

氏 名	中 村 明 なか むら あきら
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1088 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	MODIFICATION OF SOLITARY WAVES IN CRYSTAL LATTICES (結晶格子内での孤立波の変化)

論文調査委員 (主 査) 教 授 向 坂 正 勝 教 授 上 田 頤 教 授 伊 原 千 秋

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ある種の非線型偏微分方程式に固有な特解である孤立波解と、その興味ある性質とについて、物理的観点より考察したものである。とくに結晶格子内での孤立波が種々の摂動のもとで変動を受けることに着目し、分子性結晶での励起子—格子系における孤立波と、不純物原子を含む戸田格子における孤立波との二つの場合をとりあげ、孤立波の変化とその安定性の研究をまとめたもので、4章よりなっている。

第1章は全体の序論であって、孤立波あるいはソリトンと呼ばれる非線型系に特有な波動につき、その研究の歴史的背景を紹介するとともに、著者の研究の目的と主要な結果を述べ、従来の研究との関係を明らかにしている。

第2章では、分子性結晶における励起子—格子系について詳しく研究している。これまで得られていたいわゆる励起子ソリトンは、格子波の熱的励起等の効果を取入れてより厳密な取扱いを行うと、摂動項の存在のために種々の変形が生ずることを示し、その安定性につき論じている。第1小節はこの問題の序論であり、これまで専ら応用数学的側面より研究されてきたソリトンが理想的ソリトンとも言うべきものであること、物理的側面の研究では、種々の摂動を受ける場合のソリトンの研究が重要な問題の一つであることを指摘している。第2小節では、励起子—格子波相互作用を正準変換の方法を用いて取扱っている。すなわち格子波が熱平衡にあるとした場合、“衣を着た励起子”の演算子について成り立つ量子力学的運動方程式を、コヒーレント状態についての対角表示と長波長近似とを用いて、非線型シュレディンガー方程式の一つの拡張形である非線型偏微分方程式に還元している。第3小節はこの方程式の数値解を組織的に求めたものであって、無摂動系における1-ソリトン解、2-ソリトン解および2-ソリトン束縛状態解が、摂動項の存在によって変化する状況とその安定性の条件等につき、詳細な解析を行っている。第4小節では、格子波が熱平衡にあるという近似を改良して動力学的な一般的取扱いを行い、第2小節と同様な方法を用いて、より一般的な非線型偏微分方程式を導いている。第5小節ではこの場合の1-ソリトン解と2-ソリトン束縛状態解が摂動によって変化する様子と、それらの安定性につき、第2、3小節の場

合と比較検討しながら、数値計算を実行して詳細な解析を行っている。第6小節はこの章の結論であって、本研究の主な成果を要約するとともに、関連する問題を論じている。

第3章は、いわゆる戸田格子におけるソリトンが、不純物原子との相互作用によって変化することを研究したものであり、種々の条件のもとでの不純物原子によるソリトンの反射、透過、局在振動およびさざ波の励起等の現象が生ずることを、数値計算によって示している。第1小節は序論であり、非線型波動論において戸田格子模型が占める特徴について述べ、不純物原子が1個存在する場合の格子振動の方程式を導いている。第2小節では、この不純物原子の質量が母体原子質量より重い場合と軽い場合、および不純物原子と隣の母体原子との結合バネ定数が母体原子間のそれに比べて強い場合と弱い場合の合計4つに分類し、それぞれの場合について、微差分方程式を数値的に解き、ソリトンの受ける変化とその安定性を詳細に解析している。そして線型波の場合と同様に、適当な条件のもとでソリトンが不純物原子により反射したり透過したりするほか、局在モードが予想外の安定性をもって存在しうること、およびさざ波の励起が新たに生じうること等を見出している。第3小節は、この局在モードの性質を準分子模型に用いて解析的に取扱うとともに、その結果を数値計算の結果と比較してよい一致がえられたことを示している。第4小節では本章の研究結果を論じ、一般的な解析的取扱いの見通しを述べている。

第4章は本研究全体の結論であり、可能な実験的研究と関連づけて論じている。すなわち、励起子—格子系ソリトンの場合では、光吸収の実験と励起子の拡散係数の測定の可能性を論じ、それによってソリトンの受ける摂動の検証が得られることを示唆している。一方戸田格子の場合には、不純物誘起光吸収により、不純物原子から母体原子へのエネルギー緩和を調べて、局在モードの変化とその安定性を解明できることを予想している。またこの問題と統計力学の基礎的課題であるエルゴード問題との関連にもふれている。

論文審査の結果の要旨

近年、非線型系に固有な波動現象である孤立波、すなわちソリトンの研究の発展は著しく、種々の解析的手法により、単一ソリトン解のみならず多ソリトン解をもつ一連の非線型偏微分方程式が次々と見出されている。このソリトンの一般的性質を明らかにすることは、応用数学のみならず物性物理学の分野でも極めて興味があり、重要な問題のひとつである。

物理的観点に立ってソリトンの性質を調べた研究は既に多く発表されているが、その殆どが適当な近似の下に、ソリトン解を特解として持つ非線型偏微分方程式を導き、既知のソリトンの性質と比べて問題を解明しようとしたものである。しかしながら、現実にはソリトンに変化を与える摂動項が存在するので、これを含む物理系での問題を取上げることが要求される。

本論文はこの点に着目し、結晶格子における種々の摂動の下で、ソリトンの変化とその安定性の条件とを詳しく研究したものである。とくに分子性結晶における励起子—格子系と、戸田格子とを取上げ、長大な数値計算も実行して多くの興味ある結果を得ているが、その主なものは次のとおりである。

1. 分子性結晶での励起子—格子系で、従来無視されていた格子波の熱的励起効果を取入れて、より一般的な非線型偏微分方程式を導いている。

2. この方程式を解いて、1) 温度が増加するとソリトンの減衰が起こること、2) 純粋に励起子のみが存在する場合、励起子ソリトンの安定性の条件を導いたこと、3) 格子波の振動数が低くなると、ソリトンおよび2-ソリトン束縛波の減速が起こること、4) 2-ソリトン束縛波の脈動波は、高次摂動項に鋭敏に影響を受けること、5) 単一のソリトンより、二つのソリトンの束縛状態が摂動に対してより安定であること等を導いている。

3. 不純物原子を含む戸田格子におけるソリトンにつき、種々の条件の下で詳細な数値解を求め、不純物原子によるソリトンの反射と透過、さざ波の励起、局在振動の励起の模様等を始めて明らかにしている。

4. この局在振動は、従来急速に減衰すると予想されていたが、不純物原子が母体原子と強く結合している場合には、特に寿命が長いことが導かれている。

以上要するに本論文は、ソリトンの受ける種々の摂動を物性物理的観点からとらえ、摂動が系に内的に存在する分子性結晶と、外的に存在する戸田格子の代表例をとりあげ、ソリトンの変化と安定性につき詳しく研究して、非線型振動の重要かつ興味ある性質を明らかにするとともに、可能な実験方法について示唆を加えたものであり、学術上の有用な知見を多数得ている。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。