

サイエンスショー「世界！！初超伝導を見る」

齋藤 吉彦*

概要

超伝導体と磁石との奇異な反応を楽しむだけでなく、その時の磁力線を観察し、科学的思考をも楽しむサイエンスショーを企画し、2009年12月から2010年2月まで大阪市立科学館で公演した。

1. はじめに

超伝導現象は、極めて低い温度で電気抵抗が0になること(完全導体)と、超伝導体が外磁場を完全に排除すること(完全反磁性)で特徴づけられる。1986年に、理論では到底実現しないと考えられていた温度で超伝導を示す物質、高温超伝導体、が発見された¹。その翌年には液体窒素温度以上での超伝導が実現し²、安価な液体窒素で超伝導が可能となった。実用化が現実味を帯び、超伝導フィーバーと呼ばれる世界各所での研究開発が始まった。同時にデモンストレーションも実施されるようになり³、現在ではしばしば科学イベントなどで紹介されている。

このデモンストレーションは、磁石が超伝導体の上に浮く(図1)、磁石と超伝導体が一定の距離を置いて固定される(図2)、など見学者にとって非常に奇異なものであり、人気を博している。超伝導体は磁石のレールに沿って滑走し、宙返りをさせる、刺激的なデモンストレーションが行われている。さらに旋回を加えるなど、演示者の興味はより派手な現象に集中するようである。その一方で、「なぜこのような現象が生じるのか？」を説明することはほとんどなく、超伝導のデモンストレーションは科学的思考に結びついていないのが実情であろう。

最近、著者は超伝導現象における磁力線観察を開発し^{4,5,6}、科学的思考を促す超伝導現象のデモンストレーション、サイエンスショー「世界初！！超伝導を見る」、を実施した⁷。従来のデモンストレーションに磁力線観察を加えたものである。

本稿では、このサイエンスショーの内容を2章に、その評価を3章に与える。



図1. 高温超伝導体がネオジム磁石を反発。



図2. 超伝導体と磁石の相対的距離が固定される。

2. 演示

演示は、超伝導の概説、磁力線、超伝導現象の観察、場の概念、の4部構成である。それぞれを以下に示す。なお、このサイエンスショーは動画でも見ることができる⁷。

2-1. 超伝導の概説

- ① 超伝導ケーブル(図3)⁸の実物展示を用いて、完全導体を説明する。
- ② この演示で使用する高温超伝導体⁹の紹介。常温では磁石に反応しないことを確認。

*大阪市立科学館 学芸課
saito[atmark]kagaku-shinko.org



図 3. 超伝導ケーブル

2-2. 磁力線の導入

ここでの演示内容は 2006 年に実施したサイエンスショー¹⁰の基本的なアイテムを使用したものである。

- ① 磁石の基本的性質、(ア)鉄が磁石に引きつけられ鉄以外の物質は磁石に反応しないこと、(イ)磁石と磁石との反応、を 10cm 角のネオジム磁石(大型ネオジム磁石)¹¹の強烈な磁力で演じる。



図 3. 大型ネオジム磁石と鉄(左)や棒磁石(右)との反応

- ② クリップ型磁力線観察装置でネオジム磁石の磁力線(図 4 上)を観察。その後、イラストを使い磁力線の概念を導入する(図 4 下)。



図 4. クリップ型磁力線観察装置(上)とイラストを使った説明(下)

- ③ ビニタイ型磁力線観察装置による磁力線観察と図説とで、「鉄(ハンマー)が磁力線を一方から吸い込み、もう一方から吐き出す」ことを納得させる(図 5)。

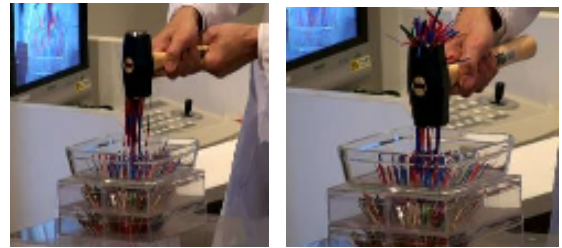


図 5. 磁力線が鉄(ハンマー)の一方に流れ込み他方から流れ出すことを示す現象と図

2-3. 超伝導現象

- ① 超伝導体が磁石を反発する様を観察。図 1 はその一場面。ここで使用した超伝導体はマイスナー効果を超える反磁性を示す^{12,*}。
- ② 磁石との反応が、超伝導体は鉄と反対であること(反磁性)を強調し、イラスト(図 6)を用いて超伝導体は磁力線を排除していることを想像させる。

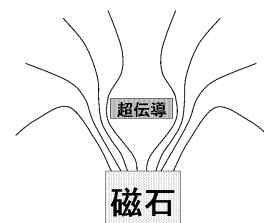


図 6. 超伝導体が磁力線を排除する様子

- ③ 実際に超伝導体が大型ネオジム磁石の磁力線を排除していることを観察(図 7)。



図 7. 超伝導体による磁力線の排除

*マイスナー効果ではこれだけの強力な外磁場を排斥できない。後述するピン止め効果が磁力線の進入を妨げる。

- ④ 超伝導体を室温中に置き、常伝導状態へ転移する時の磁力線の様子を観察(図8)。



図8．超伝導状態が破れる時の磁力線観察

- ⑤ 再び超伝導体を図9のように磁石を上において冷やす。磁石が浮き上がることを期待させる。

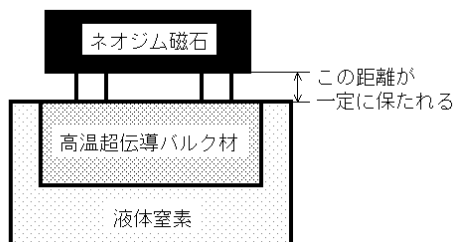


図9．図2の現象を起こさせる冷却方法。

- ⑥ 図2のような超伝導体と磁石との相互作用を楽しむ。
- ⑦ 超伝導体を、大型ネオジム磁石の上で左右上下に移動させ、磁力線が超伝導体内にトラップされていることを観察。ピン止め効果を納得させる(図10)。

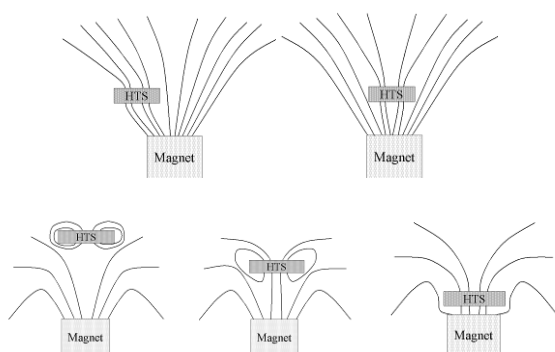


図10．ピン止め効果の観察と解説用イラスト。

- ⑧ ピン止め効果から図2の現象を考える。
- ⑨ 図10の超伝導体を室温中に置き、常伝導へ転移する時の磁力線を観察。

2-4. 場の概念

- ① 本サイエンスショーで観察した磁力線を通して、現代物理学における場の概念を概説。

- ② 現代物理学のフロンティアであるヒッグス場を紹介する。

3. まとめ

超伝導に関するサイエンスショーは図1あるいは図2のような奇異な現象で見学者に強い印象を与えてきたが、それ以上の思考を促すことはなかった。今回は磁力線観察を通して、現象の本質を考察することを試みた。以下に評価を与える。

導入部

導入として、超伝導ケーブルを交えて超伝導の主な性質、完全導体を説明した。これは、実物資料を示すことで、全くなじみのない超伝導に現実味を与えることを目的とした。現象を見せることがなかったのも、興味を持続できない見学者もいた。しかし、導入時の緊張感により、一定の効果はあったと思われる。

磁力線観察

磁力線観察を行ってから、図を用いて磁力線概念を導入した(2-2②)。磁力線観察は歓声があがるなど刺激的であったが、その後の磁力線の図説に興味が続かない場合があった。歓声はクリップが秩序化したことによるものであり、磁力線を知らない場合は、この観察だけで磁力線をイメージするのは困難であった。図説の後に観察する方が効果的であったかもしれない。

超伝導体の磁性

超伝導体の反磁性やピン止め効果の観察は、さまざまな工夫をしたが、磁力線の導入が不十分のため、およそのイメージを与えるのも困難であった。ただし、磁力線の理解がなくとも、次の様な科学的思考を促せたと思われる。すなわち、事前に見た現象や説明から、ビニタイ群の振る舞いを推測し、そして実際に確認することができた。

総論

ほとんどの見学者は磁力線概念がないので、磁力線観察から現象を考察させるのは非常に困難であった。導入部で磁力線のイメージを充分与えられるかどうかはキーポイントとなるが、未知の概念を数分で与えるのは無理があった。しかし、奇異な現象にのみ満足させるのではなく、その現象の背景を探ろうとする科学的な実践を体験させたことは評価できるであろう。磁力線のアニメーションを使えば、理解の助けになるかもしれない。

文字や写真で表現できることは僅かである。動画を公開しているので⁷⁾、それを参考にいただきたい。

謝辞

本サイエンスショーで使用した高温超伝導体は

新日本製鐵（株）先端技術研究所新材料研究部に提供いただいたものです。特に同社の手嶋英一氏には予備品の貸与など様々な相談に快く応じていただきました。厚く御礼申し上げます。超伝導ケーブルのサンプルは住友電工（株）からお借りしたものです。この件に関して、同社の岡崎徹氏には一方ならぬ便宜を図っていただきました。心より感謝申し上げます。

-
- ¹ J. Bednorz and K. Muller: Z. Phys. B, 64,189 (1986)
² M. Wu, *et al.*: Phys. Rev. Lett. 58,908 (1987).
³ E. Early, *et al.*: Am. J. Phys. 56,617 (1988)

-
- ⁴ 斎藤吉彦: 大阪市立科学館研究報告 17, 121 (2008)
⁵ 斎藤吉彦: 物理教育 Vol.56-2, 111 (2008)
⁶ Y. Saito: Eur. J. Phys. 31, 229 (2010)
⁷ <http://www.youtube.com/user/2010superconduct>
⁸ 住友電工(株)製三心一括型高温超電導ケーブル
<http://www.sei.co.jp/super/cable/index.html>
⁹ 新日本製鐵(株)製 GdBaCuO 高温超伝導体
¹⁰ 斎藤吉彦: 大阪市立科学館研究報告 17, 121 (2007)
¹¹ 磁石工房より入手可能
¹² 村上雅人: 低温工学 Vol. 42-12, 414 (2007)