

## ■ 定位放射線治療について

高津社は、病巣の近傍に Au マーカーを埋め込み、定位放射線治療を実施するシステムの技術紹介を行っていた。本システムは、腫瘍近傍に留置した金マーカーを2方向の透視画像を使用し、動きを伴う腫瘍に対してピンポイント照射の支援を行うことができる。また、透視画像を3ポジションで確認をすることが可能で、ガントリ角度に依存することな

く使用できるものである。定位放射線治療に関しては、今後もさまざまな技術が開発されていくと予想されるため今後の技術発展が期待される。本システム自体も、呼吸性移動を伴う腫瘍に対する新しい照射方法として今後発展していく予定とのことである。

〈謝辞〉

本稿をまとめるに当たり、昭和大学関係諸氏および情報提供をいただきありがとうございました。関連企業担当者に感謝いたします。

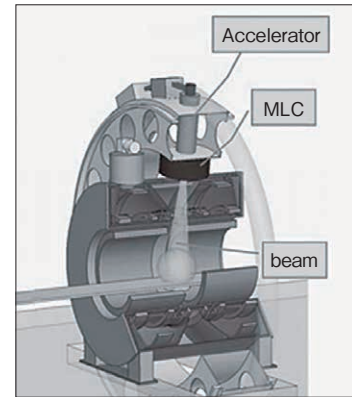


図3 ユトレヒト大学医療センターで開発中のMRI リニアック概観図  
同大学ホームページより転載  
(<http://www.umcutrecht.nl>)

## エキスパートによるRSNA 2015 ベストレポート

# 9. CADシステムの最新動向 AIの動向も含めて

藤田 広志\*<sup>1</sup>/木戸 尚治\*<sup>2</sup>/原 武史\*<sup>1</sup>/周 向栄\*<sup>1</sup>/村松千左子\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 \*<sup>2</sup> 山口大学大学院医学系研究科応用医工学系学域医療支援工学分野

RSNA 出発前に、興味あるニュースが飛び込んできた<sup>1)</sup>。それは、鳩 (pigeon) が乳がん診断画像 (病理画像とマンモグラフィ) から、悪性腫瘍を高い正答率で識別するというものである。成績の良かった鳩は、最高99%の正答率を出したという。鳩は人間を凌ぐほど vision に優れているのか！ 鳩のこの能力を詳しく分析すれば、近い将来にはCAD技術に応用される可能性も期待される。詳細は参考文献1)を参照されたい。

さて、今回のRSNA 2015では、CADに関してこれ以上のトピックスはあったのであろうか？ 以下では、CADとその関連した話題について、筆者らが興味を持った内容を中心にレポートする。

## ■ AI用語が踊る！

CADあるいは関連する発表などで、「機械学習 (machine learning)」「深層学習 (deep learning: DL)」「convolutional neural network (以下, CNN)」などのいわゆるAI (artificial intelligence: 人工知能) に関する専門用語が、至るところで“踊っていた”という第一印象がある。従来の手法と中身は何ら

変わらなくとも、CADシステムの構築を機械学習によった、というような表現が使われ始めた。

脳の神経回路網を工学的にまねた neural network (以下, NN) については、かつてRSNA 1989 (第75回) において初めて3演題が報告され、話題になったことがある (当時は「第二次ニューロブーム」と呼ばれた)。筆者の一人もこれに感化されてCADシステムの構築にNNを導入し、多くの論文を書いた経緯がある。CADシステムでは、この当時の3層型の階層構造のNNが多く取り入れられている。現在では計算機の能力も格段に上がり、YouTubeなどには膨大な画像情報が飛び交っているようになり、NNの新しい学習技術によるDL、特にCNNによる画期的な成功例が出され、活気を呈している状況である。しかしながら、疾患の画像データ数は、YouTube上の一般画像とは比べものにならないくらい“Small Data”である。以下に報告するように、DL技術を取り入れた数件の発表があったが、まだ本当に期待されるような成果は出ていないと言えそうである。医用画像にさらに適したDL手法

の開発が、今後期待される。

東京慈恵会医科大学のNakataらは、“Artificial Intelligence User Interface Including Conversational Computing and Deep Learning for Future Radiology: What Radiologists should know”と題した興味深い教育展示を行っていた (IN004-EC-X)。

## ■ Watson 登場

コグニティブ (認知型) コンピューティングシステム (cognitive computing: CC) と呼ばれる話題のIBM社の「Watson」が、ついにRSNAに登場した。それは、企業の展示会場のMerge Healthcare社のブースにおいてである (図1)。同社の技術は、米国中の7500の医療機関で画像処理に使用されており、これまでに合計300億ものX線写真、CT、MR画像を解析しているという。IBM社は同社をRSNA直前の10月に買収し、2015年に創設したWatson Health部門に加えている。これにより、医用画像も本格的に取り入れたWatsonの医療診断システムの開発に、ますます拍車がかかるであろう。展示では、診療情報と医療画像



図1 IBM社が買収したMerge Healthcare社  
An IBM Companyと右側の看板に書かれている。



図2 Watsonによる画像も取り入れた医療診断支援  
システムのデモ (W.I.P.)

の両方の情報を検討して、Watsonが解析した鑑別診断の結果を医師が参考にできるような仕組みを仮想的なデモとして披露していた(図2)。Watsonのアプローチは前述のCCであり、医学論文や臨床試験結果などの大量の医療情報から診断や治療方針の決定を行う。現在の医療データの90%は画像形式であるとされており、そのためには画像解析情報を追加することが必須と判断されたものと考えられる。一方で、今回のRSNAでも講演を行ったJeremy Howard氏が率いるEnlitic社の画像診断支援システムでは、DLを用いて医用画像を解析し診断するので、われわれが考えるCADの概念により近いと考えられる。

このような中で、放射線科医の仕事がWatsonのようなAIに、将来、仕事を奪われるのではないかという危惧もあるようである。実際、AuntMinnie.comでは、メリーランド大学のSiegel教授にこの点についてインタビューしている<sup>2)</sup>。このような危惧は、CAD開発の初期の時代(1980年代初頭)に少し似ている感がある。

## ■基礎技術領域

さまざまな医用画像から人体の解剖学的構造(診断対象とする臓器と組織)を自動的に認識・抽出する処理(segmentationと呼ぶ)は、CADを含む医用画像システムの開発において、必要不可欠な重要な要素技術である。しかし、今回のRSNAでは、これらの関連研究の発表の件数が多くはなかったが、以下では、InformaticsとPhysicsの関連セッションから、いくつかの臓器抽出に関連する演題を紹介し、また、この分野の演題数が減少した原因を探る。

まず、臓器の自動抽出に関する発表

の中から、この分野の老舗とも言える米国NIHのSummersのグループの発表(SSG16-03)に注目した。前回のRSNAでも、このグループはCT画像からの膀胱領域の自動抽出手法を提案したが、今回のPhysics(Image Processing/Analysis II)の口述セッションでも、まったく同じ課題に対して従来の抽出手法をリニューアルした結果を発表した。新しい部分として、話題のDL(CNNs)の導入を試みており、これが目玉になっている。具体的には、従来の処理のアプローチ(ボトムアップによる画素の統合処理)は変更せず、処理の流れ(各画像ピクセルをsuper-pixelsにまとめてrandom forest classificationによって膀胱内部かどうかの判定)にCNNを加え、画素の識別精度の向上をねらっている。そして、20例のCT画像に適用した結果、自動抽出された膀胱領域と手入力した領域との一致度(DSC)は $75.8 \pm 5.4\%$ であった。発表者は、CNNを加えることによって現時点での最高の性能を達成したと結論づけている。また、同じ口述セッションで、ミシガン大学のCaoliらは、DLを用いてCT urographyから膀胱領域を抽出する発表を行った(SSG16-02)。ここでは、従来の抽出アルゴリズム(level-set analysis)の前にCNNを加えている。それにより、画像上に存在する膀胱領域と背景の差が強調され、より良い抽出結果を得ている。一方、Education Exhibitでは、テキサス大学のAhmedらにより、三次元画像からの肝臓領域の抽出に関する発表(GI325-ED-X)があった。これまでの提案法を整理・分類した上に、肝臓手術のためにどのように利用されるかを詳しく説明したものであった。教育展示として非常にわかりやすいと感じた。

今回のRSNAでは、Segmentationよりも、Quantitative Imaging(以下、QI)と3Dプリンティングの演題が圧倒的に多くあり、これらは中心的な話題となった。これらの研究のサポートとして、対象臓器の抽出は必要不可欠であるが、画像処理のアルゴリズムより、もっと本質的な部分に注目すべきというRSNAの考えがあると推測している。例えば、コロンビア大学のZhaoらの発表(RC325C)では、CT撮影をする際に用いるパラメータの相違によって、画像からの抽出結果あるいは特徴量の測定結果がかなり変動することを示した。すなわち、画像撮影のパラメータを考慮せずには、臓器抽出のアルゴリズムを単独で議論する意味はない、ということになる。

また、臓器の3Dプリンタの発表が非常に多くなったが、3Dプリンタの実機と造形デモ展示物も教育展示などの発表会場の入り口付近に設置された。外科医の立場から見ると、本物とそっくりな臓器模型が提供されれば、ほかの計算機アルゴリズムには興味なくなる。この意味で、臓器抽出に関連する基礎研究も臨床応用まで進まないと、他分野の演題に吸収され、これからのRSNAの場から姿を消す可能性がある。そのような危機感を持って、岐阜大学のSayed, Zhouらは、臓器抽出のノウハウを生かして、低解像度のMR画像から子宮と筋腫に関する解剖構造の模型を展示した(IN208-SD-SUB2)(図3)。透明かつ人体組織と同じ程度の軟らかい素材で精密な模型を低コストで製作し、実際に患者への説明と手術計画に使用され、高い評価が得られている。

これからの研究は、画像撮影、臓器抽出、および医師への情報提供を一括で考える必要があると強く感じている。



図3 子宮筋腫を含む子宮の3Dプリンタ臓器モデル(左下の3例)を展示しながらプレゼンした電子ポスター発表  
子宮部分を透明な軟らかい素材で製作し、子宮筋腫を赤色、子宮内膜を黄色で造形してある。

## 乳房領域

ピッツバーグ大学のNishikawaらは、マンモグラム(以下、MG)上の微小石灰化の良悪性鑑別診断において、類似画像を用いたcomputed-aided diagnosis(以下、CADx)システムの有用性を検討した観察者実験の結果について発表した(BR244-SD-TUA6)。これまでもこのような研究は行われているが、この研究のユニークな点は、類似度の高い(最も似ている)画像から上位 $n$ 画像を提示するのではなく、別に求めた対象画像の悪性度に基づき提示する悪性画像の数を変化させている点である。具体的には、悪性度が80%以上であれば提示する9画像中7画像を悪性画像、60~80%であれば6画像を悪性画像という具合に変化させている。実験の結果、参加したすべての放射線科医の診断能(AUC)が、CADxありのとき有意に上昇した。また、CADxありでの診断能はコンピュータのみでの診断能を上回り、相乗効果が得られたことを示した。岐阜大学のTakahashiらは、放射線科医によって取得されたMGと乳腺超音波画像(以下、乳腺US)上の腫瘍の主観的類似度を解析し比較した(PH222-SD-MOA5)。主観的類似度を用いて画像検索を行った場合、未知画像に対する検索画像の適合率(良悪性分類の一致率)がどちらも8割を超える反面、乳腺USでより判別しやすい嚢胞と線維腺腫に対する違いなど、両者の特徴が現れる結果となった。よって、主観的類似度による検索画像の有用性と、MGと乳腺USの両方を用いることによる補足効果が示唆された。

藤田保健衛生大学のTeramoto, Shibasakiらは、非造影の乳腺MR画像を用いた乳腺構造の解析手法に関する研究を行った(BR212-ED-X)。提案手法では、T1強調画像に対して三次元ガボールフィルタを用いて乳腺構造の左右差を評価しており、多くの異常症例で有意差が見られた。乳腺MRI検査では一般に造影剤が用いられるが、本手法は非造影にて診断に有効な情報が得られるため、スクリーニングへの応用が期待される。

乳腺濃度の自動計測については、米国の各州でのBreast Density Legislationにより(24の州で制定され、いま10州で審議中とのこと)、患者へのリスクの説明責任が伴い、BI-RADS第5版との関係も含めて、自動計測への注目はますます高まっている(BR234-SD-MOB2)。例えば、FFDM画像における自動テクスチャ解析による乳がんのmasking riskの評価に関する発表があり(SSK01-05)、ここでもCNNを利用したと言っていた(抄録には、具体的にconvolutional sparse autoencoderを利用したと書かれている)。

企業展示では、ホロジック社のプレストトモシネシスの石灰化領域を検出する3DタイプのCAD(コンピュータ支援検出)について展示していた(FDA未承認)。クラスタ領域を曲線で囲い込むと同時に、それが存在するスライス番号を表示するようになっている。なお、同社の合成画像“C-View”用の2DタイプのCADは、すでに2014年にFDA承認済みである。また、GE社のプレストトモシネシスのCADについては、GE社およびそのCADを開発している企業であるiCAD社のブース内において、W.I.P.として、腫瘍検出のCADについてデモを行っていた。両社でターゲットとしている病変が異なるのは興味深い。また、Parascript社のマンモグラフィCADがFDA認可を得たとの案内があった。

## 胸部領域

最近の人工知能ブームを反映して、DLに代表される機械学習を用いた演題が目立った。韓国のKimらは、CNNとsupport vector machine(以下、SVM)

を用いて複数の施設から得たびまん性肺疾患CTの陰影分類を行い、CNNがSVMよりロバスト性が高いという結果を報告した(SSA21-06)。また、カナダのCiceroらは、診断レポートに基づいてタグ付けされた1万症例の胸部X線写真を用いてCNNの学習を行い、胸水や気胸などの500症例の異常陰影検出を行った結果、95%の感度で85%の特異度が得られたと報告した(SSC06-05)。本発表では、オープンソースのCNNアルゴリズムとNVIDIA社のGPUを用いていたが、大量の画像と高速な計算環境が必要と考えられたDLも、比較的少ない症例と安価な計算環境で妥当な結果が得られるようになり、放射線科医にとっても身近になってきたのではと感じられた。

胸部領域のCADとは直接には関係しないが、DLを用いた画像診断支援システム解析のベンチャー企業Enlitic社のCEOのJeremy Howard氏の講演“Deep Learning: An Example of Big Data Applications”は、あたかもtechnology entertainment design(TED)のようで興味深かった(RC754C)。

肺がんに関しては関心が高く、日本からの低線量CTスクリーニングCADの話題(CH128-ED-X)やRadiogenomics解析の話題など多くの発表があり(RC501, SST03-01, SST03-02)、今後のCADの方向性を考える上で興味深かった。

## 核医学領域

核医学分野におけるCADの報告は、例年、bone scan indexに関する発表がいくつか見られたが、2015年は見られなかった。その一方で、SPECT/CTにおける新しい骨集積に関する報告があった。藤田保健衛生大学のTsujiimotoらは、SPECT/CT画像による骨シンチグラフィ検査における骨集積の定量解析手法に関する研究開発について、電子ポスターで発表を行った(NM223-SD-WEB11)。本手法では、CT画像から抽出した骨格情報を利用しながら、SPECT画像に含まれる高集積な領域を自動的に計測する。臨床画像を用いて骨集積を解析した結果は医師の手動測定の結果とよく一致

しており、骨転移の定量解析に有効であると考えられる。核医学分野ではこのほかに、認知症診断に関する発表やミニコースがよく目立った。特に、“Molecular Imaging Symposium: Neurologic MI Applications” (MSMI22) は、基本的な知識から新たな画像化の方法やソフトウェアによる定量解析方法が解説された。認知症診断においては、アミロイドイメージングとタウイメージングが注目されており、その定量化の試みもいくつか報告された。また、最新の技術をまとめた“Hot Topic Session: Molecular Neuroimaging in Dementia: State-of-the-Art and Emerging Techniques” (SPSH52) も設けられていた。

定量化の観点からは、いくつかの核医学関連の発表を見つけることができる。“Physics Series: Quantitative Imaging Mini-Course: Image Modality Specific Issues” (RC225) においては、腫瘍の治療に関してPET/CTを用いた評価方法についての定量化 (RC225-06) が報告された。腫瘍の評価はRECIST/PERCISTに基づいて行われるため、PET/CT画像による自動化を試みる報告も例年行われている (QRR012)。この定量化イメージング (以下、QI) に関しては、ここ数年RSNAのトピックスと言える2015年のQuantitative Imaging Reading Room (QRR) におけるコンピュータ展示は、前回同様18ブースあり、企業/大学が核医学にとらわれない、さまざまな解析方法や可視化方法、計測方法を展示していた。われわれは、2014年に引き続きシンチグラムを用いた脳血流の計測方法について展示を行った。QIに関しては、“Quantitative Imaging Mini-Course: Statistical Analysis/Metrology Issue” (RC425) として、非常に基本的な計測方法や考え方に関するコースが設置されていた。これからQIに取り組む研究者はもちろん、すでに取り組んでいる方も見直すきっかけとなるであろう。RSNAは非常に大きな大会であるが、このコースのような基本的な内容に改めて触れる環境は、とても魅力であると再認識できた。

このほか、遺伝子と放射線画像を結びつける新しい概念であるRadiogenomics/

Radiomicsに関するセッションも多く見られた (RC454, RC518, RC525, RC625, RC725, RC825)。これらの分野はQIとの関連も深く、その基盤にはコンピュータによる解析が必須である。今後、注目の必要領域であると認識している。

## ■ 歯科領域他

歯科領域 (パノラマX線画像) のCADについては、岐阜大学のグループから、電子ポスターにおいて4演題の発表があった。Horiba, Fukuiらは、骨粗鬆症早期発見のための歯科パノラマX線写真上顎皮質骨自動分類法の開発研究を行った (PH220-SD-MOA3)。提案手法は、骨粗鬆症の検出と骨量減少症例を含む高リスク症例に対して高いROC曲線下の面積を示すとともに、骨密度と専門医の主観評価とも高い相関係数を示した。Takahashi, Katsumataらは、歯周病診断に必要な歯科パノラマX線写真において、歯槽骨吸収度の測定作業を自動化するための歯槽骨吸収自動評価CADシステムを提案した (IN228-SD-TUA1)。ガボールフィルタ、テンプレートマッチングなどを用い、歯槽骨吸収の測定に必要な解剖学的特徴点を自動検出した。その結果、歯科医が手動測定した結果と有意な相関を示す測定結果が得られ、提案手法の有用性が示唆された。Mikiらは、歯科パノラマX線写真上に描出される上顎洞炎をコンピュータで検出する方法を改良した (PH244-SD-TUA5)。従来手法との差異は、主に関心領域 (上顎洞領域) の決定方法であり、解剖学的特徴に基づいて決定するように改良した結果、従来法よりも正確に関心領域 (上顎洞領域) を決定することが可能となった。Muramatsu, Fujitaらは、動脈硬化のバイオマーカーとして、パノラマX線写真上から頸動脈領域に存在する石灰化の自動検出、および偽陽性候補削除法の改良について発表を行った。探索領域のより高度な決定により、検出性能が向上することを示した (IN239-SD-WEA1)。

歯科領域以外にも、多くの画像領域においてCADの成果が報告されていたのは言うまでもない。例えば、(dual

energy) CT colonographyにおける大腸CAD [SSK06-08, SSQ20-02, IN007-EC-TUB7, IN245-SD-WEB3, PH285-SD-THB7: マサチューセッツ総合病院 (MGH) の吉田らのグループ]、MR/CT画像における肝臓CAD (IN223-SD-MOB3: Zhangら, IN229-SD-TUA2: Wangら)、DWI画像における骨盤リンパ節転移のcomputer-aided detection (CADe) (IN202-SD-SUA3: Siowら)、頭部MR画像における膠芽腫CAD (IN250-SD-THA3)、超音波画像における甲状腺結節のCADx (IN209-SD-SUB3) などである。

\* \* \*

上述したように、AI用語と同様に、biomarker, phenotype, phenomics, radiomics, radiogenomicsの用語なども盛んに飛び交っていた印象である。よって、これらを説明する教育講演や、QIとCADの相違を概説する展示もあった (QRR006, Sahinerら)。日経新聞の最近の記事では (2015年12月15日朝刊)、RSNAの機器展示の様子も含めて伝え、医療機器メーカーは製品開発の軸足を「性能向上」から「データ活用」に移しつつあるものの、欧米勢はデータ重視であるが、国内企業勢は出遅れていると書いている。CAD, QI, imaging biomarkerなどは、まさしくデータ活用の最先端技術である。

昨今のAIブームがRSNAにも波及し、機械学習, DL, Watsonなどが話題の一部になった今回のRSNAであったが、機械学習, DL, AI技術は、放射線医学分野における新しいVision技術の一端になりうるのか、今後の展開が楽しみである。また、放射線医学診断におけるシンギュラリティ (singularity) はいつ訪れるのか、今後、このような議論も真剣に行われるとの予感を与える大会でもあった。

\* ( ) 内は演題番号

## ● 参考文献

- 1) Levenson, R.M., Krupinski, E.A., Navarro, V.M., et al.: Pigeons (*Columba livia*) as Trainable Observers of Pathology and Radiology Breast Cancer Images. *PLoS ONE*, **10**・11, e0141357, 2015.
- 2) Video from RSNA 2015: Should radiologists be worried about AI? Aunt Minnie. com, 2015. [http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=rc&sub=rsna\\_2015&pag=dis&itemID=112800](http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=rc&sub=rsna_2015&pag=dis&itemID=112800)