

# 都市環境に着目した夏季の シェアサイクル利用に関する研究

小島 史也<sup>1</sup>・屋井 鉄雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本航空株式会社（〒140-8637 東京都品川区東品川二丁目4-11）

E-mail:kojima.sm84@jal.com

<sup>2</sup>正会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授（〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259）

E-mail: tyai@enveng.titech.ac.jp

本研究では、東京・台北の二都市を対象としてシェアサイクル利用の時空間的な観点から比較分析を行うとともに、気象が与える利用への影響を考察している。また、東京については夏場の走行環境と利用実態について、いくつかの都市環境データをもとに分析を行った。

二都市の比較分析を行った結果、自転車数を指標とした展開規模および都市の中の展開割合、利用料金・プランといったシェアサイクルシステム、利用目的などユーザとしてのシェアサイクルの位置づけ、高温・雨天などの非快適気象への受容性、都市構造および公共交通機関の利便性・信頼度の4点を利用傾向に一定の影響を与える要素として考察できた。東京については、緑化に配慮した自転車道の整備すべき区間を抽出することができた。

**Key Words :** bike-sharing, big data, urban environment, bicycle path, weather condition

## 1. 序論

2020年1月時点で、世界では2,120のシェアサイクルプログラム<sup>1</sup>が導入されており、導入規模にばらつきはみられるが、ロンドンやニューヨークなどの主要都市での導入も進んでいる。日本国内においてもここ数年急速に規模が拡大している。

シェアサイクルの最も期待されている機能のひとつが鉄道駅等から最終目的地までの交通手段を補完するラストワンマイル輸送である。付随して、自動車交通削減による環境負荷の低減、街中の回遊性の向上、市民の健康促進、観光地における交通手段としての機能が期待できる。一方で、事業の採算性の確保、ポート設置場所の確保などが課題として挙げられている。

Ran An, Renee Zahnow et al.(2019)<sup>2</sup>では、シェアサイクル利用を決定づける因子を自然環境、都市環境、時間の3つに大別している。自然環境は気象・地形が、都市環境はインフラ・土地利用が、時間は1日・1週間のスパンとイベントがそれぞれ影響する。

安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン<sup>3</sup>では、自転車ネットワーク形成計画の推進がはかられている。

「安全で快適な自転車通行空間を効果的、効率的に整備することを目的に、ネットワーク路線を選定し、その路

線の整備形態等を示した計画」を自転車ネットワーク計画としており、市町村が道路管理者や警察等と共同で策定するとしている。シェアサイクルが公共交通としての位置づけが高まっていけば、自転車道整備の重要性は増してくるだろう。

ヒートアイランド監視報告2017（気象庁）<sup>4</sup>では、都市化率と年間平均気温変化率において正の相関があることを示している。ヒートアイランドによる都市の気温上昇を和らげる手法のひとつが都市緑化である。都市緑化はグリーンインフラの概念につながり、自転車道の整備に加えて、快適な自転車走行空間整備に寄与するものと考えられる。

前述の背景から、国内外問わず急速にシェアサイクルの普及が進んでおり、ラストワンマイル輸送の補完や健康促進などの効果が挙げられているのに対し、ポートの再配分などの課題が挙げられている。走行環境の点からすると、自転車道の整備とともにまちなかの緑の配置が検討すべき要素であると考えられる。

そこで、本研究の目的を以下の2点とした。

- ・複数都市のシェアサイクルの利用行動について、都市構造、気象などの要素を考慮しつつ、比較を行い、今後の他都市への展開やシステムの改善等に寄与する。
- ・気象、道路空間整備の状況とシェアサイクルの利用状

況を照らし合わせ、シェアサイクル利用の快適性を上げるとともに、道路空間構造そのものについても考察する。

## 2. 既往研究と本研究

シェアサイクルと都市環境を結び付けた論文では、土地利用、道路設備などと結びつけるケースが多い。Ahmadreza Faghil-Imani et al.(2014)<sup>9)</sup>では、モントリオールを対象に線形混合モデルを用いて、アクセシビリティ指標、レストランや大学などの立地、ポートの容量が利用に大きく影響していることを明らかにした。Tien Dung Trana et al.(2015)<sup>9)</sup>では、リヨンにおいて標高が利用に対して負の影響を与えていることやシェアサイクルと鉄道による複合一貫性輸送が成り立っていることを明らかにした。

シェアサイクルの利用は気象による一定の影響が予想されるため、関連する論文がいくつかみられる。Andrew A. Campbell et al.(2016)<sup>7)</sup>では、シェアサイクルの需要に対して走行距離、温度、降水量、劣悪な大気品質が強い負の影響を与えることを明らかにした。Wafic El-Assi et al.(2017)<sup>9)</sup>では、トロントにおけるシェアサイクルへの効果を天気、土地利用、社会統計、都市環境特性から調べることを目的とした。OD回帰モデルでは自転車利用に対して長距離が負の、自転車道路の存在が正の相関を示したことを明らかにした。Jinbao Zhao et al.(2018)<sup>9)</sup>では、雨の負の効果は継続するだけでなく、前1時間にも及ぶことを明らかにした。

既往研究ではシェアサイクル利用を広義での都市環境（土地利用、道路設備、気象）の要素を用いて分析・考察するものが多い。そこで、本研究ではシェアサイクル利用を都市環境の観点から分析・考察することに加え、シェアサイクル利用の快適性を向上させるために道路空間構造の検討することにつなげる。加えて、東京、台北の二都市の比較分析を行うことで、都市環境による影響の都市固有性などについても考察する。

## 3. シェアサイクル利用の基礎的分析 ～東京と台北の比較を通じて

### (1) 二都市のデータの概要

#### a) 自転車道の整備

東京は、株式会社ドコモ・バイクシェアよりデータを提供いただき分析を行った。対象エリアは東京11区（千代田区、中央区、港区、江東区、品川区、渋谷区、新宿区、文京区、大田区、目黒区、練馬区）である。この11区のうち、練馬区を除く10区においてポートの相互利用

が可能となっている。対象期間は2019年6月1日～2019年8月31日である。

台北は、台北市オープンデータで公開されている「台北市自転車租借記録」を用いて分析を行った。対象エリアは台北市であるが、シェアサイクル自体は台北市を取り囲む新北市内のポートとの相互利用が可能となっている。

詳細なデータ概要およびシェアサイクルシステムの概要については表-1に示している。

表-1 二都市におけるデータおよびシステムの概要<sup>10)11)</sup>

東京	都市	台北
ドコモバイクシェア	事業主体	微笑單車公司
2019年6月～8月	期間	2018年6月～8月
東京11区	エリア	台北市
GPS ポイントデータ	データの種類	ODデータ
50,809,796	記録データ数	6,977,185
2,754,378回	利用回数	6,977,185回
自転車番号、時刻、緯度・経度、ポート名（駐輪中のみ）、ユーザ種別	含まれるデータ	貸出時間（x 時台）、貸出ポート、返却時間（x 時台）、返却ポート、利用時間、利用日
・1回会員（一般会員） 30分まで：150円 30分以降：100円/30分 ・月額会員（一般会員） 基本料：2,000円/月 30分まで：0円 30分以降：100円/30分 ・法人会員 月額：2,000円/月 （30分以降：100円/30分） 定額：4,000円/月	料金	4時間まで：10元(35円)30分 4-8時間：20元(70円)30分 8時間以上：40元(140円)30分 ※1元=約3.5円
自転車にある機器によって貸出・返却を管理	管理方式	ラックに設置してある機器によって貸出・返却を管理
7,700(2019年)	自転車の台数	13,072(2017年)

#### b) ポートの配置

二都市のポート配置を図-1、図-2に示す。東京は、2019年11月現在、休止中等を除く762のポートが存在し、練馬エリアを除くと展開エリアは南北約21km、東西約17kmとなっている。一方で台北は2020年1月現在400のポートが存在し、台北市内の展開エリアは南北約18km、東西16kmとなっている。

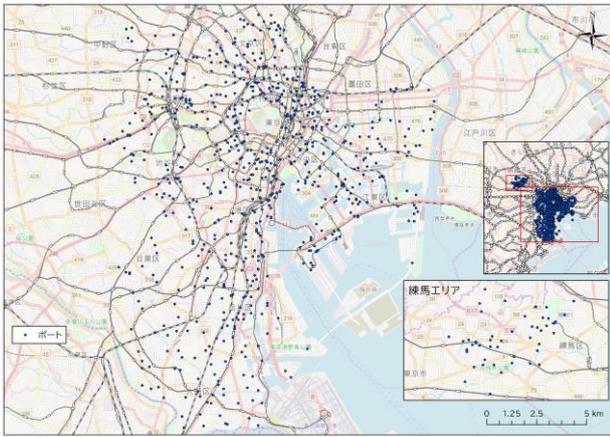


図-1 東京におけるポートの配置

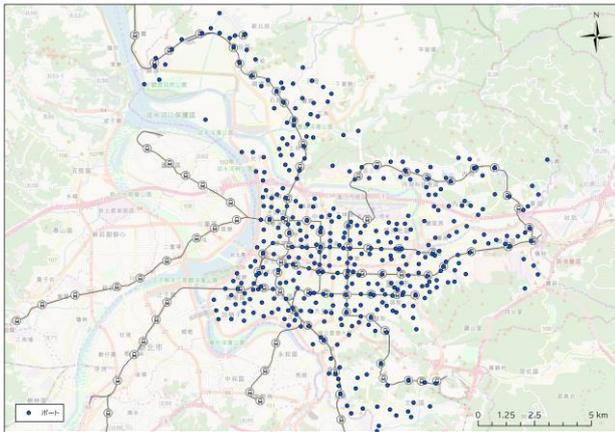


図-2 台北におけるポートの配置

(2) 東京における利用データの詳細と処理

a) 移動方向および速度の算出方法

移動距離は以下のように算出した。

緯度1度あたりの距離 $L_y$ は、極半径を $R_y$ として、

$$L_y = \frac{2\pi R_y}{360}$$

経度1度あたりの距離 $L_x$ は、赤道半径を $R_x$ 、経度を $\theta$ として、

$$L_x = \frac{2\pi R_x \cos \theta}{360}$$

ゆえに、2点間の距離 $D$ は、2点の経度差 $D_x$ 、緯度差 $D_y$ として、

$$D = \sqrt{(D_x L_x)^2 + (D_y L_y)^2}$$

本研究では記録された緯度の平均値 $\theta=35.67^\circ$  を用いた。なお、極半径 $R_y=6,356,752\text{m}$ 、赤道半径 $R_x=6,378,137\text{m}$ として計算した。

移動方向については以下のように算出した。

移動方向 $\theta$ は球面三角法を用いて、始点を $(x_1, y_1)$ 、終点を $(x_2, y_2)$ とすると、

$$\theta = \arctan\left(\frac{X}{Y}\right)$$

ただし、

$$Y = \cos y_2 \cdot \sin(x_2 - x_1)$$

$$X = \cos y_1 \cdot \sin y_2 - \sin y_1 \cdot \cos y_2 \cdot \cos(x_2 - x_1)$$

b) 料金プランとユーザ種別

表-2 東京におけるユーザ種別ごとの特徴量

ユーザ種別	利用回数	割合(%)	利用時間(分)	走行距離(m)	速度(m/分)
コンビニ用パスユーザ	5822	0.2	105.1	3453.4	79.2
パスユーザ	7003	0.3	97.0	2511.3	64.8
一般ユーザ	2601912	94.5	29.5	1547.4	143.1
非課金ユーザ	2658	0.1	36.2	1065.0	92.8
法人契約ユーザ	136983	5.0	129.7	1658.4	72.1

個人向けプランは1回会員、月額会員、1日パスが存在し、法人向けプランは2種類の料金体系が存在する。今回分析したデータにおいて記録されているユーザ種別はコンビニ用パスユーザ、パスユーザ、一般ユーザ、非課金ユーザの5つである。利用回数の約95%が一般ユーザ、約5%が法人ユーザとなっている。利用時間に着目すると、一般ユーザが30分程度であるのに対し、コンビニ用パスユーザ、パスユーザ、法人契約ユーザはその34倍程度の利用時間となっている。走行距離に着目すると、利用時間が長い分コンビニ用パスユーザ、パスユーザが長くなっているが、法人契約ユーザはさほど走行距離は長くない。平均速度(=走行距離/利用時間)は一般ユーザが圧倒的に大きく、単純な移動目的での利用が多いことが考えられる。

c) GPS誤差

ポート駐輪中に記録されたGPSポイントデータを用いてGPSのおおよその誤差について推定した。自転車が返却されてから再び貸し出しがなされるまでを1ポート駐輪とする。駐輪中において約1時間おきに測位される緯度・経度データを1ポート駐輪で平均する。この平均値と1ポート駐輪中の固有の測位値の差をとる。この差をGPS誤差とすると、平均値はおおよそ20m、中央値はおおよそ11mとなった。なお、走行中については停車中と比較してより誤差が大きいことが考えられる。

d) 停車と移動

移動中のみのデータを用いて速度の分布を集計し、分速が1m増えたときの度数の差を算出した。その結果、おおよそ10m/分以上で傾きがほぼ横ばいとなった。よって、停車を10m/分未満、移動を10m/分以上とした。なお、移動中の速度の上限は2000/3 m/分(=40km/h)未満とした。

(3) 時系列の傾向

a) 利用回数

東京における利用回数は平日平均で32,889回、休日平均で23,530回となった。図-3は平日、休日それぞれの出発1分毎の利用回数を表している。平日は朝夕にピークがみられ、これは通勤等による影響であると考えられる。休日はなだらかな山型となっており、平日のような顕著なピークはみられないが、夕方ごろが最も利用回数が多くなっている。

台北における利用回数は平日平均78,824回、休日平均68,652回となっている。平日の利用回数平均が休日の利用回数平均を上回っている点では東京と同様であるが、平日/休日比が東京は1.40、台北は1.15となっている。すなわち、台北においては休日も比較的使用されやすい傾向にあり、利用の多様性が考えられる。図-4はx時台に出発した利用回数を表している。平日は東京と同様に朝夕のピークがみられるが、夕>朝となっている点では東京と異なっている。また、休日は夕方にかけて東京と比較してより顕著な山型となっている。

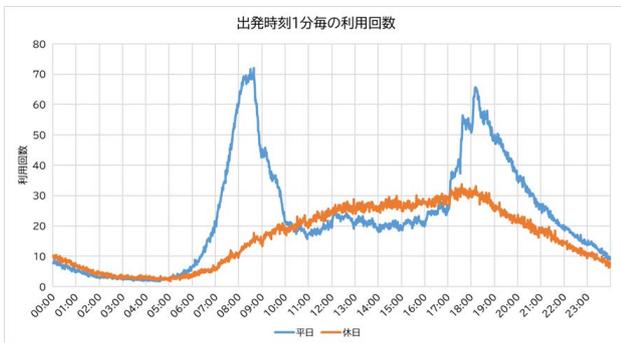


図-3 東京における時間ごとの利用回数

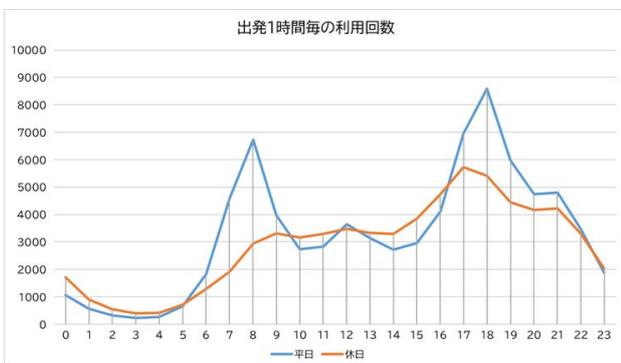


図-4 台北における時間ごとの利用回数

b) 利用時間

東京における利用時間を出発時間10分毎ごとに集計した(図-5)。この結果から、平日は朝夕に利用時間が短くなる傾向にあり、通勤等による影響が考えられる。一方で、平日昼や休日は平日朝夕と比較して利用時間が長くなる傾向にあり、単純な移動以外の利用が考えられる。

また、深夜にかけて利用時間が長くなるのは、利用途中で長時間駐輪していることなどが考えられる。平日の利用平均時間は33.2分、休日は39.9分であった。

台北における利用時間は出発時間1時間毎に集計した(図-6)。平日朝の利用時間は東京と同様に短くなっているが、夕方は東京と異なり、利用時間の落ち込みがみられない。休日は全時間帯において利用時間が平日を上回り、こちらも東京と異なる結果となった。平日の平均利用時間は18.5分、休日は24.3分となった。休日>平日という傾向は東京と同様であるが、利用時間が多く異なる結果となった。これは、料金体系が異なることと、交通機関として位置付けが異なることが理由として考えられる。

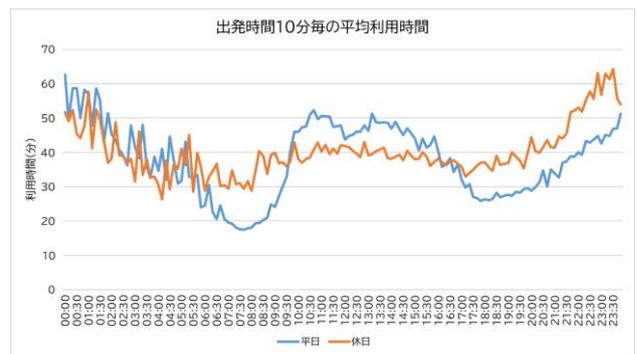


図-5 東京における時間ごとの平均利用時間



図-6 台北における時間ごとの平均利用時間

c) 走行距離

走行距離はGPS測位データの積算距離により算出したため、東京のみの結果となる。平日平均2,367m、休日平均2,661mとなった。出発10分毎の平均走行距離に着目すると、平日と休日で傾向の大きな違いはみられないが、深夜帯以外において、平日がやや小さいという結果になった。

d) 平均速度

出発10分毎の平均速度は利用の積算距離/利用時間により算出した。平日平均143m/分(=8.6km/h)、休日平均128m/分(=7.7km/h)となった。平日朝夕は休日の同

時間帯と比較して平均速度が大きく、通勤等による利用の影響が考えられる。

(4) ODの地理的特徴

a) 東京

図-7は全体のODの特徴を表しており、平均利用回数が0.1回時のパスのみを表示している。利用が多いエリアは豊洲・勝どき・お台場などの臨海部、銀座・丸の内・日本橋・新橋などの都心部、そのほか品川・六本木・木場・後楽園・蒲田・新木場などである。臨海部は駅からあるいは駅へのラスト/ファーストマイル輸送に加え、都心部を結ぶバスも多くみられることが特徴的である。都心部においてもおおよそ駅が拠点となっていることがわかる。そのほか品川、六本木、後楽園、蒲田などでは鉄道アクセスが不便な地域と駅を結ぶバスが多い。以上の結果から、ポートの配置は比較的均質であるが、利用が多い地域は一部に偏っていることがわかる。導入時期や自転車インフラの量的差異などが影響しているものと考えられる。

b) 台北

図-8から、利用が特にエリアは国立台湾大学などの大学が集中するエリア、台北101/世貿一象山駅—永春駅エリアなどの比較的都心部に近いエリアと劍潭駅周辺、芝山駅などの郊外エリアに分けられる。前者はMRT駅と

大学間の需要が多く、学生による利用が多いことが考えられる。後者はMRT駅の自宅付近を結ぶファースト/ラストマイル輸送による需要であると考えられる。

c) 東京と台北の比較

二都市のODパスの傾向から、共通点として利用が集中しているエリアがみられることが挙げられる。東京であれば臨海部や品川、台北であれば市の南東部および市北部のMRT駅周辺である。二都市のODパスが多いエリアはラスト/ファーストマイル輸送の需要が多いことが考えられる。加えて、旧市街地に比較的近い新興地域であるという特徴も共通している。

一方で、相違点も多くみられる。台北は上位のODパスが比較的市内の至るところに分散しているのに対し、東京は都心以東に集中している。こちらについてはシェアサイクル導入の段階的経緯が異なることが理由として考えられる。台北市は市内のほとんどのエリアをカバーしているのに対し、東京は現在11区での展開にとどまっていることもこのような利用の偏りの要因となっていると考えられる。

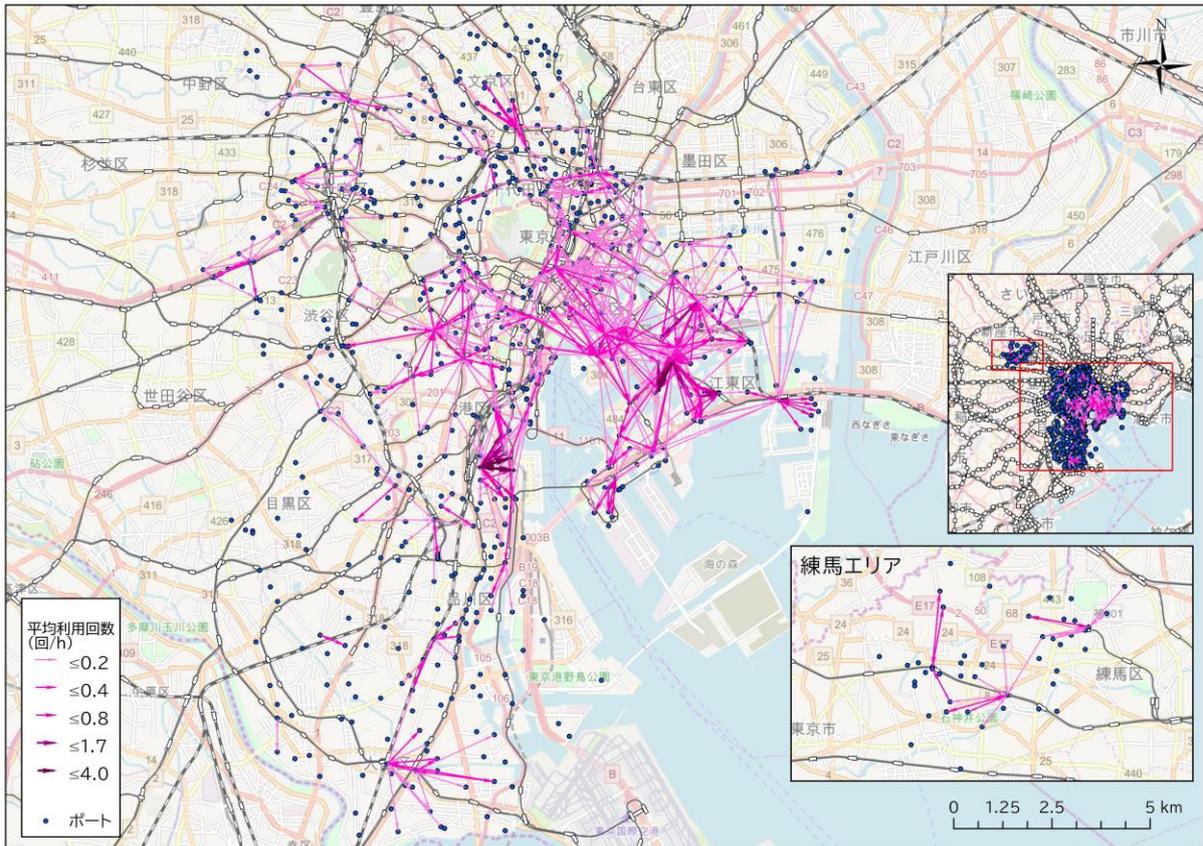


図-7 東京における上位のODパス

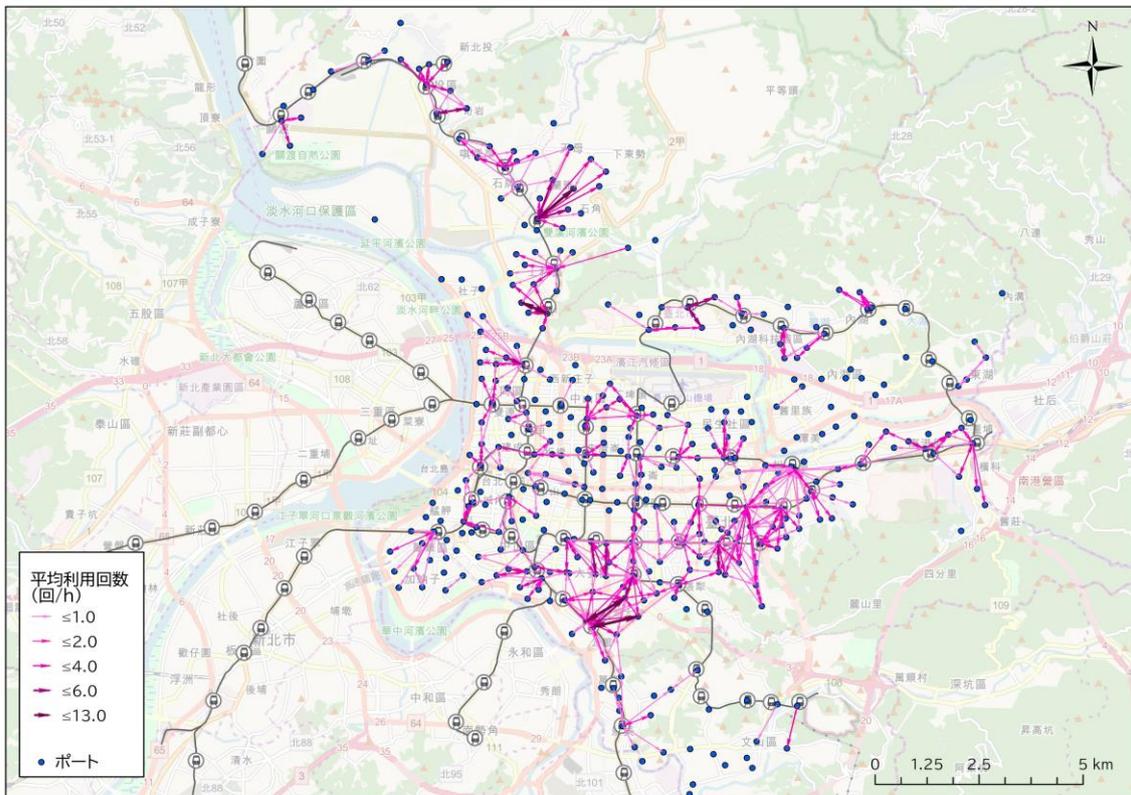


図8 台北における上位のODパス

## (5) 東京における移動方向・速度の特性

### a) 対象とした時間帯と分析方法

時間ごとの利用回数の傾向から利用のピークとなっていた平日朝夕に着目し、移動方向・速度を分析した。対象時間帯は朝が7-9時台、夕が17-19時台である。任意の測位点における移動方向・速度を前後の測位点の平均により算出した。移動方向は8方位に単純化し、5次メッシュ（約250m四方）ごとに移動方向の割合および平均移動速度を算出した。その後、移動方向の割合および平均移動速度を用いて、メッシュのクラスター分析（非階層、k-means法）を行った。なお、測位点が10未満のメッシュについてはクラスター分析の対象外とした。

### b) 平日朝の傾向

平日朝については12のクラスタに分類した。クラスタ1,3,6,7,8,10,11の矢印は矢印方向の移動の割合が4割以上であることを表し、クラスタ2,4,9の三角形は移動方向への割合が4割未満であることを表している。クラスタ5はあらゆる方向への移動が多く、かつ平均移動速度が小さいことを表し、クラスタ12の矢印は矢印方向への平均移動速度が高いことを表している。また、移動方向によって色分けを行った。

図-9はクラスター分析の結果を表している。クラスタ5はあらゆる方向への移動が多いことから、拠点となっているといえる。このクラスタ5は銀座・丸の内・神

田・新橋などのオフィスが集積するエリアと、新宿・渋谷・池袋の副都心拠点駅にみられる。移動方向の傾向は練馬エリアを除いておおむね3つに分類できる。お台場・豊洲付近の臨海エリア、秋葉原-渋谷を結ぶ線の臨海エリアを除く南東側（都心南東エリア）と北西側（都心北西エリア）である。臨海エリアは南西方向への移動が卓越しており、お台場方向に向かう移動がみられる。都心南東エリアは時計回りにおおむね西、北西、北という移動方向になっており、都心に向かう移動がみられる。しかし、蒲田付近は東方向の移動が卓越しており、傾向が異なる。都心北西エリアは時計回りにおおむね東、南東、南となっており、ことらも都心に向かう移動であることがわかる。なお、渋谷、新宿付近においては駅へ向かう移動がみられ、都心に準じた求心性がみられる。

### c) 平日夕の傾向

平日夕については10のクラスタに分類した。クラスタ1,2,4,5,6,9,10の矢印は矢印方向への移動が3.5割以上であることを表す。クラスタ3はあらゆる方向への移動が多く、かつ平均移動速度が小さいことを表す。クラスタ7は南北どちらの方向へも移動が卓越していることを、クラスタ8は東西どちらの方向へも移動が卓越していることを表す。

図-10はクラスター分析の結果を表す。平日朝と比較して測位点が10以上であるメッシュが多いことがわかる。

クラスタ3は平日朝と同様にあらゆる方向への移動が多いため、ある程度拠点性のあるメッシュであるといえる。クラスタ3は平日朝のクラスタ5と比較してより多く分布しており、拠点メッシュが増加しているだけでなく、移動方向性の多様性が平日朝と比較して高いことが考えられる。移動方向の傾向は平日朝と同様に臨海エリア、都心南東エリア、都心北西エリアに分類できる。臨海エリ

アは北東方向、都心南東エリアは時計回りに東・南東・南・南西、都心北西エリアは北西・北となっている。しかし、都心南東エリア、都心北西エリアの移動傾向は平日朝ほど画一的ではなく、より多様性がみられる。例えば、池袋、新宿付近では東、南東方向への移動が卓越しており、大森、蒲田付近では北西、東西方向の移動が卓越している。

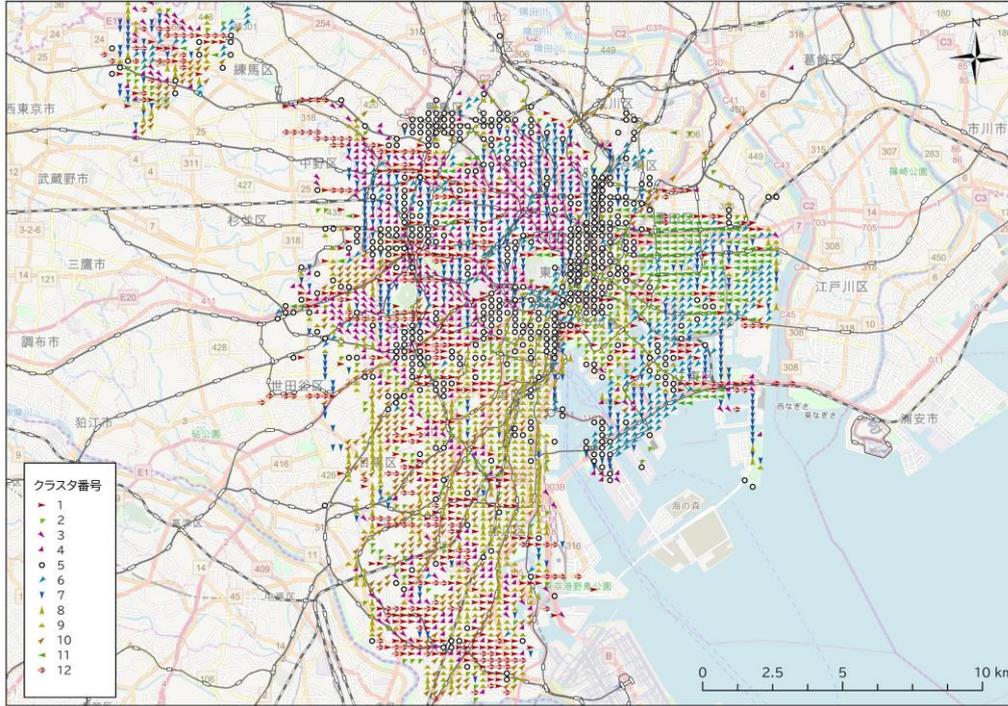


図-9 平日朝の移動方向・速度の傾向

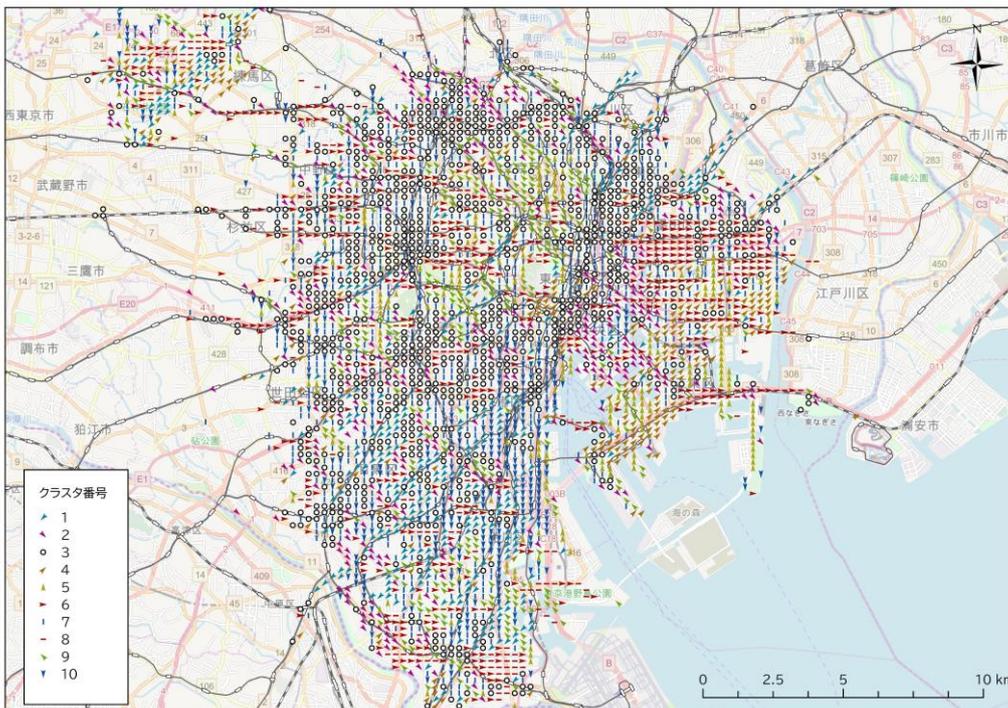


図-10 平日夕の移動方向・速度の傾向

(6) 東京における昼間の移動の分布パターン

a) 移動の分布パターンの分類

抽出条件は以下の通りである。

- (i) 移動中のみ。
- (ii) 移動速度が前後ともに10[m/分]より大きく2000[3[m/分] (=40km/h) 未満である。
- (iii) 10-16時台に利用が完結している。
- (iv) OD距離≧走行距離である利用。

各利用の走行距離およびOD間直線距離を算出し、移動の分布パターンを分類した。平日・休日の昼それぞれについて、境界を走行距離の中央値、OD間直線距離の

中央値とし、4分類した。その後、各クラスにおける任意のメッシュの移動者存在率を以下の式で算出した。

$$p_{ni} = \frac{t_{ni}}{\sum_{i=1}^N t_{ni}}$$

クラス $n$ のメッシュ $i$ における存在率を $p_{ni}[\%]$ とし、クラス $n$ のメッシュ $i$ における観測利用者数を $t_{ni}$ として算出した。ここでは、4次メッシュ(約500m四方)を用いた。

b) 休日昼の移動の分布パターン

4つのクラスそれぞれにおける移動の分布を図-12に示す。クラス0とクラス2を比較すると、クラス2

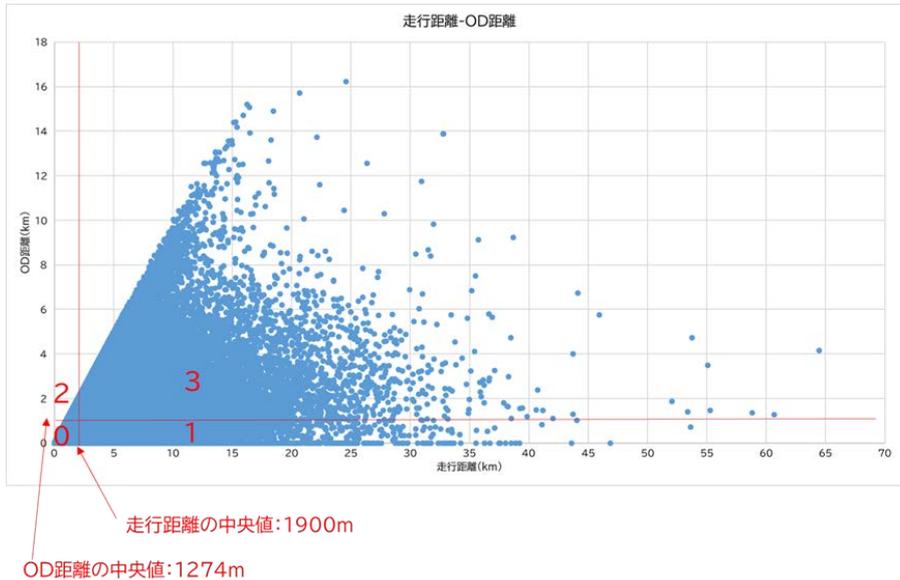


図-11 休日昼における走行距離-OD距離の関係

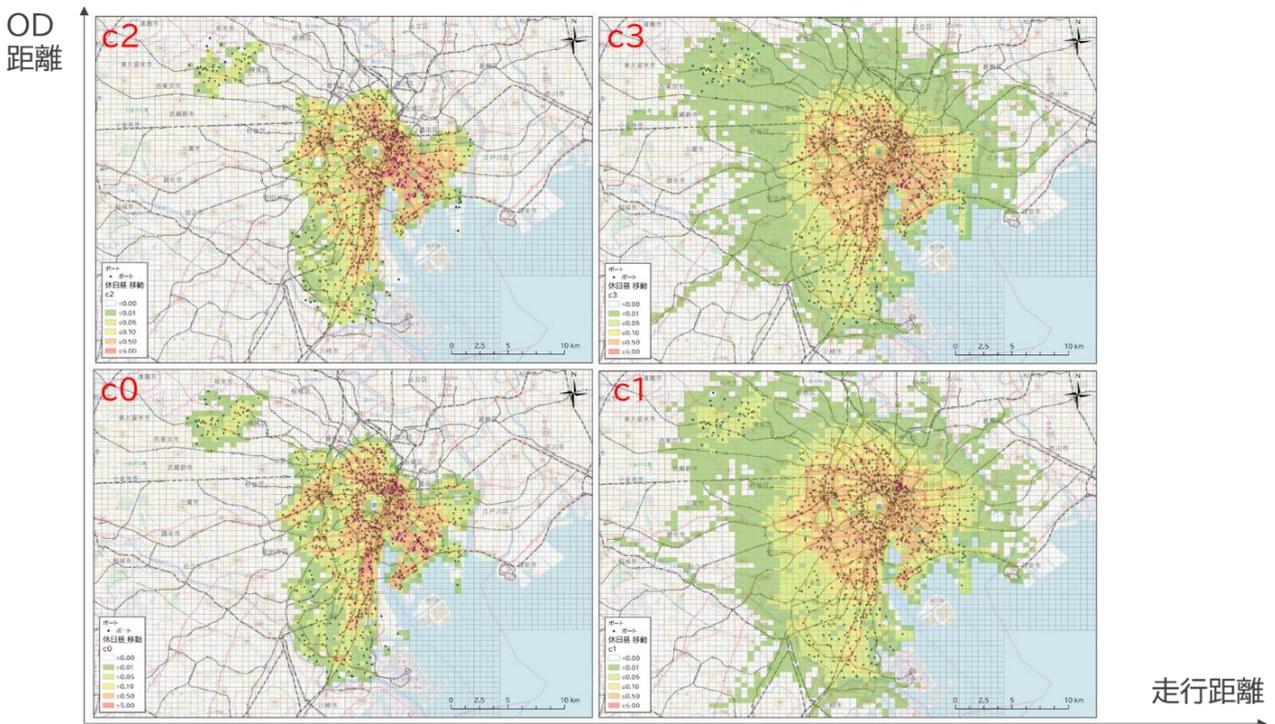


図-12 休日昼の移動分布パターン

の方がクラスタ0と比較してよりポート付近に分布が集中していることがわかる。クラスタ0とクラスタ1を比較すると、走行距離が大きくなっている分、ポートのあるエリアの周縁部にまで移動の分布が広がっている。クラスタ2とクラスタ3ではクラスタ0とクラスタ1の比較の場合と同様にエリアの周縁部にまで移動の分布が広がっている。クラスタ1とクラスタ3では、クラスタ1の方が0.05%のエリアがより周縁部に広がっている。

(7) ポートの利用傾向

a) 利用傾向によるポートの分類

利用傾向によるポートの分類は任意のポートを出発した利用の平均利用時間、平均走行距離（東京のみ）、貸出数と返却数の和、貸出数と返却数の比（=返却数/貸出数）の4（または3）変数を用いてクラスター分析（階層、ward法）を行った。

まず東京においては、クラスタのデンドログラムにより7つのクラスタに分類した。クラスタ1およびクラスタ2に分類されたポートは都心部および都心東部、臨海部に多く分布している。クラスタ1とクラスタ2で返却数と貸出数の和の違いはあるが、都心部とその東側、臨海部の平均的なポートであるといえる。クラスタ1とクラスタ2が多く分布しているエリアに、クラスタ3、クラスタ5、クラスタ6が散らばっている状況である。クラスタ3は返却数が卓越しており拠点性のあるクラスタであるといえる。クラスタ5は返却数と貸出数の和が突出しており、シェアサイクル利用が盛んなエリアにあるといえる。一方で、クラスタ4およびクラスタ7は副都心側や展開エリアの西部に多くが位置しており、利用時間、利用距離ともに大きいという特徴をもつ。

台北においてはクラスタのデンドログラムにより4つのクラスタに分類した。クラスタ1およびクラスタ4は都心部および郊外の拠点駅に位置し、貸出数が卓越する傾向にある。クラスタ1とクラスタ4の違いは返却数と貸出数の和の規模の違いで、規模の大きいクラスタ4は拠点駅や市の南東部に多く位置している。クラスタ2およびクラスタ3は郊外やMRT駅から離れたポートが多く、返却数が卓越している。

東京と台北を比較すると、東京はおおむね都心・都心東部・臨海部と副都心側という東西に分類できるのに対し、台北は都心・拠点駅、郊外という構造で分類できる。この違いの要因として、都市全体へのシェアサイクルの普及具合の差が考えられる。

表-3 東京におけるポート分類の各クラスタ平均値

クラスタ	利用時間	走行距離	返/借	返+借	個数
1	27.8	2163	0.98	14055	180
2	27.5	2151	0.99	3332	237
3	28.3	2362	1.21	7772	40
4	54.3	3335	1.02	4669	238
5	21.9	2093	1.00	47309	10
6	30.1	2658	0.63	3379	16
7	123.6	5402	1.11	3508	25

表-4 台北におけるポート分類の各クラスタ平均値

クラスタ	利用時間	返/借	返+借	個数
1	21.447513	0.9153606	26103.382	191
2	18.648984	1.1343456	32338.943	88
3	32.25287	1.0980344	14307.818	66
4	18.743719	0.9276286	91422.358	53

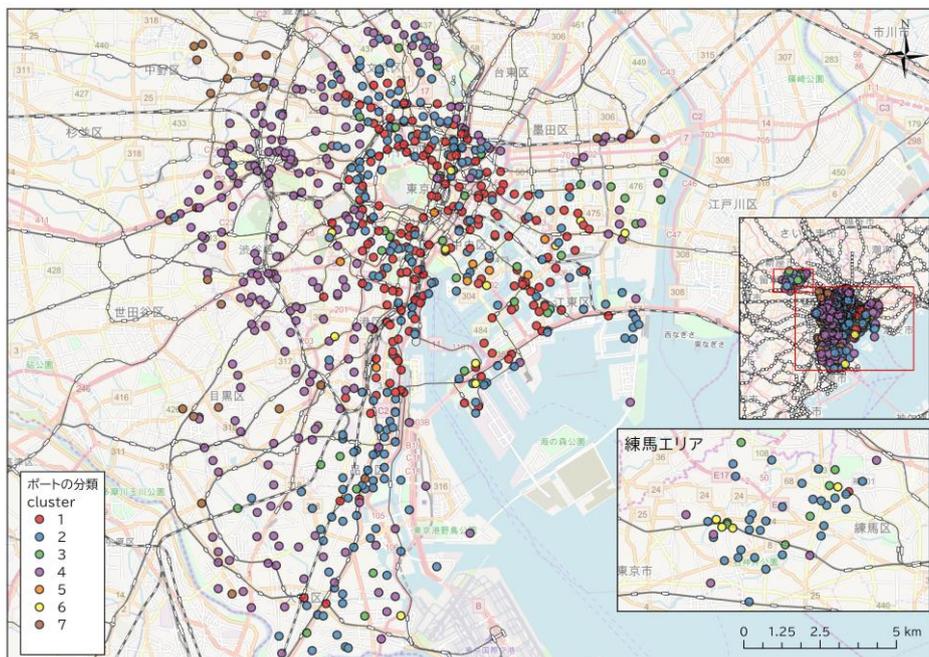


図-13 東京におけるポートの分類

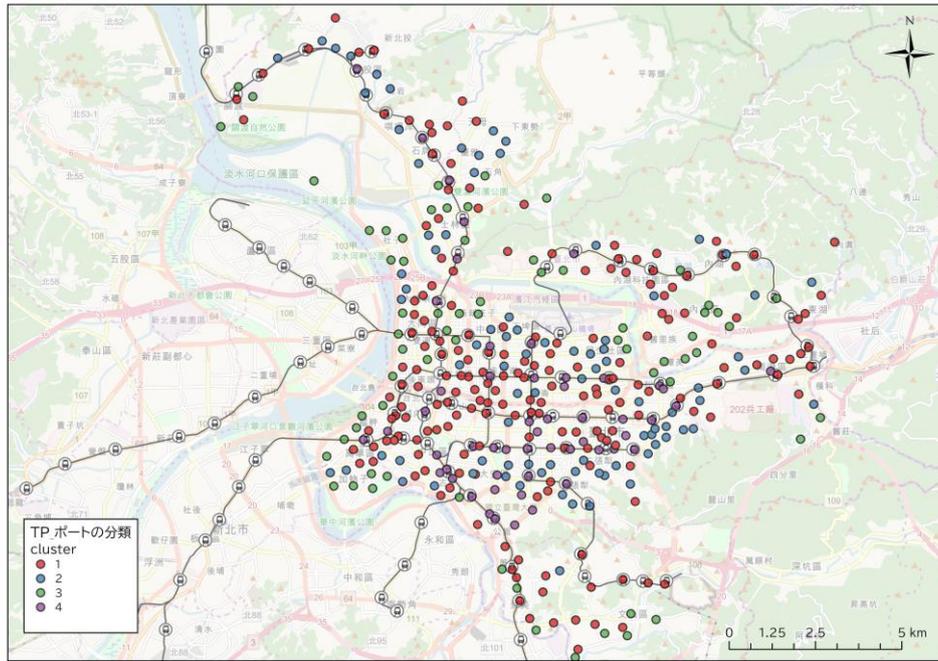


図-14 台北におけるポートの分類

b) 移動方向に着目したポートの分類

あるポートから出発した利用の終点ポートへの移動方向の割合をポートごとに算出し、その割合をもとにしてポートのクラスター分析（階層、ward法）を行った。

東京においては、デンドログラムより10のクラスタに分類した。3割以上ある方向が卓越しているポートを青い矢印で、3割未満のポートを赤い三角形（二等辺三角形の頂点がやや卓越している移動方向）で表した。クラスター1とクラスター3は都心部および副都心・郊外の拠点駅に位置しており、拠点性の高いポートであるといえる。それ以外のクラスターに分類されたポートは都心部あるい

は郊外の拠点駅に向かう方向が卓越する結果となった。

台北においては、デンドログラムより11のクラスタに分類した。台北では4割以上ある方向が卓越しているポートを青い矢印で、4割未満のポートを赤い三角形で表した。都心部および郊外の拠点駅が赤い三角形、それ以外が青い矢印で表される結果となった。

東京と台北を比較すると、郊外と都心部という構造で共通点がみられた。その一方で、東京においては都心と副都心という二重拠点構造がみられ、都市構造の違いが表れた。

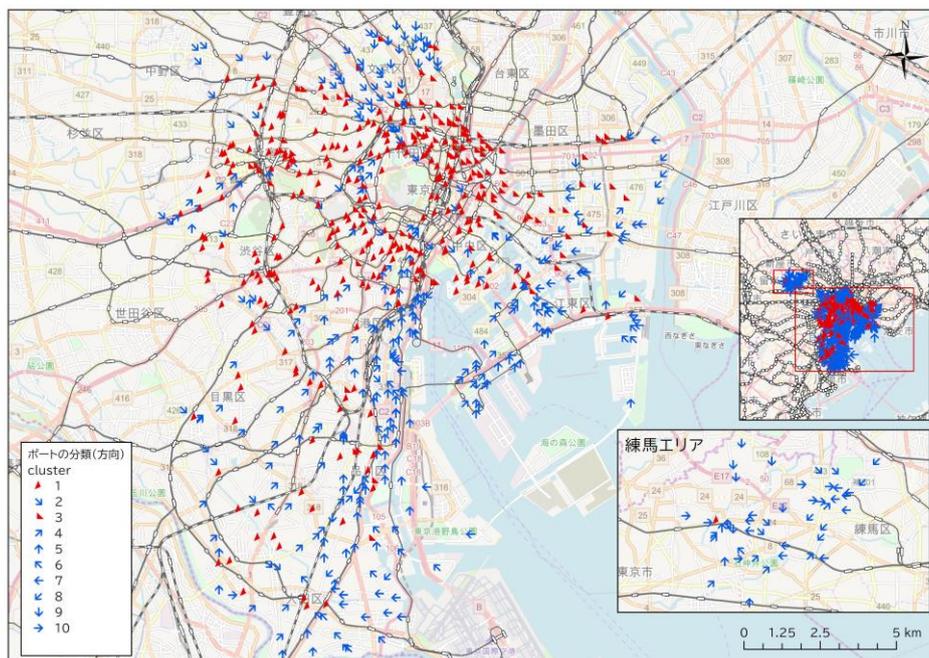


図-15 東京におけるポートの分類（方向）

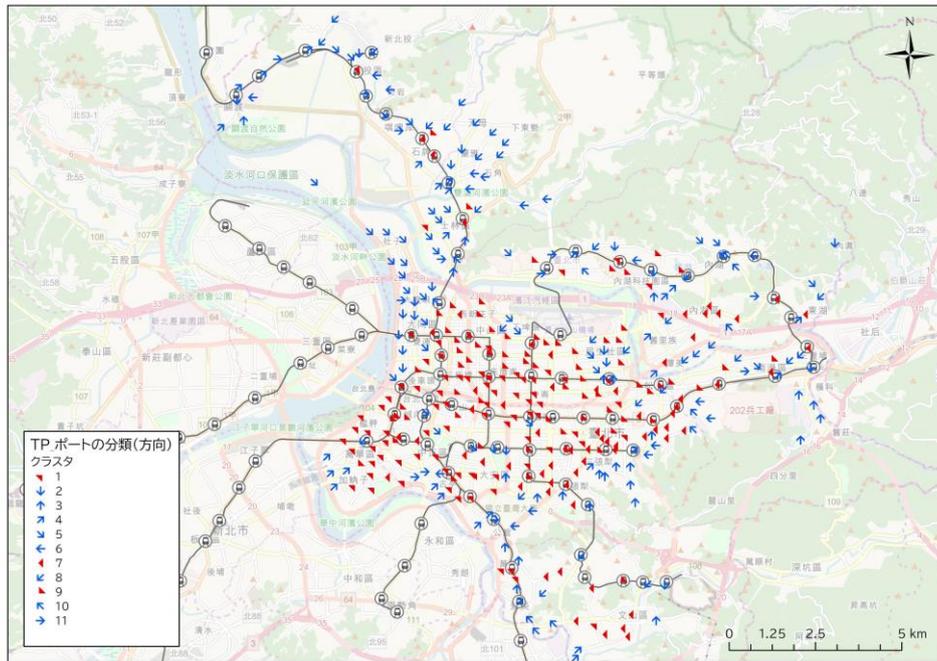


図-16 台北におけるポートの分類 (方向)

4. 都市環境に着目した利用特性  
 ~気象による利用への影響と自転車道の整備に向けた分析

(1) 気象条件による利用への影響

a) 気象データと利用回数データの処理

東京における利用回数および気象要素<sup>12)</sup>の観測頻度を10分とした。例えば、12:20における利用回数は12:16~12:25の1分毎の利用回数の和とした。12:20における気象要素については、気温・気圧は12:20時点、降水量は前10分間の累積値、風速は10分間平均値とした。

台北は、利用回数の観測頻度が1時間であり、気象データ<sup>13)</sup>も1時間ごとである。例えば8時における利用回数は7時台の利用回数と8時台の利用回数の平均値とした。8時における気象要素について、気温、気圧は8時時点、降水量は前1時間の累積値、風速は前1時間の平均値である。

b) 回帰モデルによる分析

気象要素のうち、比較的相関の低い気温、降水量、風速、気圧を説明変数、利用回数を被説明変数として回帰モデルを組んだ。

任意の日時における利用回数 $Y_i$ と任意の時刻における平均利用回数 (平日休日別)  $\bar{Y}$ の差は、

$$\Delta Y_i = Y_i - \bar{Y}$$

任意の時刻における3か月の平均気温との差は、

$$\Delta T_i = T_i - \bar{T}$$

同様に降水量、風速、気圧についても、任意の時刻と3か月の平均との差から $\Delta P_{C_i}, \Delta W_i, \Delta P_{T_i}$ を求めた。

よって、回帰式は、

$$\Delta Y = \beta_0 + \beta_T \Delta T + \beta_{P_C} \Delta P_C + \beta_W \Delta W + \beta_{P_T} \Delta P_T$$

東京および台北におけるパラメータの推定結果は表-23のようになった。推定された係数は $\beta_0$ を除いてすべて1%有意な値となった。しかし、調整済み決定係数 $R^2=0.18$ とあまり高くない結果となった。係数をみると、気温、気圧が利用回数に対して正の影響を、降水量、風速が負の影響を与えるという結果となった。なお、係数2は東京と台北の観測頻度および規模の差を補正するために、係数に約15.2(=台北の総利用回数/東京の総利用回数×6)をかけたものである。

台北における係数はすべて1%有意な結果となったが、調整済み決定係数は $R^2=0.19$ とあまり高くない結果となった。係数に着目すると、気温、風速、気圧が利用回数に対して正の影響を、降水量に対して負の影響を与える結果となった。東京において風速は負の影響を与える要素であったが、台北では正の与える要素となった。

表-5 回帰モデルのパラメータ推定結果

	東京			台北	
	係数	係数 2	標準誤差	係数	標準誤差
$\beta_0$	-0.071	-1.071	0.585	-33.800**	16.275
$\beta_T$	4.518**	68.674	0.138	78.284**	6.154
$\beta_{Pc}$	-67.709**	-1029.1	2.288	-144.376**	10.130
$\beta_W$	-2.412**	-36.667	0.149	78.591**	11.571
$\beta_{Pr}$	2.822**	42.892	0.443	21.520**	4.416

\*\*1%有意

(2) 走行環境とシェアサイクル利用

a) 温熱環境

ここでは、高温日の対象時間の移動に限定し分析を行った。走行データの抽出条件は高温時の利用パターンの分析の際と同様である。走行環境の温熱環境をはかる指標として、本研究では天空率とNDVIを用いた。天空率は日射量の大小、NDVIは人工被覆の大小を表す指標であると考えることができ、これらを用いることで、温熱環境をはかる指標となると考えた。

b) 天空率の算出

任意の地点の天空率を求める際、天空を撮影し天空率を求めることが望ましいが、実用的に不可能に近いため、本研究では平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書<sup>14)</sup>を参考に100mメッシュの平均的な天空率を求めた。

なお、建物データは基盤地図情報<sup>15)</sup>、道路データは道路中心線(数値地図2500, CGISJapan提供)<sup>16)</sup>、建物高さは用途地域および高度地区データ(東京都オープンデータカタログ)<sup>17)</sup>をそれぞれ用いた。

天空率の算出手法は以下のとおりである。

- (i)対象区域(23区)を100mメッシュに分割し、建物の配置を図-17のように単純化する。
- (ii)モデル建物の幅**b**、道路平均幅**w**、建物の平均高さ**h**を以下の式により算出する。

$$b = \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i}$$

$$w = \frac{\sum_{i=1}^m W_i l_i}{\sum_{i=1}^m l_i}$$

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n H_i a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

ただし、 $a_i$ は個別の建物の面積、 $W_i$ は個別の道路幅、 $l_i$ は個別の道路長、 $H_i$ は個別の建物の高さを表す。

- (iii)(ii)で求めた100mメッシュのモデル建物の幅、道路平

均幅、建物の平均高さを用いて以下の式により天空率を推定する。

図-17のA点における天空率は、

$$S_a = \frac{4w}{\pi\sqrt{4h^2 + w^2}} \left[ \frac{\pi}{2} - \arctan \left( \frac{w}{\sqrt{4h^2 + w^2}} \right) \right]$$

100mメッシュ天空率は $S_a$ 、 $S_b$ を用いて、

$$S = \frac{w^2 S_a + 2wb S_b}{w^2 + 2wb}$$

道路幅については、用いた道路中心線データは道路幅が5つのカテゴリに分類されているため、各カテゴリにおける車道、歩道等、中央分離帯の幅から、モデル道路総幅員を設定した。建物の高さは基盤地図情報の建物データをもとにどの用途地域に属しているかということをもとに推定した。ただし、建物が複数の用途地域にまたがっている場合と複数のメッシュにまたがっている場合は用途地域あるいはメッシュ境界で建物を分割した。

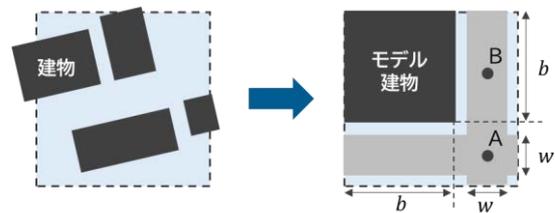


図-17 建物配置の単純化

c) NDVIの算出

NDVIはNormalized Difference Vegetation Index(正規化植生指標)の略称で、植物の量や活力を表す。この値が高いほど画素内の植物の活性度が高いといえる。NDVIは以下の式で表される。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (-1 \leq NDVI \leq 1)$$

$IR$ は近赤外域の反射率、 $R$ は可視域赤の反射率を表す。

本研究ではSentinel-2のデータ<sup>18)</sup>を用いた。撮影日時は2019年6月17日10時37分(日本時間)で、分解能は10mである。バンド8を近赤外域、バンド4を可視域赤としてNDVIの計算を行った。

c) 天空率の算出

算出した天空率とNDVIをもとにして快適度指数を設定した。

天空率100%を0、天空率0%を100とした逆天空率 $S'$ は天空率 $S$ を用いて、

$$S' = 100 - S$$

天空率得点 $S''$ は $S'$ を用いて以下のように定義する。

$$S'' = (S' - S'_{min}) / \frac{S'_{Max} - S'_{min}}{100}$$

ただし、 $S'_{Max}$ 、 $S'_{min}$ は全メッシュにおける逆天空率の最

小値と最大値を表す。  
 100mメッシュで平均化したNDVI値を $N$ とすると、  
 0-100の範囲に換算したNDVIである $N'$ は、

$$N' = \frac{N + 1}{2} \cdot 100$$

NDVI得点 $N''$ は $N'$ を用いて、天空率得点と同様に以下のように定義する。

$$N'' = (N' - N'_{min}) / \frac{N'_{Max} - N'_{min}}{100}$$

ただし、 $N'_{Max}$ 、 $N'_{min}$ は0-100の範囲に換算したNDVIの最小値と最大値を表す。

求めた $S''$ 、 $N''$ から各メッシュにおける快適度指数 $C$ を以下のように定義する。

$$C = \frac{S'' + N''}{2}$$

図-18は算出された快適度指数を表している。

**d) 快適度指数と移動者数**

高温日(1時間降水量が1.5mm未満かつ暑さ指数WBGTが31℃以上が少なくとも3時間である日)の10-15時台における移動データをもとに各メッシュの移動者数を表したものである。

今後自転車走行環境の暑さ対策を優先すべきメッシュを快適度指数および移動者数から抽出した。暑さ対策優先度Aのメッシュ抽出条件は、「快適度指数を下位から並べた際に下位5%以内に入るメッシュ」かつ「高温時の移動者数を上位から並べた際に上位5%以内に入るメ

ッシュ」である。暑さ対策優先度Bのメッシュ抽出条件は、「快適度指数を下位から並べた際に下位5-10%であるメッシュ」かつ「高温時の移動者数を上位から並べた際に上位5-10%であるメッシュ」である。ただし、10%ちょうどもを含み、5%ちょうどもを含まない。図-19中で抽出結果を示している。皇居南東側や臨海部で多くのメッシュが該当した。

**e) 自転車道整備と移動者数**

各5次メッシュにおける平日朝夕の移動者数データと自転車道（自転車推奨ルート、東京都自転車走行空間整備推進計画）データを照らし合わせ、自転車道の整備が特に必要なメッシュ（自転車道整備優先区）を抽出した。抽出条件は「平日朝夕（7-9時台、17-19時台）において移動者数が8人/h以上」かつ「自転車道を一切含まない」メッシュである。結果は図-19中に示しており、築地・八丁堀付近と神保町付近の多くのメッシュが該当した。

**f) 緑化に配慮した自転車道の整備**

暑さ対策優先度A・Bのメッシュおよび自転車道整備優先区のメッシュの両方を図-19で重ね合わせている。両メッシュが重なった箇所が暑さ対策を必要とする緑化に配慮した自転車道整備が必要な箇所であるとし、2か所（区間①、区間②）を設定した。

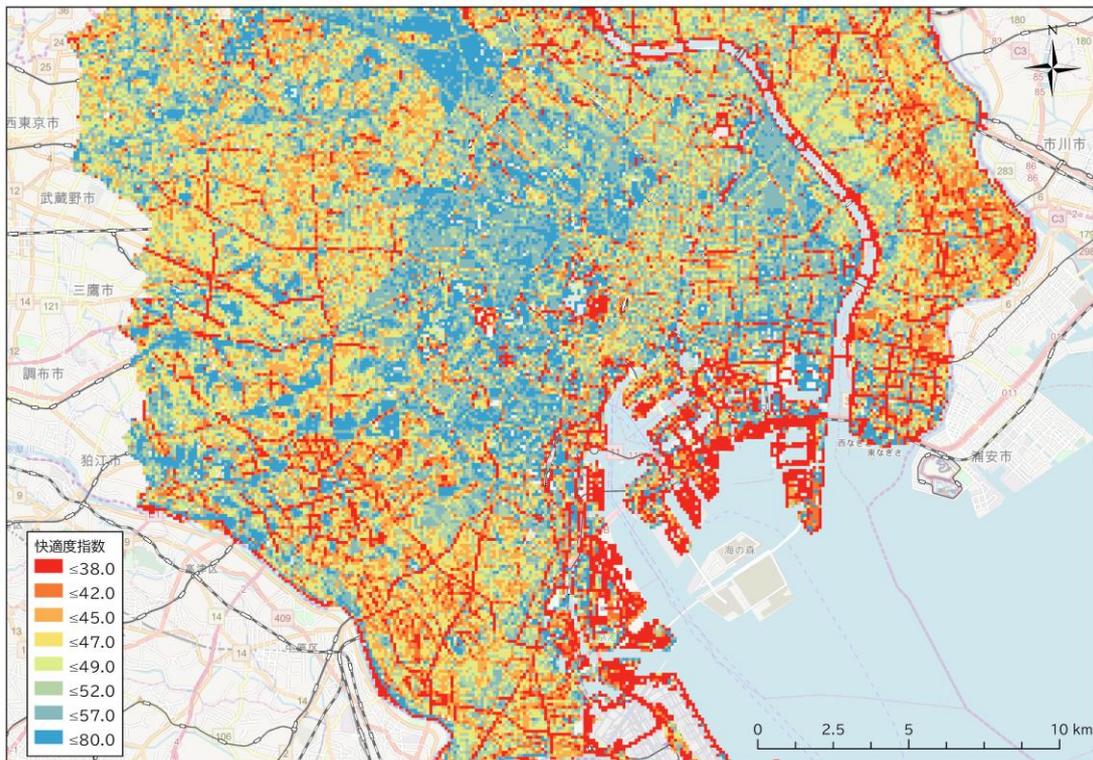


図-18 快適度指数

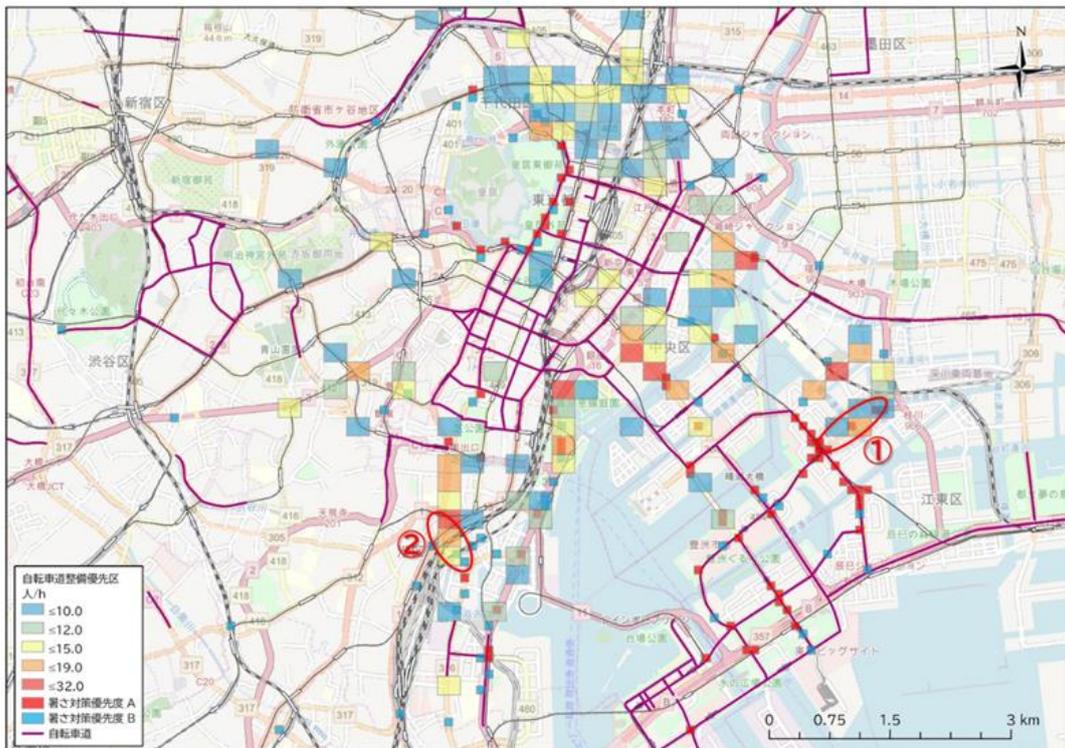


図-19 暑さ対策優先区と自転車道整備優先区

## 5. 結論と今後の展望

### (1) 結論

東京と台北という都市構造・規模、気象などが異なる二都市のシェアサイクル利用を比較した結果、①自転車数を指標とした展開規模、都市の中の展開割合、利用料金・プランといったシェアサイクルシステム、②利用目的などユーザとしてのシェアサイクルの位置づけ、③高温、雨天などの非快適気象への受容性、④都市構造、公共交通機関の利便性・信頼度の4点が利用傾向に一定の影響を与える要素として考えることができた。

今後の自転車道整備の参考として、天空率・NDVIを用いた快適度指数が低いが高気温の利用者数が多い、かつ平日朝夕の利用者数が多い箇所を抽出し、緑化に配慮した自転車道の整備すべき区間として設定することができた。

### (2) 今後の展望

現在、シェアサイクルは展開都市・規模ともに拡大傾向にあり、今後も拡大が予想される。シェアサイクルが公共交通の一部として考えたとき、自転車道の整備は重要なテーマである。本研究の分析により、自転車道整備についての一定の示唆を得ることができたと考えている。今後はシェアサイクル運営会社と展開自治体（市区町村レベル、都道府県レベル）の一体的な取り組みにより、公共性・利便性などを発展させていくことが可能になる

と考えている。そのために、本研究で扱ったような利用記録データを定量的に分析し、数十年先の都市交通、まちづくりを分野横断的に議論することが必要であると考ええる。また、その際国内外問わずシェアサイクルの先行実施都市の実情を参考にすることも必要になってくるのではないかと考える。

**謝辞：**株式会社ドコモ・バイクシェア様には大変貴重なデータをご提供いただいたことに、厚くお礼申し上げます。加えて、台北におけるデータ取得の際に多大なるご援助いただきました国立台湾大学の林楨家教授に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) The Bike-sharing World Map (<http://www.bikesharingmap.com/>)
- 2) Ran An, Renee Zahnow et al., 2019, Weather and cycling in New York: The case of Citibike, *Journal of Transport Geography* 77 pp.97-112
- 3) 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン (<https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/pdf/guideline.pdf>)
- 4) ヒートアイランド監視報告 2017 (気象庁) (<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/h30/index.html>)
- 5) Ahmadreza Faghih-Imani et al., 2014, How land-use and urban form impact bicycle flows: evidence from the bicy-

- cle-sharing system (BIXI) in Montreal, *Journal of Transport Geography* 41 pp.306-314
- 6) Tien Dung Trana et al., 2015, Modeling bike sharing system using built environment factors, *Procedia CIRP* 30 pp.293-298
- 7) Andrew A. Campbell et al., 2016, Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing, *Transportation Research Part C* 67 pp.399-414
- 8) Wafic El-Assi et al., 2017, Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto, *Transportation* 44 pp.589-613
- 9) Jinbao Zhao et al., 2018, Weather and cycling: Mining big data to have an in-depth understanding of the association of weather variability with cycling on an off-road trail and an on-road bike lane, *Transportation Research Part A* 111 pp.119-135
- 10) ドコモバイクシェア (<https://docomo-cycle.jp/>)
- 11) Youbike (<https://taipei.youbike.com.tw/home/>)
- 12) 気象庁 過去の気象データ検索 (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
- 13) 観測資料查詢 (<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>)
- 14) 平成 13 年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書 (<https://www.env.go.jp/air/report/h14-02/index.html>)
- 15) 基盤地図情報ダウンロードサービス (<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>)
- 16) CGISJapan ([http://cgisj.jp/download\\_type\\_list.php](http://cgisj.jp/download_type_list.php))
- 17) 東京都オープンデータカタログ 都市計画決定情報 GIS データ (<https://catalog.data.metro.tokyo.lg.jp/dataset/t000008d0000000028>)
- 18) Sentinel-hub EO-Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>)

(2021. 3. 7 受付)

## A STUDY OF BIKE-SHARING BEHAVIOR UNDER URBAN ENVIRONMENT IN SUMMER

Fumiya KOJIMA and Tetsuo YAI

In this study, we consider comparative analysis of the two cities of Tokyo and Taipei from the spatio-temporal point of view of share bike use, and consider the impact of weather on the use. In Tokyo case, we analyze about the cycling environment and actual use in summer based on some urban environment data.

As a result of a comparative analysis of the two cities, we consider 4 points for influence on the usage tendency; the number of bikes and service expansion in the city, the bike-sharing system such as plan and fee, acceptability to uncomfortable weather such as high temperature and rain, urban structure and convenience and reliability for other public transportation. In Tokyo case, we can extract the sections where bicycle paths should be developed in consideration of greening.