

# 広視野X線分光小型衛星計画 DIOS - Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor -

大橋隆哉、石田學、佐々木伸、石崎欣尚 (都立大)

山崎典子、満田和久、藤本龍一、古庄多恵 (宇宙研)

田原讓、古澤彰浩 (名大)

須藤靖、吉川耕司、河原創 (東大)

河合誠之 (東工大)、鶴剛 (京大)

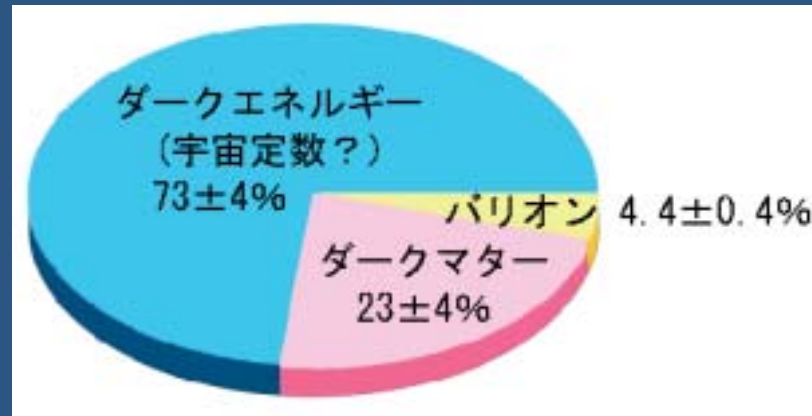
松下恭子 (東京理科大)

ほか DIOSチーム



2005年1月7日 第5回宇宙科学シンポジウム  
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

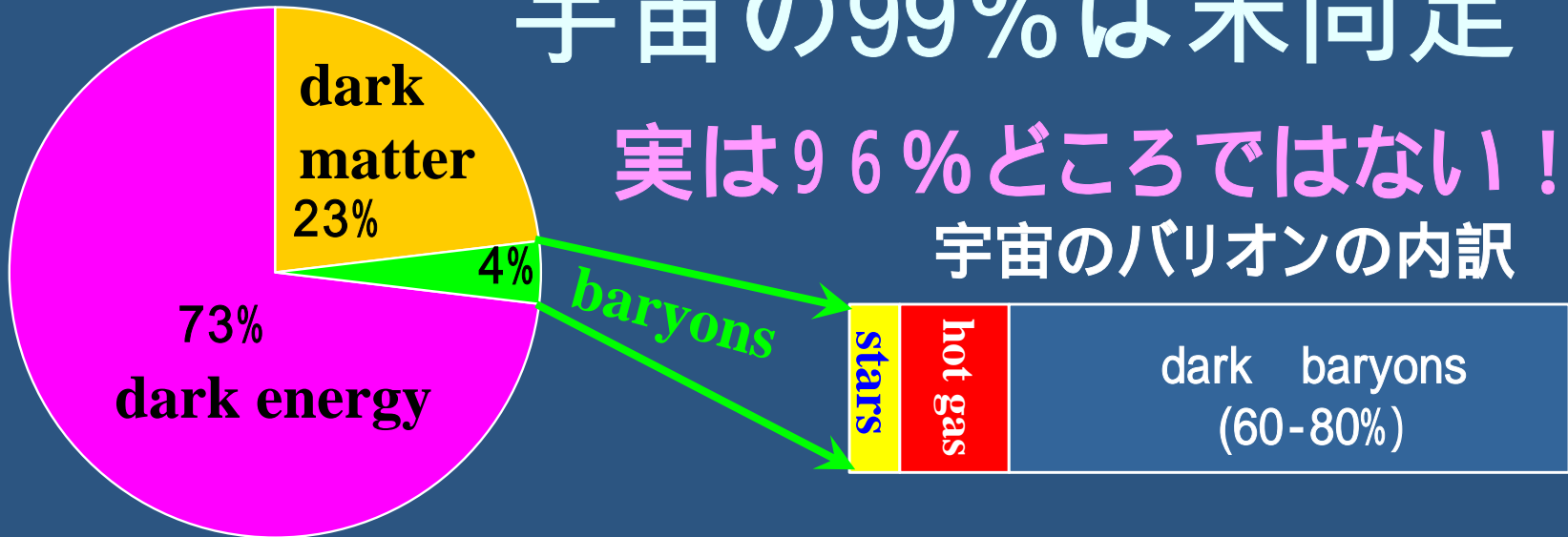
# 20世紀宇宙論の 到達点： 宇宙の組成



- 20世紀物理学の飛躍的進展は、「通常の物質」の構成要素については極めて深い理解をもたらした
- 一方、20世紀最後の数年間の宇宙観測によって、この「通常の物質」は、宇宙全体のわずか4%でしかないことが判明
  - **宇宙の果てを見ることで微視的世界の新しい階層が明らかとなった**
  - 宇宙全体の約23%は暗黒物質、約73%は暗黒エネルギー
- **我々は宇宙の96%の部分を全く理解していなかった**

# 宇宙の99%は未同定

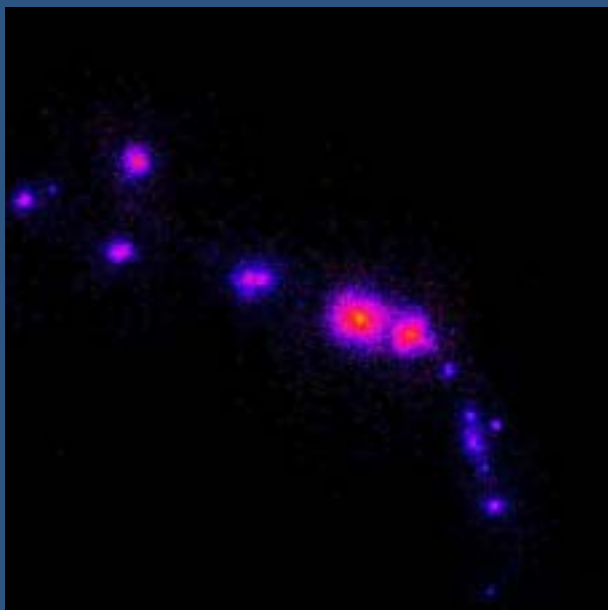
実は96%どころではない！  
宇宙のバリオンの内訳



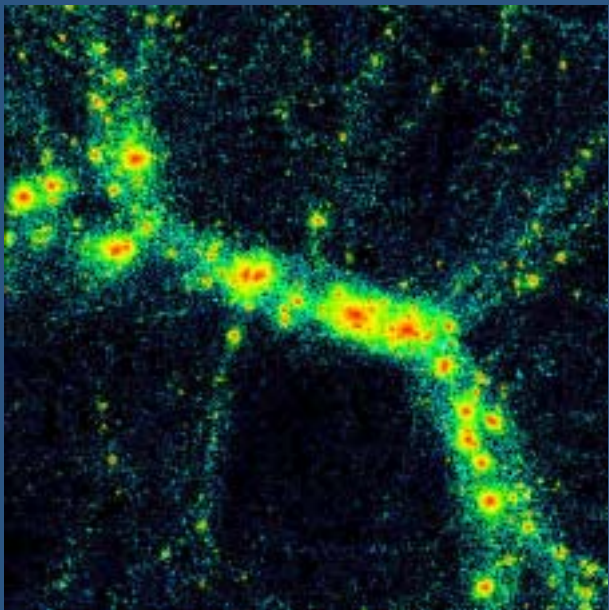
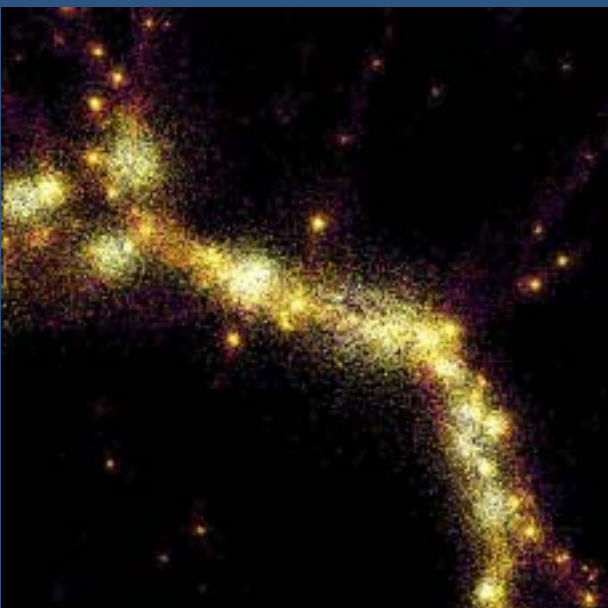
| Component  | Central                | Maximum                | Minimum                | Grade <sup>a</sup> |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>Cosmic Baryon Budget: Fukugita, Hogan &amp; Peebles: ApJ 503 (1998) 518</b> |                        |                        |                        |                    |
| 1. Stars in spheroids .....  | 0.0026 $h_{70}^{-1}$   | 0.0043 $h_{70}^{-1}$   | 0.0014 $h_{70}^{-1}$   | A                  |
| 2. Stars in disks .....  | 0.00086 $h_{70}^{-1}$  | 0.00129 $h_{70}^{-1}$  | 0.00051 $h_{70}^{-1}$  | A-                 |
| 3. Stars in irregulars .....   | 0.000069 $h_{70}^{-1}$ | 0.000116 $h_{70}^{-1}$ | 0.000033 $h_{70}^{-1}$ | B                  |
| 4. Neutral atomic gas .....  | 0.00033 $h_{70}^{-1}$  | 0.00041 $h_{70}^{-1}$  | 0.00025 $h_{70}^{-1}$  | A                  |
| 5. Molecular gas .....   | 0.00030 $h_{70}^{-1}$  | 0.00037 $h_{70}^{-1}$  | 0.00023 $h_{70}^{-1}$  | A-                 |
| 6. Plasma in clusters .....  | 0.0026 $h_{70}^{-1.5}$ | 0.0044 $h_{70}^{-1.5}$ | 0.0014 $h_{70}^{-1.5}$ | A                  |
| 7a. Warm plasma in groups .....  | 0.0056 $h_{70}^{-1.5}$ | 0.0115 $h_{70}^{-1.5}$ | 0.0029 $h_{70}^{-1.5}$ | B                  |
| 7b. Cool plasma .....  | 0.002 $h_{70}^{-1}$    | 0.003 $h_{70}^{-1}$    | 0.0007 $h_{70}^{-1}$   | C                  |
| 7'. Plasma in groups .....   | 0.014 $h_{70}^{-1}$    | 0.030 $h_{70}^{-1}$    | 0.0072 $h_{70}^{-1}$   | B                  |
| 8. Sum (at $h = 70$ and $z \simeq 0$ ) .....                                   | 0.021                  | 0.041                  | 0.007                  | ...                |

# 宇宙の物質分布 (SPH simulation)

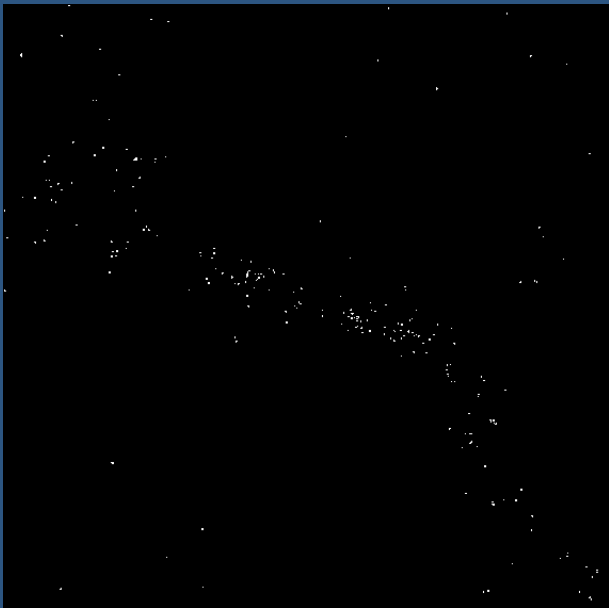
銀河団高温ガス



ダークバリオン



ダークマター



銀河

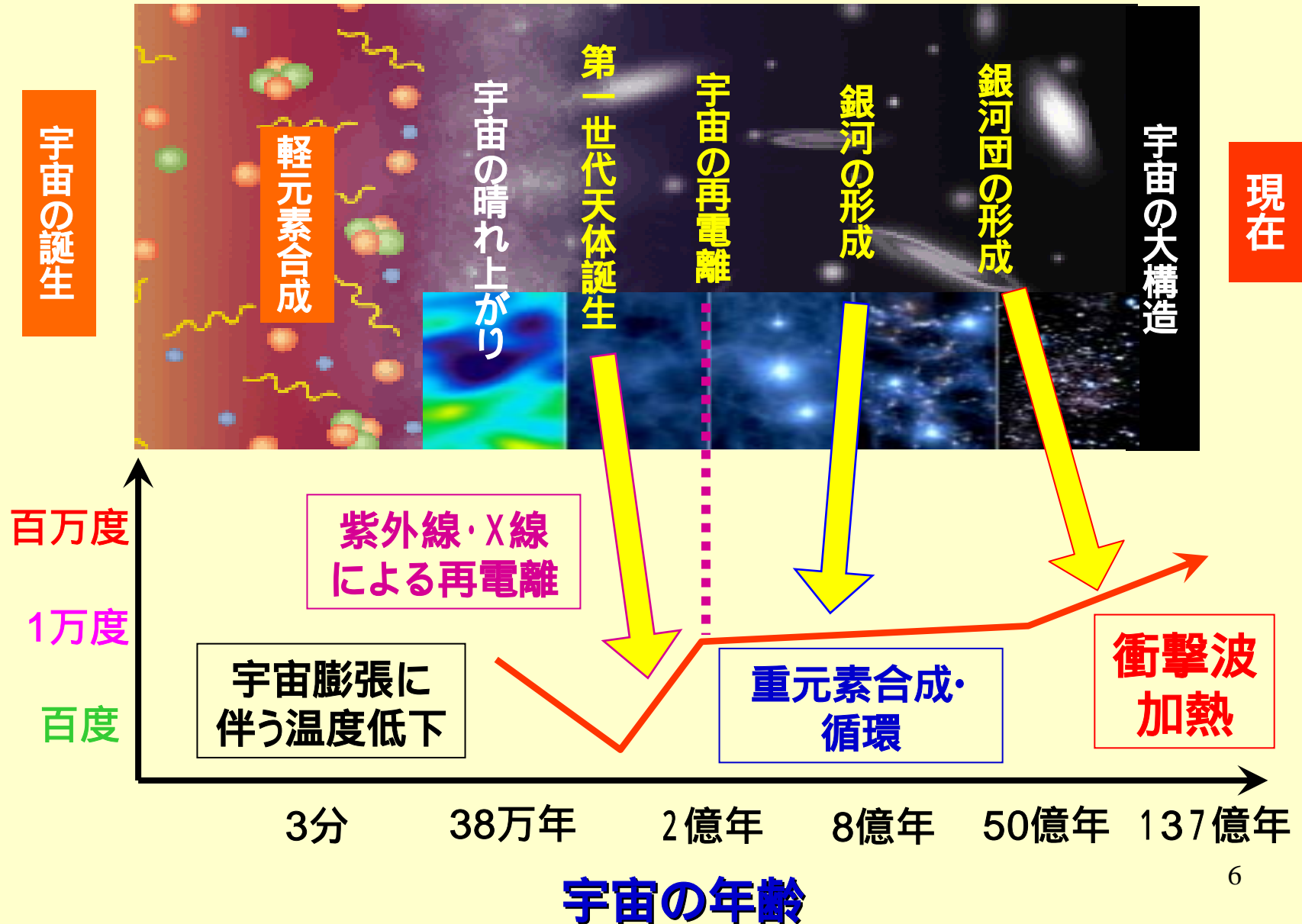
Yoshikawa et al. (2001)

# 宇宙のダークバリオン探査の重要性

- **ダークマターやダークエネルギーの探査・研究と極めて相補的**
  - バリオンは宇宙の物質階層の中でもっとも重要な成分
  - その存在形態を突き止めるためには未知の物理学を必要としない
  - 天文・宇宙物理学を適切に組み合わせることで必ず答えが出る確実なテーマ
  - その検出手段を確定すれば新たな宇宙観測の窓を開拓することになる
- **計画の準備状況(観測可能性と科学的意義の検討、衛星の具体的仕様)において、現時点では日本が世界のトップの位置にいる**
  - 日本独自あるいは他の国も参加するスタイルで国際協力を主導できるプロジェクト

# 銀河間物質の熱史

銀河間物質の温度



# 宇宙のバリオンの4形態

Dave et al. ApJ 552(2001) 473

- Condensed:  $>1000, T < 10^5 \text{K}$

- Stars + cold intergalactic gas

- Diffuse:  $<1000, T < 10^5 \text{K}$

- Photo-ionized intergalactic medium
- Ly absorption line systems

- Hot:  $T > 10^7 \text{K}$

- X-ray emitting hot intra-cluster gas

- Warm-hot:  $10^5 \text{K} < T < 10^7 \text{K}$

- Warm-hot intergalactic medium (*WHIM*)

Cen & Ostriker (1999)

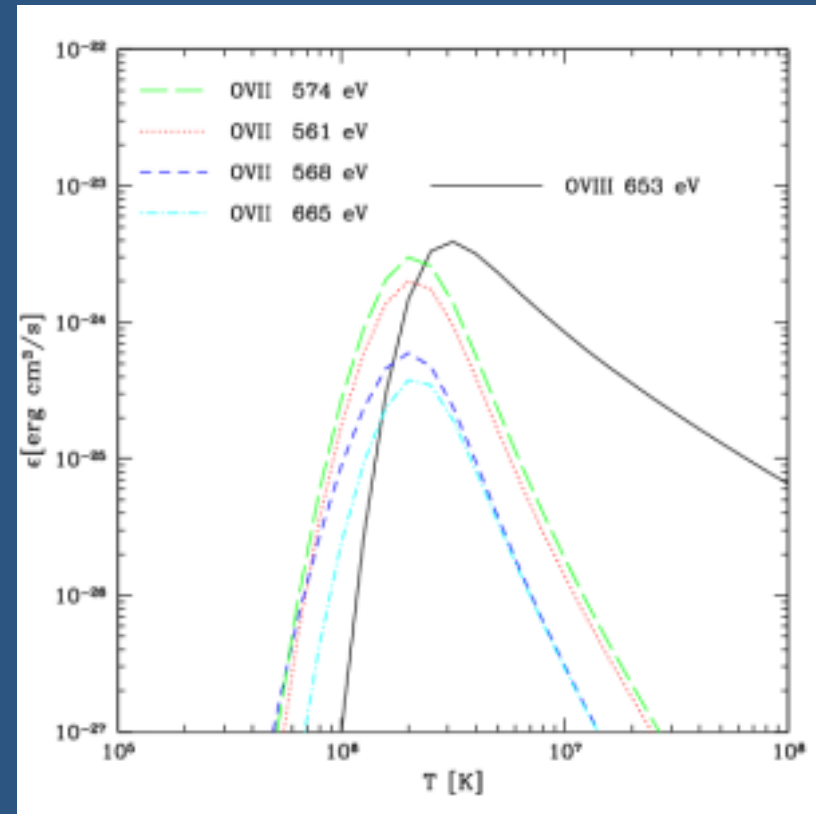
# WHIM中の酸素輝線

O VII (561 eV, 568 eV, 574 eV, 665 eV), O VIII (653 eV)

## なぜ酸素輝線？

- 重元素の半分は酸素：水素とヘリウムについて多い
- 宇宙の化学進化 酸素の合成史
- 100万～1000万度にあるガスの良いトレーサー
- 500-660 eVには他の強いラインは存在しない
- 背景 QSOの領域に制限されない

系統的WHIM サーベイ





# **DIOS: Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor**

A Japanese proposal of a dedicated X-ray mission to search for dark baryons

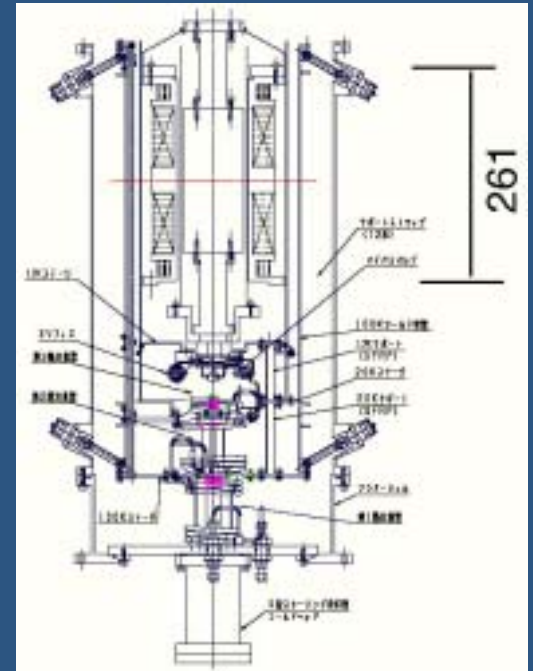


- **PI: Takaya Ohashi** (Tokyo Metropolitan Univ.)
  - + Univ. of Tokyo, JAXA/ISAS, Nagoya Univ., Tokyo Metro. Univ.
- A dedicated small satellite with cost < 40M USD.
- Proposed launch in **2010**
- Unprecedented energy spectral resolution:  
 **$\Delta E=2\text{eV}$  in soft X-ray band (0.5-1.5keV)**
- Aim at detection of  $\sim 30$  percent of the total cosmic baryons via **Oxygen emission lines.**

# DIOS: instrument summary

**最新版は、P1-65とP1-66を参照**

|                |  |
|----------------|--|
| Area           | > 100 cm <sup>2</sup>                  |
| Field of View  | 50' diameter                           |
| $S\Omega$      | ~ 100 cm <sup>2</sup> deg <sup>2</sup> |
| Angular Resol. | 3' (16 <sup>2</sup> pixels)            |
| Energy Resol.  | 2 eV (FWHM)                            |
| Energy Range   | 0.3 – 1.5 keV                          |
| Life           | > 5 yr                                 |



Mechanical coolers  
+ ADR: < 100 mK  
Initial cooling  
~ 3 months

# DIOS: spacecraft

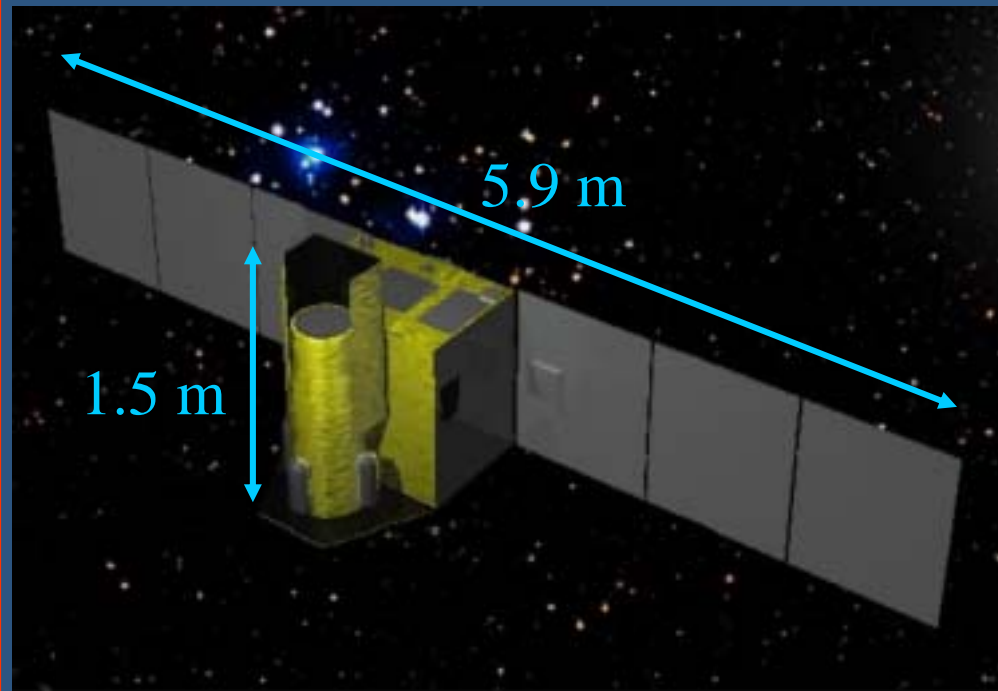
最新版は、  
P1-65とP1-66を参照

Altitude: ~ 550 km

Inclination: 31 °

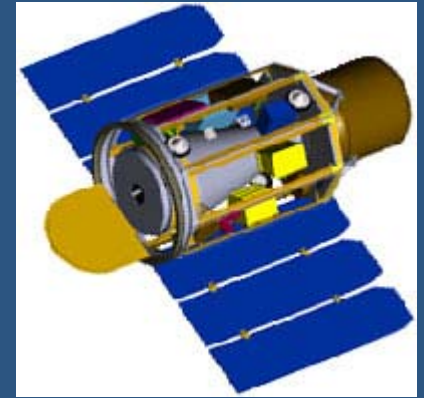
Rotation period: 95 min

|          |          |  |
|----------|----------|--|
| Weight   | Total    | ~ 400 kg   |
|          | Payload  | ~ 200 kg   |
| Size     | Launch   | 1.2 × 1.45 × 1.4 m                                 |
|          | In orbit | 5.85 × 1.45 × 1.4 m                                |
| Attitude | Control  | 3-axis bias momentum wheel, Sun pointing in 1 axis |
|          | Accuracy | 10 arcsec  |
| Power    | Total    | 500 W  |
|          | Payload  | 300 W  |



# MBE: a competing proposal

- PI: Wilt Sanders (UW-Madison SSEC)
- X-Ray Calorimeter Telescope Development
  - UW-Madison, NASA/GSFC, Lockheed-Martin
- Spacecraft: Spectrum Astro SA-200S Bus
- Time schedule: the concept study start is in November 2003, and launch was scheduled for August 2007.
- Cost: \$118.96M in FY2003 USD



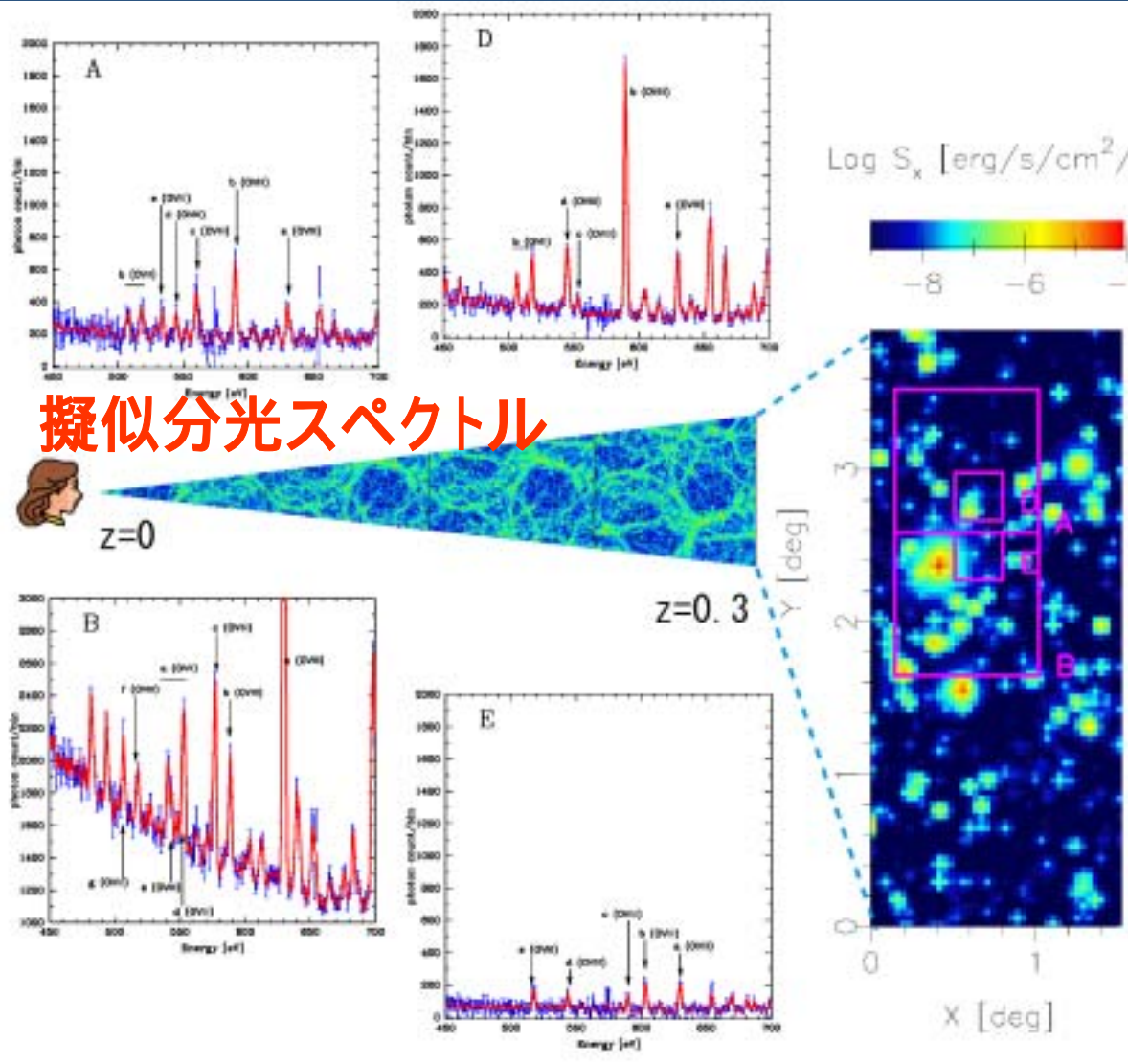
UW-Madison Space Science and Engineering Center

## Missing Baryon Explorer

*Surveys of the Low Energy X-Ray Diffuse Background  
to Complete Our Picture of the Universe*

<http://www.ssec.wisc.edu/baryons/index.html>

# DIOSによるダークバリオン探査 (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



擬似分光スペクトル

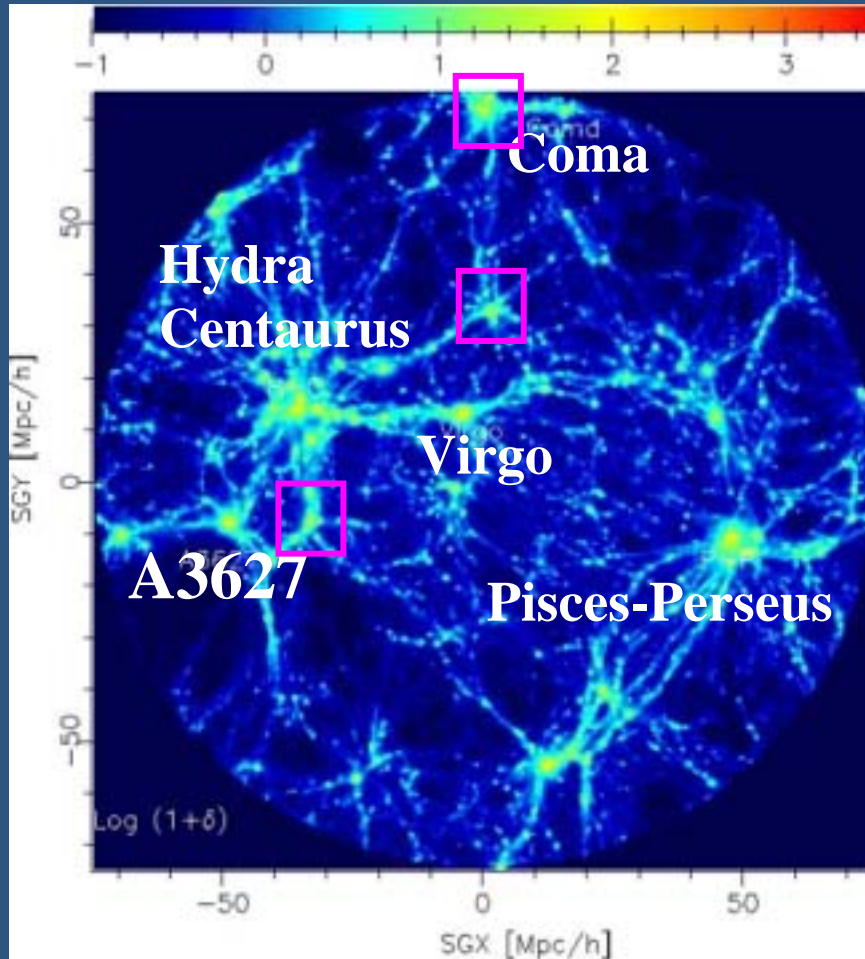
**Yoshikawa et al.  
PASJ 55 (2003) 879**

## DIOSチーム

- 都立大理: **大橋隆哉**
- 石田學、佐々木伸、石崎欣尚
- 宇宙研: 山崎典子、満田和久
- 藤本龍一、古庄多恵
- 名大理: 田原譲、古澤彰浩
- 東大理: 須藤靖、吉川耕司
- 東工大理: 河合誠之
- 京大理: 鶴剛
- 東京理科大: 松下恭子

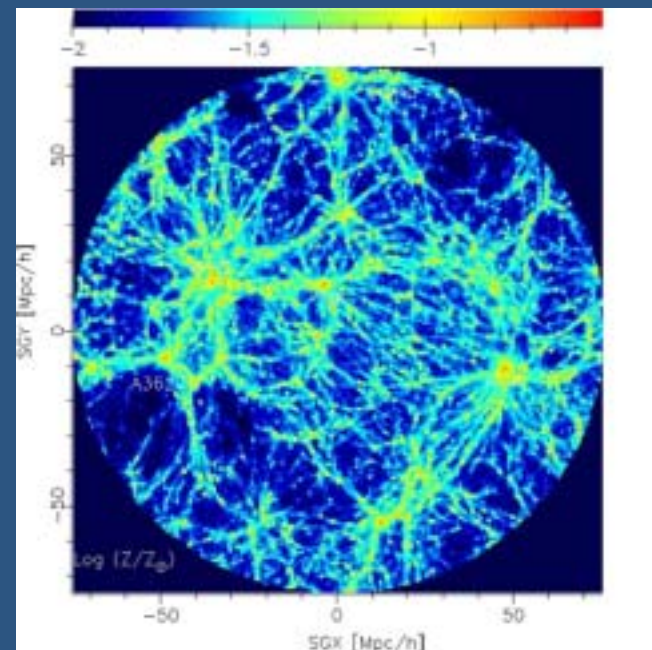
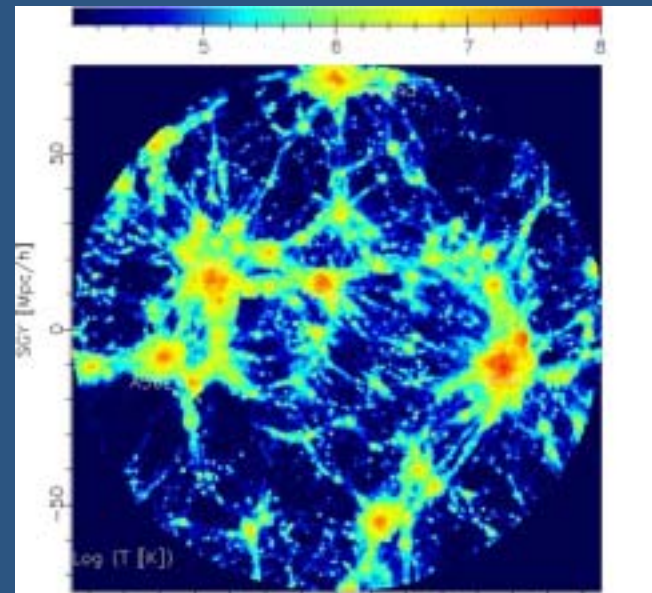
他

# 超銀河平面上的ガス分布のシミュレーション結果



ガス密度

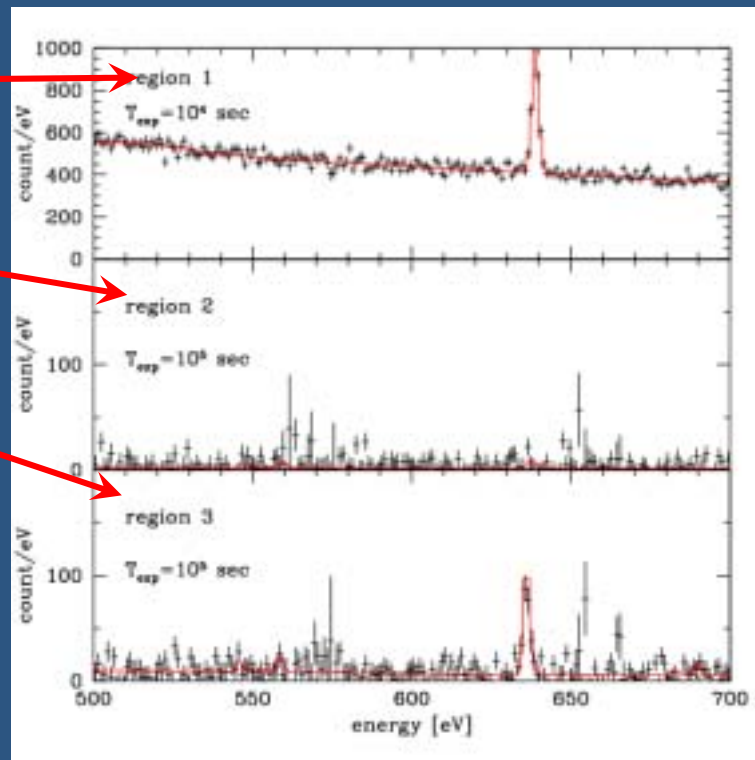
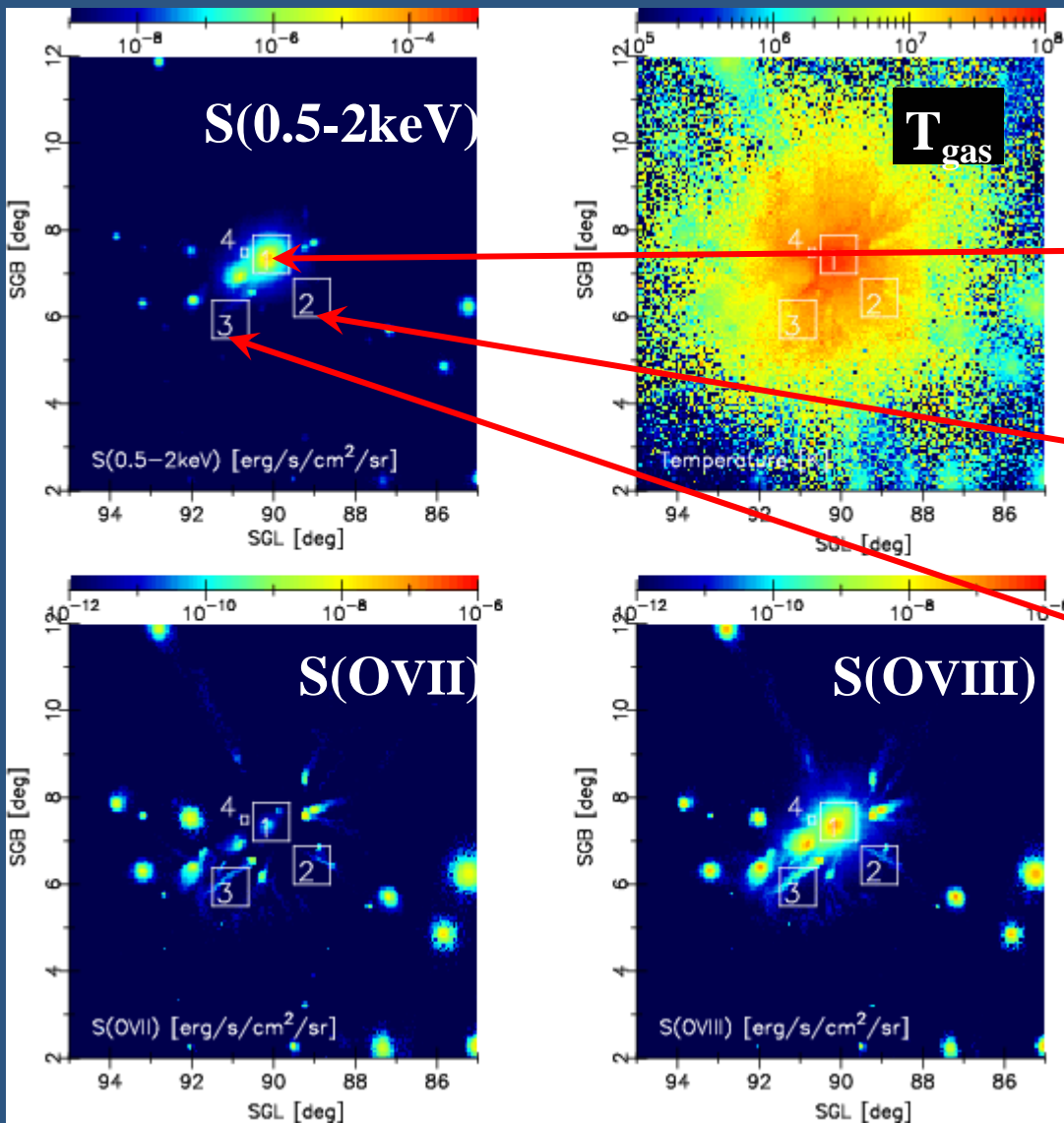
ガス温度



仮定した金属量

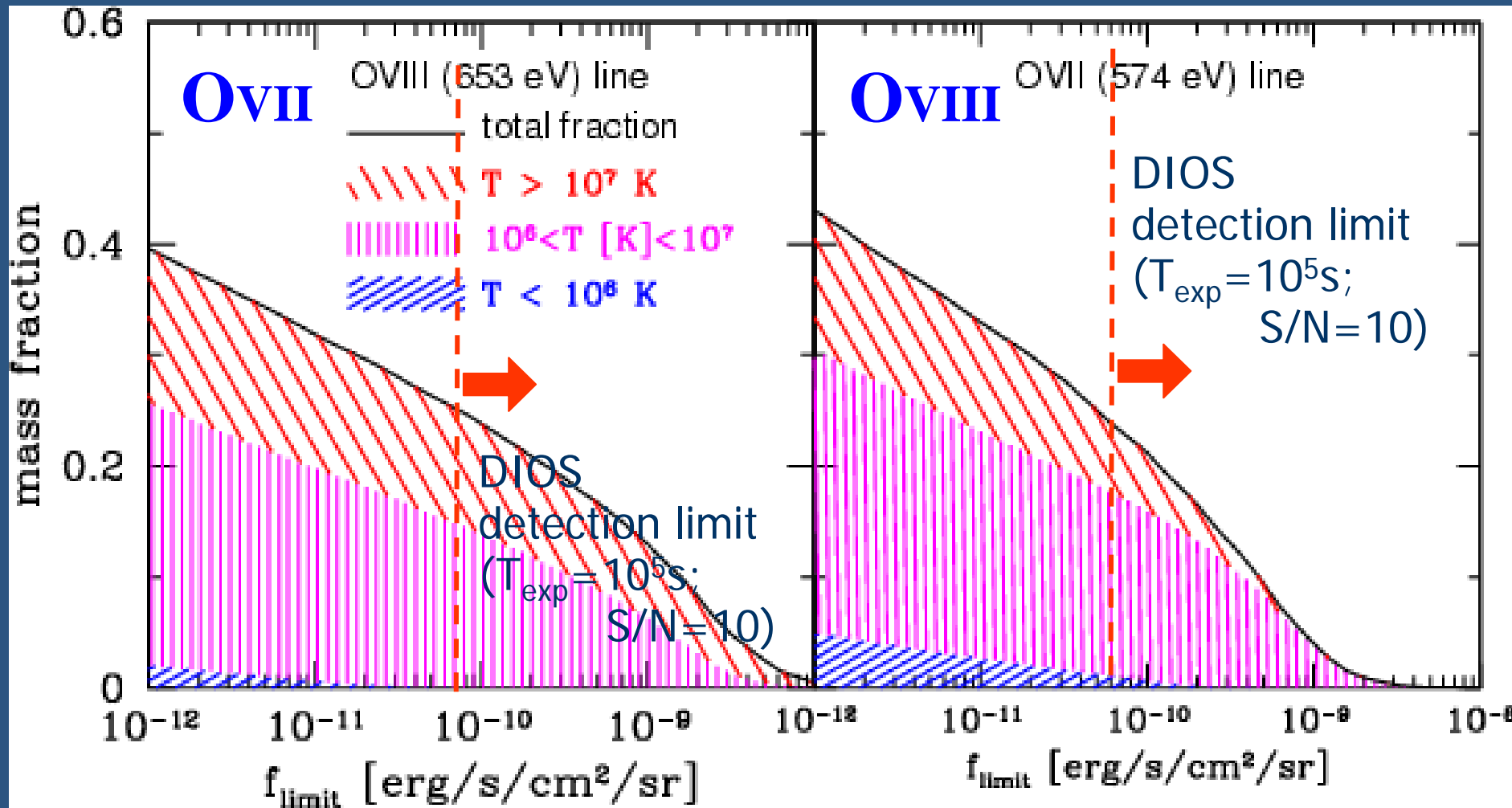
# かみのけ座銀河団の「擬似」観測

Yoshikawa et al. (2004)  
PASJ



**1° × 1° FOV**

# DIOSの酸素輝線サーベイによって 検出できるダークバリオンの 割合





# 軟X線精密分光による新しいサイエンス: DIOS キーププロジェクト

## ■ ダークバリオンの起源

- 酸素輝線を用いたダークバリオンサーベイ ( $0.1 < z < 0.3$ )
- 背景QSOの酸素吸収線系観測
- ガンマ線バーストを背景光源とした酸素吸収線系観測

## ■ 宇宙における元素進化史

- 銀河団内プラズマ中元素の分光観測 (酸素、ネオン、マグネシウム、鉄L線)
- 銀河系内円盤の高温ガスのドップラーマッピング
- スターバースト銀河の銀河風速度マップ