

都市交通によるエネルギー消費の推計

Energy Consumption for Urban Transportation - A Case Study

川端 彰*, 明神 証**, 天野雅人***
by Akira KAWABATA, Sho MYOJIN, Masato AMANO

An estimation is made of energy consumption by each of main urban transportation modes in Okayama city; pedestrian, bicycle, motor bicycle, bus, railway, passenger car and commercial vehicle. Two kinds of energy consumption rates are presented for a mode except for the pedestrian; rate by vehicle and that by person trip, expressed in kilogram caloric/vehicle-kilometer and that/passenger(or ton)-kilometer, respectively. Nation-wide rates are estimated firstly and are transformed, according to the case, to fit to the ones in Okayama city. The rates, each multiplied by passenger-kilometers by the corresponding mode, give the modal energy consumption. Some of the results obtained on the data from the second person trip survey in the southern part of Okayama prefecture carried out in 1982 are; (1) energy consumption for urban transport in Okayama city increased to 1.92 times in the preceding eleven years; (2) average consumption by a person trip is 1.6 times as much as that in eleven years before; (3) the most of the increase is due to the car; and (4) the car consumes 88% of the energy for urban transportation in Okayama city.

1. はじめに

産業、民生および運輸の3部門における最終エネルギー消費の時系列推移によると¹⁾、産業部門においては昭和40年代後半のピーク以後の約10年間変動しながら減少を続けた後、平成元年にむかって増加に転じているが、平成元年現在の消費量はあの40年代後半のピークをこえてはいない。

これに対し、民生および運輸の両部門は、昭和40年代以降奇妙にも、消費量の水準、一貫した増加傾向の2つの点でほとんど同じ軌跡をたどってきた。

キーワード：都市交通エネルギー、代表交通手段、消費量

* 正会員 南海電気鉄道(株)

** 正会員 岡山大学教授、工学部土木工学科

*** 学生会員 名古屋大学大学院

省エネルギーに対するインセンティブの強い産業部門にくらべて、民生、運輸の部門では省エネルギー圧は全体として強くなりにくい。

運輸部門においては、運輸事業者からマイカー利用者まで、エネルギー節約に対する動機の強さは一樣でない。しかし、むしろ事業者の場合、労働集約性の強い事業者では、省労働力や労働環境改善のためにエネルギー消費を増やしてきた側面があるであろうし、個人にとっては移動時間の短縮と移動の労を省くことが、当面の交通行動上の最大の要請であるから、モータリゼーションを文明化の典型的なプロセスとみるならば、運輸部門におけるエネルギー消費の増大は、運命づけられた過程であるようにさえみえる。

しかしながら、このようなエネルギー消費の更な

る増大の行方を文明そのものが教えてくれるわけではないところに不安がある。省エネルギーに対する本来の声は、この不安に由来しているのではあるまいか。著者等の1人もそのような考え方をするのであるが、それにしても自らの身のまわりの運輸交通の分野において、どれだけのエネルギーがどのように使われているかについてほとんど無知ではないか、というのが今回の分析の動機になっている。

この報告は、岡山市における都市交通によって消費されるエネルギー量を、主として交通手段（パーソントリップ法にいう代表交通手段）別に推計したものである。推計に用いたおもなデータは、全国ベースの運輸交通関連のデータと、これを岡山市に適用するために必要ないわゆるパーソントリップ調査の結果およびその他のローカルなデータである。

以下、まず全国ベースのエネルギー原単位を推定した後、岡山市に適用するためのそれらの修正を行い、代表交通手段別のエネルギー消費量の推計を行う。

2. 全国ベースのエネルギー原単位

(1) 対象交通手段

都市交通における代表交通手段別のエネルギー消費に注目しているので、次の交通手段を対象とする。

徒歩、自転車、バイク、鉄道、バス、乗用車および貨物自動車

ここで、いわゆるオートバイを本文ではバイクとよぶ。

(2) エネルギー原単位の推定手順

推定の対象とするエネルギーはいわゆる総合エネルギーのうちの運行エネルギーである。これを推定する基礎数値が、本文で言うエネルギー原単位である。エネルギー原単位は、車両もしくは人、物資の単位移動距離当たりのエネルギー消費量であって、ここでは次の2種類を定義している。

運行エネルギー原単位；1台もしくは1車両（徒歩にあっては1人）の単位走行距離当たりのエネルギー消費量。kcal/計車もしくはkcal/輛車（徒歩にあってはkcal/人）によって表す。

輸送エネルギー原単位；人または物の単位輸送距離当たりのエネルギー消費量。従って、kcal/人・km、kcal/トン・kmによって表す。

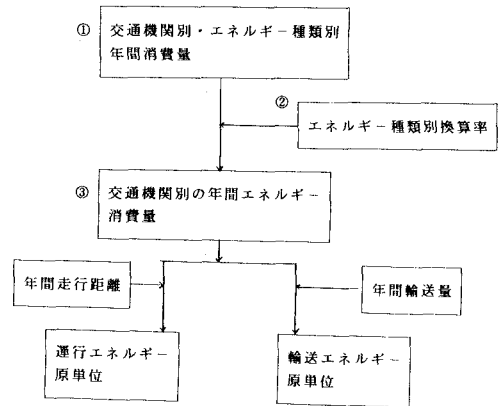


図-1 エネルギー原単位の推定手順

手順としては、まず全国ベースのエネルギー原単位を推定し、これらに必要な場合には、利用可能なローカルデータにもとづく修正を加えて岡山市におけるエネルギー原単位とする。しかし、いずれにしてもエネルギー原単位を推定する手順は本来共通のものである。以下にその手順を示す。

徒歩および自転車のエネルギー原単位は、既存の成果を借用する。

バイクについては、利用できる輸送統計がないので、いわゆる燃費に関する資料をもとに推定する。

バス、鉄道、乗用車および貨物自動車に対する原単位推定手順は図-1の通りである。図-1の概要を以下に述べる。

① 交通機関別・エネルギー種類別年間消費量；エネルギー源はガソリン、軽油および電力の3種類とする。

② 種類別換算率；3種類のエネルギーのカロリーへの換算レートで、表-1の値をもちいる。電力については、1kwhの最終消費に対して発送電力のロス約65%を見込んで、約2.85kwhの電力消費を行う

表-1 種類別換算率²⁾

エネルギーの種類	平均発熱量
ガソリン	8.600 kcal/l
軽油	9.200 kcal/l
電力	2.450 kcal/kwh (860)

() 内は最終消費1kwhに対する率

ものと評価する。ガソリン等についても、送電ロスに相当するものとして、輸送のためのエネルギー消費があると考えるべきであるが、利用できる統計資料に欠けるために、これを見込むことができない。

③ 交通機関別の年間エネルギー消費量；これによって消費エネルギーがkcal単位の表示に統一されるので、交通機関ごとの走行距離（台キロ、車両キロ）、輸送量（人キロ、トンキロ）をもちいて、それぞれ運行エネルギー原単位、輸送エネルギー原単位が推定される。

(3) 全国ベースのエネルギー原単位

a) 徒歩

平均体重の人が時速4kmで歩くときの消費エネルギーは140kcal/人（基礎代謝を含まない）とされる³⁾。これから徒歩のエネルギー原単位（運行および輸送）を35kcal/人・kmとする。

b) 自転車

平均体重の人が平地を時速10kmで走行する場合の消費エネルギーは228kcal/人・kmとされる³⁾。ただしこれは基礎代謝を含んでいるので、単純に基礎代謝を73kcal/人・km（1,750kcal/24人・km）としてこれを差し引き、自転車の走行速度を10km/人・kmと仮定して、エネルギー原単位を16kcal/人・kmとする。

c) バイク

排気量を4クラス（50以下、51-125、126-250、251以上、いずれもcc単位）に分け、クラスごとのカタログ上の燃費⁴⁾に実際上の見地から修正を加えた平均燃費（km/l）をもとにエネルギー原単位を推定する。実際の見地からの修正の根拠は、カタログ上の燃費が定地走行における値であっていわゆる多モー

表-3 鉄道のエネルギー原単位（昭和57年）

区 分	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	輸送エネルギー原単位 (kcal/人・km)	備 考
新 幹 線	6.361	135(47.1)	
電 車	4.129	84 (49.4)	新幹線以外の車両当たり 平均乗客数49.4をもちい て算定
気 動 車	6.013	122	
電気機関車	26.091	—	貨客の区分不明
ディーゼル機関車	25.745	—	

() は車両当たり平均乗客数(人/人・km)。
文献5)、6)より算定。

表-4 乗用車、貨物自動車のエネルギー原単位

車 種	形 態	年度	昭		平	
		エネルギー 原単位	50	55	60	2
乗 用 車	自家 用	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	971	1,012	931	854
		輸送エネルギー原単位 (kcal/人・km)	654 (1.48)	737 (1.37)	648 (1.44)	527 (1.62)
	営 業 用	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	1,858	1,876	1,847	1,833
		輸送エネルギー原単位 (kcal/人・km)	2,089 (0.89)	2,232 (0.84)	2,255 (0.82)	2,268 (0.81)
貨 物 車	自家 用	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	1,386	1,320	1,279	1,061
	自	輸送エネルギー原単位 (kcal/トン・km)	1,993 (0.70)	2,009 (0.66)	2,085 (0.61)	2,714 (0.39)
	営 業 用	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	2,510	2,527	2,431	2,352
		輸送エネルギー原単位 (kcal/トン・km)	650 (3.86)	656 (3.85)	614 (3.96)	620 (3.79)

乗用車欄の()内数字は平均乗車人数(人/人・km)。
貨物自動車欄の()内数字は平均積載量(トン/人・km)。
昭和62年以後は軽自動車を含む。
文献5)から算定。

ド燃費でないことによるものであって、岡山市内における聞き取り調査にもとづいて、この修正係数を各クラスとも1/2とした。クラス別の運行エネルギー原単位はつぎのとおりである。50cc以下；203.3、51-125cc；282.0、126-250cc；361.1、251cc以上；455.0（kcal/人・km）この段階では、クラス別の原単位を示すにとどめる。

d) バス

営業用バス（路線バス、貸切りバス）および自家

表-2 バスのエネルギー原単位

形 態	エネルギー原単位	年 度			
		昭 50	55	60	平 2
営 業	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	3,103	3,044	2,942	2,894
	輸送エネルギー原単位 (kcal/人・km)	140 (22.1)	160 (19.0)	171 (17.2)	172 (16.8)
自 家用	運行エネルギー原単位 (kcal/人・km)	1,703	1,615	1,546	1,517
	輸送エネルギー原単位 (kcal/人・km)	104 (16.4)	95 (16.9)	102 (15.2)	115 (13.2)

() 内数字は平均乗客数(人/人・km)。
文献5)から算定。

用バスのエネルギー原単位を表-2に示す。自家用バスのエネルギー原単位が、営業バスのその半分程度であるのは、自家用バスに占める小型バスの割合が大きいからである。営業、自家用のいずれも、昭和50年からの15年間に運行エネルギー原単位は約200kcal/人kmに改善されているのに対し、()内に示した平均乗客数の漸減が反映されて、輸送エネルギー原単位は漸増している。

e) 鉄道

昭和57年におけるエネルギー原単位を表-3に示す。新幹線を除いて、区分ごとの旅客輸送量(人キロ)は不明、また、電気機関車およびディーゼル機関車については、貨客に分離された輸送量が不明である。

f) 乗用車および貨物自動車

表-4にエネルギー原単位を示す。貨物自動車の輸送エネルギー原単位はトンキロ当たりで示している。

3. 岡山市における都市交通エネルギー消費量の推計

(1) エネルギー原単位の修正(全国ベースから岡山市へ)

a) 徒歩および自転車

全国ベースの値がそのまま岡山市におけるエネルギー原単位である。

b) バイク

全国ベースのクラス別運行エネルギー原単位を岡山市における排気量クラスごとの登録台数によって平均する。平均値は223kcal/人kmである。この平均化の前提は、代表交通手段としての利用の程度(頻度とトリップ長)に差がないということであるが、少し粗い便宜的な仮定であるかもしれない。

c) バス

昭和57年の岡山県南パーソントリップ調査⁷⁾における代表交通手段としてのバスの定義は、営業バス(路線バス)とされている。修正方法について説明する。

まず、全国ベースの営業バスの運行エネルギー原単位(表-2)をそのまま岡山市へシフトさせ、次式によって算定した値 e_b^0 を岡山市における営業バスの修正輸送エネルギー原単位(kcal/人km)とする。

$$e_b^0 = t_b^j / p_b^0 \quad (1)$$

ここに、

t_b^j ; 全国ベースの営業バス運行エネルギー原単位、

p_b^0 ; 岡山市における1台当たり平均乗客数。

この修正はシェア基準による方法といえることができる。というのは、 t_b^j 、 p_b^0 はそれぞれ

$$t_b^j = E_b^j / T_b^j, \quad p_b^0 = D_b^0 / T_b^0 \quad (2)$$

ここに、

E_b^j ; 全国ベースの営業バス消費エネルギー(kcal/年)、

T_b^j ; 全国ベースの営業バス走行距離(人km/年)、

D_b^0 ; 岡山市における営業バス輸送量(人km/年)、

T_b^0 ; 岡山市における営業バス走行距離(人km/年)

と表されるから、 e_b^0 を形式的に式(3)のように書くことができる。

$$e_b^0 = E_b^j \frac{T_b^0}{T_b^j} / D_b^0 \quad (3)$$

ここで、 $E_b^j (T_b^0 / T_b^j)$ は営業バスの運行に消費される国内の年間エネルギーのうち岡山市における消費分であって、この事がシェア基準と呼んだ所以である。

修正されたエネルギー原単位を表-5に示す。

p_b^0 の値としては表中の8.6人km/台kmを用いている。

d) 鉄道

表-3に示した全国ベースの電車、気動車の運行エネルギー原単位、輸送エネルギー原単位をそれぞれ平均化するような修正が必要である。岡山市とその周辺では、主として電車と気動車が運行されているが、消費量推計の基礎データとしてもちいるパーソントリップ調査においては、“区分された鉄道利用”が示されているわけではない。

修正の考え方は、前項の“シェア基準”であるが、

表-5 営業バス、鉄道のエネルギー原単位(昭和57年、岡山市)

交通機関	運行エネルギー原単位 (kcal/人km)	輸送エネルギー原単位 (kcal/人km)	備考
営業バス*	2.968	345.0 (8.6)	()内は平均乗車人数(人km/台km)で、文献9)より算定、
鉄道**	4.488	108.9 (41.2)	()内は平均乗客数(人km/人km)で、資料10)より算定、

* 路線バス。

** 厳密には、JR岡山支社管内における原単位。

本項では2種類の原単位の平均化をとまう修正であるので、ここに改めて修正方を述べておく。

修正された平均輸送エネルギー e_r^0 を式(1)と同じ形式の次式によって算定する。

$$e_r^0 = t_r^j / p_r^0 \quad (4)$$

ここに、

t_r^j = 全国ベースの電車および気動車に対する平均運行エネルギー、

p_r^0 = 岡山市における電車および気動車に対する平均乗客数。

t_r^j 、 p_r^0 はそれぞれ次のように表される。

$$t_r^j = (t_{r,1}^j T_{r,1}^j + t_{r,2}^j T_{r,2}^j) / (T_{r,1}^j + T_{r,2}^j) \quad (5)$$

$$p_r^0 = (D_{r,1}^0 + D_{r,2}^0) / (T_{r,1}^0 + T_{r,2}^0) \quad (6)$$

ただし、

$t_{r,1}^j$ 、 $t_{r,2}^j$ = 全国ベースの電車、気動車の運行エネルギー原単位(表-3)、

$T_{r,1}^j$ 、 $T_{r,2}^j$ = 同上運行距離(輛km/年)、

$D_{r,1}^0$ 、 $D_{r,2}^0$ = 岡山市における電車、気動車の輸送量(人km/年)、

$T_{r,1}^0$ 、 $T_{r,2}^0$ = 同上運行距離(輛km/年)。

式(5)、(6)を式(4)に代入してみると、式(3)と同様に、岡山市のエネルギー消費シェアをその輸送量($D_{r,1}^0 + D_{r,2}^0$)で割る形式であることがわかる。式(5)は全国ベースのデータをもちいて計算することができる。式(6)の計算に必要なのは、電車、気動車ごとのデータでなく合計されたデータであるから入手し易い。事実、合計された輸送量および運行距離をJR岡山支社管内について得られたので、これらを岡山市におけるデータとみなして p_r^0 を算定した。修正された平均のエネルギー原単位を表-5に示す。ただし、運行エネルギー原単位は式(5)による全国ベースの平均値をそのまま岡山市へシフトさせた。

e) 乗用車、貨物自動車

鉄道について行ったと同じように、平均化をとまう修正を行う。57年パーソントリップ調査によれば、乗用車、貨物自動車の平均乗車人数はそれぞれ1.31、1.30とほとんど相等しい。トリップ数によるウェイト平均も1.31であるので、両車種平均の乗車人数を1.31人/kmとす。修正されたエネルギー原単位を表-6に示す。

表-6 自動車のエネルギー原単位(昭和57年、岡山市)

車 種	運行エネルギー原単位 (kcal/台km)	輸送エネルギー原単位 (kcal/人km)	備考
乗 用 車	1,010	850 (1.31)	()内は平均乗車人数(人/km)で、57年パーソントリップ調査による。
貨物自動車	1,299		

(2) 代表交通手段のエネルギー原単位・エネルギー消費量

修正されたエネルギー原単位を一括して、またこれとパーソントリップ調査による代表交通手段別パーソントリップ数とからえたエネルギー消費量の推計結果を表-7に示す。

(3) エネルギー消費のその他の側面

a) 交通目的ごとの消費

図-2に目的ごとの消費量とその構成比を示す。帰宅を別として、通勤と業務とが同程度の消費構成(それぞれ22.2%、24.4%)を示している。

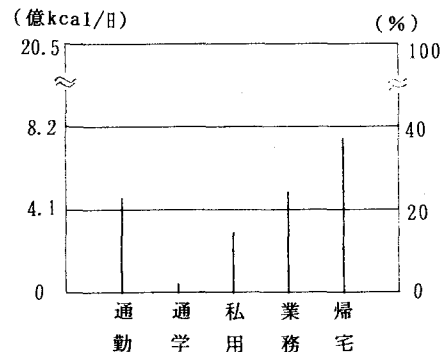


図-2 交通目的別エネルギー消費
(昭和57年)

b) 交通の目的・手段ごとの消費

図-3にその構成比を示す。構成比が比較的共通しているのは、通勤、私用および帰宅であり、通学と業務はこれら3目的のいわば両側に互いに対照的な構成を示している。

(4) 推定結果のまとめ

① 昭和46年の第1回パーソントリップ調査⁸⁾からのデータをもちいて行った同様の推定結果と比較すると、消費量は11年後の57年には約1.92倍、20億kcal/日となった。

② 1.92倍のうち1.2は人口の伸びによるものであり、1.6が1人当たりの運輸交通エネルギー消費量

表-7 代表交通手段のエネルギー原単位・エネルギー消費量（昭和57年、岡山市）

代表交通手段	運行エネルギー 原単位 (kcal/台時)	輸送エネルギー 原単位* (kcal/人時)	エネルギー消費量**			備考
			パーソントリップ 数(10 ³ トリップ/日)	平均トリップ 長*** (km)	エネルギー消費 量(億kcal/日)	
徒 歩	35.0	35.0	289.4 (22.9)	1.01	0.1 (0.5)	基礎代謝を含まない。
自 転 車	16.0	16.0 (1.0)	291.9 (23.1)	2.09	0.1 (0.5)	上に同じ。
バ イ ク	223.0	223.0	102.4 (8.1)	3.40	0.8 (3.8)	人のエネルギー消費を 含まない。以下同じ。
バ ス	2,968	345.0 (8.6)	65.7 (5.2)	4.62	1.0 (5.1)	営業(路線)バス。
鉄 道	4,488	108.9 (41.2)	37.9 (3.0)	8.69	0.4 (1.8)	電車、気動車。
乗 用 車	1,010	850 (1.31)	476.5 (37.7)	4.47	18.1 (88.4)	
貨物自動車	1,299					
合 計			1,263.8 (100.0)		20.5 (100.0)	

* () 内は平均乗車人数(人時/台時)

** () 内は構成比(%)

*** トリップ長は小ゾーン間の直線距離の図上測定により算出。ただし、鉄道についてはゾーン最寄り駅間の距離による。

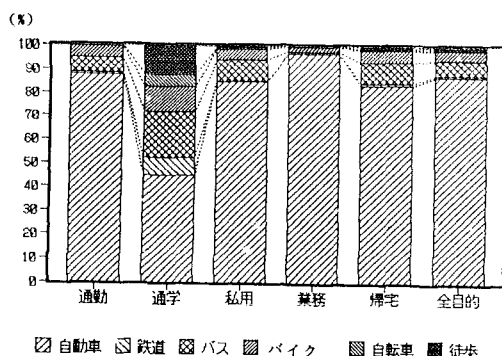


図-3 目的別の代表交通手段エネルギー消費の構成

ののびによる分である。1人当りのトリップ生成原単位はこの間一定(約2.5トリップ/人日)であるから、1トリップ当りのエネルギー消費が平均として1.6倍になったことになる。

③ 消費量の全体的な増加の原因は、自動車(乗用

車、貨物自動車)によるトリップの増加である。同じ11年間に自動車によるパーソントリップ数は約1.7倍、消費量は約2.0倍となった。

④ 消費量に占める自動車による消費の割合は約88%(47年約84%)と極めて大きい。2番目はバスによる消費約5%と極めて小さいから、岡山市における都市交通エネルギー消費の主役は「9割方」自動車であると表現してもよい。なお、自動車によるパーソントリップの割合は約38%であるから、自動車は、比較第1位の主要交通機関である。

⑤ 交通目的別のエネルギー消費では、帰宅と通勤とがほぼ同水準の消費量、通学は2%たらずである。

⑥ 交通目的ごとの代表交通手段エネルギー消費の構成パターンは、通勤、私用および帰宅の3目的が類似している。業務はほぼ100%が自動車による消費、これに対し通学における自動車による消費割合

は50%以下である。

4. むすび

代表交通手段のエネルギー消費原単位の推定値をもとに、岡山市における都市交通エネルギー消費量推定のケーススタディを行った。ケーススタディに用いた主要データは、パーソントリップ調査からのものである。事前に想像したところでは、過去のパーソントリップ調査から岡山市は自転車、バイク、自動車の町であり、その上近年自動車トリップのシェアが特に大きくなっている傾向にかんがみて、自動車による消費量が「大部分」を占めるであろうから、この消費量さえつかんでおけばよいのではないかということであった。このためには、カートリップデータを用いるほうが簡便であるが、パーソントリップ調査からのデータを用いた理由はつぎの2つである。都市交通のできるだけ多くの部分をカバーすることおよび公共大量輸送機関による消費エネルギーのうちの岡山市の「シェア」を推定する必要があること。

パーソントリップ調査が都市交通全体のどの部分までカバーしているかは残念ながらはっきりいえない。事業所や現場をベースとする交通や、外来者による交通などは調査からこぼれやすいといわれているが、それらがどの程度つかまえているかはわからないから、今回の消費推定もこのような不明の部分がある。ただし、今回の推計は、端末交通は対象外としていることをここに改めて付記しておく。

全国ベースのエネルギー原単位と地域ベースのそれとは、厳密には相等しくない。むしろ地域ベースの原単位が全体としての全国ベースのそれを作りあげるといほうが正しい。しかしながら、地域ベースの原単位の推定に利用できるデータは、地域が狭くなるほど制約されてくる。今回の推計では、運行エネルギー原単位のほとんどは全国ベースの値をそのまま岡山市へとシフトさせ、輸送エネルギー原単位について岡山市ベースへの修正変換を試みたが、修正のための十分によいデータを得られたとは思っていない。とはいえ、パーソントリップに関する詳細な資料、バス輸送や鉄道輸送に関連する資料を可能な範囲で快く提供してくださった諸機関に感謝したい。これらなしに、今回の分析はできなかった。

参考文献・資料

- 1) 資源エネルギー庁, 総合エネルギー統計, 平成2年度版, 1991.
- 2) 吉田方明, エネルギー計画, 新体系土木工学92, 技報堂, 1981.
- 3) 香川 綾, 特殊栄養学, 女子栄養大学出版部, 1982.
- 4) 93最新バイク名鑑, 徳間書店, 1992.
- 5) 運輸省, 運輸経済統計要覧, 平成4年度版, 1992.
- 6) 日本国有鉄道, 鉄道要覧, 昭和58年度版, 1983.
- 7) 岡山県南広域都市圏総合都市交通調査委員会, 県南地域の将来と交通, 昭和59年3月.
- 8) 岡山県南地域総合交通研究会, 人と車の動きー現況編, 昭和48年3月.
- 9) 運輸省中国運輸局, 運輸要覧, 1987.
- 10) JR西日本旅客鉄道株式会社岡山支社による.