



調和ある多様性の創造

Creation of Harmonious Diversity

**量子メス：Quantum Scalpel
がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて
～量研の戦略～**

講演録

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

National Institutes for

Quantum and Radiological Science and Technology

理事長 平野 俊夫

は じ め に

量子科学技術研究開発機構（量研/Q S T）は、放射線医学総合研究所（放医研）と日本原子力研究開発機構の量子ビーム部門と核融合部門が再編統合され、2016 年 4 月 1 日に発足した国立研究開発法人です。これまでに滑走路を整備し、離陸を開始した Q S T は、いよいよ大空高く舞い上がる時期にきています。2019 年 4 月 1 日には、放射線医学などの**量子医学・医療、量子ビーム科学、核融合エネルギー、そして量子生命科学**の 4 つを柱とする **Q S T ver.2** が発足します。また放医研病院は「**Q S T 病院**」として改組し、研究開発病院の使命を推進します。さらに**高度被ばく医療センター**を新設し、日本の被ばく医療の中心としての役割を果たします。それぞれの強みを活かした事業を進めるとともに、部門の垣根を超えた融合研究や産学官連携を進めるための仕組みを整備して重点的な研究開発を行っていきます。このうち、「**次世代放射光施設**」、「**量子生命科学**」及び「**がん死ゼロ健康長寿社会プロジェクト**」は、Q S T 自らの将来の柱とするとともに、Q S T が国内外の産学官連携の中心的役割を果たすべき事業と位置付けています。



今回ご紹介するのは、「**がん死ゼロ健康長寿社会プロジェクト**」です。「がん死ゼロ健康長寿社会」実現のためには、革新的ながん治療開発はもちろんですが、がんの治療中・治療後も**高い Q O L**を維持しながら生活できるということが重要です。また、そういった社会が形成されるためには、高額な医療ではいけません。今後のがん治療は**5 年生存率などの単なる治療成績だけで判断するのではなく、いかに Q O L を維持**できるかということと、いかに**安価に提供**できるかという観点が必要だと思えます。

Q S T 放医研では、1993 年に世界で初めて重粒子線治療装置の開発に成功し、その有効性を明らかにしてきました。Q S T 発足後は、Q S T が一丸となって、核融合の超伝導技術、レーザー粒子加速技術やマルチイオン照射などを組み合わせた、小型・高性能な次世代重粒子線がん治療装置である「**量子メス : Quantum Scalpel**」の開発に取り組んでいます。また、 α 核種を使用した**標的アイソトープ治療**の開発にも取り組んでいます。これらと**免疫治療**などを組み合わせることにより、手術不要で働きながらのがん治療を可能とし、かつ量子メスを世界に普及させることによって安価ながん治療を世界中の人々に提供する「**がん死ゼロ健康長寿社会**」の実現を目指して研究開発を推進しています。

私はこれまで、Q S T 主催のシンポジウムをはじめとして、さまざまなシンポジウムでの講演、大学での講義を通じて、Q S T の「がん死ゼロ健康長寿社会プロジェクト」を多くの皆さまに紹介してまいりました。今般、2018 年 11 月 8 日に、一般財団法人大阪科学技術センター（O S T E C）で行った講演について、O S T E C のご協力も頂き、講演録としてまとめましたのでご紹介いたします。

本講演録によって、多くの皆さまに Q S T の「がん死ゼロ健康長寿社会プロジェクト」をご理解いただけますと幸いです。また、引き続き、変わらぬご支援、ご協力、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。最後に、私たちの活動にご賛同いただければ、Q S T 未来基金へのご寄附のほどよろしくお願いいたします。

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
理事長 平野 俊夫

量子メス：Quantum Scalpel

がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて～量研の戦略～

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

理事長 平野 俊夫

量子科学技術研究開発機構（量研/QST）の平野でございます。今日は「がん死ゼロ健康長寿社会に向けて～量研の戦略～」という題で、「私のがん体験」、「QSTの誕生と量子医学・医療」、「放射線治療とは」、「重粒子線がん治療」、「標的アイソトープ治療」、「感染症から学ぶ免疫の重要性」、「がん死ゼロ健康長寿社会実現のための6つの条件」、「次世代重粒子線がん治療装置である量子メス」、「世界の重粒子線治療施設」、最後に「QST戦略がん（すい臓がん）」についてお話しいたします。



●私のがん体験

今から11年前、レントゲン胸部単純撮影では見えないところにがんが偶然発見されました。人間ドックがきっかけでしたが、CTを撮らなければがんは見つからないところでした。阪大病院に入院し、左の肺を60%切除し、3週間入院、3か月リハビリしましたが、60%も肺を切除したため、回復に時間もかかり、結局3か月ぐらひは講義・講演をキャンセルしました。現在、1期非小細胞肺がんの外科手術後の5年生存率は78%程度です。今同じがんを重粒子線で治療すれば、肺切除は全く不要です。1日で治療が終わるため、働きながら治療ができ、リハビリも不要です。5年生存率は83%。これでほぼ治ってしまいます。1期非小細胞肺がんであれば、重粒子線を1回あてただけで治ります。がん治療のために日常生活への大きな支障がなく、クオ



リティ・オブ・ライフ（QOL）は非常に良いと思います。

●QSTの誕生と量子医学・医療

放射線医学総合研究所（放医研）というのは、60年ぐらひ前に第5福竜丸事件で乗組員が水素爆弾実験の死の灰を浴びた事件があり、その後、日本にも放射線の研究所を作らねばならないという経緯からできました。この放医研と日本原子力研究開発機構の核融合部門と量子ビーム部門とが再編統合されて、2016年4月1日に新しく量子科学技術研究開発機構（QST）として発足しました。

QSTは、北は青森県の六ヶ所村、西は兵庫県の播磨に至るまで、全国7つの拠点にまたがる5つの研究所を持っています。フランスではITER（国際熱核融合実験炉）を建設中です（図1）。



図1

QSTの役割の1つが核融合の研究開発です。核融合エネルギーは究極のエネルギー源といわれております。非常に安全で、燃料は海水から取るので無尽蔵にあります。高レベル放射性廃棄物も出ないということで、「地上に太陽を！」というキャッチフレーズで、日本、欧州、ロシア、アメリカ、韓国、中国、インドの世界7極が共同で実施しているITER（国際熱核融合実験炉）計画において、フランスに実験炉を建設中です。その日本の国内実施機関が我々QSTです。

他に、次世代の燃料電池の高性能電解膜等の新しい機能材料の研究開発、レーザー科学研究開発、がんや認知症に関する量子医学・医療、あるいは放射線被ばく・防護の研究も行っています。これら出口が、エネ



図2

ルギーであったり、物質材料であったり、生命・がん治療であったりと違ってはいますが、すべて量子科学技術に基づいています（図2）。

我々は、「量子科学技術による調和ある多様性の創造により、平和で心豊かな人類社会の発展に貢献する」を理念として取り組んでいます。そして、がんや認知症などを克服して「がん死ゼロ健康長寿社会」実現に貢献したいと考えております。

●平均寿命と健康寿命

がんは、毎年100万人が新しく罹患し、40万人ぐらいの人が亡くなっています。世界では年間1,400万人が新しくがんになり、約20年後には年間2,200万人ぐらいが、がんになるだろうといわれています。まさに2人に1人はがんになり、3人に1人はがんで死ぬ。そういう時代です。もう一方、認知症というのがあります。現在日本には460万人の認知症患者がおり、予備軍が400万人で、近々認知症患者は1,000万人になるだろうといわれています。これをなんとかしなければいけません。

2010年の男性の平均寿命は約80歳、女性は約86歳です。一方、健康寿命、これは、慢性疾患や介護の必要がなく、自覚的に健康であり活動制限もないなどの項目を指数化して、健康か否かを判断して算出します。2010年には男性で約70歳、女性で約74歳であり、平均寿命との差（不健康時間）は男性で約9年、女性で約12年となり、この期間、不健康で生活することになります。2016年の統計では健康寿命と平均寿命は若干よくなっていますが、不健康時間はあまり改善されていません。これからの日本は、この不健康時間を限りなくゼロにし、健康寿命を平均寿命に近づけることを重視していかなければならないと思います。

●放射線治療とは

がんの3大治療法は、「手術」、「放射線治療」、「抗がん剤治療」です。また、皆さんご存知のように今年、

本庶先生がノーベル賞を受賞されたので、一躍、免疫治療がクローズアップされています。免疫治療というのは、昔から免疫学者の間では注目されていた治療法でありました。将来のがん治療というのは、免疫治療と放射線治療が放射線と同等の効果のある治療法の2つの組み合わせになっていくものと考えています。

現在、がん治療に用いられる放射線というのは、例えば、X線やガンマ線、あるいは陽子線、重粒子線のような外から放射線をあてる外部照射と、ヨウ素131を飲ませて甲状腺に集めて甲状腺がんを治すといったような内部照射の2つがあります。この中で我々が実施しているのは、重粒子線（外部照射）と標的アイソトープ治療（内部照射）です（図3）。

・外部照射

- ：治療装置から発生させた放射線を体外からあてる。
- X線（リニアック、IMRT）
- ガンマ線
- 電子線
- 粒子線（陽子線、重粒子線（炭素線））

・内部照射

- ：放射線を出す物質を体内に入れ、放射線をあてる。
- 密封線源（体腔内に挿入、 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 、 ^{125}I など）
- 非密封線源（標的アイソトープ治療、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{211}At 、 ^{225}Ac など）

図3

放射線治療を物理学的な観点から分類すると、皆さんが放射線としてイメージされているのは、X線やガンマ線だと思いますが、X線やガンマ線というのは電磁波であり、性質としては光と同じです。可視光よりも波長が短いため、非常にエネルギーが強い。これらの電離作用によってがん細胞を殺すことができるわけです。一方、陽子や炭素イオン、あるいは電子といった粒子を加速器で加速して、エネルギーを与えてがん細胞にぶつける方法があります。電子の質量を1とすると、陽子は1,800倍、炭素イオンになると電子に比べて21,600倍、陽子と比べても12倍の質量差があります。物質の運動エネルギーというのは、質量と速度の積ですから、同じ速度であれば、質量が大きいほど運動エネルギーが大きくなります（図4）。

重粒子線

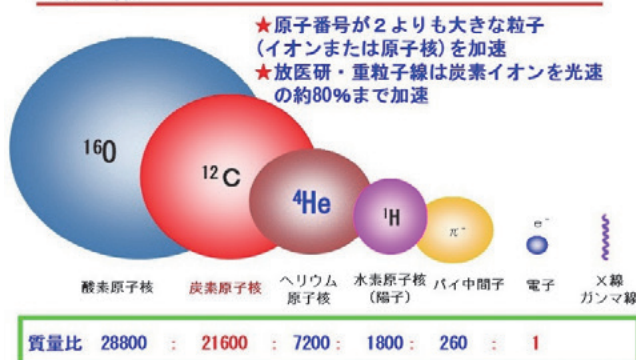


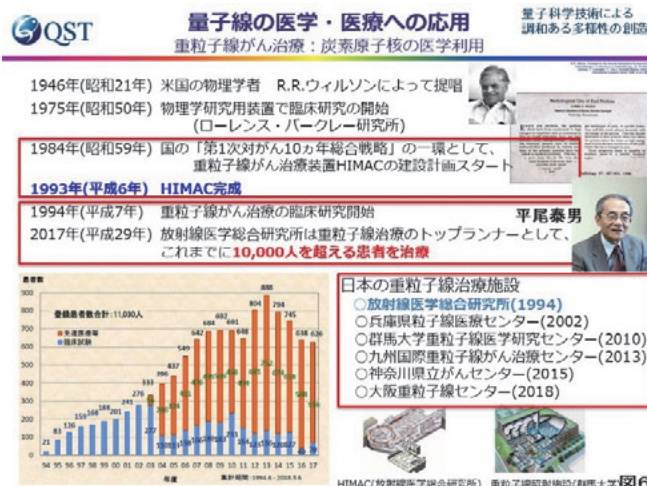
図4

炭素イオンを加速する重粒子線がん治療装置は、QST放医研が1993年に世界で初めて開発に成功しました(図5)。炭素イオンを発生させ、直線加速器である程度加速した後、シンクロトロンでさらに加速し、最終的には光速の80%まで加速します。これは、1秒間に地球を約5.5周する速度です。炭素イオンにこれだけの速度を与え、それを患者さんのがん目掛けてぶつけるわけですから、命中すればがん細胞は必ず死にます。抗がん剤の場合、がんの種類により効く/効かないがありますが、重粒子線がん治療はがんの種類とは関係なく、重粒子線ががん細胞にあたれば、がん細胞は死にます。がん細胞にあたればがん細胞は100%死滅させられる反面、正常細胞にあたればそれが破壊されます。そのため、がん細胞にいかに正確にあてるかというのが問題となります。



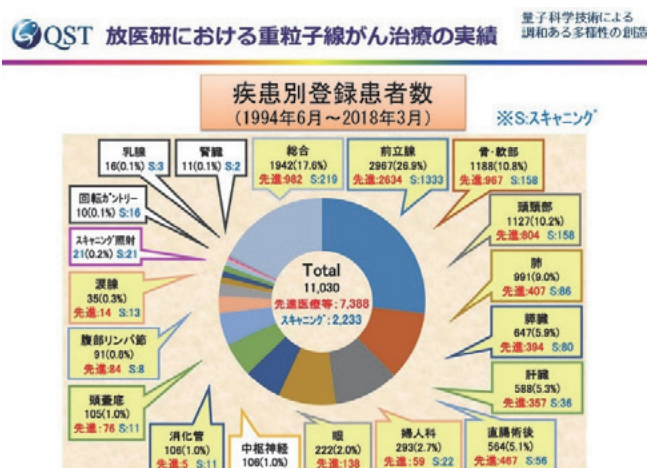
●重粒子線がん治療装置HIMAC:歴史と現状

アメリカの物理学者ウィルソン博士は、粒子線の医学・医療への適用について、原子核を加速器で猛烈なエネルギーを与えてがんにぶつけるとがんは治るのではないかと考え、1946年に論文を発表しました(図6)。それに基づいて、アメリカでは、ローレンス・バークレー研究所が中心になってこの理論を実践しようと試みたものの、ことごとく失敗に終わりました。がん細胞にあたればがん細胞は死にますが、あたらないければ人間が死んでしまうため、なかなかうまくいきませんでした。ウィルソン博士が1954年に、大阪大学に設置しているサイクロトロンを視察に来ました。当時、日本の加速器・物理学をリードしていた菊池正士教授が阪大に設置したものです。この時に、菊池教授の研究室に在籍していた当時は大学院生であった平尾泰男先生が、ウィルソン博士を京都に案内した際、ウィルソン博士から粒子線の医学・医療への適用についての論文を手渡されました。その論文を読んだ平尾先生は感激して、何とかこれを実現したいと思い、その後東京大学の教授を経て、1984年「第1次対がん10カ年総合戦略」の一環として、重粒子線がん治療



装置HIMACの建設計画がスタートしたのを機に放医研に移られました。そして重粒子線がん治療装置の実現に取り組み、10年かけて装置、すなわちHIMACの開発に成功しました(図6)。今から言えば、アメリカは開発に着手した時期が早すぎました。CTなど画像処理できるものが何もなく、重粒子線のがんに100%命中させるのは非常に困難な状況にありました。日本が成功したのは、CTが出始めた時期でもあり、タイミングも良かったといえます。HIMACが完成した1993年から今年でちょうど25年で、この間放医研では10,000人を超える患者を治療しています(図6)。最初は、放医研を訪れる患者さん達は、当時の様々な方法では治療出来ないばかりでした。そのような状況下、放医研の職員は大変困難な時代を経験しましたが、徐々に治療困難ながんが治るケースが出るようになり、重粒子線がん治療が評価されるようになってきました。最近では、この3月に大阪に「大阪重粒子線センター」ができ、10月に第1号の患者さんの治療が始まりました。その他、兵庫県、群馬大学、九州国際重粒子線がん治療センター、神奈川県に施設があり、放医研を含めて、6つの重粒子線治療施設があります(図6)。現在、7つ目が山形大学に建設中です。

重粒子線治療では、前立腺、骨・軟部、頭頸部、肺、すい臓、肝臓など、いろいろながんを治しています(図7)。



特徴が2つあり、1つは他の治療法では治療困難であるものでも重粒子線では有効ということです。頭頸部がんや手術ができない骨軟部肉腫などに重粒子線が有効です。骨軟部肉腫に対する最近の治療成績は、がん細胞が大きく、手術・抗がん剤治療ができない患者さん94症例で5年生存率33%、500cc以下のもう少し小さながんの場合、46症例で5年生存率47%となっており、こういう積み重ねで重粒子線治療が認められてきました。

もう1つは、重粒子線での短期治療が可能ということです。X線で前立腺がんを治そうとすると、20~30回ぐらい照射しないといけません。重粒子線治療の場合は12回照射で済みますし、現在は4回照射の臨床研究が行われています。肺がん(1期非小細胞肺がん)では1回照射で治療できます。もちろん最初は20回ぐらい分割して照射していましたが、20年かけて1回でも大丈夫であることを確認しました。このように短期に治療できるのが大きな特徴で、副作用も小さいのです。

すい臓がんは、いまだに5年生存率10%以下のがんです。放医研でも、まだ完全にうまくいっているわけではありませんが、手術はできないが、他の部位に転移はしていないすい臓がんに対して重粒子線で治療した結果、2年生存率60%の成績を得ています。これは素晴らしい数字です。

● どうして重粒子線ががんに効くのか

一言でいうと、「線量の集中性」と「強い生物効果」です。

1) 線量の集中性 (図8)

X線や中性子線を照射すると最も線量が高いのは皮膚表面で、人体内部に進行していくに従い、人体に吸収され線量が低下します。そのため、がん細胞に到達したときには線量は小さくなってしまいます。一方、炭素線や陽子線は、止まる位置で線量が最大になるBraggピークと呼ばれる特性があります。Braggピークをがん細胞に焦点をあてておくと、そこで最大の

線量となるため、周辺の正常な細胞への影響が少ないのです(図8)。X線の場合、がん細胞に多くの線量を照射すると正常な細胞も影響を受けるため、何回かに分割して少しずつ照射する必要があります。

では、粒子線なら炭素線も陽子線も同じかという、先ほど説明したように炭素線と陽子線では質量が12倍違います(図4)。炭素線は質量が重い分だけ陽子線に比べ、横方向の広がり(散乱)が小さくなります(図8)。横に広がるということは、正常組織にもあたっていることになります。このことから炭素線の方が陽子線よりも線量の集中性が良いということになり、それだけ正常細胞への影響を与えずにがん細胞を狙い撃ちできるのです。

2) 強い生物効果 (図9)

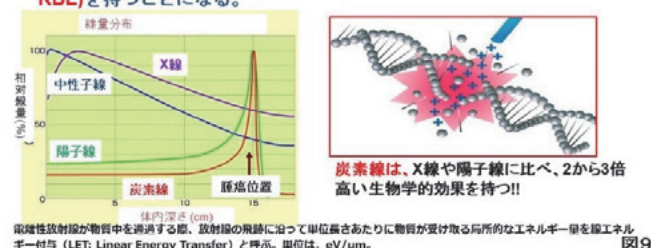
炭素線は高い電離密度を持つ高LET(線エネルギー付与)放射線であり、DNAに直接作用して2重鎖切断などの重篤なダメージを与えることができます。その結果、低LET放射線に分類される陽子線やX線と比較して2~3倍の生物効果を発揮します。また、陽子線やX線では効果が弱い放射線抵抗性のがん細胞にも効果を発揮します。

QST なぜ、炭素線がん治療は効くのか? 量子科学技術による調和ある多様性の創造

炭素線はいろいろな腫瘍に良く効く。なぜ?

理由2: 強い生物効果

- 炭素線はビーム末端で大変強い生物学的効果を持つことである。炭素線のような高LET(線エネルギー付与)放射線の持つ特徴であり、放射線抵抗性腫瘍細胞や低酸素環境でもDNAに重篤なダメージ(2重鎖切断など)を与えることができる。
- その結果、炭素線は、X線や陽子線に比べ、2-3倍強い生物学的効果(高RBE)を持つことになる。



● 標的アイソトープ治療

(Targeted Radioisotope Therapy/TRT)

炭素イオンを使用した重粒子線がん治療は、放射線を体外から照射する外部照射ですが、標的アイソトープ治療は、放射線を体内で照射する内部照射です。

がんに対する抗体やがんに集まりやすい物質は種々あります。これらの抗体や物質に、例えばベータ線やアルファ線を出す放射性同位元素を結合させた化合物を体内に入れることにより、放射性同位元素ががん細胞に集まり、がん細胞を殺します。アルファ線やベータ線の飛程は短いので、正常組織にあたらないで済みます。特に我々は、アルファ線(ヘリウム原子核)に注力しています。ヘリウム原子核はベータ線の本体である電子に比較して7,200倍の質量があり、炭素イオン線のように高LETで高い生物効果を発

QST なぜ、炭素線がん治療は効くのか? 量子科学技術による調和ある多様性の創造

炭素線はいろいろな腫瘍に良く効く。なぜ?

理由1: 線量集中性

- 陽子線と炭素線は腫瘍内で停止する(Braggピーク)。
- 炭素線は、陽子線と違って、横方向の広がりが小さい(重い分だけ散乱が小さい)。
- これらの炭素線の性質のおかげで、高線量を腫瘍に与えても、その周りの正常組織に与える線量を最小にすることができる。

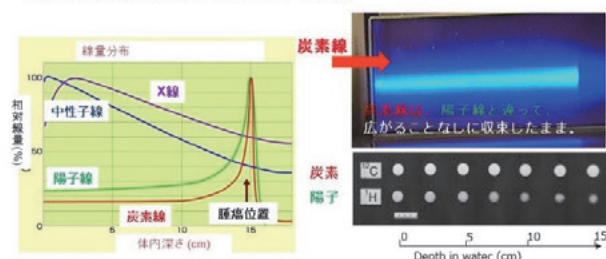
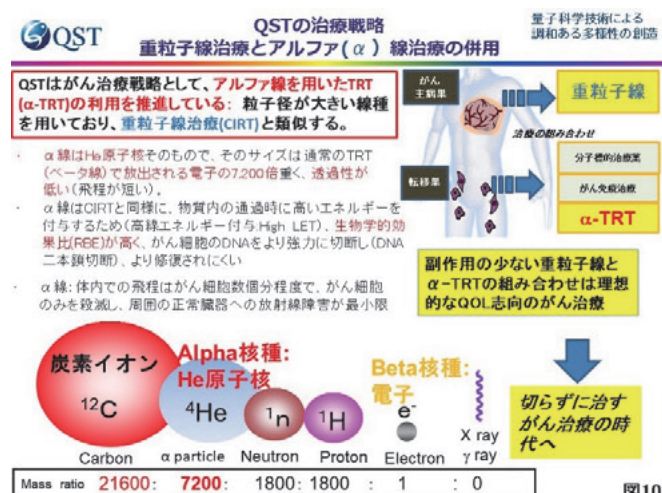


図8

揮します。がんが集まるような薬剤と一緒に使うことで、転移していてもがん細胞を追いかけてアルファ線を照射することができます。我々は、この標的アイソトープ治療と重粒子線治療を組み合わせることで、切らずに治すがん治療が可能になると考えています(図10)。



●感染症から学ぶ免疫の重要性

感染症がなぜ克服できたかを少し考えてみましょう。始まりは、200年ほど前にジェンナーが天然痘に対する予防接種を発明したことです。これが非常に大きい。ところがこれだけでは感染症を克服することはできませんでした。次に大きかったのは、1928年のフレミングによるペニシリンの発明、すなわち抗生物質の発明です。この2つで我々はほぼすべての感染症を制御できるようになりました。これは何を意味しているかというと、まず、免疫系をあらかじめ活性化しておけば、病気にならない、あるいは病気になっても症状が軽い。つまり、免疫さえ準備しておくと、免疫だけで病気を治癒することができることを意味しています。ところが、すでに発症している病気に対しては、予防注射をしても効きません。これは、免疫を活性化するには時間がかかるからで、インフルエンザの予防注射をしたからといっても、効果が出るのに2〜3週間かかります。免疫がまだ準備できていない場合は、抗ウイルス薬や抗生物質を投与することで、病原菌を死滅させたり、減らしたりして時間をかせぐ必要があります。抗生物質が時間をかせいでいる間に免疫が活性化され、最終的に免疫の力で病原菌を絶滅させることができます。実際、抗生物質は免疫不全症の患者さんには、あまり効力はありません。すなわち抗生物質は免疫に依存して効果を発揮しているとも言えます。

これをがんに対してはめて考えてみましょう。がん細胞が増えた結果、がんが発症する。あるいはがん細胞が免疫を逃れた結果、がんが発症する。がんが発症し

た時点では免疫は十分に活性化できていないので、感染症にあたる抗生物質と類似の役割を演じる方法として、重粒子線照射や標的アイソトープ治療でがん細胞を死滅させたり、その数を減らしたり、あるいは免疫が活性化され易い環境を整えたりして時間をかせぐのです。その間に免疫が活性化され、免疫が最終的にがん細胞を絶滅させる。必要ならば免疫治療を加える。このように、免疫を機能させる環境をなんらかの方法でつくることができれば、感染症と同様、がんも克服できると考えています。実際、今回の本席先生らのノーベル賞受賞でも明らかのように、がん免疫の重要性が証明されたわけです。

●がん死ゼロ健康長寿社会実現のための6つの条件

当たり前のことですが、「原発巣」を制御できて、「転移巣」を制御できれば、がんで死ぬことはありません。さらに健康長寿社会のためには、「QOL(働きながらの治療が可能)」を維持できて、一部のお金持ちだけではなく、すべての人が治療を受けられるような「経済性(普遍的な治療方法)」があること。これら4つの条件により、健康長寿社会が実現されると思います(図11)。

また先ほど述べましたように、最終的にがん細胞を絶滅させるのは免疫の役割と考えています。がんを根治しようとする、「免疫は絶対に温存」しておかないといけません。そのため、免疫を破壊するような治療法は行うべきではありません。さらに免疫を活性化できるのであればなおさら良いといえます。

以上のことから、先程あげた4条件に加え免疫の重要性を強調するために「免疫機能温存」と「免疫機能活性」を加えた6条件が、がん死ゼロ健康長寿社会実現のために必要な条件と考えます(図11)。これら6条件と現状のがん治療との関係を整理すると、1つの治療法ですべての条件を満たすことはできないことが分かります(図12)。重粒子線治療ですと、6条件のうち4条件は有利ですが、転移に対しては対処できません。転移に対しては、分子標的薬、標的アイ

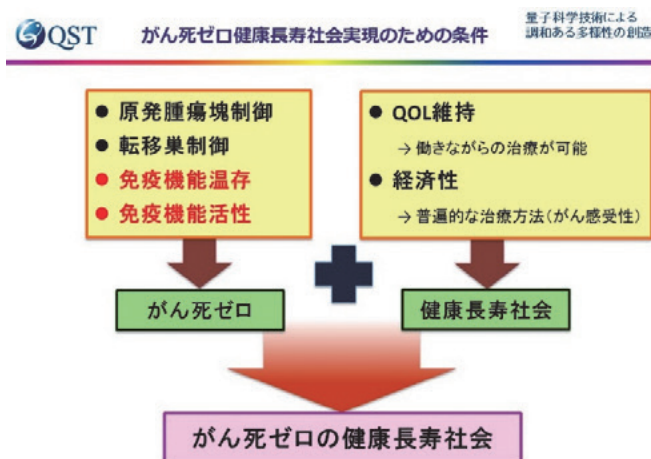


図11

- 1) 原発腫瘍抑制、2) がん感受性(普遍性)、3) QOL維持、
4) 免疫温存、5) 免疫活性、6) 転移抑制

	1) 原発腫瘍抑制	2) がん感受性	3) QOL維持	4) 免疫温存	5) 免疫活性	6) 転移抑制
外科手術	有利	やや有利	中間	やや不利	不利	不利
放射線治療(光子線)	有利	有利	有利	有利	有利	有利
陽子線	有利	有利	有利	有利	有利	有利
重粒子線	有利	有利	有利	有利	有利	有利
標的アイソトープ	有利	有利	有利	有利	有利	有利
化学療法	有利	有利	有利	有利	有利	有利
分子標的	有利	有利	有利	有利	有利	有利
免疫制御	有利	有利	有利	有利	有利	有利

図12

ソート治療、免疫制御といった治療法が有効であることから、これらと組み合わせることで、ほぼがんを治すことができます(図12)。

どの放射線治療でも程度の差はあれ免疫温存や免疫活性化作用はありますが、線量の集中性、強い生物効果については、放射線の中で重粒子線が最も効果が高いのです。また、手術と決定的に違うのは、手術ではがん細胞を切除して体内から除去しますが、重粒子線治療ですと、破壊されたがん細胞が体内に残り、免疫の抗原になります。

局所治療である放射線治療を行った際、照射部位から離れた別の病巣も縮小する現象をアブスコパル効果といい、時々そういった現象が起こることがあります。重粒子線でも同様の現象が確認されており、重粒子線治療により免疫が活性化される可能性を示しています。

以上のことから、我々が目指しているのは、重粒子線でまず原発巣を処理する。転移巣は標的アイソトープ治療や分子標的薬で処理する。必要に応じて免疫治療を行う。これらはすべて体に優しい治療法です。この組み合わせでがん死ゼロ健康長寿社会を実現したいと考えています(図13)。

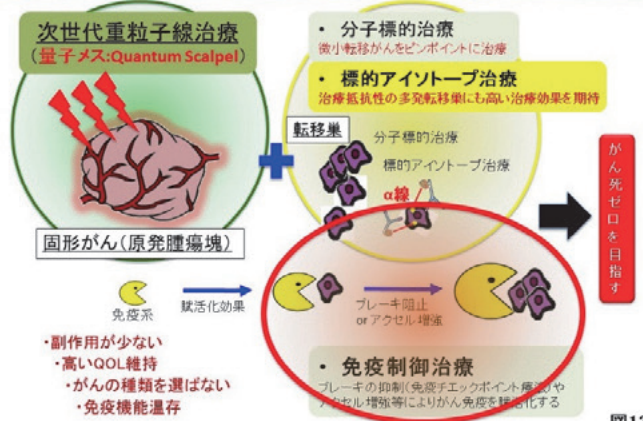


図13

●量子メス：次世代重粒子線がん治療装置

オリジナルの重粒子線がん治療装置は、120m×65mの大きさで、建設費は320億円かかりました。今年、大阪重粒子線センターに入った装置は、60m×45mの大きさですが、これでもまだ大きく、この装置を入れるためには専用の建物が必要となります。我々はこの大きさを10m×20mまで小型化することで、既存の建物で、X線治療装置の部屋を2つ使えば置けるサイズにしたいと考えています。また、高性能化も必要です。先ほど、1期非小細胞肺癌の場合、1回照射で手術とほとんど変わらない5年生存率83%の成績があると話しましたが、他のがんでもそうなるようにしていきたいと思っています。

次世代重粒子線がん治療装置として、我々は小型化、高性能化したものを「量子メス: Quantum Scalpel」と名付けて開発に取り組んでいます(図14)。

重粒子線がん治療装置の超小型化のためには、シンクロトロンと直線加速器(入射器)を小型化する必要がありますが、QSTがもつ2つの先端技術を応用する計画です。1つが超伝導技術です。直径が20mぐらいある現在のシンクロトロンは、常伝導磁石を使用していますが、我々の核融合研究で使われている超伝導技術を取り入れることで、シンクロトロンの直径を7mぐらいにまで小型化したいと考えています(図15)。



小型化(既存の病院建屋に設置可能)
高性能化(ほぼ全てのがんで1回照射が可能)

量子メス

図14

- エネルギーロスの少ない超伝導技術により、大電流を流し、電磁石の磁場を高くできる
⇒ 炭素線の曲率半径の縮小による、電磁石の小型化が可能
⇒ 電磁石が装置の大半を占めているシンクロトロンの大幅な小型化が可能

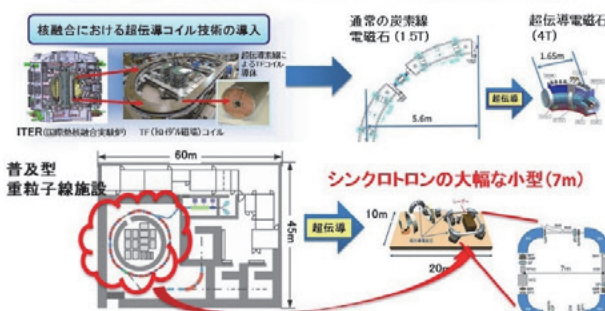


図15

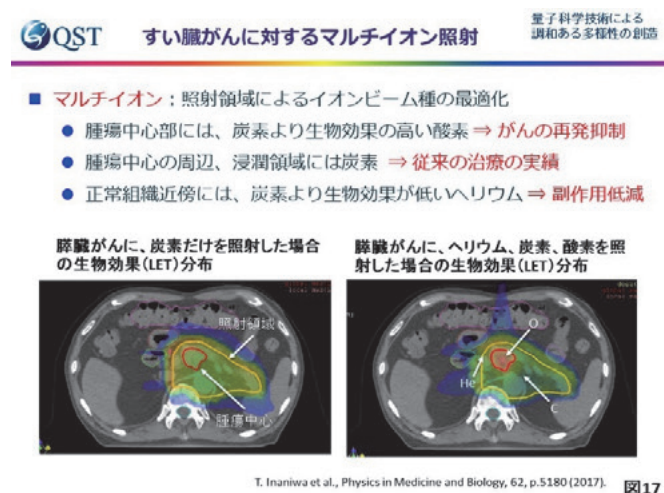
高性能化については、現在は照射する粒子(イオン)は炭素イオンのみを使用していますが、これをマルチ化します。すい臓がんを例にすると、すい臓の周りには重要臓器があるので、たとえ炭素イオンを用いた重粒子線治療でも腫瘍部分にまんべんなく、強い生物効

●世界の重粒子線治療施設と導入計画の現状

アメリカには、現在、陽子線施設だけで重粒子線施設はありません。歴史的にアメリカは真っ先に重粒子線設備の開発を行いましたが、失敗しました。そのようなことが原因かもしれません。ところが、アメリカも陽子線の限界を感じたようで、その 1 つの証拠として、バイデン前副大統領がキャンサームーンショット計画でがんを克服するための様々なプロジェクトを報告している中で、炭素イオンを用いた重粒子線治療やマルチイオン照射が言及されています。また、昨年、University of Texas Southwestern Medical Center (UTSW) の学長が放医研に来られて、重粒子線がん治療の共同研究に関する協定を結びました。まもなくすい臓がんのランダムイズ臨床共同研究が始まります。

●すい臓がん：QST戦略がん

国立がん研究センターが出した最新の統計によると、がんの5年生存率は、胃がんで71%、大腸がんで70%等、全体の平均でも65%となっていますが、すい臓がんだけがいまだに10%以下の状況にあります。我々は、このすい臓がんを「QST戦略がん」に選定しました。その理由は、1) 重粒子線治療では、すい臓がんに対しても良い成績を残していること、2) QSTでは標的アイソトープ治療も行っているので、それをすい臓がんに対しても実施していけること、3) 分子イメージング技術による診断技術によってすい臓がんの早期発見が可能になることなど、QSTの強みを発揮できることです。これらを推進しながら免疫治療との併用ですい臓がんの克服を目指しています。がんを克服するモデルケースとして、すい臓がんをターゲットに取り組んでいるのです。



●最後に

単にがん死を防ぐだけではなく、QOLが維持される治療法でなければ健康長寿は達成できません。端的に言えば、働きながらのがん治療を可能にする必要があります。そのためには、身体に優しい治療でなければなりません。またそういった社会が形成されるためには、高額な医療ではいけません(図18)。



図18

量子メスが大量に世界に普及し、世界の毎年1,400万人の患者さんの50%を量子メスで治療することができれば、十分に採算がとれます。数兆円の市場規模になるため、量子メスを安く製造でき、かつ1回で治療できるとなれば、たくさんの患者さんを治療することが可能となります。現在、日本には6つの重粒子線施設があり、年間約2,000人の治療を行っているものの、日本の年間患者のわずか0.2%、世界にすると0.02%以下にすぎません。量子メスや標的アイソトープ治療を1日も早く完成させて世界中の人を治療できるようにしたいと考えています。

1993年に放医研は世界で初めて重粒子線治療装置の開発に成功し、2016年には治療件数が1万件を超えました。2016年には、骨軟部腫瘍が保険適用されたのに続き、今年の4月には前立腺がんと頭頸部腫瘍が保険適用されました。現在肝臓がん、早期肺がん、局所進行性膀胱がんは先進医療に指定されており、これらのがんが保険適用されるのもそれ程遠くない状況にあります。また、近い将来韓国と台湾で装置が稼働することで、QST放医研が開発された重粒子線がん治療装置が世界に羽ばたきます。来年2019年には重粒子線がん治療25周年記念シンポジウムを開催することを考えています。

我々の研究所は、加速器工学、レーザー科学や臨床(重粒子線治療)などいろいろな分野、異分野の研究領域の専門家が集結しています。医学、生物学、理工学が融合していて、さらに病院もあるため、基礎から臨床までシームレスな連携が可能となっています。

夢は叶えるためにあります。夢はなかなか実現が不

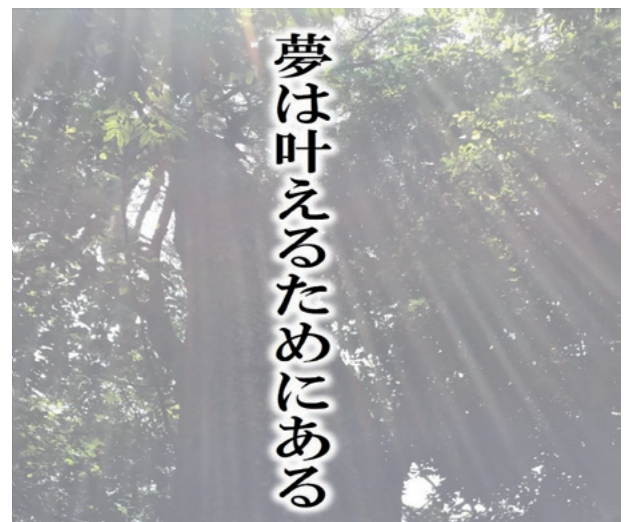
可能だから「夢」ですが、夢を夢だと思っていると永久に夢のままです。夢に向かって目の前の小さな山を1つ1つ登り切って行くと、いつの日か夢は現実のものとなります。たとえ、夢が叶えられなくても、夢に向かって1つ1つのことをやるそのプロセスが人生を豊かにするだろうし、組織を活性化させるのではないかと思います。引き続き、応援をよろしくお願いいたします。どうもありがとうございました。



【講演後談】

これまで、シンポジウムでの講演や大学での学生への講義など、さまざまなところで「がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて～量研の戦略～」と題した講演を行ってきていますが、いつも講演を終えると、たいへん疲れます。しかしながら、講演終了後の聴衆の皆さんや学生の皆さんの声をお聞きすると、逆に元気をもらい、また講演しよう！という気持ちが湧いてきます。

1日でも早く「量子メス」を完成させて世界中の人々が「がん死ゼロ健康長寿社会」を享受できるようにQSTが一丸となり頑張りたいと思いますので、QST未来基金へのご寄附など皆様方のご支援のほどよろしくお願いいたします。



この講演録は、2018年11月8日に開催されたOSTEC講演会における講演の模様をまとめたものです。

QST 未来基金 ご寄附お願い致します

QST は、がんや認知症などの診断や治療、放射線防護や被ばく医療など健康長寿・安全社会に貢献するいのちを支える研究、更に、量子ビームや高強度レーザーなどを利用した光・量子科学など暮らしを支える研究、エネルギー研究など、量子科学技術に基づく研究開発により、「調和ある多様性の創造」を推進し、平和で心豊かな社会の発展に貢献することを理念としております。

「QST 未来基金」はこれらの理念に基づく研究開発の更なる発展のために、皆様からのご支援を活用させていただき取組です。人類の未来を開く活動にご理解とご賛同をいただき、QST 未来基金へのご支援を賜りますよう、謹んでお願い申し上げます。

量子科学技術による 「調和ある多様性の創造」 平和で心豊かな社会

●がん死ゼロ健康長寿社会：

量子メスや標的アイソトープ治療
次世代量子イメージング診断技術の開発
認知症 診断・治療

●「地上に太陽を」： 環境に優しく安全なエネルギー源 核融合研究開発

●新しい機能材料の開発： スピントランジスタなど 次世代情報デバイスの研究開発

●科学する心を育む： 「科学する心」を育む 「きつづ光科学館ふおとん」



QST寄附

検索

量研寄附

検索

ご寄附のお申込・お問合せ先

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

量子科学技術研究開発機構 イノベーションセンター研究推進課 「QST 未来基金」係

TEL:043-206-3023 FAX:043-206-4061 E-mail:kifu@qst.go.jp

URL: <http://www.qst.go.jp/about/contribution.html>

量子科学技術による 調和ある多様性の創造

～ 平和で心豊かな人類社会の発展に貢献する ～



国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1(本部) TEL:043-382-8001(代表)

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 22 階(東京事務所)

<http://www.qst.go.jp/>