



Title	X線診断成立過程の模型化への試み
Author(s)	望月, 幸夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1962, 22(1), p. 24-36
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16082
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X 線診断成立過程の模型化への試み

東京慈恵会医科大学放射線医学教室 (指導 中原一臣教授)

大学院学生 望 月 幸 夫

(昭和37年3月17日受付)

On Mathematical Models of X-ray Diagnosis

By

Sachio Mochizuki

Dept. of Radiology, The Jikei Univ. School of Medicine

(Director: Prof. Kazuomi Nakahara)

As a fundamental study of X-ray diagnosis and its automation, the mathematical models of X-ray diagnosis were made. One is a model of the reasoning process of X-ray diagnosis by information theory. Taking X-ray diagnosis as transmitting the information to the radiologists from the information source, which consists of the objective disease complex, the model was made which has the subjectivity that transmits maximum information amounts concerning the information source. In this case, the information amount is defined as the same that is used in information theory, and so, it is settled by the probability of the objective disease complex only, having no relation to the value of its contents. It is a model that shows a phase of X-ray diagnosis because the meaning "information" in diagnosis has two phases; one is the same meaning that is used in information theory as explained above, having no relation to the contents of the disease complex, the second is another meaning which has relation to the contents of the disease complex.

The other is a model of X-ray findings recognition by the general theory of pattern recognition.

By using these models under the hypothetical assumption that all these calculations for processing should be correct, several fundamental problems were clarified.

The results obtained are as follows:

1. The information amounts conveyed by each finding or X-ray diagnostic system can be calculated by the model of reasoning process. Though in this case the meaning of the information was from a phase of X-ray diagnosis only, we were able to know the tentative faculty of it.
2. Adopting the new X-ray findings more secured results were obtained.
3. Better results were obtained by repeating the examination after appropriate intervals.
4. Better results were obtained by combining two X-ray examinations of different

technics.

5. For the objective recognition of X-ray findings, first of all, the establishment of the conception of each finding must be made, and then the independent items which is specifically radiological must be investigated.

内容目次

I 緒 言

II X線診断の主体性

1 Ledley, Lusted 両氏の模型

2 X線診断の主体性

III X線診断推理過程の情報理論的模型

1 情報理論的模型

2 X線所見の質

3 X線所見の量

4 再検査の意義

5 X線技術

6 応用例

7 小 括

IV X線所見認識過程の模型

1 "Observer variation"

2 パターン認識の理論によるX線所見認識過程の模型

3 X線所見の客観化

V 総 括

VI 結 論

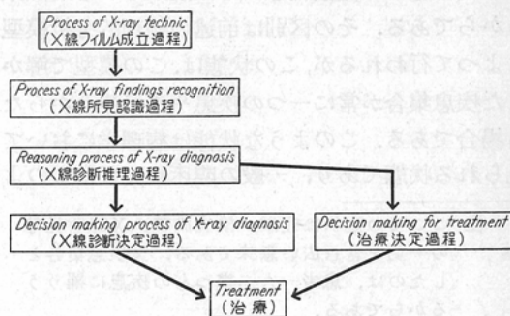
I 緒 言

X線診断はその成立過程に多くの情報処理過程を含み、それらの諸過程は放射線医の永年の修練の結果始めて正しく行われる。しかしながら、X線診断の基礎と思われるこれらの問題についての研究は非常に少い。一方近年、情報処理に関する研究が進み、電子計算機の発達と相俟って情報処理の能力が著しく増加し、思考作用の一部を機械が確実にこなせるようになったのは衆知の事実である。私は、一つにはX線診断学の基礎として、一つにはX線診断成立過程の一部を情報処理機械に行わせることによってX線診断をより容易に、より確実に行うことが可能か、更に進んでは、自動診断の域に迄高めうることは可能か、と考え、これらの問題の解決への糸口として診断成立過程の模型を試作してみた。

模型化の対象となる診断成立過程は4つの段階に分けて考えることが出来る。即ち、X線撮影を

行つてX線フィルムを作製する過程、X線フィルム上の各所見を認識する過程、認識された所見の集合から考えられる疾患の集合とその実現確率を知る過程、そして最後に、その結果得られた一連の疾患集合から一つを決定する過程である。第1をX線フィルム成立過程、第2をX線所見認識過程、第3をX線診断推理過程、第4を診断決定過程と呼ぶことにする。診療はこの4つの過程をへて治療過程へと進むのであるが、診断決定過程をへずして、即ち病名が下されることなくして、直接治療法の決定がなされる場合も少なくない。この過程を治療決定過程と呼ぶことにする。これらの過程を図示すると第1図の如くである。しかしながら、診断成立過程を狭義に考え、診断推理過程迄とする場合もある。即ち診断学の対象を、Osler¹⁾氏や Sosman²⁾氏の如く、診断推理過程迄と考えるのである。診断決定過程乃至は治療決定過程は現在の治療学、道徳的問題、社会学的問題が関係する複雑な過程であり、この3つの因子を含む一般的な決定函数を得ることは困難である。更にX線診断は数多い診断法の一つであり、決定過程に持ちこまれるのは、それらの診断法の諸結果で、すでに放射線科のみの問題ではない。以上の2つの理由から本論文は狭義の診断成立過程について述べる。順序が逆であるが、始めにX線診断推理

Fig. 1 Processes of X-ray diagnosis.



過程の模型について述べ、次でX線所見認識過程の模型について述べる。X線フィルム成立過程についてはX線技術上の問題であり、本論文の対象とする診断学と少しく対象が異なるので、診断成立過程との関係においてのみふれる。

II X線診断の主体性

1. Ledley, Lusted 両氏³⁾⁴⁾⁵⁾の模型

診断の数学的模型を作ろうとする試みは、1958年 Ledley, Lusted 両氏によってなされた。両氏の論理的分析模型、並びに確率模型である。これらは此の論文で言う診断推理過程の模型であり、概説すれば次の如くである。

(1) 論理的分析模型

診断の論理的分析には3つの因子が含まれる。即ち

① 疾患集合と症状集合* とに関する医学的知識

② 患者から得られた症状集合

③ 診断された疾患集合

である。この3つの因子をブール代数で表わし、

① n 個の症状 $S(1), \dots, S(n)$ から m 個の疾患 $D(1), \dots, D(m)$ への関係を示す医学知識の函数を $E\{S(1), \dots, S(n), D(1), \dots, D(m)\}$

② 患者の症状集合を示す函数を

$P\{S(1), \dots, S(n)\}$

③ 診断された疾患集合を示す函数を

$f\{D(1), \dots, D(m)\}$

と書くと、診断は $E \rightarrow (P \rightarrow f)$ と云う式を満足する f を見つけることになる。

(2) 確率模型

ある特定の疾患であると云えるのは、その疾患を他の疾患又は健康状態から区別することが出来るからである。その区別は前述の論理的分析模型によつて行われるが、この状態は、この模型で解かれた疾患集合が常に一つの疾患や疾患集合からなる場合である。このような状態は病理学において見られる状態であり、一般の臨床診断ではこのよ

うなことは望み難い。今このようにして解かれた結果が相異なる疾患集合であるとする、そして更にその相異なる疾患集合についてもつと多くの検査をすることが不可能だとする、問題は患者の症状集合 (s_j) を与えれば、その時の疾患集合 (d_i) である確率は如何と云うことになる。

但 $d_i \subseteq \{D(1), \dots, D(m)\}$

$s_j \subseteq \{S(1), \dots, S(n)\}$

前述の論理的分析模型と同様にブール代数で表わせば

$d_i = f\{D(1), \dots, D(m)\}$

$s_j = P\{S(1), \dots, S(n)\}$ となる。

医学知識が $Pd_i(s_j)$ と云う形で記載されるのと $Pd_i(s_j)$ は $Ps_j(d_i)$ にくらべて他の環境因子によつて殆ど影響を受けないと云う理由から Bayes の定理

$$Ps_j(d_i) = \frac{P(d_i)Pd_i(s_j)}{\sum_i P(d_i)Pd_i(s_j)}$$

を使用して、医学知識 $Pd_i(s_j)$ と $P(d_i)$ から $Ps_j(d_i)$ を算出することが出来る。但 $P(d_i)$ は d_i の先験的確率である。

以上が両氏の模型の概説であるが、これらの模型は氏等の述べる如く、診断過程から reasoning process と intangible process とを分離し診断成立過程を明確にするだけでなく、電子計算機の診断への利用の際の基礎となる模型である。しかしながら、これらの模型は先験的に与えられた症状集合と疾患集合に関するものであり、従つて極端に表現するなら、これらの模型は症状処理の際の誤りを皆無にするためのものである。こゝに新しい問題、即ち両氏の模型を実用化し Processing machine を製作する場合又それを発展させて行こうとする場合、診断の主体性は何か、そのため症状として何を採用すべきか、症状の数は如何にあるべきか、等の問題が生ずる。そこで次にこれらの問題をX線診断を対象として考察する。

2. X線診断の主体性

X線診断成立過程は、診断の対象となる疾患集合からなる情報源から診断医への情報の伝達と見ることが出来る。一般に情報と呼ぶ場合、その事象の生起確率だけで定め、従つてその事象の内容の意味や価値には全く触れない量を指す場合と、そ

*注 ここでの症状は症候、検査成績、X線所見等の一切を含む広い意味である。又疾患集合としたのは、患者一人が幾つもの疾患に罹りうるからである。

の内容の意味や価値に触れる量として見る場合がある。厳密には情報として両者を考えなければならないが、実際には内容の意味とか価値に触れなくてもすむ場合が多い。情報の理論であつかう情報量は前者であり、事象の確率だけで定る量である。さて、診断に際して診断医に伝達される患者の疾患に関する情報は両者の2つの面を持つていると考えられる。一般的に、稀な疾患迄正しく診断し得たものを優れた診断医と感じ、非常に多い疾患を正しく診断しても当然と感じ、更に稀な疾患の誤診は問われず、非常に多い疾患の誤診が問われるのは診断に關しての情報をその疾患の生起確率だけで定まる量として見る面である。しかしながら、一方では新しい所見を作る場合、特定の疾患に高い率を以て推定したり、鑑別診断を行うように努力している。又2つの診断系や2人の診断医を比較する場合、特定の疾患を高い率を以て推定したり、鑑別診断を行えるものを優れているとする場合もあるのである。これらは疾患の意味や価値に触れている第2の面である。診断成立過程を診断の対象となる疾患集合に関する情報の伝達と考えれば、その主体性は最大情報量の伝達と考えてよいであろう。即ち最大の情報が得られる診断が最も優れた診断であると考えられる。しかし情報に2つの面があるとすれば、伝達情報量にも2面が考えられる。今こゝにまず診断成立過程の主体の一面を主体とした模型を試作してみる。

III X線診断成立過程の情報理論的模型

1. 情報理論的模型

規格化された一定のX線技術が可能であり、且X線所見の認識が客観的に行われるという理想化された状態を仮定し、その状態のもとでX線診断成立過程について考えて見る。前述の如く、診断成立過程は診断の対象となる各疾患集合からなる情報源から診断医への情報の伝達と見ることが出来るが、更にこゝで、情報量は情報源としての疾患集合の実現確率だけで定まり、その内容の価値には触れないと仮定すれば、情報量は情報の理論⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾であつかえるものとなる。従つて今診断学の対象となる疾患を

$D(1), \dots, D(k)$ とし、それが示すX線所見を $S(1), \dots, S(l)$ とすれば診断の対象となる疾患集合は x_i ($i=1, \dots, m$)

但 $x_i \subseteq \{D(1), D(2), \dots, D(k)\}$

又診断の対象となる疾患集合を示すX線所見集合は y_j ($j=1, 2, \dots, n$)

但 $y_j \subseteq \{S(1), S(2), \dots, S(l)\}$

である。

今、全X線診断学知識、即ち遷移確率 $P_{x_i}(y_j)$ のすべて

$$\begin{array}{ccc} P_{x_1}(y_1) & \dots & P_{x_1}(y_m) \\ \vdots & & \vdots \\ P_{x_n}(y_1) & \dots & P_{x_n}(y_m) \end{array}$$

が知られているとすれば、 y_j なる所見集合を知ることにより、診断医が引きだすことが出来る情報源たる疾患に関する情報 $I(x, y)$ は

$$I(x; y) = -\sum_i P(x_i) \log P(x_i) - \{-\sum_{j=1}^n P(x_i, y_j) \log P_{y_j}(x_i)\} = H(x) - H_{y_j}(x)$$
 である。
なおこゝにおける $P_{y_j}(x_i)$ は、X線診断学知識 $P_{x_i}(y_j)$ 及び対象とする疾患集合の先験的確率 $P(x_i)$ から Ledley, Lusted 両氏の確率模型のように Bayes の定理

$$P_{y_j}(x_i) = \frac{P(x_i) P_{x_i}(y_j)}{\sum_i P(x_i) P_{x_i}(y_j)}$$

によつて求められる。

さて、伝達される情報量 $I(x; y)$ の大きさについて考えてみると、 $H(x)$ は情報源のエントロピー即ち乱雑さであり、式から分る通り、診断の対象となる各疾患集合の実現確率 $P(x_1), \dots, P(x_n)$ がきまれば一定の値を取る。 $H_{y_j}(x)$ は x の条件付エントロピー即ち所見集合 y を知つたときの散逸情報量と考えられるものである。一方情報理論の基本定理から

$$H(x) \geq H_{y_j}(x) \geq 0$$

従つて、X線診断の主体は $H_{y_j}(x)$ を最小とすることゝしてよいと思われる。何故なら、この場合のみ最大の情報を得ることが出来るからである。 $H_{y_j}(x)$ の取りうる理論的な最小値は0であり $H_{y_j}(x) = 0$ なる状態は診断の理想とするところ

である。この状態は情報の散逸が 0 なる場合である。

2. X線所見の質

個々のX線所見について、そのX線所見を採用した場合と採用しない場合とについて、伝達情報量を計算し、その差を見ることにより、その所見の担う情報量を知ることが出来る。このようにして、そのX線所見の一応の質を知り得るのである。同様に2つの診断系を比較しようとする場合にも、両系の伝達情報量を比較し一応の優劣を決めうる。これらの点については後節で具体的に述べることにする。

3. X線所見の量について

今 x なる疾患集合を見て所見集合 y を認識したとすると伝達情報量は前述の如くであるが、もう1つ別の新しい所見又は所見群を採用し、更に前の所見群に加えるとしよう。新しく加える所見群を $S'(1), \dots, S'(n')$ とし、これらが作る所見集合を z_1 とし伝達情報量の変化を考える。前と同じように

$$x_i \in \{D(1), \dots, D(m)\}$$

$$y_j \in \{S(1), \dots, S(n)\}$$

$$z_1 \in \{S'(1), \dots, S'(n')\}$$

今 x をX線診断し所見集合 y 並びに z を認識したとすると、その時診断医に伝達された x に関する情報 $I(x; y, z)$ は

$$I(x; y, z) = -\sum_i P(x_i) \log P(x_i) - \{-\sum_{i,j} P(x_i, y_j, z_1) \log P(x_i, y_j, z_1)\} = H(x) - H_{z,y}(x)$$

$$\text{但 } H_{y,z}(x) = -\sum_{i,j} P(x_i, y_j, z_1) \log P(x_i, y_j, z_1)$$

一方、所見群として y のみを使用した場合、 x に関する伝達情報量 $I(x; y)$ は

$$I(x; y) = H(x) - H_y(x)$$

従つて、伝達情報量の差は

$$I(x; y, z) - I(x; y) = H_y(x) - H_{y,z}(x)$$

であり、次に証明する関係から

$$H_y(x) - H_{y,z}(x) \geq 0 \quad \text{である。}$$

但等号は z が x と独立か、 z が y に完全従属のとき

従つて新しい所見 z を更に採用すれば、その z が疾患集合 x と独立か又は所見集合 y に完全従属でな

ければ、伝達情報量が増加することがわかる。疾患集合 x と独立な所見はX線所見として採用されることはないし、所見集合 y に完全従属な所見も新所見として採用すべきではないので、所見でさえあれば如何なる新所見でも、更に附け加えることにより、確実に伝達情報量が増加することがわかる。

$H_y(x) - H_{y,z}(x) \geq 0$ の証明

$$\begin{aligned} H_y(x) - H_{y,z}(x) &= -\sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log P_{y,j}(x_i) \\ &\quad - \{-\sum_i \sum_j \sum_l P(x_i, y_j, z_l) \log P_{y,j,z_l}(x_i)\} \\ &= \sum_i \sum_j \sum_l P(x_i, y_j, z_l) \log \frac{P(x_i, y_j, z_l)}{P(y_j, z_l) P_{y,j}(x_i)} \\ &= \sum_i \sum_j \sum_l P(x_i, y_j, z_l) \log \frac{P(y_j, z_l) P_{y,j}(x_i)}{P(y_j) P_{y,j}(z_l) P_{y,j}(x_i)} \\ &= \sum_i \sum_j \sum_l P(y_j) P_{y,j}(x_i, z_l) \log \frac{P_{y,j}(x_i, z_l)}{P_{y,j}(z_l) P_{y,j}(x_i)} \\ &= \sum_j P(y_j) \left\{ \sum_i P_{y,j}(x_i) \log \frac{1}{P_{y,j}(x_i)} \right. \\ &\quad \left. + \sum_l P_{y,j}(z_l) \log \frac{1}{P_{y,j}(z_l)} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i,l} P_{y,j}(x_i, z_l) \log \frac{1}{P_{y,j}(x_i, z_l)} \right\} \end{aligned}$$

今 j を固定し特定の j のみについて考え、更に

$$P_{y,j}(x_i) = P(X_i)$$

$$P_{y,j}(z_l) = P(Z_l)$$

従つて $P_{y,j}(x_i, z_l) = P(X_i, Z_l)$ と表わすと

$\{ \}$ 即ち

$$\begin{aligned} &\left\{ \sum_i P_{y,j}(x_i) \log \frac{1}{P_{y,j}(x_i)} \right. \\ &\quad \left. + \sum_l P_{y,j}(z_l) \log \frac{1}{P_{y,j}(z_l)} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i,l} P_{y,j}(x_i, z_l) \log \frac{1}{P_{y,j}(x_i, z_l)} \right\} \\ &= \left\{ \sum_i P(X_i) \log \frac{1}{P(X_i)} + \sum_l P(Z_l) \log \frac{1}{P(Z_l)} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i,l} P(X_i, Z_l) \log \frac{1}{P(X_i, Z_l)} \right\} \\ &= H(X) + H(Z) - H(X, Z) \\ &= H(X) - H_{Z,X}(X) \geq 0 \end{aligned}$$

等号は X と Z が独立のとき。

何故なら、情報理論の基礎定理

$$H(X) - H_{Z,X}(X) \geq 0$$

等号は x と y が独立のとき。

と同じものに他ならないからである。

さて X と Z が独立と云うことは

$$P(X_i, Z_l) = P(X_i) \cdot P(Z_l)$$

なることであり

従つて、 $P_{y,j}(x_i, z_l) = P_{y,j}(z_l) \cdot P_{y,j}(x_i)$

なることである

この式を変形すれば

$$P_{y_j, z_1}(x_i) = P_{y_j}(x_i)$$

この関係は z_1 が y_j に完全従属か、 z_1 が x_i と独立の場合に成立する。以上の関係がすべての j について成立する。従つて、 $\{ \}$ 式に $P(y_j)$ をかけ、すべての j について加えると

$$\sum_j P(y_j) \left\{ \sum_i P_{y_j}(x_i) \log \frac{1}{P_{y_j}(x_i)} + \sum_i P_{y_j}(z_1) \log \frac{1}{P_{y_j}(z_1)} - \sum_{i,1} P_{y_j}(x_i, z_1) \log \frac{1}{P_{y_j}(x_i, z_1)} \right\} \geq 0$$

よつて $H_y(x) - H_{y,z}(x) \geq 0$

但等号は z が x と独立か、 z が y に完全従属のとき。

4. 再検査の意義

第1回の検査に続き、ある間隔をおいて、それと同じX線技術により、前検査の結果と全く独立になされた第2回又はそれ以上の検査を再検査と呼び、よく行われることである。さて、ある疾患集合を持つ患者を一定の間隔で再検査を行う場合を考えると、その各々の検査の結果得られた所見集合の系列は時間間隔を等しくする時系列であり、それらの生起はエルゴード過程であると考えられる。そして又診断の対象となる疾患集合の生起確率が一定であるとする、再検査の結果得られた1組の所見集合の生起もエルゴード過程である。簡単に2回検査の場合について考察する。第1回目の検査の所見集合を

$$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n}$$

第2回目の検査の所見集合を

$$y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n}$$

とし、何らかの方法によつて再検の場合のX線診断学的知識 $P_{x_i}(y_{1j}, y_{2j})$ を知ることが出来たとする。すると x を診断し所見 y_1 並びに y_2 を得た場合の伝達情報量 $I(x; y_1, y_2)$ は

$$I(x; y_1, y_2) = H(x) - H_{y_1, y_2}(x)$$

1回検査のみで、即ち y_1 だけの場合の伝達情報量 $I(x; y_1)$ は

$$I(x; y_1) = H(x) - H_{y_1}(x)$$

両者の差は

$$I(x; y_1, y_2) - I(x; y_1) = H_{y_1}(x) - H_{y_1, y_2}(x)$$

この式は前の説明に使用した式と同じ型であり、

従つて、

$$H_{y_1}(x) - H_{y_1, y_2}(x) \geq 0$$

等号は y_2 と x が独立か、 y_2 が y_1 に完全従属の場合

y_1, y_2 は共にエルゴード過程の標本であるから、 y_2 が y_1 に完全従属の場合もあるわけである。特に各検査間の時間間隔が病理的な変動に較べて短い場合は完全従属のはずである。しかし時間間隔を適当に取れば確実に伝達情報量が増し、有利となることがわかる。

5. X線技術

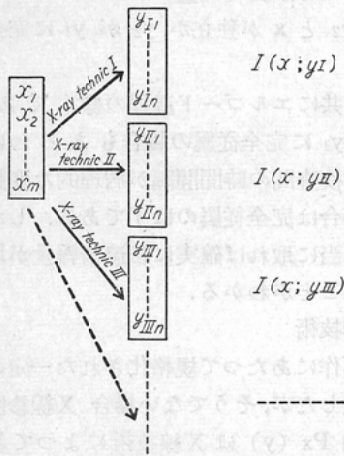
模型の製作にあつて規格化された一定のX線技術を仮定したが、そうでない場合、X線診断に関する全知識 $P_x(y)$ はX線技術によつて異つて来る。それ故、常にどの技術によるものであるかを明記する必要がある。もしX線技術を明記し、且つ技術を規格化すれば、 $P_x(y)$ は一定となり模型も一般化する。各種のX線技術が使用される場合は、それぞれの技術による所見を1つの所見として扱えばよい。技術の規格化で1番の問題となるのは Film Exposure である。均一な特性を持つフィルムと増感紙、そして自動現像機が実用化した現在なお Film Exposure の一部は技師諸兄の勘にたよつてゐる。それ故、フィルム上の所見はX線技術によつてどうしても変化するものである。この種の変動をなくし、従つてX線診断知識を更に一般的なものにするため、X線技術の自動化特に撮影条件の規格化と撮影条件決定の自動化が行われるのであるが、現在多くの研究¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾がこれらの分野でなされている。それぞれの技術により、その伝達情報量が異なる状況は第2図の如くである。所見の質の場合と同じく、この値を以て直に、技術の優劣を示すことは出来ないが、X線診断の一面から見た技術の優劣を知ることが出来る。又前節の結果 $I(x; y, z) - I(x; y) \geq 0$ と同様に

$$I(x; y_I, y_{II}) - I(x; y_I, y_{II}) \geq 0$$

等号は y_{II} が x と独立か、 y_{II} が y_I に完全従属のとき。

y_{II} はX線技術が異なるだけで y_I と同質の所見であるから、 x と独立ではあり得ない。それ故 y_{II} が y_I

Fig. 2 X-ray technics and transmitted information amounts



に完全従属でない限り等号であることはなく、従つて、更に他のX線技術によるX線検査を併せ行うことは効果的であることがわかる。

6. 応用例

1) 胸部間接X線検査の伝達情報量

J. Yerushalmy 氏等³⁾⁴⁾の論文によれば胸部間接X線診断における健康診断例1960例中 truly positive は30例で, truly negative は1930例, false negative 0.32, false positive 0.017であったと云う。この例は前述模型の最も簡単な型で、疾患が1つ、所見が1つの系と考えることが出来る。従つて、換言すれば、疾患集合が2つ、所見集合が2つからなる系と云える。疾患集合を x 、所見集合を y で表わし

truly positive x_1

truly negative x_2

positive finding y_1

negative finding y_2

と記せば、

truly positive の率は $P(x_1) = \frac{30}{1960}$

truly negative の率は $P(x_2) = \frac{1930}{1960}$

false negative は $P_{x_1}(y_2) = 0.32$

false positive は $P_{x_2}(y_1) = 0.017$

となる。これらの値を使つて伝達情報量を求めると次の様になる。先ず、情報源のエントロピー

$H(x)$ は $H(x) = -\sum_{i=1}^2 P(x_i) \log P(x_i)$ から計算すると 0.122ビットである。

次に、所見集合 y を知つた場合の条件付エントロピー即ち、散逸する情報量 $H_y(x)$ は

$$H_y(x) = -\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 P(x_i, y_j) \log P_{y_j}(x_i)$$

$$P(x_i, y_j) = P(x_i) P_{x_i}(y_j)$$

$$P_{y_j}(x_i) = \frac{P(x_i) P_{x_i}(y_j)}{\sum_i P(x_i) P_{x_i}(y_j)}$$

から計算すると 0.083ビットである。

従つて、伝達される情報量は

$$I(x; y) = H(x) - H_y(x) = 0.122 - 0.083$$

$$= 0.039 \text{ (ビット)}$$

この結果は肺結核を対象とした健康診断にはその情報源のエントロピーに等しい 0.122ビットの情報を得ることが理想なのであるが、胸部間接X線診断はその内 0.039ビットを得ていることを示している。

2. テレパークによる胆嚢X線診断

Hillier, Baker J.R. and John R. Hodgson

氏等はテレパーク造影を行い更に手術的に又は病理的に診断が確定された1207例についての報告⁵⁾を行つている。第1表はその結果を引用したものである。これは疾患が4つ(便宜上 Slight thickening, Moderate thickening, Subacute, marked thickening, Acute を一括し Chronic Cholecystitis とした)疾患集合は5つ、所見が4つ、且つ所見集合が5つの系である。疾患でも所見でも数が4つあれば、それから作られる集合は理論上²⁴⁾あるわけであるが、実際には少なく、この場合も5つのみとなつている。第1例と同じようにして、疾患集合を $x_1 \dots x_5$ 、所見集合を $y_1 \dots y_5$ とし、次の如く表わせば、

疾患集合

Gallstone $\dots \dots \dots x_1$

Tumors $\dots \dots \dots x_2$

Chronic Cholecystitis $\dots \dots \dots x_3$

Miscellaneous $\dots \dots \dots x_4$

Normal $\dots \dots \dots x_5$

所見集合

Normally functioning $\dots \dots \dots y_1$

Table 1

Diagnosis, 1957	No. of Cases	Findings at Operation							Diagnosis Confirmed at Operation (per cent)
		Gall-stones	Tumors	Chronic Cholecystitis			Miscellaneous	Normal	
				Slight Thickening	Moderate Thickening, Subacute	Marked Thickening, Acute			
Gallbladder									
Normally functioning	353	3	..	2	1	..	..	347	98.3
Poorly functioning	3	1	..	2	..	..	..	..	100.0
Nonfunctioning	229	188	6	3	2	4	21	5	97.8
Normally functioning with stones (474)	611	599	6	1	..	..	..	5	98.0
Poorly functioning with stones (37)									
Nonfunctioning with stones (100)									
Tumors	11	..	11	•	•	•	..	..	100.0
Totals	1207	791	23	8	3	4	21	357	..

From Baker, H.L. and Hodgson, J.R.: Further Studies on the Accuracy of Oral Cholecystography.

Poorly functioning..... y_2

Nonfunctioning..... y_3

Normally functioning with stones

Poorly " " " } ... y_4

Nonfunctioning with stones

Tumors..... y_5

第1表の結果は第2表のように書き表わせる。これらの値を使つて情報源のエントロピー $H(x)$ を

求めれば、 $H(x) = \sum_{i=1}^5 -P(x_i) \log P(x_i)$ から

$$H(x) = 1.209 \text{ ビット}$$

を得る。

Table 2 Disease complex-finding complex matrix of oral Cholecystography

x	y					
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
x_1	$\frac{3}{391}$	$\frac{1}{791}$	$\frac{188}{791}$	$\frac{559}{791}$	$\frac{0}{791}$	$P(x_1) = \frac{791}{1207}$
x_2	$\frac{0}{23}$	$\frac{0}{23}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{11}{23}$	$P(x_2) = \frac{23}{1207}$
x_3	$\frac{3}{15}$	$\frac{2}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{0}{15}$	$P(x_3) = \frac{15}{1207}$
x_4	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$P(x_4) = \frac{21}{1207}$
x_5	$\frac{347}{357}$	$\frac{0}{357}$	$\frac{5}{357}$	$\frac{5}{357}$	$\frac{0}{357}$	$P(x_5) = \frac{357}{1207}$

Note: The value in the table shows each $P_x(y)$

次に所見集合 y を知つた場合の条件付エントロピー、即ち散逸する情報量 $H_y(x)$ は

$$H_y(x) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 -P(x_i, y_j) \log P_{y_j}(x_i)$$

$$P(x_i, y_j) = P(x_i) P_{x_i}(y_j)$$

$$P_{y_j}(x_i) = \frac{P(x_i) P_{x_i}(y_j)}{\sum_{i=1}^5 P(x_i) P_{x_i}(y_j)}$$

から、 $H_y(x) = 0.315$ ビット

である。従つて、この診断系の伝達情報量 $I(x; y)$

$$\begin{aligned} I(x; y) &= H(x) - H_y(x) = 1.209 - 0.315 \\ &= 0.894 \text{ (ビット)} \end{aligned}$$

である。胸部間接X線診断に比較してテレパーク胆嚢X線診断はかなり多くの情報を伝達する診断系である。

3. さて前述の第2例は疾患集合が5つ、所見集合が5つ、の診断系であつたが、今1つの所見 $\text{poorly functioning} = y_2$ を廃止した場合の伝達情報量の減少をしらべて見る。先ず $\text{poorly functioning}$ を廃止して、これに属する所見を $\text{normally functioning}$ とすると所見集合の数は y_1, y_3, y_4, y_5 の4つとなり、第3表に示すようになる。この場合も同様にして $H_y(x)$ を計算すると、 $H_y(x) = 0.329$ ビットとなる。この値と全所

Table 3 Disease complex-finding complex matrix of Oral cholecystography without y_2

$x \backslash y$	(y_1+y_2) y_1	y_3	y_4	y_5
x_1	$\frac{4}{791}$	$\frac{188}{791}$	$\frac{559}{791}$	$\frac{0}{791}$
x_2	$\frac{0}{23}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{11}{23}$
x_3	$\frac{5}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{0}{15}$
x_4	$\frac{0}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$
x_5	$\frac{347}{357}$	$\frac{5}{357}$	$\frac{5}{357}$	$\frac{0}{357}$

Note: The value in the table shows each $P_x(y)$

見を採用した場合の散逸量 0.315とを比較して見ると、その差は少く poorly functioning の担う情報量は少いことがわかる。このようにして各所見の担う情報量を計れば、どの所見が重要なものであり、どの所見がそれほどでもないと言うようなことの一応の目安を得ることが出来る。

7. 小括

以上の模型は疾患の価値に触れないものであつたが、価値について触れると、即ち第2の面迄考えると異つて来る。情報理論的な情報が多くてもよい診断とは云えず、情報理論的な情報が少くてもよい診断である場合も存在する。これは特定の疾患にのみ高い適中率が得られれば、それでよいと考える場合がある。伝達情報量 I は $H_y(x)$ と $H(x)$ によつてきまるが、 I が一定でも $P_y(x)$ が一義的に定まらないので、同じ I に対して各種の系の所見が考えられる。これ等は疾患の価値を問わなければ同じであるが、特別な疾患集合 x を確実に診断することが特に価値ある場合には、その x の $P_y(x)$ が1に近づきその x 以外の $P_y(x)$ は0に近いものが良いことになる。勿論このときは他の疾患集合の診断は鈍となる。疾患の価値が一番問題になるのは前述の第2節、即ち2つの診断系を比較する場合とX線所見の質を決定する場合である。しかしながら第3、4節で得られた結果

は疾患の価値とは無関係に成立することは注目すべき事である。何故なら、新所見の採用や再検によつて伝達される情報理論的な情報量が増加するのは既述の通りであるが、其のことに由つて第2の面から見た情報量は増えこそすれ減ることはないからである。2つの診断系を比較する場合にも、片方の所見群が他方の所見群に含まれている場合は第3節と同じ状態であり、従つて疾患の価値とは無関係に伝達情報量が多い方の診断系が優れていると云うことが出来る。それ故、第3節並びに第4節の技術併用の項は、診断過程の模型から得られた結果であるが、情報を如何に考えようと成立する。

今若し、情報理論的な情報を充分に得ることが出来ず、ある疾患集合の診断に際して、その決定過程からの要請に答えられない時はそれだけの情報を増加させればよい。この場合、伝達情報量を増加させる手段は限定されているので、なるべく対象とする疾患集合に関する情報だけを増加させるよう努力すればよい。個々のX線所見や所見集合は無目的に増加されたり発展して来たものでなく、診断或は治療決定過程からの要請によつて増加発展して来たものである。以上の理由から今迄と同じ方法で新しい所見が作られていくならば、この模型は更に一般的な模型としてよい。

IV X線所見認識過程の模型

1. "Observer variation"

私達が日常親んでいるX線所見の多くは複雑なモノクローム図形であり、その認識を読影と呼ぶ。複雑な図形を認識する機械がない現在、読影は医師によつて行われている。現在この分野に関しては人間が最高の機械と考えられているからである。然しながら、かなり不正確な点もあり、多くの因子によつて影響を受けると云われている。

一般に所見の認識の誤りはObserver error(誤診)と呼ばれ、又複雑な所見からは眞の所見と云うものを決めかねるので Observer variation とも呼ばれる。その大きさや原因については数種の優れた研究¹⁶⁾がなされ、重大な不正確さを持つた所

見の存在が報告されている。しかしながら、これらの研究中には上述の純粹の意味での Observer variation に関するものは少い。もとより診断の際の誤りは診断成立過程に於けるすべての段階で生じ得るものである。即ち

- (1) X線フィルム成立過程での誤り
- (2) X線所見認識過程での誤り
- (3) X線診断推理過程での誤り
- (4) 診断決定過程での誤り

である。今迄 Observer variation 又は Observer error と呼ばれて研究されてきたものはこゝで云うものと少し異り、この内のいずれか、又はこの内の幾つかの総合であると考えられる。Observer variation が存在する故に、X線所見は厳密には客観的なものではなく、intraindividual, inter-individual, 病院間で異なる。X線診断学教科書に書かれた所見も厳密に云えば著者自身のものである。従つて、模型を作れば、それぞれ異なるものが存在することになる。そして当然、伝達情報量も異つて来ることは明かである。

2. パターン認識の理論⁸⁾によるX線所見認識過程の模型

前述の如く、X線フィルムの読影はモノクローム図形の認識であり、従つて、パターンの認識に属する事柄である。そこで、パターン認識の一般理論からX線所見の認識について考察し、X線所見認識過程の模型を試みてみた。パターン認識の理論はあまり一般的なものではないと思われるので、初めに解説を試みる。

パターン認識の機構は

- 1) 観測機構
- 2) 符号化機構
- 3) 処理機構

の三つの段階に分けられる。1) の観測機構によつて観測されたパターンは2) の符号化機構により符号化される。符号化は次のようにして行われる。先ずパターンを特徴づけている互に独立な項目を決定し、次に各項目が取る数値を量子化し、更に細かい目に対応させるのである。こうすることによつて、この目の集合からなるタブレットの上にパターンを表わすことが出来る。飯島氏⁹⁾は符号化されたパターンの処理機構に関して理論的に抽象化したものについて説明したが、その時、文字認

識の問題と対応がつくような用語を用いて説明した。ここでもその数節を引用し同じ用語を用いる。従つて、文字と記載しても文字なる語はモノクローム図形を指しているとすればよい。

今概念としての l 種類の文字 $L^{(r)}: r=1, \dots, l$ を考え、これを文字概念と呼ぶ。これを具体的に表示する場合として m 個の目からなる集合を考えタブレットと名付ける。ここにおいて、各目の値が0又は1なる値のいずれかを取るようにならばタブレットの上に表現されるものをパターンと呼ぶ。文字概念 $L^{(r)}$ に対応してタブレット上に表示されるものを $L^{(r)}$ に属する文字を名付け、

$$A_j^{(r)}: r=1, \dots, l, j=1, \dots, k(r)$$

で表わす。 $k(r)$ は $L^{(r)}$ に属する文字の種類の数である。又いかなる文字概念にも属さないパターンをスクロールと呼ぶ。次に各パターンの論理和、論理積、否定をそれぞれのパターンの各目の値の論理和、論理積、否定を目の値とするパターンと定義し、更にここで黒色文字 $B^{(r)}$ 、灰白文字 $G^{(r)}$ 、白色文字 $W^{(r)}$ を次の如く定義する。

$$B^{(r)} \equiv \bigcap_{s=1}^{k(r)} A_s^{(r)} \quad G^{(r)} \equiv \left(\bigcup_{s=1}^{k(r)} A_s^{(r)} \right) \cap \widetilde{B}^{(r)}$$

$$W^{(r)} \equiv \bigcap_{s=1}^{k(r)} \widetilde{A}_s^{(r)}$$

次にタブレットの各目の値0, 1の他に ∞ なる値を導入し、次の如き演算法則を与える。

$$\infty \cap a \equiv a \cap \infty \equiv \infty$$

$$\infty \cup a \equiv a \cup \infty \equiv \infty$$

$$\widetilde{\infty} \equiv \infty$$

a は0又は1

このようにして、タブレットの各目の値が0, 1, ∞ のいずれかの一つの値を取るとして、タブレットの上に表現されるものをブロックと名付け、特にタブレットの各目を値づけるのにつぎの法則

$$B^{(r)} \text{ の目が1ならば } 1$$

$$G^{(r)} \text{ の目が1ならば } \infty$$

$$W^{(r)} \text{ の目が1ならば } 0$$

に従つて作られるブロックのことを $L^{(r)}$ に属する文字ブロックと呼ぶことにする。以上の準備によつてパターン認識の原理を示すパターン認識の基本定理を知ることが出来る。“もしパターンAと文字ブロック $K^{(r)}$ が次の関係式

$$K^{(r)} \cap A \equiv K^{(r)} \cup A$$

を満足すれば A は $L^{(r)}$ に属する文字であり、逆に A が $L^{(r)}$ に属する文字であれば、上式が満足されるために必要かつ充分な条件は $\{K^{(r)}\}$ が完備であることである。但、文字ブロックの集合 $\{K^{(r)}\}$ が与えられている時、 $r \neq t$ なるあらゆる文字ブロック $K^{(r)}$, $K^{(t)}$ の組合せに対して常に

$$K^{(r)} \cap K^{(t)} \supset K^{(r)} \cup K^{(t)}$$

たる関係式が満足されるならば $\{K^{(r)}\}$ なる集合は完備であると云う。”

以上の定理がパターン認識の原理を示すものである。次に更にタブレットにおいて、ある幾つかの目の値を恒等的に ∞ とし、残りの目の値は文字ブロック $K^{(r)}$ の対応する目の値に等しくとるものとする。こうして得られた文字ブロック $H^{(r)}$ のことを $K^{(r)}$ の変形文字ブロックと呼ぶ。又一般にブロックにおいて ∞ なる値を取る目のことを死目、0 又は 1 なる値を取る目のことを生き目と呼ぶ。このようにして、更に次の定理、即ち“変形文字ブロックの集合 $\{H^{(r)}\}$ が完備であると仮定すると、若しパターン A がスクロールでないならば、 $H^{(r)} \cap A \equiv H^{(r)} \cup A$ が成立つことと、 A が $L^{(r)}$ に属する文字であることは同等である。”と云う定理が証明される。これらの定理の導入と証明は省略し結果だけを引用する。ともかくこの二つの定理によつて $K^{(r)}$ 又は $H^{(r)}$ からパターン A が何という文字概念に属するかを知ることが出来る。 $K^{(r)}$ や $H^{(r)}$ は初めからあるものでなく学習の結果作られるものであり、文字ブロックの完成迄を第一種の学習、変形文字ブロックの製作過程を第二種の学習と呼ぶ。即ちパターンを見る度に文字ブロックを改変して行くのであるが、こうしていくと学習に使われたパターンと完全には一致しないパターンも比較的少数のパターンの学習によつて認識出来るようになる。そして遂には文字ブロックが完成し、全てのパターンを認識出来るようになるのである。又同時に文字ブロックが改変されるにつれて生の目が少なくなつて認識は容易になつて来る。更に文字ブロックを変形して変形文字ブロック $H^{(r)}$ を作れば、生の目の数は更に少くなり、死目の数は増加していく。このようにして生の目が少くなればなる程パターンの判別が容易になつて来るはずである。従つて文字ブロックの変形を押し進めれば進める程認識は容易になる。その変形の限界は $\{H^{(r)}\}$ の完備性が失われる時である。

以上パターン認識の理論を特にその処理機構について述べたのであるが、次にこの理論から X 線

所見認識の過程について考察して見る。X 線所見の如き複雑な図形の認識に於て以上の認識の一般理論から考察しようとする場合、最初の問題は独立項目として何を考えるべきかと云うことである。しかし、人間が図形を認識する際の独立項目は何であるか不明であるし、又複雑な図形を認識する機械のない今日、認識機械の独立項目も不明である。しかしながら、独立項目が必要とする条件はそれが客観的且定量的に認識出来ることである。パターン認識の全部又は一部を人間に頼らねばならない現在、読影の学習過程から考えると、X 線所見の独立項目は X 線所見を特徴づけるところの客観的認識が可能なモノクローム図形、或いは客観的に測定が可能な量（大きさ、濃度等）と考えてもよいであろう。若しこのような独立項目を知ることが出来れば、上述の認識理論の独立項目として採用し、認識の理論に則つて X 線所見認識の模型を作ることが出来る。この模型によれば X 線所見の客観的認識が可能となる。但し、第Ⅲ章の諸結果と同様にこの模型に含まれる情報処理過程—論理計算—が確実に行えると云う条件の下でのみ模型化は可能となる。複雑なパターンである X 線所見ではその認識に多くの独立項目とその量子化が要求されるため、目の数が非常に多いと考えられ、単純な図形にくらべると X 線所見の認識がむずかしいのは一つには目の数が多く、その処置の過程が複雑であるからである。

3. X 線所見の客観化

今迄 X 線診断学の知識 $P_{X_i}(y_j)$ は先験的に知られているとしたが、実際にはこの値を求めることは診断学の大きな課題である。この値はそれぞれの症例数さへ適当に多く集めれば、どのようにも正確に求めることが出来る。しかしながら 1 人の医師、又は 1 つの病院が経験出来る症例数は知れたものであり、正しい値を求めるには他の医師や他の病院の業績にたよらねばならない。そのためには X 線所見というものが客観的なものだけではないければならず、更に客観的な所見を使うことによつて模型を一般的なものにすることが出来る。所見の客観化は Observer variation を無くすこ

とによつて可能である。Observer variation の原因として経験、視生理学的因子、心理学的因子、皮労等が挙げられているが、それにもまして重要と思われるのはX線所見では認識理論における文字概念に当るものが確立されていないということである。厳密に云えば、放射線医1人1人が異なる所見概念を持つてゐるのである。この意味から客観的なX線所見概念の設定が早くなされねばならない。実際に客観的なX線所見を得るためには、2つの方法が考えられる。その1つは先験的に私達の使つてゐる所見を訓練によつて客観的なものにしようとする方法である。これは以前から familiar なものであり、教材用フィルムによつてパターンとしてのX線所見を憶える方法である。もう1つは前節の所見認識模型によつて所見の認識を客観化しようとする方法である。即ち、多くのX線所見を検討し、その中から客観的認識が可能と考えられる簡単な特徴を多く探し、それらを独立項目として文字ブロックを作製するのである。こうする事が出来れば理論的には所見の客観的認識が可能である。次に更にその文字ブロックを変形して変形文字ブロックを作り、その客観性の保たれる限り変形をおし進め、生の目を少くすることにより処理機構を容易にし、こゝでの誤を少くすることが出来る。いずれの方法による場合でもX線所見の概念を何らかの形ではつきりと決めておくべきことは云うまでもない。断片的ではあるが第2の方法への努力が各所に見られる。消化管のX線学的位置及び型の決定、各種心臓計測、骨盤計測、トルコ鞍計測、従隔幅計測、腎移動距離の計測、松果腺石灰化位置計測、肺野透亮度計測、胆のう陰影の計測、並びに先天性股関節脱臼に関する各種X線学的所見等である。これ等はいずれも独立項目として客観的認識が容易な単純な図形とか、代表点間の距離とか、代表位置の濃度とかを計つてゐる。唯いずれも不十分と思われる点があるのは、これらが未だ完備ではないからである。このように断片的な努力は見られるのであるが、複雑なX線所見では所見を特徴づける独立項目が非常に多く、その全てを知ることが出来

ないため、所見に関する情報が不充分で正しい所見を認識することが出来ない。実際に肺紋理とその異常、胸部に現れる各種陰影、ニツシエ、胃陰影における辺縁硬直、陰影欠損等あまりにも複雑な所見であり、直感的に認識出来ても、模型における独立項目の全てを探し出すことは困難であり将来の問題である。しかしながら、複雑な図形を認識する機械がない現在、複雑な所見の認識についての研究が私達に課せられている1つの課題である。

V. 総 括

X線診断学並びにX線自動診断の基礎的研究として、診断成立過程の模型、“X線診断推理過程の情報理論的模型”と“パターン認識の一般理論によるX線所見認識過程の模型”を試作した。前者はX線診断成立過程を、診断の対象となる疾患の集合よりなる情報源から放射線医への情報の伝達と考え、情報源に関する出来る限りの情報量を得ることを診断の主体とする情報理論的模型である。この場合の情報量として、X線診断の対象とする疾患集合の生起確率だけで定まり、疾患集合の内容の価値には触れない量とした。診断過程における情報は疾患の内容の価値に触れる面と疾患の内容の価値に触れない面との2つの面を有するので、この模型はその過程の一面を示す模型である。後者はパターン認識の一般理論によるX線所見認識過程の模型である。この2つの模型から、情報処理に関する計算が正しく行われると云う条件の下に、幾つかのX線診断学の基本的な問題を解明することが出来た。得られた知見を列挙して結論とする。

VI. 結 論

1. 模型から個々のX線所見や各X線診断系の担う情報量を算出することが出来る。これはX線診断の一面から見た情報量であるが、この値によつて一応の優劣を知り得る。
2. 新しいX線所見を更に採用すれば、それが如何なる所見であろうとも結果は確実に良くなる。
3. 適当な間隔をおいて再検査を行うことにより良い結果が得られる。
4. 異なるX線技術による検査を併せ行えば結果は確実に良くなる。

5. X線所見認識の客観化を行うためには先ず所見概念の確立と、モノクローム図形としての所見を特徴づけている独立項目の探求を行わねばならない。

稿を終るに当たり、このテーマを私に与えられ、御懇篤なる御指導御鞭撻を頂いた恩師中原一臣教授に深甚なる謝意を表します。又御校閲を賜った慈恵医大生理学教室名取礼二教授に謹んで御礼申し上げます。更に終始私の質問に快く答えて下さり、御教示を頂いた東京大学工学部応用物理学教室甘利俊一氏の御厚情に心からなる感謝を捧げます。そして本研究に御助力を頂いた慈恵医大放射線医学教室教室員各位に対して、厚く感謝の意を表します。

(本論文の要旨は昭和36年10月第132回日本医学放射線学会関東部会並びに昭和37年4月第21回日本医学放射線学会総会に於て発表した。)

文 献

- 1) Isadore Meschan, M.A.: Roentgen Signs in Clinical Diagnosis, Chapter 3. — 2) Sosman, M. C.: The Specificity and Reliability of Roentgenologic Diagnosis. New England J. Med. 242: 849—855, June 1, 1950. — 3) Ledley, R.S. and Lusted, L.B.: Reasoning Foundations of Medical Diagnosis. Science 130: 9—21, July 3, 1959. — 4) Lusted, L.B.: Logical Analysis in Roentgen Diagnosis. Radiology 74: 177—193, Feb. 1960. — 5) Lusted, L.B. and Ledley, R.S.: Mathematical Models in Medical Diagnosis. J.M. Education 35: 214—222, March, 1960. — 6) Shanon,

C.E. and Weaver, W.: The Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, 1949.

— 7) A.M. Яглом и И.М. Яглом: Вероятность и Информация, Гостехиздат, Москва, 1957.

アー・エム・ヤグロム, イー・エム・ヤグロム, 井関清志・西田俊夫訳: 情報理論入門 (みすず書房).

— 8) 国沢清典・飯島泰蔵・前田活郎・北川敏男: 情報理論 (<オートメーション>シリーズ 1, 共立出版, 昭35).

— 9) 本多波雄: 情報理論入門 (日刊工業新聞社, 昭35).

— 10) Van Der Plaats: Automation und Automatisierung in der Diagnostik. IX th International Congress of Radiology, 1959 in München, 41—46.

— 11) Magni, G.A.: Automatisierung und Automatisierung in der Roentgenabteilung. IXth International Congress of Radiology, 1959 in München: 46—54.

— 12) Bishoff, K. und Gellinek, W.: Problem der Automation in der Roentgendiagnostik. IXth International Congress of Radiology, 1959 in München: 55—62.

— 13) Yerushalmy, J., Harkness, J.T., Cope, J.H. and Kennedy, B.R.: The Role of Dual Reading in Mass Radiography. Am. Review Tuberc. 61: 443—464, April, 1950.

— 14) Yerushalmy, J.: The Reliability of Chest Roentgenography and its Clinical Implications. Diseases of the Chest 24: 133—147, August, 1953.

— 15) Baker, H.L. and Hodgson, J.R.: Further Studies on the Accuracy of Oral Cholecystography. Radiology 74: 239—245, Feb. 1960.

— 16) Garland, L.H.: Studies on the Accuracy of Diagnostic Procedures. Am. J. Roentgenol. 82: 25—38, July, 1959.