

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04952

研究課題名（和文）コンプトン散乱によるX線領域の光渦度測定法の実証

研究課題名（英文）Study of orbital angular momentum of x-ray by Compton scattering

研究代表者

安居院 あかね（AGUI, Akane）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・次世代放射光施設整備開発センター・上席研究員（定常）

研究者番号：20360406

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、X線領域の放射光について光渦をコンプトンプロファイルの変化として検出する方法を提案であった。研究期間中は、大型放射光施設SPring-8・BL08W及びBL37XUにおいて直線偏光を用いて、エルミートガウシアン光のノードの検出を試みた。金属試料について、放射光の挿入光源からの放射のハーモニクスを変化させその次数によコンプトン散乱ピークの形状変化するかを観察した。結果、次数によりピーク幅の変化が起こることが観察されこれは、エルミートガウシアンノード数と関係すると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンプトン散乱自体はよく知られた散乱だが、それを利用し物性研究に利用する例は少ない。また、光渦度や光のノードの測定はX線領域では測定方法がない。この研究によりコンプトン散乱をこれらの測定に利用できれば新しい測定方法となる。また、光の軌道角運動量が簡易に評価できるようになれば、逆コンプトン散乱や、光のトポロジーを使った物性探査など新しい物性分野を切り開くことができると考えている。

研究成果の概要（英文）：We attempted to study optical vortex effect on Compton scattering profile. In this study, we measured Compton scattering spectra of Al, Ag and Au metals changing the harmonic-order of x-rays from an undulator at the synchrotron radiation facility SPring-8. The width of Compton scattered X-ray spectrum changed depending on the harmonic-order of x-rays. This indicates that Compton scattering spectra shape reflects a momentum perpendicular to the traveling direction in Hermite-Gaussian (HG) light.

研究分野：光物性

キーワード：コンプトン散乱 光渦 次数 運動量保存 挿入光源 ノード数

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は X 線領域の光について、コンプトン散乱を用いて光過度の測定を行うものである。光のもつ軌道角運動量、光渦、はレーザー物理においては既に発生方法が確立され、研究は幅広く展開されている。これに対し X 線領域の光では、10 年ほど前にシンクロトロン放射に光渦が含まれていることが理論的に示されて以来、実証研究が始まったばかりである。現在、光渦は光の強度の分布として測定する方法が主流である。本研究では広いエネルギー領域での X 線の軌道角運動量が簡易に評価できる方法の提案を試みた。

## 2. 研究の目的

らせん波面をもち軌道角運動量を与える光波は、レーザー物理の分野ではラゲールガウス光の呼び名で知られている。等位相面が平面である通常の光に対し、等位相面がらせんであるこの光は光渦と呼ばれ光の進行方向に対し位相特異点をもつ。この光は円筒座標系で表されるラゲールガウシアン光の波動関数をもつ軌道角運動量が良い量子数である。ラゲールガウシアン光は円筒座標系で表される。これに対し、直交座標系で表されるエルミートガウシアン光は、ラゲールガウシアン光とは一次結合の共役な関係にある光である。エルミートガウシアン光もラゲールガウシアン光もその進行方向と垂直な運動量を有することが特徴である。直交座標系のエルミートガウシアン光の波動関数は光の「ノード数」がよい量子数であり、光の進行方向と垂直な運動量が量子化されていることを示す。本研究は、X 線領域の放射光についてラゲールガウシアン光光渦をコンプトン散乱ピークの変化として検出を目指した。しかし、研究期間内は、放射光の挿入光源から放射される直線偏光のエルミートガウシアン光のノードの観察を目的とした。

この方法は特殊な光学素子を必要としないので波長を問わずに利用することが可能であり、新たな光の評価方法の確立を試みた。

## 3. 研究の方法

研究期間中は、大型放射光施設 SPring-8・BL08W 及び BL37XU において直線偏光を用いて、エルミートガウシアン光のノードの検出を試みた。Al, Ag, Au などの金属試料について、放射光の挿入光源からの放射のハーモニクスを変化させその次数によりコンプトン散乱ピークの形状が変化するかを観察した。実験のセットアップを図 1 に示す。

## 4. 研究成果

図 2 に測定結果の一例として、SPring-8・BL37XU の 21 次光・100keV で測定した Al のコンプトン散乱スペクトルを○で示す。ピーク解析として 2 ガウシアンでフィッティングを行った。赤線、青線はフィッティング結果のガウシアン形状である。測定はエネルギーを固定し、挿入光源のギャップ値を変えて挿入光源のハーモニクスの次数を 18 次～21 次と変えて測定した。ピーク幅の変化の絶対量は小さかったが、平均の比を観察すると次数の奇数、偶数に応じて振動的に変化することがわかった。これは、エルミートガウシアン光のノード数と関係すると考えている。結果は現在論文投稿中である。

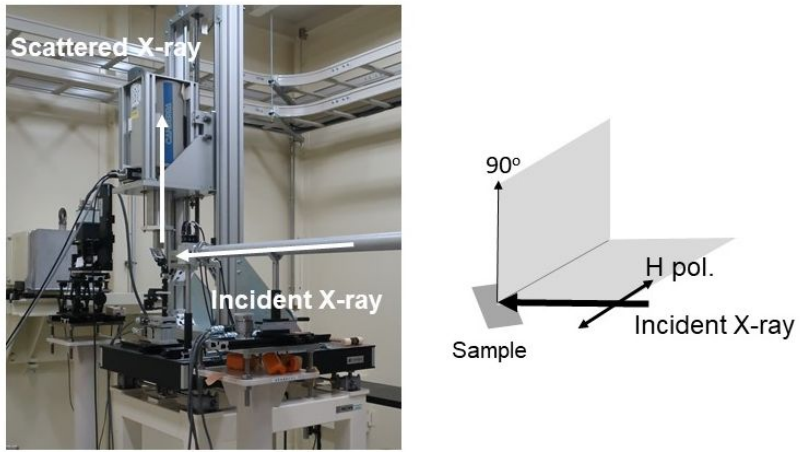


図 1: SPring-8・BL37XU でのコンプトン散乱測定の設定アップ。

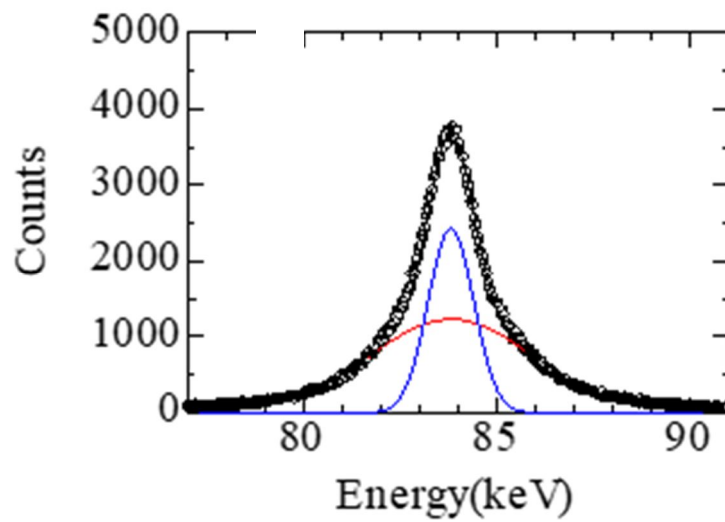


図 2: SPring-8・BL37XU の 21 次光・100keV で測定した Al のコンプトン散乱スペクトル(○)。ピーク解析として 2 ガウシアンでフィッティングを行った。赤線、青線はフィッティング結果のガウシアン形状。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akane Agui, Akino Harako, Akane Shibayama, Kento Haishi, Naruki Tsuji, Xiaoxi Liu, Chuang Ma, Hiroshi Sakurai	4. 巻 484
2. 論文標題 Temperature Dependence of the Microscopic Magnetization Process of Tb12Co88 using Magnetic Compton Scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 207-211
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.04.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Akane Agui, Akino Harako, Akane Shibayama, Kento Haishi, Naruki Tsuji, Xiaoxi Liu, and Hiroshi Sakurai
2. 発表標題 Investigation of microscopic magnetization process of Tb-Co films by magnetic Compton scattering
3. 学会等名 40th VUVX 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安居院あかね, 原子秋乃, 拜詞健人, 辻成希, 劉小晰, 馬闌, 櫻井浩
2. 発表標題 磁気コンプトン散乱を用いたTb12Co88の磁化過程の研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原子秋乃、櫻井浩、劉小晰、馬闌、鈴木宏輔、星和志、辻成希、櫻井吉晴、安居院あかね
2. 発表標題 TbCoアモルファス垂直磁化膜の磁化反転挙動の温度変化
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安居院あかね, 原子秋乃, 拜詞健人, 櫻井 浩, 劉 小晰, 辻 成希
2. 発表標題 TbxCo100-xアモルファス垂直磁化膜の磁化反転挙動
3. 学会等名 日本放射光学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安居院あかね, 原子秋乃, 拜詞健人, 辻 成希, 劉 小晰, 馬闌, 櫻井浩
2. 発表標題 磁気コンプトン散乱を用いたTb12Co88の磁化過程の研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原子秋乃, 櫻井浩, 拜詞健人, 鈴木宏輔, 星和志, 劉小晰, 馬闌, 辻成希, 櫻井吉晴, 安居院あかね
2. 発表標題 Tb12Co88アモルファス垂直磁化膜の磁化反転挙動の温度変化
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安居院あかね, 柴山茜, 拜詞 健人, 原子 秋乃, 櫻井 浩, 辻 成希, 馬 闌, 劉 小晰
2. 発表標題 Tb-Co垂直磁化膜の磁化過程の温度変化
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 石井武比古・安居院あかね	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 906
3. 書名 光物性学原論	

1. 著者名 東北放射光施設推進会議推進室 編集	4. 発行年 2018年
2. 出版社 アグネ技術センター	5. 総ページ数 344
3. 書名 放射光利用の手引き 農水産・医療，エネルギー，環境，材料開発分野などへの応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	櫻井 浩  (SAKURAI Hiroshi)  (80251122)	群馬大学・大学院理工学府・教授    (12301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------