

分子性物質における電荷と格子が強く結合した誘電分極の量子揺らぎ

様々な誘電現象は、正電荷と負電荷の重心がずれる電気分極によってもたらされる。物質中に原子あるいは分子のスケールで電気分極の種が存在すると、それらは互いに協力して自身の分極を成長させかつ方向を揃えようとする。これを阻害するものが熱揺らぎで、一般に高温で分極は乱される。しかしながら温度を下げれば熱揺らぎは沈静化し、ミクロな分極は秩序化する。分極の秩序化を妨げるもう一つの機構として量子揺らぎが存在する。これは、物理量の量子力学的不確定性に起因する揺らぎなので冷やしても治まらない。最近、東京大学の岩瀬文達氏（現在岡山大学）、宮川和也氏、鹿野田一司氏、十倉好紀氏および産総研の堀内佐智雄氏の研究グループは分子性物質において電気分極の量子揺らぎを微視的に観測することに成功した。この研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2010 年 4 月号に掲載される。

実験に用いられた物質は、電子供与性の分子 DMTTF と電子受容性の分子 $\text{QBr}_n\text{Cl}_{4-n}$ ($n=0-4$) が交互に積み重なって出来た分子性物質である（図 1 (a)参照）。この物質における分極の起源は、DMTTF から $\text{QBr}_n\text{Cl}_{4-n}$ に電荷が移動し同時にこれら一対の分子が 2 量体化して生まれる、電荷と格子が強く結合した電気双極子である。このミクロな分極が秩序化する温度は圧力に敏感で、 $\text{QBr}_n\text{Cl}_{4-n}$ 中の Cl の数を増やすことで‘化学圧力’が印加され、秩序温度が変化する（図 1(b)参照）。同研究グループは、巨視的な物理量（誘電率など）の測定から知られていた、全温度で秩序化しない DMTTF- QBr_4 、65K で秩序化する DMTTF- QCl_4 、そしてそれらの中間物質で秩序化温度が絶対零度付近にある DMTTF- QBr_2Cl_2 について、それらの微視的な振舞いである電荷と格子の揺らぎを核

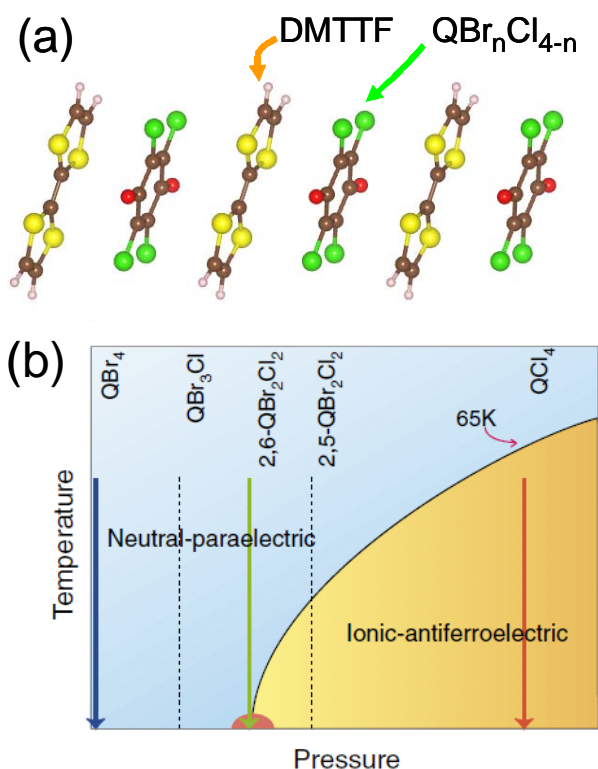
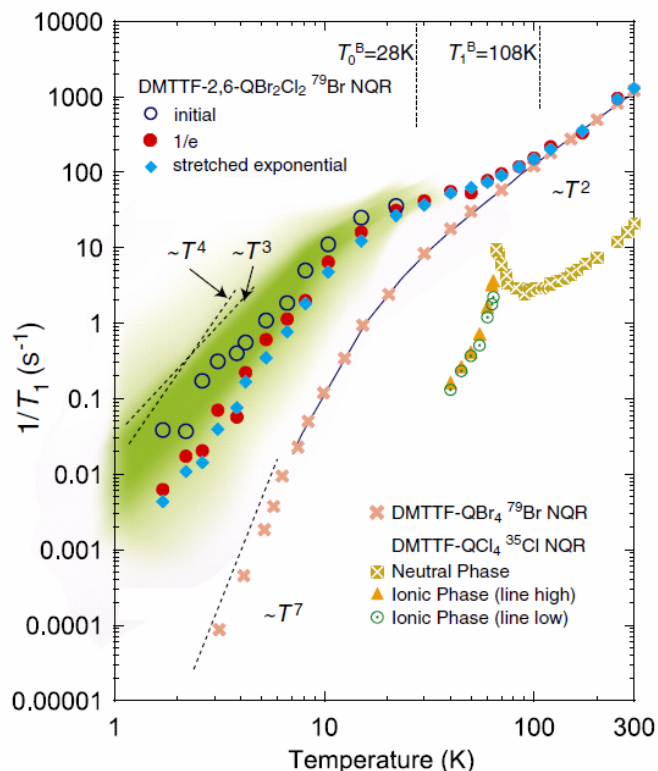


図 1 : (a) DMTTF- $\text{QBr}_n\text{Cl}_{4-n}$ の構造, (b) DMTTF- $\text{QBr}_n\text{Cl}_{4-n}$ の温度-圧力相図。 QBr_4 の Br を Cl に置換することで正の化学圧力が作用する。"Ionic-antiferromagnetic" の領域が秩序領域。

図 2：電荷と格子の揺らぎを反映する核四重極緩和率の温度依存性。DMTTF-QBr₄の結果は格子振動で説明される（実践と点線）のに対し、DMTTF-2,6-QBr₂Cl₂では、低温でもその2-3桁大きな揺らぎが観測される（異なる印は実験データから緩和率を決める際の定義の違いによる）。



四重極(NQR)共鳴という原子核を利用する実験手法で調べた。その結果、図2に示すように、DMTTF-QBr₄では全温度域で格子の熱揺らぎのみが、DMTTF-QCl₄では 65 K の秩序化温度付近で分極の臨界的振舞い（ピーク）が見られたのに対し、DMTTF-2,6-QBr₂Cl₂では格子振動を遥かにしのぐ分極の揺らぎが実験した最低温度の 2 K まで観測された。これは、電気分極の種である双極子モーメントが生まれては消えまた生まれては消えと強く揺らいでおり、それが熱的なものでなく量子性を持つことを示している。

量子揺らぎが秩序を破壊する相転移は量子相転移として、その新奇的な転移特性の解明を目指した研究が、特に強相関電子系の分野で活発に研究されている。本研究の結果は、誘電体の分野においても同様な研究を刺激するものであり、多くの研究者の注目を集めている。特に、本物質における分極の起源が電子の移動という自由度を伴うことから、今後、伝導性や磁性との融合分野へと研究が展開されるものと期待される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn., Vol.79, No.4, p. 043709

電子版： <http://jpsi.ipap.jp/link?JPSJ/79/043709> (4月12日公開)

<情報提供：岩瀬文達（岡山大学）、鹿野田一司（東京大学）>