

アクティビティパターンを与件とした ライドシェア車両の最適割り当て問題

愛甲 聡美¹・板橋 遼²・瀬尾 亨³・日下部 貴彦⁴・朝倉 康夫⁵

¹学生会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 土木工学コース (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-20)

E-mail: s.aiko@plan.cv.titech.ac.jp

²学生会員 東京工業大学 大学院理工学研究科 土木工学専攻 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-20)

³正会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-20)

⁴正会員 東京大学講師 空間情報科学研究センター (〒 277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

⁵正会員 東京工業大学教授 環境・社会理工学院 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1-M1-20)

シェアリングエコノミーと自動運転技術は、交通の在り方を大きく変える可能性を秘めている。ライドシェアによる交通サービスの導入には、利用者の希望を集計し運行ルートおよびダイヤを決定する必要がある。本研究では利用者のアクティビティが所与であると仮定し、すべての利用者のアクティビティが満たされるようライドシェア車両のみで移動するための車両および利用者の経路決定モデルを構築した。仮想のネットワークと利用者のアクティビティを用いて数値計算を行い、構築したモデルから趣旨に合う解を得られることを確認した。

Key Words : Ride Share Vehicle, Activity Pattern, Routing Problem, Time-Space Network, Integer Linear Programming

1. はじめに

“シェアリング”は近年注目を集めている言葉である。ひとりにひとつ、と多くのものを各個人が所有することが主流であった社会の潮流から、誰かものを共有する考え方が広がりを見せている。

自動車にも、シェアリングの考え方が浸透しようとしている。ひとつは“カーシェアリング”である。一家に一台あるいは一人に一台と自動車の需要は増加を続けてきたが、近年では若年層の自動車保有率が減少している。公共交通の発達した都市部では人々が車を持たずとも望む場所に移動することができていることも、自動車離れの一因である¹⁾。しかしながら自動車での移動のニーズは少なからず存在し、自家用車は持たずとも必要な時には車に乗りたいという人は多い¹⁾。このようなニーズに応えようとするのが、利用者が自動車を共有して利用できるカーシェアリングである。日頃の利用頻度が低いことから自動車の所有を躊躇する人々にとって、使いたいときだけ利用できるカーシェアリングの魅力は高まっていると言えるだろう。

自動車に関してもう一つのシェアリングは“ライドシェアリング”である。これは同一またはごく近い出発および到着地を希望する人々同士で自動車に相乗りすることを指す。すでに、日常生活において自身の用事のついでに知人を乗せて移動する場面は多く発生して

いるだろう。ライドシェアリングにかかわる多くの研究成果により、すでに海外ではライドシェアのマッチングがビジネスとして浸透し、数多くのサービス提供されている²⁾。日本でも、地域コミュニティにおける住民の移動手段としてのライドシェアリングの有効性が注目されており、実現可能性が検討されている³⁾。また、タクシーシェアを希望する利用者同士にマッチングを提供するサービスも立ち上げられた⁴⁾。

自動車は便利な乗り物であるが、誰にとっても便利な移動手段とは言い難い。自動車は運転免許を有している人のみが運転できることから、そもそも運転の技能を有さない人にとっては自身の移動手段として考慮されにくいからである。この大きな壁は、自動運転の技術によって解消される可能性が開かれようとしている。

自動運転の技術自体は開発が進んでおり、一定の条件下では実際に道路を走行できる水準にまですでに達している。走行に当たっては法整備にも課題があり、日本における自動運転技術の実現に向けて、内閣官房の「官民 ITS 構想・ロードマップ 2015」⁵⁾に示される様々な研究開発および検討が進められている。現在市場に流通する自動車に搭載されている技術は安全支援システムという段階に当たり、自動車の運転のうち大部分を運転者本人が担うなかで衝突回避や車線はみ出しの警告などを行う。自動運転技術が最終的に目指しているのは完全に車両自体が自動で走行することである。この

技術が実現し実用化すれば、運転免許を持たない人であっても自動車で移動できる可能性が開けるのである。

いまはまだ完全に発達していないシェアリングエコノミーと自動運転技術であるが、このふたつの要素は近い将来交通の在り方を大きく変える可能性を秘めているといえる。シェアリングと自動運転がともに実現し浸透した社会を考えてみよう。この社会では、自動車を地域が所有し、人々が車両を共有しまた乗り合いをしながら使うことができる。また、これらの自動車はすべて完全な自動運転が可能な車両である。このような社会においては、自動車は各個人の希望する時刻に、希望する場所から場所まで運んでくれる、交通サービスの側面をもった移動手段として認識されるようになるのではないだろうか。このような交通サービスを地域に導入するためには、利用者の乗降の希望を集計し、必要な車両台数を見積もり、経路を決定することが必要となる。

そこで、本研究では先に述べた社会を想定し、利用者のすべてのアクティビティが与えられたとき、地域の保有する自動車(以下シェアリング車両と呼ぶ)によって利用者を運ぶための経路を決定するモデルを構築する。

利用者の移動の希望に対して車両を割り当てる問題は Dial-a-Ride Problem (DARP) と呼ばれ、多くの研究がなされている。Cordeau and Laporte⁶⁾ に DARP に関する既往研究がまとめられており、利用者の希望する出発地と到着地の組み合わせを集計し、与えた車両ですべての利用者を分担して運ぶ時の経路決定問題を定式化した研究などが挙げられている。

本研究では、利用者の活動が所与のもとすべてのアクティビティを満たすようライドシェア車両で移動するときの経路を決定するモデルを構築する。個人の活動が与件とは各個人について一日にどのような活動をどこで、いつからいつまで行うかが与件であることを意味する。本研究では各ライドシェア車両の経路に加えて各利用者の経路も同時に決定し、人と車の動きを一度に求めることのできるモデルを構築するとともに、仮想ネットワークと仮想のアクティビティを用いて数値計算を行うことを目的とする。

本論文の構成について述べる。第 1 章では本研究の背景と目的について述べた。第 2 章ではライドシェア車両での移動を想定した場合の経路を決定するモデルを構築する。第 3 章では第 2 章で構築したモデルを用いて数値計算を行い、その結果について述べる。最後に、第 4 章にて本研究の成果と今後の課題を述べる。

2. モデル構築

(1) 問題設定

本節ではモデルの定式化を行う上で前提とする問題設定や仮定の詳細について述べる。本研究では、ライドシェア車両を活用した社会の在り方を考える第一段階として、単純化した仮想の社会を想定し、さらに複雑なモデル構築のためのベースとなるモデルを構築する。

a) 時間の離散化

時間の概念について、この問題では時間を離散化し、離散化した 1 タイムステップを最小単位として時刻を定める。

b) 車両の移動

本研究では利用者の移動をすべてライドシェア車両で賄うとする。導入する車両の台数はあらかじめ与え、いずれかの車両が利用者に乗せて移動し、車両一台に複数の利用者が同乗することを認める。車両の移動に関して、隣接ノードの移動にはあらかじめ与える移動時間を要するとし、混雑は考慮しない。1 タイムステップごとに同一ノードに滞在することもできる。

車両の経路は車庫から始まり、車庫に戻って終わるとする。車庫から出ている間、各車両は利用者に乗せながら各ノード間を移動またはノードに滞在しており、これを業務と呼ぶ。車両は一度車庫を出て業務を開始すると業務が終了するまで車庫には戻らない。

c) アクティビティとトリップ

利用者のアクティビティはすべて与件であるとする。本研究では各利用者のアクティビティの情報について、いつからいつまで、どこに滞在しなければならないかの情報が含まれているとし、各アクティビティの終了時刻から次のアクティビティの開始時刻までに移動を完了させなければならない。以下ではこの時間帯を移動可能時間帯と定義する。さらに利用者はこの時間帯において出発地から到着地まで移動を行い、これを隣接ノードへの移動の繰り返しもしくは同一ノードでの滞在で表現する。本研究では出発地から到着地までの一連の移動をトリップと呼ぶ。利用者はトリップのうち隣接ノードへの移動は車両に乗車して行うものとするが、車両に乗車しない状態で同一ノードに滞在することは認める。トリップ中にあるノードに滞在した場合はトリップ中の滞在と呼び、出発地で乗車する車両を待つ状態や到着地で降車し移動可能時間帯が終了するまでそのノードで待つ状態を単に利用者の滞在と呼ぶ。この問題で想定する利用者の動きを図-1 に示す。利用者の移動についても車両と同様、隣接ノードを移動もしくは同一ノードに滞在する。

本節で述べた問題設定を以下にまとめる。

- 利用者のアクティビティはあらかじめ与え、それ

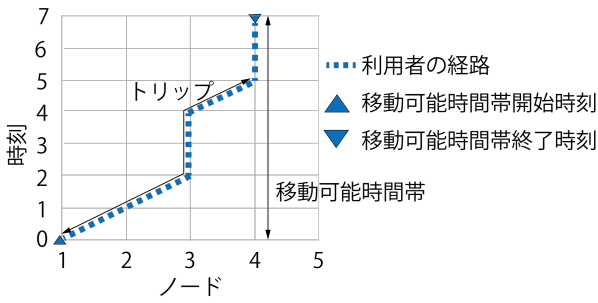


図-1 利用者の動きの例

を満たすよう車両で移動する。

- 移動はアクティビティの開始前に完了していればよい。
- 車両はすべて車庫から出発し、一度業務を開始したら業務終了まで車庫には戻らない。
- 一つの車両に複数人が同乗してもよい。
- 時間を離散化し、1 タイムステップを最小単位として時刻を定める。
- 隣接ノードの移動に要する時間はあらかじめ与える。

ここまで述べた問題設定を図-2 に例示する。

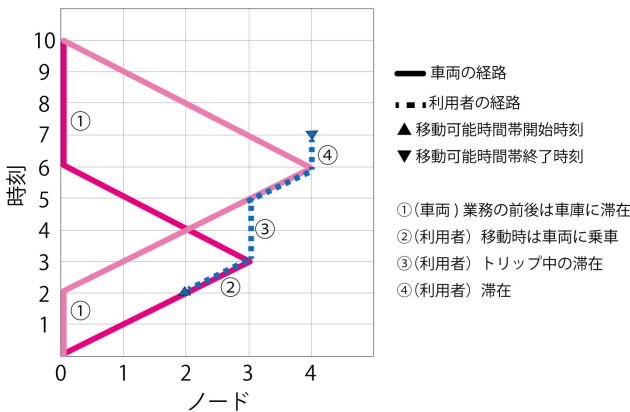


図-2 問題設定

(2) 時空間ネットワーク

モデルの構築に際し、本研究では時空間ネットワークを用いる。時空間ネットワークとは、二次元の交通ネットワークに時間の軸を加えて三次元としたネットワークである。このネットワーク上では二次元ネットワークのみでは表現できない、車両の移動を時間の経過とともに表現することができる。二次元の交通ネットワークはノードとそれらを結ぶリンクによって構成されるのに対し、時空間ネットワークは二次元の交通ネットワークを時間軸方向に一定の間隔で並べ、その間を有向リンクで結んだ形状を有する。

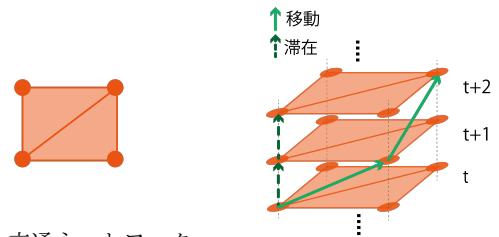


図-3 交通ネットワーク

図-4 時空間ネットワーク

本研究では時刻 t の最小値は 0 とし、時刻の間隔は 1 とする。 t の最大値は利用者の移動可能時間帯の終了時刻からあらかじめ与える。本研究では車両、利用者ともに同一のノードに滞在することや車両が同一ノードを複数回通過することを認めるため、時空間ネットワークを用いることでこれらの動きを表現することが容易となる。

以下、本研究で示すモデルはすべてこのような時空間ネットワーク上で表現するとする。

(3) 記号

以下では本研究で用いる記号の定義を示す。

モデルのインプットとして与えるパラメータは以下の通りである。

K 車両の集合

G 全ノードの集合

T 時刻の集合

R 利用者の集合

b 車庫ノード

c_{ij} リンク ij の所要時間

t_d^r 利用者 r の移動可能時間帯の開始時刻

t_a^r 利用者 r の移動可能時間帯の終了時刻

s_d^r 利用者 r の出発地

s_a^r 利用者 r の到着地

決定変数は以下の通りである。

x_{ijr}^k 車両 k が時刻 t にノード i を出発しノード j へ移動するとき 1, それ以外 0 (ただし, $t' = t + c_{ij}$)

y_{ijr}^r 利用者 r が時刻 t にノード i を出発しノード j へ移動するとき 1, それ以外 0 (ただし, $t' = t + c_{ij}$)

(4) 目的関数

本研究では、複雑なモデル構築のベースとなるモデルを構築する。そのため極めて単純な目的関数として、本モデルでは車両の移動・滞在の所要時間の最小化を用いる。この目的関数はいかなる経路でも時刻の最大値と車両台数の積と同意であり、問題設定を表現する経路を解として得るために用いるものである。目的関

数は式 (1) のように定式化される。

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \in G} \sum_{i \in G} c_{ij} x_{ijtr}^k \quad (1)$$

(5) 定式化

本モデルを定式化した整数線形計画問題は次のように記述される。

Minimize

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \in G} \sum_{i \in G} c_{ij} x_{ijtr}^k \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{j \in G} x_{bj0r}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \neq b | i \in G} \sum_{j \in G} x_{ij0r}^k = 0 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \neq b | j \in G} \sum_{t \in T} x_{bjtr}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \neq b | i \in G} \sum_{t \in T} x_{ibtr}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in G} x_{ijtr}^k = \sum_{h \in G} x_{jhtr}^k \quad \forall j \in G, \forall t' \in T, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in G} y_{ijtr}^r = 1 \quad i = s_d^r, t = t_d^r, \forall r \in R \quad (8)$$

$$\sum_{i \in G} y_{ijtr}^r = 1 \quad j = s_a^r, t' = t_a^r, \forall r \in R \quad (9)$$

$$\sum_{i \neq s_a^r | i \in G} \sum_{j \in G} y_{ijtr}^r = 0 \quad t = t_d^r, \forall r \in R \quad (10)$$

$$\sum_{i \in G} \sum_{j \neq s_a^r | j \in G} y_{ijtr}^r = 0 \quad t' = t_a^r, \forall r \in R \quad (11)$$

$$\sum_{i \in G} y_{ijtr}^r = \sum_{h \in G} y_{jhtr}^r \quad \forall j \in G, \forall t' \in T (t' \neq t_d^r, t_a^r) \forall r \in R \quad (12)$$

$$y_{ijtr}^r \leq \sum_{k \in K} x_{ijtr}^k \quad \forall i, j \in G (i \neq j), \forall t \in T, \forall r \in R \quad (13)$$

$$x_{ijtr}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in G, \forall t \in T, \forall k \in K \quad (14)$$

$$y_{ijtr}^r \in \{0, 1\}$$

$$\forall i, j \in G, \forall t \in T, \forall r \in R \quad (15)$$

式 (3) から式 (7) は車両の保存則を表す。式 (3) は時刻 0 に車両が車庫から出発するか車庫での滞在を始めることを表し、式 (4) は時刻 0 に車庫以外のノードから出発または滞在を開始する車両はないことを表す。式 (5) は車両 k が一度だけ車庫を出発することを表し、式 (6) は車両 k が一度だけ車庫に帰ることを表す。式 (7) は各ノードに到着した車両はすべて次のタイムステップで移動または滞在を行うことを表す。

式 (8) から式 (12) は利用者の保存則を表す。式 (8), (9) は利用者 r の移動可能時間帯の開始時刻に出発地から出発または滞在をはじめ、終了時刻に到着地に到着または滞在していることを表す。式 (10), (11) は利用者 r の移動可能時間帯の開始時刻に出発地以外から出発または滞在をはじめないこと、終了時刻に到着地以外に到着または滞在していないことを表す。式 (12) 利用者の出発地と到着地以外のノードについて各ノードに到着した利用者はすべて次のタイムステップで移動または滞在を行うことを表す。

式 (13) はトリップの移動は車両によってのみ行われることを表す。

式 (14), 式 (15) は各式に示した変数が 0 または 1 の値をとるダミー変数であることを表す。

3. 数値計算例

本節では構築したモデルを仮想ネットワークに適用し、正しい解を得られることを確かめる。本研究ではモデルの数値計算に数理最適化ソルバーである Gurobi Optimizer⁷⁾を用いる。Gurobi Optimizer では整数線形最適化問題の解法に分岐限定法と実数の線形計画法を用いている。

(1) 仮想ネットワークとアクティビティ

本節で用いるネットワークとアクティビティを図-5 から図-6 に示す。

図-5 内のノード上に示された数字はノード番号を、ノード間をつなぐリンクに添えた数字はリンク間の移動所要時間を表す。車庫の位置が走行経路に影響を与えないよう、車庫と各ノード間はいずれも 1 タイムステップで移動できるとする。図-6 に示す通り 5 人のアクティビティが与えられており、この 5 人をライドシェア車両で運ばなければならない。図中の丸数字は起点および終点のノード番号を表し、縦軸は時間の経過を表す。利用者はそれぞれの移動可能時間帯において、ノード間の移動を完了させなければならない。時刻の上限は $t = 20$ とした。

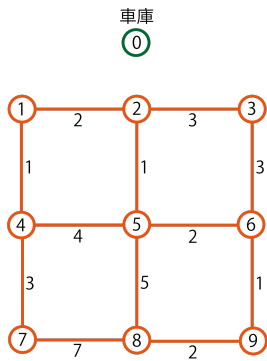


図-5 仮想ネットワーク

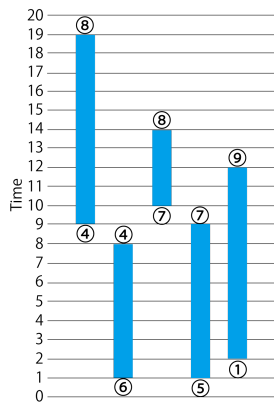


図-6 利用者の移動可能時間帯

(2) 結果

作成したモデルに対し示したネットワークとアクティビティを与え、車両台数を3として計算を行った結果、目的関数値は60.0となり、移動軌跡は図-7に示す通りとなった。なお、車両台数が2台以下では解を得られず、与えたネットワークとアクティビティに対する車両台数の最小値は3台であることが分かった。

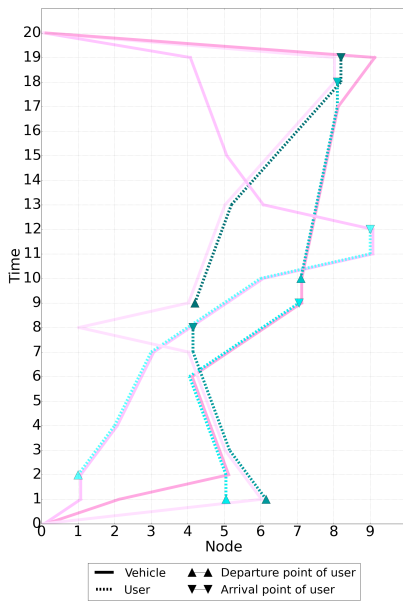


図-7 車両・利用者の経路

図の横軸はノードを表し、縦軸は時間を表す。実線は各車両の移動経路を、点線は利用者の移動経路を表し、▲と▼がそれぞれトリップの起終点および時刻を表す。利用者の起終点は図-6に示した起終点ノードおよび出発時刻と到着時間と一致している。垂直な線は同一ノードでの滞在を表し、それ以外はノード間を移動していることを表す。隣接ノードの移動には図-5に示

した時間を要している。隣接していないノード間の直接の移動は発生しておらず、すべて移動は隣接ノードの移動と同一ノードでの滞在で表現されている。車両は車庫から出発し車庫に帰る軌跡を描いており、業務中5人の利用者を移動可能時間帯の範囲内で出発地から到着地に運んでいる。t = 0 から t = 20 まで車庫以外のノード間を走行しており、全車両の移動と滞在時間の合計は60となるため目的関数の値とも合致する。移動を表す点線は、必ず同じ経路を同時に進む実線を伴っている。これは、利用者が異なるノードを移動するときには、同じ経路を同時に走行する車両が必ず存在することを意味する。すなわち、どの利用者也移動する際は車両に乗っていることを表す。以上のことから、本モデルは第2章1節で述べた問題設定を表現することができたと言える。

4. おわりに

本研究では、利用者のアクティビティが所与であるとき、そのアクティビティを満たすよう車両で移動する経路を決定するモデルを構築した。利用者のアクティビティから移動可能時間帯が決まり、その時間内で利用者を移動させるという制約があるため車両の動きが複雑となる。そのため、移動と滞在を明確に表現できる時空間ネットワークを用いて整数線形計画問題として記述した。本研究では仮想ネットワークを用いて数値計算を行い、厳密解を求めて問題設定に合う解を得られることを確認した。

現在の定式化では目的関数で車両の移動と滞在を区別しないため、制約式を満たす解であれば最適解になりえる。車両の経路決定に関しては、滞在と走行にかかる費用は異なると考えられるため、これらを区別して費用を最小化する目的関数をとることが考えられる。利用者のトリップに関しては、移動時間の最小化が最も単純な目的関数となる。さらに、滞在とトリップ中の滞在を区別し、移動時間が同じであればトリップ中の移動を最小限にする経路を最適解とする定式化を行えば、利用者の利便性を考慮したモデルに改良することができる。また本モデルでは車両台数はあらかじめ与えたが、目的関数に導入車両の項を含めることで台数も決定できるモデルとなる。

本研究で構築したモデルは定式化のために多くの仮定を置いており、仮定を緩和したモデルに改良することが今後の課題である。本モデルでは車両の容量を考慮していないため、与えるアクティビティパターンと車両台数によっては1台に非常に多くの人を乗せて運行することが可能となっている。はじめに述べたとおり、本研究はカーシェアリングとライドシェアリング

を組み合わせた交通サービスを想定しているため、車両 1 台に乗車できる人数に制限を設けることが妥当である。利用者の移動についても、本モデルでは乗り換えの回数に制限がないため、何度でも乗り換えることが可能である。利用者の利便性の観点から乗り換えが多すぎる経路は望ましくないと考えられるため、この点についても検討が必要である。

本研究において所与とするアクティビティパターンでは、各アクティビティについて個人を区別せずに用いている。各アクティビティで個人を識別することができれば、同乗する相手に対する各利用者の選好を反映できるなどの発展が期待できる。個人の選好を考慮したライドシェアでのマッチングについては研究がなされており⁸⁾、今後検討するべき点であると考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省: 国土交通白書 2013 若者の暮らしと国土交通行政 平成 24 年度年次報告, 国土交通省, 2013.
- 2) Furuhata, M., Dessouky, M., Ordóñez, F., Brunet, M.-E., Wang, X., and Koenig, S.: Ridesharing: The state-of-the-art and future directions, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 57, pp. 28–46, 2013.
- 3) 佐々木邦明, 二五啓司, 山本理浩, 四辻裕文: 低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可能性, *社会技術研究論文集*, Vol. 10, pp. 54–64, 2013.
- 4) Channel Nine Corporation: 相乗り屋.net, <http://www.ainoriya.net/>, 閲覧日時 2016/4/21, 2014.
- 5) 内閣官房 (高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部): 官民 ITS 構想・ロードマップ 2015, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/douro/dai11/sankou1.pdf, 閲覧日時 2016/4/21, 2015.
- 6) Cordeau, J.-F. and Laporte, G.: The dial-a-ride problem: models and algorithms, *Annals of Operations Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 29–46, 2007.
- 7) Gurobi Optimizarion Inc.: Gurobi Optimization Reference Manual, <http://www.gurobi.com>.
- 8) Thaitatkul, P., Seo, T., Kusakabe, T., and Asakura, Y.: A passengers matching problem in ridesharing systems by considering user preference, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 11, pp. 1416–1432, 2015.

(2016. 4. 22 受付)

OPTIMUM ROUTING OF RIDE SHARE VEHICLES FOR GIVEN ACTIVITY PATTERNS

Satomi AIKO, Ryo ITABASHI, Toru SEO, Takahiko KUSAKABE and Yasuo ASAKURA