



図 2 (a) 電流変化量の Au 膜厚依存性。(c) (S)-CSA および(R)-CSA において、分子振動により誘起されるスピン密度の計算結果。

さらに、電流変化の割合を Au 膜厚の関数として調べたところ、その大きさおよび符号が振動的に変化することが分かりました(図 2a)。この結果は、観測された現象がキラル分子と磁石との間にはたらく層間交換相互作用 [4] に起因することを示しています。ここで重要なのは、本研究において電流はキラル分子の濃度変化を検出するためにのみ用いられており、分子にスピン偏極を与える役割を果たしていない点です。一方で、キラリティは時間反転に対して偶(time-reversal even)であるため、キラルな構造そのものから時間反転に対して奇(time-reversal odd)であるスピン偏極を直接生み出すことはできないことが知られています。したがって、キラル分子と磁石が層間交換相互作用を示すためには、キラル分子が何らかの機構によって磁性を獲得している必要があります。そのため、電流を流さない条件下で、キラル分子がどのように磁気的性質を獲得するのかという機構の解明が、本研究における重要な課題でした。

通常、材料に磁場を印加すると、その磁場方向に沿ったスピン偏極が生じます。しかし、このスピンの向きは磁場の方向に依存するため、分子のキラリティとは無関係であり、CISS 現象を説明することはできません。本研究では、磁場中においてキラル分子が分子振動を起こすと、磁場の向きに依らず、キラリティのみに依存したスピン偏極が誘起されることを見出しました。第一原理計算による理論解析から、分子振動に伴い、キラル分子が図 2b に示すようなスピン密度を獲得することを確認しました。このスピン密度は、分子振動と電子-振動相互作用の結果として生じるものであるため、時間平均を取るとゼロとなります。一方で、分子振動に伴う角運動量が磁場と相互作用することで、磁場中では有限の値を持ち得ることが示唆されます。

本研究成果は、CISS 現象が層間交換相互作用によって生じることを、初めて実験的に証明したものです。さらに、CISS 現象の発現において分子振動が重要な役割を果たすことを明らかにしました。この機構は電流を必要としないため、化学反応や生体内過程など、身近で多様な環境において普遍的に起こる可能性があります。特に、これまでキラルな構造のみに着目して議論されてきた化学・生物学分野の諸現象に対し、スピンの物理が本質的な役割を担う可能性があります。今後、本成果を基盤として、化学や生命科学をはじめとする幅広い分野において、新たな研究展開や応用への発展が期待されます [5]。

本研究は、科学研究費助成事業基盤研究(S)「キラル分子スピントロニクスの研究(課題番号: 25H00414)」、学術変革領域研究(A)「キメラ準粒子の分子科学(課題番号: 24H02234)」等の支援により実施されました。

1. R. Naaman *et al.*, *Nat. Rev. Chem.* **3**, 250 (2019).
2. S-H. Yang *et al.*, *Nat. Rev. Phys.* **3**, 328 (2021).
3. T. S. Metzger *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **59**, 1653 (2020).
4. P. Grünberg *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **57**, 2442-2445 (1986).
5. S. Miwa *et al.*, *Sci. Adv.* **11**, eadv5220 (2025).