

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Searching for New Interfacial Phenomena of 4He Crystal under Microgravity
著者(和文)	高橋拓也
Author(English)	Takuya Takahashi
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9253号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:奥田 雄一,吉野 淳二,田中 秀数,斎藤 晋,大熊 哲
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9253号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号		学位申請者氏名		高橋 拓也	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	奥田 雄一	教授	審査員	大熊 哲	准教授
	審査員	吉野 淳二	教授			
		田中 秀数	教授			
		斎藤 晋	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、150mK まで冷却した固体 ^4He が微小重力下に置かれたときに示す平衡形を見出し、さらに重力下では隠されていた固体ヘリウムの結晶成長にかかわる興味深い現象（固体の熟成）を観測したことについて、実験結果と考察をまとめた論文である。本論文は「Searching for new interfacial phenomena of ^4He crystal under microgravity」と題し、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、極低温の固体 ^4He のユニークな特徴が固体の平衡形を調べる上で理想的であることを述べ、同時に巨視的な結晶では重力がその形に大きな影響を与えることを指摘して、微小重力下での実験の重要性を論じ、本研究の動機づけを行っている。

第 2 章「Theoretical and experimental background」では、極低温における固体ヘリウムの基本的性質を理論、実験の両面にわたってレビューし、量子性の高い固体 ^4He の核生成、結晶成長、平衡形について概説し、ラフニング転移についての未解決の問題を紹介している。

第 3 章「Experimental setup and procedure」では、実験を遂行する上での諸問題を記述し、それを如何に克服して行ったかを述べている。微小重力環境は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究による小型ジェット機のパラボリック・フライトにより生成している。実験上の最大の課題は、この小型ジェット機上で極低温を生成し、固体 ^4He を 150mK 以下に冷却することであるが、微小重力が 20 秒間という限られた時間であることを考慮して、本研究に特化した希釈冷凍機を製作している。これは ^3He 蒸発冷凍機を製作し、その最低温度がパラボリック・フライトによって変化しないという実績に基づいたものである。固体 ^4He を光学的に観察するための窓を取り付けた希釈冷凍機は地上では 120mK まで温度を下げることができ、ジェット機上でも 150mK の低温が生成出来ている。また、この最低温度がパラボリック・フライトによって、20 秒間ではあるが、ほとんど影響を受けないことを報告している。

第 4 章「Results and discussions」では、 ^3He 蒸発冷凍機および希釈冷凍機を用いて実験した結果について報告している。特筆すべき結果として 2 つ上げることができる。まず 1 つ目は、原子レベルではラフであるが、重力により水平になった結晶面が、微小重力下におかれるや否や、表面自由エネルギーを極小とする平衡形へ数秒のタイムスケールで緩和していくことが分かったことである。平衡形では c ファセットだけでなく、重力下では隠されていた a ファセットも結晶表面に現れてくる。さらに、150mK の温度では第三のファセットである s ファセットが平衡形とし

てははっきり確認された。また、固体 ^4He が完全に固体壁（サンプルセル内壁）を濡らさないのではなく、接触角が 135° 程度になることが示しているように、部分的に濡れることが、界面自由エネルギーだけでは固体を壁から引き離すことができないことも判明している。もう1つの成果は、Ostwald 熟成として知られている、小さい結晶が融解しその分を大きな結晶が取り込んでさらに大きな結晶へ成長していく興味深い現象である。古典的物質では何週間もの時間をかけて、しかも顕微鏡下で観察される微細な結晶についてのみ観察されている現象であるが、固体 ^4He という量子結晶で微小重力下では、10 mmサイズの結晶にまでたったの3秒間で熟成するという現象を発見している。また、Ostwald 熟成が capillary length（毛管長）で特徴づけられる大きさで止まることも発見している。

第5章「Conclusions」では、実験結果のまとめと、その結果得られた固体の平衡形および結晶成長についての知見をまとめ、本論文の結論としている。

以上を要するに、本論文は、極低温における固体 ^4He の真の平衡形は微小重力下によって初めて実現されることを実証し、また微小重力環境でのみ見られる新奇な物理現象が存在することを示したもので、結晶の形の基底状態の研究、ラフニング転移の研究、および量子結晶のダイナミクスに関する新しい方向を示したものである。これは申請者の研究能力の高さと学識の深さを表しており、本論文は博士（理学）の学位論文に十分値すると判断される。