

Chukyo University Institute of Economics

Discussion Paper Series

August 2014

No. 1404

港湾コンテナ・ターミナルの域内複占競争
**(Intra-Seaport Competition between
à la Cournot Terminal Operators)**

中山恵子
中京大学

松本昭夫
中央大学

港湾コンテナ・ターミナルの域内複占競争 (Intra-Seaport Competition between *à la Cournot* Terminal Operators)*

中山 恵子[†]
中京大学

松本 昭夫[‡]
中央大学

概要

名古屋港はコンテナ・ターミナル群を有する我が国の五大港のひとつであり、世界的なものづくり産業が集積する中部地域を指させる港として重要な拠点となっている。本研究では名古屋港のようなコンテナ港湾のターミナル機能に着眼し、コンテナ・ターミナルの効率的運営についてゲーム理論的アプローチによる分析・検討を行った。

*本研究は文部科学省による「私立大学戦略的研究基盤形成事業 2013-2017」および科学研究費(基盤研究(C)) 23510042, 24530201, 25380238, 26380316)による援助を受けている。記して感謝する。

[†]中京大学経済学部 〒466-8666 名古屋市昭和区八事本町 101-2

[‡]中央大学経済学部 〒192-0393 八王子市東中野 742-1 akiom@tamacc.chuo-u.ac.jp

1 序章

1907年の開港以来、名古屋港は広大な陸域と水域を有し、物流、生産、防災、交流、交通の機能が備わった総合港湾として発展を遂げてきた。取り扱い個数やターミナル施設規模が世界的に見て中規模クラスのコンテナ・ターミナル群を有するわが国の五大港の一つであり、総取扱貨物量は12年連続、貿易額は4年連続で日本一を記録している。今後、名古屋港が、世界的なものづくり産業が集積する中部地域を支える港として機能することは当然である。本研究では名古屋港のようなコンテナ港湾の「競争力」を規定する重要な要因の一つであるターミナル機能に着眼し、港湾サービスの効率的運営を考察対象とする⁽¹⁾。

港湾のコンテナ・ターミナルでは、港湾の管理主体と民間会社との一定の取り決めの下に運営されている。この取り決めはターミナルの管理主体と運営会社との間でなされる港湾のさまざまな設備や施設の一定期間の使用に関するものである。しかし、実際の契約締結時には、ターミナル使用期間や使用料の決定、複数のターミナルがある場合のターミナルの選択、リスクの分割等、多様な問題を考える必要がある。利害の相反する主体の意思決定問題はまさに経済学の問題であり、この問題に関する詳細な調査、および経済学的なモデル分析が必要とされているが、コンテナ・ターミナルの契約問題に関しては経済学的なアプローチは既存研究ではさほどなされていない。

本研究では、港湾内のターミナルにおける民間企業間の競争に着眼し、その競争の効果に関してゲーム理論的なアプローチを行う。コンテナ・ターミナルの契約問題は経済学では港湾内競争 (within-port competition) の枠組で考察することができる。World Bank(2007)によれば港湾内競争とは「同一港湾内で港湾サービスを提供する類似あるいは補完的な生産ユニット間の競争」を意味し、さらに次の二つのタイプの競争に分類することができる。

- 港湾域内競争 (intra-port competition): 同一港湾内の二社以上のターミナル・オペレータ間の競争。
- ターミナル内競争 (intra-terminal competition): 同一ターミナル内で類似のサービスを提供する企業間競争。

本稿では前者の港湾域内競争を考察する⁽²⁾。この港湾域内競争は港湾に関連する経済主体である荷主、船会社、港湾事業者にとって「有益」なものであるという認識は従来から存在していた。しかしながら多くの港湾ではコンテナ業務に関連する仕事は高度に集積された市場で行われているのが現状である。Verhoeff (1981)の言葉を借りるならば「港湾サービスの市場構造は非常に独占的」である。よく知られているように独占市場においては死荷重

¹⁾ 名古屋港のターミナル機能を参考にしているが、名古屋港の個別具体的な問題を分析するのではなく、コンテナ港湾一般に散見される問題を考察する。

²⁾ 二つ以上の港湾間における競争は港湾間競争 (inter-port competition) である。

という社会的損失と独占利潤が発生する。この独占利潤は独占レントとみなすことができるが、市場に複数の企業が参入し競争を行うことで、独占的なターミナル・オペレータによるレント・シーキングを阻害することができるというのが港湾域内競争促進のメリットである。この港湾域内競争を簡単な複占理論を援用して理論分析を行うことが本研究の主な目的である。

以下2章において、二つのターミナル・オペレータよりなる数量調整モデルを構築し、均衡の生産量、価格、利潤を求め、パラメータ変化に対してこれらの最適値がどのように変化するかを考察する。3章では静学的期待のもとで定常点の安定性、4章ではオペレータが限定合理的である場合の定常点の安定性を分析する。5章は一つのオペレータが限定合理的で、他のオペレータが静学的期待形成を行うような混合型の動学システムの分析にあて、最後に6章で本研究のまとめを行う。

2 数量調整モデル

2.1 利潤最大化行動

一つの港湾に二つのコンテナ・ターミナルがあり、二つの企業（ターミナル・オペレータ） X , Y がクールノー競争をしていると仮定する⁽³⁾。二つの企業の提供するターミナル・サービスは類似しているが、必ずしも同一でないという意味で差別化されており、各々の需要関数は代表的消費者（ターミナル・サービス需要者）の以下の効用最大化問題の解として求められる。

$$U(x, y) = a_1x + a_2y - \frac{1}{2}(b_1x^2 + 2\theta xy + b_2y^2) - (p_1x + p_2y). \quad (1)$$

x と y は企業 X と Y の生産量を意味する⁽⁴⁾。内点解を想定し、 $\partial U(x, y)/\partial x = 0$, $\partial U(x, y)/\partial y = 0$ の一階の条件をそれぞれの価格について解くことにより、線形の逆需要関数が得られる。

$$p_1 = a_1 - b_1x - \theta y, \quad (2)$$

$$p_2 = a_2 - \theta x - b_2y.$$

下付き文字はターミナル番号 ($i = 1, 2$) を意味し、 $a_i > 0$ は最高価格、 $b_i > 0$ は逆需要関数の傾き、 θ は二つの財の関係を表し、 $\theta > 0$ ならば代替財であり、 $\theta < 0$ ならば補完財である。効用関数の凹性により、 $b_1b_2 - \theta > 0$ が成立する。本研究稿では、二企業は類似のサービスを提供している状況进行分析対象とするので、二つの財は代替的であるとする。さらに、各財の価格に及ぼす効果は直接効果が間接効果より大きいと考えるのが自然であるので、

³⁾ コンテナ港湾一般の物流機能については津村 (2011) を参照されたい。

⁴⁾ 生産量の指標としてコンテナ貨物の取扱量を想定している。

$b_i > \theta > 0$, $i = 1, 2$ を仮定する．ここで、 $\bar{\theta}_i = \theta/b_i$ と定義すれば、 $\bar{\theta}_i$ は二つの財の製品差別化の程度を表すパラメータとみなすことができる． $0 < \bar{\theta}_i < 1$ であり、二つの企業の提供するサービスは不完全な代替財と考えられる⁵⁾．より詳しく述べれば、 $\bar{\theta}_1$ は企業 Y のサービスが企業 X の提供するサービスへの代替の程度を表し、 $\bar{\theta}_1$ が小さいほど（0 に近づくほど）二つのサービスの異質性が大きくなり、逆に大きいほど（1 に近づくほど）類似性が強くなる．極端なケースとして、 $\bar{\theta}_1 = 0$ ならば独立財、 $\bar{\theta}_1 = 1$ であれば同質財とみなせる． $\bar{\theta}_2$ についても同様の解釈をすることができる．

各企業の利潤を定義する．

$$\begin{aligned}\pi_x &= (1-r)p_1x - c_x x, \\ \pi_y &= (1-r)p_2y - c_y y.\end{aligned}\tag{3}$$

ただし、定数 $c_j > 0$ ($j = x, y$) は限界費用で、 $0 \leq r < 1$ は各企業が港湾事業体に支払うターミナル使用率（収入の $r\%$ を支払う）である． r は港湾事業体が私的機関であれば利潤最大化行動のもとに決定され、公的機関であれば取扱量最大化などの行動仮説のもとづいてその値が決定されることが考えられる．しかし、ここでは分析の単純化のために所与の定数とする．各企業は競争相手の企業の生産量については不確実な情報しかなく、過去の活動等をもとに生産量を予想する．すなわち需要関数は

$$\begin{aligned}p_1 &= a_1 - b_1x - \theta_1y^e, \\ p_2 &= a_2 - \theta_2x^e - b_2y,\end{aligned}$$

となり、 y^e と x^e は予想（期待）生産量を表す．期待価格を (3) で定義された利潤関数に代入し、各生産量について微分をすることにより限界利潤を求められる．

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_x}{\partial x} &= [(1-r)a_1 - c_x] - (1-r)(2b_1x + \theta_1y^e), \\ \frac{\partial \pi_y}{\partial y} &= [(1-r)a_2 - c_y] - (1-r)(2b_2y + \theta_2x^e).\end{aligned}\tag{4}$$

$r = 0$ であれば、内点解の条件は最大価格が限界費用よりも大きい ($a_1 - c_x > 0$, $a_2 - c_y > 0$)．さらに、 $r > 0$ でも内点解の存在を保証するために r が以下の条件を成立するように選ばれていると仮定する．

[仮定] $0 < r < \min[\bar{r}_1, \bar{r}_2]$ 、ただし、

$$\bar{r}_1 = 1 - \frac{c_x}{a_1}, \quad \bar{r}_2 = 1 - \frac{c_y}{a_2}.$$

⁵⁾ ここでは考察しないが、 $\bar{\theta}_i = -1$ をみたとせば二財は完全補完財、 $-1 < \bar{\theta}_i < 0$ であれば不完全補完財となる。

この [仮定] の下で (4) 式で与えられる限界利潤の第一項は正となるので、利潤最大化以下の一階の条件 ($\partial\pi_x/\partial x = 0$, $\partial\pi_y/\partial y = 0$) より各企業の反応関数を求めることができる。

$$\begin{aligned} r_x(y^e) &= -\frac{\theta}{2b_1}y^e + \frac{1}{2b_1}\left(a_1 - \frac{c_x}{1-r}\right), \\ r_y(x^e) &= -\frac{\theta}{2b_2}x^e + \frac{1}{2b_2}\left(a_2 - \frac{c_y}{1-r}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

これらの関数を連立して解けば、各企業の利潤最大化を実現するナッシュ均衡点における最適生産量あるいはクールノー生産量が得られる。

$$\begin{aligned} x^C &= \frac{1}{\Delta} \left[2b_2 \left(a_1 - \frac{c_x}{1-r} \right) - \theta \left(a_2 - \frac{c_y}{1-r} \right) \right], \\ y^C &= \frac{1}{\Delta} \left[2b_1 \left(a_2 - \frac{c_y}{1-r} \right) - \theta \left(a_1 - \frac{c_x}{1-r} \right) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 $\Delta = 4b_1b_2 - \theta^2$ 。効用関数の凸性より $\Delta > 0$ が成立している。したがって、 $x^c > 0$ であるためには

$$\frac{2b_2}{\theta} > \frac{(1-r)a_2 - c_y}{(1-r)a_1 - c_x}$$

あるいは

$$c_y > \frac{2b_2}{\theta}c_x + (1-r)a_1 \left(\frac{a_2}{a_1} - \frac{2b_2}{\theta} \right) = f(c_x). \quad (7)$$

同様に、 $y^c > 0$ であるためには

$$\frac{2b_1}{\theta} > \frac{(1-r)a_1 - c_x}{(1-r)a_2 - c_y}$$

あるいは

$$c_x < \frac{\theta}{2b_1}c_x + (1-r)a_1 \left(\frac{a_2}{a_1} - \frac{\theta}{2b_1} \right) = g(c_x). \quad (8)$$

(7) 式と (8) 式で定義された $f(c_x)$, $g(c_x)$ より

$$\frac{df(c_x)}{dc_x} = \frac{2b_2}{\theta} > 1 > \frac{\theta}{2b_1} = \frac{dg(c_x)}{dc_x}$$

である。 $f(c_x)$ と $g(c_x)$ は正の傾きを持ち、 $f(c_x)$ は $g(c_x)$ より勾配が急である。また

$$f(0) = (1-r)a_1 \left(\frac{a_1}{a_2} - \frac{2b_2}{\theta} \right),$$

$$g(0) = (1-r)a_1 \left(\frac{a_1}{a_2} - \frac{\theta}{2b_1} \right),$$

$$f(0) - g(0) = (1-r)a_1 \left(\frac{\theta}{2b_1} - \frac{2b_2}{\theta} \right) < 0.$$

さらに a_2/a_1 の大きさに応じて次の三つのケースが考えられる。

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{a_2}{a_1} \leq \frac{\theta}{2b_1} < \frac{2b_2}{\theta} \implies f(0) < g(0) \leq 0, \\
 (2) \quad & \frac{\theta}{2b_1} < \frac{a_2}{a_1} < \frac{2b_2}{\theta} \implies f(0) < 0 < g(0), \\
 (3) \quad & \frac{\theta}{2b_1} < \frac{2b_2}{\theta} \leq \frac{a_2}{a_1} \implies 0 \leq f(0) < g(0).
 \end{aligned} \tag{9}$$

以上より $x^c > 0$ と $y^c > 0$ を同時に満たすパラメータ領域 C を定義することができる。

$$C = \{(c_x, c_y) \mid 0 < c_x < \bar{c}_x, 0 < c_y < \bar{c}_y, f(c_x) < c_y < g(c_x)\}.$$

ただし、 \bar{c}_x と \bar{c}_y は $f(c_x) = g(c_x)$ より次のように定義される。

$$\bar{c}_x = (1-r)a_1, \quad \bar{c}_y = (1-r)a_2.$$

パラメータ値をどのように特定化するかに応じて領域 C の形状は異なる。 $r = 0.2$ と $\theta = 0.8$ は固定して、逆需要関数の最大価格と傾きを変えた三つの数値例で具体的な形状を確かめる。

$$\begin{aligned}
 (i) \quad & a_1 = 10, a_2 = 3.5, b_1 = 1, b_2 = 2; \\
 (ii) \quad & a_1 = 10, a_2 = 10, b_1 = 1, b_2 = 1; \\
 (iii) \quad & a_1 = 5, a_2 = 14, b_1 = 2, b_2 = 1.
 \end{aligned} \tag{10}$$

図1でメッシュ領域においてクールノー生産量が非負となる⁽⁶⁾

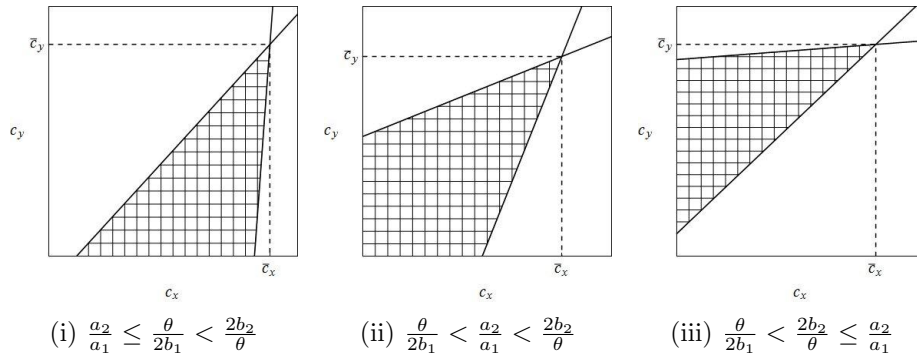


図1 クールノー生産非負領域

クールノー生産量を逆需要関数(2)に代入し、整理すればクールノー価格

⁶⁾ 図1(1)と(3)は非負領域を見やすくするため縦横の比率を調整してある。

を得る.

$$p_1^C = b_1 x^C + \frac{c_x}{1-r}, \quad (11)$$

$$p_2^C = b_2 y^C + \frac{c_y}{1-r}.$$

さらにクールノー生産量とクールノー価格を利潤関数 (3) に代入すれば、クールノー利潤も求めることができる.

$$\pi_x^C = (1-r)b_1 (x^C)^2, \quad (12)$$

$$\pi_y^C = (1-r)b_2 (y^C)^2.$$

各オペレータの最適戦略値は様々なパラメータの値に依存しているので、それらの比較に関する一般的な結果は求められないが、直面する需要曲線が同一であるかもしくは同一とみなせるほどの類似性があれば、生産費用の違いにより最適戦略の比較が可能になる。

命題 1 $a_1 = a_2 = a$, $b_1 = b_2 = b$ のもとで、クールノー均衡点において、生産費用の低い企業は高い企業より、より多くの販売を、より廉価で行い、より多くの利潤をあげることができる。すなわち、

$$c_x \leq c_y \implies x^C \geq y^C, p_1^C \leq p_2^C, \pi_x^C \geq \pi_y^C.$$

証明. (6) 式より

$$x^C - y^C = \frac{2b + \theta}{\Delta(1-r)}(c_y - c_x).$$

(2) 式に x^c と y^c を代入して整理すれば

$$p_1^C - p_2^C = (b - \theta)(y^C - x^C).$$

さらに (12) 式より

$$\frac{\pi_x^C}{\pi_y^C} = \left(\frac{x^C}{y^C} \right)^2.$$

限界生産費の大小に依存してクールノー生産量の相対的な大きさが決まり、それが価格と利潤の大小関係を決めている。□

2.2 比較静学：ターミナル使用料 r の変化

ターミナル使用料が変化した場合に各企業の最適戦略に与える効果を考える。まず最適生産量に与える効果を求めるために、(6) を r で微分することで次式が得られる。

$$\frac{\partial x^C}{\partial r} = \frac{2b_2}{\Delta(1-r)^2} \left(\frac{\theta}{2b_2} c_y - c_x \right), \quad (13)$$

$$\frac{\partial y^C}{\partial r} = \frac{2b_1}{\Delta(1-r)^2} \left(c_x - \frac{2b_1}{\theta} c_y \right).$$

両式第一項は正であるので，導関数の符号は第二項の符号により確定する．

$$c_y \leq \frac{2b_2}{\theta} c_x \implies \frac{\partial x^C}{\partial r} \leq 0, \quad (14)$$

$$c_y \geq \frac{\theta}{2b_1} c_x \implies \frac{\partial y^C}{\partial r} \geq 0.$$

(10) 式で与えられた数値例により導関数の符号を確かめる．図 2 において，メッシュ領域では図 1 と同様にクールノー生産が正である．各領域における導関数の符号は以下のとおりである．

$$\text{赤色領域： } \frac{\partial x^C}{\partial r} < 0, \frac{\partial y^C}{\partial r} < 0,$$

$$\text{青色領域： } \frac{\partial x^C}{\partial r} > 0, \frac{\partial y^C}{\partial r} < 0,$$

$$\text{黄色領域： } \frac{\partial x^C}{\partial r} < 0, \frac{\partial y^C}{\partial r} > 0.$$

図 2 (ii) は 2 企業の直面する需要関数が同一 ($a_1 = a_2, b_1 = b_2$) のケースであり，限界費用に大きな差がなければ（つまり $c_x \simeq c_y$ ），ターミナル使用料の増加はクールノー生産量を減少に導くことを示している．青色領域では X 企業が，黄色領域では Y 企業がターミナル使用料の変化と同方向の生産の変化を行っている．図 2 (i) では生産非負領域はすべて黄色であるから， r の増加に対し，X 企業は生産を減少，他方 Y 企業は生産を増加させる．図 2 (iii) では生産非負領域はすべて青色であるから， r の増加に対し，X 企業は生産を増加，他方 Y 企業は生産を減少させる．

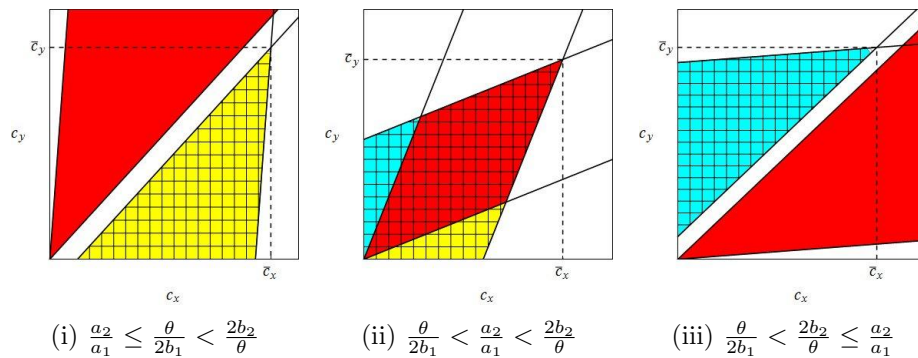


図 2. r の変化による効果

(11) 式を r に関して微分することにより r の増加はクールノー価格の上

昇を伴うことを示せる.

$$\frac{\partial p_1^C}{\partial r} = \frac{1}{\Delta(1-r)^2} [(2b_1b_2 - \theta^2)c_x + b_1\theta c_y] > 0,$$

$$\frac{\partial p_2^C}{\partial r} = \frac{1}{\Delta(1-r)^2} [(2b_1b_2 - \theta^2)c_y + b_2\theta c_x] > 0.$$

各企業のクールノー均衡点での収入は

$$R_x^C = p_1^C x^C, \quad R_y^C = p_2^C y^C$$

と定義される. r の変化が引き起こす各企業の収入への影響は

$$\frac{\partial R_x^C}{\partial r} = p_1^C \frac{\partial x^C}{\partial r} + x^C \frac{\partial p_1^C}{\partial r},$$

$$\frac{\partial R_y^C}{\partial r} = p_2^C \frac{\partial y^C}{\partial r} + y^C \frac{\partial p_2^C}{\partial r},$$

であるから, 一般には不決定である. 図3は(10)(ii)のパラメータ条件のもとで数値的に限界収入への影響を調べたもので, 図内の凸曲線は $\partial R_x^C / \partial r = 0$, 凹曲線は $\partial R_y^C / \partial r = 0$ を実現する (c_x, c_y) の軌跡である⁷⁾. 両曲線は原点をとおり, 点 (c_x^0, c_y^0) で交わり, 正の生産を実現するパラメータ領域を4分割している. その内, 緑色領域においては $\partial R_x^C / \partial r > 0$ および $\partial R_y^C / \partial r > 0$ が成立し, 赤色領域においては逆に $\partial R_x^C / \partial r < 0$ および $\partial R_y^C / \partial r < 0$ である. メッシュが描かれているが無色の領域では二つの企業の限界収益の方向は逆になっている.

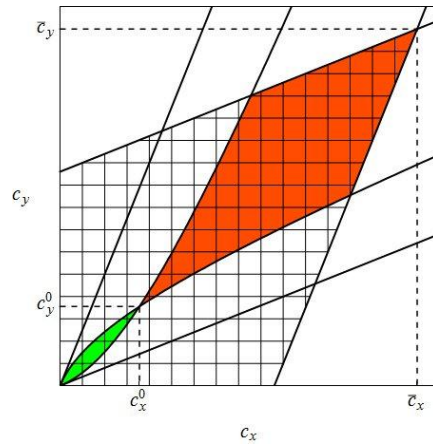


図3 限界収入

⁷⁾ 同様の方法で, (10)(i), (iii) のケースについても限界収入の変化の方向を数値的に調べることができる.

クールノー均衡点において港湾事業者の得る収入は r の関数として定義できる。

$$R_p^C(r) = r(R_x^C(r) + R_y^C(r)) \quad (15)$$

港湾使用率は外生的に所与としていたが、港湾事業者が私的組織体で、何らかの利潤原理、例えば自己の収益を最大化にもとづいて使用率を決定しようとするならば、全体は2段階の最大化問題として定式化できる。第一段階においては、港湾事業者が自己の収入を最大化するように(15)を r に関して微分し、以下の方程式の解として最適な使用率 r^* を決定する。この値を所与として、第二段階において各ターミナル・オペレータは利潤最大化を実現する最適生産量を決定する。

$$r^* = \frac{R_x^C(r^*) + R_y^C(r^*)}{-\left(\left.\frac{\partial R_x^C(r)}{\partial r}\right|_{r=r^*} + \left.\frac{\partial R_y^C(r)}{\partial r}\right|_{r=r^*}\right)}$$

3 動学分析 I：静学的期待形成

クールノー均衡点の安定性については考察する。まず、ベンチマークとして期待が静学的に形成される場合の動学を考える。前期の生産量が今期も生産されると予想するので、期待生産量は次のように形成される、

$$x^e(t) = x(t-1),$$

$$y^e(t) = y(t-1).$$

(5) 式の反応関数に、この静学的期待を代入すれば、2次元の一階線形差分方程式システムが得られる。

$$\begin{aligned} x(t) &= -\frac{\theta}{2b_1}y(t-1) + \frac{1}{2b_1}\left(a_1 - \frac{c_x}{1-r}\right), \\ y(t) &= -\frac{\theta}{2b_2}x(t-1) + \frac{1}{2b_2}\left(a_2 - \frac{c_y}{1-r}\right). \end{aligned} \quad (16)$$

(6) 式のクールノー均衡点 (x^c, y^c) は二つの条件、 $x^c = R_x(y^c)$ と $y^c = R_y(x^c)$ を同時に満たすものであるから、このシステムの定常点である。定常点近傍の初期点から出発した軌道が定常点に収束するためには、この線形方程式システムのヤコビ行列（あるいは係数行列）

$$J_N = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{\theta}{2b_1} \\ -\frac{\theta}{2b_2} & 0 \end{pmatrix}$$

の固有値の実部の絶対値が1より小さいことが必要十分な条件である。特性方程式 $\text{Det}(J_N - \lambda I) = 0$ を λ について解けば固有値が求められる,

$$\lambda_{\pm} = \pm \frac{\theta}{2\sqrt{b_1 b_2}}.$$

すでに $\theta < b_i$ を仮定しているので $|\lambda_{\pm}| < 1$ となる。これは定常点の近傍に初期点をとれば単調に定常点に収束することを意味している。図4に数値例が与えられている。簡単化のためにパラメーターは X 企業と Y 企業が同一になるように取られている。

$$a_1 = a_2 = 10, b_1 = b_2 = 1, r = 0.2, \theta = 0.8, c_x = c_y = 5.$$

図4(A)では (x, y) の軌道が二つの初期点

$$A = \left(\frac{9}{5}, \frac{17}{150}\right), B = \left(\frac{17}{150}, \frac{9}{5}\right)$$

から出発し、反応曲線上の点を取りながら定常点 E に収束していることが観察できる（急勾配の直線は企業 X の反応曲線, $x = r_x(y)$, 緩やかな傾きの直線は企業 Y の反応曲線, $y = r_y(x)$ である）。 A 点から出発した軌道は赤色、 B 点から出発した軌道は青色で描かれている。図4(B)は同じ軌道であるが、生産量 y の時系列をプロットしたもので、急速に定常点 y^c に近づく様子が見て取れる。線形動学方程式システムにおいては小域安定性は大域安定性を意味するので、動学システム(16)の変動については以下のようにまとめられる。

命題 2 静学的期待形成のもとで、, 動学システム(16)の定常点は小域的にも大域的にも漸近安定である。

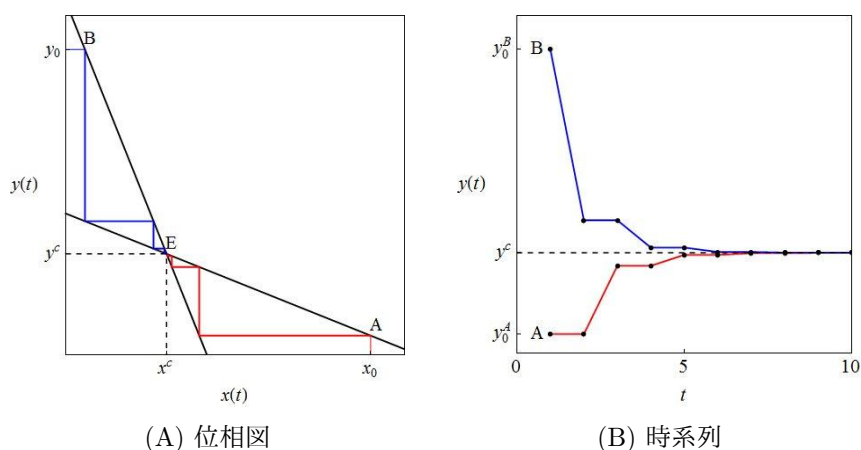


図4 静学的期待の下での動学

図 4(A) において

$$\begin{aligned}x^M &=: r_x(0) = \frac{1}{2b_1} \left(a_1 - \frac{c_x}{1-r} \right) \\y^M &=: r_y(0) = \frac{1}{2b_2} \left(a_2 - \frac{c_y}{1-r} \right)\end{aligned}\tag{17}$$

は企業 X がターミナル 1 の、企業 Y がターミナル 2 の港湾サービスを独占した場合の最適生産量に対応している。独占状態 $(x^M, 0)$ あるいは $(0, y^M)$ はクールノー均衡点における利潤よりも高い利潤を生みだしていることが確かめられる。

$$\pi_x^M = (1-r)b_1(x^M)^2 > \pi_x^C,$$

$$\pi_y^M = (1-r)b_2(y^M)^2 > \pi_y^C.$$

クールノー均衡点 (x^C, y^C) は動学システム (16) の唯一の安定的定常点であるから、軌道は独占状態を初期点に選んだとしてもこの点から離脱してゆく。このターミナルには独占状態が発生したとしても他の企業の参入を阻止する制度的な要因、港湾管理者の指導等がないので、独占利潤が正である限り他の企業が参入する。

4 動学分析 II：限定合理性

命題 1 は経済学の入門的教科書でも議論される基本的な結果である⁽⁸⁾。ここでは暗黙のうちに企業は完全合理的（市場需要関数や費用関数に関する完全情報など）であるとの想定がなされている。他方、現実の経済においては情報の取得は遅れを伴い、また不完全なものしか取得できないという意味において各企業は限定合理的である。そこで、利潤最大化を実現する生産量を瞬時には実現できない状況を記述する一つの方法として、次期の生産量を勾配法 (Gradient Method) により決定すると仮定し、命題 1 がどのように修正されるかを次に考察する。勾配法は限界利潤の大きさに応じて生産を決定するというもので、限界利潤が正であれば生産を増加し、限界利潤が負であれば生産を減少し、限界利潤がゼロであれば生産を変化させない。このような生産決定を行う企業を限定合理的企業と呼ぶ。その行動方程式は様々なヴァージョンが考えられるが、以下はよく使われる勾配法を体現した動学システム

⁸⁾ Theocharis (1960) は静学的期待形成の下で、 n 企業よりなる線形寡占モデルを構築し、 n 次元線形差分動学システムの動学分析を行い、以下の結果を得た。企業が 2 社であれば必ず安定、3 社であれば持続的循環解があり、4 社以上になれば必ず不安定になることを示した。

である.

$$\begin{aligned}x(t+1) &= x(t) + \alpha_x(x(t)) \frac{\partial \pi_x(x(t), y(t))}{\partial x}, \\y(t+1) &= y(t) + \alpha_y(y(t)) \frac{\partial \pi_y(x(t), y(t))}{\partial y}.\end{aligned}\tag{18}$$

ここで, $\alpha_z(z) > 0$, $z = x, y$ は限界利潤の大きさを次期の生産量にどの程度反映させるかを定める調整関数である. 以下では簡単化のために線形の関数を想定する,

$$\alpha_z(z) = \alpha_z \cdot z$$

を想定する. $\alpha_z > 0$ は調整係数である. この場合, 勾配法は生産の成長率を限界利潤に比例的に生産を調整しているといい換えることもできる. 上で求めた利潤最大化の一階の条件より限界利潤を求め, それを (18) 式に代入して勾配法による動学システムが構築される.

$$\begin{aligned}x(t+1) &= x(t) + \alpha_x x(t) \{(1-r)(a_1 - 2b_1 x(t) - \theta y(t)) - c_x\}, \\y(t+1) &= y(t) + \alpha_y y(t) \{(1-r)(a_2 - 2b_2 y(t) - \theta x(t)) - c_y\}.\end{aligned}\tag{19}$$

定常点は $x(t) = x(t+1) = x$, $y(t) = y(t+1) = y$ と定義されるので, 以下の方程式の解となる.

$$\begin{aligned}x\{(1-r)(a_1 - 2b_1 x - \theta y) - c_x\} &= 0, \\y\{(1-r)(a_2 - 2b_2 y - \theta x) - c_y\} &= 0.\end{aligned}\tag{20}$$

図 5 に示されているように, (20) 式は四つの定常点を持つ.

$$\begin{aligned}E_1 &= (0, 0), \\E_2 &= (x^M, 0), \\E_3 &= (0, y^M), \\E_4 &= (x^C, y^C).\end{aligned}$$

x^M と y^M は独占生産量でその値は (17) 式で与えられている. 一方 x^C と y^C はクールノー生産量で, その値はすでに (6) 式から得ている.

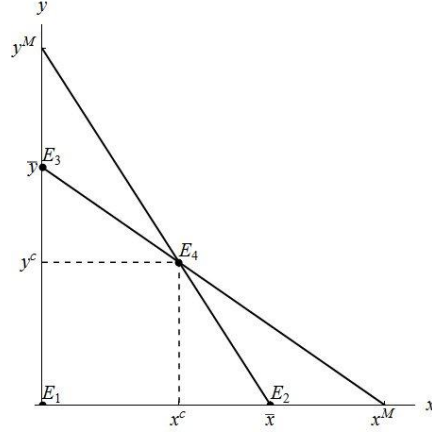


図 5. 定常点 E_i の決定

これら 2 次元非線形動学システムの定常点の安定性は, (19) 式のヤコビ行列の固有値に依存している (固有値の実部の絶対値が 1 より小さければ小域的に安定, 1 より大きければ不安定). まず動学システムを定常点の近傍で線形化して, ヤコビ行列 \mathbf{J}_B (下付きの B は Bounded Rational を意味する).

$$\mathbf{J}_B(x^*, y^*) = \begin{pmatrix} a_{11} & -\alpha_x \theta (1-r)x^* \\ -\alpha_y \theta (1-r)y^* & a_{22} \end{pmatrix} \quad (21)$$

を求める. ただし x^* と y^* は定常状態における生産量を表し, ヤコビ行列の対角要素は以下で与えられる.

$$a_{11} = 1 + \alpha_x [(1-r)(a_1 - 4b_1x^* - \theta y^*) - c_x], \quad (22)$$

$$a_{22} = 1 + \alpha_y [(1-r)(a_2 - 4b_2y^* - \theta x^*) - c_y].$$

以上の準備のもと, まず端点均衡については以下の結果が求められる.

命題 3 動学システム (19) 式の均衡点 E_1, E_2, E_3 は小域的に不安定である.

証明. E_0 では $x^* = y^* = 0$ であるので, (21) 式のヤコビ行列は対角行列になる.

$$\mathbf{J}_B(0,0) = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_x [(1-r)a_1 - c_x] & 0 \\ 0 & 1 + \alpha_y [(1-r)a_2 - c_y] \end{pmatrix}$$

単位行列を \mathbf{I} とすれば，固有方程式 $\det(\mathbf{J}_B(0,0) - \lambda\mathbf{I}) = 0$ より固有値は

$$\lambda_1 = 1 + \alpha_x [(1-r)a_1 - c_x] > 1, \quad \lambda_2 = 1 + \alpha_{xy} [(1-r)a_2 - c_y] > 1.$$

不等号は上で課した [仮定] による．よって定常点 E_1 は不安定結節点である．

E_2 では $x^* = x^M, y^* = 0$ であるので，ヤコビ行列は上三角行列になる．

$$\mathbf{J}_B(x^M, 0) = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_x [(1-r)(a_1 - 4b_1x^M) - c_x] & -\alpha_x\theta(1-r)x^M \\ 0 & 1 + \alpha_y [(1-r)(a_2 - \theta x^M) - c_y] \end{pmatrix}.$$

固有方程式 $\det(\mathbf{J}_B(x^M, 0) - \lambda\mathbf{I}) = 0$ より固有値は対角要素に等しくなる．

$$\lambda_1 = 1 + \alpha_x [(1-r)(a_1 - 4b_1x^M) - c_x],$$

$$\lambda_2 = 1 + \alpha_y [(1-r)(a_2 - \theta x^M) - c_y].$$

ここで $x^M = \frac{1}{2b_1} \left(a_1 - \frac{c_x}{1-r} \right)$ を代入して整理すれば

$$\lambda_1 = 1 - \alpha_x [(1-r)a_1 - c_x] < 1,$$

$$\lambda_2 = 1 + \alpha_y \left[(1-r)a_2 - c_y - \frac{\theta}{2b_1} [(1-r)a_1 - c_x] \right] > 1.$$

$\lambda_2 > 1$ は $(c_x, c_y) \in \mathbf{C}$ による．したがって， E_1 は鞍点になる． E_3 も同様に鞍点になることを示すことができる．□

E_2, E_3 は鞍点であるので，初期点を x 軸上，あるいは y 軸上を取れば，軌道は軸に沿って x^M あるいは y^M に単調に収束する．他方，軸上以外の近傍に初期点を取れば， E_2 あるいは E_3 から離れていく．これはすでに見たような次の解釈が可能である．

- 外生的・制度的要因により他企業の市場参入が制限されているならば，独占状態が顕在化する．
- 市場の参入・退出が保障されているならば，他企業が市場に参入し独占状態は維持されない．

ただし，現実に港湾域内競争（他企業の参入）が可能になるためには他の重要な要件がある．それはこのターミナルの規模が十分大きいことである．より正確には港湾サービスを提供する市場規模が最小効率規模 (MES: Minimum Efficient Scale) の2倍以上の大きさであることが必要である．市場規模がこの水準よりも小さければ域内競争は起きない．規模の経済は最初に参入した企業にしか働かず，二番目に参入した企業は構造的な費用不効率性に直面するので十分な利潤を生み出すことができずに，早晚市場から退出してしまう．

定常点 $E_4 = (x^C, y^C)$ で評価されたのヤコビ行列は

$$\mathbf{J}_B(x^C, y^C) = \begin{pmatrix} 1 - 2\alpha_x(1-r)b_1x^C & -\alpha_x\theta(1-r)x^C \\ -\alpha_y\theta(1-r)y^C & 1 - 2\alpha_y(1-r)b_2y^C \end{pmatrix} \quad (23)$$

であるから、対応する特性方程式は以下のように求められる。

$$\det(\mathbf{J}_B(x^C, y^C) - \lambda\mathbf{I}) = \lambda^2 + A\lambda + B.$$

ただし、 $A = -\text{trace}(\mathbf{J}_B(x^C, y^C))$ 、 $B = \det(\mathbf{J}_B(x^C, y^C))$ であり、(23) 式のヤコビ行列より以下のように求められる。

$$A = -2 + 2(1-r)(\alpha_x b_1 x^C + \alpha_y b_2 y^C),$$

$$B = (1 - 2\alpha_x(1-r)b_1x^C)(1 - 2\alpha_y(1-r)b_2y^C) - \theta^2(1-r)^2\alpha_x\alpha_yx^Cy^C.$$

A と B の符号は不決定であるが、

$$A^2 - 4B = 4(1-r)^2\{b^2(\alpha_x x^C + \alpha_y y^C)^2 + \alpha_x x^C \alpha_y y^C \theta^2\} > 0.$$

これは上記の2次の特性方程式の判別式が正となることを意味しているので、二つの特性根は共に実根となる。特性根の絶対値が1より小さくなるための条件は以下の3つの不等式が成立することである⁽⁹⁾。

$$1 + A + B > 0,$$

$$1 - A + B > 0, \quad (24)$$

$$1 - B > 0.$$

それぞれを計算する。

$$1 + A + B = (4b_1b_2 - \theta^2)(1-r)^2\alpha_x\alpha_yx^Cy^C > 0$$

で常に正となる。ゆえに特性方程式は $\lambda = 1$ の解を持たない。しかし

$$1 - A + B = 4 + (4b_1b_2 - \theta^2)(1-r)^2\alpha_x\alpha_yx^Cy^C - 4(1-r)(b_1\alpha_x x^C + b_2\alpha_y y^C)$$

と

$$1 - B = (1-r) [2(b_1\alpha_x x^C + b_2\alpha_y y^C) - (1-r)(4b_1b_2 - \theta^2)\alpha_x\alpha_yx^Cy^C]$$

の符号は不決定であるので、クールノー均衡点の安定性はパラメータ値に依存する。

⁹⁾ 例えば Gandolfo (2009) などを参照。

2次元非線形動学方程式システム (19) 式が大域的にどのような動学を生み出しているかを確かめるために、パラメータの値を以下のように特定化し、数値シミュレーションを行う。

$$a_1 = a_2 = 10, b_1 = b_2 = 4, c_x = c_y = 5, r = 1/10, \theta = 4/5. \quad (25)$$

図6に α_x と α_y に関する2次元の分岐図が描かれている。パラメータ値は企業が同一であるように設定されているので、分岐図は45度線に対して対称になっている。この分岐図は以下の手続きで作成されている。まず α_x と α_y の定義域(0,1)を各200等分して、合計40000の調整係数の組み合わせをつくり、各組み合わせに対し、初期点を $x_0 = x^c + 0.005$, $y_0 = y^c$ に取り、動学システム(19)を1000回イテレーションする。得られたデータから初期変動の影響を取り除くために、最後の49回のイテレーションの値を使い周期解を求める。最大16周期までの周期解を色分けして分岐図が描かれている⁽¹⁰⁾。赤の領域は安定(収束)領域で、その周りに黄土色の2周期解の発生する領域、黄色の4周期解、緑色の8周期解の領域が形成されているが、周期が大きくなるに従い、領域が狭くなるので、峻別がつきにくくなっている。さらに16周期以上の周期解の領域に関しては全てグレーになっている。また、白い領域では解が発散している。図6の分岐図に、 $1 - B = 0$ 曲線(右下がりの双曲線)と $1 - A + B = 0$ 曲線(斜線部分の境界線)が上描きされている。左下の斜線部分において、 $1 - A + B > 0$, $1 - B > 0$ が成立するので、クールノー均衡点は小域的に安定である(赤色で斜線が引かれている領域)。 $1 - A + B = 0$ の条件のもとで、特性方程式の一つの解は $\lambda = -1$ になる。これは調整係数をさらに増加させ、その境界線(外側に凸の曲線)を横切る時に一つの固有値の絶対値が $|-1|$ より大きくなる事を意味するので、クールノー均衡点は不安定化する。そして、調整係数の値がさらに大きくなるに従い周期倍加を起こしながらより周期解の周期数が大きくなり、さらなる増加はカオスを含む複雑な動学を生み出す。右上の上部に位置する双曲線より上の領域でも $1 - A + B > 0$ が成立するが、そこでは $1 - B < 0$ となるので、

¹⁰⁾ 最大周期数を16に選んでいるのは全く便宜的なもので、理論的にはどのような数値で合っても構わない。しかし分岐図から推察されるように周期解を色分けする際に周期数が多くなると色分けするために必要な色の数も多くなり、色が足りなくなったり、類似の色を使わざるをえなくなり分岐図が見難くなる可能性が高まります。この種の分岐図を描く際に周期数16はよく選ばれる数値である。

クールノー均衡点はこの領域ですでに不安定化している。

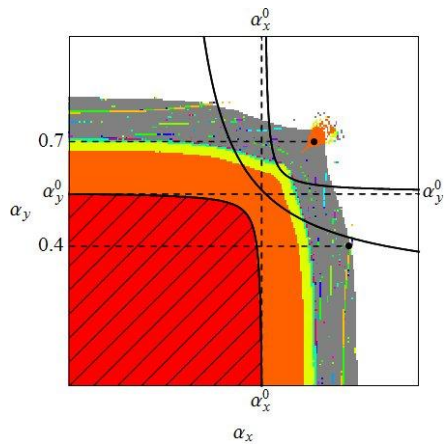


図 6. (α_x, α_y) 平面の 2 次元分岐図

調整速度の違いが動学に及ぼす影響を調べるために、追加的に二つのシミュレーションを行う。まず $\alpha_x = 0.5$, $\alpha_y = 0.625$ に固定する。動学システム (19) を 2500 回イテレーションして、最後の 1000 回のデータを取る。この数値計算の結果を (x, y) 平面に描いたものが図 7(A) の位相図である。軌道が 4 つの黒点で示される 4 周期解に収束していることがわかる。各企業の反応曲線 $x = r_x(y)$ と $y = r_y(x)$ が急勾配の直線と緩やかな勾配の直線として描かれている。二つの曲線の交点はクールノー均衡点である。図 7(B) では、 t が 988 回から 1000 回までの y の時系列データをプロットしてあり、4 周期が 3 回繰り返されている。

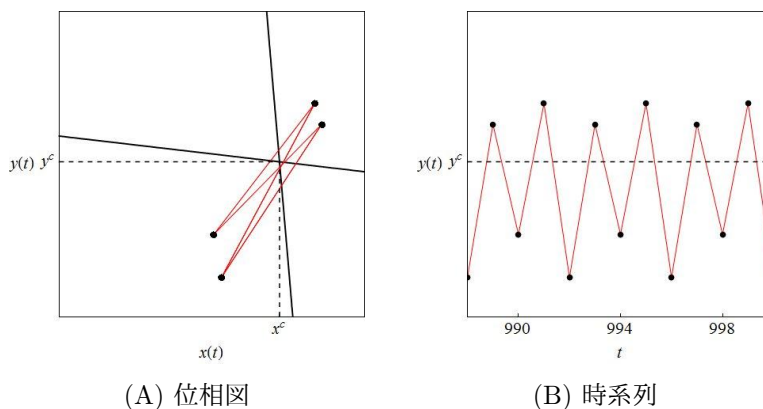


図 7. 4 周期解

次に $\alpha_x = 0.7$, $\alpha_y = 0.6$ に変更し、イテレーションの回数を 15000 回に増加し、最後の 10000 回のデータを図 8 にプロットした。図 8(A) は軌道が赤色

で示された集合 (アトラクターと呼ばれる) に時間経過とともに近づいていくことを意味する. 図 8(B) をみれば $t = 9950$ から $t = 10000$ の間で軌道は非周期的で収束も発散もせずに持続的に変動を繰り返していることが観察される. 軌道は非常に長い周期解である可能性があるが, カオスが発現している可能性もある.

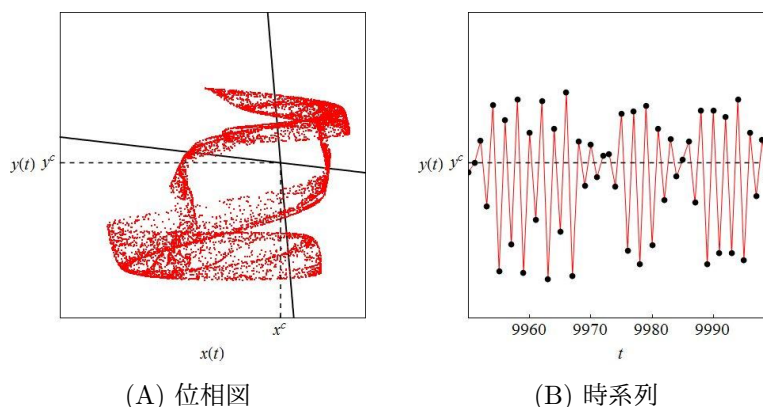


図 8. 非周期解

さらに調整速度の違いが動学に及ぼす影響を異なる側面から, ややシステムティックに考察する. 図 9 に α_x に関する 1 次元分岐を描いた. 図 9(A) では $\alpha_y = 0.4$ に固定し, α_x を 0 から 0.8 まで $1/800$ ずつ増加させ, 各 α_x 値に対し, 1500 回のイテレーションを行い, 最後の 500 回のデータをプロットしてある. 図 6 で縦軸 0.4 を通る点線に沿って α_x を増加している. $\alpha_x < \bar{\alpha}_x \simeq 0.536$ に対しては x^C を通る直線が描かれている. これは $\alpha_x < \bar{\alpha}_x$ に対して, 動学システムは安定で, 軌道が定常点に収束していることを示唆している. $\alpha_x = \bar{\alpha}_x$ で定常点は不安定化し, さらに α_x の増加に対して定常点が 2 周期解, 4 周期解, 8 周期解へと分岐し, さらに周期倍加を通じてカオスを含む複雑性のある動学が発生してくる様子が見て取れる. 図 9(B) では α_y を 0.7 に増加し, 同様の手続きを経て分岐図が描かれている. 図 6 から明らかなように $\alpha_y = 0.7$ をとおる点線は任意の $\alpha_x \geq 0$ に対して動学システムを不安定化させているので, 図 9(A) の分岐図とは異なる分岐図が描かれている. 以上より大きな値の調整速度は不安定効果がもち, その効果を次の命題としてまとめる.

命題 4 $\alpha_x < \alpha_x^0$ あるいは $\alpha_y < \alpha_y^0$ を分岐パラメータに選べば, 非線形動学システム (19) の定常点は漸近安定であるが, 調整係数値の増加により, 定常点は不安定化し, 周期倍加を通じてカオスを含む複雑な変動に分岐する.

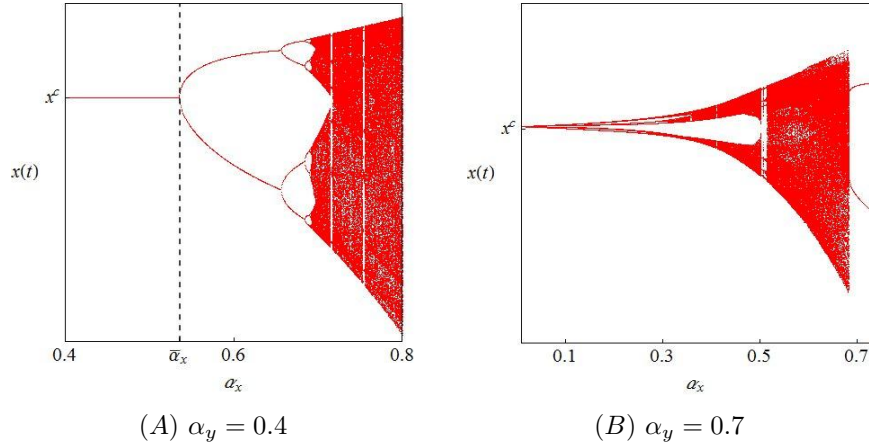


図9 分岐図

5 動学分析 III: 混合的期待形成

2章においては二つのターミナル・オペレータが静学的な期待形成を行うケース, 3章においては各オペレータが限定合理的であるとの想定のもとに勾配法により時期の生産量を決定するケースの定常点(クールノー均衡点)の安定性を考察した. 異なる期待形成であったが, 二つのオペレータが同じ方法で期待を形成していた. この章では各々の企業が異なる方法で生産決定を行うという異質的オペレータの動学を分析する. X 企業は限定合理的で, Y 企業は静学的な期待形成を行うと想定する. 動学システムは(16)式と(19)式の混合システムとなる.

$$\begin{aligned}
 x(t+1) &= x(t) + \alpha_x x(t) \frac{d\pi_x}{dx}, \\
 y(t+1) &= -\frac{\theta}{2b_2} x(t) + \frac{1}{2b_2} \left(a_2 - \frac{c_y}{1-r} \right).
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

定常点は $x(t+1) = x(t) = x^*$, $y(t+1) = y(t) = y^*$ を満たすので, 以下の連立方程式の解である.

$$\begin{aligned}
 \alpha_x x [(1-r)(a_1 - 2b_1 x - \theta y) - c_x] &= 0, \\
 -\frac{\theta}{2b_2} x + \frac{1}{2b_2} \left(a_2 - \frac{c_y}{1-r} \right) - y &= 0.
 \end{aligned}$$

このとき、二つの定常点 $e_0 = (0, y^M)$, $e_1 = (x^C, y^C)$ が得られる⁽¹¹⁾. e_0 と e_1 はそれぞれ動学システム (19) の定常点 E_3 と E_4 と同値である. 各定常点の安定性を調べるために、動学システム (26) を線形化する. ヤコビ行列を \mathbf{J}_H で表す (下付きの H は Hybrid を意味する).

$$\mathbf{J}_H(x^*, y^*) = \begin{pmatrix} a_{11} & -\alpha_x(1-r)\theta x^* \\ -\frac{\theta}{2b_2} & 0 \end{pmatrix} \quad (27)$$

ただし、

$$a_{11} = 1 + \alpha_x[(1-r)(a_1 - 4b_1x^* - \theta y^*) - c_x].$$

端点解 $e_0 = (0, y^M)$ は不安定であることを示すことができる.

命題 5 動学システム (26) の定常点 $e_0 = (0, y^M)$ は小域的に不安定である.

証明. $e_0 = (0, y^M)$ で評価されたヤコビ行列は

$$\mathbf{J}_H(0, y^M) = \begin{pmatrix} 1 + \alpha_x[(1-r)(a_1 - \theta y^M) - c_x] & 0 \\ -\frac{\theta}{2b_2} & 0 \end{pmatrix} \quad (28)$$

となり、対応する特性方程式は $\det(\mathbf{J}(0, y^M) - \lambda \mathbf{I}) = 0$ より

$$-\lambda\{1 + \alpha_x[(1-r)(a_1 - \theta y^M) - c_x] - \lambda\} = 0.$$

ここで

$$(1-r)(a_1 - \theta y^M) - c_x = [(1-r)a_1 - c_x] - \frac{\theta}{2b_2} [(1-r)a_2 - c_y] > 0$$

が $(c_x, c_y) \in \mathbf{C}$ について成立するので、特性根は

$$\lambda_1 = 0$$

$$\lambda_2 = 1 + \alpha_x[(1-r)(a_1 - \theta y^M) - c_x] > 1$$

であるので、 $e_0 = (0, y^M)$ は鞍点であることがわかる. \square

ナッシュ均衡解である $e_1 = (x^C, y^C)$ の安定性の吟味に移る. この点で評価したヤコビ行列は

$$\mathbf{J}_H(x^c, y^c) = \begin{pmatrix} 1 - \alpha_x(1-r)2b_1x^c & -\alpha_x(1-r)\theta x^c \\ -\frac{\theta}{2b_2} & 0 \end{pmatrix}. \quad (29)$$

¹¹⁾ 企業 X が静学的な期待、企業 Y が限定合理的であると想定すれば、定常点は $(x^M, 0)$ と (x^C, y^C) となる.

特性方程式は

$$\det(\mathbf{J}(x^C, y^C) - \lambda \mathbf{I}) = \lambda^2 + A\lambda + B$$

と展開できる。ただし、 $-A$ はヤコビ行列 \mathbf{J}_H の対角和、 B はその行列式に等しい。

$$A = -1 + \alpha_x(1-r)2b_1x^C,$$

$$B = -\frac{\theta^2}{2b_2}\alpha_x(1-r)x^C < 0.$$

ここで

$$A^2 - 4B = (-1 + \alpha_x(1-r)2b_1x^C)^2 + 2\frac{\theta^2}{b_2}\alpha_x(1-r)x^C > 0$$

であるから特性方程式の判別式は正であり、2つの実根を持つことが分かる。2次元線形動学システムの安定条件は (24) で与えられている。 $1 - B > 0$ は明らかである。他の二つの条件は

$$1 + A + B = \frac{\alpha_x(1-r)x^C}{2b_2} (4b_1b_2 - \theta^2) > 0, \quad (30)$$

$$1 - A + B = 2 - \alpha_x(1-r)x^C \frac{4b_1b_2 + \theta^2}{2b_2}.$$

$1 - A + B$ の正負に定常点の安定性・不安定性が依存する。(30) の第2式を α_x について解き、調整係数の臨界値を求められる。

$$\bar{\alpha}_x = \frac{4b_2}{(1-r)(4b_1b_2 + \theta^2)x^C}.$$

これにより以下の結果を得る。

命題 6 動学システム (26) の定常点 $e_1 = (x^C, y^C)$ は $\alpha_x < \bar{\alpha}_x$ のもとで小域的漸近安定である。

他の条件を一定とするならば、大きな値をとる調整係数 α_x は不安定化要因である。 $1 - A + B = 0$ の条件のもとで特性方程式は $\lambda = 1$ を一つの解とする。混合動学システム分岐 (26) はパラメータとして α_x を取れば $\alpha_x > \bar{\alpha}_x$ に対して、周期倍加分岐を通じてカオスが生み出す⁽¹²⁾。数値シミュレーションによりこの結果を確かめる。(25) で特定化したパラメータの値を使用する。二つの企業はこのパラメータ値のもとで同一なので $x^c = y^c$ である。 α_x を 0.1 から 0.8 まで 1/400 ずつ増加させ、各値に対して 700 回のイテレーションを行い、最後の 400 回の値をプロットした分岐図が図 10 に与えられている。赤の分岐図は限定合理的な X 企業、青の分岐図は静学的期待を持つ Y 企業

¹²⁾ 分岐図よりカオスが発生することは明らかであるが、正確には動学システム (26) の最大リヤプノフ指数が正であることを示せばよい。

の生産行動を示している。動学的には同質の変動をしている（たとえば、同じ $\alpha_x = \bar{\alpha}_x (\simeq 0.545)$ で不安定化し、周期倍加分岐を起こしている等々）が、X 企業の方が生産の揺れ幅がかなり大きいことが分かる。

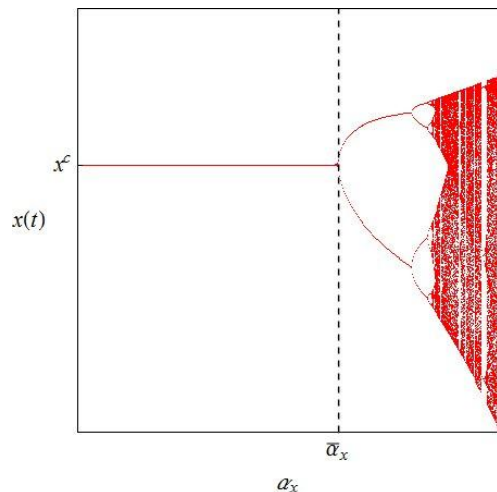


図 10 分岐図

さらに $\alpha_x = 0.8$ として、 (x, y) 平面上の位相図と $(t, y(t))$ 平面上に時系列をプロットしてみる。イテレーションは 10000 回行い、最初の 5000 回のデータは廃棄し、残りの 5000 回ののデータを使用する。図 11(A) を観察する。図 8(A) のアトラクターと比べると単純な構造を持っているように見えるが、よく知られている 2 次元力学系のヘノン写像のフラクタル構造をもつアトラクターと類似の構造を持っていることが示される。

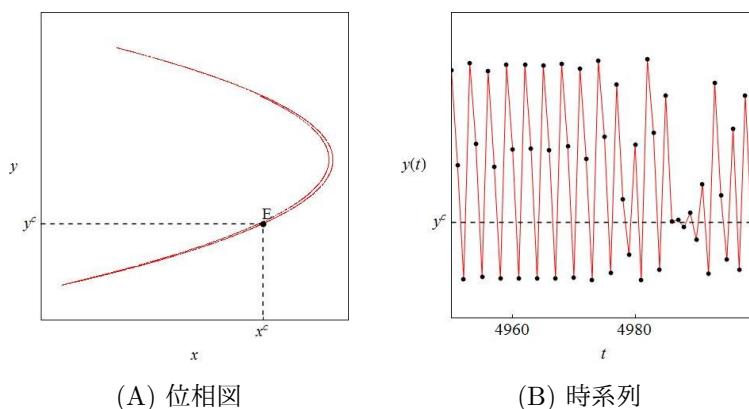


図 11. アトラクター

6 結語

本研究はコンテナ港湾のターミナル機能に注目し、港湾サービスの効率的な運営を理論的に考察することを目的としている。そのために、一つの港湾が二つのコンテナ・ターミナルを持ち、二つのターミナル・オペレータがクールノー競争を行うモデルを構築し、最適生産量の決定およびその動学的安定性を解析的・数理的に分析した。現実的には港湾サービスの市場は独占的である場合が多いが、そこに他のオペレータの参入を認めることにより競争を促進することで独占状況を排除できることを示した。

ベンチマークとしてまず教科書的なクールノーモデルを構築し、クールノー均衡点はユニークであること、静学的期待形成のもとでこの均衡点は小域的にも大域的にも漸近安定であることを明らかにした。各オペレータはいわゆる完全合理的な経済主体である。この結果を踏まえて、必ずしも完全な情報を得ることができない限定合理的ターミナル・オペレータの動学行動についても考察した。限定合理性の導入には様々な方法が考えられるが、ここでは利潤最大化を実現する最適値をワン・ショットで実現するのではなく、限界利潤の符号に応じて生産決定するオペレータを想定した。つまり、限界利潤が正であれば、生産を増加し、限界利潤が負であれば生産を減少させ、限界利潤がゼロであれば生産を変化させないという一種の模索行動を導入した。次いで、二つのオペレータが異なる方法により生産を決定するモデルを構築し、オペレータの異質性が動学に及ぼす効果を考察した。

得られた結果は以下にまとめられる：

- (1) 生産の調整係数が小さい場合には定常点は安定になるが、大きくなると不安定化するという意味で調整係数は不安定化要因になる。
- (2) 独占状態は第 2、第 3 の動学モデルの定常点になるが、市場への参入・退出の自由と市場規模が少なくとも MES の 2 倍以上のスケールを持つならば必ず不安定になる。
- (3) 定常点は不安定化するが、オペレータの行動様式に何らかの非線形性が含まれている場合には一定の範囲内で持続的な振動を繰り返す周期変動が生まれる。
- (4) 非周期変動（カオス変動）が発現する。

参考文献

- [1] Agiza, H. N. and A. A. Elsadany, Nonlinear dynamics in the Cournot duopoly game with heterogeneous players, *Physica A*, 320(2003), 512-524.
- [2] De Langen, P. and A. Pallis, Analysis of the Benefits of Intra-Port Competition, *International Journal of Transport Economics*, 33 (2006), 69-86.
- [3] Gandolfo, G., *Economic Dynamics, Fourth Edition*, Springer-Verlag (2009), Berlin/Heidelberg/New York.
- [4] Fu, X., Lijesen, M. and Oum. T., An analysis of airport pricing and regulation in the presence of competition between full service airlines and low cost carriers, *Journal of Transport Economic and Policy*, , 40(2006), 425-447.
- [5] Singh, N., and X. Vives, Price and quantity competition in a differentiated duopoly, *Rand Journal of Economics*, 15(1984), 546-554.
- [6] Theocharis, R. D., On the stability of the Cournot solution on the oligopoly problem, *Review of Economic Studies*, 27(1960), 133-134.
- [7] Yassen, M. T. and H. N. Agiza, Analysis of a duopoly game with delay bounded rationality, *Applied Mathematics and Computation*, 138(2003), 387-402.
- [8] World Bank (2000), Port Reform Toolkit.
- [9] Yip, T. L., Liu, J. J. and Fu. X., Modelling the effects of competition on seaports terminal awarding, *IAME 2010: Annual Conference on the International Association on Maritime Economists, Lisbon, Portugal, 7th-9th July 2010, 1-18*, <http://hdl.handle.net/10397/4727>.
- [10] 津村 貴之 「日本のコンテナ港湾の競争力再考」、岡山大学経済学会雑誌 42(2011), 41-62.