

2011年8月金沢大学集中講義 「X線天文学」

2011年8月29日

第1回：イントロダクション

JAXA 宇宙科学研究所
海老沢 研

宇宙の大きさ、年齢

- 現在の物理学が記述できる宇宙の限界

- 宇宙の年齢

約 137億年 $\div 10^{17}$ 秒

- これより古いものはない

- 最小の時間(プランク時間)

- これより短い時間はない

- 宇宙の大きさ(宇宙の地平線)

- これより大きなものはない

- 最小の長さ(プランク長)

- これより短いものはない

10^{-44} 秒

10^{28} cm

10^{-33} cm

宇宙とは約61桁の広がりを持つ時間と空間

– 宇宙に含まれる原子の全質量・個数 10^{55} g $\div 10^{80}$ 個

余談

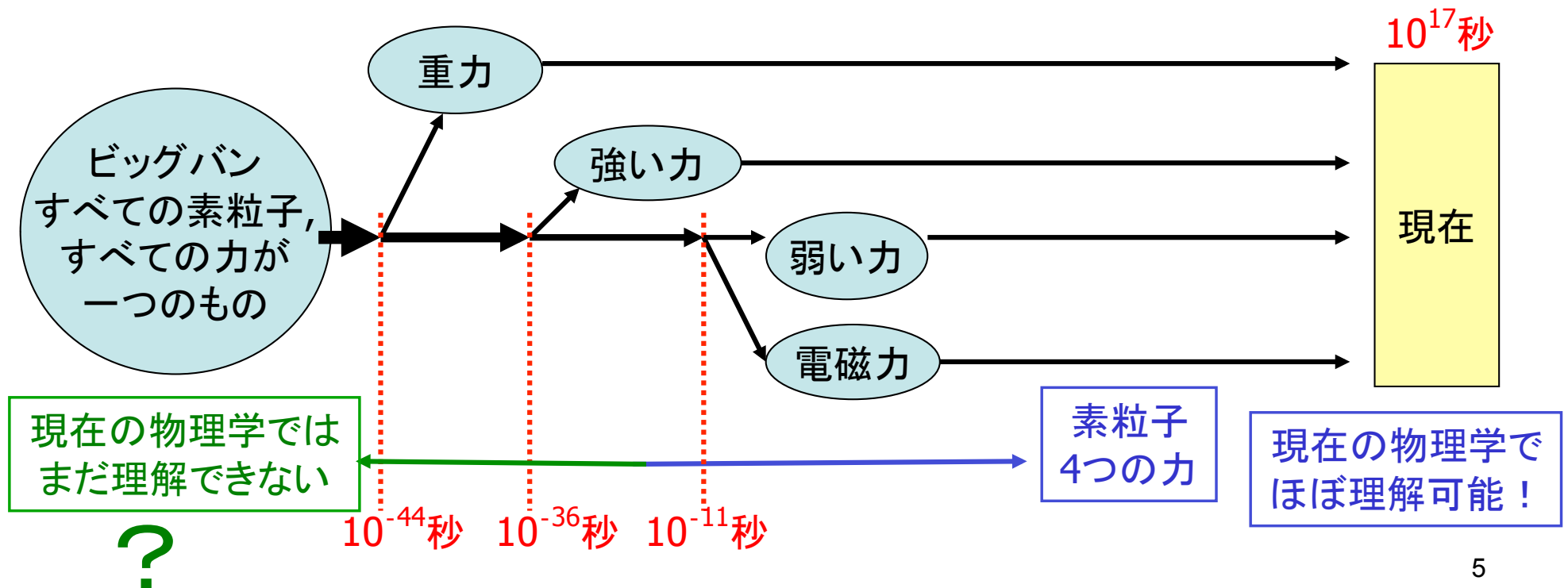
- 将棋でありうる対局の数 $\cdots 10^{220}$ 通り
- 囲碁でありうる対局の数 $\cdots 10^{360}$ 通り

宇宙は何からできているか？

- 宇宙に存在する物はすべて**素粒子**からできている
- **素粒子**の間に**力**が働いて、物質ができている
 - 物を作る素粒子(**標準理論**によると全部で**12種類**)
 - **クォーク**(6種類)、**電子**、**ニュートリノ**など
 - 2008年度ノーベル物理学賞「小林・益川理論」
 - クォークが6種類である事を予言
 - ただし、**ダークマター**(暗黒物質)の起源は解っていない(未知の素粒子？)
- 宇宙には**4種類**の力がある
 - **1.電磁相互作用、2.重力(万有引力)**
3.強い相互作用、4.弱い相互作用
 - 日常、知覚できるのは、**電磁相互作用**および**重力**
 - **強い相互作用、弱い相互作用**は、原子より小さな世界で働く

宇宙の誕生

- 宇宙は膨張し続けている
 - 現在から時間をさかのぼると、一点に収束する
- 宇宙は137億年前に誕生した(**ビッグバン**)

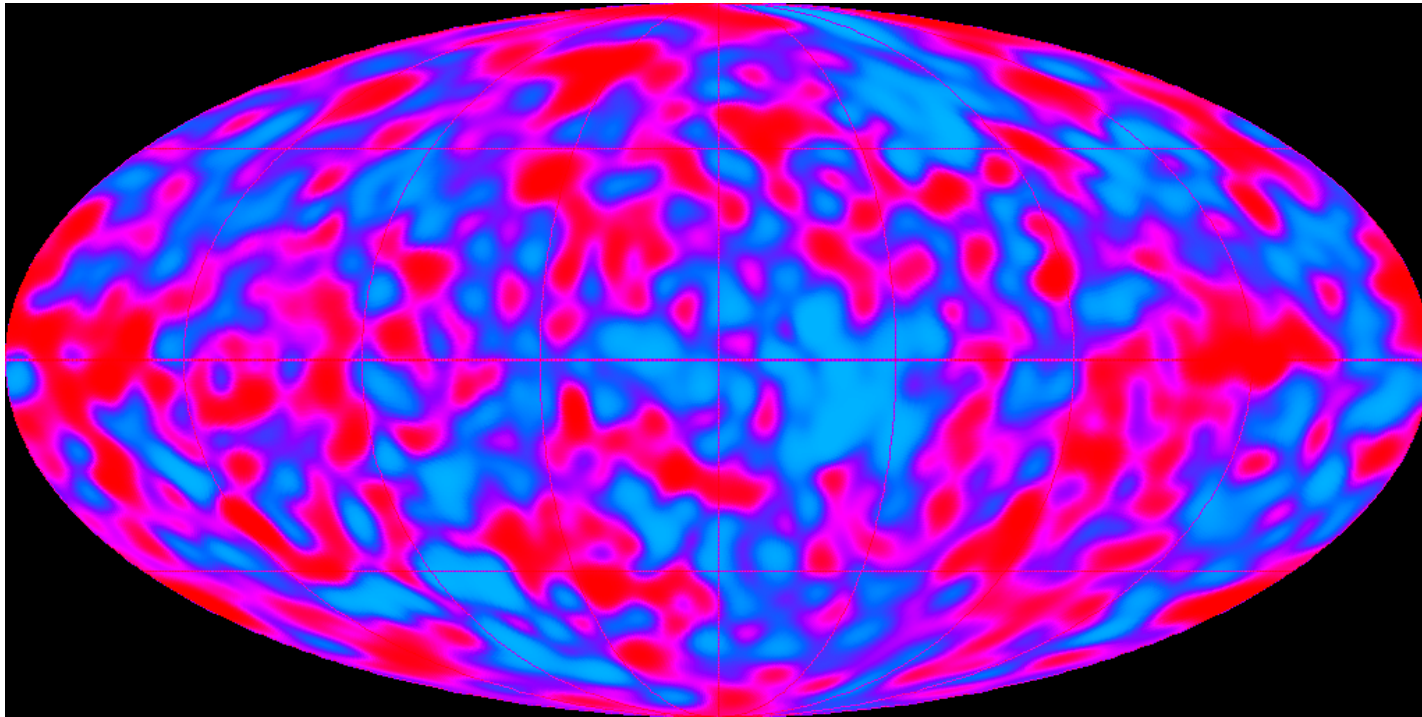


宇宙の歴史

- 宇宙が膨張するにつれて冷えてきた
- ばらばらの素粒子が結合してモノができてきた
- 最初の3分間
 - クォークから陽子(水素の原子核)、中性子ができた
 - 陽子が二つ、中性子二つからヘリウムの原子核ができた
 - 宇宙が誕生した直後は、水素とヘリウムしかなかった
- 宇宙誕生から約20万年後
 - 宇宙の温度は約4000度、大きさは現在の1/1000
 - 水素の原子核(陽子)と電子が結びついて水素原子ができる
 - このときに出た光が観測されている
 - 宇宙背景放射 (最も遠く、最も古い光)
 - ビッグバンの名残、ビッグバンの証拠

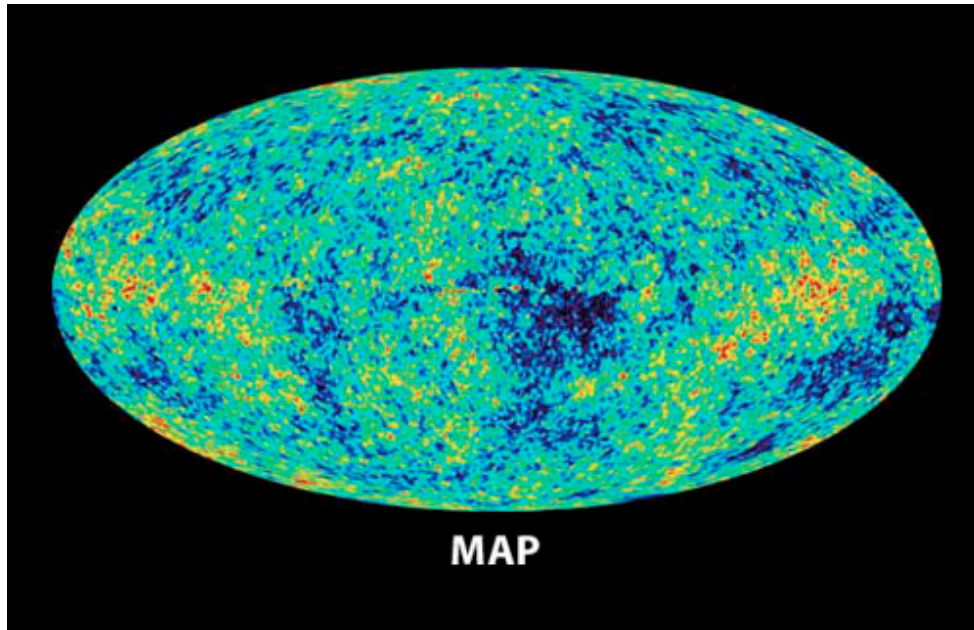
- 宇宙背景放射の”ゆらぎ”

1990年代 NASAのCOBE衛星による観測



Credit: NASA, COBE

- 宇宙が現在の1/1000の大きさの時点の物質の分布
- このゆらぎが銀河(星とガスの集まり)の種になる



- 2003年、WMAP衛星がCOBEよりさらに精密な宇宙背景放射の観測
- 詳細な温度ゆらぎ(ムラムラ)の観測と理論の比較から宇宙の年齢を137億年と決定



The Nobel Prize in Physics 2006

"for their discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation"



Photo: P. Izzo

John C. Mather

🏆 1/2 of the prize

USA

NASA Goddard Space Flight
Center
Greenbelt, MD, USA

b. 1946



Photo: J. Bauer

George F. Smoot

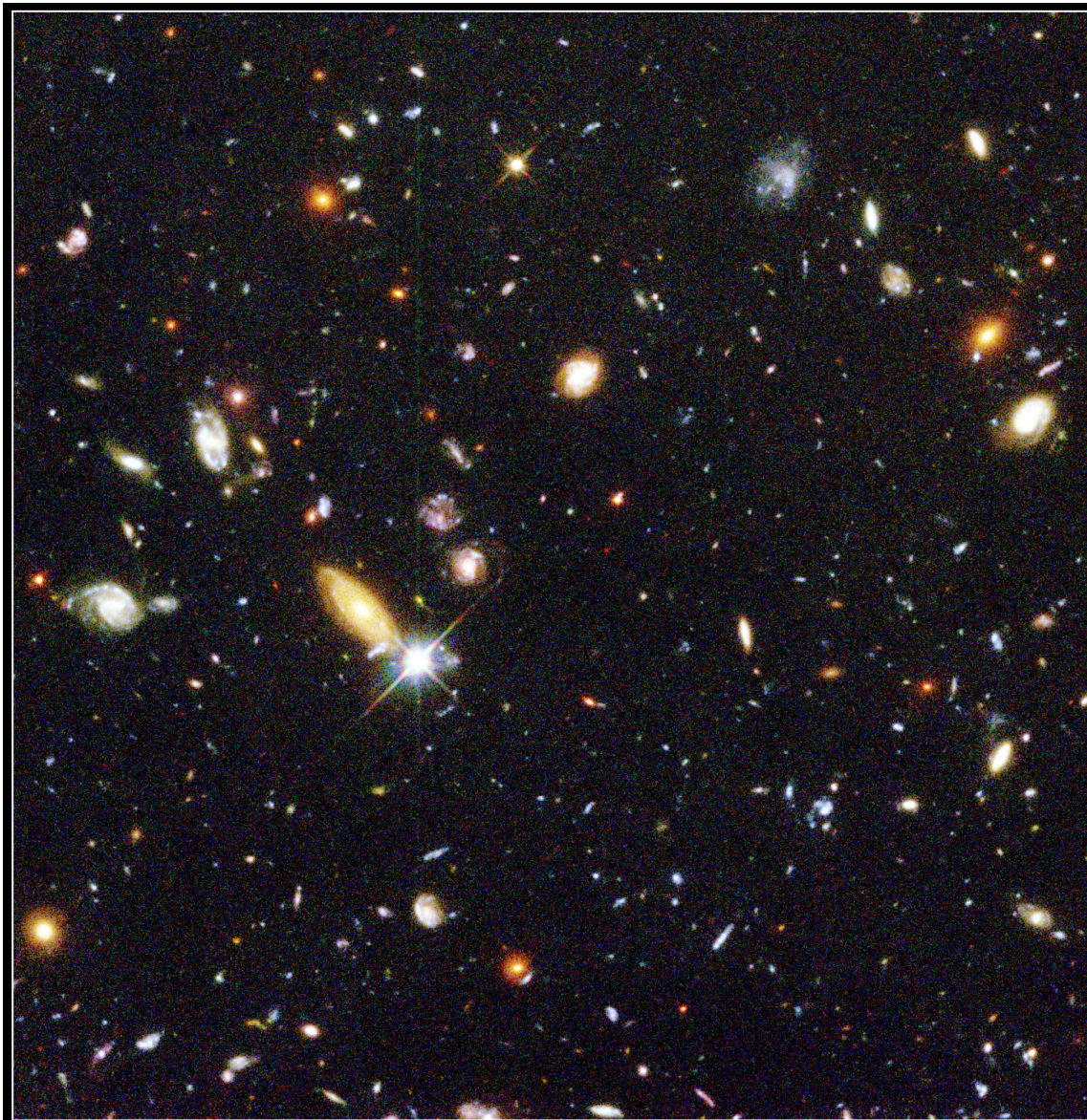
🏆 1/2 of the prize

USA

University of California
Berkeley, CA, USA

b. 1945

- COBEの搭載装置をつくった二人の科学者が2006年度ノーベル物理学賞を受賞

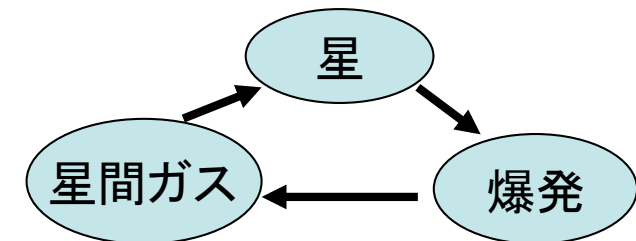


Hubble Deep Field
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC96-01a • ST ScI OPO • January 15, 1995 • R. Williams (ST ScI), NASA

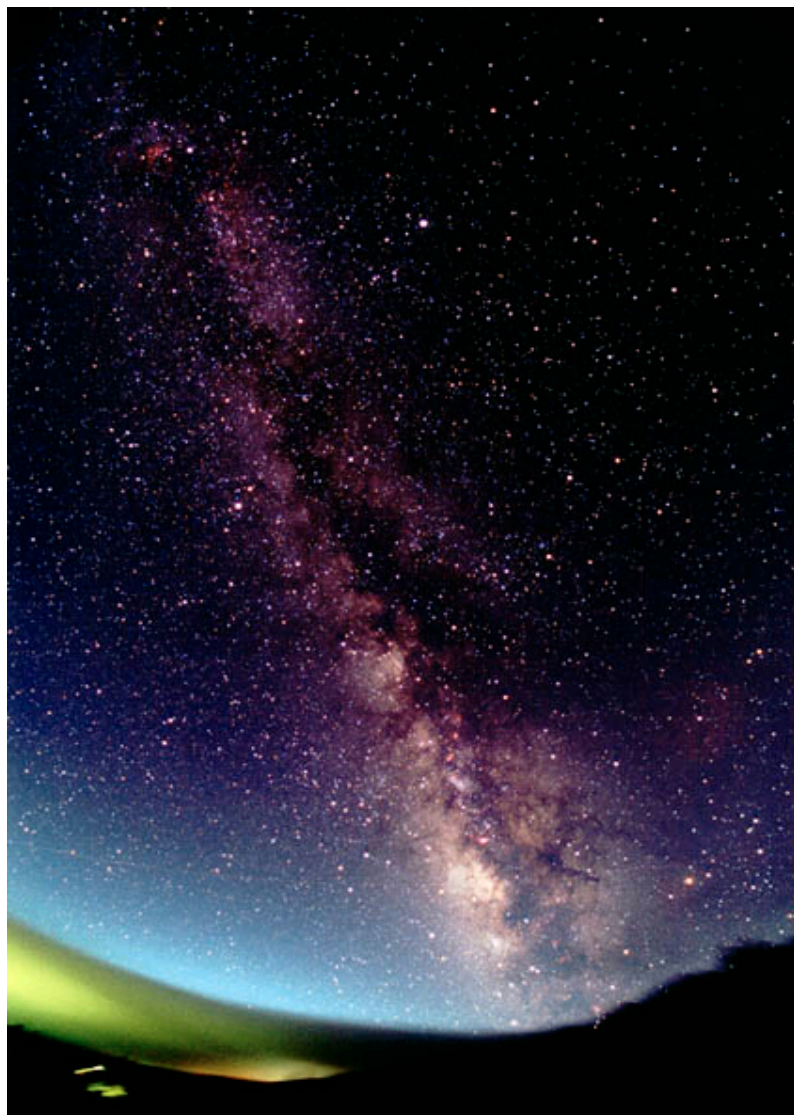
• 銀河

- 星とガスの集まり
- 宇宙が現在の約1/10の大きさの頃にできた
- 宇宙全体で数千億個ある(我々の銀河はその一つ)
- 銀河の中では、今でもガスから星が生まれつつある



銀河中の物質の循環

我々の銀河(天の川銀河系)



Credit:Naoyuki Kurita

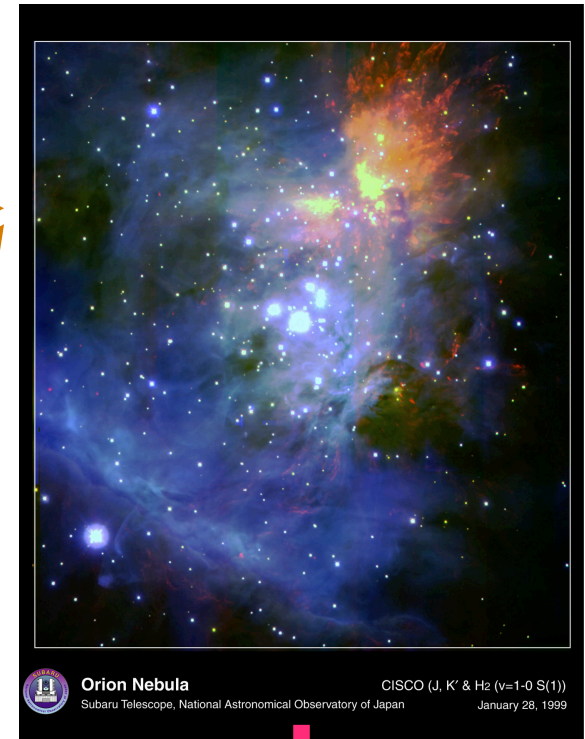
- 円盤状に約2000億個の星(恒星)が分布している(太陽はその一つ)
- 星の集まった円盤を内側から見ている→
天の川
- アンドロメダ銀河のような渦巻銀河



- M31、アンドロメダ銀河、
距離230万光年

星の進化と元素の起源

星間ガス、塵から星が生まれる
(オリオン星雲)



星間ガスを
まき散らす

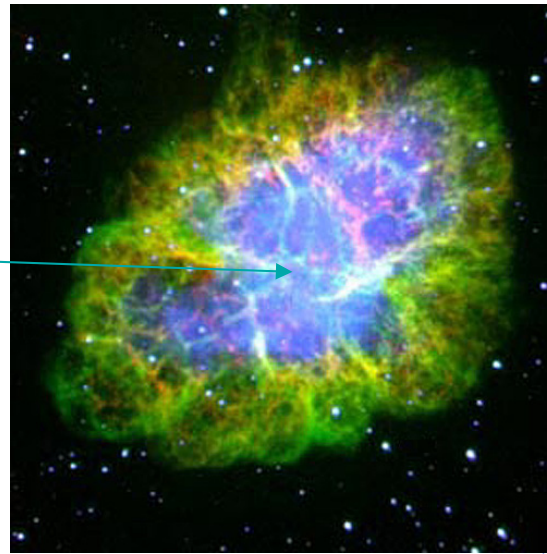
重い星
の最後

重い星
の進化

軽い星
の進化

軽い星
の最後

超新星爆発
中心に星の芯が残
る
(中性子星か
ブラックホール)
かに星雲
紀元1006年に
起きた
(「明月記」に記録
あり)



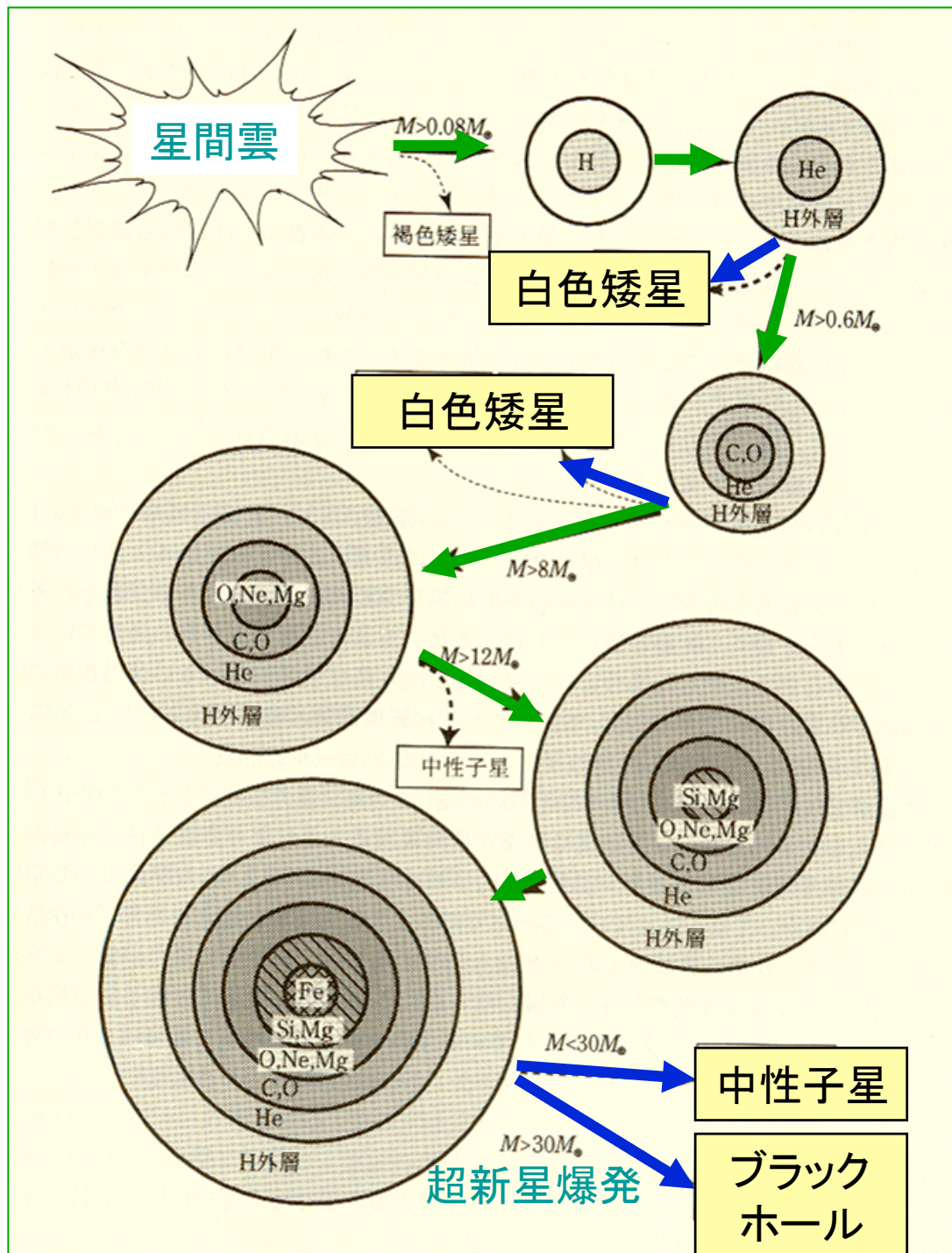
白色矮星と
惑星状星雲
(太陽の50億年後)

白色矮星は冷え
ていき、外層は
星間ガスとなる



プレアデス星団(すばる)

星の進化



- 星間雲が収縮して星ができる
 - 中心が超高圧、高温になる
 - 水素からヘリウムに核融合反応開始、熱と光を生成
- 太陽くらいの質量の星
 - ヘリウムから炭素、酸素ができて核融合反応ストップ
 - 白色矮星が残る
- 太陽よりもずっと重い星
 - ネオン、マグネシウム、シリコン、鉄ができる
 - 超新星爆発を起こす
 - 中性子星またはブラックホールが残る

星の進化と元素の起源

- 宇宙の初めに、わずかの水素とヘリウムができた
- それ以外の元素は、すべて星の中の核融合反応によって生まれた
- 超新星爆発によって、元素が星間ガスとしてまき散らされる
- それが星間雲となり、そこから太陽系が生まれた
- 太陽とほぼ同時に地球ができた
- 地球ができた時、元素が地球に取り込まれた

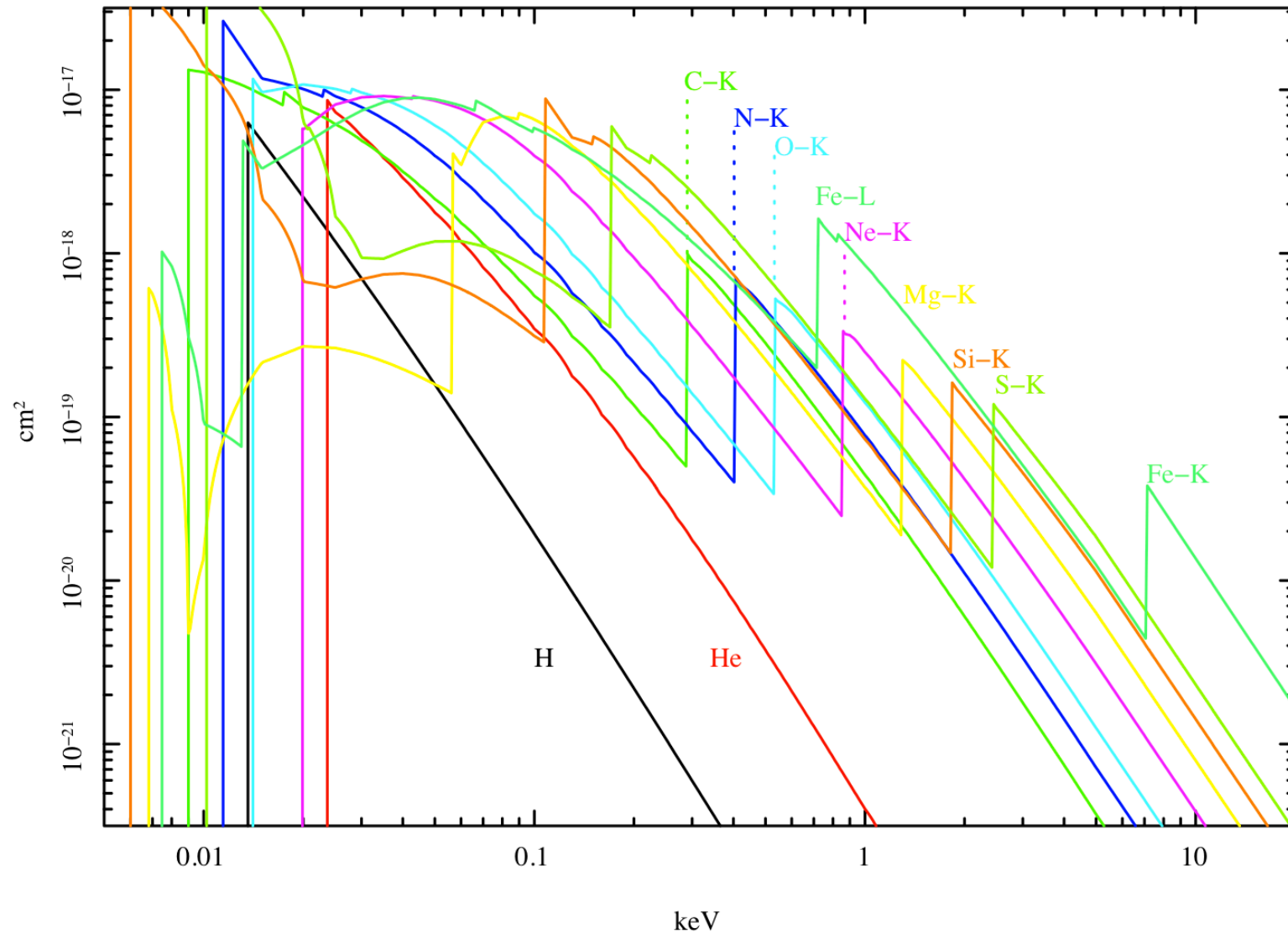
地球上の元素は、すべて星の中でできたもの!

X線の吸収

- 宇宙からのX線は大気中の重元素（主に窒素、酸素、炭素）によって吸収される

各元素(中性)の光電吸収断面積

Cross Sections of neutral atoms



X線の吸収の計算

- 窒素を例に取る
 - 0.1 keVにおける吸収断面積は約 10^{-18}cm^2
 - 空気の密度、 0°C 、1気圧で 1.293 kg/m^3
 - 重量比で窒素は75.5 %
 - 窒素の密度は約 $1\text{kg/m}^3=10^{-3}\text{g/cm}^3$
 - 窒素の原子量は $14\text{g/mol}=14\text{g}/6\times 10^{23}\text{個}$
 - 窒素原子の質量は $2\times 10^{-23}\text{g/個}$
 - 窒素原子の個数密度は $5\times 10^{19}\text{個/cm}^3$
 - 0.1 keVのX線が空気中の窒素に吸収されずに(ぶつからず)に進める距離はわずか
 $(10^{-18}\times 5\times 10^{19})^{-1}=0.02\text{cm}=0.2\text{mm}$

X線吸収端のエネルギー (簡単な物理の復習)

- ボーア半径
 - 水素のライマンエッジ
 - Hydrogenic-ionのライマンエッジ
- 講義ノート参照

X線の吸収

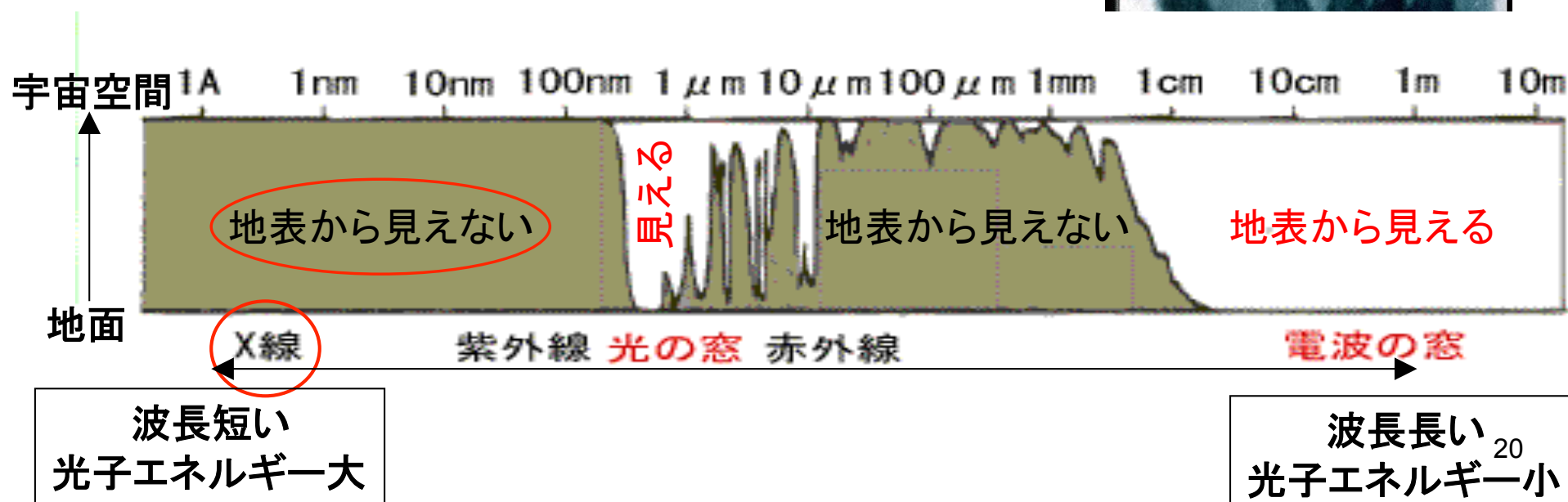
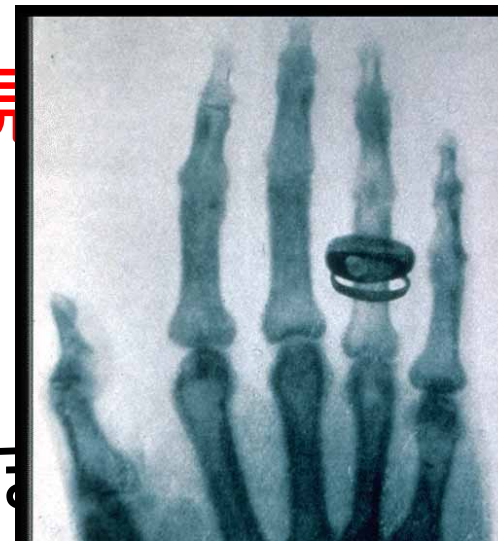
- 宇宙からのX線を観測するには大気圏外に観測装置を持って行く必要がある
- 人工衛星上の観測装置はX線を吸収し、それを電気信号に変換する
- 電気信号を地上に送る
- 地上でX線データを解析して研究する

X線天文学の歴史

X線の性質

- レントゲンが1895年、X線を発見
- 硬いものを通過する
 - 「レントゲン撮影」に使われる
- 地球大気によって吸収されてしま

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Roentgen-x-ray-von-kollikers-hand.jpg>



1962年 X線天文学の誕生

- 1962年以前は、X線を出す(太陽以外の)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

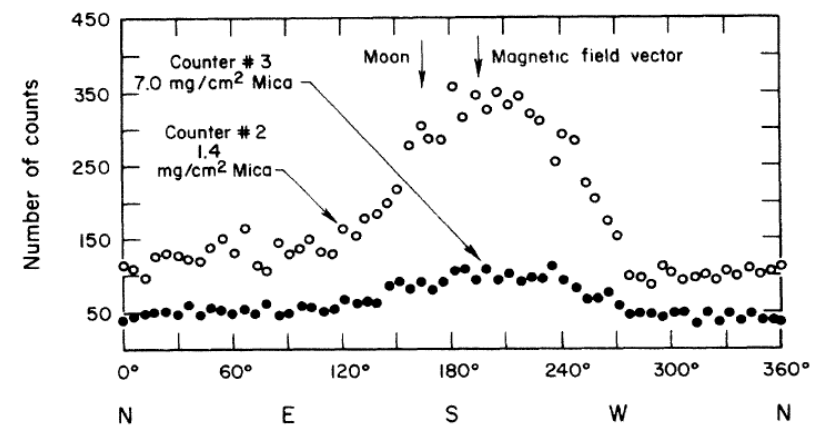


FIG. 1. Number of counts versus azimuth angle. The numbers represent counts accumulated in 350 seconds in each 6° angular interval.

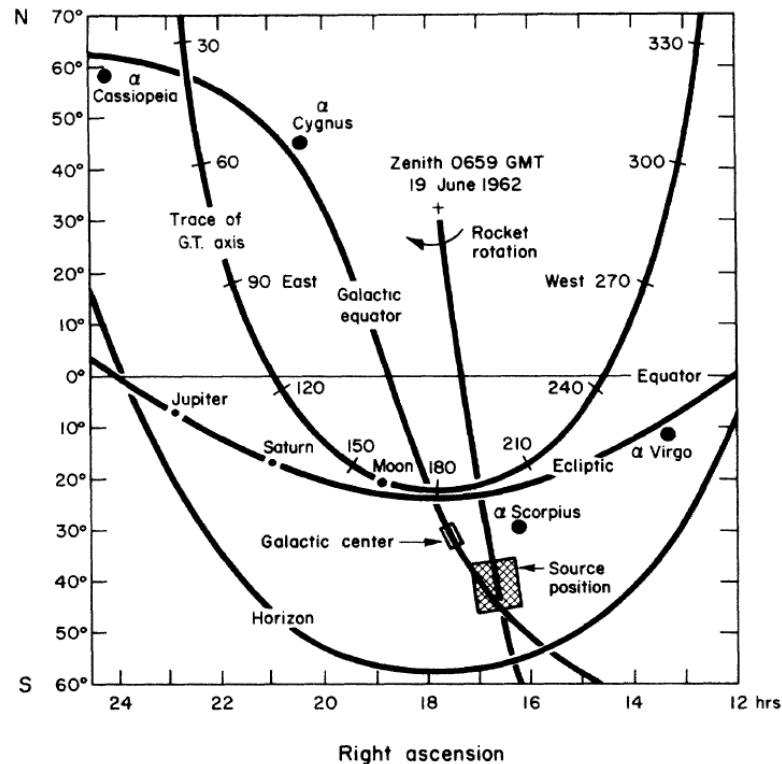


FIG. 2. Chart showing the portion of sky explored by the counters.



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"



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

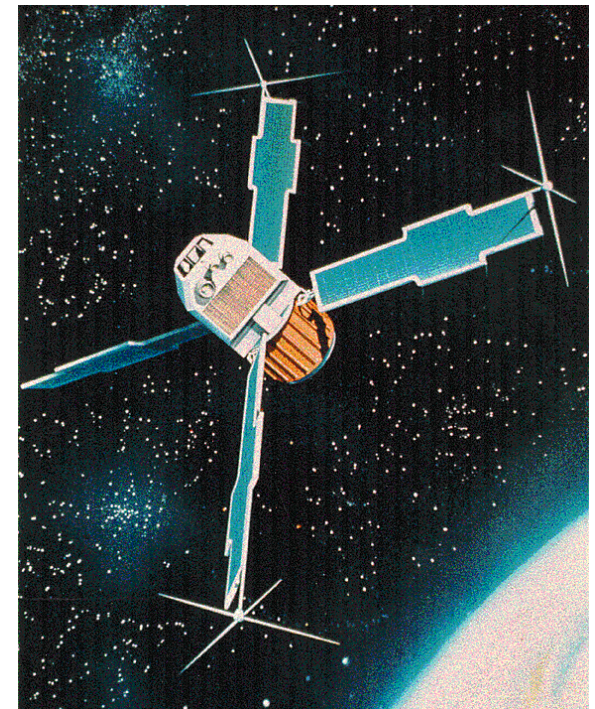
b. 1931
(in Genoa, Italy)

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

THE FOURTH UHURU CATALOG

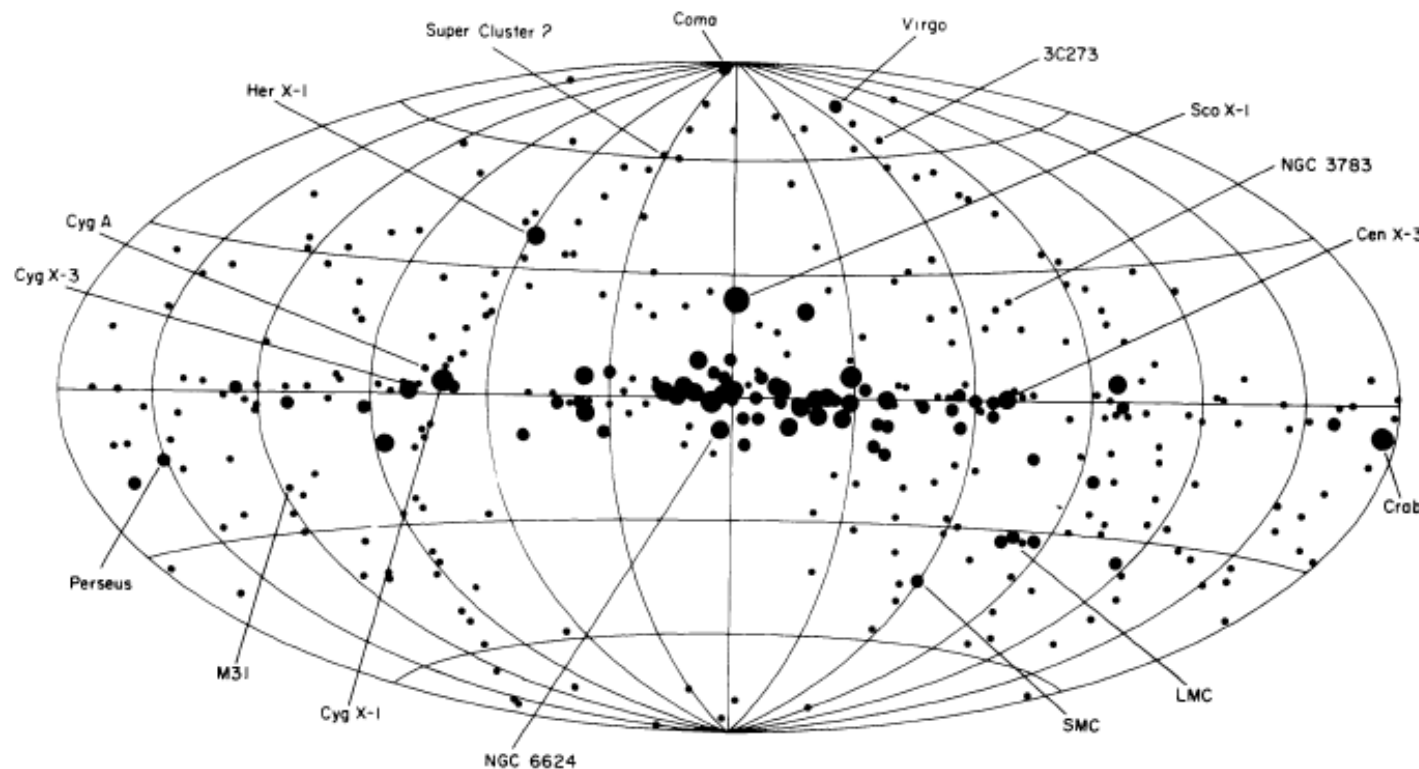


FIG. 5.—The sources listed in Table 1 are displayed in galactic coordinates. The size of the symbols representing the sources is proportional to the logarithm of the peak source intensity.

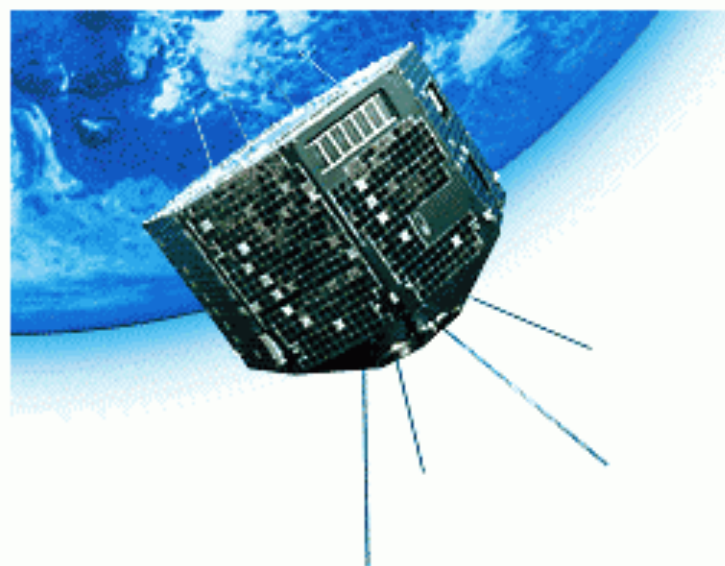
- ほとんどが銀河系(天の川)内の中性子星かブラックホール
- そのほかに銀河、活動的銀河中心核、銀河団からX線を発見

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)
 - 日本で最初のア天文衛星
 - 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

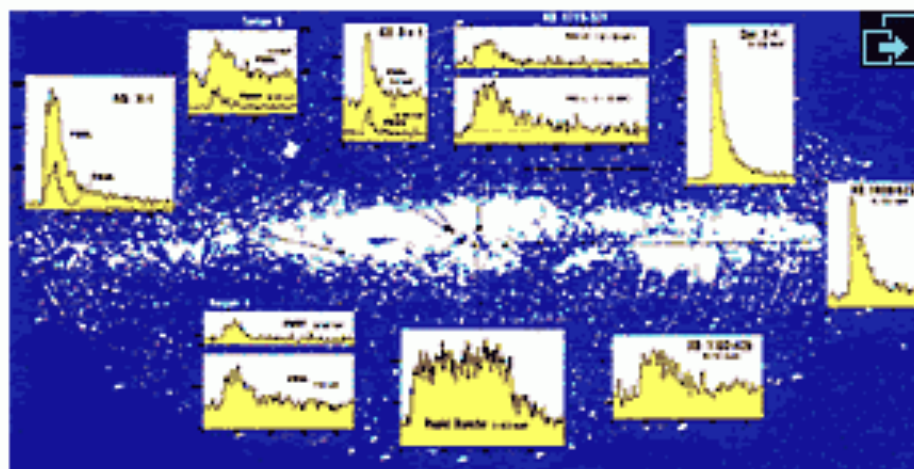
特徴

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。

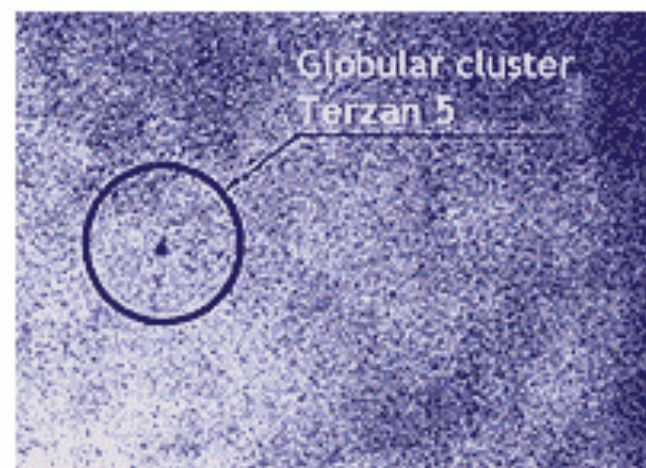
「すだれコリメーター」によりX線バーストを多数発見、X線パルサーの周期の異常変化やブラックホール候補のX線星を観測するなど6年間活躍し、国際的に高い評価を得ました。

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



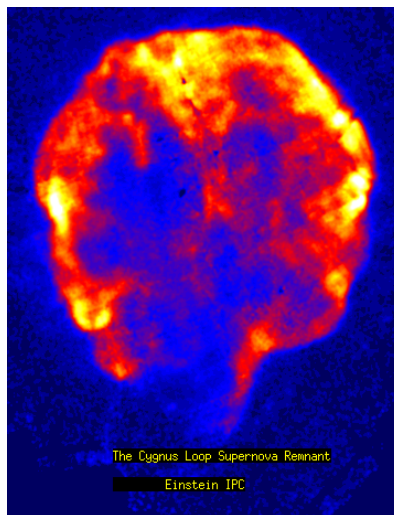
「はくちょう」は8つの宇宙エックス線バースト源を発見し、別のバースト源（ラピッド・バースター）とは異なる異常な活動を観測しました。この図は私たちの銀河系のイラストレーションの上にこれらのバースト源の位置を示したものです。これらのバースト源の時間プロフィールも示してあります。横軸の単位は0.75秒です。



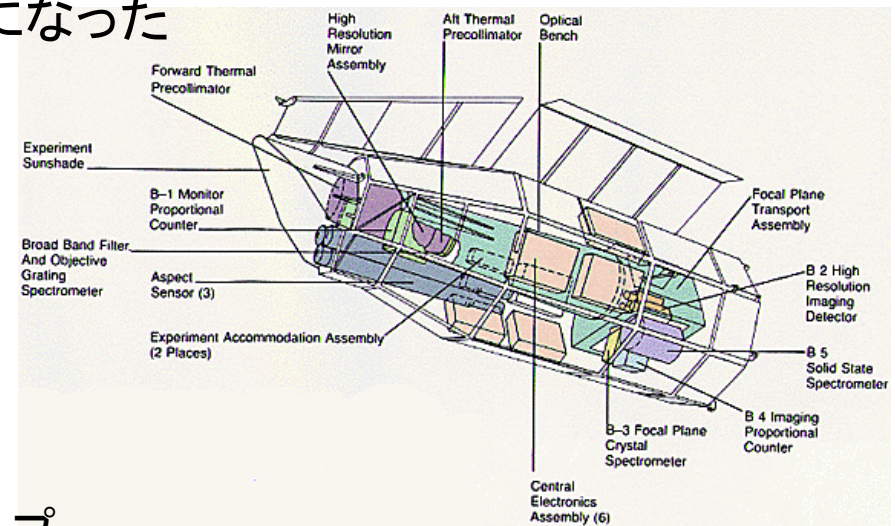
「はくちょう」は新しいエックス線星を見つけました。そのエックス線星のある円で囲んだ領域には外国の光学天文学者によって見つけれられた「Terzan 5」と呼ばれる球状星団があります。このようにエックス線星の研究のために、光学及び電波望遠鏡を使った国際協同観測が進められています。

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



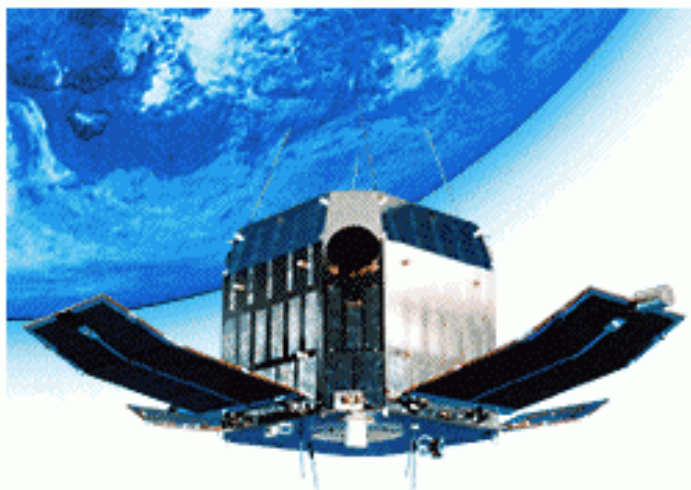
Einstein衛星による
超新星残骸白鳥座ループ



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

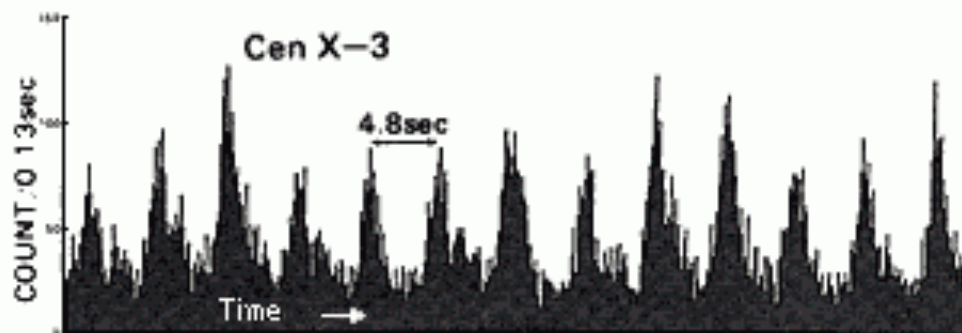
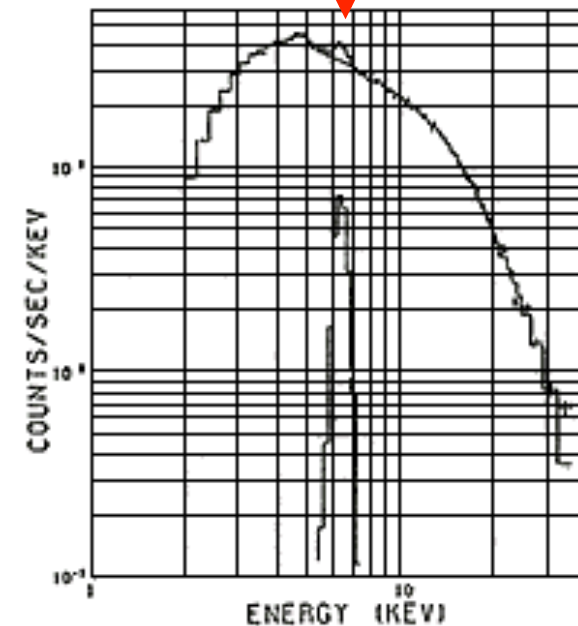
特徴

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	216kg
軌道	略円 近地点：497km 遠地点：503km 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

6.4 keV鉄輝線



「てんま」に搭載したガス・シンチレーション比例計数管(SPC)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パルサー「Vela 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。

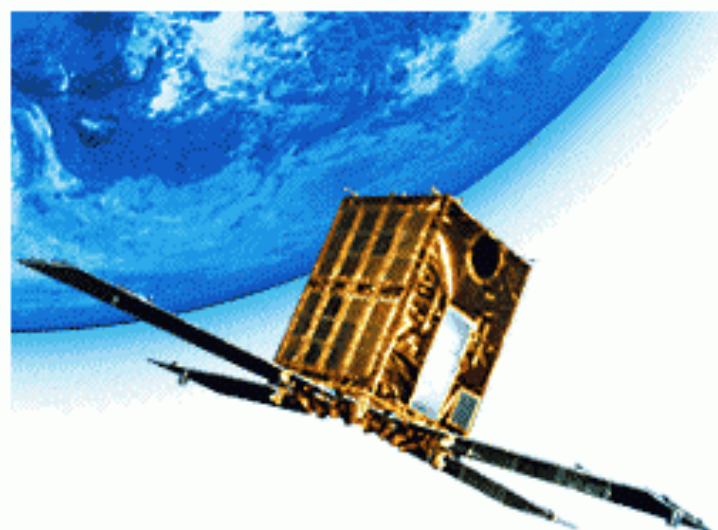
1980年代

- EXOSAT (ESA, 1983年)
 - 観測時間を広く開放(ただしヨーロッパに限る)
 - 公募制の採用
 - X線天文学の裾野を広げた
 - データアーカイブ、汎用ソフトウェアの整備
 - 今でもそのデータを利用可能
 - 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
 - 日本の衛星では初めて、海外に観測時間を開放
 - 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

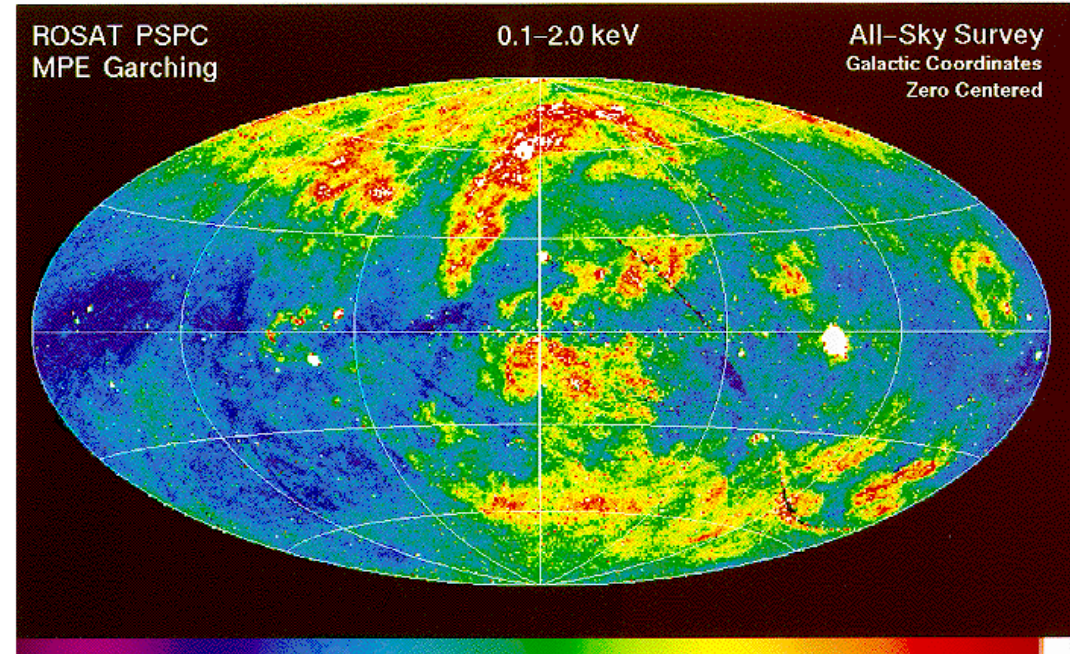
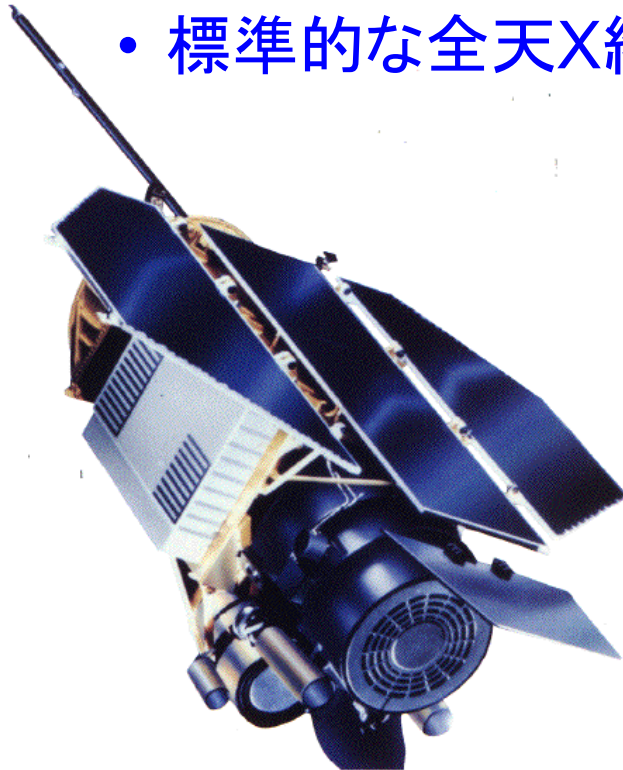
大マゼラン雲の超新星からのX線を世界に先駆けて捉えました。

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)
 - 20ヶ国以上の国から、約1500本の査読つき論文が出版されている



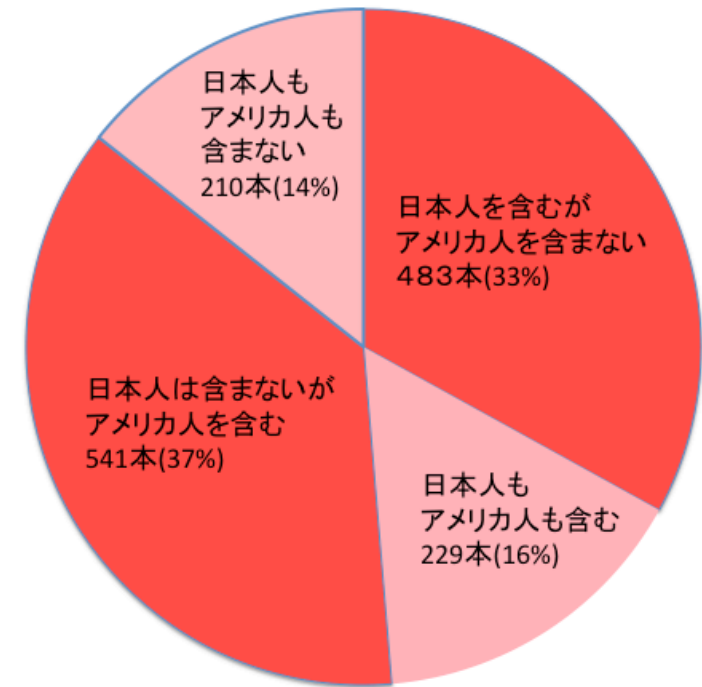
- 目的
- 科学機器
- 技術的特徴
- 打上げロケット
- 国際協力
- 科学的成果
- 国際評価
- プロジェクト管理

...  [I S A S 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-3SII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。

ASCA衛星のデータを使った論文

- Japan-US collaborative mission
- 1463 refereed journal papers from 1993 to 2007
- ASCA was operational for 2736 days, One paper per two day observation
Japanese papers 1/3, US papers 1/3
Japan-US papers 1/6
From other countries 1/6



アメリカ	日本	イギリス	イタリア	ドイツ	中国	ロシア	インド	オランダ	フランス	ポーランド	スペイン	イスラエル	韓国	フィンランド	カナダ	タイ	ギリシア	スイス	デンマーク	トルコ	オーストラリア
504	501	123	86	48	37	25	20	20	17	12	9	9	6	6	6	6	6	5	3	3	2

以下の 9 カ国は一本ずつ。チェコ、ブルガリア、ベルギー、アルゼンチン、インドネシア、スウェーデン、南アフリカ、スロバニア、プエルトリコ

Good satellite, User-friendly archives, then ASCA papers from 31 countries!

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

- Chandra(アメリカ、1999年)

- 史上最高(今後10年以上?)の位置分解能(~ 0.6 秒角)と感度

- XMM-Newton(ESA, 1999年)

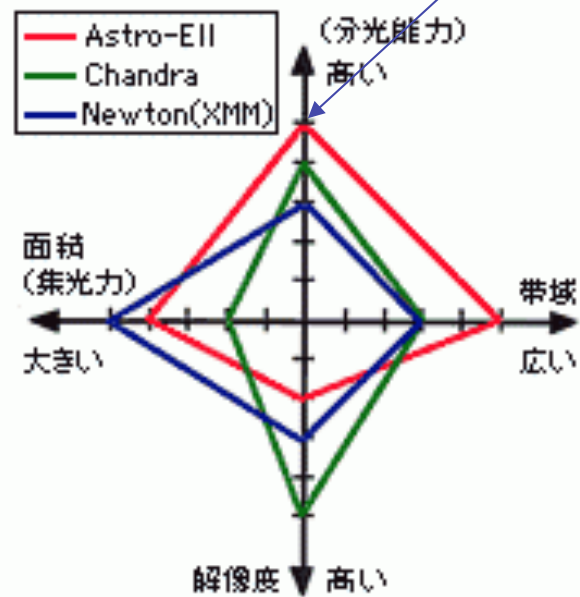
- Chandraをはるかにしのぐ有効面積

- Astro-E(2000年、打ち上げ失敗)

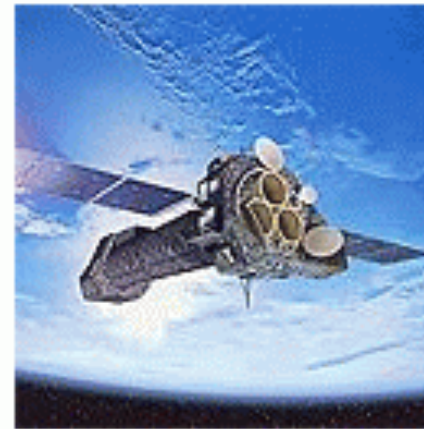
- マイクロカロリメーターにより、史上最高のエネルギー分解能を実現するはずだった

マイクロカロリメーターが
実現していたなら...

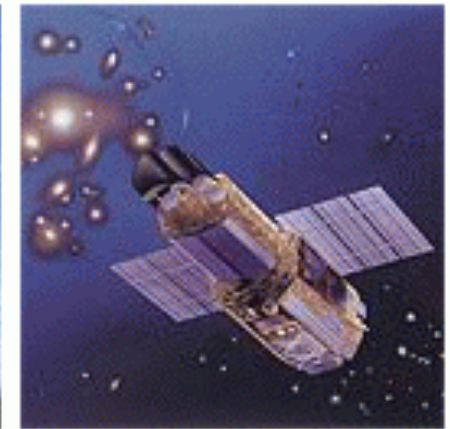
三つのミッションの比較



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

- X線、ガンマ線天文衛星の黄金期

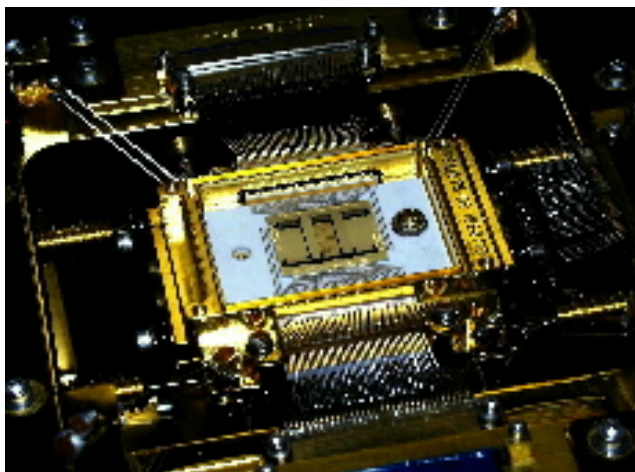
- HETE2(アメリカ、2001年)
 - ガンマ線バーストミッション
- INTEGRAL (ESA,2002年)
 - 20keV以上でのイメージング
- Swift(アメリカ、2004年)
 - ガンマ線バーストミッション
- ずざく(ASTRO-E2, 2005年)
- Fermi (アメリカ、2008年)
- MAXI (日本、2009年)

Astro-E2(すざく)

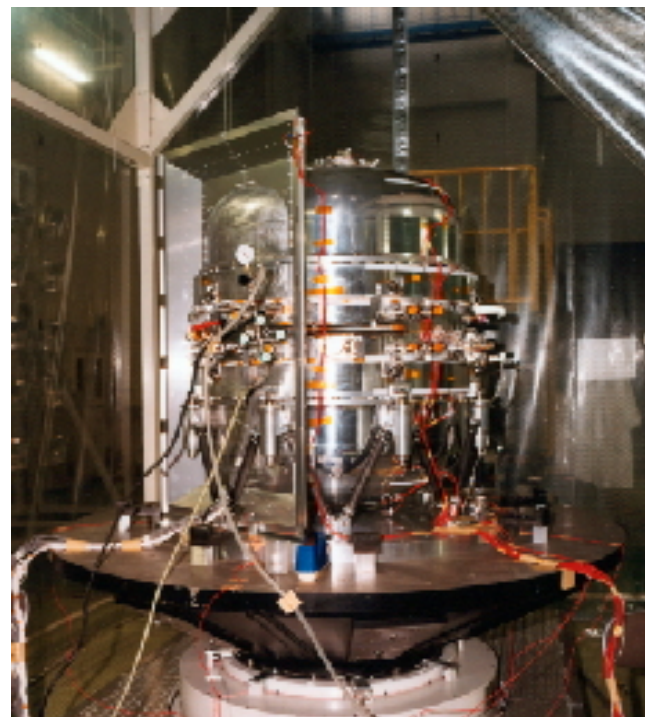
- Astro-E1とほぼ同じデザイン
- いくつかの改良
- **XRS** (X-ray Spectrometer)
 - マイクロカロリメーター, エネルギー分解能(半値幅)~6 eV
- **XIS** (X-ray Imaging Spectrometer)
 - 4つのCCDカメラ, 3つの前面入射型チップ(FI), 1つの後面入射型チップ(BI)
 - BIチップは、Chandra、XMMにまさる感度とエネルギー分解能
- **HXD** (Hard X-ray Detector)
 - ~700 keVまでの高エネルギーX線の観測



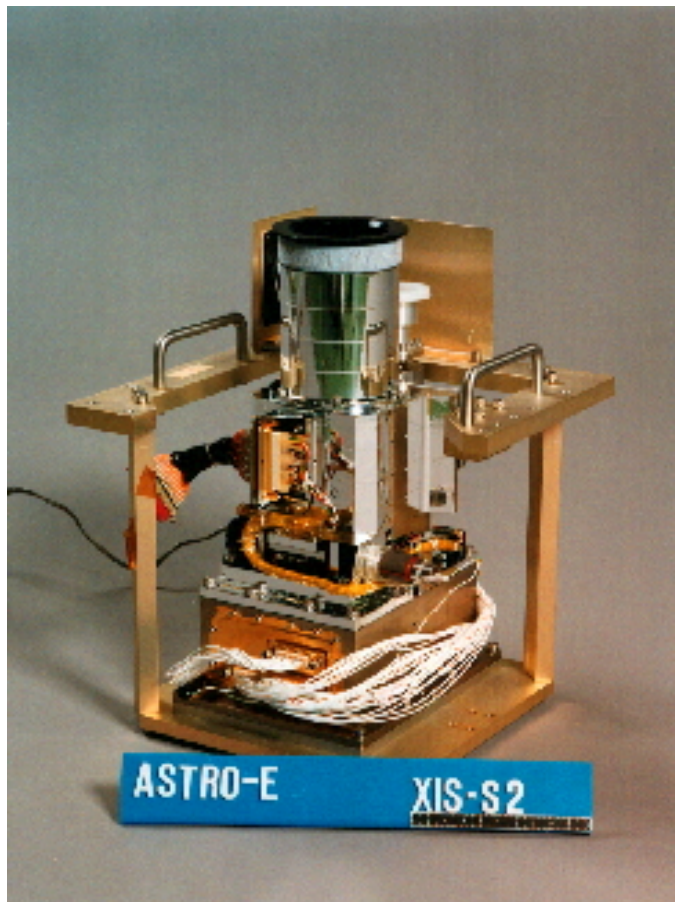
X線望遠鏡



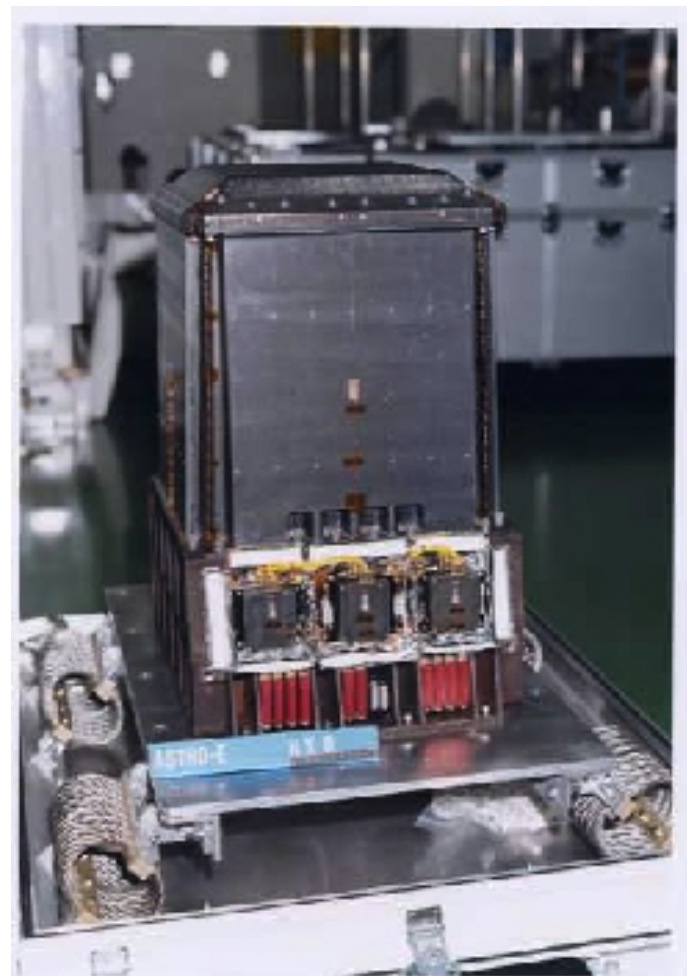
XRSマイクロカロリメーターチップ



XRSネオンタンク

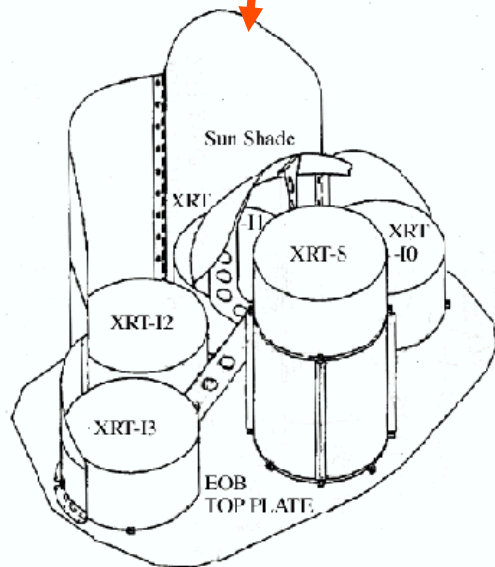
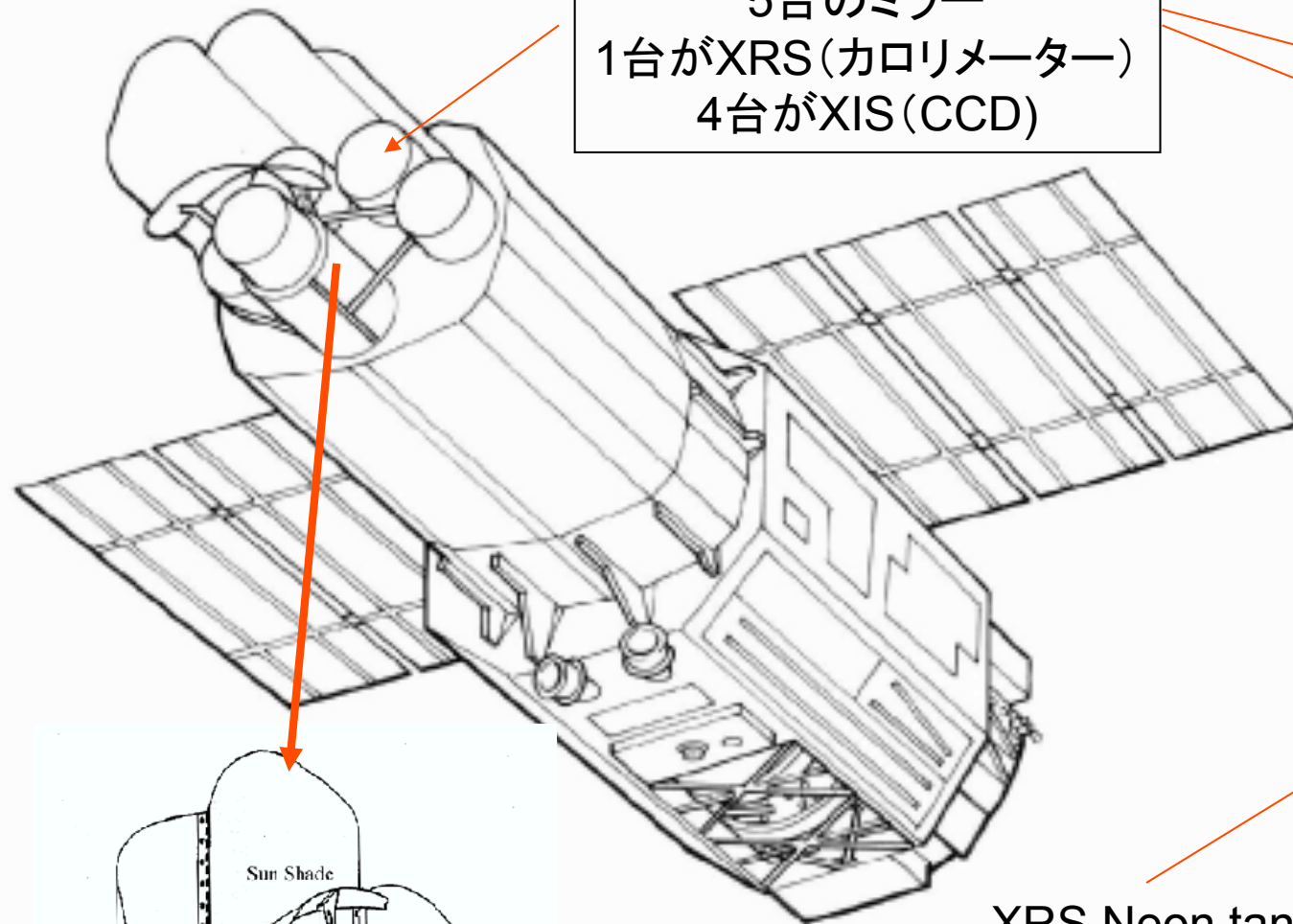


XIS CCD カメラ



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)

XRSネオンタンク



光学ベンチ

HXD

「すざく」の打ち上げ

- 2005年7月10日



「すざく」の状況

- 2005年8月8日、カロリメーター冷却用のヘリウムが蒸発してしまった
- XRS(カロリメーター)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**
 - 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

ASTRO-H計画

- 2014年打ち上げ予定
- X線マイクロカロリメーターの再挑戦
 - (まだ)世界で最初のマイクロカロリメーター
- ~70 keVまでカバーする高エネルギー反射鏡
- ~1 MeVまでの最高感度によるガンマ線観測

ASTRO-H 次期X線国際天文衛星

http://astro-h.isas.jaxa.jp/

よく見るページ JAXA 機構内WEB - Lo... Google カレンダー 理学委員会トップページ Ken Ebisawa's Home... 科学データ利用促進グ... 科学衛星運用・データ...

ASTRO-H 次期X線国際天文衛星

HOME NEWS ASTRO-Hの挑戦 スケジュール/開発日誌 画像ギャラリー 研究者向け情報 開発メンバーと関連サイト

New exploration X-ray Telescope

English

チームメンバー専用

ASTRO-H

次期X線国際天文衛星

最新ニュース

JAXA相模原キャンパス一般公開が行われました。
...詳細を読む
2009年7月24日 [一般向け]

ASTRO-H Science Working Group(SWG) のメンバー公募(NASA)
...詳細を読む
2008年12月26日 [研究者向け]

ASTRO-H Science Working Group(SWG) のメンバー公募(ESA)

ASTRO-Hの挑戦

ASTRO-Hが拓く新しい宇宙像 ▶
宇宙の謎にもう少しで手が届く！

プロジェクトについて

- ▶ 日本のX線天文衛星の歴史
- ▶ ASTRO-Hの概要

X線天文学の世界 ▶

研究者向け情報

- ▶ 研究者向けニュース
- ▶ 研究会・シンポジウム
- ▶ 論文リスト
- ▶ シミュレーション用ツール
- ▶ 技術資料

スケジュール/開発日誌

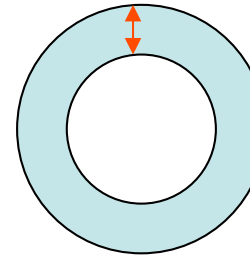
ASTRO-H第5回設計会議が開催されました

X線観測装置

X線光学系

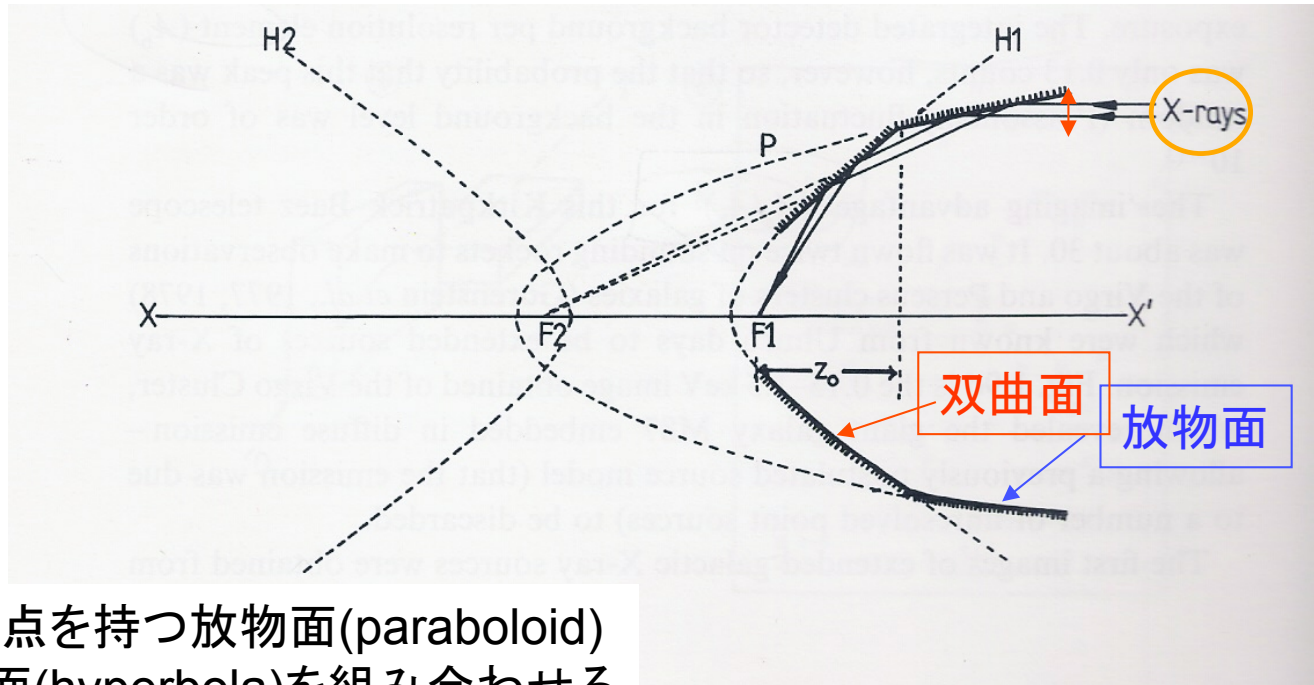
- X線鏡
 - 臨界角はX線エネルギーと反射物質による
 - 3 keVのX線が金に入射するときは 1°
 - エネルギーが高いほど臨界角が小さくなるので
 - イメージングは困難になる
 - イメージングには長い焦点処理が必要

Wolter-type1ミラー



正面から見た図

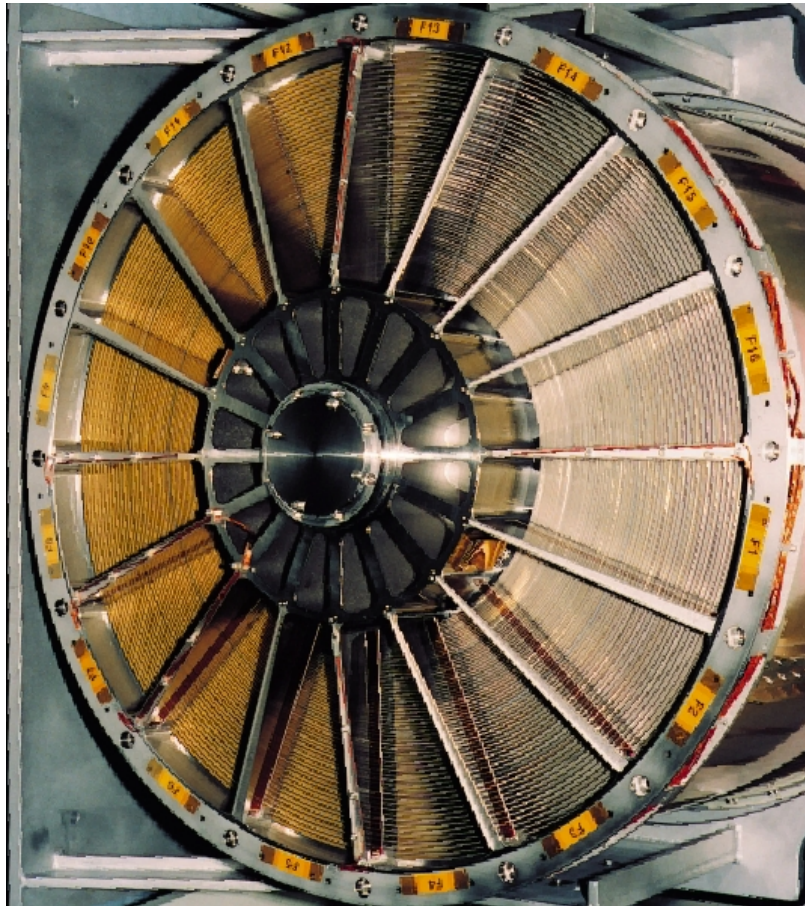
- このリングに当たったX線が集光される
- 有効面積を稼ぐには多層化が必要



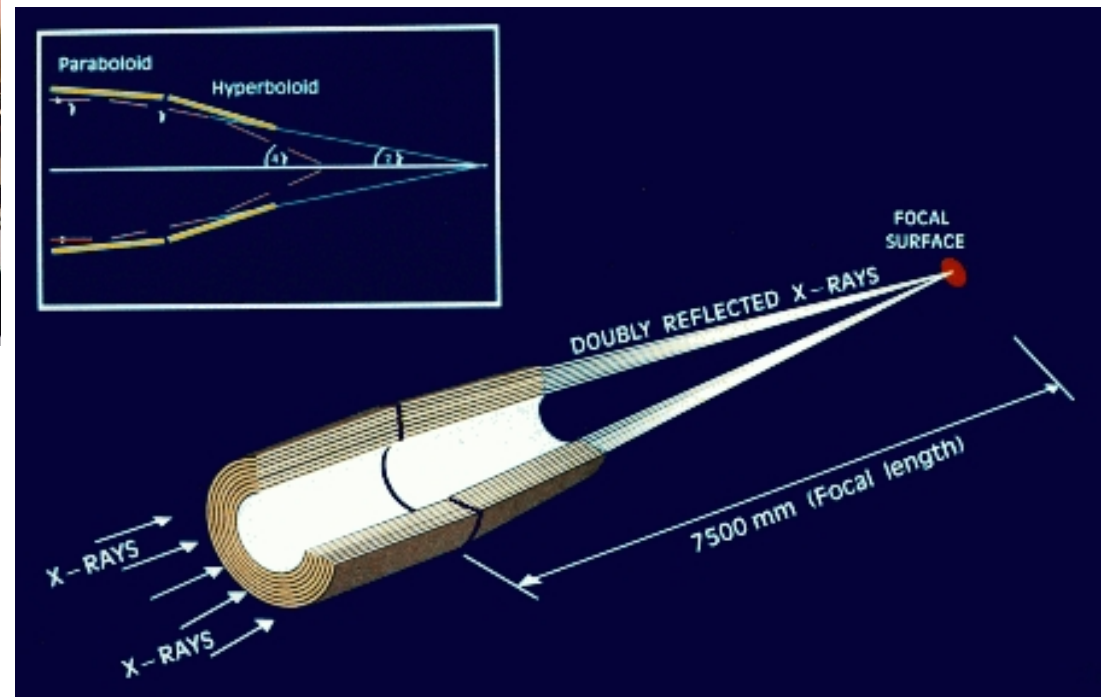
同じ焦点を持つ放物面(paraboloid)
と双曲面(hyperbola)を組み合わせる

Wolter-type1ミラーの断面図

“X-ray detectors in astronomy” Fraserより



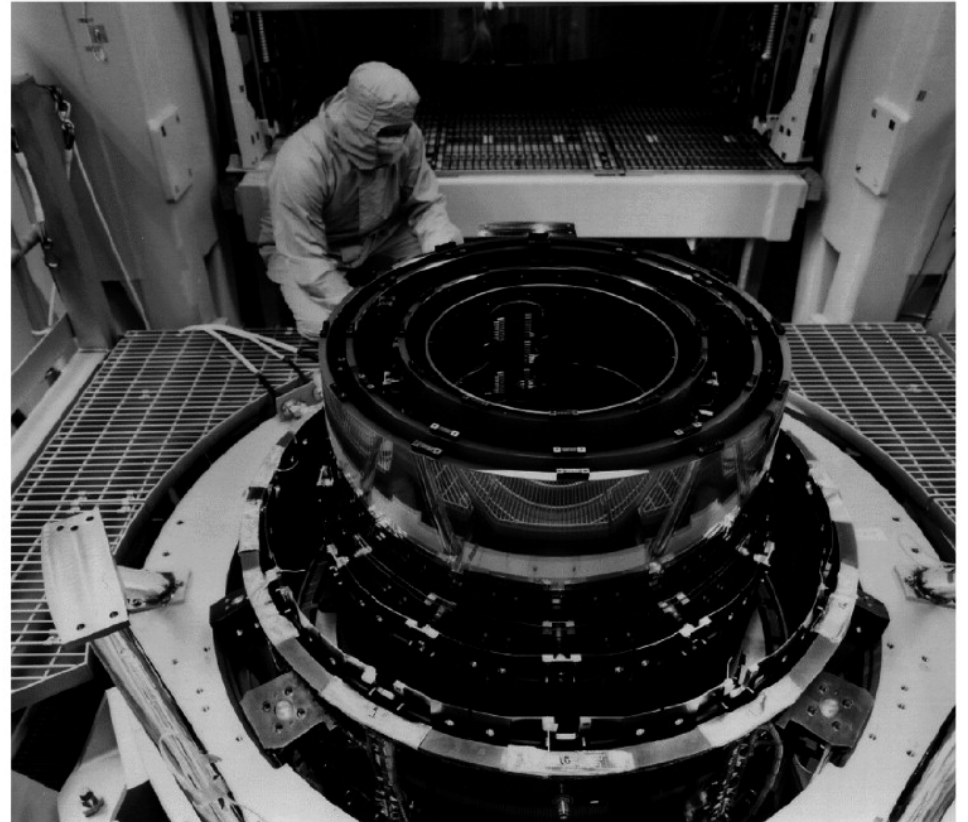
XMM-Newton衛星のミラー
58枚のミラーを多層化
3台のミラーを搭載



http://xmm.vilspa.esa.es/external/xmm_user_support/documentation/technical/Mirrors/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

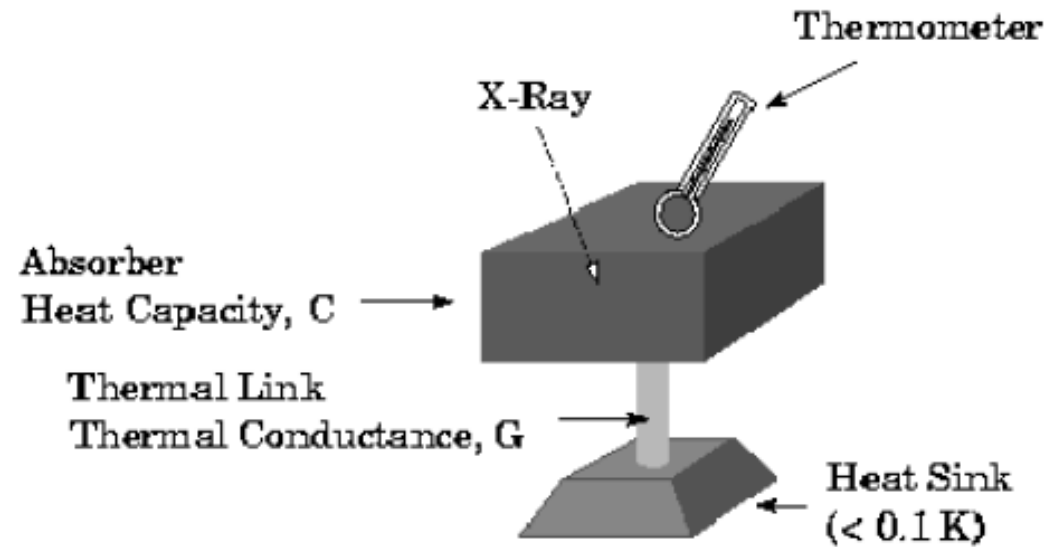
X線検出装置

- ほとんどの検出装置
 - 光電吸収を利用して、X線を電子群に変換する
 - 電子の数は、X線エネルギー/平均電離エネルギー
 - Xe(比例計数管に用いられる)の平均電離エネルギーは21.5 eV、Si(CCDや半導体検出器)の平均電離エネルギーは3.65 eV
- マイクロカロリメーター
 - 比熱が小さい(温度が変わりやすい)物質によって、X線エネルギーを熱に変換する
 - 熱による微少な電気抵抗の変化を検出する

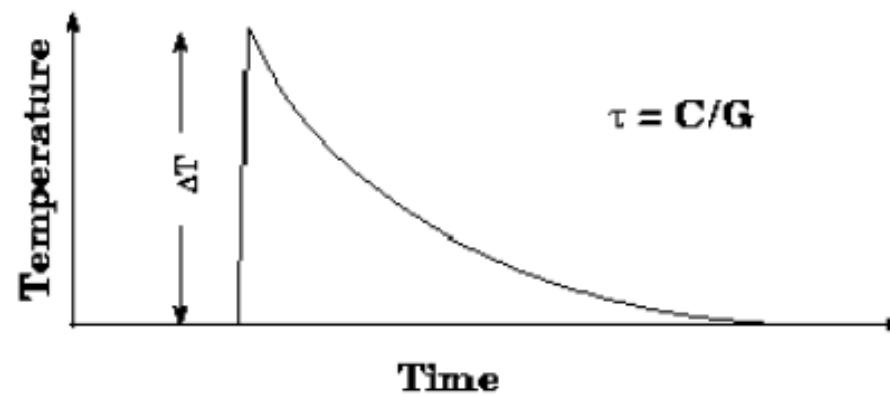
X線マイクロカロリメーター

- 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

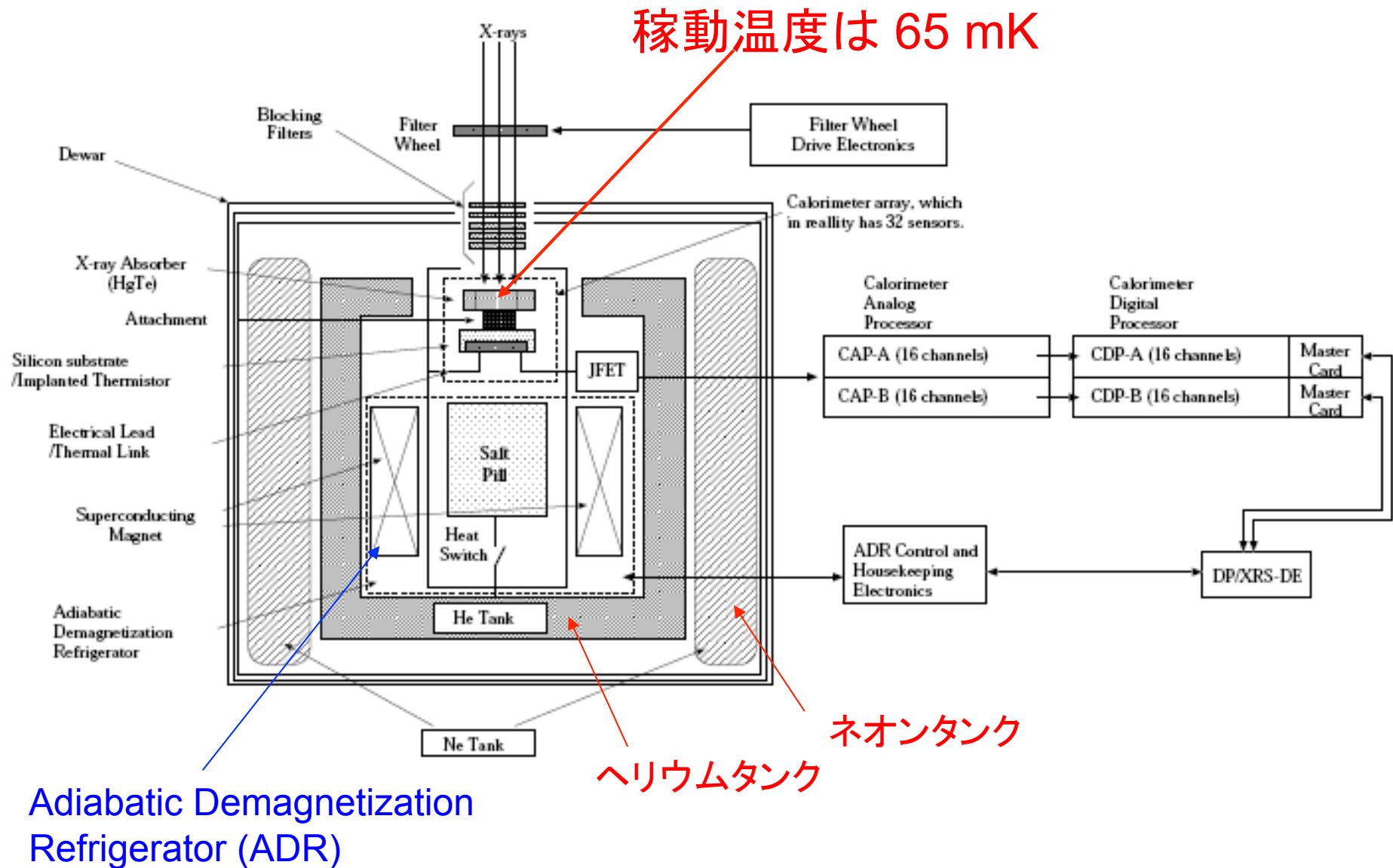
X-Ray Calorimeter



X線光子のエネルギーに
比例した温度上昇



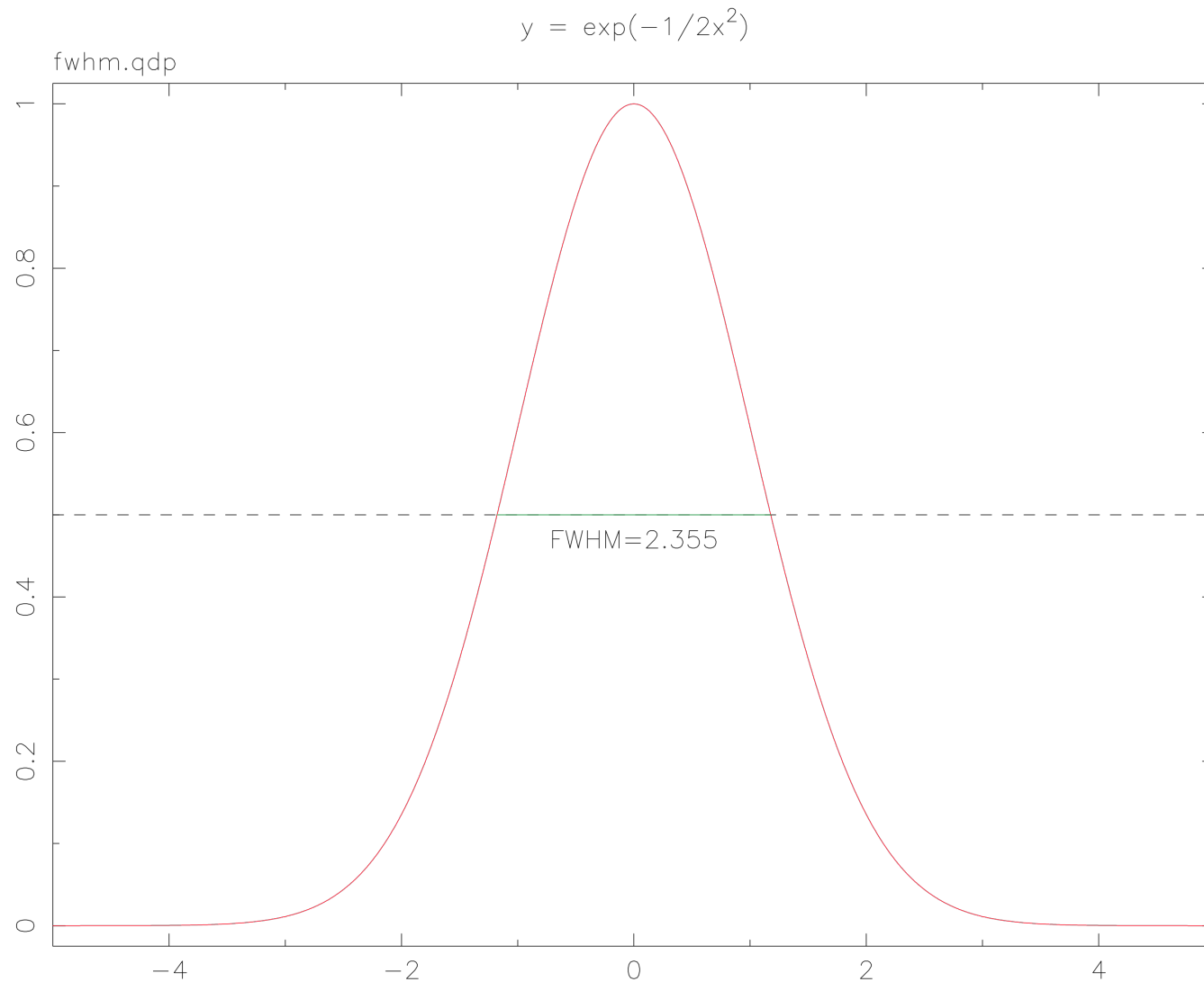
Astro-E X-ray Spectrometer (XRS)



観測装置のエネルギー分解能

- X線検出器に細い輝線が入射してきても、それは検出器のエネルギー分解能でなまされてしまう
- 観測される輝線のプロファイルはガウシアンで近似できる
- 検出器のエネルギー分解能を半値幅(Full Width at Half Maximum; FWHM)で表すことが多い

FWHM=2.355×1σ



各検出装置のエネルギー分解能

- 詳細なスペクトル観測にはエネルギー分解能を向上させることが決定的に重要
 - Xe検出器の場合(あすかGISなど)
 - Si検出器の場合(CCD)
 - マイクロカロリメーターの場合
- ノート参照