2011年度夏学期

**科学史** （橋本毅彦先生，月５）　～*前編～*

※指定教科書『〈科学の発想〉をたずねて－自然哲学から現代科学まで－』

（画像はすべて「Wikipedia」より）

**第一章　西洋科学の精神**

※申し訳ありませんが、各自読んでおいてください。私の経験上、教科書を読むうえでこう

いう章が一番大切ですから、どうか厭わずによろしくお願いします。

**第二章　ギリシアにおける自然学の誕生**

*１．タレスとミレトス派の自然哲学者*

○古代の人々…日食や地震などの自然現象を、神のお告げだと受け止めた．

○**タレス**

　・それまでの神話的な説明に代わり、自然現象の原因を論理的な考察によって自然界の中にその原因を求める．

○**ミレトス**の**自然哲学者**

　…タレスとその後継者たち．

　　ex)アナクシマンドロス：動物の祖先を究極的に辿ると物質に．ただし人間は動物が祖先．

○万物の根源（アルケー）の探求

　・タレス………………**水**だ！

　・**アナクシメネス**……**空気**だ！

　・**ヘラクレイトス**……**火**だ！

★科学者たちは、神話的説明（地上の万物はオケアノスとテテュスによって創られたbyホ

メロス）から離れ、**「科学的」探求**を始めた．

*２．ピタゴラスと彼の弟子たち*

○**ピタゴラス**

　・若い時期にエジプトやバビロニアを旅．その後、

生地のサモス島からイタリア南部の都市に移り住み、

弟子に数学を教授．

　・万物の根源は**数**であると主張．

　・ピタゴラス**音律**…1,2,3,4の４つの数で構成される比例関係を活用し、音階の高さを定め

る．（ピタゴラスは、天文現象や自然界の現象に単純な比例関係や調和的関係を見出そう

とした）

　・**ピタゴラスの定理**（三平方の定理）：$a^{2}+b^{2}=c^{2}$

　　→直角二等辺三角形の斜辺の長さ$\sqrt{2}$から、

　　　**無理数**と**不可共約的な比例関係**を発見（ピタゴラスの死後、弟子が発見）

　◎ピタゴラス以降の数学的知識は、ユークリッドの『原論』に集大成

　　→少数の公理から定理が演繹的に導かれる整然とした体系．

*３．パルメニデスの難問*

○**パルメニデス**…エレア派の創設者．パラドックスで有名なゼノンの師．

　・「変化は不可能である」という議論

ものは〈ある〉か〈あらぬ〉かのどちらかである．〈ある〉ものはどこまでもあり、

　　〈あらぬ〉ものはどこまでもあらぬ．〈あらぬ〉ものは知ることも語ることもできない．

　→**生成・消滅・変化・運動を否定**．変化一般の不可能性を主張．

　（例）タマゴ→ヒヨコ→ニワトリ→焼き鳥 と、目に見える姿（感覚で認識できる現象）は

明らかに変化していても、思考で認識すれば、最初から最後まで同じ存在．

　　　　（『萌える★哲学入門』（大和書房）より）

○パルメニデスの影響

・**エンペドクレス**：自然界には**火**・**空気**・**水**・**土**の４つの元素が存在し、それら自体は変化しないがそれらが組み合わされることで自然界の多様な存在が生み出されると主張．

・**デモクリトス**：原子（アトム）論者．※原子＝それ以上分割できない存在

　原子それ自体は永遠に変化しないが、位置や組み合わせが変化する→自然界の現象・変化

　→パルメニデスの難問に応答

　↓BUT 穴があった…

　＊不変な存在である原子と原子の間に何があるのか？そのすき間には、原子が存在しない．

原子が運動し配置を変えるには、すき間が必要．すき間はいかなる原子も存在しない真

空のはずである．この真空が「あらぬもの」に相当するが、「あらぬもの」があるという

のは、矛盾しないか．

*４．アリストテレスの自然学体系*

○ソクラテスのパルメニデスに関する解答

　…プラトンの著作『パルメニデス』において、目に映る世界の背後に存在するイデアが不変の世界として存在すると解答．

○**アリストテレス**…プラトンの愛弟子．アレクサンドロス大王の師．「万学の祖」

　・変化…「**可能態**」（**デュナミス**）から「**現実態**」（**エネルゲイア**）への移行

　　　　　可能態：未だ目に見える形では存在していないが、いつか目に見える形で姿が現

れる能力が備わっていること．

　　　　　現実態：姿が目に見えた状態

　　（例）少年の髭

　・学問の対象となる知識…理論的知識と実践的知識の２種．

　　前者：神学、数学、自然学（＝ヒュシス）など　後者：倫理学、政治学など

　・自然学…変化するものを研究する学問

　　数学……不変のものを対象とする学問　　と規定

　　→数学の物理学への応用は、アリストテレスの哲学体系中では認められなかった．

　・変化…量の変化、質の変化、位置の変化の３種．

　　位置の変化＝運動→自然な運動　　　　と　　強制的な運動に分かれる

　　　　　　　　　　　（自然の本性に従うもの）　　　（外部の力により、本性に逆らって行うもの）

　・物質は４種の元素（**火**・**空気**・**土**・**水**）から成る．→それぞれに本性

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　火＝上昇　土・水＝下降

　　＊アリストテレスは、物体の落下は重力によるのではなく、

物質自身のもつ本性によるものと考えた．



*５．アリストテレスの宇宙論*

○地上の物質…**四元素**の組み合わせで生成

　※生物は、四元素＋霊魂

　　植物：植物的霊魂（成長を司る）

動物：植物的霊魂＋動物的霊魂（知覚と運動を司る）

　　人間：植物的霊魂＋動物的霊魂＋理性的霊魂（精神活動を司る）

○宇宙を構成するもの…**エーテル**（＝**第５元素**）

○地球が球形であったことを認識（月食の際地球の影が円形に映ることや、水平線の向こう

からやってくる船はマストから姿を現すことから）

○アリストテレスの宇宙像（教科書p.35図２－２参照）

　…地球のまわりを取り囲む５５の**天球**．

　　その構成要素がエーテル（本性は円環的運動）

★ギリシア自然哲学は、タレスの探求に始まり、数学的・哲学的発見をふまえ、アリストテレスの自然学・天体学（緻密に組み立てられた合理的世界像）に完結した．

**第三章　中世の科学－ギリシア自然学とキリスト教－**

*０．古代ギリシア自然科学の発展*

○古代ギリシア自然科学

　→エジプトの都市**アレクサンドリア**で発展

　　　　　　　　　＝アレクサンドロス大王のもと建設

　　この地に**ムセイオン**（ミュージアムの語源）という図書館兼研究所が設立され、

　　ギリシア各地の書物の、歴史・科学の研究がおこなわれる。

　ex)・**ユークリッド**（エウクレイデス）…数学者．『**原論**』

　　 ・**プトレマイオス**…天文学者．天動説を展開．『**アルマゲスト**』

　　→彼らの書物は模範的な教科書となる

↓BUT

○ローマ帝国による支配→ギリシア自然哲学の衰退

　ローマ人は、科学や哲学よりも実用的な技術（コンクリート、建築物、上水道など）や医

術を重視した．

　（手を使う作業を卑下し、議論と思索に基づく学問を重視したギリシア人と対照的）

　→ローマ帝国の没落後、哲学と科学研究の中心は東に移る

　　ex）コンスタンティンノープル、シリア、アラビア



*１．アラビア科学*

○**アル＝フワーリズミー**

…アラビアの数学者．９Ｃの人物

　　代数学の書『**アル・ジャーブルとアル・ムカーブルの書**』を著す

　　・アル・ジャーブル…方程式の両辺をプラスにする移項の操作の意

　　・アル・ムカーブル…同類項を集めて整理する操作の意

　　・三部構成

　　　①代数学　②幾何図形に関する代数的方法

　　　③遺産分配方法→イスラム教では、コーランの教えにより親族への遺産分配の仕方が明確に規定されおり、それを厳密に履行するため

　　＊アル＝フワーリズミーは、「アルゴリズム」の語源

　　＊アル・ジャーブルは、「アルジェブラ（代数学）」の語源

○アル＝マアムーン

　…アッバース朝カリフ．

　　バグダードに**「知恵の館**（バイト＝アル＝ヒクマ）」を設立し、シリア・ギリシア文献

　　の翻訳をおこなわせる．　　　　　　→フナイン＝イブン＝イスハークらが翻訳活動

　◎これらの翻訳された学術文献をもとに、数学・天文学・医学・哲学など各領域で独創的

な研究者がアラビア世界に登場

*２．12世紀ルネサンス*

○アラビアで継承発展されたギリシア学問…西ヨーロッパ世界にもたらされる

　※背景：十字軍、東方貿易、レコンキスタ、ビザンツからの亡命者

☆12Cの西ヨーロッパ

　　…農業生産の増大→都市が経済的・文化的に活況を呈す

　　→ゴシック様式の流行．

　　　学問の教育と研究を行う大学が各地に誕生（母体は教会や修道院の付属学校）

・スペインの**トレド**やシチリアの**パレルモ**で、アラビア文献のラテン語翻訳が盛んに

　…アラビア世界とヨーロッパ世界の境界地域

ex)ジェラルド

　 …イタリア、クレモナ出身．トレドで協力者と共同で70あまりの学術書を翻訳．

○大学

　・ラテン語文献を教科書として使用（写本）．

　・**専門学部**：神学部・法学部・医学部 の３つ

　　**学芸学部**（現在の教養学部のようなもの）

：**自由学芸七科**→文法・修辞学・論理学（言語に関する３科）

　　　　　　　　算術・幾何学・音響学・天文学（数学的な４科）

　いわゆる、「リベラル・アーツ」教育．

＊特に論理学は、議論を進める作法や形式を内容としていたため、重視される

　当時の議論は、

　①ある問題の提示

　②それに対する第一の解答の提示

　③その内容の吟味・論駁

　④さらに第二、第三の解答を吟味・検討・論駁

　⑤最後に自分の解答を提出　　　　　　　　　　　の形で進められた

　上級学部である専門学部ではこのような形式に基づき進められた

*３．アリストテレス哲学vsキリスト教神学*

○アリストテレスの翻訳文献は、学芸学部で教科書として重宝される

　ex)『分析論』『自然学』『天体論』『生成消滅論』…

 　　↓BUT!

読解が進むにつれ、アリストテレス哲学とキリスト教神学の教義との間に齟齬が発生

　→哲学者と神学者とは、異なる見解をもち、異なることを学生に教え始める

○両者の反目はパリ大学で激化

　1210年　パリ大学でアリストテレスの著作の購読が禁止される

　　　　　　→1255年にいったん解除

　以後、対立が深刻化

　1270年　１３の命題がキリスト教に反する「誤った」命題として選定

1277年　パリ司教エチェンヌ＝タンピエが、教皇ヨハネ21世の命で神学者と協議し、

　　　　 219の「誤った」命題を選定

　　　　 （いわゆる、**タンピエの譴責**）

　　　　 それらの命題を主張した者は教会から破門されることなる

　　　　「哲学は神学の婢」となる…

　＊譴責されたおもな自然科学的命題

　・真理の二重性：哲学者は自然的原因に基づき議論し、神学者は超自然的原因に基づき議論をする

　　→神学の真理と別の哲学的真理が存在するはずがない。神学的真理が真理である。

　・世界の永遠性：世界が永遠に存在し続けること

　　→聖書には、神による天地創造と最後の審判が明記されている。世界が過去から将来

にわたって存在し続けるはずがない。

　　・世界の単一性：神は複数の世界を創造できないこと

　　　→アリストテレスによれば、地球を中心とする「地球系」の外側には世界が存在しな

い（宇宙の中心に向かって自然運動する土や水の運動方向が決定できなくなるから）。

しかし、神は絶対的能力をもっている全能の神に不可能なことはないから、世界の

外に別の世界を創造することもできる。

　　・神は天体を直進運動させることはできない

　　　→アリストテレスによれば、天体が直進運動するとその後ろは真空になるが、彼は真

空を否定していた。しかし、神は全能だから、その気になれば天体を直進運動させ

ることも、真空を生み出すこともできる。

　　→キリスト教の教義に反する命題とともに、神の絶対的能力を制限する命題も否定され

た．

　　※タンピエの譴責は哲学者の知的活動のとなるが、

　　　逆にアリストテレス哲学を超えるきっかけを与えるものでもあった．

*４．ジャン＝ビュリダンの自然学*

○タンピエの譴責以降の自然学研究

　・**ジャン＝ビュリダン**

　　…パリ大学学芸学部教授

　　　講義ノートが後世に伝えられる．

　　　ex)『自然学問題集』：真空の存在について議論．神は真空をつくれると主張．

　　　　　　　　　　　　　（∵神がブドウ酒の甕の中身を空にしたら、真空が生じる）

　　　→タンピエの譴責の枠組みを逸脱することなく、アリストテレス哲学を精緻化

　　＊ビュリダンの、アリストテレスに対する挑戦～飛んでいく石の孕む問題～

石を投げるとき、手に持って速度をつけている最中は強制運動を受けている。しかし、手から離れて飛んでいくとき、石は自然運動しているのか、強制運動しているのか。前者の場合、石はまっすぐ下に落ちていく。強制運動の場合、石を運動させているものは何なのか。

☆アリストテレスの解答：前方の空気が後方に回り込み、物体を後ろから押す

　　　　　　　　　　　　　　　（このような駆動方式を「アンチペリスタシス」と呼んだ）

　　　☆ビュリダンの反論：砥石はごろごろ回転するが、空気に押されているわけではない。

　　　　　　　　　　　　 先端も末端も尖った槍を空気は押すことができるのか。

　　　→ビュリダンは「**インペトゥス**（勢い）」という概念を提唱

　　　　「インペトゥスとは、磁石によって鉄に込められた性質が鉄を磁石の方に動かすと

いわれるように、そのインペトゥスが込められた物体を動かす本性をもつ性質である。」

石が投げられたときの強制運動させる動力源は、手から石に込められたインペトゥスであるということ．

　　　　　～〉アリストテレスの基本概念を保持したまま、新しい概念を提示．

　　　　　　　近代力学の「慣性」概念にも近い（近代科学の発端か？）

　　＊『天体・地体論問題集』で、地球の自転について言及

　　　（地球よりはるかに巨大な天球が回転していると考えるより、地球の方が回転し天球

が静止していると考える方が妥当では）

→結局、地球は静止していると結論

★中世哲学者による自然学研究は、タンピエの譴責という箍をはめられ、厳格にキリスト教神学という枠内に制限されながら、アリストテレス自然学における問題点を細部まで検討し、その自然学体系を乗り越えてさまざまな可能性を考察し、加えていく豊かさをもっていた。

第四章　中国の科学―官僚制と天文学―

*０．中国科学史の意義*

○ジョゼフ＝ニーダム…もともと生化学者であったが、W.W.Ⅱ中に中国に派遣されると、中

国技術史に魅了され、以後ケンブリッジ大学で歴史研究に専心

　・『中国の科学と文明』：中国技術史研究について

　・『文明の滴定』：ヨーロッパ文明と中国文明を比較考量し、両文明の科学技術の特質を考

察．「滴定」とは科学の実験において二つの溶液を反応させることにより、濃度などを決

定する適量分析の方法．ニーダムはこの著作の中で、科学が生まれなかった中国を卑下

し、科学が生まれたギリシアを称賛したアインシュタインとギリスピーを徹底的に批判．

対して中国は西洋と異なる知識体系を形成し、それは「科学」の名に十分値すると主張

した．

○中国科学の特徴＝**天文学**（天文台で天文現象の観測を行い、正確な暦を作成）

　←→ヨーロッパ＝宇宙の構造の解明

　※中国では宇宙構造についての議論がほとんどなされなかった

*１．官僚制と天文学*

※天文学は、**暦**の作成を密接に関わりながら発展

　　　　　　→国家事業．暦法は重要な法典としてみなされた．

　　　　　　（∵皇帝の入れ替わりの際の改暦、属国地での施行強要 など）

○中国の暦…**太陰太陽暦**（日本の旧暦）

　　　　　　＝季節を一巡する一年と、月の満ち欠けに対応する一ヶ月との組み合わせ

　　　　　　　一年が12ヶ月ではやや短いため、13ヶ月の一年を適宜挿入．

　　　　　　　**置閏法**（19年に７回、閏月を設ける）が、前５～６Ｃごろに確立．

 　　　19年という周期を１章と数えることから「章法」とよばれ、後５Ｃにはさら

に改良され「破章法」とよばれるにいたった．

○前漢以降…日食、月食、「五星」の運行が暦に併記

　　　　　　→１年や１ヶ月が農業や日常生活に結びつくのに対し、

　　　　　　　これらは**占星術**と結びつく

　　　　　　　　　　　　↓

　　　　　　国家の行く末を占う重要な行事．

　　　　　　『易経』…「天は象を垂れ吉凶を表す」「仰ぎて天文を観て、かがんで地理を察

する」

→天界の現象は地上の人間社会の在り方や行く末を反映し、天体を

観察することにより人間社会の予兆を伺うことができる！

→春秋戦国時代の乱世に重要視された

○占星術…英語では①ホロスコープ（horoscope）、②アストロロジー（astrology）

　①→個人の出生の期日や時刻からその人の運勢を占う

　②→社会全体の運勢にかかわる天界の出来事を占う

　→中国の占星術は②をさす．この情報は国家機密として扱われた．

○以上の理由（暦の作成、占星術の実施）により、天体観測を行う組織が機能

　　↓

**太史局**…国立天文台．周の時代に設置．漢代に確立．

　　　　　造暦と占星の基礎となる断続的天体観測が組織的になされる．

　　　　　秘書省という組織の下にある官僚機構の一部．

　　　　　長官は太史令と呼ばれ、科挙を通った高級官吏が勤務（司馬遷もかつて歴任）．

秘書省

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　｜

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　太史局

No.1太史令

No.2太史丞

　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　｜

　　司暦　　　　保障正　　　　監候　　　　　霊台郎　　　　　挈壺正　　　　漏刻博士

　　　　　　　（暦博士）　　　 ｜　　　　（天文博士）　　　　司辰　　　　　　｜

　　　　　　　　　｜　　　　天文観生　　　　　｜　　　　　 漏刻典司　　　 漏刻生

　　　　　　　　 暦生　　　　　　　　　　　 天文生

　　司暦…暦の作成　　監候…天体観測　　暦博士…造暦を教授

天文博士…天体観測を教授　　挈壺正…時刻測定　漏刻博士…時刻測定を教授

○○生…学生

　　※教官と学生からなる教育機関も備わっていた

○星座…ギリシア神話の登場人物の名がつけられたギリシア起源の星座と異なり、中国の星

座には宮殿の場所や官僚の役職名が割り振られていた

→官僚機構の一部であった中国天文学の活動の在り方を反映

○天文学的情報は国家機密であったため、天文台職員は部外者との個人的交流が禁止され、

一般人による占星が行われないよう、天文観測器具や天文学書の所有も禁止された．

　★中国の天文学研究は、官僚旗鼓の枠組みの中で、閉鎖的に進められていった

*２．中国における宇宙論*

○２つの宇宙論

　・**蓋天説**：平面の大地の上に、天蓋が傘のようにして覆っている

　・**渾天説**：天空は球状であり、その中央に水に浮かぶ大地がある

　　　　　　前漢武帝時代に新暦（太初暦）作成のために作られた「渾天儀」にちなむ

　＊ギリシア人の宇宙認識に比べれば非常に素朴なもの．

○梁の武帝（６Ｃ）は学者を集め、両者の優劣を討論させる．

　→学者は渾天説を支持したが、皇帝が自ら信じる蓋天説を最終的に擁護

　≫以後、宇宙論をめぐる論争は不毛なものと学者たちはみなす

　　（造暦と占星が重要であって、宇宙構造理論などどうでもいい!）

　　　　↓

○**朱熹**（南宋）：宇宙構造の探求を行う．朱子学を体系化．

　◇朱熹の宇宙論

　　・地球のまわりにいくつかの天球が存在（アリストテレスと類似）

　　・「**気**」という物質が天を構成し、それが高速で回転して９つの層を形成

　　・**陰陽五行説**が通底

　　　→陰と陽が周期的に繰り返し、火・土・水・木・金の五元素が生成・変性していくと

いう中国古来の伝統的な自然観．

*３．授時暦*

○朱熹の考える造暦の在り方

　・精密な天体観測に基礎づけられるべき

　・自然の「理」の究明に基礎づけられるべき

　　　　　　→今日の概念でいう「パターン」．宇宙万物の本性・性質

　・よって、天文台での精緻な観測が肝要

○南宋から元に→改暦の勅令→委員会結成

　その委員会に朱熹の弟子や孫弟子が加わる

○**郭守敬**…その一人．都水監（治水事業を管轄）で、数学に秀でた官僚．

　◇郭守敬の挑戦

　①正確な天文観察器具の製作

　　・渾天儀などの改良

　　・ノーモン（高さ10ｍほどの太陽の高度を測定する地面に垂直にたてられた棒）の建設

　　→これらの器具を利用する新しい天文台「太史院」の建設

　②冬至の日時の正確な決定（冬至は当時、一年の起点であった）

　③太陽と月の不均一な運動に対して補間法を採用

　④新しい数学的技法の利用

　―→新暦・**授時暦**の誕生!

　　　全国に300万部頒布される

　　　さまざまな技術や組織が結集された暦法は、近代以前の中国科学の最高の成果

*４．海洋航海の禁止*

○三大発明（**製紙法**・**火薬**・**羅針盤**）：中国→ヨーロッパへ

　…高度に発達した中国科学技術の象徴

　造船技術も発達し、海洋船が建造され外国貿易が盛んに（esp.元代）

○**鄭和**（明）…イスラム教徒の宦官．大船団を組織しアラビア半島やアフリカ東岸に計7回

の渡航．ヨーロッパに先駆け「大航海時代」が幕を開けたかに見えた

　　↓BUT

　1436年、大航海の中止

　∵海洋渡航用船舶の建造が禁止される

　（理由として考えられること）

　　・鄭和をめぐる派閥争い（彼がムスリムであったことから）

　　・国内の運河網の発達により海上輸送の必要がなくなった

　　・軍事的脅威は辺境地域にあり海軍に力を入れる必要はなかった

★中国では古来より、天文学をはじめとする多くの科学技術が萌芽した。だが、それはあくまで造暦や占星といった実用的次元での探求であり、宇宙構造の探求などある意味形而上的な考察は行われなかった。ヨーロッパ科学は、中世においてギリシアで培われたかつての輝きを失い低迷するが、中国では古代・中世を通じて持続的に成長した。しかし、1600年ごろを境に、ヨーロッパ科学が中国科学の水準に追いつき追い越し、以後指数関数的に急成長を遂げることになる。

第五章　コペルニクス革命―地動説の誕生―

*１．プトレマイオスの天文学*

○コペルニクス天文学以前…プトレマイオス天文学が主流

　　　　　　　　　　　　　→幾何学的天文理論

○**プトレマイオス**天文学

＊惑星…「さまよう星」．順行（西→東）と逆行（東→西）を繰り返す．なぜ？

　→プトレマイオスは主著『**アルマゲスト**』において、円を巧みに組み合わせることで説明．

　　「**周転円**」「**離心円**」「**エカント**」という３つの幾何学的概念を提示．

　①周転円

地球を中心とする導円上を回転する一点を中心とする円軌道（周転円）上に惑星が存在

②離心円

地球が円軌道の中心の位置からずれている

　③エカント

離心円の中心に対して地球と対称な点（エカント）に関して、離心円上を等しい角速度で移動する。

＊エカントの論的根拠について、プトレマイオスは言及せず

→①～③の概念を組み合わせ、惑星の動きを説明する（教科書p.67 図5-4参照）

※17世紀までの西洋天文学は、このプトレマイオス的天文理論と、アラビア天文学（アットゥーシー、アッ＝シャーティルらの）を軸としていた。それらは天文学の教科書『サクロポスコ』で扱われ、大学で講義されていた。

*２．コペルニクスによる地動説の発見*

○**ニコラウス＝コペルニクス**の前半生（年号なしは不明のもの）

1473　ポーランドのトルニに生まれる．父は裕福な商人．

1483　父が亡くなる．母方の伯父の援助を受けて育つ．

1491　クラクフ大学に入学

1495　教会参事会員の職を得る

　　　イタリアの大学（パドヴァ、ボローニャ）に留学、教会法を学び博士号を得る

　　　だがそれは建前で、実際には天文学に興味を持ち、研究に明け暮れる

1503　ポーランドに帰国、司教補佐の仕事に

○コペルニクスの地動説研究

・「**ウプサラ・ノート**」：スウェーデン・ウプサラ図書館に残された研究ノート

　…『**アルフォンソ表**』（天文表）と三角関数表＋16枚の白紙．

　　上段：イブン＝アッ＝シャーティルの惑星運動論を改造した宇宙像を提示

　　　　　（離心円の上に周期円を二つ重ねた構造）．

　　下段：惑星ごとに離心円の大きさが揃えられた上で周期円の大きさを計算．

　　　　　→各惑星の円軌道の中心が、地球から一定の離心値だけ離れた同一の位置におか

　　　　　　れる．→この同一の位置にあるのが太陽

　　　→地動説の宇宙モデルがうかがえる!

　★コペルニクスは地動説にたどり着く以前にプトレマイオスの天文学を深く研究し、それ

　　を基礎として地動説という理論を導き出した。

　＊この後、『**コメンタルオルス**（要項）』を著し、友人に地動説を広める

*３．『天球回転論』と道具主義的科学観*

1539年：**ゲオルク＝レティクス**（ヴィッテンベルク大学で天文学を教える）がコペルニクス

を訪問．

　　　　『第一解説』を著し、コペルニクスにも著作出版を薦める

　　　　→コペルニクス、執筆活動を開始

　　　　　　↓

　　　　『**天球回転論**』完成（1543年、出版）

○『天球回転論』の意義とその内容

・全６巻からなる本格的な天文学専門書．天文学を十分に修めた専門家向け．

・第１巻：太陽が「美しい神殿」の「王座」を占める「宇宙の精神/支配者」であると表現

　　　　　…ルネサンスの太陽礼賛の思想（ヘルメス主義思想）の影響か．

・第１巻：「地球が自転するなら地上の物体は遠心力により吹きとばされるのでは？」という

問いに対し、「地球が自転するとき地上の物体も地球とともに回転し、それは物体

の本性に従う自然運動によるのだ」と返答．

・序文：コペルニクス本人の序文

　→BUT、「**もう一つの序文**」が存在

　　　　　…神学者・**アンドレアス＝オシアンダー**が無断掲載したもの．「この著作は地動

　　　　　　説という仮説を単に観測によく合致する計算上の道具として提示しており、そ

　　　　　　もそも天文学者の任務とはそのような観測と計算をすることだ」という内容．

　　　　　　レクティスはこれに憤慨．

　　　　　～》実際、大学の天文学者の間ではこの現実主義的解釈に従い、コペルニクス理

論を計算の道具として受け入れる傾向があった．

　　　　　　（∵宇宙の構造理解は哲学者の職分であるから）

・**エラスムス＝ラインホルト**…コペルニクス理論を参考に、「**プロシア表**」（新しい天文表）

を作成．後のグレゴリオ改暦で採用される．（彼自身は地動説の信奉者ではなく、

優秀な天文理論としてコペルニクスの説を汲んだのみ）

*４．ティコ＝ブラーエとヨハネス＝ケプラー*

＊16世紀後半、自然学として天体構造論に取り組む天文学者が登場

　…彼らは大学ではなく、宮廷付きの天文学者であった

○**ティコ＝ブラーエ**

・デンマークの封建領主の長男として生まれる．

・デンマーク王の好意により、フェン島のウラニボルグに天文台建設(**ウラニボルグ天文台**)

　→精密な天文観測を開始（教科書P.75、図5-5）

・国王の死後（1597年）、ウラニボルグを離れ、プラハへ赴き神聖ローマ皇帝ルドルフ２世

に謁見、そこで新しい天文表の作成にあたる．

　→このとき助手として雇われたのがケプラー

○**ヨハネス＝ケプラー**

・コペルニクス地動説の信奉者

・プラハに来る前に『宇宙誌の神秘』を出版、太陽から惑星までの距離の比例関係を説明

　＊ティコは地動説不支持、コペルニクスの中間的折衷説（太陽の周りを惑星が回り、惑星

を引き連れた太陽が静止した地球の周りを回る）をとる．

※ティコとケプラーは大学に所属せず、またティコは貴族でもあったため、積極的に宇宙構

造の理解を主張した

○プラハでのケプラーの探求

・ティコの観測記録をもとに惑星軌道の真の幾何学的形状の決定に取り組む

　→火星に焦点を当てる

・プトレマイオスのエカントを自然学的に再解釈（コペルニクスとは逆方向のベクトル）

　→エカントの近くではゆっくり動き、遠くでは速く動く

　　～＞太陽の遠くではゆっくり動き、近くでは速く動く　と再解釈

　…『宇宙誌の神秘』で「アニマ」と表現された太陽の持つある種の力が惑星に作用し、距

離に反比例する速さで惑星を推し進める（「**距離の法則**」）と主張．

　　cf)1600年にウィリアム＝ギルバート（英）はこの力を磁気的な力だと推測(『磁気論』)

＊「距離の法則」はのち、「**面積速度一定の法則**」へと実を結ぶ

・上記の法則を火星に当てはめる（火星の軌道は離心円で、太陽は円軌道の中心から離れた

位置に）と、太陽―火星軌道の描く面積が観測値と不一致

　→「距離の法則」に基づく「面積速度一定の法則」を一度捨て、軌道を微修正すると、形

状は楕円に→これに「面積速度一定の法則」を重ねると、見事一致！

～＞「**楕円軌道の法則**」

・以上の成果を、『**新天文学**』に著し、出版

★ケプラーの法則（確認！）

第一法則：楕円軌道の法則

　　　　…惑星は太陽を１つの焦点とする楕円軌道を描く

第二法則：面積速度一定の法則

　　　　…太陽と惑星を結ぶ直線（動径）は、等しい時間に等しい面積を描く

第三法則：調和の法則

　　　　…惑星と太陽の平均距離$a^{}$の３乗は、惑星の公転周期*P*の２乗に比例する

※実際の発見順序は、第二法則→第一法則である点に注意！

★ケプラーは、当初は太陽から発せられる磁気などという怪しげな概念を頼りにしていたものの、それは後の地動説確立において、周転円や離心円といった伝統的な概念よりも信頼できる案内役であった。天文学と自然学を乖離させる伝統的な学問論にのっとり、地動説を単なる計算的道具とみなしたオシアンダーらに対し、ケプラーは自然学と統合された新しい天文学の構築を目指した。

★哲学者の職分である宇宙構造の解明と、天文学者の職分である天文現象の観測・計算を統合したケプラーの働きに注目しよう。

第六章　魔術的自然観

※テスト範囲におそらく含まれないため、割愛します．各自読みましょう．

第七章　機械論的自然観の登場

*１．ガリレオと地動説*

○**ガリレオ＝ガリレイ**

・前半生

1564　イタリア・ピサに生まれる．父は音楽家．

　ピサ大学に入学、医学を志す

　　　↓BUT 一つの出会いが…

　　　数学者のオスティリオ＝リッチと出会い、実用数学に感銘を受ける→数学や力学

　　　のち、大学を中退．

1589　ピサ大学で教鞭をとる

1592　パドヴァ大学で教鞭をとる

　　＊この期間に、振り子の等時性と落下の法則（落下距離は落下時間の２乗に比例）を発

　　　見

○ガリレオの**地動説**

・確信のきっかけ：新発明の**望遠鏡**で**木星の衛星**（ｲｵ、ｶﾞﾆﾒﾃﾞ、ｴｳﾛﾊﾟ、ｶﾘｽﾄ）を発見

　　　　　　　　→地球だけが衛星をもつ特別な惑星でないことを証明

　　　　　　　　　月の表面、金星の満ち欠け、太陽の黒点を観測．

　以上の成果を『**星界の報告**』執筆、メディチ家のコジモ２世に献上．

　→メディチ家の宮廷付きの自然哲学者に．

・『**天文対話**（正式名称：プトレマイオスとコペルニクスの二大世界体系についての対話）』

　…地動説を自然学的に基礎づけることが目的．これにより宗教裁判にかけられる．

　（内容）サルヴィアチ（ガリレオの代弁者）が、サグレド（良識ある市民）の前で、シンプリチオ（天動説論者）の主張を次々と論駁

　　…科学史上もっとも有名な著作であるとともに、優れた文芸作品であるという側面

　＊シンプリチオの批判の例

　「地球が東方向に回転しているのなら、塔の上から落とした物体は塔の真下に落ちずに、

　　落下の最中に地球の回転をこうむり、少し西側に着地するはずだ。しかし、落とされた

　　物体は塔の真下に落ちていく。よって地動説は誤っている」

　→これに対するサルヴィアチの解答

　「帆走する船のマストの上から落とされた物体は、船が動いていてもマストの付け根に落

　　ちるはず。そのことは実験をせずとも、次の事例を考えれば明らかである。すなわち、

　　球が斜面を下るときには、その転がる速度は徐々に速くなる。逆に斜面を登っていくと

　　きは、その速度は徐々に遅くなる。では、水平な面ではどうなるかというと、加速も減

　　速もしないだろう。」

　　…What does he mean?

　　→海を進む帆船は、水平面を転がる球と一緒．マストの上の物体は、船の動きとともに

　　　動き続ける．これは地球の自転にも当てはまる．

　　～＞「慣性」の指摘（正確には「円慣性」）

　　　　…》従来のアリストテレス的運動概念を否定

　＊思考実験の多用．

　　…実際に実験するよりも、対話を通じて帰結を頭の中で考えることを重視（上の例に顕

著）

　　　→多くの人（庶民を含む）に読んでもらうことを前提としたから

*２．粒子論的自然観*

○ガリレオの『偽金鑑識官（サジアドーレ）』

　…彗星が月下界で生じているか、天界で生じているかを議論．

　→ガリレオは、彗星は天界で起こる現象だと主張．アリストテレスの宇宙論を一刀両断．

○魔術的自然観の否定→**機械論的自然観**の提示

　…物体に特有の性質を特定

　　・**第一性質**：形・大きさなど、それから引き離して物体を想像できないもの

　　・**第二性質**：色・味・においなど、物体自身ではなく近くする人間の側に属する性質．

　◇堅さ、柔らかさ、粗さ、滑らかさなどの物体の形状に由来する感覚は、土の元素の性質

に由来する．

　◇味は、微粒子の運動と、その舌による近くに起因すると説く（教科書p.100の文）

　◇音は、空気の振動によって鼓膜の軟骨が動かされる

　→感覚、味、におい、音を、土、火、水、空気の四元素に関連させる

　　＝第二性質を第一性質に置き換える

　～自然学の中から各種の性質を追い出し、粒子の形や速さからあらゆる自然現象を説明

　　＝**粒子論的自然観**

　★数学（形や速さ）と、自然学（音など）を峻別するアリストテレスに対し、両者を融合．

*３．デカルトの機械論的自然観*

○**ルネ＝デカルト**…ガリレオが散文的に語った自然観を、一つの整合的な哲学体系にまとめる

・『**精神指導の規則**』

　…書物の権威（ex.アリストテレス）に頼ることなく、自分自身で確実な拠り所を求めることを宣言

　→確実なこと＝「**直観的に明晰判明なこと**」（思考の規則）

　　～精神と物質とを厳格に区別（**物心二元論**）、

　　　物質固有の性質は**延長**（空間的広がり）であると主張．

　　＊ガリレオが、第一性質だけを物体の性質だと規定したことに対応

　　＊ちなみに、精神の本質は思惟

・『気象学』…友人に尋ねられた幻日現象を説明

・『宇宙論』…宇宙は三種の元素からなるとする．

　　　　　　　①第一元素（超微細．火の元素に相当）②第二元素（微小．空気に相当）

　　　　　　　③第三元素（小さい．土に相当）　…大きさと重さだけが異なる

　　　　　　　空気の粒子が衝突し、そのかけらが火の粒子となり高速で運動

　　　　　　　→妨げるものがなければ、無限に直進運動

　　　　　　＊アリストテレスの説く熱冷乾湿の性質を払拭、「慣性の原理」の確立

＊**渦動宇宙論**

　　…太陽や地球のまわりを高速回転する微細粒子で重力現象を説明する．

　　デカルトや、彼の理論に共鳴した**クリスティアン＝ホイヘンス**が提唱

　　（教科書p.104　図７－１）

・『人間論』…人間を、土の元素からできあがったロボットと想像

　　→人間の身体的、精神的な活動のほとんどが物質粒子の運動と組み合わせによって説明

　BUT、精神的活動は機械的に説明できない（『精神指導の規則』）

　→**松果体**が精神と物質とを結びつける

*４．時計仕掛けの宇宙とその設計者としての神*

＊授業では重視されなかったため、雑多な人名などは省き、ポイントのみ紹介します．

★機械論的自然観は、無神論につながるのでは？

　→宇宙という精巧な機械時計の設計・製作者こそが神（by ロバート＝ボイル）

　∴自然や宇宙の探求は、その設計者である神の素晴らしい能力と栄光を確認する行為

　（機械論哲学に基づく自然科学研究をキリスト教の立場からも正当化）

**第八章　ニュートン―科学革命―**

★西洋近代科学の系譜

コペルニクス　　　ケプラー　　　ニュートン（＝科学革命）→ニュートン力学の受容

　　　　　　　　　ガリレオ

　　　　　　　　　デカルト

*１．研究に専念する若きニュートン*

○**アイザック＝ニュートン**

1642　イギリス島北部、リンカーンシャーのウールソープの農家に生まれる

　　　父は生まれる直前に他界．母の再婚相手から養育費をもらいながら祖母のもとで育つ

　　　グラマースクールで教育を受けた後、ケンブリッジ大学に入学

〔大学時代〕

・アイザック＝バローから数学の指導を受ける

　ルーカス教授職というポストにあった

　↓BUT

・1665～67　ペストの流行により、ニュートンは生地に疎開

　　　　　　疎開地で『哲学原理』（デカルト）、

『天文対話』（ガリレオ）などで勉強

　　　　　　実家の小部屋で後の業績の基礎となるアイデア

を次々と生み出していった

＊重力の理論：**遠心力の定式化**→月の運動に適用

・大学に戻ると、トリニティ・カレッジ（寮 兼 研究所）のフェローに．

　→ケンブリッジでの研究を生涯保障された

・1669　バローが辞したルーカス教授職の後任に．

　→数年間、光学研究に専心

*２．『プリンキピア』*

○ロバート＝フックの寄稿以来・議論→万有引力の概念、距離の２乗に反比例する力と楕円

軌道との関係を把握．

○**エドモンド＝ハレー**の訪問

　…距離の２乗に反比例する力で引かれている物体の軌跡を質問

　　→ニュートンは楕円と即答．後日ハレーはそれに関する論文を王立協会に提出、ニュー

トンに書物に著して体系化することを提案

　　　↓

　　『プリンキピア（自然哲学の数学的諸原理）』出版（1687年）

○『**プリンキピア**』

・第１巻：**運動力学**、重力の理論とケプラーの惑星運動の法則との等価性を解説←書の中核

　　　　　冒頭にニュートン力学の基本法則を提示．

　　　　　面積速度一定の法則、楕円軌道の法則を幾何学的に証明．

・第２巻：**流体力学**→デカルトの渦動宇宙論の論駁を図る．

　　　　　　　　　　　　　　　…天体に働く重力の逆２乗性（後述）と矛盾

　　　　　＊デカルトは当時の科学者にとり、挑戦し乗り越えるべき大きな存在だった．

・第３巻：運動力学、重力の理論を太陽系の各惑星に適用、観測値との関係を吟味．

※運動力学…慣性、作用・反作用、f=ma、加速度

※**楕円**〔軌道〕**の法則と重力の逆２乗性**の証明

〔証明〕

図の*Ｓ*に太陽があり、楕円運動をする惑星*Ｐ*に重力が働いている．

*Ｐ*から楕円上の*Ｑ*まで移動する際にかかる重力は、*Ｐ*が接線上を*Ｒ*まで移動し、

*Ｒ*から*Ｑ*まで落下させる重力と等しい．

*Ｐ*から*Ｑ*まで移動するのにかかる時間は、面積速度一定の法則により、

△*ＳＰＱ*の面積に比例する．*Ｑ*から*ＳＰ*に降ろした垂線の足をＴとすると、

$$△SPQ≒\frac{1}{2}SP×QT$$

である．

一方、落下距離*ＱＲ*は、

ガリレオの落下法則（落下距離は、重力の大きさに比例し、落下時間の２乗の比例する）

により、重力を*f*とすると、

$$QR∝f×(SP×QT)^{2}$$

となり、

$$f∝\frac{QR}{SP^{2}×QT^{2}}$$

楕円に対しては、$\frac{QT^{2}}{QR}$ は常に一定であることが示されるので、

$$f∝\frac{1}{SP^{2}}×\frac{1}{k}$$

$$f∝\frac{1}{SP^{2}}$$

以上より、重力は太陽から惑星までの距離の２乗に反比例する

〔証明終〕

※各点の記号は、教科書を見てご自分で図に記入してください．

★ニュートンは万有引力の概念を、自然界の物体を構成する小さな粒子から、惑星にいたるまですべてのものに適用した（普遍的に働く遠隔作用力として）。しかし、デカルトの後継者は、この考えは魔術的自然観の復活であるとして、万有引力を当初受け入れなかった。

*３．ニュートン錬金術研究*

○ヘンリ＝モア（ケンブリッジ大学のプラトン主義者）の影響…デカルトに批判的

○**錬金術研究**

　…万有引力の発想の源泉．経済学者のケインズがオークションで手に入れたニュートンの

手稿に錬金術の記載があった．ケインズはニュートンを「最後の錬金術師」と呼んだ．

・錬金術や自然魔術の文献を読みつつ、炉と化学薬品を用い自ら実験．すべての粒子間に作

用する万有引力、発酵などの化学現象の説明に持ち出される共感や**親和性**の発見につながる．

・流率法（微分法）の逆の計算である**積分法**は、粒子間の引力を物体全体にわたって足し合

わせるためにつくる．

○『光学』における疑問

・疑問31…物質や光の粒子間に作用する、重力とは異なる微小な力（**分子間力**）を想定．

・水を普遍的根源物質と想像（ジャン＝バプティスタ＝ファン＝ヘルモントの説）．

　水粒子間の分子間力＋熱による振動運動で物質が構成される（発酵の原理による）．

・生命原理の根源物質としての水…だんだんと量が減少．

　→彗星によって供給されると主張．

・衛星や惑星は太陽の水蒸気が凝縮されたもの→彗星に変化

　彗星が太陽に突入することで、太陽が大爆発をおこし超新星となると考えた．

　（聖書の黙示録には、超新星となった太陽が地球をのみ込み、世界は週末へと至る記述）

*４．ニュートン力学のフランスにおける受容*

○フランス…デカルト信奉者（機械論的自然観）が多かったため、万有引力は受容されず．

　→重力は粒子の渦動によって生じると主張

○地球の形について

・ﾌﾗﾝｽ科学者：微粒子の回転は地球の自転と同じ方向に回転するものが多いから、地球上の重力は極地方より赤道地方の方が大きい→地球は縦長

・ニュートン：万有引力により、地球には一様の重力が生じる．しかし自転による遠心力があるため赤道付近が膨らむ→地球は横長

　　↓

　1735　フランス学士院は、ペルーとラップランド（スカンディナヴィア半島北部）に調査団派遣

　　　　→**緯度差１°に対する子午線の長さが、高緯度ほど大きい**ことを発見

　　　　→ニュートンの理論が正しいと結論（地球はいわゆる**回転楕円体**）

　　　　→フランスでもニュートン力学を全面的に受容．

○その後→デカルトやライプニッツの解析学によって表現され、**解析力学**へと整備．

★18Ｃ末までに、ニュートン力学は宇宙をほぼ完全に説明する理論として、科学の模範とさ

　れた．