

運行組織形態を考慮したジブニーの道路占有に対する改善方策の検討*
*Study on Remedies for Jeepneys' High Road Occupancy at Terminal Areas**

細見 昭**, 黒川 洸***, 土井健司****

by Akira HOSOMI**, Takeshi KUROKAWA*** and Kenji DOI****

1. はじめに

発展途上国大都市の交通状況は、しばしばパラトランジットと呼ばれる小容量・低技術の公共交通の存在に象徴される。著者らは、これまでフィリピン・マニラ首都圏（以下、メトロマニラ）におけるジブニーを研究対象として、定路線運行であるジブニーの路線起終点地区の形成¹⁾や、そのような地区でのジブニーの挙動²⁾に着目して分析を行ってきた。

そのなかで、ジブニーが道路空間を不法に占有して¹⁾、路線毎にその場所を自らの「ターミナル」として乗車待ちの滞留を行っている例が多く確認されている。そのようなジブニーの道路占有が、通過交通に対する道路交通の容量低下や、ジブニー利用者の歩行空間へ悪化につながっていることは明らかであり、改善策が望まれているといえる³⁾。

ところで、ジブニーの自発的な滞留行動は、途上国のパラトランジットに共通な性格⁴⁾である非組織的な運行形態のために派生するものと考えられ、個々の運転手はそれぞれ自らの利潤を最大にすべく行動をしているものと想像できる。一方で、そのような運転手間の利害関係を自発的に調整するジブニー組合の存在も確認されている⁵⁾。

ジブニーの道路占有の改善策として、路外ターミナルの利用促進や路上での乗降・滞留の取締の強化等が考えられるが、その評価を行う際にはそれらの方策がジブニーの運行形態にどのように影響を与えるかということを検討する必要があるといえる。そ

して、その運行形態は運転手と組合の意向によって決定しており、双方の行動規範を整理し考慮したうえでその影響を検討する必要があるといえる。

本研究は、定路線型のパラトランジットであるジブニーに関して、路線起終点地区での滞留行動による道路占有を防ぐための政策としてターミナル整備を想定して、ターミナルの有無によってジブニーの運行形態がどのように異なりうるかを、特に運転手と組合、双方の行動規範を考慮することにより検討する事を目的とする。

2. ジブニー運行の現況とモデル構築への焦点

(1) 調査の概要

まず、現在のジブニーの運行形態や運行費用に関わる実態を把握するため、メトロマニラ全域において、その路線全体の状況をよく知る人物（組合の代表等）とその路線を運行している運転手に対してインタビュー調査を行った。調査の概要を表1に示す。

(2) 調査結果と市場モデル構築における仮定

調査対象路線におけるジブニー組合の形態を表2に示す。何らかの組合に属している路線が全体の71.7%あり、そのうち単独に「路線組合」を形成しているものが33.8%あることがわかった。

表1 調査の概要

目的	運行形態、運行に関するコスト構造の把握
調査場所	メトロマニラ全域の路線起終点地区
調査日時	2000年3月13-17日
調査路線数	99路線（全体路線数 ³⁾ の19.8%）
サンプル数	路線：99 運転手：472
調査形態	調査員のヒアリングによる書き込み
調査項目	運行台数、運行時間、路線起終点の形態、ターミナルコスト
（運転手）	乗車可能人員数、路線所要時間、往復回数、乗車割合（起終点、路線途中）、収入、支出（可変費用、固定費用）

*Keywords: ターミナル計画、パラトランジット、運行組織

**学生会員 修（都市地域計画）東京工業大学大学院
 総合理工学研究科 人間環境システム専攻
 〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

TEL: 045-924-5651 Email: hosomi@upl.enveng.titech.ac.jp

***正会員 工博 東京工業大学大学院総合理工学研究科
 人間環境システム専攻

****正会員 工博 東京工業大学大学院情報理工学研究科
 情報環境学専攻

表2 調査対象路線のジブニー組合の形態

ジブニー組合の形態 (名称)	路線数
複数路線 (FEJODAP)	20
(PISTON)	14
(CCODA)	4
(PACODA)	4
(ALABAN)	3
(KAVODA)	2
単数 (路線組合)	24
組合無し	28
計	99

表3 調査対象路線の路線起終点の形態と待機可能性の関係

	路外 敷地	路上 完全	路上 一部	通り 抜け	計
常に満員まで待機	16	30	28	8	82
時間帯により変化	15	30	26	18	89
満員まで 待機不可能		3	4	20	27
計	31	63	58	46	198

単独路線で組合を形成している場合、他の路線との協調という戦略が取られることは考えにくく、またジブニーは先進国におけるような交通産業と比較して参入・撤退が極めて容易な産業であるといえる。したがって、今回の分析ではジブニーを特徴的に扱うために、路線 (組合) 間の競争を明示的に扱うこととする。

(3) ターミナルの存在意義

表3に、調査対象路線の路線起終点の形態とジブニーの乗車のための待機可能性の関係を示す。路線起終点の形状を大きく「路外型」「路上:完全占拠型」「路上:一部占拠型」「通り抜け型」の4つに分けると、待機可能性に関しては前者の3形態には際立った差は見られないが、通り抜け型、つまりターミナルを持たない場合「満員まで待機不可能」の占める割合が増加していることがわかる。このことより、ターミナルの存在によって運転手は起終点における待機可能時間が増大するというメリットを享受できると考えることができる。また、今回の分析では、乗客にとってのターミナルの存在するメリットを直接的には扱っていない。これは、乗客にとってのメリットは主に乗換時に発生すると思われる、乗換行為を今回の分析の対象外としているためである。

3. ジブニー市場のモデル構造と定式化

本研究は、これまで見てきたように運転手と組合の行動規範の明示、そして路線間の競合関係という二つの視点に立ち、定路線型の公共交通の運行形態に関して、ターミナルの有無が与える影響を分析するものである。

図1のように一部が重複している2つの路線組合が競争関係で存在している状態を想定する (組合Aと組合B)。組合Aは路線起終点の一方 (ゾーン1) にターミナルを使用しており、反対側 (ゾーン2) はターミナルなし、組合Bは起終点共にターミナルなしの状況下で運行しているものとする。

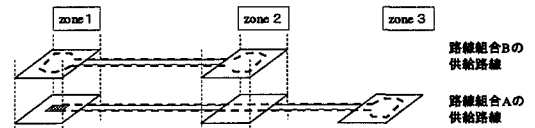


図1 想定した2路線のジブニー路線供給形態

(1) 利用者の行動

ジブニー利用者は、自らの効用が最大になるような路線の選択を行う。利用者が路線にあるゾーン*i*からあるゾーン*j*へ移動するのに、路線*r*のジブニーを用いる選択行動を式(1)に示すようにロジットモデルによって表現する。また、ここでは乗継ぎは発生しないものとする。

$$P_{ij}^r = \frac{\exp(V_{ij}^r)}{\sum_{r \in \Omega} \exp(V_{ij}^r)} \quad (1)$$

$$x_{ij}^r = P_{ij}^r x_{ij} \quad (2)$$

$$V_{ij}^r = \alpha_1 h^r + \alpha_2 uc_i^r + \alpha_3 t_{ij}^r + \alpha_4 p_{ij} \quad (3)$$

ただし、

P_{ij}^r : 利用者がゾーン*i-j*間を移動する際に路線*r*のジブニーを選択する確率

V_{ij}^r : 利用者がゾーン*i-j*間を移動する際に路線*r*のジブニーを利用する時の効用の確定項

x_{ij} : ゾーン*i-j*間をジブニーで移動する利用者のうち、路線*r*のジブニーを使う利用者数

x_{ij} : ゾーン*i-j*間をジブニーで移動する利用者数

h^r : 路線*r*のジブニーの運行間隔

uc_i^r : 利用者が路線*r*のジブニーを利用する際に待ち行列が発生する危険性 (後述)

p_{ij} : ゾーン*i-j*間のジブニー運賃

t_{ij}^r : ゾーン*i-j*間の路線*r*のジブニーによる所要時間 ($=t_{ij}^r$)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$: パラメータ

(2) ジブニー運転手の行動

路線組合 r に属する運転手は、1日の期待利潤最大化行動をもとに、1運行毎の運行間隔 h^r (起終点の停車位置で乗車待機をする時間) を決定する。運転手の利潤最大化行動を式(4)のように示す。ただし、起終点の形態によって待機可能時間が定められており、ジブニーは待機可能時間を越えて待機すること、もしくは乗客数が定員を越えることはない。

$$\max_{h^r \geq 0} \pi^r = R^r - C^r \tag{4}$$

$$= \sum_{\tau \in R^r} (h^r \cdot \sum_{j \in R^r} (f_{ij}^r \cdot p_{ij} + \sum_{k \in R^r} f_{kj}^r \cdot p_{kj}) - \beta_1 \cdot t^r - tc^r) \cdot Nf^r - \beta_2$$

$$f_{ij}^r = \frac{x_{ij}^r}{opt^r} \tag{5}$$

$$Nf^r = \begin{cases} \frac{opt^r}{2t^r} & (2t^r > v^r \cdot h^r) \\ \frac{opt^r}{v^r \cdot h^r} & (2t^r \leq v^r \cdot h^r) \end{cases} \tag{6}$$

$$t^r = r t^r * t_{ao} [1 + \gamma_1 (\frac{h^r + v_0}{Ca})^{\gamma_2}] \tag{7}$$

$$s.t. \quad h^r \leq \pi^{rr} \tag{8}$$

$$= \begin{cases} \frac{C_p}{\sum_{j \in R^r} f_{ij}^r} & (\alpha^{rr} \cdot \sum_{j \in R^r} f_{ij}^r > C_p) \\ \alpha^{rr} & (\alpha^{rr} \cdot \sum_{j \in R^r} f_{ij}^r \leq C_p) \end{cases}$$

ただし、

π^r, R^r, C^r : 路線 r の運転手の利潤、収入、支出

h^r : 路線 r の乗車出発頻度

(起終点での乗車待ち時間)

R_r : 起終点 τ からの目的地集合 ($\tau = \{1,2\}$)

f_{ij}^r : $i \rightarrow j$ 移動の路線 r のジブニーの利用者の単位時間あたり到着頻度

t^r : 路線 r の起終点間運行所要時間

tc^r : 路線 r ・起終点 τ のターミナルコスト

Nf^r : 路線 r の運転手の1日の往復運行回数

β_1 : 可変費用、 β_2 : 固定費用

opt^r : 路線 r のジブニーの営業時間

v^r : 路線 r の路線運行台数

$r t^r, t_{ao}, C_R, v_0$: 運行路線長、初期所要時間、道路容量、他の道路利用者の交通量

γ_1, γ_2 : パラメータ

π^{rr} : 路線 r の起終点 τ での最長待機時間

C_p : ジブニーの定員

C_t^r : 路線 r 起終点 τ における限界可能待機時間

この問題を Lagrangian 関数を用いて式(9)の様に定式化すると、式(10)-(11)のように1階条件が導出される。

$$\Phi^r = \pi^r + \lambda_1^r (\pi^{rr} - h^r) \tag{9}$$

$$h^r \frac{\partial \Phi^r}{\partial h^r} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \Phi^r}{\partial h^r} \leq 0, \quad h^r \geq 0 \quad \text{for } r = \{1,2\} \tag{10}$$

$$\lambda_1^r \frac{\partial \Phi^r}{\partial \lambda_1^r} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \Phi^r}{\partial \lambda_1^r} \geq 0, \quad \lambda_1^r \geq 0 \quad \text{for } r = \{1,2\} \tag{11}$$

(3) 路線組合の行動

ジブニー路線組合は、自社の1日の総利潤が最大になるように運行台数の決定を行う。ジブニー路線組合 r の総利潤は式(12)のように表現できるものとする。

$$\max_{v^r \geq 0} \rho^r = \pi^r * v^r \tag{12}$$

$$s.t. \quad Cc^{rr} \geq \frac{h^r \cdot v^r - 2t^r}{h^r} \tag{13}$$

ここで、

$$uc^r = \exp(2t^r - h^r \cdot v^r) \tag{14}$$

ただし、

ρ^r : 路線組合 r の総利潤

Cc^{rr} : 路線 r ・起終点 τ の駐車限界容量

同様に Lagrangian 関数を用いて式(15)の様に定式化すると式(16)-(17)のように1階条件が導出される。

$$\Pi_r = \rho_r + \lambda_2^r (\frac{h^r \cdot v^r - 2t^r}{h^r} - Cc^{rr}) \tag{15}$$

$$v^r \frac{\partial \Pi_r}{\partial v^r} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \Pi_r}{\partial v^r} \leq 0, \quad v^r \geq 0 \quad \text{for } r = \{1,2\} \tag{16}$$

$$\lambda_2^r \frac{\partial \Pi_r}{\partial \lambda_2^r} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \Pi_r}{\partial \lambda_2^r} \geq 0, \quad \lambda_2^r \geq 0 \quad \text{for } r = \{1,2\} \tag{17}$$

ただし、 λ_2^r : ラグランジエ乗数

表4 各定数・パラメータの設定

ターミナルコスト* (P)	路線A・起終点1	$tc^{A1}=10.0$
	路線A・起終点2	$tc^{A2}=2.0$
	路線B・起終点	$tc^B=2.0$
限界可能待機時間* (秒)	路線A・起終点1	$Ct^{A1}=950$
	路線A・起終点2	$Ct^{A2}=120$
	路線B・起終点	$Ct^B=120$
駐車限界容量* (台)	路線A・起終点1	$Cc^{A1}=50$
	路線A・起終点2	$Cc^{A2}=5$
	路線B・起終点	$Cc^B=5$
ジブニー利用者数 (人/日)	ゾーン1⇔ゾーン2	$x_{12}=x_{21}=2,000$
	ゾーン1⇔ゾーン3	$x_{13}=x_{31}=10,000$
	ゾーン2⇔ゾーン3	$x_{23}=x_{32}=3,000$
運賃 (P)	ゾーン1⇔ゾーン2	$p_{12}=p_{21}=8.4$
	ゾーン1⇔ゾーン3	$p_{13}=p_{31}$
	ゾーン2⇔ゾーン3	$p_{23}=p_{32}=4.2$
可変費用* (P/秒)		$\beta_1=0.0018$
固定費用* (P/日)		$\beta_2=390.0$
営業時間* (秒)		$Opt=59,400$
運行路線長* (km)	路線A	$R^A=11.8^*$
	路線B	$R^B=5.6^*$
初期所要時間** (秒/km)		$t_{ao}=40$
道路容量** (台/秒)		$C_0=0.055^*$
他の道路利用者交通量** (台/秒)		$v_0=0.055^*$
ジブニーの定員*		$Cp=18$
パラメータ	α^{***}	$\alpha_1=-0.0106, \alpha_2=-0.00074, \alpha_3=-0.1, \alpha_4=-0.616$
	γ^{****}	$\gamma_1=2.62, \gamma_2=5.0$

*現地調査の結果より(平均値もしくは概算)、**3)を参考に概算、***6)における推定結果をもとに概算、****7)を参照

以上より、それぞれの運転手・路線組合にとっての最適運行頻度・運行台数は式(10)(11)(16)(17)の方程式体系により決定される。なお、次章以降の数値実験では、最適化計算のパッケージである GAUSS for Windows Ver.3.2.32 の CO を用いて計算を行った。

4. ターミナルの特性が運行特性に与える影響

(1) ケーススタディ

2章において述べた現地の実態調査より得られた値をもとに、3章で構築したジブニー市場モデルに外生的に与える定数・パラメータを表4に示す。

これらの変数を外生的に与えてやり、ターミナルの利用の有無によってジブニーの運行形態がどのように異なるか表現した結果が、表3である。この結果より、路線Aにおいては、満員まで待つのが最適、路線Bにおいては待機限界可能時間で出発するのが最適という結果となった。これは、現状と比較しても妥当な結果であるといえる。しかし、運行台数、運行回数が現実の値よりもそれぞれ大幅に少なく、または多くなっている。これは、1日の乗客の到着頻度を一定としているため、運行頻度にばらつきがなく、組合が運行台数が少なく設定できることによるものだと考えられる。

表3 数値実験による市場モデルを介した
運行に関する各指標の予測値

	路線 A	路線 B	平均値*
運行頻度 (台/秒)	0.0048	0.0083	0.0063
運行台数 (台)	23	24	98.2
1日あたり利潤 (P)	226.2	140.5	151.9
運行回数 (回/日)	12.7	21.2	9.2
1運行所要時間 (秒)	2344	1404	2553
利用者選択確率 (%)	42.8	57.2	-

*現地調査の結果より (平均値)

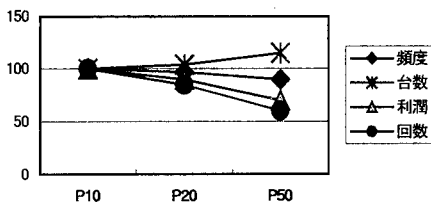


図2 ターミナルコスト上昇に伴う
路線Aの各指標の変化 (P10の時、100)

(2) 感度分析

ターミナルコストを変化させた時の各指標の変化を図2に示す。ターミナルコストの増加が頻度・台数にはそれほど強い影響を持っていないことがわかる。

5. おわりに

本研究は、メトロマニラにおいてターミナルがあることがジブニーの路線上で運行形態に与える影響を測るために、現実に即するように、運転手と路線組合の行動規範を明示的に扱い、ジブニー市場モデルの構築したうえで、その妥当性を現実の数値との比較で示した。その結果、現状の運行特性に即したモデルを構築することができた。また、感度分析を行い、状況の変化に対する再現も行った。

今後の課題としては、需要者に関する行動規範やパラメータに関してより精緻な検討が必要である。また、複数路線への対応が求められている。特にターミナルは、供給側からすると共通投入要素としての意味合いも大きく、またターミナル自体にも規模の経済性が働くものと考えられるので、ネットワークとして分析を行う必要があるであろう。

補注

(1) 起終点に道路を用いている場合、道路を占有していることに対して、警官や地方自治体、地区の自治会長 (Barangy Captain) 等、特定の団体・個人に使用料を払っているケースが見られる。しかし、その道路の占有的使用に対する法的な裏付けはないものと考えられる。

参考文献

- 1) Akira Hosomi, Yoji Kawakami and Hussein S. Lidasan (1998), Analysis of Locational and Functional Characteristics of Terminal Areas in Metro Manila, Journal of the Transportation Science Society of the Philippines Vol.2, pp.39-51
- 2) 細見昭・石田東生・黒川洸(1999), メトロマニラにおけるジブニーの路線起終点での滞留行動に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No.16, pp.809-814
- 3) JICA(1999), Metro Manila Urban Transportation Integration Study Final Report
- 4) 岩田鏡夫(1995), 発展途上国の大都市における公共交通の成立に関する研究, 東京大学学位論文
- 5) OECD(1977), Paratransit in the Developing Worlds, Neglected Options for Mobility and Employment
- 6) 中村隆二(1992), マニラ首都圏においてLRTの整備が住民の交通行動に与える影響に関する研究, 中央大学学位論文
- 7) 松井寛ら(1998), 交通ネットワークの均衡分析, (社)土木学会