

# Strategic Information Platforms in Transportation Networks

---

H. Tavafoghi, A. Shetty, K. Poolla and P. Varaiya, "Strategic Information Platforms in Transportation Networks," *2019 57th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)*, 2019, pp. 816-823.

2022/5/13

B4 林由翔

# Abstract

- 営利企業が運営する**交通ナビゲーションプラットフォーム**が交通量配分に与える影響をモデルで分析
  - 交通ナビゲーションプラットフォームの例：Google マップ, NAVITIME など
- 複数のプラットフォームの**競争の結果**、単一プラットフォームが市場を**独占した場合よりも社会的厚生が低下**する場合があることを示した
- 複数のプラットフォームが競争するとき、全てのプラットフォームにとって**無料で全ての情報を公開することが最適**となることを示した

# 目次

1. イントロダクション
2. モデル
3. 準備
4. Information Design
5. 単一プラットフォームの場合
6. 複数プラットフォームが競争する場合

# 1. イントロダクション

- 現代のドライバーは、Google マップなどの**交通ナビゲーションプラットフォーム**から提示される情報をもとに経路を選択している。
- これらの交通ナビゲーションプラットフォームが、現実の**交通量配分**に影響を与えるようになってきている。

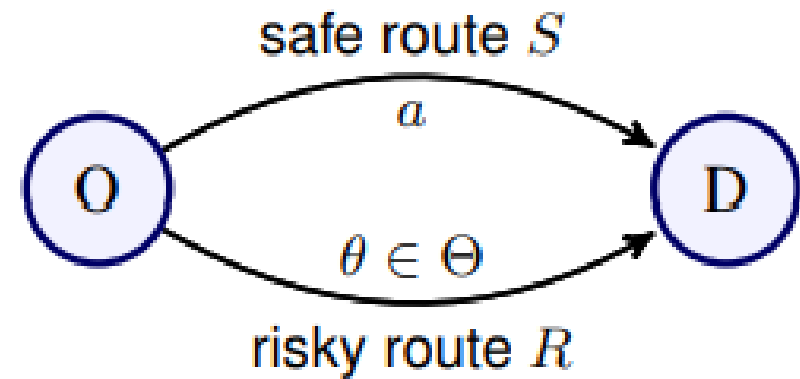


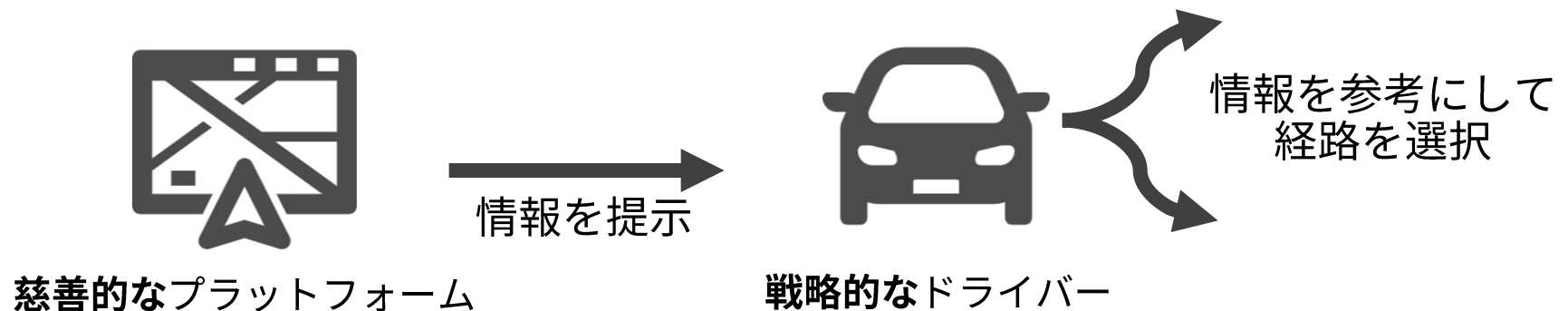
Fig. 1: The two-link network

# 1. イントロダクション

- 現代のドライバーは、Google マップなどの交通ナビゲーションプラットフォームから提示される情報をもとに経路を選択している。

## 先行研究<sup>[1]</sup>

- これらの交通ナビゲーションプラットフォームがドライバーに**全ての情報を提示したとき**、**システム最適配分が達成される**とは限らない。
- プラットフォームがもしドライバーに適切に情報を提示すれば、社会的厚生を改善できる場合がある。



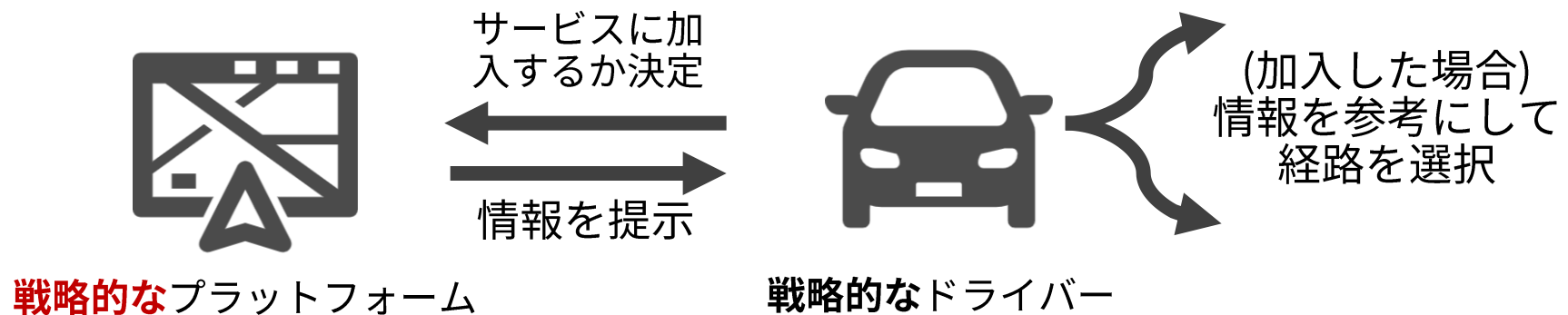
# 1. イントロダクション

## 先行研究の課題

- 交通ナビゲーションプラットフォームは、営利目的で運営されており、社会的厚生を最大化を目指しているわけではない。

## 本研究

- 戦略的なプラットフォームがどのように利益を最大化し、その結果として配分がどうなるか分析する。



# 1. イントロダクション

## 交通ナビゲーションプラットフォームの収益化方法

	広告ベース	サブスクリプションベース
例	Google マップ Waze	TomTom Live Locus Map Pro NAVITIMEプレミアム
収益化方法	広告またはユーザーの情報収集から利益を得る	ユーザーから直接利用料金を徴収する
プラットフォームの目的	<u>ユーザー数を最大化する</u>	<u>ユーザー数×一人当たりの課金額を最大化する</u>

# 2. モデル

2つのルートからなる単純なネットワークを考える

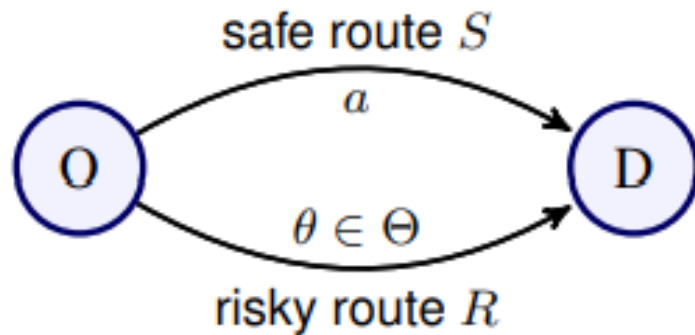


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート	備考
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)	※
交通量	$f_S$	$f_R$	$f_S + f_R = 1$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$	効用=状態-交通量

※離散確率変数  $\theta$  について

$\theta$  は確率  $p_1$  で値  $\theta_1$  を、確率  $p_2$  で値  $\theta_2$  を、……、確率  $p_N$  で値  $\theta_N$  をとる。  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ 。

確率分布自体は全ドライバーに既知だが、その実現値はプラットフォームだけが知っている。



# 3. 準備

プラットフォームの戦略は一旦忘れて、  
ドライバーがどんな情報を持っている時どのような配分に達するのか考えてみる

# 3a. ゼロ情報の場合

ドライバーは既知である  $\theta$  の確率分布の情報を用いて経路を選択する。  
ルートの状態の差の事前期待値を  $\Delta := a - E(\theta)$  とおくと、各ルートの交通量  $f$  は

$$f^{S, \text{no info}} = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Delta \right]_{[0,1]}, \quad f^{R, \text{no info}} = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Delta \right]_{[0,1]}$$

ただし  $[x]_{[0,1]} = \min(1, \max(0, x))$

すなわち、1を超えたら1に、0を下回ったら0に丸める

## ▷ 証明

$f$ が上記のとおりの時、

効用(の期待値)  $u_S = a - f^{S, \text{no info}}$  と  $u_R = E(\theta) - f^{R, \text{no info}}$  が一致する。

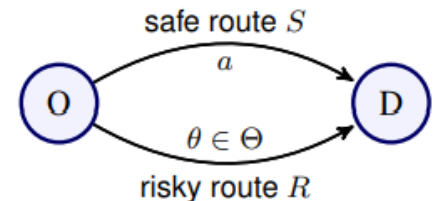


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)
交通量	$f_S$	$f_R$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$

# 3a. ゼロ情報の場合

ドライバーは既知である  $\theta$  の確率分布の情報を用いて経路を選択する。  
 ルートの状態の差の事前期待値を  $\Delta := a - E(\theta)$  とおくと、各ルートの交通量  $f$  は

$$f^{S, \text{no info}} = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Delta \right]_{[0,1]}, \quad f^{R, \text{no info}} = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Delta \right]_{[0,1]}$$

このときの期待社会的厚生  $W^{\text{no info}}$  は、  
 計算すると下のよう求められる

$$W^{\text{no info}} = f^S u^S + f^R u^R$$

交通量  
効用

$$= \frac{a + \mu - 1}{2} + \max \left\{ \frac{|\Delta| - 1}{2}, 0 \right\}$$

ただし  $\mu$  は  $\theta$  の期待値  $E\{\theta\}$

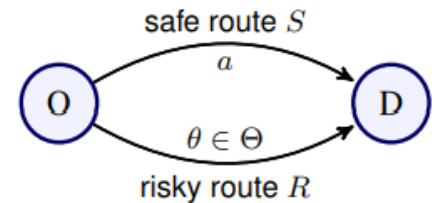


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)
交通量	$f_S$	$f_R$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$

# 3b. 完全情報の場合

ドライバーは(プラットフォームに教わった)  $\theta$  の実現値の情報を用いて経路を選択する。

ルートの状態の差を  $\Delta_\theta := a - \theta$  とおくと、各ルートの交通量  $f$  は  $\theta$  の実現値の関数となって、

$$f^{S, \text{full info}}(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Delta_\theta \right]_{[0,1]}, \quad f^{R, \text{full info}}(\theta) = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Delta_\theta \right]_{[0,1]}$$

このときの期待社会的厚生  $W^{\text{full info}}$  は、計算すると下のよう求められる

$$W^{\text{full info}} = \frac{a + \mu - 1}{2} + E \left\{ \max \left\{ \frac{|\Delta_\theta| - 1}{2}, 0 \right\} \right\}$$

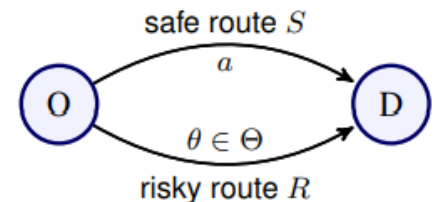


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)
交通量	$f_S$	$f_R$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$

# 3c. システム最適

ルートの状態の差を  $\Delta_\theta := a - \theta$  とおくと、各ルートの交通量  $f$  は  $\theta$  の実現値の関数となって、

$$f^S(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \Delta_\theta \right]_{[0,1]}, \quad f^R(\theta) = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \Delta_\theta \right]_{[0,1]}$$

このときの期待社会的厚生  $W$  は、計算すると下のよう求められる

$$W = \frac{a + \mu - 1}{2} + \frac{\Delta^2}{8} + \frac{\sigma^2}{8} + E \left\{ \mathbb{I}_{|\Delta_\theta| > 1} \max \left\{ \frac{|\Delta_\theta| - 1}{2}, 0 \right\} \right\}$$

ただし  $\mathbb{I}_{|\Delta_\theta| > 1}$  は  $|\Delta_\theta| > 1$  なら1を、そうでないなら0をとる指示関数

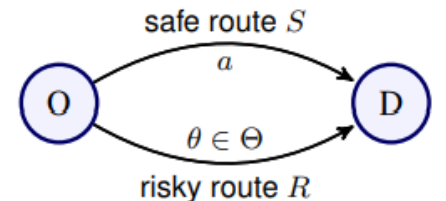


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)
交通量	$f_S$	$f_R$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$

# 利用者均衡とシステム最適

## 考察

- 完全情報での利用者均衡解と、システム最適解は一致しない

利用者均衡  
(3b)

$$f^{S, \text{full info}}(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Delta\theta \right]_{[0,1]}, \quad f^{R, \text{full info}}(\theta) = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Delta\theta \right]_{[0,1]}$$

システム最適  
(3c)

$$f^S(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \Delta\theta \right]_{[0,1]}, \quad f^R(\theta) = \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \Delta\theta \right]_{[0,1]}$$

# 4. Information Design

3章で無視した戦略的なプラットフォームについて考えていく

- プラットフォームは、ドライバーの行動を直接制御はできないが、ドライバーに適切な情報を渡すことによってドライバーの行動を間接的に制御できる
- このように、情報デザイナー(この場合,プラットフォーム)からプレイヤー(この場合,ドライバー)への適切な情報の渡し方を研究する学問を**Information Design**という

# 4a. 顕示原理

Information Designにおける**顕示原理** (Revelation principle) [2]

情報デザイナーがプレイヤーに、何らかの情報を渡すことである均衡結果をもたらすことができるとき、  
全く同じ均衡結果を、情報デザイナーがプレイヤーの取るべき行動を直接教えるようなやり方で実現することができる。

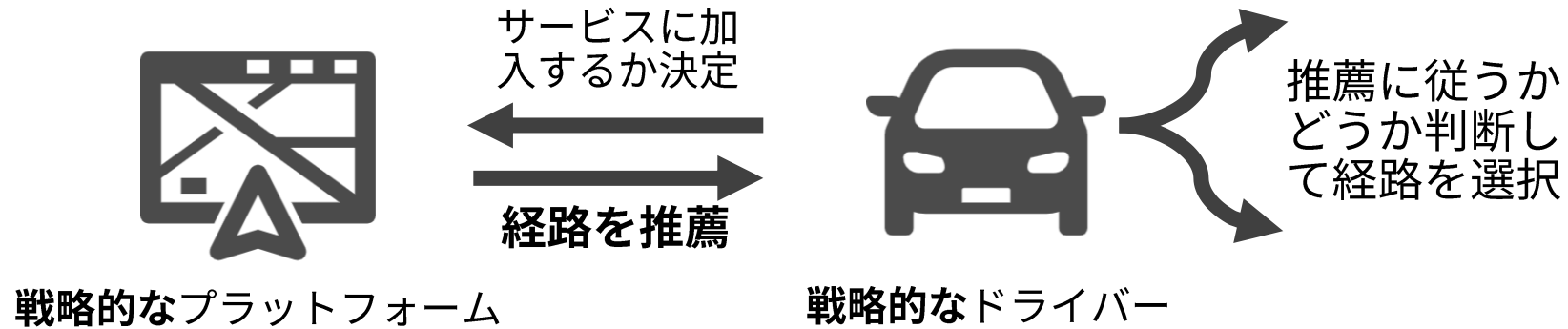
=それ以外の情報の渡し方は考えなくてよい

- 今回の論文の場合、プラットフォームが「どちらの経路を選ぶべきか」をプレイヤーに伝えるようなやり方だけ考えればよい。
  - 以下、選ぶべき経路の伝え方のことを**推薦ポリシー**という

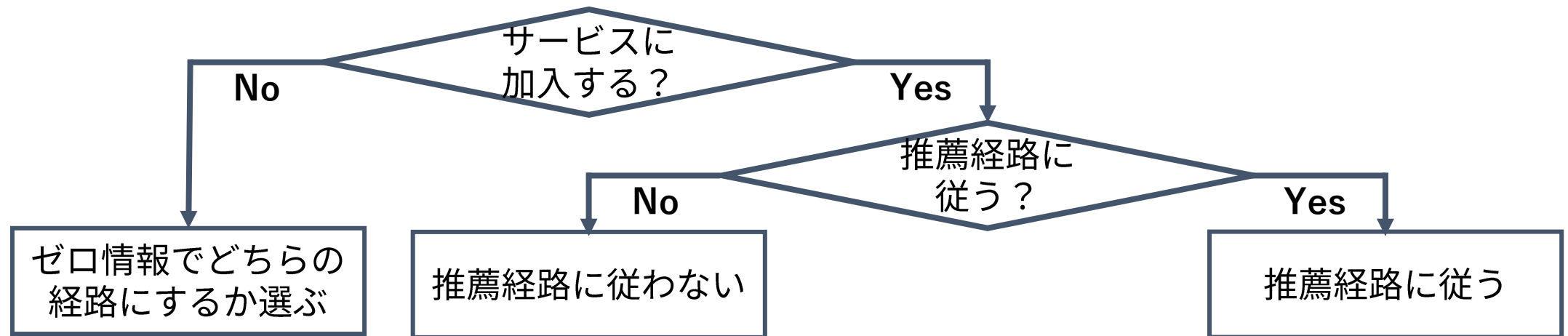


# 4a. 顕示原理

## プラットフォームとドライバーの行動

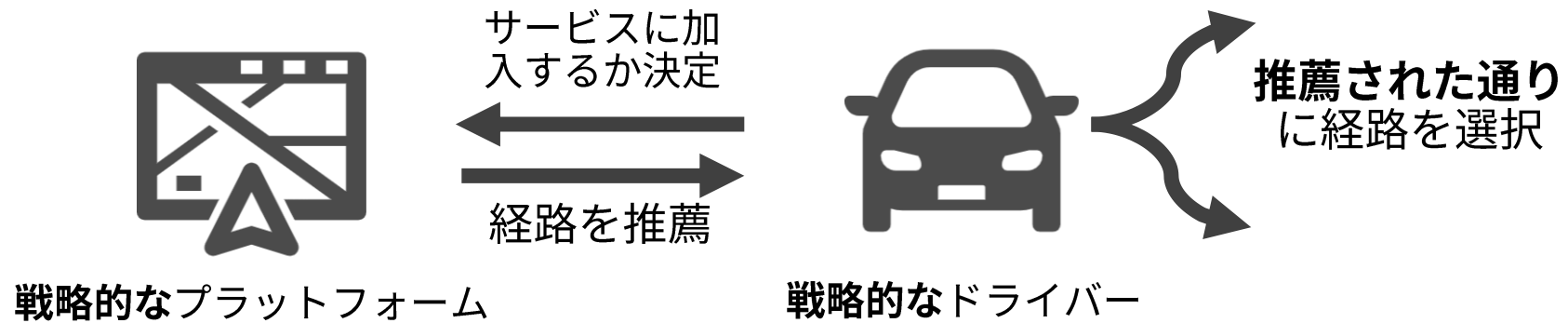


## ドライバーの戦略

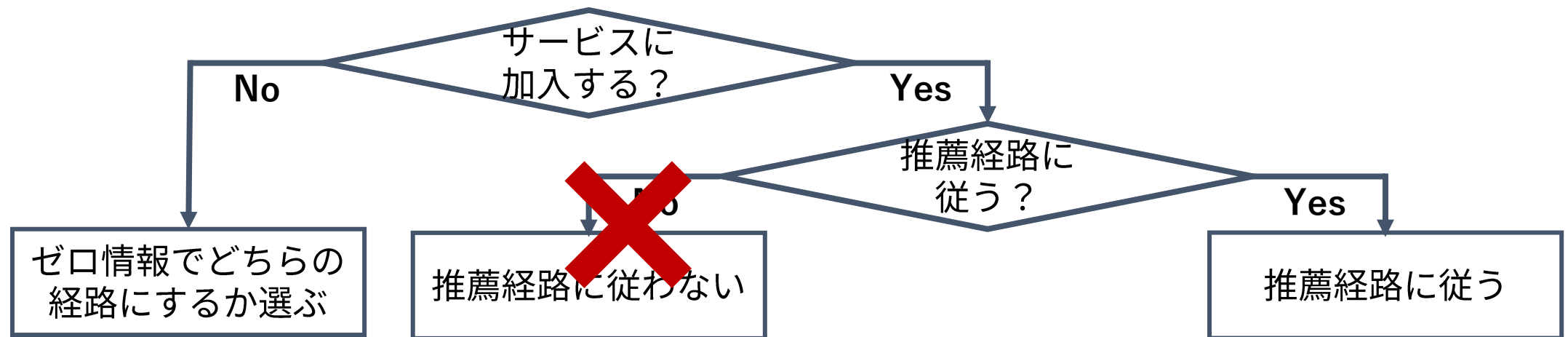


# 4b. 服従制約

- さらに本論文では、**全てのドライバーにとって推薦された経路に従うのが最適**であるような推薦ポリシー(経路の伝え方)のみ考えることとする。



## ドライバーの戦略



# 4b. 服従制約

- 全てのドライバーにとって推薦された経路に従うのが最適であるような推薦ポリシー(経路の伝え方)を、**服従制約**を満たす推薦ポリシーであるという。
- 論文では、服従制約を満たす推薦ポリシーの条件を定式化し、あとで登場する推薦ポリシー最適化の制約条件に加えている。
  - 服従制約を満たさない推薦ポリシーは考えないということ。

# 課題の整理 (2~4章のまとめ)

- 下記のように単純化した問題を考えることとする。

## 対象とするネットワーク

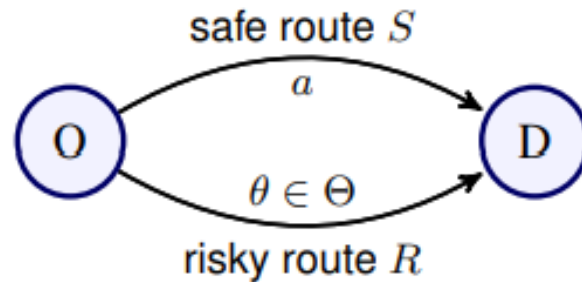
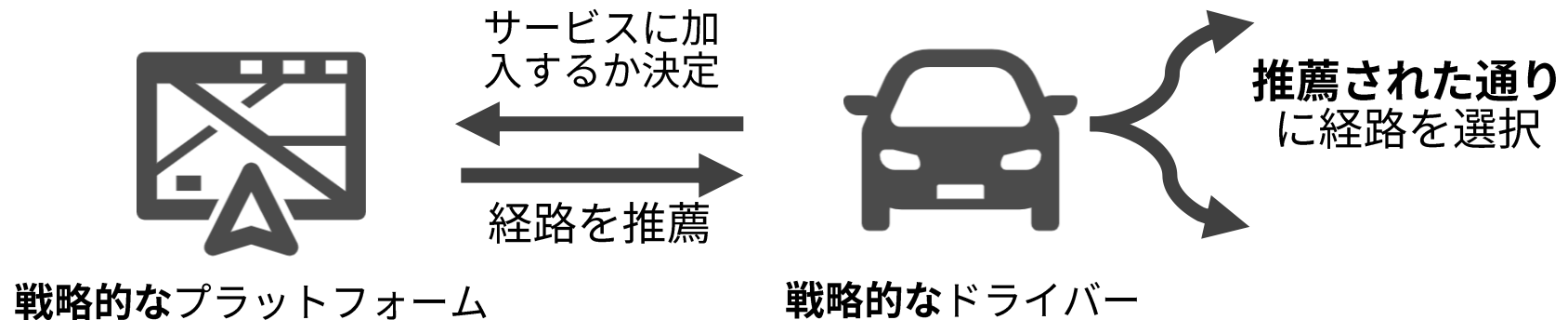


Fig. 1: The two-link network

	Safeルート	Riskyルート
状態	$a$ (定数, 全ドライバーに既知)	$\theta$ (離散確率変数)
交通量	$f_S$	$f_R$
効用	$u_S := a - f_S$	$u_R := \theta - f_R$

## プラットフォームとドライバーの行動



# 5. 単一プラットフォームの場合

- ドライバーは、(単一の)プラットフォームに加入するかしないかを選択する。
- 加入した場合は、服従制約により、プラットフォームの推薦通りに経路を選択する。

# 5. 単一プラットフォームの場合

変数	変数の意味	備考
$x(\theta)$	プラットフォームがドライバーにSafeルートを紹介する確率 (推薦ポリシー)	$x$ の値は $\theta$ の実現値の関数になる。
$m$	プラットフォームに加入したドライバー数	$m \leq 1$
$y$	プラットフォームに加入しなかったドライバーのうち、Safeルートを選んだドライバーの割合	

各ルートを選んだ時の効用は、 $\theta$  の実現値の関数となり、

$$u^S(\theta) = a - \underbrace{mx(\theta)}_{\text{プラットフォームに加入\& Safeルートを紹介され選択}} - \underbrace{(1-m)y}_{\text{プラットフォームに加入せず\& Safeルートを選択}}$$

$$u^R(\theta) = \theta - \underbrace{m(1-x(\theta))}_{\text{プラットフォームに加入\& Riskyルートを紹介され選択}} - \underbrace{(1-m)(1-y)}_{\text{プラットフォームに加入せず\& Riskyルートを選択}}$$

※この論文のモデルでは、効用=状態-交通量であった

# 5. 単一プラットフォームの場合

変数	変数の意味	備考
$x(\theta)$	プラットフォームがドライバーにSafeルートを推薦する確率 (推薦ポリシー)	$x$ の値は $\theta$ の実現値の関数になる。
$m$	プラットフォームに加入したドライバー数	$m \leq 1$
$y$	プラットフォームに加入しなかったドライバーのうち、Safeルートを選んだドライバーの割合	

プラットフォームに加入した/しなかった時の期待効用は、

加入せず： $U_0 = \max(E\{u^S(\theta)\}, E\{u^R(\theta)\})$   
(推薦を受けないので、単純により期待効用  $E\{u(\theta)\}$  の高い方のルートを選ぶ)

加入： $U_1 = E\{x(\theta)u^S(\theta) + (1 - x(\theta))u^R(\theta)\}$   
(各ルートの選択確率×効用  $u(\theta)$  の和の期待値)

# 5. 単一プラットフォームの場合

## (再掲) 交通ナビゲーションプラットフォームの収益化方法

	広告ベース	サブスクリプションベース
例	Google マップ Waze	TomTom Live Locus Map Pro NAVITIMEプレミアム
収益化方法	広告またはユーザーの情報収集から利益を得る	ユーザーから直接利用料金を徴収する
プラットフォームの目的	<u>ユーザー数を最大化する</u>	<u>ユーザー数×一人当たりの課金額を最大化する</u>

広告ベースとサブスクリプションベースのそれぞれについて分析していく



# 5a. 広告ベースプラットフォーム

- 広告ベースプラットフォームの目的：ユーザー数  $m$  の最大化
- ドライバーは  $U_0 \leq U_1$  なら加入を望む
- 以下のように具体的な値/関数形を代入して検証
  - Sルートの推薦ポリシーを決めるパラメータ  $\alpha$  を変えながら比較した

変数	値/関数形	変数の意味	備考
$a$	2	Safeルートの状態	
$\theta$	確率0.5で $\theta = 1.25$ 確率0.5で $\theta = 3.25$	Riskyルートの状態	離散確率変数
$x_\alpha(\theta)$	$\left[ \frac{1}{2} + \frac{\Delta_\theta}{\alpha} \right]_{[0,1]}$	プラットフォームがドライバーにSafeルート を推薦する確率 ( <b>推薦ポリシー</b> )	$\theta$ の実現値および $\alpha$ の 関数になる。

※  $\Delta_\theta = a - \theta$

※  $[x]_{[0,1]} = \min(1, \max(0, x))$

(2章を参照)

# 5a. 広告ベースプラットフォーム

- $m = 1$  (全ドライバーがプラットフォームに加入)のときのみプロット
  - $2 \leq \alpha \leq 8.5$  のときこれを満たす

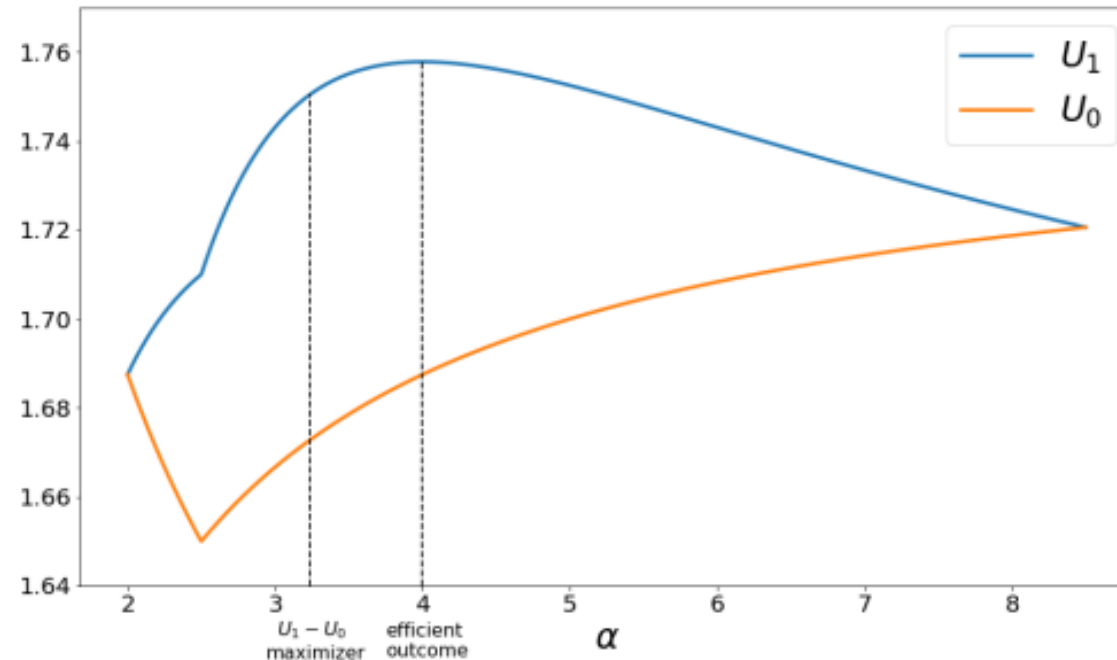
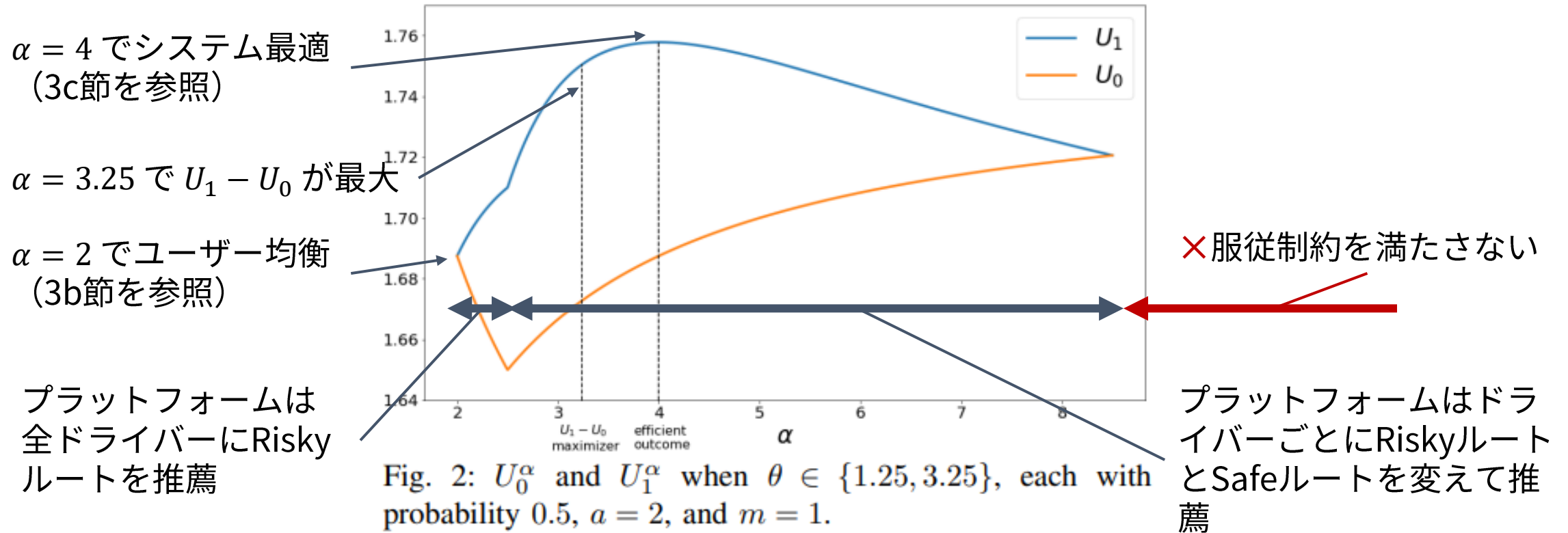


Fig. 2:  $U_0^\alpha$  and  $U_1^\alpha$  when  $\theta \in \{1.25, 3.25\}$ , each with probability 0.5,  $a = 2$ , and  $m = 1$ .

# 5a. 広告ベースプラットフォーム

- $m = 1$  (全ドライバーがプラットフォームに加入)のときのみプロット
  - $2 \leq \alpha \leq 8.5$  のときこれを満たす



# 5a. 広告ベースプラットフォーム

- 今の例では、 $2 \leq \alpha \leq 8.5$  で  $m = 1$  (全ドライバーがプラットフォームに加入) しており、これがプラットフォームにとっての最適解
- もしプラットフォームが、「プラットフォーム加入時の期待効用  $U_1$  とプラットフォーム非加入時の期待効用  $U_0$  の差」を最大化しようとしたら、 $\alpha = 3.25$  が最適解
  - 社会的厚生 ( $\max(U_0, U_1)$ ) が最大となる  $\alpha = 4$  からずれる

より一般に、次のことが導かれた：

- $\theta$  の確率分布が  $a$  を中心に対称のときは、 $U_1 - U_0$  を最大化するような  $\alpha$  と  $\max(U_0, U_1)$  を最大化するような  $\alpha$  が、ともに  $\alpha = 4$  で一致する。
- そうでないときは、両者の最適解は一致しない。

## 5b. サブスクリプションベースプラットフォーム

- サブスクリプションベースプラットフォームの目的：  
一人当たり課金額を  $p$  とし、課金額  $p$  のときの加入者数  $m(p)$  とすると、 $m(p)p$  の最大化
- ドライバーは  $p \leq U_1 - U_0$  (課金額より加入のメリットが上回る)なら加入を望む
  - $m(p)p$  を最大化すると、 $p = U_1 - U_0$  が成り立つようになる点に注意

この最適化問題は、一般には解析解を求めることができない

# 5b. サブスクリプションベースプラットフォーム

- $\theta$  の確率分布が  $a$  を中心に対称のときに絞って解析解を求める。

1.

プラットフォームユーザー数  $m$  を固定したときの、プラットフォームにとって最適な推薦ポリシーは下の通り。

プラットフォームがドライバーにSafeルートを推薦する確率 (推薦ポリシー)

$$x(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{\Delta\theta}{4m} \right]_{[0,1]}$$

プラットフォームに加入しなかったドライバーのうち、Safeルートを選んだドライバーの割合

$$y = \frac{1}{2}$$

## 5b. サブスクリプションベースプラットフォーム

- $\theta$  の確率分布が  $a$  を中心に対称のときに絞って解析解を求める。

2.

1. に加えて、プラットフォームユーザー数  $m$  が

$$m \in [\underline{m}, 1]$$

$$\text{ただし } \underline{m} := \min \left\{ 1, \max_i \frac{|\Delta\theta_i|}{2} \right\}$$

を満たすときプラットフォームにとって最適。

- サブスクリプションベースプラットフォームであっても、ユーザー数  $m$  を最大化するのがプラットフォームにとって最適
- $m = 1$  のとき 1. 式はシステム最適な推薦ポリシーに一致。すなわち、プラットフォームにとっての最適解がシステム最適になる

## 5b. サブスクリプションベースプラットフォーム

- $\theta$  の確率分布が  $a$  を中心に対称でない場合は、単一プラットフォームにとっての最適解とシステム最適解は一致しないことに注意する。



# 6. 複数プラットフォームが競争する場合

- ドライバーは、2つのプラットフォームの中から高々1つのプラットフォームに加入する。
  - 実は、複数のプラットフォームに加入することを考えても結論は変わらない
  - プラットフォームが3つ以上であっても結論は変わらない
- 加入した場合は、服従制約により、プラットフォームの推薦通りに経路を選択する。

# 6. 複数プラットフォームが競争する場合

変数	変数の意味	備考
$x_1(\theta), x_2(\theta)$	プラットフォーム①,②がドライバーにSafeルートを推薦する確率 (推薦ポリシー)	$x$ の値は $\theta$ の実現値の関数になる。
$m_1, m_2$	プラットフォーム①,②に加入したドライバー数	$m_1 + m_2 \leq 1$
$y$	いずれのプラットフォームにも加入しなかったドライバーのうち、Safeルートを選んだドライバーの割合	

各ルートを選んだ時の効用は、 $\theta$  の実現値の関数となり、

$$u^S(\theta) = a - \underbrace{m_1 x_1(\theta)}_{\text{プラットフォーム①に加入\& Safeルートを推薦され選択}} - \underbrace{m_2 x_2(\theta)}_{\text{プラットフォーム②に加入\& Safeルートを推薦され選択}} - \underbrace{(1 - m_1 - m_2)y}_{\text{プラットフォームに加入せず\& Safeルートを選択}}$$

$$u^R(\theta) = \theta - \underbrace{m_1(1 - x_1(\theta))}_{\text{プラットフォーム①に加入\& Riskyルートを推薦され選択}} - \underbrace{m_2(1 - x_2(\theta))}_{\text{プラットフォーム②に加入\& Riskyルートを推薦され選択}} - \underbrace{(1 - m_1 - m_2)(1 - y)}_{\text{プラットフォームに加入せず\& Riskyルートを選択}}$$

※この論文のモデルでは、効用=状態-交通量であった

# 6. 複数プラットフォームが競争する場合

変数	変数の意味	備考
$x_1(\theta), x_2(\theta)$	プラットフォーム①,②がドライバーにSafeルートを推薦する確率 (推薦ポリシー)	$x$ の値は $\theta$ の実現値の関数になる。
$m_1, m_2$	プラットフォーム①,②に加入したドライバー数	$m_1 + m_2 \leq 1$
$y$	いずれのプラットフォームにも加入しなかったドライバーのうち、Safeルートを選んだドライバーの割合	

プラットフォームに加入した/しなかった時の期待効用は、

$$\text{加入せず： } U_0 = E\{yu^S(\theta) + (1 - y)u^R(\theta)\}$$

$$\text{①に加入： } U_1 = E\{x_1(\theta)u^S(\theta) + (1 - x_1(\theta))u^R(\theta)\}$$

$$\text{②に加入： } U_2 = E\{x_2(\theta)u^S(\theta) + (1 - x_2(\theta))u^R(\theta)\}$$

(各ルートの選択確率×効用  $u(\theta)$  の和の期待値)

# 6a. 広告ベースプラットフォーム

- 各広告ベースプラットフォームの目的：ユーザー数  $m$  の最大化

市場が均衡状態であるための必要条件は、

$$\begin{aligned} U_0 &\geq \max\{U_1, U_2\}, && \text{if } m_1 + m_2 < 1 \\ U_1 &\geq \max\{U_0, U_2\}, && \text{if } m_1 > 0 \\ U_2 &\geq \max\{U_0, U_1\}, && \text{if } m_2 > 0 \end{aligned}$$

プラットフォームに加入しないドライバーが存在するならば、加入しないことによる期待効用は、加入することによる期待効用を上回る

あるプラットフォームに加入するドライバーが存在するならば、加入することによる期待効用は、加入しなかったり他のプラットフォームに加入したりすることによる期待効用を上回る

# 6a. 広告ベースプラットフォーム

複数プラットフォームが存在するときの均衡結果は、3b節で見た完全情報開示のもとでの均衡と同じとなる。

$$x_i^S(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{\Delta\theta}{2} \right]_{[0,1]} \quad (i = 1, 2)$$

## ▷ 証明<sup>[3]</sup>

複数プラットフォームが存在するときの均衡結果が、完全情報開示のときの結果（ユーザー均衡）とは異なると仮定する。このとき、 $|u^S(\theta) - u^R(\theta)| = 0$  を満たさないような  $\theta$  の実現値が存在する。

これは、より多くの情報を開示する推薦政策にアクセスできれば期待効用を増加させることができるユーザーが存在する、ということの意味する。したがって、少なくとも一つのプラットフォームはそのようなユーザーに対してより多くの情報を開示することで、ユーザーを惹きつけ、ユーザー数を増加させることができるので、これは均衡結果になっていない。

# 6a. 広告ベースプラットフォーム

複数プラットフォームが存在するときの均衡結果は、3b節で見た完全情報開示のもとでの均衡と同じとなる。

$$x_i^S(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{\Delta\theta}{2} \right]_{[0,1]} \quad (i = 1, 2)$$

- 現実にも、Googleマップなどのサービスは、ユーザーに対して常に最適な経路を開示している。
- 3章で見たように、完全情報開示のもとでの均衡はシステム最適ではない。したがって、**複数のプラットフォームの競争の結果、単一プラットフォームが市場を独占した場合よりも社会的厚生が低下する場合がある**と示せた。
  - 5章で見た通り、単一プラットフォームのときは、 $\theta$ の確率分布が $a$ を中心に対称であれば均衡結果がシステム最適になった

# 6b. サブスクリプションベースプラットフォーム

- 各サブスクリプションベースプラットフォームの目的：  
一人当たり課金額を  $p$  とし、課金額  $p$  のときの加入者数  $m(p)$  とすると、 $m(p)p$  の最大化

市場が均衡状態であるための必要条件は、

$$\begin{aligned} U_0 &\geq \max\{U_1 - p_1, U_2 - p_2\}, && \text{if } m_1 + m_2 < 1 \\ U_1 &\geq \max\{U_0, U_2 - p_2\}, && \text{if } m_1 > 0 \\ U_2 &\geq \max\{U_0, U_1 - p_1\}, && \text{if } m_2 > 0 \end{aligned}$$

プラットフォームに加入しないドライバーが存在するならば、加入しないことによる期待効用は、加入することによる期待効用+課金額を上回る

あるプラットフォームに加入するドライバーが存在するならば、加入することによる期待効用は、加入しなかったり他のプラットフォームに加入したりすることによる期待効用を上回る

## 6b. サブスクリプションベースプラットフォーム

複数プラットフォームが存在するときの均衡結果は、以下の通りとなる

1. 全てのプラットフォームは課金額を0にする。すなわち、 $p_1 = p_2 = 0$
2. 均衡結果は、3b節で見た完全情報開示のもとでの均衡と同じとなる。

$$x_i^S(\theta) = \left[ \frac{1}{2} + \frac{\Delta\theta}{2} \right]_{[0,1]} \quad (i = 1,2)$$

- この場合も、競争の結果として単一プラットフォームの場合よりも社会的厚生が低下する場合がある。



# 6c. 混合状態

広告ベースプラットフォームとサブスクリプションベースプラットフォームが混合している状況を考える。

前節と同様に考えていくと、

- サブスクリプションベースプラットフォームは利益を上げることができない。
  - 現実にも、有料のナビゲーションサービスのシェアは大きくない。その多くは、無料のサービスのプレミアム版として提供したり、市場を絞ったりしている。
- 広告ベースプラットフォームは利益を上げることができるが、完全情報を開示することになる。

# Abstract

- 営利企業が運営する**交通ナビゲーションプラットフォーム**が交通量配分に与える影響をモデルで分析
  - 交通ナビゲーションプラットフォームの例：Google マップ, NAVITIME など
- 複数のプラットフォームの**競争の結果**、単一プラットフォームが市場を**独占した場合よりも社会的厚生が低下**する場合があることを示した
- 複数のプラットフォームが競争するとき、全てのプラットフォームにとって**無料で全ての情報を公開することが最適**となることを示した

# 参考文献

- [1] Tavafoghi, H., & Teneketzis, D. (2017, October). Informational incentives for congestion games. In *2017 55th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton)* (pp. 1285-1292). IEEE.
- [2] Bergemann, D., & Morris, S. (2016). Information design, Bayesian persuasion, and Bayes correlated equilibrium. *American Economic Review*, *106*(5), 586-91.
- [3] Hamidreza Tavafoghi, Akhil Shetty, Kameshwar Poolla, and Pravin Varaiya. Strategic information platforms in transportation networks (extended version), 2019. [https://hamidtavaf.github.io/allerton19\\_extended.pdf](https://hamidtavaf.github.io/allerton19_extended.pdf).
- 今回説明を端折った証明の大半は[3]に載っています。