中京都市圏におけるエアタクシー需要量と離着陸場配置に関する研究

中垣　弦一郎[1]・鶴見　直樹[2]・三輪　富生[3]

[1]学生会員　名古屋大学大学院　工学研究科土木工学専攻（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail: nakagaki.genichiro.g7@s.mail.nagoya-u.ac.jp

[2]非会員　PwC コンサルティング合同会社（〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-2-1）

[3]正会員　名古屋大学准教授　未来材料・システム研究所（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail: miwa@nagoya-u.jp (Corresponding Author)

近年，世界中でエアタクシー，いわゆる空飛ぶクルマに対する関心が高まっている．機体開発が進められている一方で，利用意向や離着陸場位置などのインフラ整備に関する研究は不十分である．そこで本研究では，中京都市圏を対象にエアタクシー利用意向を調査し，エアタクシー利用行動モデルを構築するとともに，パーソントリップデータを用いて離着陸場位置の選定を行った．感度分析の結果，離着陸場の数と待ち時間が利用者数に大きな影響を与えることや，離着陸場の数を増加させる場合，都心から郊外へと配置を広げることで利用者を確保できることが示された．さらに，業務・観光目的の利用者を対象とした方が，通勤・業務・観光目的の場合より，1 台あたりで多くの利用者を輸送できることが示された．

Key Words: *air taxi, traffic demand forecasting, analysis of travel behavior, facility layout*

1. 序論

(1) 空飛ぶクルマの登場

昨今，電動垂直離着陸機（以下，eVTOL）を用いた空飛ぶクルマが注目されている．3 次元空間を活用した空の移動は，道路状況や公共交通網等の地上インフラの影響を受けないため，地上交通が抱えている人流及び物流の滞留を根本的に改善することが期待されている．

空飛ぶクルマは，アーバンエアモビリティ（UAM）と呼ばれ，新しい飛行モビリティとして位置づけられている（eVTOL は専用の機体を指す）．現在のヘリコプターと比較して，eVTOL は電動化と自動化がなされる点で大きく異なっている．どちらも垂直離着機能を有しているが，eVTOL は電動化により騒音を飛躍的に低減でき，低高度での飛行が可能であるため，高稼働率を実現することが可能とされている．また，UAM の運用初期は安全性のためパイロットが必要になると考えられるが，将来的には完全自動化となり，パイロットレスでの運航が可能になることが期待されている．

NASA[1)]では，UAM の 3 つのユースケースを想定している．1 つ目は宅配サービスであり，小型無人航空機（ドローン）を活用し，2kg 程度までの荷物を配送センターから各配送先まで運ぶものである．2 つ目はエアメトロであり，従来の公共交通機関と同様に，あらかじめ決められたルート，時刻表に基づき，eVTOL を活用した旅客輸送を想定している．3 つ目は本研究で扱うエアタクシーである．エアタクシーは，乗客が希望する離着陸場に eVTOL を呼び出し，目的地付近の離着陸場まで飛行するものである．

エアタクシーによる移動は，**図-1** に示すように，ファーストマイル移動，飛行移動，ラストマイル移動から構成される．乗車予約はスマートフォン等のデバイスにより行う．また，出発地から離着陸場までの距離に応じて，必要であればエアタクシー運営事業者が（地上を走行する）タクシーを配車すると想定されている．

なお，海外の文献や技術資料では，都市の上空を移動

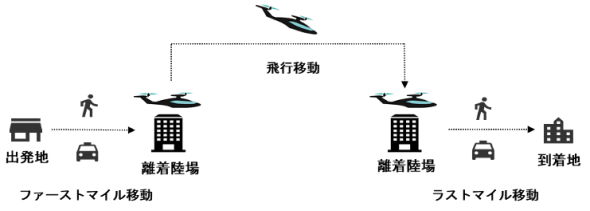


図-1　エアタクシーによる移動のイメージ

するモビリティとして UAM と引用されることが多いが，我が国では“エアタクシー”と呼ばれることが多い．本研究は我が国への適用を想定しているため，海外文献を引用する場合を除いて，エアタクシーと呼ぶこととする．

(2) 日本における検討状況

我が国では，経済産業省及び国土交通省の主導のもと，2018 年に「空の移動革命に向けた官民協議会」（以下，協議会と呼ぶ）が発足し，エアタクシーの実現イメージや運航形態，ビジネスモデル等についての議論が続けられている．協議会が発表したロードマップでは，2030 年までに空港等の二次交通や地域間交通などの商用運航を開始し，2030 年以降には一般利用に向けた都市内移動を開始するとされている．また，2025 年に開催される大阪・関西万博では，会場周辺と大阪市内を中心に本格的な商用運航を行う [2]としており，国内でのエアタクシー実現に向けた契機となることが期待される．しかし，技術開発が進む一方，環境整備は十分に行われていない．エアタクシーに対する社会的受容性の獲得や法規制の整備，離着陸場インフラの整備など，課題は数多くある．特に，エアタクシーの商用運航にはその需要を考慮してインフラを整備する必要がある．

(3) 既往研究および本研究の目的

Uber Elevate[3]は世界に先駆け，エアタクシーの社会実装に必要な機体性能などをまとめており，これを皮切りに世界中で多くの研究が始まった．

離着陸場の配置に関して，Fadhil et al.[4]は，地域特性を考慮した離着陸場候補エリアの特定を試みた．この際，エアタクシーの需要要因として人口密度及び雇用密度，中央値所得，施設数などを考慮し，供給要因として既存ヘリポートの数及び騒音レベルを考慮している．この結果，都市部に加え郊外部にも候補地が多いことを明らかにした．Rath et al.[5]は，ニューヨークにおける主要空港へのアクセスとして機能するエアタクシーの離着陸場配置を利用者の総移動コストを最小化するように最適化し，総需要の 10%を満たすには 9 箇所以上の離着陸場が必要と結論付けた．Rajendran et al.[6]は，ニューヨークにおける通勤時のタクシーGPS データを用いて，クラスタリング法を用いた離着陸場の候補位置を検討している．エアタクシーの利用によって所要時間が 40%以上短くなる場合を対象とし，潜在需要の 70%をカバーするシナリオでは，21 箇所の離着陸場が必要であると結論付けた．

Fu et al.[7]は，SP 調査によってミュンヘンにおける UAM 選択行動を分析し，利用者属性を調査した．その結果，時間価値が高い人や，18～35 歳の若い世代と 56～65 歳の高所得者ほど利用傾向が高いことを示した．Al Haddad et al.[8]はアンケート調査を行い，UAM の潜在的な利用者が安全性と信頼への懸念があり，時間節約の価値，コスト，サービスの信頼性などの要因に高い関心があることが示された．Rice et al.[9]は，米国とインドで UAM や離着陸場に必要な機能やサービスについてアンケート調査し，eVTOL と離着陸場の安全とセキュリティに強い関心があることを示した．

以上のように，UAM や離着陸場配置，利用者意向に関する研究は，欧米，特に米国において多く行われている．しかし，我が国においては十分な研究は行われていないのが現状である．そこで本研究では，中京都市圏においてエアタクシー利用意向と離着陸場配置に関する基礎的知見の獲得を目的とする．SP 調査によって市民のエアタクシー利用意向を調査し，エアタクシー利用行動モデルを構築する．さらに，このモデルを中京都市圏パーソントリップデータに適用することで，エアタクシーの利用者数が最大となる離着陸場配置を検討する．

(4) 中京都市圏について

中京都市圏は，**図-2** のように愛知県全域及び岐阜県南部地域，三重県北部地域の 96 市町村から構成されており，人口は約 951 万人である．中京都市圏には，政令指定都市である名古屋市の他にも，豊田市，岡崎市，一宮市，岐阜市など，35 万人以上の人口を有する都市がある．**図-3** は，鉄道路線網及び空港の位置を示している．

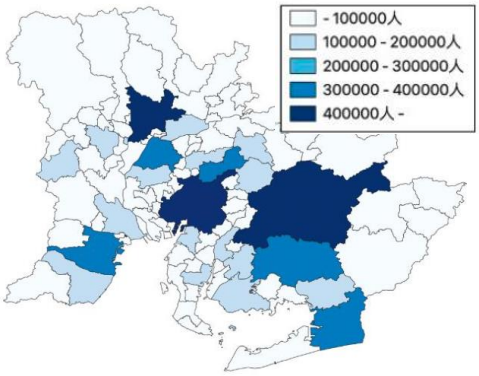


図-2 中京都市圏の市町村別人口分布

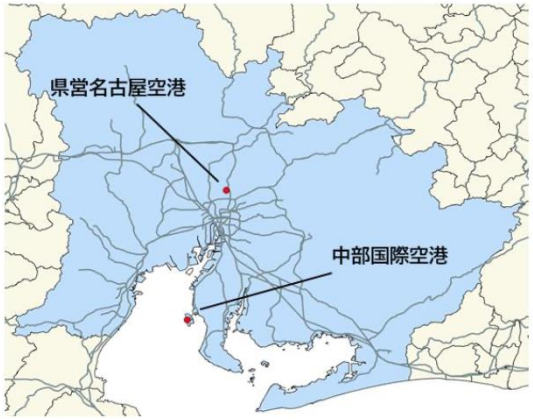


図-3 中京都市圏における鉄道路線及び空港

鉄道路線は名古屋市と各地域を結ぶように放射状に広がっているが，外縁部は鉄道空白地帯となっている．また，名古屋市中心部こそ自動車分担率が低いが，その他の地域では自動車分担率が非常に高い．空港は中部国際空港と県営名古屋空港の 2 つがあるが，いずれの空港も名古屋駅まで電車もしくはバスで約 40 分であり，名古屋都心部へのアクセスは比較的良好である．ただし，その他の地域には自動車を使わなければ移動が困難である．

(5) 本論文の構成

2章では，エアタクシーの利用意向を問う SP 調査の概要を示し，利用選択行動を二項ロジットモデルによってモデル化する．3 章では，エアタクシー離着陸場選定の選択方法とその結果を示す．4 章では，中京都市圏における 1 日あたりのエアタクシー総必要台数の計算方法と計算結果の考察を行う．5 章では，離着陸場選定と台数計算を踏まえた実際の運用シナリオを例示する．最後に 6 章で本研究の成果と今後の課題について述べる．

2. エアタクシー利用意向分析

(1) SP 調査

a) アンケート内容

本研究では，対象エリアにおける市民のエアタクシー利用意向を調査し，利用行動に影響を及ぼす要因を分析するために，WEB アンケートを実施した．**表-1** にその概要を示す．このアンケートは未来の交通サービスに関する利用意向調査の一部であり，楽天インサイト株式会社の協力のもと実施した．調査対象として，20〜69 歳であること，世帯で自家用車を保有しておりその利用状況を把握していることを条件とした．自家用車の保有とエアタクシーの利用意向との直接的な関係は強くないが，名古屋都市圏では大半の世帯が自家用車を保有しているため，大きな影響はないと判断した．また，欧米の既往研究ではエアタクシーの利用意向調査を大都市およびその周辺を対象としているため，本研究でも名古屋市及びその周辺都市（栄交差点から半径 30km の範囲）とした．

エアタクシーは現存しない交通サービスであるため，その利用意向に関する質問として仮想的な状況における選好を問う SP（Stated Preference）調査を行った．WEB アンケート質問項目の概要を**表-2** に示す．ここで，職業が学生または主婦・主夫と回答した被験者は通勤及び業務トリップを行っていないため，エアタクシー利用意向は買物と観光・行楽・レジャー（以降では，簡単のため“観光”と表記する）トリップについてのみ質問した．SP 質問を行う際には**図-1** に示したような移動のイメージを示した上で，エアタクシーの利用方法とその他の注意点を以下のように提示した．特に，エアタクシーの利用方法は Rajendran et al.[9]を参考に定義した．

表-1 WEB アンケート概要

調査対象	名古屋市及びその周辺都市（栄交差点から 30km 圏内）に居住する 20~69 歳
調査方法	WEB アンケート調査
調査時期	2022 年 10 月 17 日，18 日
調査人数	1,000 人（うち学生・主婦・主夫 354 人）

表-2 WEB アンケート質問項目

項目	内容
個人属性	性別，年齢，職業，就業形態
世帯属性	同居人数（うち小学生以下，18 歳以上，75 歳以上），就業人数，自動車保有台数，世帯年収
現在の移動について	通勤，業務，買物，観光・行楽・レジャーの 4 種類の目的に関する移動の頻度，主な交通手段，移動時間，片道の費用，自己負担額（通勤・業務のみ）
利用意向の SP 質問	仮想的な状況における選好を質問（**表-3** 参照）

- エアタクシーの利用方法

I. パソコンや電話，スマホアプリを用いて出発地にて予約を行う．
II. 最寄りの離着陸場まで専用タクシー（自動車）で移動する．（距離が近ければ徒歩等も可能．）
III. 離着陸場から目的地付近の離着陸場まで空路で移動する．
IV. 目的地付近の離着陸場から目的地までは，再度，専用タクシー（自動車）で移動する．（距離が近ければ徒歩等も可能．）

- その他の注意点

I. 離着陸場の前後で使用する専用タクシーとエアタクシーの 1km あたりの利用料金は同じとする．
II. エアタクシーは無人でも飛行できるが安全のためにパイロットが同乗している．
III. 安全性は既存の飛行機やヘリコプターと同水準とする．
IV. パイロットを除く定員は 4 人とする．
V. 搭乗と降機にはそれぞれ 3 分かかるとする．
VI. 他の乗客と同乗する場合もあり，その場合でも料金は安くはならない．
VII. エアタクシー搭乗から離陸までには，他者の同乗までの待ち時間が発生する．

以上の説明をよく読んでいただいたうえで，**表-3** に示すサービス特性を持つエアタクシーを利用するかどうかを質問している．このうち，待ち時間はエアタクシー離着陸場において乗降や離陸などの待ち時間である．要因数は 4 であり，全要因で 3 水準としている．各要因の水準は Rimjha et al.[10], Rajendran et al.[9]を参考に設定した．エアタ

表-3 SP 調査で示したエアタクシーに関する要因と水準

Q. 最後に行った移動がもう一度あり，以下のようなサービスレベルのエアタクシーが利用できる場合，あなたは利用しますか.	
要因	エアタクシーのサービスレベル
出発地から目的地までの所要時間	現在の移動方法での所要時間と比べて（20%，40%，60%）短い
利用料金	現在のタクシー料金と比べて（同じ，1.5 倍，2 倍）※
待ち時間	（5 分，7.5 分，10 分）
知らない人との同乗	（同乗する，同乗しない，搭乗までわからない）

※現在のタクシー料金は¥360/km と仮定する．通勤トリップの場合，会社からの支給額は現在と同じとする．また，業務トリップの場合，自己負担額は現在と同じとする．

クシーの利用意向に関する知見が十分に蓄積されていないことを踏まえ，交互作用は考慮せず L9 直交表に割り付けた．被験者にはランダムに 1 パターンのみを示した上で，被験者が直近に行った通勤，業務，買物，観光の 4 種類のトリップについて（学生，主婦・主夫である被験者は買物と観光について），提示したサービス特性を持つエアタクシーを利用するかどうかを質問している．

b) 使用データの選定

取得した回答データを分析するにあたり，使用データの選定を行った．具体的には，エアタクシーの潜在利用者とは考えにくい，現在の移動における交通手段が徒歩または自転車である回答者を分析対象から除外した．データ選定後のサンプル数は，通勤トリップが 535，通勤トリップが 552，通勤トリップが 826，通勤トリップが 968 であった．以下では，選定後のサンプル数を用いる．

c) 基礎集計分析

ここでは，基礎集計を行い被験者属性やエアタクシーのサービスレベルと利用意向の関係を確認する．

被験者属性について，性別割合は男性が 29%，女性が 71%であった．被験者に占める女性の割合が高い理由は，自家用車の保有と利用状況の把握という条件のためであると考えられる．すなわち，対象地域では多くの世帯で自家用車が日々の買い物に利用されており，最もよく利用しているのは主婦であることが理由である．続いて，被験者の年齢については，国勢調査による対象地域の年齢分布と大差なかったため，分析に適していると言える．一方，世帯年収については 1,000 万円以上の世帯が 15.4%と我が国の 1,000 万円以上の世帯割合より高かった．以上の点に関して，結果に与える影響についてはさらなる調査を要するが，本研究は日本の大都市圏におけるエアタクシーの需要量推定としては初の試みであるため，データの代表性に関する精査は今後の課題とする．

SP 調査においてエアタクシーを利用すると回答した被験者の割合を**表-4** に示す．いずれの目的においても，

表-4 目的別のエアタクシー利用割合

目的	通勤	業務	買物	観光
利用割合	34.6%	37.7%	21.7%	39.4%

表-5 短縮される旅行時間とエアタクシー利用割合の関係

	0~5 分	5~10 分	10~15 分	15~20 分	20~30 分	30~40 分	40 分~
通勤	20.5%	29.0%	39.8%	46.2%	53.4%	40.0%	53.3%
業務	34.1%	33.0%	35.3%	47.5%	52.8%	41.4%	38.3%
観光	22.2%	50.0%	40.0%	41.7%	32.0%	47.6%	40.4%

想定よりかなり高い利用割合となった．これは，被験者にとって未知のサービスであり，分析者の意図に合わせようとする追従バイアスや，実際の利用条件を深く考えない無制約バイアス，新たな交通サービスの実現を促そうとする政策操縦バイアスが働いている可能性がある．そのため，分析に当たってはこれらのバイアスの影響をできるだけ排除する必要がある．その方法は 2.(2)c)で詳しく述べる．買物トリップにおいては，短距離かつ短時間の移動が多いことや買物移動の起点が日によって異なる傾向があることから [11]，利用料金が高額なエアタクシーの利用割合は低くなったと考えられる．本研究の分析においては，買物トリップをエアタクシー利用トリップとは扱わないものとする．

表-5 は，エアタクシーの利用によって短縮される時間と利用意向との関係を示している．ここで，短縮される時間は，SP 質問で被験者に提示したエアタクシーによる旅行時間短縮率と被験者が回答した実際の旅行時間から算出している．通勤及び業務トリップにおいて，短縮時間が増加するほどエアタクシーの利用意向が増加する傾向がみられる．一方で，観光に関しては短縮時間と利用意向との間に相関関係が見られない．これは，エアタクシーへの乗車そのものをアクティビティと捉え，旅行時間にあまり関心がない人が一定数いるためだと考えられる．しかし，この結果に関して，現在のタクシーより高額かせいぜい同額のエアタクシーを 5 分未満の移動時間短縮のために利用することは合理的な行動とは言い難い．このことからも，前述のバイアスが働いている可能性があるといえる．

次に，SP 調査で提示したエアタクシー料金と利用意向の関係を**表-6** に示す．観光トリップでは，1km 当たりの料金が上がると利用意向は低下している．通勤と業務トリップにおいて料金が 1.5 倍の場合よりも 2 倍の場合の方が利用率が高くなっているのは，一般に通勤や業務トリップの移動費用を企業が支払っていることなど，現在のタクシー料金に関する感度が低いことが要因として考えられる．

表-7 に待ち時間とエアタクシー利用意向との関係を示す．通勤と業務トリップは待ち時間の感度が高いのに対

表-6 エアタクシー料金とエアタクシー利用割合の関係

	現在のタクシー料金（¥360/km）と比べて		
	同じ	1.5 倍	2 倍
通勤	40.3%	29.3%	33.7%
業務	44.0%	31.3%	39.0%
観光	45.9%	37.0%	35.1%

表-7 待ち時間とエアタクシー利用割合の関係

	5 分	7.5 分	10 分
通勤	41.7%	32.8%	29.1%
業務	44.9%	36.1%	32.1%
観光	38.4%	39.6%	40.1%

表-8 相乗りとエアタクシー利用割合の関係

	常に同乗する	搭乗まで分からない	同乗しない
通勤	32.9%	33.2%	37.6%
業務	35.7%	37.8%	39.4%
観光	37.2%	38.3%	42.7%

し，観光トリップでは待ち時間による影響がほとんど見られない．これは，移動距離及び時間が他の目的よりも長くなる傾向があり，非日常的な活動では時間の制約が厳しくないためだと考えられる．

表-8 は，エアタクシーの相乗り条件の違いが利用意向に与える影響を示している．全体の傾向として，同乗する可能性が高くなると利用意向が低下している．これは，南ら[12]が行った相乗りタクシーの利用者実態調査で示しているように，相乗りに否定的なグループが一定数存在しているためだと思われる．

(2) 二項ロジットモデルによるエアタクシー利用行動モデルの構築

本節では，アンケート結果をもとに，より精緻にエアタクシー利用行動を分析しサービス要因の影響を把握するため，エアタクシー利用行動モデルを構築する．

a) 二項ロジットモデルの推定

エアタクシー利用行動モデルは，式(1)，(2)に示すエアタクシー利用（利用する，利用しない）を従属変数とする二項ロジットモデルとする．

$$P_n(use) = \frac{e^{V_{use,n}}}{e^{V_{use,n}} + e^{V_{not\ use,n}}} \quad (1)$$

$$U_{use,n} = V_{use,n} + \varepsilon_{use,n} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon_{use,n} \quad (2)$$

ここで，個人nにおいて$U_{use,n}$はエアタクシーを利用することで得られる効用，$V_{use,n}$は効用の確定項，$\varepsilon_{use,n}$はガンベル分布に従う効用の誤差項，βは未知パラメータ，xは説明変数である．なお，移動時間や費用の説明変数

表-9 説明変数と目的毎のモデル推定値

利用目的		通勤		業務		観光	
変数	説明	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値
定数項		-1.580	-2.52	-0.2284	-0.58	-1.438	-4.13
20～29 歳ダミー	年齢が 20~29 歳の場合に 1, そうでない場合に 0	0.802	3.49	0.587	2.65	0.729	3.92
60 歳以上ダミー	年齢が 60 歳以上の場合に 1, そうでない場合に 0	―	―	-0.413	-1.31	―	―
第 3 次産業就業ダミー	職業が第 3 次産業の場合に 1, そうでない場合に 0	0.829	1.90	―	―	―	―
世帯年収 (100 万円)	概ね 50 万円もしくは 100 万円間隔にとった年収階級の中央値	―	―	―	―	0.0319	1.74
世帯年収 1,000 万円以上ダミー	世帯年収が 1,000 万円以上の場合に 1, そうでない場合に 0	―	―	0.452	2.05	―	―
自動車ダミー	現在の交通手段が自動車の場合に 1, そうでない場合に 0	-0.382	-1.88	―	―	―	―
鉄道ダミー	現在の交通手段が鉄道の場合に 1, そうでない場合に 0	―	―	0.226	1.11	0.459	2.26
ln(短縮時間) (分)	現在の移動時間 - エアタクシー移動時間	0.425	3.58	0.146	1.66	0.201	1.99
増加費用	エアタクシー費用 - 現在の移動費用	―	―	―	―	-0.0095	-1.81
待ち時間 (分)	SP 質問で示した値であり, {5 分，7.5 分，10 分}	-0.123	-2.56	-0.116	-2.62	―	―
非同乗ダミー	SP 質問で示した相乗り条件が「知らない人と同乗することはない」である場合に 1，そうでない場合に 0	0.229	1.12	―	―	0.234	1.65
サンプル数		535		552		968	
初期尤度		-370.8		-382.6		-671.0	
最終尤度		-315.3		-350.6		-630.8	
決定係数		0.150		0.0836		0.0599	
自由度調整済み決定係数		0.131		0.0653		0.0495	

は現状との差によって定義し，$V_{not\ use,n} = 0$とする．

モデルに導入した説明変数を次項で述べる結果と共に**表-9**に示す．トリップ目的毎に移動状況やエアタクシー利用意向が異なることから，目的毎に説明変数を選定し，別々にモデルを構築した．自動車ダミーや鉄道ダミー，現在の移動時間や増加費用はアンケートで回答された現在の交通手段より設定している．エアタクシー利用時の費用は，パーソントリップデータ中の代表交通手段・移動時間から移動距離を推定し，それに単位距離当たりのエアタクシー料金を乗じることで計算している．短縮時間は，時間変化が大きいほど，それに対する感度が小さくなることを仮定して対数をとっている．

b) 推定結果

表-9のモデル推定値に関して，離着陸場選定の精度を高めるため，説明力に関する議論が不要な定数項を除き，t 値が 1.2 程度（信頼度 80%）よりも小さい説明変数をモデルから除外した．推定結果について，いずれの目的にも共通して，20 代の市民はエアタクシーの利用意向が高いこと，短縮時間は有意であることが分かった．

通勤トリップに関して，第 3 次産業就業者の利用意向が高くなることが分かった．一方で，現在の交通手段が自動車の人と待ち時間の増加はエアタクシーの利用に対して有意な負値が推定された．自動車に関しては，既に利便性が高く，自家用車を利用した通勤からの転換に抵抗があるためだと考えられる．

業務トリップに関して，1,000 万円以上の高年収世帯，現在の交通手段が鉄道の人は利用意向が高いことが分かった．一方で，60 歳以上の高齢者は利用意向が低いこと，通勤トリップと同様に待ち時間の増加は利用意向を下げることが分かった．

観光トリップに関して，世帯年収が高い人，現在の交通手段が鉄道の人ほど利用意向が高いことが分かった．特に鉄道からの転換に関しては，エアタクシーの利用自体に観光としての魅力を感じやすいこともあるが，鉄道での移動よりも大幅に移動時間が短縮されるというメリットを享受したい人が一定数存在していると考えられる．一方で，エアタクシー利用による費用の増分が大きいと利用意向は下がることが示された．相乗りに関しては，同乗がないことが通勤トリップよりもエアタクシー利用を促進することがわかった．

c) バイアス除去のための定数項補正

2.(1)c)にて議論したように，本研究のアンケートにはエアタクシーの過度な利用を示すバイアスが含まれており，実際にはアンケートよりも少ない利用割合になると考えられる．よって，**表-9**のモデル推定値をそのまま使用してエアタクシー需要を計算し，離着陸場位置の選定を行うと信頼性の低い結果となることが想定される．そこで，以下の式(3)を用いて定数項の補正を行う[12]．

表-10 定数項補正の結果

	通勤	業務	観光
$H(i)$	34.6%	37.7%	39.4%
$Q(i)$	10.4%	4.6%	4.3%
$\beta'_{0,i}$	-3.132	-2.895	-4.450

$$\beta'_{0,i} = \beta_{0,i} - \ln\left(\frac{H(i)}{Q(i)}\right) \tag{3}$$

ここに，$\beta_{0,i}$は二項ロジットモデルにおける目的iのエアタクシー利用に関する効用の定数項，$\beta'_{0,i}$はその補正後の値，$H(i)$は，サンプルデータ内のエアタクシー利用シェア，$Q(i)$は妥当と考えられるエアタクシーの利用シェアである．

妥当な$Q(i)$の求め方に関して，Rajendran et al.[9]ではエアタクシーの潜在利用者の条件として，離着陸場までのアクセス時間及び離着陸場からのイグレス時間がそれぞれ 10 分以内であることとしている．この条件を参考に，本研究ではエアタクシーの潜在利用者の条件を現在の移動時間が 30 分以上であることとした．これは，アクセス及びイグレス時間（20 分）と乗機や降機，空路などにかかる時間を考慮すると，移動時間が 30 分以上でなければエアタクシーによる移動時間の短縮が見込めないと考えられるためである．この仮定より，本研究では移動時間が 30 分未満の場合のエアタクシー利用割合がバイアスを表現していると考え，また移動時間に関係なくこれと同じ割合でバイアスが生じているとした．このバイアスの割合をサンプル内利用シェア$H(i)$から差し引くことで母集団の利用シェア$Q(i)$を設定した（式(4)）．

$$Q(i) = H(i) - R(i) \tag{4}$$

ここに，$R(i)$はサンプルデータ中の移動時間が 30 分未満におけるエアタクシー利用割合である．

表-10 は定数項補正の結果を示しており，算出された母集団シェア$Q(i)$はバイアスを含むサンプルシェア$H(i)$と比べ大きく減少しており，妥当な値に近づいたと考えられる．ただし，この方法はあくまで補正であり，より正確な意向調査が望まれることは言うまでもない．次章で実施する離着陸場の選定においては，補正後の定数項を用いて利用者数を計算する．

3. 離着陸場の選定

(1) 使用データ

ここでは，エアタクシー利用行動モデルをパーソントリップ調査データに適用することで，離着陸場位置の探索を行う．本研究では，第 5 回中京都市圏パーソントリップ調査（2011 年）の平日トリップのデータを使用する．調査対象の中京都市圏については 1.(4)にて示した通りで

ある．離着陸場位置にはパーソントリップデータで定義されている 1,049 の小ゾーンの中心座標を用いる．

本研究では，パーソントリップデータからトリップ起終点が中京都市圏エリア内かつ同一の小ゾーンでない通勤・業務・観光トリップを抽出し，エタクシー利用の可能性がある交通需要とした．なお，SP 調査で想定した条件と整合性をとるため，70 歳以上及び代表交通手段が徒歩または自転車である場合，それらが不明の場合はデータから取り除いた．抽出されたサンプル数は 31,050，拡大係数を用いて推計されたトリップ数は 1,397,899 トリップである．目的別のトリップ数の割合は，通勤 71%，業務 27%，観光 2%である．平日データを使用しているため，観光トリップの割合は少ない．

また，エアタクシー利用行動モデルで使用した変数のうち，世帯年収及び現在の移動費用はパーソントリップデータには存在しないため別途作成した．世帯年収は WEB アンケートで得られたデータを用いて重回帰分析によって推定した．現在の移動費用について，鉄道及びバス利用者の情報は Yahoo!路線情報より，最短時間で移動した場合の費用として取得した．自動車利用者は移動距離及び平均ガソリン価格，平均燃費を使用して算出した．また，自動車による移動距離に関して，パーソントリップデータからはゾーン重心間の直線距離しか得られないため，森田ら [13]が都市部における直線距離と道路距離の比について行った研究を参照し，直線距離を 1.3 倍することで道路距離とした．平均ガソリン価格は 2011 年に総務省統計局が行った小売物価統計調査より，146 円/L を使用した．平均燃費は 2020 年 3 月に国土交通省が発表した自動車の燃費基準値より，18.8km/L を使用した．

(2) 離着陸場位置探索アルゴリズム

エアタクシー離着陸場の選定は Rimjha et al.[10]を参考に，図-4 に示す計算フローによって実施した．本研究では，指定する離着陸場の数に対してエアタクシーの潜在利用者を最大化させる配置シミュレーションを行った．

まず，エアタクシー利用行動モデルで推定された各パラメータや離着陸場の設置数等のサービスレベルを設定する．次に，離着陸場を全ゾーンに配置し，各トリップのエアタクシー利用選択確率を計算し，各離着陸場の需要を算出する．ここで，各トリップのエアタクシー利用選択確率及び各離着陸場の需要は以下の手順で計算する．

I. 出発地及び目的地に最も近い離着陸場をそれぞれ Z_O，Z_D とし，アクセス時間 T_{access} 及びイグレス時間 T_{egress} を式(4)，式(5)により求める．この際，Rajendran et al.[5]を参考にし，T_{access} または T_{egress} が 10 分以上のトリップのエアタクシー利用選択確率は 0 とする．

II. Z_O-Z_D 間の飛行時間 T_{air} を式(6)により計算する．

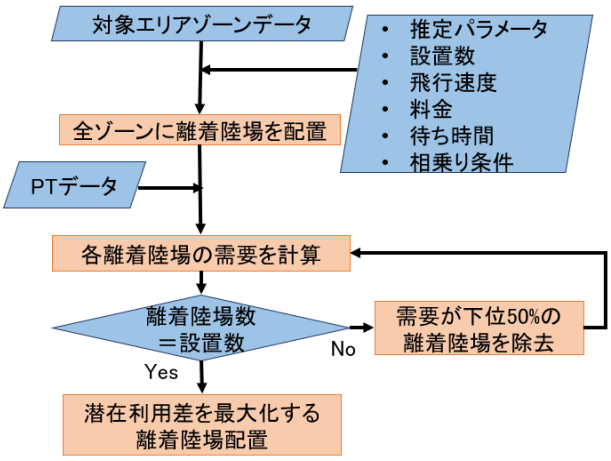


図-4 エアタクシー離着陸場選定の流れ

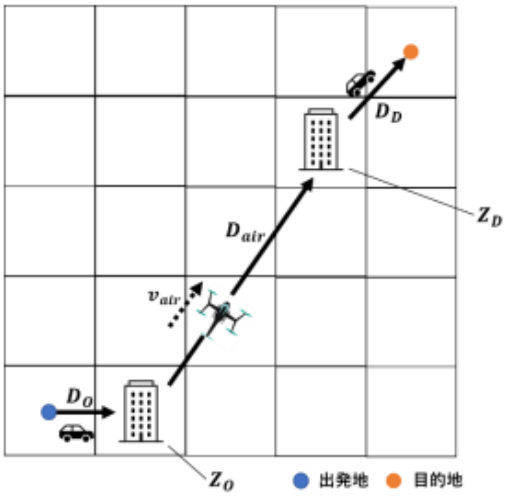


図-5 離着陸場選定アルゴリズムで使用した変数

III. エアタクシーを利用した場合の短縮時間 T_{short} を式(7)により計算する．

IV. エアタクシーによる費用 C_{AT} を式(8)により計算する．

V. 目的毎のエアタクシー利用行動モデルを適用し，利用選択確率を計算する．

VI. 各トリップの利用選択確率にパーソントリップデータに与えられている拡大係数を乗じ，利用人数を計算する．

VII. 各離着陸場の利用者数を集計する．

$$T_{access} = \frac{\alpha D_O}{30km/h} \quad (4)$$

$$T_{egress} = \frac{\alpha D_D}{30km/h} \quad (5)$$

$$T_{air} = \frac{D_{air}}{v_{air}} \quad (6)$$

$$T_{short} = T_{access} + T_{air} + T_{egress} + \mathrm{w} - T_{current} \quad (7)$$

$$C_{AT} = (\alpha D_O + D_{air} + \alpha D_D) \times \mathrm{c} \quad (8)$$

ここに，α は直線距離に対する道路距離の比，D_O は出発地から Z_O までの直線距離(km)，D_D は Z_D から目的地までの直線距離(km)，D_{air} は Z_O から Z_D までの直線距離(km)，

v_{air}は eVTOL の飛行速度(km/h)，wは待ち時間(分)，$T_{current}$は現在の手段での移動時間(分)，cは 1km あたりのエアタクシー料金(円/km)を表している．**図-5** に計算に使用した変数の概要を示す．αは 3.(1)でも述べたように，森田ら [13]の研究を参照し 1.3 とする．また，直線距離の計算には，パーソントリップ調査小ゾーンの重心間距離を使用する．出発地からZ_Oまでの移動及びZ_Dから目的地までの移動は専用タクシーで移動するものと仮定し，その際の移動速度は腰塚ら [14]の信号等を考慮した車両平均走行速度の研究から 30km/h に設定した．また，エアタクシーで利用する eVTOL は国内外の企業が様々なタイプの機体を開発しているが，本研究では飛行速度が 100～200km/h のものを利用すると仮定する．

各離着陸場の利用者数を集計したのち，需要の多い上位半分の離着陸場のみを保持し，保持されなかった離着陸場が持っていた需要に対応するために配置が変更される．この作業を設置する離着陸場の数と一致するまで行い，最終的な離着陸場の配置を行う．

(3) 利用者数推定結果

離着陸場選定結果はサービスレベルによって変化するため，複数の条件で感度分析を行った．本節では，離着陸場数・飛行速度・待ち時間と利用者数の関係に着目する．エアタクシー利用料金は 720 円/km で統一し，常に相乗りする（非同乗ダミーは常に 0 である）とした．配置に関する詳細は 4.を踏まえて議論する．

まず，設置する離着陸場数と利用者数の関係を**図-6** に示す．離着陸場数は利用者数に大きな変動を与えており，離着陸場数が 30 から 60 になった場合は利用者が約 68%増加している．一方で，離着陸場数が 60 から 90 になった場合は約 18%の増加にとどまっている．これは，離着陸場の配置が需要の大部分を担う名古屋市周辺エリアと比較的需要の低い郊外エリアに二分しており，需要の多いエリアに十分な数の離着陸場が配置されるまでは利用者数の感度が高いためだと考えられる．

次に，飛行速度と利用者数の関係を**図-7** に示す．図が示すように，飛行速度がエアタクシーの利用者数に対して与える影響はわずかであることが分かった．これは，中京都市圏のような都市圏内移動では，離着陸場間の飛行距離がそこまで長くないため，飛行速度の違いによる移動時間の短縮が小さいためだと考えられる．

図-8 は待ち時間と利用者数の関係を示している．待ち時間の増加はエアタクシーの利用者数を大きく減少させている．パーソントリップデータの中で 98%を占める通勤と業務トリップに関してエアタクシー利用行動モデルで有意な負値が推定されたことが利用者数に大きな影響を与えていると言える．

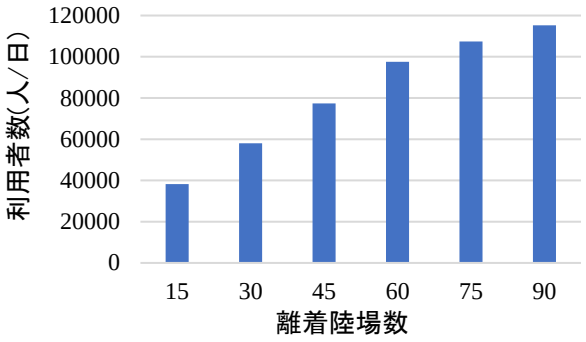


図-6 離着陸場数と利用者数の関係（料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，待ち時間 5 分）

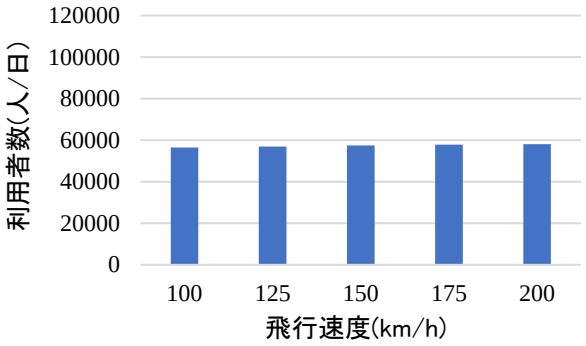


図-7 飛行速度と利用者数の関係（料金 720 円/km，離着陸場数 30，待ち時間 5 分）

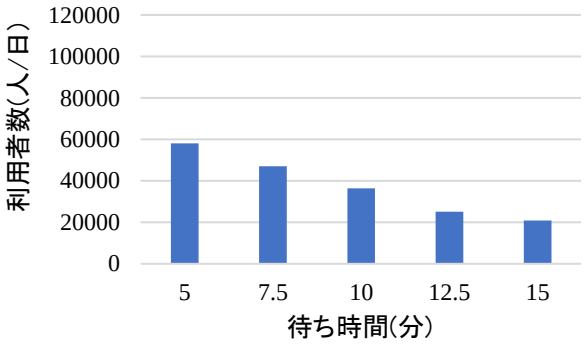


図-8 待ち時間と利用者数の関係（料金 720 円/km，離着陸場数 30，飛行速度 200km/h）

4. 必要エアタクシー台数の計算

本章では，3.にて推定されたエアタクシー需要量における全利用者を輸送するために必要となるエアタクシー台数の計算を行う．

(1) eVTOL の機体に関する諸設定

eVTOL が利用者の乗降を行いながら離着陸場間の移

動を繰り返す場合，機体条件を考慮する必要がある．今後様々なタイプの機体の登場が想定されるが，本研究では Bennaceur et al.[15]を参考に，**表-11** のように諸条件を設定する．電力消費は回送を含む飛行中の時間全てにおいてなされるとする．充電は離陸までの待機時間（eVTOL が回送を経て次の出発地に到着してから出発するまでの時間）全てにおいて行われるとする．また，離着陸場到着時に充電残量が運航可能な最低充電残量を下回った場合は，その離着陸場に留まり必ず一定時間充電を行う（以下，強制充電時間と呼ぶ．）ものとする．飛行速度に関しては，離着陸場配置選定の際に設定した速度で飛行するものとする．

表-11　eVTOL の機体に関する諸設定

項目	条件
乗車定員	4 人
電力消費	飛行時間 1 分あたり 1%消費
充電速度	充電時間 1 分あたり 1%充電
最低充電残量	30%
強制充電時間	25 分
飛行速度	（100, 125, 150, 175, 200）km/h

(2)　台数計算アルゴリズム

台数計算の際には，**図-9** に示すフローに従ってエアタクシーを配車するトリップを探索し，全ての利用者がエアタクシーを配車されるまで探索は行われる．このアルゴリズムは，Gu et al.[16]によって提案されたシェアサイクルの最適な初期配車位置と台数の計算手法を基に，エアタクシーの運航に適したアルゴリズムへと変更したものである．各トリップにおけるエアタクシー離着陸場の出発時刻・到着時刻は 3.(2)のアクセス時間T_{access}や飛行時間T_{air}，待ち時間に基づき算出される．ここで，待ち時間は 3.の利用者数推定の際に設定した値を超えないようにする．つまり，台数計算では利用者によって実際の待ち時間は異なり，3.の利用者数推定の際に設定した値は利用者が許容可能な待ち時間の最大値を意味する．以後，許容可能な待ち時間の最大値を「最大待ち時間」と表記する．各トリップにおける利用人数は，3.(2)で示したようにエアタクシー利用選択確率に拡大係数を乗じて算出される．相乗りに関しては，空席がある状況で，OD が同じトリップ同士であり，なおかつ後続トリップが出発地に到着した時刻が，先に出発予定のトリップの最大待ち時間を超えない時刻である場合は相乗り可能とする．また，相乗り可能な状況下では利用者は必ず相乗りするものとする．

3.の結果から分かる通り，1 日あたり数万人の利用者が見込まれることから，現在のタクシーのように配車拠点（以下，Depot と呼ぶ．）が必要となる．本研究では簡単のため，Depot の設置数は 1 とする．Depot の設置場所は，各離着陸場の利用者数に重みづけされた離着陸場配置の重心座標とする．

エアタクシーを配車するトリップを決定する際は，回送時間を考慮した上で，配車されていないトリップのうち最も出発時刻の早いトリップを選択する．本研究では 2 種類の回送方法を設ける．1 つ目は，現在いる離着陸場から次の出発地へ直接移動する場合で，その直線距離が 10km 以内である場合に選択可能とする．2 つ目は，

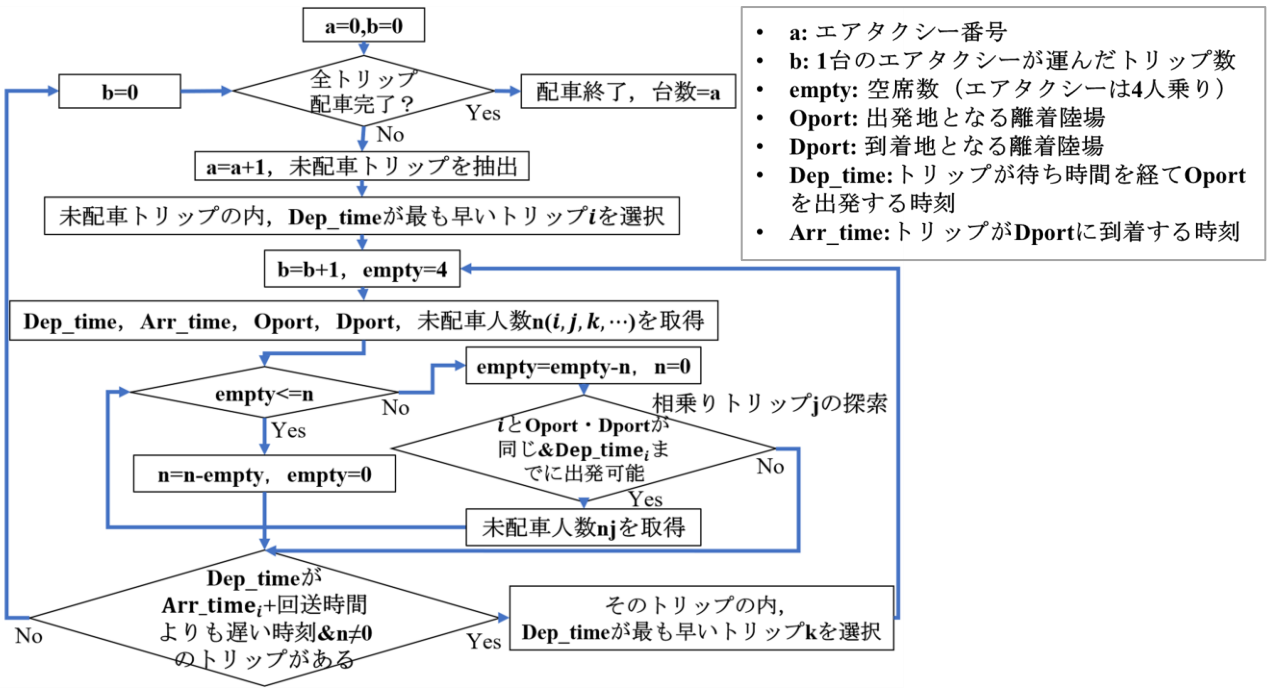


図-9　台数計算のフロー

Depot を経由して次の出発地へ向かう方法である．この場合は現在いる離着陸場と次の出発地との直線距離に関わらず選択可能とする．2 つの回送方法を使用した場合に最も早い出発可能時刻をそれぞれ算出し，より早い方の回送方法を採用する．また，回送に要した移動時間に，乗降時間（3 分とする）を加えた時間を回送時間とする．

(3) 台数計算結果

ここでは，台数計算アルゴリズムを用い，3.(3)の感度分析にて感度の高かった離着陸場数と最大待ち時間に関して，一日の運航に必要なエアタクシーの台数，1 台あたりの利用者数を示す．なお，以降で示す計算結果は 3.(3)に対応しており，あくまで 3.(3)にて算出された利用者数を全て配車するために必要な台数を計算したものである．現実の運用台数を決定するには，離着陸場の配置等の諸検討と併せて運用台数も検討することが望ましい．

まず，設置する離着陸場数とエアタクシーの台数との関係を図-10 に示す．離着陸場数の増加に伴い，利用者数が増加していることから，エアタクシーの台数も増加している．また，1 台あたりの平均利用者数に注目すると，離着陸場数が 15 から 60 までは 1 台あたりの利用者数は増加している一方で，離着陸場数が 60 から 90 までは同程度であることが分かる．これは，離着陸場数が

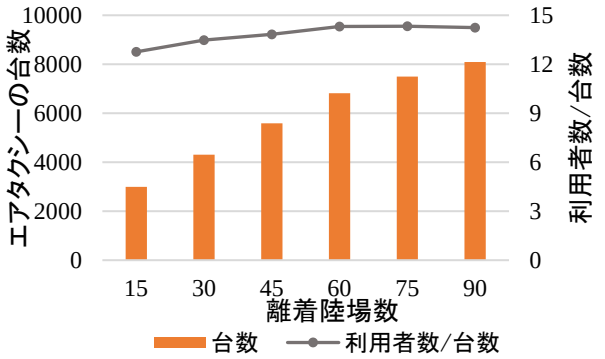


図-10 離着陸場数と台数の関係（料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，最大待ち時間 5 分）

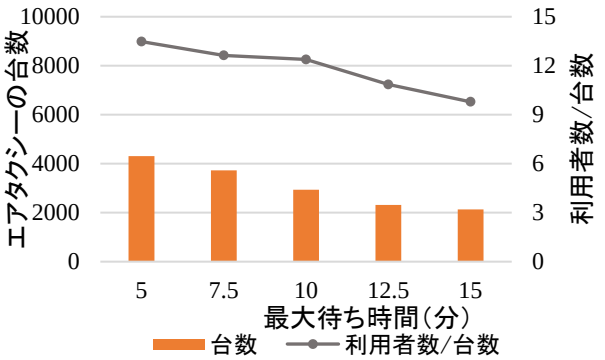


図-11 最大待ち時間と台数の関係（料金 720 円/km，離着陸場数 30，飛行速度 200km/h）

15 から 60 へ増加するまでに名古屋市中心部など需要の多い離着陸場の設置が進み，離着陸場数が 60 であれば短距離・短時間のトリップのほとんどを配車できているためだと考えられる．

図-11 は最大待ち時間と台数の関係を示している．最大待ち時間の増加により利用者数は減少することが図-8 から分かっており，エアタクシーの台数も減少している．そこで，1 台当たりの利用者数に着目すると，最大待ち時間が増加すると 1 台当たりの利用者数も減少していることが分かる．これは，待ち時間の増加が各離着陸場の利用者数を減少させ，相乗り可能な状況が減少し空席がある状態で輸送を行う場合が多いためだと考えられる．

5. 離着陸場配置と運用シナリオ

本章では，4 つのシナリオにおけるエアタクシー離着陸場の配置を評価する．

(1) シナリオ 1（サービスレベル低）

シナリオ 1 は，サービスレベルが低い場合を仮定する．利用料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，最大待ち時間 15 分であり，設置する離着陸場数は 15 か所である．図-12 はシナリオ 1 における離着陸場配置を示しており，利用者の多い離着陸場の大半が名古屋市内に位置していることが分かる．これは，勤務地が集中している名古屋市中心部，住宅街の多い名古屋市東部の離着陸場の利用者数が多いためだと考えられる．また，デンソー株式会社がある刈谷市やトヨタ自動車株式会社がある豊田市中心部にも配置されている．これらの地域は公共交通でのアクセス性が優れているとは言えないため，エアタクシーの導入によって移動の利便性が向上することが期待される．

また，1 日の総利用者数は 12,983 人であり，エアタク

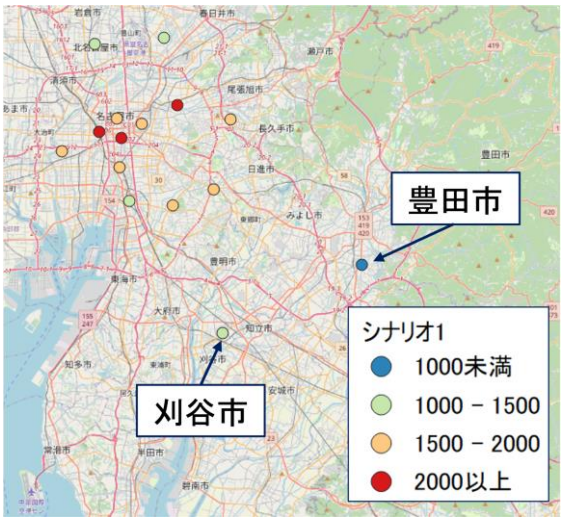


図-12 シナリオ 1 の離着陸場配置

シー台数は 1,437 台であった．1 日 1 台当たりの平均利用者数は 9.03 人/台（標準偏差は 12.4）であり，エアタクシーは 1 日 1 台あたり平均で 4.1 トリップ（標準偏差は 5.8）輸送していた．1,437 台のうち，約 78%に当たる 1,115 台が 1 日あたりの輸送トリップ数が 4 以下であったため，効率的なエアタクシーの配車運用となっているとは言えない．これは，最大待ち時間が長いシナリオであることに加え，通勤のピーク時の短時間に需要が集中していることで，同時間帯にのみ使用されるエアタクシーが多くなるためだと考えられる．

(2) シナリオ 2（サービスレベル-中）

シナリオ 2 は，サービスレベルが中程度の場合を仮定する．利用料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，最大待ち時間 10 分，設置する離着陸場数は 30 か所とした．**図-13** はシナリオ 2 における離着陸場配置を示している．シナリオ 1 と比べ，特に名古屋市中心部の離着陸場の数が増加していることがわかる．これは，当該地域の交通需要が高いことに加えて，ゾーンが細かく設定されていることによるものだと考えられる．また，一宮市や岡崎市などの中核都市地域にも配置が拡大しており，郊外の需要に対応している．

また，1 日の総利用者数は 36,368 人であり，エアタクシー台数は 2,937 台であった．1 日 1 台当たりの平均利用者数は 12.4 人/台（標準偏差は 14.9），1 日 1 台あたり平均で 4.4 トリップ輸送（標準偏差は 5.4）していた．2,937 台のうち約 74%に当たる 2160 台が 1 日あたりの輸送トリップ数が 4 以下であったため，シナリオ 1 と同様の傾向を示している．しかし，各離着陸場の利用者数が多くなったことで相乗り可能な状況が増加し，1 台当たりの利用者数がシナリオ 1 よりも増加したと考えられる．

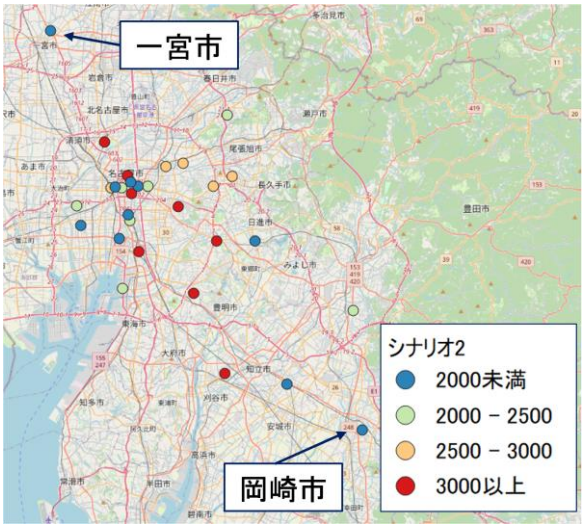


図-13 シナリオ 2 の離着陸場配置

(3) シナリオ 3（サービスレベル-高）

シナリオ 3 は，サービスレベルが高い場合を仮定する．利用料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，最大待ち時間 5 分であり，設置する離着陸場数は 60 か所とした．**図-14** はシナリオ 3 における離着陸場配置を示している．離着陸場は尾張地区全域に配置されている．広範囲で交通需要が集中している名古屋市周辺では，離着陸場数の増加とともに利用者も分散している．シナリオ 1～3 のようにサービス規模を高める場合は，まずは離着陸場を都心部から配置し，少しずつ郊外へと広げていくことが，より多くの需要を取り込むために効率的であるといえる．しかし，刈谷市や豊田市中心部などは狭い範囲に需要が密集しているため，利用者が分散されず，1 つの離着陸場に対する利用者が極めて多くなっていると考えられる．したがって，需要が集中する地点では，多くのエアタクシーが待機できる大規模な離発着場が必要となる．

また，1 日の総利用者数は 97,536 人であり，エアタクシー台数は，6816 台であった．1 日 1 台当たりの利用者数は 14.3 人/台（標準偏差は 16.4），1 日 1 台あたり平均で 4.4 トリップ（標準偏差は 5.1）輸送していた．6,816 台のうち約 71%に当たる 4,810 台が 1 日あたりの輸送トリップ数が 4 以下であった．尾張地区の広範囲に離着陸場が配置されたこと，待ち時間が短くなったことで配車効率が高まったと考えられる．加えて，シナリオ 1 から 2 への変化と同様，利用者数が多くなったことで相乗り可能な状況がさらに増加し，1 台当たりの利用者数がシナリオ 2 よりも増加したといえる．

(4) シナリオ 4（業務と観光のみ）

米国の既往研究では，利用用途として交通市場の大部分を占める通勤を想定していることが多い．一方で，2.(2)b)で議論したように，我が国では上限額こそ決められてはいるが，通勤費は企業が負担する場合が多い．そのため，通勤トリップでエアタクシーを利用するか否か

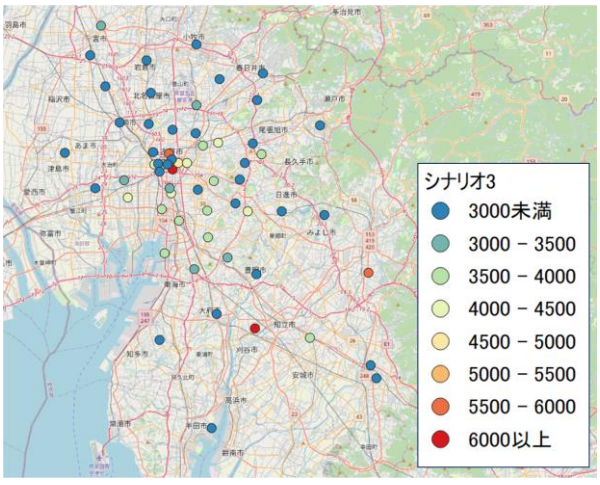


図-14 シナリオ 3 の離着陸場配置



図-15　シナリオ 4 の離着陸場配置

は企業に委ねられると考えられる．そこで，本シナリオでは企業が通勤時にエアタクシーの利用を許可しない場合を想定し，業務及び観光トリップのみを用途とした場合のエアタクシー離着陸場配置を検討する．

図-15 は，サービスレベルが料金 720 円/km，飛行速度 200km/h，最大待ち時間 5 分である場合の，30 か所の離着陸場の配置を示している．離着陸場は特に名古屋市周辺に集中しており，これは業務トリップが勤務地を起点に行われる場合が多いためだと考えられる．最も利用者が多い離着陸場は名古屋駅があるゾーンであり，長距離移動になりやすい出張で名古屋駅を利用する人が多いためだと思われる．また，岐阜市や名古屋港などの観光地に離着陸場が配置されており，中京都市圏内の観光トリップ需要に対応していることが確認できる．

また，1 日のエアタクシー総利用者数は 4717 人であり，エアタクシー台数は 140 台であった．1 日 1 台当たりの平均利用者数は 33.7 人/台（標準偏差は 27.9）であった．また，1 日 1 台あたり平均で 13.2 トリップ（標準偏差は 9.9）輸送しており，140 台のうち約 28%に当たる 39 台が 1 日あたりの輸送トリップ数が 4 以下であった．シナリオ 1~3 よりも 1 台当たりの利用者数が多くなっている要因として，通勤トリップが朝夕ピーク時に集中していることが考えられる．つまり，利用割合の高い通勤トリップを対象に含めると，朝夕ピーク時にのみ配車し，それ以外の時間帯では配車されず待機しているエアタクシーが多く存在することとなり，1 台当たりの利用者数も低下していると考えられる．

6.　結論

(1)　本研究にて得られた知見

本研究では，SP 調査を行い，エアタクシー利用行動モデルを構築した．アンケートの結果，トリップ目的によらず年齢が若い人はエアタクシーの利用意向が高いことがわかった．また，エアタクシーによる短縮時間と待ち時間も利用意向に影響することが示された．ただし，観光トリップでは待ち時間の影響は現れなかった．観光利用では飛行時間が長く機体の充電などに時間を要すことが考えられるため，この結果は用途を観光とするエアタクシーの運航を促進するものである．

利用者数に関して感度分析を行った結果，離着陸場数と待ち時間が利用者数に大きな影響を与えることがわかった．離着陸場数が増加すると，出発地からアクセス可能な距離に立地される可能性が高くなるため，エアタクシーによる時間短縮の恩恵を享受できる人が増えると考えられる．一方，待ち時間はわずかな増加でも利用率が大きく低下する可能性があり，円滑な運航システムの構築が必要だと言える．

エアタクシーの運用シナリオを検討した結果，通勤・業務・観光トリップを対象とした場合，サービスレベルが低い段階では交通需要の多い名古屋市中心部及び名古屋市周辺に離着陸場を配置することで，多くの利用者を獲得できることが示された．離着陸場の数を増加させる際，都心から郊外へ配置を広げていくことで，効率的に利用者数を確保できることも示された．また，需要が密集する郊外の一部エリアでは，離着陸場数が増えても需要が分散されないため，大規模な離着陸場（Vertiport）を設置すべきであることが分かった．一方，需要の分散する都心部では，ビルの屋上などを活用してコンパクトな離着陸場（Vertistop）を設置することが合理的である．

業務と観光のみを用途とする場合は，通勤を含む場合と比べ，離着陸場の配置が異なることが明らかになった．また，エアタクシー台数に着目すると通勤を含める場合よりも含めない場合のほうが台数は少なく，なおかつ 1 日 1 台あたりの利用者数も多くなることが分かった．このことから，運用の初期段階では業務・観光目的の利用者のみを対象とし，離着陸場数の増加や eVTOL 生産の低コスト化・安定化とともに通勤目的の利用者も含めて段階的に運用を拡大することが現実的だと言える．

(2)　今後の課題

本研究では，既往研究にならい個人に対して SP 調査を行い，利用意向を分析した．しかし，我が国では通勤時のエアタクシー利用可否を企業が決定する場合が想定されるため，通勤トリップのエアタクシー需要推計のためには，企業に対する調査が必要である．さらに，我が国のエアタクシー導入期は，空港アクセスなどの二次交通としての利用が予想されるため，特定の目的地へのエアタクシー利用意向調査を行うことも今後の課題とする．

構築したエアタクシー利用行動モデルは，過度な利用

を示すバイアスを取り除くために定数項補正を行ったが，正確なモデル構築のためには，より詳細でバイアスが発生しにくい意向調査を実施する必要がある．

本研究では，利用者数を最大化する離着陸場の配置を検討した．しかし，配置されたゾーンに実際に離着陸場を建設できるかどうかは考慮していないため，対象エリアの土地状況調査を行う必要がある．加えて，建設可能な離着陸場の規模をゾーン毎に調査し，離着陸場配置アルゴリズムに制約パラメータとして加えることで，より現実的な分析が可能であると考えられる．また，利用者数推定ではトリップ発生時間を考慮していない．実際のトリップは一部の時間に密集していると考えられ，時間帯によって離着陸を行う機体数が異なる．そのため，トリップ発生時刻を考慮し，各離着陸場の時間帯別利用者数を推計することも今後の課題とする．

謝辞：本研究における WEB アンケートの作成では，楽天インサイト株式会社に多大なご支援を賜りました．ここに深く感謝の意を表します．

REFERENCES

1) Hasan, S.: URBAN AIR MOBILITY (UAM) MARKET STUDY, *ntrs.nasa.gov*, 2019.
2) 大阪府：大阪府における空の移動革命社会実装に向けて，https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/21570/00000000/roundtable.pdf，2022. (2023.10.12 閲覧) [Osaka Prefectural Government: Toward the Social Implementation of the Air Mobility Revolution In Osaka, https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/21570/00000000/ roundtable.pdf，2022. (accessed 2023.10.12)]
3) Uber Elevate: Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation, https://evtol.news/_media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf, 2016. (accessed 2023.10.12)
4) Fadhil, D, N.: A GIS-based Analysis for Selecting Ground Infrastructure Locations for Urban Air Mobility, *Technical University of Munich Master's Thesis*, 2018.
5) Rath, S. and Chow, J, Y.J.: Air Taxi Skyport Location Problem for Airport Access, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 105, pp. 1-17, 2019.
6) Rajendran, S. and Zack, J.: Insights on strategic air taxi network infrastructure locations using an iterative constrained clustering approach, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 128, pp. 470-505, 2019.
7) Fu, M., Rothfeld, R. and Antoniou, C.: Exploring Preferences for Transportation Modes in an Urban Air Mobility Environment: Munich Case Study, *Transportation Research Record*, pp. 1-16, 2019.
8) Al Haddad, C.: Factors affecting the adoption and use of urban air mobility, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 132, pp. 696-712, 2020.
9) Rice, S., Winter, S, R., Crouse, S. and Ruskin, K, J.: Vertiport and air taxi features valued by consumers in the United States and India, *Case Studies on Transport Policy*, Vol. 10, Issue. 1, pp. 500-506, 2022.
10) Rimjha, M., Hotle, S., Trani, A., Hinze, N.: Commuter demand estimation and feasibility assessment for Urban Air Mobility in Northern California, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 148, pp. 506-524, 2021.
11) 吉田創，加藤司：大都市圏近郊都市における買い物行動の実態分析：「パーソントリップ調査」を活用した滋賀県草津市住民の買い物行動を事例として，経営研究，66 巻 2 号，pp. 51-75，2015. [Yoshida, H., Kato, T.: Analysis of actual shopping behavior in a large metropolitan area's neighboring town: Case study of the shopping behavior of residents of Kusatsu City, Shiga Prefecture, using a Person Trip Survey, *management research*, vol. 66, Issue. 2, pp 51-75, 2015.]
12) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，pp. 123-144，1995. [Japan Society of Civil Engineers: Hi-syukei Koudou Model-no Riron-to Jissai, pp. 123-144, 1995.]
13) 森田匡俊，鈴木克哉，奥貫圭一：日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究，GIS－理論と応用，22 巻 1 号，pp. 1-7，2014. [Morita, M., Suzuki, K., Okunuki, K.: An Empirical Study of the Radio of the Road Distance to the Straight Line Distance in Major Cities in Japan, *Theory and Applications of GIS*, Vol. 22, No. 1, pp. 1-7, 2014.]
14) 腰塚武志，今井和敏：平均走行速度と信号密度，日本都市計画学会学術研究論文集，26 巻，pp. 547-552, 1991. [Koshizuka, T., Imai, K.: On The Relation between Car Travel Speeds and Densities of Traffic Signals, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, vol. 26, pp. 547-552, 1991.]
15) Bennaceur, M., Delmas, R., Hamadi, Y.: Passenger-Centric Urban Air Mobility: Fairness Trade-Offs and Operational Efficiency, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 136, 2021.
16) Gu, Z., Zhu, Y., Zhang, Y., Zhou, W., Chen, Y.: Heuristic Bike Optimization Algorithm to Improve Usage Efficiency of the Station-Free Bike Sharing System in Shenzhen, China, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, pp. 239-252, 2019.

(Received Octoober 13, 2023)
(Accepted November 1, 2023)

PRELIMINALY ANALYSIS ON AIR TAXI IMPLIMENTATION IN CHUKYO METROPOLITAN AREA

Genichiro NAKAGAKI, Naoki TSURUMI and Tomio MIWA