

氏 名	ます だ りょう 増 田 亮
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3128 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Dependence of Incoherent Nuclear Resonant Scattering of Synchrotron Radiation on the Number of Resonant Nuclei (放射光核共鳴非干渉性散乱の共鳴核数に対する変化について)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 助教授 瀬 戸 誠 教 授 笹 尾 登 教 授 大 久 保 嘉 高

論 文 内 容 の 要 旨

原子核のエネルギー準位は電子系との超微細相互作用により、その周囲の電子状態に応じた変化を示すことが知られている。よって、原子核のエネルギー準位の精密測定を行うことで物質の電子状態を調べる事が可能である。このような原子核をプローブとした測定法としてはメスbauer分光法が知られており、これまでに物質科学、生命科学、地球科学、基礎物理学等の多くの分野でその元素選択性という優れた特性を利用した研究が行われてきた。メスbauer分光法では、これまで放射性同位体線源を用いた研究が行われてきたが、線源として放射光を用いることで、その高指向性、高輝度性、エネルギー可変性等を活用した新たな研究展開が期待される。現代の放射光施設において 100keV 程度までの X 線が利用可能であり、元素選択性を活用した研究を実施するためにはそのエネルギー全領域を利用した測定が望まれるものである。放射光測定の場合には、そのパルス特性に応じて干渉性弾性散乱の時間応答測定が行われているが、高速時間応答性と高エネルギー領域における高検出効率の両方を満たす検出器が存在しないことより、励起エネルギーが主として 30keV 以下の核種で研究が行われている。また、干渉性弾性散乱強度は無反跳分率の二乗に比例することより、高エネルギー領域においては強度が著しく低下する傾向にある。一方、非干渉性弾性散乱は、その強度が無反跳分率に比例するため、干渉性弾性散乱と比べて強度の減少がゆるやかであり、また、検出効率についても内部転換過程に伴う低エネルギーの蛍光 X 線を検出すればよいため検出は比較的容易である。しかしながら、そのような蛍光 X 線は超微細構造を時間応答に反映しないと考えられており、高エネルギー領域における核共鳴散乱測定において超微細構造の観測は難しかった。

このような状況のもと、 CaFeO_3 中の ^{57}Fe の放射光核共鳴散乱において、磁気相転移前後の超微細構造の変化が非干渉性弾性散乱に著しい強度変化として反映されるという結果が先行論文にて示された。しかし、放射光核共鳴非干渉性散乱に関する実験的研究は極めて少なく、実際にそれを超微細構造の観測に用いるためには、定量的な研究が欠かせない。また、非干渉性散乱のエネルギースペクトルにおいて、弾性散乱部分の全体に対する割合が無反跳分率に一致しないという問題が以前から指摘されていたが、薄い試料の場合には、その割合が無反跳分率に近づくということも指摘されていた。これは、共鳴核の数に対する強度の依存性が非干渉性弾性散乱と非干渉性非弾性散乱で異なるためであると考えられた。したがって、共鳴核数が異なるだけでその他の条件が同じである試料を作製し、共鳴核数に対する放射光核共鳴非干渉性散乱の弾性散乱及び非弾性散乱の強度の変化を評価した。試料としては $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を用い、共鳴核である ^{57}Fe の同位体存在比を変えることで、共鳴核数の異なった三種の試料を調製した。それらに対し、放射光核共鳴非干渉性散乱のエネルギースペクトルを測定したところ、非弾性散乱強度は共鳴核数に比例して変化した。弾性散乱強度は共鳴核数に比例せず、比例よりも少ない変化しか見せなかった。この変化は、核共鳴非干渉性散乱の強度が核共鳴吸収量に比例するという仮定の下で評価することで、弾性散乱についても非弾性散乱についても定量的に説明することが出来た。その評価式は、核準位の超微細構造の変化も反映するもので、共鳴核数は一定で、超微細構造が変化した場合の核共鳴非干渉性弾性散乱強度の変化を評価したところ、 CaFeO_3 の強度変化の挙動を説明することが出来た。また、その変化を高エネルギー核種の例として ^{174}Yb (核共鳴のエネ

ルギー 76.471keV) の単体金属について検討したところ、超微細分裂が明確にある場合と無い場合では約20%の変化が見込まれ、その他の要因による変化が数%のときは超微細構造の変化を観測することが可能であることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

申請者増田亮は、今後その重要性が増すであろうと考えられている放射光核共鳴非干渉性散乱についての実験的研究を行い、散乱強度と共鳴核数の関係についての定量的評価を行い、超微細相互作用の及ぼす影響について調べたものであり、その先駆性は評価に値する。

放射光核共鳴散乱を利用した研究として、原子核と電子系との超微細相互作用を利用した物質の電子状態に関する研究が挙げられる。この超微細相互作用測定にあたっては、放射光のパルス特性を利用して干渉性弾性散乱の時間応答を観測する場合が多い。しかしながら、高速時間応答性と高エネルギー領域における高検出効率の両方を充たす検出器が存在しないことより、測定可能核種はその励起エネルギーが主として 30keV 以下に限られているという現状である。また、放射性同位体線源を用いた測定で行われているエネルギー領域測定に関しては、放射光から μeV 程度以下の超単色 X 線を生成することが特殊な場合を除いて困難であるため、一般的には行われていない。そのため、放射光核共鳴散乱法の特徴である元素選択性を活かした研究が充分になされていないという状況であった。ところが近年になって、非干渉性弾性散乱の強度が超微細構造の変化を反映するという報告がなされた。放射光核共鳴散乱法においては高エネルギー領域における測定が難しいという状況において、申請者は放射光核共鳴非干渉性弾性散乱強度変化の超微細構造の観測への利用という点に着目した。また、非干渉性散乱のエネルギースペクトルにおいて、弾性散乱部分の全体に対する割合が無反跳分率に一致しないという以前から指摘されていた問題についても着目した。そして、このような問題の本質が、観測試料中の共鳴核数であることを見抜き、その実験的研究を遂行したことは評価に値する。

これまで非干渉性散乱についての実験的研究では、フォノン状態密度を反映する非弾性散乱強度が重要視されてきた。そのため、弾性散乱についての議論は注釈程度に留まり、それを主題に扱った研究はほとんど無く、先行研究としては CaFeO_3 の磁気相転移における放射光核共鳴非干渉性散乱強度変化についての研究がほぼ唯一のものであった。そこで、申請者は放射光核共鳴非干渉性散乱のエネルギースペクトル測定を行い、弾性部分と非弾性部分の強度の共鳴核数に対する依存性を定量的に説明する事に成功した。特に、申請者が用いた評価方法は、非干渉性散乱強度の共鳴核数に対する依存性を弾性散乱・非弾性散乱共に説明することが出来るものであり、非干渉性散乱に対する基礎的研究としても意義あるものと考えられる。また、この評価方法は超微細構造の相違による強度変化も説明することが出来るものであることも評価に値する。さらに、30keV 以上のエネルギーの励起準位に対する放射光核共鳴散乱では干渉性弾性散乱の観測が困難なため、非干渉性弾性散乱による超微細構造の観測はより重要になるが、この点についても申請者は議論しており、 ^{174}Yb (第1励起準位のエネルギー 76.471keV) に対して、核準位の分裂の有無でどの程度の非干渉性弾性散乱強度の変化があるのかを評価し今後の研究指針を与える事に成功している。

以上のように、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。また、論文内容及び関連事項についての試問の結果も合格と認める。