OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	幾何学的にフラストレートした三角格子反強磁性体 $CuCrO_2$における電気-磁気結合
Author(s)	木村, 剛
Citation	大阪大学低温センターだより. 2010, 152, p. 1-5
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6197
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

大阪大学GCOEプログラム

「物質の量子機能解明と未来型機能材料創出」

拠点リーダー：北岡　良雄（基礎工学研究科）

事業推進者

氏　名	所属・役職	GCOEでの役割
北岡　良雄	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	全体総括、革新的多元環境下 **NMR** を用いた新物理現象の発見と解明
三宅　和正	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	強相関電子物理の探求と新しい超伝導機構の理論的探索
井元　信之	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	量子情報処理に向けた光と物質の相互作用の解明量子情報理論および実験
鈴木　義茂	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	ナノ構造磁性体の作製とそれらを用いた新物理現象の発見と解明
寺田　博一	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	分子スケールエレクトロニクス素子の構築と基礎特性解明
木村　　剛※	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	新しい電磁応答物質の創製
吉田　　博	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	計算機ナノマテリアル・デバイスデザイン
関山　　明	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	先端的広エネルギー励起光電子分光の開発と強相関電子系の物性解明
芦田　昌明	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	超広帯域時間領域分光法による超高速光学応答の解明とナノ構造物質の新奇創成・制御技術の開発
草部　浩一	基礎工学研究科（物質創成専攻）・准教授	世界最高精度をもつ第一原理電子状態計算理論の開発と機能性新物質の設計
宮坂　　博	基礎工学研究科（物質創成専攻）・教授	単一分子レベルの光化学反応に対するコヒーレント及びインコヒーレント制御手法の開発
清水　克哉	極限量子科学研究センター（量子基礎科学大部門）・教授	超高圧発生を中心とした極限物性研究
萩原　政幸	極限量子科学研究センター（量子基礎科学大部門）・教授	超強磁場を利用した極限物性研究と生体物質研究
白石　誠司	基礎工学研究科（システム創成専攻）・教授	分子系へのスピン注入現象を用いた新規素子の構築と単一スピン操作の実現
岡本　博明	基礎工学研究科（システム創成専攻）・教授	アモルファス・ナノ半導体の電子物性解明と新光電変換材料・デバイスの創成
占部　伸二	基礎工学研究科（システム創成専攻）・教授	レーザー冷却イオンを用いた量子情報処理
北川　勝浩	基礎工学研究科（システム創成専攻）・教授	スピンを用いた量子情報処理実験および理論
大貫　惇睦	理学研究科（物理学専攻）・教授	量子物質の創製、重い電子系の実験的研究
野末　泰夫	理学研究科（物理学専攻）・教授	ナノ構造量子物質の作製と新物性の発見と解明
田島　節子	理学研究科（物理学専攻）・教授	エキゾチック超伝導をはじめとする新奇量子現象の発見と解明
川村　　光	理学研究科（宇宙地球科学専攻）・教授	フラストレート系の新奇秩序化現象の理論的研究
齋藤　伸吾	（独）情報通信研究機構（新世代ネットワーク研究センター）・主任研究員	テラヘルツ波を用いた半導体ナノ構造の微視的測定の開発

※印：本号で紹介する研究者及び研究グループ関係者
太字：低温センターから支援を受けている事業推進者

幾何学的にフラストレートした三角格子反強磁性体 $CuCrO_2$における電気-磁気結合

基礎工学研究科　木村　　剛（内線6455）
E-mail: kimura@mp.es.osaka-u.ac.jp

1．はじめに

幾何学的にフラストレートした反磁性体においては、磁気的相互作用のフラストレーションを解放するため、単純な反強磁性構造ではなく非共線的（ノンコリニア**noncollinear**）な磁気構造がしばしば安定となり、スピンのカイラリティ（対掌性）がある種のノンコリニア相転移に重要な役割を果たすことが理論的に予見されている[1]。さらに近年、フラストレート磁性体におけるスピンのカイラリティが、ときには強誘電性を誘起するといったことが予見および実際に観測され、磁性と誘電性の強い結合に起因する顕著な電気磁気効果を示すといった観点からもフラストレート磁性体の研究は注目を集めるようになっている[2]。これまでに、ある種の螺旋（らせん）磁気構造において、磁気秩序に起因した強誘電性が出現することが明らかになっている[3]。また、偏極中性子回折による実験結果から、これらの強誘電体では（ベクトル）スピンカイラリティ［$\kappa \sim \boldsymbol{S}_i \times \boldsymbol{S}_j$］の符合が電気分極の符合を決定していることが確認されている[4]。これは、強誘電特性を利用することでカイラリティの検出・制御が可能であることを意味している。したがって、フラストレート磁性体の磁気特性の解明においては、強誘電特性の利用が強力な研究手法となることが期待できる。そこで我々のグループでは、極限センターの萩原グループ及び理学研究科の廣田グループと協力し、巨視的および微視的磁気特性および強誘電特性測定を組み合わせることにより、フラストレート磁性体における重要な物性パラメータの一つであるスピンカイラリティの検出および制御を確立することを目的として研究を進めてきた。本稿では、典型的なフラストレート磁性体の一つである三角格子反強磁性体におけるスピンカイラリティに起因する電気磁気結合に関する我々の研究について紹介する。

2．三角格子反強磁性体における120°スピン構造

三角格子上のすべての格子点にスピンを配置した場合、すべてのスピン対を反平行に配列することができないため、三角格子反強磁性体においては、しばしば図**1**(**a**）に示すような「**120**°スピン構造」と呼ばれるノンコリニアな磁気構造が基底状態となる。**120**°スピン構造には図**1**(**a**）に示すようにカイラリティの異なる**2**つのドメイン構造が存在し、また、単一原子異方性Dの符合により、スパイラル面が三角格子面に平行な面内**120**°スピン構造（$D > 0$）［図**1**(**b**)］、三角格子面

に垂直な面直120°スピン構造（$D < 0$）［図 1(c)］の 2 種類のタイプが存在する［1］。本研究では、粉末中性子線回折実験から面直120。スピン構造を示すと提案されており［5］、最近、多結晶試料において磁気秩序誘起型の強誘電性が観測された［6］三角格子反強磁性体$CuCrO_2$（図 2 挿入図に結晶構造を示す）を対象とし、その電気磁気相関に関する知見を得るため単結晶試料を作成し、その磁化率・比熱・電気分極・偏極中性子線回折測定を行った。

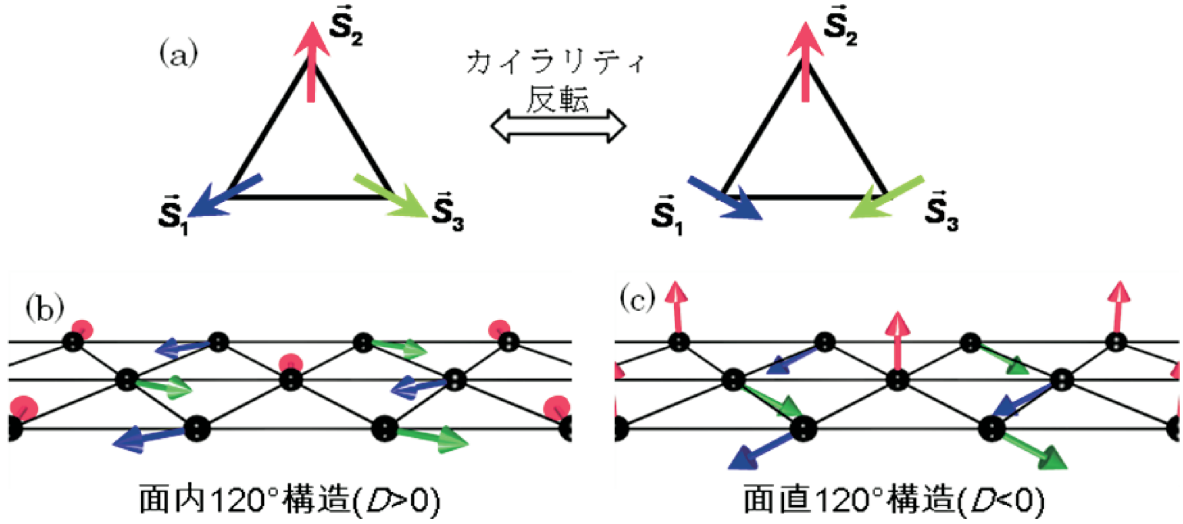

図 1：（a）三角格子上における異なるベクトルスピンカイラリティの符号を持つ120°スピン構造の 2 つのドメイン。（b）面内及び面直120°スピン構造。

3．$CuCrO_2$における強誘電性とスピンカイラリティ

$CuCrO_2$単結晶は、Bi_2O_3をフラックスとするフラックス法によって～3×3×0.5mm³程度の大きさのものを育成した。図 2 は、育成した単結晶試料の磁化率、比熱、電気分極の温度依存性である［7］。c軸、ab面内方向の磁化率X_cとX_{ab}はそれぞれ$T_{N2} \approx 24.2$K、$T_{N1} \approx 23.6$K で異常を示す。T_{N2}、T_{N1}に対応する 2 つのピークが比熱に見られることから、磁化率の異常は 2 段階の磁気転移を示している。粉末中性子回折の結果［5］と$D < 0$の三角格子反強磁性体における磁気転移の一般的特徴から［8］、$T < T_{N1}$において面直120°スピン構造が実現していると予想できる。また、$T < T_{N1}$において面内方向の分極（P_{ab}）のみが出現し、分極方向が電場によって反転することを観察した。以上の結果から、$CuCrO_2$において面直120°スピン構造への相転移に起因して面内方向に強誘電性が発現することが示唆される。

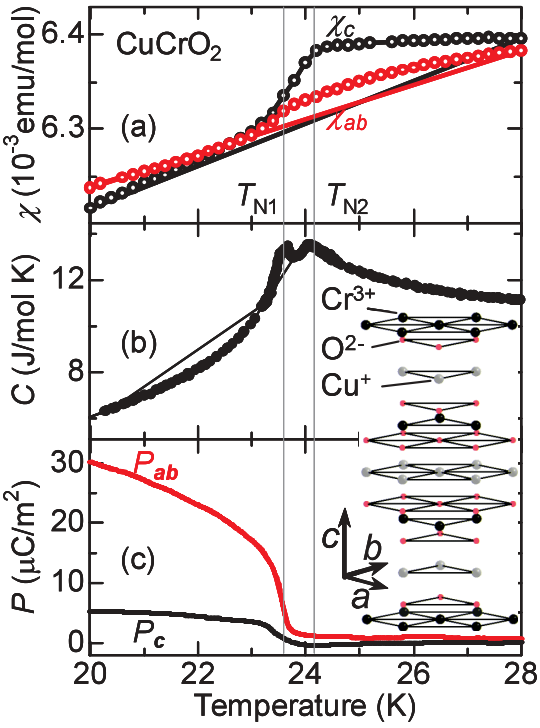

図 2：$CuCrO_2$単結晶の（a）磁化率、（b）比熱、（c）電気分極の温度依存性。

観測された強誘電性がスピンカイラリティの出現に起因するものであることを検証するため、電場印加中での偏極中性子回折実験を行った[9]。図3(a)及び(b)に各々プラスおよびマイナス電場を印加した場合の120°スピン構造を特徴付けるh h 0 (h～1/3)の磁気反射[10]のプロファイルを示す。入射中性子のスピン偏極を反転(I_{ON} or I_{OFF})させることによって、磁気反射の強度の大小が反転することから、$CuCrO_2$がスピンカイラリティを有するノンコリニアな螺旋磁気構造を持つことが明らかとなった。さらに印加電場の符号を反転させることによっても、磁気反射強度の大小が反転している。この結果は、電場印加によってスピンカイラリティが反転していることを意味し、すなわち三角格子反強磁性体$CuCrO_2$における強誘電分極の向きを電場によって反転させることは同時にスピンカイラリティの向きを反転させていることに対応することを検証することに成功したことを意味する。

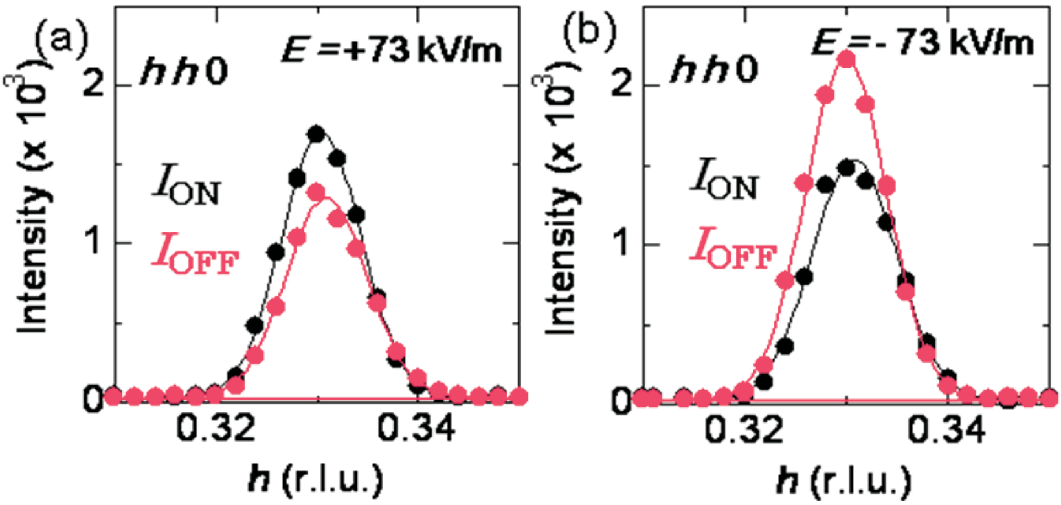

図3：$CuCrO_2$の強誘電相(7K)における磁気反射の印加電場の符号および入射中性子の偏極依存性。

4．まとめ

本研究では、三角格子反強磁性体における電場によるスピンのカイラリティ(vector spin chirality)の検出および制御を目指すための最適物質候補として、磁気秩序誘起の強誘電性が発見された三角格子反強磁性体$CuCrO_2$に着目した。これまでほとんど報告例のなかった$CuCrO_2$の単結晶試料の育成に成功し、同単結晶試料の電気磁気効果等の詳細な測定を行い、$CuCrO_2$の磁気秩序誘起の強誘電分極(T_C～24K)は三角格子面に平行方向にあること、さらに強誘電分極の電場による反転を確認した。また、偏極中性子回折測定により、直接的にスピンのカイラリティの検出および制御が同系において実現していることを明らかにした。本稿に示した結果の他にも、磁場の印加により生じるスピンフロップに起因する電気分極の90度フロップや磁場および電場の両者によって分極反転を精密に制御するなどの興味深い現象が見つかっている[11]。典型的な磁気フラストレート系である三角格子反強磁性体において観測された顕著な電気-磁気結合という今回の結果は、誘電特性測定がフラストレート磁性研究に対する新たな測定手段となりうることを期待させるものである。

謝辞

本研究は、グローバル**COE**プログラム「物質の量子機能解明と未来型機能材料創出」および科学研究費補助金の助成を得て行われ、グローバル**COE**メンバーの基礎工・木村グループ（木村健太博士（現東大物性研）、中村浩之助教、若林裕助准教授）、極限センター・萩原グループ（萩原政幸教授、木村尚次郎助教）、理学研究科・廣田グループ（左右田稔博士（現基礎工）、廣田和馬教授）との共同研究による成果である。

参考文献

［**1**］**H. Kawamura, Can. J. Phys.** 79, **1447**（**2001**）.

［**2**］**T. Kimura, Annu. Rev. Mater. Res.** 37, **387**（**2007**）.

［**3**］**H. Katsura** *et al*., **Phys. Rev. Lett.** 95, **057205**（**2005**）.

［**4**］**Y. Yamasaki** *et al*., **Phys. Rev. Lett.** 98, **147204**（**2007**）.

［**5**］**H. Kadowaki** *et al*., **J. Phys.: Condens. Matter** 7, **6869**（**1995**）.

［**6**］**S. Seki** *et al*., **Phys. Rev. Lett.** 101, **067204**（**2008**）.

［**7**］**K. Kimura** *et al*., **Phys. Rev. B** 78, **140401**（**2008**）.

［**8**］**M. F. Collins** *et al*., **Can. J. Phys.** 75, **605**（**1997**）.

［**9**］**M. Soda** *et al*., **J. Phys. Soc. Jpn.** 78, **124703**（**2009**）.

［**10**］実際には*h*は**1/3**から少しずれた非整合であるが、詳細には立ち入らない。

［**11**］**K. Kimura** *et al*., **Phys. Rev. Lett.** 103, **107201**（**2009**）.