

A study on the decision model of time to and from work
for the commuters using mass transits *

樋口尚弘**・李強***・大枝良直****・角知憲****

By Takahiro HIGUCHI**・Qiang LI***・Yoshinao OOEDA****・Tomonori SUMI****

1. はじめに

都心部における通勤時間帯の交通混雑を解消するために、様々な交通需要管理施策が検討されているが、その施策の効果をより高めるためには、通勤行動の特性を把握する必要がある。通勤交通では、仕事の始業時刻と終業時刻は指定されていて、比較的長時間に及ぶため、出勤時だけでなく、退勤時も含めて、一日のサイクルのなかで通勤行動を考慮する必要がある。従って、通勤交通を捉えるうえでは、出勤時と退勤時における各要因を同時に考慮すべきである。しかし、今までの通勤交通に関する研究では、渋滞対策を出勤行動から考察するなど出勤行動に着目した研究^{1) 2)}や、出勤時刻の選択行動を分析した研究³⁾が多く、退勤行動も含めた研究というのはいまだに行われていない。そこで、本研究では、時間領域における出勤行動と退勤行動の双方を考慮した出・退勤時刻決定モデル構築を行うことを目的とし、公共交通機関利用者を対象に、そのモデルの適合性を検討する。

2. 出・退勤時刻決定行動のモデル化

(1) 通勤交通における非効用関数の仮定

通勤交通を、自宅出発から帰宅までの一日のサイクルとして捉え、通勤交通における非効用関数を次のように仮定した。

(a) 自宅を早く出発することによる非効用 D_1

自宅を早く出発することによる非効用 D_1 は、自宅を早く出発するほど大きくなると考え、次式で仮定した。しかし、ある程度以上出発時刻が遅くなると、 D_1 はあまり意識されなくなると考えられる。そこで、その時刻を t_a とした。

$$D_1 = -A_1(t_d - t_a) \dots\dots\dots (1)$$

t_d : 自宅出発時刻 A_1 : 正のパラメータ

t_a : D_1 の弁別閾に対応する時刻

(b) 遅刻による非効用 D_2

遅刻に対してペナルティがあるため、遅刻はできるだけ避けたいと人は考える。そこで、遅刻による非効用 D_2 を遅刻確率の関数として、次式で仮定した。遅刻確率は、自宅出発時刻が遅いほど増加する。

$$D_2 = F(\alpha) \dots\dots\dots (2)$$

α : 遅刻確率

(c) 退出を急ぐことの非効用 D_3

終業時刻をむかえても、退出には一定の準備が必要であるため、ある程度の所要時間がかかる。また、一斉に全員が退出するとは考えられず、混み合うのを避け自然とばらつきが生じるはずである。そこで、帰り支度を急いでまで、早く退出することに非効用を想定して、次式で仮定した。

$$D_3 = \exp(-B_2 \cdot t_{out}) \dots\dots\dots (3)$$

t_{out} : 退勤時刻 B_2 : 正のパラメータ

(d) 帰宅時刻が遅くなることによる非効用 D_4

帰宅時刻が遅くなることによる非効用 D_4 は、帰宅時刻が遅くなるほど大きくなると考え、次式で仮定した。また、 D_1 と同様に、 D_4 が意識されない時刻を t_b とした。

$$D_4 = A_2(t_h - t_b) \dots\dots\dots (4)$$

このとき、 $t_h = t_{out} + t_n \dots\dots\dots (5)$

t_h : 帰宅時刻 t_b : D_4 の弁別閾に対応する時刻

t_n : 自宅～職場間の所要時間 A_2 : 正のパラメータ

*キーワード：通勤交通，公共交通機関，出・退勤時刻

**学生会員 九州大学大学院 工学部

(〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

TEL:092-642-3275 FAX:092-642-3306

***正会員，工修，九州大学大学院 工学研究院

****正会員，工博，九州大学大学院 工学研究院

(e) 通勤交通における総非効用 D_m

通勤交通における総非効用 D_m は出勤時と退勤時の非効用の総和であるため、出勤時に対する退勤時の重みを考慮すると、次式で表される。

$$D_m = D_1 + D_2 + n(D_3 + D_4) \dots\dots\dots (6)$$

n : 出勤時に対する退勤時の重み

(2) 出・退勤時における時刻決定モデル

(a) 時刻決定モデルの基本構造

図 - 1 は、人の出・退勤時における時刻決定行動を示すものである。横軸に自宅における時刻、縦軸に非効用を表す。始業時刻を t_s 、終業時刻を t_f とおいて、軸の左側が出勤時、右側が退勤時と表現することができる。そして、人は出勤、退勤時において、それぞれの非効用の和が最小となるように自宅出発時刻、帰宅時刻を決定すると仮定する。つまり、出勤時には D_1 と D_2 との和、退勤時には D_3 と D_4 の和が最小となるように自宅出発時刻 t'_d 、帰宅時刻 t'_h を決定しようとするものである。ただし、自宅出発時刻、帰宅時刻は全ての通勤者に対して観測することが不可能であるため、観測可能な出・退勤時刻を基にモデルのキャリブレーションを行い、最適な自宅出発時刻、帰宅時刻を推定する。また、パラメータ n は、特定の交通手段利用者の行動から推定することはできず、出勤時と退勤時における交通サービスに有意な相違がある複数の交通手段の選択に基づいて推定することになる。従って、今後、交通手段選択などに発展していく際に考慮しなければならないパラメータとして捉え、本研究では、鉄道とバスの手段選択を行える地域が少ないこともあり、 n を求めず、出勤と退勤を同等と扱い、 $n = 1$ とする。

(b) 定時性のある交通機関利用者におけるモデル

運行スケジュールのある公共交通機関利用者の場合、ある便に乗り遅れると次の便まで待たされることになるため D_2 と D_4 の非効用は、離散的な値となり、図 - 1 の点線のように階段状に上昇していくことになる。そこで、次式を用いることによって、自宅出発時刻、帰宅時刻を時刻表によって得られる駅到着時刻、出発時刻に換算する。

$$t_d = t_{in} - t_n = t'_{in} + t'_n - t_n \dots\dots\dots (7)$$

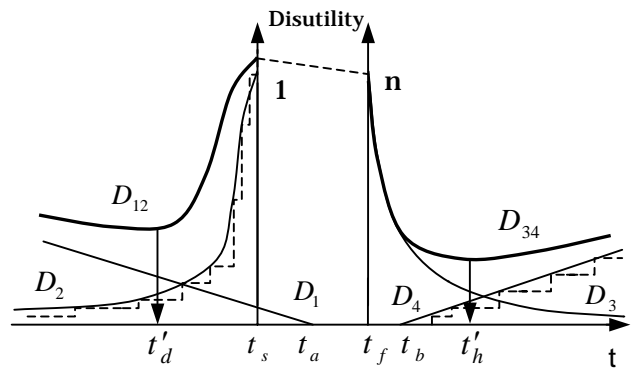


図 - 1 出・退勤時における時刻決定モデル

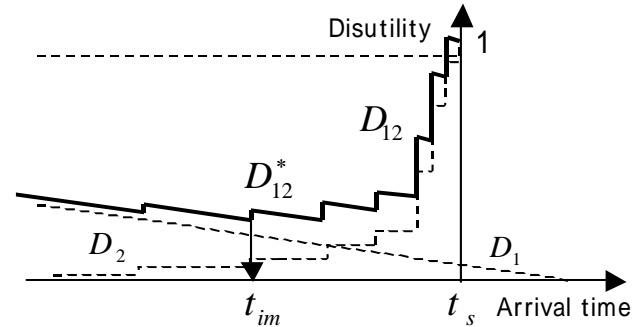


図 - 2 駅到着時刻決定モデル

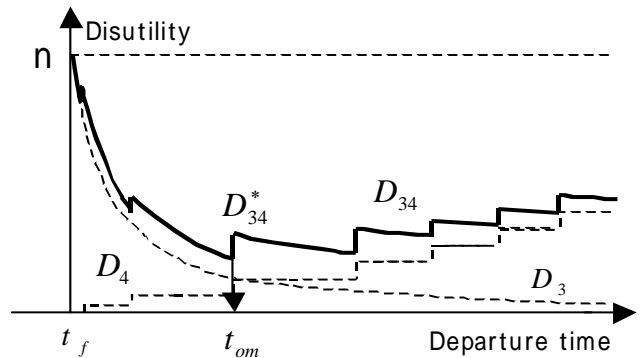


図 - 3 駅出発時刻決定モデル

$$t_h = t_{out} + t_n = t'_{out} - t'_n + t_n \dots\dots\dots (8)$$

t_{in} : 出勤時刻 t_n : 自宅～職場間の所要時間
 t_{out} : 退勤時刻 t'_n : 職場～駅間の所要時間
 t'_{in} , t'_{out} : 職場の最寄り駅到着、出発時刻

図 - 2、図 - 3 は、最適駅到着時刻、出発時刻決定行動を示すものであり、横軸に駅到着時刻、出発時刻を、縦軸に非効用を表す。

出勤時においては、非効用 D_2 が遅刻確率の関数であるので、最適駅到着時刻を算出するため、遅刻確率を求めなければならない。定時性が十分な公共交通機関では、遅刻確率は実質的に乗車便で決まる。すなわち、乗車便が下車駅に到着した後のイグレスの所要時間の変動が遅刻確率をほぼ決定する。そこ

で、職場最寄り駅からの移動速度の確率変動により遅刻確率を求める。帰宅時においては、式(8)を式(4)に代入すればよい。

(3) 定時性が十分でない交通機関におけるモデル

出勤時、退勤時の最適な時刻決定に対する考え方は項(1)と同様であるが、バスのように定時性が十分でない交通機関の場合、遅刻確率の導き方が異なり、自宅から職場までの所要時間の確率変動により決定する必要がある。所要時間のうちアクセス、イグレス時間の変動は小さく、乗車時間の変動が支配的である。そこで、走行速度の確率変動から、乗車時間の確率変動を求め、遅刻確率を決定する。

3. 北九州市域におけるモデルの適用

(1) 調査概要

自動車利用者の通勤行動は公共交通機関利用者とは異なり、渋滞の影響を考慮しなければならため、本研究では、提案したモデルを北九州市役所に通勤する鉄道、モノレール、バス利用者に対して適用する。適用にあたり、平成13年10月に市役所職員の出勤、退勤時刻の観測及びアンケート調査を行った。アンケート調査内容は、調査当日の通勤交通手段と利用した駅、バス停、さらに自宅出発時刻、予定帰宅時刻、個人属性などで、調査は出勤時にアンケート用紙を配布し、退勤時に回収するという方法で行った。アンケートの回収総数は545枚であった。

(2) 遅刻確率の算出

(a) 鉄道、モノレール利用者

駅から市役所までの所要時間の確率変動を求めするために、出勤、退勤時の通勤者の歩行速度を観測し、その分布と駅から市役所までの距離から所要時間分布を得た。観測サンプル数は出勤時が56、退勤時が68で、観測の結果、歩行速度は出勤時が平均1.39 m/s、標準偏差0.13、退勤時が平均1.30 m/s、標準偏差0.12の分布であった。観測結果を図-4に示す。

(b) バス利用者

バスの走行速度をアンケート結果を基に、自宅最寄りのバス停と市役所最寄りのバス停間の距離とバ

ス乗車時間から算出した。バス乗車時間は、自宅から市役所までの所要時間からアクセス時間とイグレス時間を減ずることにより求めた。サンプル数は105で、計算の結果、平均15.8 km/h、標準偏差5.23の分布となった。バス走行速度分布を図-5に示す。

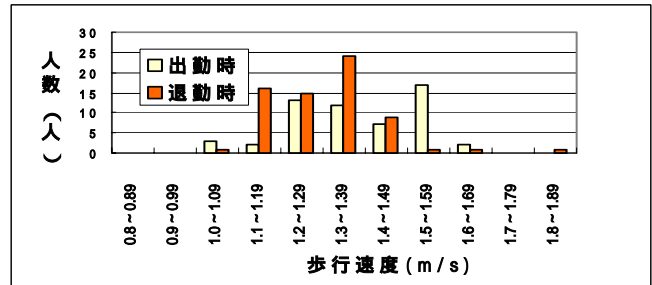


図-4 歩行速度分布

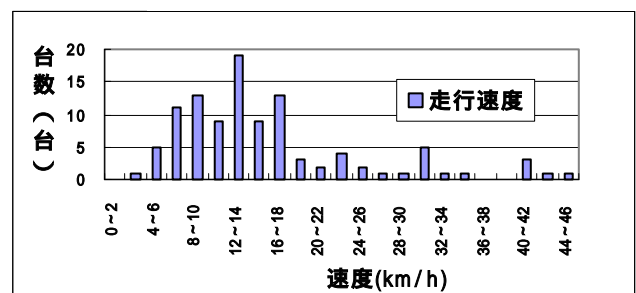


図-5 バス走行速度分布

(c) パラメータの推定

本研究では、最小二乗法を用いてパラメータを推定する。閾値 t_a 、 t_b には、個人によって感じ方が異なり、ばらつきが生じるという個人差を導入し、そのパラメータを正規分布と仮定した。モデルに基づいて、非効用 D_1 、 D_4 の傾きである A_1 、 A_2 、非効用 D_3 の中に導入した B_2 と閾値 t_a 、 t_b の分布を表す平均と標準偏差を含めた7個のパラメータに初期値を与えて、理論値を計算し、実測値との二乗誤差が最小となるように交通手段別に、パラメータの値を推定した。ここで、出勤時間帯に対して退勤時間帯の幅が大ききことを考慮し、出勤時刻は5分刻みで、退勤時刻は30分刻みでパラメータの推定を行った。

$$R = \sum_j (M_{Mj} - M_{Cj})^2 \dots\dots\dots (9)$$

M_{Mj} : 時間帯 j の通勤者数の実測値
 M_{Cj} : 時間帯 j の通勤者数の理論値

推定の結果、鉄道とモノレールでパラメータの最適値に大きな違いは見られなかった。従って、鉄道とモノレールを別々の交通機関と捉えるのではなく、

表 - 1 パラメータ推定結果（出勤）

出勤	A_1	taの平均	標準偏差
鉄道	0.54	7.49	0.11
バス	0.55	7.49	0.14

表 - 2 パラメータ推定結果（退勤）

退勤	A_2	B_2	tbの平均	標準偏差
鉄道	0.80	0.80	5.93	1.1
バス	0.67	0.83	6.41	0.90

一つの交通機関とし、通勤者数の重みをつけることにより双方に適する鉄道のパラメータの最適値を求めた。鉄道とバスのパラメータの推定結果を表 - 1、表 - 2 に示す。また、その時の理論値と実測値の比較を図 - 6 ~ 図 - 9 に示す。得られた出・退勤時刻分布についてK - S検定を行ったところ、各交通手段において、出勤、退勤時いずれも有意水準20%で適合した。

4. 考察および結論

本研究では、通勤交通における出勤と退勤の双方を考慮した時間領域での行動を記述するモデルを作成した。そのモデルを北九州市域に適用し、鉄道とバスの公共交通機関を利用する人々の出勤、退勤行動を概ね再現することができた。また、パラメータの推定結果より、 t_a では大きな違いは見られなかったが、 t_b では交通手段によってパラメータの値が変動している。この変動の有意性は、アンケート結果からバスの走行速度を算出したこともあり、判断できない。仮に有意性があるとすれば、その原因として、出勤行動の自由度に対して、退勤行動の自由度が大きい影響が出ているのではないと思われる。

本研究により、時差通勤などの始業時刻や終業時刻の変動による出・退勤時刻の変動を予測することができる。また、今後は実際にバスの走行速度を観測することによって、モデルの適合性のさらに向上させることが必要である。さらに、渋滞の影響を考慮し、今回の公共交通機関以外の自動車通勤を踏まえたモデルへの拡張も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田敬: 通勤者の出発時刻と経路を考慮した機関選択に関する行動分析, 土木計画学研究・講演集, No.17, pp.441-444, 1995
- 2) 加藤文教, 門田博知, 入口康幸: 出勤行動に着目した渋滞対策の選択性向の分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.25, pp.97-102, 1990
- 3) 家田仁, 土谷和之, ファンレピン, 岡村敏之: 大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデルの構築と首都圏鉄道ネットワークへの適用, 土木学会論文集, No.702/ -55, pp.65-79, 2002.4

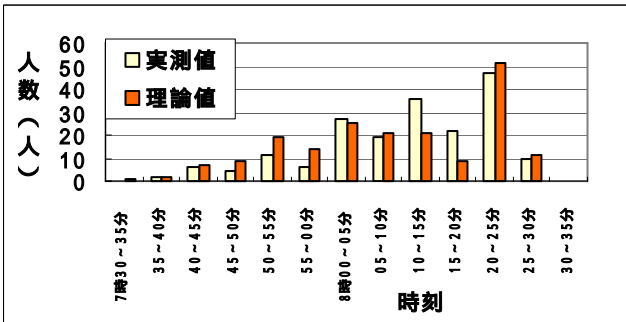


図 - 6 出勤時刻分布（鉄道）

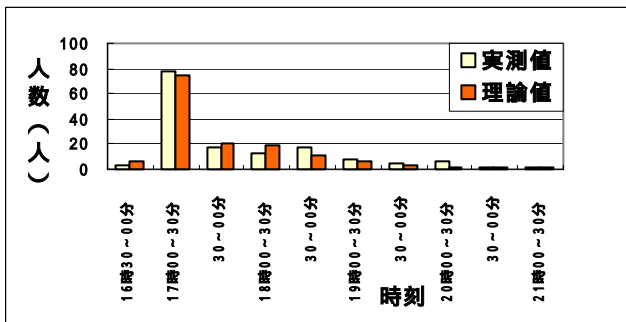


図 - 7 退勤時刻分布（鉄道）

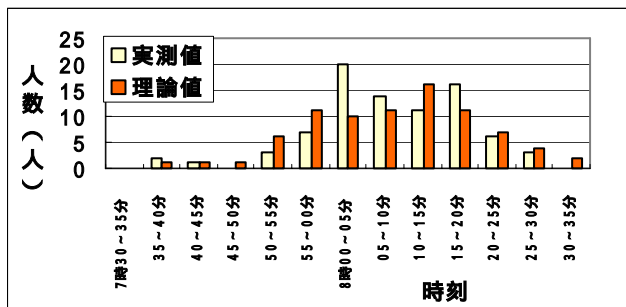


図 - 8 出勤時刻分布（バス）

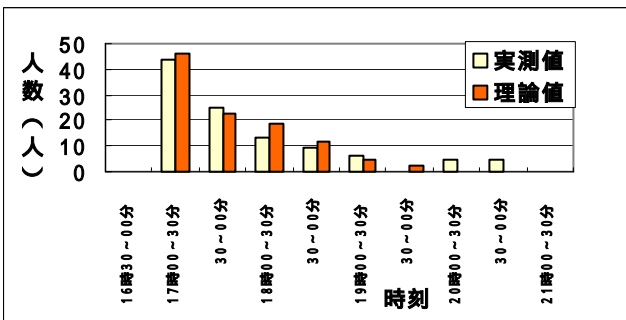


図 - 9 退勤時刻分布（バス）