

新たな技術を踏まえた都市交通計画手法に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市研究部
都市施設研究室 室長 新階 寛恭

1. はじめに

我が国で急激に進む人口減少・超高齢化社会において、都市が持続可能であるための都市機能の維持・再生が必要となっている。都市交通分野においても、単なる一側面としての交通問題への対処ではなく、持続可能な都市のための交通体系の構築が急務となっている。

都市圏内の人の移動特性を俯瞰すると、土地利用の分散化等と相まって、集約的・幹線的な移動よりも圏域内の面的な移動の比重がさらに増している。そういった状況下で、いかに‘性能として’コンパクトな都市構造を実現するかが重要である。

その「移動」に関する昨今の技術開発に目を向けると、ICTを活用したデマンド対応移動サービスや自動運転技術など、全く新たな「移動」の仕方の可能性を広げる交通システムが急速に進化しつつある。香月・谷口ら¹⁾は自動運転車に関する利用意向調査を通じて新たな技術と都市属性との関係に言及している。このように単体車両の社会受容性や適用可能性については研究が進んできている。一方、これら新技術を組み合わせることは、都市の「コンパクト」化に一層資すると思われるものの、その組み合わせ方のノウハウは十分に確立されているとは言えない状況にある。松原ら²⁾や田中ら³⁾は郊外住宅団地等を対象に高齢者の移動実態を明らかにし、また藤原ら⁴⁾は都市のある一部の地域を対象に効果的な交通ネットワークのあり方を提案している。しかし、新たな技術を考慮しつつ都市構造全体に渡ってのネットワークの提案や検証まで扱っている研究はみられない。

従って本研究は、新たな技術を俯瞰しつつ、交通システムの性能を単体だけで評価するのではなく、モードの組み合わせ方すなわちネットワークに着目し(図-1)、コンパクトな都市を実現する交通ネットワークと構成技術のあり方やそれらシステム全体の実効性の検証手法についてケーススタディを通じて明らかにすることを目的とする。

都市交通分野における車両単体を構成する要素技術については、表-1に示すように自動運転・遠隔操作等の制御技術をはじめ、駆動技術や動力源等の多岐にわたって、情報・計測分野の部品産業や電池・通信・ロボット産業などこれまでの自動車産業の枠組以外からの開発も進んでおり、ICTの活用と相まって、既存の交通体系にとらわれない移動システムの可能性が生じている。

このような複数の技術を様々な車両と組み合わせつつ運行等も工夫することにより、一つの都市交通サービスが製造・構築される。そのような都市交通サービスについて、その性能・性質を判断する代表的な観点として「移動距離」「輸送力」「速度」「戸口性」に着目し、順にグルーピングした結果を表-2に示す。なお、現時点で商用運用されて

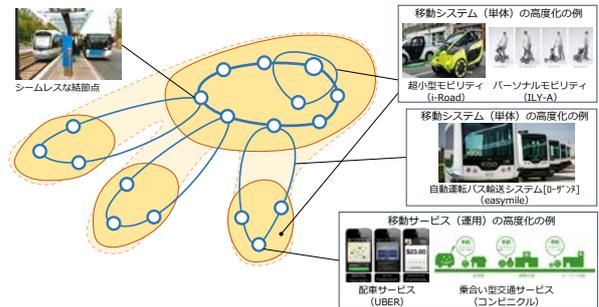


図-1 技術の組合せによる多様なネットワークのイメージ

表-1 車両単体の一部を構成する要素技術の例

大項目	中項目	小項目
制御技術 (自動運転・遠隔操作)	情報収集	視覚系 車載カメラ、ライダー(レーザレーダー)
		通信 QZSS(準天頂衛星システム) Bluetooth LE/iBeacon IMES (Indoor Messaging System)
		マップ 高精度地図 (ダイナミックマップ)
	分析・認識	画像認識 人工知能、機会学習、 深層学習(ディープラーニング)
駆動技術	制御	転倒防止技術 車載用駆動モータ パイ・ワイヤ技術(電氣的伝達方式)
	燃焼方式	スーパーリーンプラン (希薄燃焼方式)
動力源	電池系	燃料電池、車載用蓄電池、 全固体電池 キャパシタ(コンデンサ)
	充電方式	非接触充電

いない研究開発事例も近い将来に都市交通ネットワークを構成するシステムの一部となる可能性を見込んで表に含めている。

本研究では、このような都市交通サービスを対象として、交通ネットワークの可能性とともに実効性の検証を試みる。

2. 都市交通サービスの組合せによる交通ネットワークパターン

都市交通においては、どれほどの人がどのような移動を求めているかによって、交通ネットワークには何らかの解が求められる。つまり、都市交通ネットワークは都市の基本特性（都市規模や都市構造）や人々の移動特性と密接な関係があると考えられる。一方で、都市交通サービスには前章で示したように、適した移動距離や輸送力などがあり、それらからある一定のネットワーク形状が導かれると考えられる。

従って本章では、「ネットワーク要素」なる交通ネットワークの基本形（典型的なパターン）を仮定し、前述の両者を結びつけることにより、需要面からのアプローチと供給面からのアプローチとを一貫させた交通ネットワークの記述を試みる。

(1) 都市規模・都市構造と移動シーンを踏まえた交通ネットワーク要素の類型化

まず都市規模については、大都市郊外都市／地方中心都市／地方中小都市に3分類する。次に都市構造については、①交通結節性、②居住系土地利用の状況（集約／分散）、③拠点施設の立地状況（拠点性の有無／分散）に着目し、表-3に示すように12区分する。人の移動特性については、属性（社会人、学生、子連れ等）に応じた移動シーン（通勤・通学、買い物・通院等）を考慮する。

以上に基づき、結節点や市街地との関係や、通勤・通学、通院、買い物などの行動目的に応じて導かれる典型的な「交通ネットワークの要素」を抽出し類型化した結果を表-4に示す。

例えば⑤「リング&スポーク型」は、基幹バス等を幹線交通軸（スポーク）とし、その周辺に環状（リング）の自動走行デマンドバス等の中量輸送交通システムが、交通拠点となる基幹バスのバス停で結節するようなネットワーク要素となる。なお、この型が成立するような都市構造は、幹線交通軸周辺エリアでは移動需要が基幹バスに集約されるとともに、拠点施設（医療施設・商業施設）が基幹バス拠点に集約されるような構造（No.3, 5, 7）と考えられる。

以上を踏まえ、都市の基本特性および移動シーンから導かれる「ネットワーク要素」と、それらネットワーク要素の特性（移動距離や求められる輸送力・速度等）に対応する都市交通システムとの関係を表-5に示す。

(2) ネットワーク要素の組合せによる都市の特性や移動シーンに応じたネットワークパターン

具体の都市における実際の交通ネットワークパターンについては、地域の生活様式を含むその

表-2 要素技術と都市交通サービスとの対応関係

都市交通サービスの種類	技術カテゴリー				車両	1.制御技術 (自動運転等)					2.駆動装置		3.動力源		4.マネジメント		
	移動距離	人員	規模	出口		1)情報収集	2)分析・認識	3)制御技術	4)計画・操作	5)履歴	a.駆動装置	b.エネルギー	c.エネルギー	d.乗り継ぎ			
(1) サイクルシェアリング	短距離	個人	低速	近接	[2]自転車/[3]電動自転車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(2) PM(パーソナルモビリティ)	短距離	個人	中速	近接	[3]電動自転車/[4]電動二輪車/[5]電動車椅子/[6]パーソナルモビリティ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(3) パーソナルモビリティシェアリング(自動運転・配車制御)	短距離	個人	中速	近接	[3]電動自転車/[4]電動二輪車/[5]電動車椅子/[6]パーソナルモビリティ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(4) 自転車タクシー	短距離	少量	低速	近接	[3]電動自転車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(5) 電動カート(自動運転)	短距離	少量	中速	近接	[7]電動カート	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(6) 貨物/病院バス	短距離	中量	高速	遠隔	[12]小型バス/[13]自動走行バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(7) 超小型モビリティ	中距離	個人	中速	近接	[8]超小型モビリティ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(8) 超小型モビリティシェアリング	中距離	個人	中速	近接	[8]超小型モビリティ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(9) PRT(自動運転)	中距離	少量	中速	遠隔	[9]PRT/[13]自動走行バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(10) PRT(配車制御)	中距離	少量	中速	遠隔	[9]PRT/[13]自動走行バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(11) 自動走行デマンドバス	中距離	中量	高速	遠隔	[13]自動走行バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(12) 小型バス	中距離	中量	高速	遠隔	[12]小型バス/[13]自動走行バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(13) タクシー	長距離	少量	高速	近接	[10]タクシー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(14) デマンドタクシー	長距離	少量	高速	近接	[10]タクシー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(15) ライドシェア(カーシェアリング)	長距離	少量	高速	近接	[11]乗用車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(16) カーシェアリング	長距離	少量	高速	遠隔	[8]超小型モビリティ/[11]乗用車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(17) コミュニティカーシェアリング	長距離	少量	高速	遠隔	[8]超小型モビリティ/[11]乗用車	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(18) 路線バス	長距離	大量	高速	遠隔	[14]大型バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(19) BRT	長距離	大量	高速	遠隔	[14]大型バス/[15]BRT	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(20) LRT	長距離	大量	高速	遠隔	[16]LRT	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(21) ネットスーパー配達	長距離	少量	高速	近接	[17]ドローン/[18]電動二輪車/[19]小型トラック/[20]大型トラック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(22) 移動スーパー/移動病院/移動銀行	長距離	大量	高速	近接	[20]小型トラック/[21]大型トラック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(23) 貨物混在バス	長距離	大量	高速	遠隔	[14]大型バス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

PRT : Personal Rapid Transit (個人用高速輸送システム)
PM : Personal Mobility (個人用小型移動手段)

表-3 都市構造類型の区分

①交通結節性	②居住系土地利用		③施設の拠点性	
	集約型 (鉄道・バスとの 関わりが密接)	分散型 (鉄道・バスとの 関わりが希薄)	有り	無し または 分散
鉄道結節	中心駅有	○	1.	2.
	中心駅無	○	3.	4.
基幹バス(中量輸送)結節	○	○	5.	6.
	○	○	7.	8.
結節無し	○	○	9.	10.
	○	○	11.	12.

表-6 都市規模・移動シーン別のネットワークパターンおよび都市交通サービスの例（イメージ）

都市分類	特徴（想定）	ネットワークパターン	
		通勤等の目的地への移動	買物・通院等の移動
大都市 郊外 （東京・多摩市多摩NTなど）	<ul style="list-style-type: none"> □大都市のベッドタウンとして団地が造成され、団塊の世代が一斉に居住した地域 □高齢者の急増に対応しきれておらず、バリアフリー対応等が課題 □鉄道駅から数km離れた地区にも集合住宅団地が立地しており、徒歩での鉄道駅アクセスは困難 □団地内に銀行や郵便局、スーパーはあるが、スーパーは過去に一度撤退しており、今後も維持されるかは不確定 □定年後の居住者が多い地区では、通勤需要が減少、バスの運行頻度も減少 	【②スター＆リング型】 	【⑥メッシュ型】
地方中心都市 （栃木県・宇都宮市など）	<ul style="list-style-type: none"> □大規模店舗が進出、公共機関も郊外化しており、中心街の商店街は衰退 □移動手段の乏しい高齢者にとって大規模店舗へのアクセスが課題 □鉄道駅周辺の拠点性が高く、就業施設・商業施設が立地 □駅から数km以上離れた地区に大規模な工業団地が立地しており、就業者の多くは自家用車で通勤 □駅を目的地とした移動には路線バスがあるが、それ以外の目的地への移動には自家用車が便利であることから、移動の多くは自家用車に依存 	【①スター型+④リング連担型】 	【①スター型+⑧ラティス型】
地方中小都市 （長野県・中野市など）	<ul style="list-style-type: none"> □鉄道駅の拠点性は低く、全ての移動は自家用車に依存 □バス路線は長野駅を目的地とした路線が幾つかあるがいずれも運行頻度が著しく低い □総合病院は長野市に行かざるを得ないが、鉄道・バス共に運行頻度が少ないことから、同居者の自家用車で送迎 □戸建住宅が広範囲に広がっており、銀行・郵便局・スーパーが市内に点在している、徒歩でのアクセスには遠い 	【⑥メッシュ型】 	【⑥メッシュ型】

3. システム導入効果の評価指標設定とケーススタディ

(1) 評価指標の設定

評価指標設定にあたっては、都市の持続可能性の観点から都市構造を構成する交通ネットワークの持続性およびサービス水準を評価できるようにする必要がある。また、交通施策の実現には利用者のほか事業者や地方公共団体など、多様なステークホルダが関係していることから、多様な関係者の立場を反映するようバランスよく評価指標を設定する必要がある。これらを踏まえ、評価指標を表-7のように5つ設定する。

指標1~3は利用者の立場からの指標とし、指標4は交通事業者の立場からの指標、指標5は都市全体の立場からの指標とする。多角的かつ包括的にシステムおよびネットワークの実効性を検証することを意図している。

(2) ケース（ネットワークパターン）の設定

今回は新たなモビリティを用いた都市交通ネットワークの整備効果が大きく発現する可能性があると考えられる地方中小都市をとり上げることとし、長野県中野市を対象に典型的な3ケースを設定して、上述の指標を用いて各ネットワークパターンの実効性に関するケーススタディを行った。

表-7 評価指標で表現したい内容と評価指標

指標	主な対象	評価指標で表現したい内容	評価指標
1	利用者	公共交通ネットワークと目的地(OD)の整合性	公共交通によるODカバー率
2		利用者のサービスへのアクセスしやすさ	公共交通に乗れるまでの所要時間
3		利用者のトリップ当たりの移動のサービス水準	公共交通での移動にかかる所要時間
4	事業者	交通事業者の運営コスト	利用者1人当りの交通事業者コスト
5	都市経営主体	都市全体における交通に関するトータルコスト	都市全体の交通コスト

ケース 1：既存のバスネットワークを想定したケース（「①スター型」）。

ケース 2：連結型 PRT（個人用高速輸送システム）や PM（パーソナルモビリティ）等の新たな都市交通システムを複合的に導入し市内外の多様な OD 需要に応えるケース（「②スター&リング型」及び「⑥メッシュ型」）。

ケース 3：ライドシェア等の個人利用を中心としたケース（「⑩無ネットワーク型」）。

(3) ケーススタディの条件設定

指標算出にあたって中野市および周辺市町を含む 16 ゾーン・地区を設定し、ゾーン・地区間 OD については長野都市圏 PT 調査で得られたトリップ数をもとにグラビティモデルを用いてゾーン・地区 OD トリップ数を算出した。その上でケース毎に導入する新たな都市交通サービスについて、表-8 に示す条件を設定して試算を行った。

(4) ケーススタディ結果

各ケースにおけるネットワーク形状、都市交通サービスの組み合わせ方および評価指標の試算結果を表-9 に示す。

ケース 1 は既存バス交通システムを維持するケースである。ケース 2 や 3 と比べてバス路線自体のネットワークは充実している（「第 2 次 中野市地域公共交通総合連携計画（H28.7 中野市）」によれば公共交通人口カバー圏率は 90.1%）。しかし、運行頻度は大多数の路線で 10 本/日以下であることから、各 OD において自家用車での移動時間の 3 倍以内なら公共交通を利用するよう条件設定しても、指標 1（公共交通による OD カバー率）は 3.4%と低くなった。ケース 2 は、路線バスの代わりに、離合集散しやすい連結型 PRT とともに、これを補完するように PM を配置することで PRT へのアクセシビリティを向上させるケースであり、同 53.4%と高くなった。ケース 3 は個人利用主体のケースであり、同 82.2%と最も高くなった。

公共交通による OD カバー率が向上することで需要も喚起されるものと考えられることから、指標 4（利用者 1 人当たりの交通事業者コスト）について現状の公共交通分担率 4.5%を用いてケース 1 で同 4.5%、ケース 2 で 20%増、ケース 3 で 10%増と仮定して試算したところ、ケース 1 の 1,053 円に対して、ケース 3 は 732 円となり、ケース 2 では 227 円と最も安くなった。

(5) 考察

ケーススタディの結果、新たな都市交通システムの活用による多頻度運行とネットワークの多様な組合せによって、公共交通のコストを抑えつつ利便性向上が図られることにより多様な OD ニーズへの対応が可能となることが示唆された。一方で、個人利用を中心とした場合には、OD との整合性は突出して高くなるものの、交通事業者の運営コストや特に都市全体の交通コストに比較的大きな負担がかかることも明らかとなった。

今回の試算では、精緻な試算を行うための資料が少なく、ある一定の仮定に基づくものであったが、「新たな都市交通システムと複数ネットワークの組合せ」によって、持続可能で利便性の高い都市交通ネットワークの実現可能性の一部を示すことができたと考えられる。

表-8 各都市交通サービスの設定条件

ケーススタディにおける設定条件	
鉄道	所要時間:経路検索結果をもとに設定 待ち時間:時刻表の日中運行本数を基に設定 乗換時間:5分/回 アクセス・イグレス時間:経路検索結果をもとに設定 運賃:経路検索結果をもとに設定
路線バス	所要時間:経路検索結果をもとに設定 待ち時間:時刻表の日中運行本数を基に設定 乗換時間:5分/回 アクセス・イグレス時間:経路検索結果をもとに設定 運賃:経路検索結果をもとに設定
	<市中心部～飯山市> 所要時間:走行距離及び速度(25km/h)より設定 待ち時間:日中運行本数 50 本として設定(7.2分) 乗換時間:5分/回 アクセス・イグレス時間:ケース 1 を参考に設定 運賃:走行距離及び距離単価(60 円/km)より設定 <市外 OD のみ>
自動運転 PRT	所要時間:走行距離及び速度(25km/h)より設定 待ち時間:3分/回 ・乗換時間:1分/回 アクセス・イグレス時間:最寄りの停留所まで 2 分と設定 運賃:走行距離及び距離単価(60 円/km)より設定
自動運転カート	所要時間:走行距離及び速度(12km/h)より設定 待ち時間:1分/回 ・乗換時間:1分/回 アクセス・イグレス時間:最寄りの停留所まで 2 分と設定 運賃:走行距離及び距離単価(30 円/km)より設定
自動運転 PM	所要時間:走行距離及び速度(12km/h)より設定 待ち時間:1分/回 ・乗換時間:1分/回 アクセス・イグレス時間:最寄りの停留所まで 2 分と設定 運賃:走行距離及び距離単価(60 円/km)より設定
自動運転ライドシェア	所要時間:走行距離及び速度(20km/h)より設定 待ち時間:走行距離 10km 以下(主に市内々交通)は 15 分、 同 10km 以上(主に市内外交通)の場合 30 分 乗換時間:3分/回 アクセス・イグレス時間:最寄りの停留所まで 1 分と設定 運賃:0 円(自治会による運営を想定)
自動運転デマンドバス	所要時間:走行距離及び速度(20km/h)より設定 待ち時間:3分/回 乗換時間:3分/回 アクセス・イグレス時間:最寄りの停留所まで 2 分と設定 運賃:走行距離及び距離単価(60 円/km)より設定
自動車	所要時間:経路検索結果をもとに設定 待ち時間、乗換時間なし アクセス・イグレス:各 1 分と設定

表-9 ケーススタディ結果

	ケース1: 現行追認型	ケース2: 自動運転PRTとPMによる網羅型	ケース3: 個人利用モード主体型
NWパターン	①スター型	②スター&リング型 + ⑥メッシュ型	⑩無ネットワーク型
イメージ図			
概要	<ul style="list-style-type: none"> 市内の公共交通は路線バスとコミュニティバスに依存したまま、一部路線はドライバー不足やコスト上昇により廃止 ▼深夜や早朝、日中の運行本数が限定的であることから、自動車による交通需要は、より一層増加 ▼高齢者の外出頻度はより一層低下し、高齢化の進展とともに、既存バス路線の利用頻度も一層低下 	<ul style="list-style-type: none"> 市内の公共交通は一部の路線バスを除いて、地域・地区の需要に応じた可用性の高い自動運転型のPRTに転換 ・ドライバー不足の状況下にあっても、木目の細かいPRTネットワークを実現 ▼地区毎のモビリティ需要の多寡に応じてPMや電動カートが整備されることで高齢者の外出頻度は増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・路線バスを廃止し、都市間移動の公共交通はライドシェアと鉄道に依存。 ・域内移動は個人利用モードである自動運転PMや家用車に依存 ▼団塊ジュニア世代の高齢化と共に家用車利用が困難となる利用者が増加すると考えられることから、自動運転ライドシェアの利用者が増加
想定される交通モード	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の路線バス/コミュニティバスを維持して、居住地からバス路線までの移動は自転車/徒歩に依存 ・路線から離れた地区の居住者は自転車、もしくは個人購入のPMを用いてアクセス 	<ul style="list-style-type: none"> ・路線バス/コミュニティバスを自動運転型PRTに ・中野～長野間および中野～湯田中方面の路線については、一部を専用軌道（もしくはピーク時のみHOVレーン運用）で運行する連結型のPRTとする ・PRTネットワークへのアクセスには自動運転型のPMにより、離れた地区からのアクセシビリティも確保し、需要の多寡に応じて、自動運転型の電動カートの巡回運行を導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・路線バスを廃止する代わりにシェアリング型の自動運転PMを域内に大量に整備。域内移動やライドシェアへのアクセスは徒歩/自転車や自動運転PMに依存 ・市内全域に家用車利用が困難な高齢者・障害者を対象とした自動運転ライドシェアを導入 ・家用車利用は制限しないため、健康者・就業者の多くの移動は家用車に依存
指標による評価(想定) (ポイント式)	<p>指標1: 公共交通ネットワークと目的地(OD)の整合性 指標2: 利用者のサービスへのアクセスしやすさ 指標3: 利用者のトリップ当たりの移動のサービス水準 指標4: 交通事業者の運営コスト 指標5: 都市全体における交通に関するトータルコスト</p>	<p>指標1: 公共交通ネットワークと目的地(OD)の整合性 指標2: 利用者のサービスへのアクセスしやすさ 指標3: 利用者のトリップ当たりの移動のサービス水準 指標4: 交通事業者の運営コスト 指標5: 都市全体における交通に関するトータルコスト</p>	<p>指標1: 公共交通ネットワークと目的地(OD)の整合性 指標2: 利用者のサービスへのアクセスしやすさ 指標3: 利用者のトリップ当たりの移動のサービス水準 指標4: 交通事業者の運営コスト 指標5: 都市全体における交通に関するトータルコスト</p>

4. まとめ

本研究では、新たなモビリティを導入する際に、単一のモードではなくネットワークとしての評価が重要であること、また、視点の異なる評価軸を組み合わせることで俯瞰的に評価することが重要であることを示すため、一定の条件下でケーススタディを行いネットワーク特性の差異を示した。

交通をとりまく技術は日々進化しており、個別技術とその組み合わせ方は多様化している。また、そのような技術の組み合わせ方によってはまちづくりへの効果も変わってくる。今後、これらの新たなモビリティの導入を行う際には、より体系的な検討・評価が重要になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 香月秀仁, 川本雅之, 谷口守: 自動運転車の利用意向と都市属性との関係分析-個人の意識・交通行動に着目して-, 都市計画論文集 vol.51 No.3, 都市計画学会, 2016
- 2) 松原淳, 澤田大輔ほか: 超高齢化時代における郊外団地における移動と生活に関する考察, 土木計画学研究・講演集 vol.53, 土木学会, 2016.5
- 3) 田中健太ほか: オールドニュータウンにおける高齢者のモビリティ実態, 日本福祉のまちづくり学会, 2016.8
- 4) 藤原章正: 高齢者や交通弱者の足となる新モビリティ, ITS 地域交流会, 2015.9