



タイプ・トークンの相互作用からみた集団現象の創 発

新里, 高行

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2012-03-25

(Date of Publication)

2012-09-11

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5586

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005586>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



It is important to understand a living system in the context of the relation between "parts and whole". A living system makes itself by itself and maintains its systemic property by using its parts. Obviously, we distinguish between "a system" and "making a system" as distinct concepts. A "system", revealing its own entity, has to be distinguished from other systems. On the other hand, "making a system" is very different from "a system"; the notion of "making a system" implies a process of individualizing a system. Therefore, we usually have asked the relation between "system" and "making system" or "parts" and "whole" or "self" and "making self" when we consider the system theory. "Making system" usually is accepted as a result of interactions between parts.

Vicsek's model for the collective behavior is a quite appropriate example of the system theory. The detail of his model will be discussed later (Chapter 2). He considered that a set of self-propelled particles is the individual units, which interact with other individuals within a fixed-radius neighborhood. Each individual tries to align its directions within its interaction range. Therefore, each individual imitates each other. As a result, they consist several groups and sometimes behave as one collective. The degree of collectiveness can be tuned by a noise parameter. If the noise is high, individuals is hardly to make groups. However, individuals behave as one collective if the noise is very small. It can be observed the phase transition by the noise tuning. If the noise parameter exceeds a certain threshold, each individual suddenly shows a group behavior.

Although there is no obvious central control such as a brain in the aggregation, we can acknowledge that the aggregation moves as though it has one body or one mind. In fact, birds flocking, fish schooling and other collective phenomena are sometimes discussed in the context of self-organization. Global properties emerge only from local interactions of each individual. Recently, a more accurate analysis of flocking behavior can be achieved than was formerly possible. Cavagna et al. measured velocity fluctuations of real birds (a precise definition will be discussed later) and found that the range of the spatial correlation does not have a constant value, but it scales with the linear size of the flock. The size of correlation domain is obviously larger than the interaction range of each bird. Birds share more information than they can interact. Cavagna and others called this phenomenon "scale-free correlation". This is a very suggestive result because scale-free correlation indicates that a flock cannot divide into independent subparts. If one individual in a flock changes his direction, its influence would spread to all individuals. Cavagna's empirical results sometimes are compared with the criticality in condensed physics. Real flocking spontaneously approaches to the critical state. This phenomenon is called self-organized criticality (SOC in short). Real flocks in the critical state can respond external perturbation (such as predator's attack) quickly.

Here we found the common ground for the Class IV, which has high computational ability, and SOC. We note that we never agree on the attitude, which such situation would important when we discuss the living system. We argue the problems, which are emerged through such criticality, when we believe "collective phenomena is on the critical state". In the critical state, it is considered that the fixed point would connect the whole and parts. Therefore, whole system is given in advance. However, in the collective phenomena, it is not trivial problem to determine what is one collective in natural flocks. It is still vague for the criterion of a flock. Self (what is a flock) is not prepared in advance.

This is why we take the theme of this paper as the collective phenomena. The collective phenomena contain important problems of the relation between "parts" and "whole". If we cannot prepare a "self", then what does mean "making self"? Many system theories miss this point. Returning to the definition of the word "self-organize", we point out that the word must contain two levels, which are "self" (parts) and "making self" (whole), at least. However, the word "self" would contain other elements, which never belongs to "self" in advance, because the "self" can make progress by actively taking in unknown factors when he adapts to changing environment. "Self" itself must be defined as incomplete in the self-organization. Changing "self" also requires changing "making self" as a whole. Therefore, the relation between "self" and "making self" must be dynamic. To overcome these problems, we use the concept of type (e.g., kind, classes, roles, variables) and token cognition (e.g., individuals, instances, filters, values). Types and tokens are essential characteristics of physical symbol systems hypothesized in human and nonhuman mental representation. Although it has been reported that nonhuman animals appear to reason on the basis of particular sets of features shared by members (tokens) rather than on abstract roles (types), we have to consider ambiguity between types and tokens when we consider the dynamical relation between parts and whole. The model of Chapter 2 and Chapter 3 are constructed by regarding the type and token cognition. Each individual of our model adjusts a dynamical relation between type and token cognition though its own experience.

In Chapter 2, we will discuss about the flocking phenomena. Recently, the analysis of the flocking behavior can be more accurately analyzed than it was used to be. These researches make us reconsider to the notion of the neighborhood for the theoretical model. Topological distance is regarded as one of results. The

topological distance elaborates that a birds never interacts with his or her neighbors in the neighborhood in a fixed length (they call "metric distance"), but interacts with the nearest 1^{st} - 7^{th} neighbors. Cavagna et al., moreover, found the new phenomenon in flocks explained by neither the metric distance nor topological distance. They found that the correlated domain in a flock is larger than the metric and topological distance, and discovered that this domain is proportional to the flock size. To synthesize topological and metric distance, we propose the metric-topological interaction model that reveals both metric and the topological distance. This model shows the various behaviors of a flock without any external noise. The metric-topological interaction model also shows the scale-free correlation in a flock, and simulating results are well-fitted to the empirical data obtained by Cavagna et al in two- and three dimensions. We also will discuss many properties for the fluctuation such as SOC and releasing and storing fluctuation.

In Chapter 3, we will discuss the ecological evolutionary system. There are two contradictory aspects for the adaptive process in evolution. The one is that species must optimally increase its own fitness in a given environment. The other is that species must keep their variation ready to changing environment. In a strict sense, these two aspects might be exclusive with each other. If species is adapted to the optimal, the variation of species which can be trapped to the suboptimal decreases, and *vice versa*. To resolve this dilemma, we have to find the balancing between the optimal adaptation and the robust adaptation. Finding balance between them, however, needs the complete and static information for the locality and globality. The balancing between them must be more dynamic. In this study, we proposed the model that shows dynamical negotiation between global and local information by using a lattice theory. By using lattice theory, we never only can represent dynamic global information from local incomplete information. Species of our model show the power law of the lifespan distribution and $1/f$ fluctuation for adapting process. Finally, we argue that our model enables the balance between the optimal adaptation and the robust adaptation without any parameter. Incompleteness of information positively helps ecosystem to adapt to a given environment optimally.

氏名	新里 高行		
論文 題目	タイプ・トークンの相互作用からみた集団現象の創発		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	郡司 幸夫
	副査	教授	荒川 政彦
	副査	教授	宮田 隆夫
	副査		

要 旨

タイプとトークンは記号論で使われる概念で、タイプは一般的な記号、トークンは具体的個物を指し示す記号のことである。ただし、記号とはかなり広い意味で使われ、目の前のりんごも、図地分離され一個の個物として認識され操作される限りにおいて記号と考えられる。したがって一般的りんごを指し示すことば、「りんご」、はタイプの例であり、具体的にそこに置かれた瑞々しいりんごは、トークンの例となる。個物のコレクションがタイプというわけではない。むしろタイプは、コレクションによって捉えきれない普遍的な強度・属性であり、トークンのコレクション以上の或る全体と言うことができる。タイプとトークンは定義から明瞭に区別できそうに思える。しかし他方、トークンでありながらタイプとして用いられるものや、両者が徹底して混同される状況も有りえる。

本論文ではタイプとトークンの未分化な原初的形態こそが生命現象の根源であり、ここからタイプをまとったトークンという個物化や、さまざまなトークンが有機的に結びついた全体としてのタイプといった形態形成が出現すると考える。その具体的例を、動物の群れと人工的進化ビット列集団に求め、タイプとトークンの未分化な姿を両者の相互作用によって定式化したモデルを提案し、タイプとトークン間の齟齬が、どのようにシステムの頑健性や進化に寄与しているかを論じたものである。

第一章は導入部である。ウォルフラムが唱えるセルオートマトンとチューリング機械の関係を引用し、効率的で万能な計算が或る種の臨界現象であるという描像に賛同しながら、その描像には臨界現象の起源に関する考察がない、と批判する。実際ウォルフラムはセルオートマトンを、カオス的挙動を示すクラス3、周期振動のような静的構造を示すクラス1、2および、局所的振動解を遍歴するクラス4に分類し、適当なオーダーパラメータを設定することで、クラス4が1、2から3への相転移に移る臨界点に位置することを示した。さらにウォルフラムは、クラス4のオートマトンを用い、進行振動解の衝突をうまく定義することで、万能チューリング機械が実装できることを示している。しかしその計算には、事前に進行振動解の衝突位置を設定・準備しておくことが必要となり、計算を完全に制御することが必要となると共に、クラスを選ぶためのオーダーパラメータのチューニングも必要となる。ここに起源問題の不在がある。

生命が臨界現象であるという主張は、カオスの縁を唱えた、ラントンやスチュアート・カウマン、自己組織臨界現象を唱えたバクらの主張にもみられるが、臨界現象への進化、収斂を唱えながらその進化機構については自然選択以外考えおらず、生命＝臨界現象への必然性は理解されていない。申請者はそのように主張し、必然性は、タイプとトークンの未分化な原初的形態にあると主張し、以下で取り上げる群れや、進化モデルにおいて、タイプとトークンの未分化性を両者の相互作用で構成し、そこから臨界現象的振る舞いが得られることを示すという道筋が示される。

第二章では動物の群れをとりあげ、群れ形成の基本的機構にタイプとトークンの相互作用を実装していく。まず動物の群れに関する研究史が述べられる。動物の群れは当初、モデルや理論が選考された。まずコンピューターグラフィックスの要請から鳥の群れを簡単にシミュレートする方法が模索され、バード・アンドロイドの短縮形としてボイドと呼ばれるモデルがレイノルズによって提唱された。それは、各個体が固定された半径によって定義される近傍を持ち、小さな近傍内では衝突を避け、それより大きな半径の近傍で衝突近傍を除いた近傍領域では、運動の向きを揃え、さらに大きな半径

氏名	新里 高行		
論文 題目	タイプ・トークンの相互作用からみた集団現象の創発		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	郡司 幸夫
	副査	教授	荒川 政彦
	副査	教授	宮田 隆夫
	副査		

の近傍で、定向配列の近傍を除いた近傍領域では、接近する、という三つの規則に従ったモデルである。特に定向配列の規則のみで定義されたモデルは自己推進モデル (SPP) と呼ばれてヴィゼクラらによって提唱され、結合されるゆらぎをパラメータとし臨界現象を示すことが報告されている。現在もほとんどのモデル (例えばコージンら) がこれを継承する形で展開されている。しかし近年の画像解析の進展に伴い、これらのモデルの基盤がゆらぎつつある。第一に、トポロジー近傍の発見があげられる。ムクドリは固定された半径の近傍 (これを対比の意味でメトリック近傍と呼ぶ) を用いるのではなく、半径によらず絶えず6~7匹の近接者をモニターする、ダイナミックな近傍が、トポロジー近傍である。第二にスケールフリー相関があげられる。これは群れ全体における、速度に関する揺らぎベクトルの分布をみたとき、強い相関を示す領域が認められ、その領域サイズが群れのサイズに対して常に一定値を示すという現象である。これはSPPで説明することが困難な現象である。

これを受けて申請者は、近傍概念にタイプとトークンの相互作用を導入する。いわばメトリック近傍は個体の個性を無視し、近傍を微小な群れ個体の空間と考える装置である。したがってそれはタイプである。他方トポロジー近傍は、個体間距離に関わらず各個体を区別してモニターする。つまり個体を尊重しトークンに基礎付けられる。申請者はこれら二つの近某は本来相補的に定義されるべきもので、原理的には区別できない、と考える。メトリック近傍は、近傍内の個体が似たようなものであるから同一視できるのであり、したがって各個体の個性をモニターすることによって基礎づけられる。逆にトポロジー近傍は、近接者6~7個体をモニターするために、メトリック近傍の意味での距離を変化させ、個体を近傍空間に捉えることで基礎付けられる。この補充関係を、ダイナミックなスイッチとして構成した点が申請者のモデルの独創的点である。すなわち、近傍内の個体が速度に関して不均質であるならトポロジー近傍を採用し、そうでなければメトリック近傍をとる。これを絶えず行うことで、各個体は各々メトリック近傍・トポロジー近傍を行きかうことになる。これを申請者はメトリック・トポロジー相互作用モデル (MTI モデル) と呼称した。

MTI モデルは様々な臨界現象的振るまい、距離の寿命分布や、群れの寿命分布がべき分布に従うことや、速度に関する揺らぎベクトルの時系列が1/fゆらぎを示すこと、などがそれにあたる。また先に述べたスケールフリー相関も説明することが可能で、速度の向きに關しても速度の絶対値に關しても共に相関距離 (相関関数が0となる個体間距離) と群れスケールの線形関係が傾き0.35になるという、ムクドリのデータに極めて整合的な結果も得られた。さらにスケールフリー相関に關しては、強相関領域の機能的意味についても考察しており、強相関領域が群れ全体の運動を先導し、かつ複数の興相関領域の出現が群れの分裂を引き起こすという結果も得た。またMTIモデルでは、外部揺らぎの注入において、群れに内在する揺らぎの程度がヒステリシスを示すことが判明した。これらの傾向は、MTIモデルにおけるメトリック近傍・トポロジー近傍スイッチパラメータ閾値に關する幅広いパラメータ領域で認められた。この事実は、両者の相互作用さえあればパラメータの詳細チューニングなしに臨界現象が現れるという臨界現象の自己組織性を示すものと考えられる。

第三章は、種の有する遺伝子配列をビット列で表し、その進化を表現したモデルについて論じている。ここでは、淘汰が適応値に關して厳格なものではなく、ゆるいフィルターをかけた形で適用される。したがって環境の適応とはあまり関係のない種 (トークン) もフィルター (タイプ) のおかげで適応的であるとみなされ、淘汰を免れて生存することが可能となる。こうして前適応や、先行適応を説明できる。各種は、nビットで表され、環境もビット列で表される。適応度は、種ビット列とターゲットのハミング距離で与えられる。各適応度の順序をハミング距離で順序づけるが、これを最大限付き交構造をとって完備化して束とし、過去に依存して決定されるイデアルから合同関係を誘導し、商束を得る。商束によってビット列の適応度は、或る幅の各グループごとに粗視化され同一視されることになる。これがフィルターである。フィルターごとに適応値を上げるような進化が進行するため、それによって非適応的な種の進化が可能となる。この繰り返しによって、種の寿命分布に關する傾き-2のべき分布が得られた。これは化石データなどから得られている事実と合致する。

第四章は結論であり、タイプとトークンの相互作用が、生命＝臨界性という描像の基礎となること強く唱えられている。本研究はタイプとトークンの相互作用が自己組織化臨界現象の基本的機構であることを研究したものであり、群れや進化の基本的機構について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の新里高行は、博士 (理学) の学位を得る資格があると認める。