

放射線照射による物質の発光現象を利用し、 陽子線「ミニビーム」の高分解能撮像に成功 ～新しい粒子線がん治療法の線量評価への応用に期待～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院医学系研究科総合保健学専攻の山本 誠一 教授、矢部 卓也 大学院生は、兵庫県立粒子線医療センターの赤城 卓博士とともに、がん治療に用いる陽子線^{注1)}を1 mmのスリット状にした「ミニビーム」をアクリルブロックに照射した時に生じる発光^{注2)}を利用し、ビームの形状を高分解能で撮像することに成功しました。

陽子線などの粒子線がん治療の新しい治療法として、「ミニビーム」が提案されています。粒子線ビームをスリット状にして、がん照射すると、正常組織への影響を減らせる一方で、がんの部分では従来の治療と同じ治療効果が得られる可能性があるというものです。しかし「ミニビーム」は構造が細かいため、その線量分布^{注3)}を短時間で実測することは困難でした。

これまで、放射線を水やアクリルに照射することで微弱光が発生することを発見し、この光を高感度カメラで撮像することで、放射線の線量分布の画像化に成功していましたが、今回、1 mm幅の複数のスリットで構成される陽子線ビームの形状を数分で、高分解能撮像することに成功しました。また、ビームは表面付近でスリット状に分布し、ビームの終端部では均一になる典型的な「ミニビーム」の分布の実測画像を得ることができました。

本研究は、これまで短時間測定が困難であった陽子線「ミニビーム」の線量分布を、わずか数分で画像化できることを示した世界初の成果です。今後、治療で用いられる他の種類の放射線の「ミニビーム」にも利用されることが期待されます。

本研究成果は、2021年5月21日付英国医学物理学専門誌「Physics in Medicine and Biology」にオンライン掲載されました。

【ポイント】

- ・「放射線照射による物質の発光現象」を利用し、「ミニビーム」陽子線治療を想定した1mm幅のスリット状の陽子線を、数分で高分解能撮像することに成功した。
- ・ビームは表面付近でスリット状に分布し、ビームの終端部では均一になる典型的な「ミニビーム」の分布の実測画像を得ることができた。
- ・今後、放射線発光計測法が陽子線のみならず、治療で用いられる他の種類の放射線の「ミニビーム」に対しても利用されものと期待される。

【研究背景と内容】

陽子線などの粒子線がん治療で注目されている方法に、「ミニビーム」が提案されています。これは粒子線ビームをスリット状にしてがんを照射すると、正常組織への影響を減らせる一方で、がんの部分では従来の治療と同じ治療効果が得られる可能性があるというものです。図1に「ミニビーム」治療の概念図を示します。陽子線ビームはある程度の大きさがあり、がん患者に照射されますが、「ミニビーム」ではスリットを通して、細いアレー状あるいは細いビーム状にして照射することを想定しています。細いビームは、患者の体の浅い部分（正常組織）ではビーム状ですが、ビームは散乱などで、患者体内で広がり、条件を調整すれば、がん(腫瘍)の部分で均一な分布にすることができます。スリット状のビームは生体への放射線の影響が少なく、均一な分布は従来通りに治療効果を期待できるのが「ミニビーム」治療のコンセプトで、海外において臨床応用の準備が進んでいます。

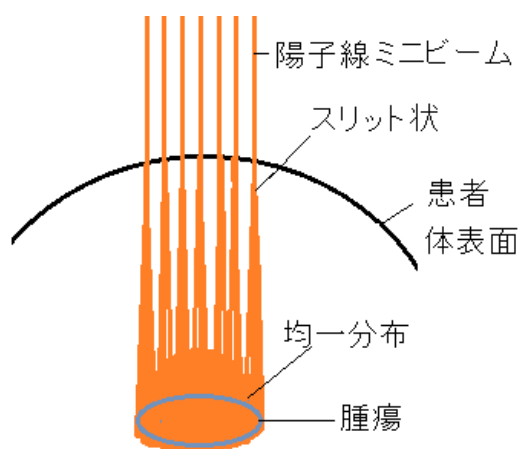


図1 陽子線ミニビームを用いた放射線治療の概念図

しかし、「ミニビーム」は名前の通り構造が細かいため、その線量分布を短時間で正確に実測することは困難でした。特にスリット状の部分の線量分布は、狭い空間で大きく変動するため、正確に測定する必要があります。

これまでに粒子線が水やアクリルブロック中で微弱光を発する「放射線照射による物質の発光現象」を発見し、この光を高感度カメラで撮像することで、粒子線が水などに与える線量分布を画像化できることを実証してきました。今回、この手法が原理的に高分解能画像を測定可能であることに着目し、「ミニビーム」分布測定に利用でき

るとの発想に至り、画像化を試みました。

図 2 に陽子線ミニビーム画像化実験の模式図を示します。広がった陽子線を、スリットを通して、細いビームの形に直し、このミニビームをアクリルブロックに入射したときの「放射線照射による物質の発光現象」による発光を冷却 CCD カメラで撮像しました。

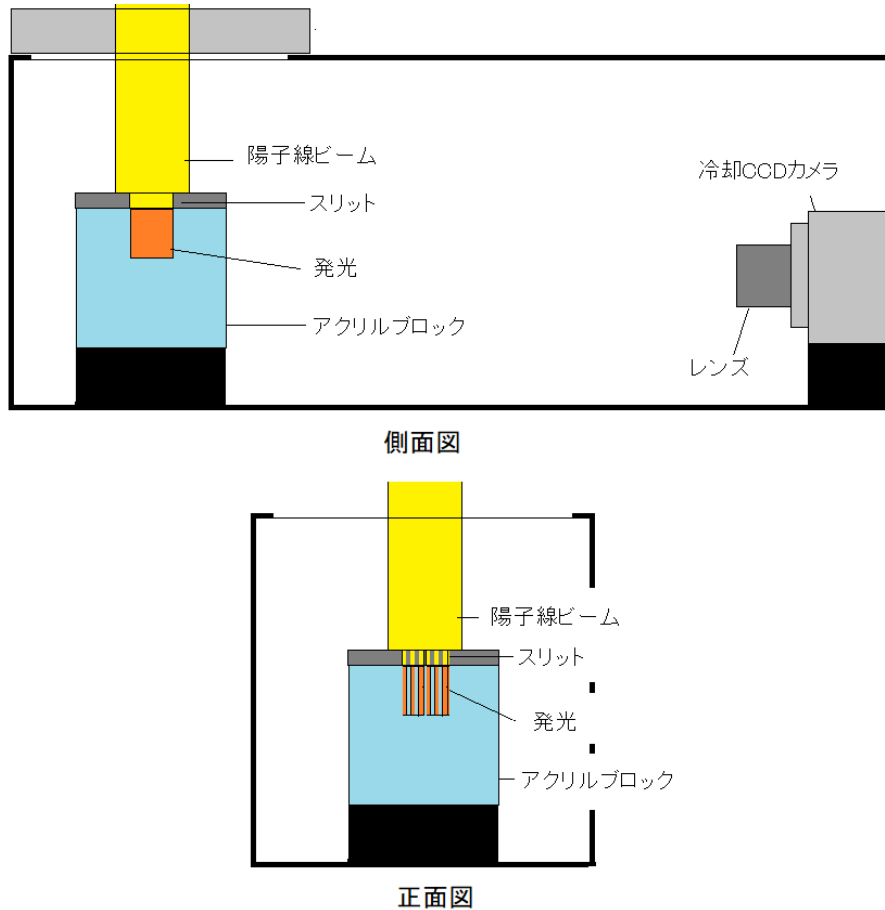


図 2 陽子線「ミニビーム」画像化実験の模式図：上が側面図で、アクリルの陽子線「ミニビーム」による「放射線照射による物質の発光現象」による発光を冷却 CCD カメラで撮像する。下が正面図でスリットを通した後、「ミニビーム」をアクリルブロックに入射する。

図 3 に、数分の測定時間で得られた陽子線「ミニビーム」の発光画像を示します。アクリルの浅い部分では 1 mm 幅のビームの形状が観察されますが、深い部分では、ビームが広がり、均一な分布が得られています。この均一な分布のところに、がんが来るように調整することで陽子線「ミニビーム」のコンセプトによる治療が可能になるもの期待されます。また得られた実測画像はシミュレーション画像と良く一致しました。

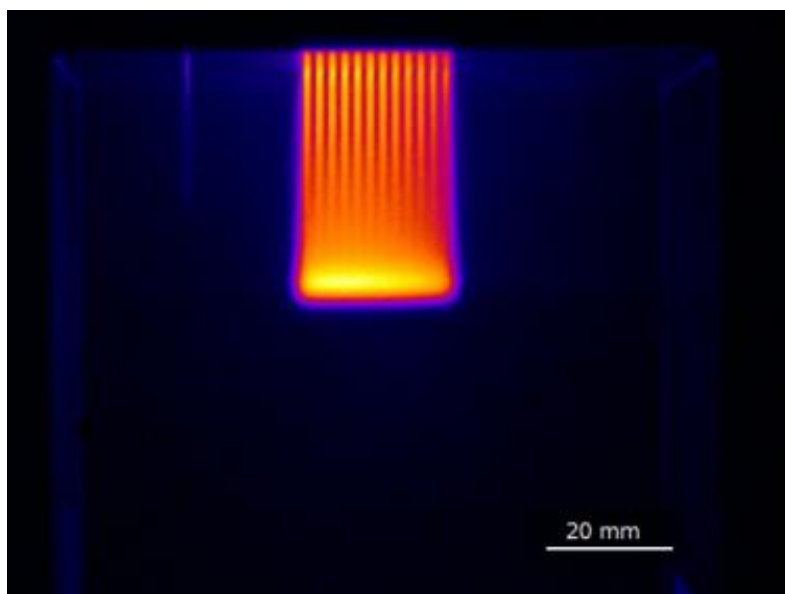


図3 陽子線ミニビームの発光画像：浅いところでは1 mm幅のスリットの形状が観察されるが、深いところでは均一になっている。

発光画像の水平方向の輝度分布を調べると、浅い部分では、山と谷が交互に繰り返されるスリット状の線量分布が得られました(図4左)。ビームの終端(深い部分)では山と谷が無くなり、均一な分布が得られています(図4右)。

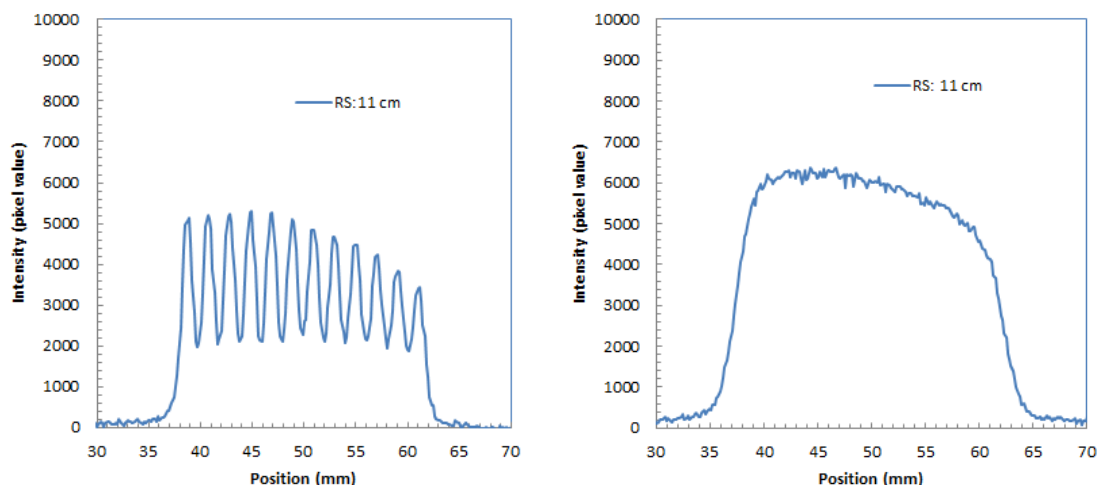


図4 発光画像の水平方向の輝度分布：浅い部分(左図)と深い部分(右)

【成果の意義】

本研究は、これまで短時間測定が困難であった陽子線「ミニビーム」の線量分布を数分という短時間でかつ高分解能で画像化できることを示した世界初の成果です。短時間で正確な線量分布が得られることから、「ミニビーム」の研究が加速するものと期待されます。今後、陽子線のみならず、治療で用いられる他の種類の放射線に対しても今回開発した画像化法が利用できることを実証していく予定です。

【用語説明】

注1) 陽子線 :

陽子を加速し、患者の腫瘍に照射することで治療を行う放射線治療に使われるビームの一種。線量を腫瘍に集中して与えることができるため、治療効果が大きい利点がある。

注2) アクリルブロックに照射した時に生じる発光 :

従来、低いエネルギーの放射線照射では、水やアクリルは発光しないと考えられていた。しかし、この常識に反し、数年前に低いエネルギーの放射線照射で水やアクリルが発光することを明らかにした。

注3) 線量分布 :

放射線治療では、患者に放射線を照射したときにどの部分に、どの程度の放射線の影響があるかを知った上で治療を行う。この放射線を照射された対象が受ける影響の大きさを示す量を線量と言い、その分布を線量分布という。線量分布は計算により求められるが、確認のために電離箱を用い動かしながらの測定も行われる。

【論文情報】

雑誌名 : Physics in Medicine and Biology (英国医学物理学専門誌)

論文名 : Possibility evaluation of the optical imaging of proton mini-beams

著者 : 山本 誠一 (名古屋大学大学院医学系研究科総合保健学専攻 教授)、

矢部 卓也 (名古屋大学院生)、赤城 卓 (兵庫県立粒子線医療センター 博士)

DOI : 10.1088/1361-6560/ac02d7

URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/ac02d7>