

非線形力学モデルを用いた市場と組織の共振に関する研究

三浦 吉孝

日産自動車(株) 多摩大学院経営情報学研究科博士課程

要旨 市場と組織の関連性のなかで共鳴・共振現象に着目し、市場速度と組織速度が一致するときに、共振現象が発生し売上高が伸びるとする、非線形力学を用いた組織モデルを構築した。本モデルでは、組織速度を、投資とその回収からなる周期運動の速さとし、研究開発費と設備投資の和を売上高で除したものと定義とした。また、市場速度は、市場への新商品の投入間隔の逆数とし、これは業界各社の研究開発費と設備投資に比例することから、業界各社の組織速度の平均とした。次に、電気、化学、食品業界各社の財務データを分析し、市場と組織の共振現象や、利益抛出による共振の抑制など、本モデルの計算結果と財務データとの類似性を明らかにした。

A Study of Resonance between Market and Organization

Yoshitaka Miura

Nissan Motor Co., Ltd Tama Graduate School

Abstract With attention paid to resonance phenomena in the relation between market and organizations, and by using nonlinear dynamics, I worked out a business organization model which indicates that a resonance phenomenon occurs and a organization increases its sales when the natural frequency of organization coincides with the market frequency. This model assumes that natural frequency of organization is defined as a quotient given by R&D investment and Plant equipment investment divide by Net sales. I verified that this organization model matches with actual financial data of Electricity, Chemistry, and Food industry. This research showed an existence of resonance between market and business organization.

1 はじめに

本論における問題意識は以下の2つである。ひとつには、組織の基本運動が研究開発投資とその回収からなる周期運動であると仮定することの妥当性を示すことであり、もうひとつは、市場と組織の関係性について、双方の周期速度が一致する場合に共振現象が発生すると考えることの有効性を示すことである^[1]。

運動方程式を用いた景気循環モデルとしては、Weidlich^[2]が、拡張投資と合理化投資の比率である投資家配位の変化を周期運動の駆動力とし、非減衰振動=リミットサイクルとして景気循環を説明している。Mosekikde^[3]は、数個の循環が単純に加算されるのではなく、共鳴現象(モード・ロッキング)を発生させるとの仮説から、コンドラチェフ循環を基本波として、クズネツ循環、チキン循環を外部入力させたモデルを提示した。また、研究開発投資としては、Lee, I, L. Wilde^[4]が、研究開発の成功と市場の開発競争をゲーム理論を用いた確率モデルによって提示している。研究開発の生産性といった視点からは、植之原^[5]が、売上高を研究開発投資で除したモデル化を行っている。一方、市場と組織の関係性では、1970年代にコンティンジェンシー理論^[6]があり、環境適合作としてタスクフォースやマトリックス組織が提案されているが、運動方程式を用いた研究は見られない。

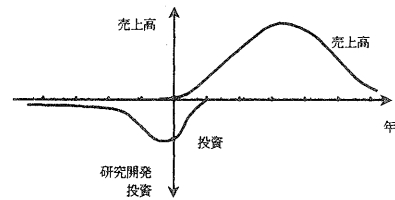
本論は、研究開発投資による投資と回収の周期運動を基本運動と仮定し、市場と組織の双方の周期速度が一致した場合に共振現象が発生することをモデルとデータを用いて議論する。方法論としては、組織を散逸系として捉え、定量的記述を期すことから、非線形力学を採用した。

2 組織モデルの考え方

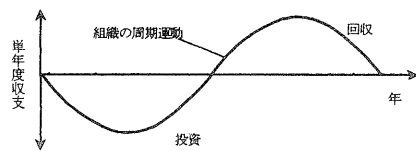
共振を定量的モデルにするための準備として、周期性、組織速度、市場速度、非線形性、利益抛出、入出力倍率、および、経営における力と変位についても定義する。

2.1 周期性

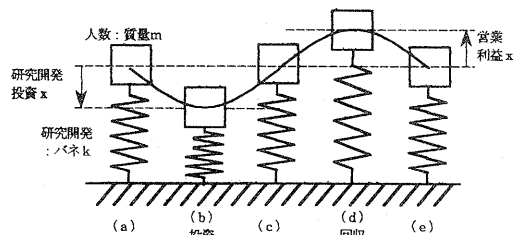
組織活動は、短期的には比較的安定した活動と変動的活動に分けて考えられるが、事業のライフサイクルといった長期的視点で見ると、すべての活動が変動的である。そして、事業をひとつの投資案件として考えると、投資・回収からなる周期運動が基本運動であると考えてよい。図1の(a)図は、商品開発サイクルを投資と売上高によって示したものであり、(b)図はこの運動を正弦波に置き換え単純化したものである。この周期運動では、まず研究開発投資を行い、市場への商品の提供によって回収するサイクルである。振幅は、資金や営業利益といった余裕金の大きさに相当する。(c)図は、さらに周期運動を力学のバネマス振動モデルに置き換えたもので、研究開発をバネ k に、人数を質量 m に対応させた。



(a) 開発プロジェクトの入力と出力



(b) 正弦波に単純化した組織の周期運動



(c) 力学モデルによる置き換え

図1 組織の周期運動

2.2 組織速度

各々の組織には、商品開発サイクルの固有の速度があると考えられる。サイクルを速めるには、並行開発などの為の研究開発投資や設備投資の増額が必要であり、また、タスクフォースの小規模組織では開発サイクルが速まる。研究開発を k 、組織人数を m とするならば、周期速度 $\omega \simeq k/m$ なる定式化が可能であり、力学の固有速度 $\omega = \sqrt{(k/m)}$ ^[7] に対応させた組織速度 ω (natural frequency of organization) を下式で定義する。

$$\text{組織速度 } \omega = \left[\frac{\text{研究開発費} + \text{設備投資}}{\text{売上高}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

2.3 市場速度

市場に対して一定期間に多くの新商品が投入されると、投入間隔が短くなり、商品の変化が激しくなるので、市場速度が速いと考える。これは、組織から見れば、研究開発費と設備投資に比例するから、市場速度 ω_0 (market frequency) は、業界各社の組織速度 ω の平均値に近いと思われる。

$$\begin{aligned} \text{市場速度 } \omega_0 &= \left[\frac{\sum \text{研究開発費} + \sum \text{設備投資}}{\sum \text{売上高}} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \text{組織速度 } \omega \text{ の業界平均} \quad (2) \end{aligned}$$

2.4 研究開発の非線形性

図2に研究開発力 F_k と投資 x の関係を示す。

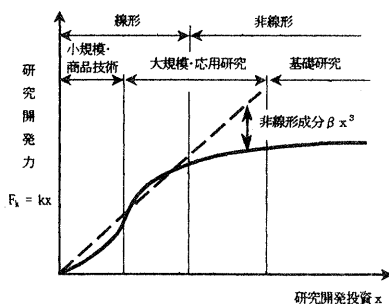


図2 研究開発の非線形性

研究開発が小規模で、商品開発が主である場合は、確立された技術の商品化であり比較的通じが良く、研究開発力 F_k と投資 x はほぼ線形の関係となる。一方、研究開発が大規模となると、将来の技術革新に不可欠であるが当面の投資に対する回収は低率である基礎研究が進められるため、投資 x の増額は研究開発力 F_k の増加に直接つながらず通減となり非線形性を示す。次式のような定式化を行う。

$$\text{研究開発力 } F_k = kx + \beta x^3 \quad (\beta < 0) \quad (3)$$

2.5 利益抛

投資回収の資金の流れを増減させる力として資金力 $F_c = c \cdot x$ を考える (x は、資金の流れの変化率を表す)。資金調達は流入の方向で負減衰と考えられ、利益抛は配当や役員賞与などの組織外に出て行く資金であり正減衰と考えらる。このように力学の減衰要素と類似していることから、減衰比率 ζ にならって、資金調達と利益抛の和を用いた利益抛出率 ζ (financial damping factor) を設定する。

$$\text{利益抛出率 } \zeta = \frac{(-\text{営業外損益} + \text{当期利益})}{\text{総資産} \times \text{組織速度}} \quad (4)$$

2.6 入出力倍率

組織への入力、組織が市場に対して商品やサービスを提供によって流れ込んでくるものであるから、本業による利益、すなわち、営業利益とする。組織からの出力は、組織から市場へ送り出されるものであるから、商品やサービスである。計量値として売上高とする。入出力倍率 (magnification factor) を次式で表す。

$$\begin{aligned} \text{入出力倍率 } X/X_{IN} &= \text{出力 } X / \text{入力 } X_{IN} \\ &= \text{売上高 } y_{t+1} / \text{営業利益 } x_t \quad (5) \end{aligned}$$

2.7 経営における力と変位

組織の周期運動と力学のバネマス振動モデルを対比して議論を進めてきたが、力や変位について、それらの整合性を確認する必要がある。表1に財務指標と本モデルで用いる力や変位の関係を示す。

表1 組織の構成要素と財務指標

		組織力 $F_m = m\ddot{x}$	資金力 $F_c = c\dot{x}$	研究開発力 $F_k = kx$	営業力 $F_o = m\omega_0^2 y$	
フ ロ ー 領 域	$\int \dot{x} dt$				売上高 y	
	x			研究開発投資 設備投資 x	営業利益 x	
	\dot{x}		資金調達 x (-) = 営業外損益			
			利益抛出 x (+) = 当期利益			
	\ddot{x}	資産変化率 \ddot{x} = 特別損益				

これらの力は、独立に増減するのではなく、力の釣り合いを維持しながら変動し、余裕金の流入と流出が等しいという前提に立てば、1つの等式で結びつけることができる。なお、記号 x, \dot{x} は、 $x(t)$ の時間 t についての導関数 $dx/dt, d^2x/dt^2$ を表す。

3 組織モデルの構築

以上の考え方に基づいて、組織モデルの定式化を検討する。はじめに、非常に単純なモデルから出発し、一般形であるモデルまで導くこととする。モデル名の () 内は構成する要素の記号を表す。

3.1 資産売却・投資(mk)モデル

まず、以下のような条件を考える。すなわち、(i) 資金調達；ゼロ、(ii) 利益抛出；ゼロ、(iii) 営業利益；ゼロ、(iv) 投資回収；線形、である。

この条件下で研究開発へ投資するには、資産 x を売却して減少させ、その売却益 \dot{x} (特別損益) を研究開発投資 x に回す必要がある。また、研究開発投資の回収 x (営業利益) は、外部への利益抛出が出来ないから、すべてを内部留保

することになり、資産 x を増加しなければならない。資産変化率 $\dot{x} = d/dt(x)$ は、売却時には負値で、増加時が正値となる。このように、組織力 $F_m = m\ddot{x}$ と、研究開発力 $F_k = kx$ とが釣り合いながら、商品開発サイクルが進行すると考えられる。

$$\text{組織力 } F_m + \text{研究開発力 } F_k = 0 \quad (6)$$

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (7)$$

3.2 利益抛出追加(mck)モデル

次に、資金調達および利益抛出を追加したモデルを考える。すなわち、(i) 資金調達；非ゼロ、(ii) 利益抛出；非ゼロ、(iii) 営業利益；ゼロ、(iv) 投資回収；線形、である。

組織から見た場合のエネルギーの流入としては、資金調達 (営業外損益) がある。資金調達によって研究開発投資 x の増加が可能となるので、投資の変化率 $\dot{x} = d/dt(x)$ に当たる。また、エネルギーの流出としては、利益抛出 (当期利益) がある。利益抛出を増加させることは、研究開発投資へ回す資金の減少と等価であるため、投資の変化率 $\dot{x} = d/dt(x)$ に当たる。

ここでは、流入方向を負値とし、流出方向を正値とする。これらの和を資金力 $F_c = c\dot{x}$ とし、(6) 式、(7) 式に追加し次式を得る。

$$\text{組織力 } F_m + \text{資金力 } F_c + \text{研究開発力 } F_k = 0 \quad (8)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (9)$$

3.3 営業利益追加(mckF)モデル

次いで、営業利益を追加し非ゼロにする。すなわち、(i) 資金調達；非ゼロ、(ii) 利益抛出；ゼロ、(iii) 営業利益；非ゼロ、(iv) 投資回収；線形、である。

営業利益は、外部からの入力として捉えられ、振幅 x と市場速度 ω_0 という周期速度を持つ。また、図 1(c) 図に示すように研究開発投資 x に対応する回収 x でもあるから、強制変位の変位入力と自由振動の振幅という 2 つの性格を有する。

営業力 F_0 は、商品開発サイクルの回収局面における力であるから、定常的な力ではなく周期的な力であり、正弦波でモデル化することとし、 $F_0 \sin \omega_0 t$ で表す。

したがって、サイクルにおける力の釣り合いは、次式で表される。なお、沿え字の o は外部 outside を意味する。

$$\text{組織力 } F_m + \text{資金力 } F_c + \text{研究開発力 } F_k = \text{営業力 } F_0 \quad (10)$$

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = F_0 \sin \omega_0 t \quad (11)$$

3.4 研究開発非線形 (m c k βF) モデル

さらに、非線形成分を追加する。これで追加すべき要素は揃ったことになる。すなわち、(i) 資金調達；非ゼロ、(ii) 利益抛出；非ゼロ、(iii) 営業利益；非ゼロ、(iv) 投資回収；非線形、である。

研究開発投資 x (= 研究開発費 + 設備投資) が小規模の場合では線形であるが、大規模になると、非線形性がでてくる。(図 2)

非線形を含む研究開発力 F_k の定式化としては、商品開発の線形性のある項 $k x$ に、基礎研究の非線形項 βx^3 を追加して表すことができる。非線形項の係数 β は、基礎研究の投資回収率 (負値) に相当する。(10) 式、(11) 式に非線形項を追加し次式を得る。

$$\text{組織力 } F_m + \text{資金力 } F_c + \text{非線形研究開発力 } F_k = \text{営業力 } F_0 \quad (12)$$

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x + \beta x^3 = F_0 \sin \omega_0 t \quad (\text{ただし、} \beta < 0) \quad (13)$$

3.5 財務データ修正 (m c k βF)_{FD} モデル

データ分析では財務データ (Financial Data) を扱うため、そのデータの代入を可能とする修正が必要である。損益計算書における当期利益の算出手順から (14) 式が与えられ、

$$\begin{aligned} & \text{—特別損益} + (\text{—営業外損益} + \text{当期利益}) \\ & \qquad \qquad \qquad = \text{営業利益} \quad (14) \end{aligned}$$

(12) 式と対応させるため、両辺に研究開発費 (設備投資を含む) を加えて、(15) 式を得る。

$$\begin{aligned} & \text{—特別損益} + (\text{—営業外損益} + \text{当期利益}) \\ & \qquad \qquad \qquad + \text{研究開発費} = \text{営業利益} + \text{研究開発費} \quad (15) \end{aligned}$$

以上の修正から、(12) 式、(13) 式、および、(15) 式は等価であると考えて良い。(12) 式の右辺にある営業利益の項に、研究開発費が加えられたが、営業利益の内数から外数になったと解釈できる。

4 財務データと計算結果との類似性

4.1 分析の考え方

類似性の確認として、実際の組織改革による挙動確認といった実験ができないことから、複数の組織のデータから得られる分布図上の点は、自組織が将来成り得る点とする考え方を採用する。また、市場速度と組織速度の比が同じならば、市場を固定し組織を可変にすることと、市場を可変し組織を固定にすることは等価であると考えられる。

分布図の作成としては、電気、化学、食品 3 業界の財務データ^[8]をもとに、企業毎に、市場速度 (業界平均) と組織速度の比、および、営業利益と売上高から入出力倍率を求め、業界を利益抛出率で 3 つの層に区分し、記号を分けプロットした。なお、財務データとモデル計算結果の類似性を比較するために、(9) 式から求めた共振曲線を併記した。

4.2 分析結果

図3に、電気業界各社の財務データによる分析結果を示す。市場速度 ω_0 (=組織速度 ω の業界平均)より遅い0.8~0.7付近で、共振が発生している。資金調達と利益抛出に相当する利益抛出率 ζ が大きい層(Δ 印)ほど、共振が抑制されていることがわかる。

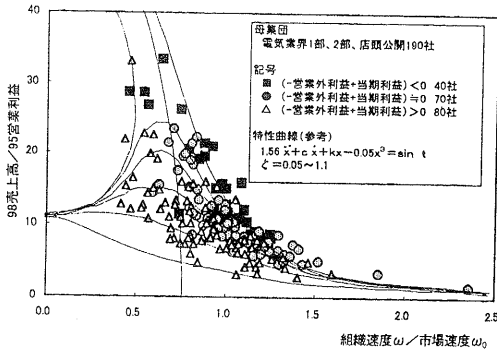


図3 電気業界における市場と組織の共振

図4は、化学業界の分析結果である。電気業界とほぼ同様の共振現象が認められる。

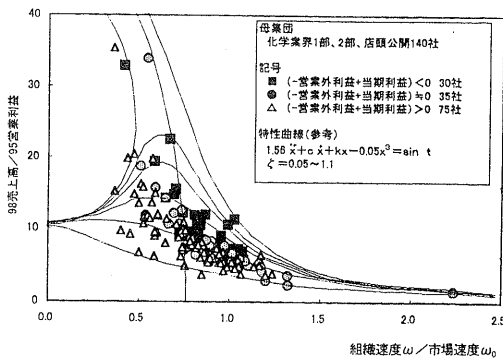


図4 化学業界における市場と組織の共振

図5は、食品業界の分析結果である。共振の背骨の傾きが、電気業界および化学業界に比べ弱く、大規模な研究開発では投資回収が悪化するとした非線形現象の仮説を支持している。

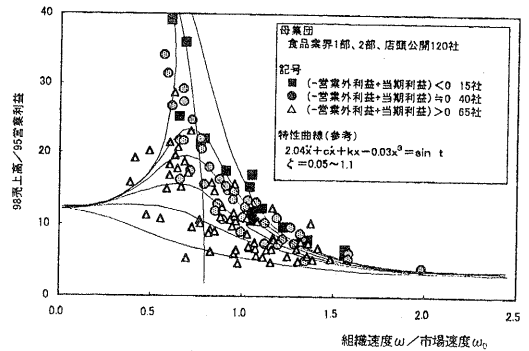


図5 食品業界における市場と組織の共振

5 結論

- (1) 電気、化学、食品の3業界とも、特定の組織速度で入出力倍率が高まっており、市場と組織の共振が認められる。
- (2) 利益抛出率 $\zeta = (-\text{営業外損益} + \text{当期利益}) / (\text{総資産} \times \text{組織速度})$ が大きい層ほど入出力倍率が抑えられる傾向があることがわかる。
- (3) 財務データと本モデルとの類似性が確認されたことで、組織運動の記述性として、周期運動や共振性によるモデル化の可能性を示した。

参考文献

- [1] 三浦吉孝 日本経営システム学会誌 Vol.17 NO.1 2000
- [2] W.Weidlich, G.Haag Concept and Model of a Quantative Sociology 1983 Springer
- [3] E.Mosekilde E.R.Larsen J.D.Sterman Annals of Operations Research 37(1992)
- [4] Lee, I L.Wilde Quarterly Journal of Economics Vol.94 (March) 1980
- [5] 植之原道行、篠田大三郎 研究・技術マネジメント 1995 コロナ社
- [6] W.Lorsch, P.R.Lawrence Study in Organization Design 1970 Irwin-Dorsey
- [7] 入江敏博 機械振動学通論 1969 朝倉書店
- [8] 日経会社情報 95-IV、98-III