GENRE JAPONICA

万有百科大事典

物理 数学

SHOGAKUKAN

ENCYCLOPEDIA
GENRE
JAPONICA

万有百科大事典

16

物理 数学

SHOGAKUKAN

GENRE
JAPONICA

万有百科大事典 16
物理 数学

昭和51年4月20日 初版第1刷発行
昭和57年12月20日 初版第15刷発行

編集著作出版者 相賀徹夫

発行所 株式会社 小学館

郵便番号 101
東京都千代田区一ツ橋2ノ3ノ1
電話 編集・東京03−230−5620
製作・東京03−230−5333
販売・東京03−230−5739
振替 東京 8−200番

印刷者 凸版印刷株式会社
鈴木和夫

特抄コート紙 王子製紙株式会社

特抄アート紙 三菱製紙株式会社

特抄クロス ダイニック株式会社

表紙用特製色箔 日本ミクロコーティング株式会社

製本 凸版印刷株式会社

序

本巻は，物理と数学に関するものである。物理と数学は，最も基本的な科学であることは，よく知られているとおりである。

基本的であるというこの言葉の意味には，実際的なことから少し離れているというニュアンスもあるであろう。万有百科大事典には『科学技術』の巻があり，たとえばテレビジョン，電子計算機等については，その方にくわしく記述してある。しかし，テレビジョンは電波を利用したもので，電波あるいは電磁波については，本巻にくわしい解説がある。電子計算機は，ディジタル計算機の一種で，その原理についても，この巻に説明がある。

数学の応用といえば，科学技術だけに限らない。日常生活のあらゆる面に，加減乗除の四則計算が応用されるのはいうまでもないが，新聞紙上などには，しばしば種々の統計が発表され，その結果は経済や政治の分野に利用されている。この大事典の『政治 社会』の巻にも，統計に関する項目があるが，本巻の統計に関する諸項目では，数学的な立場から原理的なことが説明されている。

この巻にはまた，「物理学」，「数学」といった大項目があって，それぞれの学問の歴史や現状の大観が述べられている。たとえば，「数学」の項を見れば，整数論，微分幾何学，射影幾何学，集合論などの語に接せられるであろう。これらの諸部門には，またそれぞれの関連項目があって，その内容がいっそう詳しく述べられている。読者はこのように，大項目から順々に読みはじめ，次第に細部にいたるまで学問の内容を調べていくことができるであろう。

また，多少とも物理や数学に関心をもたれる読者は，そのように系統的に読まれるまでもなく，この巻のどのページでも開いて，気のむくままに読まれるのもよいであろう。学問は，苦労して研究され，努力して学ばれるものではあるが，その成果を知ることは，楽しみを伴うものでもある。

他の巻と同様，この巻でも，取扱うべき内容を大，中，小の項目に分け，各項目をそれぞれの方面を専攻しておられる方々にお願いして書いていただいた。万有百科大事典全体の趣旨に沿い，高校程度の予備知識をもたれる方々をおもな読者と考えて書いてあるが，項目によっては中学生の方にも読めるようにし，また全体として一般社会人の方がたの興味をも惹くことができるようにと書いているつもりである。ことに，学校で物理や数学を教えておられる先生たちのご参考ともなり，なにかにつけて疑問が生じたとき，信頼のできる相談相手となることができるように心がけた。しかし，限られた時間内に，執筆・編集がなされたこともあって，十分この趣旨に沿うものとなったかどうか，危惧の念もなしとしないのが，いつわらぬわれわれの感想である。

執筆者諸氏，および編集，出版，制作に当られた方々の労が報いられて，この1巻が基礎科学の知識や考え方をわが国の読者一般に普及するため，その役割を十分果すようにと，われわれは念願している。

彌永 昌吉
中村誠太郎
三村 征雄
湯川 秀樹

凡　例

編集方針

(1)本巻は，物理・数学の基礎知識を体系的に解説し，同時に理科教育・数学教育の面からも十分な説明ができるよう配慮して項目を選定し，検索に便利な五十音順に配列して編集した。

(2)本巻の項目選定，行数配分，および内容の記述方法は，①物理・数学事典としての内容上の独自性を保持する十分な条件を満たすこと，②『万有百科大事典』(全21巻)の各巻との内容調整と平衡の上に成立していること，を基本にしている。そのため科学関係の各巻〈「医学」(第14巻),「化学」(第15巻),「科学技術」(第17巻),「宇宙・地球」(第18巻)〉との関連については，項目末尾に⇒印を付し，万有百科の総合的な項目の関連を明示している。

(3)本巻の項目構造は，中小項目を重視しながらも，学問の歴史や知識の体系を大観するため詳しい解説を要するものはとくに大項目として設定した。現代物理学・数学の今日ある情況を概括し基礎科学への理解が深められるようご利用をすすめたい。

(4)項目の解説にあたっては，簡潔・明快な文章となるように留意し，適宜小見出しをたて，内容を検索しやすくするための配慮をした。

(5)大項目については，目次を付け解説内容が展望できるようにした。

また，大項目は見やすい位置から読み始められるよう配置した。そのため項目の五十音配列を入れかえた場合もあるが，その際には，その項目の始まるページ数を正しい音順の位置に指示した。

(6)本文には，必要に応じ図表・写真を挿入した。また〈用語〉〈コラム〉〈年表〉などの囲み記事欄を設け，内容の多彩な展開に努めた。

(7)主要な項目の解説末尾に参考文献を記し，解説文の理解を深める際の便宜をはかるようにした。

(8)項目の解説者名は，解説末尾に記した。

(9)巻末付録には，「数学記号，単位表，ギリシア文字」「索引」を付けた。

項目の示し方

(1)見出し項目名は，漢字を使用し，その次に読み方をひらがなで示した。ただし，ひらがな，カタカナ書きが正式あるいは，慣用となっているものはそれに従った。

(2)項目名には，原則として，英語，フランス語，ドイツ語の3か国語を㊥㊇㊓として示した。

(例)　**渦**　うず　[㊥vortex ㊇tourbillon ㊓Wirbel]

ポテンシャル　[㊥potential ㊇potentiel ㊓Potential]

ただし，3か国語に適切な同義語(訳語)がない場合には，1～2か国語だけにした。外来語の場合は，その国語のみを記した。固有名詞および英語のみの場合は国名を付さない。

(3)人名については，日本人および中国人の場合は漢字で姓名を記し，その次に読み方を入れ生没年を西暦で示した。西洋人名は，カタカナで姓だけを掲げ，その次に原語でフル・ネームを記し，また生没年を西暦で記した。

ロシア人については，ロシア文字による表記も併せて記した。

(例)　**石原純**　いしはらじゅん　(1881―1947)

カントル　[Georg Cantor]　(1845―1918)

ロバチェフスキー　[Николай Иванович Лобачевский／Nikolai Ivanovich Lobachevskii]　(1793―1856)

(4)読み方は現代かなづかいを用いた。

(a)かなの使い方は，だいたい発音どおりにし，「ゐ」は「い」,「ゑ」は「え」,「を」は「お」と表記した。ただし，助詞の「を」(わ行)および「は」「へ」(は行)はもとのままにした。

(b)「ぢ」「づ」は，原則として使わずに,「じ」「ず」で表した。

(例)　**順　序**　じゅんじょ

項目の並べ方

(1)項目は現代かなづかいの表記により，五十音順に配列してある。促音(っ)，拗音(ゃ・ゅ・ょ)も音順にかぞえ，濁音，半濁音は清音のあとに並べた。カタカナで表記した外国語の長音記号「ー」は，五十音順から除いた。

（例） ハードウェア（音順は「ハトウエア」）

(2)同音の語は次の順序によった。

(a)カタカナ，ひらがな，漢字（画数順）

(b)同音の人名は生年の早い順

解説の方法

(1)現代日本語の標準的文章で平易に表現し，多くの人に理解できるように努めた。

(2)原則として「学術用語集」を解説の基本用語とした。

(3)文体は，漢字まじりのひらがな口語文とし，かなづかいは，原典の引用や歴史的用語，固有名詞などを除き，すべて現代かなづかいとした。送りがなは，誤読のないように配慮した。

(4)漢字は原則として，当用漢字とその音順表に許された範囲内にとどめた。ただし，固有名詞，歴史的用語，および慣用語などでひらがな書きでは理解しにくいものは，当用漢字以外も用い，場合により読みがな（ルビ）をつけた。

(5)解説文には要点を明快にするため，必要に応じて小見出しを入れた。見出し順位は以下のとおりである。

〔 〕 ● 〈 〉 (1)(2)(3)…… ①②③……

(6)解説文中の西洋人名，および著書，論文，文献などには，極力原名の綴りを入れた。また，項目として採録していない人名についてはできるだけ生没年を入れた。

(7)年代は西暦により，必要に応じて日本の年号を付記した。

(8)数字は算用数字を使用し，とくに万，億，兆……の位は漢字で表した。ただし，成語化したものについては十，百，千などを使用した。

(9)単位記号は，原則としてＳＩ単位系を用いるようにした。

(10)外国語の合成語は，単語の間を「－」で，人名は名と姓の間を黒丸「・」でつないだ。ただし，外国人名で，接合して姓をつくるものは「＝」で表した。

（例） ジュール－トムソン効果
ファン・デ・グラーフ
ジョリオ＝キュリー夫妻

(11)欧文の書名，雑誌名，および西洋人名における称号は原綴りで斜体にした。

外国語の表記

外国語および外来語，外国の地名，人名は国語審議会報告，文部省編の刊行物，また各種の専門事典などを参考にして，原則的には現地読みに近い表記で表した。ただし新聞などで広く親しまれている表記は，なるべく慣用に従った。

なお，表記に何通りかの慣用のある場合は，必要に応じて送り項目を立てて便宜をはかった。

(1)〔V〕音の表記は「ヴァ，ヴィ，ヴ，ヴェ，ヴォ」を使わず「バ，ビ，ブ，ベ，ボ」とした。ただし，ドイツ語の〔W〕は，原則として「ワ，ウィ，ウェ，ウォ」とした。

(2)長音は長音符号「ー」で表し，母音を重ねたり，「ウ」は使用しない。なお長音における二重母音の〔ei〕〔ou〕などは，だいたい長音とみなした。

学術用語では，単語語尾の -ar，-er，-or に長音符号をつける部門とそうでない部門があり，本巻では慣用に従い符号をつけることにした。ただし，「コンピュータ」「トランジスタ」は符号をつけない。

(3)〔ti〕〔di〕は原則として「ティ」「ディ」としたが，慣用に従って「チ」「ジ」としたものもある。

符号・記号

文中におけるおもな記号，符号は次のとおりである。

⇨ 該当する項目への送りを示す
⇀ 関連項目を示す
⇀ 写真，図版の所在ページ，または項目名を示す
⇒ 他の巻との内容上の関連を示す
＊ 解説文中の熟語の右肩につけ，併読がのぞましい項目を示す
〔 〕● 解説文の小見出し
『 』 書名，雑誌名などを示す
「 」 引用文または語句，とくに注意をうながす語句。章名，編名，論文など
〈 〉 執筆者名（解説末尾），例題，証明，解などを示す
📖 参考図書（解説末尾）

■編集顧問　彌永昌吉　中村誠太郎　三村征雄　湯川秀樹

■本文執筆（○印は立項委員）

秋月康夫	
秋間　実	東京都立大学
東　　堯	東芝科学館
足立恒雄	早稲田大学
荒川　泓	北海道大学
安斎育郎	東京大学
飯高　茂	東京大学
伊東正貴	東京学芸大学
伊藤清三	東京大学
犬井鉄郎	中央大学
猪瀬晴代	東京工業大学
○井原　聰	茨城大学
伊原信一郎	東京大学
彌永健一	
○彌永昌吉	学習院大学
入谷有一	東京工業大学
岩堀長慶	東京大学
上田良二	名城大学
上羽貞行	東京工業大学
内田正夫	和光大学
大貫義郎	名古屋大学
大沼　甫	東京工業大学
大沼正則	東京経済大学
大村一郎	日立製作所
大矢真一	富士短期大学
奥野久輝	立教大学
小野勝次	
小野山卓爾	慶応義塾大学
小畠守生	東京都立大学
海部宣男	東京大学
笠木治郎太	東京工業大学
加藤十吉	東京大学
金子洋三郎	東京都立大学
○河田龍夫	慶応義塾大学
北川信一郎	埼玉大学
北川敏男	富士通
北村正利	東京大学
古賀逸策	国際電信電話
児玉之宏	東京教育大学
小林　彬	東京工業大学
小堀　憲	京都産業大学
○小松醇郎	東京理科大学
小松勇作	中央大学
近藤洋逸	岡山大学
雀部　晶	国立科学博物館
佐藤　忠	横浜国立大学
佐藤文隆	京都大学
○佐藤喜正	東京学芸大学
志賀浩二	東京工業大学
篠崎信雄	慶応義塾大学
島村福太郎	東京学芸大学
霜田光一	東京大学
白井古希男	城西大学
菅原正博	広島大学
杉浦光夫	東京大学
杉山滋郎	東京大学
鈴木慶子	横浜国立大学
鈴木久男	東洋大学
清宮俊雄	専修大学
赤　摂也	立教大学
関口直甫	東京大学
高木茂男	日本海事検定協会
高田紀代志	東京大学
高田誠二	計量研究所
高橋嘉右	高エネルギー物理学研究所
高林武彦	名古屋大学
高山　進	東京工業大学
竹内寿一郎	慶応義塾大学
竹内順治	お茶の水女子大学
竹中俊夫	東京工業大学
田島一郎	慶応義塾大学
巽　友正	京都大学
田中一郎	日本大学
田中　一	北海道大学
田村一郎	東京大学
○田村二郎	
○辻内順平	東京工業大学
都筑俊郎	北海道大学
常石敬一	長崎大学
寺阪英孝	上智大学
寺本　英	京都大学
土居範久	慶応義塾大学
刀根　薫	慶応義塾大学
鳥塚一男	東京学芸大学
中島篤之助	日本学術会議
仲田紀夫	東京大学
中西正和	慶応義塾大学
中原勝儼	立教大学
中村幸四郎	兵庫医科大学
中村誠太郎	日本大学
野口　広	早稲田大学
長谷部勝也	愛知大学
服部晶夫	東京大学
花沢正純	埼玉大学
早川幸男	名古屋大学
一松　信	京都大学
日野川静枝	東京工業大学
福田　博	東京工業大学
福山　克	東京教育大学
藤井陽一郎	国土地理院
藤村　淳	横浜国立大学
本田郁二	慶応義塾大学
本田欣哉	立教大学
本田捷夫	東京工業大学
前島　信	慶応義塾大学
○前原昭二	東京教育大学
松田道雄	
○松原元一	白鷗女子短期大学

松本幸夫　東京大学
馬渕昭夫
三島信彦　東京学芸大学
○三村征雄
宮下晋吉　東京工業大学
宮原将平　北海道大学
武藤　徹　都立戸山高等学校
村田　全　立教大学
茂木　勇　筑波大学
本橋信義　東京教育大学
元持邦之　シチズン時計
森田矢次郎　東京工業大学
森本雅樹　東京大学
八木江里　東洋大学
谷敷　誠　ソニー
○山口重雄　東京都立大学
山崎俊雄　広島大学
山崎正勝　法政大学
山崎与右衛門　帝京大学
吉田光邦　京都大学
吉原邦夫　名古屋大学
鷲尾泰俊　慶応義塾大学
渡辺　昴　北海道大学
渡辺　弘　都立富士森高等学校
渡辺　浩　東北大学

編集協力

浅野貢一
井上　健　京都大学
草川秀雄　都立西高等学校
豊田博慈　都立東村山高等学校

写真撮影・提供・協力

東　堯
猪瀬晴代
岩波映画製作所
上田良二
大国魂神社
大矢真一
岡本好明
カシオ計算機
キーストン通信社
共同通信社
慶応義塾大学工学部計算センター
河野嗣男
古賀逸策
小堀　憲
シチズン時計
鈴木久男
タイガー計算器
高橋嘉右
東京工業試験所
豊田博慈
日電バリアン
日本学士院
日本原子力研究所
日本色彩研究所
日本大学
日本評論社
日本ユニバック
野口祐成
パナ通信社
半村隆嗣
平賀源内記念館
富士短期大学
ほくさん
本田欣哉
松原元一
山崎与右衛門
ワイド・ワールド・フォト(WWP)
渡辺　昴
渡辺　浩
ワールド・フォト・サービス(WPS)

APN
CERN
P. Decouverte
R. Laffont
Mansell Collection
NAL
G. Nimatallah
Paul Popper
René Roland
R. Viollet
Joseph P. Ziolo

図版製作

創
創芸社
日本工房
野村敏雄
山崎繁成

（配列は五十音順，敬称略）

装　丁

粟津　潔

レイアウト

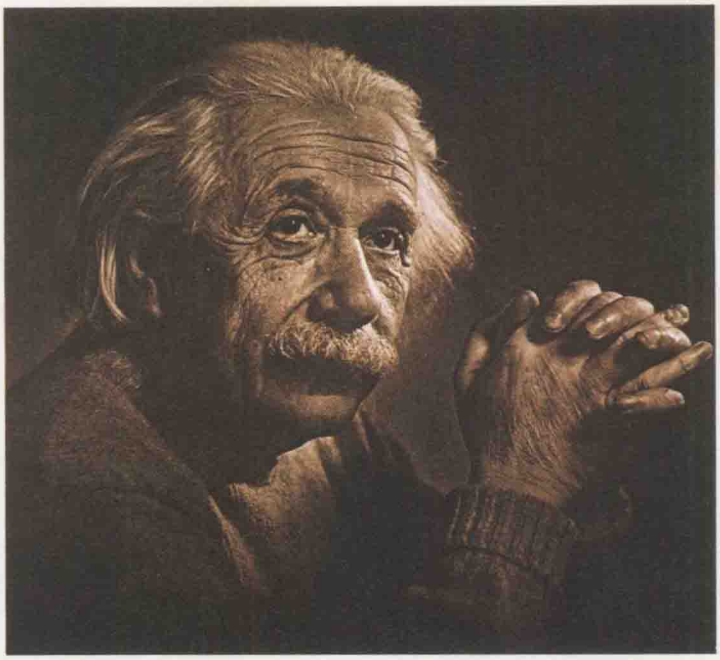
冨田百秋
渡辺栄利
芝田紘八朗

五十音 目次

別刷図版

主要項目目次

ア あ



アインシュタイン
Albert Einstein
(1879—1955)

Bibliothèque Nationale, Paris

アイソスピン [㊎iso spin ㊈spin isotopique ㊋Isotopenspin] 素粒子の内部自由度の1つで，荷電スピンともいう。

素粒子は，陽子と中性子のように，すべての性質が酷似してしかも質量もほぼ等しく，電荷だけが違ういくつかの組が存在する。素粒子がスピンSをもつとき，磁場をかけると，磁場の方向に対していくつかの状態に分かれる。これは歳差運動が起りスピンの磁場方向の分値が$S, S-1, \cdots\cdots, -S$と分かれるためである。同じようにアイソスピンIが$\frac{1}{2}$のときは，ある方向へのその分値I_3が$+\frac{1}{2}$と，$-\frac{1}{2}$の2つの状態に分かれ，質量も少しだけずれると考え，$I_3=+\frac{1}{2}$ ($I_3=-\frac{1}{2}$) の状態が陽子（中性子）に対応するとみる。

原子核のなかに含まれる陽子（p）の数をZ，中性子（n）の数をNとするとき，$\frac{1}{2}(N-Z)$をその原子核のアイソスピンという。同じ1つの状態にある陽子・陽子，中性子・中性子，および陽子・中性子の間の核力がほぼ等しい事実（荷電不変性）が発見されて，アイソスピンは，核力の反応ではあたかもスピンと同じくベクトル量として保存されると考えられた。ちょうど角運動量Jが保存される系で，Jとその第3成分J_3がよい量子数（運動の恒量）に選べるように，核力の働くときにはアイソスピンIとその第3成分I_3が保存される。重い原子核では，荷電不変性は陽子・陽子間のクーロンの電気的斥力のための破れが無視できなくなると考えられていた。しかし，重い核でも励起状態までくわしく調べると，荷電不変性にもとづいて考えられる状態（アナログ状態）が意味をもっていることがわかった。

核力だけでなく一般に重粒子と中間子（まとめて強粒子という）のなかでの強い相互作用の過程では，アイソスピンはよい量子数であり，各強粒子は独特のアイソスピンをもつグループに分かれている。核力の場を媒介する中間子のうちの，もっとも軽いπ中間子のアイソスピンは1，次に軽いK中間子，η中間子，ρ中間子，ω中間子のアイソスピンはそれぞれ，$\frac{1}{2}$，0，1，0である。

力学的に，アイソスピンが素粒子の内部の運動の何を意味するかは将来の課題として残されている。軽粒子（電子，μ粒子，中性微子2種）は強い相互作用が知られていないので，グループをなしているけれども，アイソスピンを定義することはできない。→素粒子 〈中村誠太郎〉

アイソトープ [㊎isotope ㊈isotope ㊋Isotop] ⇨同位体

会田安明 あいだやすあき (1747—1817) 江戸時代中期の数学者。名は「やすあきら」とも読む。安明は「安旦」と書いた時代もある。これも「やすあき」と読んだのであろう。彼みずから「安且」と署名した場合もあるが，これは「旦」と「且」とを区別しなかったものと考えられる。出羽国最上（山形県）の生まれ。はじめ会田重松，のち江戸に出て御家人の株を買い鈴木彦助と称し，利根川の治水工事に従事したこともあった。その後事情あって扶持を離れ，以後，数学をもって身を立てるに至った。会田算左衛門と名乗ったのもこれ以後である。その号自在亭は関孝和*の号自由亭に対するもの。

安明は郷里にあったとき，師について数学を学んだが，その程度はそれほど高いものではなかった。江戸に出て数学をもって身を立てようとしたとき，彼は弟子となるため藤田貞資*の門をたたいた。貞資は『精要算法』(1781) の著者で，当時名人といわれていた。しかし，自己の誤りを指摘されたことを怒って貞資の弟子とならず，かえって『改精算法』(1785) を著して，『精要算法』を批判した。そして自己の流派を最上流と唱えはじめた。最上流は「さいじょうりゅう」と読む。もっともすぐれた流派の意味であるが，安明の生地最上にちなんだものとも考えられる。

関流と最上流の論争はその後20年余に及び，両派は書物を出版して，互いに他派を批判しあった。この間に安明の学力はいちじるしく向上し，当時一，二を争う大数学者となった。その間，安明は秘伝書も含めて関流の数学書を入手し，それを研究した。彼の著書は千数百巻に及ぶが，その大部分はその種の研究書である。もちろん独自の書物も少なくない。なかでも『算法天生法指南』(1810) は，そのころ多く出版された和算独習書中もっともすぐれたものであった。そのほか『算法古今通覧』(1795) なども有名である。

その弟子には斎藤尚仲があり，師の遺命によって山形で数学教授を始めた。尚仲の弟子高橋仲善らも努力をしたので，最上流は東北地方に広く伝わった。安明は江戸浅草で死去したが，2年後，高弟たちが，彼の愛用していた算木を浅草観音の境内に埋め，その上に碑を建てた。この算子塚（算子は算木の意）は現存する。 〈大矢真一〉

会田安明
(1747—1817)
斎藤家旧蔵

アインシュタイン [Albert Einstein] (1879—1955) ドイツ生まれのアメリカの理論物理学者。南ドイツのウルムで生まれ，翌年ミュンヘンに移る。父ヘルマン・アインシュタイン(1847—1902)，母パウリーネ・アインシュタイン・コッホ (1858—1920) がともにユダヤ系であったため，カトリックの小学校に通っていた彼はあまりよい待遇を受けなかったといわれる。1889年レオポルト・ギムナジウムに入学。94年父ヘルマンとその兄ヤコブ技師が共同で経営していた発電機，測定器械，アーク燈製作工場が不景気にぶつかりつぶれたため，一家はアインシュタインひとりをミュンヘンの寄宿舎に残し，イタリアのミラノに移った。この少年時代には数学が得意で，伯父ヤコブの手ほどきで代数や幾何学をものにした。また彼の家に時おりやってきた医学生のすすめで，ベルンシュタイン Aaron Bernstein (1812—84) の『通俗自然科学大系』全6巻を耽読して，自然科学に強い印象を受けた。ギムナジウムでのラテン語，ギリシア語など，各学科のつめこみ式の教育には初めからなじめず，一家がミラノに移住した翌年の95年，卒業を目前にして退学，両親の下に帰った。

同年スイスのドイツ語圏に属するチューリヒの

連邦工科大学（E. T. H.）工学部を受験したが，規定の入学年齢18歳に達しておらず，そのうえギムナジウムの卒業資格をもたないこともあって落第。同大学の教授ウェーバー H. F. Weber や学長のヘルツォーグ A. Herzog に励まされ，大学入学資格取得のため進歩的な学校として知られるアーラウの州立学校に入学した。翌年10月資格を取得し，連邦工科大学数理物理学部に入学。主として物理学を学んだ。在学中に友人ハビヒト C. Habicht，ソロビン M. Solovine らとともにオリンピア・アカデミーと呼んだ読書や討論のための会合をもち，哲学と科学の主要な著作を勉強，この会合は彼の科学的思索に大きな力となったといわれる。さらにアインシュタインは大学の講義に出席するよりは，むしろ自分で物理実験に没頭したり読書することに力を入れ，マッハ*の『力学の発展』*Die Mechanik in ihrer Entwicklung*（1883）もこのころ読んだ。のちにアインシュタインの共同研究者となったグロスマン Marcel Grossmann（1878—1936）は，講義をたびたび欠席する彼のために詳細なノートを提供する親友でもあった。また大学の電磁気学講義のなかにはマクスウェル*の電磁理論が含まれておらず，彼はほとんど独習によって完全にマスターしたといわれる。

1900年連邦工科大学を卒業したが，スイスの市民権がなかったために就職口がなく，ヴィンテルトゥール工業専門学校の代用教員や家庭教師をして糊口をしのいだ。01年スイスの市民権を苦労して獲得，同年毛管現象に関する科学論文を初めて発表，この論文を唯一の資産として大学に職を求めるために，ドイツのライプチヒ大学教授のオストワルト Friedrich Wilhelm Ostwald（1853—1932），オランダのライデン大学教授のカメルリン・オンネス*らにこの論文の抜きずりとともに就職願いの手紙を出したが返事はこなかった。

1903年グロスマンの父親の口ききでやっとベルンの特許局の技官として定職についた。05年その仕事のかたわら，有名な3論文を発表した。すなわち，ブラウン運動の理論，特殊相対性理論，光量子論がそれである。彼の研究は初め，熱力学，気体分子運動論に向けられた。当時，力学は物理学の全分野の基礎として位置づけられ，あたかもそれが不動の地位にあるかのように一般には考えられていた。しかしアインシュタインは，マッハのニュートン力学批判に触れたことにもよるが，そのような力学についての考え方には疑問をもちはじめていた。

すなわち前世紀の後半，マクスウェルによって確立された電磁場理論は，近接作用論に立って，光学的現象と電磁気学的現象とを統一的に説明する理論としてもっとも有力なものであり，さらに熱放射論にも一定の有効性をもってはいたが，基本的な性格は力学的なものであった。したがって力学的な性格がこの理論に反映し，その弱点を露呈していたといえる。その弱点とは，なによりも現象とは違って，マクスウェル理論は非対称性になっていたことであり，また単極誘導の問題が導かれなかったことであった。これらの理論上の弱点は，回転部分をもつ諸電気機械に多くの問題をなげかけていたようである。また，この理論では，屈折率は波長によらず一定であるという事実に反する結果が導かれざるをえなかったり，光の反射・屈折の理論や偏光の反射に関するフレネル*の正弦則・正接則などが導かれずにいた。この困難は，実は光と物質のミクロな過程の相互作用を論じなければ解決されないもので，結局マクスウェル理論はミクロな物質に関しては妥当しないという大きな弱点を示していたわけである。さらに，この理論は静止している物体内の理論であり，運動している物体（媒質）のなかでの電磁現象は扱えず，高速度で運動する荷電粒子の諸現象にも弱点をもっていた。

アインシュタインは，力学が全物理学分野の基礎となっているという一般の考え方には同意できず，力学にかわるものとしてそのころボルツマン*らの努力によって発展しつつあった熱力学，統計力学の普遍性に着目し，1902年から04年にかけて熱力学，統計力学に関する論文4編を発表した。一方，アインシュタインとは別にマクスウェル理論の弱点を克服しつつ電子論を築いていたローレンツ*は，04年ローレンツ短縮，局所時などの概念を導入して，数学的表現形式としてはアインシュタインの特殊相対性理論とまったく同じものに到達していた。しかし彼の理論では，短縮や局所時概念は現象と理論を整合させるための一種の技巧の域を脱せず，時間・空間概念の変革を，したがって原理的な概念の導入を意味していなかったといえる。アインシュタインは，このローレンツの限界を越えて現代物理学へと巨歩を進めたわけである。

全物理学分野の基礎にかかわる時間・空間概念は電磁気学的現象からだけ構成されるものではなかった。ドイツの冶金工業のなかで熱放射論はめざましい発展を見せ，1900年にはプランク*の量子仮説によってエネルギーの不連続性さえ表明されていたし，化学工業や電気工業に基礎をおいた放射能研究，X線研究のなかからもそれ以前には想像もできなかった多くの新しい自然の現象や構造がつぎつぎと明らかにされつつあった。いわば物質の存在形式としての時間・空間の概念が，自然科学的な研究対象として問われはじめていた時代に，アインシュタインはその出発点を熱力学，統計力学に置いたと見られる。

1905年の特殊相対性理論に関する論文は「運動物体の電気力学」*Zur Elektrodynamik bewegter Körper* と題されていた。この書きだしの部分で，導体と磁石の相対運動に対するマクスウェル理論の非対称性が問題にされ，6節では単極誘導についての結論が下されている。全体が1，2部に分けられ第1部の運動学の部では，同時性の定義，長さと時間の相対性についてなどが論じられ，第2部の電気力学の部では真空に対するマクスウェル－ヘルツの方程式の変換，磁場のなかで運動するとき現れる動電力の本性についてなどが検討されている。主要な考え方は，力学の方程式が成り立つすべての座標系に対しては同一の形の電気力学および光学の法則が成立するといういわゆる相対性原理を要請し，次に真空中では光速度は発光体と観測者の相対運動に無関係に一定であることを要請するものであった。ここにおいて，短縮や局所時概念は技巧としてではなく，現象の本質的な意味をもたされることになったのである。

1906年アインシュタインは「分子の大きさの新しい決定」*Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen* によってチューリヒ大学の学位を取得。08年これらの業績によってベルン大学私講師，09年特許局を辞してチューリヒ大学理論物理学員外教授，この年ローレンツと知り合い，11年春にはプラハ大学に移った。同年第1回ソルベー会議に出席し，各国の多数の物理学者と交流する機会をもった。12年秋にはチューリヒの連邦工科大学の員外教授となり，ついで14年春にはベルリン大学教授兼カイザー－ウィルヘルム研究所物理学部長となった。この間07年には固体比熱の理論を発表，また相対論的重力理論の建設に努力して15年には一般相対性理論を数学者グロスマンの協力を得て完成した。19年この理論から帰結される太陽の重力場による光線屈曲（アインシュタイン効果）の事実がイギリスのエディントン*らの日食観測隊によって確認されるに及んで，彼の名声は世界的なものとなった。21年石原純*らのはたらきで，改造社が彼を日本に招待し，その来日途上の船上でノーベル物理学賞の受賞決定を知らされた。それは「理論物理学に関する貢献に対し，とくに光電効果に合致する法則の発見に対して」であり，相対性理論については，公式文書のなかでは言及されていなかった。

その後世界各地を講演旅行して歩き，第一次世界大戦中には公然と平和主義を主張し，1922年国際連盟知的協力委員としてマリー・キュリーらと活動するが，翌年，国際連盟は「権力政治の柔軟な道具になってしまった」として知的協力委員を辞めた。32年ナチスが第一党となり翌年ファシズム政権が誕生すると，14年来のドイツ名誉市民権と財産は剝奪，没収された。ドイツをのがれアメリカのプリンストン高等研究所に迎えられ，以後アメリカに定住した。39年ウラン核分裂がナチスにより軍事利用されることを危惧して，時のアメリカ大統領ルーズベルトに，ウラン問題の研究を提言，これが原子爆弾開発計画の一契機となった。第二次世界大戦後は軍備拡大競争に警告を発しつづけ，核兵器の絶滅と世界平和のために積極的な活動をおしまなかった。とくに死の直前の55年にラッセル*とともに共同声明を発したことは，その後世界の科学者の平和運動の発展に大きな影響を与えることになった。晩年にはすすんで社会主義社会に共鳴を表していたこともよく知られている。

なお1929年重力場と電磁場との統一を試みた「統一場理論」を提唱したが，まだ確証されてはいない。さらに量子力学には最後まで強い批判をもちつづけた。→相対性理論　〈井原 聰〉

C. ゼーリッヒ著，広重徹訳『アインシュタインの生涯』（1957，商工出版）▷B. ホフマン著，鎮目恭夫・林一訳『アインシュタイン』（1974，河出書房新社）▷シュポルスキー他著，佐々木健他訳『アインシュタインと現代物理学』（1958，商工出版）▷石原純著，岡本一平画『アインシュタイン講演録』（1971復刻，東京図書）

青地林宗 あおちりんそう（1775—1833）江戸時代後期の蘭学者。林宗は字，諱は盈，号は芳滸。1775年（安永4），伊予国（愛媛県）松山に生まれた。父の快庵は藩主松平氏の侍医。少年時代から医学を学び，やがて京坂に出たが，1800年（寛政12），父の死でいったん帰国した。ついで江戸に出て洋学を学んだが，師は杉田玄白とも馬場佐十郎ともいう。彼は語学の才に富み，学は大いに進んだ。22年（文政5），幕府の天文台訳員に任ぜられた。これよりさき11年，千島に来航したロシアの軍艦ディアナ号の艦長，ゴローニンは国後島で捕えられ，長期にわたって幽閉されたが，彼はその間の事情を『日本幽囚記』として発表，その

オランダ訳が日本にもたらされ，馬場佐十郎，高橋景保が翻訳を始めたが中途で没したので，林宗と杉田立卿がひきつづいて訳にあたり，『遭厄日本紀事』と題し25年（文政8）完成，幕府から賞を受けた。

彼は，地味な人柄で世間に名を出すことを好まず，翻訳を進めるのを楽しみとした。ことに科学関係には興味をもち，イベイの薬物書1818年版を完訳し『依百乙薬性論』と題した。また同年，最初の西洋産科学の紹介である『訶倫産科書』を訳したが，その原書は不明。25年（文政8）には，各種の物理学書を参照して『気海観瀾』を書き，27年に刊行された。日本最初の物理学書で「理科は物則の学なり」と述べている。これを平易にし増補したのが，のちの川本幸民の『気海観瀾広義』(1851～56) である。26年には『輿地誌略』，28年には『医学集成』と訳業は多く，さらにショメルの百科全書の訳者の1人でもあった。31年（天保2）には洋学の同志を集め同志会を結成し，訳語の統一などをはかろうとした。翌年水戸侯に招かれたが，33年（天保4）2月，江戸で病没。

〈吉田光邦〉

アーク放電 ――ほうでん [㊜arc discharge ㊫décharge à arc ㊥Bogenentladung] 放電の1種。イオン衝撃により陰極が加熱されて熱電子を放出し，このため気体の電離がすすみ，気体も良導体となり，比較的低い電圧で大電流の放電を持続することができる。⇨放電

安島直円 あじまなおのぶ (1732―98) 江戸時代中期の数学者。通称は万蔵，南山と号した。出羽新庄藩（山形県）の江戸詰め藩士で，江戸の藩邸で生まれ，そこで没した。生年については古くから1739年（元文4）説があったが（遠藤利貞『増修日本数学史』)，その後，彼の墓所の常林寺（東京都港区三田）で安島家の系図が発見され，それに「享保17年」とあることから，1732年が定説となった。

直円は，初め入江応忠について中西流の数学を学び，のち幕府の天文方である山路主住*について関流の奥義を究めた。直円にも暦に関する数編の著書があり，それは山路家における暦についての講義のごときものであるから，直円は山路家において編暦の手伝いをし，その間に数学を学んだのであろうという説がある。直円が山路に入門したのは年たけてからであり，数学に関する著作を始めたのは山路主住の没後である。彼の数学の処女作『京都祇園額答術』は1773年（安永2）彼が42歳のときである。次の著作『環円無有奇術』はそれから約10年後の1782年（天明2）に初めて発表された。これ以後，彼は多くの独創的な仕事を死去の年まで続けた。それらの仕事は，死後に『不朽算法』としてまとめられ，出版もされる予定であったが，ついに実現されなかった。

直円のもっとも大きな業績は円理*の改良であった。関孝和*の弟子建部賢弘*によって始められた円理は，それまでに一応完成されていたが，直円の改良によって，西洋の積分とほぼ等しいものとなったのである。

〈大矢真一〉

アース [㊜earth, grounding ㊫mise à la terre ㊥Erdung] 接地ともいう。電気回路は必ず電流の往路と復路に対応する2本の導線より成るが，そのうち一方を大地に接続する。接地の目的は2つあり，その1つは，大地が導体であることを利用して，2本の導線のうちの1本を省略することができる。たとえば有線通信において，発信点と受信点とを接続する導線は1本でよく，残りの1本に相当する部分は大地を通じておこなう。接地のもう1つの目的は，電気回路の大地に対する電位の関係を一定に保ち，電気設備の破壊，人体の感電等の事故を防ぐとともに，電気回路の動作を確実にすることである。

直流高圧電源の場合についていえば，接地に関係ある所は(+)端子，(−)端子のうちのいずれか，および電源ケースである。電源回路は誘導，漏えい抵抗のために，電源端子を外部回路に接続する前から大きな電位差をもち，そのために(±)端子のいずれか一方を接続しただけで，外部回路が破損する場合がある。そのような事故を防ぐために(±)端子のいずれかを大地に接続する。また，電源ケースにも漏えい抵抗などのため異常高電圧が加わっている可能性があり，感電事故が発生する恐れがある。したがって，電源ケースも接地する。そのほか，中波，長波の電波を放射するアンテナも必ず片側は接地しなければならない。

接地には，単に電気回路の電位を一定に保つために接地する場合と，実際に相当な電流が流れる場合とがあり，とくに後者は大地に対する抵抗（接地抵抗という）が問題になる。電気設備技術基準には，それぞれの目的に応じて接地工事の規定がある。また，実験室において，微弱な信号を取り扱うとき，接地のじょうずへたは実験の成否につながるたいせつな事柄である。

〈山口重雄〉

アストン [Francis William Aston] (1877―1945) イギリスの物理学者，化学者。ハーボーンに生まれ，マッソン・カレッジ（現在のバーミンガム大学）でフランクランド *Sir* Edward Frankland (1825―99) らに化学を，ポインティング John Henry Poynting (1852―1914) らに物理学を学んだのち，フランクランドの下で化学研究に従事。しかし，レントゲン*によるX線の発見 (1895) 以後の物理学のめざましい発展のなかで，物理学に方向を転じ，1903年バーミンガム大学で真空放電の研究をおこなって学位を得た。アストンはこの研究で実験物理学者としてのすぐれた能力を示した。彼はまずクルックス暗黒部 Crookes dark space の性質を研究し，ひきつづいて1907年，アストンの暗黒部を発見したが，それは彼自身が改良した真空ポンプによるところが大であった。

1910年，J. J. トムソン*に招かれてケンブリッジのキャベンディッシュ研究所の助手となった。以後，J. J. トムソンと共同で陽極線分析をすすめることになる。すでに，J. J. トムソンは1905年以来，陽極線研究にうち込み，陽極線粒子の原子量を測定する「放物線の方法」を考案していたが，1912年，これを用いて2人は原子量20.18のネオンを調べたところ，それぞれ原子量20.0および22.0に対応する2本の放物線の軌跡を得た。

第一次世界大戦とともに研究は中断し，アストンは王立航空機工場の技師長として軍需生産に従事した。1919年，大戦の終了とともにキャベンディッシュ研究所にもどり，ネオンの同位元素の分離に力を注ぎ，同年，質量分析器の開発に成功した。それまで，同位元素は放射性元素か鉛においてのみ認められてきたが，これによって既知元素のほとんどすべてについて同位元素が知られるようになった。1922年，ノーベル化学賞を受賞。

〈宮下晋吉〉

Photo：PANA

アダマール
Jacques Hadamard (1865―1963)

アダマール [Jacques Hadamard] (1865―1963) フランスの数学者。ベルサイユに生まれ，エコール・ポリテクニクおよびエコール・ノルマルで学び，コレージュ・ド・フランス教授 (1897～1935)，ついでエコール・ポリテクニク教授(1912～35) となった。エコール・ポリテクニクの2000点満点のきびしい入学試験で1875点の得点記録をあげるという秀才ぶりを発揮した。研究は解析学の広い分野にわたり，理論物理学や天体力学にも及び，他方で初等幾何学や数学教育にも関心を示した。学位論文 (1892) で，べき級数の収束半径を係数列から定める公式と有理型半径についての理論が展開されている。関数論ではさらに彼の名を冠する三円定理，空隙定理，乗法定理など，ならびに整関数の研究が有名である。解析数論ではリーマン*のζ関数の零点の分布に関する論文 (1896) において，ある数をこえない素数の対数の和は漸近的にその数に等しいという形で素数定理を証明した。そのほか，積分方程式論で利用される行列式の評価 (1893)，波動方程式の基本解の研究で導入した発散積分の有限部分の概念 (1932)，変分学に関する諸研究など，解析学における独創的な業績が多い。1935年末刊行された70歳記念の選集の内容は解析関数，整数論，実関数，微分方程式，変分法と汎関数，幾何学，流体力学に分類され，巻末には当時までに発表された論文著書280編の目録がのっている。

1936年春，中国政府に招かれたおり，日本にも1週間の見物に訪れた。ユダヤ系の学者として平和主義的な政治意識が強く，1940年故国を離れてアメリカに亡命し，戦後は帰国して，フランス共産党員となった。その間プリンストン大学で定期的な講演をおこない，晩年に至るまで研究生活を続けた。

〈小松勇作〉

圧縮率 あっしゅくりつ [㊜compressibility ㊫compressibilité ㊥Kompressibilität, Komprimierbarkeit] 圧力によって物体が圧縮される割合をいう。物体の表面のいかなる部分をとっても，単位面積当り，面に垂直に一定の力が作用しているとき，この物体は一様な圧力を受けているという。このときには物体内部のいかなる断面をとっても，その両側で作用する力は，面に垂直で大きさが相等しい。すなわち，このような応力は断面の方向によらず流体力学的に考えて，静水圧（または流体圧）ということもある。

このような圧力を受けるとき，物体は形状を変えずに体積の圧縮（収縮）をひき起こす。温度が一定の条件で，圧力 p を単位面積当り Δp だけ増すとき，体積 V が ΔV 増すとすると，圧縮率 κ は

$$\kappa=-\frac{1}{\Delta p}\cdot\frac{\Delta V}{V}$$

と表される。

この関係式は固体，液体，気体を問わず一般に成り立つ。圧縮率 κ の逆数を体積弾性率といい k で表す。物体が等方的な性質であれば，他の2つの弾性率，すなわちヤング率 E とポアソン比 σ との間に次の関係式が成り立つ。

$$k=\frac{1}{\kappa}=\frac{3(1-2\sigma)}{E}$$

固体，液体に比較して気体の圧縮率ははるかに大きく，理想気体では $\kappa=\dfrac{1}{p}$ の関係が成り立つ。〈伊東正貴〉

圧電効果 あつでんこうか ［㊧piezoelectric effect ㊤effet piézo-électrique ㊦Piezoeffekt］ 結晶を変形させると，結晶が分極して，結晶表面に電圧が誘起される現象をいう。ピエゾ効果ともいう。変形を除けば電圧は消え，圧縮から伸張へというように変形の向きを反対にすれば，誘起される電圧の向きも反対になる現象である。結晶を電界のなかに置いて分極させると，その結晶が変形する現象（電歪（でんわい））は圧電効果と対をなすものである。

圧電効果は，1880年当時結晶の対称性に関して研究していたキュリー兄弟（Pierre Curie, Jacques C.）によって電気石について発見された。圧電効果はどんな結晶についても観測されるわけではない。電気石，水晶，ロッシェル塩，チタン酸バリウムなどは圧電効果をもつ結晶である。岩塩，蛍石（ほたるいし），方解石については圧電効果は起こらない。キュリー兄弟による発見は偶然のものではなく，結晶が対称中心をもたない場合には，圧電効果をもつべきであるという推論にもとづいて探した結果，見いだされたものである。

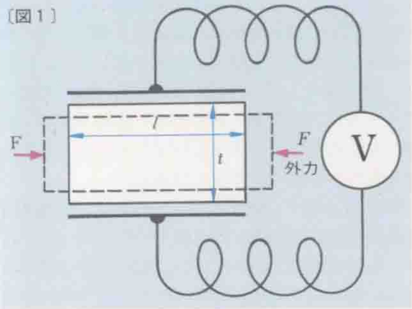
図1に圧電効果を生ずる構成の一例を示す。長さ l，厚み t，幅 w の結晶片を切り出し，図示するように，相対する面に電極板をつける。電圧 V を電極間に加えたとき，電歪によって長さ方向に伸縮が起こるものとする。実際このようになるためには，結晶のなかから適当な方向に切り出した結晶片でなければならない。それゆえ，切り出し方には X-cut，Y-cut，というようにそれぞれ名前がつけられている。電極間に電圧 V を加えると，電極間の電界は V/t である。結晶の誘電率を ε とすれば，結晶内の電束密度 D は $\varepsilon\cdot V/t$ である。圧電効果は，結晶に電界を作用させなくても，長さ方向に圧力あるいは張力を加えることによって結晶が分極することを意味するものである。結晶の総合的な電束密度は

$$D=d\cdot\left(\frac{F}{tw}\right)+\varepsilon\cdot\left(\frac{V}{t}\right)\quad\cdots\cdots(1)$$

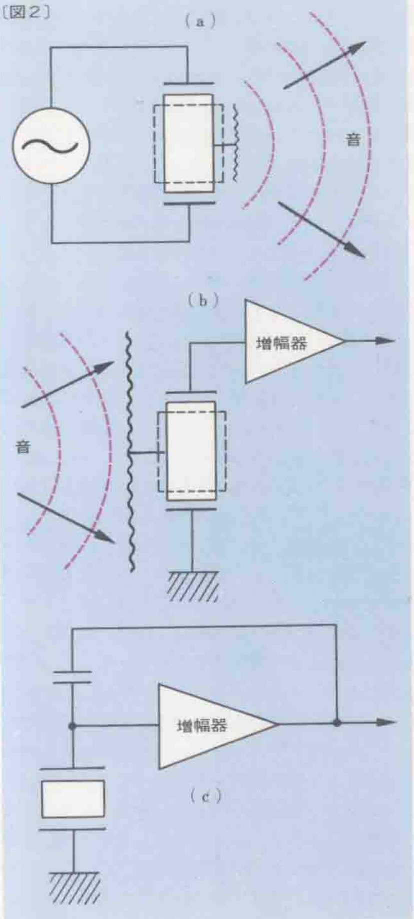
によって表される。第1項は圧電効果を表す。係数 d を圧電係数とよぶ。結晶に圧力を加えると弾性変形を起こす。この変形率 $\Delta l/l$ は外力 (F/tw) との間にヤング率 E によって結ばれている。電歪とは，結晶に外力を加えなくても電界を加えるだけで歪（ひずみ）が生ずることを意味するものである。結晶の総合的な変形率は次式によって表される。

$$\frac{\Delta l}{l}=\frac{1}{E}\left(\frac{F}{tw}\right)+d\cdot\left(\frac{V}{t}\right)\quad\cdots\cdots(2)$$

〔図1〕



〔図2〕



(2)式の第2項は逆圧電効果の項とよばれている。

もし，結晶に電界を作用させ，電歪によって生ずる歪を打ち消すように外力を加えるならば，そのために必要な外力の強さは式(2)において Δl を0とおいて次のようになる。

$$\frac{F}{tw}=-(E\cdot d)\left(\frac{V}{t}\right)\quad\cdots\cdots(3)$$

$E\cdot d$ を力係数とよぶ。また，結晶に外力を加えるならば，結晶は圧電効果によって分極する。この分極は電極間に生ずる電位差 V による分極とつりあう。式(1)より V は

$$V=-\left(\frac{d}{\varepsilon}\right)\left(\frac{F}{tw}\right)t\quad\cdots\cdots(4)$$

によって与えられる。d/ε を開放回路電圧係数とよぶ。

図2に圧電効果の応用例を示す。(a)は電気信号を音に変換する装置の原理図である。信号電圧を結晶に加えると，それに応じて結晶が変形することを利用したものである。(b)は(a)とは反対に音を電気信号に変換する装置の原理図である。音によって結晶が力を受け，電極間に電圧が生ずる。それを増幅器で増幅する。(c)は圧電効果を利用する安定な周波数をもつ交流発生回路を示す。結晶の弾性変形による振動は，弦の振動に似て鋭い共振特性をもつ。結晶の大きさが結晶の弾性波の半波長の整数倍であれば，結晶はよく振動するが，それから少しでもはずれると結晶はほとんど振動しない。図において，結晶が何かの原因で弱く振動したとする。その振動変形は電極間に電圧を発生し，それは増幅器で増幅される。増幅された電圧は適当な位相をもって結晶の電極にもどすと，結晶はこの電圧によってますます強い振動をおこなうようになる。そしていったん始まった結晶の振動は持続し，その周波数は結晶の弾性振動の固有振動数である。水晶はとくに安定な周波数を得るのに適しており，水晶を振動子に使った発振器を水晶発振器という。

圧電効果は発見されて以来長い間顧みられなかったが，第一次世界大戦中ランジュバン*が，図2(a)，(b)の原理により，超音波を発生させ，水中通信，潜水，探索に応用した。1922年には水晶発振器が発明され，通信技術への寄与は非常に大きかった。さらに強誘電体の発見によって，効率のよい圧電材料が得られるようになった。圧電材料の主要なものを別表に掲げる。最近になってのもっともいちじるしい応用例はガス器具の点火器で，圧電体を打ち，瞬間的に発生する圧電気による放電によりガスに点火するものである。〈山口重雄〉

アッベ ［Ernst Abbe］（1840—1905） ドイツの物理学者，実業家。貧乏な労働者の長男としてアイゼナッハで生まれ，父の雇用主の援助とみずからのアルバイトによってイエナ大学で数学と物理学を学んだ。1861年，ゲッティンゲン大学で学位を取るとフランクフルトに出て，2年間物理学の大衆教育にあたった。1863年イエナ大学に私講師としてもどり，70年に準教授，78年に正教授となった。その後，ヘルムホルツ*によってベルリン大学に招かれたが，彼はそうした招請はすべて断わり，一生をイエナで送った。

彼の有名な光学の研究は，1866年のツァイス Carl Zeiss（1816—88）との出会いから始まり，以後彼はツァイス光学会社の技術顧問として研究の一切をまかされた。76年には共同経営者として経営にも参加，そして88年ツァイスが死ぬと経営の全権が彼にゆだねられ，それを機に彼は有名なツァイス財団を創設し，労働者の経営参加も含む

圧電材料の性質

電圧材料	弾性定数 $m^2/N\times10^{11}$	圧電係数 d $Coul/N\times10^{12}$	誘電率 ε $f/m\times10^{11}$	開放回路電圧係数 d/ε m^2/N	力係数 d/s $N/V\cdot w$
水晶X	$S_{22}=1.27$	$d_{21}=2.25$	4.06	0.055	0.177
ロッシェル塩 45°X	$S'_{22}=6.7$	$\frac{d_{14}}{2}=43.5$	444	0.098	6.5
チタン酸バリウム（磁器）	$E=1.18$	$d_{33}=16$	1 300	0.0106	13.5
PZT-4	$E=0.815$	$d_{33}=23.5$	875	0.0268	19.2

経営の刷新をおこない成功を収めた。

彼の光学研究の多くは顕微鏡についてのものであり，彼は1871年に瞳面の概念を提出し，73年には従前とはまったく別のアプローチ，光の回折を結像の要素としてとらえ，結像があるか否かということから分解能を決定する理論を発表した。この理論は光学像形成の基礎理論の提出という結果となり，ゼルニケ Frits Zernike (1888—1966) の位相差顕微鏡（1953年ノーベル物理学賞受賞）やガボア Dennis Gabor（1900—79）のホログラフィー理論（1971年ノーベル物理学賞受賞）に対する原理論となった。物理学の論文から社会評論にまでわたる全5巻の論文集（1904～06）がある。 〈常石敬一〉

厚み計 あつみけい [(英)thickness gauge (仏)jauge à épaisseur (独)Dickemeter] 板，膜，皮膜などの厚みの測定や比較をおこなうための測定器。厚みを測定しようとする対象の材質やその大小によって機械的方法，光学的方法，電気的方法その他の方法が考えられている。

機械的方法にはダイヤルゲージ，マイクロメーターなどがある。通常のダイヤルゲージは，ラックとピニオンおよび平歯車から構成され，測定用の心棒の変位を拡大された回転角変位に変換し，円形の目盛板の上に指示が与えられるものである。心棒はばねの張力で外に押され，被測定物体につねに一定の測定圧が加わるようになっている。目盛板の最小目盛は0.01 mmで，10 mmまたは25 mmの測定範囲をもつのがふつうである。

マイクロメーターはねじを利用した測定器で，薄板の厚さ，針金の直径などを測るのに広く用いられている。ふつう測定範囲は25 mm，最小目盛は0.01 mmである。U字形の枠の一端にアンビルが固定され，他端は延びて雌ねじをもつ套管となっている。雌ねじにはスピンドルと一体になった自由に回転できる歩みの細かい雄ねじ（マイクロメーターねじ）がはまっている。スピンドルの外側にはこれと一体になったシンブルがかぶさり，套管の外を回転しながら自由に移動する。套管上の縦の目盛とシンブルの円周を50分割した目盛が読みを与える。マイクロメーターねじの歩みは0.5 mm であり，シンブルの1目盛の変化はスピンドルの0.01 mmの移動を示す。また零位置を調整したり，測定圧を一定にするための機構も備えられている。

光学的方法には顕微鏡，光の干渉縞，光学格子を応用するものなどがある。顕微鏡を用いるものとしてアッベの厚み計がある。厚みを測定しようとする物体を台の上にのせ，上からスピンドルで押え，スピンドルに結合した上部の標準尺目盛を固定顕微鏡で拡大して読み取るもので，精度は約1 μ である。光の干渉縞を利用すれば，ゲージなどの厚さや長さを光の波長を標準として非常に精密に測定することができる。He, Hg, Cd, Kr, Tl などの放電管やレーザーが光源として利用され，自動化された測定装置も工夫されている。

光学格子を用いるものとしてモアレ縞がある。格子間隔の等しい2枚の格子を互いに角 θ だけ傾けて重ね，光を透過させると，格子線に直交した方向に広い間隔をもつ明暗の縞が観測される。これをモアレ縞とよぶが，縞の間隔Pは格子の間隔を l とすると θ が小さければ，$P=l/\theta$ で与えられ，θ が小さいほど大きなPとなる。いま一方の格子を固定し，他方の格子を格子線に垂直に動かすと，これに伴ってモアレ縞が格子線の方向に移動する。格子が l 変位するごとにPモアレ縞は移動し，格子の変位を $1/\theta$ に拡大して測定することができる。

電気的方法は，厚さや変位をインダクタンス，電気抵抗，電気容量の変化の測定に帰着させるもので種々の方法があるが，代表的なものは差動変圧器である。差動変圧器は可動鉄片形電磁誘導変換器の1種であり，1次コイル，2次コイル，棒状コアから構成されている。非磁性体の巻枠の中央部に1次コイルをほどこし，2次コイルはその両側に分割されて巻かれる。棒状コアは巻枠の軸方向に移動でき，その位置に応じて1次コイルによる励磁の誘導起電力を2次コイルに生じさせる。2つの2次コイルはその出力が互いに逆直列（差動的）に接続されており，結果として変位に比例した出力電圧を得ることができる。測定範囲は0.01 mm～100 mm にわたって幅広く用意されており，精度，感度，直線性，応用範囲，耐久性の点で多くの利点をもっている。

その他の方法には，放射線を利用するもの，空気マイクロメーターなどがある。β線を紙，ゴム，アルミニウム，スズ，黄銅，鉄などの薄板を透過させると，材料の単位面積当りの質量によって吸収の度合が異なるので厚みが測定できる。線源としては放射性同位元素 ^{90}Sr がよく用いられ，またβ線検出のためには Xe 入りの電離箱を使用する。厚い物質の厚み測定にはγ線が用いられる。厚みを測ろうとする板に向かってγ線を照射し，コンプトン効果によって背面散乱されもどってくる量を検出する。この量は厚みが大きくなるに従って単調に増加するので，厚み計をつくることができる。γ線の検出には，感度が高く応答の速いシンチレーションカウンターが用いられる。これは NaI などの螢光体にγ線をあて，その刺激による発光を光電子増倍管によって検出する。

空気マイクロメーターは，空気の流出するノズルの前に物体を置き，物体面と流出孔の距離の大小によって空気の流出抵抗が変化することを利用して厚みを測定する。一定圧力の空気源を細い流入ノズルを通して測定室に導き，さらに流出ノズルから吹き出させる。物体面と流出ノズルとの隙間の大小により，測定室の圧力（流出ノズルの背圧）が変わるから，この圧力を測定することで隙間の大きさが知れる。機械的な接触なしに面の位置が測れるところに利点がある。 〈小林 彬〉

圧力 あつりょく [(英)pressure (仏)pression (独)Druck] 物体（流体や固体）の表面，または内部に考えた任意の面に垂直に，単位面積当り作用する押し合う力の大きさをいう。一般に任意の面を考えるとき，その面のどの部分でも圧力が等しいとはかぎらないので，そのような場合は面を十分小さくとって考える。その面積を ΔS，その部分に作用する力を Δf とし，$\Delta f/\Delta S$ の値の ΔS を無限に小さくしたときの極値pをその点での圧力という。空間の1点で考える面の向きは任意であるからそれに対してそれぞれ圧力が考えられる。

〔全圧力〕 有限の大きさの面において，面上の各点で圧力の大きさが異なる場合に，この面全体に作用する圧力の総和を全圧力といい，各点での $p\times\Delta S$ を全面にわたって集めたものになる。

〔圧力の現れ方〕 静止している流体（気体や液体）のなかの，任意の1点での圧力は面の向きに関係なく，どの向きでも等しい。したがって圧力はスカラー量として表される。固体や運動している粘性流体のなかでは，面の向きによって圧力が異なることがあり，とくに結晶のなかでは面に平行な力も作用するのでテンソル量で表される。

〔流体中の圧力〕 重力の作用の下に静止した一続きの流体のなかでは，等しい高さの所はどこでも圧力は等しい。縮まない液体中のある高さでの圧力を p_0，密度を ρ_0，それよりhだけ高い所の圧力をp，密度を $\rho(=\rho_0)$ とすると，$p_0=p+\rho gh$ の関係がある。ここにgは重力加速度である。気体などのように圧力によって体積が変わる（ボイルの法則）流体では $\rho<\rho_0$ で，高さによって温度が変わることがないならば

$$p=p_0e^{-\frac{gh}{C}}$$

の関係がある。ここでeは自然対数の底，$C=p_0/\rho_0$ は定数である。地表近くの大気中では，t を平均気温とすると $h=18400(1+0.004\,t)\log_{10}\frac{p_0}{p}$ となる。流れている流体の圧力はベルヌーイの定理*などから導かれる。

〔圧力の原因〕 気体の圧力は分子が単位時間に単位面積へ衝突する回数と，分子の運動量の変化によって与えられるので，一定体積の気体を冷却すれば圧力は減少する（ボイル-シャルルの法則）。金属に含まれている電子のように，自由に動きまわれる電子などの集合体は，フェルミ・ガスとよばれ，絶対0度まで冷却しても粒子の速度は0にならず，圧力は残る。結晶の場合は結晶を形成する原子が互いに力を及ぼし合っているために，相対的に位置を変えようとすると元にもどろうとする力が作用し，これが結晶内部の面に働く圧力として観察される。

〔圧力の単位〕 MKS 単位系では 1 m^2 当り 1 N の力が働く場合を1 N/m^2, CGS単位系では 1cm^2 につき 1 dyn の力が働く場合を 1 dyn/cm^2 と表す。重力単位系の 1 kgw/m^2 は 9.80665 N/m^2 に等しい。このほか bar, 気圧(atm), mmHg, 真空用の Torr などの単位があり次のようになる。

1 bar = 10^5 N/m^2 = 10^6 dyn/cm^2

1 mbar = 10^{-3} bar

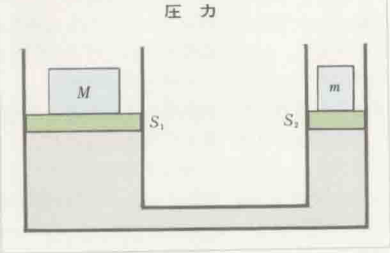
1 atm = 1013.25 mbar = 760 mmHg

1 mmHg = 1 Torr = 1.333224 mbar

〔圧力の傾き〕 流体の各部で圧力が異なる場合，ある方向への単位距離あたりの圧力差を圧力の傾き（または圧力勾配）という。方向をrとするときその方向の圧力の傾きは$\frac{\partial p}{\partial r}$で表される。流体内の任意の部分は単位体積あたりその方向に $-\frac{\partial p}{\partial r}$ の力をうけ，周囲全体からは $\vec{f}=-\mathrm{grad}\,p$ の力をうける。したがって$\vec{f}$は圧力の傾きが最も大きく圧力が減る方へ向く。ここに $\mathrm{grad}\,p$ は$\frac{\partial p}{\partial x}$, $\frac{\partial p}{\partial y}$, $\frac{\partial p}{\partial z}$ を x，y，z 成分とするベクトルである。

〔圧力と温度〕 理想気体の圧力pと体積Vと絶対温度Tの間には次の状態方程式の関係（ボイル-シャルルの法則）が成り立つ。$pV=nRT$（Rは普遍気体定数とよばれる定数，nは気体の量を示すモル数）。体積を一定に保って気体の温度を変えれば，圧力は絶対温度に比例して変わる。もし絶対0度に冷却すれば圧力は0になると思われるが，実在の気体ではその前に液化したりして，上の法則が成り立たなくなる。

〔圧力の伝達〕 密閉した容器の中で静止している流体の1点の圧力をある大きさだけ増すと，流体内のすべての点の圧力は同じだけ増す（パスカルの原理）。図のような装置で面積がそれぞれ S_1,



圧 力

S_2 の摩擦のないピストンの上に質量が M，m のおもりをのせたときつりあうなら，それぞれピストンが液体の表面に与える圧力は Mg/S_1，mg/S_2 であり，これらは相等しいから，$S_1>S_2$ とすれば小さい力 mg と大きい力 Mg がつりあうことができる。この原理を使えば，きわめて小さい力で大きい力を出すことができるので，水圧器や油圧ポンプに利用される。〈佐藤喜正〉

圧力計 あつりょくけい ［㊥manometer ㊣manomètre ㊦Manometer］ 流体の圧力の測定に用いられる機器の総称。大気の圧力測定に用いる気圧計*をはじめとして，液体圧力計，弾性圧力計など種々の圧力計がある。高圧に対する高圧計（気体圧力計，圧力秤(ばかり)，電気抵抗圧力計など)，低圧に対しては真空計*，圧力差に対しては圧力差計，微差圧に対して微差圧力計，急激に変動する圧力に対しては圧電気を利用する圧力計などがある。

●**液体圧力計** 測るべき圧力を液体柱による圧力とつりあわせて測る圧力計で，U字管圧力計およびその変形がこれに属する。U字管圧力計はU字形のガラス管に液体を入れ，両方に圧力差を比較すべき圧力を加えれば，液面の高さの差として圧力差を測ることができる。封液としては水銀，水，油，トルエン，アルコールなどが用いられるが，ガラスの壁面をぬらさない点で水銀がもっとも理想的であり，また測れる圧力の範囲も広い。

●**弾性圧力計** 測るべき圧力を物質の弾性変形による応力とつりあわせ，変形の大きさから圧力を測る圧力計で，金属圧力計がそのおもなものである。金属圧力計には，金属管の屈曲を利用するものと金属薄板の変形を利用するものとがある。ブルドン管圧力計は前者の典型例であり，楕円(だえん)形の断面をもつリン青銅管または鋼管を曲げ円弧状にし，一端を封じ指針の軸に歯車を介し結合させたものである。管の他端から測定すべき圧力を加えると，管内の圧力が増加するに従って，管の断面が円形になろうとして環がまっすぐに伸び，このときの変形の大きさに応じて指針が回る。後者の例として薄板圧力計がある。金属薄板の一方の側に測るべき圧力を加え，板のたわみによる中央の変位を歯車を介して指針を動かすようにしたもの。アネロイド気圧計もこの1種である。このほかベローを利用したものもある。また最近では薄板のたわみをひずみの形で金属線や半導体の電気抵抗の変化として検出する方法も工夫されている。

●**気体圧力計** 10MPa くらいまで測れる高圧計の1種である。適量の水銀を入れた容器内に，両端に細管のある管を鉛直に立てる。下端はそのまま水銀中に開かせ，上端は封じ下方からの水銀により気体を押し込め，気体の容積で圧力の目盛をする。外から測るべき圧力を加えれば管内の水銀の位置により圧力を知ることができる。温度の影響を避けるため気体を封じ込んだ部分は一定温度にして用いる。

●**圧力秤** ピストン圧力計ともよばれ，気密になめらかに動きうるピストンをもつ円筒内に流体を封じ，ピストンの底面に及ぼす圧力と，ピストンおよびその上に載せる分銅の重量とをつりあわせて測る圧力計である。とくに高い圧力を測る場合には，断面積が異なる2つのピストンを連結させ，断面積の差に及ぼす圧力に分銅をつりあわせる差動圧力秤を用いることができる。

●**電気抵抗圧力計** 金属の電気抵抗が圧力によって変化することを利用した圧力計である。マンガニン線が抵抗の温度係数が小さく，かつ抵抗の圧力係数が圧力にほとんど無関係に一定であることから最適の材料とされている。直径約 0.1 mm，長さ 5 m くらいの2重絹巻マンガニン線を無誘導的に輪形にし，適当な液体をみたした高圧容器のなかに入れ，圧力に応じた抵抗の変化をホイートストンブリッジを用いて測定するものである。

●**圧力差計** 圧力差を測る計器であるが，もっとも簡単なものは上述のU字管圧力計である。また環状差圧天秤(てんびん)や沈鐘式圧力計などがある。環状差圧天秤は，環状の筒の上部に隔壁を設け，下部に水銀，油などの封液をみたし，環の中心を刃で支え，その支点を中心に自由に回転できるようにしたものである。隔壁の両側に圧力差を加えると，圧力差と封液の両端の高さの差がつりあう所まで回転する。環の傾きまたは封液の高さの差を知れば圧力差を測ることができる。沈鐘式圧力計は微差圧力計としても利用できる圧力差計の1種である。天秤の桿(さお)の一端からつるした気鐘を液槽(そう)のなかに浸し，桿の他端に分銅を載せつりあわせる。気鐘のなかに通じる管により鐘の内外に圧力差を作用させると，鐘はほぼ圧力差と鐘の内側断面積との積に等しい力で押し上げられるから，気鐘側の天秤皿に分銅を載せつりあわせれば，その分銅の値から圧力差を測ることができる。桿の両端にこの装置を一対備え，それぞれに比較すべき圧力を別々に作用させれば，桿の傾きにより微小な圧力差を測ることもできる。〈小林 彬〉

アトウッドの器械 ―のきかい ［㊥Atwood's machine ㊣machine d'Atwood ㊦Atwoodsche Maschine］ アトウッド G. Atwood (1746―1807) が考案した器械。滑車を使うことによって，自由落下より遅い定加速度落下運動を実現し，それによって重力加速度 g を測定することができる装置。図のように質量が M と m である錘(おもり)を軽くて軟らかいひもにつけ，定滑車Kにかける。ひもとKの間に摩擦があり，ひもがすべることがない場合には，Kは錘の運動に伴って回転する。Kの回転を妨げる摩擦がなく，Kの半径を r，慣性モーメントを I，ひもの張力を図のように T_1 と T_2，錘の加速度を α，Kの角加速度を $\dot{\omega}$ とすれば

$$Mg-T_1=M\alpha,\quad T_2-mg=m\alpha,$$
$$(T_1-T_2)r=I\dot{\omega},\quad \alpha=r\dot{\omega}$$

が成り立つので，これから

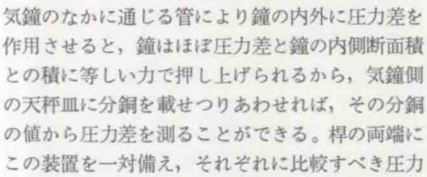
$$g=\frac{M+m+\dfrac{I}{r^2}}{M-m}\alpha$$

が得られる。

M と m の大きさを適当に選べば容易に α を測定することができ，したがって g を求めることが可能である。もし滑車が十分軽く，$M+m$ にくらべて $\frac{I}{r^2}$ が無視できる場合は上式から

$$g=\frac{M+m}{M-m}\alpha$$

の関係が得られ，g の測定はいっそう容易におこなわれる。〈佐藤喜正〉



アトウッドの器械

アドミタンス ［㊥admittance ㊣admittance ㊦Admittanz］ 交流回路において，電圧，電流が周波数 f の正弦波とするとき，L，C，R より成る回路に流れる電流と電圧の間に

$$V(t)=V_0\cos(2\pi ft)$$
$$I(t)=G\cdot V_0\cos(2\pi ft)-B\cdot V_0\sin(2\pi ft)$$

の関係が成立する。G をコンダクタンス，B をサセプタンスという。$I(t)$ を

$$I(t)=\sqrt{G^2+B^2}\cdot V_0\cos\left(2\pi ft+\tan^{-1}\frac{Y}{G}\right)$$

と書き直し，$\sqrt{G^2+B^2}$ をアドミタンスという。複素表示において

$$\dot{Y}=G+jB$$

は複素アドミタンスとよばれ，複素インピーダンス $\dot{Z}=R+jX$ の逆数となっている。すなわち

$$G=\frac{R}{R^2+X^2},\quad B=-\frac{X}{R^2+X^2}$$

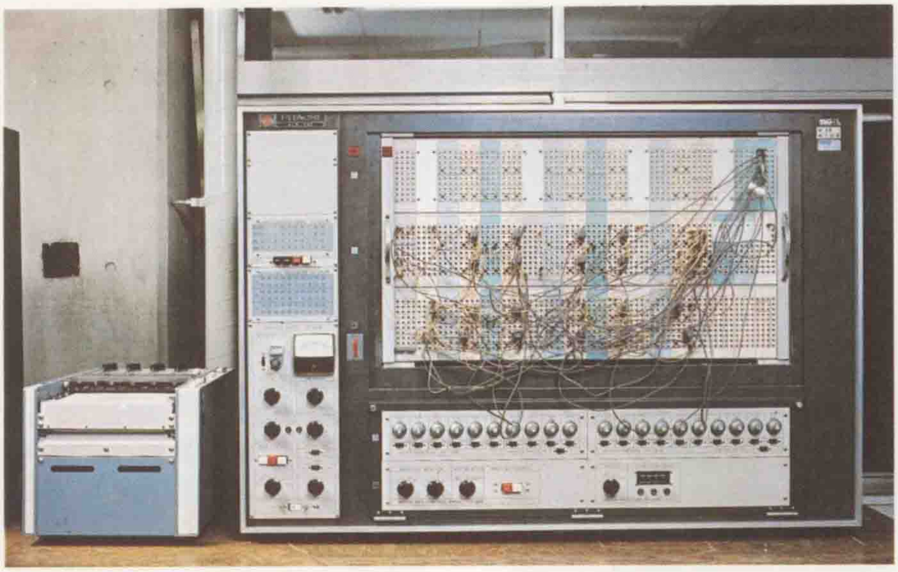
並列接続を多く含む回路の計算に利用される。→インピーダンス →交流 〈山口重雄〉

アナログ計算機 ―けいさんき ［㊥analogue computer ㊣calculateur analogique ㊦Analogrechenmaschine］ 現在，電子計算機といえばディジタル計算機のことをさすことが多いが，アナログ計算機も電子計算機の1種である。ディジタル計算機がディジタル（計数的な）量を扱うのにくらべ，アナログ計算機は連続的な量を扱う。ディジタル計算機がそろばんに対応するならば，アナログ計算機は計算尺に対応する。

アナログ計算機では，ある物理量の物理的法則を，ある連続した量（たとえば電圧）と時間に対応させて時々刻々の量を観察する。たとえば，時計の振り子の動きやボールのはずむときの様子を電子回路に対応させて，その電圧を時々刻々読みとるようにする。

アナログ計算機には加算をする「加算器」，乗算をする「掛算器」，積分をする「積分器」などの演算器が多数用意されており，利用者はこれらを計算する物理的な系に対応させて結線をすればよい。加算器は図1のように三角形で表し，x，y，z を入力すると $-(x+y+z)$ が出力される。入力は数個同時に加えることができるのがふつうである。積分器は図2のように表し，x を入力すると $-\int x dt$ が出力される。

たとえば $\frac{d^2x}{dt^2}+\alpha\frac{dx}{dt}+\beta x=0$ のための結線図（ブロック線図）は図3のようになる。ここで ⓐ や ⓑ は係数器とよばれるもので，精密につくられた可変抵抗器で入力の α 倍，β 倍（α，$\beta<1$）



慶応義塾大学工学部計算センター
アナログ計算機　左：卓上アナログ計算機ALS-260型　右：パッチボードをとりつけているところ

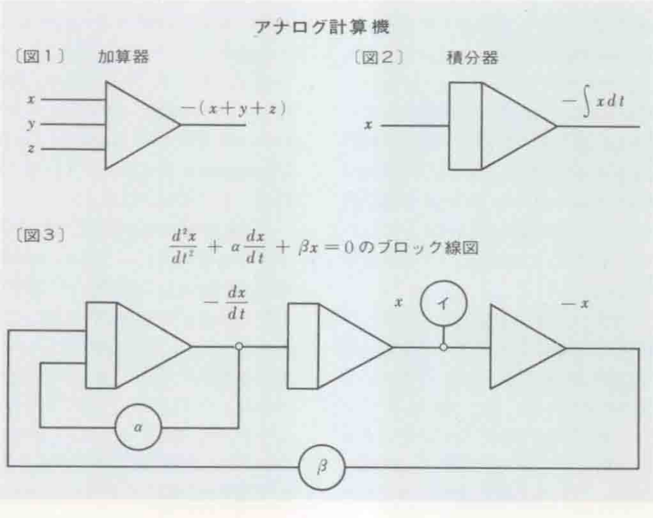
するのに使われている。また，積分器は積分と加算の両方の目的に利用されている。x の t に対する変化の様子は㋑の点の電圧をひき出して，ペンレコーダなどで観察することができる。

アナログ計算機には低速度型と高速度型があり，前者は高精度で価格も高い。後者は精度は低いが安価である。低速度型は電圧の変化をその時点でペンレコーダなどにそのまま記録していくが，高速度型は繰返し型ともよばれ，同じ演算を1秒間に数十回おこなってブラウン管などにくりかえし表示する。したがって微分方程式の初期条件の与え方は，低速度型では $t=0$ での条件を対応する端子に与えるだけでよいが，高速度型では加算器を利用して初期条件を与える。

アナログ計算機で解を求めるとき，物理的な量と同じ数で入力する必要はない。多くの場合，求める数値は予想できるので，ペンレコーダやブラウン管の上に適当なスケールで，また適当な時間で解が得られるように，係数を決めることができる。これをスケーリングといい，グラフの目盛を調整することになる。

アナログ計算機は，解の予想もつかないような微分方程式になる系のシミュレーションや，複雑な系の様子をパラメーターを変えながら観察したりするためには非常に適しており，ディジタル計算機で計算するときのように数値計算法のうえで避けることのできない誤差の累積による誤りを心配する必要はない。また，高速に解を得ることができる。さらに計算機自体が安価である。したがって，アナログ計算機の長所とディジタル計算機の長所を生かすように両者を結合する技術が生まれている。これがハイブリッド計算機とよばれるものである。⇒『科学技術』　〈中西正和〉

📖藤田広一著『アナログ電子計算機のプログラム』(1966，昭晃堂)



アフィン幾何学　―きかがく　[㊥affine geometry ㊄géométrie affine ㊦affine Geometrie]

アフィン幾何学は，ユークリッド幾何学，射影幾何学，解析幾何学などを導入するさいに，広い見通しのよい総合的な基盤を与えている。それは簡単にいえば，有限次元のベクトル空間の性質のなかで，1対1の線形写像および平行移動で不変であるような性質を調べることを目標とする。たとえば，平面という概念や，2つの平面が交わりの関係にあるなどということは，アフィン幾何の対象となる。線形代数では，部分空間というときには，つねに原点を通るものを取り扱うが，アフィン幾何の立場では，平行移動も許すため，原点に特定の意味がなくなって，任意の点を通る部分空間―平面―を取り扱うことになる。そのような違いがあるにしても，アフィン幾何学は，現在では線形代数のなかに完全に包括されて，アフィン幾何のいくつかの定理は，幾何学的な語法を用いないで，線形代数の定理として述べられるのがふつうである。しかしここでは，幾何学的な観点から線形代数をみる立場―アフィン幾何学―について説明しよう。

実数体上のベクトル空間 V と，集合 A が与えられ，任意の $\boldsymbol{a}\in V$ と $p\in A$ に和 $p+\boldsymbol{a}\in A$ が定義されて，

(1) $p+\boldsymbol{0}=p$ ($\boldsymbol{0}$ は零ベクトル)
(2) $(p+\boldsymbol{a})+\boldsymbol{b}=p+(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b})$
(3) 任意の $q\in A$ に対し $q=p+\boldsymbol{a}$ となるベクトル $\boldsymbol{a}$ がただ1つ存在する

をみたすとする。このとき A を（実数体上の）アフィン空間（擬似空間ともいう），V を A の基準ベクトル空間，A の元を点という。任意の1点 o を指定すると，$\boldsymbol{a}\in V$ に対して $p=o+\boldsymbol{a}$ となる点 p はただ1つ決まるから，A の元 p と，V の元 $\boldsymbol{a}$ とは1対1に対応する。このような $\boldsymbol{a}$ は，o を始点とし，p を終点とする位置ベクトルといい $\overrightarrow{op}$ で表す。ベクトル空間 V の次元が n のとき，A の次元は n であるといい，$\dim A=n$ で表す。V の k 次元の部分空間 V^k が与えられたとき，任意の $p\in A$ に対し，

$$A^k{}_p=\{q\in A\,|\,q=p+\boldsymbol{x},\ \boldsymbol{x}\in V^k\}$$

（直観的には，p を通る"方向" V^k の平面）

とおき，A の k 次元の部分空間という。1次元の部分空間を直線，2次元の部分空間を平面という。A の部分空間は，それ自身またアフィン空間となる。A の r 次元，s 次元の部分空間 A^r，A^s に対して，$A^r\cap A^s$ により A^r と A^s の共通部分からなる部分空間を表し，$A^r\cup A^s$ により A^r と A^s を同時に含むあらゆる部分空間の共通部分を表すとする。そのとき交わりの定理

$$r+s=\dim(A^r\cup A^s)+\dim(A^r\cap A^s)$$

が成り立つ。また2つの r 次元の部分空間 A^r，B^r に対して，$A^r\cap B^r=\phi$ で $\dim(A^r\cup B^r)=r+1$ のとき平行であるとして，平行の概念が導入される。$\dim A=n$ とし，V の基底 $\{\boldsymbol{e}_1,\cdots\cdots,\boldsymbol{e}_n\}$ を1つとる。そのとき A の点 o をとると，A の任意の点 p は $p=o+\sum_{i=1}^{n}a_i\boldsymbol{e}_i$ と表される（a_i は実数）。$(o,\boldsymbol{e}_1,\cdots\cdots,\boldsymbol{e}_n)$ を A のアフィン枠（わく），またはアフィン標構という。A の点 p は座標原点 o と座標軸 $\boldsymbol{e}_1,\cdots\cdots,\boldsymbol{e}_n$ を指定することにより，座標 $(a_1,\cdots$

$\cdots, a_n$) によって表されるわけである。Vの線形写像 φ と $\boldsymbol{b} \in A$ が与えられたとき，$p = o + \boldsymbol{x}$ に対し $q = o + \boldsymbol{b} + \varphi(\boldsymbol{x})$ を対応させる写像を考えることができる。このようにして表されるAからAへの写像をアフィン写像という。座標成分を用いていえば，線形写像φをほどこして，次に平行移動を$\boldsymbol{b}$だけおこなって得られる写像である。とくに φ が全単射のとき，アフィン変換（または固有アフィン変換）という。A上のアフィン変換全体は，写像の合成によって群をつくる。クライン*による幾何学の分類にしたがえば，アフィン変換で不変なアフィン空間の性質を調べるのがアフィン幾何学である。たとえば上に述べた次元，平行等の概念のほかに，ある集合が凸であるなどの性質は，アフィン幾何学の対象となる。〈志賀浩二〉

📖彌永昌吉著『幾何学序説』(1968, 岩波書店)

アブラハム [Max Abraham] (1875―1922)

ドイツの物理学者。ボーランドのグダニスク（ドイツ名ダンチヒ）に生まれ，ベルリン大学のプランクの下で学んだ。1900年ゲッティンゲン大学私講師，08年アメリカのイリノイ大学物理学教授になったが，その大学のふんい気になじめず，6か月後ゲッティンゲンに帰った。09年イタリアのミラノ大学物理学教授になったが，第一次世界大戦の勃発とともにドイツへもどり，テレフンケン社で研究に従事した。戦後シュツットガルトで教えたのち，21年アーヘン大学理論力学教授に招かれ，赴任する途中脳腫瘍のために入院し，翌年没した。

マクスウェル*の電磁理論と境界値問題に精通し，導体中での電気振動を考察した博士論文（1897）をはじめ，無線通信やアンテナに関する諸問題にマクスウェル理論を適用して優れた研究を残した。また電子の力学において初めて電磁運動量の概念を用い，1902年電子を剛体球と見なす考えを発表した。これによれば，電子の全質量は電磁場との相互作用に起因するもので，そのほかに不変な力学的質量は存在しない。電子の質量が速度とともに変化するというカウフマン Walter Kaufmann (1871―1947) の実験結果の説明にも成功し，以後力学の諸法則を純粋に電磁気学的に定式化しようと努力した。一方，ローレンツ*が電子は運動方向に短縮するという考えを発表し(1904)，論争や実験がおこなわれたが，この問題は相対性理論により正しく解決されることが，やがて明らかになった。主著『電磁理論』*Theorie der Elektrizität*（2巻，1904～05）は，ドイツで初めてベクトル解析を体系的に用いた電磁気学の教科書である。〈杉山滋郎〉

アーベル [Niels Henrik Abel] (1802―29)

ノルウェーの数学者。ノルウェーの東南端のクリスチャンサンドの近くの寒村フィンドェに生まれた。当時ノルウェーは財政的にまったく疲弊しており，牧師であった父の生活はみじめなものであった。1815年に首都クリスチアニア（現在のオスロ）の中学校へはいった。初めのうちは，ごくふつうの生徒であったが，18年に新しく赴任してきたホルンボェ Michael Holmboe (1795―1850) から数学を学ぶようになって，その才能を示しはじめた。18歳のときに父を失い，母は生活能力の欠けた婦人であったので，生活はいっそうみじめなものになった。しかし，奨学金などの援助によって，大学へ進むことができた。

アーベル
Niels Henrik Abel (1802―1829)

1823年に大学を卒業したが，就職もできないといったきびしい世相であり，アーベルも就職のあてはなかった。そこで，家庭教師をしながら，大学で研究をつづけた。そして，24年に「5次の一般方程式が解けないことを証明した代数方程式に関する論文」*Mémoire sur les équations algébrique où on démontre l'impossibilité de la résolution de l'équation générale du cinquième degré* を自費出版した。この論文において，(1)次数が与えられた方程式のなかで，代数的に解けるものを，ことごとく見つける，(2)与えられた方程式が代数的に解けるかどうかを決定する，という2つの問題を解決している。しかしこの出版物は印刷もまずく，費用を節約するために省略したところが多かったので，理解しがたい点が各所にあった。それに，当時の数学界に君臨していたガウス*が1799年に「すべての代数方程式は解ける」ことを証明しており，アーベルが「5次の一般方程式は解けない」という標題をつけたために，学界では見向きもされなかった。

1825年にアーベルはドイツへ留学したが，5次方程式に関する論文を黙殺したガウスを避けてベルリンへ行った。これはアーベルの不幸の第一歩であった。ここで，クレルレ August Leopold Crelle (1780―1856) の知遇を受けた。クレルレは数学の愛好者であり，政治的に高い地位にあったので，この人の周辺には若い有能な数学者が集まった。これらの若い人たちから，アーベルがどのような影響を受けたかはわからないが，もしアーベルがゲッティンゲンへ行って，ガウスに自分の5次方程式の解法に関する論文の内容を説明していたら，アーベルの運命は変わっていたであろう，と考えると，ベルリンへ行ったことは，むだであったように思われる。ただ1つの収穫は，アーベルやその他の若い数学者の要請で，雑誌『純粋数学と応用数学のための雑誌』*Journal für reine und angewandte Mathematik* が1826年に創刊されたことである（現代の数学者は「クレルレの雑誌」と略称している）。これには，アーベルの論文が数編出ている。

1826年にアーベルはベルリンを去り，パリへ行った。楕円積分の研究で論文を書き，フランスの数学界にすぐれた存在として知られていたルジャンドル*に会うためであった。アーベルはルジャンドルとは違い，楕円積分そのものを対象とするのではなく，この積分が定義する関数の「逆関数」を考えた。そして，これが2重周期をもつことを発見して，「楕円関数論」を基礎づけた。同じ方針で研究していたのはドイツのヤコービ*であるが，ヤコービの成果が早く世に出たのに対し，アーベルのものは，日の目を見ることがなかった。ことに1826年10月10日にパリの科学アカデミーへ提出した「非常に拡張された超越関数の一般性質に関する論文」*Mémoire sur une propriété générale d'une classe très étendue de fonctions transcendantes* は，アーベルの名を数学史上に飾る理論を展開したものであるが，科学アカデミーからは何の音沙汰もなかった。この論文（後世では，「パリの論文」とよんでいる）を審査することになっていたコーシー*が，机の引出しに入れたまま忘れてしまい，アーベルの不幸に追い打ちをかけた結果となった。

1827年5月20日にクリスチアニアへ帰ったが，勤め口がないので，みずから「寺院の鼠」といっていたほどに，貧しい生活をしていた。それでも28年の暮には，クリスマスを愛人ケンプのもとで過ごすためにフロェランドへ行ったが，着いた早早に寝こんでしまった。29年1月6日づけの手紙で，クレルレにあてて，5次方程式の論文とパリの論文との概略を書いたが，このときに，初めて，このパリの論文は楕円関数を拡張したものであることが，明るみに出たのである。アーベルの1月6日づけの手紙を載せたクレルレの雑誌を見たヤコービは驚嘆し，3月14日づけの手紙でルジャンドルに「……すばらしい発見ではありませんか。前代未聞のものです。いまわれわれが生をうけているこの世紀の数学において，もっとも重要なものであろうと思われるこの発見が，先生のアカデミーへ提出されてから2年もたつのに，先生やご同僚の注意を引かなかったとは，どういうことなのでしょうか……」と抗議した。

この抗議に驚いたアカデミーは，コーシーの引出しの中に眠っているこの論文を発見し，そのすばらしい内容に驚嘆して，アカデミー賞を授与することに決めたが，それは1830年のことで，アーベルはこの世にはいなかった。さらに，これが印刷されて公刊されたのは41年であるから，出たときは，不遇の天才を哀れむ心をいっそうかき立てた。彼は1829年4月6日の朝に愛人ケンプの胸に抱かれたまま昇天したが，さらにこの天才を悲劇の主人公にしたのは，死んでから2日目に，クレルレからベルリン大学教授に決定したという内報が伝えられたことである。〈小堀 憲〉

アボガドロの法則 ―のほうそく [㊧Avogadro's law ㊫loi d'Avogadro ㊐Gesetz von Avogadro] 「すべての気体は，同一条件（等温，等圧）の下では，同じ容積中に同数の分子を含む」という法則。1811年イタリアのアボガドロ Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna e di Cereto (1776―1856) によって仮説として提唱された。

19世紀初頭は化学的原子論の形成期にあたる。イギリスのドルトン John Dalton (1766―1844) は気体を研究して気体粒子（原子）の種類は元素の数だけあるという考えに達して原子論をたて，原子量を測り，化合物をつくる原子の質量の間に簡単な整数比が成り立つことを述べて「倍数比例の法則」を予想した。この考えを支持したスウェーデンのベルツェリウス *Baron* Jöns Jacob Berzelius (1779―1848) は原子量を測定する目的で精密な実験をおこない，定比例の法則や倍数