

時差出勤が通勤ドライバーの 出発時刻と経路選択に及ぼす影響*

柳沢 吉保**・飯田 恭敬***・内田 敬****

The Stagger Working Hours Considering the Uncertainty of Peak-Hour Travel Demand

By Yoshiyasu YANAGISAWA, Yasunori IIDA, Takashi UCHIDA

This paper examines the problem of peak-hours traffic congestion and the analysis of alternatives congestion relief methods. It presents a estimation model of the departure time and route choice, and system performance function considering the uncertainty of travel time and commuter's utility. The model consists of the estimated travel time and schedule delay. Numerical example were performed in order to clear the effect of the stagger of work start time.

1. はじめに

自動車交通需要の増加に対し、都心部の道路整備の進展が遅れているため、道路混雑は年々悪化している。特に通勤時の渋滞は、社会・経済活動に重大な影響を及ぼしているため、早急に解決しなければならない問題となっている。

渋滞の解消策としては、ハード面からの道路施設整備があるが、財源や期間の面に問題がある。また潜在的な交通需要が大きいため、道路施設整備も後追いになる傾向にある。そこでソフト面からの政策によってピーク需要を分散し、混雑を緩和する方法¹⁾が有効となる。

ところで本研究で扱う通勤交通の特徴は、到着指定時刻という制約があり、ドライバーはこの制約を考慮にいれた行動をとる。すなわち始業時刻に遅れないように、利用可能な経路の交通状態も考慮しながら、出発時刻や経路の選択を行っている。そこでピーク需要の分散による混雑緩和策としては、同一の時間帯に集中している企業の始業時刻をずらし、通勤者の出発時刻分布を分散させる時差出勤策²⁾が考えられる。

本研究では、効果的な時差出勤策を立案するために、始業時刻の設定が通勤交通行動にどのような影響を及ぼすか分析を行う。具体的には、

- (1) 所要時間の変動を考慮にいれた通勤効用関数の構築を行う。
- (2) 効用最大化理論を適用し、通勤行動モデルの定式化を行なう。

* 平成5年12月第16回土木計画学研究講演会にて発表

** 土木工学科 助手

*** 京都大学工学部 教授

**** 京都大学工学部 助手

- (3) 混雑緩和策を評価するための評価関数を示す。
 (4) 数値実験により、始業時刻の設定が交通行動に与える影響について分析する。

2. 通勤交通行動のモデル化

(1) 通勤効用関数^{9),10)}

通勤者は、所要時間と遅刻ペナルティーを考慮して、出発時刻や経路の選択行動を行っている。所要時間については、同一の経路を利用しても出発時間帯によって異なる。また同一の経路と出発時刻を選択しても交通状態の毎日の変動にともない所要時間が異なってしまう。したがって所要時間は時々刻々と変動しているの、通勤者もこれらを考慮にいたした選択行動を行っていると考えられる。また通勤には始業時刻があるので、所要時間だけでなく、目的地に到着してから始業時刻までに費やす到着余裕時間も考慮に入れる必要がある。

本研究では、これらのことを考慮して次のような通勤行動の効用関数を提案する。ドライバーの通勤行動を考えると、通勤者は所要時間の変動を考慮し、通勤行動を起こす前に選択可能な経路および出発時刻の効用の見積を行なう。すなわち出発してから始業時刻までに費やされる時間の損失費用と遅刻してしまった場合の損失とのトレードオフにより、特定の選択肢の効用を見積るものとする。所要時間の変動が図-1のように何らかの確率分布に従うとすると、この効用関数は下のように表せる。

$$V_i(r, t_s | t_d) = \beta(t_d - t_s) + \gamma F_1(t_d | r, t_s) \quad (1)$$

i : ODi

r, t_d, t_s : 経路, 始業時刻, 出発時刻

$t_d - t_s$: 実効旅行時間

β, γ : 不効用に関するパラメータ

$F(\cdot)$: 遅刻する確率

ここでは、時間損失の項は所要時間と到着余裕時間の和で表させる実効旅行時間を用いた。通勤行動の決定に影響を与える要因としては、所要時間のような時間価値的なもののほかに、目的地での駐車場の空き状況、個人のライフスタイルといったものも考えられるが、本研究では時間価値の変化が、交通行動にどのような影響を与えるかを分析するため、効用関数の変数には時間価値に関するものに絞ってモデルの構築を行った。

(2) 通勤効用関数による通勤行動モデル^{5),6),7),11),12)}

毎日行われている通勤行動では、ドライバーは様々な出発時刻、経路を選択する。ここではドライバーが通勤時の選択可能な出発時刻 $t_s = \{t_0, \dots, T\}$ 、経路 $r = \{1, \dots, R\}$ を選択する確率 $P(r, t_s)$ を考える。

通常、通勤者は(1)式で表される不効用が最小となるような出発時刻と経路を選択するが、個人の知覚の違いなどにより、不効用が最小となる経路と出発時刻はドライバーによって異なる。そこで通勤時の選択行動は、通勤行動により得られる効用関数をランダム効用関数と

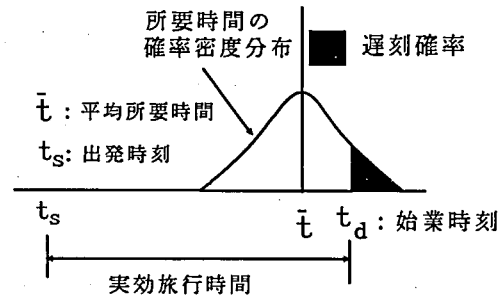


図-1 所要時間分布と実効旅行時間

し、効用最大化理論によるロジットモデルを用いて記述することにする。

通勤行動の実証的な分析により、ドライバーは通常、交通状態の変動に対し経路を先決しておいて、より出発時刻選択で柔軟に対応していることがわかっている¹²⁾。図-2に示しているように、本研究でもそれに従った選択プロセスのNLモデルを構築する。

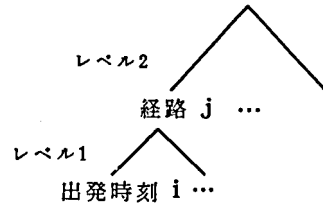


図-2 出発時刻と経路の選択プロセスツリー

レベル1, 2に関するスケールパラメータを μ_1, μ_2 とすると、出発時刻と経路の選択確率は、

$$P_1(r, t_s | t_d) = P_1(t_s | r, t_d) \cdot P_1(r | t_d) \\ = \frac{\exp [\mu_1 V_1(r, t_s | t_d)]}{\exp [\mu_1 V_1(r, * | t_d)]} \times \frac{\exp [\mu_2 V_1(r, * | t_d)]}{\exp [\mu_2 V_1(*, * | t_d)]} \quad (2)$$

ここで、

$$V_1(r, * | t_d) = \frac{1}{\mu_1} \ln \sum_{\ell} \exp [\mu_1 V_1(r, \ell | t_d)] \quad (3)$$

$$V_1(*, * | t_d) = \frac{1}{\mu_2} \ln \sum_u \exp [\mu_2 V_1(r, * | t_d)] \quad (4)$$

と表され、スケールパラメータの大小関係は $0 < \mu_2 \leq \mu_1$ となる。

こうして(2)式より出発時刻と経路の選択確率が得られると、経路 r 、時刻 t_s を選択する通勤者の発生量(台) $X_1(r, t_s)$ は、対象とする通勤時間帯の総発生量を X_1 とすると次式で求められる。

$$X_1(r, t_s | t_d) = X_1 \cdot P_1(r, t_s | t_d) \quad (5)$$

本研究では、経路誘導のような短期的な行動に対する分析ではなく、時差出勤などの政策後に最終的に形成される定常的な交通状態について評価を行なう。時差出勤などのように頻繁に変更しない政策を行った場合、通勤者は過去に繰り返した行動から得た経験より、選択可能な経路と出発時刻の交通状態を知ることになる。すなわち、ほぼ完全情報のもとで最適な選択肢を認識することになる。そこでドライバーの完全情報の仮定のもとに通勤選択行動の収束状態を求める。

ところで、OD間の所要時間については動的シミュレーションモデルを用いているので、本モデルを数理的な最適化問題として定式化して解くことは難しい。そこで利用者の均衡問題の近似解法として用いられているIA法の考え方を適用し、収束状態を求める。

3. 評価関数の設定と政策の評価方法

本研究では、時差出勤策やフレックスタイム制のように始業時刻の設定が交通行動にどのような影響を与えるか分析する。通勤交通では各会社の始業時刻がある時間帯に集中している場合、通勤による交通量が集中し渋滞を引き起こすことになる。そこで時差出勤やフレックスタイム制により企業の始業時刻をずらすと集中していた発生交通量が分散し、通勤時の

所要時間と分散が小さくなり、通勤者の所要時間や不効用を低くすることができる^{2),3),4)}。このように始業時刻の設定によってピーク需要を分散することができるが、始業時刻の設定と通勤行動との関係を分析することは、有効な時差出勤政策を考案するための資料となる。ここではこうした政策の評価指標としては、(6)、(7)式のような期待総所要時間、見積総不効用を用いることが考えられる。

$$ET(X) = \sum_r \sum_{t_s} \sum_{t_d} X_1(r, t_s | t_d) \times \bar{t}_1(r, t_s | t_d) \quad (6)$$

$$EV(X) = \sum_r \sum_{t_s} \sum_{t_d} X_1(r, t_s | t_d) \times V_1(r, t_s | t_d) \quad (7)$$

(6)式は混雑緩和に関する評価関数であり、道路の合理的な運用を目指す交通管理者側による評価関数である。したがって、この評価値が小さいほど混雑緩和効果が高い政策ということになる。これに対し(7)式は通勤効用関数を用い、所要時間だけでなく到着余裕時間、または遅刻ペナルティーなどの項も取り入れており、この値が小さいほど通勤時の不効用が小さい。したがってこれは道路利用者側からみた評価関数といえる。

ここで所要時間と通勤不効用との関係を考察する。政策によっては、一部のドライバーの不効用が大きくなってしまった結果、総所要時間が小さくなる場合がある。また不効用が小さくても、ある道路の一部の時間帯に需要が集中し、合理的な道路利用が成されずに総所要時間が大きくなってしまう場合もある。そこで本研究では、(6)、(7)式を用い、合理的な道路利用と、ドライバーの効用の両面から政策の評価と交通状態の分析を行なう。

政策の評価方法については、まず政策変数を時差出勤の始業時刻やそのときの時差出勤量とする。この政策変数を操作決定し、そのときの通勤者の出発時刻分布を第2章で構築した通勤行動モデルにより求める。そして再現された交通状態の評価値を(6)、(7)式より求める。ただし、始業時刻を変えることによって生ずる各企業の損失については考えず、始業時刻の設定範囲については企業より与えられているものとする。また評価関数には駐車状況、ライフスタイルに関する変数は除き、時間に関する変数に絞って、時間損失が発生時刻分布の形成に与える影響について分析を行う。

4. 仮想モデルによる数値計算例と考察

この章ではトリップ長の異なる2 ODの簡単なネットワークに対し、基本モデルを設定し、そのときの交通行動について分析を行う。つぎに始業時刻の設定が交通行動にどのような影響を与えるのか、3章で設定した評価関数値とあわせて分析を行なう。そしてODごとに通勤効用のパラメータが異なる場合の交通行動も分析を行ない、始業時刻と通勤行動の一般的な関係について考察する。

(1) 基本的な条件の設定

<ネットワークの設定>モデルネットワークは図-3に示す。OD 1はノード1~3間、OD 2はノード2~3間とする。OD 1は2つの経路からなり、リンク1を通る場合が経路1、リンク2を通る場合が経路2とする。

<出発時間帯>6:00から10:00までの4時間を出発時間帯とした。この出発時間帯において、5分間隔に発生する交通量を分析する。

<動的交通流モデルの諸条件>設定したネットワークの交通条件は次のとおりである。リンク1, 2, 3の流出容量はそれぞれ40, 40, 80台/5 minとする。また自由走行時間はそれぞれ20, 30, 20分とする。したがって自由走行時では経路2の方が所要時間が長くなるように設定した。

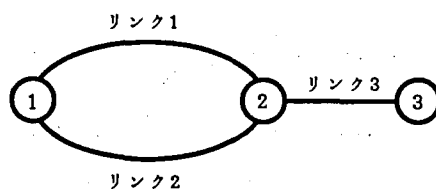


図-3 モデルネットワーク

<効用関数のパラメータの設定>(2)式で示したモデルパラメータには、長野市一須坂市間の実際の通勤行動データである平成2年度長野都市圏PT調査データを用いて推定した結果を基本モデルとして用いる。モデルパラメータの推定結果は、 $\beta = -0.054$, $\gamma = -6.305$, $\mu_2 = 0.57$ となった。

<通勤者の所要時間と分散>ここでは気候の変化や事故などの特別な事象以外の、日常的に生ずる所要時間のばらつきを対象とする。各経路、出発時刻の所要時間の平均値と分散については動的交通流モデルより求める⁹⁾。

(2) 始業時刻の設定が通勤行動に与える影響

始業時刻の設定は通勤行動にさまざまな影響を与えるが、ある時刻に発生した交通が他の発生交通と同一利用リンク上で互いに及ぼし合う影響には、以下のものが考えられる。

<影響1>異なるODから発生したトリップどうしが同一の利用リンク上で及ぼし合う影響。

<影響2>同じODから発生したトリップでも、効用パラメータが異なるために発生時刻分布の異なってしまったトリップどうしが互いに及ぼし合う影響。

これらの影響が始業時刻がずれることによってどう変わるのか、発生時刻分布や評価関数値の両面から分析を行なう。ここでは主に影響1について分析を行う。

影響1の始業時刻の設定には、同一の利用リンク上を流れる長いトリップと短いトリップについて、短いトリップを先に流してしまう場合と、長いトリップを先に流してしまう場合が考えられる。ここでは長いトリップであるノード1を出発するドライバーの始業時刻を固定し、短いトリップのノード2を出発するドライバーの始業時刻をずらすことを考える。具体的にはノード1から出発する通勤ドライバーの始業時刻を9:00とし、ノード2から出発する通勤ドライバーの始業時刻を8:30とする場合と、9:30とする場合の2通りを考える。

(3) 基本モデルの設定と通勤行動の影響分析

・総発生量はOD 1, 2とも500台とする。ネットワーク条件や通勤効用パラメータなどは基本条件のものを用いる。

このケースの交通状態は、図-4, 5の所要時間分布と出発時刻分布に示した。

まず、OD 1と2の始業時刻が同じ場合の影響分析を行う。図-4より所要時間分布をみると自由走行時よりもピーク発生時で15分以上も時間がかかる。これは、ノード1から発生したピーク交通量がノード2を通過するとき、ノード2から発生している交通量と重なり、大きな渋滞を引き起こしているからである。OD 1のドライバーがノード2を通過する時刻も、OD 2のドライバーがノード2から出発する時刻も始業時刻に対して最小不効用となるように選択されるため、このケースのようにOD 1とOD 2の始業時刻が同じで、しかも通勤効用のパラメータ値も同じ場合、ノード2においてOD 1の通過交通と、OD 2の発生交

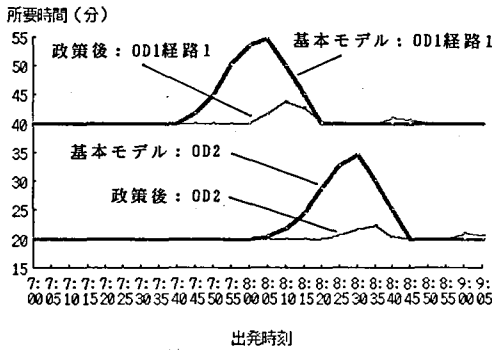


図-4 OD2の始業時刻を9:30としたときの所要時間分布

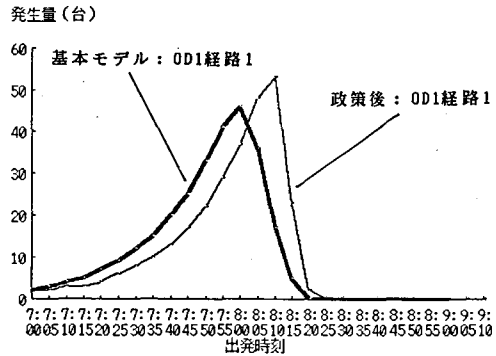


図-5 OD2の始業時刻を9:30としたときの発生時刻分布

通が重なりやすくなる。

次に、OD2の始業時刻を上述したとおり8:30、9:30にずらした場合の交通状態について分析を行う。このときの交通状態について、OD2の始業時刻が8:30の場合は、OD1のピーク交通がノード2を通過するときにはOD2のドライバーはほとんど出発してしまっている。また始業時刻を9:30にずらした場合には、OD1のドライバーがノード2を通過し終わるまで、OD2から出発するドライバーの数は少ない。すなわちOD1から発生したトリップがノード2から発生するトリップと重なる数は始業時刻を同一にしている場合と比較し少ないため、混雑も小さい。図-4からも混雑が小さくなっていることが分かる。所要時間が短いため、発生交通のピークも始業時刻をずらすまえと比較し10分も遅く発生していることが分かる。

(4) スケールパラメータの及ぼす影響

スケールパラメータを表-1のように設定し、そのときの交通行動について分析する。それぞれのケースでの発生時刻分布を図-6に示す。

図-6より、 μ_2 の値が大きくなるほどピーク発生量が大きくなっていることが分かる。このことは μ_2 の値が大きいほどドライバーは通勤不効用の小さい選択肢に集中することを示している。 μ_2 の値が小さい方がドライバーにとって不利な経路2をより多く選択してし

表-1 スケールパラメータの設定

ケース1	ケース2	ケース3
0.57	0.1	0.9

表-2 各ケースの評価関数値

	ケース1	ケース2	ケース3
総走行時間	37289	37518	37108
総不効用	3655	3673	3647

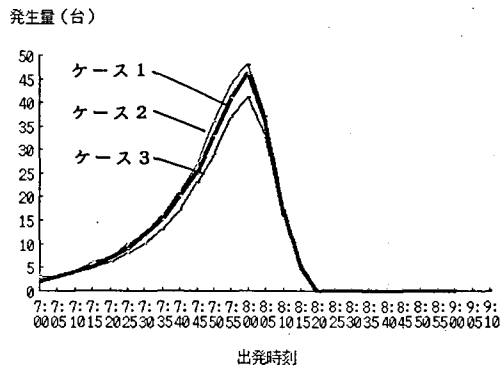


図-6 各ケースのOD1経路1の発生時刻分布

まっていることが表一2より分かる。

(5) OD 1と2の通勤効用パラメータが異なる場合

ここではOD 1と2の効用パラメータが異なる場合のOD 2の始業時刻設定が交通行動に与える影響について分析する。OD 1のパラメータの設定については表一3に示す。また、各パラメータのOD 1の発生交通状態を図一7に、評価関数値を図一8に示す。

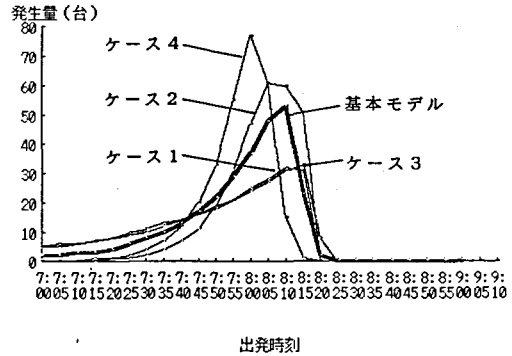
ケース1は、実効旅行時間に関するパラメータが小さいので、単位時間当りの旅行時間の損失が小さく、早めの出発による旅行時間損失も少ない。また遅刻に関するパラメータは大きいことから、遅刻ペナルティーが大きくなるので、遅刻しないように早めの出発を行う。このようなパラメータをもつ発生交通は、基本モデルで示した発生時刻分布と比較し早めの出発が行われる。このことは図一7をみてもわかる。このような場合、OD 1のドライバーは基本モデルよりも早い時刻にノード2を通過しているので、短いトリップのドライバーの始業時刻を後ろにずらし、遅い時刻に出発させた方が、同一の利用リンク上での長いトリップと重なる数は小さくなり、総所要時間も小さくなる。(図一8)

ケース2は、実効旅行時間に関するパラメータが大きいので、単位時間当りの旅行時間の損失が大きくなり、早めの出発による旅行時間損失も大きくなる。遅刻に関するパラメータが小さいことから、遅刻ペナルティーは小さくなり、多少の遅刻は覚悟で遅めの出発を行う。このようなパラメータをもつ発生交通は、基本モデルで示した発生時刻分布と比較し遅めの出発が行われる。すなわちOD 1のドライバーは基本モデルよりも遅い時刻にノード2に達するので、OD 2のドライバーを早めに出発させた方が、OD 1のトリップとの重なりは小さくなる。

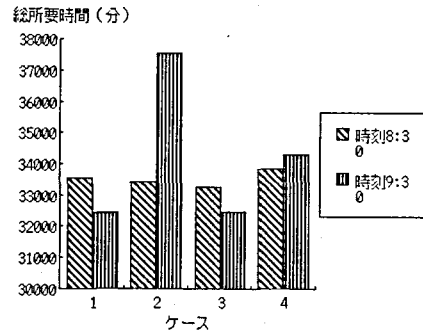
ケース3の場合は、実効旅行時間と遅刻に関するパラメータの両方が小さい。このようなパラメータでは、早めの出発による旅行時間損失も小さく、また遅刻ペナルティーも小さいので、発生交通はなだらかな出発分布を形成される。このケースの場合、発生時刻分布のピーク発生量は基本モデルほど大きくはないが、早い出発時刻から比較的大きな発生量が生じ

表一3 各ケースの設定

	β	γ
ケース1	-0.027	-12.610
ケース2	-0.106	-3.153
ケース3	-0.027	-3.153
ケース4	-0.106	-12.610



図一7 OD1 経路1の発生時刻分布



図一8 各ケースの総所要時間

やすい。そこでこの発生交通と重ならないように、OD 2のドライバーの始業時刻を後ろにずらし、遅めの出発が行えるような始業時刻設定が効果的である。

ケース4は実効旅行時間も遅刻に関するパラメータも大きい。このようなパラメータでは、早めの出発による旅行時間損失も、また遅刻ペナルティーもおおきいので、発生交通はある時刻に集中しやすくなる。この場合ピーク発生後渋滞が続くので、この発生交通と重ならないように短いトリップは早めの出発を行うような始業時刻設定の方が効果的である。

5. おわりに

本研究では、通勤交通の経路と出発時刻の同時選択モデルを用いて、始業時刻の設定が通勤交通行動に及ぼす影響を分析した。

時間価値の変動がどのように交通行動に影響を与えるか分析するため、ドライバーの通勤効用は所要時間のその変動に関する項だけに絞って構築した。通勤行動の収束計算には、ドライバーの完全情報を仮定しIA法の考え方を適用した。また、混雑緩和効果を評価する関数として総所要時間を、ドライバーの通勤時の効用を評価する関数として総不効用を用い、発生時刻分布の交通状態の評価を行った。そして始業時刻の設定が通勤交通行動に及ぼす影響について、いくつかの数値計算例を行い、以下のような結論が得られた。

- (1) 同じリンクを共有する長いトリップと短いトリップの、始業時刻と通勤効用パラメータが同じ場合、長いトリップの通過交通と短いトリップの発生交通は重なり、大きな混雑が生起する可能性があることがわかった。
- (2) スケールパラメータ μ_2 の値が大きくなるほど、ドライバーは通勤不効用の小さい選択肢に集中することが分かる。 μ_2 の値が小さい方がドライバーにとって不利な選択肢を選んでしまうことがわかった。
- (3) 実効旅行時間に関するパラメータが小さく、遅刻に関するパラメータは大きい場合、単位時間当りの旅行時間の損失が小さく、遅刻ペナルティーが大きくなるので、ドライバーは早めの出発を行う。この場合、短いトリップのドライバーの始業時刻を後ろにずらし、遅く出発させた方が、長いトリップとの重なりは小さくなり、総所要時間も小さくなる。このように始業時刻別のトリップの通勤効用のパラメータの大小関係によって、始業時刻を前にずらした方がよいか、後ろにずらした方がよいか異なってくるということがわかった。

参 考 文 献

- 1) 飯田恭敬：交通管理のハイテク化と都市交通計画，都市問題研究，Vol. 41，No. 12，pp. 3-15，1989
- 2) 定井，新矢：地方中核都市における「時差出勤」と「相乗り通勤」のフイージビリティ研究，運輸と経済，第43巻，第11号，pp. 64-82，1983
- 3) 加藤，門田，高田：時差出勤による交通需要の時間的分散政策に関する基礎的分析，土木計画学研究・論文集，No. 6，pp. 185-192，1988
- 4) 松井，藤田：フレックスタイム制度導入調査アンケート報告書，名古屋工業大学 社会開発工学科 都市交通研究室
- 5) Ben-Akiva, Cyna, Palma: Dynamic Model of Peak Period Congestion, Transpn. Res. -B

- Vol. 18B, No. 4/5, pp. 339-355, 1984
- 6) Ben-Akiva, Palma, Kanaroglou: Effects of Capacity Constraints on Peak-Period Traffic Congestion, *Transpn. Res. Record* 1085, pp. 16-26
 - 7) Ben-Akiva: Dynamic Model of Peak Period Traffic with Elastic Arrival Rates, *Trans. Sci.* Vol. 20, No. 2, pp. 164-181, 1986.
 - 8) 鷹尾和亨: 経路選択シミュレーションによる動的交通量配分, 土木学会第45回年次学術講演会 IV, 1990年10月
 - 9) C. Hendrickson, G. Kocur: Schedule Delay and Departure Time Decision in a Deterministic Model, *Transportation Science* Vol. 15, No. 1, February, 1981
 - 10) Hall, R. W.: Travel outcome and performance: The effect of uncertainty on accessibility, *Trans. Res. -B* Vol. 17B, No. 4, pp. 275-290, 1983.
 - 11) 飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田 敬: 通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法, 土木計画学研究・論文集, No. 9 pp. 93-100, 1991年11月
 - 12) 柳沢吉保, 飯田恭敬, 内田 敬: 通勤ドライバーの出発時刻と経路の同時選択に関する行動分析, *交通工学*, Vol. 28, No. 6, pp. 11-19, 1993