波動場を用いた情報処理に関する基礎研究*

(多重波動場モデルの構築)

横井 浩史^{*1}, 嘉数 侑昇^{*1}

Information Processing Using the Vibrating Potential Field (Modeling of the Multiple Vibrating Potential Field)

Hiroshi YOKOI and Yukinori KAKAZU

This paper presents a new information processing model for engineering which uses a vibrating potential field. In the field of engineering, there have been two categories of such an information processing model. One is based on central control processing; the other is parallel distributed processing. It is well known that these models are based on the connection between processing units. Then each processing unit should be controlled by a host unit. Furthermore, both of the units should be programmed by a sequence of procedures; therefore all of the units may have difficulty expressing unity and enlargement, depending on the description of the procedure. However, in nature, there are important methods that utilize the propagation of information; for example light waves, sonic waves and smell. It is known that information transmission among all life units, not just animals, depends on this method. Although this method requires a medium known as a "field," it has the benefit of being able to transmit a great variety of information to many and unspecified units. Furthermore, the information processing of a life unit is a self-organizing process that can be achieved by utilizing a field to exchange information. By this method, there are many cases where high-performance information processing can be attained without supervising. This self-organized information processing has the capability of giving a useful structure to the engineering field of PDP. This paper proposes a new information processing model using vibrating potential field and discusses it with respect to some computer simulations.

Key Words: Information Processing, Vibrating Potential Field, Parallel Distributed Processing, Autonomous, Wave Motion, Self-organization of Units

1. はじめに

本研究は、場との相互作用を用いた新しい情報処理機構の構築を試みたものである。周知のごとく工学の分野で一般的に用いられてきた情報処理機構は、集中管理方式と分散管理方式の2つに大別される。すなわち、前者では対象とするある一つの処理装置に対して直列に並べられた手続きの列を入力し、初期の情報処理を実行する。特徴としては、比較的容易に制御が可能であるが処理装置の故障などに弱く、処理速度が装置の能力に依存するなどの欠点がある。後者はこの欠点を補う可能性を持ち、複数の処理装置に対してタスクとしての情報処理の負荷分散を行い、高速処理性、対故障性に優れた処理が期待されるゆえ、現在この分野の研究開発が盛んである。今日までに検討されている各種分散管理方式では、各処理装置を結線結合し相互通信しつつ、全体としての情報処理を実行することを前提としており、そこにおける各処理装置は個別的であり、統一的に取り扱うことが困難なため、結果として拡張性が悪くなり、すべての処理装置の実際の動きは、手続き的記述に依存しているゆえ自律性に欠ける点が指摘できる。

一方、自然界の情報処理法には、これらの結線・通信に基づく情報処理法以外に、光、音、臭いなどの伝播する情報を利用した処理法もあり、一般に動物だけでなく生命体すべての個体間の情報伝達はこの方法によっていることが知られている。この方法は“場”と呼ばれる特殊な仲介媒体を必要とするが、多種多様な情報を不特定多数の個体へ伝達できるという利点を備えていることが予想される。さらに、個体群の情報処理は場を通じて相互に情報交換することにより、個々の個体が個体群全体の挙動を観測不可能な場合でも、個体群としてある纏まりを持ちながら、すなわち、自己組織的に行われており、そこでは、各個体群を管理する機能を持つような特別な個体が存在しない場合でも、高度な情報処理を実現している場合が多い。このような自然界における自己組織的情報処理方式は、工学における分散管理の研究に対して有効な情報処理機構を提供する可能性を持つものと考えられる。自己組織化現象そのもののモデル化は Herman Haken の研究に於ける自己体制化¹⁾、物質の原子レベルの性質と物質間の相互作用を方程式系で記述した Schrodinger 方程式²⁾、あるいは、これを拡張した有機軌道論はタンパク質などの生体内物質の性質を表現する有効な数値モデル³⁾などが知られている。しかし、これらはとくに情報処理機構の構築を意図したものではないので、如何に

* 原稿受付 平成4年5月18日。

^{*1} 正員、北海道大学工学部 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)。

して自然界における自己組織的情報処理方式を工学的に実現するかは未知の課題である。

本課題への一つのアプローチとして、本研究は場の概念を導入した情報処理機構モデルの構築を試みる。そのために、まず必要となる情報処理装置、場、場を通じた複数情報処理装置間の情報伝播機構等を定義し、モデルを構築する(2章、3章)。また、2、3の計算機実験を通して、構築した数理モデルの基礎的性質(4章、5章)について議論する。

2. 対象状態空間

ここで提案する情報処理機構は、基本的には並列分散処理機構であり、それは、次の要件を満たすような状態空間からなるものと仮定する

要件a) 各情報処理装置間の非結線性：情報処理装置群間の双方向または一方向通信をも含む結線による情報伝達方式を前提条件としないような情報処理機構。

要件b) 情報処理モデル表現の統一性：処理対象モデルは一樣に統一的に数式表現されるもののみを扱う。

要件c) 各情報処理装置挙動の自律性：情報処理の場に設定された因果律に従って、各情報処理装置は自律的に、全体としては並列分散的に問題解決に向かう挙動を示す。

これらの要件を満足するような情報処理機構の一つとして考えられる状態空間を図1に示す。すなわち、

1. 情報処理の場

ここで提案する情報処理機構では、すべての情報処理装置への情報の入出力は、各装置と場との相互作用によって媒介されるものであるため、情報処理の場を明示することが要求される。ここではこの場を2つに分けて設定する。すなわち、全ての装置の物理的存在が認識される場、いわゆる全体場(ここではこれを波動場と呼ぶ)および、個々の情報処理装置の張る場(ここではこれをポテンシャル場と呼ぶ)を考える。

2. 情報処理装置

各情報処理装置は、処理すべき対象問題に固有に設定された対象問題表現形式にしたがって自律的に動作するものとする。また、空間的相互作用能力を損なわないで情報の入出力を可能とすることを目的として、それぞれの処理装置は装置に固有の場を持ち、この場を通して、全体場と相互作用をするようにする。以降ではこれら処理装置を便宜上“ユニット”と呼ぶ。

3. 情報伝播機構

伝達を前提としない伝播に力点を置いた場に於ける情報は、複数の情報が重畳された状態で同時に存在する。これを統一的に演算処理することを可能とすることを目的として、ここでは、その伝播媒介機構を波動とし、その表現に必要とされる座標系を各々のユニットに対して固定とする。これにより、例えば波動場上

の波動の相互干渉によって情報の伝播、装置への入出力は統一表現され、各ユニットは所定の演算によって、各ユニット座標上における場の状態を観測することができる。すなわち、ユニット間、ユニットと場の相互作用は全て2者間相互作用で置き換えられることになり、情報処理システムとして完全な分散管理方式が構成される。

4. 処理対象問題

最後に処理対象問題をこの空間に入力する必要があるが、この新しい情報処理機構で処理されるべき問題は物理的相互作用と情報処理を同時並列的に処理されることが要求されるような問題に限定する。また、対象とする問題の表現形式は、一樣に統一的な全域的関数により群問題の持つ制約条件式を波動場上で表現するものとする。さらに自律的問題解決は、ユニットの情報伝達・情報処理などの相互作用により、波動場上のすべてのユニットの局所的安定状態を探索することによってプログラムレスにこれがなされるものとする。

Fig1. 状態空間

なお、以後では各ユニットの持つ情報空間表現式を“ユニットの支配関数”，全ての各ユニットに固有な場で情報交換を媒介する最も基本的な単位を“ユニット座標軸”と呼ぶことにする。

以下、ここで提案する情報処理機構の構築に必要とされる3項の構成要素について、数理表現の形式で順次記述する。

2・1 情報処理の場(全体場)

本論で提案する情報処理の持つ期待特徴の一つは、前述の要件a)にも示したように、あるユニットが他のユニットとの関係の一つ一つをすべて把握するのではなく、伝達される情報の正確さを失うことなく、各ユニットは場との関係を把握するだけで、他のユニットとの相互作用を間接的に把握できる様な機能を持たせることである。このことを実現するためには種々の方法が考えられるが、本数理モデルに於ける場は、上記の要件a)を容易な記述で満足できるよう、式(1)に示すように各ユニットに固有な場の重ね合わせ(ここで

はこれを支配関数と呼ぶことにする)として構成し、各ユニットは設定された様式にしたがって情報を受け取るように構成する場合を考える。すなわち、各ユニットにはそれぞれ適当なポテンシャル関数とユニット座標軸を定義することにより、式(1)のごとく全体の場Hは数式表現することが可能となる。

$$H(r, n, \phi) = \sum_i \{h_i(r, n) \cdot \psi(\phi) + w_i(r, n) \cdot \chi(\phi)\} \quad (1)$$

ここで、

$H(r, n, \phi)$: 場の関数、

ϕ : 全体座標軸

i : ユニット番号 ($i=1, 2, \dots, n$)

$h_i(r, n)$: ユニット支配関数

r : 位置ベクトル $r(i) = (r_x, r_y, r_z)$

n : 方向ベクトル $n(i) = (n_x, n_y, n_z)$

$w_i(r, n)$: ユニットから場への出力波動

$\psi(\phi), \chi(\phi)$: ユニットの種類に固有なユニット座標軸

なお、 $h(r, n)$ に関する詳述は3章でこれを行なうが、これはユニットの発生する情報であり、この様にHを設定することによって、ユニットは $\psi(\phi)$ 上では支配関数 $h(r, n)$ により他のユニットと相互作用し、 $\chi(\phi)$ 上では $w(r, n)$ の波動により、他のユニットの支配関数に影響を与えられる性質を持つことが期待できる。

2・2 情報伝播機構 (固有の場)

ユニット間の情報交換は、式(1)によって媒介される全体の場 $H(r, n, \phi)$ を媒介して行われる。式(1)の記述は各ユニットの波動場の重ね合わせから構成されているゆえ、その可制御性を保証することが要求されるので各波動場を直交化して設定することが必要となる。ここでは、各ユニット座標軸 $\psi(\phi), \chi(\phi)$ について式(2)の波動方程式でこれを定義する。

$$\frac{\kappa(a)}{2} \frac{d^2 \zeta(\phi)}{d\phi^2} + E_\phi \zeta(\phi) = 0, \quad (\zeta(\phi) = \psi(\phi), \chi(\phi)) \quad (2)$$

$$\zeta(\phi) = 0, \quad (|\phi| = a, b) \quad (3)$$

ここで、

$\kappa(a)$: ユニット座標軸のエネルギー空間上に於ける距離に関するパラメータ。

E_ϕ : 全相互作用エネルギー (以下に詳述)

a, b : ユニット座標軸 $\psi(\phi), \chi(\phi)$ の境界条件

$\psi(\phi), \chi(\phi)$ の境界条件は、式(3)の a, b を適当に設定すれば、相互に直交する波動場を与えることができる。

式(2), (3)によりシステムの可制御性は保証されるが、各ユニットの状態の全体の場に於ける同定は、各ユニットの自律機能を発現する際に必須となる。すなわち、全体の場(あるいは環境中)における自己の客観的認

識のための情報を提供するような機構が必要となる。このため、各ユニットが環境のどのような状態の所に位置しているかを測る一つの判断手段として、相互作用エネルギー E_ϕ を導入する。

$$E_\phi = \frac{q}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(r, n) \psi(\phi) d\phi \quad (4)$$

さらに、 E_ϕ によって波動のモードは変化するので、ユニットの情報交換軸は、周囲のユニットの性質や密度の変化に依存することは注意を要する。最後にシステム全体系の安定性をいかに保証するかをも考慮する必要がある。このことを意識して、ここではユニットの近傍の相互作用エネルギーの微小な変化を無視できるような $\kappa(a)$ を定義することによりこれを保証する方法を以下に示す。そのため、まず、ユニット座標軸 $\psi(\phi)$ に関する波動方程式は式(2)および(3)に関して相互作用エネルギー E_ϕ を

$$E = k_a^2(x1) \quad (5)$$

と置くと、 $\phi = a$ で境界条件を満たす解は以下に示す2つが存在する。すなわち、 n を自然数として、

$$\psi_{2n} = A \sin(k_{2n}\phi)$$

$$a k_{2n} = n\pi \quad (6)$$

$$\psi_{2n+1} = A \cos(k_{2n+1}\phi)$$

$$a k_{2n+1} = (2n+1)\pi \quad (7)$$

これらをまとめると

$$k_n = \left(\frac{\pi}{2a}\right)n \quad (8)$$

ゆえに、エネルギーの可能な値は、

$$E_n = \left(\frac{\pi}{2a}\right)^2 n^2 \quad (9)$$

つぎに、

$$\kappa(a) = \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \quad (10)$$

と置けば、式(1)から特定の周波数上に設定された相互作用エネルギーは、 $\kappa(a)$ の n^2 倍のみがユニット座標軸として有効となるエネルギー値であり、近傍の相互作用エネルギーの微小な変化を無視でき、その安定性が保証される。以上の議論は提案している場の性質に関するものであったが、そのような特性を持つ場に於ける情報処理法そのものの理論展開を以下の節で行なう。

2・3 情報処理装置 (ユニットの動作規則)

ここでは、全てのユニットに共通な情報処理法の設定を模索する。理想的には全ユニットに対して共通な処理法が存在すればいかなる処理法でも選択可能ではあるが、ここでは、これまで展開してきた理論の統一性を考慮して、式(1)で設定した場の関数 $H(r, n)$ をポテンシャルと見做すことを考える。するとその数式表現式としてラグランジェの運動方程式が自然に式(11)

のように導入される。

$$\mathbb{L} = \left(\frac{1}{2} \mathbf{v}(t) \cdot \mathbf{p}(t) + \frac{1}{2} \boldsymbol{\omega}(t) \cdot \mathbf{q}(t) \right) \cdot \psi(\phi) - H(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \phi) \quad \text{--- (11)}$$

運動方程式は(12)式となる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbb{L}}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial \mathbb{L}}{\partial \phi} = 0, \quad \{\dot{\phi} = (v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)\} \quad \text{--- (12)}$$

さらに、運動量 $\mathbf{p}(t)$ および角運動量 $\mathbf{q}(t)$ は (13), (14)式のごとく求められ、

$$\dot{\mathbf{p}}(t) = \mathbf{M} \cdot \frac{\partial \oint H(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \phi) \psi(\phi) d\phi}{\partial \mathbf{r}} \quad \text{--- (13)}$$

$$\dot{\mathbf{q}}(t) = \mathbf{I} \cdot \frac{\partial \oint H(\mathbf{r}, \mathbf{n}, \phi) \psi(\phi) d\phi}{\partial \mathbf{n}} \quad \text{--- (14)}$$

(13), (14)式により処理された情報にしたがって情報処理装置としてのユニットは相互作用することになる。

ただし、式(11), (14)に於て、

$\mathbf{M} = (m_x, m_y, m_z)$: 慣性

$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_y & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_z \end{bmatrix}$: 慣性テンソル

$\mathbf{v}(t) = \dot{\mathbf{r}}(t)$: 速度ベクトル

$\mathbf{p}(t) = \mathbf{M} \cdot \mathbf{v}(t)$: 運動量ベクトル

$\boldsymbol{\omega}(t) = \dot{\mathbf{n}}(t)$: 角速度ベクトル

$\mathbf{q}(t) = \mathbf{I} \cdot \boldsymbol{\omega}(t)$: 角運動量ベクトル。

以上の情報処理の場、情報伝播機構、情報処理装置により本モデルによる情報処理が実現されることになる。次章では、個々のユニットの支配関数を設定し、ユニット群の振る舞いを検証することによって、モデルの基礎的な性質を明らかにする。

3. ユニットの支配関数

具体的に複数ユニット間の相互作用を表現するために、ユニット支配関数の標準形を以下の式で仮定する。相互作用を見通しのよいものとするために、すべての支配関数は仮にユニット間の物理的距離に依存するとして式(15)と置く。

$$h_i(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = \sum_{n=0}^3 \frac{(-1)^n \cdot q_n}{\alpha_n + (r_i - \mathbf{r})^{2n/k}} \quad \text{--- (15)}$$

$$k_i(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = k_0 + \frac{k_1}{2\pi} \left| \frac{d}{dt} \int H(\mathbf{r}_i, \mathbf{n}_i) \cdot \chi(\phi) d\phi \right| \quad \text{--- (16)}$$

$$w_i(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = (W|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}|) \exp(j\omega_0|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}| - \kappa_0 t) \quad \text{--- (17)}$$

ここで、

q_n : 相互作用の強さを決定する定数

k_0 : k の基準値

α_n : 初期設定時の定数

ω_0 : 波数

κ_0 : 角周波数

実際の具体的問題における情報処理では、これらの

パラメータを問題向きに設定することになる。ここでは、ユニット群の基本的な挙動を調べるために、ユニットの支配関数は場の状態を(16)式によって取入れ、その影響範囲を変化させるように設定することを試みている。また、(17)式はユニットの発生するユニット波動を表わしている。(15)式は、場を局所的に大きく歪ませ、その歪が減衰しながら全空間に渡って伝播する形になっているために、ユニットの存在を全空間に渡って認識させることができる。本数理モデルに於て、この特性は、このユニットを基礎としてユニット群を構成した場合にできる、ユニット群の形態・性質を決定する点に於て重要な役割を果たしている。

Fig2. ユニット支配関数の一般形

また、ユニット波動については、ある地点 $\mathbf{r}_i$ を中心にして場に対し波動を出力し場のポテンシャルに振動的な微小変位を与えるものとしてここでは定義した。ユニットの出力する波動は係数 W に依存した減衰を示し、周囲のユニットに対してユニット波動の中心とユニットの中心間距離に応じた影響をする。ここで設定した波動場内のユニット波動は、音波、光波、臭いなどとアナロジーがある。処理系に対するこれらの入力、直接動作させるエネルギーとなることは少ないが、処理系の挙動を決める直接的、または間接的な原因になっていることが多いので、この様に設定した。

Fig3. ユニット波動

4. ユニット間の基礎的相互作用様式

ここでは、本モデルの基礎的な性質を明らかにするために、波動場に於けるユニットの挙動を簡単な場合

について、位相平面法を用いて解析することを試みる。ユニットの挙動は(1)式から(17)式の方程式にしたがうことを前提とする。また、ユニット支配関数をユニット中心に対して対称な関数として次のように設定する。

$$h_i(r) = \sum_{k=0}^{k=3} \frac{(-1)^k \cdot q_k}{1+(r_i-r)^{2k}} \quad \text{-----} \quad (18)$$

$y=0, z=0, M=1$ とすれば、 x 軸に関する一次元の場合に於ける n 個のユニットの挙動は、以下の連立方程式の解となる。

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^n h_i(x_i) = 0, \quad x = x_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \text{-----} \quad (19)$$

ここで、 $\xi = x_1 - x_2, \eta = d\xi/dt$ と置くことにより、

式(20)が得られる。

$$\frac{1}{2} \eta^2 = - \sum_{n=1}^3 \frac{4n(-1)^n q_n}{1 + \xi^{2n}} \quad \text{-----} \quad (20)$$

(a) ユニットポテンシャル関数

(b) 位相平面

Fig4. 位相平面法による解析

これを η を縦軸に、 ξ を横軸に取って位相平面を描かせるとFig4に示す挙動を示す。

この結果より、初期の運動エネルギーが小さい場合にはユニットは相互に拘束しあい、また、大きい場合には発散することが分かる。

5. ユニット群の挙動

前節では、構築した数理モデルに対してユニット支配関数のパラメータを適当に設定することで、ユニット間の相互作用が吸着と発散の現象として表現できることを示した。そこで、ユニットの性質に依存したユニット群の性質について計算機実験により調べる。

5.1 ユニット波動を持たない場合

計算機実験に於て、まずユニットに対する相互作用力を系の安定・非安定の評価値として考える。また、

実験に用いたユニット支配関数のパラメータは、 $q_0=250.0, q_1=250.0, q_2=250.0, W=0.0$ に固定して、ユニットの個数とユニットの初期配置を変えて、4種類について実験・考察している。

計算機実験A

4個のユニットを適当に配置し相互作用させた場合のユニットの軌跡とユニット群の安定構造を示す。計算機実験Aに用いたユニットの初期位置は、互いのユニットの作り出すポテンシャル場の影響が十分に感知できる位置に置いた。上記初期条件の下でシミュレーションを行なった結果、4個のユニットは(a)のような軌跡を描いて(b)にある正四面体構造をとって安定したことを示している(Fig5)。

Fig5. ユニット間相互作用

また、(b)の状態に於けるユニットの間隔と3つのユニットの作る中心角を調べた結果、ユニット間の間隔、角度ともに誤差は1%以下であり、正確に正四面体の頂点の位置で安定していることが分かる(Fig6)。

Fig6. ユニットの安定状態

計算機実験B

35個の粒子を適当な距離をおいて環状に配置して相互作用させた場合、ユニット間の相互作用により(a)の状態のユニット群は(b)の状態を経て、(c)の状態に安定する(Fig8)。さて、(c)のユニット群の安定後の配置は、ある程度の広がりを持つ環状をしている。

この実験の結果より、安定後の配置は、ある程度は初期状態に依存していることが分かる。また、ユニット支配関数の重ね合わせによって、ユニットの存在可能な領域と不可能な領域が生成されていることを示している(Fig7)。

Fig7. ユニット間相互作用

計算機実験C

28個のユニットを適当に配置して相互作用させた場合の安定状態を示す。ユニット間の相互作用によって (a) の状態のユニット群は (b) の状態で安定する。この過程で起こる凝集・拡散の機構によって安定状態に於ては、最密充填構造が形成されるが、この実験では、

Fig8. 凝集・拡散過程のシミュレーション

初期設定に於てユニットの配置が一樣でなく、対象性もないために、安定状態に於ても各ユニット群に属するユニットの数が一樣ではない。また、全体系の形状も対象性を持たない (Fig8)。

Fig9. 凝集・拡散過程のシミュレーション

計算機実験D

36個のユニットを正確に6×6の升目状に配置した場合。ユニット間の相互作用によって、(a) の状態のユニット群は (b) の状態で安定する。この実験では、初期状態に於けるユニットの配置が幾何学的配置をとっているため、安定状態に於ても対象性を持った幾何学的位置関係をとった (Fig9)。

5.2 ユニット波動を持つ場合

あるユニットから出力される波動（これをユニット波動と呼ぶ）によって周期的な振動が場に行われていた場合のユニット群の挙動を示す。

計算機実験E

ユニット数14個、ユニット波動 $\omega_0=7$ 。初期状態(a)でユニット波動の近傍にユニットを適当に配置する。約1500回の計算後に (b) の状態になる。ユニット群のこの状態はユニットの性質に基づく安定状態であり、最密充填構造をとる。さらに、約3000回の計算後(c)の状態となり個体の重心は、ユニット波動の中心と重なる (Fig10)。特に、ここではユニットと波動に関するパラメータ $[q_0, q_1, q_2, w]$ を固定して実験を試みたが、次の計算機実験Fにおいてパラメータに依存したユニット群の動特性を示す。

Fig10. ユニット波動に対するユニット群の挙動

計算機実験F

ユニット波動の空間周波数とユニット支配関数のパラメータによってユニットの挙動の様式が変化するために q_n と ω をいろいろに変えて実験を試みた。その結果、ユニット波動に対する反応は q_n が大きくなるほど活発になるが、その方向性については、 q_n, ω に依存していること以外の相関関係は得られなかった (Fig11)。

計算機実験G

ユニット波動の近傍に障害物を置いた場合を Fig12

に示す。シミュレーションではユニットの相互作用によって形成されたユニット群が障害物を迂回してユニット波動の中心まで到達することを示している。

Fig11. ユニット波動に対するユニット群の挙動

Fig12. 障害物回避シミュレーション

ここまでの議論により、ここで提案する数値モデルについて次のような基本的性質を得た。

- 1) 各ユニットの性質は式(15)-(17)のポテンシャル関数により任意に与えることができる。
- 2) ユニット間の情報伝達は波動場を媒介することにより全てのユニットに対して一様に伝達され、かつ、

情報の種類毎に独立して伝達される。

3) 各ユニットにおいて、情報はラグランジェの運動方程式にしたがって処理されるため、ユニット群は最密充填構造をその収束解とする。

4) 本数値モデルは入力をポテンシャル関数、遷移関数をラグランジェ運動方程式、入力に対する出力を収束解とするので、情報処理構造と見なすことができる。

5) また、波動情報に対するユニット群の挙動として、式(16)の効果により、分散管理されたユニット群は場の波源に向かって漸近することが確かめられた。

6. まとめ

以上、波動場を用いた情報処理に関する基礎研究として、設定した仮定の下に、以下のような結論が得られた。

1. 波動場とユニットの相互作用を表現できる数値モデルを構築した。

2. 構築したモデルに基づいて、モデルの基本的性質を調べるためにユニットに適当なポテンシャル関数をセットして実験を行い次の様な性質を得た。

(a): ユニット間相互作用によって最密充填構造をとって安定する性質が確認できた。

(b): ユニットが存在する場合にはユニット群が安定化した時点で接近、停滞、あるいは、逃避行動を起こすことが確認できた。

(c): (b)の行動パターンはユニットの振動数に依存していることが確認できた。

よって、ここで提案した数値モデルはユニット群と場との情報交換を実現している。すなわち、自己の置かれている環境変化を自己処理しつつ自らの動作を決定することのできるユニットにより構成されるときユニット群による分散処理が実現され、場を用いた本数値モデルによる情報処理の可能性を示した。なお、本モデルの実際の工学問題への応用については次稿以下で報告する。

参考文献

- 1) H. Haken, "Synergetics," Springer-Verlag, Inc. (1977)
- 2) 小出昭一郎 : 量子力学(I), 裳華房 p22-p45.
- 3) 藤本博, 山辺信一, 稲垣都士 : 有機反応と有機軌道概念, 化学同人 p115-155.
- 4) 中井準之助 : 形態形成と発生工学, 講談社サイエンスフィク p137-p147.
- 5) H. Yokoi, Y. Kakazu, "An Approach to TSP by Bionic Model," Intelligent Engineering System Through Artificial Neural Network. 91th ASME PRESS, p883.