

人口・施設分布の乖離を考慮した 地方都市道路網の定量的評価に関する研究

榊原 弘之*・古川 浩平*・岡田 憲夫・片山 武**

*山口大学工学部社会建設工学科

**山口大学大学院理工学研究科

要 旨

道路網のトポロジカルインデックスによる評価手法を拡張し、近接地区において供給されるサービスへのアクセスの観点から、道路網と人口・施設分布の関連性を評価する。災害時に必要最小限のサービスを供給するために使用可能な経路のみを抽出した場合の、トポロジカルな構造の評価法を提案する。さらに山口県内の宇部市、下関市を対象にこれらの手法を適用し、両都市の道路網と人口・施設分布からみた災害リスクの評価を実施する。

キーワード: 道路網, トポロジカルインデックス, 人口・施設分布, 地方都市

1. はじめに

現在日本を含めた世界各国では、人口や経済活動が都市的地域に集中している。そのため、都市において地震などの災害が発生した場合、その人的及び経済的被害は非常に大きなものとなる。そこで、災害時において被害ができるだけ小さくなるような都市構造へと変化させていくための措置が必要となる。

都市構造の構成要素としては、自然的要素である地形、人工的要素である人口、産業、交通、ライフラインなどが挙げられる。その中でも、交通、とりわけ道路網が災害時に避難や救援活動などに果たす役割は大きい。したがって、道路網の災害に対する頑健性を評価することが重要となる。

日本の地方都市においては、大都市以上にモータリゼーションが進行し、自動車交通への依存度が高い。その結果として、都市機能が中心部以外に拡散した都市構造となっていることが多い。特に医療施設などが都市中心部の枠内を越えて都市圏全体に拡散して立地する傾向にある。その結果、災害時に道路網の寸断で都市全体が機能不全に陥る危険性が高まっている。防災上の観点からは、この拡散的な都市構造が緊急時の救難活動や避難の障害とならないように道路網を整備していくことが重要となる。

従来の研究では大雨や雪などによる気象災害のような、

比較的頻度が高く、地域間の被害の相関性の低い災害を想定して信頼性を評価したものが多い。一方、都市直下型地震のような災害では、被害の空間的な相関が高い。すなわちひとたび災害が発生すると、同時多発的に構造物の破壊や損傷が発生する可能性が大きい。そのため道路網全体が通常通りに機能することは非常に困難である。そこで道路網が部分部分で地域毎、あるいは近隣地域との間で必要最小限機能することが重要である。すなわち災害によって破壊されたあとに、連結した地域が多いほど利用可能な機能は増加するため、どの地域も孤立しないことが望ましい。

災害時の道路網の破壊形態を事前に予測することは困難だが、破壊後のネットワークにおける地区の孤立しやすさは、元の道路網の形態に依存する。例えば、都市圏において道路が中心都市から放射状にのみ集中的に整備された場合と、環状方向も含めて分散的に整備された場合では、後者の方が都市直下型地震で道路が各所で寸断・閉鎖された場合に、地区が孤立しにくく、道路網が部分的に機能する可能性が高い。つまり巨大災害においては分散性の高い道路網ほど、全体としては機能しなくとも部分的・局所的に連結して機能する可能性が高いと考えられる。またそのような道路網を有する都市は、巨大災害に対して強い構造であるといえる。

筆者らは以前、分子科学において異性体を分類する指標

である「トポロジカルインデックス (TI)」を道路網の分散性を表す指標として用い、都市の道路網全体を形態論的に評価することを提案している (岡田ら, 1999)。TI は、道路網のグラフとしての総体的な集中性、分散性を評価するのに適している。しかし、都市内における人口、施設の空間的な分布を考慮していないため、既存の TI による単純な大小関係のみでは、都市の災害に対する頑健性の評価は困難である。

本論文では都市のトポロジカルインデックスによる評価手法を拡張し、近隣地区において供給されるサービスへのアクセスの観点から、道路網における人口と施設分布の偏在性を評価する。具体的には、災害時に必要最小限のサービスを供給するために使用可能な経路のみを抽出した場合の、トポロジカルな構造の評価法を提案する。さらに山口県内の宇部市、下関市を対象にこれらの手法を適用し、両都市の道路網と人口・施設分布からみた災害リスクの評価を実施する。

2. 都市道路網のトポロジカル構造の評価手法

2. 1 トポロジカルインデックス(TI)の定義

本論文では道路網を形態論的に評価する指標として、「トポロジカルインデックス(Topological Index, 以下 TI)」を用いる。TI は元来、分子化学において異性体を分類するための指標として Hosoya (1971) によって定義された。分子のトポロジカルな繋がりを位相構造として捉えることにより、異性体の構造の違いが沸点、エントロピー、生成熱などの物性的な特性の違いにどのように関連付けられるかを指標値として表そうとしたものである。以下に TI の定義を示す。

グラフ G においてノード数を n 、リンク数を l とする。その上で、あるノードを共有する形で接続しているリンク (隣接リンク) の数が少ないほど、そのノードの近傍当該ノードとその隣接リンクによって規定される空間においてリンクの配置は「局所的に分散している」度合いが高いと定義する。このことが全てのノードについて平均的に (あるいは総和として) 成立すれば、その道路網は相対的に「全体的に分散している」度合いが高いと規定できる。言い換えれば、「共有ノードに接続していない (非隣接の)」リンクの組み合わせの数によって道路網の分散性を評価することを考える。

グラフ G から、隣り合っていない k 本のリンクを選ぶ組み合わせの数を非隣接数と呼び、 $P(G, k)$ と表す。ただし、 $P(G, 0) = 1, P(G, 1) = l$ とする。 k として取りうる最大の自然数 m は、ノード数 n が偶数の場合 $\frac{n}{2}$ 、奇数の場合は $\frac{n-1}{2}$ となる。このときグラフ G の分散性を表す指

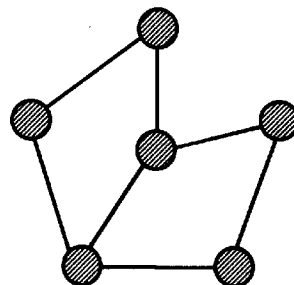
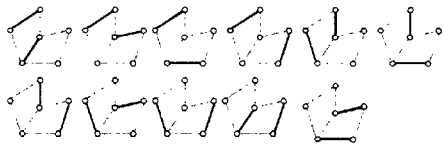
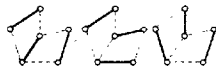


Fig.1 Example of a Graph ($n = 6, l = 7$)

Table 1 Calculation of TI for the Graph in Fig.1

$k=0$	$P(G, 0) = 1$
$k=1$	$P(G, 1) = 7$
$k=2$	 $P(G, 2) = 11$
$k=3$	 $P(G, 3) = 3$

標 $TI(G)$ は次式で定義される。

$$TI(G) = \sum_{k=0}^m P(G, k) \quad (1)$$

例として Fig.1 に示すような $n = 6, l = 7$ のグラフを考えた場合、定義上 $P(G, 0) = 1, P(G, 1) = 7$ (リンクの数) となる。 $k = 2, k = 3$ については Table 1 に示すように、隣り合わない k 本のリンクの組み合わせをそれぞれ数えていく。

またこの場合 k の最大値は $\frac{n}{2} = 3$ となる。 $k = 0$ から $k = 3$ までの非隣接数の和から $TI(G) = 22$ となる。

2. 2 道路網の分散性と安全性との関連性

阪神・淡路大震災においては、高速道路の倒壊や落橋、沿道の建物の倒壊に伴う街路閉塞などによって、道路網は機能麻痺に陥った。都市直下型地震のような大規模な災害が発生した時、道路網は各所で寸断されることが予想される。そのような場合にはそれぞれの地区が孤立せず、近隣地区間で医療施設へのアクセスなどが最小限確保されることが重要である。つまり個々の地区が孤立しにくい道路網ほど、部分的に機能するという観点から、巨大災害に対して強く安全性が高いと考えられる。

ノード数、リンク数が一定で、リンクが特定方向 (例えば、中心都市から放射状) のみに集中している道路網と、

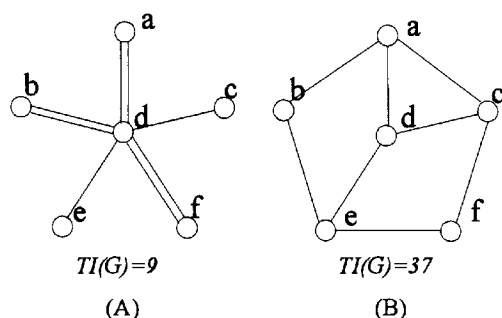


Fig.2 Concentrated Network (A) and Dispersed Network (B)

Table 2 Number of Connected Links

	a	b	c	d	e	f
(A)	2	2	1	8	1	2
(B)	3	2	3	3	3	2

リンクの集中するノードが無く（環状方向も含めて）分散している道路網を考える（Fig.2）。Table 2に、各ノードに接続しているリンクの本数を示す。(A)の道路網はリンクが密なノードと疎なノードが存在する。例えばノードc, eはリンクが1本しかないため、直下型地震のような災害が発生した場合、孤立する可能性が高いと考えられる。それに対して(B)の方はリンクが比較的バランス良く配置されているため、ノードが孤立する可能性は低いと考えられる。したがって巨大災害時には、分散的に整備された道路網の方が集中的に整備された道路網よりもノードが孤立する可能性が低いため、道路網全体としては機能しなくとも、近隣のノード間において部分的に機能する可能性が高く、災害に対して強いネットワークであると考えられる。ここで二つのグラフのTIを比較すると、(A)の集中型のグラフは $TI(G)=9$ であるのに対し、(B)の分散型のグラフは $TI(G)=37$ である。2. 1でも述べたように、ノード数、リンク数が一定の道路網では、分散性が高いほどTIの値は大きくなる。そこで本論文では道路網の分散性を定量的に評価する指標としてTIを用いることにより、道路網の災害に対する頑健性の評価を試みる。但し、任意のグラフにおいて、リンク数を増加させるほどTIの値は大きくなる。またリンクをより集中的に増加させた場合TIの増加は小さくなり、より分散的に増加させた場合はTIの増加は大きくなる。

山口県の宇部市（阿知須町を含む）及び下関市の道路網をノードとリンクからなるグラフとして示す(Fig.3, Fig.4)。宇部市については中学校区、下関市は支所管轄区域をノードとして定義し、リンクは国道及び県道を対象としている。両市のノード数はともに13である。両市のTIの値をみると、宇部は1557、下関は3696となり、下関の方が宇部よりも倍以上大きな値となっている。その主要な理

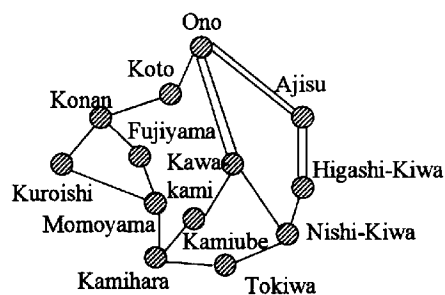


Fig.3 Network in Ube City

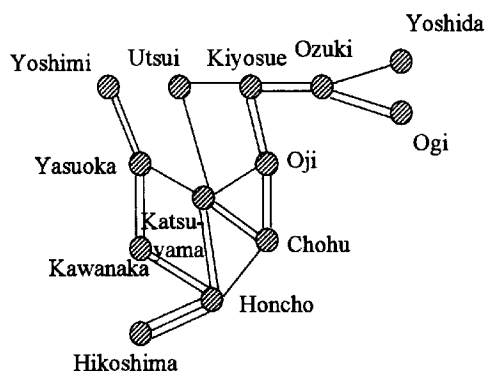


Fig.4 Network in Shimonoseki City

由としては、リンクの本数が宇部は19、下関は27と異なるためと考えられる。一般に、リンクの数が多いほどTIの値は大きくなる。そのため、TIの比較のみによって下関の道路網の方が分散的で災害に対する頑健性が高いと断定することはできない。

そこで本論文ではTIを拡張することによって、より多面的に都市の災害リスク分布を評価する。具体的には、道路網における人口と施設の偏在性をふまえた評価手法を提案する。

3. 人口分布と施設分布の乖離を考慮したTIの拡張

3. 1 災害時の道路網における分散的施設分布の重要性

2. で述べたように、TIの値が大きいほど道路網は分散的で、各地区（ノード）が孤立する可能性は小さい。従って、直下型地震のような巨大災害が発生し、道路網が各所において寸断・閉鎖された場合においても、各地区は隣接する地区のいずれかへのアクセスが確保されている可能性が高い。

一方、隣接地区へのアクセス確保が防災上有効であるためには、個々の地区が自足できない機能を他地区が補完できることが前提となる。医療施設を例に挙げると、地区人口に見合った医療施設が未整備な地区と、比較的余裕のある地区が接続されることによって、必要最小限の機能確保という観点からの道路網の意義が生じる。言い換えれば、

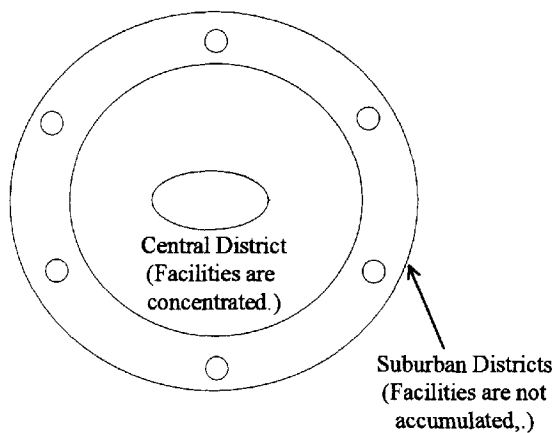


Fig.5 City with the Central District Where Facilities are Concentrated

Fig.5に示すような、都心部に医療施設が集中し、郊外地区で医療施設が不足している都市において、郊外地区同士を結ぶ環状道路を整備しても、災害時の緊急対応に限っては、その効果は小さいものと考えられる。したがって近隣地区間で必要最小限のサービスが確保するためには、道路網だけでなく災害時に必要な施設もまた分散していなければならない。

2. で示した既存の TI は、道路網の分散性を評価するのみで、道路網と都市機能の関連性については考慮していない。そこで本章では、 TI を拡張し、人口分布と施設分布の乖離を考慮した道路網の評価手法を提案する。

3. 2 人口・施設分布の乖離を考慮した評価手法の提案

阪神大震災の直後、被害の甚大な地区の病院には大量の負傷者が搬送された(内藤, 1996)。小池ら(2000)は、杉本(1996)及び吉岡ら(2000)の研究結果を元に、①過去の災害において傷病者は近隣の医療機関へ集中し、やや離れた場所の医療機関には向かわないこと、②阪神・淡路大震災における初診医療機関への交通手段は、担架や自力歩行、自家用車をあわせた私的交通手段によるものが4割を越えており、消防などによる統制のとれた搬送活動が困難であったことを指摘している。以上の点から、災害時に傷病者はまず自分の居住地区の医療機関へ搬送され、当該地区の医療機関が不足している場合は隣接した地区の医療機関へ向かうと考えられる。

その他の機能(避難所等)に関しても、同様の傾向が存在すると考えられる。従って災害時には、サービスに対する需要が大きい地区の内部か、その近隣に当該サービスの供給拠点が配置されている必要がある。また都市の道路網を構成するリンクのうち、必要な施設が不足している(サービスの需要が大きい)地区と、施設の処理能力に関してある程度余裕のある(サービスの供給拠点となり得る)地区を直接結ぶリンクが重要であると考えられる。このようなリンクは、災害時に地区間で機能を補完するためのリン

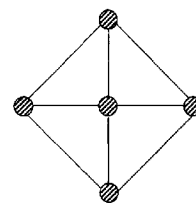


Fig.6 Example of Road Network

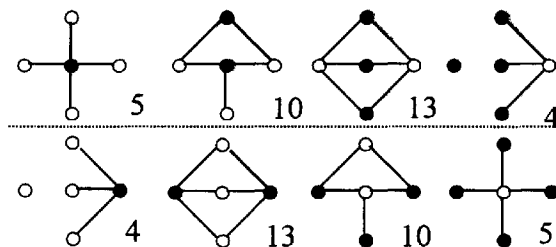


Fig.7 Effective Graphs

クであり、以下では「有効リンク」と呼ぶこととする。さらに、一部の供給拠点到に需要が集中することを回避するためには、有効リンクが都市内において分散的に配置される必要がある。そこで本論文では、有効リンクのみにより構成されたグラフの TI を元の道路網の TI と比較し、人口分布、施設分布の乖離を考慮した道路網の有効性評価のための手法を提案する。

具体的には、都市内の各地区に関して施設の充実度を評価し、地区内人口に対して施設が十分に整備されている地区を表すノードを「充足ノード」、施設が不足しているノードを「不足ノード」と呼ぶ。有効リンクを、不足ノードと充足ノードを直接結ぶリンク(道路)として定義し、有効リンクのみで構成されるグラフを有効グラフと呼ぶことにする。

有効グラフは以下のような性質を有する。

- ・有効グラフは元のグラフの部分グラフである。
- ・有効グラフの TI は元のグラフの TI よりも小さくなる。

元の道路網の TI に対する有効グラフの TI の比率を求めた場合、その比率が大きい都市ほど、道路網が人口分布と施設分布の乖離を有効に補正していると解釈することができる。

例として Fig.6 に示すような、都心部のノードを4つの郊外地区が取り囲んでいる形態の都市の道路網を想定する。この道路網において、 $TI(G)=19$ となる。Fig.7は、Fig.6に示す道路網において充足ノードと不足ノードの分布を変化させた場合の有効グラフの TI を示している。ここで充足ノードは黒丸、不足ノードは白丸で表すことにする。Fig.7(上)のように、中心ノード(都心部)のみが充足ノードの場合、他の不足ノードは中心の充足ノードのみに依存することになり、 TI も小さい。(B),(C)のように充足ノードを増やすと、 TI は大きくなるが、(D)のように不足ノードが1つのみの場合 TI は再び小さくなる。充足ノードと不足ノ

ードが近接していて分散的であるほど、有効リンクが増え、 Π は大きくなるが、どちらか一方の種類のノードの数が他方よりも大幅に多い場合、有効グラフの Π は小さくなる。また中心に充足ノードが存在しない場合も同様であり (Fig.7.(下))、不足ノードと充足ノードが入れ替わっても定義上 Π 値は等しくなる。

3. 3 充足ノード・不足ノードの定義

各地区における、サービスに対する災害時の需要量は地区人口に比例すると仮定することができる。従って前節に示した充足ノード、不足ノードの定義に当たっては、地区人口あたりの機能水準から絶対尺度を設定することも考えられる。しかし本論文では、都市内における人口分布と施設分布の乖離を道路網の構成によってどの程度補正し得るかを評価することを目的としているため、以下に示す相対的施設充実度に基づいて充足ノード、不足ノードを定義する。その手順は以下の通りである。

- 1) 都市全体の施設数に対する各ノード (地区) の施設数の割合 (F_i : 相対的施設充実度) を算出する。つまり式で表すと、

$$F_i = \frac{f_i}{\sum_i f_i} \quad f_i: \text{各ノードの施設数} \quad (2)$$

となる。また都市全体の人口に対する各ノードの人口の割合 (P_i : 人口比) を算出する。つまり式で表すと

$$P_i = \frac{p_i}{\sum_i p_i} \quad p_i: \text{各ノードの人口} \quad (3)$$

となる。

- 2) それぞれの地区において人口比と相対的機能充実度の差 ($P_i - F_i$) を算出し、その値が正となるノード ($P_i > F_i$) を相対的機能不足ノード (Relative Shortage Node)、負となるノード ($F_i > P_i$) を相対的機能充足ノード (Relative Abundance Node) として定義する。

相対的機能充足ノード (以下、RAN)、相対的機能不足ノード (以下、RSN) の分類は、都市内部の人口分布と機能分布の乖離の程度に基づいて決定されるものである。したがって、都市全体の機能の集積が少ない場合には、充足ノードであっても当該地区で発生した需要に十分対応できないことも起こりうる。すなわち有効グラフは、特定の機能の集積量を所与として、それを都市内でできる限り平等に利用するために有効なリンクのみで構成されたグラフである。

4. 適用例

4. 1 人口分布及び施設分布に使用したデータ

本章では、3.において提案した評価手法を、宇部市 (阿知須町を含む) と下関市にこの評価手法を適用する。施設としては、災害時において最も重要な機能の1つである医療機関に着目し、宇部・下関市内の病院、及びその病床数を使用した。人口に関して、宇部市の中学校区別人口、及び阿知須町の人口については、平成12年10月現在の住民基本台帳に基づいたデータを使用した。また下関市の支所管轄区域別人口は、国勢調査のデータを基に、下関市が転入出を集計した、平成12年3月31日現在の推計人口を用いた。

4. 2 宇部市・下関市への適用結果及び考察

まず、負傷者の一次的な搬送及び応急的医療活動の拠点という観点から、病院数の分布に基づいて有効グラフを決定する。相対的機能充実度 (F_i)、人口比 (P_i)、及びその差 ($P_i - F_i$) を Table 3 (宇部市)、及び Table 4 (下関市) に示す。またその結果から両市の有効グラフを作成した (Fig.8, Fig.9)。前節と同様に、充足ノード (RAN) を黒丸、不足ノード (RSN) を白丸で表している。

両市の結果の比較から、以下の点が明らかとなった。

- ① 宇部市は南東側に RAN がやや偏って分布しており、RAN である東岐波、常盤が孤立している。一方北部・西部には RSN が多く分布している。そのためリンクが大幅に欠けた有効グラフになっている。
- ② 下関市は、多くの病院が本庁に集中しているが、都市全体としては RAN と RSN が互いに比較的隣接して配置されている。そのため有効グラフにおいては、RSN である内日は孤立しているものの、全体としてリンクはあまり欠けていない。

以上の結果から Π は、宇部市が1557 (元のグラフ) から84 (有効グラフ) へと著しく減少しているのに対して、下関市は3696 (元のグラフ) から1472 (有効グラフ) と減少の程度が小さい。したがって、下関市の方が宇部市よりも、応急的医療活動へのアクセスが確保される可能性が高いと考えられる。

次に、重傷者の最終的な搬送先という観点から、病床数の分布をもとに有効グラフを決定する。病床数についての相対的機能充実度及び人口比を Table 5, Table 6 に示す。また両市の有効グラフは Fig.10, Fig.11 のようになった。病院数の場合 (Fig.8, Fig.9) と比較すると、宇部市においては神原が、下関市においては長府が RAN から RSN に変化している。これは各病院の規模の違いから、病院数の場合よりも偏った機能分布になったためと考えられる。また両市とも有効グラフのリンクの総数が一本ずつ増えている。

Π については宇部市が98、下関市が1362となり、病院数の場合とほぼ同じである。リンクが増えているにもかかわらず下関市の Π が減少したのは、リンクの集中している

Table 3 Number of Hospitals in Ube City

	Number of Hospitals (f_i)	Relative Abundance(F_i)	Population(p_i)	Population Ratio(P_i)	($P_i - F_i$)	
Higashi-Kiwa	2	0.1176	13493	0.0732	-0.0444	A
Nishi-Kiwa	3	0.1765	19912	0.1081	-0.0684	A
Kawakami	0	0.0000	6605	0.0359	0.0359	S
Tokiwa	3	0.1765	25772	0.1399	-0.0366	A
Kamihara	3	0.1765	10728	0.0582	-0.1182	A
Kamiube	0	0.0000	24803	0.1346	0.1346	S
Momoyama	2	0.1176	17030	0.0924	-0.0252	A
Fujiyama	0	0.0000	14991	0.0814	0.0814	S
Konan	0	0.0000	20200	0.1097	0.1097	S
Kuroishi	1	0.0588	15808	0.0858	0.0270	S
Koto	1	0.0588	4223	0.0229	-0.0359	A
Ono	0	0.0000	1854	0.0101	0.0101	S
Ajisu	2	0.1176	8793	0.0477	-0.0699	A
Total	17	1	184212	1	0	

A...Relative Abundance Node, S...Relative Shortage Node

Table 4 Number of Hospitals in Ube City

	Number of Hospitals (f_i)	Relative Abundance(F_i)	Population(p_i)	Population Ratio(P_i)	($P_i - F_i$)	
Honcho	12	0.4800	81405	0.3201	-0.1599	A
Hikoshima	2	0.0800	34806	0.1369	0.0569	S
Chohu	4	0.1600	31760	0.1249	-0.0351	A
Oji	1	0.0400	7336	0.0288	-0.0112	A
Kiyosue	0	0.0000	5935	0.0233	0.0233	S
Ozuki	2	0.0800	7169	0.0282	-0.0518	A
Ogi	0	0.0000	3685	0.0145	0.0145	S
Yoshida	0	0.0000	1906	0.0075	0.0075	S
Katsuyama	2	0.0800	22314	0.0877	0.0077	S
Utsui	0	0.0000	1677	0.0066	0.0066	S
Kawanaka	0	0.0000	33664	0.1324	0.1324	S
Yasuoka	1	0.0400	15342	0.0603	0.0203	S
Yoshimi	1	0.0400	7330	0.0288	-0.0112	A
Total	25	1	254329	1	0	

A...Relative Abundance Node, S...Relative Shortage Node

Table 5 Number of Beds in Ube City

	Number of Beds (f_i)	Relative Abundance(F_i)	Population(p_i)	Population Ratio(P_i)	($P_i - F_i$)	
Higashi-Kiwa	546	0.1371	13493	0.0732	-0.0639	A
Nishi-Kiwa	1068	0.2682	19912	0.1081	-0.1601	A
Kawakami	0	0.0000	6605	0.0359	0.0359	S
Tokiwa	691	0.1735	25772	0.1399	-0.0336	A
Kamihara	141	0.0354	10728	0.0582	0.0228	S
Kamiube	0	0.0000	24803	0.1346	0.1346	S
Momoyama	943	0.2368	17030	0.0924	-0.1444	A
Fujiyama	0	0.0000	14991	0.0814	0.0814	S
Konan	0	0.0000	20200	0.1097	0.1097	S
Kuroishi	160	0.0402	15808	0.0858	0.0456	S
Koto	160	0.0402	4223	0.0229	-0.0173	A
Ono	0	0.0000	1854	0.0101	0.0101	S
Ajisu	273	0.0686	8793	0.0477	-0.0208	A
Total	3982	1	184212	1	0	

A...Relative Abundance Node, S...Relative Shortage Node

Table 6 Number of Beds in Shimonoseki City

	Number of Beds (f_i)	Relative Abundance(F_i)	Population(p_i)	Population Ratio(P_i)	($P_i - F_i$)	
Honcho	2901	0.6852	81405	0.3201	-0.3651	A
Hikoshima	139	0.0328	34806	0.1369	0.1040	S
Chohu	462	0.1091	31760	0.1249	0.0158	S
Oji	183	0.0432	7336	0.0288	-0.0144	A
Kiyosue	0	0.0000	5935	0.0233	0.0233	S
Ozuki	129	0.0305	7169	0.0282	-0.0023	A
Ogi	0	0.0000	3685	0.0145	0.0145	S
Yoshida	0	0.0000	1906	0.0075	0.0075	S
Katsuyama	62	0.0146	22314	0.0877	0.0731	S
Utsui	0	0.0000	1677	0.0066	0.0066	S
Kawanaka	0	0.0000	33664	0.1324	0.1324	S
Yasuoka	278	0.0657	15342	0.0603	-0.0053	A
Yoshimi	80	0.0189	7330	0.0288	0.0099	S
Total	4234	1	254329	1	0	

A... Relative Abundance Node, S... Relative Shortage Node

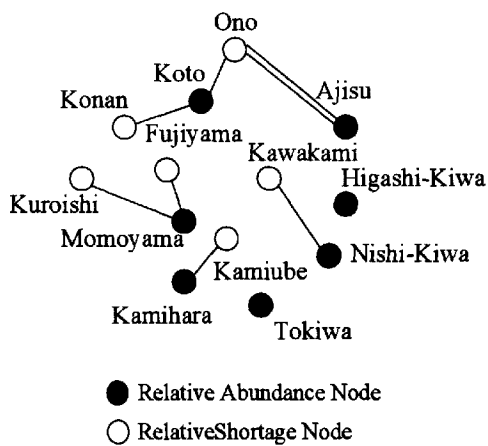


Fig.8 Effective Graph on the Number of Hospitals (Ube)

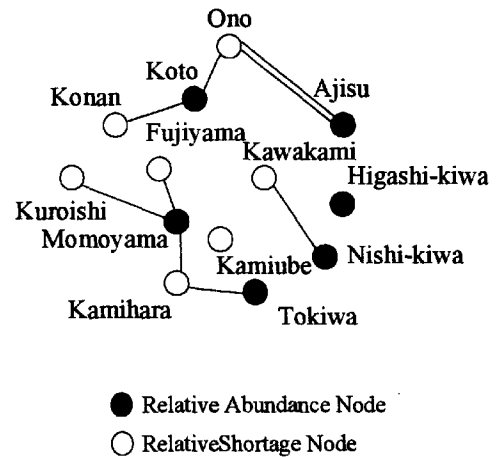


Fig.10 Effective Graph on the Number of Beds (Ube)

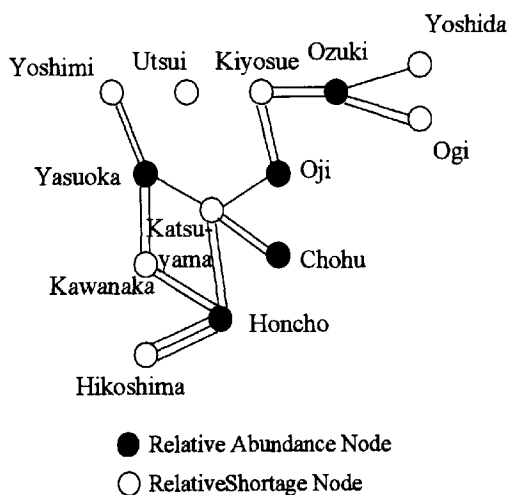


Fig.9 Effective Graph on the Number of Hospitals (Shimonoseki)

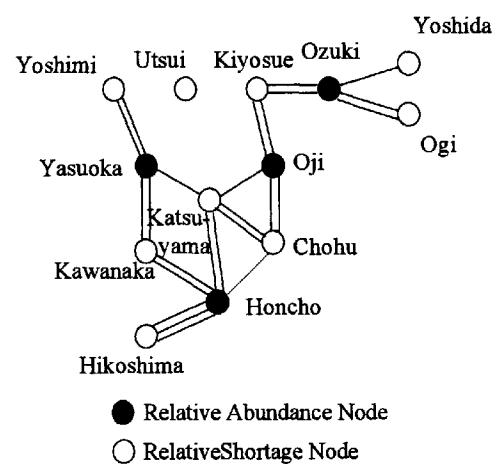


Fig.11 Effective Graph on the Number of Beds (Shimonoseki)

本庁へのリンクが増えたためであると考えられる。病床数の場合も、宇部市は充足ノードにやや偏りがあるのに対し、下関市は充足ノードと不足ノードのバランスがとれており、 TI の値からも下関市の方が重傷者の最終的な搬送先が確保される可能性が高いと考えられる。

以上の結果から、特に宇部市において、医療施設の分布に空間的な偏りが存在し、道路網がその偏りを十分に補正し得てないことが明らかになった。有効グラフの TI は、都市の災害に対する頑健性を、道路網の分散性と人口分布・施設分布の乖離の両面から総合的に評価する指標として解釈することができる。したがって現況の改善方策についても、道路網の充実と、施設分布の改善という2種類のアプローチが考えられる。以下では、宇部市における具体的な改善策を、上述の二つの視点から考える。

1. 道路網の充実

中央部の不足ノードから南部・東部の充足ノードへのリンク（上宇部―常盤、川上―東岐波など）を増やすことで、中央部と南部・東部を結ぶ有効リンクを増加させることができる。その結果有効グラフの TI を大きくすることができる。

2. 施設分布の改善

不足ノードの多い北部・西部の機能を増やすことで、北部・西部の充足ノードを増加させることができる。その結果有効リンクが増え、有効グラフを元のグラフに近づけることができる。特に不足ノードと接続している不足ノード（川上、厚南など）において重点的に医療施設を配置した場合、周辺ノードにおける医療施設へのアクセスが改善される。

5. おわりに

本論文では TI を拡張することにより人口分布と施設分布の乖離を考慮した道路網の評価手法を提案した。具体的には、相対的機能充足・不足ノードに分けることで有効リンクを見だし、有効グラフによって道路網を評価する。また実際に宇部市と下関市において適用し、それぞれの有効グラフ、及びその TI を比較した。機能の対象としてここでは病院数と病床数を扱ったが、どちらの場合も下関市の

方が TI の減少率が小さく、道路網における施設分布のバランスがいいことがわかった。したがって直下型地震のような巨大災害時には、下関の方が最低限の医療活動へのアクセスを確保される可能性が高いといえる。また宇部市の機能補完の改善案として、北西部の機能の増加と、中央部から南東部へのリンクの増加を挙げた。

また、今後の課題としては以下の点が挙げられる。

- ・ 人口分布と施設分布の乖離を考慮した道路網の評価手法において、人口分布を高年齢人口等に特定し、その有効グラフを評価する。また施設分布において避難所や支援物資の供給場所を対象とし、その有効グラフを評価する。
- ・ 当該都市の過去の人口分布、施設分布や、道路網に関するデータが入手可能な場合は、過去の各時点における有効グラフを作成することにより、現在の有効グラフとの比較や、時間的な推移の傾向を分析することができる。それによって、都市が災害に対して頑健な構造へと変化しているのか、脆弱な構造へと変化しているのかを知ることができると考えられる。

参考文献

- 岡田憲夫・梶谷義雄・榊原弘之、多々納裕一 (1999) : 直下型地震の発生を想定した都市圏道路網の分散・集中特性の性能評価モデルに関する研究, 土木学会論文集 No. 632/IV-45, 93-104.
- 小池則満・秀島栄三・山本幸司・深井俊英 (2000) : 震災時における傷病者の行動と搬送計画に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), pp.537-540.
- 杉本侃 (1996) : 緊急医療と市民生活, へるす出版.
- 内藤秀宗 (編著) (1996) : 阪神大震災に学ぶ医療と人の危機管理, はる書房.
- 吉岡敏治・田中裕・松岡哲也・中村顕 (2000) : 集団災害医療マニュアル, へるす出版.
- Hosoya, H. (1971): Topological Index A newly Proposed Quantity Characterizing the Topological Nature of Structural Isomers of Saturated Hydrocarbons, Bull. Chem. Soc. Jpn, Vol.44, pp.2332-2339.

A Study on Quantitative Evaluation of Relationship between Road Network and Polarization of Population/Facility Distribution in Local Cities

Hiroyuki Sakakibara*, Kohei Furukawa*, Norio Okada, and Takeshi Katayama**

* Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University

** Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

Synopsis

The methodology for evaluating road network using topological index is extended to consider polarization of population / facility distribution. Topological structure of the network consisting of only the links that are available to provide minimum service in the case of catastrophic disasters. The methodology is applied to Ube and Shimonoseki cities in Yamaguchi prefecture, and disaster risk in these two cities is evaluated from the viewpoint of relationship between road network and polarization of population/facility distribution.

Keywords: road Network, topological Index, population/facility distribution, local cities