

# 高エネルギー天文学特論 IV

## 第一回 準備

宇宙科学研究本部  
宇宙科学情報解析センター  
海老沢 研

## ● 「高エネルギー」天文学

– 宇宙からやってくる**高いエネルギーを持った光**(X線、ガンマ線)を観測して行う天文学研究

### ● X線天文学

- ~0.1 keV ~ 100 keVのX線を使う
- 硬X線(hard X-rays) ⇔ 軟X線(soft X-rays)
- Hard, softの区別は定性的、相対的

### ● ガンマ線天文学

- ~100 keV ~ MeV ~GeV~TeVのガンマ線を使う

– X線もガンマ線も大気で吸収されてしまう

### ● スペースで観測する必要がある

- ただしTeVガンマ観測は地上で行う(大気のチェレンコフ光を使う)

### ● 宇宙開発と共にX線、ガンマ線天文学が発展

– X線天文学は40年以上の歴史があり、成熟している

### ● X線のほうがガンマ線より測定が容易

- ガンマ線の透過力が高すぎる!
- 重いガンマ線観測装置をスペースに持っていくのは大変

### ● X線の測定装置は洗練されている(たとえばCCDカメラ)

- より詳細な天文観測ができる

### ● X線分光により、重元素の原子の電離状態がわかる

- 炭素、窒素、酸素、鉄等のスペクトル線の観測

# 1962年 X線天文学の誕生

- レントゲンが1895年、X線を発見
- 宇宙からのX線は大気によって吸収されてしまう
  - 宇宙からのX線は大気圏外に出ないと観測できない
  - 1962年以前は、X線を出す天体の存在は知られていなかった
- 1962年6月18日...
  - ジャコーニらが放射線検出装置を搭載したロケットを打ち上げ
  - 月による太陽からのX線反射の観測が目的
  - 全天で一番明るいX線源Sco X-1を偶然発見
  - X線天文学の誕生！

# PHYSICAL REVIEW LETTERS

VOLUME 9

DECEMBER 1, 1962

NUMBER 11

## EVIDENCE FOR X RAYS FROM SOURCES OUTSIDE THE SOLAR SYSTEM\*

Riccardo Giacconi, Herbert Gursky, and Frank R. Paolini  
American Science and Engineering, Inc., Cambridge, Massachusetts

and

Bruno B. Rossi  
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts  
(Received October 12, 1962)

Rossi Prize (アメリカ天文学会)  
Rossi XTE (RXTE) 衛星

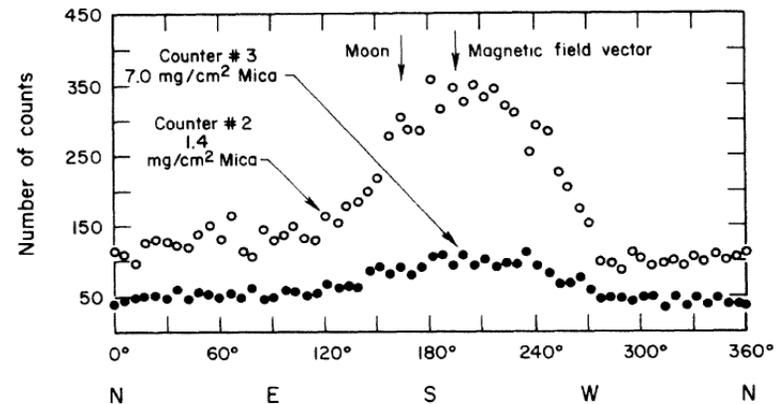


FIG. 1. Number of counts versus azimuth angle. The numbers represent counts accumulated in 350 seconds in each 6° angular interval.



# The Nobel Prize in Physics 2002

"for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos"

"for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources"

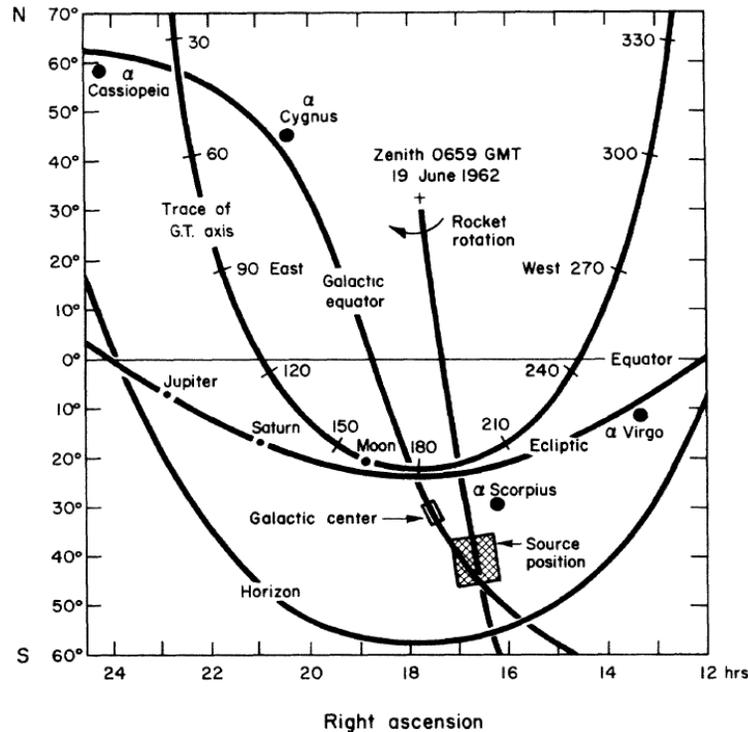


FIG. 2. Chart showing the portion of sky explored by the counters.



**Raymond Davis Jr.**

🕒 1/4 of the prize  
USA

University of Pennsylvania  
Philadelphia, PA,  
USA

b. 1914



**Masatoshi Koshiba**

🕒 1/4 of the prize  
Japan

University of Tokyo  
Tokyo, Japan

b. 1926



**Riccardo Giacconi**

🕒 1/2 of the prize  
USA

Associated Universities Inc.  
Washington, DC,  
USA

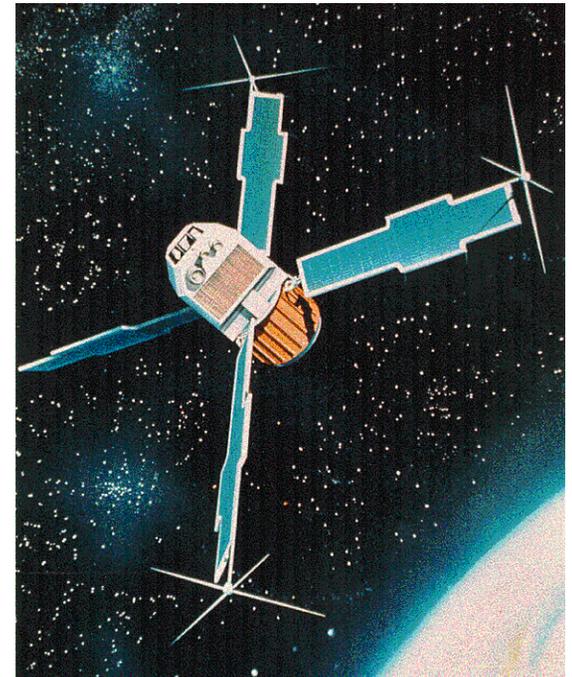
b. 1931  
(in Genoa, Italy)

# 初期のX線天文学

- 宇宙開発の進歩
  - 1957年、最初の人工衛星スプートニク(ソ連)打ち上げ
  - 1958年、アメリカのエクスポローラ1号
  - 各国から人工衛星が次々と打ち上げられる(おおすみ,1970年)
  - **スペースからの宇宙観測の黎明期**
- 人工衛星以前はロケットと気球によるX線観測の時代
  - 宇宙からのX線を検出する「実験物理学」
- **すだれコリメーター(modulation collimator)の発明(小田稔)**
  - X線鏡による結像は(当時は)不可能
  - 二つの「すだれ」を平行して配置して動かす
    - X線天体が見え隠れする様子から正確な位置がわかる
    - 可視光による同定が可能になった
- X線星の正体が徐々に明らかになっていった
  - **白色矮星、中性子星、ブラックホール**に物が落ちるときの重力エネルギーがX線に変換される
  - Sco X-1は中性子星
  - Cyg X-1はブラックホール

# 1970年Uhuru衛星(アメリカ)打ち上げ

- 世界最初のX線天文衛星
- ケニア沖から打ち上げ、スワヒリ語で「希望」
- すだれコリメーターを搭載して全天観測
- 339個のX線天体を発見
- **本格的なX線天文学の幕開け**



# 1970年Uhuru衛星(アメリカ)打ち上げ

Uhuruカタログ、第4版(最終版) ソース名は4U\*\*\*\*+/-\*\*\*\*

No. 4, 1978

FOURTH UHURU CATALOG

409

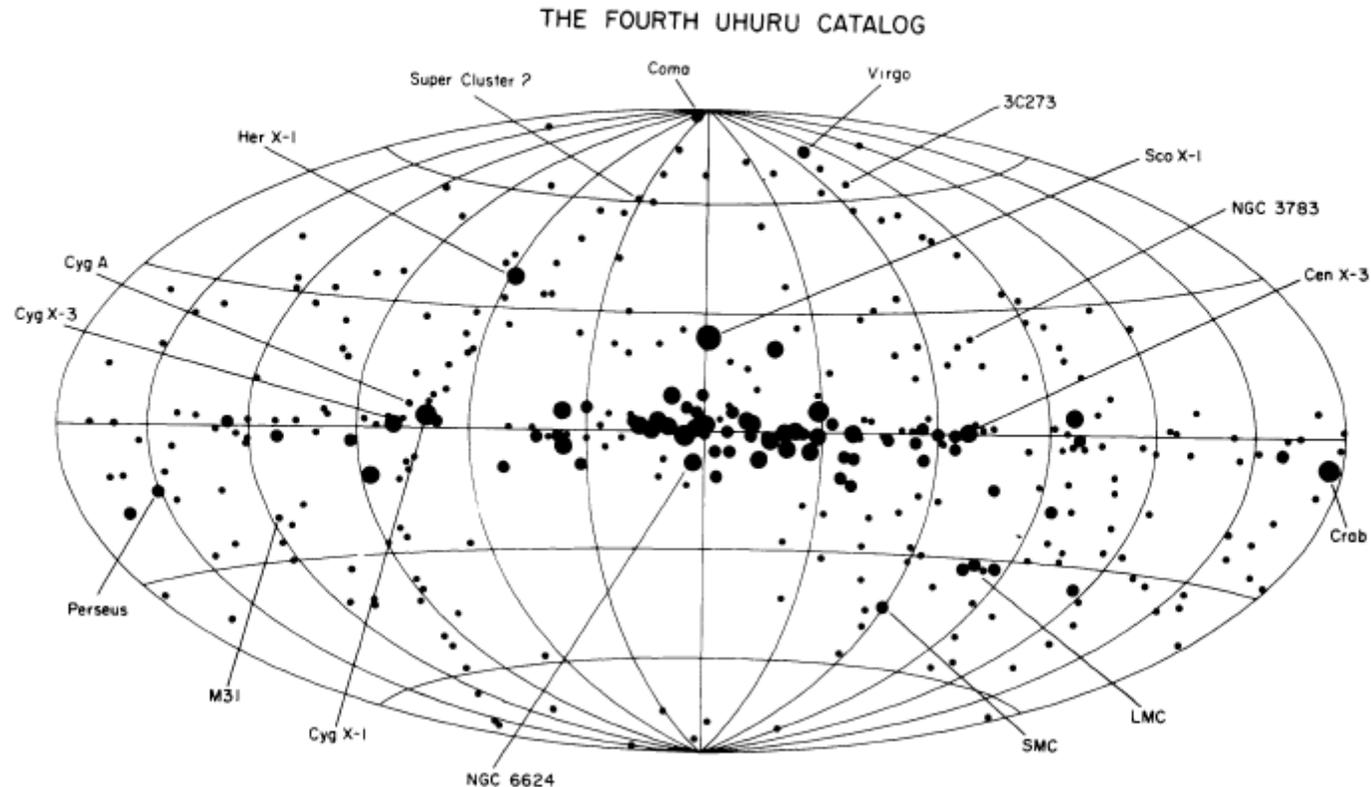


FIG. 5.—The sources listed in Table 1 are displayed in galactic coordinates. The size of the symbols representing the sources is proportional to the logarithm of the peak source intensity.

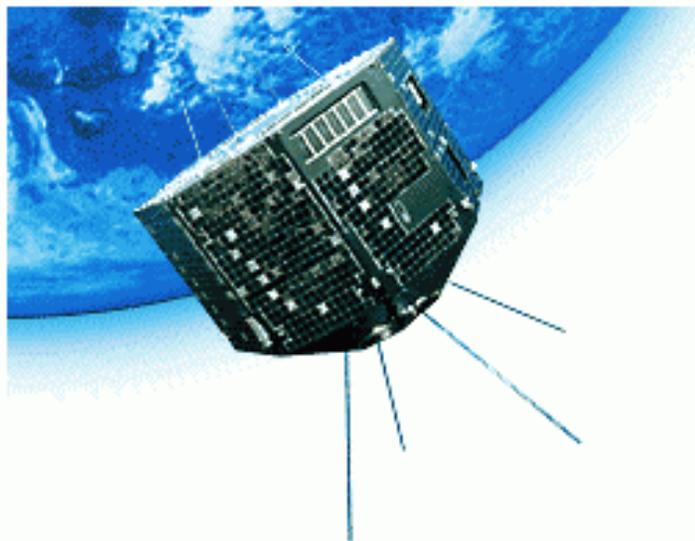
- ほとんどが銀河系(天の川)内の中性子星かブラックホール
- そのほかに銀河、活動的銀河中心核、銀河団からX線を発見

# 1970年代

- 多くのX線天文衛星が欧米諸国から打ち上げられた
  - Copernicus, Ariel-5, ANS, SAS-3,OSO-7,OSO-8, Cos-b,HEAO1
  - Uhuruが発見した天体をさらに詳細に研究
  - HEAO1は2keVより高いエネルギー帯で全天サベイ
    - これ以降、>2keVの全天サベイ衛星は存在しない
- 日本初の天文衛星CORSA-Aの失敗(1977年)
- 「はくちょう」(CORSA-B;1979年)
  - 日本で最初の天文衛星
  - すだれコリメーターによるX線バースターの観測
  - 明るいX線源しか観測できなかった
    - エネルギーバンドは二バンドだけ

# HAKUCHO はくちょう (CORSA-b)

## 宇宙研ウェブページによる 各科学衛星の紹介



「はくちょう」は1979年2月21日、M-3C-4ロケットによって鹿児島宇宙空間観測所（現内之浦宇宙空間観測所）から打ち上げられた天文観測衛星です。1985年4月16日、大気圏に突入して消滅しました。

### 目的

X線バーストの観測と新しいバースト源の発見、X線放射の強度の時間変動の観測、広帯域スペクトルの測定、新しいX線源の出現や光度変化の常時監視

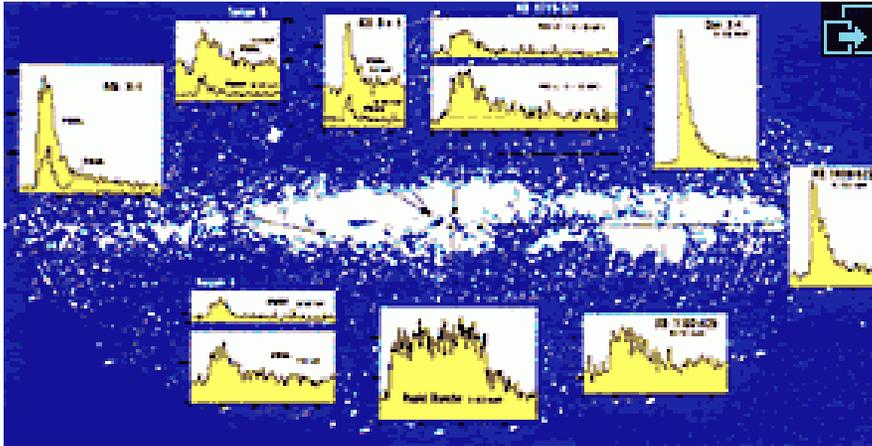
### 特徴

中性子星と、その周辺での極限的環境で起こる現象の物理学を一步前進させました。

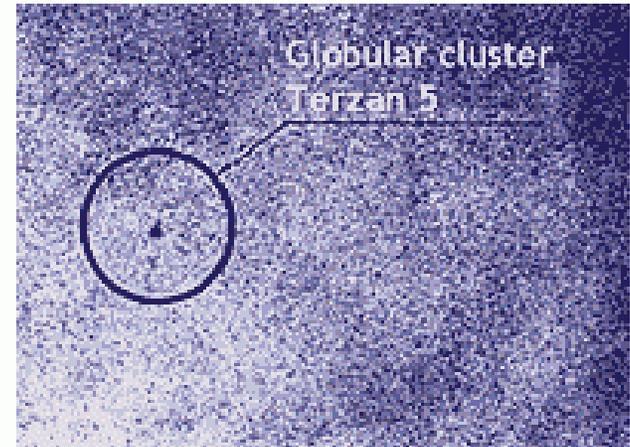
「すだれコリメーター」によりX線バーストを多数発見、X線パルサーの周期の異常変化やブラックホール候補のX線星を観測するなど6年間活躍し、国際的に高い評価を得ました。

重さ	96 kg
軌道	略円 近地点：545 km 遠地点：577 km 軌道傾斜角：30度 周期：約96分
国際標識	1979-014A

## 宇宙研ウェブページによる 各科学衛星の紹介



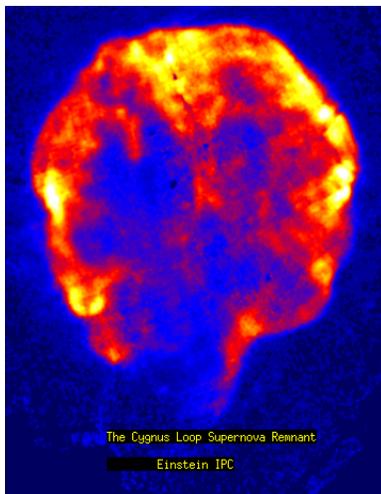
「はくちょう」は8つの宇宙エックス線バースト源を発見し、別のバースト源（ラピッド・バースター）とは異なる異常な活動を観測しました。この図は私たちの銀河系のイラストレーションの上にこれらのバースト源の位置を示したものです。これらのバースト源の時間プロフィールも示してあります。横軸の単位は0.75秒です。



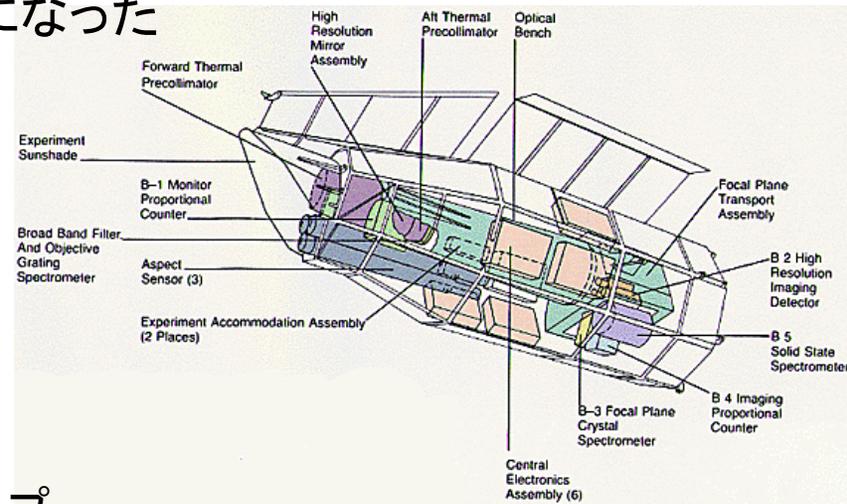
「はくちょう」は新しいエックス線星を見つけました。そのエックス線星のある円で囲んだ領域には外国の光学天文学者によって見つけれられた「Terzan 5」と呼ばれる球状星団があります。このようにエックス線星の研究のために、光学及び電波望遠鏡を使った国際協同観測が進められています。

# 1970年代~80年代

- Einstein Observatory (アメリカ、1979年)
  - X線鏡を積んだ初めての結像衛星 (<4 keVのみ)
  - 飛躍的に感度が向上
  - X線「天文学」として確立した学問へ
    - 「普通の天体」をX線で観測できるようになった
      - 主系列星、銀河、超新星残骸など
      - きれいなX線像が撮れるようになった



Einstein衛星による  
超新星残骸白鳥座ループ



Astro-Aは太陽X線衛星  
「ひのとり」

# 1980年代

TENMA てんま (ASTRO-B)

## 二機目の日本のX線天文衛星



「てんま」は1983年2月20日、M-3S-3ロケットによって鹿児島宇宙空間観測所（現内之浦宇宙空間観測所）から打ち上げられた天文観測衛星です。1989年1月19日、大気圏に突入して消滅しました。

### 目的

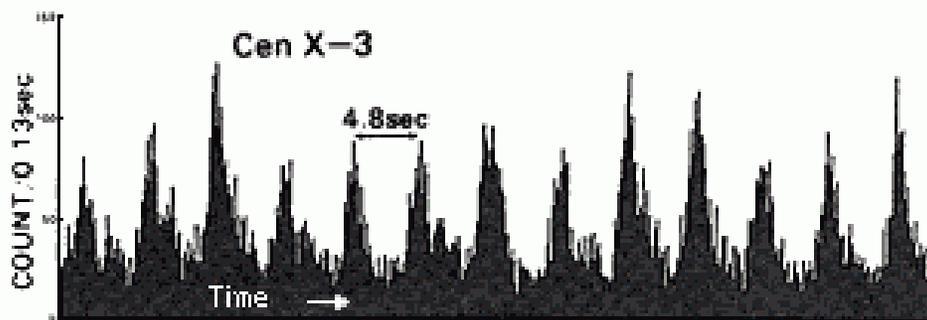
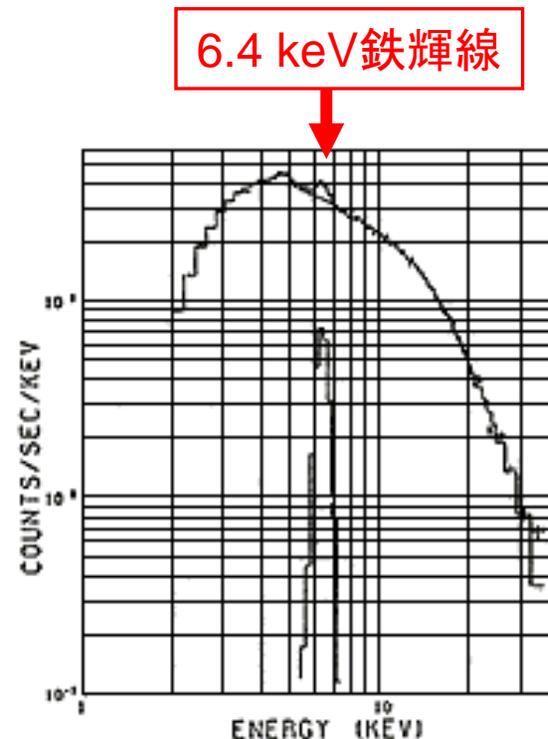
中性子星に関する研究の一層の推進、X線天体の精密観測

### 特徴

4種類の観測装置を搭載し、多数のX線源からの鉄の特性X線の発見や銀河面に沿って存在する高温プラズマの発見、X線バーストやX線パルサーからの吸収線の発見や降着円盤からのX線放射の同定など、多数の成果を上げました。

重さ	216 kg
軌道	略円 近地点：497 km 遠地点：503 km 軌道傾斜角：32度 周期：約94分
国際標識	1983-011-01

「てんま」衛星:エネルギー一分  
解能にすぐれた観測  
鉄輝線(6.4~6.9 keV)を多くの  
天体から発見



「てんま」に搭載したガス・シンチレーション比例  
計数管 (S P C) は宇宙エックス線源を研究する強  
力な手段です。その高い感度はエックス線バルサー  
「V e l a X-1」の283秒周期の脈動を捉える  
ことを可能にしました。またそのすばらしいエネル  
ギー分解能のおかげで鉄のK輝線がはっきりと認め  
られるこのエックス線源から質の高いエックス線ス  
ペクトルを得ることができました。

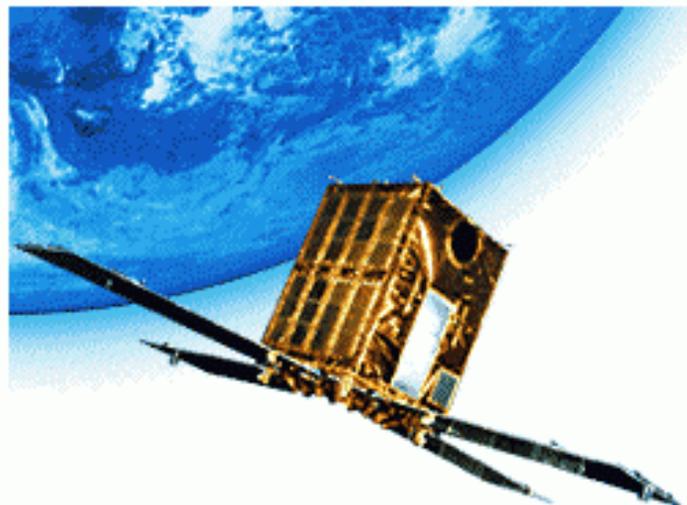
# 1980年代

- EXOSAT (ESA, 1983年)
  - 観測時間を広く開放 (ヨーロッパに限る)
    - 公募制の採用
  - 「ゲストオブザーバー」の誕生
    - 衛星や検出器の開発に参加せず、データ解析を行って論文を書くX線天文学者が増えてきた
    - X線天文学の裾野を広げた
  - データアーカイブスの先駆け
    - 今でもデータ解析可能
  - 汎用ソフトウェアの整備
    - 改良を重ねて今でも使われているソフトウェアがある (xspecなど)

# 1980年代後半

- アメリカ、ヨーロッパのX線天文学は冬の時代
  - 1986年、スペースシャトルの事故によりNASAの計画は凍結
  - ヨーロッパは、X-ray Multi-mirror Mission (XMM)の準備
- Mir-Kvant(ソ連、1987年)
  - ソ連以外の研究者が使うことはほとんど不可能
- 「ぎんが」(1987年)
  - 大面積の比例計数管、高い感度、早い時間分解能
    - イギリス(レスター大学)との共同開発
  - 精度の高い機器較正
  - 日本の衛星では初めてプロポーザル制を採用
  - アメリカ、ヨーロッパに観測時間を開放
    - 宇宙研に、アメリカ、ヨーロッパの研究者が滞在
    - 日本、アメリカ、ヨーロッパから450本以上の投稿論文が出版

# GINGA ぎんが (ASTRO-C)



「ぎんが」は1987年2月5日M-3 SII-3ロケットによって鹿児島宇宙空間観測所（現内之浦宇宙空間観測所）から打ち上げられた天文観測衛星です。

1991年11月1日、大気圏に突入して消滅しました。

## 目的

大面積で高感度の比例計数管を搭載、中性子星やブラックホールを始めとする、X線を放射する様々な天体の観測

## 特徴

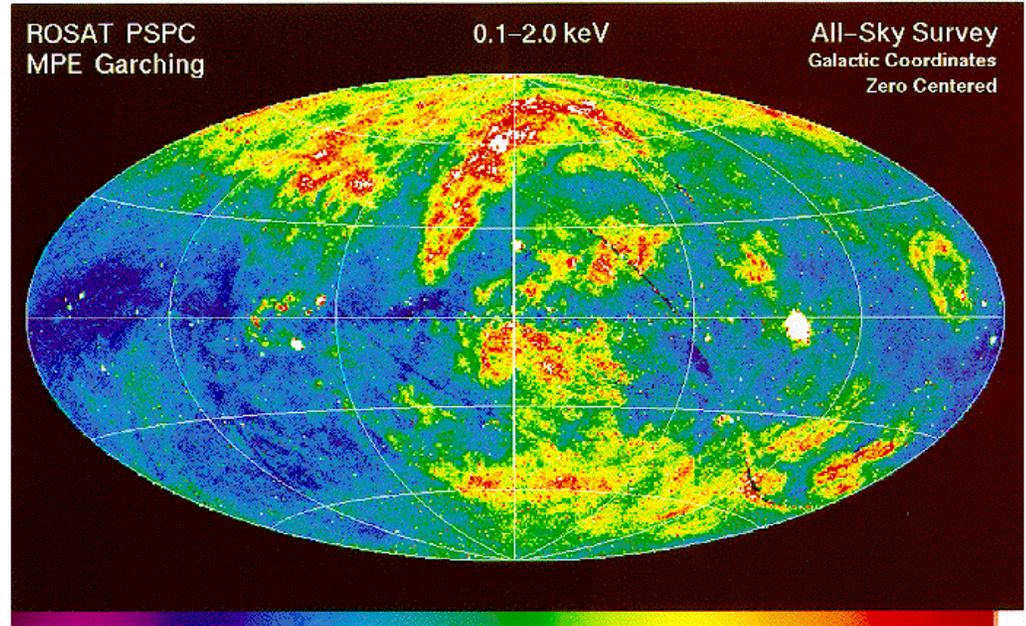
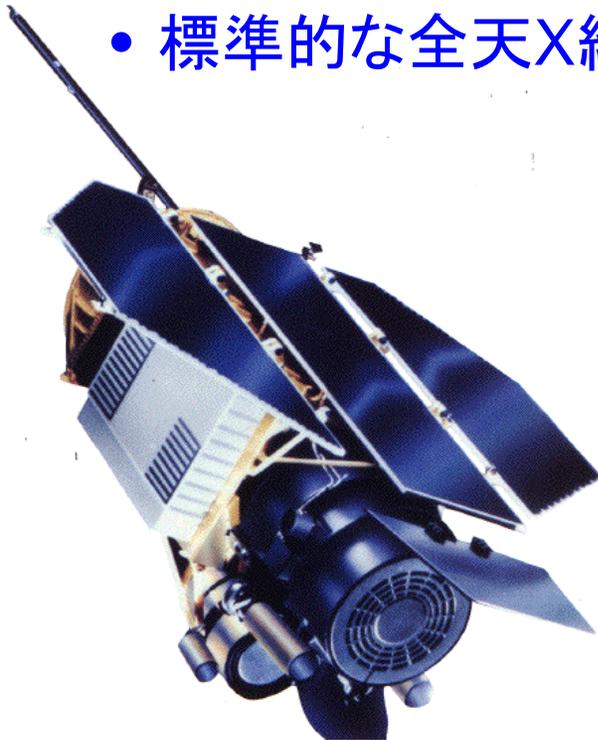
大マゼラン雲の超新星からのX線を世界に先駆けて捉えました。

天の川に沿った超新星の残骸、暗黒星雲の芯に隠れている高温プラズマ、巨大ブラックホールの証拠と思われるセイファート銀河中心核の激しい変動、宇宙の果てのクエーサーからの鉄輝線放射などを発見、身近な星から遙かなクエーサーや超銀河団まで、全ての天体がX線を放射していることを明らかにしました。

重さ	420 kg
軌道	略円 近地点：530 km 遠地点：595 km 軌道傾斜角：31度 周期：約96分
国際標識	1987-012A

# 1990年代

- ROSAT(ドイツ、アメリカ、1990年)
  - Einstein衛星よりも高感度の結像衛星 (<2 keV)
  - 全天サベイを行った最後のX線天文衛星
    - 標準的な全天X線源カタログを作成 (RXJ\*\*+/-\*\*)



# 1990年代

- CGRO(アメリカ、1991年)
  - 最初の本格的なガンマ線天文台
  - 4つの検出器を搭載、50 keVから~GeVまで広い範囲のガンマ線を観測

# 1990年代

- あすか(1993年)
  - Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics (ASCA)
  - 最初の日米共同X線ミッション
  - 日本の衛星にアメリカ製のミラーとCCDを搭載
  - 初めての $>2\text{keV}$ でのX線結像
  - 初めてのX線CCD(過去最高のエネルギー分解能)
  - データアーカイブス、ユーザーサポートはアメリカが担当
  - データの占有権をはっきりと規定(日本の衛星では初めて)
    - アメリカのデータは1年、日本のデータは1年半後にアーカイブスに入れて世界中に無償で公開
  - 1460本以上の査読つき論文が出版されている



- 目的
- 科学機器
- 技術的特徴
- 打上げロケット
- 国際協力
- 科学的成果
- 国際評価
- プロジェクト管理

… [ISASニュース「あすか特集号」へ](#)

X線天文衛星「あすか」(ASTRO-D)は、1993年2月20日に宇宙科学研究所(現JAXA宇宙科学研究本部)のM-3 SIIロケットの7号機によって打ち上げられました。「あすか」は、「はくちょう」(1979年2月打上げ)、「てんま」(1983年2月打上げ)、「ぎんが」(1987年2月打上げ)に次ぐ日本で4番目のX線天文衛星です。「あすか」は天体からのX線像とX線スペクトルを同時にとることができる観測装置を積んでおり、その性能は当時世界最高でした。「あすか」の観測データは世界中の研究者に利用され、数々の新発見をもたらしました。「あすか」は8年間観測を続け2001年3月大気圏に突入して消滅しました。

# 1990年代後半

- RXTE (1995年、アメリカ)
  - 「ぎんが」以上に大面積の比例計数管
  - 機動力に富む観測、オープンなポリシー
  - 全天モニターデータはただちに公開
  - 突発現象の観測データもただちに公開
- BeppoSAX (1996年、イタリア、オランダ)
  - 複数の検出器で広いエネルギー範囲 (0.1-300keV) をカバー
  - ガンマ線バーストのX線残光を発見

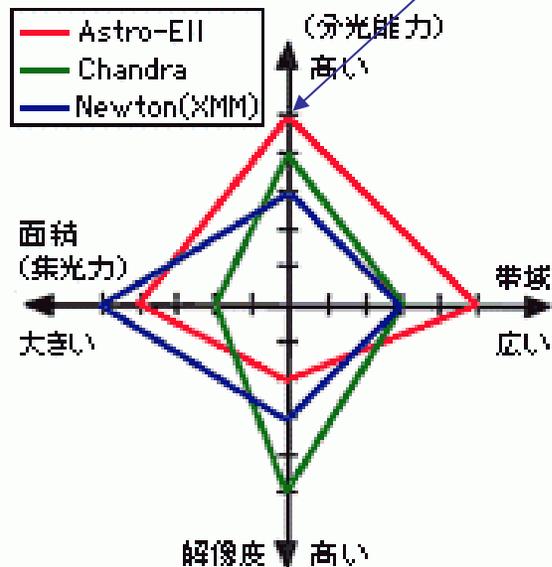
# 2000年代

## ● 巨大「X線天文台」の時代

- 観測時間は世界にオープン。データアーカイブスを自由に使える。
- Chandra(アメリカ、1999年)
  - 史上最高(今後10年以上?)の位置分解能( $\sim 0.6$ 秒角)と感度
- XMM-Newton(ESA, 1999年)
  - Chandraをはるかにしのぐ有効面積
- Astro-E(2000年、打ち上げ失敗)
  - マイクロカロリメーターにより、史上最高のエネルギー分解能を実現するはずだった

マイクロカロリメーターが  
実現していたなら...

### 三つのミッションの比較



Chandra



Newton



すざく (ASTRO-EII)

Chandra, XMM-Newton, すざくの3つで相補的な関係

# 2000年代

- 巨大「X線天文台」の時代

- すぎく (Astro-E2; 2005年)

- X線マイクロカロリメーターの再挑戦

- 鉄輝線領域で過去最高のエネルギー分解能を実現

- 軌道上で正常に動作 (キャリブレーションソースの観測)

- やがてヘリウムを失い、天体観測は不可能に...

- 20keV~300 keVで過去最高の感度

- 低エネルギー側でChandra, XMMをしのぐエネルギー分解能

# 2000年代

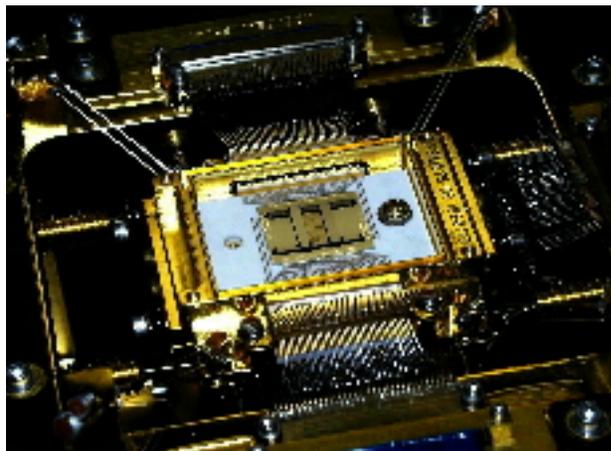
- X線、ガンマ線天文衛星とアーカイブスの黄金期
  - HETE2(アメリカ、2001年)
    - ガンマ線バーストミッション
  - INTEGRAL (ESA,2002年)
    - 20keV以上でのイメージング
  - Swift(アメリカ、2004年)
    - ガンマ線バーストミッション

# Astro-E2 (すざく)

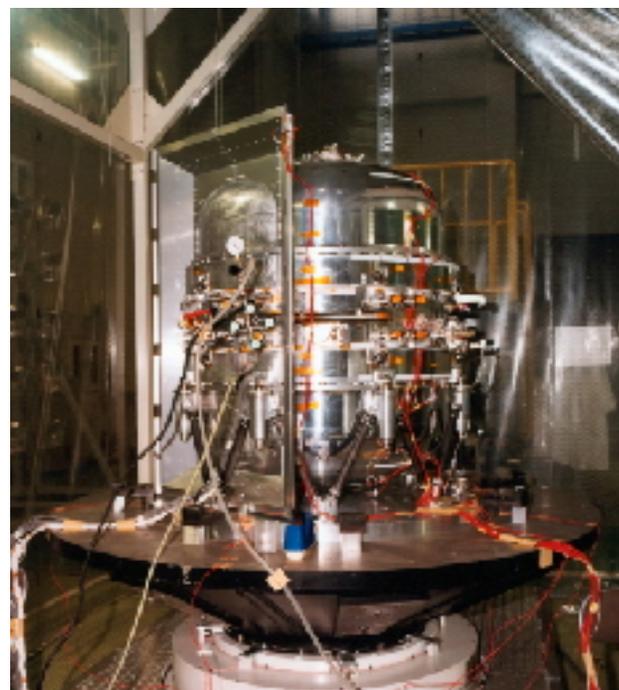
- Astro-E1とほぼ同じデザイン
- いくつかの改良
- **XRS** (X-ray Spectrometer)
  - マイクロカロリメーター, エネルギー分解能 (半値幅) ~6 eV
- **XIS** (X-ray Imaging Spectrometer)
  - 4つのCCDカメラ, 3つの前面入射型チップ (FI), 1つの後面入射型チップ (BI)
  - BIチップは、Chandra、XMMにまさる感度とエネルギー分解能
- **HXD** (Hard X-ray Detector)
  - ~700 keVまでの高エネルギーX線の観測



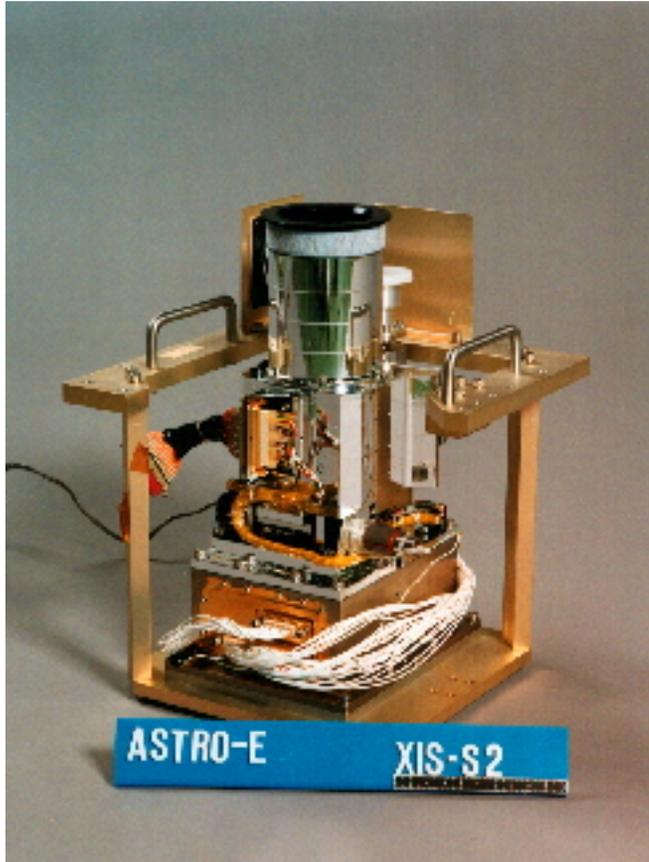
X線望遠鏡



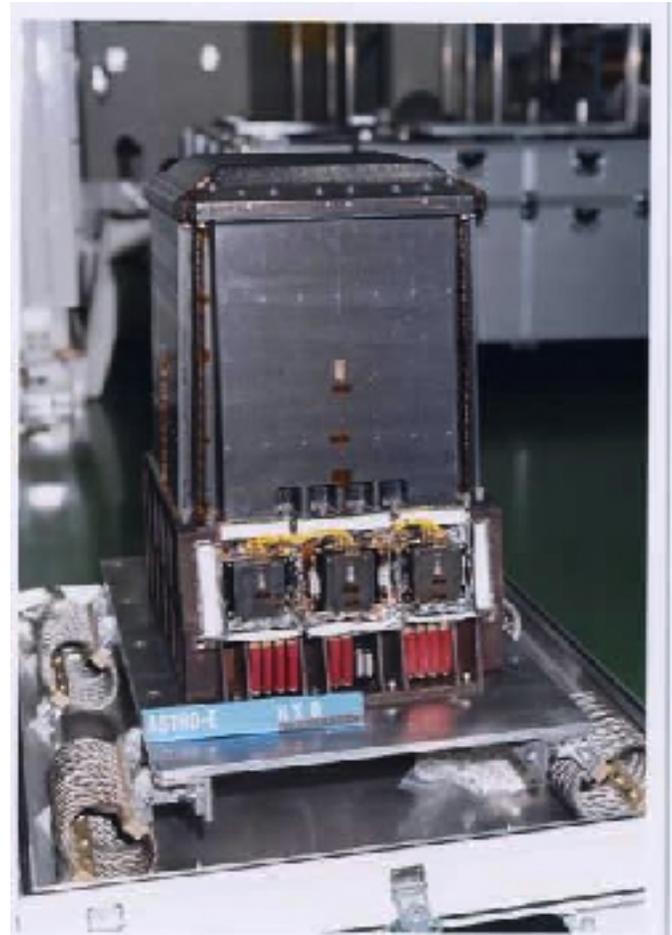
XRSマイクロカロリメーターチップ



XRSネオンタンク

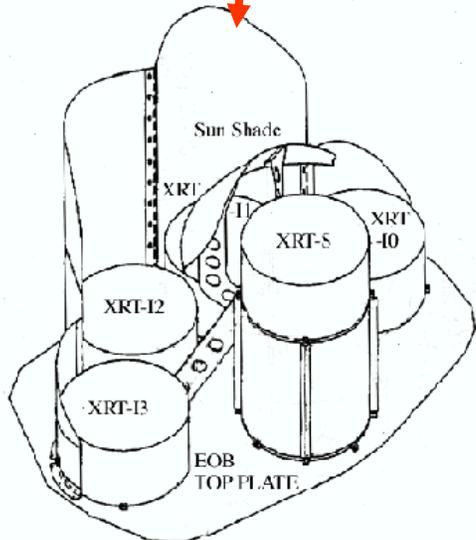
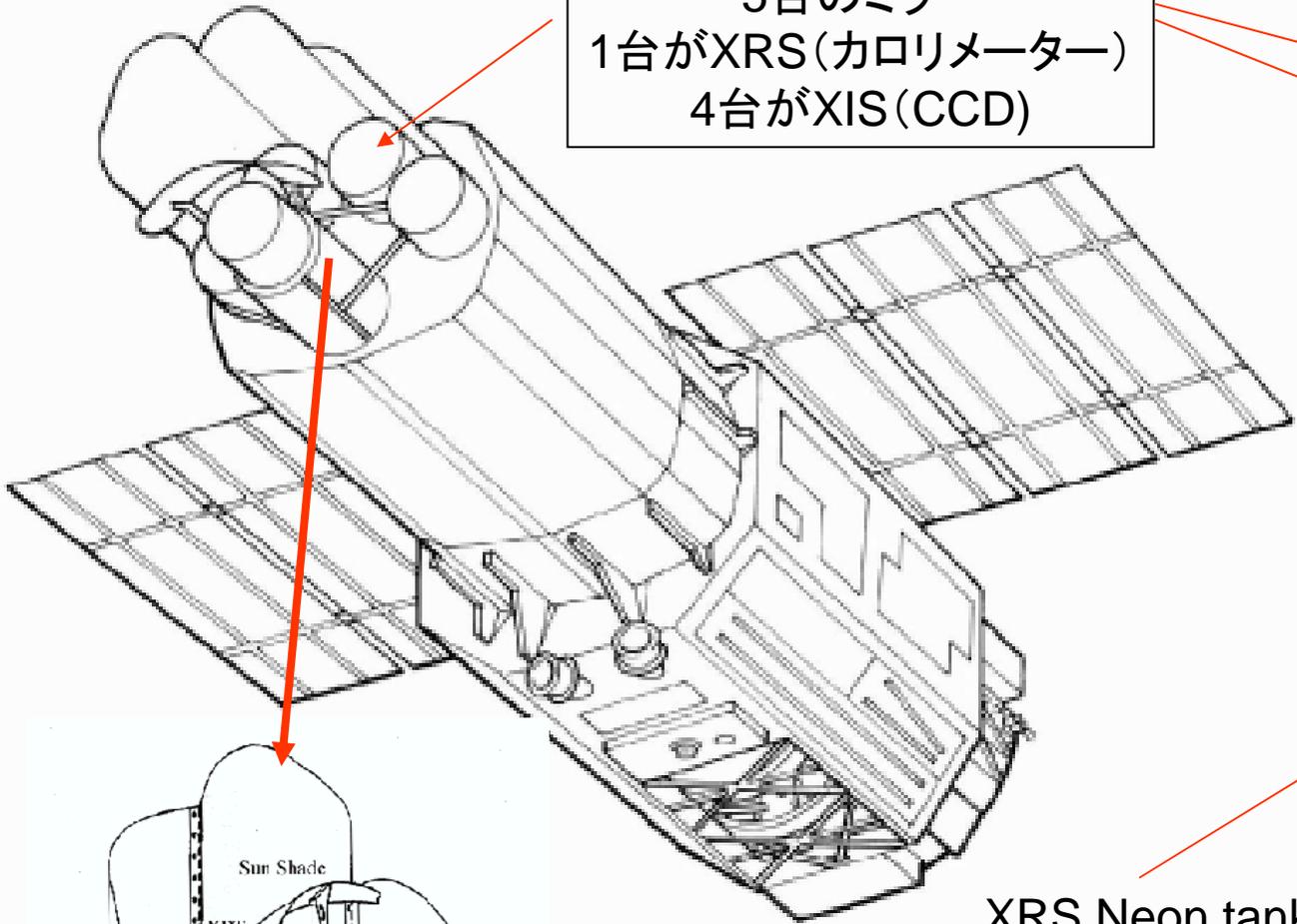


XIS CCD カメラ



HXD

5台のミラー  
1台がXRS(カロリメーター)  
4台がXIS(CCD)



XRS Neon tank

4台のXIS(CCDカメラ)

Hard X-ray Detector (HXD)



光学ベンチ

HXD

XRSネオンタンク

# 「すざく」の打ち上げ成功！

- 2005年7月10日

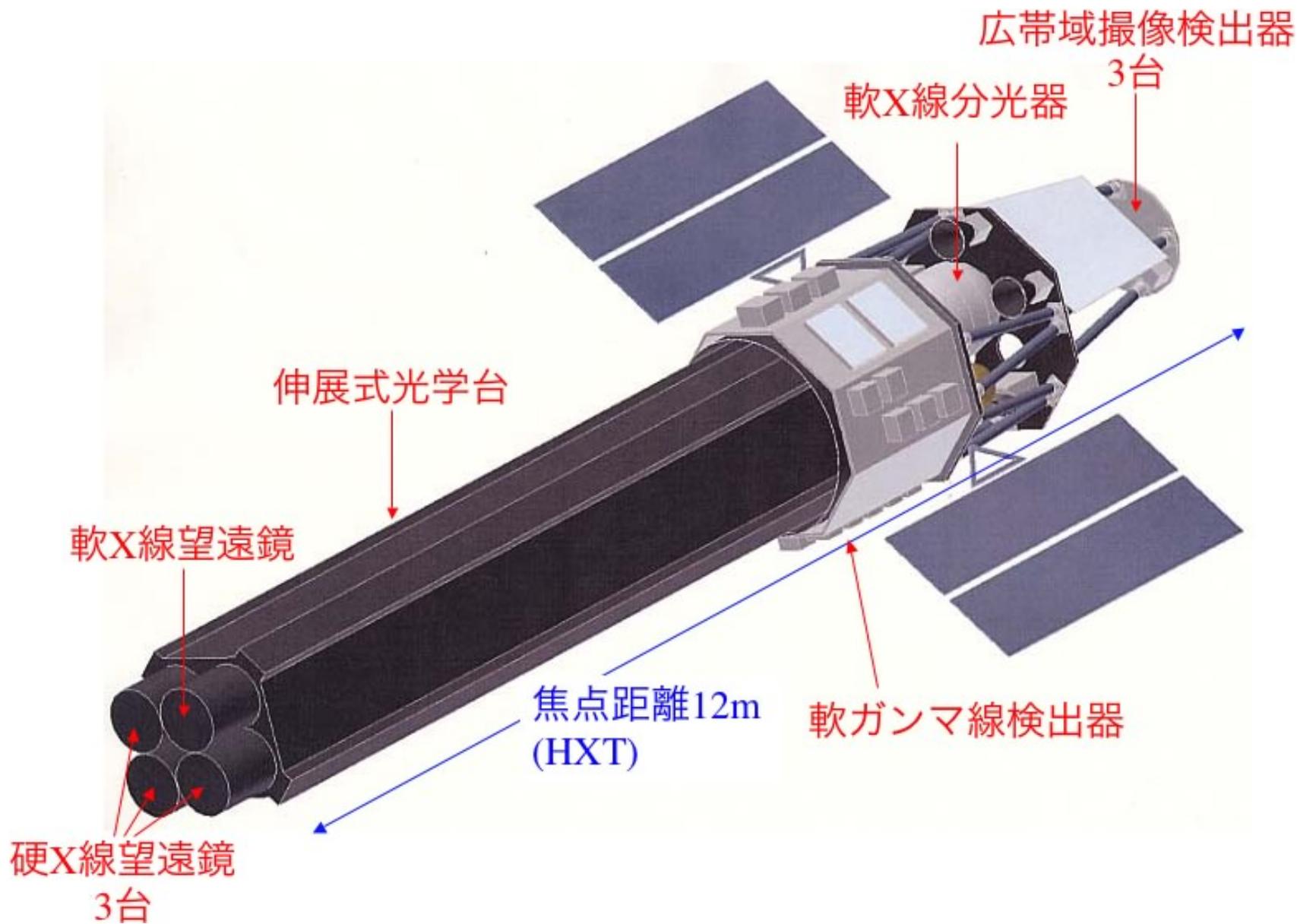


# 「すざく」の状況

- 2005年8月8日、すべてのヘリウムが蒸発してしまった
- XRSは天体観測不可能に...
  - 原因は 蒸発したヘリウムの排気に関する設計不具合
- **HXDとXISは完璧に動作している**
  - 広範囲のエネルギースペクトル
  - 20 keV以上で最高感度
  - 低エネルギー側で優れたエネルギー分解能
- すざくの初期成果のPASJ特集号を準備中
- 2006年12月、京都にて、すざく国際会議

# NeXT衛星計画

- New X-ray Telescope, *NeXT*
  - 2010年代の早い時期に打ち上げ目標
  - X線マイクロカロリメーターの実現
    - (まだ)世界で最初のマイクロカロリメーターかもしれない
  - ~70 keVまでカバーする高エネルギー反射鏡
    - これもおそらく世界で初めて?
  - ~1 MeVまでの最高感度によるガンマ線観測



# 将来のX線天文衛星

- アメリカ Constellation-X
- ヨーロッパ XEUS
- どちらも認可されていない
- 衛星が大型化、複雑化するにつれ、実現は大変になってくる...
- 国際協力の枠組みはこれから

# X線検出器と光学系

- 非結像系
  - コリメーターで視野を区切る
- 結像系(X線鏡)
  - X線が金属に斜入射したときの全反射を利用
  - 焦点面検出器と組み合わせる

# 非結像系の例：比例計数管

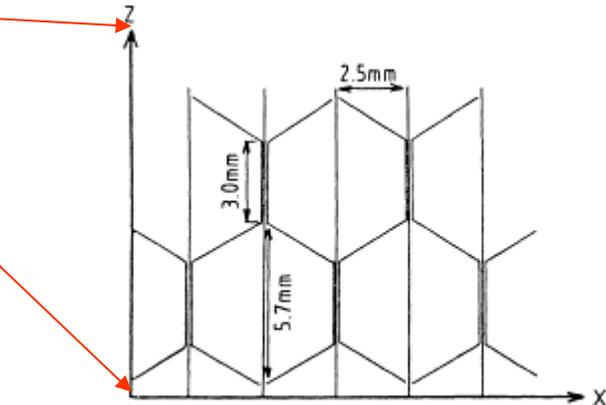
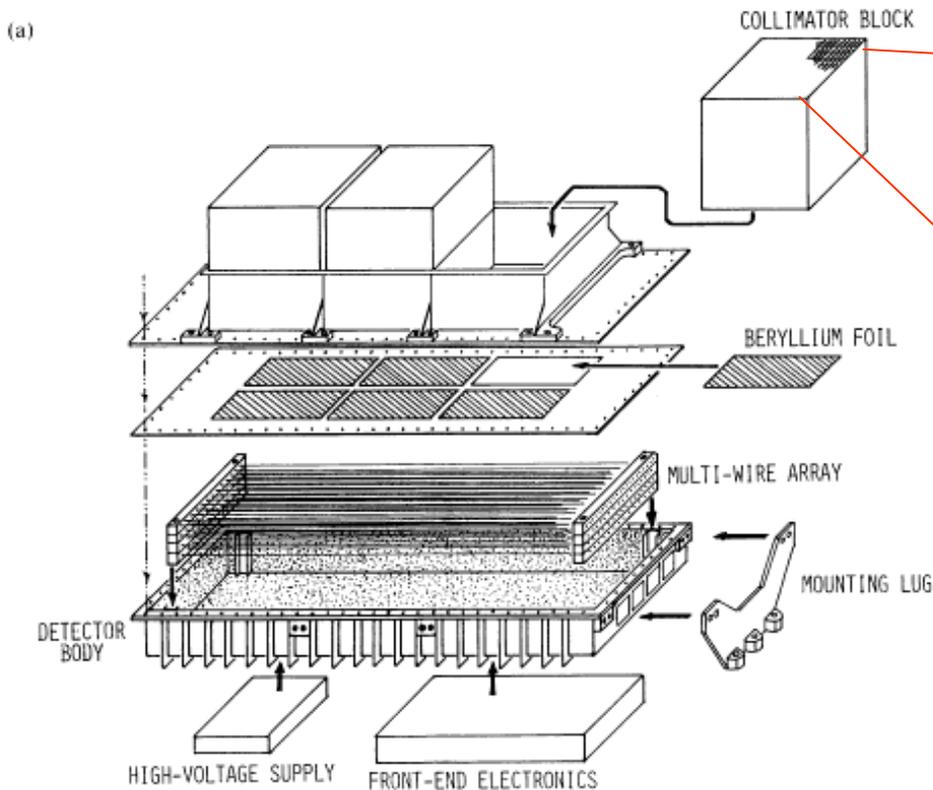


Fig. 4. Cross section of the collimator showing the shaped and flat plates.

- コリメーターで視野を区切る

同じ比例計数管を8台搭載  
総有効面積は4000cm<sup>2</sup>

非結像系の例：ぎんが衛星搭載の  
大面積比例計数管  
(Large Area Counter; LAC)  
(Turner et al. 1989, PASJ, 41, 345)

# 比例計数管とコリメーター

- 非結像系でもスキャンを行えばおおまかなイメージングは可能

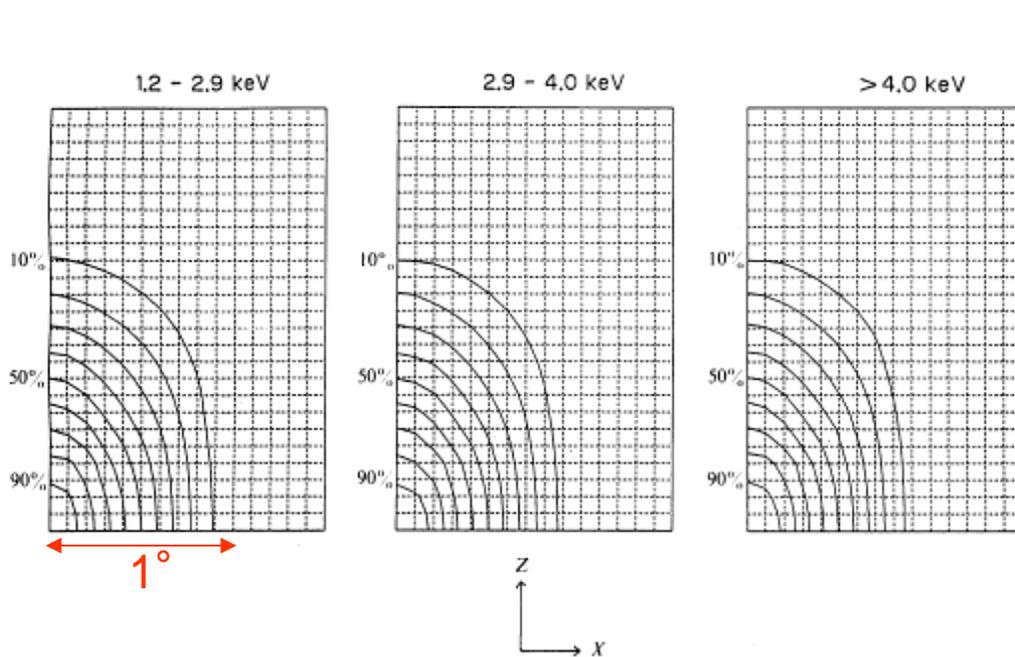
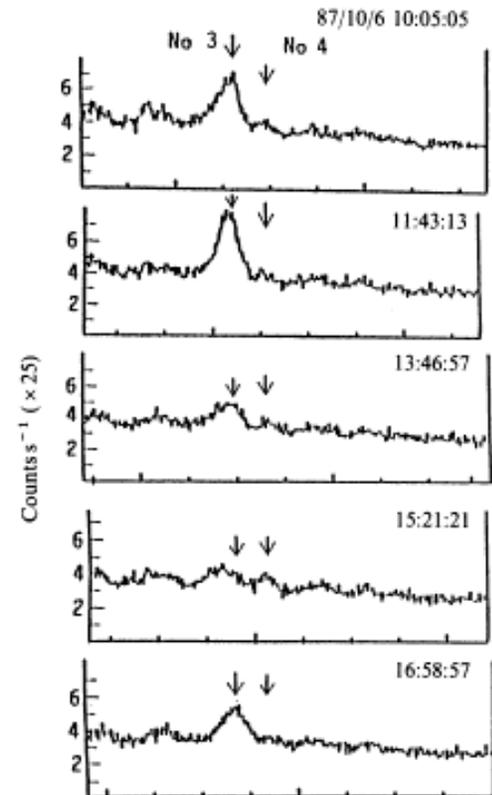


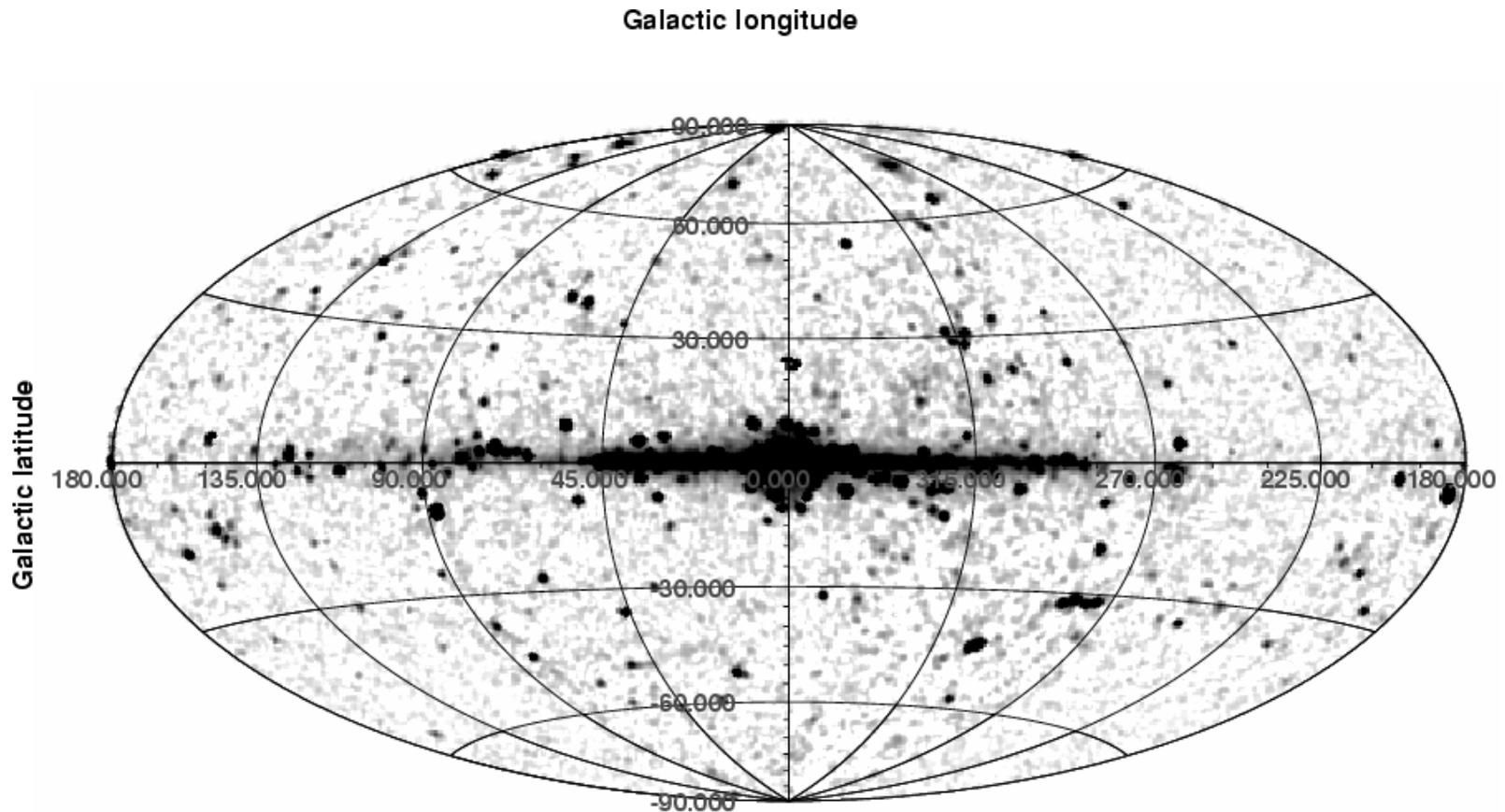
Fig. 13. The collimator angular response function. The grid size with dotted lines is  $0.1^\circ$ , and three different energy bands are shown. In the softer bands the effect of reflection modifies the contours by a few percent.

ぎんが衛星搭載LACのコリメーターレスポンス(Turner et al. 1989)



ぎんがLACスキャンによる  
新たな天体の発見の例  
(Koyama et al. 1989, PASJ, 41, 483)

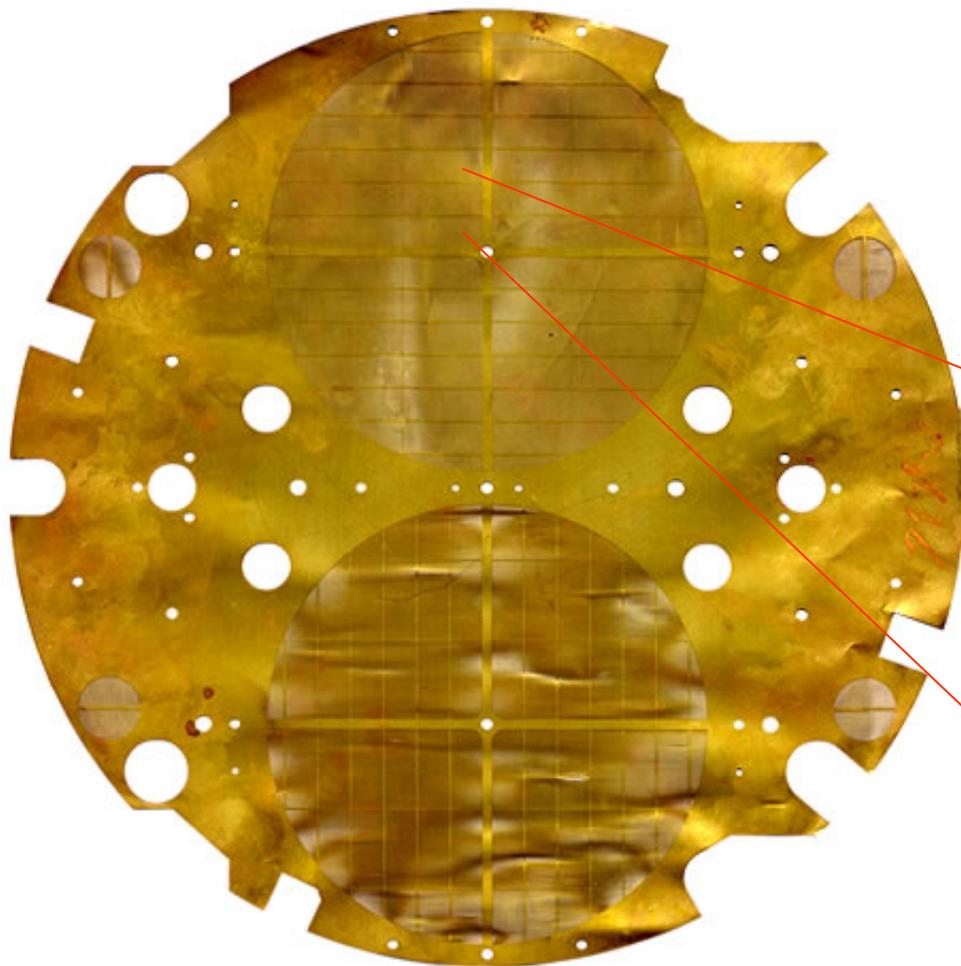
# 非結像系スキャンによる「イメージング」



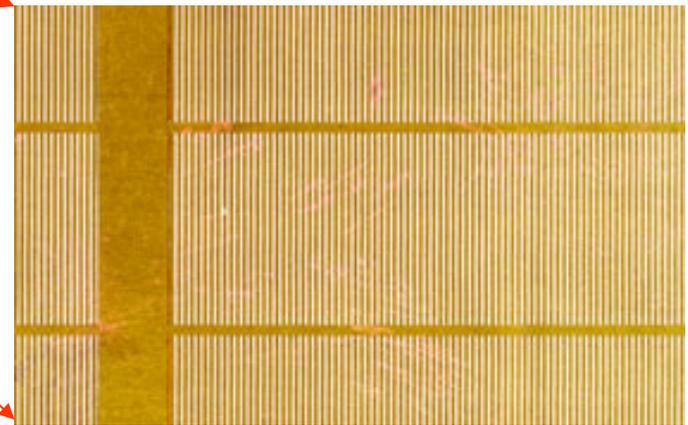
RXTE衛星が姿勢制御(Slew)中のデータから  
作った3-20 keVの全天マップ  
(Revnitsev et al. 2004, A&A, 418, 927)

# 「ひのとり」搭載すだれコリメーター

- <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/tsuneta/sudare.htm>より

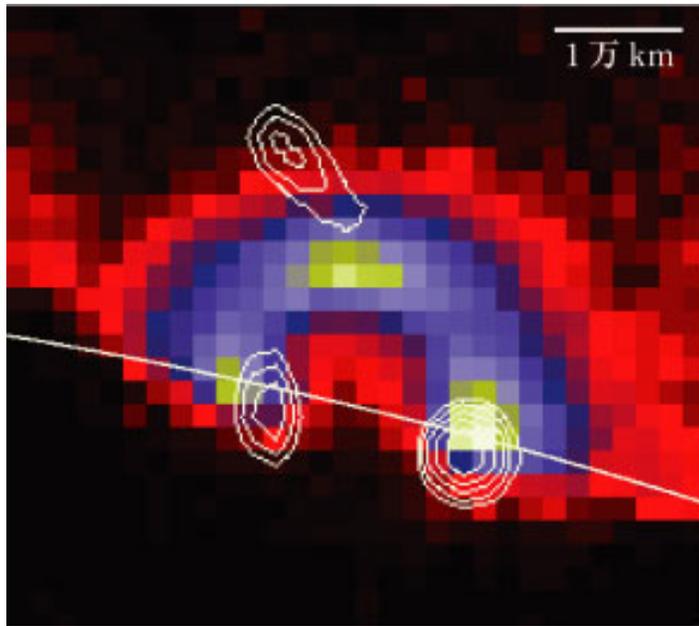


上下二つの円形のコリメーターが、  
二台の硬X線望遠鏡に対応している



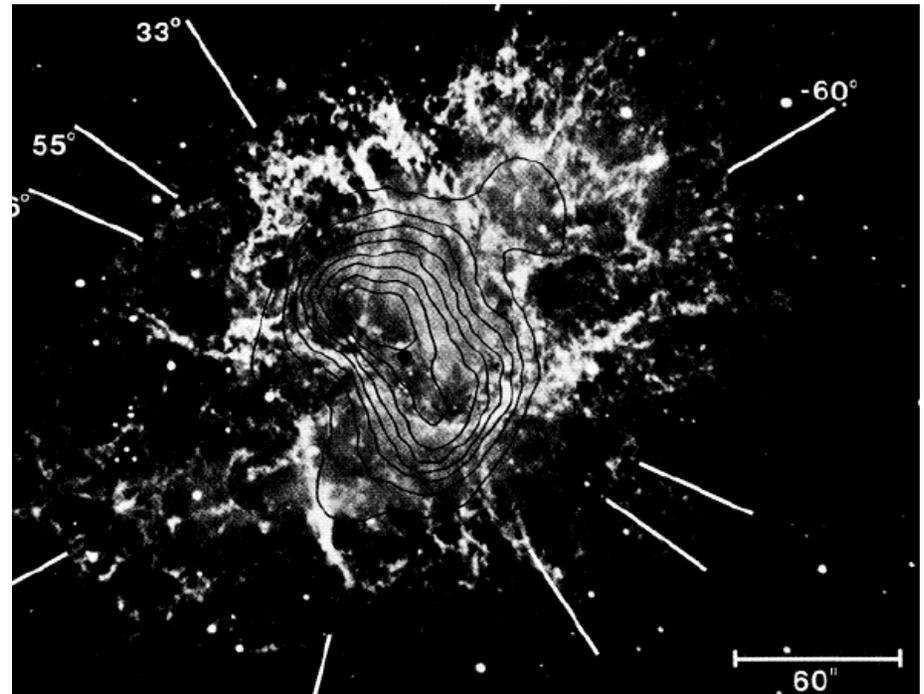
拡大図

# すだれコリメーターによる像合成



ようこう衛星が取得した1992年1月13日の太陽フレア。カラーは軟X線像、白の等高線は硬X線源(33-53keV)。フレアグループの上空に位置する硬X線源を発見。

<http://www.isas.ac.jp/j/enterp/missions/complate/yohkoh/best10.shtml>より



かに星雲(Crab nebula)の22-64 keVの硬X線像(コントア)。位置分解能は15"。背景は可視光の写真。(Pelling et al. ApJ, 1987,319, 416)

# X線光学系

- 結像系(X線鏡)
  - 臨界角はX線エネルギーと反射物質による
    - 3 keVのX線が金に入射するときは $1^\circ$
    - エネルギーが高いほど臨界角が小さくなるので
      - イメージングは困難になる
      - イメージングには長い焦点処理が必要

# X線鏡

- 形状

- Wolter-Type1: 放物面と双曲面の組み合わせ
  - 完全な集光ができるが、製作が困難
  - 長い焦点距離
- 円錐鏡(あすか、すざく)
  - 反射面を円錐で近似。製作が簡単。
  - 短い焦点距離でも入射角を小さく保てる
  - 完全な集光はできない。位置分解能に劣る

- 素材

- ガラス研磨鏡
  - ガラスを研磨して、表面に金(ROSAT)または白金(Chandra)をコーティング
  - Einstein, Chandra: 鏡面精度に優れるが、重い。高価(Chandraは1500億円!)。多層構造が難しい(Chandraは4層)。有効面積を稼ぐのが困難
  - 優れた位置分解能(Chandraは $\sim 0.5''$ )
- 多層膜鏡
  - アルミ(あすか、すざく)またはニッケル(XMM)に金または白金をコーティング。たくさんのフォイルを重ね合わせる
  - 軽くて、大面積を稼げるが、表面精度が悪い。(XMMは $\sim 30''$ 、すざくは $\sim 2'$ )

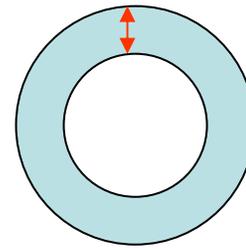
# X線鏡の比較

Suzakuのミラーもほぼ同じ性能

X-ray Telescope Mirrors							
Mirror Characteristic	Einstein	EXOSAT	ROSAT	BBXRT	ASCA	Chandra	XMM
aperture diameter	58 cm	28 cm	83 cm	40 cm one module		1.2 m	70 cm one module
mirrors	4 nested one module	2 nested	4 nested	118 nested one module		4 nested	58 nested
geometric area	350	80	1140	1400 two modules		1100	6000 three modules
grazing angles (arcmin)	40-70	90-110	83-135	21-45		27-51	18-40
focal length (m)	3.45	1.09	2.4	3.8		10	7.5
mirror coating	Ni	Au	Au	Au		Ir	Au
highest energy focused (keV)	5	2	2	12		10	10
on axis resolution (arcsec)	4	18	4	75		0.5	20

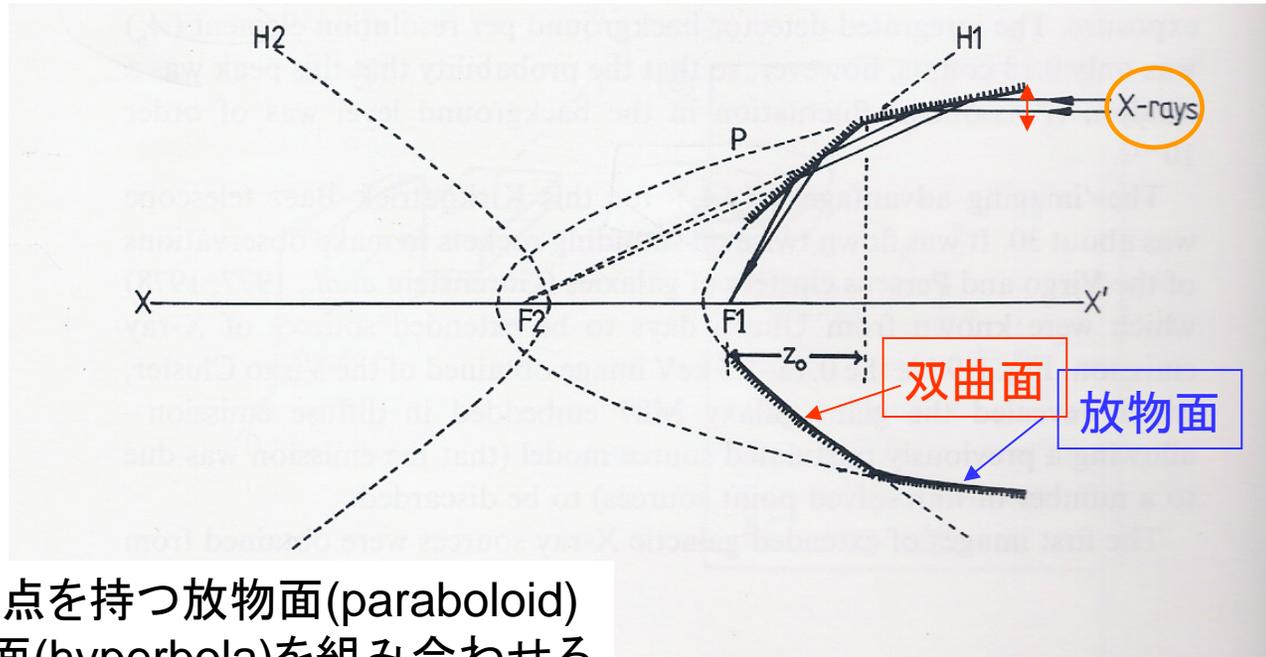
[http://cxc.harvard.edu/cdo/about\\_chandra/overview\\_cxo.html](http://cxc.harvard.edu/cdo/about_chandra/overview_cxo.html)より

# Wolter-type1ミラー



正面から見た図

- このリングに当たったX線が集光される
- 有効面積を稼ぐには多層化が必要

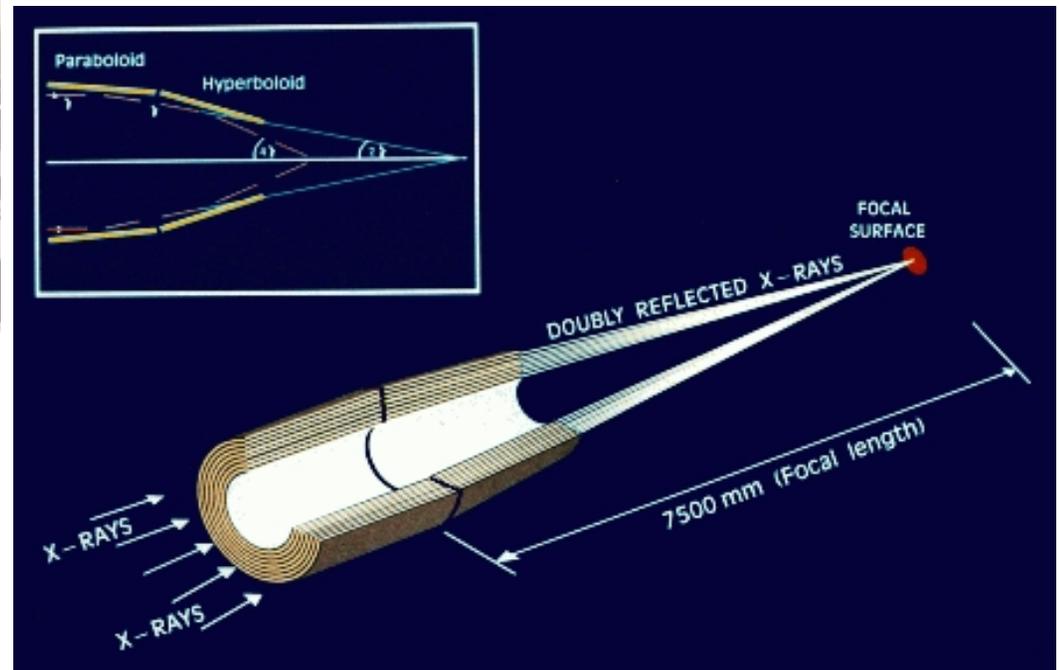
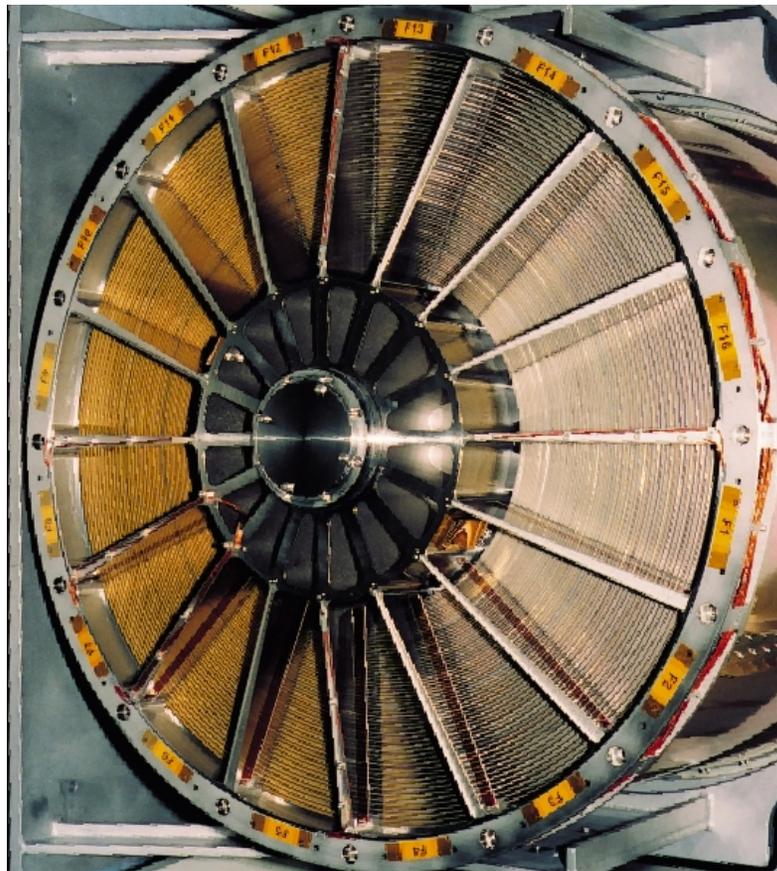


同じ焦点を持つ放物面(paraboloid)  
と双曲面(hyperbola)を組み合わせる

## Wolter-type1ミラーの断面図

“X-ray detectors in astronomy” Fraserより

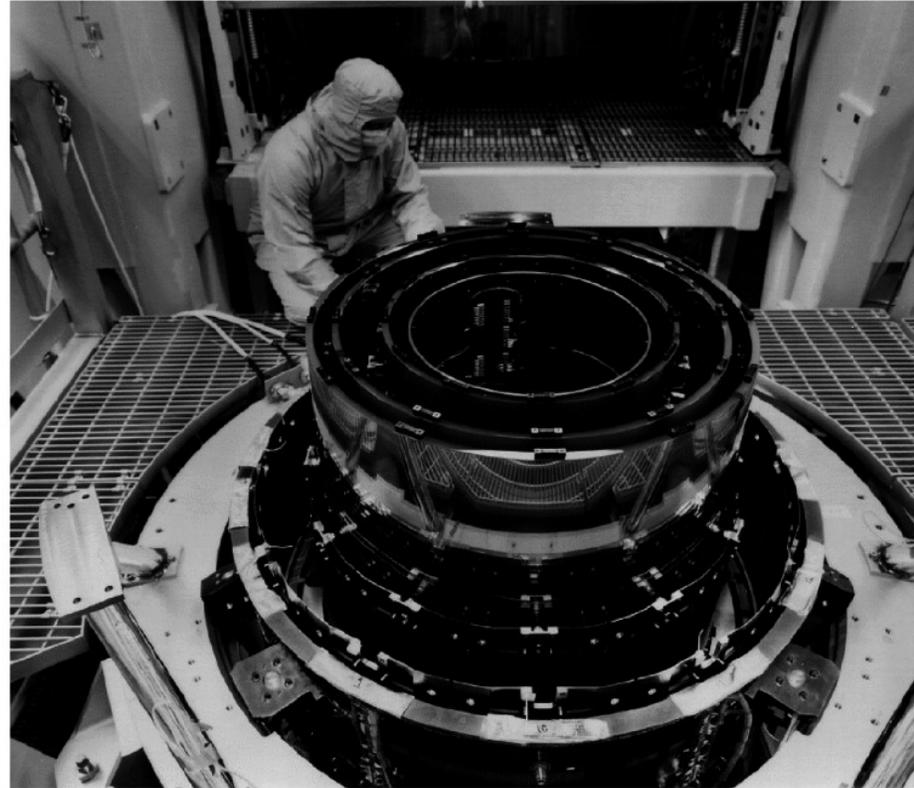
# XMM-Newton衛星のミラー 58枚のミラーを多層化 3台のミラーを搭載



[http://xmm.vilspa.esa.es/external/xmm\\_user\\_support/documentation/technical/Mirrors/](http://xmm.vilspa.esa.es/external/xmm_user_support/documentation/technical/Mirrors/)より



- Chandra衛星のミラー
- 焦点距離10m、4層構造



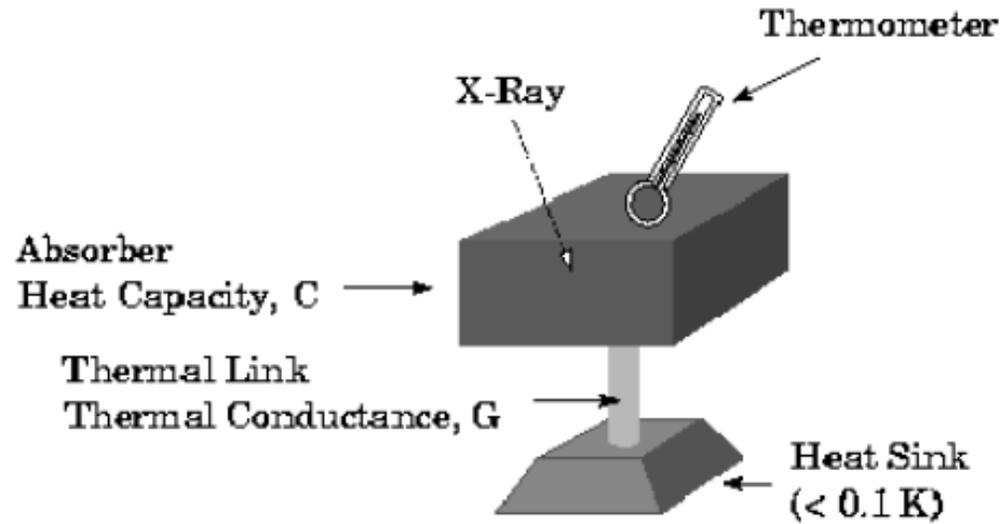
Weisskopf et al. PASP, 2002, 114, 1より

<http://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/craftOptBench60.html>より

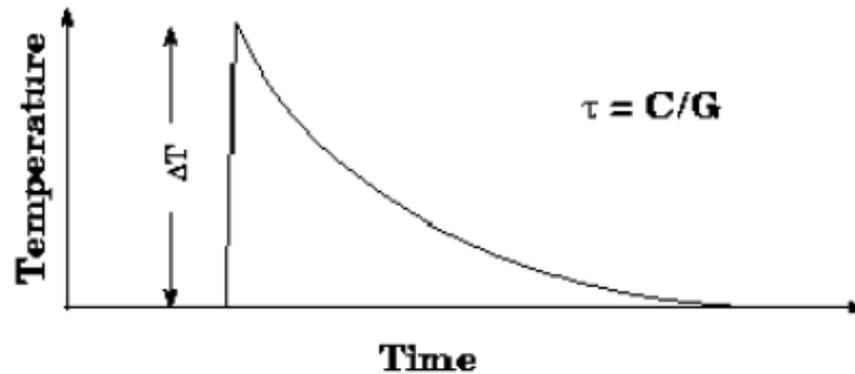
# X線マイクロカロリメーター

- 1980年代よりアメリカで開発
- Chandraに向けて開発されたが、巨大になりすぎたため、NASAがAstro-Eに載せることを決定
- ひとつひとつのX線光子による温度上昇を測る
- 非常に優れたエネルギー分解能

# X-Ray Calorimeter



X線光子のエネルギーに  
比例した温度上昇



# Astro-E X-ray Spectrometer (XRS)

