

## 《シンポジウム III》

## 「新しい核医学技術 21 世紀の展望」

## 司会の言葉

村山 秀雄 (放射線医学総合研究所医学物理部)

藤田 透 (京都大学医学部附属病院)

核医学イメージング法の普及は、放射性薬剤の開発とイメージング装置技術の進歩に負うところが大きい。イメージング装置の感度、位置分解能、エネルギー分解能、時間分解能、高計数率特性の改善が進むことにより、計測データの質は一段と向上してきた。その計測データから体内放射能分布を高い精度で描出するには、画像再構成等の演算を施す前に検出感度校正や散乱線・吸収の補正を適切に行う必要がある。情報処理技術が進歩したことにより、複雑ではあるがより正確な散乱線補正や吸収補正が実施可能となり、以前は難しかった画質の改善が実現可能となってきた。

$^{67}\text{Ga}$  クエン酸ガリウムや  $^{201}\text{Tl}$  塩化タリウムなどが、腫瘍イメージング剤として診療現場で利用されてきた実績は大きい。しかしその一方で、はるかに検出能が向上すると期待される  $^{18}\text{F}$ FDG 検査の普及が進まないのは、PET 装置をもつ施設に限られていたためである。今後は、 $^{18}\text{F}$ FDG を供給する体制の整備が見込まれることから、PET/SPECT を併用できるイメージング装置の必要性が生じており、新たな核医学イメージング技術の挑戦が始まっている。廉価版 PET 装置の開発が徐々に進み、全身スキャン時間を 5 分以下にする低価格 PET 装置が 10 年後に実現すれば、1 人あたり現在の 10 分の 1 程度の費用で  $^{18}\text{F}$ FDG 検査が可能になるかもしれない。さらに、ヒトゲノムの解明に伴い遺伝子発現を探る分子イメージングに関連して、より高感度・高解像度の核医学イメージング装置を開発する要求が高まるとみられる。マウスを対象にした高分解能小型 PET 装置の開発が先行しているが、将来は臨床用の高感度・高解像度 PET 装置の開発が目標になるだろう。

PET で開発された方法を SPECT に移行して普及を図ることも重要である。近年は SPECT 装置の性能向上に伴い、定量性を目指す検査が増加しつつあり、外部線源を用いた吸収補正因子測定法が多数提案されている。市販の SPECT 装置にも、これらの方法がオプションとして採用されるようになってきた。さらに、冷却せずに使用できる CdTe や CdZnTe などの化合物半導体の製造技術が向上し、これらをガンマカメラに利用する動きが活発化している。また、1+1 が 2 以上の効果を発揮する PET/CT、PET/MRI などのハイブリッド装置を開発し、診断精度の向上に寄与しようとする研究も盛んになりつつある。このように臨床目的に応じたオーダーメイドの核医学装置が供給可能になると、利用者は臨床目的ごとに装置の特徴をよく理解して、適切な装置選択およびパラメータ設定をしなければならない。

核医学技術は、アンガー型ガンマカメラのように円熟したものもあるが、決して完成したわけではなく、性能向上のための研究が絶え間なく続けられる。日進月歩の核医学技術にあって、利用者はともすれば小手先の技術の取得に追われがちとなるが、新たな装置や手法を導入して医療に貢献できるか否かは核医学技術者の能力に大きく依存しており、技術の基礎を深め応用能力を磨くことが益々必要とされるであろう。

今回のシンポジウムでは、第一線で活躍されている 5 名の方々に、それぞれの現場における立場から、核医学技術をにやう若い人の励みになるような 21 世紀の核医学技術の展望を語っていただき、その意気込みを参加者全員で共有していただきたい。

## 《シンポジウム III》

## 核医学装置用検出器

山 本 誠 一

(神戸市立工業高等専門学校電気工学科)

核医学に限らず医療機器の分野は保守的であり新しい製品がなかなか開発されない傾向にあるように感じる。この傾向は医療機器の研究者にとっては都合の良い面もある。これまでやられていないことをやれる機会が多いということである。最近開発された PET/SPECT 装置や PET/CT 装置などはその代表例である。

PET 装置用検出器は現状、高分解能 PET とローコスト用に分かれてきた。高分解能 PET 装置は従来のブロック型検出器のシンチレータを発光量の多いものに変更したり、光電子増倍管 (PMT) を小型の位置有感型にすることで達成することが試みられている。高分解能を最も要求されるのは動物用 PET 装置である。UCLA が開発した microPET はシンチレータに LSO を用い、位置有感型 PMT に光学結合する構造の検出器により高分解能を達成している。

ヒト用の PET 装置に関しても、従来 BGO が主流であったシンチレータを LSO に置き換える動きもある。シンチレータを LSO にすることは発光量の増加による空間分解能の向上のみならず、速い発光減衰時間の性質を利用して、計数率特性を向上できる利点もある。最近 CTI 社から発表された LSO を用いた PET 装置は計数率特性の改善による測定時間の短縮を目標にしている。

高分解能とローコストの両方を達成可能な検出器で、今後の主流になる可能性があるものとして PMT Quadrant Sharing (PQS) がある。これはテキサス大学の Wong により開発された方法で、PMT を

シンチレータブロックに対し 2 次的にオーバーラップして配置することにより従来のブロック型検出器に対して PMT の直径を 2 倍のものをい用い、総数を 1/4 に減らすことを可能にする手法である。この手法で PMT を従来と同じだけ用いれば、空間分解能を平面方向、体軸方向とも 2 倍に向上できることになり、高分解能を達成する場合にも有効である。その他のローコスト PET としては NaI(Tl) を用いた円形ガンマカメラ型のものや、新しい試みとして GSO を用いたガンマカメラ型 PET 装置も試作されている。

シングルフォトン用検出器としては、未だ NaI (Tl) が主流であるが、最近半導体検出器も試みられはじめている。室温で使用可能なものとして CdTe や CdZnTe があり、術中プローブや小型のガンマ線イメージング装置として実現されている。

このように核医学装置の検出器も新しい動きがある。しかしその進歩はきわめてゆっくりとしており、このような状況においては新しいアイデアがあればそれを実行するだけで相対的に大きな進歩を達成できることになる。また医療機器の分野の開発は必ずしも原理的に新しい必要はなく、コストを下げる、診断能を上げる、あるいは使いやすくするなどの点も重要であり、高い評価を受けることも多い。残念ながら現状では、これらのどの点についても海外を中心に進んでいるように感じられる。ともかくアイデアをまず実行に移すこと、これが新しい装置を創り出すために必要なことと考える。

## 《シンポジウム III》

## 画像・信号処理技術

村 瀬 研 也

(大阪大学医学部保健学科医用工学講座)

近年の核医学診断法は診断機器の改良, 放射性医薬品やデータ解析手法の開発などにより, 著しい発展を遂げている. たとえば多検出器型 SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) 装置の普及に伴い, 感度や空間分解能の改善やスループットの向上がもたらされている. 一方, SPECT では PET (Positron Emission Tomography) で検出される消滅  $\gamma$  線に比べて比較的低エネルギーの低い  $\gamma$  線を検出するため, 体内での  $\gamma$  線の減弱や散乱の影響が大きく, 定量性の点で PET に劣っている. しかし, 最近はこの補正法についても精力的に研究が行われ, 多くの補正法が提案されて SPECT の定量性は PET の定量性に限りなく近づいている. なかでも外部線源や X 線 CT 画像を用いた補正法が開発され, それに伴い Truncation error の補正法や X 線 CT 画像との Registration などの画像処理技術も発展してきている. SPECT の画像再構成法についても, これまで有用性は認識されていたが, 処理時間の点で実用化されていなかった逐次近似法もコンピュータの性能の向上に伴って臨床の現場で利用できるようになってきている. その例として最尤推定 - 期待値最大化 (ML-EM) アルゴリズムやそれを高速化した OS-EM (Ordered Subsets-EM) 法, さらにベイズ画像再構成法なども臨床の場で利用されるようになってきている. また, 最近ではポジトロン放出核種で標識した薬剤, たとえ

ば  $^{18}\text{F}$  で標識したフルオロデオキシグルコース ( $^{18}\text{F}$ FDG) を撮像可能なポジトロン放出核種用コリメータを装着した SPECT 装置や, 同時計数回路を合わせ持つ SPECT 装置 (ハイブリッド PET) も開発されて臨床利用が行われている. 最近では, 3 次元 PET で開発された FORE (Fourier Rebinning) 法の導入により, 感度や画像のコントラストが著しく向上してきている. 今後  $^{18}\text{F}$ FDG の供給体制が整えば, これらの技術も臨床の現場で非常に重要になってくるものと考えられる. また, 感度の上昇に伴いダイナミック SPECT の撮像も可能となり, それにより種々の動態解析においても 3 次元的な処理が行われるようになってきている. また, 独立成分分析に代表される最新の信号処理技術も導入されて, 簡便で非侵襲的な定量法の開発なども行われており, 他のモダリティでは得ることの困難な情報を提供している. 以上のように, 核医学技術を画像処理や信号処理技術から見ても決して完成したものではなく, 種々の改良や開発が日進月歩で行われている. ただ既存の装置や処理法を導入してそれらの技術を習得するだけでなく, 種々の画像処理や信号処理技術を如何に創意工夫して臨床の現場で活かしていくかが, 今後 (21 世紀) の核医学技術に携わる者に望まれることであろう. 核医学技術は各人の創意工夫を活かすことのできる絶好の場である.

## 《シンポジウム III》

## 心機能動態測定における定量性

小野口 昌 久

(金沢大学医学部保健学科放射線診療技術学講座)

近年の心臓核医学分野は著しく進歩した。テクネチウムの心筋血流製剤, BMIPP や MIBG などの新核種の臨床利用, また Strauss (1971 年) による心電図同期心プールシンチグラフィを用いた心機能評価, Pohost (1975 年) による  $^{201}\text{Tl}$  の再分布現象を用いた心筋虚血や viability 評価から Gated SPECT の導入による心筋血流と心機能の同時評価が心臓核医学領域にさらに拍車をかけた。21 世紀に入り, 医療改革に対応して EBM に立脚した心臓核医学分野の確立, すなわち心エコー, MRI, CT などによる心筋血流や心機能の定量化が飛躍的に進歩する中で, さらに心臓核医学の有効な分野を明確にし, 信頼性を高めることが求められる。

近年, ガンマカメラやそれに付随するデータ解析システムおよびそれを処理するソフトウェアの進歩は著しい。特に心筋血流や心機能解析用ツールとして, QGS (Quantitative gated SPECT, CedarsSinai Medical Center), 4D-MSPECT (Michigan 大学), EC Toolbox (Emory Cardiac Toolbox, Emory 大学) や p-FAST (札幌医科大学) などの登場により, その簡便かつ短時間で処理が行えるメリットが普及の大きな原動力となった。これらの導入は技師あるいは医師の最低限の介入で, データ収集からデータ解析, 画像表示までできるようになった。しかし, こうして簡単に構築された結果のみをみて評価していないだろうか。その処理過程に関する知識がなおざりになっていないだろうか。コンピュータが表示する画像や各種解析結

果を鵜呑みにする前に, まず評価に値する画像あるいはデータ処理がなされているかどうかを批判的に評価できる知識と能力が必要であると考えられる。

今後, さらに複雑な核医学装置やソフトウェアが登場しつつあるなか, これらを単に操作するだけでは, 各技師の創意工夫が本当に活かせるのか不安に感じる人も多いと思うが, その装置やソフトウェアの原理, 処理過程を理解し見直すことで, 各人の興味に応じて知識が増し, さらに検討すべき項目を見いだすことができるのではないかと考える。そのためには, 受け皿を用意する環境整備 (ソフト: 人材とハード: 機器) が急務だと思われる。

21 世紀に入り, 医療大学の増加に伴い, 学士, 修士, さらに博士出身の臨床技師が増加することが予想される。しかしながら, 卒業後, 臨床の場では修士・博士出であっても臨床経験のない 1 年生であり, 今後, 現場の経験豊富な技師の指導力と若手技師の育成の場の必要性を強く感じる。

ここでは, 前述した心筋血流および心機能解析用ツールにおける定量性を中心に述べるが, 21 世紀の核医学技術において, 核医学機器の開発および定量性の向上と同時に, これらの装置やソフトウェアをいかに有益に取り扱うことができるか, 若手技師の育成も大変重要な課題ではないかと考える。

## 《シンポジウム III》

## 核医学画像の定量における技師の役割

柳 沢 正 道

(千葉県循環器病センター放射線科)

核医学画像の定量に影響を及ぼす因子として、散乱、吸収、部分容積効果、アーチファクトが主なものとして挙げられる。また、定量評価においてはコリメータの選択、患者の固定、エネルギーピークとウインドウ幅の設定、均一補正データ、散乱・吸収補正の有無、前処理フィルタ、再構成アルゴリズム、ROIの形状や位置、など定性評価では目立たない部分も、より明確に反映されてしまう。患者からの情報をそのままアナログ出力していた時代から、現在、核医学画像は、得られた収集データを補正し、再構成し、定量化して出力することが一般化している。さらに、将来的には高精度な定量およびコンピュータ支援診断が普及するものと思われる。すなわち、患者から発する情報と、最終的に診断を行う医師との距離が、より遠く、より複雑化され、より客観的になり、結果として数値のみが一人歩きして伝わってしまう事態が懸念される。

21世紀の核医学診療においては、絶対定量に向け、装置メーカーにより新しい装置、医薬品メーカーにより新しい医薬品、物理学者・工学者により新しい解析技術など様々な「ツール」が提供され、それらの「ツール」は医師により臨床的な意味づけがなされていく。この過程におけるわれわれ核医学技師の役割は、臨床の場において、与えられた「ツール」の利点を最大限に引き出し、それを維持し、正しい結果を医師に伝えるとともに、それぞれを組み合わせることにより、より発展させることにある。新しい「ツール」の登場により、均一補正やエネルギー設定など見過ごされがちな基礎的なことから、すべての設定の再検討が必要となり、これは、これから先何

年経っても、どんなに新しい「ツール」が提供されても変わることはない。

例えば、TEW法の使用においては、より正確なエネルギーピークの設定や直線性、均一性の精度が要求され、さらに再構成時の前処理フィルタの変更など基礎的な事項の見直しが必要となるとともに、<sup>67</sup>Gaイメージングにおける低エネルギーコリメータの使用など、新しい応用技術も生まれてくる。

これらの基礎から臨床への応用研究はわれわれ技師にとって重要な役割である。また、「医師の指示」による制約のあるX線撮影業務と異なり、核医学では患者から発せられる情報は技師が自由に扱うことが可能である。したがって、処理過程における技師の役割は非常に重要であり、扱い方を間違えると全く違った結論を導き出してしまう危険性もある。

最近では、OSEM法がよい例であろう。OSEM法はFBP法に比べアーチファクトの軽減などに威力を発揮するが、散乱・吸収・分解能補正を組み込んだアルゴリズムが実用に至っていない現状では、大きな利点は生まれない。また、再構成パラメータの設定には慎重な検討が必要であり、利点だけに目を奪われ臨床に応用することは危険である。これらの検討においては、時に非常に地道な作業を要求されるが、一方で他の放射線技術では味わうことのできない核医学の面白さでもある。

本シンポジウムでは、新しい「ツール」の解説については他のシンポジストの先生方をお願いし、核医学イメージングの過程において、唯一、実際に患者に接し、様々な「ツール」を扱う核医学技師の心構えを、実例を提示しながら提案したい。

## 《シンポジウム III》

## 核医学装置の将来

野原 功 全

(国際医療福祉大学)

核医学装置と呼べるものが初めて世に出てから今年で50年になる。それは1951年のB. Cassenによる直線走査型スキャナの開発である。1958年にはH. O. Angerによってシンチレーションカメラが開発されて、核医学が飛躍的に発展した。しかし、カメラの測定原理は、体内に三次元分布する放射性薬剤を二次元投影像として得るというものであるために定量性が得られなかった。定量性のために種々の断層イメージング法が提案され、1963年に提案されたD. Kuhlらによる横断断層イメージング法が、後にガンマカメラ回転型や検出器円形配列型などのSPECT装置として結実することになった。

一方、1951年にF. R. Wrennらが陽電子の消滅事象を同時計数法で測定して画像化を進めていた。1964年にはJ. S. Robertsonらが円形配列検出器の同時計数により陽電子放出核種の分布の画像化を試みている。M. Ter-Pogossianらは1975年にPET装置を開発して臨床研究を開始し、その成果は世界的なPET開発の波をつくった。PET装置開発の中で特筆すべきはBGO検出器の採用である。これによりPET装置の解像力や感度などの諸性能が大幅に改善された。

SPECT, PETともに発案されてから40年が経とうとしているが、その間の進歩はまさに日進月歩であった。発展の歴史を性能面からみると、高視野化、高解像力化、高感度化、高計数率化の実現であった。ソフトウェアの面からは定量性向上のための各種補正法の開発があった。そしてついに核医学装置の理想の姿として目標に掲げてきた三次元データ収集と三次元像再構成法の確立による三次元イメージング時代を迎えるに至った。

現在も新しい検出器は開発中であり、新しい技術の導入が想像以上の速さで進んでいる。また、最近の開発傾向の一つに、核医学装置の性能的な不足を補うため、形態画像の支援を得て機能画像の精度向上を図ろうと、MRIやXCTなどの装置を核医学装置と組み合わせてMRI-PET, CT-PETといった複合装置の開発も行われている。SPECT-PETも開発されている。

今後の核医学装置を予想するとき、恐らくより特化した装置が要求されるようになるであろうと思われる。経済性を考慮して、脳、心臓、腫瘍といった診断目的に適った必要最小限の性能を有する無駄のない装置が選択されるようになるであろう。また、ソフトウェアも含めて装置の部分購入も可能になるであろう。機器製造業者間の垣根もなくなり、部品交換が可能になるであろう。一方、万能型の装置も要求されるという二極化が進行するものと思われる。データ処理装置はPC並みに小型化し、データ転送のワイヤレス化も考えられる。今世紀の技術はこのような望みを実現してみせる力を十分に持ち合わせているといえる。

このような時代にあって、核医学発展の今後を左右するものは何かと問えば、答えはそこに働く核医学従事者の質にあるということになる。したがって、核医学専門医、診療放射線技師、放射性薬剤士、理工学研究者など核医学関係者の人材育成がきわめて重要であり、その人材確保は必須である。そのための方策を考えねばならない。人材育成には核医学の有用性、重要性そして学問としての楽しさを知ってもらい、職場に在りながら大学院核医学専攻を履修できる社会的組織の構築などが有望な方策の一つではないかと思われる。