

国立科学博物館での企画展「相転移の世界」実施から見る 数物系展示の意義と課題

西口大貴 東京大学大学院理学系研究科
谷田桜子 東京大学先端科学技術研究センター
佐野雅己 東京大学国際高等研究所東京カレッジ
有賀暢迪 国立科学博物館理工学研究所



1. はじめに

2020年1月28日(火)~2月9日(日)に、上野の国立科学博物館(科博)にて、科博と東京大学の共催による企画展「物理はふしぎで美しい!磁石と水からひろがる相転移の世界」¹⁾が開催された。本稿では、企画構成協力者(西口・谷田)と監修者(佐野・有賀)の立場から、本展の意図と、実施を通して見えた数物系展示の意義と課題について述べる。

2. 本企画展の目的と構成

日本の科学館における物理系の展示では、来場者に敬遠される懸念からか、現象の理論的背景の数学的記述は稀である。また、素粒子・原子核・宇宙の展示は多い一方で、物性分野、とりわけ統計物理学分野の展示は少ない。物理学会年次大会の講演件数のうち、素核宇分野が合計3割強に対して、物性分野全体は6割強、統計物理学分野を含む領域11だけでも約1割を占めることを鑑みても、物理系の科学館展示が物理学の全体像を反映できておらず、統計物理学や物性の研究者のいっそうの努力が必要だと自戒している。

このような思いの中、研究の過程で研究者自身も美しいと感動する層流・乱流転移の実験装置「乱流屏風」が廃棄されることになった。そこで、この機を活かすことで、有意義な科学コミュニケーションができると着想した。検討の結果、本展では、広く相転移をテーマとすることにした。相転移は様々な現象や物質をつなぐ普遍法則に通じる統計物理学の中心的テーマであるが、マクロな変化を

伴い、身近な現象でも見ることができる。このため、子どもから大人まで取っつきやすいと考えられた。

本展では、(1)相転移現象をわかりやすく紹介し、物理学に興味を持ってもらう、(2)相転移に関する研究の一端を紹介し、物理学の考え方や現象へのアプローチの仕方に触れてもらう、という二段階の目的を設定した。会場は科博の「地球館」1階のオープンスペース(約50m²、図1)で、具体的な展示の構成は表1の通りである。映像コンテンツ(第2章の映画を除いた実験の動画)は著者らで制作し²⁾、実物としては「乱流屏風」のほか、液晶のサンプルと、科博所蔵の科学技術史資料を展示した。



図1 企画展会場の入り口の様子(非混雑時)

表1 展示の構成および展示物一覧

展示物および解説パネル	
第1章 相転移ってなんだ？	
【映像】ドライアイスの相転移/液晶の相転移 (実験・撮影：西口・谷田・有賀)	
【実物】液晶の例 (物質名：MBBA)	
【ミニ解説パネル】液晶の相転移のようす	
第2章 磁石の謎にいとむ	
【映像】ネオジム磁石と鉄の相転移 (実験・撮影：西口・谷田・有賀)	
【ミニ解説パネル】ビエール・キュリーと「キュリー温度」	
【実物】ビエール・キュリーの手紙 (国立科学博物館所蔵、長岡半太郎資料)	
【実物】本多光太郎の手紙 (国立科学博物館所蔵、長岡半太郎資料)	
【実物】磁石の性質を説明する戦前の教材 (分子磁石模型) (国立科学博物館所蔵、お茶の水女子大学物理実験機器コレクション)	
【解説パネル】物理学者は磁石をこう考える	
【解説パネル】数理モデルとシミュレーション	
【ハンズオン】磁石の性質 (イジングモデル) のコンピューター・シミュレーション	
【映像】歴史的なコンピューター・シミュレーションの映画 (ダイジェスト版) 『秩序・無秩序現象の計算機実験』 (制作：岩波映画製作所、1968年)	
【実物】歴史的なコンピューター・シミュレーションの映画のVHSテープ (国立科学博物館所蔵 (寄贈：小田垣孝氏))	
【解説パネル】50年前のコンピューター・シミュレーション	
第3章 「乱流屏風」の美	
【実物】乱流屏風 (制作：東京大学理学部物理学科佐野研究室、2016年)	
【解説パネル】物理学者は「乱流屏風」をこう考える	
第4章 相転移の広がり	
【解説パネル】あれもこれも相転移！?	

3. 相転移の解説方法の工夫

導入部「第1章 相転移ってなんだ？」では、液晶が温度変化によってネマチック液晶相と等方液体相の間を行き来する相転移と、ドライアイスに圧力をかけたときの固液転移を映像で紹介し、まずは相転移の不思議さを感じてもらおうことを狙った。液晶はディスプレイにも使われており関心を引きやすいうえ、相転移温度が約45℃と室温に近く、実演が容易である。そこで、液晶の実物展示とともに、会場の混雑具合を見つつ研究者自ら液晶の相転移実験を演示した。その際は、相転移は化学反応と異なり、温度変化だけで異なる状態を行き来できることなどの解説を加えた(図2)。

この液晶の相転移は、実は東京大学理学部物理学科の学部3年後期の学生実験の題材と同じである。マクロな変化が目で見える相転移実験は、理論志向の学生も強い興味を示し、講義で相転移を体系的に学ぶ前でも学生に好評である。学生実験では、一次転移と二次転移それぞれの代表例である固液転移と強磁性・常磁性転移の性質を復習した上で、液晶の相転移が相共存を示すという観察結果から一次転移であるとまず考察する。そして、さらにどのような対称性の破れに伴う相転移なのか理解を深めていく。しかし本展では、液晶の配向秩

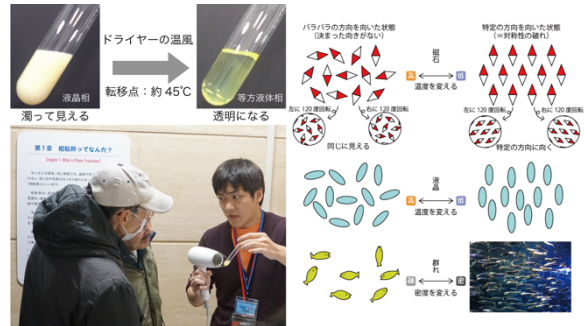


図2 液晶の相転移の実演と対称性の破れの解説

序について図を用いた簡単な紹介にとどめた。

「第2章 磁石の謎にいとむ」では、相転移の理解の成功例として、強磁性・常磁性転移を取り上げた。磁石や鉄を加熱する実験映像を導入とし、実験事実を説明するために数理モデルを用いて現象を単純化し本質を抜き出す物理学の思考法を紹介した。さらにそれをシミュレーションすることで理解を深めるプロセスも示した(図3)。物理の専門教育を受けた学生でなければ、理工系の大学生や大学院生であっても、磁石を熱して磁力がなくなる様子に驚いていたことから、キュリー転移は導入として適切な題材であったと言える。

数理モデルについては、イジング模型の温度を来場者が操作できるハンズオンのシミュレーター³⁾を設置することで、体験できる工夫をした。シミュレーターは理工系の学生や大人に好評だったのはもちろん、未就学児でさえも熱中して数分間も遊び続け、いつの間にか臨界温度を見出して「ここ面白い!」と叫ぶ様子が独立に複数回観察された(図4)。このことは、数理モデルのように科学館等での展示がためられる難解な内容であっても、工夫次第では小さな子どもでも楽しめる展示となる可能性を示唆している。

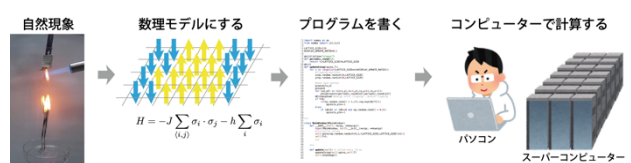


図3 キュリー転移の実験動画と研究の流れの解説

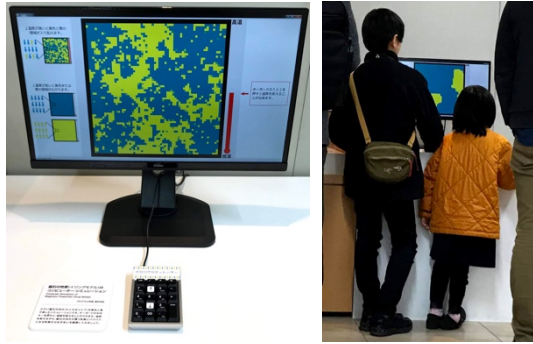


図4 子どもにも好評のイジング・シミュレーター



図5 盛況な講演会の様子

「第3章 「乱流屏風」の美」では、相転移研究の最近の展開例として、2016年の論文⁴⁾で使われた実験装置⁵⁾の動態展示をおこない、層流から乱流への遷移も非平衡系の相転移として捉えられるという新たな知見について紹介した。研究者が美しいと感動した実験装置は、未就学児から大人まで多くの来場者の興味をひき、かなりの集客力があつたことに勇気付けられた。

最後の「第4章 相転移の広がり」では、現在も研究されている相転移現象について紹介するとともに、磁石や液晶に限らず、生き物の群れなどの異なる相転移現象も、(回転)対称性の破れに伴うものとして統一的に理解できることを簡単に紹介した(図2)。展示面積と想定される来場者を考慮した結果、学部教育では重要視される対称性の自発的破れの概念を十分に扱うことは難しかった。

以上の展示を補完する目的で、期間中の夜間開館日に講演会を1回開催した(図5)。ここでは「物理は不思議で美しい：相転移への招待」(佐野)と「相転移でひもとく生き物の群れの物理」(西口)の2講演を通して、最先端の研究例を紹介した。このように、既存の知識体系の紹介にとどまらずに、最先端の様子や未解決課題も紹介する工夫により、企画展を単なるエンターテインメントで済ませず、来場者の科学への継続的関心や基礎研究の支援へと繋げることを意図した。

4. 流体装置の動態展示と課題

本展の目玉となった乱流屏風の展示は、廃棄になる寸前の装置を捨てるには忍びない⁶⁾と考えた有志が、その美しさを多くの方に肌で感じて欲しいとの思いから、多方面の協力を得て実現できた(図6)。一方、準備のための予算も時間も限られる中、研究用に作った装置を長期にわたり展示することには自ずと限界がある。予期しない水漏れの可能性なども考慮して、装置のオン・オフを研究者が全ておこなったため、展示期間は短いものにならざるを得なかった。

流体の動態展示は、世界の科学館では比較的多くみられるが、層流・乱流の遷移にフォーカスしたものはあまり見かけない。一般に、流体现象の展示を科学館で行う場合は、水漏れ対策のため開放系でなく閉鎖系の流れを用いるものがほとんどで、オン・オフも簡単化されている。もし今後、流体现象の展示を常設化するとすれば、それに応じた改良が必要であろう。



図6 乱流屏風の解説の様子

今回、相転移の企画展の一部として流体现象を展示することで、来館者が古くから知られた現象にも、最新の研究につながる課題が潜んでいることを知り、さらに、層流・乱流の転移点近傍をズームアップすることで見えてくる自然現象の奥深さに気づいてもらうことができたとすれば、短い期間ではあったが、この展示の目的は半分以上達成されたといえるだろう。

5. 物理学者の営みや研究者像を伝える

ここまで述べてきたような科学的内容に加えて、本展では、科学が作られる現場の雰囲気と、過去から現在まで多くの科学者が連綿と作り上げてきた体系として現在の科学があることを伝えるよう意識した。この工夫は以前に著者らが実施した講演会でも好評だった実績⁷⁾から積極的に導入した。

具体的には、科博の所蔵する20世紀初頭の科学者の手紙を展示するとともに、1968年のシミュレーション映画⁸⁾の上映をおこなった。映画には当時の研究者が研究を進める姿が描かれており、多くの来場者が熱心に見入っていた。さらに、この企画展の場にきたことそのものの付加価値を増すためにも、実際に研究者が会場に立って解説と対話をおこなった。子供から大人まで多くの来場者が話しかけてくれたことから、現在の研究者像を伝えるという意図は成功であったと考えている。

会場には物理を学ぶ学生や研究者も多く訪れ、主に最新の実験装置である乱流屏風に関して本格的な議論がしばしば巻き起こり、他の来場者がその様子を興味深そうに観察する光景が見られた。これは研究者の“動態展示”にも成功したとも言え、SNS上でも相転移展の会場の客層が普段や他の展示と違い興味深かったとの声が聞かれた。

6. おわりに

本展では来場者アンケートを実施していないが、研究者が現場に立ち続けたため、様々なフィードバックが得られた。嬉しいフィードバックとしては、より深く勉強するための資料や参考文献一覧などを用意して欲しかったという声が複数あった

が、東大と科博の4名で動態展示の準備・パネル原稿執筆・実験動画撮影など大部分の準備をおこなった本展では、手が回らなかった。

期間中の開館日はわずか12日間で、目立たない場所でのミニ展示であり、しかも「相転移」という専門用語を前面に出した展示であったが、のべ約16,000人もの方にお越しいただいた。これは数理モデルを扱う一見敬遠されそうな内容であっても、適切に材料を選んで実験と組み合わせれば関心を集められることを示す勇気付けられる数字である。ただし、数物系の展示をより発展させるためには、展示を見る前後での来場者の理解度や興味関心の変化を定量的に把握するクイズを配置するなど、客観的な効果測定手法を開発し、展示の質の向上を図ることが必要だろう。

科学館や博物館には、恐竜や宇宙など特定の興味対象を見に来ることで、隣接する他の展示に偶発的に出会い、興味の幅を広げることのできる場としての役割もある。本企画展のような数物系の展示の実施は、興味の広がりや可能性を広げる一助となる。今回の経験を活かして、数理的な内容や物性・統計物理学を題材とした科学館展示の充実を目指して、臆することなく継続的に努力する必要があるだろう。

参考文献および注

1) 相転移展の開催案内のフライヤー

https://www.kahaku.go.jp/event/2020/02phase_transitions/Phase_Transitions.pdf

西口大貴, 谷田桜子, 有賀暢迪 日本物理学会 2020 年秋季大会 11pN-75

2) 本展の実験動画を YouTube で公開している :

<https://youtube.com/playlist?list=PLgge8oOmFYVQpIcOMzNjd0GJw8zXUKbw>

3) イジング・シミュレーターのソースコード (深井洋佑氏作成) : https://github.com/yfukai/Ising_simulator

4) M. Sano and K. Tamai *Nat. Phys.* 12 (2016) 249. 佐野雅己, 玉井敬一 日本物理学会誌 73 (2018) 463

5) 装置の全長は約10mあり、観察部はおよそ幅6m、高さ1m、厚さ5mmという薄いダクト流となっている。この中を

一様に流れる流体が, 速度を上げていくと乱流化する様子を観察できる装置である. 可視化用に金色に着色された微小粒子を流し, 超短焦点プロジェクターを用いて浅い角度で観測面を照射することで, 乱れの様子を強調されるように工夫している. 複雑なパターンが時々刻々と変化する様子は金色の屏風絵にも似る.

6) この装置は, 千葉大学理学部のサイエンスプロムナードへ移設され, 常設展示されている.

7) 西口大貴 大学の物理教育 **23**(2017) 98.

8) 小田垣孝 日本物理学会誌 **74**(2019) 568. 全編が日本物理学会ウェブサイトで会員・会友向けに公開されている : https://www.jps.or.jp/information/2021/01/post_106.php

連絡先 E-mail : nishiguchi@noneq.phys.s.u-tokyo.ac.jp