第５回　講義内容　　2026/10/19

配布物

- 05_Cosmology_contents.pdf　　このファイル　　Google classroom, web
- 05_Cosmology2026_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 (土) 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

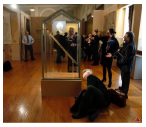
ガリレオ・ガリレイ

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





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切れない．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』)



図 2.17　等速で動いている船であっても，マストから落下した物体は，マストの下に落下する．

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．

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)



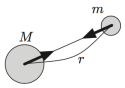
運動の基本法則を確立
万有引力の法則で惑星運動を説明
微分・積分の計算を発明

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

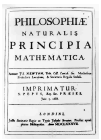
$$F = G\frac{Mm}{r^2} \qquad (2.2)$$

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，という問いかけはしなかった．

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 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，物体の質量 m に反比例した加速度 $\boldsymbol{a}$ が生じる．
第 3 法則	作用反作用の法則	物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，その物体は同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ 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，

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} \qquad (2.3)$$

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
(1656-1742)



http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/halley.html

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年に回帰することを予言した．

76年周期　前回　1986年
　　次回　2061年

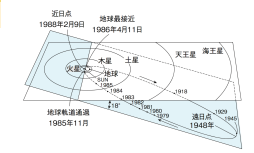
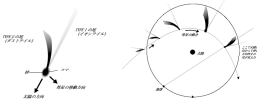


図 2.32　ハレー彗星の軌道は惑星運動前から大きく傾いている．



http://www.isas.jaxa.jp/j/japan_s_history/chapter05/01/02.shtml
http://www.astroarts.co.jp/alacarte/kiso/kiso1-j.shtml
http://www.geocities.jp/planetmeikonta2/hamasi/halley/halley.html

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』



「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そうだな」



Napoléon 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)

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．



