

震災時における医療施設への不到達率評価

025205 窪田順次 025206 田中愛子 025214 水谷清隆
指導教官 鈴木 勉

1 はじめに

平成7年(1995年)兵庫県南部地震では約6,432人の直接的な死者、約4万人の負傷者が発生した。被災地では道路の損壊並びに沿道建築物等の倒壊により道路容量が著しく低下し、そこへ救助、救急活動等の車両が集中し、幹線道路は大渋滞を引き起こすこととなった。この交通機関の麻痺により負傷者の搬送を円滑に行うことができず、交通網の整備について様々な問題点を残した。

本研究では、神戸市東灘区を対象地域とし、震災時における医療施設への到達のしやすさを道路幅員と病院の規模を用いて評価する。また、震災後の道路整備の有効性を、震災前・後で比較することによって評価する。

2 阪神淡路大震災の概要

- ・発生日時 平成7年1月17日(火)5時46分
- ・震源 兵庫県淡路島北部
- ・規模 マグニチュード 7.2
- ・震源の深さ 16km
- ・死者 6,432人
- ・行方不明者 3人
- ・負傷者 重傷 10,683人
軽傷 33,109人
- 計 43,792人(平成12年12月27日自治省消防庁災害対策本部調べ)

この地震は、戦後最大となる都市直下型の地震であり、その特徴として、

- ・大都市を直撃した地震のため、電気、ガス、水道など被害が広範囲になるとともに、新幹線、高速道路、地下鉄が損壊し、社会基盤(ライフライン)に壊滅的な打撃を与えた。
- ・古い木造住宅の密集した地域において、地震による大規模な倒壊・火災が発生し、特に神戸市兵庫区、長田区などでは大火災により多くの被害を被った。
- ・都心を中心とした中枢管理機能、商業、業務機能の停滞等といった様々な被害をもたらした。

などがあげられる。

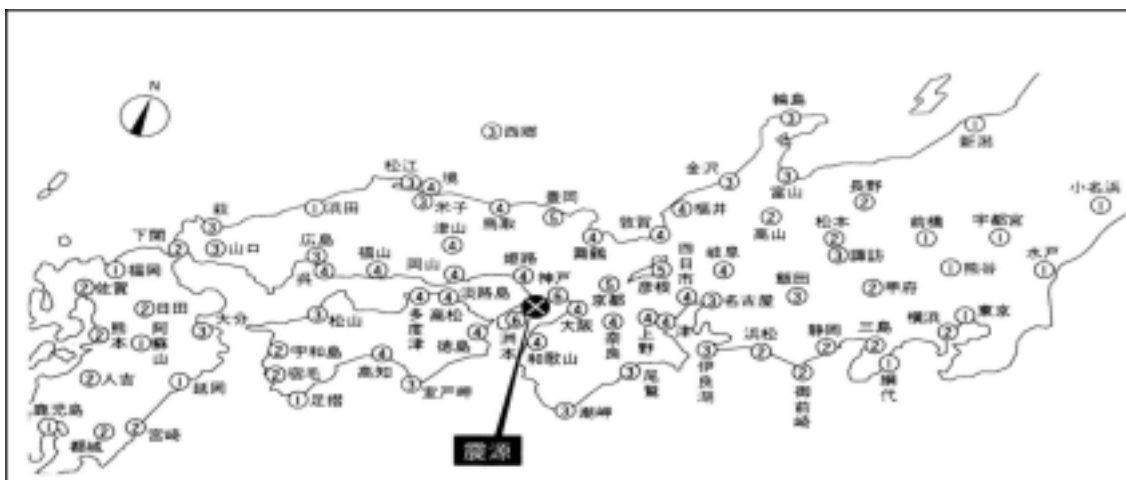


図1 震源地(文献[5])

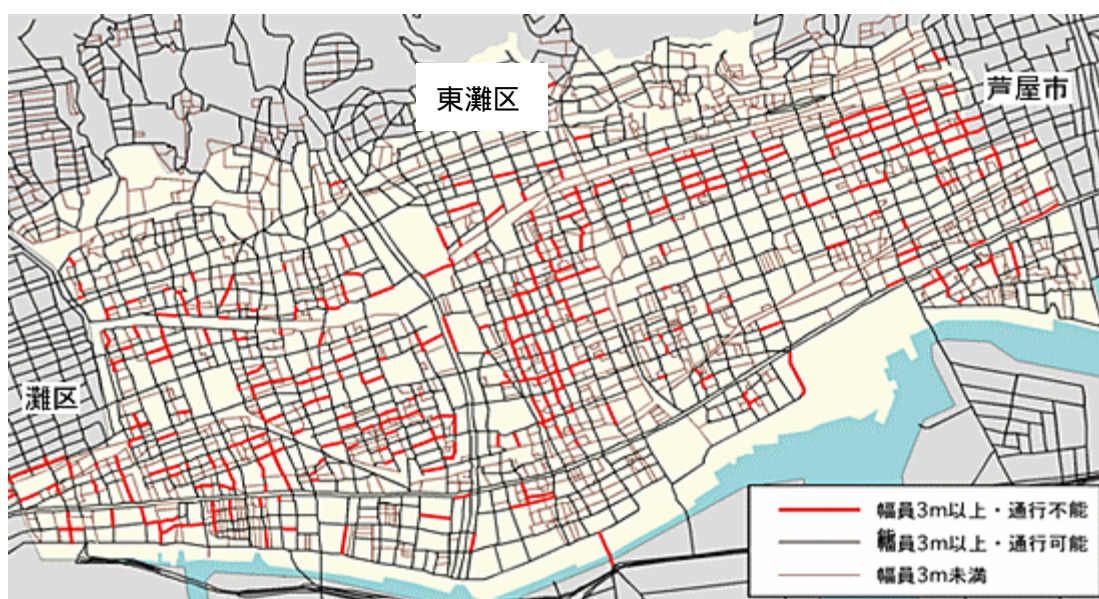


図2 東灘区における道路閉塞状況(文献[1])

3 被害状況について

3.1 神戸市内における人的被害

兵庫県南部地震により発生した重傷者は神戸市合計で 6,300 人であり、そのうち東灘区内で発生した重傷者は 2,717 人と全体の約 40%を占めている(表 1)。次に重傷者の多かった灘区、長田区の 816 人に比べてはるかに多く、東灘区における被害の大きさを示している。

本研究では重傷者の最も多く発生した東灘区を対象地域とする。

表 1 兵庫県南部地震における死傷者数（文献[3]）

市区町村名	死者	重傷者	軽傷者	負傷者計
神戸市合計	4,571	6,300	8,378	14,678
東灘区	1,471	2,717	467	3,184
灘区	933	816	1,077	1,893
兵庫区	555	532	1,114	1,646
長田区	919	816	626	1,442
須磨区	401	424	2,215	2,639
垂水区	25	205	982	1,187
北区	12	93	623	716
中央区	244	478	956	1,434
西区	11	219	318	537
神戸市外	1,836	3,700	21,714	25,414
合計	6,407	10,000	30,092	40,092

(単位:人)

3.2 対象地域内（東灘区）の医療施設

東灘区には5ヶ所の病院と12ヶ所の診察所が存在した。しかし、地震の影響により診察所は全て診察不能となり、5ヶ所の病院のうち診察できたのは3ヶ所の病院だけであった。また、診察可能であった病院についてもライフラインの途絶や施設的な被害により、高度な医療行為は行うことができず、被災地外への転送が多くみられた。

診察可能であった3病院

- ・甲南病院
- ・東神戸病院
- ・六甲アイランド病院

診察不可能であった2病院

- ・宮地病院 倒壊
- ・住吉川病院 透析専門

甲南病院 甲南病院は、山の手にある私立の病院で、当時は救急指定病院ではなかった。震災直後から被災者を積極的に受け入れた病院で、東灘区内で災害医療の中心的な役割を果たした医療機関である。

神戸病院 震災時には、甲南病院とともに東灘区における災害医療の中心的な役割を果たした病

院である。

六甲アイランド病院 人工島にあり、震災直後の混乱した中で橋が落ちたという誤情報のために、一時搬送された島民以外の重傷者は比較的少なかった。

表 2 東灘区における医療施設（文献[3]）

病院名	病床数	兵庫県病院名簿指定	震災後診察状況	震災当日 救急外来	震災当日 勤務できた医師数
甲南病院	400	総合病院	診察可能	約 1000 人	38 人
宮地病院	199	救急指定病院	倒壊により診察不可能		
東神戸病院	150		診察可能	約 540 人	20 人
住吉川病院	41	透析専門病院	透析専門により診察不可		
六甲アイランド病院	307	総合・救急指定病院	診察可能	157 人	25 人

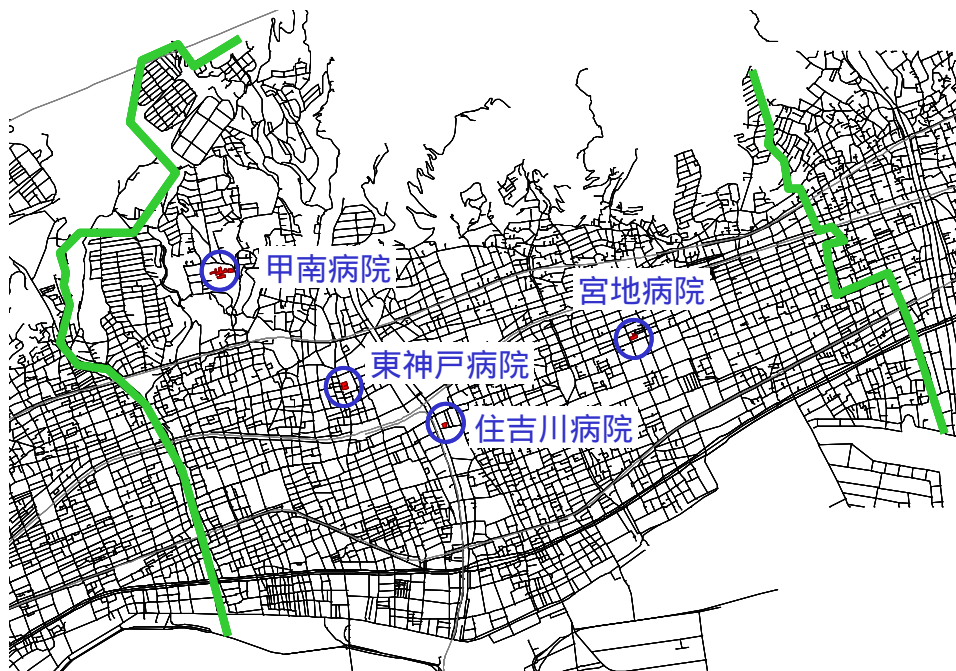


図 3 東灘区の病院位置

4 不到達率の推定方法

対象地域内(神戸市東灘区)における、各町丁目から最寄りまたは病床数での重み付け最寄り病院までの不到達率を推定するために、以下に挙げる制約条件のもとで指標(0~1)を求めた。

- (1) 道路については、各町丁目を囲んでいる道路および町丁目内を通過する幅員の大きな道路を抽出した(図4)。
- (2) 病院の選択については、各ノードから最も距離が近い病院を選択した。
- (3) 各病院までの経路は、Dijkstra法による最短経路を用いた。
- (4) 各町丁目の不到達率については、町丁目を囲んでいる点(以下「ノード」という)ごとに算出した不到達率の平均とした。
- (5) 不到達率の推定には、「重み付け」をした場合とそうでない場合の2つのパターンを考えた。その際の「重み」として、各病院の病床数を用いた。

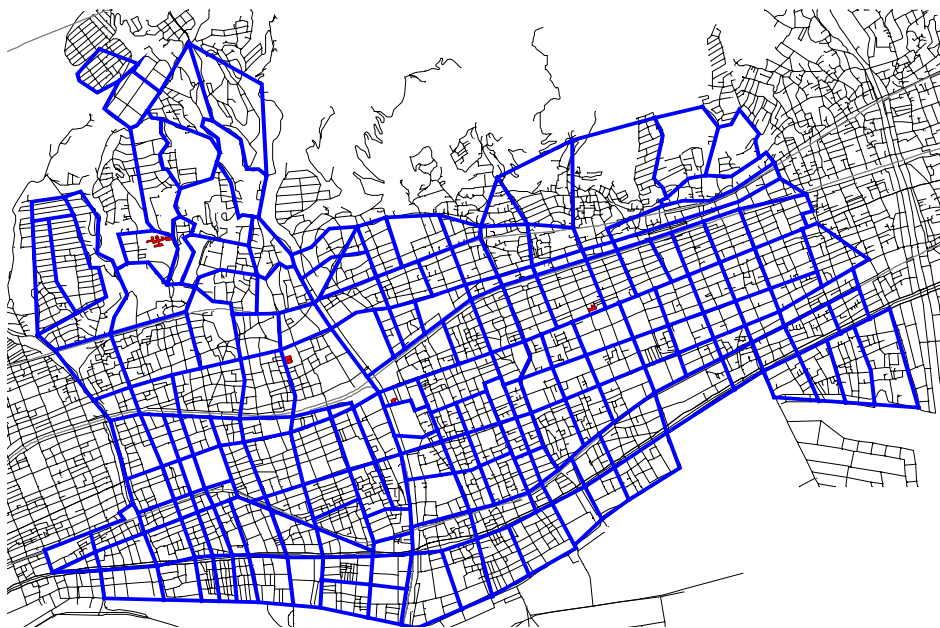


図4 抽出した道路ネットワーク

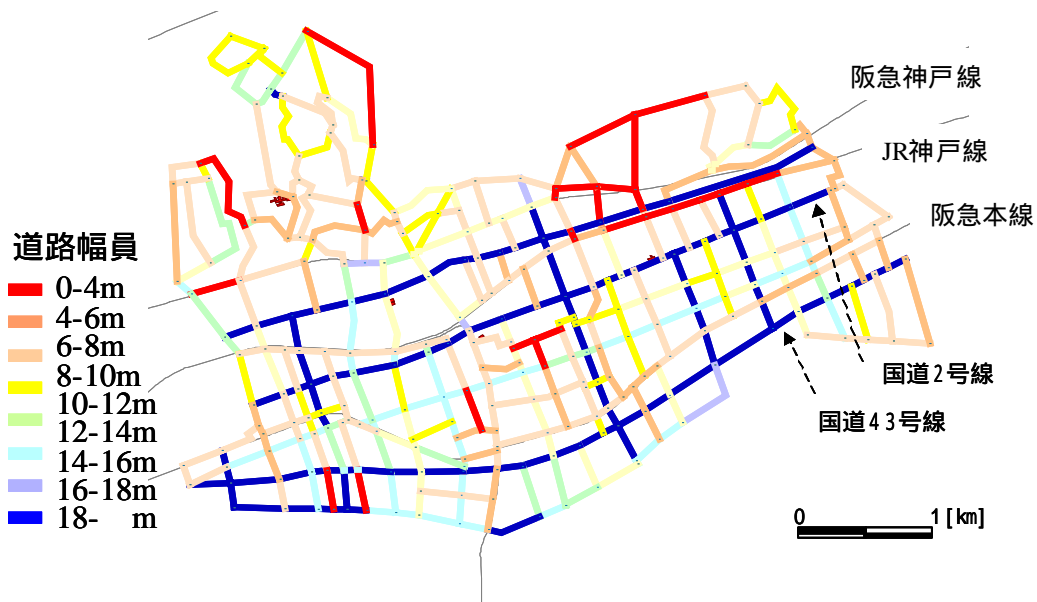


図5 道路ネットワークの幅員別色分け

4.1 道路閉塞率の算出方法

道路の閉塞率については、道路幅員をもとに算出した。算出方法については以下のとおりである。

- a 各町丁目を囲んでいる道路、すなわちノードとノードで結ばれた道路（以下「リンク」という）の幅員を計算した。
- b 各リンクごとに、幅員別に図6を参考にして閉塞率を算出した。

< 閉塞率の算出 >

図6のグラフを道路幅員と閉塞率（車両通行不能）の関係で表すと図7になる。ここで、道路幅員 x と閉塞率 p の関係を示した近似曲線の式として、

$$p = \exp(-\alpha(x - 2.9)^2) \quad (1)$$

を用いた。ここで、 α はパラメータであり、実際に被害が大きく閉塞率が高かった JR 神戸線以南と比較的被害が少なかった JR 神戸線以北とを区別しており、

$$\text{JR 神戸線以南} \quad \dots \quad = 0.0203$$

JR 神戸線以北 . . . = 0.0323

で、各リンクごとの閉塞率を算出した。また、 $x - 2.9$ としたのは、本研究では車両通行を対象としているため、2.9m未満の道路は通行できないものとして考えたからである。

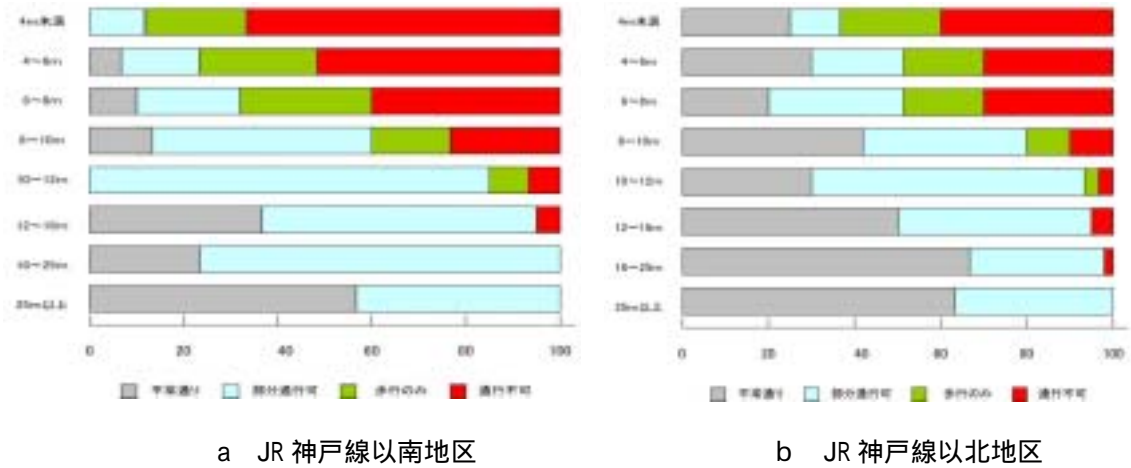


図6 幅員別道路閉塞状況 (文献[2])

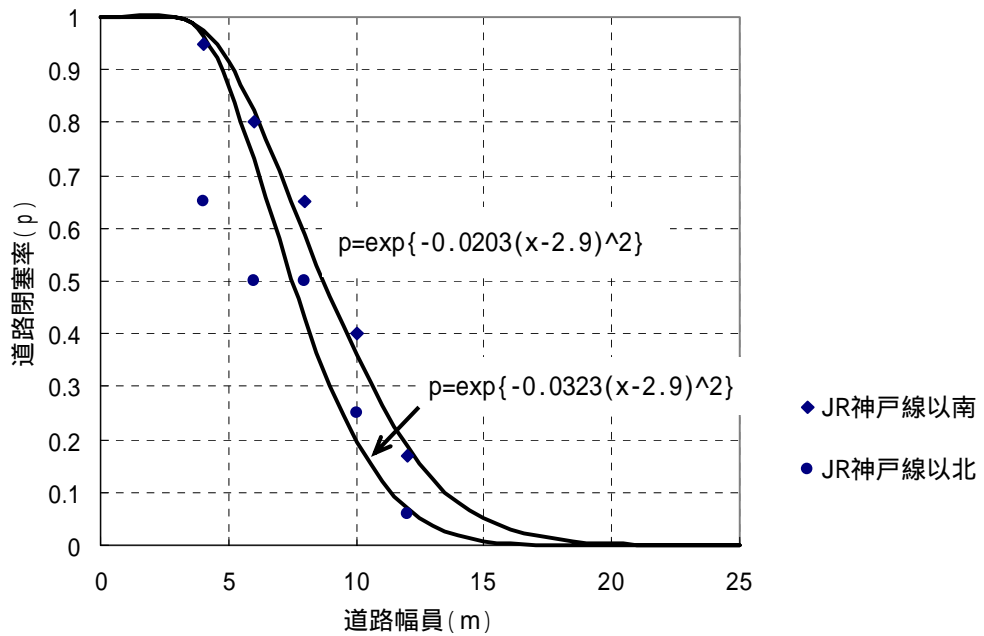


図7 道路幅員と閉塞率の関係

4.2 不到達率の算出方法

a 各ノードから病院までの不到達率の算出方法については以下のとおりである。

- (1) ノードからそれぞれの病院までの最短距離 l を計算する。(Dijkstra 法)
- (2) ノードごとに最短距離 l を比較して、最も近い病院をそのノードの最寄り病院として割り当てる。
- (3) ノードから病院までの不到達率 P を、

$$P = \frac{\sum_i p_i l_i}{\sum_i l_i} \quad (2)$$

により算出する。ここで、 p_i はリンク i における閉塞率、 l_i はリンク i の長さを示している。

- (4) 各ノードごとに(1)から(3)を繰り返して、そのノードにおける不到達率 P を算出していく。

b 「重み付け」について

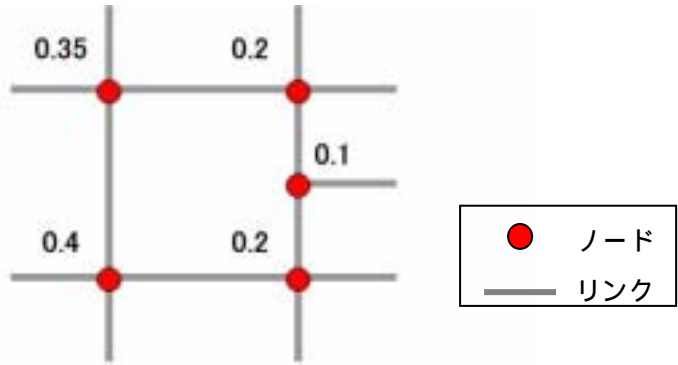
病院の選択のやすさとして、各病院の病床数を「重み」として用いた。

甲南病院	・・・	400床
宮地病院	・・・	199床
東神戸病院	・・・	150床
住吉川病院	・・・	41床

病床数が多い病院ほど選択しやすい病院であると考えた。そこで、不到達率の算出過程において、a - (1)で求めた最短距離 l を各病院ごとの病床数で割り、その結果を用いて(2)～(4)を計算した。

4.3 町丁目ごとの不到達率の推定方法

各町丁目を囲んでいる各ノードの不到達率 P の平均を、その町丁目における不到達率の指標として用いた。図8ではその例を示してある。点がノード、その隣に示してある数字がそのノードにおける不到達率 P を示している。ここで、点で囲まれている町丁目内の不到達率は、 $(0.35+0.2+0.1+0.4) / 5 = 0.25$ となる。このようにして、各町丁目ごとに、不到達率を推定した。



不到達率の平均 : $(0.35+0.2+0.1+0.2+0.4)/5=0.25$

図8 町丁目ごとの不到達率の算出方法

5 結果と考察

5.1 結果

東灘区における不到達率計算にもちいた道路と不到達率の色分けのラベルを図9に示す。以下の4パターンについての計算結果を図11～図16に示す。

震災前の道路幅員状況

ケース1 a: 最寄り病院への不到達率(4病院)

1 b: 重み付き最寄り病院への不到達率(4病院)

ケース2 a: 最寄り病院への不到達率(2病院: 甲南病院、東神戸病院)

2 b: 重み付き最寄り病院への不到達率(2病院: 甲南病院、東神戸病院)

震災後(拡幅後)の道路幅員状況

ケース3 a: 最寄り病院への不到達率(2病院: 甲南病院、東神戸病院)

3 b: 重み付き最寄り病院への不到達率(2病院: 甲南病院、東神戸病院)

各ポリゴンで算出された不到達率は0.1ごとに小さい値から大きい値へ寒色系から暖色系へと色分けして示した。各ノードの最寄り病院への割当てについてもノード上の小円で色分けした。

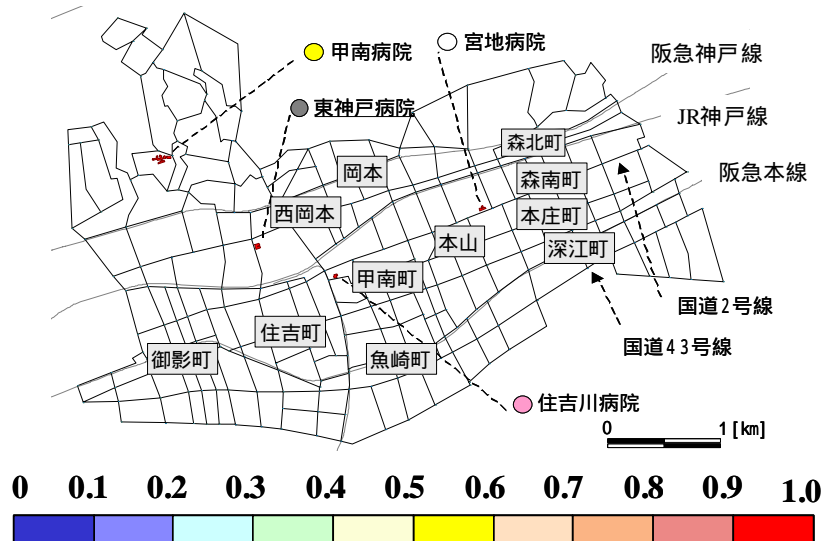


図9 不到達率の計算に用いた東灘区の道路

5.2 考察

a. 概観

図11～図16を概観すると、甲南病院周辺、森北町(北東部)、甲南町・魚崎町(中央南部)での不到達率が高いことがわかる。道路幅員に対する道路閉塞率はJR神戸線以北より以南のほうを大きくすることで地理的な条件を考慮したが、それでもなお甲南病院周辺および森北町の街路は細く、不到達率が高いということがいえる。甲南町・魚崎町は木造建築物の密集市街地であり、細街路が多い地区でもあり、阪神大震災では多くの道路閉塞が生じた。道路閉塞率にはその地区の建物特性(木造、非木造など)と道路幅員が大きく影響しており、またそれらも相関があ

ると考えられる。本研究の計算では対象地域の建物特性は考慮せずに道路幅員のみを用いたが、甲南町・魚崎町での道路閉塞率については十分に評価できたものと考えられる。

一方、ノードの病院への割当てに関しては、病床数を考慮した計算をすることで甲南病院の圏域拡大など現実的な結果が得られたと考えられる。

b. 震災前の道路幅員状況

ケース 1

4つの病院が機能した場合の不到達率の結果(ケース1aおよび1b)について考察を加える。最寄り病院の利用を考えた場合(a)、東神戸病院への割当てが生じた地区(御影町・岡本)の不到達率は非常に低くなっているが、病院の規模を考慮した重み付け最寄り病院の利用を考えた場合(b)は、aでの東神戸病院の割当てのほとんどが甲南病院へと移され、不到達率が増加している。住吉川病院の圏域は重み付けをするとほとんどなくなっている。これは一見、平常時は東神戸病院の利用を想定しているような地区でも、震災時に患者が集中した場合に当病院が満床になるような可能性を考慮すると必ずしも病院への到達率が高い地区ではないということがわかる。宮地病院では重み付けをすることで圏域をわずかに増加させているがaとbで大きな変化は見られない。ただ、宮地病院の圏域ではJR神戸線以北のほうが以南よりも不到達率が高い。これはJR神戸線をまたぐような南北方向の道路の幅員が小さいことが大きな要因である。それに対して、東西方向は国道2号線をはじめとして幅員の大きな道路が整備されている。

ここで、ケース1の結果および考察をまとめる。

- (1) 甲南病院周辺の不到達率が高い。また、甲南病院周辺の道路幅員の小ささが東灘区全体の不到達率を増加させており、その改善が不到達率減少に大きく寄与すると考えられる。
- (2) 甲南町・魚崎町では道路幅員のみを考慮した場合においても不到達率が高く、建物特性を考慮するとさらに不到達率が高くなることが予想される。
- (3) 不到達率は宮地病院への割当てである東南部(森南町、本庄町、深江町)がa,bともに低い。JR神戸線以北は南北方向の道路の幅員がボトルネックとなって不到達率が高くなっている。鉄道沿いの道路幅員は全体的に小さく、震災時には地区を分断する要因となる可能性を示唆しているものと考えられる。
- (4) 御影町・岡本では、震災時には甲南病院への割当てが予想されるが、甲南病院周辺の道路幅員の狭さにより不到達率が高くなっている。

ケース 2

次に、宮地病院と住吉川病院が機能しなくなった場合、つまり甲南病院と東神戸病院のみが機能した場合(阪神淡路大震災の状況)の不到達率の結果(ケース2aおよび2b)について考察を加える。最寄りの病院の利用を考えた場合(a)はほとんどが東神戸病院に割り当てられるこ

となり、全体的に不到達率は低くなっている。甲南町・魚崎町では東神戸病院へと割当ての変更が生じ、最短経路が変更されたのに応じて不到達率が減少している。しかし、このケースのように東灘区のほとんどの地区が東神戸病院へ割り当てられることは病床数からみても現実的でないが、当病院の病床数を増加させることは東灘区において有効であることを示唆している。一方、病院の規模を考慮した重み付け最寄り病院の利用を考えた場合（b）は、ほとんどの地区が甲南病院へと割り当てられる結果となった。森北町での不到達率の大幅な減少がみられた。これは宮地病院へは JR 神戸線をまたぐ経路であったのに対し、ケース 2b では甲南病院へ割り当てられることに伴い経路が変更になった、つまり JR 神戸線をまたぐ経路でなくなったためであると考えられる。森南町、本庄町、深江町では国道 2 号線がやはり不到達率を減少させる重要な経路であると考えられるが、甲南病院周辺の閉塞率の高さにより全体的に不到達率が上昇している。

ここで、ケース 2 の結果および考察をまとめる。

- (1) a は東神戸病院の病床数を考慮した場合、現実的な結果ではないが、不到達率は 4 つのケースのうち最も小さい。これは東神戸病院の病床数を増加させることが、不到達率の低下をもたらすことを示唆している。
- (2) b では甲南病院の圏域の大きさが顕著に表れたが、全体として不到達率が高い。しかし、森北町では不到達率の減少が見られ（ケース 1 と比して）、JR 神戸線をまたぐ南北方向の道路がボトルネックになっていることを顕著に表した。

c. 震災後の道路幅員状況

最後に震災後の拡幅された道路状況での不到達率について考察を加える。

まず、震災後、拡幅された道路を図 10 に示す。

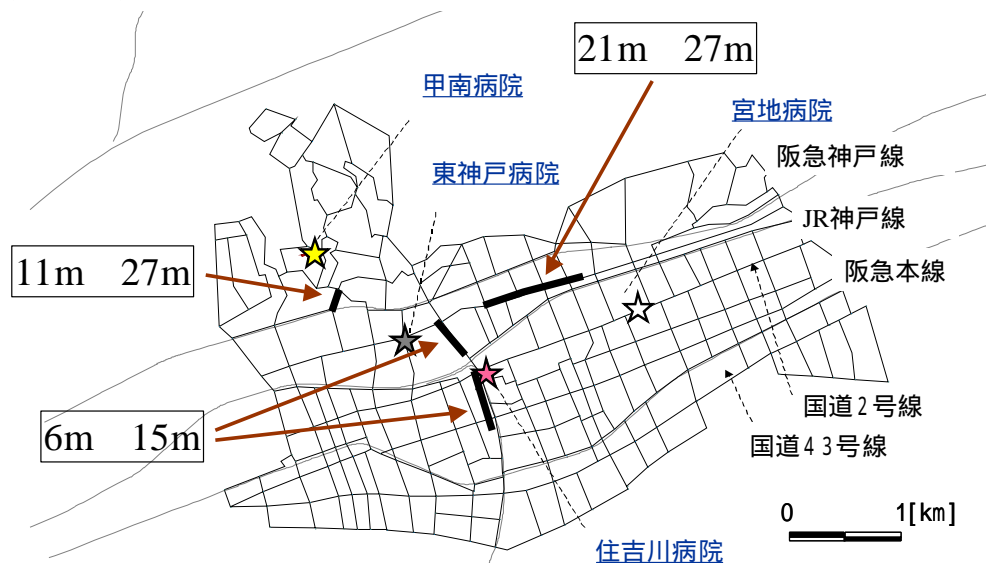


図 10 震災後に拡幅された道路

拡幅は甲南病院の南側、甲南町・魚崎町の北側と西側で行われているため、甲南病院周辺および甲南町・魚崎町での不到達率低下が期待されたが、結果的には甲南町・魚崎町での不到達率低下のみが顕著にみられた。重みつきでは多くのノードの病院割当てが甲南町に変更されたため、不到達率減少の地区は比較的狭い範囲であった。甲南病院周辺での不到達率減少があまりみられなかったのは、拡幅に対する閉塞率減少が小さく、また、整備された道路の距離が小さかったためと考えられる。

ここで、ケース3の結果および考察をまとめる。

- (1) 震災後の道路拡幅の効果は甲南町・魚崎町でみられたが、重みつきではその効果が小さく評価された
- (2) 甲南病院周辺での不到達率減少はみられなかった。これは拡幅に対する閉塞率減少が小さく、また、整備された道路の距離が小さかったためと考えられる。

6 まとめと議論

本研究では東灘区を対象地域として、各町丁目から4つの病院(甲南病院、東神戸病院、住吉川病院、宮地病院)への到達率を、道路幅員を用いて評価した。用いたデータは限定されたものであったが、甲南町・魚崎町での低い到達率や病床数で重み付けした場合の甲南病院の圏域拡大など現実的な結果を得ることができた。また、震災前後の道路拡幅事業による効果を評価した。さらに、到達率に関してボトルネックとなっている道路や病床数増加によって到達率の上昇が期待できる地区など今後、施設整備を進める上で重要な示唆を得ることができた。

一方で、本研究を通して、病院到達率評価についてより厳密な議論をするためにはさらにいくつかの重要な要因があることが認識された。その点について以下にまとめる。

- ・ 到達率上昇のために国道2号線は大きな役割を果たしたが、それは国道2号線へ交通が集中することを意味しており、交通ネットワークの信頼性という観点からも同時に評価する必要がある。
- ・ 重み付きありにせよなしにせよ最寄り病院への経路は必ずしも最短のそれを利用するとは限らず、ある程度の迂回ならば到達率の高い経路を利用することが予想されるが、本研究ではダイクストラ法を応用して経路を探索したため、迂回という要素を取り入れることができなかった。

7 謝辞

本研究を進めるにあたり、鈴木勉講師にはお忙しい中貴重なお時間を割いていただき、さらに的確なアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を記します。糸井川栄一先生には、貴重なデータを提供していただいたと同時に、様々なアイデアを挙げていただきました。心から感謝いたします。

防災研のみなさまには、重要な参考文献を貸与して頂いたとともに、雑談の中に様々な助言を

頂きました。ありがとうございました。研究を進めるにあたって、必要としたツールについては鈴木勉研の4年生に多大な協力をして頂きました。大変感謝しております。

8 参考文献

- [1] 今泉 恭一、浅見 泰司：震災時の道路閉塞推定に関する研究 - 防災街づくりのための密集住宅市街地整備方策の定量的比較研究、日本建築学会計画系論文報告集、第 529 号、pp.225 - 231、2000 年 3 月
- [2] 塚口 博司：道路幅員について、交通工学、Vol.30、増刊号、1995 年
- [3] 倉林 亜利砂：大震災時における重傷者の搬送に関する研究 - 阪神・淡路大震災時の神戸市東灘区を事例として、筑波大学第三学群社会工学類都市計画専攻卒業論文、2001 年
- [4] 神戸市消防局 <http://www.city.kobe.jp/cityoffice/48/index.html>
- [5] 西宮市消防局 <http://www.nishi.or.jp/~syobo/shinsaihyoushi.html>

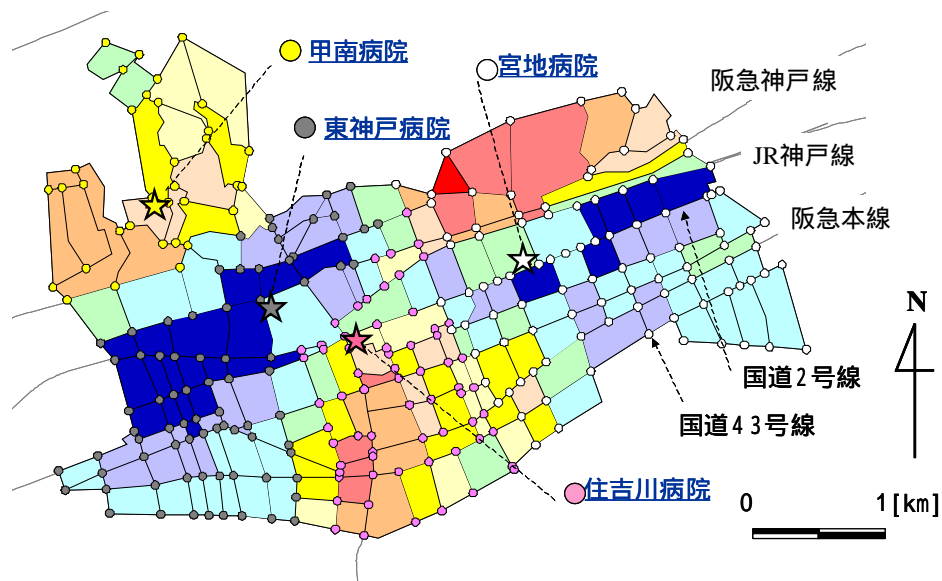
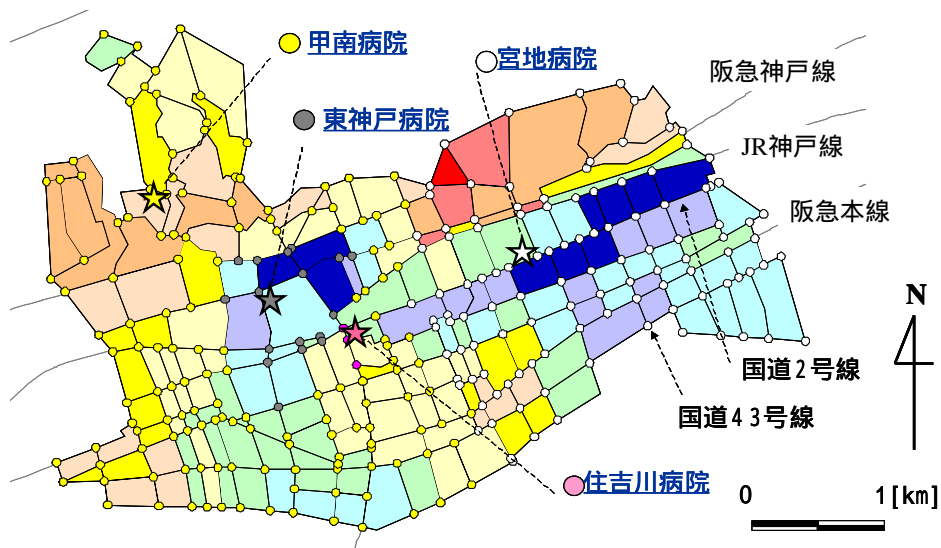


図 1 1 最寄り病院への不到達率 (4 病院)



不到達率

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

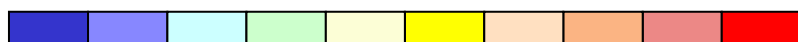


図 1 2 重み付き最寄り病院への不到達率 (4 病院)

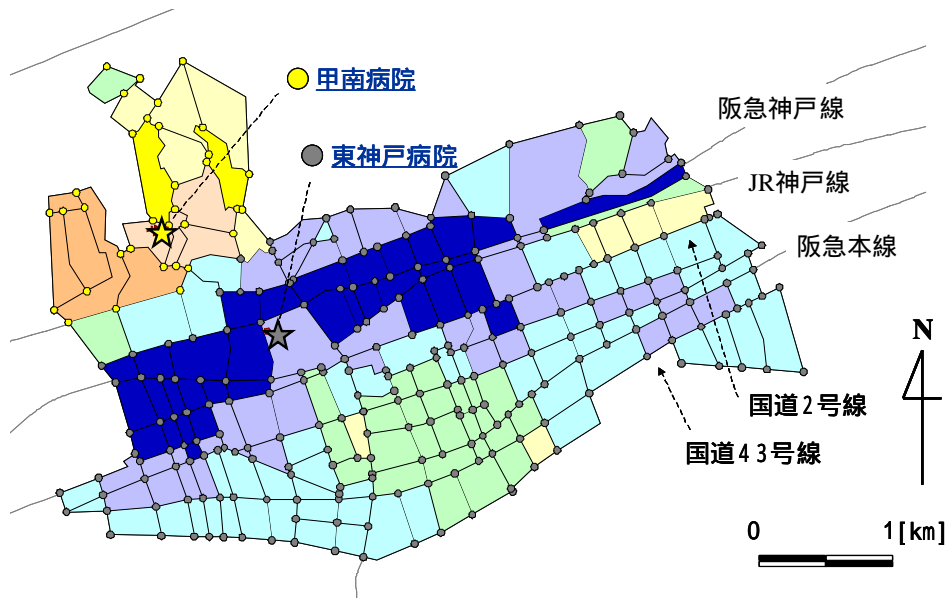
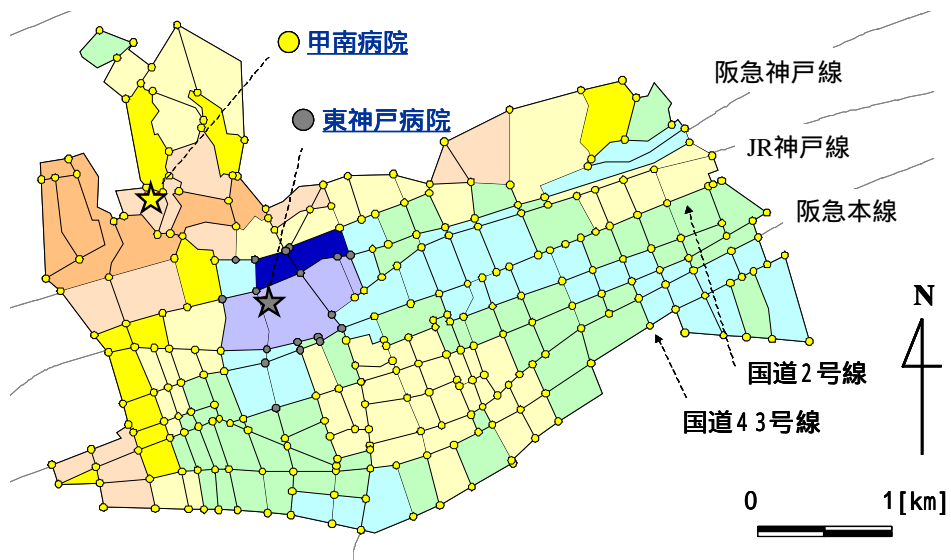


図 1 3 最寄り病院への不到達率 (2 病院)



不到達率

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

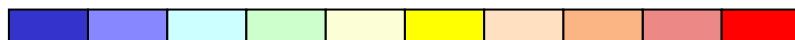


図 1 4 重み付き最寄り病院への不到達率 (2 病院)

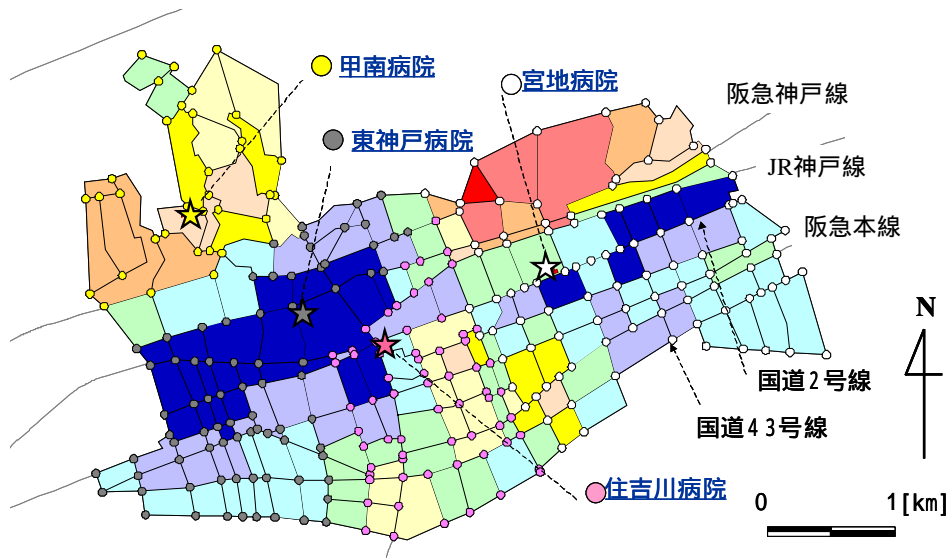


図 1 5 震災後の道路幅員での最寄り病院への不到達率 (4 病院)

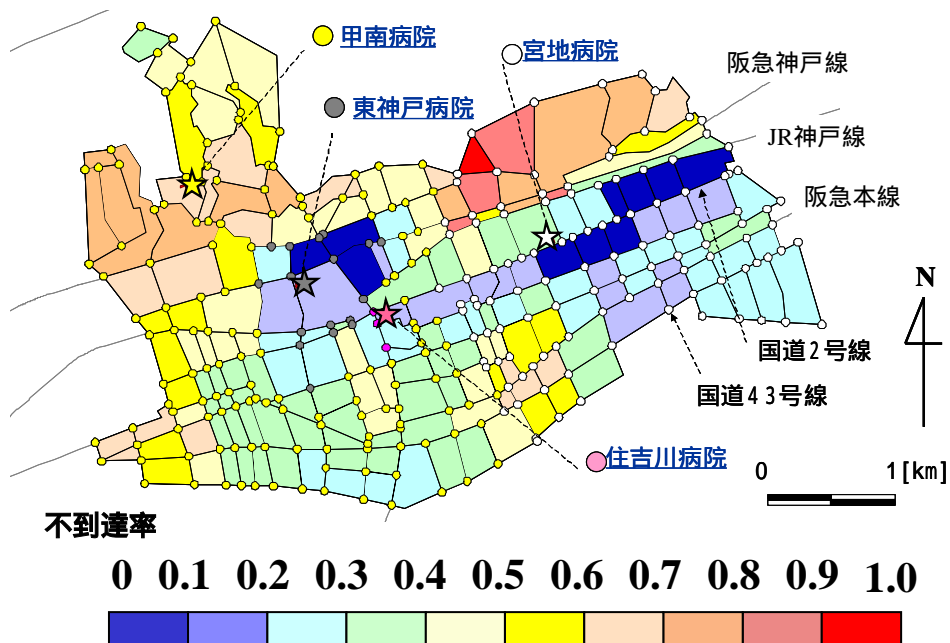


図 1 6 震災後の道路幅員での重み付き最寄り病院への不到達率 (4 病院)