

2023年9月6日

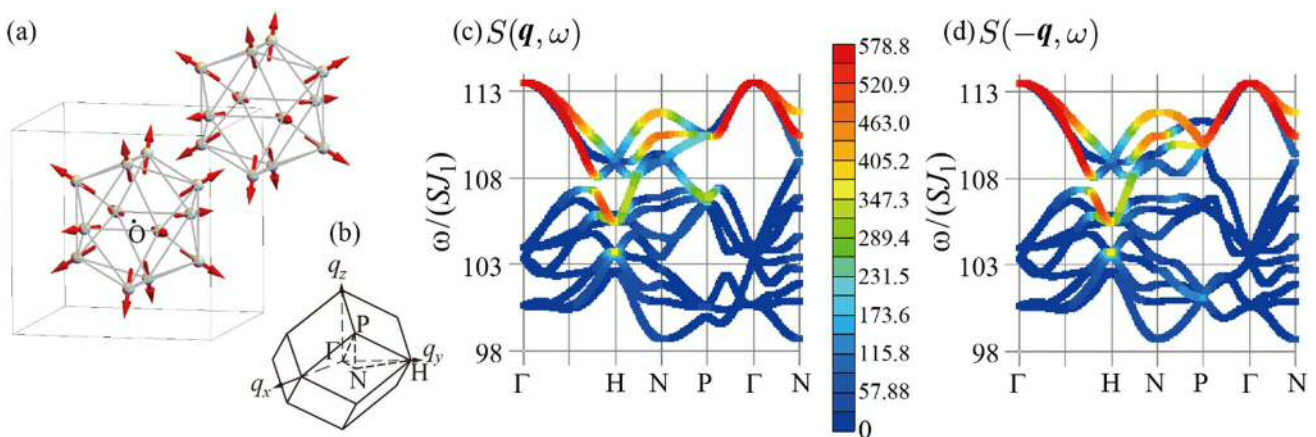
ヘッジホッグ秩序相における非相反ダイナミクスの解明

国立大学法人九州工業大学大学院工学研究院基礎科学研究系の渡辺真仁教授が研究代表者を務める固体物性理論研究室は、近似結晶¹のヘッジホッグ秩序相²における磁気ダイナミクスを理論的に解明しました。非相反な動的磁気励起を発見し、そのメカニズムを対称性の観点から説明しました。この発見は、物性物理学における重要な研究成果であり、今後さらに研究が進展することで物質の新機能の開拓につながることも期待されます。

ポイント

- ✔ 近似結晶のヘッジホッグ秩序相における磁気ダイナミクスを理論的に解明
- ✔ 非相反な磁気励起のエネルギー分散関係を発見
- ✔ 非相反な磁気ダイナミクスの出現機構を対称性の観点から説明

鉄の磁石が示す強磁性のように、電子の磁気モーメントが結晶全体にわたって秩序化する磁気秩序相における励起状態はマグノン³とよばれる量子化された波として振る舞うことがよく知られています。最近、図(a)のようなヘッジホッグ（ハリネズミの意味）状態とよばれる磁気構造が理論計算により発見されました。この状態はトポロジカル数 $n=1$ で特徴づけられる、トポロジカルに非自明な磁気構造であることが理論的に示され、注目を集めています。通常の磁性体とは異なり、図(a)のような非共線のなトポロジカル磁気構造における磁気励起の性質はこれまでよくわかっていませんでした。



本研究では、図(a)の様なヘッジホッグ秩序について動的磁気構造因子 $S(\mathbf{q}, \omega)$ の理論計算を行いました。ここで、 \mathbf{q} は波数ベクトル⁴であり、図(b)に示す波数空間の $\Gamma \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{N} \rightarrow \text{P} \rightarrow \Gamma \rightarrow \text{N}$ の経路に沿っ

て $S(\mathbf{q}, \omega)$ を図示したのが図(c)です。図(d)は波数空間の逆の経路に沿った $S(-\mathbf{q}, \omega)$ を図示しています。図(c)と図(d)の比較より、 $N \rightarrow P \rightarrow \Gamma$ の波数ベクトルに対するエネルギー ω が \mathbf{q} と $-\mathbf{q}$ について等しくないことがわかりました。この結果は、磁気励起の波の進行方向を逆にするとエネルギーが異なる、非相反な励起エネルギー分散を示しています。さらに、 $N \rightarrow P \rightarrow \Gamma$ の経路において動的磁気構造因子の強度が \mathbf{q} と $-\mathbf{q}$ で異なることもわかりました。この非相反な動的磁気励起の出現は、図(a)に示す一様なヘッジホッグ秩序が形成されたことによる空間反転対称性の破れに起因することを明らかにしました。

今後、近似結晶および準結晶の磁気ダイナミクスの研究が活発に行われ、非相反動的磁気励起の実験による観測、ならびに物質の新機能の開拓につながることも期待されます。

なお、この研究成果は、2023年9月2日(土)午後6時(日本時間)に英国の科学オープンアクセス誌「Scientific Reports (Springer Nature 社)」に掲載されました。

*1 近似結晶：準結晶*5と共通の局所原子配置をもち、周期性を持つ固体を近似結晶とよぶ。1/1 近似結晶、2/1 近似結晶、…のように近似度 m/n に応じて m/n 近似結晶が定義される (m, n はフィボナッチ数)。

*2 ヘッジホッグ秩序相：電子の磁気モーメントが図(a)のように 20 面体の外側に向いた磁気構造をヘッジホッグ状態とよび、その状態が結晶全体にわたって一様に秩序化した相。

*3 マグノン：希土類原子の磁気モーメントは量子化された 4f 電子のスピンと軌道角運動量の合成角運動量から成る。磁気モーメントが秩序状態から揺らぎながら空間的に伝搬し、波として振る舞う量子をマグノンとよぶ。

*4 波数：単位長さあたりの波の個数を表す物理量。量子力学におけるプランク定数と波数の積は運動量である。図(c)と図(d)の横軸は波数をベクトル表示した波数ベクトル \mathbf{q} で、図(b)の $\Gamma \rightarrow H \rightarrow N \rightarrow P \rightarrow \Gamma \rightarrow N$ の経路における \mathbf{q} を示す。

*5 準結晶：周期結晶では許されない回転対称性をもつ結晶構造をもつ。準結晶は1984年にイスラエルの金属学者であるダニエル・シェヒトマンにより発見され、同氏はこの功績によりノーベル化学賞(2011年)を受賞している。

論文の詳細情報

タイトル： Magnetic dynamics and nonreciprocal excitation in uniform hedgehog order in icosahedral 1/1 approximant crystal

著者名： Shinji Watanabe

雑誌： Scientific Reports

DOI： 10.1038/s41598-023-41292-1

※ 本研究は JSPS 科研費 18K03542, 19H00648, 22H04597, 22H01170, 23K17672 の助成を受けたものです。

【報道に関するお問い合わせ】

国立大学法人九州工業大学総務課広報係

電話：093-884-3007 Mail：pr-kouhou@jimu.kyutech.ac.jp

【研究内容に関するお問い合わせ】

国立大学法人九州工業大学大学院工学研究院 教授 渡辺 真仁

電話：093-884-3442 Mail：swata@mns.kyutech.ac.jp