高齢化社会における鉄道利用およびアクセス交通に関する調査・研究

神戸市立工業高等専門学校　都市工学科　教授　橋本 渉一

１．はじめに

わが国における旅客輸送量（人キロ）の分担率は，図１に示すように 1960 年代から現在までの 50 年弱で，鉄道は減少し逆に道路輸送は 50％を超えるまでに増加した。しかし大都市圏においては従来の社会基盤整備の中で都市鉄道路線の整備が行われて来たことにより，図２に示すように鉄道輸送人員で見ると現在も約 50％を分担している。これは先進諸国と比較しても鉄道輸送の分担率が高く，特に大都市圏内旅客輸送に対しては不可欠で重要な役割を果たしている。

わが国では，社会の高齢化と共に高齢者トリップ総数が増加しており，特に大都市圏においては鉄道・バスの公共交通が高齢者の社会活動に寄与する割合は高くなっている[2)]。

内閣府の「高齢者の日常生活に関する意識調査」によると，外出時の障害となる事項として「バスや電車等公共の交通機関が利用しにくい」,「バスや電車等公共の交通機関が未整備」などがあり，これは都市規模が小さくなるほどこの傾向は強くなっている[3)]。

地方圏では自家用車の普及により公共交通の輸送人員が減少し，公共交通事業者の経営を圧迫し全国的に見て鉄道路線の廃止，バス系統数の減少が見られ，高齢者等の足の確保が大きな問題となっている。

鉄道輸送はこの 30 年間で全国では 20％以上の増加を示しており，地方圏では 13％減少したものの三大都市圏では 30％以上の増加しており，引き続き鉄道輸送の果たす役割が大きいことに変わりはない。

一方，環境負荷の観点から交通機関の特性を見ると，図３に示す通り単位輸送量（人キロ）当たりの CO_2 排出量を見ると，鉄道と比べて，バスは約 2.7 倍，航空は約 6 倍，自家用乗用車は約 9 倍の排出量となっている。したがって鉄道・バス等の公共交通機関の利用が増えることにより，CO_2 排出量の削減につながる。

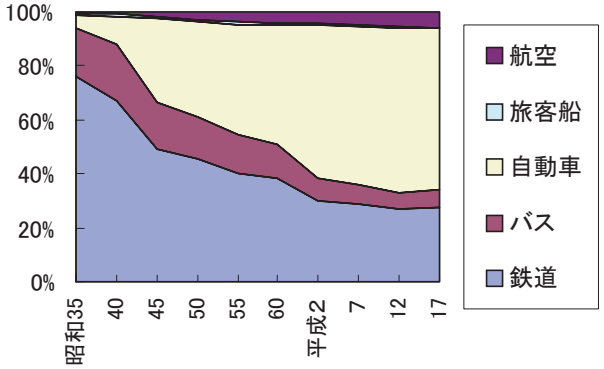

図１　旅客輸送分担率（人キロ）の推移[1)]

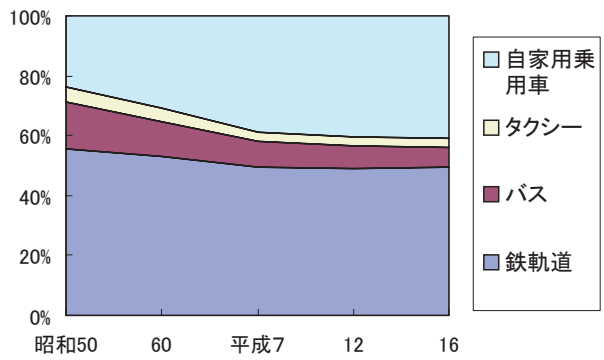

図２　三大都市圏輸送分担率（人）の推移[1)]

1997年に京都議定書が採択された後，地球温暖化防止の観点から各国でCO_2削減の重要性が認識され，地球規模で取り組みが始まっている。わが国は世界で全体の約5%のCO_2を排出しており，CO_2削減に向けた国際的な取り組みとして日本の削減目標は1990年を基準とし－6%である。国内のCO_2排出量は増加の傾向にあり，運輸部門が全体のCO_2排出量の約20%を占めておりこの内の約90%が道路交通によるものである。

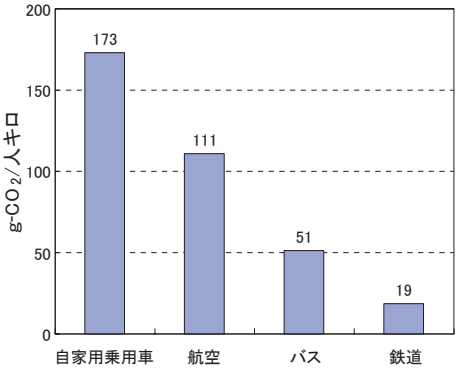

図３　人キロ当たりのCO_2排出量[1)]

高齢者の移動手段の確保，CO_2排出の抑制の観点からも公共交通の整備は重要であり，各都市圏で取り組みが行われている。本研究は，神戸都市圏の通勤時における公共交通と私的交通の利用データを用い通勤交通行動を非集計ロジットモデルにより解析し，公共交通利用の増加要因を明らかにすることを目的としている。

２．公共交通利用に向けた取り組み[4) 5) 6)]

～神戸市におけるMM（Mobility Management）およびＴＦＰ（Travel Feedback Program）～

省エネルギー，環境保護の観点から，また大都市圏においては都市計画上からも私的交通と公共交通のバランスをとることが必要とされる。とりわけ都市内道路網の整備に伴い私的交通（マイカー）の利用が増加する傾向があるため，様々な施策を講ずることにより利用者が自発的に公共交通利用へ変化するよう誘導することを，MM（Mobility Management）と呼んでいる。さらに，現在の各人の交通プランを基にし交通行動を変えた場合に，費用，時間，環境影響等への変化情報を，アンケート等の手法を使って繰返し提供し，自発的な行動変化を促していく方法をＴＦＰ（Travel Feedback Program）と呼んでいる。

神戸市内の自動車保有台数は年々増加傾向にあり，特に普通乗用車の割合が大きくCO_2排出量は年々増加している。市ではCO_2削減のため，市民のマイカー移動を控え目にしできるだけ公共交通を利用してもらう取り組みとして，エコファミリー制度・エコショッピング制度の導入，まち歩きマップ・通勤マップの広報活動，ちょいのりバスの運行サービス等の対策が行われている。平成19年度からMMの３ヵ年計画として，都心中心部におけるマイカーから公共交通への利用転換を促進することにより，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目指している。

平成19年度は，郊外の工業団地（西神工業団地），臨海部の工業団地（和田岬地区）を対象として，複数回の個別的なやりとりを通して交通行動の自発的な変容を期待するMMの代表的な手法であるＴＦＰを実施した。ＴＦＰの実施方法には様々なバリエーションがあり，第１ステップ：「事前調査」，第２ステップ：「コミュニケーションアンケート」，第３ステップ：「事後調査」，第４ステップ：「行動変容に関するフィールドバック」まで対象者と計４回のコミュニケーションがあるが，参加者には高い効果が期待できる一方，参加率の低下が懸念される。より多くの参加者に正確なマイカーの使い方情報を提供することを目指し，第１ステップ:「事前調査」と「コミュニケーションアンケート」，第２ステップ:「事

後調査」，第３ステップ：「行動変容に関するフィールドバック」の計３回のコミュニケーションによるＴＦＰを実施した。

３．西神工業地区通勤者に対するＴＦＰ[7)]

西神工業地区と和田岬地区の２ヶ所でＴＦＰを実施したが，本研究では西神工業地区における結果を解析対象とした。西神工業団地に立地する企業 41 社，従業員約 6,500 名を対象に通勤交通に関して調査が行われた。主な調査内容としては，平日の交通手段別の移動頻度，休日の交通手段別の移動時間，自動車通勤に対する意識，自動車の抑制に対する意識，最寄り駅と最寄りバス停，通勤時間帯，所要時間等である。さらに，自動車を利用しない通勤行動（経路・手段），自動車を利用しない休日の交通行動（経路・手段），自由記述等が調査項目である。回収状況は配布数 6,455 件，回答数 1,495 件，回収率 23.2%であった。

（ａ）週５日以上マイカー通勤者の意見

①地下鉄，バスを早朝から深夜まで運行，②工業団地循環バス，西明石，明石からのバスの増便，③明石駅，緑が丘，桜ヶ丘方面から西神工業団地への直通バス，④大久保～西神中央のバスの増便，バス運賃の値下げ，⑤農業公園周辺の渋滞が激しくバスが遅れる，明石近辺の渋滞が激しく所要時間の変動が大きい，バス専用レーンの設置，などバスの定時運行や増便に対する意見が目立った。

自動車利用抑制に関する意見としては，⑥環境税の導入，自動車税を高くする，送迎バスの増便，自転車通勤の許可，自転車置き場の無料化，パークアンドライドの取り組み，自転車道の整備，乗り合いタクシーの導入，などの意見が挙がった。

（ｂ）週５日以上公共交通通勤者の意見

①神戸市バスと神姫バスの路線時刻の調整，②バスの夜間便の増便，昼間のバスの増便，③電車・バスの割引率のアップ，便利なチケット（ノーマイカーデーのフリーチケット等）の販促強化，などの意見が挙げられた。

自動車利用抑制に関する意見としては，④乗り入れ制限を設ける，職場での「ノーマイカーデー」の導入，⑤マイカー通勤を公共交通機関と比べて時間が短縮できるものに限定する，⑥駐輪場の充実，などの意見が挙がった。

事後調査では，①近い所は自転車や徒歩で行くようになった，②公共交通に転換した，③エコドライブを心がけるようになった，④車で用事を一度に済ませるようになった，など具体的な変化が明らかになった。

ＴＦＰの効果として，平日のマイカー利用日数は約 9%減少，休日のマイカー利用時間が約 10% 減少，休日の「自転車」利用時間が約 20%増加となり，年間約 33tf の CO2 削減効果が見込まれる結果となった。また，西神工業団地において「公共交通サービス水準が低く通勤に利用できない」という意見があり，バス運行に関する各種情報の提供サービス施策と併せてダイヤ編成や，交通事業者別に異なる定期券の共通化等の利用者の視点に立った取り組みの必要性が改めて示された。また，公共交通利用者が比較的多い垂水区に居住しているマイカー利用者のうち，約 6 割は「最寄り駅・バス停までの距離」などが行動変容の障害となっていると推測されるものの，その他の 4 割弱は明確な理由が見当たらず，継続

的なコミュニケーションによる転換可能性が示唆された。

西神工業団地へ公共交通通勤者の居住地分布を図４に示す。神戸市営地下鉄沿線上である神戸市中心部や，JR・阪神・阪急電鉄沿線上である灘区，東灘区など公共交通の整備されている地域では公共交通分担率が高くなっている。またマイカー通勤者の居住地分布を図５に示す。明石市，加古川市，三木市，小野市，神戸市西区，北区など公共交通を利用できない地域ではないが，マイカーを利用した方が通勤時間，通勤費用の面で有利な条件の地域である。

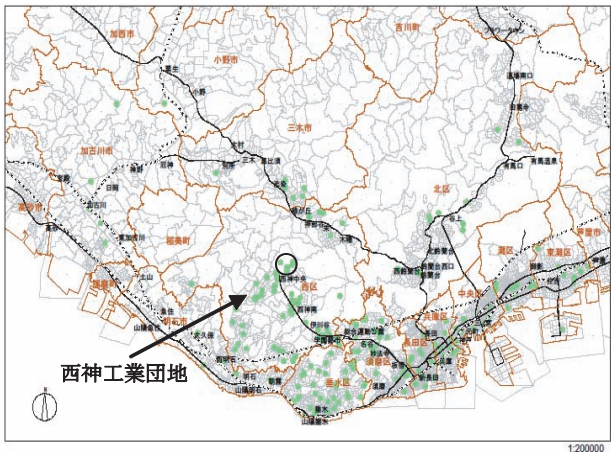

図４　西神工業団地へ公共交通通勤者の居住地

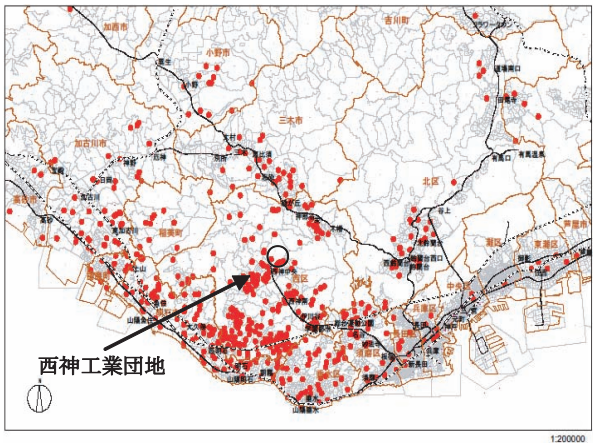

図５　西神工業団地へマイカー通勤者の居住地

４.二項ロジットモデルによる解析[8)]

第３節で述べた西神工業団地への通勤データを基に，公共交通通勤とマイカー通勤の分担割合の解析計算を試みた。ロジットモデルは，複数個の選択肢から特定の選択肢を選択するような行動を記述や分析するためによく用いられるモデルであり，交通計画や都市・地域計画などの各種土木計画の問題にも利用されている。本研究のように選択肢が２個の場合のロジットモデルを，二項ロジットモデルと言う。このモデルを用い，被験者が選択した交通機関によって得られる効用を考慮して選択確率を算出することとした。

通勤者が通勤手段として公共交通を利用するか，あるいはマイカーを利用するかという選択問題を考える。通勤に要する時間，費用，道路や公共交通の混雑度，勤務先の駐車場の有無，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多い。ここでは公共交通，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）が公共交通を選択しようと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 と表すとすると，効用関数は，

$$U_a^i = \beta_1 x_{1a}^{\ i}\text{（公共交通の場合の通勤時間）} + \beta_2 x_{2a}^{\ i}\text{（公共交通の場合の通勤費用）} + \varepsilon_a^{\ i} \quad \cdots (1)$$

$$U_b^i = \beta_1 x_{1b}^{\ i}\text{（マイカーの場合の通勤時間）} + \beta_2 x_{2b}^{\ i}\text{（マイカーの場合の通勤費用）} + \varepsilon_b^{\ i} \quad \cdots (2)$$

と表すことができ，β_1，β_2 は推定されるパラメーターである。$x_{1a}^{\ i}$，$x_{2a}^{\ i}$ はそれぞれ個人 i が公共交通を利用した場合に要する通勤時間，通勤費用を表す。同様に，$x_{1b}^{\ i}$，$x_{2b}^{\ i}$ はマイカーを利用した場合の通勤時間，通勤費用を表す。ここで $\varepsilon_a^{\ i}$，$\varepsilon_b^{\ i}$ は誤差項である。

実際には，左辺の効用水準 U_a^i，U_b^i を直接的に観察することは困難である。しかし，アンケート結果から調査対象の通勤者が公共交通を利用したか，マイカーを利用したかの選択結果は得られる。

今ある通勤者が公共交通を利用したとする。この時その通勤者が公共交通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かったと考えられる。すなわち $U_a^i \geq U_b^i$ が成立する。このようにロジットモデルでは効用水準が定量的に観測できない場合でも，個人の選択行動の結果に基づき間接的にパラメーター 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によれば，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とき，通勤者が公共交通，マイカーという選択肢を選ぶ確率は次式により与えられる。

公共交通を選択する確率は P_a^i

$$p_a^i = \frac{\exp(\lambda U_a^i)}{\exp(\lambda U_a^i) + \exp(\lambda U_b^i)}$$

$$= \frac{1}{1+\exp\{\lambda(U_b^i - U_a^i)\}} = \frac{1}{1+\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}} \quad \text{となる。}$$

同様にマイカーを選択する確率は，

$$p_b^i = \frac{\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}}{1+\exp\{\lambda[\beta_1(x_{1b}^i - x_{1a}^i) + \beta_2(x_{2b}^i - x_{2a}^i)]\}} \quad \text{となる。}$$

ここで，P_a^i，P_b^i は，それぞれ個人 i が選択肢 a（公共交通），b（マイカー）を選択する確率，U_a^i，U_b^i はそれぞれ個人 i が選択肢 a，b を選択することにより得られる定量的な効用，λ は誤差項のばらつきを示すパラメーターである。

西神工業団地の勤務者から得られたアンケート結果の中から，各居住地域毎のデータが含まれるように考慮し表 1 に示す 60 データを抽出し，前記の二項ロジットモデルを用い，公共交通通勤およびマイカー通勤の選択確率を求める計算を行った。

計算用のデータとしては，移動する際に要する時間と費用だけに着目した。公共交通による通勤時間，費用については，被験者の住所から最も利用しやすい公共交通を選択し料金を計算した。この場合，通勤者は通勤定期を利用している見なし，定期割引率としてバスは通常料金の 7 割，鉄道（地下鉄，私鉄）は通常料金の 6 割とした。

マイカーの通勤時間の算出には電子地図帳を用い，一般道のみで通勤すると仮定し平均速度 25km/h として所要時間を算出した。通勤費用はガソリン代 1 ℓ を 100 円とし，燃費計算には 12km/ ℓ と仮定した。

ガソリン代に加え通常の維持費として，保険，税金，駐車場代が必要となる。一般的に 1000cc の自家用車を所有すると 1 日当たり 1150 円の維持費がかかるとされる。この場合片道分の維持費は 575 円必要と考えると，通勤費用としてガソリン代＋維持費（575 円）となる。

マイカー通勤の費用条件として，維持費無し・維持費 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 倍の計 5 ケースに対して検討した。図 6 に 2 項ロジットモデルを用い維持費 1.0 倍のケースの，公共交通およびマイカーの選択確率の計算

結果を示す。縦軸は公共交通選択確率を示し，1.0 に近いほど公共交通を，0.0 に近いほどマイカーを選択する確率が高いことを表す。横軸は 60 人の被験者を表し，被験者 1 ～ 38 は神戸市内からの通勤者であり，被験者 39 ～ 60 は明石市，加古郡，加古川市，高砂市，加西市，小野市，三木市，西宮市，芦屋市，三田市からの通勤者を示している。「維持費無し」より「維持費有り」の場合の方がより実選択に近い値が得られたが，維持費を変化させた 4 ケースでは選択確率の計算値には大きな差異は認められなかった。

表 1　ロジットモデル計算のサンプリング

		アンケート元データ			ロジットモデル計算データ		
		クルマ	公共交通	合計	クルマ	公共交通	合計
神戸市	北区	30	10	40	2	1	3
	西区	186	64	250	13	4	17
	垂水区	42	37	79	3	3	6
	須磨区	34	26	60	3	2	5
	長田区	10	14	24	1	1	2
	兵庫区	7	13	20	1	1	2
	中央区	3	9	12	0	1	1
	灘区	1	11	12	0	1	1
	東灘区	5	9	14	0	1	1
明石市		91	5	96	6	1	7
播磨町		13	0	13	1	0	1
稲美町		10	0	10	1	0	1
加古川市		46	5	51	3	1	4
高砂市		4	0	4	1	0	1
加西市		1	0	1	1	0	1
小野市		10	1	11	1	0	1
三木市		29	6	35	2	1	3
吉川町		0	0	0	0	0	0
西宮市		5	0	5	1	0	1
芦屋市		1	0	1	1	0	1
三田市		1	0	1	1	0	1
合計		529	210	739	42	18	60

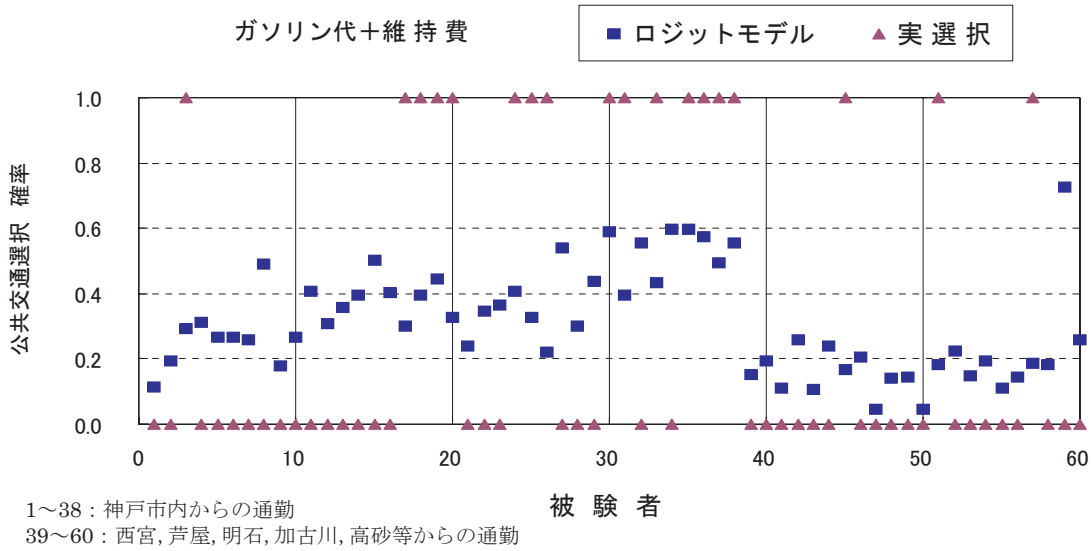

図６　公共交通とマイカーの選択確率（神戸市内・周辺部から西神工業団地への通勤）

５．まとめ

わが国全体における旅客輸送量（人キロ）の実績は，自動車が約 60%，鉄道は約 30%であるが，都市圏における特に通勤輸送においては，鉄道がより高いシェアを占めている。この中で高齢者の交通手段・環境・エネルギー・都市計画等の観点から，大都市圏の行政サイドでは私的交通から公共交通利用へと誘導するモビリティ・マネージメントが模索されている。

本研究では，神戸市におけるMMの一環として工業団地通勤者へのＴＦＰ活動のデータを利用し，二項ロジットモデルを用いて検討を行い，以下事項が明らかになった。

① 西神工業団地への通勤データから，勤務先へは市営地下鉄の西神中央駅が利用できるにもかかわらず，マイカー通勤が多いという実態が明らかになった。

② 公共交通通勤者の居住地から西神工業団地に通勤する際，神戸市兵庫区，中央区，灘区，東灘区などの鉄道路線が整備され，通勤の際に公共交通利用とマイカー利用の所要時間に大きな差がない地域では公共交通通勤の割合が高かった。

③ マイカー通勤者の居住地から西神工業団地に通勤する際，明石市や加古川市などの公共交通を用いるとかえって時間がかかる地域では，マイカー通勤の割合が高かった。

④ 西神工業団地への通勤者の居住地データから通勤に要する時間，費用の２変数を用い２項ロジットモデルで解析を行った。計算された公共交通の選択確率は実際より低い値を示す結果となった。

⑤ ④の解析結果から，選択行動を推測する場合に，日々の通勤時のガソリン代だけではなく，自家用車を保有することにより発生する維持費を加算した方が，現実行動により近い選択確率が得られた。

⑥ 明石駅～西神中央駅，押部谷駅～西神中央駅，垂水駅～学園都市駅へバスが運行しているが，これらの路線の増便が望まれており，実現した場合には公共交通利用の増加が想定される。

⑦ 地下鉄西神線の西神中央駅から明石駅まで延長されることにより，明石市以西から通勤する人の公

共交通利用率は大きく上昇するものと考えられる。

⑧ 従来の高齢者に対するバス・鉄道の公共交通利用への意識調査から，駅までのアクセス時間短縮，路線網・頻度等のサービス向上を求める声が多い。今回の一般通勤者を対象とした交通手段選択の解析結果からも，これらの改善により公共交通選択の増加が予測されることとなった。高齢社会における公共交通利用を高めるには，トータル移動時間の短縮に寄与する公共交通網整備が重要であることが，改めて確認されることとなった。

本研究を進めるにあたり神戸市交通局から西神工業団地内企業の勤務者に対するＴＦＰデータの提供を受けたことを記し，ここに謝意を表します。また，財団法人研友社様より神戸高専に対して奨学寄附金を頂き，「高齢化社会における鉄道利用およびアクセス交通に関する調査・研究」を行う機会を与えて頂きました。ここに厚く御礼を申し上げます。

【参考文献】

1）国土交通省「平成 19 年度国土交通白書」2008.5
2）橋本渉一「高齢化社会における鉄道輸送とバスアクセスに関する調査・研究」研友社，2008.3
3）橋本渉一「高齢化社会における鉄道輸送に関する調査・研究」研友社，2007.3
4）土木学会「モビリティ・マネジメントの手引き」2005.5
5）藤井聡，谷口綾子「モビリティ・マネジメント入門」学芸出版社，2008.3
6）神戸市交通局ホームページ　http://www.city.kobe.lg.jp/life/access/transport/mm/index.html
7）神戸市「大規模工業団地における MM を中心とした省エネルギー詳細ビジョン策定調査」2008.2
8）飯田恭敬，岡田憲夫「土木計画システム分析」森北出版