

## 学 会 賞

高岡 宣雄 氏 (九州大学名誉教授, 理学博士)



〔業績〕 極微量希ガス同位体比測定法の確立と地球科学的方法による  
テルルの二重ベータ崩壊の研究

高岡宣雄氏は、1961年大阪大学理学部物理学科を卒業、同年、同大学大学院修士課程に進学して、緒方惟一教授の研究室で、極微量希ガス質量分析計を用いたテルル-130のダブルベータ崩壊の研究を行い、1968年「 $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊半減期」の研究で理学博士の学位を取得した。その後、マックスプランク化学研究所（西独・マインツ）留学（1970～1972）を挟んで、大阪大学理学部物理学科助手・助教授（1965～1979）、山形大学理学部地球科学科教授（1979～1990）、九州大学地球惑星科学科教授（1990～2001）を歴任した。2001年3月九州大学を停年退官するまで、一貫して希ガス質量分析計の開発とそれらを用いた原子核物理学、同位体地球科学、同位体宇宙科学の研究に従事した。この間、高岡氏は幅の広い研究分野で多くの優れた業績を上げ、日本の同位体地球惑星科学を世界をリードするレベルに引き上げるうえで、重要な役割を果たした。

### 1. 極微量希ガス同位体比測定質量分析法の確立

1956年カリフォルニア大学のレイノルズ教授は、質量分析計を含むすべてのシステムをパイレックスガラスで作ることによって、超高真空のもとで微量の希ガスを分析できる質量分析計の開発に成功した。この質量分析計は、微量希ガスの同位体測定精度の飛躍的な向上に寄与したが、ガラス製の装置はいったん組み上げると、イオン源やイオンコレクターのジオメトリーの微調整ができないことと、ガラスを透過する大気ヘリウムのために、極微量ヘリウム測定は不可能であるという難点があった。これらの難点を除くために、ステンレス鋼製の希ガス質量分析計が開発された。我が国では、1960年、緒方教授の設計による超高真空仕様の希ガス質量分析計（(株)日立製作所製）が、大阪大学理学部物理学教室に設置された。

超高真空仕様とはいえ、当時の技術では、超高真空をルーチンに達成し、実用化することは容易でなかった。また、極微量の希ガスの同位体分析には2次電子像倍管が不可欠であったが、質量分析用の2次電子像倍管を開発することが必要であった。さらに、同位体希釈法による定量のために、スパイクとして使う濃縮同位体 (e.g.,  $^{128}\text{Xe}$ ) を準備し、これからスパイクを作成する必要もあった。

岩石鉱物のような1500～1700度程度の温度で溶融するサンプルでは、最高温度1800度に耐えるガス抽出炉とガス精製系が必要である。これらを質量分析計につないで、静作動で希ガス同位体比を測定する。また、濃縮同位体のスパイクを使う同位体希釈法による分析では、濃縮同位体によるメモリーが発生するので、これを避けるために、別の定量法を開発する必要があった。

高岡氏は、緒方教授・岡野助教授と協力して、ヘリウムからゼノンまですべての希ガスを高精度で測定することができる質量分析計システムを完成した。現在、日本の希ガス分析の基本形となっているステンレス鋼製の超高真空希ガス抽出精製装置は、同氏によって開発されたものである。

### 2. テルルの二重ベータ崩壊半減期の測定

$^{130}\text{Te}$  および  $^{128}\text{Te}$  は二重ベータ崩壊して、それぞれ  $^{130}\text{Xe}$  と  $^{128}\text{Xe}$  に転換される。しかしその半減期は宇宙の年代の1000億倍も長いと推定され、通常の方法で測定することはほとんど不可能だった。大阪大学緒方研究室では1960年代初期から、地質学的な長い時間をかけてテルルの鉱物中に蓄積された娘核を検出することにより、 $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊の半減期を決定することに挑戦した。この測定には質量分析の極限の技術・精度が要求された。高岡氏は大学院学生の時から現在まで、テルル鉱物中で $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊で作られる $^{130}\text{Xe}$ を測定して、 $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊の半減期を決定する研究を行った。 $^{130}\text{Te}$ の半減期として、高岡氏らの得た結果は $7.9 \times 10^{20}$ 年である。また、同時に測定した $^{128}\text{Xe}$ の同位体組成が

ら、 $^{128}\text{Te}$ の半減期として $2.2 \times 10^{24}$ 年を得た。

地球化学的方法で $^{130}\text{Te}$ および $^{128}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊の半減期を決定する研究は、世界でもいくつかの研究機関で行われた。 $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊の半減期に関して、 $8 \times 10^{20}$ 年と $2.4 \times 10^{21}$ 年の半減期を得た二つのグループに分かれ、その違いについて長い間議論が続いた。しかし、昨年(2003年)スイスで開催された地球惑星科学の国際会議 Goldschmidt Conference で、長い半減期を主張していたグループの研究者から、分析試料の熱履歴に関して疑義があることが判明したため、短い半減期の方が信頼度が高いという見解が表明された。

テルルの二重ベータ崩壊の研究は、それが始まった頃に比べて、いろいろな点で状況が変化した。当初は、ニュートリノ質量の決定につながると考えられたが、理論の進歩とともに、ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊の半減期測定が、ニュートリノ質量を決定する唯一の手段であることが明らかになった。このため、ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊とニュートリノを放出する二重ベータ崩壊を区別しない地球化学的方法では、ニュートリノ質量を決定できない。また初期の頃には、 $^{130}\text{Te}$ の二重ベータ崩壊の研究は、二重ベータ崩壊という現象の存在を物理学者に認識させるうえで重要な役割を果たした。現在では直接測定の技術が大きく進歩し、地球化学的方法で求めた $^{130}\text{Te}$ 半減期と直接測定による $^{130}\text{Te}$ 半減期を比較できるレベルに近づいている。

地球化学的方法による $^{130}\text{Te}$ 二重ベータ崩壊半減期測定の現代的意義は、(i) 直接測定による結果と地質学的時間にまたがる崩壊生成物の積分から得た結果の比較に基づいて、弱い相互作用の結合定数(崩壊定数)の時間変化の有無を検証すること、(ii) 理論的に予想される半減期に対して、実験面からの制約を与えること、(iii)  $^{130}\text{Te}$ - $^{130}\text{Xe}$ 系を地質時計として使うことによって、金鉍脈形成の年代測定法の基礎を確立することである。

### 3. 同位体地球惑星科学への寄与

高岡氏は、自ら開発した低バックグラウンドの超高真空希ガス抽出炉を用いて、世界で初めて、ダイヤモンドに含まれる超微量の希ガス同位体比測定に成功した。これによって地球深部構造解明上大きな手がかりを与え、希ガス同位体地球惑星科学の今日の隆盛の端緒が開かれた。

同位体地球惑星科学研究での高岡氏の基本的姿勢は、同位体地球惑星科学に意欲をもつ研究者に対して、質量分析装置を解放したことであった。微量の全希ガスの同位体定量分析ができる質量分析装置が日本に1台しかない時代において、この開放的姿勢は、日本が世界をリードするまでに、日本の同位体地球惑星科学のレベルを引き上げた点で、たいへん重要な意味をもっていた。

高岡氏の多くの研究成果の中でも、太陽系始原物質に共通に存在したと考えられる始源的ゼノンの同位体組成を発見し、“Primitive Xe(始源的Xe)”仮説を提唱したことは、始原物質から太陽、地球、隕石(小惑星)への分化を考える手がかりを与える独創的な業績である。これは、太陽系の起源・進化を研究する希ガス宇宙科学において、有力な研究指針となっている。

以上のような高岡氏の業績は、質量分析学の発展と質量分析法を応用した研究に関して顕著な功績を示したものであり、学会賞に値するものであると認められた。

### 関連文献リスト(1960~2004)

#### 希ガスの微量分析法の開発

- 1) 谷口 薫, 岡野 純, 高岡宣雄, 原子炉(JRR-2)による稀釈法用同位体の作成. 質量分析, 21, 113-119 (1962).
  - 2) N. Takaoka, A low-blank, metal system for rare gas analysis. Mass Spectr. (質量分析), 24, 73-86 (1976).
  - 3) 日本化学会編(分担執筆), 新実験化学講座 10, 宇宙地球化学. 丸善(1976), 523 p.
  - 4) 松田 久編(分担執筆), マススペクトロメトリー. 朝倉書店(1983), 284 p.
- など6編

## 二重ベータ崩壊の研究

- 1) 高岡宣雄, 岡野 純, 緒方惟一,  $^{130}\text{Te}$  の二重ベータ崩壊半減期. 質量分析, **12**, 195–210 (1965).
- 2) N. Takaoka and K. Ogata, The half-life of  $^{130}\text{Te}$  double beta-decay. *Z. Naturforsch.*, **21a**, 84–90 (1966).
- 3) N. Takaoka, J. Okano and K. Ogata, Mass spectrometric study on double beta-decay. *Adv. Mass Spectr.*, **4**, 943–953 (1967).
- 4) N. Takaoka and S. Sagawa, Neutrino mass estimated by a geochemical method, *In Proc. XVI INS Internat. Symp. Neutrino Mass & Related Topics*, (ed. by S. Kato and T. Ohshima). World Scientific, Singapore (1988), pp. 183–186.
- 5) N. Takaoka, Y. Motomura, and K. Nagao, Noble gases in tellurium and associated minerals and double-beta decay of  $^{130}\text{Te}$ . *J. Mass Spectr. Soc. Jpn.*, **44**, 63–77 (1996).
- 6) N. Takaoka, Y. Motomura, and K. Nagao, Half-life of  $^{130}\text{Te}$  double- $\beta$  decay measured with geologically qualified samples. *Phys. Rev. C*, **53**, 1557–1561 (1996)

など 10 編

## 同位体地球惑星科学の研究

- 1) H. Hintenberger, H. Weber, and N. Takaoka, Concentrations and isotopic abundances of the rare gases in lunar matter. *Proc. 2nd Lunar Sci. Conf.*, **2**, 1607–1625 (1971).
- 2) N. Takaoka, An interpretation of general anomalies of xenon and isotopic composition of primitive xenon. *Mass Spectr. (質量分析)*, **20**, 287–302 (1972).
- 3) I. Kaneoka, N. Takaoka, and K. Aoki, Rare gases in a phlogopite nodule and a phlogopite-bearing peridotite in South African Kimberlites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 181–186 (1977).
- 4) N. Takaoka and M. Ojima, Rare gas isotopic composition in diamonds. *Nature*, **271**, 45–46 (1978).
- 5) I. Kaneoka and N. Takaoka, Excess  $^{129}\text{Xe}$  and high  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in olivine phenocrysts of Kapuho lava and xenolithic dunites from Hawaii. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **39**, 382–386 (1978).
- 6) H. Wakita, N. Fujii, S. Matsuo, K. Notsu, K. Nagao, and N. Takaoka, “Helium spots” caused by a diapiric magma from the upper mantle. *Science*, **200**, 430–432 (1978).
- 7) N. Takaoka and K. Nagao, Mantle  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  trapped in Cretaceous deep-sea basalts. *Nature*, **276**, 491–492 (1978).
- 8) K. Nagao, N. Takaoka, and O. Matsubayashi, Isotopic anomalies of rare gases in the Nigorikawa geothermal area, Hokkaido, Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **44**, 82–90 (1979).
- 9) N. Takaoka and K. Nagao, Mass spectrometrical study of rare gas compositions and neutron capture effects in Yamato-74191(L3) chondrite. *Z. Naturforsch.*, **35a**, 29–36 (1980).
- 10) I. Kaneoka and N. Takaoka, Rare gas isotopes in Hawaiian ultramafic nodules and volcanic rocks: Constraint on genetic relationships. *Science*, **208**, 1366–1368 (1980).
- 11) N. Takaoka and Y. Mizutani, Tritogenic  $^3\text{He}$  in groundwater in Takaoka. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **85**, 74–78 (1987).
- 12) T. Nakamura, K. Nagao, K. Metzler, and N. Takaoka, Heterogeneous distribution of solar and cosmogenic noble gases in CM chondrites and implication for the formation of CM parent bodies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 257–273 (1999).
- 13) T. Nakamura and N. Takaoka, Solar winds in micrometeorites collected at the Dome Fuji Station: Characterization by stepped pyrolysis. *Antarct. Meteorite Res.*, **13**, 311–321 (2000).
- 14) R. Okazaki, N. Takaoka, K. Nagao, M. Sekiya, and T. Nakamura, Noble-gas-rich chondrules in an enstatite meteorite. *Nature*, **412**, 795–798 (2001).
- 15) N. Takaoka, T. Nakamura, K. Nagao, and N. Nakamura, Noble gases in the Kobe CK4 carbonaceous chondrite. *Geochem. J.*, **36**, 355–368 (2002).

など 95 編