

京都大学の低温研究（ヘリウム液化機）の歩みと 低温物質科学研究センター

History of Research on Low Temperature Sciences at Kyoto University and the
Research Center on Low Temperature and Materials Sciences

水崎隆雄

京都大学名誉教授 豊田理化学研究所フェロー

Takao Mizusaki

Emeritus Professor, Kyoto University

Fellow, Toyota Physical & Chemical Research Institute

This memoir briefly surveys the development of the Very Low Temperature Laboratory, which was founded to support low temperature research at Kyoto University since the first Collins-type of helium liquefier was set up at the University in 1963. The research activities of the Laboratory were continued by the Kyoto University Research Center on Low Temperature and Materials Sciences (LTM Center) established in 2002. This article emphasizes that research on low temperature sciences depends greatly on the development of the LTM Center and to paraphrase John F. Kennedy, I would like to ask you to think about what you can do for the Center, and not what the Center can do for you.

2006年3月に定年退職して早や一年近くになる。本学の低温物質科学研究センターは2002年に設立され、以来2期4年に渡りセンター長を勤める事になった。定年退職後、量子液体固体国際シンポジウム(QFS)を京都で開催する仕事や、日韓、日仏国際共同研究の世話などで前から宿題とし残っていた仕事を片付ける事などで今年は何かと忙しく、定年後どういふスタイルで生活すれば良いのかという事が定まらないうち毎日の仕事に追われている。センター誌からの原稿依頼も、本来は前回の号に出している筈であったが、今になってしまった。現在、私は40年前に大学院生として過ごしたRutgers大学に滞在しており、手元に資料がなくて記憶をたよりに書くので、多少記憶ちがいがあることと思うが、ご容赦頂きたい。

この機会に日本の、とりわけその中で京大の低温の歴史（大体、ヘリウム液化機の歴史）について述べてみたいと思う。低温の発展の歴史は気体の液化に始まる。19世紀には永久気体（臨界点が室温より低く、室温で加圧しても液化出来ない気体）である酸素、窒素、水素は19世紀までに液化され、残ったヘリウムは1908年オランダのLeiden大学のカメラリン・オンネス(Kamelin-Onnes)によって初めて液化された。Onnesはヘリウム液化の業績と超伝

導の発見によって、1913年ノーベル賞を受賞しているが、大体、低温科学の元年は1908年のOnnesのヘリウム液化に原点を置く。低温物理の主要な国際会議は、1946年にDirac, Feynman, Onsager, Mott, Progogine等が集まって開催された有名な「Fundamental physics and Low Temperature Physics」を始めとし(LT-0)、以来大体3年に一度の割合で開かれる巨大な会議(International Conference on Low Temperature Physics-LTと云い、大体1500名程度の参加者があるが、最近では日本人の参加者数が米国人を上回り一番多くなった)で代表される。次回のLT-25は2008年に開催されるが、Onnesのヘリウム液化100周年に因んで、早くからオランダで開催される事が決まっている。因みにLTの開催国はアメリカとヨーロッパと日本(日本では京都で2回、広島で1回開催された)に限られ、未だ南半球の国や日本以外のアジアで開催されたことがない。その意味で低温科学の元年から100年経過した現在でも、低温科学の研究は一部の地域に限られ、維持発展には研究者の努力と社会の大きなサポートが必要な科学である。最近では韓国、中国でも低温科学の研究が育っており、日本との共同研究の必要性が非常に高くなっている。

日本での低温研究も苦難を極めた。日本でヘリウムの液化機が初めて動き始めたのは東北大学が最初であり、戦後の1952年にまで待つ事になる。Onnes以来長い間、低温研究はLeidenを中心行われたが、アメリカのMITの教授であったCollinsが商業的(ADL社)に液化機を製造し、それが世界にあつという間に広がった。日本で戦前にもヘリウム液化機の必要が強く要望され、金研所長であった本多光太郎などが中心になり、Kapitza(超流動ヘリウムの発見でノーベル賞受賞)が開発した膨張エンジンを用いた液化機を国産で作ろうとしたが、色々な技術的な困難もあり、成功しなかった。また、Onnes研究室に留学し、Onnesによると「最初に液体ヘリウムを見た日本人」として、「物理化学実験法」の教科書の著者である鮫島実三郎がいることを、井口洋介から聞いた。鮫島は1920年にLeidenに留学し、Onnes研究室で温度を下げることによって固体ヘリウムを見つける仕事に参加した。この間の事情は鮫島自身が雑誌「物性」2, No. 1 (1961)に書いているので、ご覧になっていただきたい。晩年、Onnesは病身をおして、固体ヘリウムはまだかと研究室に毎日顔を出した事などが書かれているが、Onnesの晩年の執念にもかかわらず、絶対零度まで常圧では液体であるヘリウムが、当時真空ポンプでヘリウムの蒸気圧をひいて実現した0.9 Kに冷却しても固化する事はなかった。後に、Onnesの弟子のKeesamが25気圧以上にヘリウムを加圧してヘリウムを固化させる事に成功した。Onnesと英国の水素を初めて液化した実験の天才と言われているデュアー(Dewar)が激しく先陣争いをしたことが知られており、DewarがOnnesとの競争に破れたのはDewarの技官が貴重なヘリウムガス(当時は、モズナ石を熱して出てくるガスから抽出した)を間違って逃がしてしまったことが原因とされている。鮫島によると、ヘリウム液化には大変な技術の蓄積が必要であり、Onnesは職工養成所を作る事から始め、ふんだんに液体窒素や水素を用意し、その上で多量のヘリウムを使い、巨大なヘリウムガスの圧縮機を使って行ったヘリウム液化の実験室はまるで工場であったと書いている。基礎技術の準備に大

きな差があり、Dewar は成功するところまでいかなかったであろうと述べている。鮫島は、Onnes の液化機をそのまま日本に導入する約束を Onnes とかわしており、帰国後東北大学に据え付ける計画であったが、翌年の関東大震災で予算が吹っ飛んでしまい、計画は実現しなかったことを、井口から聞いた。それほど、ヘリウムの液化、ひいてはそれを寒剤にして行う低温研究は、非常な困難を伴った。

先に述べた 1952 年に、東北大学に液化機が導入されたのを皮切りに、1960 年代に日本の大きな大学に次々に液化機が導入された。日本の第一世代の低温研究者のほとんどが東北大学の当時の出身者である。京都大学には、1963 年 ADL 社製の Collins 液化機購入の予算がつき、ヘリウムの液体が初めて出たのは 1965 年 6 月、液体は 10 月から学内の研究者に供給された。Onnes に遅れる実に半世紀以上経っている。当初、液化量は 4 リットル/時であったが、改良され 8 リットル/時ぐらいであった。私が大阪大学の大学院に入学したのが 1965 年であるので、大体上の液化機の運転開始と時を同じくする。当初は液化は不安定でかつ液化総量も少くなかったので、朝液化室に集まってじゃんけんで供給を決めたという話も聞いている。私は 1972 年から京大物理教室に助手として奉職したが、その頃はヘリウムの供給は安定になり、ヘリウム供給は軌道に乗っていた。しかし、当時の Collins 液化機は結構故障が多く、液化機本体から低温の膨張エンジン部分を取り出す仕掛けがあり、しばしば職員は液化機を分解していたのを記憶しているが、職人的技量を要求されていた。ヘリウムガスの回収管も全くなかったので、数立方メートルの風船に蒸発した使用後のヘリウムガスを入れて、サンタクロースよろしく、雨の日も風の日も液化室に運ぶという作業が続いた。極低温月報（センター化後はセンター誌となる）のどの号か忘れたが写真がでている。当時から京大にはセンターという形の組織がなく、液化室は極低温研究室とよばれ、学内措置で全学共通設備として理学部を中心に運営されていた。その当時は実験装置（ガラス製のヘリウムを入れる容器でデュアー（この名前は前述の Dewar が発明したことによる）と云われる）を液化室に持ってきてヘリウムの供給を受けており、又少ないヘリウムの供給の調節などもあり、研究者は運命共同体としても一体感があつた。しかし、ガラスのデュアー・ビンを運ぶ途中、物理事務室前の廊下の坂のところ、何度爆発させたか知れない。勿論その頃のデュアー・ビンは爆発しても大丈夫なようにガラス飛び散り防止用のテープが巻いてあつたし、運搬台も爆発に備えてアクリルの板が張ってあつた。いずれにしても、みんなで低温の実験しているという実感があり楽しいことは楽しいが、大変な時代であつた。吉田地区に続いて、宇治地区にも 1970 年頃に液化機が設置され、京大全体にヘリウムが曲がりなりにも行きわたつた頃である。京大の低温が漸く軌道に乗り初めてやっと、1997 年に大型の液化機の更新が認められ、英国 BOC 社のターボ膨張エンジンを持つ液化機が設置された。この BOC 社の液化機は 2 つの意味で画期的な影響を与えたことになる。ADL 社の液化機は 8 リットル/時で、良く故障し、じゃんけんで実験順をきめるようなこともあつたが、それに比べて BOC 社製のものは液化量も 30-40 リットル/時で、桁違いの液化量を誇るとともに、ほとんど無事故で安定に

液体を供給した。またこの大型液化装置の設置に伴い、まず物理教室、次いで、今出川通りを越えて本部構内、さらに旧教養部構内と、ほぼ全学にヘリウムの回収配管が設置された。液化機が大きくなっても回収配管がなければ、低温研究は中々出来ないものである。私もやっと、京大に来た当時からの目標であった、超低温度における量子凝縮系の研究（超流動や固体のヘリウムの核磁性の研究）に手を付けることが出来るようになった。BOCの液化機は、修理と調整をする事を前提として作っていたADL社の液化機とは異なり、自動化され、修理も簡単に出来るものではなかったのが、納入当時から液化機本体の断熱容器に大きな真空漏れ（多分ヘリウムがもれていた）があったが、中身を取りだして修理が出来ないため、常に拡散ポンプでひき続けながら運転していたと記憶している。それでも十分に液化量があり、故障は次の液化機の更新までの約15年の間、2回の大きな故障があったが、安定に働き続けた液化機であり、私にとっては一段と思い入れの深い装置である。BOCの安定供給の御陰で、50、100リットルのヘリウム・ベッセルという容器に液体を汲み、ベッセルを研究室に持って行って使うという使用方法が始まった時期である。その結果、京大の低温研究者、あるいは低温と使った周辺分野の研究者が飛躍的に増大し、BOCでは供給がまかないきれず、また液化機の老朽化（BOCの2回目の大故障は液化機本体ではなく、ヘリウムの圧縮機であったが、これは空気圧縮機を改良したものであり、使用方法に無理があり、最終的には圧縮機が致命的な壊れ方をして止まった）もあり、1997年、神戸製鋼製の液化機が導入された。液化量は170リットル/時で、液化量は十分当時の我々の要求を満たすものであったが、さすがに鉄鋼会社で作った機械だけに我々の想像を越えた巨大な液化機であり、極低温研究室（液化室）の面積の半分を液化機が占領してしまった。しかしながら、十分余裕を持った設計であり、液化能力で微妙なバランスをとって液化することもなく、ADL、BOC、神鋼製と変わる中で冷凍機技術の進歩を身に染みて感じた。この頃からは、「ヘリウムの一滴は血の一滴」という言葉が死語になり、ヘリウムがある限りはデータを取り続けるという習慣はなくなった。この間、極低温研究室は、全学共通施設であるが理学部が中心になって運営されてきた経緯があり、これを全学のセンターにするという事は、全学の低温研究者の悲願に近い程の切実なものであった。センター化の構想は紆余曲折があったが2002年に実現し、理学部分析解析センターを合わせて低温物質科学研究センターが発足した。

センター化が実現する少し前の事であるが、神戸製鋼の液化機についているヘリウムガスの内部精製機が爆発し、精製機が本体内で脱落事故を起こした。この液化機も前述したように巨大なものであり、液化機の内容物を取り出すために液化室の屋根を破って、クレーンでつりあげて持ち出した。修理の時に分かったのだが、精製機内部の圧力分布に対する設計と工作方法にミスがあった。精製機は初段と後段で全く同じものが2台シリーズで付いており、事故は後段の精製機で起こったが、温度の高い方の初段の精製機は修理せずにそのままになっている。他の研究所や大学でも多分同様な原因で事故は起こっており、現在神戸製鋼製で動いているのは京大だけであると思う。事故のことや、使用期間も十年を越えたので、セン

ター化に伴い液化機の更新をきめた。液化機はセンター化と同時に補正予算がつき、Linde社製の大きな液化機が設置された。これは270リットル/時であり、圧縮機を大きくすればまだまだ液化量を大きくする事が可能である。多分、液化機としては日本で一番大きなものではなかろうか。この液化機は前述の神戸製鋼製のものと並列運転ができるようにしたので、液化室のもう半分をLindeが占める事になり、液化室の1階を完全に2台の液化機が占領している。液化機の進歩は実に素晴らしいものがあり、たびたび故障するものでなくなったので、並列運転のために2台と残す必要はなかろうという議論もあったが、液化機が長期の故障で止まった苦しい経験が頭をよぎり、並列運転にこだわった。事実Linde液化機の立ち上げ運転に付随した故障が2、3回あったが、ヘリウムの供給に支障はなかった。

センター化に伴い全学が平等に低温のサービスを受けられる様にする事が急務である。低温研究の研究者と研究分野の裾野を広げることがセンターにとっても一番大事なことである。東大路の西側にある医学部/研究科と、工学部/研究科などが移った新しい桂キャンパスへのヘリウム供給である。前者は今年度やっと東大路を越えて回収配管設置の計画が実行され、医学部/病院地区からセンターに続く回収配管が設置され、今後の医工連携プロジェクトの推進に役立つことが期待される。また桂キャンパスにも昨年度Lindeの液化機が設置され、確か100リットル/時の大きな液化機が設置されている。センター化を機会にヘリウムの供給事情は良くなることを期待する。一方、最近ではヘリウムは潤沢、安定に供給され、ヘリウム・ベッセルで液体が供給されるので、昔のような研究者の一体感はなくなってしまった。工学部が本部地区と地理的に離れたことにより、交流がややもすると疎遠になる傾向があるが、相互の交流が促進されるようなセンターの運営が必要であろう。

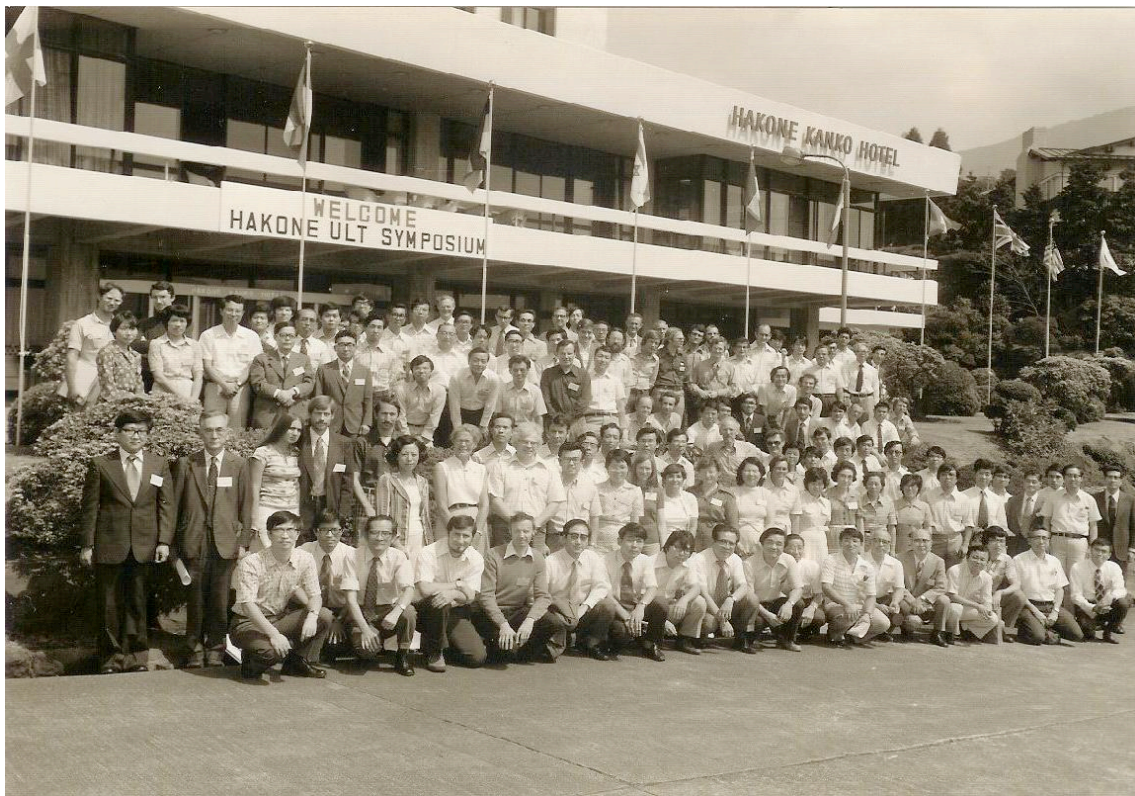
日本のヘリウムはほとんど、アメリカから輸入しているので、ヘリウムは高額(1リットルのヘリウム液体で千数百円)である。アメリカではヘリウムガスは戦略物質と位置付けられて軍が管理しており、安定供給が保証されているわけではなく、又資源の枯渇が云われて久しい。日本の価格も我々が液化再利用を止めれば、今の価格ではいかないであろう。日本の大学では、この貴重なガスを回収再利用することで、低温研究を行う以外に方法はない。アメリカはヘリウム生産国であるだけに、日本に比べてヘリウムが格段に安いですが、それでも先月(2月)は3ドルであったものが、今月から5ドルになったと、Rutgersの研究者が悲鳴をあげていた。実は、Rutgers大学の物理教室では最近ではヘリウムの液化機は動いていなく、外からトラックで液体ヘリウムが配達され、使い捨てである。大変ショックであった。今後、低温研究は物質科学のみならず、超伝導マグネットの利用、低温を利用した先端計測器(SQUID, 極低温顕微鏡, Dark Matter Detector)の開発や利用など、益々応用分野が広がり、最先端科学の進歩を支える重要な研究環境としての重要性が増している。センターはヘリウム供給のみならず、研究センターとし研究や情報の公開や交流促進し、新しい境界分野を開拓し、研究者の裾野を広げる役割を担っている。今後のセンターの活発な活動と低温研究の一層の発展を望みます。



水崎 隆雄 (Takao Mizusaki) 京都大学名誉教授

経歴 1965 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業, 71 年米国 Rutgers 大学 Ph. D. 取得, 72 年京都大学理学部物理学第一教室助手, 講師, 理学研究科助教授, 教授, 02 年—06 年低温物質科学研究センター長を経て, 06 年定年退職.

研究テーマ 超伝導, 超低温における量子液体ヘリウム-3 の超流動, 量子固体ヘリウム-3 の核磁性, 量子気体 (偏極原子状水素気体) の研究など



箱根超低温物理シンポジウム

超流動ヘリウム-3 が発見されたすぐ後に, 東大物性研教授菅原忠が議長になって 1977 年夏に開催した会議の写真. 世界の主だった超低温物理研究者が一堂に会し, 日本の低温物理の主流が一気に 1mK 領域の超低温物理に進むことになった. 日本の低温物理第一世代や最近定年を迎える第 2 世代の方々に加えて, 後にノーベル物理学賞を貰う事になった Doug Osheroff, Dave Lee や Tony Leggett の顔も見える.