

○田上貴士, 渡辺千仞 (東工大社会理工)

## 1. 序

経済はあたかも生命体の活動のように見える。かつてマールシャルは、物理的な考えではなく生物学的な視点をとりいれた経済生物学こそが「経済学者の目指すメッカ」<sup>[1]</sup>である、と考えていた。しかし経済のあまりの複雑性ゆえに物理的な方法論から抜け出すことはできなかった。

経済も生命体も外部から物質とエネルギーを取り入れ自分自身を維持する。木星にある「大赤斑のような非平衡状態における秩序は、物質とエネルギーが継続的に散逸することによって維持される。」<sup>[2]</sup>。ノーベル化学賞を受賞したイリヤ・プリゴジンはそのような系を散逸構造と呼んだ。この観点からすれば、経済はまさに散逸構造であり生命体と同じ構造をしている。

企業の生成死滅過程はまさに生命活動に例えられるが、渡辺によれば技術も同様に生命のように有機的であり、「技術メタボリズム」<sup>[3]</sup>として捉えるべきだという。経済内に位置するこれら企業や技術も同様に散逸構造であると思われる。

したがって、生物学的方法論を用いて経済の構造を解明しようとするは理に適っていると思われる。本研究は経済活動を生態学的手法を用いて分析する。産業連関表(I-O表)を生態ネットワークに見立て、組織化度を意味する情報量(情報エントロピーの減少分)で指標化し、そのエントロピーと経済成長、技術進歩、起業活動(ベンチャー)との関連を探る。

## 2. 分析フレームワーク

## (1) 熱力学エントロピー

熱力学におけるエントロピーとは、系の複雑度・無秩序度を意味する。エントロピーが大きければ大きいほど複雑で無秩序になり、小さいほど秩序だって単純である。シュレーディンガーは、「生命をもっている構造は、いずれも、環境から低エントロピーを取り入れ、それを高エントロピーに変換することによってみずからを準定常状態に維持するものである。」<sup>[4]</sup>と言った。生命体はエントロピーが増大し続ければ無秩序に近くなり死に至る。逆にエントロピーが小さすぎると単純になってしまい、複雑な構成をした生命体を保てなく

なる。したがって、エントロピーが一定ぐらいでない生命体は当然自分自身を存続できない。

## (2) 組織化度のエントロピー

生態システムの構造の組織化における情報の生成は平田<sup>[5]</sup>によると、Shannonの相互情報量の考え方にに基づき以下のように表せられる。

$$I(N; E) = H(N) - H(N|E) \quad (1)$$

$N$  : 構造,  $E$  : 組織化,  $I$  : 情報

$H(N)$  : 組織化前のもつエントロピー

$H(N|E)$  : 組織化後の構造のもつ条件付きエントロピー

すなわち、組織化のもつ情報量は構造の持つエントロピーの減少分で表される。組織化のイメージとしては、図1のような変化があげられる。左が組織化前、右が組織化後である。

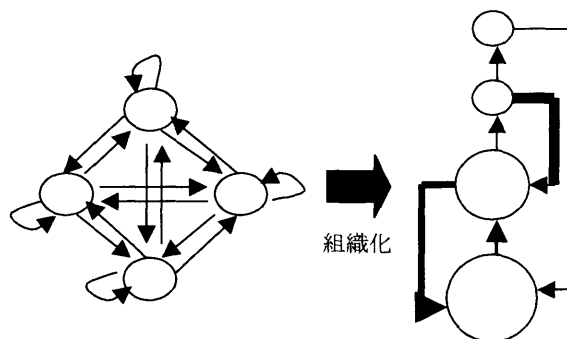


図1 生態ネットワークの組織化

生態ネットワークの組織化の情報量を計測する際、組織化過程を次の2ステップに分けて考える。

## ① 組織化Ⅰ：ノードの大きさの組織化

システム中にノード（図1の丸）が平均的に等しく現れるランダムな状態（組織化前）と、偏りのある組織化された状態を比較する。この組織化Ⅰにより生成される情報量( $D_1$ )は次のように定義される。

$$D_1 = H^{\max}(S) - H(S) \quad (2)$$

ここで

$$H^{\max}(S) = \ln n, \quad H(S) = -\sum_{i=0}^n P(s_i) \log P(s_i)$$

$$P(s_i) = \frac{F_i}{\sum_{j=0}^n F_j}, \quad F_i = \sum_{j=0}^n f_{ij}, \quad f_{ij} : i \text{ から } j \text{ へのフロー}$$

である。

## ② 組織化Ⅱ：経路の存在と太さの組織化

経路（図1の矢印）が各ノードに関係なく独立に生起しているランダムな状態と、偏りのある従属性をもつ組織化された状態を比較する。組織化Ⅱにより生成される情報量( $D_2$ )は、次のように定義される。

$$D_2 = H^{IND}(S^2) - H^D(S^2) \quad (3)$$

ここで、

$$H^{IND}(S^2) = -\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n P(s_i) P(s_j) \log \{P(s_i) P(s_j)\}$$

$$H^D(S^2) = -\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n P(s_i, s_j) \log P(s_i, s_j)$$

$$P(s_j | s_i) = \frac{f_{ij}}{F_i},$$

である。

## (3) 情報量の指標とその意味

上で求めた  $D_1, D_2$  の意味は以下のようになる。

$D_1$  が大きい：ノード分布の大小差が大きい

$D_1$  が小さい：ノードの分布が均一に近い

$D_2$  が大きい：ネットワーク構造が簡単である。直線的あるいは循環的である傾向がある。

$D_2$  が小さい：ネットワーク構造が複雑である。網目状の傾向がある。

また生態ネットワーク構造の組織化により生成される情報量  $I_{H^2}$  を  $D_1, D_2$  の和により以下のように定義する。

$$I_{H^2} = D_1 + D_2 \quad (4)$$

これは  $H^2$ -情報と呼ぶ。さらに、 $D_1, D_2$  の割合を

$$RD_1 = \frac{D_1}{D_1 + D_2}, \quad RD_2 = \frac{D_2}{D_1 + D_2}$$

のように表せる。

以上求めた情報量  $D_1, D_2, I_{H^2}, RD_1, RD_2$  を組織化の指標として適宜用いる。しかし問題点がある。平田によれば、「ネットワークの組織化の見地からすると、構造の特徴を表す  $D_2$  のほうが質が高い情報である」とのことである。とすれば、単純に  $D_1$  と  $D_2$  の和や比率を用いることは適切でないということになる。したがって、基本的には  $D_1$  と  $D_2$  を用いて分析し、その他の指標は(6)で述べる仮定に沿うかどうかで適切な指標かどうか判断する。

## (4) 経済構造のエントロピー

以上挙げた生態ネットワークの組織化のフレームワークを経済に適用する。使用する経済データは産業連関表(I-O表)である。これはまさにノードと経路からなる経済データである。

使用する産業分類は13部門と32部門で、それに粗付加価値部門、国内最終需要、輸出、輸入を加えてそれぞれ17,36部門となる。データは生産者価格評価表の名目値を用いた。使用する年は、昭和26年、30年、35年、40年、45年、50年、55年、60年、平成2年、平成7年の10データ。

投入・産出、国内最終需要にマイナスの値がある場合は、それは屑・静副産物なので物の流れとしては逆なので、マイナス値がなくなるようにデータを修正した。自部門同士のや

り取りでマイナスの場合はマイナスをプラスに代えた。なお、国内最終需要がマイナス値の場合は粗付加価値部門に対応させた。

### (5) 分析手法

各情報量指標と名目 GDP、実質経済成長率、開業率、廃業率、技術進歩（技術ストック）との関連を相関分析などにより見る。

また特に、経済網を形作るのに多大な貢献をしたと思われる電気機械産業との相関も見る。産出比率、付加価値比率、技術ストックと情報量指標の関係を探る。

### (6) 本分析の限界の確認

分類とは人の恣意性が入りやすい（例えば昔は「放送」は分類としては個人娯楽だったが、今では「通信・放送」という個人娯楽から離れ独立した分類になっているなど）ことは否めない。したがって、この分析フレームワークが正しいかどうかを違った部門数でそれぞれ分析することにより簡単な確認をすることになる。

しかし、エントロピーという全体的指標が、人間の決めた分類によって依存するのはおかしいと思われる。そこでエントロピーは人間の恣意性には依存しないと仮定をしたい。すなわち、部門数が違って各指標は相似性があるということである。その検定も行なう。

また、技術ストックは日本全体ではなく製造業についてのものなので、ギャップがあることを付け足しておきたい。

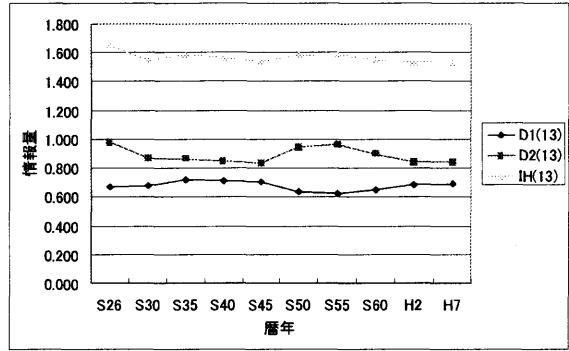
## 3. 計算・分析結果

### (1) 各情報指標の相関

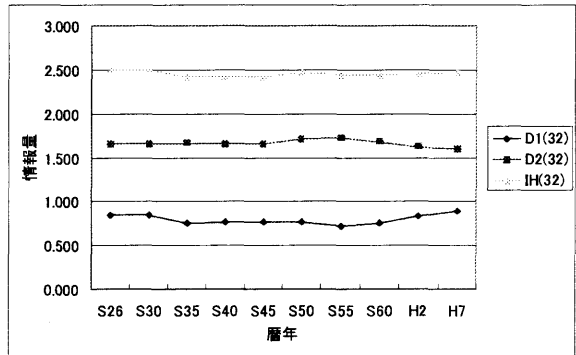
計算の結果、各情報指標は図1のようになった。また、各情報量間の相関係数は表1、表2のようになった。

表2より、分類の仕方によって違いがあることがわかる。一方表1からは、D1(13)とD2(13)、D1(32)とD2(32)、D2(13)とD2(32)の間に有意な相関が見られる。ということは、各情報指標では分類による違いがほとんど見られないが、D1とD2の和や比率になると違いが見られるという事である。この原因はやはりD1とD2の持つ質の差に由来すると思われる。

以上より、本分析では13部門のD1、D2を使って分析を進めることにする。ただ、D1とD2の相関が強いということが重回帰分析において問題となる可能性もあるが、意味的には違うものであり質的にも違うので、そのまま使うことができるかと考える。さらに両者の質的な差異も検討できる。



(a) 13部門の情報量



(b) 32部門の情報量

図1 各情報指標の推移

表1 各情報指標の相関係数（\*\*1%、\*5%）

相関	D1(13)	D1(32)	D2(13)	D2(32)	IH(13)	IH(32)
D1(13)	1.00					
D1(32)	0.24	1.00				
D2(13)	-0.77**	-0.26	1.00			
D2(32)	-0.63*	-0.83**	0.68*	1.00		
IH(13)	-0.25	-0.17	0.81**	0.45	1.00	
IH(32)	-0.36	0.72*	0.39	-0.20	0.26	1.00

表2 RD1とRD2の相関

単相関	RD1(13)
RD1(32)	0.40

### (2) 重回帰分析

各経済指標と情報量指標の重回帰分析をしたのが表3である。

常にD1の係数がD2の係数よりも大きい。すなわち、同じ数値ならばD1の方が影響が大きいということになる。これは2.(3)で引用した平田の見解とは逆である。ただしD2はD1よりも値が常に2倍ほどなので、一概には言えない。

表3 日本全体の重回帰分析 (括弧内はt値, \*5%有意)

非説明変数	D1(13)	D2(13)	adj. R <sup>2</sup>	D.W.
名目 GDP	-8180024 (-2.51*)	-5458111 (-2.27)	0.35	1.36
実質成長率	6.80 (1.80)	2.91 (1.04)	0.28	1.27
技術ストック	-844958 (-2.90*)	-613386 (-2.85*)	0.49	1.27
開業率	1.70 (1.44)	1.20 (1.71)	0.28	2.79
廃業率	-0.895 (-0.52)	-0.563 (-0.54)		1.86

また説明変数の有意性は、名目 GDP と技術ストックで大きく、開業率でもある程度の有意性がある。自由度の低さから言えばかなりの数値だとも言える。t 値が開業率では D2の方が大きく、係数も正の値というのも特徴がある。

次に電気機械産業との関連を見てみると、表4のようになっている。

表4 電気機械産業での重回帰分析 (同上)

非説明変数	D1(13)	D2(13)	adj. R <sup>2</sup>	D.W.
産出比率	-1.73 (-2.33)	-1.39 (-2.54*)	0.36	1.44
付加価値比率	-0.233 (-1.00)	-0.197 (-1.15)		1.41
技術ストック	-268163 (-2.58*)	-202775 (-2.64*)	0.43	1.30

産出比率と技術ストックに対しては大きな有意性を持っている。付加価値比率に対してもある程度の有意さはある。この結果から、経済全体の情報量と電気機械産業には密接な関連があると思われる。また t 値がすべて D2 の方が大きいのも特徴である。

#### 4. 結論及び今後の課題

以上の結果を考察しまとめると以下のようなことが言える。

- ・ネットワークに関する情報量のほうが、開業率に与える影響が大きい。すなわち、経済構造が複雑なよりはある程度は単純な方が開業しやすいということを示唆している。これはベンチャー企業というのがニッチを狙うものであり、その出現自体がネットワークを複雑化させるからであろう。逆に、隙間がある単純構造の方がベンチャーが出や

すいのもあろう。

- ・名目 GDP、技術ストック、廃業率で係数がマイナスになっている。D1, D2 ともに小さい方がこれらに良い影響を与えるようである。すなわち、ノード間の規模の格差が小さくネットワークが複雑というフラットな経済構造である。
- ・産出比率、付加価値比率も係数がマイナスである。これは電気機械産業の発展自体が経済構造をフラット化させるとも言うことが出来る。

生態学的手法を応用して非常に有益な示唆が得られた。

今後の課題としては、

- ・  $D_1$  と  $D_2$  の質的な差の検証・経済における意味の考察
- ・ より詳細な分類でのエントロピーの計測
- ・ 情報量の経済への理論的なアプローチ
- ・ 開業率やベンチャー企業指数などの構築によるより詳細な分析などが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 西川潤、「エコノミストを知る事典」、日本実業出版社、1996.
- [2] スチュアート・カウフマン、「自己組織化と進化の論理 宇宙を貫く複雑系の法則」、日本経済新聞社、1999.
- [3] 渡辺千仞、宮崎久美子、勝本雅和、「技術経済論」、日科技連、1998.
- [4] ジョージェスク・レーゲン、「エントロピー法則と経済過程」、みすず書房、1993.
- [5] 巖佐庸他、「数理生態学」、共立出版、1997.
- [6] 総務省統計局、「昭和60年—平成2年—平成7年接統産業連関表」、<http://www.stat.go.jp/data/fo/index.htm>、2001.
- [7] 総務庁他編、「昭和45年—昭和50年—昭和55年接統産業連関表(II)」、全国統計協会連合会、1985.
- [8] 行政管理庁他編、「昭和35年—昭和40年—昭和45年接統産業連関表 計数編(1)」、全国統計協会連合会、1975.
- [9] 行政管理庁他編、「昭和35年—昭和40年—昭和45年接統産業連関表 計数編(2)」、全国統計協会連合会、1975.
- [10] 通商産業大臣官房調査統計部統計解析課、「昭和26年~60年産業連関表(46部門表)」、1990.
- [11] 経済企画庁編、「平成12年度版 経済白書」、大蔵省印刷局、2000.
- [12] 中小企業庁、「平成11年度版中小企業白書—経営革新と新規創業の時代へ—」、1999.
- [13] 渡辺研究室データベース