



Title	胸部単純X線写真のパソコン用CRT画像における結節影検出能の評価-とくにJPEG圧縮画像とWavelet圧縮画像の比較-
Author(s)	木原, 好則
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2001, 61(5), p. 231-237
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20260">https://hdl.handle.net/11094/20260</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 胸部単純X線写真のパーソナルコンピュータ用CRT画像における 結節影検出能の評価 - とくにJPEG圧縮画像とWavelet圧縮画像の比較 -

木原 好則

新潟大学医学部放射線医学教室

## Evaluation of Diagnostic Accuracy of CRT Monitor Display for Personal Computer in the Detection of Small Lung Nodules: with particular emphasis on comparison between JPEG and wavelet compression

Yoshinori Kihara

**Purpose:** To compare observer performance on cathode-ray-tube (CRT) monitors for personal computers with that on conventional radiographs in the detection of small lung nodules.

**Materials and methods:** Fifty-eight normal chest radiographs and 58 chest radiographs with a small lung nodule were selected. Ten radiologists examined the original conventional films on a viewbox and digitized (8 bit) uncompressed and compressed images of the same patient on a color CRT monitor with a matrix of 1,600 × 1,200, and rated the presence of lung nodules with a five-level scale of confidence. The methods of compression used in this study were the JPEG and wavelet methods, with compression ratios of 6: 1 and 15: 1. Results were analyzed by receiver operating characteristic methods.

**Results:** There was no significant difference between film and digitized uncompressed and compressed images obtained by the JPEG and wavelet methods with a compression ratio of 6: 1. No statistically significant difference was detected between film and digitized image with wavelet compression at 15: 1. However, detection was less accurate on digitized images with JPEG compression at 15: 1.

**Conclusion:** Digitized (8 bit) uncompressed and compressed images with a compression ratio of 6: 1 are acceptable for the detection of small lung nodules. Digitized compressed images at a compression ratio of 15: 1 are also acceptable when the wavelet method is used.

Research Cord No.: 506.9

**Key words:** CRT diagnosis, Lung nodule, ROC, JPEG, Wavelet compression,

Received Jan. 10, 2001; revision accepted Feb. 22, 2001

Department of Radiology, Niigata University Faculty of Medicine

別刷請求先

〒951-8510 新潟市旭町通一番町757番地

新潟大学医学部放射線科

木原 好則

## はじめに

医用画像のデジタル化、フィルムレス化が進み、胸部単純X線写真でもCathode-ray-tube(CRT)モニタ画像の画質と診断能に関する検討が多数報告されている。その多くは専用の高精細モニタとFuji computed radiography(FCR)などのデジタル画像<sup>1)-4)</sup>、または高精細モニタとフィルムデジタルイザーでデジタル化された画像<sup>5)-8)</sup>とを組み合わせた検討である。一方、病院情報システムや遠隔医療の現場で用いられる端末はパーソナルコンピュータ(personal computer: PC)用のカラーモニタであるが、カラーモニタでの胸部単純X線写真の画質評価実験は少ない。フィルムデジタルイザーとカラーモニタを組み合わせた実験でも、ファントムや模擬結節<sup>9),10)</sup>が用いられており、臨床画像をそのまま用いた実験<sup>11)</sup>は少ない。

また、胸部単純X線写真のデジタルデータは膨大であり、保存、転送には圧縮が必要と考えられている。現在、放射線科領域の圧縮は、joint photographic experts group (JPEG)圧縮に代表されるdiscrete cosine transform (DCT)圧縮が事実上標準であるが、近年実用化され、今後JPEG圧縮に代わり普及していく可能性がある圧縮法にWavelet圧縮がある。胸部単純X線写真を用いたWavelet圧縮画像の評価実験<sup>12)-14)</sup>は少なく、また、カラーモニタ上で同一の胸部単純X線写真を用いてJPEG圧縮画像とWavelet圧縮画像を直接receiver operating characteristics (ROC)解析で比較した報告はない。

以上のことを踏まえ、胸部単純X線写真の読影に際し、PC用CRT診断がどの程度フィルム診断に代わり得るものなのか、胸部単純X線写真の圧縮法でもWavelet圧縮がJPEG圧縮に代わり得る方法なのか、また、どの程度までの圧縮が可能なのか、を検討することが本研究の目的である。そのために、本研究ではスクリーンフィルム系で撮像された胸部単純X線写真の臨床画像を原画像として、これをフィルムデジタルイザーでデジタル化し、PC用カラーモニタで表示した8ビットの非圧縮のCRT画像との間で、3cm以下の結節影の検出能に差があるか否か、ROC解析<sup>15),16)</sup>を用いて検討した。また、JPEG圧縮とWavelet圧縮の二つの異なる圧

縮方法を用い、非可逆圧縮である6:1圧縮、15:1圧縮の各々において、CRT画像でも検出能が保てるか否かについて、併せて検討した。さらに、フィルム画像とCRT画像の読影時間に差があるか否かについても検討したので、これらの結果を報告する。

### 対象と方法

読影実験に使用した胸部単純X線写真は、新潟大学医学部附属病院で撮像されたクリーンフィルム系の臨床写真である。このうち、胸部CTが同日に撮像され、CT上30mm以下の単結節を認めた58例と、CT上正常と判断した58例、合計116例116枚を対象とした。単結節例には、胸部単純X線写真上、低いコントラストの結節が存在し、他部位には異常影の認められない症例を選択した。男女比は、正常例、単結節例ともに19:39で、平均年齢は正常例62歳(35~81歳)、単結節例62歳(32~82歳)と両群で有意差はない。結節の大きさはCT上4~30mm、平均17mmである。結節の性状は、肺内の結節が57例、肋骨内の7mm大の骨島が1例である。結節の濃度に注目した内訳では、CT上スリガラス濃度のみで構成されている結節が9例、スリガラス濃度が主体で高濃度部分を伴う結節が10例、高濃度が主体でスリガラス濃度部分を伴う結節が14例、高濃度のみで構成される結節が24例である。高濃度のみの結節の大きさは、10mm以下が11例、11~15mmが8例、16~30mmが5例と、比較的小さな結節が多い。

デジタル画像は、上記116例の胸部単純X線写真をフィルムデジタイザー(Vider社製Film Digitizer VXR-12)を用い、256階調、サンプリングピッチ $170\mu\text{m}$ の条件で作成した。これをTIFF形式で保存したものを、非圧縮画像とした。また、この非圧縮画像を基に、JPEG圧縮とWavelet圧縮という異なる2種類の圧縮方法で、各々6:1圧縮、15:1圧縮を行い、合わせて4種類の圧縮画像を作成した。JPEG圧縮画像は、Adobe社製Macintosh用Photoshop 4.0Jを用い、圧縮率がおよそ6:1と15:1となるように、11段階中2番目と4番目の低圧縮条件を選択し、作成した。圧縮率は1例ごとに異なり、6:1圧縮画像の圧縮率は5.26:1から6.48:1、平均5.76:1で、15:1圧縮画像の圧縮率は13.56:1から17.28:1、平均14.78:1である。Wavelet圧縮画像は、1例ごとにJPEG圧縮と全く同じ圧縮率で作成し、TIFF形式で保存した。Wavelet圧縮パラメーターは、アルゴリズムにはembedded zerotree wavelet(EZW)の改良型であるflexible zerotree wavelet(FZW)<sup>17)</sup>、フィルタにはDaubechies 9/7<sup>18)</sup>を用い、変換階層は6とした。デジタル画像の表示には、SONY社製21型カラー モニタTrinitron multiscan 21PSを用い、画素数1600×1200で表示した。パソコン用コンピュータはApple社製Power Macintosh 9600/300(HD:4GB, RAM:192MB)、画像表示ソフトはAdobe社製Macintosh用Photoshop 4.0Jを使用した。

読影は胸部単純X線写真の読影経験が豊富な経験年数7年

以上の放射線科医10名で行った。全員が、フィルム画像、非圧縮CRT画像、JPEG15:1圧縮画像、Wavelet15:1圧縮画像、JPEG 6:1圧縮画像、Wavelet 6:1圧縮画像の順に読影した。各読影実験は、4週間以上の間隔をおき、画像の読影順序は乱数表に従い変化させた。フィルム画像の読影は、シャウカステンでの通常の読影環境下で行い、読影フィルム以外の部分のシャウカステンは黒いフィルムで覆った。CRT画像読影は暗室で行い、モニタの輝度は一定とし、window条件の変更や拡大表示は自由とした。症例ごとに、結節影の存在についての確信度を5段階で判定し、これらの判定値をもとに、ROC解析<sup>15),16)</sup>を行った。ROC曲線下面積(Az値)の解析には、シカゴ大学Metzらが作製したROCKITを用いた。統計学的検定は、観察者間の変動や試料間の変動の影響を排除したうえで有意差検定ができるJackknife法<sup>19),20)</sup>で行い、p < 0.05を統計的に有意差ありとした。Jackknife法の検定にはシカゴ大学Metzらが作製したLABMRMCを用いた。

また、フィルム画像、CRT画像のいずれの読影においても、読影時間に制限は設けないで読影時間の測定を行った。フィルム画像の読影では、フィルムを袋に入れず、読影者の脇に山積みにした状態で1枚ずつ張り替えて読影したため、張り替え時間は非常に短く、これは読影時間に含めた。CRT画像の読影では、モニタ上で次の画像を探す時間は読影時間に含めなかった。フィルム画像読影時間と各CRT画像読影時間との間に差があるか否かについて、Wilcoxonの符号付き順位検定を行い、p < 0.05を統計的に有意差ありとした。さらに、CRT読影に対する慣れが読影時間に影響するか否かを検討するため、各CRT読影時間とフィルム読影時間との差に基づく一元配置の分散分析による検定を行い、p < 0.05を統計的に有意差ありとした。

### 結果

10名の読影結果のAz値をTable 1に示す。Az値は、大きい順にフィルム画像(0.8068 ± 0.0356)、JPEG 6:1圧縮CRT画像(0.7921 ± 0.0434)、非圧縮CRT画像(0.7851 ± 0.0451)、Wavelet 6:1圧縮CRT画像(0.7771 ± 0.0316)、JPEG15:1圧縮CRT画像(0.7645 ± 0.0523)、Wavelet15:1圧縮CRT画像(0.7570 ± 0.0290)となり、検出率はフィルム画像が最も高かった。統計学的検定(Table 2)では、フィルム画像とJPEG15:1圧縮画像の間でのみ有意差を認めた。フィルム画像と非圧縮CRT画像の間、フィルム画像と各6:1圧縮CRT画像の間、フィルム画像とWavelet15:1圧縮CRT画像の間、同圧縮率のJPEG圧縮画像とWavelet圧縮画像の間では、有意差は認めなかった。

1画像あたりの平均読影時間と、フィルム画像と各CRT画像との間の読影時間の有意差検定結果をTable 3に示す。1画像あたりの平均読影時間は、読影順にフィルム画像で41秒、非圧縮CRT画像で55秒、JPEG15:1圧縮画像で49秒、Wavelet15:1圧縮画像で45秒、JPEG 6:1圧縮画像で

Table 1 Areas under ROC curves for each observer

Observer	Conventional film	CRT display				
		Uncompressed	JPEG 6:1	Wavelet 6:1	JPEG 15:1	Wavelet 15:1
A	0.8584	0.8006	0.8043	0.7990	0.7337	0.7601
B	0.8494	0.7765	0.8208	0.8240	0.7656	0.7916
C	0.8422	0.8548	0.8155	0.7532	0.7701	0.7501
D	0.8197	0.7872	0.8283	0.7763	0.7800	0.7592
E	0.8180	0.8257	0.7804	0.8273	0.8163	0.7860
F	0.7873	0.7003	0.7598	0.7371	0.7754	0.7663
G	0.7810	0.8144	0.8590	0.7550	0.7881	0.7191
H	0.7798	0.7281	0.7679	0.7871	0.8352	0.7791
I	0.7769	0.7735	0.7042	0.7485	0.6454	0.6981
J	0.7548	0.7903	0.7804	0.7633	0.7351	0.7604
Mean Score ( $\pm$ SD*)	0.8068 ( $\pm$ 0.0356)	0.7851 ( $\pm$ 0.0451)	0.7921 ( $\pm$ 0.0434)	0.7771 ( $\pm$ 0.0316)	0.7645 ( $\pm$ 0.0523)	0.7570 ( $\pm$ 0.0290)

\*: Standard deviations

Table 2 Statistical evaluation of diagnostic accuracy of various chest radiographs by the Jackknife method. Numerals in columns indicate P-values.

	Uncompressed	JPEG 6:1	Wavelet 6:1	JPEG 15:1	Wavelet 15:1
Conventional film	0.2647	0.3533	0.1751	*0.0403	0.1041
Uncompressed	-	0.6924	0.7759	0.4250	0.4784
JPEG 6:1	-	-	0.5207	0.1876	0.3065
Wavelet 6:1	-	-	-	0.4581	0.6316
JPEG 15:1	-	-	-	-	0.8652

\*: Statistically significant difference ( $p < 0.05$ )

Table 3 Average reading time (seconds) for one image

Observer	Conventional film (1) *	CRT					Mean of CRTs
		Uncompressed (2)	JPEG 15:1 (3)	Wavelet 15:1 (4)	JPEG 6:1 (5)	Wavelet 6:1 (6)	
A	28	43	36	39	38	38	39
B	59	73	71	49	66	51	62
C	24	29	35	32	29	27	30
D	33	42	45	52	44	45	46
E	24	25	21	20	20	15	20
F	29	53	37	45	36	27	40
G	97	156	100	98	113	112	116
H	55	56	67	50	61	50	57
I	46	53	61	45	38	34	46
J	17	20	22	19	18	21	20
Mean	41**, ***	55**	49***	45	46	42	48

\*: Numbers in parentheses indicate order of reading.

\*\*, \*\*\*: Statistically significant difference ( $p < 0.05$ )

46秒, Wavelet 6:1圧縮画像で42秒であった。また、非圧縮CRT画像とJPEG15:1圧縮CRT画像ではフィルム画像に比較し、読影に有意に長い時間を要した。しかし、それ以降に読影したWavelet15:1圧縮、JPEG 6:1圧縮、Wavelet 6:1圧縮の各CRT画像の読影時間とフィルム画像読影時間との間には有意差は認められなかった。また、CRT読影に対する慣れが読影時間に影響するか否かを検討するために行なった分散分析では、 $p = 0.086 (> 0.05)$ となった。CRT画像読影の経験を重ねることにより、読影時間が短縮する傾向がみられたが、有意差は認めなかった。

## 考 察

FCRなどのデジタル画像またはフィルムデジタイザでデジタル化された画像と、高精細CRTモニタを組み合わせた胸部単純X線写真の画質評価実験は広く行われており、間質影や気胸のような微細陰影の高精細CRTモニタでの検出能は、フィルム画像よりやや劣るとする報告<sup>3)-7)</sup>と、同等とする報告<sup>1),8)</sup>がある。しかし、結節影の検出能においては、差は認めないと報告が多い<sup>2),3),5),7),8)</sup>。

近年、安価なPC用モニタの性能の向上により、PC用モニタでのCRT画像の画質評価実験も行われている。滝沢ら<sup>9)</sup>は、胸部ファントムに疑似結節をつけて、FCRで撮像したX線フィルムと、これをフィルムデジタイザでデジタル化したPC用CRT画像とを比較し、検出能には差がなかったと報告している。これをもとに厚生省の画像情報の電子化に関する研究報告書<sup>21)</sup>では、画像をデジタル化し、CRTモニタで観察する環境を整備するためのガイドラインを設けている。おもな項目では、デジタイザの規格として、サンプリングピッチは $200\mu\text{m}$ 以下、濃度階調度は10ビットグレイスケール以上、モニタのmatrixは $1000 \times 1000$ 以上を推奨している。また、CRTモニタはフィルムに、カラーCRTはモノクロCRTに代替可能であるとしている。しかし、ファントムを用いた実験では背景が常に同じであり、疑似結節に巧妙な変化を持たせないとROC解析の結果に大きなバイアスがかかる<sup>22)</sup>。臨床画像を用いた倉下<sup>11)</sup>の実験では、有意差は認められていないが、対象に3cm以上の腫瘍影が多く含まれている。

本研究では、上記のガイドラインの条件をほぼ充たしており、臨床上の実用性を評価するため3cm以下の結節影を有する臨床画像を用いて実験を行った。対象とした結節にはCT上スリガラス濃度を呈するものが多く含まれているので、間質影検出の要素も含んでいると考えられる。ガイドラインでは、濃度階調度10ビット以上でのデジタル化が必要としているが、PC用モニタの表示能力は8ビットであり、現在普及している高精細モニタでも大部分が8ビット表示が限界である。10ビット画像をCRT上に8ビットで表示する際に、階調変換テーブルに直線を用いる場合<sup>9)</sup>には8ビットでのデジタル化と表示条件は同じと考えられる。

本研究の結果、非圧縮CRT画像はフィルム画像に比べ結

節影の検出能はやや劣る傾向があるものの、有意差は認められなかった。ただし、今回の検討は結節影を見つけるという検出能をみたものであり、検診スクリーニングの目的は達しているが、病変の詳細な所見に基づく質的診断能については今後さらに検討する余地があると考えられる。すなわち、間質影や気胸のような微細陰影の検出能は、高精細CRTモニタを用いても、フィルム画像に比べ検出能が劣るとする過去の報告も考え合わせると、PC用モニタ読影が、臨床上すべての疾患を対象とするようなフィルム読影に代替可能であると結論することはできない。しかし、最近では胸部単純X線写真で指摘された異常影の質的診断は高分解能CTで行われる傾向にあるので、CRTで異常の有無を診断できることは意義があると考えられる。佐々木ら<sup>10)</sup>は、模擬結節による検討であるが、過去の写真との比較読影ではCRT比較読影とフィルム比較読影はほぼ同等であると報告しており、肺がん検診等の限られた分野では代替可能であることを示唆している。

胸部単純X線写真のデジタルデータの容量は膨大であり、画像の保管、転送には圧縮処理が必要である。医用画像での可逆圧縮率は2~3:1と小さい<sup>23)</sup>ため、圧縮率の高い非可逆圧縮が必要となる。医用画像の非可逆圧縮は、JPEG圧縮に代表されるDCT圧縮とWavelet圧縮があるが、いずれも圧縮率を上げると、画像が変質するため、臨床上許容できる圧縮率をどのように設定するかが問題となる。JPEG圧縮法は、DCT(離散コサイン変換)処理とそれに続くエンタロピー符号化処理によって目的とする圧縮率を得る方法である。画像データは、 $8 \times 8$ 画素等の正方形のブロックに分割され圧縮されるため、高圧縮率ではブロックアーチファクトが目立ってくる。しかし、可変周波数変換であるWavelet圧縮ではこれを認めず、画質劣化の少ない高圧縮率が期待されている<sup>24),25)</sup>。

厚生省の画像情報の電子化に関する研究報告書<sup>21)</sup>では、画像をデジタル化しCRTモニタで観察する環境を整備するためのガイドラインで、CT、MRI画像を圧縮する際に画質について十分な配慮を行っている場合にはJPEG非可逆圧縮で10:1までは非圧縮画像と臨床上同等、としている。しかし、ROC解析に基づいた、胸部単純X線写真についての具体的な提示はない。これまでの報告では、デジタル化したもの再度フィルムにプリントし、許容圧縮率を検討した報告<sup>12),26)-29)</sup>が多く、CRT画像での検討は少ない。Kidoら<sup>27)</sup>は、微細な間質影を対象とし、スクリーンフィルム系の胸部単純X線写真を10ビットでデジタル化し、それを再度プリントした画像を原画像としたROC解析で、 $16 \times 16$ DCT圧縮では10:1圧縮は許容できるが、20:1圧縮では有意差を認めた、と報告している。Aberleら<sup>28)</sup>は、間質性肺疾患と結節影を対象とし、スクリーンフィルム系の胸部単純X線写真を12ビットでデジタル化し、それを再度プリントした画像を原画像としたROC解析で、full-frameのDCT圧縮で20:1圧縮は臨床上許容できる、と報告している。CRT画像を対象とした圧縮率に関する検討はIshigakiら

<sup>30)</sup>が行っており、非圧縮のCRT画像を原画像としたROC解析で、DCT圧縮では、肺野結節影で10:1圧縮は許容でき、20:1圧縮が限界と報告している。

Wavelet圧縮では、Savcenkoら<sup>12)</sup>は、Set partitioning in hierarchical trees (SPIHT)アルゴリズムを用い、結節影と線維化を対象とし、スクリーンフィルム系の胸部単純X線写真を12ビットでデジタル化し、再度プリントした画像を原画像としたROC解析で、80:1圧縮でも有意差を認めないと報告している。Goldbergら<sup>14)</sup>は、圧縮率の検討をCRT画像で行っており、30:1圧縮は臨床上許容できるとしているが、彼らの実験系は腹部や骨の単純写真を交えた検討であり、胸部単純X線写真は6例しか含まれておらず、胸部単純X線写真の圧縮率の検討に関しては不十分である。

本研究が、過去の実験系と異なるのは、デジタル化を8ビットで行っている点と、フィルム画像を原画像とし、CRT画像で許容圧縮率を検討している点である。10ビットまたは12ビット画像を対象とした過去の報告<sup>14),27)</sup>の多くは10:1圧縮と20:1圧縮で検討している。8ビット画像は10ビットまたは12ビット画像とは元になるデータ量が異なり、この違いを考慮して本研究では6:1圧縮と15:1圧縮で検討した。サンプリングピッチも報告により異なり、一概に比較することはできないが、今回の検討では、JPEG圧縮、Wavelet圧縮とともに6:1ほどの低圧縮率CRT画像では、フィルム画像より検出能はやや劣る傾向があるものの、有意差は認めなかった。しかし、15:1圧縮画像では、JPEG圧縮はフィルム画像に比べ有意に肺野結節影の検出能が劣ったが、Wavelet圧縮では有意差を認めなかった。すなわちPC用CRT画像における胸部単純X線写真の画像圧縮は、Wavelet圧縮では15:1までは臨床上許容できるが、JPEG圧縮では15:1は許容できないという結果であった。平均Az値はWavelet15:1圧縮画像のほうがJPEG15:1圧縮画像より小さく、両者の間に有意差は認めない( $p = 0.8652$ )ものの、Wavelet15:1圧縮画像ではフィルム画像との間に有意差を認めなかった理由は、Jackknife法を検定に用いることにより、観察者間変動と観察試料間変動を考慮したためと考えられる<sup>20)</sup>。フィルムとCRT画像というような異なる画像システム間の比較においては、観察者の読影に得手不得手が存在する場合が多いので、観察者の読影能力の変動を考慮したJackknife法で検定を行うべきである。

過去の報告では、Wavelet圧縮のほうが、DCT圧縮に比べて臨床上許容できる圧縮率が高い傾向があると指摘されているが、同一の胸部単純X線写真を用いてROC解析した結果に基づく結論ではない。一方Sloneら<sup>31)</sup>は、胸部単純X線写真の圧縮画像の検討を2肢強制選択で行い、低圧縮率ならば有意差はないがJPEG圧縮のほうがWavelet圧縮よりも視覚的に原画像に近いという実験結果を報告し、Wavelet圧縮のばやけ効果が、JPEG圧縮のブロックアーチファクトの影響より強いためではないかと考察している。また、工藤

ら<sup>32)</sup>は、頭部CT画像ではWavelet圧縮はJPEG圧縮と比較して画質がよいとはいえない、と報告している。原因として、JPEG圧縮では8×8画素という限定された空間で圧縮するため骨や空気のCT値が脳実質にはほとんど影響を与えないのに対し、Wavelet圧縮では変換階層を深くすればするほど離れた部位の画素値の影響を受けることを挙げている。今回の検討では、6:1圧縮、15:1圧縮とも、Wavelet圧縮とJPEG圧縮との直接比較では結節影の検出能に有意差は認められなかったが、15:1圧縮ではWavelet圧縮のほうがJPEG圧縮よりわずかに優れた圧縮法であることが示唆された。

80:1圧縮でも有意差を認めないと報告したSavcenkoら<sup>12)</sup>のWavelet圧縮方法は、SPIHTアルゴリズム、Daubechies 9/7 フィルタを用い、変換階層は5である。本研究では、FZWアルゴリズム、Daubechies 9/7 フィルタを用い、変換階層は6とした。Jooら<sup>17)</sup>の圧縮エラー解析では、SPIHTとFZWはほぼ同等としており、大きな相違点とはいえない。Savcenkoらは、12ビット画像でかつハードコピー画像で検討しており、本研究とはこの点で異なる。

本研究に用いたWavelet圧縮方法はカラーの自然画像を含めた広汎な種類の画像に対応したものである。Wavelet圧縮方法の今後の展開としては、普遍性を重視した改良と、胸部単純X線写真のような特殊画像に個別に対応した改良という二つの方向が考えられる。胸部単純X線写真は、境界明瞭でいわゆるエッジの成分が多い自然画像と異なり、白黒で境界不明瞭な成分が多いという特徴がある。このため、胸部単純X線写真の圧縮方法は、自然画像用と同じ対応ではなく、高周波成分に重きをおいた変換を行うか、零樹符号化に際して高周波成分を底上げすることで、特殊化した、より効率的な圧縮が期待できる。一方、遠隔医療等で扱う画像はさまざまであることから、個別に専用の圧縮ソフトを対応させることが繁雑となる可能性があり、普遍化と特殊化のバランスが今後問題になると考えられる。

読影時間は、CRT読影がフィルム読影に比べて、長くなる傾向がみられた。しかし、CRT画像のうち、最初と2番目に読影した非圧縮CRT画像とJPEG15:1圧縮CRT画像では、フィルム画像より有意に読影に時間を要したが、それ以降に読影したWavelet15:1圧縮、JPEG 6:1圧縮、Wavelet 6:1圧縮の各CRT画像とフィルム画像の読影時間には有意差は認めなかった。高圧縮率画像の後に低圧縮率画像を読影しているので、画質劣化が読影者の微細な所見の認識を困難にさせ、読影時間が短縮したとは考えられず、CRTに対する慣れが読影時間の短縮につながる可能性が示唆された。

## 結論

①スクリーンフィルム系の胸部単純X線写真を原画像とし、PC用カラーモニタ上で8ビットでデジタル化したCRT画像の単結節影の検出能をROC解析で評価した。

② フィルム画像に比べ、非圧縮CRT画像は、若干検出能が劣る傾向にあるものの、有意差は認められなかった。

③ 6:1圧縮では、JPEG圧縮CRT画像、Wavelet圧縮CRT画像ともに、フィルム画像に比べ、検出能に有意差は認められなかった。

④ 15:1圧縮では、Wavelet圧縮CRT画像はフィルム画像との間に有意差は認めなかったが、JPEG圧縮CRT画像はフィルム画像と比べ有意に検出能が劣っており、Wavelet圧縮のほうがJPEG圧縮より優れた圧縮法であることが示唆された。

⑤ CRT画像の読影はフィルム画像の読影より時間を要する傾向があった。CRT画像の読影経験が読影時間に影響する可能性が示唆された。

#### 謝 辞

御指導、御校閲を頂きました新潟大学医学部放射線医学教室、酒井邦夫教授、岡本浩一郎講師に深謝いたします。また、今回の読影実験に御協力いただきました放射線医学教室の諸先生方ならびに、Wavelet圧縮画像を作成していただきました、新潟大学工学部の菊池久和、朱 相顯の両先生に深謝いたします。

なお、本研究は、通信・放送機構『高度医療資源共有のための高機能情報通信システムの開発』に関する研究費の助成を受けて行われた。

本研究の一部は、第59回日本医学放射線学会総会(平成12年4月、横浜)において発表した。

## 文 献

- 1) Ishigaki T, Endo T, Ikeda M, et al: Subtle pulmonary disease: detection with computed radiography versus conventional chest radiography. *Radiology* 201: 51-60, 1996
- 2) Ishigaki T, Sakuma S, Endo T, et al: Diagnostic usefulness of chest computed radiography - film versus cathode-ray tube images. *J Digital Imaging* 8 (Suppl 1): 25-30, 1995
- 3) Thaete FL, Fuhrman CR, Oliver JH, et al: Digital radiography and conventional imaging of the chest: a comparison of observer performance. *AJR* 162: 575-581, 1994
- 4) Elam EA, Rehm K, Hillman BJ, et al: Efficacy of digital radiography for the detection of pneumothorax: comparison with conventional chest radiography. *AJR* 158: 509-514, 1992
- 5) MacMahon H, Metz CE, Doi K, et al: Digital chest radiography: effect on diagnostic accuracy of hard copy, conventional video, and reversed gray scale video display formats. *Radiology* 168: 669-673, 1988
- 6) Cox GG, Cook LT, McMillan JH, et al: Chest radiography: comparison of high-resolution digital displays with conventional and digital film. *Radiology* 176: 771-776, 1990
- 7) Slasky BS, Gur D, Good WF, et al: Receiver operating characteristic analysis of chest image interpretation with conventional, laser-printed, and high-resolution workstation images. *Radiology* 174: 775-780, 1990
- 8) Hayrapetian A, Aberle DR, Huang HK, et al: Comparison of 2048-line digital display formats and conventional radiographs: an ROC study. *AJR* 152: 1113-1118, 1989
- 9) 滝沢正臣, 曽根脩輔, 小口和浩, 他: 遠隔画像診断システムにおけるCRT像の画質評価-肺疑似結節の読影実験とそのROC解析-. 日本医学会誌 56: 1061-1065, 1996
- 10) 佐々木康夫, 桂川茂彦, 米田靖司, 他: CRTモニターでの比較読影による模擬肺腫瘍検出能のROC解析を用いた定量的評価. 日本医学会誌 56: 275-278, 1996
- 11) 倉下 雄: パーソナルコンピュータ用CRT画像における胸部X線写真の評価. 昭医会誌 55: 105-112, 1995
- 12) Savchenko V, Erickson BJ, Palisson PM, et al: Detection of subtle abnormalities on chest radiographs after irreversible compression. *Radiology* 206: 609-616, 1998
- 13) Erickson BJ, Manduca A, Persons KR, et al: Evaluation of irreversible compression of digitized posterior-anterior chest radiographs. *J Digital Imaging*: 97-102, 1997
- 14) Goldberg MA, Pivovarov M, Mayo-Smith WW, et al: Application of wavelet compression to digitized radiographs. *AJR* 163: 463-468, 1994
- 15) Metz CE: ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol* 21: 720-733, 1986
- 16) 白石順二, 山下一也: ROC解析の基礎と応用; 胸部単純写真における模擬結節状陰影の検出. 日本放射線技術学会専門委員会ディジタル画像のROC解析検討会編: 放射線医療技術学叢書(8): 14-23, 1994
- 17) Joo S, Kikuchi H, Sasaki S, et al: Flexible zerotree coding of wavelet coefficients. *IEICE Trans. Fundamentals* E82-A: 1117-1125, 1999
- 18) Daubechies: *Ten lectures on wavelets*. 1992, SIAM, Philadelphia
- 19) Dofman DD, Berbaum KS, Metz CE: Receiver operating characteristic rating analysis: generalization to the population of readers and patients with the jackknife method. *Investigative Radiology* 27: 723-731, 1992
- 20) 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: 691-698, 1997
- 21) 小塚隆弘: 画像をデジタル化し電子的に保存するとともに, CRTモニターで観察し診断する環境を整備するためのガイドライン. 小塚隆弘編: 厚生省科学研究情報化技術開発研究課題研究成果報告書-画像情報の電子化に関する研究-, 18-24, 1998
- 22) 桂川茂彦: ROC解析の基礎と応用; 胸部単純写真における模擬結節状陰影の検出. 日本放射線技術学会専門委員会ディジタル画像のROC解析検討会編: 放射線医療技術学叢書(8): 73-79, 1994
- 23) Karson TH, Chandra S, Morehead AJ, et al: JPEG compression of digital echocardiographic images: impact on image quality. *J Am Soc Echocardiogr* 8: 306-318, 1995
- 24) Persons K, Palisson P, Manduca A, et al: An analytical look at the effects of compression on medical images. *J Digital Imaging* 10 (Suppl 1): 60-66, 1997
- 25) Erickson BJ, Manduca A, Palisson P, et al: Wavelet compression of medical images. *Radiology* 206: 599-607, 1998
- 26) MacMahon H, Doi K, Sanada S, et al: Data compression: effect on diagnostic accuracy in digital chest radiography. *Radiology* 178: 175-179, 1991
- 27) Kido S, Ikezoe J, Kondoh H, et al: Detection of subtle interstitial abnormalities of the lungs on digitized chest radiographs: acceptable data compression ratios. *AJR* 167: 111-115, 1996
- 28) Aberle DR, Gleeson F, Sayre JW, et al: The effect of irreversible image compression on diagnostic accuracy in thoracic imaging. *Investigative Radiology* 28: 398-403, 1993
- 29) Sayre J, Aberle DR, Boechat MI, et al: Effect of data compression on diagnostic accuracy in digital hand and chest radiography. *Proc SPIE* 1653: 232-240, 1992
- 30) Ishigaki T, Sakuma S, Ikeda M, et al: Clinical evaluation of irreversible image compression: analysis of chest imaging with computed radiography. *Radiology* 175: 739-743, 1990
- 31) Slone RM, Foos DH, Whiting BR, et al: Assessment of visually lossless irreversible image compression: comparison of three methods by using an image-comparison workstation. *Radiology* 215: 543-553, 2000
- 32) 工藤與亮, 宮坂和男: デジタルCT・MRI画像のWavelet圧縮. 国立大学病院放射線診療部門会議画像管理を検討する小委員会編: 画像管理とその臨床有効性-現状と将来-その6-, 27-44, 1998