ISSN 2189-3055

# 核医学部会誌

CONTENTS

Vol. 45 No.2 (通巻 87)　2023 年 10 月

☆巻頭言　北海道大学病院　孫田　惠一

☆お知らせ
1. 核医学部会　入会のお誘い
2. SNS の活用について
3. 文献データベース紹介
4. 第 7 回中部核医学セミナー案内

☆第 51 回秋季学術大会　教育講演「心不全にも使えるの? 診断と機能評価に核医学をどう使う?」発表前抄録　東北大学病院　木曽　啓祐

☆第 87 回核医学部会ミニシンポジウム「“ワクワク”と“ドキドキ”がつまった核医学技術」発表前抄録
1. 循環器領域における PET の使い方　札幌孝仁会記念病院　安藤　彰
2. 心アミロイドーシスシンチグラフィの現状と標準化の必要性　名古屋大学医学部附属病院　藤田　尚利
3. レベルアップ心筋血流 SPECT 画像解析　弘前大学大学院　奥田　光一
4. 鼓動をひとつに〜心筋 SPECT 標準化がもたらす未来〜　金沢大学　澁谷　孝行

☆第 86 回核医学部会ミニシンポジウム「Previous decade and expanding future era for neuro imaging」発表後抄録
1. MRI of the brain for nuclear medicine technologists　札幌医科大学　長濱　宏史
2. 脳血流 SPECT による認知症の補助診断：画像再構成と統計解析精度　島根大学医学部附属病院　矢田　伸広
3. 神経変性疾患を捉える脳 PET 撮像技術　北里大学　我妻　慧

☆大学・研究室紹介：東京都立大学大学院人間健康科学研究科の紹介　井上　一雅

☆TOPICS
1. 全身用半導体 SPECT 装置 StarGuide のご紹介　GE ヘルスケア・ジャパン株式会社　三宅　泰士
2. United Imaging 社 PET/MRI 装置 uPMR790 について　United Imaging Healthcare Japan 株式会社　平山　昭

ISSN 2189-3055

☆第 7 回オンラインジャーナルクラブ参加報告記
: ファシリテータから　福島県立医科大学　右近　直之
: プレゼンターから　名古屋大学医学部附属病院　藤田　尚利
: 参加者から　つくば国際大学　相良　裕亮
九州大学病院　粟元　伸一

☆第 8 回オンラインジャーナルクラブ参加報告記
: ファシリテータから　日本医科大学健診医療センター　野坂　広樹
: プレゼンターから　近畿大学病院　石川　大介
: 参加者から　名古屋大学　中西　恒平
自治医科大学附属病院　川嶋　友彰

☆編集後記　島根大学医学部附属病院　矢田　伸広

公益社団法人日本放射線技術学会　核医学部会

**核医学部会からのお知らせ**　JSRT では会員カードでの参加履歴記録システムを導入しています.
入門講座・専門講座・部会の参加には会員カードをご持参ください.

巻頭言

# コロナ禍を乗り越えて

北海道大学病院　孫田　惠一

このたび，前任の飯森先生より核医学部会長を拝命致しました．核医学分科会から数えると40 年に渡る長い歴史のある核医学部会の部会長を務めさせていただくことになり，身の引き締まる思いです．

これまで核医学部会は先達の部会長，部会員および会員の皆様により，多くの情報発信や学びの場が提供してきました．しかし，ここ数年は新型コロナウイルス蔓延の影響により，多くの活動制限を受けました．現在はこの困難な時期を乗り越え，ようやく脱却の兆しを感じることができる状況となりました．核医学部会においても新たなステージへ進むために，さらなる活力と創造性を発揮する必要があると考えています．

さて，昨今の世界情勢は新型コロナウイルスの蔓延もさることながら，ロシアのウクライナ侵攻の長期化の影響を受け，エネルギーや原材料価格の高騰を招いています．本邦においても，円安が進んだことで輸入コストが増加し物価を押し上げています．これらは，医療業界にも大きな影響を与え，納期の遅延や海外メーカを中心とする装置・部品価格の異常な高騰により，装置の更新に苦労しておられる施設もあるかと思います．今まで以上に，装置・周辺機器の必要性の検討や費用対効果の検証が求められることになりますが，患者さんに良質な医療を提供するために，何とかこの困難を乗り越えたいところです．

現在の核医学部会の主な活動は，総会学術大会および秋季学術大会における教育講演，核医学部会企画，専門部会講座，そして核医学画像セミナー，核医学技術研修会，オンラインジャーナルクラブといったイベントを開催しております．また，部会誌の発行による情報共有，ホームページや SNS を利用した情報発信も行っております．

学術大会や各種イベントの開催は新型コロナウイルス蔓延により，かなりの制約がありました．一方で，ハイブリッドやウェビナーによる開催を有効活用することで，より多くの会員が参加し，効率よく学ぶことができたのではないかと思います．2023 年 5 月からは新型コロナウイルスは 5 類感染症へ移行されたことで，再び対面形式での開催も考えられますが，これまで培った経験と知識を活かし，ハイブリッド・ウェビナー・対面開催のいずれにおいても上手に開催できる土壌ができていると考えています．

今年度からの核医学部会は，私自身の部会長就任に加え，新たな部会委員を迎えました．核医学部会としては，会員の皆様とともに学び合い，知識と情報を共有し，核医学技術ひいては放射線技術の進歩と発展に寄与していきたいと考えています．

部会委員一丸となり，精一杯頑張っていきますので，引き続き核医学部会の活動にご理解とご協力の程よろしくお願い申し上げます．

お知らせ

# 核医学部会 入会のご案内

核医学部会会長 孫田 恵一（北海道大学病院）

平素より公益社団法人日本放射線技術学会核医学部会の活動に対してご支援，ご指導を賜り，会員の皆様に心より感謝し御礼申し上げます．

核医学部会は，日本放射線技術学会の専門分科会として 1980 年に設立され，今日まで核医学検査技術学の向上を目指す多くの会員により構成されてきました．2015 年からは名称を核医学分科会から核医学部会へ変更し，さらに皆様のお役に立てるような企画，運営を目指して活動しております．

日本放射線技術学会は，専門部会への入会を促進するために，2022 年 3 月より 1 つ目の専門部会は無料、2 つ目以降は 1 部会につき 1,000 円で入会できるようになりました．これまで以上に気軽に入会いただけるようになりました．是非この機会に，周りの皆様にお声がけ頂き，核医学部会への入会をご検討いただければと思います．部会の活動を通じて核医学検査技術を究め，日常の臨床業務，研究活動に活かしていただければと思います．

## 核医学部会入会のメリット

1. 核医学検査技術に関する最新情報や，臨床に役立つ情報が入手できます
2. 核医学部会誌の優先閲覧（部会会員は 3 か月前倒し）ができます

なお，核医学部会には，学会ホームページにある部会入会申し込みサイトから，いつでもご入会いただけます　http://nm.jsrt.or.jp/index.html

## 核医学部会の主な活動

1. 総会学術大会および秋季大会での核医学部会の開催
   （教育講演，基礎講演，ミニシンポジウム，技術討論会など）
2. 核医学部会誌（電子版）の発行（年 2 回）
3. オンラインジャーナルクラブ（論文執筆者自身が行うオンライン抄読会）
4. 核医学画像セミナーの開催（ファントムを使った実験，画像処理，評価の実践）
5. 核医学技術研修会の開催（撮像装置を使ったファントム実験）
6. 核医学検査技術関連の叢書の発刊
7. 研究活動の支援（ディジタルファントムなどの提供）

# JSRT核医学部会

# Facebook

やってます

なかなか会えない今だから…

SNSでつながりませんか？

@jsrt.nm

- ✓ 部会誌やホームページよりもいち早く情報をお届け
- ✓ 情報交換会や学会会期中のようすやここだけの情報も
- ✓ 写真や画像での情報提供が盛りだくさん
- ✓ 核医学部会に興味があるJSRT会員もフォロー可能

**JSRT地方支部でのセミナーや研修会のご案内も掲載可能です！**

☛ お近くの核医学部会委員 または
横塚（帝京大学）yokotsuka@med.teikyo-u.ac.jp
まで、お気軽にご連絡ください♪

お知らせ

# 論文データベースの紹介

学会発表，論文作成をする上で，実験方法や解析結果の妥当性を確認するために類似した過去の研究を調べたいが，時間がない・面倒と思う方は少なくないと思います．MEDLINE や Google scholar，PubMed などの文献検索ツールは豊富にありますが，「リストされる膨大な文献を精査するのは大変．しかも英語だと理解しづらいし・・・」との声も聞かれます．

そこで核医学部会では，研究の初学者向けに核医学技術に関する論文データベースを作成しました．核医学研究をするための核医学論文データベースは核医学部会 HP から無料で閲覧・ダウンロードを可能にしています．是非ご活用ください．

本データベースは部会の専門性を活かして以下の特長があります．

**・論文の特徴，最新研究，臨床動向との関連性など有用なコメントを付加**
**・英語論文でも，その主たる内容は日本語で解説**
**・核医学（技術・治療）に関する古典から最新技術の基礎まで厳選された論文をリストアップ**
**・文献名，著者名，出典(雑誌)名，キーワード，概要文による検索が可能．**

本データベースは核医学部会 HP の論文紹介から無料で PDF を閲覧・ダウンロードすることができます．

現在、厳選した 200 編程の論文を掲載しております。初学者から熟練者まで，会員の皆様の研究活動の一助になれば幸いです．

第7回中部支部核医学セミナー

# 論文投稿　これを知っていれば怖くない！
# ～投稿時に知っておきたいABC～

中部支部核医学研究会では，第7回中部核医学セミナーを下記の要領により開催いたします．論文が完成し，いざ投稿する段階になり身につけておきたい知識は数多くあります．しかしながら，学会等でこのような講義は少なく，本セミナーでは講義や論文投稿の体験談を通し，論文を投稿するにあたり必要な知識を学んでいただきます．また，セミナーの最後にQ&Aの時間を設けております．以前から疑問に思っていることや気になっていることをこの機会に質問し，皆さんとディスカッションしませんか．これから論文を投稿したいとお考えの方から，経験者の方もより知識を深めるためにお勧めの内容です．核医学の研究をされている方はもちろん，他分野の方のご参加も大歓迎です！奮ってご応募ください．

開催日時 ：　2023年12月16日（土）14：00～16：30

開催形式：　Web（Zoom）

募集人数：　80 名

受講費　：　会員　無料，非会員　500円，学生無料(社会人院生は除く)

申込期間：　2023年10月2日(月) ～ 12月2日(土)

申込方法：　会員システム『RacNe』にログインしてお申し込み下さい．

申込の手順　https://www.jsrt.or.jp/data/seminar-entry/　をご一読ください．

問 合 先

公立松任石川中央病院　医療技術部　放射線室

山下　匠造（やました　しょうぞう）

E-mail　y.shozo57 (at) gmail.com ※ (at) は @ に置き換えて下さい．

## ご用意いただくもの

ご自身のPC　：インターネットに接続可能なPCをご用意ください.
Zoomのオンライン参加に使用します.

## プログラム

13:45 ～ 14:00　　受付

14:00 ～ 14:05　　開講式

14:05 ～ 14:50　　講義「論文投稿時に知っておきたい基礎知識」

14:50 ～ 15:20　　論文投稿体験談１　~和論文編~

15:20 ～ 15:50　　論文投稿体験談２　~英論文編~

15:50 ～ 16:00　　休憩

16:00 ～ 16:25　　Q&A（皆さんからの質問事項をディスカッションします）

16:25 ～ 16:30　　閉講式

教育講演（発表前抄録）

# 心不全にも使えるの？診断と機能評価に核医学をどう使う？

東北大学病院　木曽　啓祐

循環器診療においては虚血性心疾患に加えて「心不全パンデミック」の懸念が表されるように今後は心不全に対する評価の重要性が高まると予想されている．

そのような中で，心臓核医学というと負荷心筋血流 SPECT による虚血性心疾患診断がほぼ同義として扱われるが，その他にも $^{131}$I-MIBG による交感神経機能評価，$^{131}$I-BMIPP による脂肪酸代謝，$^{99m}$Tc-ピロリン酸によるアミロイドーシス評価，PET では $^{18}$F-FDG による心サルコイドーシスおよび大血管炎の診断など，使用核種や対象心筋疾患も多岐にわたり，多くは心不全の原因診断や重症度・予後評価に重要な役割を示すことが知られているが，実臨床では心筋血流評価ほどは普及していない．

また，心機能評価においても，従来の左室容積や駆出率評価以外に近年は左室の収縮同期不全（dyssynchrony）の評価も可能となり，心臓再同期療法の適用決定に利用されるようになっている．加えて，左室のみならず右室の容積や駆出率評価も可能となってきており，心機能評価においても心不全診療への有用性拡大が期待されている．

本講演では上記の内容を中心に心不全の診断及び機能評価に心臓核医学がどのように寄与できるか整理してお伝えしたい．

第 87 回核医学部会ミニシンポジウム（発表前抄録）

# 循環器領域における PET の使い方

札幌孝仁会記念病院　安藤　彰

循環器領域の PET 検査は心筋血流，心筋バイアビリティと心サルコイドーシスや大血管炎などの炎症を評価する検査がある．

中でも心筋血流検査ではコンパートメントモデル解析により心筋血流の定量値を算出し負荷時と比較することで心筋血流予備能（myocardial flow reserve：MFR）を得ることができる．MFR は血行再建や予後の評価，最近では冠動脈閉塞を伴わない心筋虚血(ischemia with non-obstructive coronary artery disease: INOCA)の診断に有用である．

それぞれの検査における注意点や影響を及ぼす因子，算出方法や指標の意味を解説するとともに，臨床に役立つ評価ツールとして循環器領域の PET 検査がより多くの施設で使われるよう，臨床例を提示しながら紹介する．

第 87 回核医学部会ミニシンポジウム（発表前抄録）

# 心アミロイドーシスシンチグラフィの現状と標準化の必要性

名古屋大学医学部附属病院　藤田　尚利

トランスサイレチン型心アミロイドーシスの検出を目的とした心アミロイドーシスシンチグラフィでは，客観的評価法がいくつか提案されている．このうち，heart to contralateral (HCL)比は，プラナー画像において，心臓とその対側に円形の関心領域を設定し，関心領域内の平均値の比を計算することで容易に得られる．さらに，種々のガイドラインにおいて HCL 比のカットオフ値が提示されていることから，臨床現場で広く利用されている．その一方で，HCL 比は，撮像条件や解析条件によって変化することが懸念される．HCL 比をはじめとする客観的評価法においては，評価値だけが独り歩きしないよう，解析に携わる者として，変動要因や変化量を把握しておかなければならない．本講演では，心アミロイドーシスシンチグラフィの現状と標準化の必要性について，客観的評価法にフォーカスし，自施設の症例データをふまえて概説する．

第 87 回核医学部会ミニシンポジウム（発表前抄録）

# レベルアップ心筋血流 SPECT 画像解析

弘前大学大学院　奥田　光一

心筋血流 SPECT の画像解析は，これまでに様々な方法論が研究・開発されてきた．例えば，左室の三次元心筋血流分布を二次元分布に投影する極座標表示(polar map)では，投影法の違いにより血流分布の印象が大きく異なることが知られている．また，polar map に基づいて構築される正常データベースは，解析ソフトウェアにより心筋血流カウントの平均および偏差マップが異なる．近年では，腫瘍内の不均一性を評価するテクスチャ解析を心筋血流解析に応用した研究や，心電図同期・非同期データを機械学習・深層学習により包括的に解析する研究が行われている．本シンポジウムでは心筋血流 SPECT 画像解析を様々な側面から捉え直すことで，血流画像に関する知識のレベルアップを目指す．

第 87 回核医学部会ミニシンポジウム（発表前抄録）

# 鼓動をひとつに～心筋 SPECT 標準化がもたらす未来～

金沢大学　澁谷　孝行

心筋 SPECT は，収集方法および画像再構成条件の組み合わせが，他の SPECT 検査に比べて多岐にわたり，焦点型のコリメータや心臓専用半導体検出器 SPECT 装置などの開発もあって，様々な心筋画像が臨床現場で読影されている．欧米を初め，各学会から心筋 SPECT の収集および画像再構成に関する指針が示され，画質や心機能指標を評価する多施設共同研究が実施されているが，画質および心機能指標の基準が設定されるまでには至らなかった．2020 年に日本核医学技術学会から，心筋血流 SPECT 撮像の標準化に関するガイドライン 1.0 が出版され，心筋画像の最低限必要な画質を決定する視覚的および定量的な基準が示された．

本講演では，ガイドラインの概要を解説し，ファントム試験の注意点や本邦の心筋画質の現状を提示しながら，心筋画質の標準化がもたらす未来について一緒に考えていきたい．

第 86 回核医学部会シンポジウム（発表後抄録）

# MRI of the brain for nuclear medicine technologists

札幌医科大学　　長濱　宏史

はじめに

平均寿命が延びることは長く生きることである. そのため, 長く生きている人間のなかに, 何十年も前に端を発すると考えられる不具合が人体に現れるようになってきた. 認知症はまさにその代表的疾患であり, “いつ” からか始まった “何か” が長い年月をかけた後に “神経組織” を壊し始める. 崩壊が始まったときにはほとんど手遅れ（いまのところ）で, その崩壊を完全に止める手段も無い（いまのところ）. 認知症における, “いつ”, “何か”, “神経組織” については, いずれも具体的には解き明かされておらず, 未だ人類がその仕組みを解き明かし制御することができない疾患である.

認知症の仕組みの解明に関する進歩のうち, 福音となることのひとつとしては, 科学の進歩によってコンピュータの性能が向上し, 医療画像, 画像処理, 画像解析の品質, 性能, 精度を押し上げ続けていることである.

医療分野では, magnetic resonance imaging (MRI)の登場により, それまでは染色された組織像が主役であった明瞭な神経組織間コントラストをMRI画像によって実現することが可能になった. さらに投薬や外科的処置などを要さずに, 脳の全部に対して, さまざまな断面かつさまざまな量についての情報を数分～数十分で取得できるようになった. その情報には, 脳形態, 脳機能, 脳血流, 脳代謝が含まれ, 他の技術にはない唯一無二の存在として, 現在も脳科学における主要なイメージングツールとしての役を担っている. したがって, 神経疾患について, 病変の同定, 診断, 治療効果判定を行うなかで, MRI による画像診断が臨床においても重要であることは言うに及ばない. とくに認知症では, “いつ” から か始まった “何か” によって “神経組織” が崩壊することがわかっており, 脳の明確な形態的変化として現れることが認識されている. さらに神経組織の描出に有利な MRI は, 形態的変化のみならず, 未だ明らかにされていない, “いつ”, “何か”, “神経組織” についての情報も取得できる可能性がある.

“神経組織” には, ニューロンを構成する組織である細胞体, 細胞体から伸びる樹状突起とその先の軸索, 軸索を取り巻く髄鞘のほか, それらの周辺には組織へ血液を供給する血管網と blood-brain barrier が存在する. MRI は近年, 従来の画像化のターゲットであった白質, 灰白質のようなマクロな解剖構造のみならず, 上記のような神経組織の微視的構造を反映する画像を提供できるようになってきた. このことは, 認知症の仕組みを解明する一助, または病態を把握するツールとなる可能性が期待され, 盛んに研究が行われている. 以上のように, 認知症の解明に向けた科学が進展し, 認知症診療が構築されていくなかで, MRI がその中心的なモダリティのひとつであることは, これまでもこれからも変わらないと考える.

本稿では, 認知症診療における MRI 技術の役割を簡潔に解説するとともに, 最近の中枢神経領域の MRI の研究トピックスとその認知症診療への応用の可能性を提示してみたい.

## 1. MRI の臨床的役割

脳 MRI は明瞭な組織間コントラストをもって形態学的情報を提供する. 神経組織の崩壊, 損失は白質や灰白質の画像コントラストの変化や容積の変化として現れる. アルツハイマー型(AD)などの多くの認知症では, 神経組織の変化が形態学的変化として MRI で判別でき

るうえ，病期の進行とも一致する．AD の診断バイオマーカとして，National Institute on Aging—Alzheimer's Association 2018 が提唱する ATN 分類（A はアミロイドの沈着，T はタウの沈着，N は神経変性）における N の評価については解剖学的 MRI が第一項目となっている[1]．その他，レビー小体型や前頭側頭型などの認知症の診断規準[2, 3]においても MRI の形態情報が含まれており，いまや MRI は認知症の診断や鑑別において不可欠な情報を与える臨床的ツールとして揺るぎない立場を確立している．

MRI 検査を受ける患者は，専門医による診察，神経心理学検査によって認知症と診断された後，血糖値や甲状腺ホルモンの低下などに起因する認知機能障害を生化学検査で鑑別したうえで，脳の異常を疑われている．そのため，MRI 検査では，認知症の原因となる脳の器質的異常（外科的治療が可能な，血管性，および拡散強調像(DWI)で光る認知症など）を鑑別することが行われ，それらに該当せずに脳の変性が疑われる場合は，変性性認知症として核医学検査に進むことになる．

外科的治療が可能な認知症には，正常圧水頭症，慢性硬膜下血腫，脳腫瘍などが挙げられる．いずれも MRI の形態情報に加え，さまざま撮像シーケンスによる情報を活用して診断したうえで，外科的治療を行うことにより，認知機能の改善が見込まれる．血管性認知症の原因には，毛細血管の破綻による微小出血，アミロイドアンギオパチー，脳梗塞などがある．出血性病変の検出には $T_2$ スター強調像が有用であり，脳梗塞後の脳の損傷や二次的な変性，萎縮などは $T_2$ 強調像，$T_1$ 強調像，fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR)などで評価する．また，脳梗塞の局在を評価することで戦略拠点型脳梗塞を鑑別する．DWI で光る認知症にはクロイツフェルト・ヤコブ病があり，プリオンタンパクの型によって，その異常高信号域が異なり，鑑別に有用である．

器質的異常によらず，脳の変性を伴う認知症は変性性認知症に分類される．脳の変性は加齢によっても MRI 画像の形態学的変化として現れ，脳萎縮，脳溝の開大，側脳室の拡大，血管周囲腔の拡大，脳室周囲白質病変，白質/灰白質間コントラストの低下などによって視覚的に評価できる（図 1）．

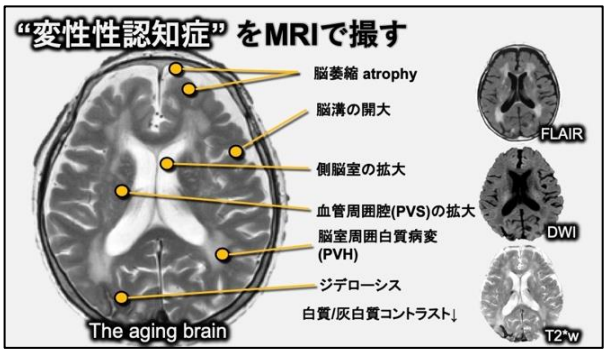



図 1

形態学的変化が，正常な加齢性変化の範囲を超えると病的変化が疑われる．3 次元 $T_1$ 強調像は，voxel-based morphometry 解析（VBM）を行うと大脳皮質の厚さや海馬の容積を計測できる．VBM では，AD 患者では健常者よりも，楔前部や頭頂側頭葉の皮質厚が薄いこと，左右の海馬の容積が小さいことがわかっている[4]．臨床では VBM として voxel-based specific regional analysis system for atrophy detection (VSRAD)を実施することで，側頭葉や灰白質の萎縮度が定量できる．MRI の 3 次元撮像は撮像中の 1 回の動きの影響が，特定のスライスではなく，全スライスデータに影響する特徴があるため原理的に体動に弱い．VBM を行う場合は頭部の移動量に比例して灰白質容積が小さく見積もられることがわかっており[5]，安定した定量値を得るためには体動の抑制や撮像時間の短縮などを行う工夫が必要である．その他，MRI は側頭葉（とくに海馬の形態学的変化）を評価することも行われる．海馬の評価は冠状断像がわかりやすい．海馬の形態的左右差を評価することで萎縮や変性が検出可能である．さらに同一断面の

FLAIR 像があれば，海馬硬化症に伴う高信号を検出できる．なお，海馬に直交する断面を撮像することは解剖構造を明瞭に描出することに繋がり，病変検出に役立つ．海馬の長軸と直交する断面の角度は前交連と後交連を結ぶ線から約 60°で交わる [6]．以上のように，認知症診療における MRI は，必要不可欠な評価ツールとして現在もこれからも重要な役割を担うと考えられる．

## 2. MRI の最新研究

MRI は多彩な撮像シーケンスによって，様々な生物学的情報を得ることできる．その情報をより詳細に取得したり，より詳細に解析することによって，さらなる情報を得ようとする試みが行われている．例えば，$T_1$ 強調像で，灰白質は白質よりも低信号に描出されるが，その微視的構造は細胞体と樹状突起の集合である．樹状突起の先端は別の細胞体から伸びた樹状突起との間にシナプスを形成する．また，樹状突起が大脳の深部に向かって伸びていって，軸索となり，その周りをオリゴデンドロサイトが巻き付くことで髄鞘を形成し，神経線維が主体である白質構造となる．これら細胞体，樹状突起，軸索はまとめて１つの神経細胞である．神経細胞のまわりにはアストロサイトがある．アストロサイトは血管が脳組織を穿通するための壁を作っている．その壁と血管壁の間には脳脊髄液が通っている．神経細胞にはアミロイドβなどが沈着しているかもしれない．そのような微視的環境の情報を得ることは，認知症を始めとした様々な神経疾患の評価に役立つ．MRI による神経組織の微視的環境の情報に関しては，脳動脈血流は arterial spin labeling や dynamic susceptibility contrast によって，脳脊髄液や脳血液関門の評価はガドリニウム造影剤を用いることや heavily $T_2$ 強調像（自由水を強調）によって，アミロイドβは quantitative susceptibility mapping など，樹状突起，軸索，髄鞘の情報は拡散 MRI (dMRI)などによって得ることができる．いずれも学ぶほどに興味深い知見が得られる研究がなされてきているが，本稿では dMRI の動向の一部に触れたい．

dMRI はパルスシーケンスの中に 1 対の motion probing gradient (MPG)を付加することで，水分子のブラウン運動に基づく拡散運動によるコントラストを表現する．ブラウン運動は，温度，粘度，分子構造，周辺構造の影響を受ける．とくに大脳白質において dMRI は，神経線維構造によって拡散運動の方向に制限が加わるために，神経線維の方向性に依存したコントラストが得られる（図 2）．

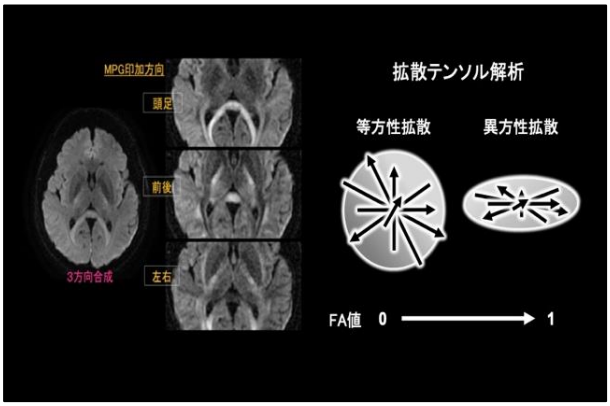



図２

そのため，より多方向の MPG は神経線維の走行方向に対する情報を増加させることができる．多方向 dMRI デ―タによる基礎的な解析方法として拡散テンソル解析がある．テンソル解析を行えば，水分子の拡散による移動を 3 次元の分散としてピクセル毎に定量することができ，拡散が等方性または異方性であることを計算できる．拡散運動は，神経線維の走行方向に依存する傾向があるため，テンソル解析によって拡散運動の方向性とその強度の定量を行うことで，神経線維の構造を推定可能である．さらに，拡散運動の方向性と強度の情報は数学的手法を用いて diffusion tensor tractography (DTT)を行うことで神経線維の描画を可能とする．DTT は神経線維の立体的な走行，連結，損傷などを視覚的および定量的

に評価可能とする．運動野への損傷を含む中大脳動脈閉塞モデルラットに対して DTT を行って，運動機能に関連する神経線維数を描画して定量すると，治療を加えて運動機能がより改善したラットにおいては，神経線維数がより多く描出されることがわかっている[7]．さらに，同様の神経線維に対して神経軸索トレーサーを用いた神経解剖学的な評価を行った結果は，DTT と同様に運動機能がより改善したラットで神経軸索がより多いことを示していた．このような結果は，dMRI や DTT による評価が神経解剖学的な解析方法に迫ることができる可能性を示しており，神経組織学的評価の代替手段としての可能性を示唆している．

神経線維は微視的には神経軸索を主として構成されている（図 3）．

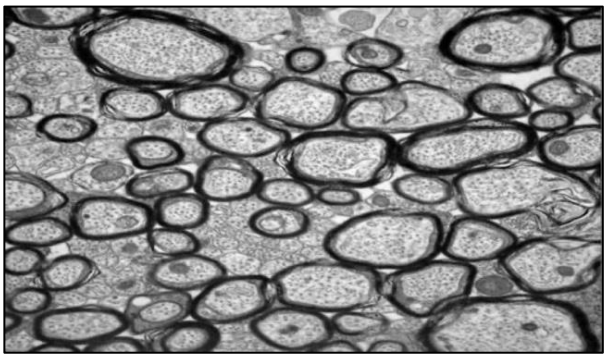


図 3

神経軸索はオリゴデンドロサイトが部分的に巻き付くことで髄鞘（ミエリン）を形成している．また，軸索内には，microtubule や neurofilament がある．なお，タウタンパク質は microtubule associated protein である．一方で，dMRI における MPG を印加する時間の長さは，拡散を測定する時間長を決める．微視的構造を勘案すると，水分子は軸索などの構造に制限され自由に拡散運動ができない．この状況下では，拡散の測定時間が長いと，拡散による水分子の移動は構造に阻まれることで，実際に移動した距離よりも小さく見積もられる．一般的な MPG は pulsed gradient と呼ばれる方法で印加し，比較的測定時間が長いため，微視的構造の拡散を過小評価する可能性がある．Oscillating gradient は，測定時間を短くすることができる．短い測定時間は，水分子の運動が構造によって妨げられることを抑制した情報を得られることから，より確からしい拡散測定ができると考えられている．以上のような手法によって，より多くの拡散情報を得ることで詳細な拡散解析が可能となり，神経組織を推定する試みが増えてきている．dMRI で神経組織の推定ができるようになると，定量値や定量値の経時変化から疾患の鑑別，病期の診断に役立つ可能性がある[8]．さらに最近では，AD における傍海馬神経線維の DTT の定量値の変化が positron emission tomography で得たタウタンパク質の集積量の変化と相関関係を示す研究報告があり[9]，軸索が損傷する前の事前予測マーカとしての活用が期待されている．

以上のように MRI は，臨床的価値のみならず，認知症のメカニズム解析や病態解析に対する研究においてもますます必要なツールになっていくと考えられる．

## まとめ

認知症に関する MRI の臨床的役割は，鑑別診断や経過観察のツールとして，その地位を確立している．さらに最新の研究で MRI は，神経組織の微視的構造を反映した情報を提供できるようになってきており，詳細な病態解析のツールとして進化中である．

## 参考文献

1) Jack CR, Bennett DA, Blennow K, et al. NIA-AA Research Framework: Toward a biological definition of Alzheimer's disease. Alzheimer's & Dementia 2018; 14(4): 535-562.
2) McKeith IG, Boeve BF, Dickson DW, et al. Diagnosis and management of

dementia with Lewy bodies / Fourth consensus report of the DLB Consortium. Neurology 2017; 89(1): 88-100.

3) Rascovsky K, Hodges JR, Knopman D, et al. Sensitivity of revised diagnostic criteria for the behavioural variant of frontotemporal dementia. Brain 2011; 134(Pt 9): 2456-2477.
4) Contador J, Pérez-Millán A, Tort-Merino A, et al. Longitudinal brain atrophy and CSF biomarkers in early-onset Alzheimer's disease. Neuroimage Clin 2021; 32: 102804.
5) Reuter M, Tisdall MD, Qureshi A, et al. Head motion during MRI acquisition reduces gray matter volume and thickness estimates. Neuroimage 2015; 107: 107-115.
6) Gao FQ, Black SE, Leibovitch FS, et al. A reliable MR measurement of medial temporal lobe width from the Sunnybrook Dementia Study. Neurobiol Aging 2003; 24(1): 49-56.
7) Nagahama H, Nakazaki M, Sasaki M, et al. Preservation of interhemispheric cortical connections through corpus callosum following intravenous infusion of mesenchymal stem cells in a rat model of cerebral infarction. Brain Res 2018; 1695: 37-44.
8) Benitez A, Jensen JH, Thom K, et al. Greater Diffusion Restriction in White Matter in Preclinical Alzheimer Disease. Ann Neurol 2022; 91(6): 864-877.
9) Pereira JB, Janelidze S, Ossenkoppele R et al. Untangling the association of amyloid-b and tau with synaptic and axonal loss in Alzheimer's disease. Brain 2021; 144(1): 310-324.

第 86 回核医学部会シンポジウム（発表後抄録）

# 脳血流 SPECT による認知症の補助診断：画像再構成と統計解析精度

島根大学医学部附属病院　　矢田　伸広

## はじめに

本講演は，認知症の診断に適用される統計学的脳機能画像解析において，技術的な側面からシミュレーションおよび臨床脳血流 SPECT データを用いて，画像再構成と統計解析結果の関係について報告した．

3D-SSP[1]や eZIS[2]を用いた統計学的脳機能画像解析は，視覚的に評価が困難である脳血流 SPECT 画像のわずかな集積低下を統計学的に評価することにより，認知症の早期鑑別診断に適用されている．解析精度は，各種補正法（散乱線，減弱，および分解能）を適用した脳血流 SPECT データベースを用いることで向上するが，これによりデータベースと同一条件下での臨床データの取得，他装置での解析結果の比較が困難，および各装置で新たなデータベースの構築が必要など，多くの制限がある．将来的に，これらの制限を解決し，より多くの患者さんに有益な検査を提供するための取り組みを報告した．

なお，本講演は，日本メジフィジックス株式会社と島根大学による臨床研究（承認番号：B1D125007）にて島根大学倫理委員会の承認を得て実施し，臨床データおよび研究成果を含み報告した（承認番号：4103，4889）．

## 1．認知症診療への適用

認知症は，日本神経学会　認知症診療ガイドライン２０１７（https://www.neurology-jp.org/guidelinem/index.html）において，疾患ごとの機能低下部位を反映し，複数の認知機能に障害が生じるとしている．認知症の診断は，診察や神経心理学的検査でされる一方で，脳血流 SPECT 検査は，局所領域で脳血流量低下を評価できるために認知症の鑑別診断に有用である．その際，脳血流 SPECT 画像の評価は，統計学的手法を用いることで，健常者と早期認知症との診断精度が向上することが報告されている[2), 3)]．

## 2．ノーマルデータベース（NDB）と解析精度

統計学的脳機能画像解析は，統計指標である z-score を用い，被検者のわずかな脳血流量の低下を検出および画像化することができる．Z-score は，健常者群の平均値からの距離を標準偏差（standard deviation: SD）の倍数で表した標準化された数値であり，異なるデータセットの標本同士を同じ尺度で比較することができる．図 1 に，デジタルファントムデータによるシミュレーション検討にて，脳血流 SPECT における集積低下と z-score との関係を示した．健常者群の平均値（NDB mean）と標準偏差（NDB SD）が各脳領域で同じ時，集積欠損領域を持つシミュレーション画像（simulation）を 3D-SSP 解析すると z-score は，脳血流低下率が高くほど z-score も大きくなることが分かる．

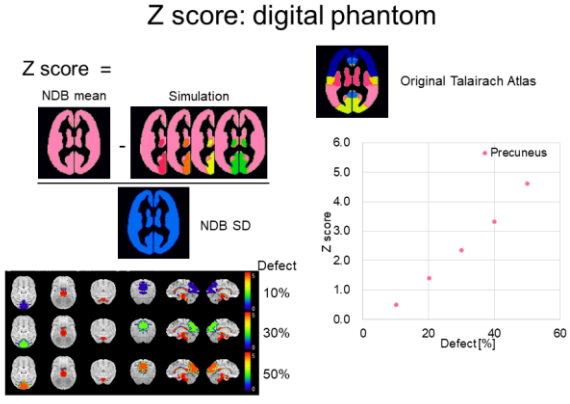



図 1　デジタルファントムを用いたシミュレーション検討．Z-score は，血流低下率が高いほど高値を示す．

ただし，z-score は，標準化された数値で，z-score が 2 倍になったとしても，脳血流量が 2 倍低下することを表すわけではない．また，NDB mean と simulation データを一定とし，NDB SD を可変した時，NDB SD が高値となるほど z-score は低値を示す．このように z-score は，NDB に依存する．脳血流 SPECT 画像（個人脳）は，動き補正，解剖学的標準化，および平滑化処理され，Montreal Numerological Institute や Talairach 標準脳座標系で統一された脳血流 SPECT 画像（標準脳）に変換したのち，健常者群の平均値画像と平均 SD 画像を構築し，これを NDB とすることにより，3D-SSP や eZIS を用いて NDB と被検者脳血流 SPECT 画像（標準脳）を統計学的に解析，および z-score が算出される．臨床において，NDB は，放射性医薬品，年齢，および画像再構成条件ごとに分類されて構築される（図 2）．脳血流 SPECT 画像は，SPECT 装置および画像収集再構成条件によって異なるため，統計学的脳機能画像解析の精度を検証するためには，NDB と画像再構成条件との関係を評価する必要がある．

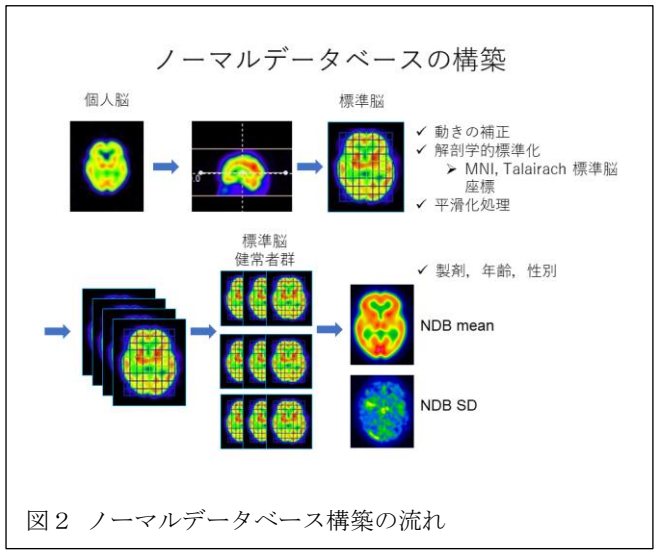


図２　ノーマルデータベース構築の流れ

統計学的脳機能画像解析は，SPECT 画像の画質が良いほど解析精度が高い．脳血流 SPECT 画像は，データ収集（放射性医薬品，コリメータ，および回転速度など）および画像再構成条件（画像再構成法，各種補正法，および処理フィルタなど）により，RI 分布および局所カウントが変化する．本講演は，各種補正法（散乱線，減弱，および分解能）と解析精度との関係について報告した．

臨床において散乱線補正法は，台形近似により散乱線を推定する triple energy window (TEW)法と，コンプトン散乱領域の散乱線に定数 k を乗じて補正する dual energy window (DEW)法が適用されている．TEW 法は，γ線の光電ピークが単一および複数に関わらず広く適用されている．特に，$^{123}$I-IMP 脳血流 SPECT での main window 成分は，529 keV による down scatter が含まれているため，main window の高エネルギー側に sub window を設定する TEW 法は，散乱線を推定する手法として適切であると考えられる．臨床において DEW 法は，推定した散乱線が main window 内の散乱線と同等となる定数 k を用いて，散乱線補正に適用されている．その際，最適な定数 k は，放射性核種，被写体サイズ，および画像収集再構成条件等によって異なる．濃度直線性は，実際の放射能濃度と SPECT 画像から得られた放射能濃度との関係から，最適な定数 k を評価することができる．

臨床脳血流 SPECT 検査において減弱補正法は，均一吸収体補正法である Chang 法と，X 線 CT 画像を用いた不均一吸収体補正法である CTAC が適用されている．CTAC は，連続スペクトルで得られた X 線 CT データと核医学データとで，放射線と物質との相互作用が異なるため，CT 値から線減弱係数に変換する際，一般的に bilinear scaling 法が用いられる（図 3）．Bilinear scaling 法は，骨組織のような高原子番号，高密度であるほど理論的な線減弱係数との誤差は大きくなるが，脳領域において変換精度は高い[4]．

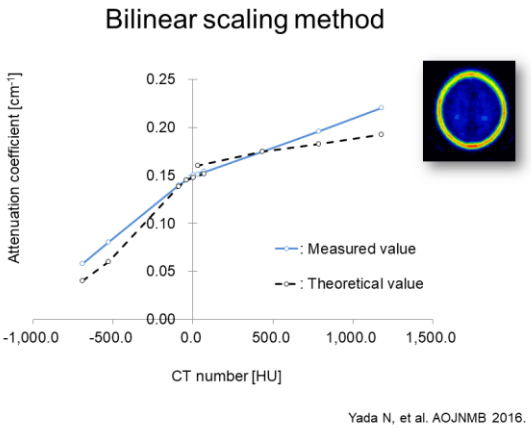



図 3　CTAC bilinear scaling 法で変換した μ 値と理論式から算出した μ 値との関係（一部改変）.

分解能補正法およびその特性は，画像処理装置によって異なるものの，一般的に点広がり関数を用いて，距離に応じたボケを補正し，部分容積効果の影響を低減させることで，空間分解能の改善が期待できる．分解能補正は，散乱線補正および減弱補正を含み，3D-OSEM 法に組み込み画像再構成した時，分解能補正なしと比較して，subset と iteration の回数を多くすることで分解能補正効果が得られ，また BG のカウントが収束するために，灰白質でのカウントおよびコントラストが改善する．散乱線補正，減弱補正および分解能補正を適用した脳血流 SPECT 画像を用いて，局所脳領域で画質を評価した（図 4）．各種補正法を適用することにより脳血流 SPECT 画像は，画質が改善するものの，その効果は深部と辺縁領域とで異なり，深部領域の方が低い [5]．統計学的脳機能画像解析において，脳血流 SPECT のカウント分布は，z-score 算出に影響を与える．

デジタルファントムによるシミュレーション検討と同様に，臨床画像を用いて画像再構成条件と NDB との関係を評価した [6]（図 5）．ここで，臨床データは，出来るだけカウント分布が均一な画像を用い，DEW 法および CTAC bilinear scaling 法を適用し，分解能補正なし（S=10, I=5）と分解能補正あり（S=10, I=10），Butterworth filter = 0.5 cycles/cm で画像再構成し，楔前部，楔部，および後部帯状回に集積低下（低下率 20%）を模擬した．NDB は，臨床画像と同じ画像再構成条件で構築され，NDB SD の最頻値は，それぞれ 0.09（分解能補正なし）と 0.10（分解能補正あり）を示した．これは，画像再構成条件と画質との関係が NDB の特性に反映され，更新回数の増加（と散乱線補正の適用）により，SPECT 画像の SD が増加したためである．分解能補正ありでの z-score は，分解能補正なしと比較して NDB SD が高値であるため，低値を示すことが予想される．

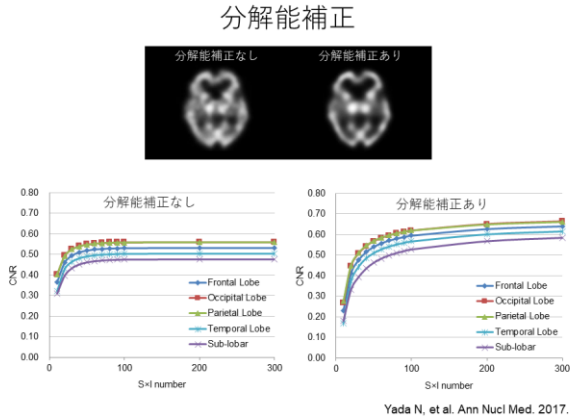



図 4　分解能補正有無における局所脳領域での CNR（一部改変）．分解能補正ありでの CNR は，なしと比較して高値を示すが，深部の方が辺縁よりも低値となる．

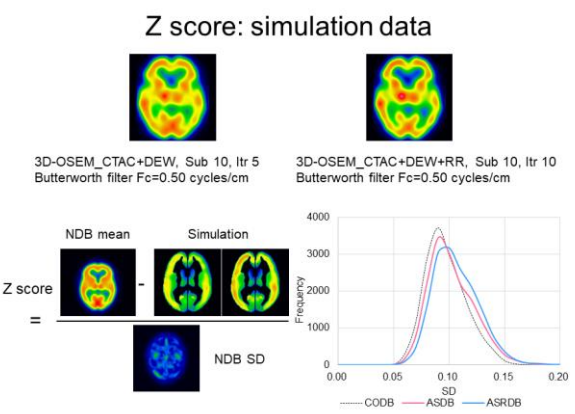



図 5　模擬欠損領域を持つ臨床脳血流 SPECT 画像（一部改変）.

図 6 に，図 5 で提示したシミュレーション検討にて，脳血流 SPECT における集積低下と z-score との関係を示した．3D-SSP で得られた z-score map（スライド上段）において，模擬血流低下領域の描出に大きな差異は認めないものの，非血流低下領域の描出は，CTAC を適用した NDB と比較して，Chang 法での NDB で広範囲に認められた．Extent-score は，閾値以上（ここでは，z-score=0）となる z-score の割合を示し，このシミュレーション検討での理論値は 100%である．NDB を DEW 法+CTAC，および分解能補正ありで構築することにより，extent-score は，86%-99%を示すが，Chang 法を適用した NDB は，76.4%と低値となった．加えて，集積低下領域ではない領域で z-score が 0 以上となった割合（error-score）は，DEW 法+CTAC で 22.8%に対して従来の chang 法で 39.4%と顕著に高値を示した[6]．脳領域での減弱補正法は，脳組織が均一であるため Chang 法が適用されている．Chang 法による脳血流 SPECT 画像は，CTAC と比較して被ばくがなく臨床的な有用性が高いと考えられる．統計学的脳機能画像解析において，CTAC による NDB は，脳血流量が低下していない領域において，統計学的に脳血流量に差があると判断される可能性を低減できることが示唆される．Z-score は，NDB SD の最頻度が最も高値である分解能補正ありで低値を示す．また，z-score は，局所脳領域で NDB mean および NDB SD が異なるため，同じ集積低下率であっても局所脳領域ごとに異なる．

## 3. ノーマルデータベースをコントロールしてみよう！

これまでの研究成果により，脳血流 SPECT は，臨床研究において，わずかで特異的な集積低下を検出し画像化する技術が開発され，その脳血流低下パターンによって認知症の早期鑑別診断に有用であることが報告された．また，技術的な報告において，統計学的脳機能画像解析は，核医学技術の発展により解析精度の向上が認められ，各 SPECT 装置メーカーで各種補正法を適用して NDB を構築し，同一装置・画像収集再構成条件下で臨床画像を解析することが推奨された．将来，解析精度の向上のために，我々は核医学技術の発展および臨床への適用により，診断精度向上を目指す．一方で，これらの研究成果や取り組みは，脳血流 SPECT 検査を同一装置・画像再構成条件で実施し，新しい装置や技術の臨床適用に伴い，新たに NDB を構築する必要がある．また，解析結果は，脳血流 SPECT 画像の分布に依存するため，他装置・再構成条件で得られた結果と比較評価することが出来ず，臨床上，多くの制限がある（図 7）．

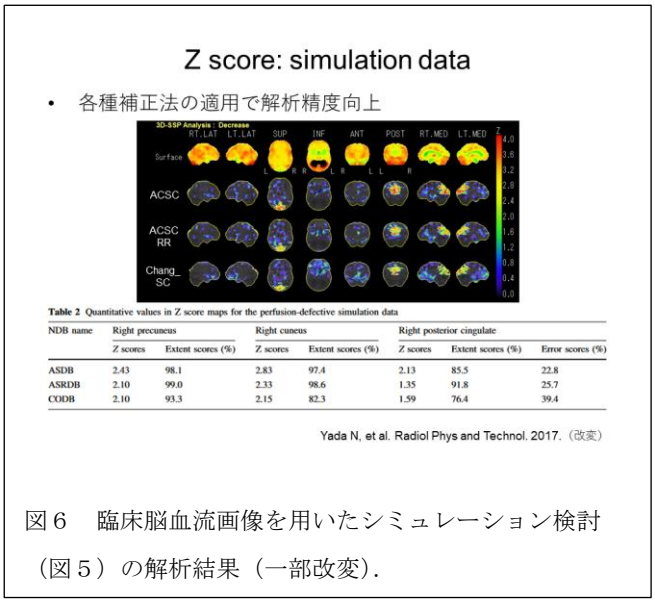



Table 2 Quantitative values in Z score maps for the perfusion-defective simulation data

| NDB name | Right precuneus | | Right cuneus | | Right posterior cingulate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Z scores | Extent scores (%) | Z scores | Extent scores (%) | Z scores | Extent scores (%) | Error scores (%) |
| ASDB | 2.43 | 98.1 | 2.83 | 97.4 | 2.13 | 85.5 | 22.8 |
| ASRDB | 2.10 | 99.0 | 2.33 | 98.6 | 1.35 | 91.8 | 25.7 |
| CODB | 2.10 | 93.3 | 2.15 | 82.3 | 1.59 | 76.4 | 39.4 |

Yada N, et al. Radiol Phys and Technol. 2017.（改変）

図 6　臨床脳血流画像を用いたシミュレーション検討（図 5）の解析結果（一部改変）．

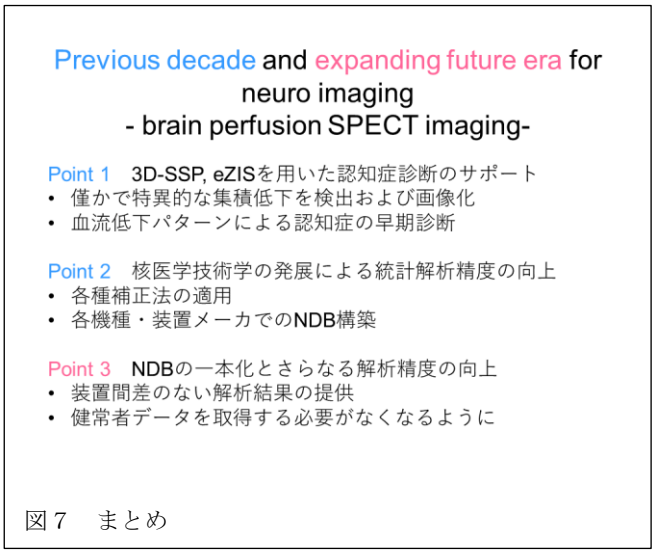



図 7　まとめ

本講演において, NDB 間で得られる z-score の違いを減少させる取り組みについて報告した. 上述したように, 統計学的脳機能画像解析は，NDB mean 画像と NDB SD 画像の分布に依存する．したがって，z-score は，NDB mean と NDB SD が同等な NDB 間であれば，異なる NDB であっても z-score は，差異が少ないと仮定される. しかしながら, もし異なる SPECT 装置を用いて画像収集再構成条件を統一しても，SPECT 画像は同等とならない. 本講演では，NDB が同等である 2 つの NDB を用い, z-score を比較評価した. ここで, NDB は, 自施設 NDB と自施設 NDB と同じような分布となる他装置 NDB とした. 認知症疑い症例において, 楔前部, 楔部, および後部帯状回での平均 z-score は, それぞれ 2.6, 2.7, 2.6（自施設 NDB）と 2.7, 2.6, 2.6（他装置 NDB）を示した．また，正常症例において，同様に z-score の中央値は，それぞれ 0.55, 0.45, 0.40（自施設 NDB）と 0.55, 0.45, 0.60（他装置 NDB）を示した．今後，臨床的な検証が必要であるが，NDB の特性を理解することで，統計学的脳機能画像解析は，技術的なアプローチにより，広く臨床利用できると考えられる.

## まとめ

脳血流 SPECT 検査は，統計学的脳機能画像解析を用い，わずかで特異的な集積低下を検出および画像化することで，認知症の早期鑑別診断に適用されている. Z-score は，NDB の平均値および SD 分布に依存するため，統計解析の精度は, SPECT 装置メーカーおよび各種補正法を適用した画像再構成条件を，NDB と被検者とで一致させて解析することにより向上する．一方で，同様な分布を持つ NDB であれば, 装置間差の少ない解析結果を得られることも考えられる. 本講演は, 技術的な側面から画像再構成と統計解析結果の関係について報告した. この報告が, 少しでも皆様の役に立てれば幸いである.

## 参考文献


1) Minoshima S, Frey KA, Koeppe RA, et al. A diagnostic approach in Alzheimer's disease using three-dimensional stereotactic surface projections of fluorine-18-FDG PET. J Nucl Med 1995; 36(7): 1238-1248.
2) Matsuda H, Mizumura S, Nagao T, et al. Automated discrimination between very early Alzheimer disease and controls using an easy Z-score imaging system for multicenter brain perfusion single-photon emission tomography. AJNR Am J Neuroradiol 2007; 28(4): 731-736.
3) Waragai M, Mizumura S, Yamada T, et al. Differentiation of early-stage Alzheimer's disease from other types of dementia using brain perfusion single photon emission computed tomography with easy Z-score imaging system analysis. Dement Geriatr Cogn Disord 2008; 26(6): 547-55.
4) Yada N, Onishi H. Validation of computed tomography-based attenuation correction of deviation between theoretical and actual values in four computed tomography scanners. Asia Ocean J Nucl Med Biol 2016; 4(2): 81-89.
5) Yada N, Onishi H, Miyai M, et al. Effect of resolution recovery using graph plots on regional cerebral blood flow in healthy volunteers. Ann Nucl Med 2017; 31(7): 553-562.
6) Yada N, Onishi H, Miyai M, et al. Does applying resolution recovery to normal databases confer an advantage over conventional 3D-stereotactic surface projection techniques? Radiol Phys Technol 2017; 10(2): 240-248.

第 86 回核医学部会シンポジウム（発表後抄録）

# 神経変性疾患を捉える脳 PET 撮像技術

北里大学　　我妻　慧

## はじめに

認知症の症状を呈する神経変性疾患のうち 70%以上がアルツハイマー病（Alzheimer's disease : AD）である[1]．平均寿命の延長に伴う高齢化により AD 患者は世界規模で増加しており，AD への対策は世界レベルでの喫緊の課題である．認知機能の低下など AD の症状が発現する 10 年以上前から，脳内ではアミロイド β（Aβ）やタウ蛋白質などの異常蛋白質が蓄積し始める．現状，これらの異常蛋白質を検出できる画像検査は核医学の PET 検査のみである．Aβ の脳内沈着を低侵襲かつ定量的に画像化するアミロイド PET イメージングは，認知症の鑑別診断，AD の超早期診断，根本治療薬に寄与すると報告されている[2,3]．本邦では，アミロイド PET 薬剤のうち[$^{18}$F]florbetapir，[$^{18}$F]flutemetamol，[$^{18}$F]florbetaben の 3 薬剤の院内製造の合成装置が医療機器として薬機法の承認がされており，[$^{18}$F]florbetapir，[$^{18}$F]flutemetamol についてはデリバリ製剤として製造販売承認が取得されている[4]．本稿では，アミロイド PET の検査に関して，標準的なプロトコルと画像再構成条件の決定指針について，検査後の評価までを概説する．

## 1．アミロイド PET の標準的なプロトコル

3 種類の[$^{18}$F]標識のアミロイド PET 薬剤は投与量，待機時間，撮像時間が標準的なプロトコルとして決まっており，アミロイド PET を施行する場合はこの標準的なプロトコルに則って施行するべきである．待機時間は薬剤ごとに幅を持って設定されているが，患者によって待機時間を変えて撮像すると脳内の定量値が変化してしまうため，施設内で一定の待機時間を使用することがアミロイド PET の標準化グループから提言されている．特にアミロイド PET を横断的・縦断的に定量評価する場合には，待機時間は 5 分以内に収めるように推奨されている．収集時間の違いによる画像の出来は装置性能に依存するため，ファントム実験で決定するのが妥当である．いずれにしても収集時間も施設内で一定の条件を使用するべきである（図 1）．アミロイド PET の短時間収集は 3 薬剤全てで検討されており，5，10 分の収集時間でも視覚判定の一致率は良好であり，定量値も安定していることが報告されている[5-7]．

アミロイド PET の撮像時には PET/CT や PET/MR の解剖学的な画像で全脳が PET の撮像視野に入っていることを確認する．

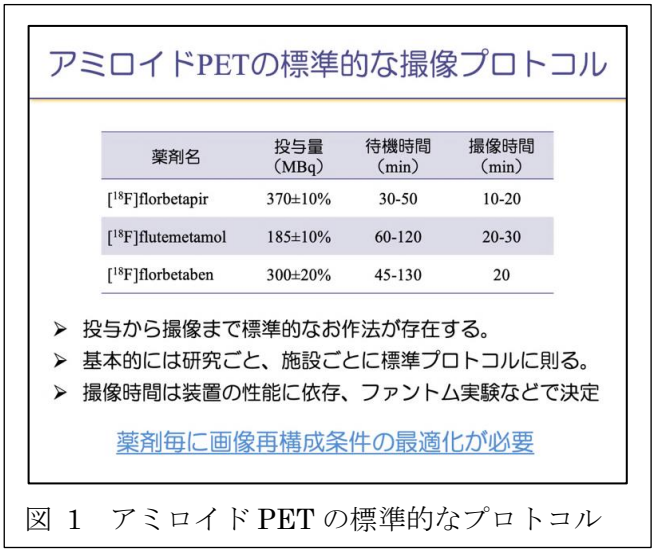



図 1　アミロイド PET の標準的なプロトコル

被検者の頭部は額と顎の最低 2 箇所以上で固定することが望ましい[8]．撮像中の体動の発生はアミロイド PET の視覚判定能の低下や定量値の精度低下などが危惧される[9,10]．自験例において[$^{18}$F]florbetapir を投与された 40 名の被験者の全てで 20 分間の撮像中に体動を認めた[7]．しかし，20 分間で発生した体動の平均は移動量，角度ともに 1.0 mm，1.0 度以下の僅かなものであり，診療放射線技師がカメラ越しに

看視したとしても，発見することは困難であると考える．脳 PET の体動補正法には被検者の頭部にモーショントラッカーを付けて行う motion tracking 法と収集データをフレーム分けして後ろ向きに体動補正をする frame based 法などの手法が提案されてきたが，いずれの手法も装置のコンソール外にデータを取り出して補正する必要があって煩雑であり，研究利用にとどまっていた[11, 12]．近年，[$^{18}$F]FDG を代表とする全身 PET において，外部デバイスを利用しないデータ駆動型（data driven）の体動補正が臨床利用されている．脳 PET においても data driven を利用した体動補正が報告されており，今後の臨床装置への搭載に期待したい[13]．

## 2．画像再構成条件の決定

アミロイド PET の画像再構成条件はファントム実験を行ない，主観的，客観的に最適化する必要がある．アミロイド PET の画像再構成条件を決定する手法として，日本核医学会の PET 核医学委員会が作成した「$^{18}$F-FDG とアミロイドイメージング剤を用いた脳 PET 撮像のためのファントム試験手順書」がある．ファントム試験手順書に基づくと，アミロイド PET の画像再構成条件はホフマン 3D 脳ファントムの画像からコントラスト，空間分解能を評価し，プールファントムの画像から画像ノイズ，均一性を評価して決定する（図 2）これらの指標から画像再構成条件を決定する考え方は Akamatsu らや Wagatsuma らの報告を参考にすると良い[14, 15]．また，米国の Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI)の HP（https://adni.loni.usc.edu/wp-content/uploads/2012/10/ADNI3_PET-Tech-Manual_V2.0_20161206.pdf）や日本の J-ADNI の報告などに各種 PET 装置におけるアミロイド PET の画像再構成条件が記載されているので，自施設の画像再構成条件を決定する際の参考にできる．また，ホフマン 3D 脳ファントムとプールファントムの画像を自施設で解析する場合，日本メジフィジックスの会員ページから解析ソフトである PETquactIE Version3.3 がダウンロードできる．

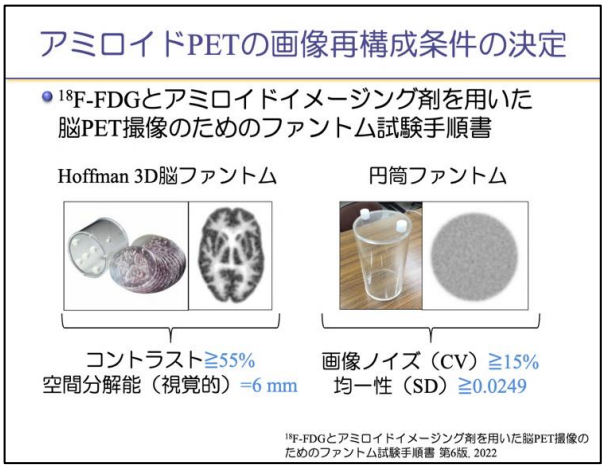



図 2　ファントム試験手順書の評価法

図 3　ADNI-3 の HP

## 3．画像表示および画像評価

アミロイド PET 画像を視覚的に判定する際にはそれぞれの薬剤に決められたカラースケールと表示条件がありそれに則ること（図 4）．アミロイド PET はアミロイド PET 薬剤の灰白質への集積の有無を視覚判定する．薬剤ごとに判定基準は若干異なるが，基本的には集積量が灰白質＜白質では Aβ 陰性，灰白質＞白質では Aβ 陽性となる．しかし，アミロイド PET 画像で Aβ 陽性だとしても，ただちに AD を罹患しているというわけではないことに注意すべきである（図 5）．

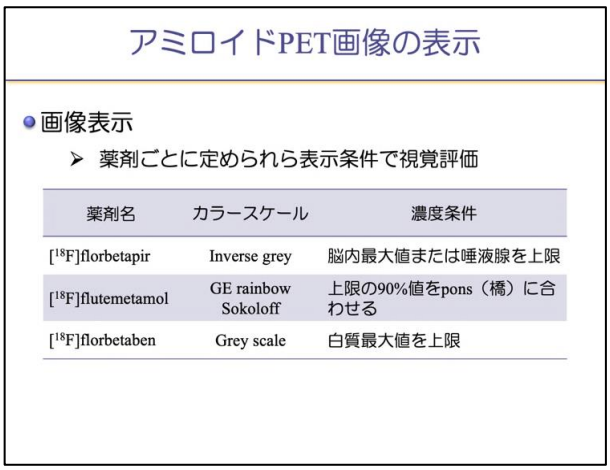



図 4　アミロイド PET 画像の表示条件

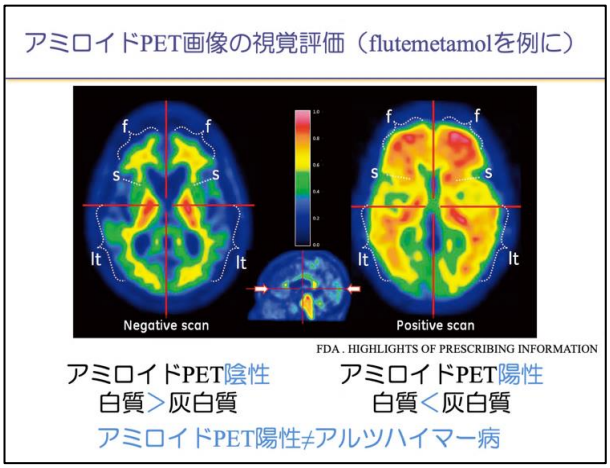



図 5　アミロイド PET 画像の視覚判定

視覚判定は，薬剤ごとに企業が開催している読影トレーニングと日本核医学会春季大会のアミロイド PET 読影講習会を受講済みの PET 核医学認定または核医学専門医によって行われる．視覚判定の精度は薬剤によらず 90%以上の精度を有している [16]．視覚判定が誤る理由として，脳萎縮による影響，局所的な Aβ の集積が存在する，医師の経験の影響などがある [17]．視覚的な評価に定量的な評価を組み合わせることで診断精度が向上することが報告されている．定量評価は臨床レベル，研究レベルで多数の手法が報告されているが，最も一般的に利用されているのが standardized uptake value ratio（SUVR）である．SUVR は Aβ 沈着の特異的な集積と非特異的な集積の比で算出される．特異的な集積を示す領域（標的領域）には，前頭葉，前後部帯状回，外側側頭葉，後頭葉，頭頂葉などが代表的であり，非特異的な集積を示す領域（参照領域）には，小脳皮質，全小脳，橋などがある [18]．SUVR は標的領域の大きさや参照領域によっても変化するため，施設で一定の評価法を採用すると良い [19]．定量評価を行うためのソフトは研究目的，臨床目的でいくつかのソフトが利用可能である（図 6）．

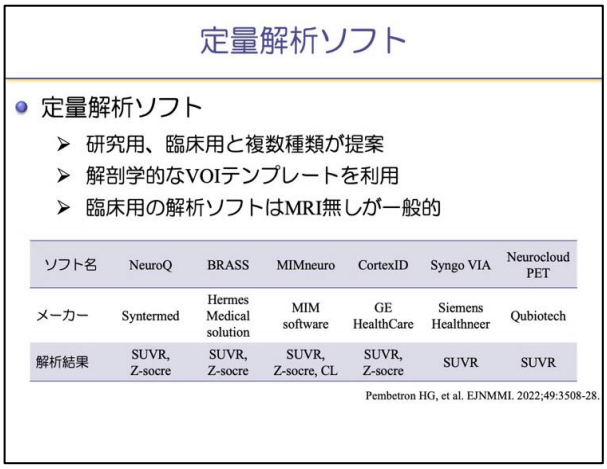



図 6　定量解析ソフト

国内ではデリバリ製剤の[18F]florbetapir を使用すると PDR ファーマ社から Amygo ニューロを，[18F]flutemetamol を使用すると日本メジフィジックス社から VIZCalc を提供してもらえる．いずれのソフトも既存の定量解析ソフトとの交差検証が済んでおり，前述した SUVR が算出できる（図 7）[20, 21]．

さいごに

2023 年 1 月にエーザイ社とバイオジェン社が開発したレカネマブが脳内の Aβ プラークの減少効果を示したことから，AD の治療薬として米国食品医薬品局の迅速承認を取得した．日本においても，レカネマブは医薬品医療機器総合機構の優先審査品目に指定されている（2023 年 5 月現在）．AD の治療薬が国内で承認されれば，治療薬の投与対象を決定するためにアミロイド PET 検査が利用されることとなり，アミロイド PET 検査の保険収載も期待される．本稿が，読者がアミロイド

PET を施行する際の一助になれば幸いである．

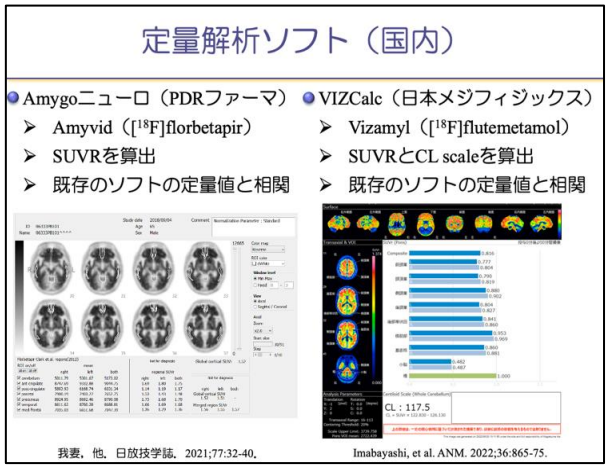



図 7　国内で提供されている定量解析ソフト

参考文献


1) Payoux P, Delrieu J, Gallini A, et al. Cognitive and functional patterns of nondemented subjects with equivocal visual amyloid PET findings. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2015; 42(9): 1459-1468.
2) Hyman BT, Phelps CH, Beach TG, et al. National Institute on Aging-Alzheimer's Association guidelines for the neuropathologic assessment of Alzheimer's disease. Alzheimers Dement 2012; 8(1): 1-13.
3) Klunk WE, Engler H, Nordberg A, et al. Imaging Brain Amyloid in Alzheimer's Disease with Pittsburgh Compound-B. Ann Neurol 2004; 55(3): 306-319.
4) 松田 博史．アルツハイマー病におけるアミロドおよびタウ PET の現状．臨床医学 2022; 55(3): 34-37.
5) Otani T, Otsuka H, Matsushita K, et al. Effect of different examination conditions on image quality and quantitative value of amyloid positron emission tomography using $^{18}$F-flutemetamol. Ann Nucl Med 2021; 35(9): 1004-1014.
6) Tiepolt S, Barthel H, Butzke D, et al. Influence of scan duration on the accuracy of beta-amyloid PET with florbetaben in patients with Alzheimer's disease and healthy volunteers. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2013; 40(2): 238-244.
7) Wagatsuma K, Ishibashi K, Kameyama M, et al. Decreased imaging time of amyloid PET using [$^{18}$F]florbetapir can maintain quantitative accuracy. Radiol Phys Technol 2022; 15(2): 116-124.
8) Trembath L, Newell M, Devous MD, Sr. Technical Considerations in Brain Amyloid PET Imaging with $^{18}$F-Florbetapir. J Nucl Med Technol 2015; 43(3): 175-184.
9) Rowe CC, Villemagne VL. Brain Amyloid Imaging. J Nucl Med Technol 2013; 41(1): 11-18.
10) 清水 彰英，寺川 裕介，森田 奈緒美，他．頭部 PET/CT 検査における CT と PET との位置ずれが再構成画像に及ぼす影響についての検討．日放技学誌 2016; 72(12): 1216-1221.
11) Herzog H, Tellmann L, Fulton R, et al. Motion artifact reduction on parametric PET images of neuroreceptor binding. J Nucl Med 2005; 46(6): 1059-1065.
12) Ikari Y, Nishio T, Makishi Y, et al. Head motion evaluation and correction for PET scans with $^{18}$F-FDG in the Japanese Alzheimer's disease neuroimaging initiative (J-ADNI) multi-center study. Ann Nucl Med 2012; 26(7): 535-544.
13) Spangler-Bickell MG, Hurley SA, Pirasteh A, et al. Evaluation of Data-Driven Rigid Motion Correction in Clinical Brain PET Imaging. J Nucl Med

2022; 63(10): 1604-1610.
14) Akamatsu G, Ikari Y, Nishio T, et al. Optimization of image reconstruction conditions with phantoms for brain FDG and amyloid PET imaging. Ann Nucl Med 2016; 30(1): 18-28.
15) Wagatsuma K, Miwa K, Kamitaka Y, et al. Determination of optimal regularization factor in Bayesian penalized likelihood reconstruction of brain PET images using [$^{18}$F]FDG and [$^{11}$C]PiB. Med Phys 2022; 49(5): 2995-3005.
16) Salloway S, Gamez JE, Singh U, et al. Performance of [$^{18}$F]flutemetamol amyloid imaging against the neuritic plaque component of CERAD and the current (2012) NIA-AA recommendations for the neuropathologic diagnosis of Alzheimer's disease. Alzheimers Dement (Amst) 2017; 9: 25-34.
17) Pontecorvo MJ, Arora AK, Devine M, et al. Quantitation of PET signal as an adjunct to visual interpretation of florbetapir imaging. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2017; 44(5): 825-837.
18) Pemberton HG, Collij LE, Heeman F, et al. Quantification of amyloid PET for future clinical use: a state-of-the-art review. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2022; 49(10): 3508-3528.
19) Thurfjell L, Lilja J, Lundqvist R, et al. Automated quantification of $^{18}$F-flutemetamol PET activity for categorizing scans as negative or positive for brain amyloid: concordance with visual image reads. J Nucl Med 2014; 55(10): 1623-1628.
20) Imabayashi E, Tamamura N, Yamaguchi Y, et al. Automated semi-quantitative amyloid PET analysis technique without MR images for Alzheimer's disease. Ann Nucl Med 2022.
21) 我妻 慧, 三輪 建太, 坂田 宗之, 他. $^{18}$F-florbetapir アミロイド PET イメージングの定量解析ソフトウェアの交差検証. 日放技学誌 2021; 77(1): 32-40.

# 東京都立大学 大学院人間健康科学研究科の紹介

東京都立大学 大学院人間健康科学研究科 放射線科学域

井上　一雅

東京都立大学は東京都八王子市に本部を設置する公立大学であり，５つのメインキャンパス（南大沢，日野，荒川，晴海，飯田橋）と１つのサテライトキャンパス（丸の内）を設置している．また，全国の大学で唯一，小笠原（父島）に研究施設を開設している．学生数は学部生 6817 名，大学院生 2200 名であり，中規模総合大学である（令和 4 年 4 月 1 日現在）．設置されている学部と研究科は総二階建て構造になっており，7 学部･7 研究科（人文社会学，法学政治学，経営学，理学，都市環境科学，システムデザイン学，人間健康科学）で構成されている．

筆者が所属する人間健康科学研究科は，1 専攻 6 学域（看護科学，理学療法学，作業療法学，放射線科学）で構成されており，現在の東京都立大学の前身となる東京都立保健科学大学時代に創設された保健科学研究科（修士課程設置：2002 年，博士課程設置：2004 年）が発祥となる．その後，2005 年に当時の東京都が設置する 4 つの大学および短期大学（東京都立大学，東京都立科学技術大学，東京都保健科学大学，東京都立短期大学）を母体として首都大学東京が新設され，2006 年に現在の人間健康科学研究科（博士前期課程，博士後期課程）が設置された．その後，2020 年に大学名称が変更となり現在に至る．人間健康科学研究科の歴史は，前身の保健科学研究科を含めて，博士前期（修士）課程で 21 年，博士後期（博士）課程で 19 年となる．

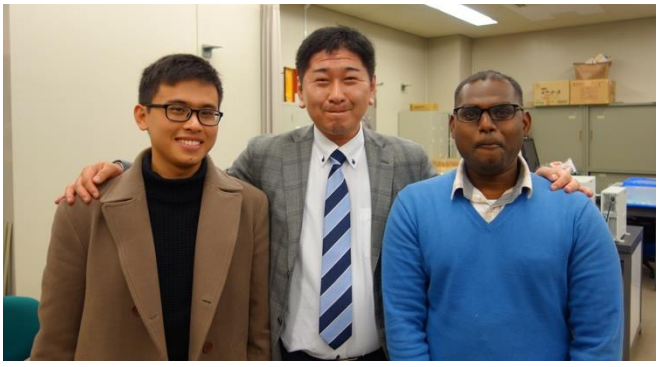
放射線科学域は，7 分野（核医学物理学・保健物理学分野，放射線治療物理学分野，放射線診断物理学分野，医用画像情報学分野，医用画像診断学分野，医用放射線計測学分野，画像診断システム学分野）で構成されており，教授，6 名，准教授 8 名で研究指導を行っている．加えて，連携大学院として東京都長寿医療センター，東京都医学総合研究所，国立がん研究センターおよび量子科学技術開発機構があり，これらの研究機関で研究指導を受けられる体制を構築している．

放射線科学域の理念として，放射線学の専門知識と最新技術の知見を教授することによって，①創造的かつ科学的思考に基づいた高度放射線専門職，②専門分野における高度な知識，能力を有するのみならず，他領域の研究成果を理解し，それらを統合することによって先端医療技術を開発できる人材の育成を目指している．育成する人材像として，博士前期課程修了者は，診療放射線技師養成機関の教育者，高度医療機関の専門分野における診療放射線技師，医学物理士，放射線治療品質管理士および管理職などを挙げている．博士後期課程においては，放射線科学の発展に寄与する研究者･教育者のリーダーを育成し，博士後期課程修了者は高等教育機関，研究所及び行政機関などの指導者・管理者などへの就職を挙げている．当該学域の特徴として，7 つの専攻分野を設定し，放射線科学に関する広範な教育研究体制を構築し，かつオムニバス形式で各専攻分野についての最新の知識を教授し，専攻分野に限定されない広い学識の修得を図っている．また，医学物理士認定機構によって認定された医学物理士コース（診断分野･核医

学分野･治療分野）および量子イメージング技術者養成コースを設定している．近年では，医療人材育成特別企画として，「放射線医療技術とAI」をテーマとして，各分野の第一線で活躍する研究者を招き，全7回の特別講義を企画している．現在までに本学大学院を修了して学位を授与された人数は，修士で319名，博士で71名，論文博士で5名である（令和5年4月1日現在）．修了生の主な進路としては，医療技術者（診療放射線技師，医学物理士），官公庁，医療機器メーカー，製薬メーカー，大学教員，海外研究機関（博士研究員）など多岐にわたる．

東京都立大学は，東京都の国際化基本方針（新生･東京都立大学プロジェクト）に沿い，外国人留学生受入数を現在の年間587人から2030年度までに年間1,000人に倍増する計画である．これに伴い，国際競争力のある教員や大学院生を獲得し，国際共同研究の推進により研究力を強化している．その一環として，2022年度より幅広い国・地域から優秀な外国人留学生を獲得する目的として「東京グローバルパートナー奨学金プログラム」を新設した．支援内容としては，授業料不徴収，往復航空券および奨学金（月額15万円）支給がある．入学後は，キャリア支援，生活サポート，日本語教育コース，学修サポート（チューター制度）などの支援が準備されている．ある統計データによると，本学大学院外国人留学生総数が公立大学で1位（5.7人に1人が留学生）であり，放射線科学域においては，現在10名の外国人留学生が在籍している．当該奨学金プログラムは，国費外国人留学生制度より手厚いサポート内容となっており，周辺に大学院進学を希望する外国人がおりましたら，ご紹介頂けると幸いです．

筆者が運営する核医学物理学・保健物理学分野は，教授1名，准教授1名，名誉教授1名，客員准教授2名，客員研究員10名，協力研究員11名，博士後期課程院生7名（内留学生2名），博士前期課程院生11名，学部生13名の計57名が在籍している．研究内容としては，核医学の研究をはじめ，保健物理（放射線防護），放射線生物，環境放射線，高分子化学などの分野で幅広く研究を行っている．当該分野から博士25名，修士59名を輩出している（令和5年4月1日現在）．核医学に関する研究では，近年，種々のモダリティで利用されている「深層畳み込みニューラルネットワークを用いた腫瘍部位の自動抽出」に関する研究，「標的アイソトープ治療薬の個別化治療の実現に向けた投与量の最適化を検討するために必要な臓器線量の算出」に関する研究，「全身核医学ファントムの開発」，「小児腎シンチグラフィ」に関する研究，「FDG-PET/CT 検査における投与量の最適化を目指した多量データ解析」に関する研究」などを実施している．その他に，研究室で開発した「アルファ線用スペクトロサーベイメータを Ac-225 製造現場へ適用するための研究」を実施している．海外研究機関との国際共同研究では，「近赤外／核医学複合分子プローブを駆使した膵臓がん複合ガイド手術支援技術の開発」を米国･ハーバード大学医学と実施している．



核医学物理学・保健物理学分野に所属していた外国人留学生

当該分野は大学の基本方針に沿って国際化を推進しており，これまでに7名の外国人留学生（インド，スリランカ，タイ，ベトナム，エジプト）を輩出している．本学大学院を修了した外国人留学生の多くは自国の大学等で教

員として活躍している．近年では，筆者が研究代表者となり，修了した外国人留学生をハブとして，Pondicherry 大学（インド），H.N.B. Garhwal 大学（インド），チュラロンコン大学（タイ），チェンマイ大学（タイ），Ho Chi Minh City Medicine and Pharmacy 大学（ベトナム）およびバーレーン大学（バーレーン）と国際研究協力協定を締結し，日本を含む 5 ヶ国，12 研究機関の外国人研究者 30 名と「放射線被ばくに対する健康管理に資するアジア・アフリカ環境放射線研究ネットワーク」を形成している（日本学術振興会研究拠点形成事業）．その他に，ヨージェフ・ステファン研究所（スロベニア）と「質量分析法を駆使した放射性ストロンチウム分析法の開発」を行っている（日本学術振興会二国間交流事業）．

核医学物理学・保健物理学分野主催の国際シンポジウム（インド開催）

放射線科学域には，多様な新ニーズに対応するがん専門医療人材養成プラン（文部科学省）の一環で，量子イメージング技術者養成コースが設置されている．本コースでは，ゲノム医療と量子イメージングに係る高い専門的知識を教授し，加えて深層学習に代表される人工知能（ＡＩ）に関する教育を取り入れ，ゲノム情報と画像データをＡＩで統合的に解析し，がん患者個人に最適化された医療の実現が可能な人材育成プログラムを実施し，量子イメージングに精通したがんプロフェッショナルの養成を目指している．当該コースの最大の目玉事業は，海外教育研究機関（ハーバード大学）へ，5 週間程度の短期研修派遣を実施して最先端の技術を修得させる教育プログラムを構築していることである．これまでに，3 名の本学院生が当該教育プログラムに参加し，その内の 1 名が大学院修了後にハーバード大学医学部の博士研究員として就職している．

核医学物理学・保健物理学分野に所属するメンバー

最後に，本学大学院への入学を検討する契機となればと考え，人間健康科学研究科放射線科学域の入試概要と状況について紹介する．当該学域は，「志望する専門分野に関する高度な知識，能力を有し，科学的に思考できる能力」および「志望する専門分野だけでなく他領域の研究成果も理解し，それを統合することによって自ら研究課題を設定でき，問題解決方法を創造できる能力」を入学者に求めている．博士前期課程の試験科目は，筆記試験（英語，専門）と口述試験となっており，放射線科学に関する基礎および専門知識が問われる．なお，英語の試験については，2025 年度入試より外部英語検定（TOEFL iBT）を利用した入学試験に変更されることを決定している．博士後期課程の試験科目は，筆記試験（英語，専門）と口述試験（プレゼンテーション）になっている．入試状況について，東京都公立大学法人事業概要によると，直近 3 年間の志願倍率は博士前期課程で 1.24～1.48 倍（入学定員 21 名），

博士後期課程で 0.67～0.83 倍（入学定員 6 名）であるが，この中に秋季入学者（外国人留学生）は含まれておらず，実質的には定員を充足している状況である．ここ数年，本学では留学生優位の支援プログラムが数多く設置されている状況にあるが，2024 年度より博士後期課程に進学する日本人学生に対しての経済的支援プログラムが開始される予定である．加えて，学部教育においても，一定の世帯年収制限を設けて授業料（年間 52 万円）が無償化となる．大学全体および各研究分野で魅力ある教育研究体制を整備しております．大学院へ進学を希望される方がおりましたら，東京都立大学を是非ご検討頂ければ幸甚です．

# 全身用半導体 SPECT 装置 StarGuide のご紹介

GE ヘルスケア・ジャパン株式会社　三宅 泰士

## はじめに

核医学装置が世の中に登場してから数十年が経過したが，半導体であるテルル化亜鉛カドミウム(以下，CZT)を検出器に用いた装置が近年注目されている．本検出器の最大の特長はエネルギー分解能が高い事であり，これによって従来実現しえなかった $^{99m}$Tc や $^{123}$I の二核種同時収集などが可能になった．また，撮像時間の短縮や高画質化なども期待されており，心臓専用機をはじめ全身用の半導体装置も我が国で普及してきている．GE ヘルスケア・ジャパンは 2022 年 9 月の世界核医学会で新たな半導体 SPECT 装置である StarGuide(図 1.)を販売開始した．今回は本装置の紹介をさせていただく．

図 1. StarGuide 外観

## 検出器の構造

StarGuide のガントリは，厚さ 7.5mm の CZT を一列に 7 個配列した検出器がリング状に 12 本搭載された形状を取っている．一つの検出器は内部で振り子のような動き(Sweep)をする事によって任意の方向に検出器を向ける事が可能であり，これによって特定の臓器や部位に焦点を当てる”フォーカスモード撮像”が可能になる(図 2.).

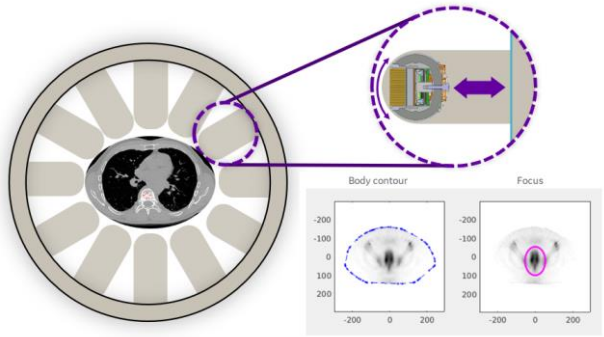



図 2. 検出器の構造とフォーカスモード

## コリメータの構造

コリメータにはタングステンを使用しており，2.45mm ある一つの CZT ピクセルに対してその中央を 2 分するようなデュアルチャネルコリメーション方式(図.3)を採用しており，前述した検出器の厚さとこのコリメータ材質，配置によってコリメータ交換無しに中エネルギー帯までの核種の撮像が可能となっている．

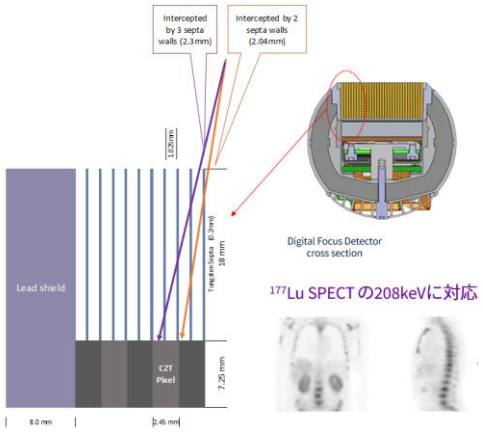



図 3. コリメータの構造

つまり，$^{68}$Ga においては 2 ピークで撮像することが可能であり，昨今話題の Theranostics 核種である $^{177}$Lu においては 208keV の収集も可能にしている(図 4.).

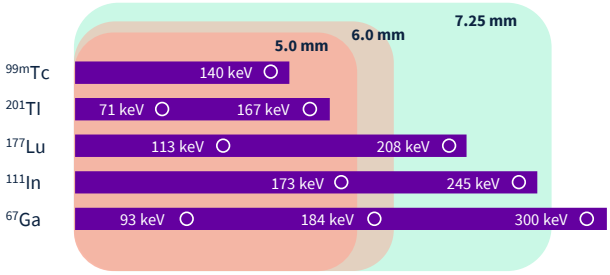



図 4. 収集可能核種のイメージ

簡便なポジショニング

StarGuide は個別化医療，Theranostics へ向けた装置であり，検出器だけではなくそのポジショニングの容易さや正確性にも焦点を当てて設計されている．ガントリ円周には赤外線が張り巡らされており，これによりベッド毎に患者の輪郭を抽出する．患者の体格は検査毎に違うが，このように輪郭を赤外線で抽出する事によりベッド毎に最適な寝台の高さを調整し，常に視野の中心に患者を配置する事が可能となっている(図 5.).

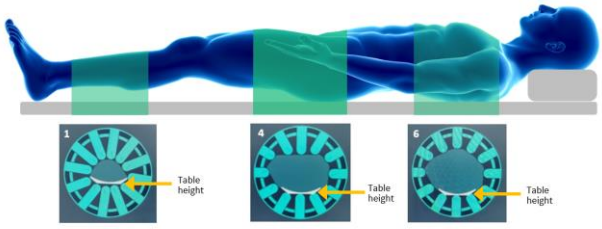



図 5. 患者、ベッド毎に寝台の高さを調整

画像再構成

StarGuide はその検出器の数，複雑さから最終的に View 数は 1000 を超え，データとしては従来よりも大きくなる. 更に今回, PET では既によく知られている BSREM 法(Q.Clear)を SPECT に搭載し，ノイズの制御を行いながら再構成を行っている(図 6.). 収集後に撮像時間やエネルギーウィンドウ変更の検討が可能なリストモードも搭載しており，これらに対応できるようなパワフルなコンソールも備えている.

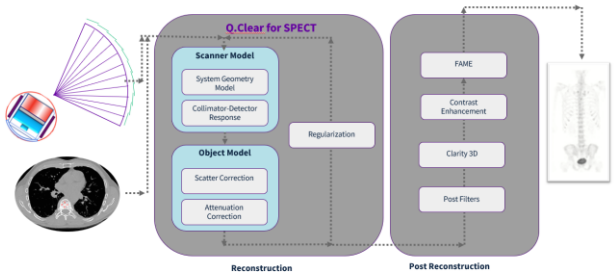



図 6. StarGuide の再構成プロセス

臨床に関して

現在 StarGuide は世界で 45 台以上，日本では 4 台が稼働(2023 年 9 月現在)しており，既に臨床応用が始まっている. SPECT 専用機ではあるものの仮想的にプラナー画像を作り出すことも可能であり，特に骨シンチの分野においても SPECT, プラナー両方で評価をされている施設がある(図 7.). SPECT/CT の普及により，正確な減弱補正，解剖学的な位置情報の把握，更には定量解析ができるようになったが，その煩雑さや検査，処理，解析時間の制約もあり，ルーチンでの使用に躊躇される施設は少なくない. StarGuide における全身 SPECT ($^{99m}$Tc における全身骨 SPECT)にかかる撮像時間は 25 分以内であり，この時間内であれば 1 人の検査枠で全身 SPECT+CT を行い，定量解析までが可能である. また，骨シンチのみではなく心臓や脳などといった核医学の主要検査をはじめ，様々な領域で臨床応用が始まっており，高画質化，短時間検査に期

待が高まっている.

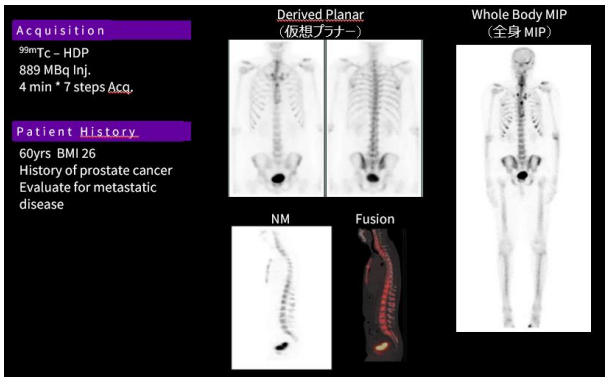



図 7. 全身骨イメージ

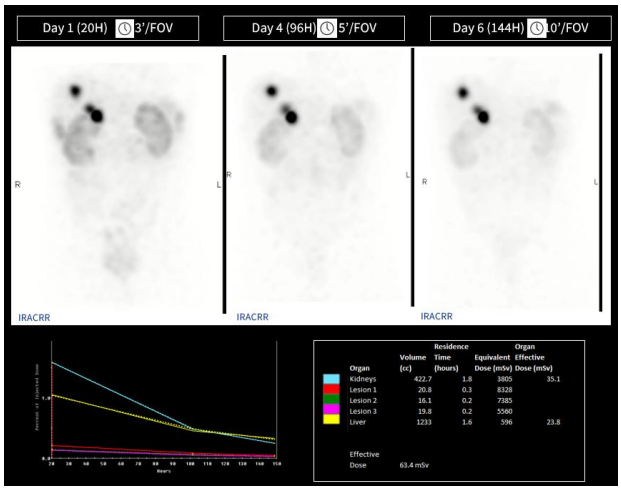



図 8. Dosimetry 課題への挑戦

Theranostics への応用

2021 年より使用可能になった $^{177}$Lu の治療により，国内の Theranostics も夜明けを迎えた．しかしながら課題は多く，その実運用と普及には障壁も残る．大きな課題のひとつとして Dosimetry(臓器，および腫瘍毎の被ばく線量計算)における課題がある．Dosimetry に関してはそもそも一つのシステムでセグメンテーションから時間曲線作成，線量計算までが完結しないこと，操作者間によるセグメンテーションのばらつき，解析に要する時間などが課題として挙げられ，それぞれの複合的な要因によりばらつきやその正確性が疑問視されている．GE ヘルスケアの Xeleris に搭載されている Q.Thera AI はこれらの問題を解決すべく開発されたソフトウェアであり，核医学装置で撮像した画像を基に，CT を基準として AI によるセグメンテーションを行い，時間曲線を作成し，各臓器における被ばく線量を算出する事が一連の作業で可能となった(図 8.).

StarGuide による全身の SPECT と本ソフトウェアの解析により，より簡便で正確性の高い Dosimetry 解析が期待される.

終わりに

今回, 全身用半導体 SPECT 装置 StarGuide についてご紹介させて頂いた．このような半導体 SPECT 装置が世の中に普及する事でこれまで培われた核医学の歴史，技術を更に一歩前進させると共に，Theranostics をはじめとした先進的な医療が発展することに寄与したい.

【StarGuide】

X 線 CT 組み合わせ型 SPECT 装置

StarGuide(スターガイド)

医療機器認証番号 303ACBZX00032000

【Xeleris】

ジニー（GENIE)

類型ジニーエクセラリス（GENIE Xeleris）シリーズ

医療機器認証番号 20700BZY00161000

# United Imaging 社 PET/MRI 装置 uPMR790 について

United Imaging Healthcare Japan 株式会社　　平山　昭

## 1. はじめに

これまで United Imaging Healthcare Japan 株式会社は AXIAL FOV24 cm の uMI 550，30 cm の uMI 780，194 ㎝の uEXPLORER の 3 機種を国内販売してきた．そこに 2022 年 PET/MRI 装置 uPMR 790 が PET のラインナップに加わった．

## 2. uPMR790 の特徴

uPMR 790 は 32 cm の AXIAL FOV の半導体 PET と最新の 3T MRI を組み合わせた PET/MRI 装置である．United Imaging 社の PET は小さなクリスタルサイズによりどの装置も NEMA 空間分解能 2.9 mm と高分解能であるが，uPMR 790 はさらに分解能を高め NEMA 空間分解能 2.8 mm を実現している．分解能を高めたために低下する感度に関しては AXIAL FOV を 32 cm まで拡大することにより補い，uMI 780 と同等の 16 cps/kBq の NEMA sensitivity となっている．

図 1.　PET/MRI 装置 uPMR 790

MRI は研究用に開発された 3T MRI をベースに PET/MRI に最適化されたシステムで @10cm 0.002 ppm，@50cm 1.160 ppm と非常に高い磁場均一性を特徴とする．コイルに関しても 32ch Head Coil，24ch Head & Neck Coil，Knee Coil，PET/MRI で期待される乳房検査用の Breast Coil など通常の MRI 装置と同様のコイルが使用可能である．

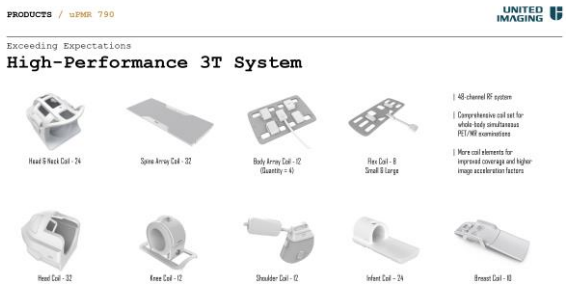



図 2．uPMR790 のコイル

撮像法では United Imaging が開発した Compressed Sensing の高速撮像法 uCS 2.0 が搭載されており，MRI の撮像時間を大幅に短縮している．通常 PET に関しては 1bed 2 分程度の撮像で十分な画質が得られるが，これまでの PET/MRI 装置は MRI の撮像に時間がかかるため実際には 1bed 2 分以内の撮像は困難であった．uPMR 790 は uCS 2.0 による高速撮像により基本のシーケンスのみであれば PET の収集時間内に MRI の撮像も終えられるため，PET/CT と同等のスループットが期待される．

3. uPMR790 の機能

uPMR790 のユニークな機能として Intelligent PET/MR Planning がある．PET/MRI の撮像は通常 MRI のスカウト撮影を行い PET 及び MRI の撮像範囲を決定するのが一般的だが，uPMR790 では MRI だけではなく PET でも短時間のスカウト撮影を行い，おおまかな lesion の位置や膀胱などの位置などを把握し，それらが PET の overlap 部分にかからないように PET の bed position を調整する機能である．

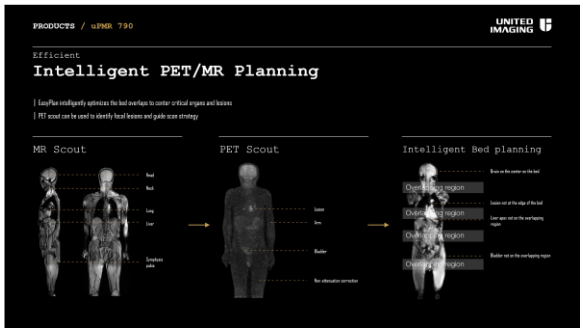



図 3. Intelligent PET/MR Planning

PET 再構成には Hyper Iterative が搭載されている．これは最尤推定画像再構成（Bayesian penalized likelihood, BPL）で，ノイズを抑制しながら収束するまで iteration を繰り返すので，定量性の向上と大幅な SNR の改善がなされている．

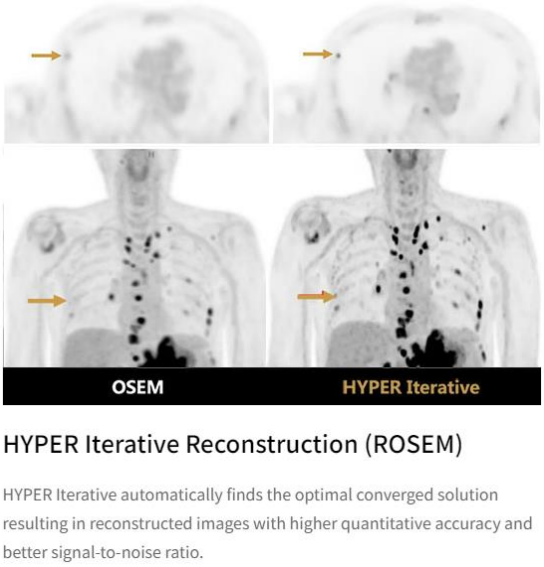



図 4. Hyper Iterative 再構成法

4. PET/MRI の臨床への応用

PET/MRI に期待されるのは PET/CT ではできなく，PET/MRI で初めて実現される臨床応用であると思われる．しかしながらこれまでなかなかそのような例が出てこなかったのも事実である．しかしながら近年少しずつそのような事例が出てきている．いくつか症例をご紹介する．

図 5．Oncology Imaging への PET/MRI の利用

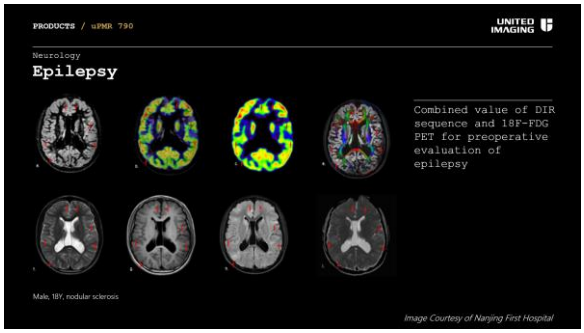



図 6. Neuroimaging への PET/MRI の利用

図 5 . Cardiac imaging への PET/MRI の利用

5.おわりに

今回は UIH の PET/MRI 装置 uPMR790 についてご紹介した. PET/MRI が日本に登場してから 10 年以上経過したがなかなか日本では普及しなかったのが現状である．その理由の一つとして，PET/MRI は PET/CT に比べてスループットが悪く検査効率が悪かったことが挙げられる．uPMR790 は MRI の高速撮像技術で PET/CT と同等のスループットを可能とした．米国では University of Washington に uPMR790 が導入されるなど徐々にではあるが PET/MRI が増えてきている．今後高分解能・高感度 PET とハイパフォーマンス 3T MRI を組み合わせた PET/MRI システム uPMR790 により PET/MRI による研究が加速することを期待したい.

*本文中に出てきた装置の認証番号は以下の通りである.

■本資料に記載された装置の薬事販売名／医療機器認証番号は以下の通り

販売名　PET/MR 装置　uPMR 790
認証番号　304AABZI00045000
販売名　PET/CT 装置 uMI550
認証番号　302AABZX00021A01
販売名　PET/CT 装置 uMI780
認証番号　230AABZX00062A01
販売名　PET/CT 装置 uEXPLORER　認証番号　304AIBZX00002000

第 7 回オンラインジャーナルクラブ参加報告記

# 第 7 回核医学オンラインジャーナルクラブのファシリテーターを担当して

福島県立医科大学　右近　直之

この度，2023 年 6 月 28 日に開催されました第 7 回核医学オンラインジャーナルクラブ（Online Journal Club: OJC）にてファシリテーターを担当させていただきました．大変貴重な経験をさせていただき，関係各位並びに演者である名古屋大学医学部附属病院の藤田 尚利先生には厚く御礼申し上げます．

OJC は，論文の著者自身が抄読担当者となり，掲載された論文に関して具体的に発表をいただく企画であり，論文の詳細な内容だけでなく，研究の着想や経緯，掲載に至るまでの査読者とのやり取りや掲載雑誌の選択等の過程を含めた大変参考になるものです．発表は全体を通して 1 時間程度ですが，研究内容のご発表に 30 分程度その後のディスカッションに 30 分程度とディスカッションに多くの時間を設けているため，ご参加いただいた皆様には，それぞれの立場から研究内容に対する質問に限らず，掲載に至るまでの苦労話なども伺うことができます．

第 7 回 OJC では，藤田先生からバセドウ病を含む甲状腺機能亢進症を対象とした $^{131}$I 内用療法の甲状腺組織への吸収線量評価法について，従来の Marinelli-Quimby の式から得られた吸収線量と，SPECT/CT を用いた Voxel ベースで計算された吸収線量を比較し，投与放射能決定法について考察された研究論文のご発表をいただきました．未だ確立されていない投与放射能決定法として，新たな技術を踏まえてアップデートするための知見として非常にためになるご発表でした．

研究を始める動機や実験，解析をどのようにデザインしたか，論文投稿後のエディターやレフェリーとのやり取りにおいて指摘された事項から論文の内容を再構築し最終的な発表論文の掲載に至るまでどのような点に苦労されたかなどを詳細にご報告いただきました．

ディスカッションでは，参加者の皆様から研究内容として画像再構成法や，部分容積効果の補正方法，対象患者の体格差における解析結果の違いなどについての様々な質問が寄せられました．

また研究内容以外のところでは，Open Access の雑誌であるため掲載料をどのように確保したか，研究を継続するためのモチベーションの保ち方などの質問がありました．

OJC では初めて論文を執筆される方からすでに論文報告を行ったことがある方まで，基本的なところから論文掲載するためのコツや裏話まで幅広く議論することのできる有意義な場であると再認識いたしました．

今年度の OJC はシリーズ化されており 1 回の登録ですべての回に参加することが可能です．ぜひご参加いただけますと幸いです．

# 第７回核医学オンラインジャーナルクラブにプレゼンターとして参加して

名古屋大学医学部附属病院　　藤田　尚利

日本放射線技術学会核医学部会主催『第７回核医学オンラインジャーナルクラブ』にプレゼンターとして参加させて頂きましたので，本紙面をお借りして本会参加の所感を述べさせて頂きます．

核医学オンラインジャーナルクラブは，オンラインにて核医学に関する論文を抄読する会です．私自身，“機会があれば参加してみたいな”という思いは持っていましたが，今回光栄なことに，プレゼンターとしてお声がけ頂きました．今回私が紹介させて頂いた論文は，自身が執筆した“Investigation of post-therapeutic image-based thyroid dosimetry using quantitative SPECT/CT, iodine biokinetics, and the MIRD's voxel S values in Graves' disease”という論文です．本論文は，バセドウ病を対象とした核医学治療における甲状腺吸収線量の算出法を提案したものです．既にご存知の通り，核医学治療として $^{177}$Lu-DOTA-TATE や $^{131}$I-MIBG が新たに保険適用され，さらに本邦では $^{177}$Lu-PSMA の治験も進行中であることから，核医学治療の拡がりと大きな期待が寄せられています．また，核医学治療に対する線量評価（dosimetry）も注目されていますので，本論文が，dosimetry に対するアプローチのヒントになれば，という思いを込めて紹介しました．

質疑応答では，方法論に関する専門的な内容もありましたが，中でも研究費に関する質問が印象に残っています．英語論文を執筆するにあたり，実験器具の購入，英文校正，投稿雑誌によっては掲載料というように様々な費用が発生します．近年は，論文掲載料が高額になることも少なくありません．私の組織では，“診療放射線技師は医療職であり，研究職ではない”という考え方から，基本的に組織としての研究費はゼロです．おそらく，本会に参加した多くの方が同じような境遇だと思います．自身で研究費を獲得するに越したことはありませんが，このような環境下で研究活動を継続するには，“研究職である大学教員とタッグを組むというのが近道”という考えを自身の経験を交えてお答えしました．お互いの長所を活かし，医療機関－研究機関間の“持ちつ持たれつ”の関係を構築することが大事だと考えています．

結びになりますが，本講演にあたり，お声がけ頂いた藤田医科大学　椎葉拓郎先生，弘前大学　奥田光一先生，ファシリテータをお務め頂いた福島県立医科大学　右近直之先生に感謝の意を表します．加えて，活発な議論を頂いた本会参加の皆さまにも感謝申し上げます．

# 第 7 回オンラインジャーナルクラブに参加して
# 参加報告記

つくば国際大学　　相良　裕亮

私は，2023 年 6 月 28 日に核医学部会主催の「第 7 回核医学オンラインジャーナルクラブ」に参加させていただきました.

本会は，オンラインで核医学に関連する論文を抄読する会であり，論文の著者自身が演者となって論文の紹介をして頂ける抄読会となっています．演者が論文の紹介を終えると司会者と参加者によるディスカッションの時間が設けられています．ディスカッションの内容は，著者が実際に経験した論文の執筆に至る経緯や査読者とのやりとりなど，研究以外の内容などもお聞きすることができます.

今回は名古屋大学医学部附属病院の藤田先生が執筆された「Investigation of post-therapeutic image-based thyroid dosimetry using quantitative SPECT/CT, iodine biokinetics, and the MIRD's voxel S values in Graves' disease」についてご講演いただきました.

本論文は，バセドウ病の甲状腺治療に対する線量評価について報告した内容となっており，これまでは，甲状腺の吸収線量を Quimby の式によって算出されていましたが，SPECT 画像とヨウ素の体内動態を利用し，新たな甲状腺の吸収線量の算出方法について提案した内容となっています．本研究テーマを決定した経緯や論文が採択されるまでの対応を丁寧に説明していただけました. 特に, 査読対応について苦労された点や実際どのように対応したかなど，論文を読むだけでは知ることができない内容が多々あり，私自身とても貴重な経験をすることができました. また, 近年では投稿費や論文掲載費など，費用が高くなっておりますが，費用の負担や病院での実情についても包み隠さず教えて下さりました.

臨床研究や基礎研究を遂行するためには，共著者や共同研究者による協力は不可欠であり，研究に対するモチベーションの維持や論理性の確認など，様々な視点でアイデアの発および論文作成に深く関わる仲間がとても大重要であることを再認識しました. また, 査読者によるコメントで追加実験や再解析などの必要性についても，ディスカションをしている先生方の意見も聞けることができ，大変勉強になりました.

最近になってようやくコロナが落ち着いてきましたが，未だに学会や研究会では対面方式で行われない状況下ではあります．しかし，オンライン開催だからこそ，気兼ねなく参加できるのもオンライン開催の魅力の 1 つだと思います．ご講演いただいた講師の先生のご講演も大変分かりやすく，今回学んだことを学会発表や論文執筆に生かしていきたいと思いました.

最後なりますが，日々の業務でご多忙のところ，核医学オンラインジャーナルを開催していただきました先生方と関係者の皆様に心より感謝申し上げます.

# 第 7 回　核医学オンラインジャーナルクラブに参加して

九州大学病院　　粟元　伸一

2023 年 6 月 28 日に開催された「第 7 回オンラインジャーナルクラブ」に機会あって参加させて頂きました. 今回, 取り上げられた論文が『甲状腺治療における線量評価』についてであり，甲状腺機能亢進症治療におけるヨウ素摂取率を用いた甲状腺吸収線量の評価について，今何かと話題な核医学画像を使用した線量評価手法についての論文を著者が解説を行ってくれました．当院でも $^{131}$I を用いた甲状腺治療や線量評価の研究に触れる機会もあり，非常に興味がある内容でした.

この論文では甲状腺機能亢進症に対する投与量と吸収線量の関係式は Marinelli-Quimby の式が古くから世界的に使用されており，これは甲状腺に均一に放射性医薬品が分布していることを前提としているため，実際の患者分布によって治療効果が異なることに著者が着目し, SPECT 画像を取得することによって治療薬の体内分布や体内動態を確認し，線量評価をアップデートする試みがなされていました.

また，核医学画像を用いた線量評価を行う上で特に重要なのが，イメージングの定量精度であり，特に空間分解能の低さによる部分体積効果の影響について検討されていました. 部分体積効果により甲状腺領域の境界付近の SPECT 値が流出することにより実際の放射能よりも過小評価になることがあるため，それに対する補正手法も検討されていました. 部分体積効果の問題は，内用療法の線量評価手法において結果に影響を与える因子の一つなので，今後の研究活動の参考にしていきたいと考えています.

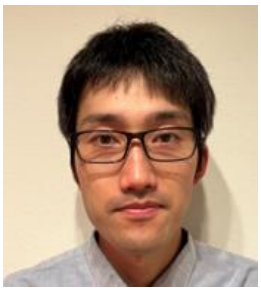
討論の中では，研究に対する質問の他に査読者への対応やオープンアクセスジャーナルへの投稿費用の工面など著者が苦労されてアクセプトされた事が伝わってきました.

オンラインジャーナルクラブの目的として学術的な情報の共有はもちろん，最新英語論文の著者が直接解説を行ってくれるため，論文をただ読むだけでは伝わらない著者の研究に対する思いがこの講演からは伝わってきました. 論文や研究への「ここだけの話」を聞くことができ，参加している方々の研究へ対するモチベーションアップにつながると思いました.

最後に，ご講演いただいた名古屋大学医学部附属病院　藤田尚利先生，ファシリテータの先生, 企画・準備をしてくださった世話人の先生方に深く感謝申し上げます.

# 第８回オンラインジャーナルクラブ参加印象記
# （ファシリテータとして）

日本医科大学健診医療センター　　野坂広樹



2023 年 8 月 2 日に開催された第 8 回オンラインジャーナルクラブにファシリテータとして参加させていただきました.

オンラインジャーナルクラブは論文の著者自身が，自身の投稿した論文の査読を行うというものであり，研究内容や論文投稿に至るまでの経緯を説明いただける企画となっています．今回は近畿大学病院の石川大介先生に，頭部・乳房専用 PET 装置の性能評価に関する論文について査読をしていただきました．研究のきっかけから，論文の投稿先の選定，論文執筆と私生活の両立など，幅広い範囲でお話をしていただきました.

オンラインジャーナルクラブの魅力は，論文の著者の先生と直接議論をすることができる点にあると思います．また今回は参加者の中に共著者の方もいらっしゃったため，研究や論文執筆における共著者としての役割がどのようなものであったかも聞くことができたので，非常に有意義なものになったと思います．私の力不足で参加者の方からの質問があまりなかったことが残念ですが，著者の先生方と直接 30 分以上議論できる機会は非常に貴重であり，有意義なものになりました.

特に印象に残った点として，今回の議論の中で,「英語での国際発表が論文投稿につながった」ということが挙げられます. 石川先生が COVID-19 の影響によりポスターセッションとなった国際学会での発表の内容を査読者が知っていたことで，査読者とのコミュニケーションが円滑に進み，査読者が論文の内容を理解する際の助けにもなったそうです．石川先生が論文の執筆だけではく，幅広い分野の研究発表も行っていることをお聞きし，一つの要因だけでなく様々な要素が論文の採択に寄与していると感じました.

その他にも，参加者の皆様が夜型の生活で眠気と闘いながら論文執筆に挑む様子や，査読者とのメールの頻度や方法に関する話題など，これまで論文を執筆してきた方だけでなく，これから執筆を考えている方にとっても役立つ情報が多く共有されました．論文執筆は研究の集大成であり大きな努力が要求されますが，実際に経験された方の話を知ることは自身の道標になると感じました.

最後にこのような貴重な経験をさせていただきました関係者の皆様に深く感謝申し上げます.

# 第 8 回 核医学オンラインジャーナルクラブにプレゼンターとして参加して

近畿大学病院　　石川大介

2023 年 8 月 2 日に開催された第 8 回 核医学オンラインジャーナルクラブにプレゼンターとして参加し，EJNMMI Physics 誌に掲載された「Evaluation of the performance of a high-resolution time-of-flight PET system dedicated to the head and breast according to NEMA NU 2-2012 standard」について紹介させていただきました．本論文の内容は世界初の頭部と乳房の専用 PET 装置における性能評価の報告になります．本会では，まず，論文の概要を紹介し，続いて論文掲載に至るまでの経緯を述べました．投稿先に関しては，Journal of Nuclear Medicine 誌と EJNMMI Physics 誌の計 2 雑誌に投稿しましたので，不採択の理由や修正すべき箇所の指摘内容とその対応について紹介しました．指摘事項は多数であったため，代表的なものを挙げました．最後に，本論文の執筆・投稿時には，これ以外の研究課題を同時に進めていたので，どのように同時に進めていたかを紹介させていただきました．

今回の発表は論文の抄読のみならず，ファシリテーターや参加者の論文執筆・投稿の経験を共有できる貴重な場であると考えていたので，ディスカッションに充てる時間をできる限り確保したく時間配分を考えました．実際，質疑では多くのご質問を頂くことができ，多くの学びを得られる時間となりました．特に，本論文はファントムを用いていたため，ファントムの作成および選択方法に関わる質問を複数受け，これらへの関心の高さを伺い知ることができました．

本会はコロナ禍以前だと学会でしかディスカッション出来ないような全国の様々な地域の方とオンラインを利用することでディスカッションできる非常に有意義な会だと考えます．今後，この核医学オンラインジャーナルクラブが更に発展し，核医学が尚一層盛り上がることを期待します．

最後に今回プレゼンターとして発表の機会を与えて頂きました核医学オンラインジャーナルクラブに携わる核医学部会の先生方に厚く御礼申し上げます．

# 第 8 回核医学オンラインジャーナルクラブに参加して

名古屋大学　　中西恒平

第8回核医学オンラインジャーナルクラブが“頭部･乳房専用 PET 装置の性能評価”というテーマで開催されました．私は以前，乳房専用半導体PET装置の開発に携わっていたことがあるため，今回のテーマに惹かれ，オンラインジャーナルクラブに初めて参加させていただきました．

今回のオンラインジャーナルクラブは抄読論文を執筆された近畿大学病院・石川先生ご本人から論文内容と論文執筆の裏話についてご講演いただいた後，質疑応答が行われるという流れで進行されました．

実際に本会へ参加し私が強く感じたことは，著者の先生ご本人に論文内容を紹介していただけるという点もさる事ながら，論文執筆の裏話を拝聴できる点が非常に魅力的だということでした．今回のご講演では論文を執筆するにあたり石川先生が苦労されたこと（論文執筆とその他のタスクの両立など）をどのように乗り切ったかをご紹介いただけました.このような経験談を拝聴できる機会は多くないため，非常に貴重なご講演であったと思います．私自身，同様の事で苦労した経験があるため，興味深く拝聴しました．

ご講演の中で特に印象深かったのが,査読コメント対応に関するお話です．論文執筆において査読コメントへの対応は最も大変な作業かと思います．私も毎回，頭を抱えながら査読コメントへの返答文を作成しております．今回のご講演の中では，いくつかの査読コメントとそれらに対し石川先生がどのように対応されたかご教示いただき，大変勉強になりました．今後の査読コメント対応にて参考にさせて頂こうと思います．

論文執筆は原稿作成から投稿先ジャーナルの選定,査読コメントへの対応など，経験が無い方には勝手がわからないことが多く，ハードルが高い作業かと思います．こういった懸念点から，論文投稿に興味があれど手が出せずにいるという方もいらっしゃることでしょう．本会はそういった方が，演者先生の経験談と共に論文掲載までのプロセスを知ることができる，非常に良い機会であると感じました．また，演者の先生がどのような研究活動を行なっているか，どのように論文執筆を行なっているかなどを知ることで，私自身の勉強及びモチベーション向上につながりました．こういった点で，既に論文執筆を経験されている方にとっても研究活動に還元できるものを得ることができる良い機会になるのではないかと思います．

私にとって初めてのオンラインジャーナルクラブ参加でしたが，非常に学びのある会となりました．ご多忙の中オンラインジャーナルクラブの企画・運営していただいた先生方及び演者の石川先生に感謝申しあげます．

# 第 8 回オンラインジャーナルクラブに参加して

自治医科大学附属病院　　川嶋友彰

第 8 回オンラインジャーナルクラブに参加させて頂いた．今回のセミナーでは近畿大学病院の石川大介先生に『頭部・乳房専用 PET 装置の性能評価に関する論文』について講演頂いた. 講演内容を私なりにまとめると, ①装置・論文紹介, ②採択に至るまで（投稿先の選択，レビュアーからのコメントとその回答), ③論文を通じての感想である.

①装置・論文紹介については, リングを移動させることで頭部と乳房両方の専用装置として使える点や頭部・乳房専用 PET 装置は全身用 PET/CT 装置と大きくリング径が異なり，画像が高分解能で鮮明ではあるが，全身用装置の評価ファントムが入らず工夫した点等をお聞きすることができ，とても興味深かった.

②採択に至るまで（投稿先の選択, レビュアーからのコメントとその回答）では, 投稿先をどのように選んだのか，また実際にレビュアーからきたコメントとそれに対しての石川先生が行った回答を見せて頂くことができた. 一度査読で挫折したことのある私にとっては, とても参考になった.

しかし，今回のセミナーで私が一番考えさせられたのは，③論文を通じての感想でお話頂いた時間の使い方であった. 今回, 講演された石川先生は，この論文を執筆中に並行で複数の MRI についての発表・論文準備，大学院履修等，複数のタスクに追われ多忙に過ごされていたそうである．そのため時間の使い方(朝 or 夜)，マルチタスクをどうこなすかに頭を悩ませていたそうだ. 講演中に, この時の一年間のタスクをスライドでお示し頂いたが，とても一度にこなす量ではないと感じ，講師の石川先生には頭が下がる思いであった.

自分でいかに時間を作り, 行動・実行するかの重要性をとても考えさせられた．セミナー後，私も朝か夜に少しでも時間を作れるように努力を始めたところである. 私は一度, 論文投稿に挫折しているので，今回のセミナーを参考にして，しっかりと時間を作り再度挑戦したい.

最後に講演頂いた石川先生, また, セミナー企画・運営頂いている先生方にこの場をお借りして感謝申し上げる.

# トキ消費の魅力

本年度より編集を担当させていただきます，島根大学病院の矢田伸広です．どうぞよろしくお願い申し上げます．

みなさまは，スポーツ観戦をされますでしょうか？プロ野球，サッカー，アメリカンフットボール，バスケットボールなど，サブスクリプションサービスも利用して世界中のゲームを観戦しています．広島出身の私は，特に地元のプロ野球球団の試合をテレビ観戦だけでなくスタジアムに行って応援しています．連日超満員，チケットはプレミアム化され，ひとたび試合が始まれば，スタジアムでの観客の一体感は凄まじく，テレビ観戦では味わえない感動，知り得ない一つ一つのプレーの実際のところを目の当たりにします．運良く，今夏スタジアムで観戦．試合にも勝ち最高でしたが，とにかく暑い！一方，テレビ観戦している家族は，涼しい部屋でリプレー映像も観ながら，試合を細部まで観戦していました．とはいえ，家族はスタジアム観戦が羨ましいと言います．

ここ数年，コロナウイルス感染症の感染拡大を防止するために，様々な企画は，現地，LIVE(web)，およびオンデマンドを併用して開催されてきました．今後どうなるか分かりませんが，社会全体で目的に合わせた形式での開催，企画の統一化，および共有がされるのではないでしょうか．みなさまは，現地参加の魅力が何だとお考えでしょうか？私は，会員の皆様との能動的な講演，演題，およびディスカッションを通じて，自身が成長出来ることに魅力を感じます．それは，多くの点でメリットのある web 開催やオンデマンド配信でも得られない，その場に居ることで得られる経験です．これからも，そのような場に参加したいと思います．最後になりましたが，本誌発行に際しまして，ご執筆いただきました先生方，誠にありがとうございました．

島根大学医学部附属病院　矢田伸広