

# 超短パルスレーザープラズマ X 線源を用いた Xe 原子・クラスターの内殻電離・ オージェ崩壊過程の研究

Innershell ionization and Auger decay processes of Xe atom/cluster irradiated with ultrashort plasma X-ray pulses

難波 慎一<sup>1)</sup>, 長谷川 登<sup>2)</sup>, 岸本 牧<sup>2)</sup>, 神門 正城<sup>2)</sup>, 錦野 将元<sup>2)</sup>

Shinichi NAMBA<sup>1)</sup>, Noboru HASEGAWA<sup>2)</sup>, Maki KISHIMOTO<sup>2)</sup>, Masaki KANDO<sup>2)</sup>, Masaharu NISHIKINO<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 広島大学      <sup>2)</sup> 量研機構

## (概要)

本研究は、高強度の高次高調波やプラズマ駆動 X 線をキセノン原子・クラスターに照射することで、それらの内殻電離・オージェ崩壊過程がどのように変化するかを明らかにすることを目的とする。本年度は相互作用を調べる上で不可欠な高輝度 X 線を発生させることに重点を置いた。具体的には X 線パラメトリック法による高次高調波の高出力化を試みたので報告する。

## キーワード：

内殻電離, オージェ崩壊, 強結合プラズマ

## 1. 目的

超短パルス高強度レーザーを固体や原子に照射すると高輝度のプラズマ励起 X 線を発生させることが可能となる。そのため、間接 X 線駆動慣性核融合の実現や X 線域黒体放射の実験室宇宙物理学、X 線顕微鏡による生きた状態の細胞観察などへの応用が期待されている。原子過程とプラズマ物理を専門とする我々もプラズマ X 線レーザー（集光強度:  $\sim 10^{10}$  W/cm<sup>2</sup>）と Xe 原子、クラスターとの相互作用の研究をこれまで進め、高輝度 X 線に曝されると Xe 4d 内殻電子のオージェ崩壊確率が增大すること、及び、低温高密度の強結合プラズマが発生することを明らかにした。これまでに研究を実施してきた X 線レーザーの発振波長は 13.9 nm (89.2 eV) と波長が固定されていたため、Xe 光電離断面積が 2 桁以上も増減するいわゆる giant resonance (shape resonance) 領域 ( $\sim 100$  eV)、断面積が極値を持つ Cooper minimum 領域 ( $\sim 200$  eV)、及び、高エネルギー領域 ( $> 200$  eV) で、この特異な現象がどのように変化するかを明らかにできていない。したがって本研究では、①超高強度レーザーによって生成される相対論的プラズマからの高次高調波、②レーザー駆動 X 線レーザーや K $\alpha$  線等の X 線源を用いることで、X 線と原子・クラスターとの相互作用の光子エネルギー（波長）依存性を電子・イオン分光により明らかにする。

## 2. 方法

本研究では原子力機構が所有する超短パルス高強度レーザーシステムを用いて、コヒーレント又はインコヒーレント X 線を発生させる。コヒーレント X 線は相対論的プラズマから放射される高調波、あるいは、超短パルス・ガス非線形相互作用で発生する高次高調波で、波長は 1-20 nm である。波長選別には分光器、あるいは、薄膜フィルタを、X 線集光には斜入射ミラーや球面鏡を用いる。

また、インコヒーレント K $\alpha$  線 (Cu : 8 keV, Ti : 4.5 keV) の集光にはキャピラリーレンズを用いる。X線をXe原子に照射することにより、4d内殻電子の光電離、及び、オージェ崩壊ダイナミクスをイオンTOF-MS、磁気ボトル型電磁分光器にて光子エネルギー依存性を調べる。一方、ターゲットをXeクラスターとし、よりタイトに集光させることで内殻電離により誘起される強結合プラズマが発生する。イオン価数分布、エネルギー、及び、電子エネルギー分布よりその特性を明らかにする。

### 3. 結果及び考察

本年度はX線と原子・クラスターとの相互作用を調べる前段階として、高次高調波の発生、及び、高出力化を試みた。なお、J-KAREN レーザーを用いた実験ができなかったため、TW級の超短パルスTiSレーザーを希ガスに照射することによって発生する高次高調波に着目した。特に本研究ではX線パラメトリック増幅(XPA) [1,2]という手法を採用し、強結合プラズマが発生できるよう高調波出力増大を試みた。XPAの提唱者であるウイーン工科大学J. Seres博士も実験に参加した。

実験では焦点距離が異なるインナー・アウターミラーからなるダブルミラーによりTiSレーザーをネオン、及び、ヘリウムジェットにそれぞれ集光した。ここで、第1ジェットであるネオンからはシード光となる高調波が発生し、これが第2ジェットのヘリウム媒質中でパラメトリック増幅される。ガスジェット背圧は今回の光学系での位相整合条件を満たすように調整した。

斜入射分光器で高次高調波のスペクトルを計測した。第1ジェットからは43-59次光が、第2ジェットからは43-85次光が発生することが確認された。しかしながら、XPAによる高調波増幅は確認できなかった。この原因はインナー・アウターミラーからの基本波の空間的・時間的オーバーラップが不十分であったためと考えられる。今後、これらを高精度に制御できるアライメントシステムを構築する予定である。

### 4. 引用(参照)文献等

- 1) J. Seres *et al.*, Nature Phys. 6, 455–461 (2010).
- 2) J. Seres, E. Seres, B. Landgraf, B. Ecker, B. Aurand, A. Hoffmann, G. Winkler, S. Namba, T. Kuehl and C. Spielmann, Sci. Rep.4, 04254 (2014)