

公共交通の階層的な多様性と 持続可能性に関する研究

中瀬 亮太¹・青木 保親²・葉 健人³・土井 健司⁴

¹学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:nakase.ryota@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
Email:aoki.yasucika@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 大阪大学助教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
Email:yoh.kento@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁴正会員 大阪大学教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

持続可能な公共交通の実現に向け、多様なモードによる公共交通体系の整備が効果的であると考えられるが、公共交通の多様性に関する定量的な指標は未だ示されていない。本研究では公共交通体系を生態系のアナロジーと捉え、生態系の階層性を考慮した生物学的多様性指標に着目した。公共交通への適用にあたり、運行頻度等を評価に組み込むことで、利便性を前提とした公共交通の多様性を評価する指標を考案した。続いて、この指標によって各都市の公共交通の多様性を評価し、各都市の人口や公共交通分担率との関係进行分析したところ、人口減少時代における公共交通衰退の類型や、利用者数維持向上に対する多様性の重要性が示唆された。また、空間分布の考察により、新幹線駅が公共交通の階層構造に強い影響を及ぼしていることが示唆された。

Key Words : *public transportation, sustainability, diversity index, hierarchical structure, coverage*

1. はじめに

(1) 研究の背景

近年、少子高齢化や人口減少を背景に、特に人口流出の著しい地方部においては地域公共交通の利用者数は減少の一途を辿っており、公共交通の持続性の向上が様々な観点から議論されている。本研究は、公共交通体系の多様性を持続可能性の前提条件と位置づけ、現状の都市における多様性の評価を試みるものである。

国土交通省¹⁾によると、多様な公共交通手段を適材適所に配置することで、運行経費を抑制し、人口減少下においても広域な公共交通網を維持できるほか、多様化する移動ニーズに対応でき、移動手段として公共交通が利用者に選択されやすくなるなどの効果が期待できるとされている。しかしこれらは定性的に語られているに過ぎず、効果を定量的に示しているわけではない。また、既往研究においても、交通整備に関する評価や交通ネットワークに関する評価を扱った研究²⁾⁻⁴⁾は多数存在する

が、公共交通の多様性に着目した研究は乏しい。波床⁵⁾は、交通と多様性を扱った研究を行ったが、地域機能や交流先の多様性に着目しており、公共交通自体の多様性に焦点を当てたものではない。このように、公共交通のモードが多様であることがどのような効果をもたらすかは未だ定量的に明らかにされていないのが現状である。

(2) 本研究の目的

公共交通における多様性を評価するにあたり、単に種数の多さではなく、都市間・都市内交通、大量輸送機関・小回りの利く交通など、各交通モードの役割に応じた評価をすべきであると考えられる。そして、その役割ごとに階層性をもって公共交通体系を形成することが望ましい姿であると考えたため、本研究では公共交通における階層的な多様性の概念を具体化および定量化する。

さらに、考案した指標を用いて現状の都市における公共交通の多様性を定量的に評価し、人口や公共交通分担率などとの関係分析や、地域特性抽出のための空間分析

を行うことで、持続可能な公共交通体系の実現に向けた考察を行うことを本研究の目的とする。

2. 多様性の評価に関する既往研究

(1) 従来の生物学的指標

多様性に関しては、生物学分野で比較的早くから研究の蓄積が見られ、いくつかの評価指標が考案されている。本節では主に大垣⁷⁾により解説されたものを参考に、生物学的多様性指標の紹介をする。

多様性を測る尺度で最も単純なものは対象エリア内で見つかった総種数であるが、各種の個体数の情報が考慮されていない。それを解決するため、Simpson は確率論に基づいた指標を、Shannon-Wiener は構成比の情報エントロピーに基づいた指標を考案した。

(2) 分類の情報を組み込んだ多様性指標

生物学分野では長らく、前節で紹介した多様性指標が用いられていたが、これらは分類の情報が組み込まれていないという問題点があった。例えばサバンナゾウ、マルミミゾウ、インドゾウ、セイロンゾウが存在した場合も、ゾウ、シマウマ、トラ、ライオンが存在した場合も、どちらも4種類として多様性が評価されるのである。生態系が階層構造であることを考えると、類似度が異なる種が存在する生態系の方が、より多様であると評価すべきだと考えられる。それを解決するため、Warwick and Clarke⁸⁾は、分類の情報を各種間の分類学的距離によって定量化することで、分類の情報を組み込んだ指標を考案した。分類学的距離の定義を以下および図-1に示す。

i 番種と j 番種が、同じ種なら 0

〃 異なる種だが同じ属であるときは 1

〃 異なる属だが同じ科であるときは 2

〃 異なる科だが同じ目であるときは 3

(以下同様)



図-1 分類学的距離の定義

また、Warwick and Clarke が考案した多様度指標 Δ^* を以下の式(1)に示す。

$$\Delta^* = \frac{\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \omega_{ij} \cdot n_i \cdot n_j}{\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S n_i \cdot n_j} \quad (i > j) \quad (1)$$

S : 種数 n_i : i 番種の個体数 n_j : j 番種の個体数

ω_{ij} : i 番種と j 番種の分類学的距離

まずは式(1)の分子に注目する。 \sum の部分は、 $i > j$ であることから、調査エリア内のすべての種の組み合わせについて考えるということを表している。つまり、 \sum を展開すると、分子は $S(S-1)/2$ 項の和で表わされることになる。このことから、この部分は「種数データ」であるといえる。

ω_{ij} は先ほど説明した分類学的距離であるが、種同士の類似度が低いほど加点するというイメージである。この部分は「階層性データ」であるといえる。

n_i, n_j についても同様に、各種の個体数が多いほど加点するというイメージであり、この部分は「個体数データ」であるといえる。

続いて分母に注目する。これは全種が同属であった場合、すなわち $\omega_{ij}=1$ である場合を仮定したものであり、これで割ることにより、 Δ^* はサンプルと同種数・同個体数分布で全種同属の仮定的最単純群集からの隔たりを求めていることになる。つまりは種数と個体数を標準化した中での分類学的バラエティを表しているといえる。

これにより、生態系の階層構造を考慮した多様性の評価が可能となった。

3. 公共交通の多様性の評価

(1) 分類学的尺度の公共交通への適用

公共交通の体系的な多様性を表現する上でも、単なる種類の多さではなく、階層構造が機能的である様を多様と評価すべきであると考えられる。よって本研究では、公共交通の階層構造を生態系のアナロジーとしてとして捉え、分類学的尺度の公共交通への適用を考える。

公共交通は生物のように、属・科・目・綱…と分類されていない。それどころか、どこまでを1つの種と考えるかも明確ではない。従ってまずは分類をする前に、生物では種にあたる各交通モードの定義を行う必要がある。国土交通省等の資料を探しても、特に定義されているものは見当たらなかったため、本研究においては独自に定義する。

なお、公共交通における分類の意義は、各公共交通の役割を考慮できる点である。各公共交通には長所短所が

あり、例えば鉄道は速達性や定時性が長所であるが、小回りが利かない、乗車までのアクセスがバス等より困難などといった短所があり、バスはその逆であると考えられる。そのような各交通の短所を、他の公共交通の長所でカバーできるのが多様な公共交通の強みである。このことを考慮し、本研究における分類の定義は、各交通の役割・長所短所に注目した分類であることに注意された。

以上を踏まえ、本研究における公共交通の種の定義を図-2に示す。なお、同時に分類学的距離の定義も示し、解説を行う。海上交通や航空交通については本研究では取り扱わないが、将来的に考慮する可能性があるため、暫定的に定義している。解説にあたっては、本研究において取り扱う交通のみとする。

まずはこの中で最も大きな分類である、生物学における目に相当する分類についてであるが、こちらは都市間交通と都市内交通で役割が全く異なることから、都市間交通網と都市内交通網の2つに分類した。

次に科に相当する分類についてであるが、こちらは都市間交通、都市内交通ともに鉄軌道の有無で分類している。なお、新交通システムの中には無軌道交通であるBRTも含まれているが、鉄軌道と類似した役割を持つ専用レーンを走行する場合もあるので、鉄軌道交通に分類している。

最後に属に相当する分類についてであるが、都市内鉄軌道交通においては結節点の多さ（都市内でネットワークを形成しているか）で分類している。都市間鉄軌道交通は新幹線かそれ以外で分類している。バス交通に関しては、都市内、都市間ともに同科であれば同属とする。

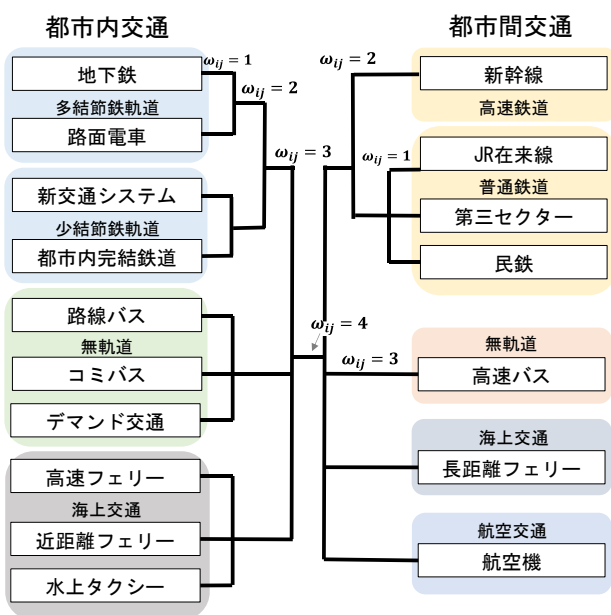


図-2 公共交通の種と分類学的距離の定義

(2) Warwick and ClarkのΔ*の公共交通への適用

前節では分類学的尺度の公共交通への適用を考えたので、本節で Warwick and Clark の Δ*式の公共交通への適用を考える。Δ*の式では種の個体数データが登場したが、公共交通における個体数に相当する指標とは何であろうか。真っ先に思いつくのは事業者の数であるが、大都市を除けば1つの交通モードに複数の事業者が存在するケースはあまり多くない上、そもそも同様の効用を示す交通を複数事業者が運営する利点は考え難い。そこで本研究では、各公共交通の空間的な広がりや時間的な広がりを個体数に相当する指標として適用することを提案する。

空間的な広がりとは、具体的には各公共交通の都市内における路線延長や駅数である。大阪メトロ（大阪府）を例に考えてみると、この交通は主に大阪市内でネットワークを形成した交通であるが、吹田市、門真市、守口市、東大阪市、八尾市、堺市においても末端区間としてわずかに路線が伸びている。この場合、存在しているか否かを示すデータ（以下、存・不存データ）だけでは、上記の7都市はすべて同じ評価となってしまう。そこで、空間的データを導入することで、差別化を図ることができる。路線延長や駅数は種の空間的個体数といえるだろう。なお、路線延長は連続値によるデータが得られるといった利点があるが、主に山岳地域の蛇行している路線では過大評価してしまうため、路線延長と駅数の2つで空間的広がりを評価する。

時間的な広がりとは、具体的には運行頻度である。例えば JR 山手線（東京都）では 3-4 分毎に列車がやってくるが、JR 札沼線（北海道）の末端区間では、1日1往復しか列車がやっこない。これらはやはり差別化すべきであることは自明である。運行頻度は種の時間的個体数といえるであろう。

個体数に相当する指標として、路線延長、駅数、運行頻度の3つの指標（以下、時空間データ）を提案したが、これらはすべて数字のスケールが異なるため、標準化する必要がある。また、交通モード間での有利・不利の差が激しい。例えば新幹線と地下鉄では、駅数の値がまるで違ってくるであろう。こうした事態を避けるために、交通モード間においても標準化する必要がある。そのため、公共交通の空間的・時間的なカバレッジを個体数と見立てて考える。

以上のことを踏まえ、個体数に相当する標準化した指標、時空間カバレッジ ϵ_{ix} を式(2)のように定義する。

$$\epsilon_{ix} = \begin{cases} 1 + \frac{a_{ix} - a_{iave}}{a_{imax} + a_{iave}} & (a_i > a_{iave}) \\ 1 + \frac{a_{ix} - a_{iave}}{a_{iave} - a_{imin}} & (a_i < a_{iave}) \end{cases} \quad (2)$$

a_i : 交通種別 i の時空間カバレッジ, a_i : 交通種別 i の時空間的データ
 $a_{imax}, a_{imin}, a_{iave}$: 交通種別 i の時空間的データの最大値, 最小値, 平均値

式(2)における添え字の i は「交通種別 i 」, x は「都市 x における」の意である. すなわちこの時空間カバレッジは, 各都市の各交通に対しそれぞれ算出することに注意されたい.

a (時空間的データ) には, 路線延長, 駅数, 1 時間当たりの 1 方向発車本数のいずれかを用いる. なお本研究では, 路線延長による ε_{ix} 路, 駅数による ε_{ix} 駅, 発車本数による ε_{ix} 発の 3 つを算出し, $\varepsilon_{ix} = (\varepsilon_{ix} \text{路} + \varepsilon_{ix} \text{駅} + 2\varepsilon_{ix} \text{発}) / 4$ の式によって時空間カバレッジを算出する. 発車本数による時空間カバレッジを 2 倍しているのは, 空間的データと時間的データの影響を同等にするためである.

時空間カバレッジは, 対象とする都市, 対象とする交通の時空間データを他都市の同交通モードと相対的に評価しており, 対象データが同交通全データ内で最大値であれば 2, 最小値であれば 0, 平均値であれば 1 となる.

(3) 公共交通の多様性の評価指標

以上で定義した指標を用いて, 公共交通の階層的な多様性を評価する指標である, 公共交通多様性指数 $Diptem_x$ (多様度) を式(3)に定義する.

$$Diptem_x = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \omega_{ij} \cdot \varepsilon_{ix} \cdot \varepsilon_{jx} \quad (i > j) \quad (3)$$

S : 都市 x に存在する公共交通の種数
 ε_{ix} : 都市 x 交通 i の時空間カバレッジ
 ω_{ij} : i 番種と j 番種の分類学的距離

Warwick & Clarke の Δ^* と比べると, 個体数を時空間カバレッジに置き換えていることに加え, この式では種数と時空間カバレッジによる標準化は行っていない. これは単に, 公共交通の多様性調査においては全数調査であることが理由である. なお, 時空間カバレッジ自体が標準化された指標であるが, これはスケールの統一と交通モードによる性質の差を考慮したものであり, Δ^* の標準化とはまた意味が違う.

また, 各変数のスケールに注目すると, ω は 0~4, ε は 0~2($\times 2$) であり, 離散値, 連続地の違いはあるものの, 公共交通の階層性データと時空間データを同等に考慮し, 多様性を評価した指標であるといえる.

4. 公共交通の多様性指数の算定

(1) 研究対象地域の選定と算出エリアの設定

本研究の調査対象地域は図-3 で示す通り, 近畿地方(三重県を除く), 四国地方, 中国地方とする. 選定にあたっては, 持続可能性を考えるうえで, 東京一極集中に

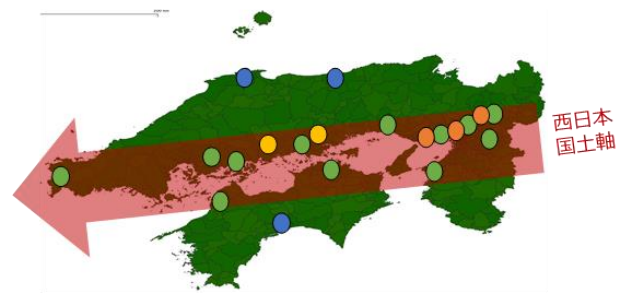


図-3 調査対象地域

よる人口流出が起きている地域であること, 日本を代表する大都市(大阪市; 橙), コナベーション(京都市-大阪市-神戸市; 橙), 地方部の政令指定都市(広島市, 岡山市; 黄), 国土軸上にある中核都市(福山市, 呉市, 倉敷市, 下関市など; 緑), 国土軸上にない中核都市(松江市, 鳥取市, 高知市など; 青)といったように, 様々な特性を持った都市, 都市群が存在することが理由である. 研究対象地域には市町村(以下, 都市)単位では計399都市, 都市雇用圏単位では計36都市雇用圏存在しており, 多様度算出にあたっては都市単位の多様度と都市雇用圏単位の多様度を算出する.

なお, 都市雇用圏とは, 金本ら⁹⁾により提案された都市圏設定であり, 中心都市を DID 人口 1 万人以上, 郊外都市を中心都市への通勤率が 10% 以上の市町村としたものである.

(2) データの収集方法

多様度の算出にあたっては, 各公共交通の存・不存データ, 路線延長データ, 駅数データ, 運行頻度データが必要である.

鉄軌道交通に関しては, 国土数値情報の鉄道データ¹⁰⁾と e-Stat の市区町村境界データ¹¹⁾により, 存・不存データ, 路線延長データ, 駅数データを収集し, Yahoo! 路線情報の各駅時刻表¹²⁾により, 運行頻度データを収集する.

一方で, バス交通に関しては, 一部路線バスやコミュニティバス, デマンド交通の路線延長データ, 駅数(停留所数)データ, 運行頻度でデータを得ることが非常に困難であったため, 路線バス, 高速バスにおいては国土数値情報のバスルートデータ¹³⁾と e-Stat の市区町村境界データによって, コミュニティバス, デマンド交通においては国土交通省が公表しているコミュニティバス等リスト¹⁴⁾によって存・不存データのみ収集する. 時空間カバレッジは全て 1 とする.

(3) 公共交通多様性指数の算出

以上で述べた方法によりデータを収集し, 研究対象地域内の都市単位および都市雇用単位の多様度を算出した. 都市単位多様度の空間分布を図-4 に, 都市雇用単

位多様度の空間分布を図-5 に示す。これらの空間分布をみると、人口の多い大都市や新幹線沿線都市において多様度が高い傾向にあると思われる。

5. 多様度から見た維持困難地域

(1) 多様度と人口の関係分析

多様度と、各都市および各都市雇用圏の人口との関係について分析する。なお、人口に関するデータは平成27年度国勢調査¹⁵⁾を用いる。都市単位での多様度と人口の散布図を図-6に、都市雇用圏単位での多様度と人口の散布図を図-7に示す。都市人口と多様度の相関係数は0.935、都市雇用圏人口と多様度の相関係数は0.959となった。

このように、多様度は人口と強い相関をもつ指標であることが示された。人口に影響されて多様度が増減する、という発想はごく自然であると考えられるので、今後さらに人口減少が進むにつれ、公共交通の多様性は低下していくことが懸念される。

(2) 人口と多様度を変数に用いたクラスター分析

続いて、類似都市を把握するため、多様度と人口を用いた都市のクラスター分析を行った。

クラスターは5つとなり、その空間分布を図-8に、散布図を図-9に示す。

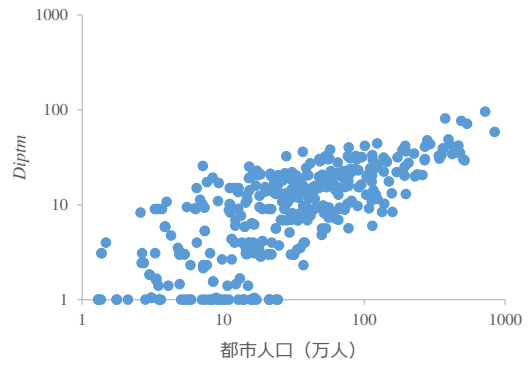


図-6 都市単位 Diptm 値（多様度）と人口の散布図

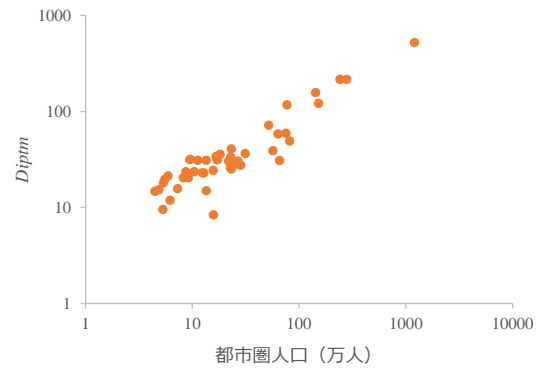


図-7 都市雇用圏単位 Diptm 値（多様度）と人口の散布図

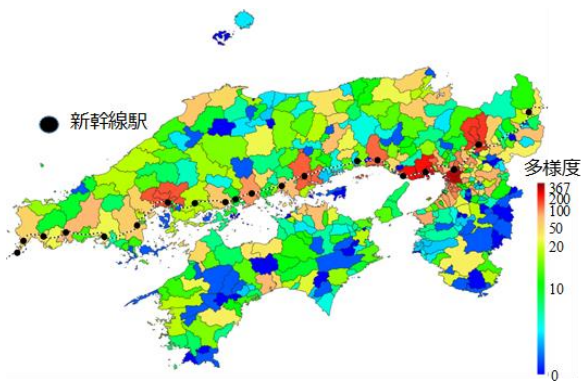


図-4 都市単位 Diptm 値（多様度）の空間分布

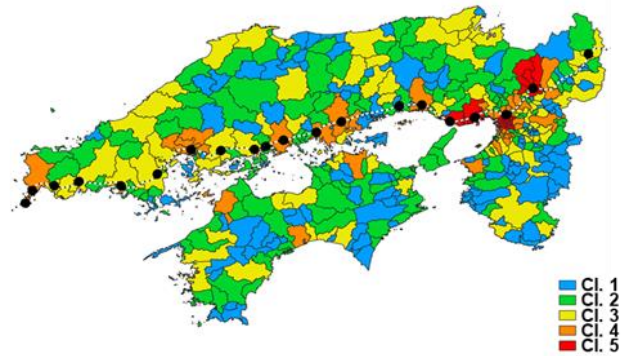


図-8 都市のクラスター分析（空間分布）



図-5 都市雇用圏単位 Diptm 値（多様度）の空間分布

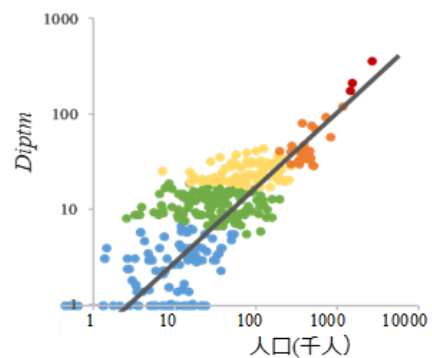


図-9 都市のクラスター分析（散布図）

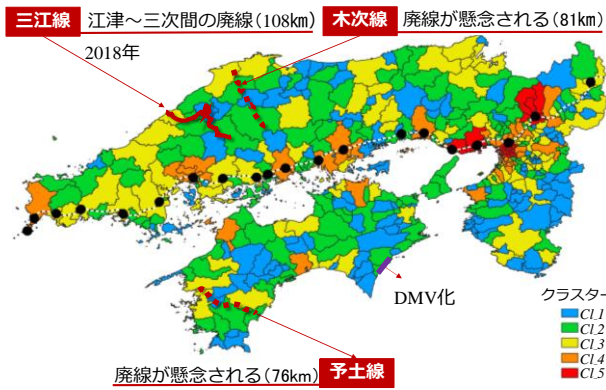


図-10 多様度からみた鉄道維持困難地域

クラスター4,5は人口数、多様性ともに高く将来的に現在の公共交通体系を持続的に維持できる都市群であるといえる。一方で、クラスター1,2は人口と多様性の低下がすでに進行している都市群であり、現在の公共交通体系維持は困難であると思われる。実際、図-10で示す通り、クラスター1,2の都市群へ延びる鉄道路線はすでに廃止された、または廃止が懸念されている状況である。こうした地域では、徳島県海陽町、東洋町などで検討されている鉄道のDMV化といったような、新たな取り組みが必要であろう。また、クラスター3はボーダー領域であり、今後の維持方策によっては持続可能な公共交通が実現しうる都市群であると考えられる。以降は主にクラスター3,4,5の都市群に注目して分析、考察を行う。

6. 新幹線が公共交通の多様性に及ぼす影響

(1) 新幹線自体の影響を取り除いた多様度

新幹線沿線の都市は多様度が高い傾向にある。しかし、これは新幹線自体が1つの交通モードであるため、多様度の数値を引き上げていることも要因である。そのため、新幹線を考慮せず、その他11種類の公共交通によって都市単位の多様度を再算出した。その空間分布を図-11に示す。

新幹線自体の影響を取り除いても、依然として多様度は高い。ましてや、都市間交通大きな部分を占めている

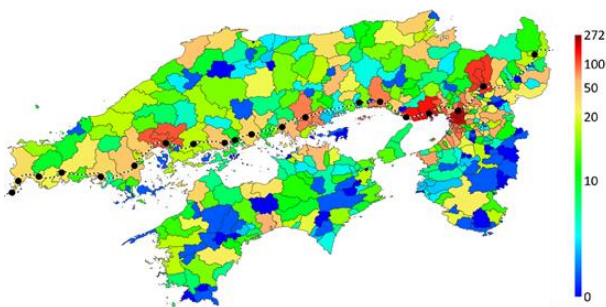


図-11 新幹線の影響を取り除いた都市単位 Diptm 値

と思われる存在を取り除いてこの結果であることから、新幹線沿線都市は、新幹線以外の交通、特に都市内交通が強靱であること示していると考えられる。

(2) 新幹線が公共交通の多様性に及ぼす影響の考察

公共交通の階層構造は、図-12で示すようなピラミッド型であると考えられる。新幹線はその頂点に位置し、都市間交通と都市内交通の重要な接点である。ピラミッドの頂点が高ければ裾野が広がることから、多様度は必然的に高くなると考えられる。一方で、新幹線が存在しなければピラミッドの頂点が低くなり、裾野も狭くなることから、多様性は低くなると考えられる。今回算出した多様度は、この発想と矛盾のない結果を導き出したといえる。また、多様度はそもそも階層構造を仮定した指標であったが、その仮定とも矛盾のない結果となったといえるであろう。

(3) 多様度からみた地域課題の抽出

新幹線沿線都市において、相生市と尾道市、東広島市は多様度が低い結果となった。また、山口市は決して多様度が低いわけではないが、県庁所在地であること、都市雇用圏の中心都市であること、のぞみ停車駅であることを考慮すると、あまり高くない結果であるといえるだろう。このうち、山口市と尾道市、東広島市に共通していることは、新幹線駅が都心部から離れている点である。新山口駅は山口駅からJR在来線で20~25分、新尾道駅は尾道駅から路線バスで15分、東広島駅は西条駅からバスで20分の距離にある。新大阪駅が梅田から地下鉄で6分、新倉敷駅が倉敷駅からJR在来線で10分であることなどを考えると、やや離れているといえるであろう。また、相生市、尾道市、東広島市に共通していることは、新幹線の本数が少ないという点である。

これらの理由により、これらの都市では新幹線が公共交通の階層構造の頂点として十分に機能できず、健全なピラミッドが形成できなかったことから、多様性が低い結果になったと考えられる。

このことから、少なくとも多様性の観点では、新幹線駅の整備においては市街地になるべく近い場所に立地す

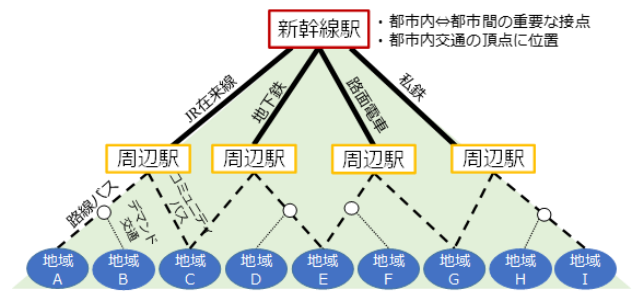


図-12 公共交通の階層構造

ること、十分な本数が見込めることが重要であると考えられる。また、上記の都市では、新幹線駅を生かした新たな公共交通体系、新しい交通サービスが必要であるといえる、

7. 持続可能な公共交通の実現に向けた考察

(1) 多様度と公共交通分担率との関係分析

公共交通の持続可能性を考える上で、重要となる指標は公共交通の分担率（以下、分担率）であろう。人口指標は公共交通以外の要因によって低下するが、分担率は公共交通の利便性によって維持向上が可能であり、持続可能な公共交通の実現には分担率の維持向上が必要不可欠であるといえる。

まずは、分担率と多様度との相関分析を行った。しかし、結果は相関係数 0.649 と、相関が強いとはいえない結果となった。しかし、特性による都市の絞り込みを行ったうえで、人口指標を用いながら各都市の分担率と D 多様度との比較を行うと、関係性が見えてくる。次節ではそれについて詳しく解説する。なお、分担率のデータは平成 27 年度全国都市交通特性調査¹⁰⁾を用いた。分担率のデータは対象地域において 22 都市に限られていることに注意されたい。

(2) 絞り込み条件下における多様度と分担率の関係

図-13 は、多様度と人口、ならびに人口×分担率との関係を、大阪市を 1 として規準化して整理したものである。人口×分担率は、利用者数に見立てた指標である。まずは人口規模、多様度が高い大都市に注目すると、大阪市、神戸市と比べ、京都市、広島市、堺市は多様度の低さに起因して利用者が少ない傾向にある。

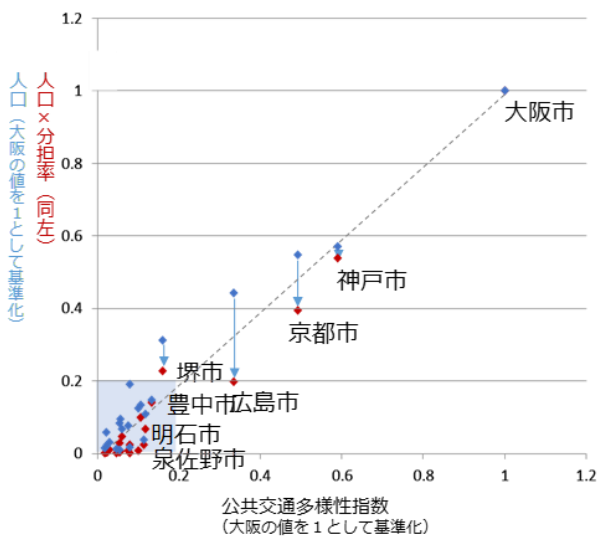


図-13. 多様度と人口および人口×分担率（全体）

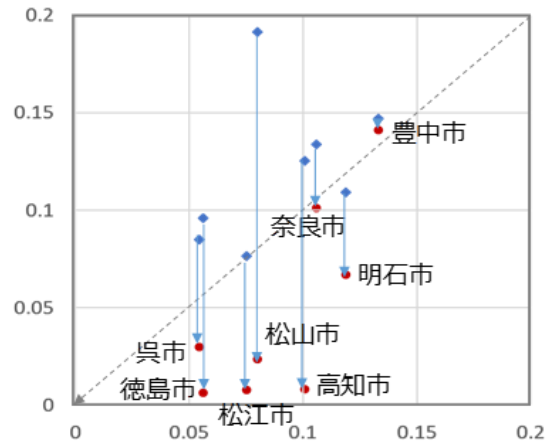


図-14 多様度と人口および人口×分担率（原点付近）

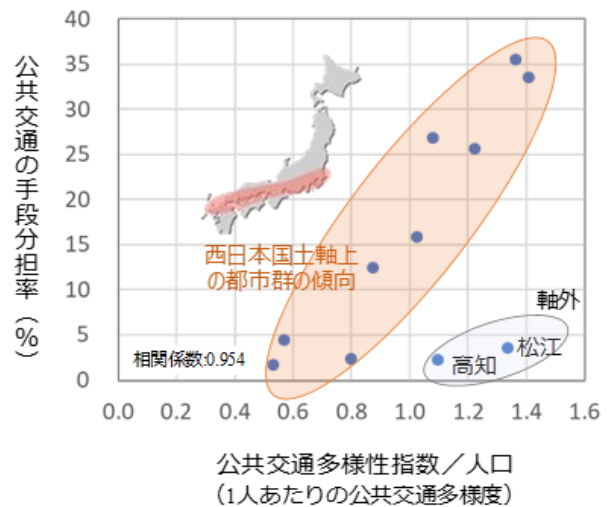


図-15 中心都市における1人あたりの多様度と分担率

続いて、比較的人口規模、多様度が小さいエリアを拡大したもの（図-13の青色の部分）を図-14に示す。

こちらは呉市、徳島市、松江市、松山市、高知市といった地方都市に注目すると、やはり多様度の低さに起因して、利用者が極めて少ない傾向にあるといえる。

また、各都市雇用圏の中心都市のみを抽出し、一人当たりの多様度（多様度を人口で除したもの）と分担率との関係を分析すると、図-15 で示すように、西日本国土軸上の都市では強い相関がみられた。

(3) 中心都市を考慮した多様度と分担率の関係

分担率により都市を並べ替えると、表-1のようになる。なお、呉市は都市雇用圏においては正確には独立した都市圏であるが、国土交通省における都市圏の定義では広島市と同じ都市圏であると記されているため、本節では広島都市圏として扱う。

ここで注目すべきは各都市が属する都市雇用圏の中心都市である。多様度が高い中心都市が形成する都市圏に

属する都市は、いずれも分担率が高い。特に、豊中市、奈良市、宇治市、呉市などは他の地方都市と多様度の差はほとんど無いが、分担率の差は明確に現れている。

この結果を踏まえて、都市雇用圏の周辺都市の多様度を、その都市の多様度と同都市雇用圏中心都市の多様度の平均値に置き換えて、分担率との関係を分析したところ、図-16 に示す通り、強い相関がみられた。この結果から考えられることは、周辺都市の分担率は、自都市の多様度だけでなく、中心都市の多様度に大きく影響を受けているということであるが、もう少し深い考察が可能である。そもそも中心都市と周辺都市の関係とは、周辺

表-1 分担率による都市の並び替え

都市名	多様性指数	分担率(%)	中心都市
大阪市	366.6	35.5	大阪市
豊中市	48.7	34.1	大阪市
神戸市	216.6	33.5	神戸市
奈良市	38.9	26.8	大阪市
堺市	58.6	26.0	大阪市
京都市	180.5	25.6	京都市
宇治市	22.4	24.6	京都市
泉佐野市	41.7	22.1	大阪市
明石市	43.5	21.8	神戸市
広島市	122.4	15.9	広島市
呉市	19.9	12.5	広島市
近江八幡市	11.0	12.0	東近江市
大竹市	20.2	10.0	岩国市
海南市	8.1	7.4	和歌山市
総社市	9.1	6.4	岡山市
松山市	29.3	4.4	松山市
松江市	27.6	3.6	松江市
安来市	6.9	3.3	松江市
南国市	29.0	3.1	高知市
長門市	17.4	2.8	長門市
徳島市	20.6	2.4	徳島市
高知市	36.9	2.3	高知市
今治市	8.4	1.7	今治市

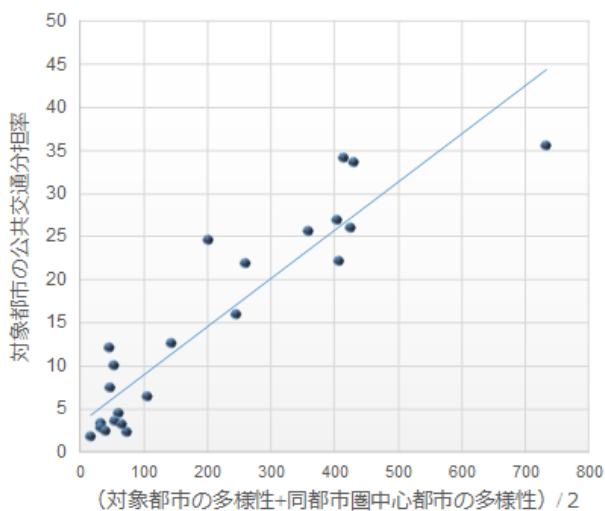


図-16 中心都市を考慮したDiptm値と分担率の散布図

都市から中心都市への通勤割合が高いということである。通勤割合が高いということは当然通勤により周辺都市から中心都市への移動需要が高まるわけだが、それに加え通学、買い物等による移動需要も考えられる。つまりは、自都市を出発地、中心都市を目的地とした移動ケースが多いというわけである。

このことを踏まえて、単純な都市ごとの分析では相関が弱く、中心都市を考慮した分析では相関が強かったことを考えると、出発地および目的地の双方の多様性が十分に存在することで、はじめて公共交通が利用者に選択されやすくなる、つまりは一定の分担率が得られるといえるであろう。また同時に、ある都市の公共交通の低下は、その都市を目的地とする近隣都市の公共交通の分担率に大きな悪影響を及ぼしかねないともいえる。

そのため、分担率の維持向上のためには、都市圏内の全体的な多様性の向上が有効であると考えられる。つまりは多様な交通モードによる公共交通体系の整備は、良い効果をもたらすという定性的な意見に対し、定量的に支持できる結果であるといえる。また同時に、持続可能な公共交通の実現のためには多様度の低下は避けるべき事態であるといえる。

(4) 都市単位及び都市雇用圏単位の多様度と人口を変数に用いた都市のクラスター分析

持続可能な公共交通の実現には多様度低下は避けるべき事態であるが、人口と多様度は強い相関関係があるため、今後の人口減少により多様度は低下してしまうと予想するのが自然であろう。それを回避するために、多様度が低下すると予想される都市に対し、公共交通の維持方策を考えていく必要がある。

しかし、都市ごとに特性や置かれている状況が異なることから、当然維持方策も各都市に適したものを提案しなければならない。ただ、ある程度類似した都市は維持方策も類似してくるであろうと思われるので、本研究ではクラスター分析により、持続可能な公共交通の実現に向けた、類似都市の把握を行う。

表-2 都市雇用圏を考慮した都市のクラスター分析

Ecl_6	Ecl_5	Ecl_4	Ecl_3	Ecl_2	Ecl_1
今治	徳島	高松	松山	広島	大阪
四国中央	和歌山	福山	呉	姫路	神戸
益田	山口	松江	鳥取	高知	京都
三次	周南	下関	東広島		岡山
萩	東近江	宇部	津山		
赤穂	新居浜	米子	長浜		
八幡浜	洲本	出雲	彦根		
	田辺	岩国			
	豊岡	甲賀			
	倉吉	福知山			
	浜田	三原			
	四万十	舞鶴			
	西脇	宇和島			
		新宮			

もともと、一度クラスター分析は行ってはいるが、前節で述べた通り、一都市だけでなく、都市圏全体での多様性が重要であると考えられるため、本節では都市雇用圏の中心都市に注目し、都市単位の人口と多様度、ならびに都市雇用圏単位の多様度と人口の4つを変数としたクラスター分析を行った。結果を表-2に示す。

クラスターは6つに分類された。各クラスターをみていくと Ecl_1,2,3は人口に相応する多様度をもつ都市群、Ecl_4,5,6は人口に対し多様度が低い傾向にある都市群であった。次節では、この結果を用いた考察を行う。

(5) 公共交通衰退の3つの類型

都市雇用圏の多様性中心依存度を式(4)に定義する。

多様性中心依存度

$$= \frac{\text{中心都市の多様度} / \text{都市雇用圏の多様度}}{\text{中心都市の人口} / \text{都市雇用圏の人口}} \quad (4)$$

分子は、都市雇用圏全体の多様度のうち、中心都市の多様度がどれだけ占めているかを表す。ただ、これだと多様度が大きくなれば依存度にかかわらず大きくなるので、人口の中心依存度で除すことにより標準化している。

図-17には、多様性中心依存度と中心都市の多様性との関係を示した。このように、前節で示したクラスターにより、明確な差が表れた。クラスター1,2,3は人口に相当する多様度をもつ都市群であった。そのため、人口減少に伴う公共交通の多様性低下は水色で示した左斜め下方向であるといえるであろう。次に、このベクトルを左方向と下方向に分解する。下方向は中心都市の多様度が変化せず、中心依存度が高くなるため、郊外都市における公共交通の多様性低下を意味している。左方向はグラフ上では中心都市の多様性低下を意味しているが、そ

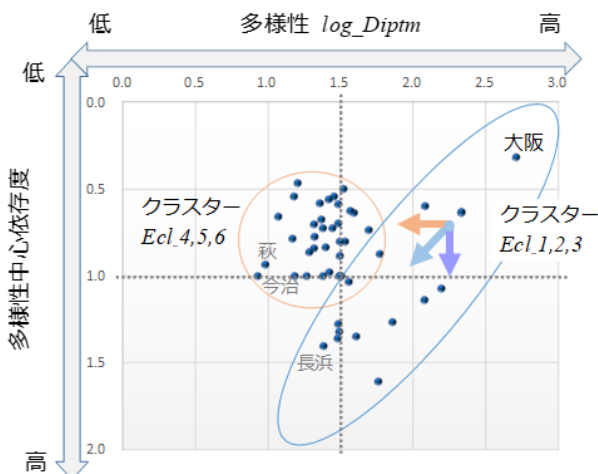


図-17 多様性中心依存度と中心都市の Diptm 値 (多様度)

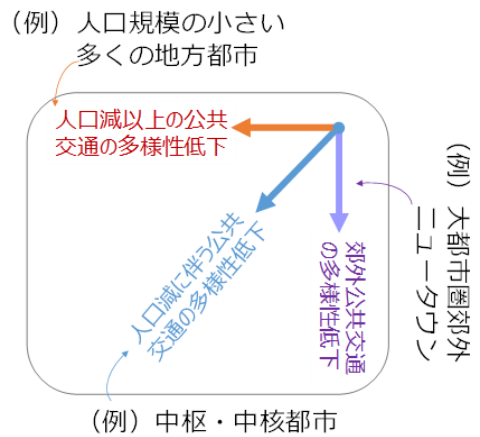


図-18 公共交通衰退の3つの類型

の先に人口に対して多様度が低い都市群があることから、人口減少以上の公共交通の多様性低下を意味しているといえる。

以上のことから、公共交通の衰退は図-18で示すような3つの類型で表すことができる。そして、持続可能な公共交通の実現には、各類型に応じた維持策が必要であるといえる。

8. おわりに

(1) 本研究の成果

本研究は、人口減少に起因する公共交通の維持問題に対し、公共交通体系の多様性を持続可能性の前提条件と位置づけ、現状の都市における多様性の評価を試みた。本研究の成果は以下の通りである。

分析に先立って、階層構造を定量的に評価する「分類学的距離」を公共交通に適用した定義、ならびに時間的、空間的な広がりをもつ生物学における個体数と捉えた時空間カバレッジの定義を示し、それを用いて公共交通の多様性を評価する指標である公共交通多様性指数Diptmを考案した。この指標により、階層性、並びに時間的、空間的な広がりをもつ公共交通の多様性を評価することが可能となった。

続いて、考案した指標によって算出した多様度と人口の関係分析により、人口減少に伴って多様度が低下する可能性が示唆されたほか、クラスター分析により、多様性の観点による持続可能な公共交通の実現が困難であると思われる都市群や、多様性の観点に力を入れて取り組むべき都市群を示した。加えて、新幹線駅立地都市に注目した考察を行うことにより、新幹線を頂点とする階層構造階層構造の強靱性を示したほか、地域課題の抽出を行った。最後に、多様度と分担率の関係性を明らかにすることで、持続可能な公共交通の実現に向けた公共交通

の多様性確保の重要性を確認したほか、都市と都市雇用圏の2つの空間単位を階層的に扱うことにより、都市圏単位の多様性と都市単位の多様性の関係から公共交通衰退の3つの類型が示唆された。

(2) 今後の展望

最後に今後の展望について言及する。本研究では持続可能な公共交通の実現に向けた多様性確保の重要性を確認した上で、公共交通衰退の3つの類型を示したが、各類型に対する効果的な維持方策は示していない。よって、今後は持続可能な公共交通の実現に向けた具体的な施策を考えていく必要があり、そのためには調査範囲の拡大や時系列変化の観察等により新たな知見を見出していくことが必要である。

また、昨今のCOVID-19の影響により、利用者の交通へのニーズはさらに多様化すると考えられる。移動快適性や（感染対策としての）安全性などを評価指標に盛り込んだ多様性指標に改良していく必要もあるだろう。

参考文献

- 1) 国土交通省：近年廃止された鉄道路線
<http://www.mlit.go.jp/common/001235841.pdf>
- 2) 国土交通省：地域公共交通の活性化及び再生に関する法律について
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/so-sei_transport tk_000055.html
- 3) 根津佳樹, 神田佑亮, 小池淳司, 白水靖郎, 藤井聡：西日本における国土強靱化インフラ整備による統合的マクロ評価予測研究, 土木学会論文集 F4, Vol.69, No.4, pp.57-68, 2013.
- 4) 中川大, 波床正敏, 加藤義彦：交通網整備による都市間の交流可能性の返還に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol18, No4, pp627-635, 2001.
- 5) 荒谷太郎, 轟朝幸：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, pp643-652, 2010.
- 6) 波床正敏：地域間交流に関する多様度の計測と地域構造との関係に関する基礎分析, 土木学会論文集, Vol. 75, No. 5, pp. 201-212, 2019.
- 7) 大垣俊一：多様度と類似度、分類学的新指標, Argonauta No. 15, pp.10~22, 2008.
- 8) Warwick RM and Clarke KR: Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species, Jour. of Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev., Vol.39, pp207-231, 2001.
- 9) 金本良嗣, 徳岡一幸：日本の都市圏設定基準, 応用地域学研究 No.7, pp. 1-15, 2002.
- 10) 国土数値情報：鉄道データ
http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N02-v2_3.html
(2019年10月23日閲覧)
- 11) e-Stat：地区町村境界データ
<https://www.e-stat.go.jp/gis>
(2019年10月23日閲覧)
- 12) Yahoo! 路線情報：各駅時刻表
<https://transit.yahoo.co.jp/station/time>
(2019年12月16日閲覧)
- 13) 国土数値情報：バスルートデータ
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N07.html>
(2019年10月23日閲覧)
- 14) 国土交通省：コミュニティバス等リスト
<https://www.mlit.go.jp/common/001193366.pdf>
(2019年12月16日閲覧)
- 15) 総務省統計局：平成27年度国税調査, 人口等基本集計
<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html>
(2019年10月28日閲覧)
- 16) 国土交通省：平成27年度全国都市交通特性調査
http://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/tosiko tk_000033.html
(2020年1月20日閲覧)

(2020. ?? ?? 受付)

RESEARCH ON THE HIERARCHICAL DIVERSITY AND SUSTAINABILITY OF PUBLIC TRANSPORTATION

Ryota NAKASE, Yasasuchika AOKI, Kento YOH and Kenji DOI

A variety of transportation options is one of the important concept for transport planning to develop sustainable public transport systems. Previous studies have rarely developed quantitative methods to evaluate the performance of transportation diversity. This research thus aims to develop measurement indicators to assess transportation diversity on the basis of biodiversity indicators. We take account of the latent correlation between the measurement of transportation diversity and sustainable transportation indicators, and examine the spatial distribution of the transportation diversity. In consideration of the hierarchy of public transport networks, we present a hierarchical scheme of classification based on the classification of biodiversity. Taking the operation range and service frequency of public transport modes into account, the convenience in each mode is also examined. The analytical results demonstrate that to increase the public transport usage especially in the period of depopulation, it is crucial to diversity. This research also reveal that high-speed train stations are instrumental in the hierarchy of public transport networks.