

自転車利用インフラの整備が 持続可能性にもたらす影響に関する一考察

黄 宇成¹・土井 健司²・葉 健人³

¹非会員 大阪大学工学部 地球総合工学科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: kou.usei@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学工学研究科教授 地球総合工学科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 大阪大学工学研究科助教 地球総合工学科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: yoh.kento@civil.eng.osaka-u.ac.jp

COVID-19の世界的蔓延を受け、持続可能な交通手段としての自転車利用に対する期待はより一層高まっている。しかし、わが国では、自転車利用インフラの整備水準は依然として低い。本論文は、国内外の自転車先進都市に焦点を当て、自転車利用インフラの整備が社会にもたらすメリットをSDGsの達成への貢献と捉え、その効果を国際的に統計データを用いて検証したものである。また、その効果を既往研究などによるエビデンスに基づき説明し、学際的に整理したうえ、各都市の持続可能性を可視化した。結果として、自転車利用インフラの整備は、6つのSDGsの達成に貢献し、持続可能で暮らしやすい都市の形成に貢献することが分かった。しかし、わが国ではそのような効果は顕在化に至っていない。

Key Words : cycling infrastructure, cycling cities, SDGs, livability, cross-sector benefits

1. 研究の背景

20世紀末から、人口の増加、過度なモータリゼーションや地球温暖化などの社会問題は発展途上国だけでなく、先進国にとっても重大である。2015年にはアジェンダ2030が国際連合で採択され、17ゴールと169のターゲットからなる持続可能な開発目標(SDGs)が掲げられた。

このような取り組みを受けて、交通分野では、環境問題・エネルギー問題への貢献、安全・安心な、持続可能な交通インフラの構築に向けて様々な取り組みがなされてきた。環境にやさしく、渋滞の解消につながり、健康状態の改善へも貢献する自転車は持続可能性の向上に向け期待が大きい。東京でも、自転車分担率が高く、昨年には自転車道を新たに17kmの整備計画が制定された。

一方、昨今のCOVID-19の世界的な蔓延により、公共交通の利用者数は激減した。自家用車の利用の増加により、渋滞の深刻化、環境負荷の増大が進み、持続性が危惧される。他者との接触機会を低減し、低炭素負荷な自転車はより一層期待が高まっている。

この結果として、COVID-19が爆発的に感染拡大したヨーロッパでは、多くの都市が車道を閉鎖し、一時的な自転車道路に転換する政策を打ち出し、自転車販売台数

が激増した。わが国では自転車の普及が進んでいるが、欧米諸国と比較すると、自転車利用インフラの整備水準は高いとは言い難い。本研究を通し問題提起を行う。

2. 既往研究と本研究の目的

自転車の利用による利用者へのメリットを検証した論文は数多く存在する。

例えば、自転車利用者に着目した研究として、Hartog¹⁾らは、生命表を用いた計算により、自転車による健康の増進による長寿化効果は事故リスクなどの自転車利用に伴う短命化の影響を上回ると推定した。Schnohr²⁾らは、サイクリング強度が大きいほど、平均寿命は延びるという関係性を発見した。一方で、サイクリング持続時間は平均寿命に対し、ほとんど影響を及ぼさないことがわかった。また、Palencia³⁾らは、自転車通勤は、身体的な利点だけでなく、メンタルヘルスの改善や、社会的相互作用の増加などにつながり、利用者にとって有益であると示した。

自転車利用インフラの整備事例に着目した研究も、国内外問わず多く見受けられる。鈴木⁴⁾らは、心電計を装

着したまま自転車走行実験を行い、快適性についてアンケートに回答させ、走行空間の安全性・快適性を評価する手法を考案した。味水⁵⁾は、自転車交通量が見込める地域であれば、車道を3種類の自転車道に転換する際、そのいずれでも自転車利用インフラの便益が整備費用を上回るとした。Arancibia⁶⁾らは、カナダ・トロントの商店街にある駐車場を駐輪場に転換する事例に着目し、商店街全体の利益が増加し、来訪客も増えたと報告した。

一方で自転車利用インフラと自転車利用者の両者にまたがる研究は乏しい。Blondiau⁷⁾らは、ヨーロッパにおいてサイクリング業界が生み出す雇用や、経済への貢献について論じた。EU27か国では、65万件以上の雇用が生まれ、自転車交通分担率が2倍になると、新たに40万人の雇用につながるとした。

しかし、これまでの研究では、自転車利用インフラの整備が人や社会に及ぼす影響について多角的に検証したものはほとんどない。また、COVID-19の蔓延を受けて、Budd⁸⁾らは、環境問題の解決に貢献するだけでなく、交通は、個人および地域の健康と福祉の向上にもつながるなど社会に対して責任を果たすべきと主張した。

本研究では、こうした社会に果たす責任という視点でSDGsの達成への貢献を捉え、自転車利用インフラの整備がもたらすメリットや効果を、国際的・学際的に整理し、統計データに基づき検証することで、自転車利用インフラを整備する意義を論じる新たな試みといえる。

3. 分析の方法

(1) 分析対象都市

本研究では、自転車利用インフラの整備水準が比較的高い都市間での比較を行う。そのため、国内外から表-1に示す自転車先進都市におけるデータを収集した。

a) 対象となる海外都市

対象となる海外都市は、都市の自転車利用の優先度を評価するランキングであるCopenhagenize Index 2019⁹⁾を用いて選出した。当ランキングでは、ヨーロッパに位置する都市が多くランクインしている。地理・気候・文化的な近似性から、ヨーロッパに位置する表-1の12の都市を海外における対象都市として研究を進めていく。

b) 対象となる日本都市

日本における自転車先進都市の選出は、2008年に国土交通省によって指定された、自転車専用道路の整備支援が優先される98の自転車通行環境に関するモデル地区から10の大都市を選定した。そして、モデル地区に指定されていないものの、自転車利用インフラの整備に優れている地域として、東京都からは世田谷区、大阪府からは大阪市を加えた12都市を国内の対象都市とした。

(2) 使用するデータ

a) 自転車利用インフラの整備水準を評価する指標

都市間で比較可能な自転車道の総延長を各都市の車道総延長・人口・面積で割り、基準化した値を使用する。以下ではそれぞれを延長比、人口比、面積比と呼称する。

b) 持続可能性を評価する指標

本研究で用いる各都市の持続可能性を評価する指標として、表-2の18の指標を使用した。これらは、地方創生SDGsローカル指標リスト¹⁰⁾を参考して、SDGsのインディケ이터で言及された、ないしは類似する指標を収集したものである。なお、わが国の対象都市では一部の指標のみ収集が可能であった。

表-1 分析対象都市

海外	コペンハーゲン、アムステルダム、ユトレヒト、アントワープ、ボルドー都市圏、オスロ、ベルリン、パリ、ウィーン、バルセロナ、大ロンドン、ストックホルム
国内	大阪市、世田谷区、千葉市、川崎市、さいたま市、名古屋市、仙台市、福岡市、京都市、神戸市、横浜市、広島市

表-2 持続可能性を評価する指標

番号	指標
3.4.2	自殺者(10万人当たり) ^{**}
3.6.1	交通事故死亡者(10万人当たり)
3.6.1	自転車事故負傷者(10万人当たり) ^{**}
3.6.1	自転車事故死亡者(10万人当たり) ^{**}
3.9.1	静穏性に対する満足度
3.X	平均寿命 ^{**}
3.X	BMI \geq 25の人口割合
7.1.2	自転車の交通分担率 ^{**}
8.1.1	1人当たりGDP(購買指数換算)
8.1.1	1人当たりGDP ^{**}
8.5.2	失業率 ^{**}
10.2.1	ジニ係数
11.2	公共交通機関に対する満足度
11.2	渋滞による時間損失(t/年)
11.6	大気質に対する満足度
11.7.1	地域の居住満足度
11.3.1	人口密度 ^{**}
13.X	交通による一人当たりのCO2排出量 ^{**}

^{**}: わが国の対象都市で収集可能な指標

(3) 分析の流れ

まず、表-1で示した国内外 24 の自転車先進都市の自転車利用インフラ整備水準とそれぞれの都市の持続可能性を評価する指標に対し相関分析を適用し、自転車利用インフラ整備水準と有意な相関がある指標を特定した。次に、有意な相関が確認された指標を用い、パス解析で複合的な相関関係を把握した。さらに、全体的な傾向を

確認するために、線形代数における行列の分解の考え方を応用して、データを圧縮し処理を効率化する手法である SVD(特異値分解)を用いてデータを圧縮し各都市の持続可能性を可視化した。

4. 分析の結果

1) 持続可能性を評価する指標と自転車利用インフラの整備水準との相関関係

海外都市のみを対象とし、自転車利用インフラの整備水準を評価する指標と持続可能性を評価する指標に対し、相関分析を行った結果、有意水準5%で自転車利用インフラの整備水準と有意な相関関係が確認された指標は表-3のようになった。

表-3 自転車利用インフラ整備水準との相関

正の相関関係 (有意水準5%)	自転車の交通分担率, 1人当たりGDP, 10万人当たりの自転車交通事故死亡者
負の相関関係 (有意水準5%)	ジニ係数, 平均寿命, 交通機関に対する満足度, 渋滞による時間損失

この結果より、自転車利用インフラの整備水準の高さは自転車の交通分担率と平均GDPの高さ、ジニ係数の低下や交通渋滞の緩和といった社会にとって有益であると示す相関がある一方で、10万人当たりの自転車事故死亡者数、公共交通機関に対する満足度、平均寿命は自転車利用インフラを整備する上での負の要因と考え、考察を進める。

a) 自転車交通事故死亡者

自転車の交通事故死者数は交通分担率に比例すると考えられるため、10万人当たりの自転車事故死亡者数を各都市の自転車交通分担率で除した自転車事故換算犠牲者数を算出し、改めて自転車利用インフラの整備水準を評価する指標との相関分析を行った結果、図-1のように正の有意な相関から負の有意な相関となった。

また、オランダ自転車評議会によるCycling in the Netherlands 2009¹¹⁾にある、一人当たり一日平均の自転車走行距離と走行距離当たりの自転車事故死亡者数の関係を表した図も同様に負の相関を示したことから、分担率だけでなく、自転車の走行距離についても自転車事故死亡者数の少なさと同じ傾向が確認できる。

b) 公共交通機関に対する満足度の低さ

この相関関係から、ヨーロッパの自転車先進都市では、公共交通機関、もしくは自転車利用インフラのどちらか一方の整備を推進する都市が多いということが考えられる。

c) 平均寿命の短さ

Schnohrら²⁾によると、サイクリングの持続時間ではなく、強度の高さが寿命の改善につながる。しかし、整備水準の高い都市では、自転車道の総延長が長く、長時間な低強度な走行が期待させる。一方、自転車利用インフラの整備水準の低い都市では、自転車道ネットワークが都市内部を網羅していないため、自転車は自動車と車道を走行する機会が多くなり、事故回避のための頻繁な急停止・急発進により、高速度・高強度な走行になると考えられる。

また、国内の対象都市で同様の相関分析を行ったが、有意な相関関係はほとんど見られなかった。よって、これ以降、海外の自転車先進都市を用いて議論を進める。

2) 持続可能性を評価する指標同士の間での相関関係

持続可能性を評価する指標間で相関分析を行ったところ、図-2のような有意水準5%の相関関係が得られた。

なお、矢印の太さは相関係数の絶対値の大きさに比例する。この図における指標の共通項、異質項を定性的に考察したところ、移動環境、居住環境、労働環境の3つに分類でき、それを図中に表現した。結果としてこれらはLivability(広義での暮らしやすさ)として包括される。

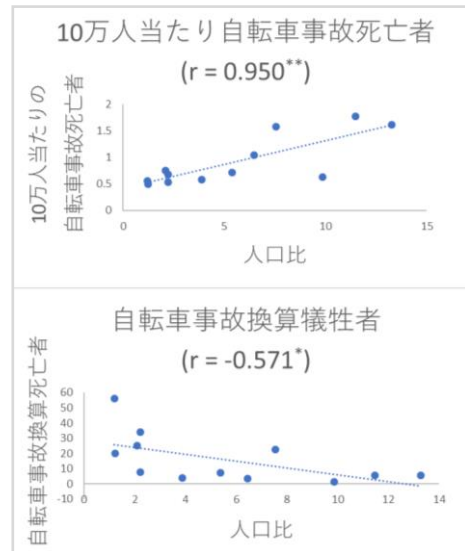


図-1 自転車事故死亡者・事故換算死亡者と整備水準の関係

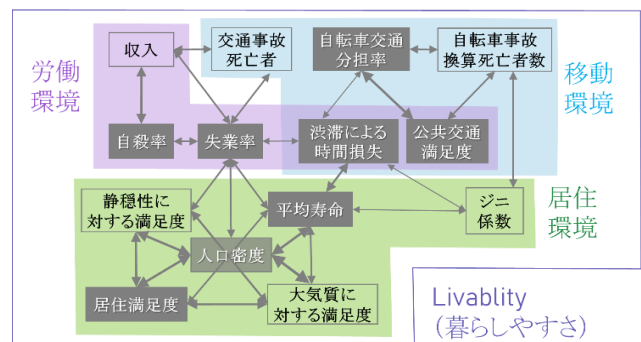


図-2 持続可能性を評価する指標同士の間での有意な相関関係

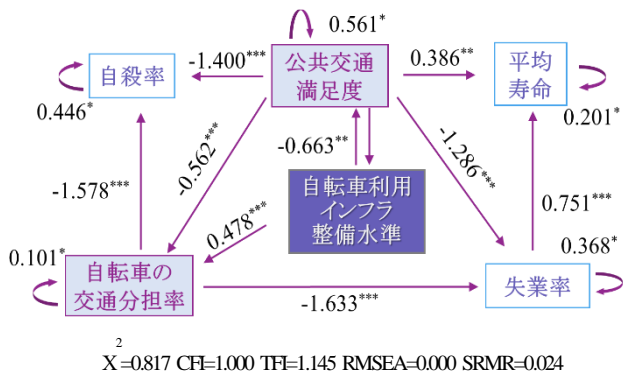


図-3 一つ目のパスモデル及びその適合度

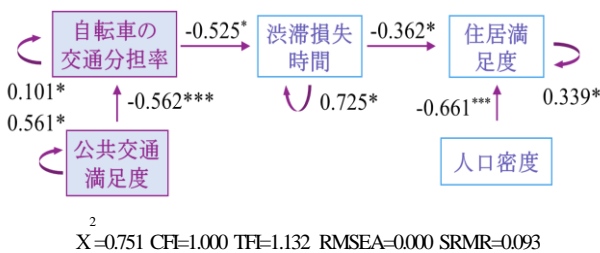


図-4 二つ目のパスモデル及びその適合度

3) パス解析の結果と考察

ここでは、図-2で自拔きとした代表的な指標を用いて、相関分析の結果を参考にしつつ、パス解析を行うことで自転車利用インフラの整備がもたらす複合的な効果を検証した。

さまざまな因果関係を仮定しパスモデルを作成したうえで、解析を行った。サンプルサイズの小ささから、ここではモデルを2つに分解して考えた。パス係数が合理的に説明できるものの中で、AIC(赤池情報基準)が最も低いものを図-3、図-4に示す。ただし、***<0.001, **<0.01, *<0.05とした。

図-3のパスモデルについて考察を進める。まず、自転車利用インフラの整備は自転車の交通分担率と公共交通機関に対する満足度に直接な影響を及ぼすことが分かった。矢印の方向より、自転車利用インフラの整備水準が高いほど、自転車交通分担率が高い。また、自転車利用インフラの整備水準と公共交通機関に対する満足度の因果関係は、その向きにかかわらず同程度の適合度が得られた。このことから、公共交通の発達した都市では自転車利用インフラの整備を進める必要がなく、逆に自転車利用を推進した都市では公共交通機関の整備が遅れるというトレードオフの関係が示唆される。

また、公共交通機関に対する満足度の低い都市では、自転車の交通分担率が高いという傾向もみられる。精神医学分野の既往研究より、サイクリングは自傷行為の減少につながり¹²⁾、公共交通の使用は、自殺行為と関係の

ある孤独感¹³⁾を抑制する¹⁴⁾というエビデンスが示されている。図-3でも、公共交通機関の満足度と自転車交通分担率が高いほど、自殺率は低いという結果が確認できる。

さらに、交通の発達は雇用の創出につながると考えられ、図-3でも公共交通機関への満足度と自転車交通分担率の高さは、失業率の低さに有意な影響を及ぼすことがわかる。また、公共交通を頻繁に利用する高齢者にとって、その満足度が高い都市ほど生活しやすいと考えられるが、図-3でもその傾向が示されている。

2つ目のモデルを図-4に示す。こちらも因果関係の向きが合理的に説明でき、適合度は良好である。なお、ここでも自転車利用インフラの整備水準は同様に自転車の交通分担率や公共交通機関への満足度に影響を及ぼしている。図-4より、自転車交通分担率が高いほど、渋滞による時間損失は少ないということがわかる。さらに、渋滞による損失時間が長く、人口密度が高い都市では住居満足度は低いという傾向もヨーロッパの都市では確認できる。

4) 特異値分解を用いた持続可能性の可視化

ここでは、SVDを用いて、図-3で示した労働環境・居住環境・移動環境の3つの環境について、任意の環境の組み合わせに対してそれぞれの指標群を2次元に圧縮しクラスタ分析を行い、クラスタの特徴を踏まえて各次元(軸)の解釈を行った。その結果を図-6、図-7、図-8に示す。また、それらを定性的に合成し、疑似的に3次元の図に合成したものが図-5である。図-5より、労働環境・居住環境が整っている都市ほど、自転車による移動がしやすいという傾向がわかる。また、自転車先進都市の中でも、コペンハーゲン・アムステルダムの2都市は、他の都市よりも特に自転車による移動がしやすく、広義的に暮らしやすいとわかる。

また、図-5には大阪市と東京23区の日本を代表する二大都市もプロットしてある。これらの位置については次の節で述べていく。

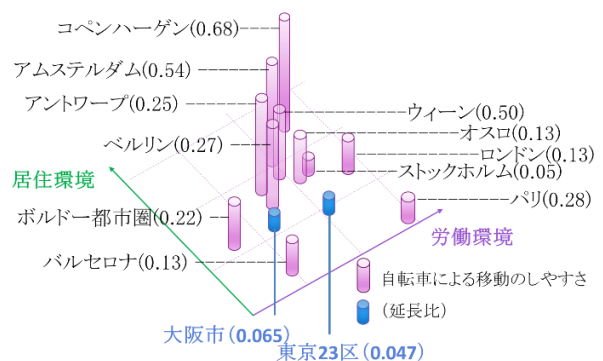


図-5 各都市の居住環境・労働環境・移動環境の疑似的三次元化及び日本の大都市の位置

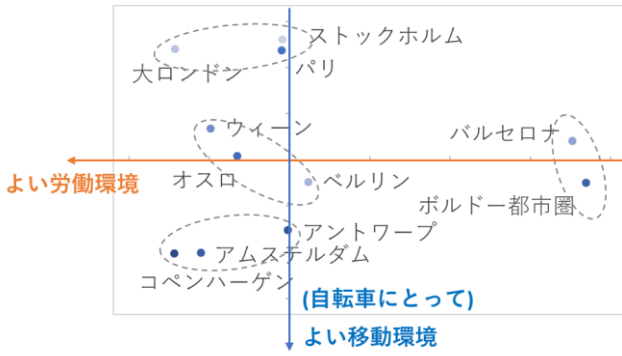


図-6 移動環境・労働環境のSVDによる次元削減

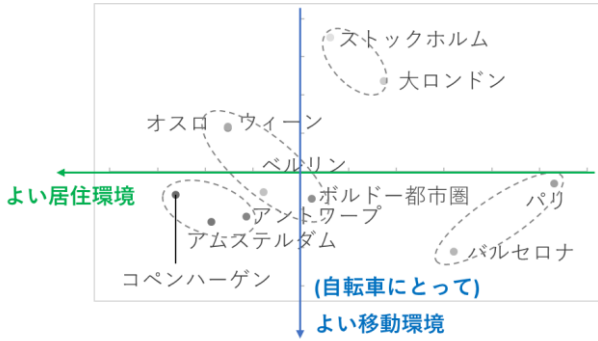


図-7 移動環境・居住環境のSVDによる次元削減

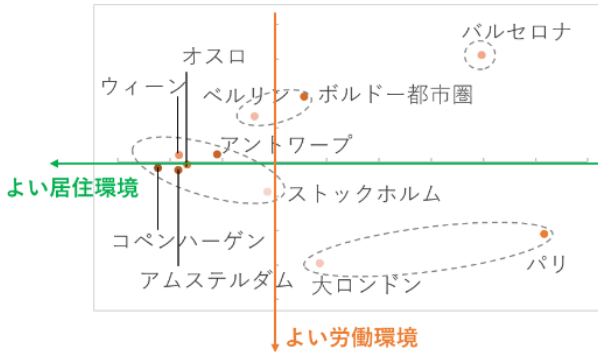


図-8 居住環境・労働環境のSVDによる次元削減

5) 日本における自転車先進都市

我が国の自転車先進都市群では、自転車利用インフラの整備水準と有意水準5%未満な相関関係を持つ指標は、自転車の交通分担率の高さの一つしかなかった。これは日本の自転車先進都市では、自転車利用インフラの整備は欧米の自転車先進都市と比べ低水準であり、その効果が顕在化に至っていないためと考えられる。

ゆえにパス解析，SVDを行うことはないが，日本を代表する大都市である大阪市，東京23区を図-5中に疑似的に配置したい。そのために，海外の自転車先進都市群と共通して収集できた表-4のデータを用いて，重回帰分析を行った。労働環境・居住環境について，AICの最も低い回帰式を表-5に示す。ただし，***<0.001，**<0.01，*<0.05，.<0.1とした。

表-4 国内外の都市で共通して収集可能なデータ

労働環境	失業率・自殺率 ・渋滞による時間損失・収入
居住環境	人口密度・ジニ係数・平均寿命

表-5 労働環境についての回帰式

労働環境	標準化係数	p値
平均収入	0.13	0.6146
失業率	0.48	0.0522
自殺率	1.18	0.0005 ***
渋滞時間損失	0.01	0.9669
切片	-0.06	0.7494
決定係数	0.83	0.0036 **

表-6 居住環境についての回帰式

居住環境	標準化係数	p値
人口密度	1.14	0.0021 **
平均寿命	1.21	0.0014 **
ジニ係数	0.19	0.4236
切片	0.03	0.9281
決定係数	0.95	0.0009 ***

表-5，表-6より，図-5内に疑似的に東京23区，大阪市の配置した。なお，円柱の高さは自転車利用インフラの備水準を評価する指標の一つである延長比を用いて定性的に評価した。

5. 結論

本研究では，自転車先進都市における自転車利用インフラの整備水準と持続可能性を評価する指標を収集し，相関分析，パス解析より，自転車利用インフラの整備がSDGsのゴール3, 7, 8, 10, 11, 13の達成におおむね貢献することが分かった。特に，自転車交通分担率の高さに正の影響を及ぼし，公共交通機関の満足度とトレードオフな関係にあると把握できた。

また，本研究で用いた指標群について次元圧縮しその関係性を分析したところ，自転車による移動のしやすさと労働環境および居住環境との間に明確な正の相関が確認された。このことは，自転車利用インフラの整備は居住環境，労働環境を含むLivabilityの向上に資することを示唆している。

一方で，日本の諸都市において，自転車利用インフラの整備水準が低いことに起因して，その効果が十分に発揮できていないことが分かった。

また，本研究では，都市間で比較が可能な自転車道の総延長という物理量を用いたが，今後はストリートビューなどの画像データを用いて自転車利用インフラの快適性などの「質的側面」を評価する必要があると思われる。

参考文献

- 1) Jeroen Johan de Hartog, Hanna Boogaard, Hans Nijland, Gerard Hoek, Article in Environmental Health Perspectives, published June 2010
- 2) Peter Schnohr, Jacob L Marott, Jan S Jensen, Gorm B Jensen, Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: the Copenhagen City Heart Study, European Journal of Preventive Cardiology, Volume 19, Issue 1, 01-02-2012, Pages 73–80
- 3) Avila-Palencia I, de Nazelle A, Cole-Hunter T, Donaire-Gonzalez D, Jerrett M, Rodriguez DA, Nieuwenhuijsen MJ. The relationship between bicycle commuting and perceived stress: a cross-sectional study. *BMJ Open*. 2017 Jun 23;7(6):e013542. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013542. PMID: 28645948; PMCID: PMC5541523.
- 4) 鈴木清, 砂川尊範, 新田保次, 心拍変動による自転車走行空間の安全性・快適性評価方法に関する研究, 福祉のまちづくり研究, 2012年 14 卷 2 号 p. A1-A8
- 5) 味水佑毅, 自転車走行空間の整備に関する経済評価, 『地域政策研究』(高崎経済大学地域政策学会) 第 14 卷第 4 号 2012 年 3 月 1 頁～ 16 頁
- 6) Daniel Arancibia, Steven Farber, Beth Savan, Yvonne Verlinden, Nancy Smith Lea, Jeff Allen & Lee Vernich, Measuring the Local Economic Impacts of Replacing On-Street Parking With Bike Lanes, *Journal of the American Planning Association*, Volume 85, 2019 - Issue 4
- 7) Thomas Blondiau, Bruno van Zeebroeck, Holger Haubold, Economic benefits of increased cycling, *Transportation Research Procedia* 14 (2016) 2306–2313
- 8) Lucy Budd, Stephen Ison, Responsible Transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 6, July 2020, 100151
- 9) COPENHAGENIZE INDEX, the most bicycle-friendly cities of 2019, <https://copenhagenizeindex.eu> (最終閲覧: 21-02-08)
- 10) 自治体 SDGs 推進評価・調査検討会, 地方創生 SDGs ロールモデルリスト, 2019 年 4 月版, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiki/kankyo/kaigi/h30lwg1/shiryo1.pdf>
- 11) Fietsberaad, Cycling in the Netherlands 2009, issuu による掲載, 2009-03-09, P8, <https://issuu.com/carltonreid/docs/cyclinginthenetherlands2009/6>
- 12) Michael Grasdalsmoen, Hege Randi Eriksen, Kari Jussie Lønning, Børge Sivertsen, Physical exercise, mental health problems, and suicide attempts in university students, *BMC Psychiatry* volume 20, Article number: 175 (2020)
- 13) Heather McClelland, Jonathan J. Evans, Rebecca Nowland, Eamonn Ferguson, Rory C. O'Connor, Loneliness as a predictor of suicidal ideation and behaviour: a systematic review and meta-analysis of prospective studies, *Journal of Affective Disorders* Volume 274, 1 September 2020, Pages 880-896
- 14) Pauline van den Berg, Astrid Kemperman, Boy de Kleijn, Aloys Borgers, Ageing and loneliness: The role of mobility and the built environment, *Travel Behaviour and Society*, Volume 5, 2016, Pages 48-55, ISSN 2214-367X,

(?受付)

EVALUATING THE IMPACT OF CYCLING INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION ON SUSTAINABILITIES

Usei KOU, Kenji DOI, Kento YOH

Experiencing the worldwide Novel Coronavirus pandemic, more and more cities began to take cycling, a sustainable transportation, more seriously. However, cycling infrastructure remain at a low standard in Japanese cities. The purpose of this paper is to explore the potential impact of cycling infrastructure construction brings to the society, using internationally collected statistical data from bike-friendly cities. Interdisciplinary researches are reviewed and collected for proof. Additionally, sustainabilities of targeted cities are visualized in this paper.

As a results, 6 SDGs benefit from the construction of cycling infrastructure, which would also lead to a more livable city. However, in Japanese cities, where cycling infrastructure is hardly valued, gain few benefit.