

## DMPC リポソームの相転移と磁気複屈折

(学習院大理) ○仲山英之・石塚理央・玉虫雅美・石井菊次郎

【はじめに】 反磁性分子であっても分子集合体を形成すると磁場配向を示し、その結果、磁気複屈折を生じる場合がある。このような磁気複屈折は分子の磁気異方性と秩序形成の仕方に依存する。一方、脂質2分子膜は分子構造および集合状態の異なる数種類の相をもち、かつそれらの中で相転移を示す[1]。私たちは、反磁性分子の磁場配向と分子集合体の秩序形成や構造ゆらぎの関係について調べるために、DMPC (dimyristoyl phosphatidylcholine) およびそれにコレステロールを添加したリポソームを試料として、温度を変えて磁気複屈折を調べた。リポソームを含めベシクルの磁気変形に関する研究はすでにあるが[2,3], 相転移に関係した研究はきわめて少ない[4]。

【実験】 リポソームは、市販のDMPCを用いて逆相蒸発法で作成した。これを100 nmのフィルターでサイジングし、さらに超遠心分離後、水に分散させたものを試料とした。図1は磁気複屈折の測定に用いた光学系である。2枚の偏光子は直交ニコルの関係にあり、かつ入射光の偏光面が磁場に対して45°傾くように配置した。温度を変えるために、試料セルはヒーターとペルチェ素子を組み込んだアルミブロックの中にセットした。複屈折は、固定した2枚目の偏光子からの光強度の漏れとして測定し、磁場や温度を変えてこれを記録した。

【結果と考察】 図2に、DMPCリポソーム懸濁液とコレステロールを含んだリポソーム懸濁液について得た複屈折とDSCの測定結果を示した。前者は10 Tの磁場下、後者は無磁場下、それぞれ0.4 K/min および1

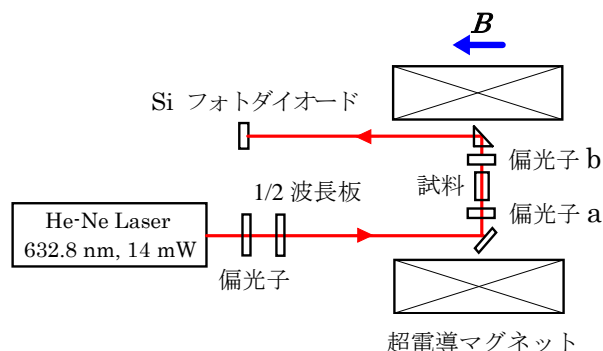


図1. 磁気複屈折測定のための光学系。

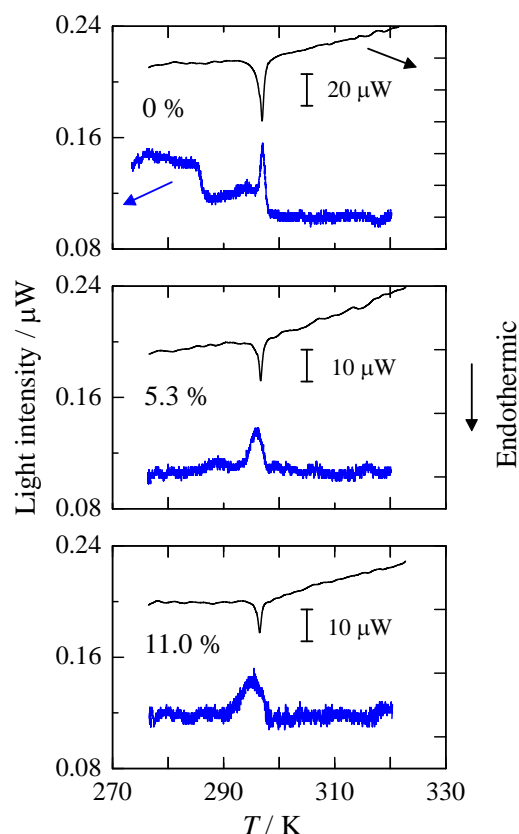


図2. コレステロール濃度の異なるDMPCリポソーム懸濁液の磁気複屈折の温度変化(下)とDSC曲線(上)。上記の複屈折は10 Tの磁場下での結果であり、偏光子から漏れた光の強度で示してある。図中の濃度は、コレステロールの濃度を示し、懸濁液中のリポソームの数密度の推定値については、講演で述べる。

K/min で連続的に昇温したときの結果である。DSC 曲線の 298 K 近傍の吸熱ピークはリップル相から液晶相への相転移 (主相転移) によるものである。また、我々の DSC の結果でははっきりしないが 285 K でゲル相からリップル相への相転移が起こることが知られている (相の特徴については後述)。これらのことをふまえて光強度の変化を見ると、コレステロールを含まないリポソーム懸濁液では、ゲル相、リップル層、液晶相の順に光強度が減少し、これに加えて主相転移点近傍で強度の極大を示す。コレステロールを 5.3 % あるいは 11.0 % 含む試料では相の違いによる光強度の違いは明瞭でなかったが、主相転移点近傍での極大は、温度幅を広げた形で明瞭に観測された。磁場を印加しない場合、上記の光強度変化は観測されなかった。したがって、観測された光強度変化は磁気複屈折に起因すると考えられる。

図 3 に、コレステロールが 0 % と 11.0 % の試料を一定温度に保持したときの光強度の磁場強度依存性を示した。コレステロールを含まない試料の場合、液晶相では磁場強度依存性が観測されず、リップル相、ゲル相および主相転移点近傍の順に磁場強度依存性が大きい。注目すべき点は、主相転移点近傍での光強度の磁場強度依存性が、他の温度と異なり、10 T まで飽和傾向を示さないことである。同様な特徴は、コレステロールを 11 % 含む試料でも見られる。

DMPC のように phosphatidylcholine 基を含む分子からなるリポソームの各相は、一般的に次のような構造的特徴を持つ[1]。ゲル相では、炭化水素が直鎖構造をとり、膜の面内方向の分子配置に秩序が存在する。リップル相では、炭化水素鎖が乱れた分子が少量存在し、膜に波打ちがある。液晶相は、炭化水素鎖が乱れた分子からなり、面内方向の秩序は乏しい。このような各相の特徴を考慮すると、液晶相が、磁気複屈折を示さないのは、元々分子の磁気異方性が小さい上に、秩序だ

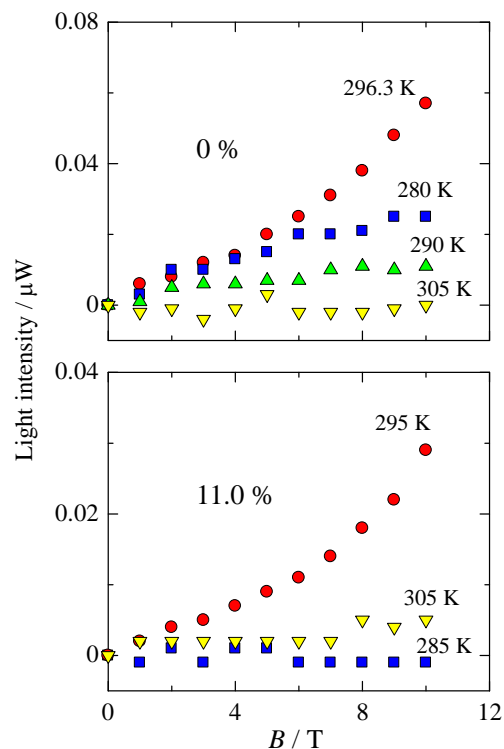


図 3. 光強度の磁場強度依存性. ただし、ゼロ磁場における光強度の漏れを差し引いた。図中の濃度は、コレステロールの濃度を示す。

った分子集合状態をとらないことに起因すると考えられる。一方、リップル相、ゲル相の順に磁気複屈折が大きいことは、この順に分子間の秩序形成の程度が増すことにより、集合体として磁気異方性を示すことによると考えられる。一方、これらの相で光強度の磁場強度依存性が飽和傾向を示すのは、リポソームの変形に対する復元力が磁場配向を妨げるためであると考えられる。これに対して、主相転移点近傍で光強度が飽和傾向を示さないことは、この領域で膜変形の復元力が小さくなっていることを示唆している。これは、構造的観点からみると、この領域で構造ゆらぎが大きくなっていることを示唆している。なお、コレステロールを含んだリポソームについての詳細は講演で述べる。

[1] R. Koynova and M. Caffrey, *Biochim. Biophys. Acta*, **1376** (1998) 91.

[2] W. Helfrich, *Phys. Lett.* **43A** (1973) 409.

[3] O. V. Manyuhina et al., *Phys. Rev. Lett.* **98** (2007) 146101.

[4] T. S. Tenforde, *J. theor. Biol.* **133** (1988) 385.