

碓井先生とその時代 *

京大基研 長岡 洋介

(1995 年 8 月 7 日受理)

以下は、名大物理学教室物性理論研究室 (S 研) が編んだ「碓井恒丸先生を偲ぶ—追悼文集」のために書いた文章に若干の加筆訂正を行ったものである。碓井先生が本誌創刊の中心人物であったこと、また、先生の大学卒業が敗戦の年 1945 年であり、その研究者としての半生はちょうど戦後 50 年に重なり、いまその生涯をたどることはひとつの意味を持ちうるのではないかと考えたことが、この私的な文章を本誌に投稿した私の動機である。読者のお許しをいただきたいと思います。

1994 年 6 月 19 日、碓井恒丸先生が逝去された。72 歳であった—私はこのような書き出しで、日本物理学会誌に先生を追悼する文章を書いた。この小文を書くため、私は先生の奥様、ご友人、先生に教えを受けた人たちに話をお聞きし、先生の論文の何遍かを読みなおした。

私はこうして先生について、多くのことをはじめて知り、それによって、私より 12 歳年長の先生の生涯がその生きて来られた時代と重なって、身近なものになるのを感じた。私は先生について知ったこと—当然、その大部分は短い追悼文から割愛せねばならなかった—のすべてを記録しておきたいと思った。誰のためにでもなく、強いて言えば私自身のためにである。

しかし、書きはじめようとして、私は最初の 1 行を書き出せずに悩んだ。「先生は・・・された」と書くか、「碓井恒丸は・・・した」と書くか。文体が決まらないのである。気持ちからは前者である。しかし、多くのことを記録することは、そのような文体ではできそうにない。要するに、客観的に「伝記」を書くには、1 年は短すぎるのである。悩んだあげく、無理を承知で、自分を押し出すようにして、「碓井恒丸は・・・」と書き始めることにした。先生の個人的なこと、学問上のこと、私が記憶していること、いろいろの人からお聞きしたこと、すべてを雑然と書き記すのであり、視点を定めた「伝記」ではない。それにしても「碓井先生とその時代」という表題は少々大袈裟だが、先生の生涯をたどりつつ、私がその時代を考えてもいたことをこの表題に示したかったのだ、と理解していただきたいと思います。

1. 大学卒業まで

碓井恒丸は 1921 (大正 10) 年 8 月 20 日、広島県呉市近郊の苗代町で、父一人、母光子の第 2 子 (長男) として生まれた。2 歳年長の姉是水 (よしみ) がおり、4 年後には弟和丸が生まれている。恒丸誕生のとき、父 35 歳、母 26 歳である。

父一人は京都府立医学専門学校 (現在の府立医大) を出て、黒瀬町津江で内科医院を開業していた。

* 本稿は、編集部の方から特にお願ひして執筆していただいた記事である。

自宅から医院まで、山越え数里の道を馬で通っていたという。79歳のとき病でたおれるまで医師を続け、1971（昭和46）年、名古屋で恒丸、豊夫妻に看とられ、86歳で永眠した。母光子はこれより早く、1953（昭和28）年、59歳のとき広島で亡くなった。そのとき結核で入院中であった恒丸は母の葬儀に出席できていない。

恒丸は広島高等師範附属中学校を経て、1939（昭和14）年、旧制第一高等学校理科乙類に入学した。この旧制高校から大学にかけての数年は、恒丸のその後の生き方を大きく決定づけるものであった。恒丸はこの時期、大きな出会いと別れを経験している。

出会い、それは生涯の伴侶となる金子豊との出会いである。恒丸は一高2年のとき、病で1年間の休学を余儀なくされたが、翌1941（昭和16）年病から回復すると、九段の日伊会館で開かれていたイタリア語講座を受講した。ダンテの「神曲」を原語で読むのが目的であったという。女学校を終えて間もない豊は、早稲田大学で英文学を学んだ兄重隆とともに、同じイタリア語講座へ通った。講座で豊の兄と知りあった恒丸は、講座を終えた後、平河町にあった金子家をしばしば訪問した。豊ははじめ兄と話をするための訪問と思っていたが、そうではないらしい—と兄から言われたという。恒丸の金子家訪問は翌年秋の大学入学とともに中断する。角帽をかぶった大学生の恒丸が金子家を訪問したとき、豊は恒丸青年が急に大人になったと感じてはずかしく思い、

「私、大学生はきらいです」

と告げた。それ以後、大学在学中恒丸は豊に会っていない。

1946（昭和21）年、大学卒業の翌年、恒丸は兄を通じて豊に結婚を申し込んだ。1年ほどの交際ののち、2人は翌1947（昭和22）年9月、明治神宮で結婚式を挙げた。2人がはじめて会ってから6年後、恒丸26歳、豊25歳である。式には家族と親類20人足らずの人が集まり、式後は茶菓だけという簡素なものであった。式を終えて経堂の家へ戻ると、豊はすぐ料理や洗濯に立ち働いた。恒丸の蔵書に原書の「神曲」はないようだから、原書で「神曲」を読む、という目的の方は達成されなかったらしい。

別れとは、弟和丸との死別である。和丸は航空隊を志して陸軍幼年学校に入り、予科士官学校に進んだ。しかし、ここで結核にたおれる。士官学校の規則で、学校のある東京市内であれば自宅療養が許されたので、両親は世田谷区経堂に家を用意し、ここに和丸をひきとった。恒丸もまた、間もなく駒場の一高寮からここに移る。しかし、家族の看病もむなしく、和丸は1942（昭和17）年12月18日、死去した。17歳である。恒丸が大学に入って間もなくであった。結核が最もおそろしい病であり、多くの若者の命をうばった時代だったのである。

恒丸と和丸は仲の良い兄弟であった。2人は子供の頃から飛行機が大好きだった。兄は航空機の技術者になることを夢み、弟は航空隊を志して幼年学校に入学した。恒丸は一高でグライダー部に入っただが、大学入学後も熱心に訓練にはげんだ。和丸の死により、空を飛ぶ志を弟の分まで果たしたいと考えたのではないだろうか。飛行機から流体力学に興味をもったことが、大学進学するとき物理学科を選んだ理由のひとつではなかったかと思う。

学生時代、文学書や哲学書も愛読した。文学書では古典を好み、とくに万葉集を愛した。自ら歌もつくり、200 首余りの短歌が残っている。豊への愛情を率直に述べた歌も多い。ホメロスの叙事詩「オデュッセイア」もくり返し読んだ。結婚後、恒丸はよく妻のためにその一節を朗読した。蔵書に土井晩翠訳「オデュッセイア」(富山房、昭和 17 年刊)が残っている。

哲学書の中で最も強く影響を受けたのはアランの「幸福論」である。この本は、後に夫妻が東京から京都へ移ったときに広島の実家に送ったらしく、名古屋に残された蔵書の中にはない。石川湧訳が昭和 15 年に出版されているので、読んだのはこの本であろう。アランは阿部次郎の「三太郎の日記」などとともに、当時の旧制高校生の愛読書のひとつであった。1 冊の本から大きな影響を受けるということは、それを受け入れる人間形成が、恒丸自身の中にできつつあったことを意味していたと思う。例えば、

「感情というものは真心のこもったものであればあるほど、貴重なものであればあるほど礼儀を必要とする」(「私生活について」串田孫一、中村雄二郎訳)

という 1 節は、晩年まで変わらなかったその decent な人柄(高林武彦「想い出」(追悼文集))と重なってくる。

1942(昭和 17)年 9 月、戦争によるくり上げで第一高等学校を卒業し、東京帝国大学理学部物理学科に入学した。途中病気による 1 年の休学があるから、3 年半で一高を卒業したことになる。東大における同級生には中嶋貞雄、早川幸男、木庭二郎らがいる。前年、すでに太平洋戦争が始まっていた。理科系であるため学徒出陣はなかったが、2 年のとき 1 年間の勤労動員が課せられている。しかしグライダーの訓練を続ける余裕はあり、経堂の家も戦災をまぬがれることができた。

2. 東京高校・駒場時代

1945(昭和 20)年 8 月 15 日、日本は敗戦を迎えた。そして、その後間もない 9 月、恒丸は東京帝国大学を卒業した。しかし、大学は出ても、とくに研究を続けようとするれば、定職を得ることはきわめて困難であった。幸い恒丸は翌年 9 月、東京高等学校に講師の職を得ることができた。名古屋大学理学部に残っている履歴書によると、月手当金 100 円である。当時は俸給表が整っていなかったためか、履歴書にはいちいち金額が記されている。ついでに書くと、同年 12 月には 240 円、その後も徐々に昇給して、翌年 12 月には 690 円になっている。これ以後は等級号俸が記され、金額の記載はない。当時日本ではインフレが急速に進んでいた。これだけ昇給しても、とてもインフレに追いつくことはできなかったろう。1947(昭和 22)年に結婚した碓井夫妻は、妻がわずかに焼け残った着物を売りながら暮らすという、きわめて厳しい生活を強いられた。いわゆる「たけのこ生活」である。裏がえしてつくり直した背広が売れるという、そんな時代でもあった。

東京高校で恒丸に教えを受けた生徒の一人に市川芳彦がいる。市川の回想によると、講義は Slater-Franck の “Introduction to Theoretical Physics” に基づいていたが、たいへん難しく

「碓井先生は一高のまわし者に違いない。難しい授業をして、東京高校の生徒が東大に合格しないようにしているのだ」

などの冗談もいわれたという。しかし、同時に生徒たちとのゼミにつきあい、個人的な相談にももの、信頼される教師であった。

碓井の講義は難しい、という「定評」は名古屋大学を停年退官するまでであった。しかし、「難しい」は「悪い」と同義ではない。東京高校から東京大学教養学部に移った頃の講義を、その講義に出席した小沼通二は「たいへんモダンな講義で、新鮮だった」と回想している。私が大学院のときに聞いた超流動の講義はよく準備された、ノートがそのまま教科書になるような明晰な講義だった。若い頃はとくに理想が高すぎて、多くの学生にとっては辛口の講義となったのではなかろうか。

東京高校で教えて給料を得るかたわら、研究は東大物理学教室の小谷正雄の研究室で続けられた。研究テーマは常磁性塩に関連する問題であった。これは当時の小谷研の本流ともいうべき課題である。この研究に関連しては、日本物理学会誌 3 巻 5-6 号に「Microwave Spectroscopy に於ける“飽和現象”」と題する解説を書いている。

これと並行して、恒丸は富田和久（助手）、中嶋貞雄（特研生（給付付きの大学院生））とともに液体ヘリウムの勉強を始めている。テキストは河出書房から物理学集書 7 として出た、永宮健夫著「液体ヘリウム」（昭和 22 年刊）である。ザラ紙 124 頁の小冊子だが、熱的性質、構造、超流動に関する実験を紹介し、Tisza, London の理論にも触れた、優れた教科書であった。この本は蔵書の中に残されている。表紙がとれかけており、また随所に引かれたアンダーラインや書きこみが勉強のあとを示している。定価 65 円であった。この頃の恒丸の月給 690 円に比べて、これはかなり高価だったのではないだろうか。ちなみに、昭和 21 年 11 月に出た高木貞二著「解析概論」（5 刷）は 80 円、昭和 23 年 5 月に出た朝永振一郎著「量子力学（I）」（現代物理学大系第 25 巻、東西出版社）は 230 円である。

この勉強の中から生まれたのが、最初の英文論文

S. Nakajima, K. Tomita and T. Usui

“The Phenomenological Theory of Liquid Helium II”

である。²⁾ この論文は Landau や London、Tisza に始まる超流動ヘリウムの 2 流体模型を一般的に定式化し、それを熱流の問題に適用したものである。これは、著者たちにとって最初の本格的な研究であったと同時に、戦後の日本における低温研究の幕開けでもあった。

この論文を読むと、そこには現象論を追求する著者たちの立場が明確に記されている。

Putting aside premature speculations about the molecular mechanism, we try to refine the two-fluid model as a phenomenological theory.

この言葉は裏がえしていえば、次には現象論を基礎づける、生半可でない分子論の確立がなされねばならない、とする立場である。これがまさに、恒丸の生涯の研究を方向づけるものであった。

論文の最後には、研究室の主流のテーマから離れて勝手に好きなことを始めた若者たちを許し、激

励した師小谷正雄への謝辞とともに、同じ物理学教室にいた久保亮五、上記の本の著者である永宮健夫への感謝の言葉が記されている。久保、永宮からさまざまな助言があったことは想像にかたくない。これに合わせて、Tisza に対し、

— who was interested in our investigation and afforded assistance in the publication of this paper

として感謝している。中嶋によると、小谷はこの研究は自分の専門外であるからと、でき上がった論文を Tisza に送り意見を求めた。Tisza はこれを大いに評価し、論文が Physical Review に掲載されるよう推薦した、ということである。このエピソードに、小谷の人柄と、“敗戦国日本”における研究の進展を激励する先達の暖かい眼が感じられる。

この研究は F. London にも高く評価され、その著書 “Superfluids vol. II ” にスリットで通した熱流に関する理論曲線とともに引用されている。

この論文を書いたあと中嶋は名古屋大学理学部に職を得、研究テーマも電子・格子相互作用など金属電子論の問題に変わった。富田は磁気共鳴の問題に移り、有名な久保・富田の論文が発表されるのは4年後、1954年である。勤務も1951（昭和26）年には京都大学理学部にかわった。東京に残った恒丸だけがその後も超流動の問題を追求しつづけることになる。なぜ、これほどまでに超流動にこだわったか—その第一の理由は、この問題に物性論の最も基本的な問題があると考えたからだろう。しかし、それと同時に、弟和丸とともにした空へのあこがれ、和丸の死、グライダー、流体力学、という青春の記憶が影響していると考えるのはうがちすぎだろうか。

この論文での著者名の配列に注意したい。私の推測だが、それは貢献の順序ではなく、アルファベット順だと思う。じつは、恒丸の論文では生涯にわたってこの原則が貫かれている。それは、共同研究は著者が平等に責任をもつべきであるとする考えによるものであった。このため、共著論文のほとんどすべてで、Usui の名は末尾である。だが、名前が Usui ではなくて、たとえば Abe であったとしても、この原則を主張したか、どうか。

ちょうどこの論文が書かれていた頃、1949（昭和24）年、戦後の学制改革により旧制高校が廃止され、新制大学が発足した。これにより、恒丸は東京高校から駒場の東京大学教養学部へ移る。東大はこのとき発足した新制大学の中で唯一、教養部ではなく教養学部を置いた。教養学科を置いて、本郷の各学部と対当な学部にしたのである。東大の特権的な地位がそれを可能にしたのであろうが、そこには初代教養学部長矢内原忠雄の理想が感じられる。

その雰囲気は物理学教室にも反映し、そこには本郷（理学部）の物理学教室に負けない教室をつくらう、という熱気が満ちていた。物性理論では、恒丸のほか一高からの金沢秀夫がおり、後に九大から小野周が加わっている。新制大学発足の翌年（1950年）には朝鮮戦争が始まり、警察予備隊が発足している。しかし、まだいわゆる「戦後民主主義」は輝きを失っていなかった。名古屋大学の物理学教室では坂田昌一を中心に教室民主主義が唱えられ、駒場の物理学教室も同じ空気の中であって、研究者の

平等な権利を尊重する教室運営がなされた。このあとの駒場における経験が恒丸の生涯にわたる「民主主義者」としての生き方を決定づけたと思う。ちなみに、1949年には、下山（7月）、三鷹（7月）、松川（8月）のいわゆる国鉄3事件が起き、8月には古橋広之進がロサンゼルスで開かれた全米水上選手権で1500m自由型に驚異の世界記録（18分19秒0）を出し、11月には湯川秀樹がノーベル賞を受賞している。

上記2流体模型の論文が発表された後の1年余は、恒丸にとってその生涯の中で最も多産な時期であった。1951年、1952年に発表された論文は英文のものが9編、うち2流体模型5編、³⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁴⁾常磁性塩4編⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹¹⁾である。他に「物性論研究」に発表されたヘリウム関係の和文論文3編⁹⁾¹²⁾¹³⁾がある。堰を切ったように一という表現がぴったりの勢いである。超流動研究の協力者には小出昭一郎がいた。しかし、そのさ中に恒丸は大きな挫折を味あわねばならなかった。結核にたおれ、1951（昭和26）年8月から3年間、登戸の病院で入院生活をおくることになったのである。悪い食糧事情の中での根をつめた研究生活が、恒丸の体力には無理だったのだろう。

恒丸は病室に Physical Review をとりよせ、病床で物理の勉強を続けようとした。雑誌はベッドの下に積みあげられていったが、療養生活の中での勉強は容易でなかった。激しいあせりを感じていたに違いない。

入院生活のさ中、1953（昭和28）年8月、理論物理学国際会議が開かれた。会議は、設立して間もない京都大学基礎物理学研究所を中心に開催された。戦後最初の本格的な国際会議であり、外国から多数の著名な物理学者が参加している。その中には、J. Bardeen, L. Onsager, P.W. Anderson, R. P. Feynman, N. F. Mott, C. J. Gorter, N. Bloembergen などの名前が見える。病床で恒丸は、1日でもいいから出席して Onsager に会いたい、ともらしていたという。会議の液体ヘリウムのセッション（座長は戸田盛和）では、Onsager による Introductory talk のあと、Gorter が実験の紹介を行った。ここで Feynman は“Atomic Theory of Liquid Helium”と題する講演を行っている。液体ヘリウムの素励起について論じた著名な研究の最初の発表である。中嶋は“Review of the Recent Work in Japan on the Two-Fluid Theory”と題して、恒丸らの仕事を紹介している。

3. 駒場時代—入院以後

1954（昭和29）年7月、3年の療養生活を終えて退院した恒丸は、もう病気前のような無理はできない、と感じていた。それに、現象論から分子論へむけて、新しい研究の方向を見定めなければならない。翌年（1955年）、“液体ヘリウムIIの分子論”と題した2編の和文論文（1編は駒場の大学院生であった松平升との共著）¹⁵⁾¹⁶⁾が「物性論研究」に発表されているが、この研究は英文の論文にはなっていない。

同じ年（1955年）の3月、「熱学」⁴⁷⁾が東大出版から刊行された。単名の著書としては初めてのもの

ので、退院のあと半年足らずの比較的短い期間に執筆されている。一応、大学初年向けの教科書であるが、熱学の歴史から始まり、不可逆過程の熱力学にも触れた、ユニークな名著である。液体ヘリウムの研究で培った物理観が凝縮されているといってよい。この本を書くことによって、3年の空白のあと研究に復帰するための、一種のリハビリを行ったのではないだろうか。

このあと 1955 (昭和 30) 年から 59 年にかけて、当時東大の大学院生であった小沼通二、江沢洋と協力して執筆、編纂した 5 冊の本が出版されている。「物理 (I) - 連続物体の力学・波動・光」(弘文堂、昭和 30 年)⁴⁸⁾、「物理 (II)、(III) - 電磁気学 (上)、(下)」(同、昭和 31 年)⁴⁹⁾⁵⁰⁾、「電磁気学」(修学社、昭和 33 年)⁵¹⁾、「初等力学」(弘文堂、昭和 34 年)⁵³⁾である。これらの本は、普通の参考書ではあきたらない高校生にも読んでもらいたい、という意図で書かれた。共通する特徴は、

「アカデミックな古典現象論に拘わることは措いて、たとえ定性的な話であっても物理的意味の理解に役立つならば、分子論的なメカニズムもどしどし説明してもらうことにした」(物理 (I) 序文) 点にある。研究と教科書の執筆は異なるとはいえ、これは液体ヘリウムについて精緻な現象論を展開した恒丸らしからぬ立場にみえる。しかし、じつはそうではなくて、恒丸は研究で現象論を現象論として展開する場合においても、分子論的なメカニズムを見通すことによりその物理的意味を把握することが大事なのだ、と考えていたのではなかったかと思う。ただし、それは分子論的なメカニズムについて premature conjecture を言いたてることではない。加えて、これらの本の出版は、液体ヘリウムの研究においても、現象論から分子論へ進まなければならない、と考えていた時期に当たっていた。

1957 (昭和 32) 年、恒丸は渡米した。第一の目的はマディソンで開かれた第 5 回低温国際会議 (1957 年 8 月 26 日 ~ 31 日) への出席である。そこで藤田恵美子、権平健一郎、松平升との共著論文 “Theory of Mutual Friction in Liquid He II”¹⁸⁾ を発表している。会議のバンケットでは日本人出席者を代表してスピーチを行っているが、それによるとこの会議に出席した日本人は 4 名、すべて理論家であった。日本から行った恒丸、永宮健夫のほか、アメリカ滞在中の芳田奎、菊池良一である。東北大学金属材料研究所にヘリウム液化機が入ってからまだ 4 年しか経っていない。物性研究所が設立された年でもあった。

会議のあと、シカゴ大学に 3 ヶ月、イェール大学に 3 ヶ月、オハイオ州立大学に 3 ヶ月、アルゴンヌ国立研究所に 4 ヶ月、再びオハイオに 4 ヶ月と、米国の各地をまわり、滞在した。ホストは、シカゴが Long、イェールが Onsager、オハイオが Korrington、アルゴンヌが Osborne であった。これらの短期滞在は渡米前から予定に組まれていたわけではなく、シカゴの Long らの盡力によるものであった。とくに、Onsager のところへは手紙を出してもなしの隙で、苦労したらしい。念願がかなって、Onsager のところで研究することができたわけだが、有効な議論ができたのではなかった。シカゴには東大の先輩南部陽一郎がおり、在米中の研究に基づく 2 つの論文には南部への謝辞が記されている。南部は、恒丸がシカゴに着いたときアパートを紹介し、つれて行ったことを記憶している。

恒丸は最初の半年は一人暮らしだったが、1958 年 3 月、オハイオ滞在中に豊が渡米し、あとの 1 年

は二人で暮らした。帰国のときには、Korringa の強いすすめで、シカゴからロサンゼルスまで、二人で2週間の車の旅を楽しんでいる。1959年2月初めオハイオを出発、グランドキャニオン、デスバレーなどをまわった。ディズニーランドでは、入口まで行ったが入場料が高いいので入るのを止め、Uターンに苦労したりした。三井の貨物船で半月ほどの船旅をし、3月中旬横浜に着いた。

ついでに書くと、恒丸の車運転は米国滞在中に始めたものだが、晩年健康を害するまで終生車を楽しんでいる。グライダー以来の運動神経のよさで、運転の腕前は確かであった。しかし、米国滞在中には、シカゴで久保亮五をのせて駐車場から出ようとして前進と後退を間違え、駐車中の車にぶつかる、などの失敗をしている。冬、オハイオからシカゴへ妻とともに車で移動中、雪の畑に落ちて立ち往生したこともあったという。のちに名古屋大学時代、大学に隣接した公務員アパートから物理学教室まで車で通勤していたことがある。「車を動かさずにおくと、車の調子が悪くなるからね」との弁解に、私が「車の健康より先生の健康の方が大事ではないですか」とひやかした記憶がある。

アメリカ滞在中の仕事として、ランダウのフェルミ液体論に基づいて液体 ^3He の負の熱膨張率を論じたもの¹⁹⁾がある。論文の受理は1958年10月で、所属はアルゴンヌ国立研究所になっているが、アルゴンヌでのホスト Osborne のほかに南部にも謝辞を呈しているから、シカゴ滞在中から始められた仕事だろう。

帰国後間もなく書かれた論文が高密度電子ガスに関する2編(IIは藤田恵美子との共著)^{20) 21)}である。Iでは所属がシカゴ大学と東大教養学部になっており、この仕事もシカゴで始められたものである。この研究に先立つものとして、高密度電子ガスの相関エネルギーを摂動で求めた Gell-Mann-Brueckner 理論があり、それをフェルミ球に励起された電子・空孔対の運動を追うことによって求めた Sawada 理論があり、Sawada 理論を電子・空孔対をボース粒子と見なして書き直した Wentzel 理論があった。恒丸の仕事は Wentzel 理論をさらにきちんと定式化したものである。この研究は後に原子核理論の分野に影響を与えている。

液体 ^3He と電子ガス。恒丸はアメリカでこれらのフェルミ粒子系の研究を行うことで、本来のテーマである超流動の分子論の追求を意識しながらも、研究分野を広げることを意図していたといえよう。

1960(昭和35)年、安保闘争が起きた。民主主義の危機に直面して、恒丸も駒場の教員や大学院生とともに国会前のデモ隊の中にいた。

4. 基研時代

1961(昭和36)年2月、恒丸は京都大学基礎物理学研究所に教授として就任した。基研は1953(昭和28)年、全国初の共同利用研究所として創設された。前年、湯川のノーベル物理学賞受賞(1949年)を記念して建てられた湯川記念館を前身とし、湯川を初代所長に迎えて設立されたものである。物性論部門は設立2年目に設置され、初代教授には松原武生が就任している。前年松原が京大理学部に移っ

たあと、恒丸が2代目の教授として迎えられたのである。当時、基研では教授にも5 ± 2年の任期がつけられていた。

基研の人事はすべて、外部委員も加わる運営委員会で決められる。恒丸に対しては、当時運営委員であった久保亮五が就任を強くすすめた。恒丸に駒場の物理学教室の研究環境に不満があったわけではない。久保に共同利用研の重要性を説かれて、結局承諾したのではなかったか、と思う。生まれ、育ち、暮らしてきた東京を離れることは、妻の豊にとっても不安がなかったとはいえない。しかも、ポストには任期がある。

基研の物性には助教授に森肇がおり、恒丸から少し遅れて私が助手として赴任した。しかし、森は不可逆過程の統計力学の研究に専念していたし、私の興味は主として金属磁性にあった。基研には大学院生がいなかったから、初期には駒場の松平升等が短期に滞在することがあり、また湯川奨学生として基研にいた恒藤敏彦との交流もあったものの、恒丸の超流動研究はほとんど単独で行われることになった。だが、このことがかえて、長年のテーマである超流動の分子論の追求にはよかった、といえるかも知れない。その研究は1964年、代表作のひとつである

“Dynamics of Quantum Statistical Condensate — Derivation of Two Fluid Theory”
として結実する。²³⁾

この論文は Onsager の考え方にに基づく凝縮体の波動関数を超流動状態を記述する最も基本的な量とみなし、そのダイナミクスを求めることによって、2流体模型の基礎づけを目指したものである。数年遅れて、Betbeder-Matibet と Nozieres が超伝導について同趣旨の論文を発表しているが、碓井論文は超伝導の場合も扱っており、より一般的な理論になっているといえる。

恒丸が基研で行った仕事のひとつに、雑誌「物性研究」の創刊がある。この雑誌の前身である「物性論研究」には、戦争中（1943年）に阪大の永宮健夫らによって創刊されて以来の長い歴史がある。刊行は戦争激化のため4号で中断されたが、戦後（1948年）東大の物性論グループの編集により復刊した。これが翌年から再び阪大永宮研究室に引き継がれ、さらに1957年からは2集として京大富田研究室の編集で吉岡書店から発行されている。この「物性論研究」が投稿論文の減少によって1962年2月に廃刊に至ったのである。

このような、研究者間の情報交換を目的とする雑誌が消えてしまうのは惜しい、と考えた一人が松原武生であった。松原は恒丸に、「素粒子論研究」と同じように、基研が編集して刊行を続けたいか、と提案した。恒丸はこれを受け、「物性論研究」の資金を引き継いで「物性研究」を創刊することを決意したのである。第1号は1963年10月に発行された。

雑誌名から「論」が消えたのは、新しい雑誌であることを示すために名前を変える必要があったこと、親しみやすい雑誌を目指したことによるものであった。親しみやすいものに、という意図は名前だけでなく、編集方針にも示された。それまでの「物性論研究」は投稿論文を掲載するという、ふつうの学術雑誌と同じ方針で刊行されてきた。新雑誌では、投稿論文のほか基研で開かれた研究会の報告、講義

ノート、海外からの手紙等も掲載されることになった。ちなみに第1号には、真木和美、伊達宗行、松田博嗣・松原武生、金徳州、鈴木増雄、渡部三雄・田中実の論文のほか、森肇・西川恭治による「二次の相転移」研究会報告、松原武生の講義ノート「二時間グリーン関数の理論と応用 (I)」、恒藤敏彦の超電導 conference の様子を伝える海外だより等が掲載されている。ただし、この1号は見本としてつくられたもので、論文等はすべて「投稿」ではなく、編集者の依頼によるものであった。

投稿論文についても、これまでとは異なる考え方がなされた。「物性論研究」に対しては、

—和文で論文を発表すると、それで安心して、英文の論文を書かない傾向があるが、これはよくない。こういう雑誌はむしろ有害だ。

とする批判があったのである。「物性研究」は非公式なサーキュラーであって、投稿論文も載せるが、それは正式な発表とは考えない、という立場をとることとした。それが、引用は雑誌名によってではなく、private communication 扱いに、という「注意がき」に示されている。非公式な発表だが、紙上で討論しあうことにこの雑誌の存在意義がある、としたのである。

「物性研究」の1巻3号に、私と共著の論文「液体 He II 中の He^3 — 松田・松原論文へのコメント」²²⁾が載っている。松田・松原論文というのは、1号に載った「液体 $\text{He}^3 - \text{He}^4$ の二相分離」を指す。この論文は、副題からわかるように、紙上討論を活発にするという目的を編集者自身が実行しようという意図もあって書かれた。この論文で論じたことは2点。その第一は絶対0度で ^3He は ^4He に溶けるか、という問題である。今では約6.6% 溶けることが実験で知られているが、当時は実験がまだなかった。これを、 ^3He 原子が1個、液体 ^4He の中に入った状態についての変分計算と、液体 ^3He 、液体 ^4He 解離エネルギーの実験値とを組み合わせで論じている。一番簡単な変分では溶ける、と結論することはできなかった。変分をもう少し改良すれば、実験が出る前に溶けることを理論的に予言できたかも知れない。第二は液体 ^4He 中における ^3He 原子間の相互作用の問題である。これについては、運動する ^3He 原子のバックフローによって相互作用が生じる、という予想だけが書かれている。これも後に出た Bardeen-Baym-Pines の有名な論文と同じ考え方であった。だが、いずれの点でも詰めが甘く、ちゃんとした論文にするには至らなかった。残念だが共著者の私にその力がなく、超流動の分子論に力を注いでいた恒丸にはその余裕がなかったのだから、止むを得ない。

5. 名大時代

1965 (昭和40) 年12月、恒丸は名古屋大学理学部に移った。5 ± 2 年という基研の任期を模範的に守ったことになる。当時、日本は高度成長のまっ只中にあり、理工系ブームに湧いていた。各大学では物理学科の倍増がつつぎに実現している。名古屋大学も同じで、倍増計画が進行中であった。名大の物性理論研究室 (S 研) は、創設以来有山兼孝が中心になって活動していたが、理学部長等の管理職で忙しい有山を補佐していたのは中嶋貞雄である。1961 (昭和36) 年その中嶋が創設間もない物性

研に転出し、後任に中野藤生が赴任した。中野は1965年に工学部へ移り、有山もまた1968年には停年退職が予定されていた。その後を受けてS研の中心となるのが恒丸に期待されたのである。当時、名大物理学教室には基研の運営委員をしていた坂田昌一がおり、恒丸の大学同級生早川幸男が6年前に基研から赴任していた。恒丸の名古屋行きには、有山、中野の熱心な勧誘に加えて、坂田、早川等の誘いもあったものと思われる。

ここで話は少々横道にそれるが、S研のSのいわれについて書いておく。名大物理教室は研究分野ごとの研究室制度をとり、各研究室には教授名ではなく、分野を表すアルファベットがつけられている。例えば素粒子論の研究室はE研 (Elementary particle) である。S研のSは、Solid-state physics や Statistical mechanics のSと考えるが常識的だが、そうではない。研究室創始者の有山が物性論の中心課題は超伝導であるとして、Supraleitung のSを研究室名としたのである。これが Superconductivity でないのは、有山が戦前、ドイツの Heisenberg のもとで学んだことによっている (という話である)。

恒丸よりやや遅れて、1966年5月、私が助教授として着任、翌年には山田一雄が米国から帰国した。これに、若手の松浦民房らが加わり、S研の確井時代が出発する。柏村昌平は1967年にS研から教養部に移り、「外野席」からこれに加わった。恒丸はこのあと、1985 (昭和60) 年3月に停年退職するまでの19年余、ここで研究と教育を続けることになる。

基研から名大S研に移って、恒丸の研究スタイルは一変した。研究所と違って学部では、つぎつぎに入学する大学院生を指導しながら論文を書くことが求められたわけである。主な仕事を19年分をまとめて、箇条書き的に記したい。カッコ内は共同研究者である。

まず、超流動 ^4He については、

- (1) 回転する ^4He 中の不純物 (大見哲巨)^{26) 28) 29) 31) 33)}。 $^4\text{He} - ^3\text{He}$ 混合系を回転させたときに起こる2相分離、渦への中性不純物の捕捉、渦へ捕捉されたイオンの運動等の問題が論じられた。
- (2) 凝縮体のダイナミクス (大見哲巨、山田一雄、山内淳)³²⁾。1964年の論文を発展させ、一般的な枠組を提案した。
- (3) 超流動ヘリウム膜の問題 (市川泰丸)^{36) 38)}
- (4) 凝縮体の緩和時間の表式を与える一般論 (森井宣治、三宅和正)³⁷⁾
- (5) 回転2重円筒内超流体の不安定性⁴⁴⁾

このほか、超流動状態においては凝縮体の波動関数 Ψ が本質的であるとする立場から入転移を論じているが、最終的な形では発表されていない。また、超流動乱流の問題も考えている。

1971年、液体 ^3He の超流動が発見され、その理論が Leggett らによって論じられた。大学院生石川正勝はA相における内部角運動量の問題に注目、これを重要視した恒丸は石川等とともに関連する研究を行っている。

- (6) A相における質量流の問題 (石川正勝、三宅和正)^{39) 41)}

- (7) A 相における内部角運動量の温度依存性、ゲージホイール効果、A 相の流体力学（三宅和正、高木春男）^{40).42).43)}

これらの研究の中で恒丸が最も基本的な課題として考え続けたのは、1964 年の論文の発展であった。1975 年 S 研で研究方針の議論がなされたとき、このことについて書かれたメモが残されているが、そこで述べられた方針は少なくとも恒丸自身が納得するようには実現しえていない。最後にメモの全文を引用する。

学部教育に関しては、主として統計物理学の講義を担当している。講義内容は 2 冊の教科書（後述）としてまとめられた。「碓井先生の講義は難しい」とよくいわれたが、これはよく準備され、洗練された講義が多く、多くの学生には辛口だった、ということであろう。しかし、「熱学 I」⁵⁶⁾と「熱学・統計力学」⁶²⁾を比較すると、スタイルの差があり、後者に一般の学生になじみ易い講義を目指した努力のあとを見ることができる。

S 研の中で、恒丸の就任後間もなく始まったのが「S 研夏の学校」である。夏休みに数日間、山の民宿などに合宿して、避暑がてらに勉強しよう、というものであった。テーマとしては、日ごろ研究室では学ぶ機会のない、各自の専門から離れたもの、教授から大学院生まで皆がいわば横並びで一緒に勉強できるものが選ばれた。第 1 回は 1967（昭和 42）年 7 月、乗鞍岳に近い一重ヶ根温泉の民宿で開かれ、Bloembergen のテキストによって nonlinear optics を学んだ。この合宿のあり様には、教える教授と教えられる学生という関係ではない、ともに学ぶ研究者の集まりとしての研究室を理想とした恒丸の考え方が反映している。

だがこのような考え方は、1975（昭和 50）年博士課程大学院生の受入れ問題を契機に、「指導性の欠如」として若手から批判されることになる。

1965 年頃から、それまで大学院のなかった大学の物理に、修士課程の大学院が設置され始めた。名大物理では、これらの大学の修士課程を修了した人たちに博士課程進学のための門戸を開くべきだとする考えから、博士課程入学の募集を行った。とくに S 研では、名大修士課程からの進学者が多くなかったこともあって、他大学からの大学院生の受入れに積極的であった。これらの大学院生たちは、しばしば修士課程では S 研スタッフの研究テーマからかなり離れたテーマで研究しており、博士課程でもその研究を継続したいと希望する人たちもいた。恒丸は、能力のある人たちにはできるだけ研究を続ける機会を与えるべきであり、研究は元来自主的に行われるべきであって、研究室スタッフはそれに援助ができればよいのだと主張し、そのような大学院生の受入れにも賛成した。

しかし、このような「指導方針」が理想的に実現したのではなかった。内部から進学した人たちも含めて、大学院生たちは、自由に勉強はできても、その中で自分のテーマを発見して論文を書くことがなかなかできなかったのである。以下、当時の大学院生のひとりであった三宅和正の「碓井先生と S 研と私」（追悼文集）から引用する。

「このように、私達院生にとっては物理を自由にかつじくりと勉強することができた。しかし、みんな総じて DC の後半になってもなかなか論文を書くことはできなかった。その当時（70年代半ば）、DC 終了後の研究職への就職難はピークに達しており、私自身論文を書けないことに次第に焦りを感じていた。それが先生をはじめとする研究室スタッフの指導方針への疑問となって吹き出した（と少なくとも私は思った）ことがあった。1975年の2月に他大学の MC から S 研の DC への編入希望者の受け入れをめぐる先生方と私達院生の多数の意見が対立したのである。若手の多数意見はつまるところ、『来るものは拒まず』という原則を止めて、DC の間の3年+αで学位が取れる（テーマ、学力の両面で）かどうか判断し、それに向けて積極的に研究指導すべきであるというものであった。それに対して先生方は、従来の原則は物理の研究の性格に根差す本質的に大事なものであり間違っていないし、従来も無原則的に受け入れた訳ではないと主張されたように思う。夜中過ぎまで研究室会議が続くことがあるなど、何回かの真摯な意見交換・議論をしたがその意見の違いは埋まることなく、時間切れで研究室全員の投票にかけた。結果は、その時点で編入希望者の受け入れはしないというものであった。

あれから20年が過ぎた今振り返ると、編入を拒否するという形でしか若手から問題を提起できなかった点の是非は残ると思うが、物理の研究者をどのように育てるかということに対する二つの思想の対峙であったと見ることもできる。先生は自力で成長する研究者が理想であると考えておられたのではないか。若手は現実的で、他大学大学院の同世代の人達との競争の中で少なくとも3年+αで学位が取れる指導を先生方に求めざるを得なかった。ともかく、先生は研究室会議の結論に従われた。研究室の民主的運営を貫かれたのである。頭が下がるとともに、いろいろ失礼なことを申し上げたはずで、誠に申し訳ない気持ちは消えない。」

名古屋時代に執筆した本に、朝倉物理学講座の「熱学Ⅰ、Ⅱ」（Ⅰは昭和41年刊、Ⅱは昭和42年刊で長岡との共著⁵⁶⁾⁵⁷⁾がある。Ⅰは熱力学と統計力学を180ページ足らずの中にまとめた概説、Ⅱは具体的な応用を扱った演習書となっている。Ⅰでは非可逆過程の問題にもかなりのページをさいており、簡潔だが決して程度は低くない。恒丸のこの分野の著書の中では最も完成度が高いものといえる。

このほか、名大在職中に講座等の分担執筆、専門書のほん訳等を行っている。とくに、リフシッツ・ピタエフスキーのほん訳「量子統計物理学」（岩波書店、1982年刊）⁶⁴⁾は460ページの労作である。ロシア語に堪能で、かつこの分野に高い識見をもつ恒丸ならではの仕事であった。この本はランダウ・リフシッツの理論物理学教程に「統計物理学Ⅱ」としてランダウの死後加えられた一冊である。恒丸はランダウ・リフシッツのシリーズには強くひかれており、基研時代には「連続媒質の電磁気学」を長岡と、S 研では「場の古典論」と「流体力学」を大学院生らとともに学んでいる。ランダウ流の物理が恒丸にとって一つの理想であった。

恒丸はこのような研究と教育の仕事とともに、教室や学部の運営にも係わらねばならなかった。まず、就任するとすぐ、病気で入院した教室主任の有山にかわって、主任代理をつとめた。その後も教室の

各種委員会の委員長をしばしばつとめ、教室主任にもなっている。また、1973（昭和48）年には評議員、1981（昭和56）年には理学部長となった。権力的であることを最もきらったフェアな人柄が、教員ばかりでなく、一般職員からの信頼を集めたのである。しかし、恒丸にとってこのような仕事は最も「性に合わない」ものではなかったろうか。とくに理学部長の役目は、真面目に、ごま化されずにももの事に対処しようとするだけに、恒丸の心身を消耗させるものとなったように思われる。

1966（昭和41）年7月、北京でシンポジウム（北京科学討論会暑期物理討論会）が開かれ、野上茂吉郎を団長とする日本の物理学者31名からなる代表団が中国を訪問した。名大からは恒丸、早川幸男等がこれに加わった。中国ではちょうど文化大革命が始まろうとしていた。毛沢東語録をふりかざす紅衛兵の姿が、恒丸にはどのように映ただろうか。

1969（昭和44）年には、いわゆる学園紛争の嵐が全国の大学をおそい、名大も例外ではなかった。「全共闘」による事務局の占拠があり、教室でも激しい議論がたたかわされた。その中でも恒丸は真摯であり続けた。

恒丸について多くの人が記憶するもう一つのことにスキーがある。恒丸のスキーは駒場時代に始めたものだが、生来の運動神経のよさによって、かなりの腕前であった。多くの大学院生や職員が恒丸にスキーの手ほどきを受けている。S研のSは冬になるとSKIのSになるといわれたりした。一時、テニスにもこったが、これはあまり上達しなかったようだ。

運動神経はよかったが、病気がちだった若い頃のことが尾を引いてか、体力がある方ではなかった。S研では毎年一泊でハイキングに出かけていた。ある年、蓬萊寺山に一泊してブッポーソーを聞き、翌日東海自然歩道を歩く、という計画が立てられた。予想に反してかなりきつい山登りになったとき、

「東海自然遊歩道を歩くのだと聞いて安心してきたのだけれど、よく見たら“遊”のない“自然歩道”だった」

と弱音をはいた。だが、このときも、落伍はしないで若者たちと一緒に最後まで歩き通している。

6. 晩年

1981（昭和56）年、恒丸は還暦を迎えた。S研では、7月中津川の大学セミナーハウスで恒丸の還暦を祝うシンポジウムを開き、夫妻を招待した。これに大見、長岡等OBも参加している。

翌年、恒丸にはこれ以後長く苦しむことになるパーキンソン病の症状が現れ始める。1982（昭和57）年8月から1ヶ月余、名大医学部附属病院に入院したのが最初で、このあと死去に至る12年間、5回にわたる入退院がくり返されることとなった。その経緯はつぎの通りである。

1982年8月9日－9月16日	名古屋大学附属病院
1983年11月3日－12月10日	京都大学附属病院
1985年5月28日－11月28日	国立療養所中部病院

1990年7月21日－8月10日 同

1993年8月－94年6月19日(没) 同

1985(昭和60)年3月、恒丸は停年により名古屋大学を退官した。3月30日、これを祝う集いが名古屋の王山会館で開かれ、東京高校以来の後輩、教え子ら72名が集まった。恒丸は病により次第に自由を失い始めていた体で妻とともに出席した。出席者のスピーチには長く恒丸を支えてきた妻豊への感謝の言葉があった。食べものが不自由だった頃から、多くの若者が恒丸宅に招待され、夫妻の「無限大」(佐々木泰三「碓井さんの思い出」(追悼文集))とっていいホスピタリティで歓待されているのである。

停年後の最も大きい仕事は「熱学・統計力学」(平成2年3月刊、丸善)⁶²⁾の出版である。停年退職前に名大における講義に基づく原稿が準備されていたが、出版に至っていなかった。山内淳とパリティ物理学コースの編者である長岡が協力して原稿の整理を行い、コース2冊目として刊行された。この本の特徴は、洗練された構成よりも、物理的描像を大事にした具体的な記述にあるとてよい。とくに導入部では、熱平衡の問題を気体と固体の間のこととして具体的なモデルに基づいて論じており、ここには駒場時代の編書「物理(I)」で示した、ミクロな記述により物理的描像をはっきりさせるという方針が復活している。

1986年10月13日から17日まで、カナダのバンフで“Banff Conference on Quantum Fluids and Solids”が開催され、恒丸は豊をともなってこれに出席した。これが最後の国際会議出席である。

恒丸は病によって次第に体の自由を失っていった。1993(平成5)年8月、豊もまた長い看病の疲れでたおれ、二人は中部病院に入院した。豊は間もなく回復したが、恒丸にとってはこれが最後の入院になる。だんだんに会話が難しくなり、食事もできない状態が続き、10ヶ月の入院ののち、1994(平成6)年6月19日午前1時50分永眠する。72年10ヶ月の生涯であった。

遺体はその日自宅にもどり、自宅マンションに隣接する浄土真宗光明寺において、翌6月20日通夜、21日葬儀が行われた。通夜、葬儀には、親類の人たちのほか、全国から友人、後輩、教え子たち約100名が集まった。

最後に、私の個人的な思い出を二、三記しておきたい。

私が東大に入学した1952年、先生は入院中であり、私は先生の駒場での講義は受けていない。初めて教えていただいたのは修士コース1年のとき(1956年)のゼミナールであった。このときのテキストはPeierlsの“Quantum Theory of Solids”である。私は超伝導の章が当たり、FröhlichやBardeenの電子・格子相互作用に基づく理論の論文を紹介した。ときまさにBCS理論の前夜である。先生はもの静かで、口数は多くなかったが、適切なコメントをいただいたことを記憶している。

そのあと、大学院向けの低温物理の講義があり、超伝導を金沢秀夫先生、超流動を碓井先生という

分担であった。久保研コロキウムでフェルミ液体論の話をお聞きしたことがあるが、これは先生がアメリカからの帰国された直後のことであったか、と思う。

私は 1961 年大学院を出て先生の基研着任から少し遅れて基研の助手になった。基研でのことは上に記した通りである。「物性研究」に関しては、創刊から 6 号までの編集はお手伝いしたものの、私はその後アメリカに行ってしまったので、あとは先生にご苦勞をおかけすることになった。

私は 2 年のアメリカ滞在後帰国すると、再び先生のあとを追うようにして名大に移った。私の人事には先生のお力ぞえがあったはずである。以後 11 年間、それに先生の退官前 1 年間を名大 S 研で一緒に過ごした。基研で 3 年、名大で 12 年、合計 15 年先生のもとで研究したことになる。ただ、私は主として固体電子論の分野で仕事をして来たので、先生との共著論文は英文 1 編、和文 2 編のみである。研究室の分野を広げるにはむしろの方がよい、と先生も考えておられた — と私は勝手に思っているのだが。

こうして私が知っている先生を思い出しながら先生の 70 年余の生涯をたどってみて、先生は青年時代にご自身のものとされた考え方、生き方をその生涯にわたって貫かれた方であった、と思う。戦後 50 年、「戦後民主主義」という言葉がともすれば揶揄の響きを伴っていわれるが、私は尊敬の気持ちをこめて、先生を「戦後民主主義」を貫いた方とよびたい。先生は生涯にわたって、権力的であることを拒み続けた民主主義者であり、decent なヒューマニストであった。そして、先生のその生き方を支え続けて来られたのが、奥様である。

Dynamics of Condensate

Tunemaru USUI

1. Introduction — 歴史的展望 —

液体ヘリウムの入転移と超流動の実験的発見に接して、F. London は理想 Bose 気体の Einstein 転移がその本性であるとし、超流動はその condensate が行うのであるとした。この idea を基礎に、Tisza は、エントロピーをはこばない無粘性の超流体と、通常の流体と異ならない性質をもつ常流体の 2 流体から成る流体力学を定式化し、液体ヘリウムの現象論とした (1938)。Landau は、理想気体の condensate は excited atom と衝突散乱されるから決して無粘性と考えることはできないと批判し、excitation spectrum に対して超流動であるための (必要) 条件を導いた。この考え方に基づく Landau の 2 流体論の中では、超流体速度場 v_s に対し irrotational であることが要求され、またそれにはたらく力は一般化された chemical potential $(\partial E / \partial M)_{S,V,P}$ の負 gradient である。これはしかし、超流体は単に excitation quantum が励起される媒質の役目しか果たさないかの印象を与えた。そこでは Bose 統計がどうはたらいっているのか明瞭でなかった。しかし超流動の担い手が超流体ならば、その実体的把握は問題の核心的なものである筈である。ここに再び B. E. condensate の構造と

その動力学を追求することを主題とした理由があるのであり、その後の発展において、この立場に立ってあげられた物理的に見て著しい成果のひとつに Josephson 効果をあげることができるであろう。

2. Q. S. Condensate

近代科学の特徴として analysis – synthesis の過程があるが、ここでもまた elements の集合体としてその性質を論じようとする。したがって体系の要素構成の形態、structure が問われるが、この際 1 体に関する物理的量 $\alpha(r)$ (r は通常空間的位置を示す) およびその積の ensemble average が必要な情報を含む。特に 1 体の reduced density matrix

$$\langle \alpha^+(r') \alpha(r) \rangle$$

2 体のそれ

$$\langle \alpha^+(r'_1) \alpha^+(r'_2) \alpha(r_2) \alpha(r_1) \rangle$$

などである。

この ensemble を規定するのは Energy の表式である。統計物理学で扱われる対称として、Ising spin 系のごとき non-Hamiltonian system もあるが、ここでは興味の集点を dynamics におくから、Hamiltonian system に限定する。すなわち dynamical variables が存在し、その dynamics が Hamiltonian によって支配され、そこに statistical treatment を加えたときの性質を論じるのである。特に $\langle \alpha^+(r') \alpha(r) \rangle$ などが macroscopic eigenvalue をもつとき長距離秩序 (LRO) が存在するとよび、その固有関数を秩序パラメータという。すなわち

$$\int \langle \alpha^+(r') \alpha(r) \rangle a(r') d r' = N_0 a(r)$$

(N_0 : real, macroscopic). もし $\langle \alpha(r) \rangle \neq 0$ が存在すれば

$$\langle \alpha^+(r') \alpha(r) \rangle = \langle \alpha(r') \rangle^* \langle \alpha(r) \rangle + \langle \delta \alpha^+(r') \delta \alpha(r) \rangle$$

であり

$$\int |\langle \alpha(r') \rangle|^2 d r' \propto \Omega$$

が成立するから、このとき LRO が存在する。

ところが通常 α の変換 R であって、Hamiltonian を不変に保つ変換群が一般に存在する。すなわち $\{R \alpha(r)\}$ は $\{\alpha(r)\}$ と異なった configuration でありながら、energy は等しい。群のすべての要素 R に対する configuration $\{R \alpha(r)\}$ についての平均をとれば $\langle \alpha(r) \rangle = 0$ となる。 α をそのような量と考える (Fully ergodic)。このときこの symmetry を破るような外場が存在したとすれば、それがいかに小さくても、有限のエネルギー差を生じ、Broken Symmetry の状態が生じる。一旦この状態が生じると、外場を零に漸近させても、前述の ergode をたどるには天文学的な時間を要する。このとき生じた order parameter $\langle \alpha(r) \rangle$ または $a(r)$ は量 $\alpha(r)$ の変換性 R に応じて、それぞれ異なった物理的特徴を帯びる。例えば lattice sites に位置する vector spin の集合に対し

$$\sum_j \langle S_j S_i \rangle m_j = N_0 m_i$$

のとき、固有関数 m_i は ferromagnetic、antiferromagnetic state とか domain boundary の秩序を表現している。これは S の vector 変換性、並進対称性を破ることによって得られる状態である。

このようにして生じる order parameter の dynamics の追究がこの project のテーマである。例えば、Bloch 方程式あるいは Lifshitz 方程式を導出し、それによって domain boundary の dynamics を論じることはこのテーマの包含する内容のひとつである。

3. ODLRO と超流動

$\alpha(r)$ として特に空間の点 r における Bose particle の annihilation operator $\psi(r)$ をとる:

$$[\psi(r), \psi^\dagger(r')] = \delta(r - r')$$

このとき非相対論的 Hamiltonian を考えているから、粒子数は保存され、Hamiltonian を不変にする変換として第 1 種の gauge 変換

$$\psi(r) \rightarrow \psi(r) e^{i\alpha} \quad (\alpha: \text{real, constant})$$

の群が存在する。この symmetry を破る外場の作用は

$$-\int \psi(r) \nu^* dr - \int \psi^\dagger(r) \nu dr = -\sqrt{\Omega} (a_0 \nu^* + a_0^\dagger \nu)$$

であらわされる。この外場として 2 分割された各空間中で外場は一樣であるが、その 2 つの間に差があ

るような場合を考える。Perturbation Hamiltonian としては

$$\begin{aligned} H' &= \frac{\hbar^2}{2m} \int \nabla \psi^+ \nabla \psi \, dz dA = \frac{\hbar^2}{2m} (\psi_2^+ - \psi_1^+) (\psi_2 - \psi_1) \frac{A}{d} \\ &= \frac{\hbar^2}{2m} n_0 \frac{A}{d} [2 - 2\cos(\varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned}$$

を得る。 d は $\psi = \sqrt{n_0} e^{i\varphi}$ において φ が $\varphi_1 \rightarrow \varphi_2$ の変化を行う距離、 A は分割面の面積である。
ゆえに

$$\begin{aligned} J_{tot} &= \frac{d N_{01}}{dt} = - \frac{d N_{02}}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{\partial H'}{\partial (\varphi_1 - \varphi_2)} \\ &= \frac{\hbar}{m} n_0 \frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{d} A \end{aligned}$$

の current が流れる。一般には $j(\mathbf{r}) = n_0 \frac{\hbar}{m} \nabla \varphi$ である。

強磁性体において対応する現象は、symmetry breaking field の方向が空間的に inhomogeneous になっている場合に起こる。つまり domain boundary の問題である。しかしこの場合の特殊事情は magnetic field energy が (以下 1 行不明)

Bose condensate の場合に戻ると、この condensate current は non condensate と相互作用を行う。これによって renormalization が生じ、current は $j(\mathbf{r}) = n_s \frac{\hbar}{m} \nabla \varphi$ ($n_s \rightarrow n$ as $T \rightarrow 0K$) という形になる。さらに“壁”との相互作用を考慮したときも流動が散逸しないためには Landau の条件が満足されなければならない。これは excitation spectrum の性質に限定が加わることを意味する。すなわち Hamiltonian の構造に依存するのである。有限温度においては、極めて確率は小さいとしても超流体の高エネルギー構造——渦輪構造が実現され、これによって減速が起こる。すなわち一般に極めて小さな rate ではあるが熱平衡状態へ移行するのである。これは critical velocity の問題である。

Landau 条件の別の見方は Bogoliubov の '47 論文に見られる。すなわち condensate velocity $\equiv$ superfluid velocity $\mathbf{v}_s = \frac{\hbar}{m} \nabla \varphi$ に対し、すべての momentum $\mathbf{p}$ の excitation energy について $\epsilon_{\mathbf{p}} + \mathbf{p} \cdot \mathbf{v}_s \geq 0$ が満足されれば熱平衡の Bose 分布が成立できる。このとき温度 T の壁は静止している! このとき total momentum は

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{P} \rangle &= N m \mathbf{v}_s - N_n m \mathbf{v}_s, \\ N_n m &= -\frac{\Omega}{3} \int p^2 \frac{\partial}{\partial \epsilon} \frac{1}{e^{\beta \epsilon} - 1} d^3 p / h^3 \end{aligned}$$

で与えられ、その fluctuation は

$$\langle (\nabla \mathbf{P})^2 \rangle = 3 N_n m kT$$

となる (Onsager, 1957)。それでは condensate は fluctuate しないのか。fluctuate するとすれば

その ensemble について平均すると、

$$\langle P^2 \rangle = 3NmkT$$

が得られる (Usui, 1957)。この fluctuation は巨視的であるから、時間的経過を追うことができる。すなわち condensate dynamics の問題のひとつである。これは Langer によって T_λ 近傍の critical velocity の問題として既に論じられた。

4. Critical Fluctuation

第2種の相転移においては、上述の Q. S. condensate が連続的に発生する。このとき order parameter の fluctuation は scale が大であり、変化は緩慢である。したがって前節で述べたごとく、その統計だけでなく、むしろ dynamics を問い、その運動方程式 $\equiv$ kinetic equation を論じることができる。

しかしながら order parameter の運動は独自に行われるのではなく、一般に他の巨視的変量の運動と couple している。order parameter の relaxation が anomalously slow となると、それが他の巨視的変量の transport の性格に反映してくる。

(一部、明らかな書き誤りは訂正した。)

著作目録 ([]内は共著者)

I. 論文

1. Microwave Spectroscopy に於ける“飽和現象”
日本物理学会誌 **3** (1948), 160 - 164.
2. The Phenomenological Theory of Liquid Helium II
Physical Review **78** (1950), 768 - 779. [S. Nakajima, K. Tomita]
3. A Note on the Pressure Equation of the Two Fluid Model of Helium II
Progress of Theoretical Physics **6** (1951), 244 - 250.
4. Exchange Interaction of Nickel Ions in Nickel Fluosilicate Crystal
Physica **17** (1951), 310 - 318. [E. Ishiguro, K. Kambe]

5. The Spin Relaxation Time of Chromium Alum
Physical Review **82** (1951), 680 - 683. [E. Ishiguro, K. Kambe]
6. On the Thermodynamic Equation of Motion of the Two Fluid Model of Helium II
Physica **17** (1951), 694 - 702.
7. The Effect of Helium 3 Ingredient on the Wave Propagation in Liquid Helium II
Progress of Theoretical Physics **6** (1951), 506 - 523. [S. Koide]
8. The Effect of He³ Ingredient on the Thermal Rayleigh Disc Torque
Progress of Theoretical Physics **6** (1951), 622 - 623. [S. Koide]
9. 0°K 近傍の液体ヘリウム II — 二流体論についての覚書 —
物性論研究 No. 44 (1951), 119 - 124.
10. Theory of Some Magnetic Properties of Cobalt Tutton Salts
Progress of Theoretical Physics **7** (1952), 15 - 24. [K. Kambe, S. Koide]
11. Temperature Effect on the Paramagnetic Resonance in Crystals
Progress of Theoretical Physics **8** (1952), 302 - 316. [K. Kambe]
12. ³He — ⁴He の混合液体の非平衡熱力学
物性論研究 No. 49 (1952), 1 - 15.
13. 液体ヘリウム II の熱動力学
物性論研究 No. 54 (1952), 45 - 72.
14. Two Fluid Description of Liquid Helium II
Scientific Papers of College of General Education, University of Tokyo, No. 2 (1952). [S. Koide]
15. 液体ヘリウム II の分子論 — Hard core の問題 —
物性論研究 No. 88 (1955), 1 - 10.
16. 液体ヘリウム II の分子論 II — Excitation formalism —
物性論研究 No. 100 (1956), 76 - 108. [松平升]
17. いわゆる “Fermi 相互作用” について
物性論研究 No. 105 (1957), 40 - 54. [井口道生]
18. Theory of Mutual Friction in Liquid He II
Proceedings of the 5th International Conference on Low Temperature Physics and

- Chemistry, Wisconsin, USA (1958), 139 - 142. [E. Fujita, K. Gondaira and N. Matsudaira]
19. Landau's Model of Liquid Helium 3
Physical Review **114** (1959), 21 - 26.
 20. Excitations in a High Density Electron Gas I
Progress of Theoretical Physics **23** (1960), 787 - 798.
 21. Excitations in a High Density Electron Gas II — Diamagnetism —
Progress of Theoretical Physics **23** (1960), 799 - 809. [E. Fujita]
 22. 液体 He II のなかの He^3 — 松田・松原論文へのコメント —
物性研究 **1** (1963), 201 - 207. [長岡洋介]
 23. Dynamics of Quantum Statistical Condensate - Derivation of Two Fluid Theory
Progress of Theoretical Physics **32** (1964), 190 - 206.
 24. 多体系基底エネルギーと波動函数の対称性について
物性研究 **6** (1966), 175 - 186. [長岡洋介、柏村昌平、松浦民房、大見哲巨、山田一雄]
 25. Symmetry of the Ground-State Wave Function of Many Particle System
Progress of Theoretical Physics Supplement, Extra Number (1968), 392 - 402.
[Y. Nagaoka]
 26. Superfluid Vortex, Trapping Impurity Atoms
物性研究 **10** (1968), 349 - 367. [大見哲巨]
 27. 液体ヘリウムの音波
日本物理学会誌 **24** (1969), 28 - 45. [山田一雄、大見哲巨]
 28. Phase Separation in Rotating Helium
Progress of Theoretical Physics **41** (1969), 1395 - 1400. [T. Ohmi, T. Tsuneto]
 29. Superfluid Vortex, Trapping Neutral Impurities
Progress of Theoretical Physics **41** (1969), 1401 - 1415. [T. Ohmi]
 30. Phenomenological Theory of Superfluidity near the λ -Point
Progress of Theoretical Physics **41** (1969), 1603 - 1605.
 31. 渦糸に trap された陰イオンの mobility
物性研究 **12** (1969), 318 - 326. [大見哲巨]

32. Dynamics of Quantum Statistical Condensate
 Proceedings of the 12th International Conference on Low Temperature Physics,
 Kyoto, Japan (1971), 199 - 200. [T. Ohmi, K. Yamada and J. Yamauchi]
33. Mobility of Negative Ions along Superfluid Vortices
 Progress of Theoretical Physics **45** (1971), 1717 - 1723. [T. Ohmi]
34. 液体ヘリウムに関する最近の研究
 物性 **12** (1971), 375 - 389.
35. T_λ 近傍における超流動ヘリウム Film
 物性研究 **16** (1971), 541 - 549. [大見哲巨]
36. Critical Velocity of Superfluid Helium Films
 Progress of Theoretical Physics **56** (1976), 996 - 997. [Y. Ichikawa]
37. Theory of the Relaxation Time of the Bose-Einstein Condensate
 Progress of Theoretical Physics **56** (1976), 1360 - 1373. [N. Morii, K. Miyake]
38. Superfluid Film of Helium near the Lambda-Point
 Progress of Theoretical Physics **57** (1977), 1148 - 1158. [Y. Ichikawa, T. Ohmi]
39. Mass Current in Superfluid $^3\text{He-A}$
 Physics at Ultralow Temperature — Proceedings of the International Symposium
 at Kakoné (1978), 159 - 161. [M. Ishikawa, K. Miyake]
40. Angular Momentum in Superfluid $^3\text{He-A}$ at Finite Temperatures
 Progress of Theoretical Physics **63** (1980), 711 - 714. [K. Miyake]
41. Intrinsic Angular Momentum and Mass Current in Superfluid $^3\text{He-A}$
 Progress of Theoretical Physics **63** (1980), 1083 - 1097. [M. Ishikawa, K. Miyake]
42. Gauge Wheel of Superfluids
 Progress of Theoretical Physics **64** (1980), 1119 - 1126. [K. Miyake]
43. Hydrodynamics of Liquids with Intrinsic Angular Momentum — Case of $^3\text{He-A}$ —
 Progress of Theoretical Physics **65** (1981), 1115 - 1129. [K. Miyake, H. Takagi]
44. Hydrodynamic Stability of Superfluid Helium between Coaxially Rotating Cylinders
 Progress of Theoretical Physics **70** (1983), 1454 - 1456.

II. 著書、編書

45. 熱と分子運動 — 「分子物理学第Ⅰ編」所収（共立出版、1950）〔中嶋貞雄〕
46. 常磁性塩によるマイクロ波の共鳴吸収 — 「分子構造の研究」所収（岩波書店、1951）
47. 熱学（東大出版会、1955；改訂版、1969）
48. 物理（Ⅰ）— 連続体の力学、波動、光（弘文堂、1955）〔編：執筆 小沼通二、江沢洋〕
49. 物理（Ⅱ）— 電磁気（上）（弘文堂、1956）〔編：執筆 江沢洋〕
50. 物理（Ⅲ）— 電磁気（下）（弘文堂、1956）〔編：執筆 小沼通二、江沢洋〕
51. 電磁気学 — 物理学叢書Ⅱ（修学社、1958）〔小沼通二、江沢洋〕
52. 超流動 — 「物性物理学講座 8」所収（共立出版、1958）
53. 初等力学（弘文堂、1959）〔小沼通二、江沢洋〕
54. 大学演習 熱学・統計力学（裳華房、1961）〔久保亮五、市村浩、橋爪夏樹〕
55. 量子統計と超流動・熱伝導 — 「新物理学講座 C 篇・物理学の展開 21」所収（ダイヤモンド社、1964）
56. 熱学Ⅰ — 朝倉物理学講座 9（朝倉書店、1966）
57. 熱学Ⅱ — 朝倉物理学講座 10（朝倉書店、1967）〔長岡洋介〕
58. (1) 熱力学・統計力学的基礎 (2) 液体ヘリウム — 「低温の物理」所収（朝倉書店、1969）
59. 巨視的状态の概念 — 現代物理学の基礎 2「古典物理学Ⅱ」所収（岩波書店、1973）
60. 量子液体 — 「量子物理学の展望 上」所収（岩波書店、1977）
61. 超伝導の基礎 — 「超伝導」所収（丸善、1979）
62. 熱学・統計力学 — パリティ物理学コース（丸善、1990）

III. ほん訳

63. R.E. バイエルス「固体の量子論」（吉岡書店、1957）〔小出昭一郎、有山正孝、上村洸〕
64. リフシッツ・ピタエフスキー「量子統計物理学」（岩波書店、1982）