

20031006

厚生労働科学研究費補助金
医療技術評価総合研究事業

地震災害に対応した医療施設の配置計画に関する研究

平成15年度総括研究報告書

平成16年3月

主任研究者 小林 健一
国立保健医療科学院
施設科学部 研究員

厚生労働科学研究費補助金
医療技術評価総合研究事業

地震災害に対応した医療施設の配置計画に関する研究

平成15年度総括研究報告書

研究組織

主任研究者：小林健一（国立保健医療科学院施設科学部 研究員）
共同研究者：山下哲郎（名古屋大学工学部社会環境工学科 助教授）
宇田 淳（広島国際大学医療福祉学部医療経営学科 助教授）
研究協力者：西澤志信（名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 修士課程）

研究期間

平成15年4月1日～平成16年3月31日（3年計画の1年目）

研究経費

平成15年度：3,500千円

健康危険情報

なし

研究発表

1. 論文発表：日本建築学会計画系論文集（予定）
2. 学会発表：日本建築学会学術講演会（予定）

知的財産権の出願・登録状況

なし

目次

第1章	はじめに	3
1-1	研究の背景	4
1-2	研究の目的と方法	10
第2章	結果と考察	13
2-1	外来患者データの概要	14
2-1-1	平常時の外来患者データの概要	14
2-1-2	震災時の外来患者データの概要	15
2-2	分析方法	16
2-2-1	ハフモデルの適用	16
2-3	平常時の外来患者数予測	18
2-3-1	平常時病床数分析	18
2-3-2	平常時二次医療圏ハフモデル予測	20
2-3-3	平常時徒歩圏ハフモデル予測	23
2-3-4	考察と予測式の決定	26
2-4	震災時の外来患者数予測	28
2-4-1	震災時病床数分析	28
2-4-2	震災時二次医療圏ハフモデル予測	30
2-4-3	震災時ポロノイ分析	32
2-4-4	震災時徒歩圏域ハフモデル分析	34
2-4-5	考察と予測式の決定	45
第3章	総括	47
3-1	まとめ	48
3-2	今後の課題	48
3-3	参考文献	49

資料編

第1章

はじめに

§ 1-1 研究の背景

§ 1-2 研究の目的と方法

第1章 はじめに

§ 1-1 研究の背景

1995年1月17日早朝に阪神淡路地域(図1-1)で発生した兵庫県南部地震^{註1-1}は、都市部で発生した震度7クラスの地震という事もあり、建物の倒壊被害だけでなく道路や鉄道などの交通網の破壊や、電気・水道・ガスなどのライフライン寸断など都市機能が破壊され、多くの被害が発生した。中でも、災害時に重要な防災拠点となるべき病院等の医療機関自体が地震による被害を受け、急務を要する医療活動に多大な影響が出た。この兵庫県南部地震を契機として、災害医療について再検討^{註1-2}が行われ始めた。

註1-1 1995年兵庫県南部地震：
1995年1月17日(火)午前5時46分に発生。
震央地名：淡路島(北緯34度36分、東経135度02分)
震源深さ：16km
マグニチュード：7.3
死者：6,430人、負傷者：43,782人。
気象庁発表より抜粋

註1-2 厚生省健康政策局指導課「災害拠点病院の指定状況について(1998年4月)」より引用。資料p7参照。

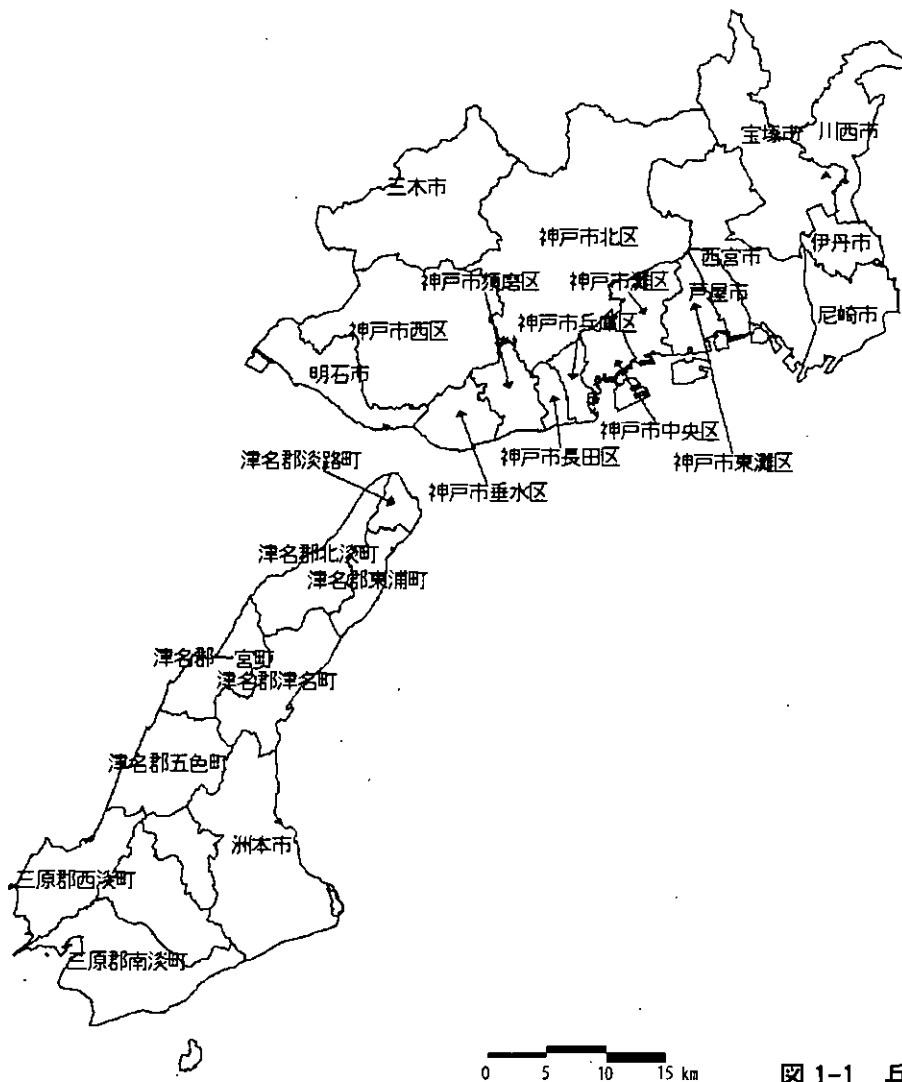


図1-1 兵庫県南部地震被害地域

震災に対する建築計画学からの研究としては、兵庫県南部地震以前では、地震時の火災による被害予測に関するもの、地震時の避難所の考察や避難行動をシミュレーションをしたもの、地震時の人的被害（要避難人口）を予測し避難地の検討をしたもの、地震時の人間行動を考察したもの、などがあげられる。また病院建築計画の分野では、近いものとして、平常時の救急医療に対して施設間距離をもとに医療施設配置を検討したものがある。また都市計画学の分野では、地震時の死者・負傷者数を予測したものがある。しかし、地震時に各病院を訪れる外来患者数を予測したものや、それを用いて医療施設配置の検討を行った研究はなかった。

兵庫県南部地震以降、災害医療計画に関するものでは、震災時を想定したアンケート調査により、住民の受療圏が徒歩圏内にあることを明らかにした、山下らの研究^{文献1}や、震災時の外来患者トリップ距離から病院の診療圏を明らかにした、小林の研究^{文献2}、震災時の病院の患者受け入れ能力を推定するモデルを検討した、今泉らの研究^{文献3}、震災時の死傷者の特性・行動を分析し、震災時の医療ニーズの動向と特性を明らかにした、大森らの研究^{文献4,5,6}、震災時の死傷者発生予測式を作成した、佐伯らの研究^{文献7}がある。

一方災害医学の分野でも、海外の災害医療体制に習い、救急震災医療に関する様々な検討が行われており、震災時の人的被害に関する予測もそのひとつである。しかし、震災時に病院へ訪れる外来患者数に関しては、すべての病院の規模を平均して、便宜的に平常時と同様に病床数に比例するとして予測されており、予測対象病院も救急指定病院に限られている。なぜならば災害医療の分野では、災害時の外来患者について次のように考えられていたからである。

「都市型地震災害では負傷者数が圧倒的に多くなる。負傷者はふだんから救急医療を行っている病院に集中する傾向にあり・・・」（『集団災害時における救急医療・救急搬送体制のあり方に関する研究』^{文献8}より引用）

つまり、震災時には地域の中核病院に負傷者が集中することを前提として、その病院が近隣との交通が遮断された場合、救急病院としての能力が極端に低下することを問題視している。ところが、実際に兵庫県南部地震が発生した時には以下のような状態となった。

「広域な被害をもたらした兵庫県南部地震では、地震直後から広範囲で道路の寸断と交通渋滞が生じた。被災患者の多さに加え、交通渋滞は救急車両が柔軟に活動する阻害となり、多くの負傷者は被災地近くの病院へ畳などにのせられて担ぎ込まれた。このことにより患者数のアンバランスが生じ、被災の集中地域にあって被害の大きい病院に被災患者が殺到し、やや遠く健全な病院に患者数が比較的少ないといった不都合が見られた。また機能損傷により診療不能となった病院からの患者搬送にも深刻な影響を与えた。」(『1995年兵庫県南部地震 医療機関とその救急医療に関する聞き取り調査報告』^{文献9}より引用)

詳しくみると、兵庫県南部地震時に医療機関が直面した問題として以下の項目があげられる。

「1. 施設被害と緊急治療の混乱

建物の全半壊につながるような構造的被害を受けた病院は無かったが、余震による破壊の危険性から被災患者の殺到と同時に入院患者を避難させる必要が生じたり、建築設備の被害も緊急医療活動の妨げとなった。

2. ライフライン停止及び医療機器・医薬品の被害の影響

ライフラインの復旧状況は、電気は地震当日、水道1週間～1ヶ月後、ガスは半月後であった。医療活動へ最も深刻な影響を与えたのは断水であり、直接の医療活動に加えて、飲料水、トイレの排水、炊事、水冷式自家発電機の停止など、

間接的に影響を与えている。また、精密医療機器の破損や医薬品などの医療活動に必要な物資の不足も医療活動の妨げとなった。

3. 交通渋滞及び通信の途絶

地震後すぐに交通渋滞が始まり、患者の搬送や医療スタッフの出勤に重大な影響を及ぼした。また、患者自身の行動も制限され、被害の大きい病院へ患者が集中するという不都合を招いた。」

(『1995年兵庫県南部地震 医療機関とその救急医療に関する聞き取り調査報告』^{文献9}より要約引用)

以上をまとめると、震災時に医療機関に起こった問題点とその要因として以下の2項目があげられる。

1. 訪れた外来患者に対して十分な医療活動を行うことができなかった。

要因1：震災後すぐの外来患者は外科・整形外科関連が圧倒的に多かった。

要因2：その処置に必要な医療機器・薬品などの量が平常時より増大した。

要因3：外来患者は震災直後に集中して被災した場所から近くの病院を訪れた。

2. 重症患者は搬送が必要であったが十分に行えなかった。

要因1：外来患者のうち2～3割以上は入院が必要な患者であった。

要因2：平常時でも病床のうち入院状況が8割～満床であったため、新たに発生した入院患者を収容することが困難であった。

要因3：交通網が破壊され、かつ適切な交通規制が行われなかったために交通渋滞が発生し、搬送を妨げた。

では、実際の外来患者数の実数はどれほどだったのだろうか。本研究の調査で得た、平常時（2003年^{註1-3}）と震災時（1997年）の外来患者数の関係を見てみると、被災1日目（1月17日）と真冬の平常時・1日平均外来患者数との関係は図2の様になり、平常時外来患者数と震災時外来患者数は相関が低い。平常時の外来患者数が病床数に比例することは良く知られているが、それを踏まえて図1-2してみると、平常時より震災時の外来患者数が減少した病院は病床数が大きい（平常時外来患者数絶対値が多い）場合が多く、平常時より震災時の外来患者数が増加した病院は病床数が小さい（平常時外来患者数絶対値が少ない）場合が多いといえる。

山下らの研究^{文献1}によれば、震災時に住民の受療圏は徒歩圏になることが明らかにされており、これは、平常時には病床数の大きい病院へ訪れていた患者が、震災時には病床数の大小に関わらず病院を選択しているといえる。

一方、平常時より震災時の外来患者数が増加した病院の地理的分布を、全壊率分布図^{註1-4}の上に重ねて見てみると図1-4のようになる（数字はコード番号）。これは震災時のデータを持つ病院の一部ではあるが、ほとんどの病院が全壊率が高かった地域とその極近辺にあることが分かる。これから、外来患者数が平常時より多いか少ないかが、病院が立地する地域の被災度に左右されるのではないかと推測される。

以上をまとめると、

1. 震災医療の分野における研究は、人的被害予測や受療行動の考察、医療のニーズ把握などは行われているが、各病院に訪れる外来患者数を予測したものは少ない。
 2. その外来患者数予測方法は、病床数、負傷者数を平均し、外来患者数は平常時と同様に病床数に比例するとして平均値を算出しており、個々の病院の被災状況などの実情が加味されていない。また、救急指定病院のみ考察されており、震災時に実際に外来患者が訪れた病院と合っていない。
- ということが分かる。

註1-3：ほとんどの病院の病床数は経年変化しないため、異なる年の外来患者数を用いた。

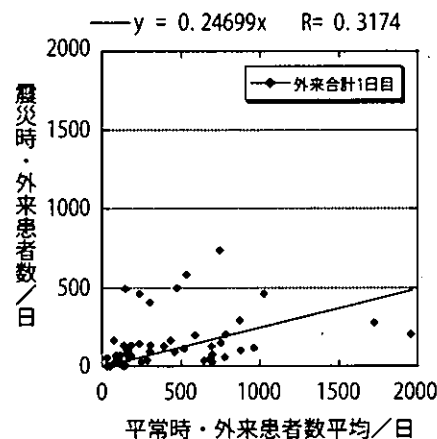


図1-2 平常時×震災時の関係

註1-4：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書CD-ROMのGISデータより、建築物被災度集計データを用いて建物全壊率分布図を描いた。全壊率は以下の式で計算された。

$$\text{全壊率 } D = \frac{\text{全壊または大破の建築物}}{\text{全建築物} - \text{火災による損傷建築物} - \text{未調査} \cdot \text{不明建築物}}$$

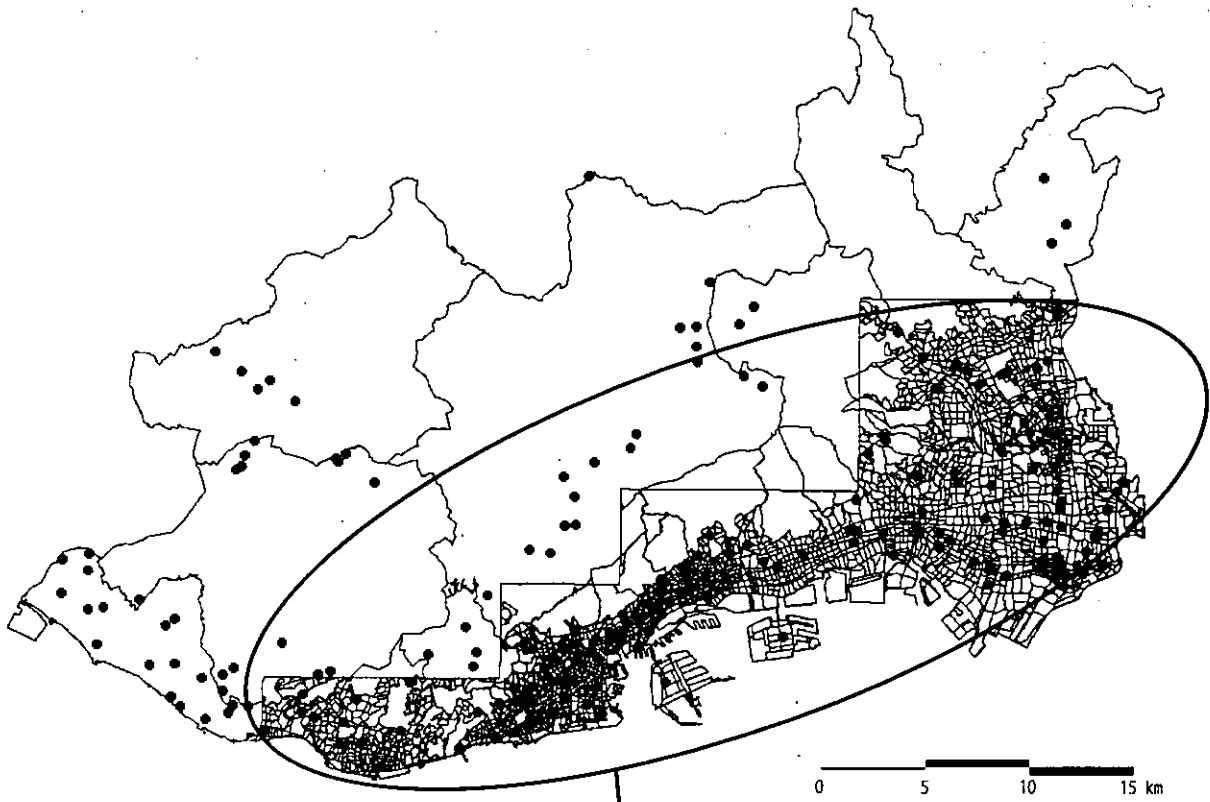


図1-3 阪神地域病院分布図

町丁目境界ポリゴンデータ: 全壊率_用途計_積数を 使用

■	0.39 - 1	(581)
■	0.1 - 0.39	(692)
■	0.01 - 0.1	(813)
■	0 - 0.01	(249)
■	0 - 0	(1323)

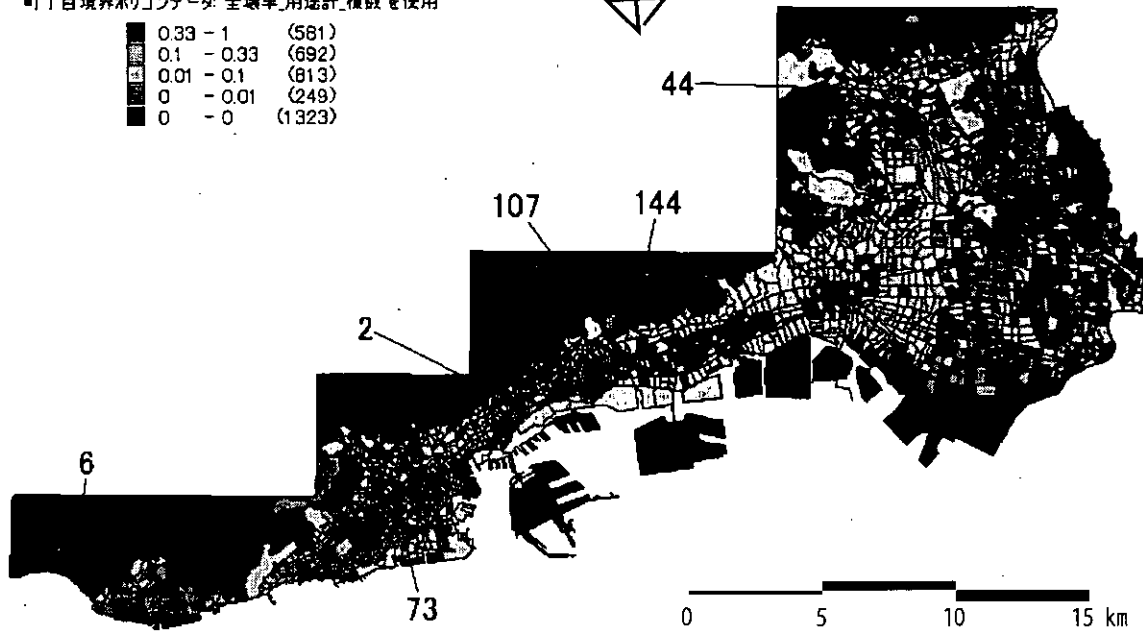


図1-4 被災地域全壊率分布図

§ 1-2 研究の目的と方法

本研究では、大規模な地震の発生が想定される地域の医療施設の配置状況について、地理情報システム（GIS）を用いたシミュレーション手法により、大規模地震発生直後の災害医療提供という観点から評価する方法を検討・開発する。具体的には、下記に示す3つの研究項目を各年度の目的として設定している。

研究項目1（平成15年度）

既往事例による地震災害時の患者受療行動に関する予測モデルの検討

初年度においては、被害調査等のデータが豊富である阪神・淡路大震災について扱った既往研究・文献のレビュー等を行うことにより、平常時と地震発生時での患者受療行動の差異について検討する。

既往の研究によれば、地震災害時の患者行動を検討する場合には、平常時の患者受療行動を前提とした地域医療計画とは異なる、さまざまな因子を考慮する必要があると思われる。地震災害時の患者行動および医療提供体制の整備に影響を与える因子としては、次のようなものが予測される。

[地理的要素]

地質・地盤、土地利用、道路・鉄道など交通網、水道・ガス・電気など都市基盤

[建築物]

医療福祉施設はじめ各種建物の分布状況、各種建築構造の割合

[人的要素]

昼間・夜間人口、高齢化率

これらの要素に加え、発生した地震による被害状況や、時間経過による影響などを加味した、地震発生時の患者行動予

測の方法について検討を行うことを、初年度の研究目的とする。

研究項目2（平成16年度）

地理情報システム（GIS）を用いたシミュレーションモデルの開発と妥当性の検討

前年度に検討した患者行動予測を、コンピュータ上で簡便に行うためのモデルを考察する。前述の各因子を反映する変数としては、各種の統計情報を利用することを想定しており、これらを盛り込んだ地図情報システム（GIS）によるシミュレーションモデルを検討する。利用可能なデータとしては、国土地理院が提供する数値地図をベースとして、厚生労働省による各種指定統計のほか、さまざまな整備主体によるデータが考えられる。

開発したシミュレーションモデルは、近い将来に大規模地震が発生すると予想されている名古屋圏域（東海地区）に適用し、その妥当性について検討する。

研究項目3（平成17年度）

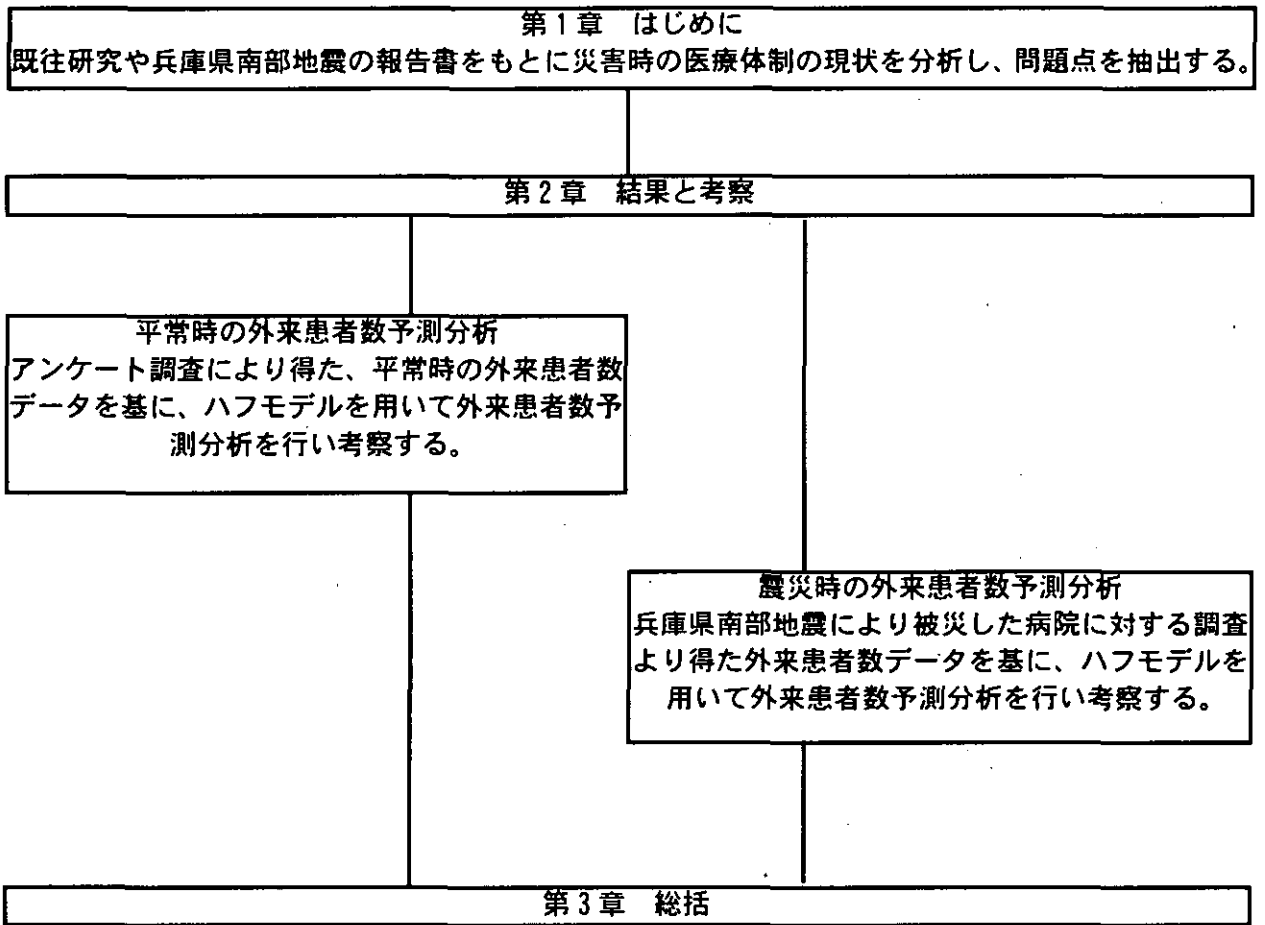
地震災害を想定した医療施設配置計画の評価

最終年度においては、前年度までに開発したGISモデルを、大規模地震が予測され、かつ地震発生時にわが国に与える影響が甚大である、東京都を含む関東地区に適用して、「災害医療提供の視点からみた医療施設配置」について評価を行うことを試みる。

（倫理面への配慮）

本研究の実施に際しては、調査対象病院への事前説明と同意の確認を行う。また調査データが流出し別途目的に使用されることのないよう、厳重に管理する。

本報告書は、研究項目1についてとりまとめたものであるが、その構成を示すと次のようである。



第2章

結果と考察

- § 2-1 外来患者データの概要
- § 2-2 分析方法
- § 2-3 平常時の外来患者数予測
- § 2-4 震災時の外来患者数予測

第2章 結果と考察

註2-1：資料p2参照。

註2-2：資料p3-4参照。

註2-3：一ヶ月の病院稼働日数は24日。

§ 2-1 外来患者データの概要

2-1-1 平常時・外来患者データの概要

平常時の外来患者数を調べるため、2003年3月付けで阪神・淡路地域(図2-1)の病院へアンケート用紙を送付^{註2-1}し、91病院より回答を得た。総病床数と2002年12月・2003年1月の延べ外来患者数を収録^{註2-2}した。

二ヶ月間合計の延べ外来患者数を48日^{註2-3}で除し、真冬・1日あたり平均延べ外来患者数を算出して実測値とした。

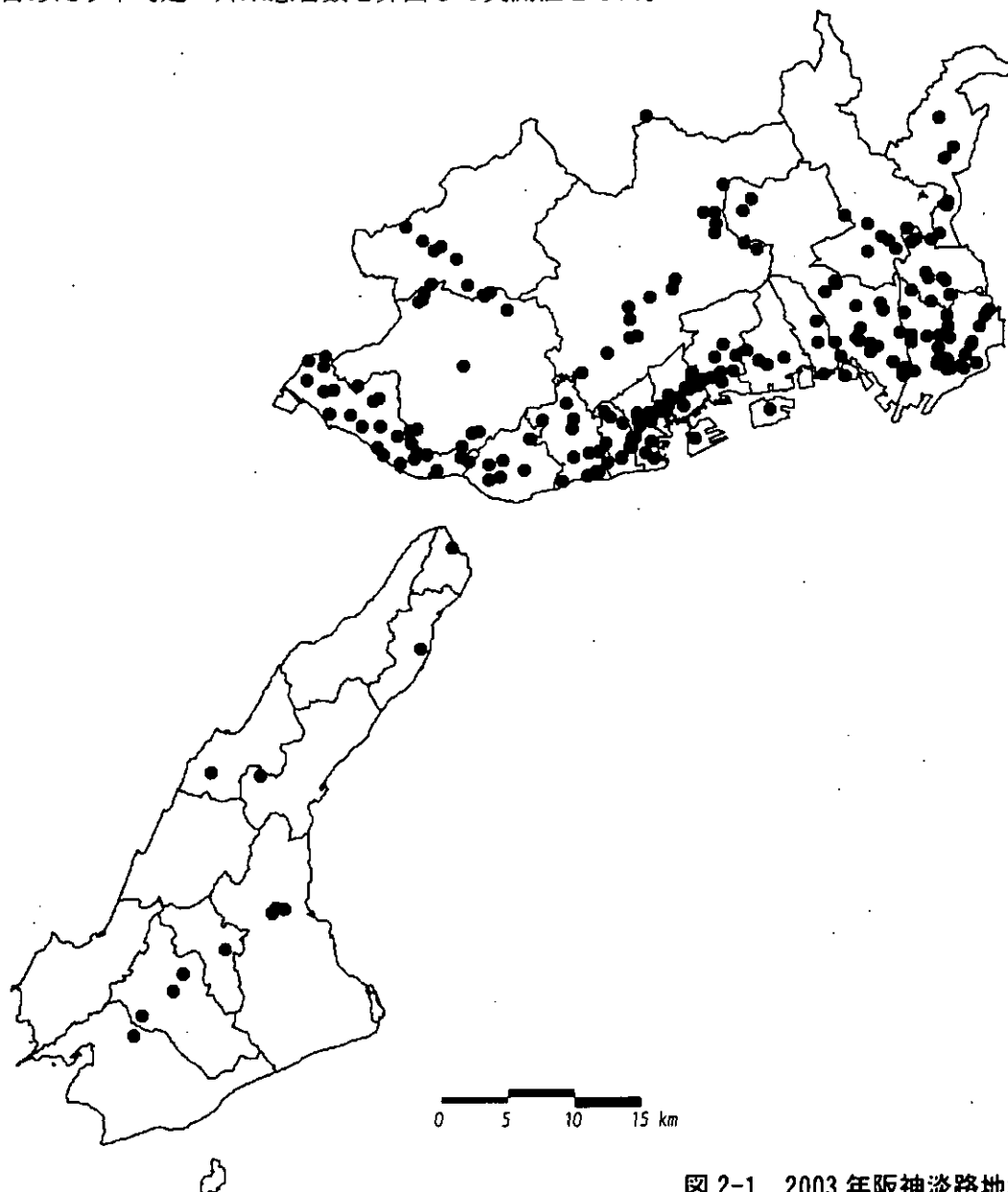


図2-1 2003年阪神淡路地域病院分布図

2-1-2. 震災時の外来患者データの概要

阪神・淡路地域（図 2-2）における 1995 年兵庫県南部地震発生時から 7 日間、1 日毎の各病院における外来患者数を入手した。133 の病院から回答^{註 2-4} が得られた。

既往研究^{文献 1}より震災時には軽症患者と重症患者の受療行動が異なると考えられるので、外来患者データを外来合計（ P_T ）、外来軽症（ P_S ）、外来重症（ P_I ）に分けて再構成^{註 2-5}し、軽症率・重症率を算出した^{註 2-5}。

外来合計しか収録できていないデータについては軽症率・重症率を用いて軽症患者数・重症患者数を算出しデータの補完^{註 2-6}を行った。

註 2-4 資料 p5-6 参照

註 2-5 総外来患者数 P_T を軽傷外来患者数 P_I と重傷外来患者数 P_S に分けて考えると

$$P_T = P_I + P_S$$

註 2- 軽傷率、重傷率を以下の式を用いて算出した。

$$\text{軽傷率} = \frac{\text{軽傷患者数}}{\text{外来合計患者数}} \times 100$$

$$\text{重傷率} = \frac{\text{重傷患者数}}{\text{外来合計患者数}} \times 100$$

註 2-6 資料 p5-6 参照

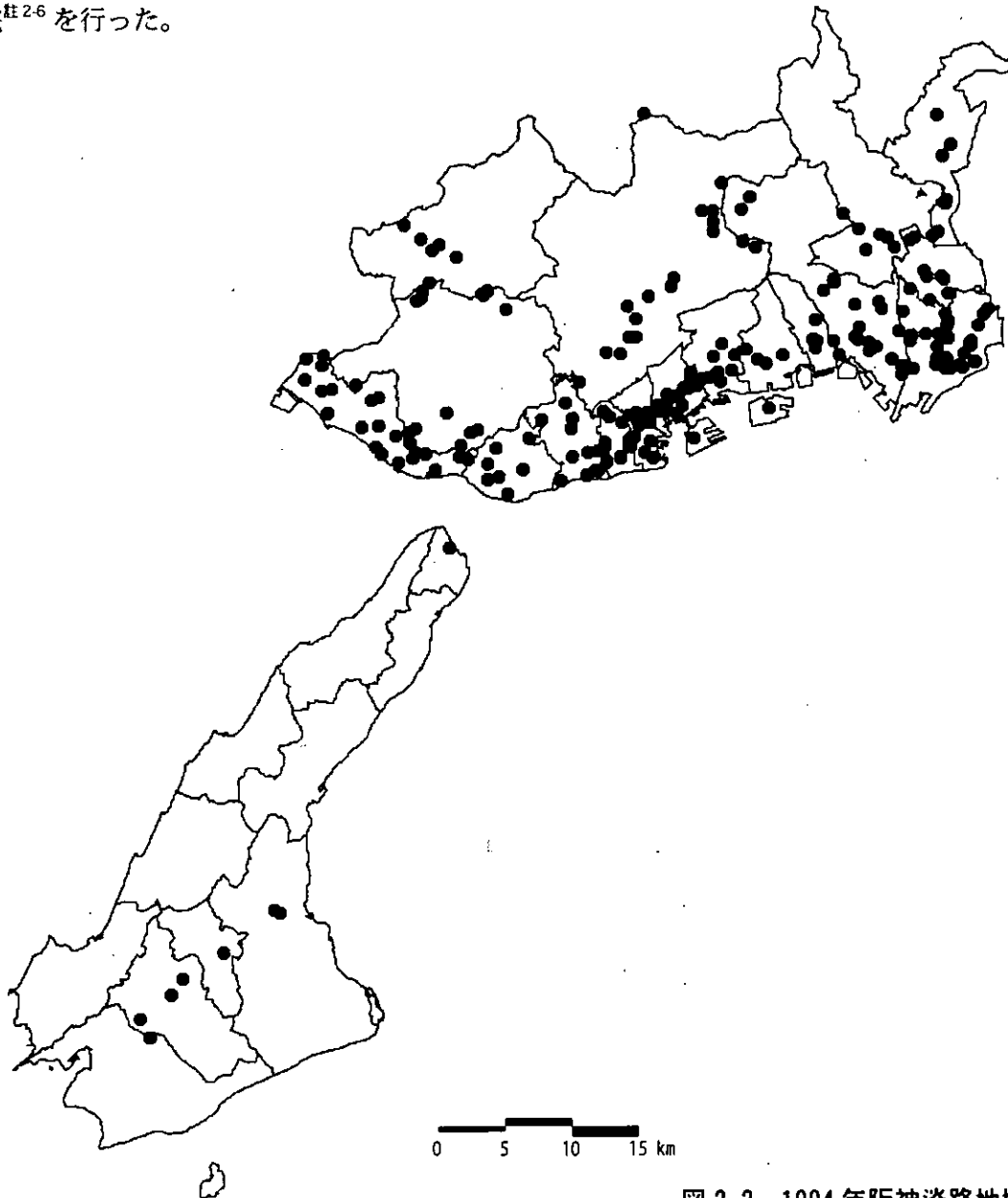


図 2-2 1994 年阪神淡路地域病院分布図

§ 2-2 分析方法

平常時の外来患者数は病床数と相関が高いことが既往の研究より一般的に知られている。

また既往研究^{註2-7}では、患者の病院選択行動にハフモデル^{註2-8}を適用することで、外来・入院の別、年齢別、診療科目種別に距離抵抗係数 λ を変化させ、より精度の高い診療圏を予測する試みも行われている。そこで2-1で得られた外来患者数実測値に対して、

1. 病床数（実測値）
2. ハフモデル適用地域の住民が各病院を選択した人数（予測値）

との相関を求め、外来患者数予測モデルへの適用可能性を検討した。

2-2-1. ハフモデルの適用

店舗の商圈分析に使われるハフモデルを、病院の診療圏分析に当てはめるには、以下のような式として用いる。居住領域 A_i の単位は3次メッシュ（約1km×0.75km）とした。

j 病院へ訪れる外来患者数を P_j とし、 P_j の予測式をハフモデルを用いて表すと（図2-3）、

$$P_j = \alpha P_{0j} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$P_{0j} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_j / R_{ij}^\lambda}{\sum_{i=1}^n B_j / R_{ij}^\lambda} \times P_{0i} \right) \quad \dots \textcircled{2}$$

P_{0j} : 対象地域で病院 j を選択した人口

B_j : 病院 j の病床数

A_i : i 番目のメッシュ領域

R_{ij} : メッシュ領域 A_i から病院 j までの直線距離

P_{0i} : メッシュ領域 A_i の居住人口

λ : 距離抵抗係数

α : 定数

註2-7 参考文献10～16

註2-8 ハフモデル:

ダビッド・L・ハフとライリー・ブルーが都市部に点在するショッピングセンター（SC）間の勢力圏設定に必要な集客吸引率算定のために考案した確立モデルである。基本的な考え方は「ある地区に対するSCの吸引力は地区とSC間の距離に反比例し、SCの規模に比例する。」で、この場合におけるSCの規模はSCの魅力度を代表している。数学的表現は、

$$Q_{ij} = \frac{S_j / T_{ij}^\lambda}{\sum_{j=1}^n S_j / T_{ij}^\lambda} \quad \sum_{j=1}^n Q_{ij} = 1$$

Q_{ij} : 居住地 i から商業施設 j への買い物出向比率

S_j : 商業施設 j の規模

T_{ij} : 居住地 i から商業施設 j への時間距離

λ : 距離抵抗係数

となる。

②式の説明

ここで赤枠内は、ハフモデルにより計算されるメッシュ領域 A_i の住民が病院 j を選択する確率（病院 j の吸引力）であり、それにメッシュ領域 A_i の居住人口 P_{0i} ^{註2-9} を乗じることにより、メッシュ領域 A_i において j 病院を選択する人口 P_{0ij} (括弧の範囲) が求められる。これを対象地域のすべてのメッシュ領域に対して行い足し合わせると、対象地域において j 病院を選択する人口 P_{0j} が求められる。これ以降、予測値とは②式で計算して得られた P_{0j} のことを表す。

①式の説明

すべての病院について②の計算を行い、得られた P_{0j} と、 j 病院の外来患者数実測値との回帰分析を行い、得られた回帰曲線式から定数 α を求めることで、外来患者数予測モデルが決定される。

吸引力計算において距離抵抗係数 λ は任意に設定することができ、 λ の値を変化させることで実距離に対して距離抵抗度を加えることができる。ハフモデルの計算はアルプス社のGISソフト、MapInfo Professional で実行し、3次メッシュ人口は国勢調査によるメッシュ人口データを用いた。

註2-9 既往研究では居住人口に受療率の係数を乗じて、領域内の発生患者数を算出し用いているものもあるが、今回は受療率は用いず、最終的に定数 α に含まれるものとする。

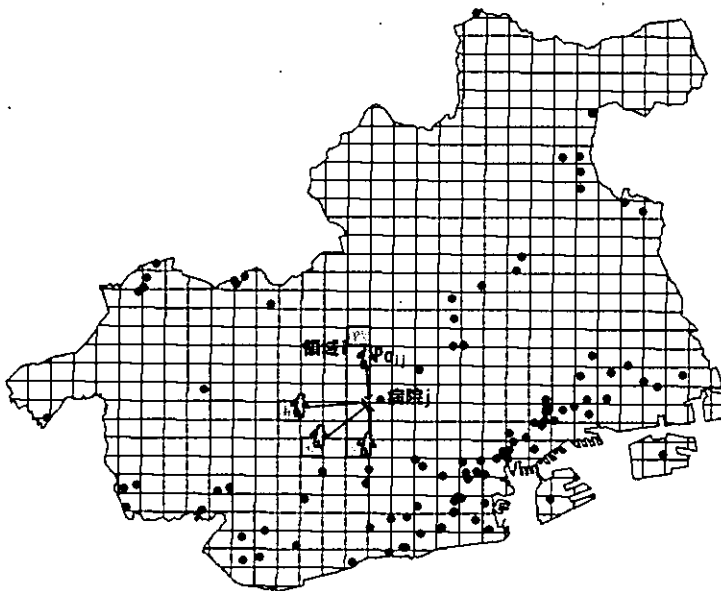


図 2-3 ハフモデル概念図

§ 2-3 平常時の外来患者数予測

2-3-1 平常時病床数分析

平常時は、医療施設規模（病床数）が大きくなるにつれて、外来患者の受療圏も広がる（大きい病院へは遠くても行く）ことが、既往の研究より一般的に知られている。そこで、病床数を診療圏規模を示す指標と設定し、分析を行う。

・分析方法

2-1-1 で得られた平常時の1日平均外来患者数実測値と、総病床数、一般病床数^{註2-10}との相関をとり、相関係数^{註2-11}によって実測値との適合性を評価した。

・分析結果

各々の相関係数は表2-1のようになり、分布は図2-4、2-5のようになった。いずれの場合も実測値とよく適合しており、平常時の外来患者数と病床数との相関は良く、特に一般病床数との相関が良いことがわかった。

要因として、一般病床数には療養型などの病床数が含まれないため、平常時の外来患者の病院選択行動がより正確に現れていることが考えられる。

註2-10

総病床数 = 一般病床数 + 療養型病床数
+ 精神病床数 + 結核病床数
+ 伝染病床数

註2-11 相関係数：

二つのデータ間の関係を表し、計算された曲線がどのくらいデータにうまく適合しているか示すもの。0から1の範囲を取り、1に近いほどよく適合している。相関係数=R で表され、数学的表現は、

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

となる。

	相関係数 R
総病床数	0.821
一般病床数	0.951

表 2-1 病床数に対する回帰分析結果

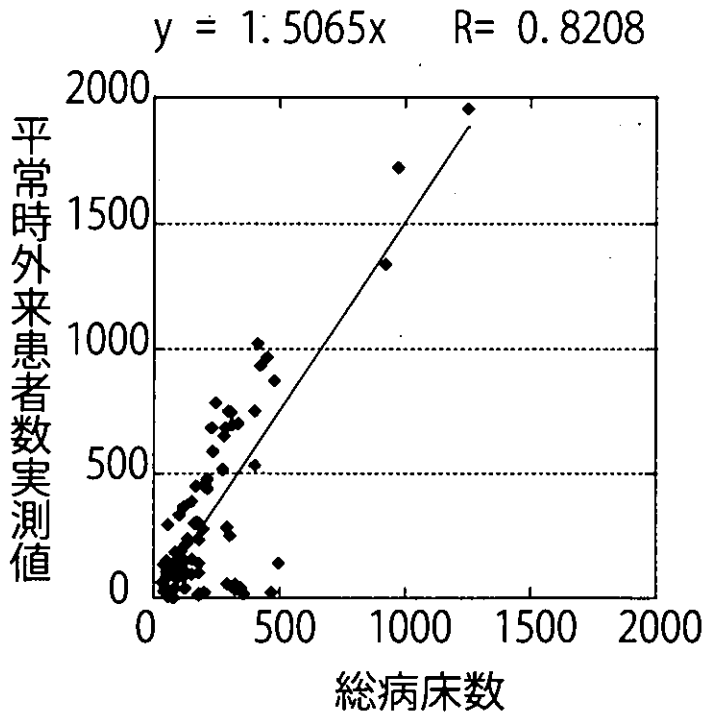


図 2-4 総病床数との分布

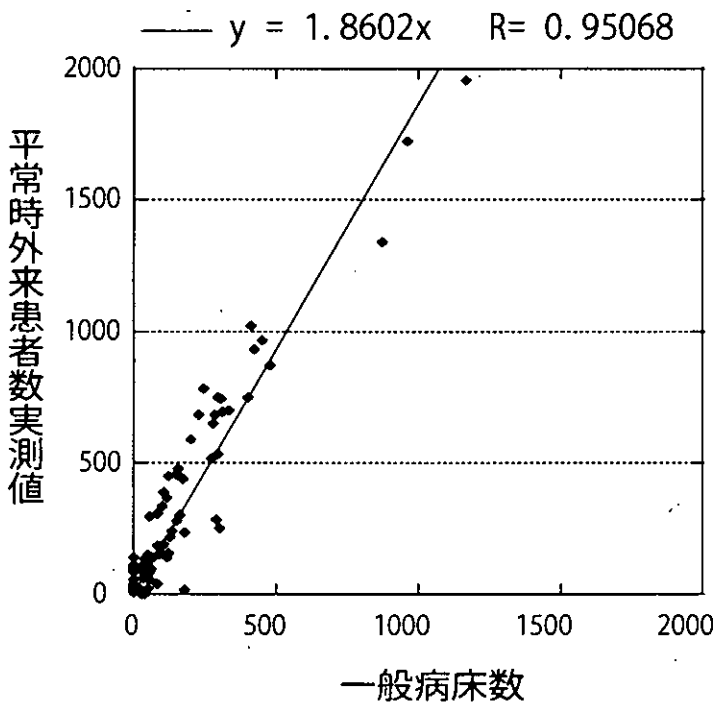


図 2-5 一般病床数との分布