原著論文

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

万 可*, 楊 鶴**, 李 力**, 南 弘征***, 下川 敏雄****, 水田 正弘***

* 北海道大学大学院, ** 西南交通大学, *** 北海道大学情報基盤センター, **** 和歌山県立医科大学大学院

Application of Adaptive Index Model to Evaluate Streetscape Convenience Evaluation Survey Data in Chengdu

Ke WAN*, Kun YAN**, Li LI**, Hiroyuki MINAMI***, Toshio SHIMOKAWA**** and Masahiro MIZUTA***

* Graduate School of Informatics Science and Technology, Hokkaido University, Kita 14, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan

** Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China

*** Hokkaido University Information Innovative Center, Hokkaido University, Kita 11, Nishi 5, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan

**** Graduate School of Medicine, Wakayama Medical University, 811-1 Kimiidera, Wakayama, Wakayama 641-8509, Japan

Abstract : China has become the world's second largest economy after recent rapid economic growth. On the other hand, the urbanization of China has aggravating the problems of air pollution, traffic congestion, and the dual structure of urban and rural areas. Therefore, the Chinese government has implementing a policy to revise the efficiency-oriented city planning to the quality-oriented, namely "National new urbanization plan". We conducted a questionnaire survey on streetscapes in Chengdu, China. In this survey, we asked pedestrians and bicycle users about the streetscape during traffic. We applied AIM (Adaptive Index Model) method [1] to analyze this survey data. We used the estimated AIM results to score the satisfaction of the streetscape based on "production rules". As a result, safety was important for each traffic, and street cleanliness and the number of bicycle parking lot was important for cyclists. Moreover, Satisfaction was low in the school district and the vicinity of parks. On the other hand, the streets were highly satisfied in the shopping district.

Keywords : Questionnaire survey, Adaptive index model, Production rule

1. 序

中国は、近年の急激な経済成長を経て、世界第2位の経済大国になった。とくに、1978年12月に開催された中国共産党第11期中央委員会第3回全体会議で打ち出された「改革開放政策」が端をなす、政策転換は、大都市の更なる都市化と農村部から大都市への民衆の流入をもたらした。これらの大幅な人口の増加と発展に應えるため、各都市の開発は、高機能・高効率（効率重視）に重点がおかれてきた。

一方で、中国の都市化は、大気汚染、交通渋滞、都市と農村の二元構造問題を深刻化させている。効率重視の都市計画を改めるために、2014年3月に、中国国務院から「国家新型都市化計画」が交付された[注1]。そのような時流のなか、中国の都市開発は、量から質に重点が移行しつつある。富田[2]は、中国の都市開発が「グリーン」、「スマート」、「人文（文化・歴史）」といったテーマを掲げたまちづくりが活発に行われていくことを示唆している。

「質」を重視した都市計画において、街路が果たす役割は大きいように思われる。そのため、本論文では中国の街路に対する利便性の評価に焦点を当てる。調査地点には、中国の主要都市のなかでも、先進的に「質」を重視した都市計画を志向している四川省 成都市を選定した。そして、街路を通行する被験者に対して、利用中の街路の利便性に対する満足度とともに街路および周辺環境に関するアンケート調査を実施した。

このとき、街路をアクセスする方法には、徒歩、自転車あるいは電気自転車[注2]が考えられる。街路の利便性に関する満足・不満足（以下、満足度）には、それぞれのアクセス方法によって異なることが予想される。そのため、徒歩および自転車利用者に対して、異なるアンケート項目での調査を行った。

本論文の目的は、アンケート調査を通じて、街路の利便性に対して影響を及ぼす物理的な要因を評価することにある。このとき、以下の3点の目標を掲げる：(1) 満足度に影響を及ぼす要因（影響要因）を評価すること、(2) 影響要因をどの程度評価すれば満足度に繋がるか（各要因が満足度に影響を及ぼすカットオフ値）を探索すること、(3) 満足度に基づく被験者の類型化を行うこと。

アンケート調査分析において、一般的に用いられる統計手法が重回帰分析である。ただし、重回帰分析では、上記の目標(1)は達成できるものの、目標(2)(3)を達成することはできない。そのため、本論文では、目標(1)～(3)を達成するための統計的方法として適応的指示モデル（AIM: Adaptive Index Model、以下AIM法）[1]を応用する。

2節では、成都市の概要について触れる。3節では、街路景観評価に関する既存研究について述べるとともに、本研究の位置づけおよび目標について詳述する。4節では、アンケート調査の概要と要約統計量について述べる。5節では、AIM法を用いて街路景観の評価を行う。ここでは、順序付きクラスターの考察を行うとともに、調査地点毎での傾向について考察を行う。6節では、得られた結果を整理し、結びに代える。

2. 成都市の概要

成都市は、中華人民共和国（以下、中国）四川省の省都である。四川省は、中国西南部、長江の上流域に位置する省である。周囲は秦嶺山脈、チベット高原、および雲貴高原に囲まれ、中部および東部には四川平原が広がっている。とくに、四川平原は、肥沃な土壌が分布していることから、「天府の国」と呼ばれている。

省都である成都市は、副省級市〔注3〕であり、四川省のほぼ中央に位置する。三国時代には、蜀の都として発展したことも有名であり、その他にも多くの歴史的遺産が点在する。人口は、2017年において、1607.47万人（中国第4位）であり、東京都（1395.16万人）を上回る。

成都市は、急激な人口増加に応えるために、地下鉄などの公共交通インフラの整備が急激に進められており、2021年には、新空港（成都天府国際空港）が開港予定である。一方で、

成都市は、中国政府が「国家新型都市化計画」を発表する前に、同様の考え方のもと、都市農村総合計画に取り組むなど、先進的な政策を行っている〔2〕。

3. 既存研究と本研究の位置づけ

街路評価に関する研究には、都市計画を中心に数多くの報告がある。表1は、代表的な先行研究の概要を表している。街路評価に関する研究には、街路の写真あるいはCG画像を用いた評価実験に基づく方法（No.1～6）とアンケート調査に基づく方法（No.7～9）がある。

街路の写真を用いた評価実験に基づく方法には、(1) 写真の景観が類似するものをグループ分けする実験（No.1, 2）、あるいは、(2) SD法に基づく評価実験（No.4, 5）がある。(1) の場合には、同じグループに属する頻度に基づく類似度行列を用いた多変量解析を用いることで、街路の類型化あるい

表1 街路景観に対する既存研究の要約

No	論文	研究の目的	実験・調査の方法	統計手法	結論
1	細川ら〔3〕, 窪田〔4〕	街路景観の類型化	街路の写真を被験者に分類してもらい、同じグループに分類された頻度を計測している。	同じグループに属する頻度を類似度とした非計量多次元尺度法による類型化	分類の規定要因として空間量、側道土地利用、緑量が影響していることが示唆されている。
2	楊ら〔5, 6〕	街路景観の印象に対する影響要因の探索	街路の写真を被験者に分類してもらい、同じグループに分類された頻度を計測している。	同じグループに属する頻度に基づく非類似度行列に対する多変量CART法〔7〕あるいはMARS法〔8〕による影響要因の探索	歩道幅、周辺の商店の有無、および道路舗装が街路景観の類型化に影響を及ぼすことが指摘されている。
3	山田ら〔9〕	街路上の高架構造物の景観的影響の評価	高架構造物のCGによるモンタージュ写真を用いた認知評価実験を行っている。	数量化Ⅲ類による調査地点の類型化、数量化Ⅰ類による高架構造物の形状の影響の評価	街路景観タイプと高架構造物のデザインの関連性に関する考察されている。
4	天野ら〔10〕	街路景観に対する認知構造の評価	街路の写真をSD法によって印象を評価してもらう認知評価実験を行っている。	共分散構造分析による認知構造の評価	「歩きやすさ」と「雰囲気」が「たのしさ」に影響を与え、そして「また来てみたい」と考えることを指摘している。
5	北村〔11〕	街路景観の印象に対する認知構造の探索と空間的要因の評価	街路の写真をSD法によって印象を評価してもらう認知評価実験を行っている。	因子分析による認知構造の探索および、因子得点に対する数量化Ⅰ類による空間的要因の評価	街路景観に対する認知構造には「調和性」「賑やかさ」「親密性」があり、街路景観の色彩およびテクスチャが影響を及ぼすことを述べている。
6	篠原ら〔12〕	側道の建物が街路景観に及ぼす影響を計量的に評価	CGを用いて画像を作成し、その街路に佇んでいる視点において、圧迫感、総合感、囲まれ感をSD法により評価する認知評価実験を行っている。	各指標に対して、CGによる建物の空間的指標を説明変数、SD法による評価結果を応答変数にした回帰分析による評価	街路周辺の建物の構造とそれに対する印象に対する数理モデルを構築している。
7	Li et al.〔13〕	成都市と東京23区の街路景観に対する認知特性に対する空間的要因の比較	成都市と東京23区に居住する学生に対して、幹線道路を想像してもらい、その街路に対する印象をアンケートにより調査している。	因子分析によって得られた評価指標を応答、空間的要因に対する調査項目を説明変数に用いたランダムフォレスト法〔14〕による評価	街路景観の「美しさ」については、道路舗装が最も影響しており、「賑やかさ」については、人の往来の多さが最も影響があり、「親近性」については、周辺の店舗の影響が高いことを指摘している。
8	李ら〔15〕	成都市と東京23区の街路景観に対する認知特性に対する空間的要因の比較	成都市と東京23区に居住する学生に対して、身近な街路を想像してもらい、その街路に対する印象をアンケートにより調査している。	「快適性」、「美しさ」、「親近性」、「歩きやすさ」の満足度を応答、空間的要因に対する調査項目を説明変数に用いた条件付き推測樹法〔16〕による評価	道路舗装、周辺の建物の煩雑さが「快適性」「美しさ」に影響を与え、「親近性」については東京と成都で印象が異なることを述べている。また、「歩きやすさ」には障害物の多さが影響することを指摘している。
9	中山ら〔17〕	シェアド・スペースに対する意識調査の実施	ドライバーを対象としたWebアンケート調査および、街頭における歩行者を対象としたヒアリング調査している。	シェアド・スペースの有無で街路を2群に分けたときの、調査項目毎での比較にt検定を利用	シェアド・スペースは、ドライバーが歩行者に気を配る傾向を醸成し、その結果として、歩行者が街路の雰囲気をポジティブに捉える傾向があることを述べている。

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

は写真内の空間的要因（例：ゴミの量や道路舗装）との関連性が評価される。また、(2) の場合には、調査項目の評価得点に対する空間的要因の影響（すなわち、因果効果）が評価される。CG 画像を用いた研究では、特定の要因（例えば、高架構造物）に焦点が当てられており、その要因の程度を変化させたときの調査項目（応答変数）の傾向変化が考察される（No.3, 6）。

評価実験に基づく方法では、被験者が予め設定した街路景観を評価する。これに対して、アンケート調査に基づく方法では、対象の街路を被験者が選定する場合（No.7, 8）、あるいは、街頭において周辺の街路を被験者が評価する場合（No.9）がある。したがって、被験者が評価する街路景観が調査者（研究者）によって予め規定されない。アンケート調査に基づく方法では、街路景観の認知的側面に着目したもので、周辺の物理的要因との関連性を評価する場合（No.7, 8）、あるいは、個々の調査項目の評価を行う場合（No.9）がある。

街路の写真を用いた評価実験に基づく方法の多くが、数十枚の実験に用いられる写真あるいはCG 画像などを用いて行われる。ただし、実際の街路景観は多岐にわたり、それらの影響を吟味するには十分な数であるとはいえない。また、CG 画像（No.6）あるいはモニタージュ画像（No.3）はリアリティに欠ける。

アンケート調査に基づく方法において、対象となる街路を被験者に想像してもらう研究は、想像した街路の位置だけでなく、思い浮かべた街路の情景が不明であるため、多分に曖昧さを秘めている。

そのため、本研究では、街頭におけるアンケート調査に基づく方法により、街路の利便性に対する調査を行った。なお、街路評価における研究では、街路景観の認知的な評価あるいは街路の特定の空間的要因（例えば、高架構造物あるいはシェアド・スペース）に対する評価に終始しており、街路の利用者の利便性の観点から調査を行っている報告は殆どない。このことが、街頭でのアンケート調査を行った動機の一つである。

4. アンケート調査の概要

4.1 調査方法

成都市でのアンケート調査は、成都市政府の協力のもと、市街地において、徒歩および自転車で通行する一般市民に対して実施した。この調査は、当該アンケートを行った地点の街路景観を見渡してもらい、調査票に回答してもらった。このとき、調査地点の例を図1に示す。

アンケート項目については、北村 [11]、楊ら [5, 6] および Li et al. [13] を参考に設定した。アンケートは、1が「不満である（当てはまらない）」、2は「やや不満である（やや当てはまらない）」、3は「どちらでもない」、4は「やや満足している（やや当てはまる）」、5は「満足している（当てはまる）」の5件法が用いられた。つまり、数字が1に近づくほど不満であり、5に近づくほど満足していることを表している。なお、アンケート項目の詳細は、補遺1を参照されたい。

4.2 被験者の概要

アンケート調査は、2016年12月から2017年1月にかけて実施された。被験者数は、歩行者が2,291名、および自転車利用者が751名である。

表2は、被験者の背景を表している。性別は、いずれの場合でも若干男性のほうが多かった。年齢の平均値はおおよそ35歳であった。学歴は、高校生以下が最も高く、いずれの場合にも半数以上だった。職歴の分布には、若干の違いが認められた。徒歩の被験者では、会社員が最も多く、次いでフリーター、学生の割合が高かった。自転車利用者では、会社員が最も高く、次いで、商業・サービス業、学生の割合が高かった。月収では、4000～6000人民元の割合が高かった。また、1200人民元以下の割合が20%以上存在するが、これは、学生の割合の高さが反映していると考えられる。成都市住民であるか否かについては、おおよそ80%が成都住民であった。利用時間は、自転車の利用者のほうが徒歩に比べて長かった。

図1 調査地点の写真

表2 被験者の概要

		歩行 (N = 2,291)		自転車 (N = 751)	
		要約	欠測	要約	欠測
性別	男	1,215 (53.0%)	5	415 (55.3%)	0
	女	1,071 (46.7%)		336 (44.7%)	
年齢：平均 (SD)		36.1 (16.0)	0	34.2 (13.9)	0
学歴	高校以下	1,158 (50.5%)	11	392 (52.2%)	3
	短大・大学	1,044 (45.6%)		335 (44.6%)	
	大学院	78 (3.4%)		21 (2.8%)	
職業	公務員	200 (8.7%)	1	69 (9.2%)	1
	会社員	503 (22.0%)		165 (22.0%)	
	個人経営者	259 (11.3%)		86 (11.5%)	
	第1次産業	81 (3.5%)		44 (5.9%)	
	商業サービス	303 (13.2%)		106 (14.1%)	
	生産・運送従事者	89 (3.9%)		49 (6.5%)	
	フリーター	432 (18.9%)		100 (13.3%)	
	学生	423 (18.5%)		131 (17.4%)	
月収 (人民元)	1200 以下	555 (24.2%)	3	162 (21.6%)	0
	1200～2000	234 (10.2%)		82 (10.9%)	
	2000～4000	619 (27.0%)		227 (30.2%)	
	4000～6000	580 (25.3%)		188 (25.0%)	
	6000～8000	209 (9.1%)		58 (7.7%)	
	8000～10000	80 (3.5%)		29 (3.9%)	
	10000 以上	11 (0.5%)		5 (0.7%)	
成都住民	はい	1,791 (78.2%)	16	629 (83.8%)	7
	いいえ	484 (21.1%)		115 (15.3%)	
利用時間	5分以内	95 (4.1%)	2	13 (1.7%)	0
	5～10分	492 (21.5%)		112 (14.9%)	
	10～20分	803 (35.1%)		310 (41.3%)	
	20～30分	431 (18.8%)		180 (24.0%)	
	30分以上	468 (20.4%)		136 (18.1%)	
目的	通勤・通学	1,044 (45.6%)	7	388 (51.7%)	3
	レジャー・ショッピング	807 (35.2%)		223 (29.7%)	
	トレーニング・娯楽	433 (18.9%)		137 (18.2%)	

これは、交通アクセスの利便性の高い自転車の利用者のほうが長距離を移動するためであると推察される。利用目的は、通勤・通学の割合が最も高く、次いで、レジャー・ショッピングであった。

5. 適応的指示モデルに基づく利便性評価への影響

本解析の目標は、(1) 満足度に影響を及ぼす要因（影響要因）を評価すること、(2) 影響要因をどの程度評価すれば満足度に繋がるか（各要因が満足度に影響を及ぼすカットオフ値）を探索すること、(3) 満足度に基づく被験者の類型化を行うこと、にある。

目標(1)は、総合的満足度（調査項目 Q22）を応答とした、回帰的アプローチが必要であることを意味する。目標(2)は、アンケート調査分析に頻用される重回帰分析よりも、回帰木のようなプロダクション・ルールに基づく方法のほうが適していることを意味する。ただし、回帰木で得られるクラスター（リーフ）は、互いに異なる応答（利便性）の予測値を持つこ

とは保証されない。すなわち、回帰木では、目標(3)を達成できない。そのため、本論文では、目標(1)～(3)を達成する方法として適応的指示モデル（AIM）法 [1] を用いる。

AIM法は、説明変数に基づく指示関数（プロダクション・ルール）の総和を用いた単回帰モデルによって構成される回帰分析法である。この方法は、説明変数による複数のプロダクション・ルールを満たしている総和によって得点化が行われる（これにより、目標(1)(2)が達成できる）。また、点数に基づくクラスターが構成される（これにより、目標(3)が達成できる）。なお、本論文では、点数に基づくクラスターを順位付きクラスターと呼ぶ。

本節では、AIM法による解析結果を提示するとともに、結果を考察する。AIM法の概要については、補遺2を参照されたい。このとき、応答は総合的満足度（Q22）、説明変数は、その他の質問項目（Q1～Q21）とした。また、AIM法の指示関数（ルール）を選定するときに用いられるスコア検定統計量の有意水準 α は0.05とし、ルール数の上限は、質問項目の個数（21個）とした。

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

5.1 歩行者に対する調査結果

歩行者を対象とした歩道に対するアンケート調査に対して、AIM法を適用したときのルールを以下に示す。

- R.1: Q1 (安全である) ≥ 4 [73.2%]
 R.2: Q2 (連続的である) $= 5$ [19.2%]
 R.3: Q11 (道幅が広い) $= 5$ [20.4%]
 R.4: Q16 (夜間照明が良い) ≥ 3 [83.3%]
 R.5: Q17 (歩道が綺麗である) ≥ 4 [66.7%]

上記のルールにおいて、[] 内の割合は、ルールに該当する被験者の割合 (サポート) を表している。推定されたルールが5個であることから、0点から5点までの総得点が得られる。

Q2 (直線的である) および Q11 (道幅が広い) は、5 (非常に良い) と回答しなければ得点が得られなかった。つまり、歩道幅あるいは歩道の連続性といった、歩道のインフラに対する項目は、他のルールに比べてシビアに評価されていることが示唆された。一方で、夜間照明については、3 (どちらでもない) 以上の評価があれば得点が得られることから、不満 (2以下) でなければ良いことが分かった。成都市は大都市であり、店舗などの照明が深夜まで灯っている。このことが、歩道周囲の明るさがアンケート調査に反映されたと推察される。

各ルールのサポートでは、R.2 および R.3 が極端に低かった。これらのルールは、5 (非常に良い) でなければならないことが反映されたと思われる。

図2は、AIM法によって推定された得点 (順序付きクラスター) と総合的満足度 (Q22) の関係を表している。ここで、破線は、データ集合全体での総合的満足度 (Q22) の平均値 (3.72) を表している。その結果、5点の場合に総合的満足度の平均値 - 標準偏差 (図2のエラーバーの下限值) が全体平均を大きく上回った。また、4点のエラーバーの下限值は僅かに全体平均を下回ったものの、おおよそ満足していると考えられる。得点が4点以上になるには、歩道の連続性 (直線性) あるいは道幅といった、歩道のインフラに関する項目を利用者が満足しなければならないことがわかった。一方で、得点が1点以下の被験者は、その歩道に対する総合的満足度が全体平均に比べて極めて低かった。

図2 歩行者の得点に対する総合的満足度の平均値

図3 歩行者に対する得点と調査地区の関係

図3は、調査地区を8カテゴリ (通勤地区、通学地区、住宅地区、バス停付近、駅付近、商業地区、公園付近、その他) に分けたときのそれぞれの地区における得点 (順序付きクラスター) の分布を表している。商業地区および住宅地区において4点以上の被験者 (総合的満足度が高いクラスターに属する被験者) が多かった。一方で、通学地区およびバス停付近では、1点以下の被験者 (総合的満足度が全体平均を下回るクラスターに属する被験者) が多かった。

図4は、ルール毎の傾向を表している。ここで、縦軸の適合割合とは、各地区でのルールを満たしている割合 / 全体でのルールを満たしている割合 $\times 100$ である。すなわち、適合割合が100以上の場合には、全体に比べて当該ルールを満たしている被験者が多いことを意味する。一方で、100を下回る場合には、全体に比べて低いことを意味する。それぞれの地区での傾向を以下に示す (その他を除く)：

(1) 通勤地区

道幅 (Q11/R.5: この歩道の幅は広い) の適合割合は87.7であり、著しく低かった。その他のルールは、全体 (適合割合=100) とおおよそ同程度であった。

(2) 通学地区

すべてのルールが全体平均を下回った。とくに、安全性および道幅の適合割合が、それぞれ78.9および88.9であり、非常に低かった。

(3) 住宅地区

連続性 (Q2/R.2: この歩道は連続的 (直線的) である) の適合割合が92.7であり、全体 (適合割合=100) を下回っているものの、その他のルールは上回った。とくに、道幅の適合割合が122.1であり、著しく高かった。

図4 歩行者における全体でのルール充足割合を100としたときの地区別のルール充足割合の相対評価

(4) バス停付近

連続性以外の項目が全体（適合割合 = 100）を下回った。とくに、安全性の適合割合が83.9であり、著しく低かった。

(5) 駅付近

道幅の適合割合が93.1であり、若干低いものの、その他のルールは、全体（適合割合 = 100）とおおよそ同程度であった。

(6) 商業地区

すべてのルールが全体（適合割合 = 100）を上回った。とくに、道幅の適合割合が140.2であり、非常に高かった。

(7) 公園付近

夜間照明（Q16/R.4：この歩道の夜間照明は良好である）の適合割合は全体平均を僅かに上回るものの、その他のルールは全体を下回った。とくに、連続性、道幅の適合割合は非常に低かった。

図5 自転車利用者の得点に対する総合的満足度の平均値

5.2 自転車に対する調査結果

自転車を対象とした歩道に対するアンケート調査に対して、AIM法を適用したときのルールを以下に示す。

- R.1: Q1 (安全である) ≥ 4 [68.1%]
- R.2: Q6 (歩道との分離) ≥ 4 [21.4%]
- R.3: Q16 (自転車道路が綺麗) = 5 [85.5%]
- R.4: Q20 (駐輪場の数) ≥ 3 [25.6%]

上記のルールにおいて、[] 内の割合は、当ルールに該当する被験者の割合（サポート）を表している。推定されたルールが4個であることから、0点から4点までの総得点が得られる。

Q6（歩道との分離）およびQ16（自転車道路が綺麗）に該当するルール（R.2, R.3）のサポートが極端に低かった。つまり、自転車道路および駐輪場といった自転車用のインフラ整備は、総合的満足度を引き上げる上で重要であるにもかかわらず、十分にでないことが伺える。

図5は、AIM法によって推定された得点と総合的満足度（Q22）の関係を表している。その結果、得点が4点（すべてのルールを満たす）の場合に、総合的満足度の平均値 - 標準偏差（図5のエラーバーの下限值）が全体平均（3.71）を上回った。また、得点が3点の場合のエラーバーの下限值は、全体平均

に比べて僅かに小さかったが、概ね満足していると判断できる。一方で、得点が1点以下の場合には、全体平均を下回り、0点（すべてのルールを満たさない）の平均総合満足度は、2.53であり、極端に低かった。

図6は、調査地点を8カテゴリに分けたときのそれぞれの地区における得点（順序付きクラスター）の分布を表している。バス停近くおよび商業地区では、3点以上の被験者（総合的満足度が高いクラスターに属する被験者）が多かった。一方で、通学地区および公園付近では、1点以下の被験者（総合的満足度が低い被験者）が多かった。公園付近は、3点以上の被験者割合についても高いことから、満足／不満足の評価が明確に分かれた。

図7は、得点を構成するルール毎の傾向を表している。それぞれの地区での傾向を以下に示す（その他を除く）：

(1) 通勤地区

駐輪場の数（Q20/R.4：この自転車道路の駐輪場の数に満足している）の適合割合が全体（適合割合 = 100）を大きく上回った。その他のルールは、全体とほぼ同じであった（適合割合がおおよそ100であった）。

(2) 通学地区

歩道との分離（Q6/R.2：この歩道と自転車道路のストリートスペースに満足している）の適合割合が全体（適合割合 = 100）

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

図6 自転車利用者に対する得点と調査地区の関係

を大きく上回ったものの、その他のルールは適合割合は全体を下回った（適合割合が100未満であった）。とくに、駐輪場の数の適合割合が69.1であり、非常に低かった。

(3) 住宅地区

歩道との分離および駐輪場の数の適合割合がそれぞれ89.3および69.1であり、著しく低かった。すなわち、自転車道路に対するインフラ整備に対する満足度が低かった。

(4) バス停付近

歩道との分離および駐輪場の数の適合割合は、それぞれ129.9および130.1であり、非常に高かった（自転車道路のインフラ整備に満足する被験者が多かった）。一方で、安全性（Q1/R.1：この自転車道路は安全である）の適合割合が93.8であり、若干低かった。

(5) 駅付近

歩道との分離に対する適合割合が87.4であり、著しく低かった。一方で、その他のルールは、全体とはほぼ同じであった（適合割合がおおよそ100であった）。

(6) 商業地区

すべてのルールが全体（適合割合=100）を上回った。とくに、歩道との分離の適合割合が137.9であり、非常に高かった。

(7) 公園付近

駐輪場の適合割合は117.2であり、全体平均を大きく上回ったものの、その他のルールは全体（適合割合=100）を下回った。とくに、安全性および歩道との分離の適合割合は、それぞれ82.2および74.8であり、非常に低かった。

5.3 まとめ

図8は、各調査地区の平均得点を標準化（以下、標準化得点）したときの、歩行者と自転車利用者の散布図である。通学地区と公園付近は、歩行者および自転車利用者のいずれにおいても標準化得点が負値であり、全体の平均得点未満であった。一方で、商業地区は、標準化得点が正值であることから、全体の平均得点を上回った。バス停付近は、歩行者では負値

図8 歩行者と自転車利用者の得点の関連性の散布図

図7 自転車利用者における全体でのルール充足割合を100としたときの地区別のルール充足割合の相対評価

であるものの、自転車利用者では正值であった。したがって、バス停付近の街路は、歩行者には不評だが、自転車利用者では好評だった。

表3は、ルールと各調査地区での組み合わせの結果を要約している。ここで、×は適合割合が80%未満のルール、▲は90%未満のルール、○は110%以上のルール、◎は120%以上のルールである。

まず、選択されたルールを省察する。歩行者および自転車のいずれにおいても、安全性（いずれもQ1）および街路の綺麗さ（歩行者Q17、自転車Q16）がルールに含まれた。また、歩行者では、道幅（Q11）および夜間照明（Q16）、自転車では歩道との分離（ストリースペース）（Q6）および駐輪場（Q20）がルールに選ばれた。これらのルールは、道路のインフラに関連していることから、アクセス方法によって道路インフラに対する関心が異なることが示唆された。

次いで、調査地区別での傾向を評価する。通勤地区では、歩行者において道幅に対するルール（R_{w.3}）を満たす割合が低かった。一方で、自停車利用者に対する駐輪場のルール（R_{B.4}）を満たす割合が高かった。通学地区では、歩行者における道幅に対するルール（R_{w.3}）、自転車利用者に対する駐輪場のルール（R_{B.4}）を満たす被験者割合が非常に低かった。また、歩行者および自転車利用者のいずれにおいても、安全性に対するルール（R_{w.1}）の被験者割合が低かった。このことが、平均合計得点の低さに影響していることが推察される。同様に平均合計得点が低かった公園付近では、歩行者では連続性に対するルール（R_{w.2}）、自転車利用者では歩道との分離に対するルール（R_{B.2}）を満たす割合が非常に低かった。

一方で、歩行者および自転車利用者のいずれにも平均合計得点が高かった商業地区では、歩行者では道幅に対するルール（R_{w.3}）、自転車利用者では歩道との分離に対するルール（R_{B.2}）を満たす割合が非常に高かった。

住宅地区では、歩行者の道幅に対するルール（R_{w.3}）を満たす割合が高かった。図8では、住宅地区の歩行者に対す

る平均合計得点が全体に比べて高かったが、道幅がこのことに寄与していると考えられる。一方で、自転車利用者の平均合計得点が高かったバス停付近では、歩行者との分離のルール（R_{w.3}）および駐輪場のルール（R_{B.4}）を満たす割合が高かったことから、バス停付近の自転車に対するインフラ整備が満足度に繋がっていることが示唆された。

それぞれのルールを省察すると、歩行者では道幅に対するルール、自転車利用者では駐輪場および歩道との分離に対するルールにおいて、調査地点での賛否が分かれた。

6. 結 び

本論文では、中国 成都市における街路の利便性に関するアンケート調査を実施した。調査データの統計解析では、利便性に対する満足度を応答変数としたもとの、適応的指示モデル（AIM）法を応用した。ここでは、得られた結果を要約し、結びに代える。

- 歩行者および自転車利用者（以下、全利用者）のいずれにおいても、街路の安全性に関するルールが得られた。すなわち、（街路整備との直接的な関連性はないものの）街路周辺の防犯上の課題が認められた。同様に、街路の綺麗さ（ゴミがない）が、歩行者および自転車利用者のいずれにおいても重要であることが示唆された。
- 自転車では、駐輪場の数、および歩道とのストリートスケープのルールが得られた。したがって、これらのインフラ整備が自転車利用者の満足度に寄与していることが示唆された。
- 通学地区では、安全性および歩道と自転車道路のストリートスケープが課題として挙げられた。通学地区では、通学時間帯において、多くの児童・学生が通行する。このことが、影響すると考えられる。
- 公園地区では、安全性、道幅が課題として挙げられた。成都市には、大通りから外れた場所に公園が点在するため、このような結果が得られたと推察される。

表3 AIMによる解析のまとめ

		通勤地区	通学地区	住宅地区	バス停付近	駅付近	商業地区	公園付近
歩行者	R _{w.1} : 安全性 (Q1) ≥ 4		▲	○	▲			
	R _{w.2} : 連続性 (Q2) = 5						○	×
	R _{w.3} : 道幅 (Q11) = 5	▲	×	◎			◎	▲
	R _{w.4} : 夜間照明 (Q16) ≥ 3							
	R _{w.5} : 綺麗さ (Q17) ≥ 4						○	
平均合計得点 (全体: 2.63)		2.60 (98.9)	2.39 (90.9)	2.79 (106.1)	2.49 (94.7)	2.63 (100.0)	2.94 (111.8)	2.47 (93.9)
自転車	R _{B.1} : 安全性 (Q1) ≥ 4		▲				○	▲
	R _{B.2} : 歩道との分離 (Q6) ≥ 4		○	▲	◎	▲	◎	×
	R _{B.3} : 綺麗さ (Q16) = 5							
	R _{B.4} : 駐輪場 (Q20) ≥ 3	○	×	×	◎			○
平均合計得点 (全体: 2.01)		2.09 (104.0)	1.79 (89.1)	2.03 (101.0)	2.11 (105.0)	1.99 (99.0)	2.24 (111.4)	1.84 (91.5)

×は80%未満のルール、▲は90%未満のルール、○は110%以上のルール、◎は120%以上のルール、平均得点の括弧は各地区の平均得点/全体の平均得点×100。

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

- バス停周辺では、駐輪場のインフラに満足しているにもかかわらず、駅周辺ではそのような傾向が認められなかった。
- 商業地区における街路景観については、多くのルールを満たしており、総合的満足度が高かった。

本研究では、成都市のみを取り上げているが、今後は中国の他の都市での調査を通じて、結果の安定性や精度を高める必要がある。

補遺1. 調査項目

ここでは、歩行者、自転車、および電気自転車の利用者毎の調査項目について記載する。アンケートは、1（不満である or 当てはまらない）、2（やや不満である or やや当てはまらない）、3（どちらでもない）、4（やや満足している or やや当てはまる）、5（満足している or 当てはまる）の5件法によって調査されている。

A.1 歩行者に対する調査項目

- Q1 この歩道は安全である
- Q2 この歩道は連続的（直線的）である
- Q3 この歩道の散歩は快適である
- Q4 この歩道を散歩することは楽しい
- Q5 この歩道と車道のストリートスペースに満足している
- Q6 この歩道と自転車道路のストリートスペースに満足している
- Q7 この歩道からの横断は安全である
- Q8 この歩道は混雑していない
- Q9 この歩道から横断する場合に待つ必要がない
- Q10 この歩道は横断するのに便利である
- Q11 この歩道の幅は広い
- Q12 この歩道には違法駐車がない
- Q13 この歩道には店舗の看板や椅子などの障害物がない
- Q14 この歩道にはバリアフリー設備が整っている
- Q15 この歩道にはベンチなどの休憩場所がある
- Q16 この歩道の夜間照明は良好である
- Q17 この歩道は綺麗である（ゴミが落ちていない）
- Q18 この歩道には雨や日照を避けるスペースがある
- Q19 この歩道の街路樹には満足している
- Q20 この歩道に面した商店が多い
- Q21 この歩道は娯楽施設に面している
- Q22 全体的にこの歩道には満足している

A.2 自転車の利用者に対する調査項目

- Q1 この自転車道路は安全である
- Q2 この自転車道路は連続的（直線的）である
- Q3 この自転車道路の運転は快適である
- Q4 この自転車道路を運転することは楽しい
- Q5 この自転車道路と車道のストリートスペースに満足している
- Q6 この自転車道路と自転車道路のストリートスペースに満足している

- Q7 この自転車道路からの横断は安全である
- Q8 この自転車道路は混雑していない
- Q9 この自転車道路から横断する場合に待つ必要がない
- Q10 この自転車道路は横断するのに便利である
- Q11 この自転車道路の幅は広い
- Q12 この自転車道路には違法駐車がない
- Q13 この自転車道路では満足なスピードを出すことができる
- Q14 この自転車道路の交通標識は適切である
- Q15 この自転車道路の夜間照明は良好である
- Q16 この自転車道路は綺麗である（ゴミが落ちていない）
- Q17 この自転車道路には雨や日照を避けるスペースがある
- Q18 この自転車道路には必要な場所に駐輪場が設置されている
- Q19 この自転車道路の駐輪場は安全である（盗難の心配がない）
- Q20 この自転車道路の駐輪場の数に満足している
- Q21 この自転車道路の駐輪場は駅、バス停付近に設置されている
- Q22 全体的にこの自転車道路には満足している

中国では、横断歩道が少ないことから、反対側の道路に移動する場合には、道路を横断するケースが多い。そのため、いずれの項目においても Q7、Q9 および Q10 では、道路横断に関する質問が行われている。

補遺2. 適応的指示モデルの概要

自然科学分野では、応答（アウトカム）に基づく得点が行われることが多い。例えば、環境科学の場合には、汚染度を軽度、中等度、重度のような分類が行われ、医学の場合には、がんの進行程度をステージ（Stage）により表している。Tian and Tibshirani [1] は、説明変数に基づく応答変数の得点化を統計学的に分析する方法として、適応的指示モデル（AIM: Adaptive Index Model）を提案している。

いま、 P 変数の説明変数ベクトル $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_P)^T$ が与えられたとき、 K 個の指示関数（ルール）によって与えられるモデルは、

$$\eta(\mathbf{x}) = \beta_0 + \beta_1 \sum_{k=1}^K I(\tilde{x}_{p(k)} \leq c_{p(k)})$$

である。ここに、 $\beta_j (j=1,2)$ 個は回帰パラメータ、 $\eta(\mathbf{x})$ は一般化線形モデルにおける線形予測子、 $I(\cdot)$ は括弧内が真ならば1、偽ならば0を与える指示関数、 $p(k)$ は k 番目の指示関数で用いられる変数を表す添え字、 $c_{p(k)}$ は k 番目の指示関数のなかで選択されたカットオフ値である。また、

$$\tilde{x}_{p(x)} = \begin{cases} x_{p(k)} & , (x_{p(k)} \leq c_{p(k)}) \text{ に対するルール} \\ -x_{p(k)} & , (x_{p(k)} \geq c_{p(k)}) \text{ に対するルール} \end{cases}$$

である。すなわち、AIM法は、選定された説明変数をカットオフ値を用いてダミー変数に変換し、その総和を用いた単一変量での一般化線形モデルと捉えることができる。

AIM法において、指示関数（ルール）の選定は、 P 個の説明変数のすべてのカットオフ値の候補（各変数のユニークな値）に基づいてダミー変数を構成することで探索される。そして、回帰パラメータに対するスコア検定統計量が最大になる変数およびカットオフ値が選択される。このとき、ルールに選ばれた変数は、次のルールの選択候補から除外される。ルールの選択は、最大スコア検定統計量が有意水準 α 未満になる、あるいは、予め規定された最大ルール数 $K_{\max}$ になるまで再帰的に続けられる。

なお、AIM法は、統計解析環境Rのパッケージaimにおいて実装されている。

謝 辞

本論文の構成に際し、丁寧な査読を通して貴重なご意見とご指摘を頂戴した審査員と編集委員の諸先生方に心から深甚の謝意を表します。

注

[注1] 中国政府が公布した、2014年から2020年にかけての中期計画である。この計画には、都市インフラの整備、環境への配慮、戸籍制度改革、土地制度改革、都市の建設管理体制の整備などが掲げられている [19]。

[注2] 電気自転車（電気スクーター）とは、モーターを搭載した電動自転車であり、最高時速は時速20 km以下である。中国では、電気自転車は、自転車と同様の非機動車として扱われており、免許不要で使用できる。

[注3] 副省級市とは、中国の地方自治体の行政区分行政区分の一つであり、経済、財政および法制の面で省と同程度の自主権が認められている。中国全土において、15都市が副省級市に選ばれている。

参 考 文 献

- [1] Tian, L., and Tibshirani, R.: Adaptive index model for marker-based risk stratification, *Biostatistics*, 12(1), pp. 68-86, 2011.
- [2] 富田健蔵：中国政府の推進する「新型都市化政策」について、*日本不動産学会誌*, 28(2), pp.31-37, 2014.
- [3] 細川政弘, 窪田陽一：街路の景観評価に関する基礎的研究, *土木学会年次学術講演会講演概要集 第4部*, 32, pp.422-423, 1977.
- [4] 窪田陽一：街路景観の類型に関する構造分析, *日本都市計画学会学術研究発表会論文集*, 18, pp.331-336, 1983.
- [5] 楊鶴, 李力, 下川敏雄, 北村眞一：成都市における街路景観の認知構造に関する研究, *日本感性工学会論文誌*, 11(2), pp.131-139, 2012.
- [6] 楊鶴, 李力, 下川敏雄, 北村眞一：街路景観評価に対する影響要因の探索：成都市における街路景観の認知構造に関する研究 その2, *日本感性工学会論文誌*, 11(1), pp.27-37, 2012.
- [7] De'ath, G.: Multivariate regression trees: a new technique for constrained classification analysis, *Ecology*, 83(4), pp.1103-1117, 2002.
- [8] Friedman, J.H: Multivariate adaptive regression splines (with discussion), *Annals of Statistics*, 19(1), pp.1-167, 1991.
- [9] 山田晴利, 篠原修, 天野光一, 岡田一天：モニタージュによる街路景観の対高架構造物寛容度に関する研究, *土木計画学研究・論文集*, 1, pp.187-194, 1984.
- [10] 天野光三, 榊原和彦, 藤埴忠司：街路空間の心理的效果について, *道路*, 420, pp.25-32, 1976.
- [11] 北村眞一：空間認知の解析手法の有効性, *都市計画*, 138, pp.46-58, 1985.
- [12] 篠原修, 屋代雅充：街路景観のまとまりに及ぼす沿道建物の効果に関する計量心理学的研究, *土木学会論文集*, 353, IV2, pp.131-138, 1985.
- [13] Li, L., Kun, Y., Shimokawa, T., Oyama, I., and Kitamura, S.: Investigation of factors affecting the evaluation of streetscape in Japan and China, *International Journal of Affective Engineering*, 12(1), pp.1-10, 2013.
- [14] Breiman, L.: Random forests, *Machine Learning*, 45(1), pp.5-32, 2001.
- [15] 李力, 下川敏雄, 楊鶴, 黒木学, 大山勲, 北村眞一：日本および中国での身近な街路景観の認知特性に対する物理的要因評価：東京23区と成都市の国際比較, *日本感性工学会論文誌*, 12(3), pp.369-378, 2013.
- [16] Hothorn, T., Hornik, K., and Zeileis, A.: Unbiased recursive partitioning: a conditional inference framework, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(3), pp.651-674, 2006.
- [17] 中山昂彦, 宮川愛由, 谷口綾子, 井料美帆, 小嶋文, 藤井聡：道路空間デザインが歩行者コミュニケーションに及ぼす影響に関する研究, *交通工学論文集*, 3(4), pp.84-91, 2017.
- [18] 山本琢人, 嘉名光一, 佐久間康富：低層部が形成する街路景観の印象評価に関する研究：大阪市御堂筋の沿道建築物を対象にして, *日本建築学会計画系論文集*, 80, pp.661-668, 2015.
- [19] (一財)自治体国際化協会北京事務所：中国が取り組む人間中心の「新都市化」政策, 一般財団法人 自治体国際化協会 Clair Report, 424, 2015.

中国成都市における街路の利便性評価に対する適応的指示モデルの応用

万 可 (非会員)

2016年 山梨大学大学院医学工学総合教育部修士課程(土木環境工学専攻)修了。現在、北海道大学情報科学研究科博士課程(情報理工学)在学中、感性工学および医学におけるデータサイエンスに関する研究を行っている。

楊 鵬 (非会員)

2012年 山梨大学大学院医学工学総合教育部環境社会創生工学専攻博士課程修了。博士(工学)。現在、中国西南交通大学交通運輸および物流学院副教授、および和歌山県立医科大学医学部博士研究員。中国成都市 軌道集団TOD開発顧問。この間、物流合理化と港湾整備、貿易および交通施設計画、成都市街路景観分類などの研究を行い、鉄道道路環境評価、成都市濱江路景観設計、成都市北駅、南駅TOD開発などの計画設計の実務を行った。

李 力 (非会員)

2013年 山梨大学大学院医学工学総合教育部環境社会創生工学専攻博士課程修了。博士(工学)。現在、中国西南交通大学交通運輸・物流学院講師。交通計画・都市景観に関する研究に従事。2014年に伝統的街路景観の研究で日本造園学会(関東支部)研究発表賞を受賞。

南 弘征 (非会員)

1994年 北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。現在、北海道大学情報基盤センター教授。計算機統計学、情報科学、サイバーセキュリティに関する研究に従事。日本計算機統計学会において理事、評議員を歴任し、2019年より監事。

下川 敏雄 (正会員)

2004年 大阪大学大学院基礎工学研究科修了。和歌山県立医科大学医学部教授。大阪大学大学院医学系研究科招聘教授、四川大学華西公共衛生学院講座教授(中国)。博士(工学)。この間、医学統計学、統計教育に関する研究に従事。その間に、日本計算機統計学会奨励賞・論文賞・貢献賞、日本応用統計学会奨励論文賞、日本感性工学会事例研究賞、日本行動計量学会優秀賞を受賞、2019年～日本計算機統計学会渉外理事および評議員等を歴任。

水田 正弘 (非会員)

1986年 北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。北海道大学情報基盤センター教授。データサイエンス、計算機統計学、放射線治療に関する研究に従事。応用統計学会において評議員、副会長、日本計算機統計学会において評議員、副会長、会長、IASC(国際計算機統計学会) Council Memberを歴任。