



古代ギリシャ四元素説のイメージ

哲学者エンペドクレス(紀元前490～紀元前430年ころ)は、物質の根源を「土、水、火、空気」の4元素からできていると考えた。

元素探究 の歩み

Science Story

●東北大学名誉教授 吉原 賢二氏

人類は古代から石器、青銅器、鉄器と道具が進化する過程で自然界にない新しい材料を生み出してきました。文明を進化させるためには、物質を構成する要素である「元素」を知り、活用することが欠かせませんでした。古代から近代に至る元素探究の歩みをたどります。

物質の性質が 科学的に見えてくる

古代から知られていた元素に炭素、金、銀、銅、硫黄、スズ、鉛、水銀、鉄の9種類があります。ただし現代のように、すべての物質をつくる元素の実体が原子であるとは考えられていませんでした。

古代ギリシャの元素観を見ると、紀元前5世紀、哲学者タレスは「万物の源は水である」と考えました。これが人類初の元素論といわれています。さらにエンペドクレスが「万物は土、水、火、空気の4元素からできている」(四元素説)、デモクリトスが「世界は無数の原子でできている」(原子論)と唱えました。なかでも四元素説は、アリストテレスによって発展し、その後2000年間も信じられてきました。

一方、紀元前3600年ごろの古代メソポタミアで、人類は加熱して溶かした銅にスズを加えると青銅ができることを発見しました。青銅器は銅などに比べれば硬く、加工もできたので武器や生活の道具に欠かせないものとなりました。その後も鉄器をはじめ、いろいろな材料を用いて金属器が作られ、文明が育まれました。金属の技術が進むと、古代エジプトで鉛のような安価な金属から高価な金をつくらうとする試みが行われました。いわゆる錬金術です。錬金術は世界各地で行われました。特に欧州の王侯たちは中世まで競って錬金術師を召し抱え、富を得ようとしていました。錬金術は結局成功しませんでした。さまざまな発明や元素の発見などをもたらし、のちの科学の発展に貢献しました。

17世紀に入ると、元素は合理的に科学として探究されるようになりました。イギリスの



© イメージナビ

中世ヨーロッパの錬金術

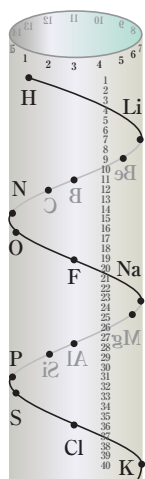
錬金術によって、物質の変換過程(化学反応)が研究されたことが、ヨーロッパに科学が発展する基礎となった。

周期表が誕生するまで

水素	窒素	炭素	酸素
リン	硫黄	ナトリウム	カルシウム
鉄	亜鉛	銅	鉛
銀	白金	金	水銀

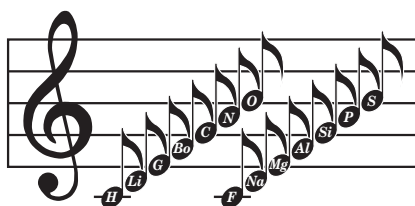
ジョン・ドルトンの元素記号 (1803年)

ドルトン(1766~1844)は独自の元素記号を開発して化学反応を記述したが、現在はアルファベットでの表記が国際的に使われている。



地のらせん(1862年)

フランスのペギエ・ド・シャンクルトワ(1820~86)は、元素をらせん状に並べると、性質が似ている元素が垂直に並ぶと法則性を説明したが、難解で理解されなかった。



オクターブの法則(1864年)

イギリスのジョン・ニューランズ(1838~98)は、最初の元素から8番目の元素が最初の元素に似ていると音符に例えて法則性を説明したが、原子量の大きい元素に当てはまらなかった。



© 東京工業大学・梶雅範教授

ドミトリ・メンデレーエフ像と周期表

メンデレーエフ(1834~1907)はサントペテルブルク大学で化学の教科書をつくる過程で周期表を1869年に完成。欧州から遅れをとっていたロシア学界をけん引した。1906年ノーベル化学賞候補となるが、受賞できず翌年亡くなった。

科学者ロバート・ボイルが、化学反応によって分割できない根源的な物質があるという「粒子説」を打ち出しました。そして18世紀には、ジョン・ドルトンがボイルの考えを発展させ、「原子論」にたどり着きました。ドルトンの原子論は、デモクリトスと異なり、化学反応は異なる粒子の組み合わせによって起こることを考え、原子は特定の大きさや重さを持っているとしました。原子量によって元素を探究する動きが始まりました。そして1869年、ロシアの化学者ドミトリ・メンデレーエフによって元素周期表が誕生しました。それまでも元素を原子量の順に並べていくと、同じような性質を持った元素が一定の周期で現れることはわかっていました。しかし誰も明確に整理することはできませんでした。メンデレーエフは順序を入れ替えたり、入れるべき未知の元素があるはずと考え空白をつくりました。その後、新しい元素が発見されるようになります。空白が埋められていき、メンデレーエフの周期表の正当性が証明されました。



東北帝国大学理科大学の化学科教授研究室

© 東北大学史料館

小川正孝は東北帝国大学総長室の隣に設置した個人実験室でニッポニウムの研究を行い、総長を退いた後も研究を続けた。

幻の元素ニッポニウム



小川が研究室で使っていた実験容器

© 吉原賢二



© 東北大学史料館

小川正孝 (1865~1930)

帝国大学(のちの東京帝国大学)の第1回卒業生で日本化学界の先達の一人。東北帝国大学理科大学長、同大学総長を歴任。研究第一主義を身をもって示した。

明治日本の化学者の挑戦

1909(明治42)年の周期表に、ニッポニウム(原子番号43 Np)が掲載されていました。それは小川正孝がロンドン大学に留学し、ウィリアム・ラムジー(1904年ノーベル化学賞受賞)の指導のもと発見したものでした。しかし残念ながらニッポニウムは、のちに周期表から落とされ、幻の元素と扱われてしまいました。

小川は誰にも負けない努力家で、優れた分析技術の持ち主でした。ロンドン大学でラムジーから与えられた研究テーマは、スリランカで発見された新鉱物トリアナイトの中の新元素発見でした。小川は熱心に研究し、その腕前はラムジーに認められました。そして留学した年の1904(明治37)年暮れごろ、早くも新元素と思われるものを見つけました。

1905(明治38)年初めごろ、ラムジーはドイツのフリードリヒ・ヴィルヘルム・オストヴァルト(1909年ノーベル化学賞受賞)への手紙で、小川が新元素を発見し、それはインジウム(In)に似ていると書いています。ラムジーは小川にニッポニウムという日本にちなんだ名をつけることを勧めました。小川は1906(明治39)年の帰国後も熱心に研究を続け、1908(明治41)年イギリスの化学雑誌『Chemical News』に新元素ニッポニウム発見を報告しました。ニッポニウムは大きな反響を呼び、欧州ではラムジーの支持のもと新元素発見は受け入れられました。

小川は1911(明治44)年、東北帝国大学理科大学教授・理科大学長に就任後、若手化学者たちに追試実験を依頼しました。しかし試料中



©吉原賢二

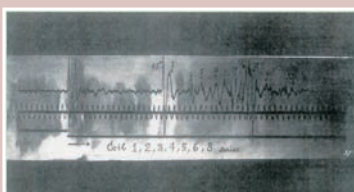
東京・常盤学舎時代の小川正孝

常盤学舎は松山藩士子弟が東京で勉強するための学生寮。幼少時に父を亡くした小川(後列右端)は、松山中学校卒業のとき奨学金を得て、帝国大学への進学の道が開けた。2年後輩に正岡子規(後列左から3人目)や秋山真之がいた。

のニッポニウム含量がごく微量だったため検出できません。欧州ではニッポニウムの続報がなかったため、その存在が疑問視され、ついにニッポニウムの名前は周期表から姿を消しました。小川は一人コッコツと実験を続けましたが、1930(昭和5)年実験中に倒れ、帰らぬ人となります。小川の次男である英次郎は、父の在職中に東北帝国大学化学教室を卒業し、九州帝国大学教授を務めていました。父の遺志を継いでニッポニウムの探索を精力的に行いましたが、1945(昭和20)年40歳で急逝してしまいます。親子二代にわたる研究は挫折しました。

小川正孝遺族保管の写真乾板

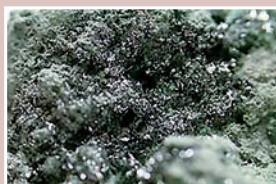
小川は1930(昭和5)年、東京帝国大学の木村健二郎教授(1896~1988)に試料のX線分光分析を依頼。結果は公表されなかったが、木村教授は「きれいなレニウムだった」とごく親しい友人に話していた。1954(昭和29)年の第五福竜丸被爆事件で、木村教授のもと放射線分析を行っていた吉原賢二氏は、東北大学教授を定年退官後、ニッポニウムに注目。調査の結果、2003(平成15)年レニウムであったことを立証した。



©吉原賢二

レニウム(原子番号75 Re)

ワルター・ノダック(1893~1960)らの故郷ドイツの象徴であるライン川のラテン名Rhenusにちなんで命名された。質量分析計のフィラメント、ジェットエンジンの超耐熱合金のほか、放射性レニウム標識化合物はがん治療に利用されている。



©iStone

その間、欧州ではX線を元素分析に応用する技術が発展しました。1925(大正14)年ドイツのワルター・ノダックらがX線を用いて、43番元素と75番元素を発見したと報告しました。小川がニッポニウムと主張した43番元素は確認されませんでした。75番元素は確定してレニウム(Re)と命名されました。そして43番元素は1937(昭和12)年イタリアのエミリオ・セグレらによって発見されました。自然界に存在しない世界初の人工放射性元素テクネチウム(Tc)でした。43番元素と考えられていたニッポニウムは間違いとされました。

それにしてもラムジーがあれば支持し、小川が生涯をかけて研究したニッポニウムが何の根拠もない幻とはおかしい話です。私(吉原賢二氏)は1996(平成8)年以来、約10年にわたり検証しました。小川の遺族が保管していたニッポニウムのX線分析写真乾板を解析したところ、75番元素レニウムと同一であることがわかりました。小川が新元素を見つけていたのは事実だったのです。ただし周期表の位置が1つ上になぜいたのです。

ニッポニウムは小川が明治日本の化学の黎明期に元素発見という大仕事に挑戦した大きなしるしであり、小川の努力は日本の化学史上忘れてはならないものです。そして約百年の時を越えて、理化学研究所で生成された113番元素が国際的に認められ、日本の悲願である新元素発見が果たされたことは大変うれしいことです。(談)



吉原賢二(よしはら・けんじ) 東北大学名誉教授

1929年新潟県生まれ。53年東北大学理学部化学科を卒業後、工業技術院電気試験所、日本原子力研究所副主任研究員を経て、82年東北大学理学部教授、93年定年退官。専門は放射化学。小川正孝のニッポニウムについての検証で、2008年化学史学会学術賞を受賞。イギリスBBC放送ホームページ元素辞典のレニウムの項目に小川のことをノダックらより先に記されるなど、ニッポニウム再評価のきっかけをつくった。

Q 113番元素はどのように発見されたのですか？

A 亜鉛(Zn)の原子核とビスマス(Bi)の原子核を衝突させ、融合させれば113番元素ができ上がります。しかし亜鉛の原子核の大きさが1兆分の1センチと余りにも小さく、ほとんどビスマスの原子核に衝突しません。たとえ衝突したとしても融合する確率が100兆分の1と大変小さいため、新元素発見は困難を極めました。日本の理化学研究所では2003年9月に実験を開始。大量の亜鉛原子核をビームにしてビスマスに当て続け、2004年7月やっと1つの113番元素が合成されました。そして2012年8月ついに3つ目を観測し、113番元素の合成に間違いなく成功。2016年1月、113番元素が国際的に新元素と認定され、その命名権をアジアで初めて日本が得ることが確定しました。なお現在のウンウントリウム(Uut)という名前は仮称です。



113番元素の合成の原理



113番元素発見で活躍した装置群

© 理化学研究所

10 11 12 13 14 15 16 17 18

																2 He ヘリウム
																10 Ne ネオン
																18 Ar アルゴン
28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン								
46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン								
78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン								
110 Ds ダームスタチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Uut ウンウントリウム	114 Fl フレロビウム	115 Uup ウンウンペンチウム	116 Lv リバモリウム	117 Uus ウンウンセプチウム	118 Uuo ウンウンオクテウム								

63 Eu ユウロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットリウム	71 Lu ルテチウム
95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインスタイニウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム

Q レアメタルとはどんな元素ですか？

A 地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属のうち、安定供給の確保が政策的に重要で、産業に利用されるケースが多い希少な非鉄金属を指し、構造材料へ添加して特性を向上させたり、電子材料・磁性材料などの機能性材料などに使用されています。なかでも21番スカンジウム(Sc)、39番イットリウム(Y)、57番ランタン(La)から71番ルテチウム(Lu)までの17種類のグループが、レアアース(希土類元素)と呼ばれています。

希土類
(レアアース)
元素

レアメタル

