

田畑 米穂先生を偲んで

田畑 米穂先生が2019年11月14日にご逝去されました。謹んで追悼の意を表します。田畑先生の講義を受講された経験のある方々はすでにある程度ご高齢であると思いますので、田畑先生のことをよくご存じない若い方々もおられるかと思えます。今号では田畑先生がご執筆された巻頭言を再掲載させていただきます。40周年を記念する会誌80号でご執筆いただいた

「核・放射線と人類」では、放射線化学をとりまく、放射線に関係した広大な分野について、過去から現在・未来へと語っておられ、田畑先生の造詣の深さがにじみでている記念号に相応しい巻頭言であり、今後の放射線化学分野の進むべき方向についても触れておられます。

(日本放射線化学会 編集委員会委員長)

放射線化学における新しい展開への提言

東京大学工学部原子力工研究施設（当時）

田畑 米穂

昨年暮から今年の初めにかけて、原子力委員会に長期計画専門部会（基本問題分科会）と放射線利用専門部会（放射線化学分科会）が設けられ、この中で原子力研究における化学の役割や放射線化学の研究開発の方向について論議がなされている。一方、並行して原子力産業会議にアイソトープ、放射線利用委員会が出来、その第一分科会では理工学の分野での利用について、問題点と将来の研究、開発課題を対象に審議がなされている。現在、結論が得られているわけではないが、上記委員会に関連して審議に参加している一員として、放射線化学の基礎と応用分野における将来の研究開発について私見を述べてみたい。

基礎研究分野においては、三つの方向が考えられる。第一は、従来の基礎研究の発展であり、内容的には未踏の極限条件下における放射線化学効果の研究であり、さらに測定の精度や分解能の向上であろう。放射線エネルギーの単色化や極超短時間現象の観測などでもこの範疇に入るであろう。第二は、新しい分野の開拓である。ポジトロン、ポジトロニウムの化学、中間子 (π^\pm , μ^\pm) の化学、Mu の化学などおよび、高速中性子による体系的な化学効果に関する研究などが、これに含まれよう。第三は、研究分野の境界領域への拡大であろう。身近なところでは、一般の化学の中における放射線化学の役割で見落されているものも少なくないように思う。さらに、物理、工学、生物、農業、医学の分野との境界領域における放射線化学を中心とした、あるいは密接に関係のある研究課題がある。物理化学の重要テーマは多くの場合放射線化学の茶礎と重

なっていることは周知の事実であり、工学分野では原子炉の安全性に関係の深い原子炉の水化学、生物、農業では滅菌、殺菌の問題、遺伝子工学への放射線利用、医学では、加速器や原子炉を用いる放射線治療の問題などであろう。今後実施すべき基礎研究として考えられるテーマとしては、(1) 水系の放射線化学-極限条件下での研究、短時間に起る現象-軽水炉、核融合炉の安全性、 e_{aq}^- の合成化学への利用、(2) 中性子の化学-加速器、分裂炉、融合炉の安全性と発生中性子の利用に関連、(3) 線量測定法の確立と標準化の研究-線源の多様化に対応、(4) トリチウムの化学-関連して D, H, Mu, Ps の化学、(5) 廃棄物処理の化学、(6) 機能性材料の開発、(7) 放射線エネルギーの化学エネルギーへの交換-高温ガス炉や核融合炉の化学利用、(8) 環境保全のための放射線化学、などであろう。

応用、開発研究の分野では、長期的観点に立った大型プロジェクトの目的基礎研究と短期的観点に立った、工業化のための目的応用研究があろう。

研究開発体制に関しては、基礎研究の分野で、施設の規模の大型、巨大化が進んでおり、全国共同利用施設の充実または新設が必要であろう。中間子科学実験施設や放射光実験施設などは、有用な施設として利用されよう。さらにいくつかの大学でそれぞれ特徴ある施設の設置が望まれる。応用研究の分野では、大学、国公立研究所、原研などの共同研究による効率のよい研究開発が望ましく、プロジェクト研究の設定、推進のために、組織化するための機関が必要であろう。

(32号(1981年)巻頭言、再掲)

新しいビーム利用の展開

東海大学工学部教授（当時）
田畑 米穂



現在、放射線とアイソトープは、医学、薬学、理学、工学および農学の非常に広い分野において、我々の日常生活に不可欠の存在として利用されている。その利用は、更に普及し拡大しつつある。現在我が国の放射線発生装置保有の事業所数はおよそ 4,700 ケ所に達し、1 年平均 120 ケ所の割合で増加しつつある。

進展しつつある電子ビーム利用の中心は滅菌分野であり、近い将来重要視されている分野は、食品保存次いで環境保全への利用であろう。廃水、汚泥および上水の放射線照射は生物的、化学的、および物理的效果を利用した電子ビームによる水処理技術であり、酸性雨の原因となる廃煙の処理は効率のよい NO_x と SO_2 の両汚染物質の同時除去法である。

新しい放射線利用の中心的役割を担うのは、各種の加速器より得られるビームであろう。レーザービームは極めて重要な線源であるが、ここでは言及しない。電子ビームと粒子イオンビームとに大別出来よう。電子ビーム利用では、1 次ビームとしての加速電子と 2 次ビームとしての放射光 (Photon Factory) と、ポジトロンビーム (Positron Factory) の利用であろう。粒子イオンビームの利用としては、1 次ビームと、中間子ビーム (Meson Factory) や中性子ビーム (Neutron Factory) 等 2 次ビームの利用がある。

放射光施設では、高強度の単色化された光が広いエネルギー範囲で利用出来る。最近、施設の大型化とコンパクト化が併行して進んでおり、前者はより多くの可能性の探求と広い範囲の共同利用に供せられるためであり、後者は、特定目的のための専用化であり、簡易化である。

中間子施設では、高エネルギープロトンをターゲットに衝撃することによって、 $\pm\pi$ 中間子を得、崩壊によって生じた $\pm\mu$ 中間子を利用する。米国、カナダ、スイスおよび日本 (KEK) でビーム実験が行われている。 μ^+ は材料、物質中に打込まれ、周囲の原子や分子との磁氣的相互作用をとおして、新しい状態の分析の開発やテスト法に重要な役割を果たしている。トラック中における活性種の生成や相互作用については特徴ある情報を提供し、放射線化学の初期過程の解明に役立つ

いる。一方、 μ^- は、核との直接的な相互作用をとおして、元素分析の新しい手段を提供している。さらに、中間子触媒核融合の誘起が明らかにされており、プロセスの解明に研究の重点が置かれている。中間体として、中間子分子イオン・ラジカルの生成が予言され、最近になって、実験的に証明された。この過渡現象は、放射線化学プロセスの一つと考えることが出来よう。

ポジトロン・ビーム施設は、ポジトロンの強力な高品位のビームを得るためのものである。日本では、東大の LINAC によって最初のポジトロン・ビームが得られ、引続いて原研、電総研の LINAC による実験が精力的に行われ、成果を得つつある。近い将来ポジトロン・ファクトリーが、原研高崎研究所に設置されることが期待されている。実現すれば世界最初の Positron Factory となる。ポジトロンは物質の電子状態を中心に、固体の表面状態分析などに極めて強力なユニークな手段を提供する。半導体、触媒、電子素子、新素材の開発などに極めて重要な役割を果たすことになろう。ポジトロンはまた、放射線化学におけるスパー反応の解明に対して重要な役割を果たしている。中性子ビームの利用については、古くからよく知られており、ここでは省略する。

ビーム利用は先端技術分野において重要な役割を演じている。マイクロ・エレクトロニクス分野における種々の利用はよく知られており、LSI、超 LSI、超々 LSI 製造分野などで諸種のビームが使用されるようになって来た。高温超電導体の分析、解析、合成には新しいビームの利用が役立っている。単一イオン粒子による材料の加工は、極限的、究極的手段として、将来その利用が強く期待されている。

諸種のビームと物質との物理的・化学的相互作用の研究は、上述の新しい技術開発の根幹をなすものであるが、未だその緒についたばかりと言えよう。従来研究されていない新しい条件下での放射線化学プロセスの解明が必要であり、先端技術分野での放射線化学の果たす役割と中広い新しい展開が期待される。

(48 号 (1989 年) 巻頭言, 再掲)

核・放射線と人類



東京大学名誉教授
田畑 米穂

自然界における核と放射線の存在は、宇宙の起源に由来するまた物質や生命の生成、誕生が遠い過去にさかのぼれば核・放射線に起因している。このことを考えれば、人類と核・放射線は切っても切れない関係にあることは明らかである。

宇宙はビッグバンによって始まり、現在も膨張を続けている。宇宙の年齢は 137 億年で太陽系の誕生は 46 億年前で地球の年齢に相当する。35–38 億年前の原始生命体の痕跡がかって海底マグマの噴出口にあったとされている。これが生命の海底マグマ噴出口における誕生説の根拠である。第 2 の生命の起源説は、約 40 億年前、有機物を含んだ彗星が惑星近辺の星雲から、地球へ集中的に衝突した事実に基づいており、生命体の外來說である。2005 年 7 月に NASA が探査機ディープインパクトから小型観測機をテンペル第一彗星に衝突させることに成功した。このプロジェクトで彗星内部の状態を観測することにより、地球にどのように水や有機物が生まれ、生命誕生につながったのかを解明する手がかりが得られた。第 3 の起源説は 1953 年の Miller の実験である。CO₂、H₂O や N₂ など単純な化合物の混合系に光、放射線放電の作用によって、アミノ酸、糖、塩基などが生成することに基いており、地球の陸上における生命誕生の説である。3 者のうちで最初の説が最も有力視されている。

核・放射線と地球の活動や人体とのかかわりについて簡単に触れ、本論に入りたいと思う。

地球におけるエネルギー発生源は①U、Th、および K の崩壊熱、②地球生成時の宇宙小惑星や宇宙塵の衝突、凝集過程で蓄えられたポテンシャルエネルギー、③地球均質化のポテンシャルエネルギーの合計である。地球の余命は数十億年とされている。

われわれは、自然環境より平均 2.4–2.6 ミリシーベルト/年の放射線の影響を受けている。内訳は、宇宙か

ら 0.4、大地から 0.5、食物から 0.3、ラドンなどの吸入より、1.3 各ミリシーベルトである。人工放射線の一般人に対する線量限度は 1 ミリシーベルト/1 年と規制されている。医療を受けることによる日本人の平均被曝は 2.25 ミリシーベルト/1 年に達している。

核・放射線と人類の関係で改めて気が付くことは、純粹に人工的と思われていることが、既に自然界に存在していることである。読者にとっては釈迦に説法になると思うが、順を追って述べてみたい。

(1) 加速器：宇宙起源の放射線は γ 線からラジオ波にまたがる広範なもので、ペルサー、ブラックホールからクエーサー、銀河より発せられるものである。特に数は少ないが、GeV をはるかに超える超高エネルギーの H⁺ ビームが宇宙から地球に到達しているのは、驚異に値する。宇宙にビーム加速の機構が存在することを示している。天然の宇宙加速器とも呼ぶことができよう。

一方、人類が最初に放射線を発生させてそれを認識したのが 1895 年レントゲンによるクルックス管中での電子加速と加速電子による X 線の発生である。人工加速器と人工放射線の出現である。翌年には X 線の医学への利用が始められている。以後 1930 年のローレンスのサイクロトロン、1932 年のコックロフト・ワルトンの静電型加速器の開発をきっかけに、今日の巨大加速器の開発が進んでいる。

(2) 核融合炉：太陽に代表される恒星は核融合によって大量のエネルギーを放出している。H→D→³He→⁴He の経路で核融合反応が起きている。1 グラムの H の燃焼によって 15,000 万 kcal の熱エネルギーを発生するので 20 °C の 25×15×5 m³ のプールの水を沸騰させることができる。地球に太陽から到達するエネルギーは 5.5×10²⁴ ジュール/年で人類の消費するエネルギー、2.6×10²⁰ ジュール/年の約 20,000 倍に達する。

人工的な核融合の実証は不幸にも 1952 年における水爆実験という形で実現した。国際プロジェクトの核熱融合実証炉 ITER の建設は、フランスのカダラッシュに決まったのは最近のこと（2005 年 6 月）である。人類にとって究極のエネルギー源となる可能性を秘めたこのプロジェクトは世界的な協力を必要としている。

(3) 核分裂炉：1972 年にアフリカ、ガボン共和国オクロに 20 億年前に天然の核分裂炉が存在したことが、フランスのチームによって発見された。ウランに富む鉱脈 4 地区にわたり、6 コの小規模の天然原子炉が臨界状態を続けていたことが確認された。わが国の故黒田教授によって予言されていたものである。 ^{235}U の半減期は 7 億年であり、当時の U 鉱の組成は $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 3/97$ で、現在の 0.7% と比較すれば、格段に大きな差があることがわかる。11-41 億年前にさかのぼった昔の先カンブリア期に 1 kW 程度の出力に相当する天然の核分裂炉が地球上に無数に存在したことが推定されている。

1938 年、ハーンとマイトナーによって ^{235}U 核分裂が発見された。これに基づいて人類初めての ^{235}U の連鎖的核分裂現象、すなわち、核分裂原子炉が、1942 年フェルミによって、建設され臨界に成功した。シカゴバイル CP-1 である。1945 年には原爆製造という不幸なプロセスを経て、1954 年には、原子力発電がスタートした。原子力のエネルギー利用の幕開けであった。

(4) 放射性同位元素：天然に安定同位元素は 270 種、放射性同位元素は、約 80 種存在する。放射性同位元素の最初の発見は、1781 年クラップロートによる U であり、つづいて、1828 年ベルセリウスとシュミットによる Th の発見である。しかし彼らにとっては単なる化合物で放射能を有しているとの認識はなかった。1896 年ベックレルは U よりの放射能を感光乳剤の黒化によって確認した。これが人類最初の放射性同位元素の発見である。Fe の核種が最も安定で、鉄以下の軽い原子核は“発熱的”プロセスで核融合により、鉄より重い核は、“吸熱的”プロセスで生成する。前者はビッグバン以降の高密度、面エネルギーの空間や恒星で起こる凝集プロセスで生成し、後者は、超新星の爆発によって生成した。

現在人類にとって、アイソトープは極めて広範な分野で欠かすことのできない重要なツールとして使われている。放射性同位元素の化学、医学、生物、工学および諸種の産業への応用利用は 1938 年までにほとんど出尽くしていることは照くべきことと思われる。

自然における核・放射線現象としての核融合、核分裂、放射性同位元素、および粒子の加速について、人類とのかかわりあい述べてきた。どの分野も将来の発展に向かって日進月歩であるが、特に核・放射線の利用に関連して、加速器が注目されている。

放医研の重粒子治療のための加速器 (HIMAC) では、約 10 年の実績をもち、2,200 名に及ぶ患者を治療している。将来、小型、超小型の重照射研究施設が計画されている。原研高崎研のイオンビーム施設 (TIARA) では、マイクロビームを利用した細胞レベルの研究が進められている。SPring-8 では 2003 年レーザー電子 γ 線による新粒子 (ペンタクオーク) の発見があり、素粒子物理分野で新しい展開が期待されている。強力なレーザー電子 γ 線による光・核反応の研究が今後注目される。理研の RI ビーム・ファクトリーでは、He 中性子過剰核の生成や、2004 年における 113 番新元素の発見がある。高エネルギー加速機構では、スーパーカミオカンデを的にしたニュートリノの質量検証実験が行われた。最近の研究では、ニュートリノが過去の仮説と異なり、重量をもつことが、ほぼ確実視されている。ごく最近 (2005 年) の B 中間子ビームによる実験では、クオークのボトムがダウンに変換する現象が観察された。従来の理論を超えた未知の法則の発見につながる可能性があるということで注目されている。

表 1.

放射線	透過	線源と応用	実現の時期 (世紀)
X-線, γ -線	~cm	放射光, SPring-8, および次世代機	20-21
強力レーザー		誘起される各種加速粒子	21-
中性子	~m	高エネルギープロトン, 加速器, J-Parc	21-
中間子	~km	宇宙線, 大型構造物, 地層のラジオグラフィー	21-22
ニュートリノ	~Mm	宇宙現象, 加速器, 地球診断	21-22
重力波 (グラビトン)	>Gm	天体宇宙現象, 宇宙診断	22-23

原研関西研究所では、超高出力レーザービームの発生と、強力 X 線レーザーの発生に成功し、ウェークフィールドによるビーム加速に挑戦している。

強力中性子源となる高強度高エネルギープロトン加速器 (J-PARC) の建設が、高エネルギー加速機構と原子力研究所の共同プロジェクトとして現在進行中で、2007 年にはビーム発生が期待されている。

わが国で、このような大きな加速器群の利用が進み、世界最高水準の研究が進んでいることは頼もしい限りである。

今後のビーム利用の長期にわたる展開を、伊達宗行東北大学名誉教授の予測を参考にまとめてみると表 1 のようになる。

科学に関する研究は、着実に、より幅広く、より深く未来に向かって進んでいる。生命とは、物質とは、宇宙とは、の問いに対して、究極の未来に向かっての探求は、内容的には限らない過去への回帰であるとい

えよう。

個別の放射線化学から離れて、超長期の時間スケールで宇宙規模地球規模の話になってしまった。核・放射線科学の中で将来、放射線化学はどう位置づけるべきか気になるところである。現状を維持するのか、周辺領域を取り込んで、拡大していくのか、あるいは周辺領域にしだいに散逸して消失するのか、いろいろの考え方や予測がありうると思う。

今後のあり方として、放射線化学会が今まで積み重ねてきたよき伝統を活かし、はどほどの異分野融合を考慮し、横断的協力が可能で、まとまりやすい範囲の中で、将来大いに発展できる条件を見いだしていく必要があると思う。

放射線化学と核化学の両分野での何らかの協力体制を考えるのも一つの選択肢ではないだろうか。

(80号(2005年)巻頭言, 再掲)

百号記念出版に際して

東京大学名誉教授
田畑 米穂



記念号出版おめでとうございます。

放射線化学に関しては、色々の思い出があります。各種の国際会議がありますが、最初の国際会議への出席は1962年英国のハロゲイトにおける第2回放射線研究会議への出席でした。そこでの強い印象は、インフォーマル・ミーティングでの私共の研究-低温固相重合-についての招待による発言でした。それにひき続く諸々の会議がありましたが、特筆すべきは、日仏放射線化学協定による2国間の会議に出席したことであり、日仏交互に会議を開いて出席いたしました。

第二は日米放射線化学会議で1966年に日米間の放射線化学シンポジウムが開催されることになりました。交互に日本とアメリカで数年間にわたって開催されました。米国がこの分野で進んでいましたので日本は学ぶことが多かったです。

第三は日本と中国の日中化学シンポジウムであったと思います。大阪大学の故林教授と上海科学技術大学の馬教授とが提唱された会議です。それ以降、交互に日本と中国で開催され約10年前迄続いたと思います。

中国は放射線化学が遅くスタートしたので、日本から学ぶことが多かったと思います。

第四は1979年から放射線利用を含む日伯科学技術シンポジウムが開催され、日本側は故向坊隆元東京大学総長が委員長でブラジル側はその都度交替されました。日本側の幹事が私であり、ブラジル側の幹事はサンパウロ大学物理学教室の渡辺茂雄教授であり、1995年頃迄続いたと思います。

などなど国際会議の出席は続きましたが、細かいことについては省略します。

ここで提案があります。

1つは将来、放射線化学会と核化学会が合同して一つの会になればと思っています。前に提案したことがありますが、今もその意見はかわっていません。

2つ目の提案については、女性の役員や会員を今後増やしていただきたいことです。

ますます活発に活動されるよう心からお祈り致します。

(100号(2015年)記念特集:第I部回顧録,再掲)