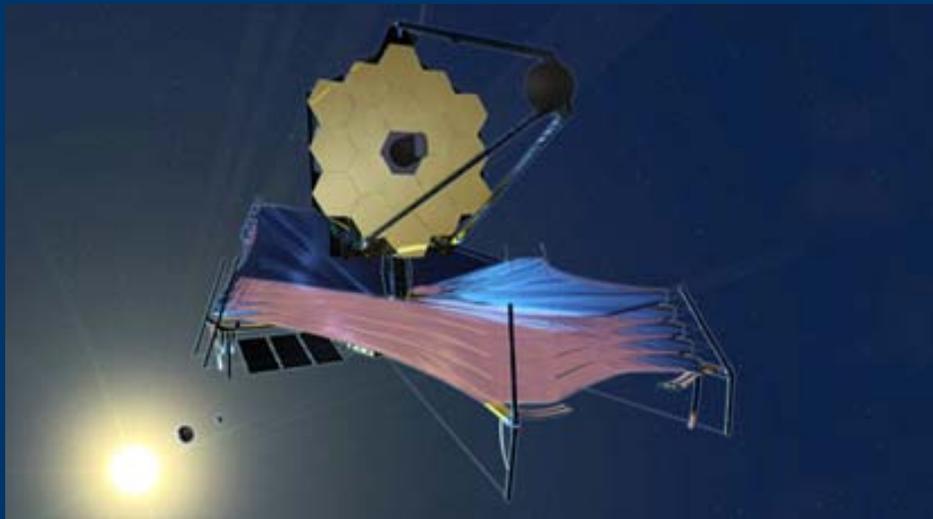
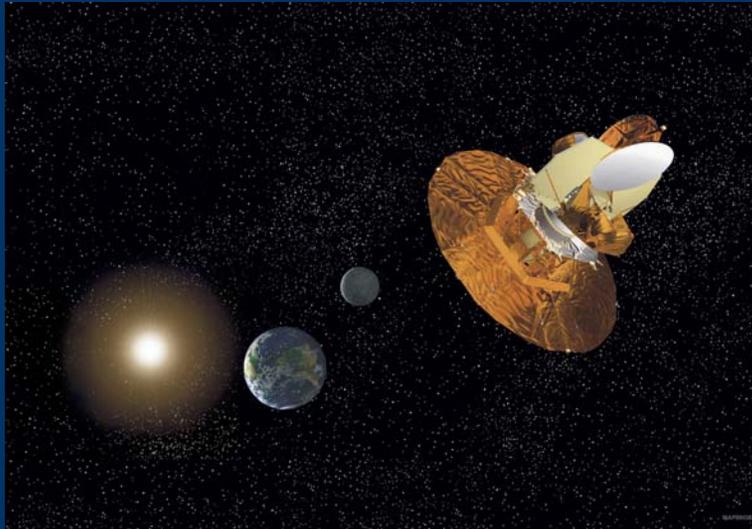


6. 進化する宇宙論



20世紀宇宙論の総括

- 1980年代以降、宇宙論は急速に進歩
 - 暗黒物質の存在が決定的
 - マイクロ波背景輻射の温度ゆらぎ発見
 - ハッブル定数が10%の精度で決定される
 - 銀河系内MACHOの検出
 - 宇宙定数(暗黒エネルギー)存在可能性
 - 素粒子論的宇宙論による初期条件
- 物理学として十分成熟・発展を遂げた
- 次はどう進むべきであろう？

精密宇宙論 (Precision Cosmology) ?

--- Since people have been working on the problem for more than sixty years, perhaps the most surprising result would be that in the next decade a consistent and believable picture for the values of the cosmological parameters is at last established. ---

P.J.E.Peebles (1993) ``Principles of Physical Cosmology'' p.677

驚くべきことに、60年以上誤差100パーセントと評すべき精度でしか知られていなかった宇宙論パラメータの値が、21世紀早々すでにかかなり収束している
⇒ 21世紀は、**精密宇宙論 (Precision Cosmology)** だ！
という人も多い(最近減っている?)が、それでは結局、宇宙論はlow risk, low returnの学問になりさがるだけではないか？

21世紀宇宙論の展望

- 20世紀最後の数年間で急速に進展した宇宙を特徴付けるパラメータの値をさらに確定
 - ⇒ 精密宇宙論の時代へ
- 「値」の意味(≡宇宙の起源)の理論的解明
 - ⇒ 量子宇宙論の完成へ
(素粒子論の進展を待つしかない、、、)
- さらなる謎・未知の領域を探る
 - ⇒ 第一世代の原始天体
生命誕生の環境としての宇宙

ダークエネルギー探査

- 「アインシュタインが予言した」という修飾句がつけられるので、大衆受けを狙いやすい
 - 市民が意義を理解したと誤解してもらえるテーマは、同レベルの官僚あるいは本当に賢い官僚のどちらにも受け入れられてもらいやすい
- まずは大量に存在するものから調べるべきなのは当然
 - しかし幸いなことに、直接検出は極めて時期尚早
 - 理論的にも何一つわかっておらず、直接検出など100年スケールの話なので、物理関係とは競合しない
- 逆に言えば、まだ天文観測から攻めることを正当化できる
 - 「宇宙の状態方程式を探る」とかいう受けやすいキャッチフレーズの下に、超新星サーベイ、重力レンズマッピング、高赤方偏移銀河サーベイと絡めて、数多くの計画が提案されている(特にアメリカ)

“著名”な物理学者の発言からの引用

- *“Our main achievement in understanding dark energy is to give it a name”* - Michael Turner
- *“Right now, not only for cosmology but for elementary particle theory this is the bone in the throat”* - Steven Weinberg
- *“Would be number one on my list of things to figure out”* - Edward Witten
- *“In string theory, to get $\Lambda > 0$ but extremely small is impossible”* - Edward Witten
- *“Maybe the most fundamentally mysterious thing in basic science”* - Frank Wilczek

ダークマター探索

- 歴史的には、天文観測がダークマター存在確認に唯一寄与したことは事実
 - 逆に言えば、いまや、天文学的にできることはほぼやりつくした
- 次は直接検出をめざすべきで、すでに天文学から巢立ったと考えるべき
 - 測定技術・感度もそれなりに現実的なレベルに到達しつつある
 - 5-10年で何らかのブレイクスルーがあってもおかしくない
- 同定すれば、(素粒子)物理学に与える意義は計り知れない
 - ハイリスク・ハイリターンなので自分でやる勇気はないが、個人的にはこれが一番有望だと思っていたりする

研究の漸近的振る舞い？

The historical record here and in other physical sciences suggests that as the puzzles and conundrums we know about are laid to rest, they will be replaced by still more interesting ones.

P.J.E.Peebles (1993)

``Principles of Physical Cosmology'' p.683

栄枯盛衰：研究の花道のパターン

- **パターン I:** すべての重要な問題に答を見つけて栄誉ある終焉を迎える
- **パターン II:** 徐々にではあるが着実に理論的進歩を遂げることで少しずつ歴史的な難問を解決しながら半永久的に発展を続ける
- **パターン III:** 重要な問題を多く残していながら、観測的にも理論的にも新たなブレークスルーを見出すことができず、もはや普通の問題意識とは遊離した重箱の隅をつつくような研究に終始するオタク集団としてほそぼそと生きながらえていく

では次どうする？



- Precision (**XXX**), not yet ?
 - We have to move on; determine all the cosmological parameters within 0.1% accuracy, for instance.
 - For what ? Really interesting ? Can convince taxpayers ?
- Beyond precision (**XXX**) ?
 - Stop playing with the *values of parameters*, but try to understand *their meaning*, i.e., matter context in the universe
 - Nature of dark matter and dark energy
 - Highest redshift objects, First objects in the universe
 - initial conditions (physical model of inflation)...
 - Revisit the cosmological observations in a more general framework
 - Equation of state of the universe
 - Validity of the cosmological principle
 - Validity of the general relativity on cosmological scales
- Or simply beyond (**XXX**) itself !
 - Religion (i.e., Anthropic principle), Extrasolar planet, ...

The cosmological standard model: What's next ?

Cosmology is now in a similar stage in its intellectual development to particle physics three decades ago when particle physicists converged on the current standard model. The standard model of particle physics fits a wide range of data, but does not answer many fundamental questions: “what is the origin of mass ? why is there more than one family ?, etc.”. Similarly, the standard cosmological model has many deep open questions: “what is the dark energy? what is the dark matter ? what is the physical model behind inflation (or something like inflation)?” Over the past three decades, precision tests have confirmed the standard model of particle physics and searched for distinctive signatures of the natural extension of the standard model: supersymmetry. Over the coming years, improving CMB, large scale structure, lensing, and supernova data will provide even more rigorous tests of the cosmological standard model and search for new physics beyond the standard model.

Spergel et al. ApJS 148 (2003) 175

Expanding the *expanding* universe

0th order	一様等方宇宙モデル	宇宙論パラメータ
1st order	密度揺らぎの線形摂動論	宇宙の大構造 マイクロ波背景輻射
2nd order	非線型重力進化	ダークマターの構造形成
3rd order	バリオンガスの進化	第一世代天体と元素の起源
4th order	銀河、星、惑星の形成進化	光り輝く銀河宇宙の誕生
...		
L-th order	生命の起源・進化	宇宙論的生物発生学
M-th order	知的生命体への進化	宇宙論的生物進化学
N-th order	文化・文明・宗教	宇宙論的社会学
...		

値から理解へ :

本当の宇宙論研究はいよいよこれから!