

読者の広場 (I)

研究室だより

光核反応に新たな息吹を吹き込む

甲南大学理工学部原子核研究室
宇都宮 弘章
hiro@konan-u.ac.jp

1. はじめに

当研究室では最新のガンマ線源を使って光核反応データを取得しておりますが、研究分野は最近「天体核物理」から「原子力核データ」へ広がりを見せています。この記事では、光核反応研究の生い立ちから現在までを振り返り、研究室紹介とさせていただきます。

2. 甲南大学¹原子核研究室

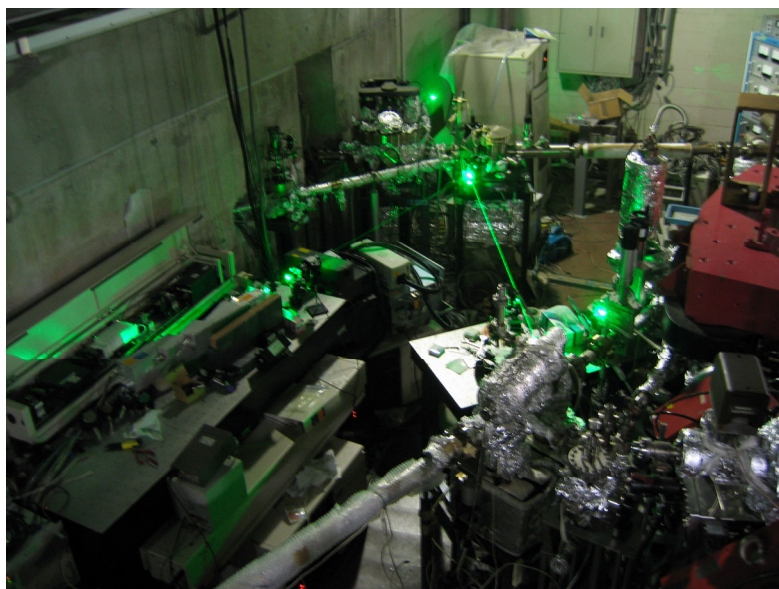
筆者の所属する原子核研究室（他に山県民穂教授、秋宗秀俊助教授が在任）は、物理学科自然科学コースに属し、初代学長以来の伝統ある研究室である。筆者の着任は 1991 年で、甲南大学はこの年、第 1 回トゥール国際シンポジウムをフランス・ロワール地方の観光都市トゥール市で開催した。この原子核物理に関するシンポジウムは、以来、国際研究機関、大学、県議会、大使館等の後援を得て 3 年毎に開催され、2003 年の第 5 回会議を経て現在に至っている。筆者は第 2 回会議から組織・運営に携わっている。

3. LCS ガンマ線との出会い — 電総研へ産総研

今でも鮮明に覚えているのは、大垣英明氏の物理学会講演（1997 年秋都立大学）に興奮を禁じ得なかったことである。講演は、電総研（当時）の電子蓄積リング^{テラス}TERASで発生させたレーザー逆コンプトンガンマ線（LCS ガンマ線）を使い、核準位のパリティを決定する実験に関するものであった。LCS ガンマ線発生原理のシンプルさ、準単色性及びエネルギー可変性に、「これこそ自分の求めているガンマ線源に違いない」との直感を得た。この LCS ガンマ線との出会いが、仮想光子実験から実光子実験へ研究を大きく転換させる契機となった。

写真は、LD 励起固体レーザーからの 2 倍波（グリーン）レーザーが、産総研 TERAS

に蓄積された電子に正面衝突（逆コンプトン散乱）して、LCS ガンマ線が発生する様子を示す。ガンマ線源開発の歴史は古く、放射性同位元素、制動放射、飛行陽電子対消滅等のガンマ線源があるが、こんなに発生原理がシンプルで高性能（準単色・偏光・エネルギー可変・低バックグラウンド）のガンマ線は他にない。

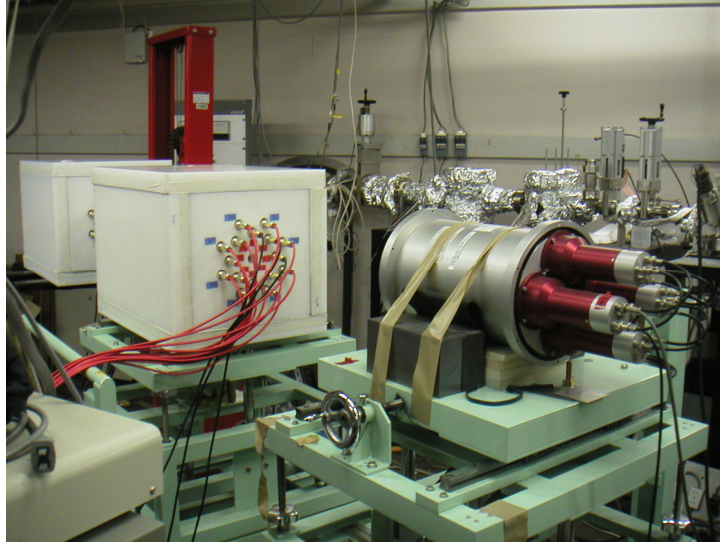


4. 中性子検出を習う — 大阪府立大学

仮想光子実験を行っていた当時、 ^9Be の実光子（放射性同位元素ガンマ線）実験の論文に行き当たり、実験の明快さと結果の重要さに目を開かされた。LCS ガンマ線に出会ってまず頭に浮かんだのは、この ^9Be の光中性子測定であった。

しかし、当時の私は荷電粒子を測定したことはあっても、中性子を測定した経験はなかった。 ^9Be 論文を読み直し、著者が大阪府立大学の藤代正敏氏であること、大学の所在地は堺市であることを発見し、さっそく電話を掛け検出器を見せてもらう約束を取った。1998年の春であった。以後ほぼ毎週の如く大阪府立大詣でが始まった。当時藤代先生は、円筒形のパラフィン体系に4本のBF3比例計数管を配置した中性子検出器を使っておいでで、BF3管からの中性子信号はOSAKA DENPA製の感熱紙印字プリンター付きのスケーターで数えておられた。先生は1999年3月に定年退職されたが、かろうじて中性子検出技術を伝授してもらうことができた。

写真は、現在産総研で使用している中性子検出器である。縦横360mm長さ500mm（外側のシールドを除く）の高密度ポリエチレン体系中に、内側から4本、8本、8本の合計20本のHe-3比例計数管が3重のリング状に配置されている。これは、藤代先生の検出器を基に甲南大学で開発した第5代目の検出器である。



ベーター モーア 5. Peter Mohr博士との出会い

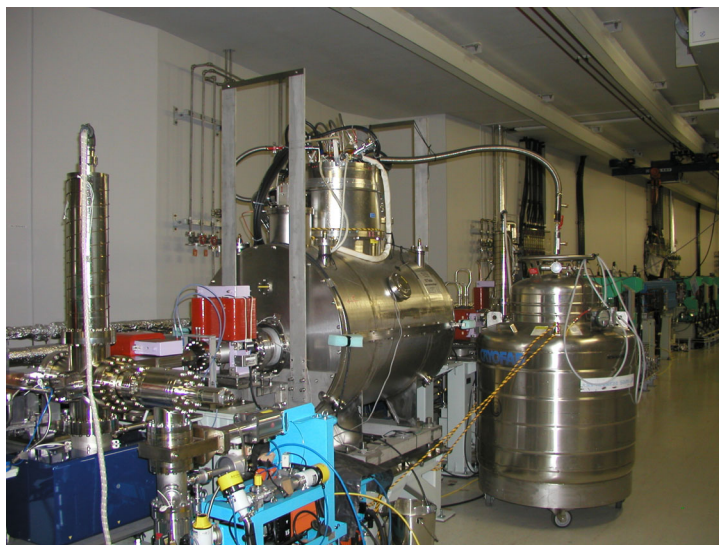
LCS ガンマ線ビームによる ^9Be 核の光分解実験を行ない、デンマーク・オーフス大学で開催された第6回 Nuclei in the Cosmos 会議（2000年）で、研究成果を口頭発表した。この会議で、Peter Mohr 博士（当時ダルムシュタット工科大学）の制動放射ガンマ線による p プロセス研究に出会った。p プロセスとは、光核反応が主役を演じる重元素合成反応であるが、当時、天体核物理に関する光核反応データは事実上存在しなかった。この p プロセス研究は、LCS ガンマ線の研究対象となる光核反応の数を一挙に増加させ、これにより系統的研究の舞台が整った。LCS ガンマ線の特徴は準単色性とエネルギー可変性にあり、光中性子反応断面積の直接決定（励起関数測定）を可能にする。これは、制動放射ガンマ線に対して格段に優位な点である。LCS ガンマ線は、現在、天体核物理分野でもっとも信頼できる光核反応データを提供している。

6. 新たなガンマ線源を求めて — スプリング 8

恒星内で起こる光核反応では、原子核は熱浴中の黒体輻射によって光励起される。恒星の黒体輻射（プランク分布）とスペクトル形状がよく似たガンマ線源が、放射光施設スプリング 8 で生まれようとしている。

写真は、放射光発生試験（2002年9月）のためにスプリング 8 に設置された 10 テスラ超伝導ウイグラーである。この挿入光源が発生する高エネルギー放射光は、LCS ガンマ線に比べて $10^3 \sim 10^6$ 倍も強く光核反応を誘起させることができる。黒体輻射のスペクトルを持つこの超伝導ウイグラー放射光（SCW 放射光）は、生まれながらにして、天体核反応率（光核反応断面積とプランク分布の積に比例した物理量）を決定する理想的な光源であり、 (γ, n) 反応だけでなく (γ, α) 反応も研究対象とすることができる。SCW 放射光は、LCS ガンマ線と相補的な役割を担う重要な光源であり、専用ビームライン建設による実

用化が望まれる。



スプリング 8 では、他に、遠赤外アルコールレーザー光子（基本波長 118 μm ）と 8 GeV 電子の逆コンプトン散乱による、ガンマ線源の開発が行なわれている。

7. 小さくとも志は高く

7.1. 原子力核データへの展開

最近、核変換のための基礎データ取得に取り組んでいる。長寿命核分裂生成物（LLFP）の核変換手段として中性子捕獲反応に期待がかかる一方、その反応断面積の決定は急務である。しかし、中性子捕獲断面積の測定は、強い中性子源と放射性標的物質が不可欠であり、容易ではない。一方、中性子捕獲によって安定核に変換される LLFP に対しては、光中性子反応の測定によって、逆反応である中性子捕獲反応断面積を評価することが可能である。このような LLFP には、Cl-36（半減期 30 万年）、Se-79（65 万年）、Zr-93（153 万年）、Pd-107（650 万年）、Sm-151（90 年）等の核種があり、現在、萌芽研究（科研費）、黎明研究（原研）及び共同研究（核燃サイクル機構原田秀郎氏及び産総研豊川弘之氏）として取り組んでいる。

LLFP は、天体核物理分野では s プロセス分岐核と呼ばれる。すなわち、s プロセス（遅い中性子捕獲による重元素合成過程）において、中性子捕獲と β^- 崩壊の分岐が起こる核である。当研究室では、このような放射性核種、とくに測定が不可能な短寿命核の中性子捕獲断面積を評価する手段として光核反応を利用してきた。原子力核データ取得は、得意とする研究手法の自然な（一石二鳥の）応用である。

光中性子反応データから中性子捕獲データを評価するには、統計モデルの介在が不可欠である。現時点では、モデルに依存する不定性はファクター 2 程度であるが、時宜にかなった基礎データをいち早く提供したいと考えている。

7.2. 核データベース – ブリュッセル自由大学²との共同研究

甲南大学は、2004年、ブリュッセル自由大学（ULB）と包括協定を結び、「宇宙物理のための核データベース」を5年計画で作成する知的基盤整備事業をスタートさせた。ULBは、故 W.A. Fowler^{ファウラー}教授（カリフォルニア工科大学 1983年度ノーベル物理学賞受賞）等による一連の Compilations を継承し、データベース^{ナックル}NACREを完成した。この事業ではNACREを更新・拡張する。天体核物理では、例えば p プロセスのモデルが、約 2000 核種-20,000 核反応（弱い相互作用を含む）からなる核反応ネットワークを含むように、安定・不安定核に関する微視的で包括的な核構造・核反応の知識が必要であり、原子力核データと深く関連している。光核反応データは、副産物として統計モデル計算の精密化をもたらすが、当研究室は今後5年間で、合計約 30 核種の光核反応データの取得を目指している。

最後に、これまで当研究室で光中性子断面積を測定した 11 核種を記す。

D, Be-9, Se-80, Nb-93, La-139, Pr-141, Pd-108, Ta-181, W-186, Re-187, Os-188

¹ 甲南大学は、学園創立者平生鈞三郎の「人格の修養と健康の増進、個性を尊重して各人の天賦の才能を引き出す」という理想主義の下、1951年に開学した（初代学長は荒勝文策、京都帝国大学物理学教授）。以来、基礎分野を大切にしながら応用との融合をめざす比較的駘蕩とした学風を有してきた。2001年理学部から理工学部への改組後、物理学科は現在、2コース（自然科学と創成科学）8研究室（学生定員 90名、教員 18名）からなっている。研究分野は極大（宇宙）極小（原子核）及びその中間の豊かな物質層をカバーし、コンパクトだが本格的な物理学科である。大学院（自然科学研究科）物理学専攻は修士課程と博士後期課程を有している。

² 1834年ベルギー自由大学として開校され、1836年にブリュッセル自由大学となった。ソルボッシュ、プレーン、エラスムスの3つのキャンパスを有し、哲学、文学、法学、社会学、経済学、心理学、教育学、科学、薬学、医学などの学問領域の学部を有する総合大学である。学生数は20,000人を超え、その約1/4は130もの国々からの留学生である。