

## 磁場による重力制御環境のポルフィリンナノロッド

(広島大院理\*, 広島大理\*\*) 藤原好恒\*, 松本裕史\*\*, 柴田奈穂\*\*, 谷本能文\*

【序】微小サイズの物質の規則的配列によって新機能の発現を目指す研究は、最近の注目される研究分野の一つといえる。これまでに我々は強磁場下で微小物質が配向することを示してきた。たとえば、カーボンナノチューブ<sup>1)</sup>やリゾチーム結晶<sup>2)</sup>などの磁気配向である。一方、同様に微小サイズの単細胞生物であるミドリムシ<sup>3)</sup>やゾウリムシ<sup>4)</sup>などの生きている細胞さえも、磁気配向によってその運動方向が制限されることを示してきた。このような多くの磁気配向の研究を通して、非接触下で作用する強磁場が微小物質の磁気配向に有効なこと、そしてそのメカニズムは対象物質の磁化率の異方性に基づく磁気エネルギーの最小化であることを示してきた。ところでこれらの研究で用いた定常磁場はその強度の空間分布が均一である。通常このような磁場は磁石の中心位置で得ることができる。ところがそのような磁場を提供する磁石でも、磁石の中心からはずれることによって磁場強度の空間分布が極端に変化する高磁場勾配を得ることができる。実はこの勾配磁場においては、均一磁場では生じえない磁気力が生じる。したがって反磁性物質を対象とした場合は、磁石の中心から磁石の外側方向へ向く磁気力が働くことになる。もし、超伝導NMR磁石のように磁石のボアが鉛直方向に開いている場合、磁石中心より下部位置では重力方向と同じ下向きの磁気力が働き、反磁性物質にかかる重力が見かけ上増加する過重力環境が生まれる。反対に磁石中心より上部位置では上向きの磁気力が働き、反磁性物質にかかる重力は見かけ上減少する。上向きの磁気力が重力とほぼ等しい場合は微小重力環境となり、反磁性物質は磁石内で磁気浮上することになる。地球周回軌道上にある宇宙船内の微小重力環境では物質は空中に浮遊するが、地上の磁気浮上環境でも反磁性物質を空間に浮上させることが可能である。ただ、宇宙船内の微小重力環境と異なる点は、地上での磁気浮上環境は強磁場環境も併せ持つ複合環境である点である。このような特色ある磁場による重力制御環境の特性や有用性を探るべく、これまでにいくつか研究を行ってきた。<sup>5)</sup>今回はそのような研究の一環として、過重力環境や微小重力環境がナノメートルサイズの極微小物質、ポルフィリンナノロッドの配向に及ぼす効果について興味深い結果が得られたので報告する。<sup>6,7)</sup>

【実験】ポルフィリン tetrakis(4-sulfonatophenyl)porphine (TPPS) (図1)の会合体であるナノロッドは、文献にならい酸性水溶液を静置することによって作成した。<sup>8)</sup>生成したロッドを含む懸濁液が入った容器の側壁に内側からマイカ板を張り付け、その容器ごと(a)磁石の外(0T, 通常重力1G)と縦型ボアを持つ超伝導磁石(JASTEC, LH15T40)内の(b)磁石下部(12T, 過重力~1.8G), (c)磁石中心(15T, 通常重力1G), (d)磁石上部(10.7T, 微小重力~0G)の4カ所に室温で静置した。数日後、取り出したマイカ表面に吸着したロッドを、原子間力顕微鏡(AFM)(SII, SPI3800N & SPA-400)を用いて観測した。

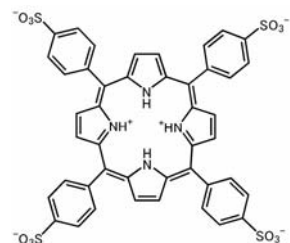


図1 酸性水溶液中の TPPS の分子構造

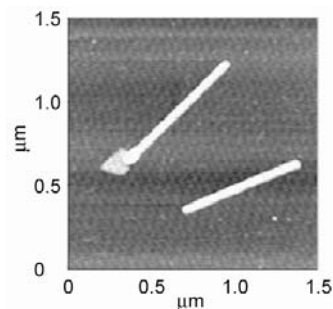


図2 ポルフィリンナノロッドの AFM 画像。

【結果と考察】図2はマイカ表面に吸着したポルフィリンナノロッドのAFM画像である。数多くの観察の結果、ロッドの幅(100 nm)と厚み(4 nm)のサイズはほぼ揃っていたが、長軸方向の長さは図3のような分布が見られ、平均値はおよそ1000 nmであった。ところで、通常このように極微小サイズの物質は磁気配向しない場合が多い。それは、サイズが極微小のために磁気配向に伴う磁気エネルギーの安定化分も小さくなり、配向の攪乱を引き起こす室温の熱エネルギーの大きさに匹敵するようになるからである。しかし今回はそのような極微小物質でも、高磁場勾配を伴う強磁場環境では配向が観察された。図4は(a)磁石の外(0T, 通常重力1G), (b)磁石下部(12T, 過重力~1.8G), (c)磁石中心(15T, 通常重力1G)のそれぞれの条件下でマイカ表面に吸着したナノロッドの長軸が、磁場方向に対してなしていた角度の分布を示している。当然ながら(a)では全ての角度に一様に分布していた。一方、(c)では強磁場15Tが介在するため、もし適当な大きさの磁化率の異方性と適当なサイズをもつ物質であれば磁気配向が観察され、そしてグラフ上では特定の角度において突出が見られるはずである。しかしグラフからわかるように実際は15Tでさえも配向はないように思われた。この事実に基づくならば、(b)ではその磁場強度12Tが磁石中心での強度15Tより小さいので、当然配向は起こらないはずである。にもかかわらず、図4(b)は一部のロッドが磁場方向と平行に配向したことを示している。この配向は、過重力環境を生む高磁場勾配を伴う強磁場環境でのみ観察されたところに特徴があり、「過重力誘導磁気配向」

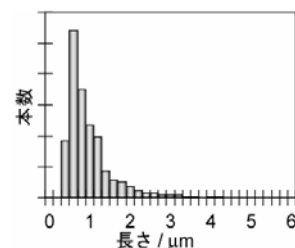


図3 ポルフィリンナノロッドの長軸方向の長さ分布

(Hypergravity induced Magnetic Orientation, <sup>ハイモ</sup>HiMO)と命名した。つまり磁石中心で得ることができる磁場強度の空間分布が均一な磁場では、15Tのように磁場強度が単に強くても配向は起こらない。このような磁気配向は、磁化率の異方性に基づく通常のみかニズムでは説明ができない。当日は(d)微小重力の結果も併せ、このメカニズムについて議論したい。

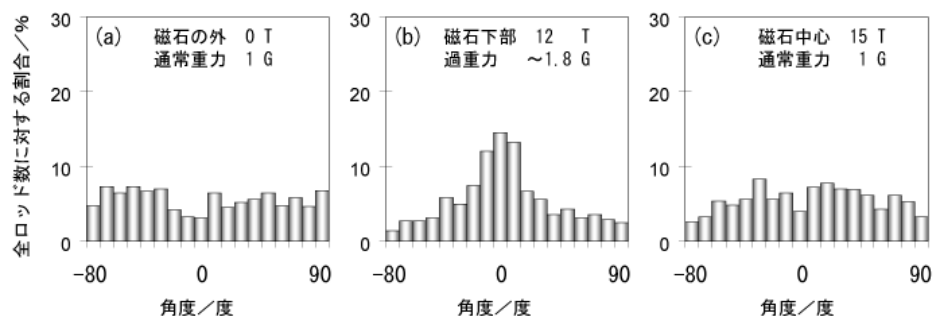


図4 各磁場および重力場環境におけるポルフィリンナノロッドの配向角度の分布。ロッドの長軸方向が鉛直方向の磁場方向と平行のときを0度とする。

#### 【参考文献】

- 1) M. Fujiwara et al., *J. Phys. Chem. A*, **105**, 4383 (2001).
- 2) Y. Tanimoto et al., *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **75**, 1133 (2002).
- 3) Y. Tanimoto et al., *Int. J. App. Electromagn. Mech.*, **14**, 311 (2001/2002).
- 4) Y. Fujiwara et al., *Mol. Phys.*, **104**, 1659 (2006).
- 5) たとえ、F. Koyama and Y. Tanimoto, *Mol. Phys.*, **104**, 1703 (2006).
- 6) Y. Fujiwara et al., *Proceedings of International Symposium on Magneto-Science 2005*, Yokohama, 1-4 (2005)
- 7) Y. Fujiwara et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, submitted.
- 8) A. D. Schwab et al., *J. Phys. Chem. B*, **107**, 11339 (2003).