

コンパクトシティのための目標達成度・効率性等による都市交通の性能評価指標の提案

栄徳 洋平¹・渋川 剛史¹・川松 裕太²・吉田純土³・新階 寛恭⁴

¹正会員 株式会社福山コンサルタント（〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-21 住友不動産飯田橋ビル）
E-mail: eitoku@fukuyamaconsul.co.jp shibu@fukuyamaconsul.co.jp

²非会員 前株式会社福山コンサルタント（〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-21住友不動産飯田橋ビル）
E-mail: y.kawamatsu@fukuyamaconsul.co.jp

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）
E-mail: yoshida-j23j@nilim.go.jp

⁴正会員 前国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）
E-mail: h.shingai1494@city.niigata.lg.jp

コンパクト+ネットワークが都市政策の重要な課題となっているなか、KPI指標などにより継続的に都市を診断し、施策評価とともにその進捗状況や成果についても把握することが必要となっている。コンパクト+ネットワークを達成するためには、土地利用や施設配置、交通サービス等の様々な施策を組み合わせる必要があることから、アクセシビリティ指標を活用し、生活活動のしやすさを評価する指標として用いることにより、それら複合的な要因による効果を評価する指標を検討する。また、持続的に都市を運営する観点から効率性評価指標、また低サービス状況を評価するために公平性評価指標についても提案する。

Key Words : *accessibility, standard technique, compact plus network*

1. 背景と目的

人口減少、高齢化が進む中、都市の活力を維持するとともに医療・商業等の生活機能を確保するため、地域公共交通ネットワークと連携してコンパクトなまちづくりが求められている。この実現のため、立地適正化計画や公共交通網形成計画等が推進されている。わが国の経済社会構造が急速に変化する中、コンパクトプラスネットワークを形成するためには、限られた財源を有効に活用しながら、証拠や客観的データに基づいた政策形成（EBPM, Evidence Based Policy Making）や、PDCAサイクルによる政策実現を図る必要がある。

一方で、コンパクトプラスネットワークによる政策を評価する際、いくつかの留意点に配慮する必要がある。まず、ICTを活用した移動サービスや自動運転技術など、移動の可能性を広げる交通システムが急速に進化しつつあり、提供されるサービスが多様化している。そのため、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た評価が必要となっている。二番目に、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

テークホルダーが関係していることから、多様な関係者の立場を反映可能とする評価指標を適切に設定する必要がある。三番目に、コンパクトプラスネットワークは、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、土地利用計画、施設配置計画、交通計画を総合的に取組む施策であり、それらを俯瞰して評価する指標の開発が必要となっている。

これらの背景を踏まえて、本論文の目的は、多様な交通手段・サービスが新たに開発されつつある中、各自治体が、「市街地の広がりなどの土地利用の在り方」と「都市集積状況の在り方」、さらに「交通サービスのあり方」を総合的に評価するため、自らのまちにおける移動に関する各種水準や問題点を認識し、立地適正化計画や公共交通網形成計画等の施策を立案する際に活用可能な指標として、都市交通に関する性能評価手法の標準手法を提案する。

2. 既存調査のレビューと本稿の位置づけ

政策を評価するための観点として、必要性、効率性、有効性、公平性、有意性の観点が必要である。本論文では、都市や地域診断する観点として、必要性、効率性、

公平性に着目し、政策・施策を診断する指標として有効性に着目する。

本論文では、必要性を評価する指標として、「移動のしやすさ」を表現するアクセシビリティを用いることで地域間等のサービス水準を評価する。アクセシビリティとは、一般には人々があるサービスを利用するに当たり、サービスへの到達のしやすさを評価するものであり、谷本ら²⁾によると、「基礎的な生活活動のしやすさを総合的に評価しうる指標」と定義付けられている。

アクセシビリティ指標については、多くの研究が実施されている。アクセシビリティの都市政策での活用を紹介した論文として、高見³⁾の研究がある。高見は、イギリスのアクセシビリティ・プランラング「AP」では、アクセシビリティ指標を交通計画単独ではなく土地利用計画や各種サービス提供セクターとの関係を図る指標とし、また、多部門間で共有できる客観的な指標であると見做し、対象地域におけるアクセシビリティを図化・評価し、問題の優先度順位付けを実施し、施策オプションを選定・実行したうえで、毎年モニタリングを実施する、一連のプロセスでの重要な指標としている。

国内においては、平成26年6月に、「アクセシビリティ指標活用の手引(案)(国土技術政策総合研究所)」が公表されている。この手引きでは、対象とする都市内のアクセシビリティを面的に捉え、アクセシビリティ上の問題地域をあぶりだすとともに、特定拠点への圏域人口を算出し都市全体を集計することが可能となっている。

一方、交通政策の公平性を評価した論文として、加地⁴⁾、岸野⁵⁾、筆者⁶⁾等の論文がある。加地らは、地域別のアクセシビリティ指標を用いてジニ係数を算出し都市全体の公平性を評価している。岸野らは、アクセシビリティの最大値に対する充足度を算出し公平性を評価している。筆者らも、地区別のアクセシビリティ水準相当するQOM指標に対して、Atkinson指標を用いて都市全体の公平性を評価している。

効率性評価指標として、本論文では、包絡分析法(DEA : Data Envelopment Analysis) を用いて評価する。DEA手法は、効率性を分析する方法の1つであり、民間企業だけでなく、効率性を評価することが難しい非営利公企業など幅広い分野で利用されている。DEA手法を交通評価手法に適用とした事例として、吉野⁷⁾らは、小地区別の潜在的な公共交通需要を定量化し評価している。また荒谷⁸⁾らは、都市間の航空・鉄道を対象にして、都市間モビリティ水準をDEA手法を用いて定量化している。

施策の効果を評価する指標として、費用便益分析による効率性評価が実務において定着している。一方、有効性評価指標は、政策によって生み出された効果が政策の目的や目標を達成しているかを表す観点であり、政策の効果を達成状況を目的や目標に照らして見るものである。

3. 評価指標の提案

(1) 評価指標の提案

表1~4に評価指標を提案する。都市の状態を診断する指標として、ステークホルダー別の必要性、公平性、効率性の視点で評価指標を設定し、アクセシビリティ指標を用いて、都市における生活活動のしやすさを総合的に評価する指標としている。一方、実施施策を診断する指標は、アクセシビリティ指標による効果の達成状況により、その施策の有効性を評価する指標としている。

事業者は効率性評価を、住民・利用者は自らの交通水準等を評価している。一方行政は、他都市との比較において自市町村レベルを評価する指標と、都市内の格差等を評価する指標に分けている。

表1 利用者から見た評価指標

項目	評価内容	指標
居住ACC水準比較	自分の住んでいる地域が、他の地域に比べて便利なのかどうか	ゾーン別アクセシビリティ水準
移動ACC水準比較	自宅から目的地までの移動は、他の移動に比べて便利なのかどうか	ゾーン間アクセシビリティ
潜在需要と公共交通網の一致率	公共交通により目的地への行く際に、運行サービス(運行本数や所要時間)が十分に備わっているか	OD別運行本数等/各OD間の潜在需要
居住コストに対するACC水準の効率性	住むことによって支払っているコスト(家賃、移動コスト)に対して、便利なのかどうか	対象ゾーンのアクセシビリティ水準/(家賃+移動コスト)

表2 交通事業者から見た評価指標

項目	評価内容	指標
路線効率性	公共交通機関の系統別に見た際に、その系統に提供している運行サービス(運行本数)に対して、利用者が十分に乗車しているか	系統別利用者数/系統別運行本数
集客効率性	都市内移動の潜在需要に見合った公共サービスが提供されているか	系統別運行本数/系統別潜在需要
収益性	無駄な運行をしていないか。効率的な交通機関であるかどうか。	系統別利用者数/系統別走行経費

表3 立地施設事業者から見た評価指標

項目	評価内容	指標
背後圏人口	対象施設の背後圏内に施設が立地可能となる人口を確保しているか	隣接施設との競合を考慮した背後圏人口
施設ACC水準比較	対象施設に便利に行くことができるか	立地施設の来訪魅力度

表4 行政から見た評価指標

	項目	評価内容	指標
都市診断	活動機会の水準評価	他都市に比べて、高い水準で交通サービス水準が確保されているか。	対象都市の活動機会指標
	中心部ACCの達成度評価	中心部へのアクセス水準が、基準都市の水準と比較してどの程度か	対象都市アクセシビリティ水準/基準都市でのアクセシビリティ水準
	ACC水準の公平性評価	公平に交通サービスが提供されているか	アクセシビリティの不平等指標
	都市コストに対してACC水準の効率性	他都市に比べて、効率的な都市経営を実施しているか	対象都市のアクセシビリティ合計値/都市経費
都市内診断	シビルミニマム	交通弱者に交通サービスを提供しているか	交通空白・不便地域の人口割合
	公共交通需要に対する公共交通サービスの効率性	都市内移動の公共交通需要量に見合った公共サービスが提供されているか	各OD間の公共交通需要量/(OD別運行本数、所要時間)
	地区別の交通水準の効率性	都市経営上、非効率な地域はどこか。(目的地までの移動負担金+上下水道維持費)	ゾーン間のアクセシビリティ合計値/ゾーン別都市経費
施策	施策有効性	実施施策が、アクセス水準の改善に寄与しているかどうか。	アクセシビリティの効果/事業費

(2) アクセシビリティ指標

アクセシビリティ指標は、各居住地区における各種目的的活動しやすさを評価する指標として、目的地の魅力値 W_j を i ゾーンから各目的地ゾーン j へ移動に要した一般化費用で逓減し、それをすべての目的地について合計して求める。また、ある地区の施設への他地域から集まりやすさを来訪魅力度として評価する。

具体的には、都市全体のアクセシビリティ指標を算出するために、待ち時間やアクセス時間による抵抗を考慮した拠点間の手段別換算時間 T_{ij}^{km} を算出する。

$$T_{ij}^{km} = time_{ij}^m + a \times wait_{ij} + b \times access_{ij} + c \quad (1)$$

ここで、 k は目的又は目的施設、 m は交通手段であり、表5の設定とする。 $time_{ij}^m$ は機関利用の所要時間、 $wait_{ij}$ は待ち時間、 $access_{ij}$ はアクセス時間。

拠点間の手段別換算時間 T_{ij}^{km} から、ログサムによる手段統合した換算時間 T_{ij}^k を算出し、さらに、拠点間の

アクセシビリティ ACC_{ij}^k を算出し、それに目的地の魅力度を乗じた値を集計したゾーン i のアクセシビリティ AC_i^k 、さらに、それを合計した都市全体のアクセシビリティ WAC^k を、以下のように算出する。また、目的地の来訪魅力度は、拠点間のアクセシビリティ ACC_{ij}^k に各ゾーンの人口を乗じて算出する。

$$T_{ij}^k = -\ln \sum_m \exp(-T_{ij}^{km}) \quad (2a)$$

$$ACC_{ij}^k = \alpha (T_{ij}^k)^{-\beta} \quad (2b)$$

$$AC_i^k = \sum_j W_j ACC_{ij}^k / \sum_j W_j \quad (2c)$$

$$WAC^k = \sum_i^N P_i^k AC_i^k / \sum_i^N P_i^k \quad (2d)$$

$$ACP_j^k = \sum_i^N P_i^k ACC_{ij}^k \quad (2e)$$

ここで、ゾーン i の人口は P_i^k 、ゾーン j の魅力値 W_j は、施設規模または施設有無であり、 α, β はパラメータ。本論文では、現況の魅力値 W_j は、施設有無とし、将来の商業施設等の魅力度 W_j は、現況施設魅力度 W_j に対象都市の人口減割合を乗じて算出。

活動機会指標 AOI を下式のように設定する。これは、例えば基準となる所要時間 T_{ij}^k 5 分のところに、いくつかの施設が立地しているかを評価する指標となる。

$$AOI^k = WAC^k / \alpha (T_{ij}^k)^{-\beta} \quad (3)$$

表5 目的施設等の諸条件の設定

目的 k	通勤、通学、業務、私用(非高齢者)、私用(高齢者)
目的施設 k	街の中心、広域交通拠点(中心駅) 大規模商業施設(店舗面積1万㎡以上) 高度医療施設(2,3次救急医療施設)
交通手段 m	自動車、公共交通機関

(3) 不平等指標

不平等指標として、アトキンソン指標を用いる。アトキンソン指標は、不平等回避度を表すパラメータ ϵ を特定することで不平等の程度を評価する指標である。例えば、アトキンソン指標 A がたとえば 0.2 と算出された場合、これは、もし資産が各世帯に完全に平等に分配されるなら、社会全体の資産総額が実際の 80%(1-0.2)に減っても、現在と同じだけの社会的厚生水準(均等分配等価所得) y_e が得られるとの指標である。

$$y_e = \mu(1 - A) \quad (4)$$

ここで、 μ は資産額の平均値。

本論文では、アトキンソン指標として式(5)を用いて、

アクセシビリティの不平等を指標化する。各ゾーン i のアクセシビリティ AC_i^k を y_i とおき、アクセシビリティ AC_i^k の平均値を μ 、人口を n とする。

$$A = 1 - \left\{ \frac{1}{n} \sum_i^n \left(\frac{y_i}{\mu} \right)^{1-\varepsilon} \right\}^{1/(1-\varepsilon)} \quad (5)$$

(4) 中心部へのアクセスの達成度評価

対象都市と同規模の基準都市に対して、中心部へのアクセス目的 k のアクセシビリティ達成度 LAA^k は、基準都市のアクセシビリティ WAC^k に対する対象都市の割合を用いて評価する。

$$LAA^k = WAC^k / WAC_0^k \quad (6)$$

基準都市については、人口密度から設定した同心円状の都市形態とする。具体的には、対象都市の人口が、市街地に基準人口密度で均一に集積した基準都市を設定する。基準人口密度 \times 基準円面積 = 都市人口とすると、対象都市の基準円の半径 R は、以下ようになる。

$$\text{半径 } R = \sqrt{\frac{\text{都市人口}}{\text{基準人口密度} \times \pi}} \quad (7)$$

この半径で構成される都市とし、500mメッシュでゾーンが構成されるとする。基準都市の人口密度及び交通条件は、各種既存調査等から目標値となる水準を設定する。(表-6) 各ゾーンから目的施設まで直線でアクセスできると仮定し、拠点間の所要時間を算出する。基準都市の中心部への WAC_0 は、図1のように都市規模別に算出することが可能となる。都市が大きくなるに従い、中心部へのアクセス時間が長くなることから、 WAC_0 は減少傾向にある。公共交通機関は、アクセス時間や待ち時間により、自動車に比べて WAC_0 が低くなっている。

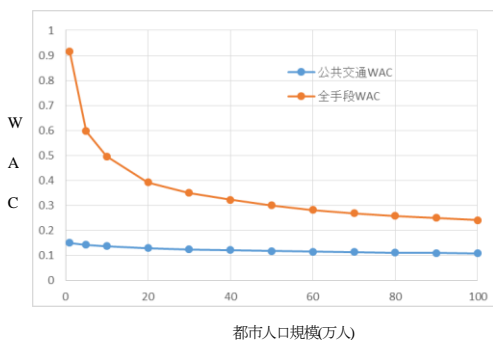


図1 基準都市のアクセシビリティWAC

表-6 サービス水準の設定

	水準及び、設定根拠
人口密度	40人/ha
自動車の旅行速度 一般道30km/h 都市高速道路60km/h	現況DID混雑時平均旅行速度20km/h 都市高速道路の規制速度
バス・鉄道旅行速度	20km/h(基幹的なバスサービス)
バス・鉄道運行本数 6本/時間(10分間隔)	自動車利用者が公共交通機関へ転換する際の交通条件として、10分間隔であれば、6割転換意向あり。(資料:熊本都市圏PT調査)
バス・鉄道アクセス距離 300m	概ね300m以内がバス勢力圏となる。(資料:熊本都市圏PT調査)

(5) 公共交通需要に対する公共交通サービスの効率性

この指標は、都市内移動の顕在需要に見合った公共サービスが提供されているかを評価する指標である。DEA (Data Envelopment Analysis : 包絡分析法)を用いて、入力を「バスサービスによって提供されるポテンシャル」とし、出力を「実バス利用者数」と置き、D効率値を算出することによって定量評価する。DEAの分析対象としての事業体を都市内の各OD間と置くことにより、効率性が低いODほどD効率性は1から離れた値となり、改善が必要なODとなる。

入力値である「バスサービスによって提供されるポテンシャル」は、バス運行本数、所要時間とする。DEAでは、出力変数と正の相関を仮定した入力変数を選定する必要があるため、所要時間については、観測値をそのまま用いるのではなく、歩行所要時間を用いて、下記式を用いて順位逆転処理を行った結果を用いる。

$$T_{ij}^{BUS'} = T_{ij}^{TOH} - T_{ij}^{BUS} \quad (8)$$

(6) 公共交通網の一致率

この指標は、公共交通により目的地へ行く際に利用可能な公共交通網があるか否か、または、運行サービス(運行本数や所要時間)が十分に備わっているかを評価する指標である。DEAを用いて、入力を「OD間の交通需要ポテンシャル」とし、出力を「OD間で提供しているバスサービス水準」と置き、D効率値を算出する。具体的には、入力値を「全手段のOD交通量」とし、出力値には、バス運行本数、所要時間、バス停密度が考えられる。

(7) 地区別の交通水準の効率性

この指標は、ある地区に居住することで生じる都市維持コストに対する交通利便性の水準をDEAにより算出するものである。表7に示すように、入力は「そのゾーンの維持コスト」と「移動によって生じる維持コスト」

からなり、出力は、そのゾーンの移動のしやすさであるアクセシビリティ AC_i^k とする。

表7 都市維持コストの算出方法

市街地維持コスト	人口密度別一人当たりの行政コスト原単位に、人口数を乗じて算出
道路維持コスト	各道路リンクの交通量に対する、利用するゾーンの利用交通量の割合を求め、これに区間別維持コストを乗じて対象ゾーンの維持コスト相当額を算出し、全区間で総合計する。

(8) 施策の有効性

ここでの施策有効性は、施策の事業コストに対して、移動のしやすさであるアクセシビリティの改善効果を除くことで算出する指標である。

$$BT = BT_0 - BT_w \quad (9a)$$

$$BT_l = \sum_i^N P_i^k AC_i^k \quad (9b)$$

ここで、 BT はアクセシビリティ改善効果、 BT_l はケース l の場合のアクセシビリティ合計値、ケース l が現況の場合 O 、施策後の場合 W

4. 評価指標によるケーススタディ結果

熊本都市圏において、前節で検討した指標を用いて分析を行う。熊本都市圏の現況及び将来の人口が一律減少したケースと、中心部に人口を集中させたケースのフレームを任意に設定し、時間軸上での評価も実施している。

(1) ゾーン別アクセシビリティの比較

図 2, 3 は、それぞれ中心部と高次医療施設へのアクセシビリティを図化したものである。目的別手段別に地域別のアクセシビリティ水準の高低差が抽出可能となっている。

(2) 都市間の活動機会指標の比較

基準時間 5 分での活動機会指標が表 8 のように算出することができる。この指標は都市ごとに算出することが可能となるため、都市間を評価可能な数値となる。

(3) ACC 水準の公平性評価

図 4 は、現況および将来において人口が一律減となる場合と、中心部に人口を誘導した場合の都市における活動機会指標と不平等指標を表したものである。

人口一律減ケースに比べて、中心部誘導ケースにおいて、活動機会指標や不平等指標の改善が確認できる。

(4) 中心部 ACC の達成度評価

図 5 は同規模の人口を有する基準都市と比べた対象都市の達成度評価指標である。現況に比べて一律に人口減ケースでは達成度評価が減少するも、中心部誘導ケースにおいて、現況水準まで回復する。全手段に比べて、公共交通の水準が低いことも確認できる。

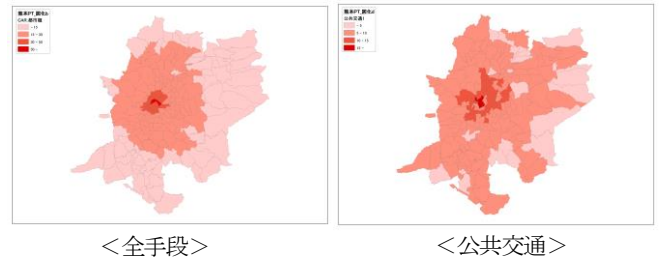


図2 都心部へのアクセシビリティWAC

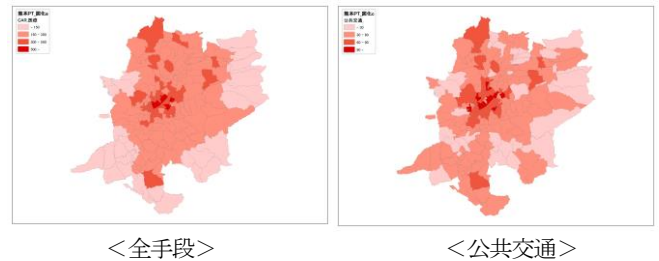


図3 医療施設へのアクセシビリティWAC

表8 目的別活動機会指標

	高次医療施設	大規模商業施設	広域交通拠点	高次都市機能
自動車	12.05	6.64	0.53	0.56
公共交通	2.41	1.77	0.20	0.23

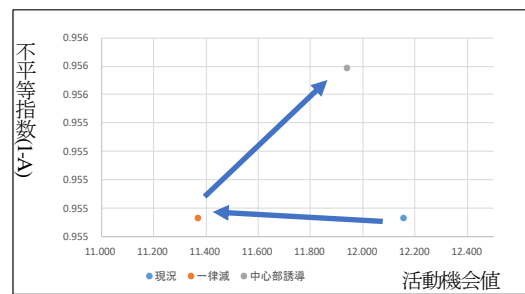


図 4 活動機会値と不平等指標の施策評価 (全手段：高次医療施設)

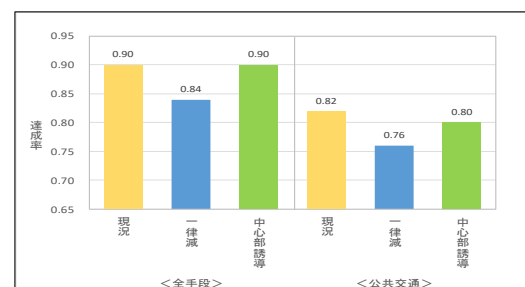


図 5 施設別の達成度評価(中心部アクセス)

(5) 公共交通需要に対する公共交通サービスの効率性

図 6 は、各 OD のバス運行本数に対してバス利用者数を図化したものであり、効率的フロンティアは概ね引くことができる。ただし、バス OD は代表手段であり、対象ゾーンにバスが運行されていないとしても、隣のゾーンから利用したバス OD も計上されていることから、厳密な効率的フロンティアとなっていない。図 7 は中心部に発着するバスを対象に D 効率性を算出したものである。郊外部に比べて市街地は D 効率性が高いものの、市街地の南側地区は D 効率性が低いことが読み取れる。この地区は放射状の幹線道路が未整備地区であり、バスが迂回していることから、このような結果となっていると想定される。

(6) 公共交通網の一致率

図 8 は、各 OD の全手段 OD 量に対してバス運行本数を図化したものであり、効率的フロンティアを図化することができない。バス路線の場合、始発ゾーンから終着ゾーンまでに至るまで、利用者のいないゾーンを通過することがあるため、利用者が少ないにも関わらずバスが過大に運行されている。図 9 では、潜在需要が多いにも関わらずバスが運行されない地区が把握できる。

7. 課題とまとめ

本稿では、コンパクトシティを評価する実用的な性能評価指標を提案した。PTデータのある熊本で適用したが、多くの地方都市では十分なデータを入手することが課題となる。また、ゾーンの大きさのアンバランスが評価に影響を与えていることから、メッシュ単位で評価することでバス停からの勢力圏により厳密な評価が可能となりことから、これらデータ変換法の検討が必要である。

参考文献

- 1) 新階ら,新たな技術を踏まえた都市交通計画手法に関する研究,アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第 29 回技術研究発表会, B01, U I T, 2017.11
- 2) 谷本ら:地方部における公共交通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,No4,pp544-553 2009
- 3) 高見淳:英国・イングランドにおけるアクセシビリティ・プランニングとその空間計画へ適用,都市計画報告集 No.10,2011 年 11 月, pp.145-148,
- 4) 加地ら:ポテンシャル型アクセシビリティに基づく交通利便性評価指標群とその地方都市への適用,土木計画学研究・論文集,No.23,no.3 2006.9
- 5) 岸野ら:活動機会の公平性を考慮したバスダイヤの評価指標,社会技術研究論文集 Vol7,152-161,Mar.2010
- 6) 栄徳ら, QoM 指標によるモビリティ水準の地域間比較手法の提案 土木計画学研究論文集 Vol.25 2008
- 7) 吉野ら DEA に基づく公共交通潜在需要評価モデルの

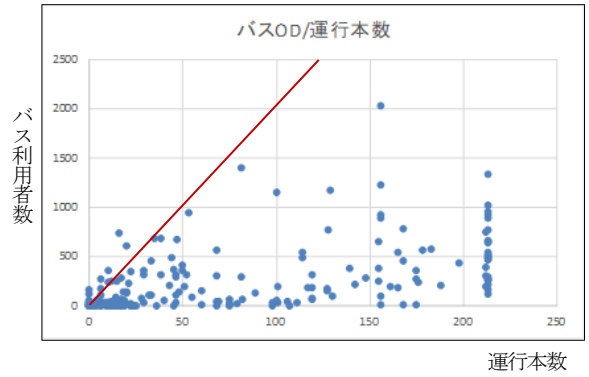


図 6 バス運行本数に対するバス利用者数の評価

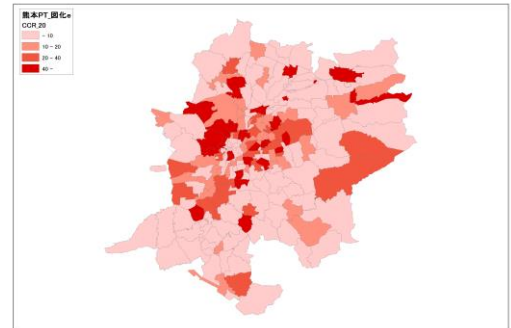


図 7 中心部への公共交通サービス効率性 (入力: 運行本数、出力: バス利用者数)

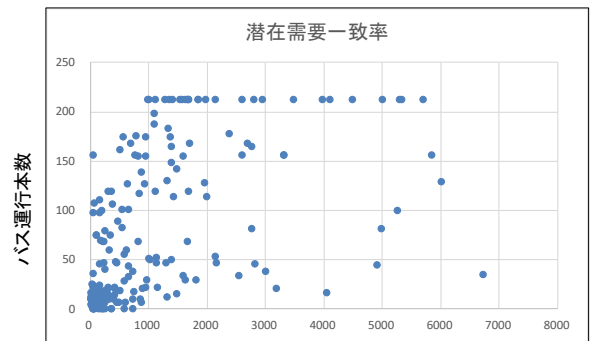


図 8 潜在需要に対するバス運行本数の評価

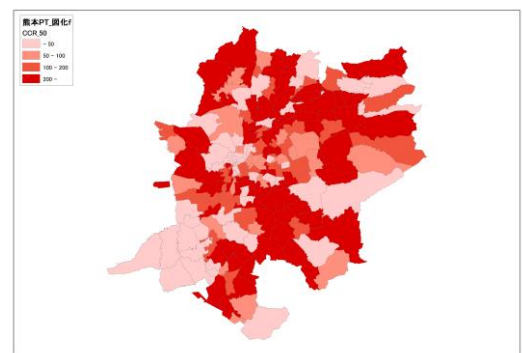


図 9 中心部への公共交通網の潜在需要に対する一致率

提案と被災地でのケーススタディ,土木学会論文集 D3,vol.71,No.5

- 8) 荒谷ら,わが国の都市間公共交通モビリティに関する時系列分析,土木計画学研究・論文集 Vol27 No.4 2010

(2018. 4. 27 受付)