

マーケットモデルにもとづく API Economy の社会的厚生への分析

荒川 伸一[†] 今井 悟史[‡] 片桐 徹[‡]

関屋 元義[‡] 村田 正幸[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

[‡] (株) 富士通研究所 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4-1-1

E-mail: arakawa@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 情報サービスを API 化し、API を相互接続によりサービス価値を創造する API Economy が注目されている。本稿では、API の供給と消費の関係をマーケットとしてモデル化し、API 提供者が成す利益競争下での社会的利益を明らかにする。2 つの API 利用シナリオに対して、ベルトラン競争、クールノー競争、および、それらを組み合わせた競争戦略下での価格/供給量の均衡点を求め、数値例により社会的利益を拡大する競争戦略とパラメーター領域を明らかにした。また、API 同士の補完性を表すパラメーター値が社会的利益の拡大に重要となることもわかった。

キーワード API エコノミー, デジタルエコシステム, ベルトラン/クールノー競争, 社会的厚生

Social welfare of API economy under the Bertrand/Cournot Competition

Shin'ichi Arakawa[†] Satoshi Imai[‡] Toru Katagiri[‡]

Motoyoshi Sekiya[‡] and Masayuki Murata[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

[‡] Fujitsu Laboratories Ltd., Japan

E-mail: arakawa@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract API Economy is expected to increase collaboration between information services, and thereby, is expected to increase market value from service innovations. In this paper, we introduce a market model for API economy, and clarify social welfare under several competitive model between API providers. Numerical examples show that Bertrand competition outperforms other competition over a wide range of parameter, although Cournot competition performs best under a specific parameter. We also show that the parameter representing complementarity between APIs is important for increasing the social welfare.

Keywords API Economy, Digital Ecosystem, Bertrand Competition, Cournot Competition, Social Welfare

1. はじめに

ネットワークの高速化やクラウド技術の進展を背景に、ネットワークを利用する様々なアプリケーション・サービスが登場しており、最近では、企業等が抱える情報処理を API 化やデータ提供そのものを API 化し、API を用いてサービスを連結し新たな価値を生み出す API Economy が注目されている[1]。API Economy では、図 1 に示すように、サービス提供者とユーザーがプラットフォームに接続し、API を介してサービスの供給と消費がなされる。サービスを「財」と見做せば、

API Economy は市場経済 (Market Economy) であり、プラットフォームはマーケットとなる。

市場経済に関連する研究は 19 世紀から始まり、市場のモデル化や市場経済で行われる競争のモデル化が広くなされている[2]。市場モデルを情報通信システムに導入した研究としては、文献[3-5]がある。文献[3]では、サービス提供者とサービスを配送するネットワーク事業者の競争モデルを導入し、設備投資によるサービス品質向上やネットワーク性能向上の効用を明らかにしている。文献[4]では、サービス提供者が量およか

び品質を決定できるものとして、価格と供給量の均衡点を導出している。文献[5]では、ソフトウェアシステムを対象とし、OS 提供者と OS 上で動作するアプリケーション提供者の競争モデルの選択による社会的厚生 (Social Welfare) の差異を明らかにしている。なお、社会的厚生は、提供者らの利益とユーザーが享受する利益を合わせたものであり、2.3 節で詳しく述べる。

本稿では、API Economy を対象とし、API の売買がなされるマーケットのモデル化を行う。モデル化の目的はマーケットの振る舞いを理解することである。そこで本稿では、API Economy のマーケットモデルをもとに、サービス提供者が採用する競争原理を変えつつ、マーケットを介して得られる利益の最適性を論じる。API Economy においては、API が別の API を呼び出すことが想定される。従って、文献[5]を参考に、OS 提供者を親 API、アプリケーション提供者らの子 API と見立て、マーケットのモデル化を 2 章で行う。ただし、OS/アプリケーションで想定される関係とは異なり、API Economy では親 API の代替も考慮する必要がある。3 章では、親 API が 2 つある場合のマーケットモデルを導入し、価格競争下での社会的厚生を提示する。

2. API Economy のマーケットモデル

2.1. API 利用シナリオ

API Economy のマーケットモデルを導入するにあたり、想定する API の利用シナリオを説明する。なお、ここではユーザーが API A のみを利用する場合を考える。API A の提供者 A は、API A の提供にあたって API 1 および API 2 を利用する。API 1 と API 2 の間には、提供機能の補完性が規定される。補完関係にある場合は提供者 API 1 と API 2 の双方を使って API A を提供する。一方、代替関係にある場合、API 1 と API 2 は代替可能であり、提供者 A は、価格に応じて API 1 もしくは API 2 を選択して API A を提供する。以降では、API 1 と API 2 の補完性を表すパラメーター c を導入し、API Economy のマーケットモデル、すなわち、各 API の需要と提供価格の関係を規定する。

2.2. マーケットモデル

2.2.1. 需要関数 q

本稿では API A は API 1 および API 2 を利用する場合を考えるが、仮に API A が他の API を利用しない場合の API A の需要量 q_A [volume/period] を、

$$q_A(p_A, p_1, p_2) = a_A - b_A \cdot p_A \quad (1)$$

で与える。 a_A [volume/period] は、API A の価格 p_A [price/volume] が 0 の場合の需要量を表す。また、係数 b_A [volume*volume/(period*price)] は価格の上昇に対する需要量の減少率である。なお、価格と需要量は線形関係にあると仮定している。

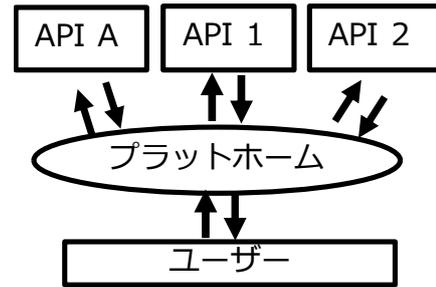


図 1 API Economy の構成例

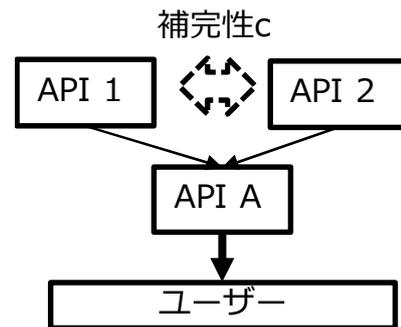


図 2 API 利用シナリオ

式(1)をもとに、API A が API 1 および API 2 を利用する場合に拡張する。API A の需要量 q_A は、API 1 および API 2 の価格 p_1 と価格 p_2 に依存して定まり、価格が上昇するとともに需要は減少する。すなわち、

$$q_A(p_A, p_1, p_2) = a_A - b_A \cdot p_A - d_1 \cdot p_1 - d_2 \cdot p_2$$

である。 d_1 [volume*volume/(period*price)] は、API 1 の価格上昇に伴う API A の需要量の減少率である。 d_2 も同様である。API 1 および API 2 の需要量 q_1, q_2 は、

$$q_1(p_A, p_1, p_2) = a_1 - b_1 \cdot p_1 - d_{A,1} \cdot p_A + c \cdot p_2$$

$$q_2(p_A, p_1, p_2) = a_2 - b_2 \cdot p_2 - d_{A,2} \cdot p_A + c \cdot p_1$$

で表される。 a, b に関わる係数は、 q_A に対して与えた a_A, b_A と同様に定義される。 $d_{A,1}$ は、API A の価格上昇に伴う API 1 の需要量の減少率であり、 $d_{A,2}$ は、API A の価格上昇に伴う API 2 の需要量の減少率である。パラメーター c [volume*volume/(period*price)] は、提供者 1 が提供する API 1 と、提供者 2 が提供する API 2 の補完性を表す。 c が正の場合、価格 p_2 の上昇とともに需要 $q_1(p_A, p_1, p_2)$ が増す。すなわち、API 1 は API 2 の代用可能な API であることを示す。一方、 c が負の場合、価格 p_2 の上昇とともに需要 $q_1(p_A, p_1, p_2)$ が減少し、価格 p_2 の下落とともに需要 $q_1(p_A, p_1, p_2)$ が増大する。すなわち、API 1 と API 2 は需要量に関する補完関係にある。

2.2.2. 価格関数 p

次に、上記の需要量関数 $q_A(p_A, p_1, p_2)$ 、 $q_1(p_A, p_1, p_2)$ 、 $q_2(p_A, p_1, p_2)$ を用いて、価格関数 $p_A(q_A, q_1, q_2)$ 、 $p_1(q_A, q_1, q_2)$ 、

$p_2(q_A, q_1, q_2)$ を導く。表記の簡単化のため、 $q_A(p_A, p_1, p_2)$ 、 $q_1(p_A, p_1, p_2)$ 、 $q_2(p_A, p_1, p_2)$ をそれぞれ q_A 、 q_1 、 q_2 と書く。また、ここでは $a_1 = a_2 = a$ 、 $d_1 = d_2 = d_{A,1} = d_{A,2} = d$ とし、さらに係数 b_A, b_1, b_2 が1となるよう正規化が施されるものとする。すなわち、需要関数を、

$$q_A = a_A - p_A - d \cdot p_1 - d \cdot p_2 \quad (2)$$

$$q_1 = a - p_1 - d \cdot p_A + c \cdot p_2 \quad (3)$$

$$q_2 = a - p_2 - d \cdot p_A + c \cdot p_1 \quad (4)$$

と書く。式(3)と式(4)から $(q_1 - q_2) = -p_1 + p_2 + cp_2 - cp_1$ が成立し、

$$p_2 = \frac{(q_1 - q_2)}{(1+c)} + p_1 \quad (5)$$

が導かれる。式(2)と式(3)を用いて p_A を打ち消し、式(5)を用いて $p_1(q_A, q_1, q_2)$ を解くと、

$$(2d^2 + c - 1)p_1 = -dq_A + \frac{(1-d^2)q_1}{(1+c)} + \frac{(d^2+c)q_2}{(1+c)} + da_A - a_1 \quad (6)$$

となる。同様に、

$$(2d^2 + c - 1)p_2 = -dq_A + \frac{(1-d^2)q_2}{(1+c)} + \frac{(d^2+c)q_1}{(1+c)} + da_A - a_2 \quad (7)$$

を求め、これらの関係式を式(2)に代入し、 $p_A(q_A, q_1, q_2)$ を求めると、

$$\{2d^2 + c - 1\}p_A = (1-c)q_A - dq_1 - dq_2 + \{c-1\}a_A + 2d \cdot a \quad (8)$$

2.2.3. 提供者利益 π

API{A, 1, 2}の提供者の利益は、それぞれ、

$$\pi_A = p_A \cdot q_A \quad (8)$$

$$\pi_1 = p_1 \cdot q_1 \quad (9)$$

$$\pi_2 = p_2 \cdot q_2 \quad (10)$$

となる。なお、API提供のコストを考慮したい場合は、提供者の利益からコストを減じれば良い。

2.3. 事業者利益 M

API Economy の場を提供するプラットフォーム事業者（以降、事業者）も、マーケットの経済活動を通して収益を得る。収益の源泉の1つは、APIの提供者利益 $\{\pi_A, \pi_1, \pi_2\}$ であり、例えば提供者利益の一定率を事業者の収益として得るなどが考えられる。一方で、APIの利用者もプラットフォームに接続することで便益を得ており、例えば利用者接続料を徴収するなどの形で収益を得ることも考えられる。一般に事業者収益の形態は様々であり、具体化することは難しい。

そこで本稿ではマーケットを提供することによって得られる社会的厚生を、事業者利益 M として定める。すなわち、

$$M = \pi_A + \pi_1 + \pi_2 + CS_A + CS_1 + CS_2 \quad (11)$$

とする。 CS_A, CS_1, CS_2 は、消費者余剰 (Consumer Surplus) であり、

$$CS_i = 1/2 \times q_i (p_i^{max} - p_i), \quad i = \{A, 1, 2\},$$

で与えられる。例えば API A の消費者余剰 CS_A では、 p_A^{max} は API Aの最大価格であり、最大価格からの減少に応じて消費者余剰が増大する。 p_A^{max} は API Aの価格の最大値であり、その際には需要が0であることから $p_A^{max} = a_A$ となる。これより、 $CS_A = q_A (a_A - p_A)/2$ 、 $CS_1 = q_1 (a - p_1)/2$ 、 $CS_2 = q_2 (a - p_2)/2$ が得られる。

式(11)で定める事業者利益 M はマーケットの提供により得られる社会的厚生であり、社会的厚生の一部を事業者の収益とする前提をおくと、 M を高めるマーケットの運用が事業者に求められる。例えば API 提供にあたっての価格設定の戦略を提言したり、新たな API の創発を提供者に促すことが考えられる。

次節では、2.2 節で述べたマーケットモデルに対して提供者間の競争モデルを導入し、いくつかの競争モデルとパラメーター c や d に対する M の振る舞いを明らかにする。

2.4. 競争モデル

提供者 A, 1, 2 は、自身の提供者利益の最大化を目的としてマーケットに参入する。提供者利益は価格と需要の積で定まるため、API 提供者は需要もしくは価格を操作することによって、提供者利益の最大化を図る。なお、操作の対象となる「需要」は、API Economy においては API の発行量 [volume/period]に相当する。例えば API の発行量を少なくすることで、利用したいユーザーが支払う価格を吊り上げ、提供者利益を高める操作がなされる。価格を操作する場合は、例えば価格を下げることで需要を増大させて提供者利益を高める。ただし、式(2)より、提供者Aの価格減少に対して提供者1や提供者2も操作を行うため、自身の提供者利益が増加するとは限らない。

API 提供者は経済学用語で言う生産者であり、一般に生産者が価格を操作して利益最大化を図る競争をベルトラン競争 (Bertran Competition) と呼ぶ。また、生産者が生産量を操作して利益最大化を図る競争をクールノー競争 (Cournot competition) と呼ぶ。ただし、図2の API 利用シナリオでは、提供者A, 1, 2 はそれぞれが操作対象を定めることができる。提供者が価格を操作する時は B、発行量を操作する時 C と書くと、提供者の競争戦略 ϕ は $\{\phi_A, \phi_1, \phi_2\}$ と表記される。例えばすべての提供者が価格を操作する場合 $\phi = \{B, B, B\}$ となる。

2.4.1. ベルトラン競争

本節では、 $\phi = \{B, B, B\}$ 、すなわち、提供者 A, 1, 2 すべてが価格を操作することによって利益を最大化する競争を対象とし、価格および需要の均衡点を導出する。均衡点では、 $\partial \pi_A / \partial p_A = 0$ 、 $\partial \pi_1 / \partial p_1 = 0$ 、 $\partial \pi_2 / \partial p_2 = 0$ を満たす。よって、

$$\partial \pi_A / \partial p_A = \partial [p_A \cdot \{a_A - p_A - d \cdot p_1 - d \cdot p_2\}] / \partial p_A = 0$$

$$\partial\pi_1/\partial p_1 = \partial[p_1 \cdot \{a - p_1 - d \cdot p_A + c \cdot p_2\}]/\partial p_1 = 0$$

$$\partial\pi_2/\partial p_2 = \partial[p_2 \cdot \{a - p_2 - d \cdot p_A + c \cdot p_1\}]/\partial p_2 = 0$$

であり、これらの式から

$$p_A = (a_A - d \cdot p_1 - d \cdot p_2)/2 \quad (12)$$

$$p_1 = (a - d \cdot p_A + c \cdot p_2)/2 \quad (13)$$

$$p_2 = (a - d \cdot p_A + c \cdot p_1)/2 \quad (14)$$

となる。これを解くと、ベルトラン競争下における最適価格

$$(4 - 2c - 2d^2)p_A = (2 - c)a_A - d \cdot 2a \quad (15)$$

$$p_1 = p_2 = \frac{-d \cdot a_A + 2a}{2(2 - c - d^2)} \quad (16)$$

が得られる。式(15)、式(16)を式(2)~式(4)に代入すると最適価格時の需要 q が求まり、提供者利益 π ならびに事業者利益 M が算出される。スペースの制約のため、算出式は省略する。

2.4.2. ベルトラン・クールノー競争

次に、 $\phi = \{B, C, C\}$ 、すなわち、提供者 A は価格を操作し、提供者 1, 2 は API 発行量 (需要) を操作することによって利益を最大化する競争を対象とし、価格および需要の均衡点を導出する。

まず、均衡点における提供者の最適操作を $\{p_A^*, q_1^*, q_2^*\}$ と書く。API A の供給量は式(2)より

$$q_A = a_A - p_A^* - d \cdot (p_1 + p_2) \quad (17)$$

であり、また、式(3)と式(4)から

$$(p_1 + p_2) = \frac{-2dq_A + q_1^* + q_2^* + 2da_A - 2a}{\{2d^2 + c - 1\}} \quad (18)$$

であるので、式(17)と式(18)から

$$q_A = a_A - p_A - d \cdot \frac{-2dq_A + q_1^* + q_2^* + 2da_A - 2a}{\{2d^2 + c - 1\}}$$

であり、これを整理すると、

$$q_A = \frac{\{1 - c\}a_A + \{2d^2 + c - 1\}p_A^* + dq_1^* + dq_2^* - 2da}{\{1 - c\}} \quad (19)$$

を得る。また、式(3)と、式(4)の両辺を c 倍して、

$$q_1^* + cq_2^* = a + ca - p_1 - dp_A^* - cd \cdot p_A^* + c^2 \cdot p_1$$

から、

$$(1 - c^2)p_1 = -q_1^* - cq_2^* + a(1 + c) - d(1 + c)p_A^* \quad (20)$$

同様に、

$$(1 - c^2)p_2 = -q_2^* - cq_1^* + a(1 + c) - d(1 + c)p_A^* \quad (21)$$

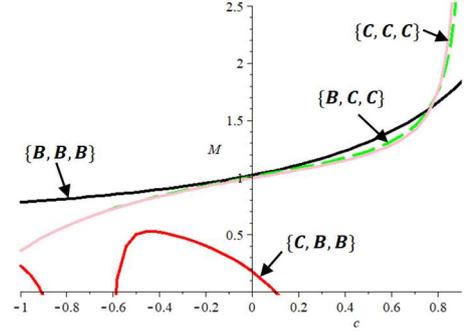
が得られる。

均衡点では、 $\partial\pi_A/\partial p_A=0$, $\partial\pi_1/\partial q_1=0$, $\partial\pi_2/\partial q_2=0$ を満たす。まず、 $\partial\pi_A/\partial p_A=0$ より、

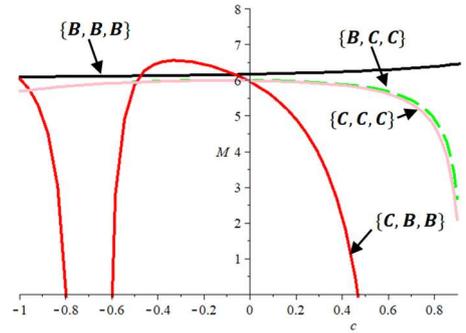
$$2 \cdot \{2d^2 + c - 1\}p_A^* = 2da - (1 - c)a_A - dq_1^* - dq_2^* \quad (22)$$

次に、 $\partial\pi_1/\partial q_1=0$, $\partial\pi_2/\partial q_2=0$ より、

$$2 \cdot q_1^* = -cq_2^* + a(1 + c) - d(1 + c)p_A^* \quad (23)$$



(a) $a = 1.0$, $a_A = 1.1$



(b) $a = 1.0$, $a_A = 4.0$

図3 事業者利益 M : $d = 0.2$ 、競争戦略

$$\{B, B, B\}, \{B, C, C\}, \{C, B, B\}, \{C, C, C\}$$

$$2 \cdot q_2^* = -cq_1^* + a(1 + c) - d(1 + c)p_A^* \quad (24)$$

を得る。これを解き、

$$p_A^* = \frac{1(c^2a_A + ca_A + 2da - 2a_A)}{2(c^2 + cd^2 + c + 3d^2 - 2)} \quad (25)$$

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1(-dc^2a_A + 2ac^2 + 2cd^2a + 2d^2a + da_A - 2a)}{2(c^2 + cd^2 + c + 3d^2 - 2)} \quad (26)$$

から最適操作 $\{p_A^*, q_1^*, q_2^*\}$ に対する q_A , p_1 , p_2 求め、提供者利益 π ならびに事業者利益 M を算出する。

2.4.3. クールノー競争

$\phi = \{C, C, C\}$ の場合、最適操作 $\{q_A^*, q_1^*, q_2^*\}$ に対する価格が式(7)、式(8)、式(9)で得られている。これと $\partial\pi_A/\partial q_A=0$, $\partial\pi_1/\partial q_1=0$, $\partial\pi_2/\partial q_2=0$ から q_A^*, q_1^*, q_2^* を求めて提供者利益 π ならびに事業者利益 M を算出する。

2.4.4. クールノー・ベルトラン競争

$\phi = \{C, B, B\}$ の場合も同様に、最適操作 $\{q_A^*, p_1^*, p_2^*\}$ に対する応答 $\{p_A, q_1, q_2\}$ を $\{q_A^*, p_1^*, p_2^*\}$ について解き、 $\partial\pi_A/\partial q_A=0$, $\partial\pi_1/\partial p_1=0$, $\partial\pi_2/\partial p_2=0$ から q_A^*, p_1^*, p_2^* を求めて提供者利益 π ならびに事業者利益 M を算出する。

2.5. 数値例

本節では、競争モデルの違いによる事業者利益の差異を明らかにし、また、パラメーター d やパラメーター c が事業者利益にもたらす影響を明らかにする。

図3は、補完性を表すパラメーター c に対する事業者利益 M を、各競争戦略 ϕ に対して求めた結果である。

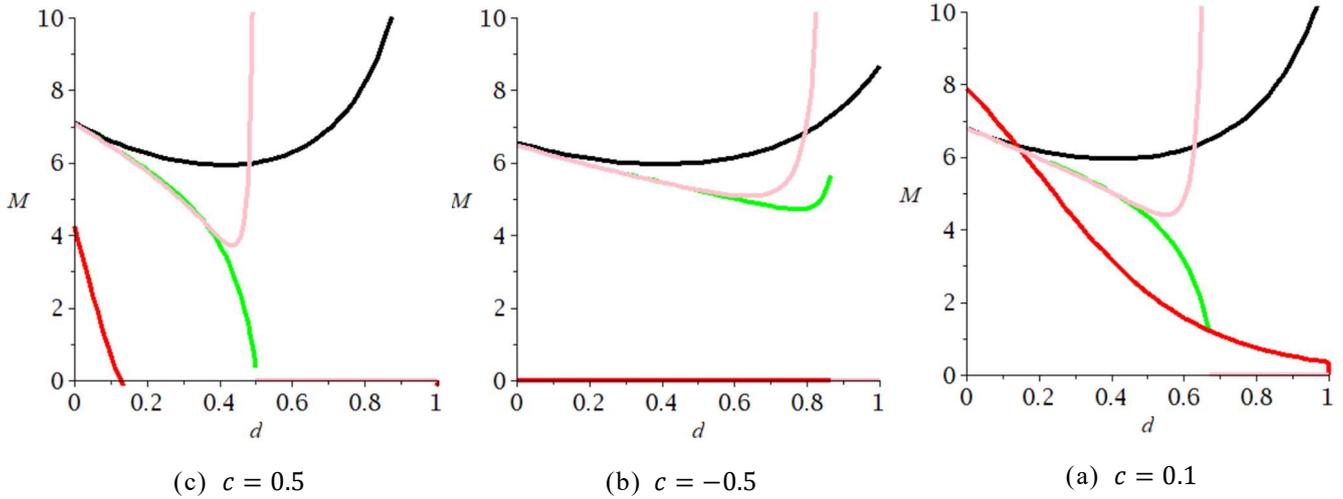


図 4 事業者利益 M : $a = 1.0$, $a_A = 4.0$

ここでは $a = 1.0$, $d = 0.2$ とし、 $a_A = 1.1$ とした時の結果を図 3(a)、 $a_A = 4.0$ とした時の結果を図 3(b) に示している。なお、パラメータ d やパラメータ c は、マーケットへの参画者らが直接的に操作するものではなく、マーケットモデルの範囲外で行われる API 開発等によって結果として操作されるものである。

図 3(a) を見ると、競争戦略 $\{C, B, B\}$ では事業者利益が生じるパラメータ c の領域が狭く、かつ、そのパラメータ領域においても事業者利益は少ないことがわかる。 $\{B, B, B\}$ や $\{B, C, C\}$ 、 $\{B, C, C\}$ は多くのパラメータ領域で概ね同じ事業者利益となるが、 $c > 0.8$ の場合は API 1 と API 2 がクールノー競争を採用することで、事業者利益は最適（最大）となる。一方、図 3(b) を見ると、 $a_A = 4.0$ であることから API A の需要が多く、API A の競争戦略に依存して事業者利益の振る舞いが変わることがわかる。事業者利益を最適にするのは競争戦略 $\{C, B, B\}$ かつ一部のパラメータ領域であるが、競争戦略 $\{B, B, B\}$ の方が、多くのパラメータ領域で高い事業者利益を得ることが可能となる。同様の傾向は、パラメータ c を固定し、パラメータ d を変化させた図 4 でも観察される。

3. マーケットモデルの拡張

3.1. 拡張モデル

本章では、図 2 に示した API 利用シナリオを拡張し、ユーザーが API A もしくは API B を利用し、かつ、これらの API が subAPI (1~4) を利用する環境 (図 5) での事業者利益 M^{ext} を導出する。需要関数は、以下の通りとする。

$$q_A = a_A - p_A - d^A(p_1 + p_2) + C_{AB} \cdot p_B \quad (27)$$

$$q_1 = a_1 - d^A p_A - p_1 + c_{12} \cdot p_2$$

$$q_2 = a_2 - d^A p_A - p_2 + c_{12} \cdot p_1$$

$$q_B = a_B - p_B - d^B(p_5 + p_6) + C_{AB} \cdot p_A \quad (28)$$

$$q_5 = a_5 - d^B p_B - p_5 + c_{56} \cdot p_6$$

$$q_6 = a_6 - d^B p_B - p_6 + c_{56} \cdot p_5$$

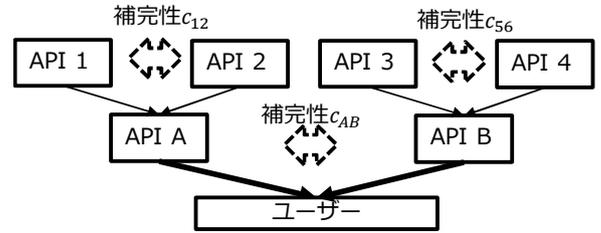


図 5 API 利用シナリオの拡張

式 (27) と式 (28) において、API A と API B の補完性を表すパラメータ C_{AB} を通した需要の変化が新たに追加されている。また、簡単化のため、 $a_A = a_B$ とし、 $a_1 = a_2 = a$, $d^A = d^B = d$ とし、 $c_{12} = c_{56} = c$ とする。すなわち、

$$q_A = a_A - p_A - d(p_1 + p_2) + C_{AB} \cdot p_B$$

$$q_1 = a - d p_A - p_1 + c_{12} \cdot p_2$$

$$q_2 = a - d p_A - p_2 + c_{12} \cdot p_1$$

$$q_B = a_A - p_B - d(p_5 + p_6) + C_{AB} \cdot p_A$$

$$q_5 = a - d p_B - p_5 + c_{56} \cdot p_6$$

$$q_6 = a - d p_B - p_6 + c_{56} \cdot p_5$$

を需要関数とする。2 章と同様に、需要関数から価格関数を導出し、

$$p_1 = r_1 q_A + r_2 q_B + r_3 q_1 + r_4 q_2 + r_5 q_3 + r_5 q_4 - r_6$$

$$p_2 = r_1 q_A + r_2 q_B + r_4 q_1 + r_3 q_2 + r_5 q_3 + r_5 q_4 - r_6$$

$$p_3 = r_2 q_A + r_1 q_B + r_5 q_1 + r_5 q_2 + r_3 q_3 + r_4 q_4 - r_6$$

$$p_4 = r_2 q_A + r_1 q_B + r_5 q_1 + r_5 q_2 + r_4 q_3 + r_3 q_4 - r_6$$

$$p_A = r_7 q_A + r_8 q_B + r_1 q_1 + r_1 q_2 + r_2 q_3 + r_2 q_4 - r_9$$

$$p_B = r_8 q_A + r_9 q_B + r_2 q_1 + r_2 q_2 + r_1 q_3 + r_1 q_4 - r_9$$

を得る。ただし、各係数は以下である。

$$r_1 = d(2d^2 + c - 1) \times M$$

$$r_2 = (c - 1)C_{AB}d \times M$$

$$r_3 = \frac{-(C_{AB})^2 + c(C_{AB})^2 + 2d^4 + cd^2 - c - 3d^2 + 1}{(1+c)} \times M$$

$$r_4 = \frac{(-2d^4 - c^2 - 3cd^2 + c^2(C_{AB})^2 + c - c(C_{AB})^2 + d^2)}{(1+c)} \times M$$

$$r_5 = C_{AB} d^2 \times M$$

$$r_6 = (aC_{AB} + da_A - a) \times \frac{1}{C_{ABC} - C_{AB} - c + 1 - 2d^2}$$

$$r_7 = (-2c + 1 + c^2 - 2d^2 + 2cd^2) \times M$$

$$r_8 = C_{AB}(1 - 2c + c^2) \times M$$

$$r_9 = (ca_A + 2da - a_A) \times \frac{1}{C_{ABC} - C_{AB} - c + 1 - 2d^2}$$

$$M = \frac{1}{(-1 + 4d^2 + 2c - c^2 - 4d^4 + (C_{AB})^2 - 4cd^2 - 2c(C_{AB})^2 + c^2(C_{AB})^2)}$$

$$= \frac{1}{(C_{AB} \cdot c - c + 1 - C_{AB} - 2d^2) \cdot (C_{AB} \cdot c + c - 1 - C_{AB} + 2d^2)}$$

3.2. ベルトラン競争にもとづく均衡点の導出

拡張モデルにおいても、提供者らの操作対象に応じてベルトラン競争、クールノー競争もしくはそれらの組み合わせによる競争がなされる。2章の結果を見ると、多くのパラメータ領域で $\phi = \{B, B, B\}$ による事業者利益が高くなっているため、拡張モデルでは、すべての提供者が価格を操作することによって提供者利益を最大化するベルトラン競争のみを対象とする。ベルトラン競争下での均衡点は、 $\partial\pi_i/\partial p_i = 0$, $i = \{A, B, 1, 2, 3, 4\}$ を満たすことから、最適価格 p_i^* は、

$$p_1^* = p_2^* = (-da_A - aC_{AB} + 2a) \times Q$$

$$p_3^* = p_4^* = (p_1^* = p_2^*) = (-da_A - aC_{AB} + 2a) \times Q$$

$$p_A^* = p_B^* = (-ca_A + 2a_A - 2da) \times Q$$

$$Q = \frac{1}{(C_{AB}c - 2C_{AB} - 2a^2 - 2c + 4)}$$

となり、事業者収益 M^{ext} を得る。

3.3. 数値例 (拡張モデル)

利用シナリオに関する2章と3章の差異を、新たなAPIの参入と捉え、マーケットの振る舞いとして興味があるのは参入によって利益が減少するか否かである。そこで、各パラメータ値に対する事業者利益の比の振る舞いを調べる。なお、競争戦略 $\phi = \{B, B, B\}$ で得られる事業者利益を M^{base} と書く。

図6は各パラメータに対して M^{ext}/M^{base} を求めた結果である。図を見ると、 C_{AB} が正である時、すなわち、API AとAPI Bが代替関係にある時に、事業者利益は増加することがわかる。この傾向は subAPI 同士の補完性 c が負である場合でも保持される。逆に、 C_{AB} が負である時は、subAPI 同士の補完性 c が正負いずれの場合においても事業者利益は減少する。図7は $M^{ext}/M^{base} > 1$ となるパラメータ領域を塗りつぶし表示した結果であり、この図からも、 C_{AB} が正であることが事業者利益の拡大につながると言える。ただし、 $d \geq 0.65$ 、すなわちAPIの需要が親APIの価格に大きく依存する場合は、事業者利益は縮小することも図7から読み取れる。

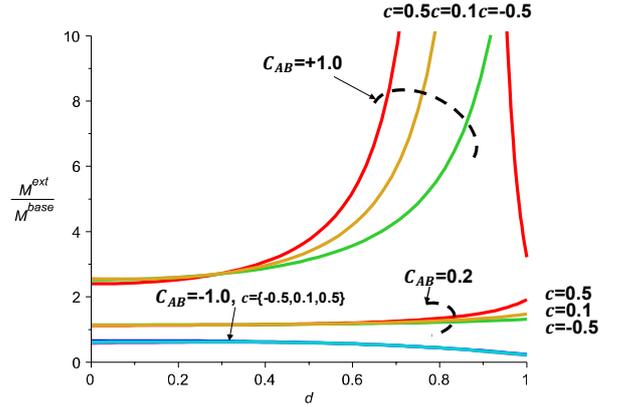


図6 M^{ext}/M^{base} : $a = 1.0$, $a_A = 4.0$

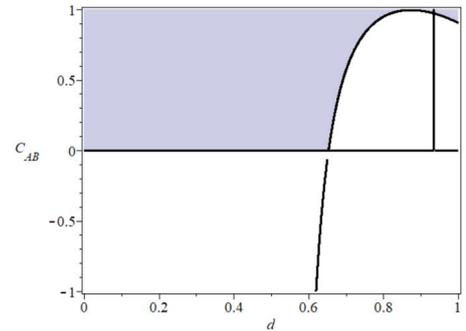


図7 $M^{ext}/M^{base} > 1$ となるパラメータ領域:

$$a = 1.0, a_A = 4.0, c = 0.3$$

4. まとめと今後の課題

本稿では、API Economyを対象とし、2つのAPI利用シナリオに対するマーケットの振る舞いをモデル化し、各競争戦略や各パラメータに対する事業者利益の振る舞いを明らかにした。数値例により、多くのパラメータ領域でベルトラン競争が優れていることがわかった。また、API同士の補完性が事業者利益の拡大に重要となることを明らかにした。今後の課題として、APIの提供品質をマーケットモデルに組み入れることが挙げられる。

参考文献

- [1] M. Bonardi et al., "Fostering collaboration through API economy: The E015 digital ecosystem," in *Proc. of IEEE/ACM International Workshop on SER&IP*, pp. 32-38, May 2016.
- [2] E. Helpman and P. Krugman, "Market Structure and Foreign Trade," MIT press, Apr. 1985.
- [3] Z. Zhang, P. Nabipay, A. Odlyzko, R. Gurin, "Interactions, competition and innovation in a service-oriented Internet: An economic model," in *Proc. of IEEE INFOCOM 2010 Mini-Conference*, pp. 46-50, March 2010.
- [4] A. Nagurney et al., "A Network Economic Game Theory Model of a Service-Oriented Internet with Choices and Quality Competition," *Netnomics*, vol. 14, pp. 1-25, May 2013.
- [5] L. Fanti and D. Buccella, "Cournot and Bertrand Competition in the Software Industry," *Economics Research International*, vol. 5, Nov. 2015.