

シナジェティクス理論による知識ネットワークの変動過程の分析

鳥取大学大学院 学生員 ○藤高勝己
鳥取大学工学部 正会員 小林潔司
鳥取大学工学部 正会員 岡田憲夫

1. はじめに

近年、国際化・情報化の進展により、地域の産業構造や就業構造は著しく変化しつつある。高速度道路や航空ネットワークあるいは情報ネットワークの発展は、従来とは異なった国土構造の変動を引き起こしている。本研究は、国際化・情報化が進展しつつある国土構造の長期的な変動メカニズムの基本的な原理を理解するための第一歩として、知識ネットワーク上における知識生産活動の間のダイナミックな協同効果に着目する。そして、シナジェティクス（協同現象）理論を用いて、知識ネットワークの長期的な変動過程に関する理論的な考察を試みる。さらに、知識生産活動の立地分布の長期的な定常状態を求める理論モデルを提案し、知識基盤施設の整備が知識ネットワークにどのような影響を及ぼすかを数値計算結果を通じて検討する。

2. 隷属原理と自己組織化原理

シナジェティクス理論の基本的な概念である隷属原理と自己組織化原理を簡単に説明する。隷属原理とは、マクロ変数と個々のミクロ変数との間に複雑な相互作用が存在するようなシステムにおいて、個々のミクロ行動がマクロ状態に支配されるメカニズムをいう。すなわち、隷属原理は、マクロ現象とミクロ行動の相互作用を、「ミクロ全体からつくり出される“場”をマクロレベルで考え、それがまた個々の構成要素に影響を与えるというフィードバックシステム」として捉えることができることを主張している。隷属原理が作用する場において、システムが環境の変化に応じて新しい秩序を作り出しそれに適応することを、システムの自己組織化原理とよぶ。本研究では、隷属原理が作用する場における知識ネットワークの自己組織化過程を、マスター方程式により記述する。

3. モデルの定式化

知識ネットワーク上での知識生産活動（以下、活動と表現する）の空間的な立地分布の変化をマクロ状態の変化として捉える。一方、各活動の立地行動をミクロ行動として捉える。活動の立地行動に関して、（１）活動の総数は一定である、（２）活動の移動行動は、各ノードの知識交換に対する魅力の相

対的な格差によって引き起こされる、（３）ある期における活動の移動行動は、一期前のマクロ状態にのみ依存することを仮定する。

まず、各ノードの活動数を表わすマクロの状態変数 $n(t)$ を

$$n(t) = \{n_1(t), n_2(t), \dots, n_L(t)\} \quad (1)$$

と定義する。次に、各ノードの知識交換に対する魅力を効用関数 u を用いて表現する。そして、活動の立地行動をミクロの遷移確率により表現する。いま、ミクロの遷移確率が、ノードの知識交換に対する魅力の相対的な格差により規定されると考える。このとき、ミクロの遷移確率 p を次のように定式化する。

$$p_{i,j}(n) = \nu_{i,j} \exp[u_i(n) - u_j(n)] \quad (2)$$

$\nu_{i,j}$ は、距離減衰関数であり

$$\nu_{i,j} = \exp(-\beta d_{i,j}) \quad (3)$$

とする。ここで、 β ；交通技術の水準を表わすパラメータ、 $d_{i,j}$ ；ノード間の最短時間距離である。ある時期 t に、マクロ状態が $n(t)$ となる状態分布確率を $P(n, t)$ と定義し、 $P(n, t)$ の時間的な変化を式(4)のマスター方程式により表現する。

$$\frac{dP(n, t)}{dt} = \sum_k w(n \leftarrow k) P(k, t) - \sum_k w(k \leftarrow n) P(n, t) \quad (4)$$

ここで、 $n = \{n_1, \dots, n_L\}$ 、 $k = \{k_1, \dots, k_L\}$ であり、 $w(n \leftarrow k)$ は、状態 k から状態 n への遷移確率である。このマスター方程式を解くことにより、活動の最終的な定常分布が求まることになる。

4. モデルの特定化

数値計算にあたり、本研究では、式(5)で定義される知識生産活動の立地分布の平均値 $\bar{n}_i(t)$ を用いて、マスター方程式を平均値方程式（式(6)）に変換し、平均値方程式を逐次解くことにより、定常状態におけるマクロ状態の最終的な立地分布を求めた。

$$\bar{n}_i(t) = \sum_n n_i(t) P(n, t) \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{n}_i(t)}{dt} = \sum_j \bar{n}_j(t-1) p_{j,i}(t) - \sum_j \bar{n}_i(t-1) p_{i,j}(t) \quad (6)$$

ミクロの遷移確率 $p_{i,j}(t)$ は、規格化条件 $\sum_i p_{i,j}(t) = 1$ を満たすものとし、次のように定式化した。

$$p_{i,j}(t) = \nu_{i,j} \exp[u_i(\bar{n}_i(t-1)) - u_j(\bar{n}_j(t-1))] \quad (7)$$

効用関数 u_i は、知識交換の容易さを表わす知識交換アクセシビリティ ACC_i と、知識生産活動の集積による混雑効果 $CONG_i$ を考慮し、次のように定式化した。

$$u_i(\bar{n}_i) = ACC_i + CONG_i \quad (8)$$

$$ACC_i = \sum_j \exp(-\beta d_{ij}) (\bar{n}_j^\gamma + \delta_j) \quad (9)$$

$$CONG_i(\bar{n}_i) = -\sigma \bar{n}_i^2 \quad (10)$$

ただし、効用関数 u_i は、 $\sum_i u_i(\bar{n}_i) = 0$ を満たすものとする。式(9)と式(10)において、 β ：交通技術の水準、 γ ：知識生産活動の集積度に対する感度、 δ ：国際化の特化度、 σ ：混雑効果を表わすパラメータである。

5. 数値計算結果の例

まず、分析結果の一例を述べる。30個のノードから構成される均一な交通ネットワークを図-1のように設定した。また、知識生産活動の初期分布を $n(0) = \{1, 1, 1, \dots, 1\}$ と設定した。 $\sigma=0$ と固定し、 β と γ の値を変化させた場合の知識生産活動の定常状態を求めた。 β と γ の値と知識生産活動の定常状態の関係を、図-2に示している。図形の高さは、各ノードにおける知識生産活動数を表わしている。 β の値が小さくなるほど交通技術が発達し、 γ の値が大きくなるほど知識生産活動の集積による効果が大きくなる。図-2より以下のことが読み取れる。 β と γ の値を変化させると、立地状態は、 $\gamma=0.5$, $\beta=0.0001$ の場合のような分散型か、 $\gamma=1.0$, $\beta=0.06$ のような集中型かの2種類のパターンしか生じないことがわかる。交通技術が発達するにつれて、知識生産活動は、あるノードに集中するが、高度に交通技術が発達すると再び分散化することがわかる。 γ の値が大きくなるほど、知識生産活動が集中する β の値のとりうる範囲が広くなることも読み取れる。

さらに本研究では、様々なケースを考慮して、シミュレーションによる分析を行った。その結果を要約すると次のようである。(1) 混雑効果を考慮し、 σ の値を1に設定した場合、 β と γ の値を変化させることにより、知識生産活動の立地状態は複雑に変化し、数多くの種類の均衡解が得られる。(2) あるノード間に高速交通システムを整備した場合、知識生産活動は、高速交通システムでリンクされているノードを中心として集中的に立地するようになる。(3) あるノードにおいて国際化が特化した場合、知識生産活動は、そのノードに集中する。

なお、これらのケースの詳細な分析結果に関しては、講演時に述べることにする。

6. おわりに

交通技術や知識の集積度に対する感度の変化にと

もない、活動の立地状態は様々に変化するが、知識生産活動の分布状態の定性的なパターンは限られていることがわかった。本研究で残された課題として、

(1) 国際化の特化度を表わす具体的な関数を知識交換アクセシビリティに内生化させる、(2) ネットワーク構造自体の進化過程を内生化する、(3) 初期分布状態を変化させた場合や、ネットワークを複雑化・多様化した場合を考慮に入れたシミュレーションを行う、等が挙げられる。

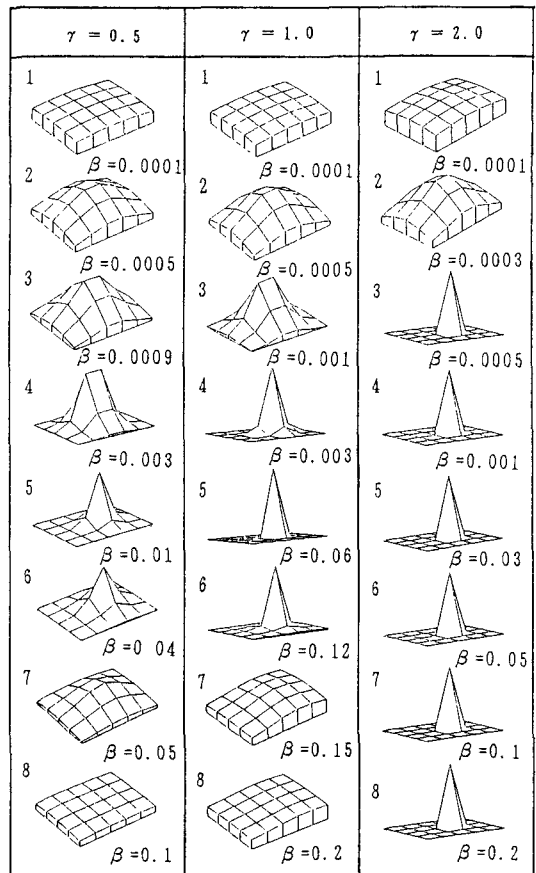
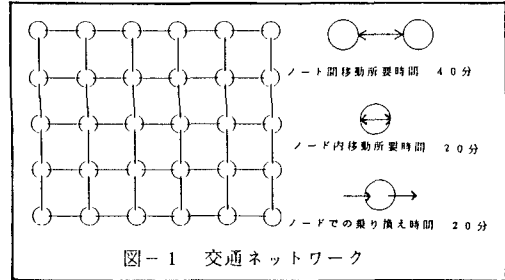


図-2 β , γ の値と立地状態の関係