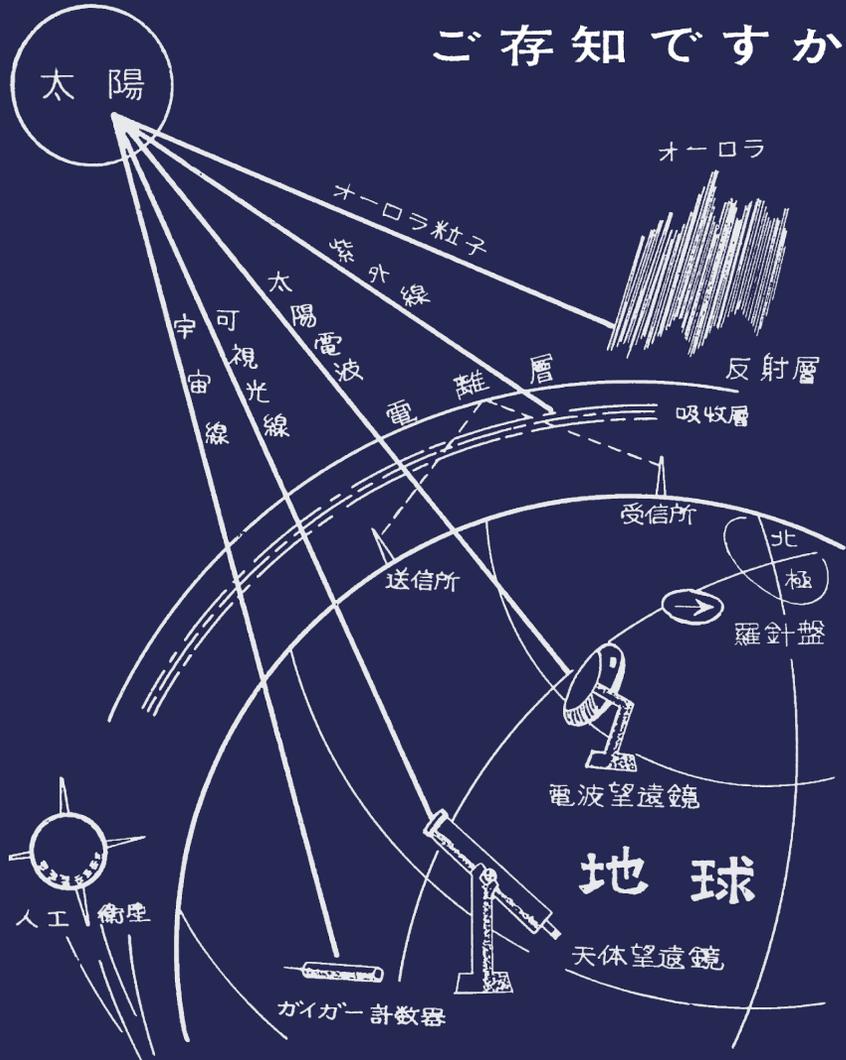


電波予報

電波警報を

ご存知ですか



郵政省 電波研究所

# 宇宙天気予報 歴史資料編

第15回宇宙天気ユーザーズフォーラム  
ミニ講座（オンライン開催）

坂口 歌織, 塩田 大幸, 石橋 弘光, 中山 健司

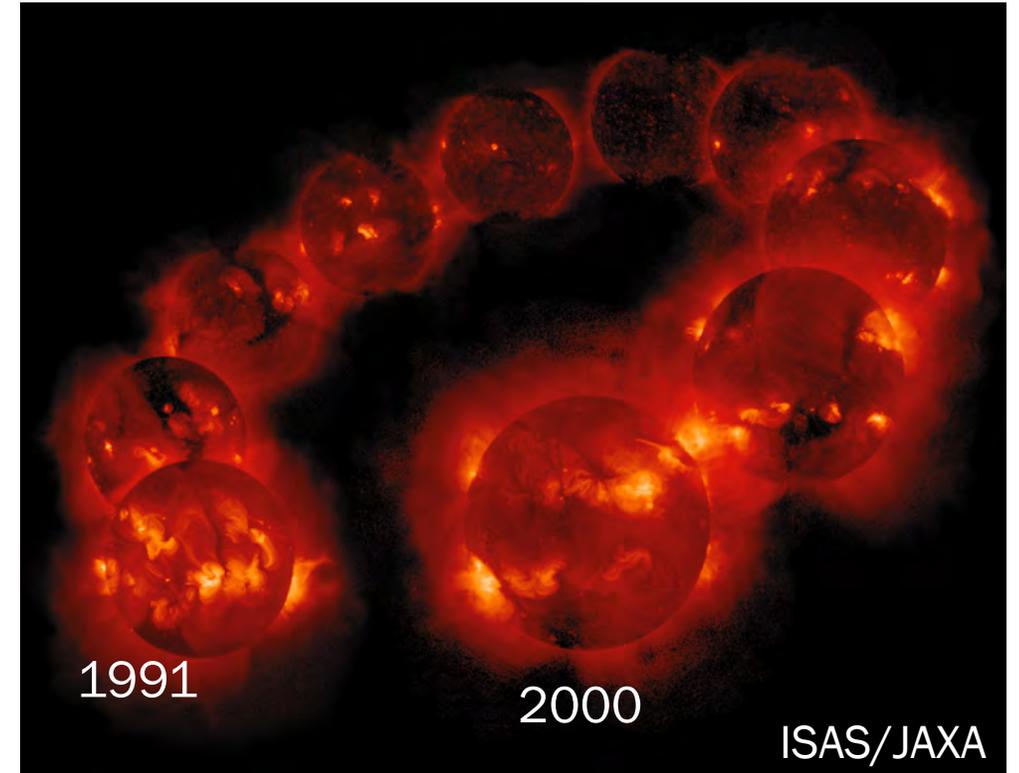
# なぜ過去のデータが大事ななの？

太陽の活動度  $\propto$  黒点数

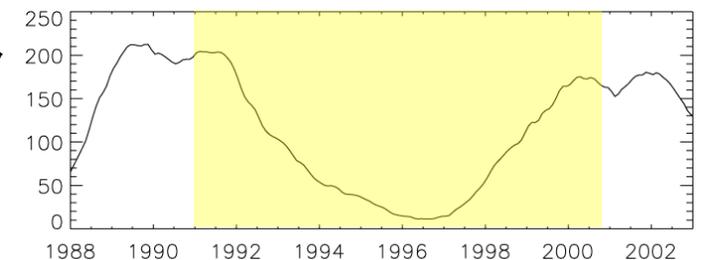
活動度（黒点数）は約11年の周期で増減



ようこうで撮影した太陽コロナ（X線）と太陽光球（白色光）

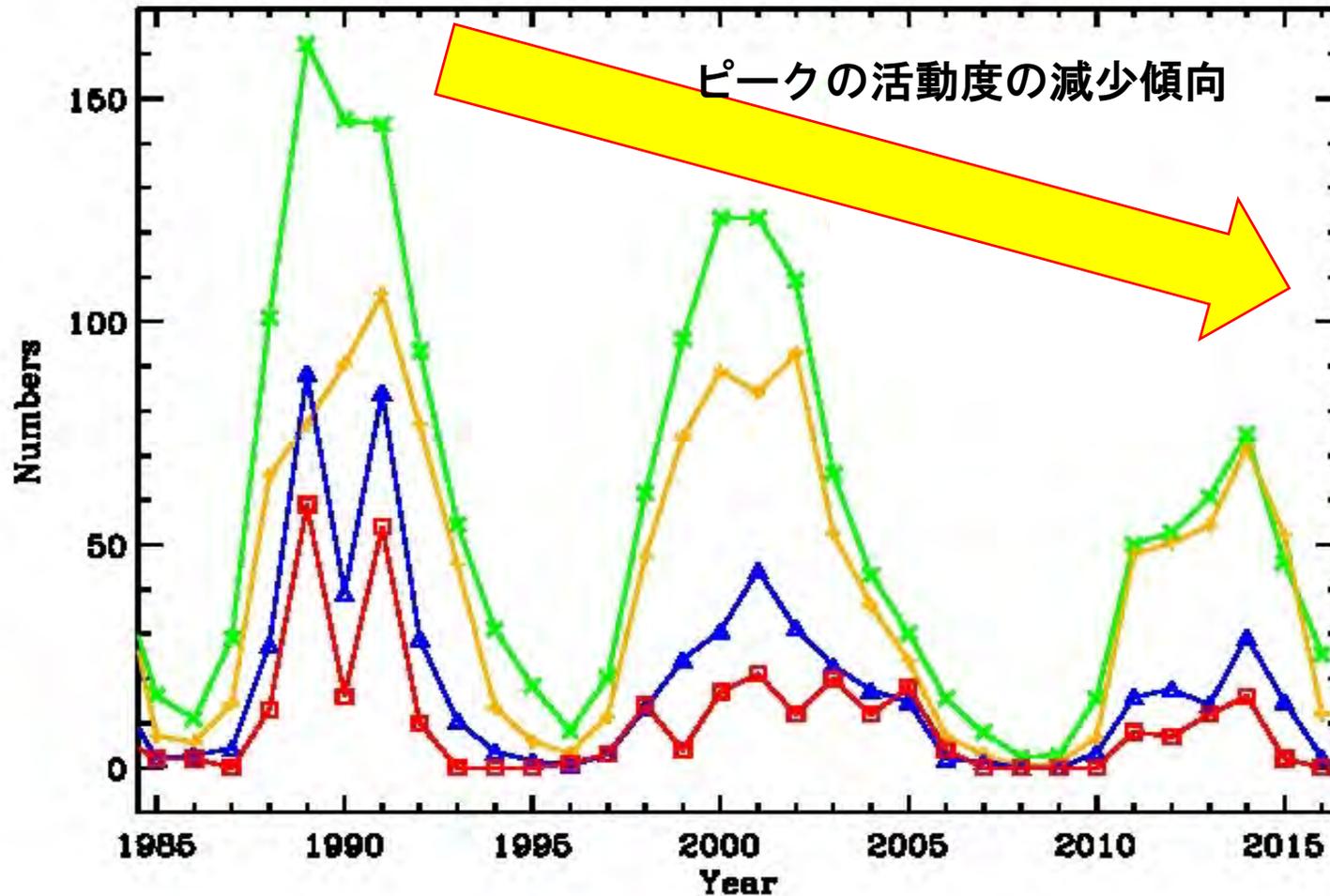


黒点数の推移



# なぜ過去のデータが大事ななの？

活動度（黒点数）が大きいほど大きな太陽フレア（太陽嵐）が発生



各年の  
黒点数

Xクラスフレア数

Mクラスフレア数 \* 1/7

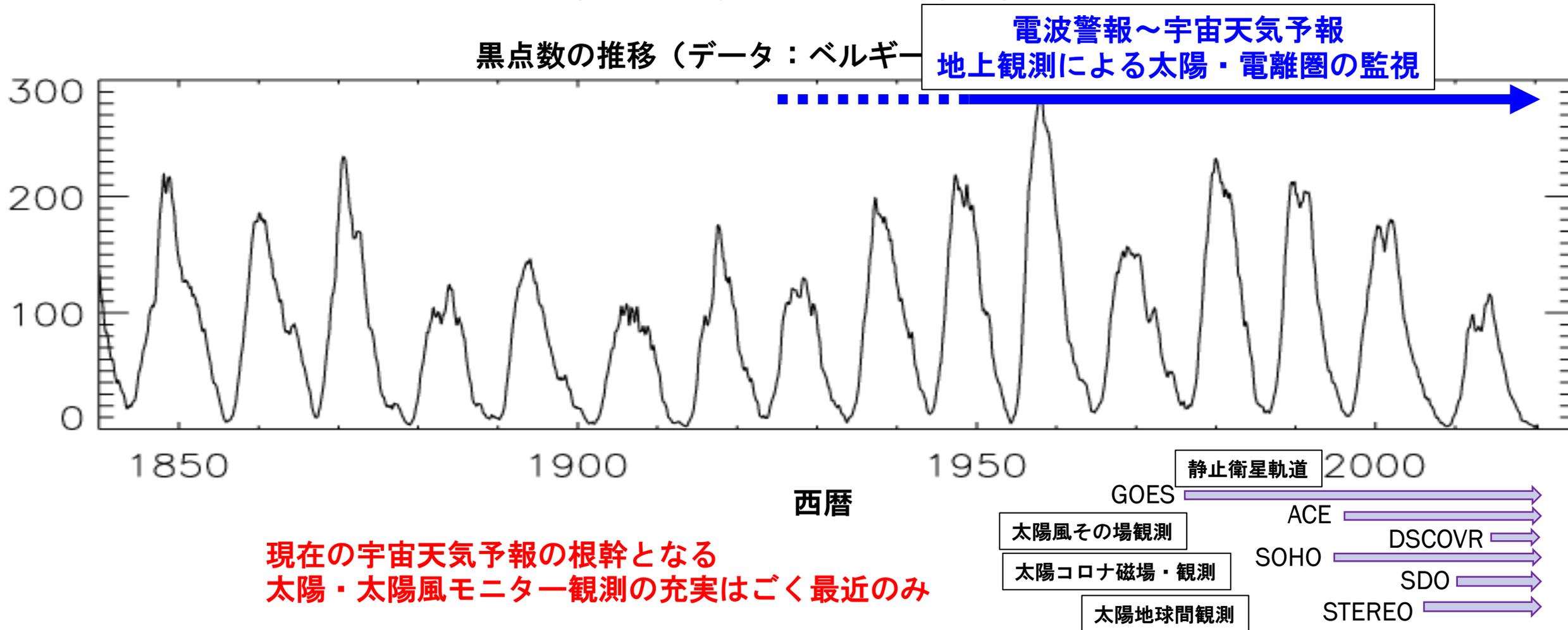
Cクラスフレア数 \* 1/25

出展：  
科学提言のための宇宙天気  
現象の社会への影響評価

# なぜ過去のデータが大事ななの？

活動度（黒点数）は約11年周期で増減するが、周期ごとのピークの値は変動する

第24周期（2009－2019）の活動度（黒点数）はここ100年で最も低かった！



# 日本の宇宙天気の歩み

電波予報・電波警報の時代  
1940年代

宇宙天気予報の黎明期  
1950年代

宇宙天気予報プロジェクト開始  
1988年～

現在へ

### 無線通信の黎明期

通信省電気試験所平磯出張所設置(1915.1)  
平磯・磯浜間で同時送受話式真空管無線電話通信実験(1917.6)  
世界各地の長波大電力無線局の電界強度・方向測定(1926-1930)

### 電波伝搬・無線工学の研究

極回り回線電波の測定(1932)  
通信省電気通信研究所所管(1948.8)  
地磁気観測開始(1950)  
200MHz太陽電波観測開始(1952)  
郵政省電波研究所所管(1952.8)  
大吠・平磯間マイクロ波海上伝搬実験(1954.9)  
極冠異常電離現象(PCA)発見(1958)  
国際無線通信諮問委員会(CCIR)短波電界強度測定局(1959)  
50MHz太陽電波観測開始(1961)  
銀河電波による電離層吸収測定(1965-1988)  
太陽電波10mφパラボラ完成(1967)  
ロランC電波強度測定開始(1969)  
短波対数周期アンテナ完成(1969)  
100MHz太陽電波偏波計設置(1970)  
ロランC電波位相測定開始(1970)  
200MHz太陽電波偏波計設置(1972)  
電波警報発令用自動処理装置設置RADWIS(1972)  
太平洋一岡中波電界強度移動測定(1973.6)  
500MHz太陽電波観測用6mφパラボラ完成(1975)  
西独マックスプランク研究所とチャプサウンダー実験(1978.11)  
気象衛星「ひまわり」宇宙環境データ利用開始(1979)  
平磯・鹿島間ミリ波降雨散乱実験(1980.9)  
南極観測船とチャプサウンダー実験(1981.11)  
HFドップラー観測開始(1984)  
「電波じょう乱予報」テレホンサービス開始(1986)  
ワルシグラム自動翻訳システム稼働(1987)  
70-500MHz太陽電波スペクトル観測開始(1988)

### 宇宙天気予報

当センターの発足はマルコニによる通信実験の成功に始まる無線通信の黎明期にさかのぼります。そこでは通信を効率よく安定に行なうための電波伝搬・無線工学の研究がすすめられました。短波通信で重要な電離層の変動は太陽の活動や宇宙環境と切り離せません。電波伝搬の研究に加えて、太陽から地球までの宇宙環境の研究へと対象を広げてきました。

### 宇宙天気予報

現在では、人間の活動が宇宙へと広がり、通信や放送、測位や地球観測などのために多くの人工衛星が打ち上げられています。宇宙利用は私たちの生活と切り離されないものとなっています。太陽の活動や宇宙環境の変動が宇宙利用にあたる影響は重大です。当センターでは宇宙環境の正確な把握と予報のために宇宙天気予報の研究を行なっています。

### 宇宙環境じょう乱の発生から障害まで

障害の発生箇所	内容	主な原因
衛星本体	表面異常帯電 深部帯電 論理素子の反転 材料劣化 軌道変化	高温プラズマ 放射線粒子 放射線粒子 太陽フレア粒子・放射線粒子 大気膨張
衛星電波	測位誤差 シンチレーション	電離層全電子数 電離層不規則構造
有人宇宙活動	放射線被曝	太陽フレア粒子
地上施設	送電システム誘導電流 短波通信障害	地磁気嵐 電離層嵐、太陽フレアX線

### 組織

郵政省 通信総合研究所

- 関東支所
- 鹿島宇宙通信センター
- 平磯宇宙環境センター
  - 太陽研究室 ……太陽現象の観測、太陽じょう乱の研究
  - 宇宙環境研究室 ……太陽風、放射線帯の変動の研究
  - 宇宙天気予報課 ……各種観測データの収集と予報システムの研究
  - 庶務係

### 国際協力

宇宙環境を24時間連続して観測したり、世界各地でのデータを取得することは、一機関だけでは困難です。そこで、世界的な宇宙環境監視機関のネットワークが構成されています。平磯宇宙環境センターもその一員です。

世界の宇宙環境警報センター ISES

### 沿革

通信省電気試験所の出張所として発足し、電気通信省(1949年)、電波庁(1949年)、総務府電波管理委員会(1950年)所管を経て、1952年には郵政省電波研究所平磯電波観測所になり、現在(1988年～)では、郵政省通信総合研究所平磯宇宙環境センターとして、宇宙環境変動の研究を実施しています。この間、数々の国際観測研究計画にも参加し多くの成果をあげてきました。

### 宇宙天気予報の時代

「宇宙天気予報システムの研究開発」開始(1988.4)  
米国NASAのコンピュータネットワーク(SPAN)接続(1988)  
「週間電波じょう乱予報」2000号(1989.9)  
北海道のオーロラ予測 報内にて写真観測(1989.10)  
オンラインデータサービス(SERDIN)開始(1990)  
国際理学ネットワーク(TISN)接続(1991)  
国際地球磁場観測計画(INTERMAGNET)参加(1992)  
H $\alpha$ 太陽望遠鏡稼働(1992)  
25-2500MHz太陽電波スペクトル計(HIRAS)観測開始(1994)  
音声対話型新テレホンサービス開始(1994)  
H $\alpha$ 太陽望遠鏡高精度撮像観測開始(1994)  
気象衛星「ひまわり」宇宙環境データ直接受信開始(1995)  
黒点監視望遠鏡運用開始(1996)  
ACE衛星太陽風観測データ利用開始(1998)  
太陽定点観測衛星の研究開始(1999)



# 日本の宇宙天気の歩み

CRL平磯宇宙環境センターのパンフレット抜粋【2000年発行】

電波予報・電波警報の時代  
1940年代

宇宙天気予報の黎明期  
1950年代

宇宙天気予報プロジェクト開始  
1988年～

現在へ

Eos, Vol. 79, No. 40, October 6, 1998

EOS, TRANSACTIONS, AMERICAN

## EOS

### Disturbed Space Environment May Have Been Related to Pager Satellite Failure

D. N. Baker, J. H. Allen, S. G. Kanekal, and G. D. Reeves

PAGES 477, 482-483

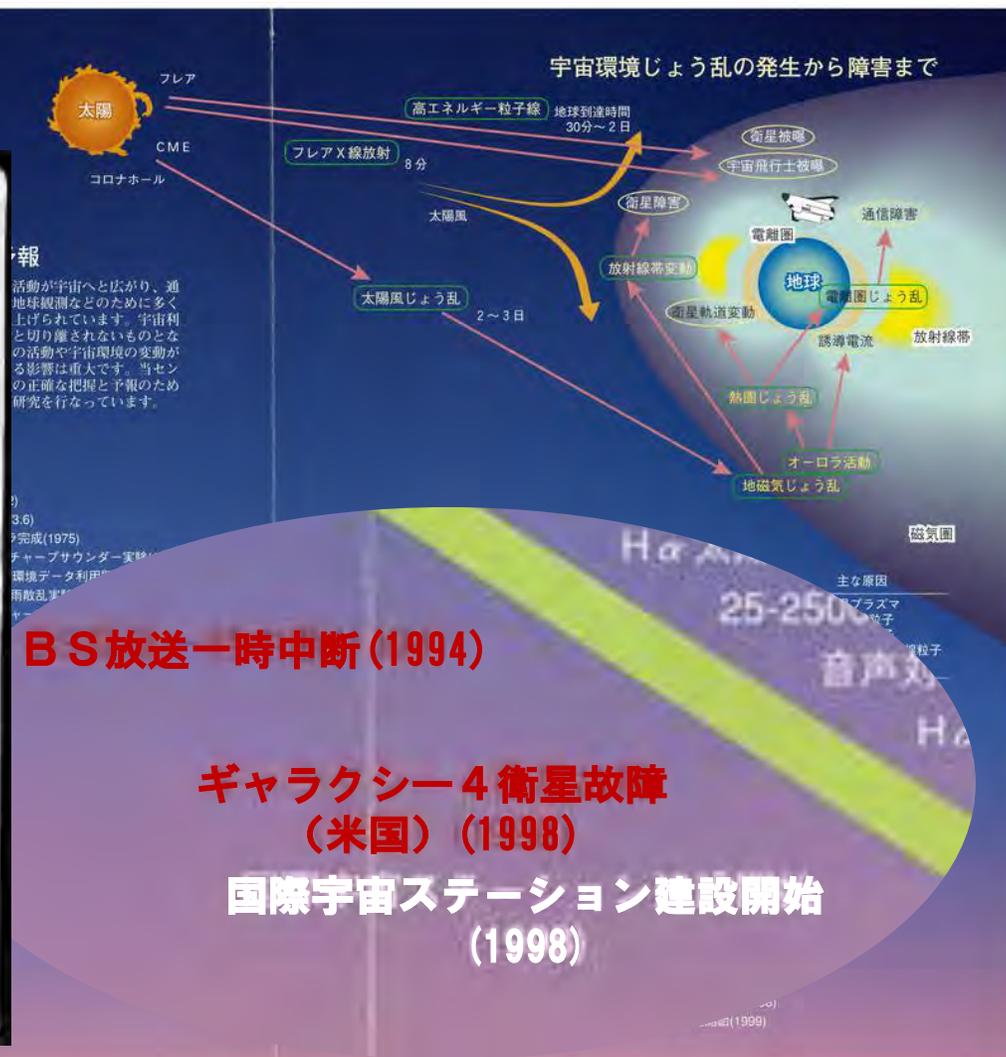
A very intense flux of electrons, evident in the magnetosphere earlier this year, may have caused a satellite failure (or at least exacerbated the situation) leading to the loss of pager service to 45 million customers.

streams led to a powerful sequence of wind drivers of magnetospheric processes on the Earth. The result of the compound large wind disturbances was to produce deep, powerful, and long-lasting enhancement of the HRE population throughout outer terrestrial radiation zone. The ki-

は困難です。そこで、世界的な宇宙環境監視機関のネットワークが構成されています。平磯宇宙環境センターもその一です。



世界の宇宙環境警報センター ISES



BS放送一時中断(1994)

ギャラクシー4衛星故障 (米国) (1998)

国際宇宙ステーション建設開始 (1998)

# 日本の宇宙天気の歩み

電波予報・電波警報の時代  
～1940年代

宇宙天気予報の黎明期  
1950年代

宇宙天気予報プロジェクト開始  
1988年～

現在へ

## 無線通信の黎明期

通信省電気試験所平磯出張所設置(1915.1)  
平磯-磯浜間で同時送受話式真空管無線

世界各地の長波無線

マルコーニ  
大西洋横断通信成功  
(1901.12.12)

国際地球観測年IGY  
(1957-1958)  
ソ連スプートニク1号打上  
(1957)

200MHz太陽電波観測開始(1952)  
郵政省電波研究所管轄(1952.8)

犬吠-平磯間マイク  
ロ波海上伝搬実験(1954.9)

極冠異常電離  
現象(PCA)発見(1958)

国際無線  
通信諮問委員会(CCIR)短波電界強度測定局(1959)

50MHz太陽電波観測開始(1961)

銀河電波による電離層吸収測定(1965-1968)

太陽電波10mΦパラボラ完成(1967)

アポロ11号月面着陸  
(1969.7)

100MHz太陽電波偏波計設置(1970)

電波警報発令用自動処理装置設置RADWIS(1972)

太平洋一帯中波電界強度移動測定(1973.6)

500MHz太陽電波観測用6mΦパラボラ完成(1975)

西独マックスプランク研究所とチャプサウンダー実験(1978.11)

気象衛星「ひまわり」宇宙環境データ利用開始(1979)

平磯-鹿島間ミリ波降雨散乱実験(1980.9)

南極観測船とチャプサウンダー実験(1981.11)

HFドップラー観測開始(1984)

「電波じょう乱予報」テレホンサービス開始(1986)

ワルシグラム自動翻訳システム稼働(1987)

70-500MHz太陽電波スペクトル観測開始(1988)

「宇宙天気予報システムの研究開発」開始(1988.4)

米国NASAのコンピュータネットワーク(SPAN)接続(1988)

「週間電波じょう乱予報」2000号(1989.9)

北海道のオーロラ予測 稚内にて写真観測(1989.10)

オンラインデータベース(SERDIN)開始(1990)

国際理学ネットワーク(TISN)接続(1991)

国際地球磁場観測計画(INTERMAGNET)参加(1992)

Hα太陽望遠鏡稼働(1992)

25-2500MHz太陽電波スペクトル計(HIRAS)観測開始(1994)

音声対話型新テレホンサービス開始(1994)

Hα太陽望遠鏡高精度撮像観測開始(1994)

気象衛星「ひまわり」宇宙環境データ直接受信開始(1995)

黒点監視望遠鏡運用開始(1996)

ACE衛星太陽風観測データ利用開始(1998)

太陽定点観測衛星の研究開始(1999)

## 電波のつたわりかた

センターの発足はマルコーニによる通信実験  
功に始まる無線通信の黎明期にさかのぼり  
ます。そこでは通信を効率よく安定に行なうた  
めの電波伝搬・無線工学の研究がすすめられま  
した。短波通信で重要な電離層の変動は太陽の  
活動や宇宙環境と切り離せません。電波伝搬の  
研究に加えて、太陽から地球までの宇宙環境の  
研究へと対象を広げてきました。

## 宇宙天気予報

現在では、人間の活動が宇宙へと広がり、通  
信や放送、測位や地球観測などのために多く  
の人工衛星が打ち上げられています。宇宙利  
用は私たちの生活と切り離されないものとな  
っています。太陽の活動や宇宙環境の変動が  
宇宙利用にあたる影響は重大です。当セン  
ターでは宇宙環境の正確な把握と予報のため  
に宇宙天気予報の研究を行なっています。

## 宇宙環境じょう乱の発生から障害まで

障害の発生箇所	内容	主な原因
衛星本体	表面異常帯電 深部帯電 論理素子の反転 材料劣化 軌道変化	高温プラズマ 放射線粒子 放射線粒子 太陽フレア粒子・放射線粒子 大気膨張
衛星電波	測位誤差 シンチレーション	電離層全電子数 電離層不規則構造
有人宇宙活動	放射線被曝	太陽フレア粒子
地上施設	送電システム誘導電流 短波通信障害	地磁気嵐 電離層嵐、太陽フレアX線

## 宇宙天気予報の時代

「宇宙天気予報システムの研究開発」開始(1988.4)  
米国NASAのコンピュータネットワーク(SPAN)接続(1988)  
「週間電波じょう乱予報」2000号(1989.9)  
北海道のオーロラ予測 稚内にて写真観測(1989.10)  
オンラインデータベース(SERDIN)開始(1990)  
国際理学ネットワーク(TISN)接続(1991)  
国際地球磁場観測計画(INTERMAGNET)参加(1992)  
Hα太陽望遠鏡稼働(1992)  
25-2500MHz太陽電波スペクトル計(HIRAS)観測開始(1994)  
音声対話型新テレホンサービス開始(1994)  
Hα太陽望遠鏡高精度撮像観測開始(1994)  
気象衛星「ひまわり」宇宙環境データ直接受信開始(1995)  
黒点監視望遠鏡運用開始(1996)  
ACE衛星太陽風観測データ利用開始(1998)  
太陽定点観測衛星の研究開始(1999)

## 沿革

通信省電気試験所の出張所として発足し、  
電気通信省(1949年)、電波庁(1949年)、総  
理府電波管理委員会(1950年)所管を経て、  
1952年には郵政省電波研究所平磯電波観測  
所になり、現在(1988年～)では、郵政省通  
信総合研究所平磯宇宙環境センターとして、  
宇宙環境変動の研究を実施しています。こ  
の間、数々の国際観測研究計画にも参加し  
多くの成果をあげてきました。

## 組織

郵政省 通信総合研究所

- 関東支所
  - 鹿島宇宙通信センター
  - 平磯宇宙環境センター
    - 太陽研究室 ……太陽現象の観測、太陽じょう乱の研究
    - 宇宙環境研究室 ……太陽風、放射線帯の変動の研究
    - 宇宙天気予報課 ……各種観測データの収集と予報システムの研究
    - 庶務係

## 国際協力

宇宙環境を24時間連続して観測  
したり、世界各地でのデータを  
取得することは、一機関だけ  
では困難です。そこで、世界的な  
宇宙環境監視機関のネットワ  
ークが構成されています。平磯宇  
宙環境センターもその一員です。

世界の宇宙環境警報センター  
ISES

# 日本の宇宙天気の歩み

電波予報・電波警報の時代  
～1940年代

宇宙天気予報の黎明期  
1950年代

宇宙天気予報プロジェクト開始  
1988年～

現在へ

マルコーニ  
大西洋横断通信成功  
(1901.12.12)

## 無線通信の黎明期

通信省電気試験所平磯出張所設置(1915.1)

平磯-磯浜間で同時送受話式真空管無線

世界各地の長距離無線

地磁気観測開始(1950)

国際地球観測年IGY

200MHz太陽電波観測開始(1952)

無線電波研究所設置(1952.8)

間マイクロ波海上伝送

異常電離現象(PCA)発

国際無線通信諮問委

50MHz太陽電

銀河電波

太陽

月面着陸

(9.7)

## 1901長距離無線通信成功



Guglielmo Marconi

by Wikipedia

### 組織

郵政省 通信総局

関係

### 国際協力

宇宙環境を24時間連  
したり、世界各地で  
取得することは、一  
は困難です。そこで  
宇宙環境監視機関の  
クが構成されていま  
宙環境センターもそ

世界の宇宙環境警報センター  
ISES

## 電波のつたわりかた

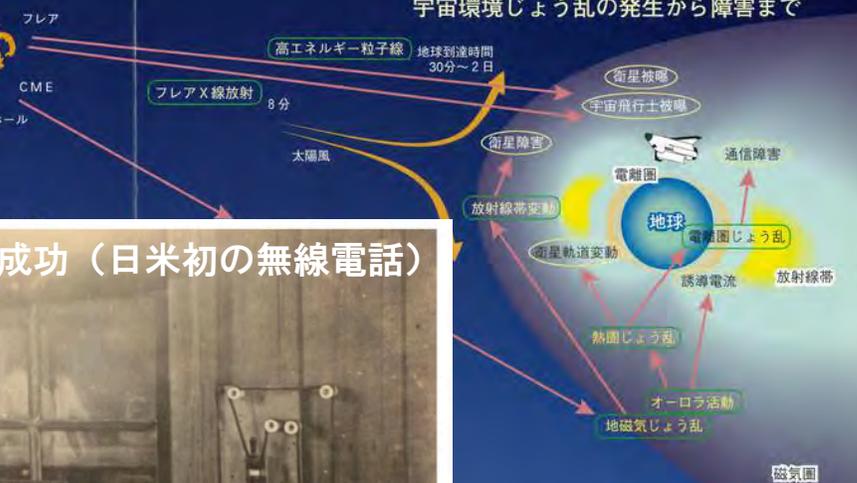
ソナーの発足はマルコーニによる通信実験  
功に始まる無線通信の黎明期にさかのぼり  
す。そこでは通信を効率よく安定に行なうた  
めの電波伝搬・無線工学の研究がすすめられ  
ました。短波通信で重要な電離層の変動は太陽  
の活動や宇宙環境と切り離せません。電波伝搬  
の研究に加えて、太陽から地球までの宇宙環境  
の研究へと対象を広げてきました。

## 宇宙天気予報

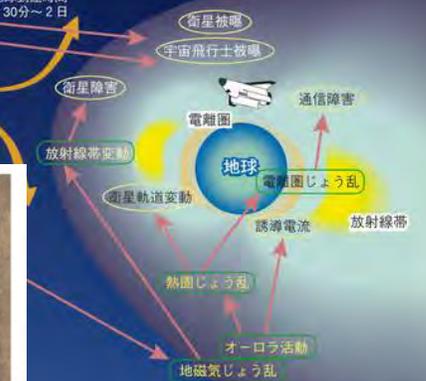
## 日本で米国ラジオ局KGOの受信成功（日米初の無線電話）



by NICT平磯100年誌  
通信省電気試験所平磯出張所にて



## 宇宙環境じょう乱の発生から障害まで



害の発生箇所	内容	主な原因
衛星本体	表面異常帯電 深部帯電 論理素子の反転 材料劣化 軌道変化	高温プラズマ 放射線粒子 放射線粒子 放射線粒子 太陽フレア粒子、放射線粒子 大気膨張
衛星電波	測位誤差 シンチレーション	電離層全電子数 電離層不規則構造
人宇宙活動	放射線被曝	太陽フレア粒子
地上施設	送電システム誘導電流 短波通信障害	地磁気嵐 電離層嵐、太陽フレアX線

# 日本の宇宙天気の歩み

CRL平磯宇宙環境センターのパンフレット抜粋【2000年発行】

電法  
～1

マルコーニ  
大西洋横断通信成功  
(1901.12.12)

## 組織

郵政省 通信総合研究所

関東支所

鹿島宇宙

平磯宇宙

大

宇

宇

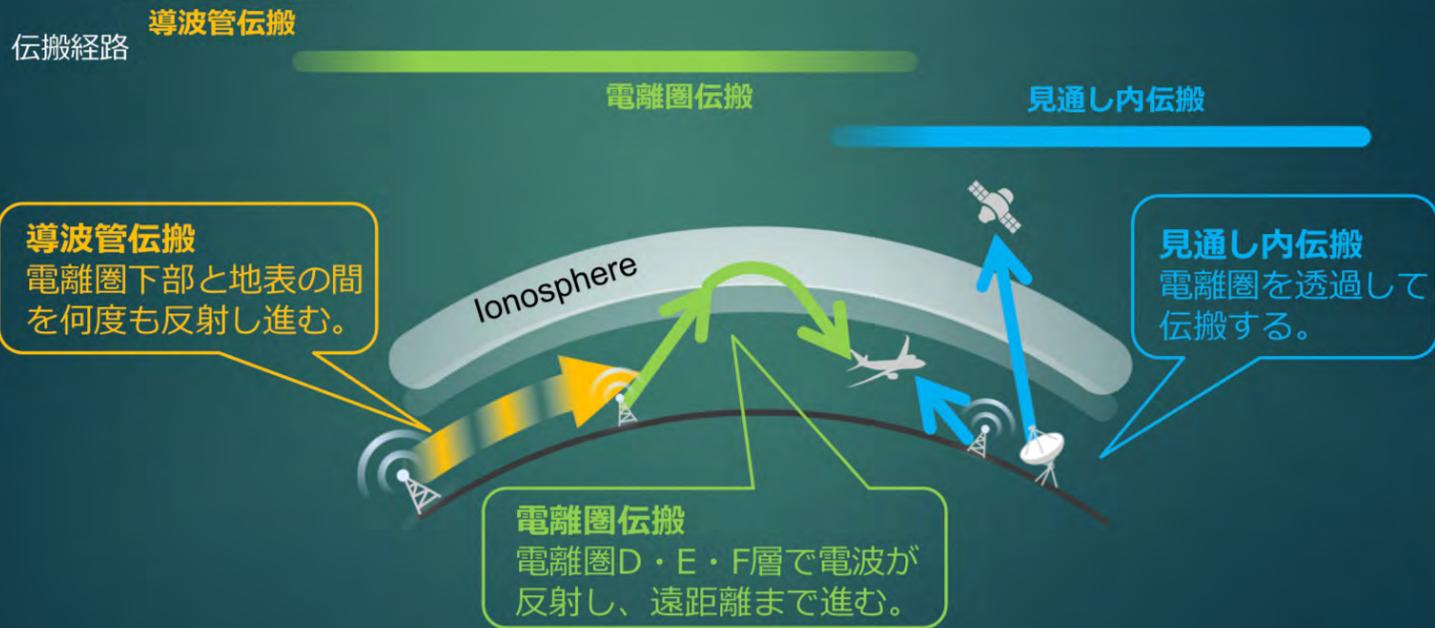
平

## 国際協力

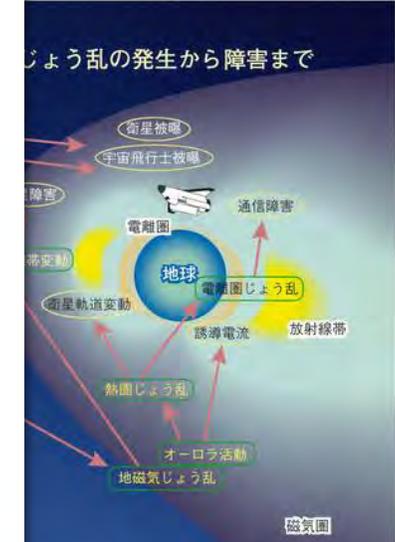
宇宙環境を24時間連続して観測したり、世界各地でのデータを取得することは、一機関だけでは困難です。そこで、世界的な宇宙環境監視機関のネットワークが構成されています。平磯宇宙環境センターもその一員です。

## 電波の伝搬経路と電離圏

用途	← 船舶・航空通信 →	← 防災・消防・鉄道無線 →			
	標準電波	AM放送	短波放送	FM放送・航空管制	GNSS・衛星通信
	<b>長波(LF)</b>	<b>中波(MF)</b>	<b>短波(HF)</b>	<b>超短波(VHF)</b>	<b>極超短波(UHF)</b>
	30-300kHz	300kHz-3MHz	3-30MHz	30-300MHz	300MHz-3GHz



スタート開始 → 現在へ

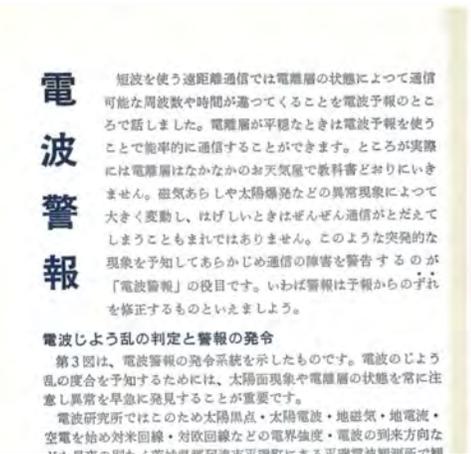
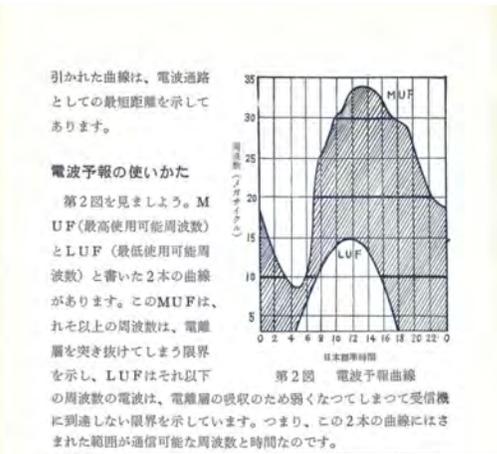
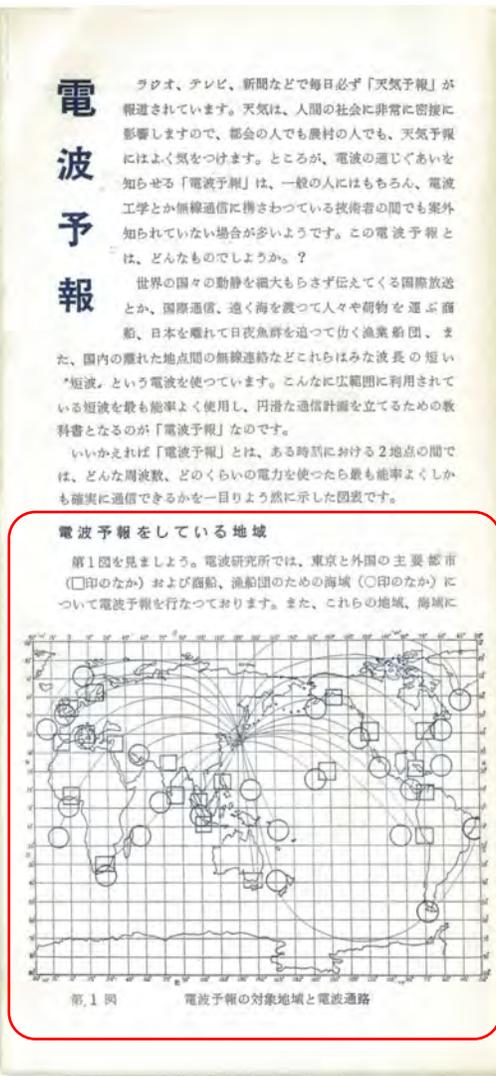
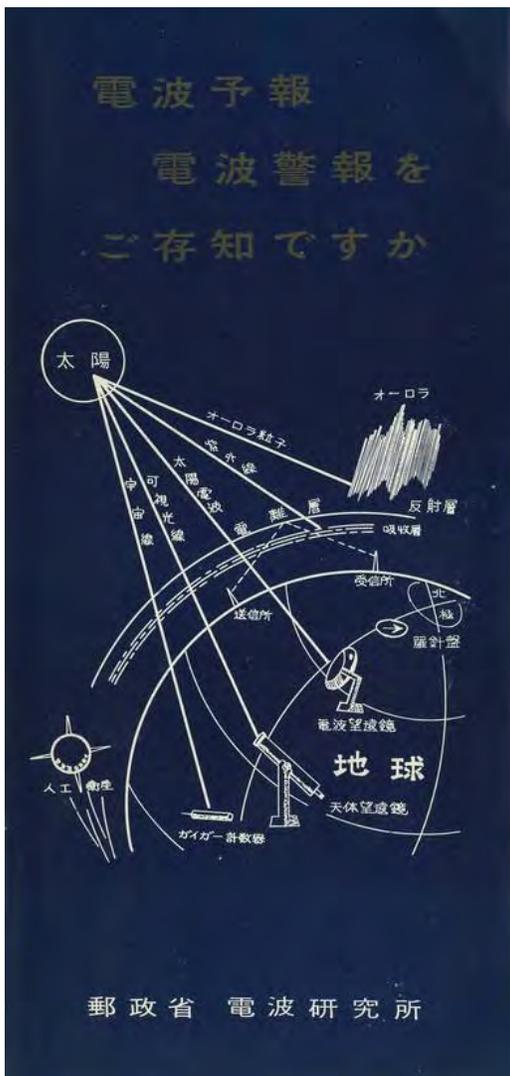


現象	内容	主な原因
電離圏擾乱	表面異常帯電	高温プラズマ
	深部帯電	放射線粒子
	論理素子の反転	放射線粒子
衛星被曝	材料劣化	太陽フレア粒子・放射線粒子
	軌道変化	大気膨張
測位誤差	シンチレーション	電離圏全電子数
	放射線被曝	電離圏不規則構造
送電システム誘導電流	短波通信障害	太陽フレア粒子
		地磁気嵐
		電離圏嵐、太陽フレアX線

- 開始(1994)
- データ直接受信開始(1995)
- データ利用開始(1998)
- 研究開始(1999)

# 宇宙天気予報の前身 電波予報・電波警報のはじまり

昭和20年（1945年）7月文部省学術研究会議のもとに短波無線障害予知班が結成



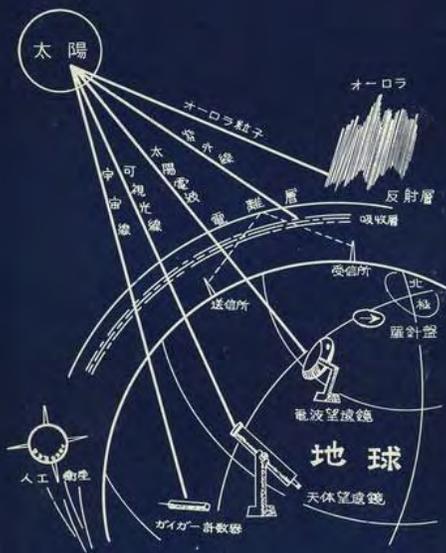
**インターネット普及以前の時代**

世界の国々の動静を伝える**国際放送・国際通信**、  
日本を離れて遠くの海を航行する**商船**、  
魚群を追う**漁業船団**、  
国内の離れた地点間の**無線連絡**、  
これらはみな、**短波**という電波を使っていました。

短波を効率よく使用し円滑な通信計画を立てるのに必要なのが**電波予報**です。

# 電波予報のはじまり 1947~

電波予報  
電波警報を  
ご存知ですか



郵政省 電波研究所

## 電波予報

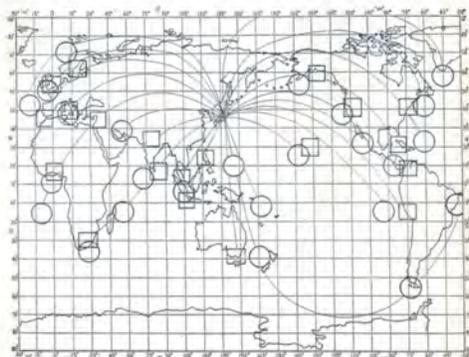
ラジオ、テレビ、新聞などで毎日必ず「天気予報」が報道されています。天気は、人間の社会に非常に密接に影響しますので、都会の人でも農村の人でも、天気予報にはよく気をつけます。ところが、電波の通じくわいを知らせる「電波予報」は、一般の人にはもちろん、電波工学とか無線通信に携わっている技術者の間でも案外知られていない場合が多いようです。この電波予報とは、どんなものなのでしょうか？

世界の国々の動静を細大もろさず伝えてくる国際放送とか、国際通信、遠く海を渡って人々や荷物を運ぶ商船、日本を離れて日夜魚群を追って行く漁業船団、また、国内の離れた地点間の無線連絡などこれらはみな波長の短い短波、という電波を使っています。こんなに広範囲に利用されている短波を最も能率よく使用し、円滑な通信計画を立てるための教科書となるのが「電波予報」なのです。

いいかえれば「電波予報」とは、ある時刻における2地点の間では、どんな周波数、どのくらいの電力を使ったら最も能率よくしかも確実に通信できるかを一目瞭然に示した図表です。

### 電波予報をしている地域

第1図を見ましょう。電波研究所では、東京と外国の主要都市（印のなか）および商船、漁船団のための海域（○印のなか）について電波予報を行なっております。また、これらの地域、海域に



第1図 電波予報の対象地域と電波通路

引かれた曲線は、電波通路としての最短距離を示してあります。

### 電波予報の使いかた

第2図を見ましょう。MUF(最高使用可能周波数)とLUF(最低使用可能周波数)と書いた2本の曲線があります。このMUFは、それ以上の周波数は、電離層を突き抜けてしまう限界を示し、LUFはそれ以下の周波数の電波は、電離層の吸収のため弱くなって受信機に到達しない限界を示しています。つまり、この2本の曲線にはさまれた範囲が通信可能な周波数と時間なのです。

使用する周波数を変えてゆくと、どれだけ通信可能な時間かわるかを同図から見てみましょう。

30メガサイクルでは10時から17時までの7時間、20メガサイクルでは7時から22時までの15時間の通信ができることになっています。では10メガサイクルまで下げてみましょう。これは0時から3時、6時から7時、そして16時から24時までと、こま切れとなり通信可能な時間も30メガサイクルと反対に夜に集中されます。

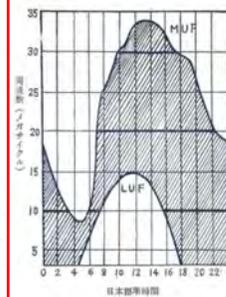
通信可能時間は予報された以外にのびないものなのでしょうか。いいえ、そうではありません。まずMUFはどうでしょうか。これは電波の伝わり方の理論だけから考えると曲線は変わりません。次にLUFはどうでしょうか。このLUFの曲線は送信機の電力を増したり受信機の性能を改善したり、また、受信機のアンテナを改良することによって低くすることができます。すなわち、通信可能な時間をのばすことができるわけです。

### 電波予報と電離層の性質

ところでこの電波予報が絶対的なものとはいきません。なぜなら電離層は瞬時も同じ状態を続けることなく常に動揺しています。それに太陽面および地球自体の諸現象が重なり合って電離層を変動させていますし、また、その突発的なじょう乱は電離層をははだしく乱してしまいます。

電波予報はこれらを考えにいれずに電離層を平穏な状態としその平均値を計算してあります。こんな理由がありますから電波予報を利用されるときは10%ぐらいの偏差があると考えて使用していただきたいと思ひます。

## 電波予報



第2図 電波予報曲線

通信可能な周波数は、  
太陽天頂角・季節・場所によって異なる

「電波予報」開始(昭和22年5月)

↑平均的な電離圏の長期変動予報

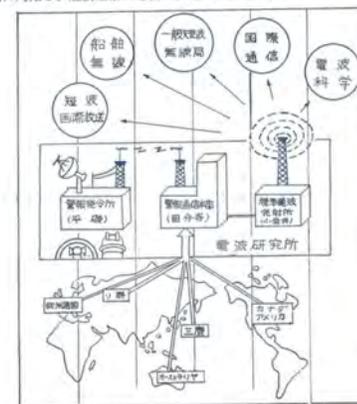
「電波警報」の役目です。いわば警報は予報からのずれを修正するものといえます。

### 電波じょう乱の判定と警報の発令

第3図は、電波警報の発令系統を示したものです。電波のじょう乱の度合を予知するためには、太陽面現象や電離層の状態を常に注意し異常を早急に発見することが重要です。

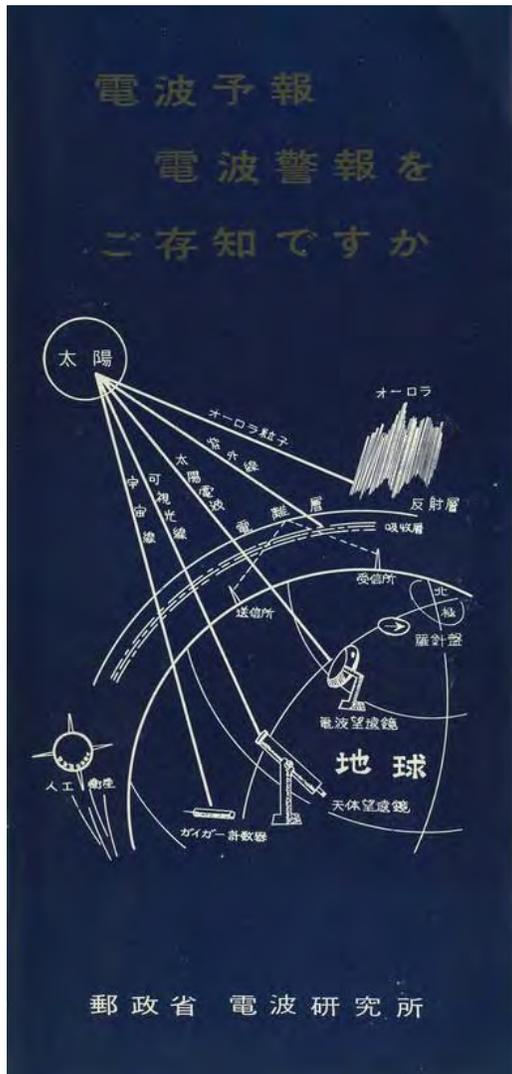
電波研究所ではこのため太陽黒点・太陽電波・地磁気・地電流・空電を始め対米回線・対欧回線などの電界強度・電波の到来方向などを昼夜の別なく茨城県那珂市平磯町にある平磯電波観測所で観測しています。さらに数多くの資料を世界中の観測施設から毎日電波研究所通信本部(東京都国分寺町)をとおして無線通信によって入手しじょう乱の判定の根拠としています。

判定された警報は直ちに電波研究所にあるJ J Y—標準電波発射所(東京都小金井市)に送られ、そこから放送でいろいろな通信機関に周知され短波通信の運営に役立っています。



第3図 電波警報の発令系統図

# 電波警報のはじまり 1949~



**電波予報**

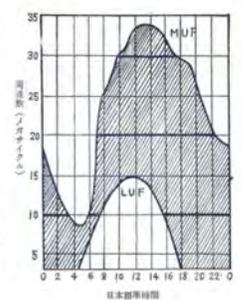
ラジオ、テレビ、新聞などで毎日必ず「天気予報」が報道されています。天気は、人間の社会に非常に密接に影響しますので、都会の人でも農村の人でも、天気予報にはよく気をつけます。ところが、電波の通じが悪いを知らせる「電波予報」は、一般の人にはもちろん、電波工学とか無線通信に携わっている技術者の間でも案外知られていない場合が多いようです。この電波予報とは、どんなものなのでしょうか？

世界の国々の動静を細大もろさず伝えてくる国際放送とか、国際通信、遠く海を渡って人々や荷物を運ぶ船舶、日本を離れて日夜魚群を追って行く漁業船団、また、国内の離れた地点間の無線連絡などこれらはみな波長の短い

引かれた曲線は、電波通路としての最短距離を示してあります。

**電波予報の使いかた**

第2図を見ましょう。MUF(最高使用可能周波数)とLUF(最低使用可能周波数)と書いた2本の曲線があります。このMUFは、それ以上の周波数は、電離層を突き抜けてしまう限界

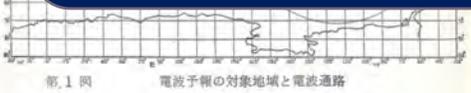


**電波予報は絶対的ではない**

- ✓ 磁気嵐
- ✓ 太陽爆発

宇宙環境変化によって大きく変動し、激しい時は通信が途絶することも。

突発的な現象を予知して通信障害を警告するのが、「**電波警報**」です。



**電波警報**

短波を使う遠距離通信では電離層の状態によって通信可能な周波数や時間が違ってくることを電波予報のところで話しました。電離層が平穏なときは電波予報を使うことで能率的に通信することができます。ところが実際には電離層はなかなかのお天気屋で教科書どおりにいきません。磁気嵐や太陽爆発などの異常現象によって大きく変動し、はげしいときはぜんぜん通信がとだえてしまうこともまれではありません。このような突発的な現象を予知してあらかじめ通信の障害を警告するのが「電波警報」の役目です。いわば警報は予報からのずれを修正するものといえます。

**電波じよう乱の判定と警報の発令**

第3図は、電波警報の発令系統を示したものです。電波のじよう乱の度合を予知するためには、太陽面現象や電離層の状態を常に注意し異常を早急に発見することが重要です。

電波研究所ではこのため太陽黒点・太陽電波・地磁気・地電流・空電を始め対米回線・対欧回線などの電界強度・電波の到来方向などを昼夜の別なく茨城県河内町市平町にある平磯電波観測所で観測しています。さらに数多くの資料を世界中の観測施設から毎日電波研究所通信本部(東京都国分寺町)をとおして無線通信によって入手しじよう乱の判定の根拠としています。

判定された警報は直ちに電波研究所にあるJ J Y一標準電波発射所(東京都小金井市)に送られ、そこから放送でいろいろな通信機関に周知され短波通信の運営に役立っています。

## 電波警報の発令



## 宇宙環境監視の始まり

昭和20年（1945年）7月

文部省学術研究会議のもとに短波無線障害予知班を結成  
電波警報の始まり → 終戦により中断

昭和22年（1947年）7月

月刊「電波予報」創刊

宇宙天気にかかわる警報業務のはじまり

昭和24年（1949年）12月

電波庁電波部資料課が電波警報を再開  
通信じょう乱が予想されるとき JJY に"W"のモールス符号を重畳発射



1940 1950 1960 1970 1980 cont.



週間電波擾乱予報の判定

昭和32年（1957年）3月

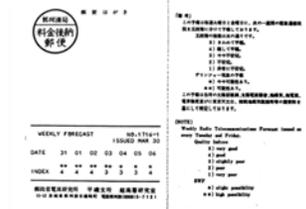
GEOALERTの開始 → IUWDS 西太平洋地域警報センターとして（1962~）→ ISES（1992~）

昭和31年（1956年）4月26日

デリンジャー現象発生予報の開始

昭和26年（1951年）5月4日

週間電波擾乱予報（RATEF）の第1号が発令（ハガキ）  
発令日の翌日から7日間の予報



電波警報業務は、太陽面現象・地磁気変化・電離層変化・通信状態を常に監視し、通信状態が不安定になるであろうと予想された場合、もしくはすでに不安定になっている場合に、電波通信利用者に対して、予報結果と現況情報を提供することを目的としている。

【電波警報業務の解説 木所常一 昭和47年1月10日】

# 1949

## 電波警報をJJYに重畳発射開始

ツー・トン (x5)は「N」

Normal：通信状態は平穏でしょう。

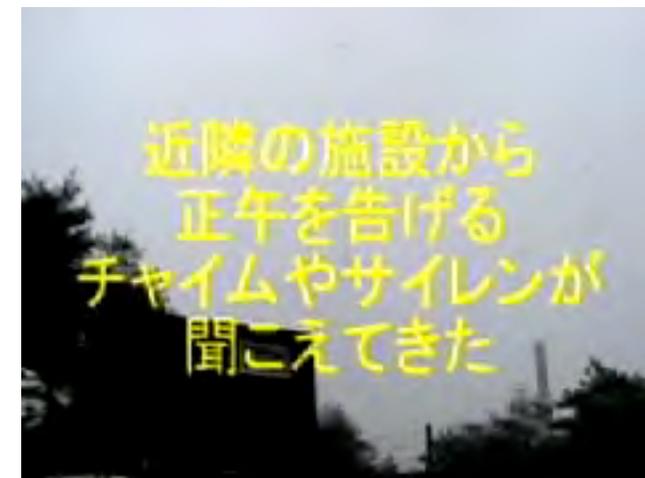
トン・トン・ツー (x5)は「U」

Unstable：通信状態は不安定になるでしょう。

トン・ツー・ツー (x5)は「W」

Warning：通信状態が予想されるでしょう。または、通信擾乱が発生しています。

JJYコールサインの後に  
「N」の符号が聞こえます  
ツー・トン (x5)



提供：株式会社アストロアーツ

# 警報日誌 1951年5月12日

Date: 1951. 5. /2 (±) (2-13)

A. Solar Data (observed Time: 10 h 30 m)  
 Sunspot (w: 黒点 c: 7-8 I: 2-3)  
 G = 8 F = 98 (Ka); G = 7 F = 90 (Ma)  
 (UVS) G = 6 F = 95 (Ca) G = 3 F = 24 (Ma)

No.	Lon.	Lat.	N	C	No.	Lon.	Lat.	N	C	No.	Lon.	Lat.	N	C
82	-23	-14	9	4	81	+57	+3	5	1					
83	0	-11	11	4	84	+61	0	12	4					
87	+19	-8	1	1	85	+59	+5	5	3					
80	+19	+6	3	9	86	+65	+9	6	3					

Filiculi

No.	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8
Int.						2						
N					2+	1	2+					

Prominence

No.	A	B	C	D	No.	A	B	C	D
Int.									
N	2+	2+							

Eruption (observed Time: 10 h 43 m - 4 h 00 m)

No.	Beg.	End.	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1045	1100	2	1	4					7		
2	1231	1304	2	1	5					5		
3					6					9		

Solar Noise A.M. O. P.M. O.

Out Burst

No.	Beg.	End.	No.	Beg.	End.	No.	Beg.	End.
1		10			3			5
2					4			6

Sol. Prediction:

date 13 A 15 16 17 18 19  
 2 3 3 4 4 4 3

B. Geomagnetism

Wva.	Hi.	Ka.	Ko.	Aso.	East	West
2222: Sq and 21+	2222	R.D. V12223 33333 x-x v-x	2222	1111		

C. Ion Data

Wva.	Aki.	Ko.	Ya.
① 04-06 ② 03-05 ③ 01-05	① 15 ② 18 ③ 22, 25 ④ 01, 04 ⑤ 08	① 06-19 ② 10, 22 ③ 20 ④ 12	① 08-11, 21-22 ② 23 ③ 10-11, 13-14, 01, 05

D. Field Intensity

WVWV	WVWV	S.F.
3242	21222	21222

E. Warning

(07-15) U (15-21) U (21-03) N (03-09) N  
 America: ( ) ( )

- A. 太陽活動
  - i. 太陽黒点
  - ii. 斑紋
  - iii. プロミネンス
  - iv. フィラメント
  - v. 噴出
  - vi. 太陽電波雑音
  - vii. 電波バースト
- B. 地磁気活動
- C. 電離層
- D. 電界強度

## 標準電波 JJY に重畳された電波警報 N/U/W

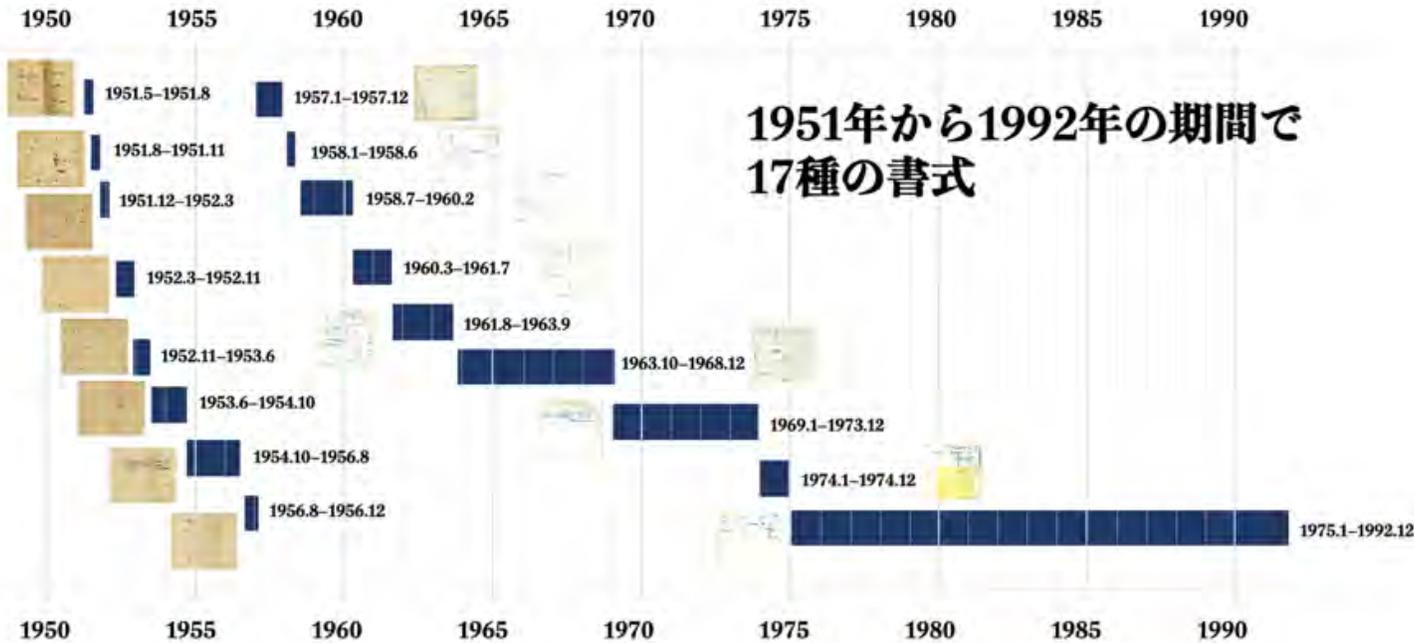
1951/05/12-13

- 09-15JST : U
- 15-21JST : U
- 21-03JST : N
- 03-09JST : N

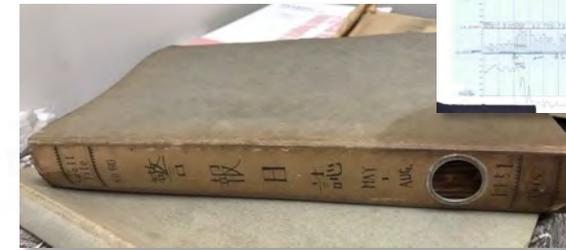
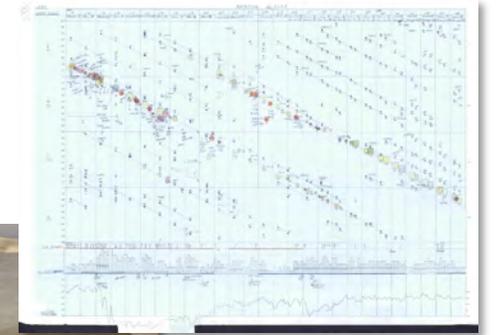
通信状態は平穏でしょう (N)  
 通信状態は不安定でしょう (U)  
 通信じょう乱が予想される、または現在乱れている (W)

# 宇宙天気過去資料アーカイブ

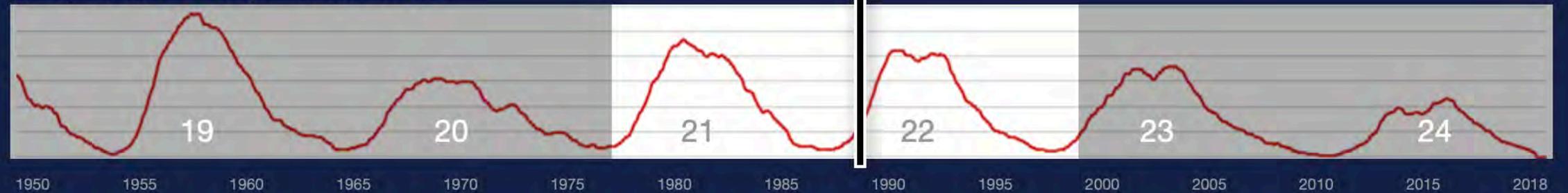
紙媒体の記録のデジタル化にむけた作業中



- 警報日誌 (1951年5月12日～)
- 現象記録票 (1978年1月～)



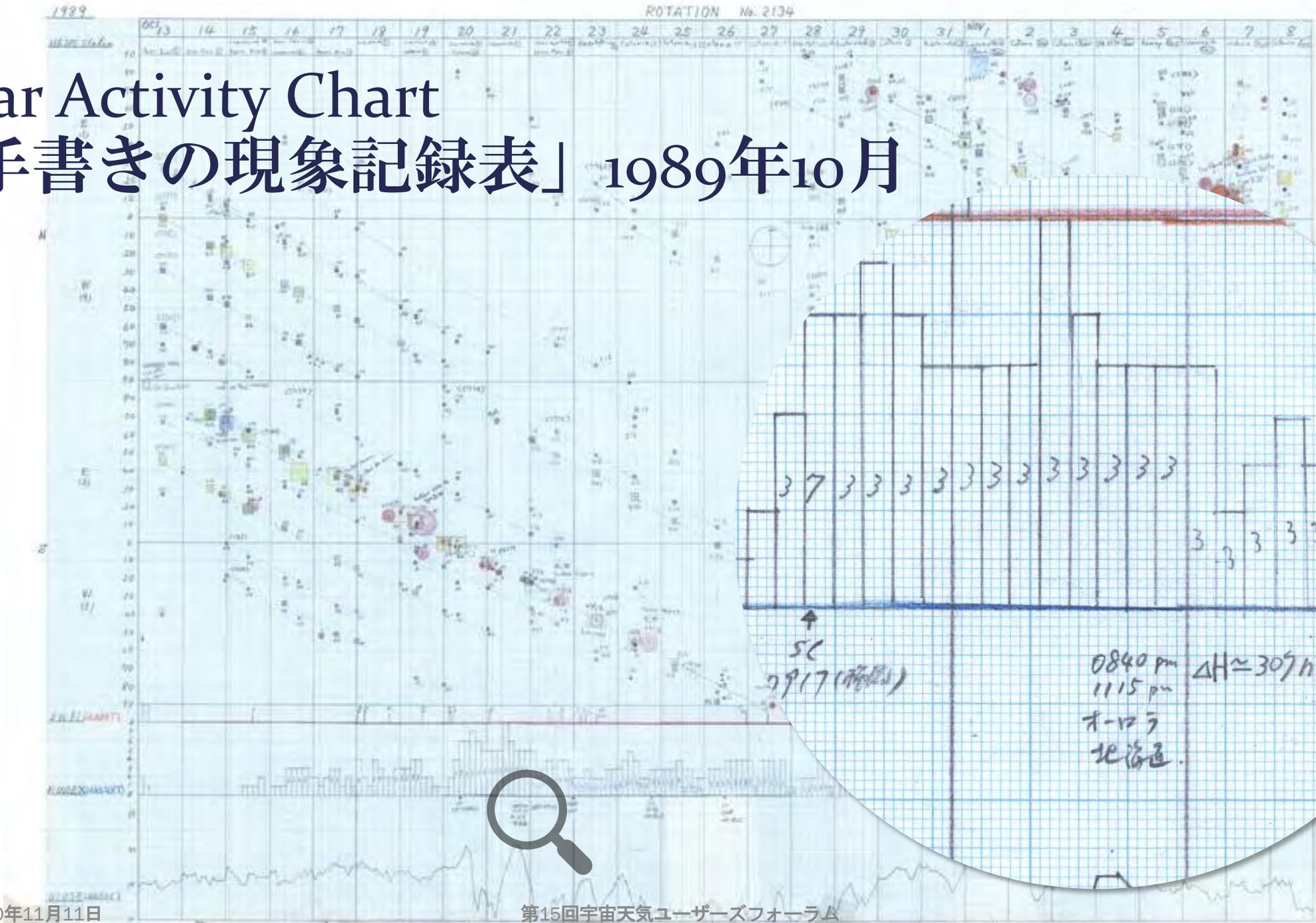
Monthly smoothed total sunspot number, 1950-2018



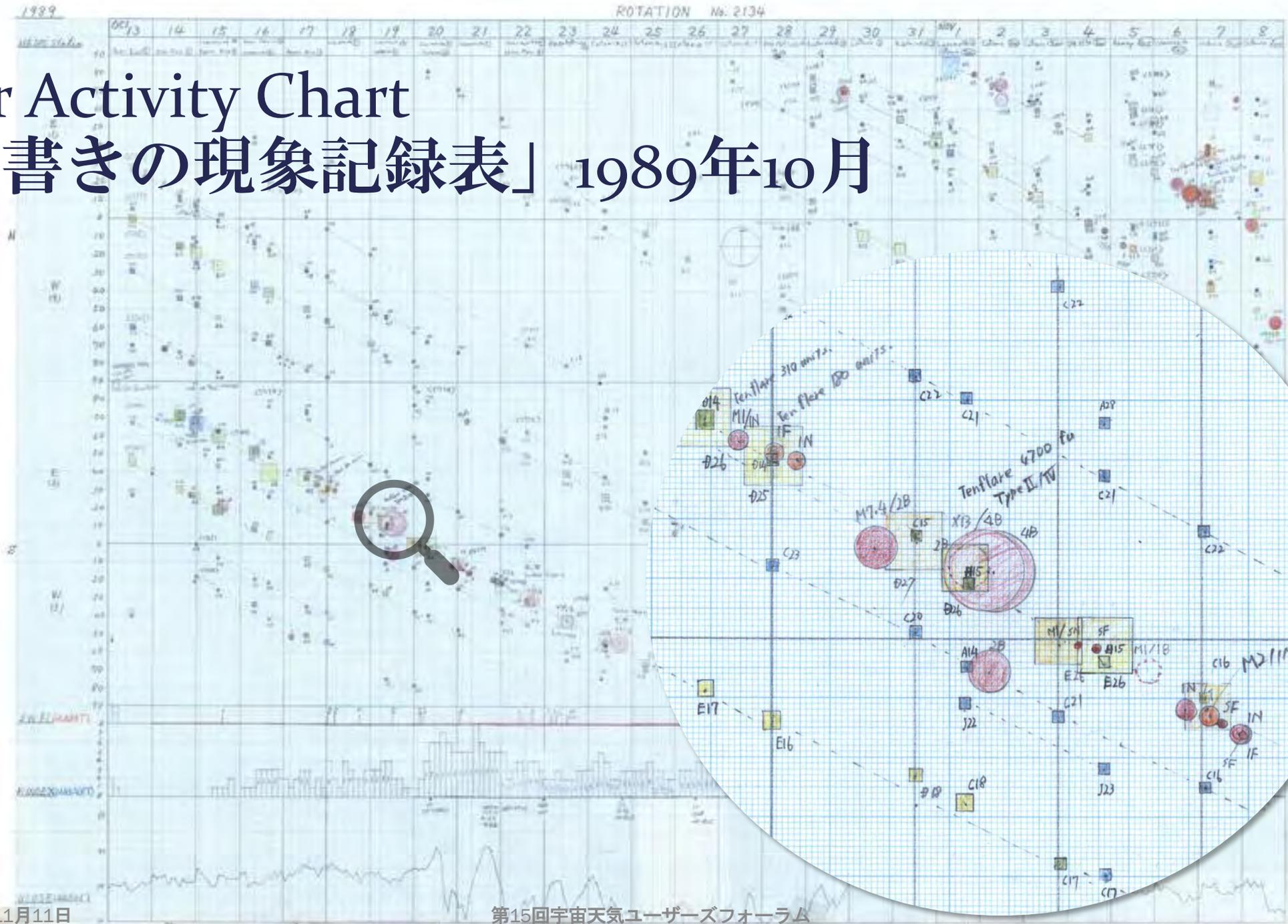
data source: SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels

# Solar Activity Chart

## 「手書きの現象記録表」1989年10月



# Solar Activity Chart 「手書きの現象記録表」 1989年10月





# 1989.10

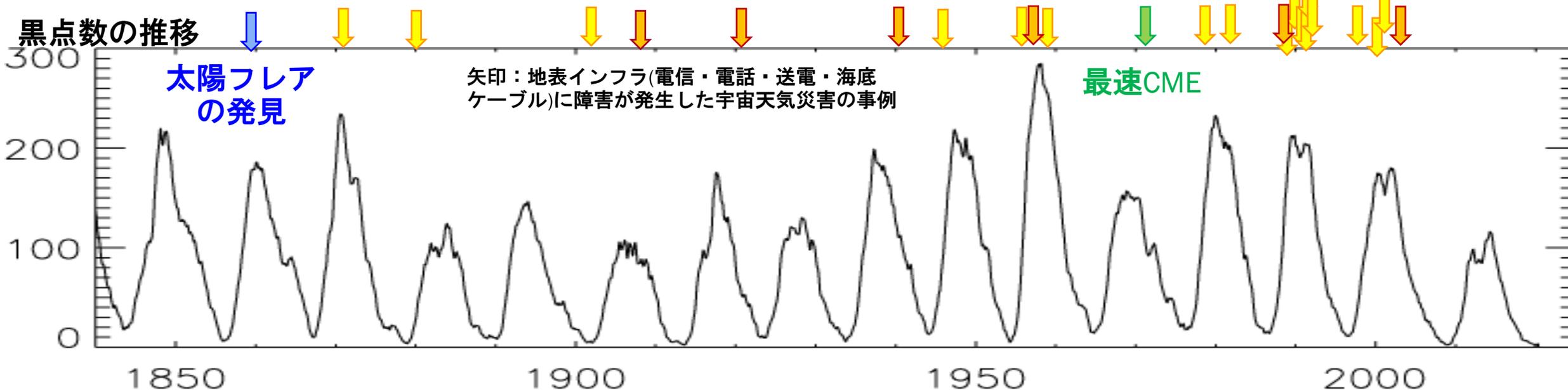
北海道でオーロラ

# 太陽活動と宇宙天気災害

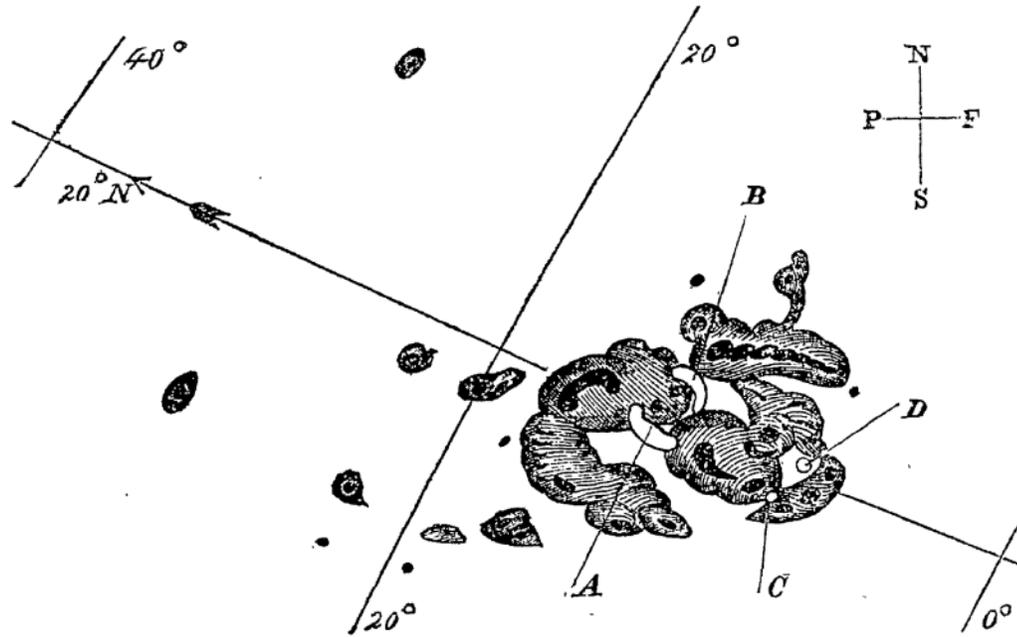
参考：科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価

過去に地上等のインフラに影響が及ぶ大規模な太陽嵐イベントが多数発生

- 1859年 9月1-2日 太陽フレアの初観測 → 大磁気嵐（キャリントンイベント）
- 1909年 9月25-26日 日本で地磁気誘導電流の影響により、国内外の長距離電信に障害。
- 1921年 5月13-15日 ニューヨーク信号システム障害、スウェーデン電話局火災。
- 1940年 3月24-25日 米国・カナダの各地で停電が発生。
- 1958年 2月9-11日 米国・カナダの各地で停電が発生。
- 1972年 8月4日 北米大陸広域で送電・電信網障害。機雷誘爆。 (到来まで14.6時間)
- 1989年 3月13-14日 カナダケベック州広域大停電。
- 2003年10月末-11月初旬 スウェーデン、南アフリカで電力障害。

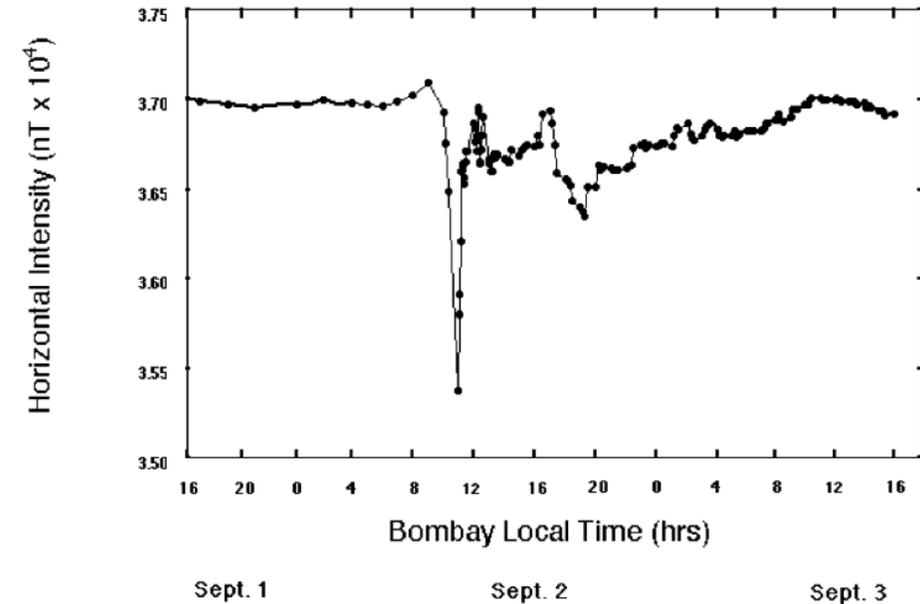


# キャリントンイベント (1859年9月1-2日)



1859年9月1日の黒点・太陽フレアのスケッチ  
Carrington (1859)

1859年9月1-3日のインド・ボンベイの磁力計測定値  
Tsurutani + (2003)

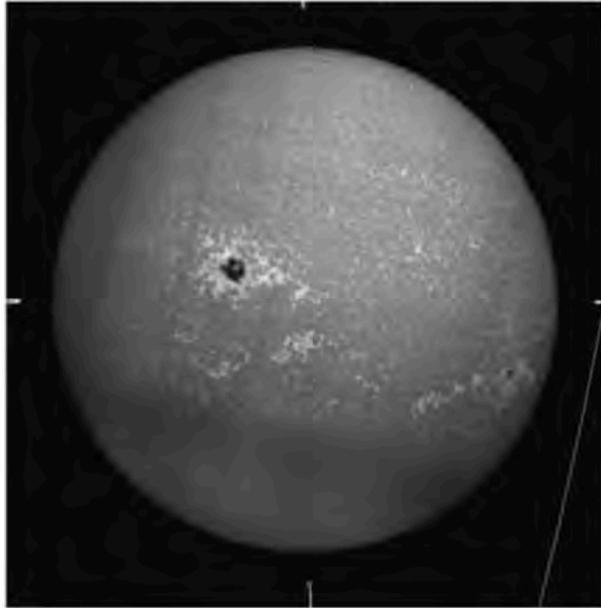


太陽フレアの発生から約17時間後から、世界中の広範囲でオーロラの出現が観測された。ハワイ、サンチアゴなど磁気緯度が低く普段オーロラがない見られない地域での観測記録あり。このイベントがこれまで記録が残っている中で最大規模の宇宙天気現象と推定。

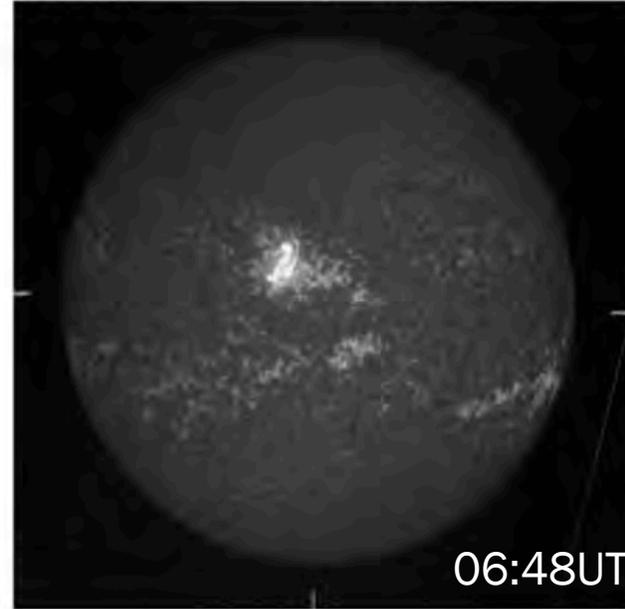
# 最速CMEイベント (1972年8月4日)

Knipp + 2018

a) Calcium Emission, 3 August 1972



b) Hydrogen- $\alpha$  Emission, 4 August 1972



## 太陽フレア

- 8月4日 06:21UT H $\alpha$ 線 輝度が最大
- 8月4日 06:36UT 1GHz電波強度が最大 76000 sfu
- X線強度 X20(推定)



14.6時間 平均伝搬速度 2850 km/s

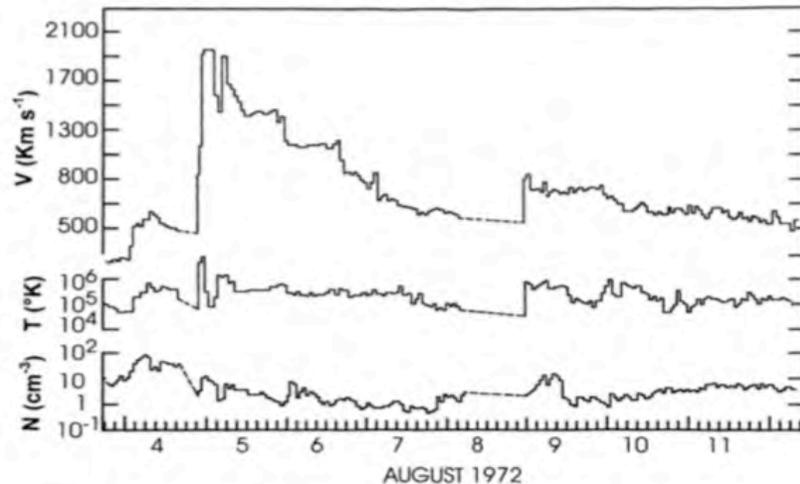
## CME/衝撃波/高エネルギー粒子

- 8月4日 20:54UT 衝撃波後面の流速が約2000km/sの衝撃波が地球に到来
- プロトン(>10MeV) ~ 約 70000 pfu (推定) GLE 24 ( 70~80 %増 @South Pole )
- 小規模な磁気嵐

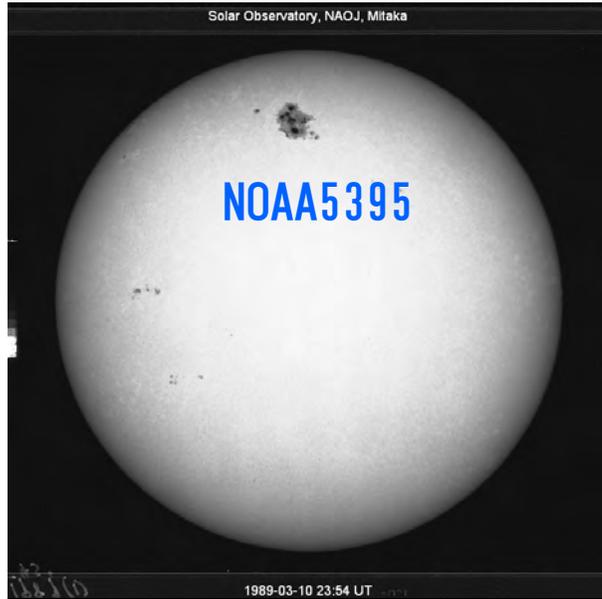
## 社会影響

- 北米大陸広域で送電・電信網障害。
- ベトナム北部の海域に仕掛けられた米国の機雷が勝手に爆発。

c)



# ケベック大停電イベント (1989年3月13-14日)

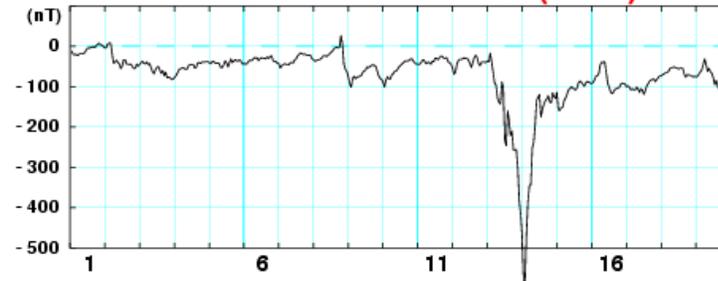


1989年3月10日23:54UT の太 (国立天文台)

地磁気じょう乱指数 (京都大学)

March 1989

Dst (Final)



## フレアイベント

	ピーク日時	経度	緯度	クラス
1.	3月6日 14:10UT	-70	35	X15
2.	3月9日 13:07UT	-40	30	M2.4
3.	3月9日 15:32UT	-38	30	X4.0
4.	3月10日 19:12UT	-22	31	X4.5
5.	3月11日 18:37UT	-10	31	M1.2
6.	3月11日 19:40UT	-10	27	X1.3

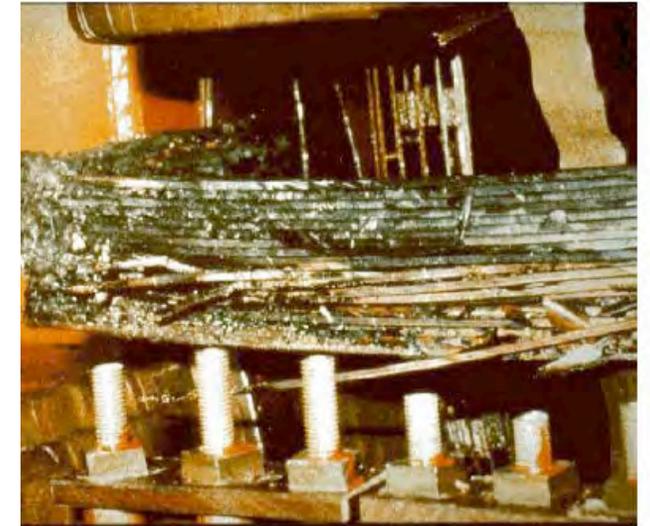


## 衝撃波・CME

- |    |               |         |
|----|---------------|---------|
| 1. | 3月13日 01:28UT | 1回目の衝撃波 |
| 2. | 3月13日 07:47UT | 2回目の衝撃波 |



3月13日 0744 UT ころ  
ケベック州大停電 (約600万人)  
米国ニュージャージー州 変圧器 破損



Geomagnetic Storm Induced Transformer Damage (PSE & G 提供)  
米国・ニュージャージー州で破損した変圧器

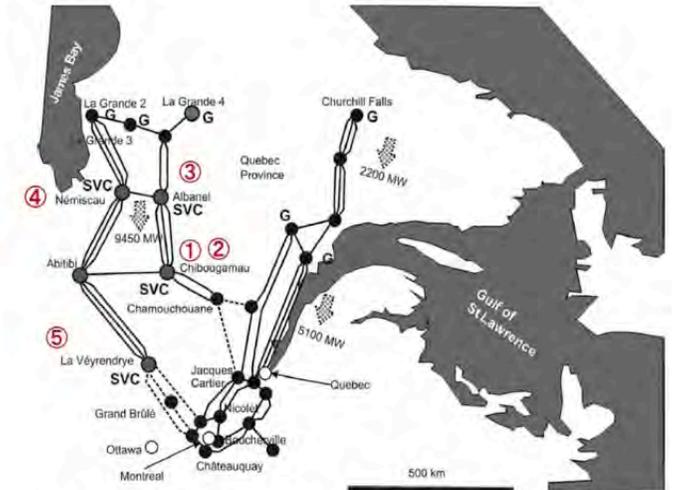
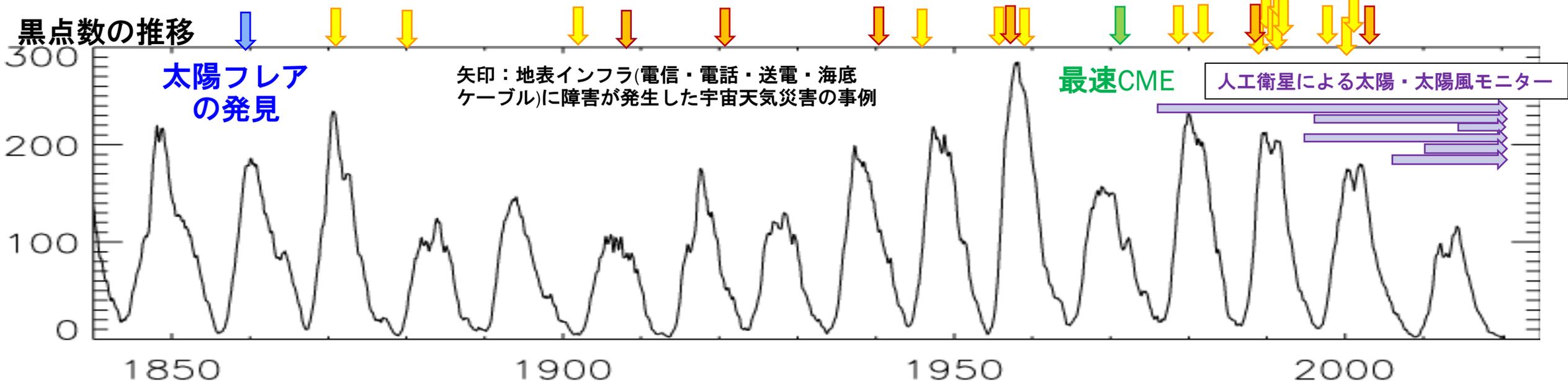


図 2.4-4 1989年3月のハイドロ・ケベック社の735kV系統<sup>29</sup>

# 太陽活動と宇宙天気災害

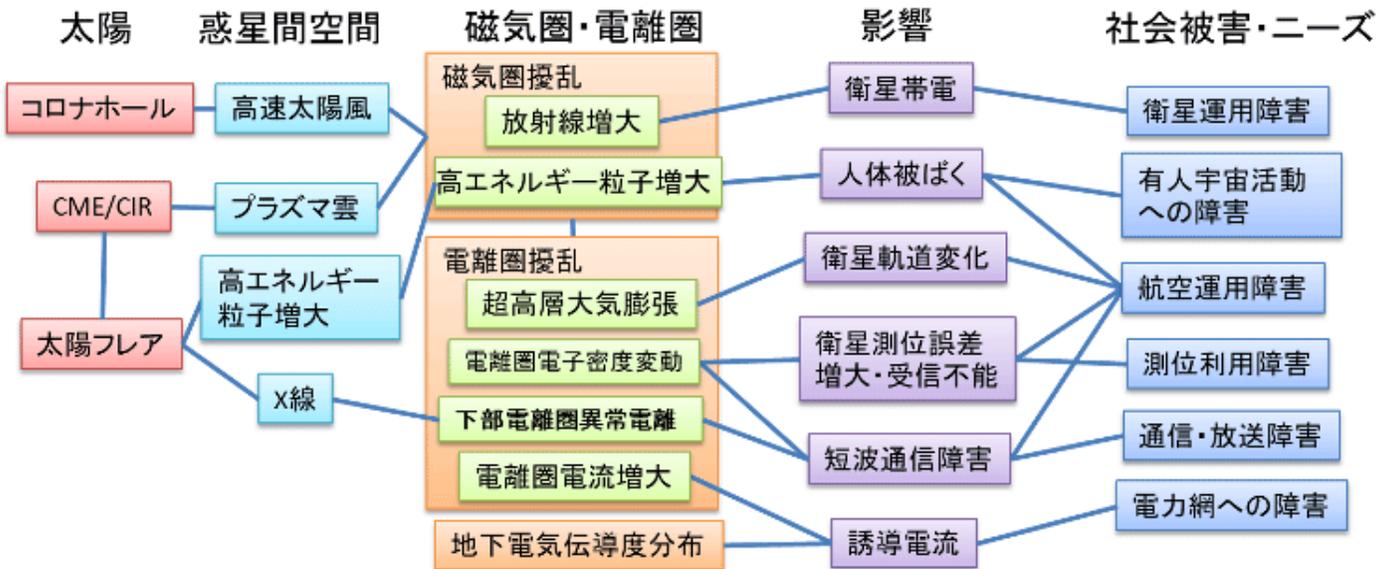
参考：科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価

- 過
- このように過去には地上に影響が及ぶ宇宙天気現象（宇宙天気災害）が多数発生していたが、宇宙天気のモニター観測が充実した最近の周期は比較的穏やかだった。
  - また近年、宇宙を利用した社会インフラが急速に普及。宇宙天気に対して脆弱に。
  - もし当時発生していた様な大規模な宇宙天気現象が発生したときは、
  - この様な事態に対して備える必要がある。
  - 過去のデータをもとに、極端な宇宙天気現象では何がおきていたかについて理解を深め、将来の予報の利用できるデータとして活かすことが重要。



2020年10月7日公開

日本において、太陽活動を主な源とする宇宙天気がどのような影響を及ぼし得るかを過去の文献・観測データ等を基に評価し、衛星運用、通信、放送、測位等のそれぞれの分野において、社会的に大きな影響を与える現象がどのくらいの頻度で発生する可能性があるかを示した報告書。



<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

分野	影響と被害	被害を起こし得る宇宙天気現象	発生頻度と影響				
			日常～複数回/年	1回/1年	1回/10年	1回/100年	1回/1000年
電力	停電（送電線の過電流）	地磁気誘導電流（GIC）	緑	黄	黄	黄	黄
衛星運用	宇宙機（表面帯電）	高エネルギー電子	黄	黄	黄	黄	黄
通信・放送	短波（HF）通信・放送の障害	電離圏擾乱（負相擾乱）	黄	黄	黄	黄	黄
		デリンジャー現象	黄	黄	黄	黄	黄
		短波吸収（IPCA）	黄	黄	黄	黄	黄
測位利用	測位精度の変化	プラズマバブル	黄	黄	黄	黄	黄
		電離圏シンチレーション	黄	黄	黄	黄	黄
航空運用	通信障害（地上航法援助用放送を含む）	デリンジャー現象	黄	黄	黄	黄	黄
		短波吸収（IPCA）	黄	黄	黄	黄	黄
		プラズマバブル	黄	黄	黄	黄	黄
		スゴラディックE層	黄	黄	黄	黄	黄
有人宇宙活動	宇宙飛行士被ばく	電離圏正相擾乱	黄	黄	黄	黄	黄
		プラズマバブル	黄	黄	黄	黄	黄
		電離圏シンチレーション	黄	黄	黄	黄	黄
地上生活	地上での被ばく	太陽高エネルギー粒子（SEP）	黄	黄	黄	黄	黄
		太陽高エネルギー粒子（SEP）	黄	黄	黄	黄	黄

技術が進むと影響度も変化



# まとめと今後の展望

宇宙天気現象の源となる太陽の活動度は黒点数とともに約11年ごとに増減  
11年ごとの極大期の最大黒点数は周期ごとに変動。直近の第24周期は低調

NICT（前身の研究組織）は1940年代から太陽・電離圏の監視を継続。電波警報として社会に発信を始め、現在の宇宙天気予報につながる。

紙に残された当時の観測データ＝宇宙天気予報 歴史資料

- 過去の太陽活動が現在よりも活発だった時期の貴重なデータ

過去データのデジタル化・公開を順次進行中

Historical Spaceweather Viewer ( <https://wdc.nict.go.jp/hsv/> )

現在の知見をもとに極端な宇宙天気現象の観測データの解析を進め、その理解を深めるとともに、観測データのある時代から現在までの長期の宇宙天気現象データベースを作成

- 将来の宇宙天気予報のためのデータとして利用（AIの学習データなど）
- 宇宙天気現象による社会影響評価の信頼度をより高めるためのデータとして利用  
（宇宙利用など技術が進むと影響度も変化 ⇨ 詳細なデータがあれば柔軟な対応が可能）

ご静聴ありがとうございました

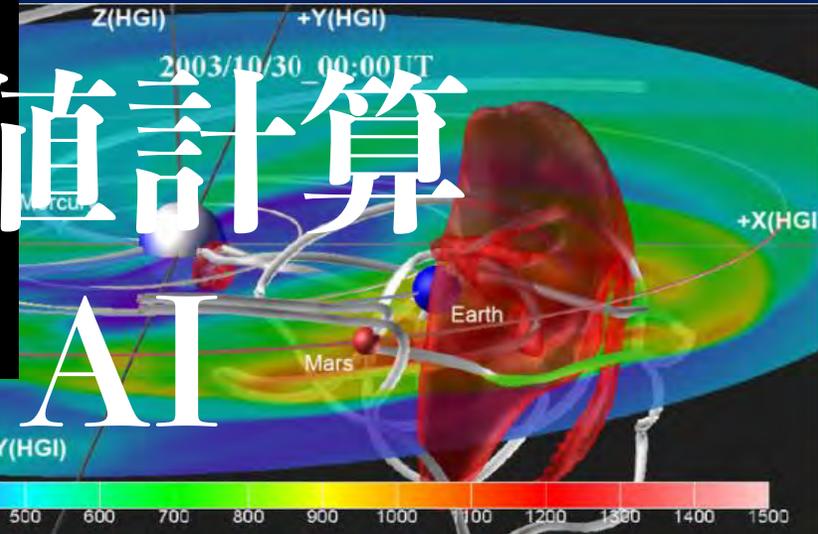


歴史資料



数値計算

AI



未来社会  
宇宙天気災害予測