



Title	Ultrasonic Investigation of Phenomena Originating from the Electric Quadrupole in the f-Electron Caged Compounds [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	日比野, 瑠央
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16242号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95365
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ruo_Hibino_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 日比野 瑠央

審査担当者	主査	教 授	柳 澤 達 也
	副査	教 授	網 塚 浩
	副査	教 授	速 水 賢
	副査	講 師	井 原 慶 彦
	副査	主任研究員	Sergei Zherlitsyn (ドレスデン強磁場研究所(ドイツ・ドレスデン))

学 位 論 文 題 名

Ultrasonic Investigation of Phenomena Originating from the Electric Quadrupole in the
 f -Electron Caged Compounds

(超音波測定を用いた f 電子系籠状化合物における電気四極子由来の物性に関する研究)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

凝縮系物理学の研究において、従来の（磁気）近藤効果は、磁性不純物のスピン自由度と伝導電子との散乱に起因する現象であり、フェルミ流体状態などスピンに由来する量子物性の理解を深める上で極めて重要な意義を持っている。一方、電子の軌道自由度を介した局在電子と伝導電子の混成効果である四極子近藤効果では、スピンではなく電気四極子が主役となる。この四極子近藤効果は 1987 年に D. L. Cox によって理論提案され、従来のスピン主導型の基底状態とは異なる非フェルミ流体状態や、非従来型超伝導などの量子状態が発現する可能性など理論的に議論されるが、実験的な確証には至っていない。

電気四極子由来の物性を研究する良き舞台として、磁性をもたない非クラマース Γ_3 結晶場基底二重項を取り得る立方晶系 U^{4+} ($5f^2$ 配位) または Pr^{3+} ($4f^2$ 配位) の化合物が注目されている。結晶場励起状態の寄与が無視できる十分低温において電気四極子由来の量子物性の発現が期待されるため、極低温での実験が必須となる。

こうした背景から、著者は f 電子系籠状化合物である $(Y,Pr)Ir_2Zn_{20}$ 、 $(U,Th)Be_{13}$ を研究対象とし、 3He – 4He 希釈冷凍機を用いた超音波測定を行うことで、四極子近藤効果の検証を行った。超音波によって誘起される局所歪みは同じ対称性に属する電気四極子と結合するため、超音波を用いて測定される弾性定数から四極子感受率の情報を直接的に得ることができる。さらに籠状構造を有する化合物は磁性イオンの周囲にリガンドイオンが多く存在するために局在 f 電子と伝導電子の強い混成が期待される。

著者は立方晶系で独立な弾性定数の測定に成功し、各化合物群に対して直接的に四極子自由度に関する議論を進める事を可能にした。また、磁性原子である Pr , U の単サイト効果を研究するために非磁性原子による希釈系も実験対象とし、特に $(Y,Pr)Ir_2Zn_{20}$ においては、磁性原子濃度による四極子近藤単サイト模型から格子模型へのクロスオーバーを初めて捉えることに成功した。反強四極子 (AFQ) 秩序 ($T_Q \sim 0.1$ K) を示す母物質 $PrIr_2Zn_{20}$ において、ごく最近、比熱測定から提案された AFQ 相境界近傍の新奇磁場誘起秩序相である「A 相」に関して検証し、 Γ_3 対称性を持つ弾性定数 $(C_{11}-C_{12})/2$ が A 相境界で弾性異常を示すことを発見した。また、平均場理論を用いた解析から外部磁場による四極子秩序変数のスイッチングが A 相の発現に関与している可能性を提案した。

著者は更に、U系化合物で初めて発見された重い電子系超伝導体 (UBe_{13} , $T_c \sim 0.9 \text{ K}$) とその Th 希釈系についても同様に超音波測定を行い、さらにパルス強磁場下における超音波測定も行った。その結果、局在 f 電子モデルの範疇では結晶場基底 Γ_1 一重項と第一励起 Γ_5 三重項モデルが尤もらしいモデルであることを提案し、さらに f 電子の遍歴性を考慮した場合、磁場による準位交差が先行研究で提案されている高磁場下のフェルミ面再構築と関係している可能性を示唆する結果を得た。

これらを要するに、著者は四極子近藤効果の候補物質とされる化合物の超音波測定を系統的に行い、各対称性に属する電気四極子に関する新知見を得たものである。特に Γ_3 対称性の弾性応答は、他の磁気測定では得られない Γ_3 型の電気四極子の重要な情報を与えるものであり、直接的に四極子自由度に関する議論を進める事を可能にしたことは四極子近藤効果の物性理解に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。