



Isotope 101 年

富田 功

Tomita Isao

アメリカ化学会発行の *Chem. Eng. News*, Dec. 2 (2013)¹⁾ に, G.B. Kauffman 教授が “Celebrating the Isotope” という一文を載せている。Frederick Soddy (1877~1956 年, 写真 1) が 1913 年 12 月 4 日に *Nature*²⁾ 誌上に, isotopes (複数形については後述) という術語を提案してから 100 年になるという。Kauffman は, California State University の名誉教授で, かつて Soddy に関する著書³⁾ の編者もされており, この中には日本の放射化学研究の記述も含まれている⁴⁾。日本の放射化学研究の祖といわれる飯盛里安さとやす(元 理化学研究所名誉研究員, 1885~1982 年, 写真 2) は Oxford の Soddy の下に留学しているが, Soddy は, 幾つかの大学を渡り歩いており, 概観すると次のようである。

- ・ 1896~1898 年 Merton College, Oxford, 卒業
- ・ 1900~1902 年 McGill University, Montreal において化学科の demonstrator, 物理学科 Ernest Rutherford 教授と共同研究
- ・ 1903~1904 年 University College, London において William Ramsay 教授と共同研究
- ・ 1904~1914 年 Glasgow University, Scotland の lecturer
- ・ 1914~1919 年 Aberdeen University, Scotland の professor
- ・ 1919~1936 年 Oxford University, Lee's Professor of Chemistry



写真 1 Frederick Soddy (中津川市鉱物博物館)

彼が “isotopes” を提案したのは Glasgow 時代, 飯盛が Oxford の Soddy の研究室に留学したのは 1920~1921 年にかけてである。なお, 飯盛が isotope の訳語として “同位元素” を提案したのは 1919 (大正 8) 年のことである⁵⁾。

現在, isotopes は, 「同じ原子番号をもつ核種であって, 互いに質量数が異なるもの」⁶⁾ と定義されている。質量数は原子核を構成する核子の個数, すなわち陽子数と中性子数との和であるが, Soddy が isotopes を提案した 1913 年には中性子は発見されていなかった (中性子の発見は 1932 年)。

それでは Soddy はいかにして isotopes という概念に到達したのだろうか。それは Montreal



写真 2 飯盛里安 (中津川市鉱物博物館)

時代の Rutherford との 18 か月間の共同研究が重要なステップであった (この間、9 篇の共著論文を発表している)。二人は放射能の現象が、ある元素が α -, β -, γ 線などの放射線を出してほかの元素に変化していくことを見いだした。Soddy は、化学的手段を用いて壊変生成物を同定していった。彼らはウラン (92 番元素) とトリウム (90 番元素) を親とする 2 つの壊変系列の存在を示した。これら両系列の最終生成物は鉛 (82 元素) であった。そしてラジウム (88 番元素) の壊変で生じるのはヘリウム (2 番元素) であろうと予言している。

London 時代、Soddy と Ramsay は分光分析によって、ラジウムの α 壊変の結果、ヘリウムが生じることを確認した。Ramsay は、1904 年、空気中の希ガス類諸元素の発見と周期律におけるその位置の決定で Nobel 化学賞を受けた人である。

そして 1913 年、Soddy と K. Fajans は独立に“変位の法則” (displacement law) を展開する：

- 1) α 壊変で生じる元素は元の元素より原子番号が 2 だけ減り、原子量は 4 だけ減る。
- 2) β 壊変で生じる元素は元の元素より原子番号が 1 だけ増し、原子量は不変である。

すなわち、 α 壊変により元素は周期表上で 2 つ左へ移り、 β 壊変では周期表上で 1 つ右へ移

動する。 α 壊変を 1 回、 β 壊変を 2 回起こした原子核は、壊変する前の元素と同じ原子番号、つまり同じ元素になるが、原子量は 4 だけ少ない。また、ウランとトリウムの 2 系列からは原子番号は同じで、原子量の異なる原子が生じることになる。

なお、H.G.J. Moseley が元素に固有の特性 X 線の波数と、元素の原子番号との間に規則性があることを見だし (Moseley の法則)、原子番号が、原子量の大きさの順序というよりも明確な物理学的意味があることを示したのもこの頃である⁷⁾。1915 年、第 1 次世界大戦で Moseley が 27 歳の若さで戦死した時、Soddy の怒りと失望は非常なものだったという。

さらに、元素の周期表上での位置が原子内電荷 (intra-atomic charge) に対応するという見解を初めて示したのは Van den Broek というアマチュア科学者であったことが Soddy の Nobel lecture にも記されている⁸⁾。Van den Broek は、法律や計量経済学を学んだ人だが、当時の主要な科学雑誌に多くの論文を発表した。彼は原子のシリアル番号を原子の電荷と結びつけ、原子量から切り離している⁹⁾。この見解は Soddy や Rutherford から賞賛された¹⁰⁾。

このようにして isotopy (同位元素性) という概念に近づきつつあった Soddy だが、1913 年の論文の表現は、ひどく回りくどいものとなっている：

「原子核の正電荷数と負電荷数の算術和が異なって、代数和が同じとき、それらは周期表上で同じ場所を占めるから、私が isotopes あるいは isotopic elements と呼ぶ関係にある (算術和は数の正負を考えない絶対値の和、代数和は正負を考えている)。」

原子核に負電荷があるという記述は現在の知識からいえば誤りであるが、Soddy は β 粒子が原子核内に存在するという構図を描いていたと思われる。また、ここで isotopes などと複数形になっているのは、同じ元素の複数種の原子核の相対的な関係を述べているからであろう。後

年、それぞれの原子核に独立の意味を持たせた nuclide (核種) という術語が現れたが¹¹⁾、現在では、isotope も「アイソトープを使って……」などと、相対的な関係を気にしない使い方が主力のようである。

Isotopes の語源は、ギリシャ語の ἴσος (isos 同じ) と τόπος (topos 場所) に由来する。周期表上、同じ場所にある元素である。Kauffman の紹介する Soddy の回想では、Soddy は“化学的に同一で化学的手法では分離不可能な元素”と書くのに飽きてしまい、isotopes という語句を案出したという。また、Soddy の門下生、Alexander Fleck に よ れ ば、Soddy 夫 妻 の Glasgow 時代の友人、Margaret Todd (ペンネーム Graham Travers) がディナーパーティーの席でこの語を提案したものという。

Isotopes の提案から 1 か月以内に、Soddy と Henry Hyman¹²⁾、その他 3 つのグループによって、ラジウムの壊変で生じた鉛の原子量が天然の鉛のそれと異なることが実証され、isotopes の概念は実験的にも証明された。正に今から 100 年前 (1914 年) のことである。

“変位の法則”を見る限り、Fajans も“同位元素性”を主張できる立場にあったと思われるかもしれない。ただ、Soddy が、原子核の崩壊を強く意識しているのに対し、Fajans はそこまで踏み込んでいなかった¹³⁾。むしろ彼は、多くの“isotopes”の出現によって従来の周期律が生き残れないと考えた¹⁰⁾。彼も化学的には同一で、原子量が異なるグループを pleiad (ギリシャ神話のプレイアデス、ヒアデスの異母姉妹) と名付けたが、普及するには至らなかった。

飯盛が isotope を“同位元素”と訳したことは前述の通りだが、現在では“同位体”が一般的に用いられている。木村健二郎によれば、同位体も飯盛の提案による由である¹⁴⁾。そして元素名が始めに来たときには“鉛の同位元素”と言わずに“鉛の同位体”という用例を示しているという。

Soddy の isotopes の発想は、放射性元素の研

究が基礎にあるが、彼は安定元素にも isotopes が存在する可能性を認めていた。これは、間もなく ²⁰Ne と ²²Ne の発見をはじめとする安定同位体の存在で確かめられた。

最後に幾つかの挿話を紹介しておこう。日本語では Soddy をソディと表記するのが一般であるが、Soddy の下に留学した飯盛の著作にはソッデーとしたものが多い¹⁵⁾。発音的にはそれが近いのかもしれない。飯盛が留学したとき、Soddy の実験室には幾つかのフラスコに妙な枝管を取り付けた装置が保管されていたという。Ramsay の実験室でラジウムからヘリウムが蓄積してくることを確証した歴史的装置であった。

Montreal 時代の Rutherford と Soddy の共同研究は、Rutherford 自身が対等な関係だったと述べているが¹⁶⁾、1908 年 Nobel 化学賞を受けたのは Rutherford 一人であった。原子物理学の父といわれる Rutherford が化学賞というのも興味深い (受賞理由は元素の崩壊及び放射性物質の化学に関する研究)。彼自身、「自分は色々な時期に多くの異なった変換 (transformation) を手がけてきたが、自分が遭遇した最も素早い変換は、一瞬にして自分自身が物理学者から化学者に変換したことだ」と皮肉混じりに述懐している。

Rutherford と Soddy のカナダにおける出会いには、いくつか偶然が重なっている。Rutherford はニュージーランドの人であり、Christchurch の大学を卒業した後、英連邦の奨学金で Cambridge の Cavendish Laboratory への留学を希望したが、受賞候補の次点であった。ところが、本命が個人的理由で受けられなくなって次点の彼が昇格した¹⁷⁾。一方、Soddy は、カナダの Toronto へ“就活”に赴いたが不調に終わり、私的な旅で足を伸ばした Montreal で就職した。大学の隣の建物に Rutherford が教授として活躍していた。二人は、学内でのアカデミックな会合で顔を合せ、やがて、共同の研究を行って、初期の放射能研究において輝かしい

成果を挙げることになる。もし二人の人生の軌道が交差していなかったら、放射能の研究はどのような経路を辿っただろうか。

Soddy は 1921 年，“放射性物質の化学に対する貢献と isotopes の起源および本性に関する研究”で Nobel 化学賞を受賞している（この年の物理学賞受賞は A. Einstein）。しかし、その後 Soddy の興味は社会的な係わりに転じ、経済、財政、社会学、政治、環境などの問題に係わっていく。夫人の死去後、1936 年に Soddy は 59 歳で Oxford University を辞してしまう。そして、1956 年、79 歳でイギリス Brighton で死去する。彼を顕彰して、あるウラン鉱物に soddyite、月の裏側のクレーターに彼の名が冠されている。

なお、希土類元素・放射性鉱物にも造詣の深かった飯盛里安、武夫父子にちなんで命名された“飯盛石” (iimoriite-(Y)) (イットリウムを中心とした希土類元素の炭酸ケイ酸塩) があることを付言しておこう¹⁸⁾。

本稿に掲載した写真資料は中津川市鉱物博物館所蔵のものである。同館のご厚意に対し、心から感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Kauffman, G.B., *Chem. Eng. News*, Dec. 2, 30 (2013)
- 2) Soddy, F., Intra-atomic Charge, *Nature*, **92**, 399 (1913)
- 3) “Frederick Soddy (1877-1956)” Ed. Kauffman, G.B., D. Reidel, Publishing Co. (1986)
- 4) Tanaka, M. and Yamasaki, K., Early Studies of Radioactivity and the Reception of Soddy’s Ideas in Japan, *ibid.*, 141-154
- 5) 飯盛里安, 放射変化の研究により擴張せられたる化学元素なる概念に就て, 東京化学会誌, **40**, 536 (1919); (Soddy, F., The Conception of the Chemical Elements as Enlarged by the Study of Radioactive Change, *J. Chem. Soc.*, **115**, 1 (1919) の抄訳)
- 6) JIS Z 4001, 原子力用語 1999 (2004 確認)
- 7) Moseley, H.G.J., Atomic Models and X-Ray Spectra, *Nature*, **92**, 554 (1913)
- 8) Soddy, F., The Origins of the Conceptions of Isotopes, *Nobel lecture* (1922); van den Broek, A.J., The Number of Possible Elements and Mendeleeff’s “Cubic” Periodic System, *Nature*, **87**, 78 (1911)
- 9) van den Broek, A.J., Intra-atomic Charge, *Nature*, **92**, 372 (1913)
- 10) Scerri, E.R., “The Periodic Table, Its Story and Its Significance”, Oxford University Press (2007); 邦訳「周期表—成り立ちと思索—」(馬淵久夫, 富田功, 古川路明, 菅野等 (共訳)), 朝倉書店 (2009)
- 11) Kohman, T.P., Proposed New Word: Nuclide, *Am. J. Phys.*, **15**, 356 (1947); (邦訳“核種”は斎藤信房による)
- 12) Soddy, F. and Hyman, H., The Atomic Weight of Lead from Ceylon Thorite, *J. Chem. Soc., Trans.*, **105**, 1402 (1914)
- 13) Fajans, K., Über eine Beziehung zwischen der Art einer radioaktiven Umwandlung und dem elektrochemischen Verhalten der betreffenden Radioelemente, *Phys. Zeits.*, **14**, 131 (1913); 清水栄“放射能研究の初期の歴史”, 丸善, 121 (2004)
- 14) 木村健二郎, 同位元素・同位体, *Isotope News*, No.203, 6月号, 1 (1971); 放射化学昔話 (第24回放射化学討論会 (弘前大学) 招待講演 (1980) “遠き峯々—木村健二郎その時代” 木村健二郎先生記念誌編集委員会, 52 (1990)
- 15) 例えば, 飯盛里安, Soddy 先生の死去を悼む, 化学の領域, **11**(1), 2 (1957); 放射学と放射化学, 化学と工業, **13**(5), 510 (1960); “飯盛里安 97 年の生涯”, 中津川市鉱物博物館第7回企画展展示解説書 11 (2003)
- 16) Howorth, M., “Pioneering Research on the Atom: The Life of Frederick Soddy” 318, London, (1958); 清水栄“放射能研究の初期の歴史”, 丸善, 70 (2004)
- 17) Cohen, M., ラザフォードとキュリー夫人—その天才のコントラスト—(講演, 富田功 (抄訳)), *Isotope News*, No.494, 8月号, 30 (1995)
- 18) 宮脇律郎, 希土類元素の鉱物, *Isotope News*, No.556, 9月号, 14 (2000)

(お茶の水女子大学名誉教授)