

92. 二酸化炭素排出量とアクセシビリティからみた自転車重視型道路配置地区の評価

Evaluation on the district with arranged road network given priority to bicycle from the viewpoint of CO₂ and accessibility

新田保次・黄 靖薫*

Yoshitsugu Nitta and Junghoon Hwang

It takes notice that bicycle contributes to the sustainable transportation system. This paper aims to evaluate the district with rearranged road structure and network, given priority to bicycle, comparing the traditional district which are given priority to car from the viewpoint of environment and accessibility. As the indicators of assessment, the carbon dioxide emission on the environment and an accumulated frequency measure on accessibility were used.

As the results, it has been found that the intermediate type that attempts bicycle prioritization by road space reallocation is the most efficient.

Keywords :

bicycle town, road network, accessibility, CO₂, traffic simulation

サイクルタウン、道路網、アクセシビリティ、二酸化炭素、交通シミュレーション

1. はじめに

近年、地球温暖化問題をはじめとする地球環境問題に対する関心が高まってきている。これは1992年の環境と開発に関する国連会議(UNCED)において「持続可能な発展(Sustainable Development)」を実現するための世界の行動計画である「アジェンダ 21」が採択¹⁾され、あらゆる地域、あらゆる部門において、環境問題やエネルギー問題に配慮した対応が必要になってきたことによる。このなかで交通分野における行動計画は、持続可能な交通システムづくりとして、持続可能な社会づくりのための重要な一翼を担っているが、十分効果的な取組みが打出されていないのが現状である。

本研究では、その持続可能な交通システムの一つとして注目されている自転車に注目し、自転車を重視した道路構造と道路網の再配置を行った地区とそうでない従来型の、いわば自動車優先型の地区を対象に、地区内から発生する交通について環境と社会面から比較評価を試みる。

なお、従来、持続可能性のとらえ方として、主に環境、社会、経済の3側面からみたアプローチがなされているが(図-1)、本論ではこのうち環境面と社会面から持続可能性評価を行い、環境面での評価指標としては二酸化炭素排出量、社会面では交通サービスの評価尺度であるアクセシビリティを評価指標として取り上げることとする。対象とした交通目的は通勤・通学と買物目的のトリップである。

2. 既往の研究と本研究の位置付け

ここでは既往の研究を、本論と密接に関連する自転車走行空間を道路網配置として、あるいは道路断面構造の変更としてとらえた交通計画的な視点からみた研究、さらに本論で重要な評価指標として位置付けたアクセシビリティに関する研究の両面から整理することとする。

交通計画的な視点からみた研究のうち地区レベルの面的な広がりにおいて自転車を位置付けたものとして、新田・三星³⁾は、自動車に代わり自転車を地区内の交通手段の中心に置いたオランダのハウテンを参考にして、自転車を重視した道路構造と道路網配置のあり方について考察している。また、自転車道路協会の研究報告書⁴⁾では、自転車を重視した交通体系整備において考慮すべき事項として、走行環境系、駐車環境系、ネットワーク系およびソフトな施策の4つを提示している。さらに天野⁵⁾は、地区内の交通安全性向上のため、自動車、自転車、歩行者が共存できるコミュニティ道路整備のあり方について言及している。また交通工学的な視点からの研究としては、道路空間再配分の評価に関するものとして、塚

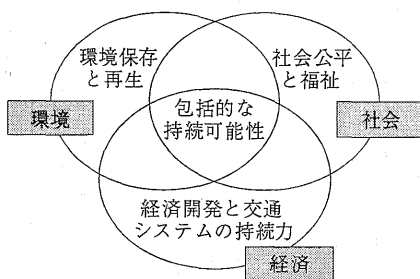


図-1 持続可能性の3つの構成要素²⁾

*正会員 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 (Osaka University)

**外国人会員 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 (Osaka University)

口ら⁶⁷⁾はオキュパンシー指標を用いて道路空間の評価を行い、さらに飯田ら⁸⁾はこれらの研究を踏まえて道路機能を考慮した各交通主体にとって効用の高い道路運用方を提案している。

一方、ある活動目的地への到達しやすさ、あるいは便利さとして定義されるアクセシビリティに関する研究では、距離尺度、重力尺度、累積機会尺度、トポロジカル尺度、時空間尺度のような評価が提案されてきた。距離尺度は距離、時間と費用を用いたものであるが、地域の誘引力は考慮されていない。このような地域の誘引力を考慮した重力尺度を用いた研究としては、祖川ら⁹⁾の鉄道新線建設における便益評価指標の試みがあり、また鈴木ら¹⁰⁾は重力尺度を応用して交通ネットワークのノード規模を考慮した中心度関数を用いた評価を試みた。さらに榎谷ら¹¹⁾¹²⁾は、ある距離と時間内に出発点から到達できる目的地の数として多様な通行機会のアクセシビリティが示される累積機会尺度を用いて幹線道路網及び都市間の交通流動の評価を行った。これは地域の誘引力は扱わないが、利便性を視覚的、計量的に留意に把握できる。また、藤井ら¹³⁾¹⁴⁾は交通政策の質的評価を目指した生活行動モデルの構築し、それをアクセシビリティ指標として開発し、地域システムの評価を試みた。

以上の既往の研究にみられない本研究の特徴として、2つあげることができる。ひとつは、中学校レベルの面的な広がりの中で、自転車重視型道路整備を道路網配置と断面構成の視点から評価する点である。ふたつは、その評価指標として、環境面を代表する二酸化炭素排出量と徒歩・自転車・自動車といった3種類の交通手段に着目し、それらのアクセシビリティを用いて評価を試みた点である。

3. 仮想地区モデルの概要

(1) 道路網配置の考え方

本研究では、分析の対象とする地区モデルとして、千里ニュータウンの北地区を参考に、図-2に示す2000m四方の地区(面積400ha)を考え、次に示す人口や都市施設、道路を配置した。このとき、操作変数としては、道路の断面と配置の2種類とし、道路断面配分と道路網配置の仕方を変えることにより、自動車を優先した自動車型、自転車を重視した自転車型、その中間形態を取る中間型の3種類に、地区の性格を分類することにした(図-2)。

図-2に想定した地区モデルにおける道路網と都市施設の配置を示している。同図(A)に示す自動車型と中間型においては、幹線道路、補助幹線道路を標準的な仕方¹⁵⁾で配置し、末端で区画道路とつなげている。このとき自動車型と中間型における道路網配置形態は同じであるが、

本章(4)に示すように、道路種類別に自動車と自転車の走行速度を変え、中間型では自動車型に比べて、自転車速度を上昇させ、自動車の速度は低下させるようにした。このような速度変化は、道路の断面構成や舗装形態などを変えることによって対応可能と考えた。

一方、自転車型では、図-2(B)に示すように、補助幹線道路をなくし、区画道路化するとともに、自転車と徒歩は、自動車型・中間型と同じ道路網を移動できるようにした。しかし自動車においては走行できる道路を少なくし、自動車走行の利便性を低下する措置をとった。この考え方は、オランダの自転車優先都市「ハウテン」¹⁶⁾を参考としている。なお、各地区モデルにおける道路種類別延長距離を表-1に示した。

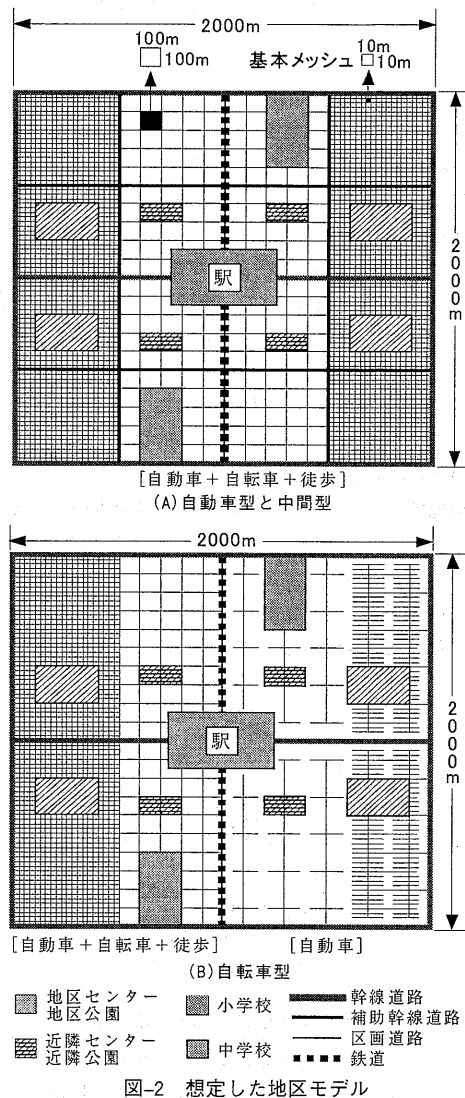


図-2 想定した地区モデル

表-1 道路種類別道路延長距離

地区モデル	区画道路	補助幹線道路	幹線道路	合計
自動車型 中間型	506.6km*	8km*	12km*	526.6km*
自転車型 (内、車も通行可 288.7km)	514.6km**	-	12km*	526.6km** (内、車も通行可 300.7km)

注) *: 自動車, 自転車, 徒歩が通行可能
 **: 自転車, 徒歩が通行可能

(2) 人口、世帯数

日本の代表的なニュータウンは1ha当たり約100人の人口(グロス)を有することから、仮想地区の人口は総人口4万人とし、表-2に示す2段階配置とした。

表-2 人口の配置

種類	位置	戸数・人口(純密度)	純面積
中高層住居地区	線路から1km以内	8,646戸(82戸/ha) 25,940人(245.9人/ha)	105.5ha
低層住居地区	線路から1km以遠	4,688戸(35戸/ha) 14,060人(103.8人/ha)	135.5ha

(3) 都市施設

都市施設は道路、学校、公園、地区センタ、近隣センターであり、各々の占有面積を表-3に示す。

表-3 仮想地区モデルの都市施設と占有面積

都市施設		占有面積
道路(88ha)		88ha
学校(40ha)	小学校	4校配置(6ha/1校), 占有面積24ha
	中学校	2校配置(8ha/1校), 占有面積16ha
公園(22ha)	幼児公園	0.05ha/4ha, 5ha/400ha
	児童公園	0.25ha/25ha, 4ha/400ha
	近隣公園	2ha/100ha, 8ha/400ha
	地区公園	5ha/400ha
地区センター(7ha)	1つ配置(7ha/1つ), 占有面積7ha	
近隣センター(4ha)	4つ配置(1ha/1つ), 占有面積4ha	

(4) 速度設定

先に示したように3種類の仮想地区モデルは、道路断面と道路網の配置が異なる。これにより自動車と自転車の走行速度は変化する。このときの各道路別速度を表-4のように仮定した。

表-4 交通手段別の各道路の速度設定

	区画道路			補助幹線			幹線道路		
	C	B	W	C	B	W	C	B	W
自動車型	30	10.6	5	40	10.6	5	60	10.6	5
中間型	22.5	12.7	5	30	12.7	5	45	12.7	5
自転車型	22.5	12.7	5	-	-	-	45	12.7	5

注1) C: 自動車, B: 自転車, W: 徒歩, 単位: km/h
 注2) 文献17をもとに、自動車の速度は、自動車型では幹線道路60km/h、補助幹線道路40km/h、区画道路30km/hとし、中間型と自転車型ではその3/4とした。また、自転車の速度は歩道走行時10.6km/h、自転車道走行時12.7km/hとした。さらに徒歩の速度はすべて5km/hとした。

4. シミュレーション分析

(1) 概要

図-2に示す仮想地区において、メッシュ分割を10m×

10mで行い、そのメッシュ中心から駅への通勤・通学及び買物目的トリップを発生させる。そして利用可能な交通手段として考慮した自動車、自転車、徒歩ごとに最短経路上の一般化時間を算定する。これを効用関数に組み込んだ交通手段選択モデルにより交通手段別選択率を求める。次にこの選択率を各メッシュから発生する総トリップ頻度に乗じ、メッシュ別交通手段別総トリップ数、さらに総走行距離、総走行時間を算定し、以後の評価段階のデータとして用いる。この一連の過程をシミュレーション分析により行う(図-3)。なお、トリップ発生、一般化時間の算定及び交通手段選択率の求め方については、次に詳しく述べる。

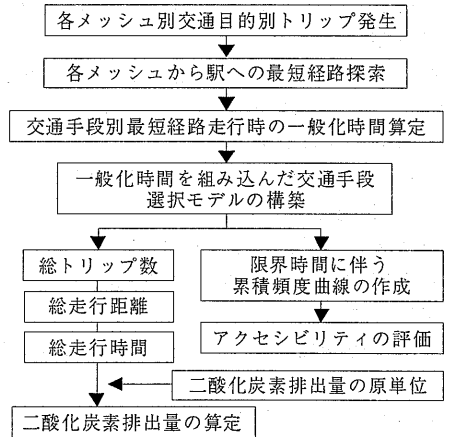


図-3 シミュレーションのフロー

(2) トリップ発生

都市施設が配置されるメッシュではトリップ発生しないこととし、住居地域のみ発生させることとする。地区でのトリップ発生は、人口分布配置別(中高層住居地域、低層住居地域)交通目的別に設定する。交通目的iの各メッシュ(10m×10mのメッシュ中心)から発生するトリップ数(トリップ発生原単位 T_i)は式1で求める(表-5)。

$$T_i = \alpha_i \times \beta_i / 100 \quad (1)$$

ただし、 α_i : 1ha当たりの人口、 β_i : 1人当たりのトリップ数

表-5 各住居地域別通行目的別トリップ発生原単位

住居地域	通行目的	1ha当たりの人口 α_i (人/ha)	1人当たりのトリップ数 β_i (/人)	トリップ発生原単位 T_i (トリップ数/100m ²)
低層	通勤・通学	103.8	0.4757	0.4938
	買物	103.8	0.2427	0.2519
中高層	通勤・通学	245.9	0.4757	1.1697
	買物	245.9	0.2427	0.5968

(3) 交通手段選択モデル

交通手段選択モデルの構築に用いたデータは、参考文献18で行ったアンケート調査データから、交通目的が通勤・通学および買物、目的地が最寄駅、利用交通手段は

自動車、自転車、徒歩の条件に適合したもののみを取り出した。このデータをもとに、式2に示す3つの交通手段選択肢(自動車、自転車、徒歩)を持つ多項ロジット型モデルのパラメーター推定を行った(表-6)。このとき自宅から発生したトリップの目的地として、通勤・通学および買物目的とも図-2に示す鉄道駅を仮定した。

$$P_i = \exp(V_i) / \sum_{i=c,b,w} \exp(V_i) \quad V_i = \alpha G_i + \beta_i \quad (2)$$

ただし、 P_i : 交通手段 i の選択確率、 V_i : 交通手段 i の効用、 i : 交通手段 (c : 自動車, b : 自転車, w : 徒歩)、 G_i : 交通手段 i を利用したときの一般化時間、 α : 一般化時間パラメーター、 β_i : 交通手段 i のダミー変数パラメーター

このとき各交通手段を選択したときの一般化時間は、次式より求めた。なお等価時間係数、時間価値の値は、文献18の値を用いた。

- ① 車の場合(駅まで車 t 分、下車後徒歩3分、費用 M (駐車費用なし、走行費用のみ考慮):

$$G = \mu_c t + \mu_w \times 3 + M / \lambda$$

$$M = m l \quad (m = \text{速度別走行経費原単位(文献19より)})$$

$$l = \text{走行距離}$$

$$\mu_c = \text{車乗車時の等価時間係数 (0.57)}$$

$$\mu_w = \text{徒歩移動時の等価時間係数 (3.18)}$$

$$\lambda = \text{時間価値 (7.21 円/分)}$$

- ② 自転車の場合(駅まで自転車 t 分、下車後徒歩3分、費用 M (駐車料金100円のみ考慮):

$$G = \mu_b t + \mu_w \times 3 + 100 / \lambda$$

$$\mu_b = \text{自転車乗車時の等価時間係数 (1.2)}$$

- ③ 徒歩の場合(駅まで徒歩直行 t 分、費用なし)

$$G = \mu_w t$$

表-6 パラメーター推定結果

交通目的	変数	パラメーター	t 値	的中率	ρ^2
通勤・通学	α	-0.1194	-4.749	79.6%	0.657
	β_c	-5.2306	-3.757		
	β_b	-4.7873	-3.964		
買物	α	-0.1263	-7.581	83.6%	0.732
	β_c	-7.4615	-6.497		
	β_b	-7.5978	-7.481		

注) すべてのパラメーターは有意水準1%で有意

(4) 分析結果

交通目的別各地区モデル別に得られた総トリップ数、総走行距離、総走行時間は、図-4,5の通りである。これらの図により把握できる大きな特徴は、表-2の人口配置と表-5のトリップ発生原単位が固定されているので総トリップ数は一定値を示すが、総走行距離においては、通勤・通学において、自転車型は他の型に比べて増加する。総走行時間では、通勤・通学、買物目的とも、自動車型でやや増加している。

一方、自動車の利用が多くみられる通勤・通学目的に着目すると、自動車の総トリップ数は、自動車型で最も

多く、次に中間型、自転車型となる。逆に、自動車のトリップ数が減るに連れて自転車のトリップ数は増加する。自動車の総走行距離では、総トリップ数が最も少ない自転車型において最大となり、中間型が最も少なくなる。これは自動車においては、自転車型ではトリップ数は減少するものの、経路が大回りとなるため、結果として走行距離の増加を示したものと考えられる。

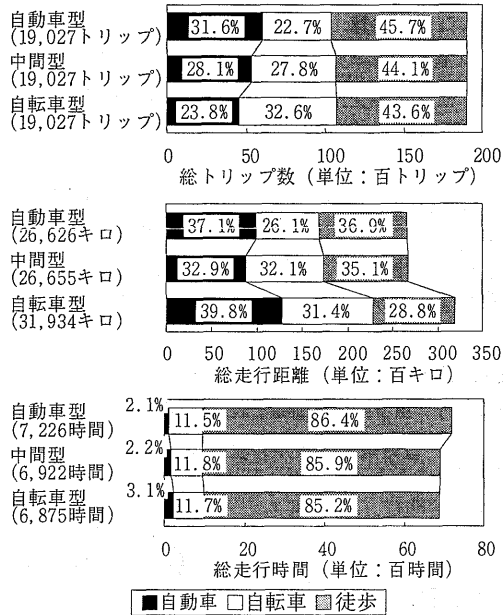


図-4 通勤・通学目的のシミュレーション結果

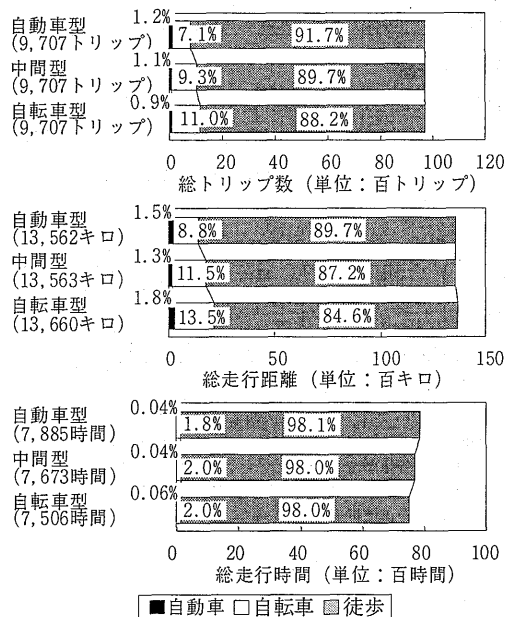


図-5 買物目的のシミュレーション結果

5. 地区モデルの評価

(1) 二酸化炭素による環境面からみた評価

二酸化炭素を排出する交通手段としては自動車のみとし、徒歩、自転車からは排出しないものとした。自動車総走行距離に二酸化炭素発生原単位(4.46Kg-C/km²⁰⁾)を掛けて二酸化炭素排出量を求めた(表-7)。その結果をみると、自動車型を基準値とすれば、自転車型は自動車総トリップ数が減少するものの、走行距離の伸びのため、二酸化炭素排出量が28.7%の増加した。一方、中間型は逆に11.2%の減少を示し、環境面では中間型の方が望ましいことがわかった。

表-7 地区モデル別交通目的別CO₂排出量

交通目的		自動車型	中間型	自転車型
通勤・通学	自動車総トリップ数	6,005	5,338	4,525
	自動車総走行距離(km)	9,866	8,762	12,709
	CO ₂ 排出量(kg-C)	44,002	39,079	56,682
	自動車総トリップ数	113	102	85
買物	自動車総走行距離(km)	200	180	248
	CO ₂ 排出量(kg-C)	892	803	1,106
	総CO ₂ 排出量(kg-C)	44,894 (基準値)	39,882 (11.2% ↓)	57,788 (28.7% ↑)

(2) アクセシビリティによる社会面からの評価

各交通目的のトリップに対するアクセシビリティ(A_g)の評価方法は、図-6に示すように、各メッシュから最寄駅へのトリップについて、交通目的別(ここでは通勤・通学と買物の2種類)に所要時間(ここでは一般化時間)を小さい方から並べ、各累積比率をプロットした累積頻度分布曲線を利用し、次式で求める²¹⁾(式3)。

$$A_g = \int_0^G f(x) dx \quad (3)$$

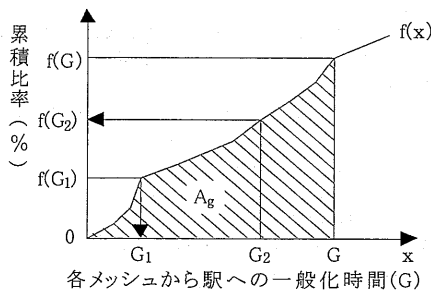


図-6 アクセシビリティ算定の概念図

累積頻度分布曲線はある一般化時間(限界時間)内に各メッシュから駅に到達できるトリップ数の比率を示し、一般化時間は交通行動に対する負担感を表すため、A_g値が大きいほどアクセシビリティが高いことを示す。本研究では、各メッシュから駅への到達可能な限界時間を表-8のようにして3つの地区モデルに対するアクセシビリティの比較評価を試みた(図-7~9)。

その結果、通勤・通学、買物の両目的のトリップともにいずれの限界時間内においても、自転車型のA_g値が最も大きく、また平均一般化時間は小さくなり、自転車型が最もアクセシビリティが高いことがわかった。続いて、中間型、自動車型の順となった。また、両目的を加えたトリップ全体も同様の結果を示した。このことは、自動車利用それ自体は、不便になってアクセシビリティが低下するが、逆に自転車と徒歩のアクセシビリティが向上した結果、総合的にはアクセシビリティが向上することを示している。

表-8 地区モデル別A_g値

	限界時間	自動車型	中間型	自転車型
通勤・通学	20分	329	359	365
	30分	987	1,041	1,051
	40分	1,689	1,758	1,773
	60分	3,363	3,455	3,477
	80分	5,333	5,427	5,450
	平均一般化時間	29.2	28.2	28.0
買物目的	20分	58	77	100
	30分	251	296	336
	40分	495	561	616
	60分	1,142	1,545	1,629
	80分	3,265	3,380	3,471
	平均一般化時間	49.9	48.7	47.8
全体	20分	237	264	275
	30分	738	789	809
	40分	1,285	1,354	1,382
	60分	2,714	2,810	2,852
	80分	4,634	4,735	4,782
	平均一般化時間	36.2	35.2	34.7

注) 平均一般化時間の単位: (分)

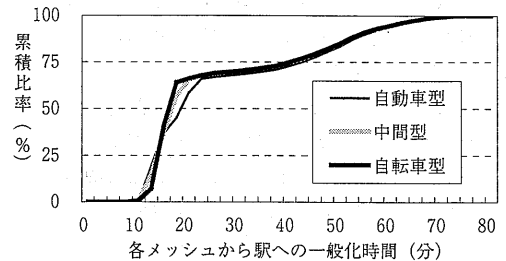


図-7 通勤・通学目的の累積頻度分布曲線

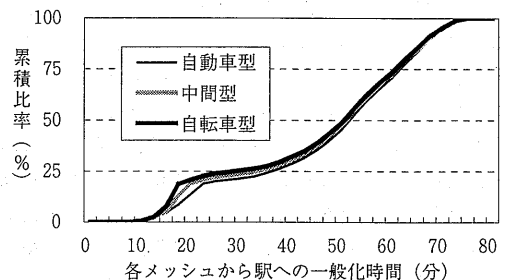


図-8 買物目的の累積頻度分布曲線

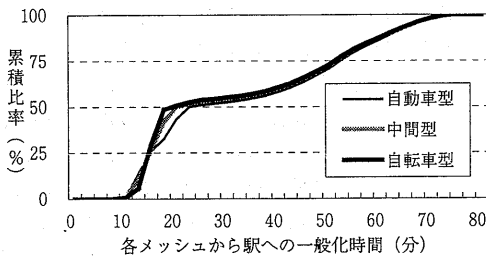


図-9 地区全体の累積頻度分布曲線

6. まとめ

本研究では、環境面からは二酸化炭素、社会面からはアクセシビリティを代表的な評価指標として取り上げ、自転車を重視した道路断面配分と道路網配置を行った自転車型地区を、従来型の自動車型地区、両者の中間型地区との比較において、これらの地区から発生する通勤・通学および買物トリップの両トリップを対象に評価した。その結果、主に次の成果が得られた。

【二酸化炭素による環境面からの評価】

① 二酸化炭素排出量においては、自転車型は自動車型に比べて28.7%の増加を示した。これは、自動車トリップの発生を抑制させた道路網配置と自転車を優先する道路断面配分により自動車トリップ数は減少するものの、走行距離の増加をもたらし、結果として二酸化炭素排出量が増加したことによる。

② 道路空間再配分による中間型では、11.2%の減少を示した。このことは、既存道路空間の再配分により自転車優先を図る方が、車を迂回させて抑制を図る方法より効果的であることを示している。

【アクセシビリティによる社会面からの評価】

③ アクセシビリティを比較評価した結果では、中間型と自転車型とともに通勤・通学、買物の交通目的のみならず、全目的においても自動車型に比べて向上した。

④ とりわけ自転車型は最も高いアクセシビリティを示した。

【総合的な評価】

⑤ 本研究で示した従来型の道路配置を基本とした地区を対象に、道路の運用により地区の交通形態を改変する場合は、道路断面を自転車に優先して再配分する中間型のアプローチを取るのが総合的にみて望ましいといえる。

最後に、本研究の今後の課題としては、買物目的において自動車利用が著しく少なくなったが、この原因を究明するとともに、全交通目的を対象にした交通手段選択モデルへと発展させること、さらには交通量の多寡や道路構造と道路網の再配置による各交通手段の速度変化に対するより正確な把握ならびに都市施設の多様な配置形

態に対応した予測・評価方法論の確立を図る必要がある。このとき持続可能な交通に対する評価指標の構築においては、より広範な指標構築の取組みが必要であるとともに、世代間および世代内の公平性を考慮した評価方法についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 内藤正明, 加藤三郎(1998), 「地球環境学 10-持続可能な社会システム」, pp.90-92, 岩波書店
- 2) Centre for Sustainable Transportation(1997), Definition and Vision of Sustainable Transportation, Toronto, Canada
- 3) 新田保次, 三星昭宏(1992), 「オランダの自転車交通政策とサイクル都市「ハウテン」」, 都市と交通, 第83(5), pp.53-61
- 4) 財団法人自転車道路協会(1997), 「自転車都市の構想に関する調査研究報告書-自転車を中心した町づくり-」
- 5) 天野光三ら(1986), 「歩車共有道路の計画・手法」, 都市文化者
- 6) 塚口博司, 毛利正光(1987), 「歩車のオキュパンシー指標の提案と住区内街路計画への適用」, 土木学会論文集, No.383/IV-7
- 7) 塚口博司, 黒田英之, 矢島敏明, 田中一史(1989), 「歩車のオキュパンシー指標を用いた住区内街路の評価に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.219-226
- 8) 飯田克弘, 塚口博司(1994), 「街路空間再配分と交通サーキュレーションに関する研究」, 土木学会論文集, No.500/IV-25, pp.41-49
- 9) 祖川宗照, 内山久雄, 星健一(1998), 「アクセシビリティ指標による鉄道新線の便益評価の試み」, 第53回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, pp.382-383
- 10) 鈴木崇児, 宮城俊彦, 伊藤克也(1995), 「交通ネットワークにおける中心度関数を用いたアクセシビリティの計量化」, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, pp.112-113
- 11) 榎谷有三, 浦田康滋, 田村亨, 齊藤和夫(1997), 「接近性指標からみた北海道の高規格幹線道路網」, 第52回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, pp.180-181
- 12) 榎谷有三, 李文勝, 齊藤和夫, 田村亨(1995), 「都市間の交通流動を考慮した近接性指標について」, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, pp.96-97
- 13) 藤井聡, 瀬戸公平, 北村隆一(1995), 「交通政策の質的評価を目指した生活行動モデルの構築」, 土木計画学研究・講演集, No.18(1), pp.301-304
- 14) 石上肇, 藤井聡, 北村隆一(1995), 「個人の交通行動を考慮したアクセシビリティ指標に基づいた都市モデルの構築」, 土木学会第50回年次学術講演会, pp.490-491
- 15) (社)日本都市計画学会(1986), 「都市計画マニュアルII 都市施設④道路編」, pp.25-26
- 16) 新田保次(1994), 「自転車交通の現状と課題-「サイクル都市」づくりをめざして-」, 都市と交通, No.29, pp.11-15
- 17) 新田保次, 林健太郎(1997), 「自動車交通抑制の視点からみたサイクル都市の評価」, 関西支部年次学術講演概要, IV-79-1-2
- 18) 新田保次, 都君斐, 森康男(1998), 「サービスレベルに応じた高齢者対応型バスへの転換需要予測に関する研究」, 第33回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.211-216
- 19) 建設省(1996), 「道路投資の効果分析手法の検討」
- 20) 中村英樹, 林良嗣, 都築啓輔, 加藤博和, 丸田浩史(1998), 「目標設定アプローチによる運輸起源のCO2排出削減施策の提示」, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.739-745
- 21) 榎谷有三, 李文勝, 齊藤和夫, 田村亨(1995), 「都市間の交通流動を考慮した近接性指標について」, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, pp.96-97