

生体関連の反磁性微結晶に対する磁場効果 Magnetic field effects on biogenic diamagnetic micro-crystals

岩坂正和

広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所

Masakazu Iwasaka

RNBS, Hiroshima University

Abstract The paper demonstrates a new method to evaluate the magnetic orientation of micro-crystals in aqueous solution. A real-time observation system was established by using an electromagnet, CCD microscope, and a spectrometer. Dynamic behaviors of micro-crystals, such as fish scale guanine crystal plates, micro-crystalline cellulose, calcium carbonate microcrystals from algae, etc. were examined.

1. まえがき

生体に対する磁場効果の研究の歴史のなかで、磁場配向現象は超伝導磁石による強磁場発生技術のひとつの応用例として多くの研究報告のなかで取り上げられてきた。その多くは10テスラ前後の強磁場においてフィブリンなどの生体高分子が磁力線に対し並ぶ様子を示している。いったん配向した物体はゲル化あるいは結晶化しており、磁場をオフにしても配向は保たれたままであった。一方、マイクロメートル～ミリメートルサイズの脂質（ベシクル）やカエルの視外筋など、比較的低い磁場（1テスラ前後）で磁場配向する現象も報告されてきた（1980年前後）。これらの物体は単独で配向し、磁場オフとともに配向が乱れる緩和過程を示すものであった。

すなわち、反磁性的な磁気異方性をもつ分子やマイクロ構造体の集団が互いに相互作用しつつ、重合過程などを経て磁場配向する場合と、物体が単独で磁場配向する場合があることが明らかとなった。後者の研究例は比較的少数であり、配向に必要な磁場の閾値は詳細に研究されていなかった。その原因は、磁石の近傍での顕微観察技術が十分でなかったからだと思われる。

本研究では、磁場中での顕微観察技術を駆使して、特に生体由来の微結晶の回転を磁氣的に制御

する手法の開発の経緯について紹介したい。

2. 実験手法

測定対象の微結晶として魚類皮膚色素胞から抽出したグアニン結晶（有機結晶）、円石藻など藻類から分離した炭酸カルシウム結晶やシリカ結晶（無機結晶）、微結晶性セルロース（有機結晶）、窒化ホウ素などを用いた。これらの微結晶（数マイクロ～数十マイクロメートルサイズ）を水中に分散し、さらに薄層ガラスセルまたはガラスチューブ内に封入し、顕微観察と分光計測に用いた。

直流磁場の印加は超伝導磁石（最大5テスラ（T）まで発生する垂直ボア、および10テスラ水平ボア）、0.5テスラ（500mT）まで発生する電磁石（倒立生物顕微鏡の観察空間を収容できるよう幅100mmに設計）にて行った。さらに、永久磁石（～400mT）を用いて、電磁石と同様のふるまいが微結晶においてみられることも検証した。

磁場を印加しつつマイクロスケールの微結晶観察をリアルタイムで実現するため、ファイバースコープ型マイクロスコープ（Keyence製）および倒立顕微鏡（Olympus IX71）を用いた。また、微結晶サスペンション（水溶液）のマクロな分光計測をCCDセンサー型分光器で行い、この際、後述のように入射光、磁力線方向、および散乱光検出方向の組み合わせを3パターン変化させて測光し、水中の微結晶の配向状態の評価を行った。

3. 魚類グアニン結晶とさまざまな微結晶の比較

微結晶が水中で高感度（100mTオーダの直流磁場で）応答する現象は、最初、金魚のウロコに付着するグアニン結晶において発見した^{1, 2)}。最初の研究目的は、金魚のウロコを形成する破骨細胞の磁場応答を調べることであったが、暗視野下

でこのグアニン結晶が光を強く反射し、しかも磁場印加により光反射が消えることをみだした^{1, 2)}。その後、ウロコに付着した色素胞の内部に積層したグアニン結晶においても、10テスラまで磁場を上げることで光反射の変化と構造色変化がみられた³⁾。さらに、魚の色素胞から抽出したグアニン結晶の精製法を改良し、この微結晶の水中での抵抗を軽減することで、磁場配向検出の閾値を100mTまで下げることに成功した⁴⁾。

生物由来結晶の場合、脂質やタンパクなどの混入が完全に除去できないため、試薬として市販されているグアニン粉末、類似分子である尿酸粉末をもとに人工グアニン結晶⁵⁾および人工尿酸結晶⁶⁾を作成し、魚類由来グアニン結晶と同様の実験を行った。これらの人工結晶の各結晶軸に対する成長方向は、魚類由来グアニン結晶のそれと約90°異なる。従って微結晶のマクロ形態の長手方向は磁力線に対し、人工結晶の場合は垂直に配向した(魚類グアニン結晶は長手方向が磁力線に平行に配向)。尿酸結晶は痛風の疾病モデルであるため、痛風の磁気治療法も模索した⁷⁾。

この魚類グアニン結晶を水中に分散したサスペンションに対し、光を照射して散乱光を磁場中で測定する実験を行った⁴⁾。その結果、入射光と磁力線が平行(観察方向はこの両者に垂直)、観察方向と磁力線が平行(入射光はこの両者に垂直)の場合は磁場印加とともに観察方向への光散乱が抑制された。一方、これら3種類の方向が互いに直交する場合は散乱光が増加した。比較のため、微結晶性セルロースおよび円石藻由来炭酸カルシウム結晶⁸⁾での磁場中光散乱と比較した結果、微結晶の外形の長手方向が磁力線に平行に磁場配向する場合は魚類グアニン結晶と同様の磁場中光散乱特性を示し、垂直に磁場配向する場合は魚類グアニン結晶と完全に相補的なふるまい(図1)となることが明らかとなった。

人工的に製造した窒化ホウ素微結晶(ヘキサゴナル構造)は、魚類グアニン結晶とほぼ同様の磁場配向および光散乱特性を示した⁹⁾。

本研究で得られた成果は、さまざまな微結晶の回転方位特性を非接触で調べる新しい技術といえる。特に、藻類などの生物がバイオミネラリゼーションでつくる微結晶の機能解明に役立つと期待される。また、DNA塩基結晶の光学素子への応用

¹⁰⁾、炭酸カルシウム⁸⁾やセルロース¹¹⁾、尿酸⁷⁾の磁場配向を産業・医療へ役立てるための可能性も示唆された。

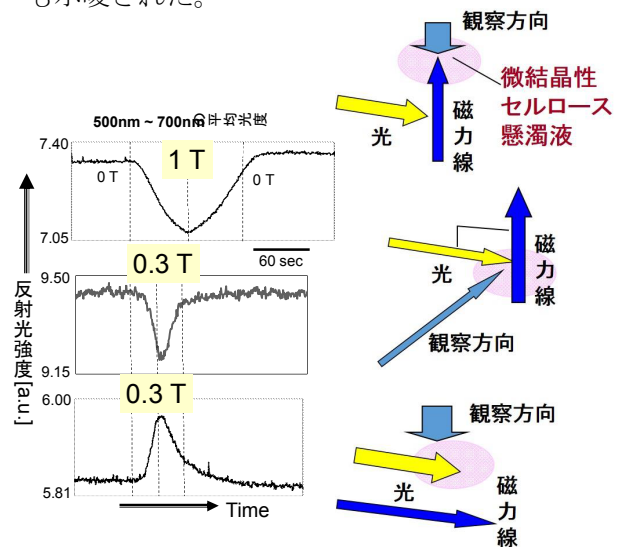


図1 微結晶の磁場配向の方位と光散乱特性: 入射光、磁力線、観察方向の組み合わせによる微結晶性セルロースの反射光増減

謝辞 本研究はJST さきがけ研究「藻類バイオエネルギー」の支援により行われました。

参考文献

- [1] 岩坂正和, 2008. 日本生体磁気学会誌特別号.
- [2] Iwasaka, M. 2010. Journal of Applied Physics, 107 (9), 09B314.
- [3] Iwasaka, M., et al. 2012. Journal of Applied Physics, 111 (7), 07B316.
- [4] Iwasaka, M. & Mizukawa, Y. 2013. Langmuir, 29 (13), 4328-4334.
- [5] Mizukawa, Y., et al. 2014. IEEE Trans. Magn, 50 (11), 1-4.
- [6] Mizukawa, Y. & Iwasaka, M. 2013. 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌) 133 (6), 383-384.
- [7] Takeuchi, Y., et al, 2014. Applied Physics Letters, 104 (2), 024109.
- [8] Iwasaka, M. & Mizukawa, Y. 2014. Journal of Applied Physics, 115 (17), 17B501.
- [9] Iwasaka, M., et al. 2014. 59TH ANNUAL CONFERENCE ON MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS, DT-01.
- [10] Mizukawa, Y. & Iwasaka, M. 2015. Journal of Applied Physics, 117 (17), 17B730.
- [11] Miyashita, Y. & Iwasaka, M. 2014. Journal of Applied Physics, 115 (17), 17B519.