

菱川 明 栄 (助教授) (2003年4月1日着任)

A-1) 専門領域：光子場物理化学

A-2) 研究課題：

- a) 極短パルス光による強レーザー場中分子ダイナミクスの解明
- b) クーロン爆発イメージングによる超高速反応追跡
- c) 高次高調波による極短パルス軟X線の発生と応用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 分子内のクーロン場に匹敵するほどの極めて強いレーザー場における分子は摂動領域に比べて本質的に大きく異なったふるまいを示す。強レーザー場における分子ダイナミクスが分子座標系におけるレーザー偏光方向に対してどのように依存するかを明らかにするために、10フェムト秒領域の極めて短いパルス幅をもつ高強度レーザー光源を構築し、これを集光して得られた極短パルス強レーザー場 ( $0.2 \times 10^{15}$  W/cm<sup>2</sup>, 12 fs) と H<sub>2</sub>S との相互作用によって生成した解離イオンをコインシデンス運動量画像法を用いて検出した。分子座標系は3体クーロン爆発過程,  $H_2S^{3+} \rightarrow H^+ + S^+ + H^+$ , によって生成した H<sup>+</sup> の運動量を用いて定義した。その結果、レーザー偏光方向が分子平面に対して平行な場合、H<sub>2</sub>S は偏光方向に対して伸張した構造をとることが見いだされた。一方、偏光方向が分子平面に対して垂直である場合は、顕著な構造変形が起こらないことが明らかとなった。すなわち、分子座標系において「電子をどの方向に揺さぶるか」によって分子ダイナミクスのコントロールが可能であることが初めて示された。
- b) 反応過程における分子構造の変化を実時間で可視化するために、サブ10フェムト秒レーザーパルスによるクーロン爆発イメージングを行った。AOPDF波形成型器をレーザーシステム増幅段に前置することによって、出力パルス波形の最適化を行い、サブ10フェムト秒領域の高強度レーザーパルスを得た。強レーザー場 (5 PW/cm<sup>2</sup>, 8 fs) における CS<sub>2</sub> のクーロン爆発過程には6種類の対称クーロン爆発過程  $CS_2^{2+} \rightarrow S^{p+} + C^{q+} + S^{r+}$ ;  $(p,q,r) = (1,1,1), (1,2,1), (2,1,2), (2,2,2), (3,2,3), (4,2,4)$  がコインシデンス計測によって観測され、特にポテンシャル曲面の形状がクーロンポテンシャルで十分に記述できる高イオン化状態から生成した解離イオンの運動量分布に基づいて分子構造の決定ができることが示された。
- c) 超高速分子ダイナミクス追跡に必要な超短パルス軟X線の発生を行うために、レーザー高次高調波発生用チャンパーおよび軟X線分光器を設計・製作した。希ガス非線形媒質 (He, Ne, Ar) を用いて発生させた高調波のスペクトル測定を行い、希ガス圧、セル長、集光強度を制御変数として最適化を行った結果、59次高調波 (波長: 13.5 nm) において、ビーム広がり 1.5 mrad の高強度短パルス軟X線を得ることに成功した。

B-1) 学術論文

- A. HISHIKAWA, E. J. TAKAHASHI and A. MATSUDA, "Electronic and Nuclear Responses of Fixed-in-Space H<sub>2</sub>S to Ultrashort Intense Laser Fields," *Phys. Rev. Lett.* **97**, 243002 (4 pages) (2006).
- K. HOSHINA, A. HISHIKAWA, K. KATO, T. SAKO, K. YAMANOUCI, E.J. TAKAHASHI, Y. NABEKAWA and K. MIDORIKAWA, "Dissociative ATI of H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> in Intense Soft X-Ray Laser Fields," *J. Phys. B* **39**, 813–829 (2006).

**M. FUSHITANI, N. SCHWENTNER, M. SCHRÖER and O. KÜHN**, “Cage Motions Induced by Electronic and Vibrational Excitations: Cl<sub>2</sub> in Ar,” *J. Chem. Phys.* **124**, 024505 (7 pages) (2006).

**Y. MORISAWA, M. FUSHITANI, Y. KATO, H. HOSHINA, Z. SIMIZU, S. WATANABE, Y. MIYAMOTO, Y. KASAI, K. KAWAGUCHI and T. MOMOSE**, “Correlation between Nuclear Spin Ratio of Cyclic C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> and Chemical Evolution in TMC-1 Cores,” *Astrophys. J.* **642**, 954–965 (2006).

**S. OGUCHI, A. MATSUDA, K. KONDO and K. G. NAKAMURA**, “Time-Resolved Coherent Anti-Stokes Raman Scattering of Cyclohexane under Shock Compression,” *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* **45**, 5817–5820 (2006).

**A. MATSUDA, K. KONDO and K. G. NAKAMURA**, “Nanosecond Rapid Freezing of Liquid Benzene under Shock Compression Studied by Time-Resolved Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy,” *J. Chem. Phys.* **124**, 054501 (4 pages) (2006).

#### B-3) 総説、著書

菱川明栄, 「サブ10フェムト秒強レーザー場における分子過程」*しょうとつ* **3**, 7–14 (2006).

#### B-4) 招待講演

**A. HISHIKAWA**, “Steering Electrons in Molecular Frame to Control Coulomb Explosion in Intense Laser Fields,” 5th Photo-Molecular Science Forum, “Frontiers in Photo-Molecular Science 1,” Okazaki (Japan), May 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Coincidence Momentum Imaging of Molecules in Sub-10fs Intense Laser Fields,” Molecular Physics Seminar, Stockholm (Sweden), October 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in Few-Cycle Intense Laser Fields,” SOKENDAI Asian Winter School 2006, Okazaki (Japan), November 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in sub-10fs Intense Laser Fields,” International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 5, Lijiang (China), November 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in Few-Cycle Intense Laser Fields,” The 1st Winter School of JSPS ASIA CORE Program in Beijing, Beijing (China), December 2006.

菱川明栄, 「極短パルス強光子場による反応イメージング」分子研研究会「凝縮系のコヒーレンス制御と超高速ダイナミクス」分子科学研究所, 岡崎, 2006年3月.

#### B-6) 受賞、表彰

菱川明栄, 原子衝突研究協会若手奨励賞 (2000).

菱川明栄, 日本分光学会賞論文賞 (2001).

#### B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

日本分光学会企画委員 (1999-2003).

原子衝突研究協会企画委員 (2001- 2003, 2006-).

分子科学研究会委員 (2002-2006).

日本分光学会中部支部幹事 (2003-).

強光子場科学懇談会企画委員 (2004-).

#### 学会の組織委員

分子構造総合討論会プログラム委員 (2000).

分子構造総合討論会シンポジウム「レーザー場による分子過程コントロール」主催者 (2000).

日本分光学会装置部会・理研合同シンポジウム「強光子場の科学とその応用」主催者 (2000).

日本分光学会装置部会・理研合同シンポジウム「超短パルス電子線・X線技術の現状と新展開」主催者 (2002).

第8回東アジア化学反応ワークショップ主催者 (2004).

第22回化学反応討論会実行委員 (2005-2006).

原子衝突研究協会第31回研究会実行委員 (2005-2006).

#### B-8) 他大学での講義、客員

京都大学大学院理学研究科化学専攻, 連携併任助教授, 2005年4月-.

#### B-10) 外部獲得資金

松尾学術助成, 「強光子場中分子の電子相関ダイナミクス」 菱川明栄 (1999年).

基盤研究(C), 「多原子分子ドレスト状態の高分解能干渉ドップラー分光」 菱川明栄 (1999年).

基盤研究(B)(2), 「同時計数運動量測定による強光子場中多原子分子ドレスト状態の解明」 菱川明栄 (2000年-2001年).

若手研究(A), 「電子-イオンコインシデンス運動量計測による強光子場中分子ダイナミクス」 菱川明栄 (2002年-2004年).

特定領域研究(公募) 「分子ドレスト状態における核波束実時間追跡: コインシデンス画像法によるアプローチ」 菱川明栄 (2004年-2005年).

科学技術振興機構戦略的創造事業さきがけ, 「光電子ホログラフィーによるレーザー場反応追跡」 菱川明栄 (2005年-2009年).

#### C) 研究活動の課題と展望

- a) 強レーザー場中における基礎的な過程のうちイオン化を取り上げ, 特にトンネルイオン化領域における電子励起状態の寄与について研究を進める。
- b) 得られたサブ10フェムト秒強レーザーパルスをプローブとして, クーロン爆発イメージングを利用した化学反応実時間追跡を行う。特に高速で運動することが知られている水素原子のふるまいに着目して研究を進める。
- c) 高次高調波発生による超短パルス軟X線をコインシデンス運動量画像計測チャンバーに導入するためのビームラインの構築を進めており, これを用いたポンプ-プローブ計測に早期に着手したい。