

図1

熱中性子とホウ素原子(¹⁰B)の反応

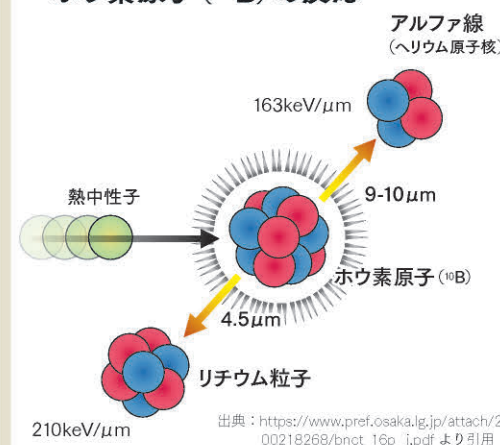
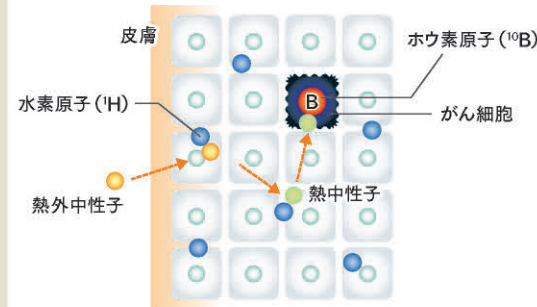


図2

熱外中性子が熱中性子に変化する過程



照射装置から身体に照射された熱外中性子が体内の水素などに衝突しながら運動エネルギーを失い熱中性子となり、がん細胞内にあるホウ素原子(¹⁰B)と出会い、核反応を起こす。

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT: Boron Neutron Capture Therapy)

東北放射線科学センター 理事長 穴戸 文男氏



2020年6月から新たな放射線治療が保険診療として認められました。中性子を使う方法で、ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy: BNCT)と呼ばれ、南東北BNCT研究センター(福島県郡山市)と関西BNCT共同医療センター(大阪府高槻市)で行われています。対象は*頭頸部がん。手術による切除不能な局所進行・局所再発がん、BNCT以外に治療法がない患者が対象です。費用は約400万円と高額ですが健康保険を使った治療が可能となりました。

開発から保険適用までの経緯

中性子は1932年に英国ケンブリッジ大学のジェームズ・チャドウィックによって発見され、日本では1968年から悪性脳腫瘍患者の治療に取り入れられています。しかし、中性子を得るために原子炉を利用すること、がん細胞に集まるホウ素化合物が開発されていなかったことなどの問題点があり、普及には至りませんでした。1987年、皮膚科医である三嶋豊らにより、新たなホウ素化合物であるボロノフェニルアラニン(L-Boronophenylalanine: BPA)が行われています(図4)。

線量)で、かつ、がん細胞を治す線量(がん治療線量)が達成できるような線量分布が得られる必要があります。また、BNCTの適応を判断するために、がん組織へのBPA集積を確認するPET検査が行われています(図4)。

なお、現状では熱中性子の体内分布は皮膚から2.5cmがピークで、5cmを超えると半分以下となってしまうことから、身体の内臓部位のがん治療には不向きとされています。

BNCTの今後の進展

BNCTは、国内で行われた臨床試験において、奏効率71.4%

を使ったBNCTが行われ、その有効性が確認されました。

一方、原子炉ではなく加速器で中性子発生装置の技術開発が京都大学で進められ、開発されたサイクロトロンを使った中性子発生装置は2009年から稼働しています。その後、2012年から再発悪性脳腫瘍、2014年から頭頸部腫瘍を対象とした臨床試験が行われ、再発悪性脳腫瘍に対しては次の段階の臨床試験も進められています。

南東北BNCT研究センターは2014年に装置を導入、2016年から再発悪性脳腫瘍および再発・進行頭頸部がんに対して臨床試験を開始、2018年にすべての臨床試験が終了しました。このような経緯で、BNCT治療装置とBNCT用ホウ素薬剤(BPA)が2020年3月に薬事承認され、保険が適用されるようになりました。

*頭頸部がん…頭頸部とは、脳より下方で鎖骨より上方の領域をさします。解剖学的には、口腔、咽頭、喉頭、鼻腔、副鼻腔、甲状腺、唾液腺、頸部食道などが主な領域で、この領域に発生した、口腔がん、咽頭がん、喉頭がん、上顎がん、唾液腺がん、甲状腺がんが該当します。

と高い有効性を示しています。現在、治療の対象は頭頸部がんのみですが、今後はさらに多くのがんの治療にも効果が期待されています。また、現状で治療ができるのは、中性子源としてサイクロトロンを使う2つの施設に限られていますが、新たに4種類の装置の研究開発が進められており、国立がん研究センター中央病院をはじめとした複数の施設への導入が計画されています。

BNCTは、患者への負担が少なく効果が期待される治療法として、これまで治療が難しかったがん治療に威力を発揮するものと期待されています。

BNCTの原理

ホウ素(硼素、ポロン:boron)は、岩石、地下水や地表水、植物にはホウ酸として広く存在しますが人体には存在しません。天然のホウ素原子には、質量数10(¹⁰B)と質量数11(¹¹B)の2つの同位体があり、存在比率は約1対4です。¹⁰Bが中性子を吸収すると核反応が起こり、アルファ線(ヘリウム原子核)とリチウム粒子に分かれます(図1)。各々の粒子の飛ぶ距離(飛程)は細胞1個分程度(9μmと4μm)と短く、この現象が細胞内で起こると、大きなエネルギーをもってアルファ線とリチウム粒子が細胞に照射されることとなります。

治療では、がん細胞に取り込まれたホウ素原子(¹⁰B)が、照射装置から照射された中性子を吸収してアルファ線とリチウム粒子を放出し、がん細胞を破壊します。このとき、がん細胞のみを破壊し、正常細胞に対する影響はごくわずかというがんの治療には理想的な原理です(図2)。

BNCTの問題点など

しかし、実際には、中性子源(原子炉やサイクロトロン中性子

