

京都大学基礎物理学研究所国際ワークショップ  
「生物・医学を物理する」に参加して

京都大学大学院  
工学研究科 原子核工学専攻 D2  
吉田 慎太郎

私は物理と医学の学際領域に興味があり、将来は粒子線治療に係る医学物理士になることを視野に入れつつ、現在、タンデム型加速器を用いた MeV 重イオン—気相生体分子の衝突反応ダイナミクスの研究を行っています。本ワークショップは放射線生物学に関する知見を広げること、そして放射線による DNA 損傷過程の研究における課題を自分なりに考えることを目的とし、聴講者として参加しました。

あいにく、TA と非常勤講師の勤務日と重なったためポスターセッションのみの参加となりましたが、マイクロシメトリの概念を学習でき、その概念に基づく細胞核の生存率に関する発表等を聴くことができました。放射線シミュレーションソフト Geant4 が強力なツールであるとともに、実験によるフィードバックが不可欠であると感じました。

放射線による DNA 損傷過程に関する最近の研究動向を見ていると「低エネルギー」が1つのキーワードであると考えています。本ワークショップでも炭素線照射においてシミュレーションで考慮されていない 10keV 以下の低エネルギー光子が発生していることを示唆した発表がありました。Geant4 における核反応の扱いが不完全であると警鐘を鳴らすとともに、低エネルギー光子が DNA にダメージを与え得るかが未解決であると問題提起していました。近年、私の研究分野である原子分子物理学においても、粒子線照射で二次的に生成される数 eV の低エネルギー電子による解離性電子付着の研究が盛んに行われています[1]。数 eV の電子は  $\delta$  線のような電離作用がないため、DNA 損傷に寄与しないと考えられていましたが、低エネルギー電子を捕獲した分子が解離性のポテンシャル曲面に遷移することで、原子間結合が切断されることが発見されました。さらに、低エネルギー電子の発生機構として、粒子線による直接電離や自動電離の他に Interatomic Coulombic Decay (ICD)が注目されており、低速多価イオン照射による希ガスダイマーの運動エネルギー放出測定により ICD を観測した実験が報告されています[2]。数十 eV の運動エネルギーをもって放出された分子の解離片もさらに DNA 損傷を引き起こすことが報告されており[3]、私は孤立系の生体分子に炭素線を照射することで、生体分子のどこが切断されて、どのような解離片がどの程度の運動エネルギーを持って生成されるかに着目した研究を行っています。また、バイスタンダー効果のように直接ヒットを受けていないにも関わらず、ある種の

情報伝達物質の作用により周辺の DNA が損傷を受けることが報告されています[4,5].

以上のことから、粒子線照射により二次的に発生した低エネルギーの光子、電子、イオン及び情報伝達物質による間接的な DNA 損傷メカニズムに関しての知見を得ることが放射線の生物影響を考える上での課題であると考えています.

#### 参考文献

- [1] B. Boudaïffa, P. Cloutire, D. Hunting, M. A. Huels, and L. Sanche, *Science* **287**, 1658 (2000).
- [2] W. Iskandar, J. Matsumoto, A. Leredde, X. Fléchar, B. Gervais, S. Guillous, D. Hennecart, A. Méry, J. Rangama, C. L. Zhou, H. Shiromaru, and A. Cassimi, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 033201 (2015).
- [3] Z. Deng, I. Bald, E. Illenberger, and M. A. Huels, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 153201 (2005).
- [4] H. Nagasawa, J. B. Little, *Cancer Research* **52**, 6394 (1992).
- [5] Y. Yokota, T. Funayama, Y. M. Yoshihara, H. Ikeda, and Y. Kobayashi, *J. Rad. Bio.* **91(5)** 383 (2015).