

拠点医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造*

The 2-Redundant Highway Network assuring the arrival at a central Medical Facility

南 正昭**、高野伸栄***、加賀屋誠一****、佐藤馨一*****

By Masaaki MINAMI, Shin'ei TAKANO, Seiichi KAGAYA and Keiichi SATOH

1. はじめに

地方部においては、医療サービスの享受が、十分に果たされない地域が多い。人命を左右する救急告示病院についても、数十分移動しないと到達できない地域も少なく存在する。さらに近年、地震災害等への対応という観点から、救急・消防施設あるいは避難所等の防災拠点が当該都市もしくは周辺都市に確保されることの必要性が強調されている¹⁾。

本研究では、これらの施設が道路網で連携され、人命を維持することに果たしている重要な役割に着目し、特に地域で拠点的な役割を担う医療施設へのアクセスを複数の経路で確保できる道路ネットワークの構造について考察する。

医療施設へのアクセスが2系統で保証されることは、予期せぬ事態に有効であるばかりではなく、施設利用者に対して大きな安心を与えることになるものとの観点から、代替施設および代替ルートが存在を考慮した道路網の評価および構成方法を示す。

医療施設と関連した交通網整備という観点からは、近年、加賀屋・三木²⁾、喜多・瀧本³⁾らが、地方部において医療水準を確保するための施策について検討している。また災害時においてネットワーク上へのダメージが生じた際の道路網の機能低下に関して、主として連結性という観点から、たとえば嶋田・加藤・本多⁴⁾、若林⁵⁾らが研究を続けている。

著者らは、主として道路途絶時の代替ルートの確保を前提とした道路網の評価および構成方法について研究を続けてきた^{6) 7)}。本稿では、特に施設ノードへのアクセスの確保に着目し、目的地の変更を考慮した道路網の評価および構成のための基礎的な研究成果を取りまとめる。

2. 目的地変更を考慮したリダンダントな道路網の評価と構成

(1) 問題の明確化

著者らはこれまで都市間を連結する道路に途絶が発生した場合においても、必ず代替ルートが確保できるリダンダントな道路網の構成方法について研究を行ってきた。これまでの問題設定の枠組みでは、任意の都市間の各々について複数の経路を用意することで、途絶の発生時においても同一の目的地への到達を保証する道路網を評価・構成することを目的としてきた。

しかし、高度な設備を有し当該地域で中心的な役割を担う救急告示病院、あるいは地震災害を念頭においた広域防災拠点への緊急輸送ルートの確保等においては、必ずしも目的地が同一である必要はなく、最寄りの施設ノードへのアクセスが課題となる。

そこで本稿では、このような拠点的な都市施設へのアクセスの確保を課題とし、目的地変更を考慮に入れ、施設ノードへの到達を2系統で保証する道路網を構成する問題を取り扱うこととした。

本稿においては、道路網に生じるダメージは、リンクにのみ生じるものと仮定し、都市施設そのものに機能停止が生じることは考慮していない。すなわち当該施設あるいは都市配置を所与とした場合の、道路網を対象とすることとした。

まず代替施設の利用を考慮した上で、道路途絶時の機能低下を表現する簡便な評価指標を作成する。ここで施

* キーワード： 交通網計画、道路計画

**正員 工修 山口大学工学部 (山口県宇部市常盤台2557 tel. (0836)35-9111 fax. (0836)35-9429)

***正員 工博 北海道大学工学部 (札幌市北区北13条西8丁目 tel. (011)706-6213 fax. (011)726-2296)

****正員 学博 同上 (tel. (011)706-6210 fax. (011)726-2296)

*****正員 工博 同上 (tel. (011)706-6209 fax. (011)726-2296)

設利用において、緊急性という観点から最寄りの施設を択一的に選択することを仮定する。次にその評価指標を制約条件に用いて、平常時に利用する最寄り施設へのどの経路が途絶しても、所与とした所要時間に関する制約以内で当該施設への到達を可能とし、かつ総整備費用が最小となる道路整備計画案を導くことを課題とする。

(2) 目的地変更を考慮した場合のリダンダンシーの評価指標と計算手順

前述のように、本稿では当該施設への経路の途絶のみをネットワークへのダメージとして取り扱うこととした。このとき目的地の変更を考慮するならば、経路途絶時における道路網の機能低下を表現する指標として、たとえば1番目の目的地と2番目の目的地への経路所要時間の差あるいは比、または2番目目的地への経路所要時間の最大値等を考えることができる。

本稿では、式(1a)に示したRIDiを指標として用いることとした。RIDiは、1番目目的地と2番目目的地への経路所要時間の比を用いて道路網の機能低下を表現しようとするものである。これは既往の研究⁶⁾で提案した経路代替性指数RIを、本研究の目的に応じて変形することで得られる。

経路代替性指数RIijは、道路網上の任意の2都市ノード間(i, j)に着目し、その間の代替ルートを含めた道路網の整備水準を、経路数と所要時間を用いて表現することを目的に作成した指標である。詳細については文献6)に述べられる。この経路代替性指数RIijにおいて、評価対象とする経路数を2経路に限定し、目的地に相当する都市ノードを当該施設の存在する最寄りの都市ノードとすると、式(1a)に示すRIDiが導かれる。本稿においても1番目目的地への経路を基準ルートとよぶこととする。2番目目的地への経路が、基準ルート途絶時の代替ルートに相当する。

式(1a)～(1d)において、1番目に選択される施設の存在する目的地となる都市をj1、j1への経路途絶発生時に2番目(次善)に選択される施設の存在する目的地となる都市をj2で表す。このj1とj2は同一目的地であることもあり得る。また都市ノードij間の最短経路をSPi, j、目的地j1への最短経路すなわちj1への基準ルートをPo, i, j1、Po, i, j1のli, j1(li, j1=1, ..., li, j1max)番目構成リンク途絶時におけるj2への最短経路を(Pa, i, j2)li, j1、経路P・の所要時間をt(P・)で表す。ここで経路の所要時間は、道路時刻表を用いて与え、交通フローが所要時間

$$RIDi = \min_{L, j1} LRID_{L, j1} \quad (1a)$$

$$LRID_{L, j1} = 1 + \frac{t(P_{0, i, j1})}{t(P_{a, i, j2})_{lij1}} \quad (1b)$$

$$t(P_{0, i, j1}) = \min_j t(SP_{i, j}) \quad (1c)$$

$$t(P_{a, i, j2})_{L, j1} = \min_j t(SP_{i, j})_{L, j1} \quad (1d)$$

$$(li, j1 = 1, \dots, li, j1 \max)$$

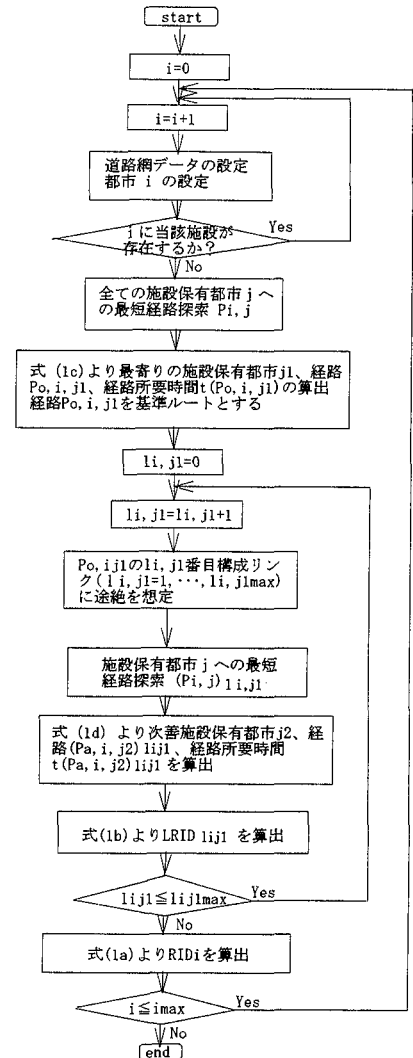


図1 RIDi指標の計算手順

に与える影響は考慮していない。平常時は、最寄りの医療施設を選択するとの仮定より、医療施設の存在する都市をjとすると明らかに式(1c)より目的地となる都市j1が算出される。この経路を基準ルートに相当する経路

とする。

ここで都市 i に対象医療施設が存在し $j1 = i$ のとき、経路の途絶は問題ではない。

この基準ルートの $li, j1$ 番目構成リンクに途絶が発生した場合の次善利用施設は式(1d)により求められる。

これらの比より式(1a)に示す $RIDi$ を算出する。 i から $j1$ への経路の構成リンクの内、途絶した場合に次善施設への到達のために最も大きな所要時間の増大をもたらすリンクの途絶を想定した場合を評価値として計算している。またこの $RIDi$ 指標は、1 番目施設への基準ルートの途絶時に、同等の所要時間で次善施設へ到達できるとき、すなわち $t(Po, i, j1)$ と $t(Pa, i, j2)_{li, j1}$ が等しいとき 2.0 となる。また、 $t(Pa, i, j2)_{li, j1}$ が $t(Po, i, j1)$ に比し大きくなるに従い 1.0 に近づく性質をもつ。

(3) 道路網の構成問題と計算手順

平常時において、ある評価基準のもとに道路網を最適構成する問題は、最適道路網の構成手法として研究がなされてきている。これに対し異常時における道路網の構成問題は、異常時において最適であるのではなく、所与の道路網にダメージが生じた際に、平常時に比して機能低下を小さくする道路網を構成する問題として考察される必要があるものと考えられる。本稿では、道路途絶が生じた異常時において、平常時に比して機能低下の小さい道路網を構成する問題を対象とする。

本稿では、各都市について事前に $RIDi$ についての制約を与え、その制約を満たし総整備費用を最小とする道路網のネットワーク構成問題を取り扱う。この $RIDi$ に対する事前制約を $RIDi^-$ で表す。

$RIDi^-$ は、着目する各都市ノードについて、個別に設定することが可能である。しかし本稿では、各市町村が同等の水準を有することを仮定し、同一の値を与えた場合の分析例に限定している。

また本稿では、式(1c)によって得られる最寄りの医療施設への経路が構成する道路網を「1 次ネットワーク」とよぶ。また、この 1 次ネットワークに加え、事前に所与としたリダンダンシーの制約としての $RIDi^-$ を満たし、1 番目の目的地への経路が途絶した際に利用する 2 番目目的地への経路が構成する道路網を「2 次ネットワーク」とよぶこととした。

最適化計算に用いた計算方法は、文献 7) に開発したハイブリッド GA を改良して用いた。各道路リンクを整備するか否かを設計変数、 $RIDi^-$ を制約条件とし、目的関

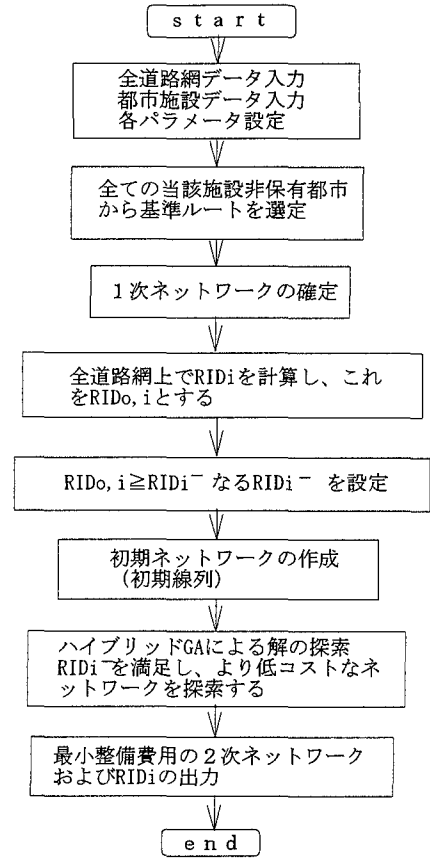


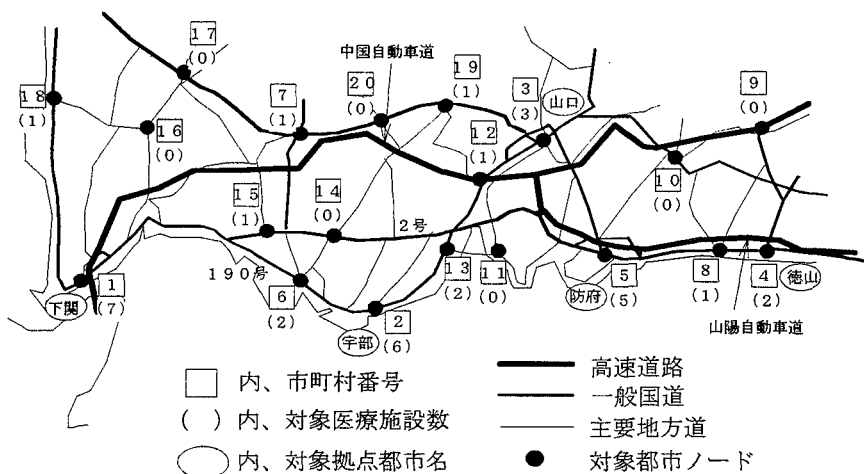
図2 構成問題の計算手順

数としての総整備費用を最小化する。この際、制約条件を満たしつつ、総整備費用を最小化する道路リンクの組み合わせを探索するためにヒューリスティックなプロセスを GA に組み込む方法を考案している。本稿では、1 次ネットワークについては、整備費用の大小に関わらず整備を行うことを前提とし、 $RIDi^-$ を満たし総整備費用が最小となる 2 次ネットワークを導くこととした。

具体的な計算手順は、以下のものである。計算フローを図 2 に示した。

分析対象とする全道路網の所要時間、リンク整備費用のデータおよび都市ノードデータを用意する。全道路網上で前節に述べた方法で基準ルートを選定し、これらのリンク集合の構成する道路網を 1 次ネットワークとする。

まず全道路網上で、 $RIDi$ を算出し、これを $RIDo, i$ とする。この $RIDo, i$ は、整備費用を考慮せず所与とした全ての道路リンクを、経路選定の対象とした場合の評価値で



市町村番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
市町村名	下関	宇部	山口	徳山	防府	小野田	美祿	新南陽	鹿野	徳地	秋穂	小郡	阿知須	楠	山陽	菊川	豊田	豊浦	美東	秋芳

図3 対象道路網

ある。すなわち整備費用は大きいかもしれないが、途絶に伴う所要時間の増大が最も小さくて済む経路を選定した場合に相当する。このRIDo, i以下のRIDiを設定したならば、必ずその制約を満たすネットワークが少なくとも解として存在することとなる。

RIDiの設定の後、全道路網から1次ネットワークを除いた道路リンクを、すべて整備代替案道路リンクとし、ハイブリッドGAを用いて、この制約を満たし総整備費用が最小となる道路リンクの組み合わせを探索する。

こうして導かれた2次ネットワークを、2次ネットワーク上でのRIDiの算出結果とともに提示する。

ここでRIDiを小さく設定したとき、すなわち1番目の施設に比して遠くの次善施設を許容したときは、選定の対象となる道路リンク、および他の都市からの基準ルートや次善ルートとの共有リンクが増加するため、最終的に導かれる2次ネットワークの総整備費用は小さくなる傾向をもっている。

3. 適用事例

(1) 問題設定

本稿では、山口県南西部の道路網を対象に、2つのケースについて、目的地変更を考慮したリダンダントな道

路網の構成例を提示する。

ケース1として充実した設備・スタッフおよびメジャーな診療科の存在を前提に100床以上を有する救急告示病院を対象施設として取り上げ、当該施設へのアクセスを2系統で確保する道路網の構成例を示す。

ケース2として、当該地域の中核的な都市を5都市取り上げ、その都市への輸送ルートを2系統確保する問題を扱うこととした。

(2) データ

以下の分析例でデータとして扱った救急告示病院および主要都市、また対象道路網を図3に示す。

対象道路網は、山口県南西部の主要県道、一般国道、高速道路(平成6年時点)とした。この道路網をノード数73、リンク数122のネットワークでモデル化している。医療施設あるいは中核都市は、この道路網上に設けた都市ノードに存在するものとして分析を行っている。以下の分析結果は、この対象道路網内での計算によるものであり隣接市町村へのアクセスは考慮していない。

各道路リンクに必要な道路整備費用は、平成4年度時点における山口県道路整備計画に基づき事業費を算出した値を用いた。

(3) 拠点医療施設への経路確保に関する分析結果(ケース1)

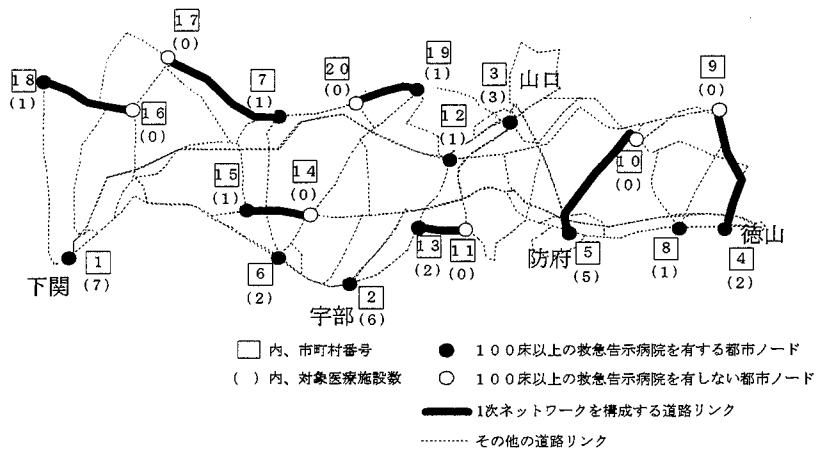


図4 100床以上の救急告示病院への1次ネットワーク

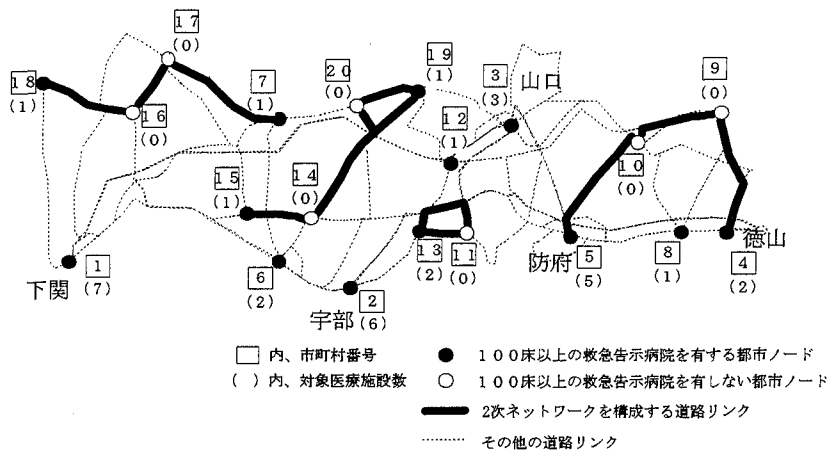


図5 100床以上の救急告示病院への2次ネットワーク

表1 100床以上の救急告示病院を有する市町村への他の各市町村からのRIDo, iおよびRIDi計算結果

市町村番号 i	9	10	11	14	16	17	20
R I D o, i	1.86	1.85	1.33	1.67	1.77	1.74	1.33
R I D i	1.86	1.47	1.33	1.44	1.59	1.59	1.33

100床以上を有する救急告示病院を有する市町村へ、それを有しない市町村からのアクセスを確保することを課題とした計算結果を図4、図5、表1に例示する。

図4が1次ネットワーク、図5が最適化計算の結果得られた2次ネットワークを示している。

表1に示したように、全道路網上で算出されたRIDo, i

の最小値が、市町村番号11または20における1.33となったため、 $RIDi=1.33$ と設定して2次ネットワークを探索している。図5は、50世代目に探索された最適解である。総整備費用は、670億円程度と算出された。

当該施設を保有しないどの市町村からも、必ず2系統で当該施設への経路が確保されていることが確かめられ

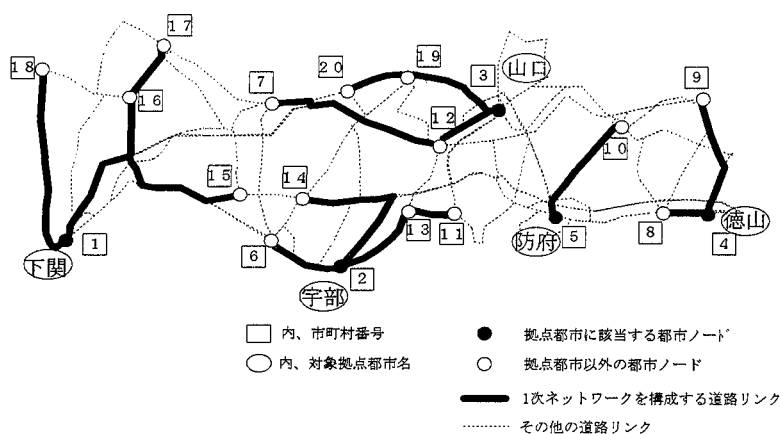


図6 拠点都市への1次ネットワーク

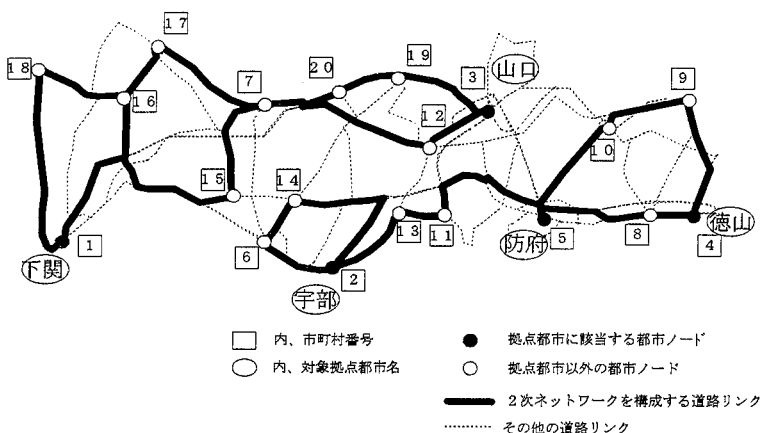


図7 拠点都市への2次ネットワーク

表2 拠点都市へのその他の各市町村からのRIDo, iおよびRIDi計算結果

市町村番号 i	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
RIDo, i	1.65	1.96	1.27	1.86	1.69	1.84	1.88	1.72	1.87	1.93	1.77	1.85	1.96	1.94	1.87
RIDi	1.53	1.69	1.27	1.86	1.47	1.84	1.27	1.46	1.81	1.62	1.42	1.70	1.91	1.41	1.50

る。7市町村の内、5つの市町村で1番目に選択した目的地を変更した結果となっている。たとえば市町村番号10の徳地町からは、防府市が1番目目的地として選択されている。防府市への経路に途絶が発生した場合、距離的には市町村番号8の新南陽市が近いが、RIDiの制約

を満たす範囲で整備費用の低い徳山市への経路が選択されている。またこの経路は、都市番号9の鹿野町からの2番目経路と道路リンクを共有することとなっている。

(4) 拠点都市への経路確保に関する分析結果(ケース2)

本稿で選定した5つの中核都市へ、それ以外の市町村からのアクセスを確保することを課題とした計算結果を図6、図7、表2に例示する。

図6が1次ネットワーク、図7が最適化計算の結果得られた2次ネットワークを示している。

この場合表2に示したように、全道路網上で算出された $RID_{0,i}$ の最小値が、市町村番号8における1.27となったため、 $RID_i = 1.27$ と設定して2次ネットワークを探索した。図7は、84世代目に探索された最適解である。総整備費用は、610億円程度と算出された。前項での計算例と比較し、選定された道路リンクが多いにも関わらず総整備費用としては低くなっている。これは本計算例で選定された道路リンクには、高速道路や一般国道等の整備済み区間が多く存在したためである。

このケースにおいても5つの中核都市のいずれかへ、それ以外のどの市町村からも、必ず2系統のアクセスが確保されていることが確かめられる。

図7の左上と右下に大きく分けて2つのネットワークが形成された様子が見て取られる。左上のネットワークは、目的地変更がある場合とない場合を含めて、下関市と山口市への経路が選定された市町村のグループであり、中国自動車道が中心に通じている。また右下のネットワークは、宇部、防府、徳山への経路が選定された市町村のグループであり、山陽自動車道が中心に通じている。このようにこの地域では高速道路を軸として中核都市へのアクセスが2系統で保証される。

4. おわりに

本稿では、拠点的な都市施設への輸送ルートの確保を目的とし、目的地変更を考慮に入れ施設ノードへのアクセスを2系統で保証する道路網を構成するための分析方法を提示した。災害時等の異常時においても、平常時に

比して機能低下の小さい道路網整備計画を立案していく上での一つの手だてを提供することを試みた。

本稿では、評価指標として平常時と経路途絶発生時の経路所要時間の比を用いた。これにより次善施設への経路所要時間が比較的小さい場合でも、それが最寄りの当該施設への所要時間に比して大きい場合、評価値は低く示される結果となる。特に救急施設や防災拠点へのアクセスを想定するとき、たとえば30分以内に到達できる等の絶対的な評価指標も用意しておく必要があるだろう。今後は複数の評価指標を設定し、総合的な評価・分析を行う必要があるものと考えている。

対象とする施設あるいは道路網の規模によっては、施設の配置計画問題として考察すべき課題も多い。また、道路の規格や容量、あるいは対象施設の容量等について、本稿では考慮できていない。現実の様々な課題に応じた方法論の開発が必要である。対象施設の機能停止が生じた場合等についてもさらに研究を進めたい。

参考文献

- 1) 中央防災会議国土庁防災局編：防災基本計画、1995
- 2) 加賀屋誠一・三木正之：アクセシビリティを考慮した医療施設利用改善への地理情報システムの適用、土木計画学研究論文集、No. 13, pp209-216, 1996
- 3) 喜多秀行・瀧本貴仁：地方生活圏における救急医療システムの整備計画手法に関する一考察、土木計画学研究論文集、No. 13, pp193-200, 1996
- 4) 嶋田喜昭・加藤哲男・本多義明：自然災害を考慮した道路網評価に関する基礎的考察、都市計画論文集、No. 30, pp. 97-102, 1995
- 5) 若林拓史：阪神淡路大震災における道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価、土木計画学研究論文集、No. 13, pp. 391-400, 1996
- 6) 南正昭・高野伸栄・佐藤馨一：道路網における代替ルートの整備水準の一評価法に関する研究、土木学会論文集、No. 530/IV-30, pp. 67-77, 1996
- 7) 南正昭・高野伸栄・佐藤馨一：リダンダントな道路網の構成方法に関する基礎的研究、土木計画学研究論文集、No. 13, pp733-742, 1996

拠点的な医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造

南 正昭、高野伸栄、加賀屋誠一、佐藤馨一

本研究は、地域で中心的な役割を果たす拠点的な医療施設あるいは広域防災拠点への到達を2系統で保証する道路網のネットワーク構造について、一つの分析手法を提示し、実際の道路網への適用を試みたものである。目的地の変更を考慮し、道路途絶の発生時においても当該施設への到達を可能とする道路網整備計画の策定支援を目標としている。

まず、道路途絶の発生時に、平常時に比してどの程度の所要時間の増大をもたらすかを表現する指標を、目的地の変更を考慮して作成した。次にその指標を用いて、施設ノードへのアクセスを2系統で保証し、総整備費用を最小とする整備計画路線の選定を行う計算手順を提示した。以上の分析手法をもとに、山口県南西部の道路網を対象とした適用事例を示した。

The 2-Redundant Highway Network assuring the arrival at a central Medical Facility

By Masaaki MINAMI, Shin'ei TAKANO, Seiichi KAGAYA and Keiichi SATOH

The level of medical services in a city is estimated by facilities in the immediate and surrounding cities by use of a transportation network. Both medical facilities and the transportation network should be coordinated efficiently in order to adapt in response to damaging events.

The purpose of this paper is to present the design method of a 2-redundant highway network assuring the arrival at a central medical facility. The goal is to design a highway network so that the driver can choose another medical facility or an alternative route to the original medical facility.

Some calculated results on highway networks in Yamaguchi prefecture are shown by using the hybrid type genetic algorithm.
