

インド・ベンガルール空港線における都市鉄道導入のアクセシビリティ評価 — 運行シナリオの違いを反映したケース分析 —

Evaluation of Accessibility Impact from the Introduction of Urban Rail on Bengaluru Airport Line, India — A Case Analysis Reflecting Differences in Operational Scenarios —

37-205084 渡部真希

This study evaluates the impact of different operational scenarios on accessibility to the city center for the Bengaluru Airport Line in India. Using GTFS data for buses and metro services, accessibility metrics such as Weighted Average Travel Time (WATT) and cumulative population-based travel time percentiles were analyzed with r5r. The results indicate that while the benefits remain limited under the current population distribution, the introduction of the airport line improves accessibility for both corridor residents and airport users. Notably, the introduction of a high-speed rail link (Case 5) provides the most significant reduction in travel time and has the potential to positively impact the mobility of corridor residents. In contrast, the impact of express services (Case 4) was limited, suggesting that express operations could be introduced without significantly reducing the mobility convenience of corridor residents.

1. 研究の背景と目的

1.1. 研究の背景

インドでは近年、急速な都市化が進み、2021年時点で総人口の約3割にあたる4.73億人が都市部に居住している。2030年までに、人口200万人以上の都市は40都市に増加する見込みであり、交通渋滞や大気汚染の悪化、健康被害の深刻化など、都市環境の課題が浮き彫りとなっている。そのため、都市環境の改善が急務である。都市環境の改善の施策の一つとして、インドは「メトロ政策2017」を策定し、鉄道網整備を重視して予算を拡大している²⁾。本研究の対象であるベンガルールでも、メトロ整備計画が進行しているところである。

今回対象とするベンガルールメトロ2B号線（以下、「空港線」とする）は、空港までのアクセス手段が車やバス中心となっていることもあり、当初、中心市街地～空港間に高速鉄道を敷設する計画があった。最終的には、予算制約や沿線住民への便益が不十分との理由で中止となった。

従来、途上国の都市交通整備においては、既存の道路ネットワークをさらに圧迫しないために、大量輸送が可能なメトロの建設が積極的に検討されてきた。しかしながら、新規の都市鉄道が都市全体に与える影響を的確に評価するには、輸送能力の増強にとどまらず、沿線住民の通勤や日常生活における移動の利便性を評価する必要があると考える。特に、アクセシビリティの定量的な測定によって、政策効果の妥当性を検証することが求められている。

1.2. 研究の目的

本研究の目的は、運行シナリオの違いに基づき、導入予定である空港線のアクセシビリティを定量的に評価することである。具体的には、異なる運行シナリオに基づくケースを作成し、到達時間の変化とその要因を分析する。とりわけ空港線という特性を踏まえ、沿線住民のみならず、空港利用者も考慮し、路線として果たすべき役割を考察する。

また、ベンガルールのような大都市（Tier-1都市）以外の地方中核都市においても、今後、都市交通の導入を通じた

住民のアクセシビリティ改善は議論に挙がっていくことになるものと想定される。都市毎に特徴は違うものの、他の都市へ向けた何らかの示唆を得ることについても併せて目的とする。

2. 研究の位置付け

2.1. 既往研究の整理

本節では、インドにおけるアクセシビリティおよび空港アクセスに関する既往研究を整理する。

まず、インドにおけるアクセシビリティ分析に関して、Karmarkarら³⁾は、建設中のムンバイ・アーメダバード間の高速鉄道導入によるアクセシビリティの変化を分析し、都心間のアクセシビリティが向上することを示している。また、インド最大都市デリーを対象としたBhattら⁴⁾の研究では、デリーメトロとマルチモーダル交通システムの関係性を分析し、メトロ路線の追加や延長により交通アクセス性が向上するとともに、メトロが主要な交通モードとして選好されることが確認されている。都市圏としてのアクセシビリティに関しては、Ranaら⁵⁾がデリー首都圏におけるメトロ網の導入により、都市部だけでなく、グルガオン、ノイダ、パハーダウルガル、ファリーダーバードといった隣接都市の都市化も促進されていることを示しており、都市鉄道の整備が都市圏全体に大きな影響を与えることを指摘している。

次に、空港アクセスに関する既往研究においては、土方⁶⁾が日本国内の空港を対象に、空港特性や交通手段選択における特性を分析し、鉄道特急が時間価値の高い利用者にとって選好されることを示している。海外においては、Guptaら⁷⁾が空港利用者の交通手段選択において、平均運賃、アクセス時間、アクセスコストが重要な要因であると述べており、Sebastianら⁸⁾は、空港急行列車の導入が利用率の向上につながる可能性を感度分析によって示している。

2.2. 研究の位置付け

既往研究を踏まえ、本研究の意義について述べる。

第一に、空港線をどのような路線とすべきかは、フィージビリティ調査結果に基づくことが大前提であるが、次章で述べるように、様々なステークホルダー間での政治的な影響も色濃いと考えられる。本研究では、実際の運行頻度および想定運行頻度に基づき、想定ダイヤを作成した上で定量的なアクセシビリティ分析を行い、政策的妥当性を検証する。

第二に、既往研究から、空港利用者にとってアクセス時間が交通手段選択の重要なファクターであることが示されている。本研究では、高速鉄道や急行運転などの運行シナリオを設定し、空港利用者の利便性を考慮した分析を行う。

第三に、インド国内でも空港と接続するメトロ路線は存在しているが、空港線の役割をアクセシビリティの観点で比較検討した研究は見当たらず、本研究には新規性があると考えられる。

上記を踏まえ、以下のリサーチクエスチョンを設定する。

- (1) メトロ導入により、空港線沿線住民および空港利用者にとって都心部へのアクセシビリティは改善されるか。
- (2) 急行運転による停車駅の調整によって、沿線住民のアクセシビリティを維持しながら、空港利用者の利便性を向上できる可能性はあるか。
- (3) もし高速鉄道が導入されていた場合、空港線の沿線住民に対するアクセシビリティはどのように変化していたか。

3. 対象地域と分析方法

3.1. 対象地域

3.1.1. ベンガルール

本研究の対象となる都市は、インド南部カルナタカ州の州都であるベンガルール（旧称：バンガロール）である。ベンガルール都市圏の人口は2019年時点で約1,125万人に達しており¹⁰⁾、「インドのシリコンバレー」とも呼ばれ、産業集積地としての発展を背景に急速な経済成長を遂げている¹¹⁾。

次に、都市内の人口分布について整理する。インドでは10年ごとに国勢調査が実施されており、前回の調査は2011年に行われた。2021年に予定されていた次回調査は新型コロナウイルスの影響により延期され、最新の情報によれば2025年に実施される予定である¹²⁾。そのため、本研究では2011年の国勢調査データを参照する。国勢調査での集計単位は州 (State)、県 (District)、郡 (Sub-district)、および地区 (Village、Town など) である。図1の Bangalore、Bangalore-Rural という District が本研究の対象地域にあたる。

2011年時点の小地域ごとの人口密度は図2に示す通りである。区画データには GitHub で公開されているデータセットを使用し¹³⁾、Village の人口データは国勢調査の公式サイトから取得した¹⁴⁾。また、市街地の人口データについては Opencity から取得している¹⁵⁾。一元的に管理された区

画データが存在しなかったため、Village のデータと市街地のデータを統合し、一つのデータセットとして扱った。人口密度は、各区画の人口を QGIS で算出した面積で除することで計算した。また、人口密度の凡例については、等間隔では分布の差異が分かりにくいいため、等量分類を採用した。中心市街地では特に高い人口密度が観察され、一部の郊外エリアでもやや高い人口密度が確認された。全般として、中心市街地と郊外エリアの間で大きな人口密度のギャップが存在している。



図1 ベンガルール対象 District

(出典：Open Street Map. District 境界線はインドの Data{Meet}¹⁶⁾)

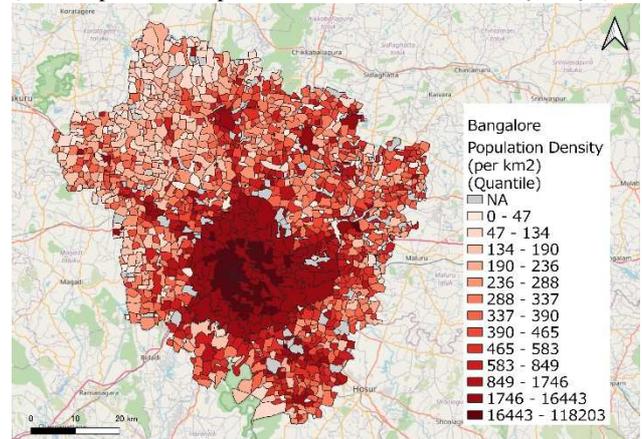


図2 人口密度 (2011年国勢調査)

3.1.2. ベンガルール公共交通ネットワーク

ベンガルールの公共交通は、交通分担率で42%を占めており、主要な輸送モードとしてバスとメトロが重要な役割を担っている¹⁷⁾。バスネットワークは、2024年4月から7月の期間における1日の平均利用者数が384万人に達し、1,744ルートに対して58,899便が運航されている¹⁸⁾。バスは都市内の広範なエリアをカバーし、日常的な移動手段として高い需要を有している。

一方、都市鉄道であるベンガルールメトロは、段階的な開発計画 (フェーズ) に基づき整備が進められおり、現在、フェーズ1 (約42km) 並びにフェーズ2の一部路線が開業している。フェーズ2の延長にあたるフェーズ2A およびフェーズ2B を含めると、最終的には約133km、93駅が新たに整備され、メトロ全体の総延長は約175kmとなる予定

である²⁾。現在は、フェーズ3、フェーズ3Aの計画が進められており、西側の外郭環状道路沿いの路線(6号線)や新たに南北を結ぶ路線(8号線)が候補として挙げられている¹⁹⁾。

3.1.3. 対象路線

今回対象とする空港線は、Phase 2B (Dark Blue) に該当し、都心部からケンペゴウダ国際空港(以下、「ベンガルール国際空港」)を結ぶ路線である。全長38kmのこの路線は現在も建設中であり²⁰⁾、当初は2024年の開業を目指していたが、計画の遅れにより2026年の開業が見込まれている。

3.2. 分析方法

3.2.1. 使用する分析ツール

本研究では、ソフトウェアRのパッケージであるr5r²¹⁾を分析ツールとして使用する。r5rは、オープンソースの都市交通分析ツールであり、OpenStreetMap(以下、「OSM」)の道路ネットワークデータと公共交通機関のGeneral Transit Feed Specification(以下、「GTFS」)データを統合して利用できるほか、複数の交通モードを組み合わせたルート検索が可能である。

r5rの分析に必要な入力データとしては、①OSMデータ(道路ネットワーク)、②GTFSデータ、③ODペアデータ(出発地・目的地)の3つが挙げられる。

3.2.2. ケース検討

本研究で使用するGTFSデータには、バスとメトロの運行情報を含める。メトロに関しては、図3、図4、および表1に示すケースを設定し、アクセシビリティの変化を考察する。

ケース3とケース4は停車駅のみが異なり、ルート自体は共通している。また、空港線(急行運転)や高速鉄道線については、検討を目的とした仮想的な条件として設定している。

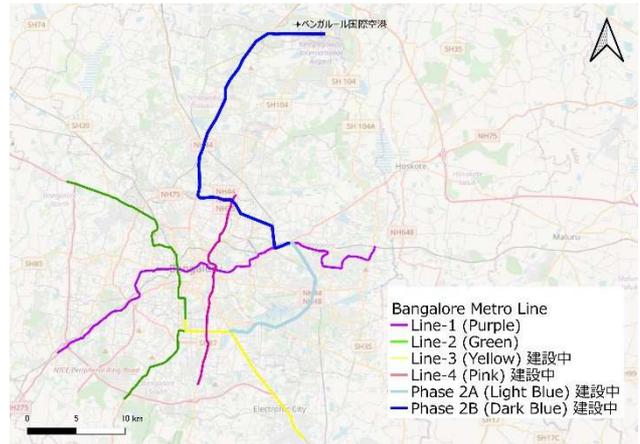


図3 ケース14

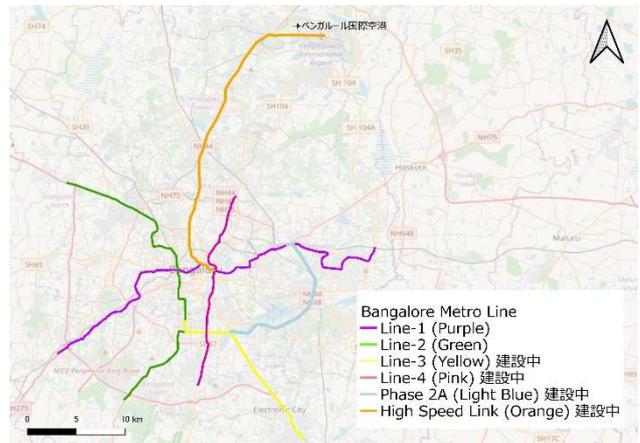


図4 ケース5

3.3. インプットデータ

3.3.1. OSMデータ(道路ネットワーク)

OSMデータは、Geofabrik²²⁾が提供するデータから、Asia、India、Southern Zoneを選択し、データをダウンロードした。取得したデータに対して、Javaアプリケーションのosmosisを用い、ベンガールの対象地域を抽出したものを使用している。

表1 運行シナリオ別ケース設定

ケース	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Phase 2A	Phase 2B 各駅	Phase 2B 急行	高速 鉄道
ケース1(現在2路線運行中)	○	○						
ケース2(新規追加3路線-建設中)	○	○	○	○	○			
ケース3(空港線導入-建設中)	○	○	○	○	○	○		
ケース4 [仮想] 空港線(急行運転)導入	○	○	○	○	○	○	○	
ケース5 [仮想] 高速鉄道線導入	○	○	○	○	○			○

3.3.2. OD ペアデータ

図 5 に示すように、QGIS を用いて空港線の各駅を中心に半径 5km のバッファを作成し、これと重なりを持つ地区の重心地点をジオメトリツールで算出して、それぞれを出発地とした。5km という設定は、インドの都市鉄道ガイドラインにおいて乗降客数の算定対象が半径 5km とされているため踏襲した²³⁾。なお、重心地点が道路ネットワークと必ずしも接続しているとは限らないため、r5r の snap 機能を用い、徒歩ネットワークと接続可能な最も近い地点に補正した。最終的な出発地点は 166 地点となった。

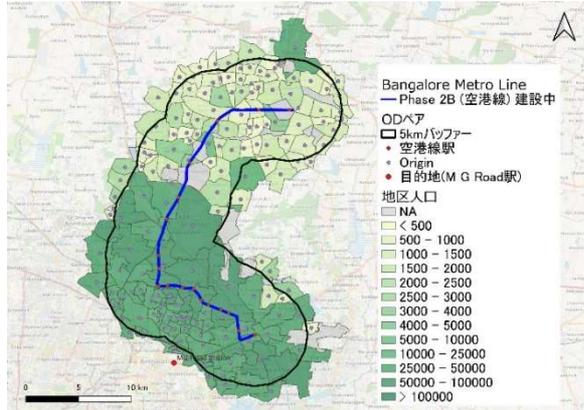


図 5 対象地域

目的地については、中心市街地に位置する MG Road 駅を設定した。この駅は、当初計画されていた高速鉄道の終着駅として想定されていた。

3.3.3. バス GTFS データ

ベンガルールの主たる公共交通手段はバスである。バスは、ベンガルール都市交通公社 (BMTC: Bengaluru Metropolitan Transport Corporation) が運営しており、そのアプリデータをベースに整理された GitHub 公開データを活用することにした²⁴⁾。

3.3.4. 鉄道 GTFS データ

本研究では、GTFS データが存在しないため、既存路線に関する公開情報や Feasibility Study の結果、類似データ等を基に GTFS データを生成した。

ケース 4 の急行運転およびケース 5 の高速鉄道については、現実に建設工事が行われているわけではないが、関連情報を基に仮定を設定し、GTFS データを作成した。使用した情報の詳細は、表 2 に示す通りである。

3.4. アクセシビリティの計算手法

既述の通り、本研究では、ソフト R のパッケージである r5r を用いる。Travel Time Matrix 計算には、徒歩 (WALK) および公共交通機関 (TRANSIT) を組み合わせた移動モードを指定し、出発時刻は通勤時間帯を想定し、2024 年 10 月 12 日午前 8 時に設定した。

表 2 鉄道 GTFS データ構成と作成方針

データ	作成方法
公共交通機関 (agency.txt)	<ul style="list-style-type: none"> 公開情報を基に入力²⁵⁾。 ケース 5 については、運行機関未定のため、既存のベンガルールメトロ公社が担当と仮定。
運行日 (calendar.txt)	<ul style="list-style-type: none"> 現行の 1 号線・2 号線の運行日を採用し²⁶⁾、その他の路線も同様と仮定。 運行日は 3 パターン (①平日+奇数週土曜、②祝日+偶数週土曜、③日曜) に分類。 start_date = 20240101、end_date = 20241231 と設定。
運行系統 (routes.txt)	<ul style="list-style-type: none"> 路線ごとに route_id を設定。空港線の各駅停車と急行運転にそれぞれ route_id を付与。
路線形状 (shapes.txt)	<ul style="list-style-type: none"> GitHub データ²⁷⁾を QGIS で処理し、LineString 形式の各頂点を抽出して shapes.txt を作成。 高速鉄道については報道記事²⁸⁾²⁹⁾を参考に独自作成。
駅情報 (stops.txt)	<ul style="list-style-type: none"> GitHub データを基に作成²⁷⁾。 空港線の駅情報が不足していたため、ArcGIS Metro Network の情報を QGIS で取得し³⁰⁾、位置情報を再プロット。 高速鉄道の停車駅は、過去の現地報道情報を基に設定し、急行運転の停車駅も同様とした。ただし、Hebbal 駅~PR Puram 駅間は高速鉄道とルートが異なるため、乗換駅である Nagawara 駅は利便性を考慮し、急行運転の停車駅に含めた。
時刻表 (stop_times.txt)	<ul style="list-style-type: none"> 運行頻度情報を基に、R パッケージを用いて時刻表を作成。既存路線はベンガルールメトロ公社の運行情報を参照し、新規路線については Feasibility Study (インドでは Detailed Project Report と呼ばれる) に基づく Hourly Train Operation Plan を使用(最も現時点に近い時点のものを採用)²⁰⁾³¹⁾³²⁾³³⁾。高速鉄道については、参照可能な運行頻度データがなかったため、距離や目的が類似するデリーメトロエアポートエクスプレスの運行頻度を参考に設定³⁴⁾。 急行運転は、各停 2 本に対して急行 1 本の順で運行することを想定。ダイヤ作成上、空港線 (各駅停車) の運行に急行運転を追加する形でスケジュールを調整。 運行頻度情報を時刻表に変換する際、駅の停車順序情報を読み込み、駅間距離と表定速度に基づいて各駅間の所要時間を算出している。表定速度は以下の通りに設定されている。 各駅停車: Feasibility Study の基準に基づき、表定速度を 36km/h と設定³⁰⁾。 急行運転: 停車駅を減らし、高速運転が可能となるため、表定速度を 60km/h に設定。 高速鉄道: 当初計画の距離 (約 33km) と想定所要時間 (約 25 分) をもとに、表定速度を 80km/h と設定。
運行便 (trips.txt)	<ul style="list-style-type: none"> route_id、service_id、shape_id は作成済情報を反映。 trip_id は出発時刻 (hhmmss) を末尾に付与して一意性を確保。 direction_id に基づき双方向の運行便を設定。 急行運転は空港線 (各駅停車) に追加する形でダイヤを調整。

具体的なダイヤや列車の乗り継ぎ、遅延等の詳細な要素は考慮していないが、指定された出発時刻を基準に、その後の time window (デフォルト 10 分) 内に出発する複数の時刻をランダムにサンプリングして移動時間を計算することで、GTFS データが持つ時間依存性を反映させ、特定の出発時刻や運行パターンに偏らない移動時間を算出できる。

上述のように求めた OD 間の移動時間に基づき、各ケースのアクセシビリティ指標を算出し、比較・評価を行う。

4. 分析結果と考察

4.1. 分析結果—平均移動時間

まず、各地区を出発地とする所要時間を図 6～図 10 に示す。図 6 にはケース 1 における地区別移動時間を、図 7～図 10 にはケース 2～5 におけるケース 1 との移動時間差分をそれぞれ示した。また、この移動時間の平均値、ならびに空港利用者にとっての利便性の指標としてベンガルール国際空港から MG Road 駅までの移動時間を各ケースで算出し、表 3 に示す。

計算の結果、各ケースの移動時間差分は徐々に拡大していることが確認された。特に、ケース 5 では移動時間の削減幅が顕著であった。ケース 2～4 においても時間短縮の傾向が見られたが、ケース間の差異は比較的小さく、ケース 5 ほどの大幅な削減には至らなかった。ケース 5 の大幅な時間短縮が見られた要因として、このケースが過去に検討された高速鉄道案を基にしており、空港線 (ケース 3・ケース 4) とは異なるルートを採用していることが挙げられる。

表 3 分析結果 (平均移動時間)

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
平均移動時間 (分)	82.6	81.2	79.8	79.7	68.5
移動時間 (ベンガルール国際空港～MG Road 駅) (分)	99	99	74	59	28

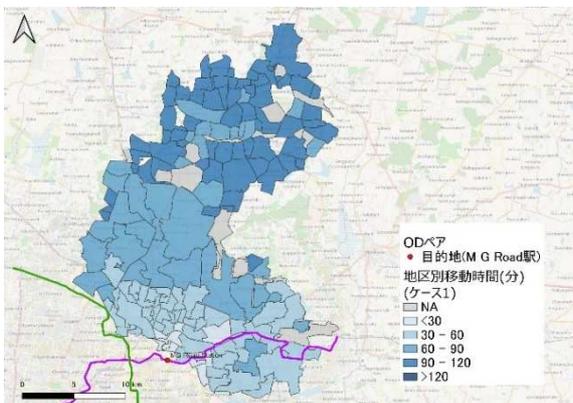


図 6 ケース 1 出発地別移動時間

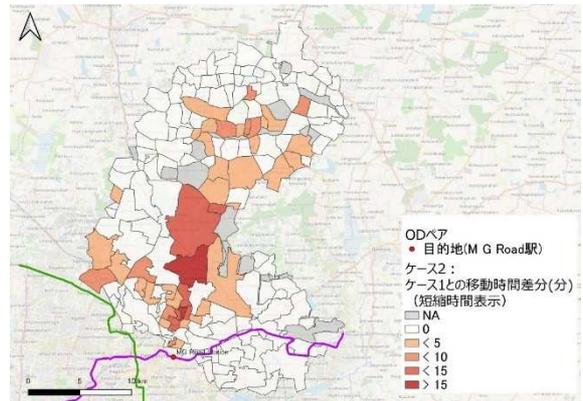


図 7 ケース 2: ケース 1 との移動時間差分

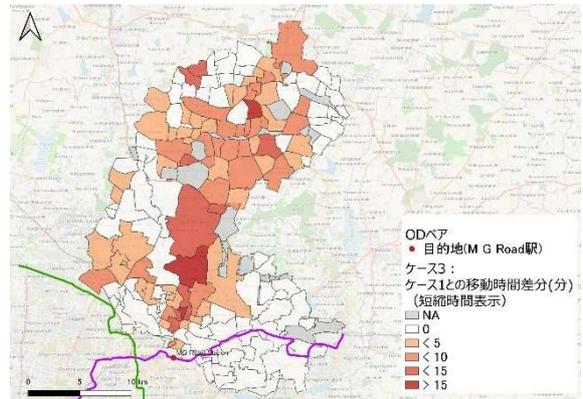


図 8 ケース 3: ケース 1 との移動時間差分

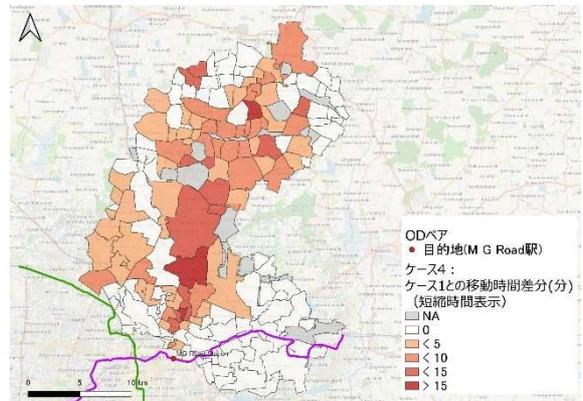


図 9 ケース 4: ケース 1 との移動時間差分

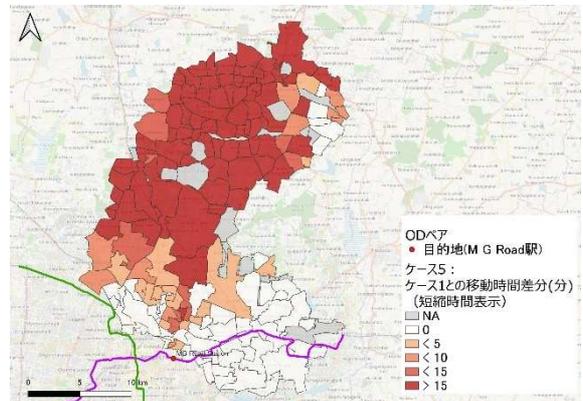


図 10 ケース 5: ケース 1 との移動時間差分

4.2. 分析結果—加重平均移動時間 (WATT)、累積人口による移動時間パーセンタイル

次に、各地区の人口で重み付けした加重平均移動時間 (WATT: Weighted Average Travel Time) と、累積人口による移動時間の 50/90 パーセンタイル値を算出した結果を表 4 に示す。また、各地点が全体の加重平均移動時間への寄与をしているかを示す指標として、各地点の移動時間と人口を掛け合わせた値を求め、これを重み付け影響度と定義した。図 11 では各地区の重み付け影響度をマッピングし、図 12～図 15 ではケース 1 との差分をそれぞれ示した。図 2 のとおり都心部に人口が集中しているため、都心部の影響度が大きい。

表 4 分析結果—加重平均移動時間 (WATT)、累積人口による移動時間パーセンタイル値

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
対象区画数 (N/A 区画除く)	166				
対象地区総人口 (人)	3,036,731				
加重平均移動時間 (分)	53.8	51.3	50.9	50.8	47.8
移動時間の 50 パーセンタイル値 (分)	50.0	49.0	49.0	49.0	48.0
移動時間の 90 パーセンタイル値 (分)	80.0	79.0	79.0	79.0	64.0

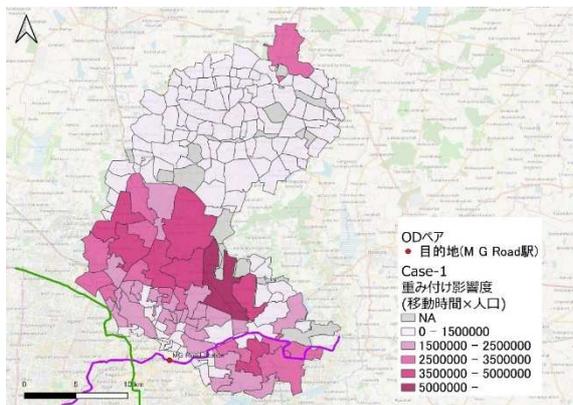


図 11 ケース 1：重み付け影響度

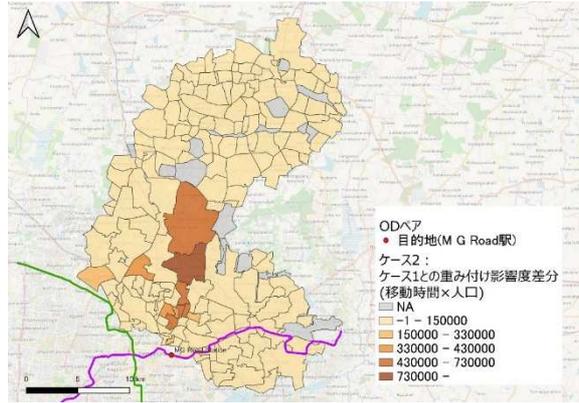


図 12 ケース 2：ケース 1 との重み付け影響度差分

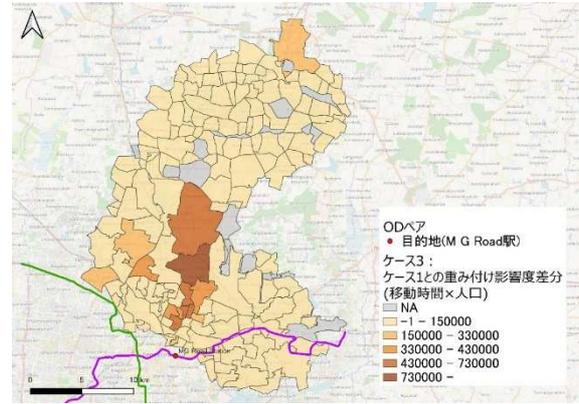


図 13 ケース 3：ケース 1 との重み付け影響度差分

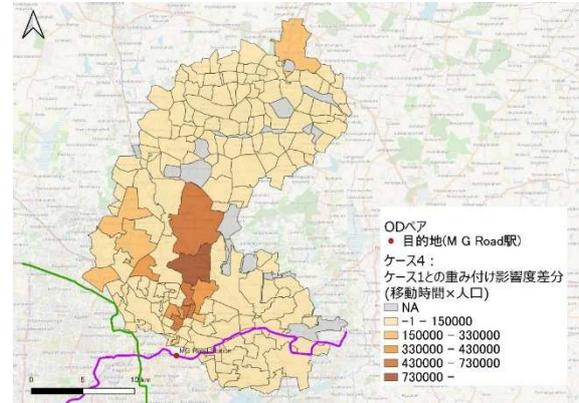


図 14 ケース 4：ケース 1 との重み付け影響度差分

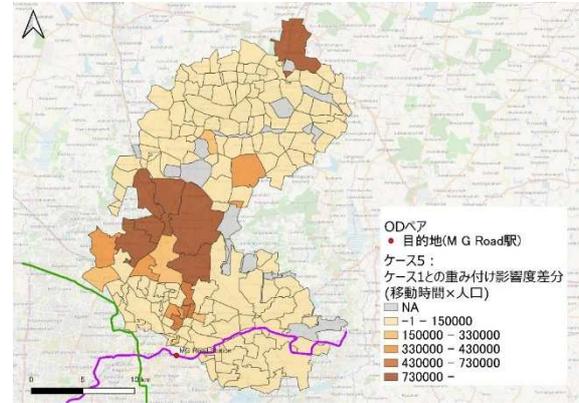


図 15 ケース 5：ケース 1 との重み付け影響度差分

WATT と移動時間のパーセンタイル値の結果を見ると、各ケース以下の通り評価できる。

- ケース 1 (現状) : 最も移動時間が長い。
- ケース 2 (3 路線追加) : 移動時間が短縮。
- ケース 3 (空港線導入) : さらなる短縮が確認される。
- ケース 4 (急行運転) : 短縮効果はわずか。
- ケース 5 (高速鉄道導入) : 最大の短縮効果が得られる。

累積人口に基づく移動時間の 50 パーセンタイル値を評価した結果、ケース 1 からケース 5 にかけての差はわずかであった。この結果は、大半の住民にとっては、空港線導入および急行運転、高速鉄道の導入による移動時間短縮の恩恵が限定的であることを示唆する。一方、90 パーセンタイル値からは、アクセスが悪い地域における大幅な改善が確認された。

4.3. 考察

以下、リサーチクエストごとの考察をまとめる。

- (1) メトロ導入により、空港線沿線住民および空港利用者にとって都心部へのアクセシビリティは改善されるか。

空港線の導入により、沿線住民のアクセシビリティは改善されている。ただし、急行運転 (ケース 4) の追加は、沿線住民の移動時間に大きな影響を及ぼさず、効果は限定的であると考えられる。

一方、空港利用者にとってはアクセシビリティの向上が顕著であり、特に急行運転や高速鉄道の導入による速達性向上が有効であることが示された。

- (2) 急行運転による停車駅の調整によって、沿線住民のアクセシビリティを維持しながら、空港利用者の利便性を向上できる可能性はあるか。

沿線住民の人口分布は都心部に集中しており、急行運転による到達時間短縮の恩恵を受ける人口が限定的であるため、その効果は限定的であることが示された。しかし、これは逆に言えば、急行運転を導入することによるデメリットも少なく、導入の障壁は低いと考えられる。

- (3) もし高速鉄道が導入されていた場合、空港線の沿線住民に対するアクセシビリティはどのように変化していたか。

高速鉄道は、最も移動時間短縮効果が大きく、空港利用者のみならず沿線住民の日常的な移動にも好影響を与える可能性があることが示唆された。また、市街地の交通渋滞の根本的な改善には、さらなるインフラ整備のみならず広域的な都市計画が重要であると考えられる。

次に、本研究の結果を踏まえ、インド他都市に適用可能な示唆として以下の 2 点が挙げられる。

- (1) 速達性の重要性

空港は一般的に都市郊外に位置し、人口分布が一様ではないことが多い。そのため、副都心が形成され、一定

の人口規模がある場合には、急行運転の導入が効果的なアクセシビリティ改善策となる可能性がある。本研究においても、速達性を向上させる施策 (急行運転・高速鉄道) は、空港利用者のみならず沿線住民の移動にも好影響を及ぼすことが示唆された。このことから、鉄道の運行シナリオを策定する際には、空港利用者と沿線住民双方の利便性を考慮し、速達性を付加した運行形態の導入を検討する価値があると考えられる。

- (2) 比較検討の重要性

鉄道ネットワークをどのように有効に活用するかを慎重に議論することは重要である。特に、運行シナリオを一度決定すると、後から方針転換が難しくなる点には留意が必要である。本研究の結果からも、速達性の向上が移動時間短縮に与える影響が大きいことが確認されており、各都市においても導入時の比較検討が求められる。また、将来の人口変動や都市構造の変化に対応するためには、拡張性を考慮した柔軟な制度設計も重要となるだろう。

5. 結論と今後の課題

5.1. 結論

本研究では、インド・ベンガルールの空港線を対象として、運行シナリオをケース分けして、都心部までのアクセシビリティの評価を行った。その結果、現在の人口分布では便益は限定的であるものの、高速鉄道導入による移動時間短縮効果が確認され、高速鉄道は空港利用者だけでなく沿線住民にもメリットをもたらす可能性が示唆された。

5.2. 今後の課題

本研究では、インド・ベンガルール空港線における都市鉄道導入のアクセシビリティ評価を行ったが、限界や今後の課題も残されている。

まず、インドの現地機関との連携である。現地では、カルナタカ州都市交通局が「Transport Data Hub」³⁵⁾ というサイトを立ち上げ、GTFS を公開しているとの情報があり、将来的にはこのデータを活用することで、さらなる精度向上が期待される。

次に、今回用いた人口データは 2011 年国勢調査ベースであり、約 15 年経過したものである。直近実施予定であった国勢調査は新型コロナウイルス感染症の影響で中止となったため、最新データの入手が困難な状況にある。しかし、今後、最新のデータが提供された際には改めて分析・検証を行う必要があるものとする。

OD ペアの設定や時間帯のバリエーションを拡充し、より多角的な評価を行うことも今後の課題となる。

最後に、本研究では所要時間に焦点を当ててケース分析を行ったが、運賃設定如何によっては空港利用者がメインとなり、沿線住民が利用しない可能性もある。そのため、運賃体系や利用者の属性を考慮した複合的な視点での検証も求められる。

<参考文献>

- 1) United Nations: World Urbanization Prospects, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (2024年9月29日閲覧)
- 2) 国際協力機構: ベンガルール・メトロ建設事業 (フェーズ2) 評価報告書, https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2020_ID-P294_1_s.pdf (2024年9月29日閲覧)
- 3) Karmarkar, O. D., Jana, A., & Velaga, N. R. (2024). Regional accessibility impacts of integrating high-speed railway and conventional rail: spatial analysis of the Mumbai Ahmedabad region, India. *Area Development and Policy*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/23792949.2024.2312268>
- 4) Bhatt, D., Chandra, M. GIS and Gravity Model-Based Accessibility Measure for Delhi Metro. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 46, 3411-3428 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00795-5>
- 5) Rana, D., Kumar, D., Kumari, M., Kumari, R. (2022). Assessing the Impact of Delhi Metro Network Towards Urbanisation of Delhi-NCR. In: Rai, P.K., Mishra, V.N., Singh, P. (eds) *Geospatial Technology for Landscape and Environmental Management. Advances in Geographical and Environmental Sciences*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7373-3_17
- 6) 土方 康裕(2023).空港アクセス交通における鉄道の役割に着目した需要特性に関する研究, 横浜国立大学都市イノベーション学府博士論文
- 7) Gupta, S., Vovsha, P., & Donnelly, R. (2008). Air Passenger Preferences for Choice of Airport and Ground Access Mode in the New York City Metropolitan Region. *Transportation Research Record*, 2042(1), 3-11. <https://doi.org/10.3141/2042-01>
- 8) Sebastian Birolinia, Paolo Malighetta, Renato Redondia, Paolo Deforzab (2019). Access mode choice to low-cost airports: Evaluation of new direct rail services at Milan-Bergamo airport *Transport Policy*, Volume 73, January 2019, Pages 113-124
- 9) Hindustan Times: Mumbai Metro Line 3, first underground, begins operations for public today: Check timings, fare, routes, <https://www.hindustantimes.com/india-news/mumbai-metro-line-3-first-underground-begins-operations-for-public-today-check-timings-fare-routes-101728268746085.html> (2024年12月26日閲覧)
- 10) DEMOGRAPHIA, DEMOGRAPHIA WORLD URBAN AREAS(Built Up Urban Areas or World Agglomerations) 15th ANNUAL EDITION: 201904
- 11) 国際協力機構: ベンガルール・メトロ建設事業 (フェーズ2) , <https://www.jica.go.jp/oda/project/ID-P294/index.html> (2024年9月29日閲覧)
- 12) Hindustan Times: Delayed for years, census process to start in 2025, <https://www.hindustantimes.com/india-news/delayed-for-years-census-process-to-start-in-2025-101730140255388.html> (2024年12月29日閲覧)
- 13) datta07: INDIAN-SHAPEFILES, <https://github.com/datta07/INDIAN-SHAPEFILES/tree/master/BENGALURU.geojson> (2024年12月30日閲覧)
- 14) Office of the Registrar General & Census Commissioner, India: Census of India 2011 - Karnataka - Series 30 - Part XIIA - District Census, <https://censusindia.gov.in/nada/index.php/catalog/584> (2024年12月7日閲覧)
- 15) Opencity: Bengaluru Ward-wise Census Data - 2011, <https://data.opencity.in/dataset/bengaluru-census-2011/resource/bengaluru-ward-wise-census-data-2011> (2024年12月30日閲覧)
- 16) Data{Meet}: Districts - Community Created Maps of India, <https://projects.datameet.org/maps/districts/> (2024年12月30日閲覧)
- 17) TUMI E-Bus Mission: Bangalore, India City Characteristics, https://transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/12/Bangalore-Deep-Dive_Rev_KP_SK.pdf?utm_source=chatgpt.com (2025年1月23日閲覧)
- 18) THE TIMES OF INDIA: BMTC bus ridership increases by 33% in Bengaluru, <https://timesofindia.indiatimes.com/city/bengaluru/bmte-bus-ridership-increases-by-33-in-bengaluru/articleshow/112535746.cms> (2025年1月23日閲覧)
- 19) The Metro Rail Guy: Bangalore Metro Phase 3 - Information, Route Maps, Tenders & Updates, <https://themetrorailguy.com/bangalore-metro-phase-3-information-map/> (2024年9月29日閲覧)
- 20) Bangalore Metro Rail Corporation Limited: DETAILED PROJECT REPORT FOR AIRPORT METRO LINE (PHASE-2B) Volume 1- Revised Detailed Report, [https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/54221702-c7a4-468e-96d6-9a09e55d8d52\\$@!!@\\$PHASE-2B-RDPR.pdf](https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/54221702-c7a4-468e-96d6-9a09e55d8d52$@!!@$PHASE-2B-RDPR.pdf)
- 21) Pereira, Rafael & Saraiva, Marcus & Herszenhut, Daniel & Braga, Carlos Kaue & Braga, Vieira & Conway, Matthew & Wigginton, Matthew. (2021). r5r: Rapid Realistic Routing on Multimodal Transport Networks with R5 in R. *Transport Findings*. 10.32866/001c.21262.
- 22) Geofabrik: OpenStreetMap Data Extracts, <http://download.geofabrik.de/> (2024年10月3日閲覧)
- 23) Ministry of Urban Development: Metro Rail Policy, 2017, https://www.mohua.gov.in/upload/whatsnew/59a3f7f130eecMetro_Rail_Policy_2017.pdf (2025年1月21日閲覧)
- 24) Vonter: bmte-gtfs, <https://github.com/Vonter/bmte-gtfs> (2024年10月3日閲覧)
- 25) Bangalore Metro Rail Corporation Limited, <https://english.bmrc.co.in/> (2024年10月20日閲覧)
- 26) Bangalore Metro Rail Corporation Limited: Metro Timings, <https://english.bmrc.co.in/metro-timings/> (2024年10月27日閲覧)
- 27) geohacker: namma-metro, <https://github.com/geohacker/hamma-metro> (2024年10月20日閲覧)
- 28) Railway Technology: Bangalore High-Speed Rail Link, <https://www.railway-technology.com/projects/bangalorehighspeedra/?cf-view> (2024年10月20日閲覧)
- 29) Karnataka: Bangalore Metro Rail Link to Airport, <https://www.karnataka.com/bangalore-metro/metro-to-airport/> (2024年10月20日閲覧)
- 30) ArcGIS: Bengaluru (Namma) Metro Rail Network 2024, <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d0c3ad84b51443628c9a25878fb9c38a> (2024年10月20日閲覧)
- 31) Bangalore Metro Rail Corporation Limited: Phase 2 DPR R V ROAD TO BOMMASANDRA CORRIDOR, [https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/dc7abb52-428c-40d2-8241-4f651860f08c\\$@!!@\\$Phase%20%20DPR%20R%20V%20ROAD%20TO%20BOMMASANDRA%20CORRIDOR.pdf](https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/dc7abb52-428c-40d2-8241-4f651860f08c$@!!@$Phase%20%20DPR%20R%20V%20ROAD%20TO%20BOMMASANDRA%20CORRIDOR.pdf) (2024年10月27日閲覧)
- 32) Bangalore Metro Rail Corporation Limited: Phase 2 DPR Gottigere-IIMB-Nagavara Corridor, [https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/dbd7e46e-7343-4581-9d70-b191eeca306\\$@!!@\\$Phase%20%20DPR%20Gottigere-IIMB-Nagavara%20Corridor.pdf](https://english.bmrc.co.in:8282/English/uploads/projectprogress/english/FileUploads/dbd7e46e-7343-4581-9d70-b191eeca306$@!!@$Phase%20%20DPR%20Gottigere-IIMB-Nagavara%20Corridor.pdf) (2024年10月27日閲覧)
- 33) Bangalore Metro Rail Corporation Limited: Phase-2A DPR, <https://english.bmrc.co.in/dpr-project-progress/> (2024年10月27日閲覧)
- 34) delhimetrorail.info: Airport Express Line Delhi Metro, <https://delhimetrorail.info/delhi-metro-airport-express> (2024年10月27日閲覧)
- 35) Directorate of Urban Land Transport: Transport Data Hub, <https://tdh.dult-karnataka.com/> (2024年10月3日閲覧)