

宇宙理論研究室ガイダンス

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2008j.html

2008年2月13日

教授： 佐藤勝彦

(素粒子的宇宙論、天体核物理)

助教： 向山信治

(相対論、ブレイン宇宙論)

教授： 須藤 靖

(観測的宇宙論、太陽系外惑星)

助教： 樽家篤史

(観測的宇宙論、重力波)

宇宙理論研究室での研究内容

■ 初期宇宙論・相対論

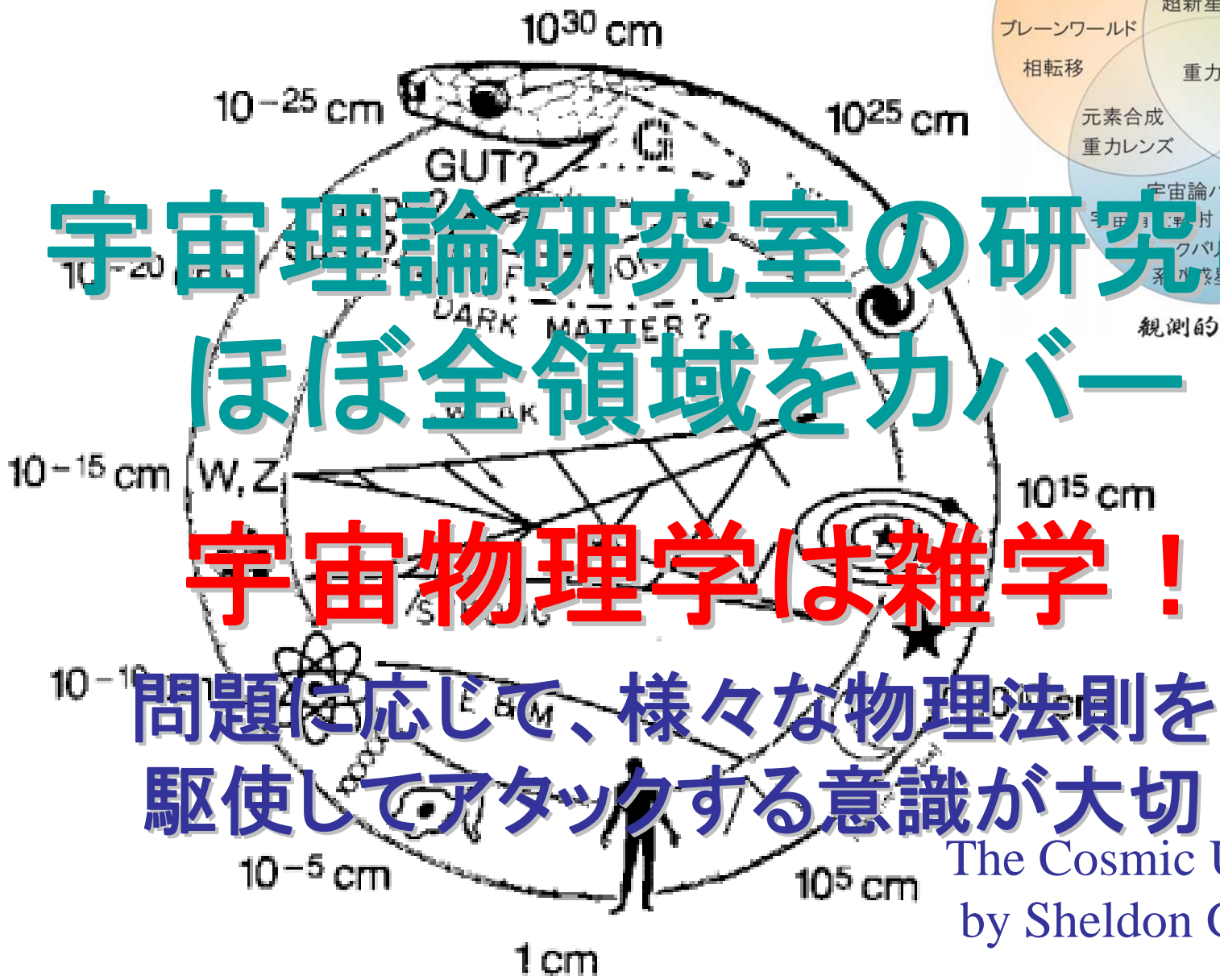
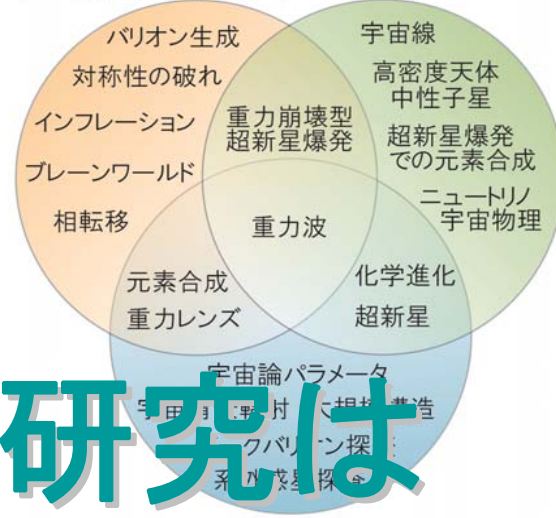
- インフレーション理論
- 多次元/ブレーン宇宙論
- 重力波

■ 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

- 宇宙のダークエネルギー探査
- 宇宙のダークバリオン探査衛星(DIOS)
- 太陽系外惑星



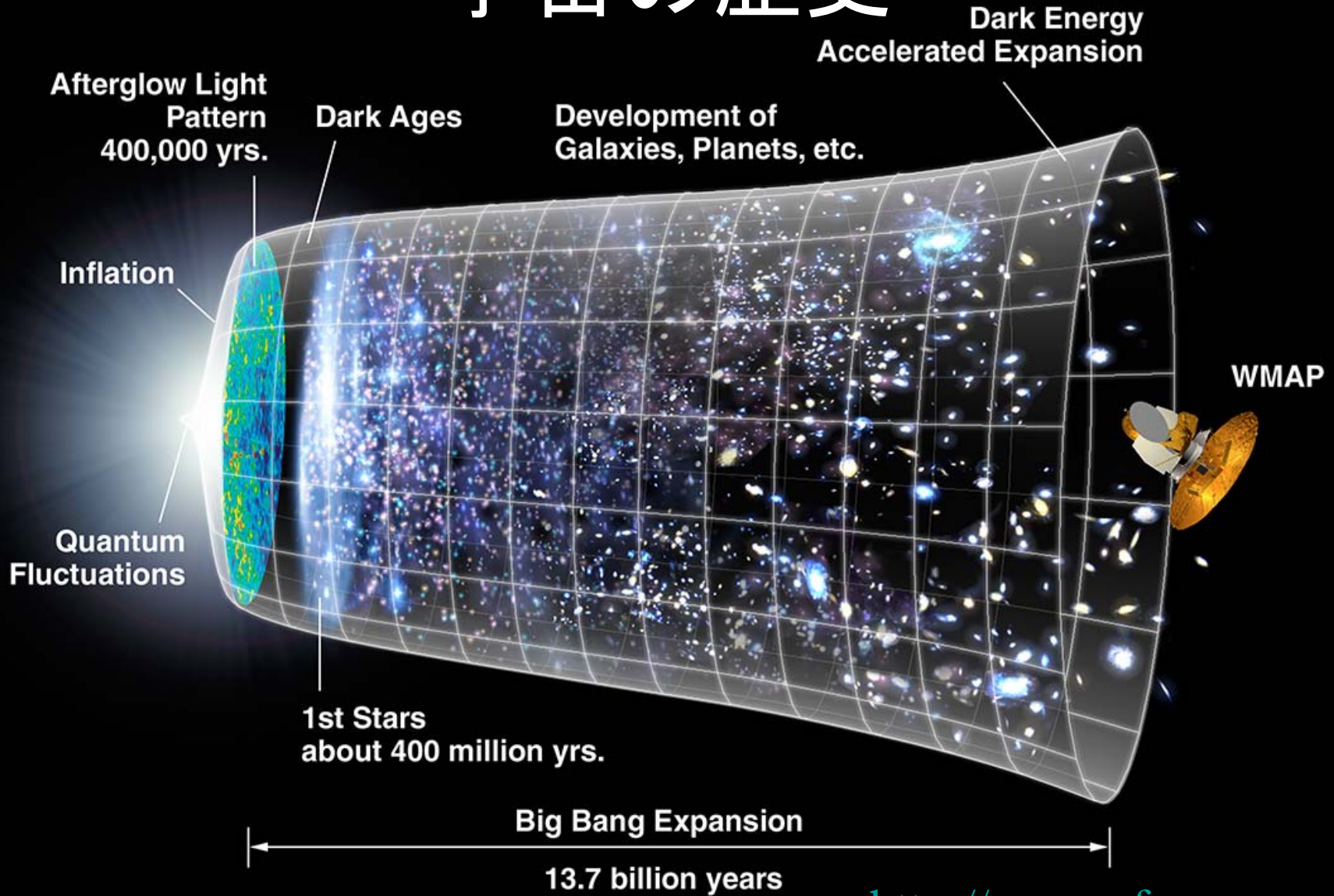
宇宙理論研究室の研究は ほぼ全領域をカバー

宇宙物理学は雑学！

問題に応じて、様々な物理法則を
駆使してアタックする意識が大切

The Cosmic Uroboros
by Sheldon Glashow

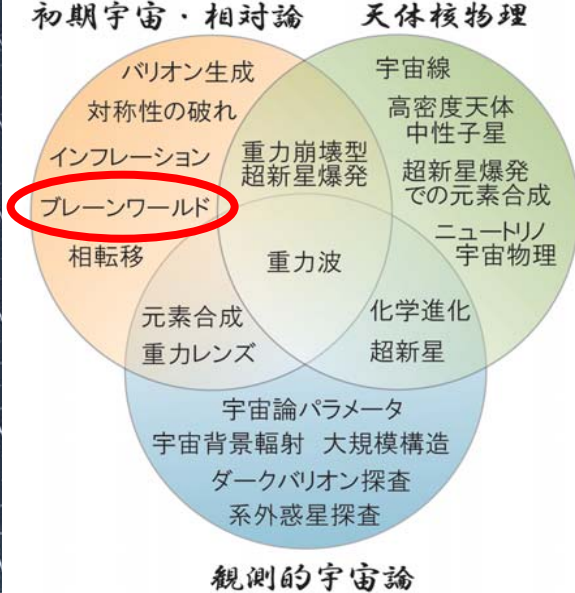
宇宙の歴史



ブレーンワールド

アインシュタインの夢

- ・重力は一般相対性理論によって幾何学によって記述
- ・他の力も幾何学で重力と一緒に統一的に理解できないか？



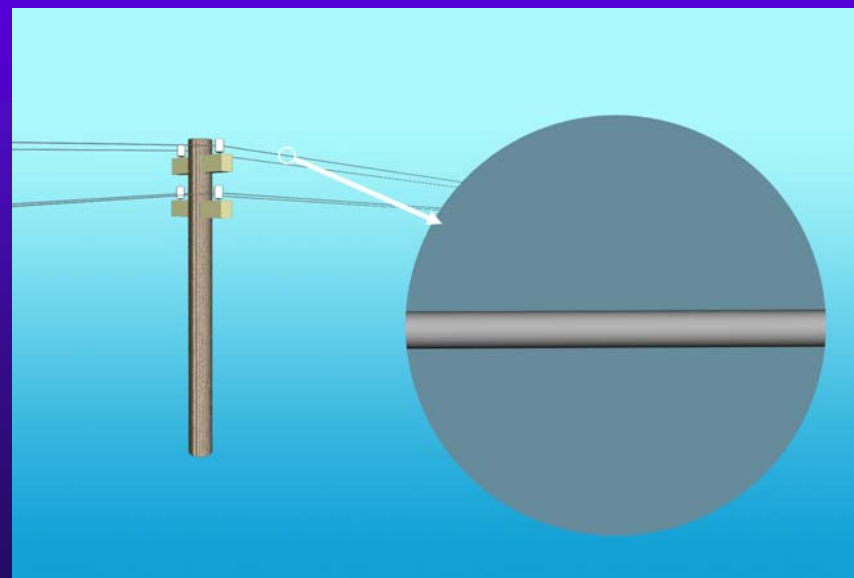
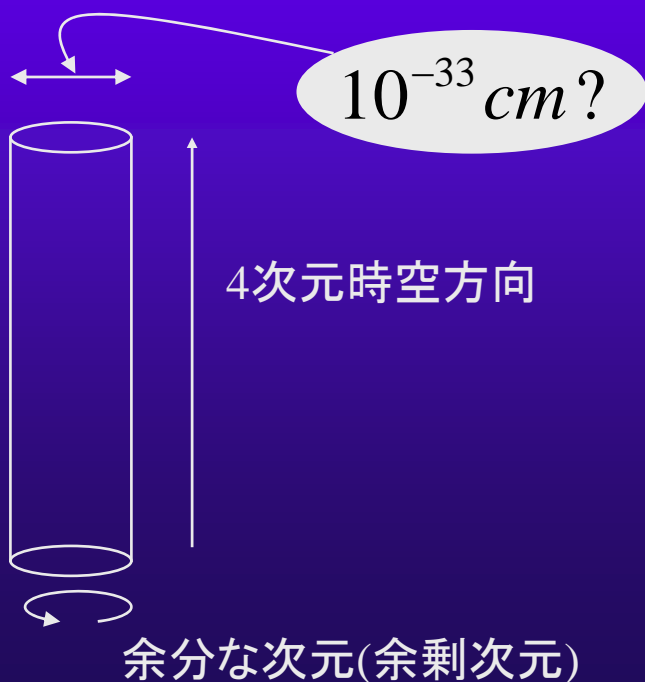
カルツァ・クライン理論

カルツァ クライン

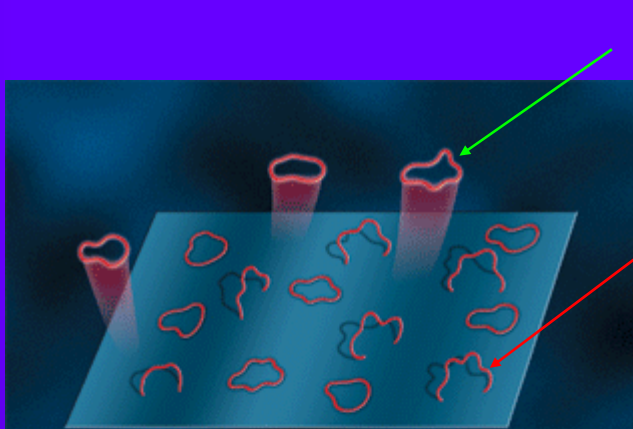


～ 重力と電磁気力を5次元時空で統一 ～

- ◆ 5次元時空で重力と電磁力を**平等**に扱う
- ◆ 4次元時空は、余分な1次元(余剰次元)を小さくコンパクト化することで実現される。



ブレーン上の世界(宇宙)



重力

物質

物質はブレーン上に張り付いている



余剰次元方向

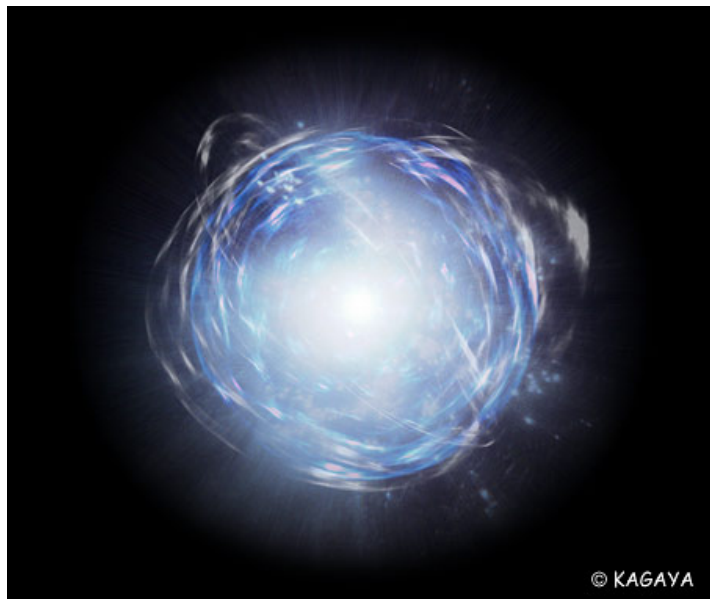
我々の3次元宇宙は高次元空間を運動するブレーン

超弦理論から予想される自然な宇宙像



超新星爆発の研究

初期宇宙・相対論 天体核物理

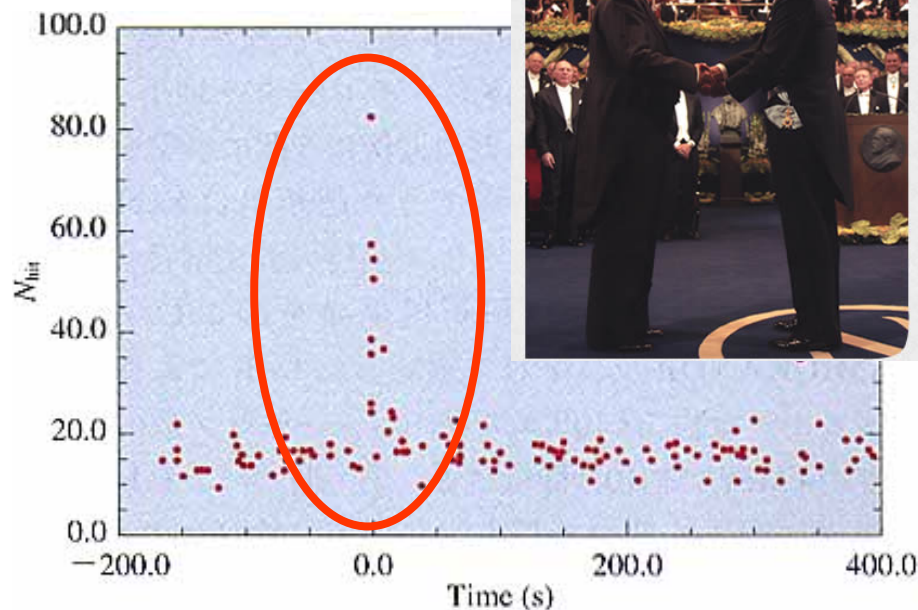


核燃焼を終えた重い星の
最期の大爆発

太陽の100億倍もの明るさ

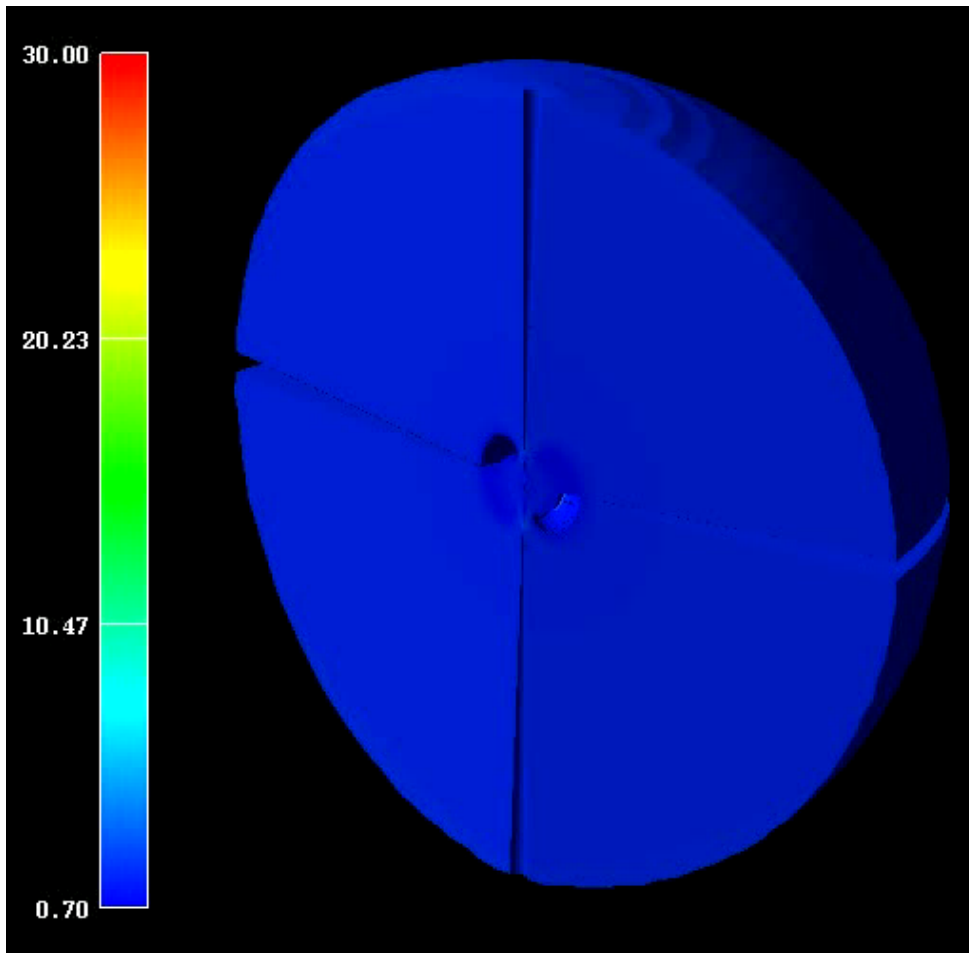
観測的宇宙論

核反応でニュートリノが放出
高エネルギー物理の実験場



超新星1987Aからのニュートリノ検出

超新星爆発の磁気流体シミュレーション



超新星爆発の原理の解明

自転、磁場など形状が重要

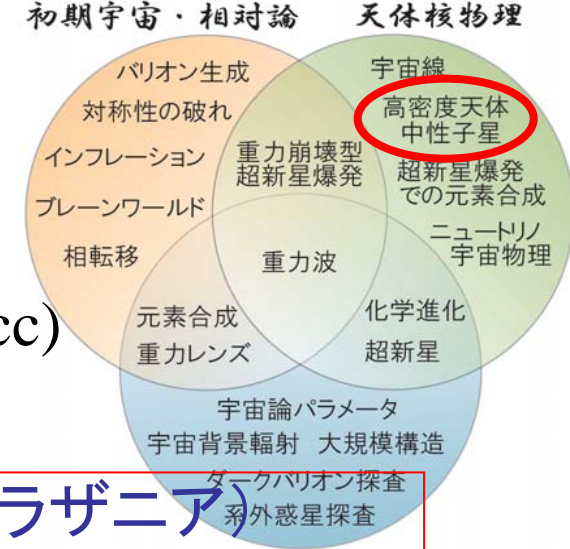
大規模シミュレーションが必要

強磁場中性子星が残される
ような計算でジェット状の爆発
が生じることを示した

星の断面 エントロピー(温度の高いところ)

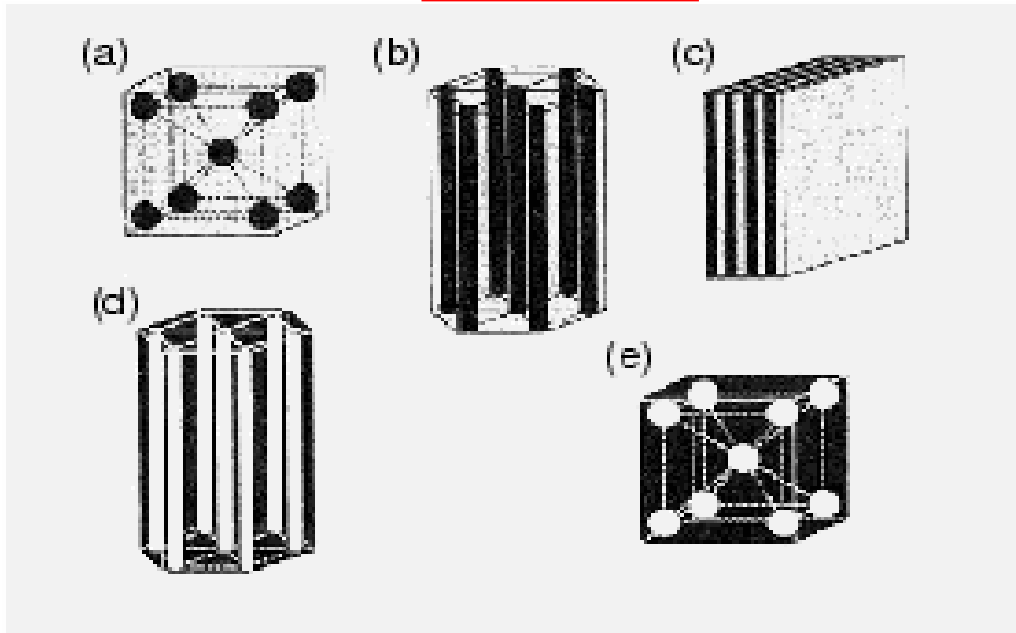
超新星・中性子星内の核物質 質パスタ相

超新星・中性子星などの高密度領域($\sim 10^{13}$ g/cc)
では原子核の形状が変化する



球(ミートボール) → 棒(スパゲティ) → 板(ラザニア)
→ 棒状バブル(アンチスパゲティ) → 球状バブル(チーズ)
→ 一様核物質

パスタ相



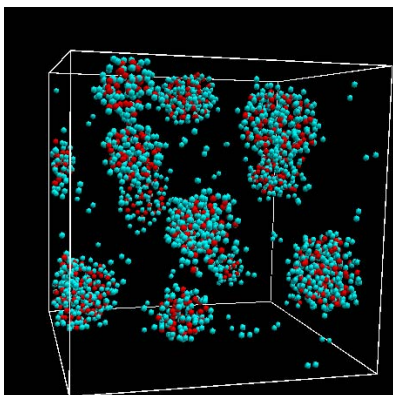
パスタ相の
イメージ図
(K. Oyamatsu
Nucl. Phys. A
561, 431(1993))

シミュレーションで再現する 原子核 pasta 相の姿

量子分子動力学法による高密度核物質のシミュレーション

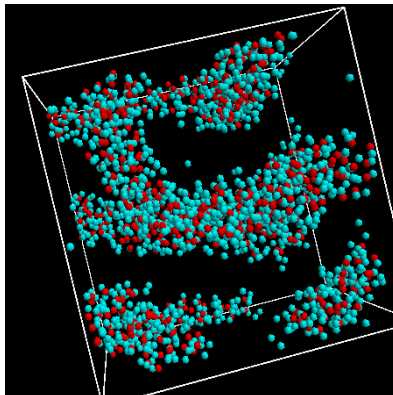
球

$0.100 \rho_0$



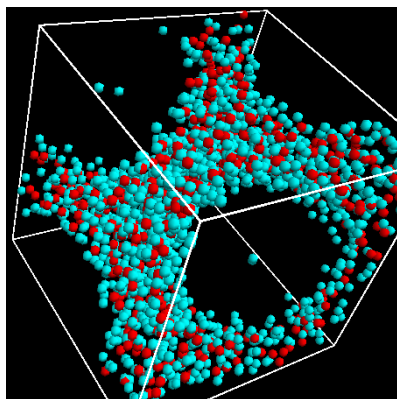
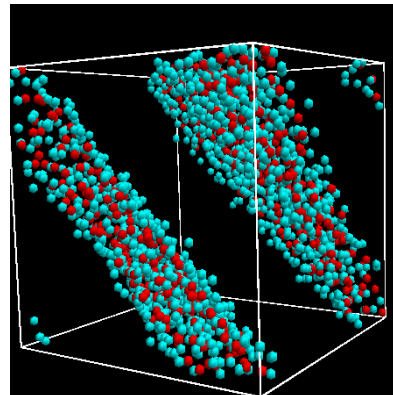
棒

$0.200 \rho_0$



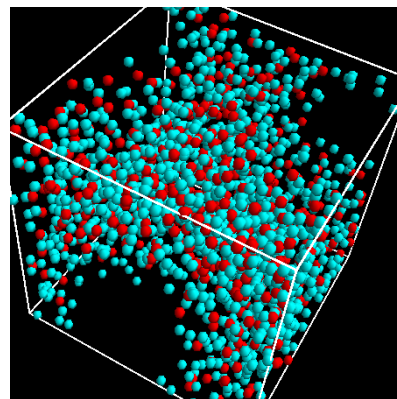
板

$0.393 \rho_0$



棒状バブル

$0.490 \rho_0$



球状バブル

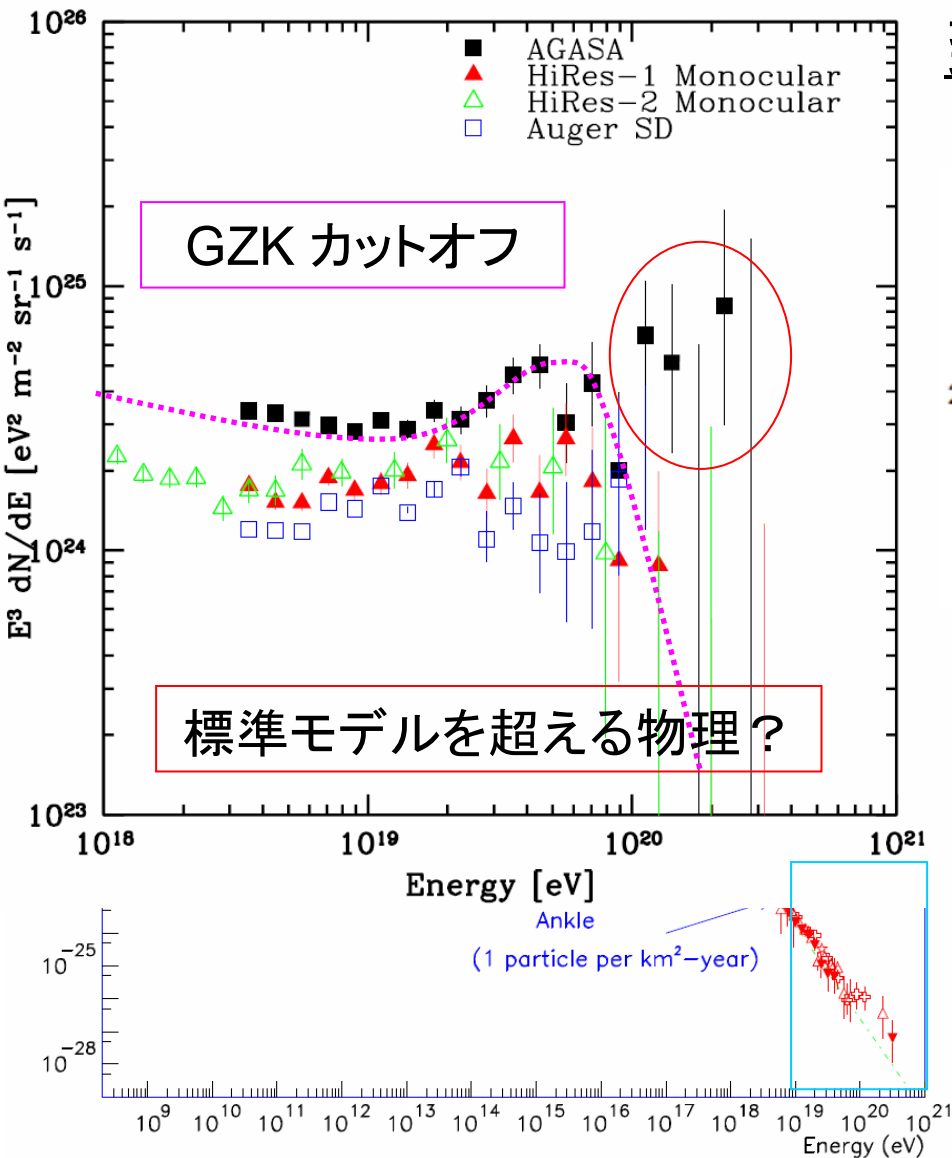
$0.575 \rho_0$

赤: 陽子
青: 中性子

$\rho_0 = 0.168 \text{ fm}^{-3}$
(核子の数密度)

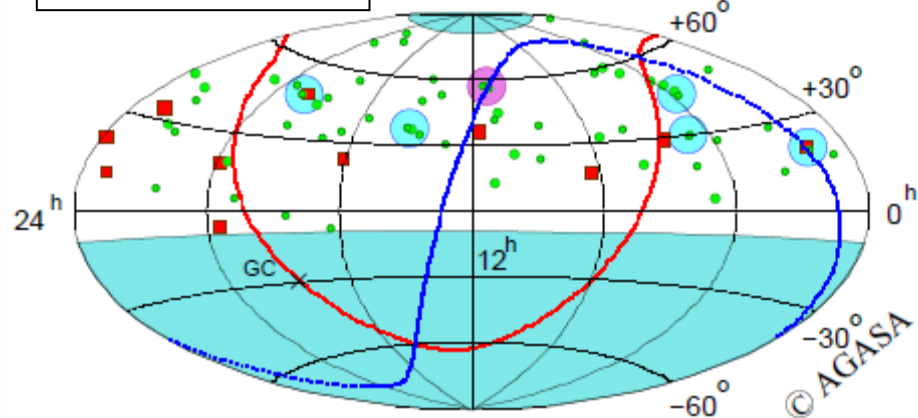
最高エネルギー宇宙線

エネルギースペクトル



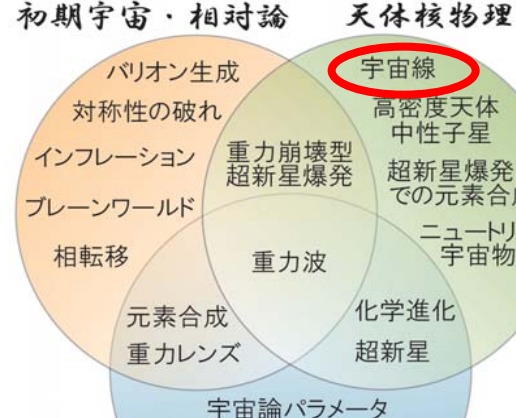
到来方向分布

$E > 4 \times 10^{19} \text{eV}$



最高エネルギー成分で
小スケールの非等方性
➡ ソースの情報?

荷電粒子での最高エネルギー
天文学が議論されつつある
(Takami H. & Sato K., 2007)



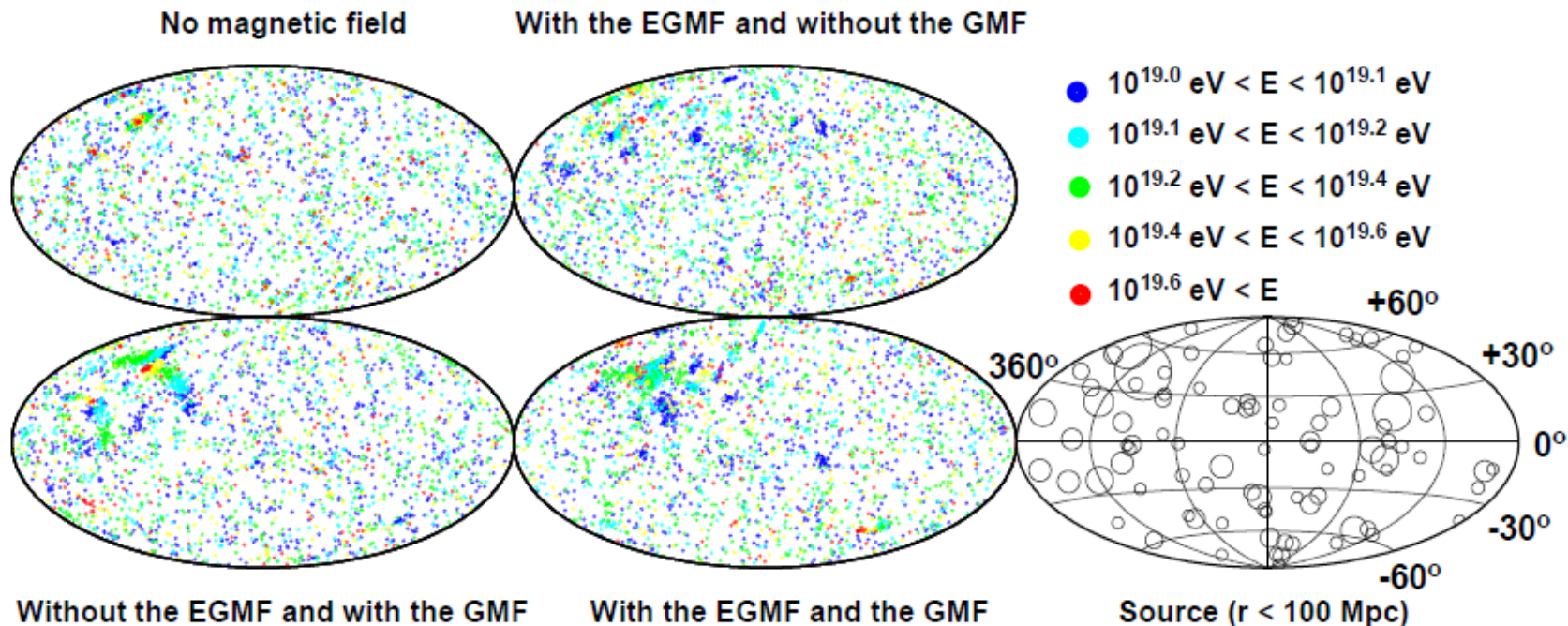
宇宙線の伝播

- 宇宙線の伝播過程に注目し、ソースに関する物理を探究
- 最高エネルギー粒子による天文学の模索

到来方向分布



$$n_s \sim 10^{-4} - 10^{-5} \text{ 個 Mpc}^{-3}$$



(Takami et al. 2006)

科学を学ぶ意味

- 既存の謎を解明する(問題に答える)よりも、**新たな謎を発見(世の中の不思議さに感嘆)**するほうが本質的
- 当たり前とされていることでも一度は疑ってみる
 - みんなが言っているからではなく自分で納得する
 - **学習**(学んでくりかえす)・**勉強**(つとめはげむ)から**学問**(学びて問う)へ
- **正しいことと間違っていることを自分で見極める**
 - 真実を合理的に理解し納得する
 - 変な人(詐欺師、政治家、官僚、教員)に騙されない

研究者に向いている人

- 大学(院)入学までに行う試験での評価基準
 - 正解が存在することがわかっている問題を
 - 決められた時間内に
 - 一人だけで何も見ず
 - すべての科目を万遍なく
- これらは研究(のみならず人生)と「矛盾する」制約
 - 試験での秀才が必ずしも優れた研究者にはなっていない
- 人間の才能は1次元の数値(全教科の総合得点)ではなく、多次元空間で表現すべきもの
 - 必ずしも(とびぬけて)優秀である必要はない
 - 何でも良いから余人をもって代えがたい度合いが重要
- ただし研究が好き・楽しめることが大前提

役に立つ学問と役に立たない学問

- 「役に立つ」となぜ良いか
 - 生活を便利にする⇒自由な時間が増える⇒人生を楽しむ(趣味、音楽、芸術、文学、科学)
 - 新しい技術が「売れる」⇒「儲ける」⇒「好きなもの」が買える⇒人生を楽しむ(趣味、音楽、芸術、文学、科学)
- 人生の究極的な目的を突き詰めるとむしろ「役に立たない」ものに帰着するのが普通
 - 狭義の「役に立つ」は、結局は広義の「役に立たない」を楽しむという文脈においてのみ、その存在価値が正当化される
- このような私の価値観は、科学者の間ですらほとんど)受け入れられていない(むしろ失笑をかうことが多い)
 - しかし、「役に立たない」学問を、その波及効果、あるいは「100年後に役に立つ」学問を生み出すという理由だけで正当化する陳腐な論調は間違っていると思う

Henri Poincaré

(Science et méthode, 1908)

- *Le savant n'étudie pas la nature parce que c'est utile, il l'étudie parce qu'il y prend plaisir et il y prend plaisir parce qu'elle est belle. Si la nature n'était pas belle elle ne vaudrait pas la peine d'être connue, la vie ne vaudrait pas la peine d'être vécue.* (The scientist does not study nature because it is useful to do so. He studies it because he takes pleasure in it, and he takes pleasure in it because it is beautiful. If nature were not beautiful it would not be worth knowing, and life would not be worth living.)

Richard Feynman

(The Feynman lectures on physics, volume III,
Feynman's Epilogue)

- Finally, may I add that the main purpose of my teaching has not been to prepare for some examination -- it was not even to prepare you to serve industry or the military. I wanted most to give you some appreciation of the wonderful world and the physicist's way of looking at it, which, I believe, is a major part of the true culture of modern times. *(There are probably professors of other subjects who would object, but I believe that they are completely wrong.)*
- Perhaps you will not only have some appreciation of this culture; it is even possible that you may want to join in the greatest adventure that the human mind has ever begun.

天文学・宇宙物理学の研究対象

宇宙の大構造

銀河群



矮小銀河



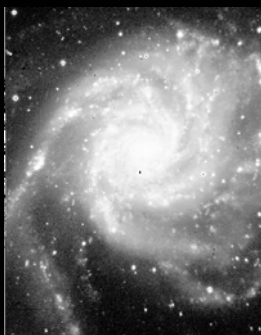
太陽系



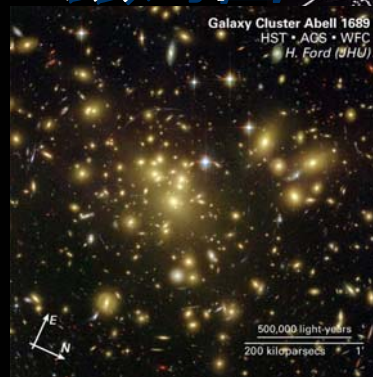
星団



銀河



銀河団



天体諸階層の典型的大きさ [光年]

天文学・宇宙物理学研究テーマの分類

■ 対象別：「XX」の起源と進化

- 「XX」 = 惑星、太陽、恒星、超新星、銀河、活動銀河核（ブラックホール）、銀河団、宇宙、生命・文明

■ 波長別：「YY」天文学

- 「YY」 = 電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線、宇宙線、ニュートリノ、重力波

■ 手法別：

- 理論、観測（地上、気球、ロケット、衛星）、実験、数値シミュレーション

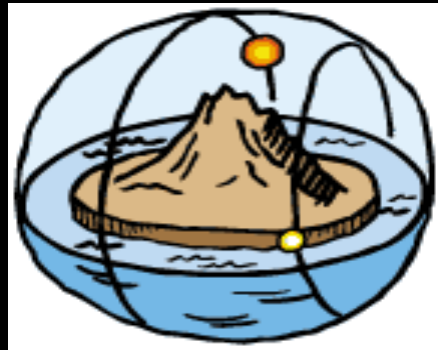
天文学共通の目標： 夜空のむこうの世界を探る

- 我々の世界はどうなっているかを解き明かす

古代エジプトの宇宙像



仏教的宇宙像



古代インドの宇宙像



<http://www.isas.ac.jp/kids/firstlook/index.html>

- 直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる本質的な疑問に挑戦する
 - 宇宙は何からできているか？（宇宙論）
 - もう一つの地球はあるか？（太陽系外惑星研究）
 - 生命はいかにして誕生したのか？（宇宙生物学）



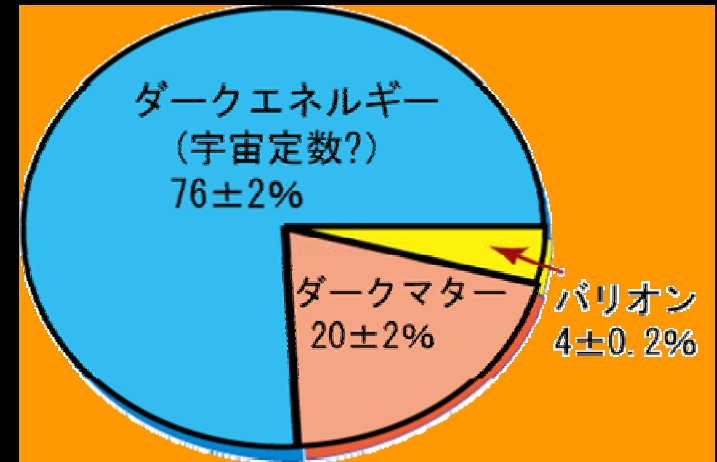
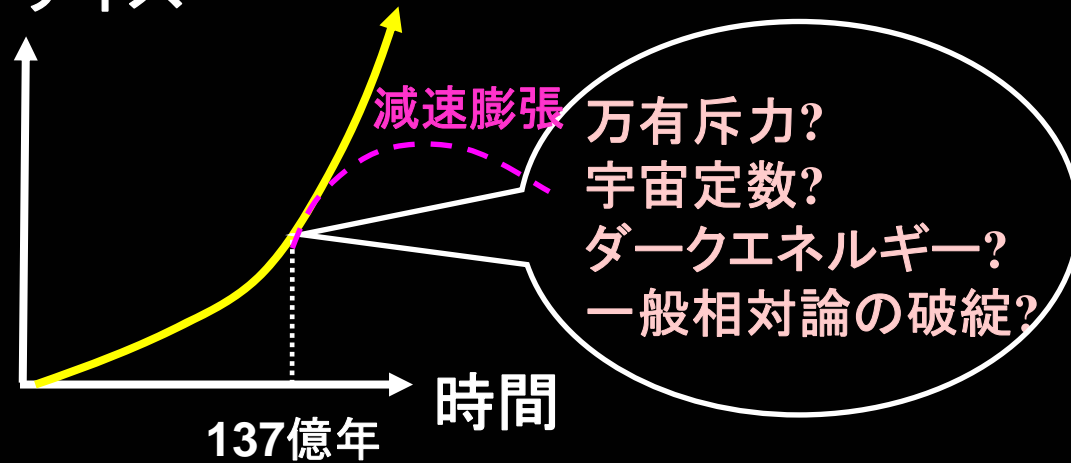
須藤研での研究テーマの例

- **すばる望遠鏡を用いたダークエネルギー探査**
 - 西道啓博、齊藤俊+国立天文台+東大(相原研)他
- **宇宙論的スケールでの重力の逆自乗法則の検証**
 - 白田晶人+東工大
- **バリオン音響振動の摂動論と数値シミュレーション**
 - 西道啓博、齊藤俊+名古屋大学・松原グループ 他
- **ダークバリオン探査専用軟X線衛星DIOS**
 - 河原創+筑波大+首都大東京+宇宙研(満田和久、山崎典子)+名古屋大+東工大 他
- **銀河団ガス分布の解析的モデル構築**
 - 河原創、Erik Reese+首都大東京+東邦大
- **太陽系外トランジット惑星**
 - 国立天文台+プリンストン大+マサチューセッツ工科大+セントアンドリュース大 他

ダークエネルギーと21世紀の物理

宇宙の
サイズ

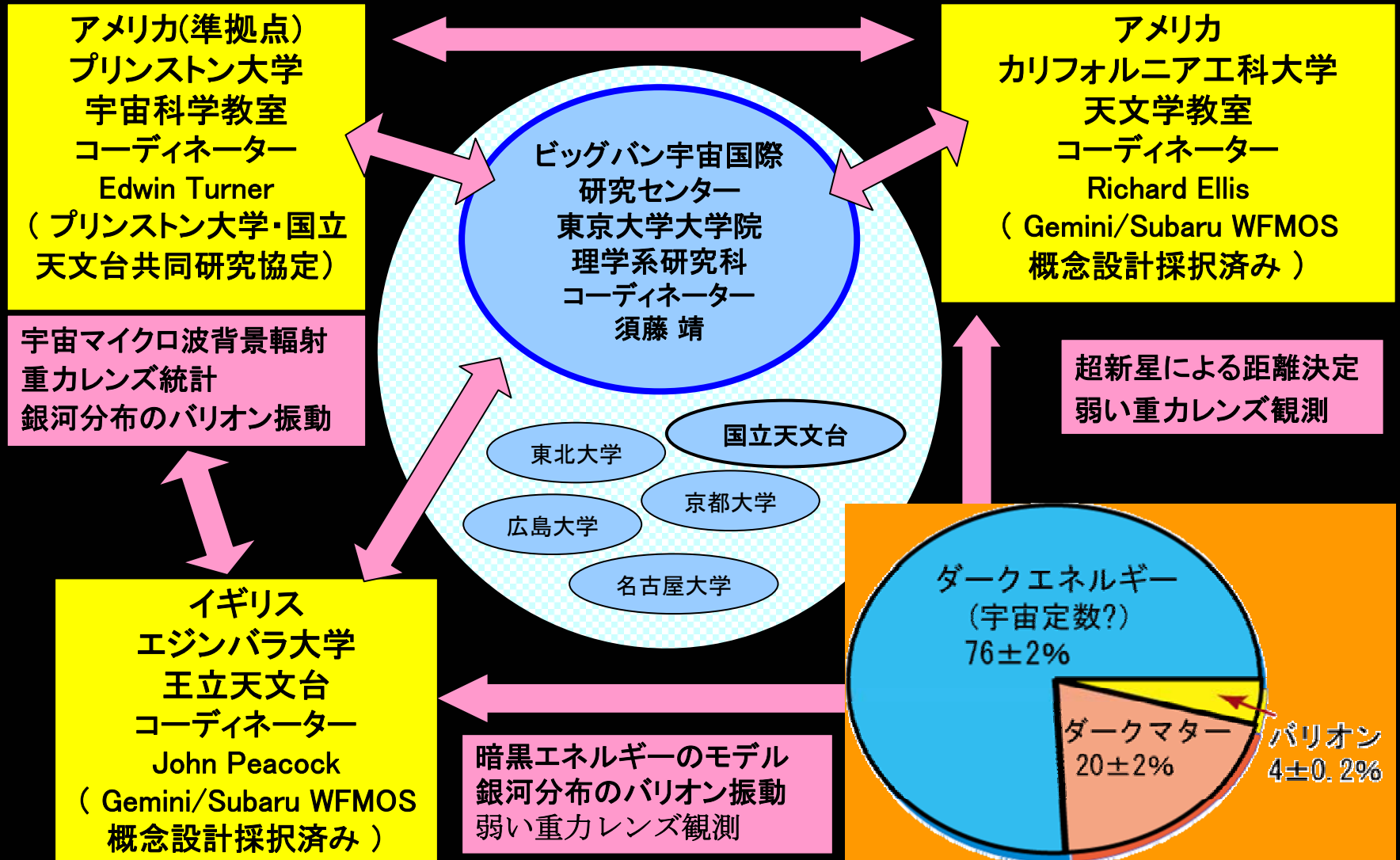
宇宙の加速膨張



- **宇宙の加速膨張の原因は何か？**
 - 万有斥力を及ぼす奇妙な物質(ダークエネルギー)?
 - アインシュタインの宇宙定数(1917年)?
 - 「真空」がもつエネルギー? 21世紀のエーテル?
 - 宇宙論スケールでの一般相対論(重力法則)の破綻
- **いずれであろうと21世紀の物理学を切り拓く鍵**

暗黒エネルギー研究国際ネットワーク

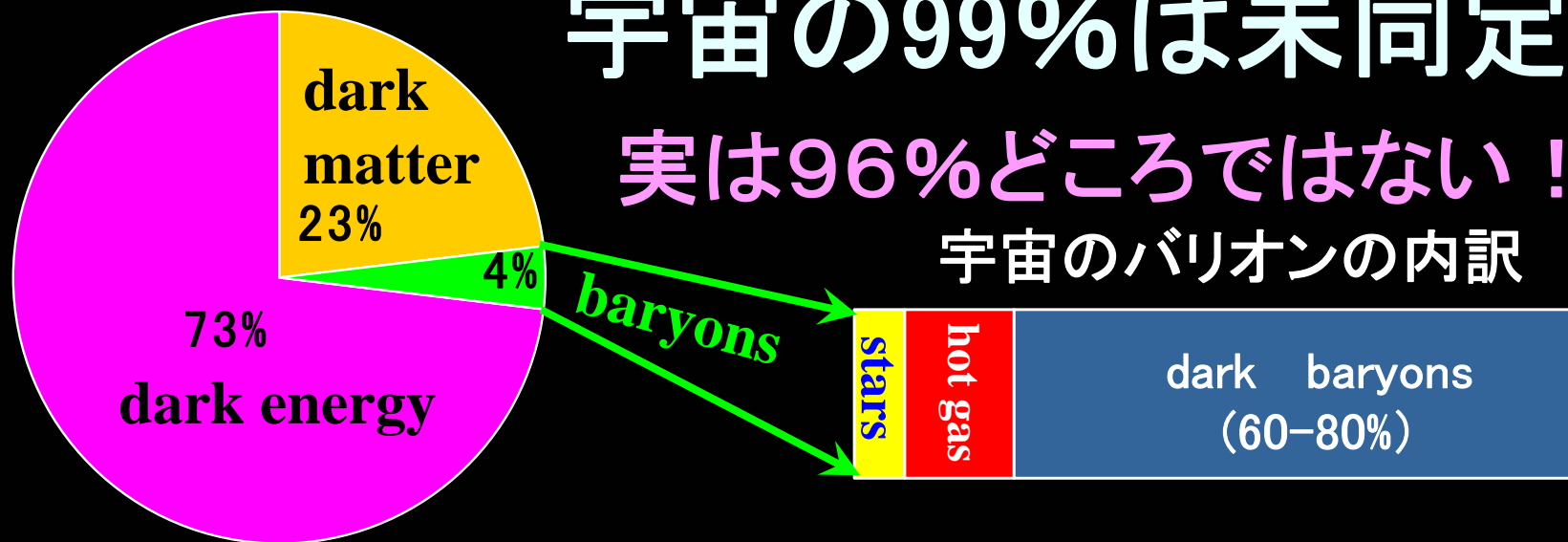
全体コーディネーター: 須藤 靖



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^a

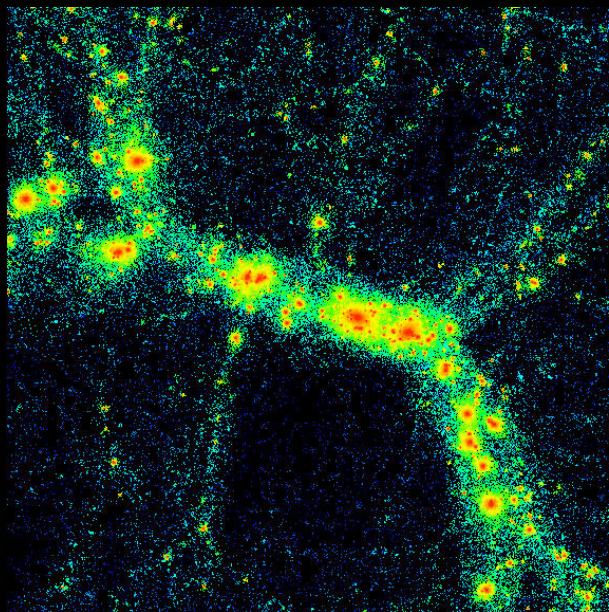
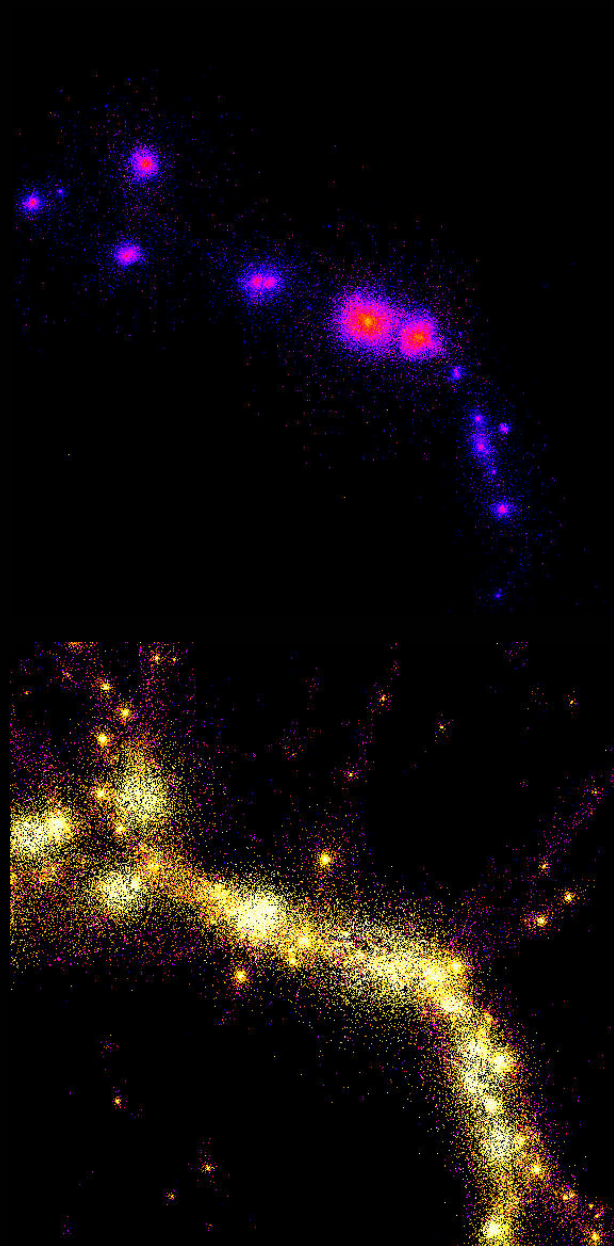
Cosmic Baryon Budget: Fukugita, Hogan & Peebles: ApJ 503 (1998) 518

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



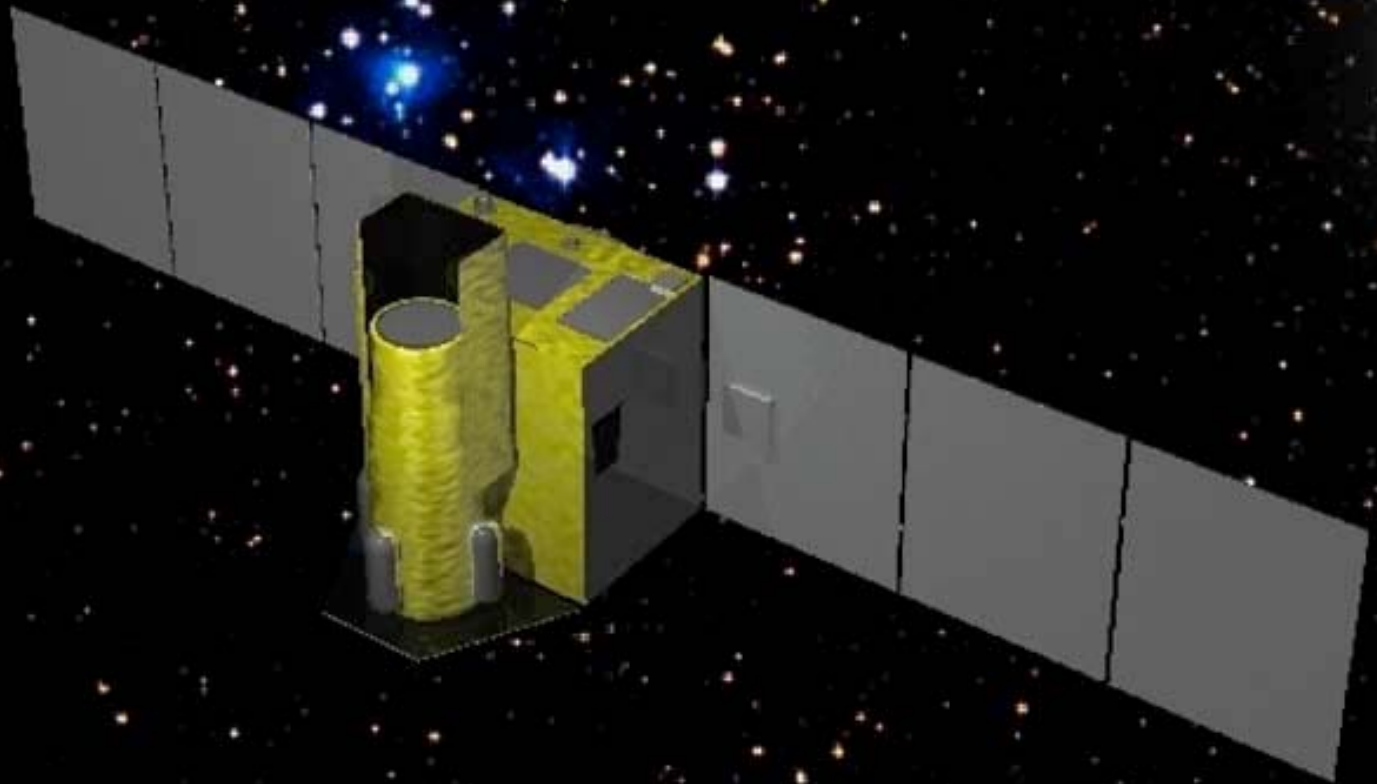
ダークマター

銀河

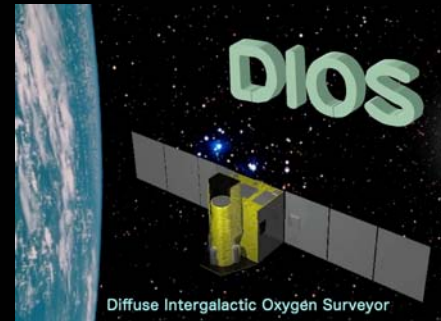


Yoshikawa et al. (2001)

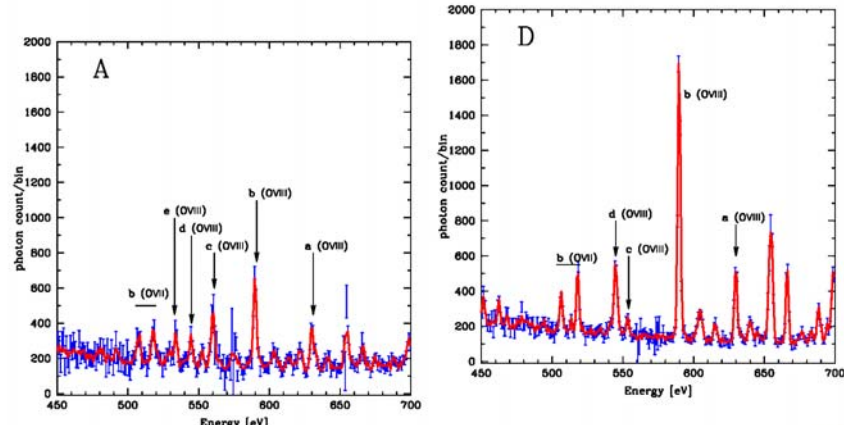
Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



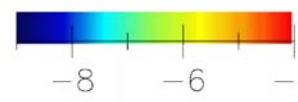
Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)



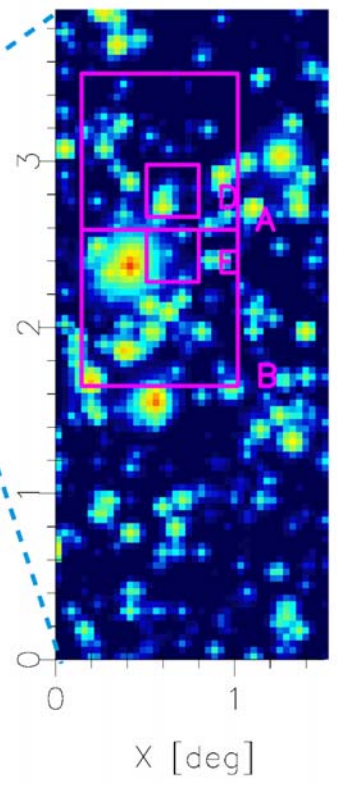
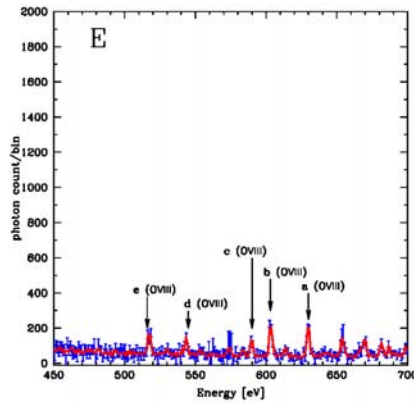
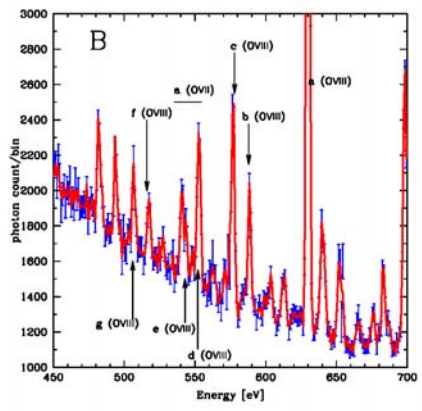
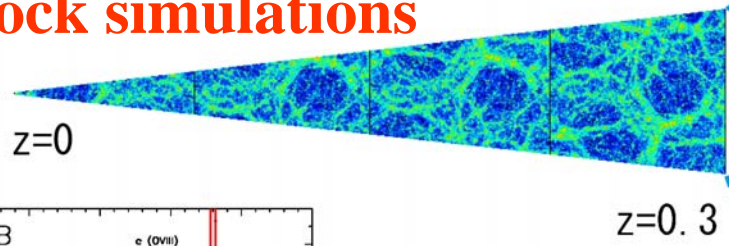
PASJ 55 (2003) 879
PASJ 56 (2004) 939



$\text{Log } S_x \text{ [erg/s/cm}^2\text{]}$



Mock simulations



Tokyo Metropolitan Univ.:

T. Ohashi

JAXA/ISAS:

N. Yamasaki

K. Mitsuda

Nagoya Univ.:

Y. Tawara

Univ of Tokyo:

K. Yoshikawa

Y. Suto

もうひとつの宇宙の果て： 銀河系のどこかに生命を宿した惑星はあるのか？

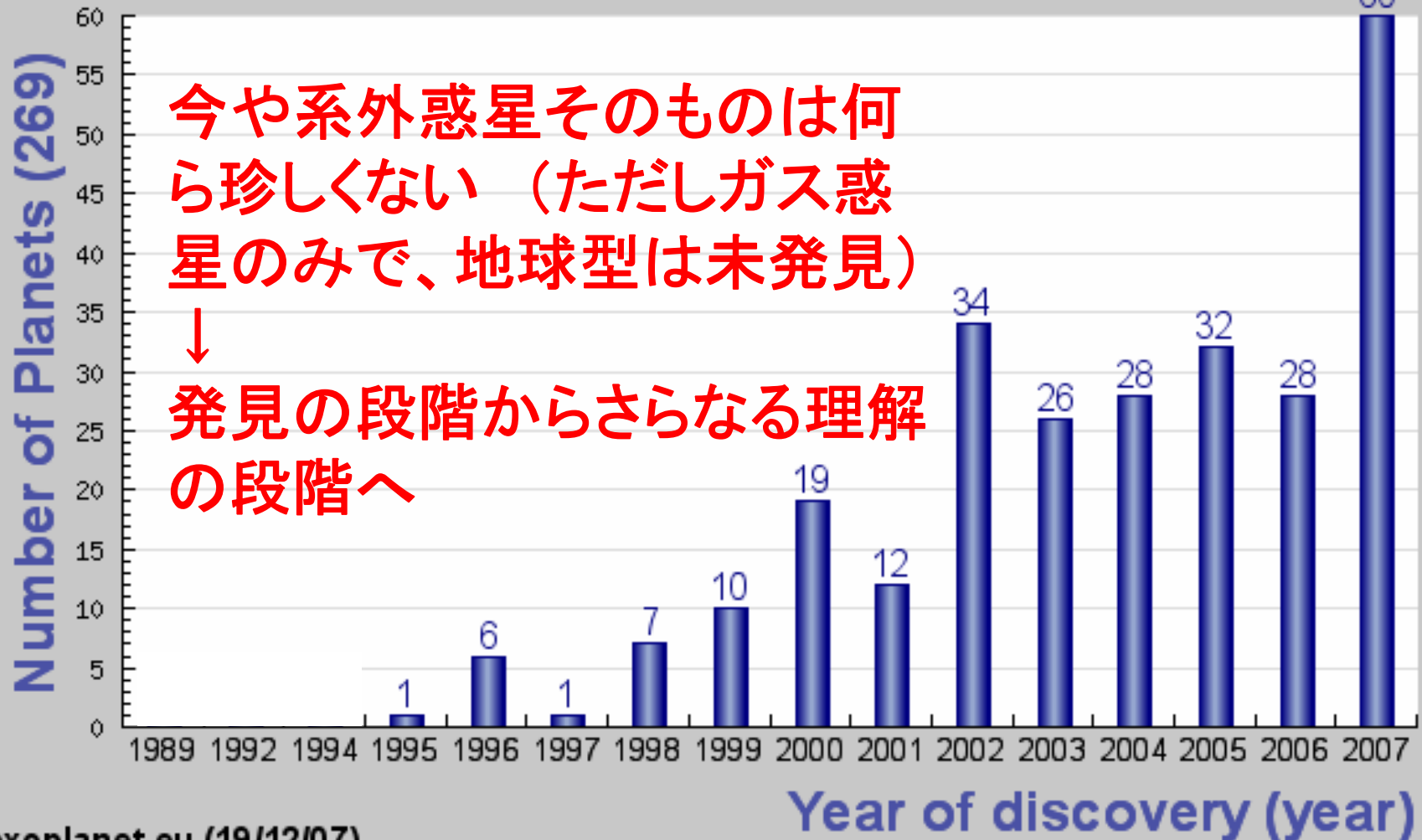
■ 宇宙の果てと太陽系外惑星



- 大望遠鏡は「暗い」天体を観測できる
 - 本当は明るいのだが遠く
にあり暗く見える天体
⇒ 宇宙の果てにある銀河
 - すぐ近くにあるのだが本
当に暗い天体
⇒ 銀河内にある系外惑星

太陽系外惑星の発見数の年変化

Number of planets by year of discovery



今や系外惑星そのものは何
ら珍しくない（ただしガス惑
星のみで、地球型は未発見）



発見の段階からさらなる理解
の段階へ

第二の地球はあるか？



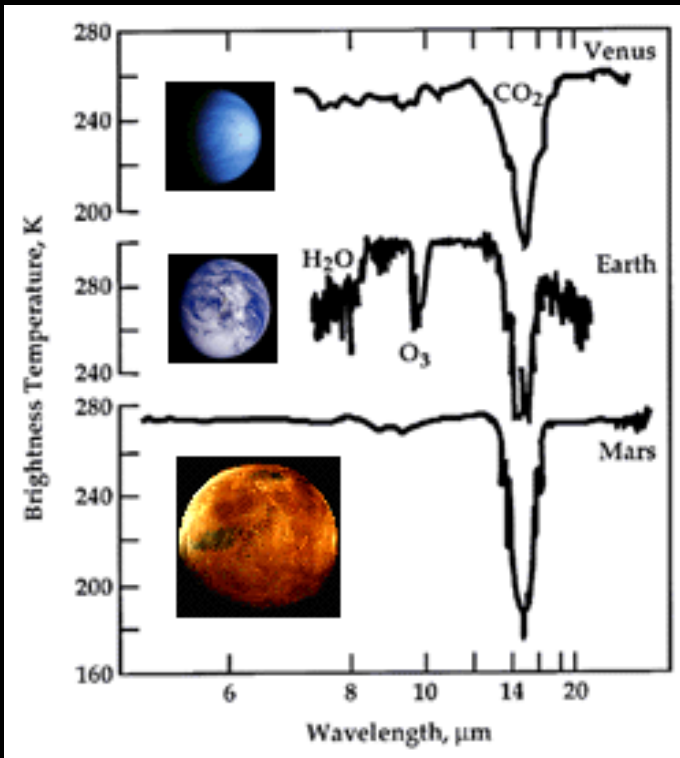
- 生命が誕生するには
 - 適度な温度
 - 大気存在
 - 液体の水(居住可能)
 - +偶然？
- 恒星の周りの地球型惑星を探せ！

Terra衛星のMODIS検出器のデータ

<http://modarch.gsfc.nasa.gov/>

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

太陽系外惑星研究： 今後の10年 “天文学から宇宙生物学へ”



- 木星型ガス惑星： 発見の時代から“characterization”の時代へ
 - 起源、形成、進化の基礎モデル構築
- 地球型惑星の発見へ
- 居住可能惑星の発見へ
 - 水が液体として存在する地球型惑星
- 超精密分光観測の成否が鍵！
 - 惑星の放射・反射・吸収スペクトルを中心星から分離する

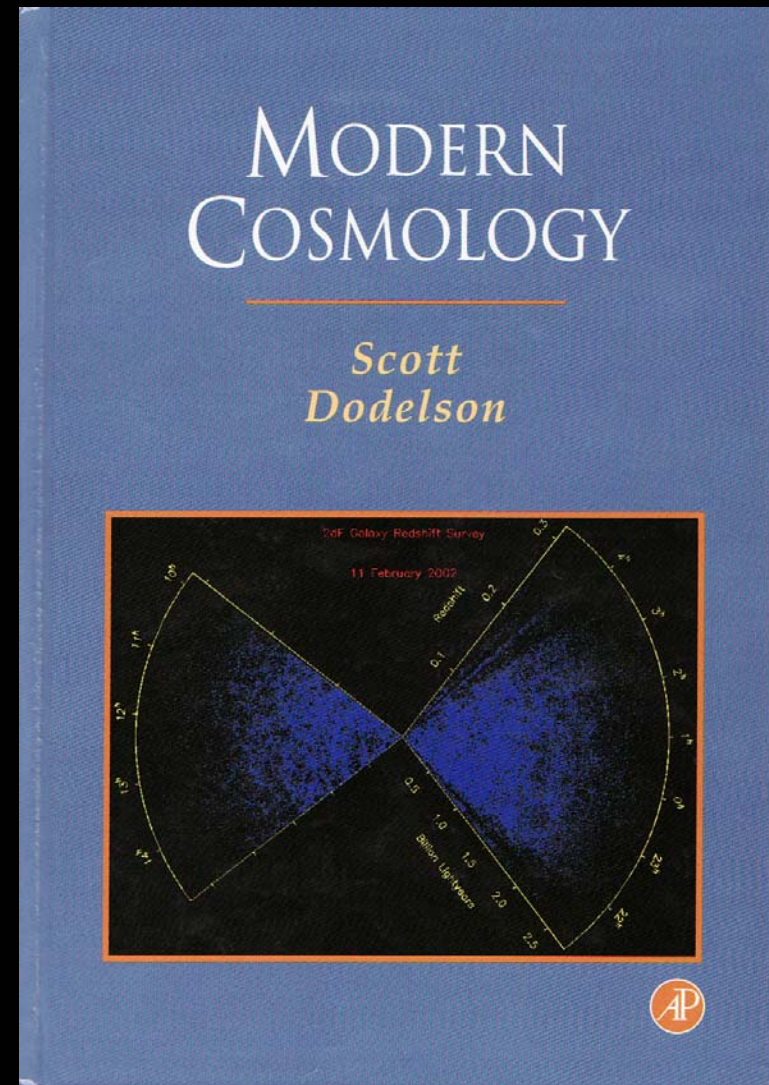
直接見てくることができない距離にある惑星に生物が存在するかどうかを天文観測だけで検証できるか？ Biomarker を特定できるか？

謎解きはまだまだこれから

- 宇宙の果てをみることで自然界の新たな物質階層が明らかとなった
 - 宇宙の20%は暗黒物質、76%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
 - 暗黒物質、暗黒エネルギーの解明は21世紀科学の大目標
- 1995年に初めて太陽系以外に惑星が存在することが発見された(ただしまだガス惑星のみ)。
 - 第二の地球はあるのか？
 - 地球外生物、地球外知的文明は存在するか？
 - 我々の存在は偶然か、必然か？
 - これらが単なる夢物語やSFではなく、科学的(物理+天文+化学+地学+生物)に議論できる時代になってきた！

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テキストを主として輪講する。
- その後、その応用的な宇宙論のトピックを選んでそれを輪講



後期理論演習(佐藤・須藤研合同)

- 広義の天文学・宇宙物理学に関する英語の文献を選び、担当を決めてそれを発表、全員で議論する
- 基本的にはすべて英語でやることにするつもり
- 詳細は第一回目に希望を聞いたうえで決定する