

# 回転下固体へリウムの弾性に関する研究

2020 年度

立木 智也

|   |       |   |     |       |
|---|-------|---|-----|-------|
| 報告番号  | ㊦ 乙 第 | 号 | 氏 名 | 立木 智也 |
| 主論文題名：<br>回転下固体ヘリウムの弾性に関する研究  |       |   |     |       |
| (内容の要旨)<br>本論文では、回転下における固体ヘリウム( $^4\text{He}$ )の弾性の研究について論じる。0.5 K以下の極低温下で固体 $^4\text{He}$ が示す特異な弾性変化に対し、試料回転がもたらす効果を複数の実験手法を用いて測定した結果をまとめている。<br>固体 $^4\text{He}$ は量子固体と呼ばれ、結晶格子点間で原子が頻繁に位置交換を行うため、結晶でありながら超流動を示す可能性が理論的に提案されてきた。2004年に、固体 $^4\text{He}$ を入れたねじれ振りの共振周期が低温で減少することが発見された。これは固体超流動の実験的証拠とされ、関連した多くの研究が行われた。しかしその後、固体 $^4\text{He}$ の弾性が振りの共振周期と似た温度変化を示すことが発見され、ねじれ振りで観測された挙動は弾性変化に起因するという解釈が提案された。この特異な弾性変化は、 $^4\text{He}$ 中の唯一の不純物である $^3\text{He}$ 原子と、結晶欠陥である転位の相互作用によって起こることが解明され、現在では固体 $^4\text{He}$ の超流動的挙動の多くが弾性変化として解釈されている。<br>しかし弾性変化では説明できない実験が存在し、その解明が進めば量子固体の理解に大きく貢献すると期待される。その一つが回転下のねじれ振りの実験である。この実験では、固体 $^4\text{He}$ が入ったねじれ振りの装置全体を数 rad/s の角速度で回転させたところ、超流動量子渦の侵入を示唆する階段状の共振周期変化が観測された。この結果は当初固体超流動の証拠と考えられたが、弾性の効果を取り入れた新たな理解が必要である。<br>そこで本研究では、固体 $^4\text{He}$ の弾性に対する試料回転の効果を調べることを目的として、ピエゾ素子を用いた回転下弾性の直接測定と、弾性の変化に敏感な二重ねじれ振りの実験、および転位が存在しないと期待される多孔体中固体 $^4\text{He}$ のねじれ振りの実験を行った。その結果、直接弾性測定および弾性敏感なねじれ振りの実験では、4rad/s までの試料回転により弾性率が減少することが明らかになった。しかしその大きさは、上述の先行研究の結果に比べ 1/3 程度に小さい。一方、バルク固体が多孔体中固体と共存する場合は、先行研究と同程度の大きな回転効果が存在することがわかった。従って本研究により、固体 $^4\text{He}$ の弾性は回転の影響を受けて変化するが、その大きさは固体試料の状況により異なることが初めて明らかになった。これらの回転効果の発現機構として、固体 $^4\text{He}$ 中の転位と相互作用する $^3\text{He}$ 不純物原子に対するコリオリ力の効果を考察した。 |       |   |     |       |

Thesis Abstract

No. \_\_\_\_\_

|  |   |      |                |
|--|---|------|----------------|
| Registration Number  | <input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU"<br>No. _____ *Office use only | Name | TSUIKI, Tomoya |
| Thesis Title   |   |      |                |
| Elastic properties of solid helium under rotation  |   |      |                |
| Thesis Summary   |   |      |                |
| <p>In this thesis, I describe experimental studies of elastic properties in solid helium (<math>^4\text{He}</math>) under unidirectional rotation. Solid <math>^4\text{He}</math> shows an elastic anomaly below 0.5 K. I studied how the rotation of solid samples alters the elastic properties by employing four types of elastic measurements.</p> <p>Solid <math>^4\text{He}</math> is known as a quantum solid, in which <math>^4\text{He}</math> atoms exchange frequently their positions between the lattice sites. By this quantum nature, solid <math>^4\text{He}</math> has been expected to show superfluidity, which is called supersolidity. In 2004, evidence of superfluid transition in solid <math>^4\text{He}</math> was claimed: The resonant period of a torsional oscillator (TO) containing solid <math>^4\text{He}</math> decreases below 0.2 K. Since this discovery, a number of studies were performed to explore the possible superfluid properties. A later experiment showed that the shear modulus of solid <math>^4\text{He}</math> has the same temperature dependence as the period of TO. This revealed that the period reduction of TO originates from elastic property of solid <math>^4\text{He}</math>. The elastic anomaly is attributed to the interaction between <math>^3\text{He}</math> impurity atoms and dislocations in solid samples. Nowadays most of the superfluid-like properties have been interpreted as elastic change.</p> <p>However, some experimental results suggest superfluidity in solid <math>^4\text{He}</math>. One of such is a TO experiment under unidirectional rotation: The period shift of a TO decreases as rotation speed increases, and shows a step-like structure, which suggests intrusion of quantized vortices, a line defect intrinsic to superfluid helium. This result was considered as an evidence of supersolidity, but should be reconsidered in terms of elasticity of solid <math>^4\text{He}</math>.</p> <p>In this study, elasticity of solid <math>^4\text{He}</math> was measured under rotation by several ways. First, shear modulus was directly measured by piezoelectric transducers (PZT). Second, a TO with a special design which is sensitive to elasticity of solid sample was employed. Third, solid <math>^4\text{He}</math> confined in porous media, in which no dislocations exist, was studied by two TO's. The shear modulus measured by the PZT and the elasticity-sensitive TO decreases by applying rotation. However, the magnitude of the rotation-induced reduction of elasticity is about 1/3 of the result of the first TO study. On the other hand, a large reduction of period shift is observed in a TO containing bulk solid and solid in porous media, when it is rotated up to 4 rad/s. To conclude, this study definitely shows that elastic properties of solid <math>^4\text{He}</math> are affected by rotation, but the magnitudes of the rotation effect strongly depend on situation of solid samples. Effects of Coriolis force acting on <math>^3\text{He}</math> impurity atoms interacting with dislocations are discussed as a possible mechanism of the rotation effect.</p> |   |      |                |