

宇宙論の展望

小松英一郎 (The University of Texas at Austin)

日本学術会議

2007年12月28日

日本の宇宙論業界 現状

- 日本の理論的な宇宙論研究は、世界のトップレベルに達している。例えば『数物連携宇宙研究機構 (IPMU)』は、**理論家の夢組織**。
- その一方で、我が国の宇宙論業界が抱える最も深刻な問題は『**観測・実験の欠如**』に尽きる。

『宇宙論』を定義する

- この講演の『宇宙論』は狭義で、**宇宙全体の創成、進化、そして組成を探究する分野**とする。
- 広義の意味での『宇宙論』：銀河形成や進化、初代天体の形成や進化、宇宙の最電離などは含まない。これらの分野における我が国の観測的寄与は卓越しており、それにはすばる望遠鏡の功績が大きい。**観測・実験の重要性の好例**

日本の宇宙論業界

最大の問題点（1）

- 現代宇宙論は観測の進歩によって発展してきた。
- 残念ながら我が国の宇宙論業界は、歴史上重要な観測的発見に対し、**全く寄与できていない。**
- **観測・実験が伴わなければ、日本が宇宙論でインパクトを与える事はこの先もない。**

近年の発見（抜粋）

- Science誌: “Breakthrough of the Year”
 - 1998: 暗黒エネルギーの発見(Ia型超新星)
 - 2003: 標準宇宙論の確立(WMAP, SDSS, 2dFGRS)
- ノーベル物理学賞
 - 1978: 宇宙マイクロ波背景輻射の発見(1965)
 - 2006: 背景輻射の温度揺らぎの発見(1992)

日本の宇宙論業界

最大の問題点（2）

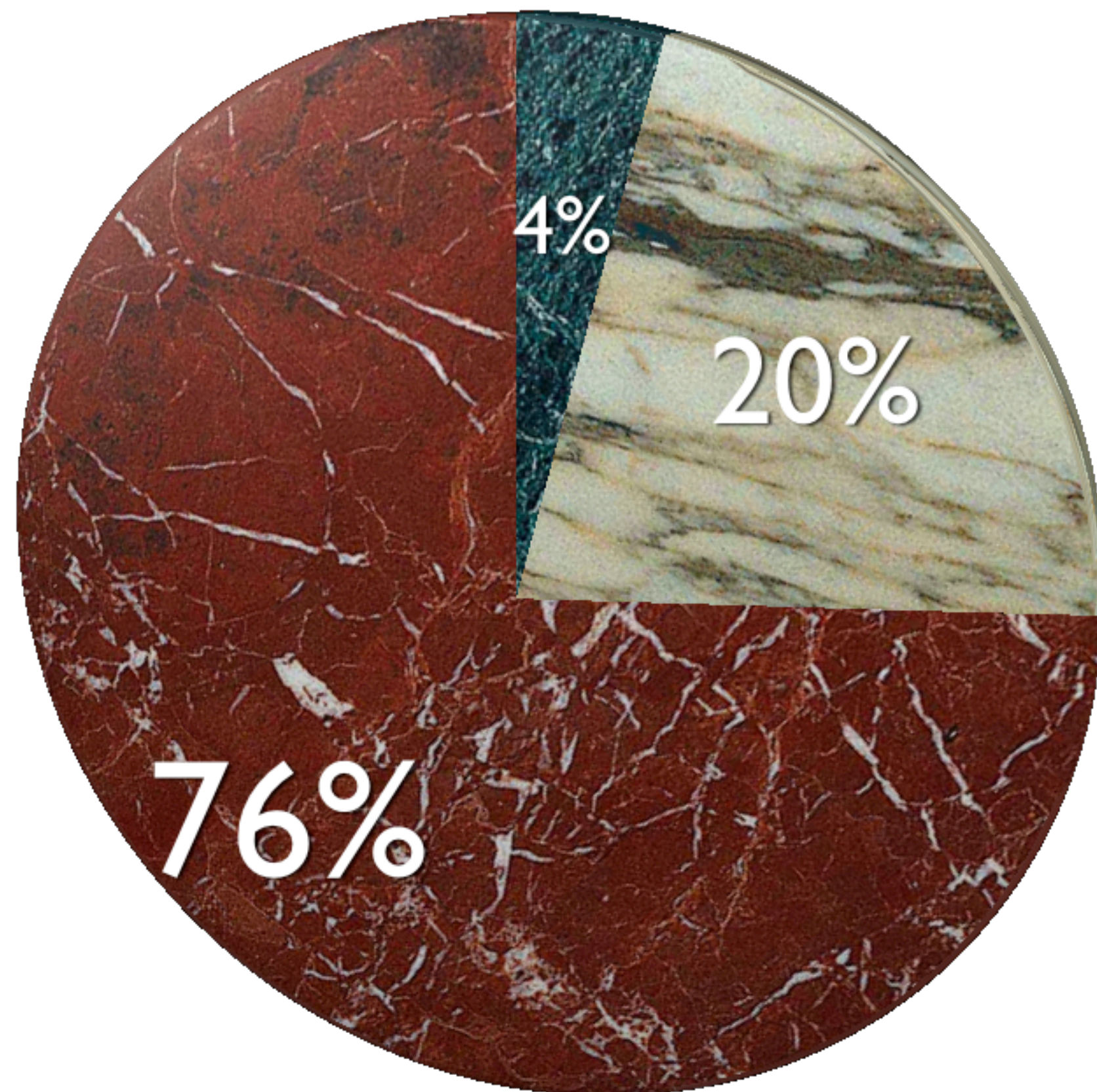
- 頭数のバランス問題。我が国の宇宙論人口は、理論家過多の傾向。
- 手を動かしてデータ解析ができる人や、観測・実験を引っ張っていける人が必要。
- しかし、国内に具体的な観測・実験計画がない以上、そのような人材を育てようがない。悪循環

世界的な流れ

- アメリカとヨーロッパは、理論・観測・実験全てにおいて業界をリードしてきた。
- 将来計画においても、アメリカとヨーロッパが**圧倒的**に他国をリードしている。

宇宙論：科学的現状(I)

現在の宇宙の組成表

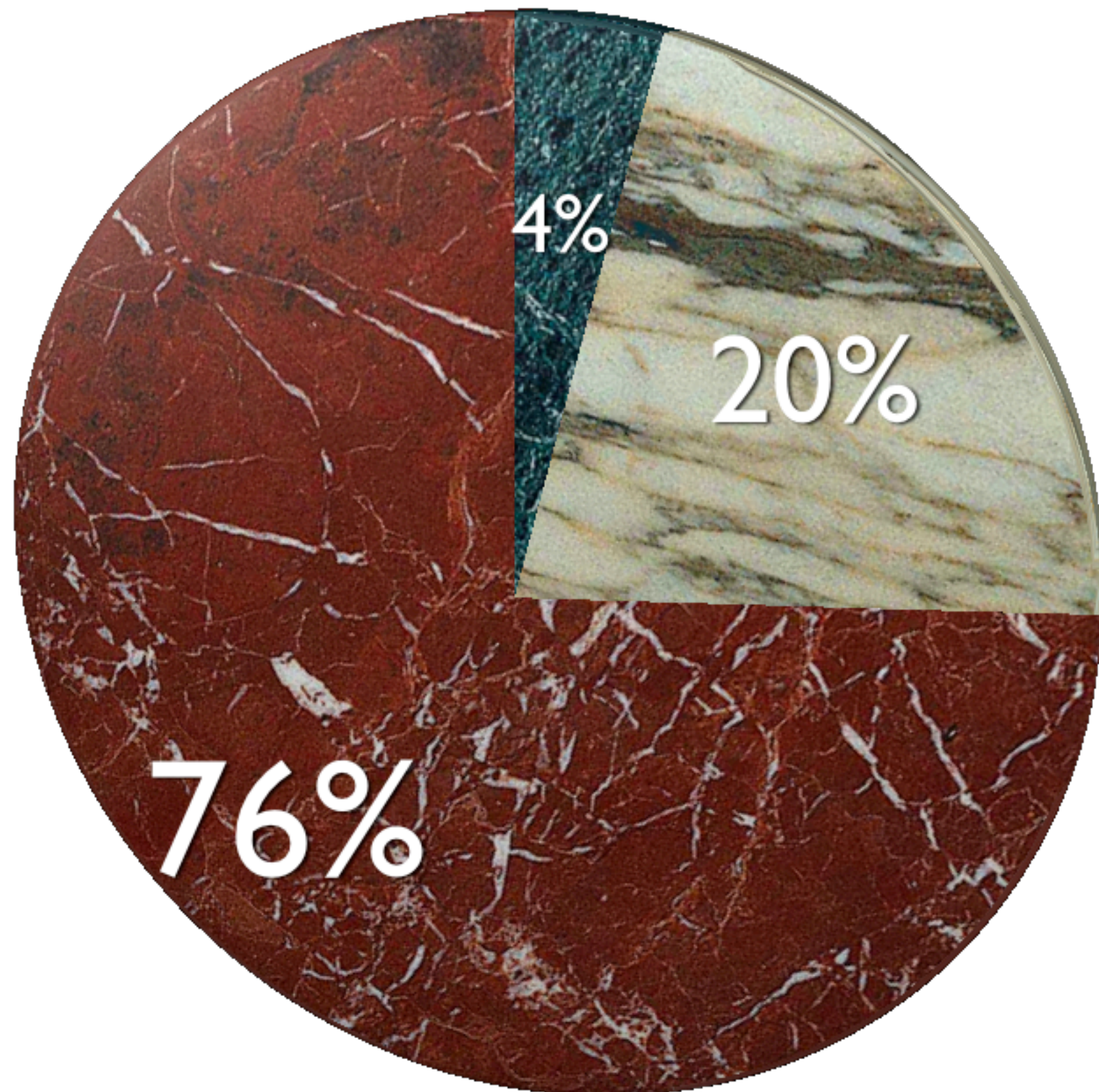


- 宇宙マイクロ波背景輻射、宇宙の大規模構造、およびIa型超新星の観測により、現在の宇宙の組成が明らかとなった。

- 水素・ヘリウム
- 暗黒物質
- 暗黒エネルギー

宇宙論：科学的現状(I)

現在の宇宙の組成表



- 宇宙論は『量』を問う時代から『質』を問う時代へと転換を果たした。

- **暗黒物質とは何か？**

- **暗黒エネルギーとは何か？**

- 水素・ヘリウム
- 暗黒物質
- 暗黒エネルギー

宇宙論：科学的現状(2)

- 宇宙が加熱されたビッグバン以降の宇宙の進化は、ほぼ解明されたと言って良い。
- より正確に言えば、核融合でヘリウム原子核が形成された時期（温度にして約100億度）以降の宇宙の振る舞いは、ほぼ解明されている。
- 現在の宇宙論の興味は、それよりずっと前、より温度が高かった**原始宇宙時代**に移行している。

宇宙論：科学的現状(2)

- 原始宇宙の進化に関する研究で、重要課題に挙げられるものは二つ。
- **ビッグバンの起源は何か？**
- **バリオン物質の起源は何か？**

10～20年間に 解決すべき宇宙論問題

- 暗黒物質とは何か？
- 暗黒エネルギーとは何か？
- ビッグバンの起源は何か？
- バリオン物質の起源は何か？

10～20年間に 解決すべき宇宙論問題

- **暗黒物質とは何か？**
- 暗黒エネルギーとは何か？
- ビッグバンの起源は何か？
- **バリオン物質の起源は何か？**

暗黒物質の正体

- **大型ハドロン加速器**(LHC)は、暗黒物質の生成に成功する可能性がある（超対称粒子、KK粒子）
- 米国の次世代ガンマ線衛星**GLAST**により、暗黒物質起源のガンマ線が検出される可能性がある。
- 反跳を用いた暗黒物質の**直接検出実験**の感度の向上により、直接検出も夢ではなくなった。

バリオン物質の起源

- 直接的に実験で検証するのは困難なため、間接的データが必要。以下の二つは特に重要。
- **ニュートリノ質量**の絶対値の測定。
- **CP対称性の破れ**のパラメータ（小林-益川位相など）の精密測定。

10～20年間に 解決すべき科学的課題

- 暗黒物質とは何か？
- **暗黒エネルギーとは何か？**
- **ビッグバンの起源は何か？**
- バリオン物質の起源は何か？

暗黒エネルギーの正体

- 宇宙の加速膨張の源である暗黒エネルギーは、物質でなければ粒子でもない。その名前とは裏腹に、エネルギーですらないかもしれない！
- その効果は、過去および現在の**宇宙の膨張速度の進化**を通して測定するのが最も効果的。
- 膨張速度の進化は、たくさんの**超新星や銀河までの距離測定**を通して行うのが最も効率が良い。

ビッグバンの起源

- **原始重力波**を使い、ビッグバン以前、およびビッグバンそのものの振る舞いが直接見える可能性。
- 原始重力波を検出するには、直接検出と間接検出の二通り。間接検出には、**宇宙マイクロ波背景放射**が最も可能性が高い。

欧米の流れ

- **暗黒エネルギーの正体、およびビッグバンの起源の解明**に特化して、欧米の観測計画の流れを概観してみる。
- アメリカ合衆国：Beyond Einstein Missions
- ヨーロッパ連合：Cosmic Vision

Beyond Einstein Missions

- 2017年打ち上げを目指した、衛星観測計画。
- **Joint Dark Energy Mission (JDEM):** 暗黒エネルギーの解明
- **Inflation Probe:** ビッグバンの起源の解明
- 両者ともに > 500 億円規模

Beyond Einstein Missions

- 2017年打ち上げを目指した、衛星観測計画。
- **Joint Dark Energy Mission (JDEM):** 暗黒エネルギーの解明 (採択済)
- **Inflation Probe:** ビッグバンの起源の解明
- 両者ともに > 500 億円規模

Cosmic Vision

- 2015 - 2025年に実現すべき衛星観測計画。
- **DUNE, SPACE:** 暗黒エネルギーの解明
- **B-Pol:** ビッグバンの起源の解明
- ただし、特筆すべきは来年打ち上げ予定の宇宙マイクロ波背景放射観測衛星**Planck**。

Cosmic Vision

- 2015 - 2025年に実現すべき衛星観測計画。
- **DUNE, SPACE:** 暗黒エネルギー (採択済)
- **B-Pol:** ビッグバンの起源の解明
- ただし、特筆すべきは来年打ち上げ予定の宇宙マイクロ波背景放射観測衛星**Planck**。

日本発の大型観測計画

- これまでもなく、これからも特になし。

日本の進むべき道は？

1. これまで通り、特に何もしない。
2. 欧米の計画を踏まえ、あえて異なるトピックで新しい計画を考える。
3. 欧米の計画を踏まえ、同じトピックで挑む。
4. 何も、日本単独でやる必要はない。アメリカ、もしくはヨーロッパ、あるいは両方と共同で観測計画を進める。

個人的な意見

- 個人的には3もしくは4が良いのでは、と思う。
- オプション2（競合を避け独自の路線）は、独特の成果を挙げ、それなりに重要かもしれないが、結局最重要課題に目をつむり、重要であっても二流の成果しか出せないで終わる。
- オプション3（同じ土俵で勝負）は、日本に経験がないぶんリスクが高い。それは4（共同研究）で補えないか？

実は、まだ遅くない

- Beyond Einstein Missionにせよ、Cosmic Visionにせよ、まだ資金はついていないし、具体的なミッションも採択されていない。(JDEMは、暗黒エネルギーを探るというミッションコンセプトの総称にすぎない。)
- アメリカの天文業界は、ブッシュ政権のもと財政的に大変厳しい状況。2017年打ち上げはおそらく無理。(最優先計画はJames Webb Space Telescope)

日本主導の衛星計画？

- 暗黒エネルギー探査
- ビッグバンの起源探査

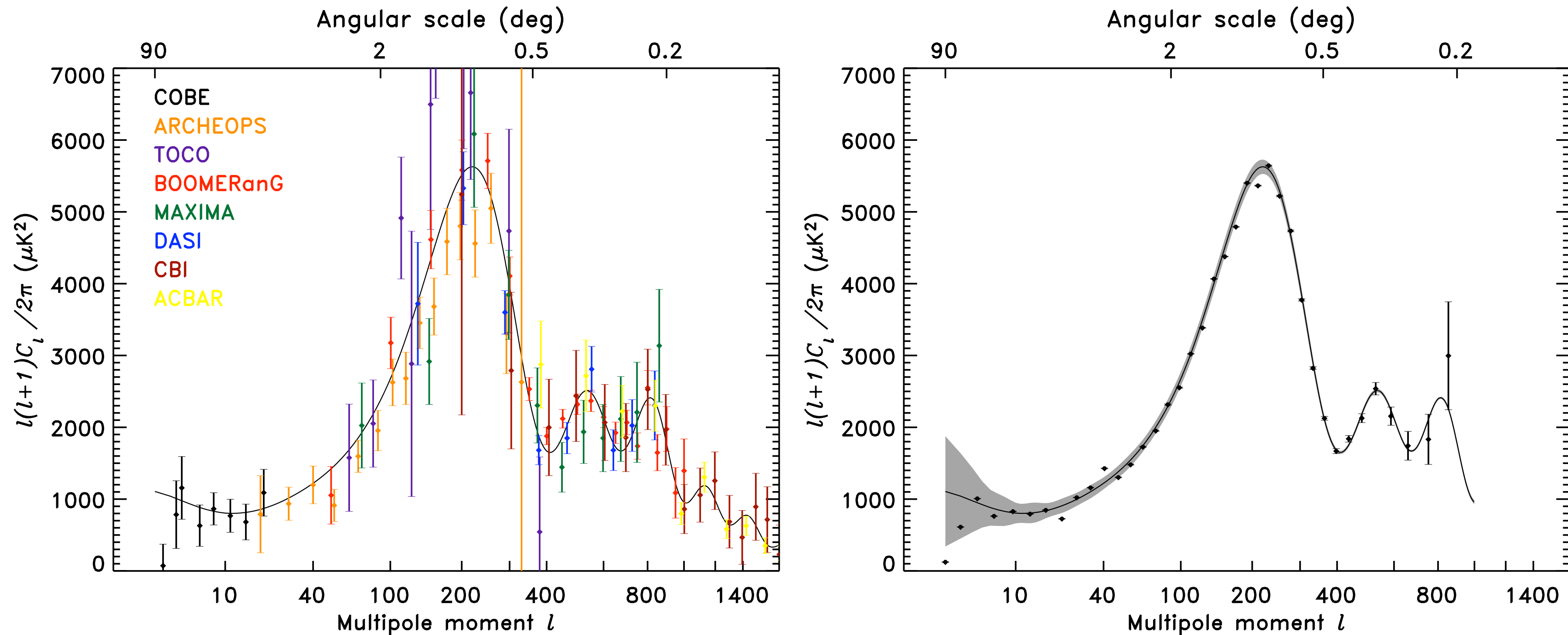
暗黒エネルギー計画案

- JDEMは、DOEの息のかかったSNAP計画（超新星による暗黒エネルギー探査）が採択されそう。
- 銀河サーベイによる暗黒エネルギー探査（ADEPTおよびCIP計画）は採択されない可能性が高い。
- 日本は**銀河サーベイ衛星**で勝負？
- 日本の理論コミュニティは、この分野のエキスパート。データ解析の実績もある（東大、名大）

なぜ衛星計画？

- なぜ地上観測ではできないのか？
- やってやれない事はない。地上観測でやるなら、10年以内に結果論文を出す事が至上命題。
- 一方、近赤外線観測となるから、衛星の方が感度の面で圧倒的に有利。日本は赤外線技術に長ける

WMAPに学ぶ



- 地上観測の寄せ集めは、左の図のようになる。
- 一つの専用衛星観測の力は絶大。

ビッグバンの起源計画案

- **宇宙マイクロ波背景輻射専門の観測衛星。**
- COBE > WMAP > Planck > ?
- Planckがどういう結果を出すかに応じて、次期計画も変わってくるだろう。Planckが最終結果を出してしまいう事もあり得る。
- リスク：日本はこの分野に長けた人手がおらず、人材育成から始める事になる。

国内の試み

- 服部誠助教授（東北大学）を中心としたグループが、1999年より宇宙マイクロ波背景輻射の観測実験に向けた基礎開発を行っている。
- 羽澄昌史教授（KEK）を中心とした新しいグループが、今月より立ち上げ。
 - 短期目標：シカゴの地上実験QUIETに参加
 - 長期目標：日本主導の小型衛星実験

まとめ

- 我が国の宇宙論の発展に必要なのは、国内発の観測・実験計画。夢は大きく：衛星計画は可能か？
- 暗黒エネルギーの正体、およびビッグバンの起源を解明するのが向こう10～20年の欧米の流れ
- 欧米と違う道を行くか？同じ土俵で勝負するか？
- 個人的な意見を述べたが、これらの議題を、早急にコミュニティとして議論する必要がある。