

通信ネットワークの競争：Lotka-Volterra モデルによるアプローチ

Competition of Networks: A Lotka-Volterra Approach

林 敏彦*

Toshihiko Hayashi

1920年代に生物学者のLotkaとVolterraがそれぞれ独立に発表した生物の種間競争モデルは、複数の生物種間の捕食者・被食者関係、共通の環境を巡る競争などについて、生存、絶滅、あるいは共存関係が出現する条件を明らかにした。

本稿では、このLotka-Volterraモデルを援用して、まず接続事業者が設備事業者の設備に依存しながらサービスを提供するモデル、次いで2つの設備事業者が設備ベースの競争を行うモデルを提示し、ネットワーク事業者間の競争がもたらす定常均衡の姿と、政策的に望ましい均衡への誘導方法について分析する。

従来の経済学モデルとは異なり、本稿で注目するのは、ネットワーク事業者の価格戦略や供給量戦略ではなく、それらを総合した自己成長力、競争相手からの成長阻害的影響、あるいは成長減衰のロジスティック効果などである。

本稿の主たる目的は、単一ネットワークの生存均衡よりも2つのネットワークの共存均衡の方が一般に社会的に望ましいと思われること、特に、設備事業者同士の競争において、両者の間にシナジー効果が認められる場合には、確実に共存均衡の方が優れていることを示すことである。

It was in the 1920s when biologists Lotka and Volterra independently developed dynamic models of inter-species competition which is applicable to the case of predator-prey competition and competition over common resources necessary for survival. They contributed to our understanding of the ecology, survival, extinction or co-existence of competing species.

In this essay we propose first a model of competition between a network service provider who uses its own infrastructure and a parasitic network service provider. Secondly we develop a model of two infrastructure-based service providers. In both cases, we show how competition will result in stable or unstable stationary equilibria and how the policy maker can affect the long run outcome of the competition.

Unlike the traditional economic approach which focuses on the pricing and supply strategies of competitors, we will focus on such aggregate factors as the natural growth rate, logistic impediments to growth and interference from the competitor.

The purpose of this essay is to argue that in the two models we present there are good reasons to believe that the coexistence stationary equilibrium is preferable to the survival-extinction equilibrium and show for the case of facility-based competition that the coexistence equilibrium outperforms all other stationary equilibria if there is the synergy effect between the two networks.

June 25, 2005

Stanford Japan Center

* スタンフォード日本センター研究部門代表・放送大学教授 hayashi@stanford-jc.or.jp

1. はじめに

双方向性を特徴とするネットワークの動学的生態については、Rohlf (1973) の先駆的論文以降、「ネットワーク効果」をキー概念として多くの研究が積み重ねられてきた。特に、ネットワーク効果の発現形態としての「経路依存性」や「ロックイン効果」概念は、幅広い範囲の問題に適用され、政策論争や独占禁止法をめぐる法廷論争においても重要な役割を果たしてきた¹。

しかしながら、ネットワーク効果概念はこれまでのところ経済学におけるライベンスタイン以降のバンドワゴン効果と関連づけて理解されてきた²。また、ネットワーク効果が市場機能に及ぼす効果についても、伝統的な経済学の社会的余剰の視点からの分析が中心であった³。Rohlf のオリジナルなネットワークモデルが、実は 1838 年⁴以降生物学の分野で発展していたロジスティック成長モデルに他ならないことが明らかにされたのは、ようやく最近のことであった⁵。

そこで、本論文においては、生物学における Lotka-Volterra 競争モデル⁶を援用しながら、2つの通信ネットワークの競争について、生存、絶滅、あるいは共存関係が生まれる条件について分析することにしたい。以下に展開するのは、2つのネットワークが相互に干渉しながら動学的展開を見せる局面の分析であり、われわれの主たる関心は、ネットワークの成長動学経路の記述と、生起する長期均衡に対する政策的働きかけの有効性の検討にある。

2. 設備事業者と接続事業者の競争

2 - 1 問題意識

米国では、1996年通信法によって、旧 AT&T の地域通信会社 (RBOC) に、ネットワーク要素を分解し、接続業者がその一部あるいは全部を選択的に利用することができる

¹ ネットワーク効果に関する網羅的文献リストは、Economides (1986) が運営するウェブサイト (<http://www.stern.nyu.edu/networks/site.html>) に見ることができる。また、Liebowitz and Margolis (1999) はネットワーク効果概念を批判的に検討した著作であり、Evans, Fisher, Rubinfeld and Schmalensee (2000) には、マイクロソフト社の独占禁止法係争におけるマイクロソフト社と法務省の立場を支持する論文が収録されているが、そこでもネットワーク効果概念の役割が強調されている。日本では、林敏彦 (1992) や依田高典 (2001) がネットワーク効果を取り上げている。

² Rohlf (2001) はまさにそのことを強調している。

³ たとえば、林 (1992) は 2 つのネットワークが競争する場合、競争均衡と資源の最適配分との関係は失われる可能性を指摘した。

⁴ Verhulst (1838)。

⁵ K. Hayashi (2005) 参照のこと。

⁶ 多くの研究の出発点となった古典的論文は、Lotka (1925) および Volterra (1928) である。

よう義務づけられている。基本的な考え方は、既存事業者の交換機からユーザー端末までの不可欠設備は、その効率的な利用を目的として開放されなければならない、というものである。こうした規制がなければ、ボトルネック独占を有する事業者に不当な市場支配力が発生し、既存設備の有効利用が妨げられることを懸念しての規制である。

日本の場合にも、電気通信事業法の指定電気通信設備規制によって、NTT 東西には地域網について廉価な回線接続義務が課されている。この制度を活用して長距離通信事業者やソフトバンク BB、e アクセス等の DSL サービスプロバイダは、NTT の局舎に自らの交換機やルータを設置し（コロケーション）、NTT の地域網のうち ZC あるいは GC と呼ばれる接続点を選んで接続し、NTT の設備使用に対して認可された接続料を支払っている。

さらには、NTT 東西が全国的に設備を拡大中のユーザー端末までの光ファイバ設備（FTTH）について、接続事業者に回線開放義務を継続すべきかどうか、どのような接続料規制を行うづけるべきかは、現在政策論争の的となっている。ここでの論点は、接続事業者の側からの主張として、FTTH の設置については NTT にさまざまな歴史的優位性があり、接続事業者が自ら設備を設置することは困難であるため、NTT の光ファイバ設備も開放されるべきであるというものであり、他方 NTT としては、新たな設備投資についてあらかじめ他社の利用を前提とするのでは、投資インセンティブに障害が生じるというものである。

この論争についていずれの側に正当性が認められるかは政策的判断の問題であるが、ここでは、回線貸与義務を負う設備事業者と、それとの接続によってサービスを提供することができる接続事業者とが、共に DSL のような同質なサービスを提供する場合をモデル化し、両者の競争がどのようなネットワーク動学を実現するかを見てみよう。

2 - 2 設備事業者と接続事業者の競争

記号を次のように定める。

- N_1 = 設備を有する設備事業者のサービス供給量
- N_2 = 設備事業者の設備を利用してサービスを提供する接続事業者のサービス供給量
- ε_1 = 設備事業者サービスの自然成長率
- ε_2 = 接続事業者サービスの自然消滅率
- α = サービス市場のロジスティック係数
- β = 接続事業者の設備事業者への依存係数

考察する状況は次のとおりである。この情報通信サービス市場には設備事業者と接続事業者の 2 者がサービスを提供している。設備事業者は設備部門とサービス部門を統合した事業者で、自社のサービス供給量と設備規模との間には正の相関があると仮定する。両者が提供するサービスの品質は、利用者の目から見て差別化されていない。したがって、両

者のサービス供給量の合計で表される市場規模の拡大は、両者のサービス供給の成長率に減衰効果を及ぼすと仮定する。市場規模の拡大がそれぞれのサービス成長率に及ぼす減衰効果はともにロジスティック係数 $\alpha > 0$ で表されると仮定する。

接続事業者は設備事業者の設備に依存しなければサービスを提供できない。とくに設備事業者の設備規模がゼロのとき、接続事業者はサービスを提供できないが、このことをモデルでは、接続事業者の自然的成長率は一定のマイナス値 ($-\varepsilon_2$) をとると表現することにする。 $\varepsilon_2 > 0$ は接続事業者サービスの自然消滅率と呼ぶことにする。

しかし設備事業者の設備規模が大きければ（したがってサービス供給量 N_1 が大きければ）接続事業者が提供できるサービス供給量 (N_2) の成長速度は上昇する。設備事業者の設備規模が、それを利用する接続事業者のサービス供給量成長率を押し上げる効果を接続事業者の設備事業者への依存係数で表し、それは一定値 $\beta > 0$ であると仮定する。したがって、接続事業者の成長率は本来マイナスであり、ネットワークサービス全体の拡大にもなってさらに低下するが、設備事業者の設備規模に比例しては上昇することになる。

他方、設備事業者が提供するサービス量 (N_1) は、市場全体の拡大に伴うロジスティック効果は受けるものの、その自然成長率は一定値 $\varepsilon_1 > 0$ をとると仮定する。以上の仮定を置いて、2つの事業者のサービス供給量がどのような成長パターンを示すかを定式化したのが次の微分方程式体系である⁷。

$$\dot{N}_1 = \{\varepsilon_1 - \alpha(N_1 + N_2)\}N_1 \quad (1)$$

$$\dot{N}_2 = \{-\varepsilon_2 - \alpha(N_1 + N_2) + \beta N_1\}N_2 \quad (2)$$

この微分方程式体系の解の特徴を分析するために、まず定常解について見てみよう。定常解は次の方程式を満たさなければならない。

$$\varepsilon_1 - \alpha(N_1 + N_2) = 0 \quad (3)$$

$$-\varepsilon_2 - \alpha(N_1 + N_2) + \beta N_1 = 0 \quad (4)$$

(3) 式より次が従う。

⁷ 生物学の文献においてこの微分方程式体系は、2つの種があり、一方が捕食者として他方を捕食する関係を表した Lotka-Volterra 方程式あるいは Lotka-Volterra 競争モデルの一例として知られている。そのようなモデルにおいて、 α は種内競争係数、 β は捕食係数と呼ばれている。たとえば、寺元 (1997)、97 頁参照。

$$N_2 = \frac{\varepsilon_1}{\alpha} - N_1$$

他方(4)式からは

$$N_2 = -\frac{\varepsilon_2}{\alpha} + \left(\frac{\beta - \alpha}{\alpha}\right)N_1$$

が得られる。

これらの関係はいずれも線形であるが、両曲線を図示すると、次の3つの場合に分かれる。第1および第2は2曲線が正象限で交わらない場合であり、第3は2曲線が正象限内に交点を持つ場合である。この図に微分方程式にしたがう平面上の点の動きを描くと、図のようなフェイズ・ダイアグラムが得られる。

2 - 3 接続事業者消滅均衡と共存均衡

図1は $\beta < \alpha$ の場合に対応している。(3)式と(4)式は正象限に交点を持たず、この場合唯一の安定的な定常解は $(N_1^*, N_2^*) = \left(\frac{\varepsilon_1}{\alpha}, 0\right)$ である。すなわち、接続事業者の依存係数がサービス市場全体のロジスティック係数よりも小さければ、初期値のいかんにかかわらず、長期的には接続事業者が消滅し設備事業者のみが生存する均衡が出現する。

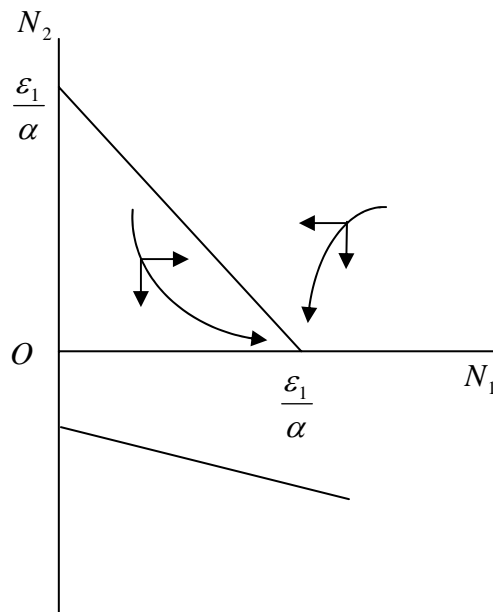


図1 接続事業者消滅均衡1

次に、 $\beta > \alpha$ のケースについて吟味しよう。この場合には (4) 式は右上がりの直線となるが、図2と図3の場合に分かれる。図2の状況のもとでは、 $N_1 \geq 0$ かつ $N_2 \geq 0$ の範囲内で微分方程式 (1) および (2) を満たす定常解は $\left(\frac{\varepsilon_1}{\alpha}, 0\right)$ 、 $\left(\frac{\varepsilon_2}{\beta - \alpha}, 0\right)$ および $\left(0, \frac{\varepsilon_1}{\alpha}\right)$ の3点であるが、容易に確かめられるように、このうち安定的な定常解は図2の点Aのみである。このような状況のもとでは、設備事業者が提供するサービス供給量は $N_1 = \frac{\varepsilon_1}{\alpha}$ へ向かって安定的に成長していくが、接続事業者のサービスはゼロに収束する。従ってこのケースも、長期的には接続事業者消滅均衡のみが出現する。

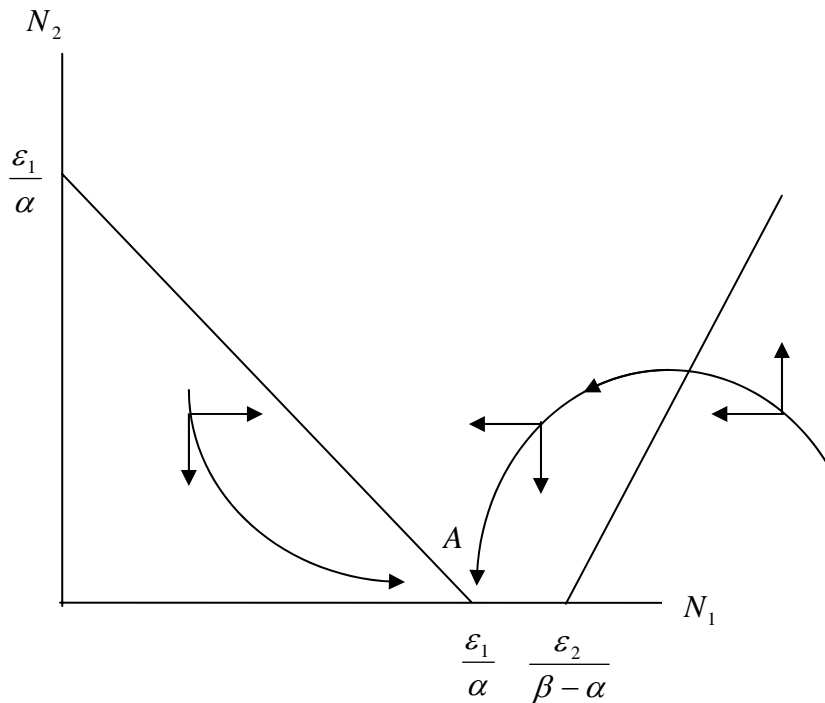


図2 接続事業者消滅均衡 2

他方、図3のような状況では、曲線 (3) と (4) とは正象限に交点Bを持つ。

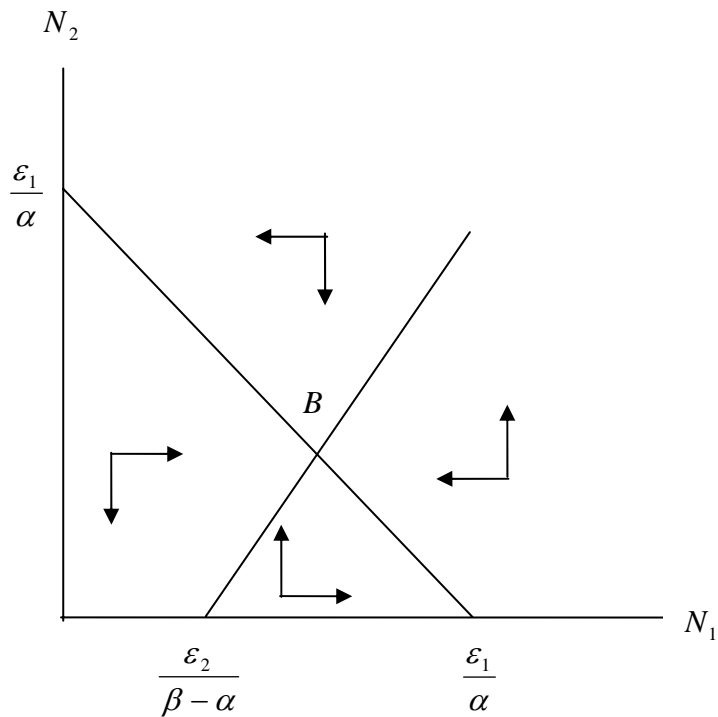


図3 共存均衡

今の場合、定常解は(3)と(4)を解いて

$$N_1^* = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\beta} \quad (5)$$

$$N_2^* = \frac{(\beta - \alpha)\varepsilon_1 - \alpha\varepsilon_2}{\alpha\beta} \quad (6)$$

で与えられる。

2 - 4 安定性分析

ここで、定常解 B の安定性を吟味するため、均衡における(1)と(2)の右辺のヤコビ行列を見てみると、それは

$$\begin{bmatrix} -\alpha N_1^* & -\alpha N_1^* \\ (\beta - \alpha)N_2^* & -\alpha N_2^* \end{bmatrix}$$

となっている。定常解の安定性のためには、ヤコービ行列負値定符号でなければならないが、そのための条件は、トレースがすべて負値で行列式が正値でなければならない。しかし、トレースは $\alpha > 0$ より $N_1^* > 0$ かつ $N_2^* > 0$ ならば負値となり、行列式の値は

$$\det = \alpha^2 N_1^* N_2^* + \alpha(\beta - \alpha) N_1^* N_2^* = \alpha \beta N_1^* N_2^* > 0$$

であるから、先の条件に加えて $\beta > 0$ で正値となる。したがって、(3)式と(4)式が図2のように第1象限で交点 B を持つ場合には、定常解の安定性は保証されている。そのための条件は(6)式より

$$\frac{\varepsilon_1}{\alpha} > \frac{\varepsilon_2}{\beta - \alpha} \quad (7)$$

で与えられる。

この安定性条件が成立しやすいのは、 β が大きく、 α が小さく、 ε_1 が大きく、 ε_2 が小さい場合である。これは接続事業者の依存効果が大きく、市場の成長抑制効果が小さく、設備事業者の自然成長率が大きく、接続事業者の自然消滅率が小さい場合に実現される。

次に、定常均衡における設備事業者と接続事業者の市場シェアについて考察しておこう。接続事業者のシェアは、(5)式および(6)式より

$$\frac{N_2^*}{N_1^* + N_2^*} = 1 - \frac{\alpha}{\beta} \left(1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right) \quad (8)$$

であることが判明する。したがって、 $\frac{\alpha}{\beta}$ が大きいほど、あるいは $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ が大きいほど、接続事業者のシェアは小さいことになる。言い換えれば、接続事業者の設備に対する依存効果(β)が大きいほど、定常均衡における接続事業者のシェアは大きく、接続事業者の自然消滅率が設備事業者の自然成長率に比べて小さいほど、定常均衡における接続事業者のシェアは大きくなる。

以上の考察を命題にまとめておけば、次のようになる。

命題1 接続事業者が設備事業者の設備に依存しながら設備事業者と同一のサービスを提供する場合には、サービス市場のロジスティック効果が弱く、接続事業者の依存効果が強く、設備事業者の自然成長率が高く、接続事業者の持久力が強いほど安定的な定常均衡が出現する可能性は高く、また、定常均衡における接続事業者の市場シェアも大きくなる。

2 - 5 政策効果の分析

このような動学経路を外生的な政策によって誘導することができるであろうか。動学経路を決定するパラメタは α 、 β 、 ε_1 および ε_2 である。これらに働きかける政策手段を s 、 t 、 u および v とする。すなわち、政策的な影響を受けたそれぞれのパラメタは、 $\alpha(1-s)$ 、 $\beta(1+t)$ 、 $\varepsilon_1(1+u)$ および $\varepsilon_2(1-v)$ と書くことができるでしょう。

s はその値が大きいほどロジスティック係数が低下する効果をもつ政策手段である。ロジスティック係数の低下は、サービス市場が飽和することなく拡大する可能性が高まることを意味するため、ここでは s を引き上げる政策を「市場成長政策」と呼んでおこう。例えば、設備やサービスの品質向上を促し、市場の外延が拡大することを目指す政策は、この例に当たると考えられる。他方、 t の上昇は、接続事業者の設備依存係数を高める効果をもつ。設備事業者の設備規模の拡大によって接続事業者の成長率が高まる効果を増強する政策の例としては、設備の開放義務を拡大する政策等が考えられる。したがって、 t を引き上げる政策は設備の「開放促進政策」と呼ぶことにしよう。

これらに対して u および v は、設備事業者および接続事業者の自然成長率に働きかける政策である。 u の上昇は設備事業者の自然成長率を高め、 v の上昇は設備事業者の自然消滅率にブレーキをかける。そこで、 u を引き上げる政策を「設備事業者の設備拡大促進政策」、 v を引き上げる政策を「接続事業者の衰退防止政策」と名付けよう。

こうした政策が導入された場合に、図3のような安定的定常解が出現するための条件は(7)式を修正した、

$$\frac{\varepsilon_1(1+u)}{\alpha(1-s)} > \frac{\varepsilon_2(1-v)}{\beta(1+t) - a(1-s)} \quad (9)$$

となる。また、定常均衡における接続事業者の市場シェアは

$$\frac{N_2^*}{N_1^* + N_2^*} = 1 - \frac{\alpha(1-s)}{\beta(1+t)} \left\{ 1 + \frac{\varepsilon_2(1-v)}{\varepsilon_1(1+u)} \right\} \quad (10)$$

で与えられる。これらに基づいて、4つの政策手段の効果を分析してみると、それらはすべて安定的定常解の出現可能性を高める効果と、定常均衡における接続事業者の市場シェアを引き上げる効果をもつことが分かる。

ここで最も興味深い結果は、設備拡大促進政策の効果である。すなわち、常識的には、ボトルネック設備を有する設備事業者の成長を抑制することによって、共存均衡が維持され、あるいは、長期的な接続事業者の市場シェアの上昇が期待されると考えられるかもし

れない。しかし、政策的に u にマイナス値を与えて設備事業者の成長を抑制すれば、(9)式から明らかなように、安定的な定常解が成立する可能性は低くなり、(10)式から明らかなように、定常解における接続事業者の市場シェアは低下する。極端な場合、設備事業者の設備拡大傾向を大きく抑制すれば、結局、接続事業者は事業継続が不可能となり、設備事業者のみが生き残る均衡が出現する。

ここでの考察を次の命題にまとめておこう。

命題2 安定的な定常均衡の実現をもたらすためには、市場全体の成長を促進し、接続事業者が設備開放によって成長できる環境を整備し、設備事業者の設備拡大を促進し、接続事業者の衰退を抑制する政策が有効である。それらの政策がとられたなら、そうでない場合に比べて、定常均衡における接続事業者の市場シェアは高くなる。

3. 統合企業の競争

3-1 モデル

次に、設備部門とサービス部門を垂直的に統合した2つの事業者が競争する場合について考察しよう。念頭に置いているのは、設備ベースの競争と呼ばれる既存通信事業者と電力系通信事業者の光ファイバ網敷設を巡る競争、あるいはインフラとサービスを統合した携帯電話サービス会社相互の競争などである。

基本的仮定として、前節とは異なり、2つの事業者が提供するサービスには利用者の観点から見て品質の相違が存在し、両者は不完全な代替財であるとする。競争関係にある2つの事業者を事業者1および事業者2と呼ぼう。追加的な記号を次のように定める。

- α_1 = 事業者1の自己ロジスティック係数
 - β_2 = 事業者2のサービス拡大が事業者1の成長率に与える業者間競争係数
 - α_2 = 事業者2の自己ロジスティック係数
 - β_1 = 事業者1のサービス拡大が事業者2成長率に与える業者間競争係数
- N_1 、 N_2 、 ε_1 および ε_2 については前節の定義を踏襲する。

今の場合、2事業者の競争モデルは次のように表すことができる。

$$\dot{N}_1 = (\varepsilon_1 - \alpha_1 N_1 - \beta_2 N_2) N_1$$

$$\dot{N}_2 = (\varepsilon_2 - \beta_1 N_1 - \alpha_2 N_2) N_2$$

後の議論に便利ないように記号を次のように改めよう。

$$\gamma_{11} = \frac{\alpha_1}{\varepsilon_1}, \quad \gamma_{12} = \frac{\beta_2}{\varepsilon_1}$$

$$\gamma_{21} = \frac{\beta_1}{\varepsilon_2}, \quad \gamma_{22} = \frac{\alpha_2}{\varepsilon_2}$$

以下の3 - 5節までの分析において、これらのパラメータはすべて正値をとると仮定する。
これによって先の微分方程式は

$$\dot{N}_1 = \varepsilon_1(1 - \gamma_{11}N_1 - \gamma_{12}N_2)N_1 \quad (11)$$

$$\dot{N}_2 = \varepsilon_2(1 - \gamma_{21}N_1 - \gamma_{22}N_2)N_2 \quad (12)$$

と書き改められる。

3 - 2 モデルの分析

前節と同様な分析によって、定常均衡は次の2式を満たさなければならない。

$$N_2 = \frac{1}{\gamma_{12}} - \frac{\gamma_{11}}{\gamma_{12}}N_1 \quad (13)$$

$$N_2 = \frac{1}{\gamma_{22}} - \frac{\gamma_{21}}{\gamma_{22}}N_1 \quad (14)$$

これらに基づくフェイズ・ダイアグラムは次の4つのパターンに集約される。図4では初期値にかかわらず、第1事業者が消滅し、第2事業者のみが長期的に生存する均衡が出現する。図5ではその反対に第1事業者のみが生存する。図6は、第1象限で交わる2直線の交点は鞍点となっていて、それ自身へ向かう一対の安定的経路が存在するが、初期値がその経路から逸脱していれば、初期値に依存して、第1事業者か第2事業者かいずれかのみが生存する均衡が安定的となる。そして、第7図のケースでは、第1事業者と第2事業者がともに共存する安定的均衡が存在する。

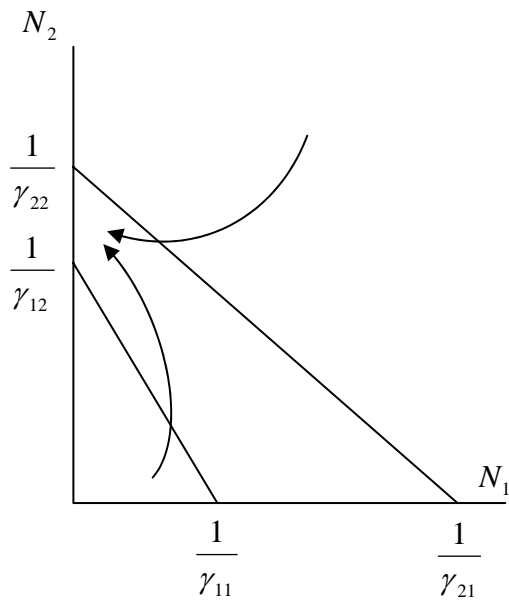


図6 第1事業者が消滅

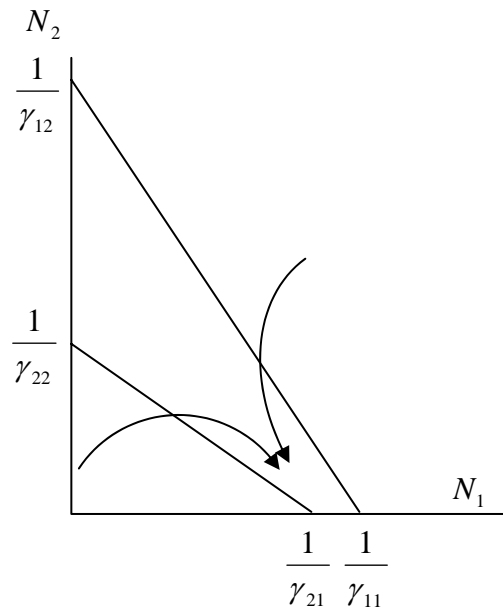


図7 第2事業者が消滅

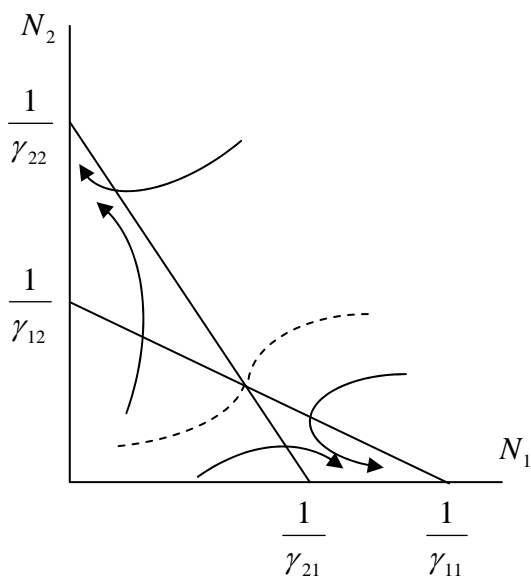


図8 鞍点均衡

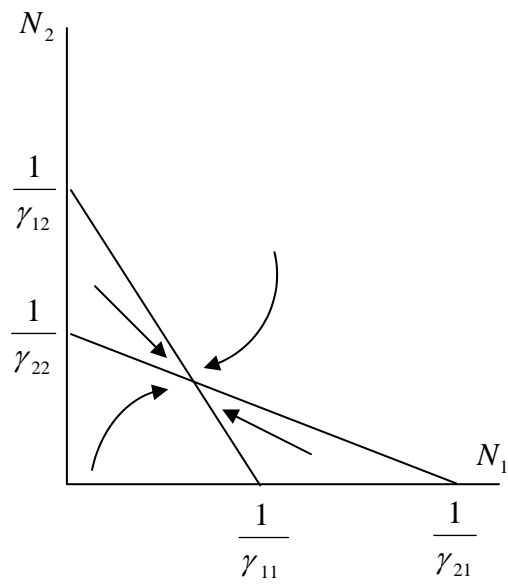


図9 安定的共存均衡

定常均衡における N_1 と N_2 の値は (13) 式と (14) 式を解いて、

$$N_1^* = \frac{\gamma_{22} - \gamma_{12}}{\gamma_{11}\gamma_{22} - \gamma_{12}\gamma_{21}}, \quad N_2^* = \frac{\gamma_{11} - \gamma_{21}}{\gamma_{11}\gamma_{22} - \gamma_{12}\gamma_{21}} \quad (15)$$

で与えられる。したがって、これらが正値をとるためには、

$$\gamma_{22} > \gamma_{12} \quad \text{かつ} \quad \gamma_{11} > \gamma_{21}$$

あるいは

$$\gamma_{22} < \gamma_{12} \quad \text{かつ} \quad \gamma_{11} < \gamma_{21}$$

でなければならない。

定常解の安定性について吟味するために、(11)式(12)式の右辺のヤコービ行列を(15)の定常解 (N_1^*, N_2^*) において評価してみると

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \varepsilon_1(1 - 2\gamma_{11}N_1^* - \gamma_{12}N_2^*) & -\varepsilon_1\gamma_{12}N_1^* \\ -\varepsilon_2\gamma_{21}N_2^* & \varepsilon_2(1 - \gamma_{21}N_1^* - 2\gamma_{22}N_2^*) \end{bmatrix} \\ & = (\varepsilon_1, \varepsilon_2) \begin{bmatrix} -\gamma_{11}N_1^* & -\gamma_{12}N_1^* \\ -\gamma_{21}N_2^* & -\gamma_{22}N_2^* \end{bmatrix} \end{aligned}$$

となっている。この行列が負値定符号となるためには、トレースが負で、行列式の値が正でなければならないが、そのためには、

$$\gamma_{11}\gamma_{22} > \gamma_{12}\gamma_{21} \quad (16)$$

でなければならない。図8の状況は、上式が逆向きの不等号となる場合である。

以上の分析より、定常均衡は4つのパターンに分類することができ、それらの出現する条件は次のように整理できることが分かる。

パターン	図	条件
第1事業者が消滅し、第2事業者のみが生き残る。	6	$\gamma_{12} > \gamma_{22}$ かつ $\gamma_{11} > \gamma_{21}$
第2事業者が消滅し、第1事業者のみが生き残る。	7	$\gamma_{22} > \gamma_{12}$ かつ $\gamma_{21} > \gamma_{11}$
初期値によって、第1事業者のみが生き残るか第2事業者のみが生き残るかが決まる。	8	$\gamma_{12} > \gamma_{22}$ かつ $\gamma_{21} > \gamma_{11}$
第1事業者と第2事業者とが共存する安定的均衡が存在する。	9	$\gamma_{22} > \gamma_{12}$ かつ $\gamma_{11} > \gamma_{21}$

3 - 4 共存政策

このような動学的経路を示す2者の競争環境において、政策当局はどのような結果を望むべきであろうか。2つの事業者の費用面での優劣や提供するサービスへの利用者需要が、すべて自然成長率や企業間競争係数やロジスティック係数に反映されているという現在のモデルにおいては、いずれか一方しか生き残らない均衡は、結果的に独占状態をもたらすために好ましくないとする判断があり得よう。この判断からは図9の安定的共存均衡の成立が目指されることになる。

安定的共存均衡が成立するための条件は、 $\gamma_{11} > \gamma_{21}$ かつ $\gamma_{22} > \gamma_{12}$ である。両式はともに、事業者の設備拡大による自己ロジスティック係数が、相手の成長率を引き下げる業種間競争係数よりも大であることを要求している。すなわち、2つの事業者が長期的に共存する安定均衡が存在するためには、互いに競争相手に与える成長抑制係数が小さくなければならない。極端な場合、業者間競争係数がいずれもゼロであれば、2つの事業者は互いに干渉しあうことなく、それぞれの成長経路をたどって長期的飽和状態に到達する。

政策によって、自己ロジスティック係数に影響を与えようとするれば、政府はそれらの係数を引き上げる手段をとる必要がある。しかし、ロジスティック係数が大きくなることは、長期的な市場規模が縮小することを意味している⁸。政策的選択は、2者の共存とともに市場規模を拡大しないままにとどめるか、市場規模の拡大が1者のみによって実現される長期均衡を選ぶかの選択となる。

次に、業種間競争係数の引き下げは、何らかの市場の棲み分け誘導、製品差別化、競合度の引き下げなどによって実現されるかもしれない。もしも共存均衡を確保することが目的であれば、ロジスティック係数の引き上げよりも、業種間競争係数の引き下げの方が所期の効果は大きいと思われる。

命題3 長期的な共存均衡の成立を政策目標とするならば、政府はそれぞれの事業者に対

⁸ たとえば、 $\dot{x} = (1 - bx)x$ を解いたロジスティック曲線は $x = \frac{1}{b - (1 - bx_0)e^{-t}}$ で与えられる。

したがって b の上昇は、 x の漸近値 $1/b$ を引き下げる。

して、自社の市場拡大が自社の成長率に与える抑制効果よりも、競争相手の成長率抑制に与える効果の方が小さくなるよう誘導すべきである。

3 - 5 市場規模最大化政策

しかし、共存均衡に特別の価値を認めない視点も存在するであろう。たとえば、両者を合わせた市場規模 $N_1 + N_2$ の長期的最大化を政策目標とする考え方である。定常均衡においては、

$$N_1^* + N_2^* = \frac{\gamma_{11} + \gamma_{22} - \gamma_{12} - \gamma_{21}}{\gamma_{11}\gamma_{22} - \gamma_{12}\gamma_{21}}$$

が成立している。この値と第1事業者のみが生存するときの長期均衡の値とを比較してみると、

$$N_1^* + N_2^* - \frac{1}{\gamma_{11}} = \frac{(\gamma_{11} - \gamma_{21})(\gamma_{11} - \gamma_{12})}{\gamma_{11}(\gamma_{11}\gamma_{22} - \gamma_{12}\gamma_{21})}$$

より、図9の場合、この符号は $\gamma_{11} - \gamma_{12}$ の符号と同一であることが分かる。

また、第2事業者のみが生き残る場合の長期均衡の市場規模を比較してみれば、

$$N_1^* + N_2^* - \frac{1}{\gamma_{22}} = \frac{(\gamma_{22} - \gamma_{12})(\gamma_{22} - \gamma_{21})}{\gamma_{22}(\gamma_{11}\gamma_{22} - \gamma_{12}\gamma_{21})}$$

となる。この符号は $\gamma_{22} - \gamma_{21}$ の符号と同一である。

したがって、 $\gamma_{12} > \gamma_{11}$ であれば、 $\frac{1}{\gamma_{11}} > N_1^* + N_2^*$ となって、これは2者の供給量の合計

としての市場規模は、安定的共存均衡におけるよりも、第1事業者のみが生存する長期均衡における方が大であることを意味している。また、 $\gamma_{21} > \gamma_{22}$ ならば、安定共存均衡におけるよりも第2事業者のみが生存する長期均衡の方が市場規模は大きい。

しかし、ここで次の事実を確認しておこう。それは、共存均衡が存在する場合、第1事業者のみが生き残る長期均衡における市場規模も、第2事業者のみが生き残る長期均衡における市場規模も、ともに共存均衡で実現される市場規模よりも大きいという事態は起こりえない、ということである。

2つの事業者の影響が非対称的な場合、 $\gamma_{11} \leq \gamma_{22}$ と仮定しも一般性は失われない。示したいことは

$$\frac{1}{\gamma_{11}} \geq \frac{1}{\gamma_{22}} > N_1^* + N_2^*$$

が成立しないということである。もしも上式が成立するとすれば、先の考察によって $\gamma_{12} > \gamma_{11}$ かつ $\gamma_{21} > \gamma_{22}$ である。しかし、これらと安定性の条件からは

$$\gamma_{22} > \gamma_{12} > \gamma_{11} > \gamma_{21} > \gamma_{22}$$

となるが、これは明らかに矛盾である。

したがって、起こりうるのは

$$\frac{1}{\gamma_{11}} > N_1^* + N_2^* > \frac{1}{\gamma_{22}} \quad (\text{C})$$

または

$$N_1^* + N_2^* > \frac{1}{\gamma_{11}} \geq \frac{1}{\gamma_{22}} \quad (\text{D})$$

のいずれかの場合であるが、対称的な場合には結局 (D) のケースしか起こりえない。すなわち、

命題 4 安定的定常均衡が存在する場合には、定常解における市場規模の方がいずれか一方のみが生き残る均衡における市場規模よりも大きい。

前節において、独占を回避する立場から共存均衡が政策的目標とされ得ると述べたが、2つの事業者の影響が対称的な場合には、長期的市場規模最大化の視点からも、共存均衡が望ましいと言えるのである。同様な議論によって、鞍点解のケースでは、鞍点均衡は第1事業者のみが生き残る均衡や第2事業者のみが生き残る均衡に比べて、市場規模が最小となることを示すことができる。

3 - 6 対称的な場合

次に、2つの事業者が相互に対称的な影響を与え合う場合について分析してみる。すなわち、いま $\gamma_{11} = \gamma_{22}$ かつ $\gamma_{12} = \gamma_{21}$ と仮定しよう。そうすると前節で示した4つの長期均衡のパターンの内、図8と図9に対応する場合しか出現しない。

なぜなら、図6が成立するためには、条件より $\gamma_{12} > \gamma_{22} = \gamma_{11} > \gamma_{21}$ でなければならないが、これは $\gamma_{12} = \gamma_{21}$ に矛盾する。また図7が成立するとすれば、 $\gamma_{22} > \gamma_{12} = \gamma_{21} > \gamma_{11}$ でなければならないが、これは $\gamma_{11} = \gamma_{22}$ という仮定より不可能である。

したがって、対称的なケースでは、 $\gamma_{11} = \gamma_{22} > \gamma_{12} = \gamma_{21}$ ならば、図9の安定的定常解のパターンとなり、 $\gamma_{11} = \gamma_{22} < \gamma_{12} = \gamma_{21}$ ならば、図8の鞍点解のパターンとなる。前節での議論を適用すれば、

命題5 2つの事業者が対称的な場合には、両者に対して自己成長率抑制効果よりも、競争相手の成長率抑制効果が小さくなるよう誘導することによって、長期的な共存均衡が実現され、そこにおける市場全体の規模は単独均衡におけるよりも大きくなる。

3 - 7 非対称的なケース

しかし、非対称的なケースでは(C)も起こりうる。この場合には、共存均衡における市場規模よりも、第1企業のみが生き残れる長期均衡における市場規模の方が大きい。したがって市場規模最大化の政策目標からすれば、 $N_1^* + N_2^*$ を $\frac{1}{\gamma_{11}}$ に近づける手段を取るべきである。それは図9において γ_{21} を γ_{11} に近づけることによって達成される。

したがって、われわれが示したのは次のような命題である。

命題6 長期的な市場の拡大を政策目標とするならば、政府は、自社成長率抑制係数が小さく、したがって長期的市場規模が大きくなる事業者を選び(支配的事業者と呼ぼう)、支配的事業者が競争事業者に与える成長率抑制効果を引き上げるよう誘導すべきである。

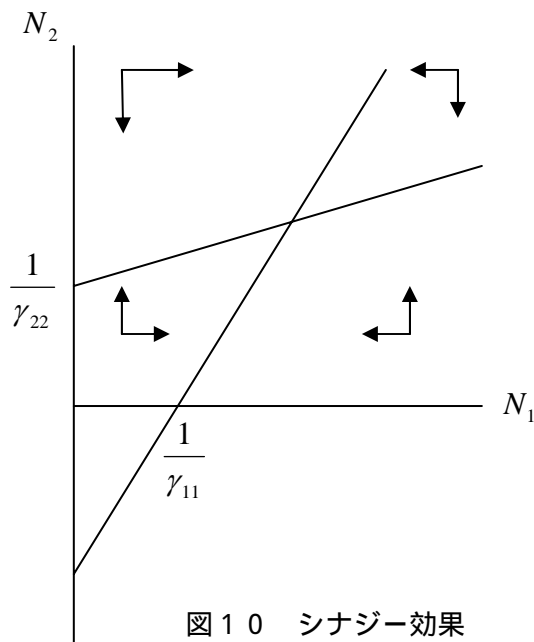
3 - 7 シナジー効果

これまで、2つの事業者は競争関係にあり、共通の市場を奪い合うなどの形で、一方の供給サービスの拡大が競争相手のサービス供給の成長率に負の影響を与えてきた。この想定は、市場規模が比較的固定的で、両者の競争が単に量的拡大を巡って行われる場合には、妥当と考えられる。

しかし、市場での競争は利用量の拡大だけではなく、質的な新規サービスの投入を巡っても行われる。たとえば、固定電話サービスにおいては、従来の音声電話サービスから、ISDNを用いた高度サービス、あるいはADSL方式によるブロードバンド・サービスへと競争の焦点は移っていき、携帯電話市場でも通信速度の向上に伴って、音声通信からデータ通信、インターネット接続サービス、さらには課金・決済など取引関連サービスへと競争の中心が移動する。

このような現象は、従来の経済学モデルでは取り扱いが困難であったが、ここでのモデルを用いれば、それらをシナジー効果として取り扱うことが可能である。すなわち、2つの事業者の事業の拡大は、競争相手の事業の成長率に正の効果を与えると想定することができる。すなわち、シナジー効果が存在する場合には、 $\gamma_{12} \leq 0$ かつ $\gamma_{21} \leq 0$ と仮定しよう。

このときフェイズ・ダイアグラムは図10のように描かれる。



ここで、2つの直線が第1象限で交わり、微分方程式体系に意味のある定常解が存在するためには、(16)式より $\gamma_{11}\gamma_{22} > \gamma_{12}\gamma_{21}$ が成立しなければならない。この条件が成立しないとき、日本の直線は第4象限で交わり、意味のある定常解が出現しないだけでなく、第1象限における N_1 と N_2 は東北方向に発散を続ける。すなわち、シナジー効果が大きすぎる場合、2つの事業者の市場規模は拡大を続け、何らかの定常解に収束することはない。

また、上の条件は定常解が安定的均衡となる条件とも同一であった。さらに、今のように両事業者の交差係数が負の場合には、共存均衡と単独均衡の比較において、先の(D)の場合しか成立しない。言い換えれば、次の命題を主張することができる。

命題7 シナジー効果が存在して、両者のシナジー効果の積の大きさがそれぞれの企業の自己成長抑制効果の積よりも小さければ、競争システムは2つの事業者が共存する定常解に安定的に収束し、そこでの全体的市場規模は、それぞれの事業者が単独で成長を目指すときの市場規模よりも大きい。

4. 結語

本稿においてわれわれは、ネットワーク事業者の競争を、生物学のLotka-Volterraモデルを援用して記述し、2つの事業者が互いに競争する動学的態様を微分方程式体系の解として分析することに成功した。確かにここでの分析は、経済学が伝統的に分析の対象とする価格、費用、利潤等の視点を欠いている。そのため、企業行動の分析が浅く、価格を中

心とする企業の戦略的行動に十分な注意が払われていない、との批判があり得る。

しかし、価格戦略、営業戦略、技術開発戦略、雇用戦略あるいは企業の財務的安定性なども、マクロの視点から見れば、すべてその企業の事業拡大のダイナミクスに還元されるとも言えよう。その意味では、本稿で提示した分析は、これまでの伝統的な経済学の分析を補完する視点を追加するものと思われる。

さらに、本稿における政策分析も、課税・補助金や数量規制のように、政策手段を明示した分析ではなく、事業者の市場拡大を規定するパラメタへの影響を通じる効果を論じたに過ぎない。この点についても、明示的な政策手段の効果が議論されていないという批判があり得ると同時に、現実の政策手段はビジョン政策から裁量的判断を含む暗黙の理解までのグラデーションの中で、全体として企業行動に影響を及ぼすとの考え方に立てば、あながちここでの分析の意義を否定すべきでないとの考えも成り立つであろう。

いずれにしても、ここに報告したのは極めて初歩的な Lotka-Volterra 型モデルであり、これからネットワーク産業の競争モデルとして改良していくべき点が多く含まれていることは言うまでもない。

参考文献

- Economides, Nicholas (1986), *Economics of Networks*.
(<http://www.stern.nyu.edu/networks/site.html>)
- Evans, D.S., F.M. Fisher, D.L. Rubinfeld and R.L. Schmanlensee (2000), *Did Microsoft Harm Consumers?: Two Opposing Views*, "AEI-Brookings Joint Center for Regulatory Studies.
- Gilbert, R.J. and M.L. Katz (2001), *An Economist's Guide to U.S. v. Microsoft*,
(<http://ideas.repec.org/p/wpa/wuwpio/0106001.html>)
- Hayashi, Kenta (2005), "The Analytical Solution to the Rohlfs equation: A Note," mimeo.
- Liebowitz, S.J. and S.E. Margolis (1999), *Winners, Losers & Microsoft: Competition and Antitrust in High Technology*, The Independent Institute.
- Lotka, A. (1925), *Elements of Physical Biology*, Williams and Wilkins (Reprinted 1956 by Dover Press).
- Rohlfs, Jeffrey (1974) , "A Theory of Interdependent Demand for a Communications Service," *Bell Journal of Economics and Management Science* 5, no.1, Spring, 16-37.
- Rohlfs, Jeffrey (2001), *Bandwagon Effects in High-Technology Industries*, MIT Press.
- Rubnow, S. I. (1975), *Introduction to Mathematical Biology*, Dover Publications.
- Verhulst, P.F. (1838), "Notice sur la loi que la population suite dans son accroissement," *Correspondence Mathmatique et Physique*, 10, 113-121.
- Volterra, V. (1928), "Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together," *Journal du Conseil, Conseil International pour L'Exploration de la Mer*, 3, 2-51.
- 依田高典(2001) 『ネットワーク・エコノミクス』(日本評論社)
- 寺元 英(1997) 『数理生態学』(朝倉書房)
- 林 敏彦(1992) 「ネットワーク経済の構造」林・松浦編著『テレコミュニケーションの経済学：寡占と規制の世界』(東洋経済新報社) 第5章