

物質研究を目的とした中性子利用の歴史

遠藤 康夫*^{1,2}

Japanese History of Neutron Application for Materials Science

Yasuo ENDOH*^{1,2}

Abstract

The modern history of neutron scattering research activities in Japan is reviewed by focusing those at the large experimental facilities of both accelerators and reactors. Now the neutron scattering activities reach the world top class though the history shows a lot of struggles as well as efforts for more than 4 decades. Finally I emphasize here how the Japanese neutron researches go forward with corporate of research development of Japanese materials science.

1. はじめに

手元に 1984 年秋米国東海岸の保養地で開かれた国際 workshop¹⁾ の記録がある。V. Emery (故人) と G. Lander 博士が国際会議を企画し、広く世界中から研究者を集めて New York 州, Shelter Island で開かれた。当時欧米では相次いで中性子散乱研究の為に大型の施設建設計画が提案されていて、いわば中性子散乱研究の絶頂期でもあった。その後間もなく 1990 年代の半ばを過ぎると米国の ANS 計画やドイツの ESS 計画がキャンセルされ、その上 BNL の HFBR など最先端の原子炉中性子源が閉鎖されて以来、中性子利用研究の暗黒時代が始まった。

1932 年、Chadwick 卿による中性子発見から数年で物質構造研究の為に中性子利用が始まったが、今日行われている所謂大型中性子源の利用は 1950 年に入ってからである。日本はそれから 10 年以上も遅れて東海村で原研の研究用原子炉 (JRR-2) や、つくばの KEK で陽子加速器を使ったパルス中性子線利用 KENS での発展の経緯をたどってその 50 年経過した現在、ようやく世界最前線の舞台である JRR-3 や J-PARC で研究活動が出来るようになった。藤井保彦、神山崇²⁾

や筆者³⁾ は研究活動の歴史についてまとめたので、特に 1980 年代以前の歴史についてはこれらの報告に譲る。2010 年に JRR-3 原子炉が停止し、既に約 6 年間の長期間休眠状態にある。また J-PARC の陽子加速器を線源とする MLF 中性子散乱施設は必ずしも計画通りに順調に運転されている訳ではない。執筆を引き受けた動機は一度過去を振り返り、加速器を利用した中性子散乱研究の将来の隆盛を迎える準備の機会にしたいからである。本報告では主として 1980 年代以後の 30 年余りの歴史を振り返り、それをベースにして将来展望に触れられたらと思っている。

2. 1980 年代以前の日本の中性子利用研究

中性子利用研究の黎明期、成長期は現在の施設を実現させた準備期間であったと見なせる。日本では 1960 年代初頭から JRR-2 原子炉 (定常中性子源)、東北大核理研電子リニアック (パルス線源) で中性子利用が始まったが、その時期 (1970 年代) には欧米ではおおよそ今に繋がる中性子利用研究が開始されていた。従ってこの頃の日本の研究活動は、将来計画の立案や、進んだ欧米の中性子源施設での散乱技術を取り入れてひたすら世界一流とのギャップを埋めることに腐心した。世界に眼

*¹ 東北大学 Tohoku University*² 高エネルギー加速器研究機構 KEK, High Energy Accelerator Research Organization (E-mail: hy_endoh@kcc.zaq.ne.jp)

を向けると、1970年代には米国ではBNLのHigh Flux Beam Reactor (HFBR) やフランスのGrenobleにあるILLのHigh Flux Reactor (HFR) が稼働を始めた。共に中性子線専用利用 (dedicated facility) の高性能原子炉であることや、特にHFRは原子炉内に挿入された液体重水素瓶を通して出てくる高い強度の長波長 (冷) 中性子の取り出しや、さらに複数の装置の串刺しを可能にする中性子導管などの新技術導入があった。世界の檜舞台で熾烈な競争現場にある日本の物性物理研究者はこの事実に驚き、物性研究の重要ツールである中性子利用の決定的遅れに重大な懸念を抱いたのも事実である。1967年の研究会での久保亮五の冒頭の挨拶はこの状況を物語っているのでここに要約する⁴⁾。

「HFBRは既に稼働を始め、その偉力に眼をみはる思いをしているが、単に中性子強度だけでなく実験精度の飛躍的向上に格段の進歩がある。(久保は) 中性子非弾性散乱 (spectroscopy) が与える物性研究の基礎的手段の有効性と意義を唱えてきたが、実際目の当たりにすると、その意義と有効性は『深さ』と『幅』において革命的進歩が見られる。日本には未だ原研に1基の原子炉しかなく、その原子炉も非弾性散乱目的には全く不十分な性能で憂慮に絶えない。新しい原子炉の必要性を訴えたい。」この呼び掛けに応じて学会会議や文部省に委員会や研究班が立ち上がり数々の提言が公式的に出された。これによって、日本全体の共同利用施設としての大型原子炉や加速器中性子源の建設の機運が高まったのである⁵⁾。

今日、日本の中性子線利用研究は全国共同利用が中心であり、課題採択、実験実施、成果報告に至る作業は共同利用施設を中心に行われている。この原型はILLで確立された制度であるが、そもそもILLはEUが運営母体で、その規模や多国的組織など建設当初から国際共同運営が基本であった。ILLの共同利用制度が有効に機能したことは当時の研究者、特に家内工業的な規模で研究をする日本の物質科学研究者に斬新な驚きを与えたのであった。日本では中性子線利用研究は、施設所有機関の原研と大学の共同利用研究機関である東大物性研、パルス中性子源は東北大核理研 (学内共同研究機関)、のちに陽子シンクロトロンを線源とする高エネ研 (KEK) BSF施設と京大原子

炉が個別の共同利用体制で行われていた。

ここでパルス中性子源による研究の歴史を簡単に紹介する。木村一治が立ち上げた東北大原子核理学研究施設 (核理研) の電子ライナックを線源とするパルス中性子の研究は、広い意味で日本の独創研究であり、今日の陽子加速線源によるパルスビーム利用のルーツでもある。詳しい記述は著者の報告に譲るがこの電子ライナック施設は以下の点で特筆すべき独創的な研究がなされた。まず核理研施設は原子核研究を主目的にしているが、多目的研究センターとして設立され東北大内の学内共同利用ではあるものの多分野、他研究機関にも解放された研究施設であった。建設から数年後中性子分光を可能にする装置改良 (特に中性子発生部) がなされてTOFによる中性子分光が非常に強力であることの実証実験がなされた。その頃、北大工学部の電子リニアックを線源として中性子分光研究が井上和彦によって始められ、その装置開発研究がKENSで実を結んだ。井上は5章で記述するようにKENS研究グループ (BSF施設の中性子研究部門の名称) に参加して、北大での開発を基にLAM装置群を完成させ、低エネルギーの分子運動の研究に威力を発揮することを示した。現在MLFや英国RALのISISで活躍している同種の散乱装置なども北大で開発された。

KENSの装置開発は東北大核理研における基礎研究を発展させたものであるが、全国の研究者に門戸を開いて独創的な装置の開発に努力した。例えば、パルス電磁石と中性子パルスと同期をとってパルス強磁場下の回折像の実験も可能にした。この開発によって定常磁場では到達不可能な強磁場下の中性子回折を可能にした。

当時加速器利用研究分野では常識となっていた加速器共同利用方式をKENSにおいて採用し、物性研究分野には画期的な全国大学共同利用方式を確立した。KENSの建設ならびに共同利用方式に尽力したのは東北大学の研究チームであったが、この方式に依って建設や装置運営と共同利用の人材を確保し「all Japan」で取り組む成果を示した。石川義和はKEK施設単独では難しかった施設運営を独創的な方式を類稀なる指導力で突破したし、新しい研究分野、特にソフトマターや化学分野に広げ、さらにKEKの加速器部門の高度な技術も導入した。これによって短期間にKEK

にパルス中性子研究施設 KENS が完成したのである。

日本の中性子利用研究が欧米に比べて 10 年以上遅れている現実を補填したのは研究が始まった直後から英国, 米国, カナダなど先進国の原子力研究所に研究者を派遣して大強度中性子利用研究に従事し, 実験技術の研鑽に努めたことが挙げられる。当時の中性子源強度比較を図 1 に載せるが, 日本の中性子線利用では強度的に到底中性子分光実験は不可能であった。

1980 年頃になると, 個人的な国際交流の繋がりが結実して 2 国間協力研究事業が生まれた。原子炉利用では米国の大強度中性子源を持つ BNL, ORNL との日米協力事業, さらに ILL への部分的な参加 (日仏協力), パルス中性子線では英国 RAL との日英協力事業などによって若手の研究者の長期滞在が可能になったし, 日本の資金で国外の施設での装置設置までも可能になった。

HFBR に 3 軸中性子分光装置, ISIS にチョッパー中性子分光装置 (MARI) を設置したのもこの 2 国間協定事業の成果である。これらの国際共

同研究の功績は単に日常の研究活動に止まらず, 世界中からこれらの大型研究施設に集まる諸外国の研究者との密接な人脈の構築が可能となり現在も脈々と継続されていることである。

3. 中性子共同利用研究の幕開け

3.1 JRR-3 の建設と共同利用体制の構築

前章で書いたように日本の中性子利用研究者のみならず, 特に物性物理研究者の大強度中性子源渴望の声が学会のみならず学術会議, 文部省などを動かすこととなった。これに呼応して原研では JRR-3 改造計画が 1980 年頃から原子炉長期計画として取り上げられた。JRR-3M と名付けられた中性子ビーム利用を主目的とした原子炉は JRR-2 と並行して稼働していた JRR-3 を停止して原子炉本体だけを建屋から取り出して地下の格納庫に収めて, 格納庫の地上部を中性子利用建屋にする画期的計画であった。新しい JRR-3M は炉心近くに挿入された冷中性子源を臨む中性子導管群が新たに取り付けられた。新原子炉の建設と付帯工事はおおよそ 5 年で成し遂げられ, 1991 年に運転を開始した。JRR-3M 原子炉に挿入されたビーム管は当時低速中性子を利用する大強度ビームの取り出しの最新技術であった炉心に対して接線方向 (tangential) を向いた構造が採用された (図 2)。このことに依って炉心容器の周りに低エネルギー (熱) 中性子のピークが集まるように設計された原子炉の中性子分布に最適化された位置がビームの取り出し口であるばかりでなく, ビーム実験には邪魔な炉心中央部の高速中性子ビームを避けるようにしてビームが炉心部から取り出された。つまり入射ビームに対して数桁弱い非弾性散乱のシグナルノイズ (s/n) 比向上が図られた。世界最大の高束原子炉である HFBR, HFR に比べると約 1 桁弱い数 10^{15} /秒 \cdot cm 2 の強度ではあったものの, JRR-2 に比べると 1 桁以上の質の良いビームが得られ, しかも当時の最先端の性能を持つ数基の 3 軸分光器が設置されて非弾性散乱 (中性子スペクトロスコピー) 研究が一挙に開花した。JRR-3M 原子炉施設は現在では世界でも屈指の性能を持つ研究用定常中性子源である。中性子利用者は福島原発事故の煽りを食って 7 年間近く未だ停止状態にある原子炉の再起動を心待ちにしている処である。

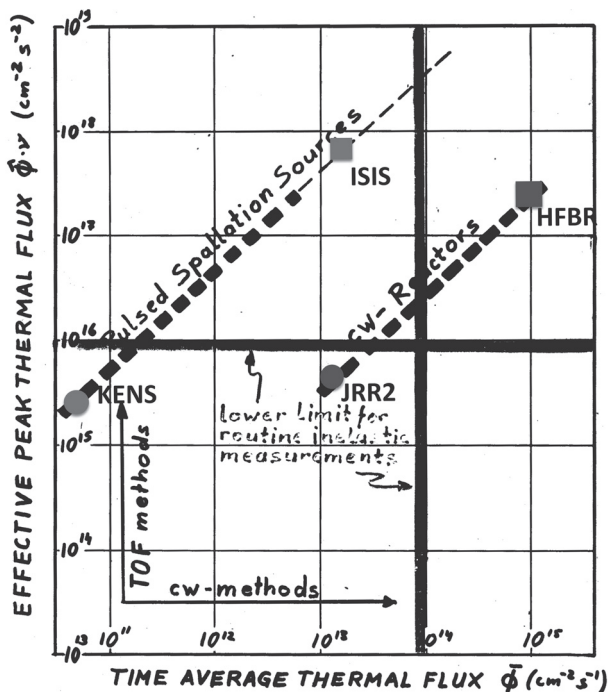


図 1 中性子線源強度 (縦軸パルス中性子強度, 横軸定常中性子強度) のマップに当時の日本 (JRR-2, KENS) と比較のために欧米 (HFBR, ISIS) の中性子強度をプロットした。この図は 1980 年に作られたものを転載した (著者のノートより転載)。

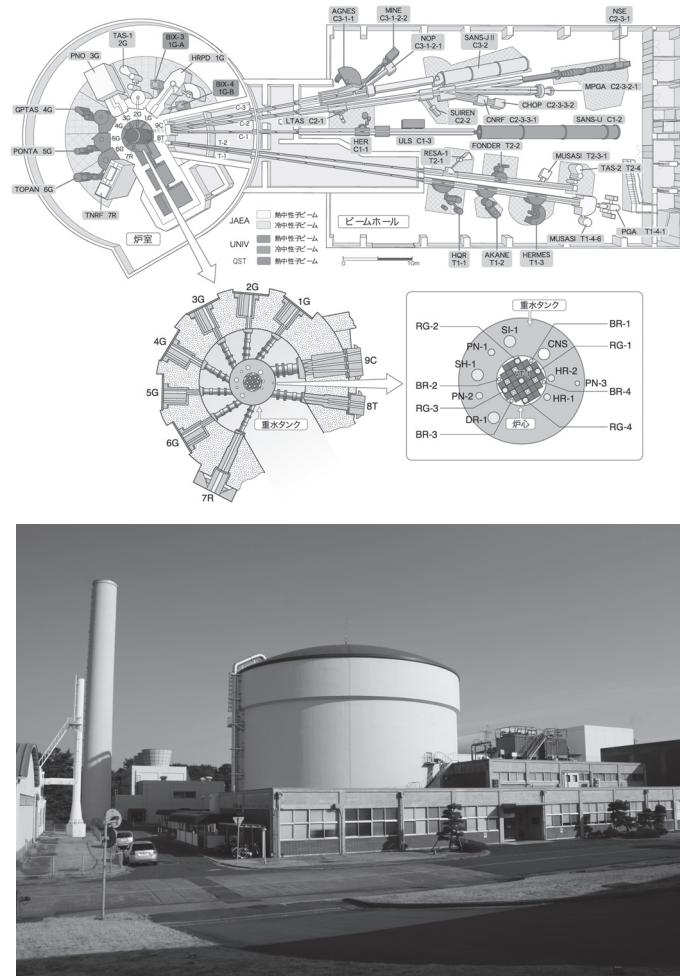


図2 JRR-3M の中性子散乱実験施設のフロアプラン（原子炉ビームチューブの配置を含む）と JRR-3M の建屋（JRR-3 および利用申し込みシステムのホームページから原子力機構の許可を得て転載）。

JRR-3M の開業は共同利用体制に画期的な進展をもたらした。それ以前は上に書いたように、全国の中性子利用コミュニティーを包括するシステムが存在していなかったが、東大物性研に中性子散乱施設が設置され、教官ポストが拡充されると共に JRR-3M に設置された装置群や原研以外の利用を総括する運営体制を担うことが決まった。なんといっても大きな変化は装置群の管理体制が整うと共に、東海村に滞在する物性研の研究者や利用者の為の宿泊施設が研究所の側に建てられたことであった。この施設は土地の購入を山田科学振興財団が寄付し、その場所に物性研が3階建ての事務所を兼ねた研究室、宿舎を含むビルを建設した。それまで宿泊施設がなかった大学の利用者は木賃宿や東大工学部の宿舎などに分宿し、およ

そ研究者にとって居心地の良い環境が確保された訳ではなかったのが一度に解消した。外国の研究者から「suitcase scientist」と揶揄されていた中性子研究者が、東海村で中性子利用が開始されて約30年後に東海村に住を構えて、落ち着いて研究に没頭できる環境が整ったのである。それと共に JRR-3 の中性子共同利用も整備されて、実験利用申請から始まって、ビームタイム（中性子の利用者はマシンタイムとも呼ぶ）の課題採択の為の peer review, マシンタイム割り当てから実験実施、支援などほぼ現在のシステムの原型がこの時に出来上がった。残念なのは物性研が管轄する大学側と原研とが一緒に共同利用を運営することが出来なかったことである。このことは現在においても大きな重荷になっていることは否めない。

3.2 パルス中性子利用計画と大型計画の推移

KENS は世界初の共同利用実験のための核破砕 (spallation) パルス中性子源として 1980 年から運転を開始した。特に加速器中性子源に冷中性子源の設置を決めたのは当時としては非常識な技術選択であった。然し乍らその優位性は全ての加速器中性子源に冷中性子源が設置されている現実に鑑みると前進的な取り組みであった。特に J-PARC 中性子源では全ての減速材が液体水素、しかもパラ水素冷中性子源になっている。その後 Argonne 国立研究所の IPNS, Los Alamos 研究所の Lujan Center, 英国 RAL 研究所の ISIS など KENS よりも大型のパルス中性子源施設が次々に稼働を始めたが、ISIS は 160 kW と KENS の数十倍の出力の陽子線加速器を用いた施設で、巨大な検出器バンクを持ったチョッパー型分光器、約 100 m の飛行長をもつ高分解能粉末結晶構造解析装置 HRPD など現在でもパルス中性子を用いた最先端の研究センターとなっている。これに対し KENS では渡辺昇が中心となって線源から検出器に至るまで全体を最適化する手法で、一部の装置では ISIS に匹敵する性能が確認された。例えば高分解能粉末結晶構造解析装置 SIRIUS では、固体メタン減速材と 40 m 弱の高性能中性子導管を使用することで、ISIS の HRPD と遜色ない強度と分解能を得ることができ、高分解能準弾性散乱装置 LAM-80 でも当時の ISIS の同等の装置 IRIS と肩を並べる性能、すなわちエネルギー分解能は同等、S/N は LAM-80 が勝るという結果さえ得られていた。

しかし全体的には RAL の ISIS 施設に比べると強度不足は否めず、先行する ISIS を凌駕するパルス中性子源将来計画の立案と建設が急務となった。将来計画の立案は KENS 開始早々始まっており、最初は中性子源として専用の陽子加速器を持ちたいという利用者の要望が強かった。英国の ISIS や米国の Lujan Center 中性子源は共に専用加速器で、KENS と比較すると簡便さや利用効率など優れた面が多かった。1985 年頃に提案された計画案は GEMINI 計画と名付けられ、パルス中性子とミュオン発生の為の専用陽子加速器および実験施設の建設計画で陽子強度は 0.8 GeV, 50 Hz で予算規模に応じて synchrotron にするか FFAG にするかで議論が沸騰した。しかし、将来

計画推進のリーダーであった石川義和が 1986 年に急逝したことや、その後の指導的役割を受け継いだ山崎敏光が東大原子核研究所 (核研) 所長に就任し、しかも核研の改組など人事や組織の大転換が GEMINI 案からいわゆる JHP (Japan Hadron Project) 計画案への移行をもたらす波及影響があった。JHP は原子核物理や高エネルギー物理分野を含めた大強度陽子加速器建設計画で GEMINI の部分は中性子、ミュオンの 4 分野 (arena) の計画 (JHF) に吸収されるに至った。

JHF の終焉 (この言葉は適切ではないが、筆者の独断で使う) はあっけない形で現在の J-PARC 計画へと変遷した。JHF の建設予定地は現在の KEK キャンパスの東側の空き地であったが、文部省が取得不可能となり、その代換案として浮上した KEK の敷地内に大型の加速器を建設する計画も技術的な困難に加えて地元住民の中性子源に対する杞憂を納得させる見通しなど、つくばに建設することの難しさに遭遇した。その折、政府の省庁合併案や政府の機構改革などの政変と共に日本原子力研究所が消滅し新たに研究機構として当時の核燃料サイクル機構との合併案が実現へと動くことになった。大強度陽子加速器計画はこの省庁合併に伴って「文科省」の代表的な施設建設として現在の J-PARC 施設が東海村の旧原研東海研の敷地に建設される政府決定がなされた。この経緯については筆者と、福山秀敏の解説⁶⁾に粗ましが触れられているのでここでは繰り返さない。

4. J-PARC 開業と日本の中性子共同利用

大強度陽子を発生するシンクロトロン加速器を複数の研究分野の実験施設 (Arena と呼んでいる) に供給する J-PARC の概略を説明する。第 1 段で陽子はリニアックで 400 MeV まで加速される。陽子リニアックに直結した RCS と名付けられた陽子シンクロトロンで 3 GeV まで加速される。300 μ A の大強度陽子ビームが分岐されて、3 GeV 陽子ビームの本流 (1 MW) は MLF 施設に 25 Hz で運ばれる。残りの支流は MR と呼ばれる高エネルギーシンクロトロンに送られて 30 GeV に加速された陽子ビームはハドロン研究、ニュートリノ研究施設に供給される。J-PARC 施設は高エネルギー研究所で確立した一台の加速器の効率的利用を目的とした複合施設を踏襲したも

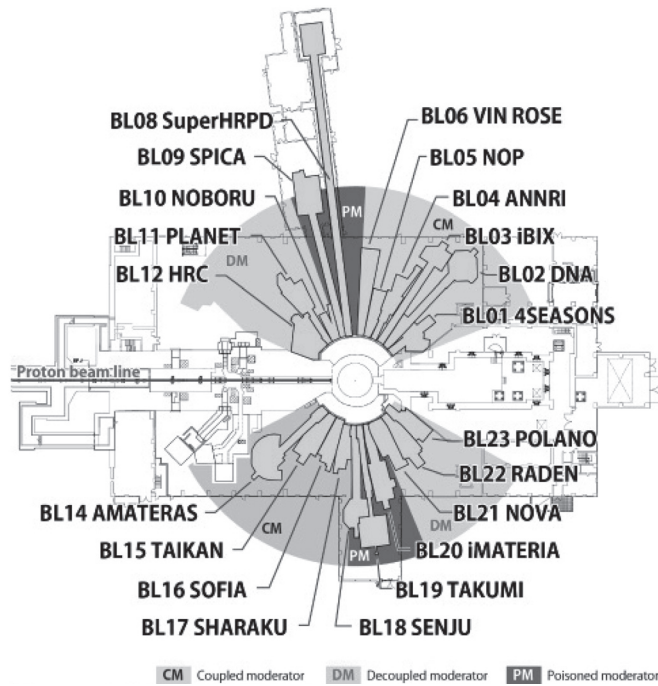


図3 J-PARC MLF の中性子実験室フロアプラン (実験室は2つに分かれている) (提供: J-PARC センター) と一方の実験室の俯瞰写真 (©IMSS@KEK).

ので、日本が開発してきた独特の複雑な加速器利用施設である。しかしそれ故の多くの課題も内在する。4 arena の内の MLF (materials and life science facility) は最大の研究施設である。MLF は 3 GeV シンクロトンから発射される 25 Hz の大強度 (1 MW) 陽子ビームを串刺しされたグラフィットと Hg 液体金属ターゲットのビームラインに分岐して導かれる。上流側のグラフィットから 2 次粒子としてミュオンが、下流の Hg ターゲットから中性子が発生する。Hg ターゲットの上下に 3 つの減速器が配置され spallation 中性子を低速化する。これらの 2 次粒子発生源システムは分厚い鉄と重コンクリートで囲まれた放射線防御桶

に収められている。3 つの中性子減速器を臨む合計 23 本のビーム管は遮蔽体を貫通して 2 つの実験室内に送られるが、それぞれのビーム管に異なった種類の装置が配置されている。MLF 施設配置図と建物内の実験装置写真 (一部) を示す (図 3)。

パルス中性子源に適した測定装置が 23 のビーム孔に据え付けられて現時点では既に空きスペースは 2 つしか無い。装置群の大雑把な内訳は物質の構造観察用のカメラ群とパルス中性子の時間構造 (飛行時間の波長依存) を利用した中性子スペクトロメーター群に分けられる。測定装置と測定法を理解する概要をそれぞれ代表的なカメラとス

ペクトロメーターを以下に例示しよう。

中性子ビームは例外を除いて物質を吸収されずに透過する。中性子が吸収、散乱される過程は原子核との相互作用、あるいは電子（原子核）スピンとの磁気作用に依る。中性子散乱に利用される低速中性子線は特殊な原子核以外は物質との相互作用が弱いので、散乱実験に使われる位の厚さの試料は粗透過する。例外的に中性子の吸収が強い ^3He 、 ^{10}B 、 ^{144}Cd 、 ^{157}Gd は中性子検出の為の重要な材料になる。H、Vなどは原子核スピンからの非干渉散乱が大きいことが知られている。中性子波長に比べて原子核の大きさが無視できる（原子）核からの散乱は「点」散乱と見なせる。対照的に原子（電子）に依るX線散乱は波長が電子雲の広がりと同じ桁なので、散乱の強さは前方散乱が強く角度が大きくなる後方散乱は相対的に弱くなる。中性子散乱の特徴を活かすと広い散乱角度の反射（あるいは散乱）が前方散乱と同じ感度で測れる。一方電子スピンによる磁気散乱は前方散乱が強く散乱角が大きくなると弱くなる。原子核散乱との比較によって磁気散乱の散乱角度依存性（形状因子）から電子スピンの空間的広がりが抽出できる。MLFでは特徴がある5台の回折計が設置されている。基本構造は粗同じであるが、MLFで誇れるのは中性子源技術の特徴を活かした高強度、高分解能など研究目的に応じて使い分けが出来ることである。

光や電子の速度に比べると桁違いに遅い中性子速度の特性を活かして、MLFの中性子源は繰り返しパルス周期を25 Hzにした。このことにより一定距離を飛べる中性子波長範囲を伸ばすことが出来る。典型的な装置（チョッパー分光器）は、試料の前に単色中性子を選別するため中性子を通す穴の空いた回転体を回して単色波長の中性子だけを取り出して測定試料に散乱させる。試料後方に配置された散乱中性子を、通常は2次元面に張られた中性子検出器の位置（散乱角度）と時間ごとのイベントを計測しパルスごとに積算する。MLFには他にも減速器を通してビームチューブで運ばれる中性子を試料に当て散乱中性子の波長分析を通して分光する方法など、多種類の分光装置が配置されている。

この章を終わる前に偏極中性子利用に触れておく。中性子は核磁気モーメント ($I=1/2$) を持つ。

スピンを揃えてビームを発生させる技術が無いので現在は一方のスピンを選択する方法でスピン偏極を行う。広い波長範囲の中性子を偏極するフィルター法が一般的であるが、偏極率を上げるのは容易では無い。中性子の ^3He 透過率が強いスピン依存性を持つ特性を利用して、核スピンを整列させて一方のスピンの中性をフィルターする偏極法が最有力である。MLFでもこの方法が開発されているので近い将来偏極中性子を用いた実験が期待される。

5. 小型中性子源

今にして思い返すと、KENSが完成する前にシャットダウンした東北大核理研の中性子施設は小型電子加速器中性子源の草分けであったと位置付けられる。その後、京大原子炉実験所の電子加速器中性子源が建設され、主として中性子核データの測定などに現在も使われている。北海道大工学部にも45 MeV電子加速器が建設され、1974年に設計値のビームを加速出来るようになった。この加速器は井上が加速器冷中性子源の開発を目的として建設されたものである。井上と鬼柳善明が冷中性子源として可能性のある、メタン、メシチレン、液体水素など考える限りの材質について試験を行うと共に、KENSの建設に合わせ、固体メタン減速材の開発、グルーブドモデレータなど様々な形態のもの研究開発が行われた。さらに最大の貢献は高エネ研の渡辺昇と共同で結合型中性子減速器を開発し、既存の減速器の数倍の強度を持つことが証明された。その後も様々な検出器、6極磁石を用いた中性子集束デバイス、様々な中性子ミラーの開発など多くのR&Dが北大の小型中性子源施設で行われたことは特筆すべきことである。

小型加速器中性子源が実用研究・材料評価に多大な成果を出すことで、利用可能性を認識され始めたのは2005年前後である。当時京大化学研究所において「On-site 中小規模中性子源」(2005年)と題する研究会が開かれ、それ以後北大において実際に中性子小・中角散乱装置 iANS のモックアップが作られた。例えば金属材料中のナノメーターサイズの析出物を精度高く測定出来ることが実証され、現在日常的に測定・材料評価にこの中性子源施設が利用されている。さらにブラッグ

エッジ透過法による結晶組織イメージングが非常に有用な手段であることも北大で証明された。RITS コードと呼ばれるブラッグエッジイメージ解析手法の導入で、応用研究の展開の幅が広がり、今後の発展が見込める。小型中性子源での実用測定のみならず発展系として J-PARC に螺鈿 (RADEN) と命名された世界最高性能のイメージング装置が建設された。現在北大では 40 年以上経った旧加速器を更新して 3 倍の性能を持つ新しい加速器を建設中である。その他、2011 年には京大理学部で 3 MeV の陽子線形加速器を用いた小型中性子源が完成し、現在光学素子開発、イメージングなどに利用されている。理研では 2013 年に 7 MeV の陽子線形加速器を用いた小型中性子源が建設され、産業利用に供されている。最近の成果は例えばペンキを塗った鋼板のサビのイメージングによる研究、鉄鋼結晶組織の極点図の測定などが挙げられる。このような研究は将来橋梁などのコンクリートの透視や、構造物の鉄筋の状況を目的とした携帯中性子源開発へ繋げることも考えられている。これに止まらず、現在名古屋大ではホウ素捕捉療法に使用するためのダイナミロン型陽子加速器システム開発が進められており、中性子の理工学利用にも供される予定である。

このような状況の中で、日本では JCANS という小型加速器中性子源群から J-PARC 級の大型加速器中性子源までをネットワーク化して有効利用を試みる新しい組織が立ち上がった。UCANS という世界の小型中性子源の関係者の集合体の下部組織という位置付けであった。この傾向は世界中に広がりつつある。例を挙げると、2-3 年前までは小型加速器中性子源に見向きもしなかった欧州の研究者が、日本の状況に触発されて Jülich 研究所を中心として JCANS の欧州版の組織の立ち上げの気運がある。隣国の中国、韓国でもここ 1-2 年で急速に小型加速器中性子源に対する注目度が上がっている。米国の SNS では、ついに予備機の陽子加速器入射器を用いた小型中性子源を建設するまでに至っている。

6. 終りに (将来への中性子利用の課題)

物性物理研究における中性子散乱の重要性が認識されて以来、半世紀が経過して日本の研究の立

つ位置も漸く世界の第一線の仲間入り出来た歴史を概観してきた。物性物理研究では、物質中に起こる多種多様な現象の解明、次世代材料の開発や産業技術応用研究の深化が猛烈な速さで進められているが、広い時空間領域で、透視力の強い中性子散乱研究に期待する声が大きくなってきている。しかし中性子線利用研究分野は常に原子力利用や、大型研究施設の国家的運用という研究行政問題に向き合わねばならない。施設の規模の巨大化に必要な、研究者育成プログラム、国際的な共同利用などの重要課題が整備されていない現状を打破しないと、中性子の利用研究の持続は見通すことが難しい。筆者は世界の第一線に立った JRR-3M, J-PARC MLF の大型施設の共同利用の運営形態が一体化され、最先端の物質科学研究のスピードに対応し、激しい国際間競争に追随出来ることを願ってやまない。

このような規模の大きな研究施設の建設を日本 1 国で完成させたことは誇りに思うが、中性子散乱の為の大型研究施設は創るのが目的ではなく、この施設から如何に重要な研究を産み出すが問われる。また現在研究人材供給が思うように行かない現状も認めなければならない。我々の先輩は欧米の後塵に位置して辛苦をなめた境遇を打破し、我々の世代は先輩の要求に応じて世界の中性子散乱研究の最前線に立つ努力をしてきた。この先の新しい歴史を創る世代に望みたいことは、日本の地勢学をよく把握し新しい中性子利用のパラダイムを構築し研究成果を産み出して欲しい。

この稿を書くにあたって、古坂道弘、鬼柳善明、遠藤仁の諸氏に大変お世話になった。この場を借りて感謝の意を評する。

参考文献

- 1) Proceeding of Shelter Island Workshop, 1985.
- 2) 藤井保彦, 神山崇, 日本中性子学会誌, 24 (2014) 132.
- 3) 遠藤康夫, 日本物理学会誌, 70 (2015) 694.
- 4) 遠藤康夫, 中性子非弾性散乱研究会報告, JAERI 1113 (1966).
- 5) 中性子将来計画委員会報告書, 1983.
- 6) 福山秀敏, 日本物理学会誌, 65 (2011) 29.
- 7) 6 章は古坂道弘 (北大工), 鬼柳善明 (名大工) 両氏の纏められた記事を筆者が加筆した。