

研究内容

(1) 三年間の研究内容

平成 19 年度の照射実験は、C(290)イオン、Si(490)イオンについてアラニンとスクロースについて実験を行った。アラニンとスクロースのラジカル生成における重粒子自身の依存性と LET 依存性について検証した。得られた結果は以下の通りである。

- C イオンと Si イオンを用いたアラニンとスクロースのラジカルの測定結果から、アラニンはスクロース同様にラジカル生成における重粒子自身の依存性や LET 依存性を解析した。
- 粒子線照射で生ずる安定ラジカルの生成過程を検討する上で、アラニンとスクロースラジカルの生成量を比較検討した。

平成 20 年度の照射実験で、C(290)イオン、Si(490)イオンについてアラニンとスクロースについて実験を行った。また、アラニンとスクロースの線量依存性も併せて検討した。得られた結果は以下の通りである。

- X-線で照射実験を行い、線量依存性について解析した。得られた ESR スペクトルを Fig. 1(右図)に示してある。アラニンはスクロースよりも 1 Gy から 50 Gy でよい直線関係が得られた。また、別の実験から得られたアラニンラジカルは安定(長寿命)で、ESR スペクトルは既報のものとは一致した。
- C イオンを用い照射実験を行い、線量依存性について解析した。アラニンはスクロースよりも 1 Gy から 60 Gy でよい直線関係が得られた。また、得られたアラニンラジカルは安定(長寿命)で、ESR スペクトルは既報のものとは一致した。
- C イオンと Si イオンを用いたアラニンとスクロースのラジカルの測定結果から、アラニンはスクロース同様にラジカル生成における重粒子線や LET 依存性を解析した。
- 粒子線照射で生ずる安定ラジカルの生成過程を検討する上で、ラジカルの生成断面積(σ)の解析を検討した。

平成 21 年度は、C(290, 400)イオン、Ne(400)イオン、Si(490)イオンについて実験を行っている。アラニンとスクロースのラジカル生成における重粒子の依存性と LET 依存性について検証し、ラジカルの生成断面積(σ)合わせて検討した。

- C イオンと Ne イオンを用い LET を変えて照射実験を行い、線量依存性について解析した。アラニンはスクロースよりも 1 Gy から 60 Gy でよい直線関係が得られた。
- C イオンと Si イオンを用いたアラニンとスクロースのラジカルの測定結果から、アラニンはスクロース同様にラジカル生成における重粒子自身の依存性や LET 依存性を示した。

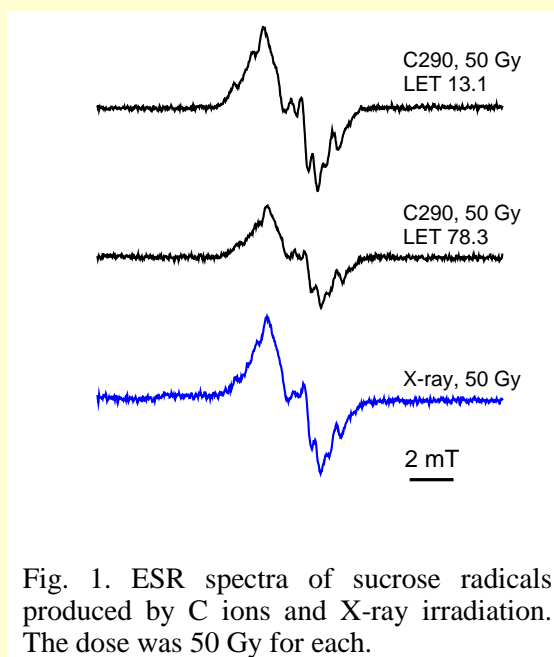


Fig. 1. ESR spectra of sucrose radicals produced by C ions and X-ray irradiation. The dose was 50 Gy for each.

- ・粒子線照射で生ずる安定ラジカルの生成過程を検討する上で、アラニンとスクロースのラジカルの生成断面積は同程度であった。

(2) 研究内容まとめ

Fig. 2 は、アラニンとスクロースの LET 60 と 80 における ESR スペクトルで、得られた信号強度は高 LET では弱くなるのが分かる。従って、高 LET では粒子数の減少により、結果として生成するラジカル数が減ることが示唆される。

Fig. 3 は、アラニンとスクロースのラジカル数について、粒子線と LET の変化を解析しプロットしたものである。この解析から、同一線量(50 Gy)で LET が高くなるにつれてラジカル量が減少し、粒子の原子番号が高いほどラジカル生成の多いことが分かる。また、スクロースはアラニンに比べ粒子依存性が異なることが新たに分かった。さらに、一粒子あたりの一分子中でのラジカル生成を検討し、生成断面積を求めたところ大きな差は認められなかった。

Fig. 4 は、アラニンとスクロースのラジカルの同一 LET における ESR 強度解析と照射線量に対してプロットしたものである。この解析から、どの粒子でも ESR 強度は線量の増加とともに直線的に増すことが分かった。

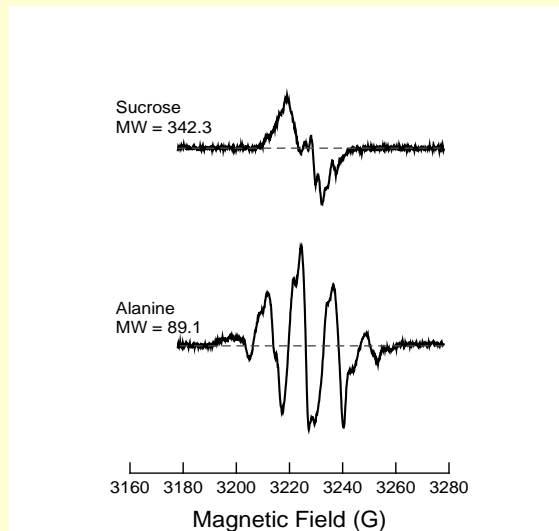


Fig. 2. Typical ESR spectra of sucrose and alanine radicals induced by Ne (230 MeV/u) irradiation at LET 60 [keV/μm]. The dose was 50 Gy for both. The weight of both compounds was 0.5 g each.

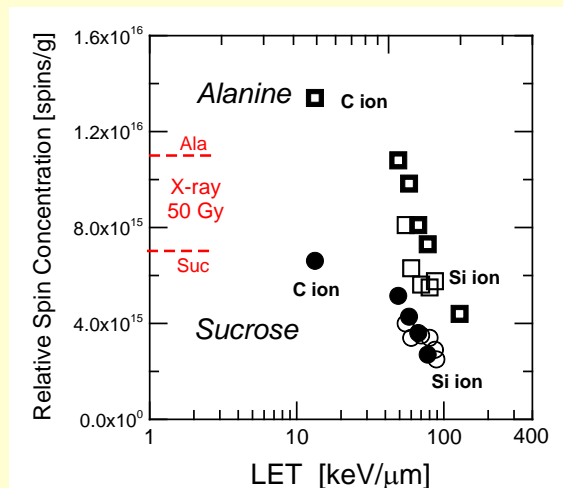


Fig. 3. The relative spin concentration plotted as a function of LET for C and Si ions and X-ray irradiation at 50 Gy. Each data point was the same dose (50 Gy).

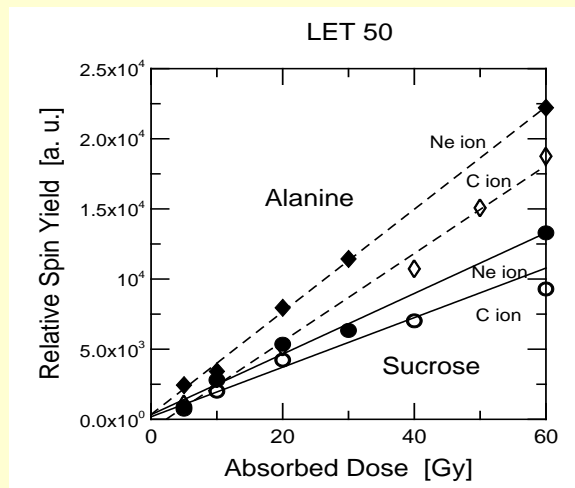


Fig. 4. Plot of the ESR response as a function of the absorbed dose. The various heavy-ions with LET 50 were used.

これまでの研究成果を踏まえ、粒子線と物質の詳細な関係を新たに検討した。高エネルギー粒子線によるラジカルの生成断面積は、粒子線が物質を通過するプロセスとしてラジカルの生成メカニズムを解明する上で重要なパラメーターのひとつである。ラジカルの生成断面積は、以下の関係式で求めた。

$$P = \sigma Nt \quad (1)$$

ここで、 P は一粒子過程あたりに生ずるラジカル数、 σ は生成断面積、 N は単位体積当たりの分子数、 t は物質の厚さである。新たな解析パラメーターを用い粒子線と無定形有機結晶の相互作用の詳細を解析したところ、スクロースとアラニンのラジカルの生成断面積は分子サイズを考慮に入れると同程度であることが分かった。

研究成果

(1) 原著論文

- EPR and UV spectroscopic investigations of sucrose irradiated with heavy-ion particles: Y. Karakirova, **K. Nakagawa**, N. D. Yordanov, *Radiation Measurements*, in press (2009).
- Sucrose and L-alanine radical-production cross section regarding heavy-ion irradiation: **K. Nakagawa**, N. Ikota, and K. Anzai, *Spectrochim. Acta Part A, Mol. & Biomol. Spectroscopy*, **69**, 1384-1387 (2008).
- Heavy-Ion Induced Sucrose and L- α -Alanine Radicals Investigated by Electron Paramagnetic Resonance: **K. Nakagawa**, N. Ikota, and Y. Sato, *Applied Magnetic Resonance, Appl. Magn. Reson.*, **33**, 111-116 (2008).
- Pulsed EPR study of low-dose irradiation effects on L-alanine crystal irradiated with γ -rays, Ne, and Si ion beams: B. Rakvin, N. Maltar-Strmečki, and **K. Nakagawa**, *Radiation Measurements*, **42**, 1469-1474 (2007).
- Analyses of the EPR Responses of Sucrose and L- α -Alanine Radicals Induced by C, Ne, and Ar Ion Irradiations: **K. Nakagawa** and Y. Sato, *Spectrochim. Acta Part A: Mol. & Biomol. Spectroscopy*, **63**, 851-854 (2006).

(2) 学会発表

- 中川公一, 安西和紀. 重粒子線照射で生ずるスクロースと L- α -アラニンのラジカルの反応断面積の解析. 第 48 回電子スピンサイエンス学会年会; 神戸. 第 48 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集, 印刷中 (2009).
- 中川公一, 安西和紀. 重粒子線照射で生ずるスクロースと L- α -アラニンのラジカルの反応断面積の解析. 第 47 回電子スピンサイエンス学会年会; 福岡. 第 47 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集, 48-49 (2008).
- Kouichi Nakagawa and Nobuo Ikota, "Sucrose and L-Alanine Radical-Production Cross Section Investigated by Electron Paramagnetic," Resonance, 10 th International Workshop Electron Paramagnetic Resonance Disordered Systems, Sofia, Bulgaria, p 37 (2007).
- Kouichi Nakagawa and Kazunori Anzai, "EPR Investigation of Sucrose and L-Alanine Radical-Production Cross Sections Obtained by Heavy-Ion Irradiation," A joint conference of the international symposium on Electron Spin Science, and the 46th Annual Meeting of the Society of Electron Spin Science and Technology, Sizuoka, p 63 (2007).
- 中川公一, 佐藤幸夫: 高エネルギー粒子線衝撃で生ずるスクロースと L- α -アラニンのラジカルの EPR 研究, 第 44 回電子スピンサイエンス学会年会, 仙台, 106-107 (2005).