

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	児藤 鑑
論文題目	Nonlinear optical responses in strongly correlated electron systems (強相関電子系における非線形光学応答)		
(論文内容の要旨)			
<p>物性物理学では、固体中の集団励起や幾何学的性質などの微視的情報を調べるプローブや高効率な太陽電池や光スイッチなどを実現する機構として、非線形応答が重要な研究対象である。近年、特に強相関電子系において、従来と異なる非線形応答が多く報告されており、児藤氏はこれに着目して高次高調波発生 of 励起ギャップ依存性 (研究①) と非線形光学応答に対する2粒子相関の効果 (研究②) について理論研究を行った。</p> <p>(研究①) 実験的には、モット絶縁体であるCa₂RuO₄において、励起ギャップの増大に伴い高次高調波の強度が指数関数的に増大するような非従来型のギャップ依存性が観測されている。一方、理論的には、モット絶縁体を非平衡動的平均場理論で解析することで上記の実験の説明を試みた理論研究はあるものの、電子間相互作用を考慮しない場合ですら高次高調波発生 of ギャップ依存性の理解は十分ではない。そこで、児藤氏は第一歩として2準位系という最も単純な系での高次高調波発生に着目し、光・物質相互作用や緩和の強さなどのパラメータを広範囲で変化させて、高次高調波発生 of ギャップ依存性を数値的に調べた。結果として、児藤氏は以下のことを明らかにした。まず、光・物質相互作用がギャップに対して極めて大きい時には、ギャップの増大に伴い高次高調波が増大するという実験と類似したギャップ依存性が現れることを示した。また、時間分解スペクトルの解析から、極めて強い電場により電子が強く励起され飽和することで、このギャップ依存性が現れることを明らかにした。さらに、ギャップの増大に伴い高次高調波が増強される割合が、入射光の振動数に依存しないことも明らかにした。また、これらの振る舞いを半導体のモデルでも確かめた。</p> <p>(研究②) 強相関電子系では、電子間相互作用の弱い系に比べて非常に大きな非線形 (光学) 応答がしばしば観測されており、理論的には電子質量の繰り込みや励起子効果による増強などが提案されている。前者はパラメータの繰り込みで理解できる点では1粒子的なものであり、後者の研究の多くは平均場理論やその拡張に留まっている。そのため、強相関電子系特有の現象が現れると期待される2粒子以上の相関が、非線形応答にどのように影響するかは未だ十分には理解されていない。厳密対角化など高次の相関を取り入れた理論研究も存在するが、結果の理論的解釈が時に困難である。そこで、これらの中に位置する研究として、児藤氏は2粒子相関までを取り入れて、相互作用を含む1次元ライス・メレモデルの電場下での実時間ダイナミクスを数値解析し、2次の非線形光学応答への2粒子相関の効果を調べた。結果として、児藤氏は以下のことを明らかにした。まず、2粒子相関の効果は線形応答よりも非線形応答へと強く現れ、特に第二次高調波発生における1光子共鳴ピークの増大やピーク位置のシフトをもたらすことを明らかにした。さらに、非線形応答への寄与を1粒子相関や様々な2粒子相関への寄与に分解することで、”励起子分子遷移”と呼ばれる2粒子相関の非線形なダイナミクスが、第二次高調波発生への補正をもたらす主要な寄与であると明らかにした。これらに加えて、電場下の非平衡定常状態での短距離電荷相関も解析し、励起子ピークを共鳴的に励起することで、電荷相関が大きく増強されることを示した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

博士課程では、児藤氏は光と物質の相互作用の非摂動領域における非線形光学応答を研究した。

非摂動的な光と物質の相互作用の理論的記述は、多くの未解決の問題を含む挑戦的なテーマである。児藤氏は学位論文と学位審査の公聴会では、モット絶縁体における最近の実験に関連した高次高調波発生のギャップ依存性の解析と、相互作用のある Rice-Mele モデルにおける線形および非線形光学応答の解析という2つのテーマを扱った。

児藤氏は、論文でも公聴会でも、計算の詳細と結論を丁寧に説明した。児藤は、非相互作用の2準位系でも、光と物質の相互作用が十分に強い場合には、ギャップが大きくなるにつれてHHG強度が増強されることを示した。実験結果との関連は完全には明らかではないが、相互作用のない系でも同様の現象が観測されることを実証した。第2部では、相互作用があるRice-Meleモデルの非線形応答を強めることを示した。特に、ゆらぎが第二高調波発生に与える影響の解析は、今後のプロジェクトの可能性を秘めたものである。これらの成果は、Physical Review A に出版され、Physical Review Bに投稿されている。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降