

知識創造物語シリーズ1

熱科学を創った人々

第1部

-熱力学・統計力学・超流動・超伝導の世界-

Part II



佐々木 祥介(Shosuke SASAKI)

堀 秀信 (Hidenobu HORI)

Series of Knowledge Creation in Science

PEOPLE WHO CREATED THERMAL SCIENCE

-The Science World on Thermodynamics, Statistical Physics,

superfluidity & Superconductivity -

Preface

This book introduces three issues of thermal science together with the stories of people who were involved in the processes of discovery and invention related to each issue. First is a story describing the period leading up to creation of thermal dynamic and statistical mechanics. Second is a history of the development of low-temperature technology and of identification of some mysterious phenomena associated with superfluid helium? Third is a story explaining the work of many people who contributed to clarification of superconducting phenomena. The philosophy of this book which authors wish to express is that close collaborative work of both sciences in part 1 and 2 has been producing new rich knowledge until now.

The descriptions of discovery and invention related to each of these issues are interesting and impressive for those specializing in physics and for those who are not. Regarding the narratives explaining these issues, although it is important to explain the contents of discoveries and inventions in a readily comprehensible manner, particular contents might be difficult to grasp by non-experts. This book is therefore

primarily intended to describe the efforts that discoverers and inventors of these issues undertook and the hardships they encountered. The days of geniuses will be introduced: typically filled with distress, their joy at pioneering a new horizon is moving. In some cases, conventional concepts should have been changed to bring the truth into relief. Many collisions were unavoidable when promoting their ideas. Arguments engendered many tragedies attributable to others' differences of opinions and dogged adherence to conventional ways of thinking. The evolution of these stories will be introduced.

The authors believe that through acquaintance with these stories, readers of a younger generation aspiring to specialization in physics might come to know the joys of study more deeply. We hope that people who are not specialized in physics will come to realize the fact that scientific studies have been advanced through myriad human struggles. We will be happy if this small publication can convey the history of these developments of thermal physics.

知識創造物語シリーズ 1

熱科学を創った人々

熱力学・統計力学・超流動・超伝導の世界

【プロローグ】 12

第1部 熱力学・統計力学の創造

第1章 熱現象を科学に 17

寒暖の感覚を物理量に

温度計の改良

気体の体積変化

産業革命と蒸気機関

熱を全て動力に変えられるか

エンジン動作のモデル化

跡を継いだクラペイロン

第2章 熱力学を完成させた人々 36

ヨーロッパ文化の影響

霧の中のグラスゴー

サデイ・カルノーを思う

ジュールの熱仕事当量の発見

絶対温度とその物理的意味を求めて

基本法則の確立

エントロピーの発見

第3章 気体分子運動論 55

ベルヌーイの発想

マクスウェルの挑戦

ボルツマンを育んだ環境

第4章 ボルツマンの挑戦 62

気体分子運動論にエントロピーを

H定理の発見

ボルツマン分布を求めて

ボルツマンの苦悩

苦悩の果てに

回帰性とエルゴート仮説

墓誌

第5章 量子統計力学へ 79

ギブズを生んだ土壌

ギブズの切り開いた世界

世に出たギブズの統計力学

物質科学の芽生え

第2部 物性物理の創造したもの

第2部へのプロローグ 93

I 超流動の世界

第1章 極低温の世界への旅立ち 98

ヘリウムの液化競争

極低温の世界へ

第2章 超流動ヘリウムの不思議 114

固化しない液体ヘリウム

λ転移の発見

父娘二人三脚で見つけた超熱伝導

エーレンフェストの悲劇

ラザフォードとカピッツア

カビッツアを助けた技官たち

超流動の発見

壁を這い上がるヘリウムII

噴水効果

いくらでも液体の出てくる小びん

二つの音波

永久流

第3章 超流動の本質 159

サイコロを振らない粒子の運命

アインシュタインが救ったボース

ロンドンの理論

ランダウ投獄さる

命がけの友情

ランダウ学派の誕生

着物を着たボソンの世界

三重屈折するビーム

II 超伝導の世界

第1章 永久電流の誕生 196

オネネスの発見

永久電流を作ろう

超伝導磁石誕生の秘話

第2章 多様な性質を示す超伝導 207

はじき出される磁気

浮き上がる磁石

ロンドン兄弟の苦心

電波で鳴り出す超伝導測定器

熱スイッチの秘密

電気をロスしない無接点スイッチ

正確無比のヒューズ

第二種超伝導の発見

第3章 超伝導の本質 228

バーディーンの執念

三人の出会い

はがされるベール

第4章 量子の世界が見える 240

ギーバーの悩み

エネルギーギャップが見える

大学院学生の見た夢

おどりまわる超伝導電流

整数には誤差がない

量子化する磁束

SQUIDの驚異

第5章 高温超伝導の発見 277

ベドノルツとミュラーの出会い

一三年ぶりの超伝導温度の更新

日本人研究者との協力

世界的なファイバー

第6章 未来への発信 295

高温超伝導体のその後

新しい金属超伝導物質の発見

応用の広がり

生活を変える超伝導

超伝導発電機

リニアモーターカー

超伝導電力貯蔵

各種磁気浮上輸送システム

超伝導送電線

ジョセフソンコンピュータ
医療機器はSQUIDで
体の中はNMR断層撮影で
その他の応用

あとかき 316
参考文献 319

第二部人物画像／吉田類

CONTENTS

Preface

[Prologue to part I] 12

Part 1. Creatures of Science for Thermodynamic and Statistical Phenomena

Chapter 1. Birth of science on thermal phenomena. 17

- Physical scale corresponding to the degree of feeling between hot and cool.
- Improvement of thermometer
- Volume variation of gas
- Industrial revolution and steam engine
- Can we completely transform thermal energy to mechanical energy?
- Modeling of steam engine
- Clapeyron followed up on the idea of the modeling

Chapter 2. Researchers who have matured the thermodynamics 36

- Effect of European culture
- Glasgow in mist
- Meditation to Sadi Carnot
- Discovery of Joule's mechanical equivalent

- Concept of absolute temperature in quest of the physical mean
- Establishment of basic laws
- Discovery of entropy

Chapter 3. Kinetic theory of gasses **55**

- Idea by Bernoulli
- Challenge by Maxwell
- Cultural environment of great Boltzmann

Chapter 4. Challenge presented by Boltzmann **62**

- Introduction to entropy in kinetic theory of ideal gases
- Discovery of H-theorem
- Quest to Boltzmann's distribution function
- Creators over the end of Boltzmann's agony
- Recursion and Ergodic hypothesis
- Epitaph

Part II. Creators of Physics in Materials Science

[Prologue to part2] **93**

Chapter 1. Start to low temperature world 98

- Competition for liquefaction of the helium gas
- The world in low temperature phenomena

Chapter 2. Mysterious phenomena in super fluid helium 114

- non-solidification properties of liquid helium
- Discovery of λ transition
- Super heat-conduction discovered by the daughter and her father
- Tragedy of Ehrenfest
- Rutherford and Kapitsa
- Technicians supporting to Kapitsa
- Discovery of superfluidity
- Helium II creeping up the container
- Fountain effect
- Small container from which liquid helium flow out indefinitely
- Two kinds of sound in superfluid helium
- Super current in superfluid helium

- Small container from which liquid helium flow out indefinitely
- Two kinds of sound in superfluid helium
- Super current in superfluid helium

Chapter 3. Intrinsic property of superfluidity 159

- Fate of particles, which do not shoot a dice
- Bose whom Einstein rescued
- London's theory
- Jailed Landau
- Friendship in peril of life
- Birth of Landau school
- World of dressed Boson

II. The world of super conductivity

Chapter 1. Birth of super current 196

- Discovery by Onnes
- Effort to produce persistent current
- Anecdote on birth of superconducting magnet

Chapter 3. Intrinsic property of superfluidity	159
• Fate of particles, which do not shoot a dice	
Chapter 2. Superconductivity exhibiting various characteristics	207
• Magnetic flux pushed out from the super conductor	
• Superconductor floating up against the gravitation to a ferromagnet	
• Struggle of London brothers	
• Superconducting measuring instruments with high sensitivity	
• Secret of heat switch	
• Fuse with highly accurate operation	
• Discovery of type II superconductor	
Chapter 3. Intrinsic properties in superconductivity	228
• Bardeen's inveteracy	
• Encounter of three researchers	
• Revealed veil	
Chapter 4. Visualization of the world in quantum phenomena	240

- Giaever's bane
- Visualization of energy gap
- Dream of graduate course student
- Dancy supper current
- No error for integer quantities
- Quant zed magnetic flux
- Marvelous characteristics in SQUID

Chapter 5. Discovery of high temperature

superconductivity 272

- Encounter of Bednorz and Muller
- Renewal of the record on superconducting
transition temperature after thirteen years interval
- Collaboration with Japanese researcher
- Worldwide fever

Chapter 6. Output to the futurescience 295

- Research and development after the initial fever
- New discovery of metallic superconducting material
- Extensity in application

Chapter 6. Output to the futurescience	295
• Research and development after the initial fever	
• New discovery of metallic superconducting material	
• Extensity in application	
• Superconducting electric generator	
• Linear motor car	
• Superconducting power storage	
• Various magneto-levitation transport systems	
• Superconducting power line	
• Medical instruments by using SQUID	
• Observation of body by MRI (NMR-tomography)	
• Other applications	
Post face	316
References	319

プロローグ

ボルツマンは気体分子の衝突を分析していた。途方もない数の分子が、途方もない数の衝突を繰り返している。全ての分子が衝突によって、その位置や速度を変える。彼は、この変化を記述する式を作りたかった。しかも、マクスウェルが発見した速度分布と異なる状態を扱いたかった。偏った位置に多くの分子がいる場合も表現したかった。偏った分布が、分子の衝突で、だんだん均一な分布に変化することが説明できるような方程式を見つけたかった。

彼は、何度も、何度も、式を書き直した。それでも、なお、自分の夢が実現する式からは遠い。外力によって分子の速度が変化する項も取り入れた。衝突によって、速度の分布が変わる項が難しい。それを調べると、分布関数が2つかかった積分の項が現れてくる。彼は、何年もの年月をかけて、粘り強く調べていった。ついにマクスウェル分布では、時間的にその形が変動せず、それ以外の分布では時間とともに分布の形が変化する基本式を導出できた。彼は、すばらしいことを見つけたと思った。

彼の夢は、さらに壮大なものであった。熱力学の基本法則から、非可逆過程

ではエントロピーが増大することは分かっていた。そのエントロピーを分子の分布で表したい。今まで、時間的に常に増大するような量を任意の分布から作り出す方法は、世界中の誰も見つけていなかった。ボルツマンも挑戦してみたが、失敗の連続であった。それでも、この困難な仕事を継続できるのは、熱力学の基本法則が呼びかけてくる魔力にあった。こんな不思議なことが自然界では起きている。それは事実なのだから、必ず、分布関数でエントロピーを表す方法があるはずだ。そのような関数は見つかるのだろうか。この不安と期待にゆれる心で、研究を続けた。何も思いつかない苦しい日々が続く。それでも、見つかるはずだという信念の火は、不思議にも消えなかった。自然の示す事実が強い後ろ盾になっていた。長いけれど夢中な時間が過ぎていった。ついに、彼の執念は実った。H関数を発見したのだ。

この快挙にもかかわらず、そこから彼の不幸が始まった。周囲の物理学者は、彼の理論に猛然と反対してきた。それどころか、分子の実在さえ否定するものもいた。「そんな、まやかしの分子という仮説を前提にした仕事は認められない」というものであった。現在から見ると、理不尽なことが多かった。しかし、當時は、分子の実在がまだ確立しておらず、これらの論争はやむを得ないもので

あった。ボルツマンの考えを深く理解してくれた人は、マクスウェルしかいなかった。しかし、そのマクスウェルも、もう死んでしまっている。海に向こうで、ギブズが研究しており、最も良き理解者のはずであったが、ボルツマンはそのことを知らなかった。ボルツマンの戦いは実を結ぶのだろうか。

この本は、苦悩に満ちて、落胆と孤独の中から、熱力学・統計力学を作り上げた人々、また、それを発展させ、驚異の物質世界「超流動と超伝導」を明らかにしていった人々の物語である。

読むにあたって注意してもらいたいことを列記する。参考文献は巻末に示した。 $*$ や $*$ などで、脚注に補足説明を書いた。括弧付きの部分は、文献から引用した部分である。また、歴史の状況をよりよく理解してもらえるように工夫する中で、著者たちが創作した会話の部分がある。それが分るように、その部分には、括弧付きで \dagger 印をつけた。文字の向きにも注意してほしい。縦書きでは、 H とかき、横書きでは H と書いた。同様に、 V と Δ は同じ意味であることに注意されたい。