

加速器質量分析と先進同位体分離技術

Accelerator Mass Spectrometry and advanced isobar separation technique

東大 MALT, 松崎 浩之

MALT, The University of Tokyo, Hiroyuki Matsuzaki

E-mail: hmatsu@um.u-tokyo.ac.jp

質量分析をフェムトレベル（同位体比が 10^{-15} となるレベル）まで高感度化する場合、「同重体干渉」と「近接質量干渉」の2つの妨害要因が存在する。加速器質量分析（AMS=Accelerator Mass Spectrometry）では、負イオン源+タンデム加速器の組み合わせによってこれらを克服している。「同重体干渉」は、分析対象核種と同重の別のイオンが干渉するもので、磁場と電場によって電荷あたりの質量を分析する質量分析にとっては、原理的に排除不可能なものであるが、加速器質量分析においては、分析対象イオンへ MeV オーダーのエネルギー付与することにより、物質中のイオンのエネルギー損失がイオンの電荷、つまり原子番号 Z に依存することを利用して「同重体干渉」を排除している。「近接質量干渉」は、イオン源で与えられる初期の運動量分散や方向分散の影響や、ビーム管内での散乱の影響で、分析対象同位体と質量数の近接した同位体のイオンが干渉してくる現象であり、特に同位体比がフェムトレベルに達する場合には、重大なノイズ成分となる。タンデム加速器の場合には、接線方向の加速と荷電変換が行われ、分子イオンが分解されると共に、イオン源で付与された運動量分散の相対化と方向分散の極小化がおこる。この状態で分析電磁石を通すと、妨害成分がきれいに排除される。いわば「イオン空間の清浄化」が実現されているといえる。しかしながら、分析対象核種が重くなると、同重体間の原子番号（原子核の電荷） Z の差が相対的に小さくなり、また近接同位体との質量差の相対的に小さくため、これらの原理の限界、すなわち従来の加速器質量分析の限界が見えてくる。 ^{59}Ni , ^{60}Fe , ^{90}Sr , ^{135}Cs などでは未だにフェムトレベルの分析が実現していない。そこで、近年原子を構成する電子配置の違いに分離原理を求める新しい方法論が提案されている。例えば、LPD（Laser Photo Detachment）のように電子親和力自体の差異を利用して負イオン化を差別化する方法であるが、このアプローチを突き詰めれば、電子を励起状態も含めたエネルギー準位間を自在に移動させる技術に行き着く。究極の手法の一つとして、レーザー共鳴イオン化法があり、これを利用した新しい高感度質量分析法の研究が進んでいる。また、希ガスなどイオン化の困難な原子に対しては、ECR イオン源等の強力なイオン源も有用である。この場合、正イオンを生成するので、正イオン加速器を組み合わせた加速器質量分析が提案されている。

本講演では、従来の加速器質量分析技術を再考し、将来の技術的展望を行う。また、レーザーや正イオン源など、従来の加速器質量分析のアプローチとは異なる方法論による分析法と合わせ、新世代の高感度質量分析技術の世界を概観する。