

加速器を利用した学際研究の展開

笹公和

研究基盤総合センター応用加速器部門
数理物質科学研究科物理学専攻講師
(ささ きみかず／加速器科学)

研究基盤総合センター応用加速器部門においてタンデム型静電加速器の維持管理と運用を担当しながら、加速器の利用促進と新たな研究分野の創出を目指し研究活動をおこなっている。加速器を利用した学際研究展開の夢とプロジェクトについて述べてみたい。

筑波大学のタンデム型静電加速器

加速器は電磁場により荷電粒子を高エネルギーに加速する実験装置のことである。学内共同利用施設である研究基盤総合センター応用加速器部門では、2台のタンデム型静電加速器を維持管理し、加速器による研究活動とその研究支援を主な業務としている。主加速器の12UDペレットロンタンデム型静電加速器は、静電加速器として国内2位となる12 MV (1,200万ボルト)の加速電圧性能を維持し、多種の高度制御加速イオンビームを提供可能である。タンデム型静電加速器の初期の利用分野は主に原子核実験分野であったが、現在では加

速エネルギーの安定性と精度の高さ、また利用できる加速粒子の多様さなどから、物質分析研究が主要な利用分野となっている。図1に2006年度研究分野別の利用割合を示す。利用分野として、加速器質量分析 (Accelerator Mass Spectrometry: AMS) による地球・環境試料中の宇宙線生成核種分析研究が最も利用割合が高く、次に原子核実験分野となっている。他に水素分析研究や重イオン照射による微細加工研究、宇宙線模擬実験などの目新しい研究分野が増えている。

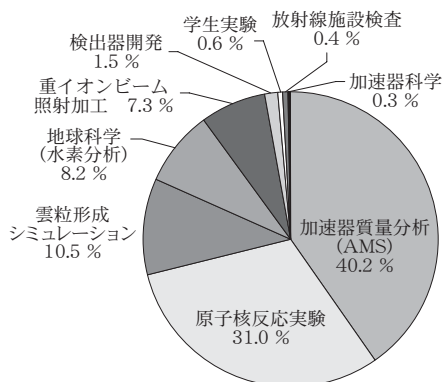


図1 12UDペレットロンタンデム加速器の研究分野別利用割合 (2006年度)

加速器質量分析 (AMS) 研究

AMSは、天然に極微量存在する炭素14 [^{14}C (半減期5,730年)] 等の宇宙線生成核種を超高感度で測定できる分析手法である。対象核種を加速器で高エネルギーに加速し、物質中のエネルギー損失の違いを利用して妨害となる同重体の核種や分子を分離識別する。検出感度が極めて高く、数mgの極少量の試料から短時間の計測で分析結果が出せる。最近では、AMSによる ^{14}C 年代測定の考古学への応用が盛んになっている。AMS法では ^{14}C 以外に、ベリリウム10 [^{10}Be (半減期151万年)]、アルミニウム26 [^{26}Al (半減期71.6万年)]、塩素36 [^{36}Cl (半減期30.1万年)]、ヨウ素129 [^{129}I (半減期1570万年)] などのAMS測定が実施されている。最近では ^{14}C 年代測定を行えるAMS装置の小型化が進み、通常の実験室に収まる程度となっている。それに対し、重い宇宙線生成核種の分析には、高い加速エネルギーが必要となり、AMS装置も大掛かりとなる。筑波大学AMS装置は、質量分析装置として国内最大であり、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 、 ^{129}I 等のAMS分析を中心に研究が実施されている。これらの宇宙線生成核種分析は、国内でも限られた少数の研究機関でのみ測定可能な核種となっている。特に ^{36}Cl 分析は、妨害となる硫黄36 (^{36}S) との分離識別が難しく、高い加速エネルギーが必要となる。筑波大学AMS装置

は、加速電圧10 MV (1,000万ボルト) により100 MeVまで加速して、 ^{36}Cl のAMS測定を実施している。 ^{36}Cl 分析では、繰り返し測定精度 $\pm 2\%$ 、検出限界として $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}=3 \times 10^{-15}$ を得ており、世界最高レベルの測定性能を達成している。

^{36}Cl 分析による環境研究として、国内表面土壌の ^{36}Cl 測定などを実施してきた。 ^{36}Cl は原子力施設や過去の大気核実験などの人為起源によっても生成される。これまでに、東海村JCO臨界事故の調査、広島大学との共同研究として広島原爆試料中の ^{36}Cl 分析による原子爆弾放射線被曝線量評価システムDS02 (Dosimetry System 2002) の評価検証を実施した。現在は、KEK放射線科学センターと加速器施設遮蔽物中の熱中性子積算線量計測を実施している。地球科学研究分野への応用では、核実験起源 ^{36}Cl を利用した地下水動態解析研究 (生命環境科学研究科)、In situ ^{36}Cl を用いた石灰岩の溶食速度推定 (東京大学、生命環境科学研究科)、隕石試料の宇宙線照射履歴研究 (首都大学東京) などの共同研究を実施している。また現在、南極ドームふじ氷床コア中に含まれる宇宙線生成核種分析研究を国内共同研究 (筑波大学、国立環境研究所、国立極地研究所、弘前大学、東京大学) として実施している。

南極氷床コア中の宇宙線生成核種

現在、主要な研究課題として取り組んでいる南極ドームふじ氷床コア中の宇宙線生成核種AMS分析について紹介する。日本の南極地域観測隊は、2007年1月に3,035 mに達する氷床コア掘削に成功した。最深部コア年代は約72万年前に対応することがわかっていて、南極氷床コアの72万年に及ぶ高精度の連続した地球環境情報の蓄積媒体は他に無く、詳細な解析による過去の地球環境変動の情報提供が期待されている。

現在、我々の研究グループでは、南極氷床コア研究プロジェクトにおいて宇宙線生成核種 ^{36}Cl 分析を担当している。宇宙線生成核種は銀河宇宙線からの2次放射線により生成される為、太陽活動や地磁気強度などの変動要因に起因する宇宙線強度の変化に対応して、その生成量が変化する。また生成後の降下・沈着に影響を及ぼす地球大気の大循環パターンや極域気候の変動からも影響を受ける。氷床コア中に記録された宇宙線生成核種 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl の高精度AMS分析により、過去の地球環境変動について新しい知見が得られると期待されている。

このプロジェクト研究は国内の多くの研究機関と共同で実施している。宇宙線生成核種 ^{10}Be 、 ^{26}Al 分析と浅層部の ^{36}Cl 分析は、東京大学AMS装置により弘前大学、東

京大学、学習院大学などの研究グループが担当している。深層部の ^{36}Cl 分析は放射壊変による濃度減少により、国内では筑波大学AMS装置のみが測定可能となっている。 ^{36}Cl 分析に用いる氷床コア試料は、主として電気伝導度測定のためのコア整形の際に生じる切削片を国立極地研究所から提供を受けている。氷試料は筑波大学において融解され、イオン交換法により塩素を溶出し、最終的に固体試料の塩化銀 (AgCl) にする。この塩化銀試料から塩素を負イオン化して、 ^{36}Cl のAMS分析を実施する。現在までにコア深層部を中心に、およそ150試料の測定を実施しており、 ^{36}Cl 濃度は最終氷期最盛期の試料で 2×10^4 atoms g^{-1} 、最深部で 1×10^3 atoms g^{-1} 程度であった。 ^{36}Cl の半減期は30.1万年であり、各コア深度の ^{36}Cl データは、氷床コアのモデル年代軸と調和的な放射壊変減衰を示した。ドームふじ氷床コアが過去の気候・環境情報を保存していることを証明する、重要な年代推定基礎データとなった。また、これまでに ^{36}Cl 初期濃度が、過去の気候変動を示す酸素同位体比変動と相関関係があることがわかってきた。 ^{36}Cl 分析が多様な古環境復元のためのツールとして利用できる可能性が見出されている。

AMSによる学際研究の展開とネットワークの構築

ドームふじ氷床コアの宇宙線生成核種分析研究は、加速器科学を専門とする自分だけでは到底手に負えない研究課題である。試料処理には化学の専門知識が必要である。また分析データの解釈には地球科学、雪氷学や気候変動の研究者の協力も必要となる。南極氷床コア研究を初めとして、加速器を利用した学際研究の展開には、多くの異分野の方々との共同研究作業が必要となる。異分野の方々との共同研究を通して、いろいろな知識や経験を得ることが出来ている。非常に充実して多忙な日々を送っているが、研究以外に加速器の面倒を見る仕事（ほとんどの時間を費やしている）や書類作成の仕事が多くあり、自分の研究時間が確保できないのが一番大きな悩みでもある。

最後にAMS研究のネットワーク構築について述べたい。2006年1月27－28日に筑波大学において国立歴史民俗博物館・学術創成研究グループと共催で、第1回東ア

ジアAMSシンポジウム（EAAMS1）を開催した。中国や韓国など、最近AMS研究が活性化している東アジア圏のAMS研究者を招聘し、研究ネットワーク形成と今後の共同研究の進展が図られた。参加者は4カ国から102名に上った。この国際シンポジウムでは、事務局代表として各国の研究者との連絡や、会場準備等に忙殺されたが、国内外のAMS研究者間のネットワーク構築に大いに役立った。筑波大学での国際シンポジウムが契機となり、第2回東アジアAMSシンポジウム（EAAMS2）が2007年10月21－22日に韓国の国立ソウル大学で開催された。第3回は、2009年に中国で開催予定であり、今後大きく発展していくと考えている。また、現在は特に中国のAMS研究者との共同研究を活発に実施している。昨年は、招聘により中国原子能科学研究院や北京大学のAMS研究施設を訪問する機会を得た。今後も国内外とのAMS研究者との交流を深め、AMS等の加速器を利用した学際研究の展開を図っていく所存である。



図2 筑波大学において開催された第1回東アジアAMSシンポジウムの記念写真