

袋ナットを用いた磁気回転子系と双極子系との比較

齋藤 吉彦*

概要

袋ナットを用いた磁気回転子系(三角格子 37 個)の静止状態を 100 回観察し、双極子系によるシミュレーションとの比較を行った。磁気回転子系の場合は9種類の静止状態が現れ、双極子系ではそのうち 8種類同型のものが確認された。一方で、出現確率は大きく異なった。

1. はじめに

著者は 2001 年に方位磁石を用いて強磁性を示す教具を考案した^{1,2,3}。これは方位磁石を構成子とする 2 次元三角格子結晶で、磁区が出現するものである。1000 個の方位磁石を用いたものを「磁石のテーブル」と称して大阪市立科学館と大阪市立大学理学部で展示している。これらは絶対 0 度の状態を見るものであるが、最近、強磁性分子の熱運動をイメージできる磁気回転子系を考案し^{4,5}、「ゆらゆら磁石」と名付けて大阪市立科学館で 2018 年 3 月 1 日から公開している(図 1)。



図 1. ゆらゆら磁石

「ゆらゆら磁石」の磁気回転子は図 2 のように 12.5 mm の六角袋ナット(M8)にフェライト磁石(表面最大磁束密度 120mT、10mm ϕ \times 6.0mm)を着け、非磁性の釘に載せて自由に回転するようにしたものである。

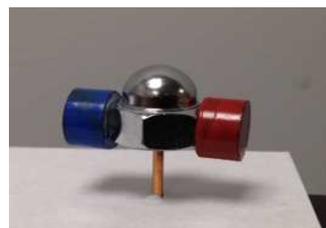


図 2. 袋ナットを用いた磁気回転子

「ゆらゆら磁石」はこの磁気回転子 37 個を 80mm 間隔で図 1 のように三角格子点に 6 回対称に並べ、強化ガラスで覆ったものである。また、外部から磁気回転子に運動を与える機構を、図 3 のように板ゴムで外部から 6 個の磁気回転子を個別に回転させるものと、棒磁石で全体をかき乱させるものとで与えている。

著者は有限温度における双極子系の磁性について、強磁性—常磁性転移ではなく、強磁性—反磁性転移を示唆する考察を行っている⁶。「ゆらゆら磁石」の運動はこの計算の実験的裏付けとなる可能性がある。運動状態を考察する前の基礎的な検討として、まずは静止状態について、「ゆらゆら磁石」と双極子系の比較を行うこととした。得られる結果は「ゆらゆら磁石」の展示価値を高めるものでもある。

以降では、2 章で「ゆらゆら磁石」の静止状態を分類し、それらを双極子系の静止状態と比較する。そして、3 章でその結果をまとめる。

*大阪市立科学館中之島科学研究所
saito at sci-museum.jp



図3. 板ゴムで磁気回転子を回転させる機構

2. 「ゆらゆら磁石」の静止状態と双極子系の比較

本章では、「ゆらゆら磁石」と同型の試作品による静止状態の観察結果と双極子系のシミュレーションとの比較を与える。

試作品は 37 磁気回転子系で、前章で述べた「ゆらゆら磁石」を構成する袋ナット、磁石、非磁性の釘、格子間隔などすべてが同じものである。この 37 磁気回転子系の全体に乱雑な回転運動を与えた後、摩擦で各磁気回転子が静止するのを待つことを 100 回繰り返して、静止状態の観察を 100 回行った。その結果、基底状態が 76 回、それ以外の 24 回が 8 種類の状態に分類された。表 1 の左欄の写真がその分類による各類の代表である。基底

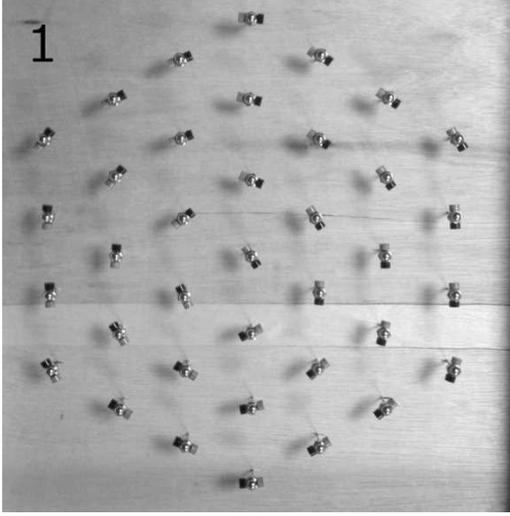
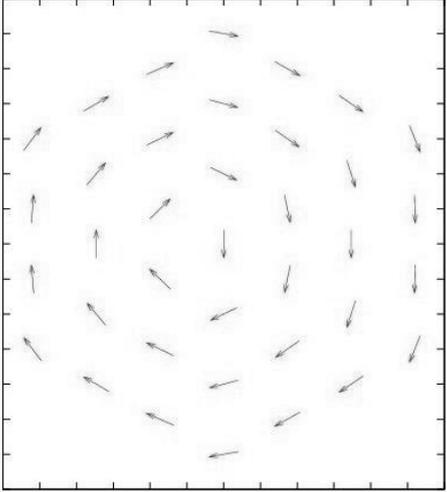
状態以外のすべての状態は著者の web ページに掲載している⁷。各写真の下の数値は 100 回の観察でその類が出現した回数である。

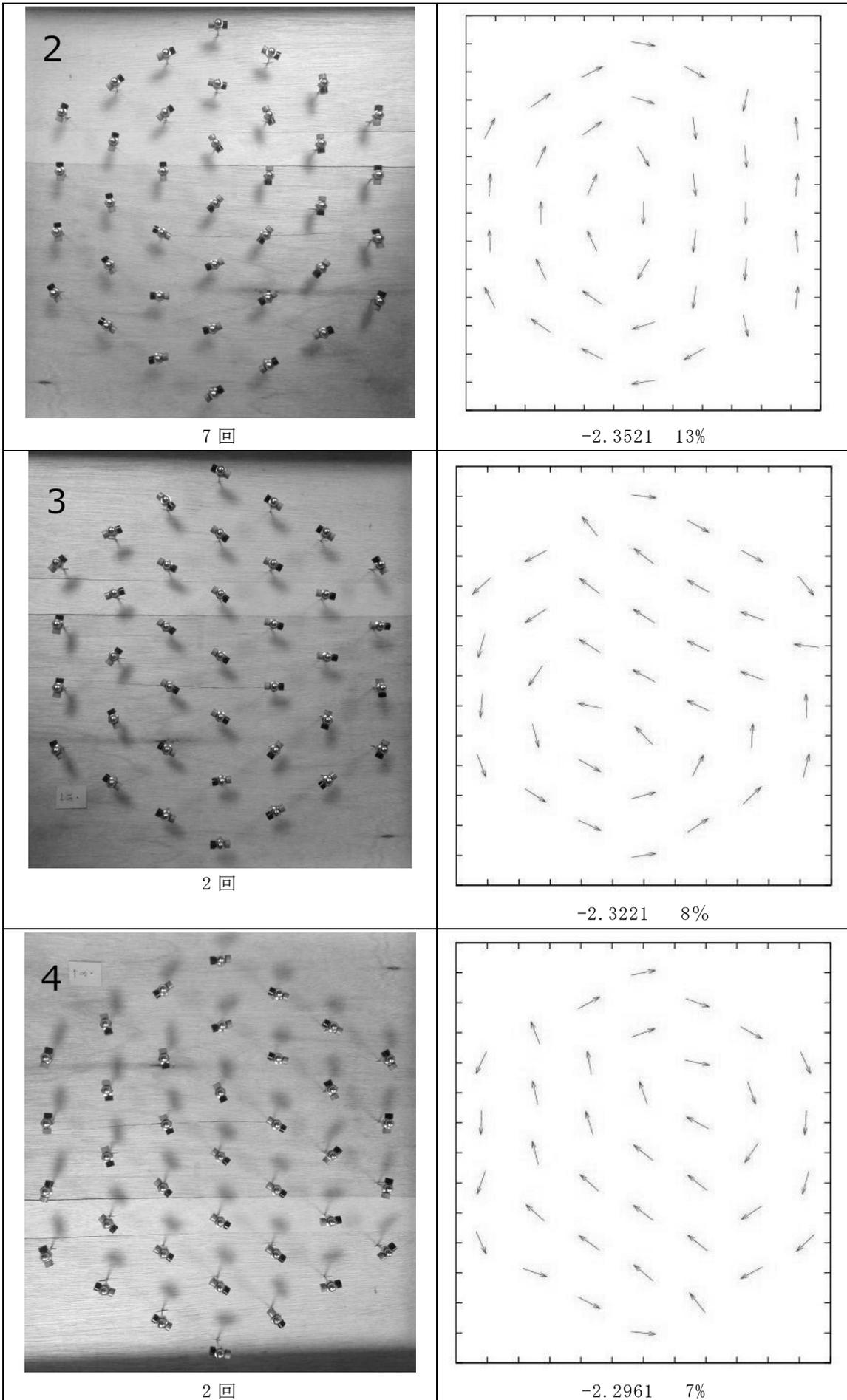
本来、双極子系のシミュレーションは、任意の運動状態を初期条件として与え、摩擦による減衰によって得られる静止状態を求めるべきである。しかし、このような方法は著者の力量をはるかに越えたものなので、その代替として、西松毅氏によるソフトを使用した⁸。西松ソフトは規則正しく双極子を配置した場合の静止状態を求めるもので、各双極子の向きを全双極子が生成する磁場の方向へ徐々に変化させることを繰り返して静止状態を求めるものである。

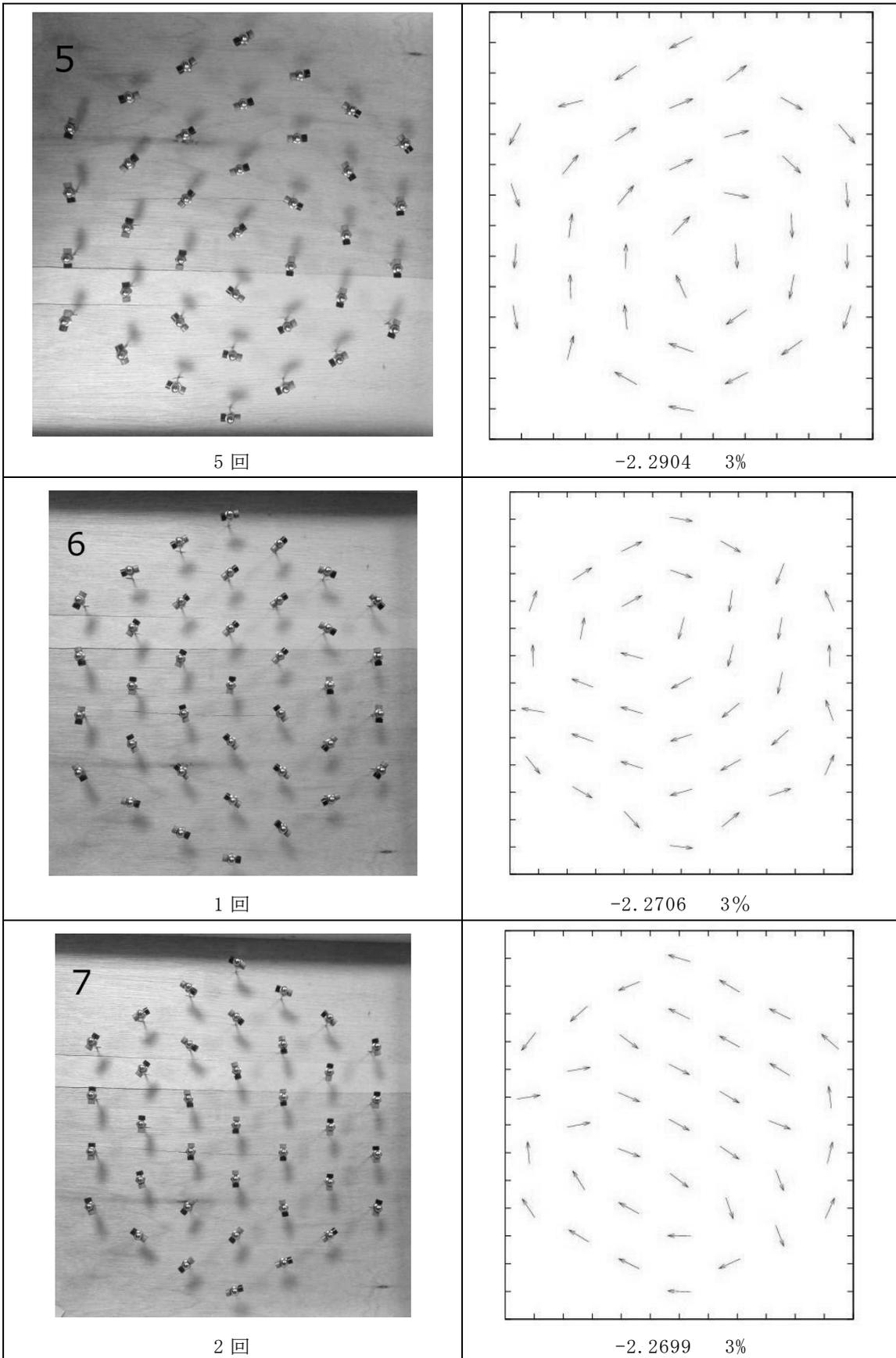
西松ソフトによる計算を、初期条件を乱雑に変えて 50000 回行い、37 磁気回転子系の静止状態に対応するものの出現確率を求めた。表 1 の右欄の図が西松ソフトで得られた 37 双極子系の静止状態で、左側の 37 磁気回転子系に対応するものである。各図の下の数値の左が双極子系の相対的なポテンシャルの値、右側が出現確率である。

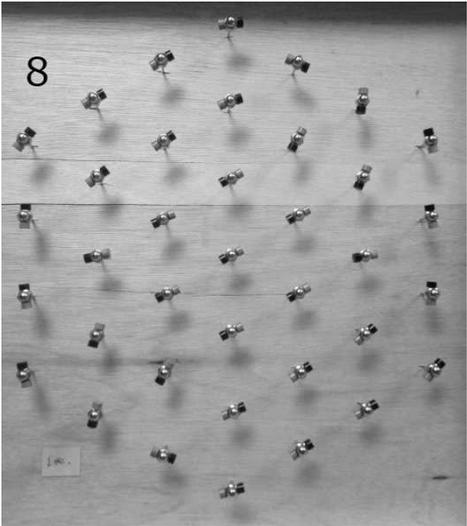
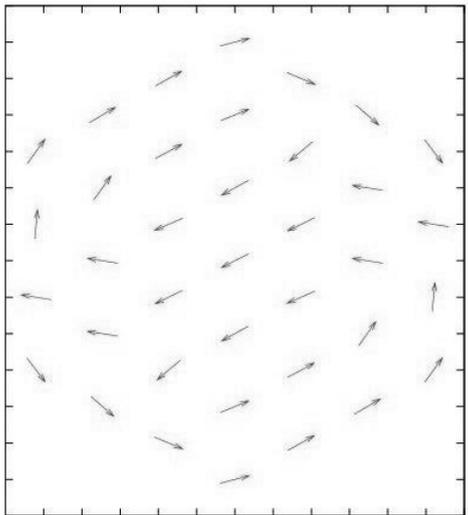
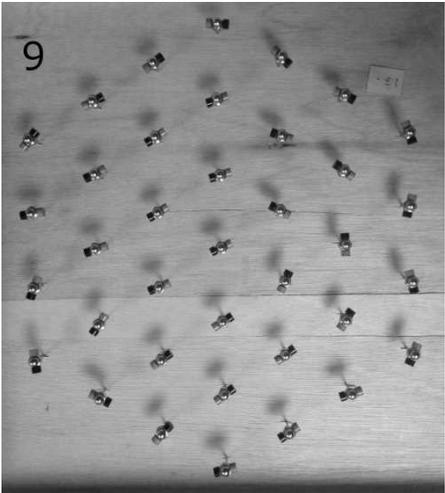
磁気回転子系と双極子系を比較すると、出現確率が大きく異なり、磁気回転子系の分類 9 に対するものは双極子系では出現しなかった。

表 1 磁気回転子系と双極子系の比較

37 磁気回転子系	37 双極子系
 <p data-bbox="483 1771 544 1800">76 回</p>	 <p data-bbox="1002 1771 1174 1800">-2.5086 32%</p>





 <p>3 回</p>	 <p>-2.2693 3%</p>
 <p>2 回</p>	<p>未確認</p>

3. まとめ

袋ナット磁気回転子系の静止状態を 100 回観察し、双極子系との比較を行った。前者は 9 種類に分類することができ、うち 8 種類が双極子系に同型の静止状態を確認することができた。残りの 1 種類は 2 回の出現があったが、双極子系に同型のものが確認できなかった。すなわち、この状態の出現確率は 2% であった。多くの場合はよく似た静止状態が得られるものの、分類 9

の出現も含めて出現確率が双方で大きく異なった。たとえば基底状態は袋ナット磁気回転子系では 76% 出現するのに対して、双極子系では 32% である。出現確率の違いは、ゆらゆら磁石の双極子近似の限界を示唆するものかもしれない。有限長の双極子シミュレーションによる出現確率などで確認する必要がある。

¹ Y. Soito and K. Yasue: Frontier Perspectives, 10 (2001) 28

² 齋藤吉彦: 物理教育 53(2005) 103-108

³ 齋藤吉彦, 西松毅: 近畿の物理教育 14 (2008) 2-7

⁴ 松浦康平, 西岡里織, 齋藤吉彦: 大阪市立科学館研究報告 28, 1 - 4 (2018)

⁵ 特願 2016-143258 (松浦康平, 齋藤吉彦)

⁶ 齋藤吉彦: 物理教育研究集会 (日本物理教育学会近畿支部) 2015 年 11 月 21 日

⁷ <http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~saito/job/exhibit/yurayura.html>

⁸ <http://loto.sourceforge.net/compasses/>