

医学物理

Japanese Journal of Medical Physics

2019

Vol. 39

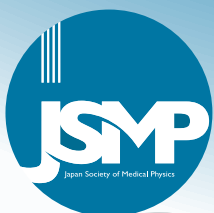
4

<http://www.jsmp.org/>

JSMP

Japan Society of Medical Physics

教育委員会企画連載中



令和元年
第39巻 4号



日本医学物理学会機関誌

目 次

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用

(4) 3D-PSFの応用2. virtual noduleの胸部CT-CADのQAへの応用

和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 村尾晃平, 松本 徹, 曾根脩輔 77

国際学会参加記

2019年米国医学物理学会学術大会参加報告

中野正寛 86

施設紹介

京都大学医学部附属病院放射線治療科の紹介

宮部結城, 椋本宜学, 小野智博, 伊良皆拓, 平島英明, 中村光宏 91

編集後記 94

【複写される方へ】

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の方でない限り、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階 一般社団法人 学術著作権協会

FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

CONTENTS

〈Special Issue Series: Educational Committee〉

REVIEW

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD:
Part 4. Application of 3D-PSF 2. Virtual Nodule Application to QA
for Thoracic CT-CAD

Shinichi WADA, Masaki OHKUBO, Akihiro NARITA,
Kohei MURAO, Toru MATSUMOTO, Shusuke SONE..... 77

REPORT OF INTERNATIONAL CONFERENCE

2019 AAPM Annual Meeting and Exhibition, San Antonio, Texas, USA

Masahiro NAKANO..... 86

INTRODUCTION OF RESEARCH FACILITY

Department of Radiation Oncology and Image-Applied Therapy at Kyoto
University Hospital

Yuki MIYABE, Nobutaka MUKUMOTO, Tomohiro ONO,
Hiraku IRAMINA, Hideaki HIRASHIMA, Mitsuhiro NAKAMURA..... 91

EDITOR'S NOTE 94

解説

〈連載：教育委員会企画〉

CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用

(4) 3D-PSFの応用2. virtual noduleの胸部CT-CADのQAへの応用

和田真一^{*1,2}, 大久保真樹², 成田啓廣², 村尾晃平³, 松本 徹⁴, 曾根脩輔⁵¹新潟大学 名誉教授²新潟大学大学院保健学研究科放射線技術科学分野³国立情報学研究所医療ビッグデータ研究センター (元 富士通株式会社)⁴千葉健生病院 (元 放射線医学総合研究所)⁵信州大学 名誉教授 (元 JA長野厚生連安曇総合病院)

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD:

Part 4. Application of 3D-PSF 2. Virtual Nodule Application to QA for Thoracic CT-CAD

Shinichi WADA^{*1,2}, Masaki OHKUBO², Akihiro NARITA², Kohei MURAO³, Toru MATSUMOTO⁴, Shusuke SONE⁵¹ Professor Emeritus of Niigata University² Graduate School of Health Sciences, Niigata University³ Research Center for Medical Big-data, National Institute of Informatics (Formerly Fujitsu Limited)⁴ Chiba Kensei Hospital (Formerly National Institute of Radiological Sciences)⁵ Professor Emeritus of Shinshu University (Formerly JA Nagano Azumi General Hospital)

1. はじめに

がん検診は、症状発現の前の早期診断の追求であると定義される。早期診断は早期治療を提供し、そのことによりがん死を回避することができる。がん検診の有効性は、どれほど早期にがんが診断され、早期治療によって、症状発現による診断・治療よりも、どれほど多くのがん死を回避できるかに依存する^{1),2)}。

罹患率と死亡率の双方において重要ながんに対し、早期治療が晩期治療よりも治療成績において優れており、症状が現れてからの晩期診断よりも前に早期診断をもたらす——即ちLead Timeが提供される——テスト法が存在するならば、がん検診が考慮されるべきである^{1)~3)}、とされる。Lead Timeとは、検診によらずに発症するがんが、特定の検診によってどれ程早期に診断されるかを示す期間であり、検診(処方)Regimenの、早期診断に関する重要な性能指標の一つである。特定のRegimen下の検診において、がんが診断された割合についての、1回の繰返し検診での値に対する、初回検診での値の比により測定される。その比が1以下である場合は、その検診Regimenは早期診断を提供しないことを意味する¹⁾。がん検診は、早期治療へと続く早期診断の追求であるから、早期治療の性能指標についても評価が必要であるが、診断とは異なり、治療はがんの自然経過に変化を与えるために、有効性の評価には比較が必要である¹⁾。

肺がんによる死亡者は、国内では年間74,120人⁴⁾が

ん死因の第1位であり、全世界においては1,761,007人⁵⁾が1年間に死亡しており、死因トップのがんである。肺がんの年間罹患者数は、国内で116,224人⁶⁾と、大腸がん、胃がんに次いで第3位であり、全世界では2,093,876人で、罹患者数の最も多いがんである。肺がんは罹患者と死亡者の双方の数において最重要のがんである。

肺がんの病期分類システムは、肺がんの生存率に基づいており、10年生存率から推定される治癒可能比は、stage Iの、特に、そのサイズが10mm以下の肺がんでは高く、サイズが増すにつれて治癒可能比は低下する。stage I肺がんの治癒可能比は高いが、stage Iで診断される肺がんは僅かであるために、発見される全stageの肺がんの治癒可能比は低く¹⁾、肺がんは難治性のがんとされ、そのため、死亡率第1位のがんである。

がん診療拠点病院等の院内がん登録データの肺がんの5年相対生存率⁷⁾は、I期：81.2% (95%信頼区間：80.2–81.9)、II期：46.3% (95%信頼区間：44.6–47.9)、III期：14.5% (95%信頼区間：21.6–22.9)、IV期：5.1% (95%信頼区間：4.7–5.4)と報告され、全病期の5年相対生存率は40.6% (95%信頼区間：40.2–41.0)と報告されている。I期肺がんの5年生存率は81.2%と高いが、I期肺がんが治療された割合は36.7%と低い。そのことにより肺がん全体の5年相対生存率は40.6%にとどまり、結果として、2017年現在において、年間7万4千人以上が肺がんにより死亡している。

1990年当時、日本で肺がんは死亡数第2位のがんであっ

* 新潟大学

E-mail: swada_em@emeritus.niigata-u.ac.jp

たが、増加の一途を辿っている状況への対策として舘野ら⁸⁾は低線量CT肺がん検診(以下、胸部CT検診)を提案した。その後、曾根ら⁹⁾は、3,967名にCT装置搭載移動型検診車による住民検診を実施し、従来我国の自治体で実施されて来た胸部単純X線写真を用いた肺がん検診による肺がん発見率0.03~0.05%に対して0.48%と;約10倍の優れた検出感度であったこと、また、CT検診発見肺がん19例中18例は胸部間接X線写真では見逃されたと報告し、肺がんに対する正確で早期の診断をもたらす胸部CTによる検診が考慮されるべきであるとする論文をLANCET誌に発表⁹⁾した。続いて1999年に、Henschkeら¹⁰⁾は、Early Lung Cancer Action Project (ELCAP)の研究デザインと、60歳以上の喫煙者ら1,000名を対象とした検診結果を報告し、胸部CT検診は27名の肺がんを早期発見し、そのうち、胸部X線写真が発見できたのは7例のみであったとし、胸部CT検診の肺がんに対する優れた早期検出能を報告する論文をLANCET誌に発表した。

その後、Henschkeら¹¹⁾はThe International Early Lung Cancer Action Program (I-ELCAP)研究の結果として、年1回の低線量肺がんCT検診受診者全体の10年生存率を80% (95%信頼区間:74%~85%)、そのうち、I期肺がんが発見された受診者の10年生存率は、92% (95%信頼区間:88%~95%)とする結果を2006年にN Engle J Med誌に報告¹¹⁾した。さらに、同研究者らは2018年にI-ELCAPのCT検診Regimenによる肺がんCT検診の研究の結果から、Lead Timeを病理組織別に推定¹²⁾し、小細胞がんでは1.3年 (95%信頼区間:0.8~2.2年)、扁平上皮癌で2.4年 (95%信頼区間:1.6~3.5年)、腺癌(solid)で5.8年 (95%信頼区間:4.5~7.6年)、腺癌(sub-solid)で10.2年 (95%信頼区間:6.6~15.9年)などの結果を報告し、また、高リスク群と低リスク群間にLead Timeの統計的有意差はなかったことを示した¹²⁾。

I-ELCAP研究者らにより胸部CT検診は、肺がんに対して、治癒可能な早期診断を提供するテスト法であることが明らかにされた^{11), 12)}。

罹患率と死亡率の双方において重要な肺がんに対して、胸部CT検診を高い精度の検診として広く普及させることが重要な課題と考えられる。

胸部CT検診で1検査当たり発生するCT画像の枚数は、スライス厚又は再構成間隔により、60枚から300枚以上になり、そこから数mm径の肺内結節を高精度に検出し、適切な判定を経て早期治療へと導く検診プロセス^{1), 13), 14)}において、CAD (Computer Aided Detection/Diagnosis) システムが果たすことのできる役割は大きいと考えられる。

CADの、検診施設の臨床現場における性能評価¹⁵⁾と、その性能維持を保証するQuality Assurance (QA)は極めて重要と考えられる。CADのQAについて、AAPM

(American Association of Physicist in Medicine) CAD subcommitteeは報告書¹⁶⁾において、CADのQAの重要性を指摘し、将来的に期待される研究について言及している。

この連載の最終回の本稿では、肺がんCT検診を高精度な検診法として広く普及させる上で、CADが重要な役割を担うであろうことを前提として行ってきた、CT画像の3D-PSFを応用したvirtual nodulesのCADのQAへの応用に関する著者らの研究について、紹介させていただく。

2. 3D-PSF virtual noduleを用いたCT肺がん検診 CADの性能評価とQAへの応用^{17), 18)}

肺がんCT検診画像から肺がん候補結節を自動検出するCADの性能評価の方法には、肺がん候補実結節を含む症例データベースを用いる方法が報告されている^{19)~22)}。しかし、実際にCT検診を実施する施設においてCADを導入しようとする際に、公開されている症例データベースや、CAD開発メーカーが提供する症例サンプル画像データを用いることは、CT装置や、検出器配列、スライス厚などの撮影条件、再構成関数が異なる場合が多く、CADの性能がこれらの条件により変化することが報告されており^{23)~26)}、当該検診施設のCT検診画像の画質に対するCADの性能を評価することは難しい。また、個別の検診施設において早期肺がん結節を含む十分な症例数を集積し、CT検診画像データベースを構築して、これをCADの性能評価とQAに用いることも困難と考えられる。

これらの困難を克服する方法として人工結節を含むファントムを利用した報告^{27), 28)}や、コンピュータシミュレーションによる結節の利用が報告^{29), 30)}されている。しかし、前者は実際の人体解剖構造とは大きく異なり、利用可能な結節のサイズや濃度にも限界がある。後者の結節画像は、実際のCT画像の空間分解能が反映されない問題点がある。

そこで著者等は、3D-PSFを用いてコンピュータシミュレーションにより生成した模擬結節計算画像を、検診施設で撮影されたCT画像中に3次元的に配置してvirtual noduleとして用いる方法を提案した。この方法について人体ファントム、および、CT検診画像データを用いて検証し、その結果を基に、CADに検出が求められる肺がん候補結節のサイズと濃度^{31), 32)}に対する詳細な性能特性について検討した^{17), 18)}。

2.1 Virtual nodulesの生成

肺内結節計算画像 $I(x, y, z)$ を次式^{33)~35)}により計算して求めた。

$$I(x, y, z) = [O(x, y, z) ** PSF(x, y)] * SSP(z) \quad (1)$$

$I(x, y, z)$ は3次元(3D)CT画像、 $O(x, y, z)$ は3D被写体関

数(Object function), $PSF(x, y)$ はスキャン(x-y)平面内の2D PSF, $SSP(z)$ は, Z軸方向の1次元LSFであり, **, * は, それぞれ2次元, 1次元重畳積分(convolution)を示す.

実際のCT検診で検出対象とする肺内結節^{31), 32)}のObject functionを, 密度均一の球体とし, サイズと密度に対応する直径とCT値を与えて, 肺内結節計算画像 $I(x, y, z)$ を計算した.

CT検診画像と, 肺内結節計算画像 $I(x, y, z)$ の重ね合わせ加算処理では, データサンプリング間隔を, CT検診画像のピクセルサイズとスライス間隔に一致させ直線補間を用いてデータ再サンプリング処理³⁶⁾を行った. 重ね合わせでは, 3次元球体 $I(x, y, z)$ の中心と, CT検診画像の体積要素(Voxel)中心との差(off-set: $\Delta x, \Delta y, \Delta z$) (Fig. 1)³⁶⁾が $0 \leq \Delta x \leq (1/2)pixel\ size, 0 \leq \Delta y \leq (1/2)pixel\ size, 0 \leq \Delta z \leq (1/2)slice\ thickness$ の値を取りうることを考慮して加算処理を行い, CT検診画像内に配置された肺内結節計算画像をvirtual noduleとする(Fig. 2). 以上の方法でvirtual noduleは, CT検診画像の空間分解能を反映する.

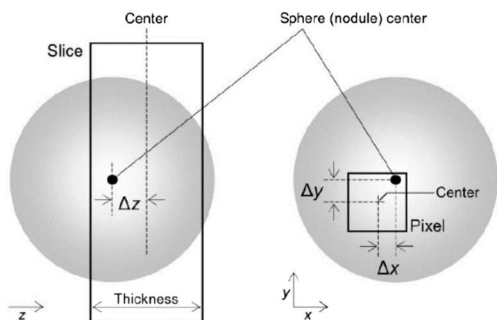


Fig. 1 結節中心と画像Voxelのセンターの間のoff-set ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)の関係の図示. Voxelは, スライスとpixelの境界の領域と定義する³⁶⁾

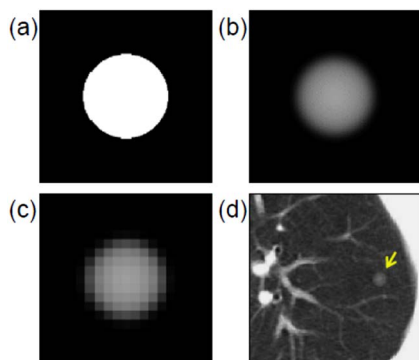


Fig. 2 virtual nodule生成方法の図示. (a)はObject functionで直径6mmの球体, (b) Object functionから式(1)で計算したコンピュータ計算結節像, (c) (b)の画像を臨床画像のpixel sizeとスライス厚に一致させ再サンプリングして生成, (d)臨床画像に加算融合してvirtual noduleを生成する. 文献18) Fig. 1より許諾転載

2.2 胸部ファントム模擬結節CT画像とvirtual nodule画像の比較による検証¹⁸⁾

virtual noduleをCADの性能評価に用いることの妥当性の検討するために, 胸部ファントム (LSCT001; 京都科学社製) を用いた検証実験を行った. 胸部CT検診ファントムは仕様上, 肺尖部, 気管分岐部, 肺底部の3レベルに, 左肺野内にCT値: -630HU, 直径: 2, 4, 6, 8, 10 (mm)の高コントラスト, 右肺野内には-800HU, 4, 6, 8, 10, 12 (mm)の低コントラストの, 人工球形模擬結節が配置されている. 肺野CT値は-900HUで, 模擬結節とのコントラスト(ΔCT)は, 高コントラストで270HU, 低コントラストで100HUとしている. 検証では, 高コントラストで4~10 (mm), 低コントラストで6~12 (mm)のそれぞれ4個を用いた.

CT装置は, 4列MDCT装置 (Asteion; 東芝メディカル社製) を用い, 胸部CT検診ファントムを30mA, 120kV, 検出器配列: $4 \times 5\text{mm}$, 0.75s/rot, pitch factor: 1.375で撮影し, スライス厚: 8mm, 再構成関数: FC50によりFBP画像再構成した. 拡大再構成ではField of View (FOV) = 60mmとした.

肺内結節計算画像の計算に用いる $PSF(x, y)$ は, CTテストファントム (MHT-type; 京都科学社製) を用いて, 精度検証を伴う測定法^{37), 38)}により測定し, $SSP(z)$ 測定にはGold Disk Deltaファントム (京都科学社製) を用いた.

Object functionは, 胸部ファントム中, 肺底部の8個の人工模擬結節に対応する直径と ΔCT 値の球体とした. ファントム模擬結節CT画像とvirtual noduleとのsubtraction画像のSD(standard deviation)により, 人工模擬結節CT画像とvirtual noduleの一致を評価した. その結果, subtraction画像のSDはいずれの結節においても背景画像のSDと同程度であった.

また, 後述するCADによる人工模擬結節とvirtual noduleの自動検出を行い, 両者の検出率の κ 係数を求め, $\kappa = 0.913$ のよい一致を確認した.

2.3 CT検診画像内の肺がん疑い結節像とvirtual nodule画像の比較による検証¹⁸⁾

研究には胸部CT検診実施施設からCT検診画像データベース³²⁾の提供を受けた. CT検診画像の研究使用に際しては, 同病院の倫理審査委員会の審査を受け承認を得た.

CT検診の使用CT装置は, 4列MDCT装置 (Asteion; 東芝メディカル社製) で, 撮影条件は, 30mA, 120kV, 検出器配列: $4 \times 5\text{mm}$, 0.75s/rotとし, pitch factorは1.375とした. 画像再構成は, スライス厚, 再構成間隔共に8mm, 再構成関数はFC50によりFOVは, 280~350mmであった. また, 同CT装置を用いて再構成関数とスライス厚に対して, PSFとSSPを測定した.

CT検診画像データベースに対してCADシステムによる

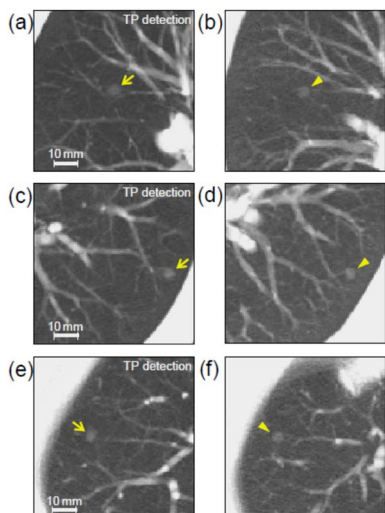


Fig. 3 (a), (c), (e)は, CADによって true positive として検出された肺がん疑い結節 (矢印) を含む3例の検診CT画像. (b), (d), (f)は, それぞれに対応する virtual noduleで, 検診CT画像の類似解剖構造位置に配置. CADによっていずれも true positive として検出された. 検診CT画像は, 結節を含む中心スライスと前後のスライスの計3スライスにより maximum intensity projection 画像を生成. virtual nodule の object function の直径-コントラスト (結節密度とバックグラウンド間) は, それぞれ 6.0mm-250HU (b), 5.5mm-350HU (d), 5.6mm-310HU (f). 文献18) Fig. 4より許諾転載

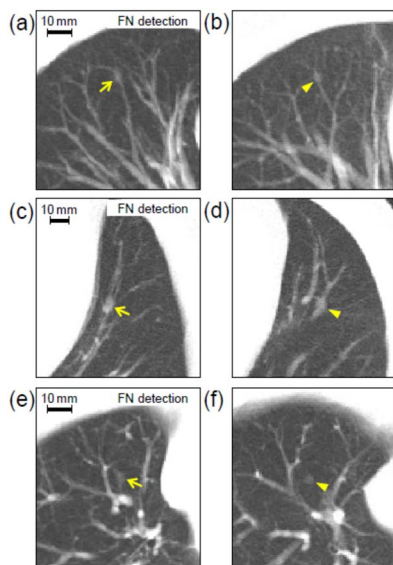


Fig. 4 Fig. 3と同様の実肺がん疑い結節と対応する virtual nodule の対比. (a), (c), (e)は, CADによって false negative として検出されなかった肺がん疑い結節 (矢印) を含む3例の検診CT画像. (b), (d), (f)は, それぞれに対応する virtual noduleで, 検診CT画像の類似解剖構造位置に配置. CADによっていずれも false negative. virtual nodule の Object function の直径-コントラスト (結節密度とバックグラウンド間) は, それぞれ 4.5mm-360HU (b), 7.0mm-480HU (d), 4.3mm-320HU (f). 文献18) Fig. 5より許諾転載

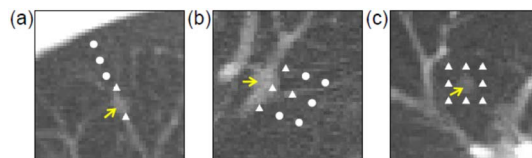


Fig. 5 CADにより検出されなかった virtual nodule (矢印). (a)-(c)の virtual nodule は Fig. 4(b), (d), (f)と同じ結節. 結節の位置を最初的位置から変化させてその位置に“▲”または“●”を示す.“▲”は検出されなかった位置であり, “●”は検出された位置を示す. 文献18) Fig. 8より許諾転載

結節の自動検出試験を行った. CADシステムは, 著者らの研究チームのプロトタイプCADを用いた. データベースからCADによる自動検出の結果, 正しく肺がん疑い結節を検出 (true positive; TP) した3例 (Fig. 3 (a), (c), (e)) と, 誤って肺がん疑い結節を検出できなかった非検出 (false negative; FN) の3例 (Fig. 4 (a), (c), (e)) を抽出した. CT検診症例画像データベースから肺がん疑い結節を含まないデータセット3症例を抽出し, TP症例, FN症例のそれぞれの肺がん疑い結節の周囲解剖構造と類似した位置に結節計算画像を配置して, それぞれの肺がん疑い結節を模擬した virtual nodule を生成した (Fig. 3. (b), (d), (f), Fig. 4 (b), (d), (f)). virtual nodule の生成には, Object function を均一濃度の球体とし, 肉眼的に肺がん疑い結節に最も類似したサイズと濃度を与えて, 直径と濃度を決定した (Fig. 3, Fig. 4).

virtual nodule の配置に際しては, 体軸方向に肺がん疑い結節と隣接する血管の存在を明示するために, 配置スライスを含む前後3スライスを用いて maximum intensity projection (MIP) 画像を作成し, virtual nodule 位置を微小移動したデータセットに対してCADによる自動検出試験を行い, 血管と virtual nodule 位置関係が異なる場合の検出結果を得た.

Fig. 3, Fig. 4のそれぞれにおいて virtual nodule に対するCADによる自動検出の結果は, 肺がん疑い実結節に対する結果とすべて一致し, TP, およびFNとなった. また, Fig. 4 (b), (d), (f)のケースについては virtual nodule 位置を僅かに移動させた際のCAD検出結果を Fig. 5に● (検出), ▲ (非検出) として表示した.

2.4 virtual nodule による, CADの性能評価^{17), 18)}

Object function を均一濃度の球体とし, その直径を 4.0 mm, 4.5 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm の6種類とし, Δ CTを 100~800 HU まで100HU間隔で8種類に変化させた計48種類の Virtual nodule を生成した. CT検診画像データベースから10例を抽出し, それぞれの肺尖部, 気管分岐部, 肺底部の3レベルに virtual nodule 各々10個, 計30個を配置して, CAD検出を行った. CAD検出の結

果, 検出率が80%以上を検出可 (detectable), 80%未滿を検出不可 (undetectable)とし, virtual noduleのサイズと濃度毎の検出結果の一例を Fig. 6 に示した. 同様に, 10例のCT検診症例にvirtual noduleを配置し, 検出限界の平均と標準偏差を Fig. 7 に示した.

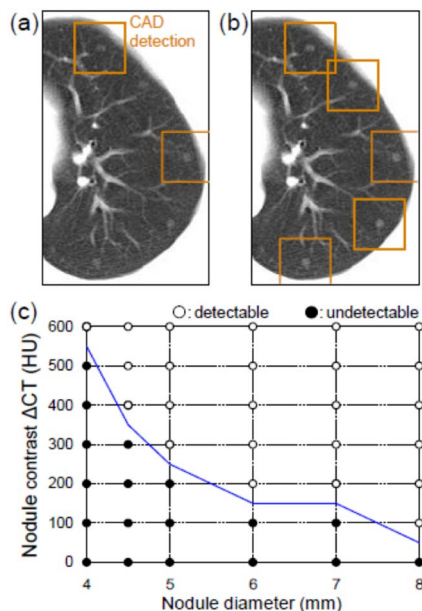


Fig. 6 virtual noduleを加算融合したCT検診画像のCADによる自動検出結果. (a)は5個のvirtual noduleのうち, 2個にみを検出した (正方形で表示). Object functionは, 球体の直径は5mmで, バックグラウンドとのコントラスト (ΔCT)は $\Delta CT=200$ HU. (b)は, すべての直径5mmのvirtual noduleを検出した. このケースのObject functionの球体の直径は5mmで $\Delta CT=300$ HU. (c)直径と ΔCT 値についてすべての検出結果をまとめて表示. 80%以上を検出した場合を○:(検出可)で表示し, それ以外を●:(検出不可)で表示した. 検出可と検出不可の境界を折線で示した. 文献18) Fig. 9より許諾転載

また, CADの検出結果について, virtual noduleのサイズ, 濃度に対するFROC解析を行った.

濃度 $\Delta CT=300$ HUとした時のサイズ直径4~8mmに対するFROC曲線を Fig. 8(a)に示し, サイズ直径6mmの濃度変化に対するFROCを Fig. 8(b)に示す.

なお, これらの検討では, off-set ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)=0についての結果を示している.

3. Nodule-like Object functionによる virtual noduleの高度化³⁹⁾

CADの性能評価の方法として肺がんCT検診症例の実結節を用いた研究が行われている^{19)~22)}が, CAD性能評価とQAに対して, CT装置, 撮影・再構成条件の違いによる画質の異なる結節CT画像を用いることにより, CADの特性が変化する^{23)~26)}可能性により, 個別CT検診施設のQAに, 他施設の実結節画像データベースを利用することに課題があることも述べた.

この問題を克服するために, CT検診施設, CT装置・撮影・再構成条件の異なる検診CT画像中の肺結節を, 自施

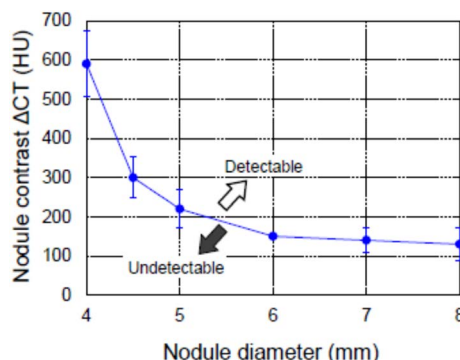


Fig. 7 CT検診症例10例の検出限界の平均と標準偏差表示. 文献18) Fig. 10より許諾転載

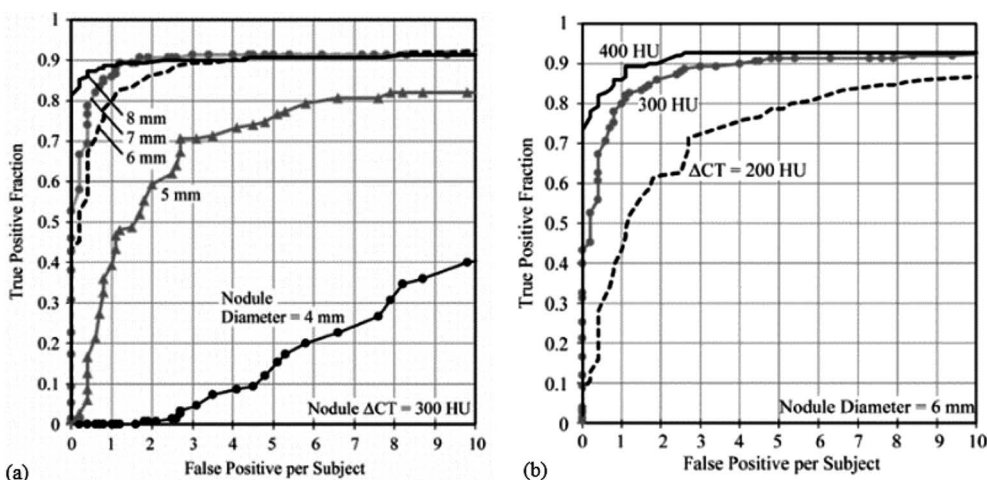


Fig. 8 CT検診症例10例のCAD検出結果のFROC曲線. (a)はvirtual noduleの $\Delta CT: 300$ HUの結節に対する, 結節直径4~8mmの結果. (b)はvirtual noduleの直径6mmに対する, ΔCT 値200 HU, 300 HUと400 HUの結果. 文献17) Fig. 5, Fig. 6より許諾転載

設の検診条件の画質に変換し、CADのQAに応用する方法の研究を行った。即ち、CT装置の異なる別施設のCT検診画像中の肺がん疑い結節画像を、3D-PSFを用いて自施設のCT検診画像中の結節として用いることを目的に行った研究である。以下に、その概要を紹介する。

3.1 Nodule-like Object functionを用いた肺結節CT画像生成の原理³⁹⁾

本連載に一貫して用いるCT画像の3D-PSFを応用する。ある施設のCT装置(A)の検診条件によるCT画像 $I_1(x, y, z)$ は式(1)に準じて次式で表される。

$$I_1(x, y, z) = [O(x, y, z) ** PSF_1(x, y)] * SSP_1(z) \quad (2)$$

ここで、 $PSF_1(x, y)$, $SSP_1(z)$ は、CT装置(A)で測定された2次元PSF, 1次元LSFであり、 $O(x, y, z)$, **, *は、式(1)に同じである。式(2)から、次式が得られる。

$$O(x, y, z) = F^{-1} \left\{ \frac{F[I_1(x, y, z)]}{F[PSF_1(x, y)] \cdot F[SSP_1(z)]} \right\} \quad (3)$$

ここで、 F, F^{-1} はそれぞれフーリエ変換と、逆フーリエ変換を示す。この式は、CT画像からPSFとSSPを用いて、肺がん疑い結節のObject functionが計算されることを示し、3次元CT画像に対する3D-PSFによるdeconvolutionを意味する。式(3)で $F[PSF_1(x, y)]$, $F[SSP_1(z)]$ の高空間周波数特性による発散を避けるために次式のHann窓関数 $H(w)$ を用いた。

$$H(w) = \begin{cases} 1.0 & (w < w_1) \\ 0.5 + 0.5 \cos \frac{w - w_1}{\Delta w} \pi & (w_1 \leq w \leq w_1 + \Delta w) \\ 0.0 & (w_1 + \Delta w < w) \end{cases} \quad (4)$$

$$w = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

ここで、 u, v は x, y 方向の空間周波数であり、 w はラジア

ル方向の空間周波数である。 w_1 と Δw は最適化により決定される³⁹⁾変数である。

これにより式(3)は次のようになる。

$$O'(x, y, z) = F^{-1} \left\{ \frac{F[I_1(x, y, z)]}{F[PSF_1(x, y)] \cdot F[SSP_1(z)]} H(w) \right\} \quad (6)$$

ここで $O'(x, y, z)$ は、nodule-like object functionとした。

次に、別の施設のCT装置(B)の検診条件によるCT画像 $I_2(x, y, z)$ を、 $O'(x, y, z)$ を用いた次式が成り立つと仮定する。

$$I_2(x, y, z) = [O'(x, y, z) ** PSF_2(x, y)] * SSP_1(z) \quad (7)$$

この式より、CT装置(A)によって撮影された肺がん疑い結節は、CT装置(B)によって撮影されたCT画像に変換されると考えられる。これによれば、CT装置(A)によって得られた肺がん疑い結節から、そのPSF, SSPを測定することによって、他の任意のCT装置で撮影されたCT画像を計算して求めることができる。

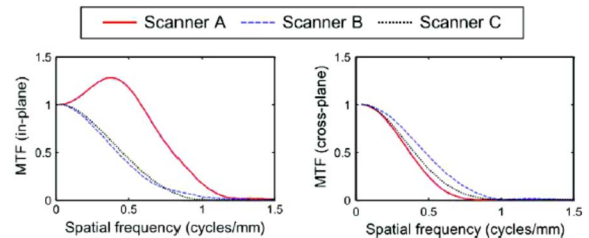


Fig. 9 CT装置A, B, CのPSF(左)とSSP(右)²⁷⁾. CT装置のモデル名と再構成関数はTable 1に示す。文献39) Fig. 1より許諾転載

Table 1 CT装置A, B, Cの装置名と、撮影・再構成条件

Model name	Equipment		
	Scanner A Asteion (Toshiba)	Scanner B Aquilion one (Toshiba)	Scanner C SOMATOM force (Siemens)
Acquisition			
Detector rows	4	80	96
Tube voltage (kV)	120	120	120
Tube current (mA)	200	300	198
Rotation time (s/rotation)	0.75	0.5	0.5
Pitch	1.375	0.8125	0.9
Image reconstruction			
Field of view (mm)	200	200	200
Slice thickness (mm)	1	1	1
Slice interval (mm)	1	1	1
Reconstruction kernel	High-resolution (FC52)	Standard (FC14)	Standard (Bf44d)

文献39) より

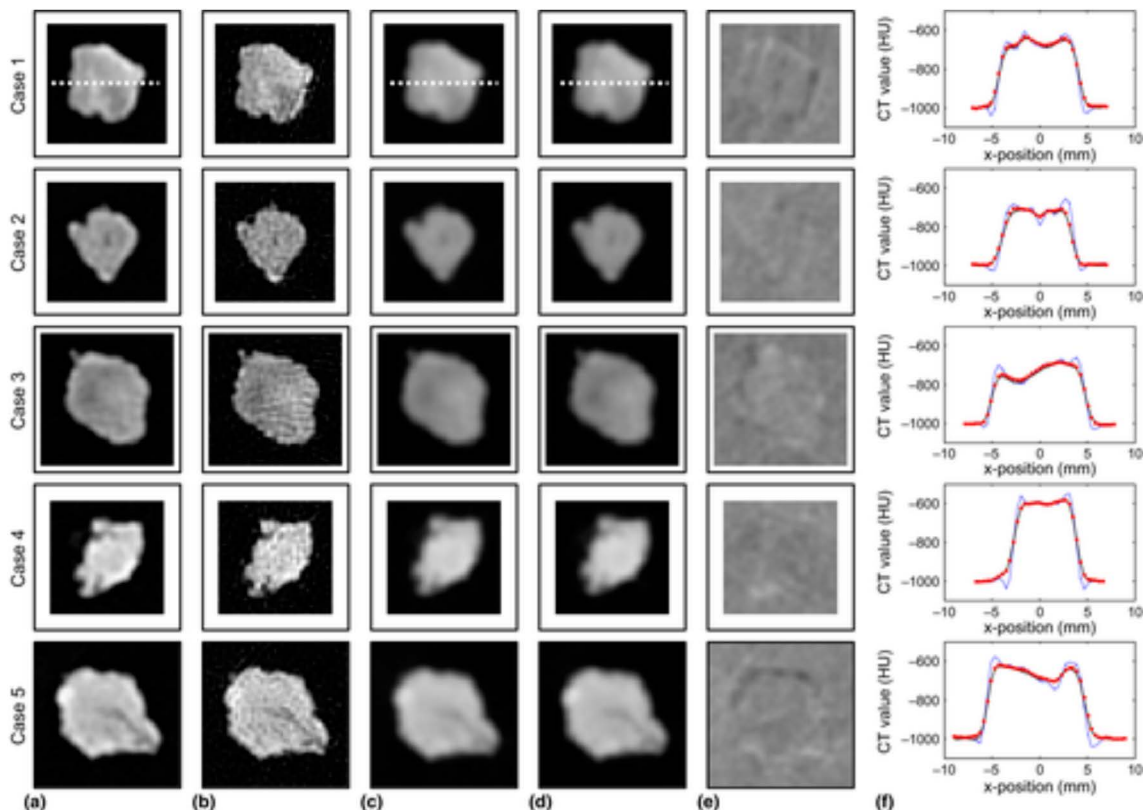


Fig. 10 (a): CT装置(A)により撮影して得たファントムCT画像, (b): (a)から, 式(6)により計算して求めたnodule-like object function, (c): (b)とCT装置CのPSF, SSPを用いて式(7)により計算して求めたCT画像, (d): CT装置Cにより撮影して求めたCT画像, (e) (c)と(d)のsubtraction画像, (f) Case1の水平の点線に沿うCT値プロファイルの比較. (c), (d)と(a)のプロファイルを, それぞれ, 点(赤), 実線(黒)と点線(青)で表示. (a)–(d): WL/WW = -750/500HU, (f): WL/WW = 0/200HU, すべての画像はmmスケールで同一. 文献39) Fig. 10より許諾転載

3.2 nodule-like Object functionを用いた肺結節CT画像生成の検証³⁹⁾

5体の自作ファントムを用いて, 式(7)が成り立つことを検証するための実験を行った. ファントムは, 早期肺がん疑い結節のCT値を含み, 自在な形状を得ることが可能な材質の紙粘土を使用した. 使用したCT装置A, B, Cの撮影・再構成条件をTable 1に, そのPSF, SSPをFig. 9に示す.

結果はFig. 10に示すとおり, CT装置AのCT画像 $I_1(x, y, z)$ から, PSF_1 と SSP_1 を用いて式(6)により計算して得た $O'(x, y, z)$ とCT装置Cの PSF_2 と SSP_2 を用いて計算して求めた $I_2(x, y, z)$ は, CT装置Cにより撮影されたCT画像とよく一致し, 式(6), (7)がよい精度で成り立つことが検証された.

4. ま と め

3D-PSFを基礎としたvirtual noduleをCT肺がん検診CADの性能評価とQAに応用する著者らの研究を紹介した.

Virtual noduleのObject functionを密度均一な球体としてCADの基本的性能評価に応用することの妥当性を

ファントムと実際のCT検診画像を用いた比較検証により検討した. Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5の結果によりvirtual noduleが早期肺がん疑い結節像に類似し, CAD検出特性においても一致することを確認し, 密度均一な球体を10mm以下の早期肺がん疑い結節の一次近似としてのObject functionとすることの妥当性を示した.

Virtual noduleと, CAD導入検診施設の検診画像を用いて, CADの肺内結節検出基本性能特性を検出目的となるnodule sizeと密度に応じた詳細な評価を行うことが可能であること, それが, 個別検診施設固有のCADの性能評価と性能特性の維持検証(QA)に応用可能であることを示した.

以上提案した方法は, これまでにCADの性能評価に用いられてきた, 人体ファントムを用いる方法や, コンピュータシミュレーションによる方法の限界を克服し, CADの基本性能特性評価法とQAのために実用可能な方法として用いることが可能である.

早期肺がん組織のObject functionを, 密度均一な球体として近似することに対して, より精密な近似として実際の早期肺がん結節を利用することができれば研究の高度化につながると考えられる. そこで, 3D-PSFを利用した

Nodule-like Object functionを用いて、異なるCT装置、撮影・再構成条件の別の検診施設で撮影された肺がん疑い結節を、自施設の検診CT画像の画質に変換することが可能であることを示し、他施設の肺がん症例データを、自施設のCADの性能評価とQAのためにvirtual noduleとしての利用ができることを示した。

早期肺がんCT画像を画像データベースとして提供する施設のCT装置において3D-PSFを同定することにより、早期肺がん結節画像のNodule-like Object functionを介した規格化が可能であり、早期肺がんCT画像データベースの応用可能な領域は広がる可能性があると考えられる。

AAPM-CAD subcommitteeの報告書¹⁶⁾のV. Future CAD QA Procedures: Potential applications and research opportunitiesの項目のV.A; Phantoms and simulated images for CAD QAにおいて、partially digital phantoms (e.g. simulated lesions digitally superimposed on real patient images)の記述があり、著者等の提案法に関連するものと思われる。

今後、CT検診現場における実証研究、種々のアルゴリズムのCADを用いた検証実験を経て、実用化へつながることを期待したい。

謝辞

本連載において解説論文執筆の機会を与えていただいた日本医学物理学会編集委員会、同教育委員会に感謝致しますとともに、懇切に査読して下さいました、編集委員の皆様へ心からお礼申し上げます。

参考文献

- Henschke CI, Yankelevitz DF: CT screening for lung cancer: Update 2007. *Oncologist* 13: 65–78, 2008
- Hutchison GB, Shapiro S: Lead time gained by diagnostic screening for breast cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 41: 665–681, 1968
- Morrison AS: The effects of early treatment, lead time and length bias on the mortality experienced by cases detected by screening. *Int. J. Epidemiol.* 11: 261–267, 1982
- 国立がん研究センターがん情報サービス「がん登録・統計」: 人口動態統計 (厚生労働省大臣官房統計情報部編), 2019
- IARC-WHO; Lung Cancer fact-sheet. 2018. <http://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/39-All-cancers-fact-sheet.pdf> (accessed 31 October, 2019)
- 国立がん研究センターがん情報サービス「がん登録・統計」: 全国がん罹患数・率推定値1975–2015年, 2019
- 国立がん研究センターがん情報サービス: がん診療連携拠点病院内がん登録生存率集計, 2019
- 館野之男, 飯沼 武, 松本 徹, 他: 肺がん検診のためのX線CTの開発. *新医療* 17: 28–32, 1990
- Sone S, Takashima S, Li Feng, et al.: Mass screening for lung cancer with mobile spiral computed tomography scanner. *Lancet* 351: 1242–1245, 1998
- Henschke CI, McCauley DI, Yankelevitz DF, et al.: Early lung cancer action project: Overall design and findings from baseline screening. *Lancet* 354: 99–105, 1999
- The International Early Lung Cancer Action Program Investigators: Survival of patients with stage I lung cancer detected on CT screening. *N. Engl. J. Med.* 355: 1763–1771, 2006
- Henschke CI, Salvatore M, Cham M, et al.: Baseline and annual repeat rounds of screening: Implications for optimal regimens of screening. *Eur. Radiol.* 28: 1085–1094, 2018
- Oudkerk M, Devaraj A, Vliegenthart R, et al.: European position statement on lung cancer screening, *Lancet Oncol.* 18: e-754–766, 2017
- Yip R, Henschke CI, Yankelevitz, et al.: The impact of the regimen of screening on lung cancer cure: A comparison of I-ELCAP and NLST. *Eur. J. Cancer Prev.* 24: 201–208, 2015
- Petrick N, Berkman S, Armato SG, et al.: Evaluation of computer-aided detection and diagnosis systems. *Med. Phys.* 40(8): 087001-1-17, 2013
- Huo Z, Summer RM, Paquerault S, et al.: Quality assurance and training procedures for computer-aided detection and diagnosis systems in clinical use. *Med. Phys.* 40(7): 077001-1-13, 2013
- Marasinghe JC, Ohkubo M, Kobayashi H, et al.: Feasible method to assess the performance of a lung cancer CT screening CAD system in clinical practice: Dependence on nodule size and density. *Int. J. Med. Phys. Clin. Eng. Radiat. Oncol.* 3: 107–116, 2014
- Kobayashi H, Ohkubo M, Narita A, et al.: A method for evaluating the performance of computer aided detection of pulmonary nodules in lung cancer CT screening: Detection limit for nodule size and density. *Br. J. Radiol.* 90(1070) 20160313: 1–10, Epub 2017
- Awai K, Murao K, Ozawa A, et al.: Pulmonary nodules at chest CT: Effect of computer-aided diagnosis on radiologists detection performance. *Radiology* 230: 347–352, 2004
- Armato SG III, Roy AS, MacMahon H, et al.: Evaluation of automated lung nodule detection on low-dose computed tomography scans from a lung cancer screening program. *Acad. Radiol.* 12: 337–346, 2005
- Zhao Y, Bock GH, Rob RV, et al.: Performance of computer-aided detection of pulmonary nodules in low-dose CT: Comparison with double reading by nodule volume. *Eur. Radiol.* 22: 2076–2084, 2012
- Zinovev D, Duo Y, Raicu D, et al.: Consensus versus disagreement in imaging research: A case study using the LIDC database. *J. Digit. Imaging* 25: 423–436, 2012
- Godoy MCB, Kim TJ, White CS, et al.: Benefit of computer-aided detection analysis for the detection of sub-solid and solid lung nodules on thin-and thick-section CT. *Am. J. Roentgenol.* 200: 74–83, 2013
- Hwang J, Chung MJ, Bae Y, et al.: Computer-aided detection of lung nodules: Influence of the image reconstruction kernel for computer-aided detection performance. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 34: 31–34, 2010
- White CS, Pugatch R, Koonce T, et al.: Lung nodule CAD software as a second reader: A multicenter study. *Acad. Radiol.* 15: 326–333, 2006
- Ohkubo M, Narita A, Wada S, et al.: Technical note: Image filtration to make computer-aided detection robust to image reconstruction kernel choice in lung cancer CT

- screening. *Med. Phys.* 43: 4098–4105, 2016
- 27) Christe A, Leidolt L, Huber A, et al.: Lung cancer screening with CT: Evaluation of radiologists and different computer assisted detection software (CAD) as first and second readers for lung nodule detection at different dose level. *Eur. J. Radiol.* 82: e873–e878, 2013
- 28) Wielputz MO, Wroblewski J, Lederlin M, et al.: Computer-aided detection of artificial pulmonary nodules using an ex vivo lung phantom: Influence of exposure parameters and iterative reconstruction. *Eur. J. Radiol.* 84: 1005–1011, 2015
- 29) Shin H, Blietz M, Frericks B, et al.: Insertion of virtual pulmonary nodules in CT data of the chest: Development of a software tool. *Eur. Radiol.* 16: 2567–2574, 2006
- 30) Zhao B, Gamsu G, Ginsberg MS, et al.: Automatic detection of small lung nodules on CT utilizing a local density maximum algorithm. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 4: 248–260, 2003
- 31) Sone S, Matsumoto T, Honda T, et al.: HRCT features of small peripheral lung carcinomas detected in a low-dose CT screening program. *Acad. Radiol.* 17: 75–83, 2010
- 32) Sone S, Hanaoka T, Ogata H, et al.: Small peripheral lung carcinomas with >ve-year post-surgical follow-up: Assessment by semi-automated volumetric measurement of tumor size, CT value and growth rate on TSCT. *Eur. Radiol.* 22: 104–119, 2012
- 33) Polacin A, Kalender WA, Brink J, et al.: Measurement of slice sensitivity profiles in spiral CT. *Med. Phys.* 21: 133–140, 1994
- 34) Ohkubo M, Wada S, Kunii M, et al.: Imaging of small spherical structures in CT: Simulation study using measured point spread function. *Med. Biol. Eng. Comput.* 46: 273–282, 2008
- 35) Ohkubo M, Wada S, Ida S, et al.: Determination of point spread function in computed tomography accompanied with verification. *Med. Phys.* 36: 2089–2097, 2009
- 36) Ohno K, Ohkubo M, Marasinghe JC, et al.: Accuracy of lung nodule density on HRCT: Analysis by PSF-based image simulation. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 13(6): 277–292, 2012
- 37) Ohkubo M, Wada S, Ida S, et al.: Determination of point spread function in computed tomography accompanied with verification. *Med. Phys.* 36: 2089–2097, 2009
- 38) 和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 他: CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用(2)—CT画像3D-PSF応用とPSF測定精度検証—. *医学物理* 39: 42–49, 2019
- 39) Narita A, Ohkubo M, Murao K, et al.: Generation of realistic nodules based on three-dimensional spatial resolution in lung computed tomography: A pilot phantom study. *Med. Phys.* 44: 5303–5313, 2017

著者紹介

和田 真一 (わだ・しんいち)

(現職名) 新潟大学非常勤講師, 新潟大学教育支援員 (専門分野) 医学物理学

東京理科大学理学部第I部物理学科卒業後, 日本歯科大学新潟歯学部歯科放射線学教室を経て2001年4月より新潟大学医学部保健学科教授, 大学院保健学研究科教授, 2018年3月定年退職, 新潟大学名誉教授, 日本医学物理学会名誉会員 (第66号), 博士 (歯学).

大久保 真樹 (おおくほ・まさき)

(現職名) 新潟大学医学部保健学科・大学院保健学研究科 (教授) 博士 (医学).

成田 啓廣 (なりた・あきひろ)

(現職名) 新潟大学医学部保健学科・大学院保健学研究科 (助教) 新潟大学医学部保健学科卒, 同大学院保健学研究科博士前期・後期課程修了, 2015年4月より現職に至る, 博士 (保健学).

村尾 晃平 (むらお・こうへい)

(現職名) 国立情報学研究所 医療ビッグデータ研究センター (特任准教授)

早稲田大学理工学部卒, 東北大学工学研究科応用物理学専攻にて博士前期・後期課程修了, 博士 (工学), 学位取得後, 富士通株式会社を経て2018年3月より現職に至る, 国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) の「臨床研究等ICT基盤構築・人工知能実装研究事業」での研究「医療ビッグデータ利活用を促進するクラウド基盤・AI画像解析に関する研究」に従事.

松本 徹 (まつもと・とおる)

(現職名) 千葉県勤労者医療協会放射線技術部顧問 日本医学物理学会名誉会員 (第45号), 日本医学物理士会名誉会員 (第14号), 博士 (医学).

曾根 脩輔 (そね・しゅうすけ)

(信州大学名誉教授) 大阪大学医学部卒業, 大阪大学大学院博士課程修了 (医学博士), 大阪大学医学部助教授などを経て信州大学教授 (放射線医学), JA長野安曇総合病院病院長, 中信地区がん検診センター長, I-ELCAP共同研究者, 低線量CT検診研究にて肺癌学会篠井・河合賞受賞, 対がん協会朝日がん大賞受賞, 日本医学放射線学会名誉会員, 日本肺がん学会特別会員, 長野県松本市医師会会員.

国際学会参加記

2019年米国医学物理学会学術大会参加報告

中野正寛*

公益財団法人がん研究会有明病院 放射線治療部

2019 AAPM Annual Meeting and Exhibition, San Antonio, Texas, USA

Masahiro NAKANO*

Radiation Oncology Department, Cancer Institute Hospital, Japanese Foundation for Cancer Research

2019年の米国医学物理学会(American Association of Physicists in Medicine (AAPM) 61st Annual Meeting and Exhibition)は、7月14日から18日までテキサス州サンアントニオのHenry B. Gonzalez Convention Centerにて開催された。前年のASTROも同地で開催されたので、ひょっとすると2年連続でご訪問された先生もいらっしゃるかもしれない。筆者は羽田空港から乗継ぎ時間を含めて約16時間のフライトを経て、さらに空港からバスでdowntownへと向かうこととなった。バスの窓から見える風景は典型的なアメリカの田舎町そのものであったが、実はサンアン

トニオはテキサス州第2位、全米でも第7位の人口を抱える大都市である。近年では観光都市としても人気を集めており、学会会場からも近いRiver Walk地区(Fig. 1)やアラモの砦などは平日にもかかわらず多くの観光客で賑わいを見せていた。特にアラモの砦は1836年のテキサス独立戦争における激戦地として知られ、アメリカ人の中では人気の観光地なのだそうである。またサンアントニオ市はヒスパニック系人口の割合が約50%を占めるが、街を歩いても各所でスペイン語が聞かれ、また美味しいTEX-MEXを楽しむことができた。学会の開催期間中は連日気温35度以上と大変に暑くまた湿度も非常に高かったため、外を歩いていると時差ボケの体に追討ちをかけるように体力を奪われるようであったが、現地でお会いした若い医学物理士の先生方は、昼の学会参加とあわせて、夕方から夜にかけての観光や食事でも精力的に楽しまれていたようである。

さて、今年のAAPMに関してまずご報告すべきことは、例年と異なり紙のポスター発表がなくなったことであろう。機器展示ホール内の9カ所に設置されたタッチパネルのモニターは例年どおりePoster Discussionに使われるものであったが(Fig. 2上)、それ以外の時間は学会参加者が自由にこのタッチパネルを操作することで、ePoster Discussionのポスターだけでなく通常のポスター発表(ePoster Viewing)も閲覧することとなった(Fig. 2中)。紙のポスターがなくなったことで、ポスター発表の参加者は大きな筒に入れたポスターを苦勞して日本から運ぶ手間が省けることになったが、それによってポスター提出の締め切りが早くなったこと(今回は約二週間前の7月1日)には注意が必要である。一方、ポスターの作成そのものについては、学会ホームページからePosterのテンプレートとなるパワーポイントファイルをダウンロードすることが可能で、その上に自身の研究内容を書き込んでいくことでポスターを作成することができるため、今までよりもハードルが下がったのではないかと思われる。

筆者はePoster Discussionセッションにてポスター発表を行った(Fig. 2下)。放射線治療期間中に患者の体型変化が顕著に見られる頭頸部がん患者に着目し、日々の患者セッ



Fig. 1 サンアントニオ市内で最も高い建物であるTower Life Building (上)と、観光客で賑わうRiver Walk地区(下)

* 公益財団法人がん研究会有明病院 放射線治療部 [〒135-8550 東京都江東区有明3-8-31] Radiation Oncology Department, Cancer Institute Hospital, Japanese Foundation for Cancer Research, 3-8-31 Ariake, Koto-ku, Tokyo, 135-8550, Japan E-mail: masahiro.nakano@jfcrr.or.jp

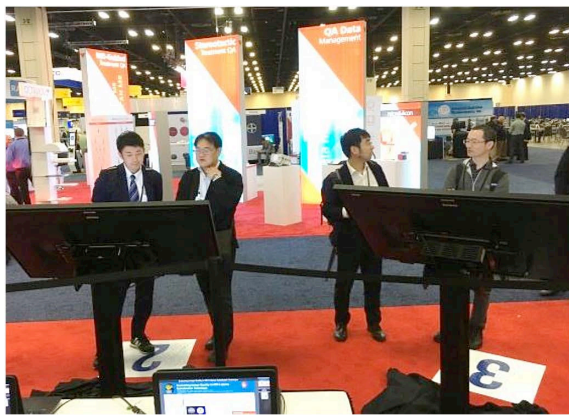
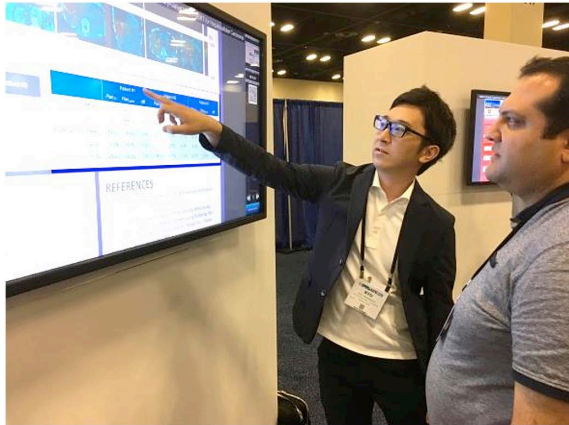


Fig. 2 上：ePoster Discussion発表されている高橋良先生（国立がん研究センター東病院）（上），ePosterを見ながらご議論されている（右から）有村先生（九州大学），古徳先生（帝京大学），岩井先生（エレクトラ社），亀澤先生（帝京大学）（中），筆者のePoster Discussion発表（下）

トアップに用いられる daily cone-beam CT (CBCT) の非剛体レジストレーション (Deformable Image Registration: DIR) から得られた変形ベクトル場，さらにそれらを主成分分析して得られた主成分ベクトル場の線形和によって“未来予測”変形ベクトル場を構築し，それを用いて未来の予測 CBCT 画像を再構成しようとする試みについて発表した。発表前は，あまり関心を持たれないのではないかと心配していたが，Discussion の時には数人の方から熱

心な質問を受け，嬉しいと同時に大きな刺激を受けることとなった。

学会全体の演題の傾向はというと，近年の傾向と同様に Deep Learning や機械学習，Radiomics といったトピックが非常に多く見受けられた。印象的であったのは，長年議論されている Adaptive Radiotherapy (ART) や DIR などの話題もまだまだ活発な議論がなされており，一方で最近のホットトピックである FLASH Radiotherapy のシンポジウムでは最初の臨床例が示され，見慣れた話題と新しい話題のどちらも盛り上がりを見せていたことである。機械学習や深層学習については，より直接的な放射線治療現場への貢献を期待されるものとして自動的な臓器輪郭の描出が挙げられるが，本学会でも非常に多くの報告がなされていた。しかしながら，どうもパフォーマンスが今ひとつのようで，Dice 係数が 0.9 を上回るものはごく限られた solid な臓器ばかりで，多くが 0.6 から 0.8 程度といったところのようであった。現時点では，まだ手放しで臨床現場にて活用できるレベルにはなく，そうなるためにはもうひとつ何かブレイクスルーを必要としているような印象であった。

ここ数年議論され続けている ART と DIR については，研究サイドと臨床サイドのどちらも活発な議論がなされていたが，その雰囲気にはちょっとした違いが感じられた。研究者の発表では，今まさに進めている研究が今後の ART の骨格を作り上げるという充実感に満ちており，“it's exciting time” とばかりに熱のこもった発表が多く見受けられた。一方で臨床業務に関する Practical セッションでは，現時点で利用できる DIR ソフトウェアの精度が満足できるレベルにないことから“DIR—More of a Problem than a Solution!” などというスライドタイトルも見られ，臨床現場にて遂行する上での苦悩が強く感じられた。特に子宮頸がんの外照射と腔内照射を併用する治療では，アプリケーションがありえない変形をしてしまう DIR を用いるよりは Rigid レジストレーションを用いて線量積算を行うべきである，とまとめられていた。

近年注目を集めている FLASH Radiotherapy という照射法に関するシンポジウムでは，スイスの Lausanne 大学における最初の患者の照射例が報告された。この FLASH という照射法は 40 Gy/sec 以上の超高線量率の照射法で（文献によっては 100 Gy/sec や 200 Gy/sec と定義されているものもある），正常臓器への影響の低減と腫瘍制御の両方が大幅に向上する，という夢のような照射方法である。First patient の照射は右前腕の T 細胞リンパ腫に対する電子線の照射であったが，ちょうど学会開催の直前に Green Journal に論文が掲載されたようなので¹⁾ ご関心をお持ちの先生方はそちらもご参照いただきたい。動物実験に対して用いられている装置が一般的に使われるリニアックに改造を加えたものであることや，Proton 装置での照射もす

で可能となっていることも紹介された (Fig. 3, 講演スライドについては参考文献2) も参照されたい). このように既存のハードウェアの延長として照射装置が実現されることから, 普及するスピードは意外と早いかもしれないという印象を受けた.

機器展示会場も例年通り盛況であった. 距離センサーに加えて温度センサーも併用する Surface Guided Radiotherapy システム (Brainlab 社) や, MRI-Linac とその QA ファントムや呼吸性動態ファントムなど, 興味深い製品の展示を見ることができた. 今回の展示の中で筆者が個人的に注目したいのは, Monte-Carlo 計算を用いた IMRT/VMAT の独立検証ソフトウェアである. IBA 社の製品を Fig. 4 に紹介するが, これに限らず例えば Mobius 3D や SunCHECK などの計算ソフトウェアを用いた独立検証を行うことで, IMRT/VMAT の治療計画期間 (計画 CT 撮影から治療開始初日まで) を 3~5 日程度と大幅に短縮することが可能となるようである. 参考までに IBA 社展示ブースにて本手法に関連して紹介されていた文献を挙げておく³⁾. 実は今回の学会と前後して, 海外の知人から「VMAT の検証はファントムや線量計を使った実測はもうしていない. 独立検証としてソフトウェアによる線量分布の計算を行っている」という話を聞く機会が複数回あり, (筆者の知人の範囲内ではあるが) 海外ではそれなりに普及しているようである. これによってもたらされる IMRT の準備期間短縮のメリットは注目に値するが, 一方で単純に (計算上の) 線量分布の比較だけでよいのか, リニアック装置の動作が事前

に確認されなくてもよいのか, という点も大変気になるところである. このあたりは, 実測を行う症例と計算のみを行う症例を振り分けるであるとか, EPID Dosimetry との併用などいくつか方法は考えられるが, 今後 JSMP を通して議論されていくことと思う. こういったソフトウェアによる IMRT/VMAT の独立検証の話題は, 治療計画期間の日数の短縮というだけにとどまらず, 今後の On-line ART の普及の点でもキーとなるはずである. 学会内の ART のシンポジウムにて Henry Ford Health System の Carri Glide-Hurst 先生より VIEWRAY 社 MRIdian システムの On-line ART が紹介されたが, 治療計画をその日の画像上で修正し, 患者に照射する前に Monte-Carlo 計算による独立検証 (“Secondary Dose Calculation”) が行われている



Fig. 4 IBA 社の Monte-Carlo 計算を用いた独立検証ソフトウェアの紹介. Head and Neck VMAT の場合, 通常モードで 2 分程度, Fine モードでも数分程度で計算が完了すること



Fig. 3 FLASH Radiotherapy に関する Billy Loo 先生 (Stanford 大学) の発表スライドより²⁾. 動物用の照射プラットフォーム (上) と, スイス Lausanne 大学での最初の臨床例 (下)

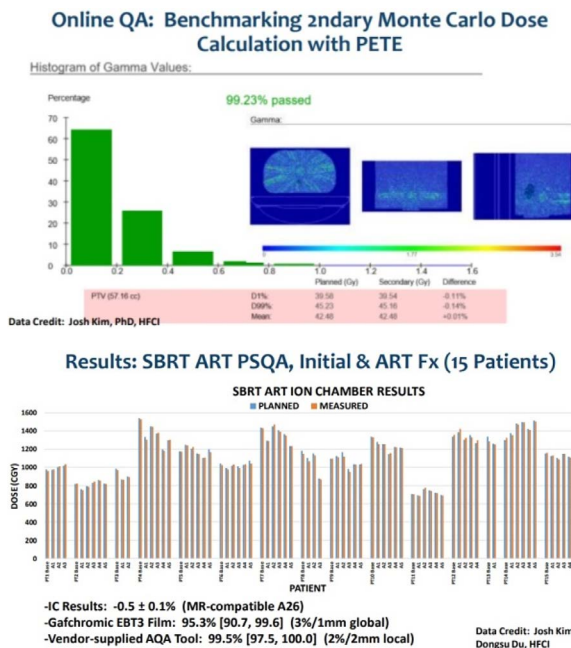


Fig. 5 Adaptive Radiotherapy シンポジウムでの C. Glide-Hurst 先生のご講演スライドより⁴⁾. ファントムを用いた Online adaptation 後の Monte-Carlo 計算による独立検証の比較 (上). Online ART 症例について患者照射後に実測された線量測定結果との比較 (下)

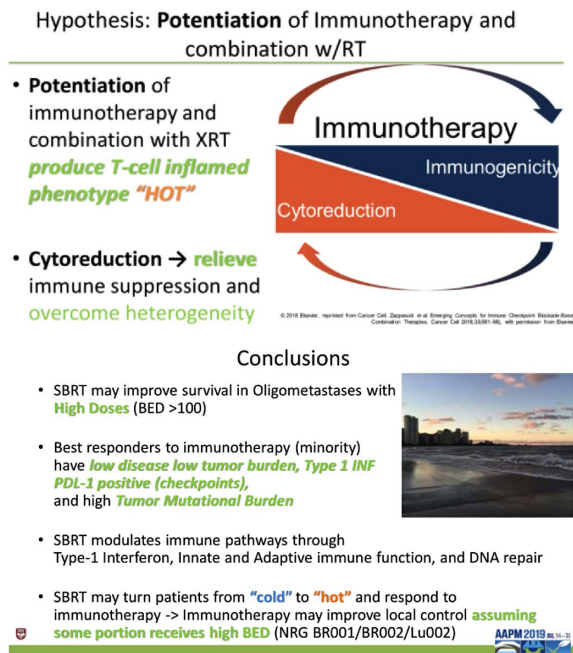


Fig. 6 教育セッション Immunotherapy Killed the IGRT Star での Steven Chmura 先生のスライドより⁵⁾

ことが紹介された (Fig. 5)⁴⁾。

筆者はアメリカの学会では毎回ひどい時差ボケに悩まされるのだが、その時差ボケから解放されてようやく体調が戻ってきた最終日に、Radio-immunotherapyに関する教育講演があることに気がついた。昨今、免疫療法はますますその存在感を増しているが、まさか医学物理の学会で免疫療法に関するセッションがあると予想していなかったため、驚きつつも聴講した。放射線治療、特に Stereotactic Radiotherapy (SRT) が免疫効果のトリガーの役割を果たしうること、またそのなかで SRT の役割が total ablation から immuno-modulation (免疫反応の調節、誘導) へ変わっていく可能性があること、そうなる IGRT (Image-Guided Radiotherapy) が担う役割も今後大きく変わってくる可能性があることなど、大変興味深い講演内容であった (Fig. 6)⁵⁾。昨今の機械学習や深層学習などのいわゆる AI ブームだけでなく、この免疫療法の大きな存在感、期待感に対しても、これからの医学物理は無関係ではいられないはずで、むしろうまく協力することができれば、今後ますます医学物理分野の重要性も増していくことであろう。

毎年恒例の Night Out は、学会会場から徒歩 10 分程度の La Villita Historic Arts Village にて行われた (Fig. 7)。音楽の演奏を聴き美味しいビールを飲みながら、旧知の友人たちと日々の研究のことや個人的な近況報告などの話を花を咲かせることとなった。以前オランダの Groningen 大学メディカルセンターに在籍していた友人と偶然に再会したのだが、現在は M. D. Anderson に移っていて Radiomics の研究を精力的に行っていることを聞き、さらに M. D.



Fig. 7 La Villita Historic Arts Village にて恒例の Night Out。メキシコ音楽マリアッチとダンス (上)。Night Out 会場にて左から石井君、田中君、橋本先生 (北里大学) と筆者 (下)



Fig. 8 学会会場にて。右から Lisanne van Dijk さん (M. D. Anderson), Charles Mayo 先生 (Michigan 大学), Bastien Rigaud さん (M. D. Anderson), 筆者

Anderson のほかの研究員やポスドクの方々を紹介してくれて、ビールを飲みながら研究の話を語り合っ、本当に楽しい時間を過ごすことができた (Fig. 8)。

さて、今年の AAPM Annual Meeting でも多くの興味深い発表から新しい視点や違った視点を知ることができたように思う。数年前からの AI ブームの流れを受けて近年の医学物理分野も機械学習や深層学習一色の感があったが、今年はそれ以外にも FLASH や Radio-immunotherapy といった新しいトピックの存在感も強く感じられ、医学と物理学・工学との境界領域に位置する医学物理学の面白さをまた一層強く感じる事ができた。当たり前のことではあ

るが、一見すると毎年同じように見えている医学物理の風景も実は少しずつ変化しており、これを肌で感じるためにはやはり学会に参加することが一番の方法である。次回のAAPM Annual Meeting and Exhibitionはカナダ医学物理学会 (Canadian Organization of Medical Physicists: COMP)とのジョイントミーティングとして、2020年7月12日から16日までカナダのバンクーバーにて開催される予定である。普段とは違った視点から日々の業務や研究を見つめるためにも、JSMP学術大会だけでなくAAPMへの参加もぜひご検討いただけるよう読者のみなさまに願って、本稿の結びとしたいと思う。

謝辞

今回の原稿執筆の機会をいただきました北里大学の橋本成世先生、学会期間中に行動を共にしていただきました北里大学修士課程の田中悠一さん、石井元気さんに感謝申し上げます。スライドの掲載をご快諾いただきましたSteven Chmura先生 (Chicago大学)、Carri Glide-Hurst先生 (Henry Ford Health System)、Billy Loo先生 (Stanford大学)に感謝いたします。学会期間中に意見交換させていただくなかで筆者の理解不足を補っていただきました、帝京大学の古徳純一先生、東北大学の角谷倫之先生に感謝いたします。写真の掲載をご快諾いただきました日米の諸先

生方に感謝いたします。最後に、学会参加にあたって約1週間の不在をお許しいただきました、がん研有明病院放射線治療部の小口正彦先生をはじめとした医師の先生方、佐藤智春先生をはじめとした放射線技師の先生方に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Bourhis J, Sozzi WJ, Jorge PG, et al.: Treatment of a first patient with FLASH-radiotherapy. *Radiother. Oncol.* 139: 18–22, 2019
- 2) Loo B. (2019, July 16) The promise of FLASH: Clinical translation. [Scientific symposium handout] <https://w3.aapm.org/meetings/2019AM/programInfo/programAbs.php?sid=8162&aid=44195> (accessed August 2, 2019)
- 3) Hoffmann L, Alber M, Sohn M, et al.: Validation of the Acuros XB dose calculation algorithm versus Monte Carlo for clinical treatment plans. *Med. Phys.* 45: 3909–3915, 2018
- 4) Glide-Hurst C., (2019, July 18) Adaptive Radiation Therapy (Online, Offline, Real time). [Scientific Symposium handout] <https://w3.aapm.org/meetings/2019AM/programInfo/programAbs.php?t=dreg&date=7/18/2019&sid=8172&aid=44796> (accessed September 30, 2019)
- 5) Chmura S. (2019, July 18) Immunotherapy Killed the IGRT Star: Integrating Radiotherapy into Systemic Therapy for Metastatic Disease. [Educational course handout] <https://w3.aapm.org/meetings/2019AM/programInfo/programAbs.php?sid=8230&aid=43790> (accessed August 2, 2019)

施設紹介

京都大学医学部附属病院放射線治療科の紹介

1. はじめに

京都大学医学部附属病院放射線治療科は、1945年に開講した放射線医学講座から1976年に画像診断・核医学を専門とする「核医学科」と放射線治療を専門とする「放射線科」が分離独立したものであり（2006年に「放射線診断科」、「放射線治療科」に改名）、放射線治療を専門とする独立した教室、診療科として40年以上の長い歴史と伝統を持っている。1987年には産学連携でCTシミュレータを開発し、それまでの2次元放射線治療から3次元放射線治療に進化させ、定位放射線治療の開発に繋がり、2000年には国内に先駆けて強度変調放射線治療(IMRT)の臨床導入を行っている。さらに、呼吸移動するがんを追尾して照射可能な放射線治療システムの開発を行い、2011年には肺がんに対する動体追尾定位放射線治療を、2013年には膀胱がんに対する動体追尾IMRTの臨床適用を開始し、3次元治療から4次元治療へと発展させた。放射線治療において最先端の研究開発を行い、高精度な放射線治療を提供できるように取り組んでいる。

放射線治療の高度化に対応すべく、当科では2005年に医学物理グループを発足し、全国に先駆けて欧米型の医学物理活動を行っている。2008年からは工学研究科と連携し医学物理士育成のための大学院教育を開始し、2017年10月には大学院医学研究科人間健康科学系専攻において情報理工医療学講座医学物理学分野が設立され、研究・教育の基盤が確立した。引き続き、京大病院放射線治療科、人間健康科学系専攻医学物理学分野、工学研究科で連携しながら、研究・臨床・教育を展開していく。本稿では、京大病院における放射線治療の運用状況と医学物理グループの活動内容について概要を紹介する。

2. 京大病院放射線治療の設備、運用状況

高精度放射線治療 (IGRT [kV/MV], IMRT/VMAT) が可能なりニアックを4台 (Vero4DRT, TrueBeam STx, TrueBeam, Clinac iX), 密封小線源治療装置を1台 (マイクロセレクトロンHDR) 有しており、年間約1,200名の治療を行い、さまざまな臨床試験を考案・実施している。Vero4DRTでは当科にて研究開発された動体追尾照射やDWA (波状軌跡型VMAT) の治療も実施している。2020年度には新棟においてHalcyonの新規導入 (図1), Clinac iXからTrueBeamへの更新を予定しており、より多くの患者に対して高精度な放射線治療が提供可能となる。当科では脳腫瘍、頭頸部がん、食道がん、肝臓がん、膀胱がん、子宮頸がん、前立腺がん、直腸がん、肛門管がんなど、幅広い部位にVMATを適応しており、密封小線源治



図1 2020年度稼働予定のHalcyonのアクセプタンスの様子

療では全例でCT撮像によるDVH評価も含めたIGBTを行っている。治療計画装置はEclipse 10台 (2020年度には14台に増設予定), RayStation 5台, iPlan Server 2台, Elements 1台を有しており、治療装置や照射技法によって使い分けている。治療計画補助装置としてMIM 2台, Velocity 1台を有しており、動体追尾照射における標的体積設定や4次元線量分布評価などに利用している。

医学物理士の臨床業務としては、①治療計画装置へのCTの取り込み、OARの入力、カウチ構造の設定、②医師が立案した通常照射プランのチェック (部位や照射範囲、照射技法も含めた線量分布の適格性の確認、計画や電子カルテ登録情報の院内規則や技術的要素の確認、MU独立検証)、③高精度放射線治療の治療計画作成とプランチェック、検証プランの作成、測定、評価、④密封小線源治療のIGBTにおけるOAR入力、計画補助、プランチェックなどがある。医師・診療放射線技師とよく協力・対話しながら、個々の患者の状況に合わせて最適な (安全性、信頼性が高く、効果的な) 治療を実現することを目標に日々業務に当たっている。

3. 研究紹介

3.1 4次元放射線治療

当科では2000年より産学官連携のもと呼吸性移動を伴う腫瘍に対する放射線治療技術の開発を行い、放射線治療装置Vero4DRT (MHI-TM2000) を三菱重工と共同開発し、動体追尾照射を実現した。その過程の中で医学物理グループは動体追尾照射の追尾精度の評価や動体への線量計算システムの開発などを担ってきた (図2)。現在は肺がん、膀胱がん、膀胱がんに対する同治療法の多施設共同第2相試験が実施されており、品質管理や品質保証の観点からも治療の安全性を担保するよう努めている。動体追尾照射



図2 Vero4DRTの動体追尾精度検証

のほかにも汎用放射線治療装置を用いて肺がん、肝臓がんへ呼吸同期照射や隣臓がん、全乳房への息止め照射など実施している。また、現在、呼吸性移動の管理手段としてスパイロメータを用いたDYN'R社製のSDX Respiratory gating systemや光学的患者ポジショニングシステムであるVisionRT社製のAlign RTの新規導入を進めており、4次元放射線治療のさらなる可能性を日々研究している。

3.2 画像に関する研究

情報科学の発達とともに、CTやMRI画像等からRadiomicsに代表されるさまざまな情報を抽出できるようになった。当院ではこれまで培ってきた臨床経験・治療成績とともに、多量の画像データを蓄積している。そこで豊富な画像データと治療成績を結び付け、各患者に特化した個別化治療に向けた研究を行っている。現在、主に肺がんに対する体幹部定位放射線治療を受けた患者の治療計画用CT画像（自由呼吸・息止め）、および診断用息止めCT画像からRadiomics特徴量を抽出し各症例の転帰情報と結び付け、高精度に予後を予測するモデルを開発している（図3）。データとなる画像は、当院のみならず関連病院にも協力していただき収集している。予測モデルには機械学習・深層学習を取り入れ高精度なモデル開発に取り組んでいる。

さらに当院のTrueBeam STxには、研究用オプションであるDeveloper Modeが搭載されている。Developer ModeではTreatment/Service Modeよりも自由度の高い機器制御が可能であり、この特徴を活かして治療用MV-X線照射中のkV-X線同時イメージングに関してVarian社と共同で研究開発を行っている（図4）。同時イメージングでは2次元kV画像上において、まさに照射中の標的やマーカの位置確認を行うことが可能であり、高い精度が求められる呼吸同期照射や息止め照射に有用な技術である。さらにその照射がVMATなどの回転照射であれば、同時イメージングによる投影データセットをCBCT画像に再構成することで照射中の体内の3次元位置確認や当日の実投与線量の計算が可能となるため、適応放射線治療の発展に資する技術である。しかし、得られた2次元kV画像に

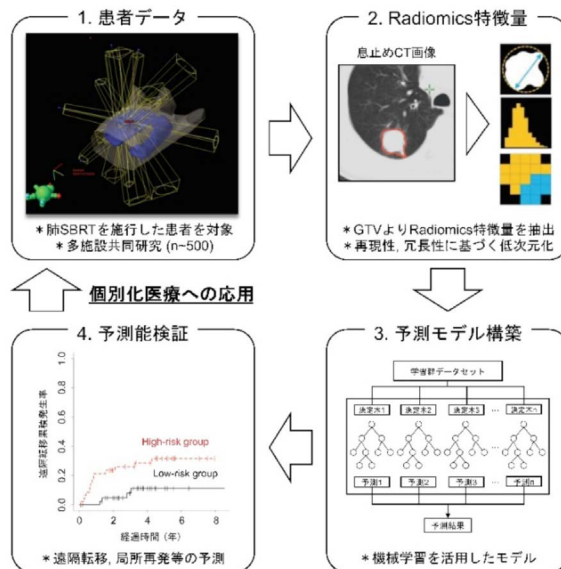


図3 予後予測研究

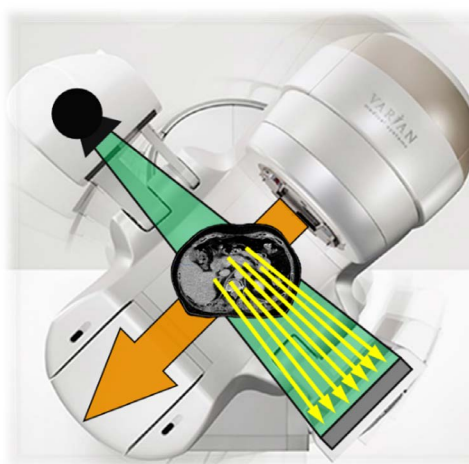


図4 治療用MV-X線照射中のkV-X線同時イメージング

は患者からのMV-X線の散乱線（MV散乱線）が混入しており画質が劣化するだけでなく、再構成されたCBCT画像の画質も劣化する。そこで現在、MV散乱線の基礎特性を網羅的に調べ、散乱線が混入した2次元kV画像およびCBCT画像からMV散乱線を補正する技術の開発を進めている。

4. 大学院の研究・教育

本学大学院では医学研究科、工学研究科の修士課程・博士課程に医学物理士養成コースを設置し、医学物理士認定機構から医学物理教育コースの認定を受けている。現在は、主に人間健康科学系専攻医学物理学分野で大学院生の受け入れを行っており、博士課程3名、修士課程4名、学部生2名が所属している。詳細は<http://medicalphysics.hs.med.kyoto-u.ac.jp/>をご覧ください。

放射線治療計画の作成、治療計画の品質管理として線量

測定検証, 放射線治療装置の品質管理・品質保証, 動体追尾照射や呼吸同期照射などの4次元放射線治療への立ち合いと治療補助, といった業務をスタッフの医学物理士と共同で, 医師, 放射線治療専門技師や品質管理士とも連携して実施するオン・ザ・ジョブ形式の研修を通して幅広い臨床実務能力を習得できるようにしている. さらに研究面では, 産学連携での装置開発や基盤研究に参画し, 放射線治療の発展につながる研究開発を行う能力も兼ね備えた医学物理士の育成を目的としている.

5. おわりに

今後も放射線治療の発展に貢献できるように, 医学物理グループ一丸となってより一層の研鑽を重ねていく所存です.

(文責: 宮部結城, 椋本宜学, 小野智博,
伊良皆拓, 平島英明, 中村光宏)

編集後記

本号にて、名誉会員の和田真一先生らによる教育委員会企画連載が最終回を迎えました。新企画として素晴らしい解説記事を掲載することができたと確信しております。また本号には、国際学会参加記と施設紹介を掲載いたしました。ご執筆者の先生方に改めて感謝申し上げます。さて、ここしばらく、掲載記事の分量にかかわらず発行間隔を調整させていただき、この第39巻4号を2019年内に発行するに至りました。第40巻以降につきましては、1号、2号、3号、4号をそれぞれ3月、6月、9月、12月に定期発行し、今後は巻番号と発行年が一对一に対応することとなります。さらに新しい企画も検討しながら引き続き掲載記事の充実に努めてまいります。

(編集委員長 長谷川智之)

Japanese Journal of Medical Physics

Editorial Board

T. Hasegawa (Chief)
M. Akimoto
F. Araki
N. Kanematsu
R. Kohno
S. Sato
S. Sugimoto
Y. Takahashi
A. Nohtomi
M. Hashimoto
T. Fujisaki
T. Magome
N. Matsufuji
S. Minohara
T. Yamamoto
H. Watabe

JSMP Secretariat:

c/o International Academic Publishing, Co., Ltd., 358-5
Yamabukicho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0801, Japan
TEL: 03-6824-9384 FAX: 03-5227-8631

JSMP Editorial Office:

c/o International Academic Publishing, Co., Ltd., 332-6
Yamabuki-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-0801, Japan
TEL: 03-6824-9363 FAX: 03-5206-5332

ISSN: 1345-5354

Japanese Journal of Medical Physics [JJMP] is published four times per annual volume by the Japan Society of Medical Physics.

JJMP is indexed in Index Medicus and MEDLINE on the MEDLARS system.

医学物理

編集委員長

長谷川智之 (北里大学)

編集委員

秋元 麻未 (倉敷中央病院)
荒木不次男 (熊本大学)
兼松 伸幸 (放射線医学総合研究所)
河野 良介 (放射線医学総合研究所)
佐藤 清香 (エレクトラ (株))
杉本 聡 (順天堂大学)
高橋 豊 (大阪大学)
納富 昭弘 (九州大学)
橋本 成世 (北里大学)
藤崎 達也 (茨城県立医療大学)
馬込 大貴 (駒澤大学)
松藤 成弘 (放射線医学総合研究所)
蓑原 伸一 (神奈川県立がんセンター)
山本 徹 (北海道大学)
渡部 浩司 (東北大学)

公益社団法人日本医学物理学会事務局:

〒162-0801 東京都新宿区山吹町358-5
(株)国際文献社内
TEL: 03-6824-9384 FAX: 03-5227-8631

公益社団法人日本医学物理学会編集事務局:

〒162-0801 東京都新宿区山吹町332-6
(株)国際文献社内
TEL: 03-6824-9363 FAX: 03-5206-5332

ISSN: 1345-5354

本誌は年1巻とし、1号、2号、3号及び4号として発行します。

本誌の研究論文、資料、特集のレポート等はMEDLINEで検索できます。

賛助会員名

エレクトラ株式会社	東洋メディック株式会社
株式会社応用技研	長瀬ランダウア株式会社
加速器エンジニアリング株式会社	株式会社日立製作所
住友重機械工業株式会社	ユーロメディック株式会社
株式会社千代田テクノル	公益社団法人日本生体医工学会
株式会社通商産業研究社	

医学物理

Japanese Journal of Medical Physics

第39卷 (2019年度)

総目次

第1号 pp. 1-40

第2号 pp.41-60

第3号 pp.61-76

第4号 pp.77-94

公益社団法人 日本医学物理学会

第39巻 第1号

巻頭言

放射線治療における Deformable Image Registration 特集

有村秀孝 1

〈放射線治療における Deformable Image Registration 特集〉

解 説

放射線治療における Deformable Image Registration の基礎

有村秀孝 2

臨床利用における DIR の概要

木藤哲史 7

様々な医用画像に対する DIR と自動輪郭抽出

角谷倫之 12

DIR を用いた線量分布の合算

宮部結城 20

DIR の臨床における応用利用

黒岡将彦 24

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT 画像 3D-PSF の胸部 CT-CAD の QA への応用

(1) ヘリカル CT 画像と 3D-PSF シミュレーション

和田真一 29

国際学会参加記

RSNA2018 参加報告

亀澤秀美 35

第39巻 第2号

巻頭言

破壊的イノベーションへつながる医学物理研究

小澤修一 41

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT 画像 3D-PSF の胸部 CT-CAD の QA への応用

(2) CT 画像 3D-PSF 応用と PSF 測定精度検証

和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 村尾晃平, 松本 徹 42

大会開催報告

第117回日本医学物理学会学術大会報告

袁原伸一 50

施設紹介

北海道大学病院医学物理部の紹介

鈴木隆介, 宮本直樹, 高尾聖心, 清水伸一 54

書 評

診療放射線基礎テキストシリーズ【1】巻『医用工学』

稲岡秀検 57

第39巻 第3号

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用

(3) 3D-PSFの応用1. CT画像の空間分解能特性変換と標準化

和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 村尾晃平, 松本 徹 61

〈連載：RPT誌特集〉

平成30年度RPT誌土井賞（優秀論文賞）・MCA表彰の報告

川村愼二 68

論文紹介

RPT誌土井賞受賞論文：低コントラスト高ノイズ条件でCT画像の解像力を測定する傾斜ワイヤ法について

富永千晶, 安海弘樹, 後藤光範, 田浦将明, 本間経康, 森 一生 69

RPT誌土井賞受賞論文：Radiogenomicsによるコンピュータ支援診断：遺伝子型とMR画像の形態学的変化の関心の分析

甲斐千遥, 内山良一, 白石順二, 藤田広志, 土井邦夫 70

RPT誌土井賞受賞論文：放射線医学総合研究所におけるブロードビーム炭素イオン線治療の線エネルギー付与の推定

兼松伸幸, 松藤成弘, 稲庭 拓 72

施設紹介

名古屋大学医学部保健学科放射線技術学専攻・大学院医学系研究科医療技術学専攻の紹介

小森雅孝, 小口 宏 73

第39巻 第4号

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用

(4) 3D-PSFの応用2. virtual noduleの胸部CT-CADのQAへの応用

和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 村尾晃平, 松本 徹, 曾根脩輔 77

国際学会参加記

2019年米国医学物理学会学術大会参加報告

中野正寛 86

施設紹介

京都大学医学部附属病院放射線治療科の紹介

宮部結城, 椋本宜学, 小野智博, 伊良皆拓, 平島英明, 中村光宏 91

VOL. 39, NO. 1

PREFATORY NOTE

Special Issue on Deformable Image Registration in Radiation Therapy Hidetaka ARIMURA	1
---	---

〈Special Issue: Deformable Image Registration in Radiation Therapy〉

REVIEWS

Basics of Deformable Image Registration in Radiation Therapy Hidetaka ARIMURA	2
Outline of Deformable Image Registration for Clinical Use Satoshi KITO	7
Deformable Image Registration and Auto-Segmentation for Various Medical Imaging Types Noriyuki KADOYA	12
Use of Deformable Image Registration for Dose Accumulation Yuki MIYABE	20
Review of Deformable Image Registration for Clinical Application Masahiko KUROOKA	24

〈Special Issue Series: Educational Committee〉

REVIEW

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD: Part 1. Helical CT Image and 3D-PSF Simulation Shinichi WADA	29
--	----

REPORT OF INTERNATIONAL CONFERENCE

Report of RSNA2018 Hidemi KAMEZAWA	35
---	----

VOL. 39, NO. 2

PREFATORY NOTE

Medical Physics Research Leading to Disruptive Innovation Shuichi OZAWA	41
--	----

〈Special Issue Series: Educational Committee〉

REVIEW

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD: Part 2. Application of 3D-PSF and Verification of Measurement Accuracy of PSF Shinichi WADA, Masaki OHKUBO, Akihiro NARITA, Kohei MURAO, Toru MATSUMOTO	42
--	----

REPORT OF JSMP MEETING

Report of the 117th Scientific Meeting of the Japan Society of Medical Physics Shinichi MINOHARA	50
---	----

INTRODUCTION OF RESEARCH FACILITY

Department of Medical Physics, Hokkaido University Hospital Ryusuke SUZUKI, Naoki MIYAMOTO, Seishin TAKAO, Shinichi SHIMIZU	54
--	----

BOOK REVIEW

Hidenori INAOKA	57
-----------------------	----

VOL. 39, NO. 3

〈Special Issue Series: Educational Committee〉

REVIEW

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD: Part 3. Application of 3D-PSF 1. Conversion and Normalization of the Spatial Resolution of CT Image Shinichi WADA, Masaki OHKUBO, Akihiro NARITA, Kohei MURAO, Toru MATSUMOTO	61
---	----

〈Special Issue Series: RPT〉

Introduction of the Doi Award and MCA of Radiological Physics and Technology in 2018 Shinji KAWAMURA	68
---	----

ARTICLE REVIEWS

RPT Doi Awards: Tilted-wire method to measure resolution properties of CT images at extremely low-contrast and highnoise conditions Chiaki TOMINAGA, Hiroki AZUMI, Mitsunori GOTO, Masaaki TAURA, Noriyasu HOMMA, Issei MORI	69
RPT Doi Awards: Computer-aided diagnosis with radiogenomics: Analysis of the relationship between genotype and morphological changes of the brain magnetic resonance images Chiharu KAI, Yoshikazu UCHIYAMA, Junji SHIRAIISHI, Hiroshi FUJITA, Kunio DOI	70
RPT Doi Awards: Estimation of linear energy transfer distribution for broad-beam carbon-ion radiotherapy at the National Institute of Radiological Sciences, Japan Nobuyuki KANEMATSU, Naruhiro MATSUFUJI, Taku INANIWA	72

INTRODUCTION OF RESEARCH FACILITY

Department of Radiological Technology, Nagoya University School of Health Sciences, and Department of Radiological Sciences, Nagoya University Graduate School of Medicine Masataka KOMORI, Hiroshi OGUCHI	73
--	----

VOL. 39, NO. 4

〈Special Issue Series: Educational Committee〉

REVIEW

Applications of 3D-PSF of CT Image to QA for Thoracic CT-CAD: Part 4. Application of 3D-PSF 2. Virtual Nodule Application to QA for Thoracic CT-CAD Shinichi WADA, Masaki OHKUBO, Akihiro NARITA, Kohei MURAO, Toru MATSUMOTO, Shusuke SONE	77
---	----

REPORT OF INTERNATIONAL CONFERENCE

2019 AAPM Annual Meeting and Exhibition, San Antonio, Texas, USA

Masahiro NAKANO 86

INTRODUCTION OF RESEARCH FACILITY

Department of Radiation Oncology and Image-Applied Therapy at Kyoto University Hospital

Yuki MIYABE, Nobutaka MUKUMOTO, Tomohiro ONO, Hiraku IRAMINA,
Hideaki HIRASHIMA, Mitsuhiro NAKAMURA 91

第39卷 (2019年度)

Author Index

Arimura, Hidetaka.....	1, 2	Miyabe, Yuki.....	20, 91
Azumi, Hiroki.....	69	Miyamoto, Naoki.....	54
Doi, Kunio.....	70	Mori, Issei.....	69
Fujita, Hiroshi.....	70	Mukumoto, Nobutaka.....	91
Goto, Mitsunori.....	69	Murao, Kohei.....	42, 61, 77
Hirashima, Hideaki.....	91	Nakamura, Mitsuhiro.....	91
Homma, Noriyasu.....	69	Nakano, Masahiro.....	86
Inaniwa, Taku.....	72	Narita, Akihiro.....	42, 61, 77
Inaoka, Hidenori.....	57	Oguchi, Hiroshi.....	73
Iramina, Hiraku.....	91	Ohkubo, Masaki.....	42, 61, 77
Kadoya, Noriyuki.....	12	Ono, Tomohiro.....	91
Kai, Chiharu.....	70	Ozawa, Shuichi.....	41
Kamezawa, Hidemi.....	35	Shimizu, Shinichi.....	54
Kanematsu, Nobuyuki.....	72	Shiraishi, Junji.....	70
Kawamura, Shinji.....	68	Sone, Shusuke.....	77
Kito, Satoshi.....	7	Suzuki, Ryusuke.....	54
Komori, Masataka.....	73	Takao, Seishin.....	54
Kurooka, Masahiko.....	24	Taura, Masaaki.....	69
Matsufuji, Naruhiro.....	72	Tominaga, Chiaki.....	69
Matsumoto, Toru.....	42, 61, 77	Uchiyama, Yoshikazu.....	70
Minohara, Shinichi.....	50	Wada, Shinichi.....	29, 42, 61, 77

第39卷 (2019年度)

Keyword Index

4D dose calculation.....	20	dose mapping	20
adaptive radiation therapy.....	20	hybrid-DIR.....	7
auto-segmentation	12	IGBT	24
brachytherapy.....	24	IGRT.....	24
contour	12	intensity-based DIR	7
contour-based DIR.....	7	propagation	12
deformable image registration (DIR)..	7, 12, 20, 24	radiotherapy	12
displacement vector field	7	response evaluation.....	24
dose accumulation.....	20		

目 次

〈連載：教育委員会企画〉

解 説

CT画像3D-PSFの胸部CT-CADのQAへの応用

(4) 3D-PSFの応用2. virtual noduleの胸部CT-CADのQAへの応用

和田真一, 大久保真樹, 成田啓廣, 村尾晃平, 松本 徹, 曾根脩輔 77

国際学会参加記

2019年米国医学物理学会学術大会参加報告

中野正寛 86

施設紹介

京都大学医学部附属病院放射線治療科の紹介

宮部結城, 椋本宜学, 小野智博, 伊良皆拓, 平島英明, 中村光宏 91

編集後記 94

【複写される方へ】

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の方でない限り、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階 一般社団法人 学術著作権協会
FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。