

拠点医療施設へのアクセスを2系統で保証する 緊急輸送道路網計画

南 正昭

社会建設工学科

本研究は、災害の発生を前提に、地域で中心的な役割を果たす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成を目的とし、一つの分析手法を提示するとともに山口県の道路網を対象に適用を試みたものである。災害時においても、平常時に比して機能低下が小さくて済むように、道路途絶の発生を考慮し施設系の配置を含めた交通網計画を立案することを目標としている。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作成し、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、かつ総整備費用を最小とする整備計画路線の選定を行うための計算手法を提示した。

Key Words : *redundant highway network, medical facility location*

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が少なからず存在する。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、これらの施設が交通網で連携され、人命を保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成方法について考察する。

これまでは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。本稿では、特に施設ノードへのアクセスの確保に着目し、災害等にもなう道路途絶の発生時においても、近隣の施設ノードへのアクセスを確保できる道路網のネットワーク構成のための基礎的な研究成果を取りまとめる。

2. 施設ノードへのアクセスを2系統で保証する道路網の構成問題

(1) 問題の明確化

著者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²⁾。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地域で中心的な役割を担う救急告示病院、あるいは災害の発生を念頭においた広域防災拠点への緊急輸送ルートの選定においては、任意の都市ノードから当該施設の存在する最寄りの都市ノードへのアクセスの確保が課題となる。

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、道路途絶の発生を考慮に入れ最寄りの都市ノードへの到達を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、基本的に道路リンクのみに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、道路網構成に焦点を当てている。都市施設の機能停止が生じる場合については、現状の分析結果のみ例示する。

代替施設の存在を考慮した上で、道路途絶時の機能低下を表現する道路網の評価指標を作成する。ここで施設利用において、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している。この評価指標を制約条件に用い、平常時に使用する最寄り施設へのどの経路が途絶しても、同様の施設への到達を任意の基準で可能とし、総整備費用が最小となる道路整備計画案を導くこととした。

(2) 最寄り施設へのアクセスに関する評価指標と計算手順

目的地とする都市ノード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、既往の研究²⁾で提案してきた経路代替性指数RIにおいて、評価対象とする経路数を2経路に限定し、目的地の変更を考慮した場合に拡張したことに相当する。本稿においても1番目目的地への経路を基準ルートと呼ぶこととする。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SPij、目的地j1への最短経路すなわちj1への基準ルートをPo,ij1、Po,ij1のlij1(lij1=1,...,lij1max)番目構成リンク途絶時におけるj2への最短経路を(Pai,j2)_{lij1}、経路Pの所要時間をt(P)で表す。

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lij1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いる。このRIDi指標は、1番目目的地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,ij1)とt(Pai,j2)_{lij1}が等しいとき2.0、t(Pai,j2)_{lij1}がt(Po,ij1)に比し大きくなるに従い1.0に近づく性質をもつ。

$$RIDi = \min_{l,j1} LRID_{l,j1} \tag{1a}$$

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

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

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

(l, j1 = 1, \dots, l, j1max)

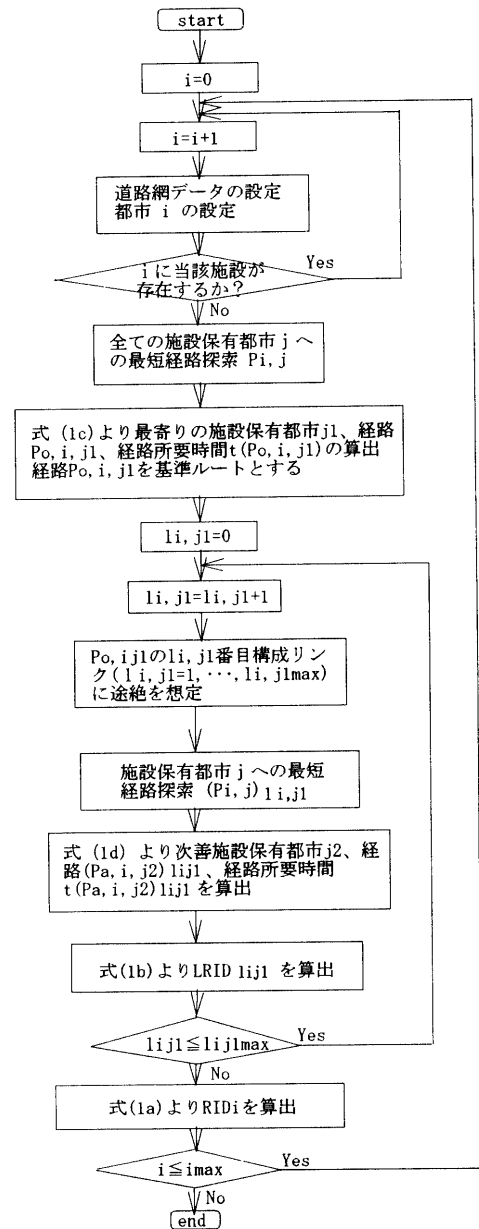


図1 RIDi指標の計算手順

(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ことを課題とした。

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だが、本稿では各市町村が同等の水準を有することを目標に同一の値を与えた場合の分析例を示している。

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 $RiDi^-$ の制約を満たし、1番目目的地への経路が途絶した際に使用する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2)に開発したハイブリッドGAを改良して用いた。この際、1次ネットワークは、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という手順をとった。

具体的な計算手順は、以下のようである。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、選定の対象となる代替案道路リンク、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

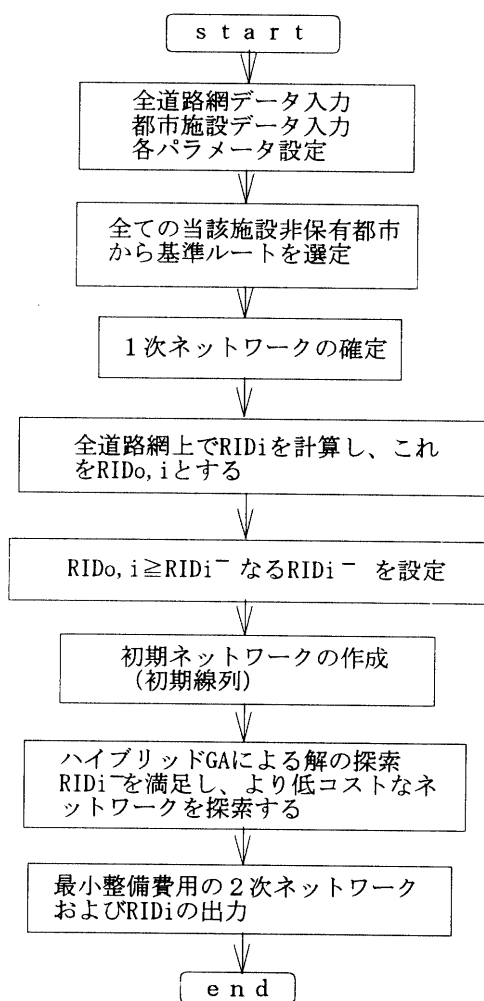


図2 ネットワーク構成の計算手順

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有している。

3. 事例

(1) 現状分析

(a) 問題設定

山口県内のすべての救急告示病院を対象として、平常時と異常時の比較を行った現状分析結果を例示する。

ここでは最寄りの施設への経路に途絶が生じた場合と、最寄りの施設そのものに機能停止が生じた場合の両者のケースについて計算している。現段階では、経路の途絶と施設機能停止は独立に扱っている。

対象道路網は山口県全域の主要県道、一般国道、高速道路（平成6年時点）とした。医療施設は、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計算を行っている。

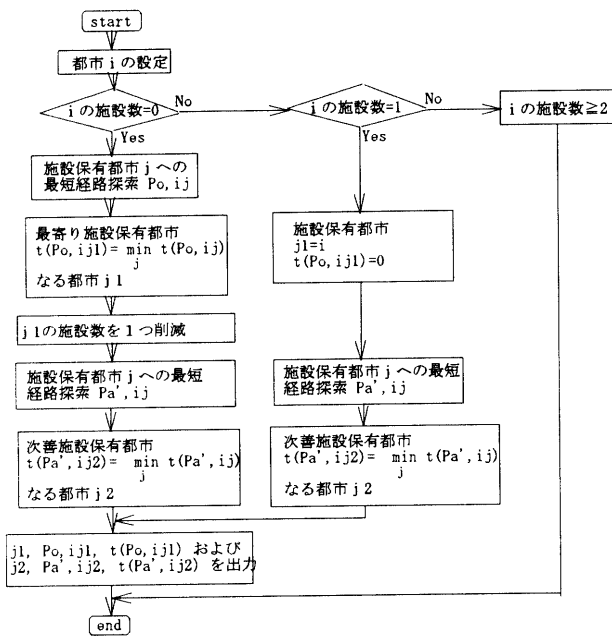


図3 施設機能停止を考慮した場合の最寄り医療施設への所要時間等計算手順

具体的な計算手順は、以下のようなものである。

経路途絶を考慮した場合の計算手順は、2章2節に前述している。

ただし、本節では式(1c)により求まる1番目目的地への所要時間に対し、式(1d)より求められる次善目的地への所要時間の内の構成リンクに関する最大値(式(2a))を直接比較する。

$$t(Pa, ij2) = \max_{i, j1, j} \min_{j} t(Pa, ij) \quad (2a)$$

施設の機能停止を考慮した場合は、平常時における最寄りの1医療施設にのみ、機能停止が生じる場合を想定している。都市 i に当該施設が存在しない場合、式(1c)より同様に j1 が求められる。また式(2b)より j2 が求められる。ここで Pa' は、最寄りの施設が停止した場合の他の施設への経路を表す。具体的な計算手順は、図3のようである。

$$t(Pa', ij2) = \min_{j} t(Pa', ij) \quad (2b)$$

(b) 計算例

計算結果を図5～図7に例示する。対象とした道路網および市町村ノードは、図4で示した。

図5は、平常時、経路途絶発生時、および施設機能停止時の場合の最寄り施設への所要時間を、各々降順にグラフ化したものである。グラフ左側の市町村に、施設アクセスにおける課題が存在することを指摘している。

平常時においても対象医療施設への所要時間が数十分を要する市町村が数多く存在し、異常の発生が

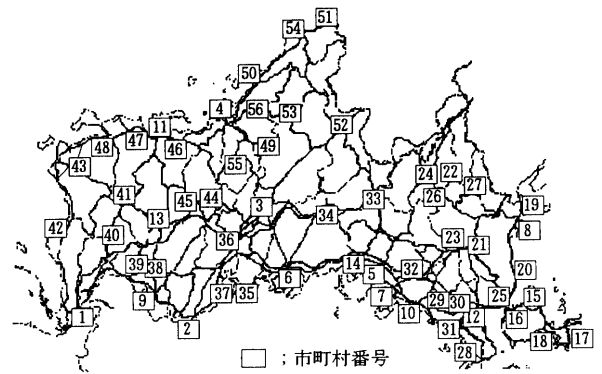


図4 対象道路網

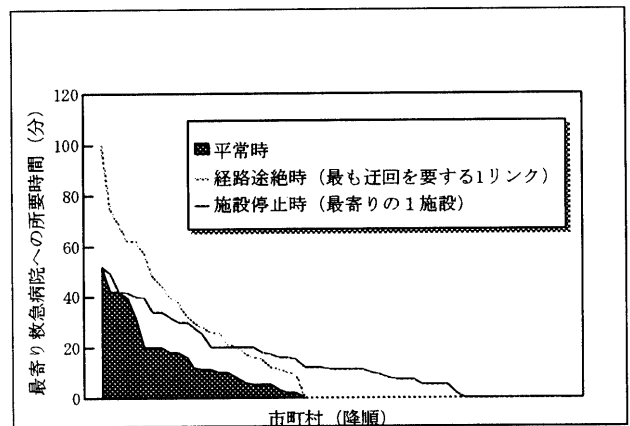


図5 経路途絶発生時の最寄りの救急告示病院への所要時間

一層の所要時間の増大をもたらしていることを確認できる。

本稿の計算条件の限りにおいて、経路途絶の発生を考慮した場合の方が、施設機能停止を想定した場合より所要時間の増加が大きくなることが示される。これは対象施設が都市部に複数で存在することが多いため、経路の途絶の方が施設への到達に大きく影響を与えることを表しているものと考えられる。

図6・図7は、経路途絶発生時および施設機能停止時における最寄りの救急告示病院への各市町村からの所要時間を、平常時と比較し具体的に示したものである。

これらの図から、どの市町村において施設利用上の課題があるかを、平常時との比較において知ることができる。平常時と異常時のギャップが大きい市町村、異常時に特に課題のある市町村が指摘される。

課題のある市町村を抽出した上で、その市町村からの目的地や選定経路等の計算過程より、どの市町村の医療施設を確保すべきか、あるいはどの道路リンクを確保すべきか等を、具体的に調べることが可能である。

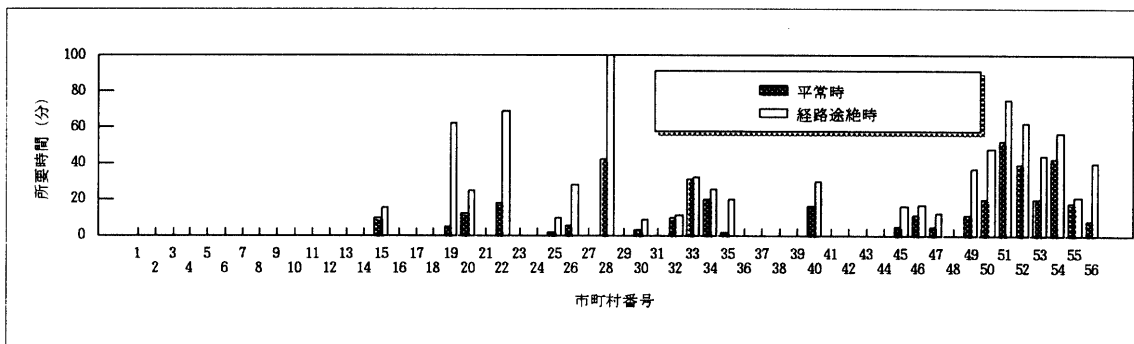


図6 経路途絶発生時の救急告示病院へのアクセス

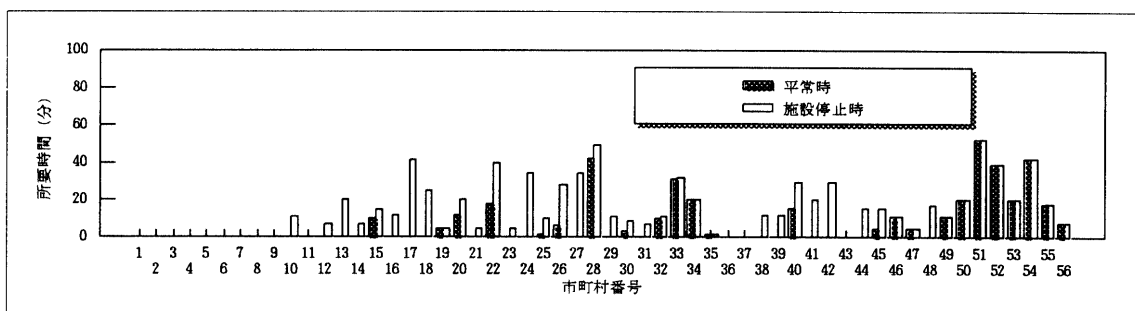


図7 施設機能停止時の救急告示病院へのアクセス

(2) 緊急輸送道路網の構成例

(a) 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、当該施設へのアクセスを2系統で保証する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に2系統を確保する問題を扱うこととした。

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8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。

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概算した値を用いた。

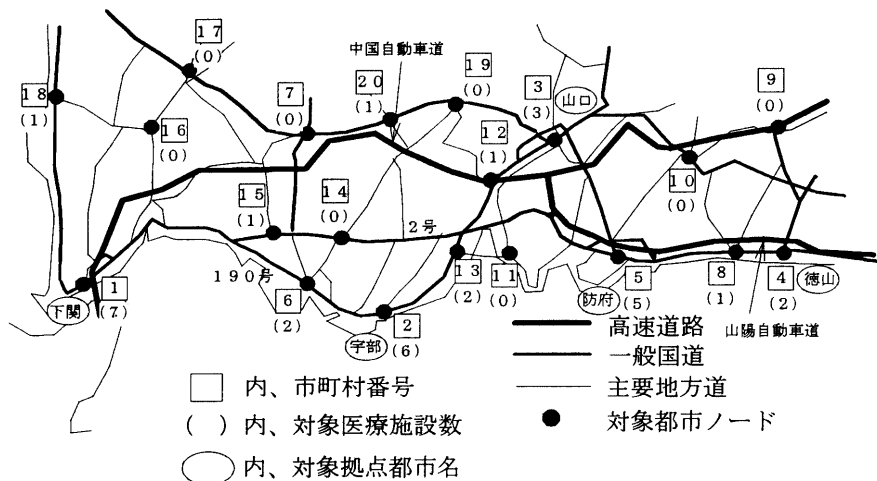
(b) 拠点医療施設への経路確保に関する分析結果(ケース1)

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9、図10、表1に例示する。

図9が1次ネットワーク、図10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10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、防府が1番目目的地として選択されている。防府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への経路が選択されている。またこの経路は、市町村番号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。



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	美祢	新南陽	鹿野	徳地	秋徳	小郡	阿知須	橋	山陽	菊川	豊田	豊浦	美東	秋芳

図8 対象道路網

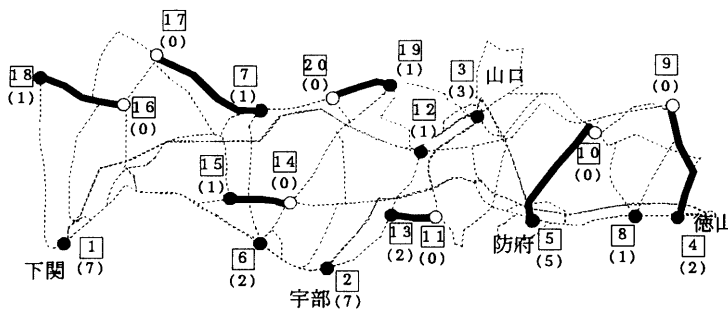


図9 100床以上の救急告示病院への1次ネットワーク

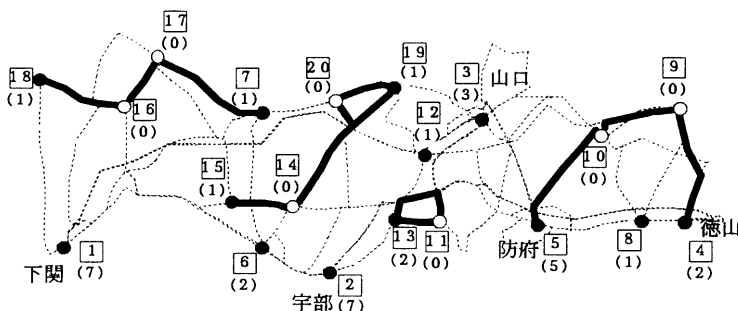


図10 100床以上の救急告示病院への2次ネットワーク

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

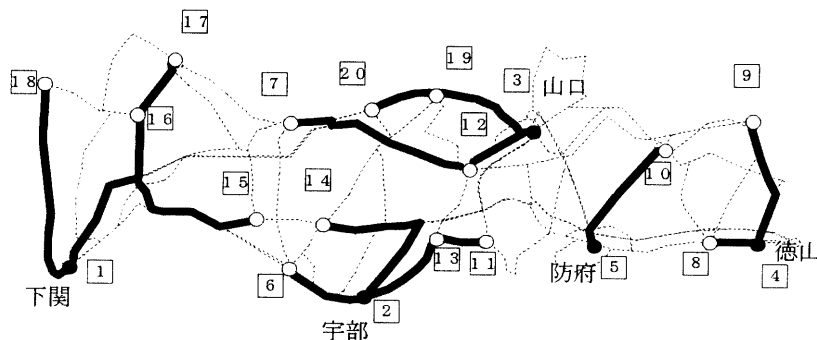


図 11 拠点都市への1次ネットワーク

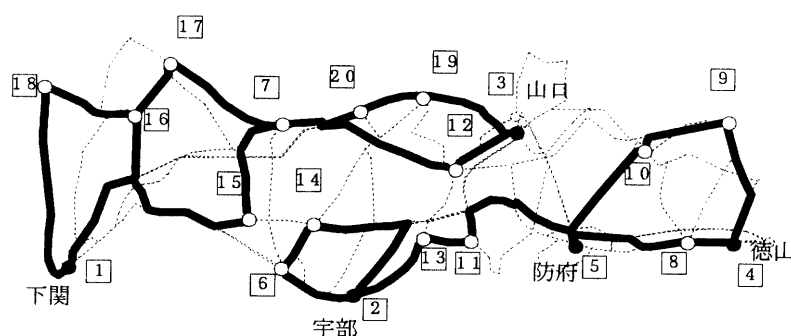


図 12 拠点都市への2次ネットワーク

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
R I D _{o, 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
R I D _i	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

(c) 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11、図12、表2に例示する。

図11が1次ネットワーク、図12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RIDo,iの最小値が、市町村番号8における1.27となったため、RIDi=1.27と設定して2次ネットワークを探索した。図12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が、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総整備費用は小さく

なっている。

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系統のアクセス経路が確保されていることが確かめられる。

図12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系統で保証されている。

4. おわりに

本稿では、拠点的な都市施設への輸送ルート確保を目的とし、目的地変更を考慮に入れ都市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。

また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。複数の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) たとえば、中央防災会議国土庁防災局編：防災基本計画、1995
- 2) 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
- 3) 南正昭・高野伸栄・加賀屋誠一・佐藤馨一：拠点的医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路網のネットワーク構成、土木計画学研究論文集（投稿中）

(1997. 4. 15 受理)

THE 2-REDUNDANT HIGHWAY NETWORK DESIGN ASSURING THE ARRIVAL AT A CENTRAL MEDICAL FACILITY

Masaaki MINAMI

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. In general, an emergency traffic has to choose the nearest emergency facility. But if the highway network were damaged by the natural disaster, the driver would not always arrive at the nearest destination. This method aims at the design a highway network on which a driver can arrive at a medical facility within allowable travel time even if some parts of the highway network are damaged. Some calculation results of the regional highway network in Yamaguchi prefecture are shown.