伝達情報量による断層撮影系の評価 (今田・長畑・中村・十倉・山下)

原 著

伝達情報量による断層撮影系の評価
—振角・断層速度・断層厚の3変量解析—

星ヶ丘厚生年金病院 放射線部

今 田 順 久・長 畑 弘・中 村 喜 久 男・十 倉 敏 夫

大阪大学医療技術短期大学部

山 下 一 也

(論文受理 1981年5月2日)

(Code No. 24251, 21120, 250)

Key Words: Tomographic system, Exposure angle, Speed, Layer thickness.

EVALUATION OF TOMOGRAPHIC SYSTEMS
BY TRANSMITTED INFORMATION
—RELATIONSHIP BETWEEN EXPOSURE ANGLE,
SPEED AND LAYER THICKNESS—

YORIHISA IMADA, HIROSHI NAGAHATA, KIKUO NAKAMURA, TOSHIO TOKURA

Department of Radiology, Hoshigaoka Koseinenkin Hospital

KAZUYA YAMASHITA

College of Bio-Medical Technology, Osaka University, Osaka

(Article received; May, 2, 1981)

Summray

Evaluation of the accuracy provided by the tomographic system was carried out using the Entrophy analysis. An exploration of the relative reliability was performed upon the selection of three variables, namely, the exposure angle, the speed and the layer thickness.

The data gathered enables us to indicate that the accuracy of the tomographic system as a whole, could be quantitatively evaluated with the chosen analytical system.

1. はじめに

本研究は、断層撮影装置の総合的な機械的精度を、内田らのエントロピー解析¹⁾によって、伝達情報量を相対的信頼度として求め、評価、検討することを目的としている。

断層撮影時における、いわゆる断層の厚さとX線管の振れ角度（以下、振角）との関係は、ICRUのレポート²⁾によっても、距離の因子と対象物の大きさに関係していることがわかっている。したがって断層の厚さは、距離と対象物の大きさが決定すれば、振角の関数である。そして振角は、断層装置の可動部分の精度に左右されることも明らかである。可動部分の精度の具体的現象としての振角、および可動速度である断層速度、それらにもとづく断層の厚さの関係を、断層厚の実測値のバラツキから3変量解析し、伝達情報量と伝達効率を求めた。これによって、断層装置の総合的な相対的精度評価を行うものである。

2. 理 論³⁾⁴⁾

Fig. 1において、ある系に入力（刺激） X, Y を与えた場合、それによって生じる出力（反応）を Z とする。このとき2変量 X, Y から Z への伝達情報量 $T(X, Y; Z)$ が求まる。これら3変量と、伝達情報量との相互関係をFig. 2(a)示す。本実験では出力を断層厚としているため、2つの入力である振角と断層速度は、理論上直接の関係がない（Fig. 2(b)）。ここで、 $T(X, Y; Z)$ は次のように定義される。

Fig. 1 Relation of input and output.

Fig. 2 Relation between $H(X), H(Y), H(Z)$ and $T(X, Y; Z)$.

$$\begin{aligned} T(X, Y; Z) &= H(X, Y) + H(Z) - H(X, Y, Z) \\ &= T(X; Z) + T(Y; Z) + A(X; Y; Z) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

X から Z を予測するさい、 $T(X; Z)$ は、 Y が既知ならば増加する。その増加を示す量が、 $A(X; Y; Z)$ で、変量間の交互作用を示すものである。 $A(X; Y; Z)$ は、次式で定義される。

$$\begin{aligned} A(X; Y; Z) &= -[H(X) + H(Y) + H(Z) - H(X, Y) \\ &\quad - H(Y, Z) - H(X, Z) + H(X, Y, Z)]_0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

3. 情報量の計算

計算は、エントロピー解析法の計算式によって行なう¹⁾⁴⁾。

伝達効率(%)は、次のように定義する。

$$\eta_0 = \frac{T(X, Y; Z)}{H(X, Y)} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= \frac{T(X; Z)}{H(X, Y)} \times 100 \\ \eta_2 &= \frac{T(Y; Z)}{H(X, Y)} \times 100 \\ \eta_3 &= \frac{A(X; Y; Z)}{H(X, Y)} \times 100 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 η_1 は振角による断層厚への情報伝達の割合を示す。 η_2 は断層速度、 η_3 は交互作用による、それぞれ断層厚への情報伝達の割合を示すものである。また η_0 は、それらの和である。

4. 実 験

4.1 使用装置

実験には、直線移動方式の次の2種の型の断層装置を用いた。

平行型: HL-5

X線高電圧装置: ZD150L-3

X線管装置: CIRCLEX U10

円弧型: LGE-3

X線高電圧装置: DC-15K

X線管装置: DRX-80A

また、実験に使用した器具を以下に示す。

ミクロスベルダー-SP-250

増感紙システム: LT-II/Rx

自現機: M6-N, 現像温度; 35°C, 処理時間; 90 sec

濃度計: 濃度計301 (フジ)

4.2 入力と出力の選択

実験は、振角と断層速度の変化を入力、断層厚の実測

伝達情報量による断層撮影系の評価 (今田・長畑・中村・十倉・山下)

Table 1. Relation between Exposure Angle, Speed and Exposure time.

		50°	45°	40°	35°	30°
Rectilinear	Speed 1	1.10	0.87	0.74	0.62	0.52
	Speed 2	2.06	1.76	1.50	1.27	1.05
	Speed 3	4.50	3.90	3.01	2.50	2.06
Curvilinear	Speed 1	0.83	0.75	0.67	0.58	0.5
	Speed 2	1.67	1.5	1.33	1.17	1.0
	Speed 3	4.17	3.75	3.33	2.92	2.5

: sec

値を出力とした。振角は、断層厚を決定する因子である。エントロピー法の適用には、各入力に対する出力の分散が、重なりをもつことが必要となる。このため、断層厚の実測値の分散が重なりをもつように予備実験を行なった。その結果、振角は5°間隔とし、50°, 45°, 40°, 35°, 30°の5段階を用いた。また、断層速度を3段階に変化させ、X線管の移動速度の違いがどれほど精度に影響するか実験した。実験条件の組合せを **Table 1** に示す。

4.3 方 法

断層厚の測定には、ミクロスペルダ SP-250 を使用した。一定の振角、一定の断層速度における断層像を、それぞれ30枚ずつ合計 900 枚の試料を作る。ここで、断層像の素地濃度を、 1.00 ± 0.05 とするため、管電流を一定にし管電圧を 43~48 kV の範囲で変化させた。また、作成した断層像から断層厚を実測するさい、観察者は、充分練習したうえで定規を用い正確に測定した。

得た実測値のバラツキから、前述の計算法によって伝達情報量を算出し、伝達効率を求めた。

5. 結 果

Table 2 に平行型、**Table 3** に円弧型の相関表を示した。**Table 4** は計算結果をまとめて示す。入力として振角(X)を5段階、断層速度(Y)を3段階としたため、平行型、円弧型共に、 $H(X)$ は、2.322ビット、 $H(Y)$ は、1.585ビットとなる。伝達効率 η_0 は、平行型が42.39%、円弧型が41.31%となった。平行型、円弧型共に、 η_0 のうち η_1 のしめる割合が大きく、次に η_3, η_2 の順となる。反応としての断層厚は、振角によって伝達された情報が大きく、断層速度によって伝達された情報は、交互作用による情報伝達よりも小さい結果となっている。

6. 考 察

結果から、伝達情報量 $T(X, Y; Z)$ は、平行式1.656ビ

Table 2. A frequency matrix of rectilinear type.

X	50°			45°			40°			35°			30°		
Y															
Z (mm)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.2	1	6	8												
1.3	7	10	10		2	2									
1.4	10	9	9	2	4	7									
1.5	11	4	3	8	10	13									
1.6	1	1		10	9	5	3	6	5						
1.7				7	4	3	7	11	11		1				
1.8				3	1		11	10	11		1	1			
1.9							7	3	2	3	5	4			
2.0							2		1	14	13	10		2	1
2.1											9	7	12	1	3
2.2											3	3	3	8	6
2.3														12	11
2.4														7	5
2.5														2	3

Table 3. A frequency matrix of curvilinear type.

X		50°			45°			40°			35°			30°		
Z (mm)	Y	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.9		1		1												
1.0		10	3	6												
1.1		8	10	10	1											
1.2		7	11	11	5	2	3									
1.3		2	6	2	7	8	10	2								
1.4		1			7	13	9	7	4	2						
1.5		1			6	6	5	6	9	8	3					
1.6					4	1	3	7	12	12	1	3	1			
1.7								6	4	6	9	10	7	1		
1.8								2	1	2	10	14	14	5		
1.9											5	2	7	6	4	1
2.0											2	1	1	10	12	7
2.1														3	6	11
2.2														3	7	7
2.3														2	1	4

ット、円弧式1.614ビットとなり、当然、伝達効率 η_0 は、平行式が大きくなる。

η_1 は振角による断層厚への情報伝達の割合を示すもので、 η_1 は大きな値を示すほど装置の精度はよいことになる。エントロピー解析の手法は、出力の分散と、その個々の分散の重なり方の程度を合わせて評価するものである。つまり、各振角ごとの断層厚のバラツキと、その

Table 4. The results of calculation of three variations.

	Rectilinear	Curvilinear
$H(X)$ (bit)	2.322	2.322
$H(Y)$	1.585	1.585
$H(Z)$	3.693	3.712
$H(X, Y)$	3.907	3.907
$H(Y, Z)$	4.488	5.263
$H(Z, X)$	5.251	4.539
$H(X, Y, Z)$	5.944	6.005
$T(X; Z)$	1.527	1.495
$T(Y; Z)$	0.027	0.034
$A(X; Y; Z)$	0.102	0.085
$T(X, Y; Z)$	1.656	1.614
η_0 (%)	42.39	41.31
η_1	39.08	38.26
η_2	0.69	0.87
η_3	2.61	2.18

分散の重なり方とその程度による評価法ということができる。 η_1 は、各振角ごとの断層厚の実測値の分散の重なりが小さいほど大きくなる。したがって、 η_1 が大きな値を示すほど精度はよいといえる。

次に、 η_2 は断層速度による断層厚への情報伝達の割合を示している。この値は、各断層速度による断層厚の分散の重なりが、小さいほど大きくなる。理論上、断層速度と断層厚は関連がなく、断層速度の変化によって断層厚が変化することはない。断層速度という刺激を、測定系としての断層装置に入力しても断層厚という反応には、刺激の情報が伝達されていないはずである。機械的精度を考えると、断層速度による情報が小さいほど、すなわち、 η_2 の値が小さく、精度はよいといえる。

これらのことから、本実験では、 $\eta_0 = \eta_1, \eta_2 = 0$ となることが理想となる。つまり、 $T(X; Z) = T(X, Y; Z) = H(X)$ となることが理想である。

Table 5は、各断層速度における振角と断層厚の2変量解析をしたもので、入力 X を振角、出力 Z を断層厚とした計算結果である。Speed 1の場合のみ、平行式の伝達効率が円弧式より大きくなっている。Speed 2, Speed 3の場合、円弧式の方が大きく、精度がよいという結果を示している。また、Speed 3における円弧式の伝達効率が最も大きい。ここで、各断層速度を総合して考えると、ある1つの断層速度において伝達効率がよいというのではなく、いずれの断層速度においても一定の効率が保たれている平行式の方が、総合的な精度がよいと考え

Table 5. The result of calculation of two variations.

		Speed 1	Speed 2	Speed 3
Rectilinear	$H(X)$ (bit)	2.322	2.322	2.322
	$H(Z)$	3.619	3.697	3.683
	$H(X, Z)$	4.304	4.446	4.326
	$T(X; Z)$	1.637	1.573	1.679
	η %	70.50	67.74	72.30
Curvilinear	$H(X)$ (bit)	2.322	2.322	2.322
	$H(Z)$	3.665	3.614	3.755
	$H(X, Z)$	4.698	4.241	4.321
	$T(X; Z)$	1.289	1.695	1.756
	η %	55.51	73.00	75.62

ている。平行式は円弧式より、各断層速度において伝達効率に差が少なく、機械的精度が一定しているといっている。Table 4の結果から、平行式の η_2 が円弧式より小さな値を示していることが、それを意味している。以上、エントロピー解析法によって機械的精度の総合的相対的比較をした結果、我々が実験に使用した装置においては、平行式の方が優れた結果を得た。

これまでの断層装置の機械的精度は、たんに断層厚を実験的に求め、そのバラツキによる評価であった。しかし、エントロピー解析法によれば、総合的相対的な精度評価が得られることがわかった。

稿を終えるにあたり、実験に協力を頂いた星ヶ丘厚生年金病院放射線部技師一同に、心から感謝致します。

なお、本論文の一部は、第36回日本放射線技術学会総会において報告した。

文 献

- 1) S. Uchida and D. Y. Tsai: Evaluation of Radiographic Images by Entropy: Application to Development Process, Jpn. J. Appl., 17, 2029-2034, (1978).
- 2) IV. Measurements of the Characteristics of Body-Section Radiographic Equipment. [ICRU Hand Book 89], 24, (1962).
- 3) Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication. Bell system Tech. J., 27, 379-423, 623-656, (1948).
- 4) 小野 茂: 心理学における数学的方法 (現代の心理学 4), 50-75, 培風館, (1976).