

# 審査の結果の要旨

氏名 荒木 勇介

本論文では、空間反転対称性の破れと反強磁性的な相互作用を有する局在磁性体を対象として、磁気構造の温度・磁場による変化と磁性と誘電性の結合に着目した研究が展開されている。磁性体における空間反転対称性の破れは、磁性と誘電性の結合や、非共線的な磁気秩序の出現といった観点から近年注目されている。例えば、磁気秩序の出現によって時間反転対称性と空間反転対称性が同時に破れると、外部磁場に比例して電気分極が変化したり、外部電場に比例して磁化が変化したりする線形の電気磁気効果が発現することが知られている。また、強磁性的な交換相互作用を有する遍歴磁性体において空間反転対称性が破れた場合には、しばしば、強磁性の軸が空間的に変調するらせん磁性が発現する。ここに外部磁場を印加すると、磁気異方性や熱揺らぎとの協働や競合が起こり、磁気ソリトンや磁気スキルミオンといった位相幾何学的に非自明な磁気構造体が発現することが実験的に明らかになってきた。磁気ソリトンや磁気スキルミオンは電気伝導との関連も観測されているほか、液晶など他分野における位相幾何学的な欠陥との関連性においても注目されている。一方で、反強磁性体において空間反転対称性の破れが作り出す特異な磁気構造体については、理論的な提案はあるものの、実験的な研究例は非常に少ない。また、そのような反強磁性に基づいた磁気構造体が生み出す電気と磁気の結合に関する研究もほとんどない。

本論文は、全7章から構成され、第1章では、空間反転対称性の破れに基づく反対称交換相互作用と結晶の単位胞内に複数の副格子が存在する局在反強磁性体における電気磁気効果を紹介し、それらが組み合わさることで期待される特異な磁気構造の解明及び物質機能の開拓が本研究の目的であることが述べられている。第2章では、本研究で取り上げる  $\text{Ni}_2\text{InSbO}_6$ 、 $(\text{Ni},\text{Co})_2\text{InSbO}_6$ 、および、 $\text{Fe}_3\text{PO}_7$  の単結晶育成と評価、磁化測定、電気分極測定、交流誘電率測定、強磁場光吸収測定、共鳴軟 X 線小角散乱、中性子回折について述べられている。第3章から第5章は、極性と掌性を併せ持つ菱面体晶極性磁性体  $\text{Ni}_2\text{InSbO}_6$  を対象とした研究が展開されている。第3章では、 $\text{Ni}_2\text{InSbO}_6$  単結晶の磁化、誘電率、電気分極の温度変化および磁場変化が異方性を含めて調べられ、磁場温度平面における相図、および、各相における磁気構造が提案されている。第4章では、 $\text{Ni}_2\text{InSbO}_6$  のらせん磁気相における外部電場印加効果が中性子回折によって調べられ、伝搬ベクトルの方向が電場によって制御可能であることが示唆されている。第5章では、 $\text{Ni}_2\text{InSbO}_6$  の Ni サイトの 10% を Co で部分置換することで磁気モーメントに導入された軸困難型の異方性の効果が研究されている。磁化と誘電率の磁場変化から反強磁性ソリトンの形成が示唆され、中性子散乱によって反強磁性ソリトン格子の形成や消滅の過程が明らかにされている。また、XY スピンを用いた最低限の模型ハミルトニアンが提案され、実験で得られた磁気相図との比較が行われている。第6章では、極性を有する菱面体晶局在磁性体  $\text{Fe}_3\text{PO}_7$  を対象とした研究が述べられている。単結晶を用いた磁化と電気分極の測定結果から、磁気構造の温度と磁場による変化が議論されている。第7章では以上の結果に基づいて本研究で得られた知見を総括している。

本論文の特筆すべき成果としては、反強的な  $2\pi$  ソリトン格子の出現を初めて実験的に観測

するとともに、ソリトンの生成や消滅が電氣的に検出可能であることを示した点にある。さらに、ミニマムな模型を用いた考察によって、反強的  $2\pi$  ソリトン格子が単位胞内に存在する複数磁気サイトと、空間反転対称性の破れが必要条件となることが提唱されている。このような条件が満たされると、磁気困難軸ではない方向に磁場を印加することで、らせん磁性から反強的  $2\pi$  ソリトン格子状態を経て傾角反強磁性相へと逐次相転移するという磁化過程が提案されている。反強磁性体におけるソリトン格子の生成や消滅について、このように実験と模型計算を組み合わせた包括的な研究が行われた例はなく、当該分野における貢献度は大きい。

なお、第3章は佐藤樹、藤間友理、阿部伸行、徳永将史、木村尚次郎、森川大輔、Victor Ukleev、山崎裕一、田端千紘、中尾裕則、村上洋一、佐賀山基、大石一城、徳永祐介、有馬孝尚各氏との、第4章は中島多朗、大石一城、阿部伸行、徳永祐介、有馬孝尚各氏との、第5章は大石一城、阿部伸行、徳永祐介、有馬孝尚各氏との、第6章は阿部伸行、徳永祐介、有馬孝尚各氏との共同研究であるが、いずれも、論文提出者が主体となって、研究の計画、単結晶の作製、すべての物性測定、および解析を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上2032字