

Title	Ionization and Coulomb explosion of C60 irradiated with an intense femtosecond laser pulse
Author(s)	江, 潤郷
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41945
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	江 潤 郷
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15145 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Ionization and Coulomb explosion of C_{60} irradiated with an intense femtosecond laser pulse (高強度フェムト秒レーザーパルス照射による C_{60} のイオン化及びクーロン爆発)
論文審査委員	(主査) 教授 疇地 宏 (副査) 教授 交久瀬五雄 助教授 石原 盛男 大阪市大教授 中島 信昭 教授 西原 功修

論文内容の要旨

C_{60} 蒸気に高強度フェムト秒レーザーパルス ($6 \times 10^{13} - 1 \times 10^{16} \text{W/cm}^2$, 120fs, 800nm) を照射し、そのイオン化及びクーロン爆発過程を、飛行型時間差 (TOF) 質量分析計を用いて調べた。この分野の研究ではこれまで、光強度 $5 \times 10^{15} \text{W/cm}^2$ までのフェムト秒パルス照射による C_{60} の振る舞いが報告されている。そこで我々は、それを上回る $1 \times 10^{16} \text{W/cm}^2$ の光強度で、 C_{60} のダイナミクスを生成イオンの運動エネルギー分布、角度分布等から詳しく調べた。まず、 C_{60} は激しく解離を起こし、生成イオンの9割以上は炭素原子の1価から4価までのイオン、 C^{q+} ($q = 1 - 4$) であることがわかった。 C^{q+} の平均運動エネルギーは価数の2乗に比例し、最大運動エネルギーは価数に比例していた。運動エネルギーはいずれも数百eVまで分布しており、特に C^{4+} の最大エネルギーは1keVを越えていた。 C_{60} のクーロン爆発によりこのような高エネルギーイオンが生成されたと結論づけた。 C^{q+} の角度分布測定より、 C^{3+} 、 C^{4+} は偏光方向に、 C^{2+} はそれとは垂直方向に放出されることがわかった。これはクーロン爆発が異方的であることを示している。

実験結果より得られた C^{q+} の運動エネルギー分布、角度分布を分子動力学 (MD) シミュレーションにより再現することに成功した。イオンの異方的分布を決定するのは、hopping electrons の影響であることを初めて明らかにした。シミュレーションにより再現されたイオン化過程の初期では、光電場により C_{60} から多数の電子が電離する。各炭素原子が2価程度にまでイオン化されると、隣接する炭素イオン間を移動する電子 (hopping electrons) が現れる。まず、 C_{60} 表面で、その接線が偏光方向とほぼ平行な箇所 (赤道と定義) から電子が光電場により隣のイオンに移動する。次に、電子を与えたイオンはクーロン引力が強まり、反対側の隣のイオンから電子を奪う。このように隣接炭素イオン間を赤道から極へと連鎖的に移動する電子の運動が起こり、極付近 (偏光方向) では価数の高いイオンが、赤道付近 (偏光と垂直方向) では価数の低いイオンが生成される。このイオンの分布が実験で観測された異方的なクーロン爆発を引き起こす。シミュレーションではまた、実験で得られたイオンの価数と平均、最大運動エネルギーの関係も再現できた。

光強度 $3 \times 10^{13} - 10^{15} \text{W/cm}^2$ での結果はこれまでの観測とよく一致していた。 10^{15}W/cm^2 では等方的クーロン爆発が、 $5 \times 10^{14} \text{W/cm}^2$ 以下では C_{60} の4価までのイオンが観測された。 $10^{13} - 10^{14} \text{W/cm}^2$ での C_{60}^{q+} の生成過程は、Hunsheらによって電子の集団運動の緩和であると報告されている。しかし、我々は C_{60}^{q+} の生成量のレーザー強度依存性から、 $6 \times 10^{13} - 5 \times 10^{14} \text{W/cm}^2$ ではその生成過程が光電場によって電子がはぎとられる、光電場誘起イオン化であると報

告した。

論文審査の結果の要旨

分子に超高強度レーザーを照射すると、レーザーの強い電場のため電離ポテンシャルが低下して自由電子が発生し、非常に短時間の間に分子から脱出する。この結果、残されたイオン同士のクーロン反発力で爆発が起きうる。江君は超高強度レーザーを用いて C_{60} のクーロン爆発の研究を行い、電離度の大きなイオンほどレーザー電場の方向に選択的に放射されていることを観測した。さらに計算機シミュレーションで実験を初めて再現し、この非等方性が C_{60} 中での電子ホッピングであることを示した。この研究は C_{60} のクーロン爆発の物理機構を明らかにしたものであり、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。