

3. ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の最新動向

鈴木 実 京都大学原子炉実験所粒子線腫瘍学研究中心

ホウ素中性子捕捉療法の原理と臨床

ホウ素中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy : BNCT) は、原子炉あるいは後述する加速器から取り出されるエネルギーの低い中性子線を利用する放射線治療である。BNCTは、ホウ素中性子捕獲反応というホウ素原子核 (^{10}B) がエネルギーの低い中性子 (熱中性子) を吸収し、直ちにヘリウム原子核 (α 粒子: ^4He) とリチウム原子核 (以下、 ^7Li) の2つの重粒子に分裂し、それぞれ $9\sim 10\ \mu\text{m}$ 、 $4\sim 5\ \mu\text{m}$ の距離を動いて、そのエネルギーを放出して停止する原子核反応を医療に応用した治療法である。実際のBNCTの治療手順について概略を述べる。最初に、がん細胞に集まりやすい性質を有するホウ素薬剤を、患者に

約2時間かけて点滴投与し、がん細胞に選択的にホウ素薬剤が集積される状態を準備する。その後、点滴を継続しながら熱中性子線よりエネルギーの高い熱外中性子線を、比較的広いマージンをとって腫瘍に照射する (30分~1時間)。その結果、熱外中性子線は、体内で水素の原子核に衝突しエネルギーを失い熱中性子となり、がん細胞に取り込まれたホウ素薬剤の ^{10}B に吸収され、上述したホウ素中性子捕獲反応により ^4He 、 ^7Li が、がん細胞の場において放出され、殺細胞効果の高い重粒子線として機能し、がん細胞が選択的に死滅する (図1)。

現在、BNCTの臨床研究に使用しているホウ素薬剤は、ボロノフェニルアラニン (borono-phenylalanine : BPA) というアミノ酸にホウ素を付加した薬剤である。がん細胞は、通常の正常細胞より増殖分裂に必要なアミノ酸の取り込み

能力が亢進していることから、がん細胞により多く選択的にBPAが集積することになる。BNCTにおいては、ホウ素中性子捕獲反応により発生する重粒子線の飛程が細胞1個分であるため、がん細胞と正常細胞における細胞レベルでのホウ素薬剤の集積の差が、がん細胞と正常細胞の間の大きな線量勾配にそのまま反映することとなる。このBNCTのきわめてユニークな「がん細胞選択的重粒子線照射」という特長が、正常組織の耐容線量近くまで放射線が照射された部位に再発した放射線治療後局所再発腫瘍に対して、BNCTが適応可能である根拠となっている。

BNCTの最大の弱点は、図1で示したように身体内に打ち込まれた熱外中性子線は、体内で水素の原子核に衝突を繰り返すことにより、そのエネルギーを失い、体深部においては治療に必要とさ

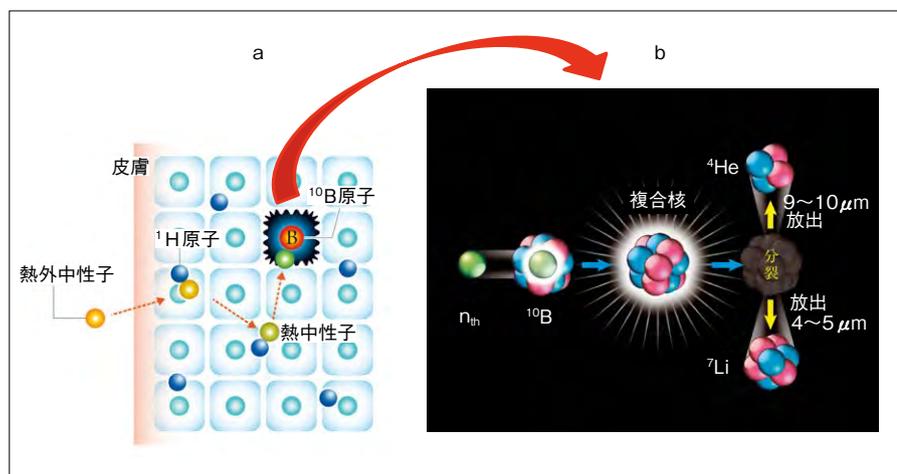


図1 BNCTにおける「がん細胞選択的重粒子線照射」の機序

身体に照射された熱外中性子は水素原子核と衝突を繰り返すことにより、エネルギーを失い熱中性子となり、がん細胞に選択的に取り込まれたホウ素薬剤の ^{10}B と出会う (a)。これを吸収した ^{10}B は複合核となり、直ちに細胞1個のサイズ程度の $9\sim 10\ \mu\text{m}$ の飛程を持つ ^4He と ^7Li に分裂する (b)。この機序により、がん細胞選択的に重粒子線が照射される。