

**第5回 講義内容**

2025/10/20

**配布物**

- 05\_Cosmology\_contents.pdf                      このファイル                      Google classroom, web
- 05\_Cosmology2025\_Viewgraph.pdf スライド                      Google classroom, web  
スライドファイルは当日朝に配布します。

**講義内容（予定）**

- §2.2 ブラーエ, ケプラー, ガリレイ, ニュートンの時代  
ガリレイの業績  
ニュートンの業績  
おまけ リサ・ランドールの業績
- §2.3 近代物理学の発展
- §3.1 奇跡の年 1905 年  
p208 波の干渉  
重力波の観測方法

**本日の復習課題例**

こんなことを観たり, 調べたり, 考えてもらったら面白いかな, という程度のおまけ.

- p54 発展課題  
3回目に出すレポート課題は, 章末にある発展課題にあるようなものを3つ程度とする予定です. ちょっと自分の考えをまとめておくのもよいでしょう.

**次回の予習項目**

こんなことを調べてもらったら面白いかな, という程度の課題.

- 相対性理論は2つあるというが, その違いは?
- 未来へタイムトラベルする方法
- 酸素がない宇宙で星が燃えているのはなぜ?

**レポート**

第3回の講義のときに, レポート課題(第1回)『地球外生命体・地球外知的生命体について』を出しました. 締め切りは10月31日(金) 23:59です.

2. 近代物理学の夜明け:宇宙はどう理解されてきたのか

教科書 p41

## 2.2.3 ガリレイによる地動説の支持

## ガリレオ・ガリレイ

Galileo Galilei  
(1564-1642)

望遠鏡をつかって天体観測  
自由落下の法則を発見  
振り子の周期の法則を発見  
地動説に関する本を出版



71

2. 近代物理学の夜明け:宇宙はどう理解されてきたのか

教科書 p42

## 2.2.3 ガリレイ 地動説の擁護

## 地動説への批判

『地球が動いていたら、人間は気がつくはずだ』に対して

動いている船のマストの上から真下に石を落とすと、石はマストの足元に落下する。これは、慣性の法則により、石も船と同じ速さで水平方向にも動き続けるからである。したがって、足元に落下したからといって、船が動いていないとは言いきれない。同じように、地球が運動していたとしても、目にする身近な運動現象に特別な異変が生じるわけではない。〔天文対話〕



地球が運動していたとしても、  
慣性の法則により、我々は気づかない。  
=> 地動説は否定できない。

74

2. 近代物理学の夜明け:宇宙はどう理解されてきたのか

教科書 p45

## 2.2.4 ニュートンによる運動法則の確立

## アイザック・ニュートン

Isaac Newton  
(1642-1727)

運動の基本法則を確立  
万有引力の法則で惑星運動を説明  
微分・積分の計算を発明

83

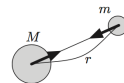
2. 近代物理学の夜明け:宇宙はどう理解されてきたのか

教科書 p45

## ニュートン：万有引力の法則



http://hikingartist.com/



## 万有引力の法則

すべてのものは、引力で引き合う

## ◆ Advanced 万有引力の法則

質量  $m$  と  $M$  の質点が  $r$  だけ離れて置かれているとき、両質点にはたらく力  $F$  は、大きさが

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.2)$$

でつねに引力である。  $G$  は定数であり、万有引力定数と呼ぶ。

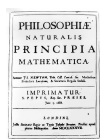
\* こう仮定すると、惑星の楕円軌道が説明できることを示した。  
\* 「なぜ」分母が距離の2乗なのか、という問いはけしなかった。

85

2. 近代物理学の夜明け:宇宙はどう理解されてきたのか

教科書 p47

## ニュートン：運動の基本法則



## ニュートンの運動法則 (1687 年)

- 第1法則 慣性の法則  
力を加えなければ、物体は等速直線運動を行う。
- 第2法則 運動方程式  
物体に力  $F$  を及ぼすと、物体の質量  $m$  に反比例した加速度  $a$  が生じる。
- 第3法則 作用反作用の法則  
物体に力  $F$  を及ぼすと、その物体は同じ大きさで逆向きの反作用  $-F$  を作用物体に及ぼす。

第2法則とされた運動方程式は式で書くと、

$$F = ma \quad (2.3)$$

86

2. 近代物理学の夜明け: 2.3 近代物理学の発展

教科書 p49

## ハレー彗星の軌道

Edmund Halley  
(1686-1742)

http://www.esa.int/Science\_Exploration/Space\_Science/Halley

ニュートンの「プリンキピア」の出版を手助け。  
1682年の大彗星の軌道を計算し、次回は1758年に  
回歸することを予言した。

76年周期 前回 1986年  
次回 2061年

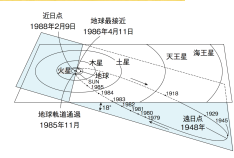
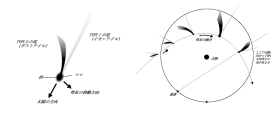


図 2.32 ハレー彗星の軌道は惑星運動回から大きく傾いている。



http://www.esa.int/Science\_Exploration/Space\_Science/Halley  
http://www.esa.int/Science\_Exploration/Space\_Science/Halley  
http://www.esa.int/Science\_Exploration/Space\_Science/Halley

90

2. 近代物理学の夜明け: 2.3 近代物理学の発展

教科書 p50

## ニュートン力学の勝利 ラプラス「天体力学概論」

『あらゆる物理現象は原理的には力学の運動方程式で解決可能である』



ラプラスの天体力学

「この大著には宇宙について書いているが、宇宙の創造者については言及していないようだ」

Napoleon Bonaparte  
(1769-1821)

“I had no need of that hypothesis.”  
(実際にはフランス語)。  
「私にはもはやその仮説は不要なのです。」

Pierre-Simon Laplace  
(1749-1827)

50

2. 近代物理学の夜明け: 2.3 近代物理学の発展

教科書 p51

## ニュートン力学の勝利 海王星の発見

## 1781年 天王星の発見

ところが、天王星の軌道を長期間観測すると、予想された位置からずれが生じた。当時の計算には、他の惑星からの重力もきちんと取り入れられていたが、計算通りにはならなかった。そこで、天王星のさらに外側を回る第8惑星の存在が考えられた。



フランスのルヴェリエが予想軌道を算出。ドイツのガレに観測依頼の手紙を出した。  
手紙を受けとったその晩 (1846年9月23日) に、ガレは計算値に非常に近い位置に惑星を発見した。



一方イギリスではアダムスが予想軌道を算出し、チャリスに観測を依頼していた。チャリスは、1846年7月から観測をはじめたが、星の同定作業を怠っているうちに、ガレによる海王星発見の報を知る。チャリスが観測ノートを見直してみると、ガレより1ヶ月前に2度、海王星を記録していたが新惑星であることを見落としていたことがわかった。

51