



WF MOSに至る背景と 期待されるサイエンス の概観



すばるユーザーズミーティング WFMOSセッション
2009年1月14日@国立天文台

東京大学 大学院理学系研究科物理学専攻 須藤 靖

目次

1. 今後の天文学
2. WFMOSとは
3. WFMOSのめざす科学
4. 経緯と現状
5. 論点

今後の天文学
(かなりバイアスがかか
かっている)

20世紀天文学の観測的成果

- 宇宙膨張の発見
- 宇宙マイクロ波背景輻射の発見
- クエーサー、パルサー、ブラックホール、 γ 線バースト等、新しい種族の天体の発見
- 連星パルサーからの重力波(間接)検出
- SN1987Aからのニュートリノ検出
- 重力レンズ(強い、弱い、マイクロ)の発見
- 太陽系外惑星の発見
- 宇宙の加速膨張の発見
- 宇宙のダーク成分の発見

21世紀天文学の課題：発見から解明へ

- ダークマターの直接検出
- 重力波の直接検出
- 超新星爆発・ γ 線バーストの物理機構
- 第一世代天体・星形成シナリオ構築
- 宇宙の再電離
- 系外惑星から宇宙生物学へ
- ダークエネルギーの正体の解明

WF MOSとは



WF MOSの要約



■ WF MOS:

Wide-field Fibre Multi-Object Spectrograph

広域分光サーベイによる宇宙論と銀河考古学

- **研究体制**: すばる + Gemini + α の国際協力
- **予算規模とその実現方法**: 検出器は約60億円(?) 望遠鏡改造費を含む全コストを日本と Gemini が折半
- **年次計画**: 2009年5月をめどに日本が方針を決定、2016年頃の完成を目指す

WF MOSプロジェクトの概略

Wide-field Fibre Multi-Object Spectrograph

■ 方法:

- 多天体ファイバー分光器@すばる主焦点
- FoV 1.5度内に(2000~4000)本のファイバー

■ 目的:

- $z=1\sim 3$ の銀河サーベイによる宇宙論、特にバリオン振動を用いたダークエネルギーパラメータの決定
- 銀河系の星のサーベイで銀河系形成史を再構築

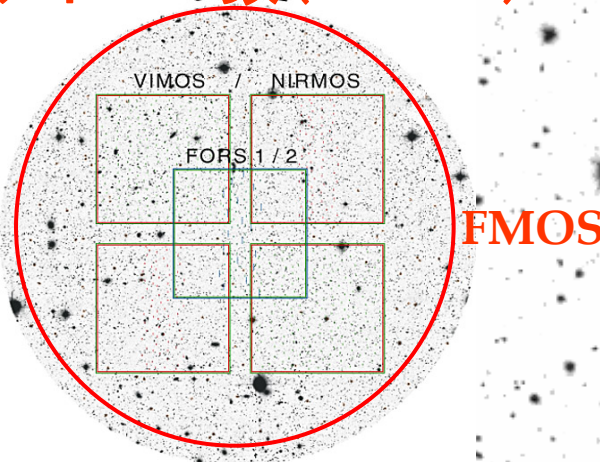
■ 国際競争力:

- 8m望遠鏡、主焦点、多天体分光サーベイ、という3つの特徴を兼ねそなえた他に類をみないプロジェクト

WFMOS

FoVの比較

すばるの現行の可視分光器
FOCASの約100倍、
赤外分光器FMOSの約10倍の
ファイバー数(≒FoV)



口径 1.5度
HSCと同じ
現在のSCの10倍



WFAMOSのめざす科学

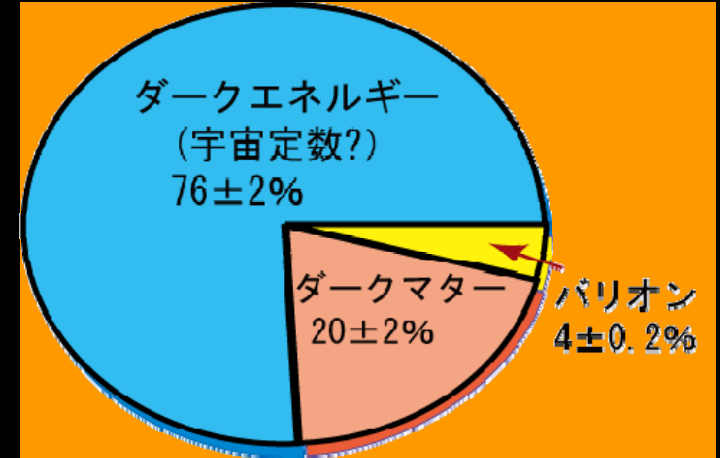
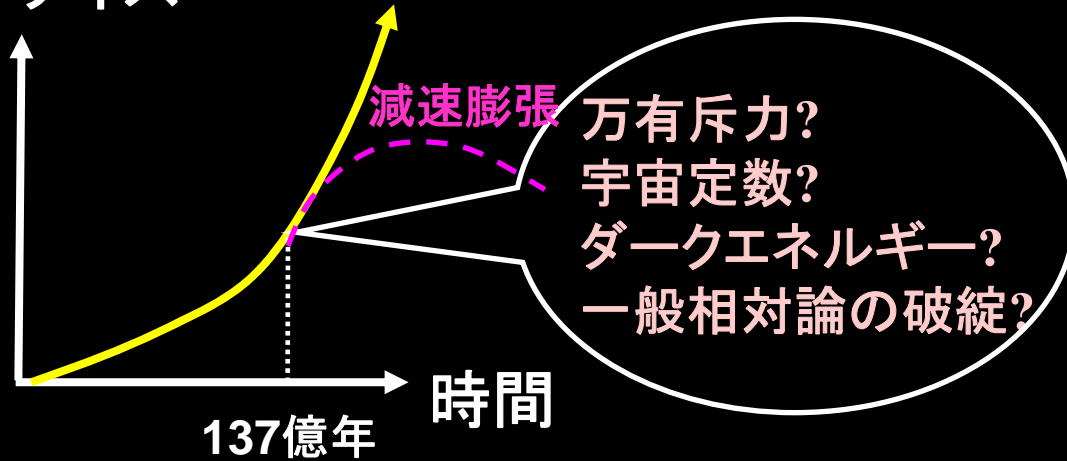
WF MOS: ダークエネルギーの探求

- 4000天体分光器による赤方偏移サーベイ
 - $0.5 < z < 1.3$: emission line galaxies
 - 2×10^6 個/2000平方度 \Rightarrow 1400ポインティング (900時間)
 - $2.3 < z < 3.3$: Lyman-break galaxies
 - 6×10^5 個/300平方度 \Rightarrow 200ポインティング (800時間)
- 銀河空間分布のバリオン振動スケールを決定し、 $H(z)$, $D_A(z)$ を $< 1\%$ レベルで決定
 - CMB、超新星、重力レンズ、銀河団と相補的
- w を $\pm 3\%$, dw/dz を $\pm 25\%$ の精度で決定
 - \Rightarrow ダークエネルギーを観測的に絞り込む

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

ダークエネルギーと宇宙の状態方程式

■ 宇宙の状態方程式

- 圧力とエネルギー密度の比が $w \Rightarrow \mathbf{p = w \rho}$
- $w=0$: ダークマター、 $w=1/3$: 輻射、 $\mathbf{w=-1}$: 宇宙定数
- 相対論ではポアソン方程式は
 $\Delta \phi = 4 \pi G (\rho + 3p) = 4 \pi G \rho (1 + 3w)$ なので

$w < -1/3 \Rightarrow$ 万有斥力

- w が時間に依存しなければ $\rho(t) \propto a(t)^{-3(w+1)}$
- $-1 < w < 0$: (一般の)ダークエネルギー
- ここまでくると、 **w が定数である理由すらなくなる**

$w = w(t)$

$w = -1$ or not: that is the question

- 単なるパラメータ化 (物理なし):

$$w(a) = w_0 + w_a(1-a) \quad \text{ここで } a = 1/(1+z)$$

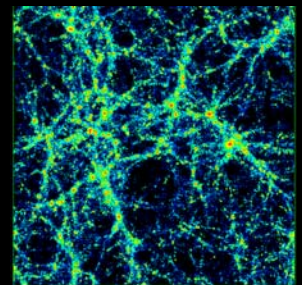
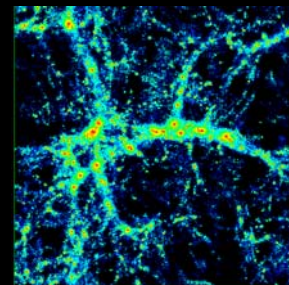
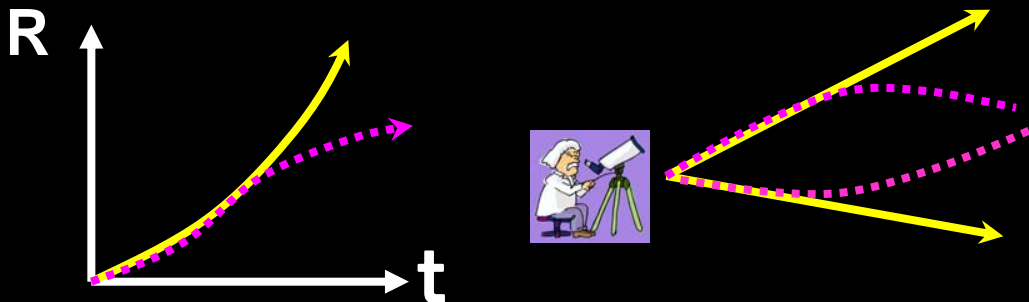
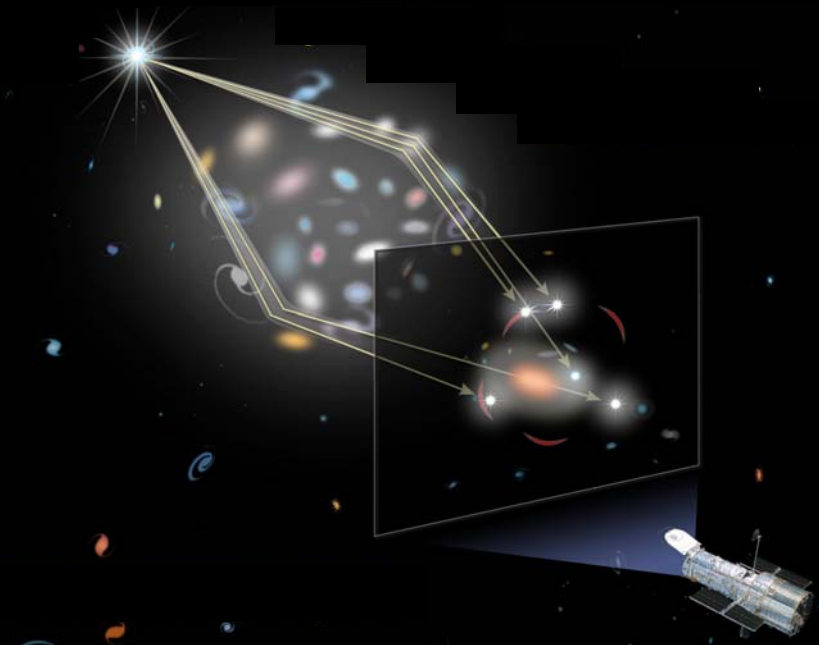
- 宇宙定数 ($w_0 = -1$ & $w_a = 0$) ???
 - $w_a = 0$ or $\neq 0$???
 - $w_0 = -1$ or $\neq -1$???
- まっとうな物理的モデルがほしいところだが、、、
 - DGP (Dvali-Gabadadze-Porrati) モデルとやらは、おおまかには以下で近似できるらしい

$$w(a) = -\frac{1}{1 + \Omega_m(a)} \quad \text{where} \quad \Omega_m(a) = \frac{\Omega_m}{a^3} \left(\frac{H_0}{H(a)} \right)^2$$

$$\Rightarrow w_0 = -0.78, w_a = 0.32 \quad \text{for} \quad \Omega_m = 0.27$$

ダークエネルギーの “見え方”

- 宇宙膨張を加速させる
- 宇宙の幾何学を変える
- 宇宙構造の進化を変える
 - 超新星
 - マイクロ波背景輻射
 - 重力レンズ
 - バリオン振動(BAO: Baryon Acoustic Oscillation)



WF MOS: 銀河考古学

- 我が銀河系の形成史の再構築
 - 星の化学元素組成 (星形成・化学進化史)
 - 星の空間運動 (銀河収縮・合体動力学史)
- 銀河ハロー及び円盤中の星の分光サーベイ
 - $V < 17$ 100万個/3000平方度、高分散分光 ($\Delta \lambda / \lambda = 40000$)
 - $17 < V < 21$ 50万個/500平方度、低分散分光 ($\Delta \lambda / \lambda = 2000$)
- 銀河天文学の本質的な基礎データ
 - 星・銀河形成の基礎物理過程の解明
 - 大規模数値シミュレーションとの融合

詳しくはこの後のトークで

- WFMOSによる宇宙論 高田昌広
- バリオン音響振動 樽家篤史
- Modified gravity 山本一博
- HSCとWFMOSで探る高赤方偏移超新星 井原隆
- WFMOSによる銀河考古学 有本信雄/青木和光/千葉柁司
- WFMOSを使った中性子捕獲元素過剰な星の探査 本田敏志
- WFMOSで拓く銀河系の形成過程 石垣美歩
- WFMOSで探る矮小銀河の性質および銀河系との関係 岡本桜子
- WFMOSで探る銀河進化 嶋作一大
- WFMOS大規模分光サーベイで探る銀河形成と宇宙電離 大内正己
- $z > 7$ QSO search and $z=1$ cluster counts with the WFMOS; synergy with the HSC 後藤友嗣
- WFMOSで探る宇宙の化学進化 長尾透

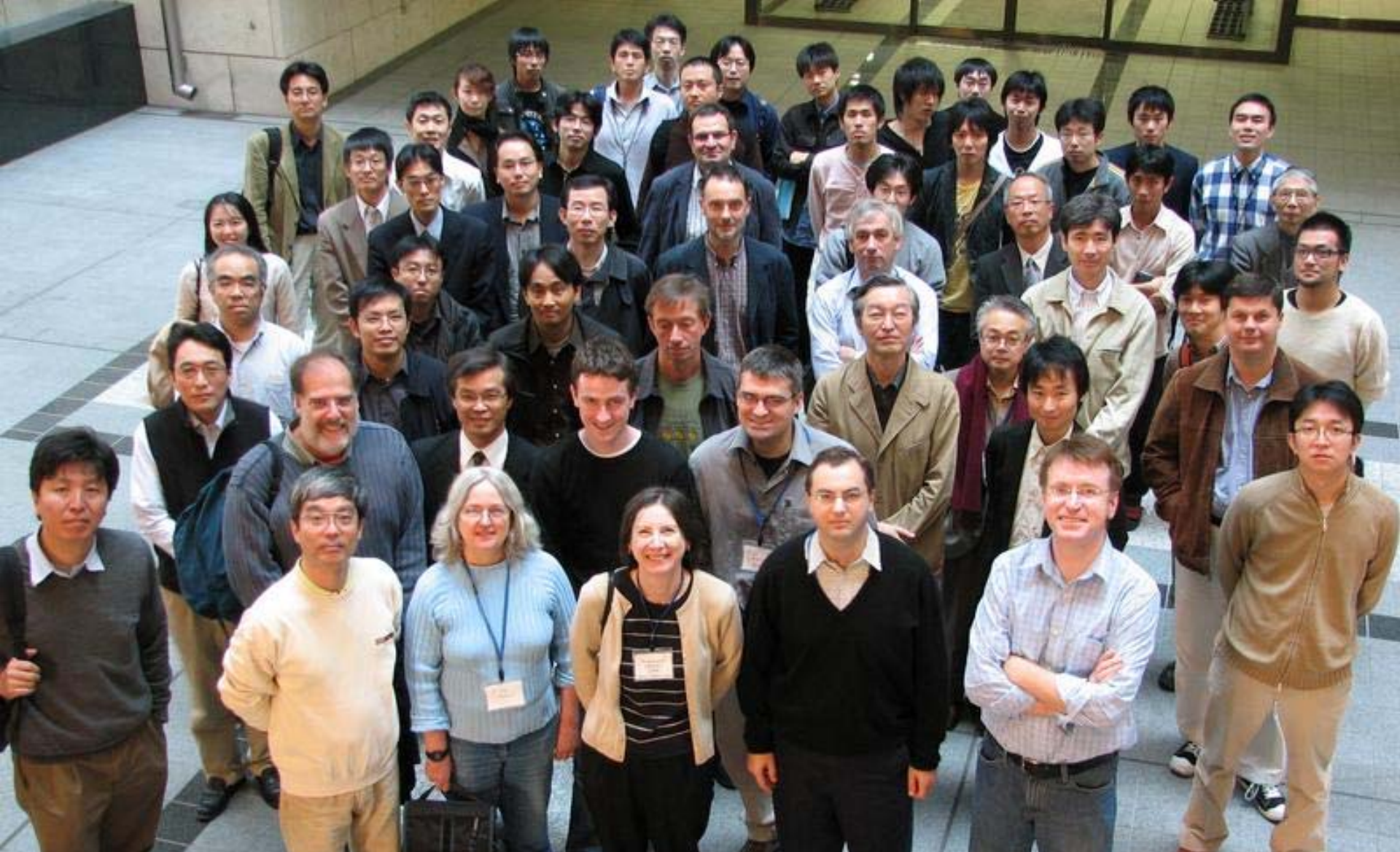
経緯と現状

WF MOSをめぐる経緯のまとめ

- 2002年 KAOS@Gemini広域サーベイ計画
- 2003年夏 アспенでGeminiの次期装置としてWF MOS提案
- 2004年 3月 唐牛すばる天文台長がWF MOSをすばるで実現する可能性を提案
- 2005年3月 WF MOS Feasibility Study: Geminiからすばるへ
- 2005年12月 概念設計開始 (team A とBの競争)
- 2006年5月 WF MOS概念設計を一時中断
- 2006年7月 HSC特定領域研究採択 (PI:唐牛宏)
- 2006年8月 WF MOS概念設計中止撤回
- 2007年5月 WF MOS概念設計再開
- 2009年2月 WF MOS概念設計の決定

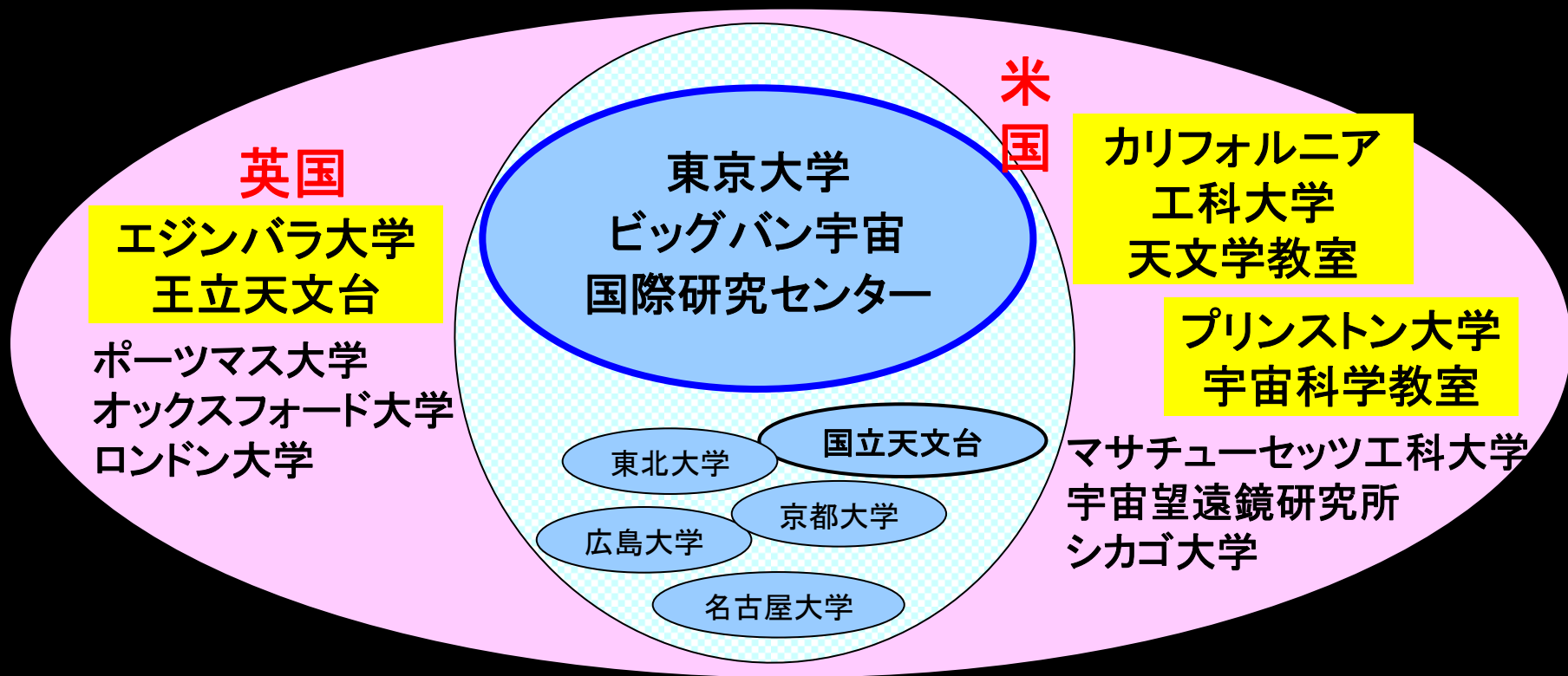
日本の対応・検討・議論

- 2005年11月 Subaru/Gemini ダークエネルギー国際会議@コナ
- 2006年2月 すばる戦略WG@国立天文台
- 2006年3月 超広視野撮像／分光器で目指す観測的宇宙論@国立天文台
- 2006年11月 Cosmology with wide-field photometric and spectroscopic galaxy surveys@東京大学
- 2007年4月—2012年3月 日本学術振興会 先端研究拠点事業 暗黒エネルギー研究国際ネットワーク(DENET)
- 2007年6月 Cosmology with wide-field surveys of galaxies@東京大学
- 2007年10月 ROE/DENET Decrypting the Universe: Large Surveys for Cosmology@エジンバラ王立天文台
- 2008年5月 Subaru/Gemini/DENET Cosmology Near and Far: Science with WFMOS@コナ
- 2008年8月 光学赤外線天文連絡会 シンポジウム WFMOSセッション@国立天文台



2006年11月9、10日、国際会議@東大小柴ホール
Cosmology with wide-field photometric and
spectroscopic galaxy surveys

暗黒エネルギー研究国際ネットワーク



日本学術振興会 先端研究拠点事業—拠点形成型— 2007年度～2008年度

2007年6月7,8日: Cosmology with wide-field surveys of galaxies@東京大学

2007年10月24日-26日: Decrypting the Universe: Large Surveys for Cosmology

@エジンバラ王立天文台

2008年5月19日-21日: Cosmology Near and Far: Science with WFMOS@ハワイ



$$\int \frac{k^2}{\sqrt{k^2 + m_\nu^2(\bar{\chi})}} \left(\frac{1}{2} + n_k \right) dk$$

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + V'(\phi) = 0$$

$$= 8\pi G T_w$$

$$\left(\frac{T_c}{10^{14} \text{ TeV}} \right)^4 \left(\frac{m_\nu}{10^{10} \text{ GeV}} \right)$$

$$\frac{\delta I(\theta, \phi)}{T_0} = \sum_{l,m} a_{lm} Y_{lm}(\theta, \phi)$$

東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

JSPS 日本学術振興会
Core-to-Core Program
DENET
International Research
Network for Dark Energy

JSPS core-to-core program workshop

Cosmology with wide-field imaging surveys of galaxies

June 7 - 8, 2007, Koshiba Hall

Invited Speakers

The University of Tokyo



Decrypting the Universe

Large Surveys for Cosmology

Invited Speakers

D. Spergel
S. Cole
E. Copeland
M. Doi
A. Helmi
O. Lahav
R. Maartens
Y. Mellier
S. Miyazaki
A. Murphy
M. Takada
T. Yamada

24th-26th October 2007
Edinburgh, Scotland

Joint Royal Observatory Edinburgh / JSPS
Core-to-Core Program Workshop

www.roe.ac.uk/roe/workshop/2007

参加者約100名
(うち日本人約20名)

Local Organising Committee

A. Heavens
R. Ivison
A. Nicol
P. Norberg (Chair)
P. Simon
F. Simpson
A. Taylor



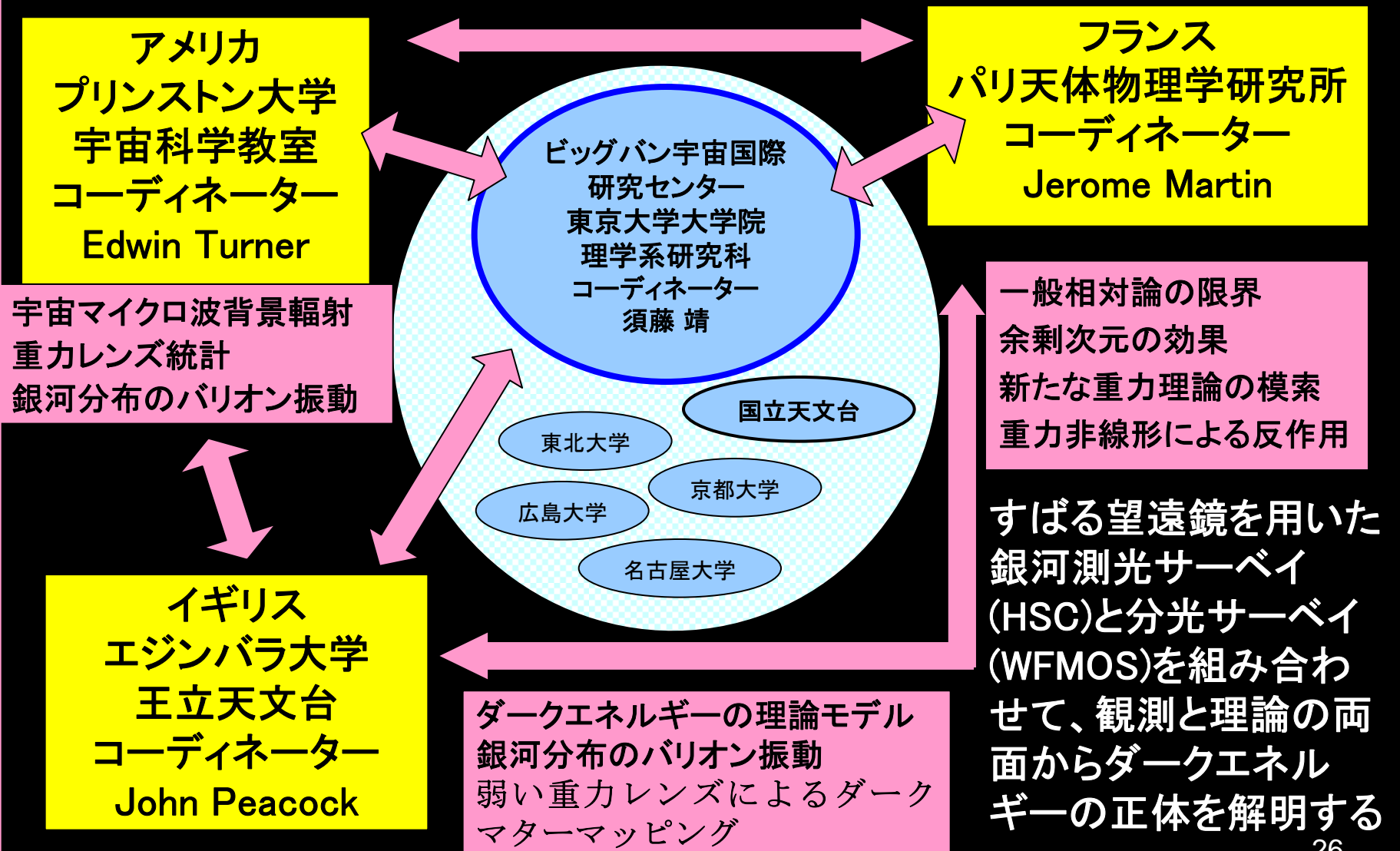


COSMOLOGY NEAR & FAR: SCIENCE WITH WFOS

2008年5月19日~21日@コナ 参加者約85名(うち日本人約40名)



ダークエネルギー研究国際ネットワーク



研究体制

- 現在、Hyper-Suprime Camに参加している常勤研究者約30名@国立天文台、東京大学、東北大学、名古屋大学、広島大学+台湾+プリンストン大学
- Gemini天文台連合(アメリカ、カナダ、イギリス、オーストラリア、ブラジル、など)
- 理論および観測関係の国内研究者は十分確保できる
- 分光器開発にどのようにかかわっていくかは今後検討を進める(HSCグループとの協力)
- 国内外で大きな期待がよせられているのは事実

論点

WF MOSの科学的位置づけ

- **ダークエネルギー問題に対して重要な天文学貢献をなすことが期待できる**
 - 現在大規模分光観測サーベイ提案としては唯一
 - すばるを用いて日本が主導権をとれる位置にある
- **ダークエネルギー探査＝実質的にはSDSSを高赤方偏移にひろげたものとみなせる**
 - 物理のコミュニティーから天文に対する予算を増やす
 - ダークエネルギーにこだわらない広い天文学的研究のために**利用する**という発想が大切／得策
 - ダークエネルギーに**最適化しきらない**ことも重要

WF MOSの問題点とその回答 (1)

- すでに $w = -1 \pm 0.1$ という結果があるのなら、「ダークエネルギー＝宇宙定数」と結論してよいのではないか？
- 未知なるものを可能な限り追求することこそ、科学の本質。後は結果論。
- 予想されている精度が本当に達成できるか？
- 概念設計の結果を待つ必要がある。ただし、バリオン振動に関してはWF MOSがもっとも正確な値を出すことは確実。
- 数値がわかったとしても、ダークエネルギーの正体の解明につながるような信頼できる理論が存在するか？
- 多分ない。価値観によるが、逆に言えば、完全に天文観測主導のフロンティアと位置づけることが可能。

WF MOSの問題点とその回答 (2)

- 結局どこかが別の方法でやるはずだから、あえて「すばる」でやらなくても良いのでは？
- それも一つの見識ではあるが、異なる方法論の系統誤差の存在は自明ではない。だからこそ、独立な方法で検証する意味がある(私がよく言う、「宇宙論は多数決」という原理)。それに直接かつ積極的にかかわるチャンスがあるときにをものにしないでいては、真の独創的貢献はできない。
- 日本がサイエンスをリードできるか？ また、このような大掛かりな計画には多大な労力と資源の注入が必要で、それに対する責任体制は確立しているか？
- 関係する理論家の層は厚くレベルは高い(東北大、東大、国立天文台、名古屋大、京都大、広島大)。それらのオールジャパン的な体制づくりは容易。ハード面ではHSC終了後、そのチームのかなりの人材が期待できる。

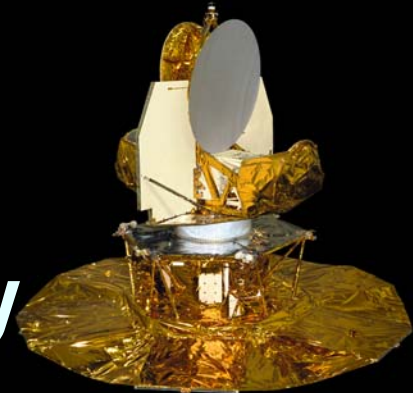
戦略の相補性

- A) 少人数でアイデア勝負の萌芽的研究を展開
理論研究、汎用望遠鏡を用いた一般プロポーザル
- B) 日本主導の国際共同プロジェクト立ち上げ
X線衛星、あかり、HSC、SPICA
- C) 国際共同プロジェクトのなかでの貢献
SDSS, ALMA, TMT,

	予算	インパクト	自己存在感	幸福度/人
A	小	小	大	?
B	大	中	中	?
C	中	大	小	?



Two very successful but quite different projects in astronomy



HST (universalist)

An observatory

Designed for general tasks

Serving a diverse community

Programme built through proposals

Many teams of all sizes

Many results unanticipated

Nourishes astrophysics skills

Public support as a facility

WMAP (fundamentalist)

An experiment

Designed for a specific task

Serving a single, coherent community

Programme set at design

A single moderately large team

Main results 'planned'

Nourishes data-processing/
statistics skills

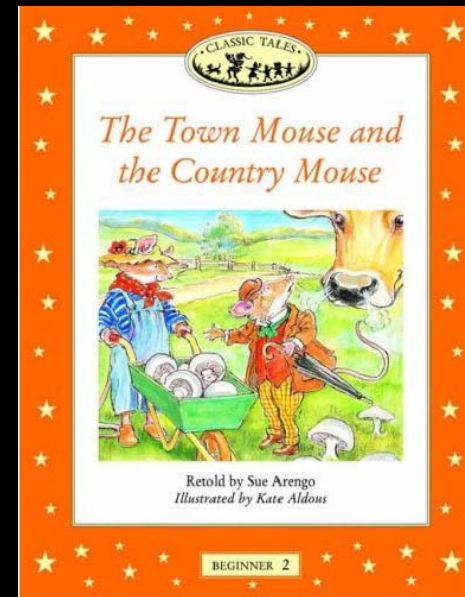
Public impact through results

The town mouse and the country mouse

都会のねずみと
田舎のねずみ



Le Rat de Ville & le Rat des Champs.



Town mouse ?

Large Hadron Collider

High-energy physicists

TMT

Subaru strategic program
(60nights/yr)

Country mouse ?

Subaru telescope

Optical astronomers

Subaru telescope

Subaru individual proposal
(a few nights/yr)

特記すべき点

- 「10年後」にすばるが何を目指すのかを熟慮して、早急に何らかの決断をすべき
 - でないと結局は時機を逸してしまう
 - 30m望遠鏡時代における「one of 8m望遠鏡s」の役割という視点
- 多天体分光器は有望な選択肢
 - 日本は銀河観測と宇宙論理論の研究者層が厚い
 - 物理学コミュニティーからのサポートの強さ
 - HSCが建設中である現在、科学的+建設コストの観点からの相乗効果は計り知れず、すばるの特色を最大限に生かせる
- 10年後の天文学の予期できぬ進展にも対応できる普遍性
 - 2009年現在、ダークエネルギーと銀河考古学は旬のテーマ
 - しかしこれらに決して特化する必要はない
 - 多天体分光サーベイは天文学の王道の一つ