

感染症患者収容のための必要病床数の算定に関する一考察

中村 好一* 川村 治子^{2*}
葛西 健^{3*} 近藤 健文^{4*}

目的 わが国における法的強制力により入院させる感染症患者を収容する必要病床数をモデルを用いて検討する。

方法 1995年の衛生行政業務報告に基づき、収容を必要とする感染症患者の罹患率と平均隔離期間を求めた。特定の人口規模集団において必要病床数をあらかじめ設定し、ポアソン分布を仮定して、当該罹患率と平均隔離期間を用いて、平均隔離期間内に必要病床数を上回る患者が存在する確率を求めた。これを1年間に拡大し、年間を通じて必要病床数を上回る患者が存在する確率を計算し、提示した。

結果 罹患率は $1732/125570246=1.38$ (人口10万対年間)、平均隔離期間は13.8日であった。この数値を用いて計算した結果、1年間を通じて人口3万人では2人、5万~10万人では3人、20万人、30万人では4人、40万人、50万人では5人、75万人、100万人では6人、200万人では8人、300万人では10人を越えて患者が同時に存在する確率が0.001以下であった。

結論 ポアソン分布を仮定して、現在のわが国における感染症患者を収容する病床の必要数を検討する方法を提示し、実際に特定数を越えて患者が同時に発生する確率を示した。

Key words : 感染症, 強制収容 (隔離), ベッド数

I はじめに

感染症患者を医療機関に収容し、適切に治療することは、患者本人の利益だけではなく、2次感染の感染源対策としても重要なことである。現行の伝染病予防法においては特定の感染症患者について、市町村長による患者隔離が規定されている。この規定が妥当なものかどうか (法定伝染病と規定されている疾患の妥当性、隔離解除の基準の妥当性、等) は別として、今後とも一部の感染症においては社会防衛の立場から法的強制力による収容措置が必要である。この場合において、迅速な対応が要求され、慢性疾患のような「入院待機状態」といったことは許されない。

そこで、現行の隔離病床のように、特定の地域

における感染症対策用病床はある程度の数を常時準備しておき、発生に備えておくことが必要となる。感染症の流行規模とこれが起こる確率は相反するものとなることは、伝染病予防法に基づく都道府県別届出患者数の年次推移などから経験的に感じられることである (伝染病および食中毒統計、伝染病統計)。すなわち小規模の流行が起こる確率と比較して、流行の規模が大きくなるほどその確率は低く、稀にしか観察されなくなる。大規模流行に備えて多くの病床を準備すれば安心ではあるが、このうちの大部分の病床はほとんど常時使用されない状況となり、社会資源の無駄となる。逆に無駄を排除するためにぎりぎりの数の病床しか準備しなければ、病床数を超える患者発生が頻回に起こる。

感染症対策用の病床 (特に法的強制力による収容のための) の必要数は、以上のように二律背反の課題である。本研究では過去のデータをもとに、モデルを想定して、一定の人口集団における特定規模以上の流行が起こる確率を計算し、必要病床数の考え方についての考察を行った。

* 自治医科大学公衆衛生学教室

^{2*} 杏林大学保健学部保健学科成人保健学教室

^{3*} 厚生省保健医療局結核感染症課

^{4*} 慶應義塾大学医学部衛生学公衆衛生学教室

連絡者: 〒329-0498 栃木県河内郡南河内町薬師寺3311-1 自治医科大学公衆衛生学教室
中村好一

II 資料と方法

使用したデータは「平成7年衛生行政業務報告¹⁾」に掲載されている1995年の全国の法定伝染病患者に関するもので、表1に示す。この中で、「その他」、および「合計」にはもとの資料で別に掲載されている「しょう紅熱」、「ジフテリア」、「流行性脳脊髄膜炎」、「日本脳炎」、「急性灰白髄炎」は含まれていない。なお、各年の法定伝染病届出数を観察すると、しょう紅熱、日本脳炎、流行性脳脊髄膜炎、急性灰白髄炎は届け出数が少なく、痘そう、発しんチフス、ペスト、ラッサ熱の届出は1988年以降はない。これから考えると本研究で用いるデータの「その他」の大部分はコレラと考えることができる。

実際の問題として、収容する病床数は人口と等しいだけ準備しなければ、いかなる場合においても必要な者を収容することができる設備は整ったとはいえない。しかし、このようなことは到底不可能であり、また、現実的ではない。したがって、特定の人口集団（例えば2次医療圏）に対して、特定の数の病床を準備した際にこれを上回る収容対象者が発生する確率を考えた方が実際的である。これを、前述のデータを用いて検討した。すなわち、対象圏域の人口を固定し、全国の平均発生数を用いて、ポアソン分布を仮定して、特定数以上の患者が発生する確率を計算した。

例として、検討する対象人口を30万人と仮定する。全国の平均在院（隔離）日数は表1に示すように13.8日なので、連続する14日間（2週間）を観察単位とする。n床の病床を準備した場合、連続した14日間に発生する対象疾患の患者がn人を越えなければ、すべて収容が可能と考える。全国で年間（365日間）に発生した患者数は1,732人なので、14日間に発生する患者数の期待値は

$$\lambda = 1732 \times (14/365) \times (300000/125570246) \\ = 0.158715 \quad (1)$$

となり、この間に0.16人の患者が発生することが計算上、求まる。ポアソン分布においてこの期待値のもとで14日間に患者が発生しない確率（患者発生数が0である確率） $p(0)$ は

$$p(0) = \exp(-\lambda) \\ = \exp(-0.158715) \\ = 0.853240 \quad (2)$$

表1 使用したデータ（1995年衛生行政業務報告）

疾患名	疾患数 (a)	患者隔離日数 (b)	平均在院(隔離)日数 (b/a)
赤痢	1,204	15,641	13.0
腸チフス	74	2,113	28.6
パラチフス	76	2,005	26.4
その他	378	4,056	10.7
合計	1,732	23,815	13.8

である。ポアソン分布においては次の再帰式で $p(k+1)$ を計算する。

$$p(k+1) = \lambda \times p(k) / (k+1) \\ (\text{ただし, } k \geq 0) \quad (3)$$

実際の値を計算すると、

$$p(1) = \lambda \times p(0) / 1 \\ = 0.158715 \times 0.853240 / 1 \\ = 0.135422 \\ p(2) = 0.010747 \\ p(3) = 0.000569 \\ p(4) = 0.000023 \\ p(5) = 0.000001 \quad (4)$$

となる。患者発生数0からkまでの確率の累積 $pc(k)$ が2週間以内に発生する患者数がk人以内に納まる確率となる。

$$pc(0) = p(0) = 0.853240 \\ pc(1) = pc(0) + p(1) = 0.988661 \\ pc(2) = pc(1) + p(2) = 0.999408 \\ pc(3) = pc(2) + p(3) = 0.999977 \\ pc(4) = pc(3) + p(4) = 0.999999. \quad (5)$$

この確率は、「ある1日から連続して14日間の発生患者数がk以内である確率」、すなわち、「k床準備した場合に、ある1日から連続した14日間に、これに収容しきれない患者が発生しない確率」である。逆に言うと、 $1 - pc(k)$ は「k床準備した場合に、ある1日から連続した14日間の患者数がこの病床では収容しきれない数に達する確率」である。すなわち、1床準備すると

$$1 - 0.988661 = 0.011339, \quad (6)$$

すなわち、1%程度の確率で収容しきれない状態が発生する。

以上の議論はある1日から連続する14日間のものである。これを1年間に拡大するには、「連続する365日を通じて患者数がk人以内に納まる」

表2 特定数を超える患者が発生する確率の例示 (人口5万人と50万人の場合)

患者数 k	14日間にk 人患者が発生 する確率 p(k)	累積確率(14日間 の患者数がk以内 である確率) pc(k)	365日連続して患 者数がk以内に 納まる確率 {pc(k)} ³⁶⁵	1年間に同時に患 者数がk人を超え る確率 1-{pc(k)} ³⁶⁵
人口=50,000(14日間の平均患者数=0.02645)				
0	0.973894	0.973894	0.000064	0.999936
1	0.025762	0.999656	0.882062	0.117938
2	0.000341	0.999997	0.998897	0.001103
3	0.000003	0.999999	0.999993	0.000007
人口=500,000(14日間の平均患者数=0.2645)				
0	0.767571	0.767571	0.000000	1.000000
1	0.203041	0.970612	0.000019	0.999981
2	0.026855	0.997467	0.396222	0.603778
3	0.002368	0.999835	0.941460	0.058540
4	0.000157	0.999991	0.996843	0.003157
5	0.000008	1.000000	0.999861	0.000139

確率を1から減じた $py(k)$ を求めればよい。これは

$$py(k) = 1 - \{pc(k)\}^{365} \tag{7}$$

で求まる。ここで $\{pc(k)\}^{365}$ は「連続する365日を通じて患者数がk人以内に納まる確率」である。

$$\begin{aligned} py(0) &= 1 - \{pc(0)\}^{365} \\ &= 1 - 0.0853240^{365} \\ &= 1 - 0.000000 \\ &= 1.0 \end{aligned}$$

$$py(1) = 0.984427$$

$$py(2) = 0.194337$$

$$py(3) = 0.008467 \tag{8}$$

となる。これにより、病床数が2床では年間を通じて患者数がこれを越える確率は0.19(19%)であるが、3床準備すればこれを越える確率は0.0084(0.8%)程度となることが判る。

このような方法を用いて、いくつかの人口集団を想定した計算をおこない、k床準備した際の患者数がこれを越える確率を求めた。具体的には現在のわが国における2次医療圏を想定して、観察した人口規模は3万人から300万人までとし、その間の切りのよい人口について計算した(表3参照)。

III 結 果

結果の一部を表2に示す。その他の人口規模で

の計算結果を表3に示す。人口5万人では患者数が365日の内に1人を越える確率は0.118, 2人を越える確率は0.00110, 3人を越える確率は0.000007となる。人口規模が拡大すれば患者の発生数は多くなるが、50万人の人口でも患者数が4人を越える確率は0.00326, 5人を越える確率は0.000139となる。

表3は得られた結果をまとめたものであり、人口規模別に患者数が特定数以上になる確率を0.05, 0.01, 0.001の3点に絞って、その特定数を示したものである。この表から、人口30万人までは4人を越えて発生する確率は0.001以下、100万人まででは6人を越えて発生する確率は0.001以下、200万人では8人、300万人では10人を超える確率が0.001以下であることが判る。

IV 考 察

感染症のうち、ヒトからヒトへの感染が起こりうるものについては、ある患者から他の非感染者への感染を予防することが重要な対策のひとつとなる。このために現行の伝染病予防法には患者隔離の規定が定められており、また、改正法案にも特定の要件を満たす患者の収容規定が盛り込まれている。本研究においては、過去のデータを利用して特定人口集団内において患者数が特定人数を超える確率を計算した。この特定人数はすなわち、この人数の収容施設を準備した場合にこれを

表3 人口規模別1年間を通じてある数を超える患者が発生する確率

人口	表に示す数を越えた患者数が発生する確率		
	5%	1%	0.1%
30,000	1		2
50,000		2	3
75,000		2	3
100,000		2	3
200,000		3	4
300,000		3	4
400,000	3	4	5
500,000		4	5
750,000	4	5	6
1,000,000		5	6
2,000,000	6	7	8
3,000,000	8	9	10

例えば、人口30万人では1年間を通じて患者数が3人以内に納まる確率は0.01、4人を超えて発生する確率は0.001以下であることを示している。

越えて患者が発生する確率、と考えることができる。

感染症は共通の感染源や感染経路により、同時に多発することがある。本研究ではこのような場合は想定せずに、ポアソン分布を「患者の発生は互いに独立である」という前提で用いている。この前提の妥当性には問題もある。現在わが国で届け出られている法定伝染病の半数以上は海外で感染したものである。例えば1996年はコレラで73%、赤痢で62%、腸チフスで65%、パラチフスで75%が国外で感染したものであった²⁾。団体旅行で集団感染するという事態もありうるが、ツアーによるものや職場旅行においてはもちろんのこと、高等学校の修学旅行においても参加者の居住地が特定の地域に集中していることは例外的かもしれない。このように考えると、本研究の目的である「感染症患者を収容するためにあらかじめ準備する病床数を検討する」という課題達成のためにポアソン分布を用いることも、まったくの見当違いとはいえない。さらに、特定の地域における集団発生が起こった場合には、あらかじめ準備しておく病床では収容しきれなくなる状況が起こる可能性が高く、このような場合には緊急事態として一般病床を臨時に感染症患者用として使用する

以外に手段はないであろう。

本研究では感染症患者の発生が日本全国で均一に起こるという前提をおいているが、感染症の発症は地域的にも時間的にも差が見られるのが通常である。しかし、全国均一の条件下で「患者発生が独立である」という前提を取らなければポアソン分布を採用することは出来ず、この場合には新たなモデルの作成から始めなければならない。そこで前述の通り、さしあたって必要数を算定する場合には「患者発生が独立」という前提を用いたポアソン分布を採用することも、次善の策として致し方ないと判断した。

本研究で求めた結果によれば、経験的な判断と同様に、表3に示すように患者数が特定数を超える確率を小さく想定すれば、この特定数を大きくしなければならぬ。換言すれば、患者数があらかじめ準備しておく病床数を超える確率を小さくしたければ、あらかじめ準備する病床数は大きなものとならざるを得ない。この場合の確率がどの程度が適切であるのかは本研究の課題ではなく、行政的、あるいは政治的に財政との兼ね合いで決定されるべきものであろう。

本研究の結果は1995年のデータを用いたものである。結果に一定の危険率を乗じる（例えば、患者発生数が2倍になる、収容期間が1.5倍に延びる、等）ことも検討した。しかし、治療方法の改善、および法の運用は収容期間の短期化であり、このことを含めて考えると、得られた結果よりも少ない病床数で足りる、あるいは準備された病床数を患者数が上回る確率は観察されたものよりも小さくなることも、十分考えられる。なお、この年はコレラの患者数が例年に比べて極めて多かった（1994年：90人、1995年：306人、1996年：40人、1977年以降の20年間で年間患者数が100人を越えているのは1995年だけである）が³⁾、表1からも判るように平均隔離日数は全体の13.8日とあまり違っておらず、結果に大きな影響を与えているとは考えにくい。

項を終えるにあたり、研究のご協力いただきました厚生省保健医療局結核感染症課各位に御礼申し上げます。本研究は平成9年度厚生科学研究補助金（新興・再興感染症研究事業）による「感染症対策の見直しに向けての緊急研究」（主任研究者：近藤健文）の一部と

して実施した。

(受付 '98. 6. 1)
(採用 '98.10.19)

文 献

1) 厚生省大臣官房統計情報部編. 平成7年衛生行政

業務報告. 東京: 財団法人厚生統計協会, 1996; 66-67.

2) 厚生省大臣官房統計情報部編. 平成8年伝染病統計. 東京: 財団法人厚生統計協会, 1998; 107.

3) 厚生省大臣官房統計情報部編. 平成8年伝染病統計. 東京: 財団法人厚生統計協会, 1998; 42.

THE NUMBER OF BEDS NEEDED FOR PATIENTS WITH INFECTIOUS DISEASES THAT REQUIRE HOSPITALIZATION BY LAW

Yosikazu NAKAMURA*, Haruko KAWAMURA^{2*},
Takeshi KASAI^{3*}, Takefumi KONDO^{4*}

Key words: Infectious diseases, Isolation, The number of beds

Purpose: Using a statistical model, a study was conducted on the number of beds that are needed for patients with infectious diseases who are required by law to be hospitalized.

Methods: Based on 1995 data, the incidence of such infectious diseases and the average duration of isolation of these patients in Japan were obtained. Using a Poisson distribution, the probability that the number of patients that exceeds a specific number over an average duration of hospitalization was computed in a finite population. The observation period was then extended to one year and the probability that the number of patients did not exceed a specific number during one year was calculated.

Results: In 1995, the annual incidence of infectious diseases requiring isolation by hospitalization was 1.38 per 100,000 population and the average duration of hospital confinement was 13.8 days. The estimated patient numbers calculated based on the probability of less than 0.001 that the number of patients would not exceed a specific number were: 2 for 30,000 population, 3 for 50,000 through 100,000, 5 for 200,000 and 300,000, 5 for 400,000 and 500,000, 6 for 750,000 and 1,000,000, 8 for 2,000,000, and 10 for 3,000,000.

Conclusion: By using a Poisson distribution, a method was developed for estimating the number of beds that are needed for patients with infectious diseases when hospitalization was mandatory.

* Department of Public Health, Jichi Medical School.

^{2*} Department of Health Sciences, School of Health Sciences, Kyorin University.

^{3*} Infectious Diseases Control Division, Health Service Bureau, Ministry of Health and Welfare.

^{4*} Department of Preventive Medicine and Public Health, Keio University School of Medicine.