The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	“液体酸素はなぜ青い”拾遺
Author(s)	植田, 千秋
Citation	大阪大学低温センター 50周年記念誌. 2025, p. 57-59
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/102120
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

”液体酸素はなぜ青い”拾遺

大阪大学理学研究科招聘准教授　植田 千秋
理学研究科　伊達研究室

「大阪大学 低温センターだより」の創刊50周年、おめでとうございます。本誌が発刊されてから13年後の14号に、基礎工学部の中村伝先生が表題の随想を寄せられました。[1] 本稿ではこの文が書かれた少し後に大阪大学で始まった低温酸素の研究を紹介しつつ、低温物理の最前線で活躍された先生方の日々のご様子を振返りたいと思います。

筆者は学部卒業生から博士後期課程の途中まで、伊達宗行先生の指導のもと、阪大強磁場（現 先端強磁場科学研究センター）で、固体および液体酸素の新たな磁場効果の実証に取り組みました。今思い返すとそれらの実験は、当時「低温センターだより」に寄稿されていた現役の先生方との、偶然の交流で始まりました。

時系列に従って、まず固体酸素の実験を始めた経緯からお話しします。M1の夏に私は、研究室内で固体酸素の磁性を紹介するゼミを担当することになりました。そこで、固体酸素の磁化率の精密な温度依存性を、世界で初めて報告された[2]長谷田泰一郎先生に直接お話を伺おうと考え、基礎工学部の物性物理工学科の居室を訪ねました。先生は当時ご退職の少し前で、終始笑顔で実験の昔話をして下さいましたが、インタービューの終わりに「それで君はこれから酸素に関して、強磁場でどんな研究計画を立てているのかね」と切り出されました。私は答に窮し「自分はまだM1で、強磁場実験の計画を提案できる立場にない」と答えたところ、それまでの笑顔から打って変わってお声が厳しくなり、「仮にも伊達研究室の大学院生で、そんな意欲のないのは許されない。研究室に入ったら、どんなに未熟でも自分の研究構想を温めていないといけない」と檄を飛ばされ、別れ際に「私が固体酸素の強磁場測定を提案すると、伊達さんに伝えてください」[3]とおっしゃいました。その時の私は、まるで二人の戦国武将の間を右往左往する出来の悪い伝令のようでしたが、伊達先生にその伝言を伝えたところ少しにっこりされ「そうですか、では始めましょう」ということで、阪大強磁場での磁化過程の実験が始まりました。この頃の阪大強磁場は最大50テスラの非破壊パルスマグネットが、世界に先駆け本格稼働を始めていました。その装置は海外の研究者にも広く開放され、得られた成果が国際誌に発表され始めていました。

この時の固体酸素の実験で得た第一の知見は、反強磁性のα相でスピンフロップ相転移を直接捉えたことでした。さらにα相からβ相に転移する直前のT=22 Kで、直線の磁化過程から顕著に伸び上がる現象が観測されました。[4] これは、その頃磁性物理の話題の1つだった磁気誘導型の結晶相転移の兆しではないか、という先輩のアドバイスを受け、観測で得た磁気的エネルギーのギャップと、転移モデルを比較する計算を始めました。生来、計算の大変苦手な筆者が自発的にこれを始めたのは、長谷田先生の檄が響いたためだと思います。

その後、伊達先生と固体酸素の結果を論文にまとめる段階で、作りかけのモデルを恐る恐る提案してみました。その時の提案は、M2の学生相当の稚拙なもので、先生を終始てこずらせながら、モデルの改良を進めました。そして最終的に、当初提案したモデルの原形だけは残して、JPSJへの掲載が決まりました。すなわち文献4のFig.5にあるように、反強磁性のα相の磁気構造と、β相の磁気構造の違いが生む磁気的エネルギーの差異によって、$\alpha-\beta$の相

転移が起こるとする提案を行ないました。周知のように今世紀に入ってから、$\alpha-\beta$ 間にとどまらず、数々の磁気誘導型の相転移が、強磁場中の固体酸素で見いだされています。[5] 一連の酸素の実験の中で今も鮮明に記憶しているのは、固体酸素の次に行なった「液体酸素の青色消失効果」の始まり方で、これは固体酸素の実験結果を論文にまとめる最中に、文頭に挙げた中村先生の記事に偶然行き当ったのがきっかけでした。

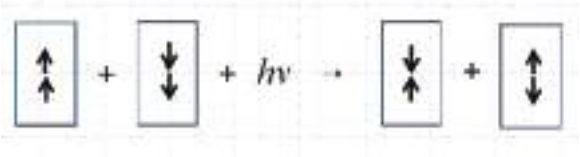

図1　酸素の2分子遷移の概念図 [1]（低温センター便り14号に基づく）.

液体および固体酸素は、中村先生の文中の図で示めされているように、2分子遷移が可視光の赤色および黄色領域に存在するため、淡青色を呈します(図1参照)。従って磁場を印加することで基底状態の反平行スピンペアの数が減少し、遷移吸収が抑えられ、その結果淡青色を消滅させることができます。この効果も前述のパルス強磁場で実証され、物質固有の色を外磁場で変化させる稀少な事例として報告されました。[7] その着想を得た経緯が「低温センターだより」51号に掲載された拙文[8]の末尾に記されており、以下に転載します。

> 文献8)の付記　文献にあるように、今から10年近く前に基礎工学部の中村伝先生が本誌に、「液体酸素はなぜ青い?」という題の一文をお書きになりましたが、今回の透明化の効果は、実はこの一文をめぐって伊達先生と雑談している際に、ひょっこり見出されたものです。難しい話について行くのが大変苦手な筆者にとって、中村先生の簡明な文章と、特にスピン状態の変化を示した直観的な図式は、大変わかりやすくてありがたいものでした。文末を借りて御礼申しあげます。

当時、原稿の修正は紙媒体で行なわれ、伊達先生は私が準備した「低温センターだより」のタイプ原稿を、赤ペンで徹底的に直して行かれましたが、末尾まできて「原稿の中で付記の部分が一番重要だからこのまま残そう。ただしこれでは礼儀を欠く」とおっしゃって、末尾の一文を加えられました。今読み返してこの結びは、「低温センターだより」ならではの、時間を超えた基礎工学部と理学部の間のキャッチボールだったことに、遅ればせながら気づいた次第です。この結びには、戦国武将が敵の大将に送った書状の趣があると私は思います。

液体酸素で「青色消失効果」[7]や「体積膨張効果」[8]の結果を得てしばらくした頃、豊中キャンパス内の路上で長谷田先生にお会いし、その報告をしたところ「そうか、やられたね」とにっこりされ、それらの成果を喜んで下さいました。その後、長谷田研究室を引き継がれた天谷喜一先生が、低温酸素相に超高圧条件を導入することで、新たな相転移を次々に発見されたことは、よく知られてるとおりです。[9] その後の長谷田生先生との交流の様子は「低温センターだより」70号に、天谷先生が「長谷田泰一郎先生を偲ぶ」[10]の一文を寄せておられるので、ぜひご覧ください。

このように、大阪大学低温センターが運用を開始してから、しばらく後の時代の研究を振り返ると、科学者独自のロングスパンの構想の他に、科学者同士の突発的な「売り言葉に買い言葉」で研究が始まることもあったようです。旧基礎工学部　物性物理学教室には、こうした論議を盛り上げる目的で「物性サロン」の一室が設けられており、そこで生まれた研究の逸話が、今も数多く残っているはずです---当時の理学部の院生達は、憧れをもってこの「サロン」を遠望していました---。

この様な突発的な研究の始まり方は、綿密な計画に基づくプロジェクトに比べ、明らかに非効率的です。その一方で想定外の領域へ研究が開花し、計画された研究からは想像もできない成果が得られる場合があると思います。これまで人類が担ってきた諸々の分野の創造的行為は、いま急速にAIに置き換えられています。その対極にある「売り言葉に買い言葉」は、人間に残された貴重な創造の泉なのではないでしょうか。

本稿の付記：院生時代に筆者が得た大きなレッスンは、「外磁場を印可することで、物質に想定外の顕著な作用を起こし得る」ということでした。その後、本学旧教養部の地学教室に就職した筆者は、そこで出会った粘土鉱物を、強磁場物理の主要テーマであった反磁性磁場配向に適応した実験を始めました。[11] その後四半世紀を経て「自然界に存在するほぼ全ての固体物質は、永久磁石レベルの実用的な磁場強度で、質量非依存の並進や回転を起こし得る」という知見が得られました。[12-14] 1990年代に、その最初期の成果[11]を強磁場物理の研究会で行なったとき、会場からの質疑が低調なのを受けて座長の天谷先生が「この粘土を使って磁場中で陶器を焼いたら、素晴らしい作品が生まれるのではないでしょうか？」と、助け舟を出して下さいました。私がまたしても答に窮していると、共著者の伊達先生が客席で「それを”反磁器”と言うのだ」と呟かれ、発表を笑いで納めて下さいました。本稿を書きながらこのやり取りを思い出し、定年後の研究テーマは「反磁器」にしようと考えているところです。

参考文献

中村伝「液体酸素はなぜ青い」，大阪大学低温センターだより 14, 1 (1976).

2) E. Kanda, T. Haseda and A. Ohtubo, Res. Ins. Iron Steel and Other Metals 779, 1 (1954).

3) 長谷田先生と伊達先生は、東北大学金属材料研究所で、講師、助手として同じ部門に所属されていました。後年、長谷田先生の招待講演で、座長の伊達先生は次のような紹介をされました。 ”私は、長谷田先生と出会うまで、実験物理は難しい理論を前提にしないと成立しないと思い込んでいました。しかし金研で先生と出会って「こんな”幼稚”な発想でも、新しい物理を開くことができるのか」と衝撃を受け、今もそれが一番の思い出です。”(筆者 記憶ノママ)。

4) C. Uyeda, K. Sugiyama, and M. Date, (1985) J. Phys. Soc. Jpn. 54, 1107 (1985). (s.f.の報告は Nijmegen グループから 1 年遅れた)

5) e.g., T. Nomura, Y. H. Matsuda, S. Takeyama, A. Matsuo, K. Kindo, J. L. Her, and T. C. Kobayashi, Phys. Rev. Lett. 112, 247201 (2014).

6) C. Uyeda, A. Yamagishi, and M. Date, J. Phys. Soc. Jpn. 55, 468 (1986).

7) C. Uyeda, A. Yamagishi, and M. Date, J. Phys. Soc. Jpn. 56, 3444 (1987).

8)植田千秋 「液体酸素を透明にする」，大阪大学低温センターだより 51, 8 (1985).

9) e.g., K. Shimizu, M. I. Eremets, K. Suhara, and K. Amaya, Rev. High Pressure Sci. Technol. 7, 784 (1998).

10)天谷喜一「長谷田泰一郎先生を偲ぶ」，大阪大学低温センターだより 167, 31 (2017).

11) C. Uyeda, T. Takeuchi, A. Yamagishi, and M. Date, Physica B 177, 519 (1992).

12) K. Hisayoshi C. Uyeda, and K. Terada, Sci. Rep. 6, 38431 (2016).

13) C. Uyeda K. Hisayoshi, and K. Terada, Sci. Rep. 9, 3971 (2019).

14)植田千秋，寺田健太郎，久好圭治 「灰とダイヤモンドを永久磁石で分離する」，大阪大学低温センターだより 168, 16 (2018).