

特別講演

S会場 (824教室)

2S01: 9月13日(水) 14:30~15:30

2S02: 9月13日(水) 15:30~16:30

高輝度放射光を利用した核励起・核共鳴散乱研究の概要を紹介し、将来を展望する。

核励起・核共鳴散乱に用いられる同位体——多彩な研究対象

放射光によって核励起・核共鳴散乱を起こさせることのできる同位体は多数あるが、 ^{57}Fe に関連する研究がもっとも多い。 ^{57}Fe 以外で用いられる同位体は ^{40}K 、 ^{73}Ge 、 ^{83}Kr 、 ^{119}Sn 、 ^{121}Sb 、 ^{127}I 、 ^{149}Sm 、 ^{151}Eu 、 ^{161}Dy 、 ^{169}Tm 、 ^{181}Ta 、 ^{197}Au などである。核の高励起準位を励起し、第1励起準位を経て基底準位に戻るカスケード遷移が、 ^{73}Ge と ^{161}Dy で観測されている。また内殻イオン化に続く脱励起過程のひとつに、核励起を引き起こす NEET の現象があるが、その条件を満たす ^{197}Au で NEET が観測されている。

核共鳴ブラッグ散乱——超単色ビームの生成

共鳴核が3次元の周期性をもって規則正しく配列した結晶 ($\alpha\text{-}^{57}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $^{57}\text{FeBO}_3$ など)で共鳴条件と回折条件を満たさせると核共鳴ブラッグ散乱が起きる。パルス状の放射光が入射すると、寿命に対応して減衰する散乱の時間スペクトルが得られる。減衰曲線には超微細構造にもとづく遷移間の干渉から量子ビートが生ずる。散乱線はエネルギー幅が共鳴準位の自然幅の10倍前後の $10^{-7}\sim 10^{-8}\text{eV}$ で、超単色ビームとして利用される。

核共鳴前方散乱——時間領域メスバウアー分光

核共鳴前方散乱は、核共鳴ブラッグ散乱の場合と同じように、位相がそろったコヒーレントな散乱であって、時間スペクトルに超微細構造に対応した量子ビートが見られる。この時間スペクトルはふつうのメスバウアー吸収分光のエネルギースペクトルと相補的な関係にある。この手法で例えば、 SrFeO_3 の圧力誘起相転移が調べられている。

核共鳴非弾性散乱——共鳴核原子のフォノン状態密度

meV のエネルギー幅をもつ入射線をエネルギー走査すると、共鳴核を含む試料において、フォノンが生成・消滅するエネルギー分だけ入射エネルギーが核共鳴エネルギーから増減したところで核励起・核共鳴散乱が生ずる。これから着目する共鳴核の周囲の振動状態が分かる。例えば、Al や Cu 金属中に含まれる微量の Fe 原子の場合が解析されている。これと同じ手法で液体中の共鳴核原子の拡散、振動などの動的なふるまいも分かる。

摂動下の核共鳴散乱の動的過程——散乱の基礎過程

散乱体に高速で外場を印加すれば、核共鳴散乱の時間スペクトルから動的散乱過程が調べられる。高速磁気特性をもつ $^{57}\text{FeBO}_3$ 結晶に高周波磁場あるいはパルス磁場を放射光パルス入射と同期させて印加し、核共鳴散乱の時間発展をみると、量子ビートがある時間領域で増大する効果やスイッチング時刻で量子ビートの時間軸が逆になる現象などが生ずる。

宇宙での物質進化の過程の一局面において、地球として与えられた環境の中で必然的に生じた生命の起源を取り扱う学問体系は Miller (1953) の $\text{NH}_3\text{-CH}_4\text{-H}_2\text{O}$ 混合気体への放電によるアミノ酸類の無生物的合成の実験によって空想的科学から実証科学の領域に入った。地球の誕生は今からさかのぼって 46 億年前とされ、それ以後生命の起源を準備するための物質進化の過程が始まったと考えられるが、この過程が何億年続いたかは確定していない。近年、急速に発達を遂げた地質学上のデータの示すところによると、地球上に最初の生命体が出現したのは 35 億年前とも 38 億年前とも考えられる状況である。今から 30 年前、演者らが放射線を利用した物質進化の研究に着手した頃にはこれが 32 億年と言われる状況であった。その上、誕生から 5 億年くらいまでの地球は表面温度が高温で、生命関連分子の合成や生命の誕生には不適であるとの前提から、生命の起源に関連した重要な化学進化の過程は $(45-5)-32=8$ 億年をかけて進行したとも考えられていた。しかしこの様に最初の生命が 38 億年前と言うことになると、この期間はおよそ 2 億年ぐらいに短縮されねばならないことになる。さらに、近年、海底熱水噴出孔が世界各地で発見され、その周辺での化学反応が解析され、また百数十度の環境で棲息するバクテリア類や好塩濃度好アルカリ菌等の存在が知られる様になってくると上記前提もくずれ、生命の起源を準備する過程は原始地球上および地球外の相当に厳しい条件下でも進んだと考えざるを得なくなってきた。

さて、物質進化を進めるエネルギー源として、古くから紫外線を含む放射線の重要性が提起され、実際に種々放射線を利用した実証的研究も多々報告されている(それらの詳細は演者らにより放射線化学会において講演され、既に解説も書かれている(文献1))。しかしながら、放射線化学と核化学・放射化学の違いを放射線の化学的効果と放射線を生み出す過程それ自身の化学的効果と言うように分けるならば、物質進化における重要な寄与が予想される筈の核化学・放射化学的効果を実証した研究は少ない。本報告ではそれらの研究例を要約すると共に、今後、この領域から明らかにすべき問題点を整理したい。

文献 1) 赤星光彦, 藤井紀子; 生命の起源・進化における放射線の役割, 放射線化学, 67 号, pp.3-6 (1999).

Nuclearchemistry and Radiochemistry in Origin of Life

○Akaboshi M., Tanaka Y. and Fujii N.