

天文学と宇宙物理学は違うのか？

PHYSICS & ASTRONOMY

東京大学
大学院理学系研究科
物理学専攻
須藤 靖

2004年8月15日 天文・天体物理 夏の学校
事務局企画セッション 「天文学と物理学の接点」

天文学と物理学の接点

「宇宙を見る新しい目」

日本物理学会編：2004年3月刊



- 1章 宇宙マイクロ波背景輻射で見る宇宙...小松英一郎
- 2章 X線で見る宇宙...大橋隆哉
- 3章 ガンマ線で見る宇宙...谷森達
- 4章 重力波で見る宇宙...三尾典克
- 5章 最高エネルギー宇宙線...手嶋政廣
- 6章 コンピュータシミュレーションから見る宇宙...吉田直紀
- 7章 超新星で測る宇宙膨張とダークエネルギー...土居守
- 8章 ニュートリノと素粒子物理...梶田隆章
- 9章 超新星ニュートリノで見る宇宙...佐藤勝彦
- 10章 究極の宇宙論：太陽系外惑星探査...須藤靖

天文学と窮理学

- **天文学**：astronomy
 - astro (星、天体) + nemein (分布)
- **宇宙**：
 - 「四方上下謂之**宇**、往古来今謂之**宙**」(淮南子、齊俗訓)のように「宇」を空間、「宙」を時間とする説や、「**宇**」を天、「**宙**」を地とする説などがある (三省堂、大辞林)
- **窮理学**：
 - 窮理学とは**天地**万物の性質を見てその働きを知る学問なり (福沢諭吉、学問のすゝめ)

窮理学と物理学

- **物理学** = physics
 - もともとは「自然学」とでも呼ぶべき言葉
 - 自然学(広義のphysics)
 - = 自然法則の究明 (natural philosophy)
 - + 断片的な事実の集積 (狭義のphysics)
 - プリンキピア *Philosophiae naturalis principia mathematica*
- **窮理学** = natural philosophy
 - 17世紀頃英国で思弁的な哲学ではなく、多くの人々が教養として身につけるべき「実験的な自然の哲学」を意味するものとして誕生
 - 福沢諭吉等はこれを窮理学と訳した
 - 19世紀末頃から実用的な知識の重要性が認識され、natural philosophyがphysicsに置き換えられた

天文学と物理学

■ 天文学からの物理学の発展

= 古典力学の形成

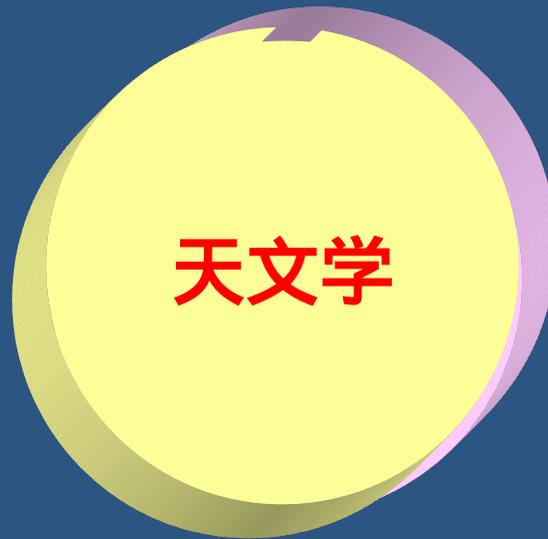
コペルニクス

ケプラー

ガリレイ

ニュートン

極限状況での理論の検証
新たな問題の提供



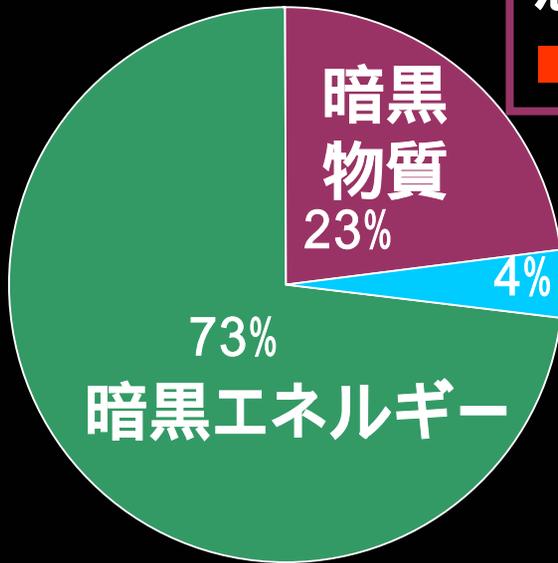
天文学

最新の技術・基礎理論の提供
現象の理解

- 一般相対論
- 原子核物理
- 素粒子論

宇宙は何からできている？

宇宙の組成



- 銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量をもつ
- 未知の素粒子が正体？

通常物質 (バリオン)

- 元素をつくっているもの (主に、陽子と中性子)
- 現時点で知られている物質 (の質量) は実質的にはすべてバリオン

- 宇宙空間を一様に満たしているエネルギーが宇宙の主成分！
- 万有斥力 (負の圧力)
- アインシュタインの宇宙定数？

天文学は基礎物理学となり得るか？

- 天文学は第一義的には応用物理学の性格
- 歴史的に、基礎物理学に貢献したのは
 - ケプラーの法則 重力の逆二乗則（ニュートン1665）
 - 星内部の元素合成 トリプル 反応 での¹²C共鳴レベルの予言（ホイル1952）

あたりしかない(と思う)

- ダークマター、ダークエネルギー(の存在が正しいとすれば)は、天文学が基礎物理学的発見に本質的な寄与をした第3、第4の稀有な例になるかもしれない
 - 前者は今後10年程度で実験的な進展が予想されるが、後者は物理学での何らかの進展があるのは50～100年先の話？

応用物理学としての天文学

■ 超新星爆発の理論

- 流体力学、輻射輸送、原子核物理、一般相対論、数値シミュレーションを総動員しないと理解できない
- ほとんどの基礎物理過程については、要素還元的な意味において個々にはほぼ理解されている
- それらを適切に組み合わせて現象の解明に迫るという意味で、応用物理学としての天文学の端的な例

■ 宇宙創生のモデル

- 鍵となる基礎物理(量子重力)が未完
- 逆に、これを通じて基礎物理法則を探ろうというのが基本姿勢だろうが、過去の歴史を考えると難しそう

例1：Cosmic Microwave Background

- **天文学と物理学の接点として大成功を収めた代表例**
 - (物理学) 一般相対論と原子核物理学の帰結として存在が予言された(ガモフ)
 - (天文学) 電波天文学・通信技術の進展の結果として発見(ペンジアス、ウィルソン)
 - (天文学) エネルギースペクトルの精密測定と温度ゆらぎ非等方性の発見(COBE)
 - (物理学) 温度ゆらぎの精密観測による宇宙論パラメータの決定(WMAP)
- **狭義の天文学コミュニティーというよりも、むしろ、素粒子論・宇宙論コミュニティーに大きな影響を与えたものと考えられる**

例2: Sloan Digital Sky Survey

- 明らかに天文学のプロジェクトであるが、物理学的な目的意識のもとに計画された
 - それ自身で珍しい・面白いものを見つけるというよりも、普通の天体(銀河、クエーサー)を無バイアスに観測し尽くして、その統計的な性質を探ることを目的とする
- しかし、現時点のSDSSの成果としては、「最遠のクエーサーの記録更新」、「T-dwarfの発見」、「最大離角重力レンズクエーサーの発見」といった天文学的意義の大きいものを主とする
 - 宇宙論パラメータの決定といった、物理よりの成果は別にSDSSの独壇場というわけではない(実はこれはWMAPも同じなのであるが、、、)
 - これはサーベイという汎用プロジェクトの宿命でもある

例3：太陽系外惑星探査

- これはどう考えても物理学と直接的な接点をもつようには思えない
- にもかかわらず、ほとんどの物理学者がその重要性を認めてくれるという意味で、物理学者に受けは良い
- 個人的には「天文学と物理学」というすでに繰り返し論じられてきた題材にとどまらず、「天文学が21世紀の科学(= 窮理学)にどのようなブレイクスルーをもたらさうか」、というより広い視点からの議論がほしいところで、その格好の例となり得る

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の実定* (e.g., extrasolar plant)
- *Habitable planetの実見*
- *Extraterrestrial lifeの実見*



Astrobiology ? Not yet

- Discovery of extrasolar planets is a wonderful breakthrough in astronomy (and philosophy, maybe)
- But mere discovery has no biological information
- **How can we identify the signature of life ?**

- **Biomarker**

- Suppose our earth is  located at 10pc away. Can we identify any signature of life from photometric and spectroscopic data alone ?



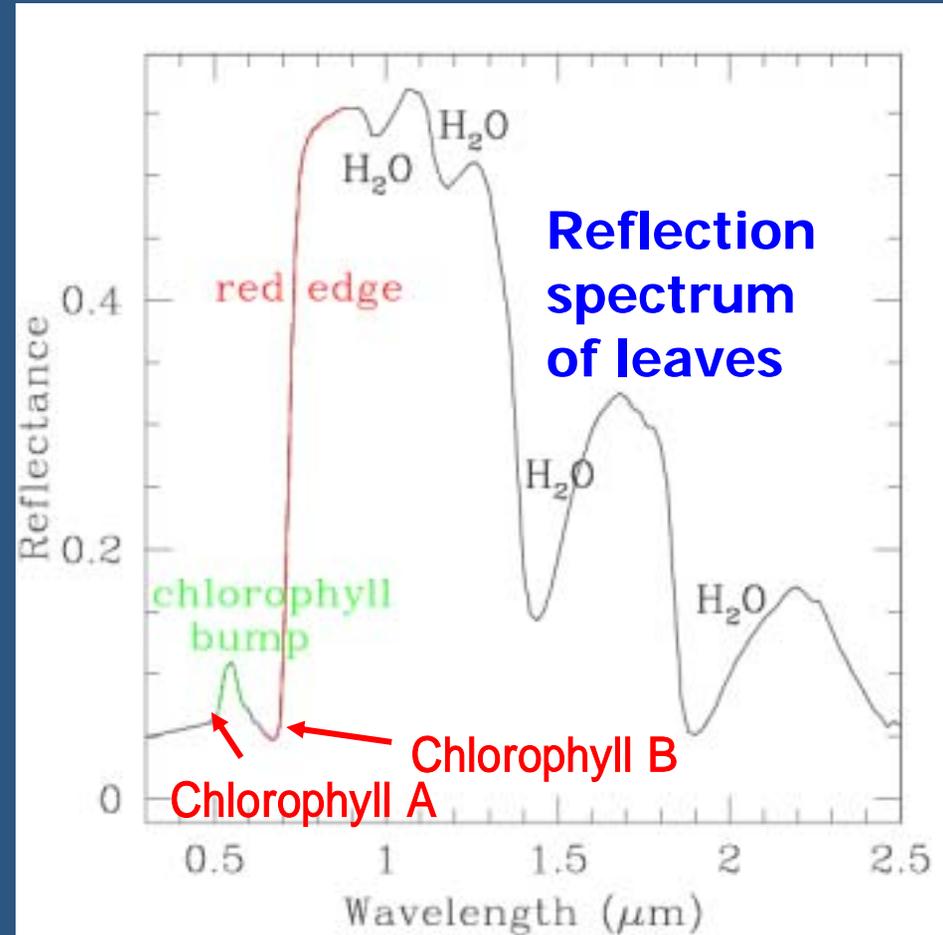
- **Earth-shine**
天文学と物理学

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

<http://www.nasa.gov/home/index.html> 13

Red edge of (*extrasolar*) plants: a biomarker in *extrasolar planets*

- Significant reflectivity of leaves of terrestrial planets for >7000
- An interesting (maybe unique) candidate for a biomarker ?
- *extrasolar plants* as a biomarker in *extrasolar planets*



Seager, Ford & Turner
astro-ph/0210277

Vesto Melvin Slipher (1875-1969)



Red-edge as a biomarker (at least) in 1924 !

- Discovered redshifts of “spiral nebulae” now known as galaxies
- Essential contribution for Hubble’s discovery of expanding universe

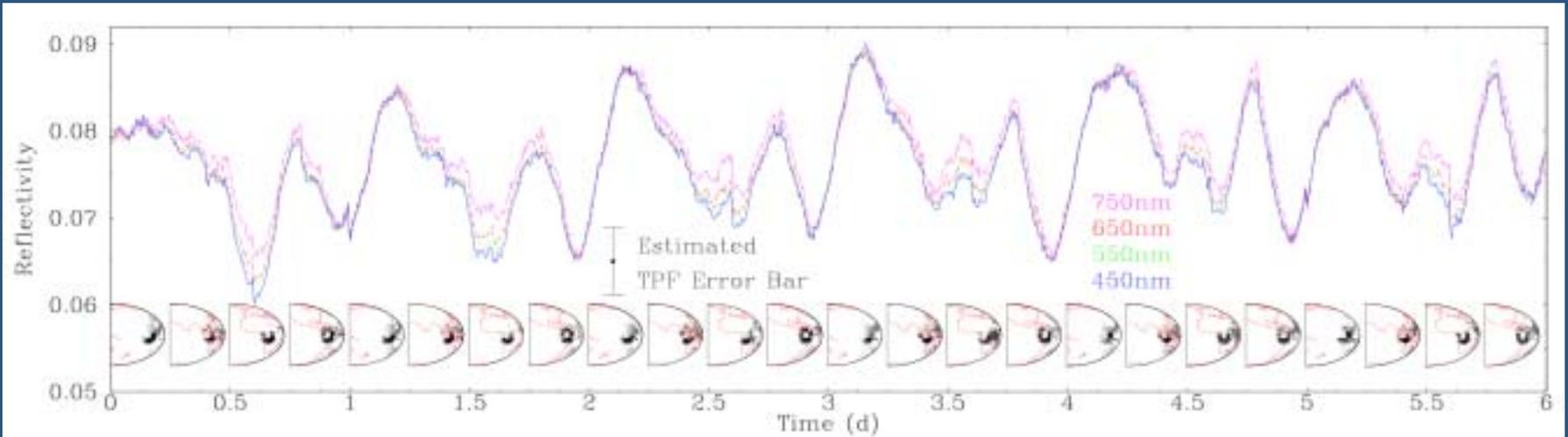
“Observations of Mars in 1924 made at the Lowell Observatory: II spectrum observations of Mars”

PASP 36(1924)261



reflection spectrum. The Martian spectra of the dark regions so far do not give any certain evidence of the typical reflection spectrum of chlorophyl. The amount and types of vegetation required to make the effect noticeable is being investigated by suitable terrestrial exposures. **Astrobiology indeed in 1924 !**

Expected daily change of the reflected light from the earth



Ford, Seager & Turner: Nature 412 (2001) 885

- **Assume** that the earth's reflected light is completely separated from the Sun's flux !
 - TPF (Terrestrial Planet Finder) in (10 ~ 20) years from now ?
- **Periodic change of 10% level** due to different reflectivity of land, ocean, forest, and so on
- **Cloud is the most uncertain factor: weather forecast !**

21世紀の太陽系外惑星研究の展望

- **地球型惑星**の発見
- 水が液体として存在する惑星 (habitable planet) の発見
- 太陽系外惑星以外に生物が存在することの兆候を探す (biomarker)
- 物理学、化学、天文学、地球惑星学、生物学、気象学を総合した新しい学問体系 (**自然学?**) が必要

地球型惑星の直接検出を目的として、2015年頃にヨーロッパで打ち上げが予定されている赤外線干渉計衛星Darwin. 1.5mの望遠鏡6基を50mから500mの間隔で船隊を組む.

<http://ast.star.rl.ac.uk/darwin/>

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ほそと生きながらえていく

物理学・科学とは何だろうか

■ 朝永振一郎 「物理学とは何だろうか」

- われわれをとりかこむ自然界に生起するもろもろの現象 --- ただし主として無生物にかんするもの --- の奥に存在する法則を、観察事実に拠りどころを求めつつ追求すること

■ リチャード ファインマン 「科学とは何か: ファインマンさんベストエッセイ」 (大貫・江沢 訳)

- 今まで引き継がれてきたことがみな真実だという考えに疑いを抱き、過去の経験を伝えられてきたままの形で鵜呑みにせず、実際の経験をとおしてまったくのはじめから、実際はどのようなかを発見し直すということです。これこそが科学です。

なぜ物理学に拘泥する？

- 基本的には極めて近い学問であることは事実
- 一方、意識しているといないにかかわらず、一部の天文学者は(基礎)物理学にある種の劣等感を持っていることが多いのではないか？
 - 研究成果を「物理的だ」と評されるとなぜか嬉しくなる
 - だからこそ、ことさら「天文学と物理学の接点」といったセッションを企画したりする
- 重要なのは、天文学固有の確固とした学問的価値観をもつことで、その結果が物理学に近ければそれはそれでよいが、そうである必要はどこもない
- 100年後にも、狭義の物理学という分野が存在しているであろうか？ むしろ、学問の再編化が進み、より広義の窮理学・自然学へと発展してほしいものである