

夜空のむこうの物理学

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻



須藤 靖



2006年6月17日 川越高校SSH特別講義「観測的宇宙論」

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2006j.html

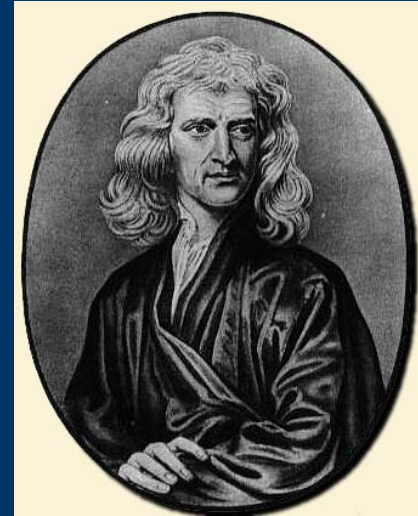
夜空のむこうの物理学：目次

- I 研究者とはどんな人種か ～物理屋の場合～
- II 物質の階層と宇宙の階層 ～素粒子と宇宙の接点～
- III 宇宙の果てを見る
- IV 宇宙観の変遷 ～一般相対論的宇宙論～
- V 太陽系外惑星と生命 ～第二の地球を探す～
- VI 夜空の向こうの物理学 ～まとめ～
- VII 相補的学習課題

I 研究者とはどんな人種か ～物理屋の場合～



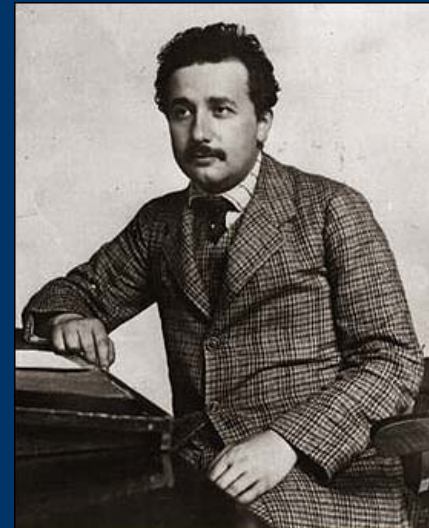
Galileo Galilei
(1564-1642)
近代科学の祖



Isaac Newton
(1642-1727)
古典力学



電磁気学
James Clerk Maxwell
(1831-1879)



一般相対論
Albert Einstein
(1879-1955)

大学院はどのようなところか？

- 勉強・学習ではなく、学問する(学びて問う)環境
 - 受身のまますっと待っていても何も来ない
 - 高校までの先生と違って教員は親切でない！
- 24時間、365日 いつでも開いている
 - 自由度と自己責任
- 自分の適性を知る
- 一人で研究するのではなく、友人、先輩、後輩と共に学び議論し研究する

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
- これらは研究の現場とはすべて「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次元に数値化できるものではなく、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

典型的な研究者タイプと思われがちであるにもかかわらず実は研究者に向いていない人

- 他人とコミュニケーションがうまくとれない
 - 結果の批判を通じてさらなる発展が期待できない
- 自分だけの殻に閉じこもる、人に嫌われる
 - 共同研究を通じて $1+1=10$ が望めない
- 本を読んで勉強することだけが好き
 - これでは新たな学問・研究にならない
- 難しい分野・問題・テーマだけが好き
 - 優れた学者と同じ道を歩んでいることで自分も優れた研究者であると勘違いする

自然科学を学ぶ意味

- 研究者になることが目的では決していない
- 世の中の不思議さを認識する
- できるかぎり自然を理解する
- 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
- 正しいことと間違っていることを見極める
 - 変な人(詐欺師、政治家、官僚、教員)に騙されない
 - 本当に正しいことを理解し納得する
 - 善悪を区別する

物理学と窮理学

- **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**、往古來今謂之**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)

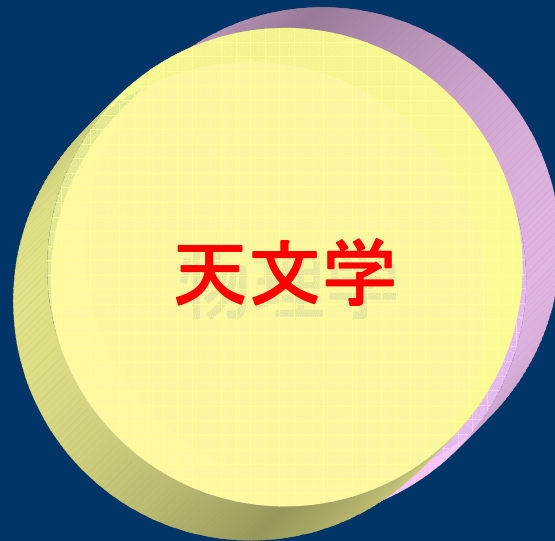
天文学と物理学

■ 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

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。

物理教の経典



- 世の中の「本質的なこと」はすべて物理法則によって「自然に」説明できるはずである
- むろん、実際にわかっていない現象も多いが
 - 自由度が多く、初期条件を精度よく推定できないために細かいことまではわからないだけ（複雑系）
 - まだ正しい物理法則の理解に至っていないだけ（すべての相互作用の統一⇒究極理論へ）
- 単に我々がまだ未熟者であるだけで、もっと修行を積みばわかるようになるはず
- 「神様」を持ち出す必要はない

自然科学は常に発展途上

- **物理学(自然科学)は、進歩する**
 - それは、**失敗する(できる)から**であり、失敗が失敗であると明確に認識でき、その**反省**がフィードバックされた結果としてやがて次の成功を生むからである (**falsifiability**)
 - 「自然」あるいは実験・観測事実と矛盾すれば、どれほど論理的にすばらしい美しい理論であってもそれは単なる間違いであり、捨て去らざるを得ない
- **政治・行政・哲学などは(あまり)進歩しない(遅い)**
 - 単に都合のよい部分だけをとってきて一見正しそうな論理をでっちあげる(検証が常にあとづけ)
 - 過去を変えることはできないので、現在の判断が正しかったのか間違っていたのか客観的な検証が困難
 - したがって、成果を検証する、さらに反省する、という当然の習慣がないまま次から次へと同じあやまちを繰り返す
 - 失敗から学ぶ、ということがない

自然科学とえせ科学との違い

■ 自然科学の特徴

- 決して「厳密な」自然像構築のみを追求してはいない
- あくまで近似的描像を更新し続ける行為
- 論理自身は問題なくとも、実験が否定することもある

■ 「正しいのか間違っているのか区別できる」ことこそ自然科学の本質的定義

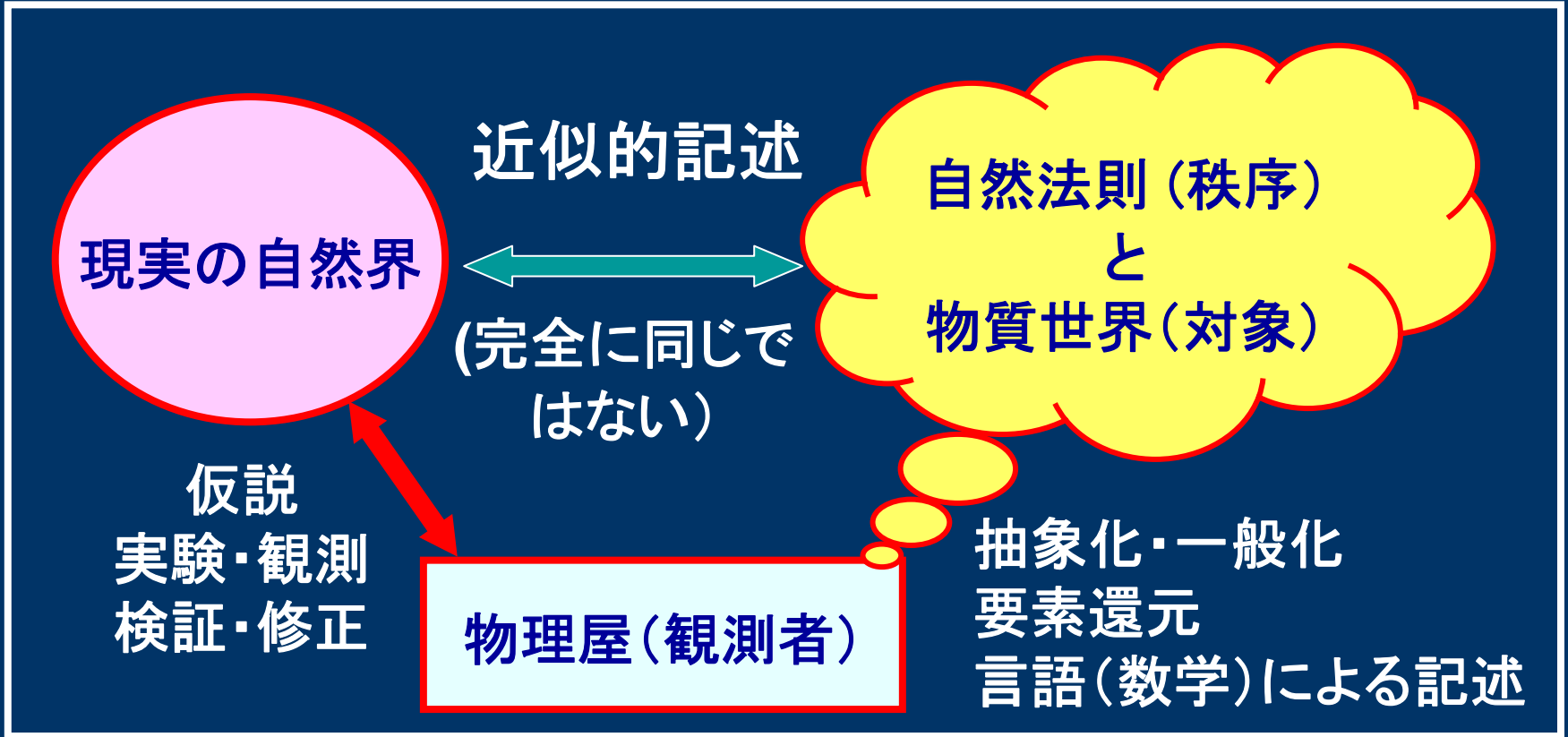
- “falsifiable” (うそであることを示しうる)
- 間違っているかどうかわかりようがない命題は、(まだ)自然科学の対象ではない(例えば、神が宇宙を創った)
- 「あることが説明できない」ことは自然科学の問題点ではなく、むしろ出発点

物理学はあくまで自然界の近似的記述法の一つ

- **自然界の記述言語が数学である必然性はない**
 - 自然(神様?)が微分方程式を解いて、物体の運動を決定しているとは思えない
 - にもかかわらずこれだけ多くのことが数学によって記述できることは奇跡であるとも言える
 - 現実に「解ける」問題に帰着させるには、本質だけを残した近似が必要
 - 仮にすべての要素を取り込んだ計算が可能だとしても、それでは結局物事の本質を理解できないばかりか、逆に理解から遠ざかるだけ

物理学の方法論：自然界理解の図式

このループを繰り返しながら近似の精度を高めていくのが科学という営み



↑ この方法論の妥当性の外部からのチェック ???

第三者機関 (同業者、哲学者、納税者、文部科学省?) による検閲

国家規模でビッグサイエンスを行う意義

- **精神面**（ある意味で、オリンピックに近い）
 - ある科学的真理を初めて発見・解明する国際競争で勝利する（最近では、アメリカ対ヨーロッパという構図が多い）
 - 国威高揚、世界における自国の存在意義・誇り
 - 内外の政治的経済的問題から目をそらし、国民を幸せな気持ちにさせる
- **実用・経済面**
 - 科学プロジェクトという衣をまとうことで、特に軍事・防衛にも役立つようなハイテク開発を間接的にしかし堂々と進められることも多い

参考： 米国議会での有名な質疑応答

議員 「素粒子物理学のような純粋科学に膨大な国費を使うことが、米国の安全と防衛にどのように役立つかお答え頂きたい」

ロバート・ウィルソン（フェルミ国立加速器研究所所長）

「米国を守るに値する国とする」

研究する楽しさ

- (どんなにつまらないことでも)世界で初めて発見する喜び
 - 自分がいち早く知り得たことの興奮
 - 成果を発表して共感してもらえることのうれしさ
- 単に結論を知識として受け入れるのではなく、自分の頭で理解する喜び
 - 「宇宙がビッグバンで始まったなどという知識は二束三文の価値もない。重要なのは、なぜそう考えられるかである。」 佐藤文隆(宇宙論の碩学)
- 自分一人では実現できないことを共同研究を通じて一緒に可能にしていく喜び
 - 自分の存在感の確認

私が宇宙物理をやっている理由

- **問題意識が直感的でわかりやすく、かつ「本質的」**
 - 一般の人が興味を持って話を聞いてくれる
 - 宇宙の果てはどうなっているのか？
 - 宇宙を構成する物質と我々の身の回りの物質とは同じか違うか？
 - 宇宙の始まりは？ 宇宙の未来は？
 - 第2の地球は存在するか？
- 厳密に何かを定量的に説明するというよりも、**大まかにその理由を理解することを重視する分野**
 - 私は大雑把で飽きっぽい人間
 - 大体の理解で満足、細かい数値や厳密な証明には興味ない

自然界(≡宇宙)をもっと良く知りたい



我々の世界をもっとよく知りたい

■ 微視的世界：物質は何からできているのだろうか？

- ものをどんどん分けていくとどうなるか？
- 分子⇒原子⇒原子核(バリオン)⇒素粒子(クォーク・レプトン)
- もはやこれ以上は分けることのできない最小構成要素が存在
- これ以外の物質(素粒子)は存在しないのか？

■ 巨視的世界：宇宙の果てには何があるのだろうか？

- 地球⇒太陽系⇒星団⇒銀河⇒銀河団⇒宇宙の大構造
- 宇宙の大きさ(=年齢)はどのくらいだろう
- さらに遠く(=過去)の宇宙はどうなっているのだろう
- 宇宙を占めている物質は、我々がすでに知っている微視的世界の構成要素と同じなのだろうか

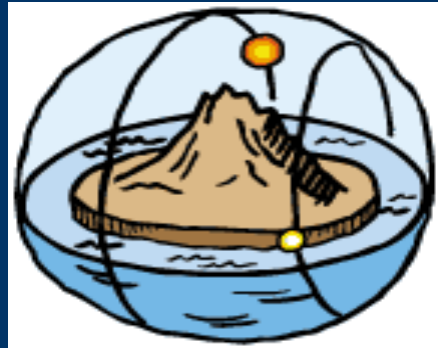
夜空のむこうの世界

■ 宇宙の果てには何がある？

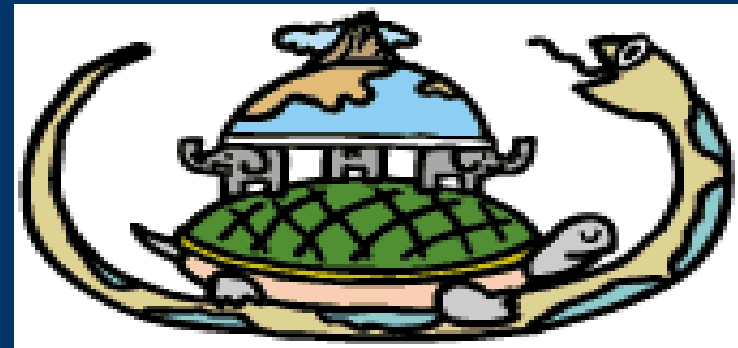
古代エジプトの宇宙像



古代中国の宇宙像



古代インドの宇宙像



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

■ 第二の地球はあるか？

- 我々人類は広い宇宙でひとりぼっちなのか？