

超低温物理に関する国際会議 ULT2025 に出席して

公益財団法人高輝度光科学研究センター

回折・散乱推進室 テンダーX線回折散乱チーム／

JASRI ナノテラス拠点 利用研究系分室

田尻寛男

1. はじめに

2025年8月14日から8月19日の期間にランカスター大学で開催された超低温物理に関する国際会議 ULT2025: Frontiers of Low Temperature Physics に出席・講演してきましたのでご報告します。今回の現地オーガナイザーは、同大学の Richard Haley 先生と Viktor Tsepelin 先生でした。ランカスター大学は英国国内ではじめて低温物理の修士過程が設置された大学としても知られており、英国における低温物理の拠点の一つです。同大学での本会議の開催は、1990年以来実に35年ぶりになります。出席者は100名前後と比較的小規模な会議で、アットホームな雰囲気のもと熱心な議論が交わされました(写真1)。

仙台からは、香港経由でマンチェスター国際空港にむかい、そこから列車に乗り1時間半ほどでランカスター市街に到着しました。同市街からランカスター大学までは1時間に数本、2階建てバスが運行されており片道30分弱くらいです。このようにランカスター大学は市街からは十分離れていまして、その代わりに、いわゆる大学が一つの町といった規模で、大学内には飲食店やバー、生活必需品を学内で全て調達できるスーパーや専門店などが整えられています。憩いのスペースや小さな公園もありカモが放し飼いにされていたり、学生寮近くの低木の街路樹にはウサギが住んでいたりと自然にも恵まれた環境です。

ランカスター大学は1964年に設立された比較的新しい大学ですが、英国でも数少なくなったカレッジ制度を採用しています。9つのカレッジで構成されており、学生寮も各カレッジが運営しています。会議出席者はほぼもれなく、Cartmelカレッジの学生寮で寝泊まりしました。学生寮は各人の部屋や共有スペース・キッチンで構成される10名程度をひ

とかがまりとしたフラットで区切られています。そのフラットメイトの一員として、1週間弱の短いあいだでしたがカレッジ寮生の生活も体験できました。学生寮のある Cartmelカレッジから George Fox Building (GFX) 会場まで歩いて20分弱とお伝えすれば、ランカスター大学の規模の大きさがわかっていただけたと思います。

2. ULT2025で議論されたこと

オープニングトークは、地元マンチェスター大学の Andrei Golov 先生が行いました。本会議のプログラムは各セッションが明示的にカテゴリーで区切られていたわけではありませんでしたが：

- (1) 量子液体・固体 (Quantum Fluids and Solids)
 - (2) 超流動・超伝導 (Superfluids and Superconductors)
 - (3) 量子乱流・渦 (Quantum Turbulence and Vortex)
 - (4) 量子相転移 (Quantum Phase Transition)
 - (5) ナノ電子系・ナノメカニクス
(Nano-electronics and Nano-mechanics)
 - (6) 量子デバイス・量子ビット
(Quantum Devices and Quantum Bits)
 - (7) 超低温冷却 (Ultra-low Temperature Cooling)
- といった話題でセッションがまとめられていました。



写真1 ULT2025@ランカスター大学のGFX会場前にて

なかでも、興味を引きたいいくつかの話題について紹介したいと思います。

話題(1)「量子液体・固体」や話題(2)「超流動・超伝導」に関連した話題では、よく知られたヘリウム3のA相、B相という対称性の異なる超流動相の最新の議論にくわえて、我々も研究対象としている二次元ヘリウム固体について最新の研究成果を知ることができました。ロンドン大学Royal HollowayのJan Knapp博士による講演では、グラファイト上ヘリウム4原子層1層構造に対して2層目に成長するヘリウム3原子層が紹介されました。ヘリウム3はヘリウム4に比べより大きなゼロ点振動をもつため必ず最表面(この場合2層目)に原子層を形成するのですが、そのヘリウム3原子層は超流動の特性も有する固体である「超固体」なのではないか、とされている系です。講演ではゼロ点振動をベースとした多体効果の影響が議論されていました。ただし、これらの議論は物性測定による推測をもとにしており、実験的な構造情報が欠落している点に注意が必要で、超低温領域の構造プローブの必要性を改めて認識しました。

話題(3)「量子乱流・渦」はマクロな量子現象といえますが、超流動ヘリウム内に量子渦を発生させるために、数百kgはゆうにある実験装置全体を物理的に回転させる実験風景や、電子バブルと呼ばれる超流動ヘリウム内の空洞や量子液滴の観察などマクロな実験でヘリウムの量子性に挑むやり方は、普段我々が接することが少ないアプローチでとても新鮮でした。これらの講演を目のあたりにして、個人的には寺田寅彦先生の墨流しの研究を想起するような感覚を覚えました。

さらに、話題(6)「量子デバイス・量子ビット」では、量子コンピューティングの実現という近年の世界的な強い研究志向を反映してか、内容も多岐にわたり、講演者のボリュームは理論・実験ともに相対的に多かったように思います(後で述べますが話題(7)と重複する内容も多かったです)。その一例が、液体ヘリウム上に固定した電子1個を量子ビットとするもので、スピンのコヒーレンス時間が100秒以上ということでは有望視されていました。

話題(7)「超低温冷却」に関しましては、nK冷

却といったダイレクトに超・極低温を目指したものから、話題(6)と関連した実用上の観点のものまで多くの講演がみられました。すなわち、量子デバイスとりわけ二準位量子系が正しく作動するために必要な、いわゆる機械的振動やコンタミネーション、量子デコヒーレンスをなくすための技術的な話題も多く盛り込まれていました。この点は、冷却技術に関してもコミュニティとして大きな興味の一つなのだな、と再認識しました。たとえば、Tjerk Oosterkamp博士の(なんと)LEGOブロックを熱絶縁素材に使用した超低温冷却システムなどはウィットに富んだ例と感じました。

大規模なグループ研究も多く講演されていました。たとえば、ランカスター大学Samuli Autti先生の講演では、SCALES (Superfluid Condensates in Astrophysics and Laboratory Experiments)による中性子星の研究が紹介されていました。さらには、ロンドン大学Royal HollowayのAndrew Casey先生による、QUEST-DMC (Quantum Enhanced Superfluid Technologies for Dark Matter and Cosmology)におけるダークマター研究の講演など、歴史のある超低温物理と最新の宇宙研究をうまく融合させて研究を進めるあたりは、欧州のふとこの深さを感じられる取り組みと感心しました。

3. 著者のオーラル講演について

私は、SPring-8のビームラインBL13XU, BL47XU, BL29XUを活用した成果^[1-4]について、“A novel structural probe for He atomic layers: Challenges and their solutions using surface X-ray diffraction”と題してオーラル講演して参りました。この研究は、兵庫県立大学の山口明先生と東京大学低温センターの福山寛先生との共同研究になります。グラファイト上に形成される二次元系ヘリウムは、非常に大きな圧力をかけない限り絶対零度で固体にならないヘリウムが、量子効果によって1K近傍で二次元固体となる系で、低次元物性研究のプロトタイプとして知られています^[5]。

これまで、このようなヘリウム原子層に関する構造観察は、その散乱断面積の大きさから中性子回折の独壇場でした。一方で、理論計算の精度が向上す

るに従い、新奇量子相の研究にはより精密な構造情報が渴望されています。そこで、表面X線回折(SXRD)^[6,7]を超低温の新たなプローブへと成長させるべく、1K近傍まで冷却可能なSXRD装置を製作、SXRDに適したグラファイト基板の探索も進めてきました^[1]。20 keV以上の高エネルギーX線を活用することでX線照射による発熱の影響を抑えることができ^[2]、ヘリウム4単原子層からなる不整合相をSXRDで観察できております^[3,4]。

さて、私の講演はオーラル講演最終日のトリでした。超低温分野では新参者で緊張していたのですが、さいわい直前の講演が同じく量子ビームである、中性子による超流動ヘリウム膜実験に関するものでしたので、演者である中性子施設ISISのOleg Kirichek先生へ質問をした後に講演をはじめることができ、リラックスして講演できました。

講演後は、低次元ヘリウム系の著名な研究者であるロンドン大学 Royal HollowayのJohn Saunders先生から放射光SXRDによる構造観察へ期待のコメントをいただき、また国内で超低温物理を精力的に進めておられる慶應義塾大学の白濱圭也先生(前回ULT2022のオーガナイザー)からも研究の進捗に関して前向きなコメントをいただき、手応えを感じた講演となりました。

特に、SPring-8-IIでは高エネルギーX線のコヒーレント光利用も現実的となることから、ヘリウム原子層のコヒーレント光観察は今後ぜひとも推進したいと志を新たにしました。先に話題に挙げたヘリウム3の超固体に加え、グラファイト上ヘリウム1原子層の高密度領域で予想されている量子的なDomain-wall相やヘリウム原子層2層目で発現するといわれている量子液晶相の実証は、その格好のターゲットと思います。

4. ラボツアー

ランカスター大学にて、故 George Pickett先生の研究室ツアーも開催されました。mK/sub-mKを実現する希釈冷凍機や核断熱消磁冷凍機を備えた実験装置は、コンクリートを建材とした2階建ての構造物に組み込まれており、かつ、真空槽を冷凍機本体から取り外すために地下スペースがある、とても大



写真2 巨大なヘリウム3ストレージ

きな装置です。これらの装置群を間近で拝見することができました。特に、いまだ実現してはいませんが、核断熱消磁冷却機構を2段備えたnK到達を目標に製作中(建設中と行ってもよいレベル)の実験装置は圧巻でした。

さすが超低温物理のメッカと感じた点として、ガスタンクが多数連結されていて、そこに高価なヘリウム3を貯蔵しているシステムを報告したいと思います(写真2)。容積をできる限り大きくしているのはヘリウム3のガス圧を大気圧より低くしてヘリウム3の散逸を防ぐためです。ヘリウムガス高騰のなか少量のヘリウム3を購入したことのある身にとってその貯蔵量は想像を絶している、と言わざるをえません。その規模には出席者のみなさんも感嘆していました。

5. ソーシャルイベントについて

会議2日目にはCartmelカレッジにあるBarker House Farmでバンケットが開催されました。今回の会議ではexcursionとしてのイベントはありませんでしたが、会議3日目の午後はフリーでした。会議事務局からはランカスター・パブマップが渡され、出席者は市街に繰り出しました。JASRIナノテラス拠点同僚のDaniel Foster博士の地元がランカスターに近く、老舗のパブYe Olde John O'Gauntで地ビールのMOORHOUSEを堪能しなさい、とおすすりまされたのでそこに向かいました。しかし、あいにく品切れで、町外れにあるパブThe Golden Lionにも訪問し、無事にMOORHOUSEにありつけました。ランカスターは1612年のペンドル(Pendle)の魔

女裁判で有名な魔女狩り事件の地でもあり、このThe Golden LionはPendle Witchたちが最後のビールを飲んだパブと伝えられています^[8]。市街にあるランカスター城も訪れました。お城内に牢獄や裁判所があり、一般に知られているお城とは趣が違うところがとても印象的でした。

ランカスター大学で低温物理講座を主催されていたGeorge Pickett先生が昨年ご逝去されたため、最終日はGeorge Pickett Memorial Dayとして、Faraday Lecture Theatre Complexにて追悼式が行われました。Pickett先生のご息女による講演の他、アールト大学Vladimir Eltsov先生の講演では、液体ヘリウム中の量子渦生成と宇宙論における宇宙ひもの生成が共通した現象であることを論じた2報の論文^[9,10]（一報はPickett先生のグループ、他報はEltsov先生のグループによる）が1996年のNature誌の同じ号、しかも連番で掲載された話題などが紹介されました。式典は終始あたたかい雰囲気、Pickett先生の業績や人柄を偲ぶことができました。

田尻 寛男 TAJIRI Hiroo

(公財) 高輝度光科学研究センター
回折・散乱推進室 テンダーX線回折散乱チーム/
JASRI ナノテラス拠点 利用研究系分室
〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1
TEL : 050-3496-8871
e-mail : tajiri@spring8.or.jp

参考文献

- [1] H.Tajiri *et al.*, 論文投稿準備中
- [2] A. Yamaguchi, H. Tajiri *et al.*: *J. Low Temp. Phys.* **208** (2022) 441.
- [3] A. Kumashita, H. Tajiri *et al.*: *JPS Conf. Proc.* **38** (2023) 011004.
- [4] A. Kumashita, H. Tajiri *et al.*: *J. Low Temp. Phys.* (2025). doi: 10.1007/s10909-025-03289-0
- [5] W.P. Halperin *ed.*: *Progress in Low Temperature Physics XIV* (Elsevier, 1005), p213.
- [6] I.K. Robinson: *Phys. Rev. B* **33** (1986) 3830.
- [7] H. Tajiri: *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) 020503, and reference therein.
- [8] <https://thegoldenlionlancaster.wordpress.com/the-witches-room/>
- [9] C. Bauerle, G.R. Pickett *et al.*: *Nature* **382** (1996) 332.
- [10] V.M.H. Ruutu, V.B. Eltsov *et al.*: *Nature* **382** (1996) 334.