

分科会報告

資料一画像分科会報告
「放射線画像研究にかかわる参考文献の紹介」白石順二・真田 茂¹⁾・澤田道人²⁾・吉田 彰³⁾・石田隆行⁴⁾
加野亜紀子⁵⁾・市川勝弘⁶⁾・鈴木賢治・原 武史⁷⁾

シカゴ大学放射線科カートロスマン放射線像研究所

1) 金沢大学医学部保健学科

2) 安城更生病院放射線技術科

3) 広島県立保健福祉大学放射線学科

4) 広島国際大学診療放射線学科

5) コニカミノルタエムジー(株)開発センター MIシステム開発室

6) 名古屋市立大学病院中央放射線部

7) 岐阜大学大学院医学研究科再生医科学専攻

はじめに

日本放射線技術学会(以後、日放技学会)の会員の方々が、日常の仕事のなかで得たさまざまな工夫やアイデアを、研究発表という形で、地方学会や秋季学会、春の総会で世の中に公表した後に、次に来る大事なステップは、それらの発表を論文にまとめるという作業だと思っています。いくら多くの学会員の集まった会場での発表であっても、実際に学会会場でその発表を聴くことのできる会員は数百名程度ですから、その効果は2万部を超える発行部数の学会雑誌に論文が掲載されることと比べると、自分の行った研究を他の会員の人がある機会という観点では数十分の一でしかありません。そのため、日放技学会では以前から学会員が各自の研究発表を、その発表後に論文としてまとめることができるように、さまざまな努力を行ってきました。

上記と同様の理由で、多くの学会員が研究を始める、もしくは、各自が行った研究を論文にまとめる際に役立つようにと、画像分科会では、半年に一度発行される画像分科会の定期発刊誌である画像通信に、過去5年間にわたって、さまざまな画像研究に関する分野での推奨参考文献をシリーズで掲載してきました。

研究を始めて間もない方々には、参考文献というものの重要さが実感できないとは思いますが、自分がやりたいと思う、またはすでに行った研究に関する“適当な”参考文献を見つける、という作業には、かなりの経験と知識が必要です。言い方を変えれば、投稿された論文に引用されている参考文献を見るだけで、その著者の知識の程度とその研究に対する奥深さが推測できると言っても過言ではありません。一般にはこういった参考文献の存在や、知識はその研究の指導者から若い研究者達に受け継がれていくものですが、研究の内容が細分化し、日常業務の狭間で研究を余儀な

くされている環境にあっては、そういった継承も難しくなっています。そこで、それぞれの分野のエキスパートと呼ばれる方々に依頼して、毎回、違う分野での、研究のために必要と思われる参考文献を推奨してもらったものがこのシリーズです。

放射線画像に関する研究ということで、2000年3月発刊43号での第1回目のテーマには「特性曲線」を採用し、以後、2004年の4月までにすでに10回の掲載を終了しました。今後もこのシリーズはネタが続く限り続けたいと考えていますが、まずは10回を区切りで、これまでに紹介された各専門分野の参考文献を、画像分科会会員だけでなく、本会会員の皆さまにも知っていただくとう提案し、今回、画像分科会報告という形で、本会雑誌に掲載していただくことになりました。以下に、今回の分科会報告に含まれる専門分野とその筆者の一覧を示します(所属、敬称略)。

1. 特性曲線に関する参考文献 真田 茂
 2. MTFに関する参考文献 澤田道人
 3. ウィナースペクトルに関する参考文献 吉田 彰
 4. 視覚評価に関する参考文献 白石順二
 5. C言語プログラミング、画像処理の基礎に関する参考文献 石田隆行
 6. DQEに関する参考文献 加野亜紀子
 7. CT画像の再構成や評価法に関する参考文献 市川勝弘
 8. ニューラルネットワークに関する参考文献 鈴木賢治
 9. 胸部コンピュータ支援診断(CAD)に関する参考文献 石田隆行
 10. 乳房X線写真のためのコンピュータ支援診断(CAD)に関する参考文献 原 武史
- 今回の分科会報告にあたり、参考文献の書式に関し

て一部加筆修正を加えた部分がありますが、基本的には画像通信に掲載されたオリジナルの原稿をそのまま掲載しています。筆者によって表現の仕方がさまざまですが、そういった各筆者の個性の違いも、この機会に楽しんでいただければと思っています。

1. 特性曲線に関する参考文献

金沢大学医学部保健学科 真田 茂

この文献紹介のコーナーは新しい企画です。1回目はX線フィルムの特性曲線など、放射線画像系における入出力特性の基礎的な事項、計測方法などに関する書籍を紹介しようということになりました。となる

と；
1)小寺吉衛 編著：放射線受光系の特性曲線。医療科学社出版，(1994)。

が筆頭に挙げられると思います。その内容に関してはあらためてここで紹介するまでもなく，“この1冊で特性曲線のすべてが分かる”と言っても過言ではありません。このテーマに関するバイブルともいえる；

2)日放技学会画像部会 監修：放射線医療技術学叢書 (2)増感紙フィルム系のMTFとウィナーズスペクトル。日放技学会出版，(1988)。

3)日放技学会画像部会 監修：放射線医療技術学叢書 (3)放射線画像の特性と測定。日放技学会出版，(1988)。

の二つの文献の要点はもちろん網羅されております。画像分科会会員の方々には本書についてはすでにご存知だと思いますので、一つだけ、これも含めて小寺先生の著書¹⁾を読むときの私流の読み方を紹介して次に移らせてください。例えば、この本の21頁にH&D曲線作成の学生の実習の様子が描かれています。専門書として淡々と記述しなければならないことのほかに、このように読者に語りかけるようにご自分の考えを吐露されている部分が随所にあります。また、そんな姿勢で全体を編集されているように思います。この奥義に触れてみてください。ハッとと思うようなこと、「確かに…」と頷いてしまうようなことばかりだと思います。

さて次に，“特性曲線”だけに限定しないで私が学生の講義に利用している洋書の紹介をします。英語であるという垣根はあるものの、これらは特性曲線も含めて放射線画像に関する基礎を学ぶにはたいへん優れた書籍だと思います。私自身、4)～8)のすべてを熟読したわけではありませんが、とにかく、図表を見ただけでも分かりやすいのです。講義ではそれら複数の書籍からの図表をコピーして、自分の考えるストーリーに沿って切り貼りしたものを参照資料として使っています。

まずは；

4)Christensen EE, Curry TS, Dowdey JE, and Murry RC: Christensen's Introduction to the Physics of diagnostic Radiology 4th Ed.. Lea & Febiger, Philadelphia, (1990).

です。これは私が最も数多く引用する書籍です。US, MR, 核医学も含む放射線画像全般にわたって、図表を多用して実に分かりやすく書かれています。次に；

5)Pizzutiello RJ, Cullinan JE: Introduction to Medical Radiographic Imaging. Eastman Kodak, Rochester, (1993).

は画像がものすごく鮮明です。拡大撮影の説明に例示されているマンモグラフィの微小石灰化陰影、画像のボケに関して例示されている手根骨の骨梁など、見事に描出されています。

6)Bushong SC: Radiologic Science for Technologists - Physics, Biology and Protection 6th Ed.. Mosby, Tronto, (1997).

もなかなかよいです。ときどき出てくる放射線技師とおぼしき漫画のキャラクターがイケてます。これらはすべてインターネット上(<http://bookweb.kinokuniya.co.jp>あるいは<http://www.amazon.com>など)から簡単に入手可能ですし、文献5)の「Introduction to Medical Radiographic Imaging」についてはKodakに問い合わせてもよいです。また、豊富な図表で分かりやすいという点ではこれらの洋書に匹敵する和書として；

7)高尾慶人 編著：新しい放射線写真学，富士メディカルシステム出版，(1998)。

が挙げられます。これは写真化学の教科書としてよく使われているものですが、特性曲線の項などもそのまま実験書としてもよいくらいに計測方法が具体的に解説されています。最後に変更種ですが、光の計測に関してインターネットに公開されている；

8)Ryer A: Light Measurement Handbook. International Light Inc, (1997). (<http://www.intl-light.com/handbookthanks.html>)

を紹介しておきます。特性曲線の話にもう一度戻りますが、私などは苦手な読み飛ばしてしまう光および濃度に関する基礎的事項に関連して“目からウロコ”です。ぜひ一度ご覧ください。

2. MTF(modulation transfer function)に関する参考文献

安城更生病院放射線技術科 澤田道人

文献紹介コーナーの2回目は、前回に引き続き、放射線画像系における入出力特性の基礎的事項、計測方法などに関する文献・書籍として、modulation transfer

function(MTF)に関するものを紹介させていただきます。MTFについての書籍は数多くありますが、そのなかで小寺吉衛先生が雑誌INNERVISIONに連載で執筆されました、「画像のものさし 放射線で描く画像の世界」を私の一押しに挙げたいと思います。このなかでは；

9)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 MTFの定義。INNERVISION, 3(2), 66-68, (1988).

10)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 MTFの測定－フィルム特性曲線－。INNERVISION, 3(3), 69-71, (1988).

11)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 MTFの測定－矩形波チャート法－。INNERVISION, 3(5), 52-56, (1988).

12)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 MTFの測定－スリット法－。INNERVISION, 3(7), 60-64, (1988).

13)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 MTFの測定－測定における注意点－。INNERVISION, 3(8), 48-51, (1988).

に直接MTFに関係した内容が記述されています。本書に“増感紙・フィルム系のMTFを例にとり、定義、測定法、適用例などを、具体的かつ一味違った角度からアプローチしてみたい。”と書かれている小寺先生の言葉のように、画質の評価とは何か？MTFとは何か？といった読者に問いかけながらの進め方は、読んでいくうちに内容に引き込まれてしまう魅力があります。定義の正確な解釈、特性の十分な解析、測定の精度・正確度を背景とした解説は理解しやすく、測定上の注意点までも含んだ内容は、専門図書以上の価値を感じます。また、このシリーズには、画像解析の理論的な背景について考えた；

14)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 II 画像の結像論－フーリエ変換－。2(11), 58-60, (1987).

15)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 II 画像の結像論－重畳積分－。2(12), 54-55, (1987).

16)小寺吉衛：画像のものさし 放射線で描く画像の世界 II 画像の結像論－放射線画像系の結像－。3(1), 58-60, (1988).

も連載されており、画質評価の基本を理解するための座右の書として一読することをお勧めします。

次に、MTFの測定に関するものを紹介します。矩形波チャート法による測定では；

17)チャート法によるMTF検討班：委員会報告 チャート法によるMTF検討班報告。日放技学誌, 50

(3), 453-470, (1994).

が実際の測定に役立つものと思います。広範囲の施設が共同研究し、コントラスト法での測定上の問題点を検討したもので、測定のガイドラインとして活用することができます。コントラスト法では、矩形波レスポンス関数から高調波成分を取り除くために、コルトマンの補正式；

18)Coltman JW: The specification of imaging properties by response to a sine wave input. Journal of Optical Society of America, 44(6), 468-472, (1954).

を用いますが、委員会報告では補正式の項数と補正結果の関係についてはふれていません。この点に関しては；

19)小島克之, 蔡 篤儀, 田中嘉津夫, 他：シミュレーションによるコルトマン補正に関する考察。医用画像情報学会誌, 8(2), 35-42, (1992).

を参考にするとよいでしょう。また、矩形波チャート法でもコルトマンの補正式を必要としない、古くて新しい方法が報告されています。

20)室伊三男：矩形波チャートを用いたフーリエ変換によるMTF。日放技学誌, 50(3), 379-385, (1994).

21)室伊三男：矩形波チャートを用いた周波数解析によるMTFの自動測定法とコントラスト法との比較。日放技学誌, 55(10), 1042-1048, (1999).

これらの論文では、入力した矩形波(矩形波チャート)の個々の出力を離散フーリエ変換して、直接MTFを求める方法を考案しています。前者は基本的な理論について、後者は周波数解析法での自動計算法について書かれています。広く利用されてもよい有用な手法だと感じます。ぜひ読んでみてください。

スリット法による測定では；

22)Modulation transfer function of screen-film systems. ICRU REPORT 41, (1986).

23)東田善治, 他：わが国における増感紙－フィルム系のMTFの測定精度の比較(スキャンニング過程における相互比較)。医用画像情報学会誌, 11(1), 22-29, (1994).

24)東田善治, 他：わが国における増感紙－フィルム系のMTFの測定精度の比較(全ての過程における相互比較)。医用画像情報学会誌, 11(2), 73-80, (1994).

が役立つものと思います。測定方法と測定過程での誤差要因に関して詳しく知ることができます。スリット法では、コントラスト法でのコルトマン補正と同様に、トランケーションエラーの補正が重要となります(トランケーションエラーのあるMTFではMTF値が振動する)。一般的に使用されている補正方法として；

- 25) Doi K, Strubler K, and Rossmann K: Truncation errors in calculating the MTF of radiographic screen-film systems from the line spread function. *Phys. Med. Biol.*, 17(2), 241-250, (1972).

が参考になるでしょう。先に挙げた文献(13)にも引用されていますが、原文を読まれるのもよいでしょう。

MTFの測定ではもう一つ挙げておきたい文献があります。

- 26) 畑川政勝, 青木雄二, 朝原正喜, 他: 委員会報告 増感紙-フィルム系のMTF測定におけるスリット法と矩形波チャート法の比較. *日放技学誌*, 52(5), 701-708, (1996).

この文献では、スリット法によるMTF測定の標準的な測定方法の具体例、施設間での測定結果の比較、測定の問題点についての検討等、実際の測定で手助けとなる内容が豊富に記述されています。スリット法と矩形波チャート法の比較も興味深く読めます。これについては日本のデータとアメリカやヨーロッパのデータとを比較した；

- 27) Morishita J, Doi K, Bollen R, et al.: Comparison of two methods for accurate measurement of modulation transfer functions of screen-film systems. *Med. Phys.*, 22(2), 193-200, (1995).

も参考になるでしょう。

最後に、非対称性増感紙・フィルム系のMTFに関する文献を紹介します。従来、増感紙・フィルム系のMTFは、濃度域においてその値は一定とされていたのですが、非対称性増感紙・フィルム系では、出力側の総合MTF(信号伝達特性)に濃度依存性があることが確認されています。

- 28) 岡田弘治, 若松孝司: 非相称システムのMTF. *日放技学誌*, 48(4), 640-642, (1992).

- 29) 若松孝司, 岡田弘治: 非対称性増感紙・フィルム系の画像評価の理論的考察. *日放技学誌*, 50(3), 371-378, (1994).

- 30) Richard Van Metter: Describing the signal-transfer characteristics of asymmetrical radiographic screen-film systems. *Med. Phys.*, 19(1), 53-58, (1992).

- 31) 岡田弘治, 若松孝司, 福井 豊, 他: 増感紙・フィルム系の非対称性による画質特性. *日放技学誌*, 52(5), 7-13, (1996).

をぜひ読んでいただきたい。非対称性システムのMTFの考え方、グラディエント結合法によるMTF測定の実際にもふれることができます。

今回は、一貫してアナログ系のMTFに関するものを紹介させていただきました。デジタル系では、離散的なデータ・サンプリングに起因するエリアシングが起こるため、アナログ系のMTF測定法をそのまま使用

することはできません。デジタル系のMTFに関する書籍の紹介は別の機会にゆずります。紙面の関係で必ずしも十分な紹介ができませんでしたが、今後の参考になれば幸いに思います。

3. ウィナーズペクトルに関する参考文献

広島県立保健福祉大学放射線学科 吉田 彰

画像通信の編集委員の方からウィナーズペクトルの文献を紹介するようにとの依頼があり、軽い気持ちで引き受けました。最初にお聞きしたこのコラムの趣旨は、「この道に関してこれから勉強を始める初学者の便宜のために指針となるような書籍を挙げていただきたい」というようなお話だったと記憶しております。初学者にとっては、系統的に順を追いながら、またあまり他の著書を参照することのないような自己完結型の本が望ましいこととなります。ウィナーズペクトルを理解するうえで初学者にネックになるのは、フーリエ解析、確率過程などの数学的な知識です。これらも併せて解説してあれば好都合です。いろいろあたってみましたが、そのような本は存外に少なく、またウィナーズペクトルだけを解説した成書はありませんので、放射線画像解析一般を解説した書か学術雑誌の総説のようなものを紹介することになりました。

まず、和書としては；

- 32) 内田 勝, 金森仁志, 稲津 博 編著: 放射線画像情報工学(I), (II). 通商産業研究社, 東京, (1986).

が挙げられます。数学的な解説は、今回紹介した本のなかでは、最も丁寧で分かりやすいものです。この書は相当大部で、内容的にも応用分野の話題が多く、初学者が読むには適当なナビゲータが必要かもしれません。つぎに、放射線画像系ではありませんが、一般写真学系の本である；

- 33) Dainty JC, and Shaw R: *Image Science*. Academic Press, London, (1974).

が挙げられます。6章から9章までが、周波数解析の解説でウィナーズペクトルも測定法(アナログ法とデジタル法)を含めて詳しく説明されています。この書はもともとDQE(Detective Quantum Efficiency), NEQ(Noise-Equivalent Number of Quanta)の解説書ですが、DQEを周波数領域に拡張し、グラディエント、MTF, ウィナーズペクトルとの関係も導いています。DQEは、放射線画像の世界でもよく目にすると思います。本書の論理の流れは、整然としており一読に値します。

放射線写真の画像ノイズモデルとしてRossmannモデルがありますが、これは；

- 34) Rossmann K; Spatial fluctuations of X-ray quanta and the recording of radiographic mottle. *Am. J.*

Roentgenol, 90, 863-869, (1963).

に載っています。少し古いですが、増感紙—フィルム系の画像ノイズ構造をモデル化した有名な論文ですので、ぜひ読むべき論文です。ウィナースペクトルの簡単な理論と測定法について詳しく述べられているものに;

35) Doi K, Holje G, Loo L-N, et al.: MTFs and Wiener spectra of radiographic screen-film systems. HHS Publication FDA 82-8187, 1-77, (1982).

があります。この書のデジタル法は;

36) 小寺吉衛, 他: 放射線画像系の粒状性の測定法 I. 日放技学誌, 43, 1743-1768, (1987).

37) 小寺吉衛, 他: 放射線画像系の粒状性の測定法 II. 日放技学誌, 44, 44-62, (1988).

として掲載された班報告の下敷きになっています。実際にプログラムを組むには、こちらの方が便利かもしれません。このデジタル法は、本学会において最もよく利用されるウィナースペクトル測定法になっています。

後は、初学者向きではありませんが;

38) Barnes GT: Radiographic mottle: A comprehensive theory. Med. Phys., 9, 656-667, (1982).

は、Rossmannモデルをもっと精巧に定式化し、DQEについても言及しています。

39) Barrett HH, and Swindell W: Radiological Imaging Vol.1, 2, Academic Press, New York, (1981).

は、副題に「The Theory of Image Formation, Detection, and Processing」とありますように核医学やCTも含めた放射線撮像理論を主として展開していますが、このなかでランダム過程やノイズ解析も触れられています。中級以上の読者を対象とした理論書です。

以上、初学者に対するウィナースペクトルの文献を簡単に紹介しましたが、今回は触れられなかったいい文献が世の中にはまだまだたくさんあります。これを機会にますます学識を深めていただき、よりいい仕事をされますよう祈念して終わりにします。

4. 視覚評価に関する参考文献

シカゴ大学放射線科カートロスマン放射線像研究所
白石順二

このコーナーは、画像評価に関連する研究を始める場合に、ぜひ目を通しておいてもらいたい文献を、項目ごとに紹介しよう、ということで始めました。特性曲線、MTF、ウィナースペクトル、と回を重ねて、今回は視覚評価に関係する文献を紹介します。一口に視覚評価といっても、その種類は多岐にわたり、それぞれの文献を数え上げていくと、きりがありません。ここでは、現在、視覚評価のなかで最も重要と考えら

れているROC解析に関する文献を中心に紹介し、最後の部分で、放射線技術研究の分野で比較的多く用いられている視覚評価に関する文献を簡単に紹介します。

ROC解析が放射線画像の分野で用いられるようになって25年以上になります。画像に含まれる病変を信号とみなして、信号検出理論をそれに応用するという考え方は以前からありましたが、実際に画像評価の研究に応用してその有用性を示したのは、皆さんもよくご存知のように、Goodenoughらが発表した論文⁴⁰⁾が最初でした。ピーズ玉を信号に、5段階評価法で低コントラスト分解能を評価したこのROC実験は、それからしばらくの間、ROC実験のスタンダードとして多くの研究者に用いられました。この論文を発表したDr. Goodenoughは、当時はシカゴ大学の大学院生で、カートロスマン放射線像研究所(現在は土井邦雄教授が所長)で研究を行っているときに、以前からROC解析の放射線画像領域への応用に高い関心を持っていたLusted教授の指導を受け、この論文を仕上げました。このとき、同じようにROC解析に関する研究を始めたのが、この後で何度も登場するMetz教授(当時は助教)でした。

Goodenoughらが論文を発表した同時期に、信号検出における人間の視覚特性に関する研究が活発になり、観察実験を行う場合の、試料枚数や観察者数の影響、さらに信号検出における人間の脳の内部雑音といったことに関する報告が行われました。なかでも、SwetsとPickettが発行した書籍⁴¹⁾とChestersによる論文⁴²⁾はすべての視覚評価に関して有用なデータを提供してくれています。

近年、ROC解析の重要性が一般的に認められるようになり、欧米の学会雑誌に掲載される論文ではROC解析による診断能の評価が当然のように用いられるようになりました。医療行為における画像診断の重要性を考えた場合、特性曲線やMTF、ウィナースペクトルといったシステムの物理特性は、画像の性能を評価するうえで重要な因子ですが、医師の判断基準とは必ずしも一致しません。こういった人の視覚特性を信号検出のモデルで解析し、物理的な特性との因果関係を明らかにするための研究⁴³⁾が、土井らのグループによって行われ、その関係が、単純な信号についてはモデル化できる可能性があることを示しました。その後、FrybackとThornburyによって提唱された、画像診断に関する六つの効果レベルの考え方は⁴⁴⁾、“物理特性の評価”と、ROC解析といった視覚評価による“診断の正確さの評価”をそれぞれ異なったレベルで考える、というもので、より複雑化していく医療という行為の評価基準を明確にしたものでした。この考え方は、後のROC解析に関するICRUレポート⁴⁵⁾の冒頭でも引用さ

れています。

実際にROC解析を行う場合に、ぜひ一度は読んでいただきたい文献は、Metzが1986年と1989年に報告した二つの論文です^{46, 47)}。ROC解析の方法論と、実際に実験を行う場合の問題点について解説したこれらの論文は、世界中のROC解析を用いた研究において、非常に多くの研究者に参考文献として引用されています。

1991年の国際会議で初めて報告されたMetzらの新しい評定実験法によるROC解析⁴⁸⁾は、日本放射線技術学会の検討グループによって、日本では“連続確信度法ROC解析”と名づけられました。この新しい評定実験法は、従来の5段階評価法に比べて観察者間の変動が少なく、実験も容易であることが報告⁴⁹⁾されており、最近では、本学会で発表される論文のROC実験でも、多用されるようになってきました。前述の文献⁴⁶⁾⁴⁷⁾のROC解析の理論および実験時の問題点に関する部分、および連続確信度法に関する解説は、本学会が発行している叢書⁵⁰⁾に日本語で詳細に書かれています。ちなみに、ROC解析についてのみ書かれた成書は国内外を含めてこの1冊だけだと思われます(筆者注[2004.6]:残念ながら、この叢書はこの原稿を執筆する時点で、在庫が少なくなり、内容の変更も新しい理論にあわせて必要となるため、廃刊が決まっています)。

これまでに紹介してきたROC解析関連の文献に書かれた内容の重要なところだけを抜粋して、さらに、連続確信度法ROC解析の実験を行う場合の方法や問題点を解説したのが文献⁵¹⁾です。とりあえずはこの論文を理解することでROC解析の実験を行うことができると思われます。その他、ROC解析における観察者-観察資料間の統計解析法であるJackknife法について述べたDolfmannらの論文⁵²⁾とその和文の解説文献⁵³⁾も、欧米の学会雑誌に論文を投稿される場合には役に立つでしょう。また、ROC曲線間の差の比較によく用いられるROC曲線下の面積 A_z の概念は、文献⁵⁴⁾で提唱されました。しかしながら、なぜ、その面積を A_z と呼ぶようになったのか、という点が不明で、Dr.Hanleyに会う機会があれば、ぜひ、聞いてみたいと思っています(Metz教授に聞いてみたら彼も知らなかった!)

ROC解析とは違うのですが、ROC解析の仲間にもLROC解析とFROC解析があります。LROC解析は考え方がROC解析と同じで、ただ、信号の検出に場所の指定も伴うという点が違っています。私の知っている限り、LROC解析の方法について述べた論文は1編だけ⁵⁵⁾で、その割には多くの論文にLROC解析が用いられているな、という印象です。FROC解析はROC解析と理論も実験方法も違いますので、もしやってみよう

と思われる方は、Chakrabortyらの文献⁵⁶⁾を参考にしてください。

ROC解析以外の視覚評価法では、一対比較法や、CDダイヤフラム法(バーガーズファントム法)、ハウレットチャート法、ランドルト環法などが研究発表や論文で用いられています。文献⁵⁷⁾は技術学会の企画で画像評価関連の誌上講座を行った際の、視覚評価に関するものですが、ハウレットチャート法、ランドルト環法、官能検査法(一対比較法)等が簡潔にまとめてあって、分かりやすいと思います。余談ですが、当時、技局に入りたての新人の教育のために、この誌上講座すべてをコピーして配布したのを覚えています。また、ハウレットチャート法については文献⁵⁸⁾が原著のようなので、そちらを参照されるのもよいと思います。一対比較法に関しては、奈良医大のグループが精力的に研究活動を行い、実験方法や解析時の問題点についての報告^{59, 60)}を数多く行っていますので、それらを参考にすればよいと思います。CDダイヤフラム法は、使用するファントムの名称でバーガーズファントム法とも呼ばれています。最初に誰が開発したのかは勉強不足で不明ですが、シカゴ大学からの報告に記述されている実験方法⁶¹⁾を、標準と考えてよいと思います。このほか、川崎医療短期大学の山下先生らが中心となって開発されたファジィ測度法による視覚評価⁶²⁾が、最近是用いられるようになってきました。

以上、簡単ですが視覚評価に関する文献をまとめてみました。視覚評価だけに私の主観がだいぶ入っているかもしれませんが、ご意見がございましたら、私宛にメールでご意見をいただければ幸いです(junji@uchicago.edu)。

[参考文献]

- 40) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB: Radiographic applications of receiver operating characteristics (ROC) curves. *Radiology*, 110, 89-95, (1974).
- 41) Swets JA, Pickett RM: Evaluation of diagnostic systems: methods from signal detection theory. New York: Academic Press, (1982).
- 42) Chesters MS: Human visual perception and ROC methodology in medical imaging. *Phys. Med. Biol.*, 37(7), 1433-1476, (1992).
- 43) 土井邦雄: X線画像の信号検出と視覚特性の重要性. *日放技学誌*, 43(6), 694-729, (1987).
- 44) Fryback DG, Thornbury JR: The efficacy of diagnostic imaging. *Med. Decis. Making*, 11, 88-94, (1991).
- 45) Metz CE: Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis in Medical Imaging. *ICRU News*, 6, 7-16, (1997).

- 46) Metz CE: ROC methodology in radiologic imaging. Invest Radiol, 21, 720-733, (1986).
- 47) Metz CE: Some practical issues of experimental design and data analysis in radiological ROC studies. Invest Radiol, 24, 234-245, (1989).
- 48) Metz CE, Herman BA, Shen J-H: Maximum-likelihood estimation of receiver operating characteristic (ROC) curves from continuously-distributed data. Stat in Med, 17, 1033-1053, (1998).
- 49) Rockette HE, Gur D, Metz CE: The use of continuous and discrete confidence judgments in receiver operating characteristic studies of diagnostic imaging techniques. Invest Radiol, 27, 169-172, (1992).
- 50) デジタル画像のROC解析検討班編(藤田広志編著): ROC解析の基礎と応用. 日放技学叢書(8), (1994).
- 51) 白石順二: 診断能の評価—ROC解析の実験方法—. 日放技学誌, 55(4), 362-368, 1999.
- 52) Dolfman DD, Berbaum KS, Metz CE: Receiver Operating Characteristic rating analysis: generalization to the population of readers and patients with the jackknife method. Invest Radiol, 27, 723-731, (1992).
- 53) 白石順二, 宇都宮あかね: ROC解析における画像システム間の統計的有意差の検定方法—Jackknife法とその適用—. 日放技学誌, 53(6), 691-698, (1997).
- 54) Hanley JA, McNeil BJ: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology, 143, 29-36, (1982).
- 55) Starr SJ, Metz CE, Lusted LB, Goodenough DJ: Visual detection and localization of radiographic images. Radiology, 116(3), 533-538, (1975).
- 56) Chakraborty DP: Maximum likelihood analysis of free-response receiver operating characteristic (FROC) data. Med. Phys., 16(4), 561-568, (1989).
- 57) 松浦博文, 川村義彦, 久米祐司, 他: 画像評価法 7. 画像の主観的評価法. 日放技学誌, 49(4), 619-623, (1993).
- 58) Howlett LE: Photographic resolving power. Can. J. research, 24, 15-50, (1946).
- 59) 大賀泰文, 辻本武士, 田畑洋二, 他: X線写真の主観的評価法—Thurstoneの一对比較法による尺度化の試み. 日放技学誌, 45(7), 831-839, (1989).
- 60) 中前光弘: Scheffeの一对比較法による主観的評価法. 日放技学誌, 52(11), 1561-1565, (1996).
- 61) Ohara K, Chan HP, Doi K, et al.: Investigation of

basic imaging properties in digital radiography. 8. Detection of simulated low contrast objects in digital subtraction angiographic images. Med. Phys., 13, 304-31, (1986).

- 62) 山下一也, 滝川 厚, 石田隆行, 中西利久: ファジィ測度論による胸部画像の総合評価. 日放技学誌, 48(4), 616-624, (1992).

5. C言語プログラミング, 画像処理の基礎に関する参考文献

広島国際大学 診療放射線学科 石田隆行

このコーナーでは, これまで, 画質評価に関する文献が紹介されてきましたが, 今回は, C言語プログラミングと画像処理に関する文献を紹介することになりました. そこで, 私の経験で, C言語プログラミングや画像処理の基礎を勉強するのに役立つ参考書を挙げてみようと思います.

まず, C言語プログラミングの参考書についてです. 読者の皆さんも経験があると思いますが, 書店に行くと, どれを買ったらよいのか分からないほど多くの本があります. C言語が, 多くの人に学ばれ, 使われている言語である証だと思います. ここで, 画像通信の読者の多くは, 画像処理を行うプログラムを作成するための基礎を学ぶことに興味があると思われるので, 以下のような変数や関数について, 分かりやすく記述してある参考書がよいと思います.

- A) 変数宣言, 変数型, 配列, ポインター変数など
 B) main関数の引数: argc, argv []
 C) main関数からの引数読み込み: strcpy, atoi など
 D) 変数の表示: printf
 E) 画像のメモリ確保: malloc
 F) 画像ファイルを開く: fopen
 G) 画像の読み込み, 書き出し: fread, fwrite
 H) 画像ファイルを閉じる: fclose
 I) 使用後画像メモリの解放: free
 J) 繰り返し: for
 K) 条件分岐: if, else if, else
 L) 関係演算子: <, >, <=, >=, ==, !=
 M) ビット演算子: &, |, ^, ~, <<, >>
 N) 論理演算子: ||, &&, !

したがって, これらの関数が理解しやすく説明されており, 適切で分かりやすい例題が含まれている参考書がよいと考えられます. 以下に, これらが分かりやすく記述してあり, 現在CADの研究を行っていて, その開発言語にC言語を用いている経験者の方々からも評判がよかった参考書を列記します([]内に2004.6現在の税込価格を示しています).

- 63) 椋田 寛 著: はじめてのC. 技術評論社,

- (2001). [¥2,079]
 →画像のプログラムに必要な命令の説明が分かりやすく説明してあります。例題も多く、役に立ちます。
- 64) 倉骨 彰, 三浦明美/共訳: C言語入門, ASCII出版局, (1996). [¥3,262]
 →アメリカでのベストセラーである, The C Primer Third Edition: Les Hancock, Morris Krieger, Saba Zamir, McGraw-Hill Inc.の日本語訳本です。比較的高度な内容も説明されていますが, 初学者でも十分理解できると思います。
- 65) 三田典玄 著: アスキー・ラーニングシステム「入門 C言語」. アスキー出版局, (1997). [¥1,680]
- 66) 三田典玄 著: アスキー・ラーニングシステム「実習 C言語」. アスキー出版局, (1998). [¥1,995]
- 67) 三田典玄 著: アスキー・ラーニングシステム「応用 C言語」改訂新版. アスキー出版局, (1990). [¥2,345]
 →古くからある参考書ですが, 例題の解説が丁寧で分かりやすいことで定評があります。最近, 全面的に内容が改訂されましたが, 相変わらず分かりやすく優れていると思います。これを使って勉強した人は多いと思われます(*注: このアスキー・ラーニングシステムは1999年より著者が田口景介氏に変更されていて, 三田典玄氏の同じタイトルの3書は, オーム社より, スマート・スタディ・シリーズとして発行されています)。
- 68) 結城 浩 著: C言語プログラミングレッスン[入門編]. ソフトバンク社, (1998). [¥2,100]
 →C言語の基礎的なことがクイズ形式で段階的に説明されていて, 学習を進めていくのが楽しい本。例題も豊富で, それを応用して使うこともできます。
- 69) 大角盛広 著: C言語入門, 西東社, (1995). [¥3,645]
 →画像データの理解に不可欠な, mallocやビット演算子の説明が分かりやすい本です。その他の基礎的なことの説明も十分に役に立ちました。
- 70) 知久明義, 茜 照夫, 佐々木整 著: プログラム言語翻訳ハンドブック, 秀和システムトレーディング, (1990). [¥2,548]
 →過去に, C言語以外のプログラム言語(FORTRAN, PASCAL, BASIC)を用いてプログラミングを行った経験のある人には便利な参考書だと思います。
 次に, 画像処理の基礎を学ぶための参考書については, 以下の書籍が役に立ちました。
- 71) 岡部哲夫, 瓜谷富三 編著: 医用放射線科学講座14 医用画像工学, 医歯薬出版株式会社, (1997). [¥5,040]
 →画像処理の基礎, コンピュータ支援診断(CAD)技術

などが分かりやすく説明されており, 教科書向きの本だと思います。

- 72) 内田 勝 監修: デジタル放射線画像, オーム社, (1998). [¥3,990]
 →画像処理の基礎, デジタル画像の評価, CAD技術などがすっきりとまとめられており, 教科書として使うのに適していると思います。
- 73) Castleman KR: Digital Image Processing. Prentice-Hall Inc., (1996).
 →この本は洋書ですが, 画像処理の基礎がとても分かりやすく記述されています。
- 74) Rosenfeld A, Kak AC: Digital Picture Processing. Academic Press Inc., (1976).
- 75) 長尾 真 監訳: デジタル画像処理. 近代科学社, (1978). [¥6,195]
 →文献75)は74)を日本語訳した本ですが, 画像処理について広範囲にわたり比較的深い記述がなされており, 参考になります。
- 76) 酒井幸市 著: デジタル画像処理入門. コロナ社, (1997). [¥2,310]
 →画像処理の基礎が, 全般に分かりやすく説明されています。薄い本ですが, C言語とBASICによるアルゴリズムも掲載されていますので, 処理法のアルゴリズムを知るのに役に立ちます。
- 77) 谷尻豊寿 著: パソコンによる<最新>画像処理入門 CとVisual Basicによるイメージ・プロセッシング. 技術評論社, (1996). [¥2,854]
 →画像処理の基本的な手法について, C言語とVisual BASICによるプログラム(ソースコード)が掲載されています。説明に図が多く用いてあり, 分かりやすいと思います。
- 78) 田村秀行 著: コンピュータ画像処理入門. 総研出版, (1994). [¥4,095]
 →画像処理の基礎が簡潔にまとめられており, その応用例として医用画像システムや工業用画像処理システムが説明されています。
 以上, 読者の皆さんがC言語プログラミングや画像処理の基礎を学ぼうと思ったとき, この参考書リストが少しでも役に立てばうれしく思います。

6. DQEに関する参考文献

コニカミノルタエムジー(株)開発センター
 加野亜紀子

A) はじめに

DQE(detective quantum efficiency, 検出量子効率)は放射線画像の画質評価において古くから利用されてきた物理評価尺度ですが, ここ数年, 新規なデジタル画像装置が次々と市場に現れたのと期を同じくし

て、話題に上る機会が急に多くなりました。今回の文献紹介コーナーでは、このDQEに関連する文献をとりあげます。

B) DQEの理論

- 79) Dainty JC, and Shaw R: Image science. Academic Press, London, (1974).
- 80) Shaw R: Evaluating the efficiency of imaging processes. Rep Prog Phys, 41, 1103-1155, (1978).
- 81) 藤田広志 編著: 放射線医療技術学叢書(7) デジタルラジオグラフィの画像評価. (社)日本放射線技術学会, 京都, (1994).
- 82) 岡部哲夫, 瓜谷富三 編集: 医用放射線科学講座 第14巻 医用画像工学. 医歯薬出版(株), 東京, (1997).
- 83) Van Metter RL, Beutel J, Kundel HL: Handbook of medical imaging, Volume 1. Physics and psychophysics. SPIE Press, Washington, (2000).
- 84) Tapiovaara MJ, and Wagner RF: SNR and DQE analysis of broad spectrum x-ray imaging. Phys Med Biol, 30(6), 519-529, (1985).
- 85) Swank RK: Absorption and noise in x-ray phosphors. J Appl Phys, 44(9), 4199-4203, (1973).
- 86) Metz CE, Wagner RF, Doi K, et al.: Toward consensus on quantitative assessment of medical imaging systems. Med Phys, 22(7), 1057-1061, (1995).
- 87) 土井邦雄: デジタルX線画像系の感度と被曝線量に関する考察. 日放技学誌, 52(11), 1573-1577, (1996).

文献79)は、「3. ウィナースペクトルに関する参考文献」において吉田彰先生がすでに紹介なさった文献で、一般写真系におけるDQEおよびNEQ (noise equivalent quanta, 雑音等価量子数)に関する解説書です。文献79)の共著者Shawによる文献80)では、DQEの基本概念を説明すると同時に、DQEの草分けともいえるRose, Jones, Fellgettおよび著者自身らの1950年代から1970年代にかけての主要な文献をレビューしていますので、ご興味がおありの方はさらにそれらを参照されてもよいでしょう。

和文の教科書では文献81), 82)などが、アナログ系とデジタル系両方のDQEを分かりやすくとりあげています。文献83)はデジタル系に話題を絞って、NEQとDQEの理論および実用的な評価方法のヒントを示しています。

ところで、ほとんどのX線画像検出器は“photon counting”方式ではなく“energy integrating”方式の検出に基づいています。また、一般の診断用X線装置から発生するのは単色線ではなく連続X線です。したがってDQEの理論を現実的な画像系に適用するためには、

連続X線の系におけるSN比の挙動を正しく理解することが大切です。文献84)および85)はそのために役立つ文献です。

放射線画像の総合的画像品質とDQE(またはNEQ)の関係を考察するうえで、文献86)は極めて貴重な示唆を与えてくれます。文献87)はDQEについて直接述べたものではありませんが、文献86)のエッセンスを初学者にも理解しやすく解説した講演録です。

C) 種々の画像系のDQE

- 88) Bunch PC, Huff KE, and Van Metter R: Analysis of the detective quantum efficiency of a radiographic screen-film combination. J Opt Soc Am A, 4(5), 902-909, (1987).
- 89) Nishikawa RM, and Yaffe MJ: Signal-to-noise properties of mammographic film-screen systems. Med Phys, 12(1), 32-39, (1985).
- 90) Fujita H, Ueda K, Morishita J, et al.: Basic imaging properties of a computed radiographic system with photostimulable phosphors. Med Phys, 16(1), 52-59, (1989).
- 91) Dobbins JT 3rd, Ergun DL, Rutz L, et al.: DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. Med Phys, 22(10), 1581-1593, (1995).
- 92) Hillen W, Eckenbach W, Quadflieg P, et al.: Signal-to-noise performance in cesium iodide x-ray fluorescent screens, Proc SPIE, 1443, 120-131, (1991).
- 93) Gagne RM, West CN, Wagner RF, et al.: Laboratory measurements of sensitometry, MTF, veiling glare, Wiener spectrum and DQE for image intensifier tubes. Proc SPIE, 1896, 248-258, (1993).
- 94) Zhao W, and Rowlands JA: Digital radiology using active matrix readout of amorphous selenium: Theoretical analysis of detective quantum efficiency. Med Phys, 24(12), 1819-1833, (1997).
- 95) Siewerdsen JH, Antonuk LE, El-Mohri Y, et al.: Empirical and theoretical investigation of the noise performance of indirect detection, active matrix flat-panel imagers (AMFPIs) for diagnostic radiology. Med Phys, 24(1), 71-89, (1997).
- S/F系(増感紙/フィルム系)のDQE評価に関する文献の代表として88), 89)を挙げましたが、もちろん他にも多くの有用な文献があるでしょう。文献90)は初期のCR(輝尽性蛍光体システム)についてMTF, ウィナースペクトル等の評価結果とともにDQEを示しています。また、文献91)は4種類の輝尽性蛍光体プレートと3種類のCR読取装置を用いてDQEを評価しています。文献92), 93)はI.I.管(イメージインテンシファイア)のDQEに関する論文です。

実用化が急速に進んでいるFPD(フラットパネルディテクタ)のDQEに関しては、主に1990年代後半から多数の報告が出されていますが、測定の結果を示すというよりは、むしろ理論的な導出に重きをおいた論文が多いようです。そのなかで、文献94)は α -Seを用いた直接変換型FPD、95)はCsI蛍光体を利用した間接変換型FPDを取り扱っています。

D)DQEに関する標準化の動き

96)西木雅行：デジタル時代の医用画像情報技術セミナー III イメージング編 I. フラットパネルイメージング. INNERVISION, 16(8), 73-78, (2001).

97)Hoeschen D: DQE of digital x-ray imaging systems: A challenge for standardization. Proc SPIE, 4320, 280-286, (2001).

現在、IEC(International Electrotechnical Commission)内のワーキンググループにおいて、デジタルX線画像入力系のDQE測定方法に関する国際規格の原案作成が進行中です。IEC規格はメーカーが自社製品の評価に使用する標準的な方法であって、研究者が用いる測定方法を規定するものではありませんが、参考にはなるでしょう。文献96)はIECが採用したDQEの定義を平易に説明しています。文献97)はIECで検討中のDQE測定手法の詳細に関する報告ですが、あいにく文献97)が投稿された直後のIEC会議において、標準化案はこの文献に示された測定手法とはかなり異なるものになってしまいました。近々、アップデートされた内容の報告が出るのではないかと思います(筆者注[2004.6]:この標準化案は、その後2年以上の審議を重ねた末に、2003年10月にIEC 62220-1 Ed. 1.0として発行されました。IECの公式ウェブサイト<http://www.iec.ch/>から有償で入手することができます)。

E)おわりに

アナログ系およびデジタル系のDQEに関する文献のごく一部をご紹介しました。ここに挙げた以外にも多くの優れた文献や有用な文献が存在します。筆者の勉強不足により、重要度の高い文献を見落としてしまっているかもしれませんが、ご容赦ください。

最後に、デジタル画像系(特にFPD)のDQEに関しては多数の研究グループから続々と論文が出ていますので、常に新しい情報に注目していくべきだと思います。

7. CT画像の再構成や評価法に関する参考文献

名古屋市立大学病院中央放射線部 市川勝弘

CTにおける参考文献は、1970年代初頭のHansfieldによるCTの開発前から数々の論文が存在し、また、論文に限らずさまざまな著書があります。それらの多

くは、現在となつては一般的となったCTの再構成技術(スパイラル、ヘリカルCT以前のもの)について記されており、その情報を効率よく得るためには、それらを分かりやすく、そして研究の基礎にするために十分なレベルとしてまとめ上げた著書を参考にするのがよいと思います。私が紹介する著書は、以下の二つです。

98)斎藤恒雄：画像処理アルゴリズム. 103-122, 近代科学社, (1993).

99)河田 聡, 南 茂夫：科学計測のための画像処理. 221-236, CQ出版, (1994).

文献98)は、画像処理全般についての著書ですが、CTの再構成の基礎や応用が詳しく、そして分かりやすく順序だてて解説されています。文献99)は、CTの再構成をパソコンで実現するための方法を得ることができ、簡単なBASICプログラムを用いて解説しています。98), 99)ともに、CTの初学者のみならず、応用研究にも非常に役に立ちます。特に文献98)は、ファンビーム再構成についても詳しく書かれていますので、CTの再構成について一通り勉強したい場合にも有用です。

CTの基礎的な技術に関する情報は、前述のように著書によって一通り得ることができます。しかし、1980年代後期から1990年代初期にかけて開発されたヘリカルCT(スパイラルCT)に関しては、そういった都合のよいものはなく、単なる紹介ではなくある程度詳細な情報を得るには放射線技術に関する雑誌の論文を参考にする必要があります。これらの論文のなかでは、ヘリカルCTの基礎的な再構成理論から応用、そして画質評価法について紹介されています。以下にその一部を紹介します。

100)Crawford CR, and King KF: Computed tomography scanning with simultaneous patient translation. Med. Phys., 17(6), 967-982, (1990).

101)Kalender WA, Seissler W, Klotz E, et al.: Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. Radiology 176, 181-183, (1990).

ヘリカルCTに関する初期の論文です。シミュレーションと実際により評価されており、基礎の理解に適しています。初期であるため、再構成法は360度補間法についてのみですが、評価法にSSP(section sensitivity profile)が用いられ、日本でもそれに準じた評価法が多用されました。

102)Kalender WA, Polacin A, Suss C: A comparison of conventional and spiral CT: An experimental study on the detection of spherical lesions. Journal of Computer Assisted Tomography, 18(2), 167-176, (1994).

partial volume effectの観点から、球体ファントムを用いてヘリカルCTを評価した論文です。臨床使用に対応した評価法の参考になります。

103) Polacin A, Kalender WA, Brink J, et al.: Measurement of slice sensitivity profiles in spiral CT. *Med Phys.*, 21(1), 133-140, (1994).

ヘリカルCTのSSPの測定法について詳細に報告しています。これにより、いわゆるデルタ法(コイン法とも呼ばれる)が主流となりました。

104) Polacin A, Kalender WA, Marchal G: Evaluation of section sensitivity profiles and image noise in spiral CT. *Radiology*, 185, 29-35, (1992).

現在の再構成の主流となっている180度補間再構成法が紹介されています。

105) Wang G, Vannier MW: Longitudinal resolution in volumetric x-ray computerized tomography - Analytical comparison between conventional and helical computerized tomography. *Med. Phys.*, 21(3), 429-433, (1994).

ヘリカルCTのZ方向の解像度をSSPのフーリエ変換と、それから求めたband-widthにより解析的に評価しています。ヘリカルCTのZ方向の解像度についての再構成間隔も考慮した理解に非常に役に立つ論文です。この論文の考え方はマルチスライスCTにも対応し、臨床的にもパラメータ決定において有効です。

最近のCT業界の話題は、マルチスライスCTに集中しています。ここ数年主流であった4列収集のマルチスライスCTの再構成法は、各社相違があるようですが、基本的な理論はほぼ同じといわれています。次の論文は、その基本となる再構成法に関する報告です。分かりやすい図と記述で、マルチスライスCTの理解に有効です。

106) Taguchi K, Aradate H: Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. *Med. Phys.*, 25, 4, 550-561, (1998).

2002年から徐々に市場に登場した16列収集のマルチスライスCTは、さらに新しい再構成技術が搭載されているといわれ、4列の再構成技術の理解だけでは不十分であるといえます。しかし、今回紹介した論文により一通りの理解を得ることができれば、今後紹介される新しい技術に対しての理解に十分に役立つと思います。

8. ニューラルネットワークに関する参考文献

シカゴ大学放射線科カートロスマン放射線像研究所

鈴木賢治

ニューラルネット(NN)とは、生物の神経回路網を模擬し、脳の情報処理を人工的に実現しようとするも

のです。ここでは、NNの歴史を簡単に振り返りながら、重要と思われる文献を紹介します。

1958年に心理学者のRosenblattは、パーセプトロンと呼ばれるパターン認識のための学習機械のモデルを提案しました¹⁰⁷⁾。パーセプトロンは、脳の情報処理を実現するものと期待され、NNの研究の第一次ブームを引き起こしました。しかし、1969年にMinskyらがパーセプトロンの限界(線形分離可能な問題しか解けない)を示した¹⁰⁸⁾ため、このブームは一旦去ります。その後、1985年にHopfieldらがホップフィールドネットワークを提案し、これにより巡回セールスマン問題(セールスマンが各都市を1回ずつ訪問するときの最短経路を求める問題)を解けることを示しました¹⁰⁹⁾。1986年にRumelhartらが多層パーセプトロン(パーセプトロンを多層構造にしたもの)とバックプロパゲーション学習法を提案し、パーセプトロンの限界を解決できることを示しました¹¹⁰⁾。これにより、NNの研究の第二次ブームが起き、活発な研究が行われました。Funahashiは、多層パーセプトロンが任意の連続関数を近似可能なモデルであることを理論的に示しています¹¹¹⁾。高い汎化性能(未学習のパターンに対する性能)を得るために、NNの構造を適切に設計する必要があることが指摘され、Pruning(枝刈り; 不要なネットワークを除去する方法)と呼ばれる手法が数多く提案されました¹¹²⁾。LeCunらの提案したOBD¹¹³⁾が有効な手法の一つとされています。

多層パーセプトロンは、さまざまな分野(例えば、音声処理¹¹⁴⁾、パターン認識¹¹⁵⁾、運動制御¹¹⁶⁾など)に応用されています。医療分野では、例えば、コンピュータ支援診断^{117)~121)}、長時間心電図の情報圧縮¹²²⁾、放射線画像の画質改善^{123, 124)}などへの応用があります。これまでにさまざまなNNモデルが提案されており、パターン認識において有用なモデルとして、RBF(Radial Basis Function; 動径基底関数)ネットワーク¹²⁵⁾やサポートベクターマシン¹²⁶⁾があります。最近では、コンピュータの処理能力の飛躍的な向上を背景に、画像の画素を直接扱うNNも提案されています。例えば、Fukushimaらの提案したNeocongnitron¹²⁷⁾を簡略化したShift-invariant NN¹²⁸⁾やConvolution NN¹²⁹⁾、Suzukiらの提案したMassive Training Artificial Neural Network (MTANN)¹³⁰⁾があり、病巣の検出^{130, 131)}に応用されています。

107) Rosenblatt F: The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65, 386-408, (1958).

108) Minsky M, and Papert S: *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. MIT Press, MA, (1969).

- 109) Hopfield JJ, and Tank DW: "Neural" computation of decisions in optimization problems. *Biological Cybernetics*, 52, 141-152, (1985).
- 110) Rumelhart DE, Hinton GE, and Williams RJ: Learning internal representations by error propagation. *Parallel Distributed Processing*, 1, MIT Press, MA, 318-362, (1986).
- 111) Funahashi K: On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural Networks*, 2, 183-192 (1989).
- 112) Reed R: Pruning algorithms - A survey. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 4(5), 740-747, (1993).
- 113) LeCun Y, Denker JS, and Solla SA: Optimal brain damage. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2, 598-605, (1990).
- 114) Sejnowski TJ, and Rosenberg CR: Parallel networks that learn to pronounce English text. *Complex Systems*, 1, 145-168, (1987).
- 115) LeCun Y, Boser B, Denker JS, et al.: Handwritten digit recognition with a back-propagation network. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2, 396-404, MIT Press, MA, (1990).
- 116) Kawato M, Uno Y, Isobe M, and Suzuki R: A hierarchical neural network model for voluntary movement with application to robotics. *IEEE Control Systems Magazine*, 8, 8-16, (1988).
- 117) Asada N, Doi K, MacMahon H, Montner S, Giger ML, Abe C, and Wu Y: Potential usefulness of artificial neural network for differential diagnosis of interstitial lung diseases: pilot study. *Radiology*, 177, 857-860, (1990).
- 118) Fujita H, Katafuchi T, Uehara T, and Nishimura T: Application of artificial neural network to computer-aided diagnosis of coronary artery disease in myocardial SPECT bull's eye images. *Journal of Nuclear Medicine*, 33(2), 272-276, (1992).
- 119) Suzuki K, Horiba I, Ikegaya K, and Nanki M: Recognition of coronary arterial stenosis using neural network on DSA system. *Systems and Computers in Japan*, 26, 66-74, (1995).
- 120) Katsuragawa S, Doi K, MacMahon H, Monnier-Cholley L, Ishida T, and Kobayashi T: Classification of normal and abnormal lungs with interstitial diseases by rule-based method and artificial neural networks. *Journal of Digital Imaging*, 19, 108-114, (1997).
- 121) Ishida T, Katsuragawa S, Ashizawa K, MacMahon H, and Doi K: Application of artificial neural networks for quantitative analysis of image data in chest radiographs for detection of interstitial lung disease. *Journal of Digital Imaging*, 11, 182-192, (1998).
- 122) Nagasaka Y, and Iwata A: Data compression of long time ECG recording using BP and PCA neural networks. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E76-D, 12, 1434-1442, (1993).
- 123) Suzuki K, Horiba I, Sugie N, and Nanki M: Neural filter with selection of input features and its application to image quality improvement of medical image sequences. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E85-D, 1710-1718, (2002).
- 124) Suzuki K, Horiba I, and Sugie N: Efficient approximation of a neural filter for quantum noise removal in X-ray images. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 50, 1787-1799, (2002).
- 125) Renals S: Radial basis function network for speech pattern classification. *Electronics Letters*, 25, 437-439, (1989).
- 126) Vapnik VN: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Verlag, New York, (1995).
- 127) Fukushima K, and Miyake S: Neocognitron: A new algorithm for pattern recognition tolerant of deformations and shifts in position. *Pattern Recognition*, 15, 455-469, (1982).
- 128) Zhang W, Itoh K, Tanida J, and Ichioka Y: Parallel distributed processing model with local space-invariant interconnections and its optical architecture. *Applied Optics*, 29, 4790-4797, (1990).
- 129) Lo SB, Chan HP, Lin JS, Li H, Freedman MT, and Mun SK: Artificial convolution neural network for medical image pattern recognition. *Neural Networks*, 8, 1201-1214, (1995).
- 130) Suzuki K, Armato SG III, Li F, Sone S, and Doi K: Massive training artificial neural network (MTANN) for reduction of false positives in computerized detection of lung nodules in low-dose CT. *Medical Physics*, 30, 1602-1617, (2003).
- 131) Zhang W, Doi K, Giger ML, Wu Y, Nishikawa RM, and Schmidt RA: Computerized detection of clustered microcalcifications in digital mammograms using a shift-invariant artificial neural network. *Medical Physics*, 21, 517-524, (1994).
- 次に、ニューラルネットの教科書を列挙し、それぞれについて内容を簡単に紹介します。
- 132) Haykin S: *Neural Networks a comprehensive foundation 2nd Edition*. Prentice Hall, NJ, (1998).
- ニューラルネットの基礎を広くカバーしたバイブル

(聖書)的教科書です。

133) Bishop CM: Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press, Oxford, (1995).

ニューラルネットによるパターン認識の教科書で、バイブル的な存在です。

134) 甘利俊一: 神経回路網の数理. 産業図書, 東京, (1978).

理化学研究所(元東京大学)の甘利先生の教科書です。生物学上のニューラルネットから人工ニューラルネットまでを数理的に体系立ててまとめています。

135) 石井健一郎, 上田修功, 前田英作, 村瀬 洋: わかりやすいパターン認識. オーム社, 東京, (1998).

ニューラルネットによるパターン認識を理解するために役に立つ教科書です。パターン認識理論の基礎を中心に、ニューラルネットとの関連を分かりやすく述べています。著者は、NTTのCS基礎研の研究者です。難しいことを(本質を崩すことなく)分かりやすく説明しています。

136) 上坂吉則: ニューロコンピューティングの数学的基礎. 近代科学社, 東京, (1993).

ニューラルネットの基礎を定式化して丁寧に解説しています。数学的側面からの入門書といえます。

137) Kermanshahi B: ニューラルネットワークの設計と応用. 昭晃堂, 東京, (1999).

ニューラルネットを設計する際の方法を説明し、応用例を紹介しています。

138) 国際電気通信基礎技術研究所 編: ニューラルネットワーク応用. オーム社, 東京, (1995).

ニューラルネットの基礎とともに、画像、音声、運動、通信などへの応用について解説しています。

139) 谷萩隆嗣 編: ニューラルネットワークとファジィ信号処理. コロナ社, 東京, (1998).

ニューラルネットを利用した信号処理について解説した教科書です。

140) 小杉幸夫: 神経回路システムー基礎と応用. コロナ社, 東京, (1995).

ニューラルネットの基礎とともに、医療応用を含む広い分野への応用例を紹介しています。

141) 計測自動制御学会 編: ニューロ・ファジィ・AIハンドブック. オーム社, 東京, (1994).

ニューラルネット関係のハンドブックです。知識・知能情報処理を体系立てて理解したいときや、ある技術を大雑把に知りたいときなどに役立つと思います。

142) 平野広美: Cでつくるニューラルネットワーク. パーソナルメディア, 東京, (1991).

ニューラルネットの入門書です。プログラムのソースリストが付いていますので、ニューラルネットを試

しに試してみるのによいと思います。出版社からのディスクサービスもあります。

ニューラルネットに関する論文と教科書を紹介しました。筆者の勉強不足により、重要な文献を見落とししている可能性があります。ご容赦ください。紹介しました文献がご自身の研究に少しでもお役に立てば幸いです。

9. 胸部コンピュータ支援診断(CAD)に関する参考文献

広島国際大学診療放射線学科 石田隆行

今回の文献紹介コーナーでは、胸部コンピュータ支援診断(CAD)に関する文献を紹介したいと思います。CADの開発には、一般に、検出や分析の対象となる病変によって異なる手法が用いられる傾向がありますので、胸部CADの文献は、病変ごとに紹介した方がよいと思います。そこで、今回は、FDA(米国食品医薬品局)で認可され商品化された結節状陰影の検出に関して論じられている文献、日本で商品化された経時的差分像技術に関する論文、そして、完成度の高い間質性肺疾患の検出および分類に関する文献に分けて、紹介してみたいと思います。CTに関しては、世界中の多くの研究者が精力的に研究を行っている最中ですので、またの機会に紹介したいと思います。

論文紹介に入る前に、CADの研究を始める前に、ぜひ読んでいただきたい解説論文がありますので、紹介します。

143) 土井邦雄: コンピュータ支援診断(CAD): 基礎概念, 現状, および将来の可能性. 日獨医報, 48(1), 8-20, (2003).

144) 土井邦雄: コンピュータ支援診断の研究開発についての問題点. 医用画像情報学会誌, 18(2), 66-69, (2001).

145) 土井邦雄: CADの現状と今後の進展. 日放技学誌, 56(3), 318-320, (2000).

文献143)は、CADの基礎概念や、研究の現状・将来の可能性について非常によくまとめられた論文で、自動診断とCADとの違いや、実際に診断にどの程度どのように役に立つのかを定量的に評価することの重要性について、説得力のある分かりやすい文章で書かれています。さらに、病変の検出と鑑別診断についてのCADの手法と結果がともうまくまとめられており、現在までにどのような研究がなされているのか、そして、今後どのような研究を行うべきなのか、などの多くの点で参考になります。文献144)は、CADの研究開発についての問題点が述べられています。ここで述べられている内容は、研究を行ううえで大変参考になりますので、ぜひ読んで欲しいと思います。文献

145)は、放射線技術学会雑誌のCAD技術論文特集号に特別寄稿された論文ですが、実用化の状況や診療放射線技師とCAD研究とのかかわりの必要性について述べられています。

さて、ここからは、(1)結節状陰影の検出、(2)経時的差分像技術、(3)間質性肺疾患の検出と分類に関する、重要な論文を紹介したいと思います。

(1) 結節状陰影の検出

146) Xu XW, Doi K, Kobayashi T, MacMahon H, Giger ML: Development of an improved CAD scheme for automated detection of lung nodules in digital chest images. *Med Phys*, 24(9), 1395-1403, (1997).

147) Kobayashi T, Xu XW, MacMahon H, Metz CE, Doi K: Effect of a computer-aided diagnosis scheme on radiologists' performance in detection of lung nodules on radiographs. *Radiology*, 199, 843-848, (1996).

(2) 経時的差分像技術

148) Kano A, Doi K, MacMahon H, Hassell DD, Giger ML: Digital image subtraction of temporally sequential chest images for detection of interval change. *Med Phys*, 21(3), 453-461, (1994).

149) Ishida T, Ashizawa K, Engelmann RM, Katsuragawa S, MacMahon H, Doi K: Application of temporal subtraction for detection of interval changes in chest Radiographs: Improvement of subtraction image using automated initial image matching. *Journal of Dig. Imag.*, 12(2), 77-86, (1999).

150) Ishida T, Katsuragawa S, Nakamura K, MacMahon H, Doi K: Iterative image warping technique for temporal subtraction of sequential chest radiographs to detect interval change. *Med Phys*, 26(7), 1320-1329, (1999).

151) Difazio MC, MacMahon H, Xu XW, Tsai P, Shiraishi J, Armato SG 3rd, Doi K: Digital chest radiography. Effect of time interval difference images on detection accuracy in digital chest radiography. *Radiology*, 202, 447-452, (1997).

(3) 間質性肺疾患の検出と分類

152) Katsuragawa S, Doi K, MacMahon H: Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. Detection and characterization of interstitial lung disease in digital chest radiographs. *Med Phys*, 15, 311-319, (1988).

153) Morishita J, Doi K, Katsuragawa S, Monnier-Cholley L, MacMahon H: Computer-aided diagnosis for interstitial infiltrates in chest radiographs: Optical-density dependence of texture measures. *Med*

Phys 22, 1515-1522, (1995).

154) Katsuragawa S, Doi K, MacMahon H: Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography: Classification of normal and abnormal lungs with interstitial disease in chest images. *Med Phys*, 16, 38-44, (1989).

155) Katsuragawa S, Doi K, MacMahon H, Monnier-Cholley L, Ishida T, Kobayashi T: Classification of normal and abnormal lungs with interstitial diseases by rule-based method and artificial neural networks. *Journal of Dig. Imag.*, 10, 108-114, (1997).

156) Monnier-Cholley L, MacMahon H, Katsuragawa S, Morishita J, Ishida T, Doi K: Computer aided diagnosis for detection of interstitial opacities on chest radiographs. *AJR*, 171, 1651-1656, (1998).

上記の番号146)~156)の論文のうち、番号147), 151), 156)の文献は、CADを用いた場合と用いない場合のROC解析を、多くの医師に行ってもらい、実際にCADを用いて診断した方が用いずに医師だけで診断した場合よりも、病変の検出能が統計的に有意に上がることを述べられたものです。CADの手法開発には、実際に診断を支援し役に立つことを証明する研究が必要であることが本当によく分かります。その他は、技術的な手法が述べられております。これらの論文を読むと、研究の進め方や、データの読み方、新しいアイデアなど、多くのことを勉強することができます。これから、CADの研究を行いたいと考えている方は、頑張ってくださいと思います。必ず参考になると思います。

ここで紹介した技術的な論文は、すべて海外のジャーナルのものになってしまいましたが、とりあえず、全体像が知りたいと思う方は、日本語で書かれた解説論文がありますので、それを読むことを薦めます。これらの論文は、胸部CADに関する手法の大切な結果が簡潔で分かりやすくまとめられています。

157) 土井邦雄：放射線医学における画像技術—新しい世紀への期待—。日本医学放射線学会誌, 55(13), S475-S486, (1995)。

158) 土井邦雄：放射線画像の研究における最近の話題。TMIT 総合医用画像技術研究会, 5(2), 1-23, (1993)。

159) 桂川茂彦, 土井邦雄, MacMahon H., 佐々木康夫, 柳澤 融：間質性肺疾患のコンピュータ支援診断の可能性。日本医学放射線学会誌, 50(7), 753-766, (1990)。

10. 乳房X線写真のためのコンピュータ支援診断(CAD)に関する参考文献

岐阜大学大学院医学研究科再生医科学専攻
原 武史

前回の胸部コンピュータ支援診断に関する文献紹介に引き続き、今回は、乳房X線写真におけるコンピュータ支援診断(CAD)に関する文献を紹介します。乳房X線写真に関するCADシステムは、すでに商用機がいくつも販売されている段階であり、日本国内においても、数社から発売されることが決まっています。しかしながら、多くの研究者が地道に取り組んでいる課題もあり、文献検索においても非常に多くの論文が「mammogram, computer-aided diagnosis, computer-aided detection」をキーワードに挙げています。

最初にコンピュータを用いて病変部を自動的に検出しようと試みた論文は、乳房X線写真を題材として取り扱っています。1960年代にCADという概念はなかったと考えますが、恐らく、最初のCADに関する論文でしょう。

160) Winsberg F, Elkin M, Marecy J, et al.: Detection of radiographic abnormalities in mammograms by means of optical scanning and computer analysis. *Radiology*, 89, 211-215, (1967).

1980年代に入ってから、多くの論文が発表されるようになってきています。それらには、微小石灰化の検出、腫瘍陰影の検出、というCADの根幹の技術に関する論文から、乳腺の濃度評価に関する手法、乳頭の検出、左右比較のための位置合わせ、といったCADの周辺技術(これが実用化にはかなり重要な役割を果たします)、また、腫瘍陰影や微小石灰化像の良悪性鑑別手法といった次世代のCADに関する論文、類似画像の検索に関する論文、さらには、最近悪性を疑う陰影として認知され始めている「構築の乱れ: architectural distortion」の検出に関する発表もあります。さらには、技術的な内容からは離れ、臨床現場での評価を行った論文も発表されつつあります。

このように、非常に多岐にわたり論文が発表されているため、ここでは、

- (1) 腫瘍陰影の検出に関する論文
- (2) 微小石灰化の検出に関する論文
- (3) 構築の乱れの検出に関する論文
- (4) CADシステムの性能評価に関する論文

の4分野に分けて、一つずつ重要な論文を示します。さらに詳細を知りたい場合には、示した論文の文献を調べることをお勧めします。

なお、本来は、コンピュータを用いた医師の診断をコンピュータ支援診断(computer-aided diagnosis)と定義されていました。しかし、多くの論文では、コンピ

ュータの自動検出システムをCADと表現する場合があります。また、なかには、正しく医師とコンピュータが協調して読影した結果をCADと表現したものもあります。ここでは、コンピュータの出力は、あくまで「コンピュータの出力」や、単に「システム」などと表現することとします。CADの定義には、「コンピュータの意見を参考にした医師の診断」とされていましたが、長年の間にさまざまに解釈されてきています。特に、computer-aided diagnosis, computer-aided detection, など、さまざまな表現がされています。その遷移についても調査されると興味深いと思います。

(1) 腫瘍陰影の検出

腫瘍陰影の検出は困難であり、現在も盛んに研究が進められています。特に、腫瘍陰影の境界が不明瞭な場合には、その検出が困難となるため、さまざまな領域分割の技術が応用されている場合があります。

161) Kobatake H, Murakami M, Takeo H, et al.: Computerized detection of malignant tumors on digital mammograms, *IEEE Trans Med Imaging*, 18(5), 369-378, (1999).

この論文では、Kobatakeらが開発した「アイリスフィルタ」の高度化を発表しています。アイリスフィルタは、ベクトルの中心方向への集中性をうまく数値化することによって、類円形の形状を持つ腫瘍陰影の中心に高い値を出力します。そして、その出力画像をしきい値処理することによって、腫瘍陰影の検出を行います。著者は東京農工大学、富士写真フイルム、国立がんセンターの研究者で構成されています。およそ1000枚以上の画像を使って性能評価を行っており、手法の有効性を示しています。

(2) 微小石灰化の検出に関する論文

微小石灰化の検出は、通常、ある範囲内に一定個数以上の微小石灰化があるという「微小石灰化クラスタ」を検出することでシステムに実装されています。微小石灰化は非常に細かい陰影であるため、検出は困難であるとも考えられていましたが、非常に高コントラストに描出されるため、ある一定の精度で検出されるようになりました。しかし、初期の石灰化は低コントラストに表れるため、90%以上の高い精度(検出率)を得るために、たくさんの方法が試みられました。

162) Yoshida H, Doi K, Nishikawa RM, et al.: An improved computer-assisted diagnostic scheme using wavelet transform for detecting clustered microcalcifications in digital mammograms, *Acad. Radiol.* 3(8), 621-627, (1996).

この論文では、これまで開発してきたシステムでは検出できない微小石灰化クラスタを検出するために、ウェーブレット変換を利用した画像強調処理を行う手

法をまとめています。著者はシカゴ大学Kurt Rossmann Laboratoriesの研究者です。

(3)構築の乱れの検出に関する論文構築の乱れに関する論文は、実はまだありません。その代わりに、現在販売されているシステムでは、どのくらい「検出できないか」という論文が発表されています。

163) Baker JA, Rosen EL, Lo JY, et al.: Computer-aided detection (CAD) in screening mammography: sensitivity of commercial CAD systems for detecting architectural distortion, *AJR Am J Roentgenol*, 181 (4), 1083-1088, (2003).

この論文では、米国で入手できる二つの商用機を用いて構築の乱れを含む45症例(80枚に存在)を用いて実験を行っています。画像ごとの検出率はどちらも40%未満であり、それら検出方法の改良を実装が必要である、と結論づけています。著者はDuke大学メディカルセンター・放射線科(米国)の研究者です。なお、まだ論文ははされていませんが、2004年2月にサンディエゴで開催されたSPIE・Medical Imaging 2004において、構築の乱れの自動検出について、口述発表2件(Duke大学, Calgary大学), ポスター発表1件(岐阜大学)がありました。

(4)CADシステムの性能評価に関する論文

乳房X線写真のシステムは1998年に発売が始まりましたが、大規模な性能評価はあまり報告されてきませんでした。特に、コンピュータの検出性能だけではなく、最終的な診断結果にどれだけ寄与できるかを示す論文は、ほとんどありませんでした。

164) Freer TW, and Ulissey MJ: Screening mammography with computer-aided detection: prospective study of 12,860 patients in a community breast center, *Radiology*, 220(3), 781-786, (2001).

この論文は、恐らく最初に「プロスペクティブ」にCADの性能評価の研究を報告したものです。1年以上の間に撮影された1万2千例以上の検診画像を用いて実験を行っています。コンピュータなしの読影を行ったあと、コンピュータの検出結果を参考にした読影をもう一度行い、要精検率、陽性予見率(positive predictive value)、癌の検出率について、システムの有効性を検討しています。ここでは、コンピュータシステ

ムを用いることによって、要精検率が6.5%から7.7%に上昇するものの陽性予見率は38%と変化がなく、その結果、19.5%癌の検出数が向上したと結論づけています。さらには、初期の癌の検出については、73%から78%に向上したと結論づけています。

以上の論文は、乳房X線写真についてのCAD関連の論文のなかでは、本当に一部の内容になります。

乳房X線写真のCADシステムは現在実用段階です。そのようななかでも基礎技術に関する報告、新たな技術開発の報告、そして、それらシステムの性能評価に関する報告、と、いくつか研究に分類されています。乳房X線画像についてのCADシステムの研究は現在成熟期にあるといえますが、まだ、ここには挙げる事ができなかった多くの分野が存在しますので、皆さまで奮って研究分野を開拓していただければと思います。

おわりに

今回の報告のなかで紹介した文献の多くは、スタンダードと呼ばれているもので、これらの論文はこれから先、何年かが経過しても同様に参考文献として重要な意味を持つと思われます。しかし、その一方では、近年の放射線技術の急激な進歩に合わせるように、数多くの新しい研究報告が日々発表されており、それらのなかにも、今後、スタンダードとなる可能性のある論文が必ずあると思われます。今回の文献紹介は古いものは5年前に書かれたものですので、現時点では、もっと重要な新しい文献が存在する可能性があることをご了解ください。なお、新しい文献の検索は、インターネット検索の「PubMed」(<http://www.healthypair.com/>)から、NCBIが提供する「MEDLINE」や「Pre-MEDLINE」など医学的文献データベースへアクセスできますので、定期的にこのサービスを利用して世の中の新しい流れを知る努力をすることをお勧めします。

いずれにしても、できるだけ多くの参考文献に目を通し、これまでに培われてきた先人達の努力を理解したうえで、自らの創意工夫を生かすことにより、皆さんの手で放射線画像研究に新たな発展がもたらされると期待します。そういった意味で、今回の委員会報告が学会員の皆さんの刺激になれば幸いです。