OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	超低温の物理国際シンポジウム印象記
Author(s)	長谷田, 泰一郎; 天谷, 喜一; 佐野, 直克
Citation	大阪大学低温センターだより. 1977, 20, p. 11-14
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6924
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

超低温の物理国際シンポジウム印象記

基礎工学部　長谷田泰一郎(豊中2368)，天谷喜一(2370)
佐野直克，熊谷健一(2351)

於箱根　1977年9月5日～9日
内　容　超流動^{3}Heの実験と理論
固体^{3}He
カピッツア抵抗，温度計など
超低温技術
核冷却

比較的若い者とや、年とったのとでは，見事だと感心するにしても，アッと驚くにしても，あと自分自身の問題としての取組みは全くちがってくる。4人呉越同舟の印象記となれば成功という積りで，夫々のメモを足し算して新しいスタイルの印象記になったかどうか。参加したすべての者にとってすばらしい会議だったと思う。トップを走っているグループにとっても，多分に刺激的だったと思われたし，や、遅れている連中には，もう一つがんばらねばと思わせるに充分だったと思われた。かなりテーマをしぼっていたとは云え，いくつかの異色の実験も点在していたのはULT (Ultra Low Temperature)の世界で何がどうひらけていくか，気になる気配には注目しておこうということであったのだと思われる。

Ⅰ）超流動^{3}Heと固体^{3}He

Cornell 大の D.M.Lee の超流動^{3}He に関するreviewで始まった。彼等自身による，ポメランチュク冷却の過程でいわば思いがけなく超流動^{3}He を発見することになった，初期の実験のいきさつは実験家にとっては口笛を吹きたくなるような所もある一方，所詮は理屈にはまっていたのだという所もある。最近の話題まで，殊に texture とか soliton に関する実験的研究を導入的に紹介した。つづいてAhonenの超流動^{3}He 中の正負イオンの運動とA相中のNMR, Wheatleyによる磁化過程の緩和についての招待講演のほか，超流動^{3}Heについての実験が1 mKから低温に向ってどんどん進み出しているのは迫力があった。何といっても$\ell=1$の軌道と核スピンの存在が^{4}He の超流動とはまるきり違う広がりをみせている。唯，今の所，ずいぶん面白い現象も所詮は理屈にはまってしまうようにみえるのは筆者がまだ深みにはまっていないせいだろうか。固体^{3}He はとうとう1.2mKで反強磁性体に order したわけで Goodkind が0.7mKまでH=500 Oe の下での磁化を測定して転移を明瞭に把えている。Shigi 等も，ごく最近転移点に届いたという。固体^{3}He は高温側のχ'，比熱等熱力学量の実験値は最近接交換相互作用できれいに説明できるのに，転移自体は予測の約½の温度で起る。Adamsは磁場下での相図の測定を行って議論している。

更に低温に向って，又^{4}He（他にまだあるかも？）とのmixtureやを考えると今から始めてもまだまだ間に合う程，先がありそうに思えてくる。

Ⅱ）Kapitza抵抗，thermometoryなど

Dilution Refrigerator（D.R.と略す）だけで2mK，核断熱消磁法で0.5mK以下といった超低温技術の発展の中で，地道ではあるが，最大限の努力を払わなければならない対象が，このセッションの内容であろう。一度でも超低温を実現しようとした者にとって，乗り越えるべき壁として存在するのが，熱抵抗（Kapitza抵抗）の問題であり，物理量の信頼性に係わるのが，温度決定の問題であろうと思われる。

D.R.の熱力学的解析で知られるRadebaugh（NBS）は，15mK～200mKの間で銅と^{3}HeHe混合液の間のKapitza抵抗（R_k）を調べた。不純物の効果を除去するために極めて純度の高い銅を用い，様々の熱処理の仕方でのR_kの変化を測定した。銅のhardnessとR_kは密接に関連している（dislocationに関係あると思われる）ことを指摘し，充分に焼鈍された銅は，およそ5倍近くもR_kが大きくなることを報告した。さらに，Zr，Cr，Beを数%混入し，不純物効果を調べ，Cu＋1.86%Beの場合に最もR_kが小さくなり$R_k \sigma T^3 \sim 15$（cm^{2}K^4/W）と純銅のおよそ$\frac{1}{5}$にもなることが報告された。

仏のThoulouzeのグループはCMNと^{3}He及び^{3}He^{4}He混合液の間のR_kの温度変化，サイズ効果を2mKに至るまで測定し，液体との熱緩和の時定数についても併せて議論した。様相は複雑ながら，ともかく数mKに至る範囲では，熱緩和は現実の実験時間のスケールの中に入り得る，という安堵を彼等の講演で感じた。

Saitoによる，反強磁性転移温度近傍での急激にR_kが減少するとの報告は，超低温においてのR_kの軽減の可能性として注目された。超低温領域で適当な物質を探し出すことにより，極めて強力な熱抵抗減少の手段として有力であることが示唆され，その現象のメカニズムの解明への期待とともに興味深い。

他方，温度計の問題としては，超低温でstandard化されたと思われているPt-NMR温度計もKorringa関係が10mK以下で必ずしも保証されないことも指摘されておりThermometoryとして新たな物質の開拓が幾つか報告された。

仏のThoulouzeのグループは，SiO_2の誘電率の温度変化を，周波数1.3kHzのA.C.電圧の変化として，1Kより2mKまで測定した。測定電圧が大きい場合（～4mK以上）は直線的変化から外れる異常性がみられるものの，印加電圧の小さい限りにおいては，mKに至る広範囲な温度計として有用であると思われる。

Nagano等はLaで置変えたdiluteなCMNを利用して～1mK近くまでの融解曲線をP-T上で正確に決定できると主張した。

Ⅲ）超低温生成技術

Dilution Refrigerator

超低温生成の主軸たる^{3}He／^{4}He D.R.に関して幾つかの注目すべき発展があった。まずGrenobleグループのG.Frossatiらが Agの微粒（≃700A）を焼結した熱交換器を使ったconventionalな^{3}He循環型D.R.により2.03mKを達成しているのが光っていた。超流動^{3}HeA／B相の観測がこの単純な冷

却器で可能であるというのはおどろきである。Lounasmaa が “S.H.E. も忙がしくなって…” と笑わせたが，現に焼結銀熱交換器は市販のD.R. にとりつけられつつあり，Double Mixer 型のものと競合している。easy-going な考え乍ら両者の長所を生かし得る筈だ。

続いて，同じグループのSchumacher がMultimixer 型D.R. について報告した。通常のD.R. に1コMixer を附加させるだけで簡単に最低温を½に下げ得る事を強調しているが冷却能に関して疑問が残った。この方式で彼は現在2.8mK を得ているが，Frossati のmachine とのつながりを聞き忘れた。この種のmulti mixer方式に関しては他にRosenbaum，Shigi等による試みがあり，いずれも到達温度5mK近傍/以下をねらっている。Frossati のグループには更にThoulouze が居て，他のグループが超流動^{3}Heのレースに血眼なのに対し，variety に富んだ物性測定，Thermometor の開発に取り組んでいて特色が感じられた。彼のミニアチュア・プラスチック製Pomeranchuk セルの温度計への応用もその例であろう。以上のGrenoble 勢の前に，Leiden グループOuboter らの^{4}He循環型D.R.（L.D.R.）の報告もやや影が薄くなった。しかし冷却器として，熱交換器の障壁をとり去ったその機構は，前述のD.R. に比べはるかに単純ですぐれていると期待されるだけに，彼らの到達下限8mK も立派な記録ながら，尚一層改良の余地ありとの印象はまぬがれなかった。東北大の Sato はL.D.R.をベースにしたPomeranchuk冷却機の建設と核断熱消磁へのアプローチについての中間報告を行なった。

本格的な超低温生成への取り組みが頼もしく，早急な運転が望まれる。新しいタイプの開発も含めて以上の報告から，i）今後更に新しいタイプの開発も含めて種々のD.R. のの比較検討が進むと共に，ii)数mK 迄の物性測定が日常化し，iii）核冷却による到達温度も100μK を大巾に切るのも目前との印象が強かった。

Ⅳ）核断熱冷却装置

現在1mK 以下に物質を冷却するのに使用されている核冷却装置には2種類ある。その1つは，ヘルシンキと米国でもっぱら液体^{3}Heの実験に使われているD.R. とCu の核断熱消磁を組合せたもので，もう1つはD.R. とPr化合物の核断熱消磁を組合せ，Cu 又は1n をD.R. で冷却するよりさらに低い初期温度まで冷却し，Cu 等の核断熱消磁でさらに低温まで物を冷却しようとする装置である。前者の装置についてLounasmaa とEdwards の講演があり，後者についてはPobell とHuiskamp の講演があった。

O.V. Lounasmaa の講演題目は，「Nuclear Refrigeration of Liquid ^{3}He」と云うもので，ヘルシンキとオルセイの装置の比較をしながら^{3}Heを冷却する際の問題点を理論的解析をまじえながら実際の装置について述べた。彼は液体^{3}Heをヘルシンキで0.45mK まで冷却した。これは現在のところ最も低くまで冷却した世界記録である。ヘルシンキの装置は，0.5mK 以下の温度を約1日保つが，オルセイの装置は1mK 以下の温度を8時間しか保てない。この違いはラジエイション・シールドからの熱リークによるものが主で，現在の装置でも更に改良すれば，更に温度は下げられるとのことである。

D.O. Edwards は，Ohio州立大学の装置とPt NMR 温度計の問題点についての話しであった。

Jülich のF. Pobell とLeiden のW.J. Huiskamp は各々実験中の2段冷却装置について話をした。両者共，現在温度はまだ1mK のorder までしか冷却できていない。Leiden では2段目の核断熱消磁用超電導磁石を核磁性の研究用のためのγ-γ角相関などに利用するためにスプリット型にしているところに特徴がある。

個人的な観測だが，Cuを用いた1段核冷却装置は液体^{3}Heの研究に使われ完全に一般化しており，今まであまり極低温の実験をしていなかったところでも，強力なD.R.と大型の超電導磁石を購入して，超流動^{3}Heの実験を行なっている。ヨーロッパ，特にドイツ，オランダはさらに低温までの冷却を目指して2段核冷却装置を作り，グルノーブルは2mKまでのD.R.と組合せての冷却装置を作り，超流動^{3}Heの先を目指しているようであった。

下にHelsinki，Ohio，Jülich，Leidenの装置を比較した表を作ってみた。

場　所	人	方　式	Bi (Tesla)	Ti (mK)	Δt (h)	Tmin (mK)	^{3}Heとの熱接触	熱スイッチ
Helsinki	Lounasmaa	1段 Cu	7	18	48	0.45	焼結Ag	Sn
Ohio	Edwards	1段 Cu	8	26	24	0.7	焼結Pd	In
Jülich	Pobell	1段 $PrNi_5$ 2段 Cu	6 8	30 5～6		＜1		Al
Leiden	Huiskamp	1段 $PrCu_5$ 2段 In	3.3 6.3	30 8	24	＜1		Pb

Δt は1mK以下の温度を保てる時間である。

V) 核冷却 (Nuclear Cooling)

核冷却の話しは，伊藤と佐野による硝酸銅単結晶中の結晶水のプロトン・スピンを2.7T，20mKより9.5mTまで断熱消磁をしてスピン温度74 μKを得た実験の講演が光っていた。

まとめの話

最後にLeggettがまとめのremarkとして，彼のsome systems of interest at ULTをならべてみせた。

1) Strongly Paramagnetic Metals:　Pdあるいは $ZrZn_2$などで p-wave超伝導を期待するという話。

2) 固体^{3}Heの磁性:　唯一のexchangeによる核orderであるわけで磁気構造を調べる手段を議論していた。Weak ferro(?) の可能性もあげていた。

3) ^{3}He-^{4}He 混合液中の^{3}Heの超流動転移温度:　BCSのTcを与えるN(0)が純^{3}Heよりは非常に小さくなる一方Veffは大して変るまいからTc≈μK という予想。

4) 超流動^{3}HeのmK以下でのchemistry:　どうやら^{3}He A相で，orbital magnetic momentによるFerromagnetism の話。

5) Quantum nucleation:　充分低温では，A→B相でquantum tunnelingがmicroscopicにobserveされないか？

このシンポジウムのプロシーディングスは日本物理学会より出版される。価格は12月末までに申込むと5,000円，それ以後は7,000円。