

マトリックスを用いた街路網アクセシビリティ に関する研究

丸 尾 哲 也

土木工学教室

(1972年9月11日受理)

A Study of Accessibility on Road Network Pattern by Matrix Method

Tetuya MARUO

Department of Civil Engineering

(Received Sept. 11. 1972)

When we compute the Accessibility index, we get a method of utilizing a road network pattern.

For the Accessibility model, this paper proposes a variety of the matrix method in the Graph Theory, because it is suitable for network analysis.

It is essential that the result is capable for adopting to the Traffic Planning.

1. はじめに

現在社会において自動車交通をぬぎにした活動は考えられないが、反面大都市においては、自動車のもたらす弊害のためにいかにそれを規制していくかが大きな問題となっている。そこで当然適正な自動車交通、すなわち居住環境を不当に侵害することなく、社会生活を営むに必要な自動車の円滑な走行を得るには、どのようにすればよいかということが重要になってくる。この自動車の円滑な走行の度合、あるいは地点、地域への近づきやすさ(接近性)を *Accessibility* という言葉で表わしている。したがって *Accessibility* を計量していくことにより近づきやすさを数値としてとらえ、それによりどの地点が問題にされなければならないかという全体的な計画をたてることができる。本論文ではこの *Accessibility* を街路網のパターンを用いて計量していき、計算のアプローチとして街路網の性格をもつ *Accessibility* の是非を論じ、将来計画における有用性をみていこうとするものである。

2. モデル式の決定

(1) *Accessibility* に対する考え方

イギリスのブキャナン・レポート¹⁾によれば「自動車かどの程度自由に循環したり個々の目的地に真直ぐに行

きついたり到着して駐車することができるかを示す自由度」という説明を *Accessibility* について行っている。すなわち都市内の離れた地点間についていえば「近づきやすさ、接近性の度合」ということになるだろう。この考え方をもとにしていろいろな計量方法や、またそれに至るまでの概念の拡張が行われている²⁾。これまで考えられてきたことは主に、近づきやすさの結果として表われる現象を把握することと、近づきやすさ、を促進するであろうと思われる事柄を問題にすることの2つであろう。前者はOD交通量、後者は人口、経済活動状況、駐車場道路面積等、都市の活動状態がそれにあたるであろう。これら2つの考え方のどちらに沿って計量化を進めていくかは、その目的により異なってくるであろうが、どちらの場合においても必要なことは、現状分析に止まらず将来の都市計画および、交通計画に *Accessibility* をどのように利用していくかということである。このことを念頭におき、街路網のパターンからのアプローチを行う場合、街路網の性格からしても、近づきやすさを促進・抑制するであろうと思われる事柄を問題にする考え方に沿って計量化を進めていく方が適切である。

(2) グラフ理論の応用

街路網をとりあげる場合、その要素としては、道路の本数、幅員、長さ等が考えられる。これらの要素をとりあげる利点は、潜在的 *Accessibility* の予想ができる

ことと、データが得られやすいことであろう。潜在的 *Accessibility* とは、可能な *Accessibility* の大きさの限界であり、これの予想をするためには、車の走行に定常的に作用していると考えられる要素を用いることが必要であるために道路の状態をとり上げたのである。これらの要素をもつ街路網をパターンの面からアプローチする場合、グラフ理論を応用していく方法が考えられる。

グラフ理論の中においてネットワークを解析する場合まずそのネットを matrix 表示してから研究を行っていくという方法がとられる³⁾。その matrix の種類としては、いろいろなものがあるが *Accessibility* に近い概念をもつ matrix としては、連結 matrix (connectivity matrix) と呼ばれるものがある。これはネットワークにおいて各ノード(結節点)間がリンク(通路)によって連結された状態にある場合に1、ない場合には0をエレメントに持つ matrix である。この matrix を用いたネットワークの解析の目的は、個々のノード間の連結の状態を知ることによりネットワーク全体の連結度を知ることと、各ノードの相対的な連結の強さを知ることである。それによりネットワークをパターンの面から追求していこうとする方向に向かうわけである。本論文の場合は、街路網という現実の大きさの決まったネットを用い、*Accessibility* という交通の面からみた実際的な概念を探究していこうとするものであるから、この連結 matrix をそのままの形では利用できない。しかしその解析の目的が非常に *Accessibility* と似ているため matrix を用いた展開方法というのは、有用であり有意義なものとなるであろう。したがってグラフ理論の中で用いられているモデル式を変形しそれによって、*Accessibility* を計量していくことにする。

(3) モデル式の決定

連結 matrix のようなノードとリンクの連結を示した matrix を用いてネットワークの各ノードの相対的な強さを求める式として次のものがある。

$n \times n$ 正方 matrix の K 乗 A^K のエレメントを $P(i, j)(K)$ とすると、ノード i の強さ $\pi^i(K)$ は

$$\pi^i(K) = \frac{P^i(K)}{P^1(K) + P^2(K) + \dots + P^n(K)} \dots\dots(1)$$

ここで $P^i(K) = P(i, 1)(K) + P(i, 2)(K) + \dots + P(i, n)(K)$

となり、 $K \rightarrow \infty$ の時 $\pi^i(K)$ は「Perron と Frobenius の法則⁴⁾」により一定値に必ず収束する。

この式においてエレメント $P(i, j)$ はノード間の連結を示す値が入ってくるわけであるが、街路網の *Accessibility* を求めていく場合その形状を考慮した連結の度合を表わす値が入らなければならない。すなわち、その現実の数値を matrix に盛り込むことによりノード

の相対的な強さという段階から *Accessibility* への転換が可能になるわけである。具体的な数値として考えられるのは、リンクの長さ・幅員・本数、ブロックの面積・形状、高速通行の可否、等であろう。この中でブロックの面積・形状はリンクの長さ・巾員によって大部分表現できるため実際に matrix のエレメントを構成する要素は、リンクの長さ・巾員・本数、高速通行の可否とした。このことから matrix のエレメント $P(i, j)$ として次の式を提案する。

$$P(i, j) = \sum_{k=1}^n \frac{L(i, j)kH(i, j)k}{D(i, j)k} \dots\dots\dots(2)$$

ここで $L(i, j)k$: ノード i, j 間を結ぶ n 本のリンクのうち k 本目のリンクの巾員。

$H(i, j)k$: ノード i, j 間を結ぶ k 本目のリンクが高速道路ならば2 一般道路ならば1かはいる。

$D(i, j)k$: ノード i, j 間を結ぶ k 本目のリンクの i, j 間距離。

この(2)式のエレメントをもつ matrix を用い(1)式により収束計算をした値を *Accessibility* 値としてあと計算をおこなっていく。

ほかにこの計算結果の比較をする時において、もう1つの考え方であった交通量を用いた *Accessibility* のモデル式としてグラビティタイプの次式を提案しておく⁵⁾。

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{T_j}{D^r(i, j)} \dots\dots\dots(3)$$

ここで A_i : i ゾーンの相対的 *Accessibility*。

T_j : j ゾーンの吸収交通量。

$D(i, j)$: ゾーン i, j 間の距離。

r : 距離の影響を示す指標。

又はじめの連結 matrix を用い街路網全体の連結度⁶⁾を表わす指標となるものとして次の方法が考えられる。

連結 matrix A において A^K の意味するところは、 A が示すネットワークにおいて第 K ステップで到達可能なノード間の経路の本数を表わした matrix であるといえる。このことから、 A^{K-1} までにおいてエレメントに0を有していた matrix A が A^K においてすべてのエレメントが0でなくなったとすると、このネットワークは K ステップを用いるとすべてのノード間を連結することができる、ということができようであろう。したがってこのネットワークの連結度を K と判定しこの方法を連結 matrix を用いた街路網をパターン面から

考察する一つの指標として用いることにした。

3. 計算例

(1) ノードについての考察

計算を行っていく場合ノードについての考え方として次の3つがある。

- i) 一般的にノードと呼ばれるものを扱う。すなわちリンクとリンクが交差してできる点である。
- ii) 街路網を全体的に展望することにより、局地的なゾーンを形成しているとみなされるノード群を対象として扱う。
- iii) 街路網をそれを含む地域 (たとえば市域、県域) においてゾーニングし完全なゾーンに分けたものを対象として扱う。

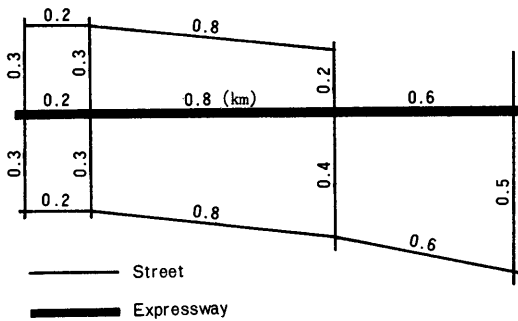


Fig. 1 Road network for the example problem

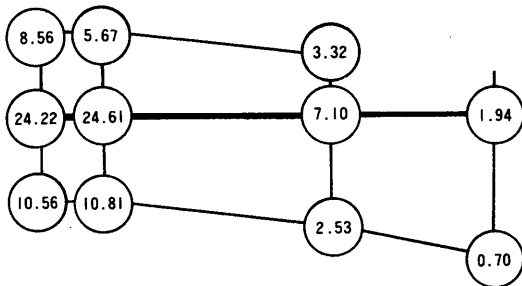


Fig. 1 (i) Accessibility index (type i)

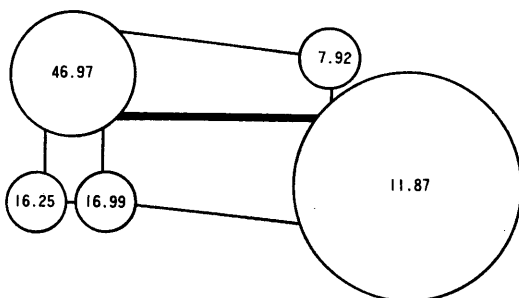


Fig. 1 (ii) Accessibility index (type ii)

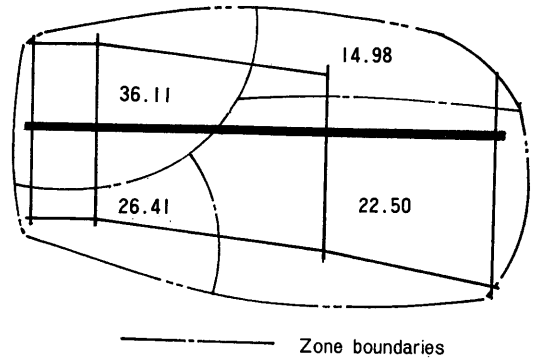


Fig. 1 (iii) Accessibility index (type iii)

を対象として扱う。

これら3通りの方法で図-1に示す仮想街路において計算を行うと図-1(i), 図-1(ii), 図-1(iii)のようになる。

この結果をみると、それぞれの *Accessibility* 値の傾向がほぼ一致している。これはこんな小さな街路網においてであるから断言はできないが、今回対象街路網である名古屋市においてもこの傾向はみられた。このことからこの3つの方法はそれぞれ有用であることがわかる。したがってどの方法をとるかは対象とする街路網のパターンとどんな *Accessibility* が必要であるかによって決まってくる。すなわち、i) では、ノードが非常に大事な意味をもっている場合、たとえば高速道路網、鉄道網、街路網における交差点の考察等である。

ii) では、ノードそれ自体がもつ *Accessibility* よりそれらが集まってできるブロック等の *Accessibility* に意味がある場合、したがって必然的にゾーンにわたるより地点的な要素が強くなる。具体的にはマクロ的な見方の街路網や都市間を結んでいる道路網等必要な *Accessibility* の地域間距離が長く地域を結ぶ途中のノードが *Accessibility* としての意味を持たない場合である。

iii) では、一つの地域の中において街路網全体についてのパターンが重要な意味をもち、街路が相互に作用しあい地点としての意味より地域としての広がり重点がおかれる場合である。したがって従来から考えられていた、地域におけるマクロな *Accessibility* を必要とする場合である。

街路網を対象とした場合その性格からも最終的な地点への到達性を問題にするより、地点を内部にもつ地域への吸収性、あるいはその地域の吸収性を問題にするべきである。この考え方から今回の都市街路網の *Accessibility* は iii) の方法、すなわちゾーンに分けて計算を行っていくことにした。

(2) 実際計算例

1) 名古屋市

名古屋市の場合市内は現在14区に分かれているが、これをさらに各区2~4の小ゾーンに分け全部で48ゾーンとした。これは名古屋市計画局が出しているものと同一である。街路網としては市員20m以上の地方幹線道路を10mのランクで分類したものをとり上げた。各ゾーン間距離としては100m単位とし、ゾーン間を結ぶリンクに沿って測ったものを使った。ゾーン内距離はゾーン

内通路に沿った長さの平均値をとり、ゾーン内通路の本数はそのゾーンへ吸収されるリンクの本数であらわした。これは前記(1)のiii)の考えによっている。

これらの前提をもって昭和46年現在の道路網と名古屋市計画局都市計画課が出している名古屋市都市計画図における道路網とにより計算を行った。その結果は表-1に示すとおりである。なお参考のため、昭和43年度OD

Table 1 The Accessibility index of 48 zones in Nagoya

Accessibility Zone		Present road network	Master plan road network	Gravity type	Originating traffic	
1	CHIKUSA	1	2.59	1.27	2.32	14725
		2	0.21	0.07	1.48	4334
		3	0.01	0.00	0.86	1179
2	HIGASHI	1	14.94	5.75	4.54	7456
		2	6.04	5.22	3.48	6026
		3	1.18	1.39	2.27	2238
3	KITA	1	3.14	7.94	3.05	6467
		2	0.78	1.68	2.42	2123
		3	0.19	0.11	2.27	6323
		4	0.01	0.01	1.28	1035
4	NISHI	1	6.26	12.88	3.90	5450
		2	1.21	2.60	2.33	8092
		3	0.07	0.15	1.20	1810
5	NAKAMURA	1	2.11	2.60	4.70	12140
		2	0.47	0.52	4.78	5488
		3	0.17	0.31	1.98	4165
		4	0.02	0.03	1.85	3726
6	NAKA	1	10.00	21.45	4.03	8443
		2	13.19	15.05	4.23	19631
		3	17.70	9.67	4.65	6418
		4	12.78	7.14	3.60	12117
7	SHOWA	1	1.46	0.97	2.96	10674
		2	0.28	0.08	2.16	5803
		3	0.01	0.00	1.35	1633
		4	0.00	0.00	1.04	709
8	MIZUHO	1	0.05	0.12	2.04	12337
		2	0.03	0.00	1.75	2272
9	ATHUTA	1	1.70	0.76	2.17	8191
		2	0.27	0.12	2.24	4627
10	NAKAGAWA	1	2.15	1.70	2.85	7733
		2	0.17	0.14	1.98	2815
		3	0.06	0.05	1.57	1639
		4	0.00	0.00	0.85	910
11	MINATO	1	0.03	0.01	1.40	5393
		2	0.01	0.00	1.16	1666
		3	0.01	0.01	1.25	2071
		4	0.00	0.00	0.94	1658
		5	0.00	0.00	0.71	252
12	MINAMI	1	0.09	0.02	1.65	5563
		2	0.03	0.01	1.60	5604
		3	0.02	0.00	1.13	2706
13	MORIYAMA	1	0.08	0.16	1.41	3076
		2	0.00	0.00	0.91	1070
		3	0.00	0.00	0.51	189
14	MIDORI	1	0.00	0.00	0.94	2488
		2	0.00	0.00	0.71	342
		3	0.00	0.00	0.83	491
		4	0.00	0.00	0.67	416

上の表で9 ATHUTA を ATSUTA に訂正します。

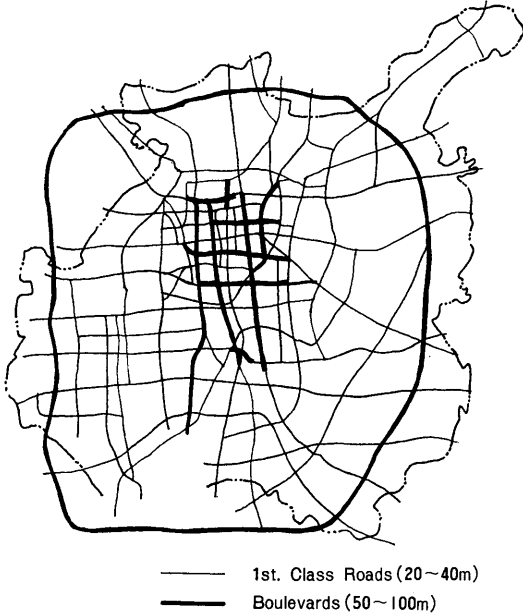


Fig. 2 The road network quoted from Nagoya master plan.

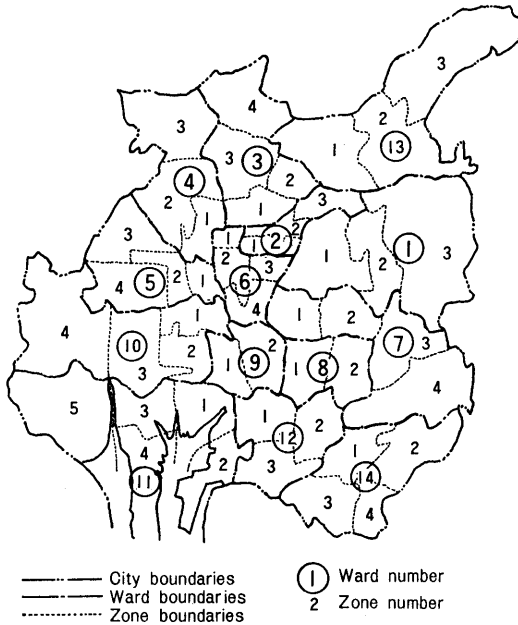


Fig. 3 48 zones' pattern in Nagoya.

業務交通量を用い(3)式による計算結果と各ゾーンの発生吸収交通量も表-1に並記しておく。都市計画図による道路網図は図-2に示すとおりである。現在道路網図は図-2とかなりの部分一致しているがそれより少し本数としては少なめなものとなっている。したがってここでは重複する部分が多いため上げていない。又48ゾ

ン図は図-3に示してある。

2) 東京都

東京都の場合街路網として非常に広域にわたる広がりを見せているため、その範囲をどこまでとるかには問題であるが、今回は環状8号線の内側の地域における街路網をとりあげた。しかしその街路網を抽出していく場合、方法としては名古屋市の場合と同じ方法でやっていったのであるが、ゾーニングをする際その明確な基準となる

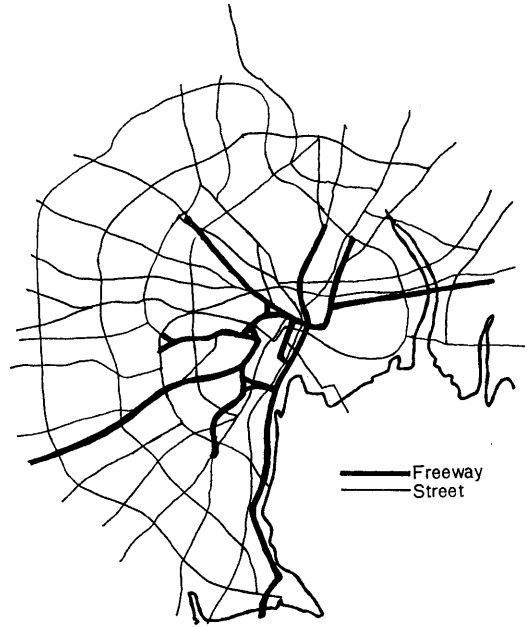


Fig. 4 Main road network in Tokyo.

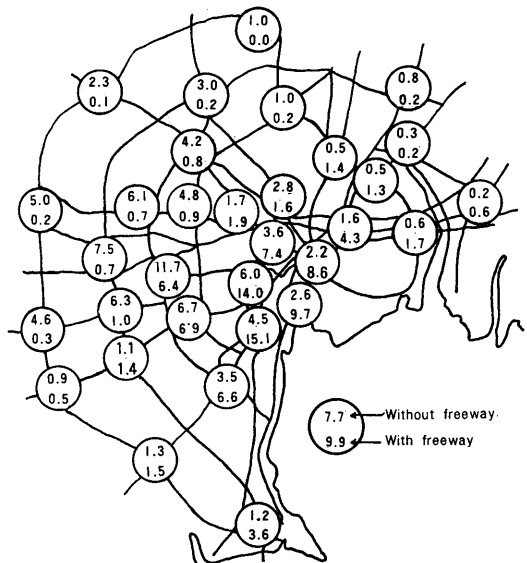


Fig. 5 The Accessibility index used the method of Type ii in Tokyo.

適当なゾーン図の入手ができなかったため、ゾーンに分けて考察していく方法をとれなかった。したがって(1)の ii) の方法についての参考計算として行った。すなわちノード群を対象にした方法である。しかしこの方法の利点として高速道路網が加わった場合ゾーンにわたるより、より正確な高速道路の影響がでてくる点が上げられる。東京都の場合その点では名古屋市と違いかなり発達した高速道路網をもっているため高速道路網を中心にした道路網図に変更し、それが未完であった時点の *Accessibility* と、完成した時点の *Accessibility* の変化を主に扱うことにした。その計算結果は図-5 に示すとおりであり東京都街路網図は図-4 である。なお高速道路網図の場合(1)の i) の方法がよりよいわけであるが、東京都の場合高速道路網を含めた道路網であるため、(1)の ii) の方法をとったわけである。

これらのほかに、連結 matrix を用いたネットの連結度を知るために、東京都を中心にした鉄道網の、明治20年から昭和45年に至る変遷にしたがって計算をおこなった。その結果は図-6 に示すとおりである。

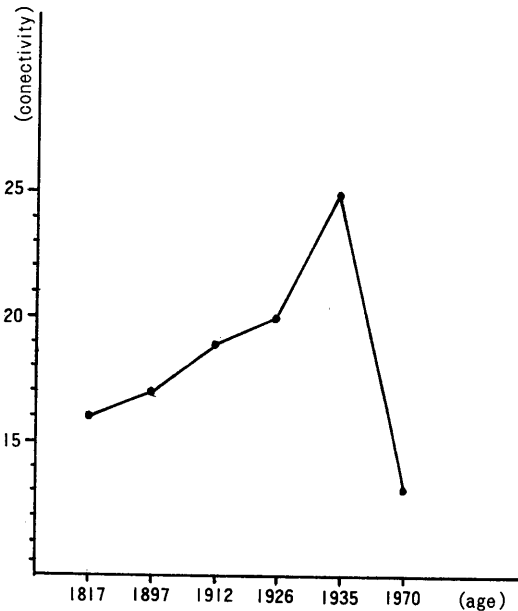


Fig. 6 The connectivity index of railway network.

4. 計算結果の分析

ゾーニングした街路網で *Accessibility* を計算していく方法を中心として、その他連結度を計算したわけであるが、それぞれについて考察を進めていく。

まず街路網 *Accessibility* を算出した結果をみると、その値の大小の差が交通量の変化と比べて非常に大きく

なっている。そのため交通量を用いたグラビティタイプの *Accessibility* と同傾向は一致する部分が多いが、全体的にはかなり違った性格を有していることがわかる。これは前記の潜在的 *Accessibility* の傾向を街路網 *Accessibility* が持っていることにほかならないだろう。すなわち現実の交通量の大小がそのまま *Accessibility* の大小につながると考えた場合、もともになる交通量を発生させるものは都市活動であり、それを流すものは街路網であるからあくまで現在の状況における一つの現象をとらえたにすぎない。しかし街路網の場合、もともとは都市活動にしたがって発達していったものであるが、現在ではその逆の道路を計画的につけることにより都市活動を蜂起させるという場合がかなりあり、主従が逆転している。このことから道路のもつ要素を取り入れた *Accessibility* の場合は、現時点における可能な *Accessibility* の大きさを示しているのである。したがって交通量とあわせて比較すると、可能な大きさの限界を越えているのか、それともそれ以前なのか、ということにより交通計画、道路計画に応用していくことができるであろう。

具体的に考察を進めると、まず交通量が多いが *Accessibility* 値の低いゾーンをみると、北-3、中村-2、昭和-2、瑞穂-1、港-1、南-1・2等である。これは交通量を *Accessibility* 値で割った値を、交通量 5000 台(平均値)以上のゾーンについてとりだしたもののうち、割った値が 1 万 (10 万以上の 3 ゾーンを除いた残り 18 ゾーンの平均値) 以上のゾーンである。これらのゾーンは丁度都心部を取り巻く名古屋第 1 環状線沿いに位置しており、都心部への交通の要所になっており混雑が激化している地域でもある。次に交通量のわりに *Accessibility* 値の高いゾーンをみると、東、中、西-1、昭和-1、熱田-1 等都心部(環状線内側の地域)に集中している。これは名古屋市の場合、都心部の道路面積が非常に高いためであるが、そのためこれらの地域は定常的に多くの交通量を持っているが容量の限界に達したようなマヒ状態にはなっておらず他の大都市から比べるとかなり余裕がある。

この比較からも潜在的 *Accessibility* というものが計量の結果でてきていることがわかるであろう。計画の面での考察を進めると、現在の状況は今まで述べたようなことであるが、都市計画街路による *Accessibility* をみていくと、まず現在と大きく値が変わったゾーンは、減少したものは、東-1、中-3・4、千種-1、熱田-1、等であり増加したものは、北-1、西-1・2、中-1 等である。これは 1.00 以上で 2 倍の変化があったものである。

このほかの変化としては第 2 環状線沿いの地域が増加

していることが上げられる。さて結果をみると、現在交通量は多いが *Accessibility* 値の低いゾーンにおいては大きな変化は起っていないかほとんどのゾーンが減少している。また *Accessibility* が現在高いゾーンは増加している。これは本来ならば逆にすべきであり、この計画にしたがって街路網が作られた場合都心部への車集中が現在よりかなりの勢いで進み、それに従う都心部での混雑より周辺部（減少したゾーン）における殺人的なそれが予想できる。これを回避するためには計画図において新たに環状線を作る必要があると思われるし、第一環状線の高架高速道路化が一番大切な点であろう。それに従って東西方向の伸びをもっと強調していくことがこれからの課題であろう。

このようにみてきたことから、今回の街路網 *Accessibility* を用いた考察における重点は、交通量と比較した際、*Accessibility* の大きな変化がないような状態が一番望ましく、その方向に従っていかに都心部への車の集中を防いでいくかという計画にもっていくことである。なお計算した結果におけるこの方法の欠点としては、 O としてでてくるゾーンが多いことと、細かな変化があまり意味をもたない点があげられる。なぜならば、ゾーンでわけられる場合、ゾーンの境界に位置するリンクをどちらに属させるかという時、どちらになっても結果はたいして変わりが無いからである。あとの計算結果については、東京都における場合参考資料としてのOD交通量のデータが入手できなかったため深い分析ができなかった。計算方法の分析としては、ゾーンに分ける場合とは方法においてたしかに異なるが、どちらにおいても根本的な考えとして最終的にはノードとしてまとめていることを確認する必要がある。すなわちゾーンの場合はそのゾーンの平均の *Accessibility* として求めるわけであり、ノード群であっても同じことがいえるだろう。ただ違う点は、平均される地域がはっきりしているかどうかという点であろう。したがって東京都の場合は高速道路が街路網におよぼす影響の重大なことと、それにつれて頂点となる *Accessibility* の地点が新宿あたりから東京駅周辺へ移動し、*Accessibility* の高い地域が東西方向であったものから南北方向へとかわってきていること、などが結果から判断できることである。それにこの変化は、名古屋市の場合にも考察したように、都心部への求心型の街路が強化されたため都心における交通混雑を促進させる原因とも考えられるであろう。

最後の連結度については、地域が同一でノードとなる地点が明確であるネットワークにおいて歴史的な変化をとらえていくには一つの発展度の指標となるであろう。図-6の結果から、連結度が高くなっていく、すなわちステップ数がふえるということは、同一地域においてそ

のネットワークの範囲が広まっていき地域が密に連結されていくことを示している。すなわち明治20年(1887)から昭和10年(1935)にかけては、このネットワークが地域のすみずみへと拡張されていったことがわかり、昭和10年から昭和45年(1970)にかけてはすみずみまで広がったネットワークが今度は、範囲を限定したままその内部における連結を強めるために密に発達していったことがわかるわけである。このように大きな変化を示すネットワークの解析には、この方法はかなり有用な1つのネットワークの性格を算出するものとなるであろう。

5. おわりに

今回は *Accessibility* の街路網からのアプローチという、概念的な統一がかなり困難な問題にとりくんだわけであるが、最終的な結果を解析していくことにより、ある程度確立された概念を得ることができたと思っている。今後残された課題としては、*Accessibility* の持つ抽象的な概念の部分、すなわち個人が感じる近づきやすさの違い、という点をどのように処理していくかということであろう。これは、アンケート調査など、計量できない部分を補う方法をどうするかという問題でもある。指針としては、個人が感じる個々の道路、駐車施設、地点の魅力、景観などを一定の基準で計量しそれを含むモデル式を開発していくことが考えられる。これはすなわち一面においては今回の街路網 *Accessibility* と、都市活動を要素としてとる *Accessibility* との折衷を進めていくことにもつながるであろう。したがって今後この方面からの研究を進めていきたいと思う。なお計算に使用した計算機は、名古屋大学大型計算機センター FACOM 230-60である。

参 考 文 献

- 1) 八十島・井上共訳「都市の自動車交通」P. 220 1965
- 2) たとえば加藤晃「街路計画におけるアクセシビリティの分析と応用について」第9回日本道路会議一般論文集 P. 569 1969
- 3) Peter Haggett, Richard J. Chorley「Network Analysis in Geography」P. 35~P. 45 1969
- 4) Claude Berge「The Theory of Graphs」P. 130~P. 138 1964
- 5) 丸尾哲也「アクセシビリティの計量化に関する研究」名古屋工業大学卒論1970
- 6) R.G. バサッカー・T. L. サーティ共著「グラフ理論とネットワーク基礎と応用」第1部基礎理論1965 丸尾哲也「街路網パターンに関する一考察」土木学会中部支部研究発表概要集 P. 95 1971