

X線で誘起される気相分子の超高速反応の観測

福澤宏宣

東北大学 多元物質科学研究所 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

永谷清信

京都大学 大学院理学研究科 〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町

和田真一

広島大学 大学院理学研究科 〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1

河野裕彦

東北大学 大学院理学研究科 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

上田 潔

東北大学 多元物質科学研究所 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

要旨

重原子を含む分子に X 線を照射して内殻イオン化を起こすと、多段階のオージェ緩和であるオージェカスケードにより分子の価数が上昇し、クーロン爆発によって原子イオンが放出される。この一連の過程はフェムト秒オーダーで進行する。本研究では、X線自由電子レーザーと近赤外レーザーを組み合わせたポンプ・プローブ時間分解計測により、X線照射によって生成する過渡状態を捉えた。

1. はじめに

X線自由電子レーザー (X-ray Free-Electron Laser; XFEL) の開発により、高強度・短パルス X 線の利用が可能となった。米国の Linac Coherent Light Source (LCLS)¹⁾ を皮切りに、日本でも SPring-8 Angstrom Compact free-electron LAser (SACLA) が運転を開始し²⁾、現在では世界で 5 つの XFEL 施設¹⁻⁵⁾ が稼働している。またさらに幾つかの XFEL 施設が建設中である。

我々は気相中の原子、分子、クラスターに XFEL を照射して起こる現象の解明に取り組んでいる。このような研究は、基礎研究として興味深いものであるだけでなく、XFEL を有効かつ正しく利用するためにも重要である。XFEL を使用した様々な研究が世界中の研究者によって遂行されているが、どのような研究においても XFEL を道具として用いるためには、XFEL を対象に照射して起こる現象を正しく知ることが必要不可欠であるからである。本稿では、XFEL の短パルス性を利用し、XFEL を重原子含有分子のジヨードメタン (CH_2I_2) 分子に照射して起こるフェムト秒オーダーの現象を、XFEL と近赤外レーザーとを用いたポンプ・プローブ法による時間分解計測により捉えた研究⁶⁾を紹介する。

Fig. 1 に本研究に関わる反応経路の模式図を示す。先行研究のヨウ化メチル (CH_3I) での結果を踏まえて、本研究では重原子が 2 つあることがどのような影響を及ぼす

のかを調べる目的で CH_2I_2 分子を対象分子とした。XFEL を照射することでヨウ素の深い内殻軌道 2p のイオン化が起こる。内殻イオン化した分子は、多段階のオージェ緩和であるオージェカスケードにより電子を次々と放出して多価分子イオンとなり、原子イオンがクーロン爆発によって運動エネルギーを持って放出される。例えば周期表で隣接するキセノン原子では、平均で 7 価、最大 13 価程度まで多価イオン化することが知られている⁷⁾。この反応の最中に近赤外レーザーを照射した時、ある過渡状態分子 ($\text{CH}_2\text{I}_2^{**}$) が近赤外光を吸収すれば、励起あるいはイオン化が起きて別の状態の分子 ($\text{CH}_2\text{I}_2^{***}$) が生成し、最終的に放出される原子イオンの価数が変化する。ここで XFEL のみを照射したときに q 価のヨウ素原子イオンを生成する過程が、近赤外レーザーを照射することによって、 $q+1$ 価のヨウ素原子イオンを生成することになる変化量を $T_{Iq \rightarrow (q+1)}$ と書くことにする。 $T_{Iq \rightarrow (q+1)}$ を XFEL 照射に対する近赤外レーザー照射の遅延時間に対して追跡すれば、過渡状態を追跡することが出来るのである。

2. 実験方法

実験は SACLA のビームライン BL3、実験ハッチ EH4^{8,9)} で行った。Fig. 2 に実験配置の模式図を示す。XFEL ビームはビームラインに常設の KB ミラーによって $1 \mu\text{m}$ (FWHM) 程度に集光して真空中の試料に照射し

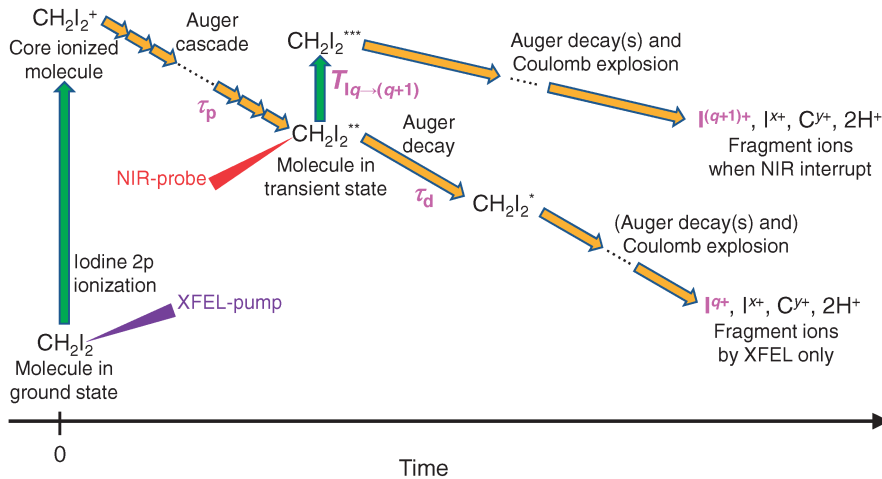


Fig. 1 (Color online) Diagram of the XFEL-induced processes and the NIR-induced effects. Reprinted from ref. 6.

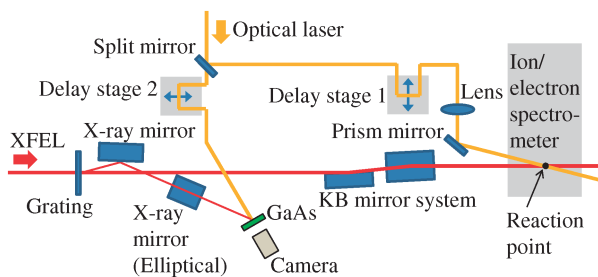


Fig. 2 (Color online) Configuration of the pump-probe experiment at SACLAL BL3. Reprinted from ref. 9.

た。XFELの光子エネルギーは5.5 keVで、パルス幅は ~ 10 fsと評価した。波長800 nm (光子エネルギー1.55 eV, パルス幅32 fs)の近赤外レーザーはレンズにより集光し、プリズムミラーによりX線とほぼ平行にして試料に照射した。XFELと近赤外レーザーの単位面積・パルスあたりのレーザー強度はそれぞれ $30 \mu\text{J}/\mu\text{m}^2$ と $11 \text{ nJ}/\mu\text{m}^2$ であった。この様なXFEL条件では、パルス幅の短時間内で分子は幾つかの光子を吸収することができる。分子中の2つのヨウ素原子が共にX線を吸収することも含めて、3光子程度の多光子吸収が起こっていると考えられる¹⁰⁾。

試料である CH_2I_2 分子は常温常圧で液体である。ヘリウムガスをキャリアガスとして、 CH_2I_2 分子の蒸気をパルス分子線として真空槽に導入し、2つのレーザーパルスと集光点で交差させた。試料へのXFELおよび近赤外レーザー照射により生成するイオンを、XFEL利用実験のために開発したイオン運動量多重同時計測装置¹¹⁾により測定した。

時間分解計測を実施するためには、2つのレーザーパルスを試料上で重ねなければならない。このために我々は、キセノンクラスターからのイオン検出信号の変化^{12,13)}を用いている。キセノンクラスターからの信号は、時間の原点

を決定する上でも有効である。XFELパルスに対する近赤外レーザーパルスの遅延時間は、ディレイステージによって数fsステップで変化させることが可能であるが、2つのレーザーパルスの照射時間には700 fs (FWHM)程度のジッターがあることに注意しなければならない。このジッターは、ビームラインに常設のアライバルタイミングモニターによって計測することが可能である¹⁴⁾。ジッターを計測し、測定データを並べなおすことによって、フェムト秒オーダーの反応追跡を可能とした。

3. 結果と考察

Fig. 3(a)-(f)に1価から6価までのヨウ素イオンの収量を、遅延時間に対してプロットした。価数によって異なる遅延時間依存性を示している。図中の破線は、XFELパルスと近赤外レーザーパルスをそれぞれ照射したときに検出されるイオン収量の和を示しており、ベースラインと呼ぶことにする。なお、近赤外レーザーのみの照射で生成するヨウ素原子イオンは、1価イオンのみであった。ベースラインからの差が、2つのレーザーパルスの両方が作用した効果である。

観測したイオン収量から $T_{1q \rightarrow (q+1)}(t)$ の抽出を考える。 t は遅延時間である。XFELに加えて近赤外レーザーを照射すると、 q 価ヨウ素原子イオンが増える過程と減る過程が起こり得るであろう。観測された q 価ヨウ素原子イオンの収量 $Y_{1q}(t)$ とそのベースライン B_{1q} の差は、 q 価イオンが増える量と減る量の差である。つまり、

$$Y_{1q}(t) - B_{1q} = T_{1(q-1) \rightarrow q}(t) - T_{1q \rightarrow (q+1)}(t) \quad (1)$$

である。Fig. 3(g)に $q=1-6$ に対して $Y_{1q}(t) - B_{1q}$ の和を取ったものをプロットした。この和には、明確な遅延時間依存性が見られず、値はほぼゼロである。これは、 $T_{10 \rightarrow 1}(t)$ と $T_{16 \rightarrow 7}(t)$ が無視できるくらい小さいことを示唆している。 $T_{10 \rightarrow 1}(t) = 0$ と仮定すると、(1)式から、

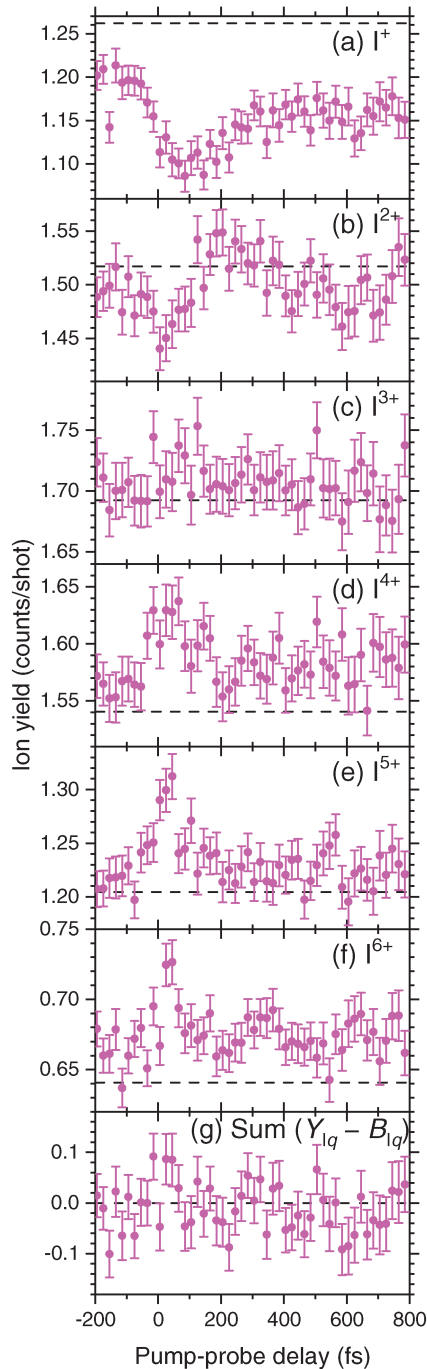


Fig. 3 (Color online) Pump-probe delay dependences of iodine ion yield. Reprinted from ref. 6.

$$T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t) = \sum_{n=1}^q (B_{In} - Y_{In}(t)) \quad (2)$$

を得る。また最大価数が6個であるため $T_{I6 \rightarrow 7}(t) = 0$ と仮定すると、

$$T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t) = \sum_{n=q+1}^6 (Y_{In}(t) - B_{In}) \quad (3)$$

を得る。(2)式および(3)式を用いて求めた $T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t)$ をそれぞれ **Fig. 4** に示した。2つの式から独立に求めた

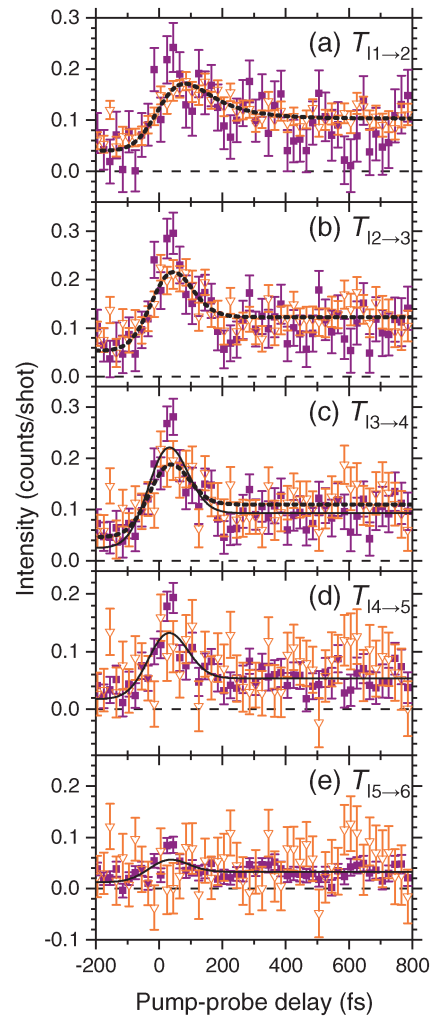


Fig. 4 (Color online) $T_{Iq \rightarrow (q+1)}$ obtained from equations (2) (purple full squares) and (3) (orange empty triangles). Reprinted from ref. 6.

$T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t)$ は、誤差の範囲で一致している。このことは取り扱いが妥当であることを示している。

$T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t)$ の形状を見ると、すべての q に共通して、遅延時間がゼロよりも少し遅れたところでピークを持ち、数100 fs 後には平らになっている。遅延時間が負の領域よりも、数100 fs 後の領域では $T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t)$ の強度が強くなっている。これは分子から放出されて孤立した q 個のヨウ素原子イオンが近赤外レーザー照射によりさらにイオン化することによる。原子イオンはすでに孤立しているため、その後は遅延時間依存性を示さないのである。 $T_{Iq \rightarrow (q+1)}(t)$ の遅延時間ゼロ付近のピークを形成する振る舞いが、過渡状態分子 (**Fig. 1** の $\text{CH}_2\text{I}_2^{**}$) の数の変化を反映している。XFEL 照射によって $\text{CH}_2\text{I}_2^{**}$ が生成する時定数を τ_p 、崩壊する時定数を τ_d とし、これらの時定数を測定データから抽出しよう。XFEL パルスの時間幅が10 fs 程度以下で、また XFEL 照射後の分子が最終的な価数に到達する時定数も10 fs 程度¹⁰⁾であることから、 τ_p は10

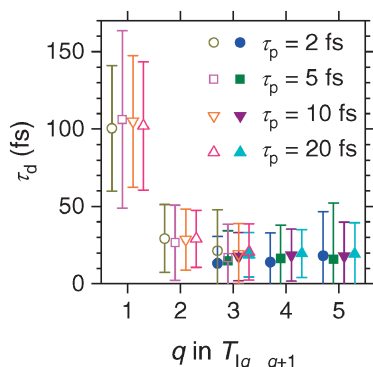
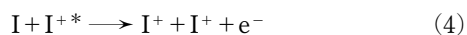


Fig. 5 (Color online) Decay time constants τ_d obtained from the fitting for $T_{lq \rightarrow (q+1)}$ based on equation (2) (full symbols) and equation (3) (empty symbols). The fittings were performed using $\tau_p = 2$ fs, 5 fs, 10 fs, and 20 fs. Reprinted from ref. 9.

fsと同程度以下であると考えられる。そこで、 τ_p は2 fs, 5 fs, 10 fs, 20 fsに固定してフィッティングにより τ_d を求めた。結果をFig. 5に示す。 τ_d は τ_p の値に依存していない。 $T_{l2 \rightarrow 3}(t)$ から $T_{l5 \rightarrow 6}(t)$ については τ_d はほぼ同じで20–30 fsが得られた。この値は、オージェカスケード中の中間状態の寿命を反映していると考えられる。ところが $T_{l1 \rightarrow 2}(t)$ の τ_d は100 fs程度あり、他と比べて著しく長い。なぜ $T_{l1 \rightarrow 2}(t)$ の τ_d 、つまり1価ヨウ素原子イオンを生成する中間状態の寿命が長いのであろうか？これには CH_2I_2 分子が分子内に重原子を2つ含んでいることが関係している。

XFEL照射によって CH_2I_2 分子から中性のヨウ素原子と励起した1価ヨウ素原子イオンが生成したとする。1価イオンの励起エネルギーが、中性ヨウ素原子のイオン化エネルギーとイオン対が生成したときに生じるクーロンエネルギーの和よりも高ければ、1価イオンの励起エネルギーによりヨウ素原子がイオン化することが可能である。つまり



という過程が起こる。この過程は原子間クーロン緩和 (Interatomic Coulombic Decay)¹⁵⁾と呼ばれている。中性の基底状態 CH_2I_2 分子の平衡状態でのヨウ素原子間距離3.73 Åにおいて、2つの1価イオンが生成すると、そのクーロンエネルギーは3.86 eVであり、ヨウ素原子のイオン化エネルギーは10.45 eVである。これらの和よりも高い励起状態の1価ヨウ素イオンの状態は確かに存在する¹⁶⁾。またヨウ素原子は重いので、クーロン爆発による解離でも、比較的長い間、原子間が近接し続ける¹⁰⁾。この間、原子間での相互作用が可能である。このようなヨウ素原子間のICD過程は、*ab initio*計算によっても存在が支持された⁶⁾。

4. おわりに

本研究では、XFELと近赤外レーザーを組み合わせたポンプ・プローブ時間分解計測により、 CH_2I_2 分子にXFELを照射して生成する過渡状態の寿命を測定することが出来た。ここではヨウ素イオンの収量に着目して過渡状態の寿命を抽出したが、実験ではイオンの運動量や炭素イオンについても計測している。炭素イオンの収量には、ヨウ素イオンで見られたような遅延時間に対するピーク構造の寄与は小さく、解離イオンの近赤外レーザー吸収による価数変化が主であった。これは過渡状態が近赤外レーザーを吸収することで上昇した価数は、主にヨウ素イオンが取得することを意味する。また、運動量に注目すると、検出したイオンを同じ分子から放出された他のイオンの価数の変化に伴うクーロンポテンシャルの変化により、運動エネルギーの変化が観測されている。さらに複数の運動量相関解析により、分子の形状が見えることも分かっている¹⁷⁾。電子計測との同時計測を行えば、電子状態についての詳細も分かる。このような様々な情報を組み合わせ、様々な要素が混在する過程を紐解いていくことが、一見複雑な現象を理解することにつながるであろう。

謝辞

本研究の遂行には、文献6の共著者の方々にご協力いただいた。また本研究は、文部科学省のX線自由電子レーザー利用推進研究課題とX線自由電子レーザー重点戦略研究課題、理化学研究所のSACLA利用装置提案課題、科研費JP15K17487、人・環境と物質をつなぐイノベーション創出ダイナミック・アライアンス、「物質・デバイス領域共同研究拠点」における「人・環境と物質をつなぐイノベーション創出ダイナミック・アライアンス」の共同研究プログラム、多元研プロジェクトの援助を受け行われた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) P. Emma, R. Akre, J. Arthur, R. Bionta, C. Bostedt, J. Bozek, A. Brachmann, P. Bucksbaum, R. Coffee, F.-J. Decker, Y. Ding, D. Dowell, S. Edstrom, A. Fisher, J. Frisch, S. Gilevich, J. Hastings, G. Hays, P. Hering, Z. Huang, R. Iverson, H. Loos, M. Messerschmidt, A. Miahnahri, S. Moeller, H.-D. Nuhn, G. Pile, D. Ratner, J. Rzepiela, D. Schultz, T. Smith, P. Stefan, H. Tompkins, J. Turner, J. Welch, W. White, J. Wu, G. Yocky and J. Galayda: Nat. Photon. 4, 641 (2010).
- 2) T. Ishikawa, H. Aoyagi, T. Asaka, Y. Asano, N. Azumi, T. Bizen, H. Ego, K. Fukami, T. Fukui, Y. Furukawa, S. Goto, H. Hanaki, T. Hara, T. Hasegawa, T. Hatsui, A. Higashiya, T. Hirono, N. Hosoda, M. Ishii, T. Inagaki, Y. Inubushi, T. Itoga, Y. Joti, M. Kago, T. Kameshima, H. Kimura, Y. Kiriara, A. Kiyomichi, T. Kobayashi, C. Kondo, T. Kudo, H. Maesaka, X. M. Maréchal, T. Masuda, S. Matsubara, T. Matsumoto, T. Matsushita, S. Matsui, M. Nagasono, N.

- Nariyama, H. Ohashi, T. Ohata, T. Ohshima, S. Ono, Y. Otake, C. Saji, T. Sakurai, T. Sato, K. Sawada, T. Seike, K. Shirasawa, T. Sugimoto, S. Suzuki, S. Takahashi, H. Takebe, K. Takeshita, K. Tamasaku, H. Tanaka, R. Tanaka, T. Tanaka, T. Togashi, K. Togawa, A. Tokuhisa, H. Tomizawa, K. Tono, S. Wu, M. Yabashi, M. Yamaga, A. Yamashita, K. Yanagida, C. Zhang, T. Shintake, H. Kitamura and N. Kumagai: *Nat. Photon.* **6**, 540 (2012).
- 3) H.-S. Kang, C.-K. Min, H. Heo, C. Kim, H. Yang, G. Kim, I. Nam, S. Y. Baek, H.-J. Choi, G. Mun, B. R. Park, Y. J. Suh, D. C. Shin, J. Hu, J. Hong, S. Jung, S.-H. Kim, K. Kim, D. Na, S. S. Park, Y. J. Park, J.-H. Han, Y. G. Jung, S. H. Jeong, H. G. Lee, S. Lee, S. Lee, W.-W. Lee, B. Oh, H. S. Suh, Y. W. Parc, S.-J. Park, M. H. Kim, N.-S. Jung, Y.-C. Kim, M.-S. Lee, B.-H. Lee, C.-W. Sung, I.-S. Mok, J.-M. Yang, C.-S. Lee, H. Shin, J. H. Kim, Y. Kim, J. H. Lee, S.-Y. Park, J. Kim, J. Park, I. Eom, S. Rah, S. Kim, K. H. Nam, J. Park, J. Park, S. Kim, S. Kwon, S. H. Park, K. S. Kim, H. Hyun, S. N. Kim, S. Kim, S.-m. Hwang, M. J. Kim, C.-y. Lim, C.-J. Yu, B.-S. Kim, T.-H. Kang, K.-W. Kim, S.-H. Kim, H.-S. Lee, H.-S. Lee, K.-H. Park, T.-Y. Koo, D.-E. Kim, I. S. Ko: *Nat. Photon.* **11**, 708 (2017).
 - 4) T. Tschentscher, C. Bressler, J. Grünert, A. Madsen, A. P. Mancuso, M. Meyer, A. Scherz, H. Sinn and U. Zastra: *Appl. Sci.* **7**, 592 (2017).
 - 5) C. J. Milne, T. Schietinger, M. Aiba, A. Alarcon, J. Alex, A. Anghel, V. Arsov, C. Beard, P. Beaud, S. Bettoni, M. Bopp, H. Brands, M. Brönnimann, I. Brunnenkant, M. Calvi, A. Citterio, P. Craievich, M. Csatar Divall, M. Dällenbach, M. D'Amico, A. Dax, Y. Deng, A. Dietrich, R. Dinapoli, E. Divall, S. Dordevic, S. Ebner, C. Erny, H. Fitze, U. Flechsig, R. Follath, F. Frei, F. Gärtner, R. Ganter, T. Garvey, Z. Geng, I. Gorgisyan, C. Gough, A. Hauff, C. P. Hauri, N. Hiller, T. Humar, S. Hunziker, G. Ingold, R. Ischebeck, M. Janousch, P. Juranic, M. Jurcevic, M. Kaiser, B. Kalantari, R. Kalt, B. Keil, C. Kittel, G. Knopp, W. Koprek, H. T. Lemke, T. Lippuner, D. Llorente Sancho, F. Löhl, C. Lopez-Cuenca, F. Märki, F. Marcellini, G. Marinkovic, I. Martiel, R. Menzel, A. Mozzanica, K. Nass, G. L. Orlandi, C. Ozkan Loch, E. Panepucci, M. Paraliiev, B. Patterson, B. Pedrini, M. Pedrozzi, P. Pollet, C. Pradervand, E. Prat, P. Radi, J.-Y. Raguin, S. Redford, J. Rehanek, J. Re'hault, S. Reiche, M. Ringele, J. Rittmann, L. Rivkin, A. Romann, M. Ruat, C. Ruder, L. Sala, L. Schebacher, T. Schilcher, V. Schlott, T. Schmidt, B. Schmitt, X. Shi, M. Stadler, L. Stingelin, W. Sturzenegger, J. Szlachetko, D. Thattil, D. M. Treyer, A. Trisorio, W. Tron, S. Vetter, C. Vicario, D. Voulot, M. Wang, T. Zamofing, C. Zellweger, R. Zennaro, E. Zimoch, R. Abela, L. Patthey and H.-H. Braun: *Appl. Sci.* **7**, 720 (2017).
 - 6) H. Fukuzawa, T. Takanashi, E. Kukuk, K. Motomura, S.-i. Wada, K. Nagaya, Y. Ito, T. Nishiyama, C. Nicolas, Y. Kumagai, D. Iablonskyi, S. Mondal, T. Tachibana, D. You, S. Yamada, Y. Sakakibara, K. Asa, Y. Sato, T. Sakai, K. Matsunami, T. Umemoto, K. Kariyazono, S. Kajimoto, H. Sotome, P. Johnsson, M. S. Schöffler, G. Kastirke, K. Kooser, X.-J. Liu, T. Asavei, L. Neagu, S. Molodtsov, K. Ochiai, M. Kanno, K. Yamazaki, S. Owada, K. Ogawa, T. Katayama, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, A. Ghosh, K. Gokhberg, L. S. Cederbaum, A. I. Kuleff, H. Fukumura, N. Kishimoto, A. Rudenko, C. Miron, H. Kono and K. Ueda: *Nat. Commun.* **10**, 2186 (2019).
 - 7) T. A. Carlson, W. E. Hunt and M. O. Krause: *Phys. Rev.* **151**, 41 (1966).
 - 8) K. Tono, T. Togashi, Y. Inubushi, T. Sato, T. Katayama, K. Ogawa, H. Ohashi, H. Kimura, S. Takahashi, K. Takeshita, H. Tomizawa, S. Goto, T. Ishikawa and M. Yabashi: *New J. Phys.* **15**, 083035 (2013).
 - 9) M. Yabashi, H. Tanaka, K. Tono and T. Ishikawa: *Appl. Sci.* **7**, 604 (2017).
 - 10) T. Takanashi, K. Nakamura, E. Kukuk, K. Motomura, H. Fukuzawa, K. Nagaya, S. Wada, Y. Kumagai, D. Iablonskyi, Y. Ito, Y. Sakakibara, D. You, T. Nishiyama, K. Asa, Y. Sato, T. Umemoto, K. Kariyazono, K. Ochiai, M. Kanno, K. Yamazaki, K. Kooser, C. Nicolas, C. Miron, T. Asavei, L. Neagu, M. Schöffler, G. Kastirke, X.-J. Liu, A. Rudenko, S. Owada, T. Katayama, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, H. Kono and K. Ueda: *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19**, 19707 (2017).
 - 11) H. Fukuzawa, K. Nagaya and K. Ueda: *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **907**, 116 (2018).
 - 12) Y. Kumagai, H. Fukuzawa, K. Motomura, D. Iablonskyi, K. Nagaya, S. Wada, Y. Ito, T. Takanashi, Y. Sakakibara, D. You, T. Nishiyama, K. Asa, Y. Sato, T. Umemoto, K. Kariyazono, E. Kukuk, K. Kooser, C. Nicolas, C. Miron, T. Asavei, L. Neagu, M. S. Schöffler, G. Kastirke, X.-j. Liu, S. Owada, T. Katayama, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, N. V. Golubev, K. Gokhberg, L. S. Cederbaum, A. I. Kuleff and K. Ueda: *Phys. Rev. X* **8**, 031034 (2018).
 - 13) 熊谷嘉晃, 福澤宏宣, 永谷清信, 和田真一, 上田 潔: *放射光* **33**, 10 (2020).
 - 14) T. Katayama, S. Owada, T. Togashi, K. Ogawa, P. Karvinen, I. Vartiainen, A. Eronen, C. David, T. Sato, K. Nakajima, Y. Joti, H. Yumoto, H. Ohashi and M. Yabashi: *Struct. Dyn.* **3**, 034301 (2016).
 - 15) L. S. Cederbaum, J. Zobeley and F. Tarantelli: *Phys. Rev. Lett.* **24**, 4778 (1997).
 - 16) A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader and NIST ASD Team (2018): NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.6.1), [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2019, September 26]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. DOI: <https://doi.org/10.18434/T4W30F>
 - 17) E. Kukuk, K. Motomura, H. Fukuzawa, K. Nagaya and K. Ueda: *Appl. Sci.* **7**, 531 (2017).

著者紹介



福澤宏宣

東北大学多元物質科学研究所 助教
E-mail: fukuzawa@tohoku.ac.jp
専門：自由電子レーザーと放射光を利用した原子分子科学

【略歴】

2005年東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。首都大学東京大学院理学研究科リサーチアシスタント、東北大学多元物質科学研究所教育研究支援者、同研究所産学連携研究員を経て2009年より現職。



河野裕彦

東北大学大学院理学研究科 名誉教授
E-mail: hirohiko-kono@m.tohoku.ac.jp
専門：理論化学、量子動力学

【略歴】

1981年東北大学大学院理学研究科化学専攻博士後期課程修了(理学博士)。同年米国アリゾナ州立大学博士研究員。1985年山形大学工学部助手、1991年東北大学教養部助教授、1993年東北大学理学部助教授を経て、2006年東北大学大学院理学研究科教授。2019年より東北大学名誉教授現在に至る。



永谷清信

京都大学大学院理学研究科 助教
E-mail: nagaya@scpphys.kyoto-u.ac.jp
専門：不規則系物理学

【略歴】

1985年京都大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取得退学。同年より京都大学理学部教務職員。1998年より京都大学大学院理学研究科助手。2003年博士(理学)取得(京都大学)。2007年より現職。



上田 潔

東北大学多元物質科学研究所 教授
E-mail: kiyoshi.ueda@tohoku.ac.jp
専門：電子分子動力学

【略歴】

1982年京都大学大学院工学研究科後期課程修了。工学博士。同年東北大学科学計測研究所助手。1990年同研究所助教授。2003年から東北大学多元物質科学研究所教授。この間に英国ダズベリー研究所の客員研究員、フランスパリ南大学の客員教授、スウェーデンウプサラ大学・フィンランドトゥルク大学の博士論文主査、アメリカ・ドイツ・イタリアのX線自由電子レーザー施設プログラム/プロポーザルレビューパネル、イギリス新世代光源計画のアドバイザーボード等を歴任。



和田真一

広島大学大学院理学研究科 助教
E-mail: swada@sci.hiroshima-u.ac.jp
専門：光化学、分子分光学、簡単な分子系での化学反応動力学

【略歴】

1997年東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。通産省産業技術融合領域研究所博士研究員を経て、1998年広島大学理学部助手。2010-2011年米 SLAC 国立加速器研究所客員研究員。2007より現職。

Observation of X-ray-induced ultrafast dynamics of gaseous molecules

Hironobu FUKUZAWA Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan
Kiyonobu NAGAYA Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan
Shin-ichi WADA Graduate School of Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan
Hirohiko KONO Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan
Kiyoshi UEDA Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

Abstract When a core-level ionization occurs by irradiation of X-ray to a molecule including heavy atoms, a charge state of the molecule increases by an Auger cascade and atomic ions are released by the Coulomb explosion in a time scale of femtosecond. In this study, we capture X-ray-induced transient states by pump-probe technique using X-ray free-electron laser and near-infrared laser.