

利便性・快適性に着目した最適な 自転車交通ネットワーク計画に関する研究

川井 涼太¹・金 利昭²

¹正会員 日本工営株式会社 海外事業本部 鉄道事業部 (〒102-8539 東京都千代田区九段北1-14-6)
E-mail: a8966@n-koei.co.jp

²正会員 茨城大学教授 工学部都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)
E-mail: toshiaki.kin.prof@vc.ibaraki.ac.jp

本研究では、国内の自転車利用者の経路選択特性を把握するためにWebアンケート形式の経路選択SP調査を実施し、経路選択モデルを構築した。推定したパラメータをMRS値に変換することで自転車利用者のストレス度を考慮することができる快適性指標を提案した。また、自転車交通ネットワーク計画のシナリオを複数設定し、提案した快適性指標を用いてケーススタディを行うことで有用性を検証した。最後に、各シナリオにおいて、自転車の交通量配分計算から得られた総所要時間と整備費用を算出し、総所要時間の改善度を利用者便益とした費用便益分析を実施することに加えて、自転車通行空間の整備による利便性の改善度をリンクの中心性で示し、比較評価することによって、自転車ネットワーク路線を選定していく際の判断基準を示した。

Key Words: bicycle network, level of traffic stress, SP survey, route choice model, traffic assignment

1. はじめに

近年、健康志向の高まりやシェアサイクルの台頭により、自転車を活用した街づくりを目指す都市は増加傾向にある。しかし、いざ自転車の通行環境を整備していくとなると、道路空間の制約、連続性、安全性、予算の制約等の課題に直面してしまうだけでなく、事業を実践していくための明確な基準や議論をするためのツールが存在しないために経験則に頼る部分が多く、整備が推進されていないのが現状である。そのような背景から2012年に安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾が策定され、自転車交通ネットワーク計画に着手する市区町村は一時的に増加した。しかし、その割合は全市区町村の5%程度に留まっており、続く2016年の同ガイドラインの改訂²⁾において、市区町村が自転車ネットワーク計画に着手しやすくするための段階的な計画による策定の推進及び優先的計画策定エリアの抽出の実施が図られているが、その効果は限定的である。また、国土交通省によって自転車ネットワーク路線の選定要件³⁾が示されているが、整備路線を具体的に選定していくのは難しい。今後の我が国において、自転車利用環境のさらなる向上を実現していくため

には、自転車交通ネットワークの整備方針を意思決定していく際に基準となる明確な評価手法が必要である。

自転車交通ネットワーク計画に関する研究は国内よりも海外で盛んであり、特に地形や気候的条件が自転車利用に適しているアメリカ西海岸の都市を対象とした研究が多くみられる。例えばKlobucal et al.³⁾(2006)とRyu et al.⁴⁾(2015)はストレス評価指標であるBCI(Bicycle Compatibility Index)とBLOS(Bicycle Level of Service)を用いた自転車ネットワークの評価ツールを開発している。Lowry et al.⁵⁾(2016)はネットワークの快適性の評価指標にLTS(Level of Traffic Stress)、利便性の評価指標に中心性(Centrality)という概念を用いたネットワーク評価ツールを構築し、シナリオ分析によって自転車交通ネットワーク計画の評価を行っている。また、自転車利用者の経路選択に関する研究として、Hood et al.⁶⁾(2011) and Broach et al.⁷⁾(2012)は携帯アプリのGPSデータから自転車利用者の経路選択モデルを構築することで自転車利用者の経路選択の嗜好性を把握している。Ranjit et al.⁸⁾(2016)はGrid Bikeshareのユーザーから得た移動データを用いて経路選択モデルを構築した後に、推定したパラメータをMRS(Marginal Rates of Substitution)によって距離換算することで、自転車利用

者の経路選択行動への影響度を定量的に把握している。

しかし、これらの研究は主に海外の都市を対象にしており、特に我が国では自転車の逆走や歩道通行が多く、車道左側一方通行を前提としていないため、自転車利用者の経路選択特性が異なることが考えられる。我が国の都市を対象とした研究として、三輪ら⁹⁾(2004)やHyodo et al.¹⁰⁾(2000)によって自転車利用者の経路選択行動を把握しているが、自転車通行空間の整備形態ごとの快適性を詳細に評価できる指標は提案されていない。我が国で同様の評価手法を導入することを想定した場合には、我が国特有の自転車利用者の経路選択特性を適切に把握した上で、評価指標の改善を図っていくことが必要である。

以上より、本研究では、まず自転車利用者の経路選択の特性を把握するために経路選択モデルを構築し、得られた変数のパラメータからMRS値を算出し、ストレス度を距離換算することで、自転車交通ネットワーク計画を評価することができる快適性指標を提案する。次に、将来の自転車交通ネットワーク計画の整備に応じたシナリオを複数設定し、提案した快適性指標を用いたケーススタディを行うことで、本指標の有用性を検証する。最後に、各シナリオの整備費用、総所要時間、リンクの中心性を算出した上で、自転車交通ネットワーク計画の利便性・快適性の比較評価を行うことで、事業の評価や自転車交通ネットワーク計画の整備方針を考察する。

2. Webアンケート調査

(1) Webアンケート調査の概要

自転車利用者の経路選択に影響を及ぼす要因を把握するために、Webアンケート調査を行った(表-1)。調査対象地は、自転車通行空間の整備形態の違いが経路選択に及ぼす影響を把握するために、本研究で考慮する自転車通行空間の整備形態である自転車道、自転車通行帯、車道上の法定外表示、歩道上の視覚的分離、交差点内の通行位置マークがすべて整備されている江東区周辺とした。本調査に先立ち、対象地での自転車利用の経験がある被験者を抽出するために、スクリーニング調査を行い、条件を満たした被験者のみ本調査に進める設計とした。

(2) 経路選択 SP 調査の設計

本研究では、仮想的な状況下における自転車利用者の経路選択行動の特性を把握するためにSP(Stated Preference)調査形式の設問を設計した。SP調査を用い

表-1 Webアンケート調査の概要

スクリーニング調査	
配信対象	東京都, 神奈川県, 千葉県, 埼玉県在住者の15~79歳の男女(20,000サンプル)
質問項目	・居住している市町村 ・自転車の利用頻度 ・1年以内に自転車で走行したことがあるエリア
本調査	
調査対象	スクリーニング調査により抽出した500人の被験者
調査期間	2018年12月10日(月)~16日(日)
質問項目	個人属性 ・性別, 年齢, 職業
	自転車を最も利用する際の移動に関して ・所有・利用する自転車の車種
	・出発地, 目的地, 出発時刻, 到着時刻, 目的 ・雨天時に利用する交通手段
	SP調査形式の経路選択に関して ・ケース1(現状の交通規則) ・ケース2(車道左側一方通行規制)での経路選択

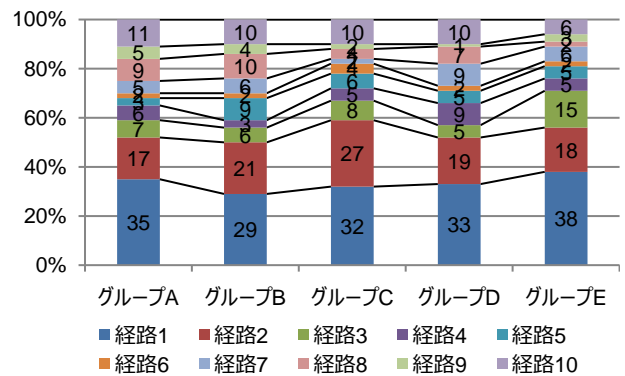


図-1 経路選択結果 (ケース1)

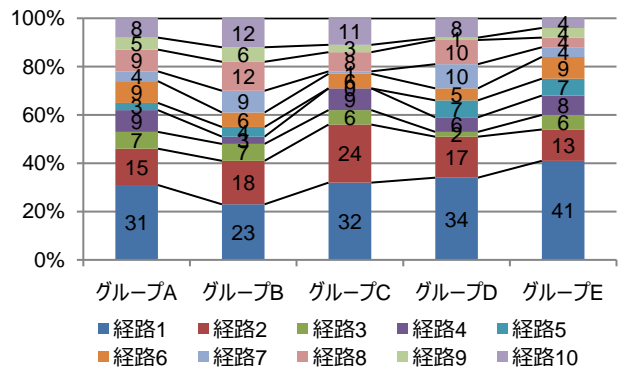


図-2 経路選択結果 (ケース2)

た経路選択に関する研究として、例えば、宇野ら¹¹⁾(2015)、森井ら¹²⁾(2016)の研究が挙げられる。本調査では、自転車利用者の経路選択行動の特性を把握するために、10D10経路の選択肢を用いた。ここで、出発地から目的地における経路をすべて列挙すると膨大な数になってしまうため、三輪ら⁹⁾の研究を参考に経路探索基準を設定した上で経路選択肢

表-2 道路上と交差点内の自転車通行空間を考慮した経路選択モデルの推定結果

説明変数	道路上の自転車通行空間				交差点内の自転車通行空間			
	ケース 1		ケース 2		ケース 1		ケース 2	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
経路距離 (自然対数) (m)	-7.132	-6.257 **	-8.899	-7.988 **	-8.207	-7.426 **	-9.088	-8.163 **
自転車道 (%)	1.311	3.282 **	1.649	4.350 **	-	-	-	-
自転車専用通行帯 (%)	1.152	0.916	3.026	2.466 *	-	-	-	-
車道上の法定外表示 (%)	-1.819	-2.256 *	0.301	0.354	-	-	-	-
歩道上の視覚的分離 (%)	1.056	0.800	1.855	1.555	-	-	-	-
交差点内の通行位置マーク (ダミー)	-	-	-	-	0.187	1.594	0.250	2.127 *
サンプル数	500		500		500		500	
初期尤度	-1151.2		-1151.2		-1151.2		-1151.2	
最終尤度	-1106.9		-1102.0		-1116.4		-1110.6	
修正済み ρ^2	0.0341		0.0384		0.0286		0.0336	

* 有意水準 5%, ** 有意水準 1%

集合を生成した。また、1つのODのみであると設定したODによるバイアスを含むことが想定されるため、異なる5つの出発地（目的地は同じ）A～Eを設定し、各OD100サンプルずつ計500サンプル回収した。本研究では、我が国の交通環境を考慮した上で最適な自転車交通ネットワークを計画していくために、自転車利用者の通行方法として、現状の通行方法をケース1、「車道左側一方通行規制」が適用された場合をケース2として設定した。被験者に、各々の通行方法で出発地から目的地に向かう際の経路を選択してもらうことで、自転車通行空間の整備といったハード面の対策だけでなく、自転車の通行方法といったソフト面での対策の効果を把握する。設問は被験者にケース1,2の各々の状況下で出発地から目的地までの経路を想像してもらい、その経路に最も近い経路を選択してもらう形式となっている。ケース1,2の経路選択結果を示したものが図-1、図-2である。ケース1,2のどちらにおいてもA～EのすべてにおいてOD間の最短経路である経路1、幹線道路を優先する経路2の順に選択率が高くなっている。ケース1と2の結果を比較すると、ケース2の方がケース1よりも幹線道路優先の経路である経路2の選択率が減少し、右左折の少ない経路である経路8の選択率が増加していることがわかる。これはケース2では車道左側一方通行規制の適用に伴い、交差点横断時に二段階右折が必要となり、交通量の多い交差点での横断を避ける傾向があることが要因として考えられる。

3. 経路選択モデルの構築と快適性指標の提案

本研究では、自転車利用者の経路選択特性を基にストレス度を加味した快適性指標を提案する。そのため、経路選択SP調査のデータから経路選択モデルを構築し、自転車利用者の経路選択に影響を与える

要因のパラメータを推定する。構築するモデルは、「道路上の自転車通行空間」と「交差点内の自転車通行空間」の2つのモデルである。パラメータ推定には多項ロジットモデルを用いる。各選択肢の選択確率は式(1)、個人 n の選択肢 i の確定効用は式(2)で示される。選択確率が最大であるときに、実際の選択行動が観測されるという事象が生じることが尤もらしいと考えられるため、最尤推定法によって解を得る。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_j \exp(V_{jn})} \quad (1)$$

$$V_{in} = \beta_1 x_{1in} + \beta_2 x_{2in} + \dots + \beta_j x_{jin} \quad (2)$$

但し、 P_{in} ：個人 n の選択肢 i を選択する確率、 V_{in} ：個人 n の選択肢 i の確定効用、 β ：未知パラメータ、 in ：個人 n の選択肢集合である。図-1、図-2で示したケース1,2の経路選択結果を用いて構築したモデルを表-2に示す。ケース1では自転車道、自転車専用通行帯、歩道上の視覚的分離、交差点内の通行位置明示マークは正、経路距離、車道上の法定外表示は負の影響を経路選択に及ぼすことが示唆される。また、経路距離、自転車道、自転車専用通行帯、歩道上の視覚的分離、車道上の法定外表示の順に影響が大きい。ケース2では、経路距離を除くすべての変数が正の影響を経路選択に及ぼすことがわかる。また、経路距離、自転車専用通行帯、歩道上の視覚的分離、自転車道、車道上の法定外表示の影響度が大きくなっており、交差点内の通行位置マークの影響度はケース1に近い値となっている。これらの結果より、車道左側一方通行規制の適用時には自転車専用通行帯や車道上の法定外表示といった車道上の自転車通行空間の整備が効果的になることが示唆される。次に推定した各変数のパラメータを式(3)によって、MRS値に変換する。

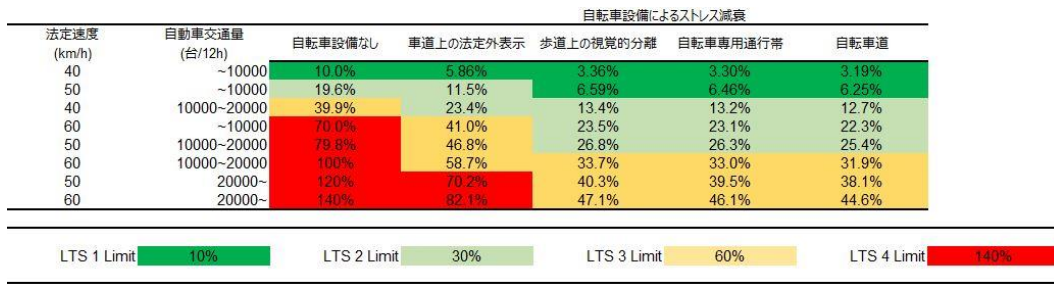


図-3 道路上の自転車通行空間における快適性指標（ケース 1）

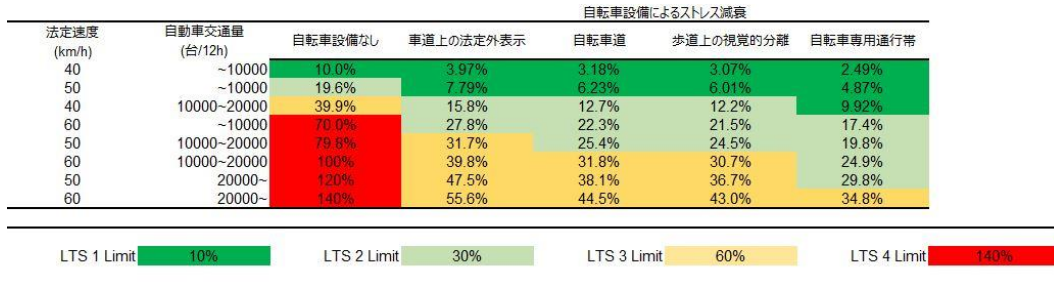


図-4 道路上の自転車通行空間における快適性指標（ケース 2）

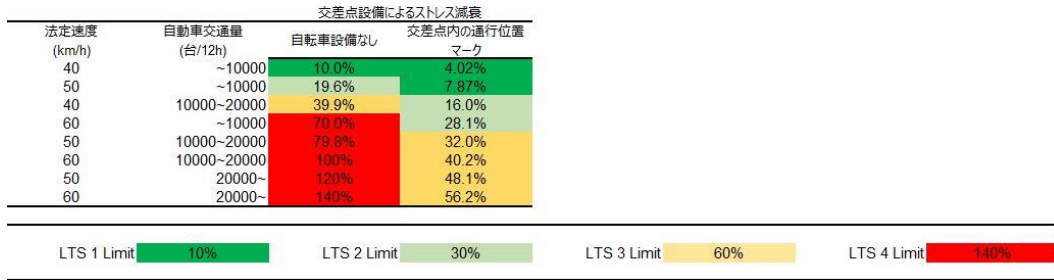


図-5 交差点内の自転車通行空間における快適性指標（ケース 1）

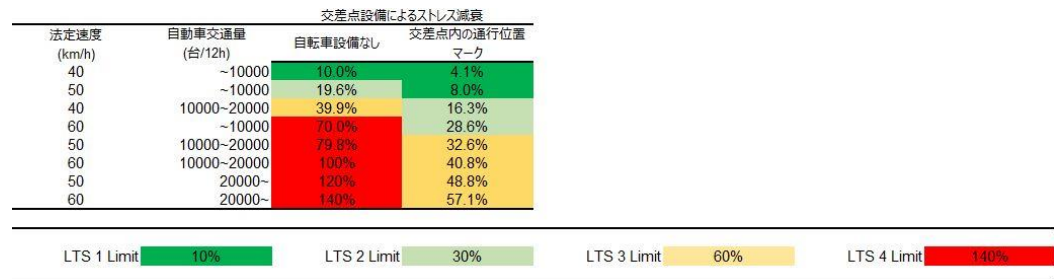


図-6 交差点内の自転車通行空間における快適性指標（ケース 2）

$$MRS = \left(\exp \left(\Delta_{att} * \frac{\beta_{att}}{\beta_{ln\ dis}} \right) - 1 \right) * 100 \quad (3)$$

但し、MRS：限界代替率、 Δ_{att} ：特性値の変化量、 β_{att} ：特性ごとのパラメータ、 $\beta_{ln\ dis}$ ：距離のパラメータ（自然対数）である。算出したMRS値は自転車通行空間が整備されていない路線を基準として自転車通行空間の整備形態ごとに変換する。ここで、ケース1の車道上の法定外表示のパラメータは負の値となっているが、本研究では自転車通行空間が整備されていない道路よりも快適性が向上することを仮定し、自転車通行空間が整備されていない道路を基準として各整備形態の快適性を算出している。また、

道路情報として法定速度と昼間12時間自動車交通量を用いることで、路線規模による快適性の違いを考慮している。表中の値はLTSの閾値によってLTS1~4に分類され、LTSが低いほど快適性が高いことを示している。ストレス表の数値を自転車交通ネットワーク上の各リンクの距離にかけ合わせることで、自転車利用者の快適性を考慮した自転車交通ネットワーク計画の評価が可能である。作成したケース1とケース2における道路上の自転車通行空間の快適性指標を図-3、図-4に示す。ケース1とケース2を比較すると、ケース2の方が全体的に自転車通行空間の整備による快適性向上への効果が高くなっていることがわかる。特にケース2の自転車専用通行帯では、整備

表-4 ケーススタディに用いるデータとシナリオ

対象エリア	東京都 江東区全域
対象ゾーン	計画基本ゾーン:10 ゾーン⇒100OD ペア
使用データ	<ul style="list-style-type: none"> ネットワークデータ:1590 ノード, 2670 リンク ⇒DRM 基本道路リンクを基に作成(約 350km) 基点・接続ノード, 交通容量, 自由走行時間 OD データ:H20 年 PT 調査データ 出発地, 目的地, OD 間交通量
自転車ネットワーク路線の整備シナリオ	0~4
シナリオ0:	現状
シナリオ1:	コスト優先
シナリオ2:	駅付近優先
シナリオ3:	幹線道路優先
シナリオ4:	利用環境優先

なしの場合はLTS4であるが整備後にはLTS2となっており、整備による快適性の向上が大きいことが考えられる。ケース1とケース2における交差点内の自転車通行空間の快適性指標を図-5、図-6に示す。どちらのケースにおいても交差点内の通行位置マークによる整備効果は同程度であることがわかる。

4. 自転車交通ネットワーク計画の評価手法

(1) ケーススタディの概要と使用データ

提案した快適性指標を用いて自転車通行空間の整備シナリオをケーススタディとして評価することで快適性指標の有用性を検証する。ケーススタディの対象エリアは江東区全域とする。これは、江東区では広域自転車通行ネットワークを構築するための整備方針を掲げており、具体的な対象路線や路線延長が計画されているからである。自転車ネットワーク路線の整備シナリオは表-4に示す5つを設定した。シナリオ0は現状の交通ネットワークである。コスト優先であるシナリオ1は、整備費用の最も安価な車道上の法定外表示を駅から半径500mのバッファ内の路線に整備する。駅周辺優先であるシナリオ2は、シナリオ1と同様の範囲の整備であるが、範囲内の幹線道路には自転車道や自転車専用通行帯を整備する。シナリオ3は、幹線道路のみに自転車通行空間を整備する。シナリオ4は、江東区の自転車交通ネットワーク計画を参考に利用環境の向上に重点を置いた広範囲に渡る自転車通行空間の整備を行う。ここで、本研究では、昼間12時間自動車交通量が10,000台以上または法定速度が50km/h以上の路線を幹線道路として扱っている。各々の整備シナリオから得られる結果を比較することで、事業の評価や将来的な自転車通行空間の整備方針を考察する。使用するデータは

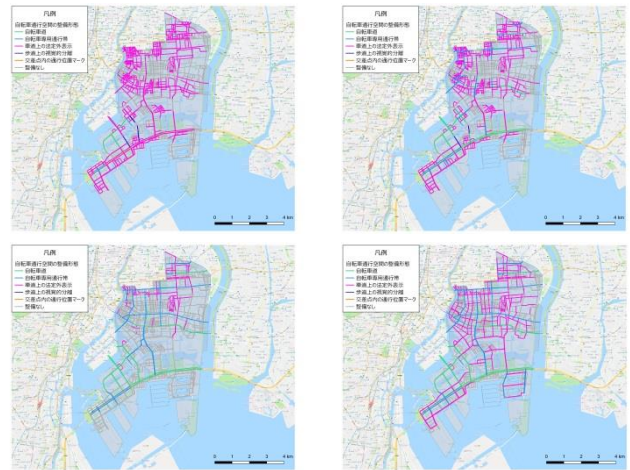


図-7 自転車ネットワーク路線 (左上から順にシナリオ1,2,3,4)

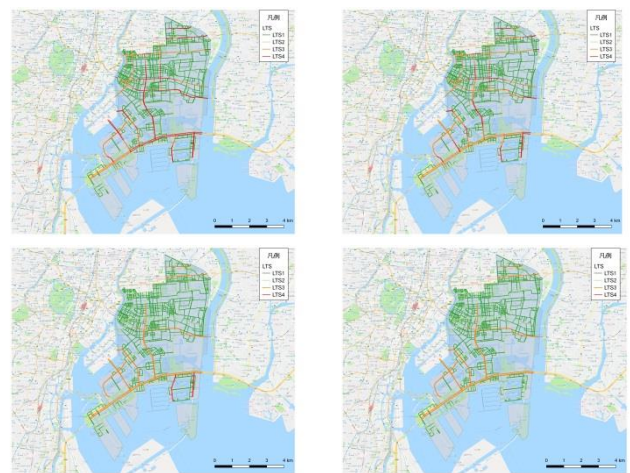


図-8 ケース1でのLTS (左上から順にシナリオ1,2,3,4)



図-9 ケース2でのLTS (左上から順にシナリオ1,2,3,4)

道路ネットワークデータとODデータである。道路ネットワークデータはDRM基本道路リンクを基に作成しており、1590ノード、2670リンクで構成されている。ODデータは、H20年度のPT調査データを使用

する. 対象ゾーンは計画基本ゾーンである10ゾーン, 100ODペアで行う.

(2) LTSの算出

設定したシナリオ1~4に基づく自転車ネットワーク路線を図-7に示す. また, 算出したケース1,2におけるLTSを図-8, 図-9に示す. どちらのケースにおいても自転車通行空間の整備により, ストレス度の比較的低いLTS1,2の割合が増加し, ストレス度の比較的高いLTS3,4の割合が減少していることがわかる. 特に, シナリオ4においては, 他のシナリオと比較してもLTS4の路線が占める割合が最も低くなっており, 整備効果の高さを読み取ることができる. ケース1,2の結果を比較すると, ケース2はケース1の快適性指標よりも自転車通行空間の整備による効果が大きいと見られる. 整備が実施される路線の快適性の向上がケース1よりも顕著になっている. そのため, コスト優先であるシナリオ1でも十分に自転車通行空間の整備による効果がみられる結果となっている.

こうした自転車利用者による自転車通行空間の整備形態別の快適性を明示的に示すことは従来の指標では表現できないものであり, 本研究で提案した快適性指標の有用性を検証することができたといえる.

(3) 自転車交通量の配分計算

自転車交通量の配分計算には, 確定的利用者均衡配分モデルを適用する. また, リンクにおける旅行時間を求めるためにリンクパフォーマンス関数として代表的であるBPR関数を使用する. BPR関数は式(4)で示される.

$$t_e(x_e) = t_{e0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_e}{C_e} \right)^\beta \right\} \quad (4)$$

但し, t_e : リンク e の旅行時間, t_{e0} : リンク e の自由旅行時間, x_e : リンク e の時間交通量(台/時), C_e : リンク e の時間交通容量(台/時), α, β : 形状パラメータである.

また, 本研究では自由旅行時間 t_{e0} は式(5)~(7)で求める.

$$t_{e0} = W_e + W_{v,k}/V \quad (5)$$

$$W_e = L_e(1 + F_{slope,e} + F_{bike_equip,e}) \quad (6)$$

$$W_v = L_v(1 + F_{bike_equip,v}) \quad (7)$$

但し, W_e : ストレス度で重みづけされた道路リンクの距離, L_e : 道路リンク e の距離, $F_{slope,e}$: 道路リンクの平均勾配によるストレス度(既存研究⁷⁾のパラメータから算出した値を用いる), $F_{bike_equip,e}$:

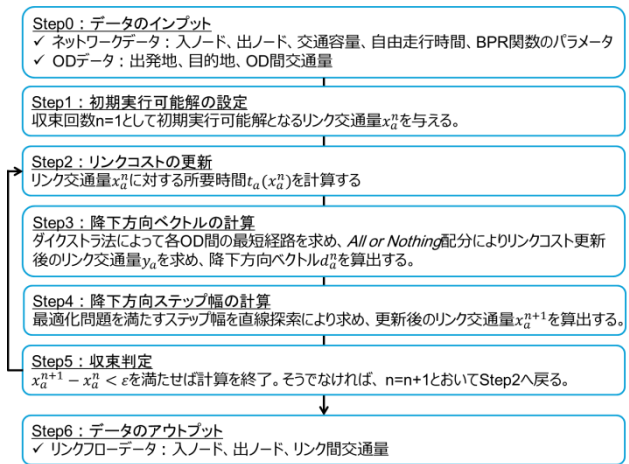


図-10 交通量配分計算のフロー

道路リンク e の自転車通行空間の整備形態によるストレス度, $W_{v,k}$ ストレス度で重みづけされた交差点リンクの距離, L_v : 交差点リンク v の距離, $F_{bike_equip,v}$: 交差点リンク v の自転車通行空間の整備によるストレス度, V : 自転車の平均走行速度(m/s) = 4.17である. なお, 交通量配分はFrank-Wolfe法を用いて計算する. 交通量配分計算のフローを図-8に示す. 初めに, ネットワークデータとODデータを入力し, 最終的には, 各リンクに流れる交通量データを出力する手順となっている.

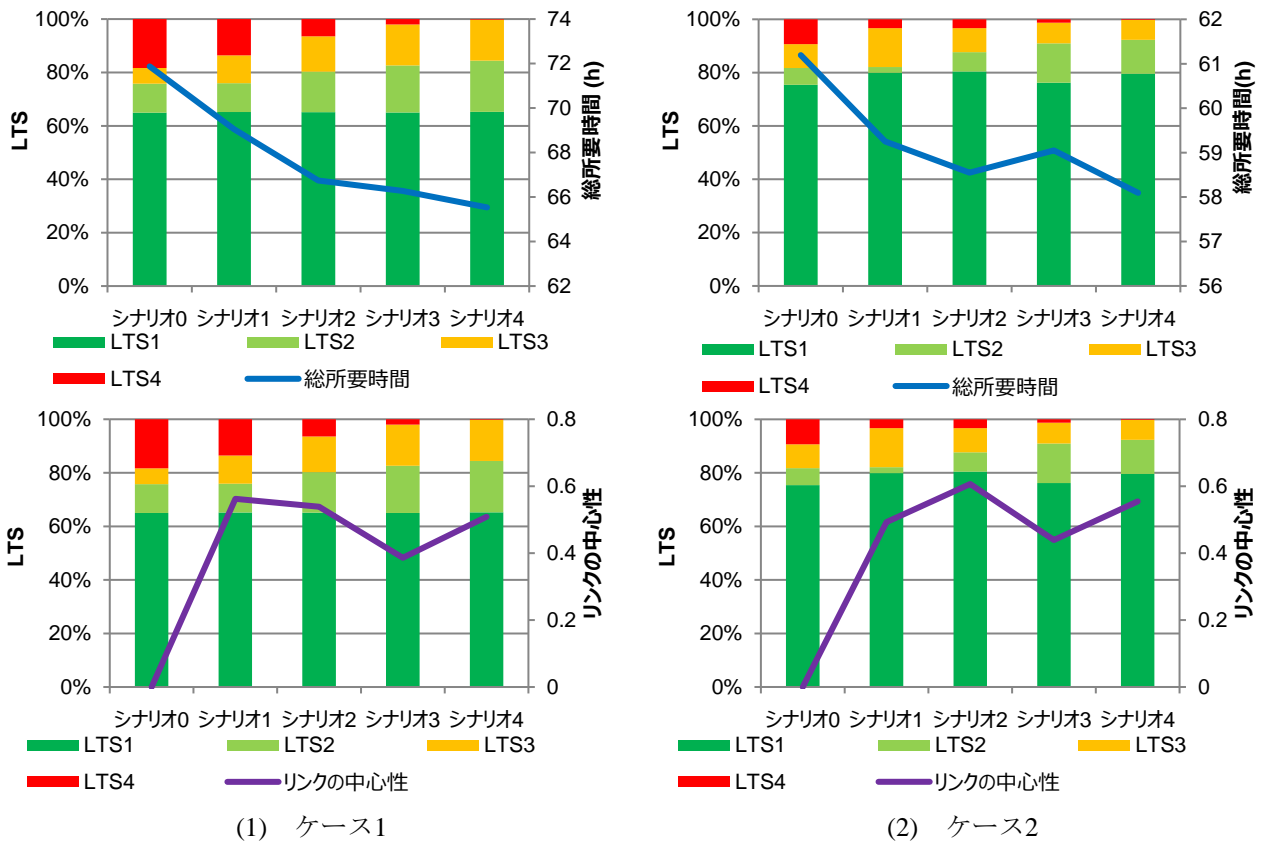
(4) 自転車交通ネットワーク計画の評価

本研究で用いる自転車交通ネットワーク計画の評価項目としては, 整備費用, 総所要時間, リンクを中心性である. 整備費用は事業の実現可能性を考慮していく際の基準となる指標である. 総所要時間は提案した快適性指標によって重みづけされたネットワーク上で算出されたすべての自転車交通量の所要時間の合計値であり, 配分計算で得られたリンク間交通量をBPR関数に代入することによって算出する. 総所要時間が短いほど快適性が改善されることを示す. リンクを中心性は自転車通行空間が新たに整備された路線がOD間の最短経路上に位置する「程度」を表す指標であり, 値が大きいほど利便性が高いことを示し, 式(8)で表される.

$$C_n = \frac{\sum_{e \in E_n} (p_{ij}^* * L_e)}{\sum_{e \in E_n} L_e} \quad (8)$$

但し, C_n : 自転車交通ネットワーク計画 n の中心性, L_e : リンク e の距離, E_n : 自転車交通ネットワーク計画 n で自転車通行空間が整備されるリンク,

$$p_{ij}^*(e) = \begin{cases} 1, & \text{if link } e \in p_{ij}^* \text{ である.} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



(1) ケース1 (2) ケース2
 図-11 各シナリオにおけるLTS, 総所要時間, リンクの中心性 (ケース1,2)

図-11は各シナリオにおいて算出したLTSの割合と総所要時間, リンクの中心性をケース1,2別に示したものである。ケース2ではケース1よりも自転車通行空間の整備による快適性の改善効果が大きいため, 対象エリアに既に整備されている自転車通行空間のLTSに差が生じている。これにより, シナリオ0の現状のネットワークの時点でケース2の方がLTS3やLTS4といったストレス度の高い路線の割合が低くなっている。

LTSと総所要時間では, 総所要時間の減少に伴って, LTS3やLTS4の自転車利用者にとってストレス度が高い路線の割合が減少し, LTS1やLTS2のストレス度が低い路線の割合が増加していることがわかる。しかし, ケース2のシナリオ3においてはLTS3やLTS4の割合はシナリオ2と比べると減少しているが, 総所要時間の改善度は低くなっている。これは, シナリオ3ではストレス度が高い幹線道路のみに自転車通行空間の整備を行うため, LTS1やLTS2である非幹線道路への整備が行われなかったために生じていることが考えられる。つまり, ケース1では, 幹線道路に対する自転車通行空間の整備効果が大きく, ケース2では, 駅周辺道路に対する自転車通行空間の整備効果が大きいことが示唆される。

LTSとリンクの中心性では, どちらのケースにおいても, シナリオ0から快適性が改善されているシナ

リオ3が他のシナリオよりも低い値となっている。これより, 自転車利用者の快適性の改善度のみを考慮して自転車ネットワーク路線を決定してしまうと自転車利用者にとって利便性が低くなってしまうことが考えられ, 費用をかけて整備したにもかかわらず利用されずに無駄な整備となってしまう可能性がある。つまり, 自転車利用者の利便性と快適性を総合的に考慮した上で自転車ネットワーク路線を決定していく必要がある。

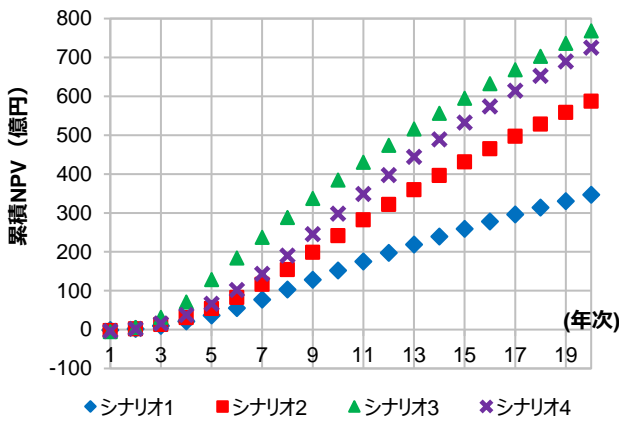
(5) 費用便益分析

最後に, 各シナリオに基づく自転車通行空間の整備が実施された場合の施策を定量的に評価するために費用便益分析を行う。具体的には, 各シナリオで算出した総所要時間の改善度を便益, 建設費用をコストとして20年間の期間における事業評価を行う。ここで, 一般化費用および利用者便益の算出には, それぞれ式(9), 式(10)を用いて算出する。

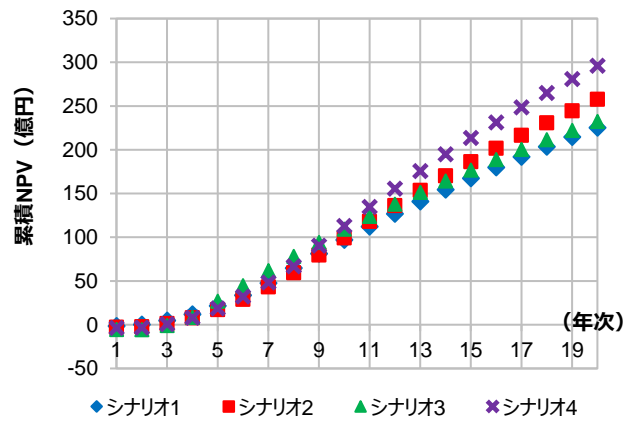
$$UB_{tb} = \sum_{i,j} \frac{1}{2} (Q_{ij}^0 + Q_{ij}^n) (C_{ij}^0 - C_{ij}^n) \quad (9)$$

$$C_{ij} = F_{ij} + \omega T_{ij} \quad (10)$$

但し, C_{ij} : ゾーン域内移動の一般化費用 (円), F_{ij} : 交通費 (円), ω : 時間評価値 (円/分) =24.94, T_{ij} : 所要時間 (分), UB_{tb} : 各tb年の利用者便益, tb :



(1) ケース1



(2) ケース2

図-12 シナリオ1~4における20年間のNPVの推移 (ケース1,2)

各年次, Q_{ij}^0 : シナリオ0における*i*から*j*へのOD交通量, Q_{ij}^n : シナリオ*n*における*i*から*j*へのOD交通量, C_{ij}^0 : シナリオ0における*i*から*j*の一般化費用(円), C_{ij}^n : シナリオ*n*における*i*から*j*の一般化費用(円)であり, 自転車通行空間の整備前と整備後のOD交通量は変化しないものと仮定する.

次に, 計算期間内の集計と評価指標値の算出を行う。便益と費用(建設費+維持管理費)を現在価値に換算する際には, 社会的割引率(年4%)を用いる。自転車通行空間の整備は年間20kmずつ実施するものとし, 各シナリオの建設期間はシナリオ1が7年間, シナリオ2,4が8年間, シナリオ3が4年間となる。利用者便益は2年目から, 既に整備された割合を享受するものとする。維持管理費は2年目から発生し, 既に整備された路線の費用の30%とする。社会的利益の大きさを示す純現在価値(NPV: Net Present Value)の累積推移を図-12に示す。ケース1では, 建設期間が短く自転車通行空間の整備効果が比較的大きいシナリオ3が最も上方を推移している。シナリオ4は対象エリア内に広範な自転車ネットワーク路線を構築するために建設期間が長く, 早期の段階では事業効果が高いとは言えない結果となっている。その一方で, 中長期的にみるとシナリオ3と同程度の値となっており, 効果的なシナリオとなっていることがわかる。ケース2では, 事業期間10年前後においては各シナリオはほぼ同程度の値で推移しているが, シナリオ2とシナリオ4の建設期間が終了する8年目以降において徐々に事業効果に差が生じる結果となっている。これらより, シナリオ4のように大規模な自転車交通ネットワークを計画・整備していくことで, 中長期的に自転車利用者の便益を向上させることができることがわかる。一方で, 自転車ネットワーク路線の整備延長が長いほど維持管理費も上昇していくため, ケース1ではシナリオ3, ケース2ではシナリオ2のよ

うに, 自転車通行空間の整備が効果的な路線やエリアに絞って整備する, 選択と集中に特化した計画も考えていく必要性が示唆される。

5. おわりに

(1) 研究の成果

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 自転車利用者が感じるストレス度を「法定速度」, 「自動車交通量」や「自転車通行空間の整備形態」別に, 距離換算して数値化することで, 自転車ネットワーク計画を評価することができる快適性指標を提案した。
- 2) 提案した快適性指標を用いたケーススタディによって, 自転車通行空間の整備効果を明示的に示すことが可能となり, 本指標の有用性を検証した。
- 3) 自転車交通ネットワーク計画の快適性を考慮する際には, ケース1では, 幹線道路に対して集中的に整備を行うシナリオ, ケース2では, 駅周辺に対して集中的に整備を行う整備が効果的である。また, 快適性が高くとも利便性が低いシナリオがみられ, 自転車ネットワーク路線を選定していく際には, 快適性と利便性を総合的に評価する必要がある。

(2) 今後の課題

本研究では, 自転車利用者の経路選択特性を把握することを目的として, Webアンケート形式の経路選択SP調査を実施した。経路選択SP調査では, 仮想的な状況を被験者に想定してもらった上で設問に回答してもらう形式となっており, 被験者がどれだけ設問の意図や状況を理解しているのかによって回答

にバイアスが生じる可能性がある。本研究で実施した経路選択SP調査においても、自転車利用者の経路選択に与える影響が大きいことが既存研究⁷⁾によって明らかにされている要因である「経路中に通過するリンクの上り勾配」が経路選択に与える影響を捉えることができなかった。現時点では、国内に整備されている自転車通行空間は諸外国の主要都市と比較すると十分ではないため、自転車通行空間の整備形態別の経路選択への影響度を把握するためには、仮想的な状況下において経路を選択してもらう調査となってしまう。将来的に自転車通行空間の整備が進んでいった場合には、自転車利用者の実際の経路選択行動をGPS装置などでトラッキングして把握するPP(Probe Person)調査が可能となるため、より精度の高い経路選択データを取得することができるだろう。

さらに、本研究では経路選択モデルを構築する際には、MNL(Multinomial Logit)モデルを採用しており、経路中に同じリンクを持つ経路を選択肢集合に含む際に生じるIIA特性を考慮できていない。IIA特性の緩和を図ることができるCNL(Cross Nested Logit)モデル等を採用することで、より精度の高い経路選択モデルを構築することができると思う。

また、費用便益分析において、利用者便益を算出する際には自転車通行空間の整備前後でOD交通量は変化しないものとして仮定している。そのため、より精度の高い利用者便益を算定し、自転車交通ネットワーク計画の意思決定に活かしていくには、整備後のOD交通量を予測する必要があるだろう。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)16H02369(代表：山中英生)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局:安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2012, 2016
- 2) 国土交通省 関東地方整備局:
<http://www.ktr.mlit.go.jp/road/chiiki/jitensha.html>,
- 3) Michael Klobucar, Jon Fricker: Feasible Study For Bicycle Safety Data Assessment And Network Evaluation, A Thesis Submitted to the Faculty of Purdue University, 2006.
- 4) Ryu, S, Su, J, Chen, A: A Bicycle Network Analysis Tool for Planning Applications in Small Communities, Mountain-Plains Consortium, MPC15-285, 2015
- 5) Lowry, B, Peter Furth, Tracy Hadden-Loh: Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity, *Transportation Research Part A* 86 (2016) 124-140
- 6) Hood, J., Sall, E., Charlton, B., 2011: A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. *Transport. Lett.* 3 (1), 63-75.
- 7) Broach, J., Dill, J., Gliebe, J., 2012: Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transport. Res. Part A: Policy Pract.* 46 (10), 1730-1740
- 8) Ranjit Khatri, Christopher R. Cherry, Shashi S. Nambian, Lee D. Han: Modeling Route Choice of Utilitarian Bikeshare Users with GPS Data, *Transportation Research Record*, Vol 2587, No.1, 141-149, 2016
- 9) 三輪富生, 山本俊行, 森川高行:名古屋市内における自転車走行空間の利用意向調査と整備効果の分析, 日本都市計画学会 都市計画論文集, Vol.46, No3, 2011
- 10) Hyodo, T., Suzuki, N., Takahashi, K.: Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan, *Transportation Research Record*, Vol 1705, 70-76, 2000
- 11) 宇野伸宏, 中村俊之, 馬場悠介, 山崎浩気, 倉内文孝: テーラーメイド型SP調査による所要時間傾向情報提供時の経路選択行動分析, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol71, No.5, pp.I_467-479, 2015
- 12) 森井健介, 宇野伸宏, 中村俊之, 織田利彦, 倉内文孝, 清水明彦: SP調査による豪雨情報提供時の経路選択行動に関する基礎的研究, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol72, No.5, pp.I_1187-1197, 2016

(2019. 受付)

A Study of Optimal Bicycle Traffic Network Plan Focused on Accessibility and Comfortability

Ryota KAWAI and Toshiaki KIN

It's increasing a number of cities are introducing city plans considering bicycle traffic, introducing bike sharing and rising in health awareness. However, many cities face problems, such as budget restrictions, road environment and accessibility. There is no specific index or evaluation method deciding how to create a bicycle network plan. That's why city officials tend to rely on experimentation that does not accelerate to invest in bicycle infrastructure. This paper investigated route choice SP survey using a Web questionnaire to understand cyclists' preference for route choice and estimated route choice model. The comfort index is suggested by transforming parameters into MRS (Marginal Rates of Substitution). Some scenarios are set up to verify the validity for the comfort index been offered. Total construction cost and total traveling time are calculated by case study to implement cost benefit analysis. It revealed the criterion which helps us to make a decision of how city government should invest in bicycle infrastructure.