

文献紹介

視覚評価に関する文献

大阪市立大学医学部附属病院 中央放射線部 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、ウイナースペクトル、と回を重ねて、今回は視覚評価に関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、視覚評価の中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¹⁾が最初でした。ビーズ玉を信号に、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時に、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もっていた Lusted 教授の指導を受け、この論文を仕上げました。この時、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（当時は助教授）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。中でも、Swets と Pickett が発行した書籍²⁾と Chesters による論文³⁾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、ウイ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上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⁴⁾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 6 つの効果レベルの考え方は⁵⁾、“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⁶⁾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 2 つの論文です^{7,8)}。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 らの新しい評価実験法による ROC 解析⁹⁾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。この新しい評価実験法は、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¹⁰⁾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 7) 8) 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¹¹⁾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。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 1 2) 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¹³⁾とその和文の解説文献¹⁴⁾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_2 の概念は、文献 15) で提唱されました。しかしながら、なぜ、その面積を A_2 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 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¹⁶⁾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¹⁷⁾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 ダイアフラム法（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 18) 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、わ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 19) が原著のようですので、そちらを参照されるのも良いと思います。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^{20,21)}を数多く行っていますので、それらを参考にすれば良いと思います。CD ダイアフラム法は、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²²⁾を、標準と考えて良いと思います。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イ測度法による視覚評価²³⁾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。ご意見がございましたら、裏表紙に記載の mail アドレスまでお寄せください。

[参考文献]

- 1) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB : Radiographic applications of receiver operating characteristics (ROC) curves. *Radiology*, 110, 89-95, 1974.
- 2) Swets JA, Pickett RM : Evaluation of diagnostic systems: methods from signal detection theory. New York: Academic Press, 1982.
- 3) Chesters MS : Human visual perception and ROC methodology in medical imaging. *Phys. Med. Biol.*, 37(7), 1433-1476, 1992.
- 4) 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.
- 5) Fryback DG, Thornbury JR : The efficacy of diagnostic imaging. *MedDecis Making*, 11, 95-101, 1991.
- 6) Metz CE : Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis in Medical Imaging. *ICRU News*, 6, 7-16, 1997.
- 7) Metz CE : ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol*, 21, 720-733,

- 1986.
- 8) Metz CE : Some practical issues of experimental design and dataanalysis in radiological ROC studies. Invest Radiol, 24, 234-245, 1989.
 - 9) Metz CE, Herman BA, Shen J-H : Maximum-likelihood estimation of receiver operating characteristic (ROC) curves from continuously-distributed data. Statistics in Medicine, 17, 1033-1053, 1998.
 - 10) 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.
 - 11) 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.
 - 12) 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.
 - 13) Dolfman DD, Berbaum KS, Metz CE : ROC rating analysis: generalization to the population of readers and cases with the jackknife method. Invest Radiol, 27, 723-731, 1992.
 - 14) 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.
 - 15) Hanley JA, McNeil BJ : The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology, 143, 29-36, 1982.
 - 16) Starr SJ, Metz CE, Lusted LB, Goodebough DJ: Visual detection and localization of radiographic images. Radiology, 116(9), 533-538, 1975.
 - 17) Chakraborty DP: Maximum likelihood analysis of free-response receiver operating characteristic (FROC) data. Med. Phys., 16(4), 561-568, 1989.
 - 18) 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), 607-623, 1993.
 - 19) Howlett LE: Photographic resolving power. Can. J. research, 24, 15-50, 1946.
 - 20) 大賀泰文, 田畑洋二, 辻本武士, 他 : X線写真の主観的評価法－Thurstoneの対比較法による尺度化の試み. 日放技学誌, 45(7), 831-839, 1989.
 - 21) 中前光弘, Scheffeの対比較法による主観的評価法. 日放技学誌, 52(11), 1561-1565, 1996.
 - 22) 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.

- 23) 山下一也, 滝川 厚, 石田隆行, 中西利久: ファジイ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.