

画像信号の統計的性質について

桐原 昭雄* 藤本 勉**

On the Statistical Properties of Picture Signals

Akio KIRIHARA and Tsutomu FUJIMOTO

Abstract

There are many reports with respect to the statistics of television signals, but they have some questionable points in applying to standard TV signals. For example, E. R. Kretzmer has measured the autocorrelation function without limiting bandwidth to 5 MHz. So we have built the digital type data punching equipment, measured some statistics of picture signals, and obtained some results.

1. 緒言

テレビジョン信号、ファクシミリ信号等の画像信号は、膨大な量の情報を持っており、これを伝送するには非常に広い帯域巾を必要とする。このため、画像信号の伝送帯域巾圧縮の研究がすでに多く行われており、数々の有効な帯域圧縮技術も発表されている。これらの技術は、人間の視覚心理を利用するものと、信号の統計的性質を利用するものとに大別できるが、とくに後者に関連して情報理論に基づき、帯域圧縮の可能性を統一的に論ずるためテレビジョン信号の統計的性質の推定実験が多く行なわれた。しかしそれらの結果を直ちに標準テレビジョン信号に適用するには数々の疑問があるように思われる。例えば、自己相関関数について、E. R. Kretzmer¹⁾ (1952) は信号帯域巾を 5 MHz に制限せずに測定を行なっている。また A. R. Billings, K. E. Forward²⁾ (1965) は、ホール素子を用いてアナログ相関計を作成し測定を行なっている。筆者らは、画像信号をデジタル的に処理しようとして、比較的簡単なデジタルデータ打出装置を作成し、4種類の白黒写真を用いて画像信号に関するいくつかの統計的性質を求めてみた。

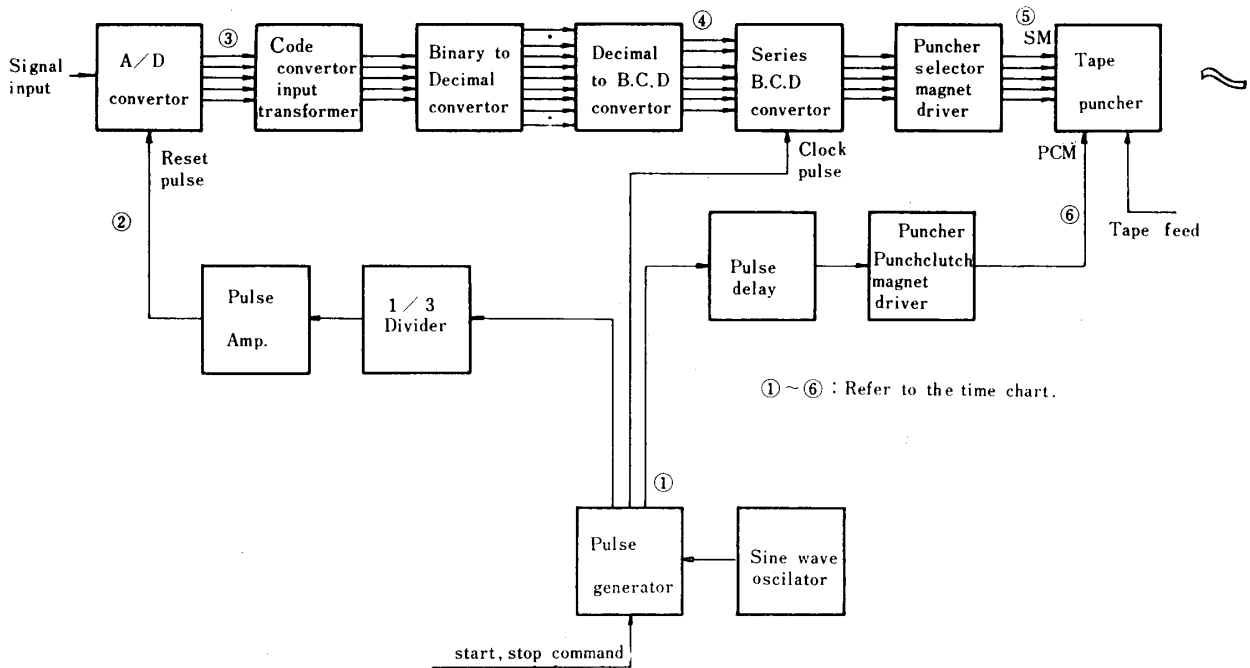
2. デジタルデータ打出装置

デジタルデータ打出装置のブロックダイアグラムを Fig.2・1 に、タイムチャートを Fig.2・2 に示す。一般にこの種の装置は、その打出速度がさん孔機によって制限され、テレビジョン信号のように周波数の

高い信号に対してはナイキスト間隔で A—D 変換した後の信号を一度記憶させて、その後記憶装置から低速で読み出し、さん孔機のさん孔速度に整合させなければならない。このため装置はコアメモリー等の記憶装置を必要とするので、複雑かつ高価になり自作が困難である。そこで筆者らは、逆に情報の発生速度を装置の処理可能な速度、すなわちさん孔機のさん孔速度にまで低減させることによってこの点を解決した。以下この装置の動作について簡単に説明する。使用したさん孔機のさん孔速度は 1 桁当り 112ms であり、**FACOM-231** のコードでさん孔するには、一つの標本値につき 3 桁 (すなわち 10 の桁、1 の桁、スペース) が必要である。よって、A—D 変換の周期は 336ms になり、336ms をナイキスト間隔とする信号の帯域巾は 0.75 Hz となる。このために、光電変換装置としてファクシミリ送信機を採用し、ドラムの回転数を低速にし、更に 0.75 Hz の L. P. F を通して符号変換の入力とした。このようにして得られた画像信号は、A—D 変換器で 8 bits/sample に量子化され、最初の 5 bit が符号変換器に入り、31 個の AND 回路で 10 進変換、さらに 2 進化 10 進並列 2 桁に変換される。さらにこの信号は、順次スペース、10 の桁、1 の桁と切換えられスペース + 直列 2 桁に変換され、さん孔機のセレクターマグネットを順次駆動する。すなわち、最初のクロックパルスでスペースをさん孔し (この時装置は A—D 変換を行っており、スペースをさん孔させることによって誤動作を防止している) つぎに 10 の桁、1 の桁と順次さん孔する。Photo.1 に光電変換装置、Photo.2 にデジタルデータ打出装置の外観を示す。Table 1 に本装置の主な諸元を示す。

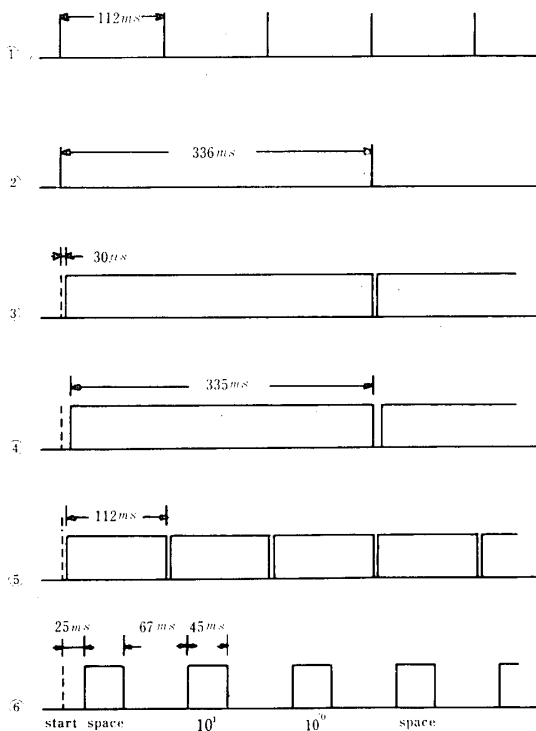
* 電気工学教室

** 宇部工業高等専門学校



①~⑥ : Refer to the time chart.

Fig.2 • 1 Digital data punching equipment



- ① : Pulse generator output.
- ② : A/D convertor reset pulse
- ③ : A/D convertor output
- ④ : Decimal to B.C.D convertor output
- ⑤ : Puncher selector magnet input
- ⑥ : Puncher punch clutch magnet input

Fig.2 • 2 Time chart

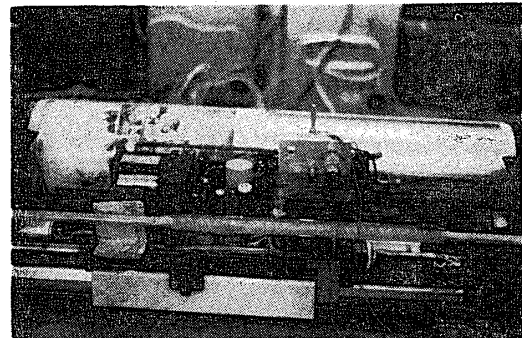


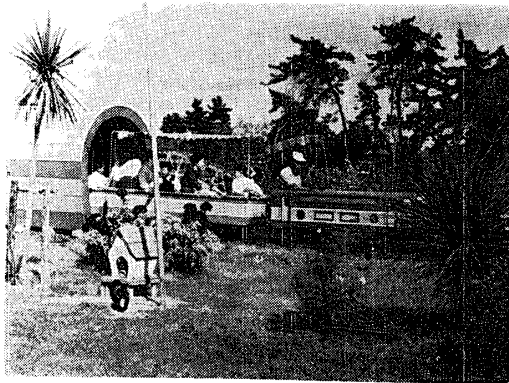
Photo. 1 Facsimile transmitter



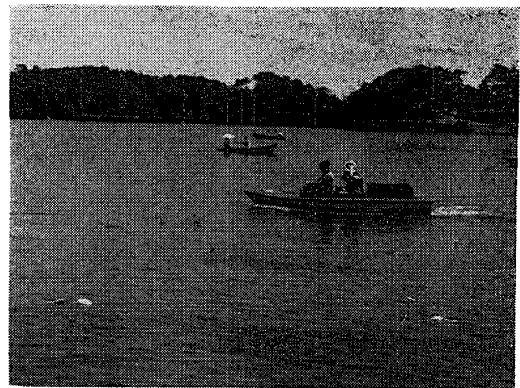
Photo. 2 Digital data punching equipment

Table 1 Principal data of digital type data punching equipment

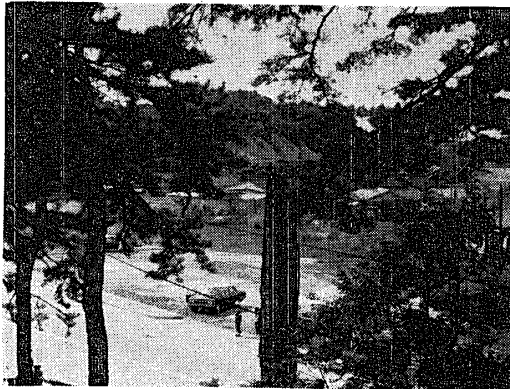
量子化ビット数	5 [bits/sample]	光電変換	ガス入り
資料の大きさ	301×225[mm]	投 光	光電管 PG-51
最高絵周波数	0.75[Hz]	光 源	光点照射型
標本化周波数	0.5 [Hz]		タンダステン
走 査	円筒面走査走査子移動型		白熱電球



(a) Sample No. (I)



(b) Sample No. (II)



(c) Sample No. (III)



(d) Sample No. (IV)

Photo. 3 Test pictures

3. 測定資料と測定諸元

測定資料を Photo. 3 (a)~(d)に示す。

資料 (I) と資料 (III) は、ハイディテュルな部分とローディテュルな部分とがほぼ同一の面積を占めている写真で、資料 (II) と資料 (IV) はローディテュルの部分のみよりなる写真である。これらの資料は、資料 (I) については、全走査線数 82、一走査線の標本数 675、全標本数 55350、資料 (II) (III) (IV) については、全走査線数 90、一走査線の標本数 136、全標本数 12240 でデジタル化し、紙テープにさん孔して **FAC OM-251** を用いて統計量の計算を行なった。

4. 測定結果および考察

4.1 一次統計量

4.1.1, 第一次確率分布

第一次確率分布 $\text{Prob.}(X_i=k)$ は、 X_i を絵素、 k はレベル数 ($k=1, 2, 3, \dots, 31$)、全絵素数を n 、第 k 番目のレベル数である X_i の個数を $N(X_i=k)$ として、次式で表わされる。

$$\text{Prob.}(X_i=k) = \frac{1}{n} N(X_i=k) \dots \dots \dots (4.1)$$

$$k = 1, \dots, 31$$

この値を Fig. 4.1 に示す。

この結果各資料共低輝度レベルの分布が多く、千葉一安東³⁾のレベル分布モデル曲線のうち、屋内演劇の曲線に近いことがわかる。

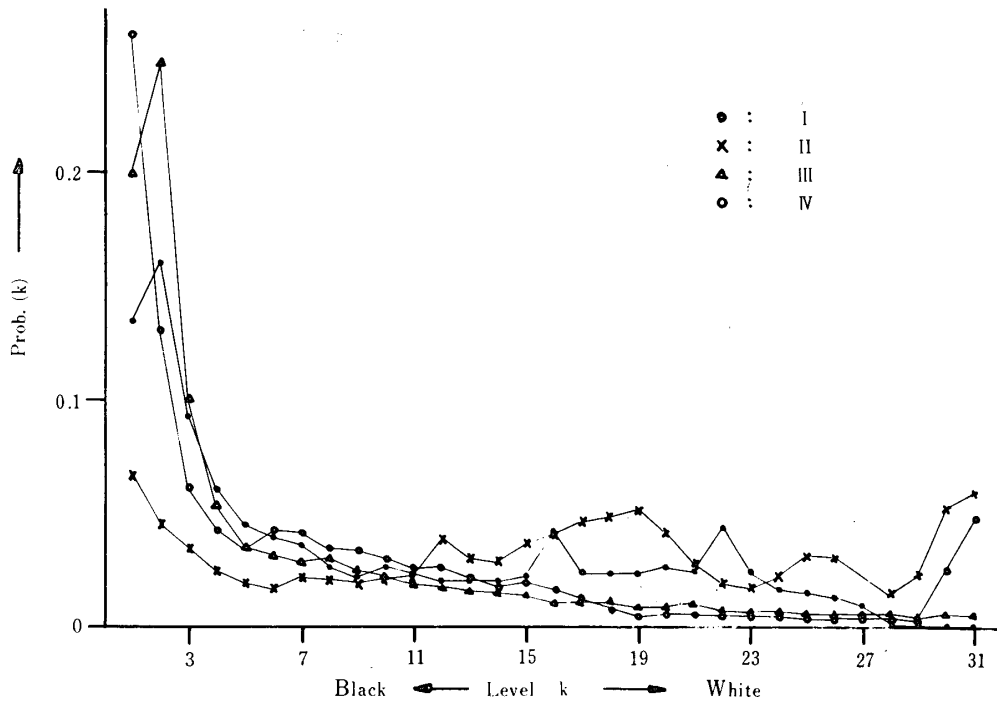


Fig. 4.1 First-order probability density

4.1.2 絵素間レベル差分布

隣接絵素を X_i, X_{i+1} として, 絵素間レベル差分布 $\text{Prob.}(X_{i+1}-X_i=j)$ は, 次式で定義される.

$$\text{Prob.}(X_{i+1}-X_i=j) = \frac{1}{n-1} N(X_{i+1}-X_i=j) \dots \dots (4.2)$$

ここに, $N(X_{i+1}-X_i=j)$ はレベル差が $j(j=-30 \dots 0 \dots 30)$ なる隣接絵素の組の総数である. この値を資料 (I) (III) (IV) について求めた結果を Fig. 4.2 に示す.

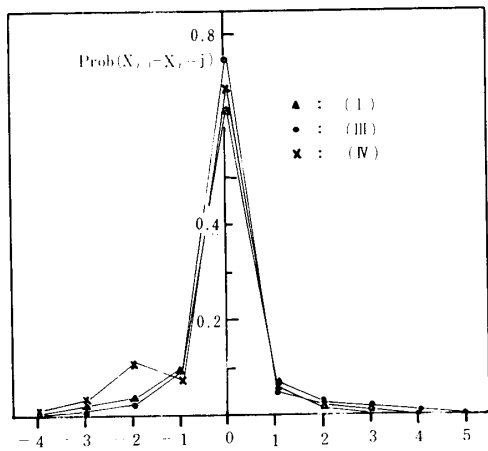


Fig. 4.2 Element difference distribution

その結果, 各資料共 $X_{i+1}-X_i=0$ すなわち, 隣接絵素が同一輝度レベルを取る確率が非常に高く 0.6~0.7

である. また $|j| > 4$ になると, その値はほとんど 0 である.

4.2 二次統計量

4.2.1 第二次確率分布

第二次確率分布 $\text{Prob.}(X_i=k \cap X_{i+1}=l)$ は, $\text{Prob.}(X_i=k \cap X_{i+1}=l)$

$$= \frac{1}{n-1} N(X_i=k \cap X_{i+1}=l) \dots (4.3)$$

となりこの値を求めた. そのうち資料 (III) (IV) について, $X_i=10, 20, 25, 30$ のときの結果を Fig 4.3

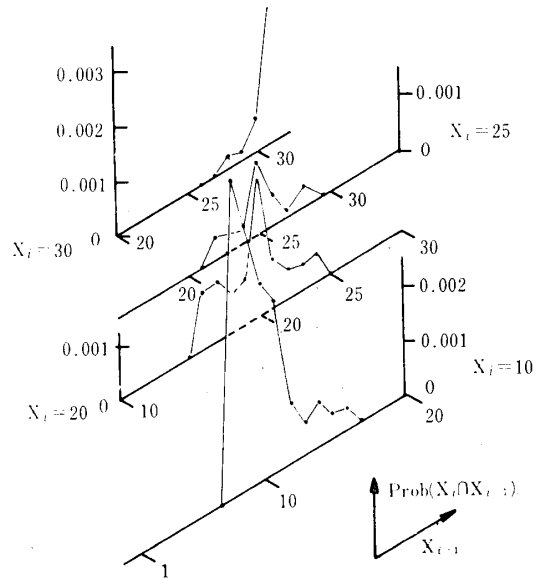


Fig. 4.3 Second-order probability sample No. (III)

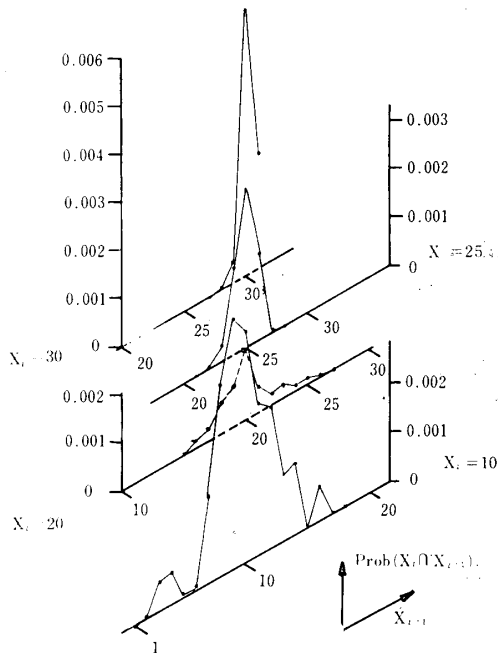


Fig. 4.4 Second-order probability, sample No. (IV)

及び Fig. 4.4 に示す。

その結果、各資料共 $\text{Prob.}(X_i=k \cap X_{i+1}=k)$ なる値が最も高いことがわかる。

4.2.2 条件付確率分布

第二次条件付確率分布 $\text{Prob.}(X_{i+1}=l | X_i=k)$ は式 (4.1), (4.3) より、

$$\text{Prob.}(X_{i+1}=l | X_i=k) = \frac{\text{Prob.}(X_{i+1}=l \cap X_i=k)}{\text{Prob.}(X_i=k)} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

として得られる。この値を求めた結果のうち、資料 (III) (IV) について、 $X_i=10, 20, 25, 30$ のときの値を Fig. 4.5 に示す。

4.2.3 自己相関関数

正規化自己相関関数は、

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} X_i \cdot X_{i+m}}{\sum_{i=1}^{n-m} X_i^2} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

と書けるが、 X_i は平均値が 0 でないから直流分を含む自己相関関数と定義する。また、 X_i からその平均値を引いて、

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} (X_i - \bar{X}_m)(X_{i+m} - \bar{X}_m)}{\sum_{i=1}^{n-m} (X_i - \bar{X}_m)^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} X_i \cdot X_{i+m} - \bar{X}_m^2}{\sum_{i=1}^{n-m} X_i^2 - \bar{X}_m^2} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

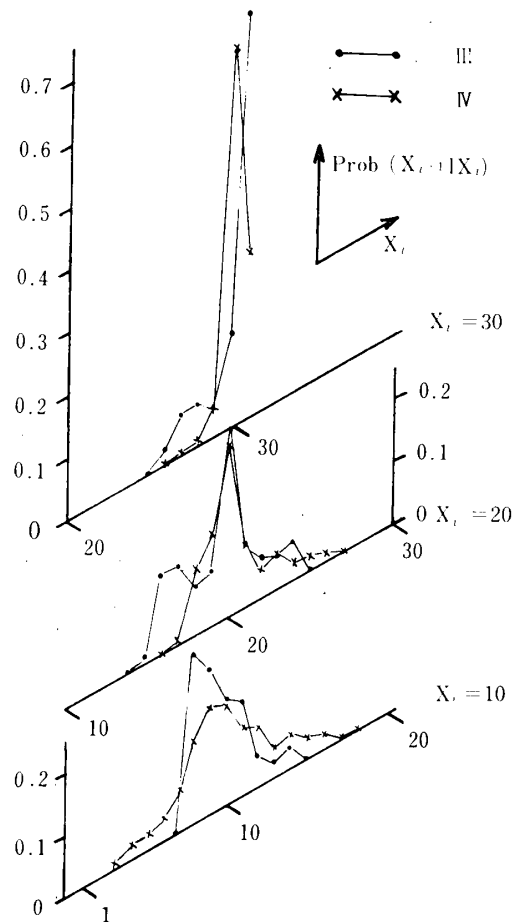


Fig. 4.5 Conditional probability

ただし、 $\bar{X}_m = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} X_i \quad \dots\dots\dots (4.7)$

を交流分のみ自己相関関数と定義する。測定の結果 ϕ_m, ϕ_m をそれぞれ Fig. 4.6, Fig. 4.7 に示す。

図より各資料とも相関はほぼ指数的に減少し、資料 (II) が最もローディテルな部分の多い写真であり相関減少の割合が小さく、資料 (III) が最も大きい。このことは、 ϕ_m, ϕ_m について言える。

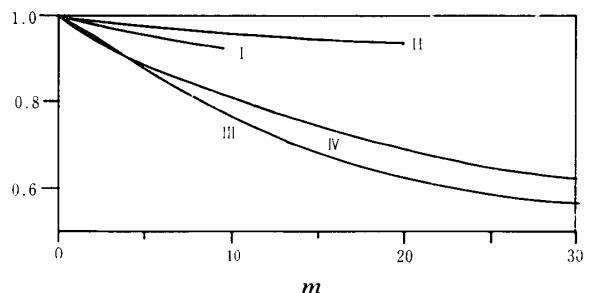


Fig. 4.6 Autocorrelation with DC component

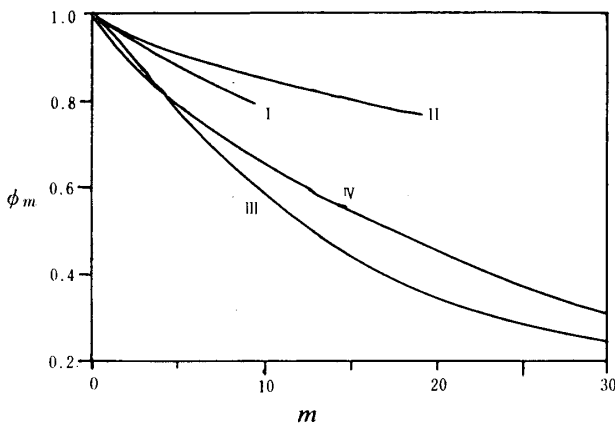


Fig.4・7 Autocorrelogram without DC component

4・3 情報量及び冗長度

4・1・1, 及び4・2・2の結果より情報量および冗長度を求めた。この場合, 第一次, 第二次および条件付情報量 $H(x_i)$, $H(x_i, x_{i+1})$ および $H(x_{i+1} | x_i)$ はそれぞれ次式で定義される。

$$H(X_i) = - \sum_{x_i=1}^{31} \text{Prob.}(X_i) \log_2 \text{Prob.}(X_i) \quad \text{〔bits〕} \dots\dots\dots (4 \cdot 8)$$

$$H(X_i, X_{i+1}) = - \sum_{x_i=1}^{31} \sum_{x_{i+1}=1}^{31} \text{Prob.}(X_i \cap X_{i+1}) \log_2 \text{Prob.}(X_i \cap X_{i+1}) \quad \text{〔bits〕} \dots\dots\dots (4 \cdot 9)$$

$$H(X_{i+1} | X_i) = - \sum_{x_i=1}^{31} \sum_{x_{i+1}=1}^{31} \text{Prob.}(X_i \cap X_{i+1}) \log_2 \text{Prob.}(X_{i+1} | X_i) \quad \text{〔bits〕} \dots\dots\dots (4 \cdot 10)$$

さらに第一次, 第二次及び条件付冗長度 R_1 , R_2 , および R_c は各絵素の情報容量が5〔bits〕であるので,

$$R_1 = 5 - H(X_i) \quad \text{〔bits〕} \dots\dots\dots (4 \cdot 11)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \{10 - H(X_i, X_{i+1})\} \quad \text{〔bits〕} \quad (4 \cdot 12)$$

$$R_c = 5 - H(X_{i+1} | X_i) \quad \text{〔bits〕} \dots\dots\dots (4 \cdot 13)$$

式(4・8) ~ (4・13) の値を Table 2 に示す。

Table 2 Entropy and redundancy

	First-order		Second-order		Conditional	
	Entropy	Redundancy	Entropy	Redundancy	Entropy	Redundancy
(I)	4.38	0.62	6.27	1.81	1.62	3.38
(II)	4.82	0.18	6.70	1.65	1.87	3.13
(III)	3.80	1.20	5.33	2.33	1.52	3.48
(IV)	3.98	1.02	6.28	1.86	2.30	2.70

この結果第一次冗長度 R_1 は4~24%となる。これは Fig. 4・1 から解るように, 低輝度レベルに分布が片よっているためである。第二次冗長度 R_2 につい

ては, 23~50%程度であり, これは Fig.4・3, Fig. 4・4で解るように $X_i = X_{i+1}$ なる分布が高いためである。さらに, R_c については, 54~70%もあることがわかった。

5. 結 言

結論としては,

- (1) 第一次確率分布は低輝度レベルの分布が大きく, また資料(II)は比較的一様に分布している。
- (2), このため, 第一次情報量は資料(II)が最も多く, 冗長度は約4%しかない。
- (3) 第二次確率分布及び隣接絵素間レベル差分布については, 隣接絵素が同一レベルを取る確率が最も高く, レベル差が大になると急激にその確率は0に近づく。
- (4) このため, 第二次確率分布は小さく, 冗長度は約23~50%程度となる。
- (5) 条件付確率分布についても値は X_{i+1} と X_i とが同一なる所に片よっており, 冗長度は最も大きく, 54~70%と絵素のもっている情報量のうち半分以上が冗長であることがわかる。
- (6) 自己相関関数については, 各資料共指数関数的に減少し, 減少の割合は画面の複雑な資料(III)が最も大きい。しかし, 隣接絵素間においては, 資料(III)が最も大きい値となる。

最後に画像の種類は無限にあり, 今回は先に筆者らが発表⁴⁾したものに加えて, Photo.3に示す4種類について行なったのであるが, さらに画像の統計的性質を究明するため今後さらに多くの資料についてこの測定を行なっていくつもりである。本研究を行なうに当り, 本学平田威彦助教授に有益なご指導を頂いたことを深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) E. R. Kretzmer: Statistics of Television Signals Bell System Tech. Jour., 31, 751 (1952).
- 2) A. R. Bilings, K. E. Forward: Video Correlator using Thin-Film Hall Multipliers, Proc. IEE, 112(4) 689 (1965).
- 3) 千葉, 安東: テレビ信号のレベル分布測定器, NHK技術研究, 16, (2) (1964)
- 4) 桐原, 藤本: 画像信号の統計的性質について電気四学会中国支部第19回連合大会, 53, (1968)

(昭和44年4月15日受理)