



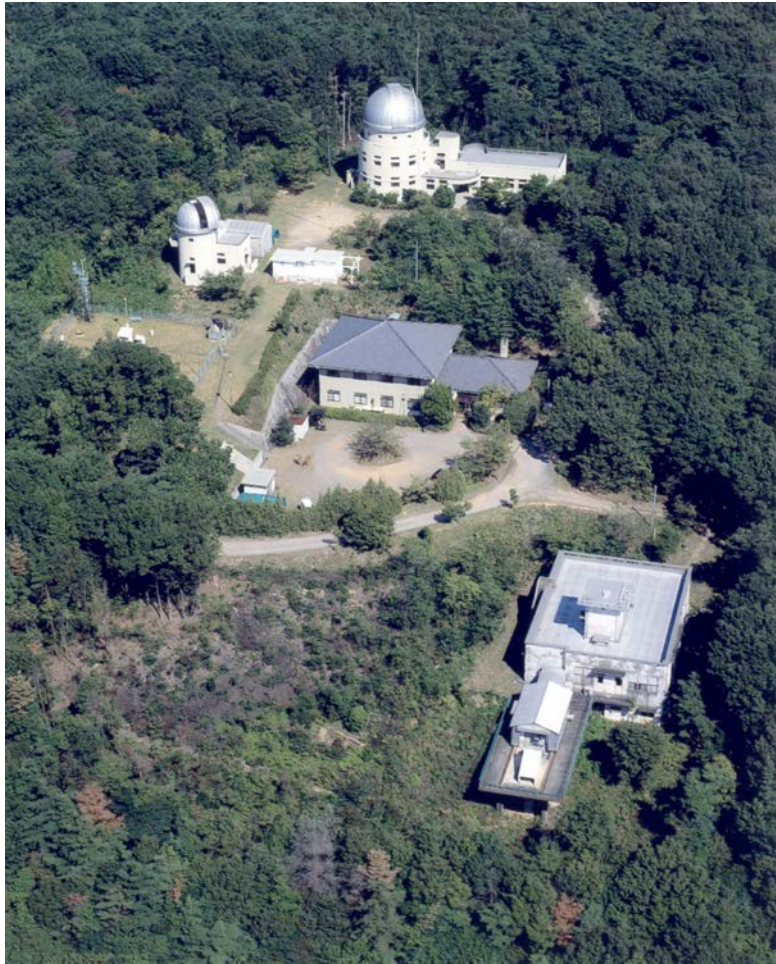
21COE市民講座「宇宙と物質の神秘をさぐる」
2006年11月11日(土)@京大時計台ホール

爆発だらけの宇宙

柴田一成
京大理附属天文台
(花山天文台)

京都大学大学院 理学研究科 附属天文台

花山天文台



京都市山科区 創立:昭和4年(1929年)

飛騨天文台



岐阜県高山市 創立昭和43年(1968年)





講演内容

- はじめに
- 太陽面爆発(フレア)
- 太陽活動と地球
- 宇宙ジェット
 - 活動銀河核
 - 近接連星系
 - 星形成領域
- 宇宙ジェットの起源は何か？

1. はじめに

- 19世紀 永遠不変の静かな宇宙



- 20世紀前半 進化する宇宙

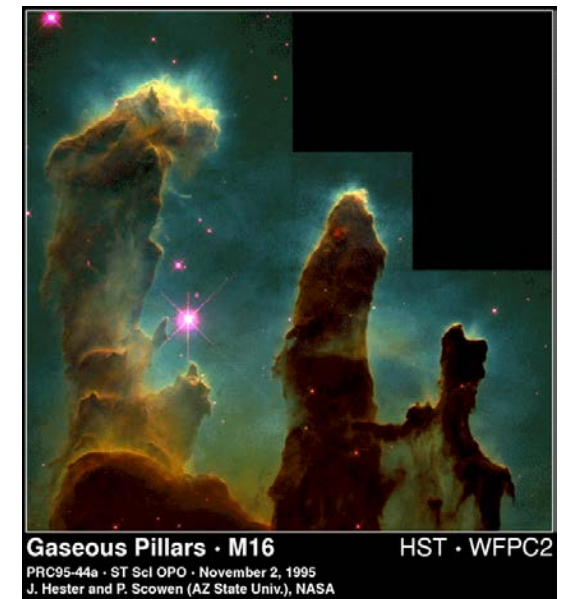
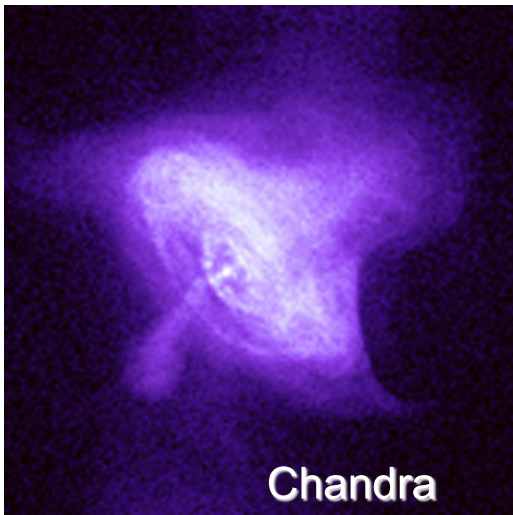
↓ 電波、X線、赤外線

- 20世紀後半 活動する宇宙

宇宙は爆発・ジェットだらけ！

星は進化する

- 形成 星間雲 \Rightarrow 主系列星 (太陽)
- 進化 主系列星 (太陽) \Rightarrow 巨星
- 死 (軽い星: 太陽) 惑星状星雲
 \Rightarrow 白色矮星
(重い星) 超新星爆発
 \Rightarrow ブラックホール
中性子星



クエーサーの発見

1960's (QSO: 3C273)

星のように見えるが、
実際は銀河の中心核

=> 活動銀河核

距離 ~ 25 億光年

=> 膨大なエネルギー

解放率 $\sim 10^{46}$ erg/s

解放された全エネルギー

$\sim 10^{62}$ erg $\sim 10^{55}$ J

~2兆の1000兆倍の1000億倍
個の水爆のエネルギー

<http://www.seds.org/~spider/spider/Misc/Pics/3c273kp.jpg>



宇宙最大の爆発

私の青春の夢

宇宙最大の謎の活動銀河核(とそのジェット)を
生きているうちに解明したい！

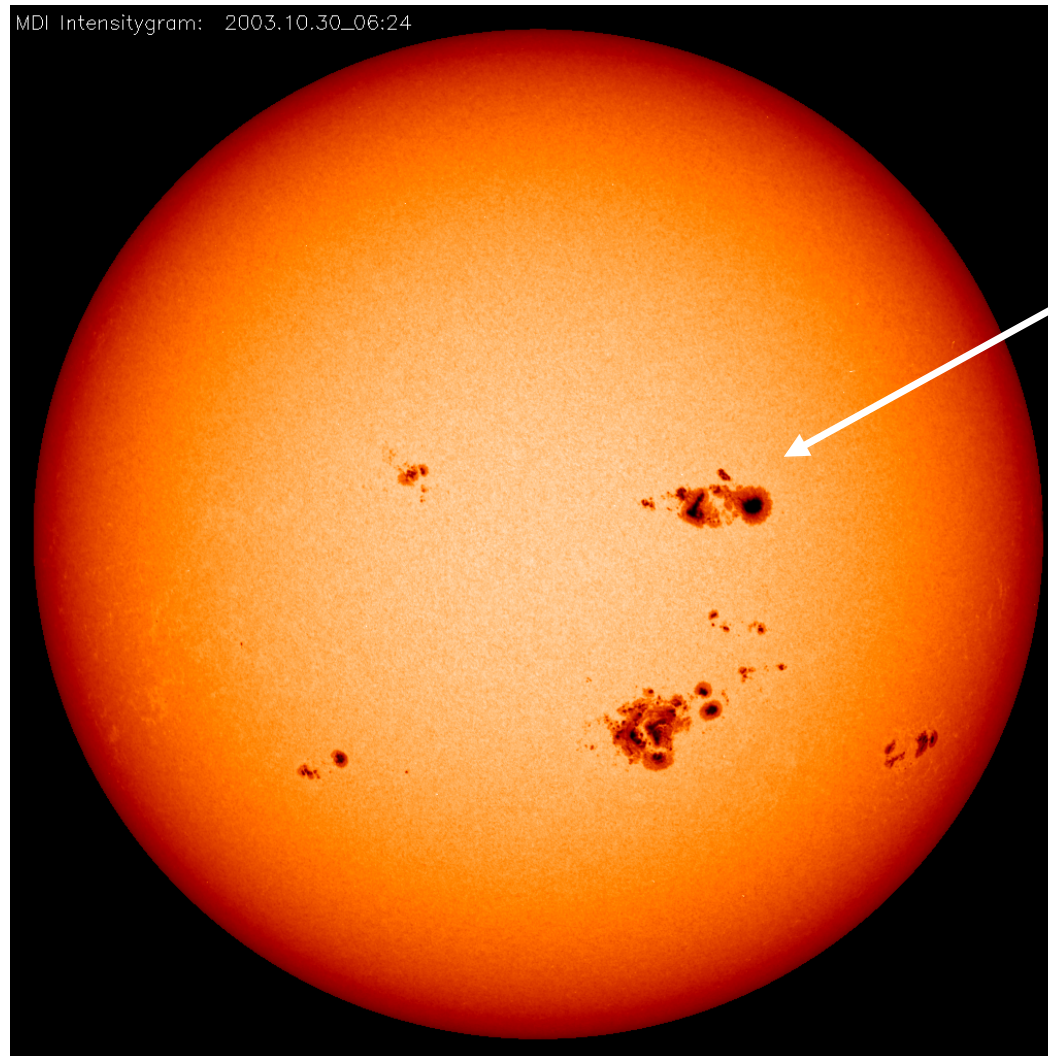
しかし、本体の直接観測は遠い未来。

ならば身近な太陽面爆発(フレア)や他の類似の天体フレア・宇宙ジェットにヒントを探し、
電磁流体プラズマ理論でせまる。(私の戦略)

太陽面爆発(フレア)

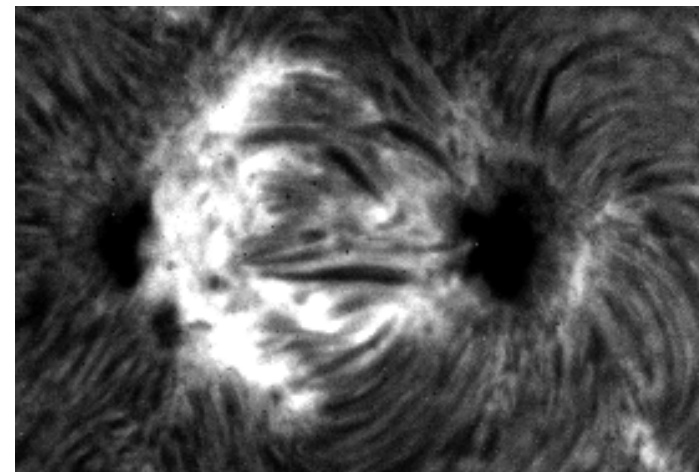
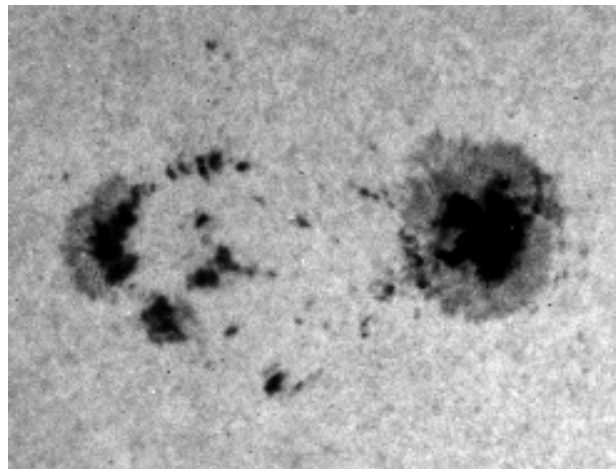
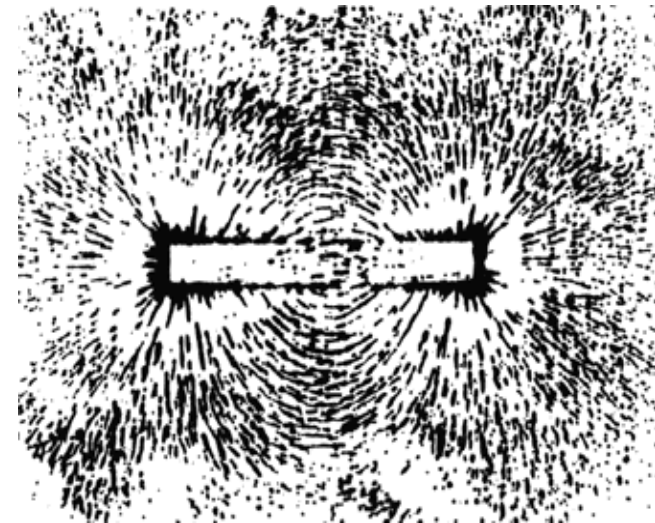
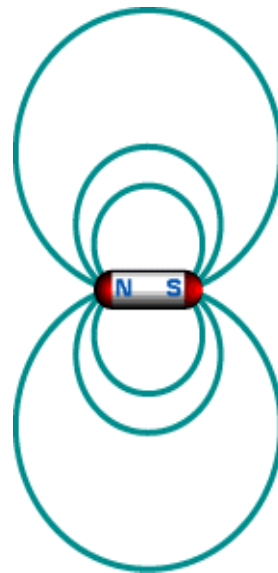
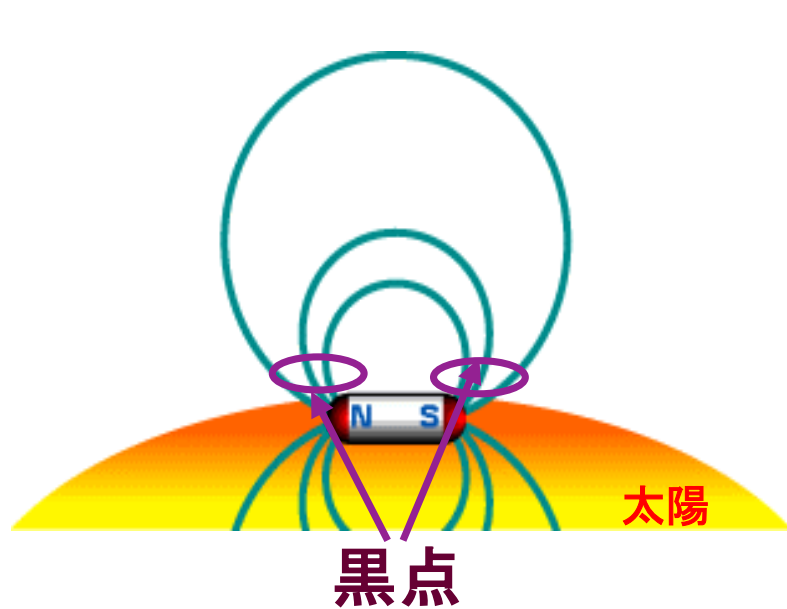
—太陽の驚くべき素顔

可視光で見た太陽 (光球=6000度)



黒点

黒点の正体＝巨大な磁石



太陽フレア

19世紀中頃発見

黒点近傍で発生=>

磁気エネルギーが源

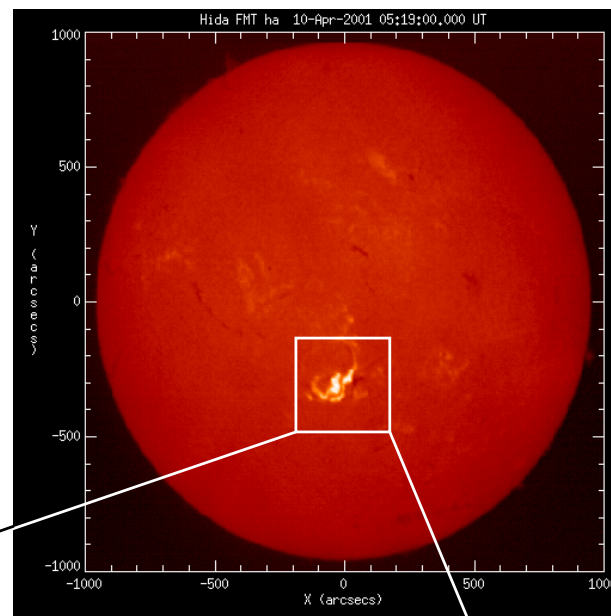
サイズ~(1-10)万km

全エネルギー

$10^{29} - 10^{32}$ erg

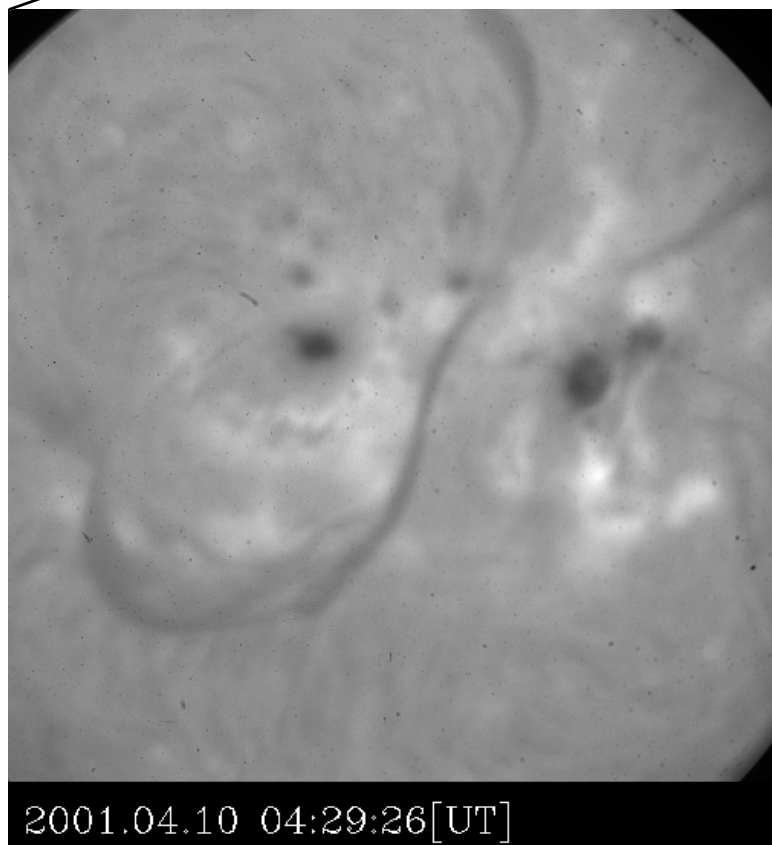
(水爆10万-1億個)

京大飛騨天文台

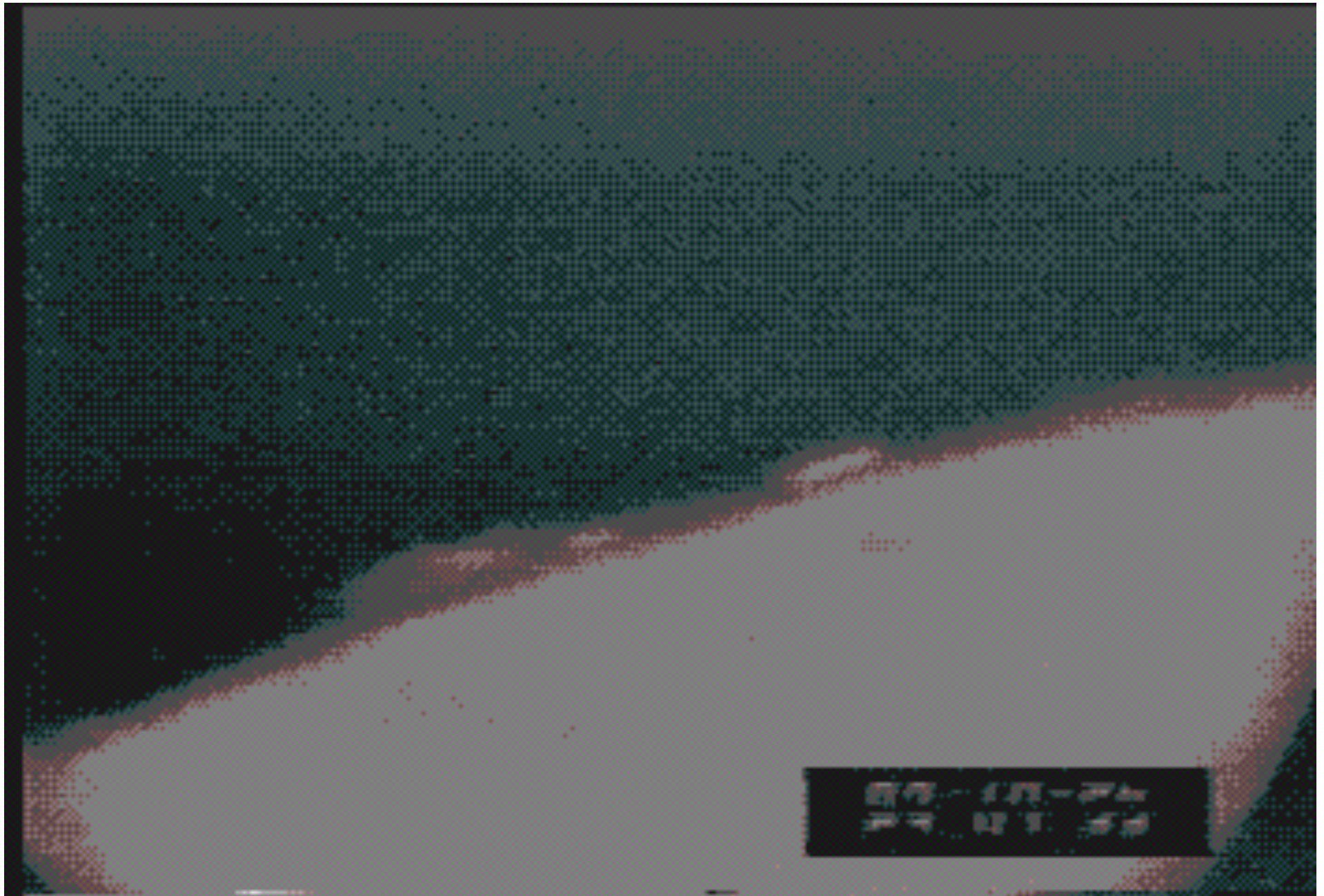


H α

彩層
1万度



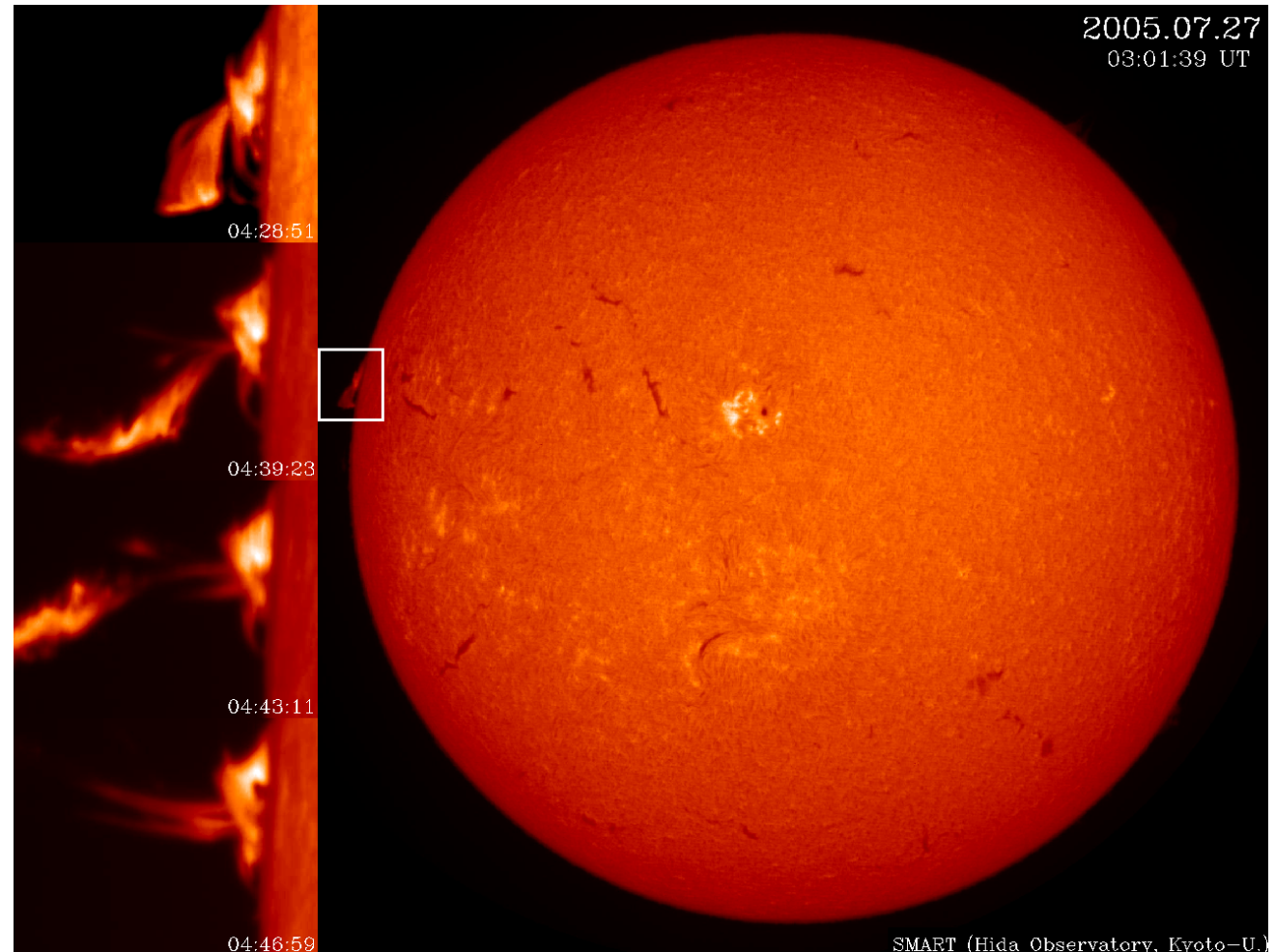
プロミネンス噴出（飛騨天文台）



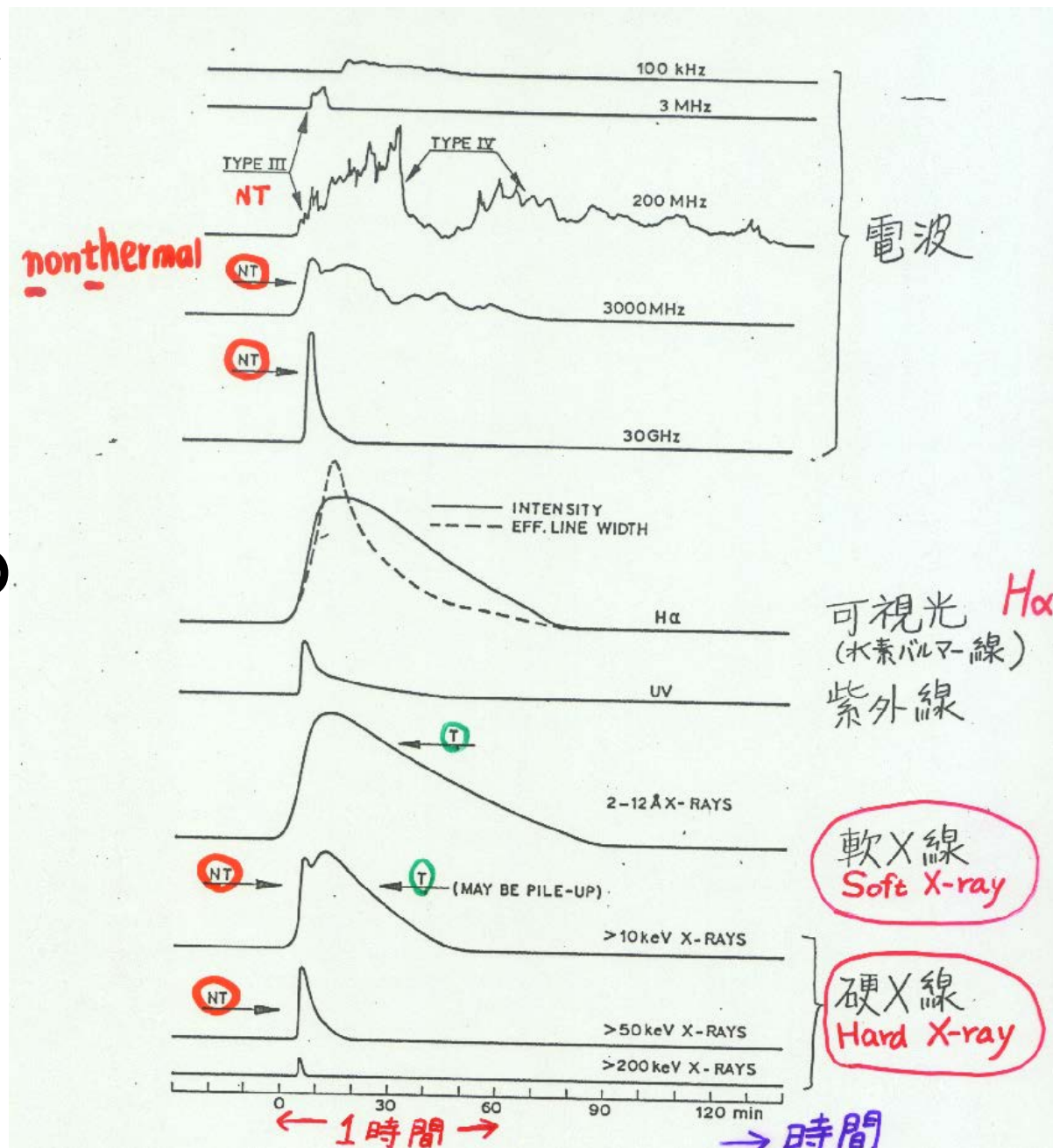
飛騨天文台の新しい太陽望遠鏡 SMART(2005～)により観測された フレア・プロミネンス噴出



SMART (solar magnetic activity research telescope)



太陽フレアが
発生すると
あらゆる
電磁波が
突然増大する



(Svestka "Solar Flares" Reidel より)

X線で見た コロナ (「ようこう」衛星 による)

軟X線
(1 keV)
200万度—
数千万度



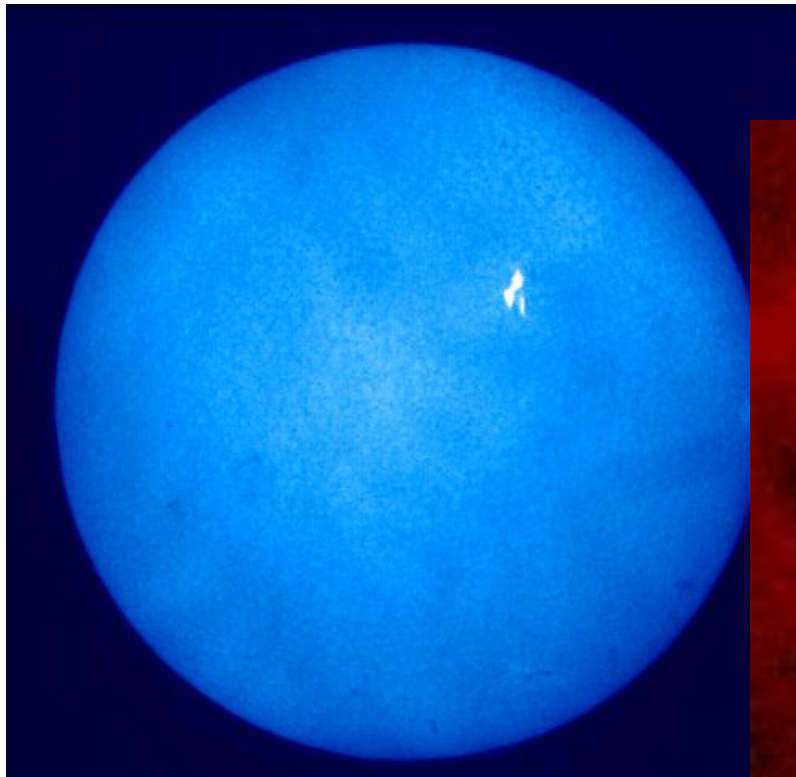
Movie data :

1992/02/17 02:37:01

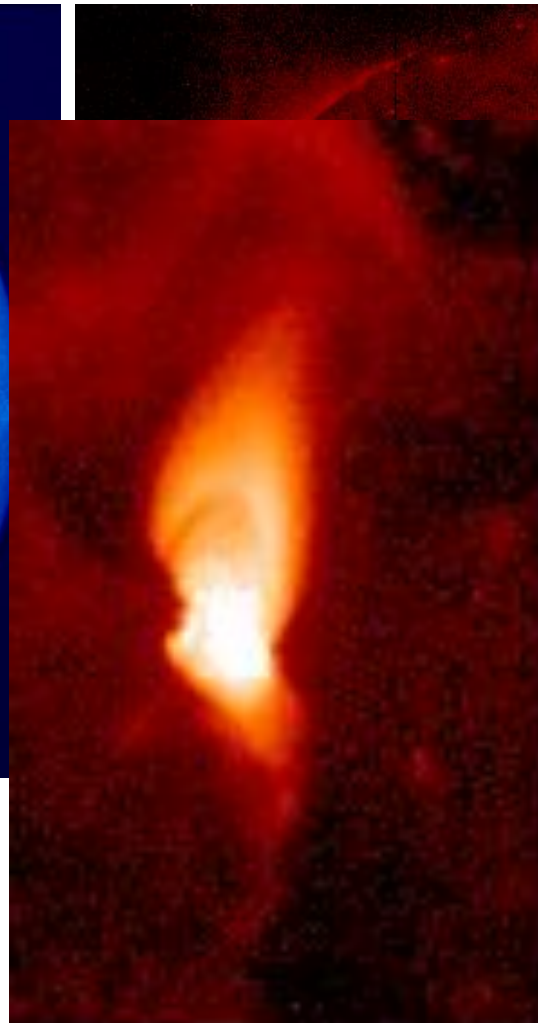
http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/~shibata/shimin2006/sxt_920217_920227_b.mpeg

フレアの正体

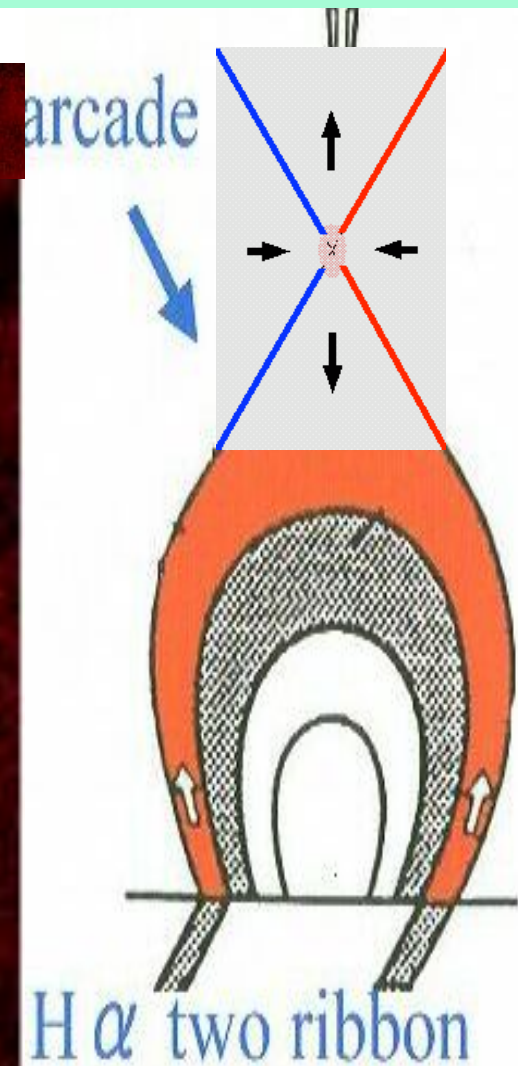
H α



X線

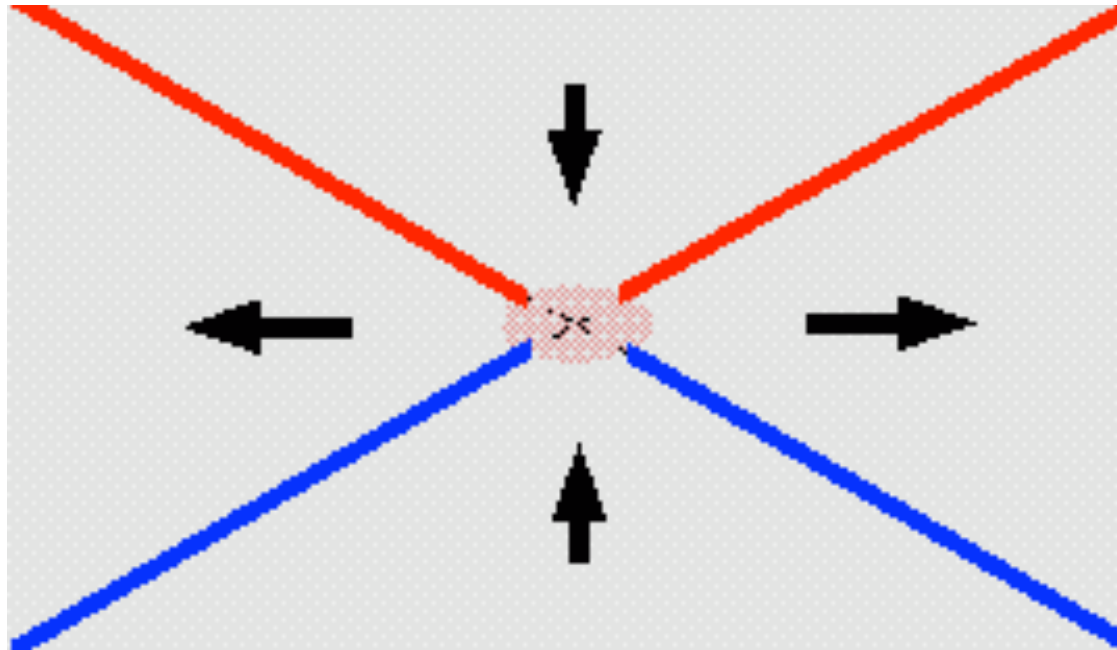


磁気リコネクション
(磁力線つなぎかえ)



磁気リコネクション とは？

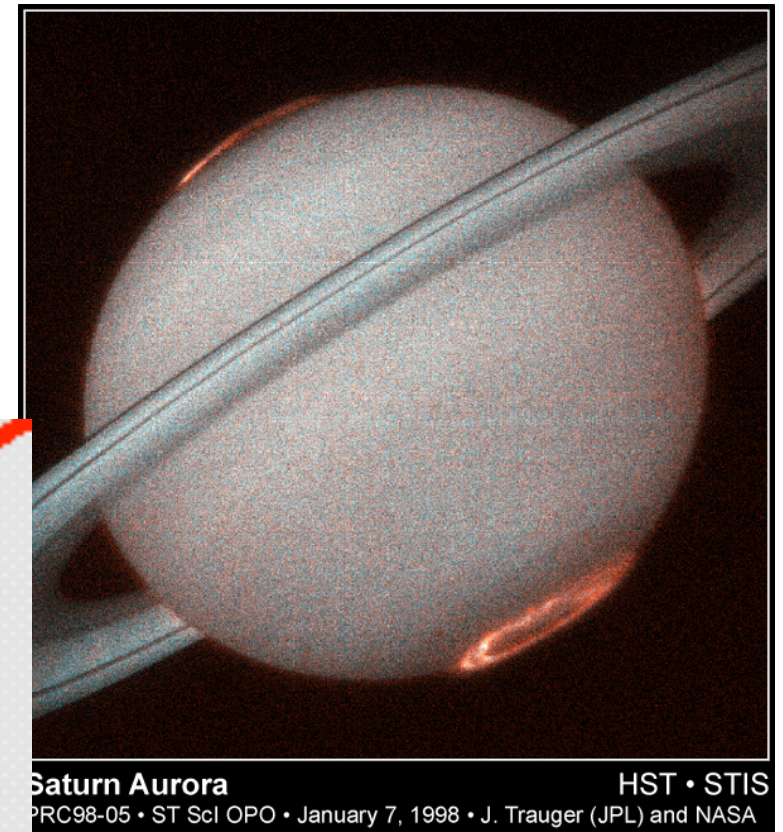
磁力線(「ゴムひも」に似た性質)



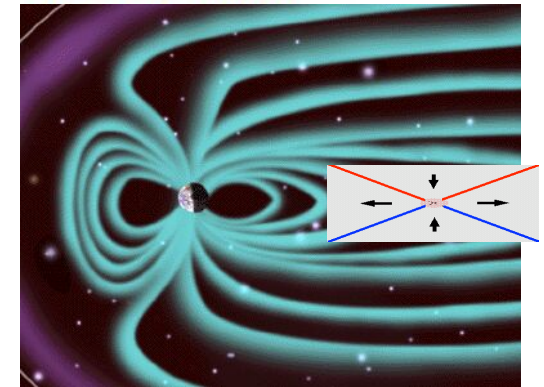
<http://www-solar.mcs.st-andrews.ac.uk/~eric/>

磁気エネルギーを短時間の内にプラズマの
運動エネルギーや熱エネルギーに変換

<http://www.rabidpenguin.org/pub/images/space/magfieldG.gif>

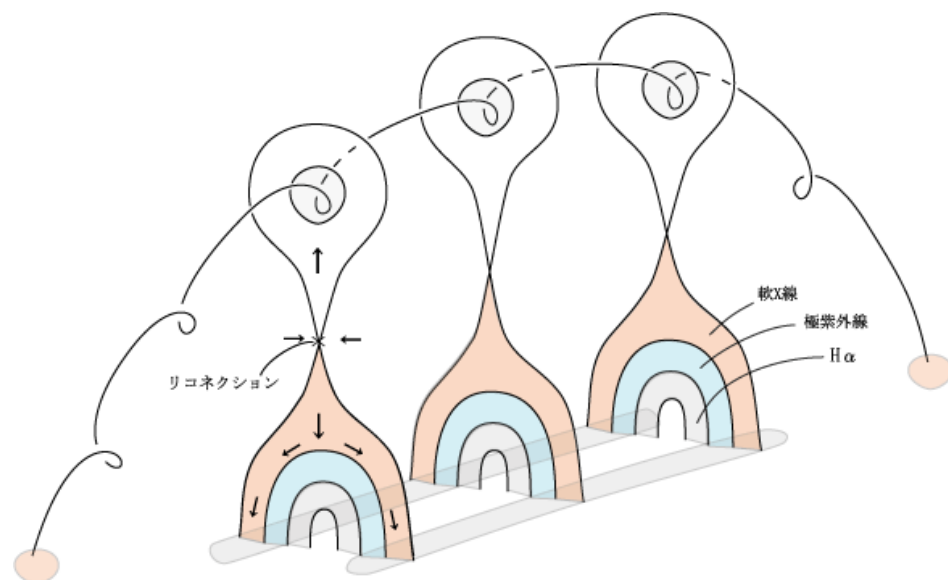


H α two ribbon

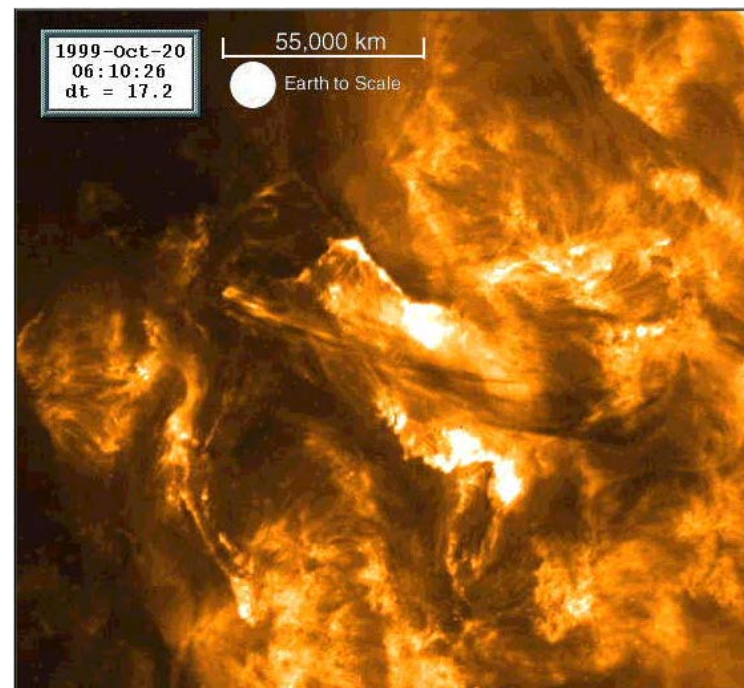


地球磁気圏でも発生

フレアとフィラメント噴出の関係



想像図



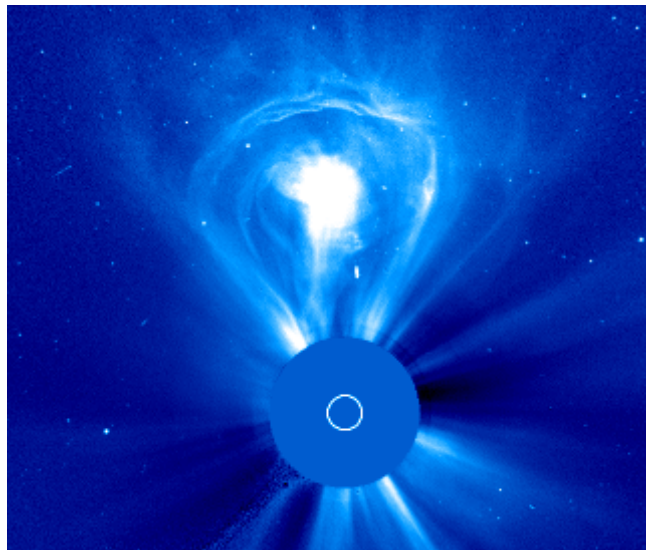
極紫外線で見たフレア
(TRACE衛星: 100万度)

(SOHO/LASCO, 可視光/人工日食)

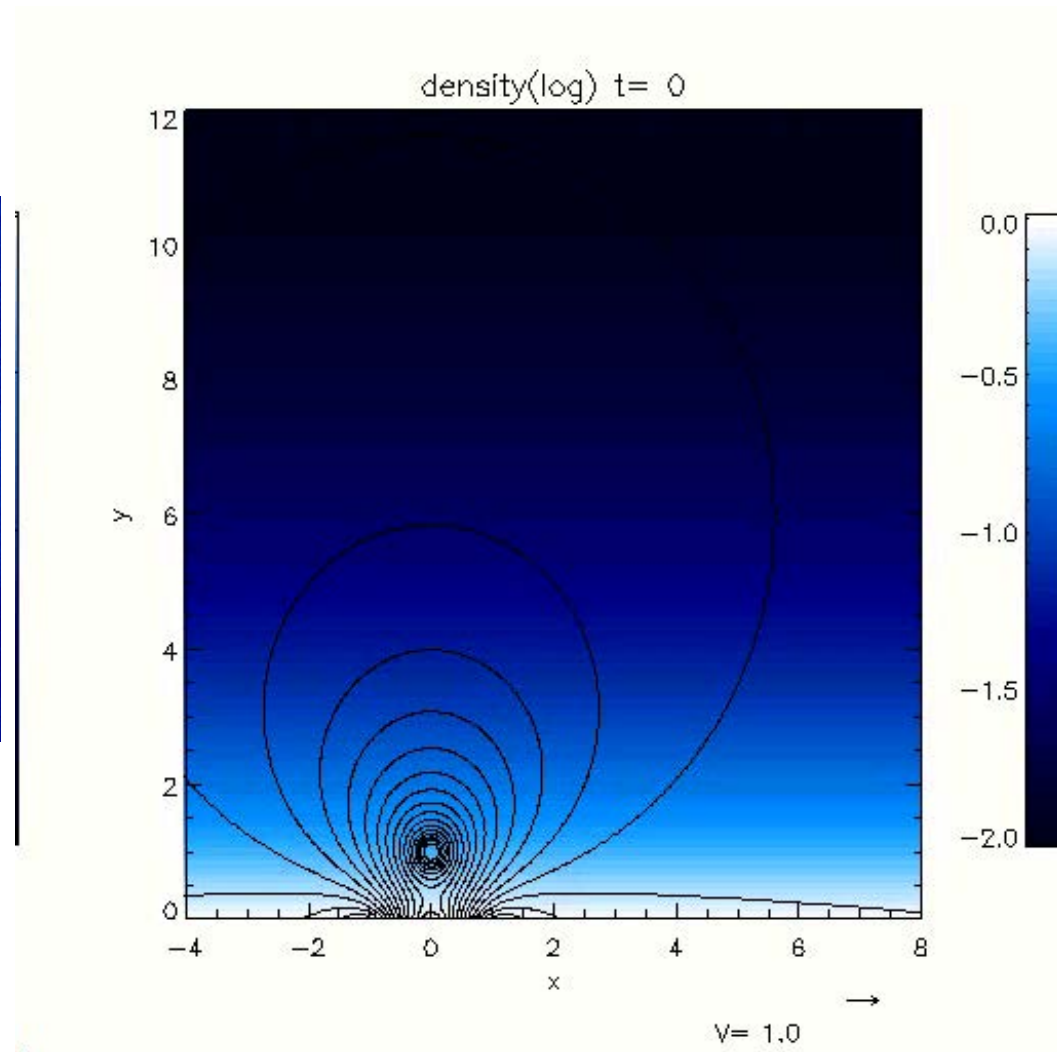


Movie data : http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/~shibata/shimin2006/lasc_aug_99sm.mpg

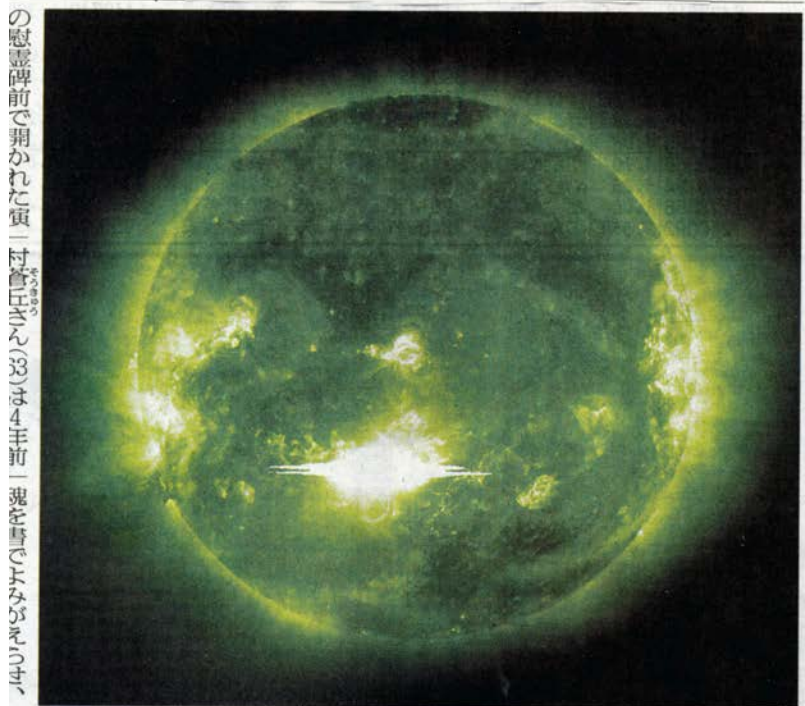
フレア・コロナ質量放出のシミュレーション (塩田ほか 2005)



SOHO/LASCO



太陽活動と地球



慰霊碑前で開かれた寅「村」(33)は4年前一魂を誓てよみがえり、活動を続けることを求める「公」

の慰霊碑前で開かれた寅「村」(33)は4年前一魂を誓てよみがえり、活動を続けることを求める「公」

衛星、「太陽大爆発」とらえた

【ワシントン＝村山知博】米航空宇宙局(NASA)は、太陽観測衛星SOHOが28日にとらえた太陽フレア(大爆発)の画像を公開した。写真、ロイター。コロナガスの大噴出も確認された。観測を始めたこの25年間で最大級という。

米海洋大気局は、この影響で地球の磁場が乱れる「磁気嵐」が起きる可能性がある、と警告した。放送や航空機の通信などの障害や停電のほか、人工衛星が故障する恐れがあるという。通信総合研究所は日本でも30日未明から日中にかけて影響が出る可能性がある、と注意を呼びかけている。

オーロラ NY州でも

太陽表面での爆発(フレア)により、米ニューヨーク州ボンプベイ(北緯43度)で30日夜(日本時間31日午前)、観測されたオーロラ＝写真、

AP。通信総合研究所によると、日本では29日夜以降、茨城県里美村、山梨県長坂町、長野県原村など、ほぼ北緯36度以北の地域で観測。日本で広範囲に肉眼で見えたのは89年以来14年ぶり。

2003年10月28日の太陽面爆発(太陽フレア)とそれによる磁気嵐



太陽の「嵐」、地球直撃

14年ぶり「微粒子、磁場乱す」大爆発

【ワシントン＝村山知博】米海洋大気局(NOAA)は29日、前日に太陽の表面で起きた巨大な爆発(フレア)のあとで、高速で飛んできた大量の荷電微粒子の「嵐」が地球を直撃したと発表した。「嵐」は14年ぶりとなる最大規模。低緯度地域でもオーロラが観測されたほか、地球の磁場が乱されて起こる「磁気嵐」で一部の航空機の無線通信などに障害が出た。

今回のフレアに伴って、電気を帯びた微粒子が時速800万kmの猛スピードで飛散。約19時間後の米東部時間29日午前1時すぎ(日本時間同日午後3時すぎ)、太陽から1億5千万kmの距離にある地球に到達した。カナダでは北緯57度以上の高緯度域を飛ぶ航空機と通信の一部に障害が出た。

テキサスでオーロラ

出たが、飛行に支障はなかった。NOAAによると、北緯32度のテキサス州エルパソでもオーロラが観測された。北海道十勝支庁陸別町の銀河の森天文台(北緯43・5度)では29日夜、うすうすとしたオーロラが見え、高度フィルムで長時間露光で薄い赤色が撮影された。オーストラリアの南緯32度付近でも30日未明に「乳白色の光」のオーロラが観測された。

オーロラは荷電微粒子が大気と衝突して、高エネルギーの荷電粒子が両極付近に集まるため、オーロラは低緯度では見られない。米航空宇宙局(NASA)によると、約100kmの軌道を回る宇宙ステーション「コロンビア」の飛行士もステーション内の肉眼で観測した。一方、米北東部

朝日新聞

夕刊

©朝日新聞社 2003年
発行所 〒104-8011 東京都中央区築地5丁目3番2号
朝日新聞東京本社
電話 03-3545-0131

越の寒中梅

新潟銘醸株式会社 TEL 025-836-5558
http://www.sake-no-choja.com

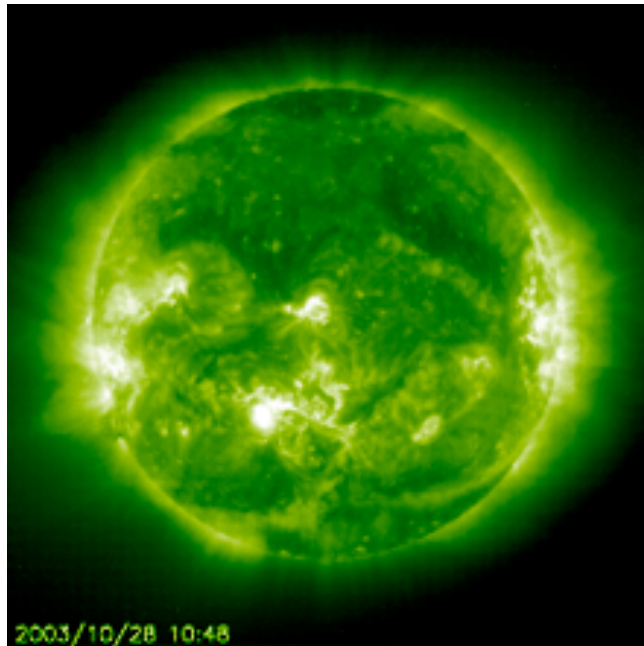
人生凝視の作を撮り続けた小津安二郎生誕100年のNY上映会に静かな人気と関心(文化面)。「いつまでも若いもんの邪魔」とのこぼれ(「春秋」)。「微言や切りやにやが、まアええ方じゃよ」(「東京物語」)

素粒子

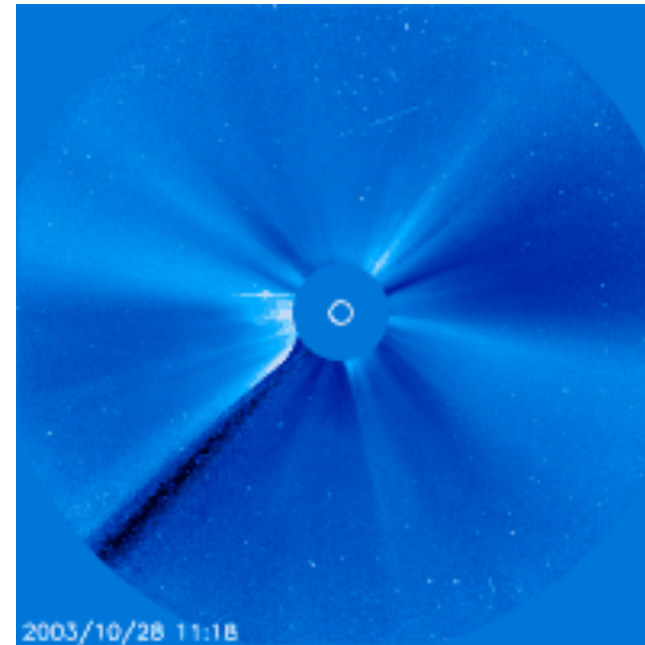
【キーワード】太陽の活動 太陽はほぼ11年周期で激しく活動する極大期を繰り返している。今回の極大期のピークは3年前だったが、先週ごろから急に活発化

した。極大期に現れる磁場の爆発的に消えるのがフレアで、スズメや荷電微粒子が宇宙空間に高速で放出。荷電微粒子に

2003年10月28日のフレア (史上3番目のX線強度)



(SOHO/EIT)



(SOHO/LASCO)

- 10月28日 世界時11時 フレア発生

北海道で観測されたオーロラ

低緯度オーロラ



2003年10月29日 23:34 (JST) 17mm F2.8 ISO800 露出時間: 3分 キヤノンEOS1V



りくべつ宇宙地球科学館（銀河の森天文台）

2003年10月29日 世界時14時

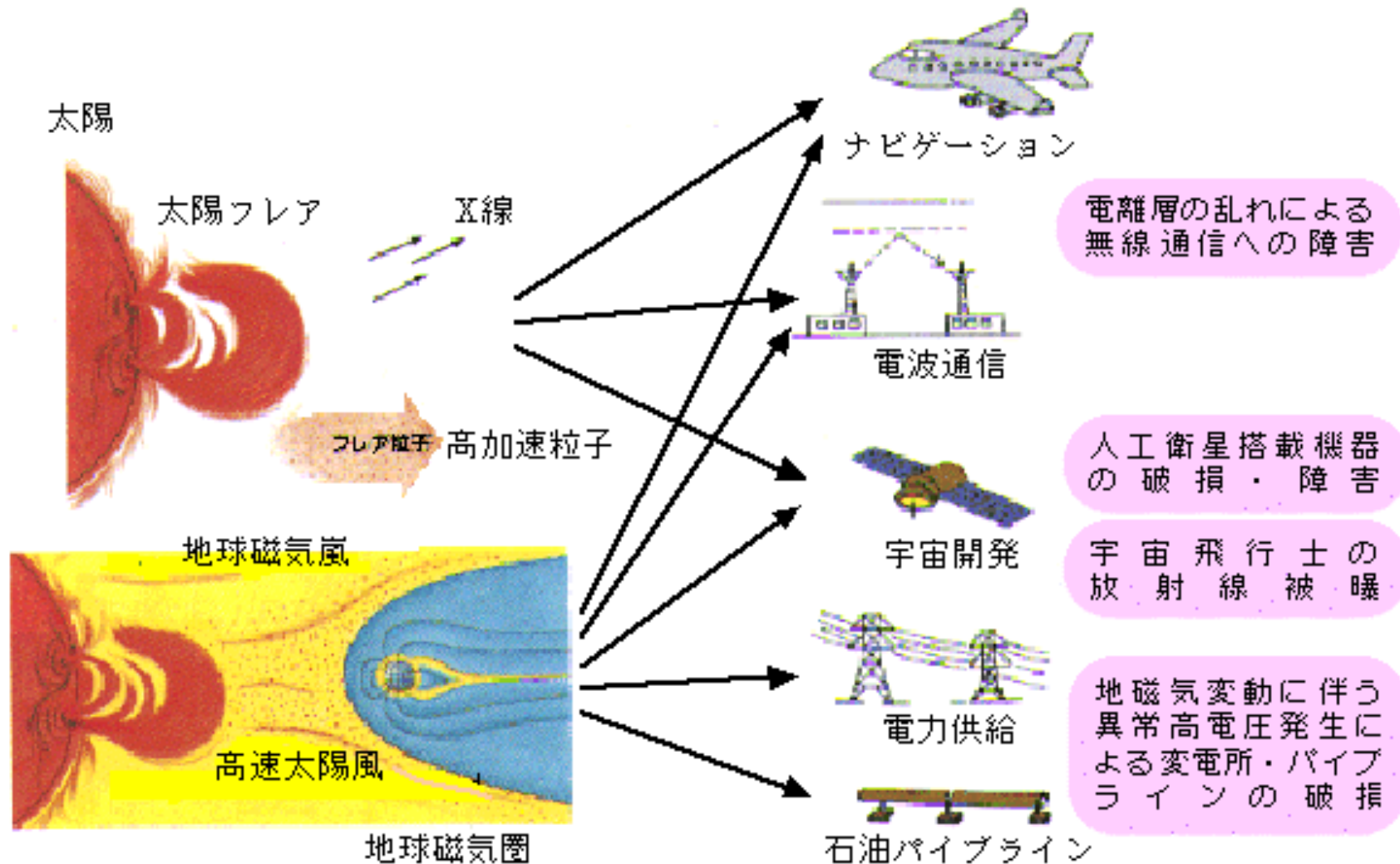
コロナ質量放出—オーロラ アニメーション



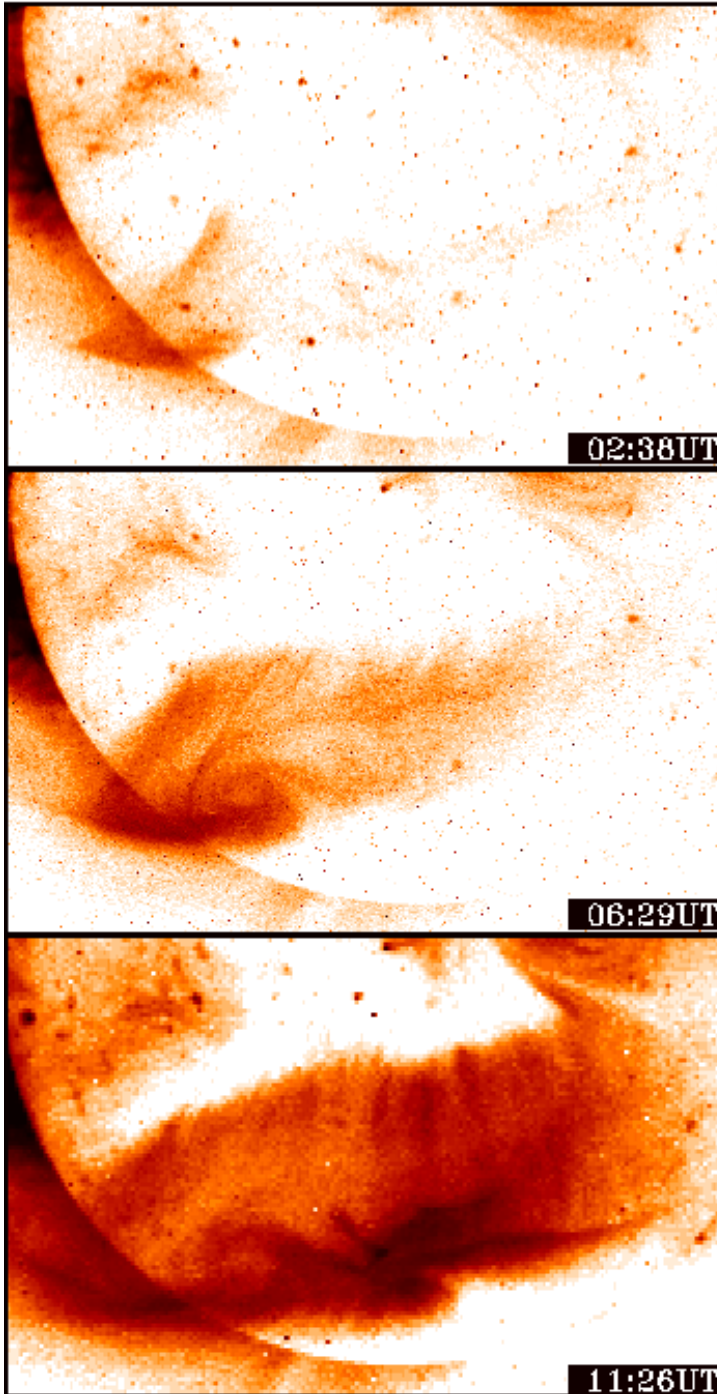
http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a010000/a010059/what_is_a_cme_NASA_WebV_1.mpg

太陽活動の脅威

太陽の活動は現代の情報化・IT化した文明社会に多大な影響を与えます。



「宇宙天気予報」が緊急の課題



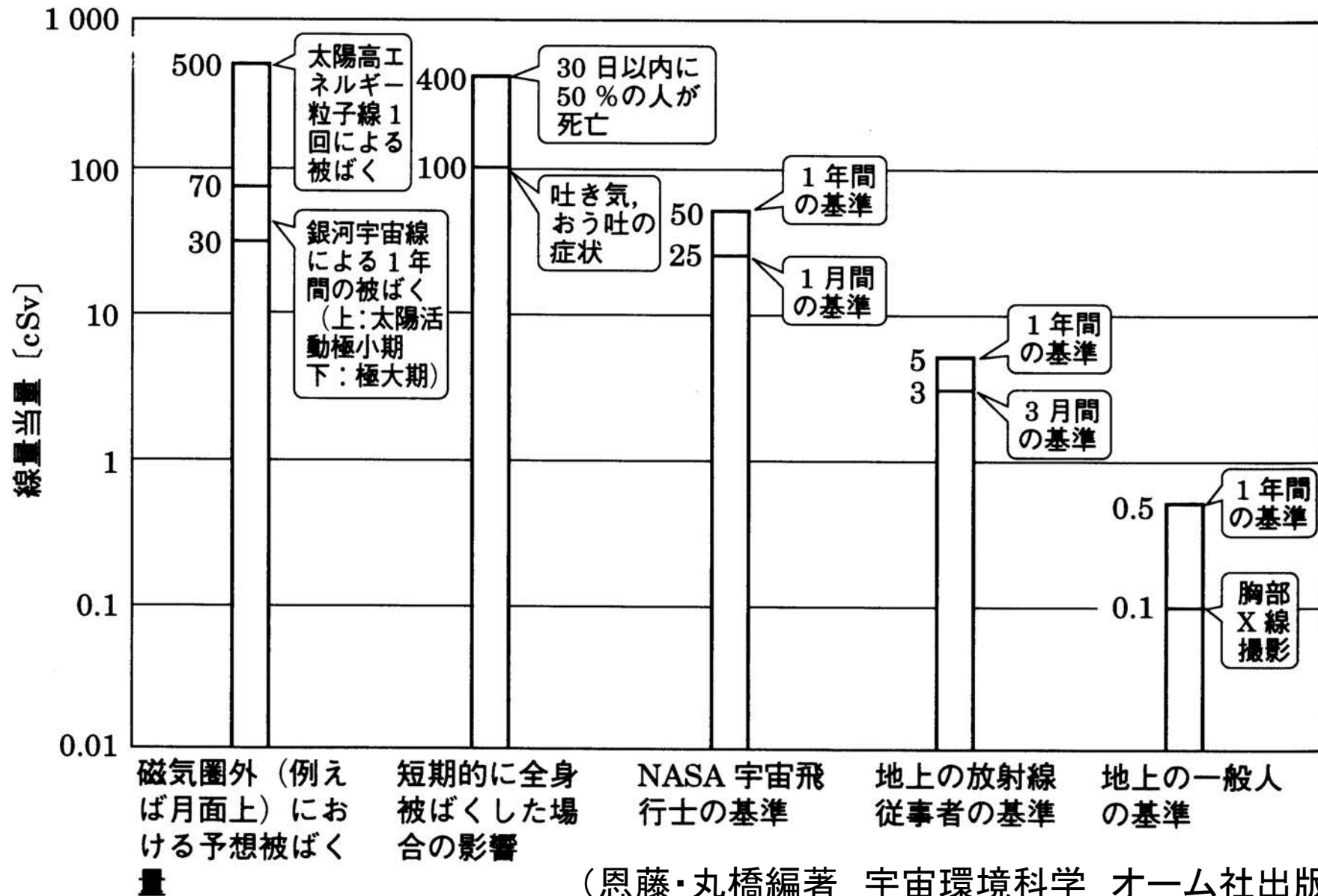
宇宙天気予報の例： 巨大アーケード現象 のX線観測

- 1994年4月14日
- 大量のプラズマ噴出が
起きているはずと世界
に電子メール通報
- それにともなって起こる
地球の巨大磁気嵐を
予言

シカゴの電力会社の
変圧器(数億円)を救う！

ちよつと こわい話

太陽放射線による被爆の危険性



巨大フレアの発生頻度

(GOES クラス分類:X線強度で分類)

年	X	M	C

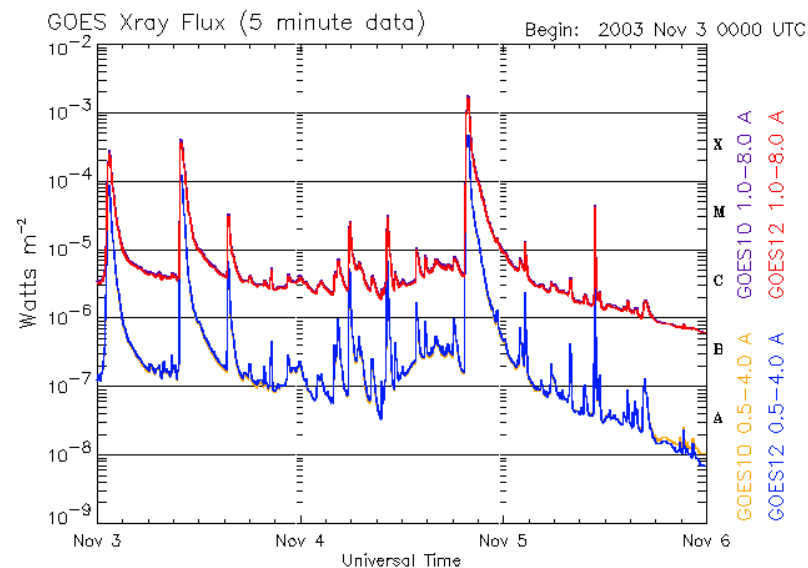
1989	59	620	1929
1990	16	273	2262
1991	54	590	2653
1992	10	202	1922
1993	0	74	1142
1994	0	25	336
1995	0	11	148
1996	1	4	81
1997	3	21	286
1998	14	94	1188
1999	4	170	1854
2000	17	215	2223
2001	21	310	2101

Cクラスフレアは1年に1000回
Mクラスフレアは1年に100回
Xクラスフレアは1年に10回
X10クラスフレアは1年に1回
X100クラスフレアは10年に1回

X1000000クラスフレアは
1万年に1回？

MクラスはCクラス
の10倍のX線強度
XはMの10倍
X10はXの10倍
....

X線強度が10倍に
なると発生頻度が
10分の1になる



Updated 2003 Nov 5 23:56:06 UTC

NOAA/SEC Boulder, CO USA

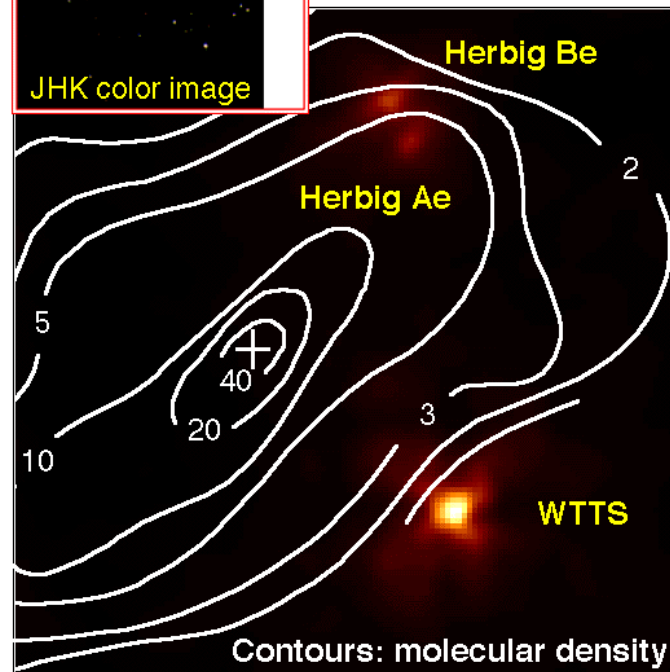
原始星フレア

(X線／あすか衛星: 小山ら1995)

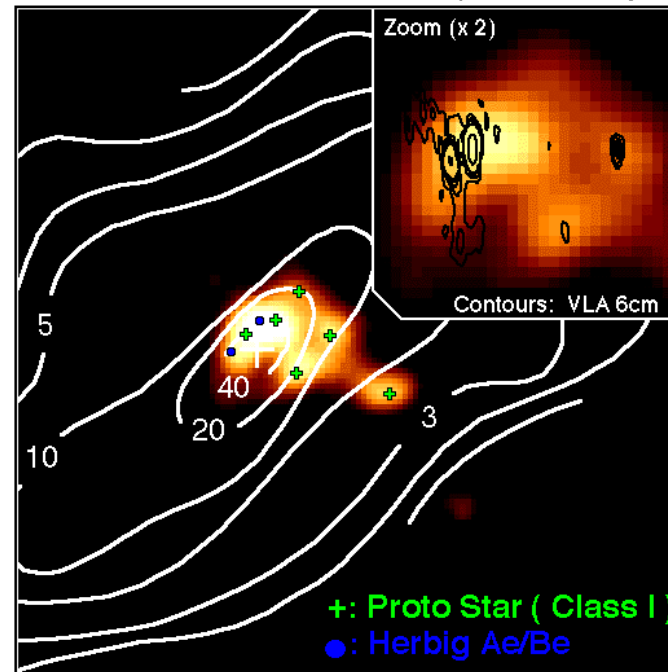


Coronet Cluster with ASCA CCD Camera (SIS)

Photon Energy
0.5 - 2 keV
(λ : 6 - 24 Å)



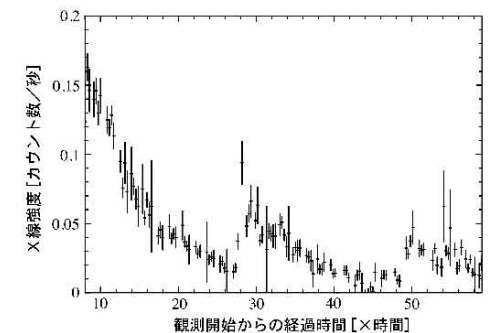
Photon Energy
4 - 10 keV
(λ : 1.2 - 3 Å)



14 arcmin = 0.5 pc

温度～
1億度

太陽フレアの
エネル
ギーの1
万倍以上



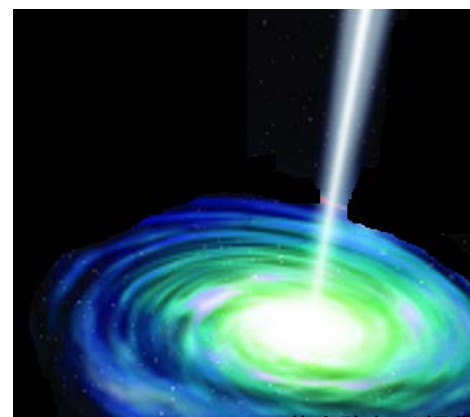
太陽と生命、人間

- 過去に超巨大フレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない
 恐竜の絶滅原因は超巨大フレアか？
- 生まれたばかりの星は超巨大フレア(太陽フレアの100万倍の強度)を起こしていることが判明
- 地球上の生命は太陽活動の嵐をいかに生き延びてきたのか？
- 今後、人類は太陽放射線の荒れ狂う宇宙空間に進出することができるのか？

宇宙ジェット

- 活動銀河核ジェット
- 近接連星系ジェット
- 星形成領域ジェット(原始星ジェット)

=> 降着円盤から噴出するジェット



落合隆郎氏提供

活動銀河核ジェット
＝銀河中心核から噴出するジェット

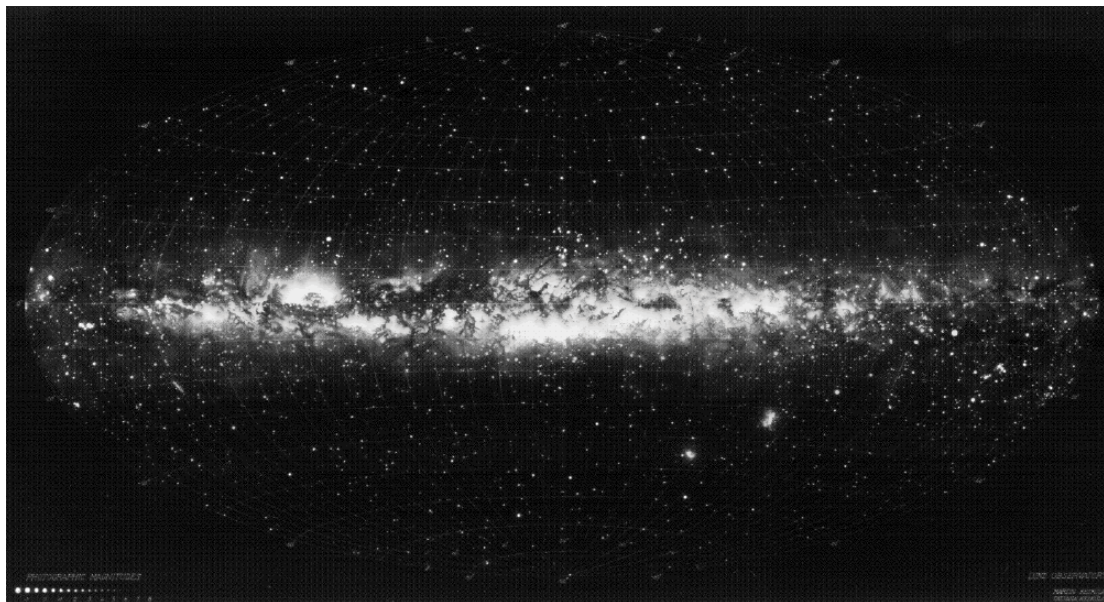
天の川



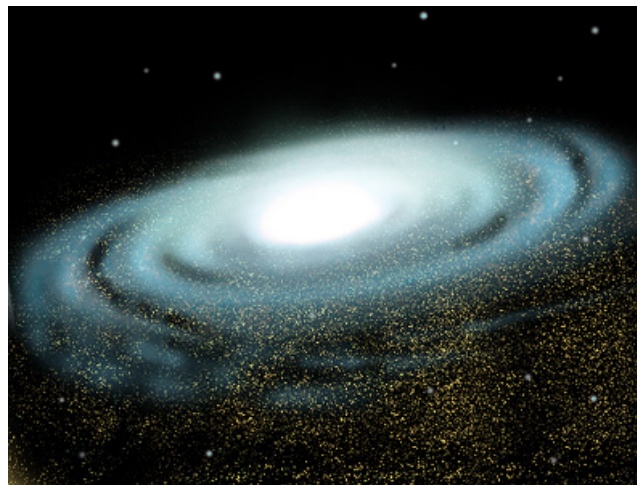
(栗田直幸 http://www.ne.jp/asahi/stellar/scenes/milky_p.html)

天の川(銀河系)

天の川は1千億もの
星を含む銀河
＝銀河系



<http://www.astro.lu.se/Resources/Vintergatan/milkyway.gif>



想像図

http://spaceboy.nasda.go.jp/note/ginga/g/gin101_01.jpg

M31 (アンドロメダ銀河)



(M31:東大木曾観測所撮影)

M51

Whirlpool Galaxy • M51



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-07

最初に発見された宇宙ジェット (Curtis, 1917) 楕円銀河 M87



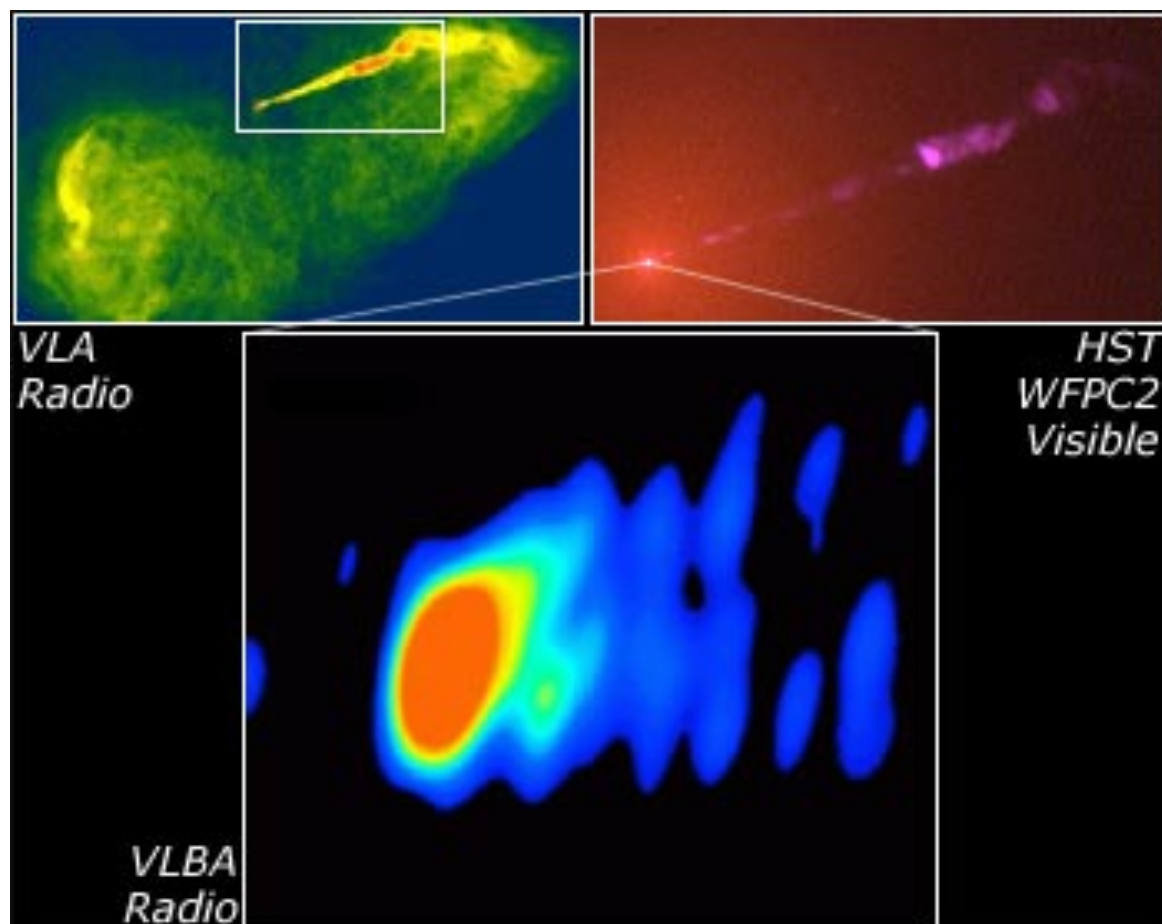
M 87 (NGC 4486)

Ultra-high-sensitivity HDTV I.I. color camera (NHK)
Exp. 40 sec. (10 frames coadded) January 16, 1999

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

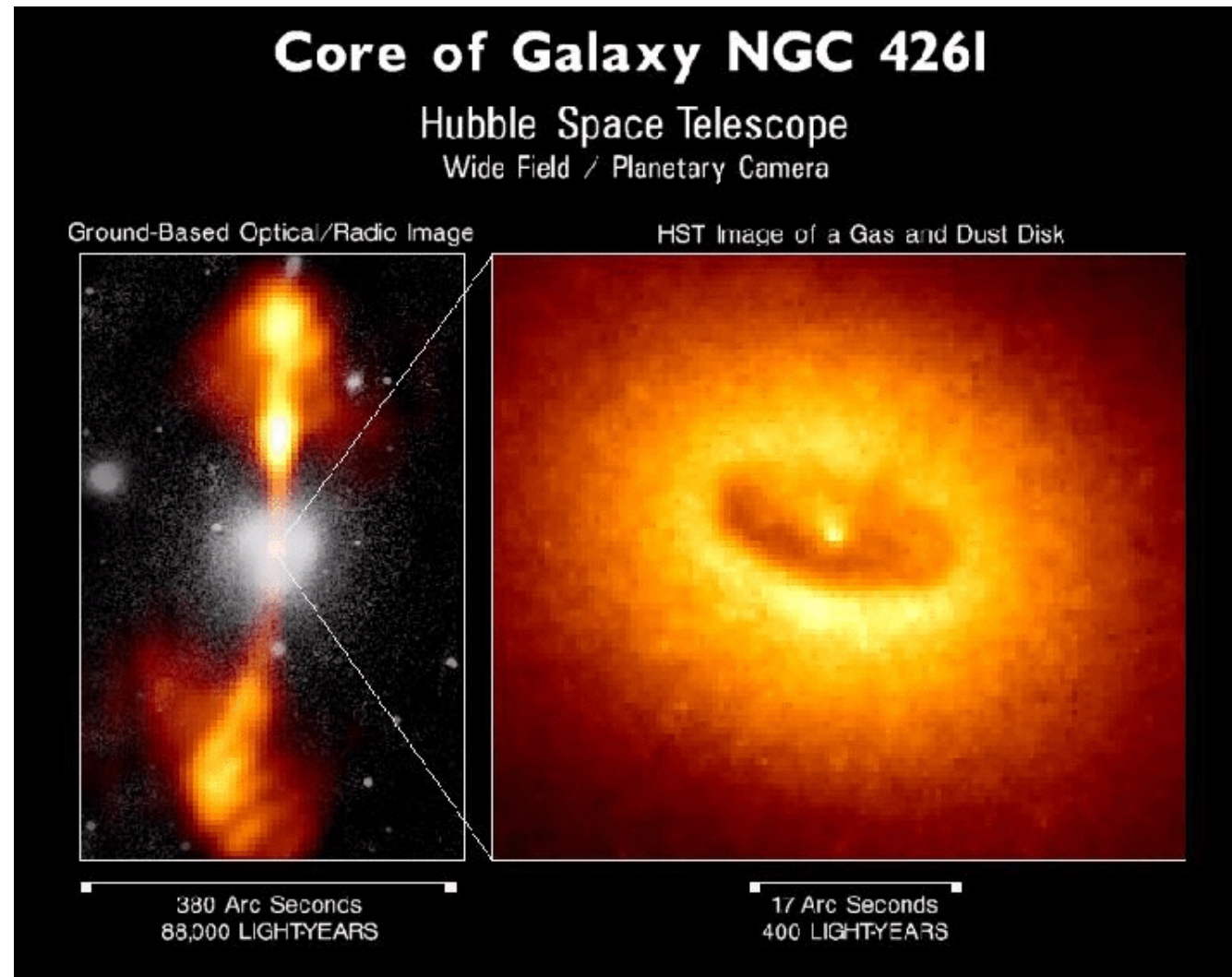
Copyright © 1999, National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

M87 = 電波銀河 = 活動銀河核



- 二つ目玉電波源のエネルギー源はジェット
- ジェットの方法は3光年から30万光年まで一定

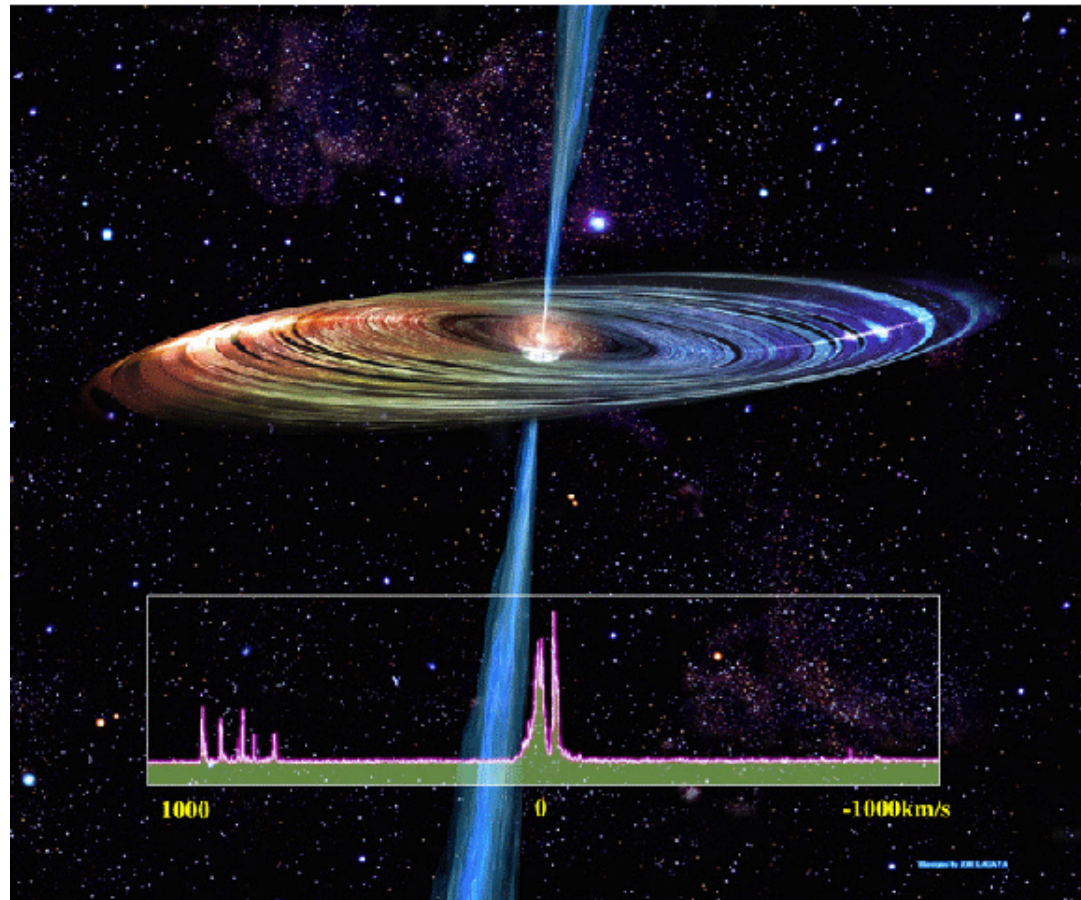
活動銀河核ジェットの原因に 降着円盤！



活動銀河核に 超巨大ブラックホールの証拠

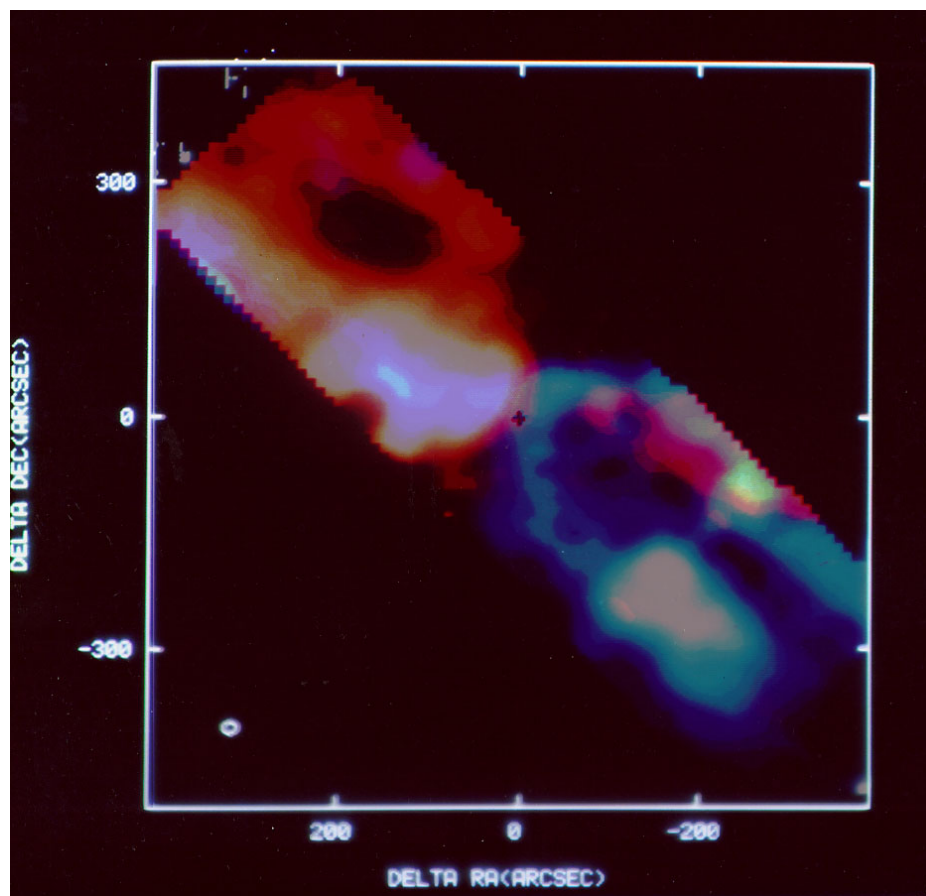
野辺山宇宙電波
観測所の電波
天文学者
(中井、井上、
三好)が発見
(1995)

銀河の中心に
1000万太陽質量
のブラックホール



星形成領域ジェット (原始星ジェット)

生まれたばかりの星(原始星)から 謎の高速分子ガス流噴出

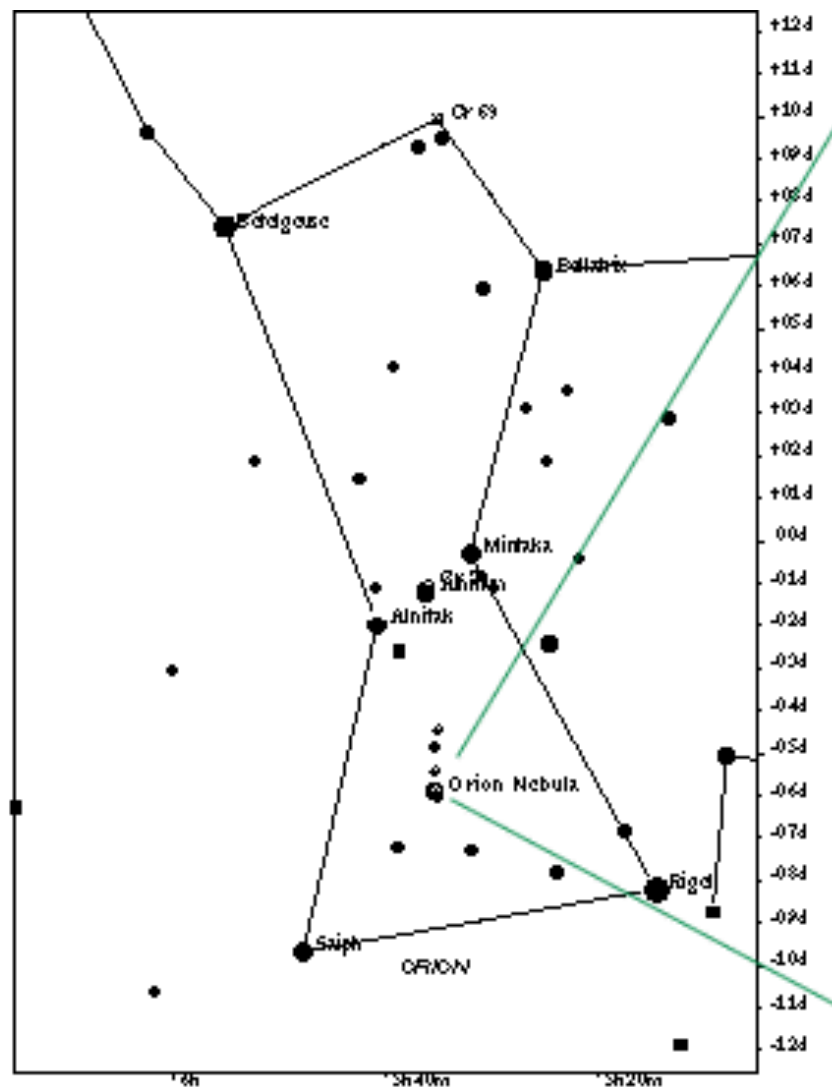


原始星から噴出
する双極分子流
(約10km/s)

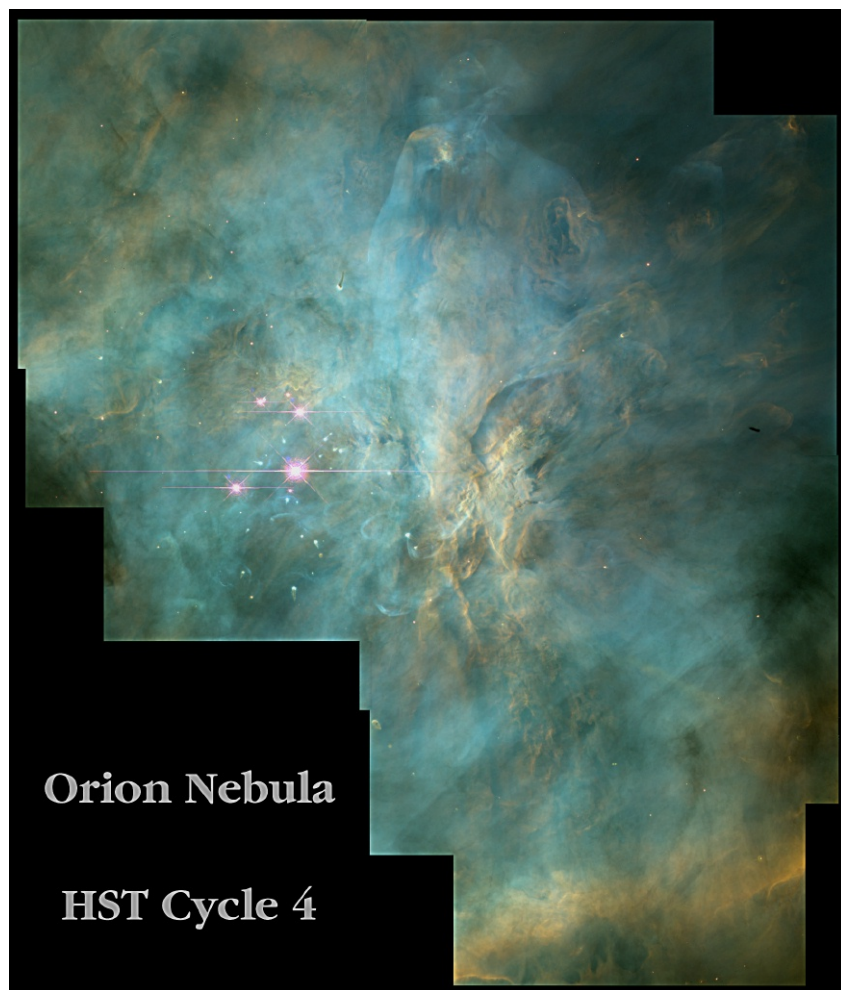
(野辺山45m電波望遠鏡による)

星形成領域とは？

—（例） オリオン星雲

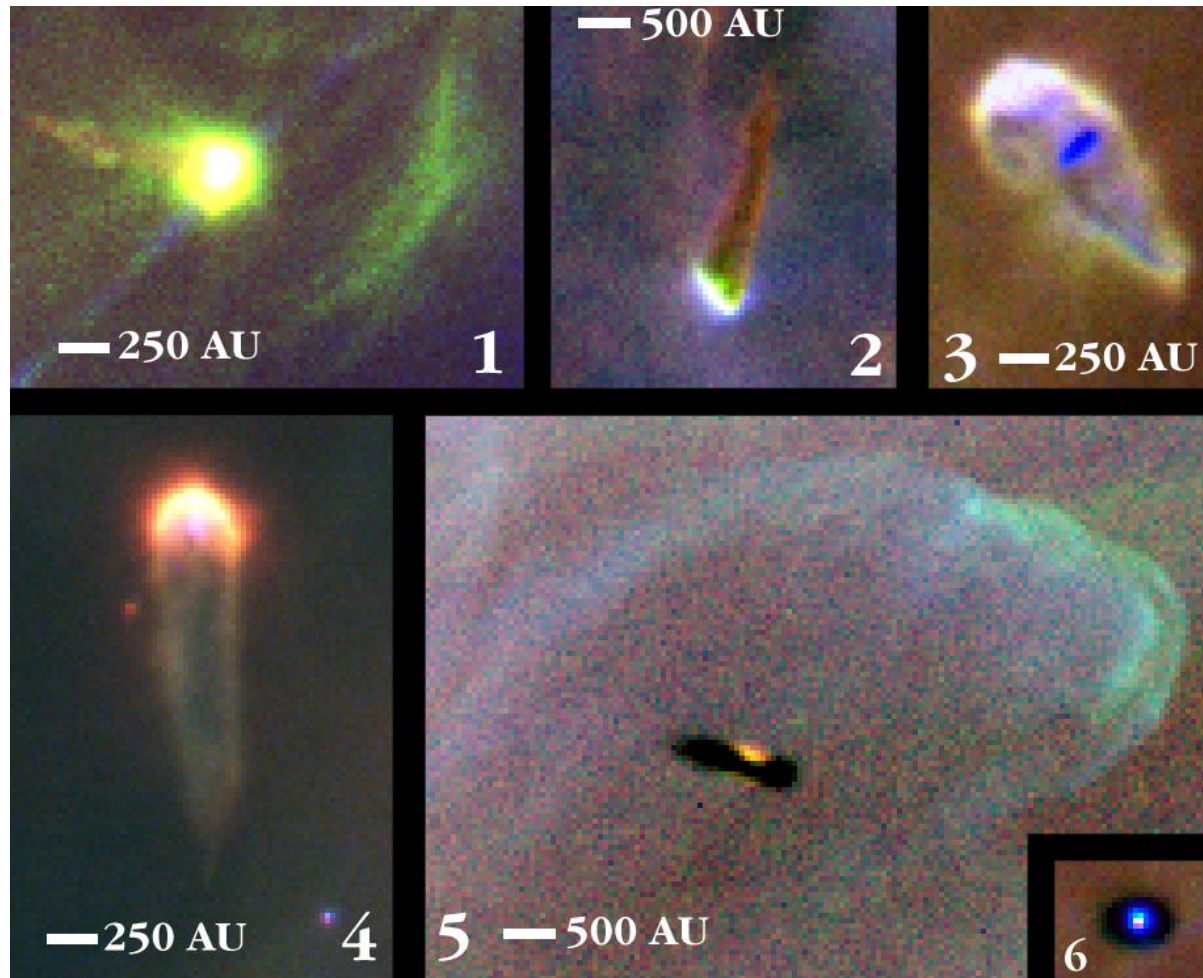


オリオン星雲



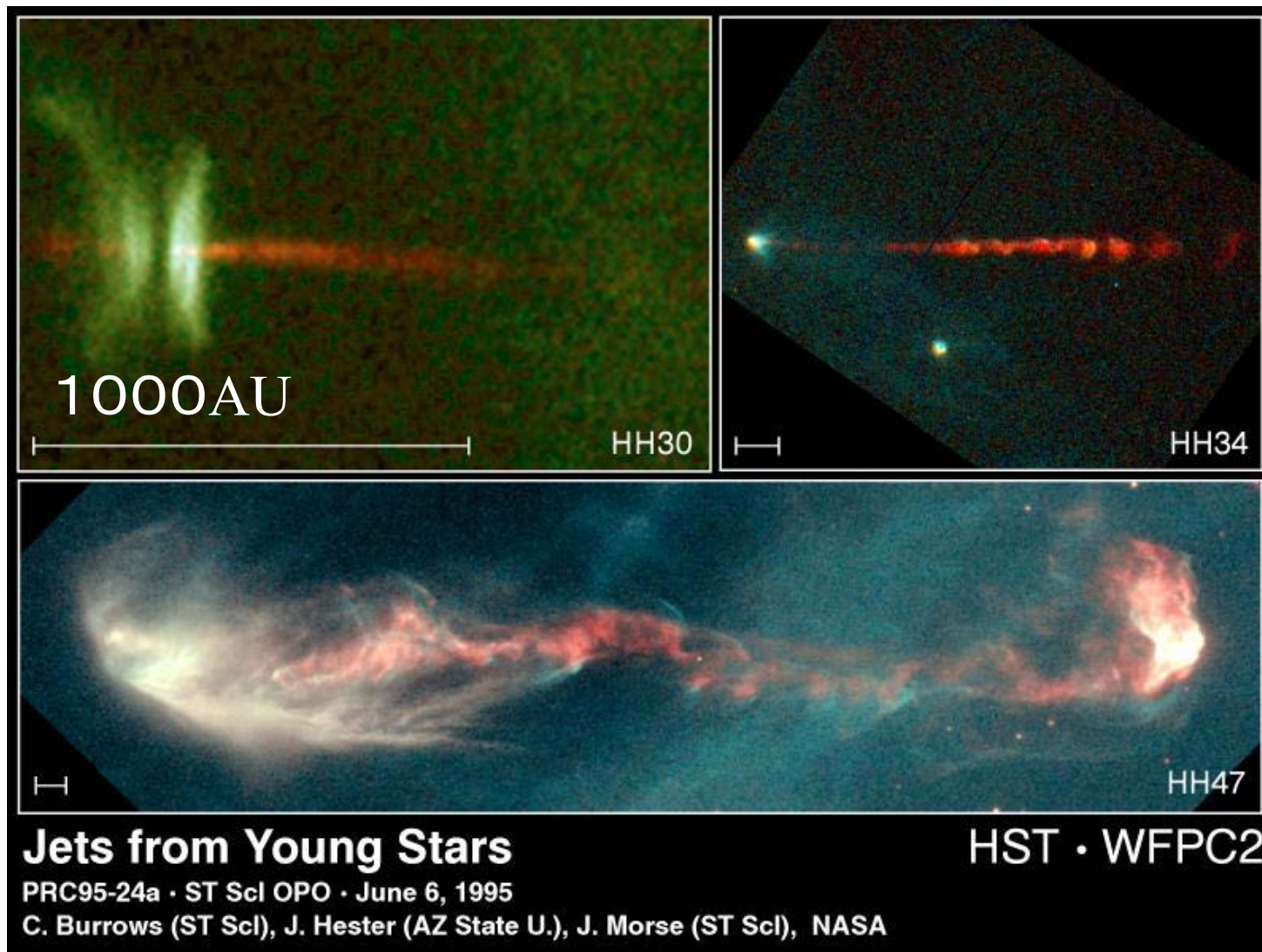
HST

オリオン星雲の 太陽系の赤ちゃんたち



HST

原始星ジェットと 足元の降着円盤(原始惑星系円盤)



原始星ジェット

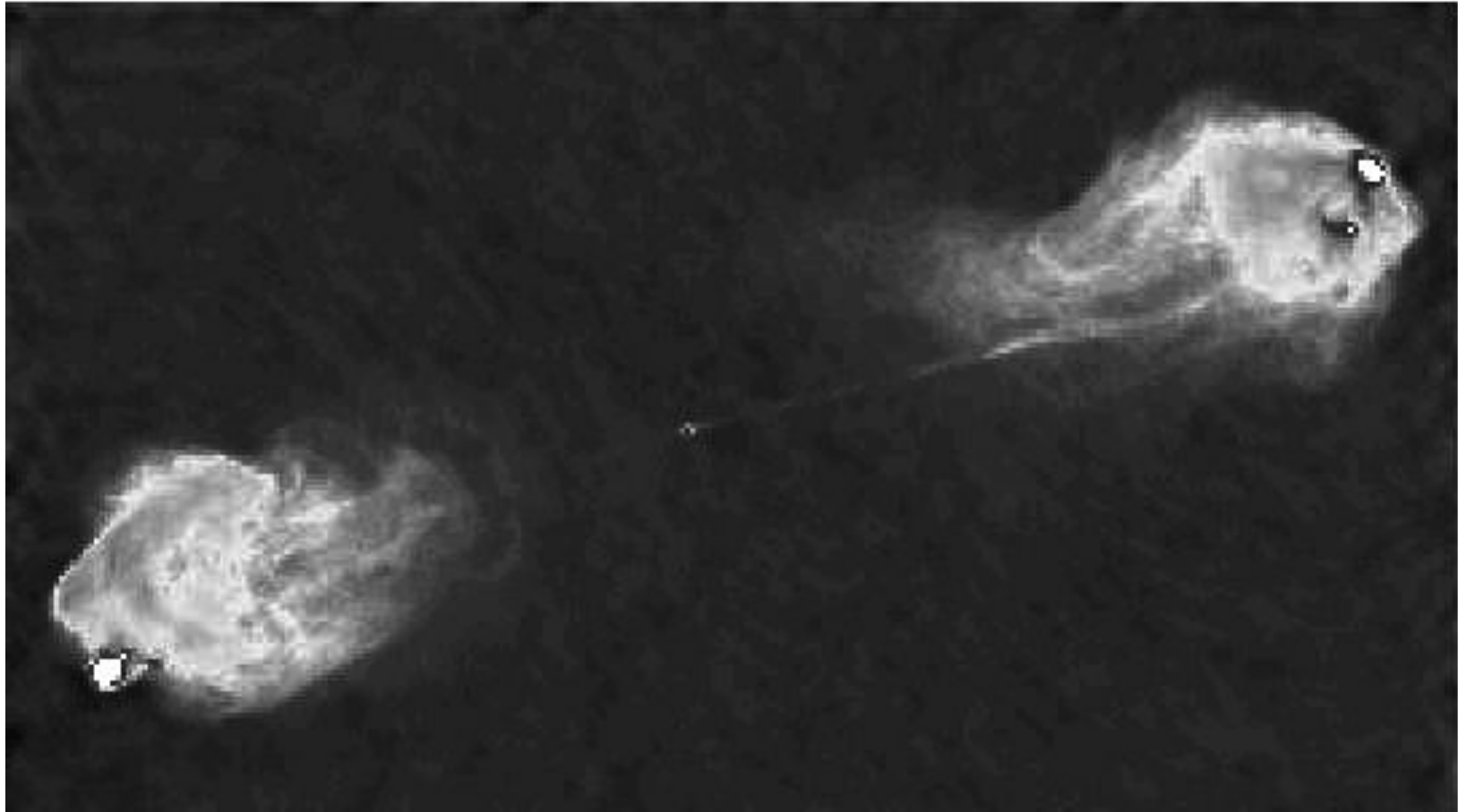
(HH1-2 : 長さ約1光年
速度 数100km/s)



(ハッブル宇宙望遠鏡:可視光観測)

電波銀河(白鳥座A)

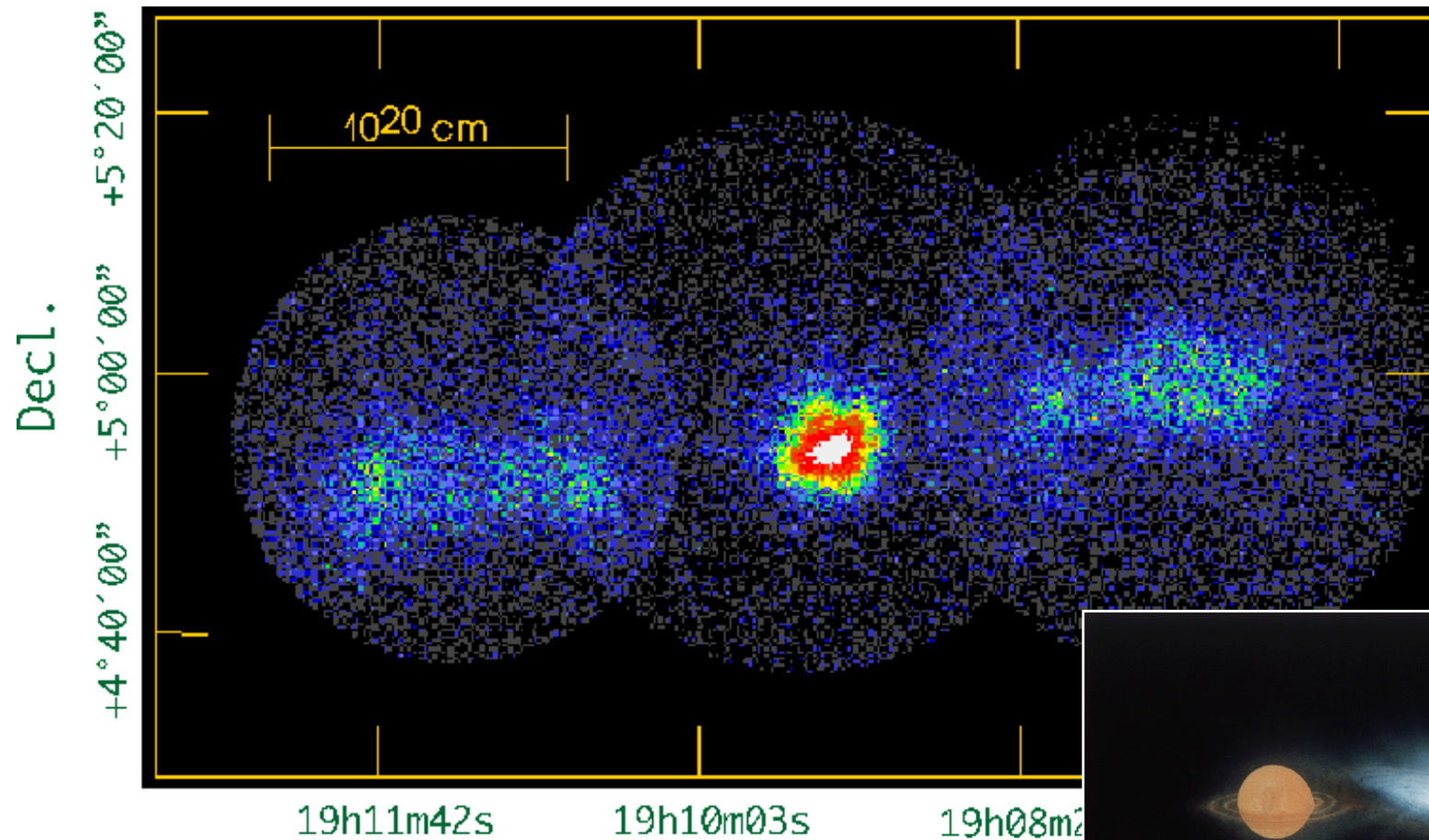
(距離=5億光年、長さ=30万光年)



(VLA)

近接連星系ジェット (SS433: X線/ASCA)

速度 $\sim 0.26c$



伴星は中性子星かブラックホール

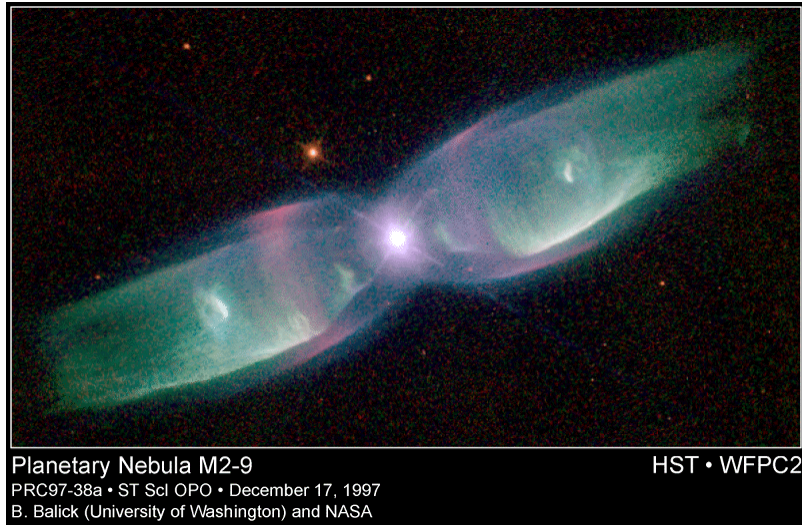


http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/objects/binaries/ss433_artists.html

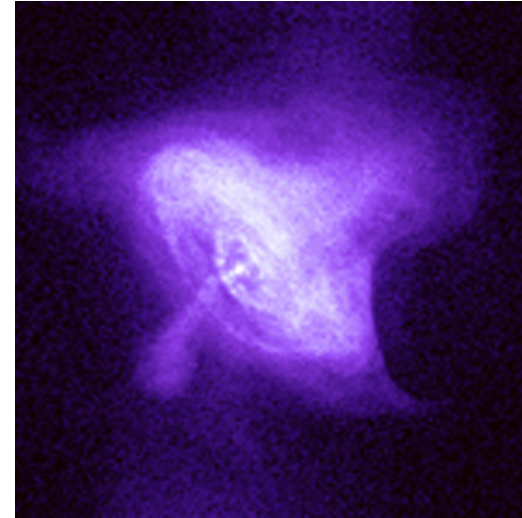
宇宙ジェットの特徴(まとめ)

	活動銀河核	近接連星系	星形成領域
中心天体	超巨大ブラックホール	ブラックホールまたは中性子星	原始星
ジェットの長さ	100万光年	10光年	1光年
ジェットの速度	光速	0.3 – 1 光速	100km/s
脱出速度	光速	0.3 – 1 光速	100km/s

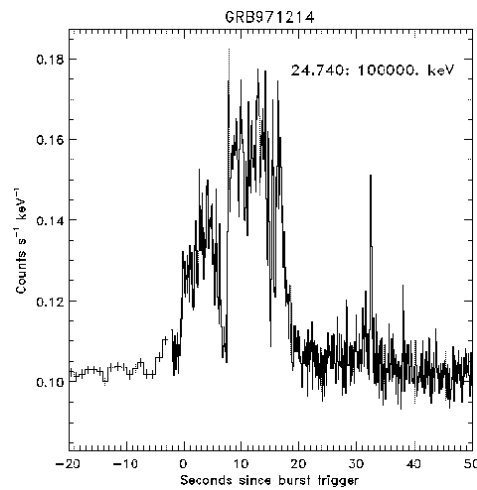
宇宙はジェットだらけ！



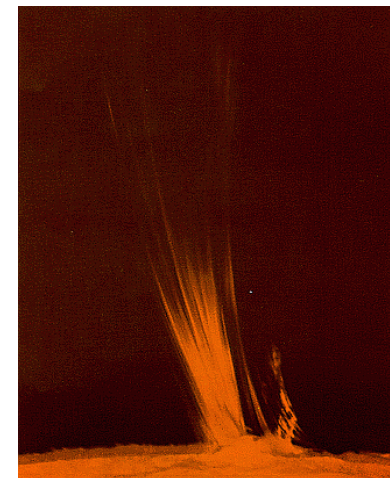
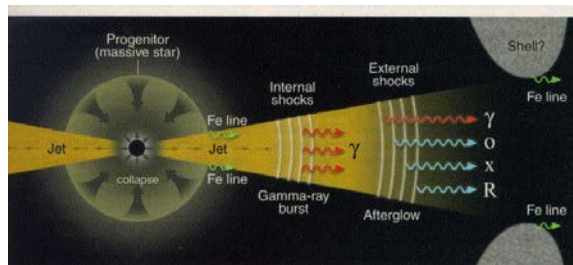
惑星状星雲



パルサー(超新星の残骸)

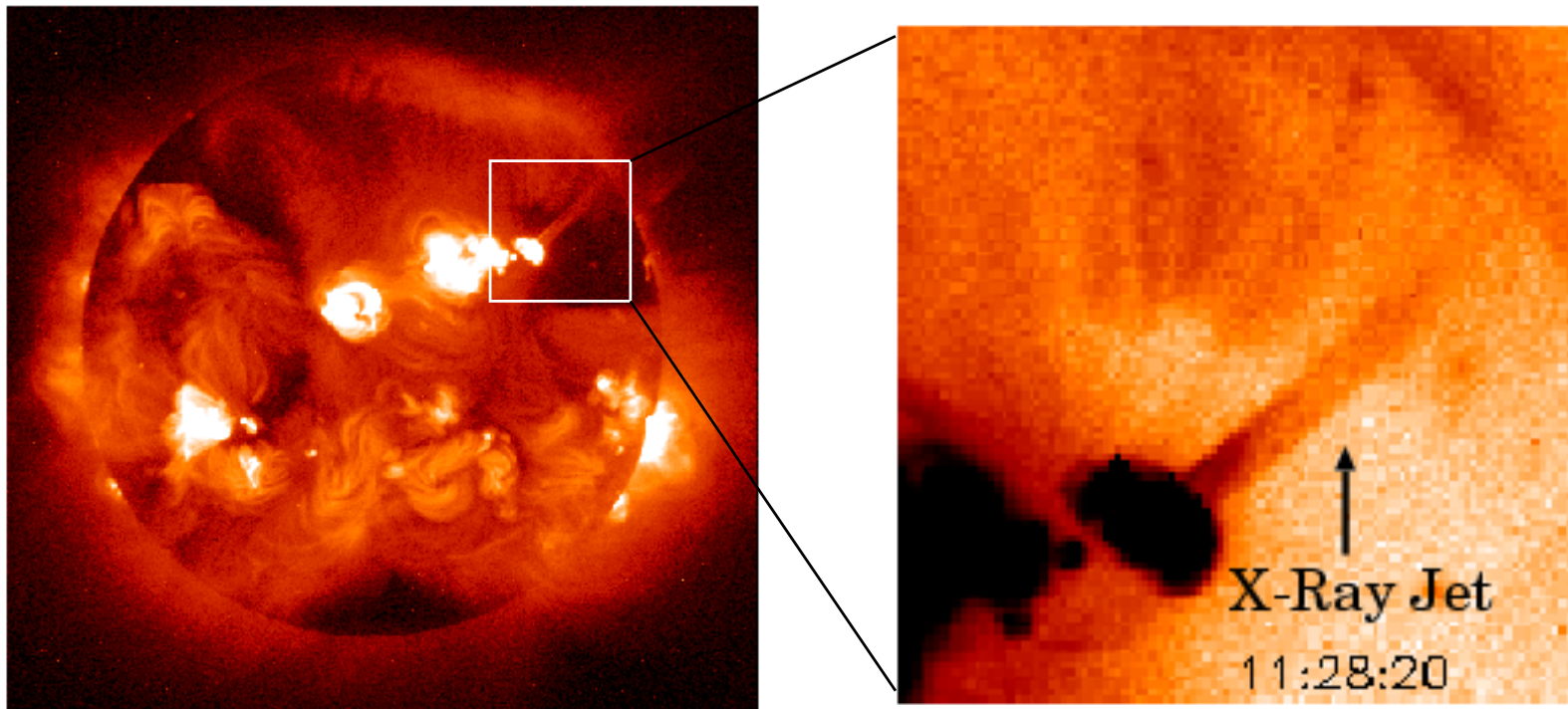


ガンマ線バースト



太陽ジェット

太陽コロナのX線ジェット 1991年に発見される



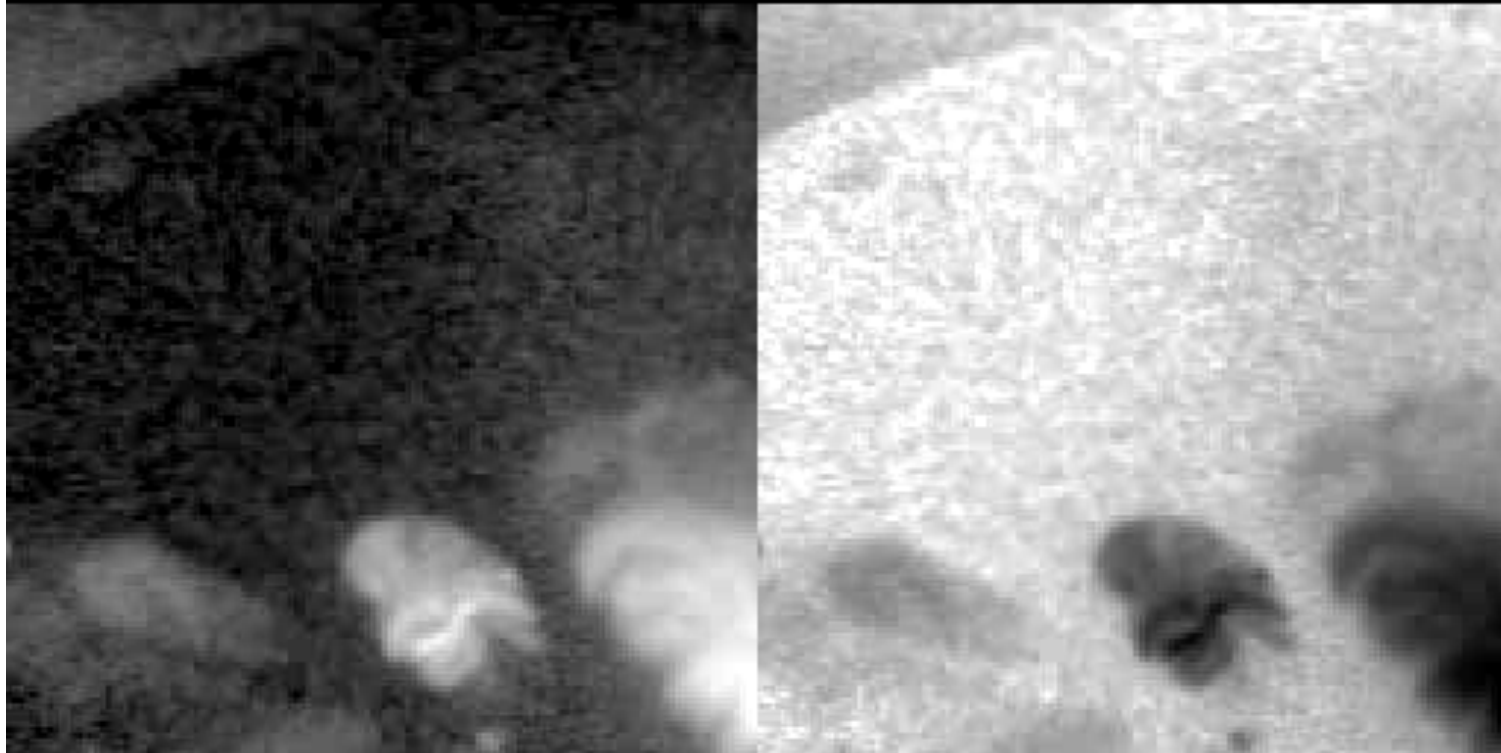
1991 November 12 11:30:28 UT

(Shibata et al., 1992)

コロナのX線ジェット

NOAA7001 Anemone Jet

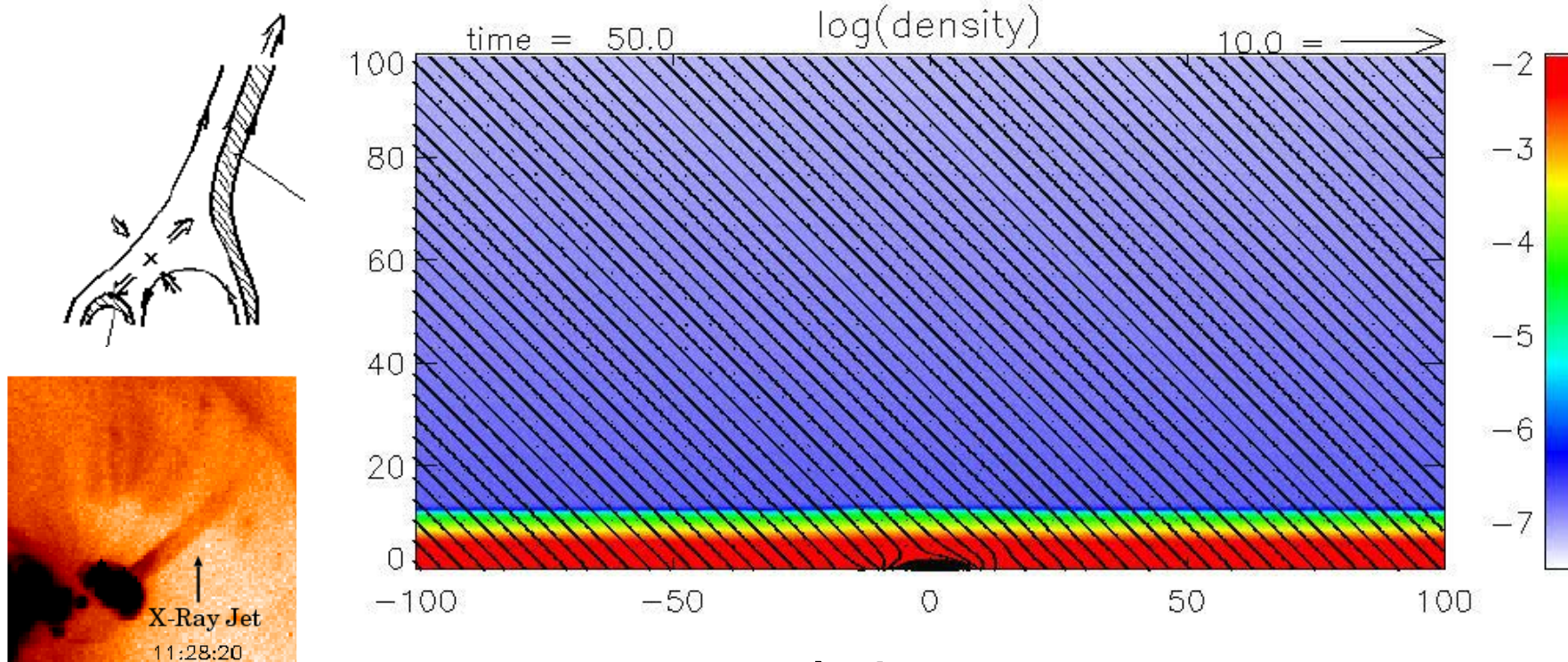
100''



FFI/Half/AlMg

11-JAN-92 05:37:22UT

太陽コロナジェット の 磁気リコネクションモデル



清水ほか 2006

太陽コロナジェットの
X線観測
(Yohkoh/SXT: Shibata et al. 1992,
Shimojo et al. 1996)

宇宙ジェットの起源は何か？

宇宙ジェットの謎

- 1光年以下から、100万光年の大きなスケールまでジェットが同じ方向に保たれているのはなぜか？
(=>回転)
- ジェットは、いかにして加速されるか？
- ジェットを、細長く絞っている力は何か？

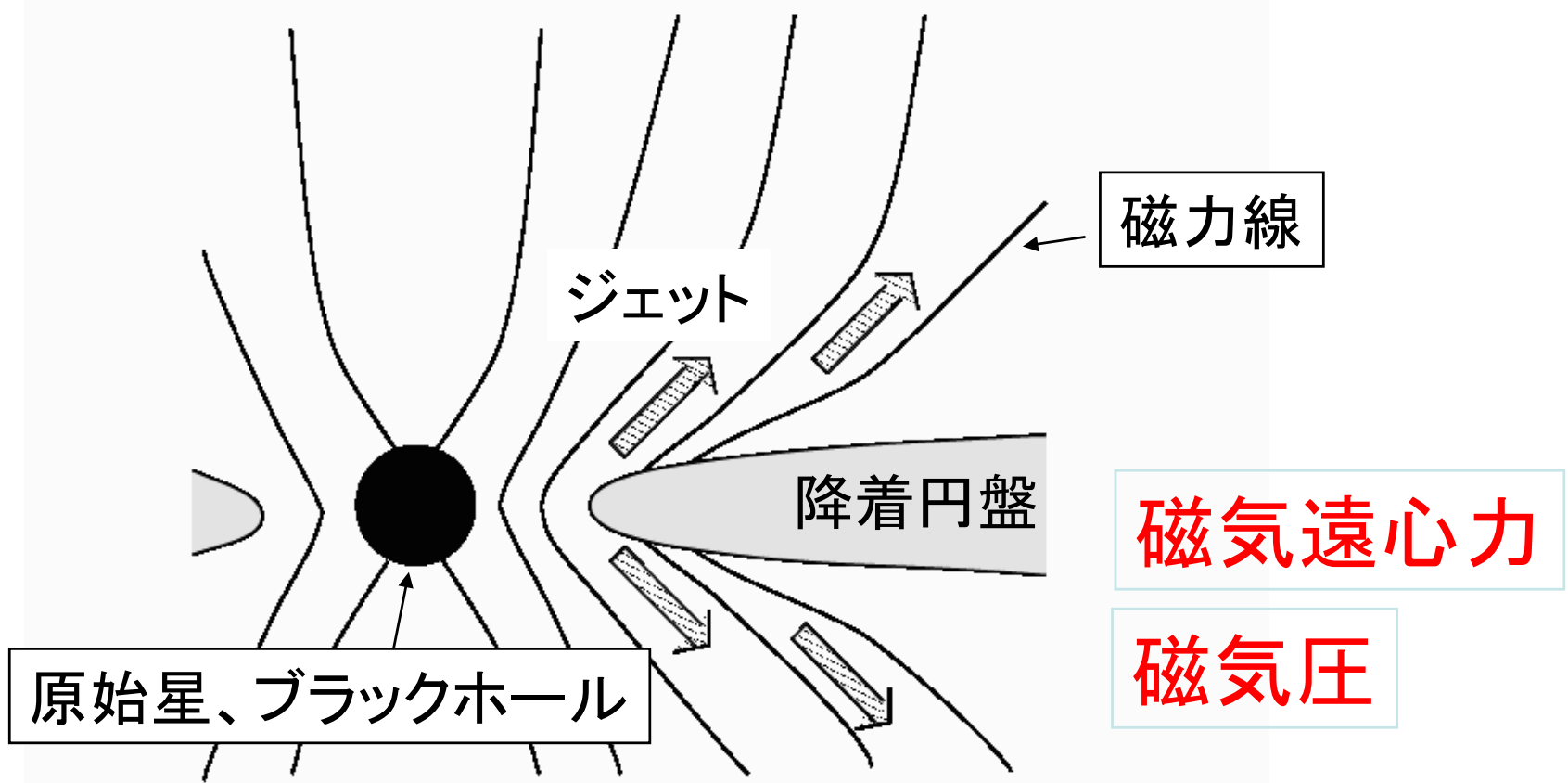
宇宙ジェットは いかにして発生したのか？

- 中心に星またはブラックホール
- そこにガスが降着=> **降着円盤**
- エネルギー源は**重力エネルギー**
- 重力エネルギーをいかにしてジェットの
運動エネルギーに変換するか？

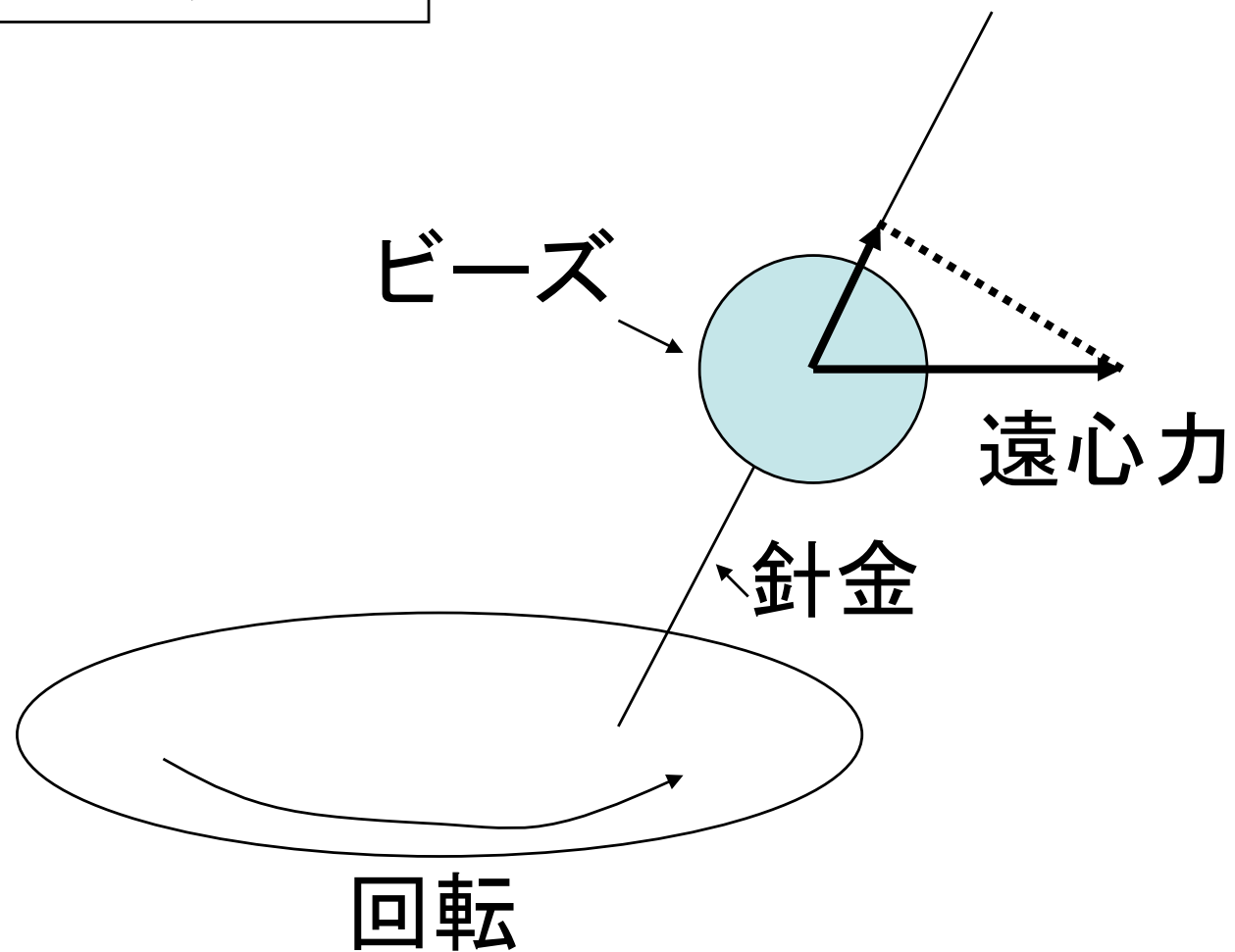
太陽ジェットからのヒント => **磁場**

宇宙ジェットの磁気流体モデル

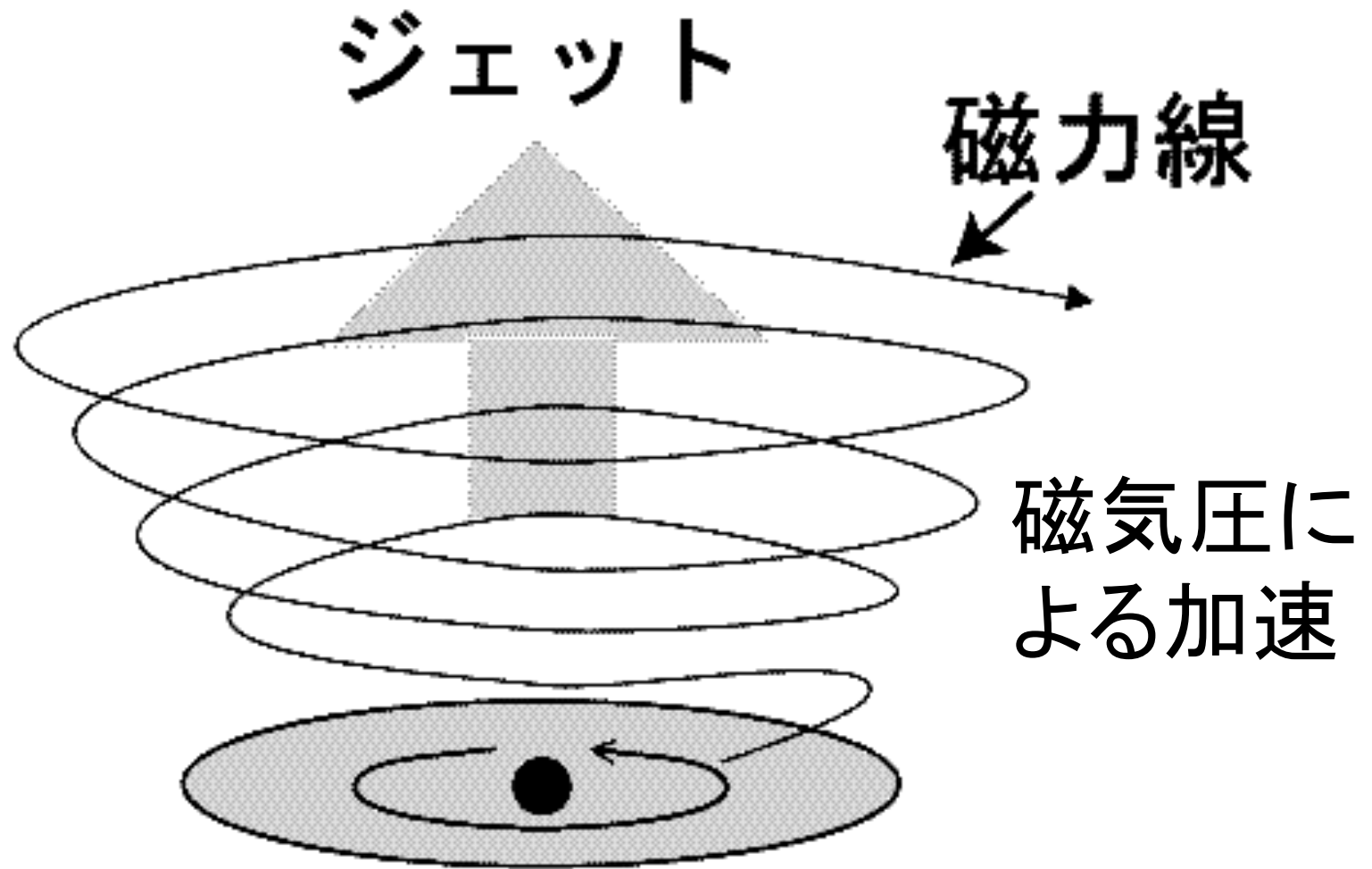
磁場と回転によってジェットを加速するモデル



磁気遠心力の概念図

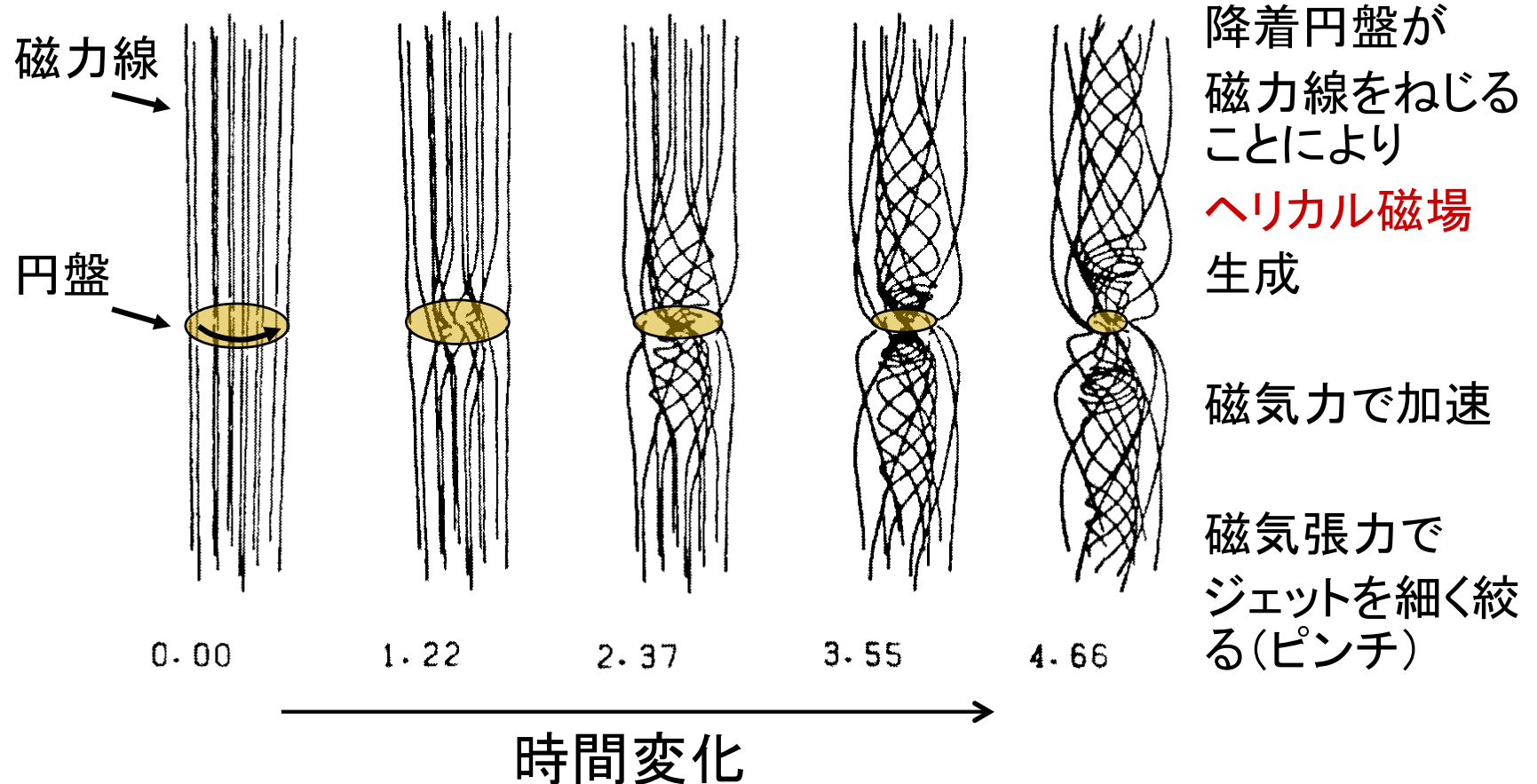


回転によってねじられた磁場（トロイダル磁場）
による磁気ピンチ力によってコリメーションする。



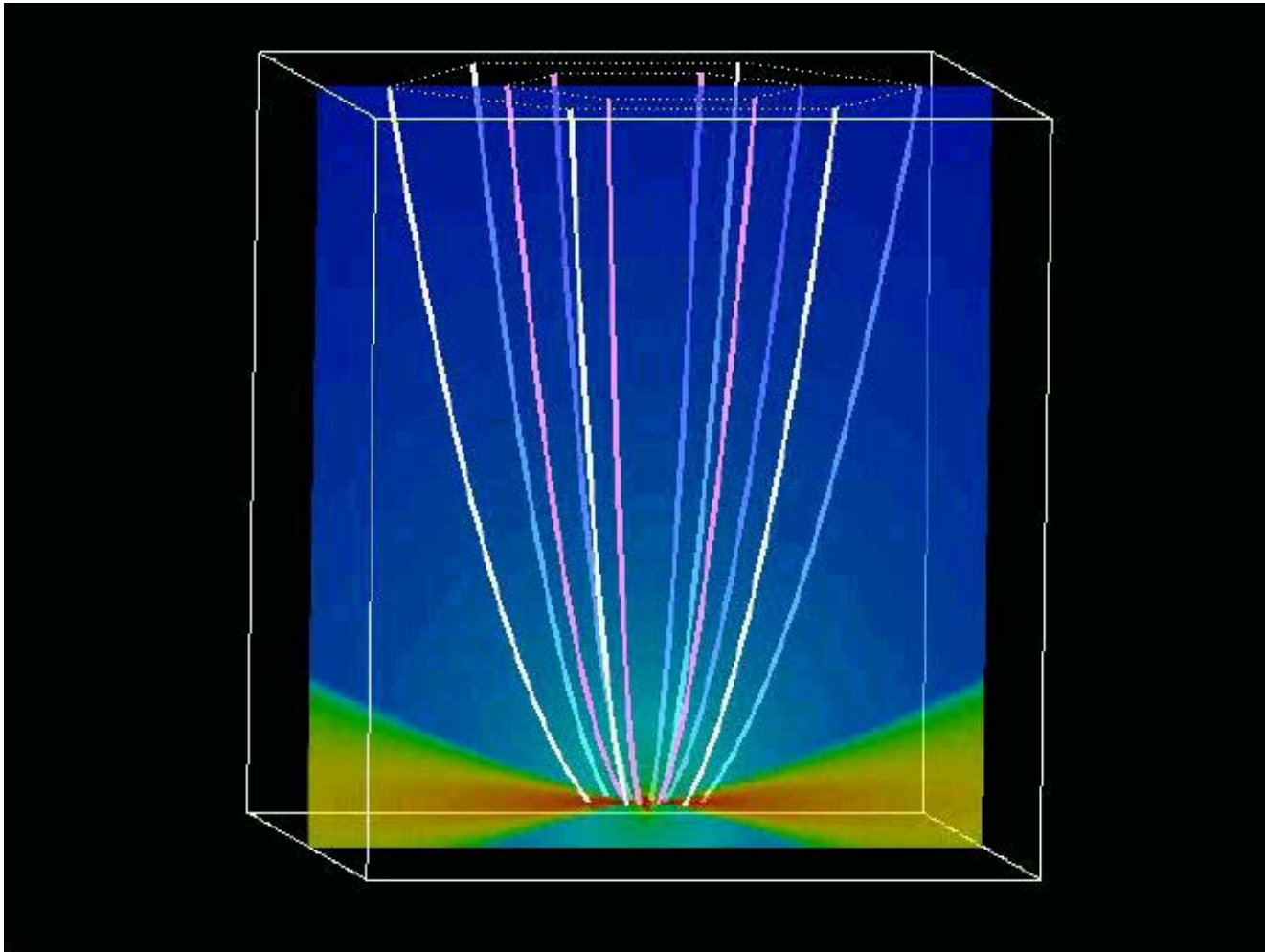
宇宙ジェットの電磁流体シミュレーション

(内田・柴田1985、柴田・内田1986) **世界初**

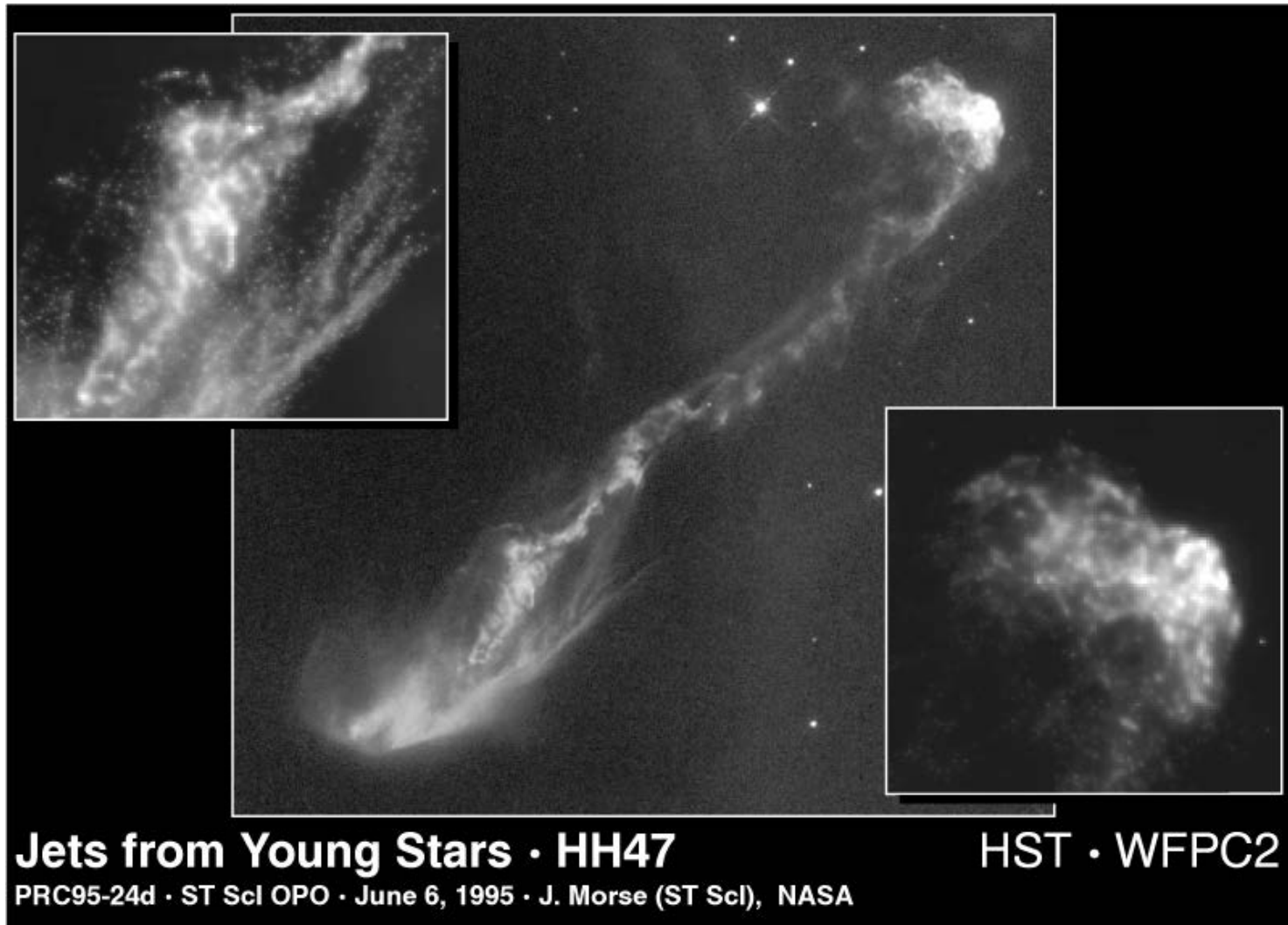


ジェットの速度～円盤の回転速度程度
～中心天体の脱出速度程度

宇宙ジェットの電磁流体 シミュレーション(工藤・松元・柴田 2005)



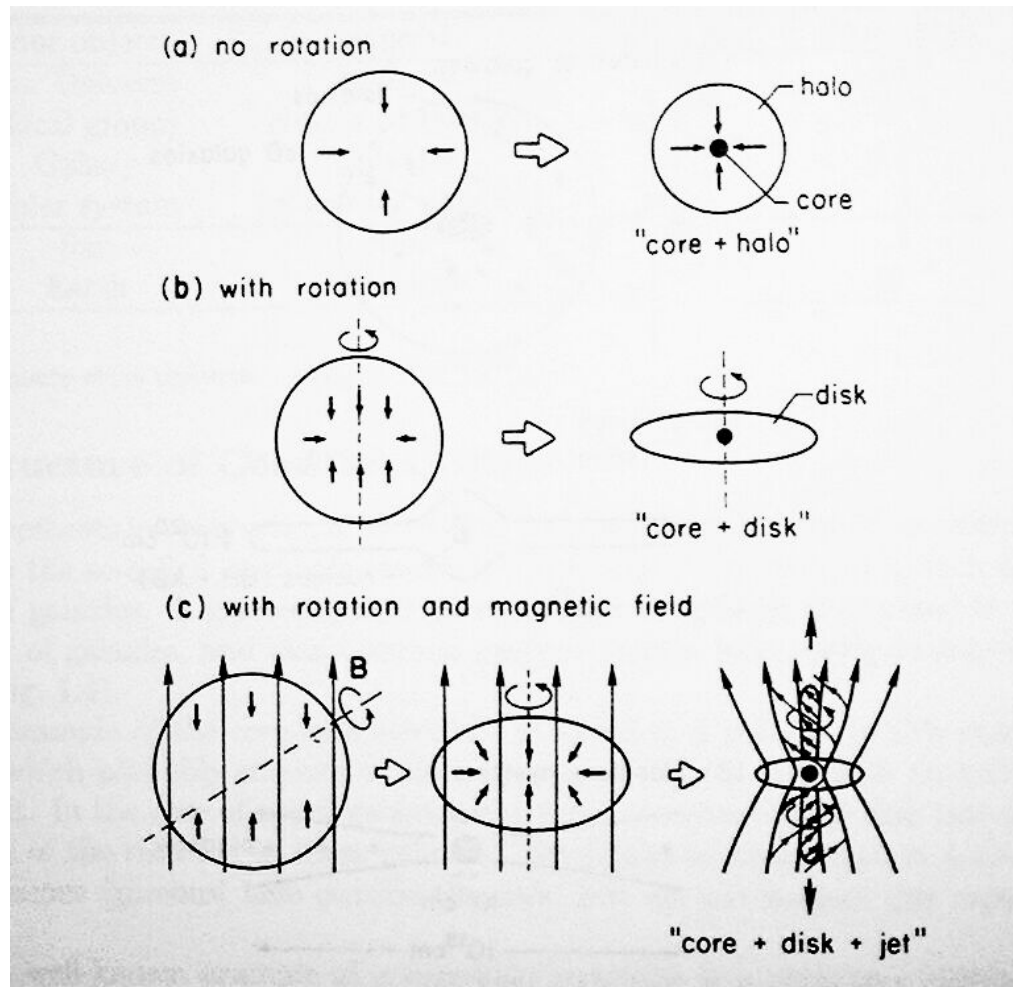
ヘリカル原始星ジェット



天体の形成と進化における ジェットの役割は何か？

- ジェットは降着円盤から効率良く**角運動量**を引き抜く。その結果、短時間で星やブラックホールが形成される。
- ジェットは衝撃波を形成する。そこで**宇宙線**が加速されているかもしれない。
- ジェットは周囲に擾乱を与える。そこで、新たな**星形成**や**惑星形成**が引き起こされる可能性がある。

天体の形成(星と銀河)



基礎物理過程は
星形成も銀河形成も
共通

万有引力(重力)に
よる収縮が基本

回転は収縮の妨げに
なるが、磁気ジェット
が収縮を助ける

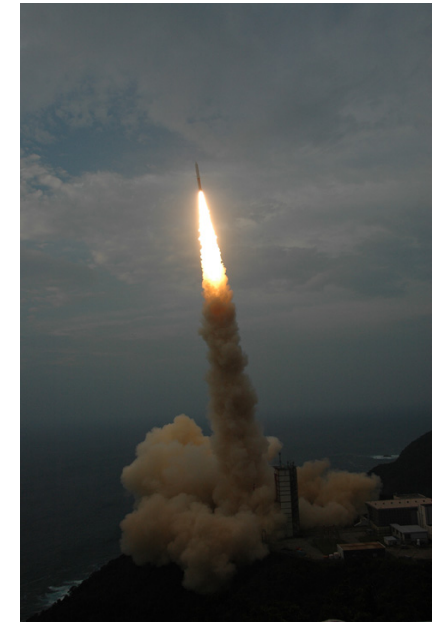
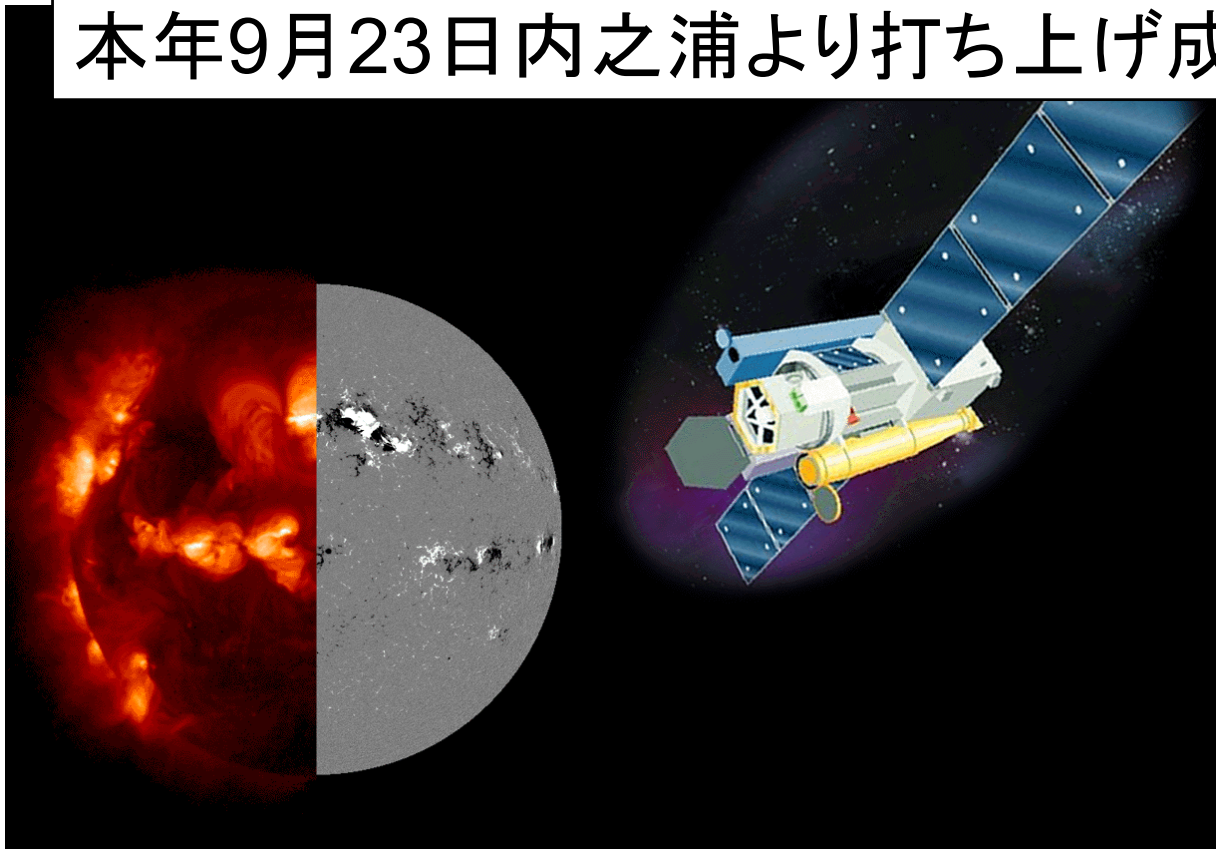
まとめ

- 近年の天体観測は、宇宙がジェットだらけであることを明らかにした。観測精度が良くなるにつれ、続々とジェットが発見されている。これらのジェットは天体（銀河、星、惑星）の形成や生命の進化にとって重要な役割を果たしている可能性がある。
- 太陽観測は、太陽大気がフレアやジェットであることを明らかにした。太陽観測はフレアやジェットが**磁気リコネクション機構**により形成されていることを確立した。
- 宇宙ジェットの起源はまだ謎につつまれているが、宇宙ジェットが太陽ジェットと同様な**磁氣的メカニズム**によって形成されている可能性がある。

日本の新しい太陽観測衛星 ひので(Solar B) 衛星

<http://solar-b.nao.ac.jp/>

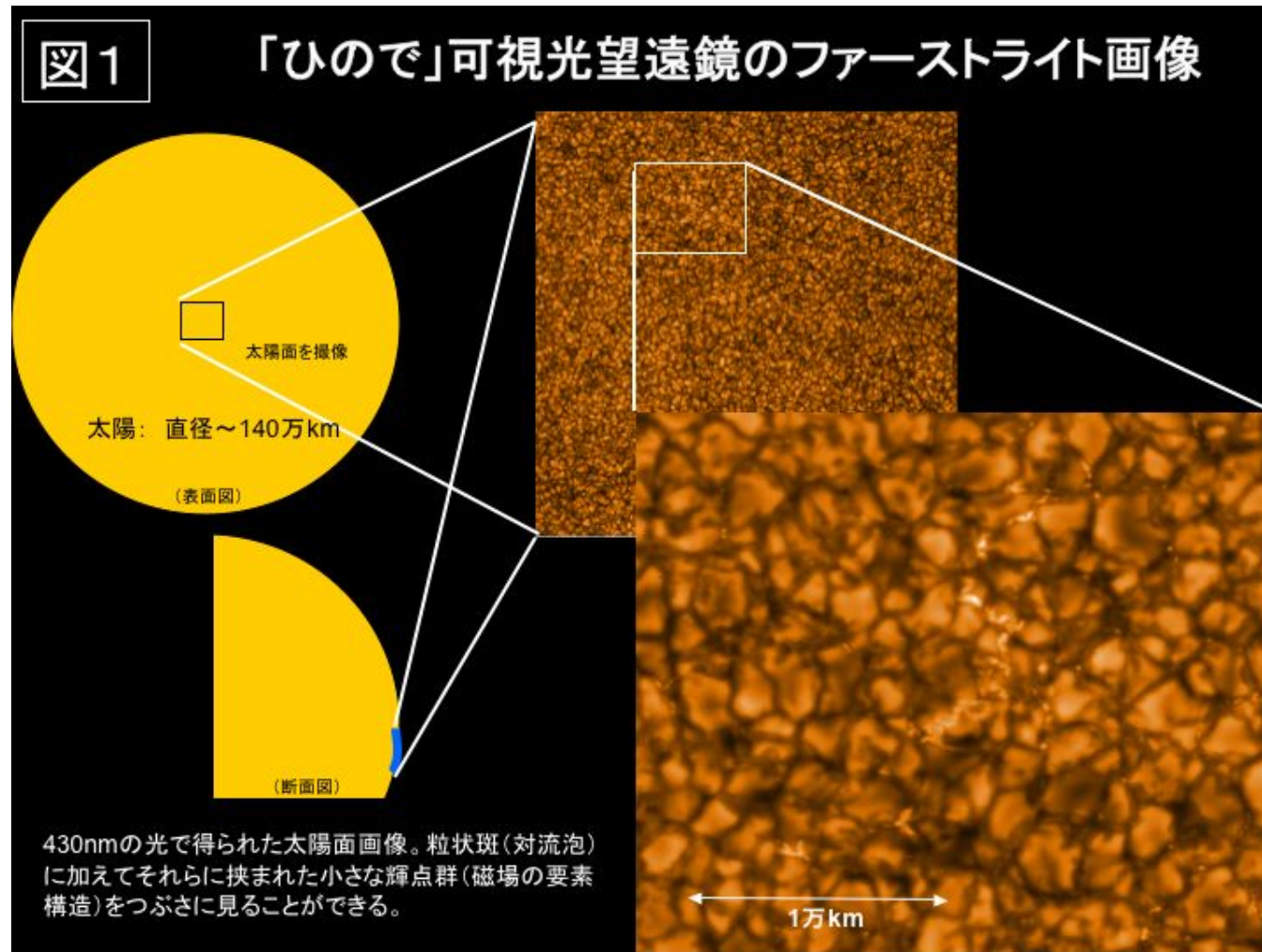
コロナ加熱機構の解明を目的として
本年9月23日内之浦より打ち上げ成功



<http://www.isas.jaxa.jp/j/snews/2006/0923.shtml>

史上最高空間分解能で
可視光磁場観測、
X線観測、
極紫外線分光撮像観測

ファーストライト(10月31日記者発表)



<http://solar-b.nao.ac.jp/news/061031FirstLight/>

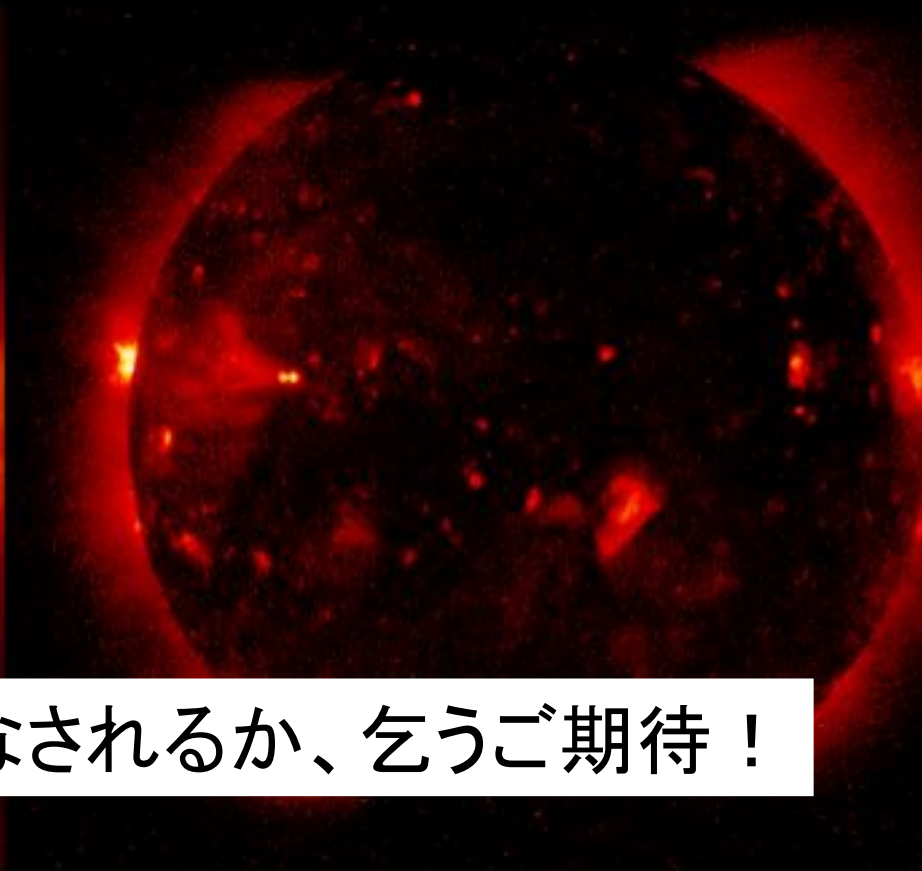
図2参考3

太陽活動周期の同時期でみた
「ひので」XRT画像と「ようこう」SXT画像の比較



今後どんな発見がなされるか、乞うご期待！

「ひので」XRT
2006年10月28日



「ようこう」SXT
1995年11月28日

(毎日新聞 10月15日)

2006年(平成18年)8月2日 水曜日

京大、国立天文台など

岡山に11年完成



京大などが建設するアジア地域で最大の
工作用港のインフラ図（京都大提供）

宇宙の謎解明期待

[illegible]

京都新聞



望遠鏡作りを支援する
I Tベンチャー社長

民間の企業家も

基礎科学に資金を

「国内最大の望遠鏡作りに力を貸してほしい」。京大時代の同級生の依頼に私財を投じて応えることにした。建設費10億円の大半を負担する。そのための会社も設立した。「期待されていると思う」と使命感が生まれた。天文少年で宇宙物理学を専攻したが、京大は理論が強く、観測はもうひと

同建設する望遠鏡は直径3・8m。世界的には小ぶりだが、「ここで開発する分割鏡製作の技術がおもしろい」。世界最大級のすばる望遠鏡（口径8・2m）は一枚鏡。次に「地動説を発見するなど人類の思考法も変化させ

藤原 洋さん

鏡を組み合わせる分割鏡
が欠かせないからだ。

鏝は超精密技術を誇る
岐阜県の会社が開発中の
研削機で削る。「従来は

進んだ。企業家として活躍する傍ら「基礎科学が官に支配されるのはおかしい」と考えてきた。岡山県に京大などと共
作する技術を別の産業に必要の高精度の鏡を素早

た。浮世離れしていると侮ることはできない」
 他大学が計画する望遠鏡への支援も頭の中にある。「學術に貢献しつつ
 ビジネスを作っていく時代。21世紀型の企業客「学商」をめざしたい」
 文・青野由利
 写真・平田明浩

文・青野由利
写真・平田明浩



福岡県生まれ。日本IBMなどを経て、96年にインターネット総合研究所を設立。工学博士。岡山県に建設する望遠鏡は11年に利用開始予定。52歳。

市民の皆さんも、ぜひご支援を！！