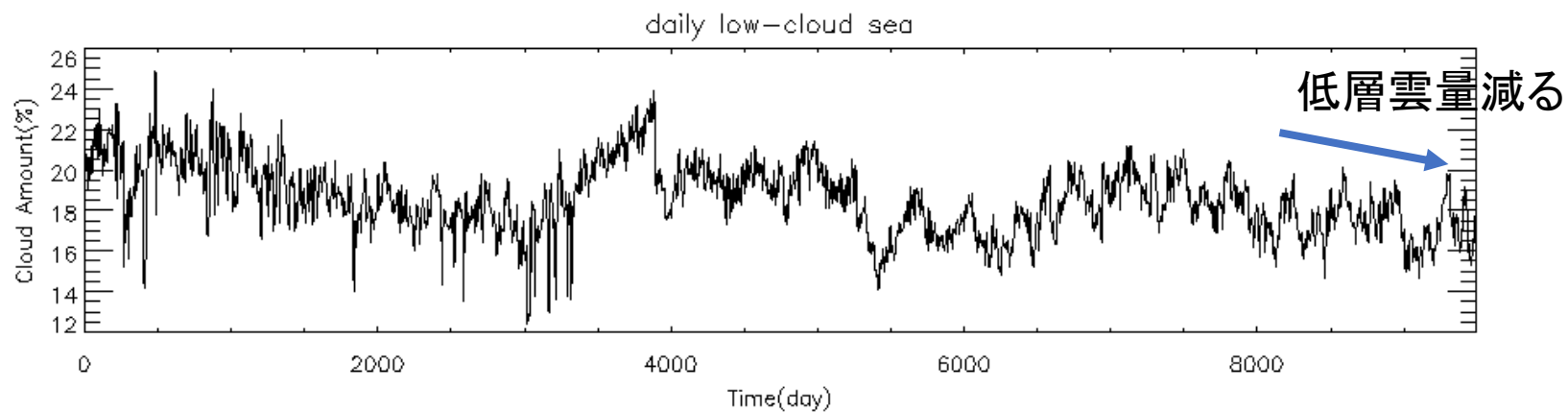
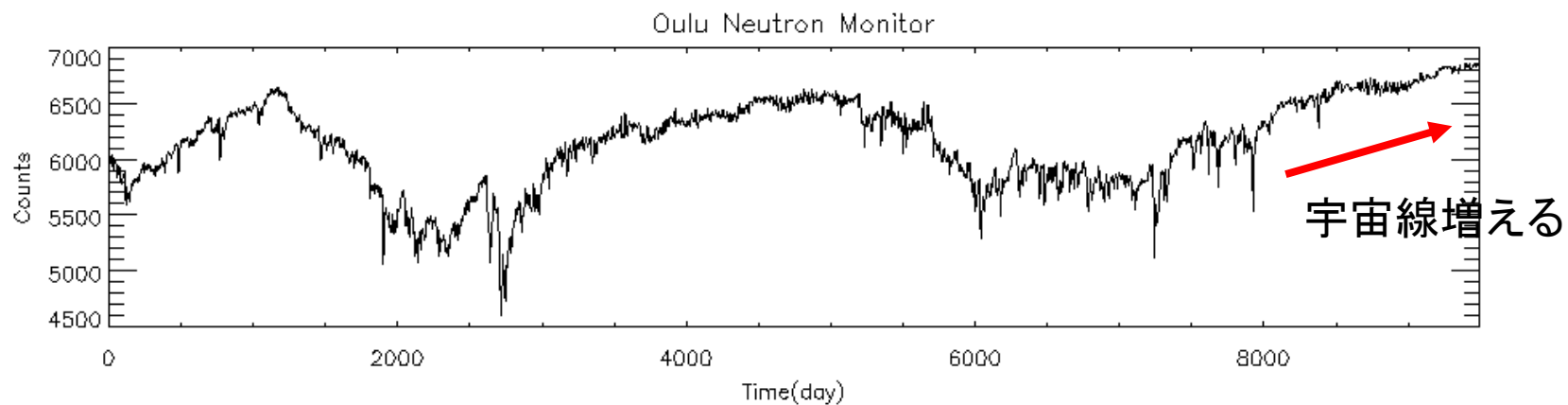
7年後





Kataoka 2010

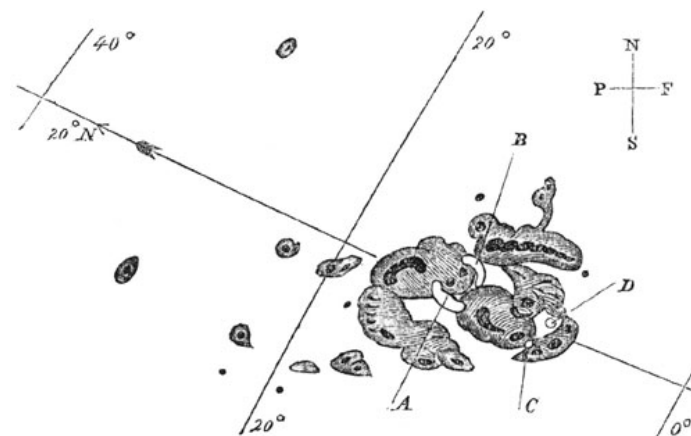
# 宇宙線と低層雲量(1984-2009)



2000 2003 2006 2009

# 観測史上最強のキャリントン嵐

- 1859年9月2日午前9時30分、ボストンのステート通り31番地にあった電信局の交換台で過電流が生じた。交換手らは、機器に接続されていたバッテリーを外して(!)営業を続けた。
  - 1859年は、日本では江戸時代末期の安政6年
  - G. B. Prescott, Am. J. Sci. Arts, 29, 92, 1860



1859/9/1にキャリントンがスケッチした黒点



ラピュタで出てきたモールス信号のあれだと思う。たぶん。

# キャリントン磁気嵐

- 電信局では火災が起こり、通信網は大規模な障害に見舞われ、磁気観測所ではメーターの針が振り切れた。
- 米国学術研究会議（NRC）が2008年に出した報告書によると、**キャリントン磁気嵐が生じた場合に米国が被る被害総額は、最初の年だけで1～2兆ドルに上り、完全復興までには推定で4～10年かかる可能性がある。**
  - [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12507](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12507)
- 噂のAD775は年複数キャリントン程度
  - Usoskin+2013A&A
- **今後10年間での発生確率は4-6%**
  - Kataoka, Space Weather, 2013



参考:これは今後10年で1%

比べるにも、キャリントンの破壊力が未知数...

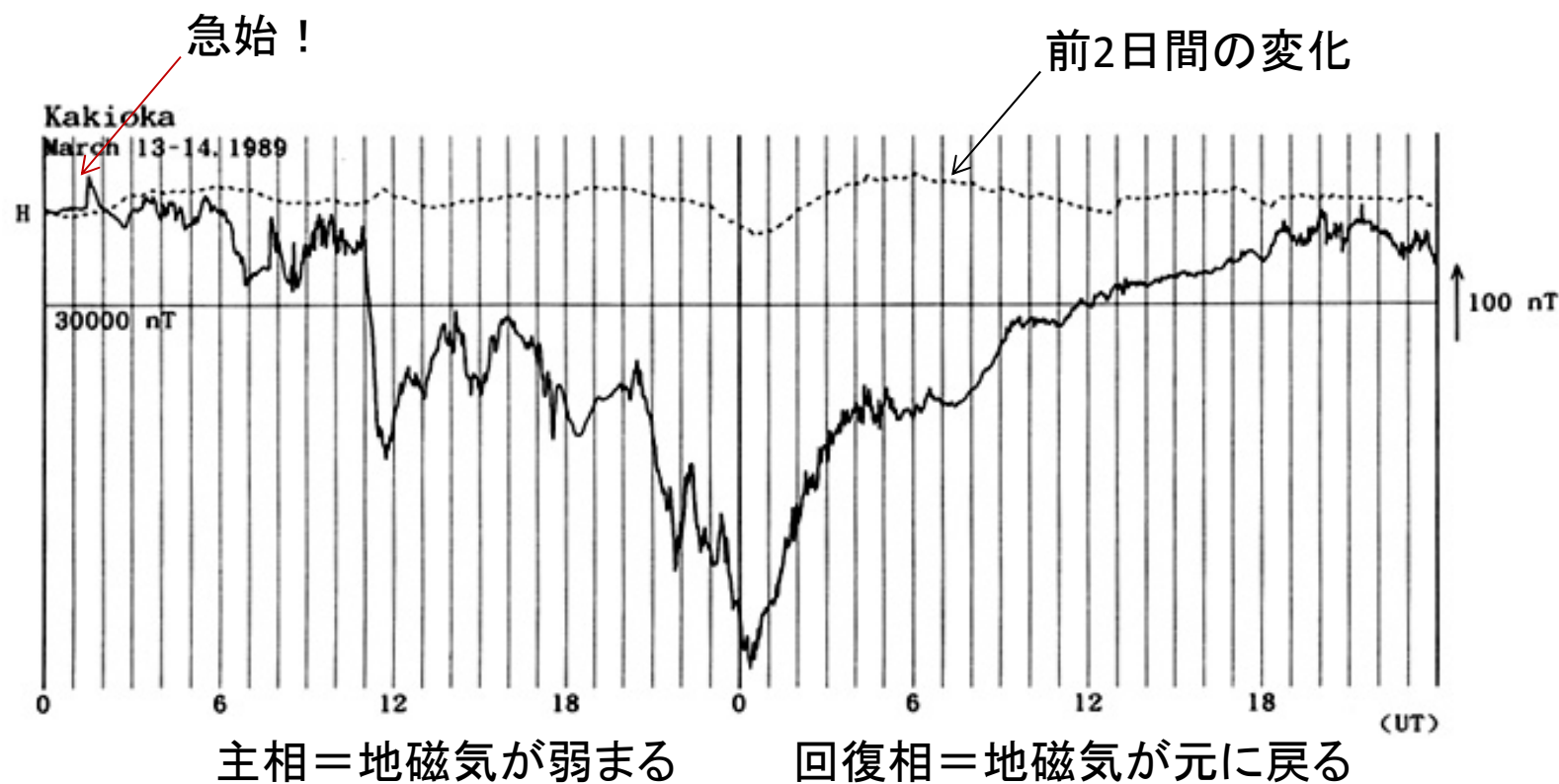
# ツングースカ大爆発(1908)



23区まるごと、なぎ倒される程度の威力

# 過去50年最大の磁気嵐

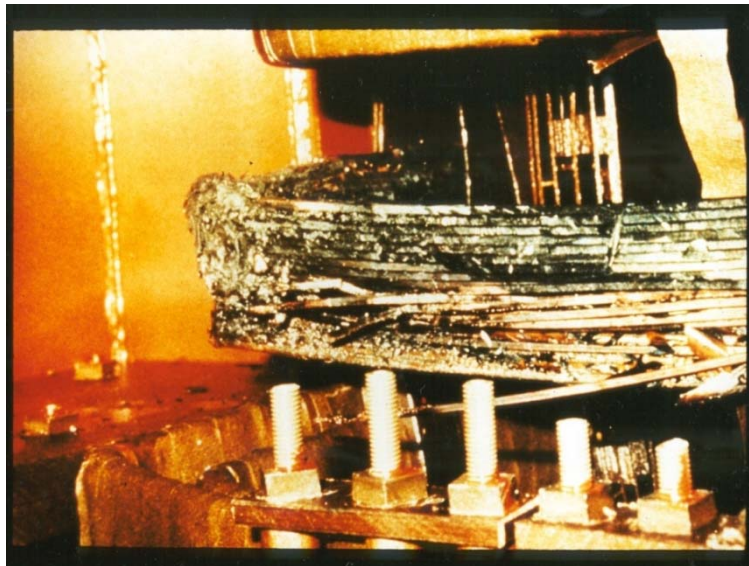
- 磁気嵐では、世界中で地磁気が乱れる。



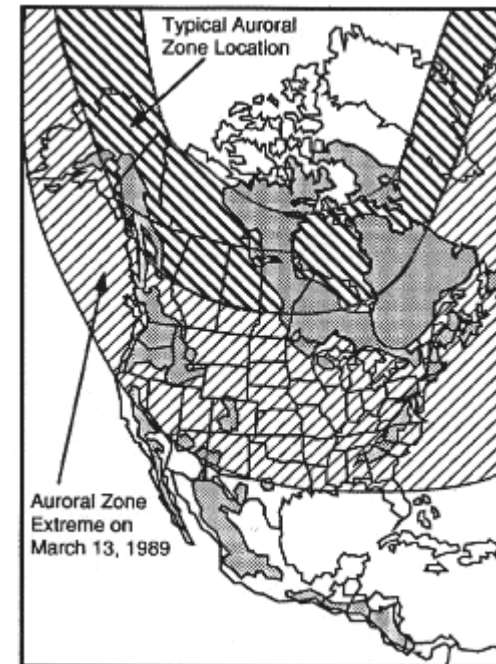
主相では、何度も何度もオーロラ爆発が発生する。

# この大磁気嵐で大停電

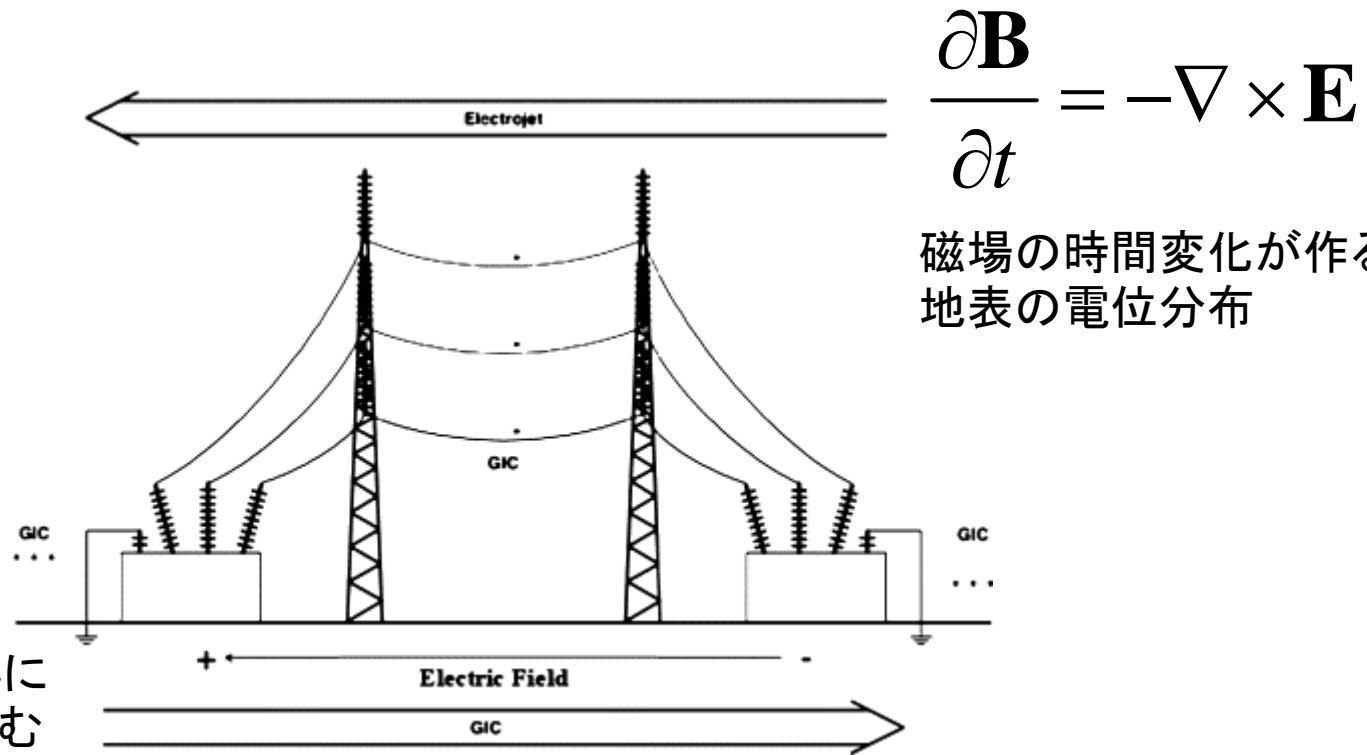
- 1989年3月13日、大規模な磁気嵐が発生し、カナダのハイドロ・ケベック(Hydro-Quebec)社の電力システムに障害が起こり、約600万人が停電の被害にあった。



焼き切れた変圧器(ニュージャージー州)



# なぜ誘導電流が流れる？



グランドから変圧器に  
異常電流が流れ込む

GIC = Geomagnetically Induced Currents



# ウシ？

- グーグルアースで世界の牧草地308か所、牛8510頭を調べた結果、大半が北か南を向いており、その方位を平均すると、正確な南北よりも多少ずれている地磁気の南北に近かった。

Magnetic Cow



# イルカ、クジラ、ハト、ヒト？

- イルカやクジラなどの大脳には磁気センサーが発見されている
  - 集団座礁は磁気嵐のときに多いというケンブリッジ大の研究結果があるらしい。
- 宇宙を感じていたハト
  - ハト国際伝書鳩レースの開催日にたまたま磁気嵐が発生し、レースに参加した5000羽のうち、無事ゴールにたどりつけたのは5%ということがあった。
- あと私もMRIに入ったときに磁場を感じました。
  - このMRIは3テスラ。地磁気は $3 \times 10^{-5}$ テスラ。

# 初期太陽の爆発的マスロス

- 今のマスロスは低速風が支配的
  - 低速風:  $10^{-14} M_{\odot}/\text{yr}$
  - CME:  $10^{-15} M_{\odot}/\text{yr}$ 
    - 定常風マスロスの1割程度。
- 初期太陽のマスロスはCMEが支配的？
  - CME:  $10^{-11} M_{\odot}/\text{yr}$ 
    - 頻度100倍、質量100倍から
    - これは定常風マスロスの10倍程度
- 初期太陽の太陽風と、暗いヤングサンパラドックス
  - 太陽は明るかった？
    - Suzuki+2013

# 絶滅への道筋

(1) Short-lived gamma-ray burst

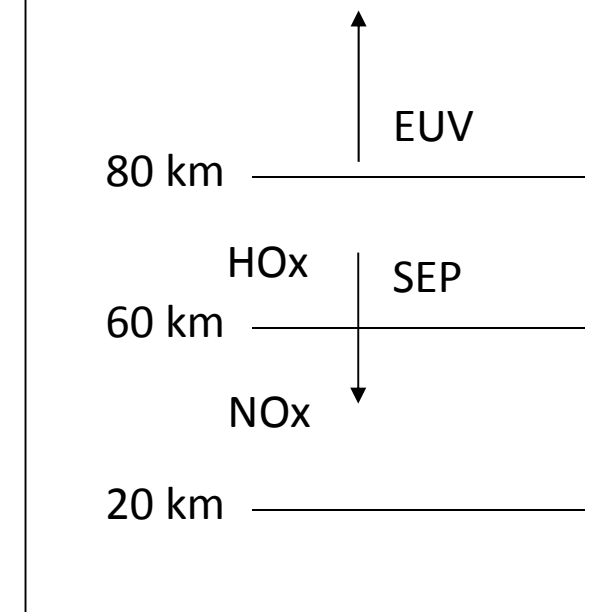
(2) Long-lived cosmic rays in SNe

- NO<sub>x</sub> production, O<sub>3</sub> depletion, UV damage
  - Carrington SEP: [Jackman et al. 2006 GRL](#)

(1) may be more important than (2)

- Assumption: 100 times more cosmic ray flux than present value from an SN at 10 pc
  - [Gehrels et al. 2003 ApJ](#)

大フレアへの応答: 覚え方





# 10pc超新星の被ばくは約1万倍

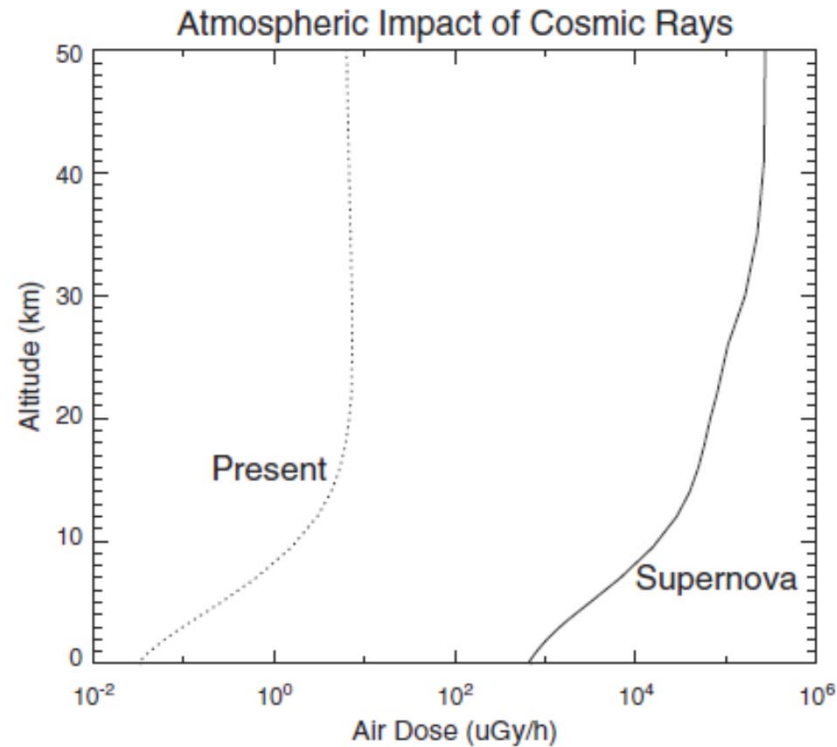


Fig. 6. Dose rate due to cosmic rays during supernova encounter with a spectral index of  $-2$  (solid curve). The present profile of cosmic ray impact is shown by dotted curve as a reference.

# 巨大分子雲と近距離超新星が最悪



## Dark Cloud:

1-100 pc

10-100 K

100-1000 /cc

20 km/s

1% of mass is dust

Time scale is million years

(a number of magnetic excursions occur)



## Supernova Remnant:

10-100 pc

10-100 MK

0.01-1 /cc

1000 km/s

10 % of pressure is cosmic rays

Time scale is thousand years

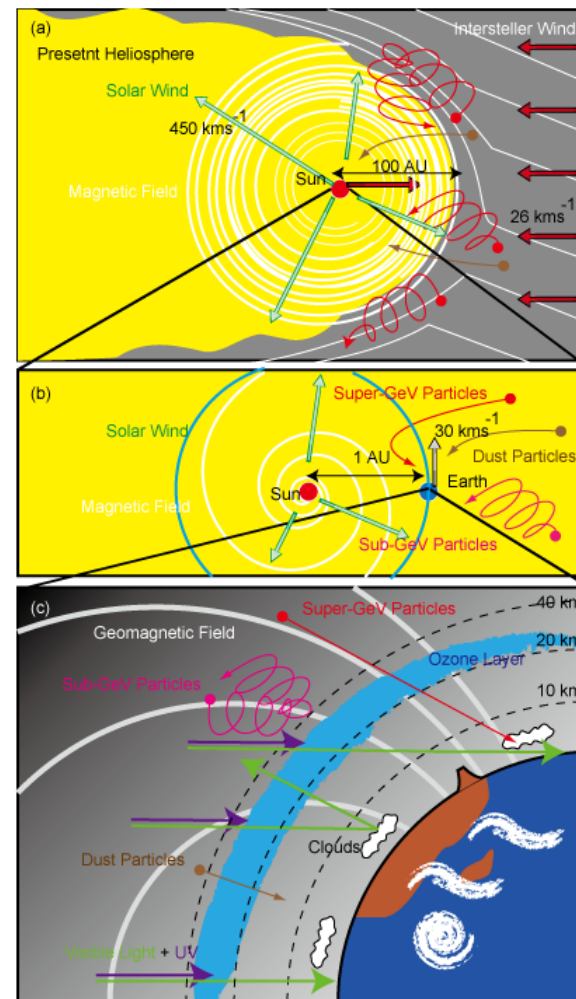
# 強まる3つの槍と壊れる3つの盾

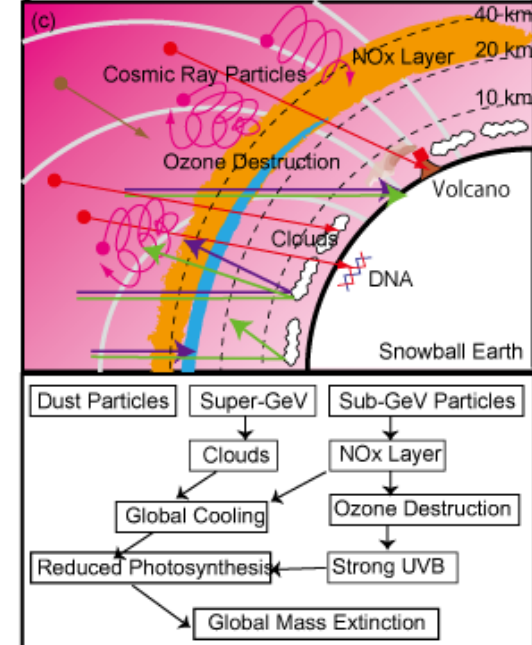
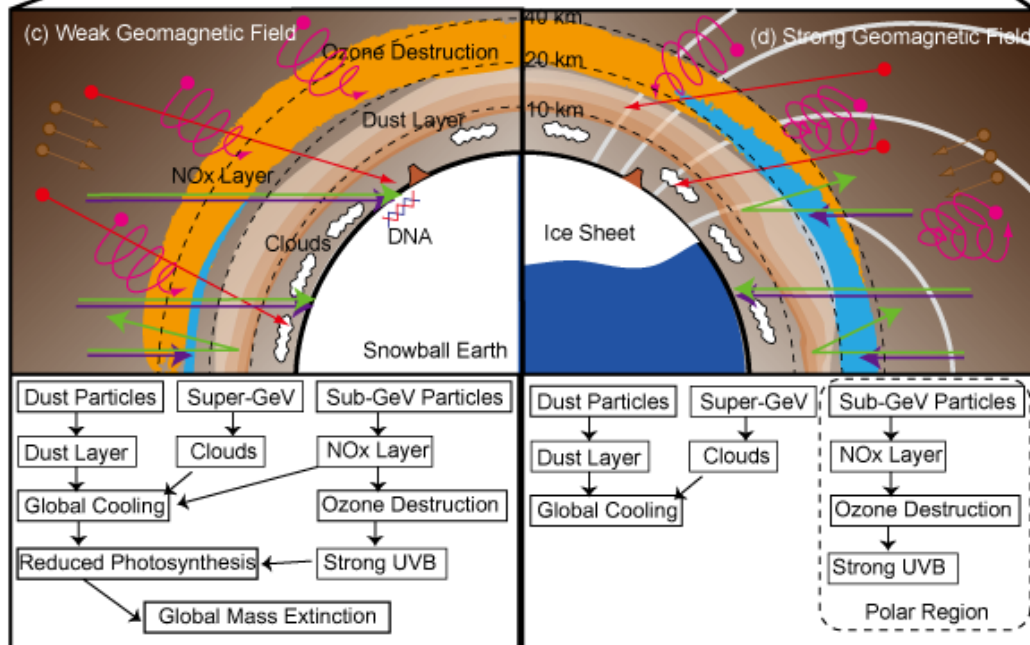
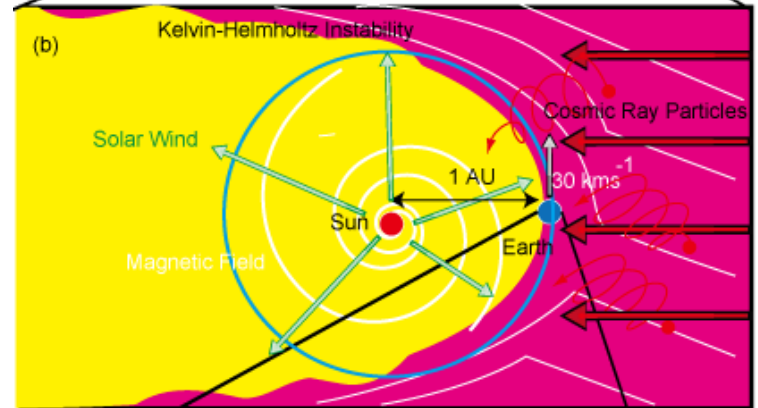
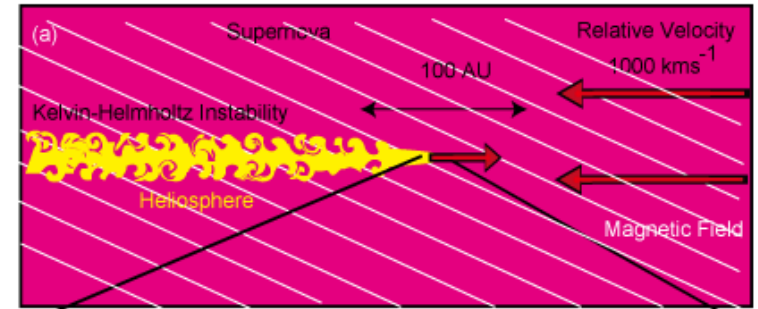
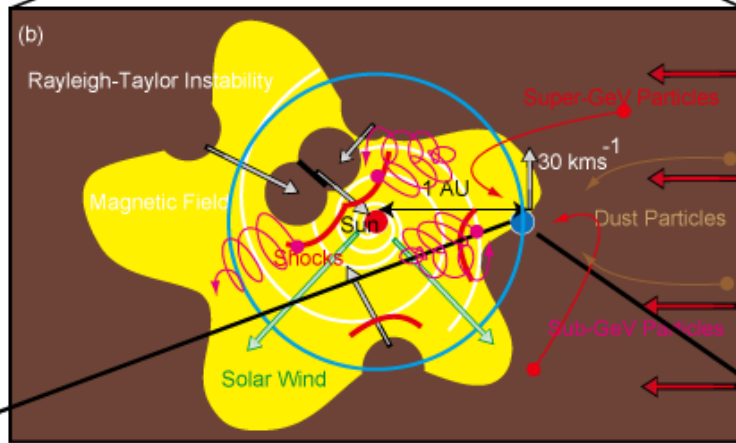
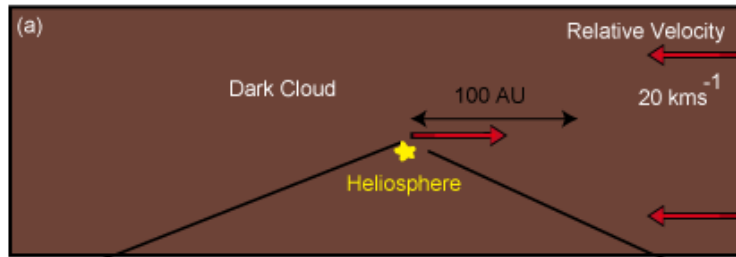
- 3つの槍

- 宇宙線
- 宇宙塵
- 紫外線

- 3つの盾

- 太陽圏
- 地磁気
- 大気(オゾン層)

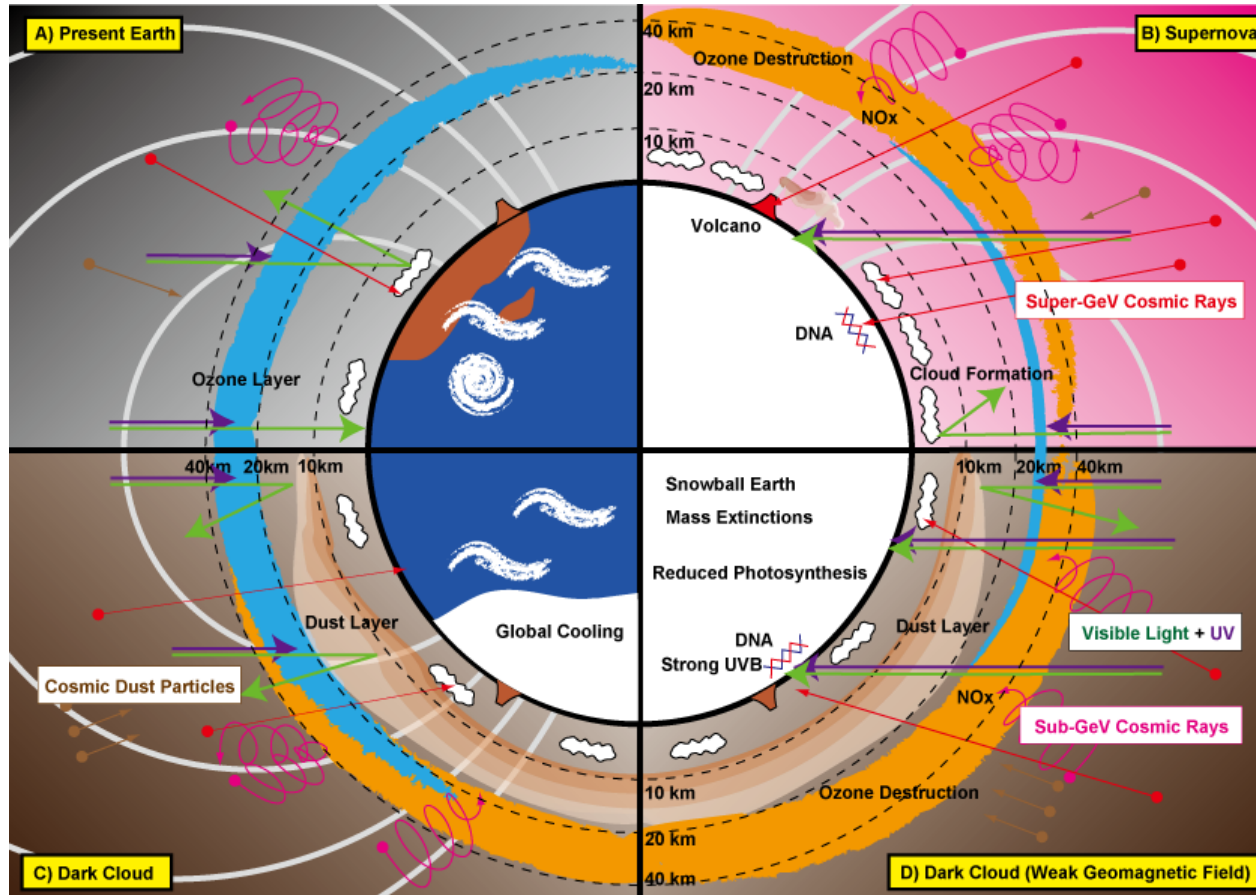






# 「星雲の冬」仮説

超新星や暗黒星雲に太陽系が突入し、大量の宇宙線や宇宙塵によって地球環境が激しく変化する可能性がある。その痕跡を地質学的に検証していく。



Kataoka et al. (2013 Gondwana Research)

大量絶滅や全球凍結、生物進化への影響、惑星環境の予測などに貢献

# 太陽活動現象が地球に与える多彩な影響まとめ

- 磁気流体では近似できない粒子のインパクト
  - オーロラkeV電子 ([Kataoka+2012; 2013](#))
  - ヴァンアレン帯MeV電子 ([Kataoka+2006](#))
  - 太陽放射線GeV陽子 ([Kataoka+2011](#))
- 宇宙と地球の過去と未来に関する考察
  - マウンダー極小期 ([Kataoka+2012](#))
  - キャリントン磁気嵐 ([Kataoka+2013](#))
  - 星雲衝突 ([Kataoka+2012; 2013](#))
- 論文資料と連絡先
  - <http://polaris.nipr.ac.jp/~ryuho>
  - [kataoka.ryuho@nipr.ac.jp](mailto:kataoka.ryuho@nipr.ac.jp)