サブスクリプション型MaaSの経済厚生分析

織田澤 利守[1]・中村 温樹[2]・片井 拓真[3]

[1]正会員　神戸大学大学院教授　工学研究科市民工学専攻（〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1）
E-mail: ota@opal.kobe-u.ac.jp (Corresponding Author)
[2]学生会員　神戸大学大学院　工学研究科市民工学専攻 （同上）
E-mail: 209t119t@stu.kobe-u.ac.jp
[3]学生会員　神戸大学大学院　工学研究科市民工学専攻 （同上）
E-mail: 221t109t@stu.kobe-u.ac.jp

本研究では，MaaS におけるサブスクリプション型運賃方式の導入が経済厚生に及ぼす影響について分析を行うための理論的枠組みを構築し，数値分析を行う．交通市場の特性として，利用者による交通手段選択と道路混雑を明示的に扱った数理モデルを定式化し，MaaS におけるサブスクリプションの導入有無及び価格決定方法が利用者の交通行動や厚生に与える影響を分析する．MaaS の価格決定方法として，(i)MaaS 事業者が利潤最大化を行う場合，(ii) 平均費用価格形成を適用する場合，(iii) 道路混雑課金を含む限界費用価格形成を適用する場合について議論する．その上で，道路混雑による影響の分析や利用者間の公平性の観点からの検討も行う．分析の結果，サブスクリプションの導入によって都度払いパスの価格が上昇し，社会厚生を低下させる可能性があること，モーダルシフトが進展しないこと，また，外出価値が低い利用者にとっては厚生の損失が生じることが明らかとなった．

Key Words : *Subscription-based MaaS, transportation choice, traffic congestion, welfare analysis, pricing*

1. はじめに

近年，サブスクリプション型サービスの市場が拡大している．サブスクリプションとは，利用者が定額料金を事前に支払うことによって一定期間に渡ってサービスが受けることができる料金体系である．交通分野においても，新たなモビリティサービスとして注目されている MaaS（Mobility as a Service）の中で，サブスクリプション型運賃方式は重要な機能の１つとして位置付けられている．海外では，フィンランドのヘルシンキやイギリスのウエストミッドランドなどにおいて，サブスクリプション型運賃方式を採用した MaaS プラットフォーム「Whim」の提供が 2016 年から開始されている [1)]．これは，マイカーの所有を考えているユーザーに対して，マイカーを所有するより安い価格で幅広い移動サービスを提供し，ユーザーに対して自家用車に代わる新たな選択肢を提示している [2)]．我が国では本格的な導入事例は未だ報告されていないものの，富山市内の鉄道，路線バス，路面電車で利用可能なサブスクリプションパス（年間乗り放題パス）を発行する社会実験が 2021 年に実施されるなど各地で導入に向けた取り組みが進められている．また，公共交通を取り巻く社会経済情勢が大きく変化する中，国土交通省は鉄道の運賃及び料金設定の自由度向上や多様化を進めるための検討を開始したところである [3)]．

MaaS におけるサブスクリプションの導入は，利便性向上による利用者の厚生改善や自家用車から公共交通へのモーダルシフトに伴う交通混雑の解消，環境負荷の低減といった効果をもたらすことが期待される．例えば，前述の Whim は,「自家用車を手放した生活へ移行すること」を MaaS 実装の目標とし，そのコンセプトを実現するために,「公共交通やオンデマンド交通の組み合わせによって，自家用車と同等のユーザー体験を実現する」ような機能的な利便性を重視したサービス設計を行なっている [2)]．しかし，交通サブスクリプションの導入による影響を分析した既往研究は筆者の知る限りほとんど存在せず，期待されるような効果が現れるか否かは明らかではない．そこで，本研究では，交通市場の特性として道路混雑と利用者の交通手段選択を明示的に扱ったモデルを構築し，MaaS におけるサブスクリプションの導入が経済厚生に及ぼす影響を分析する．その際，価格設定のあり方について，需要と供給の両面から議論を行う点が本研究の特徴であると言える．

2. 本研究の基本的な考え方

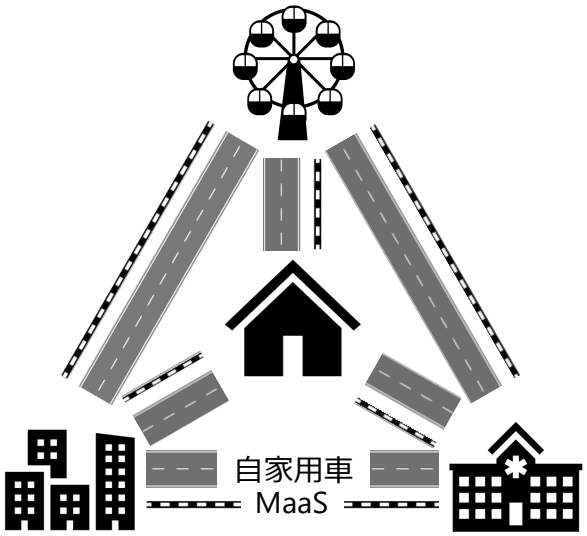
(1) 既往研究の整理

近年，MaaS に関する研究の報告が徐々に増加している [4),5)]．村井・塩見 [6)] は，路線バスを対象にサブス

クリプション型運賃方式を採用した場合の事業採算性について分析を行っている．伊藤ら[7]は，サブスクリプション型運賃制度を利用した広域的な路線バスサービスの維持方策を検討している．また，田淵・福田[8]は，交通行動モデルを用いて，サブスクリプション型 MaaS の料金と利用可能範囲の関係を定量的に評価する枠組みを提案している．Hörcher et al.(2020)[10]は，混雑を考慮した経済モデルを用いて，マルチモーダルパスの経済効率性について数値的に分析している．このモデルではピーク時とオフピーク時の 2 つの市場環境と公共交通，自家用車，カーシェアの 3 つの交通機関選択を想定している．サブスクリプションに伴う限界運賃の低下により，パス所有者が公共交通やカーシェアリングを過剰に利用すること，その結果，交通機関の混雑が生じ，導入前と比較して社会全体の効用を引き下げる可能性があることが明らかとなった．ただし，MaaS の価格決定については明示的に扱われておらず，サブスクリプションパス料金を外生的に与えた上で分析を行っている．一方で，サブスクリプション型サービスの価格設定に着目した研究は数少ない．Glazer et al.(1982)[9]は，サブスクリプションの経済効果について独占的企業によって供給される雑誌の定期購読を例に分析を行った．そこでは，財に関する情報が利用者にとって不確実であるという側面に着目し，サブスクリプション方式の導入が社会厚生に及ぼす影響について分析を行っている．分析の結果，財の情報が不確実な場合，サブスクリプション方式の導入は社会全体の厚生を増加させるものの，そのほとんどが利潤の増加として企業側に吸収されることが明らかとなった．

(2) 本研究の位置付け

本研究では，MaaS におけるサブスクリプション型運賃方式の導入が経済厚生に及ぼす影響について分析を行う．交通市場の特性として，消費者による交通手段選択と道路混雑を考慮した数理モデルを定式化し，価格決定方法が利用者の交通行動や厚生に及ぼす影響について分析する．なお，鉄道や乗合バスといった公共交通の運賃設定においては，利用者利益の保護や利便性の確保の観点から平均費用価格形成が適用されている．しかし，社会情勢の変化や利用者ニーズの多様化に柔軟に対応するために，現行制度そのものの見直しも含めた検討が始まっている．こうした動向を踏まえ，本研究では，まず，料金設定に関する規制が存在しない，すなわち，MaaS 事業者が自由に価格を決定できる状況を想定し分析を進める．続いて，平均費用価格形成が適用される状況を想定した分析を行う．また，社会的に最適な価格の設定についても併せて分析を行う．本研究では，既存の公共交通や民間のモビリティサービスなど，自家用車以外の移動手段が全て MaaS によって提供されることを想定する．また，MaaS の提供方式については van den Berg et al.[11]が詳細に論じているが，本研究では簡単のため MaaS の販売を行う事業者が各交通機関の運営まで行っていることを想定する．



図–1 数理モデルの枠組み

3. モデルの定式化

(1) 利用者の行動

a) 設定

一度の外出で複数の目的地を訪問可能な交通ネットワーク（**図–1**）を想定し，N 人の利用者による m 日間の交通行動をモデル化する．第 i $(=1,\cdots,m)$ 日目に利用者が外出することによって得られる価値を $\tilde{p}_i$ と表す．ここで，$\tilde{p}_i$ はその日の目的地や天気，体調などによって変動する．外出価値 $\tilde{p}_i$ は，m 日間を通じた平均外出価値 p と日毎の変動を表す確率変数 ε_i を用いて，

$$\tilde{p}_i = p + \varepsilon_i \tag{1}$$

と表される．ただし，平均外出価値 p は各利用者によって異なり，確率密度関数 $h(p)$ 及び確率分布関数 $H(p)$ に従って分布するものとする．ε_i は p には依存せず，i について互いに独立で平均 0 の確率変数であり，確率密度関数 $g(\varepsilon)$ 及び確率分布関数 $G(\varepsilon)$ に従う．なお，ε_i の値は事前には確定せず，利用者は外出価値 $\tilde{p}_i$ の値を当日の外出前に初めて正確に知ることができるものとする．

利用者がトリップを行う際，利用可能な移動手段は MaaS と自家用車の 2 つである．MaaS は，利用者が 1 日ごとに料金を支払う都度払いと m 日間有効なサブスクリプションという 2 種類が提供されるものとする．こ

表–1 変数一覧

	変数	変数の説明
利用者	N	利用者数
	p	利用者にとっての m 日間の平均外出価値
	$h(p)$	p の確率密度関数
	$H(p)$	p の確率分布関数
	ε	外出価値の日変動（p と互いに独立な確率変数）
	$g(\varepsilon)$	ε の確率密度関数
	$G(\varepsilon)$	ε の確率分布関数
	y	MaaS 利用時の非金銭費用
MaaS	t	都度払いパスの価格
	q	サブスクリプションパスの 1 日当たりの価格
	c	MaaS の限界費用
	C	MaaS の固定費用
	$K(q,t)$	都度払いパスを利用する利用者の割合（後ほど導出）
自家用車	x	道路交通量
	f	混雑費用パラメータ
	i_c	1 日当たりの自動車保有費用
	β	サブスク利用に対する自家用車利用の分担率（後述）

こで，都度払いパスの価格を t, サブスクリプションパスの 1 日当たりの価格を q と表す．また，徒歩移動時間などの非金銭費用を y と表す．一方，自家用車の利用には，自動車を保有するための（1 日当たりに換算した）固定費用 i_c と道路交通量 x に応じて生じる混雑費用 $f \cdot x$ を要する．なお，f は混雑費用パラメータである．なお，一般に MaaS にはタクシーやレンタカー，小型モビリティなどのサービスも含まれるが，本研究では MaaS 利用者は道路混雑に対して影響を与えないものとする．

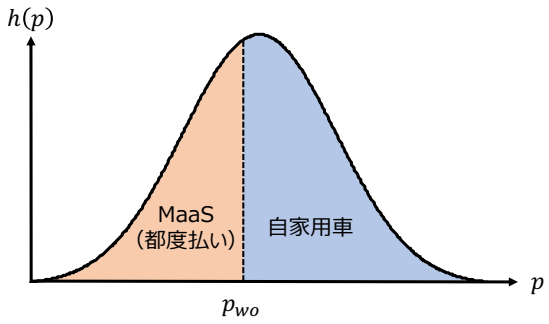
MaaS 事業者が負担する費用として，MaaS の限界費用を c（固定），固定費用を C とする．利用者は MaaS を利用するか自家用車を利用するか，また，MaaS を利用する場合には，サブスクリプションパスを購入するか否かを期首の時点で決定する．モデルに用いる変数を**表–1** に整理する．

b) サブスクリプション未導入ケース (w/o ケース)

まず、サブスクリプションパスは導入されず，MaaS が都度払いパスのみで提供されるケースについて考える．利用者は，MaaS を都度払いパスで利用するか，自家用車を利用するかのいずれかを m 日間の平均外出価値 p によって期首の時点に選択する．ここで，平均外出価値が p である利用者が期首の時点で各移動手段を選択した場合の期待利得を導出する．

都度払いパスで MaaS を利用する場合，利用者は当日（第 i 日目）に明らかとなる外出価値 $\tilde{p}_i$ が都度払い価格 t_{wo} を上回る場合に外出し，下回る場合にはその日の外出を取りやめる．これより，m 日間における期待利得 $V_{pe}^{wo}(p)$ は，次のように表される．

$$V_{pe}^{wo}(p) = m\int_{t_{wo}+y-p}^{\infty}(\varepsilon + p - t_{wo} - y)g(\varepsilon)d\varepsilon \quad (2)$$



図–2 交通手段選択の構造（w/o ケース）

一方，自家用車を利用する場合，利用者は自動車の保有費用と道路混雑費用を負担する必要がある．ここで，議論の過度な複雑化を避けるため，期首の時点で自家用車の利用を選択した利用者は外出価値の日変動に寄らず，必ず目的地へのトリップを行うものとする[注1)]．すなわち $\Pr(\varepsilon < -p + f \cdot x) \approx 0$ と仮定する．この仮定の下で自家用車を利用する場合の期待利得 $V_{car}^{wo}(p)$ は，

$$V_{car}^{wo}(p) = m(p - f \cdot x - i_c) \quad (3)$$

と表される．平均外出価値 p をもつ利用者は式 (2) と (3) を比較し，より大きな期待効用をもたらす移動手段を選択する．このとき，$V_{pe}^{wo}(p_{wo}) = V_{car}^{wo}(p_{wo})$ を満たす平均外出価値の閾値 p_{wo} が存在し，$p < p_{wo}$ を満たす利用者は都度払いパスでの MaaS 利用を，$p > p_{wo}$ を満たす利用者は自家用車の利用をそれぞれ選択する（**図–2**）．

閾値 p_{wo} を用れば，道路交通量 x_{wo} を以下のように得られる．

$$x_{wo} = N\Pr(p > p_{wo}) = N\big(1 - H(p_{wo})\big) \quad (4)$$

これより，式 (3), (4) より，自家用車で利用する場合の期待利得は，

$$V_{car}^{wo}(p) = m\big\{p - fN\big(1 - H(p_{wo})\big) - i_c\big\} \quad (5)$$

となる．したがって，閾値 p_{wo} において以下の等式が成立する．

$$\int_{t_{wo}+y-p_{wo}}^{\infty}(\varepsilon + p_{wo} - t_{wo} - y)g(\varepsilon)d\varepsilon = p_{wo} - fN\big(1 - H(p_{wo})\big) - i_c \quad (6)$$

利用者が MaaS を利用してトリップを行うのは，自家用車の利用を選択せず ($p < p_{wo}$)，かつその日の外出価値が MaaS 利用の費用を上回る場合 ($p + \varepsilon > t_{wo} + y$) である．したがって，都度払いパスで MaaS を利用す

る利用者の割合 $K(p_{wo}, t_{wo})$ は，

$$\begin{aligned} K(p_{wo}, t_{wo}) =& \Pr(p < p_{wo},\ \varepsilon > t_{wo} + y - p) \\ =& \int_0^{p_{wo}} \int_{t_{wo}+y-p}^{\infty} g(\varepsilon)h(p)d\varepsilon dp \\ =& \int_0^{p_{wo}} \big(1 - G(t_{wo} + y - p)\big)h(p)dp \quad (7) \end{aligned}$$

と表される．

ここで，都度払い価格 t_{wo} が交通手段選択に及ぼす影響について調べよう．式 (6) の両辺を t_{wo} で偏微分して整理すると次式を得る．

$$\frac{\partial p_{wo}}{\partial t_{wo}} = \frac{G(t_{wo} + y - p_{wo}) - 1}{fNh(p_{wo}) + G(t_{wo} + y - p_{wo})} < 0 \qquad (8)$$

また，式 (4) の両辺を t_{wo} で偏微分し，不等式 (8) を利用すれば以下の関係を導くことができる．

$$\frac{\partial x_{wo}}{\partial t_{wo}} = -Nh(p_{wo})\frac{\partial p_{wo}}{\partial t_{wo}} > 0 \qquad (9)$$

不等式 (8) 及び (9) は，都度払いパス価格 t_{wo} の上昇に伴って MaaS の利用者が減少し，道路交通量が増加することを示している．

c)　サブスクリプション導入ケース (w ケース)

次に、MaaS 事業者が都度払いパスに加えて，m 日間有効なサブスクリプションパスを販売するケースを考える．いま，都度払い価格を t_w，サブスクリプションパスの 1 日当たりの価格を q と表す．MaaS 利用者がサブスクリプションパスを購入するための条件は，$t_w > q$ である（詳細は**付録 A** を参照）．以下では，この条件が成立するものとして議論を進める．

m 日間の平均外出価値が p である利用者が都度払いパスで MaaS を利用する場合の期待効用 $V_{pe}^w(p)$ 及び自家用車を利用する場合の期待効用 $V_{car}^w(p)$ は，前節と同様にそれぞれ以下の式で表される[注2)]．

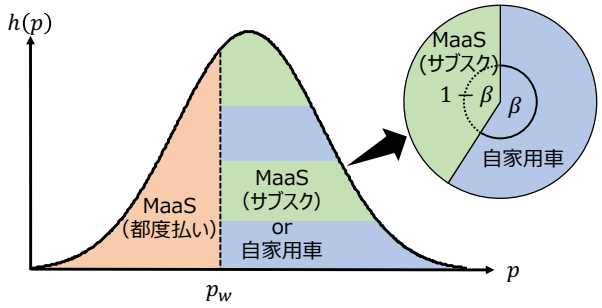
$$V_{pe}^w(p) = m\int_{t_w+y-p}^{\infty} (\varepsilon + p - t_w - y)g(\varepsilon)d\varepsilon \qquad (10)$$

$$V_{car}^w(p) = m(p - f \cdot x_w - i_c) \qquad (11)$$

また，サブスクリプションパスで MaaS を利用する場合の期待利得 $V_{ps}^w(p)$ は次式で表される．

$$V_{ps}^w(p) = m(p - q - y) \qquad (12)$$

ここで，議論の過度な複雑化を避けるため，期首の時点でサブスクリプションパスでの MaaS 利用を選択した利用者は外出価値の日変動に寄らず，必ず目的地へのトリップを行うものとする．すなわち $\Pr(\varepsilon < -p + y) \approx 0$ と仮定する．平均外出価値 p をもつ利用者は $V_{pe}^w(p), V_{car}^w(p)$ 及び $V_{ps}^w(p)$ を比較し，期待効用が最大となる選択を行う．式 (11) 及び (12) より，自家用車利用とサブスクリプションパスでの MaaS 利用の間の選択は平均外出価値 p に依存せず，自家用車の交通量 x_w のみに依存することがわかる．一方，前節の議論を踏まえると，都度払いパスでの MaaS 利用と自家用車利用（もしくは，サブスクリプションパスでの MaaS 利用）の間の選択では，両者の期待効用が等しくなる平均外出価値の閾値が存在し，平均外出価値 p がその閾値を上回る利用者は自家用車，もしくは，サブスクリプションパスの MaaS を，下回る利用者は都度払いパスで MaaS を利用する．以上のことから，すべての選択肢が利用されている均衡状態は**図–3** に示す選択構造を持つ．ここで，都度払いパスでの MaaS 利用を選択するか否かに関する平均外出価値の閾値を p_w，都度払いパスでの MaaS 利用を選択しなかった利用者のうち，自家用車を利用する割合を β で表す．



図–3　交通手段選択の構造（w ケース）

平均外出価値が閾値 p_w と等しい利用者にとっては，都度払いパスでの MaaS 利用とサブスクリプションパスでの MaaS 利用が無差別 ($V_{pe}^w(p_w) = V_{ps}^w(p_w)$) となる．つまり，以下の等式が成立する．

$$\int_{t_w+y-p_w}^{\infty} (p_w + \varepsilon - t_w - y)g(\varepsilon)d\varepsilon = p_w - q - y \quad (13)$$

式 (13) を q 及び t_w で偏微分して整理すると，以下の関係を得る．

$$\frac{\partial p_w}{\partial t_w} = 1 - \frac{1}{G(t_w + y - p_w)} < 0 \qquad (14)$$

$$\frac{\partial p_w}{\partial q} = \frac{1}{G(t_w + y - p_w)} > 0 \qquad (15)$$

式 (14) 及び (15) は，都度払いパスの価格上昇が都度払いパスでの MaaS 利用者を減少させる一方，サブスクリプションパスの価格上昇は都度払いパスでの MaaS 利用者を増加させることを示している．

続いて，平均外出価値 p が閾値 p_w を上回る利用者の選択に着目する．ここで，道路交通量 x_w は，

$$x_w = \beta N\Pr(p > p_w) = \beta N\big(1 - H(p_w)\big) \qquad (16)$$

であり，自家用車を利用する場合の期待効用 $V_{car}^w(p)$ は，

$$V_{car}^w = m\big\{p - f\beta N\big(1 - H(p_w)\big) - i_c\big\} \qquad (17)$$

と表される．前述の通り，自家用車利用とサブスクリプションパスでの MaaS 利用の間の選択は平均外出価値 p に依存せず，道路交通量 x_w のみに依存する．どちらも利用されるためには，$V_{ps}^w(p) = V_{car}^w(p)$ が成立する必

要がある．式 (12) 及び (17) を等号で結び整理すると，次の等式を得る．

$$q = f\beta N\big(1 - H(p_w)\big) + i_c - y \tag{18}$$

式 (18) を q 及び t_w で偏微分し，式 (14), (15) を用いれば，以下の関係を得る．

$$\frac{\partial \beta}{\partial t_w} = \frac{\beta h(p_w)}{1 - H(p_w)} \frac{\partial p_w}{\partial t_w} < 0 \tag{19}$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial q} = \frac{1}{1 - H(p_w)} \left\{ \beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial q} + \frac{1}{fN} \right\} > 0 \tag{20}$$

不等式 (19) 及び (20) は，都度払いパス価格 t_w の上昇が自家用車の選択割合 β は減少させる一方，サブスクリプションパス価格 q の上昇は β を増加させることを表す．さらに，式 (16) を q 及び t_w で偏微分し，式 (19), (20) を代入して整理すれば，以下を得る．

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_w}{\partial t_w} &= N \frac{\partial \beta}{\partial t_w}\big(1 - H(p_w)\big) - N\beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial t_w} \\ &= N \left\{ \beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial t_w} - \beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial t_w} \right\} \\ &= 0 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_w}{\partial q} &= N \frac{\partial \beta}{\partial q}\big(1 - H(p_w)\big) - N\beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial q} \\ &= N \left\{ \beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial q} + \frac{1}{fN} - \beta h(p_w) \frac{\partial p_w}{\partial q} \right\} \\ &= \frac{1}{f} > 0 \end{aligned} \tag{22}$$

式 (21) は，都度払いパス価格 t_w の上昇が自家用車の交通量には影響を及ぼさないこと，式 (22) は，サブスクリプションパス価格 q の上昇が道路交通量を増加させることをそれぞれ示している．

(2) MaaS 事業者の利潤関数

a) サブスクリプション未導入ケース (w/o ケース)

MaaS にサブスクリプションが導入されない場合，m 日間の MaaS 事業者の利潤 π_{wo} は，MaaS の限界費用 c および固定費用 C を用いて以下のように表される．

$$\begin{aligned} \pi_{wo} =& mNK(p_{wo}, t_{wo})(t_{wo} - c) - C \\ =& mN \int_0^{p_{wo}} \big(1 - G(t_{wo} + y - p)\big) h(p) dp \cdot (t_{wo} - c) \\ & - C \end{aligned} \tag{23}$$

b) サブスクリプション導入ケース (w ケース)

MaaS にサブスクリプションを導入する場合，m 日間の MaaS 事業者の利潤 π_w は都度払いパスの販売による利潤とサブスクリプションパスの販売による利潤の合計から固定費用を差し引いて，以下のように表される．

$$\begin{aligned} \pi_w =& mNK(p_w, t_w)(t_w - c) \\ & + m(1 - \beta)N\big(1 - H(p_w)\big)(q - c) - C \\ =& mN \int_0^{p_w} \big(1 - G(t_w + y - p)\big) h(p) dp \cdot (t_w - c) \\ & + m(1 - \beta)N\big(1 - H(p_w)\big)(q - c) - C \end{aligned} \tag{24}$$

(3) 社会厚生関数

a) サブスクリプション未導入ケース (w/o ケース)

MaaS にサブスクリプションが導入されない場合の社会厚生関数を以下のように定義する．

$$SW_{wo} = \sum V_{pe}^{wo} + \sum V_{car}^{wo} + \pi_{wo} \tag{25}$$

ここで，$\sum V_{pe}^{wo}$ は MaaS 利用者の期待利得の合計，$\sum V_{car}^{wo}$ は自家用車利用者の期待利得の合計であり，それぞれ以下のように表される．

$$\begin{aligned} \sum V_{pe}^{wo} =& mN \int_0^{p_{wo}} \int_{t_{wo}+y-p}^{\infty} (p + \varepsilon - t_{wo} - y) \\ & \cdot g(\varepsilon) h(p) d\varepsilon dp \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} \sum V_{car}^{wo} =& mN \int_{p_{wo}}^{\infty} \big\{ p - fN\big(1 - H(p_{wo})\big) - i_c \big\} \\ & \cdot h(p) dp \end{aligned} \tag{27}$$

である．式 (23), (26), (27) を式 (25) に代入して整理すると，

$$\begin{aligned} SW_{wo} = mN \Bigg[& \int_0^{p_{wo}} \int_{t_{wo}+y-p}^{\infty} (p + \varepsilon - y) g(\varepsilon) h(p) d\varepsilon dp \\ & - c \int_0^{p_{wo}} \big(1 - G(t_{wo} + y - p)\big) h(p) dp \\ & + \int_{p_{wo}}^{\infty} \big\{ p - fN(1 - H(p_{wo})) - i_c \big\} h(p) dp \Bigg] - C \end{aligned} \tag{28}$$

と表すことができる．

b) サブスクリプション導入ケース (w ケース)

MaaS にサブスクリプションが導入される場合の社会厚生関数を次式で定義する．

$$SW_w = \sum V_{pe}^{w} + \sum V_{ps}^{w} + \sum V_{car}^{w} + \pi_w \tag{29}$$

ここで，$\sum V_{pe}^{w}$ は都度払いパスでの MaaS 利用者の期待利得の合計，$\sum V_{ps}^{w}$ はサブスクリプションパスでの MaaS 利用者の期待利得の合計，$\sum V_{car}^{w}$ は自家用車利用車の期待利得の合計であり，それぞれ以下のように

表される．

$$\sum V_{pe}^{w} = mN \int_{0}^{p_w} \int_{t_w+y-p}^{\infty} (p+\varepsilon-t_w - y)g(\varepsilon)h(p)d\varepsilon dp \quad (30)$$

$$\sum V_{ps}^{w} = m(1-\beta)N \int_{p_w}^{\infty} (p-q-y)h(p)dp \quad (31)$$

$$\sum V_{car}^{w} = m\beta N \int_{p_w}^{\infty} \{p - f\beta N\big(1-H(p_w)\big) - i_c\}h(p)dp \quad (32)$$

これらを用いて，社会厚生関数 SW_w を以下のように書き直すことができる．

$$\begin{aligned} SW_w =& mN\Bigg[\int_{0}^{p_w}\int_{t_w+y-p}^{\infty}(p+\varepsilon-y)g(\varepsilon)h(p)d\varepsilon dp \\ &- c\int_{0}^{p_w}\big(1-G(t_w+y-p)\big)h(p)dp \\ &+ \beta\int_{p_w}^{\infty}\{p-f\beta N(1-H(p_w))-i_c\}h(p)dp \\ &+ (1-\beta)\int_{p_w}^{\infty}(p-c-y)h(p)dp\Bigg] - C \end{aligned} \quad (33)$$

4. MaaS 価格の決定

(1) MaaS 事業者による利潤最大化

a) サブスクリプション未導入ケース (w/o ケース)

独占的な MaaS 事業者が利潤 π_{wo} を最大とするように都度払いパスの価格 t_{wo}^{*} を決定する場合，利潤最大化の一階条件：$\dfrac{\partial \pi_{wo}}{\partial t_{wo}} = 0$ より，t_{wo}^{*} は次の等式を満たす．

$$\begin{aligned} &\Big\{\big(1-G(t_{wo}^{*}+y-p_{wo}^{*})\big)h(p_{wo}^{*})\left.\frac{\partial p_{wo}}{\partial t_{wo}}\right|_{t_{wo}=t_{wo}^{*}} \\ &\quad - \int_{0}^{p_{wo}^{*}} g(t_{wo}^{*}+y-p)h(p)dp\Big\}(t_{wo}^{*}-c) \\ &\quad + \int_{0}^{p_{wo}^{*}}\big(1-G(t_{wo}^{*}+y-p)\big)h(p)dp = 0 \end{aligned} \quad (34)$$

なお，p_{wo}^{*} は，$t_{wo}=t_{wo}^{*}$ のときの閾値を表す．ここで，式 (34) の左辺第 1 項は自家用車への手段転換に伴う利潤の変化，第 2 項は料金値上げによる収益の増加をそれぞれ表す．不等式 (8) を用いて各項の符号を整理すると，

$$t_{wo}^{*} - c > 0 \quad (35)$$

を満たす必要がある．つまり，MaaS 事業者は都度払い価格 t_{wo} を限界費用 c よりも高い値に設定することがわかった．

b) サブスクリプション導入ケース (w ケース)

MaaS にサブスクリプションを導入するケースで事業者が利潤最大化行動をとる場合，利潤最大化の一階条件：$\dfrac{\partial \pi_{w}}{\partial t_{w}} = 0$ 及び $\dfrac{\partial \pi_{w}}{\partial q} = 0$ より，t_{w}^{*}，q^{*} は次式を満たす．

$$\begin{aligned} &\Big\{\big(1-G(t_{w}^{*}+y-p_{w}^{*})\big)h(p_{w}^{*})\left.\frac{\partial p_{w}}{\partial t_{w}}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}} \\ &\quad - \int_{0}^{p_{w}^{*}} g(t_{w}^{*}+y-p)h(p)dp\Big\}(t_{w}^{*}-c) \\ &-\Big\{\big(1-H(p_{w}^{*})\big)\left.\frac{\partial \beta}{\partial t_{w}}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}} \\ &\quad + (1-\beta)h(p_{w}^{*})\left.\frac{\partial p_{w}}{\partial t_{w}}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}}\Big\}(q^{*}-c) \\ &\quad + \int_{0}^{p_{w}^{*}}\big(1-G(t_{w}^{*}+y-p)\big)h(p)dp = 0 \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} &\Big\{\big(1-G(t_{w}^{*}+y-p_{w}^{*})\big)h(p_{w}^{*})\left.\frac{\partial p_{w}}{\partial q}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}}\Big\}(t_{w}^{*}-c) \\ &-\Big\{\big(1-H(p_{w}^{*})\big)\left.\frac{\partial \beta}{\partial q}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}} \\ &\quad + (1-\beta)h(p_{w}^{*})\left.\frac{\partial p_{w}}{\partial q}\right|_{t_w=t_w^{*},q=q^{*}}\Big\}(q^{*}-c) \\ &+(1-\beta)\big(1-H(p_{w}^{*})\big) = 0 \end{aligned} \quad (37)$$

なお，p_{w}^{*} は $t_w = t_{w}^{*}$，$q = q^{*}$ のときの閾値を表す．式 (36) の左辺第 1 項は，都度払いパスの値上げに伴う，都度払いパス利用者減による収益減少分，第 2 項はサブスクリプションパス利用者増による収益増加分，第 3 項は値上げによる増収分をそれぞれ表す．また，式 (37) の左辺第 1 項は，サブスクリプションパスの値上げに伴う，都度払いパス利用者増による増収分，第 2 項はサブスクリプションパス利用者減による減収分，第 3 項は値上げによる増収分を表す．

以上より，t_{w}^{*} と q^{*} は以下の符号条件を満たす（導出は**付録 B** を参照）．

$$t_{w}^{*} > q^{*} > c$$

すなわち，MaaS 事業者は都度払いパスの価格 t_w とサブスクリプションパスの（1 日当たり）価格 q をともに限界費用 c よりも高く設定することがわかる．

(2) 平均費用価格形成

a) サブスクリプション未導入ケース (w/o ケース)

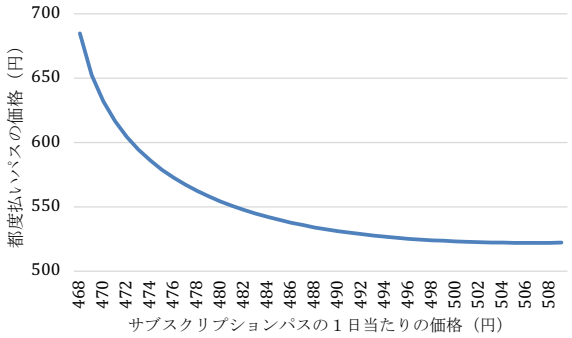
MaaS の価格に平均費用価格形成を適用する場合，MaaS 事業者は利潤 π_{wo} がゼロとなるよう都度払いパスの価格 t_{wo}° を決定する．よって，t_{wo}° は式 (23) より，次の等式を満たす．

$$mN\int_{0}^{p_{wo}^{\circ}}\big(1-G(t_{wo}^{\circ}+y-p)\big)h(p)dp\cdot(t_{wo}^{\circ}-c) - C = 0 \quad (38)$$

なお，p_{wo}° は，$t_{wo}=t_{wo}^{\circ}$ のときの閾値を表す．

表–2 パラメータ値

変数	設定値
N	30,000（人）
m	30（期）
p	$N(16000, 5333^2)$
ε	$N(0, 6000^2)$
c	400（円）
y	300（円）
C	5×10^7（円）
f	0.02 , 0.04
i_c	500（円）



図–4 式 (39) を満たす t と q の関係（$f = 0.02$）

b)　サブスクリプション導入ケース (w ケース)

MaaS にサブスクリプションを導入するケースで MaaS 価格に対して平均費用価格形成を適用する場合，都度払いパスの価格 t_w°，サブスクリプションパスの 1 日当たりの価格 q° は式 (24) より，次の等式を満たす．

$$mN\int_0^{p_w^\circ}\big(1-G(t_w^\circ+y-p)\big)h(p)dp\cdot(t_w^\circ-c) + m(1-\beta)N\big(1-H(p_w^\circ)\big)(q^\circ-c)-C=0 \quad (39)$$

なお，p_w° は $t_w = t_w^\circ$，$q = q^\circ$ のときの閾値を表す．

5.　数値分析

(1)　設定

本章では，3 章で構築したモデルをもとに，数値分析を行う．本章の数値分析で設定したパラメータの値を**表–2** に示す．本研究では，道路混雑が比較的起こりやすい地域とそうでない地域を想定するため，前者を $f = 0.04$，後者を $f = 0.02$ として計算する．本研究で設定したケースを**表–3** に整理する．また，次節以降で述べる数値分析の結果（$f = 0.02$）を**表–4** に示す．

(2)　事業者による利潤最大化行動

a)　サブスクリプション未導入ケース (Case1)

表–4 より，サブスクリプションが導入されないとき，MaaS 事業者が利潤最大化行動をとる場合，MaaS 事業者は都度払いパスの価格を限界費用よりも高い 660 円に設定する．また，このとき MaaS の分担率は 0.31，自家用車の分担率は 0.69 となる．

b)　サブスクリプション導入ケース (Case2)

表–4 より，サブスクリプションが導入されるとき，MaaS 事業者が利潤最大化行動をとる場合，MaaS 事業者は都度払い価格，サブスクリプションパスの価格ともに限界費用よりも高く設定する．また，サブスクリプションパスは料金が比較的低く抑えられている一方，Case1 と比較して都度払い料金は高く設定されている．また，Case1 と比較して自家用車の分担率に大きな変化は見られない．さらに，利用者厚生，社会厚生はわずかに減少するものの，事業者の利潤は増加している．

(3)　平均費用価格形成

a)　サブスクリプション未導入ケース (Case3)

表–4 より，サブスクリプションが導入されないとき，平均費用価格掲載を適用するする場合，MaaS 事業者は都度払いパスの価格を比較的低く設定する．そのため，Case1 と比較して MaaS の分担率が増加する．また，利用者厚生が増加することで，社会厚生も増加している．

b)　サブスクリプション導入ケース (Case4)

サブスクリプションが導入されるとき，平均費用価格形成する場合（Case4）を想定する．**図–3** に示すとおり，式 (39) を満たす $t_w = t_w^\circ$，$q = q^\circ$ のペアは複数存在するが，その中で厚生が最大となる価格を設定するものとする．**表–4** より，Case4 では MaaS 事業者は都度払いパス，サブスクリプションパス共に価格を比較的低く設定することがわかる．そのため，Case1 と比較して MaaS の分担率が増加する．また，MaaS の価格が低下することで利用者の厚生が増加している．さらに，Case3 と比較すると，都度払いパスの価格が高めに設定される一方，サブスクリプションパスの価格は低く設定されるが，厚生に大きな変化は見られない．

(4)　限界費用価格形成 (Case5)

次に，社会的に最適な状態として，価格を限界費用と等しくした上で，ある 1 人の利用者が増えたことによってその他の人に与える混雑の影響を考慮するために混雑税として料金の導入を想定する．また，サブスクリプションの導入は，MaaS の過剰利用による損失を発生させるため，本節ではサブスクリプションを導入しない場合のみ考える．このとき，自家用車利用による期待利得は次式のように表される．

$$V_{car}^{wo}(p) = m\big\{p - 2fN\big(1-H(p_{wo}^\bullet)\big) - i_c\big\} \quad (40)$$

表–3 ケースの設定一覧

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
価格決定	自由	自由	総括原価	総括原価	限界費用
目的関数	利潤最大化	利潤最大化	利潤ゼロ	利潤ゼロ	社会的最適
（本稿中の式）	(式 (34))	(式 (36), 式 (37))	(式 (38))	(式 (39))	-
サブスクリプション	無	有	無	有	無
混雑税	無	無	無	無	有

表–4 分析結果（$f = 0.02$）

			Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
閾値			$p^*_{wo} = 13,304$	$p^*_{w} = 8,396$	$p^\circ_{wo} = 15,778$	$p^\circ_{w} = 11,854$	$p^\bullet_{wo} = 21,168$
β			-	0.72	-	0.59	-
価格	都度払い（円）		660	938	522	558	400
	サブスクリプション（円）		-	596	-	479	-
分担率	MaaS	都度払い	0.31	0.08	0.45	0.22	0.83
		（移動取りやめ）	(0.09)	(0.23)	(0.06)	(0.11)	(0.03)
		サブスクリプション	-	0.26	-	0.32	-
	自家用車		0.69	0.66	0.52	0.47	0.17
厚生	平均消費車厚生（万円/人）		45.47	45.42	45.81	45.85	46.16
	事業者利潤（万円）		1,513	2,502	0	0	-5,000
	総社会厚生（億円）		136.6	136.5	137.4	137.5	138.0

なお，$p^\bullet_{wo}$ は，$t = c$ かつ利用者の自家用車利用による期待利得が式 (40) を満たすときの閾値を表す．**表–4** より，Case5 では都度払いパスの価格が限界費用と等しくなるため，MaaS の利用率が上昇する．また，社会的最適な状態となるため，これまでのケースと比較し利用者厚生，社会厚生共に最も大きくなる．道路混雑の影響が大きい場合には，MaaS の分担率が高くなる．利用者厚生と社会厚生は変化しない．

(5) 道路混雑の影響が大きいケース

本節では，道路混雑が比較的起こりやすい地域を想定するため，混雑費用パラメータ f を 0.04 として分析を行う．数値分析の結果を**表–5** に示す．道路混雑が起こりやすいケースでは，MaaS の需要が増加するため，MaaS 事業者が利潤最大化行動を行う場合（Case1,2）は MaaS の価格が上昇し，平均費用価格形成を適用する場合（Case3,4）は低下する．また，Case1,2 ではサブスクリプション導入による都度払い価格の上昇幅が大きくなることで，都度払い MaaS の分担率が大きく低下し，$f = 0.02$ のケースと比較してモーダルシフトの効果が小さくなっている．さらに，Case3,4 ではサブスクリプション導入による都度払い価格の上昇幅が小さくなることで，サブスクリプションと都度払いの価格差が小さくなっている．これにより，サブスクリプションの魅力度が低下することでサブスクリプション MaaS の分担率が低くなっており，結果として $f = 0.02$ のケースと比較してモーダルシフトの効果が小さくなっている．

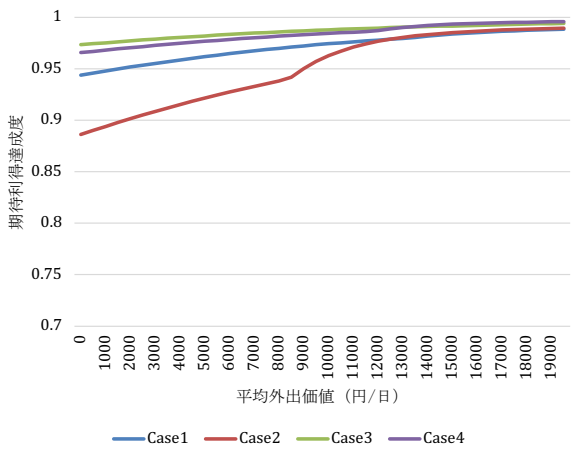
また，Case1,2 では事業者の利潤が大幅に増加する一方で利用者の厚生が減少することから，道路混雑の損失を利用者が負担する状態となっている．一方で，Case3,4 では価格の低下によって利用者厚生，社会厚生共に増加する．

(6) 利用者異質性を考慮した分析

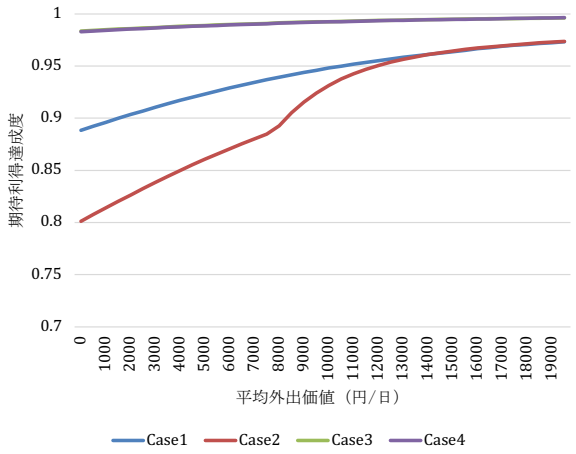
ここまで，社会全体への影響を分析してきたが，本節ではサブスクリプションの導入によってどの属性の利用者に便益や損失が生じているのかを分析する．**図–5** は，m 日間の平均外出価値 p の利用者がそれぞれ持つ期待利得 V を，社会的に最適な状態（Case5）の利用者厚生を 1 としたときの割合で表したものである．これを見ると，サブスクリプションが導入されると特に MaaS 事業者が利潤最大化行動をとる場合（Case1，Case2）に，外出価値が小さく，都度払いを選択する利用者にとって厚生に差が生じている．本章第 1 節で Case1 と Case2 の社会厚生に差が生じた要因は，サブスクリプションの導入により外出価値の低い利用者が外出を取りやめるなどして，比較的大きな厚生の損失を受けるからだということがわかる．また，平均費用価格形成を適用する場合（Case3，Case4）でも，僅かではあるが同様の傾向が見られる．

表–5 分析結果（$f = 0.04$）

			Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
閾値			$p^*_{wo} = 14,849$	$p^*_{w} = 7,805$	$p^\circ_{wo} = 19,974$	$p^\circ_{w} = 16,194$	$p^\bullet_{wo} = 23,377$
β			-	0.62	-	0.46	-
価格	都度払い（円）		927	1371	475	478	400
	サブスクリプション（円）		-	892	-	468	-
分担率	MaaS	都度払い（移動取りやめ）	0.42（0.08）	0.06（0.28）	0.77（0.04）	0.51（0.06）	0.92（0.03）
		サブスクリプション	-	0.36	-	0.26	-
	自家用車		0.59	0.58	0.23	0.22	0.08
厚生	平均利用者厚生（万円/人）		44.66	44.53	45.94	45.94	46.16
	事業者利潤（万円）		13,145	14,917	0	0	-5,000
	総社会厚生（億円）		135.3	135.1	137.8	137.8	138.0



図–5 厚生達成度（$f = 0.02$）



図–6 厚生達成度（$f = 0.04$）

(7) 公平性やモーダルシフトに配慮するケース

前述の通り，Case4 において式 (39) を満たす t，q のペアは複数存在する．ここまで，Case4 では平均費用価格形成のもとで社会厚生を最大にする（本節では Case4a とする）ように価格を決定するものとしてきたが，本節では平均費用価格形成のもとで，公正性を確保するため都度払い価格を安く抑える場合（Case4b）やモーダルシフトを進めるため自家用車分担率を低くする場合（Case4c）についても分析を行う．

前節の結果から，サブスクリプションの導入による都度払い価格の上昇が，外出価値の低い利用者に厚生損失を与えるということは明らかである．そこで Case4b として，式 (39) を満たす都度払い価格 t が最も安くする場合について考える．また，Case4a ではモーダルシフトの効果が小さかったため，Case4c として，式 (39) を満たす条件のもとで最も自家用車分担率を低くする場合を考える．

分析結果を**表–6** に示す．Case4b では，都度払い価格が安く抑えられているものの，同時にサブスクリプション価格が上昇している．これによって，サブスクリプションの魅力度が低下することから，サブスクリプションでの MaaS 利用の分担率が非常に低くなっている．つまり，公平性に配慮して価格を決定するとサブスクリプションが普及しないということが明らかとなった．また，Case4c では，MaaS 利用を促すためにサブスクリプション価格が安く設定されるが，それに伴って都度払い価格が上昇することがわかる．これによって，モーダルシフトを促す価格決定を行うと，結果的に外出価値の低い利用者が厚生の損失を受けるということがわかる．さらに，モーダルシフトの効果も大きいとは言えない．

6. まとめ

本研究では，MaaS におけるサブスクリプション型運賃方式の導入が経済厚生に及ぼす影響について理論的枠組みを構築し，数値分析を行った．分析の結果，サブスクリプションが導入されると都度払い価格が高く設

表–6 分析結果（$f = 0.02$）

			Case4a	Case4b	Case4c
閾値 p_w°			11,854	15,263	9,426
β			0.59	0.92	0.50
価格	都度払い（円）		558	522	685
	サブスクリプション（円）		479	506	468
分担率	MaaS	都度払い	0.22	0.45	0.11
		（移動取りやめ）	(0.11)	(0.06)	(0.18)
		サブスクリプション	0.31	0.05	0.44
	自家用車		0.47	0.51	0.45
平均利用者厚生（万円/人）			45.85	45.82	45.83

表–7 分析結果（$f = 0.04$）

			Case4a	Case4b	Case4c
閾値 p_w°			16,195	19,101	9,401
β			0.46	0.81	0.23
価格	都度払い（円）		478	475	664
	サブスクリプション（円）		468	473	447
分担率	MaaS	都度払い	0.51	0.72	0.11
		（移動取りやめ）	(0.06)	(0.04)	(0.18)
		サブスクリプション	0.26	0.05	0.69
	自家用車		0.22	0.23	0.21
平均消費車厚生（万円/人）			45.94	45.94	45.89

定されることが明らかとなった．さらに，都度払い価格が高く設定されることで，MaaS 事業者が利潤最大化行動をとる場合には事業者の利潤が増加する一方で利用者の厚生はほぼ変化せず，便益が MaaS 事業者に吸収されることが示唆された．MaaS にサブスクリプションを導入する際は，通常は価格規制がされない交通手段が MaaS に含まれている場合でも，利用者保護の観点からは価格規制が必要だと言える．また，サブスクリプションの導入による自家用車分担率の変化は大きくなく，混雑が激しい場合には変化がより小さくなる可能性が明らかとなったため，期待されるモーダルシフトの効果には疑問が残る．さらに，サブスクリプションが導入されると，社会的に最適な状態と比較して移動を取りやめる割合が低下することがわかった．これは，サブスクリプションパスの所有者が過剰に MaaS を利用することを示していると考えられる．また，利用者属性別の分析を行った結果，サブスクリプションの導入は外出価値が低く MaaS に対する支払い意思額が小さい利用者の厚生が低下するため，公平性の観点からサブスクリプションの導入は問題がある可能性が考えられる．ただし，本稿では，MaaS 事業者が独占的な状況を想定していたが，実際には複数の事業者が市場に存在することが考えられる．そこで，今後は複数の事業者の競争を想定した数理モデルを構築し，分析する余地がある．

付録.

A. 条件 $t_w > q$ の成立

利用者がサブスクリプションパスを購入する条件を導くために，サブスクリプションと都度払いそれぞれを選択した場合の利用者の期待利得を比較する（**表–8**）．ケース (i) では，$q > t_w$ なので $p - t_w > p - q$ となり，利用者は都度払いを選択する．ケース (ii) では，$p - q < 0$, $p - t_w > 0$ となるため，同じく利用者は都度払いを選択する．また，ケース (iii) について利用者はサブスクリプションを選択した場合 $p - q$ だけ利得を損失する，都度払いの場合は利得がマイナスになるため移動しない．よって，この時も利用者は都度払いを選択する．以上，各ケースの結果よりサブスクリプションの 1 日当たりの価格 q が都度払い価格 t_w より大きくなる場合には利用者は必ず都度払いを選択する．よって，都度払い価格 t_w は，サブスクリプションの 1 日当たりの価格 q よりも必ず大きく設定される．

表–8 t_w, q の比較

	条件	サブスクでの期待利得	都度払いでの期待利得
(i)	$p > q > t_w$	$p - q > 0$	$p - t_w > 0$
(ii)	$q > p > t_w$	$p - q < 0$	$p - t_w > 0$
(iii)	$q > t_w > p$	$p - q < 0$	0

B. 条件 $t_w^* > q^* > c$ の導出

以下では，都度払いパスの価格 t_w^*，サブスクリプションパスの価格 q^* 及び限界費用 c の大小関係について調べる．式 (36) の第 1 項及び第 2 項の中括弧（$\{\cdot\}$）内の符号が共に負，第 3 項の符号が正であることから，同式が成立するための $(t_w^* - c)$ 及び $(q^* - c)$ の符号条件を**表–9** のように整理できる．また，式 (37) の第 1 項及び第 2 項の中括弧内の符号は共に正，第 3 項の符号は正であることから，$(t_w^* - c)$ 及び $(q^* - c)$ の符号条件は**表–10** の通りである．

表–9 式 (36) が成立するための符号条件

	$q^* - c > 0$	$q^* - c = 0$	$q^* - c < 0$
$t_w^* - c > 0$	○	○	○
$t_w^* - c = 0$	×	×	○
$t_w^* - c < 0$	×	×	○

この段階では，$(t_w^* - c)$ 及び $(q^* - c)$ が共に正，または共に負となる可能性がある．そこで，式 (37) について，式 (15) を左辺の第 3, 4 項に代入して整理すると以下の

表–10 式 (37) が成立するための符号条件

	$q^*-c>0$	$q^*-c=0$	$q^*-c<0$
$t_w^*-c>0$	○	×	×
$t_w^*-c=0$	○	×	×
$t_w^*-c<0$	○	○	○

条件が得られる．

$$\Big\{\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big)h(p_w^*)\Big\}(t_w^*-c) - \Big\{G(t_w^*+y-p_w^*)\big(1-H(p_w^*)\big)\left.\frac{\partial\beta}{\partial q}\right|_{q=q^*} + (1-\beta)h(p_w^*)\Big\}(q^*-c) + (1-\beta)G(t_w^*+y-p_w^*)\big(1-H(p_w^*)\big)=0 \quad (41)$$

求めた式 (41) の左辺第 1 項を式 (36) に代入して整理すると，以下の新たな条件が求められる．

$$\Big\{\int_0^{p_w^*} g(t_w^*+y-p)h(p)dp\Big\}(t_w^*-c) + \big(1-H(p_w^*)\big)\Big\{\frac{\partial\beta}{\partial t_w}+\frac{\partial\beta}{\partial q}\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big)\Big\}(q^*-c) - (1-\beta)\big(1-H(p_w^*)\big)\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big) - \int_0^{p_w^*}\big(1-G(t_w^*+y-p)\big)h(p)dp=0 \quad (42)$$

ここで式 (42) の左辺の第一項について，式 (19), 式 (20) を用いて整理すると，

$$\frac{\partial\beta}{\partial t_w}+\frac{\partial\beta}{\partial q}\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big) = \frac{1}{1-H(p_w^*)}\cdot\frac{1}{fN}\cdot\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big)$$

となる．よって，事業者の利潤を最大化する条件として，新たに次式を得る．

$$\Big\{\int_0^{p_w^*} g(t_w^*+y-p)h(p)dp\Big\}(t_w^*-c) + \Big\{\frac{1}{fN}\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big)\Big\}(q^*-c) - (1-\beta)\big(1-H(p_w^*)\big)\big(1-G(t_w^*+y-p_w^*)\big) - \int_0^{p_w^*}\big(1-G(t_w^*+y-p)\big)h(p)dp=0 \quad (43)$$

式 (43) の第 1 項及び第 2 項の中括弧内の符号は共に正，第 3 項，第 4 項の符号が共に負であることから，同様にして符号条件を整理すれば，**表–11** となる．

表–11 式 (43) が成立するための符号条件

	$q^*-c>0$	$q^*-c=0$	$q^*-c<0$
$t_w^*-c>0$	○	○	○
$t_w^*-c=0$	○	×	×
$t_w^*-c<0$	○	×	×

NOTES

注1) この仮定は，$p+\varepsilon-f\cdot x_{wo}>0$ が常に成立することを意味する．自家用車の利用に要する費用のうち，(一日当たりの) 保有費用 i_c が支配的であること（$i_c \gg f\cdot x_{wo}$）を想定すると，一般性を大きく損なう仮定ではないことがわかる．

注2) 前節と同様に，期首の時点で自家用車の利用を選択した利用者は外出価値の日変動に寄らず，必ず目的地へのトリップを行うという仮定を置いている．

参考文献

1) MaaS GLOBAL: Whim travel by MaaS Global, https://maas.global/（最終閲覧日：2022 年 9 月 25 日）.
2) 日高 洋祐, 岡部 亜門, 長島 ちか：MaaS の現状と今後のサービス開発の展望, サービソロジー論文誌, Vol.6, No.3, 2019. [Hidaka,Y. and Okabe,A. and Nagashima,C.: The Present Status of Mobility as a Service and Future Prospects of Service Design, Japanese Journal of Serviceology, Vol.6, No.3, 2019.]
3) 国土交通省：鉄道運賃・料金制度のあり方に関する小委員会　中間取りまとめ，https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001493180.pdf（最終閲覧日：2022 年 9 月 25 日）.
4) 藤垣 洋平, 高見 淳史, トロンコソパラディ ジアンカルロス, 原田 昇：大都市圏向け統合モビリティサービス Metro-MaaS の提案と需要評価-自動運転車によるオンデマンドバスと既存公共交通の将来的な統合を目指して-, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, 2017. [Fujigaki,Y. and Takami,K. and Parady,G. and Harada,N.: "Metro-MaaS", an Integrated Mobility Service Concept for Megacities: Concept Proposal and Demand Evaluation Aiming at Future Integration of Autonomous Demand-Responsive-Transit and Existing Public Transportation, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.52, No.3, 2017.]
5) 赤木 大介, 神田 佑亮, 諸星 賢治：条件不利環境に対応した MaaS の設計と社会実装に関する実証研究, 土木学会論文集, Vol.76, No.5, 2021. [Akagi,D. and Kanda,Y.: Empirical study on design and social implementation of rural MaaS, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.76, No.5, 2021.]
6) 村井 藤紀, 塩見 康博：路線バスを対象としたサブスクリプション型運賃制度の 採算性における導入可能性の検討, 土木学会論文集, Vol.75, No.5, 2019. [Murai,F. and Shiomi,Y.: A feasibility study on subscription bus service, Transaction of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.75, No.5, 2019.]
7) 伊藤 将希, 武田 陸, 谷口 守：広域連携を見据えた路線バス維持方策の提案-サブスクリプション型平準化運賃制度に着目して-, 都市計画論文集, Vol.55, No.3, 2020. [Ito,M. and Takeda,R. and Taniguchi,M.: Proposal for sustainable route bus service considering regional cooperation -Equalized fare system by subscription-, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.55, No.3, 2020.]
8) 田淵 景子, 福田 大輔：再帰ロジット型交通行動モデルを用いたサブスクリプ ション型 MaaS の評価に関する基礎的研究, 都市計画論文集, Vol.55, No.3, 2020. [Tabuchi,K. and Fukuda,D.:Fundamental Study on the Evaluation of Subscription-based MaaS by Using Recursive Logit Travel Choice Model, Journal of the City Planning Institute of Japan, Vol.55, No.3, 2020.]
9) Glazer, A., Hassin, R., On the economics of subscrip-

tions, *European Economic Review*, 19(2-3), 343-365, 1982.
10) Hörcher, D., Graham, D. J., MaaS economics: Should we fight car ownership with subscriptions to alternative modes?, *Economics of Transportation*, 22 , 100167, 2020.
11) Vincent A.C. van den Berg, Business models for Mobility as an Service (MaaS), *Transportation Research Part B*, Vol 157,p.p 203-229, 2022
12) 国土交通省：日本版 MaaS の推進, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/japanmaas/promotion/（閲覧日：2022 年 9 月 25 日）.

(2023. 10. 10 受付)