2011年度夏学期

**科学史** （橋本毅彦先生，月５）　～*後編～*

※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）

第九章　化学革命

*０．物が「燃える」とは…？*

○アリストテレス：四元素の一つである火の元素が、火の現象を引き起こす．

　　　　　　　　　→古代・中世の科学者もこの考えに立脚

○デカルト：小さい微粒子がきわめて速く運動することにより炎が生じる．

○ニュートン：炎は赤熱する発散蒸気である．

↓燃焼理論の確立こそ、科学史における次のステップであった…

*１．フロギストンによる燃焼の理論*

○**フロギストン**（燃焼の素になる元素）の理論：18Cに支配的理論に

　ex) 木炭などにはフロギストンが大量に含まれている．

○フロギストンの起源

・**ヨハン＝ベッヒャー**…ドイツ人化学者

　→四元素の一つ「土」を、「油性の土」と「石性の土」に分け、前者が消散することで燃焼

がおこると説く．

・**ゲオルグ＝シュタール**…ベッヒャーの弟子

　→「油性の土」にフロギストンの名を与える．

　　炭にはフロギストンが大量に含まれ、燃焼すると少量の灰しか残らない．

　　金属を火に入れると煆燃（かしょう）がおこり、金属灰が形成される．

　＊空気はフロギストンをある一定量しか吸収できない．この量が飽和し、物質がフロギストンを放出できなくなると、燃焼は終わる．

　　→密閉した容器に入れるとじきに火が消えてしまう理由．

　＊密閉した容器に小動物を入れると、じきに倒れてしまう．

　　∵呼吸は燃焼と類似の現象であり、動物の体内からフロギストンが排出されるから．

*２．「固定空気」とフロギストン*

○ボイル…空気には３つの成分

　①純粋な空気の成分　②土・水・植物・動物から蒸発・発散される蒸気の成分

　③地磁気や光などからなる成分

○**スティーブン＝ヘールズ**

　・「**固定空気**」の概念…空気の成分のうち、鉱物、植物、動物に多く取り込まれる空気．

　　固体の中に固定された空気の意．

○**ジョセフ＝ブラック**

　・マグネシア・アルバ（炭酸マグネシウム）や、石灰石から生じる特有の気体を発見

　　→これを「固体空気」と呼ぶ

　＝現在の二酸化炭素（当時は元素の概念が存在しなかったため、こう呼ぶのは不適切）．

　・動物の吐息や木炭の燃焼による空気も、石灰水を白濁させることから、「固定空気」が含

まれていると考えた．

　→固定空気にはフロギストンが含まれている．

　　フロギストンが放出された空気は、植物がフロギストンを取り込むことにより再び浄化．

　　…このような燃焼の素の循環に、18Cの自然科学者は自然の中の摂理と経済性を見出す．

○**ジョセフ＝プリーストリー**…イギリスの化学者．バーミンガムで活躍、非国教徒

・ソーダ水の発明：固定空気を水に溶かす

・**硝石空気**の実験…硝石空気と様々な空気を水上で反応させると、反応による空気の減少分が空気の良好度を示していることを発見

　→ネズミなどの生物を使わずとも、空気の良し悪しを量的に判定できるように．

　　～硝石空気を用いた装置＝**ユージオメーター**と命名される

・ユージオメーターを使った実験

　→水銀灰を加熱すると放出される気体を発見．

　　…もっとも高い良好度．

　　～〉「これはフロギストンを欠いた空気である」＝**脱フロギストン空気**と命名．

*３．ラヴォワジェの新しい燃焼理論*

＊フロギストン理論の問題点…金属が煆燃したあと、なぜ質量が増加するのか？

　（フロギストンが放出され、質量は軽くなるのでは？）

○**アントワーヌ＝ラヴォワジェ**…フランス科学アカデミー会員、化学者

・1772～ 燃焼に関する研究を開始

　→リンや硫黄が燃焼により質量を増加することを実験的に発見

　→まわりの空気が燃焼物質に取り込まれる（＝「固定される」）ため

　※「この研究は物理学と化学の面で革命を起こすであろう」

　＊燃焼物質と結びつくのは固定空気であると推測

・1774 プリーストリーと会う．→脱フロギストン空気について語り合う

　→燃焼によって吸収される空気は脱フロギストン空気であると気づく

　…「呼吸にたいへん適した空気」「空気のもっとも純粋な部分」とよぶ

　→これらは酸に含まれることを発見～〉「**酸素**」と呼ぶようになる

★**ラヴォワジェの新しい燃焼理論**

　物質が燃焼するときに、物質からフロギストンが逃げていくのではなく、物質から物資の

成分と酸素が結合して、その結合物が気体として大気中に散っていく

　煆燃…金属と大気中の酸素が結合し、そのまま金属にとどまる→質量増大

　呼吸…大気から酸素を取り込み、体内である物質と酸素を結合させ、その気体を吐き出す

　→近代的な科学理論の根底

・その他の単純物質の名称も定める

　ex) 水素、窒素、炭素

　　　…ヘンリー＝キャベンディッシュによって発見された可燃空気

　→『**化学命名法**』にまとめる

↓BUT…

ラヴォワジェの新しい燃焼理論は、なかなか受け入れられず

（フロギストンの理論に固執）

cf)　トーマス＝クーン『科学革命の構造』

　　…古い理論体系から新しい理論体系への変換（パラダイムの変換）は、実証的な合理的手続きによって必然的に移行するわけではない．

→ラヴォワジェの化学理論が受容されるのは、もう一世代あとのこと．

・ラヴォワジェは、政治面ではアンシャン＝レジームを支えた

　（王立科学アカデミーの特権ある正会員であり、徴税請負人でもあった）

　→1794年、断頭台（ギロチン）で処刑

*４．ドルトンの原子論*

○**ジョン＝ドルトン**…イギリスの自然学者

・**原子論**の提出…『**科学哲学の新体系**』

　p.134図9-3　ドルトンの分圧の法則を、視覚的に説明．

★17Cの機械論的自然観以来、物質の粒子論的概念から遠ざかっていた化学者たちは、ドルトンの原子論という新たな粒子論的自然観に基づいて、空気と燃焼の研究を基礎にしたラヴォワジェの化学理論をさらに発展させる

→化学組成と原子量の問題が、19Cの化学者の課題に

第十章　数学的実験物理学の誕生―粒子論的自然像から波動論的自然像へ―

*０．カロリック（熱素）―熱物質説―*

…ラヴォワジェの考えた、光や熱を成り立たせている元素粒子

→これに基づき、科学実験や熱の定量的実験を行う

（例）氷熱量計を用いた実験

……ラヴォワジェとラプラスが行う（教科書P.137，P.138の図参照）

*１．ラプラスの自然像*

○**ピエール＝シモン＝ド＝ラプラス**

　…天文力学の専門家．熱や光の研究にも関心を示し、新しい物理学の

　　流れをつくる（物理現象の数学的理論を構築）．

○熱の正体

・ガリレオ：『偽金鑑識官』で、粒子の運動であると述べる

・ボイル、ニュートンも物質の運動であると考えていた

　→17Cは、「**熱の運動説**」が主流を占める

↓BUT

・18C…科学者たちは、「熱の運動説」を疑い始める

〔契機となった実験〕

・同体積で同温度の水と水銀をガラス瓶に入れ、同じ熱源で熱する

→温度上昇は水銀の方が速い

・同体積で温度の異なる水と水銀を混合させると、水に近い温度で平行になった

……》「熱の運動説」では説明不可能

　　　∵水より水銀の方が密度が13倍も高く、構成粒子も重い．

もし熱が運動であるなら、水銀の方がすぐに温まるわけがなく、保持できる熱の量

も水より多いはずである

→ブラックが**熱物質説**を提唱（水蒸気→水→氷と変化する際の熱の保存を説明できる！）

　≫潜熱の概念．ジェームズ＝ボイルもこの指摘で自分の発明の意味を理解する

↓

ラヴォワジェはこの熱物質に**カロリック**という名称を与え、

粒子はカロリックと結合することで熱を帯びると説明した．

○18C…光に関しても粒子説をとる（＝「光の粒子説」「光の放射説」）

　　　 同様に、電気・磁気に関しても粒子説

→熱・光・電気・磁気を担う物質は「**不可秤量物質**（imponderable matter）」と総称

＊自然界は不可秤量物質と通常の物質から構成されていると考えられた

○不可秤量物質

　…重さを持たない＝万有引力が働かない？

　→光：光の粒子と物質粒子との間に、近距離でのみ作用する力が存在すると、ニュートンが提唱（『光学』疑問31）

　　熱：カロリック粒子間にも近距離での斥力が働く→熱を帯びると物質は膨張

　　電気・磁気：距離の２乗に反比例する力が働く

　　…**シャルル＝オーギュスタン＝クーロン**（仏の技術者・物理学者）が提唱

　　　いわゆる、**クーロンの法則**

○ラプラスもこのような自然界の構成論を支持

　このような粒子間力を、「感知できない距離でのみ感知できる力が働き、感知できる距離では感知できる力が働かない」と表現．

・『確立の哲学的試論』…自然界の可秤量・不可秤量の双方の物質粒子の位置と運動量を把握した英知の存在を想像

→この英知は「**ラプラスの魔**」とよばれ、この存在が可能な決定論的宇宙観を提示

*２．偏光現象の発見*

○「**アルクユ会**」

　…ラプラスが友人ベルトレと協力し、エコール＝ポリテクニーク（エリート教育を行う理工科学校）卒業の若い科学者を誘い、開いた研究会．一時期『アルクユ広報』を出版．

○アルクユ会における物理学研究…ラプラスの自然観を軸に研究

・ラプラス自身…毛細管現象や大気の屈折現象に関する研究

・**ジョゼフ＝ルイ＝ゲイ-リュサック**…気球に乗り、上空の気圧

を測定．

　→仮定された光粒子と空気粒子の引力や、毛細管中の液体粒子

と管壁のガラス粒子との引力を足し合わせ積分計算（ラプラ

ス独自の理論）

　　＊この２分野は、実験や測定を重視する当時の科学の重要テーマ

○偏光現象の発見

・**エティエンヌ＝ルイ＝マリュス**（アルクユ会メンバー）が発見

＊**偏光現象**…一方向にだけ振動が揃えられた光（光とは空気中を伝わる波）

　（発見のエピソードについては教科書P.144参照をあそばせ）

→結晶内で分光する光の性質とは？

～粒子の**極性**（polarisation）とよぶ（教科書P.145、図10-3参照）

　…光粒子は、放射される進行方向に垂直な軸の周りで自転している

　→通常光は軸がバラバラの方向を向いているが、ガラスに反射されると方向が揃う

　　これが偏光した光

　＊物質粒子と引力を及ぼす極と、斥力をもたらす極が存在

　　→光粒子がガラス表面に当たった時、前者が来ていれば透入、後者が来ていれば反射

　＊自転の速度は色によって異なる

*３．フレネルの光波動論*

○なぜ偏光現象を説明する際、光をわざわざ粒子と考え、波と考えなかったのか？

　→波では都合が悪かった

〔理由〕

波…横波と縦波

横波＝進行方向と垂直に振動（地震波でいうとS波）→固体中のみを伝わる

縦波＝進行方向と平行に振動（地震波でいうとP波）→液体中も伝わる．音など．

→光を波として伝える媒体は、液体or気体であるはず（固体ならばその中を物質が自由に移動できない）

　→光は音と同じ縦波（横波なら液体中を伝わらない）

　　→しかし、音には「偏音現象」は存在しない（縦波は進行方向だけの一元的振動）

　　　偏りなどおこるはずがない

　　　→偏光現象を説明できない！

○**オーギュスタン＝ジャン＝フレネル**

・アルクユ会の研究者から離れ、ラプラス自然像とは独立に研究を進める．

　→アルクユ会を支援していたナポレオンが失脚するのと同時に、自分の研究成果を出し始

める．

・フレネルの光学理論

　…光の回折現象を波の干渉現象を用いて数値的に正確に説明．→パリ科学者から好評価

　～BUT,**光の波動説**はニュートン・ラプラスの論を覆すものであったため、容易に受け入れられず．

★以後、フランスの科学者たちは、光の粒子論（ラプラス）派と、光の波動論（フレネル）

　派に分かれていく．

*４．電流の磁気作用*

○**ハンス＝クリスティアン＝エルステッド**…デンマークの科学者**、電流の磁気作用**の発見

・実験：電池の両極板をつなげて電流を流し、電線の下に磁針を置くとその針が振れる．

　　　　電流を止めると、磁針は元の様に南北方向を示す．

　疑問①電気と磁気という、相互作用しないはずの二種類の不可秤量物質の間に働いた

　疑問②電気流体が静止している間には作用せず、動くときにのみ作用した

　疑問③電線のまわりを周回するように作用し、流体粒子の中心間での引力や斥力とは性質の異なるものであった

　→ラプラスの自然像からはまったく説明不可能

　◇**ジャン＝バティスト＝ビオ**…ラプラスの弟子

　　…「**ビオ-サバールの法則**」：作用力と距離との関係

　　　＝電気の運動により導線の表面に磁気が発生し、その磁気が磁針に作用を及ぼす．

　　　→電流と磁石が直接作用するのではないと説くことで、ラプラスの自然像を擁護

　　　　しかし、どのようにして導線の表面に磁気が発生するかは説明できず

　◇**アンドレ＝マリー＝アンペール**…フレネルの友人、光の波動論派

　　…光と同様に、未知の媒体の振動によって電流と電流の相互作用が引き起こされると想像．

　　　この後、電流同士の相互作用に電流の磁気作用を還元させ、微小電子同士に働く引力と斥力の数学定式を行うことに成功（距離の二乗に反比例する力）．

　　　→ビオ-サバールの法則を含みこむ、電磁気理論の数学的体系を構築

　　　＊結果的にフレネルの光波動説を支援することに．

　　　　一方、ビオはラプラス自然像の擁護に失敗．

　※同じころ、フレネルは光波動論から偏光現象の説明を試み、数学的理論を完成．

*５．熱運動論の復活とエネルギー保存則の成立*

※光の波動論の確立→熱の本性に関する再考を求める

○1800 **赤外線**の発見

　→1830頃までには、赤外線と**熱放射**は同一のものであるとされるように．

↓〈光波動論に基づけば、熱放射＝赤外線も波→熱い物質は粒子が激しく振動している？〉

○**熱運動説**の定着（instead of カロリック説）

→1840s エネルギーの保存則の提唱に

★19C前半に成し遂げられた自然像の大規模な転換と新しい数学的物理論の構築は、「**第二の**

**科学革命**」と呼ばれた．

→19C後半に、古典物理学として完成

第十一章　古典物理学の成立―電磁気学の発展―

*１．ファラデーの実験研究*

○**マイケル＝ファラデー**

・ロンドン・王立研究所のハンフリー＝デイヴィーの実験助手として働く．

・1820：エルステッドによる**電流の磁気作用**（電池）の発見→その実験研究に携わる

　　　　…生命の働きに電気的作用があることを解明（カエルの実験）

・1831：**電磁誘導の現象**を発見

　→「**力線**」概念を導入…磁石のN・S極から発せられる力線が、電線の輪を横切って通過すると、電線に電流が起電される．

　　→いわゆる「**磁力線**」のこと．ファラデーは実験講演を披露し視覚化．

　＊「力線」概念の検討に、電気化学研究が役立った

　　　　　　　　　　　　　…**アレッサンドロ＝ヴォルタ**による**電池**の発明以来盛んに．

　　　　　　　　　　　　　　溶液に電気を通して化学反応を起こさせ、現象を観察．

**電気分解**（溶液に電流流す）につながる．

　→ファラデーは電気分解の現象から逆に、静電気や電流の現象の理解の再解釈を志向．

　～〉**放電**現象：空気中の＋と－の電荷間に分極する分子による緊張が高まったときに発生

＊電流の磁気作用…電気を流すことで磁石を動かす

　　電磁誘導の現象…磁石を動かすことで電気を流す　→見事な対象関係

*２．磁気による旋光現象の発見*

＊電気や磁気の媒体が緊張状態にあることを直接的に証明できないか？

○ファラデーは、電気的緊張状態にあると考えられる空間に光線をくぐらせる

　＋

**ウィリアム＝トムソン**（物理学者）の示唆：光線の偏光面が影響を受けるのでは．

　↓

電圧を高くしても期待した効果は生まれないため、磁気に目を転じる

→磁気が光の偏光面を回転させる（**＝ファラデー効果**）を発見．

　　　　　　＝**旋光**

＊フランスの物理学者は、結晶内を偏光した光が進むことによって偏光面が回転することを

発見、研究→反射により結晶中を二度通ると、回転がなくなり、元の光の偏光面に戻る

　BUT→磁気ではこれがおこらない

　～〉トムソン…磁気の場合、磁力線に沿って微小な渦が並んでおり、そられによって偏光

面が回転すると説明．

（＝Ｎ→Ｓへと向かう磁気の力線上には、無数のミクロの渦が並んでいる）

*３．マックスウェルの電磁気学理論*

○**ジェームス＝クラーク＝マックスウェル**：ケンブリッジ大学の科学者

・トムソンの磁力線の渦モデルを継承・発展

　→「物理的力線について」（教科書p.161 図11-3）

　・磁力線には縮もうとする性質（磁力が働くということ）

　・渦の回転力がもつ回転モーメントが、磁気インダクタンスという電気的性質に対応．

　　＝電磁石のスイッチを切っても、すぐには渦の回転は止まらない

　・電流が流れる仕組みについては、教科書p.162参照．

　＊図11-3にみられる蜂の巣状の六角形は「セル」と呼ばれる

・静電気の研究：「**変位電流**」の概念（教科書p.163 図11-4）

　…教科書p.163参照

・振動がセルからセルへと伝わっていく速度は？→光の速度とほぼ一致

　＝伝達速度が同じということは、電磁波と光は同一のものでは？

・1864 「電磁場の動力学的理論」…電磁気現象を表す数学的理論を展開

・1873 『電気と磁気に関する論考』…**マックスウェルの方程式**の原型を記載

★マックスウェル死後の科学者の課題…電磁波理論を整理し、電磁波の存在を実験的に確認

*４．ヘルツの電磁波の発見*

○**ハインリッヒ＝ルドルフ＝ヘルツ**：ドイツの物理学者

・放電によるスパークを電磁波の発生源とし、電磁波の測定．

　…**ライデン瓶**というコンデンサー（蓄電装置、ガラス瓶の内側・外側に金属箔を貼ったも

の）を使用．

　＊18Cには大型の起電機、19Cにはコイルを用いた変圧器を併用した蓄電器となる．

・空間中の電磁気の波が生じていることを確認（金属の反射板を用いて）

　→1888 空気中の電磁波とその反射に関して」：**電磁波**の存在（ﾏｯｸｽｳｪﾙの理論）を論証

～〉**無線電信**の発明（イタリア・**マルコーニ**による）につながる→通信技術の扉を開く

*５．相対性理論の誕生と古典物理学の完成*

○マックスウェルの電磁気学の穴

①電磁波の担い手である「エーテル」は弾性固体？

②**マイケルソン**と**モーレー**の指摘

　…宇宙空間に静止したエーテルの中を地球が動くのだから、光の速度は方角によって異な

るはずだが、実際には一定→矛盾？

③電流に沿って荷電粒子が動くときに力が働く→荷電粒子とともに動く人物にとって、荷電

粒子は静止しているのに、力が働いている→おかしい？

↓これらに答えを与えたもの

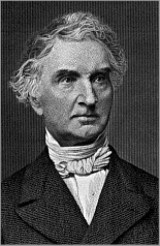
○**アインシュタイン**の**相対性理論**（後述）

・時間と空間という物理学の基本概念の改訂を行う

・相対性と高速の普遍性を根本原理とすることで、これらの矛盾を解消．

　→エーテルは無用の存在となる．

→**古典物理学**体系の完成



第十二章　有機化学の誕生

*１．リービッヒの実験教育*

○**ユストゥス＝フォン＝リービッヒ**

・薬剤師の子→父の仕事場で化学実験を行う

・ボン大学に入学→思弁的な自然哲学に辟易し、あっさりと退学

・領主の援助でパリに留学

　→フンボルトの紹介で、アルクユ会の科学者たちと知り合う．

とりわけ、ゲイ－リュサックを師事

・1824年、ギーセン大学の員外教授に就任、翌年には正教授に

　→大学の化学に**実験教育**を導入

・1831年、実験装置開発（教科書p.172 図12-1）…物質の質量（含有量）を測定する装置

　→学生でも正確な測定が可能に．

　→リービッヒ自身も、この装置で**有機物質の組成**を分析

※リービッヒの学生主体の実験研究・教育は、世界中の注目の的となった．

*２．合成染料の発明*

○**アウグスト＝ホフマン**：リービッヒの弟子．

・コールタールの成分分析

　（…石炭を燃やした後に生じる無用の汚染物質）…何とか有効利用できないか？

　→蒸留によって、コールタールの純粋成分を抽出

・1845年、ロンドンの王立化学学校に招聘

　↓教育

○**ウィリアム＝パーキン**

・**アニリン**（コールタールから抽出される物質）からキニーネ（マラリアの特効薬）を取り出そうとする→失敗

　BUT→沈殿物を発見…紫色→**紫色染料**として利用可能だと発見

　→合成染料製造の企業化を図る

　…〉「**モーヴ**」として合成染料化→パーキン社設立

○**ルナール兄弟**：フランス

・**赤色染料**・**フクシン**を合成・商品化→ルナール社設立＋特許獲得、のちフクシン社に．

＊特許の対象は、あくまで商品そのものであり、商品の製造過程ではない．

　→新しい製造法を発明しても特許侵害になってしまう（フランス特許法）

　…フランスの染料産業全体の没落につながっていく．

*３．科学と技術の相互交流*

＊ドイツの研究者たち

○**ケクレ**…リービッヒの弟子．**ベンゼン環**の（）発見

○**アドルフ＝バイヤー**

・ベルリン職業学校で、染料の成分研究

　＊グレーベとリーベルマンの協力を得る

・1868年、**アリザリン**（茜の成分）構造式を発見

・1869年、アリザリンの合成法を発明．

　→BASF社と協力して製造・販売

＊同時期パーキンもアリザリンの合成法を発明し、特許をめぐって競合→パーキン社が勝訴

・ストラスブルク大学で**インジゴ**（藍）の合成にかかる

　→1880 インジゴの合成法開発

　　1883 インジゴの構造式決定→BASF社とヘキスト社が競争して開発

○ドイツにおける特許制度の改訂

・1877年、**帝国特許法**制定

　→製品ではなく、製造法に特許を与えるもの．

　〈影響〉①染料合成会社間の競争が激化

　　　　　②「お雇い化学者」として化学者の研究室が企業内研究所に→新製法の改良

*４．世界を席巻するドイツの化学工業*

○合成染料の**医薬品**への応用

・タール成分→サリチル酸、アセトアリニド、スルフォナールなど合成

・**コッホ**による**細菌学**の確立→伝染病の原因（結核菌など）を、顕微鏡を用いて究明

　　　　　　　　　　　　　　（豊太郎も支持）

・**エーリッヒ**…特定の細菌だけに作用する「魔法の弾丸」の開発

　→彼のもとに留学していた**秦佐八郎**が梅毒の治療薬・

**サルバルサン**を発明

★Ｗ.Ｗ.Ⅰまでにドイツの有機化学工業は断然優位に

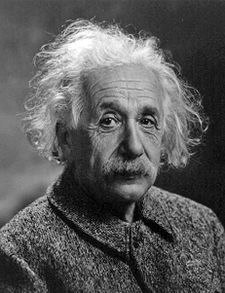
　〈背景〉企業間の熾烈な競争、企業内の研究所の設立、企業と

大学の密接な協力関係

　1911 カイザー＝ヴィルヘルム協会のもとに科学研究所

　（だから第一次世界大戦でのドイツ敗戦後、日本ではドイツからの化学薬品の輸入が途絶え、国内の化学工業が発達していく）

↑エーリッヒと佐八郎

第十三章　量子力学の誕生

*０．相対性理論*

○**アルベルト＝アインシュタイン**

・論文「運動物体の電気力学について」

　冒頭：時間とは何か？など、哲学的な問いかけ ex.同時性

　原理：①光速の普遍性

　　　　②相対性

　　　　　　　　　←図のような、頂点から下方向に光が出て、底に貼ってる鏡に反射して

　　　　　　　　　　光が戻ってくる装置を考える．この装置をある一定区間、一定速度で動かす（左から右へ動かす）．

　　　　ア．装置の上にいる人から見ると〔運動系〕

C:\Users\Masahito\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.IE5\H29P4V03\MC900079047[1].wmfC:\Users\Masahito\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.IE5\H29P4V03\MC900079047[1].wmf

　　　　　光は直線的に反射されて返ってくるだけ．

　　　　イ．装置の外にいる人から見ると〔静止系〕

C:\Users\Masahito\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.IE5\H29P4V03\MC900079047[1].wmf

　　　　　装置の移動に合わせ、光も斜めに移動するように見える〔移動距離が長い〕

→けれども、光が反射して返ってくるまでの時間は一緒

　　　　→光の速度が変化する？

　　〈結論〉光の速度は不変…時間の長さ・距離が異なってくる→相対性

　　∴時間・空間の再定義

・**一般相対性理論**：速度*v*で動く物体のもつエネルギー*Ｅ*は、

　また、速度が０のとき、という**静止エネルギー**をもつ

*１．プランクの放射公式*

○金属などを熱すると、色が赤→橙→黄→白と変化していく．

　＝物体は温度の上昇につれて高い振動数（短い波長）の光を多く放出

　　（教科書p.185 図13-1参照）

↓物体の単位体積あたりのエネルギー*u*は、温度*T*とその時の振動数*v*の関数で表せる

○**ヴィーンの公式**

　BUT→低い振動数では実測値とずれる

まぁ、公式は理解しなくていいですよ。

By先生

　↓

○マックス＝プランク：

・**プランクの放射公式**

・全体のエネルギー*Ｅ*を細かく分割し、物体内部の光や放射熱に呼応して振動する振動体に

割り振っていくと、この公式にある*hv*の値が最小となる

　→エネルギーの最小単位は*hv*

　＊なぜ最小のエネルギーが０にならない？

～〉アインシュタイン：光は粒子である（＝**量子**とよぶ）．

*２．量子力学の誕生と発展*

※教科書の構成と異なりますが、講義ノートを軸にまとめていきたいと思います．

◎前期量子論（19C末）

○1895　**Ｘ線**の発見

○1896　**放射性物質**の発見

・放射能…３種類：α波…He4+ β波…電子 γ波…非常に波長の短い電磁波

　→以後、放射能を用いた原子モデルの実験・研究

○原子構造に関する２つの論

・**トムソン**の提唱：空気中の負の電荷をもつ電子が霧散しており、正の電荷がそれを包む．

・**有核モデル**：中央に正電荷をもつ核があり、そのまわりを電子が飛び回っている．

　↓

・**ラザフォード**：トムソンの弟子

　…α粒子放射線を金箔にあて、散乱の様子を調べた．

　　→大きく反跳される粒子が存在…〉密度の高い核が原子内に存在

　∴有核モデルが実証された

＊電子が原子のまわりを高速回転しているのなら、マックスウェルの電磁気学に従えば電磁波が発生するはず.すると電子はエネルギーの一部を失い、いずれ原子核に落ちるのでは？

　→そうはならない！……謎

　↓

○**ニールス＝ボーア**：デンマークの物理学者

・電子の周期軌道が核に近づく（電子が落下する）につれ、

　エネルギーが発生（教科書p.191 図13-2）

　→原子に安定をもたらしている

・分光学：原子の発する光の波長をみる

◎量子力学の誕生

○**ハイゼンベルク**：**遷移確立**（あるエネルギーの定常状態からあるエネルギーの定常状態へと電子が移る確率）…行列の計算で求める（**行列力学**）

○**ド＝ブローイ**：**物質波動論**提唱

・静止エネルギー（）と、量子論の公式（）を結びつける

　→物体は という振動数をもつ波である

○**シュレディンガー**：オーストリアの物理学者

＊ド＝ブローイの物質波のアイデアを発展

・1926年 **物質波の波動方程式**（**シュレディンガー方程式**）導出

　　※**複素関数**の方程式．もちろん覚える必要はない．

・1927年 **波動力学と行列力学の等価性**を提唱

＊（絶対値）…その物体粒子が空間に存在する確率を示す（**確立解釈**）

　→ハイゼンベルク…**不確定性原理**（物質粒子の位置と運動量は同時に決定できない）提唱

第十四章　原子物理学と原爆開発

*１．ウラン核分裂の発見*

○**湯川秀樹**：**中間子**（陽子や中性子を原子核として固くまとめる働きをする粒子）の発見

　→戦後にノーベル賞受賞（日本人初）

○**中性子**の発見（1932）

　↓

α線を中性子にぶつけることで、より容易に原子核を調べること

が可能に．

○**エンリコ＝フェルミ**：イタリアの物理学者

・当時自然界における最大の原子であった**ウラン**に中性子を放射し、分裂して新たな原子となる過程を観測＝**核分裂**

　↓

○**オットー＝ハーン**と**リーゼ＝マイトナー**の実験

　（マイトナーは後、ナチスの迫害により亡命）

・中性子を放出したウラン試料からバリウムを検出（バリウムはウランの半分の大きさ）

　＝ウランが真っ二つに分裂した

＊原子の核分裂：強力な静電気の作用により二つの塊は反跳しあい、大きな運動Ｅが生じる

　～〉原爆に応用

*２．アインシュタインの書簡*

○フェルミ、**連鎖反応の可能性**を示唆…分裂した核から複数の中性子が生み出され、それがほかの原子核を分裂させ、その反応がネズミ算式に進行．莫大なエネルギーに．

　→もし、爆弾に応用したら…

○**シラード**、**テラー**、**ウィグナー**：ハンガリーからの亡命科学者．アメリカへ

　…原子爆弾がナチスにより他国に先んじて開発されるのを危惧

　→ウラン資源はベルギー領コンゴに存在したため、ベルギー政府に接触すべく、

　　ベルギー女王と親交のあるアインシュタインに書簡執筆を依頼．

　　アインシュタインも同意．

　→BUT,ベルギー女王に直接書簡を送ることは気がひけたため、

　　米大統領・フランクリン＝ローズヴェルトに宛てて書簡

○**アインシュタイン書簡**

・ウランの核分裂の発見とその兵器への応用の説明

・コンゴ・ウラン鉱山の確保と国内の原子物理学研究の交流・援助の必要性を提唱

BUT…爆弾そのものは重くかさばる物であるとのイメージを報告（教科書p.201）

　↓

**ウラン諮問委員会**設立→爆弾を船で運び爆発させるとの戦術は現実離れであると、いったん

解散、国防研究委員会が吸収

○国防研究委員会…**ヴァネヴァー＝ブッシュ**を中心に組織

・科学技術の軍事動員：兵器（焼夷弾など）、探査機 etc…

・科学研究開発局（**OSRD**）に再編→科学技術動員の組織、実用可能性の判断を行う

*３．マンハッタン＝プロジェクト*

○モード委員会報告…**ウラン濃縮**の可能性＝ウラン235を濃縮→少量で核分裂

○**プルトニウム**の発見…カリフォルニア大学バークレー校．人工的に生成された原子

＊核分裂には**臨界量**が必要→濃縮ウランまたはプルトニウムが適切

○原爆開発はOSRDから陸軍の管轄に

　→**マンハッタン＝プロジェクト**（マンハッタン計画）始動

　　当初は、ウランの濃縮…①とプルトニウムの抽出…②が要

①ウラン濃縮：**気体拡散法**…フッ化ウランをからウラン235を抽出

②プルトニウム抽出：シカゴ大学にコードネーム「**冶金研究所**」設置、そこで取り組む

　→沈殿法…溶解と沈殿を繰り返す

・濃縮ウランやプルトニウムは、ニューメキシコ州の**ロスアラモス研究所**へ

　→**ロバート＝オッペンハイマー**らによる原爆開発

↑オッペンハイマーとアインシュタイン

○原爆製造

・爆発方法：砲撃法…濃縮された核燃料を二つに分け、

火薬を爆発させて両者を結合、臨界量を超えさせる

　↓BUT, 核燃料を二つに分けると、それぞれで核分裂

↓　　 が進んでしまい、結合時には弱いエネ

↓　　 ルギーしか生まれない

・**爆縮法**…球の中心にプルトニウムの核を設置、それを取り囲むように火薬を置く．球の外側を同時に爆発させることで火薬が中心に向かって爆発、その圧力で臨界量に．

*４．フランク報告と原子科学者の運動*

○冶金研究所のメンバー：原爆開発を超え、戦後の原子力利用を展望．（原子力の社会利用）

　会議を重ねる

→マンハッタン計画の監督者の命令で解散

○**ジェイムズ＝フランク**：シカゴ大学の化学者、ドイツから亡命

…原子力の利用、政治的・社会的意義を報告

　＝**フランク報告**

　・第1節：科学の中立性…戦後、原爆の製造競争が勃発することを予測

　・第2節：国際協定の必要性

　・第3節：日本への原爆投下の是非．

　　　　　　→日本に予告なしで原爆を投下すれば、アメリカの信頼は失われ、来たる戦後国際協定制定の場でイニシアティブをとれなくなる

　　　　　　→無人島で示威実験をし、中立国の代表に目撃させ、日本に降服を訴えさせるべき

　↓BUT…

受け入れられず．トルーマン大統領はゴーサイン．

・1945.7 アラモゴルド砂漠での実験

　→8.7に広島、8.9に長崎に原子爆弾投下

《余談》

・広島に落とされた原子爆弾〈リトル＝ボーイ〉は濃縮ウラン型、長崎に落とされた原子爆弾〈ファット＝マン〉はプルトニウム型．日本への降服示威は原爆一発で十分であったはず．にも関わらずわずか２日後に原子爆弾を再び投下した．アメリカは濃縮ウラン、プルトニウムの２タイプの原爆を開発し、その威力の比較データは是が非でも欲しかったはず．

　→なぜ２発落としたのか？

・日本もじつは原爆をひそかに開発していた。しかし、昭和天皇が「人道に反する」として、研究・製造の中止を命令

*５．戦後*

・原爆開発に携わった科学者も、原爆投下の知らせを受け憤り

　→戦後は原子力の社会的利用を主張

・**原子力科学者連盟**…機関紙『原子科学者会報』発刊

・フランクの予測通り、原爆製造競争が激化．東西対立・冷戦がこれに拍車をかける

・**水素爆弾**の開発…テラーが指導者

・1954 ビキニ環礁での水爆実験→**第五福竜丸事件**～〉広島での第１回**原水爆禁止世界大会**

・1957 **ラッセル＝アインシュタイン宣言**を受け、**パグウォッシュ会議**開催

　→現在まで続く、科学者による科学の平和利用提唱の場．ノーベル賞受賞．