情報の量子論と平均類似度を保持するあるいは単調的に変換する作用素

鈴　木　昇　一

The Quantum Theory of Information and Two Operators Which Preserve and Increase or Decrease Average Similarity Measure

Shoichi SUZUKI

Let us assume that a pattern can be expressed in a separable Hilbert space where an inner product (,) and a norm $\|\cdot\| = \sqrt{(\ ,\ )}$ are defined by a Lebesgue-Stieltjes integral. It is well known that an average similarity measure between a pattern-set Ψ having both a probability p_r and a pattern ψ_r as an element and an input pattern φ appears in the form of

$$\mathrm{ASM}\ (\Psi,\ \varphi) = \sum_{r \in R} p_r \cdot |(\varphi \|\varphi\|^{-1},\ \psi_r \|\psi_r\|^{-1})|^2$$

, which has been proposed by S . Suzuki . In this paper, attention will be paid mainly to two points (i) and (ii) followed by a simple explanation of three matters of fundamental importance (the first and the second quantizations and a method of constructing a structural model of any pattern) in a quantum theory of information:

(i) a determination of a concrete shape of an operator A satisfying an equality

$$\mathrm{ASM}\ (\Psi,\ A\varphi) = \mathrm{ASM}\ (\Psi,\ \varphi).$$

(ii) a proof by a concrete computation of an inequality

$$\mathrm{ASM}_\ell\ (\Psi,\ A_m(t)\varphi) \begin{cases} \geqq \mathrm{ASM}_\ell\ (\Psi,\ A_\ell(t)\varphi) \\ \leqq \mathrm{ASM}_\ell\ (\Psi,\ A_m(t)\varphi) \quad (m \neq \ell) \end{cases}$$

concerning a non-negative one-parameter semi-group $\{A_m(t)\}_{0 \leqq t}$ of bounded additive operators, where $\mathrm{ASM}_\ell(\Psi,\ \varphi)$ is the ℓ-th component of a direct-sum orthogonal decomposition

$$\mathrm{ASM}\ (\Psi,\ \varphi) = \sum_{\ell \in L} \mathrm{ASM}_\ell\ (\Psi,\ \varphi)$$

of the measure $\mathrm{ASM}\ (\Psi,\ \varphi)$.

1. ま え が き

与えられたアルゴリズム(algorithm)をコンピュータが受理し理解できるような記号系列に表現したものをプログラム (program) といい，プログラムを叙述するために用いられる言語をプログラミング言語 (programming language) という.

処理すべき仕事の手順 (プログラム) が主記憶装置の中におさめられ，実行順序のついた命令を逐次的に実行していく現代の高速自動計数型プログラム内蔵方式電子計算機 (high-speed automatic digital stored-program electronic computer) の理論モデルは，1936年チューリング (Turing) がヒトによる計算過程を分析し捨象化することに端を発し発表した計算可能性の理論(theory of computability)に登場したチューリング機械 (Turing machine) である. チューリング機械では，コンピュータを作り上げている物理的実体としてのハードウェア(hardware) とプログラム総体としてのソフトウェア (software) との分離は明確になされていなかったが，任意の Turing 機械が行なう計算 (computation)を実行してしまう能力をもつ万能 Turing 機械 (universal Turing machine) のテープ上に，与えられる Turing 機械の4項系列の集合はいわゆる今日のコンピュータの主記憶装置に格納されるプログラムに相当するものであり，万能 Turing 機械こそが今日のコンピュータの理論モデルであった.

1943年に着手し，1946年の夏にエッカート (Eckert) とモークリー (Mocley) とによってペンシルバニア大学で完成され，使用した真空管 (vacuum tube) が18,800本，消費電力150kw の弾道計算用電子計算機エニアック (ENIAC ; Electronic Numerical Integrator and Calculator) が今日のコンピュータの第一歩である. また，ENIAC の開発に協力したノイマン (Neumann) がプログラム内蔵方式を提案したのが1945年であったのも見逃せない.

日本では，アメリカに追いつくために，世界に先駆けて，1956年，トランジスタ (transistor)式のコンピュータ ETL MARK III が電気試験所 (今日の電子技術総合研究所) で製作されている.

コンピュータの世代は，コンピュータに使用される論理・記憶素子の種類によって分けられている. 第1世代は真空管，第2世代はトランジスタであった.

多数のトランジスタなどが1チップ(chip) に集積されている集積回路 (Integrated Circuit; IC)，すなわち，SSI (Small Scale IC)，MSI (Median Scale IC)，LSI (Large Scale IC) で構成されたコンピュータは第3世代に属する.

第3世代のコンピュータの幕開けは1964年に発表され，1965年より出荷開始された IBM 360 シリーズである.

なお，1971年4月，2,200個のトランジスタに相当する回路を集積した4ビットのマイクロプロセッサ (microprocessor) 4004 を使った世界初のマイクロコンピュータ (microcomputer) MCS—4 がアメリカのインテル (Intel) 社から発表されている.

LSI 方式のコンピュータは第3.5世代に属するといわれ，1970年に発表された IBM 370 なるコンピュータがそうである.

第4世代コンピュータは，数ミリ平方のシリコン板に十万個以上のトランジスタやコンデンサを詰める超 LSI (very large scale integration; VLSI)技術を採用していなければならない. この代4世代コンピュータとしては，1979年に発表された IBM 4300 が挙げられる.

第4世代までのコンピュータは Neumann 型コンピュータといわれ，1次元のアドレス記憶をもった主記憶装置へ格納されたプログラムを中央処理装置による "逐次制御" (sequential control)で処理するものである．1990年代に実用化が期待されているコンピュータは，データ駆動や要求駆動による“データフロー”などを採用した非 Neumann 型コンピュータといわれ，第5世代に属するものである．

第5世代コンピュータにおいては，入力部が音声でも，図形・記号・文字・画像といった非数値データでも理解し，また，自然言語でなされるヒトの命令を理解し，中枢の中央演算処理装置に相当する問題解決推論マシンが記憶装置にあたる知識ベース（knowledge base）を基に，ヒトの思考をまね，プログラムを自動的に作成し実行すると考えてよい．この第5世代コンピュータは，知らない新知識が入ってきたら，体系化し，それを知識ベースに加える学習能力をも持っていなければならない．ヒトと同じ程度の問題解決能力を備えたコンピュータであり，いわば，コンピュータ・システムのほぼ完全な人工知能化に相当するといってよい．

知識情報処理システム（Knowledge Information Processing System）を目指す第5世代コンピュータにおいては，ソフトウェア工学（software engineering）と人工知能（artificial intelligence）をつなぐ自動プログラミング（automatic programming）に必要なプログラミング言語の意味論的諸問題も勿論解決されていなければならぬし，また，思考（thinking），問題解決（problem solving），認知（cognition）に必要な，LISP, Prolog といった関数的プログミング言語（functional language），関係型プログラミング言語（述語論理型プログラミング言語）の開発，知識の表現（Knowledge representation）の方法とそこにおける推論（inference），学習（learning）の問題も当然解決されていなければならない．

第5世代コンピュータは，文字・図形・画像・音声・色などの種々の表現形式を扱える高度なマン・マシンインターフェイス（man-machine interface）を備え，会話形式あるいは自然言語による使いやすいシステムであらねばならない．

第5世代コンピュータの行なう情報処理の内にあっては，

(1) 感覚の過程
(2) パターン認識の過程[16],[26],[31]
(3) 言語理解の過程
(4) 連想形記憶の過程[21],[24],[25]
(5) 推理の過程

が存在しなければならない．

本論文では，上の(2)のパターン認識の過程を第5世代コンピュータにおいて実現するために，ささやかな研究がなされている．

パターン認識の過程の研究では，複雑な感覚入力(パターン)がどのように符号化(coding)されるか，いいかえれば，パターンのもつ情報の内どのような情報が保存され，どのような情報が捨てられるかという特徴抽出の問題が解決されねばならない．

情報の量子論[12]（quantum theory of information)では，この特徴抽出問題を第1量子化量子力学的非負2次汎関数（2，1節）の値の2値化(binarization)という設定で解決している．これが3．5節の2値特徴抽出関数

$X_l(\cdot)$　である．

パターン認識の過程では，パターンφから抽出された特徴の組　$\vec{X}(\varphi)=\{X_l(\varphi); l\in L\}$ を基に，入力パターンφのイメージを再構成する過程が存在する．これは，

$\varphi \rightarrow \vec{X}(\varphi)$

という符号化過程に対応する復号化過程（decoding process）であり，3．6節の簡約構造モデル　$\mathfrak{Y}(\varphi)$　を用いて

$\vec{X}(\varphi) \rightarrow \mathfrak{Y}(\varphi)$

と表わされる過程である．

入力パターンは一般的枠組（frame）$F=\{H, \theta_l, f, \omega_j, \xi, e_l\}$ に適合するようにそ

の構造モデル　$\mathfrak{Y}(\varphi)$　として組み立てられ，その枠組Fに依存して，入力φの意味が理解される．過去の知識ξ，f，θ_l，H，ω_j，e_l（3章）と入力φとを結びつけることによって，解読過程

$\varphi \to \mathfrak{Y}(\varphi)$

が構成されるとみていい．

相互排反的なカテゴリに対象（パターン）を分類する規則を学習している認識器（recognizer)は新しく入ってきたパターン　$\mathfrak{Y}(\varphi)$を構造受精法[26),(31]を適用して記憶内の各パターン　$\mathfrak{Y}$（ω_j）と照合して．入力φが第$j \in J$番目のカテゴリ$\mathfrak{C}_j$に帰属するかどうかを推断することになる．

また，ヒトの認識活動はいつでも，入力パターンからその帰属するカテゴリを発見するときには，彼の見ている入力パターンと，その時点での彼の“心の状態”（state of mind）とによって決定される．このような心の状態を認識器に備えさせる[29]ときには，第2量子化（2．2節）の手法が使われる．

本論文の主題は，2値特徴抽出器（binarized feature-extractor）X_l（・），パターン合成器（pattern-synthesizer）$\mathfrak{Y}$（・）を構成するときに用いられる2次汎関数　$\mathfrak{F}_l$（・）内の基作用素H（3．1節）が，生起確率がついている集合Ψと任意のパターンφとの間の平均類似度（Average Similarity Measure）ASM（Ψ，φ）に関連して決められたとき，等式

ASM（Ψ，$A\varphi$）＝ASM（Ψ，φ）

を満たす（平均類似度を保持する）作用素Aの具体形を決定すること[17]（4章），並びに平均類似度　ASM（ψ，φ）　を

$t_1 \leqq t_2$　のとき

ASM（ψ，$B_{t_1}\varphi$）$\geqq$ASM（Ψ，B_{t_2}）

などのごとく，単調変換する作用素B_tの具体形[18]（5章定理5．1），更に，平均類似度ASM（Ψ，φ）を直交直知分解することによって得られる$\mathfrak{F}_l$（φ）の値を単調変換する作用素の具体形[19]（5章定理5．2）が決定されているこれまでの研究成果の特別な場合を，具体的な計算で証明すること（5章）にある．

2．情報の量子論における第1量子化，第2量子化

次の3章での構造モデルの構築方法は，処理対象パターンφから抽出される特徴量(feature)が連続量ではなくして，高々可算個の離散量であらねばならないという「情報の量子論での基本的な考え」に従ったものであり，これは正に，2．1の第1量子化の考えにその根拠が求められる，また，認識器が心理状態を持つと，処理対象パターンφから抽出される心理物理量も同様に，連続量ではなくて，離散量になる．[20),(29]この考えに至る基礎が2．2で説明される第2量子化である．

2．1　第1量子化

量子力学では，特理量（位置とか運動量とか）にある自己共役作用素を対応させることによって，対象とする物理系のエネルギーを表わしているハミルトニアン(Hamiltonian)を，ある可分なHilbert空間$\mathfrak{H}$のある正値自己共役作用素（エネルギー作用素という）Hに置き換える．その後，古典力学におけふ運動方程式を，tを時間変数とするSchrödinger波動方程式

$$(i\partial/\partial t)\varphi_t = H\varphi_t,\quad -\infty < t < +\infty$$

$$i \equiv \sqrt{-1} \qquad (2.\ 1)$$

に書き直す．この種の手続きを第1量子化（first quantization）といい，この方程式（2．1）の解$\varphi_t \in \mathfrak{H}$　を第1量子化波動関数という．

物理量であるエネルギー（作用素H）を，状態φ_tにおいて多数回観測した場合，その期待値は，Hに関する，φ_tの規格化2次汎関数の値

$$\tilde{H}\varphi_t \equiv (H\varphi_t,\ \varphi_t)/(\varphi_t,\ \varphi_t)$$

$$= (H\varphi_t \|\varphi_t\|^{-1},\ \varphi_t \|\varphi_t\|^{-1}) \qquad (2.\ 2)$$

であるとされる．ここに，(,)は$\mathfrak{H}$での内積

であり，$\|\eta\|=\sqrt{(\eta,\ \eta)}$ は $\eta\in\mathfrak{H}$ のノルムである．エネルギーとその対応する自己共役作用素Hとを同一視して，式（2．2）は，状態 φ_t におけるHの観測期待値と呼ばれる．また，Hはエネルギーの operator 表現と呼ばれる．

もし，Hが，ある非負数 λ_n の列 $\{\lambda_n\}$ と

$$P[\eta_n]\psi=(\psi,\ \eta_n)\eta_n,\quad \psi\in\mathfrak{H} \qquad (2.\ 3)$$

と定義される射影作用素 $\mathrm{P}_{[\eta_n]}$ の列 $\{\mathrm{P}_{[\eta_n]}\}$ とによっ，

$$H=\textstyle\sum_n \lambda_n\cdot \mathrm{P}_{[\eta_n]} \qquad (2.\ 4)$$

と与えられる場合，

$$\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi=\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi,\quad \varphi\in\mathfrak{H} \qquad (2.\ 5)$$

$$(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi,\ \psi)=(\varphi,\ \mathrm{P}_{[\eta_n]}\psi),\quad \varphi,\ \psi\in\mathfrak{H} \qquad (2.\ 6)$$

が成立していることを使えば，式（2．2）は，

$$\begin{aligned}\tilde{H}\ \varphi_t&=(H\ \varphi_t\|\varphi_t\|^{-1},\ \varphi_t\|\varphi_t\|^{-1})\\&=\textstyle\sum_n\lambda_n(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1},\ \varphi_t\|\varphi_t\|^{-1})\\&=\textstyle\sum_n\lambda_n(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1},\ \mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1})\\&=\textstyle\sum_n\lambda_n\|\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1}\|^2\end{aligned} \qquad (2.\ 7)$$

と書き直されることが知られる．ここに，

$$\|\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1}\|^2=|(\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1},\ \eta_n)|^2 \qquad (2.\ 8)$$

が成立しているが，$\{\eta_n\}$ が$\mathfrak{H}$での完全正規直交系であることから成立する公式

$$\|\psi\|^2=\textstyle\sum_n|(\psi,\ \eta_n)|^2 \qquad (2.\ 9)$$

を使えば，

$$\textstyle\sum_n\|\mathrm{P}_{[\eta_n]}\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1}\|^2=\|\varphi_t\|\varphi_t\|^{-1}\|^2=1 \qquad (2.\ 10)$$

が成立し，よって，式（2．8）の値は，エネルギー（に対応する operator 表現H）を状態φ_tで観測して，第n番目のエネルギー値λ_nが見い出される確率（観測確率）であると，解釈されてよい．

2．2　第2量子化

第1量子化に引き続いて，第2量子化を説明しよう．

$\varphi\in\mathfrak{H}$ なる第1量子化波動関数自身を，今一つの可分な Hilbert 空間である Fock 空間* $\mathfrak{H}^{(F)}$ での operator である“場の operator”（field operator）

$$\mathfrak{S}\equiv\textstyle\sum_n\eta_n\cdot A_n \qquad (2.\ 11)$$

に置き換える手続きを第2量子化（second quantization）という．ここに，$\{\eta_n\}$ は$\mathfrak{H}$での一つの完全正規直交系であり，また，$\{A_n\}$ は$\mathfrak{H}^{(F)}$での消滅作用素（destruction operator）A_nの系と呼ばれるものであり，

$$[A,\ B]\equiv AB-BA \qquad (2.\ 12)$$

という，A，Bの交換子（commutator）の導入の下での Bose 交換関係

$$[A_n,\ A_n^{+}]=I\ （恒等作用素） \qquad (2.\ 13)$$

$$[A_m,\ A_n^{+}]=O\ (m\neq n) \qquad (2.\ 14)$$

$$[A_m,\ A_n]=[A_m^{+},\ A_n^{+}]=O \qquad (2.\ 15)$$

を満たすものである．上の3式（2．13）～（2．15）における A_n^{+} は A_n の共役作用素であり，生成作用素（creation operator）と呼ばれている．

式（2．11）の場の operator $\mathfrak{S}$ については，$\mathfrak{S}$ を$\mathfrak{H}$の元とみたとき，各A_nは定数とみなされ，また，$\mathfrak{S}$ を $\mathfrak{H}^{(F)}$ での operator とみたとき，各η_nは定数とみなされる．それで，

$$(A_m\ \varphi,\ A_n\ \eta)=(\varphi,\ \eta)A_mA_n^{+},\quad \varphi,\ \eta\in\mathfrak{H} \qquad (2.\ 16)$$

が成立するものと規約される．

第2量子化においては，第1量子化での物理量（エネルギー作用素）Hを，$\mathfrak{H}^{(F)}$ での operator

$$\hat{H}\equiv(H\mathfrak{S},\ \mathfrak{S}) \qquad (2.\ 17)$$

に置き換え，Schrödinger 方程式（2．1）に対応して，$\mathfrak{H}^{(F)}$ の元 Φ_t に関する Schrödinger 方程式

＊　個数operator (number oparator) $N=\sum_l N_l=\sum_l A_l^{\dagger}A_l$　$(N_l\equiv A_l^{\dagger}A_l)$ の規格化固有ベクトル系 $\{\Psi_{\vec{n}}\}$ で張られる可分な Hilbert 空間を Fock（フォック）空間という．

$(i\partial/\partial t)\ \Phi_t=\hat{H}\Phi_t$　(2．18)

を導入する．この方程式（2．18）の解 $\Phi_t\in\mathfrak{H}^{(F)}$ を第2量子化波動関数という．

$\mathfrak{H}^{(F)}$ での内積を〈 ，〉と表わすと，状態 Φ_t でのエネルギー作用素 $\hat{\mathrm{H}}$ の期待値は，

$\tilde{H}_{\Phi_t}\equiv\langle\hat{H}\Phi_t,\ \Phi_t\rangle/\langle\Phi_t,\ \Phi_t\rangle$　(2．19)

であるとされる．また，状態 Φ_tでの，場の operator $\mathfrak{S}$ の期待値は，

$\tilde{\mathfrak{S}}_{\Phi_t}\equiv\langle\mathfrak{S}\Phi_t,\ \Phi_t\rangle/\langle\Phi_t,\ \Phi_t\rangle$　(2．20)

であるとされる．

なお，式（2．17）の $\hat{H}$は次のように計算され，それは式（2．26）で与えられる．

$\{\eta_n\}$ は完全正規直交系であり，それ故，式（2．11）から

$(\mathfrak{S},\ \eta_n)=A_n$　(2．21)

を得，よって，式（2．11）の $\mathfrak{S}$ に式（2．3）の射影作用 $\mathrm{P}_{[\eta_n]}$ を作用させて

$\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S}=(\mathfrak{S},\ \eta_n)\,\eta_n$

$=\eta_n\cdot A_n$　(2．22)

が得られる．この式（2．22）を，2式（2．5)，（2．6）の適用の下で得られる

$(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S},\ \mathfrak{S})$

$=(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S},\ \mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S})$　(2．23)

に代入すれば，式（2．13）から

$(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S},\ \mathfrak{S})$

$=(\eta_n,\ \eta_n)\,A_n\,A_n^+$

$=A_n^+\,A_n+1=N_n+1$　(2．24)

が成立する．ここに，

$N_l\equiv A_l^+\,A_l$　(2．25)

は，場の量子論において個数 operator(number operator）と呼ばれているものである．

結局，式（2．17）の $\hat{H}$は，具体的に，

$\hat{H}=\sum_n\lambda_n\,(\mathrm{P}_{[\eta_n]}\mathfrak{S},\ \mathfrak{S})$

$\quad=\sum_n\lambda_n\,(N_n+1)$　(2．26)

と表わされる．

3．諸　定　義

情報の量子論では，認識器(recognizer)は処理対象パターン φ に対して，その内部表現パターンである“構造モデル”を確如するという立場をとる．本章では，この構造モデルを構成するに必要な諸定義と，その構造モデルについて成り立つ四性質を指摘する“構造モデル定理”とが説明される．特に，この途中の段階で登場してくる“処理対象パターン φ から抽出される特徴量 $\mathfrak{F}_l(\varphi)$ の持つ意味”については，2章での第1量子化による解釈が必要となるであろう．

3．1　内積，ノルム，基作用素

処理対象としてのパターン φ の表現空間を可分な Hilbert 空間 $\mathfrak{H}$ としよう．$\mathfrak{H}$ の内積，ノルムを各々，

$(\varphi,\ \eta)=\int_M dm\,(x)\,\varphi\,(x)\cdot\overline{\eta\,(x)}$　($\bar{\eta}$は η の複素共役)

$\|\varphi\|=\sqrt{(\varphi,\ \varphi)}$

としよう．$\mathfrak{H}$ での自己共役作用素Hを一つ選定する．Hを基作用素という．

3．2　射影作用素の系

基作用素Hの関数としての射影作用素 $\theta_l(H)$ の組

$\vec{\theta}\,(H)=\{\theta_l\,(H)\,;\ \ \theta_l\,(H)\neq O,$
$\quad\neq I$（恒等作用素)，$\ell\in L\}$

を考えれば，当然

$\theta_l\,(H)\cdot\theta_l\,(H)=\theta_l\,(H)$　(3．1)

が成り立つ．各成分 $\theta_l\,(H)$ は次の2条件を満たすように決定されねばならない：

$\sum_{l\in L}\theta_l\,(H)=I$　(3．2)

$\theta_k\,(H)\cdot\theta_l\,(H)=O\,(k\neq l)$　(3．3)

3．3　基関数，特徴抽出関数

基作用素Hの Borel 可測関数としての正値自己共役作用素 $f(H)$ を導入する．λを実数値をとる変数として，$f(\lambda)$を基関数という．第 $l\in L$番目の作用素 $f_l(H)$を

$f_l(H)\equiv f(H)\cdot\theta_l(H)$　(3．4)

と定義すれば，$f_l(H)$も正値自己共役作用素である．

一般に，$\mathfrak{H}$ における作用素Aの定義域 $\mathfrak{D}(A)$ とは

$\mathfrak{D}\,(A)\equiv\{\varphi\,;\|\,A\varphi\,\|<\infty,\ \ \varphi\in\mathfrak{H}\}$

と定義される．

$\mathfrak{D}(f(H))\subseteqq\mathfrak{D}(f_l(H))$

が成り立ち，処理対象 $\varphi\in\mathfrak{D}(f(H))$ から抽出される第 $l\in L$ 番目の特徴量　$\mathfrak{F}_l(\varphi)$　とは

$$\mathfrak{F}_l(\varphi)\equiv(f_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)\qquad(3.\ 5)$$

と定義される．集合U内の各要素に集合V内の唯一つの要素を対応づける写像 F を

$$F:\mathrm{U}\longrightarrow\mathrm{V}$$

と書くことにすれば，第 $l\in L$ 番目の特徴抽出関数（feature-extractor）$\mathfrak{F}_l(\cdot)$ は

$$\mathfrak{F}_l(\cdot):\mathfrak{D}\longrightarrow R^+$$

と書ける．ここに，$\mathfrak{D}(f(H))$ を $\mathfrak{D}$ と書き，非負実数の集合を R^+ と書いている．

3．4　カテゴリ，代表パターン，平均パターン

各処理対象 $\varphi\in\mathfrak{D}$ が帰属する類概念，クラス（class），カテゴリ（category）の全体を考え，これを

$$\mathfrak{C}=\{\mathfrak{C}_j\,;\,j\in J\}$$

としよう．$\mathfrak{C}_j$ は第 $j\in J$ 番目のカテゴリである．$\mathfrak{C}_j$ の生起確率を　$p(\mathfrak{C}_j)$　とすれば，

$$0<p(\mathfrak{C}_j),\quad \textstyle\sum_{j\in J}p(\mathfrak{C}_j)=1$$

が成り立つとしてよいだろう．$\mathfrak{C}_j$ の持つ諸性質をほどよく記映している一つのパターン　$\omega_j\in\mathfrak{D}$　を選び，$\mathfrak{C}$ 上の平均パターンと称されてよい，

$$\xi\equiv\textstyle\sum_{j\in J}p(\mathfrak{C}_j)\cdot\omega_j\,\|\,\omega_j\,\|^{-1}\qquad(3.\ 6)$$

を導入する．ω_j は $\mathfrak{C}_j$ の代表パターンといわれる．

3．5　2値特徴抽出関数

一変数 u の関数

$$sgn(u)=0\ \ if\ \ u<0,\ \ =1\ \ if\ \ u\geqq0\qquad(3.\ 7)$$

を導入する．また，各定数　e_l　を不等式

$$0<e_l\leqq\mathfrak{F}_l(\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1})\qquad(3.\ 8)$$

を満たすように，ある自己組織化アルゴリズム[30]で決めておく．処理パターン $\varphi\in\mathfrak{D}$ から抽出された特徴量　$\mathfrak{F}_l(\varphi)$　を次のように，0, 1 のいずれかに2値化(binarization)する：

$$X_l(\varphi)\equiv sgn\ (\mathfrak{F}_l(\varphi)-e_l).\qquad(3.\ 9)$$

第 $l\in L$ 番目の2値特徴抽出関数（binarized feature-extractor）と呼ばれる　$X_l(\cdot)$　は

$$X_l(\cdot):\mathfrak{D}\longrightarrow\{0,\ 1\}$$

のように書かれ，$X_l(\cdot)$ からの出力　$X_l(\varphi)$　は2値特徴量（binarized feature）と呼ばれる．

3．6　簡約構造モデル

処理対象パターン $\varphi\in\mathfrak{D}$ から抽出された2値特徴量 $X_l(\varphi)$ の組

$$\overrightarrow{X}(\varphi)=\{X_l(\varphi)\,;\,l\in L\}$$

と，基本的なパターン要素（primitive pattern for modelling patterns to be processed）　$\theta_l(H)\,\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1}$　の組

$$\overrightarrow{\theta}(H)\,\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1}=\{\,\theta_l(H)\,\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1}\,;\ l\in L\}$$

とを用いて定義されるパターン

$$\mathfrak{Y}(\varphi)\equiv\textstyle\sum_{l\in L}X_l(\varphi)\cdot\theta_l(H)\,\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1}\qquad(3.\ 10)$$

を，$\varphi\in\mathfrak{D}$ の簡約構造モデル（reduced structural model）あるいは単に構造モデルという．また，写像

$$\mathfrak{Y}(\cdot):\mathfrak{D}\longrightarrow\mathfrak{D}$$

は一種のパターン合成器（pattern-synthesizer）であり，構造（モデル）化写像（structural mapping）といわれる．

〔定理3．1〕　（構造モデル定理）[16]

3条件

（i）　$\xi\in\mathfrak{D}$

（ii）　$\theta_l(H)\,\xi\neq0,\ \ l\in L$

（iii）　$0<e_l\leqq\mathfrak{F}_l(\xi\,\|\,\xi\,\|^{-1}),\ \ l\in L$

の下で，任意の $\varphi\in\mathfrak{D}$ に対し，次のiv～viiが成り立つ:

（iv）　$\mathfrak{Y}(\varphi)\in\mathfrak{D}$

（v）　$X_l(\mathfrak{Y}(\varphi))=X_l(\varphi),\ \ l\in L$

（vi）　$\mathfrak{Y}(\mathfrak{Y}(\varphi))=\mathfrak{Y}(\varphi)$

（vii）　基作用素 H と可換な任意のウニタリ作用Uの下で，$\mathfrak{Y}(\mathrm{U}\varphi)=\mathfrak{Y}(\varphi)$.

4．平均類似度を保持する作用素

本章では，パターン集合 Ψ と任意のパター

ン φ との間の平均類似度　ASM(Ψ,φ)　を定義し,[16]この平均類似度を変形して得られる等式

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)=(H\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$$

に関係している統計作用素 H の固有値問題を解決したこれまでの研究結果[15]に基づき，等式

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ A\varphi)=\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)$$

を満たす作用素 A の具体形を指摘する.[17]この A が,入力パターン φ が Ψ に対し持つ平均類似度　ASM(Ψ,φ)　を保持する作用素である.

4．1　平均類似度の定義[15],[16]

生起確率 p_r を持つパターン $\psi_r\in\mathfrak{H}$ の集合

$$\Psi=\{[\psi_r,\ p_r];\ \ sup_{r\in R}\|\psi_r\|<\infty,\ \ 0\leqq p_r,\ \textstyle\sum_{r\in R}p_r=1,\ \ r\in R\}\qquad(4.\ 1)$$

を考えよう. Ψ 内の ψ_r は互いに1次独立であることが望ましい.

斜交軸 $\psi_r\|\psi_r\|^{-1}$ の上への射影作用素

$$\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi=(\varphi,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1}$$

を導入すると，ノルム規格化パターン　$\varphi\|\varphi\|^{-1}$　を生起確率 p_r を持つノルム規格化パターン　$\psi_r\|\psi_r\|^{-1}$　の上へ射影して得られるパターンは

$$p_r\cdot\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|\varphi\|^{-1}$$

と表わされる.また,正値自己共役作用素　$p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}$ と，パターン φ との規定する測度的ウニタリ不変量[12]は，入力パターン　$\varphi\|\varphi\|^{-1}$ が加えられた作用素 $p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}$ からの出力パターン $p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\varphi\|\varphi\|^{-1}$ と入力 $\varphi\|\varphi\|^{-1}$　との内積

$$(p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|\varphi\|^{-1},\ \varphi\|\varphi\|^{-1})$$
$$=p_r\cdot|(\varphi\|\varphi\|^{-1},\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})|^2$$

で与えられる.

このとき，パターン φ と生起確率つきパターン集合 Ψ との間の平均類似度（Average Similarity Measure）　ASM $(\Psi,\ \varphi)$　を上の測度的ウニタリ不変量

$$(p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|\varphi\|^{-1},\ \varphi\|\varphi\|^{-1}$$

の，$r\in R$ についての総和として定義する:

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)$$
$$=\textstyle\sum_{r\in R}(p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|\varphi\|^{-1},\ \varphi\|\varphi\|^{-1})$$
$$=\textstyle\sum_{r\in R}p_r\cdot|(\varphi\|\varphi\|^{-1},\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})|^2.\qquad(4.\ 2)$$

正値自己共役作用素

$$H=\textstyle\sum_{r\in R}\ p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\qquad(4.\ 3)$$

の導入によって，平均類似度　ASM$(\Psi,\ \varphi)$　は

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)$$
$$=(H\ \varphi\|\varphi\|^{-1},\ \varphi\|\varphi\|^{-1})$$
$$=(H\ \varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)\qquad(4.\ 4)$$

と表わされ，ASM$(\Psi,\ \varphi)$　は，正値自己共役作用素 H と φ との規定する測度的ウニタリ不変量であることが知られる.[12],[16]

次の2つの不等式 i，ii から得られる平均類似度　ASM(Ψ,φ)　の満たす不等式iiiに注意しておこう.

Schwarz の不等式

$$|(\varphi,\ \eta)|\leqq\|\varphi\|\cdot\|\eta\|$$

を適用すれば,

（i）　$0\leqq\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)=|(H\ \varphi\|\varphi\|^{-1},\ \varphi\|\varphi\|^{-1})|\leqq\|H\ \varphi\|\varphi\|^{-1}\ \|$

を得る．さらに,

$\|\varphi+\eta\|\leqq\|\varphi\|+\|\eta\|$（三角不等式）

$\|a\varphi\|=|a|\cdot\|\varphi\|$，ここに，$a$ は複素定数

を適用し，その後，Schwarz の不等式を適用すれば,

$$\|H\ \varphi\|=\|\textstyle\sum_{r\in R}p_r\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|$$
$$\leqq\textstyle\sum_{r\in R}p_r\|\mathrm{P}_{[\psi_r]}\ \varphi\|$$
$$=\textstyle\sum_{r\in R}p_r\|(\varphi,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})\psi_r\|\psi_r\|^{-1}\ \|$$
$$=\textstyle\sum_{r\in R}p_r|(\varphi,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})|$$
$$\leqq(\textstyle\sum_{r\in R}p_r)\cdot\|\varphi\|$$

も得られる．すなわち,

（ii）　$\|H\ \varphi\|\leqq(\sum_{r\in R}p_r)\cdot\|\varphi\|$

が成り立ち，i，ii から結局,

（iii）　$0\leqq\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)\leqq1$

が成り立つ.

このようにして，平均類似度　ASM$(\Psi,\ \varphi)$　は0，1の間の実数であることが知られ

た．

4．2　統計作用素Hの固有値問題

正値自己共役作用素

$H\cdot=\sum_{r\in R}p_r(\cdot,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1}$

は，各パターンψ_rが重みp_rで存在している有様（mixture）

$\sum_{r\in R}p_r\cdot\psi_r\|\psi_r\|^{-1}$　　（4．5）

を（有界正値自己共役）作用素を用い表現したものとみなされ，量子統計力学において統計作用素（statistical operator）と呼ばれているものの一種である．

固有値方程式

$H\ \eta_n=\lambda_n\ \eta_n,\ \ n=1,\ 2,\ \cdots\cdots,$　ここに

$\lambda_1>\lambda_2>\cdots\cdots\geqq 0,\ \ \|\eta_n\|=1$　（4．6）

を満たすHの固有値λ_n，ノルム規格化固有ベクトルη_nを決定すれば，Hのスペクトル表現

$H\ \varphi=\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n(\varphi,\ \eta_n)\eta_n$　　（4．7）

が成り立つことが知られている．

上の固有値方程式の解[12]を与えよう．

Hilbert空間$\mathfrak{H}$での一つの完全正規直交系

$\{\sigma_k\}_{k=1,2,\cdots\cdots}$

を導入し，無限次元行列

$A=(a_{jk})$

の第j行第k列の要素　a_{jk}　を

$a_{jk}\equiv\sum_{r\in R}p_r(\psi_r,\ \sigma_j)\cdot\overline{(\psi_r,\ \sigma_k)}$

$/\sum_{s=1}^{\infty}|(\ _r,\ \sigma_s)|^2$

とおく．$\overline{\ \ }$は複素共役の意味である．

そうすると，任意の$\varphi\in\mathfrak{H}$に対する表現

$H\ \varphi=\sum_{r\in R}p_r(\varphi,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1}$

は

$H\ \varphi=\sum_{j=1}^{\infty}\ [\sum_{k=1}^{\infty}a_{jk}(\varphi,\ \sigma_k)]\ \sigma_j$

と書き直されることが示され，よって，行列Aの固有値方程式

$A\overrightarrow{x_n}=\mu_n\overrightarrow{x_n},$　ここに，

$\mu_1>\mu_2>\cdots\cdots\geqq 0$

$\sum_{k=1}^{\infty}x_{mk}\overline{x_{nk}}=0(m\neq n),\ \ =1\ \ (m=n)$，但し　x_{mk}は$\overrightarrow{x_m}$の第k番目の成分

を解けば，Hの固有値λ_n，ノルム規格化固有ベクトルη_nは各々，

$$\left.\begin{array}{l}\lambda_n=\mu_n\\ \eta_n=\sum_{k=1}^{\infty}x_{nk}\sigma_k\end{array}\right\}\quad(4.\ 8)$$

と与えられることが証明される．

統計作用素Hの零空間

$\mathfrak{N}(H)\equiv\{\varphi\ ;\ H\varphi=0,\ \ \varphi\in\mathfrak{H}\}$

の完全正規直交系を

$\{\eta_{m,0}\}_{m=1,2,\cdots\cdots}$

とすれば，

$\{\eta_{m,0}\}_{m=1,2\cdots\cdots}\cup\{\eta_n\}_{n=1,2\cdots\cdots}$　　（4．9）

は$\mathfrak{H}$での一つの完全正規直交系となり，任意の$\varphi\in\mathfrak{H}$は

$\varphi=\sum_{n=1}^{\infty}(\varphi,\ \eta_n)\eta_n+\sum_{m=1}^{\infty}(\varphi,\ \eta_{m,0})\eta_{m,0}$　（4．10）

なるごとく，フーリエ式展開される．また，

$H\ \varphi=\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n(\varphi,\ \eta_n)\eta_n+\sum_{m=1}^{\infty}0\cdot(\varphi,\ \eta_{m,0})\eta_{m,0},\ \ \varphi\in\mathfrak{H}$　（4．11）

という表現も成立する．

平均類似度　ASM$(\Psi,\ \varphi)$　は，固有値λ_n，固有ベクトルη_n，$\eta_{m,0}$を用いると，

ASM$(\Psi,\ \varphi)$

$=(H\ \varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$

$=\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n|(\varphi,\ \eta_n)|^2/[\sum_{n=1}^{\infty}|(\varphi,\ \eta_n)|^2+\sum_{m=1}^{\infty}|(\varphi,\ \eta_{m,0})|^2]$　（4．12）

と表わされる．よって，三つの関係

（i）　ASM$(\Psi,\ \eta_n)=\lambda_n,\ \ n=1,\ 2,\ \cdots\cdots$

（ii）　ASM$(\Psi,\ \eta_{m,0})=0,\ \ m=1,\ 2,\ \cdots\cdots$

（iii）　$0\leqq$ASM$(\Psi,\ \varphi)\leqq\lambda_1$

が成立することが知れる．

4．3　同一平均類似度を持つパターン

さて，いよいよ，任意のパターン　$\varphi\in\mathfrak{H}$がパターン集合　Ψ　に対し持つ平均類似度ASM(Ψ,φ)と同一の平均類似度を備えているパターン

$\psi=A\varphi$　　（4．13）

を構成しよう．ある条件下で，等式

ASM$(\Psi,\ A\varphi)=$ASM$(\Psi,\ \varphi)$　（4．14）

が成立しているという意味で，この作用素Aが平均類似度を保持するパターン変換作用素ということになる事実に注意しておく．

まず，次の補助定理4．1を証明しておかねばならない．

〔補助定理4．1〕 不等式

$\lambda_1 \geqq d > 0$

を満たす平均類似度

$\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) = d$

を持つパターン $\varphi \in \mathfrak{H}$ を，条件

$\|\varphi\| = 1$

の下で求めれば，次のようになる:

不等式 $\lambda_{n_1} \geqq d \geqq \lambda_{n_2}$ を満たす二つの整数 n_1, n_2 が存在するが，このような任意の二つの整数 n_1, n_2 $(n_1 < n_2)$ を選定して，

$\varphi = a_{n_1} \cdot \eta_{n_1} + a_{n_2} \cdot \eta_{n_2}$ （4．15） ここに

$$\left.\begin{array}{l} a_{n_1} = \sqrt{(d-\lambda_{n_2})/(\lambda_{n_1}-\lambda_{n_2})} \\ a_{n_2} = \sqrt{(\lambda_{n_1}-d)/(\lambda_{n_1}-\lambda_{n_2})} \end{array}\right\} \quad (4．16)$$

なるパターン φ を構成すれば，等式

$\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) = d$

が成り立つ．

（証明） $\{\eta_n\}_{n=1,2\cdots\cdots}$ は正規直交系であるから，

$(\varphi, \eta_n) = a_{n_1}$ *if* $n = n_1$, $= a_{n_2}$ *if* $n = n_2$, $=0$ *if* $n \neq n_1$ & $n \neq n_2$

がいえる．また，η_n と $\eta_{m,0}$ とは互いに直交しているから，

$(\varphi, \eta_{m,0}) = 0, \ \forall m$

も成り立つ．よって，$\{\eta_{m,0}\} \cup \{\eta_n\}$ が屋全正規直交系であることを考慮すれば，

$$\|\varphi\|^2 = (\varphi, \varphi)$$
$$= \textstyle\sum_{m=1}^{\infty} |(\varphi, \eta_{m,0})|^2 + \sum_{n=1}^{\infty} |(\varphi, \lambda_n)|^2$$
$$= |a_{n_1}|^2 + |a_{n_2}|^2 = 1$$

が得られる．よって，

$$\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)$$
$$= \textstyle\sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n \cdot |(\varphi, \lambda_n)|^2 / \|\varphi\|^2$$
$$= \lambda_{n_1} \cdot |a_{n_1}|^2 + \lambda_{n_2} \cdot |a_{n_2}|^2$$
$$= d$$

を得て，これで証明されたことがわかる．

（証終）

補助定理4．1などを用いれば，次に示される所要の定理4．1を得る．

〔定理4．1〕（同一平均類似度定理）

$N = 1, 2, \cdots\cdots\cdots$ として，

$$A_N \varphi = \textstyle\sum_{n=1}^{N} sgn\,(\lambda_n - \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)) \cdot sgn\,(\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) - \lambda_{n+1}) \cdot \left[\sqrt{\dfrac{\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) - \lambda_{n+1}}{\lambda_n - \lambda_{n+1}}} \cdot \eta_n + \sqrt{\dfrac{\lambda_n - \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)}{\lambda_n - \lambda_{n+1}}} \cdot \eta_{n+1}\right] \quad (4．17)$$

と定義されるパターン $A_N \varphi$ は次の三つの性質 i，ii，iiiを持つ．

（i） $\lambda_1 \geqq \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) \geqq \lambda_{N+1} > 0$ であれば，

$\mathrm{ASM}(\Psi, A_N \varphi) = \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)$.

（ii） $\lambda_{N+1} > \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) \geqq 0$ であれば，

$\mathrm{ASM}(\Psi, A_N \varphi) = 0$.

（iii） $\lambda_1 \geqq \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) \geqq \lambda_{N+1}$ であれば，

$A_N^m \varphi = A_N \varphi, \ m = 1, 2, 3, \cdots\cdots$.

（証明） $A_N \varphi \neq 0$ となるのは，

$sgn\,(\lambda_n - \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)) \cdot sgn\,(\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) - \lambda_{n+1}) = 1$ つまり 不等式

$$\lambda_n \geqq \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) \geqq \lambda_{n+1} \quad (4．18)$$

を満たす $n\,(=1\sim N)$ が存在するときに限り，このときは，$A_N \varphi$ は

$$A_N \varphi = \sqrt{\frac{\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) - \lambda_{n+1}}{\lambda_n - \lambda_{n+1}}} \cdot \eta_n + \sqrt{\frac{\lambda_n - \mathrm{ASM}(\Psi, \varphi)}{\lambda_n - \lambda_{n+1}}} \cdot \eta_{n+1} \quad (4．19)$$

と表現されることがわかる．この事実と補助定理4．1とから，iは明らかに成り立つことが知れる．ii，iiiも明然である．（証明終）

上の定理4．1でいう作用素A_Nを用いて，

$$A\varphi \equiv \begin{cases} lim_{N\to\infty} A_N \varphi & (\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) > 0) \\ \eta_{1,0} & (\mathrm{ASM}(\Psi, \varphi) = 0) \end{cases} \quad (4．20)$$

と定義されるAが求める“平均類似度を保持する作用素”である．

5．平均類似度を単調変換する作用素

可分なHilbert空間$\mathfrak{H}$における作用素Aの，状態 $\varphi \in \mathfrak{H}$ における期待値は，2．1節によれば，

$\langle A;\varphi\rangle \equiv (A\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$
と定義される．また，作用素Bの指数関数
$\exp[B]=e^{B}$　は，
$\exp[B]=e^{B}\equiv \sum_{n=0}^{\infty}(n!)^{-1}B^{n}$
と定義される．
次の定義５．１は既に証明されている．
〔定理５．１〕(18)（量子力学的期待値汎関数の単調減少定理）
自己共役作用素Hの関数としての有界正値自己共役作用素　$g(H)$　の任意の　$\varphi\in\mathfrak{H}$　とについて，
$-\infty<t_1\leqq t_2<+\infty$　として，
$\langle g(H);\exp[-2^{-1}t_1 g(H)]\varphi\rangle$
$\geqq \langle g(H);\exp[-2^{-1}t_2 g(H)]\varphi\rangle$
が成り立つ．すなわち，実変数tの関数
$\langle g(H);\exp[-2^{-1}tg(H)]\varphi\rangle$
は実変数tの単調減少関数である．
（定理５．１・終）
よって，３．３節と同じ解釈をとって，パターンφから抽出される特徴量といえる
$\mathfrak{F}(\varphi)\equiv(f(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)\geqq 0$
については，正値作用素$f(H)$が有界作用素であれば，任意の$\varphi\in\mathfrak{H}$について
$-\infty<t_1\leqq t_2<+\infty$　に対し
$\mathfrak{F}(\exp[-2^{-1}t_1 f(H)]\varphi)$
$\geqq\mathfrak{F}(\exp[-2^{-1}t_2 f(H)]\varphi)$
が成り立つことが知れる．
今，作用素$f_k(H)$の指数関数
$A_k(t)\equiv\exp[-2^{-1}t\ f_k(H)]$,
$0\leqq t,\ k\in L$，ここに，
$$f_k(H)=f(H)\cdot\theta_k(H) \qquad (5.\ 1)$$
を定義すれば，$\prod$を総積記号として，
$\prod_{k\in L}A_k(t)=\exp[-2^{-1}t\sum_{k\in L}f_k(H)]$
$=\exp[-2^{-1}tf(H)]$，つまり
$\prod_{k\in L}A_k(t)=\exp[-2^{-1}tf(H)]$
が成立していることに注意しよう．
第$l\in L$番目に，パターンφから抽出される特徴量
$$\mathfrak{F}_l(\varphi)=(f_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi) \qquad (5.\ 2)$$
を考えよう．この$\mathfrak{F}_l(\varphi)$は３．３節で登場している．
このとき，次の定理５．２も証明されている．
〔定理５．２〕(18)（抽出される特徴量の単調変換定理）
有界正値自己共役作用素$f(H)$と任意の$\varphi\in\mathfrak{H}$に対し，tを非負実数値として，次のⅰ，ⅱが成り立つ：任意の$l\in L$について
（ⅰ）$\mathfrak{F}_l(\varphi)\geqq\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
（ⅱ）$\mathfrak{F}(\varphi)\leqq\mathfrak{F}(A_k(t)\varphi)$，$(k\neq l)$．
（定理５．２・終）
４章で定義された平均類似度　ASM（Ψ，φ）に関し，正値自己共役作用素
$H\cdot=\sum_{r\in R}p_r(\cdot,\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1})\ \psi_r\|\psi_r\|^{-1}$
を導入すれば，等式
ASM（Ψ，φ）$=(H\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$
が成り立っている．Hの固有値系
$\{\lambda_n\}_{n=1,2\cdots\cdots}$,
，規格化固有ベクトル系
$\{\eta_{m,0}\}_{m=1,2\cdots\cdots}$,
を導入して，Hが
$$H\cdot=\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n(\cdot,\ \eta_n)\eta_n+\sum_{m=1}^{\infty}0(\cdot,\ \eta_{m,0})\eta_{m,0} \qquad (5.\ 3)$$
と表わされることに留意し，たとえば，
$$\left.\begin{array}{l}\theta_0(H)\cdot=\sum_{m=1}^{\infty}(\cdot,\ \eta_{m,0})\eta_{m,0}\\ \theta_l(H)\cdot=(\cdot,\ \eta_l)\eta_l\quad(l\neq 0)\end{array}\right\} \qquad (5.\ 4)$$
と選べば，$f(\lambda)=\lambda$　として，
$$f_l(H)\varphi =f(H)\cdot\theta_l(H)\varphi=H\cdot\theta_l(H)\varphi =\begin{cases}0 & (l=0)\\ \lambda_l(\varphi,\ \eta_l)\eta_l & (l\neq 0)\end{cases} \qquad (5.\ 5)$$
となり，パターン$\varphi\in\mathfrak{H}$から抽出される第$l\in L$番目の特徴量$\mathfrak{F}_l(\varphi)$は，
$$\mathfrak{F}_l(\varphi)=(H\cdot\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi) =\lambda_l\cdot|(\varphi,\ \eta_l)|^2/[\sum_{n=1}^{\infty}|(\varphi,\ \lambda_n)|^2 +\sum_{m=1}^{\infty}|(\varphi,\ \eta_{m,0})|^2] \qquad (5.\ 6)$$
と表わされ，上の定理５．２が適用される．この適用結果が平均類似度の単調変換定理であり，式（５．１）での作用素指数関数$A_l(t)$, $A_k(t)$がこの場合の平均類似度$\mathfrak{F}_l(\varphi)$

の単調変換のための作用素である．

本章の目的は，正値自己共役作用素 $f(H)$ が

$f(H)=\sum_{l\in L}\nu_l\cdot\theta_l(H)$，ここに，$\nu_l$ は非負定数　　（5．7）

の場合，上の定理5．2のⅰ，ⅱを具体的な計算で証明することである．

5．1　作用素指数関数の簡単な性質

z を複素定数として

$\exp[z\cdot f_k(H)]$

なる作用素指数関数については，

（ⅰ）$\exp[z_1\cdot f_k(H)]\cdot\exp[z_2\cdot f_k(H)]=\exp[(z_1+z_2)\cdot f_k(H)]$

（ⅱ）$\exp[z\cdot f_k(H)]|_{z=0}=I$

なる半群（semi-group）の性質が成り立っている．

〔定理5．3〕（作用素指数関数と射影作用素との積）　z を複素定数として

$$\exp[z\cdot f_k(H)]\cdot\theta_l(H)=\begin{cases}\theta_l(H) & if\quad k\neq l\\ \exp[z\cdot f(H)]\cdot\theta_l(H) & if\quad k=l\end{cases}\tag{5．8}$$

が成り立ち，特に，$f(H)$ を式（5．7）のように設定している場合

$$\exp[z\cdot f(H)]\cdot\theta_l(H)=\exp[z\cdot\nu_l]\cdot\theta_l(H).\tag{5．9}$$

（証明）　式（3．1）を適用すれば，

$$\begin{aligned}&\exp[z\cdot f_k(H)]\cdot\theta_l(H)\\&=[I+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot f_k(H))^n]\cdot\theta_l(H)\\&=[I+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot f(H))^n\cdot\theta_k(H)]\cdot\theta_l(H)\\&=\theta_l(H)+\{\exp[z\cdot f(H)]-I\}\,\theta_k(H)\cdot\theta_l(H)\end{aligned}$$

が得られる．

よって，$k\neq l$ の場合，式（3．3）を適用すれば，式（5．8）の前半が得られる．

また，$k=l$ としよう．式（3．1）を適用すれば，

$$\begin{aligned}&\exp[z\cdot f_l(H)]\cdot\theta_l(H)\\&=\theta_l(H)+\{\exp[z\cdot f(H)]-I\}\cdot\theta_l(H)\\&=\exp[z\cdot f(H)]\cdot\theta_l(H)\end{aligned}$$

となって，式（5．8）の後半が得られている．

式（5．9）を示そう．式（3．1）を使えば，

$$\begin{aligned}&\exp[z\cdot f(H)]\cdot\theta_l(H)\\&=[I+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot f(H))^n]\cdot\theta_l(H)\\&=\theta_l(H)+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot f(H)\cdot\theta_l(H))^n\end{aligned}$$

が得られるが，3式（3．7），（3．3），（3．1）から得られる

$$f(H)\cdot\theta_l(H)=\nu_l\cdot\theta_l(H)\tag{5．10}$$

を代入すれば，

$$\begin{aligned}&\exp[z\cdot f(H)]\cdot\theta_l(H)\\&=\theta_l(H)+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot\nu_l\cdot\theta_l(H))^n\\&=\theta_l(H)+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}(z\cdot\nu_l)^n\cdot\theta_l(H)\\&=[1+\textstyle\sum_{n=1}^{\infty}(n!)^{-1}\cdot(z\cdot\nu_l)^n]\cdot\theta_l(H)\\&=\exp[z\cdot\nu_l]\cdot\theta_l(H)\end{aligned}$$

を得て，式（5．9）が示された．（証終）

以後，$f(H)$ に対し，式（5．7）の形式を仮定する．

〔定理5．4〕（作用指数関数の表現）

z を複素定数として，

$$\exp[z\cdot f_k(H)]=\exp[z\cdot\nu_k]\cdot\theta_k(H)+\textstyle\sum_{m\in L,m\neq k}\theta_m(H).$$

（証明）　式（3．2）を使えば，

$$\begin{aligned}&\exp[z\cdot f_k(H)]\\&=\textstyle\sum_{m\in L}\exp[z\cdot f_k(H)]\cdot\theta_m(H)\\&=\exp[z\cdot f_k(H)]\cdot\theta_k(H)+\textstyle\sum_{m\in L,m\neq k}\exp[z\cdot f_k(H)]\cdot\theta_m(H)\end{aligned}$$

が得られるが，これに，2式（5．8），（5．9）を代入すればよい．（証終）

5．2　特別な場合の抽出される特徴量の表現

H を式（4．3）のごとく与え，式（3．2）の各射影作用素 $\theta_l(H)$ を例えば，式（5．4）のように設定すれば，

$$\mathrm{ASM}_l(\Psi,\varphi)\equiv(H\cdot\theta_l(H)\varphi,\varphi)/(\varphi,\varphi)$$

として，平均類似度 ASM (Ψ,φ) の直交直和分解

$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)=\sum_{l\in L}\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ \varphi)$

が成り立つ．しかも，式（5．6）からわかるように，

$\mathfrak{F}_l(\varphi)=\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ \varphi)$

が成立している．

さて，$f(H)$ が式（5．7）のように与えられている場合，式（3．5）の，パターン φ から抽出される第 $l\in L$ 番目の特徴量　$\mathfrak{F}(\varphi)$ の表現を求めよう．

式（3．2）から，

$\varphi=\sum_{m\in L}\theta_l(H)\varphi,\ \forall\varphi\in\mathfrak{H}$　（5．11）

が得られ，よって，式（3．1）並びに

$(\theta_l(H)\varphi,\ \psi)=(\varphi,\ \theta_l(H)\psi),\ \forall\varphi,\ \forall\psi\in\mathfrak{H}$　（5．12）

から，

$(\varphi,\ \varphi)=\sum_{m\in L}(\theta_m(H)\varphi,\ \varphi)$
$=\sum_{m\in L}(\theta_m(H)^2\varphi,\ \varphi)$
$=\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2$　（5．13）

も得られる．また，式（5．10）から

$(f_l(H)\varphi,\ \varphi)=\nu_l\cdot(\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)$
$=\nu_l\cdot\|\theta_l(H)\varphi\|^2$　（5．14）

も得られ，よって，式（5．2）の $\mathfrak{F}_l(\varphi)$ は，次のように表わされる：

$\mathfrak{F}_l(\varphi)=(f_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$
$=\nu_l\cdot\|\theta_l(H)\varphi\|^2/\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2.$　（5．15）

５．３　抽出される特徴量の単調減少変換

作用素 $f(H)$ の特別な形である式（5．7）の下で成り立つ式（5．15）において，パターン φ の代りに，式（5．1）の作用素

$A_l(t)=\exp[-2^{-1}\cdot t\cdot f_l(H)]$

が φ に作用した結果のパターン　$A_l(t)\varphi$ を代入して得られる式徴量　$\mathfrak{F}(A_l(t)\varphi)$ の単調減少性，ならびに　この量ともとの特徴量 $\mathfrak{F}_l(\varphi)$ との関係については，次の定理５．５の形で具体的に指摘できる．

〔定理５．５〕（抽出される特徴量の単調減少定理）

変数 t を実パラメータとする．表現

$\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
$=\exp[-t\,\nu_l]\cdot\mathfrak{F}_l(\varphi)\cdot[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]/[\exp[-t\cdot\nu_l]\cdot\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]$　（5．16）

が得られ，よって

$(d/dt)\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
$=(-\nu_l)\cdot\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)\cdot[\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]/[\exp[-t\,\nu_l]\cdot\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\leqq 0$　（5．17）

が成立し，次の結論を得る：

$\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$ は一実変数 t の減少関数である．

（証明）　２式（5．2），（5．1）から，

$\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
$=(f_l(H)\exp[-t\,f_l(H)]\varphi,\ \varphi)/(\exp[-t\,f_l(H)]\varphi,\ \varphi)$
$=(f(H)\exp[-t\,f_l(H)]\,\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\exp[-t\,f_l(H)]\varphi,\ \varphi)$

と書き直され，分子に対しては定理５．３と式（5．10），また，分母に対しては，定理５．４を適用すれば，

$\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
$=\exp[-t\,\nu_l]\,\nu_l(\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)/[(\{\exp[-t\,\nu_l]\,\theta_l(H)+\sum_{m\in L,m\neq l}\theta_m(H)\}\varphi,\ \varphi)]$
$=\exp[-t\,\nu_l]\,\nu_l\|\theta_l(H)\varphi\|^2/[\exp[-t\,\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]$

が得られ，これに，式（5．15）を代入すれば，所要の式（5．16）が導かれる．

式（5．16）を微分しよう．

$(d/dt)\mathfrak{F}_l(A_l(t)\varphi)$
$=\mathfrak{F}_l(\varphi)[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\cdot(d/dt)[\exp[-t\,\nu_l]/[\exp[-t\,\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]]$
$=\mathfrak{F}_l(\varphi)[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\cdot[(-\nu_l)\exp[-t\,\nu_l][\exp[-t\,\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2-\exp[-t\,\nu_l](-\nu_l)\exp[-t\,\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2]/[\exp[-t\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]^2$

$= \mathfrak{F}_l(\varphi)[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\cdot[(-\nu_l)\exp[-t\nu_l][\sum_{m\in L, m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]]/[\exp[-t\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L, m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]^2$

$= (-\nu_l)\{[\exp[-t\nu_l]\mathfrak{F}_l(\varphi)[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]]/[\exp[-t\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\}\cdot\{[\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]/[\exp[-t\nu_l]\|\theta_l(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq l}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]\}$

が得られ，これに，2式（5．15），（5．16）を考慮すると，所要の式（5．17）が得られる．　　　　（証終）

5．4　抽出される特徴量の単調増加変換

前節説述内容と異なり，$k\neq l$ の場合，特徴量 $\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$ の単調増加性を示そう．すなわち，式（5．7）の下で成り立つ式（5．15）において，パターン φ の代わりに，φ が入力された式（5．1）の作用素

$A_k(t)=\exp[-2^{-1}\cdot t\cdot f_k(H)]$

からの出力パターン　$A_k(t)\varphi$　を代入して得られる　$\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$ の単調増加性は，次の定理5．6の形で具体的に指摘できる．

〔定理5．6〕（抽出される特徴量の単調増加定理）

変数 t を実パラメータとする．$k\neq l$ とする．表現

$\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=\nu_l\|\theta_l(H)\varphi\|^2/[\exp[-t\nu_k]\|\theta_k(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq k}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]$

$=\mathfrak{F}_l(\varphi)[\sum_{m\in L}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]/[\exp[-t\nu_k]\|\theta_k(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq k}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]$　（5．18）

が得られ，よって，

$(d/dt)\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=\exp[-t\nu_k]\cdot\mathfrak{F}_k(A_k(t)\varphi)\cdot\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)\geqq 0$　（5．19）

と計算され，次の結論を得る:

$\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$ は一実変数 t の増加関数である．

（証明）　2式（5．2），（5．1）から得られる

$\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=(f_l(H)\exp[-t f_k(H)]\varphi,\ \varphi)/(\exp[-t f_k(H)]\varphi,\ \varphi)$

$=(f(H)\exp[-t f_k(H)]\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\exp[-t f_k(H)]\varphi,\ \varphi)$

において，分子に定理5．3，式（5．10）を，また，分母に定理5．4を適用すれば，

$\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=\nu_l\|\theta_l(H)\varphi\|^2/[\exp[-t\nu_k]\|\theta_k(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq k}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]$

という，式（5．18）の一つ上の式が得られる．式（5．18）そのものは，これに，式（5．15）を考慮すれば得られる．

式（5．18）を微分しよう．式（5．18）の一つ上の式を変数 t に関し微分すれば，

$(d/dt)\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=\nu_l\|\theta_l(H)\varphi\|^2\cdot(-1)\times[\exp[-t\nu_k]\|\theta_k(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq k}\|\theta_m(H)\varphi\|^2]^{-2}\cdot(-\nu_k)\exp[-t\nu_k]\cdot\|\theta_k(H)\varphi\|^2$

を得るが，

$K=\exp[-t\nu_k]\|\theta_k(H)\varphi\|^2+\sum_{m\in L,m\neq k}\|\theta_m(H)\varphi\|^2$

を導入すれば，これは

$(d/dt)\mathfrak{F}_l(A_k(t)\varphi)$

$=\exp[-t\nu_k]\cdot[\nu_k\|\theta_k(H)\varphi\|^2/K]\cdot[\nu_l\|\theta_l(H)\varphi\|^2/K]$

と変形される．これに，式（5．18）の一つ上の式を代入すれば，所要の式（5．19）が得られる．　　　　（証終）

6．む　す　び

構造（モデル）写像 $\mathfrak{Y}(\cdot)$ およびこの写像を用いて構成される構造受精法(procedure of structural fertilization）の役割は次のように説明される: 認識器は処理対象としての入力情報パターン φ にどんな類概念(カテゴリ）の存在が期待できるように行動する．その存在が入力情報パターンに対応して，記憶内にどのような構造モデル（想起心像）が形成さ

れて期待できるかを，構造受精法を内蔵した認識器は予測することができる．

情報の量子論を背景として得られた構造モデルと構造受精法に登場する“構造モデル列”が認知心理学に対して持つ重要性は，このモデル列を生成するシステムが実際のパターン認識装置として成功するか否かという点にのみあるのではなく，それがヒトによるパターン認識過程のアナロジーの一部を提供しているかも知れない点にもある．認知(cognition)を情報処理過程として扱うようになって，もう既に30年近くなっている．自然言語を“理解”するプログラムも作られ，思考はまさに情報処理過程であるという解釈が強く打ち出されるようになってきつつある．コンピュータ・シミュレーション(computer simulation)におけるコンピュータ・プログラムの各操作(operation)，各判定(test)の系列はヒトの思考プロセスに対応をもち，ヒトの思考行動はコンピュータ・プログラムによって模擬されるといえるだろう．逆に，ヒトが問題解決(problem solving)に用いる思考プロセスはコンピュータ・プログラムと対応を持つと考える理由は希薄ではあるが，しかしながら，関数プログラミング言語，述語論理的プログラミング言語などの高級プログラミング言語を使って叙述されたプログラムが出現するにつれて，この対応の度合も強まるであろう．

本論文は，上述の観点から情報の量子論における基本的に重要な事柄（第1量子化，第2量子化，構造モデル構成方法）をこれまでの諸研究を振り返り説明した後，構造モデル写像 $\mathfrak{Y}(\cdot)$，構造受精法を構成するのに基本的に必要とされる基作用素Hの特別な場合に関する研究成果を報告した．それは，次の二つのⅰ，ⅱである：パターン集合 Ψ とパターン φ との間の平均類似度　$\mathrm{ASM}(\Psi,\varphi)$　が2次汎関数の形に

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)=(H\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$$

と表されることに基本的に注意を払いつつ，

(ⅰ)　等式　$\mathrm{ASM}(\Psi,\ A\varphi)=\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)$　を満たす作用素Aの具体形

(ⅱ)　平均類似度 $\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)$ の直交直和分解

$$\mathrm{ASM}(\Psi,\ \varphi)=\textstyle\sum_{l\in L}\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ \varphi),$$

ここに，

$$\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ \varphi)\equiv(H\cdot\theta_l(H)\varphi,\ \varphi)/(\varphi,\ \varphi)$$

に注目し，不等式

$$\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ A_m(t)\varphi)\begin{cases}\geqq\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ A_l(t)\varphi) & (m=l)\\ \leqq\mathrm{ASM}_l(\Psi,\ A_m(t)\varphi) & (m\neq l)\end{cases}$$

を満たす作用素 $A_m(t)$ の存在の，具体的な計算による証明．

文　　献

(1)　R. E. メイヤー：新思考心理学入門——人間の認知と学習へのてびき——，佐古順彦訳，サイエンス社，1979年1月

(2)　U. ナイサー：認知の構図——人間は現実をどのようにとらえるか——，古崎敬・村瀬晃共訳，サイエンス社，1978年12月

(3)　D. E. ルーメルハート：人間の情報処理——新しい認知心理学へのいざない——，御領謙訳，サイエンス社，1979年5月

(4)　土井康弘，安藤繁：画像処理論，昭晃堂，1980年6月

(5)　斎藤収三，中田和男：音声情報処理の基礎，オーム社，1981年11月

(6)　T. コホネン：システム論的連想記憶——情報学・心理学のために——，中谷和夫訳，サイエンス社，1980年10月

(7)　西田富士夫：言語情報処理，コロナ社，1981年6月

(8)　合田周平，木下源一郎：ロボット工学，コロナ社，1979年9月

(9)　NILS　J. NILSSON：人工知能——問題解決のシステム論，合田周平・増田一比共訳，コロナ社，1979年5月

(10) R.バード：プログラム論入門，土居範久訳，培風館，1981年12月

(11) 坂井利之：情報基礎学――通信と処理の基礎工学――コロナ社，1982年2月

(12) 鈴木昇一：認識工学(上)，柏書房，1975年2月

(13) Edited by K. S. Fu: Digital pattern Recognition (Communication and Cybernetics 10), Springer-Verlag, 1980

(14) Edited by A. Marzollo: Topics in artificial intelligence, Springer-Verlag, 1976

(15) 鈴木昇一：平均類似度の概念に基づく特徴抽出及び識別法，電子通信学会オートマイン・インホメーション理論研究会資料，A 71-10, IT 71-10, 1971年4月

(16) 鈴木昇一：測度的不変量検出形認識系の構成理論，電子通信学会論文誌(D)，Vol. 55-D, No. 8, 1972年8月，pp. 531-538

(17) 鈴木昇一，柴山秀雄，古田晋吾，大槻善樹，高橋静昭，奥野治雄：入力パターンと同じ平均類似度を持つパターンの構成，昭和54年度情報処理学会第20回全国大会講演論文集，4F-5，1977年7月，pp. 475-476

(18) 鈴木昇一，柴山秀雄，福永一保，大本修，古田晋吾：作用素に対するフーリェ変換法による側抑制特性の設計，芝浦工業大学研究報告理工系編，Vol. 24, No. 1, 1980年3月，pp. 147-155

(19) 鈴木昇一：平均類似度を単調変換するパターン変換作用素，昭和57年前期情報処理学会第24回全国大会講演論文集，4E-6，1982年3月，pp. 711-712

(20) 鈴木昇一，大槻善樹：パターン情報処理における心理物理の数学的取り扱い，情報研究，Vol. 1, 1980年，pp. 18-28

(21) 鈴木昇一：線形連想形記憶器内の荷重係数の解析的決定，電子通信学会技術研究報告，Vol. 80, No. 77, PR 80-18, 1980年7月，pp. 9-16

(22) 鈴木昇一，大槻善樹：線形帰属係数とパターン情報処理，電子通信学会技術研究報告，Vol. 80, No. 173, PRL 80-45, 1980年11月，pp. 33-40

(23) 鈴木昇一，大槻善樹：カテゴリ間の親近性の決定方法(日本語単独母音の場合)，情報処理学会第22回（昭和56年前期）全国大会講演論文集，2D-7, 1981年3月，pp. 631-632

(24) 鈴木昇一：新しい静的な記憶想起システム，昭和56年度電子通信学会総合全国大会講演論文集〔分冊5〕，1317，1981年4月，p. 5-294

(25) 鈴木昇一：新しい連想記憶システム，電子通信学会技術研究報告，Vol. 81, No. 20, PRL 81-5, 1981年5月，pp. 33-40

(26) 鈴木昇一：パターン情報処理における構造受精法，電子通信学会技術研究報告，Vol. 81, No. 74, PRL 81-27, 1981年7月，pp. 51-58

(27) 鈴木昇一，大槻善樹，大本修：構造化パターンから抽出される特徴量に関する変調度，昭和56年度電子通信学会情報システム部門全国大会〔分冊1〕，Vol. 59, 1981年10月，p. 1-59

(28) 鈴木昇一：パターン情報処理用オートマトンAUTONの圏，情報処理学会第23回(昭和56年度後期)全国大会，7G-5，1981年10月，p. 879

(29) 鈴木昇一：心理状態を内部に持つ新しい自己想起システムMEMOTRON，電子通信学会技術研究報告，Vol. 81, No. 166, 1981年11月，pp. 33-40

(30) 鈴木昇一：パターン情報処理における構造化パターン，最良近似構造化パターンと簡約構造モデル，情報研究，Vol. 2, 1981年12月，pp. 13-31

(31) 鈴木昇一：平均類似度を用いた構造受精法による日本語単独母音の認識，電子通信学会技術研究報告，Vol. 82, No. 31,

PRL 82 - 4,1982 年 5 月，pp. 25 - 32

情報研究第３号に掲載された「情報の量子論と平均類似度を保持するあるいは単調的に変換する作用素」における誤りを下記正誤表によって訂正いたします．

正　誤　表

	誤	正
12頁右34行目	この代４世代……	この第４世代……
14頁右24行目	古典力学におけふ運	古典力学における運
15頁左10行目	とによっ，	とによって，
16頁左39行目	……を確如すると	……を確保すると
18頁左39行目	……，$\varphi\|\varphi\|^{-1}$.	……，$\varphi\|\varphi\|^{-1}$).
19頁左26行目	$/\sum_{s=1}^{\infty}\|(r,\ \sigma_s)\|^2$	$/\sum_{s=1}^{\infty}\|(\psi_r,\ \sigma_s)\|^2$
20頁左26行目	……が屋全正規	……が完全正規
21頁左６行目	次の定義５．１は……	次の定理５．１は……
21頁右10行目	……$\mathfrak{F}(\varphi) \leqq \mathfrak{F}(A_k(t)$……	……$\mathfrak{F}_l(\varphi) \leqq \mathfrak{F}_l(A_k(t))$……
22頁右22行目	……（作用指数関……	……（作用素指数関……
23頁左31行目	……式（５．15）にえいて，……	……式（５．15）において，……

（1982年９月16日受付）