

資料 1 2021年6月7日

2021年度 京都大学理学部/理学研究科
地球惑星科学特別講義 6
太陽物理学とその学際的展開

磯部洋明

京都市立芸術大学美術学部 准教授
京都大学宇宙総合学研究ユニット 特任准教授

質問等は

hi-isobe@kcua.ac.jp

短いのなら

twitter @isobehiroaki

目標

- 太陽物理学の概要と現在の課題を知る
- 太陽物理学がどのような物理を使ってどのように現象を理解しているのかを学ぶ
- 太陽活動とその地球環境及び人類活動への影響を知る
- 京都大学（宇宙ユニット）を中心にした、太陽物理学(宇宙科学)の学際的展開について知る
- 以上のことをできるだけ地球惑星科学と関連づけながら理解する

一応の予定

1. イントロダクション：太陽はどんな星か
2. 太陽物理で使う物理
3. 彩層・コロナ加熱とその理論モデル
4. 爆発現象（フレア）とその理論モデル
5. 長期変動とその理論モデル
6. プラズマ実験室としての太陽：磁気リコネクション研究を中心に
7. 歴史文献から探る過去の太陽活動
8. 人文社会科学にも広がる学際的宇宙研究

はじめに質問

A. 学年と専門（にしようと思っていること）を教えてください。

B. 以下の分野（キーワード）について、「全然わからない」「聞き覚えくらいはある」「ちゃんと理解している」「あまりに理解を深めたために逆にわからなくなった」のどれに近いか教えてください

1. 流体力学

– 「ナビエストークス方程式」「静水圧平衡」

2. プラズマ物理学

– 「デバイ長さ」「ラーモア半径」「プラズマ振動」

3. 電磁流体力学

– 「アルフベン波」「フォースフリー磁場」

太陽

諸元

表面温度（有効温度） $\approx 5780\text{K}$

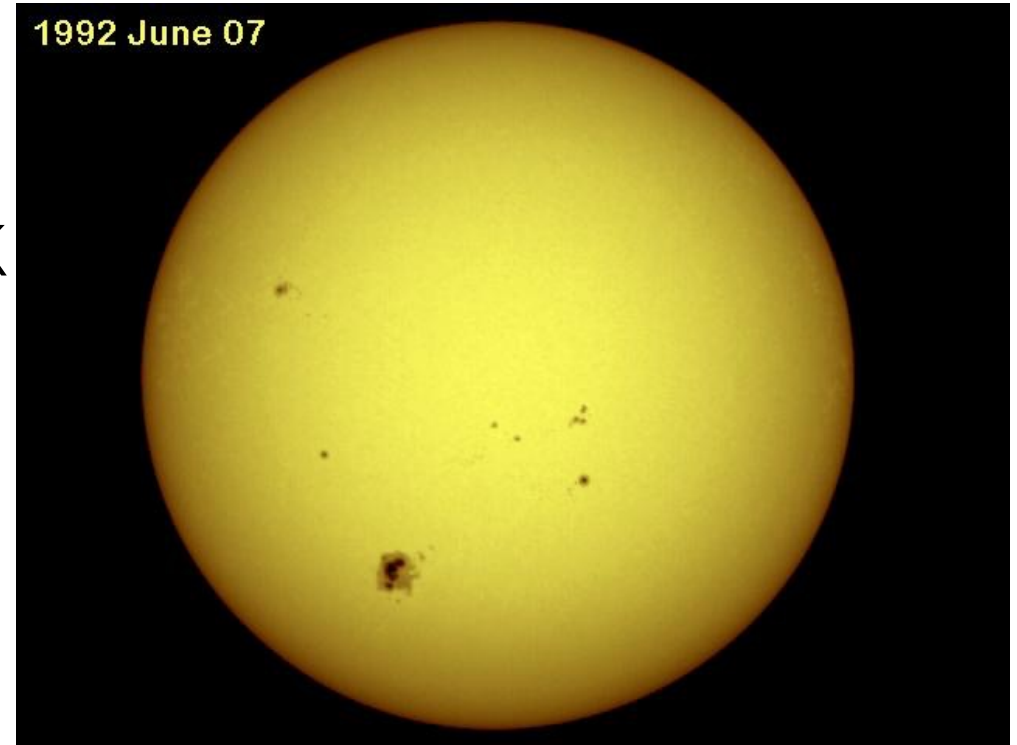
質量 $\approx 10^{30}\text{kg}$

半径 $\approx 70\text{万km}$

年齢 $\approx$ 約45億歳

総放射量 $\approx 3.85 \times 10^{26}\text{W}$

太陽と地球との距離 = 1天文単位
= $1.5 \times 10^{11}\text{m}$



ほとんど水素。

10%くらいヘリウム

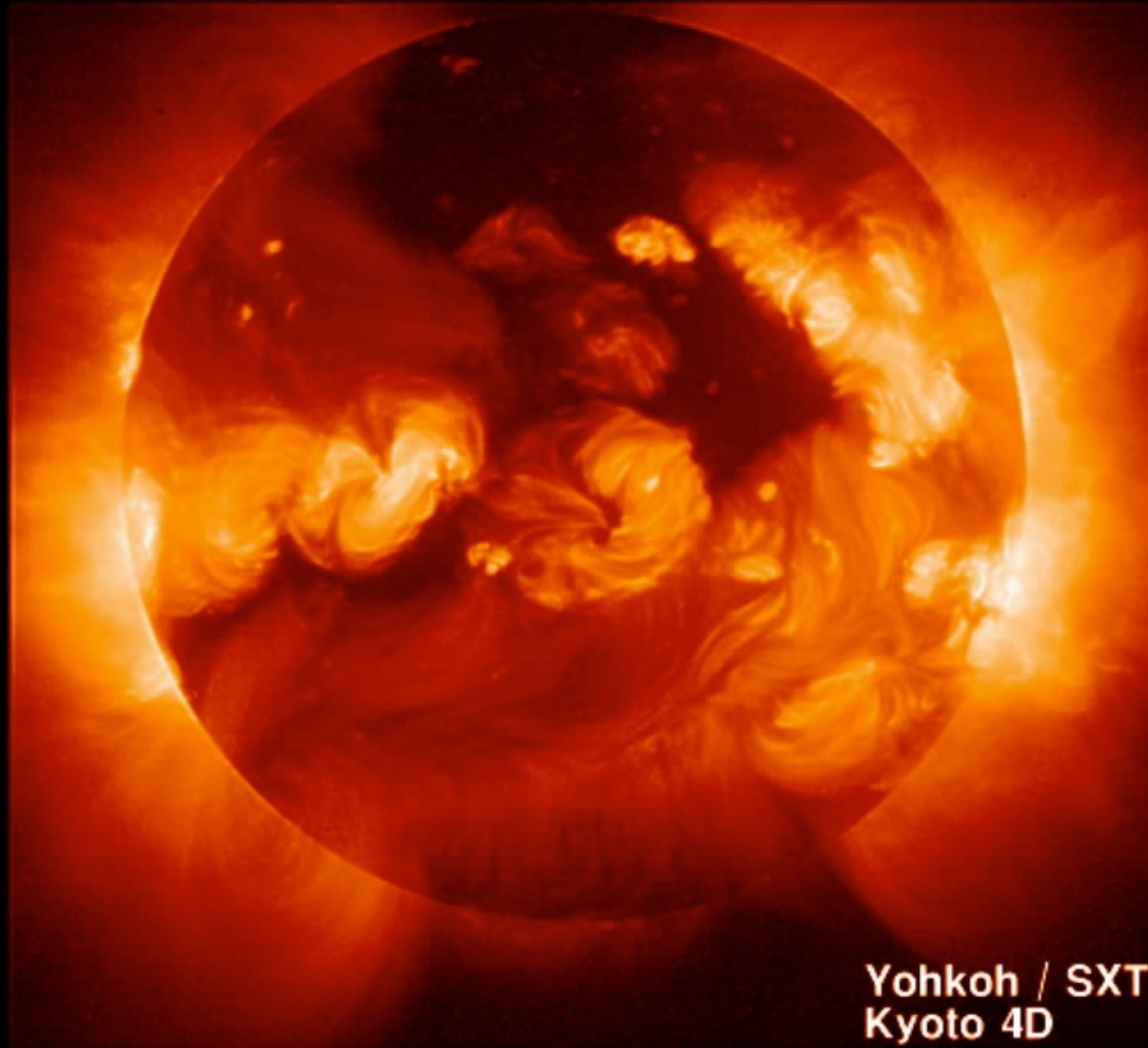
微量の重元素

問題：地球上で 1m^2 あたり1秒間に降り注ぐ
太陽エネルギーはどれくらいか。

（地球大気の吸収は無視） $\sim 1.3 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
= 太陽定数

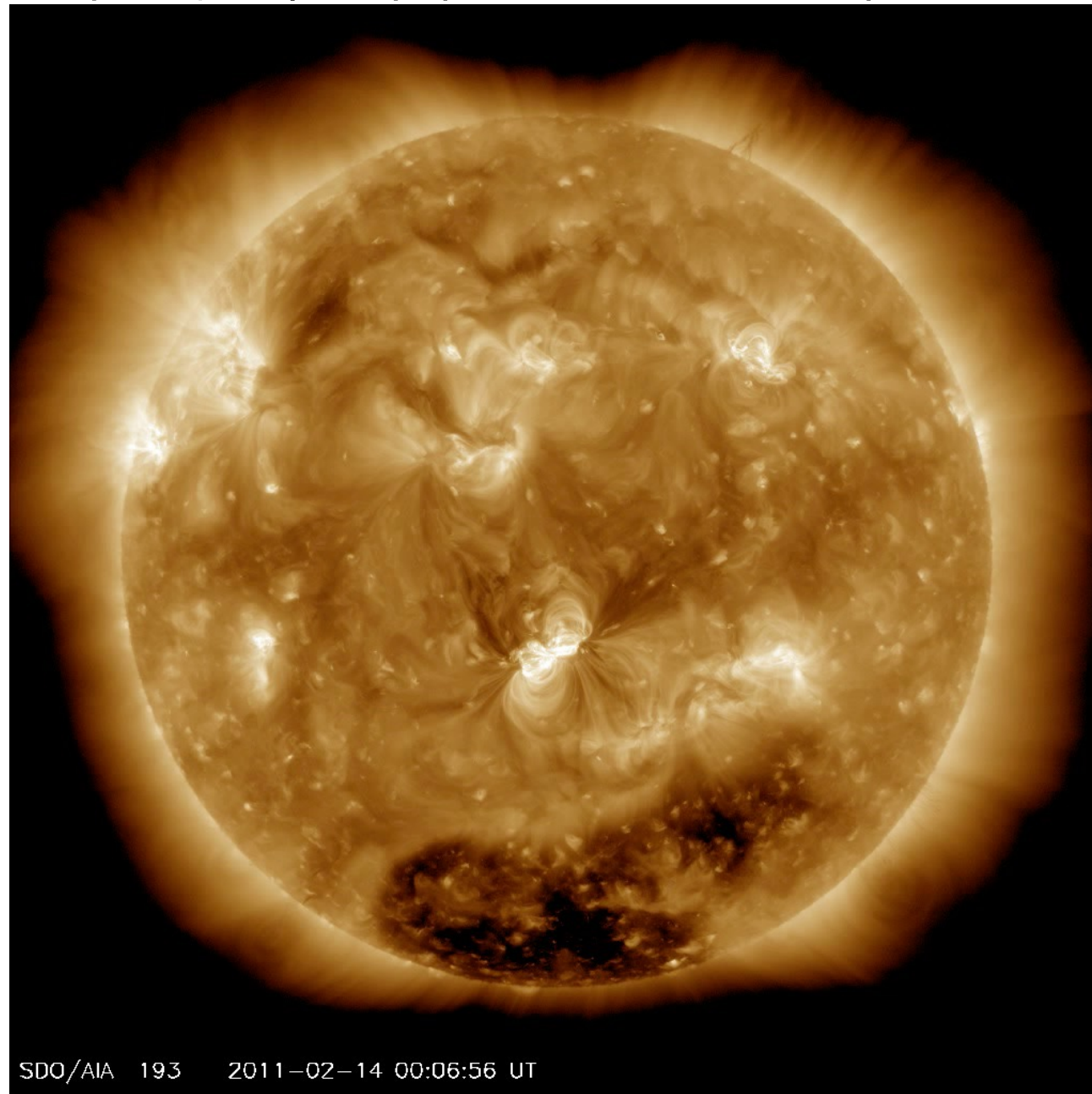
X線で見た太陽

1992/01/12



Yohkoh / SXT
Kyoto 4D

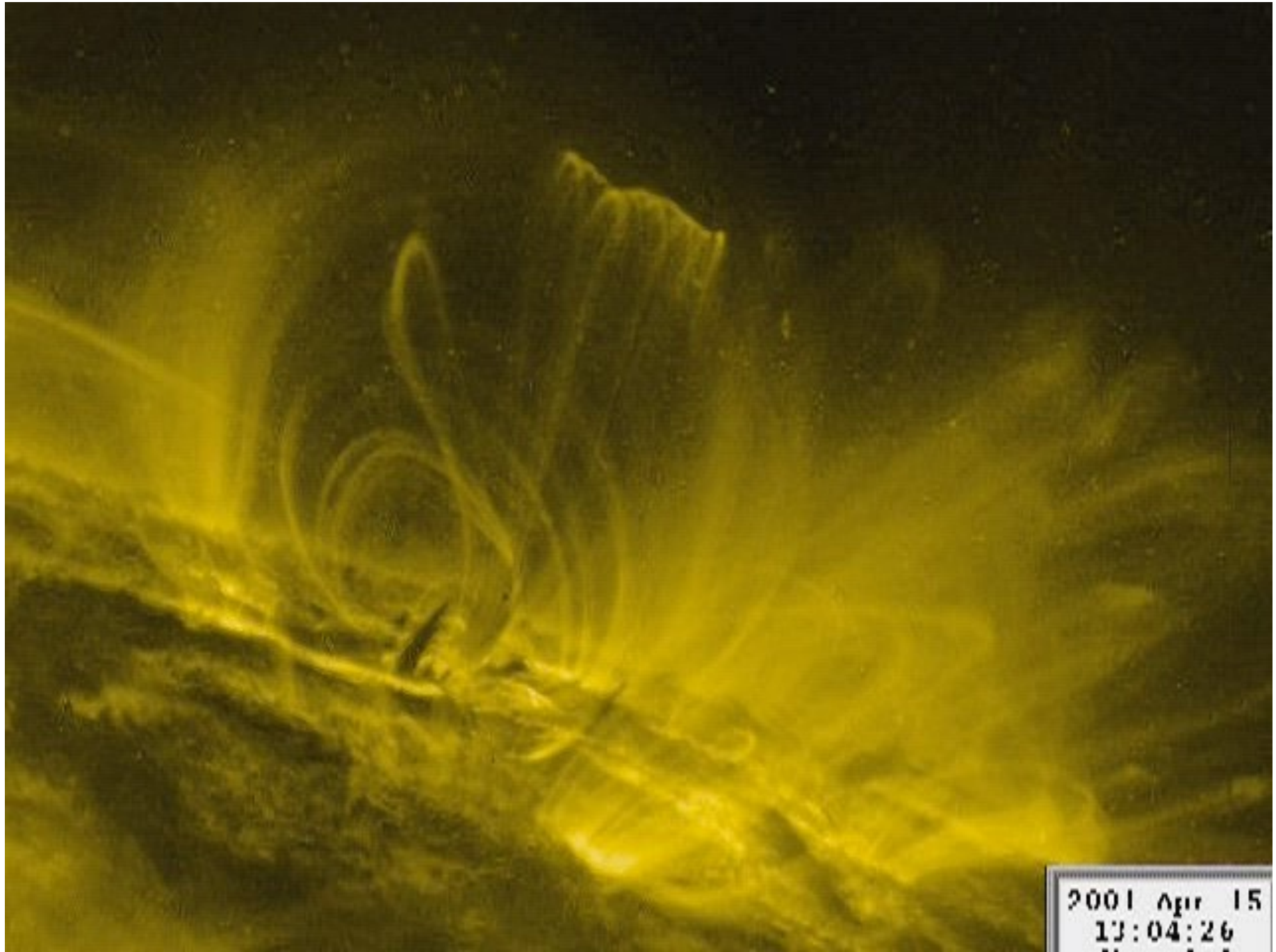
極端紫外線で見た太陽



SDO/AIA 193 2011-02-14 00:06:56 UT

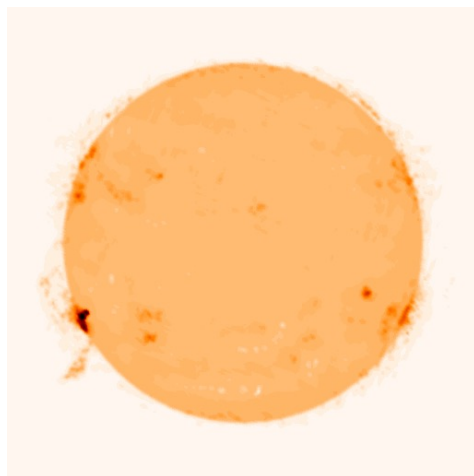
SDO/AIA

太陽フレア

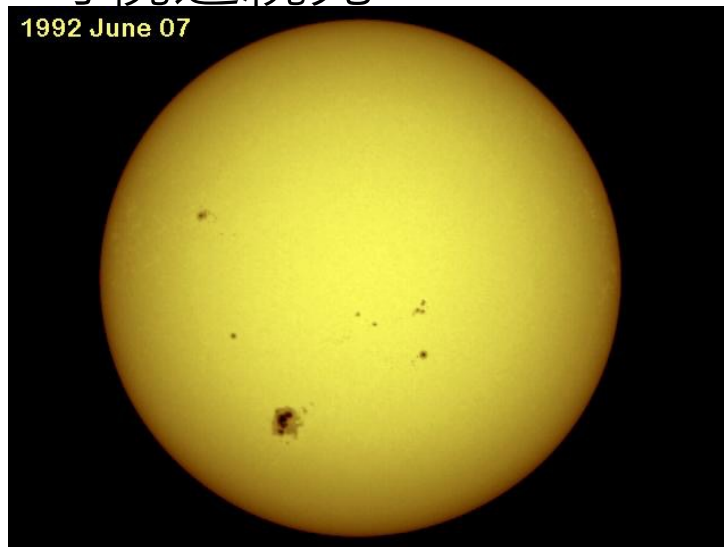


様々な波長で見た太陽

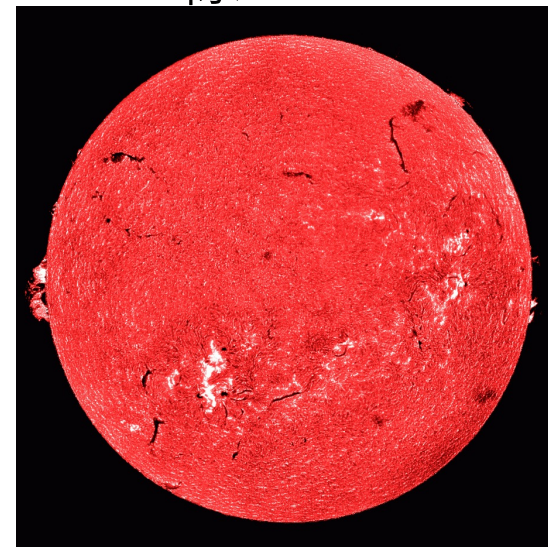
電波(17GHz)



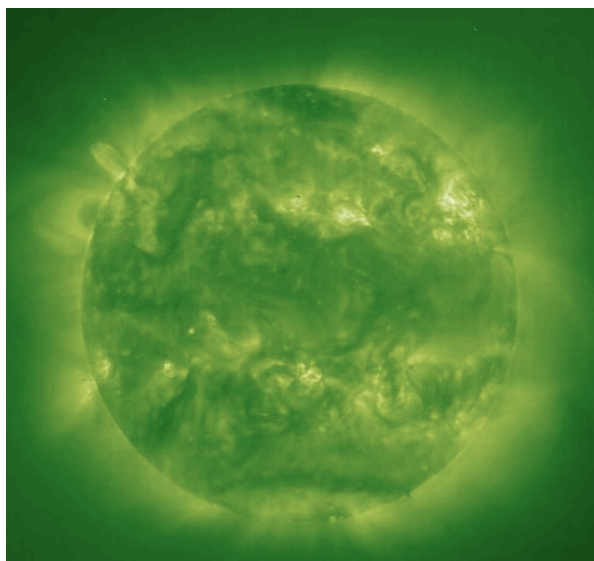
可視連続光



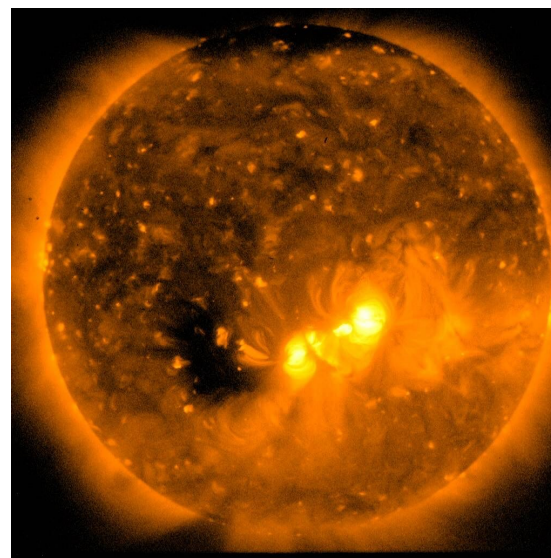
H α 線



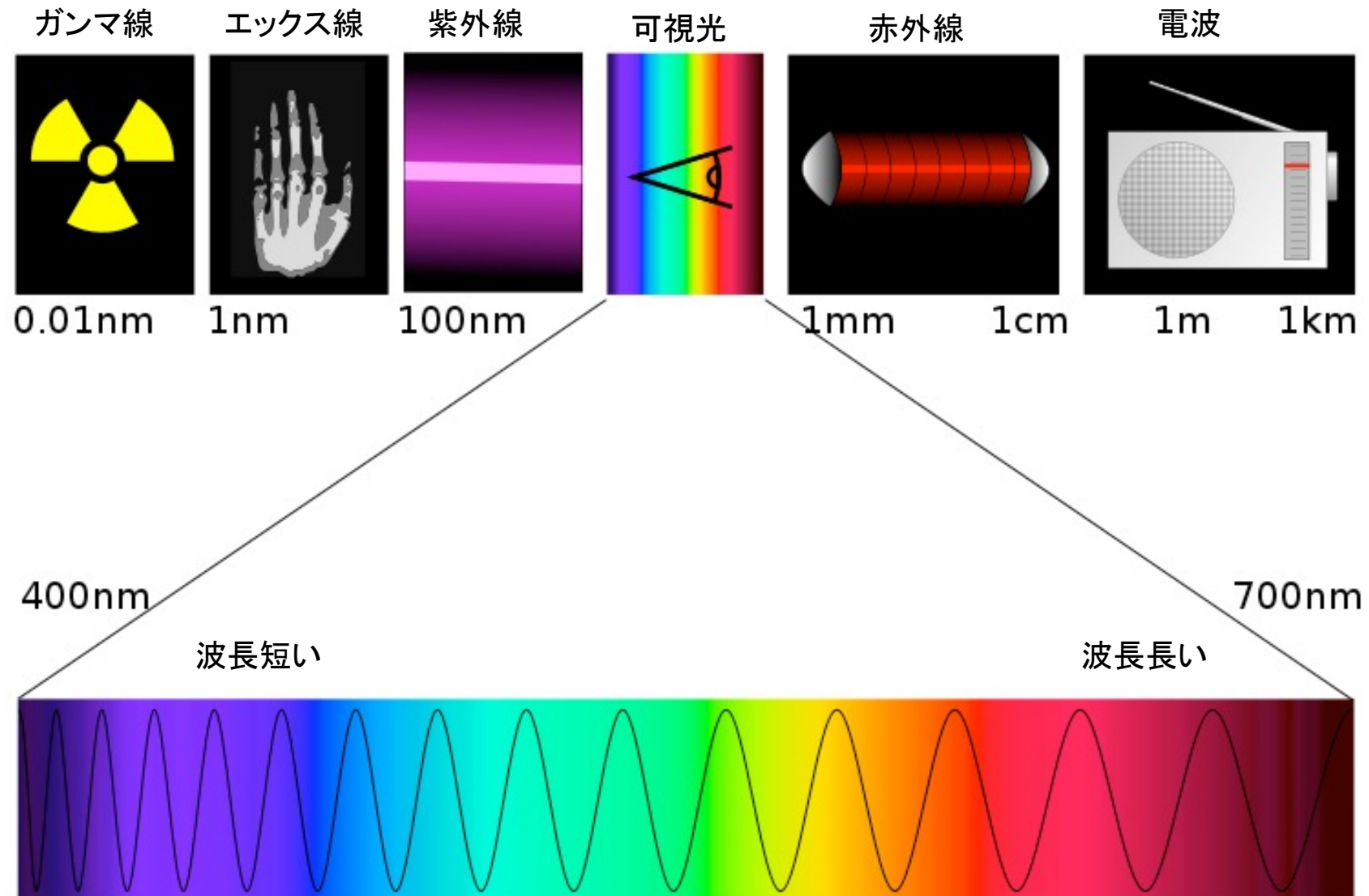
紫外線



X線



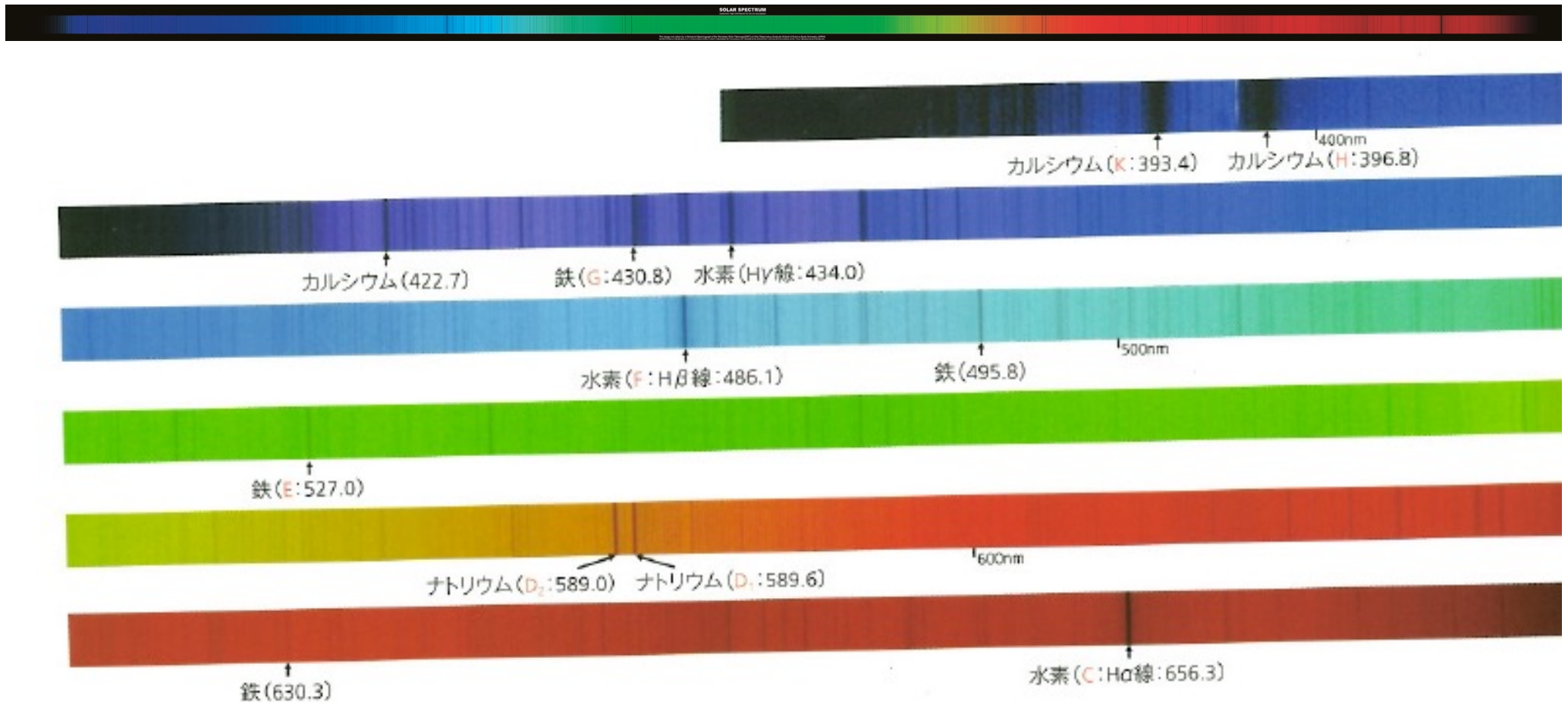
電磁波のスペクトル



1nm(ナノメートル) = 10億分の1メートル

From wikipedia commons

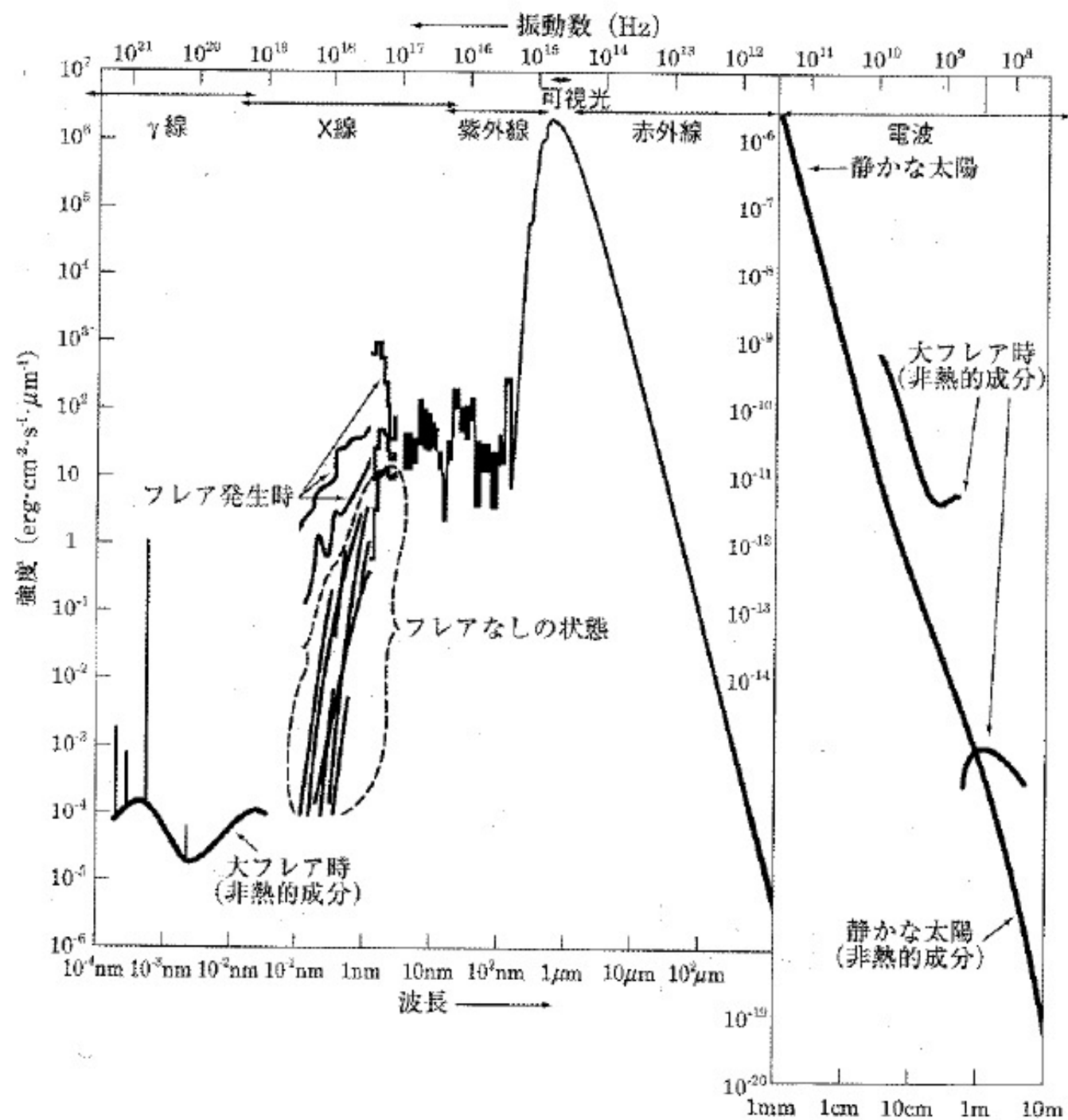
太陽の可視光スペクトル



スペクトル線の観測から

- 太陽に存在する元素の量
- 太陽大気中の速度場（ドップラーシフト）
- 彩層活動の診断
- 磁場の診断（偏光も使う） ...などがわかる

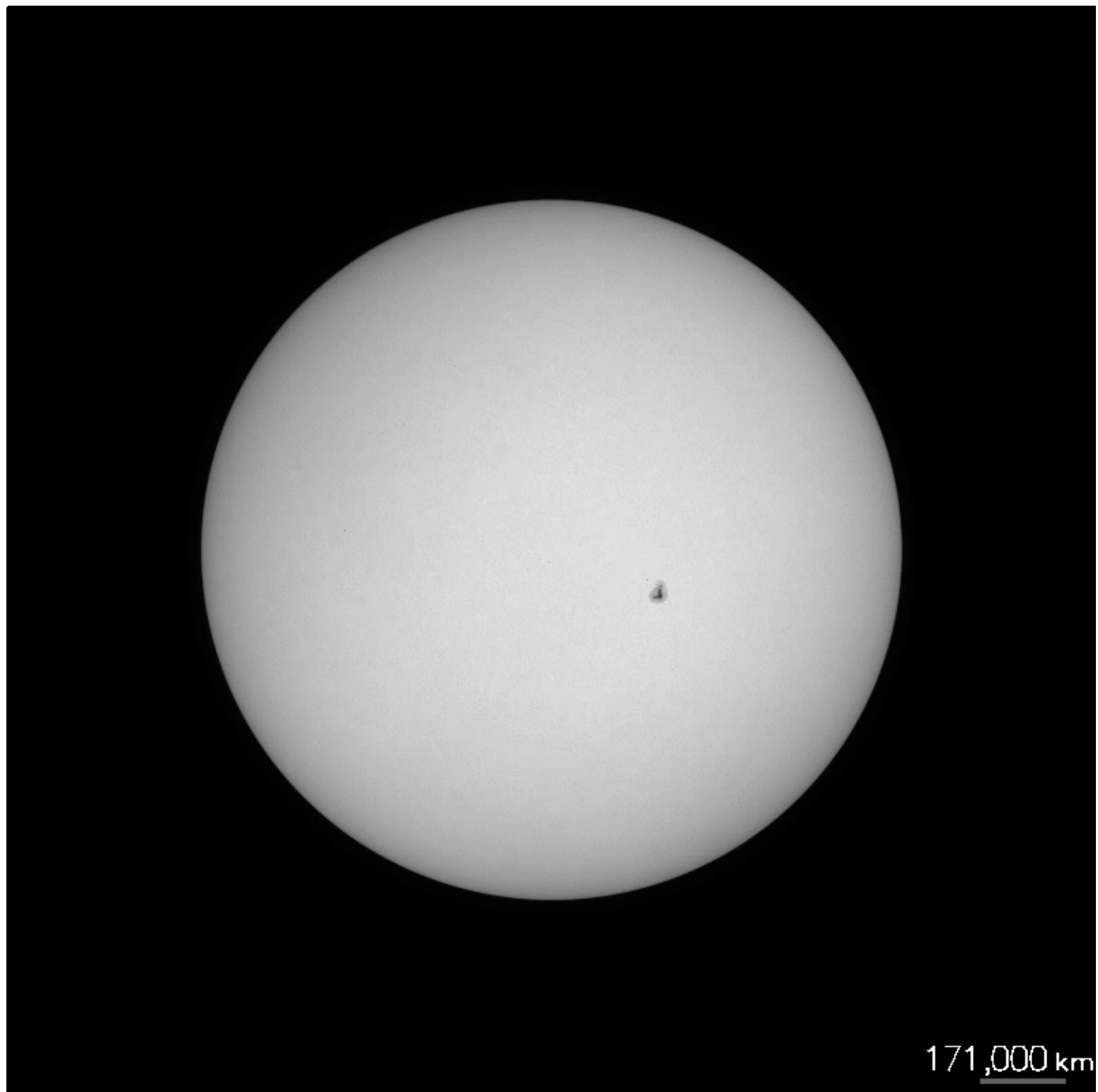
太陽からくる 電磁波



黒点

Movie by
T. J. Okamoto

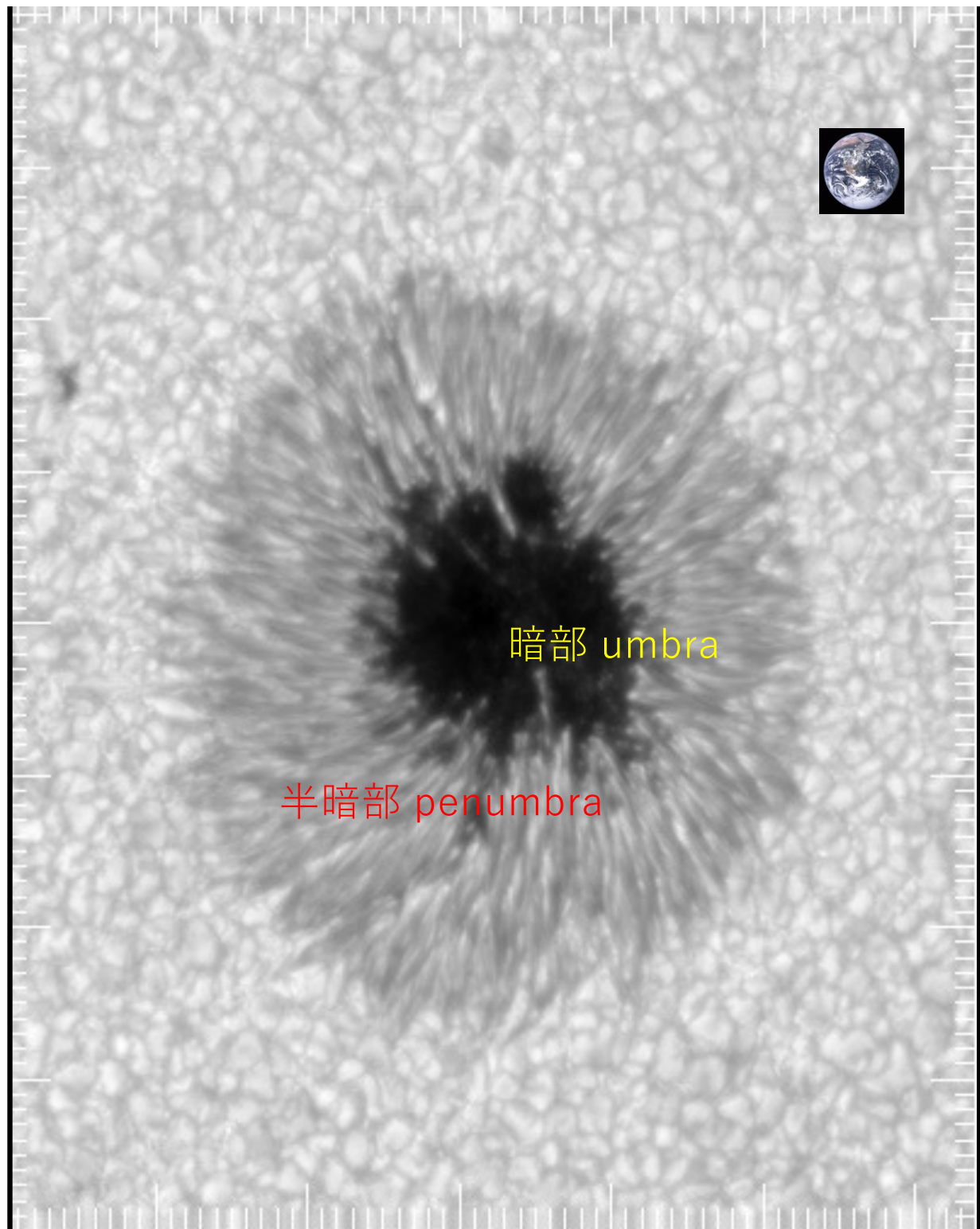
Hinode/SOT



黒点の構造

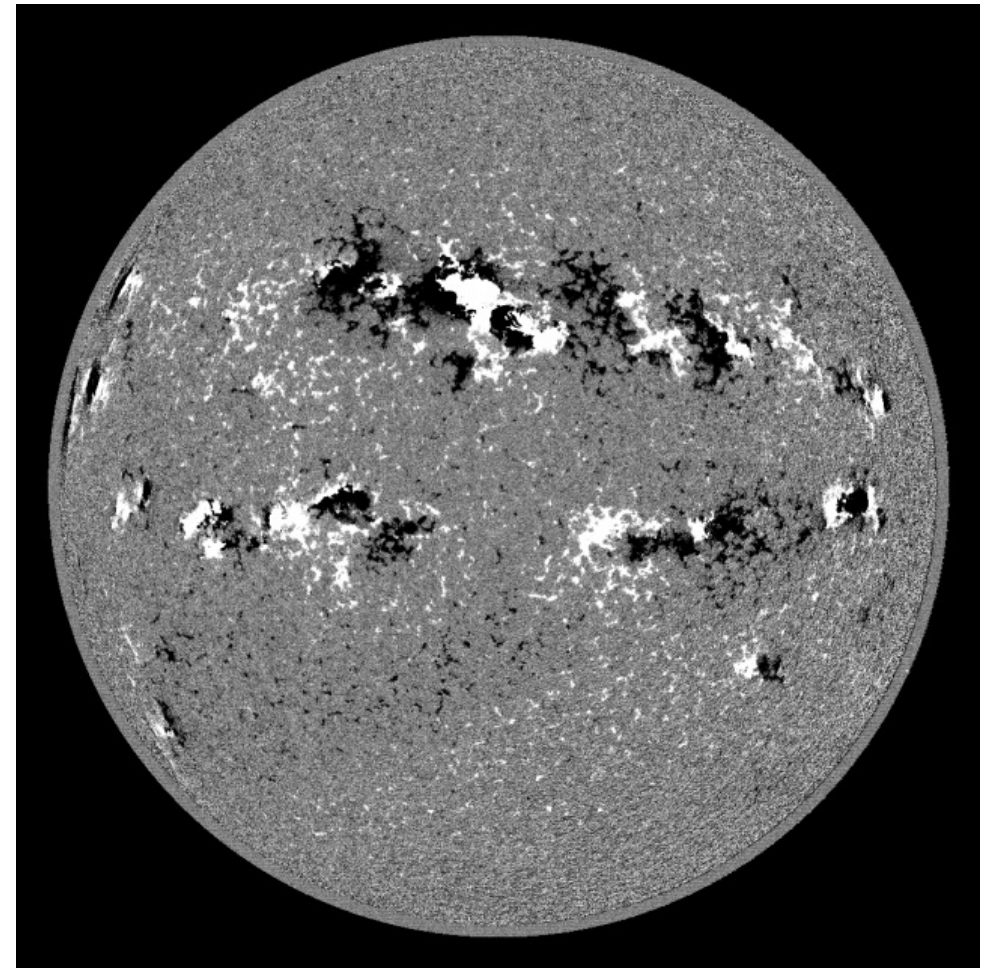
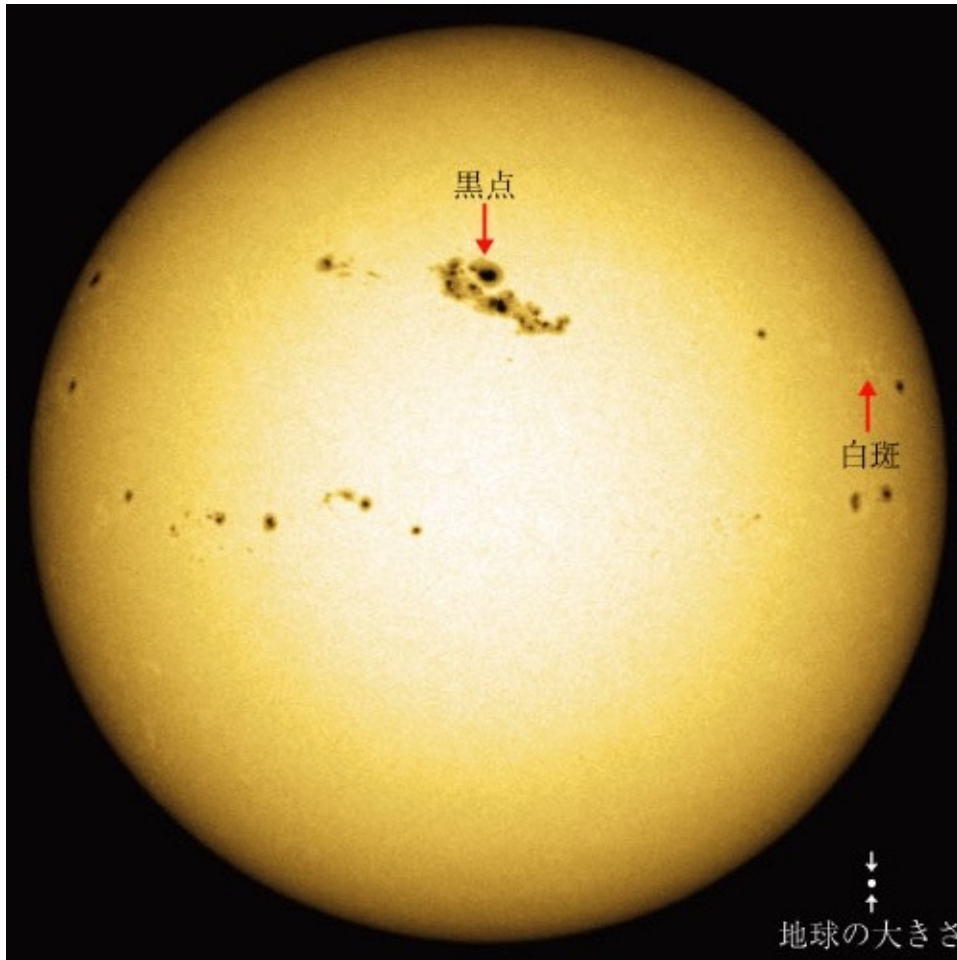
黒点暗部の温度は約4000度。周囲（6000度）より冷たいので暗くみえる。

ただし、黒点だけ取り出して夜空に置けば満月より明るい。



黒点は巨大な磁石

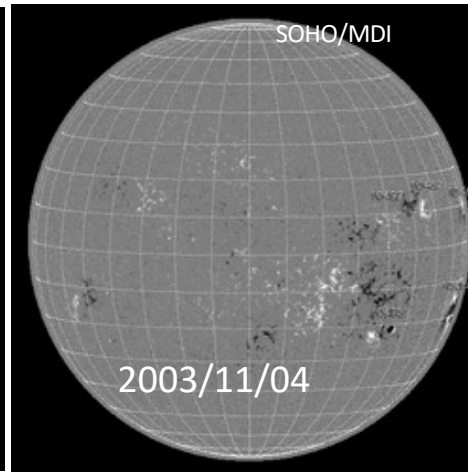
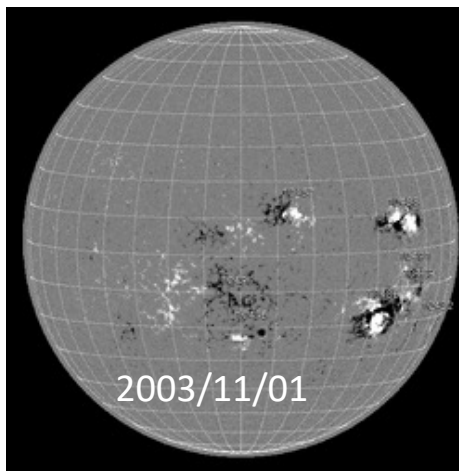
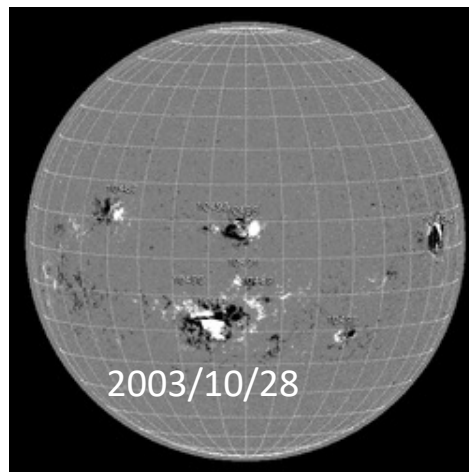
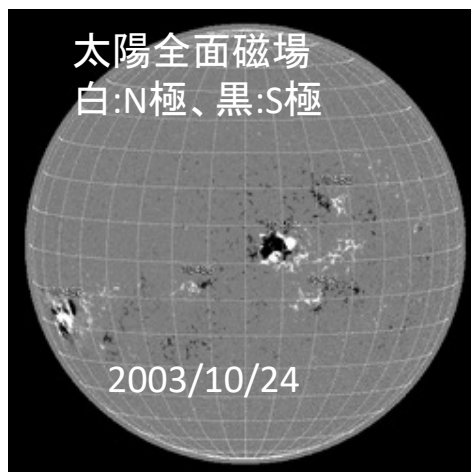
黒点数 = $k(\text{黒点の数} + 10 \times \text{黒点群の数})$ k : 観測者ファクター



磁場強度～暗部の最大値で3000ガウス(0.3テスラ)、
半暗部で1000ガウス(0.1テスラ)程度。黒点がないところは、平均10ガウス程度。

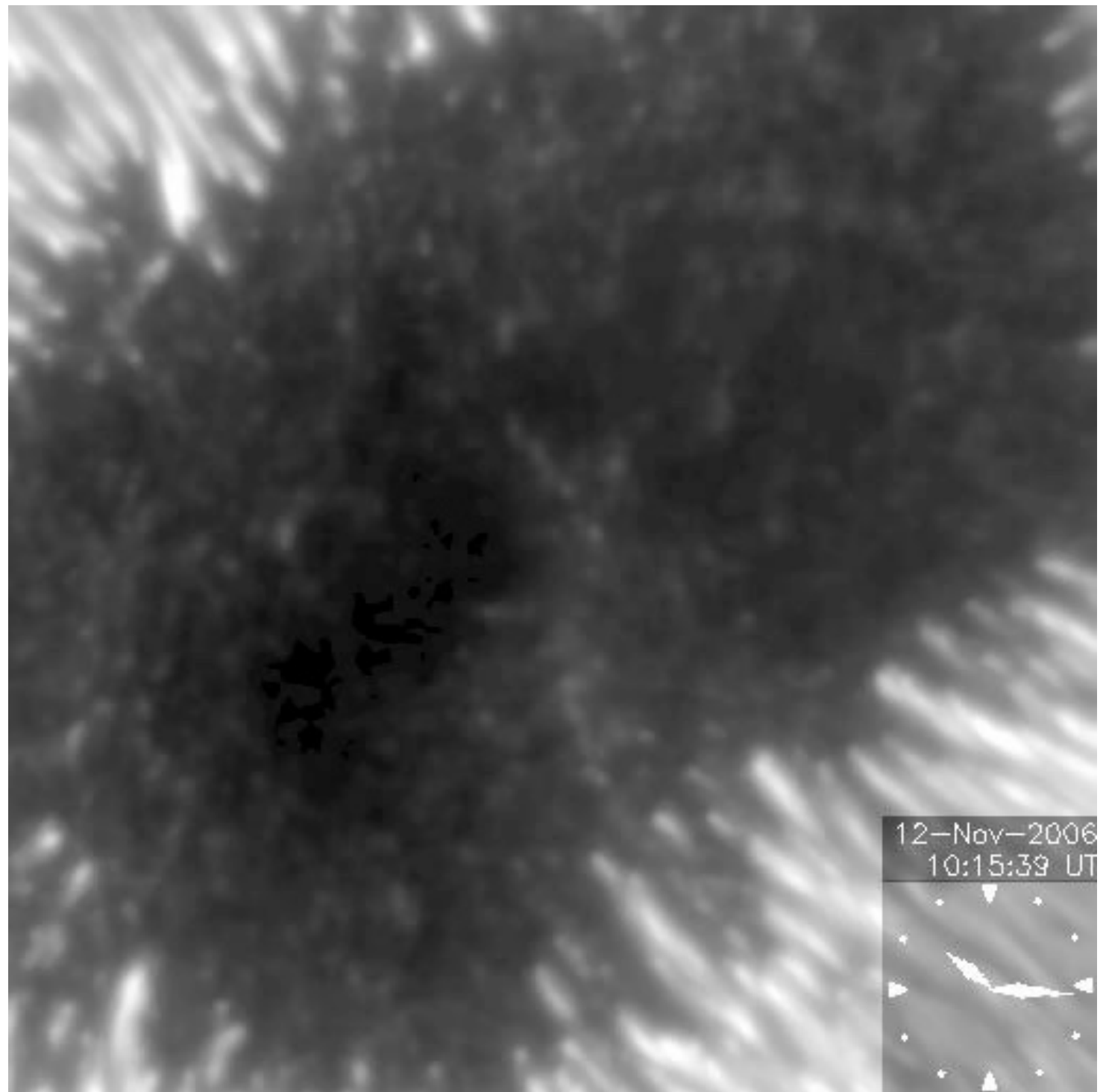
黒点の変化

寿命: 2週間～2ヶ月くらい。太陽の自転周期～1ヶ月(26-28日)



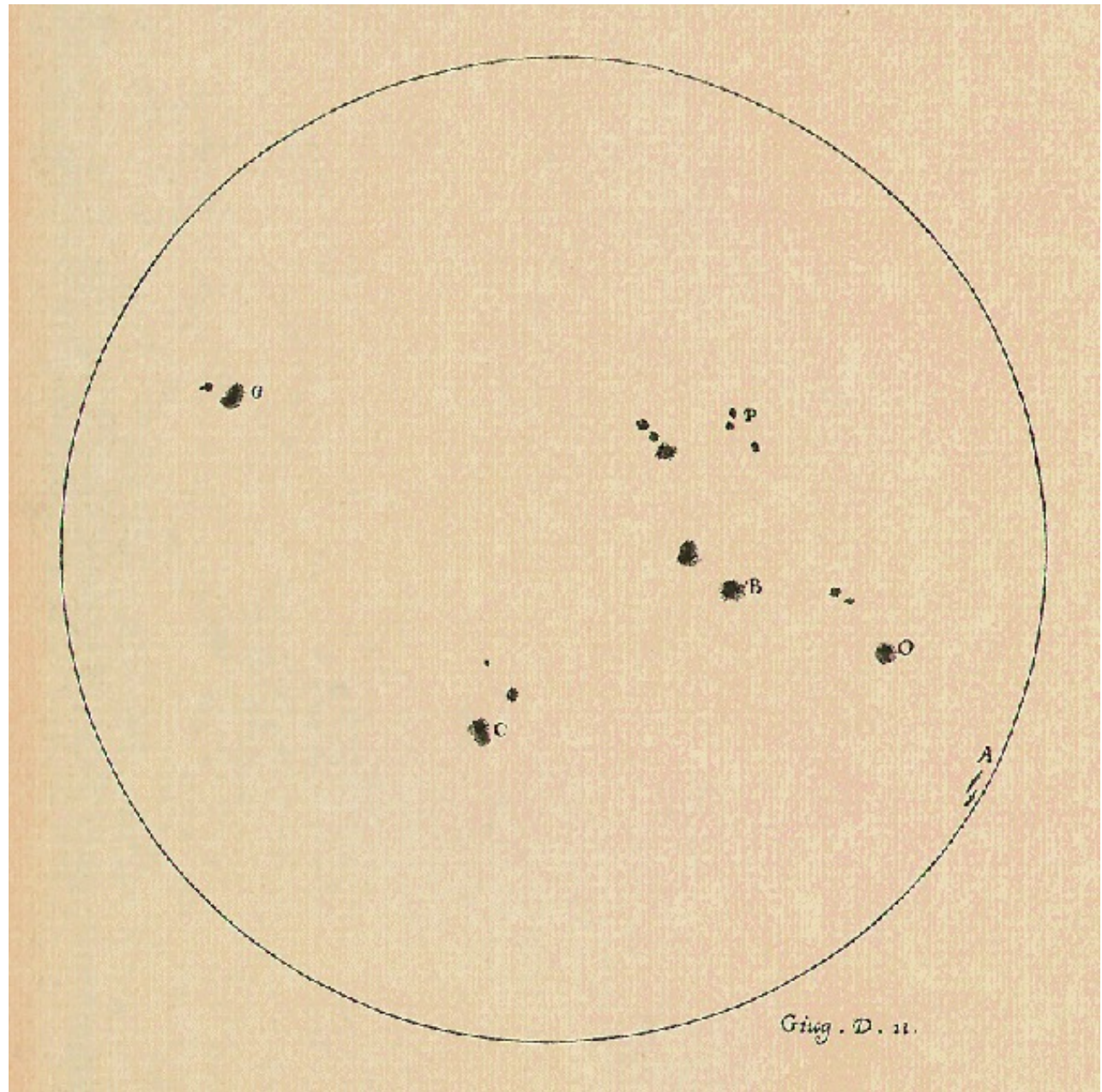
Light Bridge
and
Umbral dots

Hinode/SOT
Katsukawa+ 2007

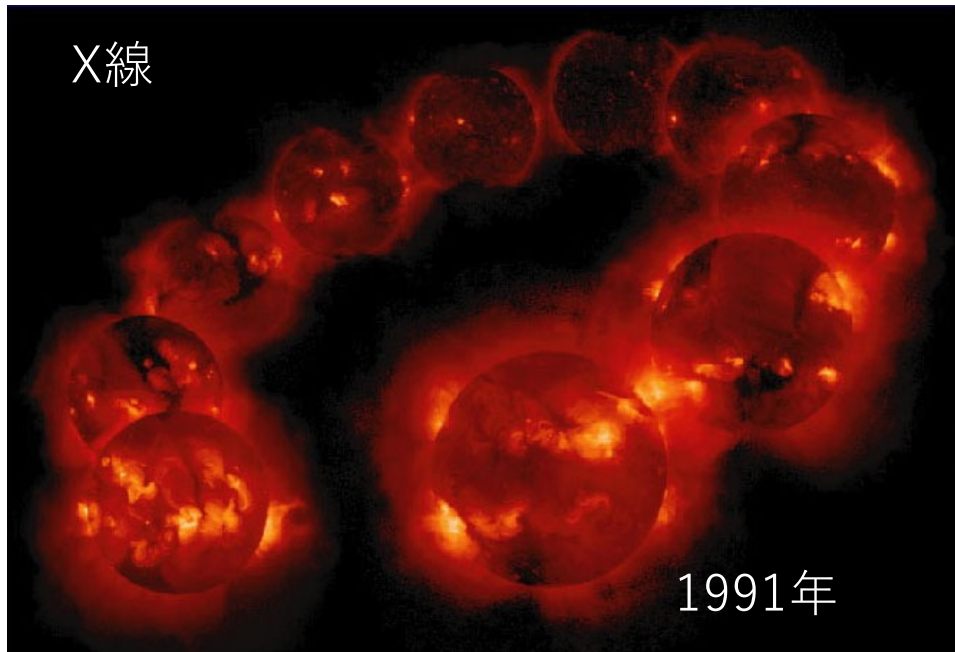


ガリレオによる黒点のスケッチ(1610~)

日中有黒子

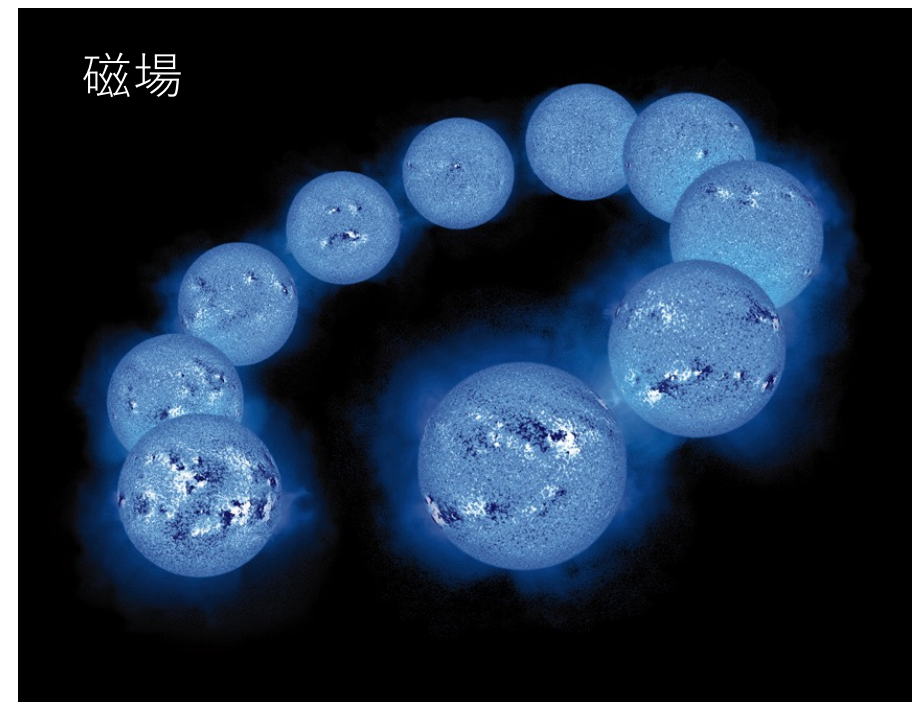
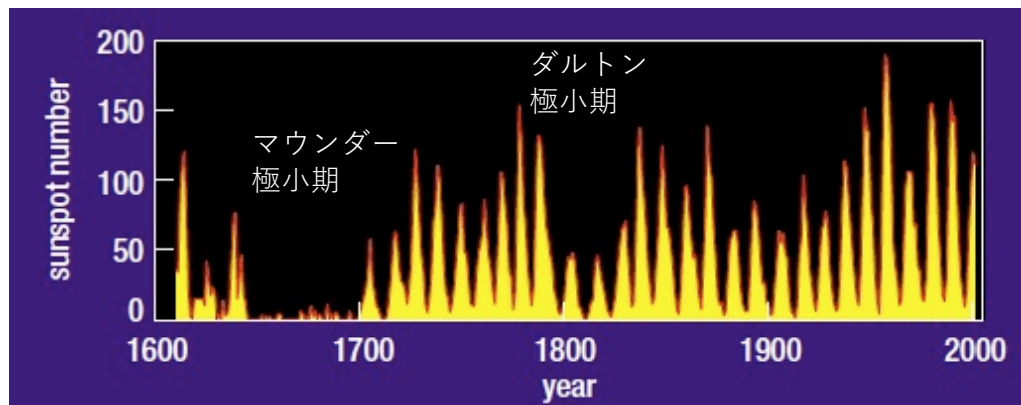


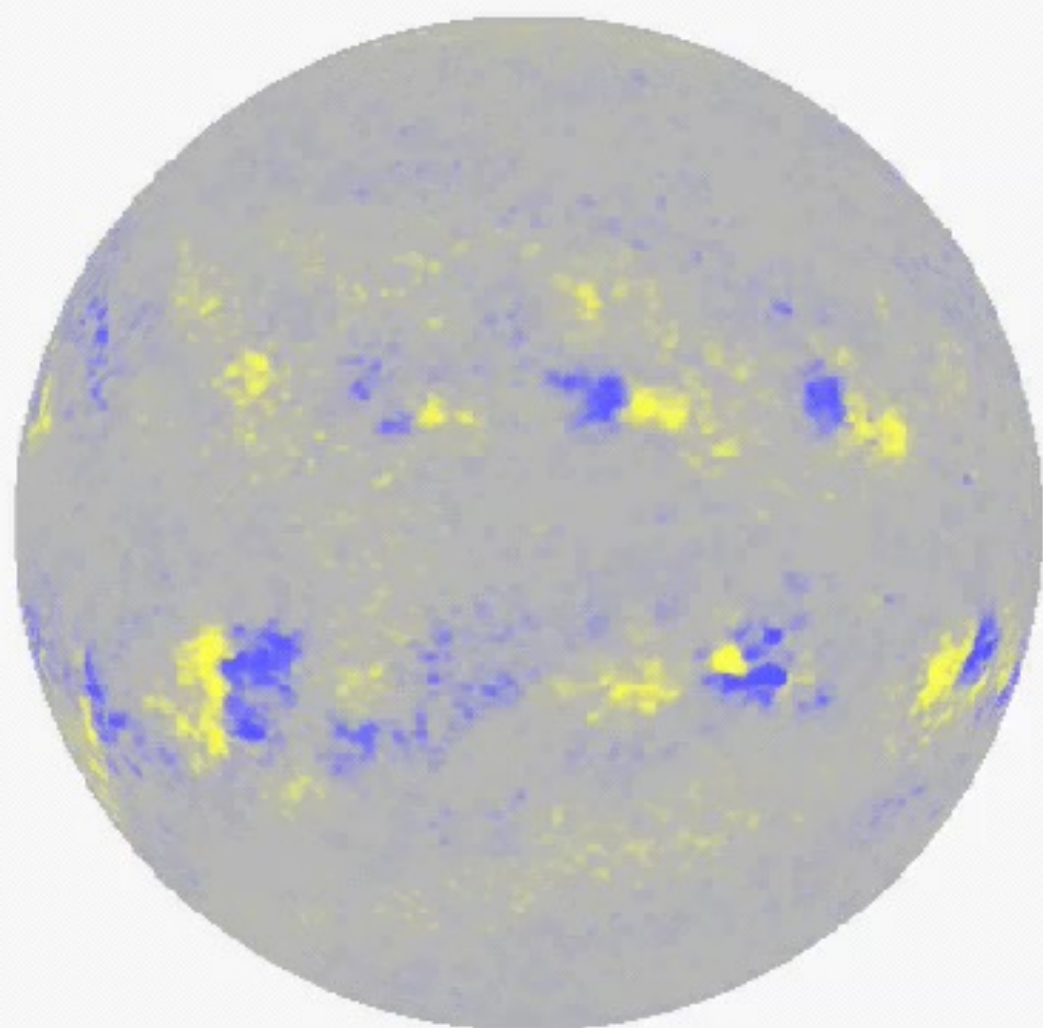
太陽活動の長期変動



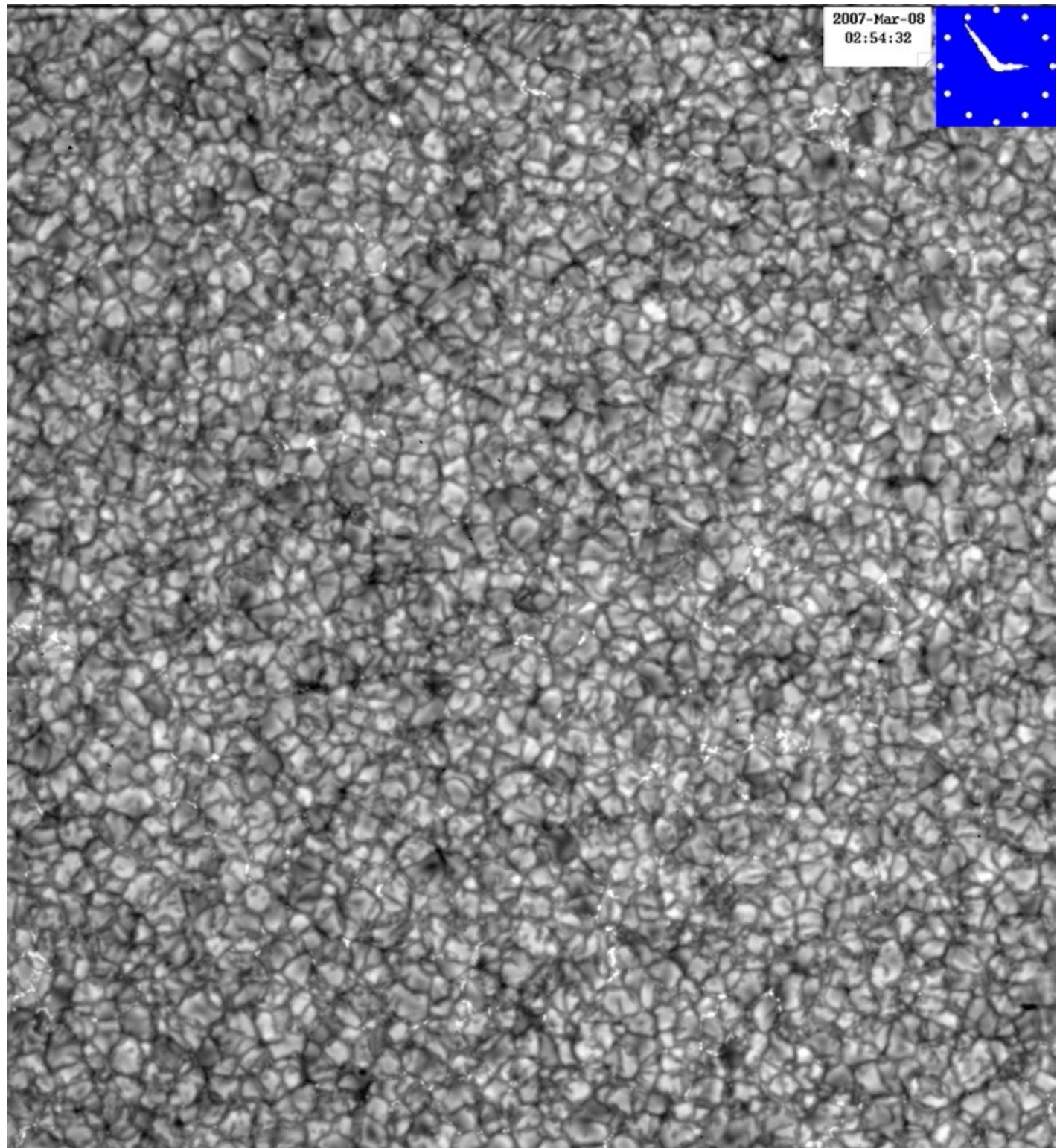
11年周期

より長期的な変動

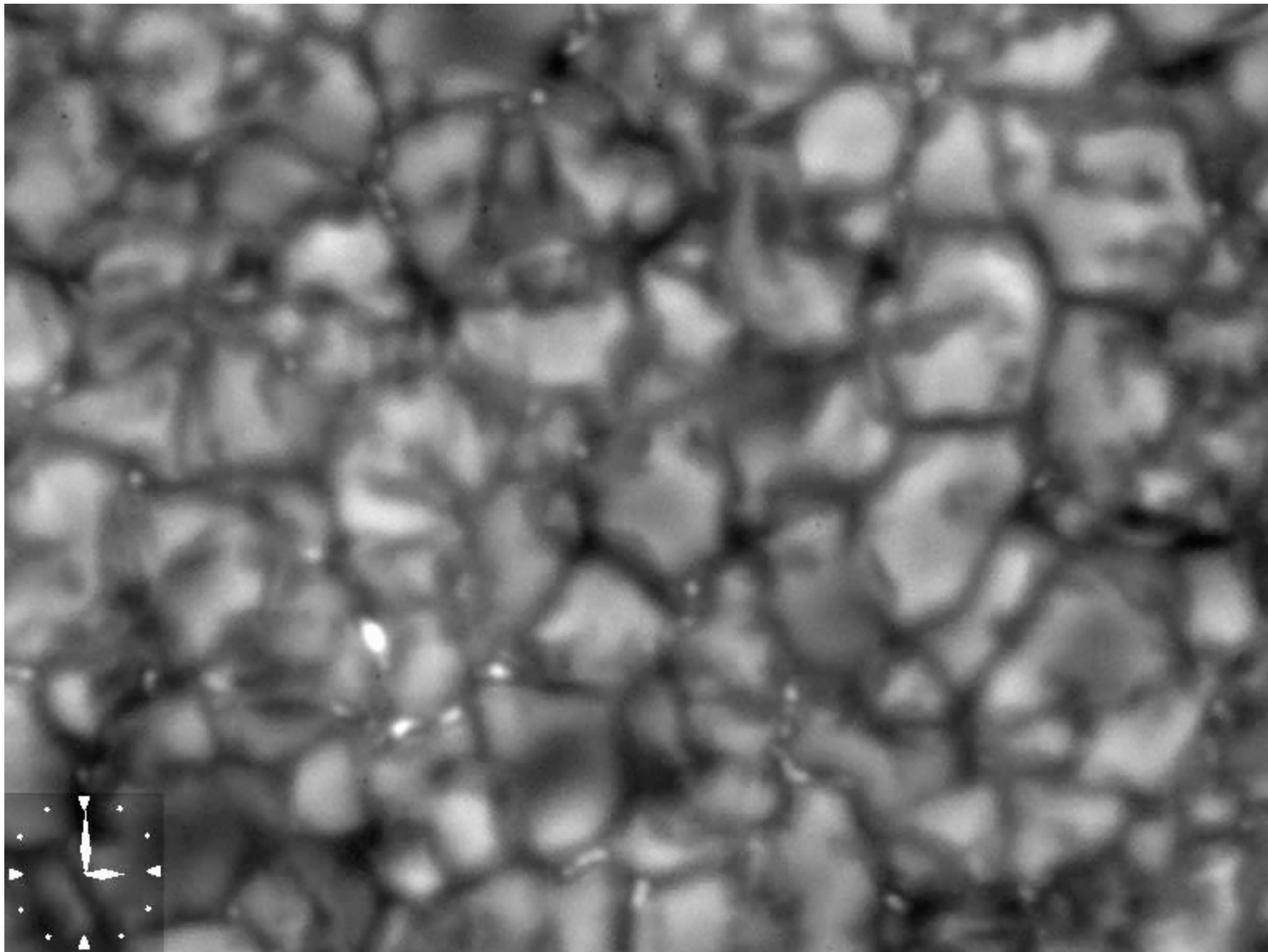




光球
(粒状斑,
granules)



Hinode/SOT

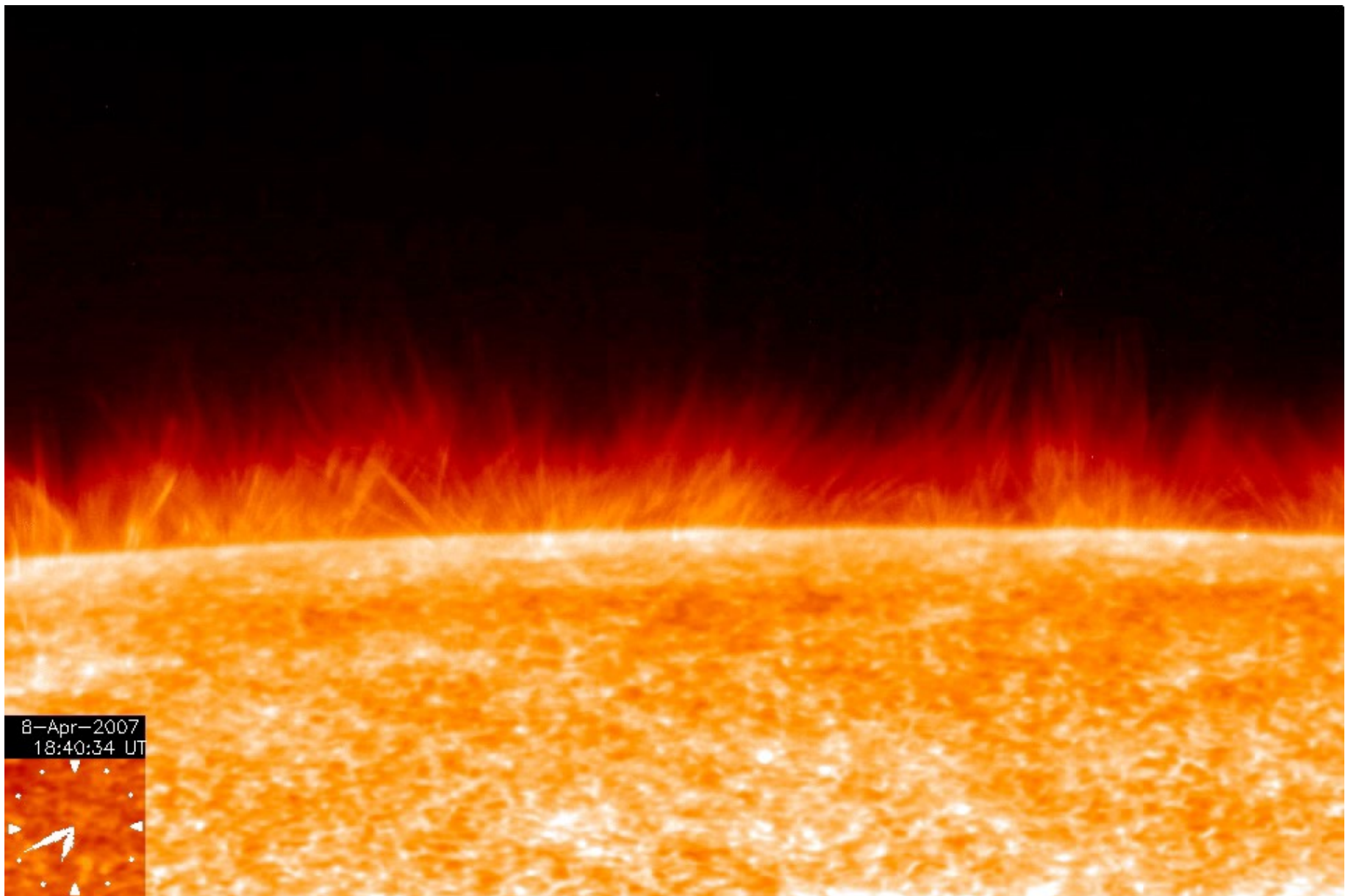


彩層(Chromosphere)



日食の時に縁の近くにピンク色 ($H\alpha$ の色) に見えたため、この名がついた.

可視連続光で見える表面 (光球) 上空の、厚さ数1000kmの層



ひので可視光望遠鏡(SOT)が見た彩層。
彩層はジェット状の噴出するガス（スピキュール）の集合体。

黒点の周りの活動現象

水素の電離ポテンシャル
 $13.6\text{eV} = (\text{J})$

熱的プラズマが、衝突で完全電離になるには、温度は何度必要？

熱平衡 = 1自由度あたり $k_B T/2$

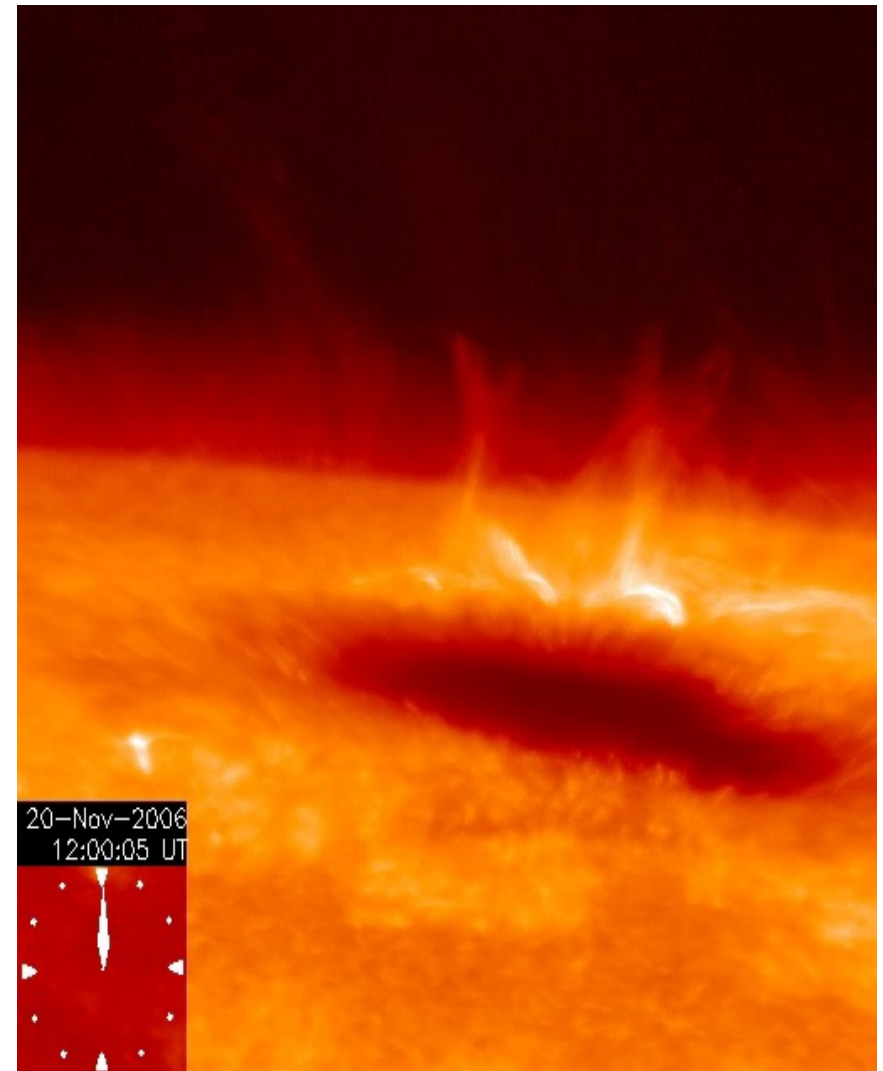
単原子の気体が温度 T だとすると、1粒子あたりの平均エネルギー $\sim k_B T$ (J)

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$1\text{eV} \sim 1.6 \times 10^{-19} \text{ (J)}$$

$\Rightarrow 10^5 \text{ K} \sim$ で衝突電離が始まる

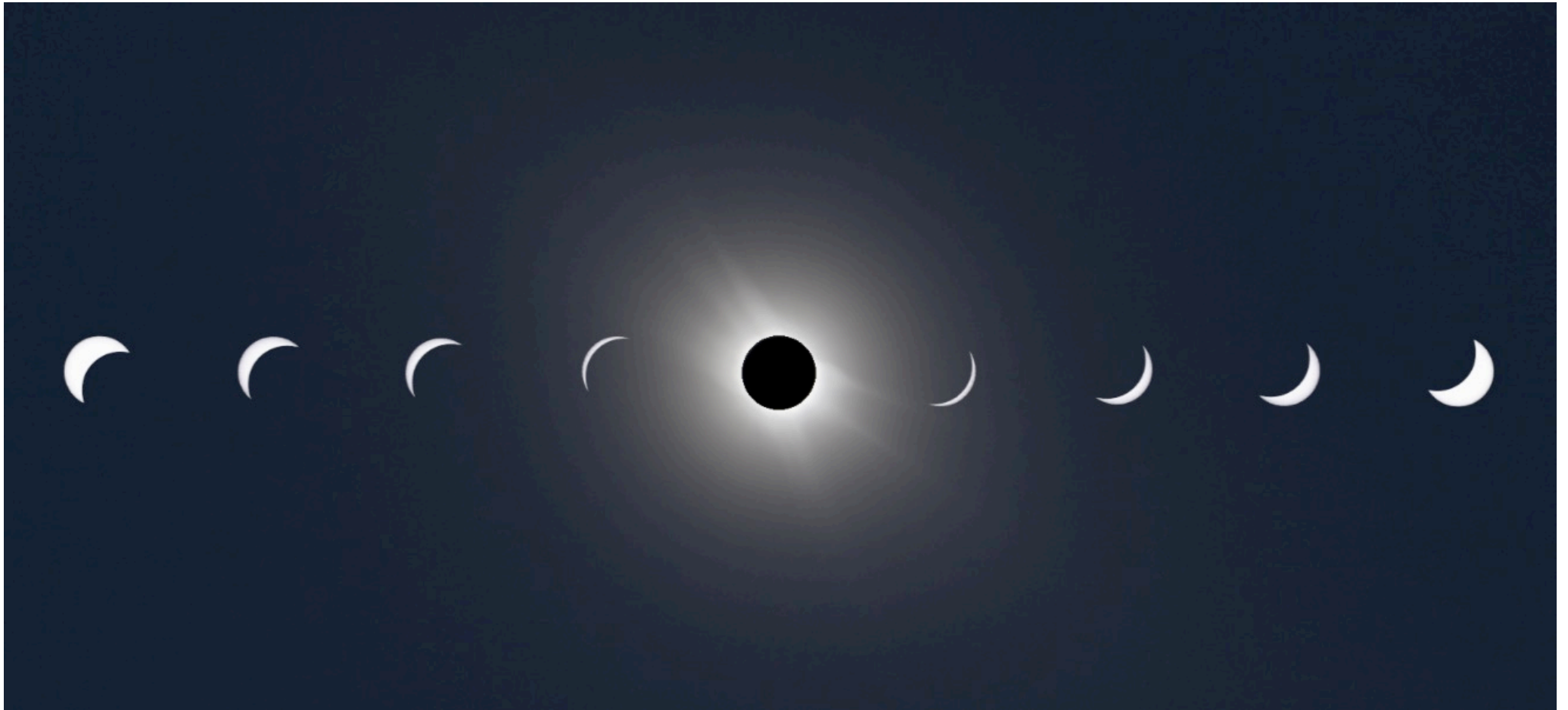
コロナは100万度 $\Rightarrow$ 完全電離
彩層、光球 $\sim 10000\text{K} \Rightarrow$ 部分電離 $\Rightarrow$
地球の電離圏に似てる（中性粒子と、磁場が、わずかな電離粒子との衝突を介して相互作用）



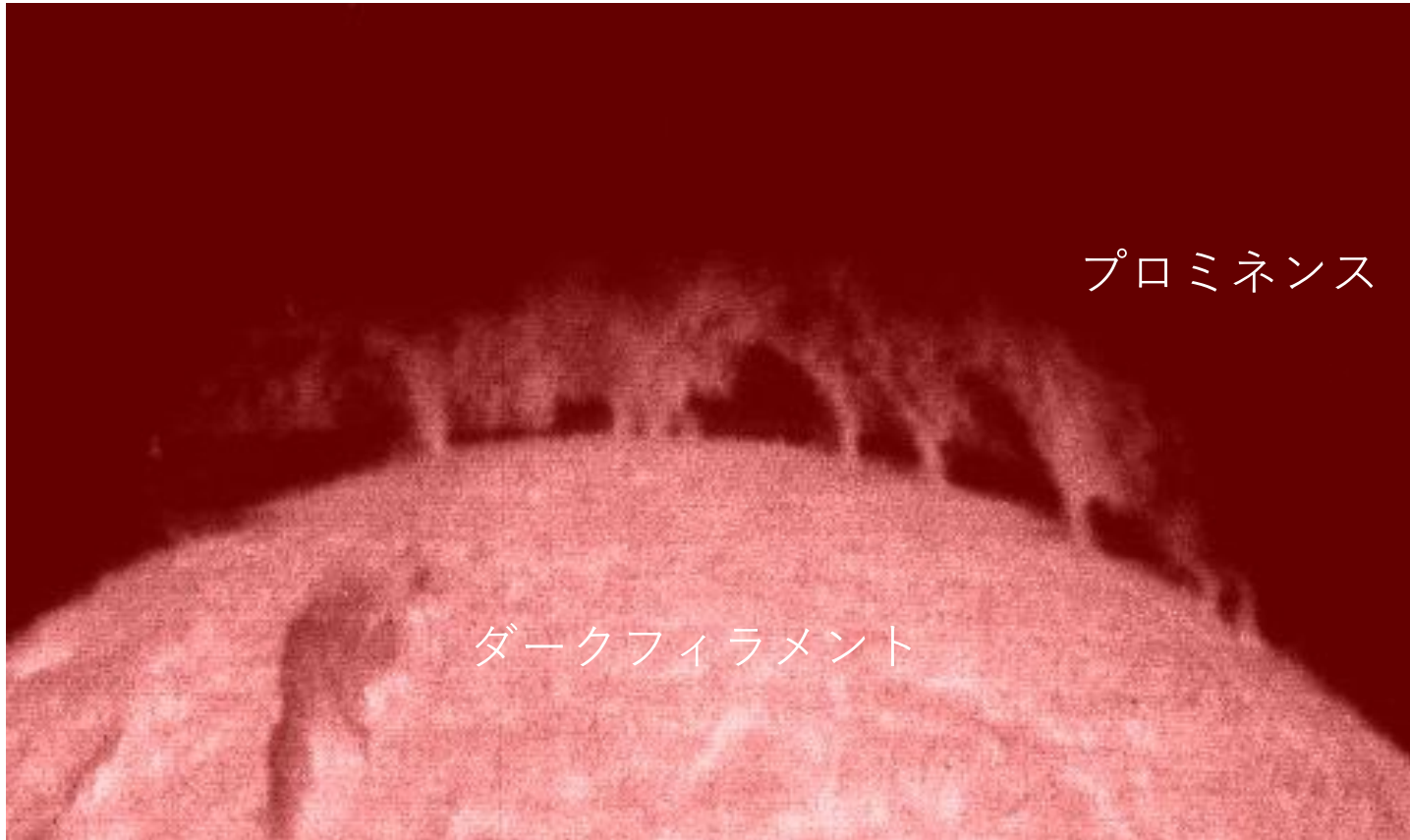
Hinode/SOT

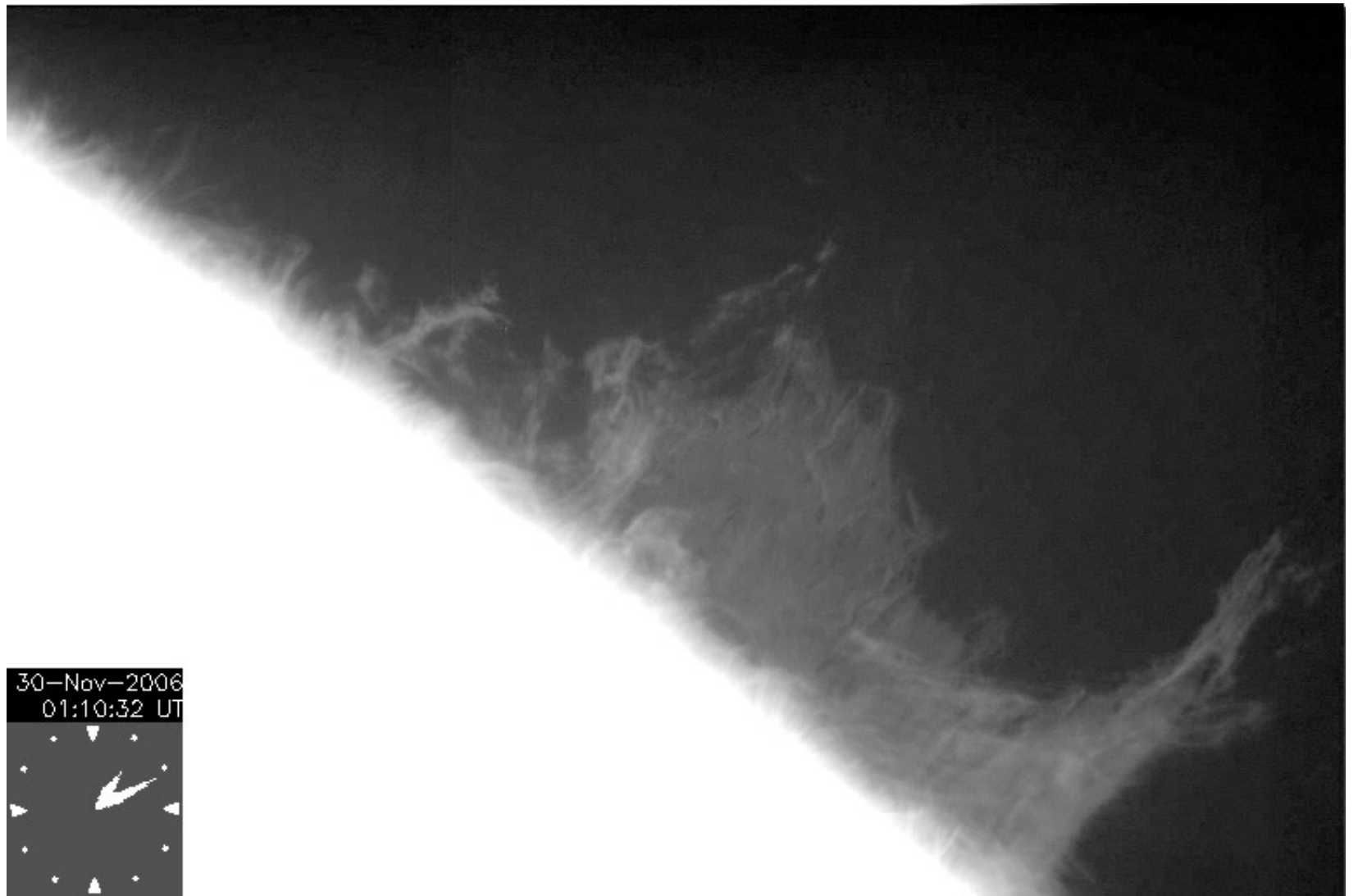
コロナ: 100万度の超高温大気

2006年の皆既日食(トルコ)



プロミネンス (prominence, 紅炎) と
ダークフィラメント (dark filament, 暗条)

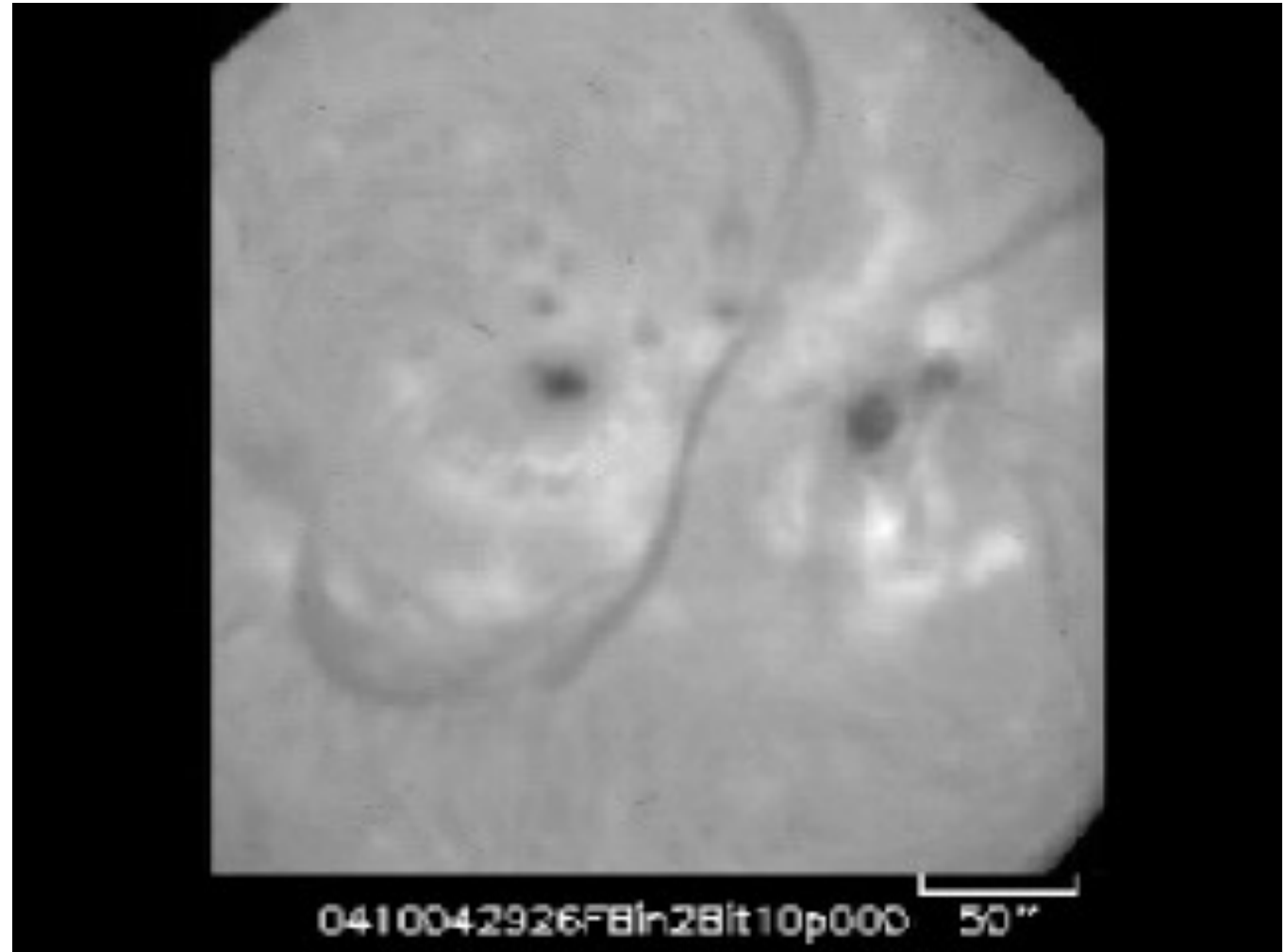
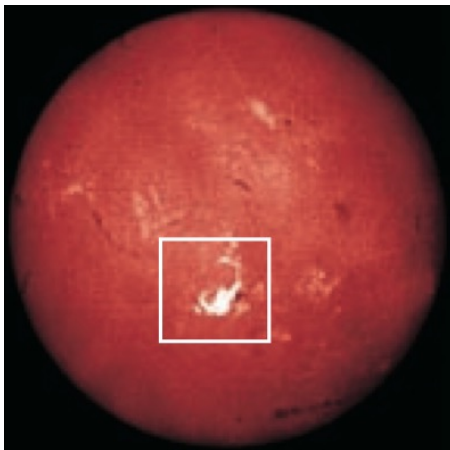




プロミネンス（紅炎） ... 100万度のコロナにうかぶ1万度のガス

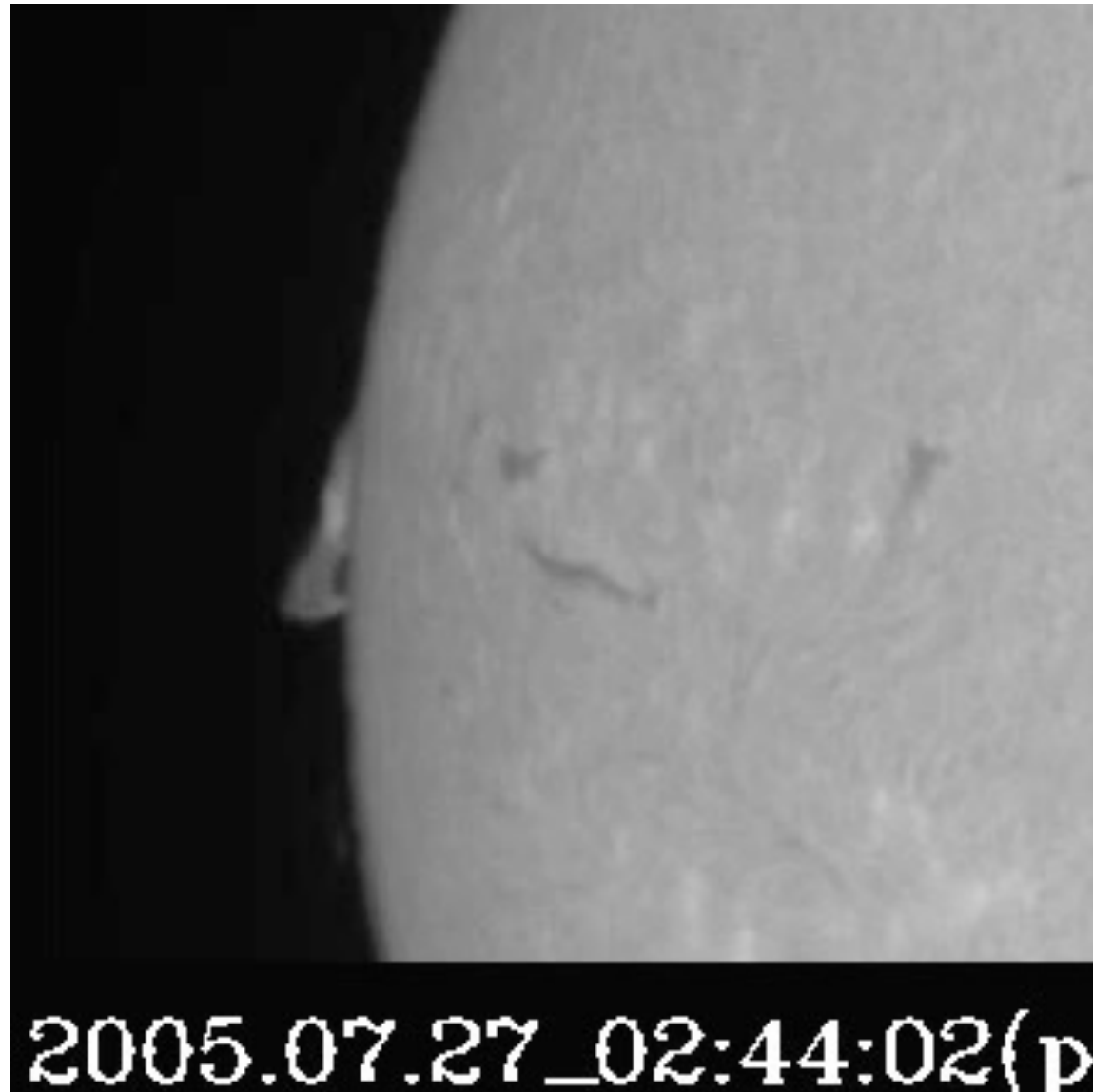
プロミネンス（フィラメント）噴出とフレア

京都大学飛騨天文台
ドームレス太陽望遠鏡

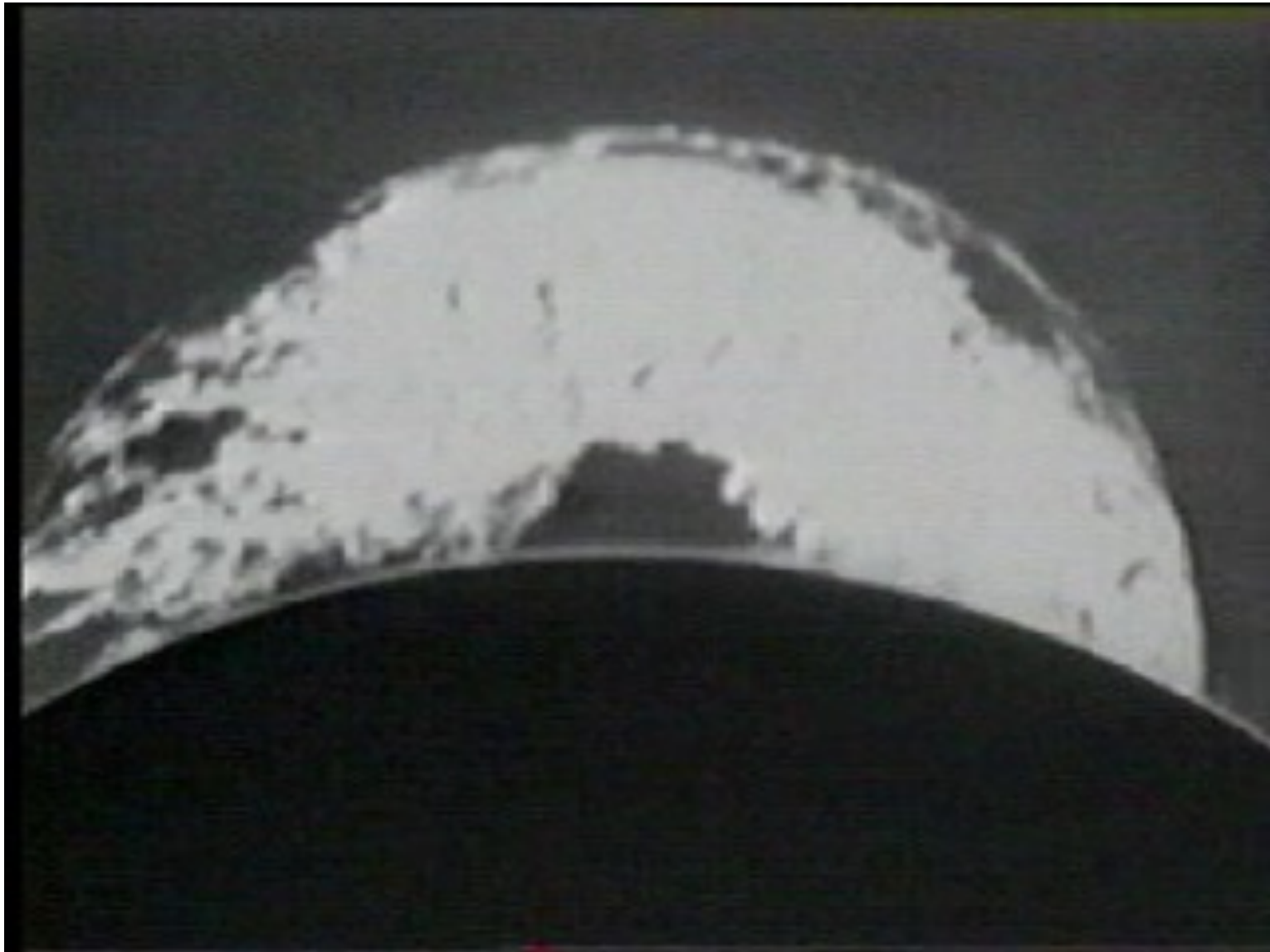


二つの黒点の間でフレアが起きる

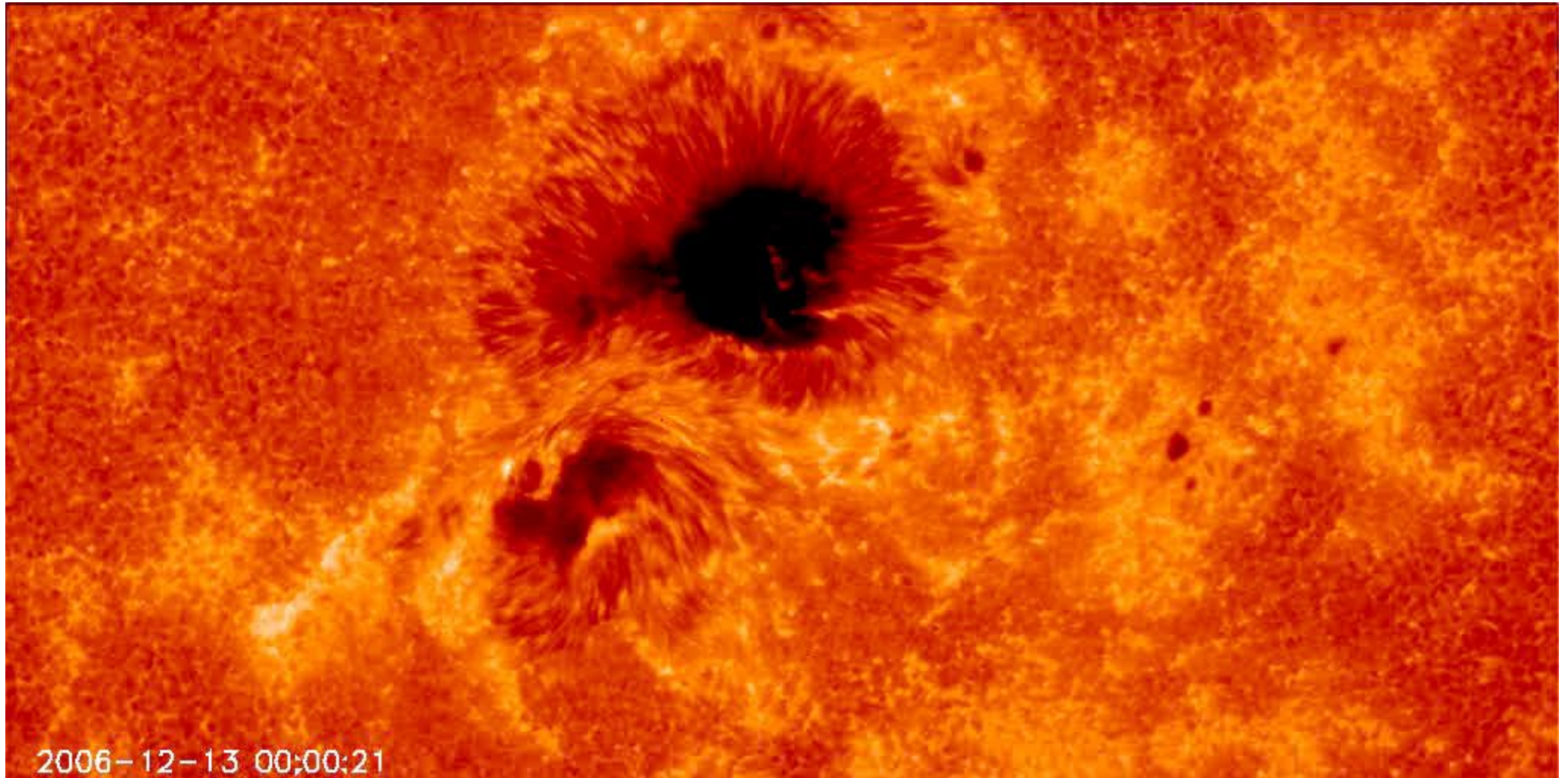
プロミネンス噴出



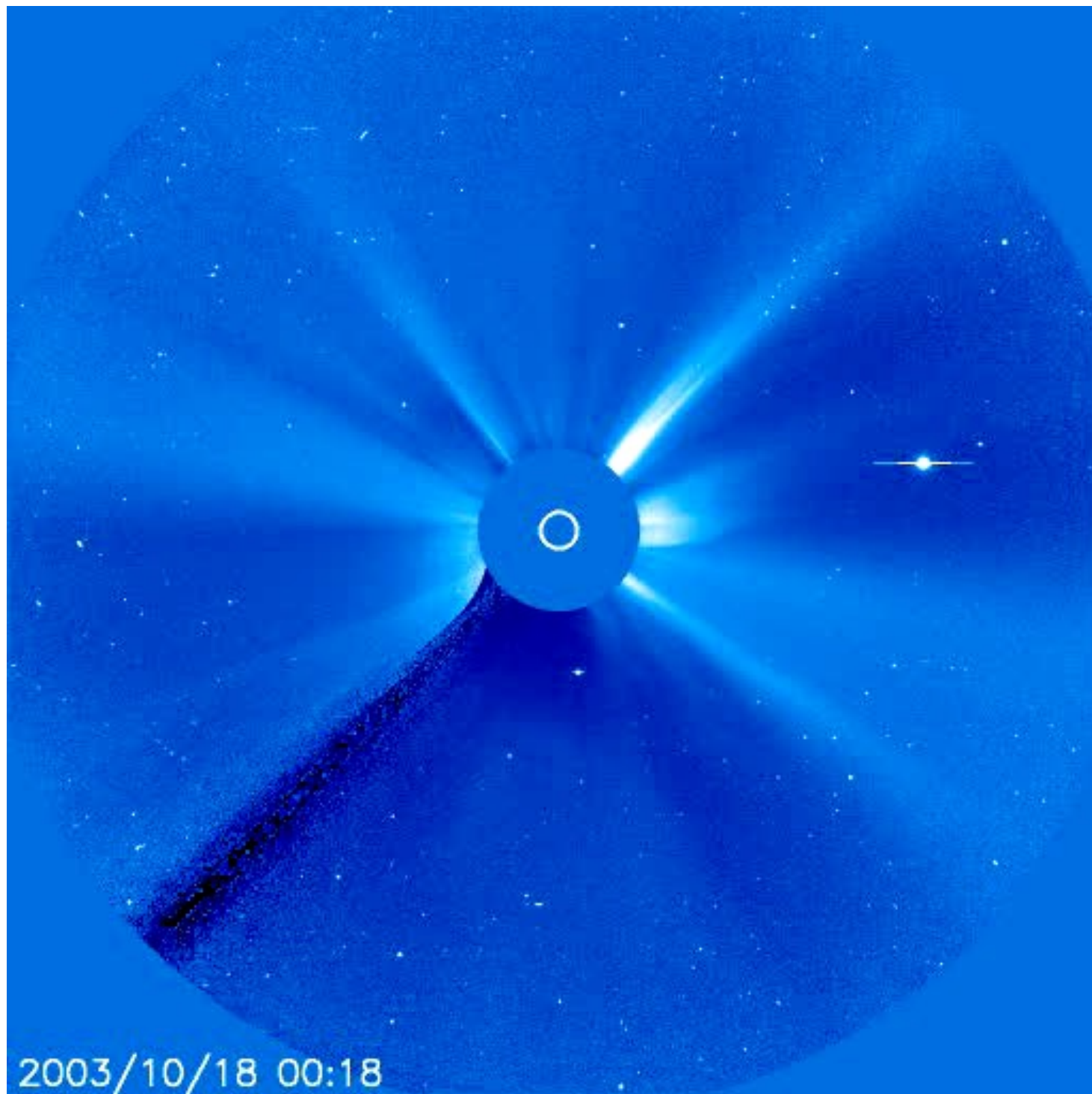
観測史上最大のプロミネンス噴出



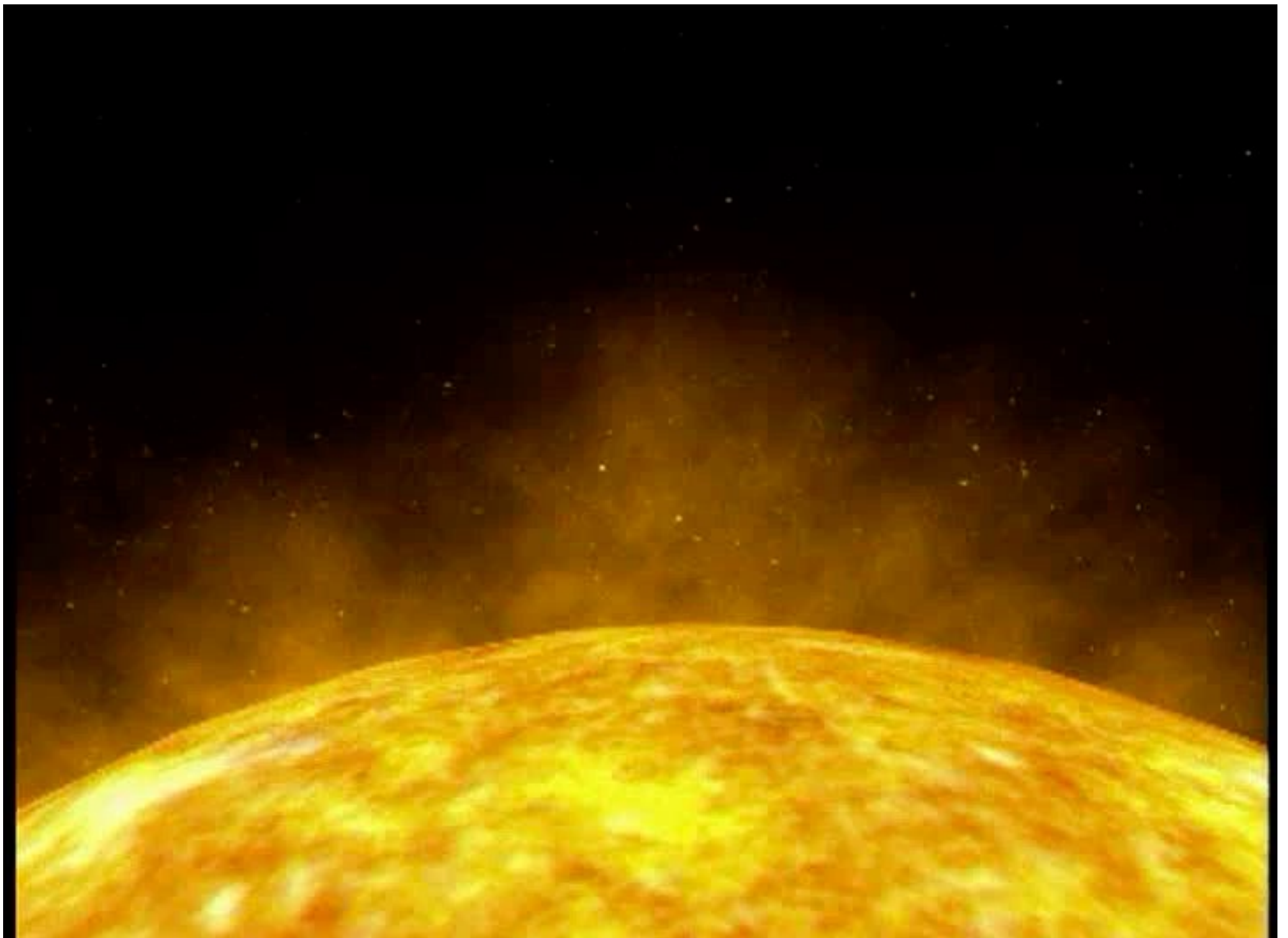
フレア



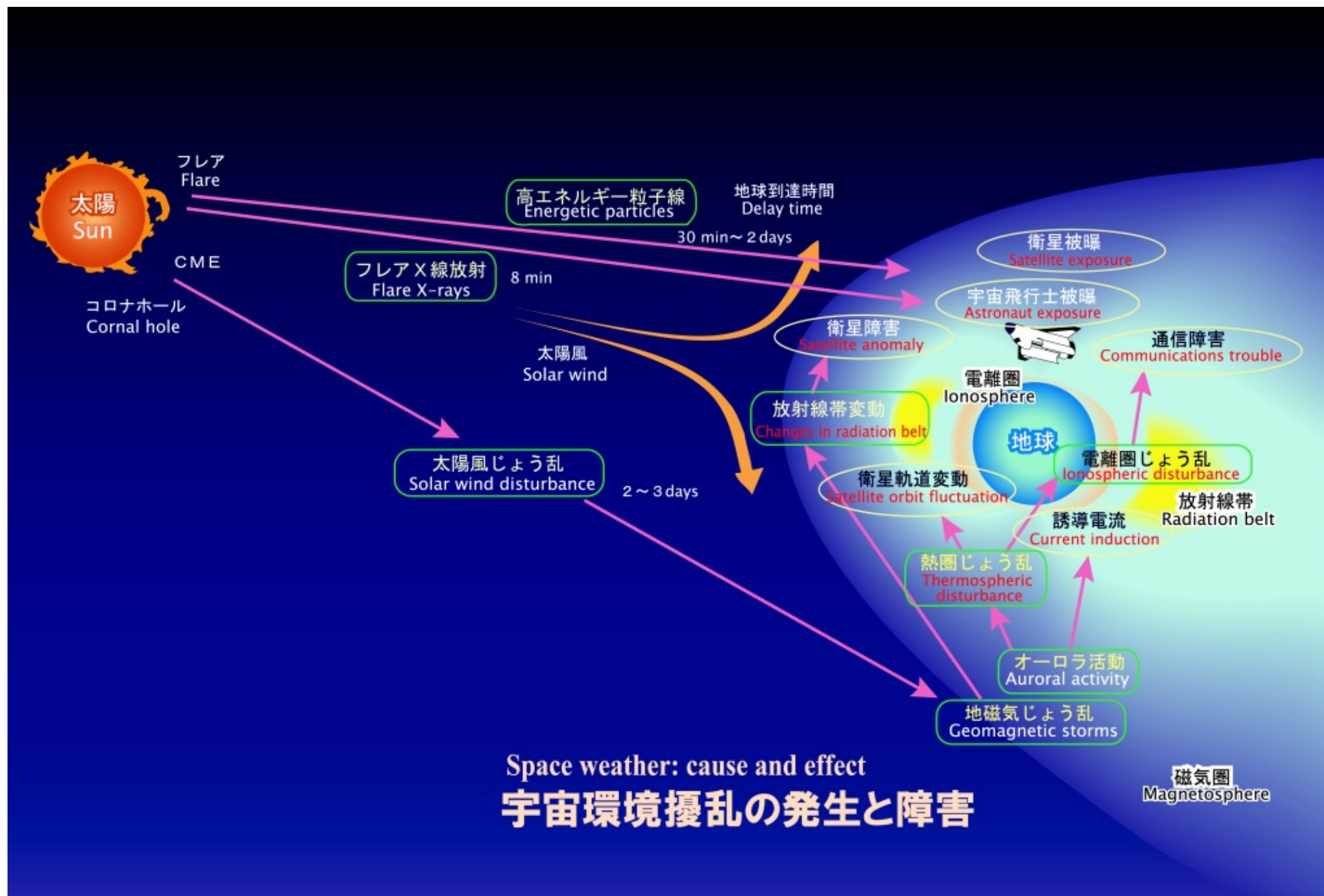
太陽風と コロナ質量放出



SOHO衛星／LASCO



宇宙天気



ここまでのまとめ

- 様々な波長で見ることで、太陽の異なる部分が見える。
- 太陽物理学の主要部分は、黒点、プロミネンス、コロナ、フレアなど、主に磁場とプラズマの相互作用に起因する様々な現象を、物理学の言葉で説明すること。

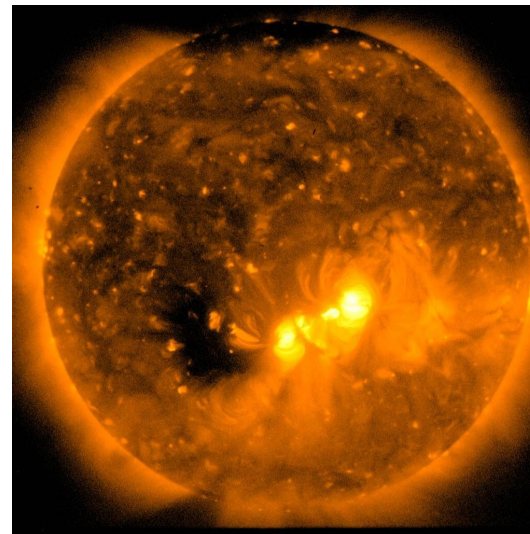
太陽物理で使う物理

太陽物理学の主要課題

- 大気の構造と加熱（コロナ加熱問題）
 - 爆発現象（フレア、コロナ質量放出）
 - 磁場の起源（ダイナモ）
 - 太陽ニュートリノ問題
-
- それ以外に、
 - 要請としての宇宙天気研究
 - 天体現象のひな形としての太陽（-惑星関係）
 - プラズマ実験室としての太陽
 - 地球惑星科学との接点は、物理面と現象面の双方にある。

太陽は何でできているか？

- 水素原子
 - 電子
 - 陽子
- ヘリウム等重粒子
- 磁場



下層大気をのぞいてほぼ電離している。要するに自己重力で集まったプラズマの塊

太陽物理で使う物理

ミクロ

「直接観測できる現象」に影響を与えているようなエネルギー、粒子の輸送、散逸、乱流、波動…

運動論的プラズマ
(非流体 = 個々のプラズマ粒子の振る舞い、あるいは分布関数)

相対性理論
(高エネルギー粒子の場合のみ)

原子物理
(放射、電離、衝突)

リモート観測から物理を引き出すための、輻射の理解

基本原理は(古典)力学と
電磁気学のみ

プラズマ物理

マクロ

「直接観測できる現象」のダイナミクス

磁気流体力学
= 流体力学
+ 電磁気学
+ 熱統計力学
Magnetohydrodynamics MHD

輻射輸送

>100km

(ほぼ) 理想気体として扱える条件

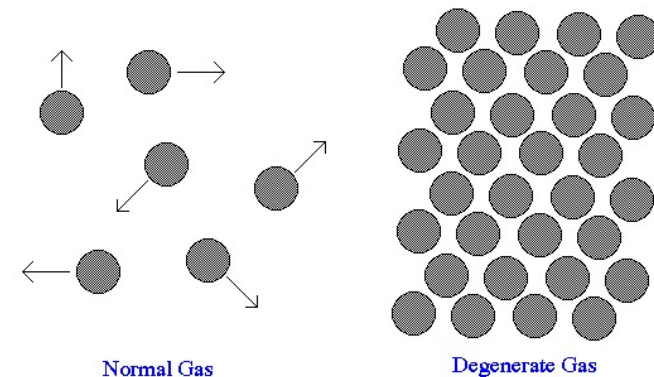
運動エネルギー $\gg$ クーロンポテンシャル

$\Rightarrow$ 平均粒子間距離 $\gg$ デバイ長

$$r_{mean} = 1/\sqrt[3]{n}$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{n_e e^2}}$$

When a gas becomes extremely high in density, the atoms are not as free to move and they become degenerate.



the result is that you can increase the temperature of the gas (the atoms can wiggle more) but the pressure stays constant (they have no where to move).

<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec12.html>

やってみよう：太陽のプラズマパラメータでデバイ長と平均粒子間距離を計算してみる。

太陽コロナの平均的溫度 10^6K 、密度 10^8 個 cm^{-3}

流体として扱える条件

平均自由行程 $\ll$ システムサイズ



無衝突系



微妙



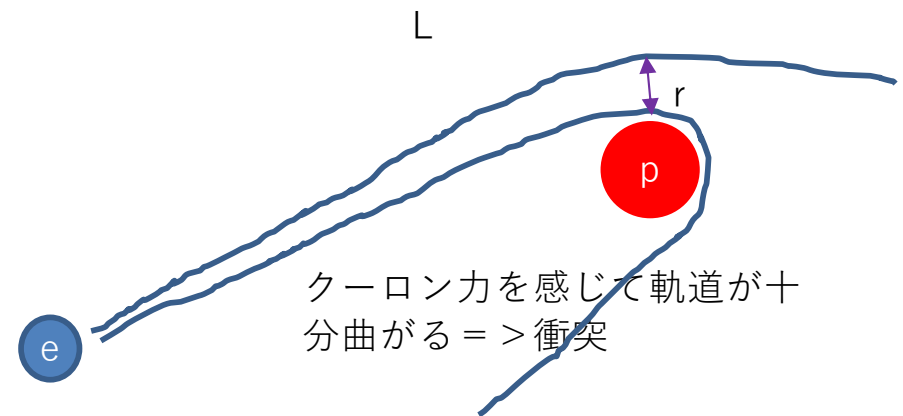
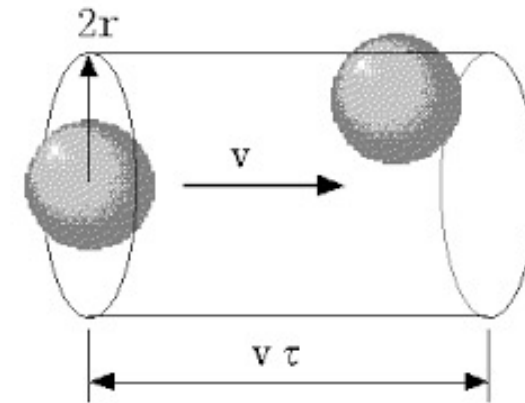
衝突系（流体）

平均自由行程：粒子が一回他の粒子と衝突してから、次に進むまでに平均的に進む距離。

やってみよう：太陽コロナの平均自由行程を計算して、コロナの磁気ループの大きさと（1000-10000km）と比べてみる

平均自由行程 L の計算の仕方

- 密度を N とし、衝突断面積を A とすると、 $NAL=1$ が成り立つ。
- $AL=1/N$
- $L = 1/AN$
- 衝突断面積 A がわかればよい。
- プラズマの衝突とは？ $\Rightarrow$ 軌道が大きくかわるくらい十分 (significant) 運動量/運動エネルギーを交換
- この状況は
- 運動エネルギー $mv^2/2 \sim 3k_B T/2 \sim$ クーロンポテンシャル $e^2/(4\pi\epsilon_0 r)$
- と表すことができる。
- $3k_B T/2 \sim e^2/(4\pi\epsilon_0 r)$ となるような r まで両者が近づけば「衝突があった」と見なせる。
- この r を使って衝突断面積 $2\pi r^2$ を計算する。



太陽コロナの平均的溫度 10^6K 、密度 $10^8 \text{ 個 cm}^{-3} = 10^{14} \text{ 個 m}^{-3}$

$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ $\epsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ $L \sim 1.3 \times 10^7 \text{ m} = 1.3 \times 10^4 \text{ km}$

脱線（粒子加速の話）

- $r = e^2 / 6 \pi k T \varepsilon$
- 衝突断面積 $A \propto T^{-2} \propto v^{-4}$
- 粒子のエネルギーが大 $\Rightarrow$ 衝突断面積が小さい $\Rightarrow$ 衝突しにくい
- 高エネルギー粒子加速にとって重要。
- 空気抵抗の場合、速度大 空気抵抗大 = ブレーキ大
- クーロン衝突の場合、速度大 $\Rightarrow \Rightarrow$ 衝突断面積小 $\Rightarrow$ ブレーキ小さい $\Rightarrow$ ますます加速

太陽コロナにおいても、磁気流体力学は、よい近似とされています。

- 平均自由行程は $\sim 1000\text{km}$ $\sim$ システムサイズと同程度なので衝突性は弱い
- ラーモア半径（ジャイロ半径：荷電粒子が磁場のまわりを旋回する半径） $\Rightarrow$ 太陽コロナでは1m程度。（自分で計算して試してみてください。典型的磁場強度は10G (10^{-3}T)) Inertia length
- 太陽コロナでは、衝突は少ないが、磁場にプラズマが巻き付いていることによって、集団的に振る舞う $\Rightarrow$ 磁気流体力学OK

磁気流体力学(MHD)方程式

問題：この中で仲間はずれの法則があります。どれでしょう。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

質量保存の法則

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c} - \nabla p + \rho \mathbf{g}$$

運動量保存の法則
(運動方程式)

$$\mathbf{E} = -\frac{\mathbf{v} \times \mathbf{B}}{c} + \eta \mathbf{J} \quad \text{オームの法則}$$

$$\mathbf{J} = \frac{c \nabla \times \mathbf{B}}{4\pi}$$

アンペールの法則

(後述する理由により
電場の時間微分の項は無視)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{\gamma - 1} + \frac{\rho v^2}{2} + \frac{B^2}{8\pi} \right) + \nabla \cdot \left[\left(\frac{\gamma p}{\gamma - 1} + \frac{\rho v^2}{2} \right) \mathbf{v} + \frac{c \mathbf{E} \times \mathbf{B}}{4\pi} \right] = \rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{v} \quad \text{エネルギー保存の法則}$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -c \nabla \times \mathbf{E} \quad \text{ファラデーの法則}$$

導出はどんなプラズマ物理の教科書を参照してもいいし、webで読めるものであれば地球電脳倶楽部のHPなどでも。

<https://www.gfd-dennou.org/library/riron/mhd/teishiki/pub/index.htm>

MHD近似のポイント1

$$qn(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_e) \times \mathbf{B} = \mathbf{J} \times \mathbf{B}$$


$$\rho_e \left(\frac{\partial \mathbf{v}_e}{\partial t} + \mathbf{v}_e \cdot \nabla \mathbf{v}_e \right) = -\nabla p_e + q_e n_e (\mathbf{E} + \mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) - \alpha_{col} (\mathbf{v}_e - \mathbf{v}_i) \quad \text{電子流体の運動方程式}$$

$$\rho_i \left(\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial t} + \mathbf{v}_i \cdot \nabla \mathbf{v}_i \right) = -\nabla p_i + q_i n_i (\mathbf{E} + \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}) - \alpha_{col} (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_e) \quad \text{イオン流体の運動方程式}$$

電氣的に中性な水素プラズマ ($n_i = n_e = n$, $q_i = -q_e = e$) であれば、両者を足し合わせると右辺の衝突のEの項が消えて、重心の速度 ~ イオン流体の速度の運動方程式を得る

電子流体の方程式で、慣性項（時間微分）を無視すれば、（一般化された）オームの法則を得る。つまり、オームの法則自体は「原理」ではなく、電場と電流の間でマクロに成り立つ関係式。原理は電子=電流を担う粒子の運動方程式。

MHD近似のポイント2

<https://www.gfd-dennou.org/library/riron/mhd/teishiki/pub/008.htm>

プラズマの速度 v が光速 c より十分小さければ、アンペールの法則において電場の時間微分(変位電流)は無視できる。

太陽物理の主要な課題

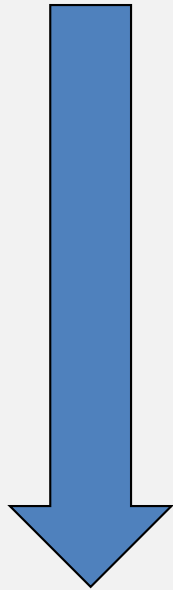
- 磁場の起源（ダイナモ）
- 磁場の輸送と散逸
 - フレア（非定常）
 - コロナ加熱、太陽風加速（準定常）
 - プラズマ素過程（粒子加速、リコネクションetc）
- 地球・太陽圏への影響（宇宙天気）

密度小

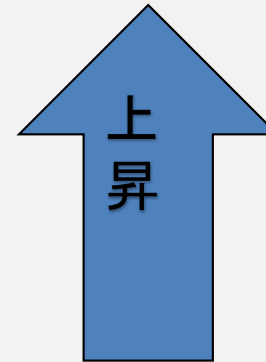
磁気E >> 熱E ~ 運動E

磁気Eの散逸 => 粒子あたりのEが大
=> 高エネルギー現象

重力



上昇

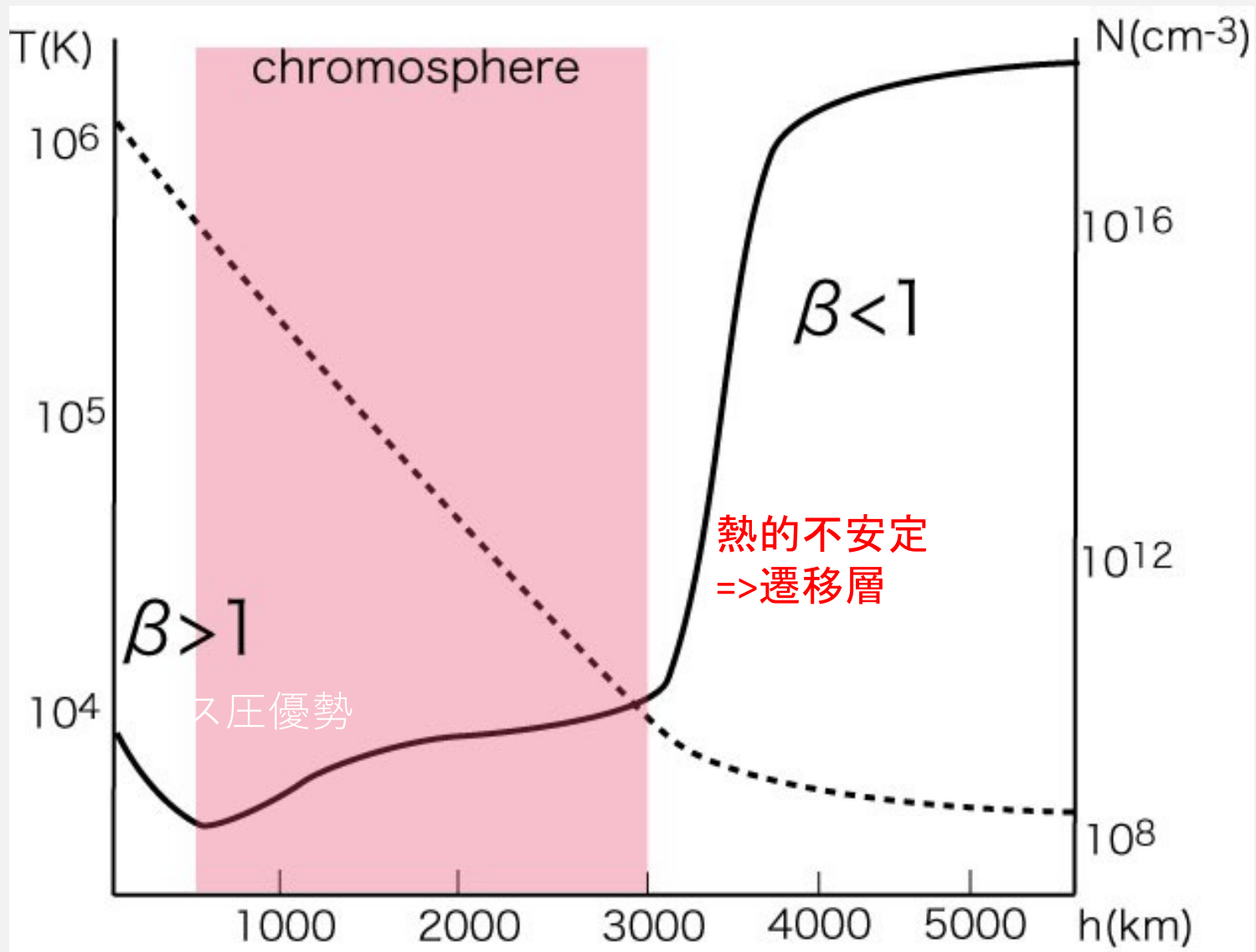


磁場は磁気圧を持つが質量がない
=> 軽い(磁気浮力)

密度大

熱E > 運動E(回転+対流) > 磁気E
運動Eから磁気Eを増幅(ダイナモ)

太陽大気の構造



光球、彩層は温度が低くスケールハイトが小さいため、密度が急激に下がる

静水圧平衡

定常で流れと水平方向の構造のない大気の力学バランス

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

理想気体 $P = \rho RT$ 、 $T = \text{一定}$ と仮定すると

$$\frac{d\rho}{dz} = -\frac{RT}{g}\rho$$

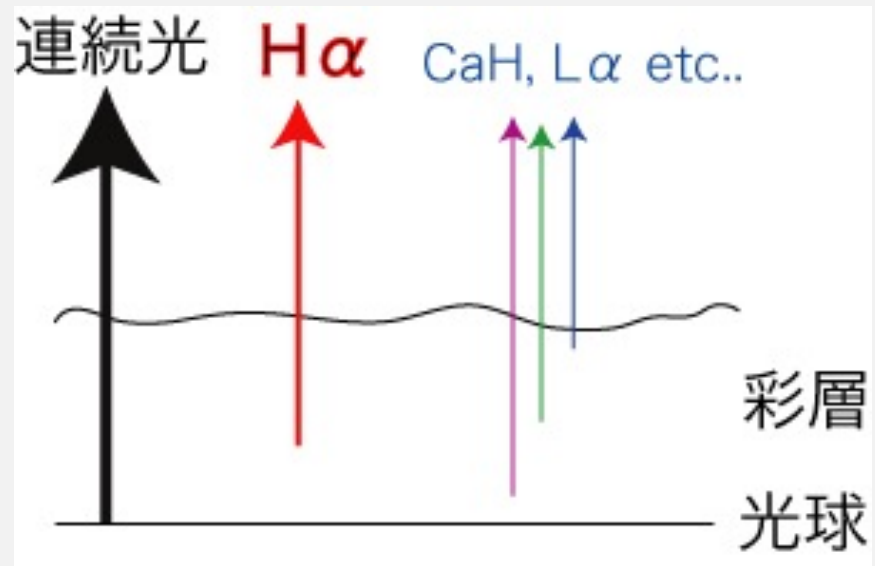
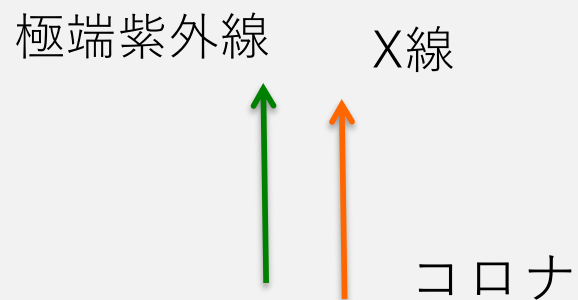
これを解いて

$$\rho = \exp\left(-\frac{z}{H}\right)$$

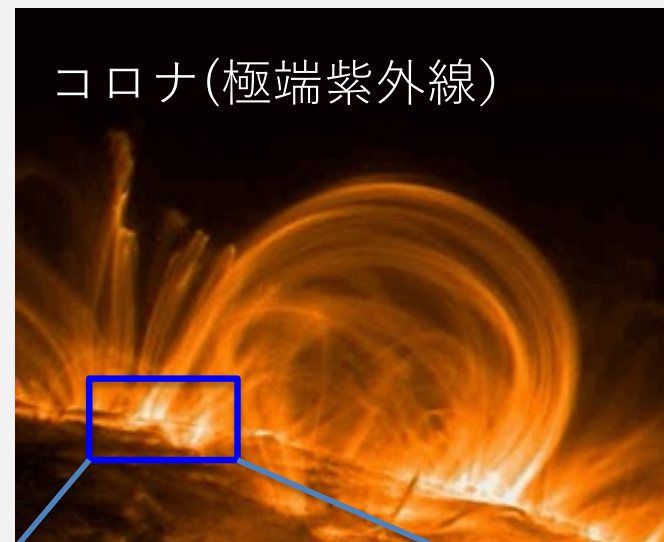
H：スケールハイト

$$H = \frac{RT}{g}$$

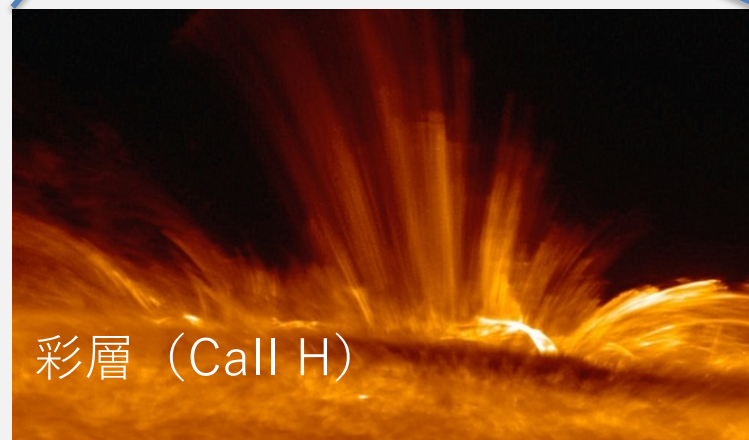
大気からの放射



コロナ(極端紫外線)



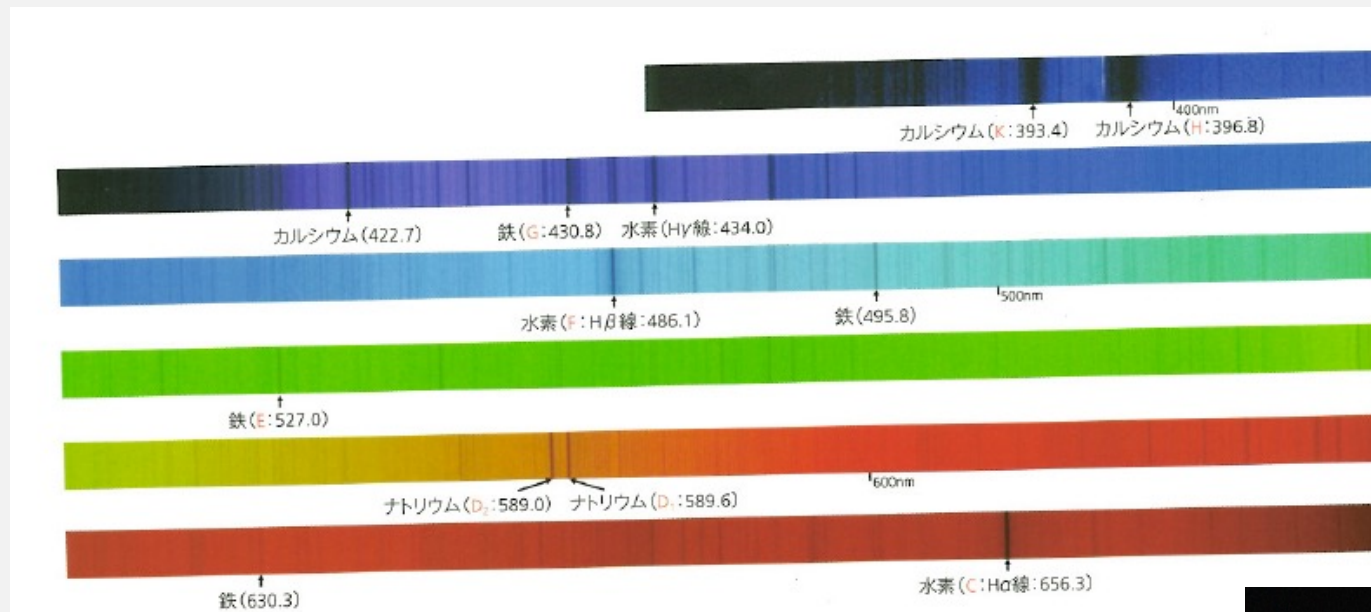
彩層 (CaII H)



光球 (連続光)

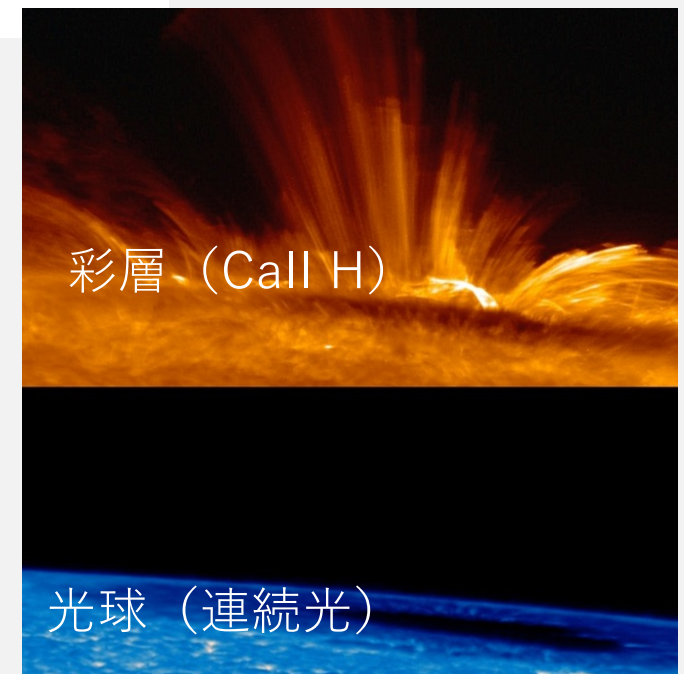
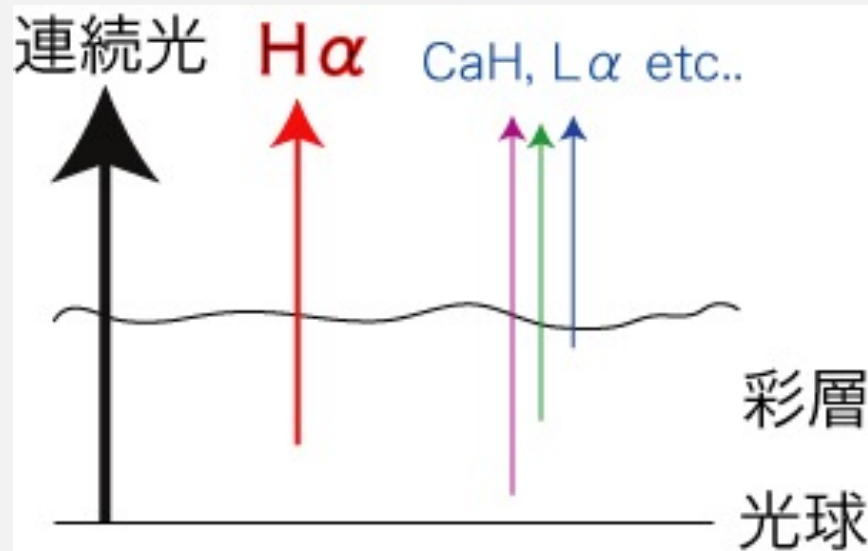


放射メカニズム（光球、彩層）

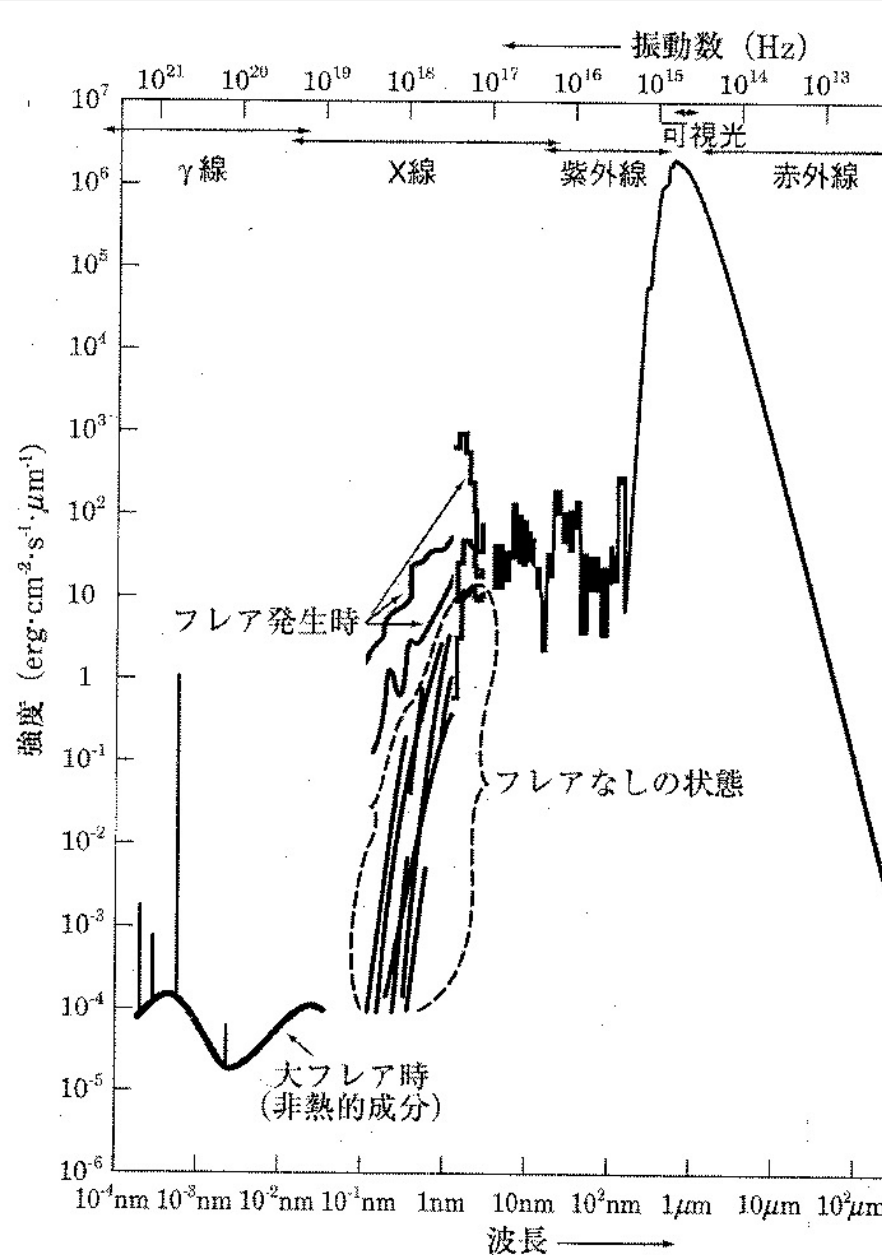


光球からは
黒体輻射（連続光）

彩層はH α やCaK線、
CaH線などの可視ス
ペクトル線で観測さ
れる。



放射メカニズム（コロナ）



極端紫外線($\lambda < \text{数十nm}$)領域には、コロナに存在する高階電離したイオンからのスペクトル線（輝線）が多数ある。

軟X線領域($\sim 0.1\text{nm}$)では熱的な、硬X線領域($< 0.1\text{nm}$)では非熱的な電子の制動放射が見える。

高階電離したイオン からのスペクトル線

プラズマが高温になる

粒子の平均的運動エネルギー上昇

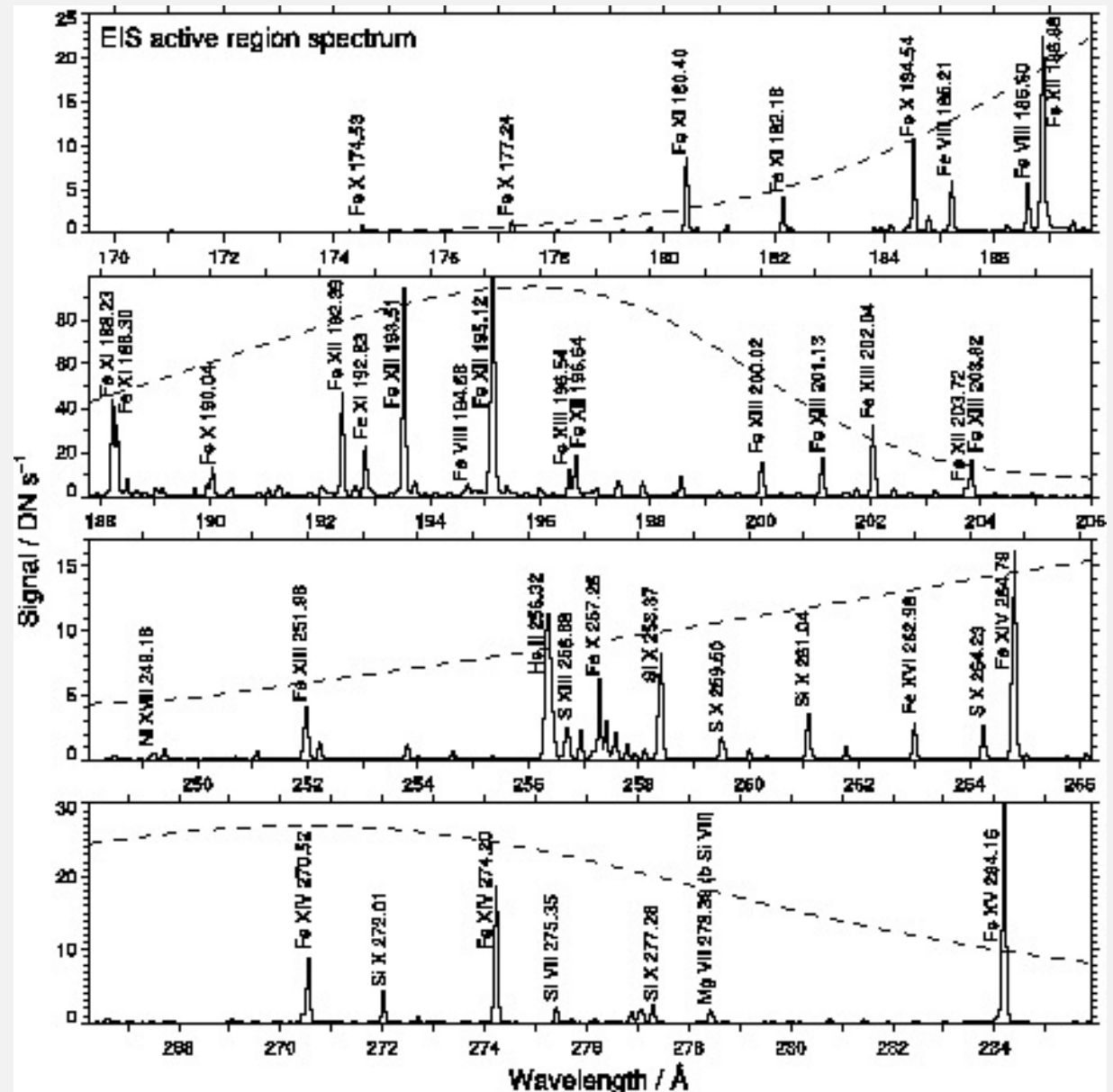
衝突により原子からイオンがはじき
飛ばされる=>イオン化

高温になればなるほど、多く電子を
失う (=高階電離)

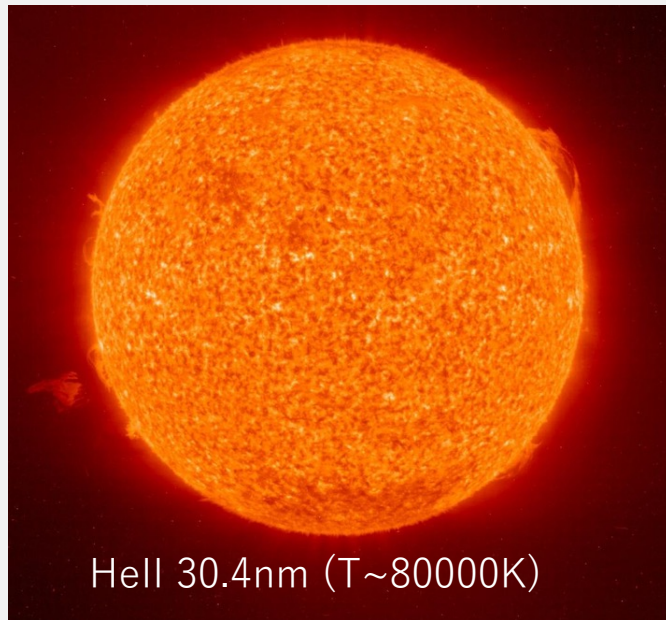
例えば100万K程度だと8個電子を
失った鉄イオンFeIXが多い。

150万K程度だと11個失ったFeXIIが
多い

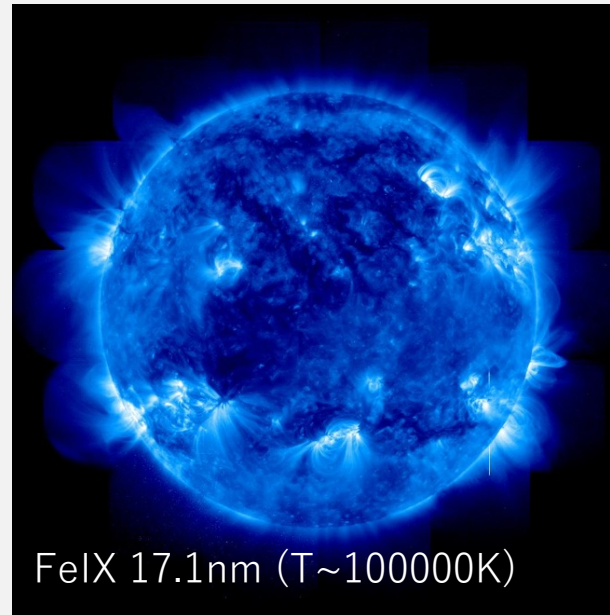
200万K程度だと14個失ったFeXVが
多い



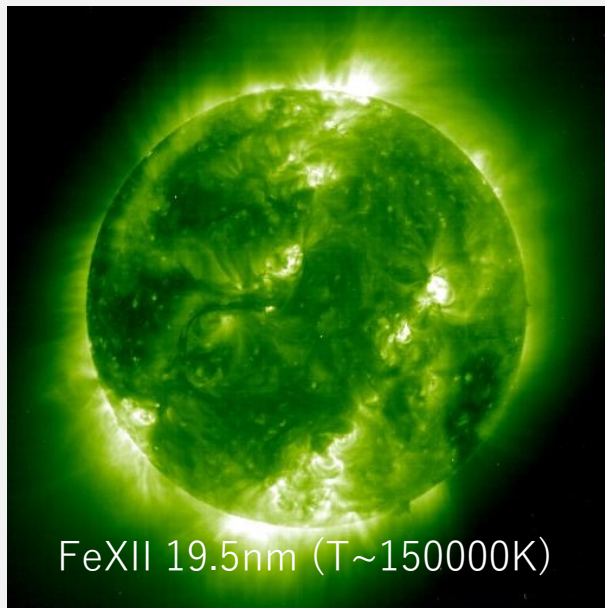
電離階数が異なるイオンが出すスペクトル線で観測すると、温度の異なるプラズマの分布が分かる



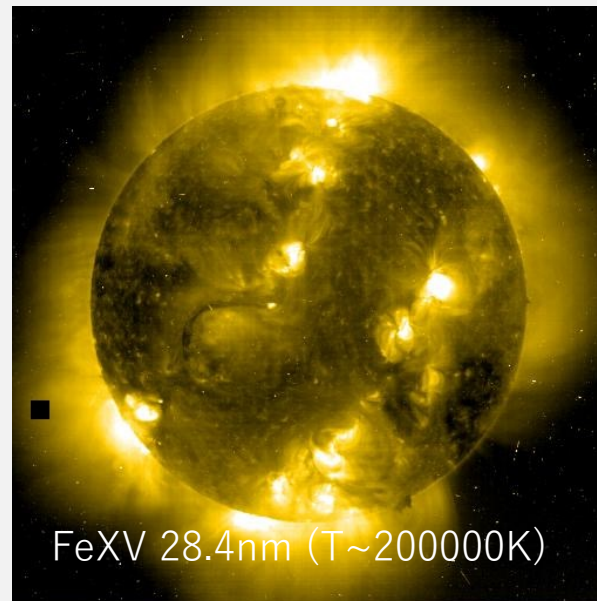
HeII 30.4nm (T~80000K)



FeIX 17.1nm (T~100000K)



FeXII 19.5nm (T~150000K)

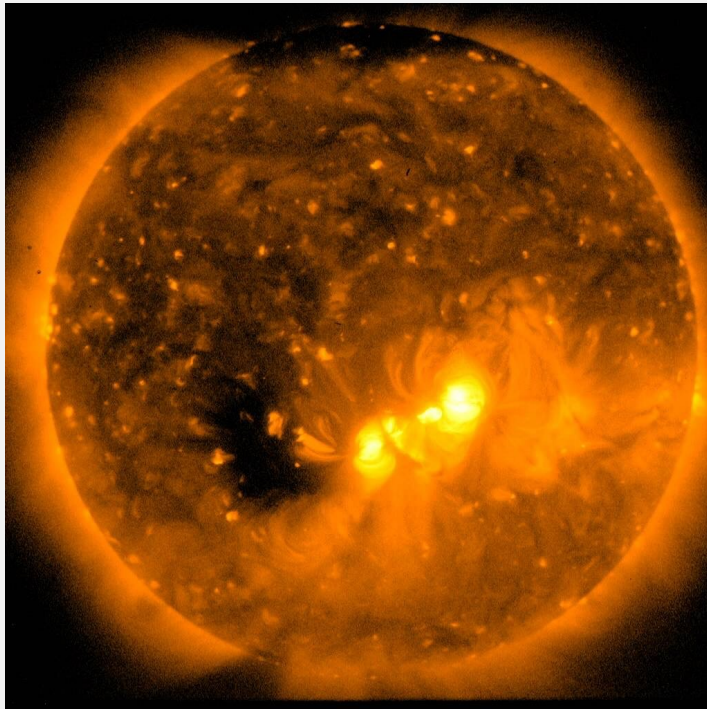
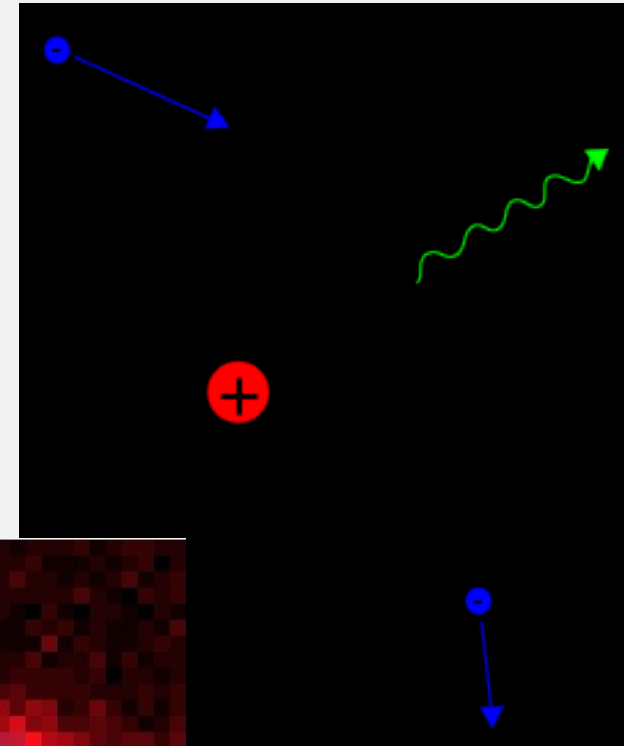


FeXV 28.4nm (T~200000K)

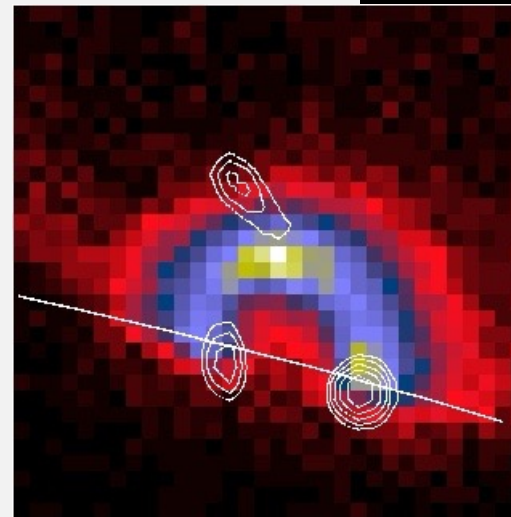
制動放射(Bremsstrahlung)

電子がイオンに衝突（正確には近くを通る）際にクーロン力で加速度を感じて軌道が変わる。

この時失ったエネルギーを光子で放出。

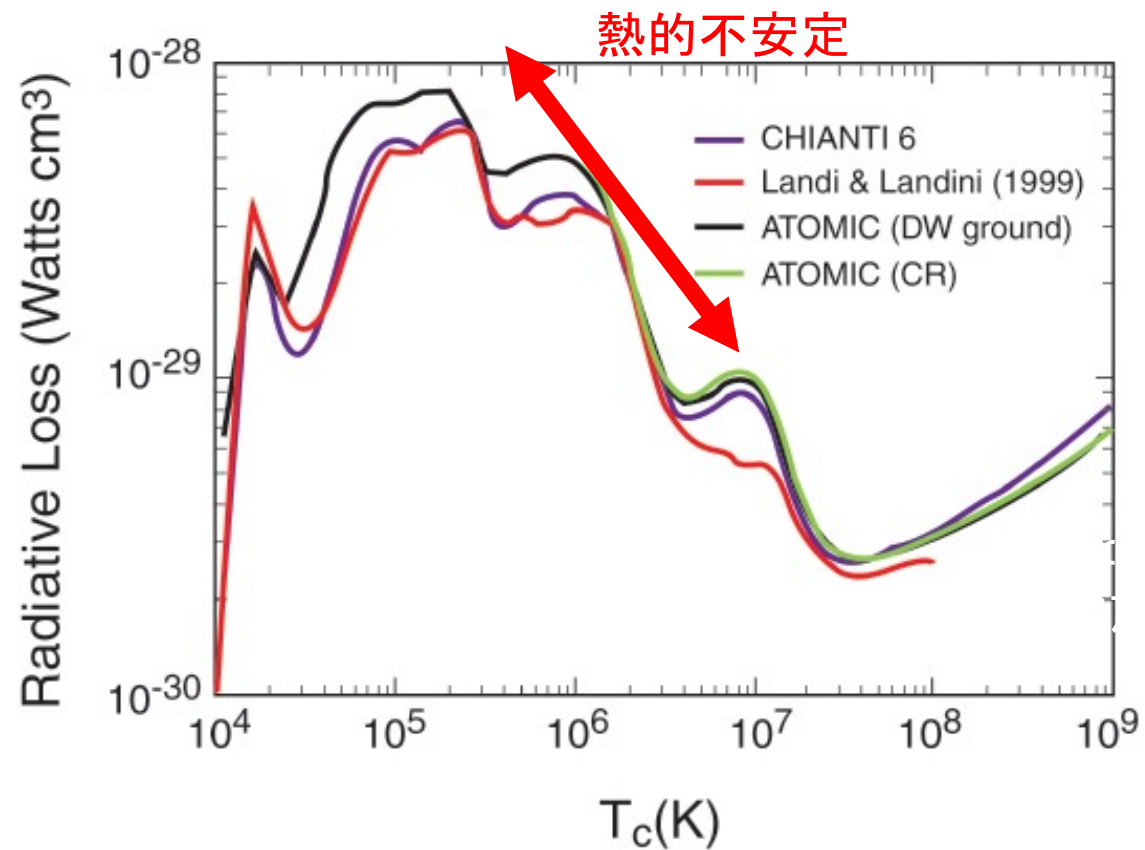


熱的制動放射($\sim 0.1-1\text{keV}$ 、Hinode/XRT)

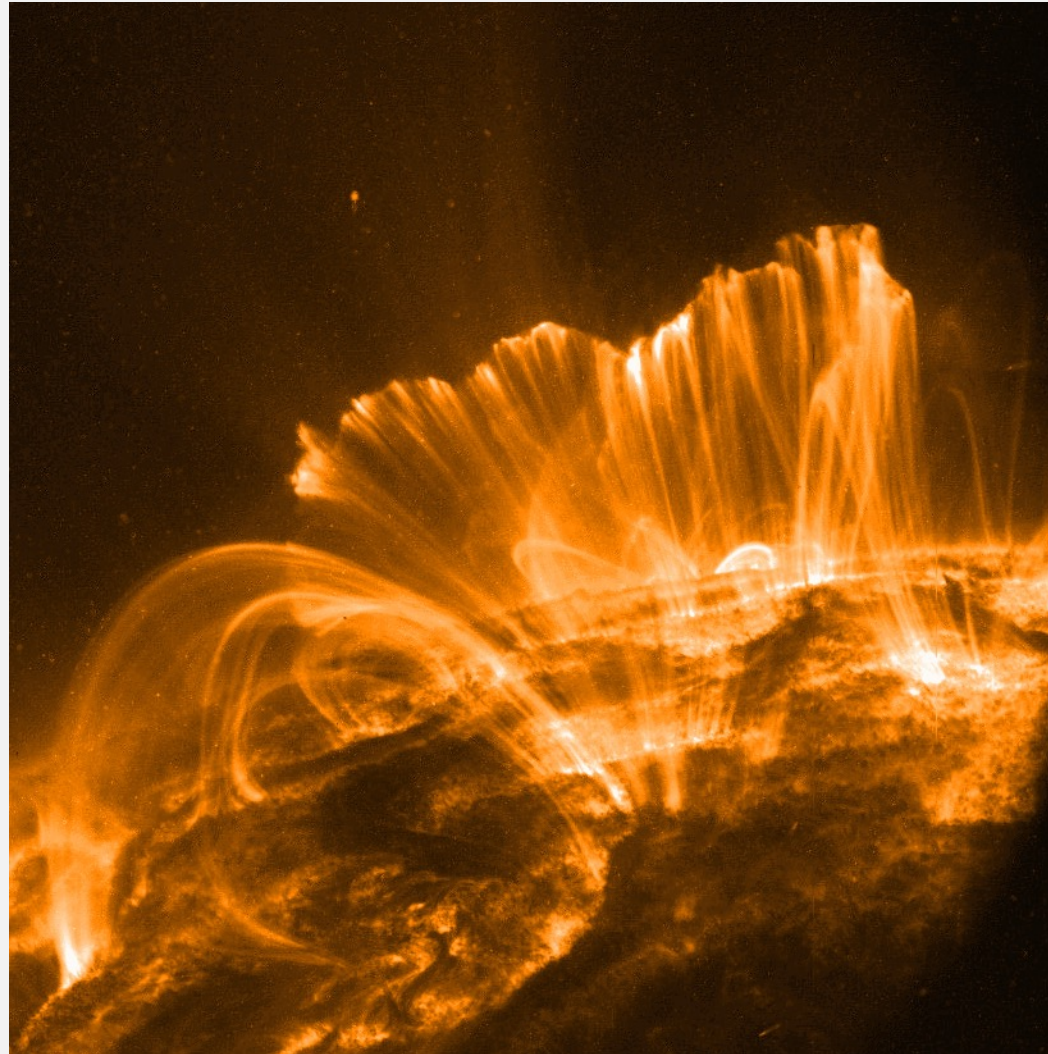


非熱的制動放射($> \text{数}10\text{keV}$ 、Yohkoh/HXR)

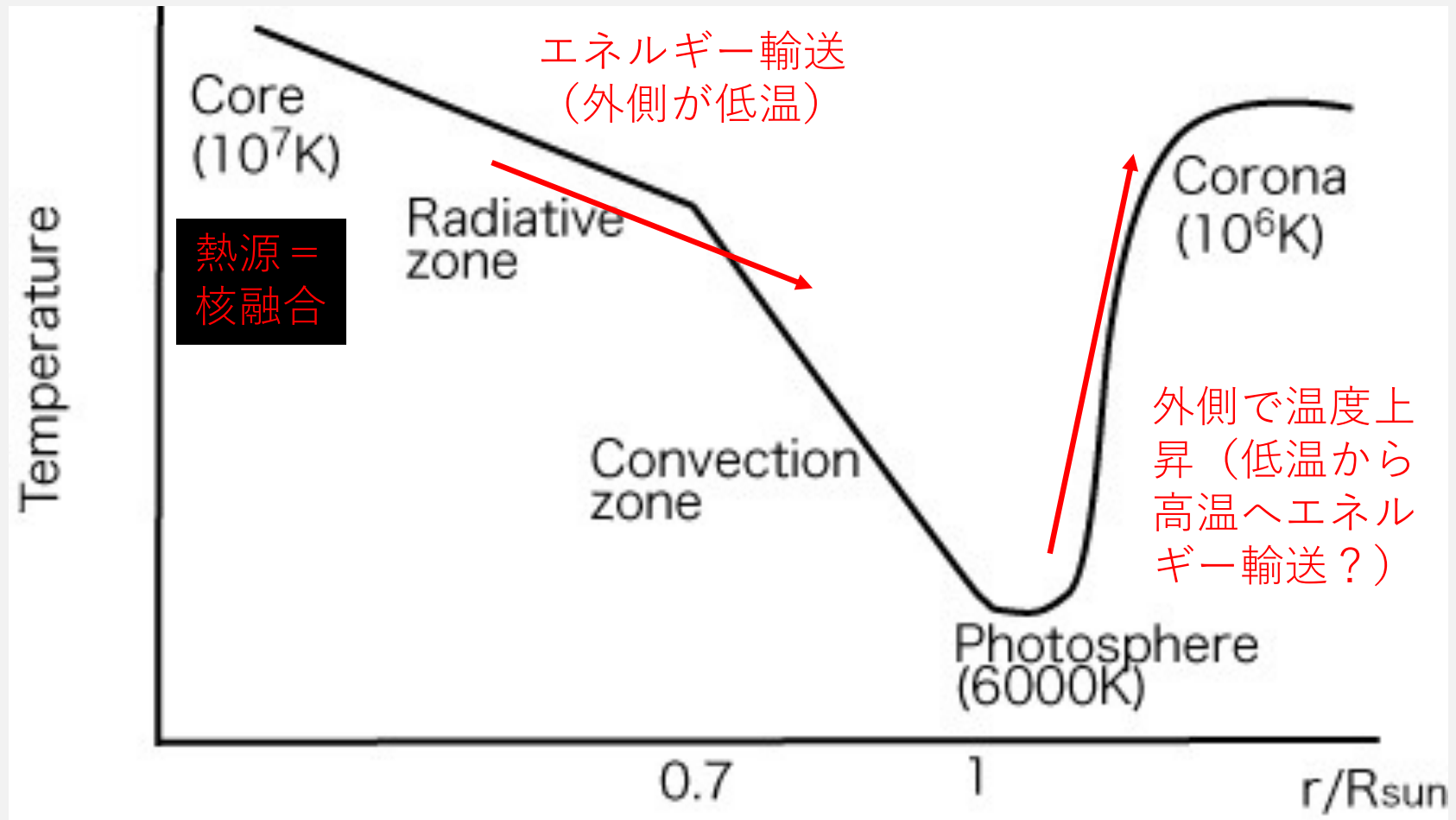
コロナの放射冷却関数



太陽物理の最重要課題にして未解決問題と されるコロナ加熱問題

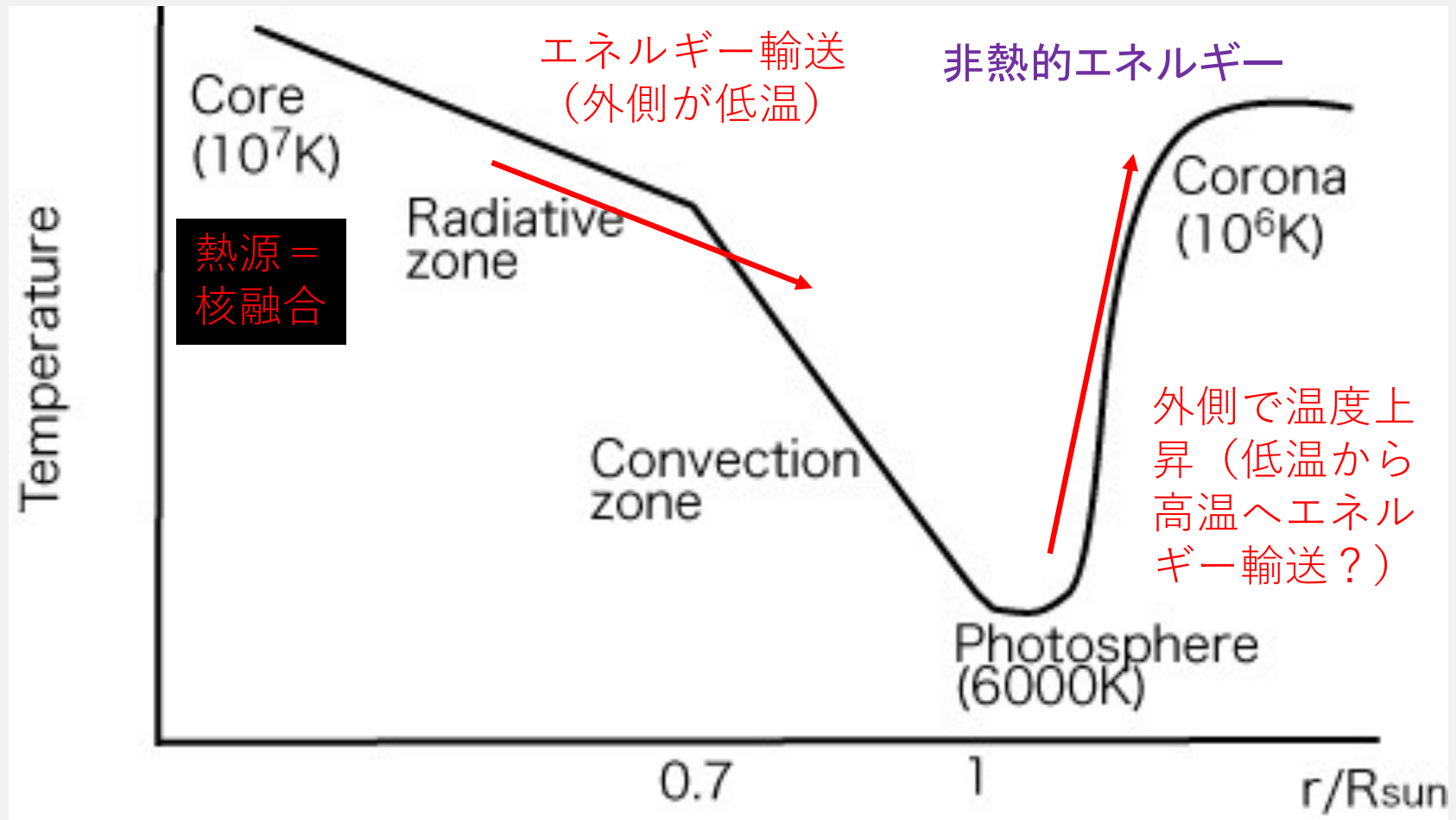


コロナ加熱の何が問題なのか？



熱源は中心にあるのに外側で温度が上がっている。熱は高温から低温に輸送されるという熱力学の法則に反している？

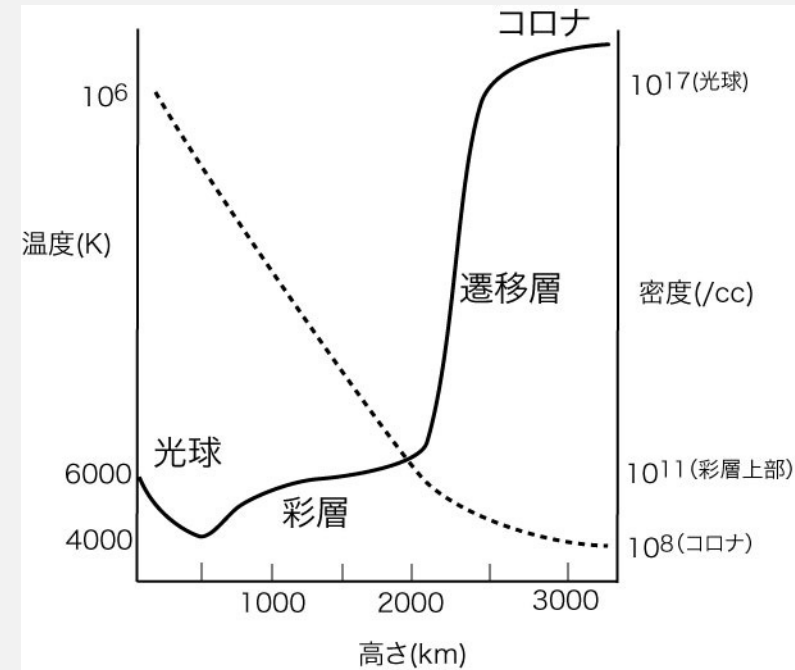
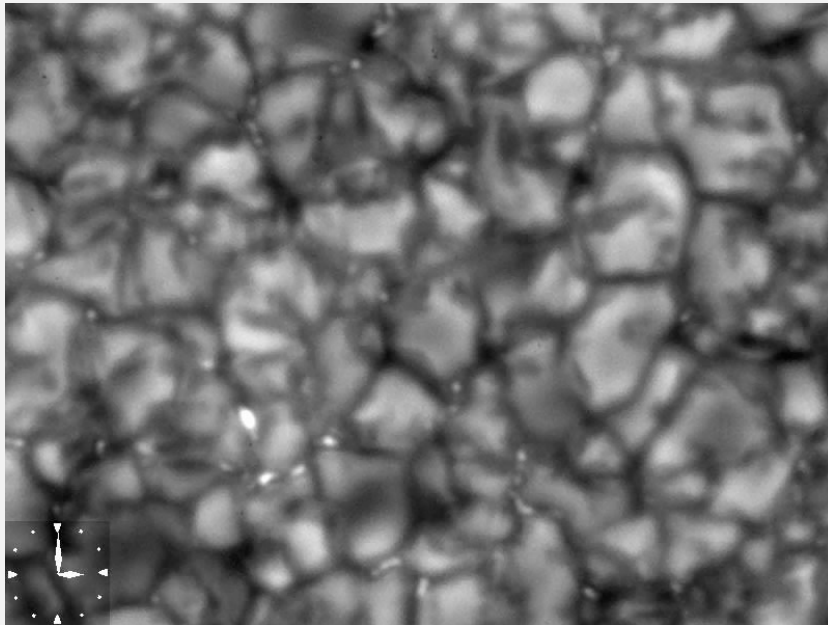
コロナ加熱の答えレベル1



非熱的なエネルギーが低温 $\Rightarrow$ 高温に移動することを妨げる物理法則はない。 $\Rightarrow$ そんなエネルギーはあるのか？

コロナ加熱問題の答え レベル2

- 非熱的エネルギーとしては対流の運動エネルギーが十分ある
ひのでSOT



コロナと光球の密度比は8-9桁。つまりコロナは光球からみればほとんど真空。一方光球のガスは音速の10%程度で運動（局所的には音速に近い）。運動エネルギーほんのわずかがコロナに伝われば十分。

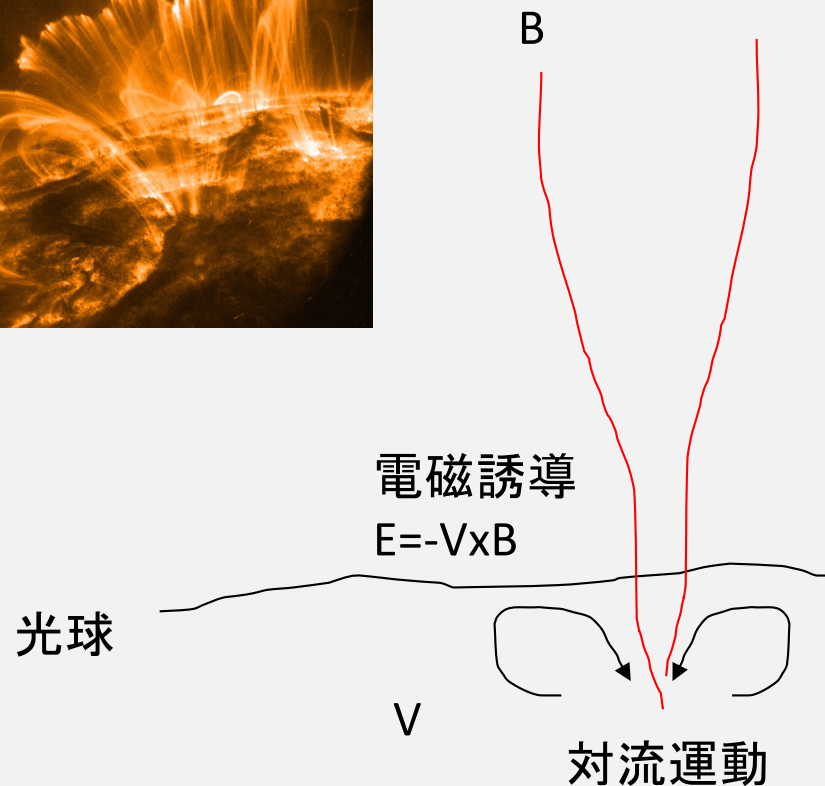
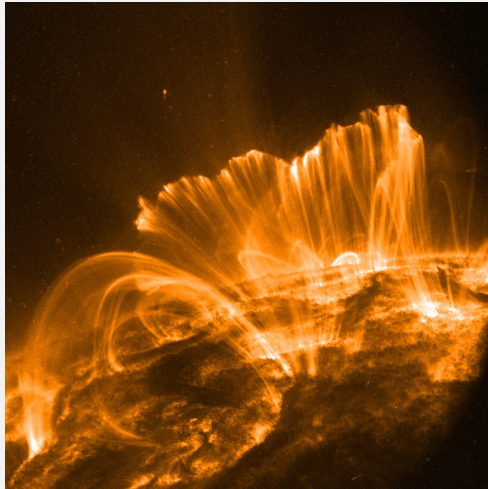
$$\text{音速 } C_s^2 = \gamma P / \rho$$

$$\text{音速で動いているガスの単位体積辺り運動エネルギー } \rho C_s^2 / 2 = \gamma P / 2 \sim P / (\gamma - 1)$$

=> 音速の10%=>運動Eは内部Eの1%（密度が変わらなければ）

コロナ加熱問題の答え レベル3

- 非熱的エネルギーはどのようにしてコロナに輸送されているのか？ => **磁場** (昔は音波で運ぶ可能性も考えられていた)



練習問題：

コロナ加熱に必要なエネルギーフラックスは静穏領域で 10^3 、活動領域で 10^4 J/s/m^2

(コロナループからの放射と熱伝導による損失を埋めるために必要なエネルギー)

光球の磁場 $B=0.01$ テスラ、速度を 1 km/s として、ポインティングフラックス $(E \times B)/2\mu \sim B^2 V/2\mu$ を計算せよ。

$$\mu \sim 4\pi \times 10^{-7}$$

ただし輸送メカニズムの詳細はまだ不明 (後述)

コロナ加熱問題の答え レベル4

磁場を介して上空に伝わったエネルギーはどのように散逸（磁場のエネルギーからプラズマの運動/熱エネルギーへの変換）しているのか？ => **これが謎**

根本的な理由は電気抵抗が小さいから。
古典的なプラズマ物理（完全電離）電流を担うのは電子。電気抵抗は、電子と、周囲のプラズマの間のクーロン衝突。

$$\eta \approx 10^{-16} (T/10^6 \text{ K})^{-3/2} \text{ e.s.u.}$$

拡散方程式(誘導方程式で $B=0$)

$$\partial B / \partial t \sim \lambda \partial^2 B / \partial x^2$$

$$\Rightarrow B/\tau \sim \lambda B/L^2$$

$$\Rightarrow \tau \sim L^2 / \lambda = 4\pi L^2 / c^2 \eta$$

問題：コロナの構造の典型的サイズを1000kmとすると、古典的な電気抵抗による散逸時間 τ はどれくらいか？

$$\Rightarrow \tau \sim 30000 \text{ yr}$$

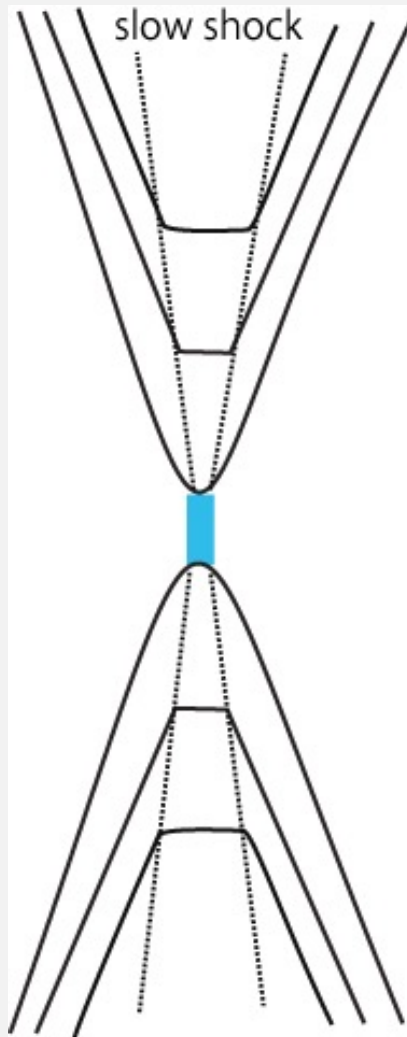
$$1 \text{ yr} \sim 10^7.5 \text{ (s)}$$

散逸問題の解決方法

- 電気抵抗 η を大きくするか、小さいスケールを作るか。
 - 磁気リコネクション
 - 衝撃波形成
 - 共鳴吸収/位相混合
 - イオンサイクロトロン共鳴（陽子のサイクロトロン周波数と、MHD波動の周波数が共鳴）
 - ...

磁気リコネクション=common process in solar, space, astrophysical, laboratory plasmas

Petschek型リコネクションモデル

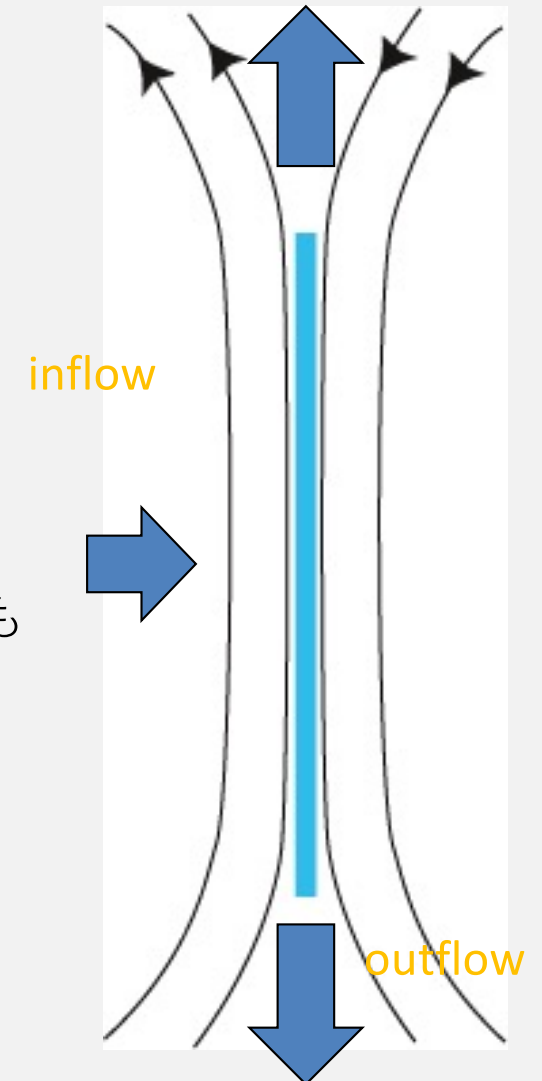


磁力線をつなぎ替えることで、
ゴムでできたパチンコのように
プラズマを加速=>加熱する

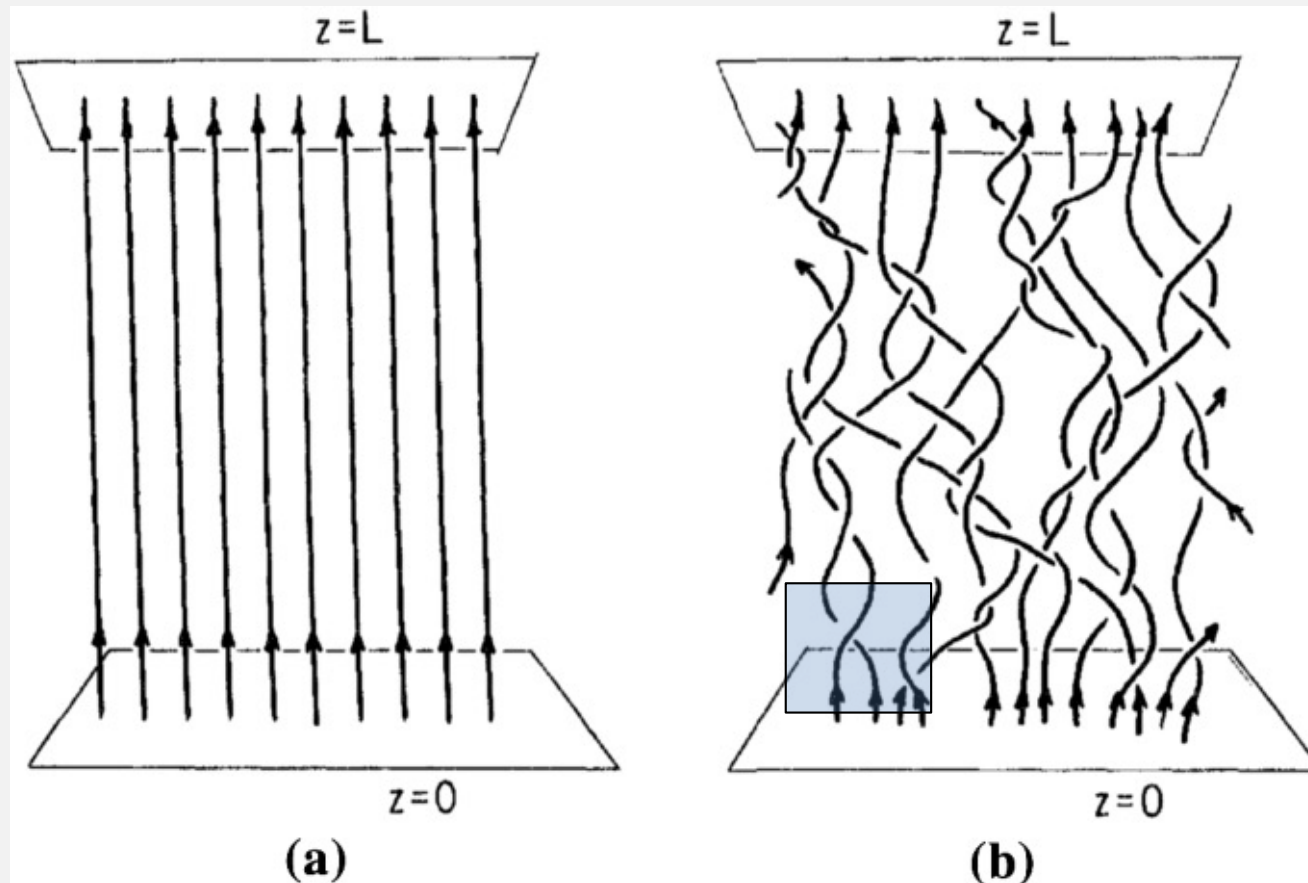
磁力線をつなぎかえる時には
電気抵抗が必要なので、
「小さすぎる電気抵抗問題」は
磁気リコネクションでも完全に解消は
されないが、非常に小さい電気抵抗でも
十分速いリコネクションを起こす
モデルはいくつか提唱されている。

太陽フレアと共通メカニズム

Sweet-Parker型リコネクションモデル



Parker's nanoflare model (1994)



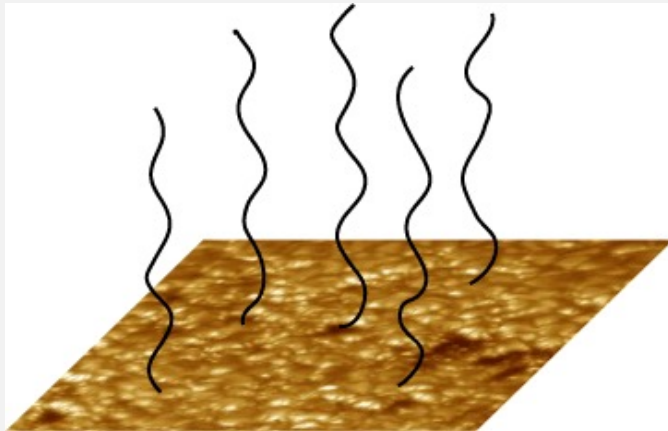
光球の対流運動によって、磁場が混ぜられる $\Rightarrow$ 磁場が絡み合う $\Rightarrow$ 微小な電流シートがたくさんできる $\Rightarrow$ 微小なフレアがたくさんおきる $\Rightarrow$ トータルで加熱する=**ナノフレア加熱**(微小磁気リコネクション加熱)

コロナ加熱の理論モデル

「アルフベン波（MHD波動）加熱モデル」と「ナノフレア（リコネクション）加熱モデル」

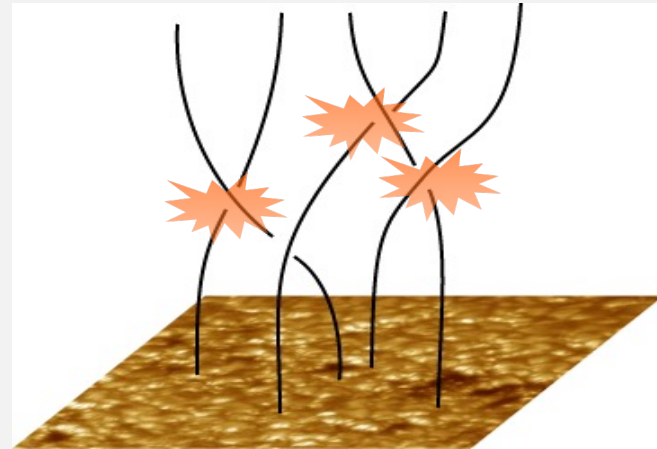
τ_{cv} ：対流運動のタイムスケール、 τ_A ：コロナループのアルフベントイム $= L/V_A$

$\tau_{cv} < \tau_A \Rightarrow$ アルフベン波



- 波の散逸メカニズムは色々。ショック形成、位相混合、共鳴吸収…
- 高周波が散逸しやすい

$\tau_{cv} > \tau_A \Rightarrow$ 磁気リコネクション



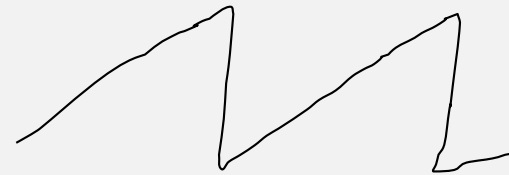
小さいフレアの集まり = ナノフレア加熱

光球の対流運動のパワースペクトルを見ると、ほとんどのエネルギーは $\tau > 1$ 分にある
典型的なコロナのアルフベントイム ~ 10 秒 $\Rightarrow$ ナノフレア？

衝撃波形成



非線形の波
振幅大 $\Rightarrow$ 位相速度大

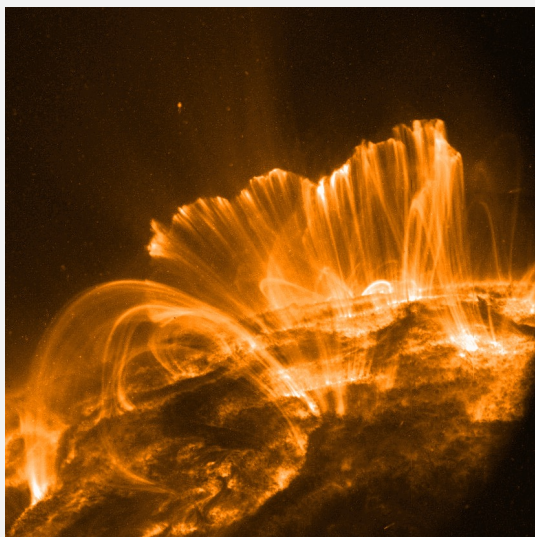


不連続 $\Rightarrow$ 衝撃波形成

衝撃波面の $L \rightarrow 0$
散逸は速い

太陽大気中に衝撃波があるのは間違いない。が、
それがどれほどのエネルギーを担っているかは、
観測的には同定できていない。

位相混合(phase mixing) / 共鳴吸収 => 位相速度が均一でないことを使う



共鳴吸収

=> 位相速度 V_A に勾配があると、
足下の変動の周期 P と、ループの
固有振動の周期 L/V_A が同じになる
層があり、そこだけが共鳴して振
幅が大きくなる。

位相混合

隣り合う波と位相がずれる
=> 山と谷が接する
=> 空間的な勾配が生じる
=> L が小さくなる



MHD波
動の位相
速度が速
い



MHD波
動の位相
速度が遅
い

←位相がずれる

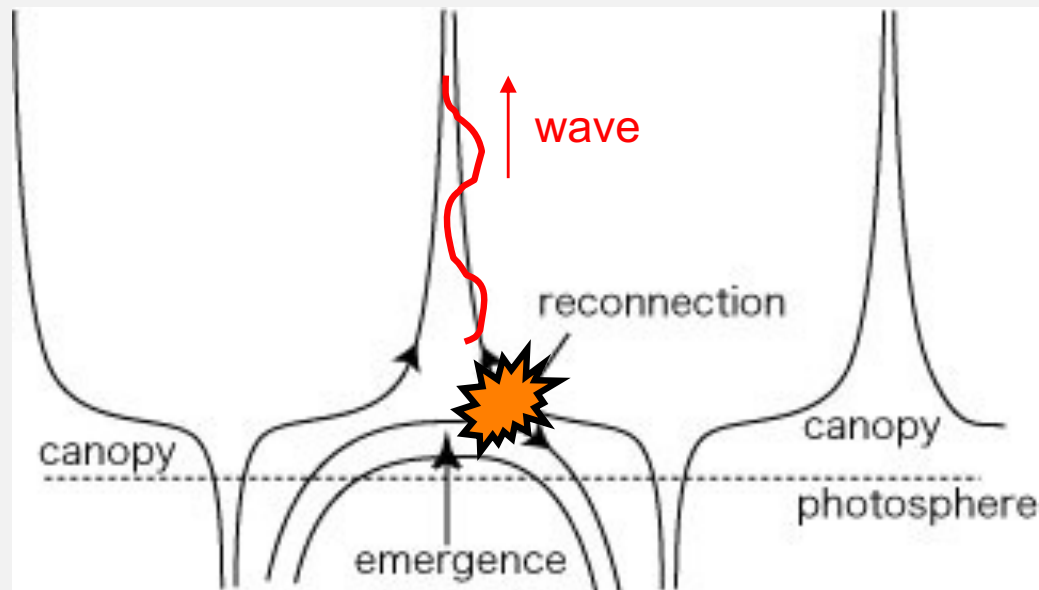
←位相そろってる

コロナ加熱研究の現状

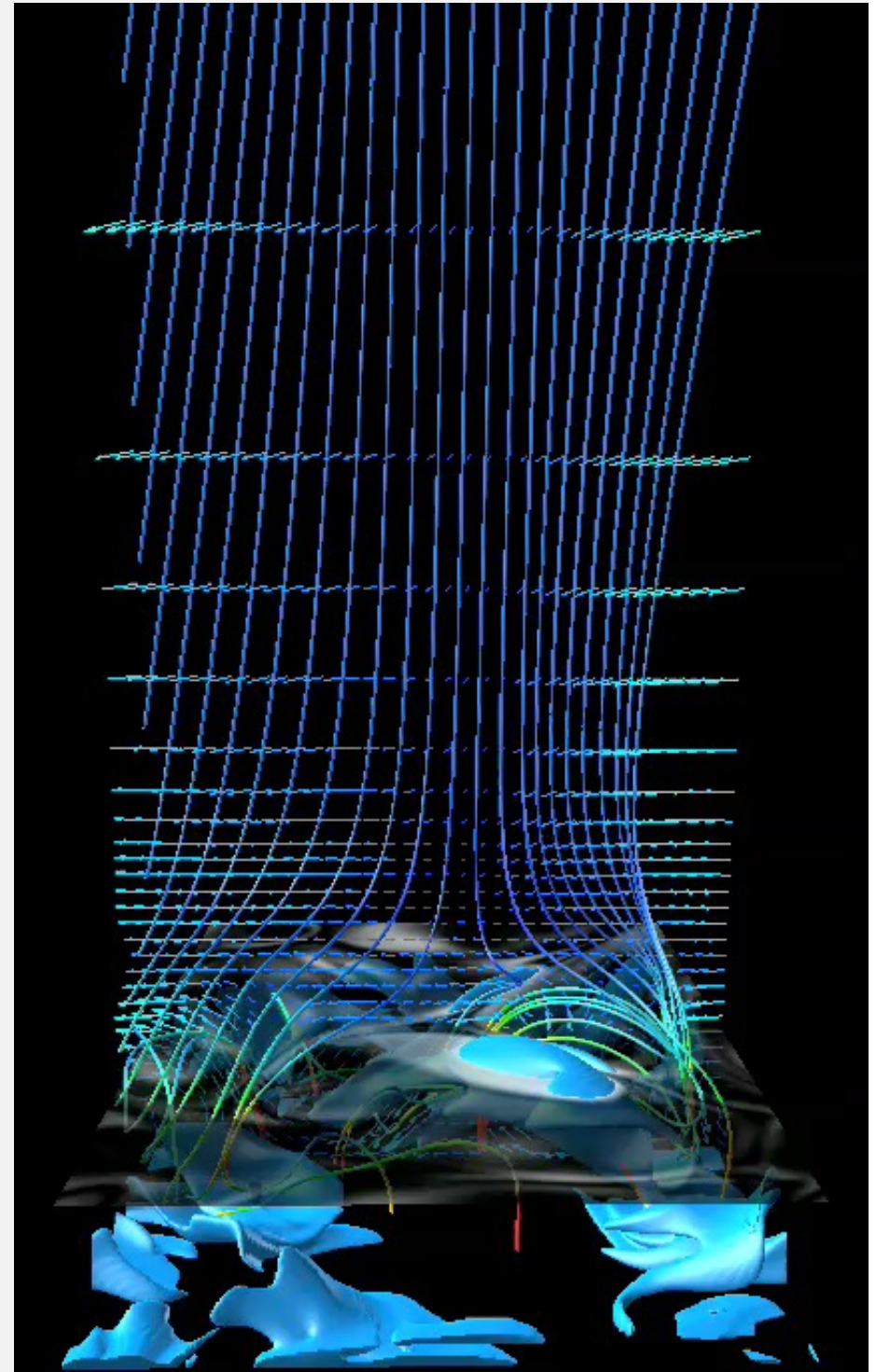
- ナノフレア（リコネクション） vs アルフベン波（MHD波）という構図で語られがちだが、これは散逸メカニズム（リコネクション）と輸送メカニズム（波）を比べているので、筋が悪い
- エネルギー輸送はドミナントな時間スケールとモードを特定するのが重要
- 散逸メカニズムの現場を直接見ることは困難（サイズが小さすぎる）。いかにマクロな観測から散逸メカニズムの情報を引き出すか

微細浮上磁場と 彩層リコネクション

- 微細浮上磁場は自分ではコロナに届かない
- 縦磁場とリコネクションすることで、エネルギーをコロナに輸送



Isobe, Proctor and Weiss 2008, ApJ



黒点の周りの活動現象

水素の電離ポテンシャル
 $13.6\text{eV} = (\text{J})$

熱的プラズマが、衝突で完全電離になるには、温度は何度必要？

熱平衡 = 1自由度あたり $k_B T/2$

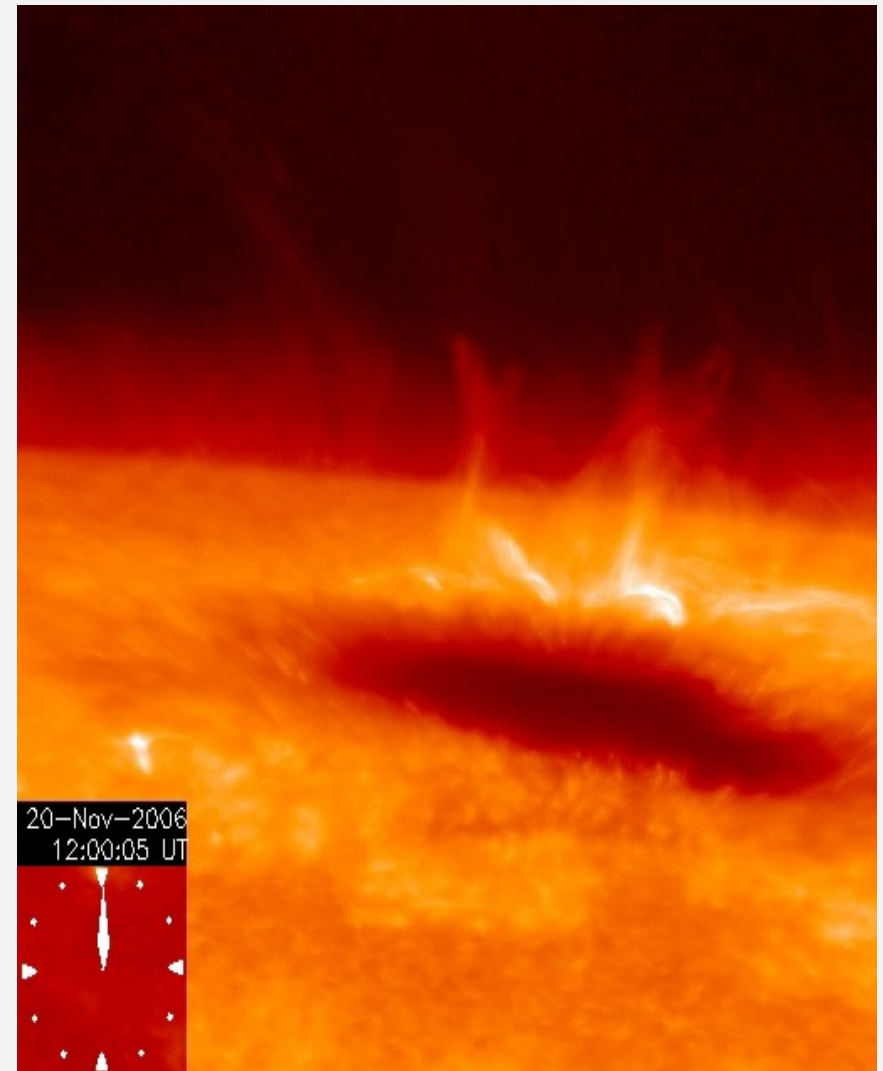
単原子の気体が温度 T だとすると、1粒子あたりの平均エネルギー $\sim k_B T$ (J)

$$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$1\text{eV} \sim 1.6 \times 10^{-19} \text{ (J)}$$

$\Rightarrow 10^5 \text{ K} \sim$ で衝突電離が始まる

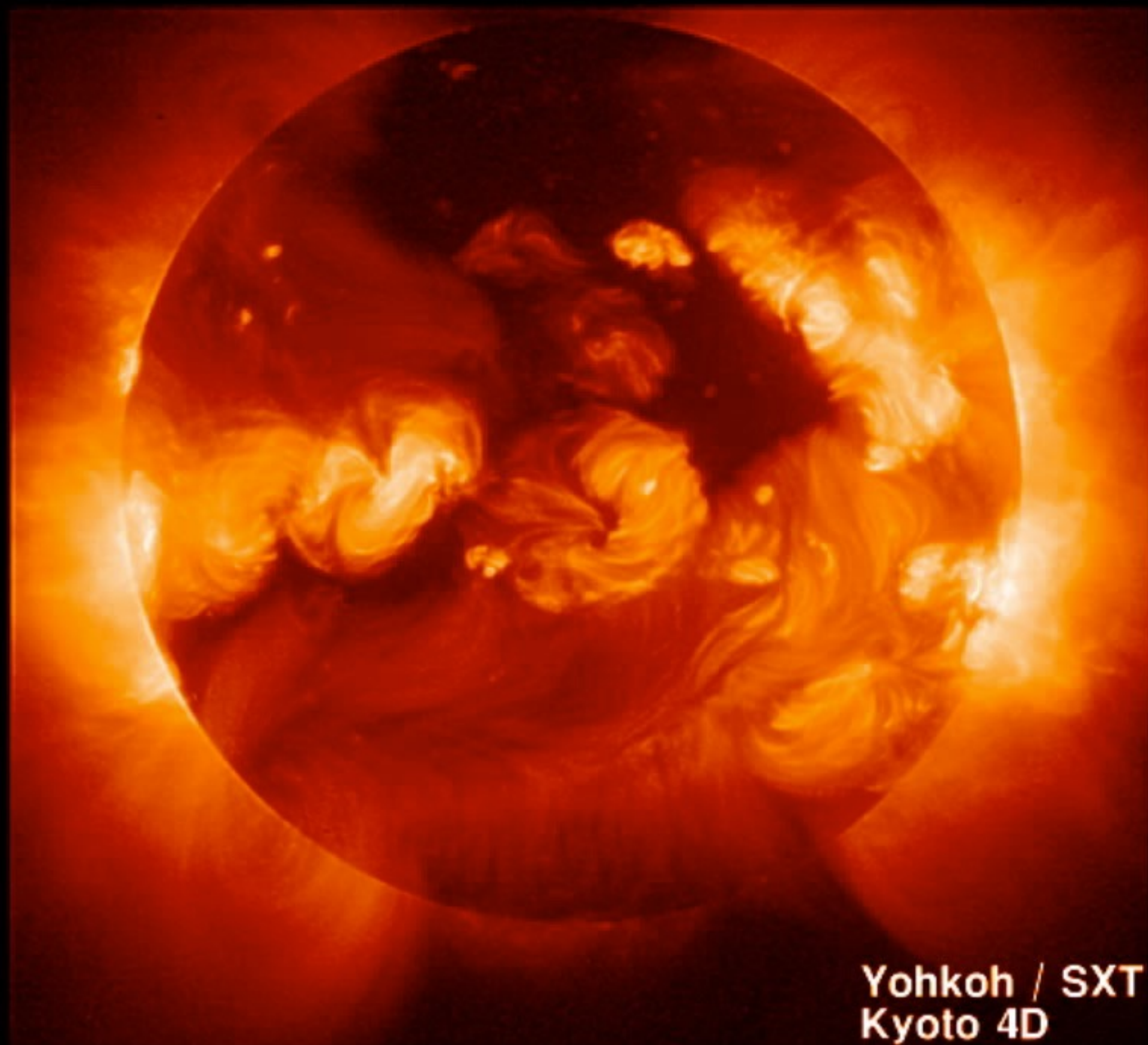
コロナは100万度 $\Rightarrow$ 完全電離
彩層、光球 $\sim 10000\text{K} \Rightarrow$ 部分電離 $\Rightarrow$
地球の電離圏に似てる（中性粒子と、磁場が、わずかな電離粒子との衝突を介して相互作用）



Hinode/SOT

爆発現象

1992/01/12



Yohkoh / SXT
Kyoto 4D

フレア の統計

べき乗分布を
 $E^{-\alpha}$ として、

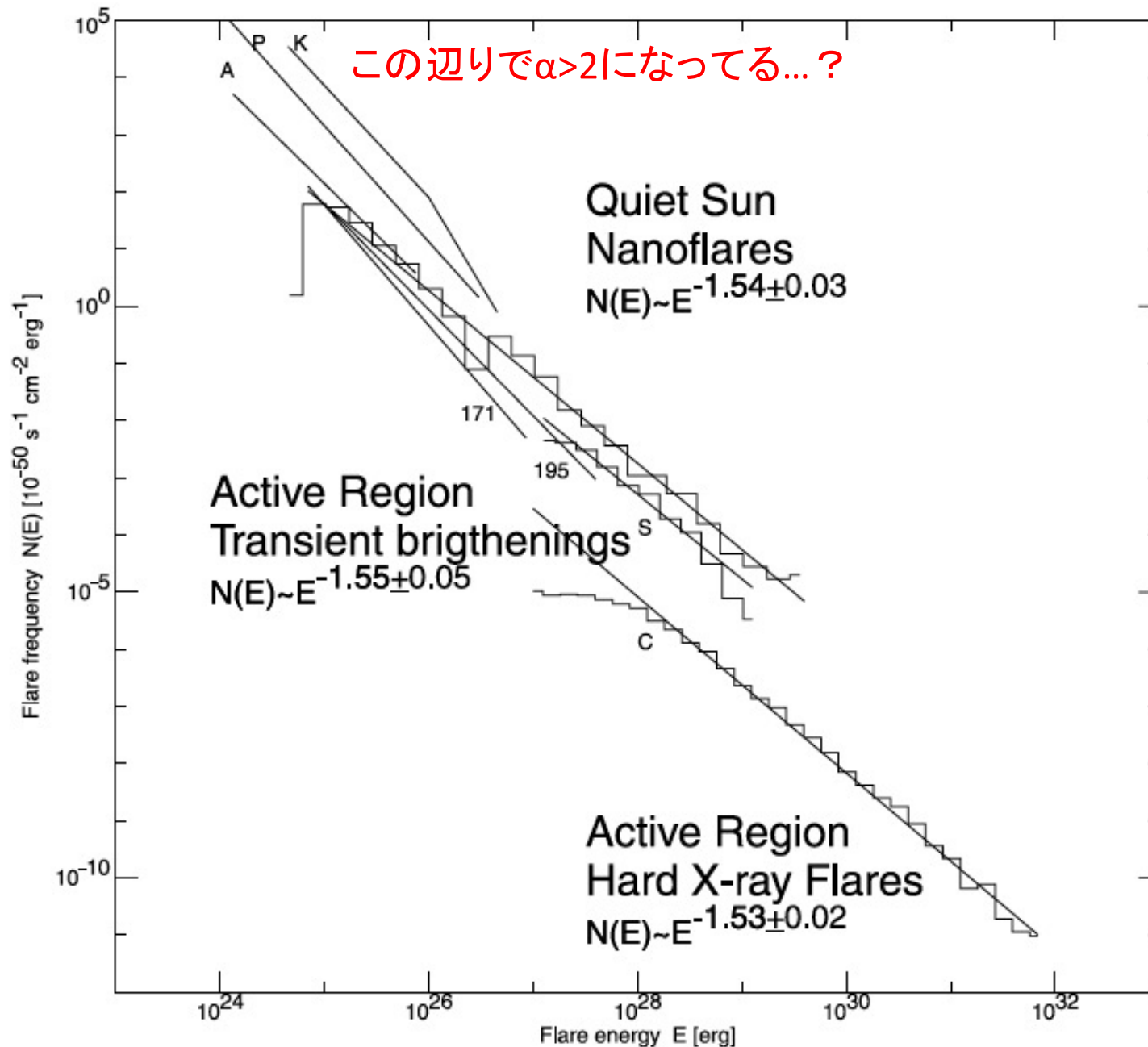
$\alpha < 2$

=> エネルギー
大きい側が全エネ
ルギーの大半を
になう

$\alpha > 2$

=> エネルギー
小さい側が全エネ
ルギーの大半を
になう

が、大フレアだけ
だと定常コロナ加
熱に足りぬ



自己組織臨界(SOC)現象か？
Self-Organized Critical現象(Bak198?)

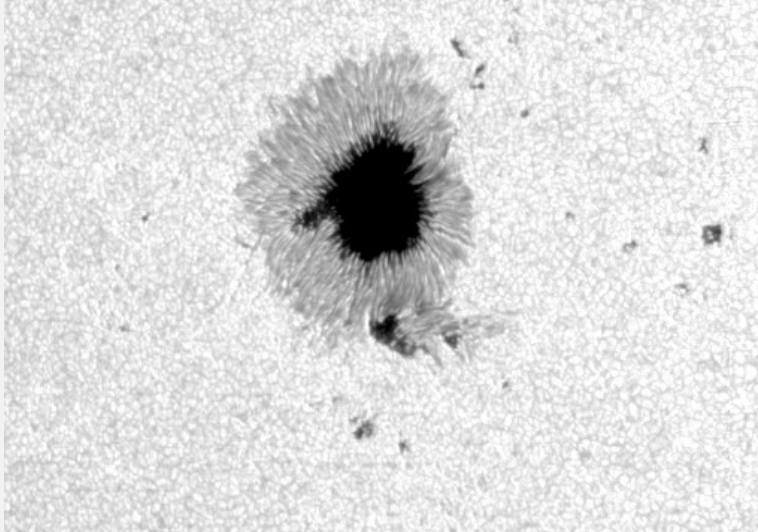
フレアのエネルギー

- 温度 $T \sim 1000$ 万K、密度 $n \sim 10^{16} \text{ m}^{-3}$
- サイズ $L \sim 10$ 万km
- 全熱エネルギー $E = nkTL^3$ を計算せよ
- $\Rightarrow 10^{24} \sim 10^{25} \text{ J}$

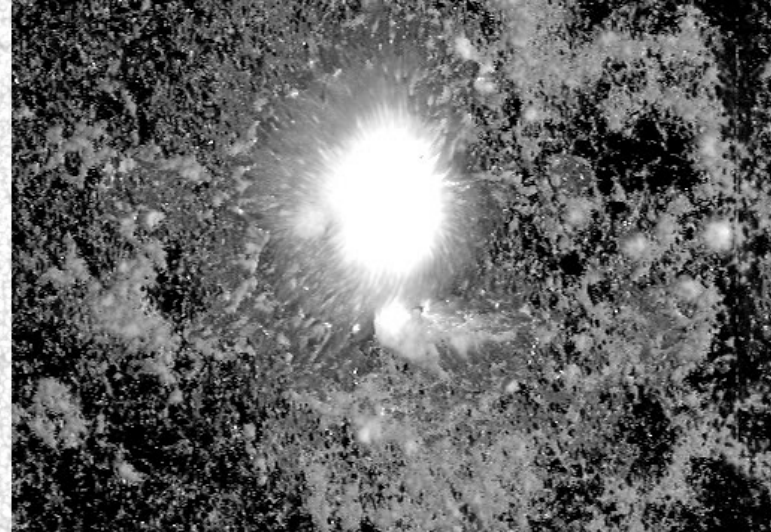
- 黒点付近のコロナの磁場強度は $B \sim 0.01 \text{ T}$
 - 磁気エネルギー $B^2V/2\mu$ で足りるか？
 - $\Rightarrow 10\%$ くらい。

磁気エネルギーの蓄積

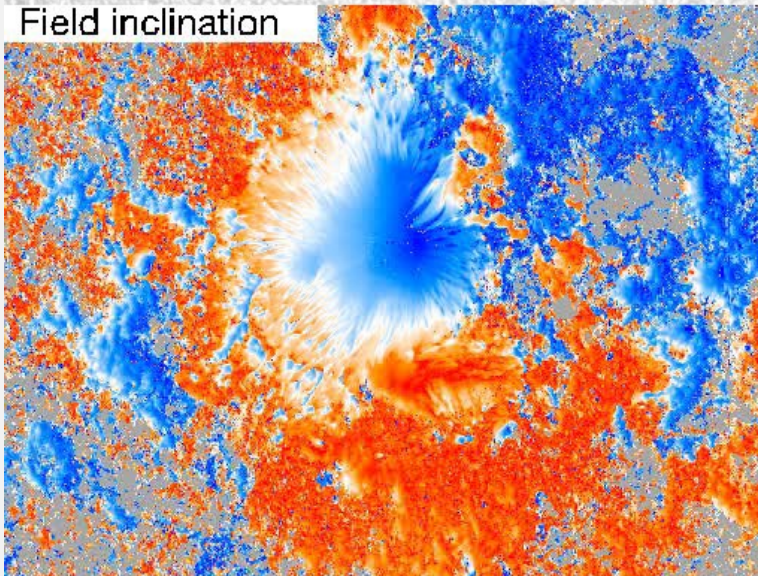
2006-12-08 10:51:05



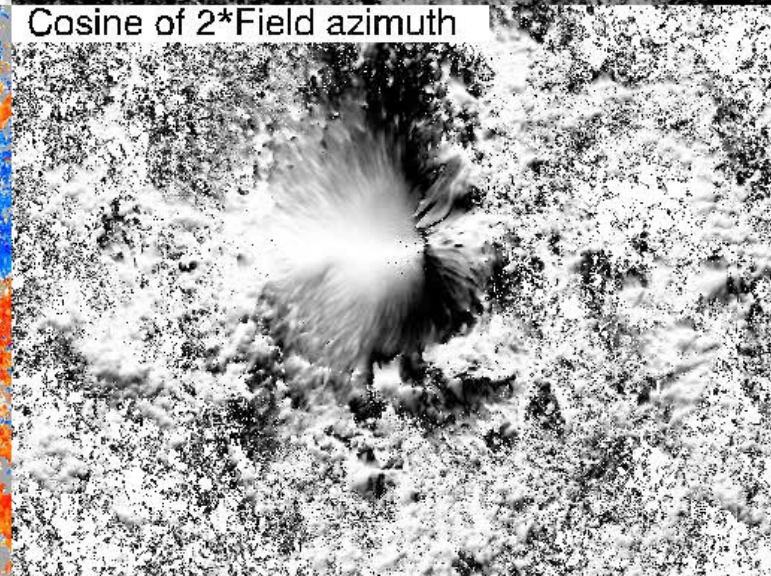
Field strength



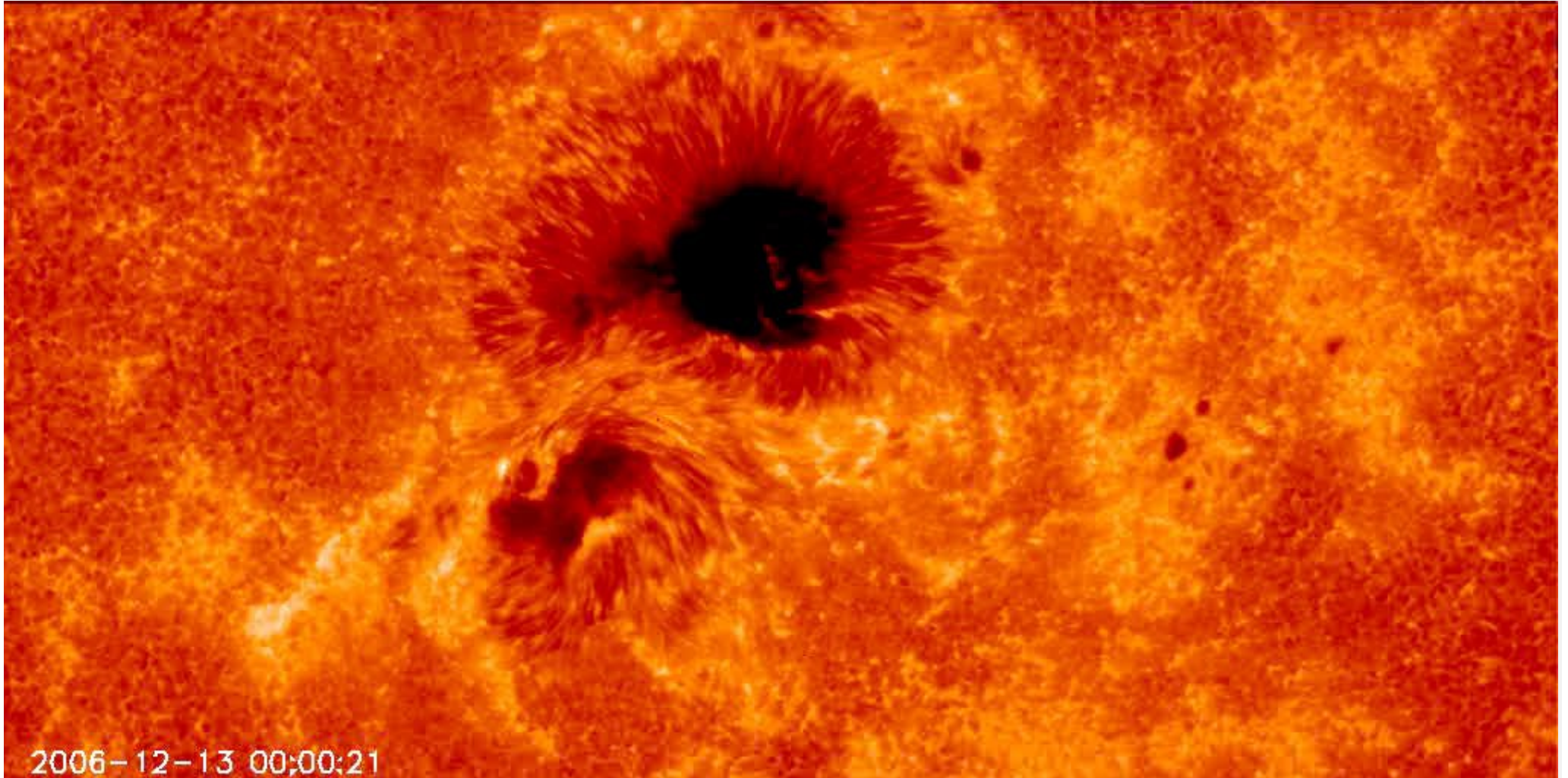
Field inclination



Cosine of 2*Field azimuth



フレア時の彩層



“solar flare standard model”でGoogle画像検索



solar flare standard mode



ログイン

すべて

ニュース

動画

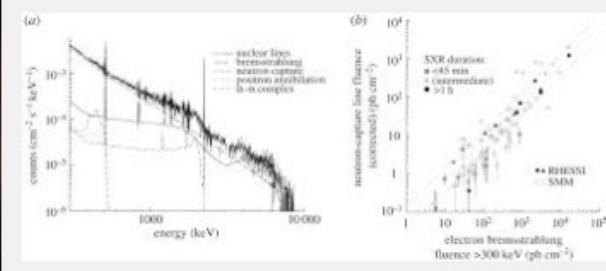
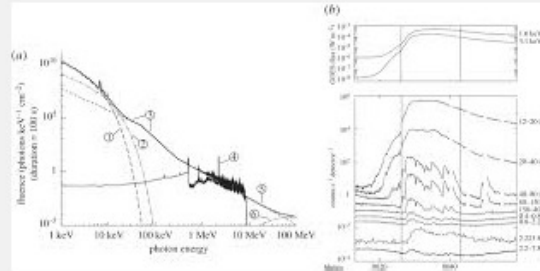
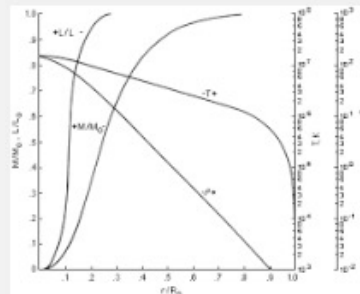
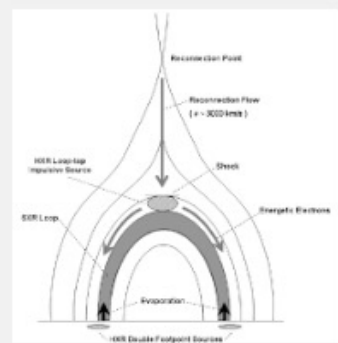
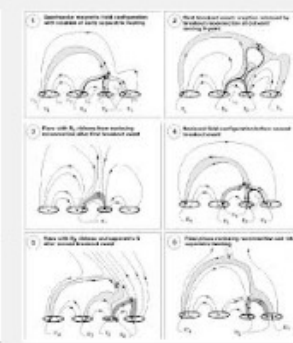
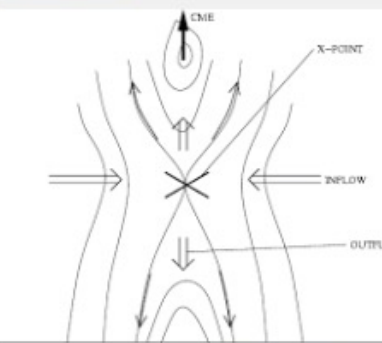
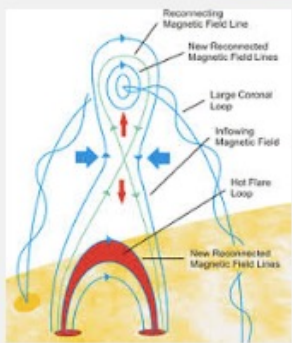
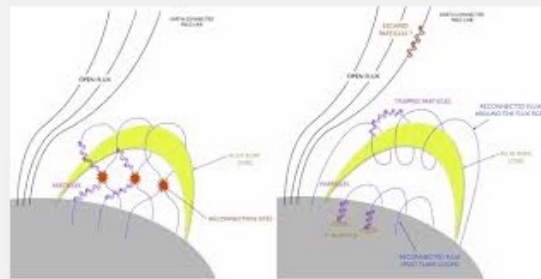
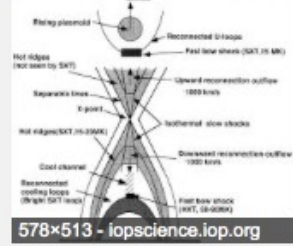
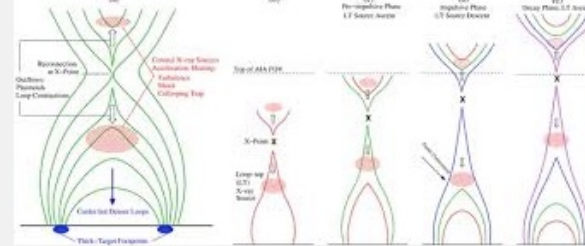
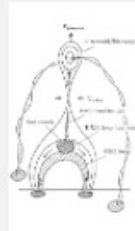
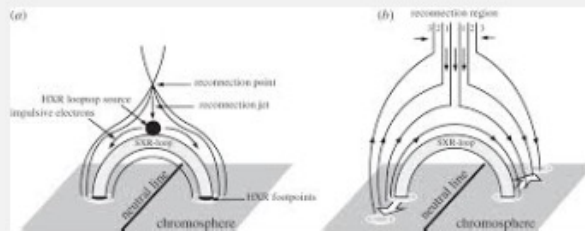
画像

ショッピング

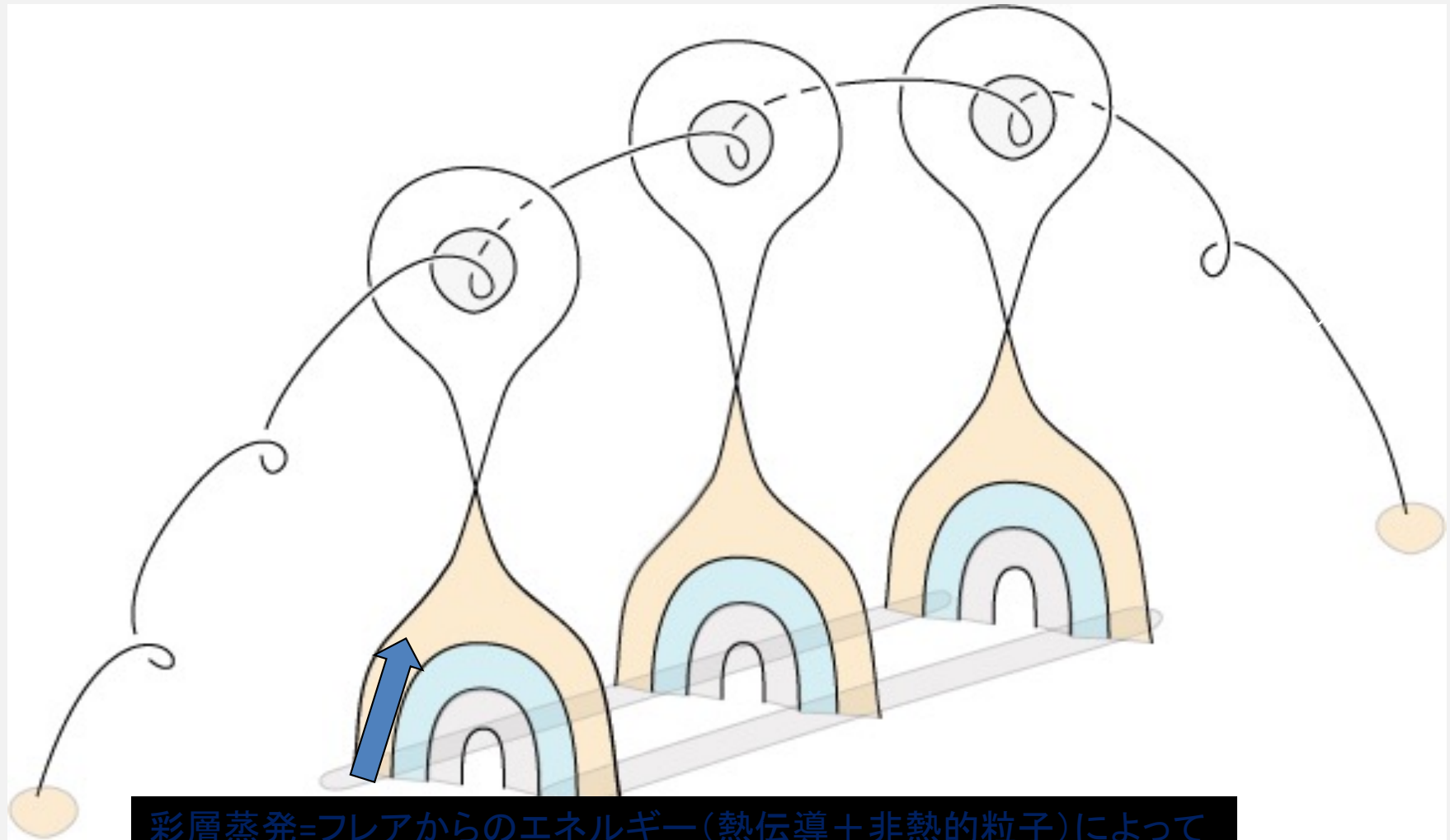
もっと見る ▼

検索ツール

セーフサーチ ▼



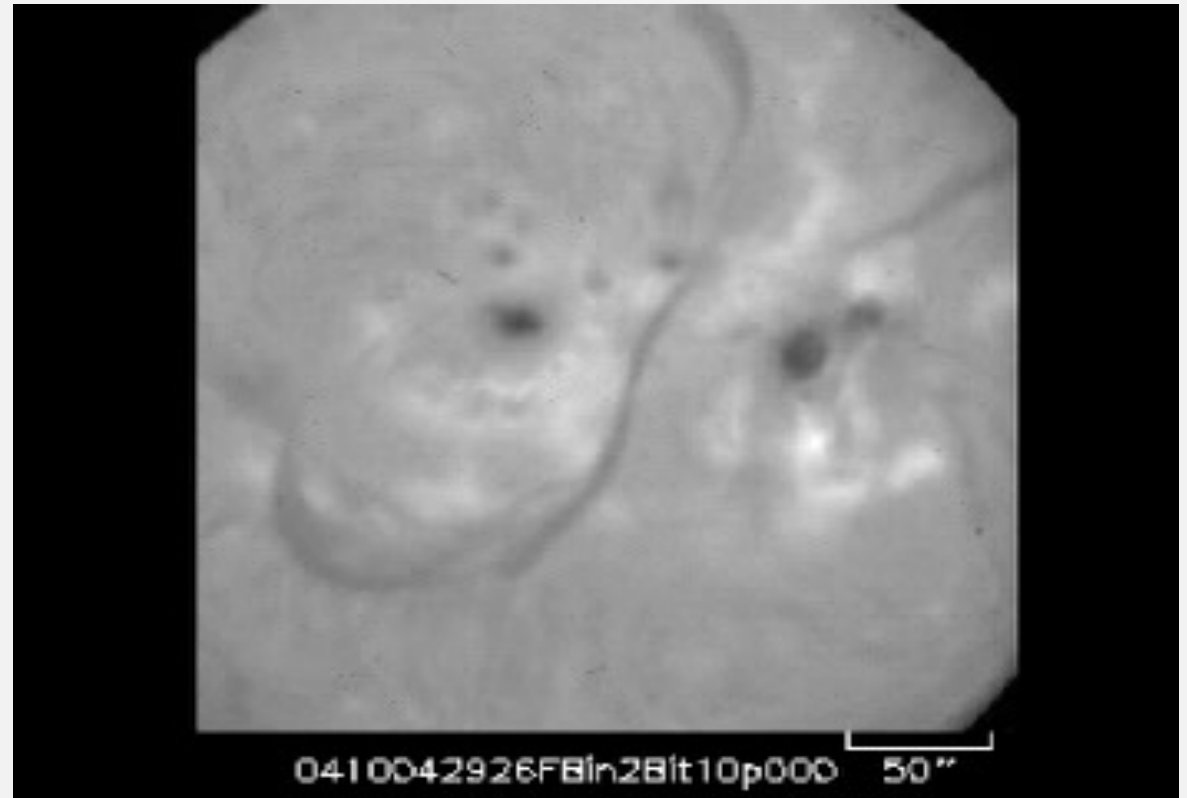
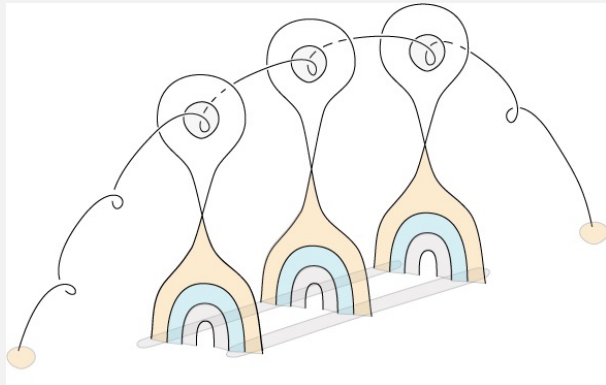
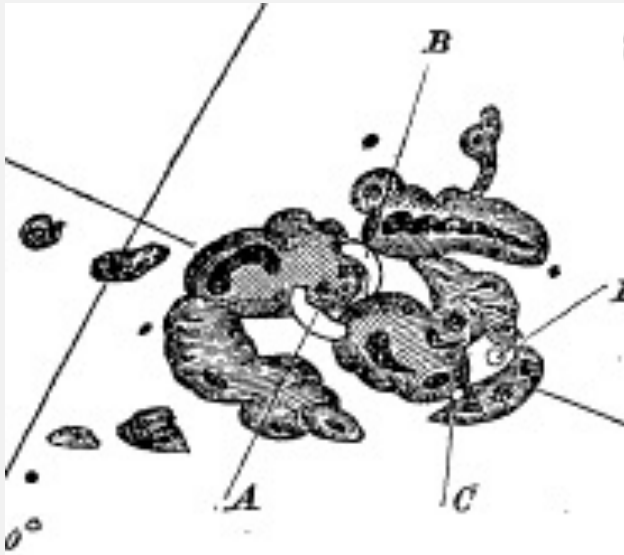
フレアのスタンダードモデル
MHDモデル（マクロなダイナミクス）



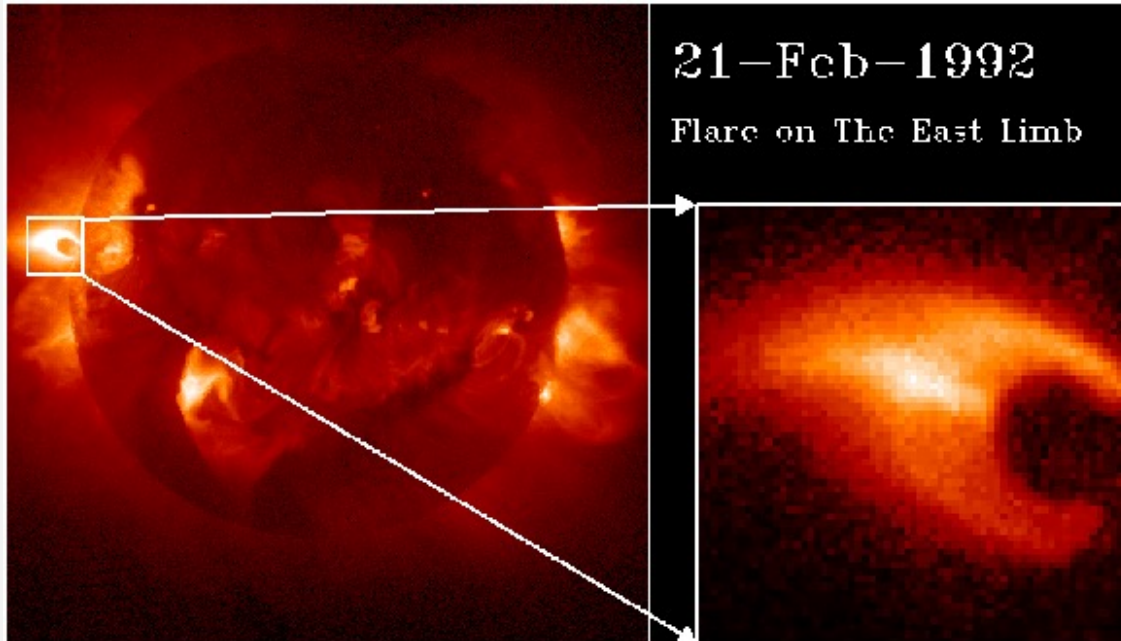
スタンダードモデルができるまで

Chromospheric two-ribbon
(Asai+2004)

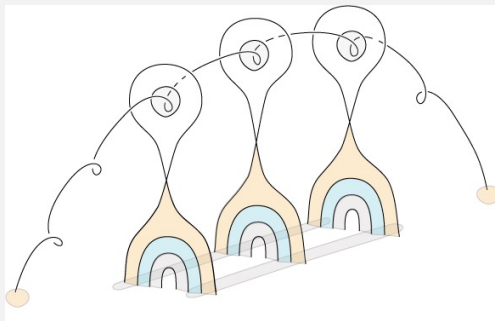
Carrington 1859



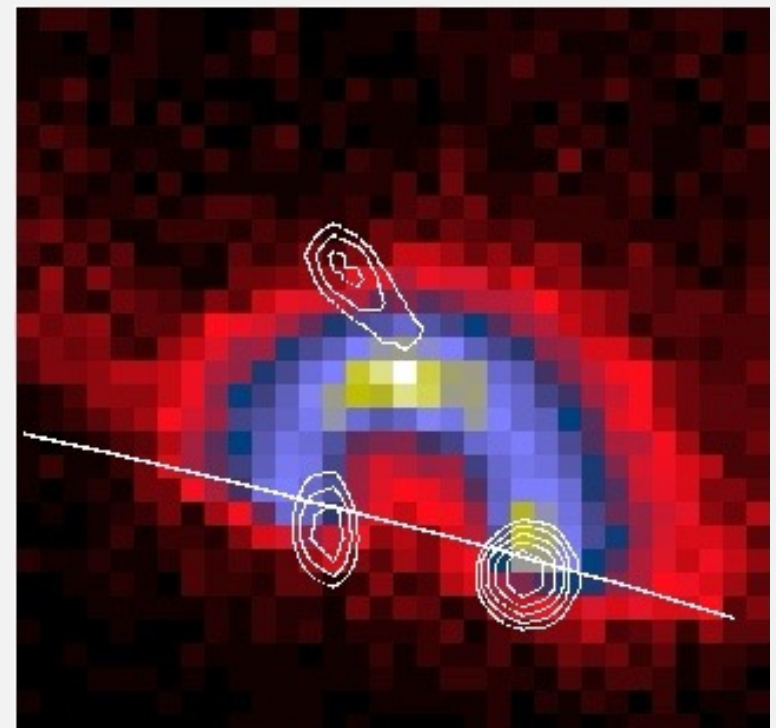
スタンダードモデルができるまで



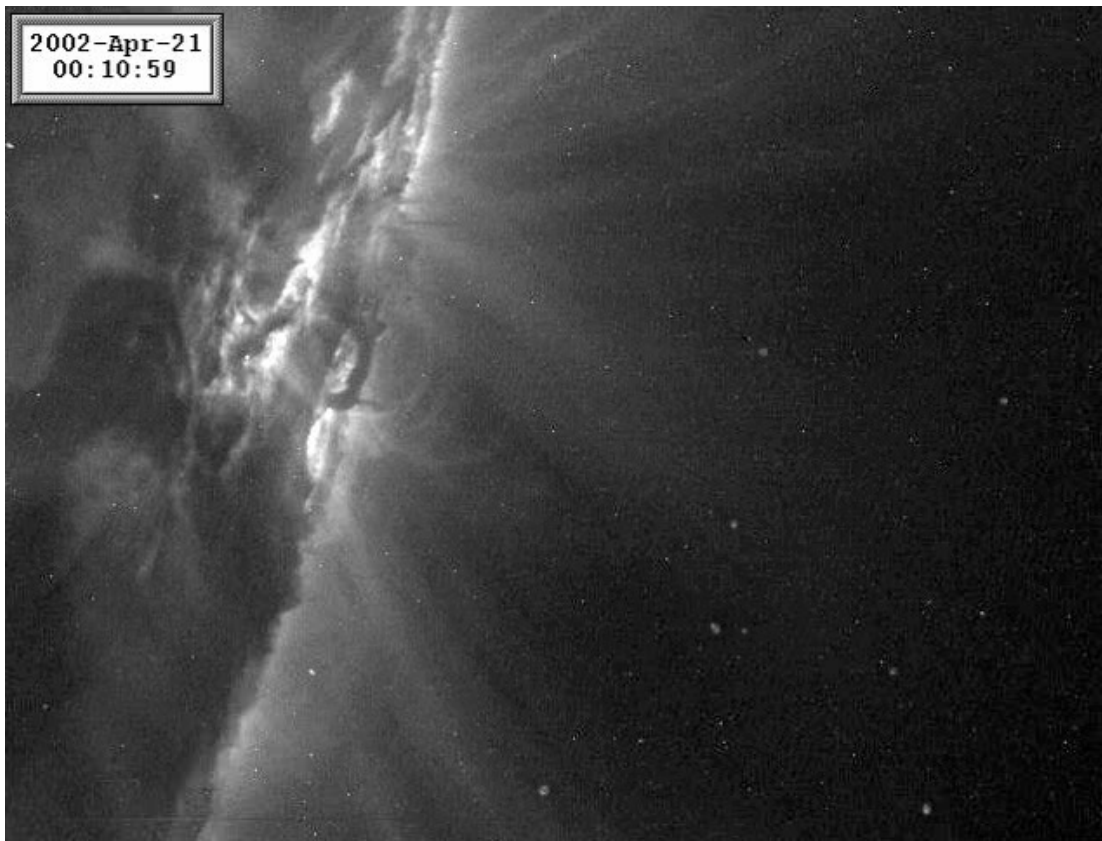
Cusp-shaped loop
(Tsuneta+92)



Loop-top Hard X-Ray source
(Masuda+94)

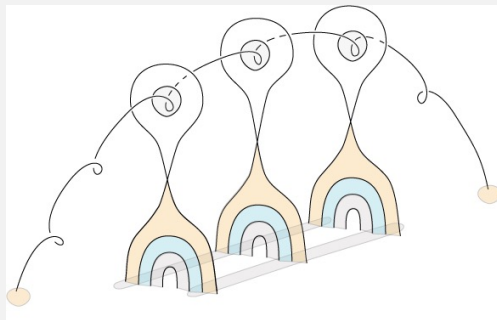


2002-Apr-21
00:10:59

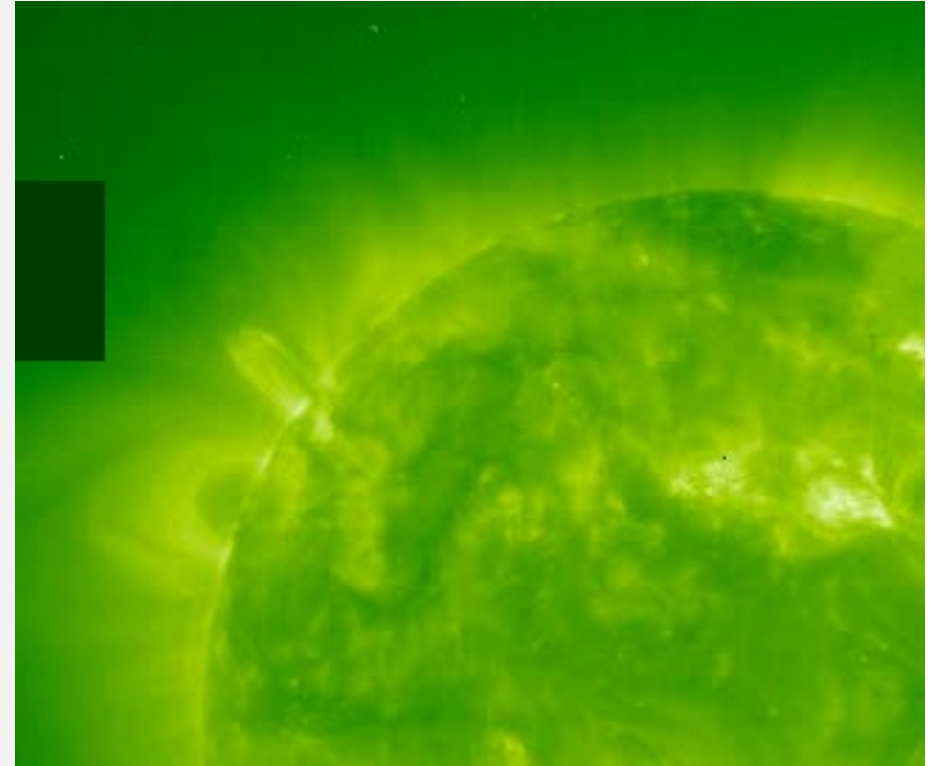


スタンダードモデル ができるまで

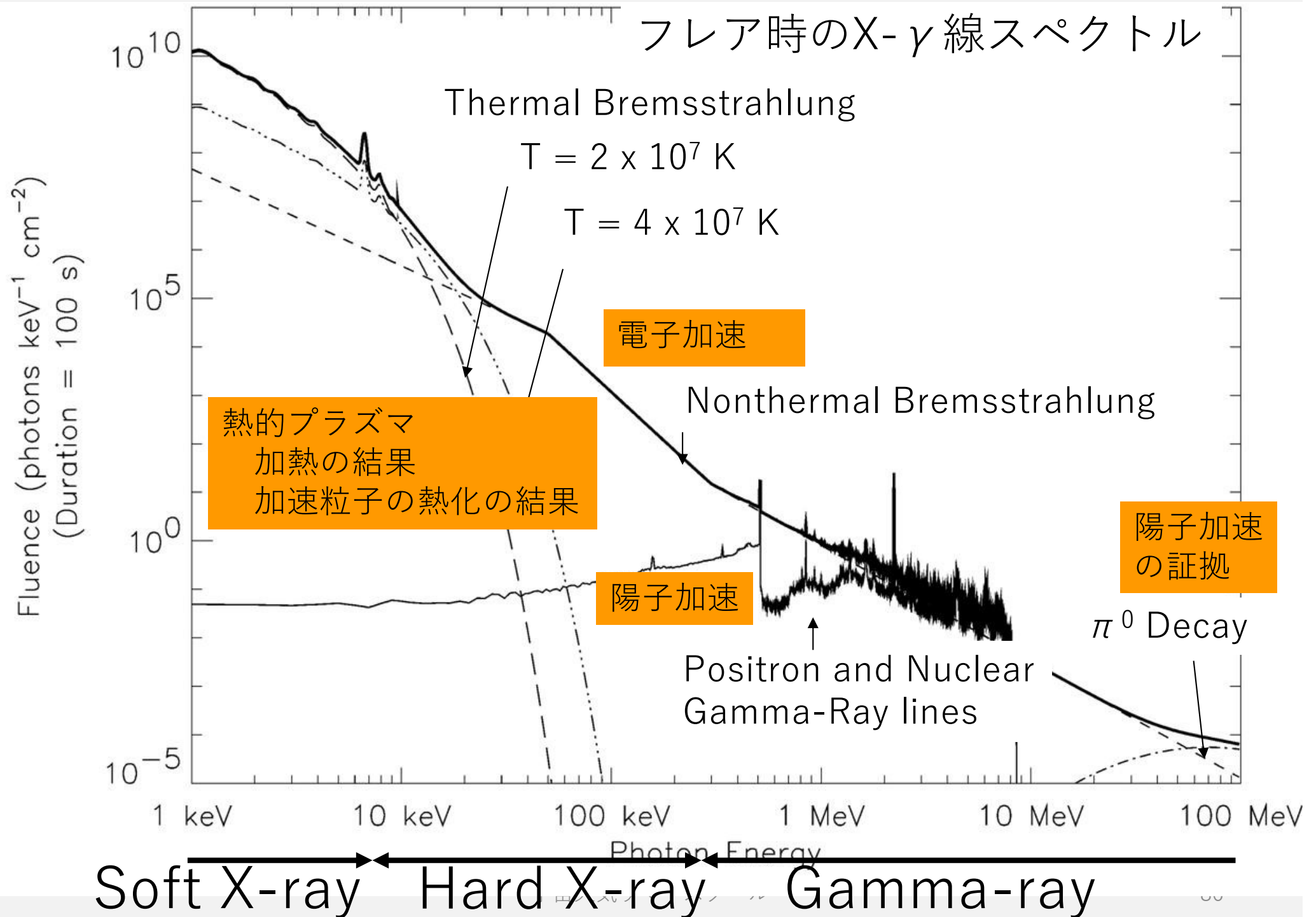
Supra-arcade downflow
(McKenzie Hudson99, Innes+03, Asai+04,
Savage+12)



Reconnection inflow
(Yokoyama+01; Narukage & Shibata06
Lin+05, Hara+06)
 $V_{\text{inflow}} \sim 0.01 V_A$



フレア時のX- γ 線スペクトル



フレア・CME：何が問題なのか？

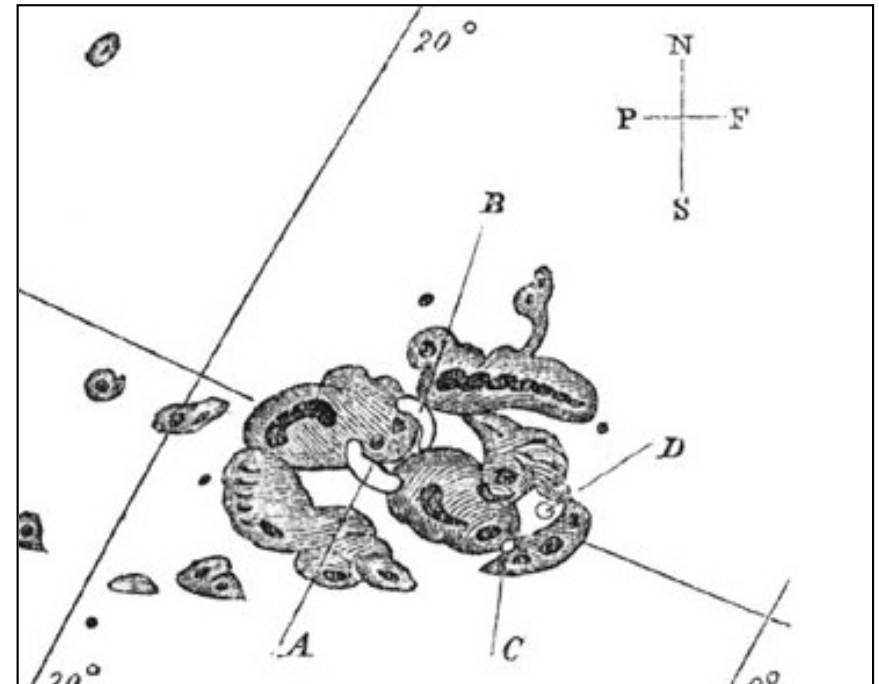
- 何がトリガーか？
 - Ideal MHD不安定（プラズマ噴出）が先か？ Resistive MHD不安定（磁気リコネクションが先か？）
- なぜフレアの規模分布はPower-lawになるのか？
 - エネルギー蓄積過程、自己組織化臨界現象？
- エネルギー分配は？（熱E、運動E、非熱電子、非熱イオン..）
- 予測は可能か？
 - 宇宙天気予報

この資料に関する注意：

- 磯部の不注意のため、授業で使った資料を間違えて消してしまいました。内容は
- 前半：磁場の起源（ダイナモ機構）
- 後半：スーパーフレアと歴史文献を用いた過去の太陽活動の研究
- についてですが、前半に関しては、元となった原稿（柴田・上出編「総説 宇宙天気」の18章に磯部が書いた原稿）を変わりにPandAにアップしてあります。授業で解説した内容は概ねこの章に書いたことに基づいていますので、すみませんがそちらを参照して下さい。
- 後半については、授業で使ったものと全く同じではありませんが、ほぼ同等の資料になっています。

キャリントンフレア (1859年9月)

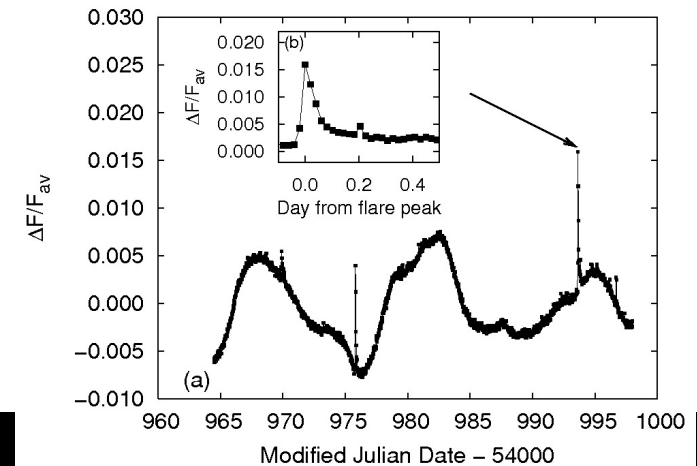
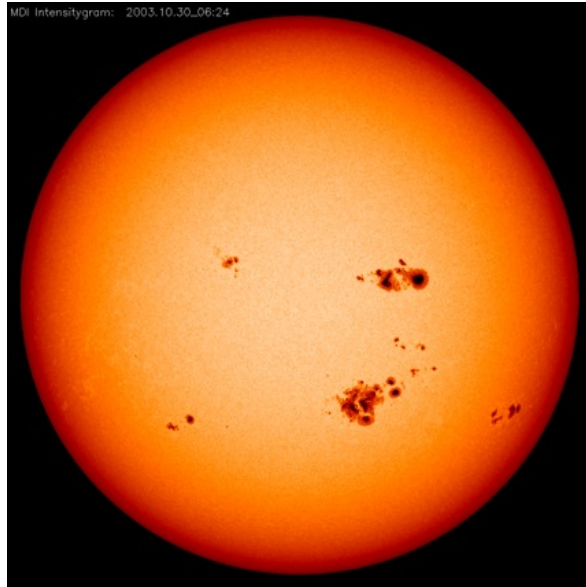
- 近代観測史上最大のフレア-宇宙天気現象
- キューバやバハナなど低緯度でもオーロラを観測
- 日本でも青森県や和歌山県見えたらしい (後述)



- 2012年7月23日、キャリントンフレアと同程度と思われるフレアが発生。地球から見て太陽の横側だったので被害はなかった

太陽型星でスーパーフレア

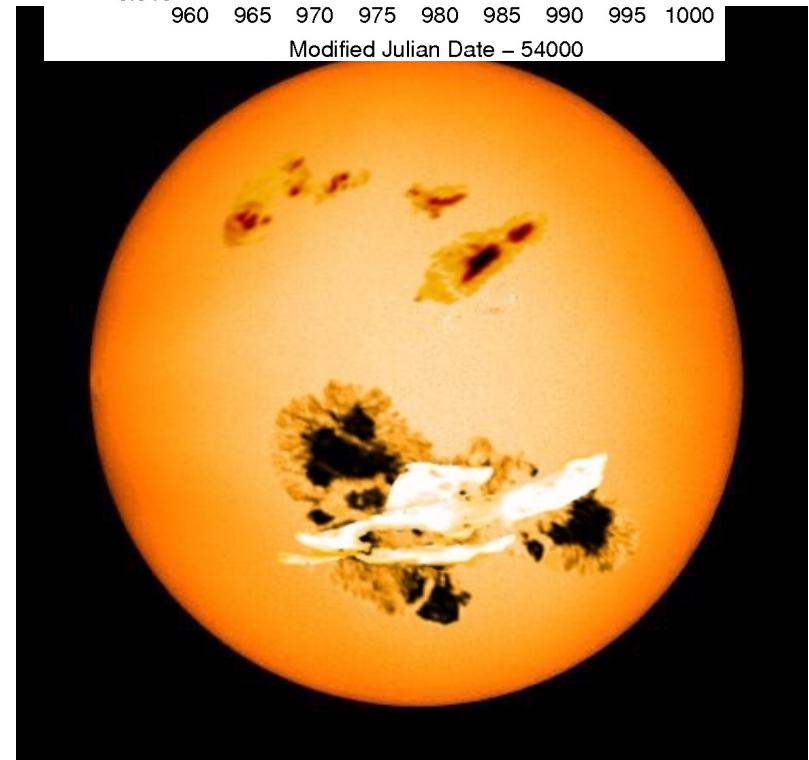
太陽



キャリントンフレアの100-1000倍もの
フレアが太陽型星であいついで発見。

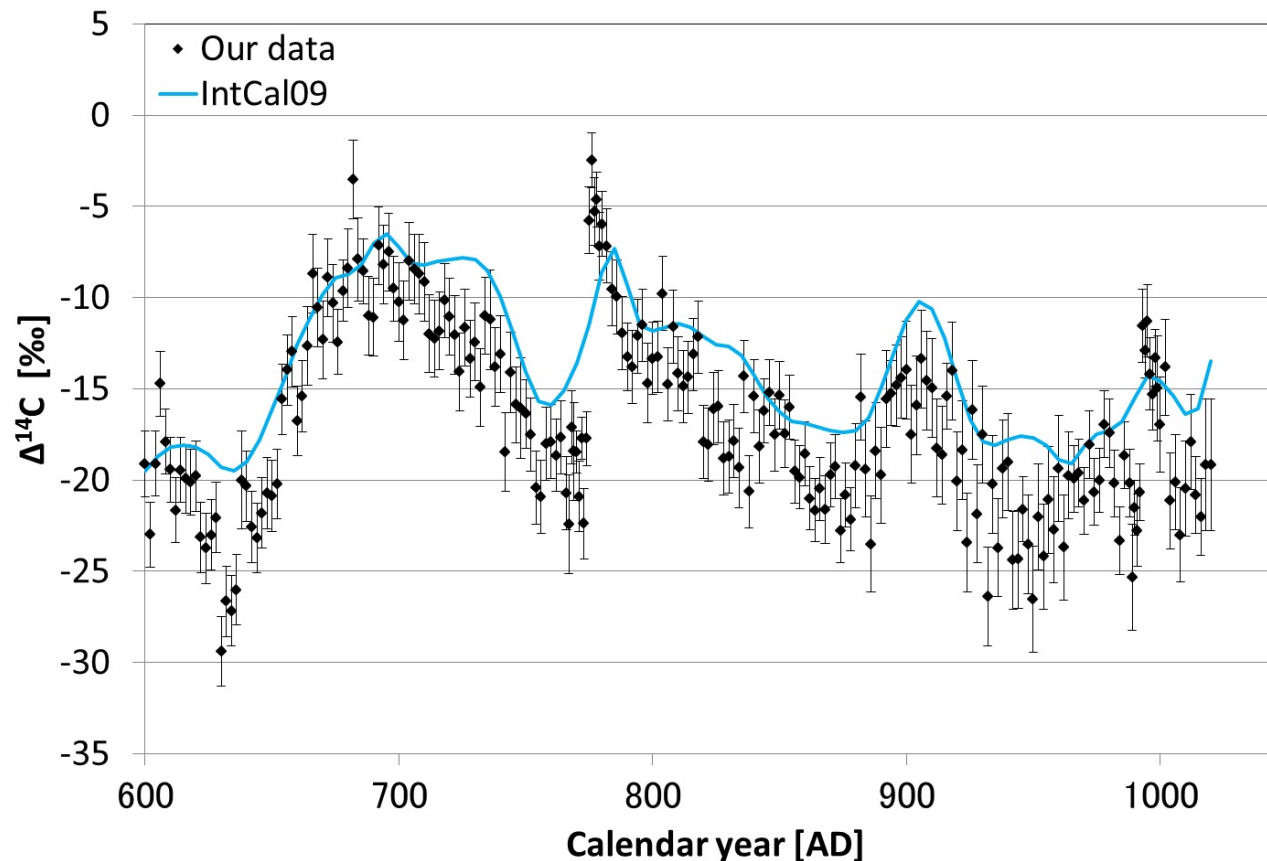
もし太陽でおきれば大災害

Maehara+2012, Nature



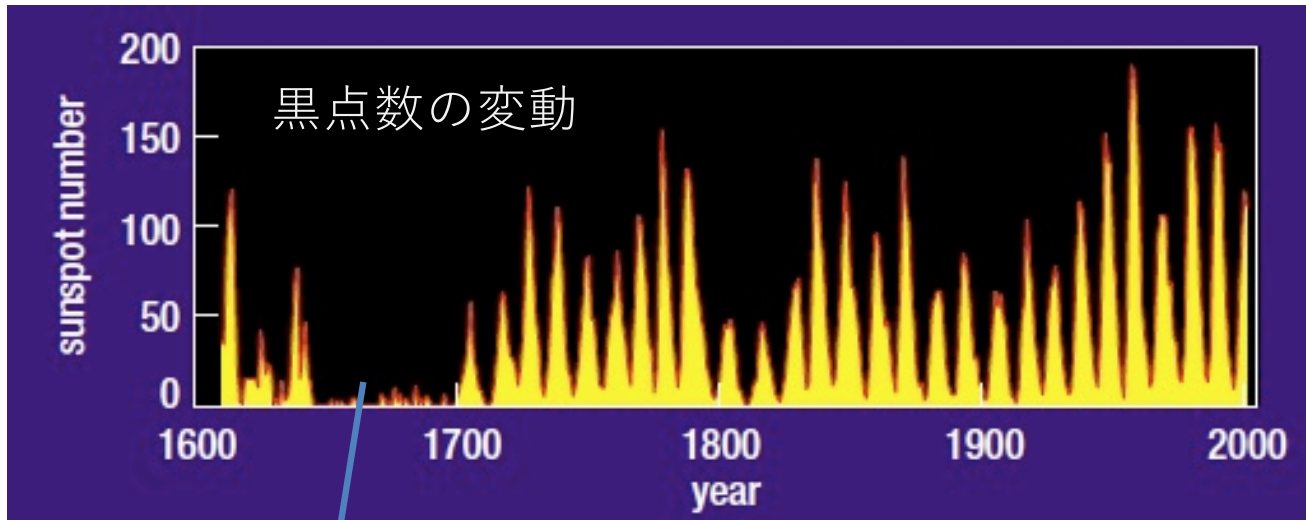
スーパーフレアを起こす太陽型星（想像図）

太陽でもスーパースーパーフレアは起きていた？



年輪中の放射性同位体 ^{14}C の変動。8世紀の末と10世紀の末に前年から不連続に増加がみられる（Miyake et al. 2012, 2013）。宇宙から地球大気に短期間に大量の放射線が降り注いだ証拠。太陽起源だとすればキャリントンフレアを超える規模のスーパースーパーフレアのはず！？

太陽活動の地球気候への影響



太陽黒点数の変化

マウンダーミニмум

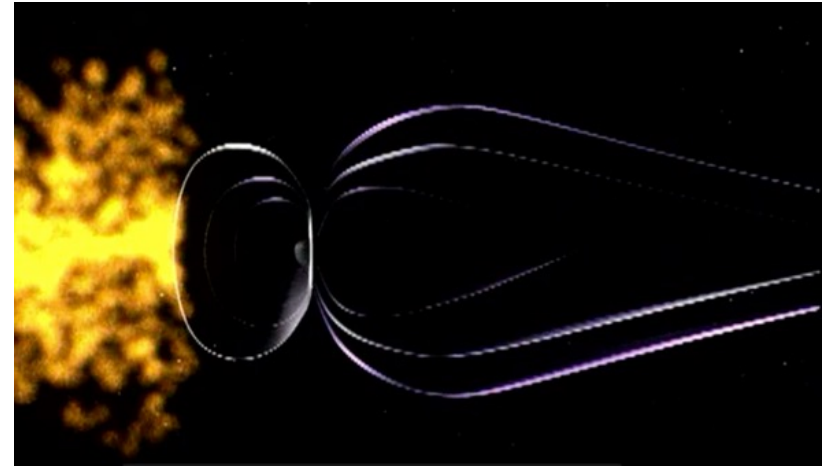


- 17世紀後半、黒点がほとんどなかった「マウンダーミニмум」の時、地球はミニ氷期だった。
- より長期的に見ても、太陽活動と地球気候の間に相関がある（最近の温暖化との関連は議論にはなっているが不明）

そのころのイギリスのテムズ川をかいた絵

- 太陽の黒点は磁場の強い領域であり、磁場のエネルギーでフレア（太陽面爆発）など様々な現象がおきる
- 太陽の磁気活動にともなう宇宙環境の変動＝宇宙天気は、人工衛星や送電線網、GPSなど現代的なインフラに多大な影響を及ぼす新しい自然災害
- 観測史上最大と呼ばれていた1859年のキャリントンフレアを超えるスーパーフレアが起きうることを示唆する研究（太陽型星、放射性同位体の観測）
- 太陽活動は地球の気候にも影響がある
- 太陽活動の長期変動、そして太陽フレアはどこまで巨大なものが起きうるのか、その頻度はどれくらいか、ということを知りたい。＝>歴史文献

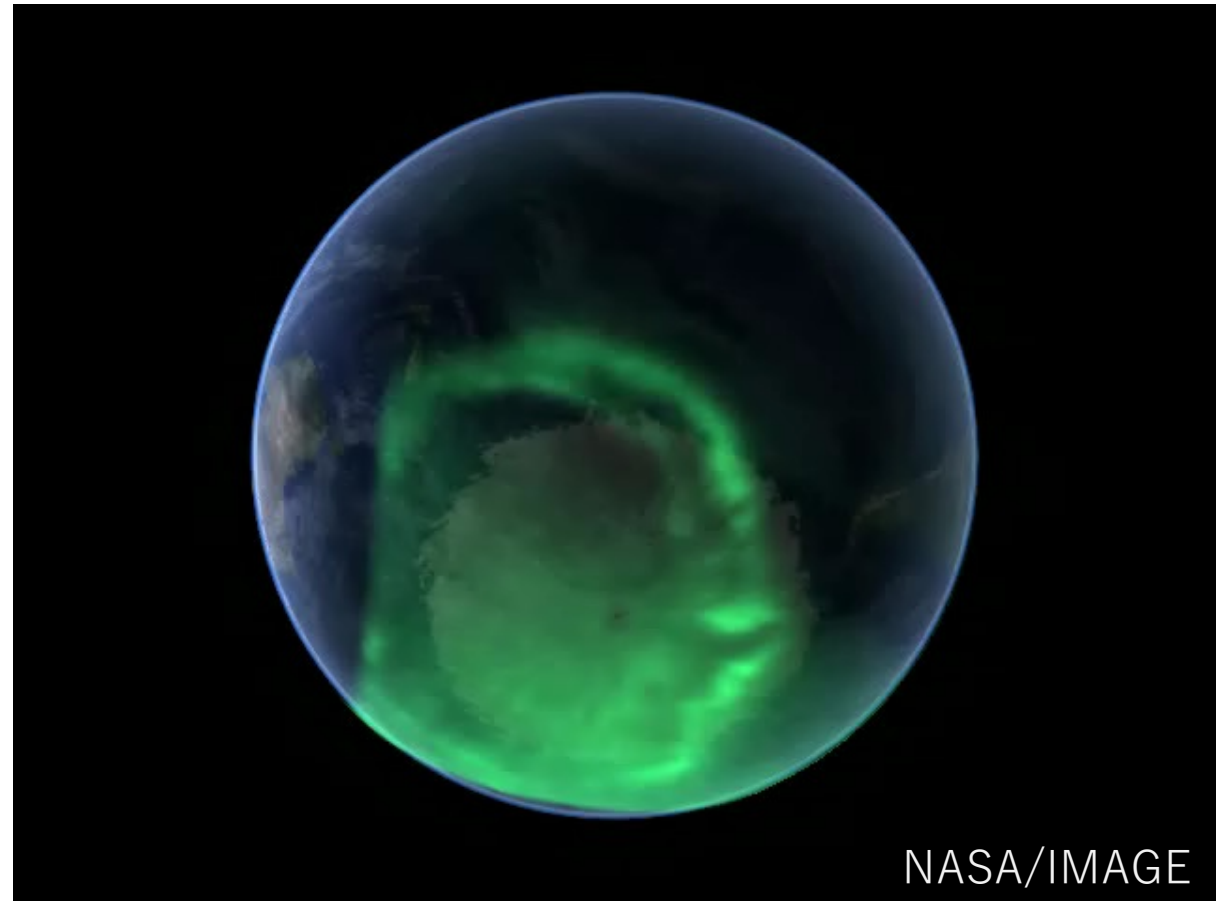
太陽活動 低緯度オーロラ



オーロラは磁極を囲むリング状に発生する

地磁気嵐が発達すると、
オーロラ帯が低緯度に広がる

低緯度でオーロラが見られた記録があれば、巨大な地磁気嵐が起きた証拠であり、従って巨大な太陽フレアが起きたことの関節的な証拠となる。



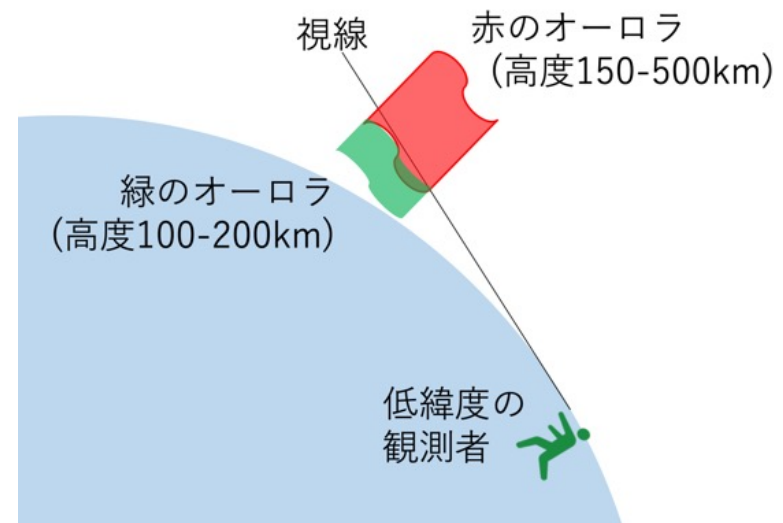
歴史文献中に記録された中低緯度オーロラ

漢字文化圏では「赤氣」や「白氣」といった言葉で記録されていた。



天元玉曆祥異賦，国立国会図書館蔵

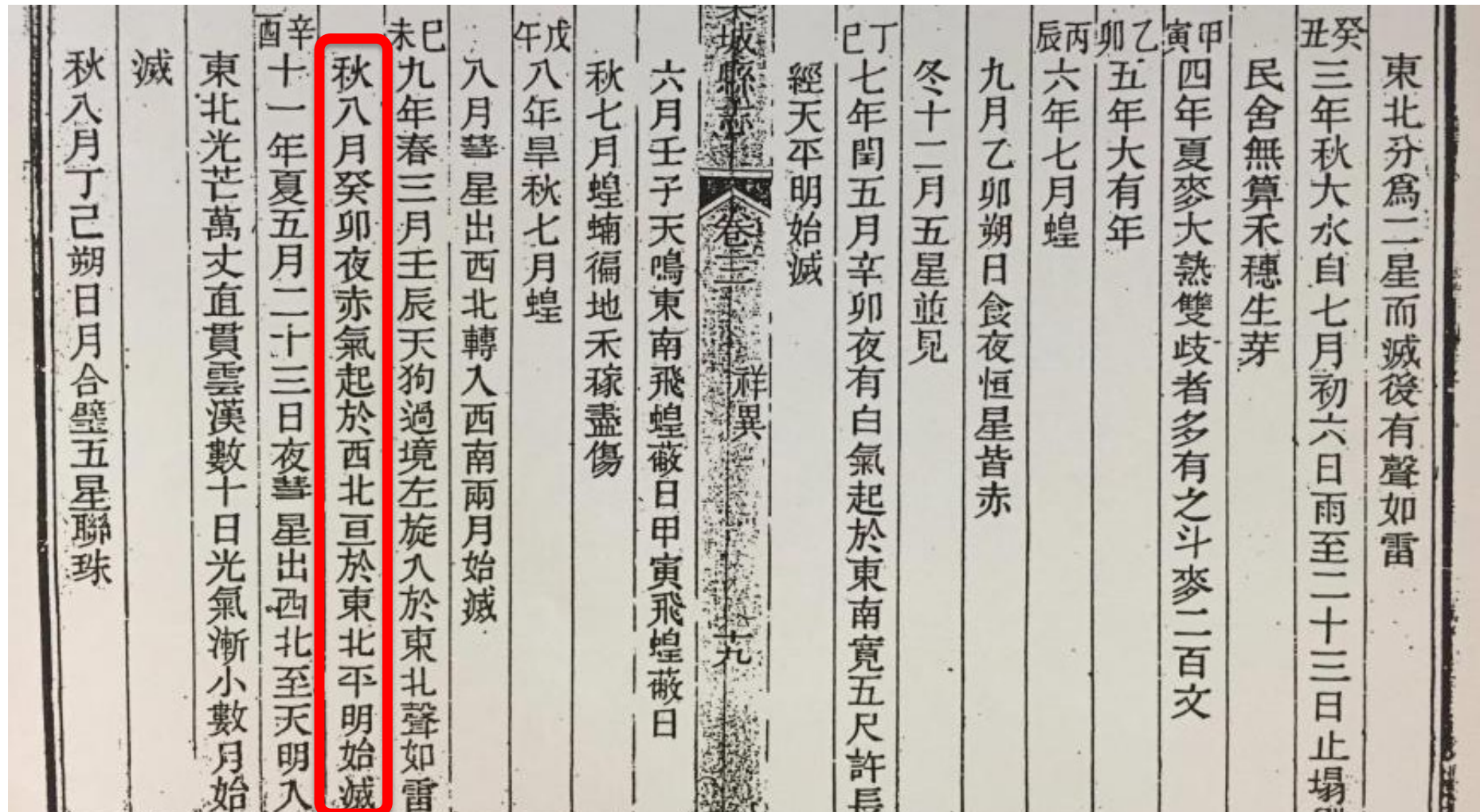
オーロラは高度により色が異なり、低緯度から見えるオーロラは赤い部分だけが見えることが多い。



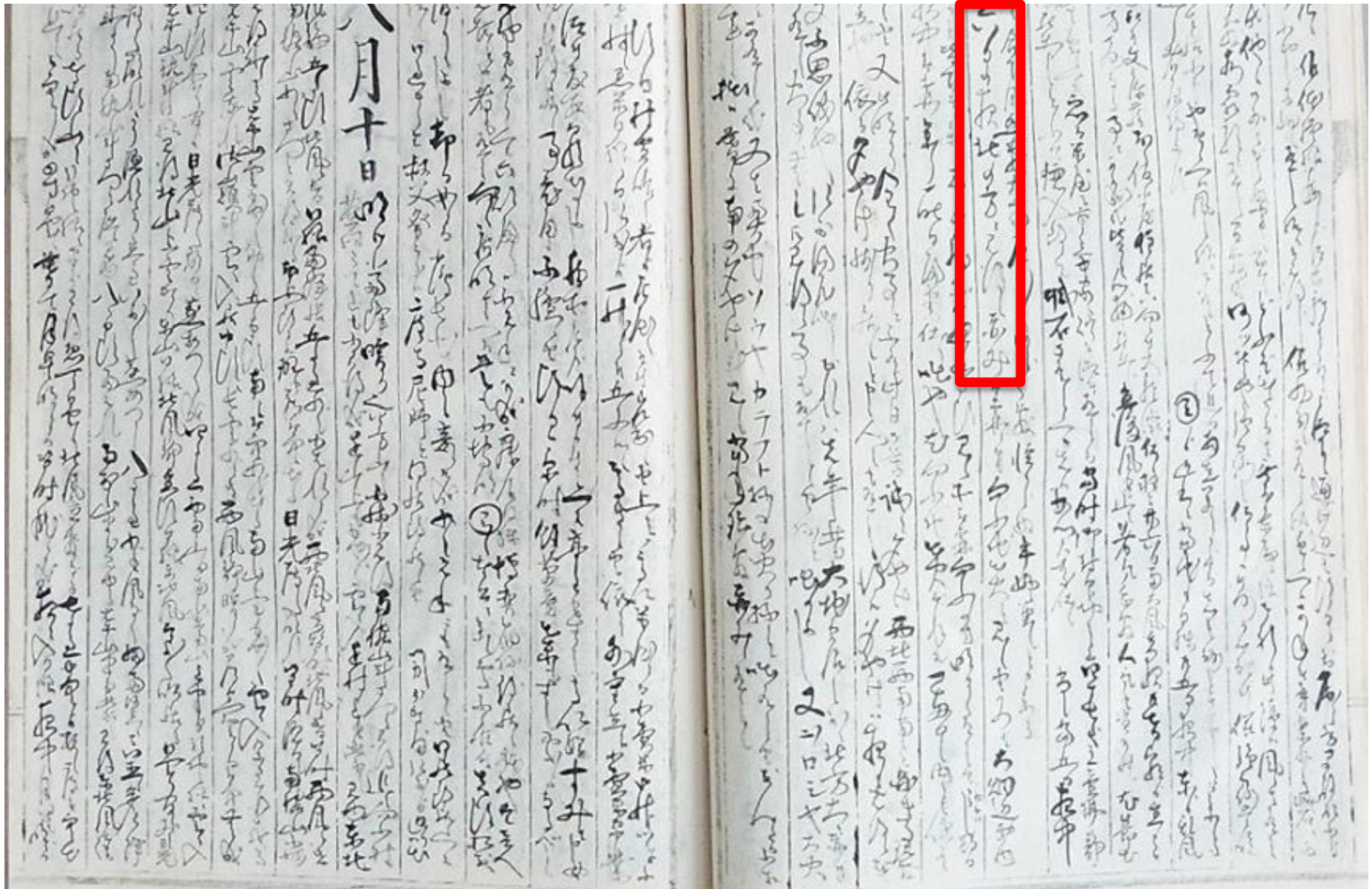


Aurora viewed from ISS (NASA)

オーロラの記録（中国）



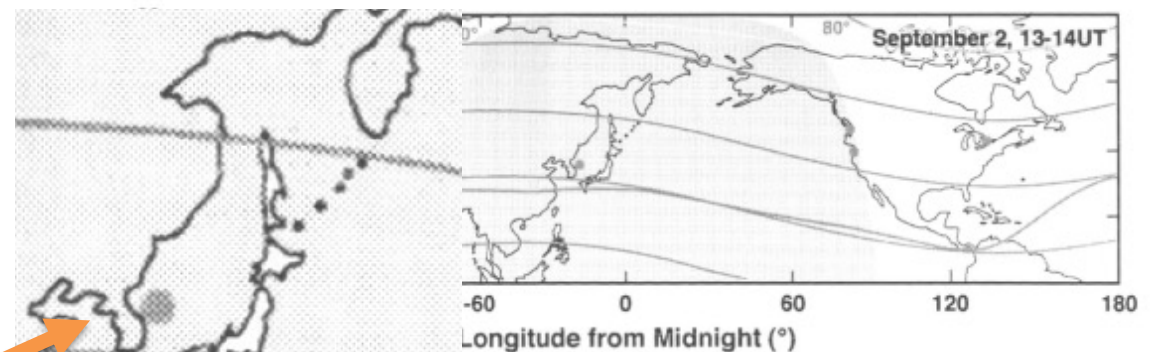
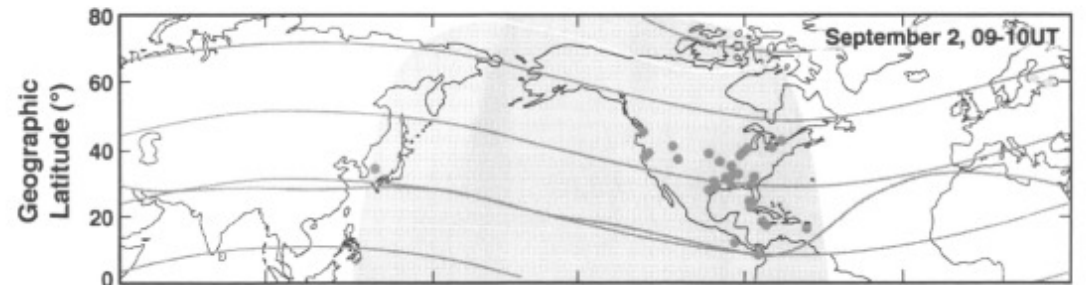
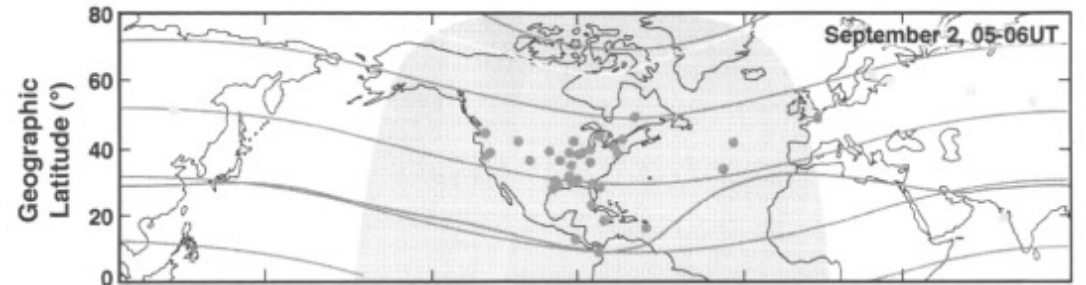
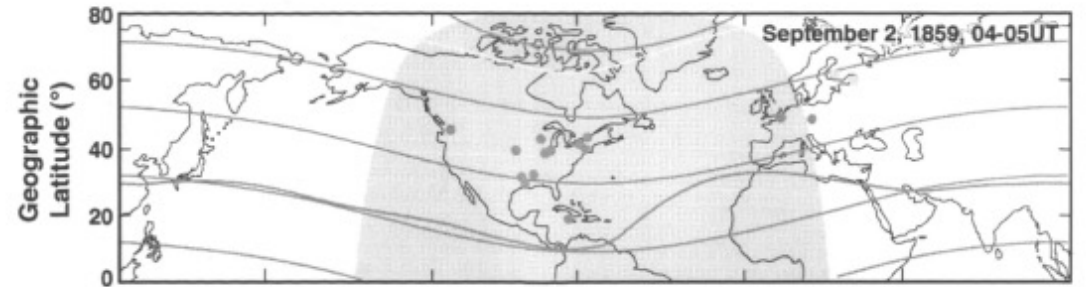
オーロラの記録（日本）



市立弘前図書館所蔵「山一金木屋又三郎日記」安政6年8月9日条，岩橋氏提供

キャリントンフレアで 見られたオーロラ (1859, Sep 1-2)

- キューバ、バハナ、ジャマイカ、ハワイなどの低緯度を含む世界各地でオーロラが見られた。
- 東アジアでは”Wakayama“の1例だけ。しかも…



Wakayama?

Sept for September 2-3, 1859 over the northern hemisphere entered on midnight.

Green & Boardsen 2006

キャリントンイベント時の東アジアにおけるオーロラ観測の発掘

Hayakawa, H., Iwahashi, K., Tamazawa, H., Isobe, H., Kataoka, R., Ebihara, Y., Miyahara, H.,
Kawamura, A.D., Shibata, K.; PASJ, 68, 99 (2016)

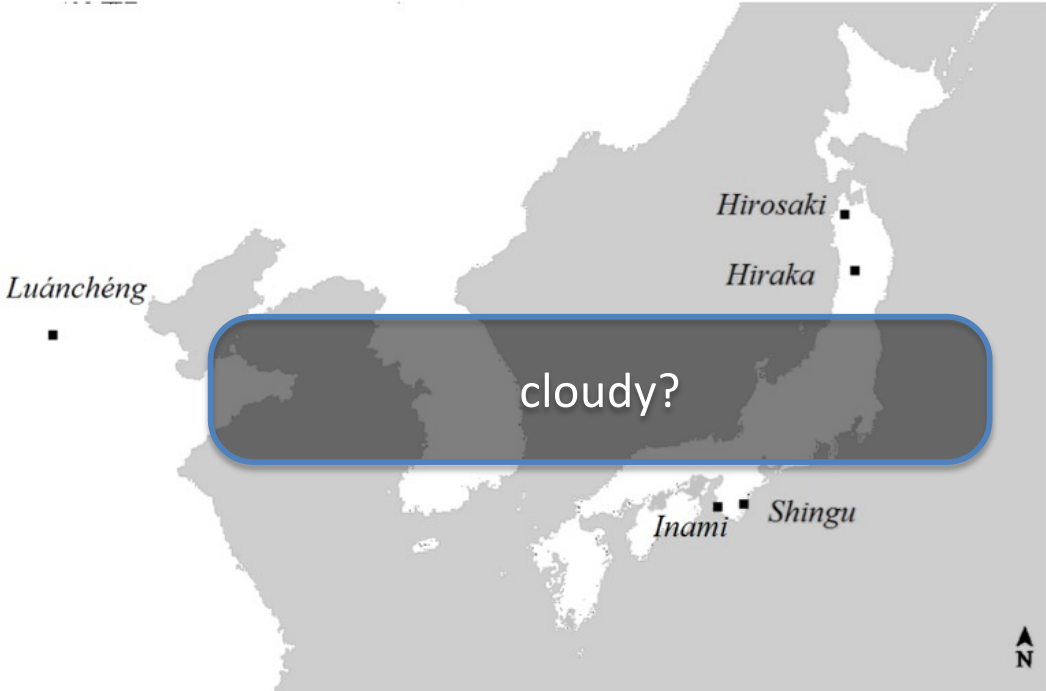
- 新宮（<=既出の記録）、印南、弘前、平鹿、そして中国の観測例を発掘。
- 弘前の観測は、独立した3つの記録があった。



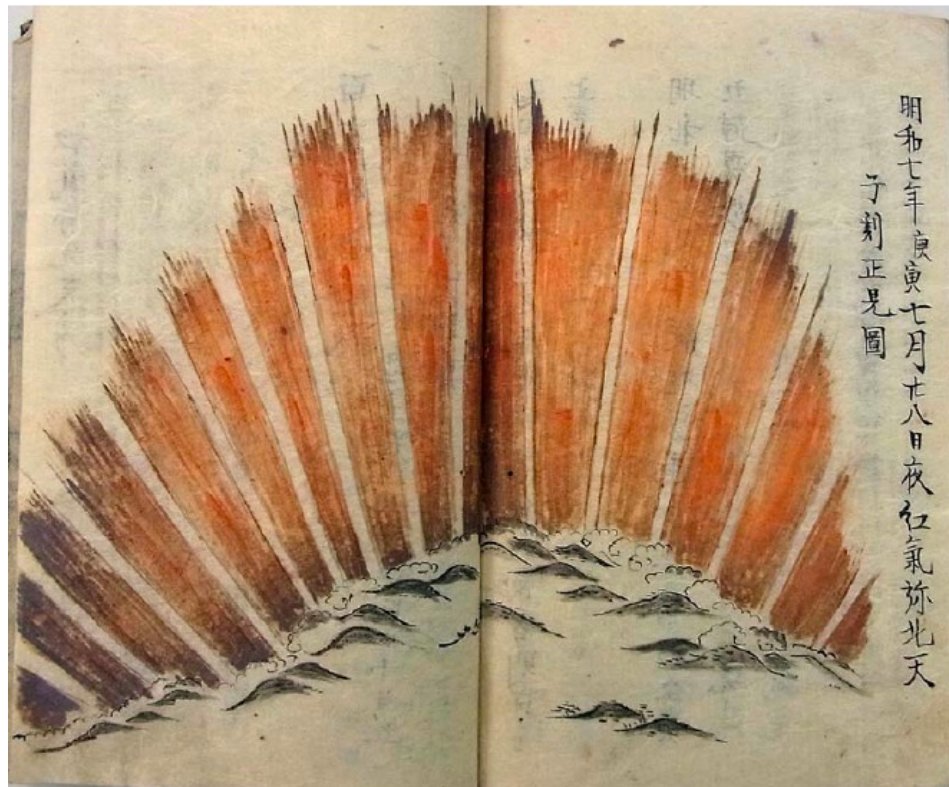
- 印南、平鹿、弘前のうち一つは、在野研究者の渡辺美和氏によるカタログに掲載されていたものを再調査。

日記から天気も再現。 東アジアは部分的に天気が悪かったらしい

Table 2. Weather in East Asia from 1859/08/28 to 1859/09/02.*

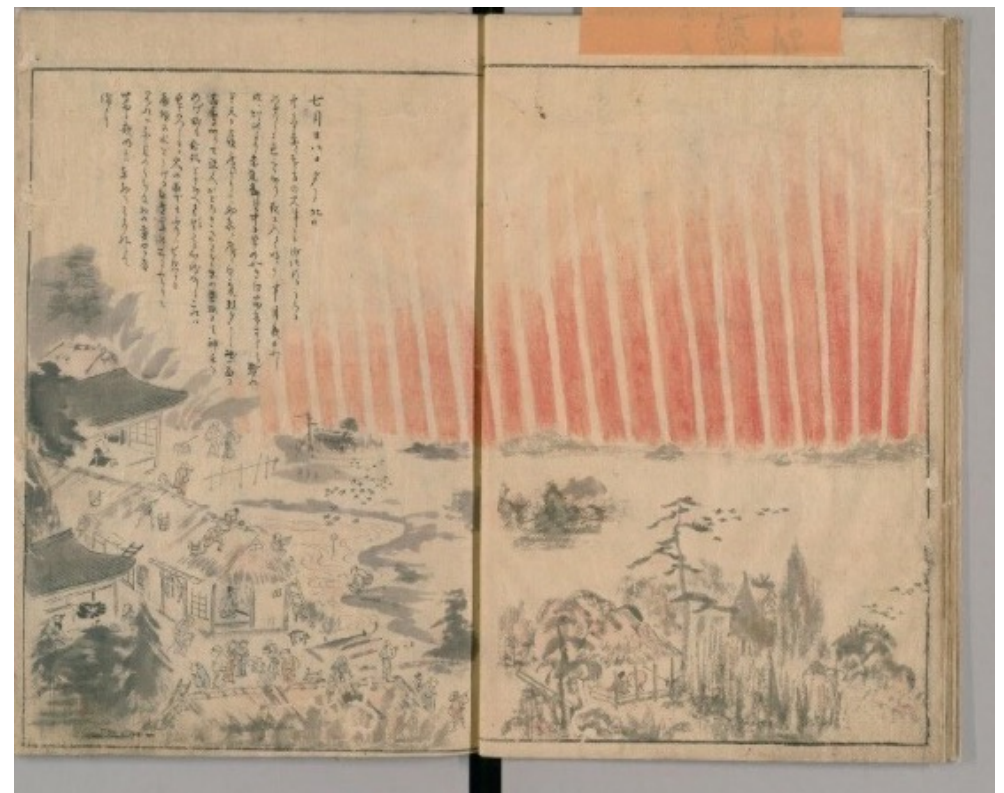
Date	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	Reference
Hirosaki	clear	clear	clear	cloudy	cloudy rainy	sunny	sunny	sunny	JW03
Tama	clear	clear	clear	good	good	cloudy	rainy cloudy	good	JW04
						rainy	sunny	sunny	JW05
						sunny	rainy		JW06
						good	good	hot	JW07
						good	cloudy	good	JW08
						clear	sunny	sunny	JW09
						good	good	good	JW10
						cloudy	cloudy	sunny	JW11
						sunny	sunny	sunny	JW12
						hot	xx	hot	JW13
						cloudy	rainy	rainy	JW14
						sunny	sunny	windy	JW15
						cloudy	sunny	sunny	JW16
						good	rainy	good	JW17
						rainy			JW18
						cloudy			JW19
						rainy			JW20
						rainy			JW21
						clear			JW22
						rainy			JW23
						rainy			JW24
						rainy			JW25
						rainy			JW26
						rainy			JW27
						rainy			JW28
						rainy			JW29
						rainy			JW30
						rainy			JW31
						rainy			JW32
						rainy			JW33
						rainy			JW34
						rainy			JW35
						rainy			JW36
						rainy			JW37
						rainy			JW38
						rainy			JW39
						rainy			JW40
						rainy			JW41
						rainy			JW42
						rainy			JW43
						rainy			JW44
						rainy			JW45
						rainy			JW46
						rainy			JW47
						rainy			JW48
						rainy			JW49
						rainy			JW50
						rainy			JW51
						rainy			JW52
						rainy			JW53
						rainy			JW54
						rainy			JW55
						rainy			JW56
						rainy			JW57
						rainy			JW58
						rainy			JW59
						rainy			JW60
						rainy			JW61
						rainy			JW62
						rainy			JW63
						rainy			JW64
						rainy			JW65
						rainy			JW66
						rainy			JW67
						rainy			JW68
						rainy			JW69
						rainy			JW70
						rainy			JW71
						rainy			JW72
						rainy			JW73
						rainy			JW74
						rainy			JW75
						rainy			JW76
						rainy			JW77
						rainy			JW78
						rainy			JW79
						rainy			JW80
						rainy			JW81
						rainy			JW82
						rainy			JW83
						rainy			JW84
						rainy			JW85
						rainy			JW86
						rainy			JW87
						rainy			JW88
						rainy			JW89
						rainy			JW90
						rainy			JW91
						rainy			JW92
						rainy			JW93
						rainy			JW94
						rainy			JW95
						rainy			JW96
						rainy			JW97
						rainy			JW98
						rainy			JW99
						rainy			JW100

1770年（明和7年）にもキャリントン級のオーロラ？

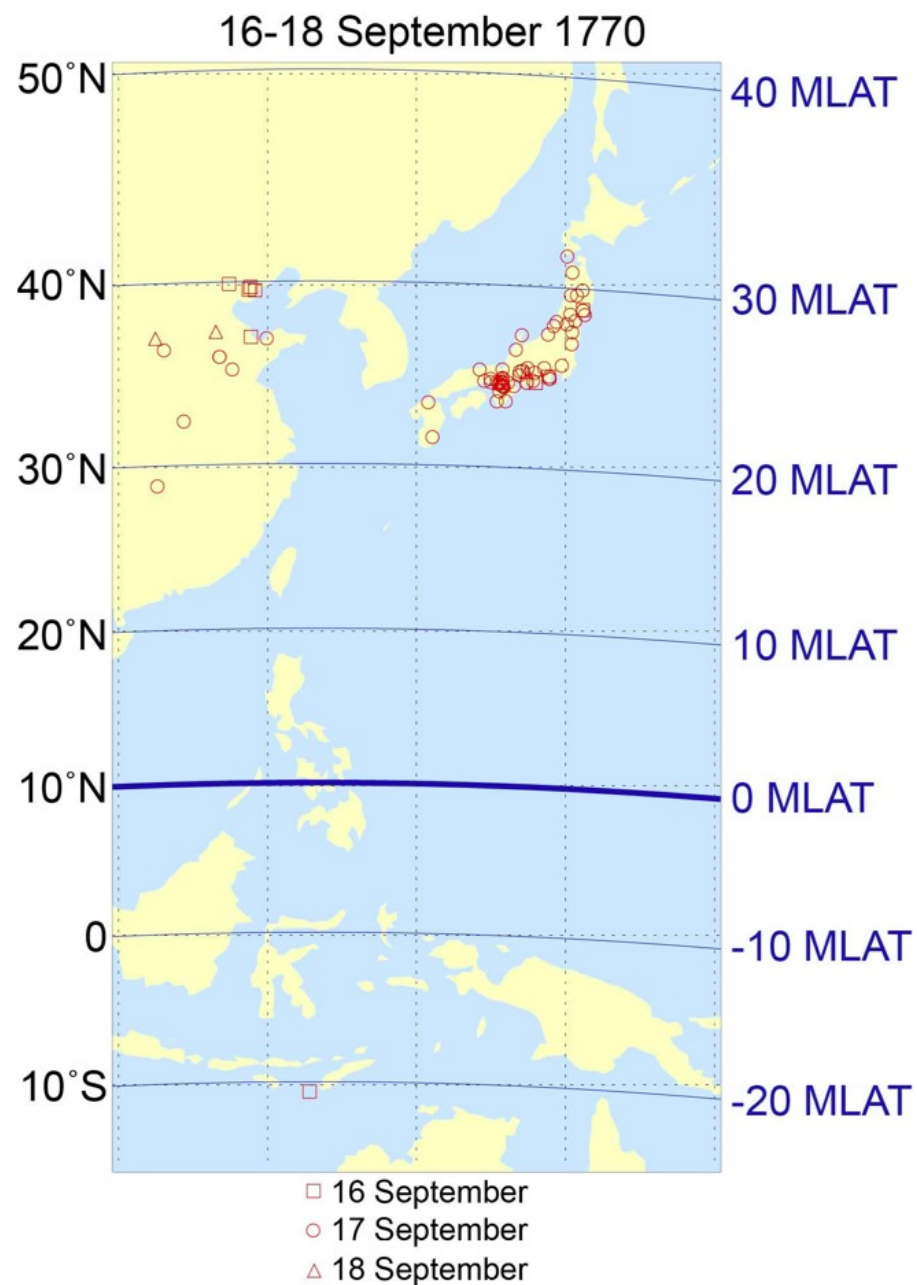


星解/Seikai, Matsusaka-city

Hayakawa et al. 2017 ApJL,
Ebihara et al. 2017, GRL

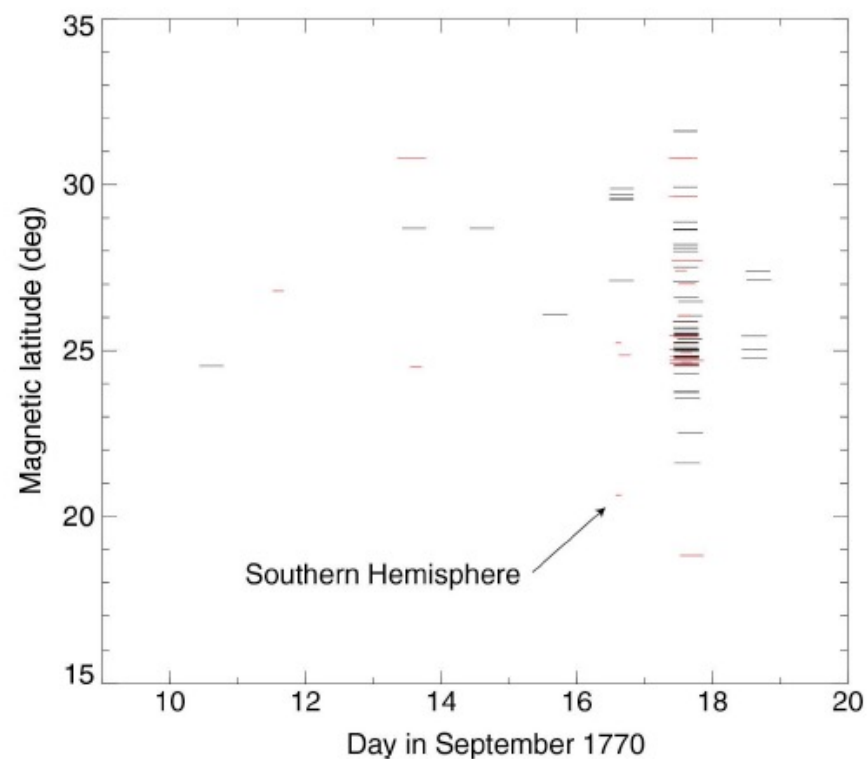


猿猴庵随観図会 国立国会図書館デジタルアーカイブ



日本全国および中国でオーロラが見られ、しかも1週間以上続いた。

オーロラ最南端は1859年の
キャリントンイベントより南

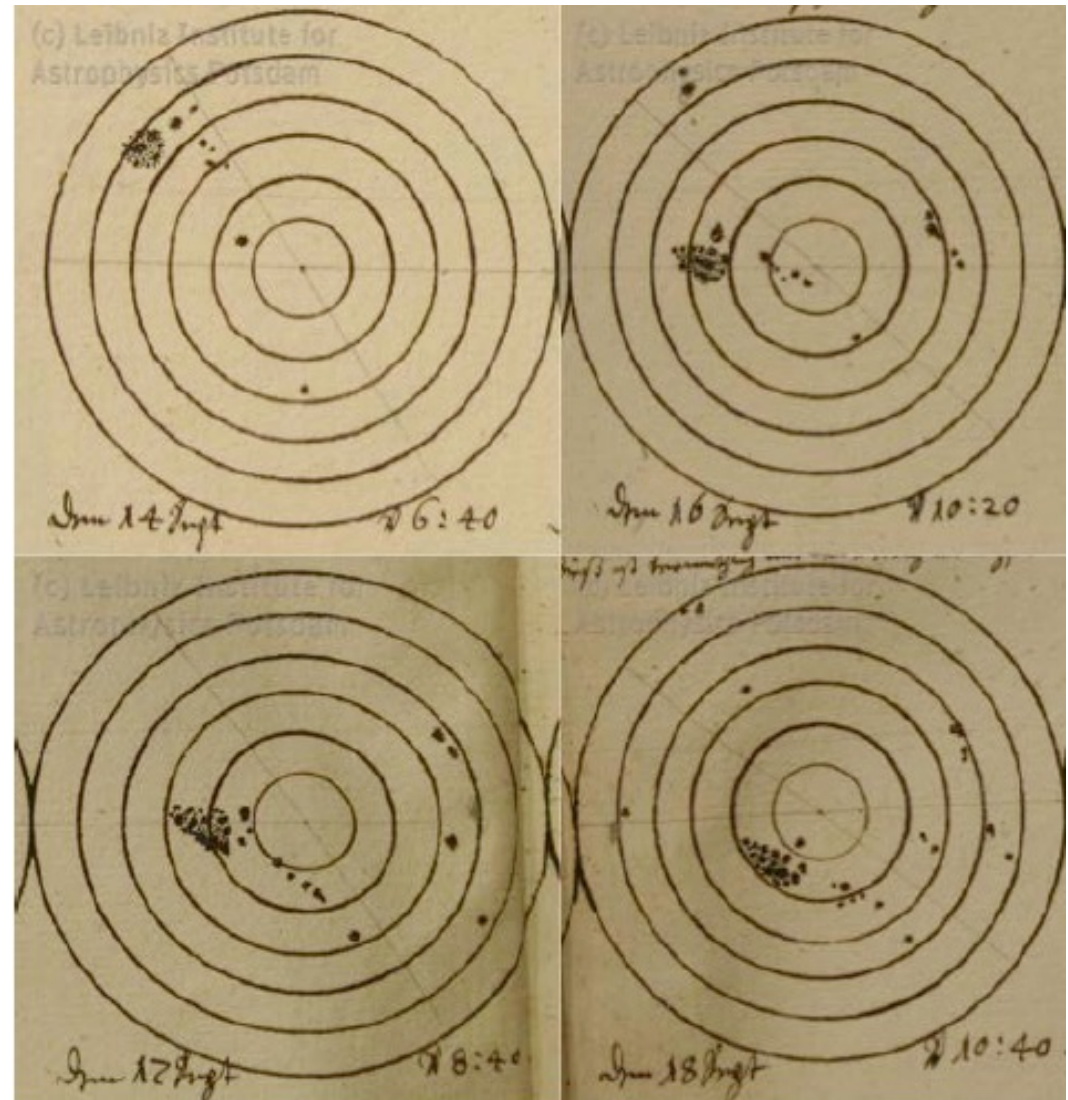


1770年9月に出ていた黒点

史上最大級の黒点が出ていたようだ。

少なくともキャリントンイベントと同程度かそれ以上のイベントは、100年に一回程度は起きるらしい。

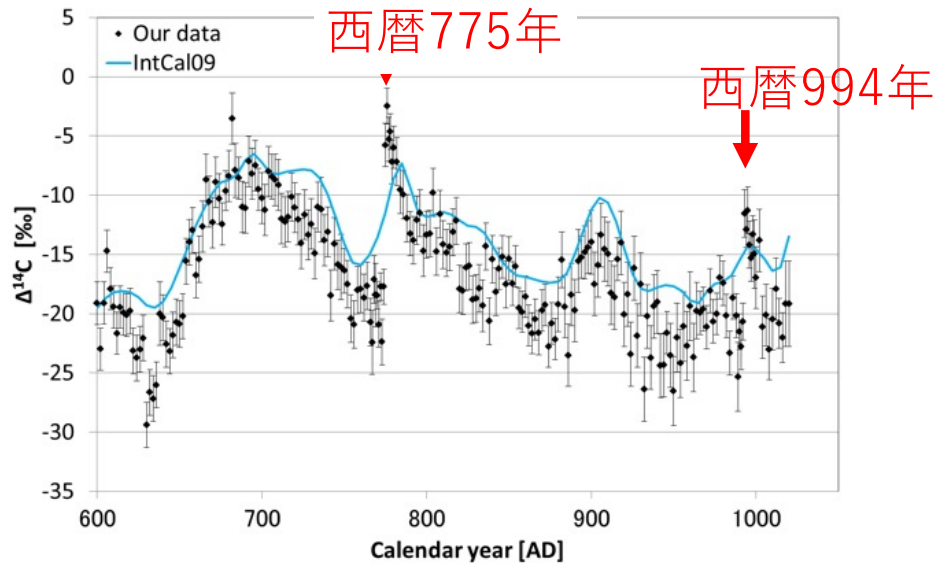
Sunspot drawings
spanning 14-18
September 1770 by
Johann Caspar
Staudacher (courtesy:
Leibniz-Institut für
Astrophysik in
Potsdam).



Hayakawa+2017

10世紀のスーパーフレアに伴うオーロラ？

Hayakawa et al. Sol. Phys., 292:12 (2017)



図省略

Miyake et al 2012 Nature, 2013 Sci. Rep.

992年12月MI（～993年1月）にかけて、朝鮮半島、アイルランド、そして大陸ヨーロッパ（Saxonian city）でオーロラの同時観測を発見。

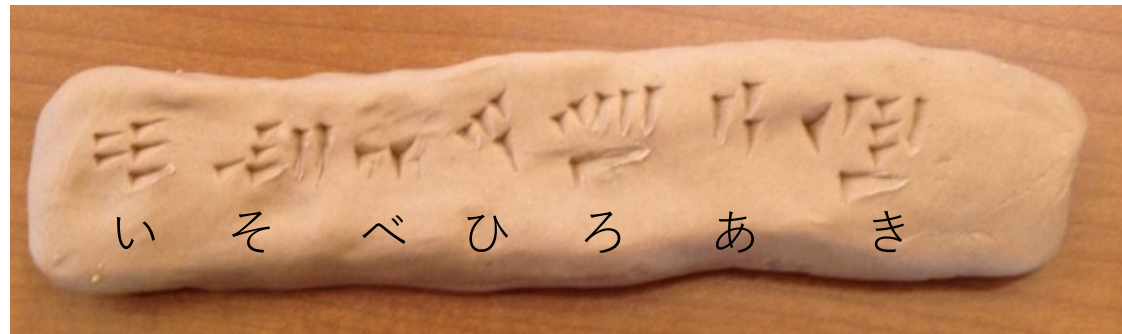
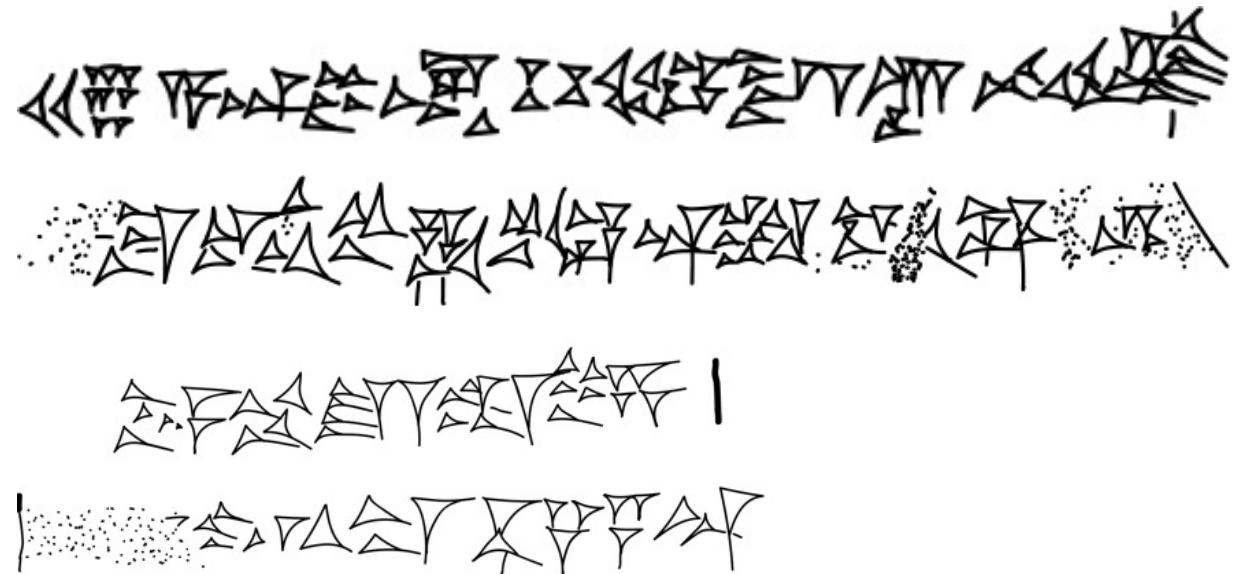
宇宙線で作られてから木に取り込まれるまでの時間を考慮すると、994年の宇宙線イベントの原因となる太陽フレアだった可能性がある。

日付が分かっている最古のオーロラ記録

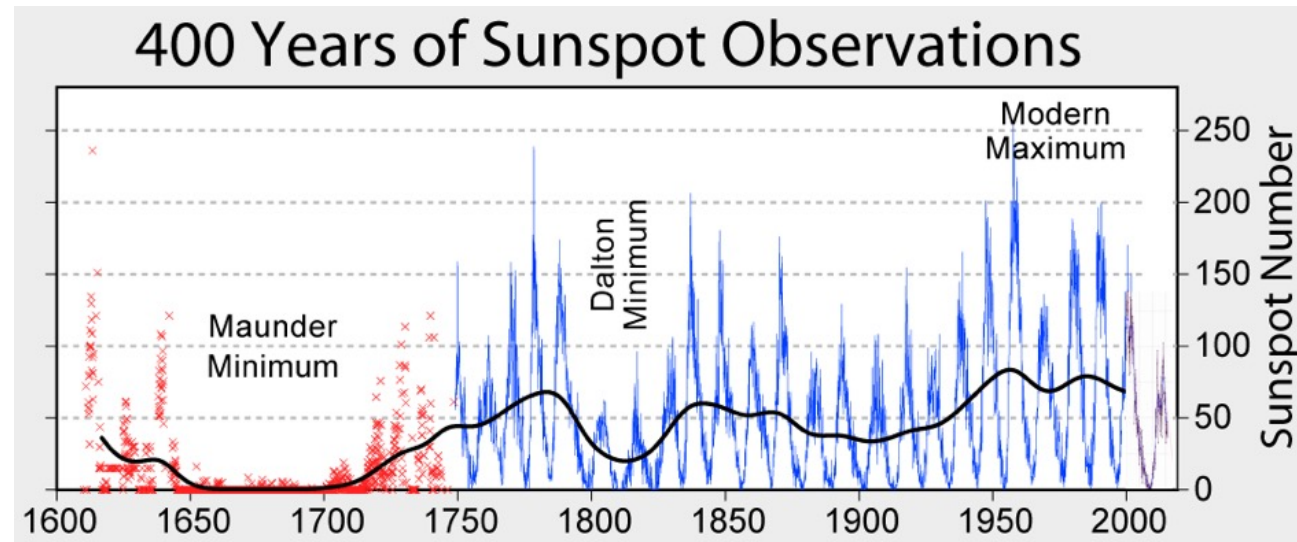
Hayakawa, Mitsuma, Kawamura, Miyahara, Ebihara, Tamazawa & Isobe, EPS, 68, 195
(2016)

バビロニア天文誌に、紀元前1～6
世紀のオーロラ記録を発見

図省略



マウンダーミニмумにも低緯度オーロラ？



1653年（承応二年）

嚴有院殿御實記

また近日下野国那須太田原の間に赤白の気を現ず。その様旗の如し。赤気は早く消えたりとぞ（尾張記、水戸記）

兗州府曹縣志

清順治（中略）十年癸巳二月三日夜四望火光燭天大小等時以為青燐云

無黒点の太陽でも起きうる静穏領域フィラメントが原因か？（Isobe et al. 2019）

歴史学と自然科学の協働について

- 歴史史料は自然現象・自然災害の記録の宝庫
- そもそも人々が正体を知らなかったオーロラの場合は、「オーロラである」という確定が難しい。一番重要なのは、遠く離れた2地点での同時観測（例：日本と中国、東洋と西洋）
- 史料から情報を読み取るには、史料の背景や文脈を熟知し、その信憑性を吟味できる歴史学者の知見が不可欠
- 史料に書かれた自然現象が実際にどのようなものであり得たのかの吟味には、自然科学者の知見が必要
- 歴史学と自然科学の互恵的な関係が重要



明月記に藤原定家が残したオーロラ記録 (Kataoka, Isobe et al. 2017, Space Weather)

定家の文学はその幻想性、虚構性の高さに知られていたが、意外に自然現象を丁寧かつ正確に記録していたことが分かった=>文学研究としての意義

天変地異に対する人々の反応



歴史学者との協働について

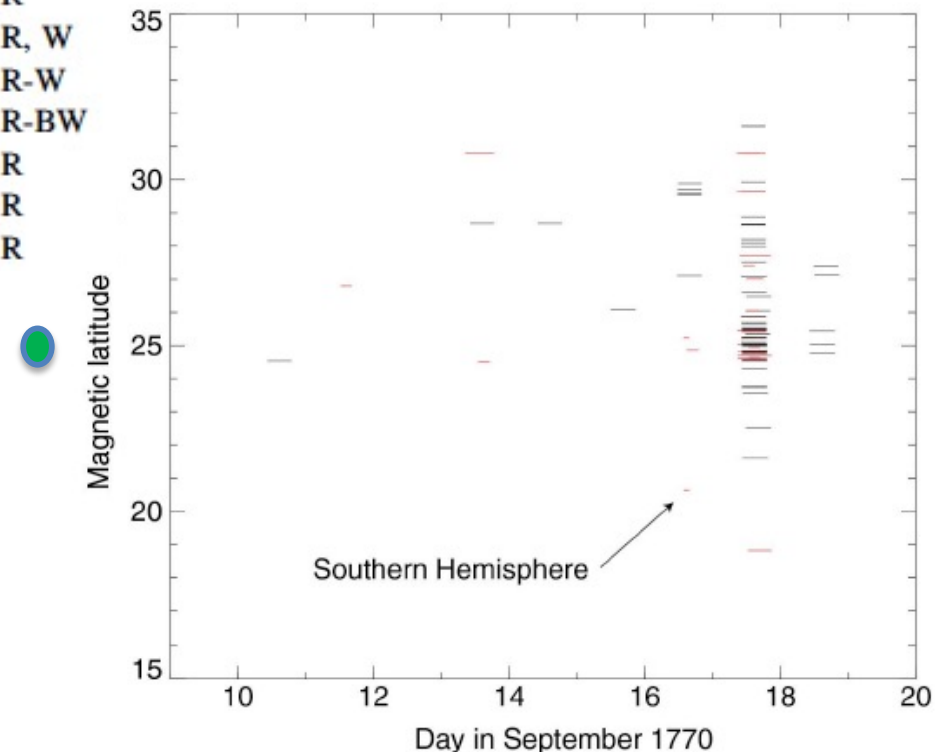
「近世史料にみるオーロラと人々の認識」 磯部洋明, 岩橋清美, 玉澤春史, 書物・出版と社会変容 25 1 – 35 (2020)

<https://hermes-ir.lib.hit-u.ac.jp/hermes/ir/re/70118/>

J090301	1770	Sep	3	R
J090302	1770	Sep	3	R
J090303	1770	Sep	3	
J090304	1770	Sep	3	R
J091001	1770	Sep	10	R
J091301	1770	Sep	13	R
J091302	1770	Sep	13	R
J091303	1770	Sep	13	
J091401	1770	Sep	14	
J091601	1770	Sep	16	R
J091602	1770	Sep	16	R, W
J091701	1770	Sep	17	R-W
J091702	1770	Sep	17	R-BW
J091703	1770	Sep	17	R
J091704	1770	Sep	17	R
J091705	1770	Sep	17	R

Aurora was visible for > a week
In China and Japan

The southernmost boundary
was lower in magnetic latitude
than the Carrington event



Indeed there were four aurora records on Sep 3. Real?

Hayakawa+2017

Sep 3 (旧暦七月十四日) aurora?

- 「当所年代記」平山日記(市立弘前図書館蔵) 青森県五所川原市
- (原文)七月十四日、紅氣北天より出、初は少々の義に候処、忽天中に満、わつかに南方十歩一はかり残り、天色如火、暮六ツ時より初り鶏鳴迄不止。諸人其驚候処、其后消申候
- 「永禄日記」明和7年条(市立弘前図書館所蔵)0276 青森県弘前市
- (原文)七月十四日紅氣北天より出、初ハ少々の義二候処、忽ち中天二満てわつか十歩一計残りて色火の如、暮六ツ時頃より始り鶏鳴間で不止諸人驚く。
- 「本藩明実録」(別名本藩事实集)(市立弘前図書館蔵)青森県弘前市
- (原文)一七月十四日、紅氣小天より出、少し儀二候処、忽中天に満、わつかに南方十分一計残り、天宮火之如く、暮六時頃より始り鶏鳴迄不止、諸人甚驚申候
- 「鳴海日記」(佐藤素子氏所蔵)宮城県古川市
- (原文)七月十四日、紅氣北天より出、初は少々の義に候処、忽中天満わつかに南方十分一計残り、天色如火、暮六ツ時より始り鶏鳴鳴迄不止、諸人甚驚
- (現代語訳)7月14日、紅氣が北の空に出る。初めは少しのことであつたが、忽ち空中に広がった。空の色は火事の様だった。午後6時頃より始まり明け方まで続いた。皆、驚いていたが、その後消えた。

The texts are almost identical. Three of them must be transcribed manuscript (写本) .

Sep 3 (旧暦七月十四日) aurora?

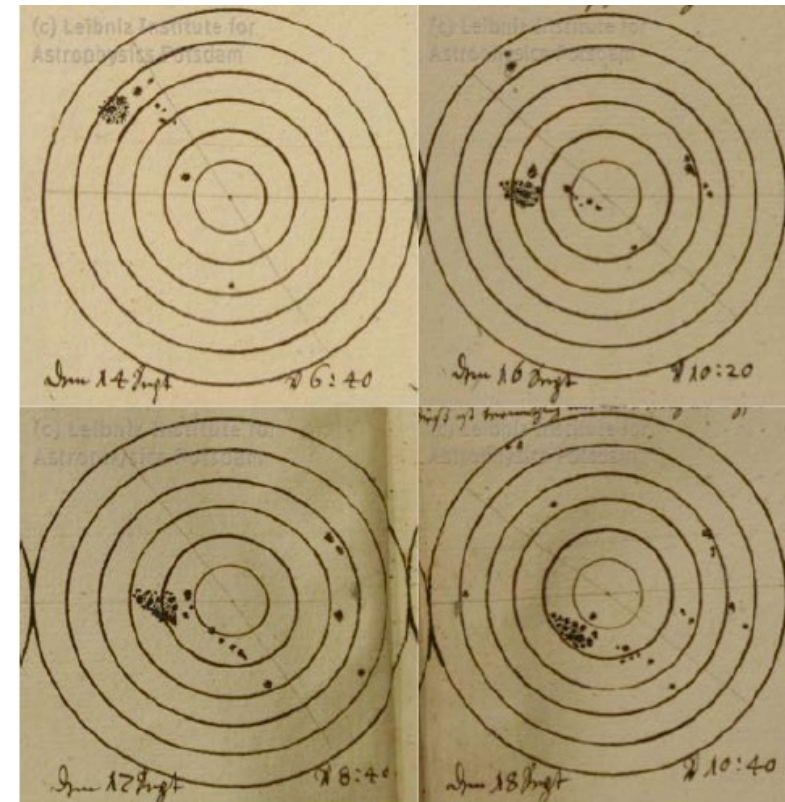
- 当所年代記 (平山日記)
- 永禄日記
- 本藩明実録
- 鳴海日記
- Philological analysis indicates that 本藩明実録 was edited by referring 永禄日記, but relationship between 永禄日記 and 平山日記 is not clear. 鳴海日記 is much newer.
- The first edition of 永禄日記 was earlier than 1770 Sep. The aurora record must be added later.
- There's no records of the main aurora on Sep 16-17, though weather was OK. It is likely that the date of this records was mis-transcribed from other source.
- From historian's viewpoint, the fact that the 1770 Sep aurora was documented every time the regional (藩の) history was edited indicates that the contemporary people regarded the aurora as an outstanding phenomena worth being documented.

How about Sep 25 aurora?

J091768	1770	Sep	17	R
J091769	1770	Sep	17	R
J091770	1770	Sep	17	R
J091801	1770	Sep	18	R-W
J091802	1770	Sep	18	five-color
J091803	1770	Sep	18	R
J092201	1770	Sep	22	R
<u>J092501</u>	<u>1770</u>	<u>Sep</u>	<u>25</u>	<u>R</u>
J100201	1770	Oct	2	R
J101601	1770	Oct	16	R-W-P

Assuming there was actually an aurora display on Sep 25, its driver eruption must have occurred around Sep 23~24.

The active region was near the disk center on 18 Sep, hence will be though very close to the west limb but remain on the disk on Sep 24.



Aurora record on Sep 25 (旧暦八月七日)

- 八月七日庚辰、亥刻、当西有赤気、**頗微**、愚紳
- この史料は権大納言柳原紀光が編纂した「続史愚抄」の明和七年八月七日条の部分
- 「続史愚抄」は正元元年（一二五九）から安永八年（一七七九）までの編年体の歴史書で、六国史を継承する意図をもって編纂されたもの
- 編纂者である紀光の日記「愚紳」が残されており、そこには以下のように記されている。
- 庚辰今夜亥終剋後西方有赤気、**頗薄**

- Original diary of Norimitsu:
- 庚辰今夜亥終剋後西方有赤気、**頗薄**
- 続史愚抄
- 八月七日庚辰、亥刻、当西有赤気、**頗微**、愚紳
- 時刻と明るさの表現に差異がある。発生時刻は日記のほうがより詳細ではほぼ二三時頃と確定できる。「亥終剋後」という部分の「終」の文字は後筆であることから、紀光がよりの的確に発生時刻を記録しようとしたことがわかる。色味について日記には「頗薄」とあるのに対し、『続史愚抄』には「頗微」と記されている。「薄」という表現はオーロラの赤みが薄いことを示すのに対し、「微」という表現を用いることで「薄暗い」あるいは「微光」という意味を加えることになり、よりオーロラの光を的確にとらえる表現になっている。

- 七月二八日(9月17日)の日記を見ると、紀光は「如夕陽甚、雖闇夜分人面」と記しており、オーロラの明るさに注目していた様子がわかる。つまり、『続史愚抄』編纂にあたり、紀光は七月二八日との比較から、「頗微」という表現を用いて、オーロラの光の明るさをより正確に表現したのである。
- また、この日（八月七日/9月25日）のオーロラについて興味深いのは、野宮晴定・広橋兼胤・土御門泰福といった七月二八日のオーロラを記述している公家の日記には記されていないことである。現時点の調査では八月四日のオーロラを記録した史料は『続史愚抄』と『愚紳』のみ。八月四日のオーロラ発生が科学的に実証できるとするならば、紀光の記録の信用性や彼自身の天文認識を分析するうえでも重要な意味をもつであろう。

歴史学者の興味(一例)

- 十世紀から十四世紀にかけては、記録者が貴族や寺社であり漢籍の教養があることから「赤気」・「白気」と記されることが多かった。
- 十七世紀に入るとオーロラを示す語彙は急激に増加する。これは史料の増加と記録者の社会階層の多様性によるものである。
- 廿八日今夜北方有赤気、始四時頃如見甚遠方之火事、其後九時頃至而、赤気甚大高而、其中多有白筋立登、其筋或消或現、其赤気漸広而、後及東西上及半天、至八時頃消矣、右之変諸国一同之由後日聞
- この史料は本居宣長が明和七年（一七七〇）七月二八日の日記に記したオーロラである。ここでは、オーロラ発生時間・発生後の変化・消滅時間を記録した上で、遠方の火事のように感じたことや、諸国でオーロラ見えていたという風聞情報を加えている。時刻の経過にともなうオーロラの変化の記述は、公家や神社の社家の日記にも共通するもので、まさに知識人の記録のあり方である。

- 庶民層にまで視野を広げてみると、必ずしも「赤気」という語彙が使われたわけではない。最も多いのは「赤い」という表現で、「五光之筋」「奇雲」「赤筋」など様々。オーロラの形状についても、「鰯の鎗」「扇の骨の如く中に白き気まじはれり」、「扇の地紙之如く赤、骨のごとく中に白キ気交り」といった表現が見られる。
- 漢籍においてオーロラを示すといわれる「赤気」「白気」は知識人の常識であり、近世社会に広く認識された語彙ではないため、観測者は自己の教養に基づき、身近な言葉でそれを表現しようとしたところに特徴がある。

今日の内容

- プラズマ実験室としての太陽
 - 磁気リコネクションと粒子加速
 - 彩層ーコロナと電離圏-磁気圏



COMPARATIVE STUDY OF FLARES AND SUBSTORMS

T. Terasawa¹, K. Shibata², and M. Scholer³

¹*Dept. of Earth and Planetary Physics, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*

²*National Astronomical Observatory, Mitaka, Tokyo 181, Japan*

³*Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, 85740 Garching, Germany*

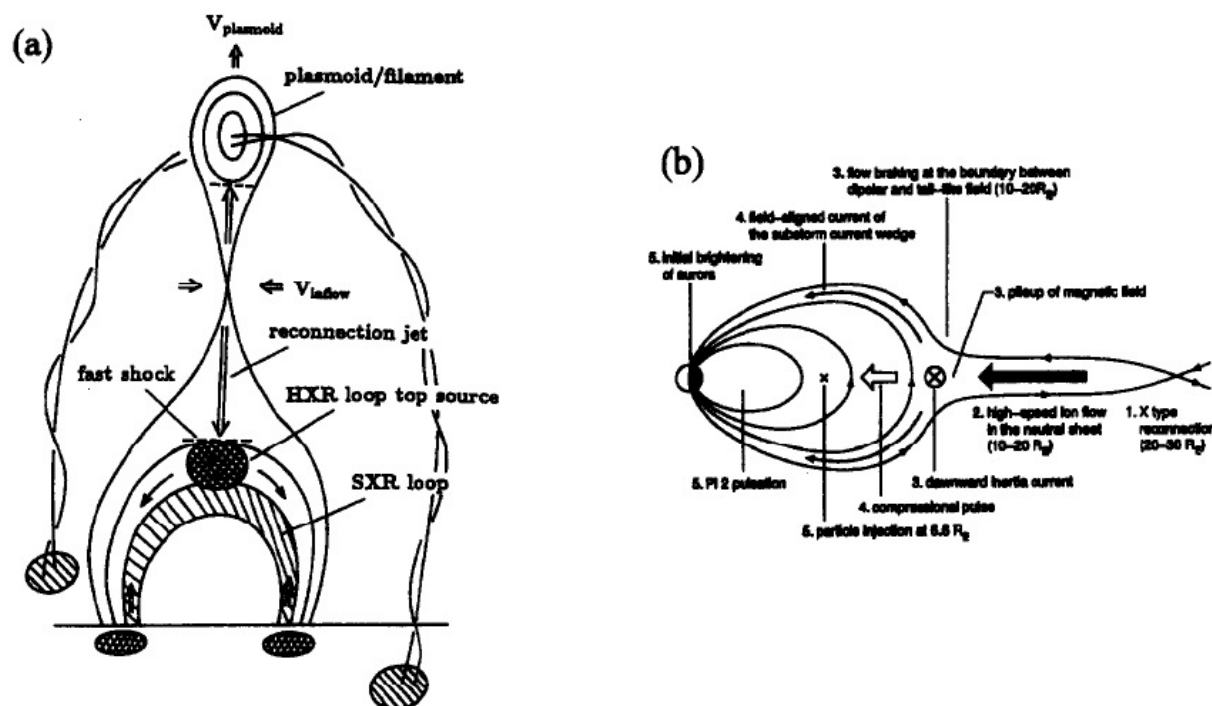
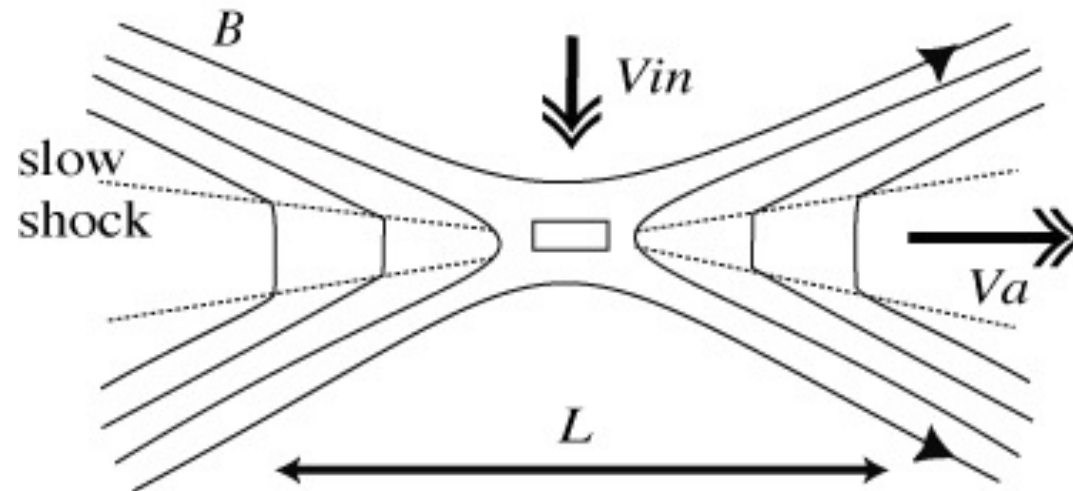


Fig. 1. Expected structures of reconnection regions of (a) (left) solar flares (Shibata et al., 1995), and (b) (right) magnetospheric substorms (Shiokawa et al., 1998).

Magnetic reconnection in solar physics



“In solar physics, reconnection is used as a synonym for energy release”

(H. Hudson 2006, at Harry Petschek Symposium on Magnetic Reconnection)

Magnetic reconnection in astrophysics

Uzdensky (2006, astro-ph/0607656)

... the most important reconnection mechanism in Astrophysics invokes waves, a certain type of waves, in fact. Called handwaves (See Fig 1).

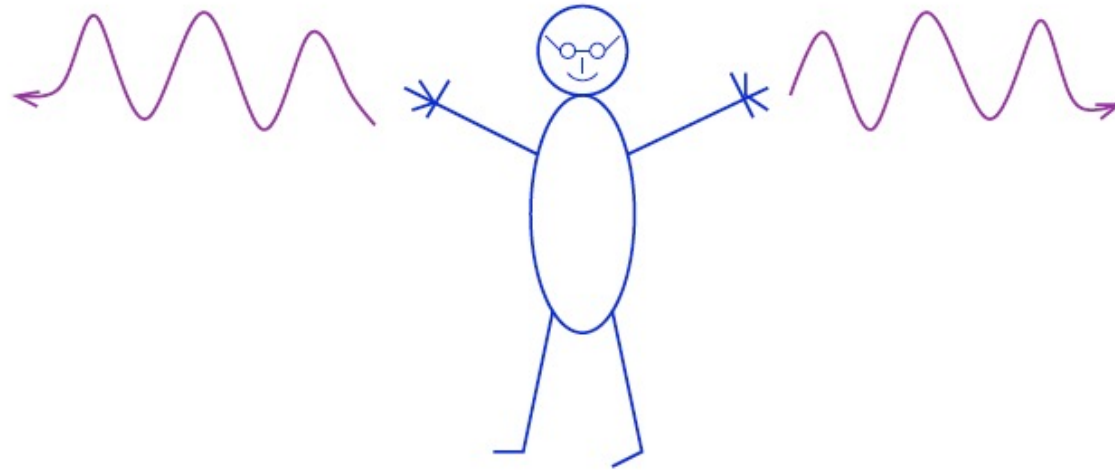
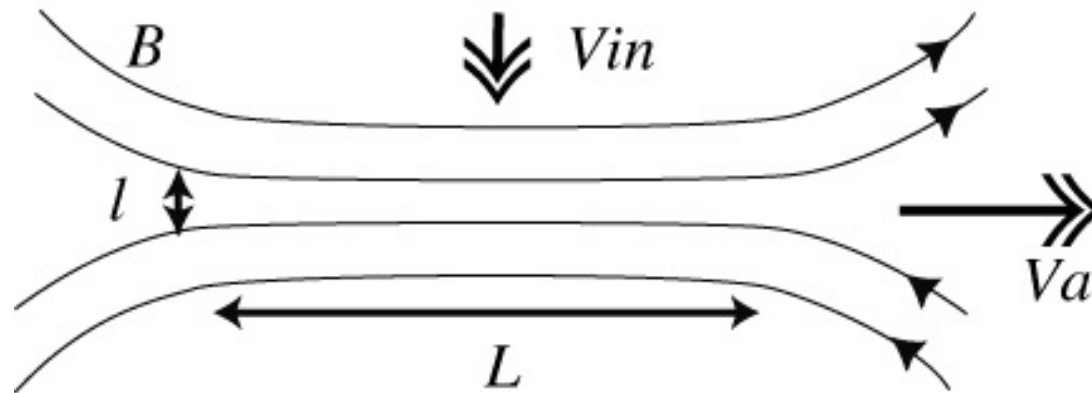


Fig. 1.— Main Reconnection Mechanism in Astrophysics.

The mechanism works like this: *Well, we know that fast reconnection happens in the Solar corona, and in the Earth magnetosphere. So it should also happen in OUR astrophysical system.*

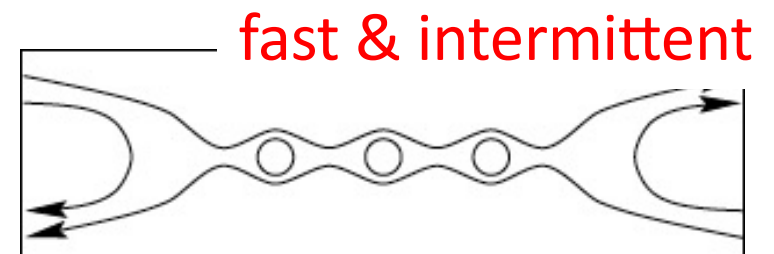
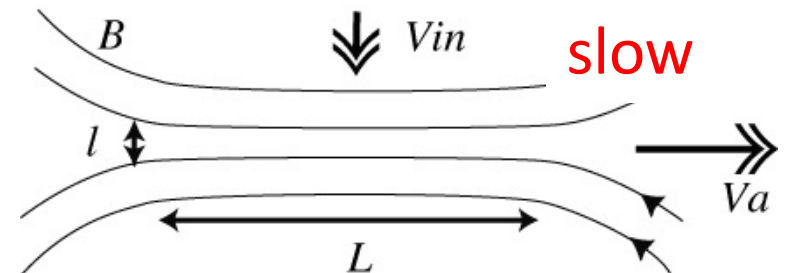
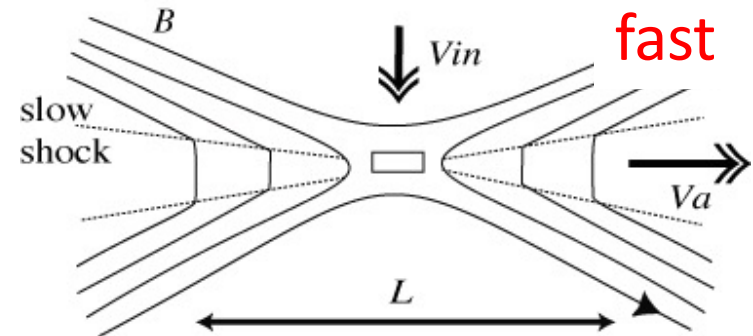
What is the problem?

- Magnetic energy must be released very rapidly ($\sim$ dynamical time scale $\sim L/V_A$) while collisional resistivity is very small.
- Simple diffusion: $\tau \sim L^2/\eta \sim 1\text{M year}$
- Sweet-Parker reconnection: $\tau \sim L/V_{SP} = (L/V_A)(LV_A/\eta)^{0.5} \sim 1\text{ year}$



Fast MHD reconnection

- If resistivity is (somehow) localized, Petschek-type configuration (with slow shock) develops and reconnection is fast ($V_{in} \sim 0.1V_A$)
- If resistivity is uniform, reconnection is S-P type and therefore slow.
- Secondary tearing, plasmoid ejection and intermittent fast reconnection if $(LV_A/\eta > 10^4)$

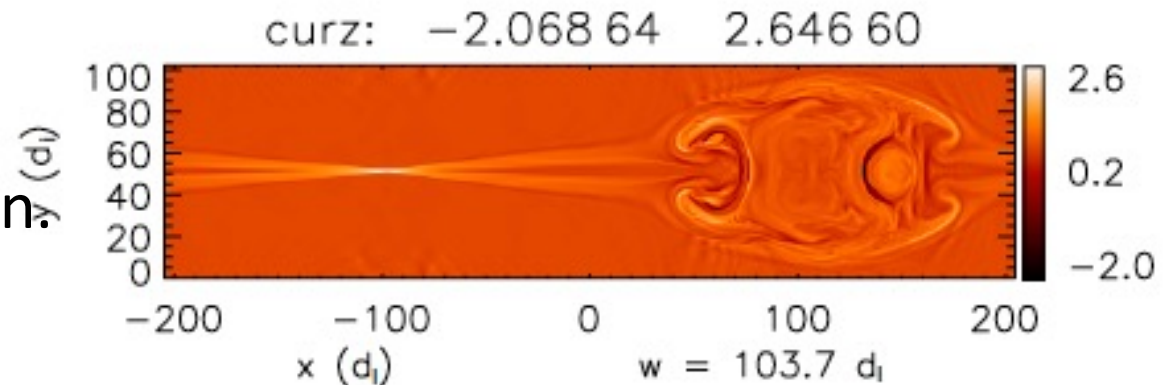


Non-MHD regime

- Hall-effect (or other kinetic instabilities) becomes important when current sheet width is smaller than ion inertia length c/ω_{pi}
- Hall reconnection produce Petschek-like configuration and fast reconnection

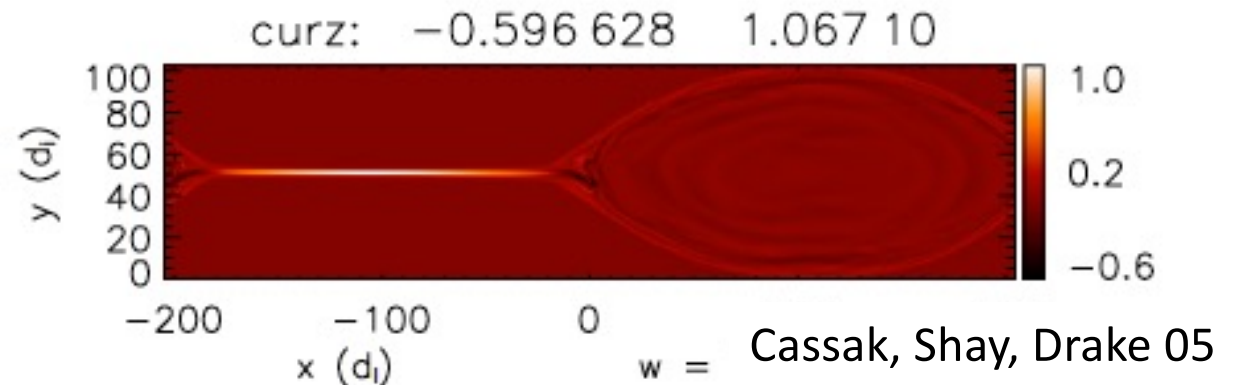
$$w < c/\omega_{pi}$$

Petschek-type Hall recon.



$$w > c/\omega_{pi}$$

S-P type slow recon.



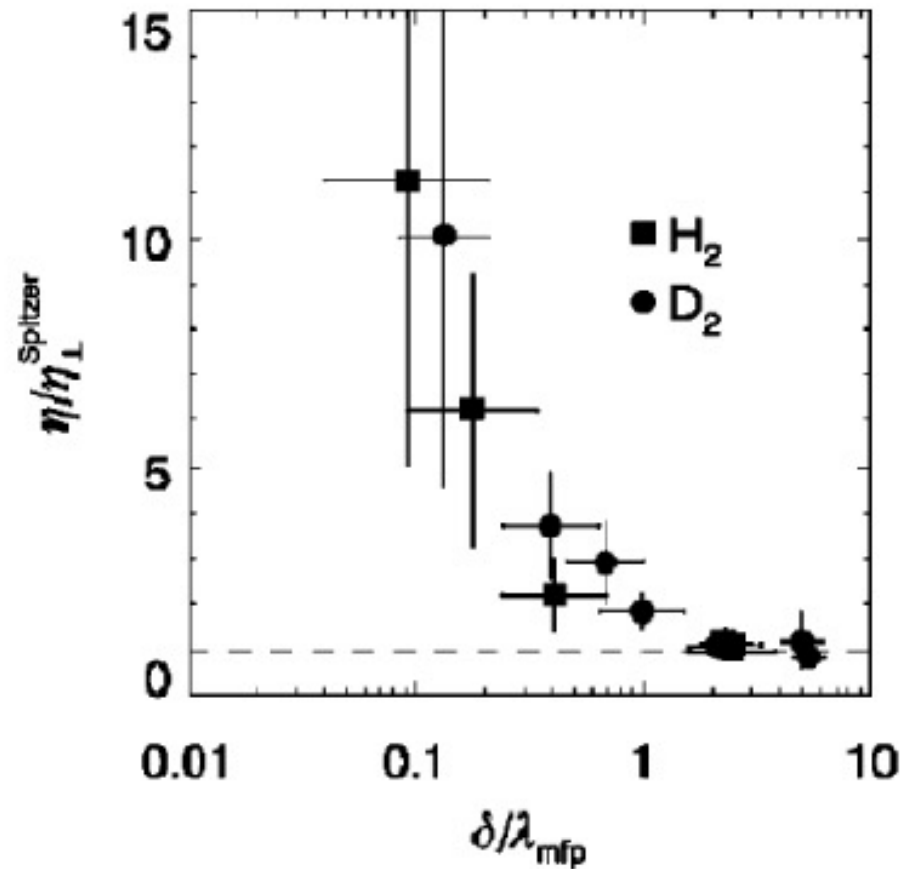
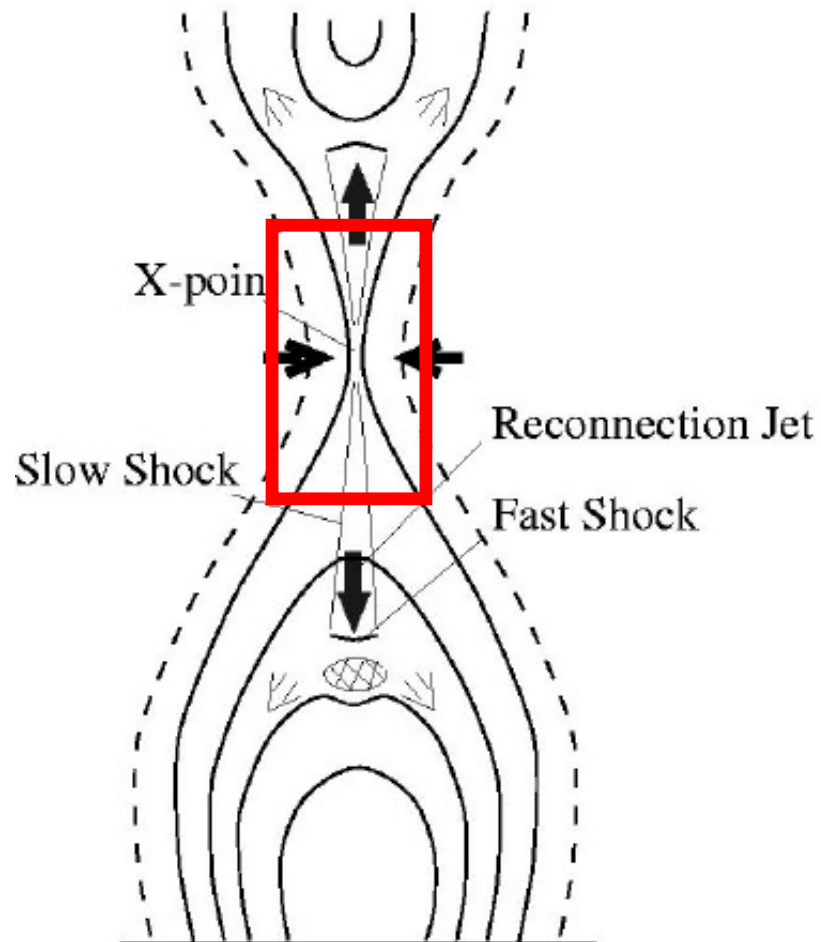


図 4 : MRX 実験で測定された実効的な電気抵抗と拡散領域の幅の関係 : Trintchouk, F., Yamada, M., Ji, H., Kulsrud, R.M., and Carter, T.A., Phys. Plasmas 10 (2003) 319-322 より許可を得て転載. Copyright [2003], American Institute of Physics.

“Scale-gap” problem



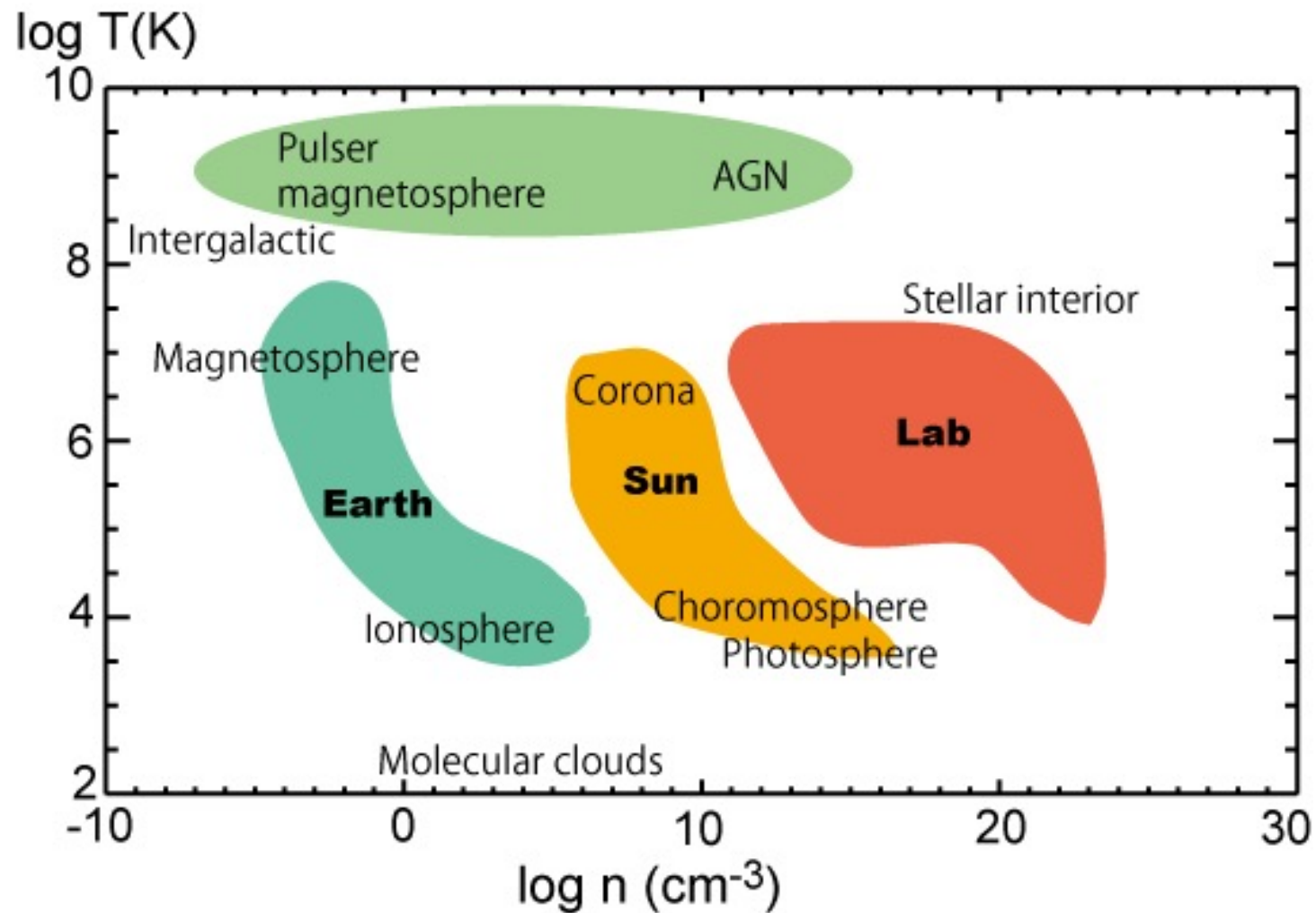
- c / ω_{pi} in corona $\sim 10^2$ cm
- Spatial size of flare $\sim 10^9$ cm

How to fill
the 7-orders gap?

Table 1. Comparison of Typical Physical Parameters between
Solar Corona (Active region) and Earth's Magnetotail (Plasma Sheet)

Physical Quantities	Solar Corona	Magnetotail
temperature (K)	2×10^6	$10^7 - 10^8$ K
particle number density (cm^{-3})	10^{10}	0.01–0.1
magnetic field strength (G)	100	$10^{-5} - 10^{-4}$
Alfven speed (cm/s)	$\sim 3 \times 10^8$	$(1 - 2) \times 10^8$
sound speed (cm/s)	$\sim 0.2 \times 10^8$	$(0.5 - 1) \times 10^8$
plasma beta ($\beta = p_{\text{gas}}/p_{\text{mag}}$)	~ 0.01	$10^{-1} - 10^3$ (plasma sheet) $10^{-4} - 10^{-1}$ (lobe)
ion gyro radius (cm)	10	several $\times 10^7$
electron gyro frequency (Hz)	4×10^9	$10^2 - 10^3$
plasma frequency (Hz)	5×10^9	10^3
magnetic Reynolds number	10^{12}	$> 10^{12}$
characteristic size (cm)	several $\times 10^9$	several $\times 10^9$
released energy (erg)	$10^{29} - 10^{32}$	$10^{22} - 10^{23}$

Plasmas in the universe



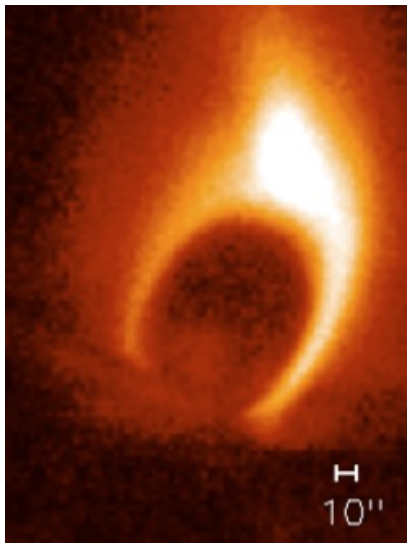
磁気リコネクションに伴う粒子加速 の比較研究

磯部洋明(京大)、今田晋輔(ISAS)、
岡光夫(アラバマ大)

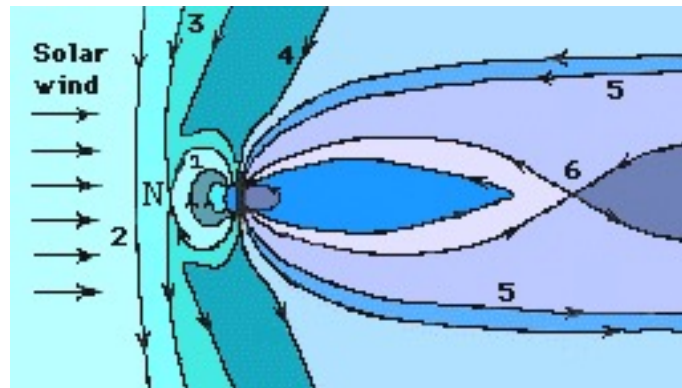
*2009年当時

研究の目的

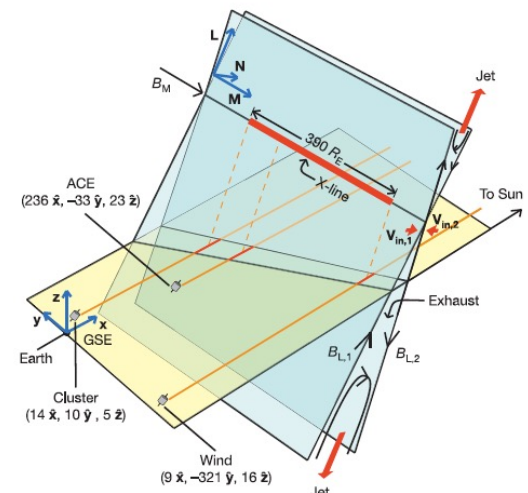
- 磁気リコネクション、粒子加速は太陽、惑星間空間、地球磁気圏に共通の物理素過程
- プラズマパラメータは、似ているものもある異なるものもある
 - 近いものの例: アルフベン速度 ($\sim 1000 \text{ km/s}$)、サイズ ($\sim 10^5 \text{ km}$)
 - 全く異なるものの例: イオン慣性長 (太陽 $\sim 1 \text{ m}$ 、磁気圏 $\sim 1000 \text{ km}$)
- 観測データに基づく定量的な比較研究から物理を引き出す
- 物理が分からなくても経験則が出せれば宇宙天気予報には使える



太陽フレア



磁気圏

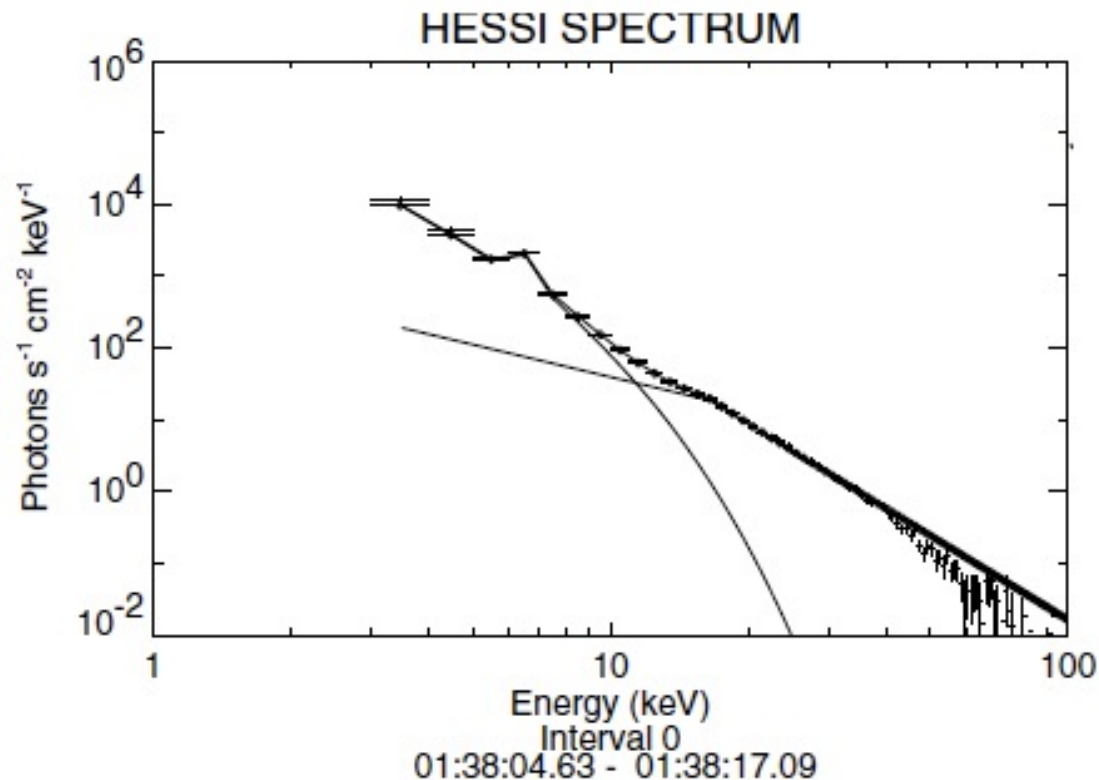


太陽風

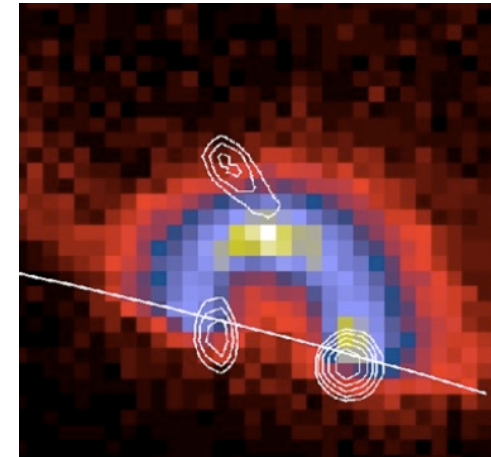
Non-thermal electrons in solar flares

Masuda et al. 1994

HXR from brems of high-energy electrons
and ions



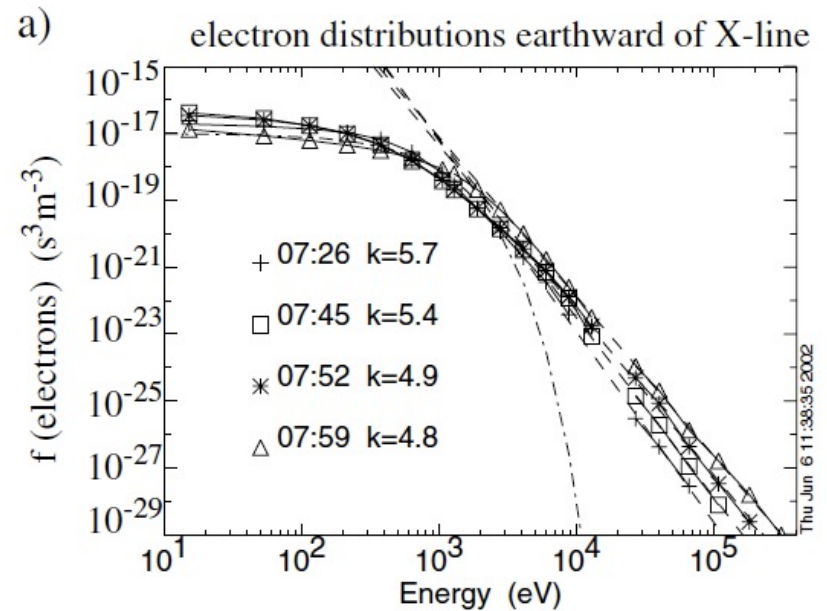
M1クラスフレアの硬X線スペクトル
(Saint-Hilaire & Benz 2005)



- We evaluate the efficiency of acceleration by the ratio of $E > 10 k_B T$ non-thermal electrons to thermal energy

Energetic electrons in magnetotail

- Oieroset et al. (2002, WIND)
 - Thermal $k_B T \approx 0.4$ keV、
 - Power law index ≈ 4.8
 - Ratio of non-thermal $\approx 13\%$
 - Ratio of $E > 10kT \approx 0.5\%$
- Hoshino et al. (2001, GEOTAIL)
 - Thermal $k_B T \approx 3.2$ keV、
 - Power law index ≈ 5.1
 - Ratio of non-thermal $\approx 10\%$
 - Ratio of $E > 10k \approx 1.4\%$



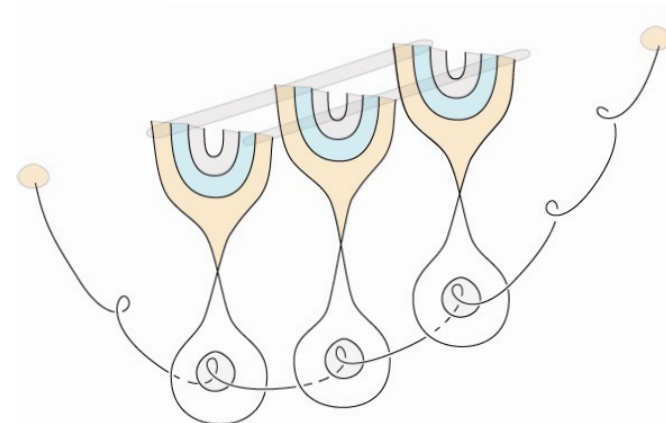
Electron acceleration associated with reconnection-related events

- Solar flare : non-thermal electrons (a few 10keV $\sim$ MeV)
- Solar giant arcade (no energetic electrons?)
- Magnetotail: non-thermal electrons (10keV $\sim$ MeV)
- Solar wind : no energetic electrons found (Phan, Gosling)

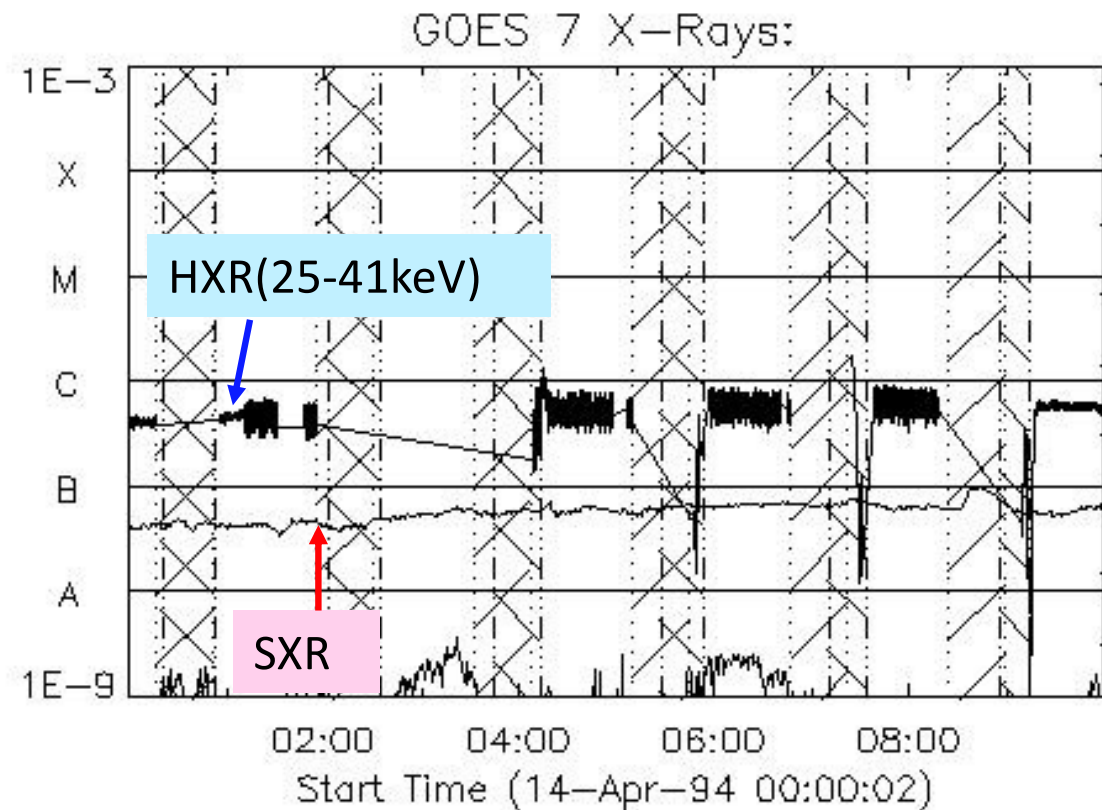
Giant arcade in quiet sun



- Physics is same as flares
- size $\sim 10^{11}$ cm
- $T \sim 3$ MK
- density $\sim 3 \times 10^8$ /cc
- total energy $\sim 10^{31}$ erg
- duration $\sim 3 \times 10^4$ s
- no HXR found



HXR from quiet sun



- No significant signal => upper limit of the ratio of energy carried by electrons with $E > 10k_B T$ 0.3%
- Electron acceleration ratio of quiet sun arcade is the same as or less than that in magnetotail

What determines the acceleration?

- Magnetic field ?

- Flare $\approx 10^{-2}\text{T}$
- Quiet sun arcade $\approx 10^{-3}\text{T}$
- Magnetosphere $\approx 10^{-8}\text{T}$
- Solar wind $\approx 10^{-8}\text{T}$

Observed acceleration efficiency

flare>magnetotail $\geq$ QS>wind

Magnetic field, electric field, potential
drops cannot explain observation

- $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$ electric field ?

- Flare $\approx 100\text{ V/m}$
- Quiet sun arcade $\approx 10\text{V/m}$
- magnetotail $\approx 0.01\text{V/m}$
- solar wind $\approx 0.0003\text{V/m}$

Parameter

(Yellow : magnetotail > QS、Blue : arcade > magnetotail)

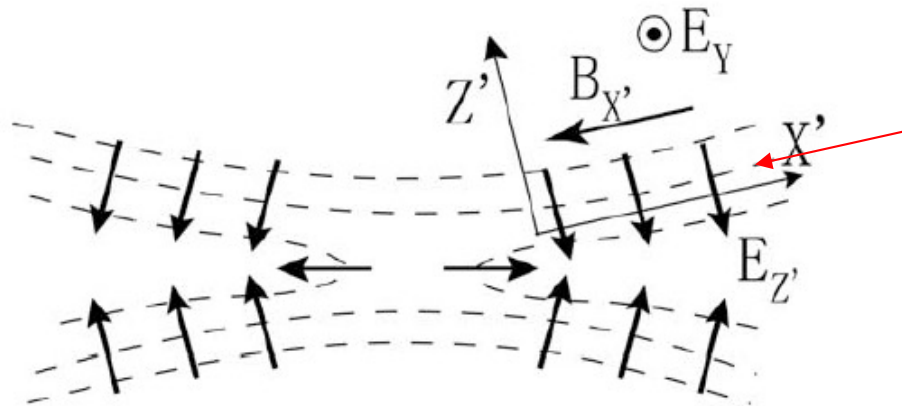
	フレア	巨大アーケード磁気圏	惑星間空間	
B(G)	50	5	3.E-04	1.E-04
n(個/cc)	1.E+09	1.E+08	0.01	1.E+0
Te(K)	3.E+06	1.E+06	1.E+05	1.E+0
L(km)	5.E+04	2.E+05	2.E+05	2.E+0
M_A	0.05	0.05	0.05	0.05
VxB電場(V/m)	800	30	0.01	3.E-05
慣性長(m)	5	20	2.E+06	7.E+0
プラズマ振動数(Hz)	2.E+09	5.E+07	5.E+03	2.E+0
電子サイクロトロン振動数	8.E+08	8.E+07	5.E+03	2.E+0
イオンサイクロトロン振動数(Hz)	5.E+05	5.E+04	3	1
平均自由行程 (m)	1.E+04	1.E+04	1.E+12	1.E+0
電子ラーモア半径(cm)	0.8	4	2.E+04	7.E+0
イオンラーモア半径(cm)	30	200	1.E+06	3.E+0
アルフベン速度(km/s)	3000	1000	5000	100
サイクロトロン／プラズマ振動数	0.5	0.15	1	0.01
プラズマベータ	0.01	0.05	0.0001	1
電位差（電場x長さ）(V)	4.E+10	5.E+09	2.E+06	1.E+0
電場xラーモア半径(V)	6	1	2.5	0.02
電場x平均自由行程(V)	8.E+06	3.E+05	1.E+10	4.E+0
ポインティングフラックス(J/m^2/s)	3.E+06	1.E+04	2.E-04	2.E-07
E/Ed	8.E+06	9.E+05	3.E+11	1.E+0
ドライサ電場Ed (V/m)	1.E-04	3.E-05	3.E-14	3.E-11

磁気圏＞静穏領域アーケードと矛盾のない パラメータは何か？

- 電場、磁場、電位差...ダメ
- アルフベン速度(サイクロトロン振動数とプラズマ振動数の比)...OK
- 電場×ラーモア半径...OK
- ただし考慮されていない(観測できてない)パラメータはまだ多くある
 - 拡散領域、アウトフロー領域の構造
 - 波動-粒子相互作用
 - そもそも同じメカニズムか？
- これらのパラメータが粒子加速を決めていると仮定して、理論的な根拠を検討

理論解釈1: アルフベン速度(周波数比)

- $V_A/c = (\omega_c/\omega_p) = \text{サイクロトロン振動数} / \text{プラズマ振動数}$
- サーフィン加速? (Hoshino 2005)



分極電場で粒子をトラップし、 $V \times B$ 電場で加速

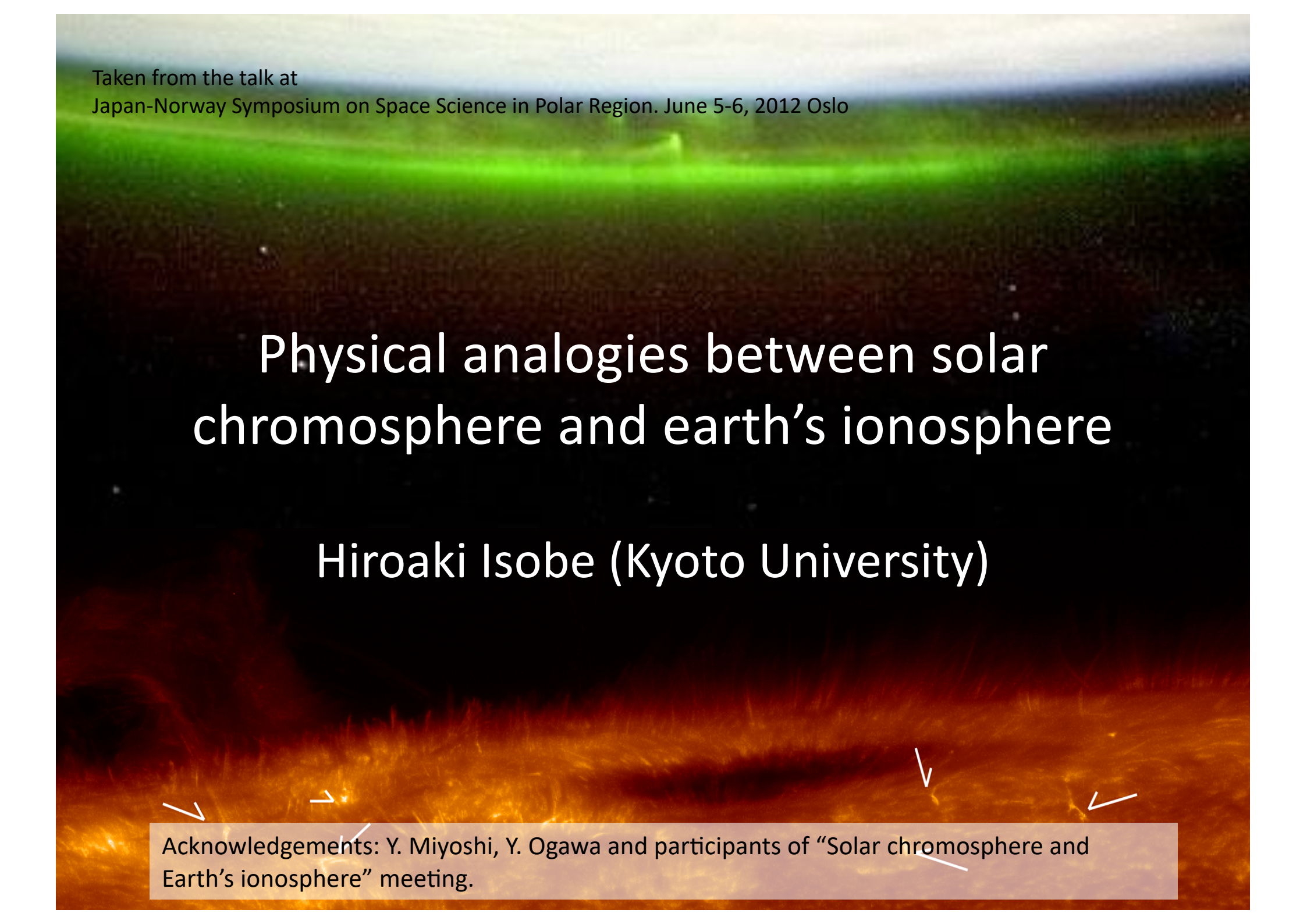
- 分極電場の大きさは周波数比に比例

$$\frac{E_p}{B_0} \sim \frac{\phi}{lB_0} \sim \left(\frac{\omega_{ce}}{\omega_{pe}} \right) \left(\frac{c}{l\sqrt{\omega_{pe}\omega_{pi}}} \right) \left(\frac{m_e}{m_i} \right)^{1/4}$$

- $V_A^2 \propto B^2/n$... 単に粒子1個あたりの磁場エネルギーで決まっているのかも?

理論解釈2: 電場xラーモア半径 ($E r_g$)

- 磁場の周りを半周する間に電場に沿って長く走れる？(しかし $E r_g \approx 1V$)
 - ラーモア半径 $\geq$ 磁場の曲率半径 R_k なら、粒子の運動が非断熱的になり加速されやすい
 - $E r_g / R_k$ が重要か？
-
- いずれの場合も、加速全体ではなく、2段階目以降の加速メカニズムへのインジェクション(初期加速／加熱)に効いている可能性もある



Taken from the talk at
Japan-Norway Symposium on Space Science in Polar Region. June 5-6, 2012 Oslo

Physical analogies between solar chromosphere and earth's ionosphere

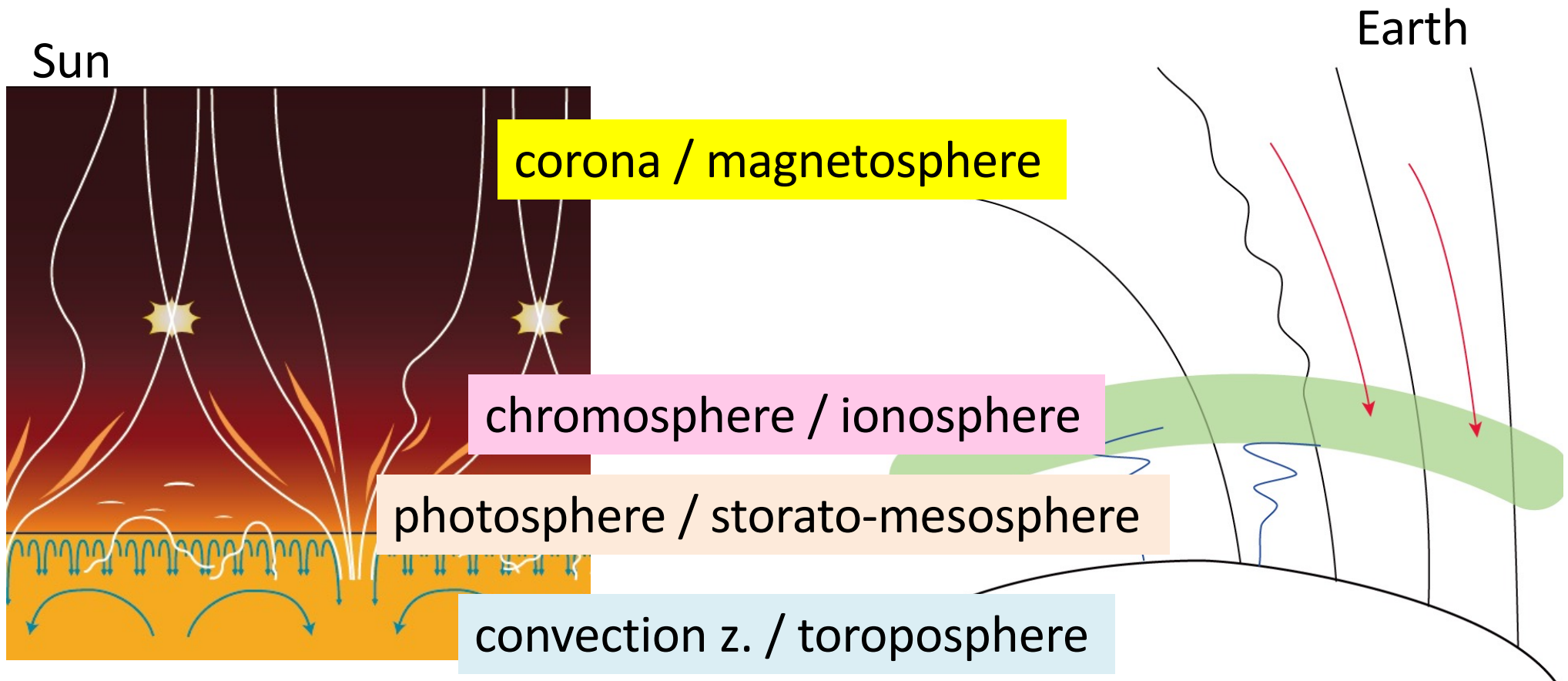
Hiroaki Isobe (Kyoto University)

Acknowledgements: Y. Miyoshi, Y. Ogawa and participants of "Solar chromosphere and Earth's ionosphere" meeting.

Why chromosphere is important

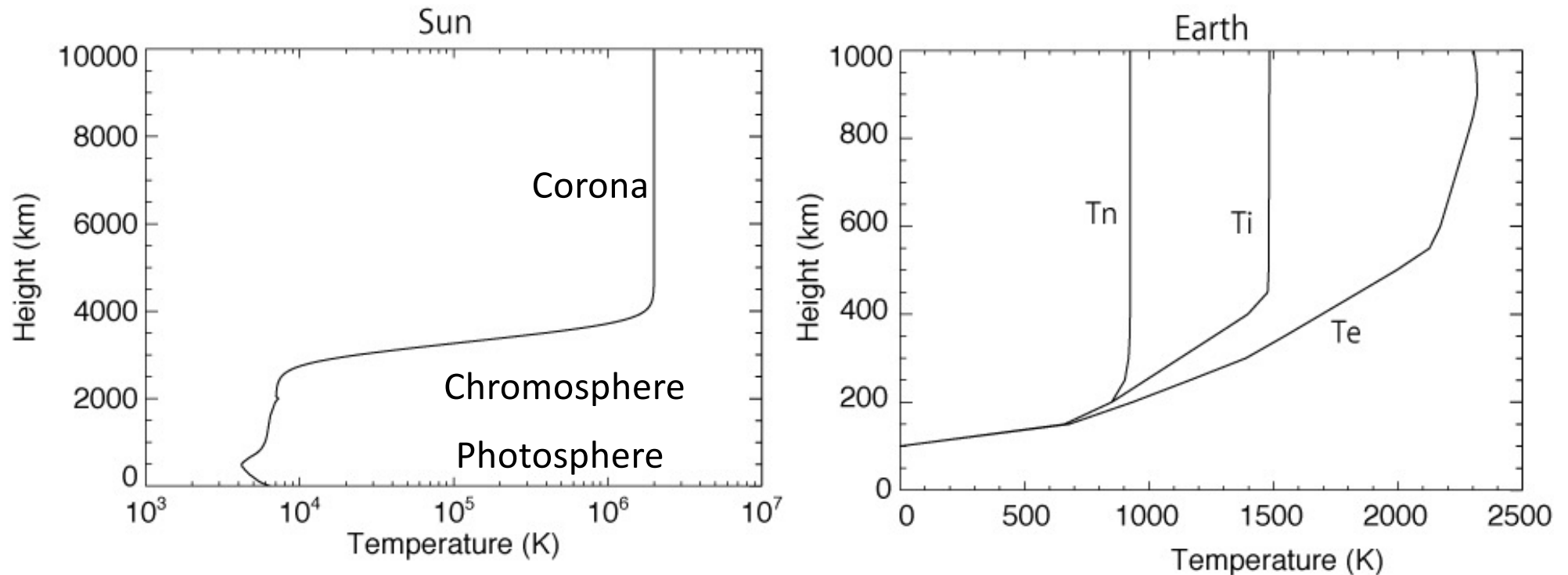
- Intrinsically interesting
- Path of mass and energy to corona, solar wind, and thus heliosphere
- Origin of UV radiation that affects upper atmosphere of Earth
- Unique laboratory of weakly ionized plasma also relevant to molecular cloud, protoplanetary discs and ionosphere

Similarity of chromosphere and ionosphere



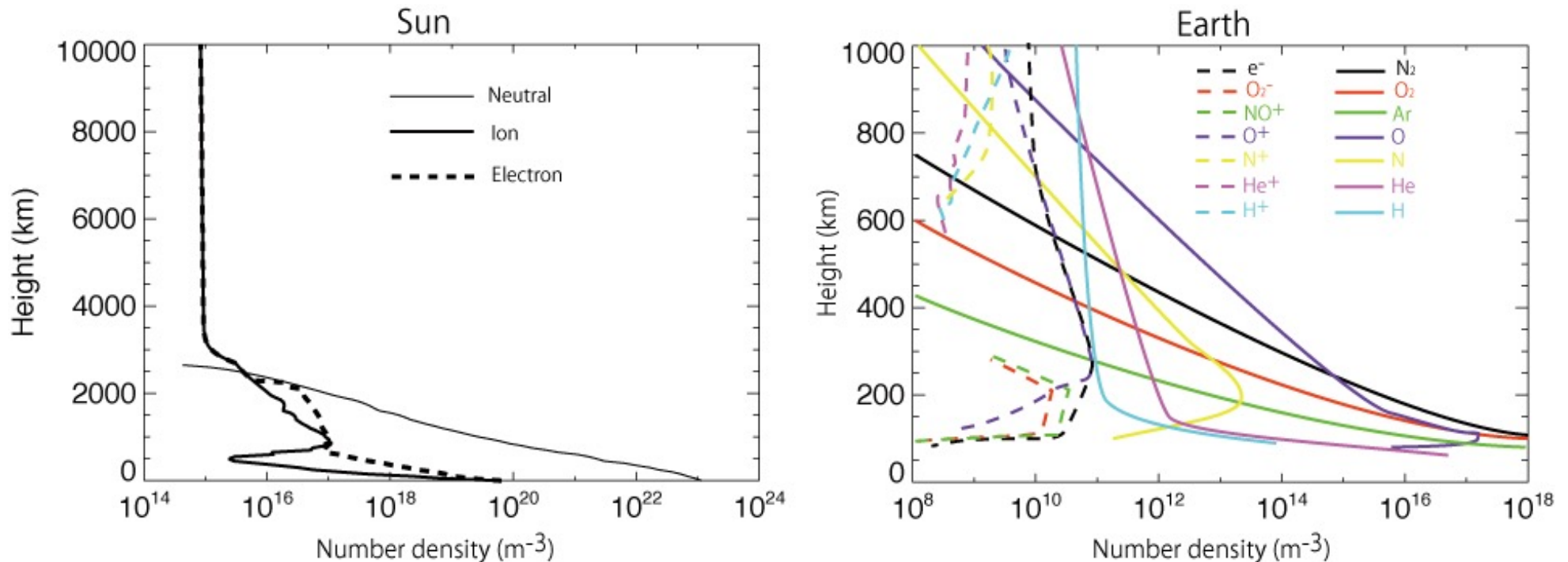
- Interface layer between tenuous, magnetically dominant region above and convecting layer below
- Coupling with other regions by magnetic field and waves
- Gravitationally stratified
- Weakly ionized. Neutral/plasma interaction important

Temperature profile



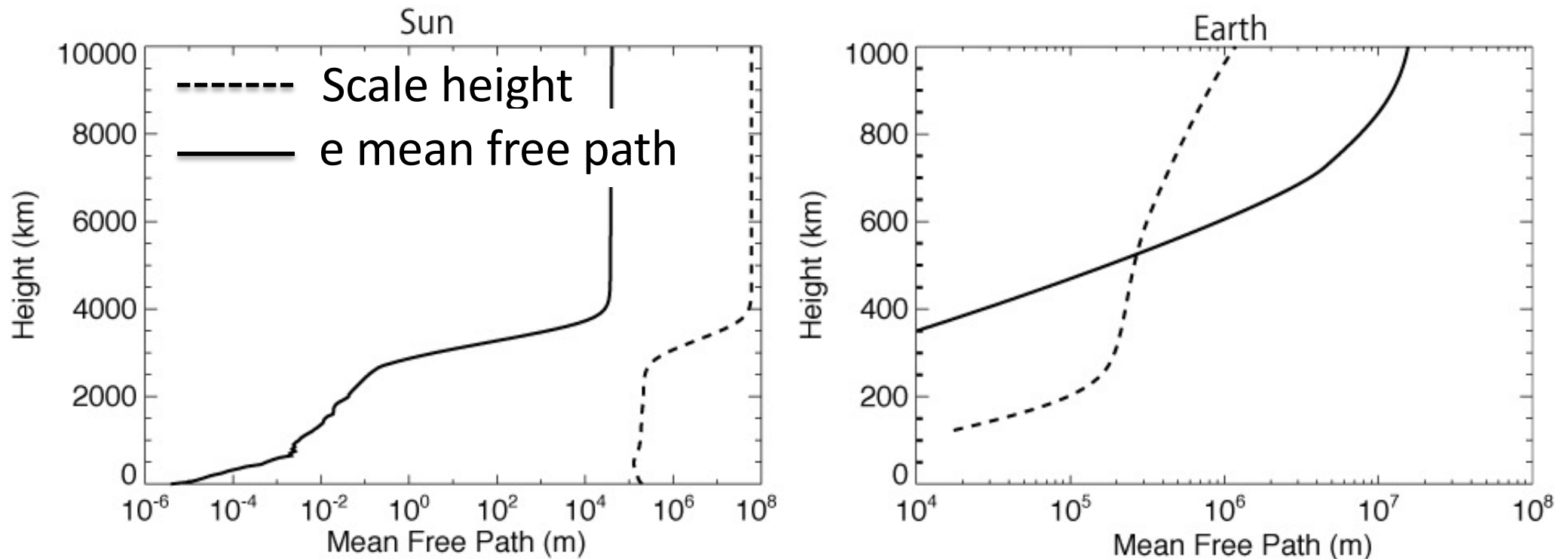
- $T_n \sim T_i \sim T_e$ in solar atmosphere because of collisional relaxation.

Density profile



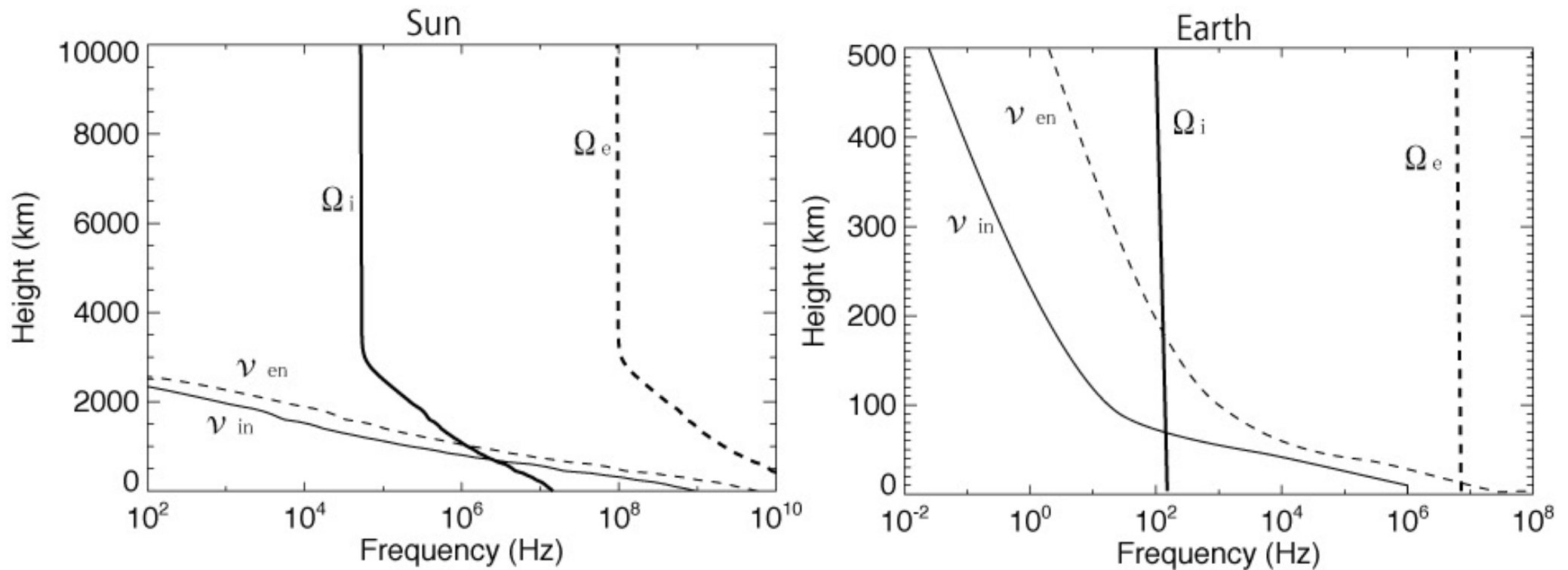
- Strong stratification: density drops many orders of magnitude.
- Weakly ionized (ionization fraction $\ll 1$).
- In ionosphere, Dominant ion species change as a function of height.
- In the sun, $\text{H} \sim 90\%$, $\text{He} \sim 10\%$ (number density) and little others.

Collisionality



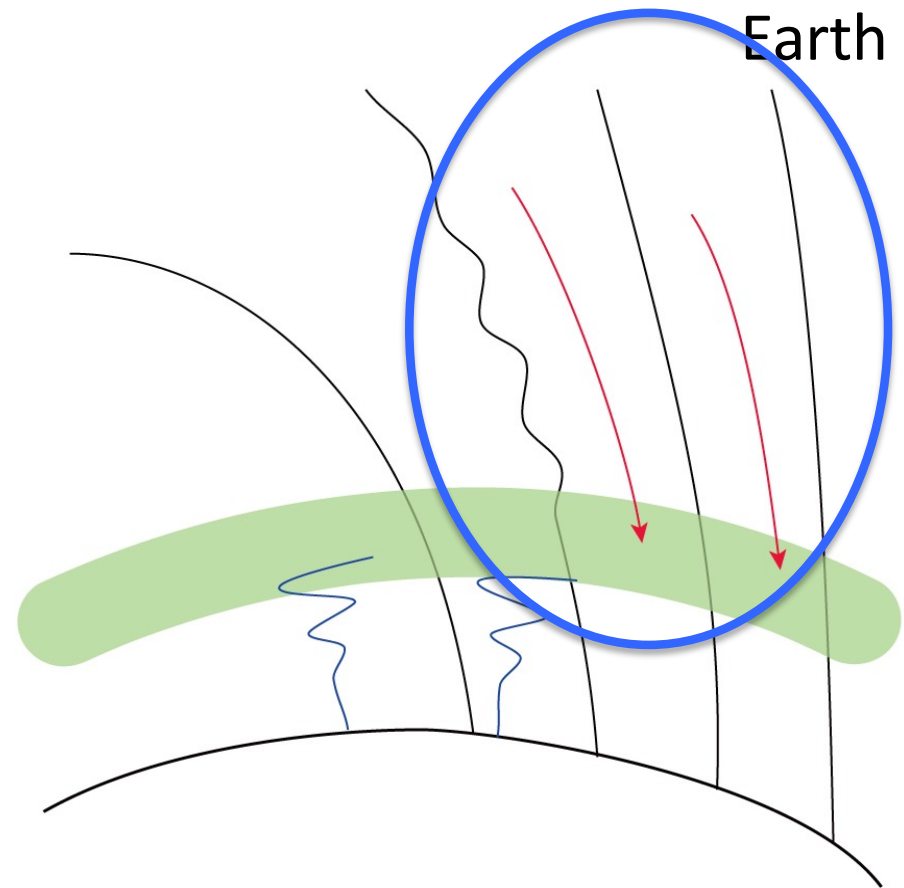
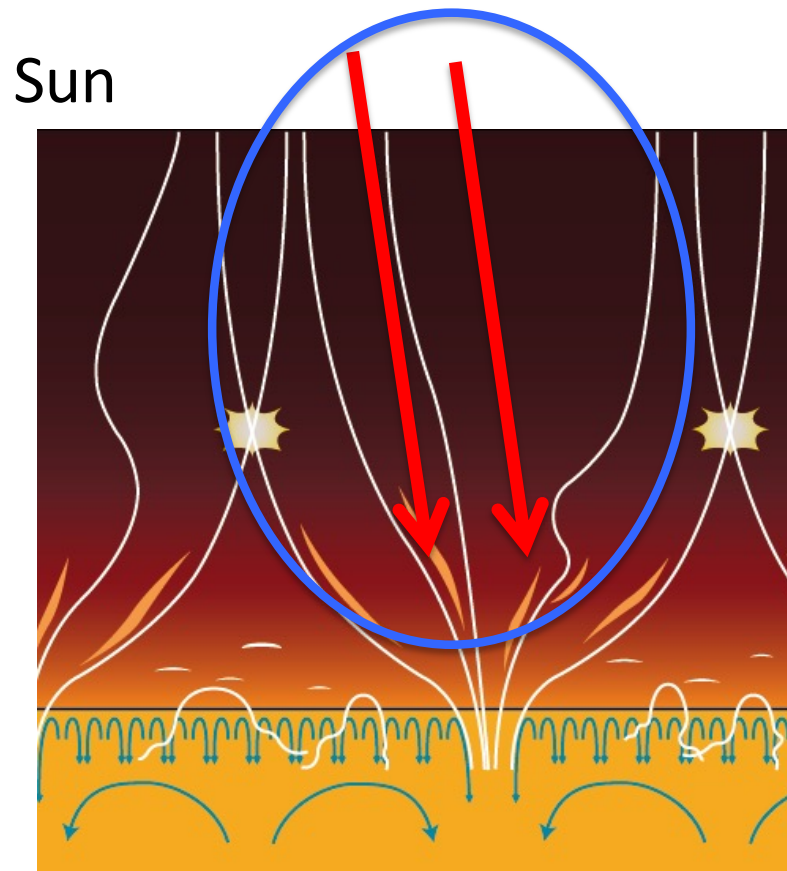
- Chromosphere is collisional. Neutrals and plasma is strongly coupled and behave as a single fluid, except in small ($< \sim 10$ km) scale.
- Lower ionosphere is strongly coupled, while upper ionosphere is nearly collisionless.

Collisional and cyclotron frequencies



- Collisional freq $\nu_{in,en} >$ cyclotron freq $\Omega_{i,e}$ means ion/electron is demagnetized by collision with neutrals.
- If $\Omega_i < \nu_{in}$ and $\Omega_e > \nu_{en}$, ion and electron behave differently, producing electric current.
- Such “dynamo effects” known in ionosphere, but not identified in chromosphere.

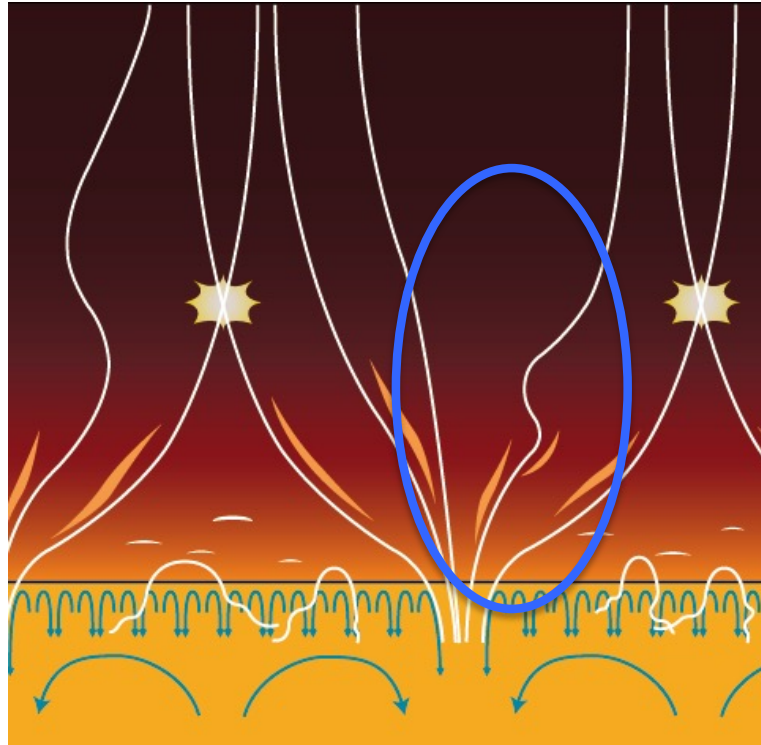
Common physical processes



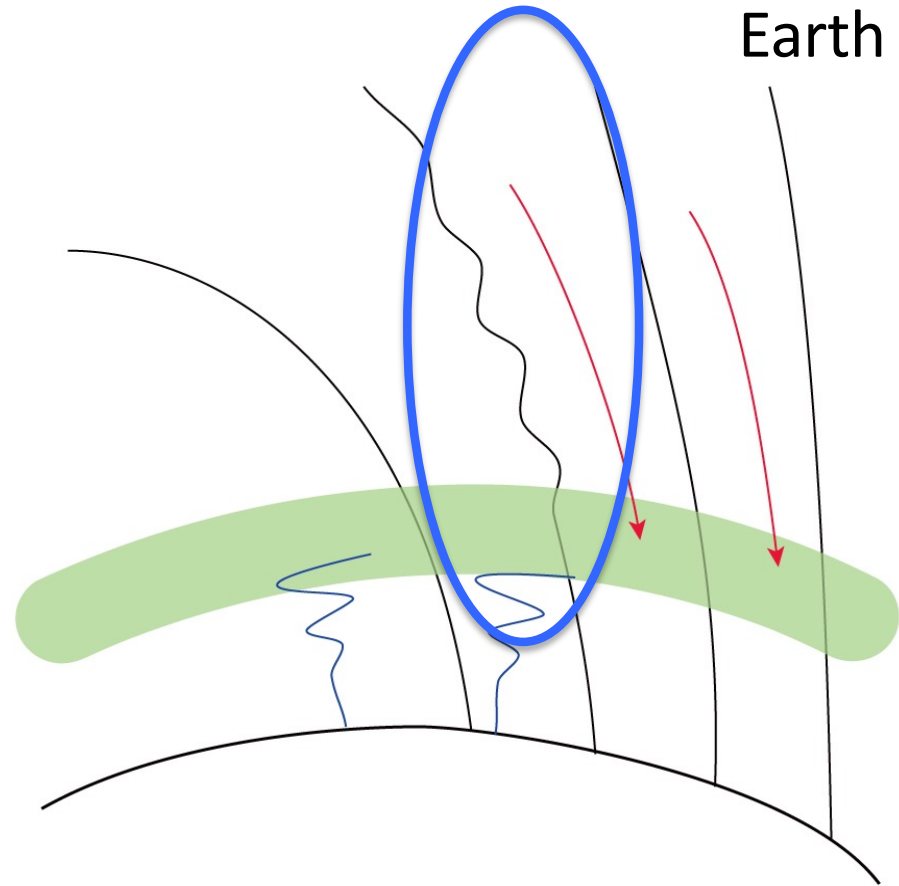
- Precipitation of high energy particles during flare/substorms

Common physical processes

Sun



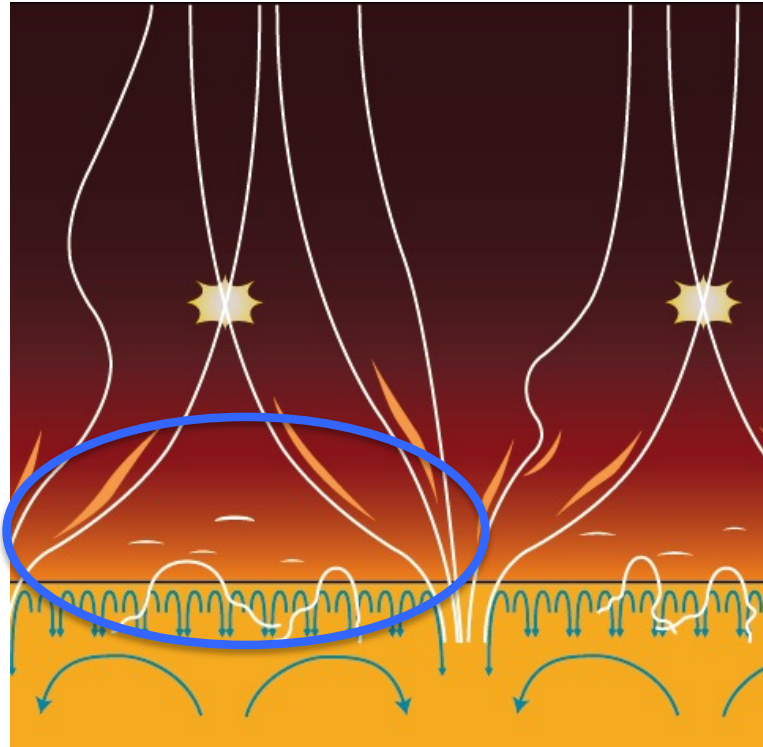
Earth



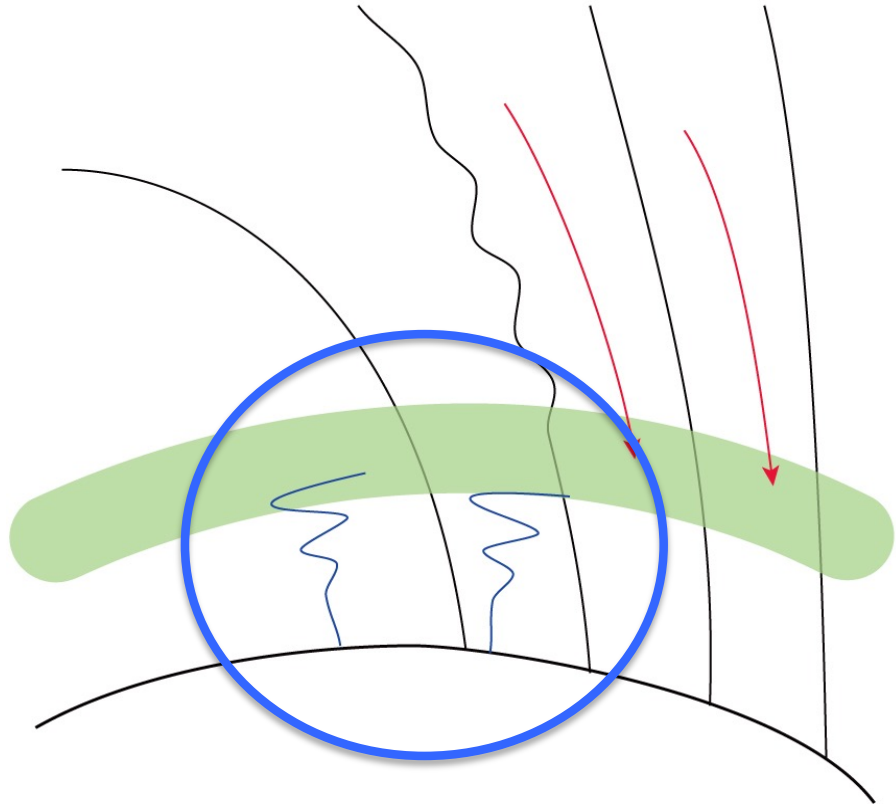
- Magnetohydrodynamic waves
 - In ionosphere they come from magnetosphere (energy source is solar wind)
 - In chromosphere they come both above and below (energy source is photospheric convection)

Common physical processes

Sun



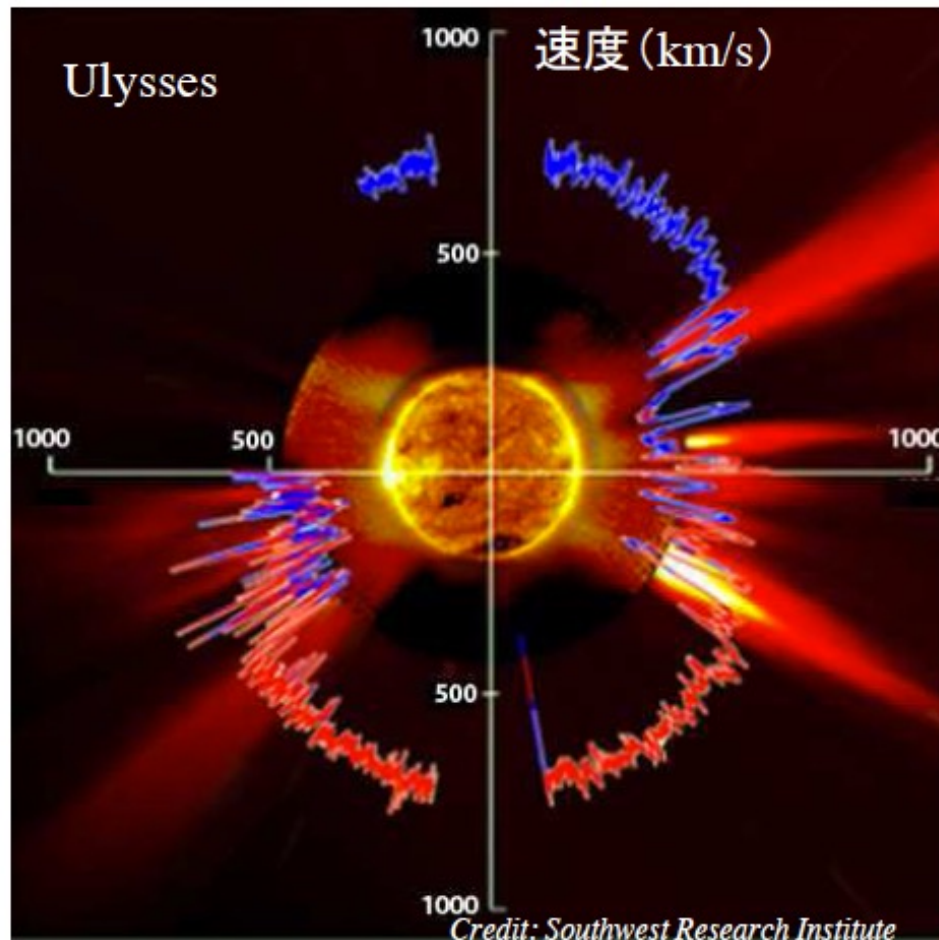
Earth



- Waves from below
 - Stratification causes amplitude growth (shock formation)
 - Gravity wave important in Earth
 - Sound wave (slow-mode shock) important in Sun
 - ...why different?

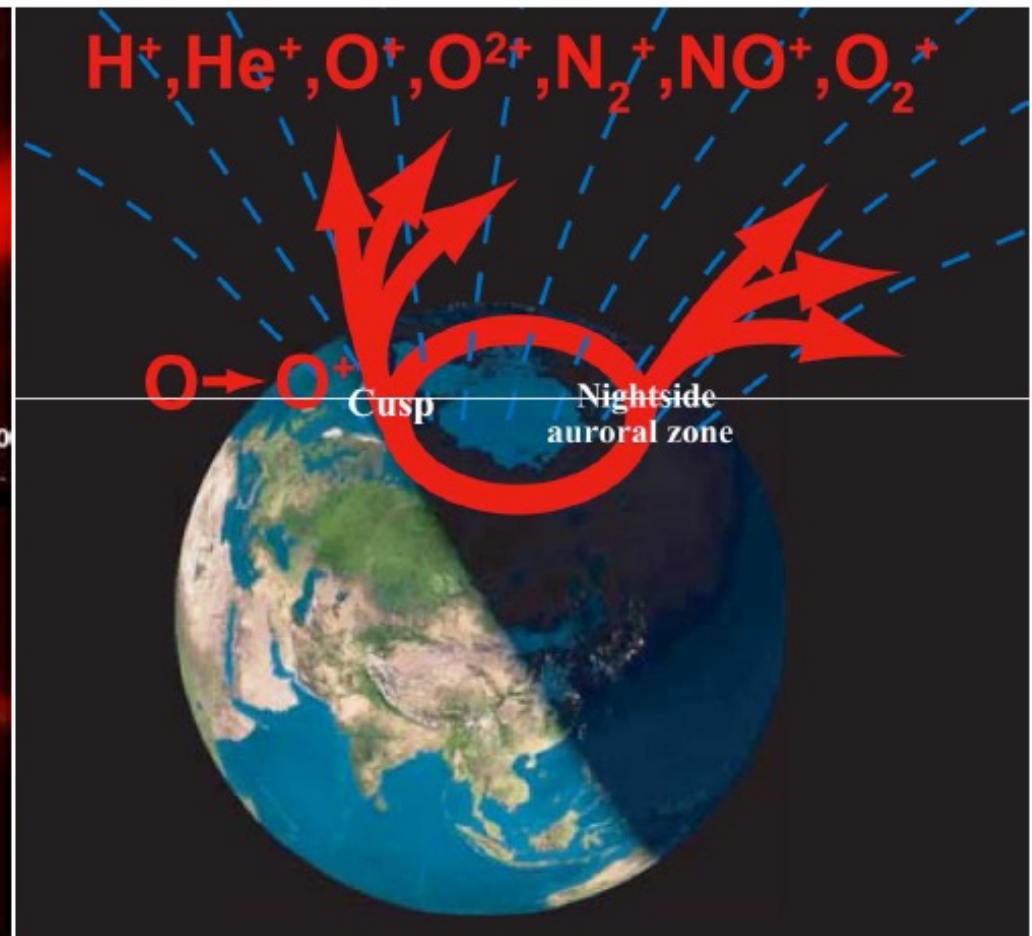
Similar? solar wind and polar wind

Sun



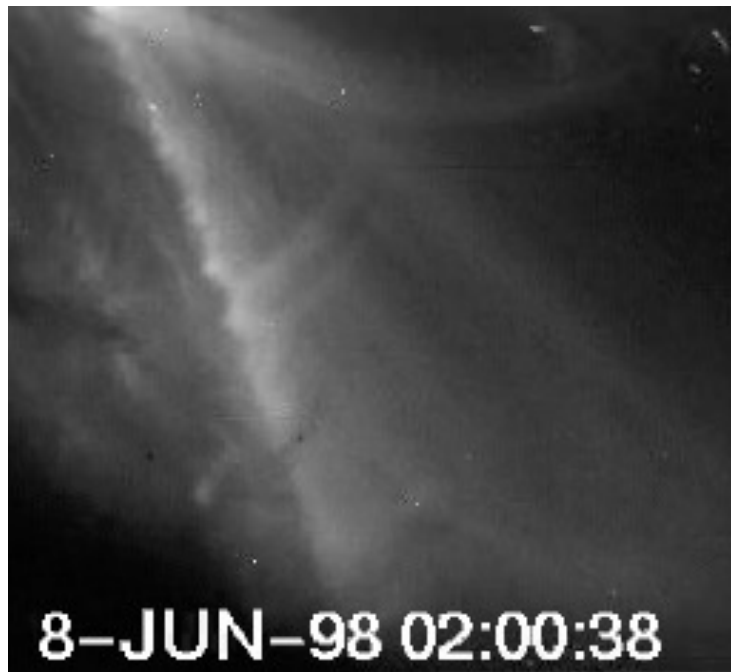
Phil Berardelli, *Science NOW*, 2008

Earth

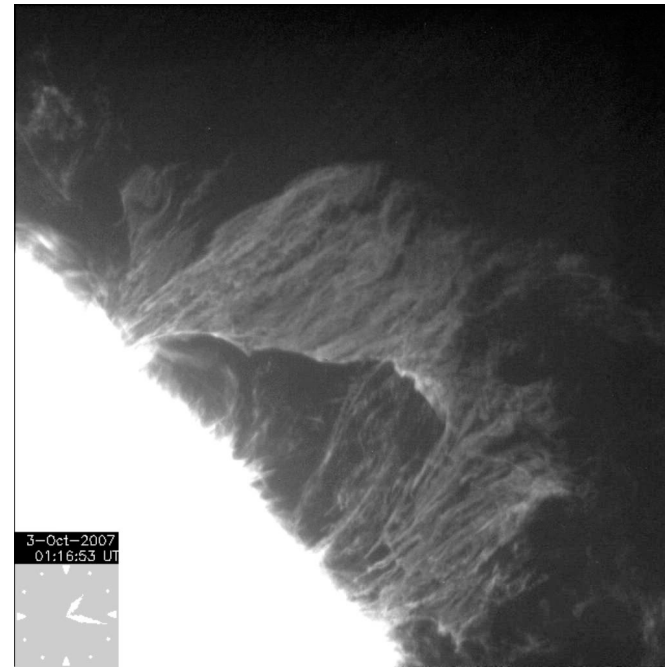


Y. Ogawa, *STEL Newsletter*, 2005

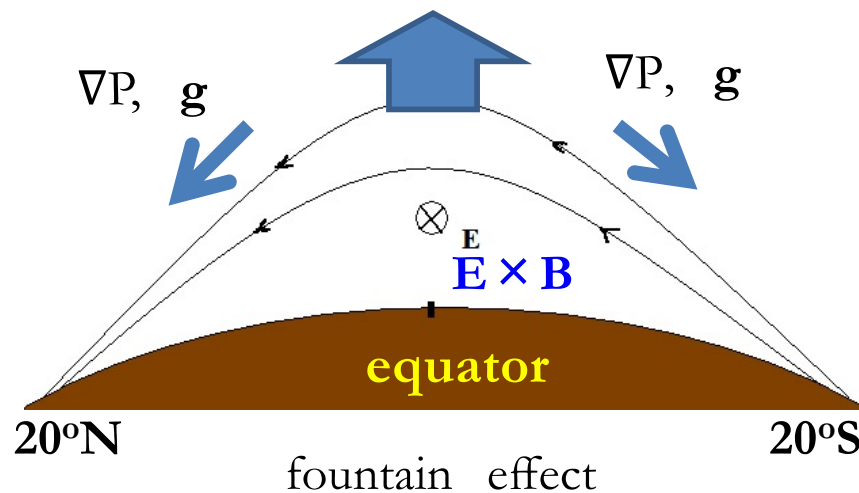
Similar? Emerging flux and plasma bubbles



Emerging flux



“Bubble” in prominence (Berger et al. 2008)



Plasma bubble in Earth atmosphere
(courtesy H. Fujiwara)

Magnetic Rayleigh-Taylor
instability

Sun-Earth language barrier larger than that of Norway-Japan?

- Terrestrial people define plasma beta by
 $(\text{plasma pressure}) / (\text{magnetic pressure})$
- Solar people define plasma beta by
 $(\text{plasma} + \text{neutral pressure}) / (\text{magnetic pressure})$
...because plasma and neutrals behave almost as single fluid
- We need persevering conversation!

Conclusion

- Chromosphere and ionosphere are similar, but there are differences. We can learn from each other.
- Norway and Japan have strong groups in both fields.
- International and interdisciplinary collaboration promising, but we need continuous conversation.

宇宙と人文社会科学

磯部洋明

京都市立芸術大学美術学部

資料は以下で行った講義より流用：
法政大学人間環境学部「災害の時代を生き抜く実践知」 2020年7月4日

NATIONAL
GEOGRAPHIC
MAGAZINE

Photograph by Blerta Zabërgja

TOP SHOTS, SEPTEMBER 2012
© COPYRIGHT BLERTA ZABËRGJA. ALL RIGHTS RESERVED.

宇宙とは？

「宇宙」に対応する英語（西洋の言葉）にはいくつかある

- Universe: この世界全体
- Cosmos: 語源はギリシャ語の「調和」
- Astro- (Aster) : 星、天体
- Space: 宇宙空間。Outer spaceという言い方もある

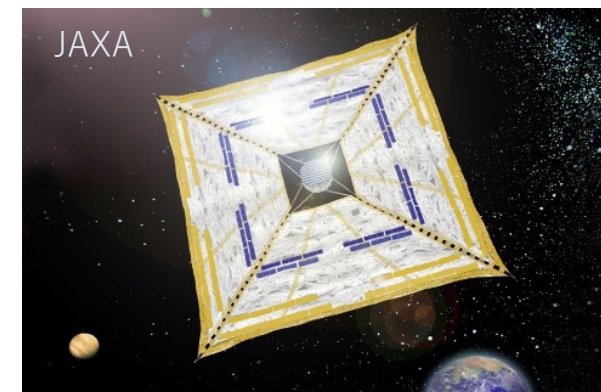
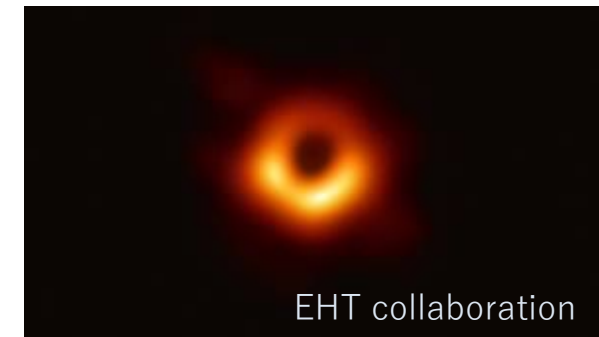


中国、日本では

- 「宇宙」という熟語が文献に現れるのは中国の春秋戦国時代のことで、最も早い例は恐らく『莊子』（紀元 前四～三世紀頃成立）。『淮南子（えなんじ）』、『荀子（じゅんし）』、『呂氏春秋』、『史記』・『漢書』になどでも使われている。
- よく知られた用例は『淮南子-齊俗訓』にある「往古来今謂之宙、四方上下謂之宇」。つまり宙は時間を、宇は空間をあらわす。
- 「宇」「宙」とともに元々の字義は屋根の一部。
- 日本の文献で確認されている最古の使用例は日本書紀
- 参考：金木利憲, 「宇宙」の語源と語義の変遷, 明治大学日本文学, 38, 1 (2012)

宇宙に関する研究：理工系

- 天文学、宇宙物理学、惑星科学
 - この宇宙全体(Universe)の成り立ちや、天体現象を解明する研究
- 宇宙工学
 - ロケットや衛星・探査機の開発等、宇宙へ行き、そこで活動することを可能にする技術の研究
- 宇宙を利用した科学
 - 無重力実験等、宇宙環境を利用した科学
 - 地球観測等、人工衛星から得られる情報を利用した科学
- 宇宙医学
- 宇宙生物学



宇宙に関する研究：人文社会系

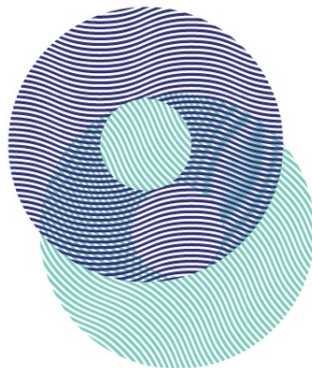
1. 宇宙開発利用に関する人文社会科学
2. 人文社会科学のための宇宙

宇宙開発利用に関する人文・社会科学研究

- 宇宙開発利用を推進するため、あるいは宇宙開発利用に伴って生じる様々な問題を解決するための研究
 - 宇宙空間での犯罪やトラブルにはどの国の法律が適用される？
 - 偵察衛星の性能が上がると個人のプライバシーが侵される？
 - 地球外の天体にある資源は誰のもの？
 - 民間人が勝手に月や火星に行ってもいいの？
 - …

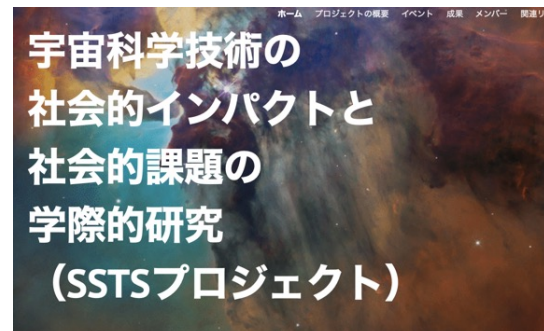
将来の宇宙探査・開発・利用がもつ
倫理的・法的・社会的含意に関する
研究調査報告書

京都大学 SPIRITS:「知の境界」融合チーム研究プログラム・学際型プロジェクト
「将来の宇宙開発に関する道徳的・社会的諸問題の総合的研究」



SPIRITS
Space and International Politics Research Institute for Transdisciplinary Studies

宇宙ELSI報告書
(京都大学宇宙ユニット)



ホーム
プロジェクトの概要
イベント
成果
メンバー
関連リンク
過去のお知らせ一覧
お問い合わせ

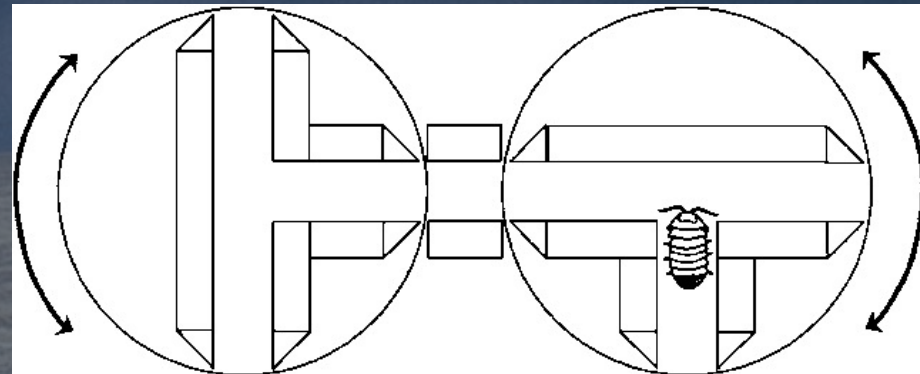
最新のお知らせ

- 2020.6.10
2020年6月7日（日）にSSTS科研究費第6回全体ミーティングおよび駒山広美先生の講演会が開催されました。
詳しくはこちら。
- 2019.12.5
2020年1月25日（土）に開催されるSSTS科研究費第5回全体ミーティングおよび鈴木明子様（JAXA広報部）講演会のプログラムが確定しました。
詳しくはこちら。

(※) The images used in this website are taken from NASA.



人文・社会科学研究の（思考）実験場としての宇宙



宇宙という極限環境は、
人間やその社会の新しい姿を見せてくれるかもしれない
＝人文社会系学問の新たなフィールド



具体的な研究の紹介

人類絶滅リスクの研究

- 英国ケンブリッジ大学 Centre for the Study of Existential Risks との共同研究
 - 自然災害由来：天体衝突、超巨大火山噴火、太陽のスーパーフレア
 - 人間由来：核戦争、バイオテロ/バイオエラー、AI等の科学技術
 - 複合型：極端気候変動、パンデミック



CSERの創設者の一人は宇宙物理学者のMartin Reesさん



ただの自慢

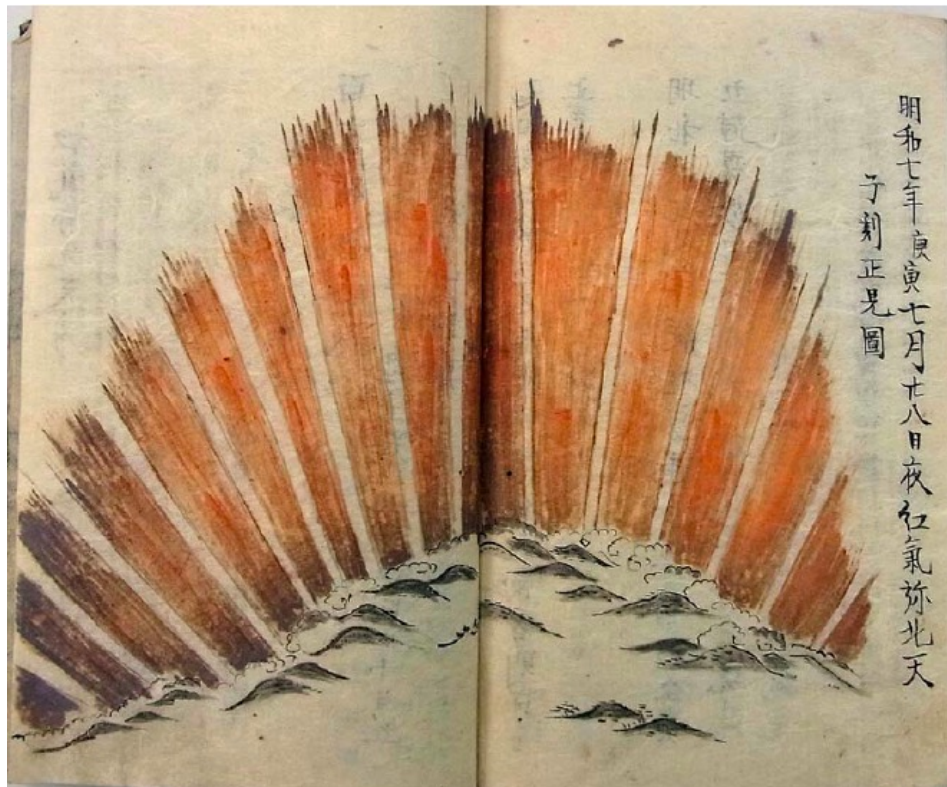
ブライアン・メイさんが天文台訪問 ロックバンド「クイーン」ギタリスト、望遠鏡架台にサイン

2020年1月27日 19:59



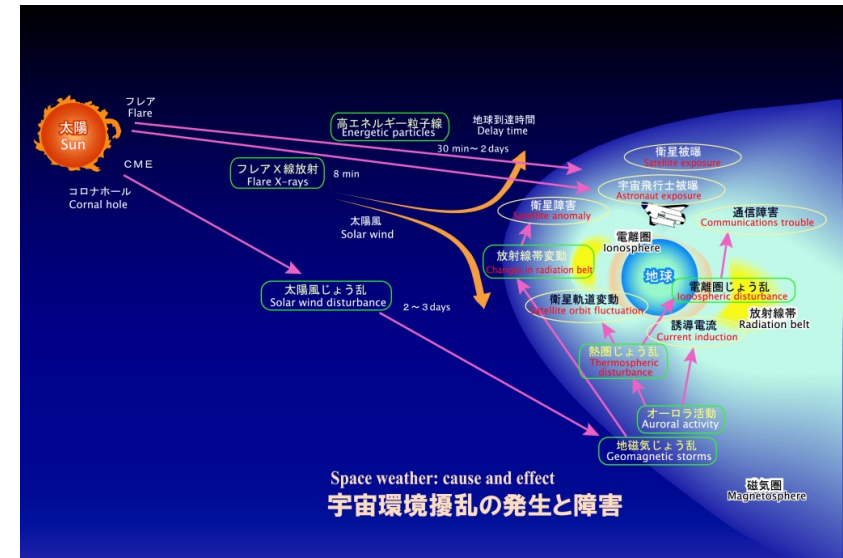
Dr. Brian May、めちゃくちゃいい人でした…

歴史文献を使った過去の太陽活動の研究



星界 Matsusaka-city

歴史史料にある低緯度オーロラの記録
=> 過去の大規模太陽活動の証拠
=> 宇宙天気防災に役立つ

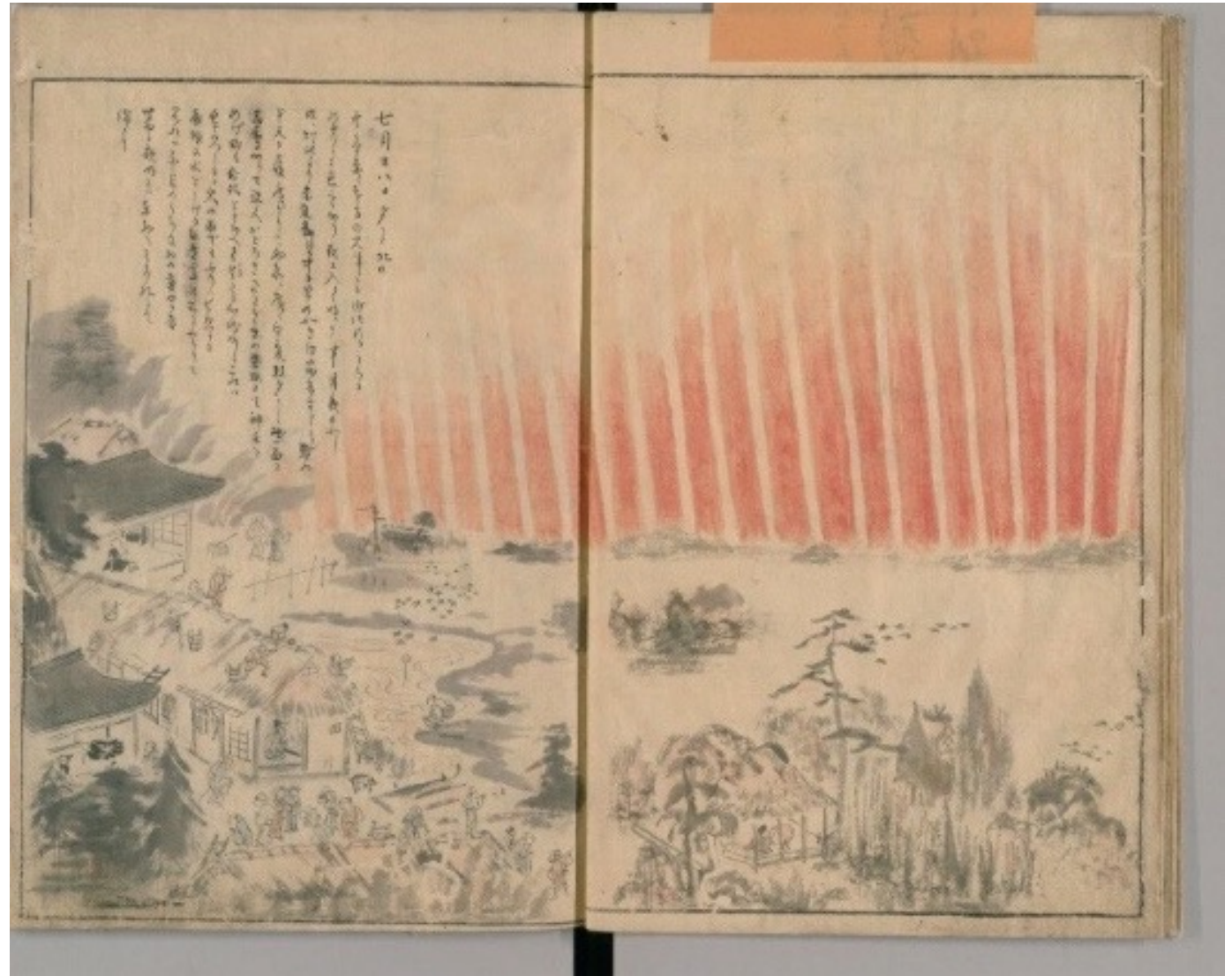


猿猴庵随観図会 国立国会図書館デジタルアーカイブ

歴史学としての意義

歴史史料にはオーロラのような自然現象だけが記録されているのではない。

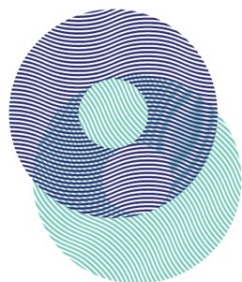
天変地異を人々がどのように理解し、社会がどのように対応してきたのかを読み解くことも、宇宙科学と歴史学の協働の大きな意義。



宇宙倫理学



- 宇宙：宇宙開発利用に伴って生じる倫理的問題
 - 巨額の宇宙開発はどのように正当化されるか？
 - 惑星環境の改変は制限されるべきか？
 - 宇宙開発から得られる利益はどのように分配されるべきか？
- 宇宙が提起する哲学・倫理学的問題
 - 我々はどこまでを倫理的配慮の対象とするのか？（宇宙人、AI…）
 - 宇宙環境への適当の必要性は生命倫理の基準を変えるか？
 - 「人類という種」の存続は最優先事項か？
 - どうせいつか滅びるのに生きる意味は何か？



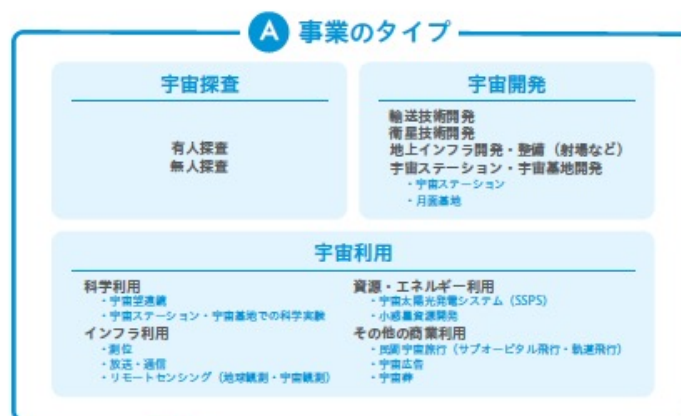
SPIRITS

宇宙ELSIで検索すると見つかります。

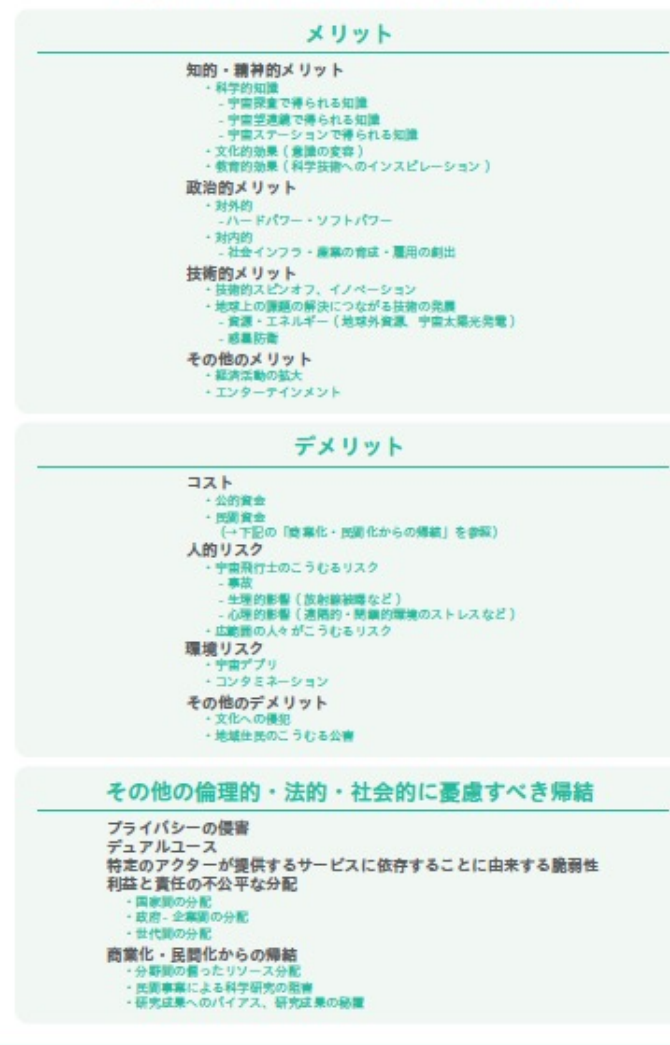
科学技術のELSI
研究を先導した
のは生命科学分
野。最近AI研
究などにも。

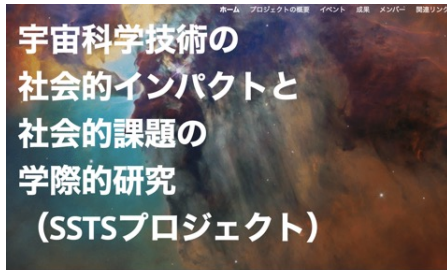
宇宙ELSI (倫理・法・社会的問題)

6. 宇宙探査・開発・利用がもつ倫理的・法的・社会的含意の俯瞰図



C 倫理的・法的・社会的配慮事項





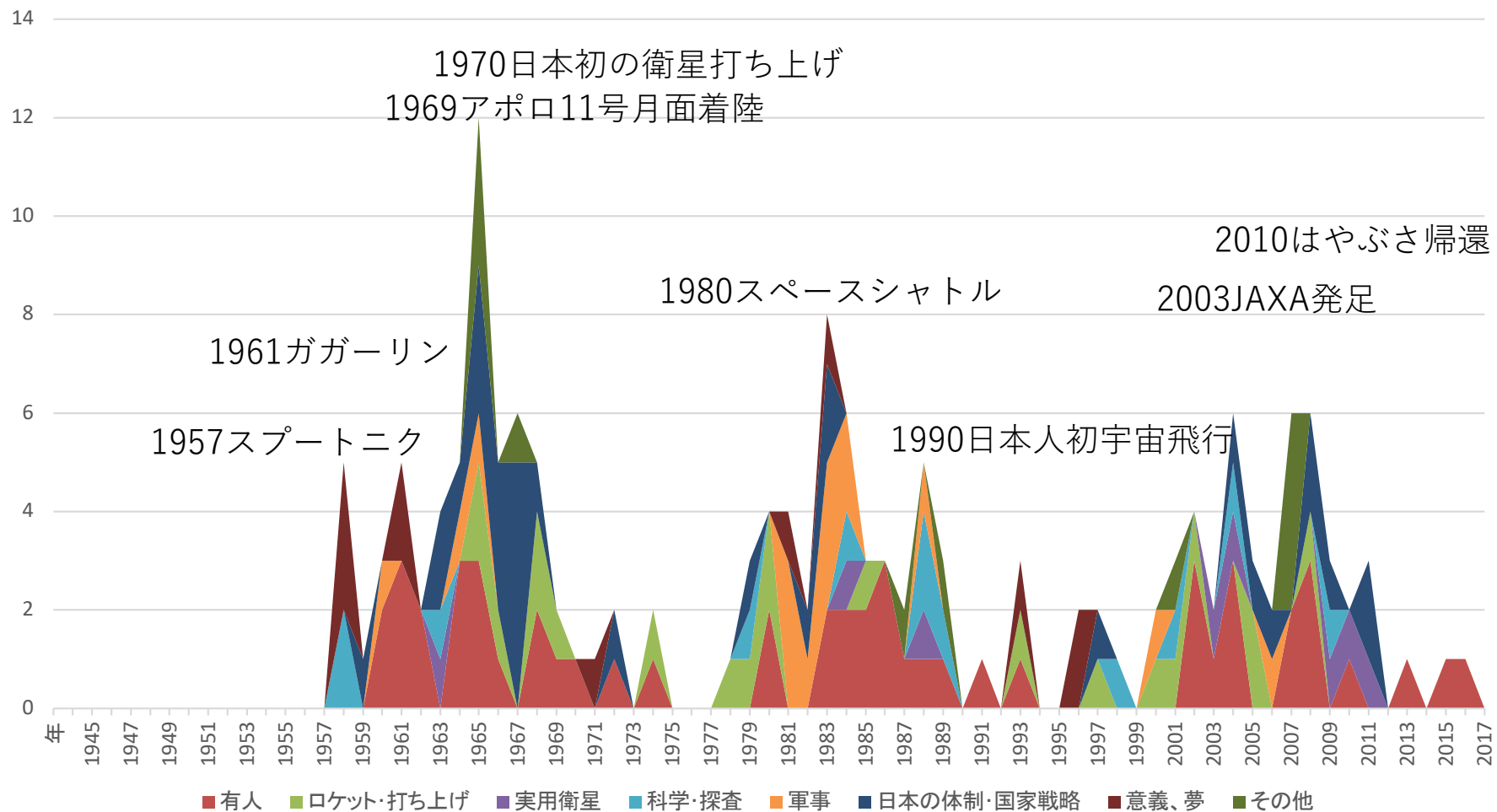
宇宙科学技術社会論

- 科学技術社会論 = 科学技術と社会の関係を考える学問(宇宙ELSIと大体同じ)
- 宇宙の科学技術社会論の例
 - 宇宙政策は誰が決めるべきなのか？
 - 宇宙開発にはどのような社会的価値があるのか？
 - 宇宙の軍事利用はどこまで許容されるか？
 - 夢やロマンは公金を用いた宇宙開発の理由になるか？

宇宙はどのように語らてきたか

宇宙開発に関する新聞社説の分析

朝日社説 トピック別記事数



宇宙開発には経済、軍事、科学以外の文化的・精神的価値があるのか？という視点から社説を分析

- 50-60年代は「人類の偉業だ」、70-80年代前半までは「日本が宇宙先進国になるには」、バブル期の一時期「日本の世界への貢献」、世紀末以降は「負けるなニッポン」
- 宇宙はロマンがある。人類の夢だ。青少年の科学への関心を喚起する、宇宙から見ることでかえって地球のことを省みさせてくれる、といった精神的価値の語りは繰り返し出て来る。ただしその語彙に半世紀の間大きな変化はない
- 70年後半代以降、「ロマン」「宇宙視点」系は、有人ではなく深宇宙探査がもたらしている。同時期から有人（スペースシャトル、宇宙ステーション）は実用性（と軍事的懸念）と共に語られるようになる。
- 世紀末以降「日本の強み」「お家芸」「得意分野」が頻出。有人に批判的な意見は、大体「日本が得意なロボット技術などを活かして」を伴う

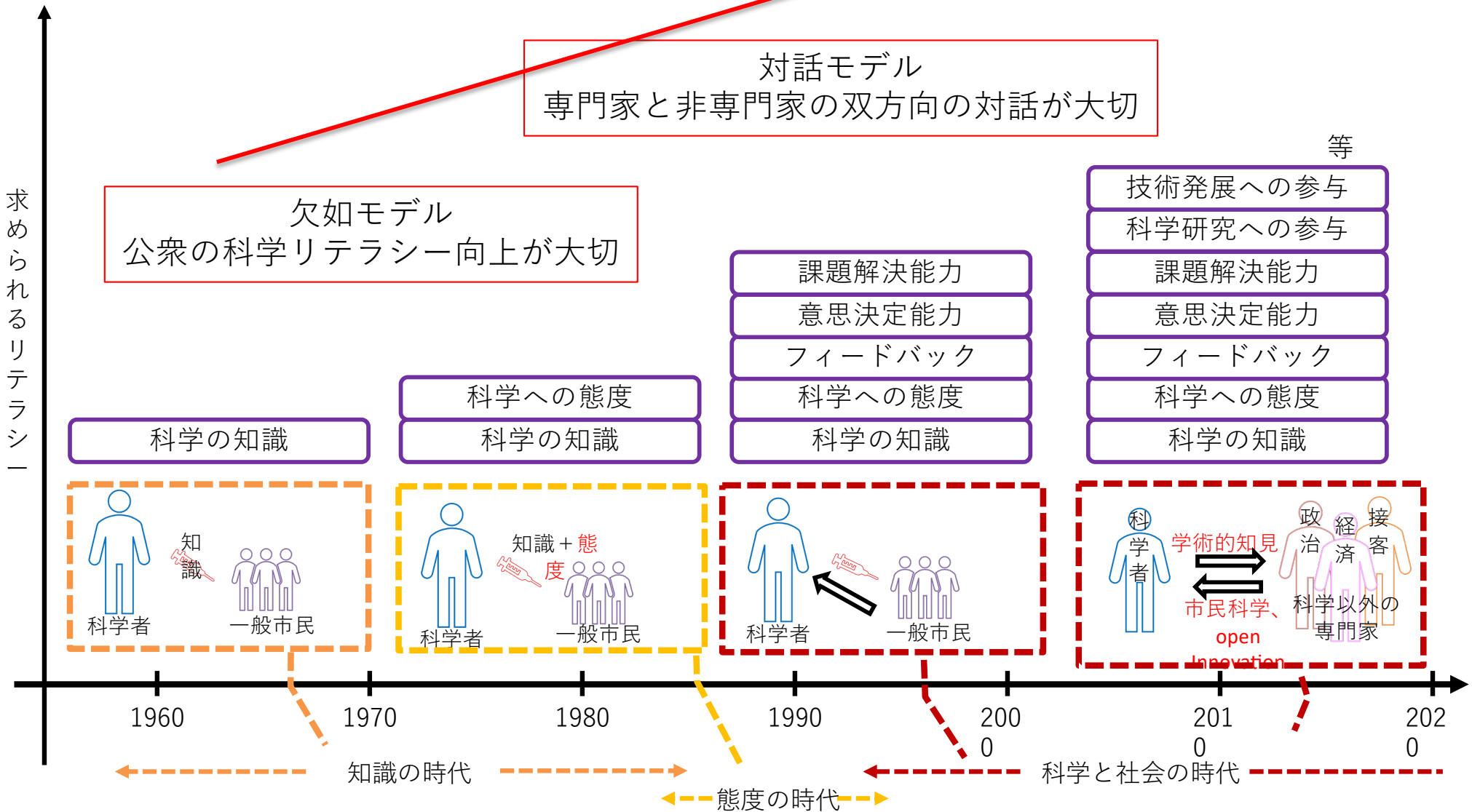


科学コミュニケーションのことやジェンダーのこと

科学コミュニケーションの歴史

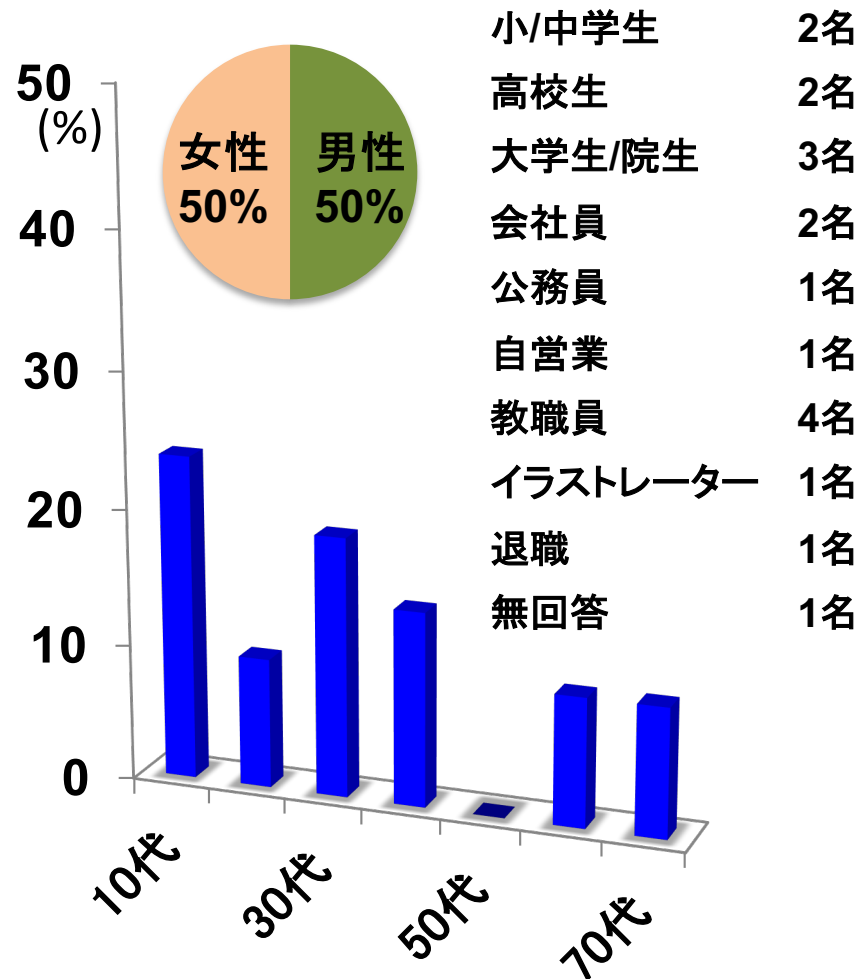
長島瑠子 京都大学総合生存学館修士論文より

協働モデル？
共に課題解決、いのべしょん創出

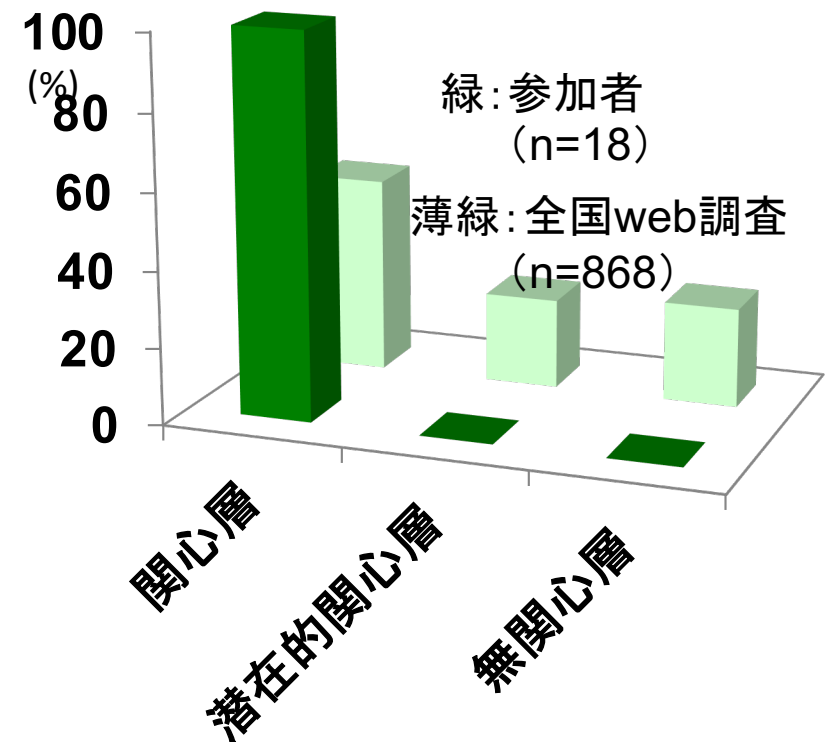


- 科学を分かりやすく伝える => 双方向の対話・協働の方向へ
- その一方、求められるリテラシーはどんどん増加…

「科学コミュニケーション活動」は本当に必要なところに届いているか？



科学イベント参加者を科学技術への関心・関与の度合いで分類



科学イベントにくる人の大半は科学好き（当たり前か…）

異分野とコラボした科学コミュニケーション活動



お寺で宇宙学



宇宙茶会



宇宙書会



宇宙のお香(LISN)

科学技術領域におけるジェンダーギャップ

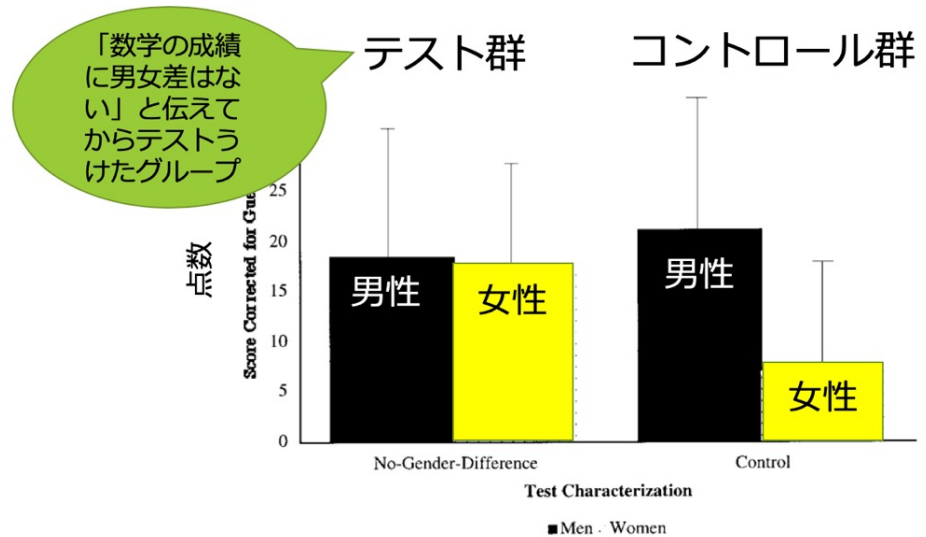
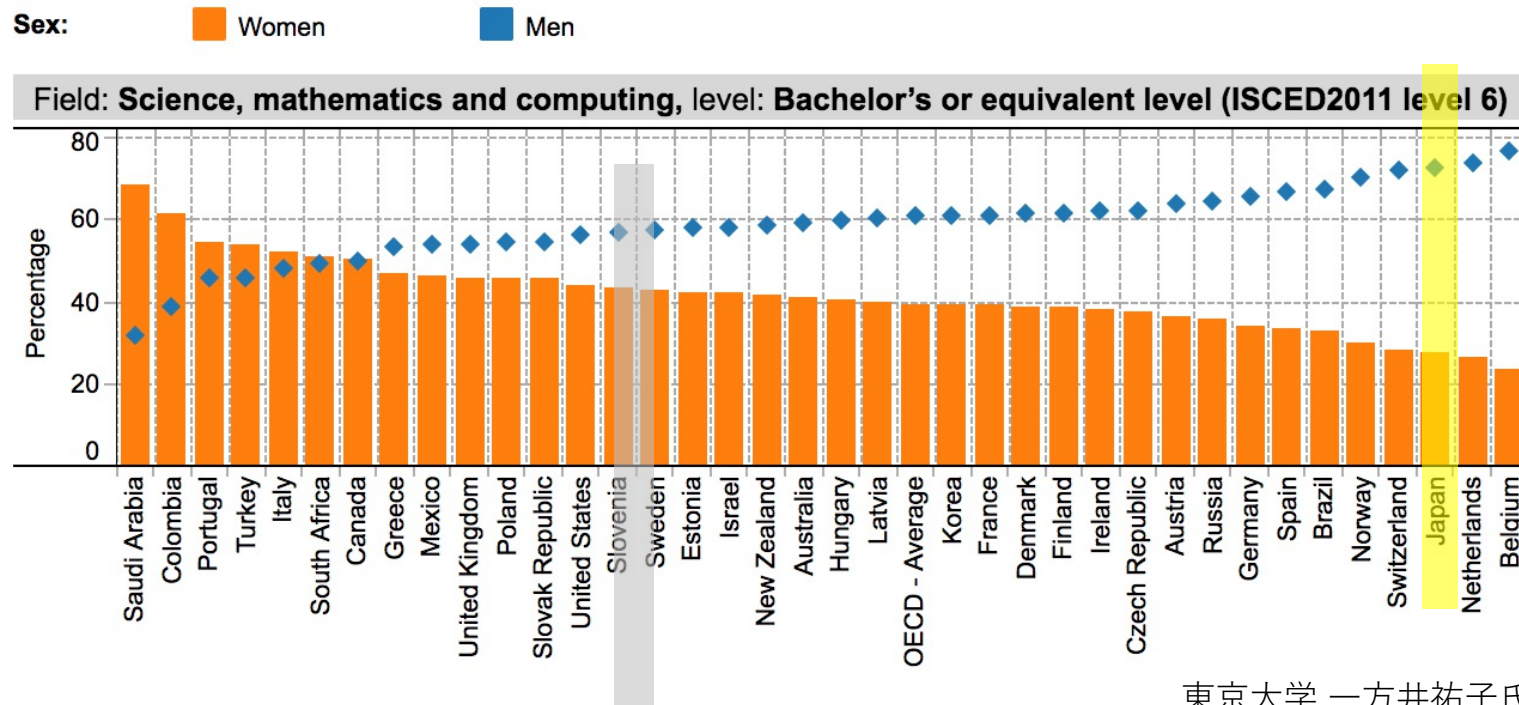


FIG. 3. Performance on a difficult math test as a function of sex of subject and test characterization

[Spencer et al. 1999 *Journal of Experimental Social Psychology*]



科学コミュニティと芸術コミュニティに共通の課題

- 敷居が高く閉鎖的なコミュニティ
- 社会からの期待と自己認識のズレ
- 学問の自由・表現の自由
- ジェンダーギャップ、ハラスメントなどコミュニティ内の問題

「美術館女子」企画、透けた意識 若い女性は無知なのか

🔒 有料会員記事

田中ゑれ奈、千葉恵理子 2020年6月20日 9時58分

シェア ツイート ブックマーク メール 印刷

[list](#)

26



読売新聞オンラインで公開された「美術館女子」の一場面



「美術館女子」とうたい、美術作品を背景にアイドルの女性を撮影した企画がネット上で議論を呼んだ。なぜだろうか。

「美術館女子」が載ったのは今月12日に配信された 読売新聞 オンラインと13日付の 読売新聞。約150の公立美術館で作る美術館連絡協議会（美連協、事務局・読売新聞東京本社）と同紙によるプロジェクトで、「AKB48チーム8のメンバーが各地の美術館を訪れ、写真を通じて、アートのかを発信していく」という。

アート
サイエンス
ジェンダー

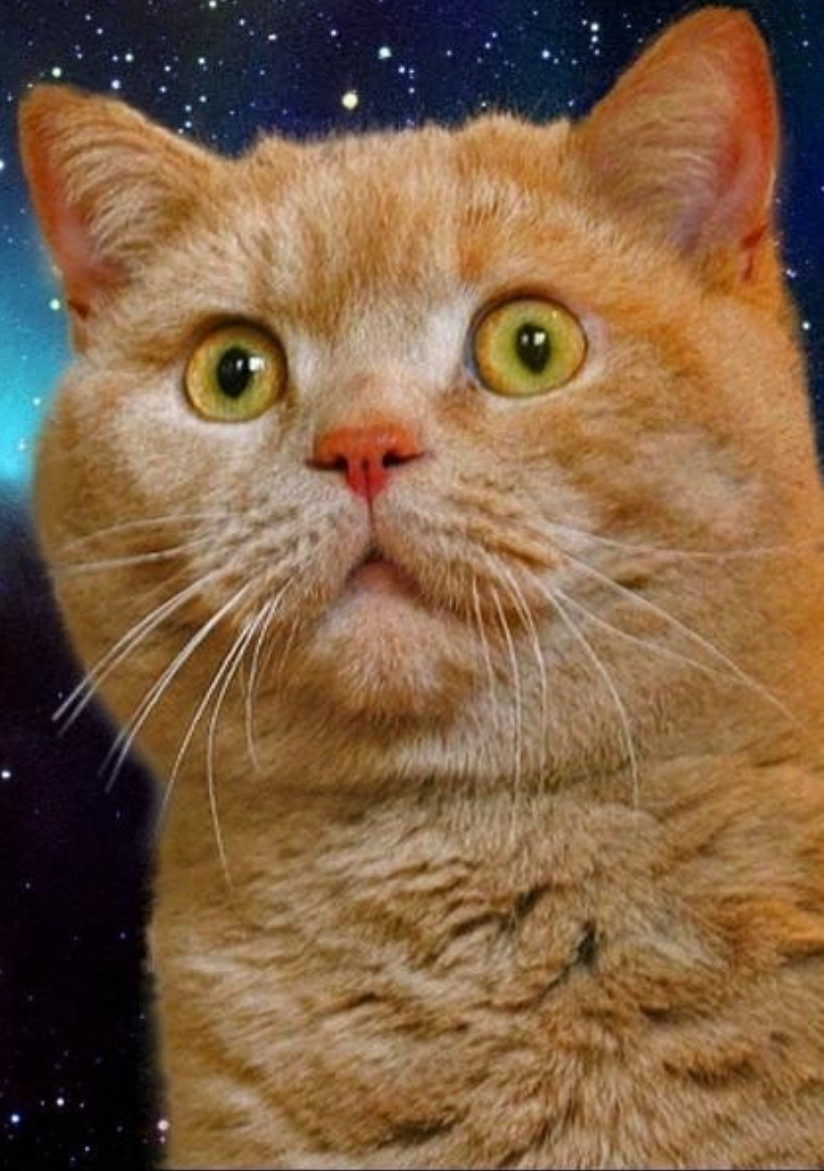
2019.8.28 (wed)
14:30～ 京都 Annie's Cafe

内藤葉子
小山田徹
一方井祐子
酒井麻依子
ブブ・ド・ラ・マドレーヌ
CuBerry

※表記は講演者順です。

最後の話題：宇宙人類学

ところでこの画像ネットによく落ちて
ますが初出ってどれなんですかね？



宇宙人類学

- 文化人類学者と一緒に人類の宇宙活動について人類学視点から考える。
- 宇宙で行くことは人間とその社会にどのようなインパクトがあるか？
- 宇宙人とコミュニケーションは可能か？



宇宙進出がもたらしたもの

かけがえのない地球

宇宙船地球号



The Blue Marble (Apollo 17)

ここから出たら生きられないという閉塞感

グローバル化という名の均一化

創造に満ちた偉大な時代とは、遠く離れたパートナーと刺激を与え合える程度に情報交換ができ、しかもその頻度と速度は、集団・個人間に不可欠の壁を小さくしすぎて交換が容易になり、画一化が進み多様性が見失われない程度に留まっていた時代



レヴィ＝ストロース講義（平凡社）

宇宙に移住するのは誰？

F..ダイソン「宇宙をかき乱すべきか」より

	メイフラワー号	モルモン教徒	巨大宇宙コロニー	小惑星への移住
年	1620	1847	2???	2???
人数	103	1,891	10,000	23
積荷(トン)	180	3,500	3.6 million	50
費用(1975の米ドルで)	600万ドル	1500万ドル	1000億ドル	100万ドル
積荷1ポンドあたりの費用	\$15	\$2	\$13	\$10
1家族当たりの費用を年収で割った値	7.5	2.5	1,500	6



2117年までに火星都市を建設：UAEが計画発表

2017年2月21日（火）16時30分

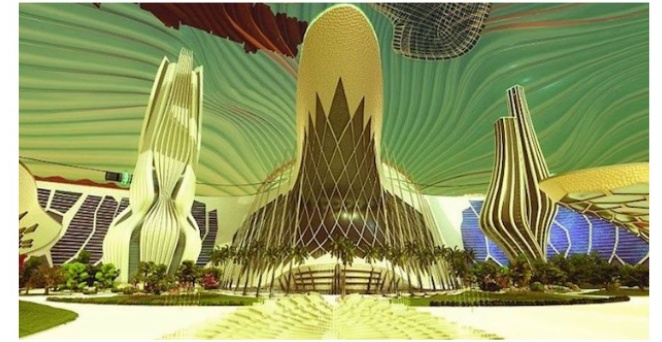
高森郁哉

407 いいね!

407 シェア

292 ツイート

5 B! ブックマーク



スペースXの月旅行にZOZOの前沢氏 2023年計画

ネット・IT エレクトロニクス 北米

2018/9/18 10:46

保存

共有

印刷

COMET

Twitter

Facebook

その他

【シリコンバレー＝佐藤浩実】起業家のイーロン・マスク氏が率いる宇宙開発ベンチャーの米スペースXは17日、月の周りを飛行する宇宙旅行の初の個人客として、通販サイト「ゾゾタウン」を運営するスタートトゥデイの前沢友作社長と契約を結んだと発表した。人類の火星移住を目指して開発中の超大型ロケット「BFR」を利用する。

スペースXの月旅行、初個人客に「ゾゾ」の前沢氏
起業家のイーロン・マスク氏が率いる宇宙開発ベンチャーの米スパー...



Watch our Mars One intro

Elon Musk Wants To Put A Million People On Mars. Here's Why

The Huffington Post | By Jacqueline Howard

Posted: 09/30/2014 2:37 pm EDT | Updated: 09/30/2014 2:59 pm EDT



Elon Musk speaks during a news conference at the Nevada State Capitol building in Carson City, Nevada, U.S., on Thursday, Sept. 4, 2014. | Bloomberg via Getty Images

22k

3667

257

18

56

397

Like

Share

Retweet

共有

Email

Comment

No one has been to Mars yet, and [Elon Musk](#) wants to change that in a big way. The SpaceX CEO says we need to put a million people on the Red Planet to make sure human civilization survives.

"I think there is a strong humanitarian argument for making life multi-planetary... in order to safeguard the existence of humanity in the event that something catastrophic were to happen," [Musk said in a recent interview with the digital magazine Aeon.](#)

地球外で生きてゆくために

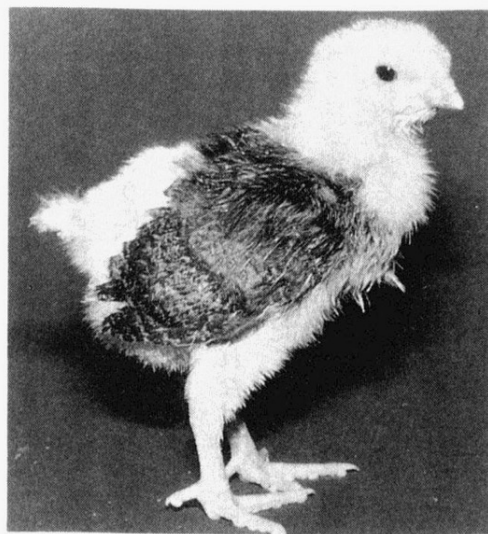
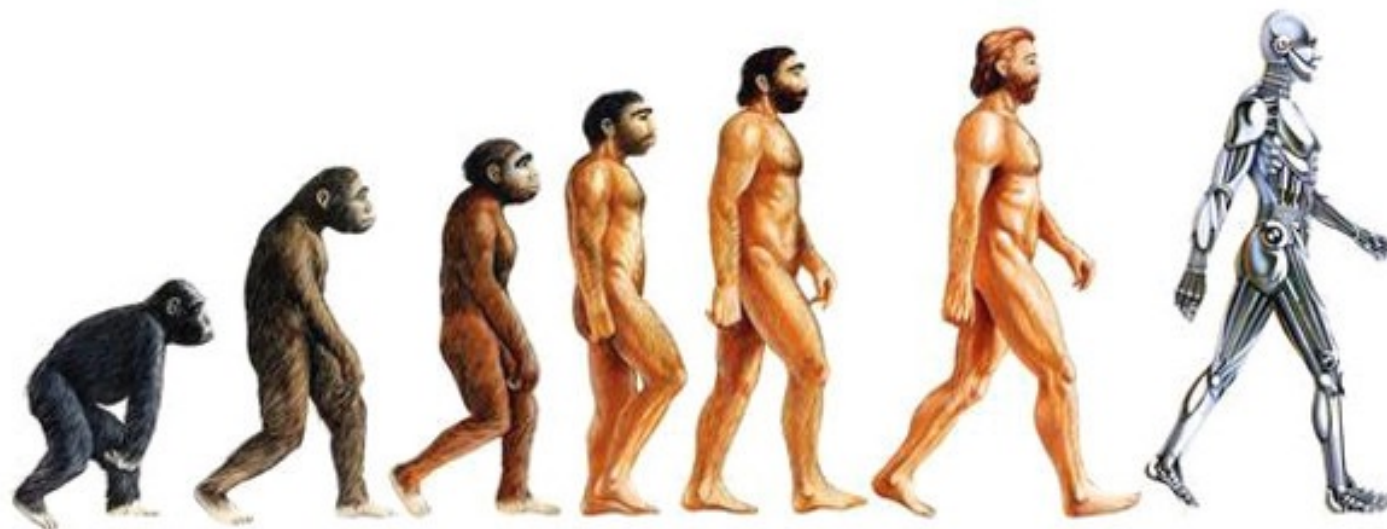


図1 神経管キメラ（ウズラ→ニワトリ）腕神経叢レベル。生後11日。（愛媛大・医 絹谷政江氏提供）



Vacanti mouse



宇宙へ行くことは、
科学技術を駆使して
人間そのものを変えて行くこと（かも）



- H. Arendt “The Conquest of Space and the Stature of Man”
(邦訳：宇宙空間の征服と人間の身の丈…「過去と未来の間（みすず書房）に集録）
- この地点から地球上の出来事や人間のさまざまな活動を俯瞰するなら、つまり、アルキメデスの点をわれわれ自身に適用するなら、人間の活動は、実際「客体的行動」—それは鼠の行動を観察するのに用いるのと同じの方法で観察できる—としてしか眼にうつらないだろう。



人類全体を愛するようになれば
なるほど、ひとりひとりの個人
に対する愛情が薄れていく
(ドフトエフスキー
「カラマーゾフの兄弟」)

今西錦司『私なんかは、自分の一生については自然が破壊されていくのを悲しんだりしている。けれども人間の一生を考えたらサイボーグでもなんでもいいから、もっと発展してほしいという気持ちになるね』



京都の花山天文台と長島愛生園の天文台



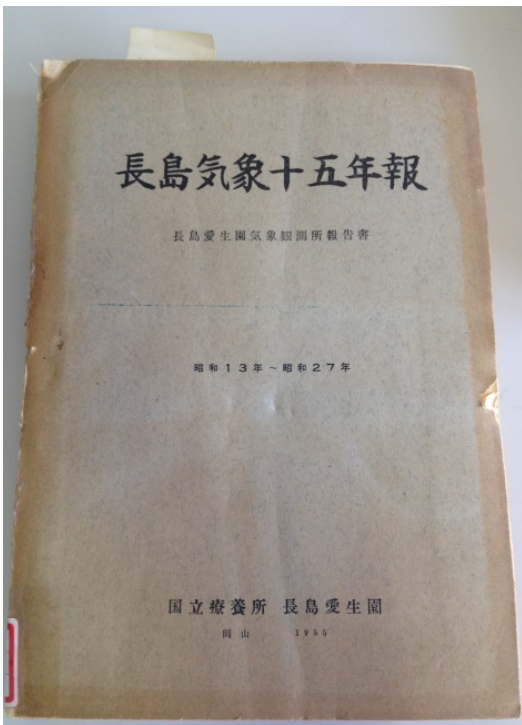
京都大学花山天文台（山科区）
昭和4年～



長島天文台
昭和24年～30年代

ハンセン病について

- かつては「らい病」と呼ばれた感染症の一種
- 有効な治療薬が普及するまでは不治の病と考えられていたこと、病状が進むと身体や容貌の大きな変化を伴うことなどから、かつては最も恐れられていた病気の一つであった。遺伝病という誤解もあり家族までが厳しい差別を受けた。
- 日本では明治から昭和にかけて、療養所に患者を強制的に隔離する政策が取られた。多くの患者は差別が家族にも及ぶことを恐れ、名前を変えて故郷とのつながりを断ち、一生療養所から出られないことを覚悟して入所した。差別の隔離政策は、戦後まもなく特效薬が普及してハンセン病が治る病気となった後も続き、国の隔離政策を定めた「らい予防法」が廃止されたのは1996年のことでした。
- ハンセン病が治癒した後も、様々な社会的要因から療養所を出て社会復帰をすることがかなわなかった回復者の方々が大勢います。全国に10数カ所あるハンセン病療養所には、今も回復者の方々が住んでいます。



長島気象観測所(前景)

4表

毎日最高の平均

昭和(3年～27年)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	
1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	
1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	
1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	
1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	
1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	
2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	
2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	
2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	
2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	
2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	
2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	
2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	
2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	
2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	
2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	
2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	
2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	
2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	
2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	
2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	
2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	
2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	
2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	
2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	
2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	
2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	
2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	
2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	
2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	
2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	
2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	
2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	
2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	
2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	
2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	
2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	
2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	
2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	
2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	
2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	
2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	
2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	
2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	
2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	
2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	
2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	
2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	
2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	
2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	
2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	
2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	
2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	
2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	
2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	
2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	
2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	
2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	
2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	
2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	
2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	
2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	
2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	
2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	
2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	
2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	
2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	
2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	
2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	
2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	
2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	
2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	
2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	
2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	
2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	
2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	
2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	
2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	
2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	
2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	
2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	
2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	
2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	
2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	
2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	
2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	
3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	
3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	
3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	
3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	
3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	
3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	
3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	
3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	
3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	
3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	
3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	
3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	
3146												

長島愛生園入園者・依田照彦氏から 山本一清・初代花山天文台長への手紙（抜粋）

- 愛生学園にいた時は毎年夏期講習として、正座や星の話をプリントしては児童達と一緒に星の世界を眺めて楽しく宵を過ごしたこともあります。
- 私はこの島に一生を終わる運命にあり、生をかけてこのことをやりたい念願です。
- 今後同好の士を募り、この方面の趣味を開拓して園内の一般者にも自然科学に対する関心を昂め、少しでもうるほひのある生活が出来ますれば望外の幸せと存じています。
- 斯かる事は、国を賭しての今日の戦の下で、どうかと思われませんが、私共にとっては、無為徒食に堕することなく、何か為すことが、せめてものみ国への御奉公と信じます。

後 記

茲に長島気象十五年報を世におくり得ますことは觀測に従事して来た者の絶大なよろこびであります。

この大部な印刷物の刊行を許された園当局に対し深く感謝申し上げます。又永い年月のうちに、この事業に格別の御理解や御配慮を賜った方々に対しまして心から御礼申し上げます。

直接觀測に携わった幾多の病友の労い、この書の刊行によつて報いられることと思います。この書を手にとられる方々は、その諸表が單なる数字の羅列ではなく、その一つ一つに觀測者の命が刻みこまれていることを知つていただきたいのであります。

そしてこの資料を、あらゆる方面に利用し、活用していただきたいのであります。この書が、いささかでも世に益することがあれば私達も病める命を活かし得たことになるのです。

本書に序文を賜った、鯉楓協会々長下村海南先生、大阪管区气象台長大谷兼平先生、岡山測候所長 佳田多三郎先生、長島愛生園長 光田健輔先生、並びに跋文を賜った井上謙先生に対し、又、校正、出版事務を担当して下さった村田弘氏の労に対して感謝すると共に今後共愛らぬ御指導と御鞭撻をお願い申し上げます。

昭和30年1月20日

長島気象觀測所 主任 横 内 武 男

依田照彦歌集より

あきらめてゐし眼にかすかに木星の衛星が見ゆるよ一つ二つ三つ四つ
自記気圧線鋭く墜ちぬ刻々の台風来を告ぐる夜更けに



うちの微気圧計は高性能。
米ソの核実験も誰より早く
検出できてた（元観測所員
Kさん、H26）

星をみるんも楽しかったけどなあ、みんな
で望遠鏡で看護婦さんの寮をのぞくのが
一番楽しかったなあ（入園者Hさん、
H26）

