

AMP 観測による 希望線図の即時描画と交通計画

中川 義也¹・西田 純二²・浅尾 啓明³

¹正会員 株式会社パデコ インフラ開発部 (〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19 新御成門ビル)
E-mail: nakagawa@padeco.co.jp

²フェロー会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒650-0011 神戸市中央区下山手通 5 丁目 7 番 15 号)
E-mail: nishida@jriss.jp

³非会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒650-0011 神戸市中央区下山手通 5 丁目 7 番 15 号)
E-mail: asao@jriss.jp

交通計画における希望線図の描画には、OD 表推計、GIS、パーソントリップ調査などが必要である。筆者らは、計画対象域を円形に取り囲むコードラインと交通流入の交点に Wi-Fi プローブパケット (AMP) の観測地点を設置し、これを Java Script の描画パッケージである D3.js (Chord Diagram) の表示様式と幾何学的に同調させることで、コードライン観測地点間の希望線図 (対象地域を横断する旅客交通量) をリアルタイムで描画するシステムを構築した。任意の期間で旅客希望線図の描画が可能となり、希望線の時間変動、長期間の評価が可能となった。筆者らは、ケニア・ナイロビ市でこのシステムを構築し、CBD を横断・周回する旅客数・パターンを特定し、MRT 整備計画の基礎資料として活用した。

Key Words: 交通調査、IT 活用、可視化、リアルタイム OD、発展途上国

1. 本報告の背景、問題意識

希望線図は、交通集中・分散の地理的状況が可視化された交通計画に有用なツールである。地理情報システム (GIS) 上で OD 交通量を扱うことで簡単に希望線図を描画することができる。OD 交通量は、一般的に聞き取り等の調査結果を集計して作成される。聞き取り調査は予算に応じて実施規模が決定されるが、100%のサンプル率を確保できることはなく、せいぜい 2~3%であり、また、特定日を「代表的な交通行動が示されている」と仮定して実施される。このため、OD 交通量を可視化した希望線図は、交通計画に有用であるが、限られたサンプル数・特定日のデータであり、統計的な有意性が確保されていたとしても、交通流動の評価ツールとしての多様さには限界がある。

現状、IT 技術の進歩・普及により様々な交通調査手法が提案されている。特に、スマートフォンの低価格化が進み、交通行動調査をスマートフォンで実施する試みが提案されている。また、スマートフォンから発信される Wi-Fi プローブパケットを活用したリアルタイムな OD 集計、コードダイアグラムの描画も行われている。

筆者らは、国際協力機構の「ナイロビ都心総合システ

ムおよび環状線事業計画策定プロジェクト」(以下、JICA 調査)に参画した。JICA 調査は、対象地域をナイロビ都心部 (約 2km 四方) として、交通流動やモビリティの評価が求められた。ナイロビでは、2013~14年の都市マスタープラン (NIUPLAN) 作成時に、都市圏を対象にパーソントリップ調査が行われ、OD データが集計されていたが、JICA 調査の対象地域である「都心部」の流動を評価するためには OD ゾーンの粒度が十分ではなく (対象地域のゾーン数が 3 と少ない)、また、既往 OD データも日単位の流動に止まっており、聞き取り調査等の追加調査が求められていた。

現状、ナイロビの主要交通機関はバス (マタツを含む) であるが、路線計画が不十分で、95 路線のうち 78 路線が都心部をサービス終端としている。このため、聞き取り調査による OD が都心部ターミナルに集中する傾向にあった。

また、NIUPLAN では、都心部における MRT や環状鉄道の整備計画が提示されており、JICA 調査ではこれらの整備の必要性、妥当性を評価する必要があった。交通流動の評価に関して、ナイロビの都心部の横断交通や周辺域での回遊行動の特定、量的把握が求められていた。

2. 既往調査の評価、調査手法の提案

(1) 既往調査手法の評価

聞き取り調査案が提示されていたが、既往類似研究を参照し、下記の 3 手法を比較検討した。

a) GPS ロガー、スマホアプリ

Zhao ら¹⁾はスマートフォンを用いた交通行動把握を実施した。これはスマホアプリを配布し、スマホの GPS 機能を用いて被験者の行動を地理的データと一緒に記録し、スマホの通信機能を用いてデータ集計を行うものである。また、イスラエルでは GPS ロガーを被験者に配布する形式で同様の調査を行った。類似する調査は米国フェニックス、タンザニア等でも実施された²⁾。

b) Wi-Fi プロブパケット観測

西田ら³⁾は Wi-Fi プロブパケットを観測し、コードダイアグラムで即時描画を行うことで OD の可視化を実現した。

なお、類似する調査に携帯電話網のパケット観測があるが、基地局の観測範囲が半径 5km 程度であり、本調査のような都心部詳細域に対応出来ないと考えた。

c) 聞き取り調査

本調査にはアクティビティログなどの調査方法が提案できる。統計的な信頼性を確保しながら調査数を規定するのが従来方法である⁴⁾。短い調査期間に調査員教育・集計などを含め回答信頼性の確保に難があった。

d) 評価

a) は聞き取り調査の延長であり、被験者の協力や理解が必須である。また、予算規模により被験者数が限られるため調査信頼性が変動する。一方、b) は、スマホ保有率（厳密には Wi-Fi 通信を常に On にした「Wi-Fi-on 率」）が確保できれば、不特定多数を対象としたデータ収集が実現できる。事前の少サンプルによる検討により、b) がナイロビの状況に適していると判断した。

(2) 調査手法の提案

本調査で求められていたのは現状の都心部内及び周辺の交通行動パターンである。特に、都市広域化に伴い都心部への流動パターンが変化しており、MRT や環状鉄道の提案具体化が数量根拠が求められた。ナイロビの旅客交通手段は 40%が徒歩、40%がバスであり、旅客ベースの交通行動把握が必須である。一方で、MRT のような多額な交通施設整備には信頼できる多様なデータが必要であり、また、市民の理解が促進できるわかりやすいプレゼンテーションも必要である。これらを満たすため以下のような手順で調査手法を構築した。

a) ナイロビ都心部のモデル化

ナイロビ都心部は図-1 のように、8 方向の放射道路に接続する。また都心部を囲む環状道路（以下、Inner-shell）および半径 3km 圏を部分的に囲む環状道路（Outer-shell）があり、環状道路は放射状道路に接続している。Inner-shell、Outer-shell とともにほぼ円形で、放射道路もほぼ等間隔で分散しているものとする。

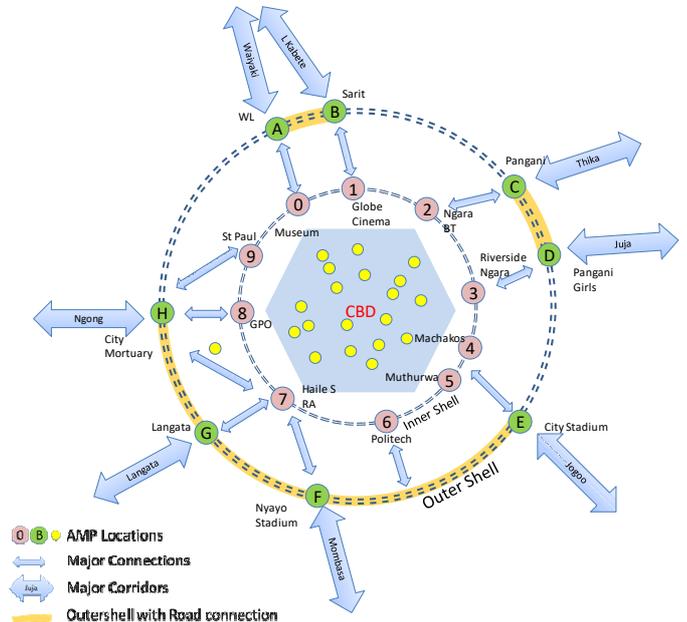


図-1 ナイロビ都心部と周辺アクセスの構造モデル

b) 都心部コードンにおける AMP 観測

Inner-shell 及び Outer-shell をコードンラインと仮定し、放射道路との交差点に AMP 観測施設を設置した。

c) AMP 観測結果のコードダイアグラム描画

AMP から収集されるデータをサーバで集計し、個々のスマホの動きを OD データとして整理した上で、Javascript の描画パッケージである D3.js の Chord Diagram 描画処理を用いて描画させると図-2、図-3 のような図面が描出される。

d) Wi-Fi-on 率調査による拡大係数の推計

2017 年 6 月に都心部で 652 名の旅客に聞き取り調査を行った。都心部を 25 ゾーンに分割し、各ゾーンで男女年齢層のサンプル普遍性を確保した。その結果、84%のスマートフォン保有率（タブレットなどの重複を考慮）であり、また、スマホ保有者の Wi-Fi-on 率は 29%であった。両方を考慮すると、都心部旅客のうち 25%が Wi-Fi 信号を発信する状況にあり、簡易的に AMP 観測データを 4 倍すれば旅客流動実数が推計できると仮定した。

(2) 提案した調査手法の評価

コードンラインとコードダイアグラムの幾何学的形状を一致させることにより、簡易的に希望線図が描画されることになる。この描画手法の利点は下記のように纏められる。

a) 信頼性の高さ

24時間 365 日常時観測データを用いる。また、サンプル率 (Wi-Fi-on 率) は 25%と一般の聞き取り調査よりも高い。但し、電源の喪失による観測漏れもあった。

b) 柔軟性、バラエティ

任意の時間帯で希望線図描画 (OD 集計) が可能。朝だけ、週末だけ、季節変動などのバラエティが確保できる。一方で、手段別の希望線図は描画できない。

c) 即時性、わかりやすさ

AMP から収集されるデータは即時処理されるため、昨日の希望線図、1 時間前の希望線図が描画できる。Wi-Fi-on 率 25%は、即ち 4 倍すれば実数というわかりやすさがある。また、土地勘がない外部関係者、地図が読めない現地の人も、どの方向に交通需要があるのか一目で判断できる。特に、MRT のような多額の交通施設整備にかかる意思決定者は対象国外や財務部門に所属するため、土地勘や OD に関する知識がないことが通常である。

3. システムの構築、データ収集・集計

システムは 2017 年 3 月から構築を開始し、6 月中旬から 7 月上旬にかけて AMP 機材をナイロビに設置、同年 7 月 14 日から AMP 観測データを収集した。電力・通信回線の不安定さなど不確定要素はあったが、同年 12 月中旬まで継続してデータを収集した。AMP は 2 章に示した Innershell 上に 10 地点、Outershell 上に 8 地点設置したが、同時に都心部内 24 地点、計 42 地点にも設置した。また、殆どの AMP 機材は、電柱等を利用し 5m 以上の高さに設置した。

AMP のデータ集計は以下のようなアルゴリズムで行った。1) Innershell での OD は、指定期間内に Innershell 上の AMP で観測したスマホ ID の OD ペアだけを集計する。2) 他の AMP (都心部内、Outershell) で観測されているかどうかは集計には関係しない。3) Outershell 同士の OD も上記と同様に集計する。4) ランダムイズ・パケット割合はナイロビでは低く、システム上でも排除した。

4. データ分析と交通計画

本稿では、例として 2017 年 9 月 5 日 (火曜) 終日のコードダイアグラムを掲載して分析結果を示す。本調査手法の特長は長期間の観測であるが、紙幅の都合上、特定日の観測結果を示す。

(1) Innershell における希望線図と評価

Innershell は、およそ直径 2km の都心部周辺道路であり、下記コードダイアグラムは都心 1km 圏での行動パター

ンといえる。ここではコードダイアグラムの読み方を踏まえながら解説する。

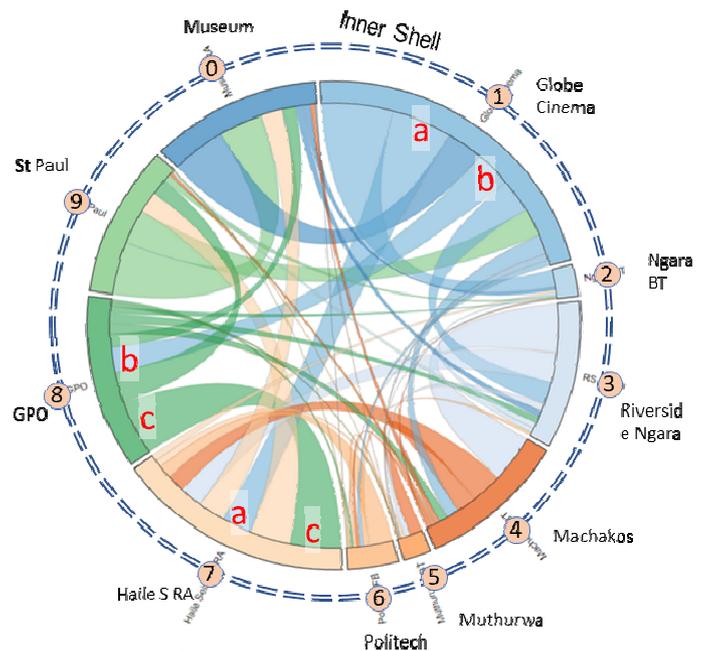


図-2 Innershell のコードダイアグラム

コードダイアグラムは弧 (Arc) と弦 (Chord) から構成される。弧の長さは OD 発生集中量を示す。上記で最大の発生集中地点は右上 (①Globe Cinema)、次が左下 (⑦Haile Sellassie RA) の観測地点である。弧の着色はシステムがランダムに決定する。弧の間を接続する弦は OD 交通量であり、弦の幅が交通量を示す。OD 交通量は交通量が大きい順に、時計方向に弧の幅内に収まるよう描画される。例えば、右上の①Globe Cinema から発生する最も大きい OD は隣の②Ngara BT へ接続し、次点 OD は左下の⑦Haile Sellassie RA につながる。弦の着色は OD 交通量の大きい方の発地の弧の色が用いられる。

都心部を横断する交通に着目すると、図中 a) 右上から左下への OD、b) 右上から左への OD が目立つ。また、周辺を回遊する交通については、c) 左側 4 地点を連続して接続する OD が際立っている。(ここで、右上、左下などの抽象的な表現を用いたのは、本稿で提案した希望線図を用いれば、土地勘のない人や地図が読めない人でも交通計画に参加できる可能性があるからである。)

a) ~ c) の観測 OD 交通量 (両方向の実測値。多い方向は弦の色で判断可能) について表-1 のように纏められる。また、表-1 には、推計される実際の交通量 (観測値の 4 倍) を示した。

(2) Outershell における希望線図と評価

Outershell は、およそ半径 3km のコードンラインである。最大の発生集中地点は F~G~H のコリドーである。

C-D の OD も比較的大きいが、これは観測地点間の距離が 500m 程度であり、観測地点の中で偏って近接しているため、比較的交通量が大きい。A-B も比較的近い位置で隣接しているが、それ以外はほぼ等間隔で調査地点を形成している。

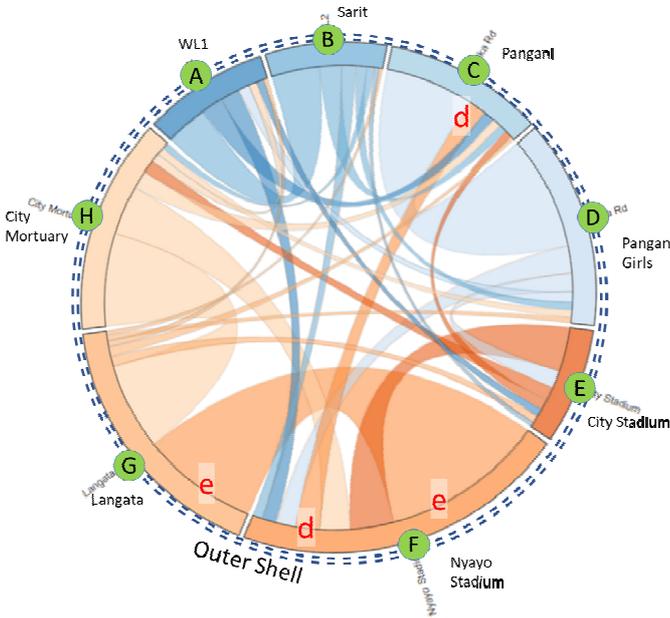


図-3 Outershell のコードダイアグラム

横断的な交通量は d) C~F の右上~左下の移動が大きい。また、周回交通は特に e) F-G の移動が目立つ。d) 及び e) の観測交通量、推計交通量を表-1 に示す。

表-1 観測 OD 量及び推計 OD 量 (トリップ/日)

OD	観測 OD 量	推計 OD 量	提案
a)	2,891+1,269	16,640	C~①~⑧~⑨~F に抜けるようなバス及びMRT路線の提案
b)	3,823+2,551	25,496	
c)	3,292+2,969	25,044	
d)	1,035+ 779	7,256	BRT路線の提案
e)	6,969+5,082	48,204	

(3) 交通計画への示唆

現状のナイロビ市のバス路線は都心部を縦貫する路線がない。これは歴史的に西側が旧英国企業、高所得層のための CBD 機能、東側がインドやアフリカ系住民、低所得層の CBD 機能と分かれていたことに基づく。但し、都市の拡大が進み、東側にも中間所得層の住宅域が形成され、東西方向の広域的な縦貫交通機能の必要性が示唆されていた。本調査では、AMP 観測を通じて、高いサンプル率で旅客流動パターンを示し、拡大係数を用いて推計 OD 旅客数を示した。

表-1 の a)-d) の結果から、直結する道路および交通サービスが殆どないのにも関わらず、都心部を北東方面から南西方面に横断するような旅客交通需要が観測された。

これは、既往調査でも提案されている、MRT を含む旅客サービスの必要性を示唆している。一方で、都心部の道路網や土地利用は複雑で、特に東側既往市街地での道路拡幅・新設、BRT 導入は困難を伴う。このため、交通容量の大きな MRT の導入を C~①~⑧~⑨~F の路線で検討することが提案できる。

e)を含む E-F-G-H の区間は、片側 3 車線道路で接続されており、既往の交通量が観測されている。但し、日旅客数としては 5 万人弱であり、分担率、ピーク時交通量を考慮すれば BRT で対応できる旅客数であると考慮できる。

ナイロビでは、現在、他ドナーを中心に、BRT 整備計画が提案されているが、これは都心部において BRT4 路線が複雑に交差した計画になっていた。このため、本調査では、上記考察を踏まえ、都心部北東~南西方面のメトロ導入の検討、都心部を縦貫する BRT 路線の再構成・整理、BRT 路線の outershell (E-F-G-H) 区間への導入、を提案した。

5. まとめ

本稿では、AMP 観測と D3.js を用いた希望線図の即時描画事例を示し、そのバラエティさ、即時性、信頼性の面での利点を示した。また、この手法をナイロビの交通調査に適用し、従来観測できなかった都心部を縦貫する旅客需要パターン及び推計旅客数を示し、今後の交通施設整備に関する方向性を示した。

一般的に GIS を介在させれば希望線図の即時描画は可能であるが、本手法は、ライセンス料の不要な HTML だけで構築可能な簡易的なシステムとして評価できる。今後の課題として、Wi-Fi-on 率を単純に拡大係数として用いたことについて、統計論的な妥当性を今後検討すべきだろう。

謝辞：本調査は前述 JICA 調査により実施された。調査実施支援いただいた国際協力機構、ナイロビ市、ケニア通信総局関係者のご協力・ご理解に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Zhao Fang, Francisco Camara Pereira, Youngsung Kim, Yafei Han, Christopher Zegras, Moshe Ben-Akiva.: Exploratory Analysis of a Smartphone-Based Travel Survey in Singapore., Transportation Research Record 94th Annual Meeting, January 2015
- 2) Moshe Ben-Akiva, Smartphone-based Platform for Mobility Solutions, Presentation in University of Tokyo, 25 October 2016
- 3) Junji NISHIDA et al., Traffic Flow Analysis by the Use of Wi-Fi Packets Receiver, 1st IRF Asia Regional Congress & Exhibition, 2014

- 4) Sharp, McGuckin, Bose, and Murakami, “Travel Survey Methods”, Transportation Research Circular E-C071: Data for Understanding Our Nation’s Travel (Jan 2005), pp 49-53, <http://nhts.ornl.gov/2001/pub/ec071.pdf>

(2018.?.? 受付)

Instant Drawing of the Desired Lines with Real-time Observation Data with AMP Collectors and Transport Planning in Nairobi

Yoshiya NAKAGAWA, Junji NISHIDA, Hiroaki ASAO

Drawing of the desired lines for the transport planning requires person trip surveys, OD table estimation, and presentation with the geographic information system. The authors established a system for real-time drawing of the desired lines by applying the Wi-Fi probe packet observation with the AMP (Anonymous MAC-address Packet) collectors in Nairobi. Those AMP collectors are allocated at the intersections along the cordon lines of the target area to observe the unique MAC (Media Access Control) addresses emitted from the smartphones owned by both inbound and outbound individual travelers in the city. The collected unique MAC address were aggregated as the OD tables instantly, and the OD tables were depicted as the Chord diagram by the D3.js (Java script package). The AMP collectors were deployed to be in a circular shape along the cordon lines and coded clockwise from north intentionally, in order to visualize the OD movement among the locations in the circular format of the Chord diagram in real-time basis. The authors applied this system and succeeded to identify and quantify the traverse and circular movements in the Nairobi CBD, Kenya. Nairobi has proposals to improve the mobility in its CBD, including installation BRTs and MRTs crossing and circulate the CBD, but ordinary traffic survey did not present the detail movement patterns in the CBD. (215 words)