

固体飛跡検出器CR-39

日大生産工 ○三角 尚治

1 まえがき

本研究室では主に2つの柱で研究を行なっている。ひとつは、素粒子の1つであるニュートリノの性質を探ること、特にニュートリノ振動についての研究。もうひとつは、検出器の応用、特に固体飛跡検出器CR-39の医学的な応用である。今回の講演では後者についての現状を報告する。

2 固体飛跡検出器としてのCR-39

陽子などいわゆる素粒子と呼ばれるような小さな粒子が通った跡(飛跡)を記録するためには、電子回路を駆使して粒子の各通過点を測定する方法と、ある媒体に粒子の飛跡を直接記録する方法がある。固体飛跡検出器は後者に属する。固体飛跡検出器の中にもいくつか種類があり、それぞれ一長一短があるが、ここで取り上げるCR-39はその中で取り扱いが比較的容易(温度、湿度、光などの影響を受けにくい)という特徴を備えている。

CR-39は、PPG社(Colombia Southern Chemical Company)により1933年に開発された。このプロジェクトはその研究員らによって“Colombia Resins”と名づけられ180種以上の化合物が研究、検討され、39番目のテストでその物質は独特な特性を持つ最も重要な素材だということが判明し、後に「CR-39」(PPG社の登録商標)として知られるようになった。

3 医学への応用(BNCT)

わが国における3大死因はがん、心臓病(心疾患)、脳卒中(脳血管疾患)である。なかでも、がん死亡率は年々増加の一途を辿っている。がんの治療法には、大別して手術、放射線、薬物療法、免疫療法の4種類がある。実際には治療方法を単独で、または、複数の方法を併用して行われている。このうち、原発部位のがんを

根治できるのは、手術と放射線療法の二つである。手術では、病巣および周囲のリンパ節等を十分取り除く必要性から、体の機能の一部が損なわれることが少なくない。一方、放射線療法では非侵襲的な治療(切らない治療法)が可能であり、さらに治療後の生活の質(Quality of Life: QOL)を維持するのに有利な場合がある。そのためにも、放射線治療では、正常細胞に影響なく選択的にがん細胞のみを死滅させることが理想である。

ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy: BNCT)では、ホウ素(^{10}B)を腫瘍部(がん細胞)に集積させた状態で中性子を照射すると、ホウ素と中性子の核反応で α 線やLi核が生じる。これらの粒子は生体内での飛程が $10\mu\text{m}$ 以下と短く、周りの正常細胞を傷つけることなくがん細胞のみを選択的に死滅させることが可能である。

この療法では ^{10}B 元素を患部まで効率良く運び、 ^{10}B 元素が確実に腫瘍部に固定されることが必要であり、その薬剤の開発が必要となる。また、その有効性を評価するために、生体内でのがん細胞ならびに正常細胞での ^{10}B の濃度分布を正確に測定することが鍵となる。前者の薬剤に関しては、“がん細胞に取り込まれ、正常細胞には取り込まれない”というホウ素化合物が必要になってくる。脳腫瘍の場合は、正常脳が「血液脳関門現象(Blood Brain Barrier)」によって保護されているため、異物質であるホウ素化合物は腫瘍細胞にのみ取り込まれる。一方、生体内での ^{10}B の濃度分布測定については、今回報告する方法により、デジタルデータを使用し、飛跡分布(track mapping)を得ることが可能になった。これは、従来、光学的に観測していた画像を、(デジタルデータ化した) α 線やLi核による飛跡の分布で再構築したことになり、飛跡の密度測定等が容易になり、生体内

Solid state track detector CR-39 and digitized track mapping

Shoji MIKADO

の正常細胞ならびにがん細胞での ^{10}B の濃度分布を正確に測定することが可能となる。

3 中性子線照射

今回の実験では、生体細胞の標本としてウサギの肝臓を使用した。これにホウ素化合物 ^{10}B SH ($\text{Na}_2^{10}\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$)溶液を、動脈注射し、腫瘍部のある患部に注入した。その後患部を取り出し、 -60°C で冷凍し、 $40\mu\text{m}$ 厚にスライスし薄片組織標本を作り、CR-39の表面にスコッチテープにて図1のように固定した。CR-39には、フクビ化学工業株式会社の製品HARZLAS TD-1を使用した。



図1 薄片組織標本を固定したCR-39

これに医療用原子炉として整備されている日本原子力研究所のJRR-4原子炉から取り出される熱中性子を照射した。熱中性子とは、核分裂によって発生した中性子を百万分の1程度のエネルギーまで減速した低エネルギーの中性子であり、このため、正常細胞にはほとんど影響を与えない。

中性子照射後のCR-39から薄片組織標本を剥がし、CR-39を温度 70°C 濃度7NのNaOHに2時間浸すことによりエッチング処理し、陽子、 α 線、Li核による飛跡を現出させたのち、顕微鏡画像解析にかけた。今回使用した顕微鏡システムは放射線医学総合研究所で開発されたHSP-1000システムを使用した。これは従来型のCCDカメラを用いた光学顕微鏡に比べて50~100倍高速にCR-39の表面をスキャンできる装置である。HSP-1000を用いてCR-39の表面画像を取得したのち画像解析プログラムで飛跡の楕円サイズを数値化した。楕円面積別の分布状況は図2のようになり、明らかに2つのピークが見てとれる。数値の小さいピークはバックグラウンドである楕円面積が小さい陽子による飛跡であり、もう片方は、熱中性子が ^{10}B に補足され原子核反応によって放出された ^4He 核と ^7Li 核による飛跡であると推定される。そのほとんどが ^4He 核による飛跡である。得られた飛跡の位置情報をもとに画像を再構築したものが図3となるが、この図は写真等の光学画像ではない。

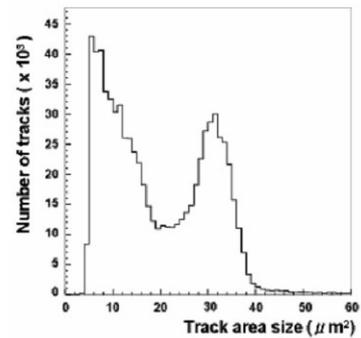


図2 飛跡の楕円面積分布

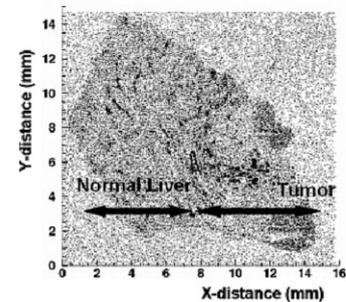


図3 飛跡により再構築された薄片標本

次に、図3の画像からバックグラウンドである陽子の飛跡を取り除いた飛跡情報だけで画像を再構築すると図5のような画像となる。この結果から、飛跡密度を計測すると、腫瘍部分で $557 \pm 24 \alpha/\text{mm}^2$ 、正常細胞部分で $118 \pm 11 \alpha/\text{mm}^2$ であることがわかり、腫瘍部分に ^{10}B が集積されていることが確かめられる。

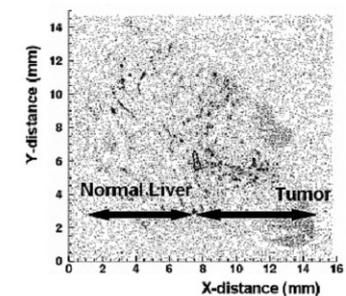


図4 α 線の飛跡により再構築された画像

まとめ

固体飛跡検出器であるCR-39を使用し医学分野での応用研究を行い、飛跡の楕円面積と位置座標を用い薄片組織標本内の ^{10}B 濃度分布を再構築・画像化し評価した結果、腫瘍部分への ^{10}B の集積が確認された。

参考文献

1. S. Mikado, et al., Nucl. Instr. Meth. A605 (2009)171-174