

# 神 経 力 学

早大理工 大 貫 信

( 1月20日受理 )

## (IV) 情報処理に關係する方程式

### § 10. Master equation アプローチ

細胞の興奮，非興奮状態をそれぞれ1，0であらわすやり方からすぐさまこれがイージングスピン系としてモデル化され得るのではないかとの発想が湧こう。イージングスピン系と異なる点は，神経の細胞には閾値があるという点である。しかしこれは克服が困難な問題ではない。イージングスピン系として扱う場合に，閾値の効果を何に寄与させたらよいか。確率化された方程式(4.1)で判るように，閾値は相互作用に利いてくるから，イージングスピン系では，スピン間相互作用の利いてくる Master equation の遷移確率に閾値の効果を含ませればよい。Master equation に基づいて得られる方程式は(4.1)に合致しなければならない。

それ故(4.1)を改変しておく必要がある。今外場  $f_{Si}(t) = 0$  の場合を考える。

$$\sigma_i = \frac{1}{2} (1 + \sigma_i') \quad (10.1)$$

とすると  $\sigma_i'$  は1または-1をとる。(4.1)(4.2)より， $ij$ 間伝達時間を  $\tau_{ij}$  とすると

$$\langle \sigma_i'(t) \rangle = \sum_{j \neq i} \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i(t)} \sigma_j'(t - \tau_{ij}) \right\rangle + \langle \varepsilon_i' \rangle \quad (10.2)$$

但し

$$\langle \varepsilon_i' \rangle = \sum_{j \neq i} \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i(t)} \right\rangle + \left\langle \frac{1}{T_i(t)} \right\rangle - 1. \quad (10.3)$$

(10.2)の  $j$  細胞からの寄与を線型に近似して(10.2)を

$$\langle \sigma_i'(t) \rangle = \sum_{j \neq i} \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i(t)} \right\rangle \langle \sigma_j'(t - \tau_{ij}) \rangle + \langle \varepsilon_i' \rangle \quad (10.4)$$

大貫 信

としておく。

$\tau_{ij}$  が  $\Delta t$  の整数倍であるとして、この空間を間隔  $\Delta t$  に細分割し、最近接細胞間の伝達時間が  $\Delta t$  となるように、仮想的な細胞を付加して新たに番号付ける。

もとの番号付けによる  $i$  細胞に最も近くて  $ij$  間にある仮の細胞 (今その興奮状態を  $\sigma'(t)$  としておく) の  $i$  細胞  $\langle \sigma_i'(t+\Delta t) \rangle$  への寄与は

$$\tilde{a}_{ij}^{\frac{\Delta t}{\tau_{ij}}} \langle \sigma'(t) \rangle$$

で与えられる。

但し、

$$\tilde{a}_{ij} \equiv \left\langle \frac{a_{ij}}{I_i(t)} \right\rangle \quad (10.5)$$

$\sigma'(t)$  と  $\sigma_j'(t)$  との関係は

$$\langle \sigma'(t) \rangle = \tilde{a}_{ij}^{\frac{\tau_{ij}-\Delta t}{\tau_{ij}}} \langle \sigma_j(t-\tau_{ij}+\Delta t) \rangle \quad (10.6)$$

で与えられる。

このようにして、新たに番号付けられた空間で、もとの番号付けによる  $ij$  間の最近接細胞間の伝達率は  $\tilde{a}_{ij}^{\frac{\Delta t}{\tau_{ij}}}$  とする。そのように決定された伝達率を新しい番号付けで、 $kl$  間の伝達率として  $J_{kl}$  とあらわすことにする。新しい空間で (10.2) は、

$$\langle \sigma_l'(t) \rangle = \sum_{k \neq l} J_{kl} \langle \sigma_l'(t-\Delta t) \rangle + \langle \epsilon_l'' \rangle \quad (10.7)$$

勿論  $\epsilon_i'$  も改変されていて  $\epsilon_l''$  とあらわす。即ち  $l$  がもとの細胞の時は  $\epsilon_l'' = \epsilon_i'$ 、仮の細胞の時は  $\epsilon_l'' = 0$  である。

1) イージングスピン系として Glauber の Master equation を仮定する。  
時刻  $t$  で、 $i$  番目細胞が  $\sigma_i'$  となる確率を  $f(\sigma_1' \sigma_2' \dots \sigma_n'; t)$  とするとその時間発展は

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} f(\sigma_1' \sigma_2' \dots \sigma_n'; t) = & - \sum_j W_j(\sigma_j') f(\sigma_1' \sigma_2' \dots \sigma_j' \dots \sigma_n'; t) \\ & + \sum_j W_j(\bar{\sigma}_j') f(\sigma_1' \sigma_2' \dots \bar{\sigma}_j' \dots \sigma_n'; t) \end{aligned} \quad (10.8)$$

但し  $\bar{\sigma}_j = -\sigma_j$ ,  $W_j(\sigma_j)$  は  $\sigma_j \rightarrow \bar{\sigma}_j$  の遷移確率とする。

ここで遷移確率を

$$\begin{aligned} W_j(\sigma_j') = & \frac{1}{2\tau} \left\{ C - \sum_{m \neq j} (J'_{mj} + J'_{jm}) \sigma_m' \sigma_j' - \sigma_j' e_j' \right. \\ & \left. + \sum_{m, k \neq j} (J'_{mk} + J'_{km}) \sigma_m' \sigma_k' + \sum_{m \neq j} \sigma_m' e_m' \right\} \end{aligned} \quad (10.9)$$

とすると,

$$\langle \sigma_{l'}(t) \rangle \equiv \sum_{\{\sigma'\}} \sigma_{l'} f(\sigma_1' \dots \sigma_{l'} \dots \sigma_n'; t) \quad (10.10)$$

は

$$\begin{aligned} \tau \frac{d \langle \sigma_{l'}(t) \rangle}{dt} = & -C \langle \sigma_{l'}(t) \rangle + \sum_{k \neq l} (J'_{kl} + J'_{lk}) \langle \sigma_k(t) \rangle \\ & + \langle e_{l'} \rangle \end{aligned} \quad (10.11)$$

に従う。これを  $\Delta t$  の差分方程式で

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{l'}(t + \Delta t) \rangle = & (1 - C \frac{\Delta t}{\tau}) \langle \sigma_{l'}(t) \rangle \\ & + \frac{1}{\tau} \sum_k (J'_{kl} + J'_{lk}) \Delta t \langle \sigma_k(t) \rangle + \langle e_{l'} \rangle / \tau \end{aligned} \quad (10.12)$$

で近似する。(10.7)と比較すると,

$$C \Delta t = \tau$$

$$J'_{kl} + J'_{lk} = J_{kl} \cdot C$$

$$e_{l'} = \tau \cdot e_{l''} \quad (10.13)$$

が得られる。即ち細分割時間間隔を相互作用のないときの  $\langle \sigma' \rangle$  の緩和時間

大貫 信

の  $\frac{1}{C}$  倍にとり得れば差分近似によって (4.1) はイージングスピン系に変換され得る。Glauber の master equation ではある瞬間での遷移はただ一ケのスピンの反転によるとしてあるから，細胞の反転（興奮  $\rightarrow$  非興奮またはその逆）は  $\tau$  時間内にただ一ケ起るようなシステムでなければ Glauber の master equation を適用することができない。master equation が適用されるとして，次に平衡状態について議論する。(10.8) で局所平衡を仮定すると

$$W_j(\sigma_j') \propto P^0(\sigma_1' \sigma_2' \dots \sigma_j' \dots \sigma_n') \quad (10.14)$$

但し  $P^0$  は平衡状態での分布確率とする。(11.9), (10.13) から

$$P^0(\sigma_1' \sigma_2' \dots \sigma_j' \dots \sigma_n') \\ = C + C \sum_{l,k} J_{lk} \sigma_l' \sigma_k' + \sum_l \sigma_l' \varepsilon_l'' \cdot \tau \quad (10.15)$$

であるから，平衡状態でのエントロピーは

$$S = \sum_{\{\sigma\}} \{C + C \sum_{l,k} J_{lk} \sigma_l \sigma_k + \sum_l \sigma_l \varepsilon_l'' \cdot \tau\} \\ \log \{C + C \sum_{l,k} J_{lk} \sigma_l \sigma_k + \sum_l \sigma_l \varepsilon_l'' \cdot \tau\} \quad (10.16)$$

で与えられる。平衡状態での  $\langle \sigma_l \rangle$  を求める。(10.15) から

$$\langle \sigma_l' \rangle = \langle \varepsilon_l'' \rangle \cdot \tau \quad (10.17)$$

であるから (10.1) を用いて

$$\langle \sigma_l \rangle = \frac{1}{2} \{1 + \langle \varepsilon_l'' \rangle \cdot \tau\} \quad (10.18)$$

(10.3) より，もとの番号付けに従えば

$$\langle \sigma_i \rangle = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \tau + \sum_{j \neq i} \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i} \right\rangle + \left\langle \frac{1}{T_i} \right\rangle \right\} \quad (10.19)$$

一方，(10.2), (10.17) より， $\tilde{a}_{ij} \equiv \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i} \right\rangle$  を  $ij$  要素とするマトリッ

クスを  $\mathbf{A}$  とすると

$$\langle \varepsilon_i' \rangle = \sum_{j \neq i} \tilde{a}_{ij} + \left\langle \frac{1}{T_i} \right\rangle - 1 \quad (10 \cdot 20)$$

を成分とするベクトル  $\langle \varepsilon' \rangle$  について

$$\mathbf{A} \langle \varepsilon' \rangle = (1 - 1/\tau) \langle \varepsilon' \rangle \quad (10 \cdot 21)$$

がなりたつ。即ち平衡状態ではシステムの fluctuation は (10·21) を満たすようになる。(10·21) はまた、平衡状態での伝達確率、閾値等と dynamical な状態でのパラメター  $\tau$  との間の関係を示す式でもある。(10·15) で求めた興奮状態の確率と伝達率の間の関係は自己組織化に於けるアルゴリズムを与えるという意味で、パターン形成の情報処理に関係する。簡単のために  $l, k$  二つの細胞のみがあり  $k$  から  $l$  への確率的シナプス結合定数  $J_{lk}$  は (10·15) より、 $k$  細胞が興奮した時に  $l$  細胞が興奮する確率  $P(\sigma_l = 1, \sigma_k = 1)$  と次の関係にある。

$$C + C J_{lk} = P(\sigma_l = 1, \sigma_k = 1) - \tau(\varepsilon_l'' + \varepsilon_k'') \quad (10 \cdot 22)$$

$P(\sigma_l = -1, \sigma_k = 1)$  については

$$C - C J_{lk} = P(\sigma_l = -1, \sigma_k = 1) - \tau(\varepsilon_k'' - \varepsilon_l'') \quad (10 \cdot 23)$$

$\tau \ll 1, J_{lk} \ll 1$  の場合には (10·22), (10·23) は

$$C \exp\{J_{lk}\} = P(\sigma_l = 1, \sigma_k = 1) \quad (10 \cdot 24)$$

$$C \exp\{-J_{lk}\} = P(\sigma_l = -1, \sigma_k = 1) \quad (10 \cdot 24)$$

したがって

$$J_{lk} \propto \log P(\sigma_l = 1, \sigma_k = 1)$$

$$J_{lk} \propto -\log P(\sigma_l = -1, \sigma_k = 1)$$

であるから、

$$J_{lk} \propto \log \frac{P(\sigma_l=1, \sigma_k=1)}{P(\sigma_l=-1, \sigma_k=1)} \quad (10.25)$$

というアルゴリズムがなりたつ。このアルゴリズムを仮定しての自己組織化については文献<sup>2)</sup>に詳しい。

### § 1.1. 巡回を記述する方程式

前回述べた巡回波は脳波の解釈としてでなく、巡回波による情報処理の可能性を検討する上でも有用である。例えば、巡回波による振動波を参照波と見なしての記憶のホログラフィ説への拡張以外に、チラツキ光に対する心理実験によって知られている低周波をカットするフィルター作用を $\alpha$ 波との Coupling とみなす考えもある。 $\alpha$ 波の帰因を巡回波に求めるならば、フィルター作用を巡回波（またはそれと同等な効果のあるシステム、§ 1.2）に求めることで、同一の起源に帰着することが出来る。更に一般的に巡回波との Coupling という現象論を越えて（巡回波と同等な効果のある）システムにフィルター作用を帰着させることが出来る（§ 1.3）。

その手続きを踏んで思想を次第に深めるために、ここでは巡回波を記述する方程式を考えることにする。

巡回波から most dominant part を引出す再度の確率化（第一の確率化はインパルスに関する非線型方程式を ensemble average した段階。それに基づいて再び average によって most dominant part を引出した段階は第二の確率化と言える）の手続きは着目している空間以外からの引続いた入力のある場合には適用されない。従って巡回波による（或いは巡回波と同等の効果を生じるシステム）の情報処理を議論するにはどのような入力形態にも適用される方程式を書き下す必要がある。

### § 4 で導いた方程式

$$\langle S_i(t) \rangle = \sum_{j \neq i} \tilde{a}_{ij} \langle S_j(t - \tau_{ij}) \rangle \quad (4.6)$$

から巡回部分を取り出すことにする。§ 1.0 と同様にまず空間を時間間隔 $\Delta$ に

ついて細分割して新たに番号付けておく。それによって

$$\langle S_l^R(t) \rangle = \sum_{l \neq k} J_{lk} \langle S_l^R(t-\Delta) \rangle \quad (11.1)$$

が得られる。

$l$  細胞から出て  $l$  細胞に帰還するすべての閉回路による部分を  $\langle S_l^R(t) \rangle$  から取り出し  $\langle S_l^R(t) \rangle$  とすると、それは時刻  $t-s$  に  $l$  細胞を出発し、初めて時刻  $t$  に  $l$  細胞に戻るものをすべての  $s$  について足し合せたものになるから

$$\langle S_l^R(t+\Delta) \rangle = \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{j}_l' \mathbf{J}_l^{n-1} \mathbf{j}_l \langle S_l^R(t-n\Delta) \rangle \quad (11.2)$$

但し  $\mathbf{j}_l'$  は  $J_{lj}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) を成分とする横ベクトル,  $\mathbf{j}_l$  は縦ベクトル,  $\mathbf{J}_l$  は  $J_{ij}$  を  $(i, j)$  要素とするマトリックスから  $l$  行  $l$  列を除いたもの。  $\Delta$  が小さいとして (11.2) を積分で近似すれば

$$\langle S_l^R(t+\Delta) \rangle = \int_0^{\infty} ds \varphi(s) \langle S_l^R(t-s) \rangle \quad (11.3)$$

但し

$$\varphi(s) = \frac{1}{\Delta} \mathbf{j}_l' \mathbf{J}_l^{s/\Delta} \mathbf{j}_l \quad (11.4)$$

(11.3) 左辺の時間  $t+\Delta$  を  $t$  時刻で表示するために微分形になおして、且、外場  $F(t)$  があるとすると

$$\begin{aligned} \frac{d \langle S_l^R(t) \rangle}{dt} &= \varphi(0) \langle S_l^R(t) \rangle \\ &+ \int_0^{\infty} ds \dot{\varphi}(s) \langle S_l^R(t-s) \rangle + F(t) \end{aligned} \quad (11.5)$$

## § 1.2. フィルター方程式

伝達率が負となる抑制相互作用の系では細分割によって新しく作られる伝達率が Complex となるため、巡回波について § 7 や (11.5) から簡単な議論をすることが困難である。しかし巡回波ではないが結果的にはそれと同じような

大貫 信

振動を細胞系に与えるようなシステムが抑制相互作用系でも構成することができる。

$i$  細胞から距離  $r$  にある細胞密度を  $\rho_i(r)$ 、伝達時間を  $\tau_{i_r}$  とし伝達率が  $\tilde{a}_i(r)$  となるように細胞が配列され、 $r$  だけ隔った細胞の状態は等しく  $\langle S_{i_r} \rangle$  であらわされ得るものとすれば (4.6) は (伝達速さが一定の時)

$$\begin{aligned}\langle S_i(t+dt) \rangle &= \int_0^\infty dr \tilde{a}_i(r) \rho_i(r) \langle S_{i_r}(t-\tau_{i_r}) \rangle \\ &= \int_0^\infty ds \tilde{a}_i(s) \rho_i(s) \langle S_{i_s}(t-s) \rangle\end{aligned}\quad (12.1)$$

であらわされ得る。この系に分子場近似が適用出来るとすると

$$\langle S(t+dt) \rangle = \int_0^\infty ds \tilde{a}_i(s) \rho_i(s) \langle S(t-s) \rangle\quad (12.2)$$

左辺の  $dt$  はシナプス細胞体間の時間間隔であり、それだけの不連続性は保持されているとする。(12.2) から、外場  $F(t)$  がある時

$$\begin{aligned}\frac{d\langle S(t) \rangle}{dt} &= \varphi(0) \langle S(t) \rangle \\ &+ \int_0^\infty \dot{\varphi}(s) \langle S(t-s) \rangle + F(t)\end{aligned}\quad (12.3)$$

但し

$$\varphi(s) = \tilde{a}_i(s) \rho_i(s)\quad (12.4)$$

(12.3) は興奮相互作用系でも勿論なりたつが、分子場近似という特殊な仮定が入っている。これはもっとも簡単な場合は、すべての細胞への入力等しく、均質な系の際にすべての細胞に同期的興奮が仮定される場合である。

抑制相互作用の系で、そのような特殊な条件が満される場合 (局所的には満たされているとしてよい) には、(11.5) と比較すれば、興奮相互作用系に於ける巡回波による情報処理と同じような情報処理がなりたち得ることが判る。

(12.3) と (11.5) の違いは、抑制相互作用と興奮相互作用では、 $\varphi(0)$  及び  $\dot{\varphi}(s)$  の符号が異なることであるが、それにも拘らず、共通になりたち得

る情報処理として、フィルター作用が考えられる。特に視覚系に着目するならば、チラツキ光を与えた場合にチラツキの低周波成分がカットされるという事実が知られており、このことを次に議論する。

### (V) 視覚の時間特性

神経系での情報処理機構を解明する上で他にくらべて比較的実験の行なわれている視覚系を代表に選ぶ。

視覚の機能は色、形状視の他にその時間特性があげられる。それは、チラツキ光を与えた時の応答についての電気生理及び心理学的実験を通して主として調べられている。チラツキの頻度を上げていくと、しだいにチラツキが認識されにくくなり、ついには定常光として見えてくるようになる。その時の頻度をチラツキの融合頻度 (CFF) という。

Enroth はネコの神経節細胞のユニット放電について調べ、チラツキ頻度を高めると放電スパイク頻度がそれにつれて上がるが、ある値以上になると逆に放電スパイク頻度は減少し始めることを見出した。<sup>3)</sup> この効果は、ピークが 30 ~ 40 cps であるにも拘らず、定常光に対するスパイク頻度に一致させるためには更に高いチラツキ頻度を要するという形であられる。一方 de Lange は種々の Modulation amplitude (MA) を持つ光を与えてチラツキの消失する時のチラツキ光の頻度 (CFF) をヒトについて心理実験で調べた。<sup>4)</sup> それによると、CFF が高くなるほど MA は大きくなるが、低周波では逆に CFF が小さくなるほど MA が大きくなり、そのピークは光の平均明るさによって変わるが 10 cps 付近であった。光の明るさがあまり低い (4.3 trolands) とピークはあらわれない。これは、チラツキ光に対する神経系の応答周波数と応答振幅の間にある識別の限界があって、それ以下ではチラツキを感じなくなるものと推測される。このようにチラツキ光はみかけの明るさにも影響を与えることが知られる。

Enroth の結果と de Lange の結果はその原因に於て一致しているであろうか。Enroth の結果では高周波がカットされる効果を追跡したもので Harmon らは low-pass filter 回路装置を用いて Enroth の結果を電気回路で再現している。<sup>5)</sup> de Lange では低周波がむしろカットされる。このこ

大貫 信

とから Enroth と de Lange の効果は異った場所に於ける現象ととらえた方がよい。Enroth の効果は入力網膜を経て神経節細胞レベルに到った所で見られるわけで、de Lange の効果はより奥の所と一応考えられる。高周波カットは細胞興奮が入力頻度に追従し得なくなるという単一素子の性質によるものと思われる。一方 de Lange の効果は何によるものであろうか。その解決にとって示唆すべきことは、神経節細胞を経た情報は外側膝状体その他の中継シナプスを経て中枢へ伝えられるが、外側膝状体及びそれ以後で、細胞間に相互作用のある網目構造が見られることである。細胞間の相互作用による多体運動処理によって、ある細胞の興奮は他の多くの細胞を含んだ一つの body の運動モードの一点としてのみ意味を持つようになる。更に、そのシステムに存在する noise の修飾を受け、確率的な量に変換される。このように、noise のあるシステムの多体運動によるマクロな情報処理の結果あらわれる精神物理ないしは心理現象の一つとして de Lange の現象を解釈することができる。

細胞間相互作用のあるシステムの運動を記述するものとして (12.3) を用いて視覚の時間特性を説明することができる。外場として

$$F = D \cos \omega t$$

を与えた時、

$$\langle S(t) \rangle = \langle S_{\text{damp}}(t) \rangle + \langle S_{\text{osci}}(t) \rangle$$

とすると、振幅は

$$| \langle S_{\text{osci}} \rangle | = D \sqrt{ \left( \varphi(0) + \text{Re} \int_0^{\infty} \dot{\varphi}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right)^2 + \left( \omega - \text{Im} \int_0^{\infty} \dot{\varphi}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right)^2 } \quad (12.4)$$

$$\varphi(\tau) = a \exp\{-\alpha\tau\} \quad (12.5)$$

とすると

$$| \langle \sigma_{\text{osci}} \rangle | = D / 2\pi \sqrt{ \left( -T + \frac{A}{\alpha'^2 + f^2} \right)^2 + \left( f - \frac{A/\alpha'}{\alpha'^2 + f^2} \right)^2 } \quad (12.6)$$

但し  $2\pi f = \omega$

$$T = \frac{a}{2\pi}$$

$$\alpha' = \frac{\alpha}{2\pi}$$

$$A = T \cdot \alpha'^2 \quad (12.7)$$

外場としての振幅  $D$  は入射光の振幅そのままではなく、網膜での修正を受けたものでなければならない。網膜に定常光を照射することによって、照射瞬間にインパルス発射が行なわれしだいに減少して noise のレベルになる (on 反応) か、または定常光を切った瞬間にインパルス発射が行なわれるか (off) のどちらかの反応が見られる。このことは、インパルス発射、即ち網膜からの出力は入射光の大きさそのものでなく、むしろその時間変化率に関係すると考えられる。

$r_1 + r_2 \cos \omega t$  の入射光に対して、その時間変化  $r_2 \omega \cos \omega t$  が出力に利いてくると考えられる。さらに出力の大きさについては、定常光とした場合の対数にほぼ比例することが Svaetichin によって調べられた。<sup>5)</sup> 以上のことから  $H(1 + MA \cos \omega t)$  の入射光に対して、

$$D = \omega (C_1 \log H + \log MA + C_2) \quad (12.8)$$

の形を与える。

ここで、認識についてある値  $\Delta$  に対して

振巾・波長  $> \Delta$  ならば不連続認識 (チラツキを感じる)

振巾・波長  $< \Delta$  ならば連続認識 (チラツキを感じない)

という一種の不確定性を仮定する。すると (12.6) (12.8) から

$$\log MA = m \sqrt{\left(T + \frac{A}{\alpha'^2 + f^2}\right)^2 + \left(f - \frac{A}{\alpha'} \frac{f}{\alpha'^2 + f^2}\right)^2}$$

-B

大貫 信

$$\text{但し } m = \frac{\Delta}{v}$$

$v$  : 振動波の伝達速さ

$$B = -C_1 \log H - C_2 \quad (12.9)$$

が得られる。

正弦波的チラツキ光刺激に対する視覚系の反応の心理的実験として de Lange の後により正確に行なわれた Kelly の実験<sup>7)</sup> を (12.9) によって解析した。その結果次のことが得られた。

$$B(H) = 0.5 \log H + 0.4$$

$$\frac{1}{m(H)} = 5.5 (1 + \log H)^{\frac{1}{2.3}}$$

$$\left| T + \frac{A}{\alpha'^2} \right| = 15 \log H + 20 \quad (12.10)$$

入力が  $H(1 + MA \cos \omega t)$  であるとき、網膜での処理を受けた外場としての刺激は

$$\omega \cdot \cos \omega t \left\{ \log \frac{10^5}{4} H \cdot MA - \frac{1}{2} \log H \right\}$$

で与えられる。これを一般化するならば、入力

$$\langle H \rangle + \Delta H(t) \quad (12.11)$$

に対して刺激は

$$\frac{\Delta \dot{H}(t)}{|\Delta H|} \log \frac{r|\Delta H|}{\langle H \rangle \beta} \quad (12.12)$$

となる。但し  $|\Delta H|$  は  $\Delta H(t)$  の変化の巾。(12.12) は  $|\Delta H| \rightarrow 0$  に対して発散するが、実際には 0 に収斂するものと考え、(12.12) はある大きさの範囲でなりたつ式と考えてよい。

(12.7), (12.9) (12.10) から、

$$\Delta \equiv \Delta(H) = \frac{1}{5.5} (1 + \log H)^{-\frac{1}{2.3}} \cdot v \quad (12.13)$$

$$|a| \equiv |a(H)| \\ = \frac{2\pi}{|\alpha' - 1|} (15 \log H + 20) \quad (12 \cdot 14)$$

となる。

(12·14) から判るように、細胞間相互作用  $\tilde{a}_{ij}$  は一般に  $H$  の関数になる。

$$\tilde{a}_{ij} = \left\langle \frac{a_{ij}}{T_i} \right\rangle \text{ であるから noise に } H \text{ が利いてくることになる。} (12 \cdot 3)$$

で、 $\varphi(s)$  は  $F(t)$  とは独立であると考えられるから  $\tilde{a}_{ij}$  に利いてくる  $H$  は、 $F(t)$  に含まれる  $H$  が反映しているとは考えられない。 $\tilde{a}_{ij}$  の  $H$  はどこから来たのであろうか。その原因と考えられることは、入射光  $H + H \cdot MA \cos \omega t$  に於て、第二項が  $F(t)$  に反映していると考えられる。先に述べたように定常光を加えた時、加えた瞬間（または切った瞬間）に網膜から出力が出るのであるが、やがて意味ある出力は消失して noise のみになる。このことから入射光のうち、定常光部分の  $H$  が“意味のない” noise となって、それが  $\tilde{a}_{ij}$  に利いてきていると解釈すると、全体の統一性が得られる。(12·13) より noise が識別の臨界値  $\Delta$  に反映していることもうなづかれる。従来 noise 化した  $H$  は意味がないと思われていたが、実は大きな意味ある存在である。

このようにして入射光はその一部が noise となって、入射光の意味ある情報を処理するに役立っていると解釈され、入力の入力自身による情報処理という形式が実現されていると考えられる。

## 文 献

- 1) R. J. Glauber; J. Math. Phys. 4 (1963) 294
- 2) 野口正一：自己組織系によるパターン認識論 「情報の科学 I」  
IRVIG 編，丸善，1967
- 3) C. Enroth: Acta. Physiol. Scand., 27, Suppl. 100  
(1952) 1
- 4) H. de Lange: J. Opt. Soc. Am., 48 (1958) 777

大貫 信

- 5) L.D. Harmon, J. Levinson & W.A. Van Bergeijk: IRE  
TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY (1962) 107
- 6) G. Svaetichin: Acta. Physiol. Scand., 29, Suppl. 106  
(1953) 565
- 7) D.H. Kelly: J. Opt. Soc. Am., 51 (1961) 422