

## 第9章 付録

## 9章 付録

## 9. 1 用語の課題

産業ガスビジネスの、歴史はおよそ 100 年、産業全体からみるとニッチであり、独特の言語を持っている。

酸素の会社に入った時、辞書や事典に載っていない不思議な言葉に困まれて戸惑った記憶があるが、長く仕事をしていると、いつの間にか「方言」であることが分からなくなり、異業種交流やアカデミーとの交流で、通じない言葉話を話している自分に気づくことがある。

地域の方言は恥すべきものではないが、やはり業界の方言を外で使うことは、恥ずかしいことだと思う。諸先輩から伝わる特殊な言葉は、次の世代にも伝わり、これを直すことができない我々世代の責任も痛感している。

ここで、私が個人的に気になっている産業ガスの用語の問題を示すが、本当のところは、正解が分かっていない。各自、考えて欲しいと思う。

## (1) 精留、分留、蒸留

蒸留分離には何種類かの呼び名があり、蒸留、蒸溜 (distillation)、分留、分別蒸溜 (fractionation、fractional distillation) あるいは精留、精溜 (rectification) などが知られている、あるいは知られていた。

主に、蒸留酒では「蒸溜」、石油精製では「分留」「精留」、空気分離では「精留」が使われ、それぞれの業界で歴史のある技術用語のようである。しかし、これらの用語は、定義がはっきりしない。

私は、化学工学を専攻していないが、卒業研究で蒸留を取り扱ったので、蒸留という言葉は知っていたが、会社に入った時に、精留、精留塔と言われて戸惑ったことを覚えている。蒸留と精留の違いは全く分からなかった。

その後、化学工学会や化学工学科の方々と接触できる機会が増え、大学の専門家 (化学工学科の教授) にこのことをたずねる機会があった。

先生の説明は「蒸留は、かつては、単段の単蒸留のようなものを指し、分留や精留は、多段の蒸留塔について示していた。しかし、ほとんどの蒸留塔は 1 段だけの蒸留操作というのはなく、特に区別する必要はないと考えられる。化学工学では、蒸留で統一するようにしている」というものであった。

確かに、ほとんどの化学工学の書籍では「蒸留工学」となっている。精留という

文言は、昭和30年代から40年代までの論文、解説文では、見かけることがあったが、その後はほとんどみかけなくなった。精留、精留塔は、蒸留装置として特別なものではなく、混乱させるだけなので使わない方がよいと思っている。

## (2) トレイ、トレー

蒸留塔には充填塔と棚段塔があり、深冷空気分離装置では長く棚段塔が採用されてきた。

棚段塔の「段」構造物を、「トレー (tray)」、蒸留計算における「段」を数える時には、「段 (stage)」あるいは「プレート (plate)」と呼ぶ。化学工学用語辞典には、この段のことを、トレーあるいはプレートと呼ぶと示されている。

「段塔」あるいは「棚段塔 (たんだんとう)」と呼んでいる蒸留塔の「段」は日本語にはなりにくいいため、カタカナ表記のトレイである。空気分離装置の棚段塔には、シーブトレイというトレイが使われ、これは、日本語で目皿板、多孔板などとも呼ばれ、蒸留塔もかつては精留塔と呼んでいたため、いつの頃からか、「精留」と「板」を合わせた言葉「精留板」と呼ぶこともあった。

先輩から習ったのか、古い社内の報告書にあったのか、あるいは、研究報告書の中で勝手に作った造語なのかよく覚えていないが、いろいろなところにこの記述が残っている。設計や製作現場で「精留板」と言えば意味は伝わると思うが、辞書には載っていないので、外部の人や新人には意味が分からない。トレイで統一すべきと考える。

## (3) カラム、塔、筒

蒸留装置には「蒸留塔」が用いられることが多い。一般的な蒸留装置は、円筒形の圧力容器になっており、英語では distillation column あるいは distillation tower と呼ばれる。少し調べてみると、蒸留塔、精留塔、蒸留カラム、精留カラムなどいくつかの組み合わせがある。

これも化学工学の先生に、どの言葉がよいのかをたずねたことがある。

「英語では column と tower があるが、日本語では、土へんの塔を使うように決めているので蒸留塔と記すようにして欲しい。」

「ガスクロマトグラフのような非常に小さな分離カラムの場合、とても塔には見えないので、この場合は、カタカナの「カラム」がよいが、蒸留装置、吸着装置、触媒装置のような化学装置の場合、カラムの大小に関わらず「塔」と書くように決めた。これは化学工学辞典を作る時に議論しており、「塔」を「筒」に置き換えるような紛らわしいことはして欲しくない」、「言葉の意味や使い方が分からない時は、

事典を調べてほしい。そのための事典である」とのことであった。

#### (4) サブクール (subcool) と過冷却 (supercool) — 誤用と勘違いされそうな用語

液体が冷却され凝固点以下の温度になっても固化が起こらない時、この液体を過冷却 (supercool) 液体と呼ぶ。飽和温度よりも冷却され、露点以下の温度になっても液化が起こらない気体を過冷却気体と呼ぶ。沸点よりも温度が高くなっても沸騰しない液体は、過熱液体 (superheat) と呼ばれ、これらは熱力学的非平衡状態、準安定状態にある。

一方、液体が沸点よりも温度が低い状態をサブクール (subcool) と呼ぶ。液体は、沸点以下でも蒸発はするが、一般的にサブクール状態と呼ばれる液体は、蒸気圧が無視できるほど小さいことが多い。沸騰温度と周囲の液体の温度の差を「サブクール度」と呼ぶ。サブクール度が大きいということは、それだけ沸騰あるいは蒸発しにくい液体ということになる。サブクールとは、温度が低く気泡が発生しにくい状態を示す。

液体中の発熱体の温度が上昇し、周囲の液体の核沸騰が起こる初期の段階で、全体の温度が低く、発生した気泡が冷やされて潰れてしまうような状態を「サブクール沸騰 (subcooled boiling)」と呼ぶ。これは気液二相流を取り扱う流動・伝熱の分野独特の表現であり、プール全体の温度は沸騰温度よりも低いにも関わらず、伝熱面 (発熱体表面) では気泡が発生するほどの温度差があるということであり、伝熱係としては相変化を伴う現象を考える。

深冷空気分離装置には、ほとんどの装置にサブクーラーと呼ばれる熱交換器が設置されている。ダブルカラムであれば、高圧塔の底部の液体空気と頂部の液体窒素が、低圧塔に液体のまま供給されるが、この時、最初の温度 (蒸留塔から取り出される時の温度) は、蒸留塔各部の飽和温度であるから、サブクール度はほぼゼロということになる。サブクール度が小さい状態の液体は、比較的容易に蒸発が起こりやすく気泡が発生しやすい状態にある。

このような液体をそのまま低圧塔に送ろうとする場合、途中で気泡が発生して流動が不安定にならないような配慮が必要であるが、通常は、液体窒素や液体空気のフィード (低圧塔への注入口) が高い位置あるため、流体が流れるにしたがって、液柱 (ヘッド) が減少、流れの圧力損失もあって圧力が低下するため、そのままでは、配管中に蒸気が発生し流れが不安定になる。

そこで、低圧塔からの戻りの低温の窒素ガスと熱交換し、液体空気、液体窒素の温度を下げてサブクール度を大きくしておき、蒸気の発生を抑制するのが、サブクーラーという熱交換器の役目である。液体空気と液体窒素が沸騰しにくいように低

温の気体で冷やしてサブクール度を大きくするのがサブクーラーである。サブクーラーは、ただの液体冷却用熱交換器であるが、非常に重要な役割を担っているのでわざわざこのような名前と呼ばれている。文字にすると分かりにくいかも知れないが、本文のダブルコラムの図を参照して欲しい。

用語として注意しなければならないのは、スーパークールやスーパーヒートは、熱力学における非平衡の現象であり、それぞれ過冷、過熱という日本語訳があるが、サブクールは、沸騰に関する工学用語であり、対応する日本語が用意されていないということである。

サブクールもサブクーラーも日本語訳がないのでカタカナ表記されることになっている。

かなり昔のことであるが、当社から出された報文について、大学の先生からクレームがついたことがある。それは、深冷空気分離装置のサブクーラーに「過冷器」という和訳がついていたことに対する抗議であった。私が直接対応したのではなく伝聞であるが、指摘・抗議の内容は「過冷器という言葉は、過冷却器と混同され、サブクール状態とスーパークール現象を混乱させるので、このような言葉を作らないようにすべきである」ということであった。確かに過冷器という言葉は過冷却器と似ており、紛らわしい。何といっても辞書には載っていない。誰が作った用語なのか分からない。

学生時代に沸騰現象の勉強をしていた時には、サブクール度、サブクール沸騰という言葉を知っていたがサブクーラーという言葉は知らなかった。初めて深冷空気分離装置の図面を見たときに、熱交換器に「過冷器」と書いてあるのをみて意味が分からなかったことを思い出した。空気分離装置のサブクーラーの役割が理解できた時にも、なぜ「過冷器」と呼ぶのか分からなかった。

「過冷器」という言葉からは想像されるのは、液体窒素を凝固点以下にして固化しないようにする装置と思われるが、プロセスをみてもそのような状態は思い浮かばない。先輩に聞いても、そう呼んでいるというだけで、理解はできなかったが、そのうち、漫然とただの冷却器をこの会社の人たちは過冷器と呼ぶらしいと思うようになっていた。

いつどのような理由でこのような日本語が作られたのかは分からないが、いつの間にかこれが正しい用語だと勘違いする人が増え、ある時、この言葉がそのまま社外に出てしまったため、このような指摘・抗議を受けてしまった。事典や教科書を読めば分かることなのだが、間違っただまにしておくとういうことが起こる。

なお、冷凍機器の分野では、サブクール度を「過冷却度」と呼ぶことがある。スーパークール現象を利用する本物の「過冷却器・スーパークーラー」では、飽和温

度との差を「過冷却度」と定義しているので、「サブクール度」のことを「過冷却度」と呼ぶのもかなり紛らわしく、誤解されやすい。

#### (5) 深冷空気分離装置特有の言葉

深冷空気分離装置は 100 年前に欧州から輸入されたため、元の用語は、ドイツ語（リンデ社）であったりフランス語（エア・リキード社）であったりする。長く使われるうちに日本語に訳されてきたが、ニッチな分野であるため、かなりの部分が、他の業界の人に通じない。省略形も非常に多い。業界の中だけで通じれば、それはそれでよいのかもしれないが、どの範囲まで通じるのかを知らないと、まるで、通じていないことに驚くことがある。

空気と酸素と窒素は、「空」「酸」「窒」の一文字が使われる。「原空」＝原料空気、原料空気圧縮機、「液空」＝液体空気、「液酸」＝液体酸素（法令では液化酸素）、「酸圧機」＝酸素圧縮機、「液窒」＝液体窒素（液化窒素）。

高圧塔頂部の窒素と低圧塔底部の酸素の熱交換器は、通称「主コン」。

英語では condenser/reboiler であるから、そのままコンデンサー／リボイラーと読むか、直訳して「凝縮／再沸器」となるが、通常、主コンあるいはコンデンサーである。これは、古い文献などで main condenser とあったため、主コンデンサーが縮められたものようである。コンデンサー＝蓄電器、凝縮器であるから、業種が異なるとこの時点で意味が伝わらないことがある。

ダブルカラムの蒸留塔では、高圧塔・低圧塔という呼び方が一般的であるが、最初の頃の文献には lower column、upper column という表記も見られる。これは高圧塔が下に置かれ、低圧塔が上に置かれ、間に、主コンデンサーが置かれるという代表的なレイアウトを表現したものである。

蒸留工学のハンドブックでは、これを「下塔」＝高圧塔、「上塔」＝低圧塔と紹介しており、業界では、現在もこの呼び方が通じている。しかし、これは空気分離装置特有の表現であり、通じにくいので、社外発表では、高圧塔、低圧塔とすべきで、その方が、ダブルカラムプロセスが理解されやすい。

なお、下部塔、上部塔という呼び方が、下塔、上塔と同じ意味で用いられているようであるが、これは、日本語としての意味があいまいであり、書籍や文献には全くみられない。

圧力の単位にかつて、ata（アタと読む）や atu（アトゥ）というのがあった。これは  $\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{abs}$  と同じ意味を持つ圧力の単位で前者はドイツ語、後者はフランス語起源のようである。1atm（いちきあつ、いちあとむ）は 101.3kPa、1ata は 98kPa、

1bar（いちばー）は 100kPa と標準大気圧近くには、微妙に異なる様々な圧力の単位があるが、ata はドイツ製の深冷空気分離で比較的良好に使われていた。

#### (6) 同じ言葉でも意味が異なる場合

LNG タンカーの配管や貯槽中の天然ガスを追い出す操作を、「メタンパーシ」と呼ぶのに対して産業ガスの業界では、これを「窒素パーシ」と呼んでいることを示した。目的からするとメタンをパーシするというのが正しく、作業内容から具体的に示すと、窒素でパーシするというのが正しいようにも思える。

どちらも間違っていないように思えるが、重要なのは、自分たちが使っている言葉だけが正しいという訳でない、ということ、認知することである。

同じ言葉が別のものを表わす時、お互い気づかずに、しばらく議論がかみ合わないということがある。

深冷空気分離装置では、原料空気が低温になる前に水と炭酸ガスを除去して、これらのガスが固化しないようにしており、これを「前処理」と呼んでいる。様々な化学プロセスに前処理があるので、ただ単に前処理と言ってもすぐには通じない。

深冷空気分離装置も、口語では短く「空気分離器」「分離器」と呼ぶが、様々な分離器があり、空気分離器も空気を分離して除去する装置と深冷空気分離装置のように空気中の成分を分離する装置がある、言葉を省略せずに、できるだけ丁寧に説明をしないと意味の取違いが起る。

産業ガス・高圧ガスのメーカーはプラントメーカーでもあるが、この「プラント」という言葉も一般的には、植物を意味するので、注意が必要である。「化学プラント」は比較的良好に知られているが「空気分離プラント」はいきなり言われてもすぐには思い浮かばないものである。状況によっては、エアープラント（土を必要とせずに空気中の水分を利用する空中植物）と勘違いされかねない。産業ガスビジネスでは「オンサイト・プラント」とは、「消費地に深冷空気分離装置を設置してガス配管で直接ガス供給を行うシステム」を指すが、一般的な英語の意味は「現場操作型の植物」となってしまう、意味が通じない。オンサイトサービスであること、プラントとは、エアセパレーションプラントであるということ、を丁寧に説明する必要がある。

#### (7) 省略形、MS、CE、ASU

化学工学事典には「モレキュラーシーブ＝分子ふるい」の項があり、分子ふるい吸着の説明がある。「分子ふるい」は、分子を（選択的に）ふるい分ける現象であり、吸着をはじめ、ろ過や電気泳動、クロマトグラフィーなどで「分子ふるい効果」が知られている。

吸着材としてのモレキュラーシーブは、通常、合成ゼオライトを意味することが多く、「モレキュラーシーブ(ス)、Molecular Sieves、あるいはMolecular sieving zeolite」と呼ばれるのは、ユニオン・カーバイド社が開発した合成ゼオライト（吸着材、乾燥剤、触媒）のことである。

また細孔径の大きさ・形によって、MS-3A、MS-4A、MS-5AやMS-13Xといったモデル名（材料カタログ）にみられる品名や型番も比較的よく知られており、関連する事典や教科書にも記載されているため、吸着、吸着材、触媒材料等に詳しい人がみればすぐに理解できる日常用語である。しかし、少し専門外になれば、この記号をみてもすぐには意味が分からないのが普通である。

業界のベテランになると省略形や短縮形、ASUやMSのような記号を日常会話で使うようになる。しかし、このような特殊な記号は、専門外の人が意味を調べようとすると簡単ではない。MSのようにアルファベットでたった2文字であれば、インターネットの検索エンジンでヒットさせることは容易ではない。

MSを化学の分野に限定しても、通常は、質量分析計(Mass Spectrometer)やGC-MS(ガスクロマトグラフ質量分析計)を指すので、MS＝合成ゼオライトにたどり着くのは難しい。普段何気なく使っている言葉も記号になると調べにくいのである。

異なる業種の人の会議に参加すると、用語が分からず議論に参加することができないことがある。特にアルファベットの省略形で話されると、想像が難しく、会議が終わる頃にやっと意味が分かることもある。

逆に考えると、こちらが産業ガスの説明をする時、多くの用語の意味が伝わらず、説明が空回りしていることが多いと想像できる。業界用語だらけの説明そのものが失礼なことだと思うが、ついっかかり、液酸、液窒などと縮めても日本語なので何とか伝わることもあるかもしれない。しかし、これがMS、CEやASUなどになると想像が難しく、検索しようとしても目的の意味にたどりつかないことが多い。意味不明のまま、無駄な時間が過ぎてしまうことにもなりかねない。

日常使っている言葉が通じているのか、いつも点検をしておきたいと思う。

## (8) 器と装置



われわれだけではないのかも知れないが、「装置」を「器」と書く習慣がある。

基本的には、動きのあるものを「機械」、動きがないものを「器械」と呼び、冷却装置は冷却「器」、冷凍装置は冷凍「機」と書く。熱交換を行う装置を「熱交換器」と呼び、熱交換機という書き方もあるようだが、あまり見ることがない。電話の場合だと、昔は可動部があったためか、電話交換器ではなく電話交換機と書く。

空気分離装置を空気分離器、吸着装置を吸着器、触媒装置を反応器などと、「器」という文字で表わすことが多い。空気分離機という活字はほとんど見られない。

これがどこまで通じるのかよく分からないが、耳で聞くと「き」という一言であるため、初めて聞く人は、装置であることが分からなかったり、実物をイメージできなかつたりすることがあるという。

全て「装置」とすれば、間違いないと思われるが、熱交換器以外にも、気液分離器、蒸発器、冷却器、液化器、消火器など実に様々な装置をこの「器」という言葉で表す習慣があり、一体どこまで使えるのか、よく分からない。

正しい用語が分からなくなった時は、やはり事典で調べて、使えるかどうか確かめるのがよいと思う。

### (9) 変わっていることに気付かずに使ってしまいそうな用語

調べ物をしていると、いつの間にか変わっていた用語に気付くことがある。

#### ●「周期表」を「周期律表」と間違えること。

周期律はメンデレーエフ提唱した法則であり、周期表はその法則によって作られたテーブルである。したがって、周期律+表、という言葉は誤訳とされているが、昔は確かに「周期律表」と呼んでいた時期があった。教育分野でもこの間違いが広がっていたため、今でも、ついっかり間違える人が多い。

#### ●標準状態の圧力が 100kPa に変わっていたこと。

$\text{Nm}^3$  のノルマルは「標準状態」であるが、これを決めた時の標準圧力は 1atm。今の SI 単位では 101.3kPa である。現在の国際的な取り決めでは標準が変わっている。ノルマルという呼び方はそのままであるが、1atm は標準の圧力ではないので説明する時には、かつての「標準状態」ということになる。

標準状態における理想気体 1 モルの容積を 22.4 リットルとしていたが、1997 年からは 22.7 リットルと変更されている。

#### ●アボガドロ数がアヴォガドロ定数に変わっていたこと。

古い教育では、アボガドロ数という数を習っているが、現在は、数ではなく、

$\text{mol}^{-1}$  という次元を持ったアヴォガドロ定数という係数である。

1969 年に変更されたが、この当時の高校の教科書には「アボガドロ数」とあったように思う。古い教育を受けた人の中には、今でもアボガドロ数がアヴォガドロ定数になっていることを気付いていない人がいる。

●熱力学温度 K ケルビンには「度」がつかないこと。

ケルビンが SI の基本単位として承認されたのは 1954 年で、その時は $^{\circ}\text{K}$  と表記された。1967 年には「度」の表記がなくなり、「尺度」から「単位」に変わっている。この場合の「度」という「尺度」は温度を表わすものであるが、ケルビンは、それ自身が「単位」であり、熱力学温度だけでなく色温度にも用いられるので「度」をつけるのは間違いである。

SI 単位で $^{\circ}\text{K}$  となっていたのは、わずか 12 年間ほどであるため長く定着していたわけではないが、SI 以前にも使われていたという経緯もあって、ごくまれに今でも、この表記をみかけることがある。

私が酸素会社に入ったのは 1978 年、SI の温度が $^{\circ}\text{K}$  から K に変更されてから 11 年もたっていたが、社内資料の物性表やグラフ（ドイツ語で書かれていた）には $^{\circ}\text{K}$  と書かれていた。報告書に K と書いて上司から $^{\circ}\text{K}$  と何度も訂正された。新しい教育を受けた者からすると $^{\circ}\text{K}$  の方が間違っているのだが、古い教育を受けた人にとっては「 $^{\circ}\text{K}$  ドケイ」は譲れないらしい。

この当時は、1954 年に始まった国際単位系 (SI) が、日本の現場にはまだ浸透しておらず、cgs 単位系と MKS 単位系が混じり混同した時代であった。空気分離装置も、国際標準よりも輸入された機械や技術資料に書かれている単位の方が標準であったように思う。ata や  $\text{Nm}^3/\text{h}$  など学生時代には見たことのない単位や事典に載っていない単位が多く、熱力学線図に示されるエントロピーやエンタルピーも kcal、 $\text{Nm}^3$ 、 $^{\circ}\text{K}$  などの単位が使われていて、その理解や換算は容易ではなかった。

熱伝達係数は、現在は  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  でほぼ統一されているが、以前は  $\text{kcal}/\text{h} \cdot \text{cm}^2\text{C}$  や  $\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2\text{F}$  などが混ざっていて非常に難解であった。

(10) その他気付いたこと

キーボード入力で文字を書く時代になって、誤変換や書き間違いが非常に多くな

り、間違っていることにも気づかないことも多い。新聞やテレビでさえ、文字の変換を間違える時代である。特に会社名や固有名詞の間違いは先方に失礼であり、十分に注意したいと思う。

書き出すとキリがないが、注意が必要なもので思いつくものをいくつか示す。

比較的、誤変換や誤用が多い用語、固有名詞

誤り	正解	
キャノン Cannon	キヤノン (株) Canon	会社名のヤは文字にすると大きいヤであるが、発音はキャノン。英語名は Cannon (大砲、キヤノン) ではなく Canon (音楽のカノン) と同じ綴りである。
シャチハタ	シヤチハタ (株)	会社名のヤは小さくないが、読み方はシャチハタ。
三和シャッター ー工業	三和シャッター工 業 (株)	会社名のヤは小さくないが、読み方はシャッター。文化シャッター (株) も同様。発音では小さな「ヤ」であっても文字は大きな「ヤ」にしている会社がいくつかあるということである。
キューピー	キユーピー (株)	会社名のユが小さくないが、読み方はキューピー。英語名は Kewpie で、Cupid をモチーフにしたキューピー人形と同じ綴り。
インク	インキ業界	日本のインク製造者による業界団体は「印刷インキ工業連合会」。インクではなくインキを使う。東洋インキ (株)、富士インキ製造 (株)、DIC の旧社名大日本インキ化学工業 (株) など、多くの企業が、社名にインクではなくインキを用いている。
新日鉄	新日鐵住金 (株)	新日鐵住金グループの中には、「鐵」の字を使う企業と「鉄」の字を使う企業が混在するので注意が必要。新日鐵住金化学 (株)、大阪製鐵 (株) など。
プリジストン	プリチストン	間違ったカタカナ表記されることが非常に多い。キーボードをローマ字変換で入力することが一般的になってから、シとチの打ち間違いが多くなっている。
太陽日酸	大陽日酸 (株)	太陽ではなく大陽と書くが意味は同じ。大陽は、旧社名の大陽東洋酸素から、日酸は、旧社名の日本酸素を縮めたもの。英語名は TAIYO NIPPON SANSO。
Air Liquid	Air Liquide	エア・リキード社はフランスの会社であり、Liquid ではなく Liquide。Air はエールともエアーとも読めるが、日本法人では、エアとなり、リキッドではなくリキードである。

シリコン樹脂 silicon	シリコーン樹脂 silicone	シリコーンは、シロキサン結合の主骨格を持つ高分子化合物。シリコンは第14番元素ケイ素でありシリコーンとは意味が全く異なる。シリコーン素材の生活用品が多く作られ、度々、「シリコン樹脂」などと誤記されているが、正しくはシリコーン樹脂
ネオジウム	ネオジミウム Neodymium (英) ネオジム Neodym (独)	元素番号60のネオジミウムは希土類(重レアアース)であり、強力な磁石の材料として注目されてきた。外国語の発音をカタカナにするのは簡単ではないが、しばしば「ネオジウム」と表記されるのを見かける。 「アルミニウム」→「アルミ」と同様に「ネオジミウム」→「ネオジム」と読む。 英語の「ウラニウム」がドイツ語では「ウラン」となるように、「ネオジミウム」も「ネオジム」になり、カタカナ読みは両方が通用する。 ネオジムと同様に、「プラセオジミウム」あるいは「プラセオジム」も「プラセオジウム」と誤記されることがある。 元素名は間違えないようにしたい。

## 9.2 ガスの物理の理解に役立つ基礎科学・物理数学

数学は、代数学、幾何学、解析学（微積分や確率など）の3つに分類され、これらの中から、特に物理学の理解に必要とされるものを「物理数学」と呼ぶ。

物理数学には、初歩的な純粋数学も含まれるが、多くが工学的に重要な実用数学である。ガスの物理、ガスの取扱い、機器の設計において、多くの物理数学が必要となる。

### ①線型代数、線形代数

線型空間、線型変換を取り扱う代数。行列、行列式、連立一次方程式など非常に重要な手法を含み、工学分野では、機械の設計をはじめ様々な場面で用いられる。

空気分離プロセスの物理現象は、独立変数と同じ数の代数方程式として記述され、これを解くことによって、未知数（従属する温度、圧力、組成など）の解が得られる。

一般的には数値解法によって解が得られ、現在は優れた解法ツール（ソルバー）と高性能のコンピュータがあるため、設計者の負担は大きく軽減されるようになったが、代数方程式の与え方が間違っていて、連立方程式が不定形や不能形となっていれば、解が得られない。

このようなことが起こるのは、個々の現象の記述が正しくないというのではなく、必要な境界条件を与えていない、あるいは同じことを重複して記述しているといった、初歩的な代数方程式の与え方の誤りということになる。連立方程式の解法の途中で偶然、数値的ゼロ除算が現れたことがあるが、これはプログラム上で回避することが可能である。これに対して、元の式の組立が間違っている時は、数学的な特異点（mathematical singularity）となり、計算が始められない。

無理な境界条件を与えて満足な解が得られないというのは、数学とは別の問題となる。たとえば、蒸留塔の塔頂部で酸素を濃縮、塔底部で窒素を濃縮するように条件を与えても、気液平衡の推算式が許さないのが解が得られない。

### ②ベクトル解析

本来は、物理学のために作られた数学である。流体力学、電磁気学など、空間（時空間）を取り扱うために必要。

ベクトルの要素を全て記述すると煩雑になるため、簡便になるための記法が与えられている。ナブラ記号は様々なところに用いられ、それぞれ物理的な意味を持つ。

たとえば、スカラー場 $f$ のベクトル微分は次のように示され、gradient（勾配）とも呼ばれる

$$\nabla f = \hat{x} \frac{\partial f}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial f}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial f}{\partial z} = \text{grad} f$$

スカラー場 $f$ のベクトル $\mathbf{a}$ への方向微分

$$\mathbf{a} \cdot \text{grad} f = a_x \frac{\partial f}{\partial x} + a_y \frac{\partial f}{\partial y} + a_z \frac{\partial f}{\partial z} = (\mathbf{a} \cdot \nabla) f$$

ナブラとベクトル場 $\mathbf{v}$ のドット積（デカルト座標では内積）はベクトル場 $\mathbf{v}$ における発散（divergence）と呼ばれる。

$$\text{div} \mathbf{v} = \nabla \cdot \mathbf{v}$$

ナブラとベクトル場 $\mathbf{v}$ のクロス積（デカルト座標では外積）はベクトル場 $\mathbf{v}$ における回転（rotation）と呼ばれる。

$$\text{rot} \mathbf{v} = \text{curl} \mathbf{v} = \nabla \times \mathbf{v}$$

curl は、マクスウェルが電磁気学で命名しているが、数学的内容は rot と同じ。

ラプラシアンは、スカラー場 $f$ にもベクトル場 $\mathbf{a}$ にも作用し、次式のように書ける。

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla \cdot \nabla$$

ベクトル解析には、作用子の間の関係を表わす多くの法則・公式があり、これを利用すると記述が容易となり数学的な意味、物理的な意味も理解しやすくなる。

### ③テンソル

量や幾何の概念を一般化し、多元の配列で表わしたものを。テンソルの中には、スカラーとベクトルが含まれ、階数（rank）0 のテンソルがスカラー、階数 1 のテンソルがベクトルとなるので、一般的には、階数 2 以上のものをテンソルと呼ぶ。

物理では、「テンソル場」を扱う。代表的なものとして、階数 0 の「スカラー場」には、質量、温度などの場があり、階数 1 の「ベクトル場」には力、運動量などがある。階数 2 のテンソルには、運動量・エネルギーテンソルなどがある。

流体力学では、オイラーの運動方程式が運動量流束密度テンソルで表わされ、粘性流体の運動方程式では、粘性ストレステンソルが用いられる。スカラー（エネルギー）、ベクトル（運動量）も含めて変数全体がテンソルである。

化学工学では、多成分系のガス中の拡散がテンソル場であるが、拡散方程式が複雑となり、実質的に拡散係数の見積もりができないため、実用的な有効拡散係数などで代用され、厳密なテンソル表記はほとんど用いられない。

#### ④複素解析

複素解析では複素数の関数に関わる微分、積分、変分などを取り扱う。物理では、場の量子論、工学では、流体力学、電気工学などに用いられる。

複素数を拡張した四元数（しげんすう）がハミルトンによって記述され三次元空間の解析力学に利用されている。近年では、3D グラフィクスやコンピュータビジョン（ロボットの目）における三次元の回転に利用されている。

#### ⑤微分方程式

未知の関数とその導関数で記述される方程式。物理法則を記述する基礎方程式であって、関数を求めることによって現象が理解される。

物理や化学の多くの法則が、微分あるいは微分方程式で記述されるため、微分による現象の記述や微分方程式の具体的な解法手法は、物理、化学、工学の広い範囲で必須のものとなる。

1 変数関数の導関数で書かれるものを「常微分方程式」、多変数関数の偏導関数で書かれるものを「偏微分方程式」という。常微分 ( $d/dx$ ) と偏微分 ( $\partial/\partial x$ ) は、記法が異なっている。

ラグランジェ記述（描像）の変化をオイラー記述したものは、実質微分 (substantial derivative) と呼ばれ、記法は、( $D/Dt$ ) である。

実質微分は、温度、運動量、物質移動量など流れに乗って動く観測者による記述でありガリレイ変換に対して不変である。実質微分は、物質微分と呼ばれることもあり、この他に、流れに沿った微分、対流微分、全微分、ラグランジェ微分、粒子微分、ストークス微分など様々な呼び方があるので注意が必要である。

これに対して偏微分  $\partial/\partial t$  は、ガリレイ変換に対して不変ではない。速度場  $\mathbf{v}$  におけるスカラー場あるいはベクトル場の実質微分と偏微分の関係を演算子で示すと、 $D/Dt = \partial/\partial t + \mathbf{v} \cdot \nabla$  となる。

微分方程式が未知関数の一次式の場合を「線形微分方程式」と呼び、そうでないものを「非線形微分方程式」と呼ぶ。線形微分方程式の全ての項が未知関数を含

む場合、線形斉次微分方程式あるいは同次方程式と呼ぶ。

既に解が得られているいくつかの微分方程式には、ベルヌーイの微分方程式、ダランベールの微分方程式、オイラーの微分方程式、ルジャンドルの微分方程式、ベッセルの微分方程式など名前がついているものがある。しかしこの他の実際の微分方程式は、厳密解が得られないことも多いため、ラプラス変換、グリーン関数法、差分法など様々な手法を用いて実用的な取扱いがなされている。

空気分離の蒸留塔のような非常にシンプルな系（熱と物質の同時移動現象）であっても、気液平衡などの物性を推算するための方程式が数多く含まれるため、微分方程式として直接解くことはできず、数値解法が行われるのが一般的である。

## ⑥ラプラス変換

ラプラス変換は、積分で定義される関数の写像であり、フーリエ変換を発展させて、より実用的にしたものである。

ラプラス変換によって微分方程式が代数的に置き換えられるため、制御工学などでよく用いられる。原関数とこれをラプラス変換した像関数の関係が数学のテキストやハンドブックにに多数掲載されている。

変換の定義式、 $F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$  にある  $s$  は複素数であり、右辺のラプラス積分は、時間  $t$  から複素平面への写像を表わす。

## ⑦フーリエ変換

フーリエ変換は、実変数の関数を別の同種の関数に写す変換であり、変換後の関数はもとの関数に含まれる周波数を記述する。

フーリエ変換は、「どのような形の関数であっても、全て三角関数の和で表わされる」というフーリエ解析の理論に基づく。フーリエ変換は、線形性があり、最も重要な性質は「重ね合わせの原理」である。

$0 \leq x \leq 2\pi$  の範囲で定義される関数  $f(x)$  は、次のフーリエ級数で表わすことができる。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

ジョゼフ・フーリエ（1768～1830年、フランス）は、熱伝導の研究の過程でこのフーリエ級数を導入した。

フーリエの法則は、熱伝導を記述する偏微分方程式で示されたが、加熱源が単純な形（波形）の場合しか解が得られなかった。フーリエは、複雑な熱源の場合で



も、これを正弦波と余弦波の組合せで表わすことができることを見出し、単純な解を重ね合わせることによって熱伝導の方程式の解を求めた。

フーリエ級数は、積分範囲を変えて、周期  $L$  に拡張すると次式のように書ける。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{2\pi}{L} nx + b_n \sin \frac{2\pi}{L} nx \right)$$

三角関数は、オイラーの公式によって複素数と関係づけることができるので、次のように書くこともできる。

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \exp\left(-\frac{2\pi i}{L} nx\right)$$

$$c_n = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) \exp\left(-\frac{2\pi i}{L} nx\right) dx$$

フーリエ変換は、はじめ、このような級数展開で示されたが、級数ではなく連続の関数としても表すことができる。その表記法にはいくつかあるので、一例を示す。

$$\mathcal{F}[f] \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ikx} dx$$

この左辺の  $F$  の書体 (カリグラフィ) はフーリエ変換や逆フーリエ変換を表わす時に用いられる。

フーリエ変換された関数は、復元することができ、次式の逆変換で示される。

$$\mathcal{F}^{-1}[F] \equiv \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(k) e^{ikx} dx$$

フーリエ変換は、原関数を振動関数で分解するため、波の成分を知ることが出来る。フーリエ解析は数学と工学の一分野をなし、関連する多くの公式が知られ、計測や分析の分野に広く応用されている。

計算機の発達によって、高速フーリエ変換 (FFT、Fast Fourier Transform) と呼ばれる計算アルゴリズムが用いられるようになった。

FFT は、スペクトル解析装置、CT、MRI、アナログ信号処理、テレビの変調器・復調器などに利用されている。

ガスの分析法のひとつに赤外線吸収スペクトルを用いる赤外分光法 (IR、infrared

spectroscopy)があり、1970年代に、高速フーリエ変換分光法が開発された。

これは2つの光束(透過光と反射光)による光干渉を分光分析に利用するものであるが、得られた干渉波をフーリエ変換し、成分を分解して解析するために高速フーリエ変換アルゴリズムと計算機が用いられているようになった。高速フーリエ変換の概念は古くからあるが、現在用いられているのは、1960年代に見出された比較的新しいアルゴリズムである。

この分析法は、FTIR分光法、FT-IR法などと呼ばれ、測定装置は、「フーリエ変換赤外分光光度計」などと呼ばれる。高速フーリエ変換を用いた分析器と分析法は、ガスの生産・品質管理の現場では、「FTIR」で通じるポピュラーな言葉となっている。

### ⑧微分幾何学

微分幾何学は、微分方程式の研究から発展した微分を用いた幾何学である。多様体における微分を表わし、多成分の微積分を幾何学の理論に応用するために定式化されている。

多様体とは、局所的にユークリッド空間とみなせる空間のことであり、非常に抽象的で分かりにくい非ユークリッド幾何学が、普通に理解できる部分である。

微分幾何学は、リーマン幾何学に利用され、アインシュタインの一般相対性理論に応用されている。

微分幾何学の導関数は曲率の問題を特徴的に表わすため、一般相対性理論では、重力によって歪む空間の記述にリーマン幾何学の枠組みが用いられている。

二次元の生物がいたとしたら、地球が三次元的に湾曲している球体であることを直接知ることができないが、同様に、三次元空間の我々は、そのままでは時空間が曲がっているかどうかを知ることができない。アインシュタインの一般相対性理論は、微分幾何学を用いて宇宙の曲率を記述しており、これまでの観測結果や理論研究から、現在の宇宙は、曲率がゼロに近い非常に平坦な空間であることが分かっている。

### ⑨群論

群(group)を研究するのが群論であり、数学、物理学、化学の様々な構成に対して枠組みを与える。群にはいくつかのクラスがあり、置換群、行列群、変換群、抽象群、位相群などがある。

物理学の代表的な変換であるガリレイ変換、ローレンツ変換も、それぞれガリレイ群、ローレンツ群をなす。具体的な数学の群には、次のようなものがある。

集合における全ての置換は、恒等写像と逆写像が群をなし、 $n$  次の対称群と呼び、 $S_n$  と書く。

乗法が可換な群をアーベル群(可換群)と呼び、整数、有理数、実数、複素数は、加法に対してアーベル群となる。アーベル群には、結合法則、交換法則などの特性がある。たとえば、ベクトルのように、 $A \times B \neq B \times A$  であるものは、乗法が非可換でありアーベル群ではない。

正則行列の集合は、全て逆行列を持ち、この群を実一般線形群と呼び、行列が1のものを実特殊線形群と呼ぶ。

$n$  次の直交行列全体は群をなし、これを直交群  $O_n$  と書く。行列式が1となる直交行列全体を、特に特殊直交群  $SO_n$  と呼ぶ。

実数の正則行列のように、複素数の係数を持つ行列からも複素正方行列(ユニタリ行列)が定義され、ユニタリ群  $U_n$  が定義される(ユニタリ行列:  $U^*U=UU^*=I$ ,  $U^*$ は行列  $U$  のエルミート転置行列)。実数の場合、特殊直交群と呼ぶように、複素行列の場合も行列式が1の場合、特殊ユニタリ群  $SU_n$  と呼ぶ。

特殊ユニタリ群は、 $SU(2)$ 、 $SU(3)$  などとも書かれ、量子電磁力学、量子色力学、標準模型、対称性の破れの理論など、量子力学や素粒子物理学の解説にはこの表記がしばしば現れる。

群構造を持つ可微分多様体をリー群と呼ぶ(群構造と可微分構造を持つ)。ユークリッド空間、スピノル群など、リー群の例は非常に多い。

#### ⑩物理の発展と数学(数理物理学)

16世紀～17世紀:ヨハネス・ケプラー(1571～1630年)が天体の観測に数学を用いた。

17世紀～18世紀:アイザック・ニュートン(1642～1727年)が、物理学の問題を解くための数学的手法(微分法)、数値解析手法(ニュートン法)を開発した。

ダニエル・ベルヌーイ(1700～1782年)が、変分原理を用いて力学、流体力学を発展させた。

レオンハルト・オイラー(1707～1783年)は解析学における膨大な業績があり、数理物理学を大きく発展させた。

ジョゼフ＝ルイ・ラグランジュ(1736～1813年)は、純粋な解析学を構築、ラグランジュ力学や変分法に関して多くの業績を残した。

ピエール＝シモン・ラプラス(1749～1827年)は、数理天文学、ポテンシャル理論、力学に業績を残し、数学では、ラプラス演算子、ラプラス変換がよく知られる。

シメオン・ドニ・ポアソン (1781~1840 年)、はポアソン分布、カール・グスタフ・ヤコブ・ヤコビ (1804~1851 年) はヤコビ行列、ヤコビアンが有名。

カール・フリードリヒ・ガウス (1777~1840 年) は、電磁気学など物理学の貢献も大きい、数学では、虚数、複素数、ガウス分布、ガウス関数などが知られ、数学の手法でも、ガウスの消去法、最小二乗法など様々な結果を残している。世界三大数学者を選ぶのは非常に難しいと思われるが、多くの場合ガウスの名前が入るようである。

ベルンハルト・リーマン (1826~1866 年) は、解析学、幾何学、数論で業績があったが、研究が先駆的であり、なかなか理解されなかった。20 世紀になって、リーマン幾何学が見直され、一般相対性理論の記述に用いられた。

ジェームズ・クラーク・マクスウェル (1831~1879 年) は、熱力学、気体分子運動論、電磁気学だけでなく、マクスウェル分布などの数学を用いた統計力学でも知られる。

ウィリアム・ローワン・ハミルトン (1805~1865 年) は、解析力学であるハミルトン力学を確立、数学の分野でも高次複素数 (四元数) を発見、ナブラ記号やテンソルの記述を導入している。

ジョサイア・ウィラード・ギブズ (1839~ 1903 年) は、熱力学ポテンシャル、化学ポテンシャル概念を導入、相律の発見などで知られるが、統計力学の基礎を作っている。

ヘンドリック・アントーン・ローレンツ (1853~ 1928 年) は、電磁波の研究からローレンツ力を見出したが、ローレンツ変換はアインシュタインの特殊相対性理論の数学的基礎となった。

20 世紀になって、量子力学は、マックス・プランク (1856~1947 年)、アルノルト・ゾンマーフェルト (1868~1951 年)、ニールス・ボーア (1885~1962 年)、マックス・ボルン (1882~1970 年)、ヴェルナー・ハイゼンベルク (1901~1976 年)、ポール・ディラック (1902~1984 年)、エルヴィン・シュレーディンガー (1887~1961 年)、ヴォルフガング・パウリ (1900 年~1958 年) らによって確立されていったが、数学が、行列力学、波動力学、フェルミ・ディラック統計などに応用されていった。

ダフィット・ヒルベルト (1862~1943 年) は、「現代数学の父」と呼ばれ、ヒルベルト空間、ヒルベルトの零点定理などに名前が残る。アインシュタインと同じ時期に一般相対性理論の研究を行っており、アインシュタインとヒルベルトの優先権論争もあった。

サティエンドラ・ナート・ボース (1894~1974 年) は、ボース=アインシュタ

イン統計を光子の統計として導入。ボース粒子に名を残している。

ジュリアン・シュウィンガー（1918～1994年）、朝永振一郎（1906～1979年）、リチャード・ファインマン（1923～1988年）は数学のくりこみを発見、量子電磁気学を確立した。ファインマンは、経路積分法を見出し、量子ゆらぎのある不確定性の存在下での粒子の運動を記述した。物理学の発展には、数学の手法がかかせない。物理学の天才たちは、同時に数学の天才でもあり、自ら新しい数学を開拓していった。

## 9.3 ガス・物質の科学を築いた人々

原光雄著「化学を築いた人々」には、アルゴンを発見してノーベル化学賞を受賞したラムゼーの名前があるがレイリーの名前が入っていない。レイリーもラムゼー同様、空気分離の技術の歴史からは外せない人物であるが、様々な物理学の業績が有名で、化学者というよりも物理学者として位置付けられ、「化学を築いた人々」14名の中には入ってこなかったようである。ガス（気体と液体）の科学を物理と化学で線引きせずに両方の側面からみていくと、非常に多くの関係者が挙げられる。

ガスの科学や基礎科学の研究者、産業ガスの応用に関する技術者の年表を次の表にまとめる。

表 9-3-1(1)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
15世紀				
レオナルド・ダ・ヴィンチ Leonardo da Vinci	1452年 1519年	フィレンツェ共和国 ヴィンチ	音楽、建築、数学、幾何学、解剖学、生理学、動植物学、天文学、気象学、地質学、地理学、物理学、光学、力学、土木	芸術と科学の一体化 飛行装置の創案など 万能人のひとり
ニコラウス・コペルニクス Nicolaus Copernicus	1473年 1543年	ポーランド王領 プロシア	地球中心説（天動説）を覆す太陽中心説（地動説）を提唱	
16世紀				
ヴィンチェンツォ・ガリレイ Vincenzo Galilei	1520年 1591年	フィレンツェ公国	音響学 振動弦と気柱に関する物理学的研究	作曲家、音楽理論家 ガリレオの父 自然現象の記述に数学を用いた
ティコ・ブラー Tycho Brahe	1546年 1601年	デンマーク	超新星を発見 修正天動説を提唱 膨大な天体観測の結果がケプラーに引き継がれる	天文学者、占星術師 望遠鏡を用いない天体観測
ヨハネス・ケプラー Johannes Kepler	1571年 1630年	神聖ローマ帝国 ヴァイル・デア・シュタット	天体の運行法則に関するケプラーの法則	天体物理学の祖 数学者、自然哲学者、占星術師
ガリレオ・ガリレイ Galileo Galilei	1564年 1642年	フィレンツェ公国 ピサ	科学革命 落体の法則 音響学	「近代科学の父」
ルネ・デカルト René Descartes	1596年 1650年	フランス王国	慣性の法則	哲学、数学

表 9-3-1(2)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
17世紀				
ピエール・ド・フェルマー Pierre de Fermat	1608年 1665年	フランス	フェルマーの最終定理	「数論の父」 職業は弁護士で数学は趣味
エヴァンジェリスタ・トリチェリ Evangelista Torricelli	1608年 1647年	教皇領、ファエンツァ	トリチェリの定理 真空の概念	数学者 ガリレオ・ガリレイの弟子
ロバート・ボイル Robert Boyle	1627年 1691年	アイルランド	ボイルの法則 初めての原子説 音の伝播と空気存在を証明	「14人の化学者」
ブлез・パスカル Blaise Pascal	1623年 1662年	フランス	流体の平衡に関するパスカルの原理 パスカルの定理（数学）など	哲学、数学
ロバート・フック Robert Hooke	1635年 1703年	イングランド	弾性に関するフックの法則 慣性の法則 ぜんまい時計の発明 自転車の発明	万有引力の法則に関する先陣争い。 「ニュートンに消された男」 光の波動説
アイザック・ニュートン Isaac Newton	1643年 1727年	イングランド	<b>ニュートン力学</b> 冷却の法則 粘性の法則 音速の測定	光の粒子説
ゴットフリート・ライブニッツ Gottfried Wilhelm Leibniz	1646年 1716年	神聖ローマ帝国・ザクセン（ドイツ）	微分積分学 微分記法 二進法 機械式計算機 円周率のライブニッツの公式	哲学者、数学者、科学者、政治家、外交官
ブルック・テイラー Sir Brook Taylor	1685年 1731年	イングランド	テイラー展開 テイラーの定理	数学者
ガブリエル・ファレンハイト Daniel Gabriel Fahrenheit	1686年 1736年	ポーランド・リトアニア共和国→ドイツ	高精度水銀温度計の発明。 ファレンハイト度	液体の沸点が圧力によって異なることを発見した。
コリン・マクローリン Colin Maclaurin	1698年 1746年	スコットランド	マクローリン展開 オイラーの和公式 ニュートン力学の啓蒙	数学者
ダニエル・ベルヌーイ Daniel Bernoulli	1700年 1782年	スイス	ベルヌーイの定理 気体分子運動論の先駆的研究、熱力学	

表 9-3-1(3)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
18世紀				
レオンハルト・オイラー Leonhard Euler	1707年 1783年	スイス	オイラーの公式 ニュートン力学の解析学的表現 流体力学の基礎方程式 剛体の力学	解析学、数論
カール・フォン・リンネ Carl von Linné	1707年 1778年	スウェーデン	精緻な階層構造の構築 学名の提唱、花時計 焦電効果の発見	「分類学の父」 博物学者、生物学者、植物学者、鉱物学者
ジャン・ル・ロン・ダランベール Jean Le Rond d'Alembert	1717年 1783年	フランス	波動方程式 ダランベールの原理 ダランベールの収束判定法 ダランベールのパラドックス	哲学者、数学者、物理学者
ジョゼフ・ブラック Joseph Black	1728年 1799年	スコットランド	潜熱の発見 熱容量概念の確立 二酸化炭素の発見	医学・化学の教授
ヘンリー・キャヴェンディッシュ Henry Cavendish	1731年 1810年	イングランド	<b>水素の発見</b> 水の合成 地球密度の測定	シャルルの法則、オームの法則、クーロンの法則を発見していたが未公表
ジョゼフ・プリーストリー Joseph Priestley	1733年 1804年	イングランド	<b>酸素の発見</b>	「14人の化学者」
ジェームズ・ワット James Watt	1736年 1819年	スコットランド	ワット機関（蒸気機関）	産業革命への貢献 仕事率の単位 W
シャルル・ド・クーロン Charles-Augustin de Coulomb	1736年 1806年	フランス	クーロンの法則 摩擦力の法則 磁気流体と電気流体	
ジョゼフ＝ルイ・ラグランジュ Joseph-Louis Lagrange	1736年 1813年	サルデーニャ王国 トリノ	解析力学（ラグランジュ力学）	
ルイージ・ガルヴァーニ Luigi Galvani	1737年 1798年	教皇領ボローニャ	生体電気の発見 起電現象の発見	
ウィリアム・ハーシェル Sir Frederick William Herschel	1738年 1822年	ハノーファー選帝侯国	赤外線放射の発見 天王星の発見 天の川銀河のモデル	音楽教師、天文学者
アントワーヌ＝ローラン・ド・ラヴォアジエ Antoine-Laurent de Lavoisier	1743年 1749年	フランス	「近代化学の父」 質量保存の法則 酸素・水素・窒素の命名	「14人の化学者」

表 9-3-1(4)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）



名前	生存年	出身国	主な業績	備考
18世紀				
アレッサンドロ・ボルタ Il Conte Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta	1745年 1827年	ミラノ公国コモ	ガスの電気火花燃焼実験 静電容量の研究	
ジャック・シャルル Jacques Alexandre César Charles	1746年 1823年	フランス	理想気体のシャルルの法則 世界初の有人水素気球	数学者、物理学者
ピエール=シモン・ラプラス Pierre-Simon Laplace	1749年 1827年	フランス	ラプラスアン ラプラス変換 ポテンシャル論 ラプラスの悪魔 水中の音速の測定	数学者、物理学者
ジョン・ドルトン John Dalton	1766年 1844年	イングランド	ドルトンの法則 原子説 色覚異常の研究	「14人の化学者」
ジョゼフ・フーリエ Baron de Jean Baptiste Joseph Fourier	1768年 1830年	フランス	熱伝導のフーリエの法則 フーリエ解析、 フーリエ展開、 フーリエ級数	数学者、物理学者
トーマス・ゼーベック Thomas Johann Seebeck	1770年 1831年	レバリ（エストニア）	熱電効果（ゼーベック効果）の発見 光スペクトルの挙動の研究	医師、物理学者
ロバート・ブラウン Robert Brown	1773年 1858年	スコットランド	ブラウン運動の発見 細胞核を発見	生物学者
トマス・ヤング Thomas Young	1773年 1829年	スコットランド	<b>エネルギーの概念を導入</b> 弾性体力学（ヤング率） ヤング=ヘルムホルツの 三色説（RGB） ヤング音律 乱視の研究	医師、物理学者 光の波動説
アンドレ=マリ・アンペール André-Marie Ampère	1775年 1836年	フランス	アンペールの法則 気体分子数の法則（アボガド ドの法則と同じ）	電流の単位アンペア
ウィリアム・ヘンリー William Henry	1775年 1836年	イングランド	ヘンリーの法則（液体、気体） 理想希薄溶液	
アメデオ・アヴォガドロ Conte Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro	1776年 1856年	サルデーニャ王国 トリノ	アボガドロの法則 気体の化学 分子説	アボガドロ定数 数学者、物理学者、 弁護士

表 9-3-1(5)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
18世紀				
ヨハン・ヴィルヘルム・リッター Johann Wilhelm Ritter	1776年 1810年	シレジア（ポーランド・チェコ）	水の電気分解 紫外線の発見	薬剤師
カール・フリードリヒ・ガウス Carolus Fridericus Gauss	1777年 1855年	神聖ローマ帝国ブラウンシュヴァイク	磁気の理論、 天体力学 代数学 ガウス分布、 最小二乗法 複素積分	三大数学者 ガウス賞
サー・ハンフリー・デービー Sir Humphry Davy	1778年 1829年	イングランド	塩素、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム、ホウ素、バリウムの発見 酸素は酸の素ではないことを発見	「14人の化学者」
ジョセフ・レイ・ゲイリュサック Joseph Louis Gay-Lussac	1778年 1850年	フランス	アルコールと水の混合 気体反応の法則 シャルルの法則の定式化 有人気球による空気の研究、空気の組成が高度によって変わらないことを発見	化学者、物理学者 教え子にリービヒ
イェンス・ベルセリウス Jöns Jacob Berzelius	1779年 1848年	スウェーデン	元素記号の記法を提唱 原子量の精密測定 セレン、トリウム、セリウムを発見	「14人の化学者」
アンリ・ナビエ Claude Louis Marie Henri Navier	1785年 1836年	フランス	粘性流体の運動方程式 ナビエ-ストークス方程式 土木工学	数学者、物理学者
ジャン＝シャルル・ペルティエ Jean-Charles Peltier	1785年 1845年	フランス	ペルティエ効果の発見	
ヨゼフ・フォン・フラウンホーファー Joseph von Fraunhofer	1787年 1826年	バイエルン	フラウンホーファー線 フラウンホーファー回折	
アントワーヌ・セザール・ベクレル Antoine César Becquerel	1788年 1878年	フランス	圧電現象 PV の発見 電気化学、発光現象	
ゲオルク・オーム Georg Simon Ohm	1789年 1854年	神聖ローマ帝国フランケン・クライス	オームの法則の発見 オームの音響法則	

表 9-3-1(6)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
18世紀				
ロバート・スターリング Robert Stirling	1790年 1878年	スコットランド	スターリングエンジンの発明 スターリング冷凍機、ギフォード・マクマホン冷凍機、ノルリス管冷凍機などに応用された	牧師
マイケル・ファラデー Michael Faraday	1791年 1867年	イングランド	ファラデーの電磁誘導の法則 反磁性の発見 ファラデーの電気分解の法則 電動機の発明 ベンゼンの発見 酸化数を体系化 電気力線 イオン、電極などの用語を導入	物理学者、化学者
ニコラ・レオナルド・サディ・カルノー Nicolas Marguerite Carnot	1796年 1832年	フランス	カルノー・サイクルの研究 熱に「動力」の概念を導入	数学者、物理学者

表 9-3-1(7)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ユストゥス・フォン・リービヒ Justus Freiherr von Liebig	1803年 1873年	ヘッセン大公国 (ドイツ)	「農芸化学の父」 有機化学の確立 クロロホルム、アルデヒド などの発見	「14人の化学者」
クリスチアン・ドップラー Johann Christian Doppler	1803年 1853年	ハプスブルク君主国 (オーストリア)	ドップラー効果の発見	
カール・グスタフ・ヤコブ・ヤコビ Carl Gustav Jacob Jacobi	1804年 1851年	プロイセン王国 ポツダム	ヤコビ行列 ヤコビ恒等式 ヤコビアン	
ハインリヒ・レンツ Heinrich Friedrich Emil Lenz	1804年 1865年	エストニア	レンツの法則 ジュールの第一法則	
ウィリアム・ローワン・ハミルトン William Rowan Hamilton	1805年 1865年	アイルランド	ハミルトン力学 ハミルトニアン 高次複素数の発見、四元数 テンソル、ナブラ	
チャールズ・ダーウィン Charles Robert Darwin	1809年 1882年	イングランド	種の起源 進化論 生物多様性の理論的説明	地質学者・生物学者
ロベルト・ブンゼン Robert Wilhelm Bunsen	1811年 1899年	ライン同盟ヴェストファーレン 王国	セシウムとルビジウムの 発見 分光学 火山ガスの分析 氷熱量計、蒸気熱量計の 発明 ブンゼン電池、ブンゼン バーナー	
ユリウス・ロベルト・フォン・マイヤー Julius Robert von Mayer	1814年 1878年	ヴュルテンベルク王国 (ドイツ)	熱と仕事の相互変換 熱力学第一法則 <b>エネルギー保存の法則</b> 比熱のマイヤーの関係式	熱力学第一法則を発見した3人のうちのひとり
アンデルス・オングストローム Anders Jonas Ångström	1814年 1874年	スウェーデン	放電管からのスペクトル を説明、オーロラの研究、 地磁気の研究	
ハインリッヒ・ガイスラー Johann Heinrich Wilhelm Geißler	1814年 1879年	ザクセン=マイニンゲン公国	ガラス製の温度計 ガイスラー管 水銀真空ポンプの発明	

表 9-3-1(8)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ジェームズ・プレスコット・ジュール James Prescott Joule	1818年 1889年	イングランド	ジュールの第一法則、第二法則 エネルギー保存則の発見 ジュール=トムソン効果 ジュール効果、ジュール熱	
ジョージ・ガブリエル・ストークス Sir George Gabriel Stokes	1819年 1903年	アイルランド	ナビエ-ストークス方程式 ストークスの式（流体） ストークスの定理（数学） ストークス波（水面波） ストークス散乱（光学）	流体力学、光学、 数学、鉱物 粘度の単位ストークス
アルマン・イッポリート・ルイ・フィゾー Armand Hippolyte Louis Fizeau	1819年 1896年	フランス	光速度の測定 初めての太陽撮影 水中の光速度が遅いことを証明、光のドップラー効果を提唱	
ウィリアム・ランキン William John Macquorn Rankine	1820年 1872年	スコットランド	熱素説（カロリック）を否定 エネルギーの用語と概念を導入 ランキン・サイクル	世界の発電量の大半がランキンサイクルによる
ヘルマン・フォン・ヘルムホルツ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz	1821年 1894年	プロイセン王国（ドイツ）	エネルギー保存則 自由エネルギー 光の三原色に関する理論 色覚、音声に関する研究 流体力学の渦の運動 電気二重層の理論	物理学者、生理学者。 弟子にハイน์リヒ・ヘルツ
ジャン=ジョゼフ・エティエンヌ・ルノアール Jean-Joseph Étienne Lenoir	1822年 1900年	フランス	ルノアールエンジン 2ストローク・エンジンの発明 4ストローク・エンジンの発明 水素ガスエンジン自動車 点火プラグの発明 電気ブレーキ（回生）の発明	

表 9-3-1(9)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ルドルフ・クラウジウス Rudolf Julius Emmanuel Clausius	1822年 1888年	プロイセン王国 (ドイツ)	<b>熱力学第一法則・第二法則の定式化</b> <b>エントロピーの概念の導入</b> 蒸気圧に関するクラウジウス-クラペイロンの式	熱力学の確立
ウィリアム・トムソン (ケルビン卿) William Thomson, 1st Baron Kelvin	1824年 1907年	アイルランド	<b>ジュール=トムソン効果</b> <b>熱力学第二法則</b> (トムソンの原理)の発見 トムソン効果 (熱電効果) 透磁率の概念	古典物理学 地球物理学 熱力学温度ケルビン
グスタフ・キルヒホフ Gustav Robert Kirchhoff	1824年 1887年	プロイセン	キルヒホッフの第一法則: 電流、第二法則: 電圧 黒体放射に関するキルヒホッフの法則 反応熱に関するキルヒホッフの法則 分光学手法による太陽の構成元素の同定 セシウムとルビジウムの発見	
ベルンハルト・リーマン Georg Friedrich Bernhard Riemann	1826年 1866年	ハノーファー王国	リーマン幾何学を確立 リーマン積分、リーマン球面、リーマン面、リーマン予想	
アウグスト・ケクレ Friedrich August Kekulé von Stradonitz	1829年 1896年	ドイツ連邦ヘッセン大公国	炭素の四面性仮説 炭素の鎖状結合仮説 六員環 (ケクレ構造、亀の甲)、ベンゼン式、芳香族化合物の体系化	「14人の化学者」
ジョージ・ブレイトン George Brayton	1830年 1892年	イングランド	ブレイトンサイクル(ジュールサイクル)	当初はピストン式 のガスエンジン、後にガスタービン、ジェットエンジンの原型となる。 逆ブレイトンサイクル冷凍機
ジェームズ・クラーク・マクスウェル James Clerk Maxwell	1831年 1879年	スコットランド	気体の分子運動論 電磁場のマクスウェル方程式 マクスウェル分布、統計力学	物理学者 数学者

表 9-3-1(10)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ニコラウス・オットー Nikolaus August Otto	1832年 1891年	ナッサウ公国（ドイツ）	オットーサイクルの発明 照明用ガスを燃料とした内燃機関を製作 石油廃棄物（ガソリン）を燃料とするエンジンを開発 ドイツAG社を設立	ドイツAG社のダイムラーとマイバッハが独立、オットーエンジンを実用化した
ウィリアム・クルックス Sir William Crookes	1832年 1919年	イングランド	タリウムの発見 陰極線の研究→電子 クルックス管実験→X線 テンサイからの砂糖製造 フェノールの防腐作用 ダイヤモンドの起源	物理学、 化学 心霊現象の研究
ドミトリ・メンデレーエフ Dmitrij Ivanovich Mendelejev	1834年 1907年	ロシア帝国	元素周期表 石油の無機起源説（石油・天然ガスが化石資源でないという学説は、今も継続研究されている） 絶対沸点説（後に臨界点）	「14人の化学者」
ヨーゼフ・シュテファン Joseph Stefan	1835年 1893年	オーストリア	黒体輻射に関するステファン・ボルツマンの法則	物理学者、数学者、詩人 弟子にルートヴィヒ・ボルツマン
ヨハネス・ファン・デル・ワールス Johannes Diderik van der Waals	1837年 1923年	オランダ	ファン・デル・ワールスの状態方程式	熱力学・ガスの化学 ノーベル物理学賞 1910年
エルンスト・マツハ Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach	1838年 1916年	オーストリア	気体中の衝撃波、マツハ数	哲学、物理学、科学史、心理学、生理学、音楽学
フェルディナント・フォン・ツェッペリン Ferdinand Adolf Heinrich August Graf von Zeppelin	1838年 1917年	バーデン大公国（ドイツ）	硬式飛行船を実用化	ツェッペリン社の起業にはリンデ、ダイムラーなどが参加
ウィラード・ギブズ Josiah Willard Gibbs	1839年 1903年	米国	ギブズ自由エネルギー ギブスヘルムホルツの式 フガシチ	数学者、物理学者

表 9-3-1(11)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ジョン・ウィリアム・ストラット (第3代レイリー男爵) John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh	1842年 1919年	イングランド	アルゴンの発見 レイリー散乱 (光) レイリー波 (地震の表面波) レイリー・シーゼの法則 (黒体輻射の波長分布) レイリー数 (流体力学) 毛細管現象	物理学者 古典物理学における数々の貢献
オズボーン・レイノルズ Osborne Reynolds	1842年 1912年	アイルランド	熱力学・流体力学の研究 ボイラー、コンデンサーの研究 レイノルズ数	
カール・フォン・リンデ Carl Paul Gottfried Linde/Ritter von Linde	1842年 1934年	ドイツ帝国	空気の蒸留分離、ダブルカラム法の開発 リンデ AG 社を設立	教官はルドルフ・クラウジウス
ルートヴィヒ・ボルツマン Ludwig Eduard Boltzmann	1844年 1906年	オーストリア	ボルツマンの関係式 シュテファン=ボルツマンの法則	ボルツマン定数 統計力学、電磁気学、熱力学、数学
カール・ベンツ Karl Friedrich Benz	1844年 1929年	バーデン大公国 (ドイツ)	実用的なガソリンエンジン自動車を開発	
ヴィルヘルム・レントゲン Wilhelm Conrad Röntgen	1845年 1923年	ドイツ連邦 (オランダ国籍)	X線の発見 気体の熱的性質に関する研究	ノーベル物理学賞 1901年
フランク・クラーク Frank Wigglesworth Clarke	1847年 1931年	米国	クラーク数 地球化学	
トーマス・エジソン Thomas Alva Edison	1847年 1931年	米国	電気技術における発明 蓄音器、白熱電球、活動写真 発電・送電システム、GE社の設立	発明王、 訴訟王
ジョン・フレミング Sir John Ambrose Fleming	1849年 - 1945年	イングランド	フレミングの法則 (左手の法則、右手の法則) 真空管の発明	
アンリ・ルシャトリエ Henry Louis le Chatelier	1850年 1936年	フランス	化学平衡に関するルシャトリエの法則	



表 9-3-1(12)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ヘンリクス・ファン ト・ホッフ Jacobus Henricus van't Hoff	1852年 1911年	オランダ	有機化学 立体化学、不斉炭素原子 (キラル中心) 説、反応 速度論 浸透圧ファント・ホッフ の式	「14人の化学者」 ノーベル化学賞 1901年
ウィリアム・ラムゼー William Ramsay	1852年 1916年	スコットランド	<b>アルゴン、ヘリウム、クリプトン、ネオン、キセノンの発見</b>	「14人の化学者」 ノーベル化学賞 1904年
エミール・フィッシャー Hermann Emil Fischer	1852年 1919年	ドイツ連邦	フィッシャーエステル合成反応 インドール合成、 ペプチド合成	「14人の化学者」 ノーベル化学賞 1902年
アンリ・ベクレル Antoine Henri Bequerel	1852年 1908年	フランス	放射線を発見	ノーベル物理学賞 1903年
アルバート・エイブラ ハム・マイケルソン Albert Abraham Michelson	1852年 1931年	米国	マイケルソン・モーリーの 実験（結果としてエー テルが存在しないことが 確かめられた）	ノーベル物理学賞 1907年
ハイケ・カメルリン グ・オネス Heike Kamerlingh Onnes	1853年 1926年 1909年	オランダ	<b>ビリアル方程式</b> <b>ヘリウムの液化</b> <b>ヘリウムの超流動現象</b> <b>エンタルピの導入</b>	ノーベル物理学賞 1913年
ヘンドリック・アント ーン・ローレンツ Hendrik Antoon Lorentz	1853年 1928年	オランダ	ゼーマン効果の発見 <b>ローレンツ変換</b> 特殊相対性理論の数学	ノーベル物理学賞 1902年
アンリ・ポアンカレ Jules-Henri Poincaré	1854年 1912年	フランス	トポロジー概念の発見 ポアンカレ予想 特殊相対性理論	数学、数理物理学、天体物 学
ニコラ・テスラ Nikola Tesla	1856年 1943年	オーストリア帝 国（現クロアチ ア）	電気技術における発明 無線送電（世界システ ム）、 交流発電機 交流電流送電システム 高圧変圧器 無線トランスミッター、 無線電報機、ラジオ、 蛍光灯、テスラコイル	磁束密度の単位テスラ エジソン社で交流電流を提 案 IEEE ニコラ・テスラ賞 実験科学のエジソン vs 理論 科学のテスラ
ジョゼフ・ジョン・ト ムソン (J.J.トムソン) Sir Joseph John Thomson	1856年 1940年	イングランド	電子を発見 放射性ではない同位体を 発見 気体の電気伝導を研究 質量分析器を発明	ノーベル物理学賞 1906年

表 9-3-1(13)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ジョゼフ・ジョン・トムソン (J.J.トムソン) Sir Joseph John Thomson	1856年 1940年	イングランド	電子を発見 放射性ではない同位体を発見（ネオン） 気体の電気伝導を研究 質量分析器を発明	ノーベル物理学賞 1906年
マックス・プランク Max Karl Ernst Ludwig Planck	1858年 1947年	ホルシュタイン公国（ドイツ）	放射に関するプランクの法則	「量子論の父」 ノーベル物理学賞 1918年
ルドルフ・ディーゼル Rudolf Christian Karl Diesel	1858年 1913年	ドイツ帝国	リンデAG社にて冷凍機、空気分離装置を開発、熱力学機関を研究 ディーゼルエンジンを発明	スルザー社→リンデ AG→マンAG
アウグスト・アレイニウス Svante August Arrhenius	1859年 1927年	スウェーデン	物理学の創始者 イオン解離の理論 アレイニウスの式	「14人の化学者」 ノーベル化学賞 1903年
ピエール・キュリー Pierre Curie	1859年 1906年	フランス	放射線を発見 圧電効果（ピエゾ効果）を発見 非対称に関するキュリーの原理	ノーベル物理学賞 1903年
ロバート・ボッシュ Robert Bosch	1861年 1942年	ドイツ	磁気点火装置の開発 ロバート・ボッシュ GmbHの創業者	
ウィリアム・ヘンリー・ブラッグ William Henry Bragg	1862年 1942年	イングランド	X線による結晶構造解析 X線の回折・反射に関するブラッグの法則	ノーベル物理学賞 1915年
ダフィット・ヒルベルト David Hilbert	1862年 1943年	プロイセン王国	「現代数学の父」 ヒルベルト空間 ヒルベルトの零点定理 ヒルベルト計画	アインシュタインと一般相対性理論の優先権論争
フィリップ・レーナルト Philipp Eduard Anton von Lenard	1862年 1947年	オーストリア帝国ハンガリー王国	陰極線と光電効果の研究 大気電気学、レナード効果	ノーベル物理学賞 1905年
ウラジミール・ベルナドスキー Vladimir Ivanovich Vernadsky	1863年 1945年	ロシア帝国	地球化学、 生物地球化学、 放射年代測定の創設者	
ヘルマン・ミンコフスキー Hermann Minkowski	1864年 1909年	ロシア帝国リトアニア	ミンコフスキー空間 光円錐 特殊相対性理論の数学的基礎	

表 9-3-1(14)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ヴァルター・ネルンスト Walther Hermann Nernst	1864年 ・1941年	プロイセン	熱力学第三法則を発見 ネルンストの式（電気化学）	ノーベル化学賞 1920年
ヴィルヘルム・ヴィーン Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien	1864年 1928年	プロイセン	黒体放射のヴィーンの変位則 ヴィーンの放射法則	ノーベル物理学賞 1911年
ピーター・ゼーマン Pieter Zeeman	1865年 1943年	オランダ	ゼーマン効果の発見	ノーベル物理学賞 1902年
長岡半太郎	1865年 1950年	日本	土星型原子モデル提唱	主な弟子、本多光太郎、寺田寅彦、仁科芳雄
アルフレート・ヴェルナー Alfred Werner	1866年 ・1919年	スイス	錯体化学の創始者	ノーベル化学賞 1913年
マリ・キュリー Maria Sklodowska-Curie	1867年 1934年	ポーランド立憲 王国→フランス	放射線を発見 ラジウムの発見 ポロニウムの発見	ノーベル物理学賞 1903年 ノーベル化学賞 1911年
ロバート・ミリカン Robert Andrews Millikan	1868年 1953年	米国	電気素量の計測 光電効果の研究	ノーベル物理学賞 1923年
フリッツ・ハーバー Fritz Haber	1868年 1934年	ドイツ	ハーバー・ボッシュ法の 開発 気体燃焼の研究（クラッキング）	「化学兵器の父」 ノーベル化学賞 1918年
ジョルジュ・クロード Georges Claude	1870年 ・1960年	フランス	膨脹機を用いたクロード サイクル ネオン管 海洋温度差発電	エア・リキード社 クロード・ネオン社 アクララング
アーネスト・ラザフォード Ernest Rutherford	1871年 1937年	ニュージーランド →英国	ラザフォードの原子模型 陽子の発見	「原子物理学の父」 ノーベル化学賞 1908年
ウィレム・ド・ジッター Willem de Sitter	1872年 1934年	オランダ	アインシュタイン重力方程式の解のひとつである ド・ジッター宇宙モデル	
ポール・ランジュバン Paul Langevin	1872年 1946年	フランス	常磁性・反磁性の研究 キュリー・ランジュバンの法則 水晶振動子の開発 超音波の発生	
カール・ボッシュ Carl Bosch	1874年 1940年	ドイツ	ハーバー・ボッシュ法の 開発 高压化学	ノーベル化学賞 1931年 ロバートボッシュの甥

表 9-3-1(15)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ルートヴィヒ・フラン トル Ludwig Prandtl	1875年 1953年	ドイツ	境界層、翼の理論、揚力理論 超音速衝撃波の理論	プラントル数
ジェームズ・ジーンズ Sir James Hopwood Jeans	1877年 1946年	イングランド	レイリー・ジーンズの法則	物理学者、天文学者、 数学者
フランツ・フィッシャ ー Franz Joseph Emil Fischer	1877年 1946年	ドイツ	フィッシャー・トロブシュ法	
フランシス・アストン Francis William Aston	1877年 1945年	イングランド	質量分析計の発明 非放射性同位体の発見(ネオ ンの安定同位体)	ノーベル化学賞 1922年
リーゼ・マイトナー Lise Meitner	1878年 1968年	オーストリア	原子核分裂を発見 プロトアクチニウムを発見 $\beta$ 崩壊の研究	ハーンのみならずノーベ ル賞が授与された。 原子番号 109 番のマ イトネリウムに名を 残す
オットー・ハーン Otto Hahn	1879年 1968年	ドイツ	原子核分裂を発見 放射性トリウムを発見 プロトアクチニウムを発見 ウランの核異性体を発見	ノーベル化学賞 1944年
アルベルト・アインシュ タイン Albert Einstein	1879年 1955年	ヴュルテンベルク 王国 (ドイツ)	特殊相対性理論 一般相対性理論 光電効果の理論 ブラウン運動の理論 固体比熱理論 統計力学 ボース=アインシュタイン 凝縮 零点エネルギー	「現代物理学の父」
アーヴィング・ラング ミュア Irving Langmuir	1881年 1957年	米国	界面化学 電球への不活性ガス封入 ラングミュアの吸着式 白金の触媒作用 人工降雨	ノーベル化学賞 1932年
マックス・ボルン Max Born	1882年 1970年	ドイツ帝国→英国	量子力学の確率解釈 電子のボルン-オッペンハイ マー近似	ノーベル物理学賞 1954年 門下にハイゼンベル ク、フォン・ノイマ ン、パウリら
ヴァルター・マイスナ ー Fritz Walther Meißner	1882年 1974年	ドイツ帝国	マイスナー・オクセンフェル ト効果の発見	

表 9-3-1(16)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ピーター・デバイ Peter Joseph William Debye	1884年 1966年	オランダ	電気双極子モーメントの研究 デバイ模型、 デバイ温度 X線による結晶構造の解析法（デバイ-シェラー法） ボーアの原子模型理論を拡張	ノーベル化学賞 1936年
ニールス・ボーア Niels Henrik David Bohr	1885年 1962年	デンマーク	ボーアの原子模型 行列力学を推進 前期量子論の確立 ボーア半径 量子力学をめぐるアインシュタインとの大論争	理論物理学者 ノーベル物理学賞 1922年 息子のニールス・ボーアも受賞 1975年
エルヴィン・シュレーディンガー Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger	1887年 1961年	オーストリア	シュレーディンガー方程式 波動力学	ノーベル物理学賞 1933年
ヴィクトール・モリッツ・ゴルトシュミット Victor Moritz Goldschmidt	1888年 1947年	スイス	地球化学の創始者 元素の宇宙存在度の推定	
アレクサンドル・フリードマン Alexander Alexandrovich Friedmann	1888年 1953年	ロシア	フリードマン方程式 フリードマン宇宙モデル	
チャンドラセカール・ラマン Sir Chandrasekhara Venkata Raman	1888年 -1970年	英領インド帝国	ラマン効果(ラマンスペクトル)の発見 ラマン分光法(レーザーを用いた物質の同定)。	ノーベル物理学賞 1930年
ハンス・トロプシュ Hans Tropsch	1889年 1935年	ドイツ	フィッシャー・トロプシュ法	
エドウィン・ハッブル Edwin Powell Hubble	1889年 1953年	米国	系外銀河の存在の実証 ハッブルの法則の発見	
ウィリアム・ローレンス・ブラッグ William Lawrence Bragg	1890年 1971年	オーストラリア	X線による結晶構造解析 X線の回折・反射に関するブラッグの法則 現代結晶学の創始者	ノーベル物理学賞 1915年 父ヘンリー・ブラッグと共に受賞
仁科芳雄	1890年 1951年	日本	日本の現代物理学の父 クライン=仁科の公式(自由電子による光微惑乱断面積)	

表 9-3-1(17)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
19世紀				
ジェームズ・チャドウィック Sir James Chadwick	1891年 1974年	イングランド	中性子の発見	ノーベル物理学賞 1935年
ルイ・ド・ブロイ Louis-Victor Pierre Raymond	1892年 1987年	フランス	ド・ブロイ波（物質波）	ノーベル物理学賞 1929年
ハロルド・ユリー Harold Clayton Urey	1893年 1981年	米国	重水素の発見（液体水素の蒸留分離） 宇宙化学、隕石	ノーベル化学賞 1934年
ピョートル・カピッツ Pyotr Leonidovich Kapitsa	1894年 1984年	ロシア	ヘリウム4の超流動性を発見 膨張タービンを用いた空気分離装置	ノーベル物理学賞 1978年
サティエンドラ・ナート・ボース Satyendra Nath Bose	1894年 1974年	インド	ボース＝アインシュタイン統計	ボース粒子、ボソン
ウィリアム・フランシス・ジオーク William Francis Giauque	1895年 1982年	米国	極低温における物性 エントロピーの研究 <b>酸素の同位体を発見</b>	ノーベル化学賞 1949年
ロバート・マリケン Robert Sanderson Mulliken	1896年 1986年	米国	分子軌道法 フント＝マリケンの理論	ノーベル化学賞 1966年
フリードリッヒ・フント Friedrich Hermann Hund	1896年 1997年	ドイツ	原子・分子のスペクトル構造 原子の最安定な電子配置に関するフントの規則 分光学、量子化学 分子軌道法	
ジョン・コッククロフト Sir John Douglas Cockcroft	1897年 1967年	イングランド	初めての元素変換 コッククロフト加速器	ノーベル物理学賞 1951年
イレヌア・ジョリオ＝キュリー Irene Joliot-Curie	1897年 1956年	フランス	人工の放射性同位元素を合成	ノーベル化学賞 1935年 マリ・キュリーの娘
フレデリック・ジョリオ＝キュリー Jean Frédéric Joliot-Curie	1900年 1958年	フランス	人工の放射性同位元素を合成	ノーベル化学賞 1935年 マリ・キュリーの娘婿
ヴォルフガング・パウリ Wolfgang Ernst Pauli	1900年 1958年	オーストリア→米国	<b>パウリの排他原理</b> スピンの理論	ノーベル化学賞 1945年
フリッツ・ロンドン Fritz Wolfgang London	1900年 1954年	ポーランド（ドイツ→米国）	<b>ロンドンカ</b> 量子化学	量子化学を提唱 ロンドン賞

表 9-3-1(18)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
20 世紀				
ヴェルナー・ハイゼンベルク Werner Karl Heisenberg	1901 年 1976 年	ドイツ	波動方程式 不確定性原理	ノーベル物理学賞 1932 年
エンリコ・フェルミ Enrico Fermi	1901 年 1954 年	イタリア→米国	フェルミ＝ディラック統計 フェルミ粒子 熱中性子	ノーベル物理学賞 1938 年 フェルミオン
アーネスト・ローレンス Ernest Orlando Lawrence	1901 年 1958 年	米国	サイクロトロン加速器の開発 テクネチウムの発見 クロマトロン・ブラウン管 (トリニトロン) の発明	ノーベル物理学賞 1939 年
ロバート・ジェミソン・ヴァン・デ・グラフ Robert Jemison Van de Graaff	1901 年 1967 年	米国	ヴァンデグラフ起電機を発明 加速器	
ポール・ディラック Paul Adrien Maurice Dirac	1902 年 1984 年	イングランド	ディラック方程式 量子力学、量子電磁気学 陽電子の予言	ノーベル物理学賞 1933 年 ディラック賞
フェリクス・ヴァンケル Felix Heinrich Wankel	1902 年 1988 年	バーデン大公国	オットーサイクル・ヴァンケル型ロータリーエンジンを発明 ドイツ、日本、ソ連、フランスで実用化された。	油圧モーター、シートベルトの巻き上げ。直径 1mm の MEMS 発電機
ジョン・フォン・ノイマン John von Neumann	1903 年 1957 年	オーストリア＝ハンガリー帝国	量子力学の数学的基礎 ノイマン型コンピュータ モンテカルロ法を考案、気象予報の数理モデル、経済成長理論、ゲーム理論	数学、物理学、経済学、気象学
ラルス・オンサーガー Lars Onsager	1903 年 1976 年	ノルウェー→米国	不可逆過程の熱力学 オンサーガーの相反定理 (圧力差と温度差の交差関係) 相転移現象	ノーベル化学賞 1968 年
ジョージ・ガモフ George Gamow	1904 年 1968 年	ロシア帝国→米国	$\alpha$ 粒子のトンネル効果 アルファ・ベータ・ガンマ理論 ビッグバン宇宙論 宇宙背景放射の存在を予言	

表 9-3-1(19)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
20 世紀				
ハーヴェル・アレクセーエヴィチ・チェレンコフ Pavel Alekseyevich Cherenkov	1904 年 1990 年	ロシア帝国	チェレンコフ効果の発見	ノーベル物理学賞 1958 年
ジョン・ローレンス John Hundale Lawrence	1904 年 1991 年	米国	放射線医学のバイオニア 放射性薬剤を用いた画像診断（シンチグラフィ）を開発	アーネスト・ローレンスの弟 SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography、単一光子放射断層撮影)
カール・デイヴィッド・アンダーソン Carl David Anderson	1905 年 1991 年	米国	陽電子の発見 宇宙線中にミュー粒子を発見	ノーベル物理学賞 1936 年
朝永振一郎	1906 年 1979 年	日本	量子電磁力学の確立(場の量子論) くりこみ理論(超多時間論) 朝永-ラッティンジャー液体(カーボンナノチューブ等の一次元電子) マグネトロン基礎理論	ノーベル物理学賞 1965 年
エルンスト・ルスカ Ernst August Friedrich Ruska	1906 年 1988 年	ドイツ	電子顕微鏡の基礎研究と開発	ノーベル物理学賞 1986 年
ハインツ・ロンドン Heinz London	1907 年 1970 年	ドイツ→米国	低温物理 超低温のヘリウム希釈冷凍機を発明	フリッツロンドンの弟
湯川秀樹	1907 年 1981 年	日本	中間子理論の提唱 強い相互作用	ノーベル物理学賞 1949 年
エドウィン・マクミラン Edwin Mattison McMillan	1907 年 1991 年	米国	超ウラン元素の発見 ネプツニウムの発見 シンクロトロン発案	ノーベル物理学賞 1951 年
ジョン・バーディーン John Bardeen	1908 年 1991 年	米国	トランジスタの発明 超伝導に関する BCS 理論	ノーベル物理学賞 1956 年(トランジスタ) ノーベル物理学賞 1972 年(超伝導)
ウィラード・フランク・リビー Willard Frank Libby	1908 年 1980 年	米国	炭素 14 を用いた放射性炭素年代測定法の開発 熱拡散によるウラン同位体の濃縮 環境工学を提唱	ノーベル化学賞 1960 年

表 9-3-1(20)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）



名前	生存年	出身国	主な業績	備考
20世紀				
レフ・ダヴィドヴィッチ・ランダウ Lev Davidovich Landau	1908年 1968年	ソ連・アゼルバイジャン	絶対零度近くでのヘリウム の理論的研究 ヘリウム3の物性	ノーベル物理学賞 1962年
ヘンドリック・カシミール Hendrik Casimir	1909年 2000年	ドイツ	静的カシミール効果 動的カシミール効果 (真空中の金属平板間)	ナノテクで注目
ウィリアム・ショックレー William Bradford Shockley Jr	1910年 1989年	米国	トランジスタの発明	ノーベル物理学賞 1956年
スブラマニアン・チャンドラセカール Subrahmanyan Chandrasekhar	1910年 1995年	英領インド帝国→ 米国	星の構造と進化 白色矮星の質量上限「チャンドラセカール質量」 恒星の終焉に関する「チャンドラセカール限界」	ノーベル物理学賞 1983年 チャンドラセカール・ラマンの甥
坂田昌一	1911年 1970年	日本	坂田模型 ニュートリノ振動を予測するPMNS行列	坂田学派、益川敏英ら多数の弟子
グレン・シーボーグ Glenn Theodore Seaborg	1912年 1999年	米国	アクチノイド系列を命名 超ウラン元素の発見 94～103 プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、バークリウム、カリホルニウム、アインスタイニウム、フェルミウム、メンデレビウム、ノーベリウム、ローレンシウムの発見	ノーベル物理学賞 1951年 106番の新元素はシーボーギウム
エドワード・ミルズ・パーセル Edward Mills Purcell	1912年 1997年	米国	液体中、固体中での <b>核磁気共鳴</b> を発見	ノーベル物理学賞 1952年
エフゲニー・リフシッツ Evgeny Mikhailovich Lifshitz	1915年 1985年	ソ連	物理学の教科書「理論物理学教程」	宇宙物理学
福井謙一	1918年 1998年	日本	有機電子論 フロンティア軌道理論を提唱	ノーベル化学賞 1981年

表 9-3-1(21)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
20 世紀				
リチャード・P・ファインマン Richard Phillips Feynman	1918 年 1988 年	米国	量子電磁気学を確立 経路積分 ファインマンダイアグラム ナノテクノロジーの提唱 量子コンピュータ	ノーベル物理学賞 1965 年
ジュリアン・シュウィンガー Julian Seymour Schwinger	1918 年 1994 年	米国	量子電磁気学を確立	ノーベル物理学賞 1965 年
フレデリック・ライネス Frederick Reines	1918 年 1998 年	米国	レプトンの研究 ニュートリノの検出	ノーベル物理学賞 1995 年
久保亮五	1920 年 1995 年	日本	線形応答理論 フーリエ変換 NMR の基礎理論	
林忠四郎	1920 年 2010 年	日本	ガモフらの宇宙の元素の起源に関する理論の訂正「アルファ・ベータ・ガンマ・ハヤシの理論」 太陽系の形成理論	宇宙物理学
南部陽一郎	1921 年 2015 年	日本、米国	量子色力学 自発的対称性の破れの発見 超弦理論の提唱	ノーベル物理学賞 2008 年
オーゲ・ニールス・ボーア Aage Niels Bohr	1922 年 2009 年	デンマーク	集団運動模型(統一模型)を提唱	ノーベル物理学賞 1975 年 ニールス・ボーアの息子
フリーマン・ダイソン Freeman John Dyson	1923 年	米国	量子電磁気学を確立	量子論、 宇宙物理学、 数多くの SF
江崎玲於奈	1925 年	日本	固体におけるトンネル効果の実証	ノーベル物理学賞 1973 年
アブドゥス・サラム Abdus Salam	1926 年	パキスタン	電弱相互作用理論を確立 ワインバーグ＝サラム理論	ノーベル物理学賞 1979 年
ポール・ラウターバー Paul Christian Lauterbur	1929 年 2007 年	米国	核磁気共鳴画像法 (MRI) に 関する発見	ノーベル生理学・医学賞 2003 年
マレー・ゲルマン Murray Gell-Mann	1929 年	米国	クォークモデル 量子色力学	ノーベル物理学賞 1969 年

表 9-3-1(22)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
20 世紀				
ピーター・ヒッグス Peter Ware Higgs	1929 年	英国	ヒッグス機構	ノーベル物理学賞 2013 年
アイヴァー・ジェーバ Ivar Giaever	1929 年	ノルウェー	固体におけるトンネル効果 の実証	ノーベル物理学賞 1973 年（江崎玲於奈 と共同受賞）
レオン・クーパー Leon Neil Cooper	1930 年	米国	超伝導を記述する BCS 理論 クーパー対	ノーベル物理学賞 1972 年
近藤享	1930 年	日本	近藤効果の発見 希薄磁性合金の電気抵抗極 小現象	
鈴木章	1935 年	日本	宮浦憲夫と共同で、バラジウ ム触媒を用いる「鈴木・宮浦 カップリング」を発見	ノーベル化学賞 2010 年
ジョン・ロバート・シ ュリーファー John Robert Schrieffer	1931 年	米国	超伝導を記述する BCS 理論	ノーベル物理学賞 1972 年
デビッド・リー David Morris Lee	1931 年	米国	ヘリウム 3 の超流動性の発 見	ノーベル物理学賞 1996 年
シェルドン・グラショ ウ Sheldon Lee Glashow	1932 年	米国	電弱相互作用理論を提唱	ノーベル物理学賞 1979 年
ジョン・ガードン Sir John Bertrand Gurdon	1933 年	英国	クローン技術の開発 →ES 細胞、iPS 細胞の開発 につながる研究	ノーベル生理学・医 学賞 2012 年
リヒャルト・R・エルン スト Richard Robert Ernst	1933 年	スイス	フーリエ変換 NMR の確立 →核磁気共鳴画像法 (MRI)	ノーベル化学賞 1991 年
ピーター・マンズフ ールド Sir Peter Mansfield	1933 年	英国	核磁気共鳴画像法 (MRI) に 関する発見	ノーベル生理学・医 学賞 2003 年
スティーヴン・ワイン バーグ Steven Weinberg	1933 年	米国	電弱相互作用理論を確立 ワインバーグ＝サラム理論	ノーベル物理学賞 1979 年
ハインリッヒ・ローラ ー Gerd Binnig	1933 年 2013 年	スイス	走査型トンネル顕微鏡の発 明	ノーベル物理学賞 1986 年
アーノ・アラノ・ペン ジァス Arno Allan Penzias	1933 年	ドイツ・米国	宇宙マイクロ波背景放射の 発見	ノーベル物理学賞 1978 年
根岸英一	1935 年	日本	C-C 結合生成物を得る根岸 カップリングを発見	ノーベル化学賞 2010 年

表 9-3-1(23)-ガス・物質の科学を築いた人々（物理学者、化学者、熱機関の開発者）

名前	生存年	出身国	主な業績	備考
ロバート・ウッドロウ・ウィルソン Robert Woodrow Wilson	1936年	米国	宇宙マイクロ波背景放射の発見	ノーベル物理学賞 1978年
クルト・ヴュートリッヒ Kurt Wüthrich	1938年	スイス	タンパク質の構造解析 多次元核磁気共鳴法	ノーベル化学賞 2002年
野依良治	1938年	日本	キラル触媒による不斉反応の研究	ノーベル化学賞 2001年
益川敏英	1940年	日本	小林・益川理論の提唱	ノーベル物理学賞 2008年
ブライアン・D・ジョセフソン Brian David Josephson	1940年	英国	ジョセフソン効果 超心理学研究、精神・物質統合プロジェクト	ノーベル物理学賞 1973年
スティーヴン・ホーキング Stephen William Hawking	1942年	英国	ブラックホールの蒸発理論 特異点定理	
アーサー・B・マクドナルド	1943年	日本	ニュートリノ振動の発見	ノーベル物理学賞 2015年
小林誠	1944年	日本	小林・益川理論の提唱	ノーベル物理学賞 2008年
佐藤勝彦	1945年	日本	インフレーション宇宙論の提唱	
ジョージ・スムート George Fitzgerald Smoot III	1945年	米国	宇宙マイクロ波背景放射の異方性の発見、COBE 探査機	ノーベル物理学賞 2006年
ジョン・C・マザー John Cromwell Mather	1946年	米国	宇宙マイクロ波背景放射の異方性の発見、COBE 探査機	ノーベル物理学賞 2006年
アラン・グース Alan Harvey Guth	1947年	米国	インフレーション宇宙論の提唱	
ゲルト・ビーニツヒ Gerd Binnig	1947年	ドイツ	走査型トンネル顕微鏡の発明	ノーベル物理学賞 1986年
アンドレイ・リンデ Andrei Dmitriyevich Linde	1948年	ソ連→米国	インフレーション宇宙論	
小澤正直	1950年	日本	不確定性原理における小澤の不等式	
梶田隆章	1959年	日本	ニュートリノ振動の発見	ノーベル物理学賞 2015年
山中伸弥	1962年	日本	iPS細胞 成熟細胞が初期化され多能性をもつことを発見	ノーベル生理学・医学賞 2012年
村山斉	1964年	日本	インフレーション宇宙論 超対称性理論	

表 9-3-2 科学・技術に貢献した家族  
科学や技術の優れた環境や家族からは、多くの秀才が輩出している

人名	年代、国	関係	業績
ヴィンチェンツォ・ガリレイ	1520～1591年、 フィレンツェ公国		非線形の数学を用いた自然現象の記述
ガリレオ・ガリレイ	1564～1642年、 フィレンツェ公国	ヴィンチェンツォの息子	科学革命。音楽家の弟ミケランジェロは芸術家のミケランジェロ・ブオナローティとは別人
カール・フォン・リンネ	1707～1778年、 スウェーデン		分類学の父。学名の分類記号はL
カール・フォン・リンネ	1741～1783年、 スウェーデン	大リンネの息子。父親と同姓同名	分類学、学名の分類記号はL.f.
アントワーヌ・セザール・バクレル	1788～1878年、 フランス		焦電効果 光起電力効果 (PV 効果)
アレクサンドル・エドモン・バクレル	1820～1891年、 フランス	アントワーヌ・セザール・の息子	光起電力効果 (PV 効果)
アントワーヌ・アンリ・バクレル	1852～1908年、 フランス	アレクサンドルの息子 バクレル家3代目の物理学者	放射線の発見 ノーベル物理学賞 (1903年)
ジャン・バクレル	1878～1953年、 フランス)	アントワーヌ・アンリの息子。バクレル家四代目	物理学者、相対性理論の研究
チャールズ・ロバート・ダーウィン	1809～1882年、 イングランド		地質学、生物学、進化論
ジョージ・ハワード・ダーウィン	1845～1912年、 イングランド	チャールズの息子	天文学者、数学者、月の分裂説
カール・フォン・リンデ	1842～1934年、 ドイツ	18世紀の大学者リンネと同じ名前	空気分離装置の発明
フリードリッヒ・リンデ	1870～1965年、 ドイツ	カールの息子	親子でダブルカラムプロセスを発明
ジャック・キュリー	1856～1941年、 フランス		圧電効果を発見
ピエール・キュリー	1859～1906年、 フランス	ジャック・キュリーの弟	圧電効果、放射線の発見、 ノーベル物理学賞 (1903年)
マリ・キュリー	1867～1934年、 ポーランド	ピエールの妻	放射線の発見、 ノーベル物理学賞 (1903年) ノーベル化学賞 (1911年)
イレヌ・ジョリオオニキュリー	1897～1956年、 フランス	ピエール/マリの娘	人工放射性元素の研究 ノーベル化学賞 (1936年)
フレデリック・ジョリオオニキュリー	1900～1958年、 フランス	イレヌの夫	人工放射性元素の研究 ノーベル化学賞 (1936年)
フェルディナント・ボルシェ	1875～1951年、 オーストリア		
フェルディナント・アントン・エルンスト・ボルシェ	1909～1998年、 オーストリア	フェルディナントの息子(別名フェリー・ボルシェ)	自動車デザイナー 親子でフォルクスワーゲンを開発。
フェルディナント・アレクサンダー・ボルシェ	1935～2012年、 ドイツ	フェリー・ボルシェの息子	3代にわたる自動車デザイナー。

ニールス・ Henrik・ ダヴィド・ ボーア	1885～1962年、 デンマーク		量子力学 ノーベル物理学賞 (1922年)
オーゲ・ ニールス・ ボーア	1922～ -2009年、 デンマーク	ニールス・ ボーアの息子	原子核物理 ノーベル物理学賞 (1975年)
フリッツ・ ロンドン	1900～ 1954年、 ドイツ		量子化学の創始者 ロンドンの発見
ハインツ・ ロンドン	1907～ 1970年、 ドイツ	フリッツの弟	超伝導、低温科学、希釈冷凍機の発明

表 9-3-3-科学・技術に貢献した師弟

影響を与えた人	関係	影響を受けた人
ガリレオ・ガリレイ	師弟	エヴァンジェリスタ・トリチェリ ロバート・ボイル
ロバート・ボイル	雇い主と助手	ロバート・フック
ティコ・ブラーエ	雇い主と助手	ヨハネス・ケプラー
ハンフリー・デービー	雇い主と助手	マイケル・ファラデー
ジョン・ドルトン	家庭教師と教え子	ジェームズ・シュール
ウィリアム・トムソン (ケルビン)	共同研究者	ジェームズ・シュール
ジャン=バティスト・ピオ	指導者と学生	ルイ・パスツール
ルドルフ・クラウジウス	大学教授	カール・フォン・リンデ ヴィルヘルム・レントゲン
カール・フォン・リンデ	大学教授、雇い主	ルドルフ・ディーゼル
ヘルマン・ミンコフスキー	大学准教授と学生	アルベルト・アインシュタイン ダフィット・ヒルベルト
アントワーヌ・アンリ・ベクレル	指導教官と学生	ビエール・キュリー マリ・キュリー
ジョゼフ・ジョン・トムソン	指導教官と研究生	アーネスト・ラザフォード ロバート・オッペンハイマー マックス・ボルン ヘンリー・ブラッグ
マックス・ボルン	師弟	ヴェルナー・ハイゼンベルク ジョン・フォン・ノイマン ヴォルフガング・パウリ
アーネスト・ラザフォード	指導教官と研究生	ニールス・ボーア ジェームズ・チャドウィック ジョン・コッククロフト ハンス・ガイガー オットー・ハーン ビョートル・カピッツァ ダグラス・ハートリー ポール・ディラック
ニールス・ボーア	ボーア研究所、コペンハーゲン学派	ヴェルナー・ハイゼンベルク エルヴィン・シュレーディンガー
仁科芳雄	指導者と学生	湯川秀樹 朝永振一郎

表 9-3-4 科学の進展によくある新学説

古い学説	主な提唱者	新たな提唱者	主張あるいは結論
ユークリッド幾何学	エウクレイデス 平行線公準	リーマンなど	曲面上の幾何学(非ユークリッド幾何学)、リーマン幾何学、楕円幾何学
真空嫌悪説	ルネ・デカルト	オットー・フォン・ゲーリケ	マルデブルクの半球実験によって真空を実証
天動説	キリスト教会など	ニコラウス・コペルニクス ガリレオ・ガリレイ ヨハネス・ケプラー	天動説が破綻、科学の世界では地動説が主流になった
フロギストン説	ヘンリー・キャヴェンディッシュなど	アントワーヌ・ラヴォアジエ	ラヴォアジエは、フロギストン説を否定することに成功したが、新たに提唱した燃素(元素)説によって化学が混乱した。
燃素説	アントワーヌ・ラヴォアジエ	ジョン・ドルトン	燃素説を否定して、原子説を提唱。 現代化学の基礎を築いた。
活力論争	ルネ・デカルト派(後の運動量) ゴットフリート・ライブニッツ派(後の運動エネルギー)	レオンハルト・オイラーによる解釈 トマス・ヤングによるエネルギーの導入	活量はエネルギーという新たな概念を得た。 アインシュタインの特殊相対性理論によってエネルギーと運動量は統一されたテンソルとなった。
空気は窒素と酸素からなる	空気は酸素と窒素からなるという化学の常識	レイリー/ ウィリアム・ラムゼー	新元素アルゴンを空気から発見
永久気体	液化しない永久ガスが存在するという19世紀末の定説	ジェームス・デュワーなど多数の研究者	ヘイケ・オネスがヘリウムを液化して永久気体という概念自体が消滅した
単原子分子の非存在	原子は単独では存在できないという化学の常識	ウィリアム・ラムゼー	希ガスは、単原子でも存在できることが判明した。 ラムゼーはアルゴン化合物の探索中に、新元素ヘリウムを発見
希ガスの不活性	希ガスは化合物を作らないという化学の常識	ライナス・ポーリング	希ガスも化合物を作ることができ、厳密には不活性ではないことが判明。 発見からごく短い期間、希ガスは不活性であった。
エーテル仮説	クリスティアン・ホイヘンス、ヘンドリック・ローレンツなど多数	アインシュタインの特殊相対性理論と光子量子仮説によってエーテルは不要となった	マイケルソン・モーリーの実験からエーテルの非存在が立証された
因果律	古典物理学における因果律		「現在の状態を完全に指定すればそれ以後の状態はすべて一義的に決まる」「現在の状態が分かれば過去の状態も分かる」(ラプラスの悪魔)
	現代物理学における因果律	アインシュタイン	「光速を超える情報の伝播は存在しない」という原理

		ヴェルナー・ハイゼンベルク他	不確定性原理
ラプラスの悪魔と決定論的物理学	ピエール＝シモン・ラプラス	ヴェルナー・ハイゼンベルク、ニールス・ボーア	未来の決定性を論じる時に仮想された超越的存在の概念。不確定性原理によって否定された。アインシュタインは不確定原理と量子力学に猛反対したが、現在はラプラスの悪魔は存在しない。
マクスウェルの悪魔		ジェームズ・クラーク・マクスウェル	熱力学第二法則の方が正しいことが、1980年代になって最終的に解決した。
絶対空間、絶対時間の原理	アイザック・ニュートンなど	アルベルト・アインシュタイン	「特殊相対性理論」によって時空はミンコフスキー空間の幾何学となった
万有引力の法則	アイザック・ニュートンなど	アルベルト・アインシュタイン	「一般相対性理論」によって重力を説明。200年間信じられてきた万有引力の法則が正しくないことが証明された。

表 9-3-5 科学の世界に現われた万能人と天才

人名	時代	内容
レオナルド・ダ・ヴィンチ	1452～1519年	ルネッサンス時代の万能人 (uomo universale)。音楽、建築、数学、幾何学、解剖学、生理学、動植物学、天文学、気象学、地質学、地理学、物理学、光学、力学、土木工学など 通称「ダ・ヴィンチ」
ミケランジェロ・ブオナローティ	1475～1564年	万能人であり、最大の西洋美術家（絵画、建築、彫刻） 通称「ミケランジェロ」
ロバート・フック	1635～1703年	17世紀科学革命の万能人。 はじめての職業物理学者。生物学、物理学、天文学から光学機器や機械加工など多才。
マイケル・ファラデー	1791～1867年	化学、物理学、電気化学から環境学、安全工学などの美学まで、19世紀の万能人。英国史上最大の科学者
ニコラ・テスラ	1856～1943年	20世紀の文明を変えた天才発明家
アルベルト・アインシュタイン	1879～1955年	世界を変えた天才物理学者
ライナス・ポーリング	1901～1994年	20世紀を代表する化学の天才。 核物理、化学、生物学、心理学など多才な万能人



表 9-3-6 科学の進展によくある論争

学説	提唱者	主な反対者	結論
石油の無機起源説	ドミトリ・メンデレーエフ、ロシア・ウクライナ学派、トーマス・ゴールド	米国、日本などでは、石油を化石燃料とする有機起源説が主流。米国ではかつては有機起源説は「異端」とされた	学問としては未確定であるが、西欧では有機起源説が優性、石油・天然ガスを枯渇性資源とする風潮が強い。 ただし、無機起源説を異端としていた米国の学界は近年になって方針を変更し、科学的な検討が行われるようになった。
光の波動説	トマス・ヤングなど多数	アイザック・ニュートン（粒子説）	アインシュタインの光子説により波動説と粒子説は両方が事実
エネルギー量子	マックス・プランク	ジョン・ウィリアム・ストラット（レイリー卿）	古典物理学から現代物理学へ。レイリーは量子の概念を認めなかった
原子核の崩壊	アーネスト・ラザフォード	ウィリアム・トムソン（ケルビン卿）	古典物理学から現代物理学へ。ケルビンは、原子核の崩壊、放射性物質や地球にある古い鉱物の存在などを認めなかった。 数々の事実がラザフォードらの正しさを証明
不確定性原理	ヴェルナー・ハイゼンベルク ニールス・ボーア	アルベルト・アインシュタインらによる隠れた変数理論	アインシュタインは、物理学における不確定性を認めなかった。 現在は、不確定性原理が優性。
中間子論	湯川秀樹	ニールス・ボーアによる新粒子の否定	ボーアらは、理論上の仮想粒子の提案に基本的に反対した。 中間子は実際に存在する。
フリードマン宇宙論、ビッグバン宇宙論	ジョルジュ・ルメートル ジョージ・ガモフ	フレッド・ホイル、アルベルト・アインシュタインらの定常宇宙論者	エドウィン・ハッブルによるハッブルの法則の発見、ペンジアスらによるCBMの発見、COBEの観測などによって定常宇宙論は、否定された。 無限、永遠という概念は、物理学からなくなった。
地球の温暖化	IPCC	気候研究者ら	温暖化、気候変動は非常に難しい学術課題と政治課題を含むが、科学的には難題である。
温暖化と人為的二酸化炭素の影響	IPCC、COP、国連、各国政府	米国物理学会など	

## 9.4 元素表と元素の発見者

周期律に従う元素の周期表（テーブル）は様々な方法で入手できる。ここでは原子番号の順に発見者をまとめる。現在は、天然に存在する元素は全て発見されており、新たに発見される元素は人工的に作り出されている。

表9-4-1 元素の発見者

原子番号	元素記号	元素名	発見年	発見者	発見者の国・職業	備考
1	H	水素	1766年	ヘンリー・キャヴェンディッシュ	イングランド 化学者	ラヴォアジエが命名
2	He	ヘリウム	1868年	ノーマン・ロッキヤー	イングランド 天文学者	地球上での発見はラムゼー・1895年
3	Li	リチウム	1817年	ヨアン・オーガスト・アルフェドソン	スウェーデン 化学者	命名はイェンス・ベルセリウス
4	Be	ベリリウム	1798年	ルイ＝ニコラ・ヴォークラン	フランス 薬師	緑柱石から
5	B	ホウ素	1811年	ジョセフ・ルイ・ゲイ＝リュサック	フランス 化学者	ホウ砂から
				ルイ・テナル	フランス 化学者	
				ハンフリー・デービー	イングランド 化学者	
6	C	炭素	古代			ラヴォアジエが命名
7	N	窒素	1772年	ダニエル・ラザフォード	スコットランド 植物学者	ラヴォアジエが命名
8	O	酸素	1774年	ジョゼフ・プリーストリー	イングランド 神学者	ラヴォアジエが命名
9	F	フッ素	1886年	アンリ・モアッサン	フランス 化学者	反応性が高く単離は難航
10	Ne	ネオン	1898年	ウィリアム・ラムゼー	スコットランド 化学者	液体空気の研究から新たな希ガスとして発見された
				モリス・トラバース	イングランド 化学者	
11	Na	ナトリウム sodium	1807年	ハンフリー・デービー	イングランド 化学者	元素記号のNaはドイツ語から。IUPACは英語のsodiumを採用

12	Mg	マグネシウム	1755年	ジョゼフ・ブラック	スコットランド 物理学者	マグネシアの産地ギリシャ・マグネシア県
13	Al	アルミニウム	1825年	ハンス・クリスティアン・エルステッド	デンマーク 物理学者	命名はハンフリー・デービー ラテン語Alumen ミョウバンから
14	Si	ケイ素 silicon	1823年	イエンス・ベルセリウス	スウェーデン 化学者、医師	ラヴォアジエが元素であること示した。 ラテン語silex、燧石から。 その後ベルセリウスが単離
15	P	リン phosphorus	1669年	ヘニッヒ・ブランド	ドイツ 錬金術師	ギリシャ語の phosphoros、光をはこぶもの、から
16	S	硫黄 sulfur	古代			ラテン語の「燃える石」から
17	Cl	塩素 chlorine	1774年	カール・ヴィルヘルム・シェーレ	スウェーデン 化学者、薬学者	命名はハンフリー・デービー ギリシャ語のchloros 「黄緑色」から
18	Ar	アルゴン	1894年	ウィリアム・ラムゼー	スコットランド化学者	
				レイリー (ジョン・ウィリアム・ストラット)	イングランド物理学者	
19	K	カリウム potassium	1807年	ハンフリー・デービー	イングランド 化学者	アラビア語の「植物の灰」からドイツ語のカリウム。 英語は、草木灰 potashから。
20	Ca	カルシウム	1808年	ハンフリー・デービー	イングランド 化学者	ラテン語の calx (石)、calcsis (石灰) から
21	Sc	スカンジウム	1879年	ラーズ・フレデリク・ニルソン	スウェーデン 化学者	スカンジナビアの地名から
22	Ti	チタン	1795年	マルティン・ハインリヒ・クラプロート	ドイツ 化学者	チタンが単体で分離されたのは1910年
23	V	ヴァナジウム	1830年	ニルス・ガブリエル・セフストレーム	スウェーデン 化学者	スカンジナビア神話の女神「バナジス」
24	Cr	クロム	1791年	ルイ＝ニコラ・ヴォークラン	フランス 薬師	ギリシャ語の「色」

25	Mn	マンガン	1774年	カール・ヴィルヘルム・シエーレ	スウェーデン化学者	マンガンを発見
			1775年	ヨハン・ゴットリーブ・ガーン	スウェーデン鉱山技師	マンガンを単離
26	Fe	鉄 iron	古代	紀元前3000年	不詳	元素記号はラテン語の「ferum」
27	Co	コバルト	1737年	イエオリ・ブランド	スウェーデン化学者、鉱物学者	ドイツ語「地の妖精」
28	Ni	ニッケル	1751年	アクセル・フレドリック・クルーンステット	スウェーデン化学者、鉱物学者	ニコライトより単離
29	Cu	銅 copper	古代より	約1万年前から	不詳	元素記号はラテン語の「cuprum」
30	Zn	亜鉛 zinc	古代より	欧州に金属亜鉛が伝わるのは17世紀から	不詳	鉛の副産物として得られる亜鉛の表面が楡の筒 (Zinken) 様
31	Ga	ガリウム	1875年	ポール・ボアボードラン	フランス化学者	フランスのラテン名「ガリア」から
32	Ge	ゲルマニウム	1886年	クレメンス・ヴィンクラウ	ドイツ化学者	ドイツの古名「ゲルマニア」
33	As	砒素 arsenic	1250年	アルベルトゥス・マグヌス	ドイツ神学者	ギリシャ語：「arsenikon、黄色の顔料」から
34	Se	セレン selenium	1817年	イエンス・ベルセリウス	スウェーデン化学者、医師	ギリシャ語「Selēnē、月」から。周期表でテルル（地球）の上にあるため
35	Br	臭素 bromine	1826年	アントワーヌ・ハラー	フランス化学者	ギリシャ語「bromos、悪臭」から
36	Kr	クリプトン	1898年	ウィリアム・ラムゼー	スコットランド化学者	液体空気より分離。ギリシャ語「kryptos、隠れる」から
37	Rb	ルビジウム	1861年	ロベルト・ブンゼン	ドイツ化学者	ラテン語「rubidus、暗赤色」より
				グスタフ・キルヒホフ	ドイツ物理学者	
38	Sr	ストロンチウム	1793年	マルティン・ハインリヒ・クラプロート	ドイツ化学者	スコットランドのストロンチーアン村で発見された
39	Y	イットリウム	1794年	ヨハン・ガドリン	フィンランド化学者、鉱物学者	スウェーデンのイッテルビー村
40	Zr	ジルコニウム	1789年	マルティン・ハインリヒ・クラプロート	ドイツ化学者	アラビア語「シリコン、金色の宝石」から

41	Nb	ニオブ	1801年	チャールズ・ハチエ ット	イングランド 化学者	当初はコロンビウム と命名されたが翌年 発見されたタンタル と混同され混乱し た。現在も国によっ てはコロンビウムと 呼ぶ。
			1846年	ハインリヒ・ローゼ	ドイツ 鉱物学者	再発見された。 ギリシャ神話のタン タロスの娘ニオブ (niobe) から命名
42	Mo	モリブデン	1778年	カール・ヴィルヘル ム・シェーレ	スウェーデン 化学者、薬学者	ギリシャ語「モリブ ドス、鉛」より
43	Tc	テクネチウ ム	1937年	エミリオ・セグレ	イタリア 物理学者	元素の発見は混乱し た。旧ニッポニウム
44	Ru	ルテニウム	1844年	カール・エルンス ト・クラウス	ロシア 化学者	ラテン語の地名「ル ーシ」から。ルーテ ニア、ロシア、ウク ライナなども同じ語 源
45	Rh	ロジウム rhodium	1803年	ウィリアム・ハイ ド・ウォラストン	イングランド 物理学者	ギリシャ語「rhodeos、 バラ色」から
46	Pd	パラジウム palladium	1803年	ウィリアム・ハイ ド・ウォラストン	イングランド 物理学者	ギリシャ神話トリ トーンの娘「パラス」 →小惑星パラスの発 見1802年→パラジウ ムの発見
47	Ag	銀 silver	古代	紀元前3000年ごろ		元素記号はラテン語 「argentum」から。 アルゼンチンと同じ 語源
48	Cd	カドミウム cadmium	1798年	フリードリヒ・シュ トロマイヤー	ドイツ 化学者	ギリシャ語 「Kadmeia、(菱亜鉛 鉱) から
49	In	インジウム indium	1863年	フェルディナン ト・ライヒ	ドイツ 化学者	インディゴ(青色) のスペクトルから
				テオドール・リヒタ ー	ドイツ 化学者	
50	Sn	スズ tin	古代	青銅の材料として 紀元前3000年頃か ら		元素記号は、ラテン 語の「stannum」から
51	Sb	アンチモン antimony	古代	顔料(化粧品) アラビア錬金術の アンチモンが伝わ る。		元素記号はラテン語 「stibium、輝交鉱」 から
52	Te	テルル tellurium	1782年	ミュラー・フォン・ ライヒェンシュタ イン	オーストリア 化学者	命名は、マルティ ン・クラプロート ラテン語「Tellus、地 球」から

53	I	ヨウ素 iodine	1811年	ベルナール・クルトア	フランス 化学者	ゲイ＝リュサックが公表した。ハンフリー・デービーが新元素であることを確認した。
54	Xe	キセノン xenon	1898年	ウィリアム・ラムゼー	スコットランド 化学者	液体空気からギリシャ語の「xenos、なじみにくいもの」から
				モリス・トラバース	イングランド 化学者	
55	Cs	セシウム caesium	1860年	ロベルト・ブンゼン	ドイツ化学者	ラテン語「caesius灰青色」から
				グスタフ・キルヒホフ	ドイツ化学者	
56	Ba	バリウム barium	1774年	カール・ヴィルヘルム・シェーレ	スウェーデン 化学者、薬学者	単離はハンフリー・デービー。ギリシャ語の「barys、重い」
57	La	ランタン	1839年	カール・グスタフ・モサンデル	スウェーデン 化学者	ギリシャ語の「lanthanein、人目を避ける」
58	Ce	セリウム cerium	1803年	マルティン・ハイน์リヒ・クラプロート	ドイツ 化学者	第一発見者を巡って紛争。準惑星ケレスからセリアと命名。その後改名。
59	Pr	プラセオジウム／ プラセオジウム praseodymium	1885年	カール・ヴェルスバッハ	オーストリア 化学者	ギリシャ語の「prason、ニラ」と「didymos、双子」を合成。プラセオジウムはドイツ語から
60	Nd	ネオジミウム ／ネオジウム neodymium	1885年	カール・ヴェルスバッハ	オーストリア 化学者	プラセオジウムと同時に発見。元はシジミウムというひとつの元素と思われた。ネオジウムはドイツ語から
61	Pm	プロメチウム promethium	1945年	ジェイコブAマリンスキー	米国 化学者	安定同位体が存在しないため発見がかなり遅い。チルトン研究所（現ORNL）で発見された。
				ローレンスEグレンドン	米国 化学者	
				チャールズWコリエル	米国 化学者	
62	Sm	サマリウム samarium	1880年	ポール・ボアボードラン	フランス 化学者	新鉱物を発見したワシーリー・サマルスキー＝ピホヴェッツに因んで献名
63	Eu	ユウロピウム europium	1901年	ウジェーヌ・ドマルセー	フランス 化学者	ヨーロッパより

64	Gd	ガドリニウム gadolinium	1880年	ジャン・マリニャック	スイス 化学者	鉱物学者ヨハン・ガドリンに因む
65	Tb	テルビウム terbium	1843年	カール・グスタフ・モサンデル	スウェーデン 化学者	スウェーデンのイッテルビー村から
66	Dy	ジスプロシウム dysprosium	1886年	ポール・ポアボードラン	フランス化学者	ギリシャ語の「dysprositos、近付きがたい」
67	Ho	ホルミウム holmium	1879年	ペール・テオドール・クレーベ	スウェーデン 地質学者	ストックホルムのラテン名「Holmia」から
68	Er	エルビウム erbium	1843年	カール・グスタフ・モサンデル	スウェーデン 化学者	スウェーデンのイッテルビー村から
69	Tm	ツリウム thulium	1879年	ペール・テオドール・クレーベ	スウェーデン 地質学者	スカンジナビアの古名トゥーレから
70	Yb	イッテルビウム ytterbium	1878年	ジャン・マリニャック	スイス 化学者	スウェーデンのイッテルビー村から
71	Lu	ルテチウム lutetium lutecium	1905年	カール・ヴェルスバッツハ	オーストリア 化学者	スペクトル分析から発見
			1907年	ジョルジュ・ユルバン	フランス 化学者	単離に成功。パリの古名「lutetia、ルテティア」から
72	Hf	ハフニウム hafnium	1923年	ディルク・コスター	オランダ 物理学者	コペンハーゲンのラテン語名「hafnia、ハフニア」から。ニールス・ボーア研究所で発見
				ゲオルク・ド・ヘヴェシー	ハンガリー 化学者	
73	Ta	タンタル tantalum	1802年	アンデシュ・エーケベリ	スウェーデン 化学者	ニオブとの混合物として発見された
			1846年	ハインリヒ・ローゼ	ドイツ	単離に成功。ギリシャ神話のタンタロス王から命名。和名のタンタルはドイツ語から
74	W	タングステン tungsten	1781年	カール・ヴィルヘルム・シェーレ	スウェーデン	タングステン酸を分離。スウェーデン語「tungsten、重い石」
			1783年	ファン・ホセ・デ・エルヤル	スペイン 化学者	単離に成功して「Wolfram」と命名。
				ファウスト・エルヤル	スペイン 化学者	元素記号はドイツ語
75	Re	レニウム rhenium	1925年	ワルター・ノダック	ドイツ化学者	ライン川のラテン名Rhenusから
				イーダ・タッケ	ドイツ化学者	ワルター・ノダックの妻
				オットー・ベルク	ドイツ化学者	

76	Os	オスミウム osmium	1803年	スミソン・テナント	イングランド 化学者	ギリシャ語の「osmè、 におい」
77	Ir	イリジウム iridium	1803年	スミソン・テナント	イングランド 化学者	ギリシャ神話の虹の 女神「Iris、イリス」
78	Pt	白金 platinum	1741年	チャールズ・ウッド	イングランド 鉄器製造業者	白金そのものは古代 より利用されていた
79	Au	金 gold	古代			元素記号はラテン語 の「aurum」
80	Hg	水銀 mercury	古代			元素記号はラテン語 「hydrargyrum」
81	Tl	タリウム thallium	1860年	ウィリアム・クルッ クス	イングランド 物理学者	ギリシャ語「thallos、 緑の小枝」から
82	Pb	鉛 lead	古代			元素記号はラテン語 「plumbum」
83	Bi	ビスマス bismuth	1753年	クロード・F・ジョ フロア	フランス 薬学者	ドイツ語 「Wiesemutung、草原 の探掘許可権」から 「Wismutビスマス」
84	Po	ポロニウム polonium	1898年	ビエール・キュリー	フランス 化学者	ラテン語「Polonia、 ポーランド」から
				マリ・キュリー	フランス 化学者	
85	At	アスタチン astatine	1940年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	ギリシャ語astatos、不 安定」から
86	Rn	ラドン	1900年	フリードリヒ・エル ンスト・ドルン	ドイツ 物理学者	ドルン、ラザフォード、 ラムゼーが夫々 別の名前で呼んだ。 ラジウムから生まれ る気体の意味から、 ラテン語「radius」か らラドンと命名され たのは1923年
87	Fr	フランシウ ム francium	1941年	マルグリット・ベレ ー	フランス 物理学者	天然に発見された最 後の元素。以降の元 素は人工元素として 発見された。
88	Ra	ラジウム	1898年	ビエール・キュリー	フランス 化学者	ラテン語の「radius」 から
				マリ・キュリー	フランス 化学者	
89	Ac	アクチニウ ム actinium	1899年	アンドレ＝ルイ・ド ビエルヌ	フランス 化学者	ギリシャ語「aktis放 射線」から
90	Th	トリウム thorium	1828年	イエンス・ベルセリ ウス	スウェーデン 化学者、医師	北欧神話の雷神トー ル
91	Pa	プロトアク	1917年	リーゼ・マイトナー	オーストリア	



		チニウム			物理学者	
92	U	ウラン uranium	1789年	マルティン・ハイ ンリヒ・クラプロ ート	ドイツ 化学者	天王星 (Uranus) と 同じ頃発見された
93	Np	ネプツニウム neptunium	1940年	エドウィン・マクミ ラン エミリオ・セグレ	米国 物理学者 イタリア 物理学者	海王星「Neptune」か ら
94	Pu	プルトニウム plutonium	1941年	グレン・シーボーグ エドウィン・M・マ クミラン J・W・ケネディー A・C・ワール	米国化学者	冥王星「Pluto」から カリフォルニア大学 バークレー校
95	Am	アメリシウム americium	1945年	グレン・シーボーグ	米国 化学者	周期表でユーロピウ ムの真下に位置する ことアメリカとし た。
96	Cm	キュリウム curium	1944年	グレン・シーボーグ	米国 化学者	カリフォルニア大学 バークレー校
97	Bk	バークリウム berkelium	1949年	グレン・シーボーグ	米国 化学者	
98	Cf	カリホルニウム californium	1950年	グレン・シーボーグ	米国 化学者	
99	Es	アインスタ イニウム einsteinium	1952年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	
100	Fm	フェルミウム	1953年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	水素爆弾実験から発 見
101	Md	メンデレビ ウム	1955年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	
102	No	ノーベリウム	1955年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	
103	Lr	ローレンシ ウム	1961年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	サイクロトロンを発 明したアーネスト・ ローレンスに因む
104	Rf	ラザホーシ ウム	1969年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	アーネスト・ラザフ ォードに因む
105	Db	ドブニウム	1970年	アルバート・ギオル ソ リアム・モーランド	米国 物理学者 ソ連 物理学者	ソ連のドブナ研究所 に因んで1997年に命 名
106	Sg	シーボーギ ウム	1974年	アルバート・ギオル ソ	米国 物理学者	グレン・シーボーグ に因む

107	Bh	ボーリウム	1981年	ゴットフリート・ミ ュンツェンベルク	ドイツ物理学者、 ドイツ重イオン研 究所	ニールス・ボーアに 因んで1997年に命名
108	Hs	ハッシウム	1984年	ペーター・アルムブ ルスター	ドイツ 物理学者	ドイツヘッセン州の ラテン語名、「hassia、 ハッシア」
109	Mt	マイトネリ ウム	1982年	ペーター・アルムブ ルスター	ドイツ 物理学者	リーゼ・マイトナー に因む
110	Ds	ダームスタ チウム	1994年	ペーター・アルムブ ルスター	ドイツ 物理学者	重イオン研究所のあ るダルムシュタット 市
111	Rg	レントゲニ ウム	1994年	ジクルト・ホフマン	ドイツ 物理学者	ヴィルヘルム・レン トゲンのX線発見 100周年より
112	Cn	コペルニシ ウム	1996年	ジクルト・ホフマン	ドイツ 物理学者	2010年コペルニクス の誕生日にIUPACで 承認
113	Nh	ウンウントリ ウム	2016年	理化学研究所	日本・研究所	ニホニウムNhとな る予定
114	Fl	フレロビウム	1998年	ドゥブナ合同原子 核研究所	ロシア・研究所	ドゥブナ合同原子核 研究所設立者ゲオル ギー・フリョロフに 因む
115		ウンウンペン チウム	2004年	ドゥブナ合同原子 核研究所とローレ ンス・リバモア国立 研究所合同チーム		IUPACが115番と117 番の元素を承認 (2015年)
116	Lv	リバモリウム	2000年	ドゥブナ合同原子 核研究所	ロシア・研究所	米ローレンス・リバ モア国立研究所に因 む
117		ウンウンセブ チウム	2009年	ドゥブナ合同原子 核研究所	ロシア・研究所	
118	Og	オガネソン	2002年	ドゥブナ合同原子 核研究所とローレ ンス・リバモア国立 研究所合同チーム	ロシア・研究所	ドゥブナ合同原子核 研究所の研究員「ユ ーレイ・オガネシア ン」に因む。希ガス のため「-on」が付く

- 新元素の命名権は IUPAC の評議会で決定される。
- 40 番：米国のコロンブタイト石から発見された元素は、1949 年に IUPAC によって正式名称をニオブとされたが、現在でも「コロンビウム」と呼ぶ国がある。
- 98 番：カリフォルニアに因む元素の日本語名は「カリホルニウム」である。カリフォルニウムではない。
- 104 番：ラザフォードに因む元素の日本語名は、ラザホージウム。ラザフォージウムではない。
- Np はかつて 43 番新元素「ニッポニウム」の記号であったが、この時の元素は実際は 75 番元素（セニウム）であり、43 番元素はテクネチウムであった。廃案となった記号は、現在 93 番元素ネプツニウムとして使用されている。