

特別研究報告

題目

時間発展型市場モデルを用いた API エコノミーの市場ダイナミクスの分析

指導教員

村田 正幸 教授

報告者

吉海 皓貴

2022年2月8日

大阪大学 基礎工学部 情報科学科

内容梗概

ネットワークの高速化技術やクラウド技術などのネットワーク技術の発展に伴い、ネットワーク上でのアプリケーション・サービスが多くの人に普及している。企業の情報処理やデータ提供といったサービスを API 化し、その API を用いてサービスを連結することで新たな価値を生み出す API エコノミーが注目されている。API エコノミーでは、サービス提供者とコンシューマ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行われる。サービスを「財」と見做せば、API エコノミーは市場経済 (Market Economy) であり、プラットフォームは市場となる。現実の市場では、プラットフォームによる機能への投資や市場参加者への報酬の調整といったプラットフォーム戦略は時間とともに変化する。したがって、ある一定の条件における均衡状態を捉えるのではなく、時間とともに市場参加者数が変化する市場の振る舞いを捉えることは、現実のプラットフォームがとるべき戦略を明らかにするうえで重要である。

本報告では、時間とともに参加者数が変化する市場の振る舞いを捉えることを目的とし、時間発展型の市場モデルを示す。具体的には、サービス提供者とコンシューマーに加え、サービス提供者に API を提供する API 提供者が参加しているプラットフォームの時間発展型の市場モデルを示す。その上で、これらの市場モデルを用いて市場参加者の拡大やエコシステム形成において API 提供者が果たす役割を明確化する。モデルを用いた分析の結果、API 提供者を含むプラットフォームは、API 提供者が不在のプラットフォームと比較して市場参加者数が 67% 増加し、サービス構築コストが 25% 低下することがわかった。さらに、プラットフォームの拡大期には、有料コンシューマーからの収益の 70% をサービス提供者および API 提供者に配分することによって、三者の利益が等しくなる共生が実現可能であることもわかった。一方で、プラットフォームの成熟期には、競争によってサービス提供者および API 提供者の利益が著しく減少し、プラットフォームの利益が増加することも明らかとなった。このとき、API 提供者を含むプラットフォームでは、プラットフォームの使用料を低減することによって市場を維持しやすくなり、サービス提供者の利益が 20% 程度多くなることもわかった。

主な用語

API エコノミー、エコシステム、プラットフォーム、API 提供者

目次

1	はじめに	5
2	プラットフォームモデル	7
2.1	AWS 型プラットフォーム	7
2.2	Azure 型プラットフォーム	7
3	API エコノミーの時間発展型市場モデル	9
3.1	市場	9
3.2	プラットフォーム	10
3.3	有料コンシューマー	10
3.4	API 提供者	11
3.5	サービス提供者	13
4	時間発展型市場モデルを用いた市場ダイナミクスの分析	15
4.1	分析方法	15
4.2	モデル設定	15
4.2.1	有料コンシューマーの増加モデル	15
4.2.2	サービス提供者・API 提供者の増加モデル	15
4.2.3	サービス提供者・API 提供者の開発コストモデル	16
4.3	パラメータ設定	16
4.4	プラットフォームの事業戦略	16
4.5	分析結果	19
4.5.1	市場拡大：市場参加者数	19
4.5.2	共生型プラットフォーム：各者の利益	22
5	おわりに	26
	謝辞	27
	参考文献	28

目 次

1	AWS 型プラットフォームにおける市場参加者の関係	7
2	Azure 型プラットフォームにおける市場参加者の関係	8
3	有料コンシューマーの人数	15
4	API 提供者数の変化（基本設定）	20
5	サービス提供者数の変化（基本設定, Azure 型プラットフォーム）	20
6	API 提供者数の変化（高使用料）	20
7	サービス提供者数の変化（高使用料, Azure 型プラットフォーム）	20
8	API 提供者数の変化（低配分）	21
9	サービス提供者数の変化（低配分, Azure 型プラットフォーム）	21
10	API 提供者数の変化（高配分）	21
11	サービス提供者数の変化（高配分, Azure 型プラットフォーム）	21
12	補完・競合関係の数の分布（750weeks）	21
13	補完・競合関係の数の分布（900weeks）	21
14	サービス提供者数の変化（基本設定, AWS 型プラットフォーム）	22
15	サービス提供者数の変化（高使用料, AWS 型プラットフォーム）	22
16	サービス提供者数の変化（低配分, AWS 型プラットフォーム）	23
17	サービス提供者数の変化（高配分, AWS 型プラットフォーム）	23
18	サービス提供者の収支内訳（基本設定, AWS 型プラットフォーム）	23
19	サービス提供者の収支内訳（基本設定, Azure 型プラットフォーム）	23
20	市場参加者の利益の内訳（500 weeks）	25
21	市場参加者の利益の内訳（1000 weeks）	25

表目次

1	市場モデルに使用する変数（プラットフォーム）	11
2	市場モデルに使用する変数（有料コンシューマー）	12
3	市場モデルに使用する変数（API 提供者）	13
4	市場モデルに使用する変数（サービス提供者）	14
5	各パラメータの初期値（共通）	17
6	各パラメータの設定（共通）	17
7	プラットフォームの基本設定	18
8	プラットフォーム戦略：高使用料設定	18
9	プラットフォーム戦略：低配分設定	18
10	プラットフォーム戦略：高配分設定	18
11	基本設定に対する市場参加者数の比較	20

1 はじめに

ネットワークの高速化技術やクラウド技術などのネットワーク技術の発展に伴い、ネットワーク上でのアプリケーション・サービスが多くの人に普及している。企業の情報処理やデータ提供といったサービスを API 化し、その API を用いてサービスを連結することで新たな価値を生み出す API エコノミーが注目されている [1]。API エコノミーでは、サービス提供者とコンシューマ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行われる。サービスを「財」と見做せば、API エコノミーは市場経済 (Market Economy) であり、プラットフォームは市場となる。

市場経済を分析するモデルとして二面市場がある。これは市場の最も基本的な構造をとらえたモデルで、プラットフォームを介して 2 つの顧客グループがサービスのやり取りを行うモデルである。2 つの顧客グループは、間接ネットワーク効果と呼ばれる相互作用によって市場を活性化させる。文献 [2-4] では、二面市場モデルを用いてデジタルエコシステムの振る舞いを分析する研究がなされている。文献 [2] では、サービス提供者とネットワーク提供者を 2 つの顧客グループとし、サービス提供者とネットワーク提供者間の共依存関係や相互作用、競合関係を捉えることにより、両者に対するインセンティブへの影響を導いている。文献 [3] では、サービス提供者とコンシューマーを 2 つの顧客グループとし、サービスの差別化と品質競争が発生した場合に各サービス提供者が提供する最適なサービスの量や品質を明らかにしている。文献 [4] では、サービス提供者とコンシューマーを 2 つの顧客グループとし、プラットフォームが自身の利益を最大化するためのプラットフォーム戦略を明らかにしている。文献 [4] の市場モデルは、サービス提供者がプラットフォーム上の機能を利用してアプリケーションを開発し、そのアプリケーションをコンシューマーが利用するモデルであり、プラットフォームの利益を最大化するための最適な機能数を示している。ただし、間接ネットワーク効果によりサービス提供者やコンシューマーの人数が増加する要因が生じていても、プラットフォームの提供価格の増大によって相殺され、市場規模を縮小してでもプラットフォーム提供者の利益を高めることが最適戦略となっている [5]。これらの研究では、ある条件下における均衡状態を求めるに留まっており、時間とともに変化する市場の振る舞いをモデル化するものにはなっていない。

市場の振る舞いをモデル化し、一定のプラットフォーム戦略の下での均衡状態を求めることは、市場の定性的な振る舞いを理解する上では重要となる。実際に、文献 [4] では、プラットフォームの機能数の増加に対して、サービスの開発コストが緩やかに減少する条件下ではプラットフォームの機能数を少なくし、急激に減少する条件下ではプラットフォームの機能数を多くすることがプラットフォーム利益の最大化となる知見が得られている。しかし、現実の市場では、プラットフォームによる機能への投資や市場参加者への報酬の調整といったプラットフォーム戦略は時間とともに変化する。具体的には、市場の黎明期と安定期では、プラットフォームがとる戦略は異なる。したがって、ある一定の条件における均衡状態を捉えるのではなく、時間とともに市場参加者数が増える市場の振る舞いを捉えることは、現実のプラットフォームがとるべき戦略を明らかにするうえで重要である。

本報告では、時間とともに参加者数が変化する市場の振る舞いを捉えることを目的とし、時間発展型の市場モデルを示す。具体的には、有料コンシューマー、サービス提供者が参加している AWS 型プラットフォームと、それらに加えて API 提供者が参加している Azure 型プラットフォームのそれぞれの時間発展型の市場モデルを示す。これらのプラットフォームはそれぞれ文献 [6, 7] でも扱われている。その上で、これらの市場モデルを用いて、それぞれの市場において市場参加者数が拡大するパラメータ要件を明らかにする。ここでのパラメータ要件は、単にプラットフォームの利益を最大化するためのパラメータ領域ではなく、各市場参加者の利益が適切に確保されることで市場に留まりエコシステムを形成するパラメータ領域である。パラメータ要件を明らかにすることによって、例えば市場の黎明期と安定期においてプラットフォームを含む各市場参加者が採るべき戦略など、エコシステム形成に必要な指針が得られる。

Azure 型プラットフォームは、API エコノミーを対象としており、異なる API の組み合わせを活用してイノベーションを促進したり、API を利用して新製品の Time-to-Value や Time-to-Market を改善することが期待できる [8]。しかし、その一方で、API 提供者間の競争が適切に行われずに API コストが過剰に高まると、サービス提供者はプラットフォームから離脱し市場が縮小することも予想される。そこで、API 提供者が不在の AWS 型プラットフォームの振る舞いと対比することによって、市場参加者の拡大やエコシステム形成において API 提供者が果たす役割を明確化する。

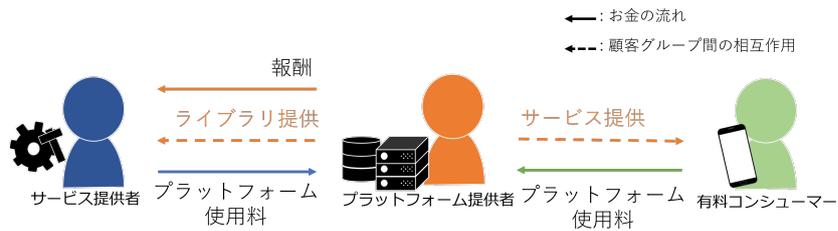


図 1: AWS 型プラットフォームにおける市場参加者の関係

2 プラットフォームモデル

2.1 AWS 型プラットフォーム

有料コンシューマー、サービス提供者が参加しているプラットフォームモデルを図 1 に示す。サービス提供者は、プラットフォームが提供するライブラリを利用することにより、開発コストの低減やスモールスタートを図りつつ、サービスを開発する。有料コンシューマーは、プラットフォーム使用料をプラットフォームに支払い、サービス提供者が開発した各種サービスを利用する。プラットフォームは、有料コンシューマーから徴収した使用料から、個々のサービスの利用頻度に応じてサービス提供者に報酬を支払う。プラットフォームの利益は、有料コンシューマーからの使用料とサービス提供者への報酬の差分となる。また、サービス提供者からプラットフォーム使用料を徴収することでプラットフォームの利益が加算される。

サービス提供者がサービスを開発し、コンシューマーに提供する典型例として、Amazon Web Service (AWS) が挙げられる。サービス提供者は、例えば Amazon ECS や AWS Lambda など、AWS が提供するライブラリを利用することによってサービス開発コストを抑制しつつ、自身のサービスに必要な機能を開発する。サービス提供者はプラットフォームが提供するライブラリのみを利用するため、多様なサービスをプラットフォーム上で展開するにはライブラリの豊富さが求められる。しかし、ライブラリはプラットフォームのみが提供するため、ライブラリ数の増加とともにライブラリの開発コストが高まる構造となっている。

本報告では、有料コンシューマー、サービス提供者から構成されるプラットフォームを AWS 型プラットフォームと呼ぶ。

2.2 Azure 型プラットフォーム

図 2 に示すように、有料コンシューマー、サービス提供者、API 提供者が参加しているプラットフォームモデルを考える。プラットフォームは、有料コンシューマー、サービス提供者、API 提供者から使用料を徴収する。そうして得た収益の中からサービス提供者と API 提供者に報酬を与える。このプラットフォームモデルでは、API 提供者が存在することにより利用可能な機能が多くなる。さ

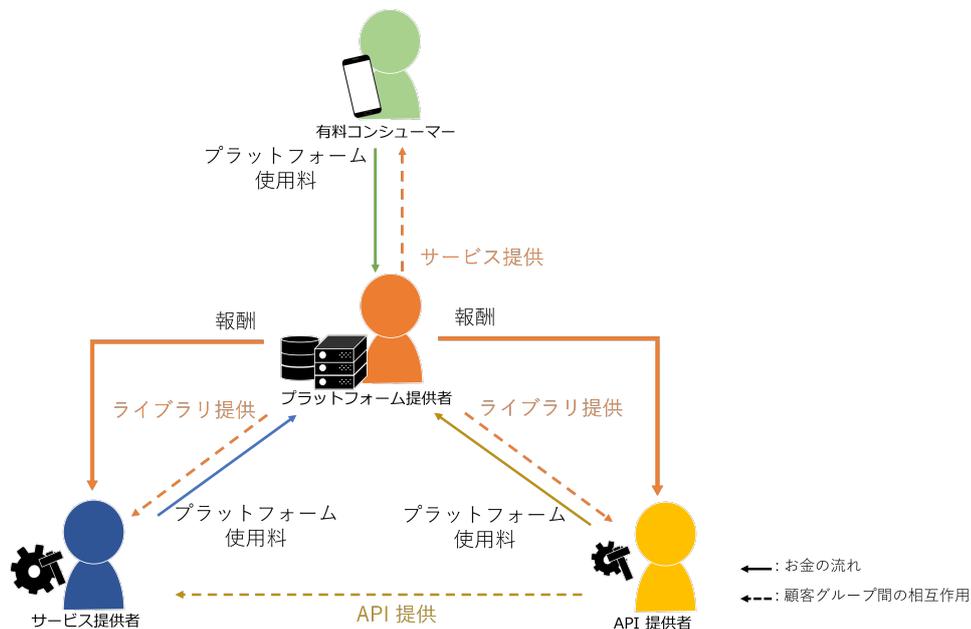


図 2: Azure 型プラットフォームにおける市場参加者の関係

らに、ある API 提供者は、補完関係にある他の API 提供者が提供する機能を利用することにより、開発コストの低下を図ることができる。サービス提供者は、プラットフォームが提供するライブラリだけでなく API も利用することができるため、AWS 型プラットフォームと比較してさらに開発コストを下げることができる。また、新規に開発した機能を API として提供することも可能であり、他の市場参加者の開発コストの低下に貢献することができる。

以上のことから、多様なサービス開発の容易さは API 数に依存しており、API 提供者が市場に参加するほど機能開発やサービス構築のコストが低下する構造となっている。

本報告では、有料コンシューマー、サービス提供者、API 提供者から構成されるプラットフォームを Azure 型プラットフォームと呼ぶ。

3 APIエコノミーの時間発展型市場モデル

本章では、AWS 型プラットフォームと Azure 型プラットフォームの時間発展型市場モデルを示す。なお、AWS 型プラットフォームの市場モデルは Azure 型プラットフォームの市場モデルにおいて API 提供者数を 0 とするものであるため、以降では Azure 型プラットフォームの市場モデルを説明する。

3.1 市場

市場 M には以下の者が参加している。

- プラットフォーム p
- 有料コンシューマー u_i : u_1, u_2, \dots
- サービス提供者 s_i : s_1, s_2, \dots
- API 提供者 a_i : a_1, a_2, \dots

市場 M は時間発展であり、時刻 t の市場参加者数の状態 \mathcal{M}_t は、

$$\mathcal{M}_t = \{\mathcal{P}_t, \mathcal{U}_t, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t\} \quad (1)$$

と表される。各変数は以下で表される。

$$\mathcal{P}_t = \{p\}, \quad (2)$$

$$\mathcal{U}_t = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_{U(t)}\}, \quad (3)$$

$$\mathcal{S}_t = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{S(t)}\}, \quad (4)$$

$$\mathcal{A}_t = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{A(t)}\} \quad (5)$$

\mathcal{P}_t は時刻 t におけるプラットフォームの唯一の参加者であり、時刻非依存である。 $U(t)$, $S(t)$, $A(t)$ は、それぞれ対応する者が時刻 t までに市場 M に参加した人数である。ここでは時刻 t 時点で経済活動を行い参加中である者、経済活動を行わず離脱した者を合わせた人数とする。

時間発展の市場モデルのシミュレーションは以下の手順で行う。

1. 3.2 節から 3.5 節で述べるパラメータを適切に定める。
2. 初期の市場参加者数を適切に定め、 $t = 0$ とする。

$$\mathcal{M}_0 = \{\mathcal{P}_0, \mathcal{U}_0, \mathcal{S}_0, \mathcal{A}_0\} \quad (6)$$

3. 決められた手順に従って $U(t)$, $S(t)$, $A(t)$ を求める。

4. 3.2 節から 3.5 節で述べる各種式を適用して \mathcal{M}_{t+1} を計算する。

5. 3. に戻る。

\mathcal{M}_{t+1} の計算を繰り返し、十分に時間が経過するまでの \mathcal{M}_{t+1} の振る舞いを観察する。

以下 3.2 節から 3.5 節ではそれぞれの市場参加者の詳細について述べる。

3.2 プラットフォーム

プラットフォーム p の時刻 t での利益 (profit) $U_p(t)$ は、

$$U_p(t) = p_s \cdot \hat{S}(t) + p_a \cdot \hat{A}(t) + P(t) \cdot (1 - \alpha_s - \alpha_a) \quad (7)$$

である。 $\hat{S}(t)$, $\hat{A}(t)$ は、それぞれ時刻 t 時点で市場 M に参加するサービス提供者、API 提供者の数であり 3.4 節以降で定義する。 p_s , p_a はそれぞれサービス提供者、API 提供者のプラットフォーム使用料である。また、 α_s , α_a はそれぞれサービス提供者、API 提供者への支払い費用を定めるパラメータである。さらに、プラットフォーム p は、サービスの利用回数・API の利用回数に応じた費用をサービス提供者と API 提供者に支払うものとし、その原資 $P(t)$ を

$$P(t) = p_c \cdot U(t) - I_p(t) \quad (8)$$

とする。 p_c は有料コンシューマーのプラットフォーム使用料である。式に示す通り、費用の原資は有料コンシューマーのプラットフォーム使用料となっている。本研究では、有料コンシューマーはサブスクリプション型の契約を行うものとし、 p_c の一部が原資となっていると解釈する。また、プラットフォーム p は時刻 t で設備投資 (ライブラリ増強) を行うものとし、その投資額 $I_p(t)$ を

$$I_p(t) = \eta(p_c \cdot U(t)) \quad (9)$$

とする。 η は投資割合を定めるパラメータである。投資にともなってプラットフォームが抱えるライブラリ数 $F(t)$ は増大するが、ライブラリ数増加とともに投資コストが増えるものと解釈する。すなわち、

$$F(t+1) = F(t) + e^{-\gamma \cdot F(t)/I_p(t)} \quad (10)$$

とする。ここで γ は投資コスト増大のパラメータである。

ここで登場した変数を表 1 に示す。

3.3 有料コンシューマー

有料コンシューマーはアーリーアダプターと (レイト) マジョリティの 2 要素で構成される。

$$U(t+1) = U^{early}(t) + U^{major}(t) \quad (11)$$

表 1: 市場モデルに使用する変数 (プラットフォーム)

変数	意味
$U_p(t)$	プラットフォームの利益
$P(t)$	サービス提供者・API 提供者への支払い費用の原資
$I_p(t)$	プラットフォームの設備投資額
$F(t)$	プラットフォームが抱えるライブラリ数
α_s	サービス提供者への支払い費用を定めるパラメータ
α_a	API 提供者への支払い費用を定めるパラメータ
p_c	有料コンシューマーのプラットフォーム使用料
p_s	サービス提供者のプラットフォーム使用料
p_a	API 提供者のプラットフォーム使用料
η	投資割合を定めるパラメータ
γ	投資コスト増大のパラメータ

それぞれは、アーリーアダプターの最大数 $K(t)$ と、市場 M ではない他市場に参加するアーリーアダプターの人数 $o^{early}(t)$ とその変化量に基づいて、以下で与える。

$$\frac{d}{dt}U^{early}(t) = \zeta U^{early}(t) \left(1.0 - \frac{U^{early}(t)}{K(t)}\right) - \delta(t) \frac{d}{dt}o^{early}(t) \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt}U^{majo}(t) = U^{early}(t) - \delta(t) \frac{d}{dt}o^{early}(t) \quad (13)$$

ζ はアーリーアダプターの増加の振る舞いを定めるパラメータであり、 $\delta(t)$ は市場 M と他市場が競合環境にあるか否かを表す 01 パラメータである。 $\zeta, \delta(t), o^{early}(t), \frac{d}{dt}o^{early}(t)$ は事前に与えるとする。

本研究では有料コンシューマーの離脱はないものとしており、ステップが増加するごとに有料コンシューマーは単調増加し、あるステップで頭打ちになると考える。

ここで登場した変数を表 2 に示す。

3.4 API 提供者

時刻 t までに市場 M に参加した API 提供者の集合 \mathcal{A}_t は以下で定義している。

$$\mathcal{A}_t = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{A(t)}\} \quad (14)$$

ここでは API 提供者 a_i の振る舞いを定義する。 a_i の利得関数は、

$$U_{a_i}(t) = \alpha_a P(t) \frac{\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)}{\sum_{a_k} \mathcal{F}(a_k, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)} - p_a - K_a(F) \quad (15)$$

である (後に式 (19) に置き換える)。 α_a は API 提供者への支払い費用を定めるパラメータである。また、関数 $\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)$ は、 a_i が提供する API の利用回数を表す関数であり、時刻 t の市場参

表 2: 市場モデルに使用する変数 (有料コンシューマー)

変数	意味
$U(t)$	有料コンシューマーの人数
$U^{early}(t)$	アーリーアダプターの人数
$U^{major}(t)$	マジョリティの人数
ζ	アーリーアダプターの増加の振る舞いを定めるパラメータ
$o^{early}(t)$	他市場に参加するアーリーアダプターの人数
$\frac{d}{dt}o^{early}(t)$	他市場に参加するアーリーアダプターの変化量
$\delta(t)$	市場 M と他市場が競合環境にあるか否かを表す 01 パラメータ
$K(t)$	アーリーアダプターの最大数

加者とその利用頻度 (人気度) \mathcal{R}_t に依存して定まる。 $\alpha_a P(t)$ は時刻 t 時点でプラットフォームが得る収益の一部であり、時刻 t で市場に存在する API の総利用回数に対する a_i が提供する API の利用回数 $\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)$ の割合によって a_i の収益 (income) が決まる。コスト費用としては、プラットフォーム使用料 p_a と API の開発コスト $K_a(F)$ がかかる。API の利用回数は、

$$\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t) = \frac{1}{\hat{A}(t)} \exp(-0.003I(T_i)) \quad (16)$$

と与えられる。ここで、 T_i は a_i と他の API 提供者との補完関係、競合関係のリストであり、関数 I は競合関係を含むリストを引数として受け取り、競合関係の数をカウントする関数である。したがって、競合関係にある API の数 $I(T_i)$ が多いほど $\exp(-0.003I(T_i))$ の値が小さくなり、その API の利用回数が少なくなる。

API 提供者 a_i は利得関数の正負をもとに市場 M への参加・離脱を決定する。ここでは利得関数が負になることを離脱条件とする。参加・離脱を $\Delta_{i|u \geq 0}$ の 01 変数で表現するものとする、時刻 t 時点の市場 M の参加者数 $\hat{A}(t)$ は

$$\hat{A}(t) = \sum_k \Delta_{k|u \geq 0} \quad (17)$$

となる。

ここで、ある API 提供者 a_i と他の API 提供者との補完関係、競合関係 T_i を、

$$T_i = [1, -1, \dots, 0, \dots, 1, 0] \quad (18)$$

と表す。上の例では、 a_i と a_1 は補完関係、 a_2 とは競合関係、 a_i (自身) とは無関係 (0) である。

補完関係にあるときは、API 提供者の開発コストが安くなると解釈できる。そこで、プラットフォームが提供するライブラリ数 F と、補完関係にある API 提供者数 $J(T_i)$ の和が a_i の開発コストに作用するとし、

$$U_{a_i}(t) = \alpha_a P(t) \frac{\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)}{\sum_{a_k} \mathcal{F}(a_k, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)} - p_a - K_a(F + J(T_i)) \quad (19)$$

表 3: 市場モデルに使用する変数 (API 提供者)

変数	意味
$A(t)$	API 提供者の累計人数
$\hat{A}(t)$	時刻 t 時点で市場 M に参加する API 提供者の人数
$U_{a_i}(t)$	a_i の利得
$\mathcal{F}(a_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)$	API の利用回数
T_i	ある API 提供者 a_i と他の API 提供者との補完・競合関係
$I(T)$	競合関係の数
$J(T)$	補完関係の数
$K_a(F)$	API の開発コスト

とする。ここで、関数 J は補完関係を含むリストを引数として受け取り、補完関係の数をカウントする関数である。式 (15) は、この式に置き換えることになる。 $K_a(F)$ は、プラットフォームが用意するライブラリ数が F である時の開発コスト (F に対して単調減少) であり、補完関係にある API 提供者数 $J(T_i)$ が開発コスト減に作用することが表現されている。

ここで登場した変数を表 3 に示す。

3.5 サービス提供者

サービス提供者は、API 提供者が提供する API を使いながらサービスを構成してコンシューマーに提供する。

時刻 t までに市場 M に参加したサービス提供者の集合 \mathcal{S}_t は以下で定義している。

$$\mathcal{S}_t = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{S(t)}\} \quad (20)$$

あるサービス提供者 s_i と他のサービス提供者の競合関係 V_i を、

$$V_i = [0, -1, \dots, 0, \dots, -1, 0] \quad (21)$$

と表す。上の例では、 s_i と s_1 は無関係、 s_2 とは競合関係、 s_i とは無関係である。

サービス提供者 s_i のサービス利用回数は、

$$\mathcal{G}(s_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t) = \frac{1}{\hat{S}(t)} \exp(-0.012I(V_i)) \quad (22)$$

で与えられる。API の利用回数の式と同様に、競合関係にあるサービス提供者の数 $I(V_i)$ が多いほど $\exp(-0.012I(V_i))$ の値が小さくなり、そのサービスの利用回数が少なくなる。

利得関数は、

$$U_{s_i}(t) = \alpha_s P(t) \frac{\mathcal{G}(s_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)}{\sum_{s_k} \mathcal{G}(s_k, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)} - p_s - \{K_s(F + |\Phi(\mathcal{A}_t)|)\} \quad (23)$$

表 4: 市場モデルに使用する変数 (サービス提供者)

変数	意味
$S(t)$	サービス提供者の累計人数
$\hat{S}(t)$	時刻 t 時点で市場 M に参加するサービス提供者の人数
$U_{s_i}(t)$	s_i の利得
$\mathcal{G}(s_i, \mathcal{S}_t, \mathcal{A}_t, \mathcal{R}_t)$	サービスの利用回数
V_i	あるサービス提供者 s_i と他のサービス提供者との競合関係
$\Phi(\mathcal{A}_t)$	サービス提供者 s_i が利用する API 集合
$K_s(F)$	サービスの開発コスト

となる。ここで $\Phi(\mathcal{A}_t)$ は、API 提供者が提供する API のうちサービス提供者 s_i が利用する API 集合を表す。

ここで登場した変数を表 4 に示す。

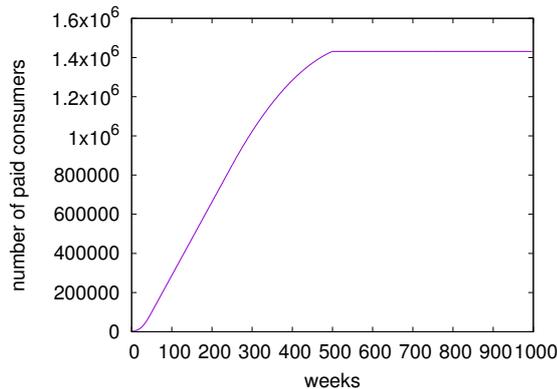


図 3: 有料コンシューマーの人数

4 時間発展型市場モデルを用いた市場ダイナミクスの分析

4.1 分析方法

本報告では、API 提供者が存在しない AWS 型プラットフォームと API 提供者が存在する Azure 型プラットフォームを比較することにより、API 提供者の存在が市場参加者数や各者の利益に与える影響を分析する。さらに、プラットフォーム使用料 (p_s, p_a) や支払い費用を定めるパラメータ (α_s, α_a) を変化させた際の市場への影響についても分析する。

4.2 モデル設定

本節では、シミュレーションにおける市場参加者の増加モデルや開発コストモデルについて述べる。

4.2.1 有料コンシューマーの増加モデル

3.3 節で有料コンシューマーのモデルを定義したが、本報告では既存サービスの有料コンシューマーの推移をもとにしたモデルを採用する。例えば、Spotify のサブスクリプション契約者数の推移や [9,10]、ニコニコ動画のプレミアム会員数の推移 [11] といったものが考えられる。本報告ではニコニコ動画のプレミアム会員数の推移をもとに、有料コンシューマーは約 10 年で 150 万人程度に到達し、頭打ちになるモデルとする (図 3)。これにより、分析の際には、有料コンシューマーの増加が継続する期間と一定数で推移する期間それぞれの市場参加者の振る舞いを観察することができる。

4.2.2 サービス提供者・API 提供者の増加モデル

サービス提供者 サービス提供者の増加モデルを以下に示す。

$$S(t+1) = S(t) + s_{birth} + \hat{S}(t) * 0.015 \quad (24)$$

ここで、 s_{birth} はシミュレーションの各ステップにおいて確率 0.1 で 1 となり、それ以外の場合 0 となる変数である。また、市場に参加しているサービス提供者は、0.015 人のサービス提供者を市場に参加させると考える。

API 提供者 API 提供者の増加モデルを以下に示す。

$$A(t+1) = A(t) + a_{birth} + \hat{A}(t) * 0.01 \quad (25)$$

ここで、 a_{birth} はシミュレーションの各ステップにおいて確率 0.5 で 1 となり、それ以外の場合 0 となる変数である。また、市場に参加している API 提供者は、0.01 人の API 提供者を市場に参加させると考える。

4.2.3 サービス提供者・API 提供者の開発コストモデル

サービス提供者 サービス提供者の開発コストモデルを以下に示す。

$$K_s(F) = 25 \exp(-0.003F) + 20 \quad (26)$$

この式により、ライブラリ数や利用する API の数が多いほど開発コストが下がることを表現する。また、サービス提供者は API 提供者と比較して、顧客管理やサービスの運用・維持が必要となるので、その分コストがかかると考える。

API 提供者 API 提供者の開発コストモデルを以下に示す。

$$K_a(F) = 25 \exp(-0.003F) \quad (27)$$

この式により、ライブラリ数や補完関係にある API の数が多いほど開発コストが下がることを表現する。

4.3 パラメータ設定

初期値が必要となるパラメータの値を表 5 にまとめる。プラットフォームのライブラリ数の初期値 $F(0)$ は 3、API 提供者数の初期値 $A(0)$ は 4、サービス提供者数の初期値 $S(0)$ は 1 としている。

4.4 プラットフォームの事業戦略

プラットフォームは、有料コンシューマーの使用料およびサービス提供者や API 提供者の使用料の設定などが可能であり、様々な事業戦略が考えられる。本節では、市場モデルにおけるパラメータのうちプラットフォームが設定可能なものを定め、プラットフォーム戦略として定義する。

表 5: 各パラメータの初期値 (共通)

パラメータ	初期値
$F(0)$	3
$A(0)$	4
$S(0)$	1

表 6: 各パラメータの設定 (共通)

パラメータ	値
p_c	0.125 (有料コンシューマーの使用料、単位：千円)
η	0.1 (投資戦略を定めるパラメータ)
γ	10000 (ライブラリ数増大のパラメータ)

まずプラットフォームの基本戦略となる基本設定を述べる。基本設定は、表 6 および表 7 のパラメータ値設定である。プラットフォーム使用料などの料金に関わるパラメータの単位は千円 [\$/week] を想定している。

基本設定では、プラットフォームは有料コンシューマーから徴収した使用料のうち 35% をサービス提供者と API 提供者のそれぞれに支払う。したがって、有料コンシューマーから徴収した使用料のうち 30% はプラットフォームの利益となる。これは、Google Play Store や Apple Store における配分を参考に設定した [12]。このパラメータ設定を基本とし、プラットフォームが選択可能な戦略を反映した、以下の 3 つのプラットフォーム戦略を導入する。

高使用料設定 サービス提供者、API 提供者がプラットフォームを使用する際の使用料を高く設定する。プラットフォームの収入は増加するが、サービス提供者および API 提供者の利益は減少するため市場参加者は少なくなることが想定される。そのうえで、プラットフォームが利己的に価格設定したときに市場がどれほど縮小するかを観察する。

低配分設定 プラットフォームが有料コンシューマーから得た収益のうち、サービス提供者と API 提供者に支払う費用の割合を低く設定する。プラットフォームの収入は増加するが、サービス提供者および API 提供者全体の収益は減少するため、早い段階で市場参加者同士の競争が激化して市場参加者は少なくなることが想定される。そのうえで、プラットフォームが利益を独占したときに市場がどれほど縮小するかを観察する。

高配分設定 プラットフォームが有料コンシューマーから得た収益のうち、サービス提供者と API 提供者に支払う費用の割合を高く設定する。プラットフォームの収入は減少するが、サービス提供者および API 提供者全体の収益は増加するため、市場参加者は多くなることが想定される。そのうえで、サービス提供者および API 提供者がどれだけ利益を確保することができるかを観察する。

表 7: プラットフォームの基本設定

パラメータ	値
α_s	0.35 (サービス提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
α_a	0.35 (API 提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
p_a	1.25 (API 提供者の使用料、単位：千円)
p_s	12.5 (サービス提供者の使用料、単位：千円)

表 8: プラットフォーム戦略：高使用料設定

パラメータ	値
α_s	0.35 (サービス提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
α_a	0.35 (API 提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
p_a	12.5 (API 提供者の使用料、単位：千円)
p_s	125 (サービス提供者の使用料、単位：千円)

表 9: プラットフォーム戦略：低配分設定

パラメータ	値
α_s	0.10 (サービス提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
α_a	0.10 (API 提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
p_a	1.25 (API 提供者の使用料、単位：千円)
p_s	12.5 (サービス提供者の使用料、単位：千円)

表 10: プラットフォーム戦略：高配分設定

パラメータ	値
α_s	0.50 (サービス提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
α_a	0.50 (API 提供者への支払い費用を定めるパラメータ)
p_a	1.25 (API 提供者の使用料、単位：千円)
p_s	12.5 (サービス提供者の使用料、単位：千円)

高使用料設定、低配分設定、高配分設定のパラメータ設定値はそれぞれ表 8, 9, 10 としている。なお、基本設定を含めた 4 種のプラットフォーム戦略の共通の設定値は、表 6 の通りである。

上述のプラットフォーム戦略において、API 提供者が存在しない AWS 型プラットフォームの場合は、Azure 型プラットフォームで API 提供者に支払っていた費用をプラットフォームが受け取ることとする。例えば基本設定では、プラットフォームは有料コンシューマーから徴収した使用料のうち 35%をサービス提供者に支払う。したがって、有料コンシューマーから徴収した使用料のうち 65%がプラットフォームの利益となる。

4.5 分析結果

本節では、4種類のプラットフォーム戦略における Azure 型プラットフォームの分析結果と、Azure 型プラットフォームと AWS 型のプラットフォームの比較結果について述べる。4.5.1 項では市場参加者数を指標として、市場拡大の観点から評価を行う。4.5.2 項では各者の利益を指標として、共生型プラットフォームを形成するパラメータ領域について評価を行う。

また、本報告ではシミュレーションにおける 1 ステップを 1 週間（以降、week と表記）とみなし、1000 weeks までの振る舞いを観察する。

4.5.1 市場拡大：市場参加者数

本項では市場参加者数を指標として、市場拡大の観点から評価を行う。ここでは市場参加者数を、市場に参加しているサービス提供者と API 提供者の数とする。

まず、Azure 型プラットフォームについて比較する。基本設定のプラットフォーム戦略における市場参加者数の変化を図 4, 5 に、4つのプラットフォーム戦略を比較した結果を表 11 に示す。高使用料のプラットフォーム戦略にして使用料を 10 倍とした場合、サービス提供者の数は約 75%減少、API 提供者の数は約 90%減少した（図 6, 7）。また、低配分のプラットフォーム戦略にしてサービス提供者と API 提供者への支払い費用の割合を約 71%減少させた場合、サービス提供者と API 提供者の数はともに約 68%減少した（図 8, 9）。一方で、高配分のプラットフォーム戦略にしてサービス提供者と API 提供者への支払い費用の割合を約 43%増加させた場合、サービス提供者の数は約 37%増加、API 提供者の数は約 39%増加した（図 10, 11）。

高使用料のプラットフォーム戦略では、API 提供者と比較してサービス提供者の数の減少率が低い。これは、API 提供者の数に対してサービス提供者の数が少なく、サービス提供者の数が 90%減少した状態では競争が起こっていないことが考えられる。低配分のプラットフォーム戦略ではサービス提供者と API 提供者の数の減少率が同じ程度であることから、適切に競争が行われるまでは市場参加者の数は増加していくと考えられる。

3.4 節で述べたように、API 提供者間には補完・競合関係が存在する。また、市場に参加している API 提供者の数は、増加する期間と頭打ちとなる期間がある。基本設定のプラットフォーム戦略において、市場に参加している API 提供者が増加している 750 weeks 時点と、頭打ちとなっている 900 weeks 時点での補完・競合関係の数の分布をそれぞれ図 12, 13 に示す。750 weeks 時点では分布の形が楕円形になっているのに対し、900 weeks 時点では競合関係の数が多領域が切れている。したがって、API 提供者の数が頭打ちとなっている期間では、API 提供者間の補完・競合関係にもとづいた淘汰が行われていることがわかった。

次に、AWS 型プラットフォームと比較する。基本設定のプラットフォーム戦略におけるサービス提供者数の変化を図 14 に示す。図 5 と比較すると、Azure 型プラットフォームのほうがサービス提供者数が約 67%多くなっている。次に配分を変えたときの結果を図 16, 17 に示す。図 16 は低配分、

表 11: 基本設定に対する市場参加者数の比較

プラットフォーム戦略	サービス提供者	API 提供者
高使用料	約 75%減	約 90%減
低配分	約 68%減	約 68%減
高配分	約 37%増	約 39%増

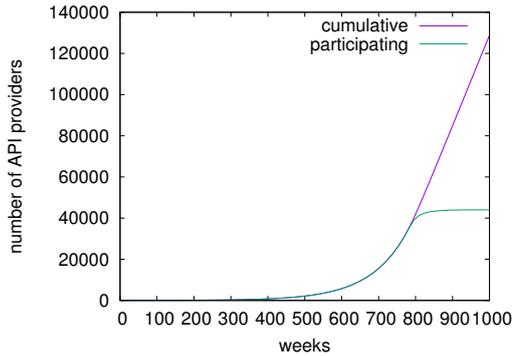


図 4: API 提供者数の変化 (基本設定)

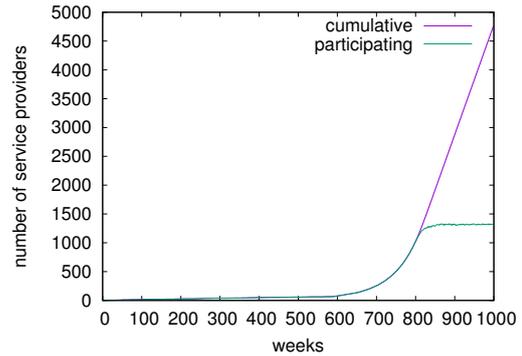


図 5: サービス提供者数の変化 (基本設定, Azure 型プラットフォーム)

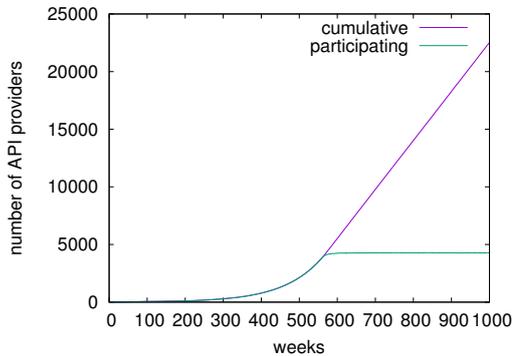


図 6: API 提供者数の変化 (高使用料)

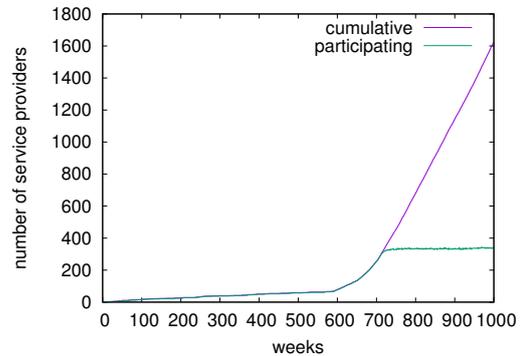


図 7: サービス提供者数の変化 (高使用料, Azure 型プラットフォーム)

図 17 は高配分のプラットフォーム戦略である。図 14, 16, 17 を比べると、配分が大きくなるとともにサービス提供者の数が増加していることがわかる。また、Azure 型プラットフォームのプラットフォーム戦略である図 5, 9, 11 と比較すると、Azure 型プラットフォームのほうがサービス提供者数がそれぞれ約 15%、約 70%、約 65%多くなっている。

基本設定のプラットフォーム戦略において、Azure 型プラットフォームのほうが市場に参加しているサービス提供者の数が多いにもかかわらず、開発コストの総額は AWS 型プラットフォームと比較して低い値となっている (図 18, 19)。Azure 型プラットフォームでは、サービス提供者は API を利

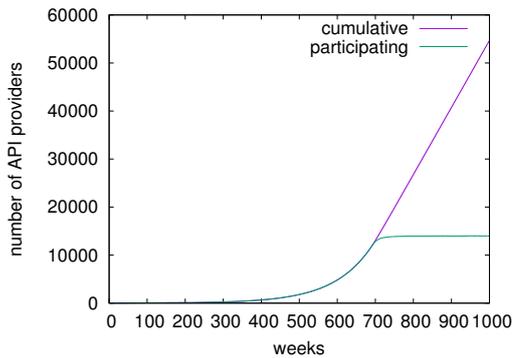


図 8: API 提供者数の変化 (低配分)

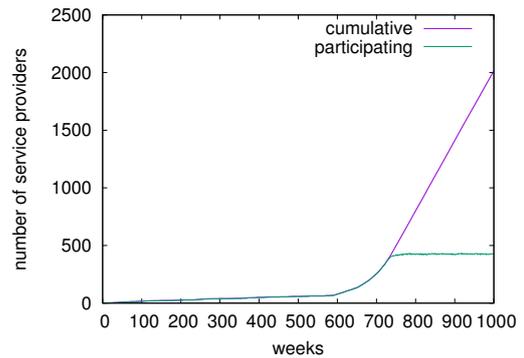


図 9: サービス提供者数の変化 (低配分, Azure 型プラットフォーム)

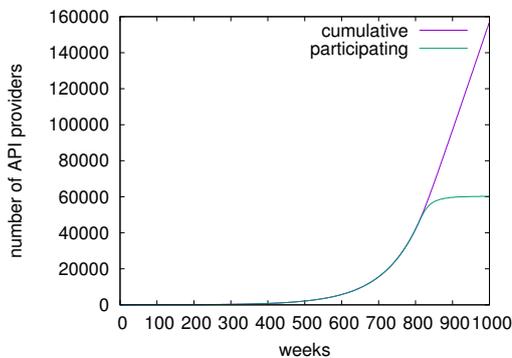


図 10: API 提供者数の変化 (高配分)

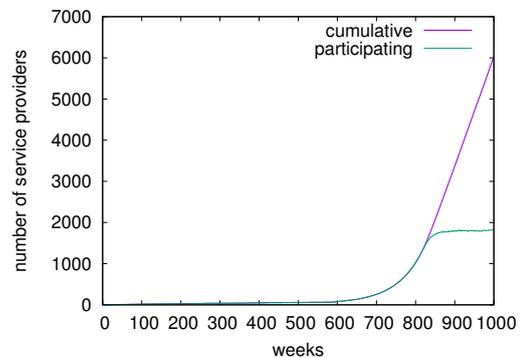


図 11: サービス提供者数の変化 (高配分, Azure 型プラットフォーム)

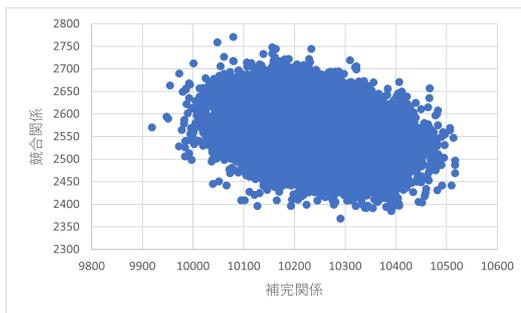


図 12: 補完・競合関係の数の分布 (750weeks)

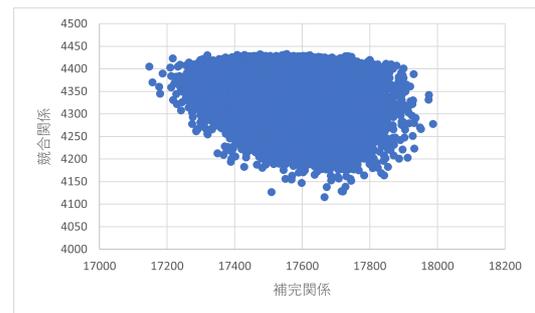


図 13: 補完・競合関係の数の分布 (900weeks)

用することによって開発コストを下げる事ができる。これにより、Azure 型プラットフォームではサービス提供者の収入に対する開発コストの割合が減少し、AWS 型プラットフォームと比較して多くの利益を上げることができるので、より多くのサービス提供者が市場に参加することができている。高使用料、低配分、高配分のプラットフォーム戦略についても同様である。

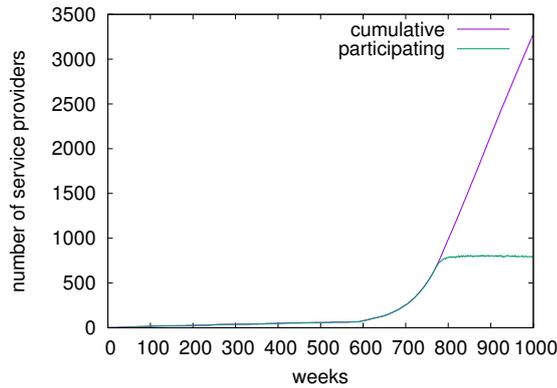


図 14: サービス提供者数の変化（基本設定, AWS 型プラットフォーム）

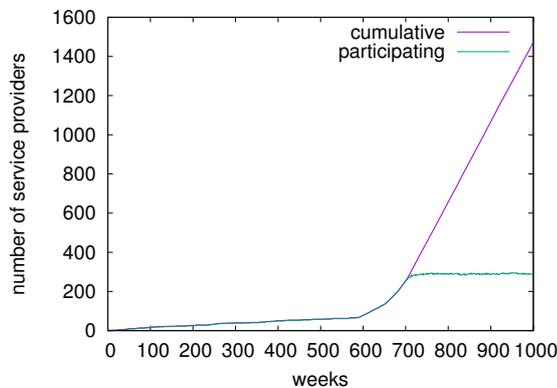


図 15: サービス提供者数の変化（高使用料, AWS 型プラットフォーム）

高使用料のプラットフォーム戦略におけるサービス提供者数の変化を図 15 に示す。図 7 と比較すると、Azure 型プラットフォームのほうがサービス提供者数が約 15% 多いが、基本設定、低配分、高配分のプラットフォーム戦略における増加率と比較すると小さい。このことから、プラットフォームの使用料を高く設定すると、API 提供者が存在することによる開発コスト減少の効果が小さくなり、API 提供者が存在することによる恩恵を受けにくいことが考えられる。

4.5.2 共生型プラットフォーム：各者の利益

本項では各者の利益を指標として、共生型プラットフォームを形成するパラメータ領域について評価を行う。また、有料消費者の増加が続いた後である 500 weeks 時点と、有料消費者の数が頭打ちになった後である 1000 weeks 時点の 2 つの時点で評価を行う。

まず、500 weeks 時点の Azure 型プラットフォームと AWS 型プラットフォームについて評価する。500 weeks 時点の各者の利益を図 20 に示す。Azure 型プラットフォームでは、基本設定のプラットフォーム戦略では利益が 3 等分となっており、三者共生が実現されていることがわかる。高使用料や

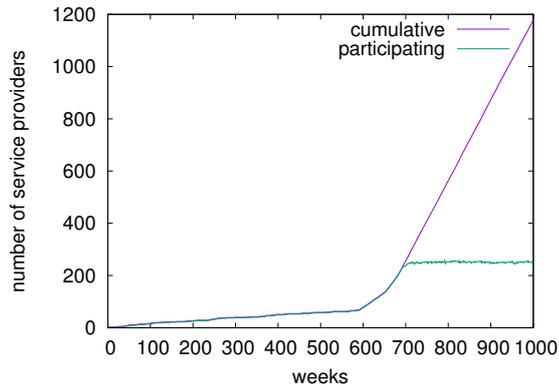


図 16: サービス提供者数の変化 (低配分, AWS 型プラットフォーム)

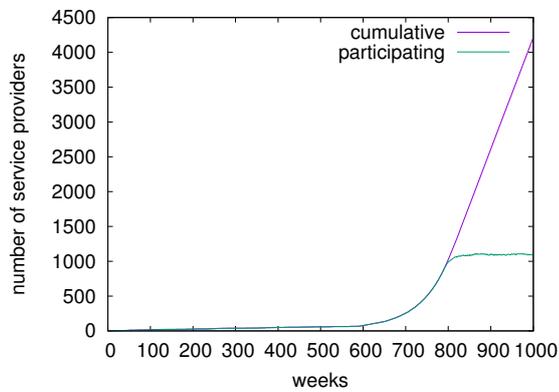


図 17: サービス提供者数の変化 (高配分, AWS 型プラットフォーム)

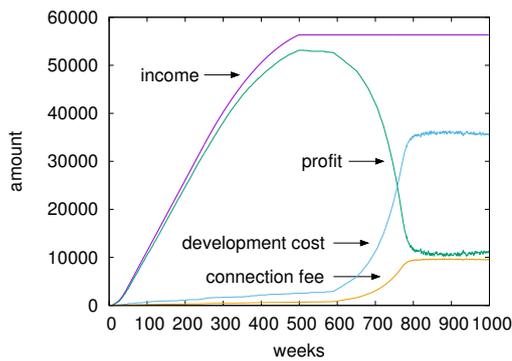


図 18: サービス提供者の収支内訳 (基本設定, AWS 型プラットフォーム)

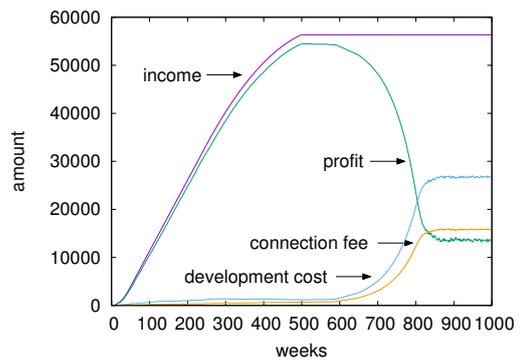


図 19: サービス提供者の収支内訳 (基本設定, Azure 型プラットフォーム)

低配分のプラットフォーム戦略では、プラットフォームの利益が大部分を占めていることがわかる。その一方で、高配分のプラットフォーム戦略では、プラットフォームの利益が確保されていない。

AWS 型プラットフォームと比較した Azure 型プラットフォームのサービス提供者の利益は、4つのプラットフォーム戦略すべてにおいて増加した。具体的には、基本設定では3%、高使用料設定では3%、低配分設定では10%、高配分設定では2%増加した。これは4.5.1項でも述べたように、AWS 型プラットフォームよりも Azure 型プラットフォームのほうが開発コストが低下するため、AWS 型プラットフォームよりも Azure 型プラットフォームのほうがサービス提供者の利益が増加していると考えられる。

次に、1000 weeks 時点の Azure 型プラットフォームと AWS 型プラットフォームについて評価する。1000 weeks 時点の各者の利益を図 21 に示す。Azure 型プラットフォームでは、全てのプラットフォーム戦略においてプラットフォームの利益が大部分を占めていることがわかる。また、500 weeks 時点では三者共生を実現していた基本設定よりも、高配分のプラットフォーム戦略のほうがサービス提供者や API 提供者の利益が高い。したがって、有料コンシューマーの数が頭打ちになる 500 weeks 以降では、市場を維持するためにサービス提供者や API 提供者により多くのお金を配分したほうが良いと考えられる。また、AWS 型プラットフォームと比較した Azure 型プラットフォームのサービス提供者の利益は、4つのプラットフォーム戦略すべてにおいて増加した。さらに、高使用料のプラットフォーム戦略を除いて、500 weeks 時点よりも増加率が高い結果となった。具体的には、基本設定では23%、高使用料設定では1%、低配分設定では22%、高配分設定では19%増加した。したがって、使用料を抑えたプラットフォーム戦略であれば、AWS 型プラットフォームよりも Azure 型プラットフォームのほうが市場の成熟期に市場を維持しやすいと考えられる。

以上のことから、有料コンシューマーが増加する市場の拡大期には基本設定のプラットフォーム戦略により三者共生を実現し、有料コンシューマーの数が頭打ちとなった市場の成熟期には高配分のプラットフォーム戦略として市場を維持することにより、市場参加者全体の利益を高めることができると考えられる。

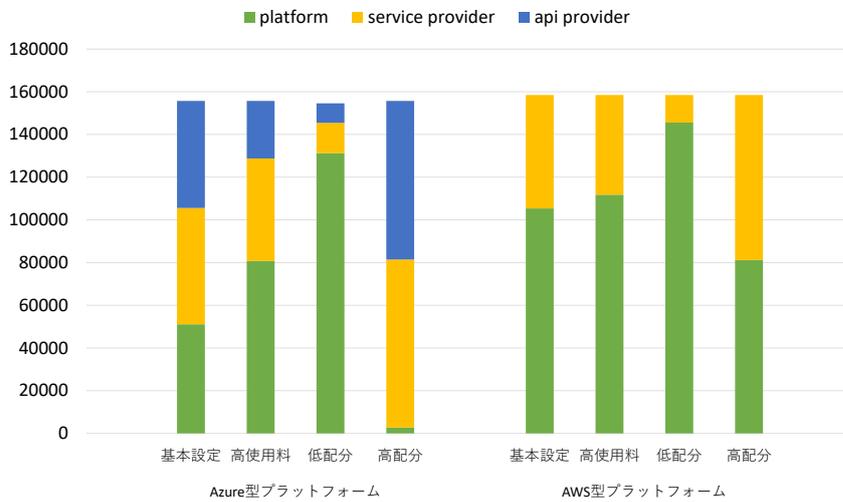


図 20: 市場参加者の利益の内訳 (500 weeks)

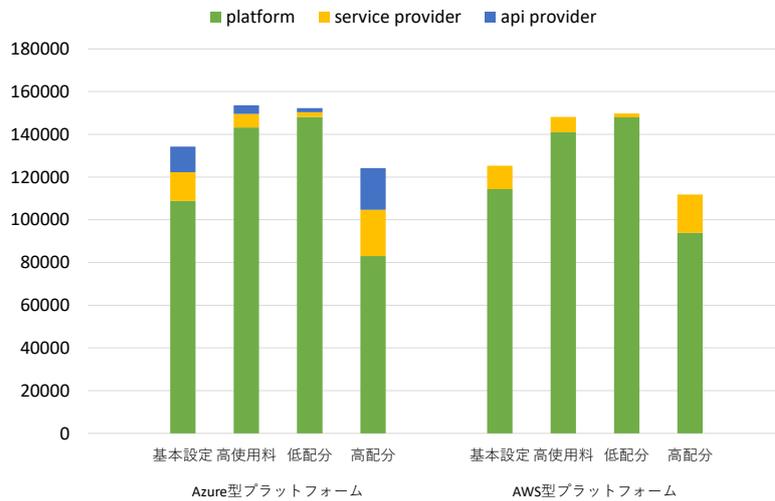


図 21: 市場参加者の利益の内訳 (1000 weeks)

5 おわりに

本報告では、時間とともに参加者数が増加する市場の振る舞いを捉えるために、時間発展型の市場モデルを示した。そして、プラットフォーム使用料や、プラットフォームからサービス提供者・API提供者への支払い費用を定めるパラメータを変化させた際の市場への影響を分析した。さらに、API提供者が存在しないプラットフォームと、API提供者が存在するプラットフォームを比較することにより、API提供者の存在が市場参加者数や各者の利益に与える影響についても分析した。その結果、最も三者共生に近いパラメータ領域では、API提供者が存在するプラットフォームは、API提供者が存在しないプラットフォームに比べて市場参加者数が67%増加し、サービス構築コストが25%低下することがわかった。さらに、有料コンシューマーが増加する期間では、プラットフォームが有料コンシューマーからの収益の70%をサービス提供者およびAPI提供者に配分することによって、三者の利益が等しくなる共生が実現可能であることもわかった。一方で、有料コンシューマーからの収益が一定である期間が継続すると、サービス提供者およびAPI提供者の競争によって、これらの二者の利益が減少し、プラットフォーム利益が増加することも明らかとなった。このとき、プラットフォームの使用料を抑えた設定であれば、AWS型プラットフォームよりもAzure型プラットフォームのほうがサービス提供者の利益が20%程度多く、市場の成熟期に市場を維持しやすいことがわかった。

本報告の分析では、プラットフォーム戦略を変えつつAzure型プラットフォームの有効性を明らかにした。しかし、実際の市場ではサービス提供者やAPI提供者、コンシューマーも選択戦略を有する。特にコンシューマーに関しては、サービス数などの市場の魅力に応じて増加や減少することが考えられることから、今後は各者の選択戦略を含めた時間発展型の市場モデルを導入し、市場の振る舞いを明らかにしていく。

謝辞

本報告を終えるにあたり、ご多忙の中丁寧にご指導、ご教授いただきました大阪大学大学院情報科学研究科の村田正幸教授に深く感謝いたします。大阪大学大学院情報科学研究科荒川伸一准教授には、研究の方針や進捗の確認、論文執筆指導など手厚くご指導していただきました。心より感謝申し上げます。また、平素よりご指導いただきました大阪大学先導的学際研究機構大下裕一准教授並びに大阪大学大学院情報科学研究科小南大智助教に心より感謝申し上げます。最後に、日々の学生生活を支えてくださった研究室の皆様に感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。

参考文献

- [1] IBM, “IBM unveils matchmaking technology to navigate API economy.” <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/48026.wss>, Nov. 2015. (Accessed : 2021-12-20).
- [2] Z.-L. Zhang, P. Nabipay, A. Odlyzko, and R. Guerin, “Interactions, competition and innovation in a service-oriented internet: An economic model,” in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pp. 1–5, Mar. 2010.
- [3] A. Nagurney, D. Li, T. Wolf, and S. Saberi, “A network economic game theory model of a service-oriented internet with choices and quality competition,” *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, vol. 14, pp. 1–25, May 2013.
- [4] S. Sen, R. Guérin, and K. Hosanagar, “Functionality-rich versus minimalist platforms: A two-sided market analysis,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 41, pp. 36–43, Oct. 2011.
- [5] M. Sugiura, S. Arakawa, M. Murata, S. Imai, T. Katagiri, and M. Sekiya, “Utility analysis of API economy based on multi-sided platform markets model,” in *Proceedings of International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (ICDET2020)*, pp. 1–6, Oct. 2020.
- [6] T. Isckia, D. R. Mark, and D. Lescop, “Orchestrating platform ecosystems: The interplay of innovation and business development subsystems,” *Journal of Innovation Economics & Management*, vol. 32, pp. 197–223, May 2020.
- [7] B. Di Martino, G. Cretella, A. Esposito, and R. G. Sperandeo, “Semantic representation of cloud services: A case study for microsoft windows azure,” in *Proceedings of International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pp. 647–652, Sept. 2014.
- [8] “The Power of the API Economy: Stimulate Innovation, Increase Productivity, Develop New Channels, and Reach New Markets — IBM Redbooks.” <https://www.redbooks.ibm.com/abstracts/redp5096.html>, Dec. 2014. (Accessed : 2021-12-20).
- [9] “Spotify users - subscribers in 2021 — Statista.” <https://www.statista.com/statistics/244995/number-of-paying-spotify-subscribers/>, Nov. 2021. (Accessed : 2022-02-06).
- [10] D. Skog, H. Wimelius, and J. Sandberg, “Digital service platform evolution: How spotify leveraged boundary resources to become a global leader in music streaming,” in *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 4564–4573, June 2018.

- [11] “IR 情報 | KADOKAWA グループ ポータルサイト.” <https://group.kadokawa.co.jp/ir/>.
(Accessed : 2022-02-07).
- [12] M. A Cusumano, “Epic versus Apple and the future of App stores,” *Communications of the ACM*, vol. 65, pp. 22–24, Jan. 2022.