

2019年7月24日

報道機関 各位

## 新たな高性能画像診断機器である「医療用コンプトンカメラ」を開発し、世界で初めての臨床試験に成功

### —PET 薬剤と SPECT 薬剤の同時計測・画像化に成功—

#### 【本件のポイント】

群馬大学重粒子線医学推進機構（群大）の中野 隆史 特別教授らの研究グループは、量子科学技術研究開発機構（量研）の河地 有木 プロジェクトリーダーらの研究グループ、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）の高橋 忠幸 教授および宇宙航空研究開発機構（JAXA）渡辺 伸 助教らのグループとの共同研究により、**医療用コンプトンカメラ**の開発を進めてきました。この度、世界で初めてとなる臨床試験を行い、人体に投与した2種類の核医学診断薬剤（ $^{18}\text{F}$ -FDG（PET 薬剤）と  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA（SPECT 薬剤））が特定臓器に集積している様子を同時に可視化することに成功しました。

今回使用した2種類の薬剤は、これまで別々の診断装置（PET および SPECT）で使用されてきた薬剤です。本研究ではこの2種類の薬剤を同時に被験者へ投与し、1台のコンプトンカメラで同時に測定することに成功いたしました。コンプトンカメラの臨床応用は、複数同時検査の実現により、被曝量の軽減及び検査時間の節約による患者負担の軽減化に寄与するとともに、これまでに無い診断技術を生み出し、新たな診断薬の開発にもつながると期待されます。この成果は、国際学術誌「Physics in Medicine and Biology」に7月20日（日本時間）にオンライン掲載されました。

#### 【本件の概要】

現在、がんの診断や臓器の機能検査を行うためには、PET（陽電子放射断層撮影装置）<sup>注1</sup>や SPECT（単一光子放射断層撮影装置）<sup>注2</sup>と呼ばれる装置が必要不可欠となっています。しかし、これらの装置には性能的に幾つかの限界があります。例えば、PET は特定のエネルギー（511 キロエレクトロンボルト：keV<sup>注3</sup>）のガンマ線を出す陽電子放出核種<sup>注4</sup>しか測定できません。一方、SPECT は金属製のコリメータ<sup>注5</sup>の放射線遮蔽能力の制約から、低いエネルギーのガンマ線しか利用されてきませんでした。群馬大学・量研・Kavli IPMU の研究グループは、新たな画像診断機器として、1台で幅広いエネルギー範囲のガンマ線を複数同時に識別して測定できる「医療用コンプトンカメラ」試験機の開発を行いました。

本研究で使用したコンプトンカメラには JAXA が中心となって宇宙観測用（遠距離、低イベント率）に開発した技術を転用し、近距離、高イベント率の環境に応用しています。シリコン（Si）<sup>注6</sup>とテルル化カドミウム（CdTe）<sup>注7</sup>の半導体を放射線検出素子として用いることで、放射線識別用

のコリメータを必要とせず、広いエネルギー範囲のガンマ線を、精度よく識別しながら、効率よく検出することができます。

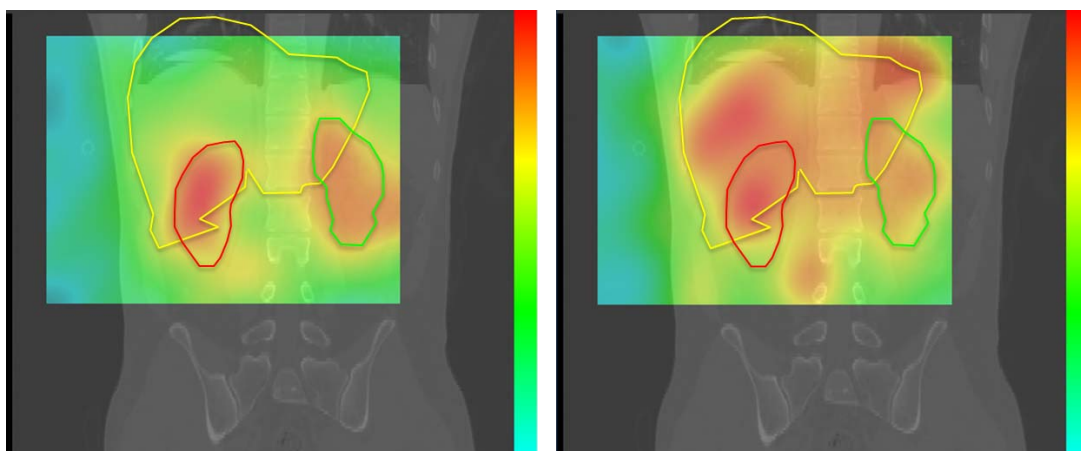
医療目的での開発のポイントは、1) コンプトンカメラから 30 cm 程度の近距離にある 2) 複雑な形状の測定対象（臓器や病変部）から放出される 3) 高強度のガンマ線をイメージングできること、4) 医療で汎用的に利用されている 140 keV から 511 keV までのエネルギー範囲のガンマ線が計測できること、そして 5) 高いエネルギー分解能と空間分解能を併せ持つこと、でした。

これまで、マウスなどの小動物を用いた測定については多数の報告が有りましたが、臨床試験が実施された例はありませんでした。今回、JAXA と量研の技術的支援の下、上記の医療用コンプトンカメラとしての開発課題を達成するとともに、群馬大学において、1) ラットを用いた動物試験や人体臓器模型を用いた試験を重ね、同時計測に必要な条件を明らかにしたこと、2) 既に医療現場で汎用的に使用され、その安全性が確認されている薬剤で測定できる条件を確認したこと、及び 3) 人体の安全性に十分配慮し、通常の核医学診断で用いられる投与量以下の放射性薬剤で測定できる条件を明らかにしたこと、により臨床試験が可能となりました。

今回のコンプトンカメラを用いた世界初の臨床試験では、最も汎用的な PET 薬剤である  $^{18}\text{F}$ -FDG 注<sup>8</sup>（フルオロデオキシグルコース）と、腎機能検査で一般的に使用される SPECT 薬剤である  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA 注<sup>9</sup>（2, 3-ジメルカプトコハク酸）の二薬剤を被験者に同時投与しました。これらの薬剤は被験者の体内でそれぞれ肝臓と腎臓に集積します。そして、集積した臓器内からそれぞれ別々のエネルギーのガンマ線を放出します。この 2 種類のエネルギーを持つガンマ線を同時に測定した結果、 $^{18}\text{F}$ -FDG で肝臓を、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA で腎臓を、二次元画像として同時に可視化することに成功しました。

これにより、従来 PET 及び SPECT による二つの画像診断を、一台のコンプトンカメラで実現できることを実証しました。現在の検査・診断には、個別の薬剤を個別の装置を用いて測定する必要があったため、長い期間が必要となっています。コンプトンカメラが実用化されれば二種類以上の放射性薬剤による同時測定が可能となり、検査期間の大幅な短縮が可能になります。また複数薬剤の検査を組み合わせることにより、新たな臓器機能検査の発展が期待されます。さらに、コンプトンカメラは 1000 keV 以上のエネルギーを持つガンマ線も測定できることから、医療に利用できるエネルギー範囲の制限が大幅に拡大されます。これまでの核医学の分野で使用されていなかった放射性同位元素を用いた全く新しい診断薬や、それらを用いる新規の診断手法の開発につながり、これまでにない診断・治療技術の展開が期待されます。

この成果は、国際雑誌「Physics in Medicine and Biology」に 7 月 20 日（日本時間）にオンライン掲載されました。



コンプトンカメラによる2核種同時計測・イメージング結果

（左： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA からのエネルギー141 keV の放射線をイメージングした図、

右： $^{18}\text{F}$ -FDG からのエネルギー511 keV の放射線をイメージングした図。

図中に示した色枠線は CT 画像上の臓器の形状：肝臓（黄色）及び腎臓（赤：右腎、緑左腎））

PET 薬剤と SPECT 薬剤の同時測定に成功したことの意義は大変大きいものがあります。PET 装置と SPECT の測定原理は異なっているため、これまでは両方の診断装置を用意し、別々に測定する必要がありました。本技術により PET 検査と SPECT 検査の期間短縮や患者被曝量の軽減化につながります。また複数機能同時検査等の実現によって、新たな診断技術の発展が期待されます。さらには、新たな放射性核種を用いた薬剤の開発も可能となります。

## 【用語解説】

### 注) コンプトンカメラ

→飛来するガンマ線（高エネルギーの光子）を複数の検出器を用い、反射した角度と検出器が受け取ったエネルギーから、ガンマ線のエネルギーだけでなく飛来した方角情報を得る技術を用いた、放射線検出器の一種。開発当初から天体から飛来するガンマ線の測定に用いられてきた。その他の同性能の検出器と比較して小型化しやすい利点がある。

### 注 1) PET（陽電子放射断層撮影装置）

→サイクロトロン加速器などを用いて作成された、陽電子（電子の反物質）を放出する放射性同位体を含む薬剤を用いて、体内における薬剤の集積分布を撮影する装置。陽電子は電子と結びつくことで消滅し、その際に 511 キロ電子ボルト（エネルギーの単位）のガンマ線が反対方向に 2 本放出される。断層画像は、この 2 本のガンマ線を、人体の周囲に配置したガンマ線検出器で測定したデータをもとに、画像を再構成することで得られる。

### 注 2) SPECT（単一光子放射断層撮影装置）

→放射線、主にガンマ線（高エネルギーの光子）を放出する核種（放射性同位体）を含む薬剤を用いて、体内における薬剤の集積分布を撮影する装置。人体の周囲に検出器を置き、ガンマ線の方向を制限するフィルタを装着して測定する。このフィルタは金属製で、測定したいガンマ線のエネルギーに応じて変更する必要があり、またフィルタにガンマ線が吸収されるために、検出効率が低下する。

### 注 3) キロエレクトロンボルト : keV

→エネルギーの単位。キロは 1000 倍の意味で、1eV（エレクトロンボルト）は  $1.6 \times 10^{-19}$  ジュール。

### 注 4) 陽電子放出核種

→鉄よりも陽子数の少ない原子核において、核内の中性子の数が陽子と同じか少なくなると、その原子核は不安定になり、プラスの電荷をもった「電子の反物質」を放出する核種があることが分かっている。電子がマイナス、つまり負の電荷をもつため、「電子の反物質」を陽電子と呼んでおり、この陽電子を放出するような原子核の一連を、陽電子放出核種と呼んでいる。医療では  $^{11}\text{C}$ （炭素、陽子 6 個に中性子 5 個）や  $^{18}\text{F}$ （フッ素、陽子 9 個に中性子 9 個）などが用いられる。

### 注 5) コリメータ

→collimate とは「平行にする」という意味の英語で、ここでは、外部から検出器に飛来した放射線を、その検出器に対して平行な放射線のみにするよう作用する器具のこと。一般には金属の細いスリットが

用いられ、飛来したガンマ線のうち、平行でないガンマ線を反射、吸収することで、放射線のうち平行成分のみが検出器に届くようにしている。

#### 注 6) シリコン (Si)

→ケイ素 (けいそ、珪素英: silicon) と呼ばれる原子番号 14 の元素で、ここでは飛来したガンマ線のエネルギーを一部吸収するような半導体素材として用いられている。

#### 注 7) テルル化カドミウム (CdTe)

→テルル (英: tellurium) は原子番号 52 の元素で、カドミウム (英: cadmium) は原子番号 48 の金属元素である。テルル化カドミウムはこれらの金属の化合物であり、密度が高く、飛来したガンマ線のエネルギーを大きく吸収するような半導体素材として用いられている。

#### 注 8) $^{18}\text{F}$ -FDG (フルオロデオキシグルコース)

→グルコース (ブドウ糖) の中で、一部を陽電子放出核である  $^{18}\text{F}$  (フッ素 18) に置き換えた物質。グルコースと同じように、糖の取り込みが多い臓器、器官に取り込まれるが、代謝しないために、取り込まれた臓器、器官に蓄積する。

#### 注 9) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA (2, 3-ジメルカプトコハク酸)

→DMSA (meso 2, 3-dimercaptosuccinic acid : 2, 3-ジメルカプトコハク酸、通称 : Succimer、商品名 : Chemet) は、米国 FDA が認可している小児用の鉛中毒治療薬のキレート剤で、尿中への鉛排泄を増加する働きがある。この DMSA に放射性同位体である  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (テクネシウム 99) を標識したもので、血中に投与し腎機能などの働き、病変などを検査する際に用いられる。

## 【お問い合わせ先】

(研究について)

国立大学法人群馬大学 重粒子線医学推進機構 特別教授 中野 隆史  
群馬大学医学部附属病院 システム統合センター 准教授 鳥飼 幸太

(取材対応窓口)

国立大学法人群馬大学 昭和地区事務部総務課広報係

TEL : 027-220-7895 FAX : 027-220-7720

E-mail : m-koho@jimugunma-u.ac.jp

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

経営企画部広報課

TEL : 043-206-3026 FAX : 043-206-4062

E-mail : info@qst.go.jp

東京大学国際高等研究所

カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) 広報担当

TEL : 04-7136-5977

E-mail : [press@ipmu.jp](mailto:press@ipmu.jp)

## 【著者一覧】

- 中野 隆史 (なかの たかし)  
量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門長  
<https://www.qst.go.jp/site/gms/>
- 酒井 真理 (さかい まこと)  
群馬大学重粒子線医学研究センター 助教  
<https://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/lab/>
- 鳥飼 幸太 (とりかい こうた)  
群馬大学医学部附属病院 システム統合センター 准教授  
<https://hospital.med.gunma-u.ac.jp/>
- 鈴木 義行 (すずき よしゆき)  
福島県立医科大学 医学部 主任教授、福島県立医科大学附属病院 副病院長  
<https://www.fmu.ac.jp/>
- 野田 真永 (のだ しんえい)  
埼玉医科大学国際医療センター 教授  
<http://www.international.saitama-med.ac.jp/>
- 山口 充孝 (やまぐち みつたか)  
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 主幹研究員  
<https://www.qst.go.jp/site/taka/2077.html>
- 武田 伸一郎 (たけだ しんいちろう)  
東京大学国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 特任助教  
<https://www.ipmu.jp/ja/20190724-compton-camera>
- 長尾 悠人 (ながお ゆうと)  
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 技術員  
<https://www.qst.go.jp/site/taka/2077.html>
- 菊地 美貴子 (きくち みきこ)  
群馬大学重粒子線医学研究センター 元技術補佐員  
<https://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/lab/>
- 小高 裕和 (おだか ひろかず)  
東京大学理学系研究科 助教  
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/>
- 神谷 富裕 (かみや とみひろ)  
群馬大学理工学府 教授  
<http://www.gunma-u.ac.jp/faculty/facu002/g1832>
- 河地 有木 (かわち なおき)  
量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 プロジェクトリーダー／上席研究員  
<https://www.qst.go.jp/site/taka/2077.html>
- 渡辺 伸 (わたなべ しん)  
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 助教  
<http://www.isas.jaxa.jp/>
- 荒川 和夫 (あらかわ かずお)  
群馬大学重粒子線医学研究センター 元客員教授  
<https://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/>
- 高橋 忠幸 (たかはし ただゆき)  
東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 教授/主任研究者  
<https://www.ipmu.jp/ja/20190724-compton-camera>