

ERATO「五神共同励起プロジェクト」 追跡評価報告書

1. 総合評価

本プロジェクトで意図された光と物質の相互作用に関する基礎的学術研究は、様々な方向へ向けて発展が期待される故に、学術的に大きな意義を持つ領域である。その中でも特に深い学術的興味を持たれる課題を選定し、適切なプロジェクト参加者を選任することによって、本プロジェクトは実施期間中には高度な学術的レベルで研究が展開され、所期の成果が挙げられた事はすでにプロジェクト終了時の評価報告において述べられた通りである。

本プロジェクト期間終了後発展的に派生した多くの研究課題の進展も併せて、その成果はこれまでに世界的スケールで当該領域に大きな影響を与えつつある。諸外国の研究の進展を文献から学ぶ事によって新しい研究領域に参入し、世界的な競争の中で頭角を顕すという、従来我が国の研究者のパターンから脱却し、率先して新しい学術の世界的な流れを創造した事により、本プロジェクトは ERATO の意図するところを具現しつつ在ると考えられる。

また、本プロジェクトによって育成された若手研究者達は、その後も多くの課題に付いてそれぞれ更なる発展を遂げ、目覚しい活躍を重ねつつあり、それらの過程を見るに、本プロジェクトは人材育成に関しても大きな成功を収めたと言う事が出来る。

このような成功は、総括責任者が優れた学術的洞察の上に適切な計画を立て、優れた創造力を持つメンバーを集め、各研究者がそれぞれの個性を発揮して目的を達成し得る環境を整えた故に得られたものと考えられる。

本プロジェクトの成功は、ERATO の意図するところが極めて効果的に具現された結果であり、本事業が我が国の学術的、科学技術的発展にとって極めて有効であることを実証した一例と言うことが出来る。

因に、二十世紀の後半において世界的な規模で活発に展開された光と物質の相互作用の領域における学術的・科学技術的活動の中で、その重要性の認識が他の先進国に比較してやや薄い嫌いがあった我が国の情勢は、最近大きく改善される方向にあり、全国的な光科学研究組織が構築されつつある。そのような流れを作る事に、本プロジェクトの成功が大きく貢献したと考えられ、その面からも本プロジェクトの成果は高く評価されるべきであると考えられる。

2. 研究成果の発展状況や活用状況

本プロジェクトの実施期間中の研究成果としては、物質系と光との微視的な相互作用の本質を、最も基本的な系である原子及び多電子系材料について、基礎学術的な見地から

新たな視野でその本質の理解を深め、その結果可能となる科学技術的応用の新たな展開の基盤を与えるという目論見が見事に実行に移されたものと理解される。その研究の成果を基に、本プロジェクトの実施期間終了後も様々なプロジェクトが派生的に実現し、それ等が更なる発展を遂げつつある。

個々様々な応用の立場からは、このようなアプローチは、一見遠回りに見えるかも知れないが、その後の展開を見るに、具体的な応用を目的とする多数の開発や研究を独立に遂行するよりも、その成果が将来の広範な応用研究の展開を可能にする学術的基盤と手法を与えるという意味で、応用という立場からも極めて効果的な成果を挙げ得る事が、本プロジェクトによって実証されつつあると見られる。

これらの展開の中で、最も早く顕著な成果を見せたのは、原子と光との相互作用についての研究である。先ず先端的基礎研究課題として最近世界的に興味の中心の一つとなっている、原子のレーザー冷却とトラップに、全く新しい発想に基づく手法を導入することによって、原子集団を急速冷却する新しい手法を開発した。更に光波の干渉によって作られる格子点に多数の極低温原子をトラップすることによって、原子相互間の干渉を除去した状態で得られる極めて鋭い原子のスペクトル線の周波数を基準にする周波数標準「ストロンチウム光格子時計」は、本プロジェクト期間の最終段階で提案され、その後の発展的プロジェクトの中で速やかに原理実証に成功し、現時点で考えられる最も理想的な光周波数標準として世界の主要センターに於いて追試され、超高精度の時間標準として国際的比較体制が作られつつある。

なお、その後の成果の一例として、光格子時計の周波数シフトの一因である「光シフト」といわれる原子スペクトル周波数の光強度依存性による誤差の除去を挙げる事が出来る。従来このような誤差は光強度を極力下げることによって避けられるが、香取等は光シフトが無視できるほど小さい周波数（マジック周波数）の存在を発見した。これは光格子時計利用の便利さを失わずに精度を高める上で重要な発見である。

現在すべての物理量の中で時間は他の基礎量と比べてかけ離れた高い精度で計測が可能となっている。この事実に基づいて、光の速度を定義することにより時間と長さの標準はすでに統一されているので、光格子時計による周波数標準の精度向上は、時間に限らず、現代科学技術の基本である超高精度計測技術全般を極限まで高めるという大きな意義を持つものである。

この方向のもう一つの期待として、格子状のトラップされた極低温原子群を用いる全く新しい計算機システムの構築がある。そのための一つの要素として、小型化された極低温原子トラップ(atom-tip)の研究が盛んになりつつある。本プロジェクトの延長上で成されたこの方向への貢献として、高周波電場による新方式のトラップ法(シュタルク・アトムトラップ)も興味ある展開である。

一方において、本プロジェクトの中心的課題として取り上げた多電子系と光の相互作用に関する研究は、極めて複雑な量子力学的な系を理解しようとする、極めて野心的な研究

課題である。

エキシトンの生成は固体が光との相互作用によって励起される第1段階の過程であって、時間的にも空間的にも極めて複雑な量子力学的過程である。このような過程を理解するには、それぞれの時間・空間領域における物理現象を準定常的に捉え、理解を深めた上で全体像を組み立てて行くという研究手法をとらざるを得ない。

一方でそのような過程を正しく理解し、更に精密な理論的検討を可能にするために、新しい実験的知見が必要である。その具体的推進の最終的目標としてエキシトンのポーズ・アインシュタイン凝縮の実現を設定したことは極めて野心的な試みであって、あえてこのように困難な課題を真正面から設定した、総括責任者の勇気を讃えたい。

一方、電磁波である光と物質との相互作用を理解しようとする場合に、電子は物質の構成要素の中で格段と大きな電荷/質量比を持つ故に、光のエネルギーを吸収する第一段階として、光と物質中の電子との相互作用を精密に理解することは不可欠である。それ故に、その第一歩として多電子系材料とエキシトンと光の相互作用の物理を先ず理解しようとするのは適切な研究手法と考えられる。

本研究では、レーザー励起の第一段階として生じる高密度のエキシトンに注目し、その相互作用や極低温における振る舞いを精密に研究することによって、光と多電子系の相互作用の量子力学的理解を深める事から研究が展開されて来たが、その研究の流れは ERATO プロジェクト期間終了後も止まる事無く続けられた。「エキシトンのポーズ・アインシュタイン凝縮の追求」は、この一連の研究活動を象徴的に顕す意味がある。

この研究は、ERATO プロジェクト期間中とその後は SORST「電子相関係の分光学と光制御の探索」によって更に展開された。その結果、励起子電子スピンと正孔スピンの相対関係から区別されるオルソエキシトンとパラエキシトンの分光学的特性や相互作用の物理が明らかになって来た。多数生成するが寿命の短いオルソエキシトンから寿命の長いパラエキシトンへの転換が起り、その結果としてポーズ凝縮へと導く筋道が明らかになって来たように思われる。

これらの研究過程において、光吸収過程が禁制遷移である過程の研究にはラマンスペクトルを調べ、高速現象については極短パルス光を用いた高速励起過程を調べるなど、様々な手法を駆使して多くの興味深い現象が明らかになった。これらの成果が当該領域に与えたインパクトは極めて大きいと考えられる。

ポーズ・アインシュタイン凝縮状態が観測できたか否かを議論する以前に、そのような野心的試みによって得られた極低温におけるエキシトンの相互作用に関する研究成果は学術的に極めて意義深いものである事を指摘したい。

なお、本研究ではアメリカの光科学研究の最も有力な拠点の一つであるアリゾナ大学光科学センターとリエゾン契約を結び、光と固体の相互作用の高精度の理論計算を、高い精度を保ちながら短時間で行う研究手法の開発を行った。この成果は、光と物質の相互作用の研究の今後の展開において重要な役割を果たすことが期待される。

3. 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

3.1 研究成果の科学技術の進歩への貢献

本プロジェクトの意義は、まさにその研究成果の科学技術の進歩への大きな貢献にあり、その詳細については既に前章において詳しく述べたので、ここでは、次の3点に要約して述べるにとどめる。

(a)光速度を定義した現在の計量体系では、時間の測定精度はすべての高精度計量の基本となっており、時間標準の精度を極限まで高めた光格子時計のインパクトは広範囲の科学技術に及ぶ事になる。(b)多電子系物質と光との相互作用の理解が本研究によって深まったことは、多様な光応用分野の科学技術において大きな意義を持つ。(c)また、我が国の学术界に光科学の重要性を改めて認識させ、光科学に関する主要拠点を結ぶ全国的な研究ネットワークが形成されつつあることも、本研究の功績の一つと考えられる。

3.2 研究成果の応用に向けての発展

光格子時計により時間測定の精度が一段と高まれば、他の物理量の計測精度も高まることとなって、広範囲の技術的応用に於いて大きな意義がある。一例として、GPSの精度が高まり、位置の測定精度が高まることは、航空機をはじめ各種の交通機関の運行システム制御に大きな進歩をもたらすであろう。

なお、このプロジェクトにおける諸々の展開は、情報技術の新しい発展の可能性として期待されている「量子情報処理」或いは「量子計算機」などの将来の展開の基礎として重要である。アトム・チップの実験手法の確立と合わせて、将来の大きな発展の基盤としてますます充実していくことが期待される。

多電子系と光の相互作用に関しては、現象が極めて複雑である故に現状で具体的な応用について論じるのは時期尚早と考えられるが、エキシトン間の相互作用の理解が深まるにつれて、さまざまな応用が生まれてくることは、過去の新技術の展開をみれば大いに期待できよう。直近の具体的な応用課題を云々する事は時期尚早としても、将来の広汎な応用に向けて、この方向の研究の更なる発展が図られるべきであろう。

加えるに、ミクロ構造による光の巨視的な制御に関して本プロジェクトによって得られた知見は、一見地味ではあるが、様々な応用過程に於いて必要とされる光のマクロ的制御に役立つ手法を与え、様々な応用において有効に用いられる事が予想される。

3.3 人材育成の面から参加研究者の活躍

このプロジェクトは、多くの優れた若手人材を発掘して創造的研究の機会を与え、参加者は期待に違わぬ成果をあげ、更なる計画を展開することとなった。この一連の活動が人材育成の面でも成功したことは間違いのない事実である。その展開状況は、その後参加者が受けた研究助成の実績をみれば明らかであるが、とてもここに述べる事が不可能な程

大きなものである。

4 . その他

創造的な研究は、すでに大きなプロジェクトにおける成功の実績を持つ研究者のみによって新しい展開を見せるとは限らない。地道な研究の過程において、研究者特有の閃きから画期的な発展が見られる事も在り、それがしばしば重要な学術的飛躍の要因となることがあるのは、敢えてアインシュタインの例を引くまでも無いであろう。

また、研究課題の選定は、初めから具体的な応用が考えられるもののみでなく、画期的な学術的視点や発想の転換に基づくプロジェクトも、十分に検討されることが望ましい。

言うまでもない事とは考えられるが、研究課題の選定にあたっては、研究者の過去の実績にのみ拘ることなく、提案に見られる閃きとプロジェクトの妥当性を詳細且つ慎重に検討した上で、必ずしも若手に限らずに「新人」の発掘に常に努めることが望ましい。

以上