

# 太陽フレアと 地球への影響

片岡龍峰

2018年11月16日（金）



アラスカの、満天から降ってくるような星くずを背景にオーロラはゆらめいていた。私は、人間がもし第三の眼を頭の上に付けている動物であったなら、世界観は変って、馬鹿々々しい戦争など、地上から消えるのではないかと思った。

斎藤尚生『オーロラ・彗星・磁気嵐』（1998）

# 内容

1. オーロラとは
2. オーロラの3要素

- 復習クイズ

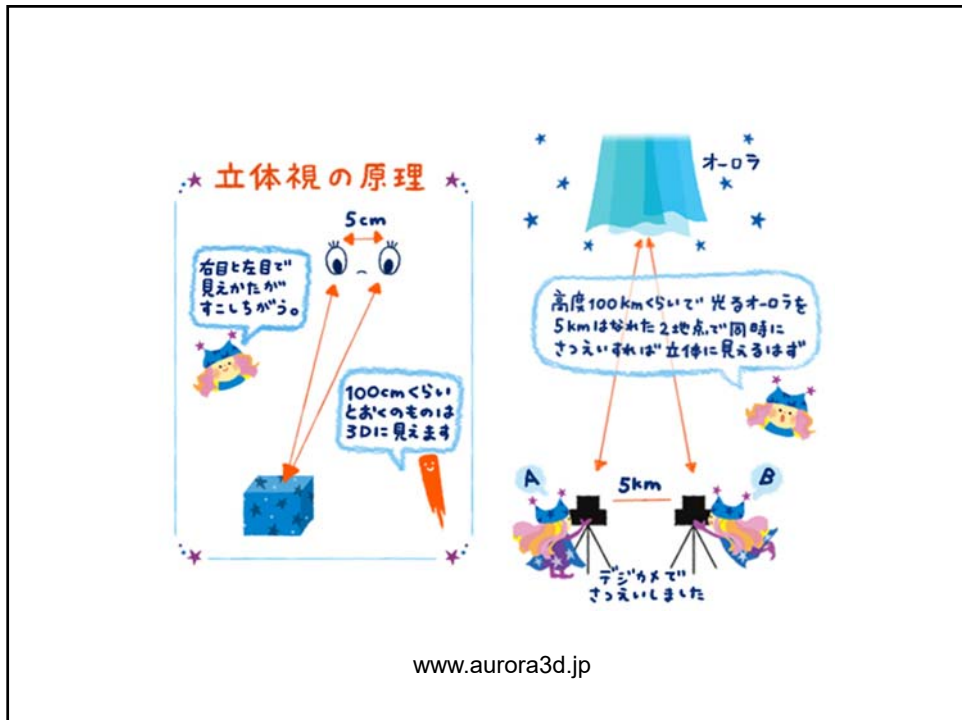
3. 本番：オーロラのダークサイドについて

100年前の発見：オーロラはどこで光っているのか？

Carl Störmer (1874-1957)

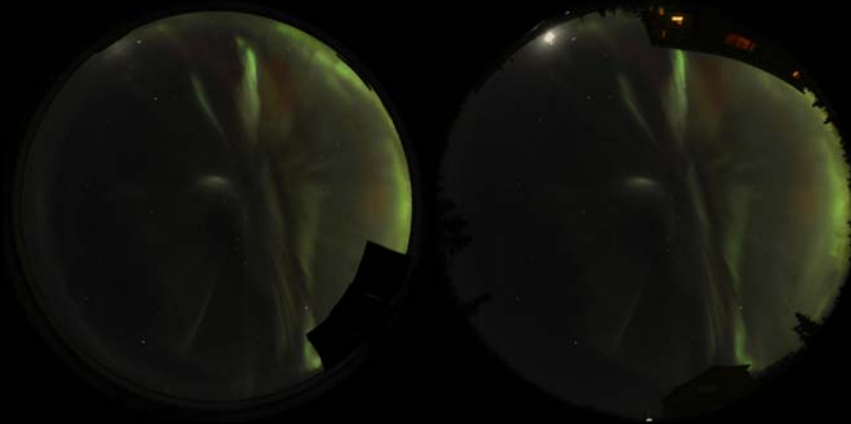


[http://en.wikipedia.org/wiki/Carl\\_St%C3%B8rmer](http://en.wikipedia.org/wiki/Carl_St%C3%B8rmer)





## 世界初、オーロラ立体視映像



Kataoka et al. (2013)

2013.12.21 3Dオーロラ上映@科学技術館シンラドーム (写真：読売新聞)

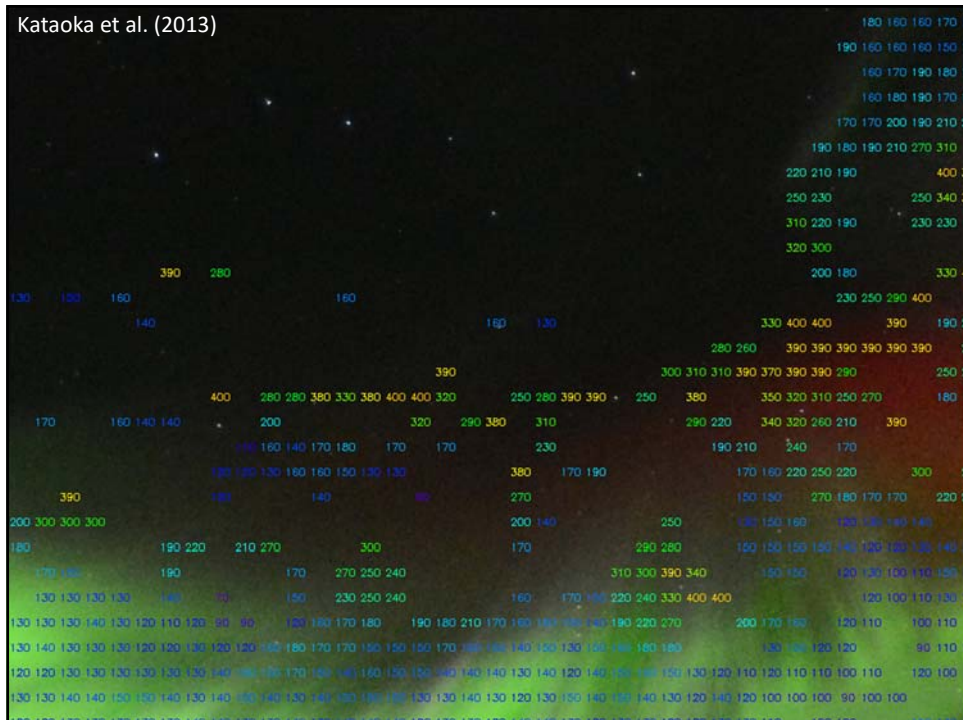




2014/10-2015/02 科学博物館「ヒカリ展」

# 3Dオーロラシアター

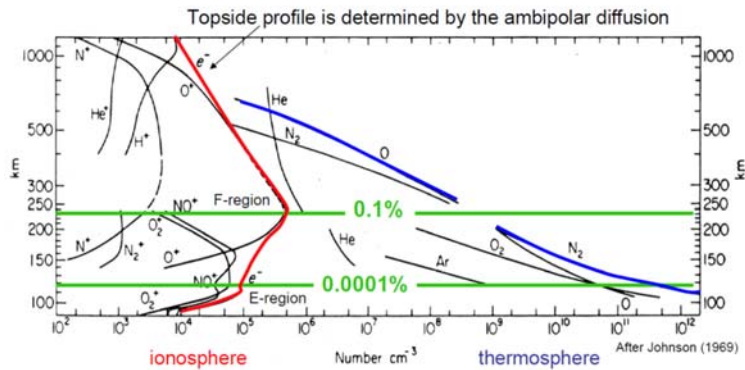
2014/10/16 VR展示@南極・北極科学館





# オーロラの色は大気の色

## Earth's ionosphere and thermosphere



1. Dissociative recombination (molecular, fast):  $\text{NO}^+ + e^- \rightarrow \text{N} + \text{O}$
2. Radiative recombination (atomic, slow):  $\text{O}^+ + e^- \rightarrow \text{O} + \text{photon}$

50年前の発見：オーロラは大きな環だった

## オーロラは環になっている

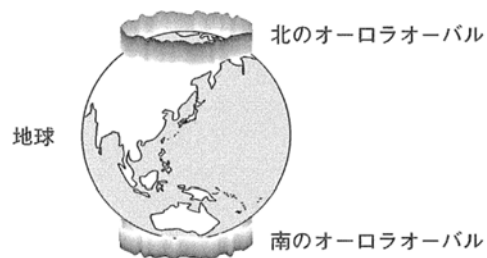
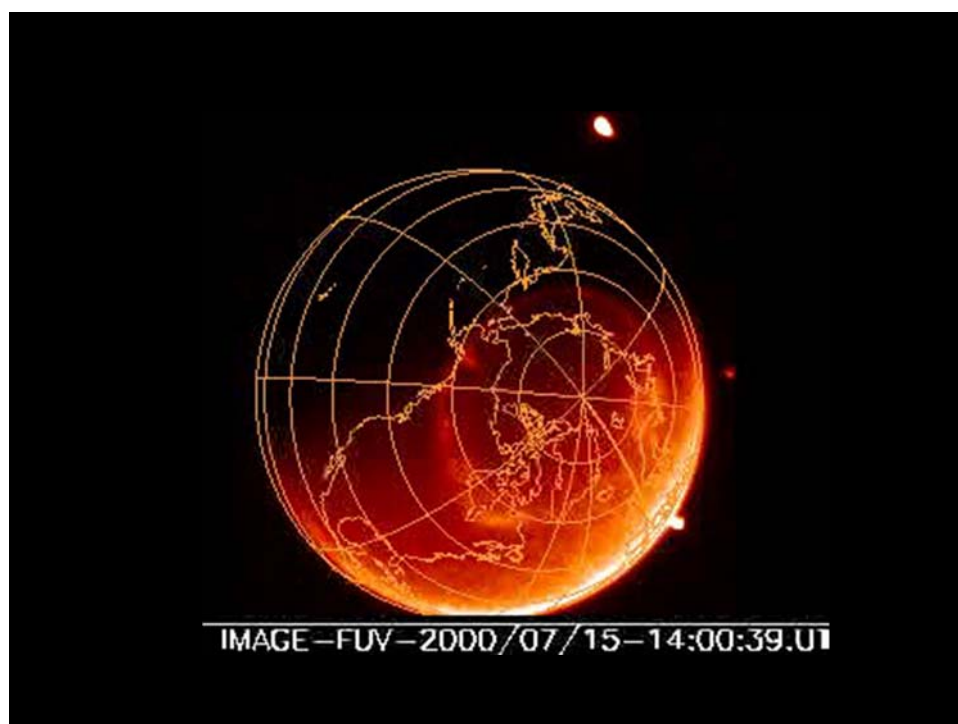


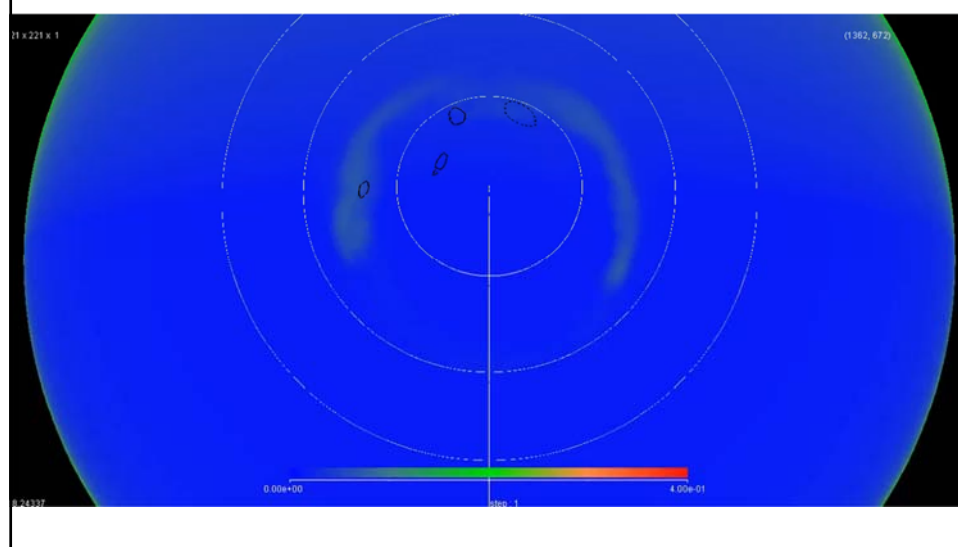
図1-7 ふたつのオーロラオーバル。オーロラは大きな環の形をしている





現在：オーロラは巨大な宇宙発電だった

## スパコンで再現・予測の時代



現在：オーロラは巨大な宇宙発電だった

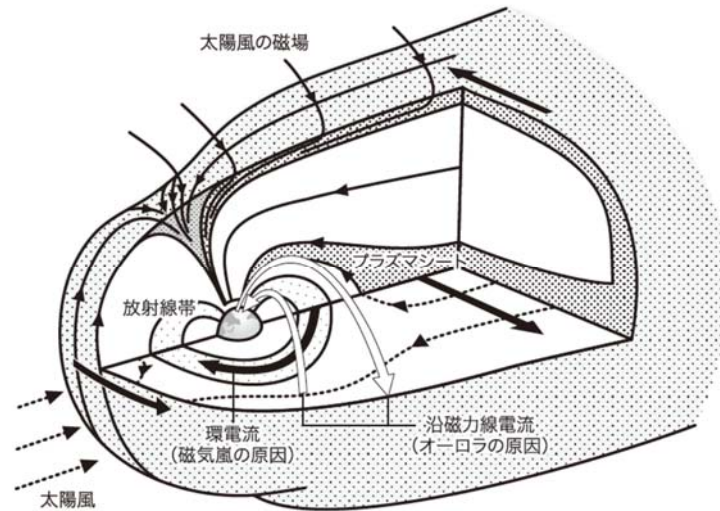


図 2-6 磁気圏の模式図。

太陽風が発電機を回している。

## オーロラ発電機の発電量？

- オーロラの発電は、10 MAと100 kV程度なのでTWのオーダー。
  - 大型の発電所の出力はGWだから、発電所1000基分。
  - クイズ：メガ、ギガ、テラはわかりますね。つぎは？
- 人間活動を賄える電力は、いつも自然に出来ていて近くにあった。
  - 発電所の電気はその程度、という気づき
- 地球は電気の星だった
  - 大自然のエネルギーの使い方とは？

## 1. オーロラとは？まとめ

- 100年前の大きな発見
  - オーロラは宇宙と大気の境界で光っていた
- 50年前の大きな発見
  - オーロラは環だった（環は爆発する）
- 現在
  - スーパーコンピュータで再現・予測の時代
  - オーロラの再現に必要なのは3つだけ

## 2. オーロラを作る3つの要素？



aurora3d.jp

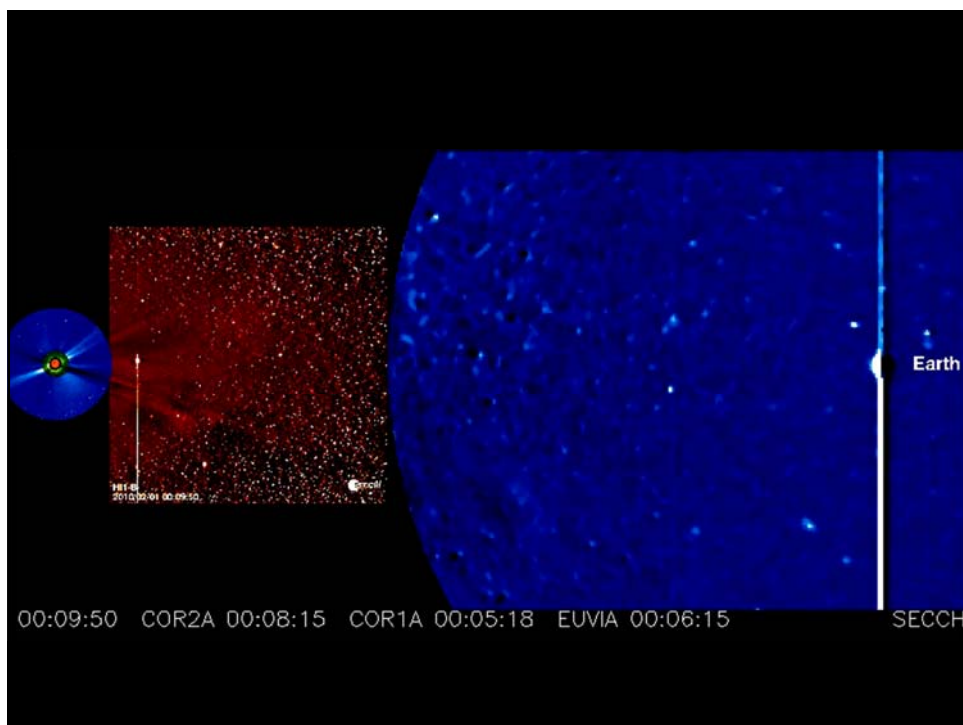
ヒントは絵の中に。

太陽風、地磁気、大気、です。



aurora3d.jp

太陽風は大気にぶつからない。途中に地球を守る壁（地磁気）があるため。  
太陽風と地磁気が作用して電流が生まれ、その電流が大気中でオーロラを光らせる。



## 復習〇×クイズ

- オーロラは、太陽風が大気に衝突して光る

## 復習〇×クイズ

- オーロラは、太陽風が大気に衝突して光る
- 間違い。太陽風は大気に衝突しません。
- オーロラは磁気圏の発電で光っています。

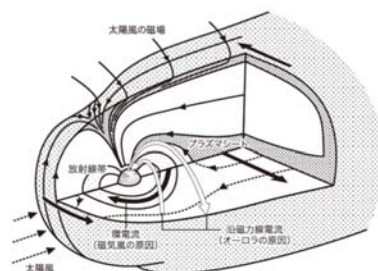


図 2-6 磁気圏の模式図。

1. 太陽風が磁気圏という発電機を回して電流が複雑に流れる。

2. 電流を担う電子が集中した場所がオーロラとして確認できる。



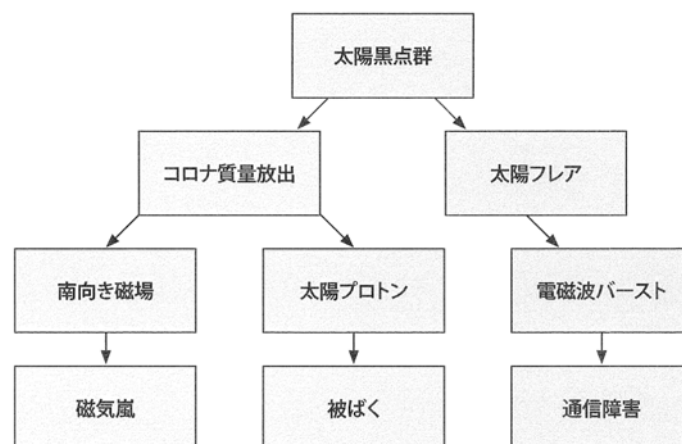
素朴な疑問：日本でオーロラは見られる？

### 3. オーロラのダークサイド

年月日	詳 細	文 献
➡ 1770年9月	京都上空までオーロラが到達。キャリントン級の磁気嵐	Kataoka&Iwahashi (2017)
➡ 1859年9月	キャリントン・イベント。フレアも磁気嵐も史上最大と推定されている	Cliver (2006)
1921年5月	キャリントン級の磁気嵐。サモアでもオーロラが観測。スウェーデンの電信局で火災	Boteler et al. (1998)
1967年5月	冷戦中に深刻な通信障害が発生	Knipp et al. (2016)
➡ 1989年3月	過去50年で最大の磁気嵐。カナダで9時間停電	Bolduc (2002)
➡ 2003年10月	ハロウィン・イベント。観測史上最大のフレア。スウェーデンで90分停電	Gopalswamy et al. (2005)

図4-2 巨大磁気嵐の歴史

### 宇宙災害のフローチャート

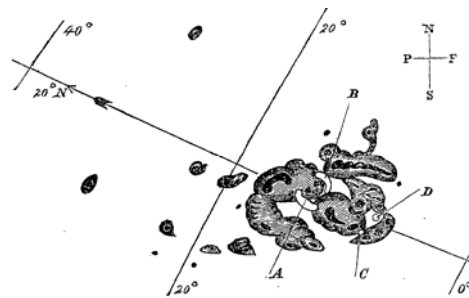


### 3. Darkside of aurora

- Introduction
  - 1859 Carrington event and 1770 Kyoto event
- Power outages
  - 1989 Hydro-Quebec event
- Radiation dose
  - 2003 Halloween event
- Summary

### 1859 Carrington event

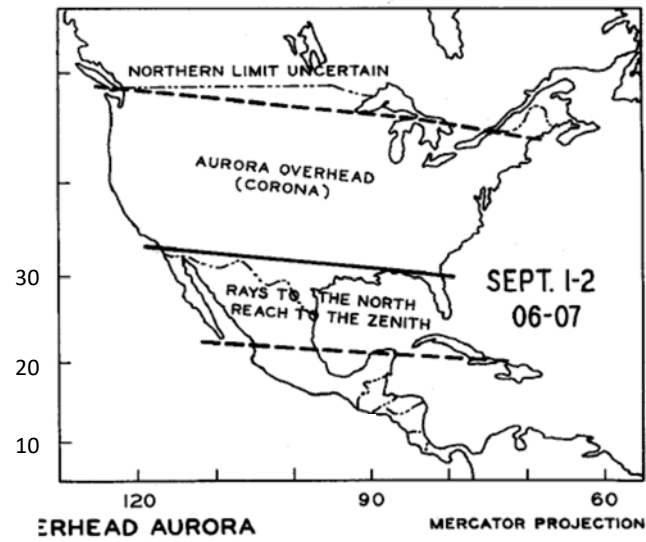
- 1859 Sep 1, Carrington watched a flare during sketching huge sunspots
- 1859 Sep 2, Aurora all over the world.
  - Spark discharges at several telegraph offices
- The largest magnetic storm for last 200 years
  - If it occurred now, economic loss of \$1-2 trillion expected



Carrington (1859)

Kimball, 1960

Large extent of auroral oval ~ large magnetic storm



Courtesy of Matsusaka City

"Rays to the north, reach to the zenith"



## 1770 Kyoto event?

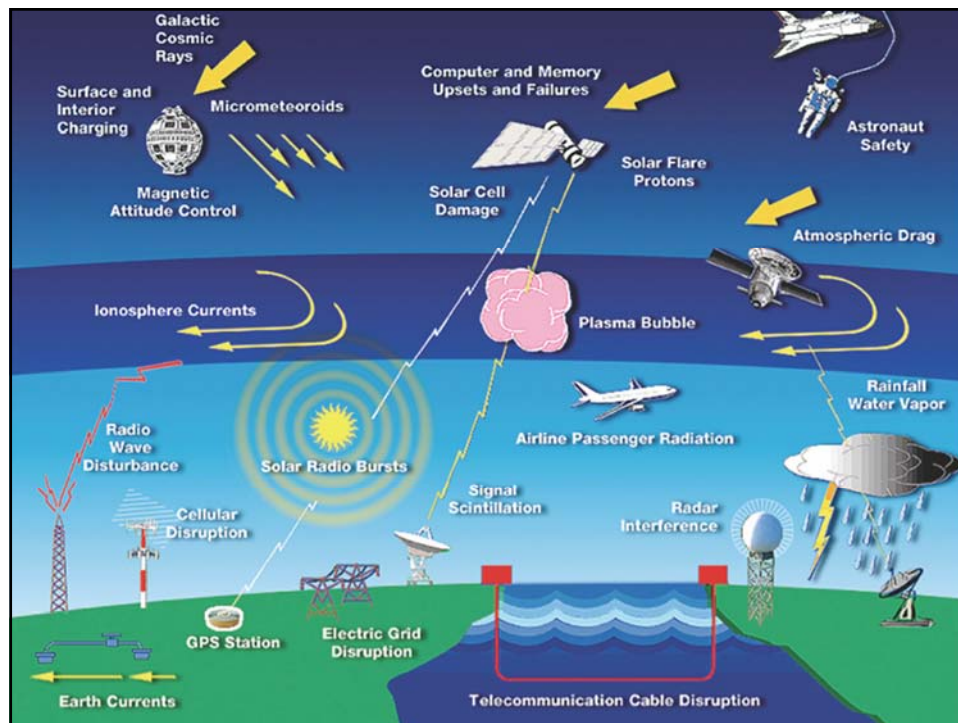
- 1770 September 17
  - The largest number (>100) of old diaries about witnessing red auroras in Japanese history
  - Even larger number of records than Carrington event
- 1770 September 16
  - Captain James Cook and Joseph Banks watched red aurora in the southern hemisphere around Indonesia.
- 1770 September 16-18
  - Red auroras were observed in China for three days
  - Similar prolonged events (= very eruptive Sun) can also be found in “Meigetsuki” in 13<sup>th</sup> century

## What we learn from the history

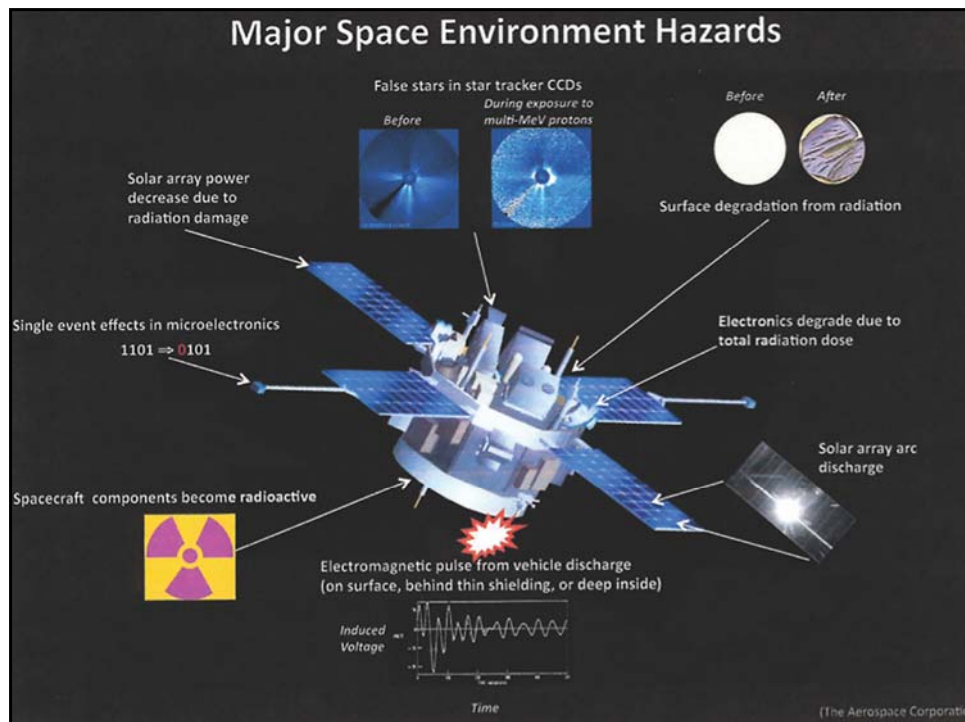
- Japanese old literatures of >1000 years tell us many important things
  - The historically great (and very rare) magnetic storms can be identified to fix the geophysical fact,
  - which is necessary to understand the great poet Fujiwara-no-Teika, as well as to understand transitions of citizen's mind to fear natural disasters and their view of nature.
- Carrington-class “dangerous” magnetic storms occurred at least twice within 100 years.
  - 150 years have already passed since the Carrington event. Modern society is vulnerable to the space weather hazard and we have to prepare to save life.

## What happens if it occurred now

- Infrastructures of modern society are vulnerable to space weather events
- Power grids are sensitive “antennas” to space
  - Main cause of the economic loss (\$1-2 trillion expected)
- We are flying too high
  - Significant radiation to humans
- Many others, including communication failures and satellite malfunctions.







It was just lucky that the blast went away. If it hit the Earth...

## Coronal mass ejection on 2017/9/10



X-ray images of the Sun

## Flare and Coronal Mass Ejection

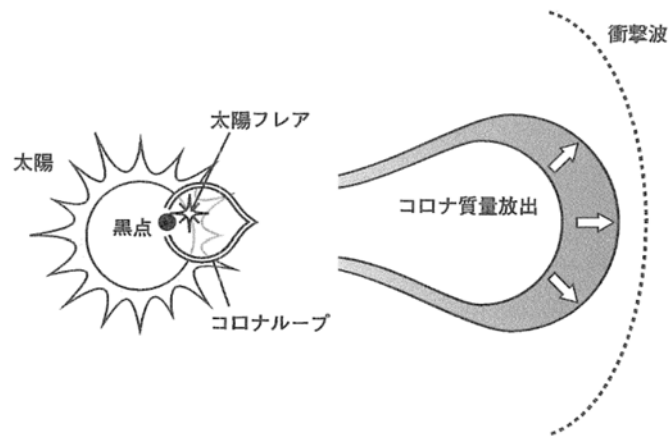


図1-4 太陽フレアとコロナ質量放出

## コロナ質量放出とフレアは違う

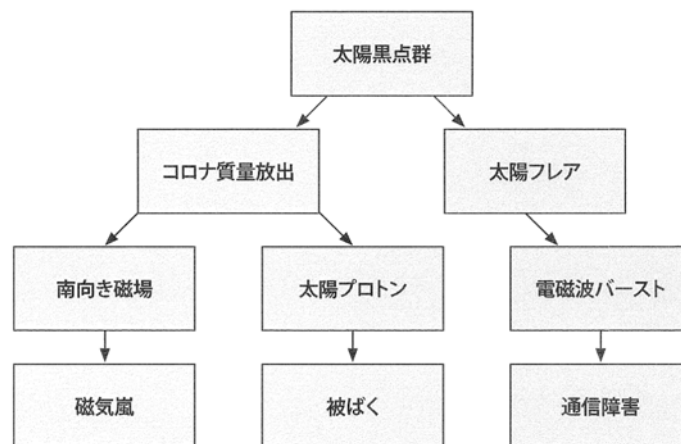


図1-3 太陽活動と宇宙災害。南向き磁場とは、地球磁場とは逆向きの太陽からの磁場

Remember that aurora is huge MA current, which can deform the global geomagnetic field.

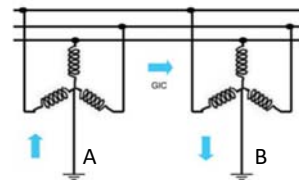
## Hydro-Quebec magnetic storm



The largest magnetic storm for last 50 years

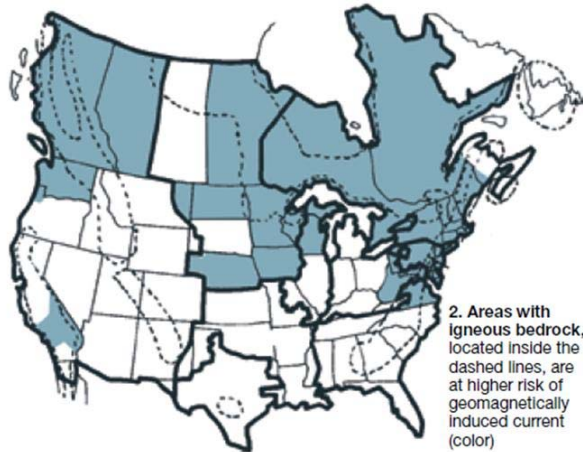
## Geomagnetically Induced Current

- Earth current: electric current flows on the ground
  - Don't worry. We don't feel the electric shock because the ground is better conductor than human
- The large variation of the auroral current (magnetic storm) causes large voltage difference on ground between distant positions A and B.
- If a conductive artificial structure also connected the positions A and B, the electric current flows along the structure.
  - This is called GIC, which disrupt power grids



\$12 million transformer at Nuclear Plant

## Hazard map of GIC power outage

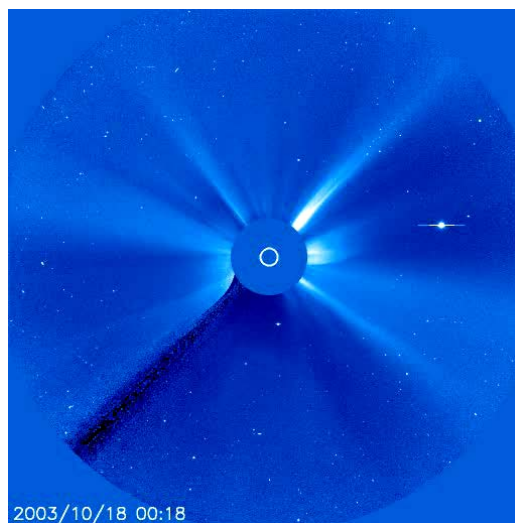


Hydro-Quebec accident in 1989 March event:

Within 92 seconds it brought down almost the entire grid, knocking 21.5 GW off line. The blackout lasted more than nine hours, affected six million people, and cost \$2 billion.

c.f., Hokkaido blackout: order of 1 GW , \$2 billion

## Halloween event

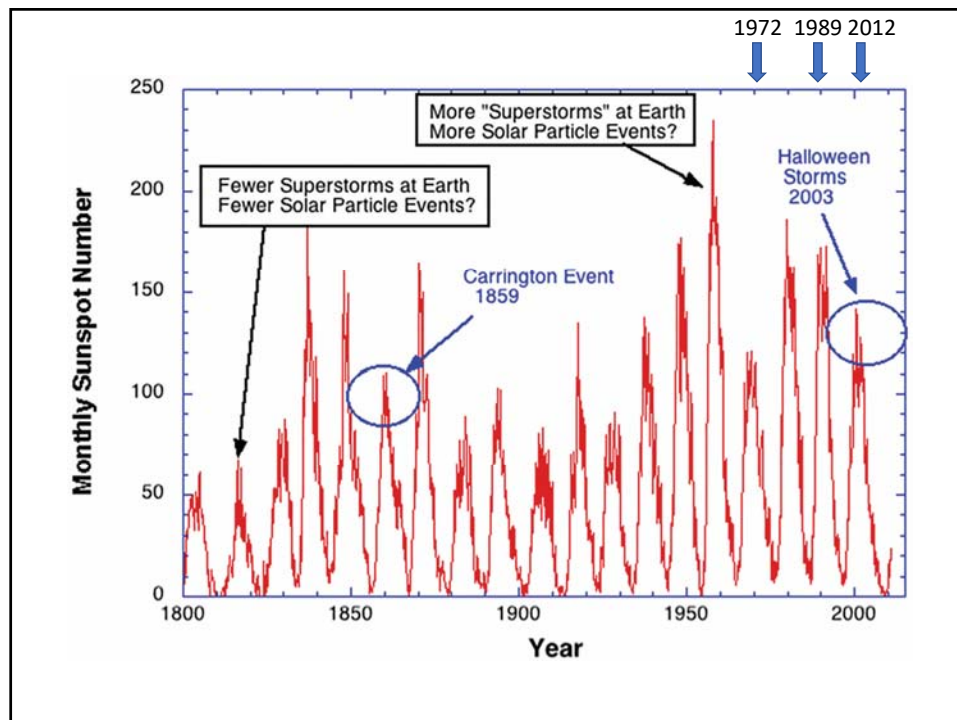


Coronal Mass Ejections and Solar Protons: artificial eclipse makes you see the coronal activity

## Some histories of solar protons

- 1972 April 27, Apollo 16 came back from the Moon
  - 1972 August 4, solar proton event occurred.
  - If astronauts were at the Moon, the dose would be  $>10$  Sv.
- 1989 October 19, astronauts had to shield themselves at ISS
  - Comparable solar protons to 1972 August event.
  - People enjoyed aurora in Niigata prefecture Japan.
- 2012 July 23, JAXA's Akatsuki damaged
  - Comparable solar protons to 1972 August event.
  - Solar panels degrade  $>10$  %.

All around the Solar MAX





## How much dose by solar protons?

- It can exceed lethal dose of 10 Sv for astronauts at the Moon (without atmosphere) or toward Mars
- However, only up to 1 mSv at flight altitude
  - Not harmful, comparable to abdominal X-rays
  - Radiation workers close to “5 mSv rule” have to care
  - Airplanes in polar route sometimes reroute (several times/year), mainly to avoid critical communication failures and to protect electronics etc. It cost only additional fuel.
- Why so safe?

## 大気中の核破砕反応

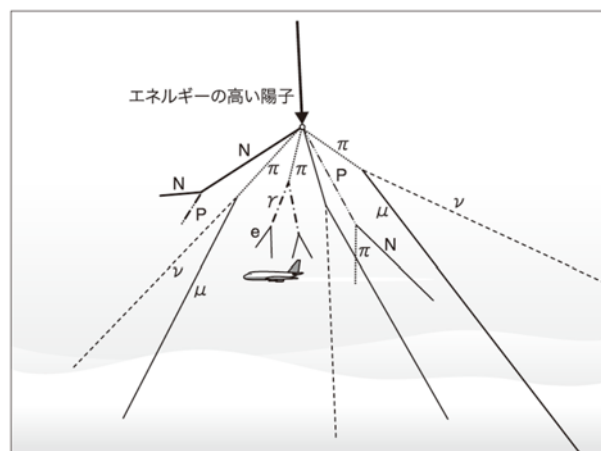
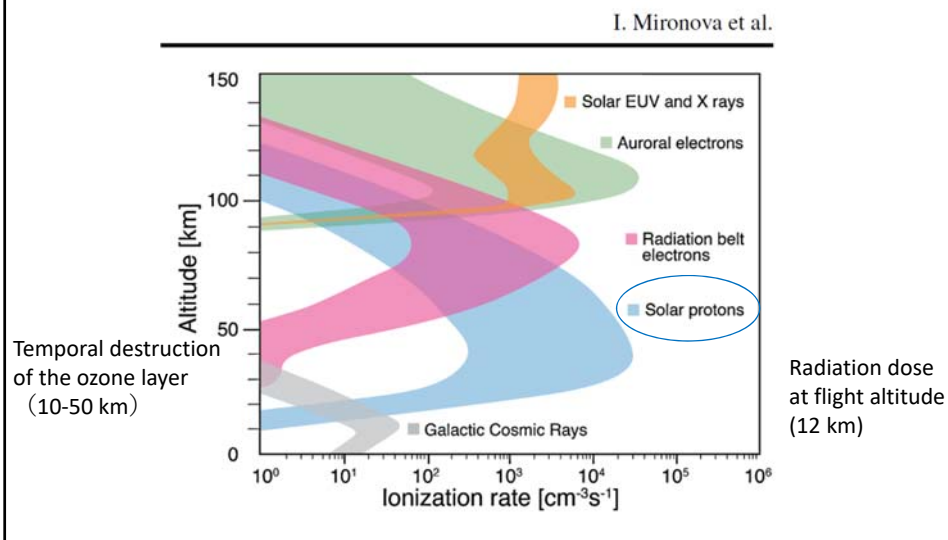


図 2-4 空気シャワーの模式図。

## Ionization rate of the atmosphere



## Summary: Space Disaster

- Infrastructures of modern society are vulnerable to space weather events
- Power grids on ground are sensitive to space hazards, and we are flying too high
  - GICs can cause blackouts over US (\$1-2 trillion expected)
  - Solar protons cause radiation dose above flight altitude
- Carrington-class magnetic storms occurred at least twice within 100 years.
  - Note that 150 years have already passed since the Carrington event.

Question: True or false?

- Magnetic storms are driven by solar flares

Question: True or false?

- Magnetic storms are driven by solar flares
  - False. Please differentiate flares (light) and blast.
  - Magnetic storms are driven by coronal mass ejections.
  - Coronal mass ejections also create solar protons to cause radiation dose for aircrews and astronauts.