

「レーザー冷却」雑感

清水 富士夫*

On Laser Cooling

Fujio SHIMIZU*

このところ、執筆依頼をすべて断り続けてきて若干非常識なではなかったかと思ひ始めたところに来た依頼なので、つい間違っかけて引き受けてしまったのですが、私には巻頭言を書くような洞察力も哲学も持ち合わせていないので、とりとめない話でご勘弁願いたい。

1997年のレーザー冷却に続き、本年の原子気体のボーズ凝縮と短い期間に、物理としては最も単純な原子と光(レーザー)の相互作用に関係する研究に続けてノーベル物理学賞が与えられたということは、単純な系にこそ面白い物理が潜んでいるとあってよいのだろうか。ところが本邦では現在でもこの分野には小さな特定領域研究(文部科学賞補助金)を組めばほとんど尽くされてしまうほど少数の研究者しかいない。これは、20年ほど前に、とてつもなく難しそうなセラミックの超伝導にあれほど多くの研究者が参加したのと面白い対比である。世界にぬきんでて優秀な日本の研究者たちは原子のような単純ですぐに解が得られてしまいそうな系には興味を示さないと理解すべきなのだろうか。

1980年代から現在に至るレーザー冷却分野の研究進展を省みると、面白いことに、このような簡単な系を扱っていても重要な場面で理論より実験が先行してきた。この分野で最も大きな貢献をしているのは磁気光学トラップの発明であろう。このトラップは比較的単純な物理的構成で出来ているのであるが、これですら、実験の前には1次元の理論的予測があったにすぎない。磁気光学トラップの出現で大量の原子を100マイクロケルビンのオーダーまで冷却し空中に保持することがいとも簡単に出来るようになった。レーザー冷却に関する研究、ボーズ凝縮はいうに及ばず、加速度干渉計、時間標準、各種の原子光学研究のほとんどがこの磁気光学トラップを出発点にしていることを見てもいかに大きな貢献をしているかわかるだろう。このトラップはMITの学生が上記の1次元理論をヒントに3次元に拡張できる磁場とレーザー光の構成を考え出し、当時ナトリウム冷却用の装置があったベル研究所で実験して成功した、と聞いているが、本当ならなぜこの学生がノーベル賞を受賞していないのだろうか。

磁気光学トラップの2、3年後に、このトラップ中で働いている冷却機構のドブラー冷却より2桁も温度が低いアルカリ原子気体を作ることができる偏光勾配冷却法が発明された。これは誰かの理論的予測を実行したのではなく、ドブラー冷却温度のレーザー周波数依存性を測定していて偶然見つかったものである。ドブラー冷却の理論は、レーザー強度が丁度原子遷移の飽和強度であり、且つ共鳴からのずれが自然幅程度のときに最低温度になり、この2つのパラメータがどちらにずれても温度は上昇する、というものである。理論は単純明快で疑う余地がなく、最初にドブラー冷却を実現したChu等はこの理論温度にはほぼ等しい実験結果を出していたから、頭の切れる研究者が丁寧にパラメータ依存性の測定などしなかったとしても当然であろう。どういうわけか、NISTのPhillipsらはこれを丁寧に測定し、理論では非常に高温になるはずの離調の大きな領域で理論的最低温度より一桁も低い温度が達成されることを発見したのである。この実験結果が彼らにとって予測外のことであったのは、その後に来た理論の論文に彼らの名前がないことで明らかだろう。

偏光勾配冷却は、原子気体のボーズ凝縮に大きな弾みをつけた重要な発見である。ちょうどレーザー冷却が盛んになった頃、MITとAmsterdamでレーザーを使わない水素原子気体冷却の研究が始まった。水素原子の冷却はいわば極低温生成技術の粋を尽くした研究で、小さなテーブル上で半導体レーザーと簡単な真空装置でできるアルカリ原子のレーザー冷却とは桁違いに高い技術レベルと経験が要求されるものである。冷却された気体がどの程度ボーズ凝縮に近い状態にあるかは原子のドブロイ波長の3乗と密度の積で測られるが、90年代の初めには水素冷却はボーズ凝縮のしきい値の1/3程度にまで達して

* 電気通信大学 レーザー新世代研究センター (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1)

* Institute for Laser Science, University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

いた。当時、レーザー冷却はまだ 10^{-4} 程度の値しか得られていなかったから、ほとんどの人はボーズ凝縮に最初に成功するのは水素原子であると考えていたはずである。ところが、レーザー冷却グループが、水素原子の冷却過程で開発された磁気トラップと蒸発冷却を冷却の最後の過程に取り入れることで、2年に満たない期間に逆転し、アルカリ原子が水素原子の先を越してしまったのである。

水素原子のボーズ凝縮も2年後には出来たのであるが、アルカリ原子が先行したのはその後の研究進展にとって幸運だったといえるだろう。その後出てきた興味深い多くの研究、量子渦、超流動、ソリトン、原子波の非線形光学などいずれをとっても、外からのアクセスが限られ、気体のごく一部しか凝縮していない水素では不可能に近い研究である。今回ノーベル物理学賞を受ける3人のうちMITのKetterleのボーズ凝縮成功は他の二人のJILAグループに明確に後れをとっている。彼が他の二人とともに賞を取れるのは優秀な学生と研究員を擁した彼のグループがボーズ凝縮に関連した面白い研究成果を次々と発表したからであろう。新しいボーズ凝縮体という観点からなら、これまで全く考えられてこなかった引力相互作用するリチウム原子のボーズ凝縮に成功したHuletがもっと評価されてよいはずである。彼がRiceではなく、もっと優秀な人材を集めた研究機関に所属していたならば、この特徴あるリチウムのボーズ凝縮を使って面白い研究成果を次々と発表していた可能性は十分にあったと思われる。

皆さん、何か教訓を引き出せますか。