西神工業団地通勤交通における公共・私的交通分担に関する研究

橋本渉一*　川端　慧**　藤井　暢彦***

Sharing of Public and Private Commuter Traffic at Seishin Industrial, High-Tech Park

Shoichi HASHIMOTO*　Kei KAWABATA**　Nobuhiko FUJII**

ABSTRACT

In recent years greenhouse effect gas is demanded to reduce for prevention global warming. Especially reduction of carbon dioxide is important. Public traffic;railways has anadvantage over private traffic,cars. Probability of commuter traffic selection, public or private traffic, is able to calculate by using logit model. Point of commuter behavior is used for logit model's parameter. Time and cost are point for commuter. These two parameter is used to calculate probability. Subjects of this study are commuters for Seishin Industrial park and Seishin Minami high-tech park. Result, commuter's time from home to working place, is important to choice public transportation.

keywords：traffic sharing, commuter traffic, logit model, probability model

１．はじめに

1.1　背景

世界の温室効果ガスは，ここ 100 年で大幅に増加しており，大気中の温室効果ガスである二酸化炭素（以下 CO_2）とメタンの濃度は，産業革命前の値をはるかに超えている．地球温暖化防止の観点から，温室効果ガスの大部分を占めている CO_2 排出削減の重要性が言われている．地球温暖化の結果として，一部研究者からは海面の上昇，異常気象，食糧危機，生態系への影響などが警告されている．[1)]

我が国は，米国，中国，ロシア，インドに次いで世界で 5 番目に多く世界全体の約 4%の CO_2 を排出しているとされている．（図１）．

京都議定書において，日本は第一次約束期間(2008 年ー2013 年)に基準年(1990 年. HFCs, PFCs, SF6 については 1995 年）から 6% の削減を公約しているが，2004 年度の温室効果ガス排出量は 13 億 5,520 万トンであり，1990 年からは 7.4%増となっている．2009 年には政府により，さらに踏む込んだ 25%の排出削減の提案もされているが，いまだ具体的な対策は大きくは進んでおらず，公約を満たすための方策が懸念されている．

日本の CO_2 排出量を部門別にみると，運輸部門は全体の 22%を占めている．この結果，日本の運輸部門で世界の CO_2 排出量の約１%を占めていることとなる．（図２）

さらに運輸部門の内訳をみると，乗用車・貨物車・バス・タクシーなど道路交通が全体の約 87%を占めている．（図３）

１人を１km 運ぶ際に排出する CO_2 の量を鉄道・バス・航空・自家用車・営業用車で比較すると，鉄道 16ｇ・バス 51ｇ・航空 111ｇ・自家用車 178ｇ・営業用車 389ｇとなっており，鉄道が圧倒的に少なくなっている（図４）．

家庭からの CO_2 排出量は，世帯当たり年間 5,600kg-CO_2 となっている． 家庭からの温室効果ガス排出量とは，家庭部門，運輸部門の自家用乗用車(家計寄与分)，廃棄物（一般廃棄物）部門で計上された排出量，および水道からの排出量の合計となる．家庭から排出される CO_2 のうち，自家用車が全体の 60%以上を占めている．自動車は日常生活に大きな利便性をもたらす一方で，排気ガ

＊　　都市工学科　教授
＊＊　新日本製鐵株式会社　都市工学科平成 22 年卒
＊＊＊　岐阜大学工学部　都市工学科平成 21 年卒

スによる大気汚染，温室効果，走行に伴う騒音など，環境に対する負の面も言われている．

1.2　研究目的

このような背景の下，交通部門における CO_2 排出量の削減と省エネルギー化を進めるため，大都市では私的交通から公共交通への利用変換の誘導がなされている．

本研究では，対象地域を神戸市西区にある西神工業団地・西神南工業団地の神戸市交通局から提供された従業員の住所および，通勤時に利用している交通機関データを用いた．通勤時のデータを用い，マストランジット（公共交通）（以下マストラと記述）とマイカー（私的交通）それぞれの交通分担にはどのような要素が寄与するかロジットモデルを用いて分析することを目的とする．

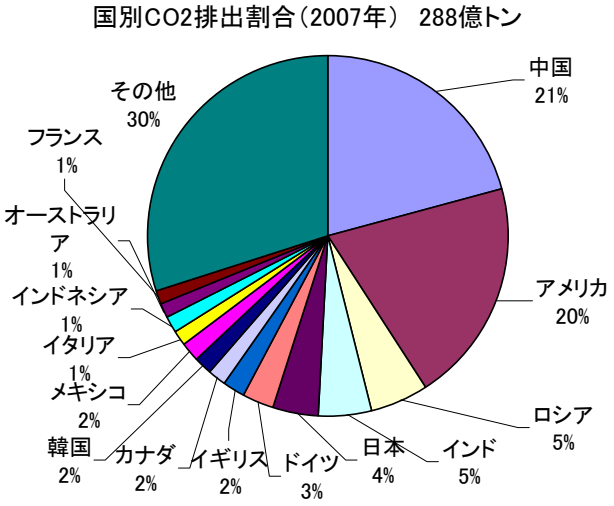

図１　国別 CO_2 排出割合[1)]

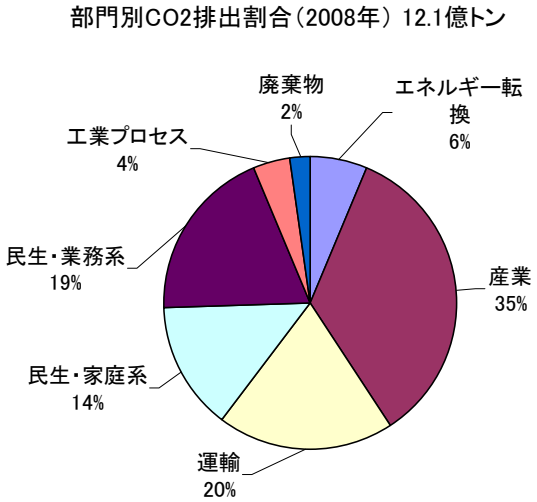

図２　産業別 CO_2 排出割合[1)]

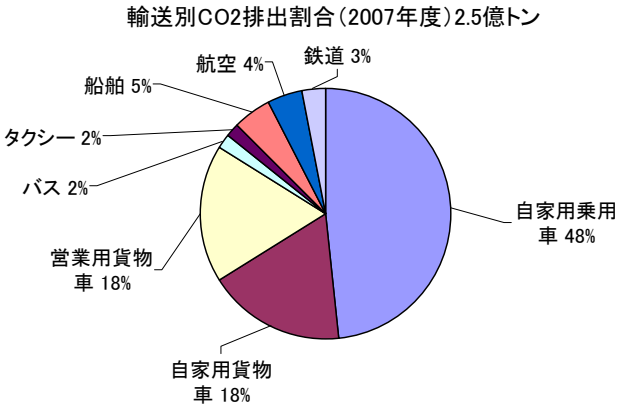

図３　輸送機関別 CO_2 排出割合[2)]

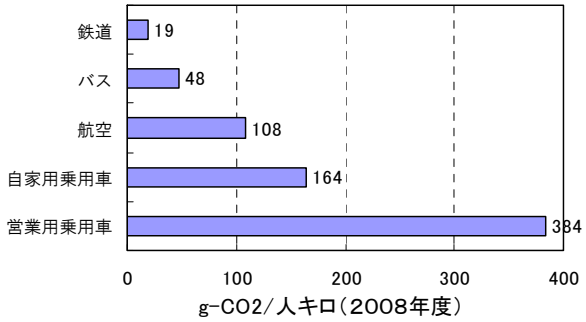

図４　人キロ当たり CO_2 排出量[2)]

２．神戸市の取り組み

2.1　CO_2 排出の現状

神戸市の CO_2 排出量の内訳は産業部門が最も多い全体の 44%を占めており，運輸部門は業務部門と並んで全体の約 19%と 2 番目に多くの CO_2 を排出している．（図５）運輸部門の内訳をみると，自動車からの CO_2 排出量が 83%と圧倒的に多くなっている．（図６）

兵庫県では自動車保有台数が年々増加傾向にある．特に乗用車の保有台数が増加しており 2000 年は 1,985,175 台だったのが，2009 年では 2,204,701 台と 9 年間で 219,526 台と大幅に増加している．

人口 1 人あたりの自動車からの CO_2 排出量は，全国主要都市で神戸市は 12 番目に多く，12.8t-CO_2/年人を排出している．（図７）これらの状況を踏まえ神戸市では運輸部門からの CO_2 排出量を減少させるため，私的交通から公共交通への利用転換を促すため MM(Mobility Management)[5) 6)] の施策を打ち出している．

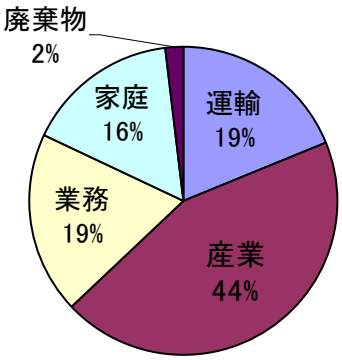

図５　神戸市産業別 CO_2 排出割合[3)]

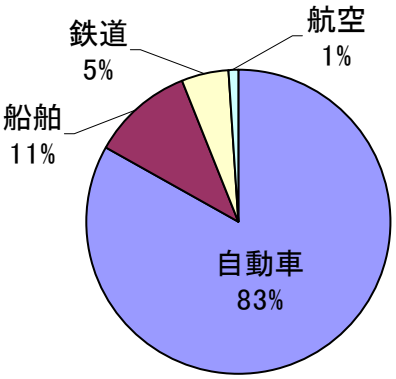

図６　神戸市輸送機関別 CO_2 排出割合[3)]

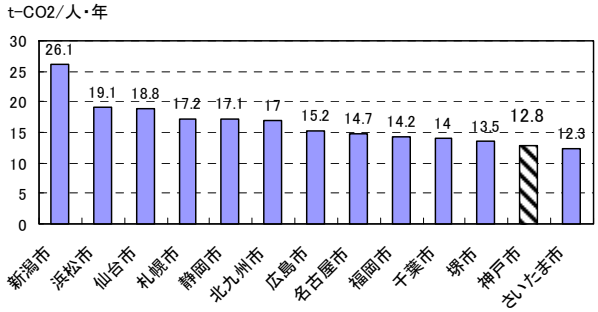

図７　人口１人当たり自動車の CO_2 排出量[4)]

2.2　ＴＤＭ（交通需要マネージメント）

神戸市では，私的交通から公共交通への利用転換の促進による環境負荷の軽減[7)]と街の活性化を目指して，学識経験者，商業者，NPO，交通事業者等で構成される神戸市 TDM(Traffic Demand Management)研究会が中心となり，平成 15 年 10 月より「広域的な公共交通利用転換に関する実証実験(エコモーション神戸)」を実施している．

エコモーション神戸では，土日祝日等に大人が同伴する小学生以下２名以下の神戸市バス・神戸市営地下鉄等の利用料金を無料にする『エコファミリー制度』や，公共交通機関を利用して提携先の商店街・デパート・ホテル等を訪れた人に飲食・買物料金の割引，施設入場料の 無料化等の様々なサービスを提供する『エコショッピング制度』等を実施している．

エコファミリー制度では以下の実績や効果をあげている．

・利用者が延べ 213 万人（地下鉄・北神急行 111 万人，バス 102 万人）に達した．

・休日の総乗車人数が 1,800 人／日増加した．
　平均乗車人数 実験前:184,600 人／日
　　→実験中:186,400 人／日

・二酸化炭素の排出量が 523 トン削減された．

・都心周辺駅の乗客数増により，都心活性化の効果が期待される．都心周辺駅で 1,200 人／日増加
　実験前:55,000 人／日→実験中:56,200 人／日

３．ロジットモデルを用いた推計

3.1　ロジットモデル[8)]

我々が行動するに際し選択肢の中からある特定の事項を選択する場合，例えば「通勤にマイカーを利用するかマストラ（公共交通）を利用するか」，「住宅を購入するか否か」，購入するとすれば「一戸建て住宅かマンションか」といったように，２つまたはいくつかの選択肢の中からどれを選択するかといった問題に直面することがしばしばある．ロジットモデルとは，このような複数個の選択肢の中からある特定の選択肢を選択するような行動を記述したり，分析するために用いられるモデルである．

人間の選択行動を表現するモデルとして，ロジットモデルの他にもプロビットモデル等いろいろなモデルが開発されている．ロジットモデルは他の選択行動モデルと比較して操作性が高く，交通計画など各種の土木計画の問題で利用されている．

3.2　交通選択確率

通勤者が通勤手段としてマイカーを利用するか，あるいはマストラを利用するかという選択問題を検討する．通勤に要する時間・費用，道路やマストラの混雑度，勤務先での駐車場の有無，自転車保有の有無など，通勤手段の選択に影響を及ぼす要因は色々ある．ここでは，マストラあるいはマイカーを利用した際に要する時間および費用だけに着目する．ある個人 i（i=1,...,n）がマストラを選択したときに得られる効用を U_a^i，マイカーを選択したときの効用を U_b^i と表す．

$$Ua^i = \beta_1 x_{1a}^i + \beta_2 x_{2a}^i + \varepsilon_a^i \quad ・・・式(1)$$

$$U_b^i = \beta_1 x_{1b}^i + \beta_2 x_{2b}^i + \varepsilon_b^i \quad ・・・式(2)$$

ここで各変数は，
Ua^i：個人 i のマストラ選択時の効用
U_b^i：個人 i のマイカー選択時の効用
x_{1a}^i：個人 i のマストラの通勤時間
x_{2a}^i：個人 i のマストラの通勤費用
x_{1b}^i：個人 i のマイカーの通勤時間
x_{2b}^i：個人 i のマイカーの通勤費用
β_1：最尤推定法で推計されるパラメータ
β_2：最尤推定法で推計されるパラメータ
ε_a^i：誤差項
ε_b^i：誤差項
である．

通勤状況の調査結果から対象とする通勤者がマストラを利用しているか，あるいはマイカーを利用しているかは把握できる．ある調査対象の勤労者がマストラを利用したとする．この場合，この勤労者がマストラを利用することによって得られる効用は，マイカーを利用したときの効用よりも大きいと考えられる．すなわち

$U_a^i \geq U_b^i$ ・・・式(3)

が成立していると考える．このように，ロジットモデルは効用水準が分からなくても，個人の選択行動の結果に基づいて間接的にパラメータ β_1, β_2 を推定することができる．

二項ロジットモデルの理論は，式(1) (2)の誤差項 ε_a^i, ε_b^i がそれぞれ独立なワイブル分布に従って分布している時，勤労者がマストラ，マイカーという選択肢を選ぶ確率は式(4) (5)により与えられる．すなわちマストラを選択する確率 p_a^i は

$$p_a^i = \frac{\exp(\lambda U_a^i)}{\exp(\lambda U_a^i) + \exp(\lambda U_b^i)} = \frac{1}{1+\exp\{\lambda(U_b^i - U_a^i)\}} = \frac{1}{1+\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}} \quad \text{・・式(4)}$$

となる．同様にマイカーを選択する確率は

$$P_b^i = \frac{\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}}{1+\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}} \quad \text{・・式(5)}$$

となる．ここで各変数は，
p_a^i：個人 i が選択肢 a を選択する確率
p_b^i：個人 i が選択肢 b を選択する確率
U_a^i：選択肢 a の確定的効用
U_b^i：選択肢 b の確定的効用
λ：誤差項のばらつきを示すパラメータ
である．個人 i が選択肢 a に対する効用が m 個の変数 x_{ka}^i（k=1,…,m）で表現できる場合，二項ロジットモデルを m 変数に拡張すると，式(6) (7)で表される．

$$p_a^i = \frac{\exp\{\sum_k \beta_k x_{ka}^i\}}{\exp\{\sum_k \beta_k x_{ka}^i\} + \exp\{\sum_k \beta_k xb^i\}} \quad \text{・・・式(6)}$$

$$p_a^i = \frac{\exp\{\sum_k \beta_k x_{kb}^i\}}{\exp\{\sum_k \beta_k x_{ka}^i\} + \exp\{\sum_k \beta_k xb^i\}} \quad \text{・・・式(7)}$$

3.3 実データによる確率計算

神戸市交通局から西神中央工業団地・西神南工業団地に勤めている方々の通勤データの提供を受けた．提供されたデータの中から，西神工業団地通勤者から 84 人，西神南工業団地通勤者から 26 人をマイカーおよびマストラ通勤者が同数となるようにランダム選択した．そのデータを用いて，各通勤者の自宅から勤務先まで，マストラあるいはマイカーを利用した際に要する通勤時間および通勤費用を，表 1 の計算条件を設定して計算した．

西神工業団地および西神南工業団地への通勤データを用い，ロジットモデルを適用してマイカー通勤とマストラ通勤の選択確率を計算する．本研究ではマストラあるいはマイカーを利用した際に要する時間および費用を変数として計算を行った．

表 1　計算条件

マイカー		マストラ	
平均速度		通勤割引	
一般道	25km/h	電車	通常の60%
高速道路	60km/h	バス	通常の70%
燃費	12km/ℓ	西神～勤務先	15分
一ℓ	100円		200円
維持管理費	575円	西神南～勤務先	12分
			200円

a）西神中央工業団地

西神中央工業団地への通勤データ（60 名）の例を表２に示す．

被験者 84 名に対し，マストラあるいはマイカーで通勤しているか，σa，σb 欄に使用している交通機関には 1，使用していない交通機関には 0 で表記している．マストラを利用した場合の通勤時間を x1a とし,通勤にかかる費用を x2a とする．同様にマイカー通勤した場合の通勤時間を x1b とし，通勤にかかる費用を x2b とする．マイカー通勤費用 x2b には維持管理費を加える．これらデータを用い式(6) (7)から，マストラ利用確率 Pa およびマイカー利用確率 Pb を求める．パラメータ β_1 および β_2 は繰り返し計算により収束値を求める．

表２　入力データ（西神中央工業団地）

被験者	マストラ δa	マイカー δb	マストラ x1a(分)	x2a(円)	マイカー x1b(分)	x2b(円)	x1a-x1b (分)	x2a-x2b (円)
1	0	1	65	536	42	768	23	-232
2	0	1	82	710	76	880	6	-170
3	1	0	70	528	53	760	17	-232
4	0	1	35	196	19	641	16	-445
5	0	1	37	259	19	641	18	-382
6	0	1	37	259	19	642	18	-383
7	0	1	25	138	19	639	6	-501
8	0	1	23	120	12	614	11	-494
9	0	1	40	259	24	656	16	-397
10	0	1	36	278	22	648	14	-370
11	0	1	21	120	12	613	9	-493
12	0	1	46	203	19	641	27	-438
13	0	1	40	189	14	623	26	-434
14	0	1	21	140	11	612	10	-472
15	0	1	25	138	16	631	9	-493
16	0	1	25	0	7	599	18	-599
17	1	0	46	203	18	640	28	-437
18	1	0	21	140	11	613	10	-473
19	1	0	35	156	25	661	10	-505
20	1	0	24	120	14	622	10	-502
21	0	1	47	296	35	698	12	-402
22	0	1	30	278	25	662	5	-384
23	0	1	42	278	33	689	9	-411
24	1	0	39	278	32	686	7	-408
25	1	0	37	306	24	659	13	-353
26	1	0	47	296	36	702	11	-406
27	0	1	34	156	30	679	4	-523
28	0	1	42	296	25	661	17	-365
29	0	1	37	180	30	677	7	-497
30	1	0	38	198	40	715	-2	-517
31	1	0	34	296	27	668	7	-372
32	0	1	41	216	40	713	1	-497
33	1	0	46	216	40	715	6	-499
34	0	1	41	216	45	733	-4	-517
35	1	0	44	216	45	730	-1	-514
36	1	0	53	234	51	752	2	-518
37	1	0	66	324	62	793	4	-469
38	1	0	86	444	79	848	7	-404
39	0	1	83	486	43	723	40	-237
40	0	1	55	308	28	673	27	-365
41	0	1	62	308	35	698	27	-390
42	0	1	75	378	27	669	48	-291
43	0	1	87	486	36	699	51	-213
44	0	1	79	438	46	734	33	-296
45	1	0	57	552	29	675	28	-123
46	0	1	84	558	58	775	26	-217
47	0	1	112	689	36	700	76	-11
48	0	1	91	540	53	761	38	-221
49	0	1	88	588	62	791	26	-203
50	0	1	101	707	42	723	59	-16
51	1	0	101	444	59	780	42	-336
52	0	1	104	444	74	832	30	-388
53	0	1	145	650	86	874	59	-224
54	0	1	107	690	37	705	70	-15
55	0	1	45	311	21	646	24	-335
56	0	1	55	398	28	673	27	-275
57	1	0	55	224	20	645	35	-421
58	0	1	107	558	81	854	26	-296
59	0	1	66	372	82	862	-16	-490
60	0	1	110	600	84	866	26	-266

図 11 はロジットモデルの計算結果を示し，横軸は被験者番号，縦軸は公共交通選択確率を表したものである．

b）西神南工業団地

西神中央工業団地と同様，西神南工業団地への通勤データ（26 名）を基に，マストラ利用確率 Pa およびマイカー利用確率 Pb を求めた．

図 12 の横軸は被験者番号，縦軸は公共交通選択確率を表したものである．

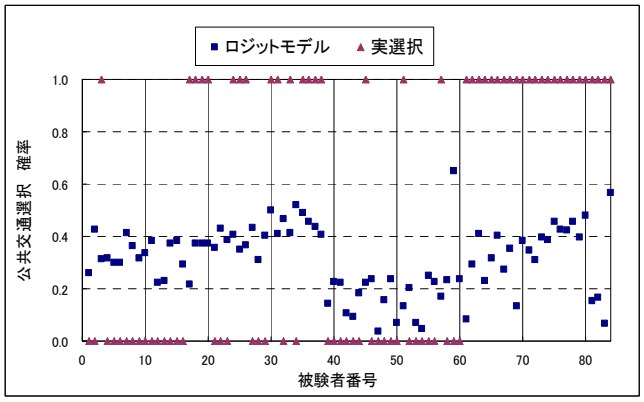

図 11　公共交通選択確率（西神中央）

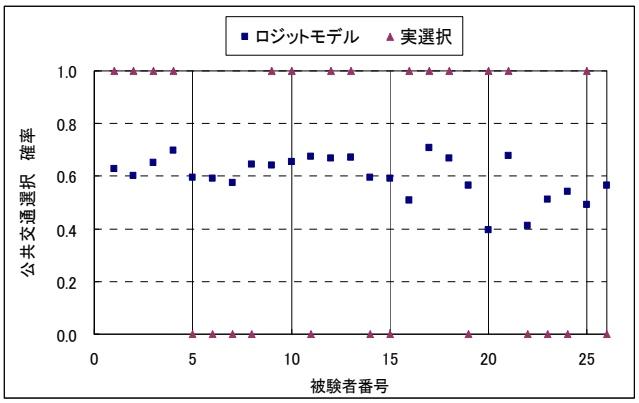

図 12　公共交通選択確率（西神南）

3.4　入力パラメータ変化の影響

ロジットモデルを用い，通勤者のマストラおよびマイカーの選択確率への入力データの寄与の大きさを検討する．

選択確率を決定する要素はマストラの通勤時間，通勤費用，マイカーの通勤時間，通勤費用の 4 つである．この 4 要素をそれぞれ変化させ，元の選択確率との比較を行う．各要素は 1.25 倍，1.5 倍に増加させるパターン，および 0.75 倍，0.5 倍に減少させるパターンで変化させる．

図 13，図 14 は西神中央工業団地通勤者の選択確率の変化を示している．また図 15，図 16 は西神南工業団地通勤者の選択確率の変化を示している．

４要素を変化させ選択確率の変化を検討した結果，マイカー・マストラともに通勤費用より，通勤時間を変化させた方が，大きな変動が見られた．またマイカーの通勤時間を増加させた場合，マストラの通勤時間を減少させた場合にマストラ選択確率が実選択に近づいている．すなわち，通勤時間から見てマストラがマイカーより有利になったときに，マストラ選択確率が上がることが確認できる．

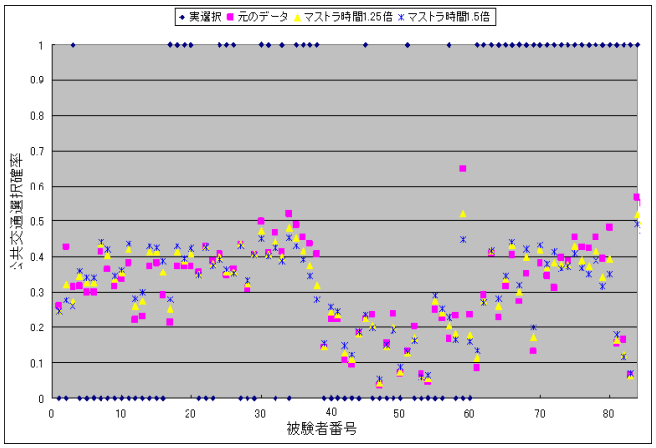

図 13　マストラ時間増加（西神中央）

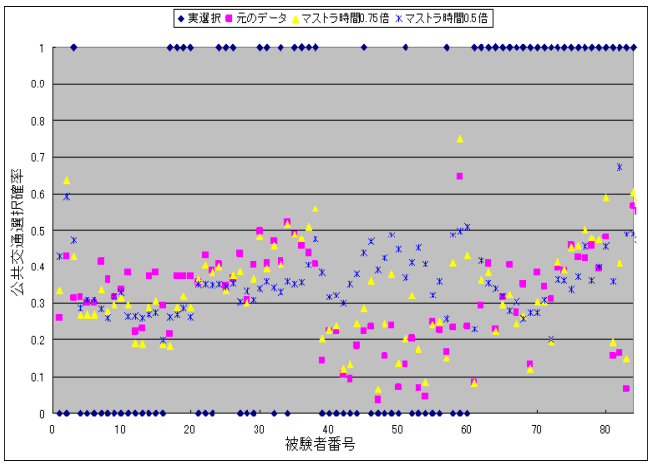

図 14　マストラ時間減少（西神中央）

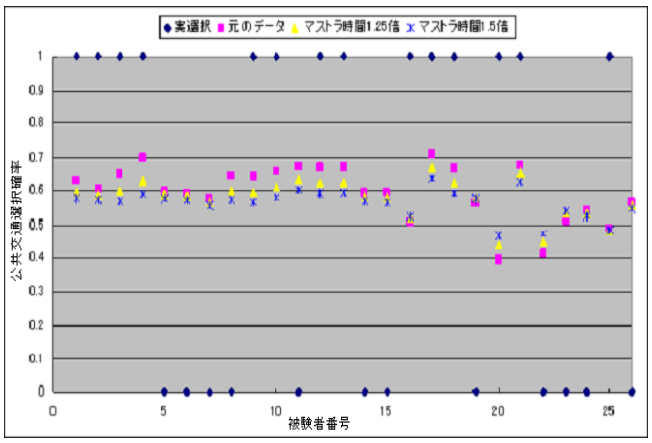

図 15　マストラ時間増加（西神南）

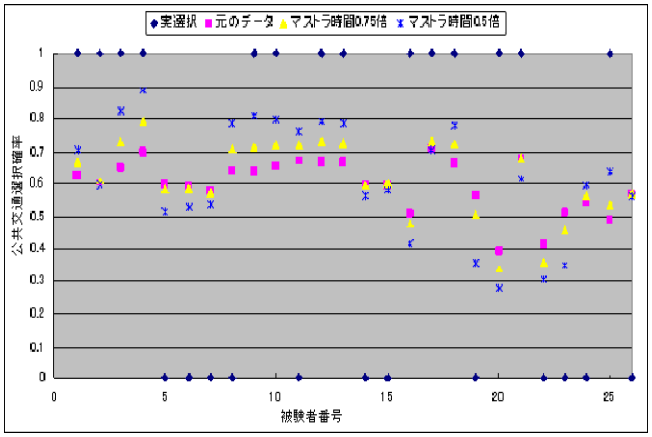

図 16　マストラ時間減少（西神南）

４．まとめ

西神中央工業団地および西神南工業団地への通勤者の公共交通あるいは私的交通利用の実態データから，ロジットモデルにより公共交通・私的交通の選択確率を検討した結果，明らかになった事項をまとめると以下の通りである．

(1) 西神中央工業団地，西神南工業団地への通勤者の居住地から勤務先までのデータから，マストラ利用よりマイカー利用時の通勤時間が短く有利なケースが多くなっている．

(2) 明石市，加古川市在住で，公共交通利用では時間がかかる地域の通勤者の多くは，マイカー通勤の割合が大きくなっている．

(3) 神戸市東灘区，灘区，中央区，兵庫区のように公共交通が整備されており、通勤の際にマイカーとマストラの通勤時間に大差がない地域では，マストラ通勤の割合が大きくなっている．

(4) マイカー・マストラ通勤の両者に対して通勤費用を変化させた場合，マストラ選択確率に大きな変化は見られない．

(5) 通勤時間を増加あるいは減少に変化させた場合，マストラ選択確率には大きな変化が見られる．

(6) マイカー通勤時間を増加させた場合，マストラ選択確率が実選択に近づく．

(7) マストラの通勤時間を減少させた場合，マストラ選択確率が実選択に近づく．

(8) マイカーよりもマストラ利用の通勤時間が有利な条件になった場合，マストラ選択確率が実選択に近づく．

【参考文献】

1)全国地球温暖化防止活動推進センター
http://www. .jccca.org/chart/chart03_01.html
2)国土交通省ホームページ
http://www. www.mlit.go.jp/
3)神戸市ホームページ
http://www.city.kobe.lg.jp/
4)自動車検査登録情報協会
http://www.airia.or.jp/number/index.html
5) 藤井聡・谷口綾子：モビリティ・マネジメント入門,2008 年
6) 土木学会：モビリティ・マネジメントの手引き，2005 年
7) 交通工学研究会 EST 普及研究グループ：地球温暖化防止に向けた都市交通,2009 年
8) 飯田恭敬・岡田憲夫：土木計画システム分析，1992 年