

画像病変における色識別と認識能の調査

生登会寺元記念病院 松本 圭司
 国立病院機構東埼玉病院 永井 優一
 昭和大学病院 橘高 大介
 国立がん研究センター東病院 太田 博之
 昭和大学藤が丘病院 諸井 里香
 武蔵野赤十字病院 藤田 寛之
 埼玉県済生会栗橋病院 阿久津美紀
 東京慈恵会医科大学附属病院 末永 良太
 (元) 国際医療福祉大学放射線学科 斎藤 裕久

【要旨】

放射線検査部門における画像はデジタル化され、続々と新しい診断支援ツールが開発されている。PET-CT、MRI などの Fusion 画像、超音波ドップラー画像については、現在カラー化されている。しかし、一般胸部画像や消化管画像、血管造影画像、CT 画像、MMG は白黒画像である。これは、高精細、高画質であるがゆえに病変認識が行われ、画像診断へとつながっている。また、高精細白黒画像の良さは、当然空間分解能、濃度分解能ともに現状のカラー画像の性能を上回っていることは間違いない。そこで我々は、各モダリティで撮影された画像をカラー化し、病変に対する識別能を調査することとした。それは、電子カルテ上での閲覧など、医療画像を安価な表示媒体やカラー液晶ディスプレイ表示する場合、読影への影響について把握する必要があるからである。また本研究は、3期終了を考えている。

- ・ 1 期(2013年度)目的：白黒 X 線画像をカラー化する処理方法を検討し評価用画像を作成する。対象画像として病変をともなう一般胸部、CT、MMG、頭部血管造影検査画像を用いた。

研究結果と考察：Image J (フリーソフト) と Microsoft Excel を用いて、白黒 (オリジナル) 画像をカラー化する処理方法を検討した。また、FROC 観察実験と JAFROC 解析にて、統計処理についても学習、検討した。今回はカラー化する手法が画素値の切り分け (一通り) でしたので、正常部と病変部の切り分け精度が悪く視覚評価に有意差がなかったと考える。しかし CT (頭部梗塞部分の認識) ではカラー化する事で有意差を認めたが、観察症例数、カラー化画像の“質”など改良する点も見つかかり、更なる研究へと発展する期待が示唆された。

- ・ 2 期(2014年度)目的：病変の認識し易い色について調査する。下記に今回の方法・結果・考察について述べる。
- ・ 3 期(2015年度)目的：精度良く正常組織と病変を切り分ける手法を検討し、1 期研究で使用した臨床画像にて、評価を行う。その時に使用する色 (正常組織と病変) については、2 期研究で得た結果を使用する。

【目的】

病変の認識し易い色について調べる。

【使用機器】

- ・ X 線 TV 装置 HITACHI 社製 ・ アクリル球 ・ アクリル20cm ・ Image J (フリーソフト)
- ・ CT 値 - 800 の素材
- ・ CT 値 - 630 の素材
- ・ CT 値 + 100 の素材

【観察試料作成方法】

1. CT 値の異なる物質を X 線撮影し、模擬病変 (信号) の選定を行った。
2. 撮影環境は、アクリル20cmの上に模擬病変を配置し撮影した。
撮影条件は、69kV、320mA、100msec、SID150cmで行った。観察資料の作成法を以下に示す。

撮影した元画像 (Fig. 1) を Image J に取り込む (16bit)。元画像をテキストイメージで保存する。Excel で取り込み数値の切り分けを行う。切り分けたもの (0 か範囲内の画素値のもの) をテキストイメージに保存する。切り分け後のテキストイメージを File→Import→Text Image で取り込む。背景は黒く、信号と切り分けたものは白い画像となる (Fig. 2)。

Image Calculation を行い、元画像も切り分けカラー化画像ともに Image→Type で RGB Color に変換する。その後、Image Calculator で二つの画像を選び、「AND」として合成させる (Fig. 3)。

使用した色は、白、黒、R、G、B の5色を用いて行った。観察する色の組み合わせは、背景および信号をそれぞれの組み合わせで20通りとし、それぞれ5画像を作成した。信号ありと信号なしを作成し、200画像と原画像40枚、合計240画像を7名で観察した。

※原画像とはカラー化処理していない RAW 画像である。

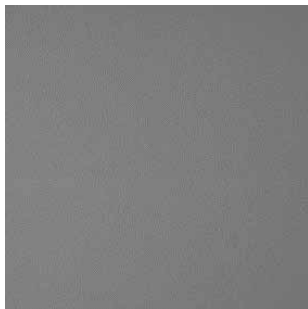


Fig. 1 原画像

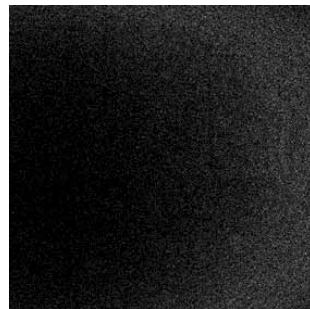


Fig. 2 信号切り分け後の画像



Fig. 3 背景と信号の合成画像

【試料観察環境】

観察環境は、照明の照度は22Lx、観察モニタはカラー、最高輝度は、252cd/m²、観察時間は、1画像8秒とした。

【結果】

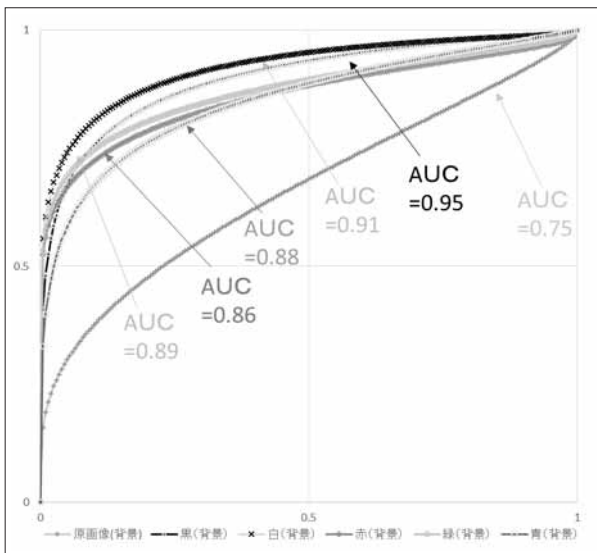


Fig. 3 背景色の違いによる ROC 解析結果

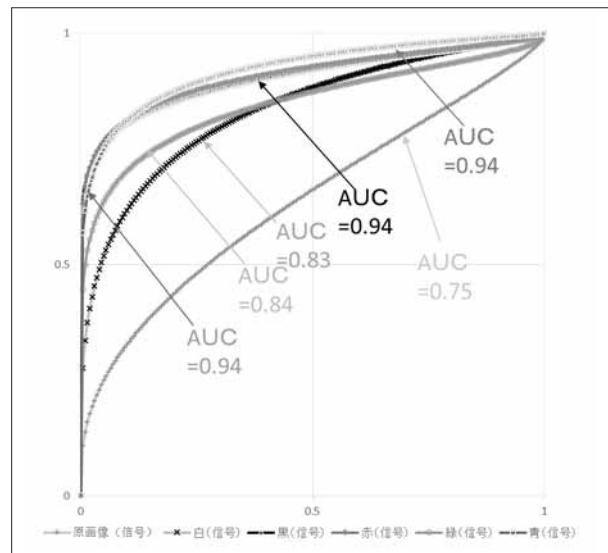


Fig. 4 模擬病変の色の違いによる ROC 解析結果

《有意差検定：観察者の分散》

観察者間の ROC 解析結果 (AUC 値) にばらつきがあるかどうかを調査するために、すべての組み合わせ (背景色と信号色) について分散 (F 検定) を行った。下記 (Table 1) は、赤背景における信号の色の組み合わせによる F 検定結果を示す。観察された分散比が F 境界値より小さい値の場合は帰無仮説を棄却できず、大きい値の場合は帰無仮説を棄却できる。従って、赤背景における信号の色が白緑および黒青の組み合わせは、等分散であった。

《有意差検定：ROC 解析結果の t 検定》

上記と同様に赤背景について、信号色の違いによる ROC 解析結果 (TPF 値) を用いて t 検定を行った。信号色の組み合わせが白緑および黒青の組み合わせは、等分散を仮定した 2 標本による t 検定である。その他の信号色の組み合わせは、

分散が等しくないと仮定した2標本によるt検定である。赤背景における各信号色の違いによる認識能には有意差があった。

Table 1 赤背景における信号色の組み合わせによる分散

F検定 $\alpha=0.05$ F分布表より1.2626					
白黒		白緑		白青	
観測された分散比	6.07949	観測された分散比	1.009274	観測された分散比	5.17126335
P(F<=f) 片側	1.53E-33	P(F<=f) 片側	0.47401	P(F<=f) 片側	1.28318E-28
F 境界値 片側	1.262598	F 境界値 片側	1.262598	F 境界値 片側	1.262597817
分散	不等分散	分散	等分散	分散	不等分散
黒緑		黒青		緑青	
観測された分散比	6.023626	観測された分散比	1.17563	観測された分散比	5.123745272
P(F<=f) 片側	2.97E-33	P(F<=f) 片側	0.126712	P(F<=f) 片側	2.40078E-28
F 境界値 片側	1.262598	F 境界値 片側	1.262598	F 境界値 片側	1.262597817
分散	不等分散	分散	等分散	分散	不等分散

$\alpha = 0.05$

Table 2 赤背景における信号色の組み合わせによる認識能

白黒		白緑		白青	
t-検定: 分散が等しくないと仮定した2標本による検定		t-検定: 分散が等しいと仮定した2標本による検定		t-検定: 分散が等しくないと仮定した2標本による検定	
t	13.54332021	t	6.948005591	t	11.08399441
観察数	200	観察数	200	観察数	200
P(T<=t) 両側	4.35645E-32	P(T<=t) 両側	1.51062E-11	P(T<=t) 両側	7.58047E-24
t 境界値 両側	1.968990497	t 境界値 両側	1.965912343	t 境界値 両側	1.968627871
有意差	あり	有意差	あり	有意差	あり
黒緑		黒青		緑青	
t-検定: 分散が等しくないと仮定した2標本による検定		t-検定: 分散が等しいと仮定した2標本による検定		t-検定: 分散が等しくないと仮定した2標本による検定	
t	22.71777087	t	4.189846212	t	20.135674
観察数	200	観察数	200	観察数	200
P(T<=t) 両側	3.76465E-64	P(T<=t) 両側	3.43754E-05	P(T<=t) 両側	4.9252E-56
t 境界値 両側	1.968956281	t 境界値 両側	1.965912343	t 境界値 両側	1.968627871
有意差	あり	有意差	あり	有意差	あり

【考察】

原画像とカラー画像の AUC 比較では原画像は AUC (0.75) が低く、(Fig. 3, Fig. 4) また、観察者間で比較すると原画像の AUC は約 2 倍の差があった。一方、カラー化した画像において、観察者間での識別能に有意差は見られなかった。このことよりカラー化することで観察者の経験や能力に関係なく安定して信号を認識できると考えられる。今回は、画像の合成によりカラー化を行ったため、原画像：切り分けカラー化画像の比率は 1：1 となっている。つまり、白は原画像を透過処理した状態であり、背景色（白）は信号をより強調させた状態となるため認識能が高くなったと考える。信号なしの結果は、信号ありの結果に比べて悪かった。これは、信号と背景色の色の組み合わせに差が生じたと考えられる。

20通りの背景色と信号色の組み合わせの中で最も認識の良かった組み合わせを解析したが、カラー画像に関してはどの組み合わせの色も有意差なし検定であったが、あえて今回は AUC 順位での結果を示す (Table 3)。緑は黄緑に近く、青背景に対して補色（反対色）に近い色味だったため信号が識別しやすかったと考えられる。また、背景と信号以外に信号色の量子ノイズが多く含まれていた。特に白や緑の模擬病変と同色のノイズの中に信号がある場合、識別しにくく、模擬病変は黒や青の濃い色のほうが識別能は良かった。正誤だけで見ると 2～4 位の中では 4 位の白-青の組み合わせが、正答率が高かった。

観察実験では 1 画像を 8 秒間観察したが、画面が切り替わっても残像が残り、これが結果に影響した可能性がある。これは、ブランク画像を 1 枚追加することで解消されると考えられる。臨床画像に応用することを考えると、低コントラスト部では（緑-青）や（白-緑）の色の組み合わせ、高コントラスト部を表現したい場合（白-黒）、（白-青）でより目立たせることができると考えられる。1 位の組み合わせで高コントラストも表現できるため、緑-青の組み合わせが最も認識能が高かったのは妥当であると考えられる。

Table 3 AUC 順における識別能の良い色の組み合わせ

順位	背景色	信号色	AUC
1位	緑	青	1.0000
2位	白	緑	0.9807
3位	白	黒	0.9802
4位	白	青	0.9746

【結語】

原画像より色を付けた方が認識能は向上する。今回検討した20パターンの中では背景色緑、信号色は青が最も識別能が高い組み合わせであることが示唆された。

【総論】

2期研究では、最適なカラーの組み合わせ（背景と信号）を検討し、3期の研究では、カラー化を作成する画像について病変のみ抽出できるように判別処理を付加して観察画像を作成したいと考える。使用する病変認識の難易度については、1期研究で使用した画像と同一に行う予定である。最終目標は自動的に病変を検出し、カラー表示することであるが、まずは手動で高精度に病変部を切り分け、カラー表示する事を行いたいと考えている。

【謝辞】

この研究は平成26年度日本放射線技術学会東京部会助成金にて研究を行いました。ご尽力いただきました東京部会江島部会長、根岸研究委員長、小澤理事、画像観察実験装置と施設を提供していただきました国立がん研究センター中央病院麻生診療放射線技師長、FROC/JAFROC 解析に関するソフトやご指導いただいた画像分科会（白石先生、原先生、福岡先生、田中先生）に深く感謝致します。