

2021.04.20

2021夏学期ゼミ #5

# **The benefits of meeting points in ride-sharing systems**

---

Stiglic, M., Agatz, N., Savelsbergh, M., Gradisar, M. (2015)  
Transportation Research Part B 82, 36-53.

M2 黛 風雅

## ライドシェアへの期待：

- 移動需要を満足させるために必要な車両台数の減少
- 駐車場不足／駐車料金の値上がりの抑制

⇒ 都市部における渋滞の緩和

※ 2011年時点においては、あらゆる渋滞対策も適わず経済的影響は拡大するとの見立て(in the *foreseeable future*)

## ライドシェアの課題： driver の旅程・スケジュールの強い制約

純粋なライドシェアサービス <-> Uber (事実上のタクシー)

Uberの方がドライバーが柔軟でサービス水準は高いが、コストもその分高く、必ずしも渋滞を減らす方向には向かわない。

マッチング効率改善に向けての提案：

rider 側の柔軟性を活かした meeting points の導入

ライドシェアシステムのレビュー Agatz et al.(2012), Furuhata et al.(2013)

システムの動学性(ここではICTの発達によるオンデマンド性を指す)と, rider, driver の人数(single / multiple)によって特徴づけられる.

システムへのParticipationの重要性 Agatz et al.(2011)

single rider / single driver のシステムについて, その安定性に単位面積あたりの participants の数が大きく影響することを示す.

## 関心:どのように乗客の数を増やすことができるか?

- ・ 少数の専用ドライバーの導入 Lee & Savelsbergh(2014)
- ・ 乗客が複数ドライバー間を経由する: “multi-hop ride sharing” Herbawi & Weber(2011)
- ・ ドライバーに “reasonable” な迂回を認めるように条件を緩和 Drews & Luxen(2013)

▶ ドライバー間のインターバルの待ち時間や, 乗継のドライバーが来ないリスクは, サービスとして乗客側にとっては受け入れ難い

**乗客側のフレキシビリティを活かしたシステムの設計: meeting points**

## pickup locations の設定 Kaan & Olinick.(2013)

van pooling で P&R 施設: pickup location から  
最終目的地まで共通で通勤するという設定でシェアライドを扱った

▶ pickup location までは車移動が前提である。  
drop-off locationが、最終目的地が共通かつ唯一であるため存在しない。

## マッチング成立後の pickup locations の設定 Aissat & Oulamara(2013)

マッチングが成立したのちに最適な meeting points(pickup/drop-offいずれも)を決定

▶ 乗客のもともとのO, Dと meeting points の間の近接性の条件が無い。  
したがって、乗客の meeting points に関するアクセス・イグレス手段を無視。

参考：バスルートの設定におけるバス停配置問題

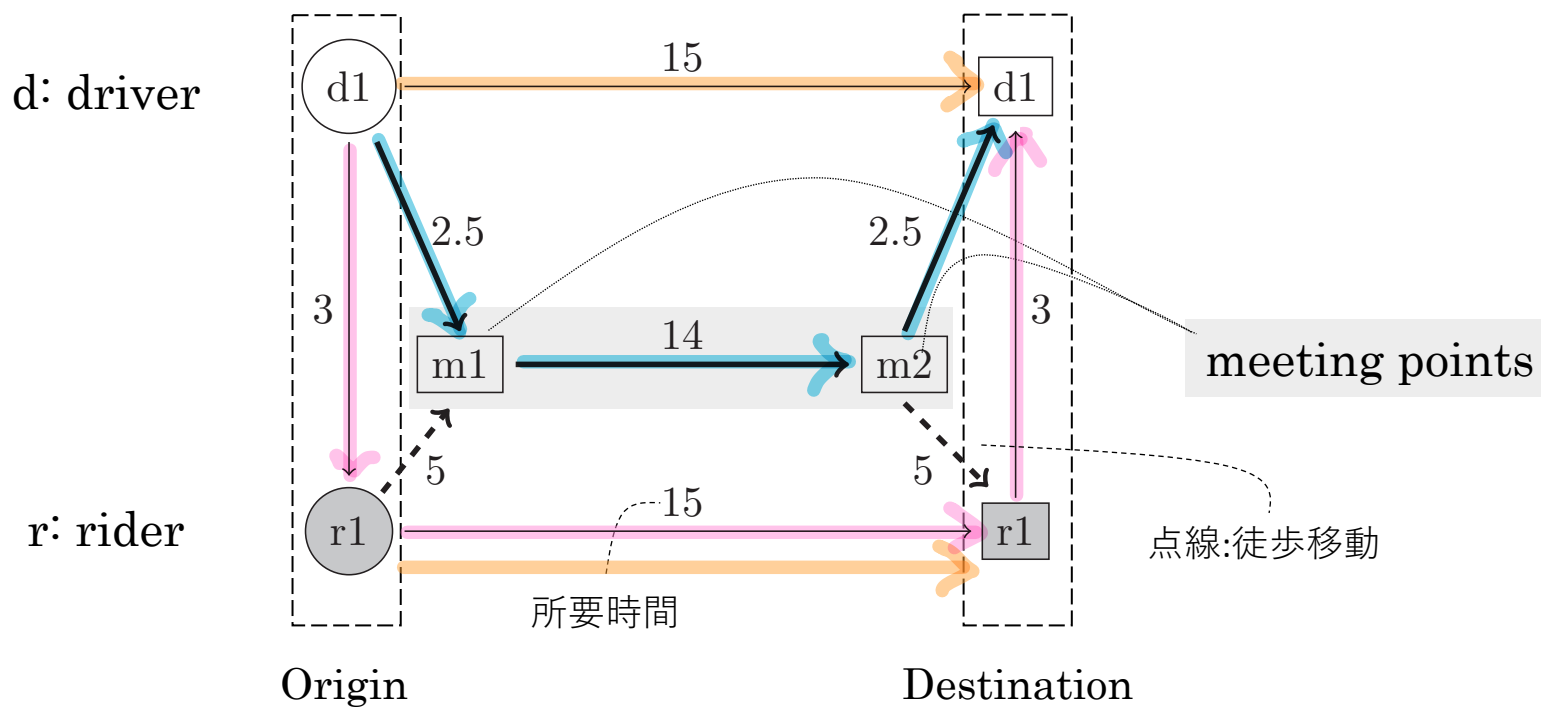
バス停の設置場所計画まで言及しているバスルート生成の文献は少ないが、問題の性質としては変わらず、相互依存問題を解く必要がある。

これを扱ったものとしては、Riera-Ledesma & Salazar-Gonzalez(2013)がある

## 本論文が想定するライドシェアの設定

- meeting points を pick-up と drop-off のための 2 点で構成.
- meeting points への乗客のアクセス・イグレスは徒歩を想定.
- 乗客・ドライバーいずれもが、出発地・目的地と、出発・到着に関する時間制約: **Time window** をシステムに表明.
  - + 乗客側は、許容可能な徒歩移動の距離も表明.
  - + ドライバー側は、許容可能な総走行時間と車両容量はシステムが把握.
- 1 人のドライバーに対し、車両容量を超えない限りの複数の乗客がマッチングされる.
  - 利用者が複数の場合、安心感やコミュニティの醸成にも寄与しうる.
- 1 回のライドシェアトリップ当り乗車/降車は 1 回のみ認める.
  - システムの実行可能性と、ドライバー側の不便の最小化のため.
- 総走行距離を最小化する問題として考える.

## • 車両総走行時間 $T$ の減少



—→ d, r がそれぞれ自家用車で移動

$$T = 15 + 15 = 30$$

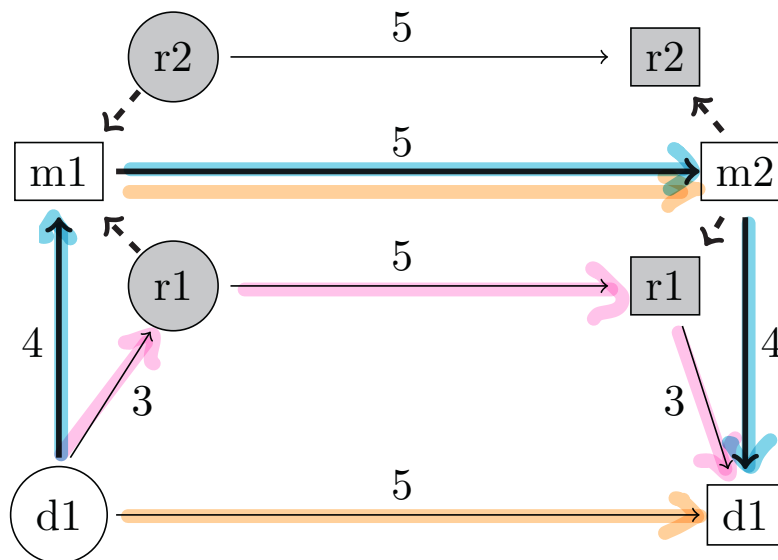
—→ d が r を自家用車で直接送迎

$$T = (3 + 15 + 3) + 0 = 21$$

—→ d が r を meeting points 間で送迎

$$T = (2.5 + 14 + 2.5) + 0 = 19$$

## 複数乗客 (Multiple riders) の社会的効率性



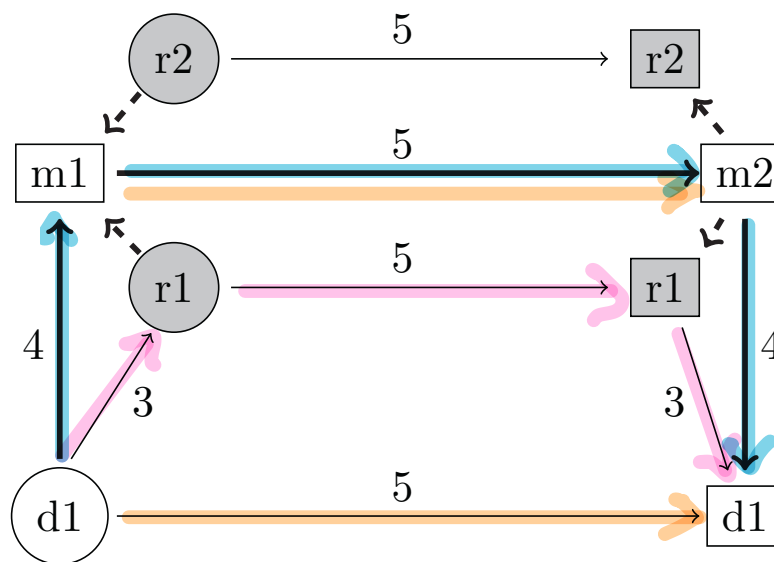
乗客が唯一 r1 のみの時について)

※ 唯一 r2 のみの時については  $T_2$  はさらに増大

- ① d1, r1 がそれぞれ自家用車で移動  $T_1 = 5 + 5 = 10$  : 最小
- ② d1 が r1 を自家用車で直接送迎  $T_2 = (3 + 5 + 3) + 0 = 11$
- ③ d1 が r1 を meeting points 間で送迎  $T_3 = (4 + 5 + 4) + 0 = 13$

**d1 - r1, d1 - r2 のいずれの組も総走行時間を減少させはしない**

### 複数乗客 (Multiple riders) の社会的効率性



r1, r2 の両方が乗客になる場合)

- ① d1, r1, r2 がそれぞれ自家用車で移動  $T_1 = 5 + 5 + 5 = 15 < 13$
- ③ d1 が r1, r2 を meeting points 間で送迎  $T_3 = (4 + 5 + 4) + 0 + 0 = 13$

**r1, r2 の両方を乗客として認めることではじめて、総走行時間が減少**



## meeting pointsの社会受容性

- meeting points の実行可能性は，社会・文化状況により異なる。
  - ✓ 安全な場所の確保（米国郊外では徒歩圏内に適当な場所がない）
  - ✓ 普段の天候（天候が不安定な地域では屋外で待つことが受け入れ難い）
  - ✓ 交通・移動に対する慣習・態度
- 実質的に meeting points が機能している社会もある。

例) slugging/casual carpooling



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Slug\\_Line.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Slug_Line.gif)

HOV(High Occupancy Vehicle)レーン：  
バスなどの乗合形式の自動車や自家用車でも  
複数名乗車のクルマを優先的に通す車線  
の存在により，乗客を乗せる慣習がある。

- 各地域でのmeeting pointsの候補
  - ✓ スロベニアにおいてはバス停とガソリンスタンドが meeting pointsとして使われる
  - ✓ U.S.ではneighborhood pool,ファストフード店，コーヒー店など
  - ✓ Park-and-Ride 施設やその出入口
  - ✓ よく見知られた建物 etc...

## 変数の定義

$S$ : トリップ表明集合  
 $D$ : driverによるトリップ表明集合  
 $R$ : riderによるトリップ表明集合  
 $s \in S, D \subset S, R \subset S$

$$s = \{o_s, d_s, e_s, l_s\} \left[ \begin{array}{l} o_s : \text{出発地} \\ d_s : \text{目的地} \\ e_s : \text{最も早い出発時間} \\ l_s : \text{最も遅い到着時間} \end{array} \right.$$

$d_{ij}$ : 2点  $i, j$  間の距離  
 $t_{ij}$ : 2点  $i, j$  間の所要時間

仮定:  $l_s - e_s > t_{o_s d_s}$

それぞれの driver  $i \in D$  について,

$$\left[ \begin{array}{l} T_i : \text{最大トリップ時間,} \\ C_i : \text{車両容量} \end{array} \right.$$

それぞれの rider  $j \in R$  について,

$$\left[ \begin{array}{l} m_j : \text{meeting point からの許容歩行距離} \\ M_j^p : \text{rider } j \text{ にとって許容可能な pickup 場所} \\ M_j^d : \text{rider } j \text{ にとって許容可能な drop-off 場所} \end{array} \right.$$

## meeting points の定義

$M$ : 少なくとも1人の乗客によって  
 移動可能な meeting point の組の集合

$$M_j^p := \{k \in M \mid d_{k o_j} \leq m_j\} \quad M_j^d := \{k \in M \mid d_{k d_j} \leq m_j\}$$

## meeting point の組の定義

### meeting point arc a

$$\text{for each rider } j \quad A_j := \{(k, l) \mid k \in o_j \cup M_j^p, l \in d_j \cup M_j^d\}, \quad A = \bigcup_{j \in R} A_j$$

... pickup point  $k$  と drop-off point  $l$  の組

乗客  $j$  は  $o_j$  または  $M_j^p$  に含まれる meeting point で乗車し,  $d_j$  または  $M_j^d$  に含まれる meeting point で降車する

## マッチング状態の定義

**match**  $(i, J, a)$  ... ドライバー  $i$ , 乗客  $J$ , meeting point arc  $a$  の組

実現可能な match  $(i, J, a)$  について

$$|J| + 1 \leq C_i \quad \text{容量制約}$$

$$a \in \bigcap_{j \in J} A_j \quad \text{乗降回数制約}$$

?

時間制約

?

総走行距離制約

**match**  $(i, J, a)$  ... ドライバー  $i$ , 乗客  $J$ , meeting point arc  $a$  の組

実現可能な match  $(i, J, a)$  について

- $|J| + 1 \leq C_i$     容量制約
- $a \in \bigcap_{j \in J} A_j$     乗降回数制約
- ?    時間制約
- ?    総走行距離制約

時間制約について確認するために、  
 マッチングの参加者  $p$  ( $i$  or  $j \in J$ ) について, **implied time window**  $[e_p^k, l_p^k]$  を導入

- ▶  $k$  に到着した時点での,  $p$  にとっての
  - ・最も早い出発時刻  $e_p$  と経路情報から逆算した, 最も早い  $k$  への **到着時刻**  $e_p^k$
  - ・最も遅い到着時刻  $l_p$  と経路情報から逆算した, 最も遅い  $k$  への **到着時刻**  $l_p^k$

$$e_p^k = e_p + t_{opk}$$

$$l_p^k = l_p - (\tau_k + t_{kl} + \tau_l + t_{ldp})$$

について,

$$\max(\max_{j \in J} e_j^k, e_i^k) \leq \min(\min_{j \in J} l_j^k, l_i^k)$$

$k$  以降の経路の最短所要時間 ...  $\tau_k, \tau_l$ : meeting point  $k, l \in M$  におけるサービス時間

また, ドライバーの総走行時間から

$$t_{oik} + \tau_k + t_{kl} + \tau_l + t_{ldi} \leq T_i$$

# マッチング状態の定義

## マッチング状態の定義

**match**  $(i, J, a)$  ... ドライバー  $i$ , 乗客  $J$ , meeting point arc  $a$  の組

実現可能な match  $(i, J, a)$  について

$$|J| + 1 \leq C_i \quad \text{容量制約}$$

$$a \in \bigcap_{j \in J} A_j \quad \text{乗降回数制約}$$

$$\max(\max_{j \in J} e_j^k, e_i^k) \leq \min(\min_{j \in J} l_j^k, l_i^k)$$

時間制約

$$t_{o_i k} + \tau_k + t_{kl} + \tau_l + t_{ld_i} \leq T_i$$

$$\sigma_{(i, J, (k, l))} > 0 \quad \text{走行距離制約}$$

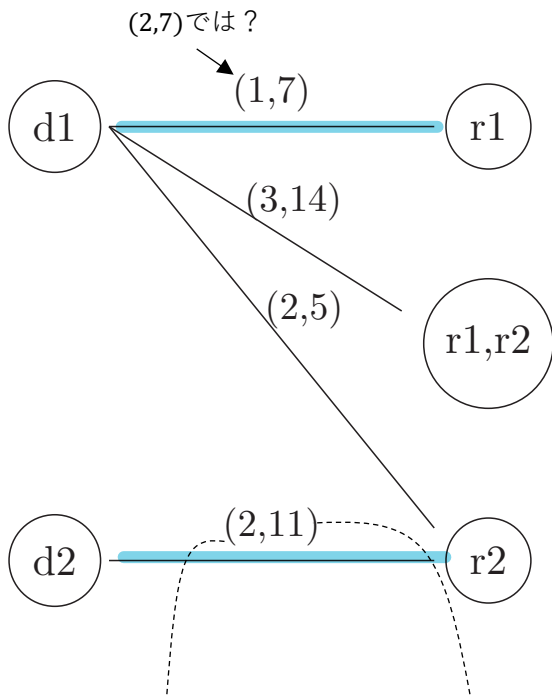
match  $(i, J, a)$  の実現による総走行距離の減少分

$$\sigma_{(i, J, (k, l))} = d_{o_i d_i} - (d_{o_i k} + d_{kl} + d_{ld_i}) + \sum_{j \in J} (d_{o_j d_j} - (d_{o_j k} + d_{ld_j}))$$

## single-driver, multiple-riders マッチングの定式化

「制約条件付きの重みつき最大二部マッチング問題」として定式化される  
...理論的には多項式時間では解けない問題だが現実的な解法が用意されている

※総走行距離の最小化はマッチング参加者数の最大化を保証しない



### Bipartite Graph: 二部グラフの導入

ドライバー  $i \in D$  と乗客の組  $J$  を結ぶエッジ  $e$  が、実現可能なマッチングを表す。

定義した条件を満たす複数のマッチングのうち、総走行距離減少分の最も大きなものが知りたい

左図では  $d1-r1, d2-r2$  の2組を作るのが最適 (総走行距離減少分が18となる)

(participantの人数, 総走行距離減少分) ...  $(v_e, \sigma_e)$  として定義

## 最適化問題として書き下し

$E$ : 二部グラフにおける全エッジの組     $E_i$ : ドライバー  $i$  に関連するエッジの組  
 $\chi_e$ : バイナリ変数     $E_j$ : 乗客  $j$  に関連するエッジの組

$$e \in E, \quad \chi_e = \begin{cases} 1 & \text{エッジ } e \text{ が最適マッチング} \\ 0 & \text{エッジ } e \text{ が最適マッチングでない} \end{cases}$$

## マッチングへの参加人数最大化

$$\max z_1 = \sum_{e \in E} v_e \chi_e$$

$$s.t. \quad \sum_{e \in E_i} \chi_e \leq 1 \quad \forall i \in D$$

$$\sum_{e \in E_j} \chi_e \leq 1 \quad \forall j \in R$$

$$\chi_e \in \{0,1\} \quad \forall e \in E$$

ドライバー, 乗客ともに最大で  
 1つのマッチングにしか参加できない

## 辞書式二目的最適化問題として整理

: 達成すべき順序に明らかな優先度を見出すことができる場合に用いる手法

第一目的

マッチングへの参加人数最大化

$$\max z_1 = \sum_{e \in E} v_e \chi_e$$

$$s. t. \quad \sum_{e \in E_i} \chi_e \leq 1 \quad \forall i \in D$$

$$\sum_{e \in E_j} \chi_e \leq 1 \quad \forall j \in R$$

$$\chi_e \in \{0,1\} \quad \forall e \in E$$

$z_1^*$ : 第一目的の最適化問題において  
マッチングされた参加者の数

第二目的

総走行距離最小化

$$\max z_2 = \sum_{e \in E} \sigma_e \chi_e$$

$$s. t. \quad \sum_{e \in E_i} \chi_e \leq 1 \quad \forall i \in D$$

$$\sum_{e \in E_j} \chi_e \leq 1 \quad \forall j \in R$$

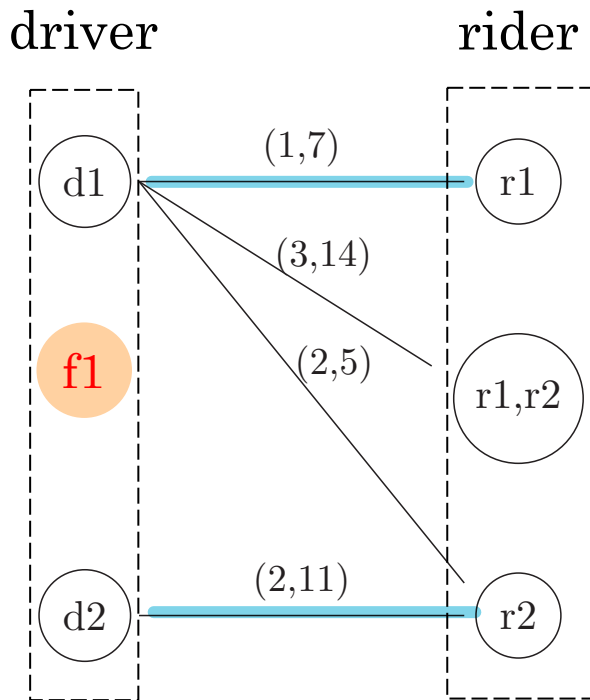
$$\chi_e \in \{0,1\} \quad \forall e \in E$$

$$\sum_{e \in E} v_e \chi_e \geq z_1^*$$



## Flexible roles $F$ を持った participants の導入

driver, rider のいずれの集合にも現れる flexible participants を考える。  
 ただし、決してエッジによって結ばれることのないノードとして定義する。



新たな制約条件

$$\sum_{e \in E_f} \chi_e \leq 1 \quad \forall f \in F$$

(後述：システム評価)

$T_i = t_{o_i d_i} + \min(4 + c_{flex} \cdot t_{o_i d_i}, 20)$   
 として車両走行時間にflexibilityが導入される

## 乗客にとってありうる meeting points の探索: $k - d$ tree の導入

meeting points の組を  $k - d$  tree に収納する。(これによってユークリッド距離での最近傍探索が可能になる。)

乗客  $j$  のそれぞれについて,  $o_j, d_j$  から  $m_j$  以内の距離にある meeting points を効率的に探索する。

## 時間・費用制約の考慮

Observation 1. に基づき, 時間・費用制約を満たしたマッチングを決定。

### Observation 1.

ドライバー  $i$  と,  $|J| \geq 2$  である乗客の組  $J \subseteq R$  が時間制約を満たしてマッチングが成立するのは, 乗客に関する全ての部分集合  $J' \subseteq J$  と時間制約を満たしてマッチングが成立する場合に限る。

ここで, meeting point arc  $a$  は一つのマッチングしたトリップについて, 乗客数に関わらず唯一に定まるため, 距離制約については部分集合を考慮する必要がない。 ← meeting points 導入のメリットの一つ。

## ドライバーに着目した実行可能マッチングの逐次列挙

ドライバーを1人ずつ考え、時間・費用制約を満たすマッチングを全て列挙する。

計算量  $O(nmk)$        $n$ : ドライバー数,  
                           $m$ : 乗客数,  
                           $k$ : 乗客一人当たりの meeting point arcs の平均本数

1 人のドライバー  $i$  について、乗客が 1 人のみのマッチング全てを探索。  
次に、乗客が 2 人のマッチングを全て探索。

これを車両容量  $C_i$  に達するまで続ける。

時間・距離制約を満たすマッチングがある場合、  
係数  $v_e, \sigma_e$  をもつエッジ  $e$  をライドシェアマッチング問題に加える。

## 実行可能マッチングの存在判定手法

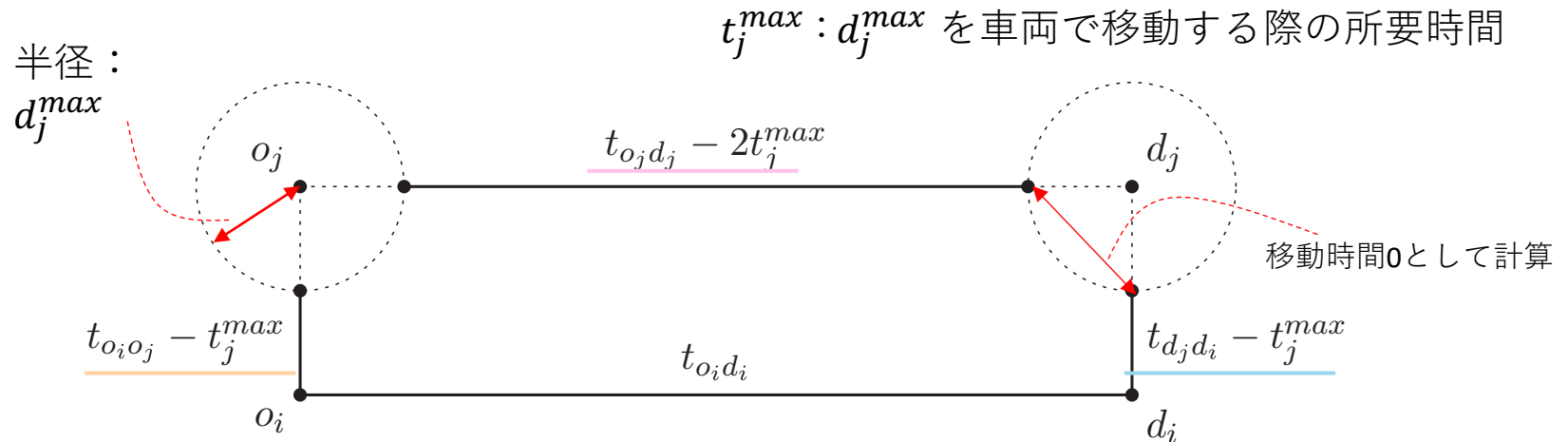
乗客とドライバーの Time window について、最低要求重複時間 (minimum required overlap in the time window) を考慮する。

乗客とドライバーの Time window , また、それぞれのODの位置を利用して、meeting point arcs を明示的に扱わずに実行可能マッチングの存在の判定を行う手法を提案。

- 乗客が、その許容徒歩圏内の境界上において乗降するという前提の元で、ドライバーにとっての *implied time window*  $[e_p^k, l_p^k]$  を計算。
- 乗客が、その許容徒歩圏内の境界上まで自動車と同等の速度で移動するという仮定を置く。

- その仮定のシナリオであってもマッチングされないのであれば、徒歩移動によっては実行可能なマッチングがないことになる。

## 実行可能マッチングの存在判定手法



### ドライバー $i$ について)

- ・最も早い出発時刻  $e_i$  と経路情報から逆算した、 $o_j$  への最も早い**到着時刻**  $e'_i$

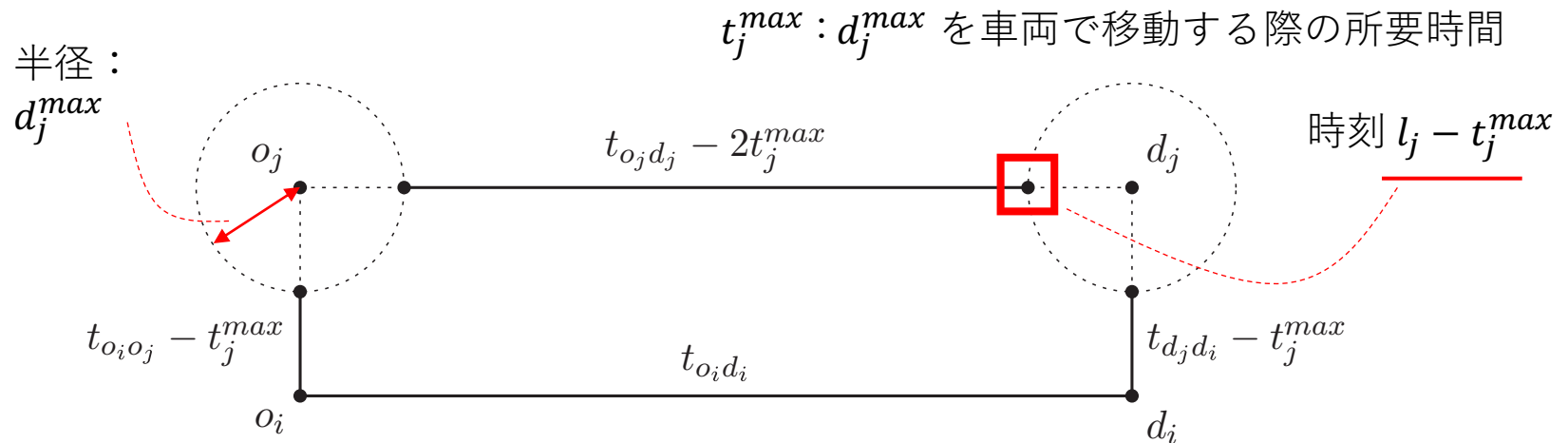
$$e'_i = e_i + \underbrace{(t_{o_i o_j} - t_j^{max})}$$

- ・最も遅い到着時刻  $l_i$  と経路情報から逆算した、 $o_j$  への最も遅い**到着時刻**  $l'_i$

$$l'_i = l_i - \underbrace{t_{o_j d_j} - 2t_j^{max}} - \underbrace{(t_{d_i d_j} - t_j^{max})}$$

乗客  $j$  を pickup するには  $e'_i$  と  $l'_i$  の間に到着する必要がある

## 実行可能マッチングの存在判定手法



### 乗客 $J$ について)

- ・ 最も早い出発時刻  $e_j$  から計算した、境界部への最も早い**到着時刻**  $e'_j$

$$e'_j = e_j + t_j^{max}$$

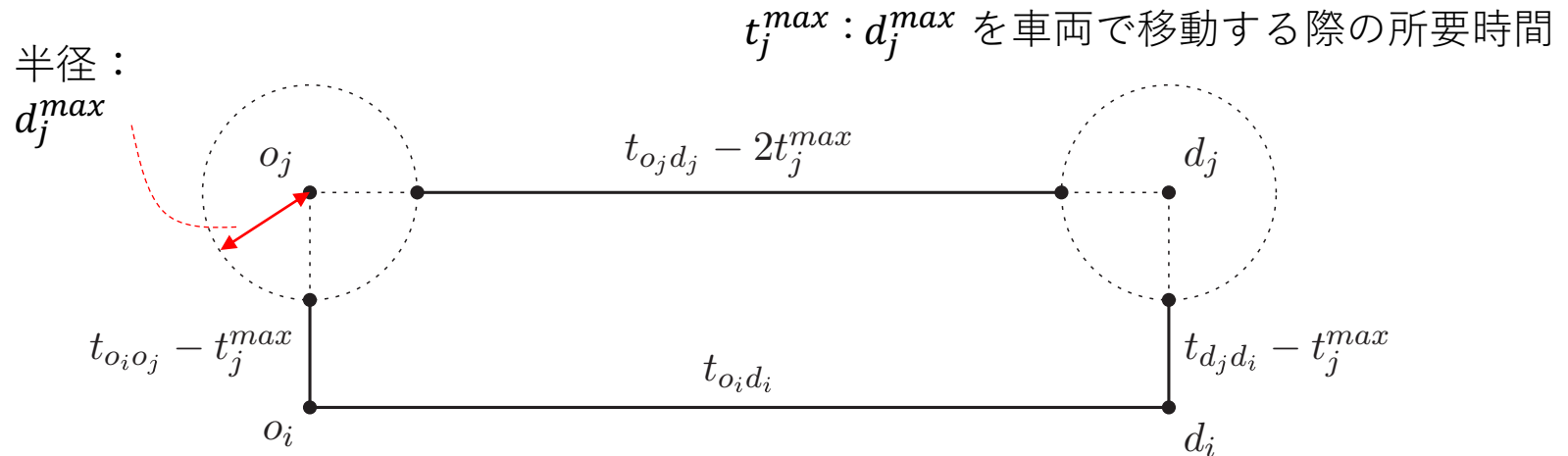
- ・ 最も遅い到着時刻  $l_j$  から計算した、境界部への最も遅い**到着時刻**  $l'_j$

$$l'_j = \underline{l_j - t_j^{max}} - (t_{o_j d_j} - 2t_j^{max})$$

※  $l_j$ : latest arrival time of  $J$  at  $d_j$

ドライバー  $i$  に pickup されるには  $e'_j$  と  $l'_j$  の間に到着する必要がある

## 実行可能マッチングの存在判定手法



$$\left[ \begin{array}{l} \max(e'_j, e'_i) > \min(l'_j, l'_i) \\ (t_{o_i o_j} - t_j^{max}) + (t_{o_j d_j} - 2t_j^{max}) + (t_{d_i d_j} - t_j^{max}) > T_i \end{array} \right.$$

であれば、ドライバー  $i$  と乗客  $j$  はマッチングされない

## 実行可能マッチングの存在判定手法

精緻化されたアルゴリズムは、以下のObservation 2. に基づく

### Observation 2.

1 人のドライバーと、複数の乗客の組の間のマッチングは、ドライバーと乗客の間に少なくとも 1 つの共通した meeting point arc があるときのみ実行可能.

一般的な解法)

$k$  人の乗客との実行可能なマッチングについて、すべての meeting point arcs を収納したうえで、新たに  $k + 1$  人の場合のマッチングを探索.

本アルゴリズム)

時間制約を満たした  $k$  人の乗客とのマッチングのみについて、 $k + 1$  人の場合の meeting point arc に更新可能.



## ライドシェアのNWやエージェントの基本設定

**Table 1**  
Characteristics of the base case instances.

Trip pattern	Suburb to center
Avg. number of participants:	2849.4
Avg. number of drivers:	1425.8
Avg. number of riders:	1423.6
Avg. trip distance for driver:	7.58 mi
Avg. trip distance for rider:	7.64 mi
Avg. trip duration for driver:	30.34 min
Avg. trip duration for rider:	30.56 min
Max. distance to a meeting point:	0.5 mi
Travel (walk) speed to/from meeting point:	4 ft/s
Max. walk time to meeting point:	11 min
Driving speed:	15 mi/h
Rider flexibility parameter:	1.0
Driver flexibility parameter:	0.25
Maximum flexibility of driver:	20 min
Vehicle capacity:	3 seats

- トリップのODは、アトランタにおける計画ゾーン(TAZs: Travel Analysis Zones)を集計単位として採用。
- 市内は平均面積 4.1 平方マイルの合計229個のゾーンに分割された。

## meeting points 密度ごとのシステム効率

TAZs内のmeeting points を 0, 1, 2, 4個の 4つのシナリオで評価  
 ゾーン内のmeeting points の立地はランダムに設定

4\*) single-rider / single-driver に限定

4\*\*) meeting points の選択を, rider のODの最近傍に限定.

**Table 2**

Results for different numbers of meeting points and types of matches.

	0	1	2	4	4*	4**
System						
Matching rate (%)	68.00	71.14	72.90	74.83	74.13	69.71
Mileage savings (%)	27.39	28.36	28.93	29.63	29.24	27.59
Drivers						
Matching rate (%)	67.96	70.93	72.45	74.08	74.08	69.65
Trip time increase (%)	25.45	25.98	26.31	26.41	26.19	25.77
Riders						
Matching rate (%)	68.11	71.43	73.43	75.65	74.26	69.84
Trip time increase (%)	13.09	19.27	22.74	26.54	16.43	16.42
Walk time (min:s)	-	8:06	8:28	8:56	8:45	5:06

システム効率は落とさず,  
**Rider** 側の移動時間が  
 大幅に減少

全てのパラメータについて値が増大

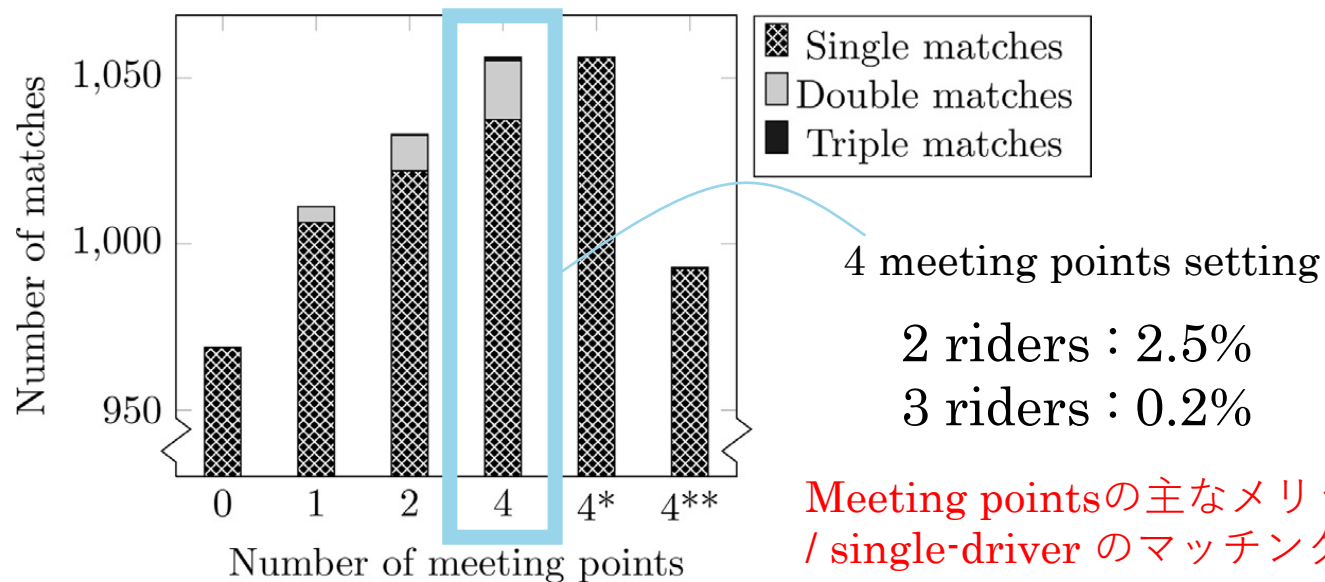
single-rider / single-driver  
 が効率的か？

## meeting points の数ごとのマッチング数

TAZs内のmeeting points を 0, 1, 2, 4個の 4つのシナリオで評価  
ゾーン内のmeeting points の立地はランダムに設定

4\*) single-rider / single-driver に限定

4\*\*) meeting points の選択を, rider のODの最近傍に限定.



Meeting pointsの主なメリットはsingle-rider / single-driver のマッチング数増加になる

Fig. 6. Number of single, double, and triple matches for different numbers of meeting points.

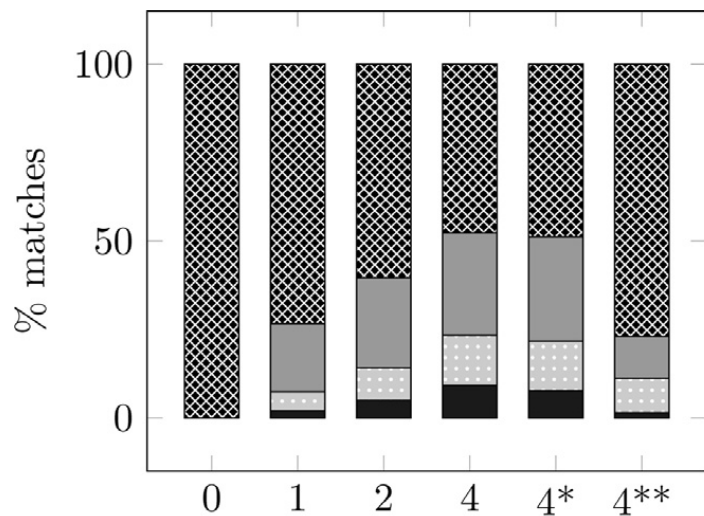
(Participants数の最大化が第一の目的関数であることも影響)

## meeting points の利用目的内訳

TAZs内のmeeting points を 0, 1, 2, 4個の 4つのシナリオで評価  
 ゾーン内のmeeting points の立地はランダムに設定

4\*) single-rider / single-driver に限定

4\*\*) meeting points の選択を, rider のODの最近傍に限定.



Meeting pointsは、  
Drop-off point onlyの方が  
 Pick-up point only より  
 利用される頻度が高い。

午前中のデータを利用したので、ゾーン面積の狭い中心部 (= meeting point の密度が高い地域)が目的地だったため

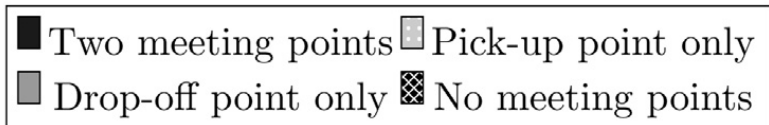


Fig. 7. Use of meeting points in matches for different numbers of meeting points.

## meeting points の数ごとのマッチングへの貢献度の比較

TAZs内のmeeting points を 0, 1, 2, 4個の 4つのシナリオで評価  
 ゾーン内のmeeting points の立地はランダムに設定

4\*) single-rider / single-driver に限定

4\*\*) meeting points の選択を, rider のODの最近傍に限定.

**Table 3**

Characteristics of the matchings in the optimal solution in terms of their use of meeting points for different numbers of meeting points.

	0	1	2	4	4*	4**
No meeting points used (%)	100.00	73.31	60.38	47.57	48.72	76.98
Higher mileage savings (%)	-	23.26	35.13	47.77	47.45	20.17
Feasible because of meeting points (%)	-	12.75	19.40	25.30	24.75	7.47
→ Detour became feasible (%)	-	11.89	18.14	23.41	22.75	6.77
Time windows became feasible (%)	-	1.58	2.17	3.20	3.23	0.84
Mileage savings became positive (%)	-	-	-	-	-	-

理由としては meeting points によって迂回が可能になったことが time windowよりも顕著

## meeting points の数ごとの実現可能なマッチング数への影響比較

TAZs内のmeeting points を 0, 1, 2, 4個の 4つのシナリオで評価  
 ゾーン内のmeeting points の立地はランダムに設定

4\*) single-rider / single-driver に限定

4\*\*) meeting points の選択を, rider のODの最近傍に限定.

**Table 4**

Analysis of the number of feasible matches for different numbers of meeting points.

	0	1	2	4	4*	4**
Single riders with feasible match	1290.6	1302.6	1308.4	1316.0	1316.0	1302.0
Number of single rider matches	20,253.0	22,940.6	24,297.0	25,836.0	25,836.0	21,565.0
Pairs of riders with feasible match	-	9.8	28.6	53.4	-	0.6
Number of rider pair matches	-	145.4	481.2	994.6	-	9.0
Triples of riders with feasible match	-	-	0.8	2.4	-	-
Number of triple rider matches	-	-	10.8	28.6	-	-

Meeting pointの導入により,  
 マッチング数について25%の増大

## flexibility の影響評価

### driver

$T_i = t_{o_i d_i} + \min(4 + c_{flex} \cdot t_{o_i d_i}, 20)$   
 として車両走行時間にflexibilityを導入

**Table 5**  
Effects of driver time flexibility.

	$c_{flex} = 0.15$		$c_{flex} = 0.25$		$c_{flex} = 0.35$	
	0	4	0	4	0	4
System						
Matching rate (%)	56.68	64.96	68.00	74.83	75.41	82.11
Mileage savings (%)	23.70	26.65	27.39	29.63	29.23	30.89
Drivers						
Matching rate (%)	56.66	64.27	67.96	74.08	75.36	81.19
Trip time increase (%)	19.35	20.66	25.45	26.41	30.65	32.31
Riders						
Matching rate (%)	56.77	65.71	68.11	75.65	75.54	83.11
Trip time increase (%)	13.09	25.01	13.09	26.54	13.09	27.91
Walk time (min:s)	-	8:52	-	8:56	-	9:08

driver がより長時間の移動を受け入れることで、マッチング効率に大きな影響を与えている

### rider

- Meeting pointへのアクセス手段を徒歩(4ft/s)からcycle(12ft/s)に変化させる
- $m_j$ を増減させる

**Table 6**  
Effects of rider time flexibility.

		Low		High	
		0.5	0.75	0.5	0.75
Travel speed to meeting point	-				
Maximum distance to meeting point (mi)	-				
System					
Matching rate (%)	68.00	74.83	79.84	76.17	83.84
Mileage savings (%)	27.39	29.63	31.32	30.01	32.14
Drivers					
Matching rate (%)	67.96	74.08	77.72	75.14	81.5
Trip time increase (%)	25.45	26.41	28.02	26.85	27.33
Riders					
Matching rate (%)	68.11	75.65	82.02	77.26	86.22
Trip time increase (%)	13.09	26.54	38.78	16.88	21.27
Trip time to/from meeting point (min:s)	-	8:56	13:13	3:11	5:56
Trip distance to/from meeting point (mi)	-	0.40	0.59	0.43	0.70

rider 側での flexibility 操作も driver 側の操作と同等にマッチング率に影響を与える

## flexibility の影響評価（出発時間）

全てのマッチング参加者について、30分に設定されている出発時間の flexibility を変化させる。

**Table 7**  
Effects of flexibility in departure time.

	20 min		30 min		40 min	
	0	4	0	4	0	4
System						
Matching rate (%)	61.27	67.07	68.00	74.83	71.75	79.21
Mileage savings (%)	24.21	26.03	27.39	29.63	29.25	31.6
Drivers						
Matching rate (%)	61.24	66.88	67.96	74.08	71.71	78.05
Trip time increase (%)	24.59	25.37	25.45	26.41	25.81	27.18
Riders						
Matching rate (%)	61.37	67.33	68.11	75.65	71.86	80.43
Trip time increase (%)	13.09	23.92	13.09	26.54	13.09	27.95
Walk time (min:s)	-	8:11	-	8:56	-	9:14

出発時間の flexibility が大きいほど、meeting points によるシステムへの貢献が大きくなっている。



## トリップ密度・トリップパターンによる変化

Corridor...南北に走る狭い長方形のゾーンとした回廊地帯からトリップを発生させるパターンを検証。(Defaultでは当該エリアはsuburban->urban centerへのトリップが発生する正方形のゾーン)

**Table 8**  
Characteristics of instances with different trip patterns and densities.

	Drivers : riders				
	1: 1	2: 2	1: 2	2: 1	1: 1 <sup>c</sup>
Trip pattern	Default	Default	Default	Default	Corridor
Avg. number of participants	2849.4	5578.6	4272.4	4272.4	2594.4
Avg. number of drivers	1425.8	2777.8	1425.8	2845.2	1295.4
Avg. number of riders	1423.6	2800.8	2846.6	1427.2	1299.0
Avg. trip distance for driver (mi)	7.58	7.60	7.58	7.59	9.36
Avg. trip distance for rider (mi)	7.64	7.62	7.64	7.68	9.35
Avg. trip duration for driver (min)	30.34	30.39	30.34	30.38	37.43
Avg. trip duration for rider (min)	30.56	30.47	30.56	30.70	37.38

## トリップ密度・トリップパターンによる変化

マッチング効率向上したが、  
総走行距離減分については落ち込んだ

**Table 9**  
Effects of trip patterns and density.

	Drivers : riders									
	1: 1		2: 2		1: 2		2: 1		1: 1 <sup>c</sup>	
	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
System										
Matching rate (%)	68.00	74.83	75.02	82.91	52.40	59.75	61.34	62.69	72.16	78.26
Mileage savings (%)	27.39	29.63	31.06	33.65	21.83	25.42	26.39	27.11	31.35	33.26
Drivers										
Matching rate (%)	67.96	74.08	75.34	81.57	78.49	84.22	46.07	47.09	72.31	77.51
Trip time increase (%)	25.45	26.41	25.75	27.43	25.45	26.13	20.13	19.40	22.56	23.46
Riders										
Matching rate (%)	68.11	75.65	74.73	84.26	39.35	47.52	91.87	93.88	72.23	79.21
Trip time increase (%)	13.09	26.54	13.13	28.16	13.09	29.22	13.09	19.12	10.70	21.54
Walk time (min:s)	-	8:56	-	9:19	-	9:41	-	7:50	-	9:00

Flexibilityを増大させた時と同等程度にシステム効率が向上

参加者数に偏りがある場合、meeting pointsはほとんどシステム効率に貢献していない

## 本論文で得られた知見

---

- meeting points の導入によって、マッチング効率の向上・総走行距離の減少が見られる。マッチング参加者のflexibilityが高ければ、マッチング人数が倍加した時と変わらないシステム性能が見られた。
- single-driver, multiple-ridersのシステムにおいてのアルゴリズムにおいて、meeting points を明示的に扱わずに実行可能マッチングの存在判定を行なう、計算量を抑えたアルゴリズムを示した。

## Further Research Topics

---

- マルチモーダルな移動を扱うライドシェア問題の定式化・評価
- マッチングの参加者に対するインセンティブ設計の方法論
- 観測データに基づくmeeting pointsとのシステム効率の比較