

JAXA宇宙科学研究所(ISAS) 宇宙物理学研究系 海老沢 研

講義の進め方：

- OneNoteを使います。以下がURLです。[Lecture Notes](#)
- 皆さん、講義室でスクリーンを見ているとのことですが、手元のパソコン・スマホでノートを参照していただくことを想定しています。
- 復習できるように、講義後も残しておきます。(昨年度、一昨年度の講義資料も残してあります。)
- あらかじめ準備した画面(スライド)に、手書きで「板書」します。ウェブ上の情報も適宜使います。
- 皆さんもノートを取りながら聴講してください。
- 講義の中に問題があります。問題には番号を振って、**赤太字**で示します。その回答を提出してください。
- 最後に20分くらい、問題を解く時間と質問タイムを取る予定です。

本日の講義の内容：

高エネルギー天文学 ~ 高エネルギー宇宙物理学

1. 物理学について
2. 宇宙について
3. **高エネルギー**天文学について
4. JAXAの高エネルギー天文衛星の紹介

1. 物理学について

- 問題1:自然界における最も基本的な3つの定数は何か?

$$c, G, \hbar \left(= \frac{h}{2\pi} \right)$$

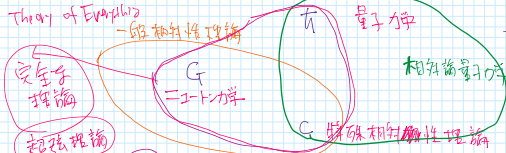
$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ [m/s]} = 3 \times 10^{10} \text{ [cm/s]}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ [m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2]$$

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}]$$

おぼろげ!!

- 問題2:どの物理理論に、これら3つの定数が現れるか?



- 問題3:「長さ」、質量、「時間」がこれら3つのパラメータで表されることを示し、それらの値(プランク長、プランク質量、プランク時間)の物理的な意味を説明せよ。

$$\frac{\hbar c}{G} \rightarrow \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s} \cdot \text{m/s}}{\text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2} \approx \text{kg}^2$$

$$\sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \text{ [kg]} = 2 \times 10^{-8} \text{ [kg]}$$

自然界で考えられる最も小さいプランクスケールの質量

- 問題4:質量Mの天体(物体)のシュバルツシルト半径は、 $2GM/c^2$ で与えられる。プランク長と、「プランク質量を持つ粒子のシュバルツシルト半径」を比較せよ。

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2G}{c^2} \cdot \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2 \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}}$$

プランクスケール

- 問題5:以下の物理量や数値を暗記すること! (1Åは 10^{-10}m)

光速 $c \approx 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$, $\hbar c \approx 2000 \text{ eV} \cdot \text{\AA}$,ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$ $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ 水素のボーア半径: $0.5 \text{ \AA}$ 太陽のシュバルツシルト半径 $\equiv 2GM_{\odot}/c^2 \approx 3 \text{ km}$ ($M_{\odot}$ は太陽質量)

「電磁波」について

- 光子と波動の二重性

$$\begin{cases} c = \lambda \cdot \nu & (\text{電磁波の波長と振動数の関係}) \\ E = h \cdot \nu & (\text{光子の振動数とエネルギーの関係}) \end{cases}$$

- 電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線

すべて「電磁波」という波であり「光子」という粒子でもある。

- 問題6: X線光子のエネルギーは、keVという単位で表すことが多いが、X線は電磁波でもあるので、波長で表すこともできる。1 keV, 10 keVのX線の波長は、だいたい何オングストロームに対応するか?

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{\AA}}{E \text{ [eV]}}$$

問題6: X線光子のエネルギーは、keVという単位で表すことが多いが、X線は電磁波でもあるので、波長で表すこともできる。1 keV, 10 keVのX線の波長は、だいたい何オングストロームに対応するか？
これらを原子の大きさと比べよ。

$$\lambda [\text{\AA}] = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{\AA}}{E [\text{eV}]}$$

$$E = 1 \text{ keV} \rightarrow 10 \text{\AA}$$

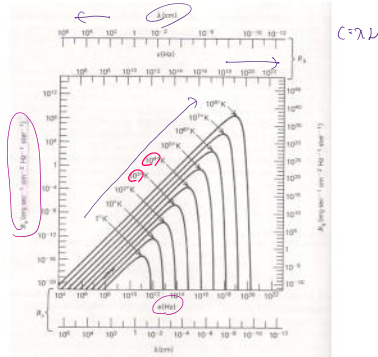
$$E = 10 \text{ keV} \rightarrow 1 \text{\AA}$$

→ 原子の大きさ

黒体輻射 (blackbody radiation)

- ・熱平衡にある物体 (=電子を含む構成粒子がマックスウェル・ボルツマン分布に従う) から、その温度に応じた黒体放射が放出される。

$$J_\nu = \frac{2h\nu^3/c^2}{\exp(h\nu/kT) - 1} [\text{erg/s/cm}^2/\text{Hz/str}].$$



いろいろな温度の黒体放射スペクトル。Rybicki and Lightman "Radiative Processes in Astrophysics" より。 $\partial B_\nu(T)/\partial T > 0$ なので、(あたりまえのことではあるが) どの振動数でも T が大きいほど放射が強くなることに注意。

問題7: 高温の天体は、その温度に対応したX線を放出する。ある天体から、典型的に1 keV, 10 keVのX線が観測されたとして、この天体の温度を見積もれ。

$$E = kT \quad T = \frac{E}{k}$$

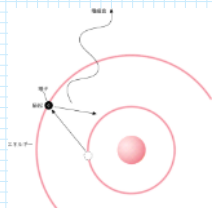
$$\frac{1 \text{ keV}}{k} = \frac{10^3 \times 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}}{1.4 \times 10^{-16} \text{ erg/K}}$$

$$= 10^7 \text{ [K]} = 1000 \text{ 万度} \leftarrow 1 \text{ keV}$$

$$1 \text{ 億度} \leftrightarrow 10 \text{ keV}$$

線スペクトルについて:

- ・原子(イオン)のエネルギー順位が遷移したとき、輝線や吸収線が生成される(スペクトル線)
- 「天文学辞典」より; <https://astro-dic.jp/spectral-line/> ← ぜひ活用してください



スペクトル線の発生メカニズムの概念図 富永裕久「図解雑学元素」(ナツメ社)

シンクロトロン放射について

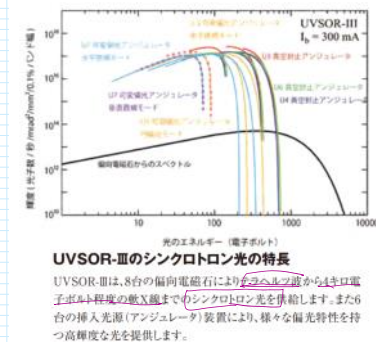
問題8: 光速に近い速度の電子が磁力線の周りをらせん運動しながら進むときに放出される放射を何と呼ぶか？

- ・電子が加速度運動をする際に電磁波が発生する(連続スペクトル)。
- シンクロトロン放射 -- 光速に近い速度の電子が磁力線の周りをらせん運動しながら進むときに放出される電磁波。
- <https://astro-dic.jp/synchrotron-radiation/>
- パルサー (高速回転している中性性星)、ブラックホール周辺の降着円盤やジェットからシンクロトロン放射が観測されている。
- シンクロトロン放射を利用している国内の代表的な施設はどこにあるでしょう？
 - SPring8 (兵庫県) <http://www.spring8.or.jp/ja/>
 - Photon Factory (茨城県) <https://www.kek.jp/ja/>
 - UVSOR (愛知県) <https://www.uvsor.ims.ac.jp/index.html>
 - など。広い波長範囲で非常に強い光を制御して発生させる --> 様々な技術的・産業的応用がある

SPring8の外観



http://www.spring8.or.jp/ja/about_us/access/img/mg021.jpg



https://www.uvsor.ims.ac.jp/about/img/UVSOR_2013.pdf

問題9: シンクロトロン放射スペクトルの特徴をひとつ挙げよ。

→ 入った電場の電磁波を放射する

2. 宇宙について

- 宇宙は138億年前にインフレーションで誕生したと考えられている。インフレーションモデルは(まだ)仮説。このモデルによると、宇宙は誕生した瞬間に、原子の大きさが太陽系の大きさになるほど、指数関数的に膨張した

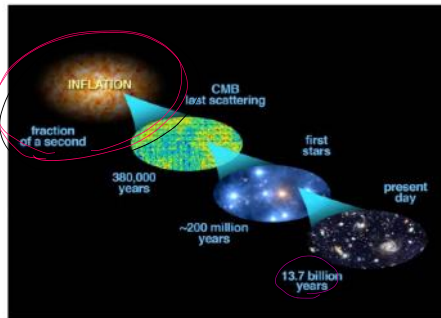


Fig. 8. Stages in the evolution of the Universe. From Task Force On Cosmic Microwave Background Research, National Academies 2005.

<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2006-1.pdf>

- 宇宙誕生時のインフレーションの証拠を見つけることが、現代の天文学のもっとも大きな課題のひとつ。

→ JAXAの衛星(LiteBIRD)が世界で初めて、それを成し遂げるかも! (第4回の講義参照)

Bモード偏光

問題10: 宇宙は***年前に***で誕生したと考えられている。(***を埋めよ。)

- インフレーション後のビッグバンの名残である宇宙背景放射 (Cosmic Microwave Background) が観測されている
 - 宇宙誕生から約38万年後、宇宙の大きさが今の約1/1000のとき、宇宙は約3000 Kの黒体放射に満ちていた。宇宙が約1000倍に膨張して、温度が約1/1000になった (宇宙赤方偏移)
- 宇宙全体から等方的に約2.7 Kの黒体放射が観測されている。
 - 宇宙背景黒体放射の発見 → 1978年ノーベル物理学賞
 - <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1978>
- 宇宙黒体放射の正確な温度と温度ゆらぎの測定 → 2006年ノーベル物理学賞
 - ノーベル賞アウンスと同時に、popular informationとadvanced informationが発表されます。
 - これらはたいへん優れたテキストなので、ぜひ読んでみてください。
 - <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/popular-physicsprize2006-1.pdf>
 - <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2006-1.pdf>

- ノーベル賞アナウンスと同時に、popular informationとadvanced informationが発表されます。
- これらはたいへん優れたテキストなので、ぜひ読んでみてください。
- <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/popular-physicsprize2006-1.pdf>
- <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2006-1.pdf>

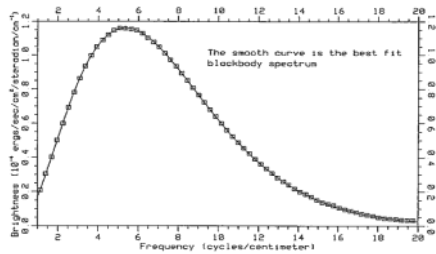
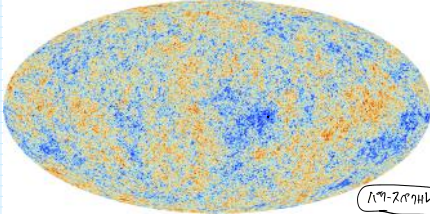


Fig. 6. The first FIRAS result (Mather et al. 1990). Data had been accumulated during nine minutes in the direction of the northern galactic pole. The small squares show measurements with a conservative error estimate of 1%. The unit along the vertical axis is $\text{erg} (\text{cm} \text{ s} \text{ sr})^{-1}$. The relation to SI units is $1 \text{ MJy sr}^{-1} = 2.9979 \cdot 10^{-7} \text{ erg} (\text{cm} \text{ s} \text{ sr})^{-1}$. The full line is a fit to the blackbody form.

- 宇宙の年齢は宇宙背景放射の温度ゆらぎデータに宇宙論モデルを適用して、正確に計算できる。

→ 宇宙の年齢は**138億年p-0J**

- ヨーロッパのPlanck衛星による宇宙背景放射の温度ゆらぎ



https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB

- 宇宙の歴史を簡単におさらい：

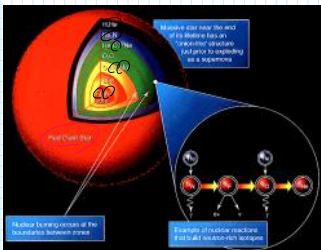
- インフレーション → ビッグバン (水素とヘリウムしかなかった)
→ 初代星・初代銀河の誕生
- 宇宙には数千億の銀河があり、各銀河は数千億の星から成る。
銀河と銀河の間 (銀河間空間)はスカスカ (と思って良い)。

すばる望遠鏡超高視野主焦点カメラによるアンドロメダ銀河(M31)
私たちが住んでいる天の川銀河も、このような渦巻き銀河



<https://subaru.telescope.org/jp/news/topics/2014/09/08/2403.html>

- 恒星の中で熱核融合反応による元素合成 → 重元素 (炭素、窒素、酸素…、鉄) が恒星の中で作られる



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Nucleosynthesis_in_a_star.gif

- 超新星爆発で重元素が星間空間にまき散られる → 重元素を含んだ太陽系が生まれる
- 太陽と惑星が形成される (約46億年前) → 地球上で生命が進化 → 人類の誕生 → 文明の発展 → 現在に至る！

→ **超新星爆発**で重元素が星間空間にまき散られる→重元素を含んだ太陽系が生まれる
→ 太陽と惑星が形成される (約46億年前) → 地球上で生命が進化→人類の誕生→文明の発展→現在に至る！

2022年10月28日

問題11: 宇宙の誕生から現在までの歴史を簡単に述べよ。

- 重い星の最後には、**超新星爆発**が起きる。
星の**コア**の質量が太陽質量の約3倍よりも小さいときには、中心に**中性子星**が残る（半径10 kmくらいの超高密度の星）。
中性子星は、中性子間の**核力**で支えられている。
星の**コア**の質量が太陽質量の3倍よりも大きい時は、核力では支えきれず、**重力崩壊**を起こして**ブラックホール**になる。
超新星残骸からは様々な波長の電磁波が観測されている。
- ブラックホールには、質量に応じて二種類がある
恒星質量ブラックホール：太陽の約3倍から数十倍の質量。超新星爆発の後にはできる。
最近、二つの**恒星質量ブラックホール**が合体して、さらに**重い**
ブラックホールが生まれることがわかってきた。
超巨大ブラックホール：太陽質量の数百万倍以上。銀河の中心に存在する。

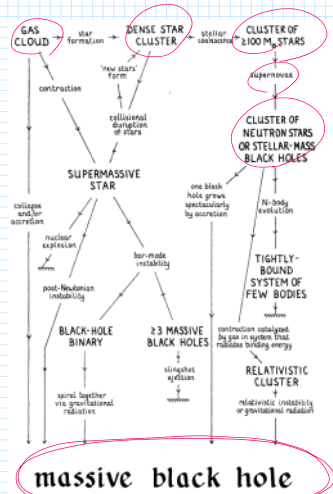


Figure 1 Schematic diagram [reproduced from Rees (1962)] showing possible routes for runaway evolution in active galactic nuclei.

<http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1984ARA%26A.22..471R>

- 私たちの銀河(天の川銀河)は典型的な「渦巻銀河」。その中心に太陽の400万倍の質量のブラックホールが存在する。→ **2020年ノーベル物理学賞!**

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/popular-information/>

<https://www.nobelprize.org/uploads/2020/10/advanced-physicsprize2020.pdf>

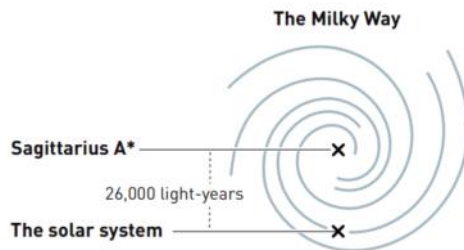


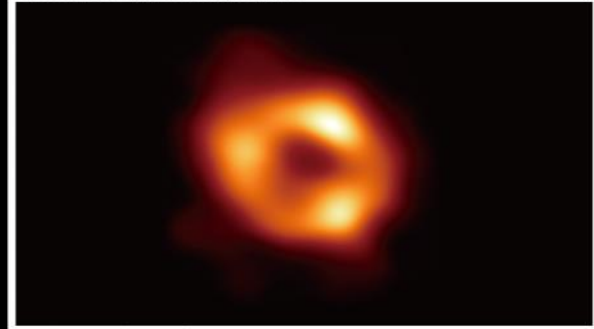
Figure 3. The Milky Way, our galaxy, seen from above. It is shaped like a flat disc about 100,000 light-years across. Its spiral arms are made of gas and dust and a few hundred billion stars. One of these stars is our Sun.

- ノーベル賞を受賞したGenzel博士のホームページから、天の川銀河中心のブラックホール周辺の星の運動：
<https://www.mpe.mpg.de/6590570/Stellar-Orbits>
 - 星の軌道が中心付近で、急に変わりますね？そこに、**光を出さない強い重力源**があるわけです。
 - 星の運動から重力源の質量を計算すると、太陽質量の400倍、とわかりました。このような天体はブラックホール以外にあり得ません。

イベント・ホライゾン・テレスコープチームによる天の川中心のブラックホールの画像

天の川銀河中心のブラックホールの撮影に初めて成功

国際研究チーム「イベント・ホライゾン・テレスコープ (EHT) ・コラレーション」は、地球規模の高精度測定ネットワークを使って、私たちの住む天の川銀河の中心にある巨大ブラックホールの撮影に初めて成功しました。今回の成果は、この天体が間違いなくブラックホールであることを示す確かな証拠であり、多くの銀河の中心に存在すると考えられている巨大ブラックホールの働きについて重要な手がかりをもたせるものです。



(図) 史上初、天の川銀河中心のブラックホールの画像。(クレジット) EHT Collaboration

<https://www.miz.nao.ac.jp/ehf-c/pr/pr20220512>

3. 高エネルギー天文学について

- 高エネルギーの電磁波(X線、ガンマ線)を使う天文学
- 宇宙における高エネルギー現象を扱う天文学

- 「可視光」の天文学は人類の歴史と共にある。
 - 観測技術が進むにつれ、20世紀後半から、人間の目では見えない「電波」天文学、「赤外線」天文学、「紫外線」天文学、「X線」天文学、「ガンマ線」天文学の研究が進んできた。
- X線は大気によって吸収されてしまうので、X線天文学のためには、ロケットや人工衛星を使う必要がある。

- 問題12: X線は、元素の光電吸収によって吸収される。1 keVのX線に対する窒素、酸素の「光電吸収断面積」は、約 10^{-19} cm^2 である。大気圧、室温における空気の密度を $1.2 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ として、~1 keVのX線の「平均自由行程」(X線が吸収されるまでに進む平均の距離)を見積もれ。

窒素 $N \sim 78\% \rightarrow$ 質量数 14
酸素 $O \sim 21\% \rightarrow$ " 16

$$N \text{ 原子の質量} \sim 14 \times 1.7 \times 10^{-24} [\text{g}] \sim 2.3 \times 10^{-23} [\text{g}]$$
$$O \text{ 原子} \sim 16 \times 1.7 \times 10^{-24} [\text{g}] \sim 2.7 \times 10^{-23} [\text{g}]$$

$$\frac{1.2 \times 10^3 [\text{g/cm}^3]}{2.5 \times 10^{-23} [\text{g}]} \sim 5 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$$

$$\frac{1}{5 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}] \times 10^{-19} [\text{cm}^2]} \sim \frac{1}{5} [\text{cm}] \sim 0.2 [\text{cm}]$$

$\sim 2 \text{ mm}$

- 問題13: ~1 keVのX線に対して、大気は不透明であることが分かった。「レントゲン撮影」では、なぜ人体の身体をX線が通過できるのか?



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:X-ray_by_Wilhelm_R%C3%B6ntgen_of_Albert_von_K%C3%B6lliker%27s_hand_-_18960123-02.jpg

While **20 keV** is a typical energy for **soft tissue** X-rays, for example mammograms, higher energies (around **150 keV**) are used for **hard tissues**, for example bone.

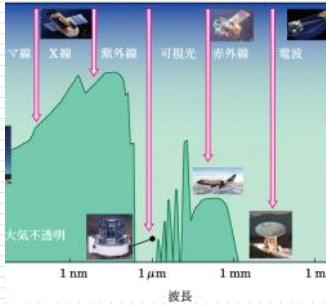
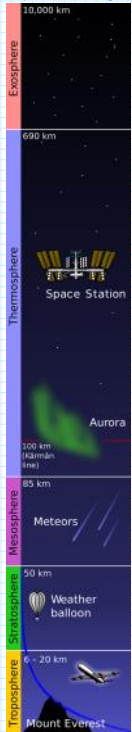
<<http://nupex.eu/index.php?k=textcontent/nuclearapplications/xraymed&lang=en>

- 問題14: 「宇宙空間」の一般的な定義は?

$> 100 \text{ km}$ の高さ

- 問題14: 「宇宙空間」の一般的な定義は？

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Atmosphere_layers.svg



<https://astro-dic.jp/atmospheric-window/>

X線天文学の誕生

The Nobel Prize in Physics 2002



Photo from the Nobel Foundation archive.
Raymond Davis Jr.
Prize share: 1/4



Photo from the Nobel Foundation archive.
Masatoshi Koshihara
Prize share: 1/4



Photo from the Nobel Foundation archive.
Riccardo Giacconi
Prize share: 1/2

X線天文学

"The Nobel Prize in Physics 2002 was divided, one half jointly to Raymond Davis Jr. and Masatoshi Koshihara "for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the **detection of cosmic neutrinos**" and the other half to Riccardo Giacconi "for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the **discovery of cosmic X-ray sources**."

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2002/summary/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2002/popular-information/>

<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2002.pdf>

cosmic x-ray sources.

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2002/summary/>
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2002/popular-information/>
<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/advanced-physicsprize2002.pdf>

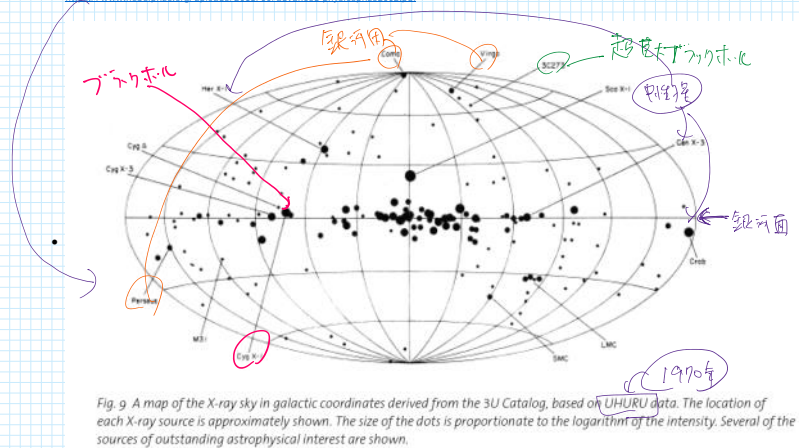


Fig. 9 A map of the X-ray sky in galactic coordinates derived from the 3U Catalog, based on UHURU data. The location of each X-ray source is approximately shown. The size of the dots is proportionate to the logarithm of the intensity. Several of the sources of outstanding astrophysical interest are shown.

「高エネルギー」には二つの異なる状況がある

- 熱的エネルギーが高い状態：
物質と放射がほぼ熱平衡にあり、温度が定義できる状態。
X線領域で、高温プラズマからの黒体放射やスペクトル輝線が放出される。

- 非熱的エネルギーが高い状態：
光速近くまで加速された電子から、シンクロトロン放射で広い範囲の電磁波(電波からガンマ線まで)が放出される場合。

高エネルギー天体の例

- ブラックホール、中性子星：
中性子星表面やブラックホール周辺の円盤が、X線領域で黒体放射を出す
磁場がある場合、電子が加速されて、広い波長でシンクロトロン放射を出す
回転している中性子星はパルサーとして観測されることがある。

- 超新星、超新星残骸：
大きな星の爆発とその残骸。若い超新星残骸からは熱的な放射がX線で観測される。
磁場がある時は広い波長にわたってシンクロトロン放射が観測される。

- 銀河団プラズマ：
X線を出す高温プラズマが重力ポテンシャルに閉じ込められている

- ブラックホールは代表的な高エネルギー天体
ブラックホールに物質が落ちていくとき(質量降着)、重力エネルギーが解放されて電磁波に変換されると、ブラックホール「周辺」が明るい天体として観測される。

- ブラックホールの「シュバルツシルト半径」は一般相対性理論から導かれるが、「ブラックホール」は、脱出速度が光の速さになったような天体(=遠方からモノが自由落下したとき最終的に光の速さになる天体)とも良い。

問題15: 質量Mの天体のシュバルツシルト半径を、M、光速c、万有引力定数Gを用いて表せ

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

問題16: 太陽質量は、約 $2 \times 10^{33}g$ 、地球の質量は、その 3×10^{-6} 倍である。太陽と地球のシュバルツシルト半径を求めよ(有効数字一桁でよい)。

$$R_s = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} (m^2/kg \cdot s^2) \times 2 \times 10^{33} (kg)}{(3 \times 10^8 (m/s))^2} = \frac{2.668 \times 10^{22} (m^2/s^2)}{9 \times 10^{16} (m^2/s^2)} = 3 \times 10^3 [m] = 3 km$$

問題17: ニュートン力学を用いて、質量M、半径Rの天体から脱出するのに要する脱出速度を求めよ。例として、地球の脱出速度を求めよ(地球の半径は約6400 km)。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

問題18: 物体の速さが光速に近くなるとニュートン力学は破綻し相対性理論を使わなくてはならないが、ここでは仮に光速でもニュートン力学が使えるとしよう。質量Mの天体からの脱出速度が光速cに等しくなる半径を求めよ。

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$c^2 = \frac{2GM}{R}$$

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

問題19: 質量mの物体が質量Mのブラックホールに落ちるときに解放される重力エネルギーは、およそどの程度か？それを核融合エネルギーのエネルギー効率と比較せよ。

様々なX線天体の例

$$\text{重力エネルギー} \sim \frac{GMm}{R} \approx \frac{GMm}{\frac{2GM}{c^2}} \approx \frac{1}{2} (mc^2)$$

$$\text{核融合エネルギー} \sim \frac{1}{2} (mc^2)$$

$$\sqrt{\frac{2GM}{R} c^2}$$

$$= \sqrt{\frac{9mm}{R}}$$

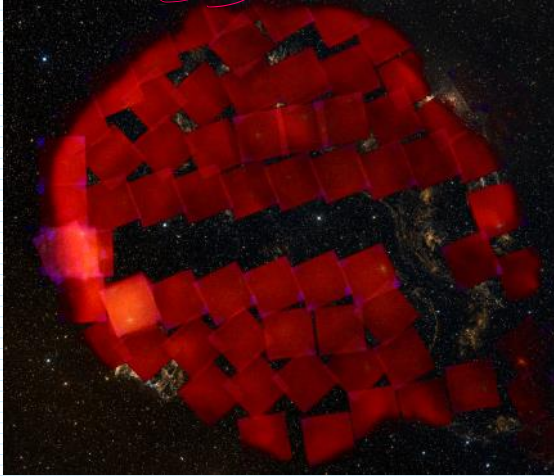
$$= \sqrt{\frac{9mm}{6400cm}} \times 3 \times 10^8 [m/s]$$

$$= 1 [km/s]$$

「すざく」衛星による超新星残骸「白鳥座ループ」のCCDモザイク画像

様々なX線天体の例

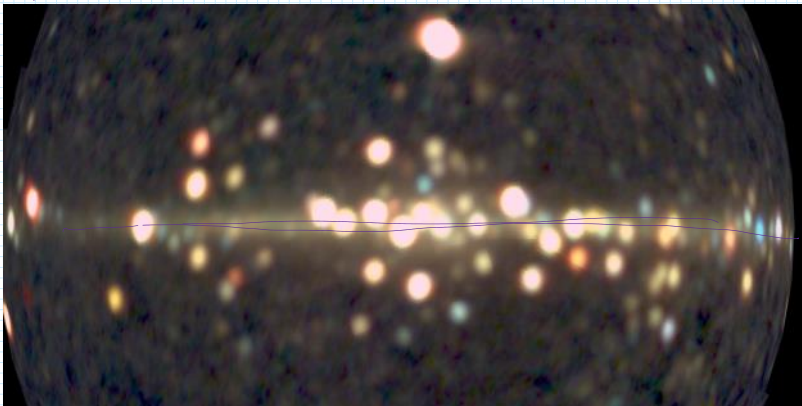
「すざく」衛星による超新星残骸「白鳥座ループ」のCCDモザイク画像



JAXAの公開ツールJUDO2を用いて可視光画像の上にすざくのCCDモザイク画像を重ねた

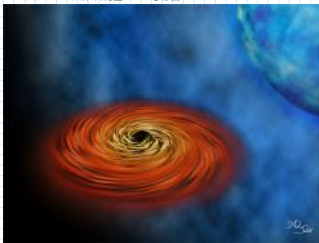
国際宇宙ステーションに搭載されているJAXAの全天X線監視装置MAXIによる銀河面のX線画像

1-10 keVを疑似カラー表示; 赤っぽい天体は低エネルギーX線、青っぽい天体は高エネルギー線で明るい



MAXIによる天の川銀河面のX線画像 明るく光っている天体の多くはブラックホールか中性子星

ブラックホール天体 白鳥座X-1の想像図



https://www.riken.jp/medialibrary/riken/or/press/2013/20130404_2/fig1.jpg

ブラックホールのX線観測と可視光観測の比較: JUDO2を使って、X線と可視光で見た白鳥座X-1を比較してみましょう。

4. JAXAの高エネルギー天文衛星の紹介

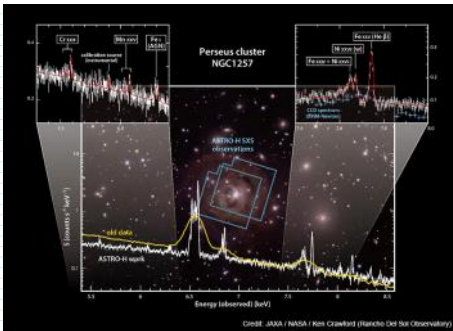
2016年 ひとみ <http://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/past/hitomi.html>

世界初の「X線マイクロカロリメーター」を搭載

短寿命で終わってしまった

ひとみによるペルセウス銀河団からの高温プラズマの観測

過去最高の分解能によるX線スペクトル観測を実現



https://www.jaxa.jp/press/2017/11/20171114_hisomc.html

「銀河団の高温ガスの化学組成は、これまでもX線天文衛星によって精力的に調べられてきました。しかしこれまでの観測機器では分解能が不十分で、強い鉄の特性X線とニッケルの特性X線が混ざっていました。そのため元素量を見積もっても正確に元素量を測定できていたのか、という疑問が付きまとっていました。…ASTRO-H搭載の軟X線分光検出器で取得されたX線スペクトルは、エネルギー決定精度（スペクトルの分解能）が劇的に向上しました。その結果、これまでの検出器では分解できなかった、鉄とニッケルの特性X線を分離し、さらに微弱なクロムやマンガンの特性X線を検出することにも成功しました。この精密X線分光により、鉄属の元素量を初めて正確に測定することに成功したのです。」

[NASAが作成した「ひとみ」の広報ビデオ \(You Tube\)](#)

XRISM (2023年度打ち上げ予定)

「X線マイクロカロリメータ」による、詳細なX線分光を行う



<http://xrism.isas.jaxa.jp/>

[ISASニュースの記事](#)

[XRISMツイッター](#)

[XRISMノート](#)

問題20: 2023年度にJAXAが打ち上げ予定のX線天文衛星の主観測装置は何か？その装置の特長と原理は？