

# 宇宙理論研究室ガイダンス

[http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation\\_2004j.html](http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2004j.html)

2004年 2月10日

教授：佐藤勝彦

(素粒子的宇宙論、天体核物理)

助教授：須藤 靖

(観測的宇宙論)

助手：樽家篤史

(観測的宇宙論、相対論)

# 宇宙理論研究室での研究内容

## ■ 初期宇宙論・相対論

- インフレーション理論
- ビッグバン元素合成
- 多次元/ブレーン宇宙論

## ■ 高エネルギー天体物理学・高密度星

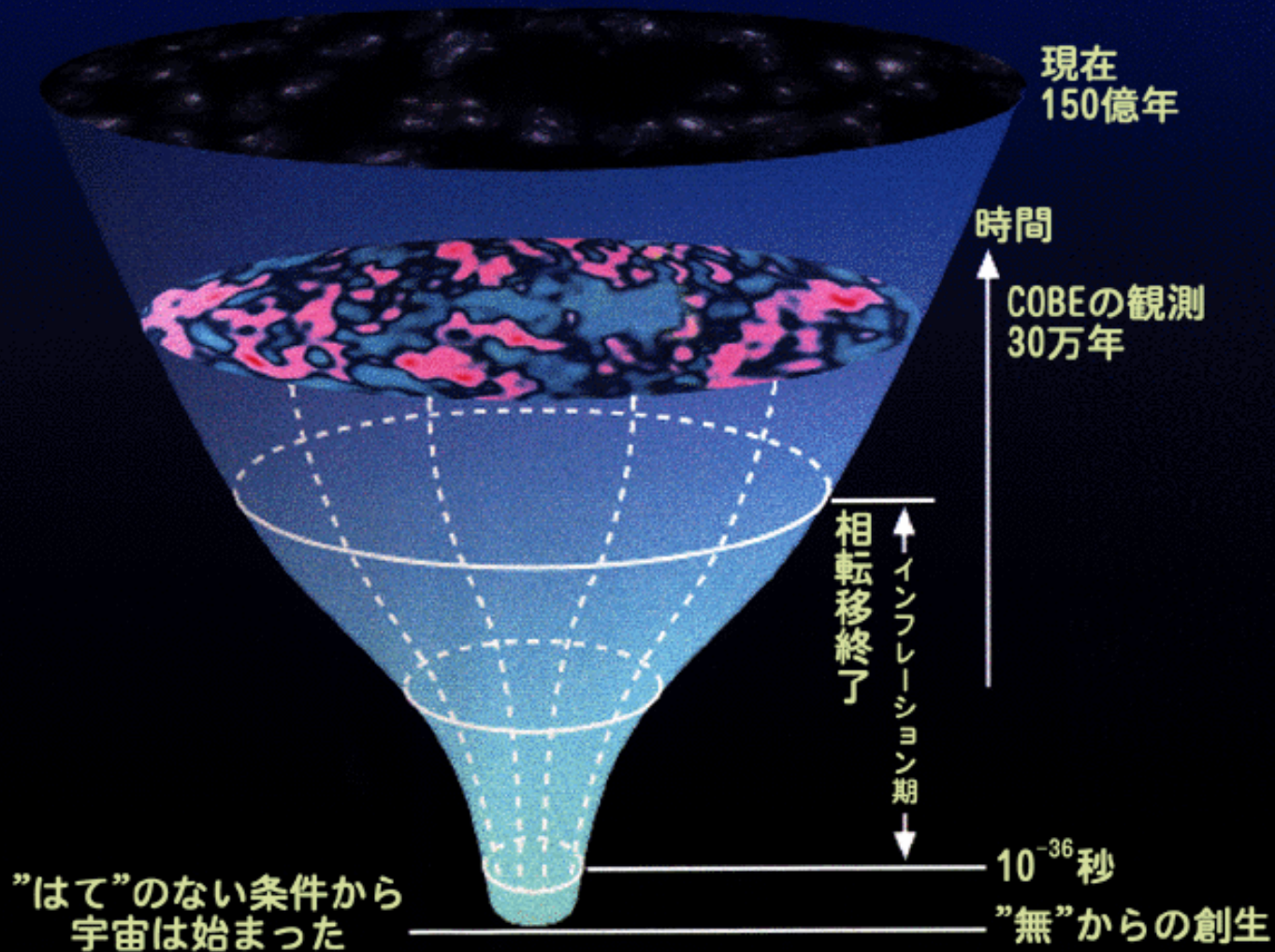
- 中性子星の構造と状態方程式
- 超新星爆発シミュレーション
- 超新星ニュートリノ
- 高エネルギー宇宙線の起源と伝播

## ■ 観測的宇宙論

- スローンデジタルスカイサーベイを用いた観測的宇宙論
- 宇宙のダークバリオン探査衛星(DIOS)
- 太陽系外惑星探査

# 宇宙の創生と進化

宇宙が進化した結果、現在のような星や銀河などが生まれてきた。

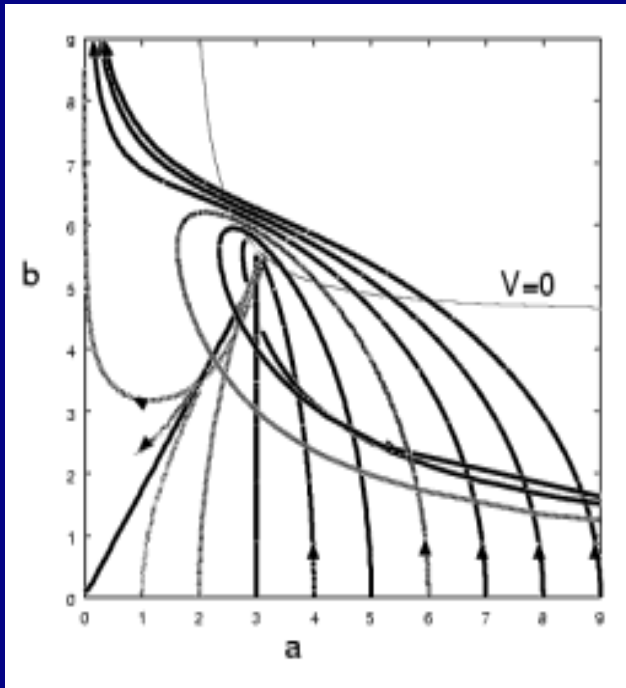


# 多次元宇宙論

- カルツアクライン理論
- ブレーンワールド
- 宇宙の創生、インフレーションを多次元モデルで再構築

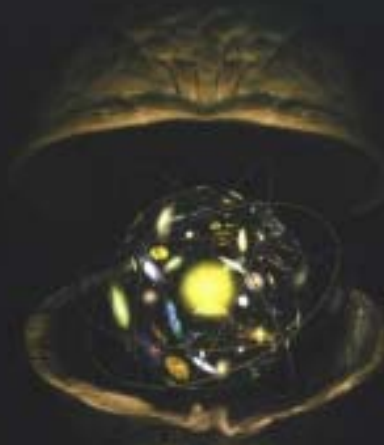
## 虚時間での進化

内部空間の大きさ



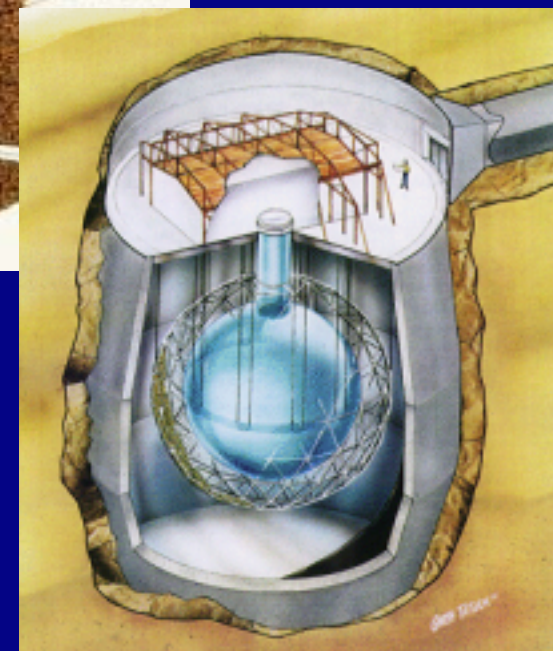
外部空間の大きさ

*The universe  
in a nutshell*



# 超新星 1987Aからのニュートリノ検出

スーパーカミオカンデ (30倍)  
ニュートリノは質量を持ち振動

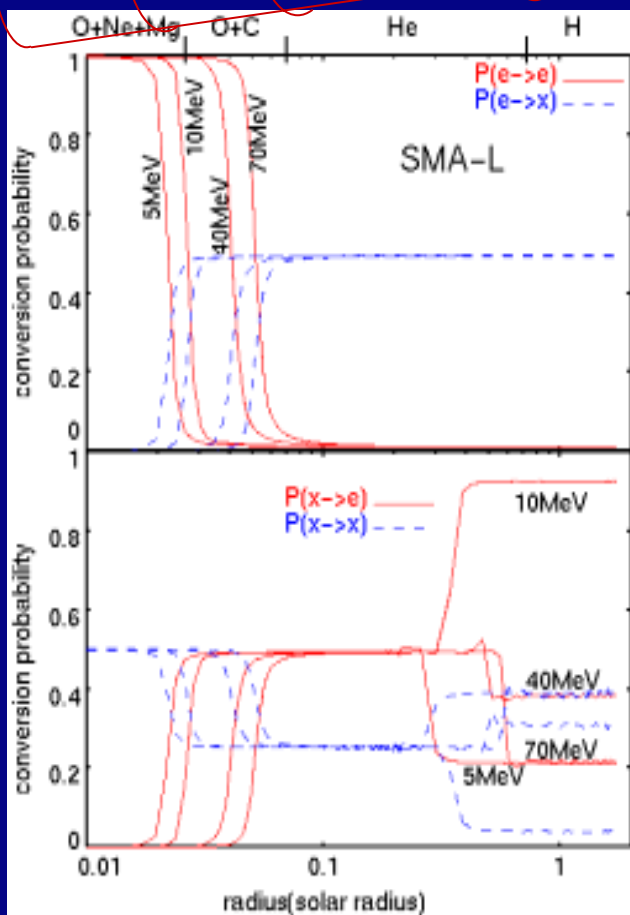
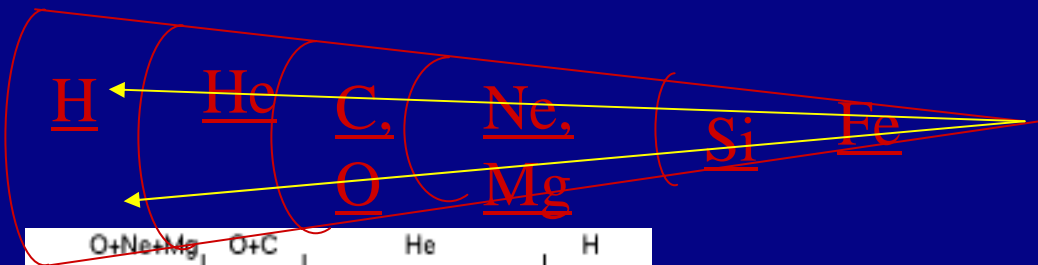


1987年2月23日

カミオカンデ 11発のニュートリノ検出

IMB 8発

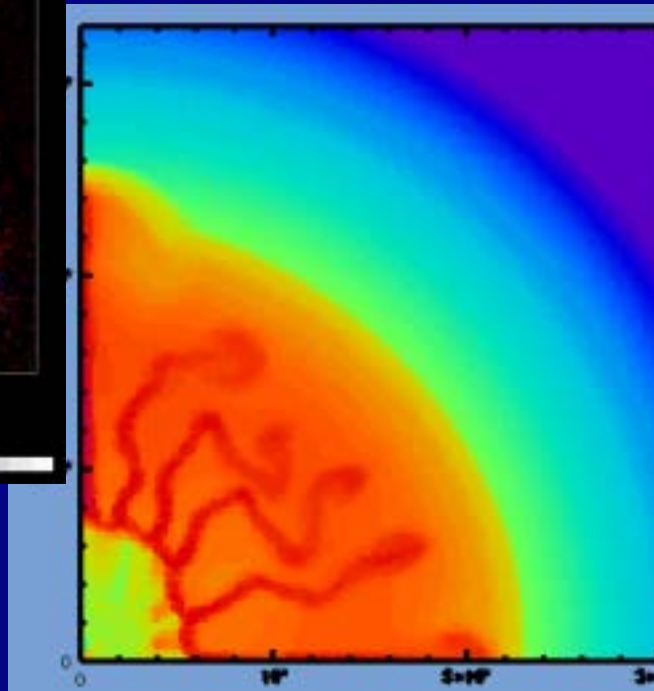
超新星ニュートリノが検出されると、地上実験ではまだ得られていない振動のパラメータが測定できる



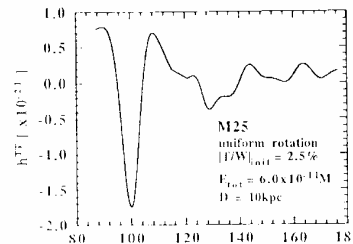
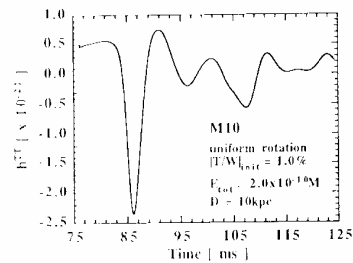
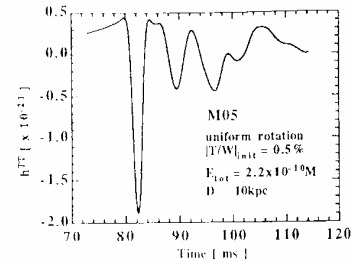
超新星ニュートリノは地球の中で再転換される。

SK, SNO, VLOのデータを組み合わせると、 $e_\nu$ の混合角、 $m^2$ などの情報が得られる。

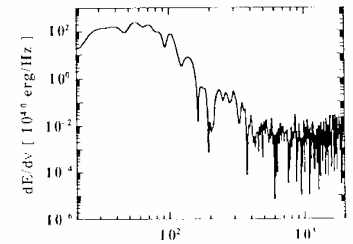
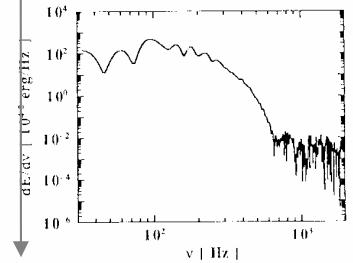
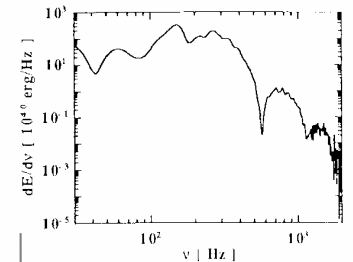
# 自転星の超新星での元素合成、重力波放出



## 重力波形

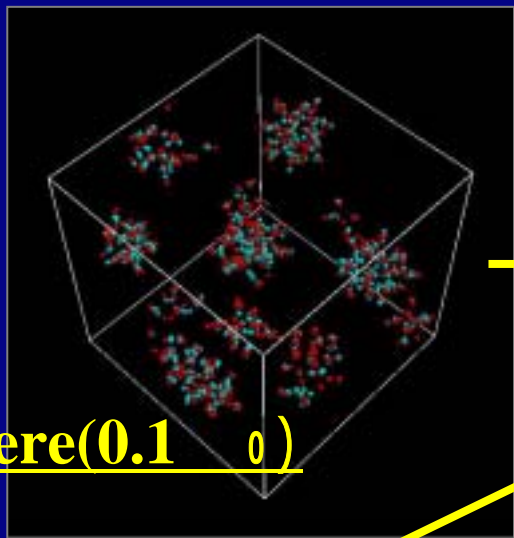


## エネルギー スペクトル



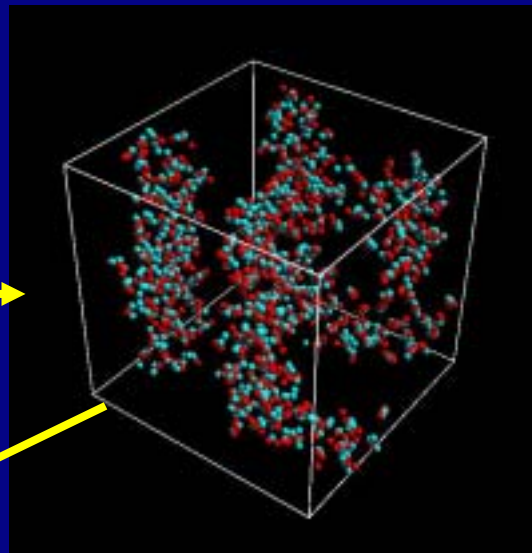
# 量子分子動力学による原子核の溶解と相転移

Sphere(0.1 0)

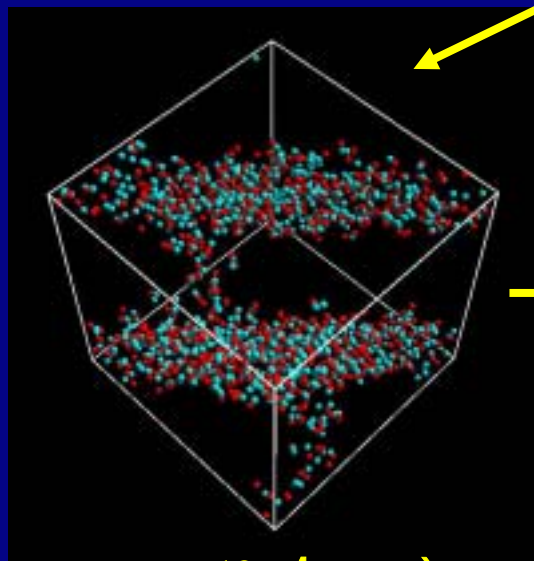


Cylinder

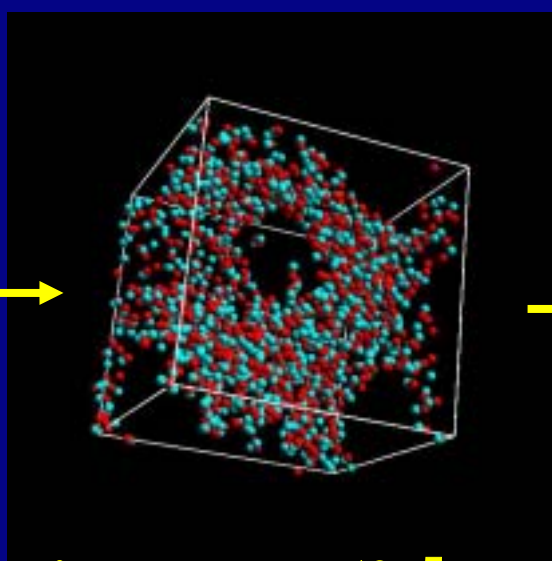
(0.25 0)



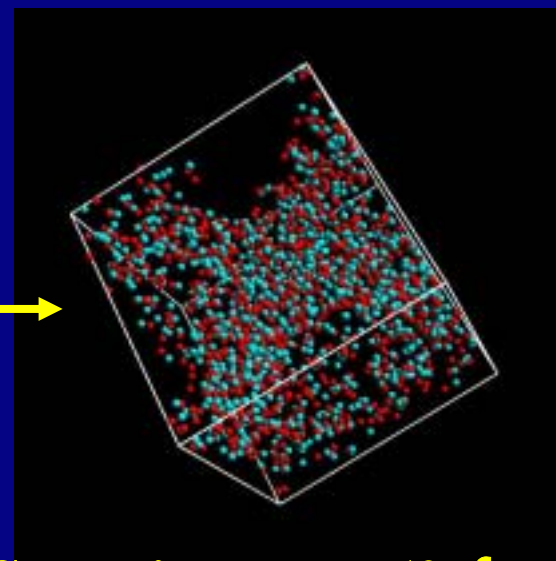
slab (0.4 0)



Cylinder hole (0.5 0)



Spherical hole (0.6 0)





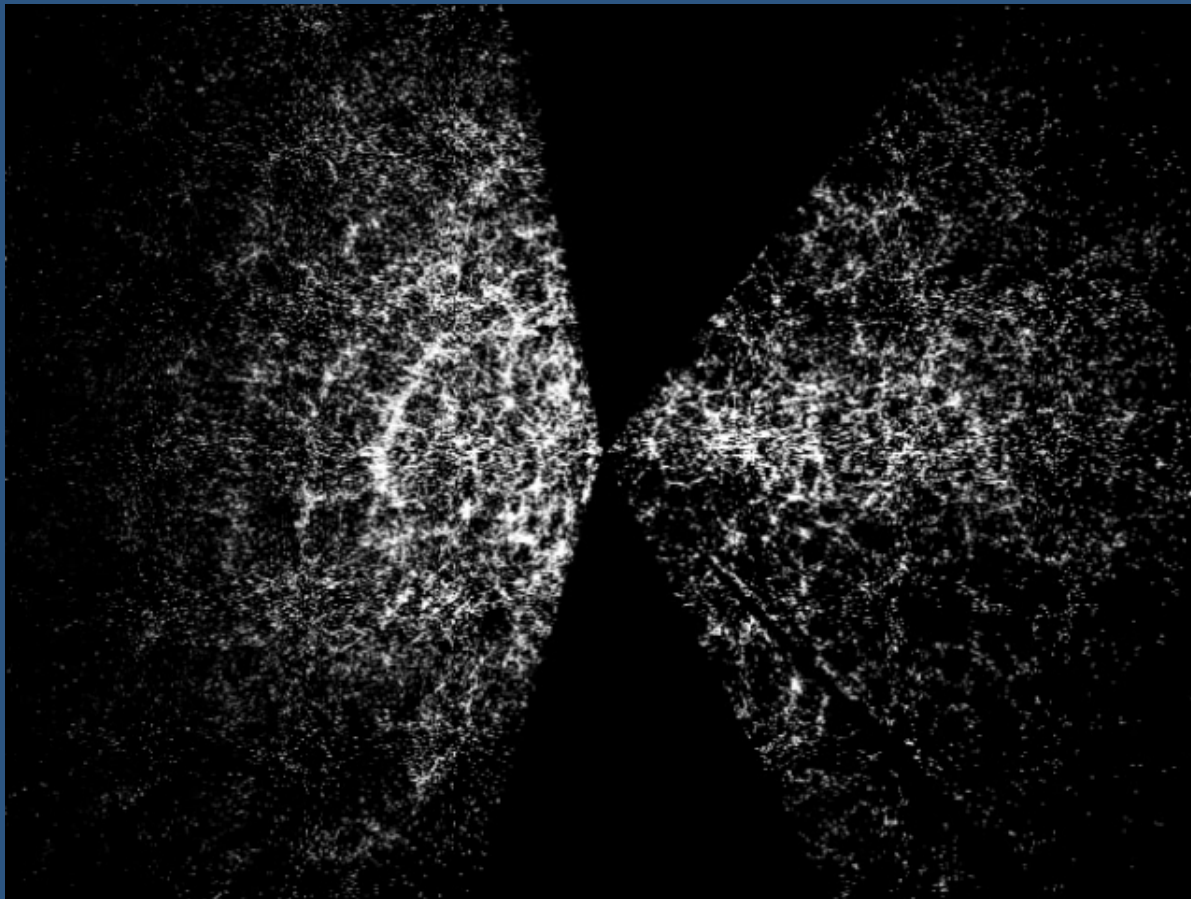
# 宇宙論の心：遠くには何があるのだろうか

- 宇宙はどうなっているのか：宇宙の階層
  - 月、太陽、太陽系、恒星、星団、銀河系(天の川)、銀河、銀河団、宇宙の大構造
- 遠くの宇宙の研究は考古学
  - 光は有限の速度をもつ。つまり、今見ている遠くの日体は、実はずっと昔の姿。
  - 毎日見ている太陽は、実は約8分遅れの姿。天文学者は、100億年以上前の昔の日体からやっと届いた光を、今、観測して研究している。
  - 遠くを見れば宇宙の過去がわかる。
- 我々人類は広い宇宙でひとりぼっちなのか？
- 第二の地球はあるか？

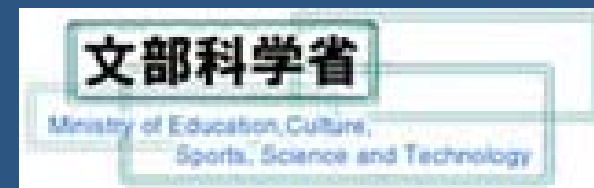


# 史上最大の銀河地図作りをめざして： 日米独共同スローンデジタルスカイサーベイ

8千万個の銀河を観測、そのなかの80万個の銀河の3次元地図作り

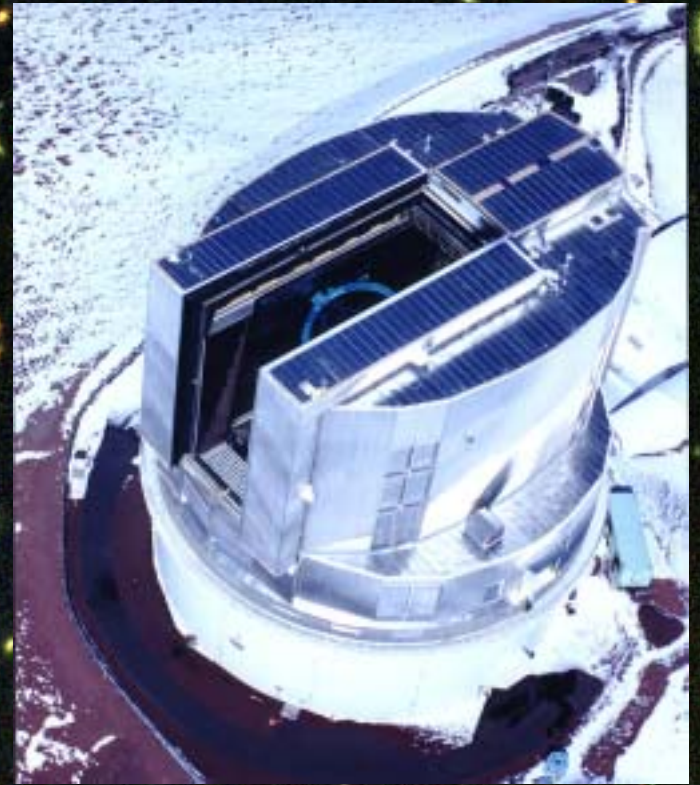


<http://www.sdss.org/dr1/>



NHK教育 サイエンスZERO 2003年6月11日 0:00 放映

# すばる望遠鏡の見た夜空のむこう



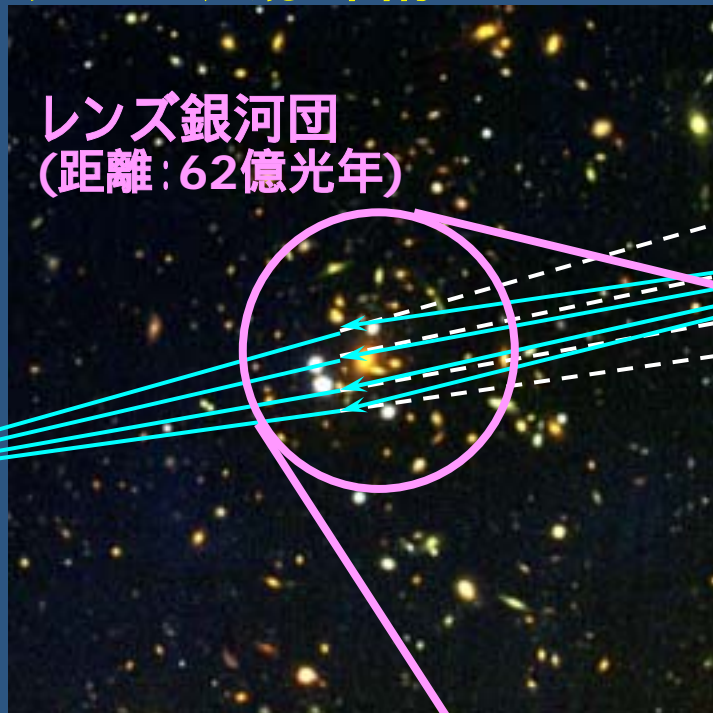
<http://www.naoj.org/Gallery/>

# すばるが見た最大のクエーサー重力レンズ

すばる 8.2m  
望遠鏡



すばる望遠鏡の画像

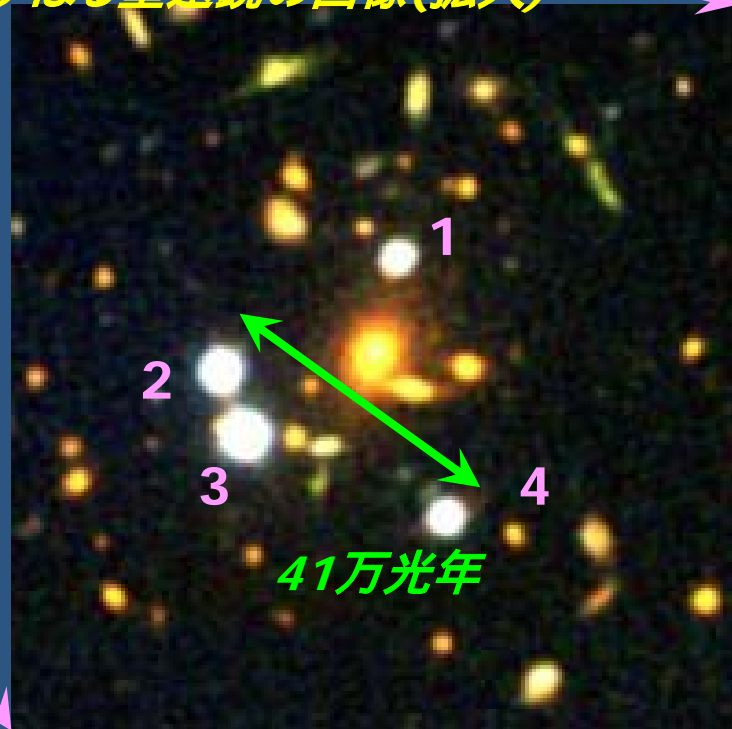


レンズ銀河団  
(距離: 62億光年)

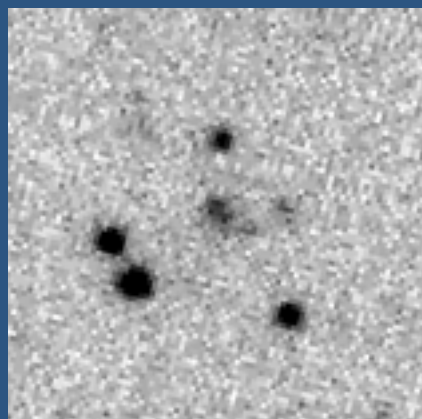
稲田、大栗ほかSDSSグループ  
Nature 426 (2003) 810

クエーサー  
SDSS J1004  
(98億光年)

すばる望遠鏡の画像(拡大)

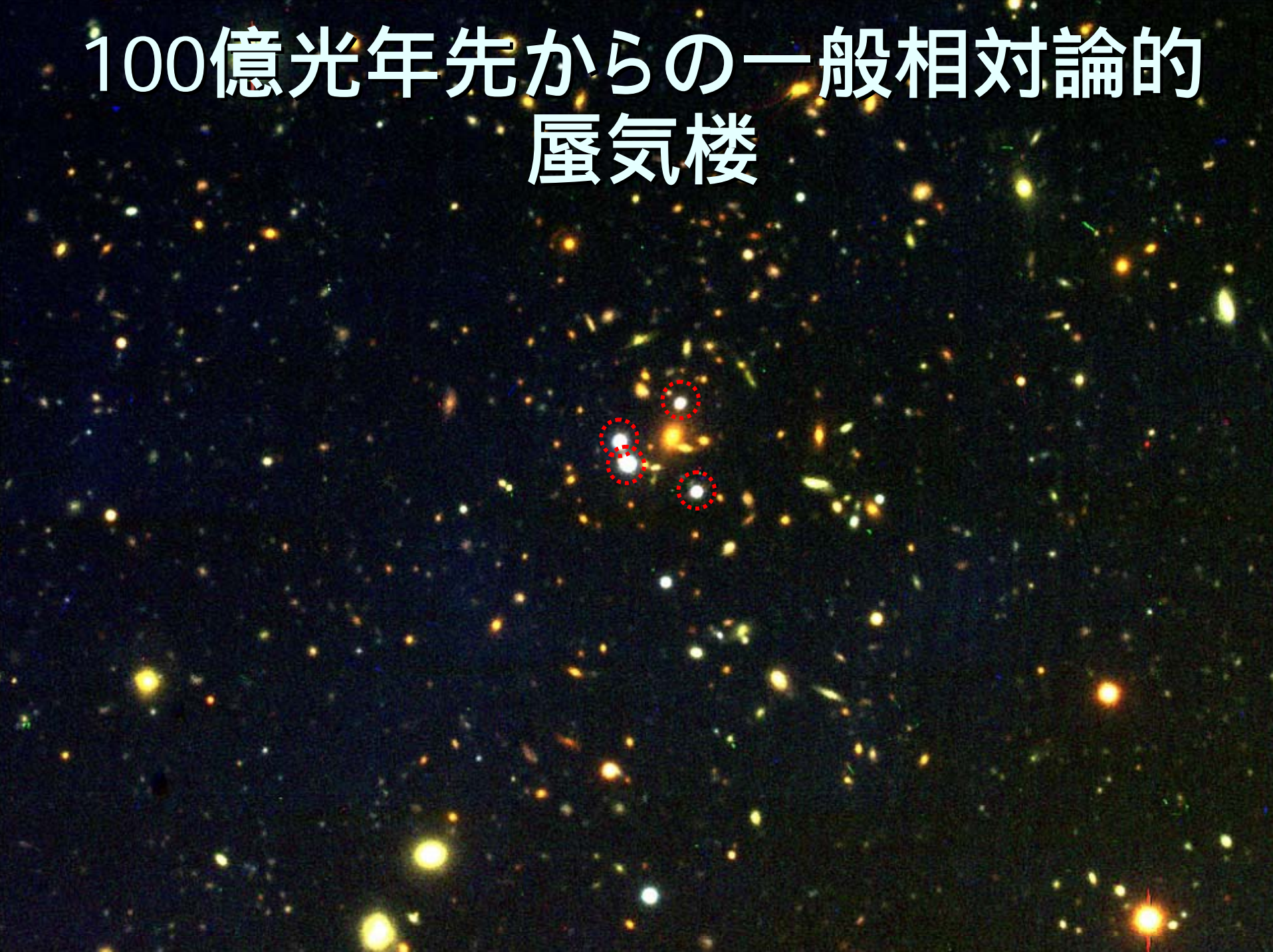


SDSS専用  
2.5m望遠鏡

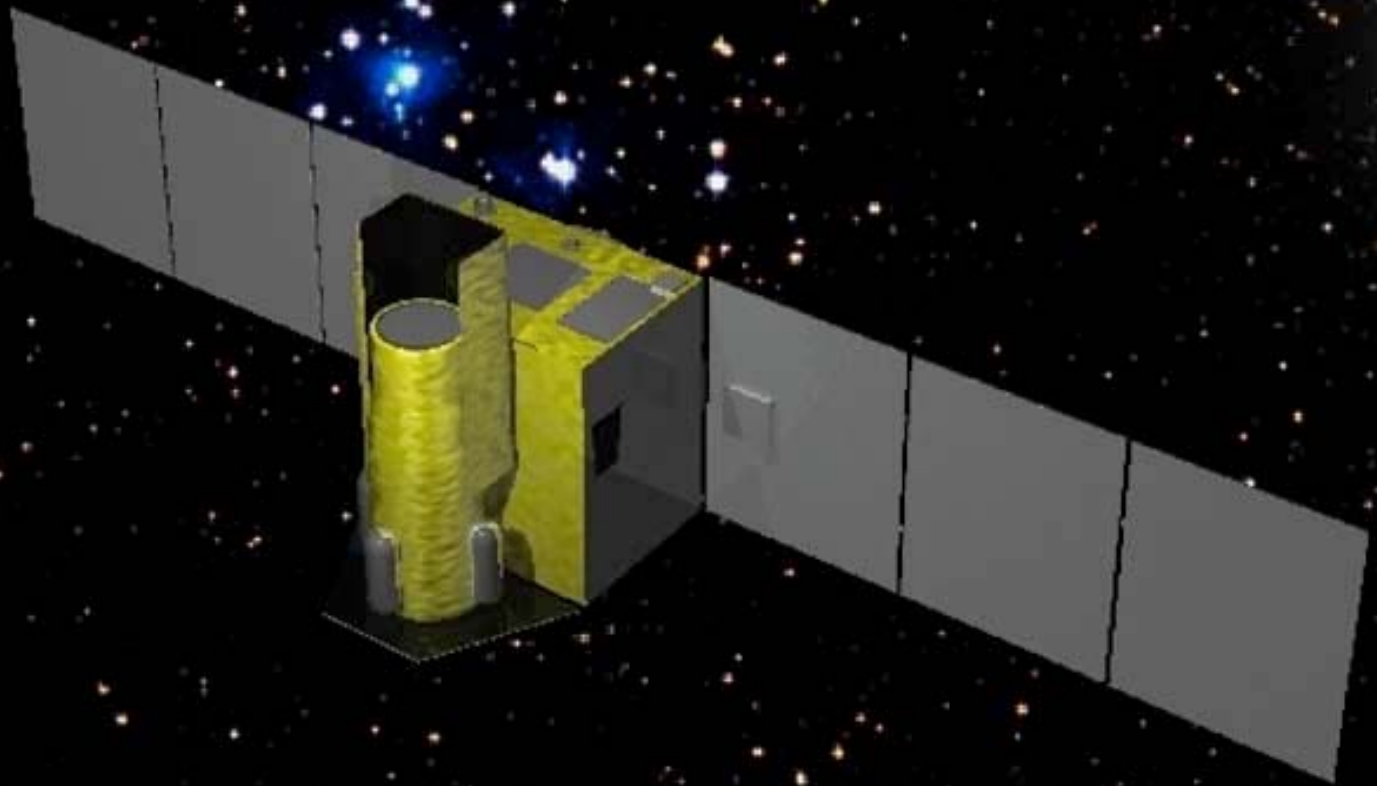


SDSSの画像

# 100億光年先からの一般相対論的 塵気楼



# Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



# dark matter , hot gas and “galaxies”



**SPH simulation: CDM,  $(75h^{-1}\text{Mpc})^3$  box  
(Yoshikawa, Taruya, Jing & Suto 2001)**

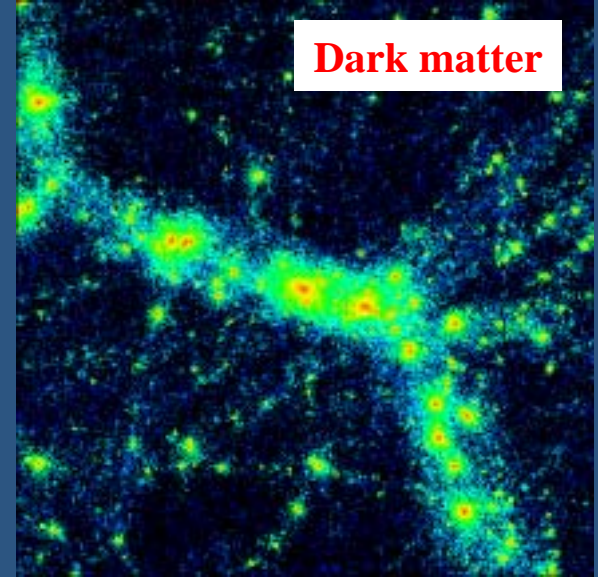
# A cluster region in SPH simulation

A  $(30h^{-1}\text{Mpc})^3$  box  
around a massive  
cluster at  $z=0$   
CDM SPH  
simulation  
(Yoshikawa et al. 2001)

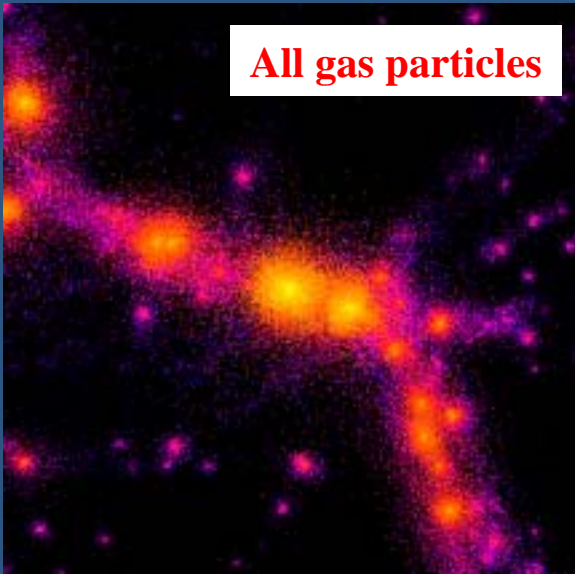
Galaxy (cold clump)



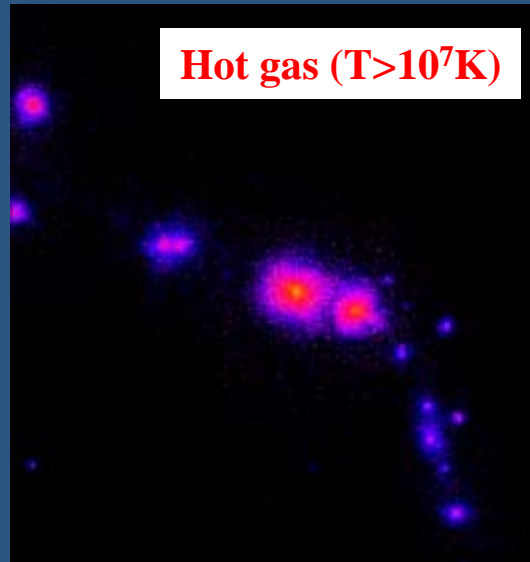
Dark matter



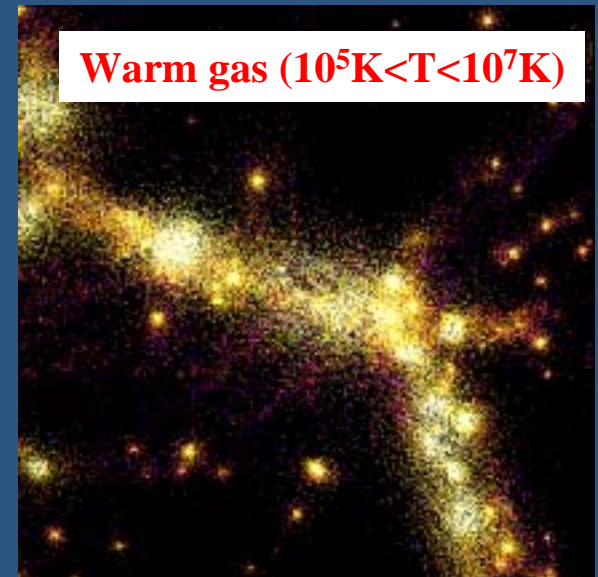
All gas particles



Hot gas ( $T > 10^7\text{K}$ )



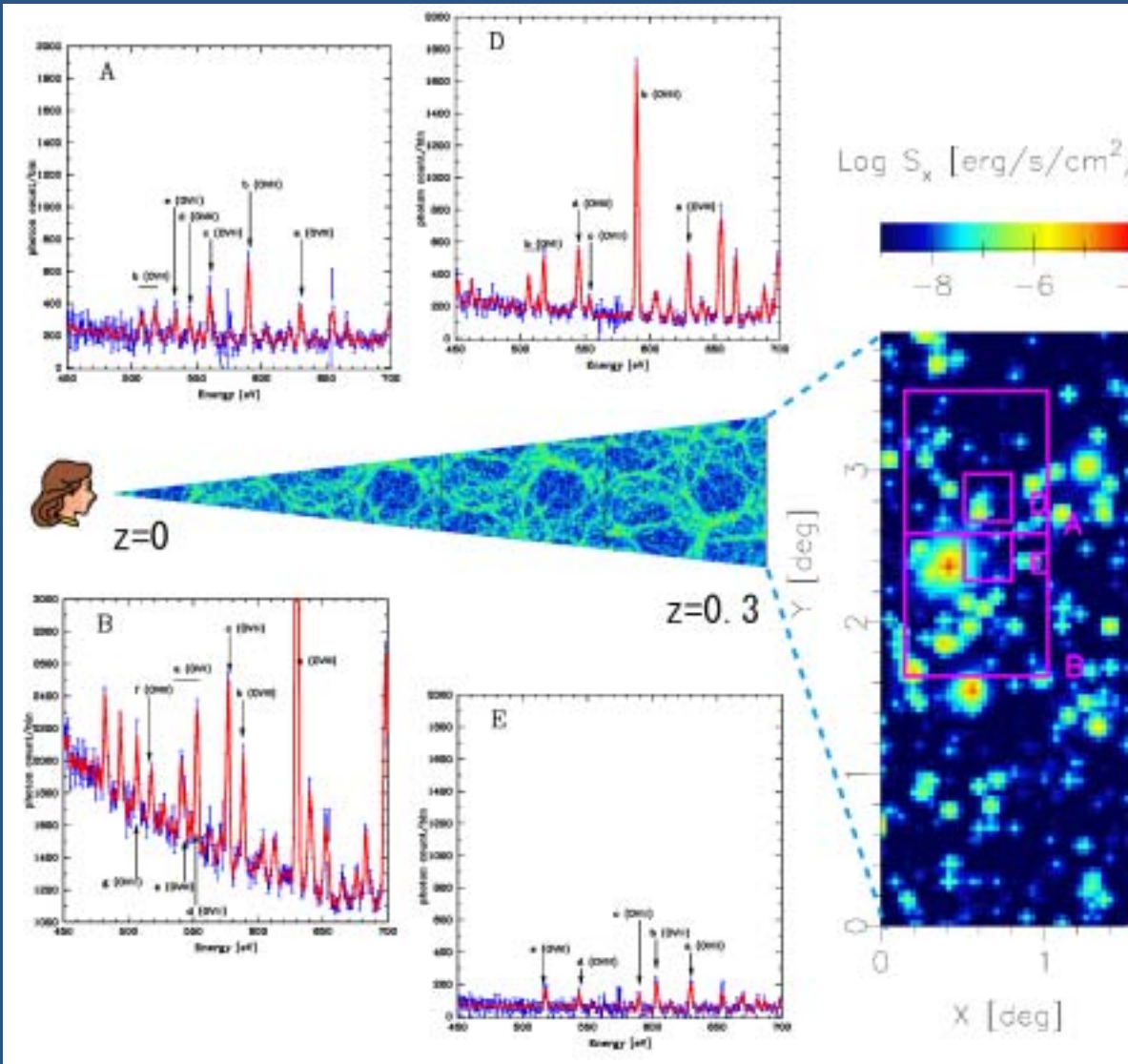
Warm gas ( $10^5\text{K} < T < 10^7\text{K}$ )





# Searching for cosmic missing baryons with DIOS

(Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



Univ of Tokyo:

*K. Yoshikawa*

*Y. Suto*

ISAS:

*N. Yamasaki*

*K. Mitsuda*

Tokyo Metropolitan Univ.:

*T. Ohashi*

Nagoya Univ.:

*Y. Tawara*

*A. Furuzawa*

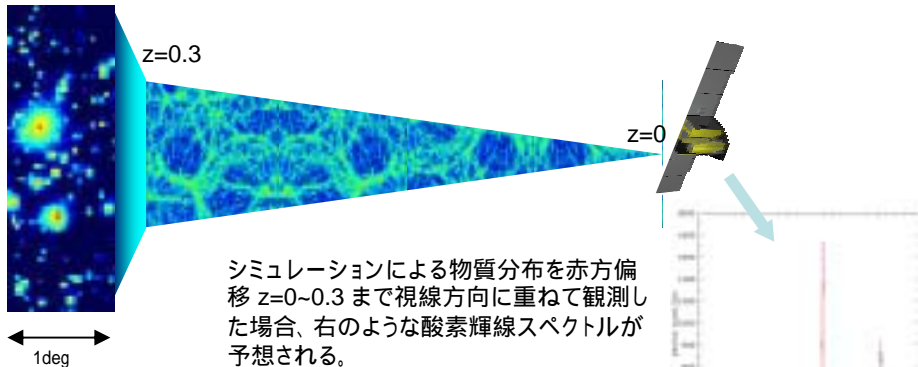
# Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor **DIOS**

2008年打ち上げを目指す、重量約400kg、全長約1.5mの小型衛星。大きな面積×立体角( $S > 100 \text{ cm}^2 \text{ deg}^2$ )と酸素輝線の高精度分光の実現により、ダークバリオンの直接検出と分布形態の解明を目的とする。

## - Science -

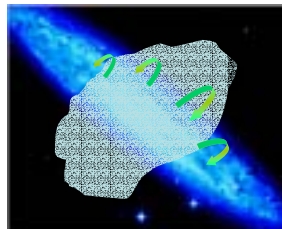
### I. ダークバリオン探索と宇宙の大構造

100万度の銀河間ガスのマップによりダークバリオンの存在と構造を解明



### II. 銀河内物質の大循環

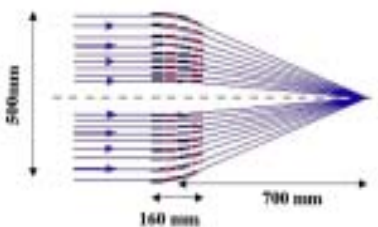
銀河系内の高温星間ガスの速度分布による Galactic fountain 現象 (右図) の検証



## - Hardware -

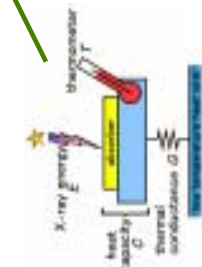


重量	400 kg
サイズ	6x1.5x1.5 m <sup>3</sup>
総電力	500 W
S	>100 cm <sup>2</sup> deg <sup>2</sup>
視野	50 分角
空間分解能	3 分角
エネルギー分解能	2 eV (半値幅)
エネルギー範囲	0.1 - 1 keV
観測期間	> 5 年



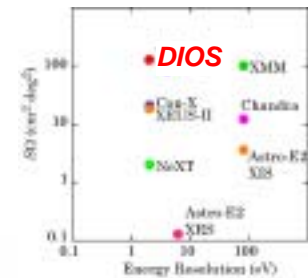
多重薄板型X線望遠鏡

4回反射という新技術により短焦点で広視野を実現



X線マイクロカロリメータ

エネルギー分解能 2eV、冷凍機の使用により長寿命化を図る



コンパクトな衛星で大きなSを実現

# 太陽系外惑星発見の歴史

- 1995年: 主系列星 51 Pegasiの周りに惑星を発見 (Mayor & Quelos ; 公転周期4.2日)
- 1999年: 主系列星 Andの周りに3つの惑星を発見 (Butler, Marcy & Fisher)
- 1999年: 系外惑星による食の観測に成功 (Charbonneau et al., Henry et al.)
- 2003年1月6日: 食によって発見された最初の系外惑星 (OGLE-TR-56b ; 公転周期1.2日)
- 2004年1月までに約120個の系外惑星

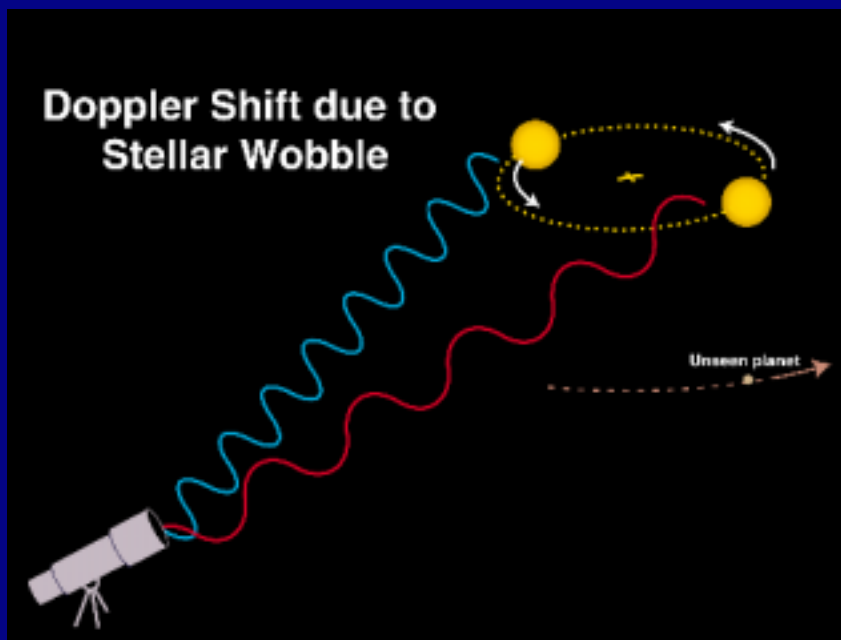
# 系外惑星観測のロードマップ

- 巨大ガス惑星発見の時代
- 惑星大気の実見
- 惑星大気の高精密分光観測による組成決定
- 惑星反射光の検出
- 地球型惑星の実見
- Biomarkerの同定 (e.g., **extrasolar plant**)
- Habitable planetの実見
- Extra-terrestrial lifeの実見



# 系外惑星発見法：主星の速度変動の分光観測

惑星は直接見えなくても、  
主星の軌道はその影響を受ける

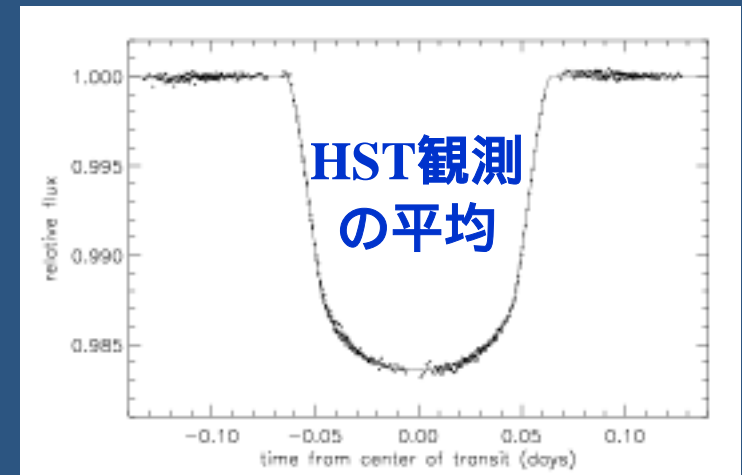
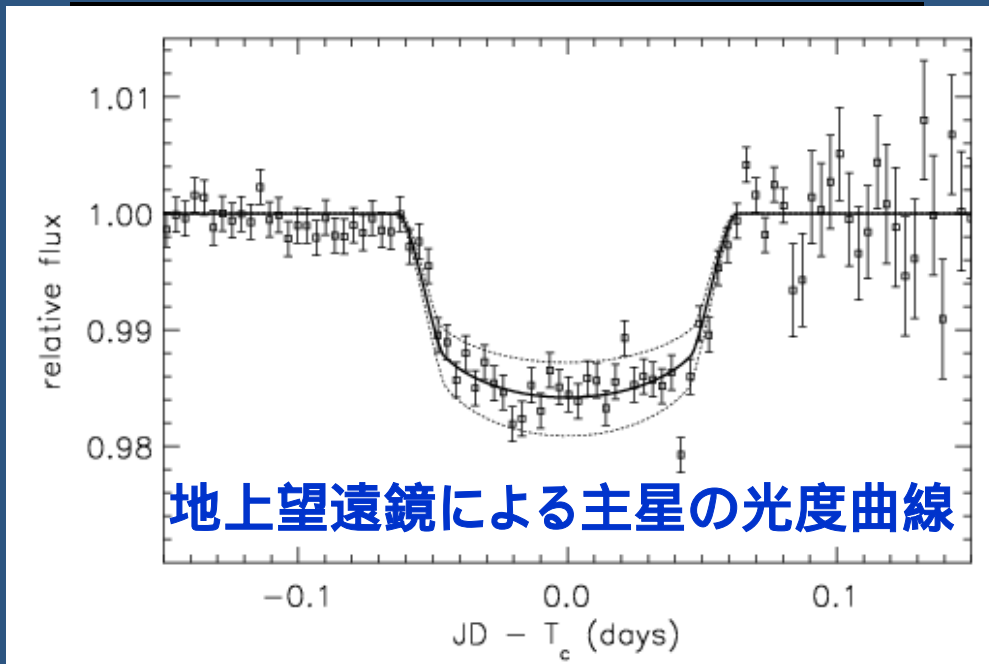
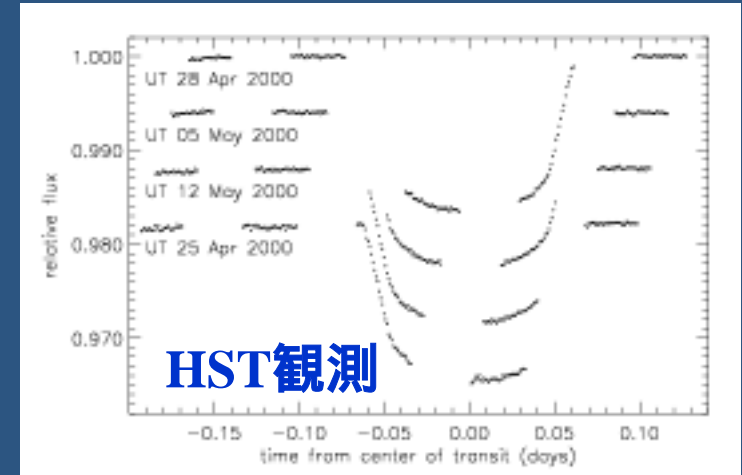


太陽の受ける速度摂動：  
12.5 m/s(木星)  
0.1 m/s(地球)  
(参考) 地球の公転速度  
3万 m/s

地上の分光観測で、3m/s  
程度の精度が実現済み  
現在、木星規模の  
惑星探査の主方法

# HD209458の食の発見

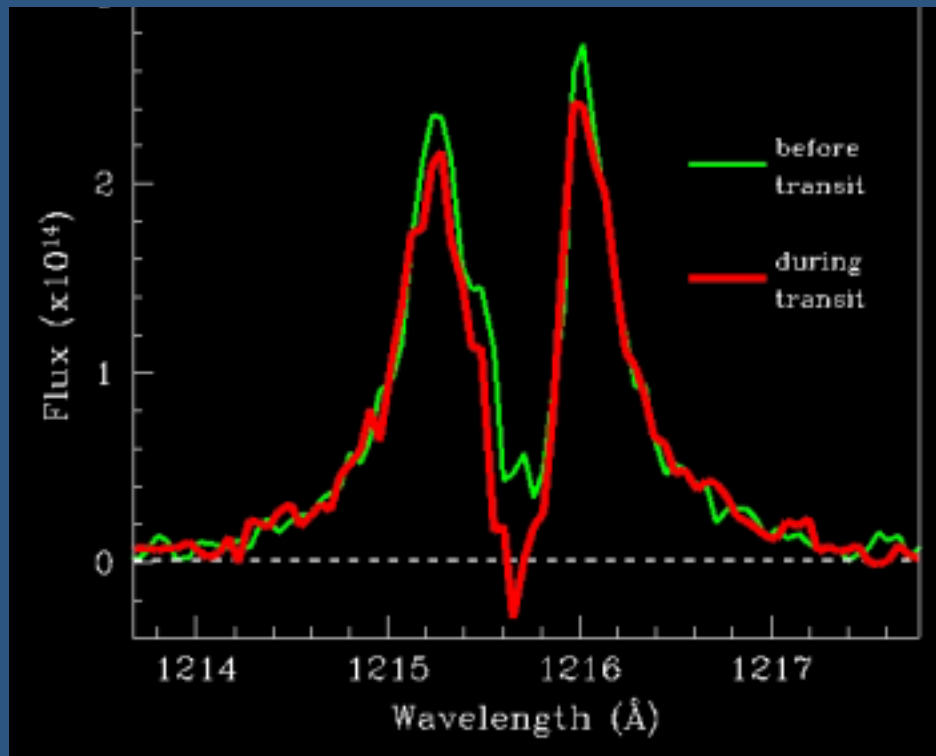
- 速度変動のデータに合わせて惑星の食を初めて検出 (Charbonneau et al. 2000, Henry et al. 2000)



Brown et al. (2001)

# HD209458b: 蒸発 しつつある惑星?

予想以上に大きい水素の吸収  
惑星を広くとりまく水素雲?



Vidal-Madjar et al. Nature 422(2003)143

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/2003/08/>

# すばる望遠鏡 による挑戦



太陽系外食惑星HD209458bからの  
反射光の超高分散分光観測  
2002年10月、2003年7月、8月



須藤 靖、成田憲保 (東京大学)

山田亨、佐藤文衛、青木和光 (国立天文台)

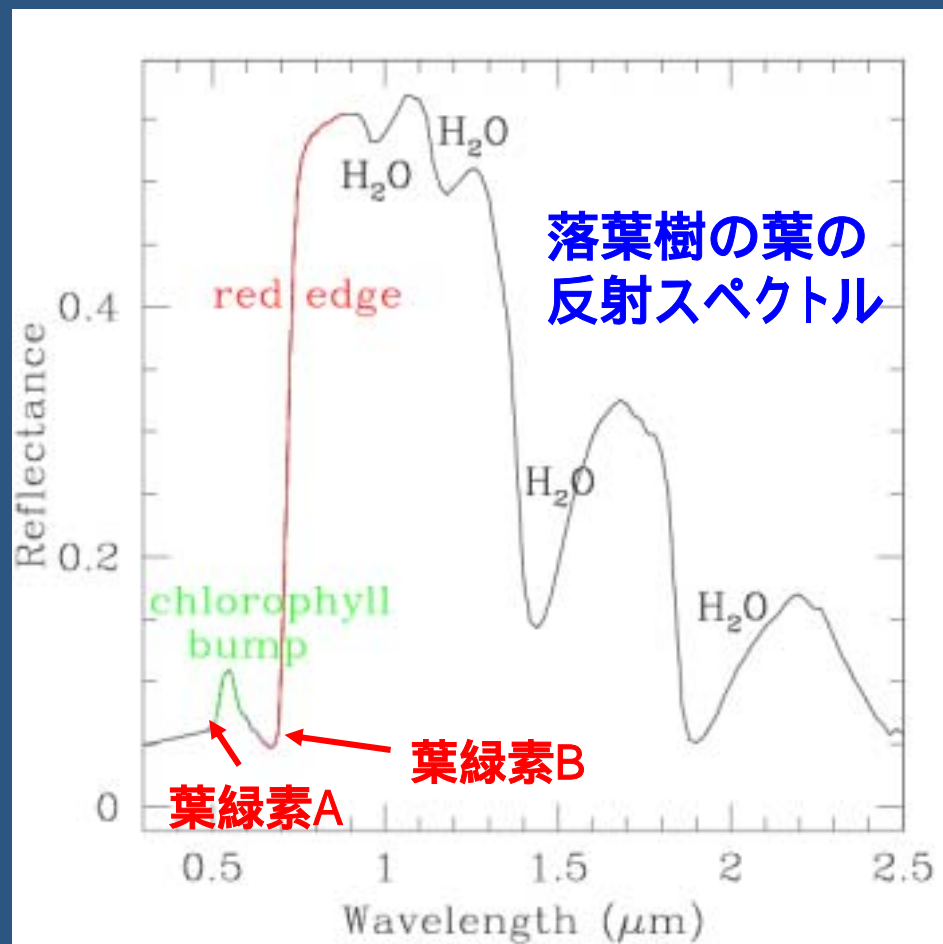
Edwin Turner, Brenda Frye (Princeton Univ.)

Josh Winn (Harvard Univ.; Godfather of QUESTS)



# Red edge of (extrasolar) plants as a biomarker

- 植物は7000 Å よりも長波長側で反射率が急激に増す
- 5000 Å 前後の葉緑素による吸収よりもずっと顕著な特徴
- これをextrasolar planetにおけるbiomarkerとして使えないか？ (**extrasolar plant** as a biomarker in extrasolar planets)



Seager, Ford & Turner  
astro-ph/0210277

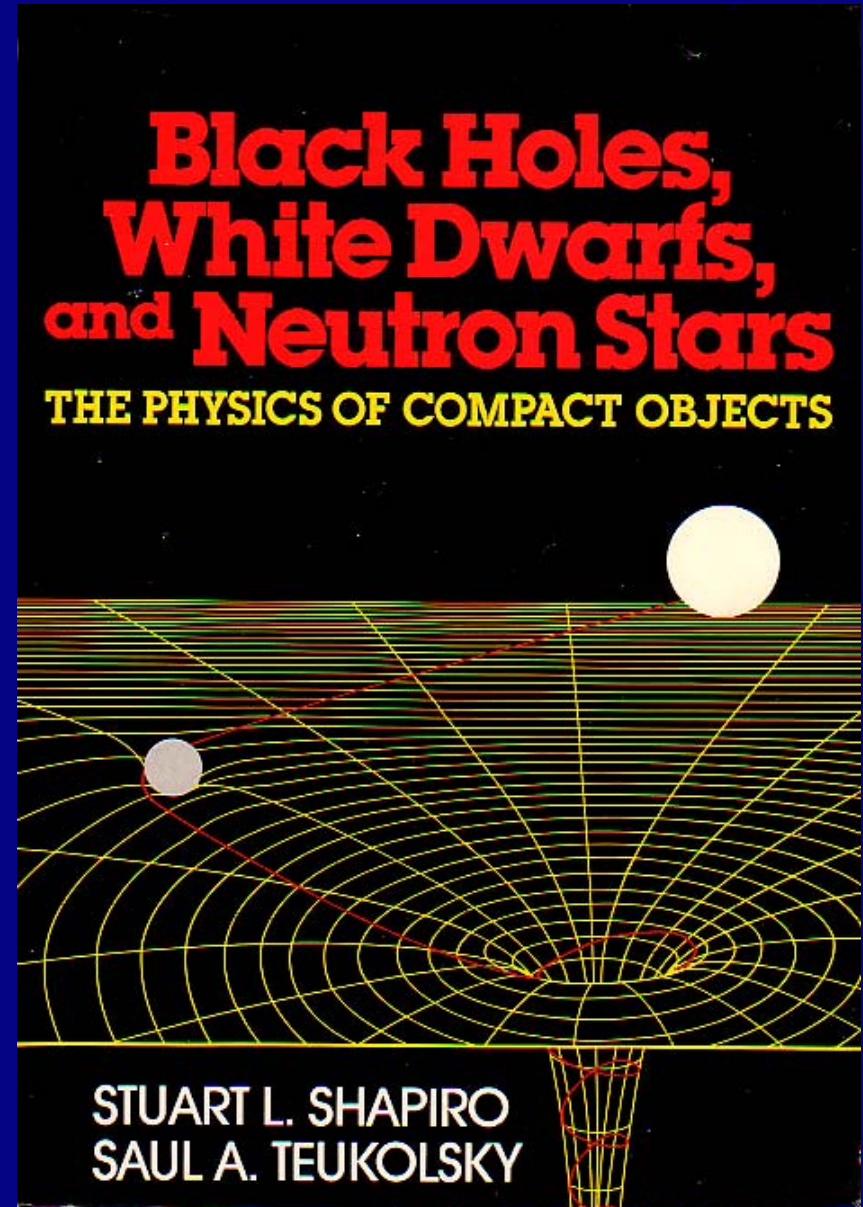
## 前期理論演習（佐藤・須藤研合同）

- フリードマン宇宙モデル、宇宙の熱史とニュートリノの温度、ビッグバン元素合成、宇宙の再結合、などを中心とした宇宙論の基礎的事項に関していくつかのテキストを輪講する。
- 輪講トピックおよび参考文献一覧のコピーが樽家助手@923号室のところにあるのであらかじめ受け取っておくこと。

# 後期理論演習

## その1

- S.L.Shapiro and S.Teukolsky  
“Black Holes,  
White Dwarfs and  
Neutron Stars”  
の輪講



## 後期理論演習その2

- 希望者がいれば、宇宙生物学、太陽系外惑星に関する文献輪読および計算機によるシミュレーションを行う（担当：須藤）
- 2003年度 「Intelligent Life in the Universe」の輪読とGalactic colonization 数値実験プログラム作成
- 2002年度 スローンデジタルスカイサーベイ銀河地図の可視化プログラム作成
- 2001年度 希望者なし
- 2000年度 Galactic colonization 数値実験プログラム作成(未完成)