

## 論文審査の結果の要旨

住 所 埼玉県さいたま市大宮区天沼町2丁目277-309

氏 名 藤嶋 浩史

本論文は、「原子光学に現れる非ソリトン型初期波束の非線形シュレディンガー方程式による解析」と題し、ボース・アインシュタイン凝縮体（以下BEC）の時間発展を支配する非線形シュレディンガー方程式（以下NLS方程式）の初期値問題を、非ソリトン型の初期条件に着目して解析したものである。

BECとは、凝縮転移温度以下で全系が可干渉性を持つ単一物質波として振る舞う多数のボース粒子で、物質波はNLS方程式に従って時間発展する非線形波動である。原子光学では、中性原子気体からなるBECでレーザーの輻射圧を利用した原子導波路中の物質波を制御し、物質波の可干渉性や非線形相互作用を活用した量子デバイス開発などへの応用が行われている。したがって、非線形波動としての物質波の解析は原子光学における重要な課題であるが、系の非線形性に起因した本質的な困難のため、ソリトンと呼ばれる厳密解以外は応用上十分な知見がない。特に、特定の初期波形に依存しない一般的な初期条件の下での解析手法の確立が課題である。本論文は、1次元系で引力型NLS方程式に従う信号に注目し、非ソリトン型初期波束の時間発展や、ソリトンに成長せず拡散する小振幅成分（以下輻射）が系の状態に及ぼす影響を調べ、BECにおける非線形波動の挙動を詳細に論じている。

本論文で得られた成果は次のように総括される。

- (1) NLS方程式にポテンシャル項を加え、非ソリトン型初期波束の1次元散乱問題を数値的に解析した。これにより、ポテンシャルによる一部波束の捕捉など、非線形散乱特有の現象が発見された。さらに、反射率や透過率に初期波束の伝播距離依存性、初期波束がソリトン解に収束する過程で運動量空間での波束の高周波パターン形成など、ソリトン型初期波束では起こり得ない現象が予言された。運動量空間でのパターン形成をBECで観測できる可能性も指摘されている。この結果によって、輻射の実験的な検出が期待される。
- (2) NLS方程式に付随する散乱固有値問題を解析し、2つの初期パルスの相互作用後に最終的に生成されるソリトンの数を調べた。これにより、単一パルスの場合には初期パルスの振幅に関してソリトン数が単調増加するのに対し、相互作用のある場合には必ずしも単調増加しないこと、相互作用によって漸近的に多重極ソリトン解が生成され得ることを示した。この結果によって、複数パルスの崩壊による輻射成分が系の終状態に及ぼす影響に重要な知見が得られた。
- (3) 任意の急減少パルスを初期波形とする信号に対し、これをポテンシャルとする散乱固有値問題の近似解法を与え、複数の初期パルスが相互作用した後の終状態に関する情報を抽出する手法を開発した。この手法により、相対位相を持って相互作用するなめらかな初期パルスと

いう、原子光学において現実的な初期状態に対する終状態を必要な精度で予測する手段が得られた。また、多数の初期状態から予測される終状態と実験との照合により、系の初期状態の推定が可能となった。

以上のように、原子光学というテーマに対して、非線形波動の理論や実験などの知見を実用上有意義な形で応用する道が開かれた。また、BECのみならず、他の非線形問題への拡張も期待できるなど、発展性の高い結果である点が評価できる。

本論文については、2019年2月7日に本学陽東キャンパス1号館多目的教室において、審査委員全員および関連分野の研究者等の出席のもとに公聴会が開催された。公聴会では研究成果の発表ならびに質疑応答が行われ、内容に特に問題がないことが確認された。公聴会終了後ただちに審査委員会を開催し、本論文を詳細に検討した。その結果、BECにおいて非線形波動特有の現象を発見し、その役割を明らかにしたこと、任意の入力信号の時間発展を解析し得る手法を確立したことが、学術的な新規性のみならず原子光学分野への応用が期待される点を確認した。以上により、本論文は工学的に価値あるもので、研究内容の学術的水準、独創性、実用性において極めて優れていると判断した。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。