

ERATO「十倉スピン超構造プロジェクト」追跡評価報告書

総合所見

十倉好紀氏が総括責任者を務めた本「スピン超構造」プロジェクト（第1世代）、ならびにその発展として行われた「マルチフェロイクス」プロジェクト（第2世代）の経過を省みると、研究が順調に進行し、多大な業績が積み上げられていることが明らかである。プロジェクト終了時点で事後評価が行われたが、その報告を現時点で見直してみて、内容に修正すべき点はほとんどなく、総合評価として「秀」が与えられたことは適切であったといえる。二つのプロジェクトを通じて、主たる研究対象は酸化物の物性であり、学理的に高いレベルの理論物理グループの協力を得て酸化物の物理的性質を基礎的に深く探求している点が特徴である。第2世代プロジェクトでは、電気と磁気に関わる新現象を次々に発見して、固体内部が創起する創発電磁場による電磁気学を提案するに至っている。第1世代プロジェクトが始まった直後の2003年段階では、当該分野の研究論文が6件であったのが、2010年には、600件までに急増していることは、第2世代プロジェクトによる研究展開が科学技術分野に新しい潮流をつくったことを物語っている。十倉総括責任者は、これらのERATOプロジェクトを通じて、世界的な研究リーダーとしての評価を不動のものにしたといっても過言ではない。これらERATOプロジェクトの成果は、2010年からスタートした内閣府の最先端研究開発支援プログラム（FIRST）「強相関量子科学」プロジェクトに発展的に受け継がれて、強相関電子物質全体の創発的な物質と現象の探索と学理の構築を目指した研究へと拡大している。

十倉グループの研究活動は、今後も継続的に支援する価値があることは明らかである。しかしその研究の基本姿勢は学術的に高度な基礎物理の追求であって、応用を志向した開発研究は、将来的な目標となっている。したがって、本来はプロジェクト的支援ではなく、継続的に支援して、創発的な研究活動が維持されることが望まれる。本「スピン超構造」プロジェクトが採択されたことの是非を、改めて現時点で議論するのが追跡評価の意義であるならば、まことに適切な選択であったと結論できる。質量共に目覚ましい研究実績によってプロジェクトの成功が証明されている。

以上のように、本ERATOプロジェクトの成果は、現在に至るまで発展深化を遂げており、波及効果の大きな成果を生み出すことに繋がっていると高く評価できる。加えてこれらの研究成果を基礎に平成25年度から理化学研究所において「創発物性科学」センターが設置されることになっていることは本プロジェクトの物質科学研究上の歴史的意義を明白に物語っている。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本 ERATO「スピン超構造」プロジェクト(2001-2006)における (1) スピン・軌道超構造、(2) 巨大電気磁気効果、(3) ベリー位相現象、の主たる成果それぞれは次に続く研究テーマを明白にし、ERATO「マルチフェロイクス」プロジェクト(2006-2011)へと発展した。

本研究の特徴の一つは、理論研究グループとの緊密な連携であり、理論物理的にも最先端の課題を、物質に即して実験的に解明を試み、他の追随を許さない成果を積み重ねている。その内容は世界的にみてもユニークで、学理的なレベルが非常に高く、最先端の成果といえる。ベリー位相に関連する研究がその実例であり、スキルミオンといった新奇なスピン構造の発見につながっている。この事実は「スピン超構造」において大きな研究成果があったことを考えると研究活動の展開という点で自然である。さらに「マルチフェロイクス」プロジェクトは FIRST「強相関量子科学」(2010-2014)へと継続されつつある。ここでは“イノベーション 4 への挑戦”という大変挑戦的な目標が掲げられている。以上の過去 10 年間の研究活動の展開は、「強相関電子系」が従来「半導体」で代表される「バンド電子」の概念を越えることを明快に位置づけ、そのことを踏まえ「強相関電子系」で出現する「マルチフェロイック」現象の多様な可能性を提示したという点で基礎物質科学研究の歴史において極めて印象的な出来事である。このような「突出した研究」の引き上げは JST-ERATO の仕組みの極めて顕著な成功例となるであろう。

産業面の視点でいえば、これまで闇雲に開発が行われてきたマルチフェロイック材料開発に、ある種の設計指針をもたらす成果を上げている。また、フェライトやガーネット、ペロブスカイトマンガン酸化物など電子材料として普遍的に用いられている物質がマルチフェロイック材料として大きなポテンシャルを秘めていることを実験事実として示した。このような知見は、産業界にとって設計指針の提示と合わせて、大きな励みとなる成果である。また ERATO プロジェクトで取り組んだ手法が、結果として新奇な物性探索を目指す材料開発にアプローチの一つの方法を示したことも合わせて特筆すべきである。

2. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効果

2.1 科学技術の進歩への貢献

現代の技術を支える半導体の基礎物性研究は、第 2 次大戦後に「バンド理論」を基に徹底的に展開され、その理解の上に信頼される技術が構築されてきたことは歴史的な事実である。一方、「強相関電子系」研究は、「モット絶縁体」をはじめ「バンド理論」では無視された「電子間の強い相互作用」に伴う効果に注目する。「銅酸化物高温超伝導体」の出現がそのきっかけである。十倉総括責任者はその「銅酸化物高温超伝導体」において「電子系」高温超伝導物質の発見を通して大きな貢献をしており、そ

のような背景のもとに「強相関電子系」の概念を社会に認識させ、それが持つ物質としての可能性を「マルチフェロイック」現象として次々具体的に提示してきたことは基礎物質科学へのきわめて大きな貢献である

物質面でいえば、ペロブスカイト型金属酸化物が中心となっており、ペロブスカイト型酸化物に関して総合的かつ徹底的に物性を解明しようとする点が特徴である。マンガン酸化物で発見された超巨大磁気抵抗効果から始まって、興味深い物性現象を数多く見出してきた。特筆すべき成果は、磁気構造が電気分極を発生させるというマルチフェロイックスの発現機構を世界で初めて実現したことである。このタイプの磁気と電気の結びつきは、従来では考えられなかった両者の強い相互作用を期待できるために、世界的にもマルチフェロイックス研究が爆発的に増大した。その研究内容は基礎物理の探求とともに新規機能性材料の開発を志向したものとなっている。さらに大きな特徴は、ベリ一位相に関連する現象など、理論物理学者の協力を得て基礎物理学的に高度な内容の研究を推進していることであり、ユニークな内容の新分野開拓の先頭に立っている。その業績が世界的に注目されていることは、国際集会での招待講演数が非常に多いことが証明している。国際学術誌への投稿数も非常に多く、それぞれに高い引用度数を記録している。基礎物性分野と物質科学分野にまたがる新奇な領域、マルチフェロイックス、を開拓し、この分野で世界をリードする存在となっており、さらに発展中であると評価できる。

2.2 応用に向けての発展

特許申請をはじめさまざまな応用に向けての研究活動が展開されているが、実際の応用までに克服すべき課題が多く、高温超電導線以外マルチフェロイックをふくめて「強相関物理」を応用した素子等はまだ存在していない。上記 3.1 に記述したように「半導体」の電子物性が基礎科学の対象としてその詳細が理解されてから実際の応用までの年月を考えると「強相関電子系の応用」における現状は十分理解できる。同時に「今が大切」である。応用における課題をサイエンスの課題として明確にとらえる努力が必要である。従って、実用的機能性材料の開発は、次の目標であり、研究結果が直ちに応用に結びつかなくてもやむをえない。産学協力や、特許の取得ないしはその維持がリーダーに余分の負担を与え、本来の基礎研究の推進を阻害する要因になっていないかどうか危惧される。学理面でのトップランナーが必ずしも産業応用を制する存在になるとは限らない、と評価者らは考えている。応用面で成功するにはタイミングや運、あるいはコスト面での条件をクリアすることなどが必要で、学理面での最高の結果が直ちにヒット商品を生み出すわけではない。評価において、応用面での成果を重要視することがプレッシャーを与え、基礎研究の推進を鈍化させることは望ましいことではない。このような観点からは、「基礎」と「応用」の両者を研究の視点で繋げる作業が必須である。そのために JST が組織として果たすべき役割・責

任は大きい。すなわち、応用への芽を育み、研究成果を応用する窓口まで導くトランスレーショナルシステムを JST で整備することが必要である。たとえば、応用に向けての意識付けはするが基礎研究の成果を目利きして、その成果を応用へ向けて活かす道筋を拓くために、基本的な技術レベルまで引き上げることを意図する仕組みが JST には、必要であると考えられる。

2.3 参加研究者の活動状況

本プロジェクトに参加した若手メンバー11名が大学常勤教員や理研、産総研などの独立行政法人の常勤研究職に昇進して、現在、新進気鋭の若手研究者として活躍している。プロジェクトに関与した若手研究者全体の人数は明示されていないが、かなりの人件費を費やしているため、合計人数はかなり多いと思われる。優秀な若手研究者を雇用して研究に従事させたことが、大量の研究実績を生み出すもととなったことは明らかであり、別の見方からいえば、人材育成に大きな成果があったといえるが、工夫によっては物質科学研究分野により広く展開できる可能性があった。十倉総括責任者という優れた指導者が多くの若手研究者を指導して成果に結びつけたことで、固体物理分野の人的な強化につながったことは、目に見えない成果ではあるが、研究成果の側面ばかりでなく、次世代を担う人材育成の面からも高い評価が与えられるべきである。

3. その他

「マルチフェロイックス」プロジェクトは別途事後評価が行われ、本評価の対象ではないが、「マルチフェロイックス」プロジェクトの存在そのものが「スピン超構造」プロジェクトの高い評価の結果であり、実質的には継続的な支援が行われたので、一言、付記しておく。2つのプロジェクトが連続して実施された結果、その連続性が有効に作用して大きな成果をあげるに至っているが、検討すべき課題がある。それは、内容的には、「スピン超構造」プロジェクトをさらに発展させることを意図したプロジェクトでありながら、独立の新規プロジェクトとして位置付けたことにある。予算の執行内容は説明されていないので判断できないが、実験装置などのインフラに継続使用できるものがあれば、新規プロジェクトと同等額の研究費は必要ではない、という場合も考えられる。また年限にも検討の余地があろう。一般論として ERATO が継続的支援を今後も採択するのか？は ERATO プロジェクトの今後の方向性にも関係するので単純には決められない問題であろうと思われるが、継続的支援の場合の金額や期間は新規プロジェクトと無関係に検討すべきで、柔軟な対応が求められる。十倉グループにとっては、幸い ERATO では、異例の連続採択と、さらに最先端研究開発支援プログラム(FIRST)の援助によって支障のない運営がなされているが、本来、5年程度の短期間のプロジェクトをつないで、やりくりしなければならぬ状態は理想的とはいえない。幸いにも、これらの研究成果を基礎

に平成 25 年度から理化学研究所において「創発物性科学」センターが設置されることになっていることは本「スピン超構造」プロジェクトの物質科学研究上の歴史的意義を明白に物語っている。

おわりに、JST の「研究戦略」について付言したい。「科研費」で代表される「ボトムアップ」的研究活動への財政援助と対比して ERATO をはじめ「選ばれたテーマ・研究者」への「トップダウン」的に研究資金援助を行う JST の活動の中で本「スピン超構造」及びそれに続くプロジェクトへの積極的関与は成功例の一つであろう。一方、より一般的に、「トップダウン」活動においては明快な「研究戦略」策定が必要なことは明らかである。JST「研究開発戦略センター」はそのために設置されていると理解するが、その活動が適切に行われているか、また、その成果が JST の事業に適切に反映されているかという点は、JST として常に留意すべきであろう。