

第 17 回日本物理学会若手奨励賞(領域 3)を受賞して

現 東京電機大 講師

元 国際超強磁場科学研究施設 小濱研究室 助教 野村 肇宏

この度、第 17 回日本物理学会若手奨励賞(領域 3)を受賞する栄誉に恵まれました。受賞対象は「酸素の超強磁場物性に関する研究」です。私にとっては物性研での修士課程から継続的に取り組んできた課題で、指導教員であった松田康弘教授、研究を任せてくださった岡山大学の小林達生教授をはじめ、多くの方々にお世話になりました。この場を借りて感謝申し上げます。

この研究は小林教授らによる「低次元吸着酸素の強磁場物性」に端を発しています[1]。酸素はスピン量子数 $S = 1$ を有する分子磁石であり、低次元に規則正しく並べれば量子スピン系物質を設計・構築することができます。しかしながら、吸着酸素分子の磁化過程は単純なスピンモデルでは説明できず、交換相互作用パラメータが磁場で変化する、すなわち酸素分子が磁場で動いていることを示唆するものでした。小林教授は、酸素分子の磁場中再配列がバルクの固体酸素で起きれば磁場誘起の構造相転移になるはずだ、というメタ的直感から固体酸素の強磁場研究を着想しました。単元素固体の構造が磁場で変化する相転移は他に例がなく、物性物理に関して全くの無知であった私にも、この研究テーマが重要かつ挑戦的なものであることが理解できました。

固体酸素の物性は 1970-1980 年台にかけてウクライナを中心とするソビエト連邦で精力的に研究され、Freiman 教授らによって 2004 年には 228 ページにも及ぶレビュー論文が報告されていました[2]。パルス強磁場を用いた先行研究は、1985 年に大阪大学の伊達教授らによって 50 テスラまでの磁化曲線が報告されており[3]、飽和に必要な磁場は 400 テスラ級であることが明らかになっていました。2011 年、大学院生であった私に課された課題は、固体酸素に 100 テスラ以上の超強磁場を印加した際の応答を調べ、相転移の有無を検証するというものでした。超強磁場では破壊がつきものですが、酸素なら無限にあるのだからとりあえずやってみよう、という雰囲気でした。

研究を開始してすぐに、超強磁場研究の大部分は物理ではなくエンジニアリングであることを理解しました。試料周りのセットアップは金属を使うことができず、全てプラ

スチックで自作する必要があります。一卷きコイル法は試料を破壊しないことがウリですが、実際にはクライオスタット等に破損はつきもので、実験=修理と言っても過言ではありません。そのため、必然的に旋盤・フライス盤といった工作技術に加え、“低温接着剤ソムリエ”としての知識を身につける必要がありました。相転移を発見するまでに 17 ヶ月を要しましたが、当時の自分にとっては長い見習い期間のように感じたのを覚えています。

固体酸素の磁場誘起相転移にはおよそ 120 テスラ以上の磁場を要し、40 テスラにも及ぶヒステリシスを伴います[4]。この巨大なヒステリシスは、構造相転移がパルス磁場の時間スケール(マイクロ秒)にぎりぎり追隨していることを示唆しています。磁場発生時間は装置固有のものであることから、酸素の相転移に足りたことは幸運という他ないと思います。

固体酸素の相転移を見つけた後、液体酸素でも同様の相転移が期待できると考え、2015-2021 年にかけて研究を行いました[5]。圧力誘起の液体-液体相転移はこれまで多数報告がありますが、磁場誘起の液体-液体相転移は議論すらなされてきませんでした。この仮説を検証するために、ドイツの強磁場施設で Zherlitsyn 博士と共同で 90 テスラまでの超音波測定を行いました。得られた結果は、磁場印加によって液体酸素の局所構造が不安定化することを示唆しており、100 テスラ以上の磁場領域に存在する液体-液体相転移の前駆現象のように見えます。帰国前後で、一卷きコイル法を用いた光吸収、磁化、超音波、磁気膨張の測定を行いました。相転移を決定づける実験結果は得られませんでした。この理由は、磁場継続時間が短すぎるため試料セル内圧を逃すことができず、定積条件の実験になってしまったことが原因と考えています。将来、ミリ秒の 120 テスラ磁場が実現された折には、もう一度挑戦してみたいと考えています。

ドイツでのポスドク期間に、ポーランドでの国際会議 International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (CC 2018) に講演者として招待されました。Freiman 教授とお話する夢も叶い、写真撮影にも応じ

ていただきました(図)。Freiman 教授は酸素が磁場で相転移する論文に大きな衝撃を受けたとおっしゃってくださいました。2018年に revisited として発行された固体酸素のレビュー論文では我々の研究成果が大きく取り上げられており[6]、酸素研究の歴史に名を刻めたことを心から嬉しく思います。



図：Freiman 教授との写真、2018年8月27日 Wroclaw にて

- [1] R. Kitaura, T. C. Kobayashi *et al.*, *Science* 298, 2358 (2002).
- [2] Yu. A. Freiman and H. J. Jodl, *Phys. Rep.* 401, 1 (2004).
- [3] C. Uyeda, K. Sugiyama, and M. Date, *J. Phys. Soc. Jpn.* 54, 1107 (1985).
- [4] T. Nomura, Y. H. Matsuda, T. C. Kobayashi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 112, 247201 (2014).
- [5] T. Nomura, Y. H. Matsuda, T. C. Kobayashi *et al.*, *Phys. Rev. B* 104, 085206 (2021).
- [6] Yu. A. Freiman, H. J. Jodl, and Y. Crespo, *Phys. Rep.* 743, 1 (2018).

