循環型バスを対象とした 高齢者の買物施設へのアクセシビリティ分析

山田　洋行[1]・若尾　真里[2]・日高　健[3]

[1]非会員　豊田中央研究所　社会システム研究領域（〒480-1192　愛知県長久手市横道 41−1）
E-mail: e1581@mosk.tytlabs.co.jp

[2]非会員　豊田中央研究所　社会システム研究領域（〒480-1192　愛知県長久手市横道 41−1）
E-mail: m-wakao@mosk.tytlabs.co.jp

[3]非会員　豊田中央研究所　社会システム研究領域（〒480-1192 愛知県長久手市横道 41−1）
E-mail: hidaka@mosk.tytlabs.co.jp

地方圏における人口減少と高齢化は深刻な状況となっており，コミュニティバスなどの地域公共交通サービスは利用者の減少と運転者不足から，多くの自治体で廃止や再編を迫られている．また，高齢者の運転免許返納への意識の高まりを受け，地域の生活を支える移動手段を確保することがますます重要となっている．高齢者がこれまで暮らしてきた地域で生活を続けるためには，通院や買物などに伴う移動が不可欠であり，生活をする上で必要となる施設へのアクセシビリティを把握することは，持続的な公共交通サービスの実現に向けて重要であると考えている．そこで本稿では，静岡県裾野市において運行されている裾野市内循環バスを対象に，バス路線の時刻表とバス停の位置情報を用い，市内の主要な買物施設への往復移動を考慮したアクセシビリティの定量化と可視化を行った．

Key Words: *local public transportation, accessibility, population coverage, GIS, GTFS*

1. 背景

全国都市交通特性調査 [1]によると，全体的にトリップ原単位（トリップ数/人・日）は年々減少傾向にあるが，70 歳以上に関しては僅かではあるが概ね増加傾向にある．また，65 歳以上の一人暮らし高齢者数は過去 40 年前から増加傾向にある [2]ことから，高齢者が独力で移動せざるを得ないケースは増加していると考えられる．さらに，高齢者の免許返納への動きが高まるなど，特に地方部においては高齢者の移動手段の確保が大きな課題となっている．

静岡県裾野市はコロナ禍における乗客の減少の影響を受け，2022 年 3 月をもってコミュニティバス「すその一る」の運行を終了した一方で，国が新設した補助制度「地域旅客運送サービス継続事業」を県内で初めて活用し，「裾野市内循環線」の運行を開始した [3].

バスを利用して生活するために必要な施設への移動のしやすさ（アクセシビリティ）について把握することは，持続可能な公共交通を考えるうえで，重要であると考える．バス移動に関するアクセシビリティは，バス路線を評価し，さらに改善していくための貴重なデータとなり得る．

谷本ら(2009)[6]によればアクセシビリティ指標は以下の 4 つに分類される．

a)交通基盤に基づく指標
b)累積機会に基づく指標
c)効用に基づく指標
d)時空間プリズムに基づく指標

ここで，時空間プリズムに基づく指標は，多くのデータを必要とする点がこれまで課題とされてきた [6]が，オープンデータや GTFS(General Transit Feed Specification)の普及により取り組みは広まった．

薦田ら(2021)[7]は，時空間プリズム内の実行可能な時空間パスを時間配分として読み替え，それを数え上げることでアクセシビリティの多様性を評価した谷本ら(2009)[6]の指標を拡張し，バスダイヤなどのオープンデータを基に過疎地域の高齢者のアクセシビリティ指標として活動機会に着目して評価した．また GTFS データを活用した分析の取組として，Farbar et al.(2014)[9]は，各センサスブロックから最寄りのスーパーマーケットまでのアクセス

の平均レベルを調査した．また，柴田ら(2020)[10]は GTFS を用いた時空間プリズムを平面へ投影した面積である到達可能な空間的範囲(Potential Path Area; PPA)の変化から仙台市の地下鉄の開業による変化を明らかにした．また若尾らは GTFS を用いて，買物施設へのアクセシビリティを高齢者の人口カバー率に着目して評価し[11]，複数の施設を対象にすることや往復移動が可能かどうかについても評価している[12]．

若尾ら(2023)[12]の手法を簡潔に述べると，GTFS を基にオープンソースの経路検索ソフトである OpenTripPlanner(OTP)[13]を用いて分析している．任意の時刻に買物施設へ到着するための移動時間を可視化した等時間地図を OTP によって作成し，対象とする地区別の高齢者人口とその地域における等時間地図の境界範囲内の高齢者人口から，人口カバー率を算出することで，高齢者の買物施設へのアクセシビリティを評価している．また，市として守るべき公共交通を検討する上で複数施設を対象に往復移動を考慮したアクセシビリティは重要であると考え，バス路線の沿線において対象となりうる買物施設が複数存在する場合に，いずれかの施設へ行くことができるかどうかを考慮することと，買物施設に行けるかどうかだけでなく帰りも含めた往復移動が可能かどうかも考慮して評価している．

本稿においても若尾ら(2023)[12]の手法と同様に高齢者の買物施設へのアクセシビリティとして，複数施設を対象に往復移動を考慮したアクセシビリティを分析する．ただし，若尾ら(2023)[12]の手法では OTP(v1.5.0 注 1))を用いて往復移動可能範囲を算出していたが，OTP では分析時に不明瞭な部分として，設定した移動時間では移動できない範囲が移動可能範囲として出力される現象や，設定した最大徒歩移動距離の長さに応じない範囲が移動可能範囲として出力される現象が観察された．これらは分析者の意図とは異なる結果であり，課題と考えている．そこで本稿では，OTP を用いずに複数の対象となる買物施設への往復移動を考慮した人口カバー率を算出する方法を構築することを目的とする．

また，まちづくりのビジョンや移動目的など様々な理由により，移動に許容される時間や施設に滞在できる時間は異なることが容易に想像でき，アクセシビリティの分析結果はこれらの条件に影響する．地理情報システム(GIS)を用いたアクセシビリティ分析結果などの可視化は，専門家でない自治体職員や住民の理解の支援ツールとして有用であると言及されており[7),14),15]，本稿においても分析結果を GIS 上で可視化することは，地域住民との合意形成の支援となると考えている．そこで本稿では，GIS 上で人口カバー率と往復可能なバス停の位置を可視化すると共に，当該施設への移動時間や施設へ滞在可能な時間などを変数とし，これらが人口カバー率に及ぼす影響を可視化できるようにする．

2. アクセシビリティ分析

(1) 複数施設を対象に往復を考慮した分析

分析フローを**図-1** に，算出イメージを**図-2** に示す．時刻表，バス停位置，対象となる施設の情報を基に，バス停別に，対象施設へ往復移動ができる往路と復路の便の組み合わせを算出した．その後，設定した往復移動の判定条件（バスでの片道移動時間，施設滞在時間，所要時間）から往復移動可能かどうかを判定した．買物施設とその施設へ往復可能なバス停を中心に徒歩移動距離から往復可能範囲を求め，これと 65 歳以上の人口メッシュデータと区域データから GIS によって「往復移動を考慮した 65 歳以上の人口カバー率」（以降，特に説明がなければこれを「人口カバー率」と表記する）を算出した．

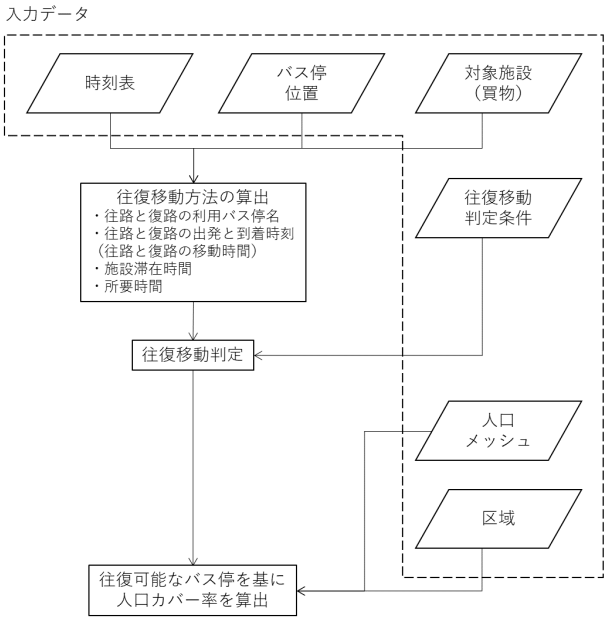


図-1 分析フロー

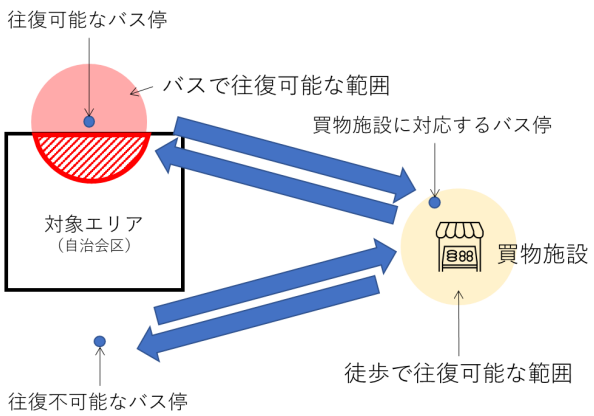


図-2 往復可能範囲の算出イメージ

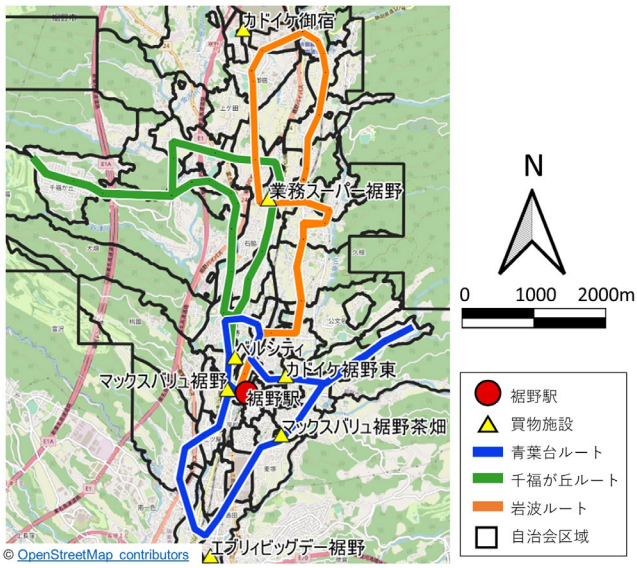


図-3　路線と買物施設（データ[16),17)]を加工して作成）

表-1　現状路線の概要

	裾野駅 出発時刻	青葉台・千福が丘ルート 月・火・木	青葉台・岩波ルート 水・金
1便	9:20	青葉台ルート	
	10:05	千福が丘ルート	岩波ルート
2便	11:20	青葉台ルート	
	12:05	千福が丘ルート	岩波ルート
3便	14:15	青葉台ルート	
	15:00	千福が丘ルート	岩波ルート

表-2　施設名と対応するバス停[注2)]

施設名	対応するバス停
ベルシティ裾野	裾野西小学校入口,平松上, 市立鈴木図書館入口
エブリィビッグデー裾野	小南
カドイケ御宿	トヨタ自動車東日本前
カドイケ裾野東	滝頭
マックスバリュ裾野	佐野原,裾野二本松南,裾野駅, 裾野駅入口,峰下入口,裾野二本松
マックスバリュ裾野茶畑	麦塚
業務スーパー裾野	福祉保健会館前, 裾野市福祉会館入口

なお人口カバー率は，対象エリア内における往復可能範囲（**図-2** における赤枠で囲われた半円部分）の 65 歳以上人口を対象エリアの 65 歳以上人口で除した値である．

(2)　分析方法の考え

移動目的は買物や通院などが考えられるが，本稿では買物を対象とした．また，買物施設として，市内の主なスーパー・複合施設から 7 店舗を選定し，これらの施設を対象に分析した．また，実際の利用者は自宅からの出発時刻を基準に，往復移動条件を満たす範囲で買物施設へ行けるかどうかを判断していると考えられる．そこで，1 日すべての便を対象にしたケースの他に，午前と午後のケースのそれぞれで往復判定を行って人口カバー率を算出した．

(3)　対象施設と路線

対象とした買物施設と路線の位置関係を**図-3** に示す．現在運行している裾野市内循環線（青葉台ルート，岩波ルート，千福が丘ルート）を対象路線として分析した．

a)対象路線[18)]

現在，裾野市で運行されている裾野市内循環線の概要を**表-1** に示す．裾野市内循環線は，3 つのルート（青葉台ルート，岩波ルート，千福が丘ルート）で 78 のバス停を結ぶ路線となっており，1 日に 3 便運行されている．曜日によって運行するルートは異なり，月・火・木曜日は青葉台ルート後に千福が丘ルートを，水・金は青葉台ルートの後に岩波ルートを運行するものとなっている．ルートは運行曜日が限定され，便数も 1 日 3 便と多くないが，裾野市の広い範囲をカバーする路線となっている．

午前と午後のケースで往復判定を行う際，午前は 1 便と 2 便，午後は 2 便と 3 便を利用して往復することとした．

b)買物施設に対応するバス停の選定

買物施設と買物施設に対応するバス停，すなわち往路で買物施設に向かうために降車するバス停（復路で乗車するバス停）を**表-2** に示す．買物施設に対応するバス停は，買物施設から徒歩移動圏（次節 a を参照）の 300m 以内のバス停とした．なお，施設によっては対応するバス停が複数存在する．

(4)　往復移動判定条件

買物施設への往復移動として，以下に示す a)～g)までの各移動を考え，往復移動の判定条件を設定した．

a)自宅からバス停までの徒歩移動

自宅からバス停までの徒歩移動可能な範囲は距離で規定した．バス停の勢圏として設定する徒歩移動距離は，地域公共交通計画等の作成と運用の手引の手引き[19)]に従い，本稿においても 300m とした．

b)バス停間の移動

往路で乗車するバス停から買物施設に対応するバス停までの移動は時間で規定した．移動時間は，バス時刻表を基にバス停間の出発時間の差から求めた．乗車時間は目的や目的地によって変わることが考えられるが，ここでは，高齢者が日常生活をするために必要な買物施設への移動を対象としているため 30 分以内とした．また，復路のバス停間の移動も同様とした．

c)バス停から買物施設までの徒歩移動

往路の降車バス停（買物施設に対応するバス停）から

買物施設までの移動は，距離を考慮しつつ最終的に時間で規定した．バス停から買物施設へは徒歩移動が生じるため，この移動距離は自宅からバス停までの徒歩移動距離と同様に，300m とした．また，往路の移動時においては，バスの出発時間に合わせて移動するが，ある程度時間に余裕をもって移動することが考えられる．そのため，高齢者の歩行速度から求めた 300m の移動時間（約 5 分）に追加して，復路では待ち時間として 5 分を考慮した．つまり，バス停から買物施設までの移動時間は往路と復路合わせて 15 分以内（往復の移動時間 5 分×2 と待ち時間 5 分）とした．

d)施設での買物

施設での買物行動は時間で規定した．買物する商品や施設によっても滞在時間は異なると考えられるが，ここでは 60 分以上とした．

e)買物施設からバス停までの徒歩移動

c)に記載．

f)バス停間の移動

b)と同様とした．

g)バス停から自宅までの徒歩移動

a)と同様とした．

以上を整理し，設定した往復判定条件を**表-3** に示す．所要時間については，バス停間の片道移動時間（往路と復路で各 30 分の計 60 分）と，施設滞在時間（60 分）と，バス停と施設間の往復移動時間（15 分）の合計値である 135 分以内とした．ここで設定した値はあくまでも一例であり，往復判定の設定値は 1 つであるとも限らない．往復判定に使用する条件や設定値は，バス路線の目的や目指す姿について，自治体，バス事業者，住民，他の交通サービス事業者などの関係者で議論を行って定めることが求められる．

なお，往復可能範囲は，往復移動判定条件によって求めた往復可能なバス停および買物施設から徒歩移動距離の 300m を半径とするバッファを GIS ソフトを用いて処理することにより作成した．

(5) 使用するデータ

人口カバー率を算出するために以下のデータを使用した．また，可視化にはオープンソースの GIS ソフトである QGIS[20]や，python の可視化ライブラリである folium[21]を用い，ベースマップとして OpenStreetMap[16]を用いた．

a)時刻表とバス停位置

裾野市内循環線の時刻表とバス停位置は GTFS データから読み取ったものを使用した．本稿では GTFS を基に作成したが，公開されている時刻表やバス停の位置から作成することも可能である．

b)人口メッシュ

本稿では 65 歳以上を高齢者とし，2020 年における国勢調査の 250m メッシュデータ[22]を用いた．

c)行政区域

裾野市の境界データとして，ふじのくにオープンデータにおける裾野市の行政区域データを用いた[17]．

3. 結果・考察

(1) 往復移動の判定結果と往復可能範囲

青葉台・千福が丘ルートの 1 日を対象に，**表-3** に示す条件で往復移動を判定した結果と，往復可能範囲すなわち買物施設とその施設へ往復可能なバス停から半径 300m の範囲を可視化した結果を**図-4** に示す．一部のバス停で往復不可能と判定されたが，多くのバス停で往復可能であった．往復不可能なバス停は，バスの出発起点である裾野駅と千福が丘ルートの折り返し地点の中間地より少し裾野駅寄りの場所に位置していた．**図-4** で往復不可能と判定されたバス停は，片道の移動時間が 30 分を超える組み合わせや所要時間が 135 分を超えてしまう組み合わせのみとなっていたため，往復不可能と判定されていた．

表-3 往復移動の判定条件

内容	条件
①バス停間の片道移動時間	30分以内
②施設滞在時間	60分以上
③バス停と施設間の往復移動時間	15分
所要時間（①×2+②+③）	135分以内

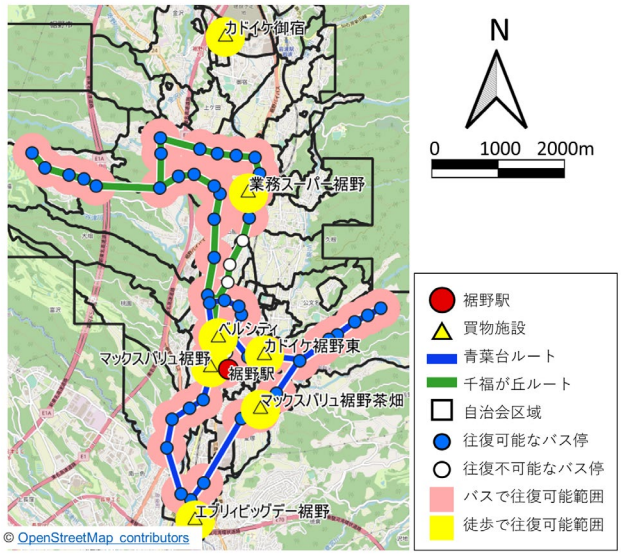


図-4 青葉台・千福が丘ルート（1 日）の往復可能なバス停と往復可能範囲（データ[16),17)]を加工して作成）

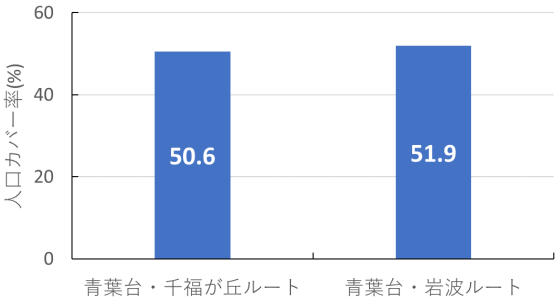


図-5　裾野市を対象とした各ルートの結果（1 日）

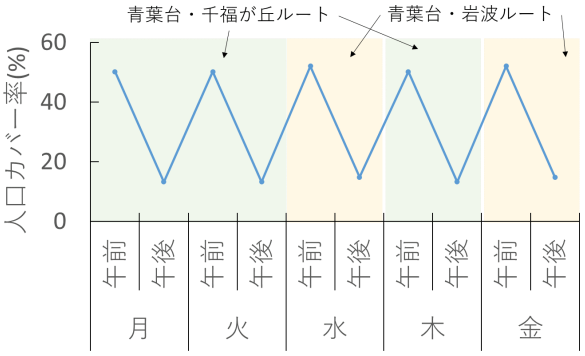


図-6　裾野市を対象とした各ルートの結果（午前，午後）

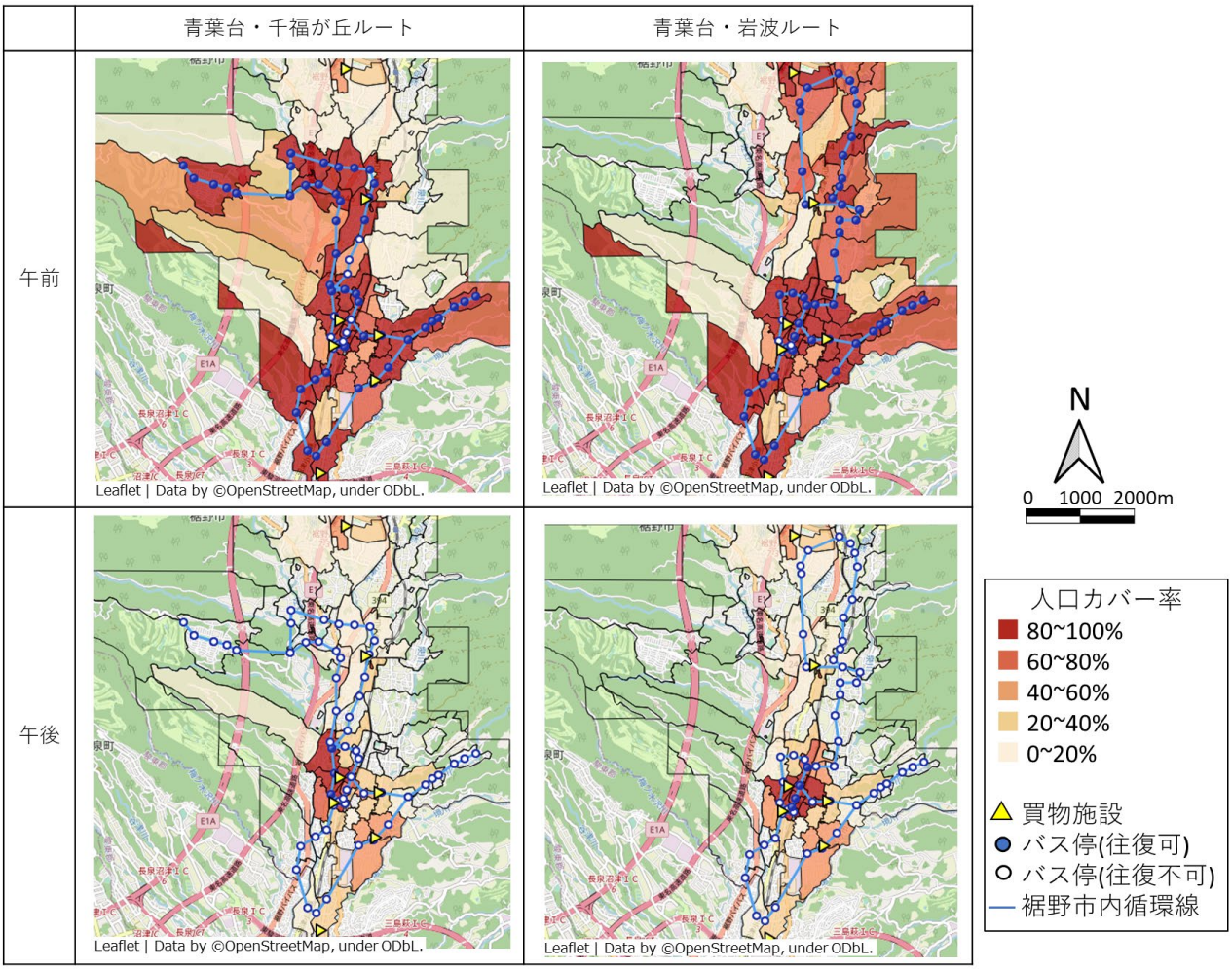


図-7　午前と午後の往復移動判定結果と自治会区別のカバー率（データ[16),17)]を加工して作成）

(2)　往復を考慮した人口カバー率

作成した往復可能範囲とメッシュ人口のデータから，裾野市全体を対象に人口カバー率を算出した結果を**図-5** と**図-6** に示す．**図-5** のように 1 日の場合はいずれのルートも約 50%程度であった．一方，**図-6** のように午前は約 50%程度だが，午後は約 15%であった．詳細については次節に記す．

(3)　午前と午後の結果と自治会区別のカバー率

午前と午後の結果について，往復移動判定した結果および自治会区別の人口カバー率の結果を**図-7** に示す．裾野市内循環線は青線，各自治会区の人口カバー率は色の濃淡で表されている．

午前だと往復可能なバス停が多く，路線の沿線で人口カバー率の高い自治会区が確認できる．しかし，午後だと，往復可能なバス停が少なかった．午前の 1 便と 2 便の間隔は 120 分であるのに対し，午後の 2 便と 3 便の間

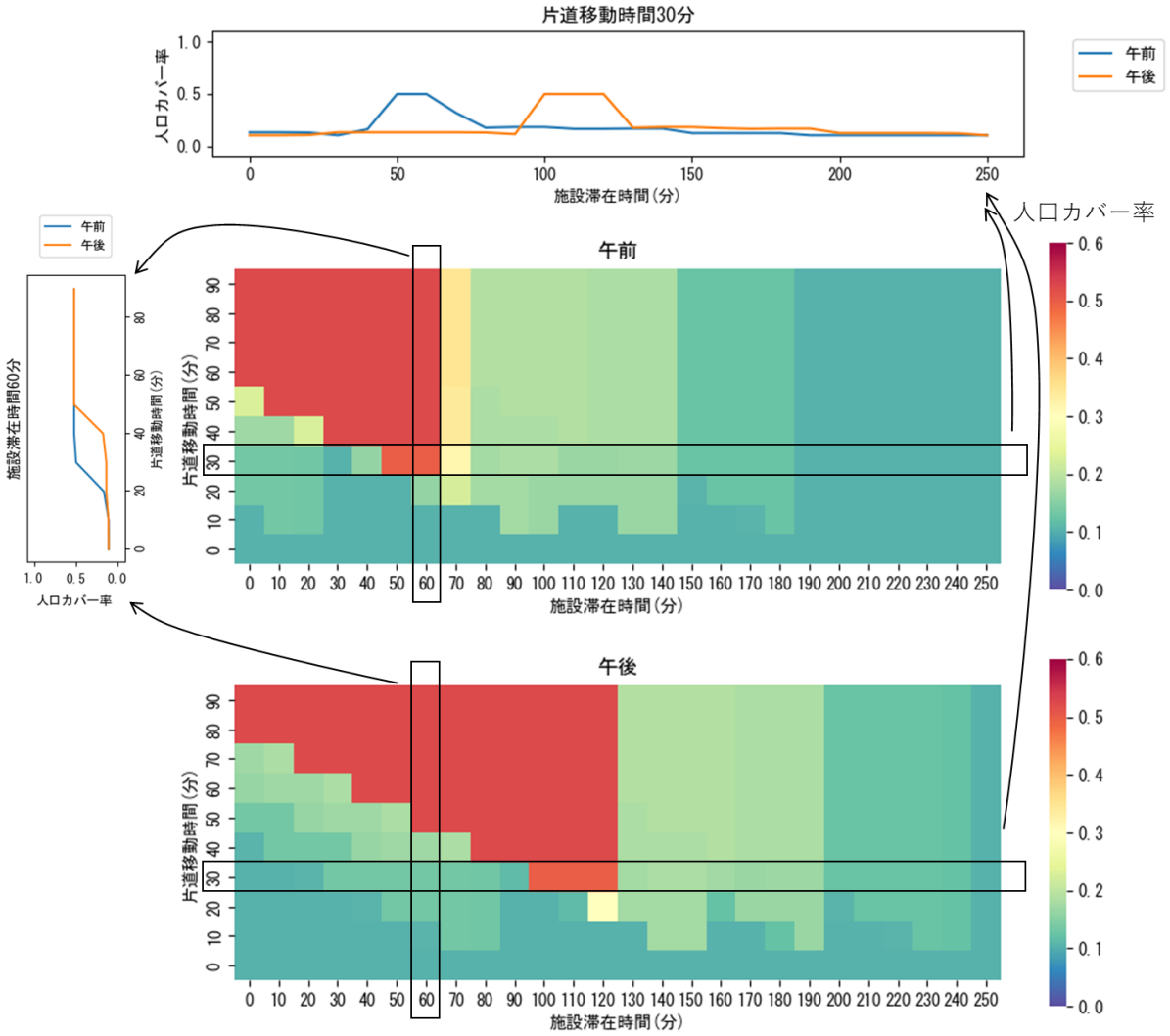


図-8　片道移動時間と施設滞在時間に対する人口カバー率（青葉台・千福が丘ルートの午前と午後）

隔は 175 分もある．そのため，午後では所要時間の上限である 135 分を超えてしまい往復不可能なバス停が多く生じたと考えられる．自治会区別のカバー率は，買物施設と往復可能なバス停に近い自治会区で高く，そうでない自治会区は低かった．午前と午後で自治会区別のカバー率は大きく異なることが分かった．

(4)　移動時間と施設滞在時間によるカバー率変化

青葉台・千福が丘ルートの午前と午後を対象に，往復移動の判定条件のうち，片道移動時間と施設滞在時間の条件をそれぞれ変化させて人口カバー率を算出した結果を**図-8** に示す．施設滞在時間を 60 分とし，片道移動時間を 0 分～90 分まで変化させると，午前では片道移動時間 30 分で，午後では片道移動時間 50 分でカバー率は最大値を示し，それ以降は一定に推移した．また，片道移動時間を 30 分とし，施設滞在時間を 0 分～250 分まで変化させると，午前では施設滞在時間が 50～60 分の時に，午後では施設滞在時間が 100～120 分の時にカバー率は最大値を示した．本報の**表-4** で設定した往復移動判定条件（片道移動時間 30 分，施設滞在時間 60 分）における人口カバー率は，午前で 50%程度であるのに対し，午後では 15%程度と午前に比べて午後の人口カバー率は低かった．その一方で，例えば，往復移動判定条件が片道移動時間 30 分で施設滞在時間 120 分とすると，午後の方が午前より人口カバー率が高くなるなど，同じ路線でも対象とする時間帯や設定する往復移動判定条件によって人口カバー率が異なることを確認することができた．

片道移動時間と施設滞在時間を変化させた場合の人口カバー率を可視化することで，対象とする路線や時間帯にとって，最も人口カバー率の高くなる条件を把握することができた．

4.　まとめ

本稿では，OTP を用いずに，往復移動を考慮したアクセシビリティ分析手法を構築し，裾野市内循環線を対

象に，出発時刻基準として午前と午後のケースにおける往復移動を考慮した人口カバー率を算出した．また，往復移動の条件（片道移動時間と施設滞在時間）を検討するために，これらの条件を変えた場合の人口カバー率の変化を可視化した．これらを用いることにより，自治体がバス路線を評価し，さらに住民との対話を進める上でも活用できると期待できる．

本稿では，路線の便数が少ないことから午前と午後の 2 つの時点で分析を行ったが，例えば出発時刻 10 時を条件として同様に分析することは可能であると考える．また，裾野市内循環線のみを対象としたが，裾野市内では他の路線バスも運行している．これらの路線についても同様に分析し，路線別に算出した往復移動方法を合わせてから，往復移動判定や人口カバー率を算出することで，裾野市内を通るバスを対象にした買物施設への往復移動を考慮した人口カバー率を算出することなどが，今後の取組として挙げられる．

謝辞：本研究の遂行にあたり，裾野市，トヨタ自動車株式会社，矢崎総業株式会社，株式会社三ツ輪交通自動車の皆様には多大なご助言，ご協力をいただきました．ご協力いただいた皆様に深謝いたします．

付録

注1）これまで v2 では到達圏分析が未対応であったが，2022 年 11 月にリリースされた v2.2.0 で対応された．本稿では v1.5.0 で生じる現象について記しており，v2.2.0 以降で同様の現象が生じるかどうかは把握できていない．

注2）小南とトヨタ自動車東日本前は，本稿で対象とした裾野市内循環線（青葉台・千福が丘ルート，青葉台・岩波ルート）では停車しないバス停である．

参考文献

1) 国土交通省：令和 3 年度全国都市交通特性調査結果（速報版）.(引用日: 2023 年 10 月 3 日.) https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001573783.pdf
2) 内閣府：令和 5 年版高齢社会白書（全体版） 第 1 章 第 1 節 3 家族と世帯．(引用日: 2023 年 10 月 3 日.) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/pdf/1s1s_03.pdf
3) 裾野市：裾野市内循環線の運行開始，裾野市公式ウェブサイト. (引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://www.city.susono.shizuoka.jp/kurashi/4/1/16776.html
4) Kwan, M. P.: Space-Time and Integral Measures of Indvidual Accessibility: A Comparative Analysis Using Point-based Framework, Geographical Analysis, Vol.30, No.3, pp.191-216, 1998.
5) Geurs, K. T. and van Wee, B.: Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions, Journal of Transport Geography, Vol.12, pp.127-140, 2004.
6) 谷本圭志，牧修平，喜多秀行：地方部における公共交通計画のためのアクセシビリティ指標の開発、土木学会論文集 D、Vol.65、No.4、pp.544-553、2009
7) 薦田悟、尾崎拍夢、四辻裕文，喜多秀行：活動機会拡大のための地域公共交通計画策定支援手法の実用化，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.76，No.5(土木計画学研究・論文集第 38 巻)，I_1209-I_1223，2021.
8) 喜多秀行，辻皓平，四辻裕文：公共交通の整備順位評価のためのアクセシビリティ指標に関する一考察，交通工学研究発表会論文集，Vol.34，pp.457-462，2014.
9) Farber, S., Morang, M.Z. and Widener, M.J.: Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets, Applied Geography, Vol.53, pp.149-159, 2014.
10) 柴田嶺，吉川湧太，今川諒，磯田弦，関根良平，中谷友樹：GTFS を用いた仙台市地下鉄東西線開業前後の時空間アクセシビリティ変化に関する研究，日本地理学会発表要旨集，97 号，pp.258，2020
11) 若尾真里，日高健：GTFS データを活用した裾野市内の地域公共交通サービスのアクセシビリティ分析，土木計画学研究発表会・講演集，(CD-ROM)，Vol.66，2022.
12) 若尾真里，山田洋行，日高健：裾野市における高齢者を対象とした買物施設へのアクセシビリティ評価，第十八回日本モビリティ・マネジメント会議，2023.
13) OpenTripPlanner, (引用日：2023 年 8 月 1 日), https://www.opentripplanner.org/.
14) 森山昌幸，藤原章正，杉恵頼寧：GIS を活用した中山間地域の公共交通計画支援ツールの開発，土木計画学研究・論文集，Vol.21，No.3，pp.759-768，2004.
15) 小山茂，谷口滋一，轟朝幸，大西貴佳：住民参加型コミュニティバス計画のための情報提示型システムに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.23，no.3，pp.763-770，2006.
16) OpenStreerMap.(引用日: 2023 年 8 月 1 日.) www.openstreetmap.org.
17) ふじのくにオープンデータカタログ：裾野市 行政区域図.(引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://opendata.pref.shizuoka.jp/dataset/8059.html.
18) 裾野市：裾野市内循環線リーフレット.(引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://www.city.susono.shizuoka.jp/material/files/group/11/chirashi_fujiyuu.pdf.
19) 国土交通省：地域公共交通計画等の作成と運用の手引き 詳細編. (引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000058.html.
20) QGIS. (引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://qgis.org/ja/site/index.html.
21) Folium. (引用日: 2023 年 8 月 1 日.) https://python-visualization.github.io/folium/.
22) e-Stat：国勢調査 2020 年 5 次メッシュ(250m メッシ

ュ) 人口及び世帯. (引用日:2023 年 8 月 1 日.) https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2020&aggregateUnit=Q&serveyId=Q00200511202 0&statsId=T001102.

(2023.?? 受付)

ACCESSIBILITY ANALYSIS FOR THE ELDERLY TO GET TO SHOPPING FACILITIES USING CIRCULATING BUS

Hiroyuki YAMADA, Mari WAKAO and Ken HIDAKA

.