

建築計画のための性能評価手法に関する研究

病院計画を対象として

昭和62年5月

志 田 弘 二

建築計画のための性能評価手法に関する研究 —病院計画を対象として—

目次

序論	.....	1
第Ⅰ部 規模の充足性の評価手法に関する研究 －手術室数規模を対象として－	.....	11
1章 手術室数計画に必要な指標の実態分析	.....	12
2章 手術要求の充足性の評価法	.....	37
第Ⅱ部 動線の能率性の評価手法に関する研究	.....	69
1章 部門・部署間の職員動線の実態分析	.....	70
2章 動線量予測による能率性の評価法	.....	93
第Ⅲ部 火災安全性の評価手法に関する研究	.....	105
1章 患者の避難時運動能力の実態分析	.....	106
2章 火災発生に伴う人命危険の評価法	.....	121
結語	.....	149
謝辞	.....	155
論文目録	.....	156

序論

1. 研究の背景と目的

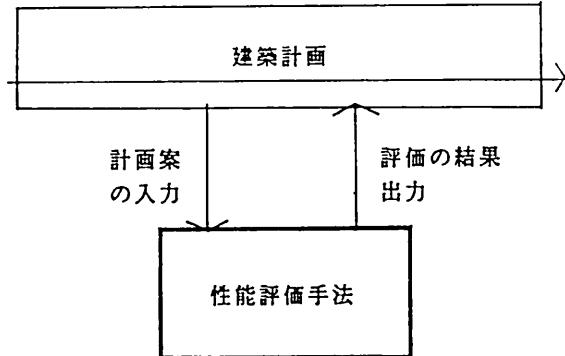
1-1. 研究の背景

建築計画の研究は建築と生活との対応関係にもとづいて建築を計画する技術を扱う分野と位置付けられている。建築計画を科学的に行なうためには、計画案の決定・実現前に事前に評価することが必要である（図(i)、注1）。評価によって計画案の妥当性の確認が可能となり、また修正の必要な箇所を明確にできる。従来、建築計画の研究では、計画案を評価するという行為が計画者個人の経験的な知識に依存していたためか、共通的な手法が開発されたことは稀であったと言ってよい（注2）。これに対し、客観的で誰でもが使いこなせる評価手法が共通的な道具として提供され、建築計画と評価が繰り返されることにより水準の高い計画案が生みだされることが期待される。

1-2. 研究の目的

本研究は、計画案が建築計画の対象となる生活上の要求に対してどの程度の性能（注3）を備えているかを評価する手法を開発することを目的としている。生活上の要求の種類は建築の用途などにより実にさまざまであり、評価すべき性能も多岐にわたる（注4）。本研究では、病院を具体的な研究対象としてとりあげた。その理由は、病院が非常に公共性の高い建築であり、計画・設計される機会の数多いこと、またその機能が複雑で経験的な知識の集積だけに頼って評価をすることは困難であることなど、共通的な評価手法を開発する意義が高いと判断したことによる。また、対象とする性能として、I. 規模の充足性、II. 動線の能率性、III. 火災安全性、の3つをとりあげた。その理由は以下のようである。

- ・ 規模を計画することは建築計画の第一歩であり、その場合、規模が利用の要求に対してもつ充足性は最も基礎的な性能である（注5）。特に、病院計画では直接人命にかかる施設を対象としており、充足性を計画実現前に評価する意義が高い。
- ・ 動線の計画は病院計画の際に病院関係者の口から必ずと言ってよいほど登場する重大なテーマである。これは、病院が一つの都市に例えられるほど多くの機能の複合体と



図(i) 建築計画と性能評価手法の関係（概念図）

なった建築であり、動線がその機能をとらえる上で有効な媒体であること、また動線の能率性が病院運営の能率性に強い関連があるためである（注6）。

- ・病院は自力での避難が困難な患者が24時間生活しているという火災安全を考える上での難問を抱えており、ホテル・デパートとともにビル火災の御三家と呼ばれるほど火災危険の高い建物とされている。このような状況にもかかわらず、火災安全性評価の手法は確立されていない。

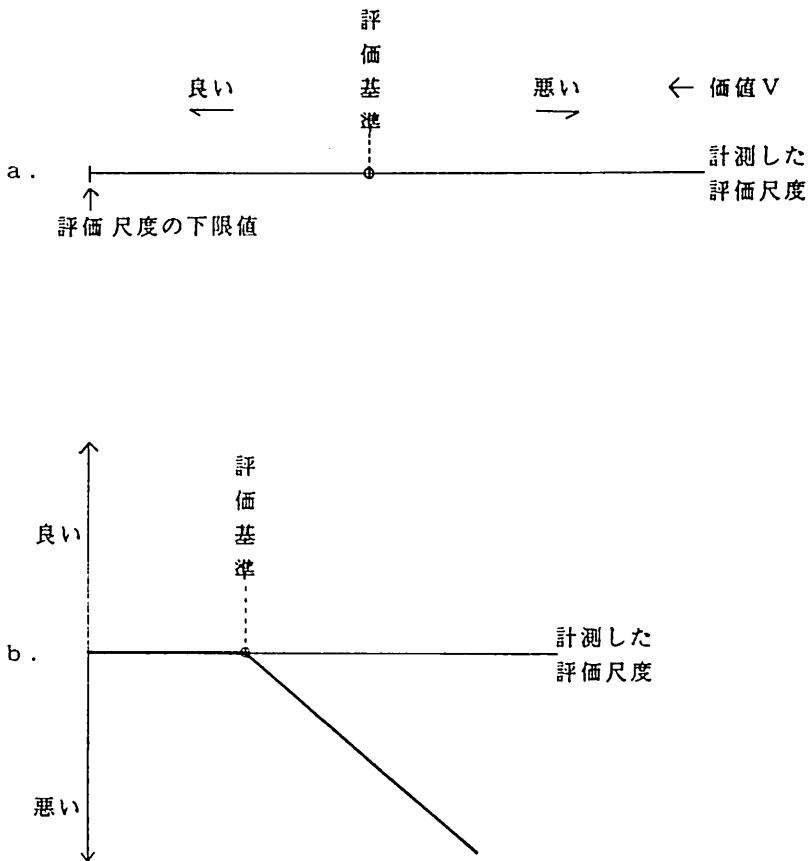
2. 研究の方法

性能評価の手法を確立するためには次の項目を検討する必要がある。

- ・評価尺度の選択と計測方法
- ・評価基準の設定と評価法の使い方
- ・評価法の客観性の検証方法

以下、これらについて説明する。

本研究では、性能を評価するための尺度を評価尺度と呼ぶこととする。例えば、ある地点からある地点までの遠さあるいは近さを評価するとき、2地点間の距離が評価尺度の一つとして考えられる。評価尺度は一つとは限らず、適切な評価尺度を選択することが評

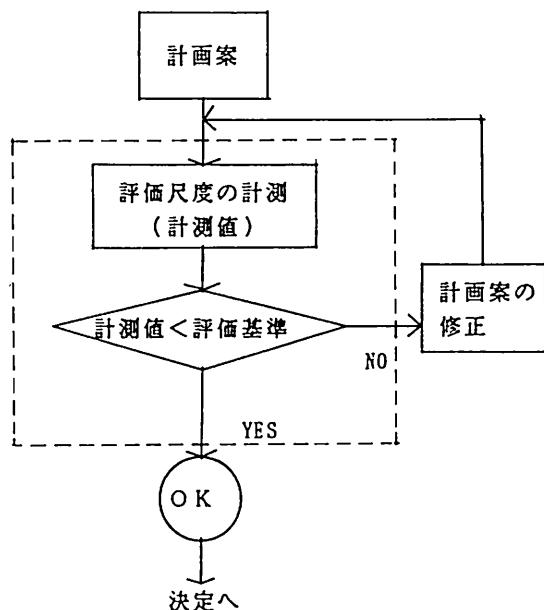


図(ii)評価尺度の価値への変換

価手法の開発の第一歩である。なお、一般に尺度には名義尺度・順序尺度・間隔尺度・比例尺度の4つがあるとされるが（注7）、本研究では、間隔尺度でありかつ比例尺度である（絶対尺度と呼ばれることがある）尺度を選択し計測した。評価尺度の計測方法については、統計・確率論的解析のような数学モデル、あるいはシミュレーションのような操作的モデルなど多様な解析手法が適用できる。

計測した評価尺度（必要に応じて計測値と呼ぶ）は性能を表わしているがその価値を表わすものではない。ここでは、計測値を価値を表わす尺度に変換する基準を評価基準と呼ぶこととする。例えば、価値（Value）に「良い」と「悪い」の2段階を設定し、計測値は数値が高くなれば「悪さ」が増加する場合を考えると、「良い」「悪い」を二分する境界の数値としての基準が評価基準となる（図(ii-a)）。また、「良さ」は1段階で表わし、

「悪さ」については線形的に表わすと図(iii-b)に示すようになる。評価基準を満足しているか否かで計画案を評価する場合の評価法の利用フローは概念的に図(iii)のように表わすことができる。このフローは、計画案が評価基準を満足しない場合は、計画案の変更を求めるフィードバックのループを持つこと、また、評価基準を満足しているならば、どの計画案を採択してもよいことを表わしている(注8)。1つの計画案に対し複数の性能評価が必要となる場合、各々の性能評価が順次行なわれるものと考えた(注9)。ここで注意しなければならないのは、評価基準をどこに設定するかにより計画案の価値は変動する点である。そこで、本研究のように手法の開発段階では評価基準の設定には立ち入らず、評価手法の適用においては、計測値の性状の分析は行なうが価値への変換は扱わないものとする。



図(iii) 性能評価手法の利用フロー（概念図）

3. 本論文の構成と概説

本論文は前述した3つの性能に関する評価手法をそれぞれ独立した部（第Ⅰ部・Ⅱ部・Ⅲ部）としてまとめ、全般的な序論と結語を加えて構成している。

第Ⅰ部は、規模の充足性を評価する手法を研究対象とした。

利用要求に対して施設の規模がどの程度の充足性を備えているかを評価することは、規模計画をする上で重要である。ここでは、対象とする施設として病院の手術室をとりあげた。手術の要求に対して充足を達成する要因として手術室数と共に手術室をどのように方式で運営していくかという要因も考慮した。まず、第1章では、手術室数の決定に必要な指標に関し、既存の手術部での実態調査資料の要因分析を基にこれら指標の条件整理を行なった。そして第2章では、規模の充足性を表わす評価尺度として、単位期間に発生する手術待ち患者数を選択した。ある単位期間において、手術実施能力が手術を必要とする患者数を下回る状態が生じる場合にどれだけの手術待ち患者が発生するかという現象を確率過程としてモデル化し評価法を構成した。この評価法を1章で得た実態調査資料を参考にして具体的に適用した。評価法の適用により手術を実施する施設である手術室の部屋数および手術実施に関する運営方式の計画を可能とすることを目指した。

第Ⅱ部は、建物内で発生する動線の能率性を評価する手法を研究対象とした。

動線は空間相互の関係（空間の配列やゾーニングなど）あるいは空間の規模を計画する上でひじょうに有効な尺度である。つまり、動線の発生類度や動線の形態はその建物内の生活や管理・運営方式などにより強く規定されており、動線を様々な面より分析することは建築と生活あるいは管理運営方式との相互関係の矛盾を発見する一つの有効な手法となっている。ここでは、病院の部門・部署相互間で発生する職員の動線を対象とした。動線の能率性はこの場合、病院全体の運営の能率性に強い関連をもつ性能である。まず第1章では、既存病院における部門・部署相互の職員動線の実態を把握しその要因分析から現状の問題点を把握した。また、動線を予測するための各種条件の整理をした。そして第2章では、動線の能率性を表わす評価尺度として、単位期間に生じる動線量（移動距離あるいは移動所要時間の総量）を選択し、この動線量を予測し評価する手法を提案した。実態調査病院の改築計画案を対象として、動線発生の要因である運営方式を合理化するいくつかの段階を設定し、職員動線量を予測しながら計画案を評価した。

第Ⅲ部は、火災発生時の人命の安全性を評価する手法を研究対象とした。

火災時に建築物に要求される最低限の性能は、その空間を利用する人々の生命安全を確保することであると考えてよいであろう。現状の火災安全計画は主として建築基準法・消防法などの規定に適合することを最終目標に行なわれる傾向にあるが、規定の根拠が明確でない部分もあるため、その有効性については数々の問題点が指摘されている。ここでは、火災発生により生じる利用者の人命安全への危険度を定量化する評価手法を開発した。まず第1章では、人命危険の評価法を病院に具体的に適用するために、統計的な調査資料の不足している患者の避難時の運動能力に関して、実態調査の結果を分析した。そして第2章では、評価尺度である人命の危険度を、各空間で滞在時間当たり火災により死亡する回数と定義した。この危険度の計算は、火災の進展に影響を及ぼす防災設備や人間行動に関する要素の信頼性および煙流動と避難行動のシミュレーション結果を基に確率論的な手法を用いて行なった。この評価法を既存病棟平面に適用し評価した。

結語は、本論文の各部（Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ）で得られた主要な研究成果をまとめて述べたものである。

(注釈)

- 注1)評価を計画(planning)の一つの過程とする提案もあるが(青木、文1)、本研究では、建築計画と評価は独立した行為と考えている。これは、計画に関係しない第三者でも評価手法を利用することが想定できるためである。なお、計画案の決定には評価の結果が重要なよりどころとなるが、評価では取り扱えないような次元の内容も含め決定がなされると判断される。
- 注2)構造設計では設計案の採否を決めるため、構造的安全性を尺度としてその評価をすることが確立している。最近では、火災安全計画あるいは防火計画の分野では、建築基準法・消防法などの仕様規定に依存する現状に対し、建築防災評定(昭和57年以降)あるいは建築物の防火設計法の開発(建設省総合技術開発プロジェクト、昭和57~61年度、文2)など性能設計に属する統一的な手法の開発の動きがある。
建築計画研究の分野で性能を扱ったものとしては、内田、宇野、池辺、その他多くの研究者による構法計画研究の成果がある(文3などに詳述されている)。性能評価(性能論)の発生の起点は、昭和30年ごろの新材料・新構法の出現をきっかけとしており、新材料・新構法を用いてどのような床や壁を作ったらよいのかという課題が急務であったため、以後長い間部位別の性能評価が研究の主流となった。これら一連の研究の近年における集大成として、建設省総合開発プロジェクト「住宅性能総合評価システムの開発」(昭和51年、文4)が挙げられる。これらの性能論研究が人間生活そのものに着目して建築を評価するという意図はあまりないのに対し、本研究は人間生活そのものを対象としている点でそのアプローチが異なる。
- 注3)性能と類似の概念として機能がある。機能と性能の間に明確な境界線を設けることは難しいが、機能が働きそのものがどのようなものであるかを定性的に示す性格が強いのに対し、性能はその働きの程度を定量的に示す場合に用いられる傾向がある。例えば、音を遮断する「性能」、音を遮断する「機能」の両方とも表現として可能であるが、透過損失30dbの「機能」を有する壁という表現はほとんどありえない(文3)。
- 注4)池辺は、WHO(世界保健機構)の提案した人間環境のための4つの条件、つまり、Safety(安全)、Efficiency(効率・能率)、Healthy(健康)、Comfortability(快適)をもとにその独自の性能論を展開している(文5,6)。人間の生活環境の向上を考える場合、この4条件は最も基本的な条件と考えていい。

注5)吉武泰水は待ち行列理論を応用し、利用需要（施設の同時利用者数）の確率分布モデルと規模（施設個数）との関係から、利用できずにあふれてしまう人数を充足性を表わす評価尺度として推計する手法を考案した。この推計法から「あふれ」を適正值以下にする規模を決定する手法（ α 法）を提案した（文7）。岡田光正は、吉武泰水の成果を発展させ経済性を考慮した適正規模問題について成果を挙げている（文8）。

注6)動線研究の経緯については文9)を参照。

動線を扱った研究は多いが、その評価まで言及した研究は少ない。近年における研究成果として、柳沢、今井、谷口らによる動線の予測手法による平面型評価の研究成果がある（文10）。また、評価までは十分に至っていないが、複雑な人間行動を確率過程やオートマタ理論にモデル化しこのモデルを用いて種々の平面案上で人間行動をシミュレーションしその評価を試みた中村、渡辺、位寄らの研究（文11）がある。その他、評価というより最適化の領域に属するが、Tabor らによる最適平面作成の研究がある（文12）。

注7)名義尺度とは背番号や電話番号のように単なる記号のようなもので、加減乗除のいずれもできない。順序尺度とは成績順のように順位を尺度としたもので、大小比較はできるが加減乗除のいずれもできない。間隔尺度とは温度や年号のようにその差が意味をもつもので加算・減算はできるが乗除はできない。比例尺度とは長さ・重さ・金額のように加減乗除が自由にできる数量である。

注8)計画・設計は本質的にはより良いもの（安全なもの、使いやすいもの等々）を目指す行為であるが、本研究の評価手法の位置付けとしては、ある水準以下のものを生産しないようにコントロールするためのアセスメント手法と考えた。なお、より良いものを目指すという意思は、評価基準を厳しくすることで可能であると判断した。

注9)一つの計画案に対し複数の性能を評価する場合、すべての性能について評価基準を満足することが計画案の決定を行なううえでの必要条件と考えている。構法研究などでは、性能を細分化し各性能（部分性能）に重み付けなどの操作をほどこしたうえで総和を求める（いわゆる線形モデル）方法あるいはそれに類することで（文1 参照）、総合性能を求めることを行なっている。しかし、そのような値が実体として何を表わすのかは不明確で、「和が同じでも内容は千差万別である」（内田、文13）という議論もあり、未だ総合性能を合理的に表現する手法は確立されていない（最近、青木により数理的な展開はされている、文 1）。問題は個々の性能の総合化ではなく、相反

する関係にある（トレードオフの関係にある）性能同士を調整しつつ計画案を決定する手法の不在にあるように思われる。本研究では、前述のように全ての部分性能が満足される計画案を作成し決定するという立場に立っている。ただし、本研究では部分の性能の評価手法の提案を扱っているにとどまっている。

（参考文献）

- 文1) 青木義次、計画の構造と手法、建築研究報告 No. 80、1977.1
- 文2) 建設省建築研究所、総合技術開発プロジェクト、建築物の防火設計法の開発、昭和 58, 59, 60, 61年度
- 文3) 上杉啓ほか、性能論（新建築学大系24・構法計画・第1章）、彰国社、1985
- 文4) 建設省建築研究所、総合技術開発プロジェクト、住宅性能総合評価システムの開発研究報告書、建築研究報告 No. 87、1979.3
- 文5) 池辺陽、デザインの鍵、丸善、1979
- 文6) 池辺陽、性能論の展開（展望1 性能論とその批判）、日本建築学会建築年報、1971
- 文7) 吉武泰水、建築計画の研究、鹿島出版会、1964
- 文8) 岡田光正、施設規模（建築計画学12）、丸善、1970
- 文9) 今井正次、動線による建築計画の研究、名古屋大学学位論文、1981
- 文10) 柳沢忠ほか、中央手術部のサーキュレーションに関する研究（その1、その2、その3）、日本建築学会論文報告集、第225, 226, 236 号
- 文11) 渡辺仁史、空間と人間行動（新建築学大系11・環境心理・第3章）、彰国社、1982
- 文12) P. Tabor、Analysing communication patterns, The architecture of form, Cambridge University Press, 1976
- 文13) 内田祥哉、住宅と性能、日本建築学会建築雑誌、1980.4

第Ⅰ部 規模の充足性の評価手法に関する研究

—手術室数規模を対象として—

1章 手術室数計画に必要な指標の実態分析

2章 手術要求の充足性の評価法

この部では規模の充足性を評価する手法を研究対象とした。

利用要求に対して施設の規模がどの程度の充足性を備えているかを評価することは、規模計画をする上で重要である。ここでは、対象とする施設として病院の手術室をとりあげた。手術の要求に対して充足を達成する要因として手術室数と共に手術室をどのような方式で運営していくかという要因も考慮した。まず、第1章では、手術室数の決定に必要な指標に関し、既存の手術部での実態調査資料の要因分析を基にこれら指標の条件整理を行なった。そして第2章では、規模の充足性を表わす評価尺度として、単位期間に発生する手術待ち患者数を選択した。ある単位期間において、手術実施能力が手術を必要とする患者数を下回る状態が生じる場合にどれだけの手術待ち患者が発生するかという現象を確率過程としてモデル化し評価法を構成した。この評価法を1章で得た実例病院の調査資料を参考にして具体的に適用し評価した。評価法の適用により手術を実施する施設である手術室の部屋数および手術実施に関する運営方式の計画を可能とすることを目指した。

1 章 手術室数計画に必要な指標の実態分析

1. 概説

1-1. 研究の背景と目的

1-2. 既往関連研究の概説

1-3. 手術室数の計画に必要な計画指標

1-4. 実態調査の方法

2. 調査対象の建築構成・運営方式

2-1. 建築構成

2-2. 運営方式

3. 手術件数

3-1. 病床数と手術件数の相関

3-2. 新入院患者一人当たり手術件数

3-3. 新入院患者数と手術件数の相関

4. 手術所要時間

4-1. 手術時間の平均と分布

4-2. 手術間インターバル時間

5. 手術室同時使用率

6. 手術室回転率

6-1. 病院別の手術室回転率

6-2. 手術室別の一 日および一週間手術件数

7. 手術室の共用化・専用化の傾向

8. まとめ

8-1. 一日当たり平均手術件数の推計法

8-2. 手術室回転率の設定方法

1. 概説

1-1. 研究の背景と目的

医療技術の進歩、情報管理・物品管理の進歩は、病院を建築的にも大きく変貌させてきた。なかでも、手術部・放射線部などの中央診療部を中心に進められた規模の大幅な増加は特筆すべきであり、このことは中央診療部の医療上果たすべき役割が飛躍的に高まったことを示している。しかし、中央診療部の規模を計画するための合理的な方法が確立されていないのが現状である。

中央診療部のなかでも手術部の手術室数規模の計画は、各病院の性格や規模に応じて要求される手術の要求を予測し、また運営方式の条件（手術処理能力など）を検討した上で行なう必要がある。最近、診療科ごとに専用・特化した広さ・設備・環境が要求される傾向が以前にも増して強まっているが、その結果手術室数が多くなり、物品供給・情報伝達のための職員動線が長くなったり、各手術室を同時使用するのに看護婦数を多く必要とするなどの問題が生じている。手術室数の計画にあたっては手術部計画の全般にわたる総合的な検討が必要である。

本章では、手術室数の計画に必要ないくつかの計画指標に関し、既存の手術部での実態調査資料の要因分析を基にこれら計画指標の条件整理を目的とした。

1-2. 既往関連研究の概説

手術室の中央化が導入された初期の頃に手術室数の計画についていくつかの提案がされている。単位病床数当り（例えば 100床当り）手術室数の基準を示した研究（注1）、また手術要求の発生率や手術所要時間などを数学的モデルで表現し、適正手術室数の算定法を提案した研究（注2）がある。以下それらの方法の基本的な考え方を整理する。

要求される手術件数（D）と手術室 1 室当りの手術処理能力（C：本章では手術室回転率と呼ぶ。定義は後述）の平均値を基に、手術室数（N）を次式で決定する考え方がある（文3),6) など、図 1-1参照）。

$$N = \bar{D} / \bar{C} \quad \dots \quad (1.1)$$

\bar{D} : 一日平均の手術件数（件／日）

\bar{C} : 平均手術室回転率（件／室・日）

手術件数 D にかなりの日変動がある (\bar{D} まわりにふれ幅が大きい、図 1-1 参照) 場合、手術室回転率を一定と考えると、応じきれない手術要求が生じ手術の順番待ちといった現象の発生が予想される。

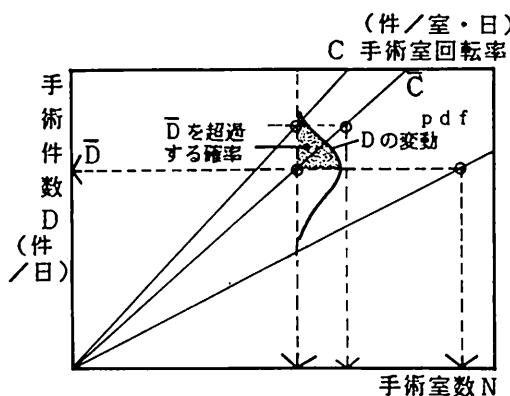


図 1-1 手術件数・手術室回転率・手術室数の関係

岡田光正は、患者の入院期間が指數分布に従うことを基に手術要求の発生がポアソン過程になることを確率論を用いて導いている（文1）。

$$P(m) = (\bar{D})^m \cdot e^{-\bar{D}} / m! \quad \dots \quad (1.2)$$

$P(m)$: 一日に手術が m 件要求される確率

さらに、ポアソン分布の超過確率を評価尺度とし適正手術室数 N を決定する近似式として下式を提案している。

$$N = (\bar{D} + k \times \sqrt{\bar{D}}) / C_m \quad \dots \quad (1.3)$$

k は超過確率に従い定まる定数、 C_m は業務時間内での手術室回転率の平均的な上限値である（注3）。

(1.3) 式は手術室数の算定に確率過程を用いた先駆的な方法であるが、処理できない手術要求が生じた場合の手術待ち現象の過程を分析できない点に問題がある（注4）。

1-3. 手術室数の計画に必要な計画指標

以上の既往研究からも分かるように、手術室数の計画には、手術要求の発生率（手術件数D）と手術室1室当りの手術処理能力（手術室回転率C）が重要な指標である。ここでは、計画指標として以上の二つに加え、各手術室の同時使用の状態と手術室の専用化・共用化を取り挙げた。

(1) 手術件数に関係する要素

要求される手術件数の発生率は病床数で増減するのではなく、新入院患者数の発生率と線形関係があることが確認されている（注5）。

新入院患者数aについては、よく知られるように、

$$B = a \times L / u \quad \dots \quad (1.4)$$

B : 病床数（床）

a : 一日当たり平均新入院患者数（人／日）

L : 平均入院期間（日） u : 平均病床利用率

の関係式（注6）を用いて、病院の規模（B）、性格（L、u）を基に求めることができる。

(2) 手術室回転率に関係する要素

一日当たり手術室一室当り平均の手術件数（件／室・日）を「手術室回転率」と本章では定義する（注7）。

まず、最大可能な手術室回転率について手術に要する時間的要素だけで考える。

ここでCxを一つの手術室で一日に最大可能な手術件数の平均値（件／日）とすると、次の関係が成り立つ。

$$Cx = T / t \quad \dots \quad (1.5)$$

T : 手術業務時間（分／日）

t : 一つの手術を行なうのに必要な平均時間（分）。

手術時間（執刀開始から縫合終了）と手術前後の準備・後片付・麻酔の導入と覚醒等に要する時間の合計。すなわち手術室が一つの手術のために占有されている時間。

Cxはtによりふれ幅の生じる数値である。本章ではtを調査・分析するため次の2つの時間を定義した（図1-2凡例参照、注8）。

①手術時間：執刀開始から縫合終了までの所要時間。

②手術間インターバル時間：同じ日に同じ手術室でおこなわれた前後する手術において、前の

手術の縫合終了から後の手術の執刀開始までの所要時間。

手術時間は、手術の難易度・診療科・職員の技術などで変動すると考えられ、時代的な変化も生じるであろう。手術間インターバル時間には、麻酔の覚醒時間、後片付け・清掃の時間、次の手術の器材準備・環境整備（空調所要時間も含む）の時間、麻酔の導入時間を含んでおり、業務の効率化・建築構成の改良により短縮可能な時間と考えられる。

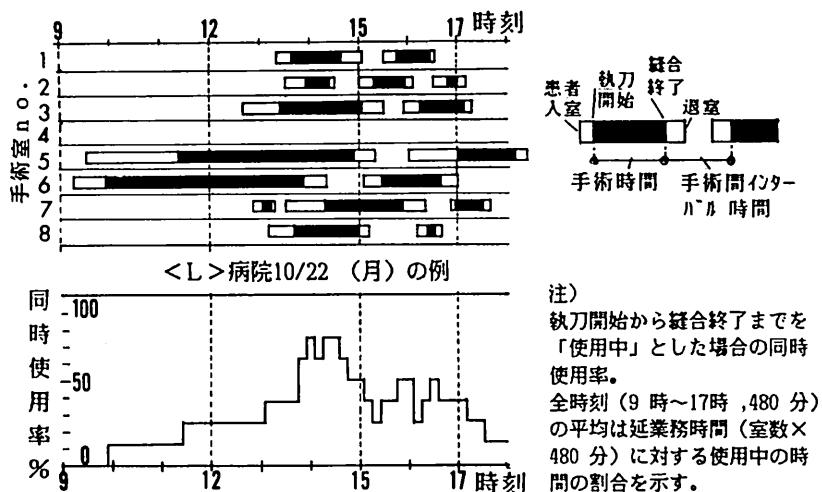


図 1-2 手術所要時間と手術室同時使用率

(1.5) 式についてさらに職員数の要素を考えると、上記の $C \times$ (件／日) が可能なだけの職員数例えは医師の施術に直接関与する（施術介助）看護婦数が制約条件となる。関与する人数を 1つの手術に対し 2人 1組（器械取り、外廻り各 1名）とすると、延人数は $2 \times C \times$ (人／日) 必要なこととなる。

(3) 手術室の同時使用に関係する要素

手術室使用の活発さを表わす指標として、以下に示す手術室同時使用率 $S(t)$ を定義する。

$$S(t) = n(t) / N \quad \dots \quad (1.6)$$

$S(t)$: 時刻 t の同時使用率 (%)

$n(t)$: 時刻 t に使用中の手術室数 (室)

N : 手術室数合計 (室)

前掲の図 1-2は $S(t)$ の時刻変動を示す（執刀開始から縫合終了の範囲を使用中とし時刻を10分刻みとした）。なお、 $S(t)$ の全時刻平均は全手術室の時間的な稼働率を表わす

数値である（注9）。

$S(t)$ は、看護婦人数や業務の分担方式、さらには医師の勤務体制など人員的な要因で変動すると考えられる（図 1-3）。(2) 同様に施術介助看護婦数を 2名と考えると、全部の手術室で同時並行に手術を進行するためには、看護婦数が各時刻ごと手術室数 × 2名必要となり、人数不足の時は空き時間が生ずる。

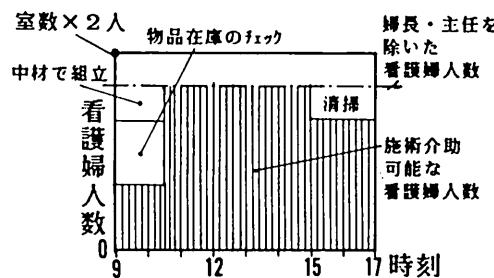


図 1-3 手術部業務と看護婦人数の関係（概念図）

(4) 手術室の専用化・共用化

各手術室を特定の手術目的・診療科別に限定して設置・使用するのか（専用化・特化）あるいは共用化するのかという計画条件を手術室数決定の前提条件として定めておく必要がある。

1-4. 実態調査の方法

調査方法は、以下に示す項目に関し調査票を作成・郵送し、主に手術部婦長より回答を得た。調査は1984.10 におこなった（下記の（3）は 1985.11に再度調査した）。調査対象は 1975 年以降に竣工した手術部のなかから平面型・病院の性格によって有意に 25 病院を抽出し、表 1-1に示す 23 病院から回答を得た（回収率92%）。なお、最近の清潔ホテル型平面型をもつ病院をほぼ半数選択している。

(1) 手術部の運営方式

- ・職員構成、勤務体制、手術スケジュール等
- ・各種手術部業務の担当者・時期・場所・手順
- ・物品の保管場所

(2) 手術部の建築構成

- ・各手術室の設置設備・主要用途

・手術部内各種スペースの用途

(3) 手術件数・新入院患者数・病床数の統計データ。

期間は1983.1～12および1985.1～6の二つの期間の資料を得た。後者は1985.11に郵送・回収した。

(4) 一週間に実施された全ての手術に関して、以下の項目についての手術記録を得た。期間は1984.10.22（月）から10.27（土）。但し、23病院のうち16病院についてのみデータが得られた。

・診療科・術式・麻酔の種類

・手術室への患者の入室と退室・執刀開始と終了・麻酔開始と終了の各時刻

・担当医師人数・看護婦人数

・外来・緊急・感染症の区別

2. 調査対象の建築構成・運営方式

調査対象手術部の建築構成・運営方式の主な事項に関して以下に分析する。

2-1. 建築構成

(1) 手術室の設置数（注10）

100床当りの手術室数は、平均で約1.5室／100床（67床に1室）で、病院ごとにかなりばらつく（標準偏差 $\sigma = 0.7$ 室／100床）。最大は〈A〉病院4.0室／100床、最小は〈P〉病院0.7室／100床。病床数が少ない場合に値が高く、病床数が多い場合低くなる傾向が若干ある（表1-1）。

(2) 手術室の種類（表1-2, 1-3）

分類方法は、診療科別・特殊設備の設置の二つを考える。診療科別には、本節では調査時点で各手術室が原則上どの診療科に割り当てられているかを基にし、実際の診療科別の使用結果に関しては7.で考察した。

手術室は全23病院合計で172室である（表1-2）。一つの診療科に専用の場合と二つ以上の診療科に共用の場合がある。まず、全手術室（172室）のうちの各診療科に割り当てられた延手術室数の割合（使用割り当て率）を求めるとき、整形外科29%、外科22%、脳外

表 1-1 対象手術部の建築構成・諸指標・運営方式

病院名	病床数(床)/室	手術室数(件)/年	手術件数(件)/年	手回収率(%)	平面型式	病院名	看護職員			配管			
							新患者数(人)/年	在院日数(日)/年	看護職員数(人)※1				
									看護師	看護助手			
A	50	2	4.0	198	3.4	-1.2	3.37	0.12	A	3 午後	1.2	2.0	2.0 (直前) (西N)
B	98	3	3.0	183	3.0	-1.2	11.79	0.46	B	3 午前	9	1.7	2.0 (直前) (西N)
C	160	3	1.9	275	24.6	-5.8	6.78	0.38	C	4 全日	21	3.0	2.0 (直前) (西N)
D	355	4	1.1	192	44.4	-21.5	6.28	0.37	D	4 全日	28	2.5	2.0 (直前) (西N)
E	341	5	1.5	169	24.4	-13.1	3.59	0.52	E	4 全日	35	0.8	0.8 (直前) (西N)
F	449	5	1.1	129	117.3	-50.4	13.10	2.02	F	5 全日	35	1.8	1.5 (直前) (西N)
G	300	6	2.0	156	59.8	-28.1	10.90	0.94	G	5 全日	35	2.0	2.0 (直前) (西N)
H	432	6	1.4	144	88.3	-31.6	10.31	1.05	H	5 全日	20	2.0	2.0 (直前) (西N)
I	620	6	1.0	105	109.6	-70.3	8.86	2.34	I	5 全日	35	1.7	2.0 (直前) (西N)
J	492	7	1.8	163	73.4	-33.1	9.15	0.95	J	5 全日	35	3.4	3.4 (直前) (西N)
K	500	7	1.4	152	128.0	-54.3	12.84	1.55	K	5 全日	35	2.6	2.4 (直前) (西N)
L	467	8	1.7	130	195.7	-94.2	21.01	2.36	L	5 全日	35	2.6	2.4 (直前) (西N)
M	700	8	1.7	154	146.1	-65.1	10.47	1.63	M	5 全日	35	2.6	2.4 (直前) (西N)
N	683	8	1.0	211	144.8	-78.6	8.69	1.96	N	5 全日	35	3.0	2.7 (直前) (西N)
O	880	8	0.9	130	224.6	-71.7	12.80	1.79	O	5 全日	35	4.9	4.5 (直前) (西N)
P	1138	8	0.7	140	183.6	-51.6	18.09	1.29	P	5 全日	35	3.2	2.7 (直前) (西N)
Q	523	9	1.7	202	40.6	-40.0	10.41	0.89	Q	5 全日	35	3.1	3.1 (直前) (西N)
R	671	9	1.3	184	194.7	-103.6	14.55	2.30	R	5 全日	35	2.6	2.2 (直前) (西N)
S	740	9	1.2	201	132.2	-73.6	9.57	1.64	S	5 全日	35	3.1	2.9 (直前) (西N)
T	826	11	1.3	128	159.7	-87.3	9.69	1.59	T	5 全日	35	2.8	2.2 (直前) (西N)
U	1207	11	0.9	170	233.3	-116.0	9.21	2.11	U	5 全日	35	2.0	1.9 (直前) (西N)
V	883	13	1.5	261	118.0	-67.0	1.09	2.10	V	5 全日	35	2.8	2.2 (直前) (西N)
W	1000	16	1.6	247	250.3	-168.2	12.75	2.10	W	5 全日	-	2.4	2.1 (直前) (西N)
平均	533	8	1.5	175	212.2	-58.1	10.00	1.40		-	-	-	-

※1：新入院患者数、手術件数は1985.1～6（一部は1983.1～

注1)A～Lは、1983.12)の合計数より算出で正確な、以降、100床で稼働している。

注2)A～Kは、1985.6までは手術室であるが、現在は3室を備えている。

注3)Nは手術室と並んで使用している。

注4)午前、午後に分けて一気に使う。

※2：(※1)内務部の担当者数で不明なため、(専門職員看護職員)の割合で算出する。

*：各手術室手回り回数。

**：各手術室手回り回数。

***：各手術室手回り回数。

****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

*****：各手術室手回り回数。

表 1-2 各手術室の診療科割り当て・手術室回転率・同時使用率

名称 (手術室 番号)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 外(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 内(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 外(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 内(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 外(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 内(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 外(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 内(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 外(手術室番号の範囲)	手術室の選択・用途 内外科診療室兼用室 内(手術室番号の範囲)
A (2)	○	-	-	-	○	□	■	□	○	□
B (3)		○	-	-	○	□	■	□	○	□
C (3)	■	■	6(1)~22 7(1)~4 19	1.0 1.3 ○	BCR X X	○	○	○	○	○
D (4)	1~3 4	○	BCR X X	1.0~22 1.3 23	○	□	■	□	○	□
E (5)	1~3 4 5	○	BCR X X	1.0~22 1.3 30~65 30~65	○	□	■	□	○	□
F (5)	1~3 4 5	○	BCR X X	1.0~22 1.2 18	○	□	■	□	○	□
G (6)	1~3 4 5 6	○	BCR X X	1.0~22 1.2 20~4 6(1)~2 6(1)~2	○	□	■	□	○	□
H (6)	1~3 4 5 6	○	BCR X X	1.0~22 1.1 19	○	□	■	□	○	□
I (6)	1~3 4 5 6	○	BCR X X	1.0~22 1.1 20~4	○	□	■	□	○	□
J (7)			BCR X X	-	-	○	□	■	○	□
K (7)			BCR X X	-	-	○	□	■	○	□
(T1)										
(T2)										
(Y3)										
(W4)										

(凡例)

	一週間の手術記録		
	なし	あり	
上院の 原則割 り	○	□	■
なし			

略号)

BCR(ベイクリングム) X(X線装置設置) 錠(顎微鏡設置)
透(透視装置設置) 感(感染症用) 緊(緊急用) 外(外来用)

(注) : 他科:心臓外科・小児外科・形成外科・内科を一括した

15% の順に高く、眼科・耳鼻科・泌尿器科・産婦人科はそれぞれ 12 ~ 16% である。

次に、全手術室のうち特定診療科に専用化している手術室数の割合（専用率）を求める
と、整形外科 17%、外科 8%、脳外 8% の順である（表 1-3）。特殊設備・環境を有する
手術室のうち、BCR(バ 付クリー ソルム)は、23手術部中16手術部（約70%）と高い設置率である
(注11)。また、X線装置か透視装置設置の手術室は、7 手術部（約30%）である。

表 1-3 診療科別の手術室使用割り当て率・専用率

診 療 科	使用割り当て率		専用率	
	病院合計 23(100%)	手術室合計 172(100%)	病院合計 23(100%)	手術室合計 172(100%)
	病院 室	病院 室	病院 室	病院 室
外科	20(87%)	38(22%)	10(43%)	13(8%)
整形外	21(91%)	50(29%)	17(73%)	29(17%)
脳外	21(91%)	25(15%)	10(43%)	11(8%)
心臓外	7(30%)	9(5%)	3(13%)	4(2%)
形成外	4(17%)	6(3%)	1(4%)	1(1%)
小児外	5(22%)	7(4%)	1(4%)	2(1%)
眼	14(61%)	23(13%)	4(17%)	5(3%)
耳鼻	17(74%)	27(16%)	5(22%)	5(3%)
泌尿器	15(65%)	22(13%)	6(26%)	7(4%)
皮膚	3(13%)	4(2%)	0(-)	0(-)
産婦人	16(70%)	21(12%)	8(35%)	8(5%)

「使用割り当て率」
 左側 = (該当する科に割り当て
 の室を有する病院数)
 /全病院数
 右側 = (該当する科に割り当て
 の延室数) /全手術室数

「専用率」
 左側 = (該当する科に専用の室
 を有する病院数)
 /全病院数
 右側 = (該当する科に専用の
 延室数) /全手術室数

(3) 手術部延床面積（表 1-1, 注12)）

手術室一室当たりの手術部全体の延床面積 (m² / 室) は、平均 175 m² / 室で病院間の差は
大きい ($\sigma = 44 \text{ m}^2 / \text{室}$ 、最大 <C> 275 m² / 室、最小 <I> 105 m² / 室)。

(4) 平面型の特徴（表1-1）

文15), 16) を参考に平面型を清潔ホール型・清潔廊下型・汚染廊下型、中廊下型（中央
ホール型を含む）に分類した（注13）。清潔ホール型 11 病院、清潔廊下型 2病院、汚染
廊下型 1病院、中廊下型 9病院である。

2-2. 運営方式

(1) 手術日・業務時間・診療科別週間スケジュール（表 1-1）

手術業務の時間帯は、開始・終了の時刻に若干の差はあるが、一日中(9~17時)、午前
のみ(9~12時)、午後のみ(13 ~ 17時)と分類できる。一週間での延手術業務時間を手術
日一日当たり午前 3時間、午後 4時間として計算すると、<A>, , <C>, <D>, <E>, <I> 以外は

35時間／週である。なお、どの病院でも主に診療科別に曜日を割り当てて週間スケジュールを組んでいる（注14）。診療科別のスケジュールは医師の勤務体制による制限を強く受けていると考えられる。

(2) 看護婦人数（表1-1）

手術室一室当りの看護婦人数（人／室、婦長・主任等管理職を除いた値）は、全病院平均 2.4人／室、2.0人／室以上 3.0人／室未満が11病院（約48%）、3.0人／室以上は 5病院（約22%）である。さらに、施術介助可能な一室当りの看護婦数は全病院平均で 2.1人／室（注15）、2人／室以上（全手術室で手術の同時開始が可能）は14病院（約60%）である。

(3) 業務方式（表1-1）

各種業務のうち、器械の組立・配盤について、担当者・人数・場所・時期に関して整理した。

(a) 器械の組立

施術介助可能な看護婦人数を確保する点では、組立は中材にて中材職員が行なうのが理想的である。〈R〉, 〈S〉, 〈W〉のみがこのパターンで、中材にて手術部職員が出先業務として行なうパターンが 15 病院（約65%）と多い。

(b) 配盤（セットアップ*、器械開き）

場所は、手術室10病院、清潔ホール・配盤室等が13病院。時期は手術開始直前が18病院と多く、それ以外の5 病院は全手術あるいはその一部を業務開始時に一斉に行なっている。担当者は、〈R〉, 〈V〉を除いて該当手術の器械取看護婦であり、〈R〉, 〈V〉では清潔ホール専属の看護婦が行なう。手術室で手術直前に配盤する場合、患者退室後かつ手術室の清潔性が回復後（清掃後等）に時間をずらす必要があり、手術間インターバル 時間の短縮化に影響を及ぼすと考えられる。

3. 手術件数

3-1. 病床数と手術件数の相関

各病院の一週間当り平均手術件数（半年間の手術実施数の合計／25週、件／週）と病床数をプロットすると図 1-4となり、相関は低い（相関係数 0.78）。病床数 100床当では、

平均は 9.1 件／100 床・週、最大は $\langle L \rangle$ 20.2 件／100 床・週、最小は $\langle A \rangle$ 2.4 件／100 床・週となり、病院間でかなりばらつく ($\sigma = 4.2$ 件／100 床)。

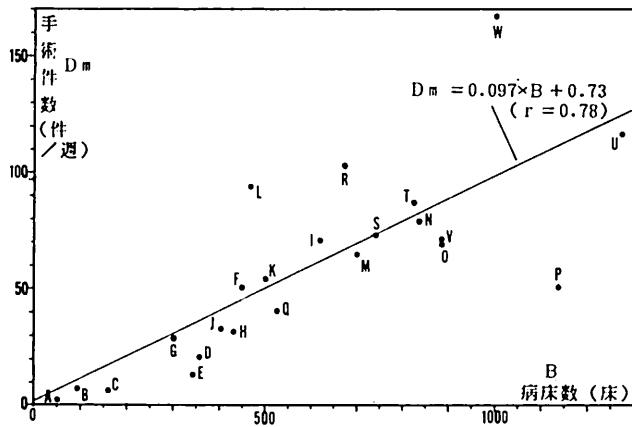


図 1-4 病床数と手術件数の相関

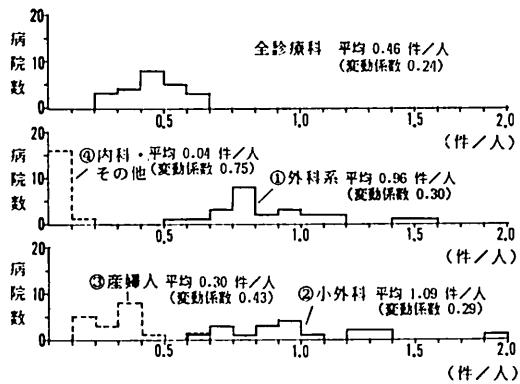


図 1-5 新入院患者数一人当たり平均手術件数の度数分布

3-2. 新入院患者一人当たり手術件数

手術を要する率を新入院患者一人当たり手術件数（注5 参照）として求めた（注16）。

病院ごとに全診療科で値を計算し分布をみると、0.4～0.5 件／人が最頻値となる（図 1-5）。平均は約 0.46 件／人 ($\sigma = 0.11$ 、変動係数 0.24)、最小は 0.27 件／人 ($\langle C \rangle$ 病院) 最大は 0.66 件／人 ($\langle W \rangle$ 病院) である。次に診療科を①外科系（一般外科・整形

外科・脳外科・心臓外科等) ②小外科(眼科・耳鼻咽喉科・泌尿器科・皮膚科) ③婦人・産科 ④内科・その他の四つのグループに分類すると(図 1-5)、①、②はそれぞれ平均 0.96 件／人、1.09 件／人と高い(変動係数は 0.30, 0.29)。③は、平均 0.3 件／人で、①②に比べばらつきは大きい(変動係数 0.43)。④は平均 0.04 件／人(変動係数 0.75)で、<J> 病院を除いて 0.1 件／人以内である。

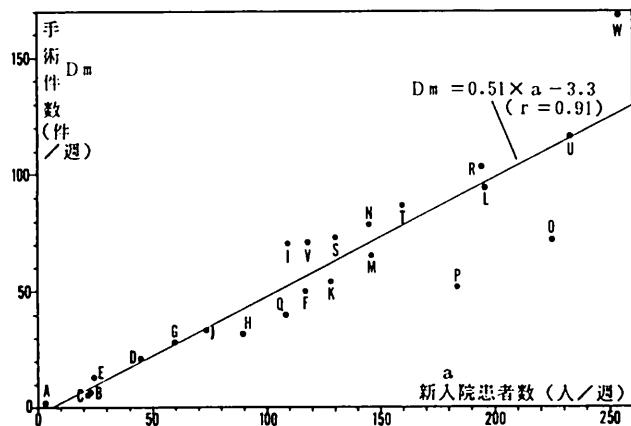


図 1-6 新入院患者数と手術件数の相関

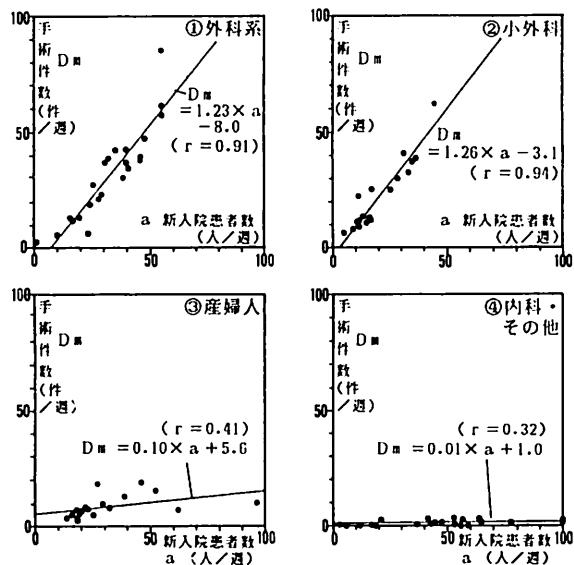


図 1-7 診療科グループ別の新入院患者数と手術件数の相関

3-3. 新入院患者数と手術件数の相関（注17）

新入院患者数 a と手術件数 D_m の一週間平均をそれぞれ横軸・縦軸にとり各病院をプロットすると図 1-6となる (D_m/a が新入院患者一人当たり手術件数を表わす)。相関係数 r は 0.91 となり、病床数との相間に比べ約 0.14高い相関が得られる。回帰式は、

$$D_m = 0.51a - 3.3$$

となる。ただし、 $\langle O \rangle$ 、 $\langle P \rangle$ 、 $\langle W \rangle$ などの病院は回帰式上からかなり離れている。この要因分析のため、診療科グループ別（3-2.と同じ分類）に相関分析をした（図1-7 ①～④）。

①外科系と②小外科は相関が高く、③産・婦人科、④内科・その他は相関が低い。

$$\textcircled{1} : D_m = 1.23a - 8.04 \quad (r = 0.91)$$

$$\textcircled{2} : D_m = 1.26a - 3.13 \quad (r = 0.94)$$

$$\textcircled{3} : D_m = 0.10a + 5.60 \quad (r = 0.41)$$

$$\textcircled{4} : D_m = 0.01a + 1.04 \quad (r = 0.32)$$

全診療科の回帰で特異な位置にいる $\langle O \rangle$ 、 $\langle W \rangle$ は、全診療科合計では新入院患者数がそれぞれ $a = 225$ 人／週、254 人／週と同程度であるが、 $\langle O \rangle$ は D_m/a の小さい産・婦人科が97人／週と $\langle W \rangle$ (46 人／週)の約 2倍あり、結果として全体の D_m/a を低くし、 $\langle W \rangle$ は外科の D_m/a が著しく高いため回帰式上から離れる結果となっている。また、 $\langle P \rangle$ は a のなかの内科・その他の占める割合が多いためである。

4. 手術所要時間

1週間の手術記録（1-4. 参照）の得られた16病院の合計 952件の手術を基に分析した。手術記録の例は前掲の図 1-2に示してある（時間の定義は 1-3. を参照）。

4-1. 手術時間の平均と分布

全診療科での手術時間の平均値は、94分（標準偏差 $\sigma = 99$ 分、952 例）、最長は 750 分、最短は 3 分。分布はほぼ指數分布である（図 1-8、横軸は時間を30分刻み、縦軸は相対度数）。既往の調査結果では時間の区切りの定義が不明確なため（注18）十分な比較はできないが、文7)には 60 分以内が約8 割（昭和30年当時）また文8)には特殊な病院は除いて平均 100 分（昭和56年当時）という数値が示されている。本章の結果と比較すると、後者

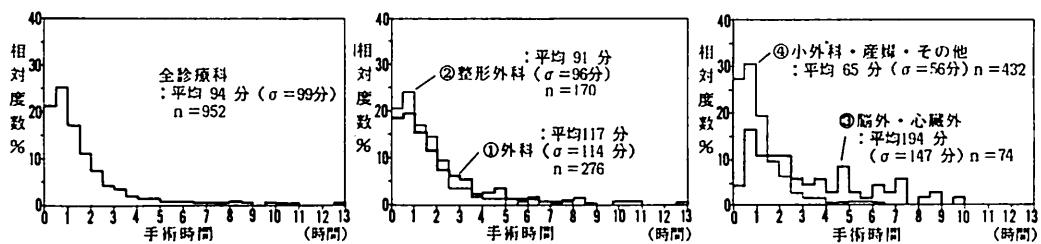


図 1-8 手術時間の度数分布

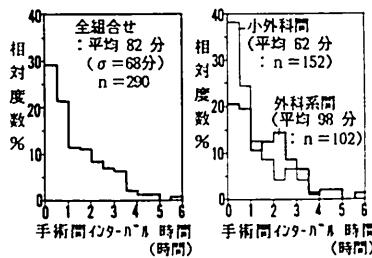


図 1-9 手術間インターバル時間の度数分布

の結果とほぼ一致し、前者については 60 分以内が約 47% となり、時代の経過につれて手術の長時間化の傾向が分かる。診療科が異なる場合また同じ診療科でも難易度によりふれ幅が大きいと考えられるので、診療科を①一般外科（276 例、形成外科を含む）②整形外科（170 例）③脳外・心臓外科（74例）④その他（①②③以外、432 例）に便宜的に分け、その平均と標準偏差をみると、①117 分 ($\sigma = 114$ 分) ②91分 ($\sigma = 96$ 分) ③194 分 ($\sigma = 147$ 分)、④65分 ($\sigma = 56$ 分) となり、③を除いた他の科は平均と標準偏差がほぼ等しいので指数分布に従っていると考えて良いであろう（図 1-8）。また、分布をみると、①～③は 5 時間以上の手術がそれぞれ約 6%、5 %、20% だが、④では 1 % 未満である。

4-2. 手術間インターバル時間

計 16 病院合計で 290 組の手術間インターバル時間が得られた（緊急・臨時を含む組合わせは扱っていない、また9 時から17時の範囲に開始の手術のみを扱った）。平均は約 82 分 ($\sigma = 68$ 分) となり、前述した手術時間の平均値に相当する時間を要している。また最長は 336 分である（図 1-9）。診療科の組合わせでみると、外科系（3-2. 参照）間では平均 98 分、小外科間では平均 62 分が得られ、約 40 分の差がある（図 1-9）。また、手術時間（前後1 組の平均）と手術間インターバル時間には明確な線形関係はない（注19）。

調査で得られた実態は、手術前後の準備・後片付け・麻酔など必要不可欠な時間のみではなく、例えば介助の看護婦が確保できないため空いた時間なども含んでいると考えられる。手術間の所要時間がどの程度まで削減できるかについては、各作業の所要時間・麻酔導入と覚醒の所要時間、また清潔性の回復のための空調所要時間について、平面型との関係も含めさらに詳細な調査・分析が必要である（注20）。

5. 手術室同時使用率

同時使用率 $S(t)$ ((1.6) 式) を求める条件として、執刀開始から縫合終了までを手術室の使用時間とし、また通常の業務時間（9時から17時）の範囲に限り求めた。

一週間の手術記録を基に、各一日ごとに10分刻み間隔で $S(t)$ を求め、さらに各時刻ごとに土・日曜を除く5日間（週5日制でない場合も同様）の平均を時間軸上に示すと図1-10 のようになる。さらに全時刻の平均（全室延業務時間に対する延使用時間の割合を表わす、注9 参照）は、全病院平均では約24%、最高が〈N〉の51%、最小が〈J〉の14%、となる。30%以上は16病院中4病院にすぎない（表1-2）。

時刻変動のパターンを午前・午後どちらを主体に使用しているかを軸に午前型・午後型・均等型の3つに分類した（図1-10、各々主な手術部を示した）。

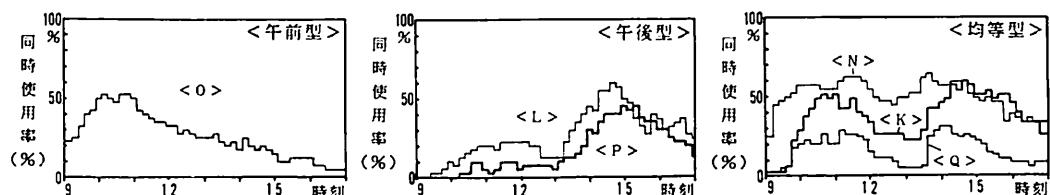


図 1-10 手術室同時使用率の時刻変動

午前型は〈O〉の場合（平均26%）で、午前中は高率（30～40%）が続くが、午後徐々に低くなる。徐々に低下する理由は午前の第一回目は同時期に開始するが、2、3回目を午後に組むことが少ないためである（注21）。午後型は、〈C〉、〈G〉、〈J〉、〈L〉、〈P〉、〈V〉の場合で、このうち〈L〉、〈P〉は顕著な例である。以上2つの型となるのは、医師・施術介助する看護婦の勤務体制が午前・午後の一方に偏ることが主な要因である。この偏りがない均等

型は、平均が 30 %以下の <D>, <E>, <H>, <Q>, <S>, <U>、30%以上の <K>, <N>, <T>, <W> 場合がある。なお、30%以上はこの型に限られる。

6. 手術室回転率

6-1. 病院別の手術室回転率

(1) 一日平均の手術件数（表 1-1に示した一週間平均を週当たり手術日で除した値、件／日）と手術室数を基に各病院の手術室回転率を求めた。全病院平均は、1.40件／室・日 ($\sigma = 0.67$ 件／室・日)。横軸に室数 N、縦軸に手術件数 D (件／日) をとり、各病院をプロットすると図 1-11 となる (D/N が回転率を示している)。最高は、<L> の 2.36 件／室・日、2.0 件／室・日以上は 6 病院 (約26%) である。相関係数は 0.87 と高い値が得られ、全体としては同程度の室数なら手術件数のばらつきは小さいが、例えば室数 8、9 室の場合、1.0 に満たない <Q>、2.5 弱の <R>, <L> まで広く分布する。

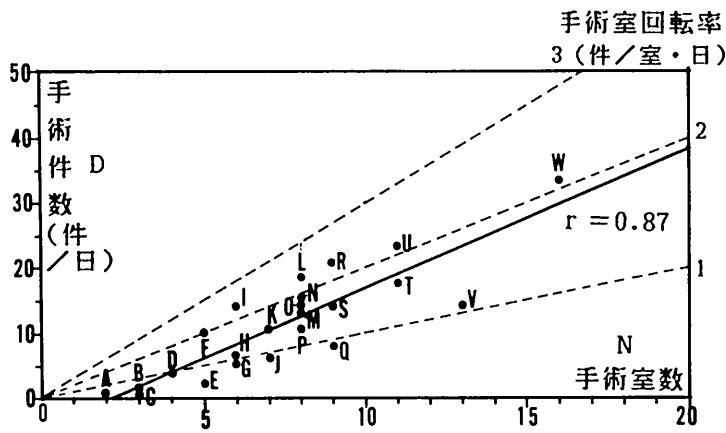


図 1-11 各病院の手術室回転率

(2) 一週間の手術記録データの得られた 16 病院に限って、各病院 5 日分の手術室回転率を求めた (総度数 80)。平均 1.42 件／室・日 ($\sigma = 0.61$)、2.0 件／室・日以上の日は約 22 %にすぎず、最高は 2.75 件／室・日 (<L> 病院の一日) である (図 1-12)。

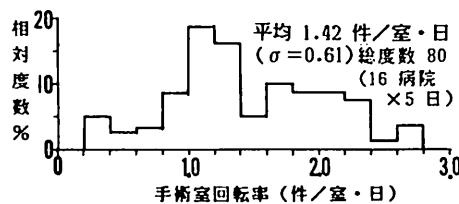


図 1-12 手術室回転率の度数分布

6-2. 手術室別の一日および一週間手術件数

一週間の手術記録データを得た 16 病院計 126 室に関して、一日および一週間ごとの手術件数を以下分析する。

(1) 126 室の一日ごとの手術件数（土・日曜は除く 5 日分、総度数 630 室、注22）を一括してその相対度数分布を表わすと図 1-13 となる。平均は 1.49 件/日 ($\sigma = 1.44$ 件/日) で、3 件/日以上が延 109 室（約 17%）なのに対し、0 件/日が延 177 室（約 28%）、1～2 件/日が延 344 室（約 55%）である。そして、分布は平均 1.49 件/日のポアソン分布にほぼ従う。これは 4. に示したように手術所要時間が指數分布に近いためである（注23）。一日に各手術室で実施される手術件数の度数をポアソン分布と仮定すると、各室の平均である手術室回転率が 4.0 件/室・日となるには、3～6 件/日の手術室が約 65%、0～2 件/日の手術室が約 25% の使用状態を得る必要がある（図 1-13）。また、手術件数と手術の平均時間（執刀開始から縫合終了まで）との関係をみると（図 1-14）、平均手術時間が短くなるに従い手術の件数が多くなる。

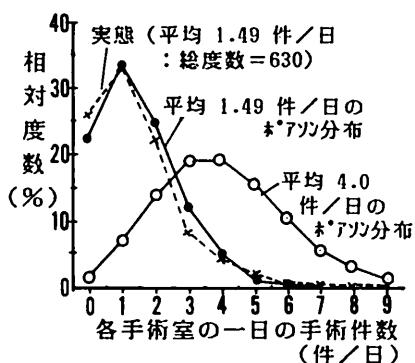


図 1-13 手術室別 1 日手術件数の相対度数分布

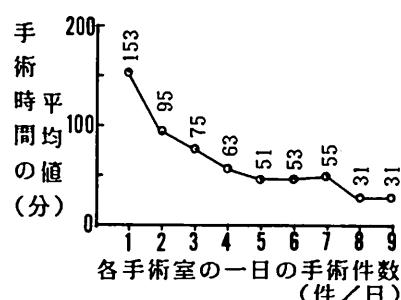


図 1-14 手術室別 1 日手術件数と手術時間の関係

(2) 126室のうち、一週間の手術件数が0~4件／週、つまり一日当りで1.0件／日未満である手術室を抽出すると、34室（約27%）である（表1-2参照）。そのうち、0~1件／週は10室（7病院）、そのうち4室はBCR（バイオクリーンルーム）であり（注24）、残り6室は、需要が1件／週程度の診療科専用の例（3室）、外来手術専用の例（2室）である。また、10~14件／週が21室（約17%）、15件／週以上は13室（約10%）となる。

7. 手術室の共用化・専用化の傾向

各病院各手術室の原則的な診療科割り当て（2-1.(2)、表1-2参照）と一週間のうち実際に使用した診療科を比較すると、必ずしも原則的な割り当てと実際の使用が一致しているわけではない。

表1-4 手術室の診療科グループ別共用パターン

共用 パターン	該当室数
①外科系－外科系	24(21 %)
②小外科－小外科	3(3 %)
③外科系－小外科	28(25 %)
④外科系－産婦人	11(10 %)
⑤小外科－産婦人	5(4 %)
⑥外科系－小外科 －産婦人	13(11 %)
小計	84(74 %)
(専用化)	25(22 %)
(使用なし)	5(4 %)
合計	114(100 %)

（注）
 一週間の範囲で使用した科に基づく共用パターン
 外科系（外科・整形外・脳外
 　　・心臓外・形成等）
 小外科（眼・耳鼻・泌尿器
 　　皮膚）
 ①②は各グループの二つ以上の科の組み合わせ
 ③～⑥は各グループの少なくとも一つが該当するとき

一週間の手術記録の得られた16病院のうち専門病院である3病院（A,B,C）を除了いた13病院114手術室を対象にすると、一週間の使用で特定の診療科に専用化している手術室は25室（22%）、二つ以上の診療科が共用している手術室は、84室（74%）である。共用のパターンを分析するため診療科を外科系（3-2.参照）、小外科、産婦人科・その他に分け、表1-4に示す6つの共用パターンに各手術室を分類した。外科系・小外科の共用が28室（25%）と最も多く、次いで外科系間が24室（21%）である。また、多目的な使用

である外科系・小外科・産婦人科の共用は13室（11%）でみられた。以上のことから、専用化した手術室の割合はそれほど高くなく、広範囲な使用の傾向があることが分かった。

8.まとめ

本章のまとめとして、調査により得られた諸データを基に手術件数の推計と手術室回転率の設定方法に関して以下に要約する。

8-1.一日当たり平均手術件数の推計法

実態(3-1.～3-3.)を基に、推計法を以下に検討する。

新入院患者数 a (人／週)を基に、全診療科一括の推計式 ($D_m = 0.51a - 3.3$ 、推計値Ⅰ)、あるいは診療科グループごとの推計式(3-3.、図1-7参照)の合計(推計値Ⅱ)を利用して手術件数の週当たりの平均が求まる。一日当たりは週当たりの手術日で除して得られる。

各病院の実態値と推計値Ⅰ、Ⅱを比べると(図1-15)、新入院患者数のうち産婦人科・内科の占める割合が高いと推計値Ⅰでは過大に推計し、割合が低いと推計値Ⅱで過大に推計する傾向にある。<0> 病院を例にとると、新入院患者数 a 225人／週(産婦人科・内科合計 72 %)、手術件数実態 72 件／週に対し、推計値Ⅰは111 件／週と約40件の誤差があるのに対し、推計値Ⅱは85件／週で、誤差は13件まで減少でき精度の向上が期待できる。

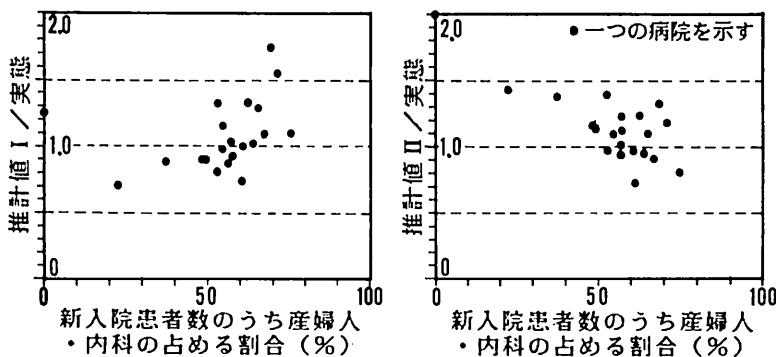


図 1-15 手術件数の実態と推計値Ⅰ・Ⅱの比較

既存病院の場合は、病床数の増床・病床回転率の向上によって新入院患者数の増加が見込まれる時は以上の推計法が利用できる。新設病院の場合は、(1.4) 式を用いて計画病床数 (B) と病床回転率 (平均入院期間 L の逆数) の想定値を基に新入院患者数 a を推計する必要がある。

8-2. 手術室回転率の設定方法

(1) 手術室回転率の設定の主要因である手術所要時間に関しては、まず手術時間は全診療科の平均値で約94分 ($\sigma = 99$ 分) が得られた。また、分布はほぼ指數分布に従う。診療科別には、脳外・心臓外科が最も長く 194 分 ($\sigma = 147$ 分) 、次いで外科 117 分 ($\sigma = 114$ 分) 、整形外科 91 分 ($\sigma = 96$ 分) 、小外科・産婦人科等 65 分 ($\sigma = 56$ 分) が得られた。手術間インターバル 時間は平均で 82 分が得られ、手術時間の平均に相当する時間を要している。また、外科系手術間では平均約 100 分、小外科間では約 60 分と約 40 分の差がある。手術間インターバル 時間の平均 (82 分) を一つの手術に必要な準備・後片付・麻酔に要する平均的な時間として採用すると、手術時間の平均 (94 分) との合計時間から、一つの手術に要する平均的な所要時間は約 180 分となる。

(2) 一つの手術室において一日に最大可能な手術件数の平均値を (1.5) 式 ($Cx = T / t$) を基に求めてみる。手術業務時間 T を 480 分、手術所要時間 t に (1) で求めた 180 分を設定すると、 $Cx = 2.67$ 件／日が得られる。手術室回転率は各手術室の Cx の平均値として求める。これらの値は実態で得た値 (図 1-13、平均 1.49 件／日あるいは図 1-12、平均 1.42 件／室・日) に比べるとかなり高い値となる。これは実態値は、医師のスケジュールの都合や看護婦の人数の不足などの要因のため、手術室が空いていても使用しない場合も含んでいるためである。

以上の手順で得られる設定値は平均的な値であり、図 1-12, 13, 14 に示したように、行なわれる手術の手術所要時間の長短また業務スケジュールによりふれ幅が生じる。

(注釈)

- 注1) 単位病床数に対する基準値としては、国内では文2)に示されている。国外の例については文1), 3), 4)に紹介されている。
- 注2) 文1)、岡田光正氏が、電信・電話回線のトラフィック理論の超過確率の考え方を応用し適正な手術室数の決定法を示した先駆的な研究である。
- 注3) ここで C_m は、業務時間を超過する確率を一定値以下にするよう求めた値。
- 注4) ポアソン分布の超過確率を用いる方法や吉武の α 法などは、待ちの生ずることのない施設に適用されるべき個数算定の方法である。
- 注5) 文1)により指摘され、文6)で多数の調査結果を基に確認されている。
- 手術件数の推計に関する既往研究として、新入院患者数・新外来患者数などの実利用患者人数を基に推計する方法（文1), 3), 6)）、病床数を基に推計する方法（文7), 10), 11)）がある。文1)では、手術を要する率に関して、（年間手術件数）／（前年よりの継越患者数+年間新入院患者数）を「手術率」と定義し、この手術率と新入院患者数の積から推計している。文6)では、新入院患者一人当たりの手術件数（年間手術件数／年間新入院患者数、従って手術率とは若干定義が異なる）には経年変化がないことを確認したうえで、一日当たり手術件数 D と一日当たり新入院患者数 x ・一日当たり新外来患者数 y (= 実新外来患者数 - 実新入院患者数)との回帰式として求める方法を提案している。昭和30年代後半の国立病院の手術実績を基に、 $D = 0.425 x + 0.035 y + 0.4$ を得ている。ただ、診療科による傾向の違いが確認されておらず、推計の精度に問題がある。
- 注6) 文5)の P92, 文1)等を参照。
- 注7) 手術室回転率の設定値としては、平均 2~2.5 件／室・日（文6)がよく利用される。ちなみに米国では、4 ~4.5 件／室・日という報告もあるが、どの程度の水準の手術なのかが明確でない。
- 注8) 手術の所要時間についての調査データは、文1), 3), 7), 8), 9)に報告されている。
- 注9) 同時使用率 $S(t)$ の全時刻平均 S を以下のように求める。手術業務時間を T (分)、 $S(t)$ を求める時間間隔を d 、 $m = T/d$ の時 S は、

■

$$S = (\sum_{t=1}^m S(t)) / m$$

t=1

となる。また、 i 室が時刻 t に使用中か否かを $P_i(t)$ （使用中： $P_i(t)=1$ 、不使用： $P_i(t)=0$ ）とすると、手術室合計 n 室の時、

$$S = \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^m P_i(t))}{n \times m}$$

とも表わせるので、 d が十分に小さければ（10分程度）、 S は全室の延業務時間 $n \times T$ のうち何割の時間が使用中であったかも表わす。

- 注10) 設計時に手術室として計画されていても、調査時に他用途に転用されているものは除いた。
- 注11) 大病院110 施設中 66 施設(60%)に設置されているという報告もある(文13))
- 注12) 面積は壁心間の寸法より求めた。
- 注13) 清潔ゾーン(既滅菌器械などの清潔物品の保管・供給、配盤のためのゾーン)と非清潔ゾーン(非清潔物品の保管・供給、使用物品の回収のためのゾーン)が手術室をはさんで分離され、両ゾーンから手術室への出入口をそれぞれに持つ場合を、清潔ホール型・清潔廊下型・汚染廊下型とし、そうでない場合を中廊下型(中央ホール型を含む)と分類した。清潔ホール型・清潔廊下型・汚染廊下型の区別は、患者が非清潔ゾーンから入退室する場合清潔ホール型・清潔廊下型とし、汚染廊下型は、非清潔ゾーンが使用済物品の回収専用で、患者が清潔ゾーンから入退室する場合である。清潔ホール型と清潔廊下型の区別は、清潔ゾーンの形状がホールか廊下かで分類した。
- 注14) 看護側のスケジュールに関する考え方については文12)が参考になる。
- 注15) この値は、業務分担の方式により時刻また曜日により微妙に変動するが、一日の平均的な値として示した。
- 注16) 文6)では昭和30年代後半 5年では、概ね 0.5(手術件数／新入院患者一人)で経年変化もほとんどないことが示されている。
- 注17) 文6)では(注5 参照)新入院患者数と新外来患者数の二つの変数を用いて手術件数との重回帰分析をしている。このなかで新外来患者数の影響が少ないことが指摘されていることから、ここでは新入院患者数 a のみに対する手術件数 D_m の相関分析をした。
- 注18) 文7)、8)では手術開始・手術終了という名称を用いており本章の定義に一致するか否かは不明である。

- 注19) 相関を求めるとき相関係数約 0.2である。
- 注20) 手術間の所要時間としてどの程度の時間を見積るべきかの資料として、文12)に、スケジュール上最低 1時間から 2時間、感染症手術の後は最低 2時間半はあけて運営しているという報告がある。
- 注21) 13時以降の開始が全59件のうち10件（約17%）であり、例えば <T>病院の41件／93件（約44%）に比べ著しく少ない。
- 注22) 表 1-1に示したように病院ごとで週間の手術日は異なるが、全て手術日 5日／週とした。
- 注23) ある事象が指數型の持続時間に従う時、ある単位時間に何回状態が変わるか（事象が何回発生するか）の確率はポアソン分布に従う。文17) P86-88など。
- 注24) BCRは16病院合計で13室あるが、前述のように 0～1 件／週が 4室、また 2～3 件／週が 5室、5 件／週が 3室、11件／週が 1室で、一日当 1.0件以上は4 室（約36%）である。なお、11件／週の例 <J>は特には BCRでおこなう必要はない普通の眼科の手術に使用したケースである。

（参考文献）

- (1) 岡田光正、中央手術部の規模について（その1, 2, 3）、日本建築学会研究報告 N0. 35、1956
- (2) 篠和夫、伊藤誠、所要手術室数、日本建築学会研究報告 N033、1955
- (3) 吉武泰水、田口正夫、建築学大系（病院）、P212-217、彰国社、1962. 6
- (4) 吉武泰水、建築計画の研究、P25, P219-223、鹿島出版会、1964
- (5) 吉武泰水、建築計画概論（上）、P91-96、コロナ社、1975
- (6) 吉武泰水、松本啓俊、中央診療部規模計画の基礎的指標について、日本建築学会論文報告集、第 128号、1966. 10
- (7) 伊藤誠、建築計画学（病院）、P307-312、丸善
- (8) 伊藤誠ほか、手術についての基礎的分析、日本建築学会大会学術講演会梗概、1982. 10
- (9) ERVIN PUTSEP、MODERN HOSPITAL、P519-523、1979
- (10) 伊藤誠、病院管理学大系、P428-430、医学書院、1980

- (11)伊藤誠、現代外科学大系1、P160-162、中山書店、1973
- (12)花井恵子、手術スケジュールの組み方と問題点、P80-85、看護技術、VOL. 28, N010,
1982.7
- (13)吉橋正吉、病院のバイオロジカルクリーン手術室－使用経験と二、三の知見、空気
調和・衛生工学、VOL. 59, N0. 5 , 1985. 5
- (14)柳沢忠、志田弘二ほか、手術部の室数算定の基礎的研究、日本建築学会大会学術講演
会梗概、1985. 10
- (15)柳沢忠、手術室の建築計画、看護技術、VOL. 28, N010 , 1982. 7
- (16)柳沢忠ほか、清潔ホール型手術部の設計実績、病院管理、VOL. 20, N0. 4 , 1983. 10
- (17)松田正一ほか、O R のための基礎数学4、丸善、1969
- (18)志田弘二、柳沢忠、今井正次、谷口元、手術室数決定に必要な計画指標（手術部の規
模計画に関する研究、第 I 報）、日本建築学会計画系論文報告集、第372号、1987. 2

2章 手術要求の充足性の評価法

1. 概説

1-1. 研究の目的と方法

1-2. 既往研究の概述と本研究の位置付け

2. 手術待ちモデル

2-1. モデルの概要および用語・記号

2-2 手術待ちモデルの構成

3. 評価手法の構成

3-1. 手術必要患者のモデル化

3-2. 手術供給のモデル化

3-3. 手術待ちの解析モデル

3-4. 手術待ち患者数の時間推移と定常状態

4. 評価法の適用例

4-1. 条件の設定

4-2. 調査実例についての適用例

5. まとめ

1. 概説

1-1. 研究の目的と方法

この研究は、前章で考察した手術室数計画に関する各種の計画指標に関する調査資料（文1）を利用して、手術室数計画に関する数理的手法を提案することを目的とした。ここでいう手術室数計画とは、手術を必要とする患者に対し、その手術要求を充足するための手術供給システムの計画を意味している。具体的には、どのような種類・用途の手術室を何室設置するかという建築計画的な要素とともに手術室をどのように使用するか（機能させるか）、つまり何人の職員（医師・看護婦）でどのような運営方式に基づき手術を実施するかという運営計画的な要素も含んでいる。ここでは、手術室数計画が手術要求に対しどの程度の充足性を備えているかに関する定量的な資料を得る一つの手法について述べる。すなわち、ある単位期間において、手術供給能力が手術を必要とする患者数を下回る状態が生じる場合の「手術待ちモデル」を考え（モデルの詳細については2. 参照）、手術待ち状態の時間的推移を評価する確率モデルとしてマルコフ連鎖（Markov Chain）に基づく統計・確率論的な評価手法を用いる。

1-2. 既往研究の概述と本研究の位置付け

施設利用の要求とそれを充足させる施設の供給の相互的関係を扱う問題に対する数理的計画手法・評価手法についての既往研究を概述しつつ、本章の評価手法の特徴を述べる。

変動・不規則性をもつ要求の平均値を用いて施設数計画（供給計画）を行なう「平均値法（注1）」は簡便な手法であるが、要求の充足性を定量的に評価できないという点で有効性に欠ける。要求の変動を考慮した手法としては、要求が設定された供給能力を超過する確率（超過確率）を指定された値以下にする「超過確率法（注1）」がある。手術室数の算定に関しては、前章にも述べた岡田の研究（文2）がこれにあたる（図2-1）。この方法に類する手法としては、吉武の α 法（文3、供給能力を超える要求数の期待値と全要求数の期待値の比をある値以下にするという手法）がある。

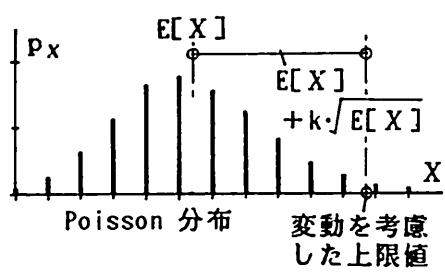


図 2-1 超過確率法の概念

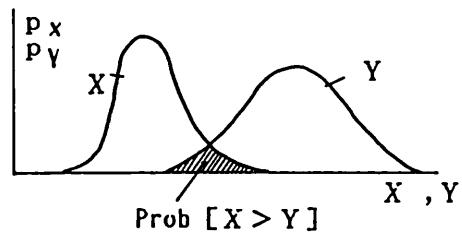


図 2-2 需要 X および供給 Y の分布
を考慮した確率論的計画基準

これらの方法は、要求および供給能力の変動幅が少ないとみなされる事象の解析には適用できるが、手術室数計画では、手術要求に関する時間的変動・不規則性を考慮するとともに、手術供給能力に関しても手術の難易による手術所要時間の変動・不規則性、また業務方式などの不確かさを適切に考慮するのが合理的である。この場合、要求数 X 、供給可能数 Y を統計的に独立な確率変数 ($x, y = 0, 1, 2, \dots$) とみなし、 X が Y を超過する確率を一定値 p_k 以下にする、つまり、

$$\text{Prob} [X > Y] \leq p_k \quad \dots \quad (2.1)$$

$\text{Prob} [\ast]$: \ast の生起する確率を表わす

という計画基準が考えられる（図 2-2）。この方法は簡便であるが、手術患者の待ち状態やその時間的推移が評価できない点にその有効性の限界がある。

これに対し、1960年から1970年代前半にかけてのOR(オペレーションズリサーチ)の研究分野において、病院計画に関わる各種システムの解析に確率過程やシミュレーション手法を適用した研究がみられる（注 2）。手術部については、マルコフ連鎖モデルを用いて手術待ちの状態を解析したA. Esogbue の研究（文 4）、モンテカルロシミュレーションを用いたH. Kwak の研究（文 5）がある。Esogbue の研究は、手術待ち患者数の推移確率の作成に数学的に巧みな手法を用い、その計算例を示している。本章は、この手法を参考にし、より実際的な計画に応用できるマルコフ連鎖モデルについて考察したものである。

2. 手術待ちモデル

手術を必要とする患者の待ち状態とその時間的推移を解析・評価する本章の手法では、

以下のように手術待ち発生過程のモデル化を行なっている。

2-1. モデルの概要および用語・記号

図 2-3は、手術を必要とする患者の入院（外来・救急による来院）から手術スケジューリング・手術を経て退院するまでの過程を模式的に示したものである。また図 2-4は、図 2-3 のうち手術要求の発生から手術供給および手術待ち状態の時間的推移のフローを示している。

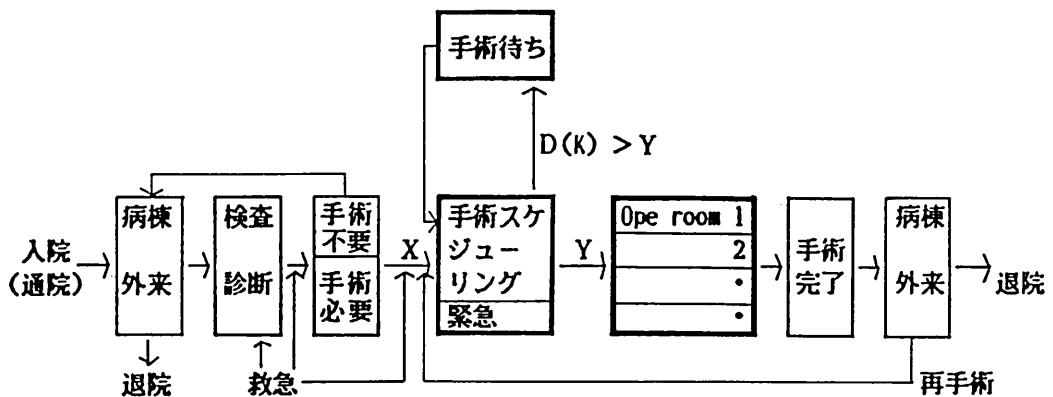


図 2-3 手術の過程の模式図

手術を供給するシステムは、定常的な手術スケジューリングに従う主手術供給システム（Main systemと略記）と、Main systemの手術待ちの状態がある上限値を超える場合にMain systemの供給能力の不足を補うために用意される副手術供給システム（Sub systemと略記）の2系統として構成されるモデルを考える（Main system、Sub systemについては2-2.に詳述する）。

本文および図中に使用する記号・用語は、以下の通りである。なお、 $\{0, 1, 2, \dots\}$ は、 $\{\quad\}$ 内の離散値をとる確率変数であることを表わす。

X : Main systemにおいて、単位期間に新たに発生する手術を必要とする患者数（手術必要患者数と略記）； = $\{0, 1, 2, \dots, X_{max}\}$

Y : Main systemにおいて、単位期間に実施できる手術数（手術供給可能数Yと略記）； = $\{0, 1, 2, \dots, Y_{max}\}$

$D(K) := X + W(X(K-1))$ 。Main systemの期間 Kにおける手術必要患者総数；
 $= \{0, 1, 2, \dots, X_{\max} + W_{\max}\}$
 $W(K) := D(K) - Y$ 。Main system の期間 Kにおいて、手術待ち状態となる患者数；
 $= \{0, 1, 2, \dots, W_{\max} + X_{\max}\}$
 $W(X(K)) := W(K)$ のうち期間 Kから期間 K+1での Main system の手術スケジュールに繰り
 越される患者数； $= \{0, 1, 2, \dots, W_{\max}\}$
 $X_{\max}, Y_{\max}, W_{\max} : X, Y, W(K)$ の上限値
 以下、左下添字 sの付いたものは、Sub system に関する変数を表わす。
 $sW(X(K)) := W(K)$ のうち期間 Kから期間 K+1での Sub system の手術スケジュールに繰
 り越される患者数； $= \{0, 1, 2, \dots, X_{\max}\}$
 $sD(K) := sW(X(K-1)) + sW(K-1)$: Sub system の期間 K における手術必要患者総
 数； $= \{0, 1, 2, \dots, X_{\max} + sW_{\max}\}$
 sY : Sub systemにおいて、単位期間に実施できる手術数（手術供給可能数 sYと略記）
 $; = \{0, 1, 2, \dots, sY_{\max}\}$
 $sW(K) := sD(K) - sY$: Sub systemの期間 K において、手術待ち状態となる患者数
 $; = \{0, 1, 2, \dots, sW_{\max}\}$
 $sY_{\max}, sW_{\max} : sY, sW(K)$ の上限値。
 $p_X(x)$: Xの確率分布 $E[X]$: Xの期待値（平均値）
 $\text{Var}[X]$: Xの分散 σ_X : Xの標準偏差。

2-2 手術待ちモデルの構成（図 2-4参照）

- ① Main systemは、定常的（運営上原則的な手術曜日、業務の時間帯を意味する）な手術スケジューリングにより、手術の術式・性質・診療科に従い、手術日（曜日）・時間帯と手術室を割り当て、手術を実施する手術供給のシステムとする。
- ② 期間 K（4. で述べるように 1週を単位期間とする。注3)参照）における Main system の手術必要患者数 D(K) が手術供給可能数 Y を上回る時 ($D(K) > Y$)、その超過分 ($D(K) - Y$) は、手術待ち患者数 W(K) として次の期間 K+1 に手術が繰り越されるものとする。
- ③ Main systemの手術待ち患者数 W(K) に上限値 W_{\max} を設定する。これは手術待ち患者数の推移確率行列の要素数を有限にするためであり、また現実の運営において上限が設

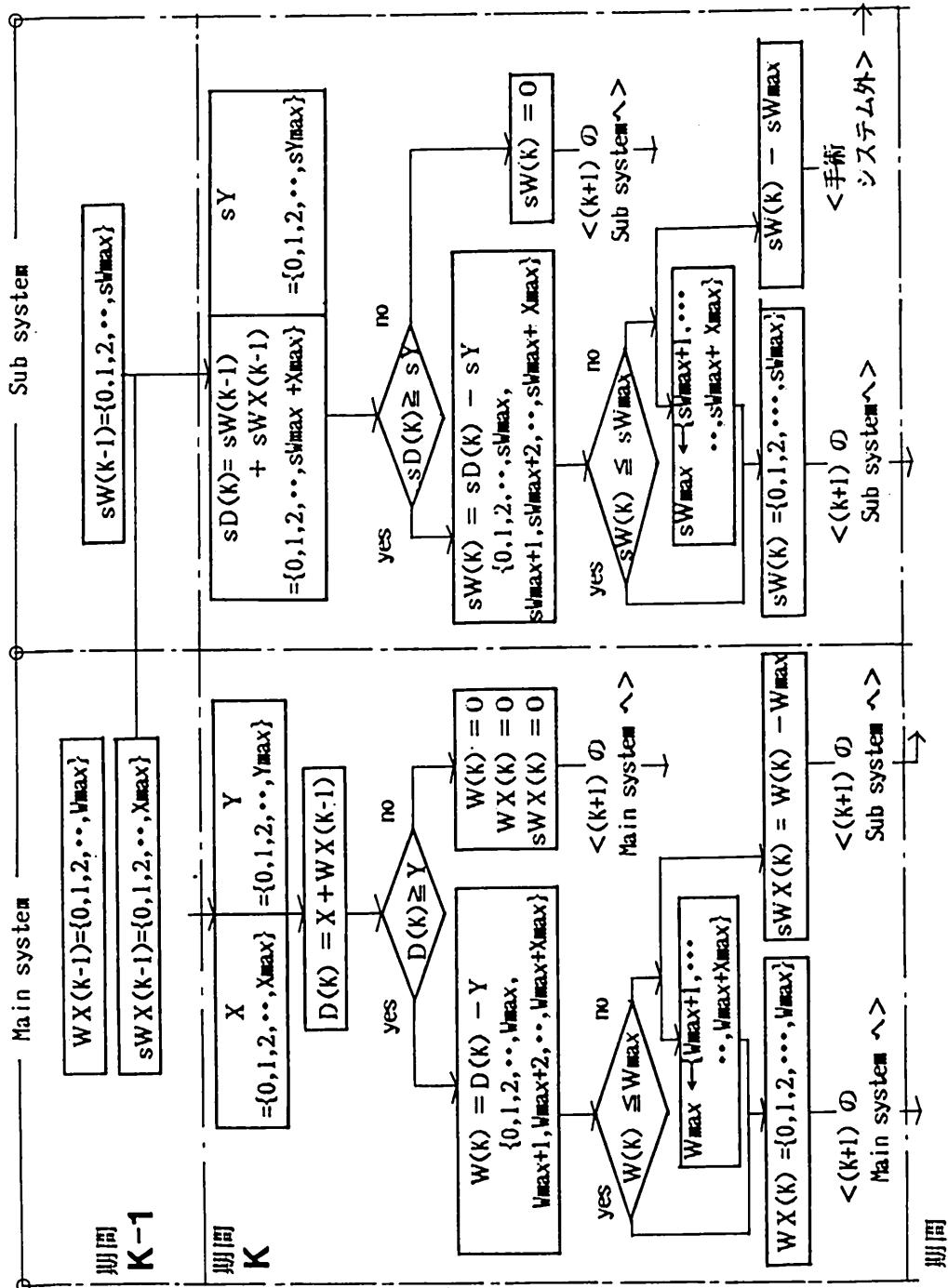


図 2-4 手術待ちモデルの時間的推移のフロー

K+1

定されると判断されることにもよる。

④期間K末で Main system の $W(K)$ が上限値 W_{max} を上回る時、その超過分 ($W(K) - W_{max}$) は、次の期間 K+1 での Sub system において手術が行なわれるものとする。すなわち、Sub system は、Main system の手術待ち患者 $W(K)$ が上限値 W_{max} を超える場合に、手術供給のシステム全体としてより多くの手術を供給するために機能する補助的なシステムを意味し、本モデル構成上の最も特徴的な点である。なお、Sub system では、Main system の手術スケジュールとは重ならない手術日・時間帯に医師・看護婦・手術室が確保されるものとする。

⑤手術待ち患者 $W(K)$ のうち、期間 K において W_{max} 以下の手術待ち患者 $WX(K) = \{0, 1, \dots, W_{max}\}$ は、次の期間 K+1 における新たな手術必要患者数 X (定常: 3-1. 参照) と合わせて期間 K+1 における Main system での全手術必要患者数 D(K+1) とする。これに対し、 W_{max} を超過する手術待ち患者 $sW(X)(= W(K) - W_{max})$ は、Sub system の手術待ち患者数 $sW(K)$ と合算され、期間 K+1 における Sub system での全手術必要患者数 $sD(K+1)$ となる。

⑥Sub system での手術待ち患者数 $sW(K)$ は、Main system の場合と同様の方法で、 $sD(K)$ と sY を用いて算定される。 $sW(K)$ が上限値 sW_{max} を上回る場合、後述のシミュレーション例 (4. 参照) では、その状態 (確率) を示すにとどめているが、これは手術要求に対する手術供給能力の著しい不足を表わす指標と解釈される。

⑦以上の待ちモデルを基に、 $W(K)$, $WX(K)$, $sW(K)$ などの状態とその時間的推移が算定される。なお、本章では、確率変数 X, Y, および sY は、互いに独立で時間に依存しない定常性を仮定している。

3. 評価手法の構成

3-1. 手術必要患者のモデル化

単位期間に新たに発生する手術必要患者数 (2. で定義した X) の分布モデルは、調査資料に基づいて適切な数学的確率分布を設定する。

数学的確率分布としては、事象の生起を定常確率過程とみなし、かつ、その生起時間間隔が指数分布に従うとみなせる場合にはポアソンモデルがしばしば用いられる。すなわち、

時間区間 h において、事象の生起数の確率分布は、下式で表わされる。

$$\text{Prob}[X=n; \lambda h] = \left\{ (\lambda h)^n / n! \right\} \cdot \exp(-\lambda h) \quad \dots (2.2)$$

$\text{Prob}[E]$: 事象 E の生起確率, λh : 平均生起率

ポアソン過程は、数学的取り扱いが簡便であるが、平均値 $E[X](=\lambda h)$ の増大に伴い分散 $\text{Var}[X]$ も大きくなる性質をもつ。本章の解析では、数値計算上、 X の分布の上側裾野域に上限値 X_{\max} を設定している。

次に、総病床数、新入院患者数など病床の使われ方の要因を組み入れた下式の表現を考える。

$$\begin{aligned} N_i &= (N_i / N_s) \cdot (N_s / N_b) \cdot N_b \\ &= \Psi_i \cdot \Psi_s \cdot N_b \end{aligned} \quad \dots (2.3)$$

$$\begin{aligned} N_o &= (N_o / N_i) \cdot N_i \\ &= \Psi_o \cdot N_i \quad (= X) \end{aligned} \quad \dots (2.4)$$

N_b : 総病床数 (注4)

N_s : 単位期間ごとに供給できる病床数 (入院可能な数あるいは空き病床数) を表わす離散確率変数。

図 2-5のように病床の空き期間を考えない単純化された入・退院過程モデルでは、図中の単位期間内の上印数として表わされる。1つの病床の使用期間 T_B (入院期間: ベッド洗浄など必要不可欠な時間を含めて考える) が指数分布 $f_{T_B}(t)$ に従うとみなせる場合には、単位期間 T_L における N_s の期待値 $E[N_s]$ は(2.5)式で表わせる。

$$\begin{aligned} f_{T_B}(t) &= \mu \cdot \exp(-\mu t); \mu = 1 / E[T_B] \\ E[N_s] &= \mu \cdot T_L \cdot N_b \end{aligned} \quad \dots (2.5)$$

N_i : 単位期間における新入院患者数を表わす離散確率変数。

Ψ_s : 総病床数 N_b に対する供給可能病床数の割合を表わす確率変数
 $= N_s / N_b, 0 \leq \Psi_s$ 。

Ψ_i : 供給可能病床数のうち実際に入院した患者数の割合を表わす確率変数
 $= N_i / N_s, 0 \leq \Psi_i \leq 1$

図 2-6は、 N_b , N_s , N_i の相互関係の時間的推移を図示したものである。

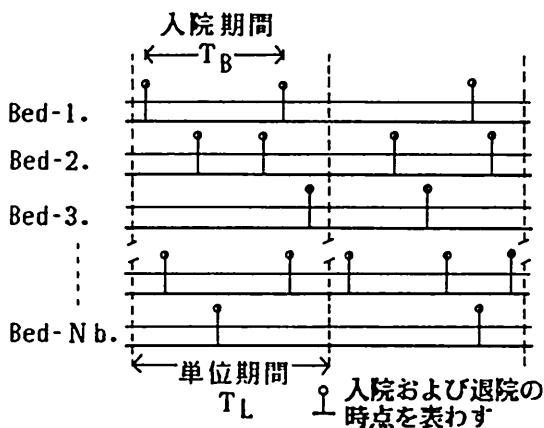


図 2-5 患者の入・退院過程

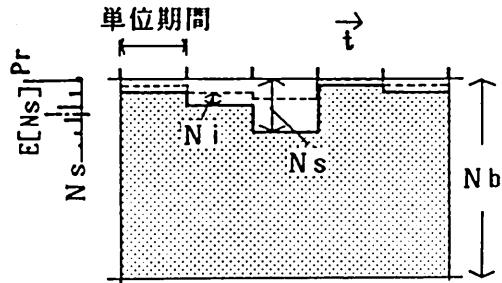


図 2-6 Nb, Ns, および Ni の時間的推移

No : 単位期間に新たに発生する手術必要患者数 (= X)

ψ_0 : 新入院患者のうち手術を必要とする患者の割合を表わす確率変数

$$\text{手術率} = No / Ni$$

ψ_s , ψ_i は病床の使われ方、 ψ_0 は手術を必要とする患者の状況を表わす確率変数である。本評価法では、計画への適用にあたって、これらの確率変数が、調査資料などに基づいて適切にモデル化されるものとする。

3-2. 手術供給のモデル化

単位期間において実施できる手術数（手術供給可能数 Y、s Y）を、手術に要する時間の変動・不規則性に基づいた確率変数と仮定してモデル化する（注5）。

前章の4. で定義・分析した手術時間 T_0 、手術間インターバル時間 T_I により、1手術室・1日についての定常的な手術業務が図 2-7のようにモデル化されると考える。 T_0 は手術の難易などにより変動する確率変数とみなされ、前章の実態調査資料では、指數分布が適合する。 T_I も調査資料では変動幅が大きく、これには職員構成（医師数・看護婦数など）・業務方式また調査時点における手術需要などの要因が影響していると考えられるが、現時点で利用できる資料の範囲では、その性状について十分な分析はなされていない。この点については今後の調査研究が必要である。

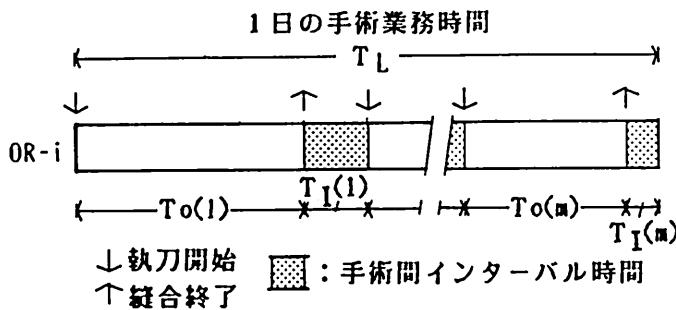


図 2-7 1 手術室・1日における手術過程のモデル

1 手術室・1日における標準的な手術業務時間を T_L とすると、その時間内において実施可能な手術数の期待数 $E [Nos ; T_L]$ は、以下のように算定される。

$$T_{O\ m} = T_O(1) + T_O(2) + \dots + T_O(m)$$

$$T_{I\ m} = T_I(1) + T_I(2) + \dots + T_I(m)$$

また、 $T_{O\ m} + T_{I\ m}$ の累積分布関数を $F_m(T_L)$ とすると、

$$E [Nos ; T_L] = \sum_{m=1}^{\infty} F_m(T_L) \quad \dots \quad (2.6)$$

となる。 T_O および T_I が指數分布以外の場合についても近似的に下式で評価される（注6）。

$$E [Nos ; T_L] \doteq \{ 1 / (E [T_O] + E [T_I]) \} \cdot T_L \quad \dots \quad (2.7)$$

1 手術当りの手術所要時間 ($T_O + T_I$) が指數分布に従うとの仮定の下では、手術必要患者数の分布モデルと同様に手術供給可能数 Y にはボアソンモデルが適用できる。ボアソンモデルのように単位期間における手術供給可能数 Y が手術必要患者数に依存しないと仮定するモデルに対して、 Y が手術必要患者数に依存するモデルとしては 2 項分布を用いることができる。すなわち、期間 K における手術必要患者数 $D(K)$ を用いて、 Y の確率分布は下式で表わされる。

$$\text{Prob} [Y=n ; D(K)] = \binom{D(K)}{n} p^n (1-p)^{D(K)-n} \quad \dots \quad (2.8)$$

$$\binom{D(K)}{n} : \text{二項係数} = D(K)! / \{ n! \cdot (D(K) - n)! \}$$

p : 手術供給可能な確率 ; $0 \leq p \leq 1.0$

Y の平均 $= D(K) \cdot p$, 分散 $= D(K) \cdot p(1-p)$

(2.8) 式のモデルでは、 $D(K)$ が増大するに伴い Y を増加する手術業務方式を意味する。

なお、手術供給可能数 Y の分布についても、前記の X と同様に、調査資料などに基づいて適切にモデル化されるものとする。また、医師数・看護婦数などの運営方式の制約を考慮し、また数値計算上の理由から、上側裾野域の上限値 Y_{max} を設定する。

3-3. 手術待ちの解析モデル

3-3-1. マルコフモデル

手術待ち患者の状態とその時間的推移（図 2-4）をマルコフ過程（Markov Process）としてモデル化する。

マルコフ過程は、任意の時点 $t(K)$ の状態から次の時点 $t(K+1)$ の状態への推移確率が、 $t(K)$ 以前の時点の状態に依存しない確率モデルであり、状態空間が離散的な場合にはマルコフ連鎖（Markov Chain）と呼ばれる。期間 K 末における手術待ち患者数の状態を、 $W(K) (= \{0, 1, 2, \dots, W_{max}\})$ で表わし、期間 K での状態を i 人、期間 $K+1$ での状態を j 人とすると、推移確率 p_{ij} は、 $W(K)=i$ の条件の下で $W(K+1)=j$ となる条件付き確率として下式で表わされる。

$$p_{ij} = \text{Prob} [W(K+1) = j \mid W(K) = i] \quad \dots \quad (2.9)$$

そして、推移確率が定常の場合には、1 次推移確率行列を $[P]$ とすると、 K 次推移確率行列 $[P]^{(K)}$ は、

$$[P]^{(K)} = [P]^K \quad \dots \quad (2.10)$$

となる。また、期間 K 末における手術待ち患者の状態確率分布ベクトル $\{p^{(K)}\}$ は、下式で表わせる。

$$\{p^{(k)}\} = \{p^{(0)}\} [P]^{(K)} \quad \dots \quad (2.11)$$

$\{p^{(0)}\} := \{1, 0, 0, \dots, 0\}$; 初期状態ベクトル

$$\{p^{(K)}\} := \{p^{(K)}(0), \dots, p^{(K)}(j), \dots, p^{(K)}(W_{max})\}$$

$p(j)$: j 人の状態である確率

推移確率行列 $[P]$ が非定常の場合は、期間 m での推移確率行列を $[P_m]$ 、期間 m から K 期間目の推移確率行列を $[P_m]^{(K)}$ で表わすと、

$$[P_m]^{(K)} = [P_m] [P_{m+1}] \cdots [P_{m+k-1}] \quad \dots \quad (2.12)$$

となる。従って、期間 0 から K 期間目の確率分布ベクトル $\{p_0^{(K)}\}$ は、下式で表わされる。

$$\{p_0^{(K)}\} = \{p^{(0)}\} [P_0]^{(K)} \quad \dots \quad (2.13)$$

3-3-2. 推移確率行列

以下に述べる推移確率の計算法は、XおよびYの任意の確率分布について適用できる。

(1) Main system

XおよびYは、互いに独立で時間に依存しない定常性を仮定する。前述のように、XおよびYの分布の上側裾野域には上限値 X_{max} および Y_{max} を設定し、上側裾野切り(upper truncated)分布を用いる。これは推移確率行列の要素数を有限にするための数値計算上の理由による。推移確率行列 $[P]$ は、下記のように構成される(図 2-8、2-9 参照)。

ここで、

i : 現時点における手術待ち患者数 = 0, 1, ..., W_{max}

j : 次の時点における手術待ち患者数 = 0, 1, ..., $W_{max} + X_{max}$

W_{max} は、手術待ち状態 $W(K)$ の上限値を表わす。

(i) $j \geq i$ の時

$$p_{ij} = \sum_{m=j-i}^{X_{max}} \text{Prob}[X=m] \cdot \text{Prob}[Y=m-(j-i)] \quad \dots \quad (2.14)$$

(ii) $j < i$ の時

$$p_{ij} = \sum_{m=0}^{X_{max}} \text{Prob}[X=m] \cdot \text{Prob}[Y=m+(i-j)] \quad \dots \quad (2.15)$$

ここに、 p_{ij} は推移確率行列 $[P]$ の (i, j) 要素を表わす。

X : 手術必要患者数 X の上限 $X_{\max} = 4$ 人
 Y : 手術供給可能数 Y の上限 $Y_{\max} = 4$ 人
 W_{\max} : 手術待ち患者数の上限 $= 4$ 人

の場合の例

i : 期間 K での手術待ち患者数(人)

j : 期間 $K+1$ での手術待ち患者数(人)

() 内 = $j - i$ (手術待ち患者数の増減)

i = 4 人	$j =$									
	0 (-4)	1 (-3)	2 (-2)	3 (-1)	4 (0)	5 (+1)	6 (+2)	7 (+3)	8 (+4)	
	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y
	0 4	0 3	0 2	0 1	0 0					
		1 4	1 3	1 2	1 1	1 0				
			2 4	2 3	2 2	2 1	2 0			
				3 4	3 3	3 2	3 1	3 0		
					4 4	4 3	4 2	4 1	4 0	

図 2-8 推移確率の計算方法の例

$$[P] = \begin{matrix} j \\ \begin{array}{ccccccccc|cc} & 0 & 1 & 2 & \dots & W_{\max} & W_{\max}+1 & W_{\max}+2 & \dots & W_{\max}+X_{\max} \\ \nearrow & P_{00} & P_{01} & P_{02} & \dots & P_{0W_{\max}} & P_{W_{\max}+1} & P_{W_{\max}+2} & \dots & P_{W_{\max}+X_{\max}} \\ 0 & P_{10} & \cdot \\ 1 & P_{20} & \cdot \\ 2 & \cdot \\ \vdots & \cdot \\ W_{\max} & P_{W_{\max}0} & \cdot & P_{W_{\max}, W_{\max}+X_{\max}} \end{array} \end{matrix}$$

図 2-9 推移確率行列 [P]

上式から要素数 $(W_{\max}+1) \times (W_{\max}+X_{\max}+1)$ の確率行列(図 2-9)が構成される。なお、各行要素の総和は、

$$\sum_{j=0}^{W_{\max}+X_{\max}} p_{ij} = 1.0$$

となるように正規化する。

図 2-4に示す解析モデルのように、Main system における手術待ち患者 $W(K)$ が上限値 W_{max} を超過した場合 ($j = W_{max}+1, W_{max}+2, \dots, W_{max}+X_{max}$)、その超過した患者数 ($sWX(K) = W(K) - W_{max}$) が Sub system へ繰り越されるモデルでは、Main system の推移確率行列 [P']は、 $(W_{max}+1) \times (W_{max}+1)$ の行列により構成され、その (i, W_{max}) 要素には、下式の確率を用いる。

$$P'_{i, W_{max}} = \sum_{j=W_{max}+1}^{W_{max}+X_{max}} P_{ij} \quad \dots \quad (2.16)$$

(2) Sub system

まず、Main system から Sub system へ繰り越され、新たな手術必要患者数として Sub system へ入力される $sWX(K)$ の確率分布ベクトルは、Main system での手術待ち患者数の条件下での条件付確率として以下のように算定される。

図 2-9に示す行列要素 p_{ij} (正規化後の値 ; $i=0, 1, 2, \dots, W_{max}, j=0, 1, 2, \dots, W_{max}+X_{max}$) を用いて、

$$\begin{aligned} \hat{p}_{i0} &= \sum_{k=0}^{W_{max}} p_{ik} \quad ; \quad i=0, 1, 2, \dots, W_{max} \\ \hat{p}_{im} &= p_{i, W_{max}+m} \quad ; \quad m=1, 2, 3, \dots, X_{max} \\ &\quad i=0, 1, 2, \dots, W_{max} \end{aligned} \quad \dots \quad (2.17)$$

を計算し、この \hat{p}_{im} ($m=0, 1, 2, \dots, X_{max}$) と (1) で得られる Main system の期間 K 末における手術待ち患者数の状態分布ベクトル

$$\{ p^{(K)} \} := \{ p^{(K)}(0), \dots, p^{(K)}(m), \dots, p^{(K)}(W_{max}) \}$$

を用いて、 $sWX(K)$ の確率分布ベクトル $\{ {}_v p^{(K)} \}$ は、次式により算定される。

$$\{ {}_v p^{(K)} \} = \{ {}_v p^{(K)}(0), \dots, {}_v p^{(K)}(m), \dots, {}_v p^{(K)}(X_{max}) \}$$

$$= \{ \sum_{i=0}^{W_{\max}} \widehat{P}_{ij}^{(K)} \cdot p^{(K)}(i), \dots, \sum_{i=0}^{W_{\max}} \widehat{P}_{im}^{(K)} \cdot p^{(K)}(i), \dots, \sum_{i=0}^{W_{\max}} \widehat{P}_{i, X_{\max}}^{(K)} \cdot p^{(K)}(i) \} \dots \quad (2.18)$$

このモデルでは、 $\{ \sqrt{s} p^{(K)} \}$ は、非定常確率分布ベクトルとなる。

Sub systemにおける期間 Kでの推移確率を $s P_{ij}^{(K)}$ とすると、前述の Main systemの場合と同様の方法により、 $s W X (K)$ の確率分布 ((2.18)式) および Sub system の手術供給可能数 $s Y$ の確率分布を用いて以下のように計算される。

(i) $j \geq i$ の時

$$s P_{ij}^{(K)} = \sum_{m=j-i}^{s X_{\max}} \text{Prob}[s W X (K)=m] \cdot \text{Prob}[s Y=m - (j-i)] \dots \quad (2.19)$$

(ii) $j < i$ の時

$$s P_{ij}^{(K)} = \sum_{m=0}^{s X_{\max}} \text{Prob}[s W X (K)=m] \cdot \text{Prob}[s Y=m + (i-j)] \dots \quad (2.20)$$

期間 0から K期間目の Sub system における手術待ち患者の確率分布ベクトル $\{ s P_0^{(K)} \}$ は、(2.12), (2.13) 式を用いて計算される。

3-4. 手術待ち患者数の時間推移と定常状態

図 2-10 は、上記のマルコフモデルに基づく手術待ち患者の状態とその時間推移を模式的に図示したものである。同図は Sub system の例であり、上限値 $s W_{\max}$ の状態確率は、 $s W_{\max}$ を超過する状態の確率を合算した値として図示されている。また、図 2-12 (1), (2), (3) (4. で考察する) は、手術待ち患者数の状態が数値解析上ほぼ定常状態とみなせる（注7）時点に達した時の状態確率分布の計算例を図示したものである。

2. および 3-1. ~3-3. で述べたモデルの解析フローは、図 2-11 に示すようになる。

なお、この評価法は、4. で述べるように X や Y の分布、さらに運営方式などに関する設定条件の下で、手術待ち患者の状態を定量化する分析手法として有効であり、この評価法の実際の手術室数計画への適用性をさらに高めるには、実態調査資料と適用例との整合性の検討などによりモデルの改良・修正を加える必要がある。

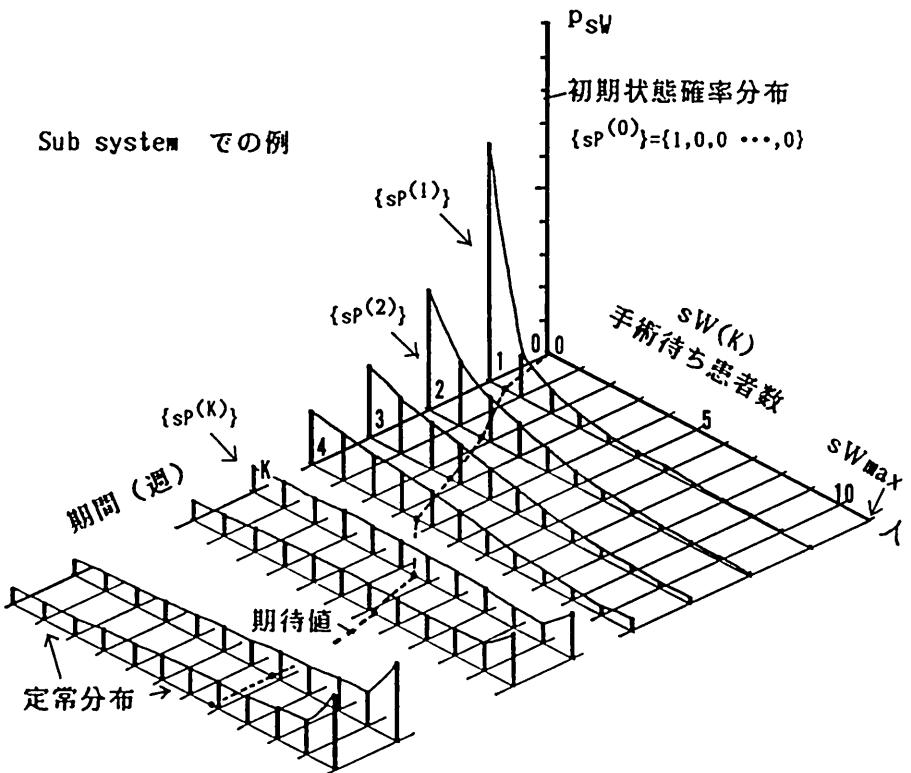


図 2-10 Sub systemにおける手術待ち患者の状態 $sW(k)$ の確率分布の時間的推移の模式図

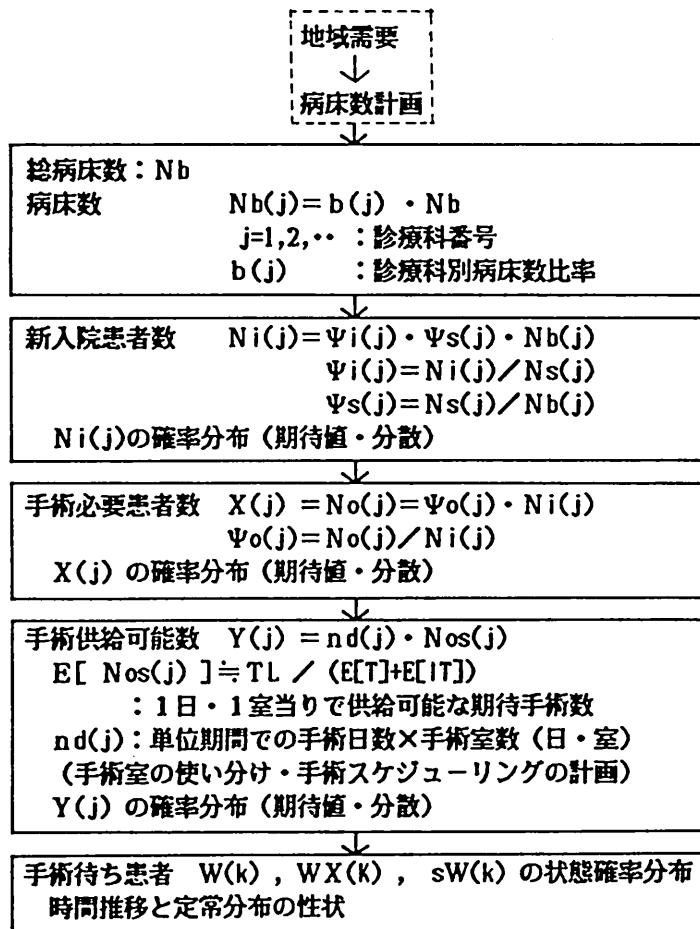


図 2-11 評価法の適用の概略的フロー

4. 評価法の適用例

4-1. 条件の設定

1) 単位期間

1週を単位期間として（注3）、緊急を除く手術のスケジューリング（手術日・手術室の割り当てなど）が行なわれるものとする。

2) 新たに発生する手術必要患者数 X

確率分布は、ポアソン分布を仮定する。その統計量は、一般的には(2.4)式に基づいて

評価される ($X = N_0$)。

3) 手術供給可能数 Y および sY

確率分布は、ポアソン分布を仮定する。3-2. で述べたように、 Y が $D(K)$ に依存することを考慮する場合には、(2.8) 式の 2 項分布の適用が考えられるが、本章で用いる手術待ちモデルでは、Sub system により手術供給可能数が $(Y + sY)$ となる手術供給システムとしているので、期間 K における手術供給可能数 Y が手術必要患者数 $D(K)$ に依存しないモデルとする。1 日・1 手術室当りの手術供給可能数の期待値 $E[Nos]$ は、(2.7) 式で算定される値を用い、 $E[T_0]$ および $E[T_1]$ は、前章の実態調査資料に基づく。

4) X , Y , sY , $W(K)$, $sW(K)$ の上限値

これらの上限値は、例えば、 Y_{max} は医師人数・看護婦人数などを基に設定するというように、病院の運営方式が具体的に考慮されるべきと考えられるが、ここでは解析例として下記の設定値を用いる。

$$X_{max} = E[X] + \alpha \cdot \sigma_x ; \alpha = 3.0$$

$$Y_{max} = E[Y] + \alpha \cdot \sigma_y ; \alpha = 3.0$$

Sub system の sY_{max} は、十分に大きい値とし、ここでは $sY_{max} = 7.0 \cdot E[sY]$ とする。

W_{max} については、手術供給数の上限値 Y_{max} と X の平均値を用いて、 $W_{max} = Y_{max} - E[X]$ として設定する。また、Sub system の sW_{max} も十分に大きい値とし、ここでは $sW_{max} = 7.0 \cdot E[sY]$ とする。

4-2. 調査実例についての適用例

前章（1 章）調査病院のうち、D 病院（表 1-1 参照）を対象としたモデル適用例を以下に示す。

4-2-1. 適用対象の計画条件

1) 病床数・診療科構成・新入院患者数

病床数 $N_b = 355$ 床。診療科ごとの病床数・新入院患者数 N_i を表 2-1 に示す。

2) 手術室数・手術室の主用途・診療科別の手術日数と手術室使用割り当て

・手術室は合計 4 室で、OR-4（表 2-3 参照）以外は特殊な設備および原則的な使用条件が与えられている。

・診療科ごとの手術日は、原則的には各科週 2 日で、水曜と土曜を除く曜日に割り当て

られている（表 2-2）。

ある 1 週間の調査実態では、一般外科・整形外科は、OR-1（バイオクリーンルーム）を除く 3 室をすべて使用し、脳外科は OR-3 を使用していない（表 2-3）。なお、この調査期間では、前述の原則的な手術日程と実態とは必ずしも一致していない。

表 2-1 D 病院における診療科構成と
新入院患者数・手術件数の実態

診療科	病床数 Nb(j) (*)	1 週平均 新入院患 者数(++) E[Ni(j)]	1 週平均 手術件数 (++,++) E[No'(j)]	平均 手術率 (++) E[Ψo']
一般外科	55	7.96	5.44	0.683
整形外科	92	10.28	9.36	0.911
脳外科	64	9.52	6.36	0.668
内科系	144	16.68	0.32	0.019
合計 平均	355 (床)	44.44 (人/週)	21.48 (件/週)	0.483

(*) 1985.10.1 時点の科別の
入院患者数を355 床に対
する値に補正した。
(++) E[Ni(j)], E[No'(j)]は、
1985.1.1～6.30の 6 岁月
合計の 1 週間平均の値。
(++) 調査期間における実態値
は手術実施数であり、手
術待ちとなった患者の有
無は明らかでない。そこ
で E[No(j)], E[Ψo]と
の区別のため 'をついた。

表 2-2 D 病院における診療科ごとの
手術曜日の標準的割り当て

曜日 診療科	月	火	水	木	金	土
一般外科	○				○	
整形外科		○			○	
脳外科	○			○		

○：原則的な
割り当て日

表 2-3 D 病院における 1 週間での手術実施の実態

曜日 手術室 no.	月	火	水	木	金	土	手術件数 合計	料別
OR-1 (BCR)	・	・	・	・	1	・	1: 1件	1: 1件
OR-2 (X線撮影 装置設置)	1 (1) 2		・		2,2 (3)		1: 2件 8件 2: 3件 3: 3件	1: 2件 2: 3件 3: 3件
OR-3 (感染症 の手術用)	1 (2)	2,2,2 (2)		1 (2)	2 2	・	1: 2件 8件 2: 6件	1: 2件 2: 6件
OR-4 (特に 専用なし)	3,3 (1)	2,2 (2)	・	(1) (2)	2 2		1: 1件 7件 2: 3件 3: 3件	1: 1件 7件 2: 3件 3: 3件
手術件数 合計	4件	7件	1件	4件	6件	2件	24件 2:12件 3: 6件	1: 6件 7件 2: 12件 3: 6件

数字は診療科番号
1: 一般外科
2: 整形外科
3: 脳外科
() 付きは、原則
的手術曜日と
一致しないこ
を示す。

3) 手術必要患者の期待人数 E [X]

前節に述べたように、E [X] は(2.4)式により評価されるが、ここでは、マルコフモデルの具体的な適用を試みることに主点を置き、D病院のような規模・性格の例での概略的な値として表 2-1に示す実態値を用いる（1章参照）。この値は、次の期間の手術をスケジューリングする日までに発生し申し込まれた手術必要患者数とみなす。なお、実態では、内科系の手術実施数は1週当たり 0.32 人ときわめて少ないのでここでの解析では除き、解析の対象とする診療科は、一般外科・整形外科・脳外科の 3科とする。

4) 手術供給可能数の期待値 E [Y] および E [sY]

・ 1手術室で1日に実施可能な手術の期待数 E [Nos] は (2.7)式を用いて算定する。ここでは、 $T_L = 8$ 時間 (480 分) とし、また、E [To]、E [T₁]については、前章の調査資料を利用する。すなわち、E [To]は、一般外科（診療科番号 j=1）= 117 分、整形外科（j=2）= 91分、脳外科（j=3）= 194 分、E [T₁]はどの診療科とも 98 分とする。ここでは、各診療科の1日・1手術室当たりの手術供給可能数 E [Nos(j)]を、

$$E [Nos(1) ; T_L = 480] = 2.23 \div 2.20$$

$$E [Nos(2) ; T_L = 480] = 2.55 \div 2.50$$

$$E [Nos(3) ; T_L = 480] = 1.64 \div 1.60$$

... (2.21)

とする。

・ Main system での単位期間における Yは、診療科ごとに手術日数と使用可能な手術室数の総和 ($n d(j)$, $j= 1, 2, 3$) に(2.21)式のE [Nos(j)]を乗じて算定する。 $n d(j)$ は、例えば 2室を 2日専有する場合、4 日・室 (2日×2 室 : 日・室と表示する) となる。D病院の原則的な診療科ごとの手術日数・曜日（表 2-2）と手術室の使用実態（表 2-3）を参考にすると、表 2-4に示すように $n d(j)$ (日・室/週) は、 $n d(1) = 2$, $n d(2) = 3$, および $n d(3) = 2$ となる。また手術室数は、OR-1は特殊な使われ方がされるため除外して計 3室とする。現状の手術供給可能数が不足するとみなされる場合には、E [T₁]の短縮、あるいは T_L の延長によっても改善計画がなされるが、ここでは、 $n d(j)$ の増加による計画を想定し、 $n d(j)$ の合計の上限が 15 日・室 (5 日×3 室) であることを考慮して、各診療科ごとに 4種の $n d(j)$ の設定ケース（表 2-5の I ~ IV）についての解析例を示す。ケース IIは、上述の使用実態に基づく $n d(j)$ 値を設定したケースであり、以下ではこれを仮に $n d(j)$ の実態値と呼ぶ。

また、後述のように、Sub systemには、計 3日・室を割り当てるので、残り 12 日・

室の範囲で表 2-5 の $n_d(j)$ の組み合わせが可能である。ケース II (実態値) を超える $n_d(j)$ の場合には、診療科別に手術室や手術曜日の割り当てに制限はないものとする。

表 2-4 使用実態に基づいた
 $n_d(j)$ の設定

診療科	一般外科	整形外科	脳外科
使用可能 室数 $R_p(j)$	2 室 OR-2,OR-3	3 室 OR-2,OR-3, OR-4	2 室 OR-2,OR-4
1週当たり 手術日数 $D_w(j)$	2 日	2 日	2 日
$n_d(j)$ (日・室)	2.0 (←1.72)	3.0 (←2.58)	2.0 (←1.72)

$$n_d(j) = \{ \text{手術合計数} \cdot R_p(j) / \sum R_p(j) \} \cdot D_w(j)$$

表 2-5 $n_d(j)$ の設定ケース I ~ IV

$E[X]$: 人／週 , $E[Nos]$: 件／日 , $E[Y]$: 件／週 , $E[sY]=E[Nos]$

$$r_m = E[Y]/E[X]$$

$$r_{m+s} = (E[Y] + E[sY]) / E[X]$$

$E[Y], E[X]$ は実態値を正規化した値を示した。

診療科	一般外科			整形外科			脳外科					
	$E[X]=5.37$	$E[Nos]=2.2$	r_m	$E[X]=9.38$	$E[Nos]=2.5$	r_m	$E[X]=6.38$	$E[Nos]=1.6$	r_m			
設定 ケース	$n_d(j)$	$E[Y]$	r_m	$n_d(j)$	$E[Y]$	r_m	$n_d(j)$	$E[Y]$	r_m			
I	1	2.19	0.41	0.82	2	4.98	0.53	0.80	1.5	2.38	0.37	0.62
II	2	4.38	0.82	1.22	3	7.48	0.80	1.06	2	3.19	0.50	0.75
III	3	6.57	1.22	1.64	4	9.96	1.06	1.38	3	4.77	0.75	1.00
IV	4	8.78	1.64	2.04	5	12.97	1.38	1.65	4	6.38	1.00	1.25

表 2-6 $n_d(j)$ のケース II での手術日程のモデル例

数値は $n_d(j)$ を手術室・曜日に割りふった値

{ } 内は Sub system 用の割り当て

曜日 手術室 no.	月	火	水	木	金	土
OR-2	一般外科 1.0	整形外科 0.5	•	脳外科 1.0	整形外科 1.0	•
OR-3	•	整形外科 1.0	•	{整形外 科予備} (1.0)	整形外科 0.5	•
OR-4	脳外科 1.0	{脳外科 予備} (1.0)	•	{一般外 科予備} (1.0)	一般外科 1.0	•

- Sub system の手術供給可能数 sY は、各診療科週 1 日・室、合計週 3 日・室としたモデル例を設定する。従って、(2.21)式の $E[Nos](j)$ となる。
- ケース II (実態値) の場合の各診療科ごとの 1 週間における手術日程は、表 2-6 の例のようになる。

4-2-2. 適用結果

図 2-12(1), (2), (3) は、各診療科での手術必要患者数 X に対する 4 種の手術供給可能数 Y の設定ケース（表 2-5 の I ~ IV）についての計算例を図示したものである。I ~ IV 各々の設定ケースごとに、Main system での手術待ち患者数 $W(K)$ の数値解析上定常とみなせる状態（3-4 参照、注7）における確率分布ベクトル（定常分布と略記）および Y の分布を図中の左側に、Sub system の手術待ち患者数 $sW(K)$ の定常分布と Main system から組み込まれる Sub system における新たな手術必要患者数 $sWX(K)$ の定常分布を右側に図示した（Main system での実質上の手術待ちの期待人数は、 $WX(K)$ の期待値として図 2-13, 14 に示しているので、 $W(K)$ の期待値は図示していない）。

また図 2-13(1), (2), (3) は、 Y の設定ケースごとに、Main system における手術待ち患者数 $W(K)$ のうち次の期間での Main system に組み込まれる $WX(K)$ と Sub system に組み込まれる $sWX(K)$ 、および Sub system における手術待ち患者数 $sW(K)$ のそれらの定常状態における期待値の性状を示している。また図 2-14(1), (2), (3) は、初期状態から定常分布までの $WX(K)$ および $sW(K)$ の期待値の時間推移を示している。

なお、手術必要患者数 X と手術供給可能数 Y の関係を表わす指標として、Main system では、 $E[Y]$ と $E[X]$ の比 $\gamma_m = E[Y] / E[X]$ 、また Sub system では、 $(E[Y] + E[sY])$ と $E[X]$ の比 $\gamma_{m+s} = (E[Y] + E[sY]) / E[X]$ を各ケース・各診療科ごとに表 2-5 に示す。

(1) 手術待ち状態の定常分布（図 2-12, 13）

- 各診療科において $E[Y]$ がケース II ($nd(j)$ の実態値) の場合では、Main system に関しては、 $W(K)$ が上限値 W_{max} を超過する確率 $Prob[W(K) > W_{max}]$ が、一般外科（一外と略記）：0.425、整形外科（整外と略記）：0.537 程度であるのに比べ、脳外科（脳外と略記）は 0.802 と著しく大きい。Sub system では、脳外のみが明確に手術待ちが増大する状態を呈する。なお、待ち患者の期待値 $E[sW(K)]$ をみると、脳外が 10.55 人と最も少なくなっているが、これは、この解析例では脳外の手術待ち患者の上限値 sW_{max} が 11 人と低く設定されているためで、このような場合には、手術待ち患者の期待値 $E[sW(K)]$ より

(1)
一般外科

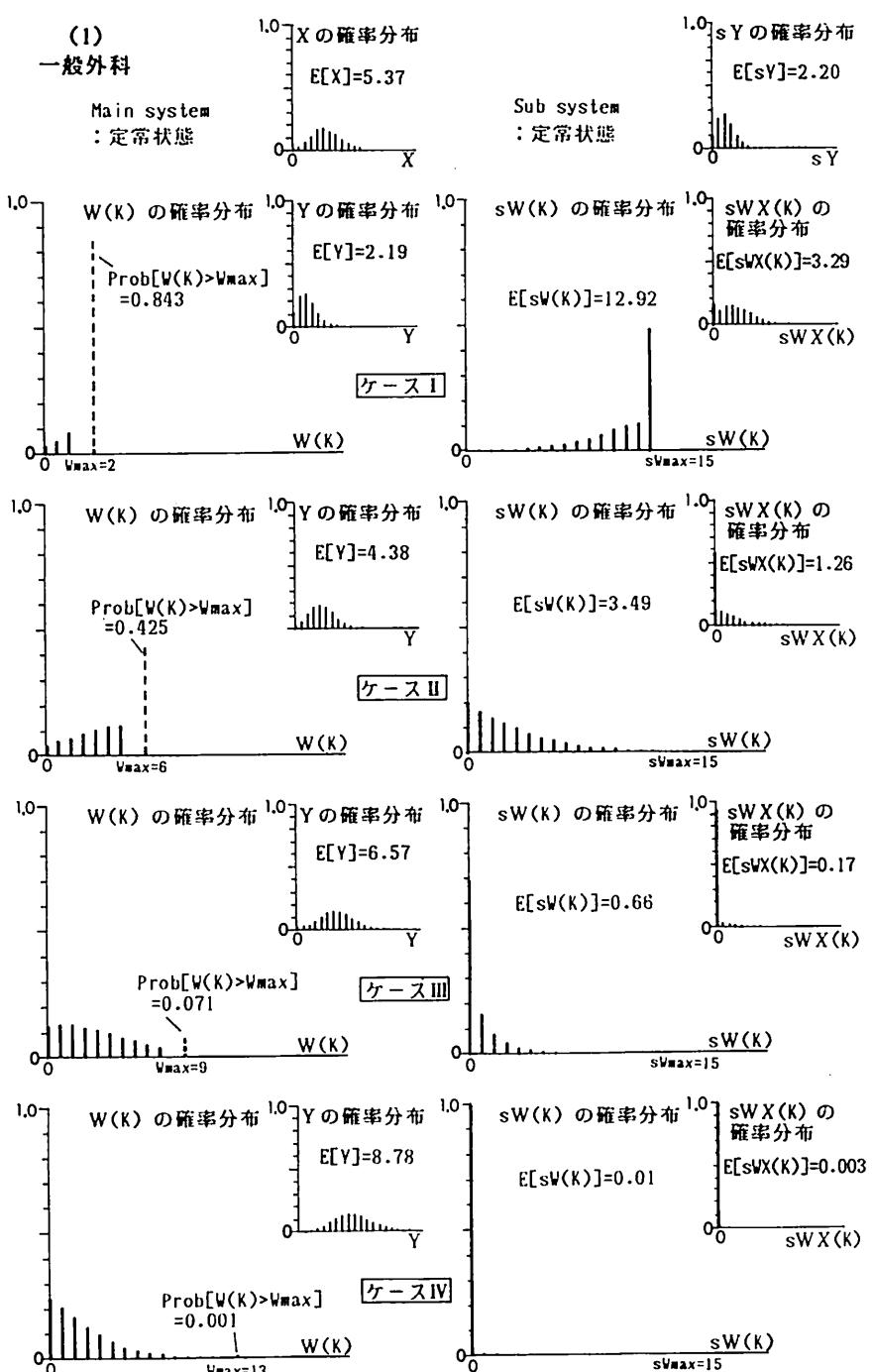


図 2-12 手術待ち状態 $W(K)$, $sW(K)$ の確率分布
((1) 一般外科 · (2) 整形外科 · (3) 脳外科)

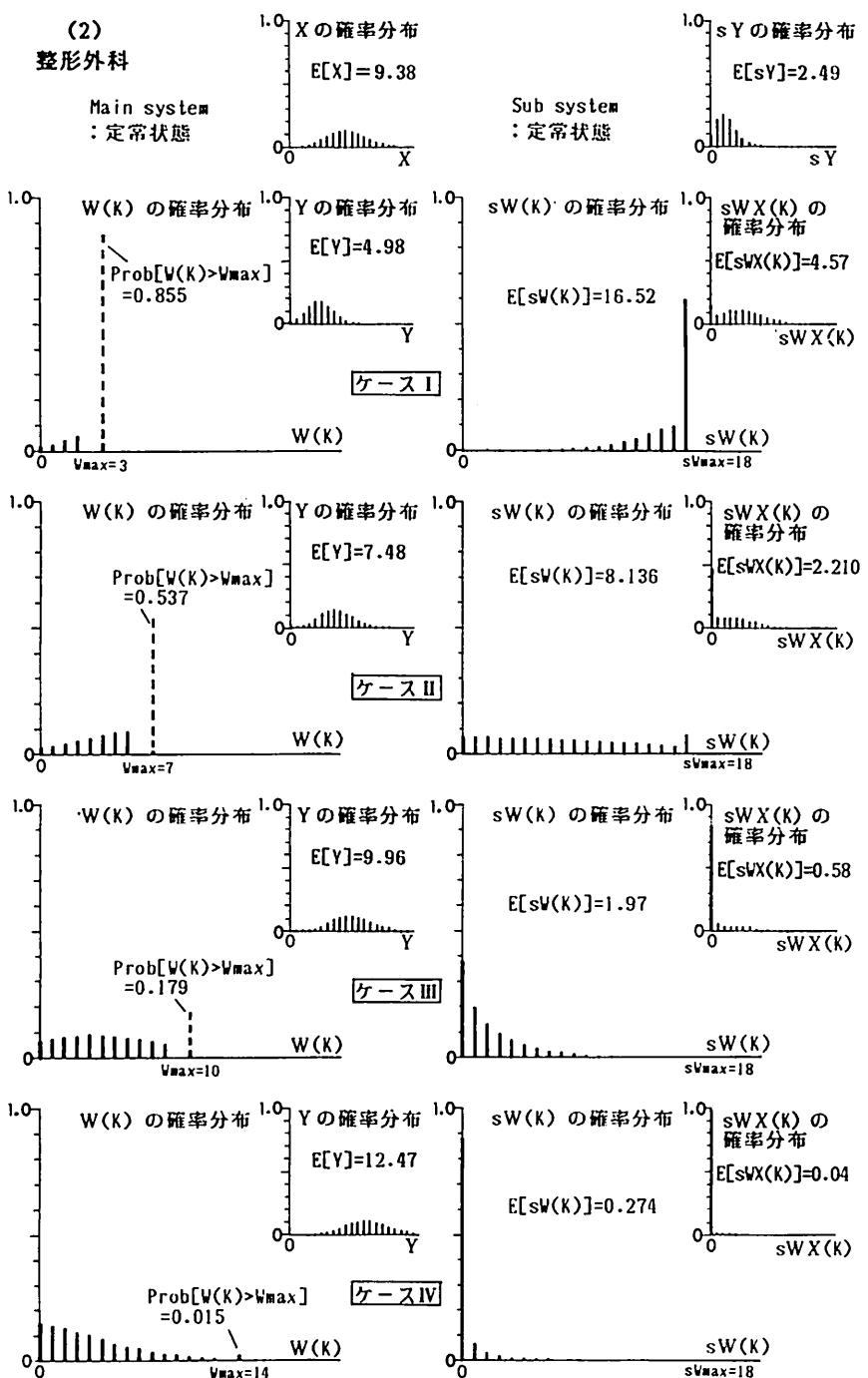


図 2-12 (つづき)

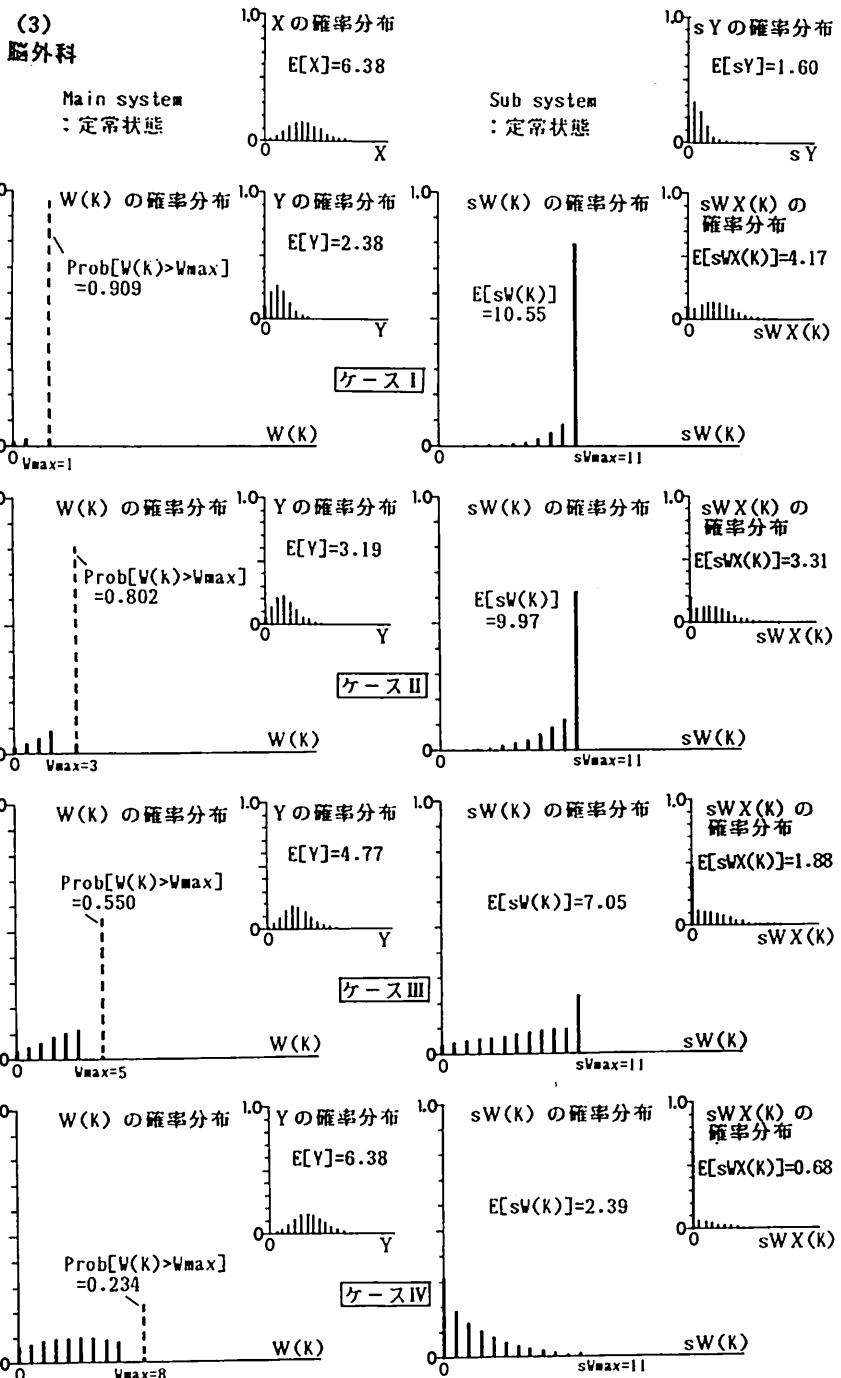


図 2-12 (つづき)

も手術待ち患者が上限値 sW_{max} の状態となる確率 $Prob[sW(K)=sW_{max}]$ の方が手術供給システムを分析する上での指標となる。脳外では、この確率 $Prob[sW(K)=sW_{max}] = 0.629$ となり、一外・整外に比べ著しく大きい。

・ $E[Y]$ の設定値を変化させたケース I, III, IVの場合には、待ち患者が上限を超過する確率 $Prob[W(K) > W_{max}]$ は、一外・整外では、 $\gamma_m \geq 1.0$ のケース III, IVで $0.2 \sim 0.001$ の値となり、手術待ち状態も少なくなり、Sub systemを設ける（機能させる）必要性がほとんどなくなる性状を示している。このことは図 2-13(1), (2)に示すように、一外・整外のケース III, IVでは Sub system の手術待ち患者の期待人数 $E[sW(K)]$ が手術供給可能数の期待値 $E[sY]$ を下回る程度になることからも指摘される。この様な手術待ち状態とするには、 $\gamma_{m+s} \approx 1.3$ 、つまり $E[X]$ に対して ($E[Y] + E[sY]$) を 3割増し程度にする必要があると判断される。また、Main system における手術待ち患者の期待数 $E[WX(K)]$ は、 $\gamma_m < 1.0$ では、上限設定値 W_{max} の増大に従い増加する。 $\gamma_m \geq 1.0$ のケースでは、 $E[WX(K)]$ が $E[sY]$ 程度の状態となるのは、一外のケース IV ($\gamma_m = 1.64$) の場合であり、手術待ち患者が上限値を超過する確率 $Prob[W(K) > W_{max}]$ も小さい値となる。従って、Main Systemの手術供給数の期待値 $E[Y]$ が $E[X]$ に対して 6割増し程度であれば Main system での手術待ち患者が少なくなる。

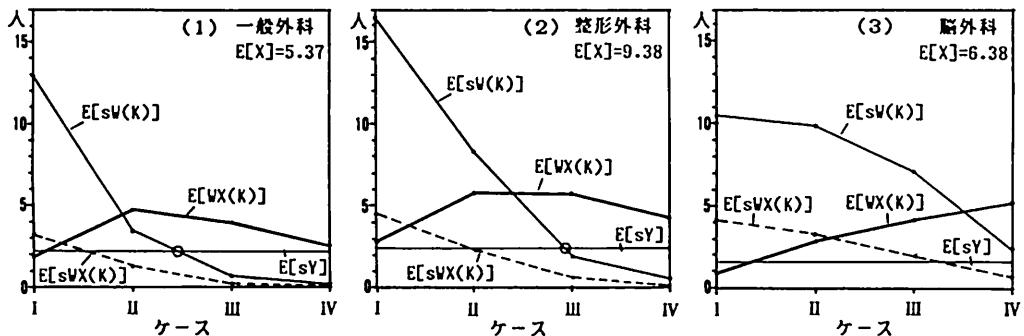


図 2-13 $n d(j)$ の設定ケースごとの定常状態における手術待ち患者の期待人数

(2) 手術待ち状態の時間推移 (図 2-14)

・前述（注7）のように、ここでの解析例における定常状態は、手術待ち患者の増加が生じなくなった状態である。本章の解析モデルでは上限値 W_{max} , sW_{max} を与えているので、上限値を超過する患者が多くなって定常状態となるケースでの定常状態に至る期間や時間的推移の性状は、上限の設定値の影響を併わせ考えて判断される必要がある（注8）。また、

手術待ち患者数の増加が生じなくなる状態については、図 2-14 に図示した定常状態（注7）のように数値計算上の定常状態ではなく、手術待ち患者数の増加が緩やかになりほぼ安定する時点として判断するのが現実的であろう。

・ Main system における $E[WX(K)]$ の時間推移

何れの診療科・ケースにおいても、ほぼ 5週以内で手術待ち患者の増加は緩やかになっているが、一外・整外のケース I、II、脳外のケース I、II、IIIの比較にみられるように、

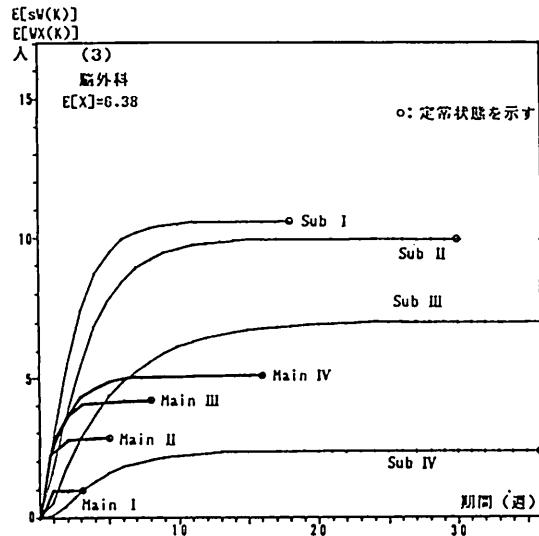
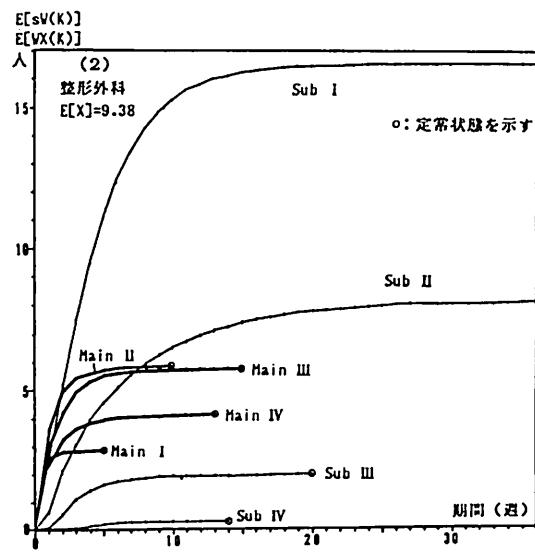
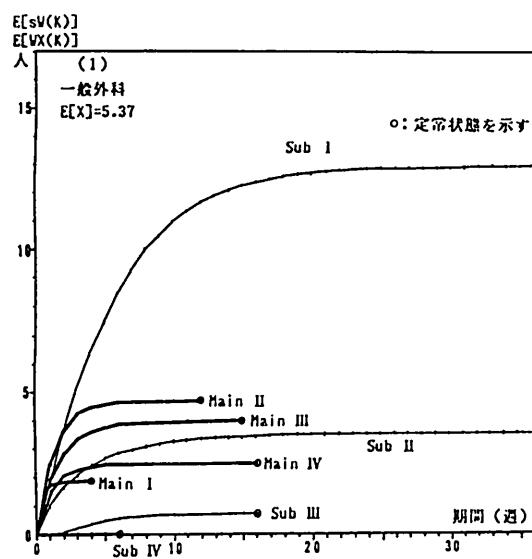


図 2-14 Main system および Sub system における手術待ち患者の期待人数の時間的推移
(診療科別・nd(j)の設定ケース I ~ IV)

$E[Y]$ が小さいほど (r_m , W_{max} も小さい) 手術待ち患者の増加は短期間で緩やかになるが、これは、前述したように(注8)、 $E[Y]$ が著しく小さくて $Prob[W(K) > W_{max}]$ も大きい場合、手術待ち患者が急増して定常状態となることを示している。

・ Sub systemにおける $E[sW(K)]$ の時間推移

Main system における性状と同様に、 $E[Y] + E[sY]$ が $E[X]$ に対して著しく不足する場合には、待ち患者が急増して(注8)、脳外のケースI、IIのようにほぼ10週程度で待ち患者の上限の状態確率 $Prob[sW(K)=sW_{max}]$ が著しく大きい状態で増加が緩やかとなる。これに対し一外・整外のケースIII、IVでは、10週以内に待ち患者の少ない状態で増加が緩やかになっている。

(3) 以上の解析結果に基づくと、D病院において適切と判断される手術室数と手術スケジュールについて以下の事柄が指摘される。

手術室を3室設け、診療科による手術室の割り当てではなく、手術日は週5日で診療科による曜日指定の枠を外すとして計画した場合、 $nd(j)$ の合計の上限値である15日・室の範囲で Main system の各診療科の $nd(j)$ を、 $nd(1)=3$ 日・室、 $nd(2)=4$ 日・室、 $nd(3)=4$ 日・室、合計11日・室としてスケジュール日程を組めば、手術待ち患者の発生が少なくなると判断される。この設定での手術スケジュールは例えば表2-7となる。

また、今回の解析において対象外としたOR-1(バタクリーンルーム)は高い清潔性を必要とする手術に専用となっているが、3室のうち1室をバタクリーンルーム仕様で設置し、一般的な手術でも使用する運用方式を採用すれば、手術室数3室の計画が適切と判断される。

表 2-7 手術室3室・週5日制で手術待ち状態が少なくなる手術日程のモデル例

手術室3室として計画した場合の例：

$nd(1)=3.0$ 日・室、 $nd(2)=4.0$ 日・室、 $nd(3)=4.0$ 日・室
 { } 内は Sub system 用の割り当て

曜日 手術室 no.	月	火	水	木	金	土
OR-2	一般外科 1.0	整形外科 1.0	{一般外 科予備} (1.0)	脳外科 1.0	整形外科 1.0	•
	•	整形外科 1.0	{脳外 科予備} (1.0)	脳外科 1.0	整形外科 1.0	•
OR-4	脳外科 1.0	脳外科 1.0	{整形外 科予備} (1.0)	一般外科 1.0	一般外科 1.0	•

5. まとめ

本章で述べた評価法とその適用例の考察をまとめると以下のようになる。

- 1)ある期間 K において、手術供給可能数 Y が手術を必要とする患者数 $D(K)$ を下回る場合、次の期間に手術が繰り越され「手術待ち」となる手術待ちモデルを図 2-4のように構成した。図 2-4の時間的な推移過程を評価する確率モデルにマルコフ連鎖を用いている。
- 2)手術需要に対し手術を供給するシステムは、定常的に機能する Main system とそれを補うために用意される Sub system の 2 系統より構成されている。
- 3)新たに発生する手術必要患者数 X および手術供給可能数 Y の任意の確率分布を用いて、マルコフモデルに基づき手術待ち患者数の推移確率行列を構成する。この推移確率行列を基に任意の時点（期間）における手術待ち患者の状態とその時間的推移の性状に関する資料が得られる。これらの資料を基に手術室数計画を定量的に分析できる。
- 4)単位期間を 1週とした解析モデルに基づく評価法の具体的な適用の考察として行なった既存調査病院（D 病院）の適用例では、手術必要患者の期待値 $E[X]$ に対し手術供給可能数の期待値 $E[Y] + E[sY]$ を 3割増し程度にすれば、手術患者の待ち状態が少ない計画となる。これは、単位期間(1週)における手術日数を増し、手術供給可能数 $Y + sY$ の向上を図ることにより、D 病院の現状の手術室数 3室（計4 室から OR-1:ハ・イカ リーム を除いた場合）で可能である。
- 5)評価法をさらに客観的な手法にするために必要な事項としては、
今回の解析による計算値と手術待ちの実態との整合性の検証が残されている。ただ、観測ができないこの種の待ち現象の実態を正確に調査することが方法的に困難であるという課題がある。また、モデルを構成する上で設けた種々の前提条件・仮定、例えば手術必要患者数 X 、手術供給可能数 Y 、および手術待ち患者数の上限値の設定方法などについての妥当性や、職員構成や運営方式、医師の勤務体制、手術スケジュールといった運営上の要因が X 、 Y や手術待ち状態に及ぼす影響を検討する必要がある。そのためには、これらの調査資料の整備が必要である。

(注釈)

- 注1)文12)に示された呼び名をそのまま用いた。
- 注2)文4),5)以外の代表的な研究として文6),7),8)がある。これらは患者を看護の必要性に応じて3区分し、それらの間の推移をマルコフ連鎖で記述し、ベッド数の配分・必要ベッド数の予測などの計画の判断材料を得ることを意図した研究である。これらに類似した国内の研究として、谷村の研究(文9),10))がある。なお、海外の文献は文11)に整理されている。
- 注3)解析の単位期間を1週とした理由は以下である。単位期間の設定は手術スケジュールをする(日程を組む)期間の実情に一致することが望ましいと判断した。後述(4.)のように、原則的な手術日程では、一般に1つの診療科に毎日手術が組まれることは少なく、また、緊急患者を除けば1週を基本的単位として手術のスケジュールが行なわれている。
- 注4)ここでのNbは、運営上何らかの理由により特別な場合を除いて通常の使用を留保している(例えば緊急用)病床数を差し引いた数と考える。
- 注5)手術供給可能数Yは本質的には、手術のスケジューリングの方針、例えば短時間の手術のみを組み合わせるとか、長時間の手術の後には時間が空いていても手術を組まないなどといった計画的な変数と判断されるが、ここではYが手術所要時間のみに依存すると仮定し、供給の潜在能力を表わす確率変数としてモデル化している。ただし、分布の上側裾野域に上限値として運営上可能な最大数を設定することで、運営を考慮した操作が可能である。
- 注6)再生定理。 $T_0 + T_1$ の分布にかかわらず、十分に大きな単位期間 T_L をとれば、全時間を1つの間隔の平均($E[T_0]+E[T_1]$)で割った個数が $E[Nos]$ となる。つまり、直感的な算術計算をしてよいことを保証している。
- 注7)ここでは、数値解析上、期待値の小数点以下3けた以内の値に増減がなくなった状態を定常状態としている。ただし、計算機の演算時間の制限のため、50期間(週)で計算を打ち切っており、定常状態を未確認の場合がある。
- 注8)Prob[W(K)>Wmax]が極端に大きくなる場合、推移確率行列[P]において、Wmaxに推移する確率 $p_{i,Wmax}$ ($i=0,1,\dots,Wmax$)が高くなり、注7に定義した定常状態への到達期間も短くなる。

(参考文献)

- (1) 志田弘二、柳沢忠、今井正次、谷口元、手術室数決定に必要な計画指標（手術部の規模計画に関する研究、第Ⅰ報）、日本建築学会計画系論文報告集、第 372号、1987.2
- (2) 岡田光正、中央手術部の規模計画について、日本建築学会研究報告（近畿支部）、1956
- (3) 吉武泰水、建築計画の研究、鹿島出版会、1964
- (4) A. M. O. Esogbue , Mathematical and Computational Approaches to Some Queuing Processes Arising in Surgery , Mathematical Biosciences , 4, 1969
- (5) N. K. Kwak, Monte Carlo Simulation of Operating- Room and Recovery - Room Usage , Operations Research , 20, 1972
- (6) J. F. Bithell , A Class of Discrete -Time Models for The Study of Hospital Admission Systems , Operations Research , 17, 1969
- (7) A. M. O Esogbue , A Stochastic Model for an Optimal Priority Bed Distribution Problem in a Hospital Ward, Operations Research , 24, 5, 1976
- (8) P. J. STAFF , Stationary Distributions of Open Markov Processes in Discrete Time with Application to Hospital Planning , Journal of Applied Probability , 8, 1971
- (9) Hidehiko Tanimura, A Probabilistic Analysis of Length of Stay in Hospital, 日本建築学会論文報告集第 191号、1972.1
- (10) Hidehiko Tanimura, A Markov Process Model of the Length of Stay in Hospital 日本建築学会論文報告集、第 192号、1972.2
- (11) B. E. Fries , Bibliography of Operations Research in Health - Care systems, Operations Research, 24, 5, 1976
- (12) 岡田光正、施設規模（建築計画学 12）、丸善、1970
- (13) 志田弘二、柳沢忠、手術室数に関する統計・確率論的計画手法、（手術部の規模計画に関する研究、第Ⅱ報）、日本建築学会計画系論文報告集、第378 号、1987.8

第Ⅱ部 動線の能率性の評価手法に関する研究

1章 部門・部署間の職員動線の実態分析

2章 動線量予測による能率性の評価法

この部では建物内で発生する動線の能率性を評価する手法を研究対象とした。

動線は空間相互の関係（空間の配列やゾーニングなど）あるいは空間の規模を計画する上でひじょうに有効な尺度である。つまり、動線の発生頻度や動線の形態はその建物内の生活や管理・運営方式などにより強く規定されており、動線を様々な面より分析することは建築と生活あるいは管理運営方式との相互関係の矛盾を発見する一つの有効な手法となっている。本研究では病院の部門・部署相互間で発生する職員の動線を対象とした。動線の能率性はこの場合、病院全体の運営の能率性に強い関連をもつ性能である。

まず第1章では、既存病院における部門・部署相互の職員動線の実態を把握しその要因分析から現状の問題点を把握した。また、動線を予測するための各種条件の整理をした。そして第2章では、動線の能率性を表わす評価尺度として、単位期間に生じる動線量（移動距離あるいは移動所要時間の総量）を選択し、この動線量を予測し評価する手法を提案した。実態調査病院の改築計画案を対象として、動線発生の要因である運営方式を合理化するいくつかの段階を設定し、職員動線量を予測しながら計画案を評価した。

1 章 部門・部署間の職員動線の実態分析

1. 概説

1-1. 研究の目的

1-2. 研究の方法

1-3. 調査概要

1-4. 用語の定義

2. 移動の頻度

2-1. 出回数

2-2. 目的回数

2-3. 運営方式と目的回数

2-4. 自己記載調査の精度確認

3. 移動の形態

3-1. 目的達成の形態

3-2. 経路選択

3-3. 移動速度

3-4. 目的達成形態の変換

4. まとめ

1. 概説

1-1. 研究の目的

病院運営の合理化を考える場合、院内の部門・部署相互間の関係が重要な課題となる。これは部門間の物品搬送・情報伝達等の負担がたいへんというばかりではなく、部門・部署の関係は各部門・部署内の運営方式と深い関係があり、病院全体の運営方式およびブロックプラン（部門配置計画）を考える上での基礎となるからである。

本章は、既存病院における部門・部署相互間の職員動線の実態を調査し、その要因分析を行ない現状の問題点を把握すること、また2章で行なう動線予測のための条件整理を目的とした。

1-2. 研究の方法

実態調査と2章でおこなう動線予測の対象は、1983年6月現在既存病院で診療を行ないつつ大幅な増築工事中である愛知県の小牧市民病院（以下K病院と略記）である。なお、K病院の概要是表1-1、図1-1、1-2(1)に示した通りであり、比較検討するために愛知県下の津島市民病院（以下T病院と略記）でも調査を行なっている（図1-2(2)、注1）。

本研究はK病院を対象に次のようなプログラムで行なった。

①部門・部署間動線の概要把握段階（2. 参照）

職員が所属部門・部署から他部門・部署へ移動する毎に移動内容を記録してもらう自己記載調査を行ない、所属部門・部署を出発する回数（出回数と呼ぶ）、移動目的の延数（目的回数と呼ぶ）を把握した。T病院も対象としている。

②自己記載調査の精度確認段階（2. 参照）

有意に抽出した数部門・部署を対象として、部署の出入口に調査員を配置して、職員の通過する回数を計測する交通量調査を行ない、自己記載調査の結果と比較して調査精度を確認した。

表 1-1 調査病院 (K・T病院の概要)

	T 津島市民病院	K 小牧市民病院
延床面積 (m ²)	10,591	6,964
階数	地上3階	地上4階地下1階
当日入院患者数 (人)	231	178
看護単位数	6	4
診療科	内+外+整外 +小+産婦+ 眼+耳鼻咽喉	同左
当日外来患者数 (人)	792	470
合計	167	167
職員数 看護婦 (人)	85	86
事務員	33	26
その他	49	55

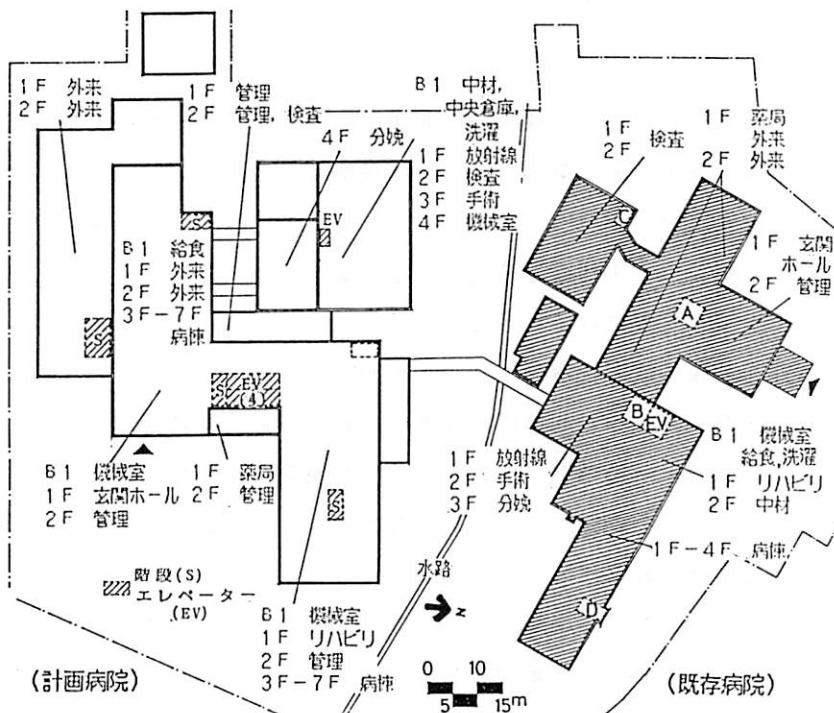


図 1-1 小牧市民病院 (K病院) の現況および改築後の配置図

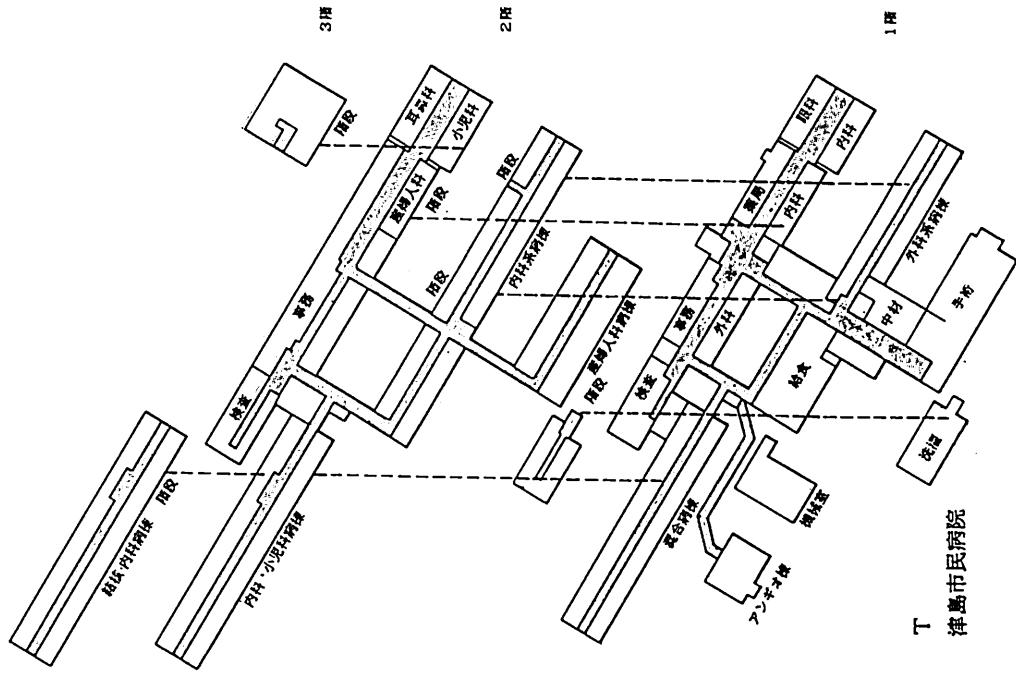


図 1-2(2) T 病院の全体構成図

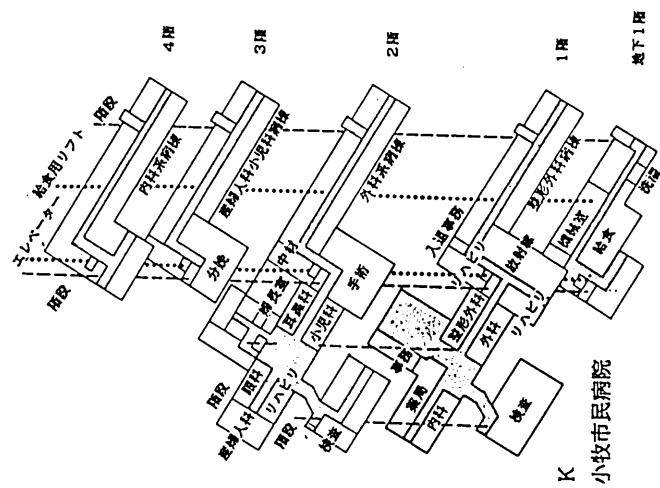


図 1-2(1) K 病院の全体構成図

③部門・部署間動線の要因分析段階（2. 参照）

部門間移動を目的別に情報系・物品系・その他（注2）に区分し、また、緊急性別に緊急・定時・随時（注3）に区分し、さらに所属部門・部署別、職種別に区分して分析した。なお、運営方式についてのヒヤリングを行ない、移動の発生の基準を得て分析を進めている。T病院も対象としている。

④移動の形態の類型化段階（3. 参照）

自己記載調査で得られた出回数の1／3を抽出して、移動目的の達成形態を分析し、さらに別個の職員追跡調査を行なって、移動経路・移動速度を把握し、動線量予測のために移動形態別に類型化を行なった。

⑤動線量の予測段階（2章参照）

K病院の増築計画用の平面図上に動線モデルを適用し、運営方式を変更しつつ動線量の予測を行なった。

1-3. 調査概要

①自己記載調査

記録用紙は表1-2の通りであり、職員は該当する移動ごとに、行先・時間・移動目的・緊急性・携帯物品等を記入する。対象職員は医師を除く当日勤務の全職員であり、私用の移動は除いている。調査日はK病院は1981年7月10日、T病院は1980年9月19日であり、いずれも午前0時から24時である。

なお、K、T両病院共に調査時点で増改築の予定があり、計画のために調査が重要であることは全職員に徹底しており、十分な協力が得られたことを付記する。

②交通量調査

外科病棟・中材・手術部・放射線部・検査部・事務部を抽出し、各出入口を通過する職員数を所属別・時間帯別に調査員が計測した。調査日は自己記載調査と同じく1981年7月10日であり、日勤時間帯（8～17時）に限って行なった。

③職員追跡調査

特定の職員を選定して、その所属部門・部署を出発して戻ってくるまでの移動を調査員が追跡し、移動時間・経路・携帯物品・その他属性を記録し、追跡直後に移動目的・緊急性等をヒヤリングした。調査期間は1982年11月12から12月21までで、延べ235例を採集した。

④運営方式ヒヤリング調査

自己記載調査当日の病院側記録（患者数・検査件数等の各部門・部署の運営状況を示す）を入手し、職員移動の背景となる運営方式の原則について部門・部署ごとにヒヤリングした。

表 1-2 自己記載調査票

調査員の部門間連絡調査 一小牧市民病院

調査日：昭和56年7月10日金曜日

勤務場所（ ）（行先の欄から選んで下さい）
 勤務場所
 領域
 [1. 医師 2. 看護師 3. 看護学生]
 [4. 管理職員 5. その他（ ）]
 氏名（ ）

※記入方法

1 勤務中に何らかの理由で所轄部門外へ出ることに、調査票に記入して下さい。

2 調査票の（ ）の欄では該当番号に○印を、（ ）の欄には該当事項を記入して下さい。

※記入上の注意

1 移動番号の書き方

- 1つの部所へ1つの目的で行った時は、移動番号の欄に「1」を記入して下さい。
- 2つ以上の部所を一度にまわる時は、1つの部所へ行くごとに1枚の用紙を使用し、移動欄に移動番号を「1, 2, . . . 」と記入して下さい。

- 1つの部所に2つ以上の目的で行く時、又は行き済りで目的や緊急性などが異なる時には、それぞれ1枚の用紙を使用して移動番号を欄に「1, 2, . . . 」と記入して下さい。

2 目的を選んださすにもどった時（例：求める物がなかった）

移動理由の該当欄に×印をつけて下さい。

3 移動の内容が調査票になじまない時

その移動の様子を備考欄に記録しておいて下さい。

調査員の部門間連絡調査（調査票）

A 移動番号（ ） B 出発時間（午前・午後 ）時

C 理由 [1. 初診搬送（伝票等を含む） 2. 患者移送
 3. 施設巡回 4. 病室 5. 会議打合せ
 6. 私用 7. その他（ ）]

D 行先

[管理部門内] 1F 01. 病室 01. 病房当直 01. 食堂 11. 訓育 21. 内科 22. 外科
 23. 行政外院 24. 病棟 25. 小児科 26. 手術 27. 理療人科 28. 病院住民
 18. 緊急救護 52. 行政・研修医室 53. 清掃室 54. 行政事務
 55. 病院当直 56. 電話交換 57. 田舎館 58. 会議室 82. 食庫
 02. テレリフト 74. 荷物・売店 85. 病院機器室

（検査場）

1F 13. 生理検査 14. 排便検査 2F 15. 病理検査 59. 当直 60. 更衣室 61. 収容室 17. 行政事務

（門限）

地下 71. 病房 72. 食堂 86. 機械室 73. 洗濯・リネン 83. フルム室 1F 41. 1階受付 42. 2階受付 19. 初診受付・水治療 03. 入退院事務

2F 42. 2階受付 31. 中材 32. 手術室 87. 病院室

3F 43. 3階受付 33. 分娩・新生児室 4F 44. 4階受付 84. 食堂 91. 監上 88. 病院機器室

89. 損失室 92. 行政内勤詫び室 93. 行政外 99. その他（ ）

E 定時性・緊急性

[1. 定時の移動。
 2. 誰かの移動で一時も早く。
 3. 誰かの移動だが、其急往はそれ程でもない。
 4. その他（ ）]

F 行先

[1. 行に迷走 2. 係に迷惑]

G 方法 [1. 歩き 2. ガニ・車 3. 運送車 4. その他（ ）]

B 物品 [1. 衣類・靴・帽子等 2. 書類・カバン・カルテ 3. 行李(荷)・ファイル]

4. 衣類・靴・帽子等 5. 図書室 6. 在院病棟 7. 医療行為

8. リネン類 9. 荷物・医療機器類 10. その他（ ）

— 動員を迷走の場合 —

I 行先 [1. 行きののみ 2. 係りのみ 3. 行きとど]

J 方法 [1. 徒歩 2. 車(4人 3. ストレッチャー 4. その他)]

K 乗客数 () 人

備考 ()

1-4. 用語の定義

①部門：外来・病棟・診療・供給・管理の5部門を設定した。

②部署：調査対象病院の特殊性で、管理・運営上独立性の強い単位として表1-3のごとく定めた。

③基点：部署をさらに細分類し、移動の出発点・到着点となりうる部屋単位を表1-3のごとく定めた。

以下、図1-3参照のこと。

④出回数：職員が他部門・部署へ移動するため自分の所属部門・部署を離れる回数。

⑤目的回数：移動目的の延回数。出回数1回で複数目的を持つ場合がある。

⑥移動回数：基点間移動の延回数。出回数 1回の最低移動回数は 2基点間の往復で 2回となる。

⑦動線量：基点間の移動距離・移動時間の総量。

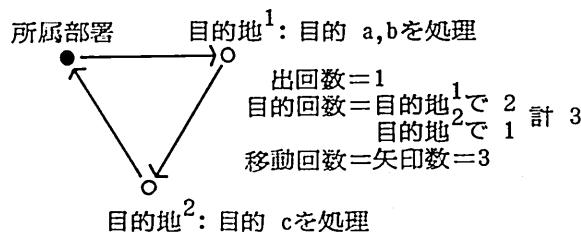


図 1-3 出回数・目的回数・移動回数の関係

2. 移動の頻度

自己記載調査によって部門間移動の発生頻度を把握し、運営方式のヒヤリング結果で補足しながら要因分析を行なった。T病院と比較分析している。

2-1. 出回数（表 1-3参照）

24時間の総出回数はK病院 616回、T病院 587回である。出回数の多い部門は両病院共、外来・病棟・管理で、部署別には事務が最も多く約 100回、全体の約15%である。病棟では 1看護単位（部署）当たり平均でK病院34回、T病院41回である。

職種別には看護職員が最も多く（K病院58%、T病院59%）、次いで事務職員（24%、19%）、その他の職員（19%、23%）である。これを当日の出勤者 1人当たり平均にすると、看護職員はK病院 4.2回、T病院 4.0回であり、事務職員は 5.6回、3.3回、その他の職員は 2.1回、2.7 回である。事務職員は両病院の運営方式の違いを反映して差が大きい。ただし全職種を平均すると 1人当たり 3.7回、3.5回とほぼ一致する。

表 1-3 K・T両病院の所属部署別出回数

表 1-4 K病院の部署間の目的回数

部門	所属部署	地区別への出回数			内・外(小・大)の△	内・外(小・大)の△
		小計	K	T		
内	内科	56 (9.)	40 (7.)	40 (7.)	内外科受付	
外	外科	65 (11.)	56 (10.)	56 (10.)	外科受付	
	整形外科	25 (4.)	24 (4.)	24 (4.)	整形外科	
	小児科	26 (4.)	26 (4.)	26 (4.)	小児科	
	脳神経科	15 (2.)	7 (1.)	7 (1.)	脳神経科	
	消化器科	*	11 (2.)	11 (2.)	消化器科	
	泌尿器科	22 (4.)	24 (4.)	24 (4.)	泌尿器科	
	小計	210 (34.)	162 (26.)	7 * 病理		
外	整形外科	37 (6.)	53 (9.)	53 (9.)	外傷性疾患受付	
	内科	41 (7.)	48 (8.)	48 (8.)	内科受付	
	(内+外)	25 (4.)	47 (8.)	47 (8.)	内+外	
	(内+小児)	*	49 (8.)	49 (8.)	内+小児	
	(内+脳神経)	*	20 (3.)	20 (3.)	内+脳神経	
	(内+泌尿器)	25 (4.)	28 (5.)	28 (5.)	内+泌尿器	
	小計	128 (21.)	244 (42.)	4 * 病理		
内	内科	14 (2.)	11 (2.)	11 (2.)	生理検査室、検体検査室、	
	精神科診断	5 (1.)	5 (1.)	5 (1.)	精神科診察室、検2室、	
	手術手術	16 (3.)	16 (3.)	16 (3.)	手術室、手術検査室	
	分野	7 (1.)	7 (1.)	7 (1.)	分野室	
	リハビリ	33 (5.)	33 (5.)	33 (5.)	水泳部、浴槽、機能回室	
	小計	75 (12.)	16 (3.)	11 * 病理		
外	内科	38 (6.)	7 (1.)	7 (1.)	内科受付	
	外科	17 (3.)	18 (3.)	18 (3.)	中央内科室	
	整形	8 (1.)	4 (1.)	4 (1.)	整形室	
	小児科	9 (1.)	4 (1.)	4 (1.)	小児科	
	脳神経	*	*	*	脳神経	
	消化器	*	*	*	消化器	
	泌尿器	*	*	*	泌尿器	
	小計	87 (14.)	71 (12.)	12 * 病理		
内	内科	7 (1.)	2 (0.)	2 (0.)	内科室、医療、検3室、	
	外科	107 (17.)	92 (16.)	92 (16.)	外科室、入院手術、検5室、	
	整形	*	*	*	整形室、検4室、	
	小児科	114 (19.)	94 (16.)	94 (16.)	小児科室、検3室	
	合計	616 (100.)	567 (100.)	567 (100.)	57 善死	
合計						

* : 当日休診 ** : 各部位ごなし *** : 部門間搬送 **** : 所属部門なし

2-2. 目的回数

①総目的回数（表 1-4, 図 1-4, 1-5 参照）

K 病院の目的回数は延 990回で、1 床当り 5.2回、職員1 人当り 5.9回である。主な出発部署は外来（30%）・事務（23%）・病棟（20%）であり、行先は病棟（26%）・事務（25%）・外来（17%）である。部署間では、外来と事務間（19%）・病棟と事務間（5%）・外来と検査間（5%）・外来と薬局間（5%）が多い。

緊急性別では緊急（11%）・定時（49%）・隨時（39%）である。職種別では看護職員（54%）・事務職員（26%）であり、当日の看護職員 1人当り約 6回である。時刻別には9 時、10時台がピークであるが、昼の12時台を除いて大きな差はない。

以上 K 病院の結果と T 病院の総目的回数 836回を比較する。T 病院では、1 床当りで 2.8 回となり、K 病院に比べ 2.4回の差があるが、職員1 人当りでは 5.1回で、0.8 回の差しかない。職種別では看護職員の負担がやや多いが、看護職員 1人当り目的回数は 6回／人と全く一致している。出発の多い部署は、K 病院同様に、病棟（46%）・外来（24%）・事務（17%）の 3部署である。行先は外来・運営（13%）・薬局（12%）・病棟・事務（11%）と平均化している。部署別では、外来と事務間（11%）・病棟と薬局間（9%）・病棟と運営間（8%）・病棟と検査間（7%）が多い。緊急性別・時刻別は両病院とも大きな差がない。総目的回数が病床数より職員数の割合に近いことに注目すべきであろう。

目的を情報系・物品系・その他に 3区分すると、K 病院は45%、18%、37%で、T 病院に比べ物品系が少なくその他が多い。

②情報系の目的回数（図 1-6、1-7 参照）

K 病院では454 回で、外来から事務90回、事務から外来62回、両者で33%を占める。又、事務の関与する目的回数は 239回（53%）に及ぶ。T 病院ではこれが128 回（32%）であり、K 病院の多いのはカルテ搬送が多いことによる。

職種別には事務職員の負担が多く、1人当りで看護職員 2.1回に比べて5.7 回になる。

③物品系の目的回数（図 1-8、1-9 参照）

K 病院では 181回で、病棟から中材（12%）・薬局（11%）、外来から検査（11%）・中材（8%）・薬局（6%）が主であり、供給部門と他部門との間で全体の約 2／3を占める。ただし、出発は84%が消費部門であり、物品搬送は消費部門の職員に依存していることが分かる。

T 病院では 283回で、K 病院より物品系の割合がかなり多いが、これは病棟規模（看護

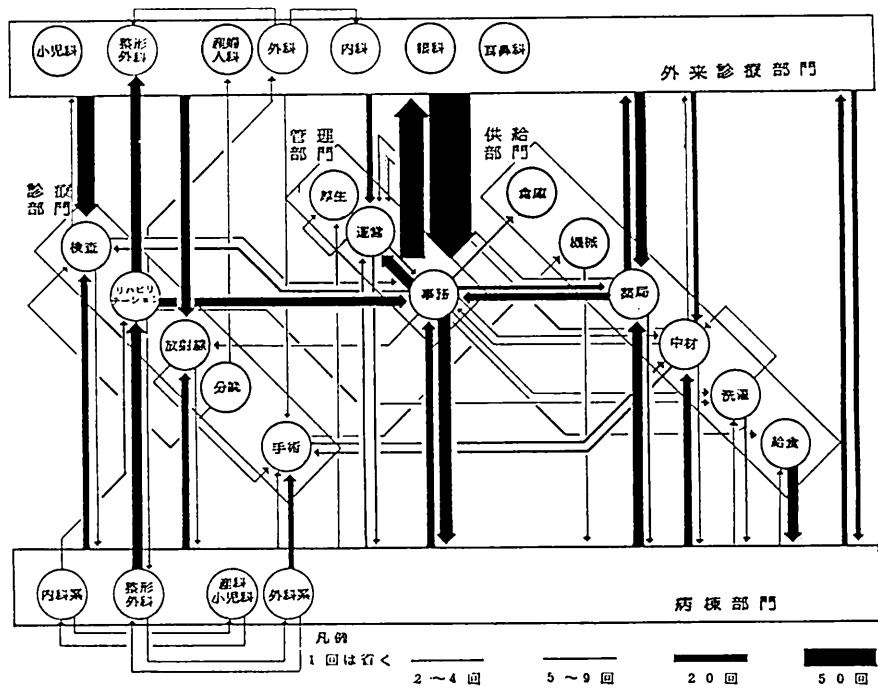


図 1-4 K病院部門・部署間総目的回数

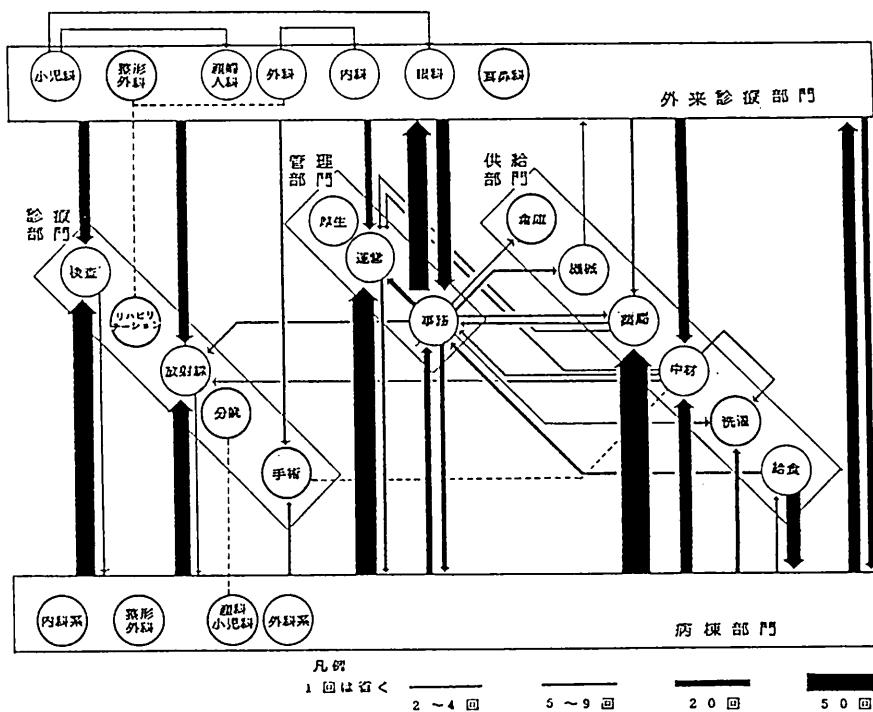


図 1-5 T病院部門・部署間総目的回数

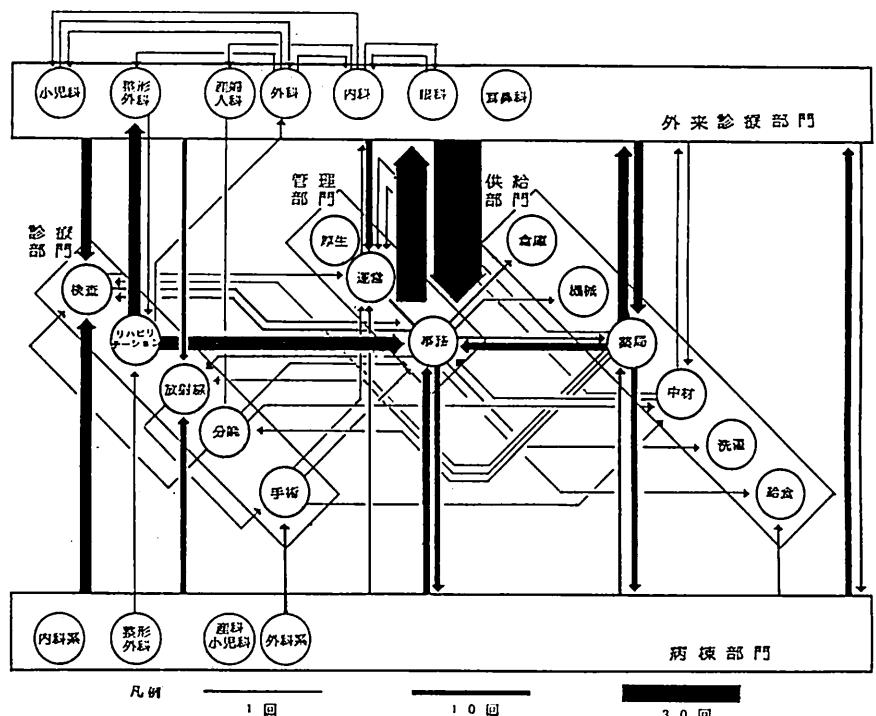


図 1-6 K 病院部門・部署間「情報系」目的回数

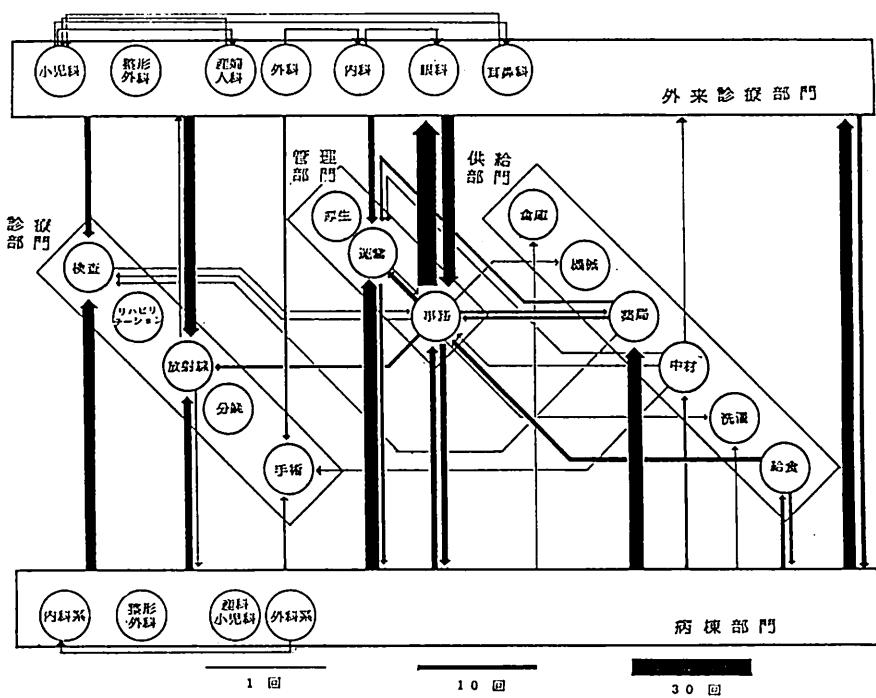


図 1-7 T 病院部門・部署間「情報系」目的回数

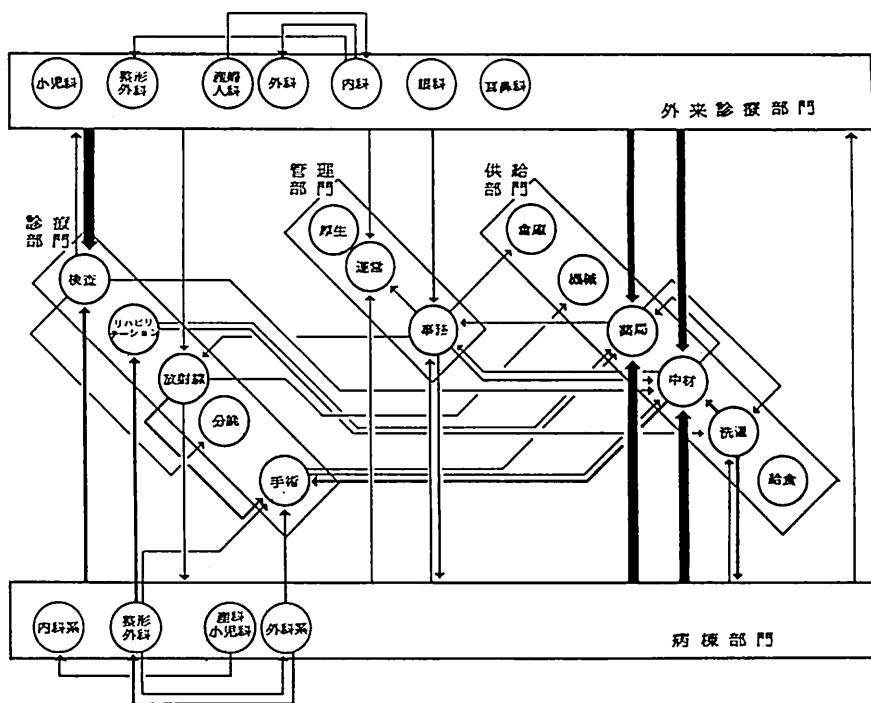


図 1-8 K 病院部門・部署間「物品系」目的回数

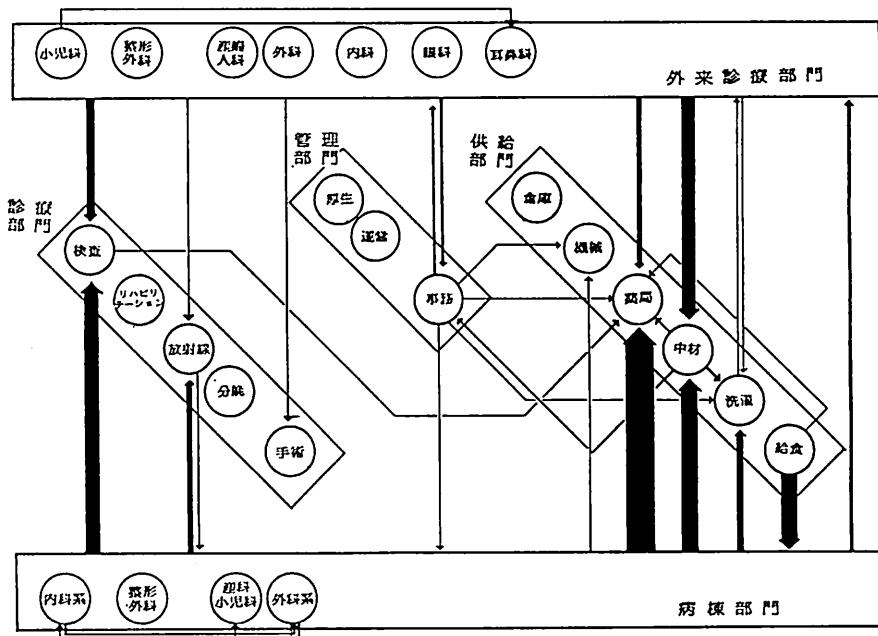


図 1-9 T 病院部門・部署間「物品系」目的回数

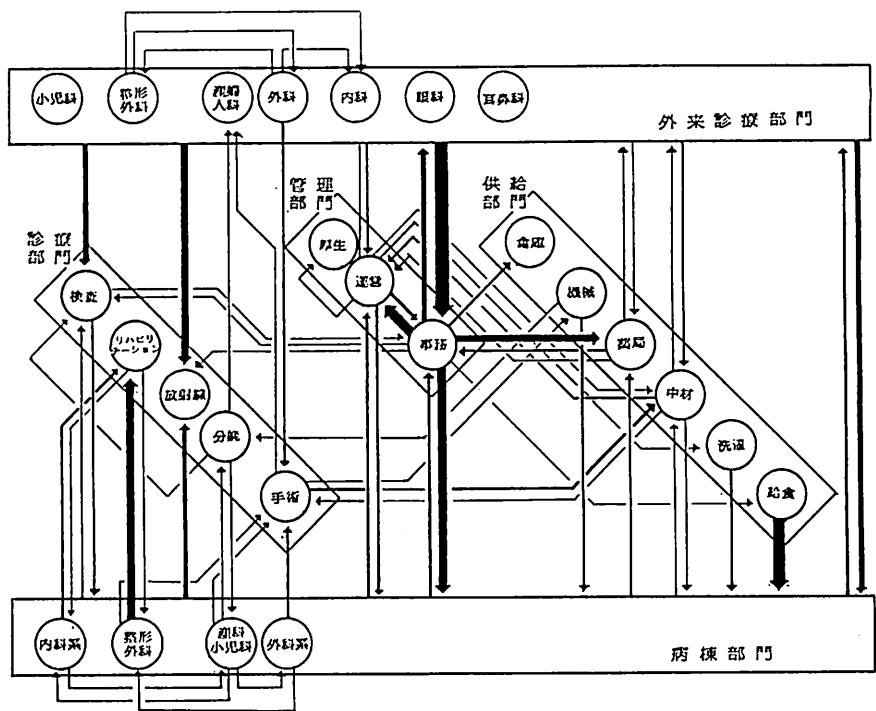


図 1-10 K 病院部門・部署間「その他」の目的回数

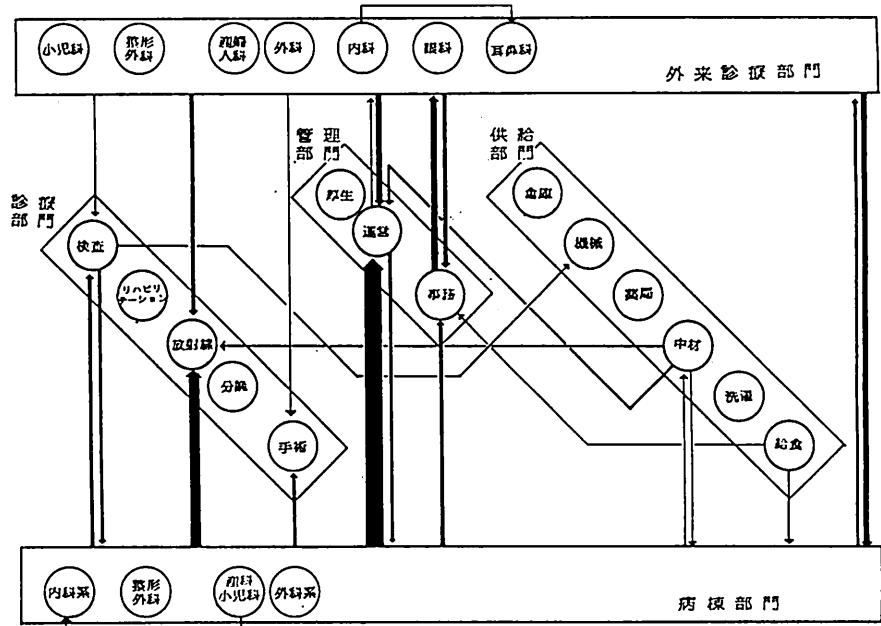


図 1-11 T 病院部門・部署間「その他」の目的回数

単位数)の違いが要因であろう。

④その他の目的回数(図1-10、1-11参照)

K病院では355回中、事務・運営の相互間(23%)、給食から病棟(7%)、外来から事務(6%)が主で出先業務が多い。T病院では190回中、病棟から運営(17%)、病棟から放射線(9%)が主な動きで、患者移送が多い。

2-3. 運営方式と目的回数

日常の病院業務の中で職員が院内を移動する原因や制度などを理解するため、K、T2病院の運営方式をヒヤリングした。

情報系では伝票・処方せん・カルテ書類・X線フィルムなど4種類の情報手段で合計43の部門・部署間移動、物品系では検体・薬品・医療器材・リネン類・食事食品・その他の物品で合計30の部門・部署間移動、その他では患者移送・出先業務・会議の3種類の目的で合計21の部門・部署間移動が移動要求の基準として抽出できた。抽出した部門・部署間の関係は2病院で大体共通するものである。一方の病院にのみ表われる関係は両病院の運営方式の違いによって説明できる。

両病院の自己記載調査で得られた総目的回数の6割程度は上記のヒヤリングで把握した移動要求基準の目的であり、残り4割程度は口頭情報伝達・出先業務・会議など運営上の制度としてはっきりさせにくい移動や、例外的なもの、理由の説明しにくいものなどである。

部署間の目的回数の両病院の相違をみると、情報系では病棟から薬局への伝票の目的回数がK病院の6回に対しT病院は24回と多い。これは看護単位数による相違と、伝票をまとめて移動させているか否かの違いが原因である。また、カルテ・書類の目的回数がT病院の66回に対しK病院では152回で非常に多い。K病院では点数計算をカルテから直接行なっているため、事務へのカルテ移動が多くなると同時に、事務から病棟への出先業務が114回と多くなっている。

物品系では、K病院122回、T病院208回で、物品別の内訳は両病院とも比較的似ており、規模の分だけT病院が多い。主な相違点はT病院で食事・食器の搬送が29回あるのに対し、K病院では食事がリフトで搬送され、給食から病棟へ職員が移動するのは物品系ではなく出先業務になっている(24回)。

その他では、出先業務がK病院で177回と非常に多い。これは上記の配膳方式とカルテ

による点数計算方式との違いによるものである。T病院で移動要求の基準以外の移動では、事務から倉庫へ、病棟・外来から管理部門へのおそらく報告を目的とした移動が多い（20回）。また、調査日が全体会議の該当日であったために会議・打合せの目的が多い。

以上のように、各目的のごとの両病院の比較から、目的回数の違いの要因として、病院規模、物品搬送や情報伝達の機械化・定期化（ポーターなどの専門職による）、カルテ移動方式や配膳方式などが挙げられる。また、管理部門に関係して管理者への報告の方式の違いもある。

2-4. 自己記載調査の精度確認（表 1-5, 1-6参照）

K病院における6部署の出入口での交通量調査による通過回数（出回数+入回数）と自己記載調査による通過回数（私用も含む）の比は全時間帯合計で1:0.73である。時間帯別では8時・12時・16時台の差が顕著である（注4）。これらの時間帯は出勤・昼休み・退出の時間帯であり、交通量調査と自己記載調査いずれにも誤差が大きいと思われる所以、これら時間帯を除いて両調査の回数の比をとると1:0.82と接近する。

表 1-5 交通量調査と自己記載調査の時間帯別比較

時間帯	職種 調査法	対象職員			対象外職員			合計		
		交通量	自己記載	自／交	交通量	自己記載	自／交	交通量	自己記載	自／交
8時		118	20	0.17	53	66	1.20	171	86	0.50
9		92	66	0.72	124	104	0.84	216	170	0.79
10		98	50	0.51	137	110	0.80	235	160	0.68
11		98	48	0.49	131	96	0.73	229	144	0.63
12		78	26	0.33	64	34	0.53	142	60	0.42
13		142	84	0.59	42	28	0.66	184	112	0.61
14		109	82	0.75	64	56	0.88	173	138	0.85
15		101	92	0.91	32	28	0.88	133	120	0.90
16		97	52	0.54	100	62	0.62	197	114	0.58
私用			114			2			116	
計		933	634	0.68	747	586	0.78	1,680	1,220	0.73

交通量調査を実施した6部署の職員とそれ以外の職員とに2区分して回数を比較すると、各々1:0.68と1:0.78となる。これは対象6部署では自己記載調査で記入の必要ない部署内の業務に関連した出入りも計測するために0.1程度の差が生じたものと考えられる。

部署別に両調査の比率をみると、部署内外の移動の区別が平面的な理由で判断しにくい放射線部以外は1:0.7～0.8程度であり、部署による差は少ない。

以上、交通量調査では部署内や私用等の余分な計測が加わり、自己記載調査では記入も

れが存在したために、両調査の結果に差が生じたと思われる。両調査の精度には一定の限界があるが、自己記載調査の結果を2章の動線量予測に利用し得る精度であると判断した。

表 1-6 交通量調査と自己記載調査
の部署別比較

部署 \ 調査法	交通量	自己記載	自／交
事務	756	554	0.74
検査	224	168	0.75
放射線	156	98	0.63
手術	134	14	0.70
中材	211	152	0.72
外科病棟	199	154	0.77
計	1,680	1,220	0.73

3. 移動の形態

2章で行なう動線量予測の条件作成のため、部門間移動の形態を(1)目的達成の形態、(2)経路選択、(3)移動速度の3点から把握する。

K病院で行なった自己記載調査の結果の1/3をランダムに抽出した230例を用いて上記(1)の分析を行ない、(2)と(3)は職員追跡調査を用いて分析した。

3-1. 目的達成の形態(図1-12 参照)

職員の1回の出回数に対して、移動の目的数と行先部署数に着目すると以下の類型を考えられる。

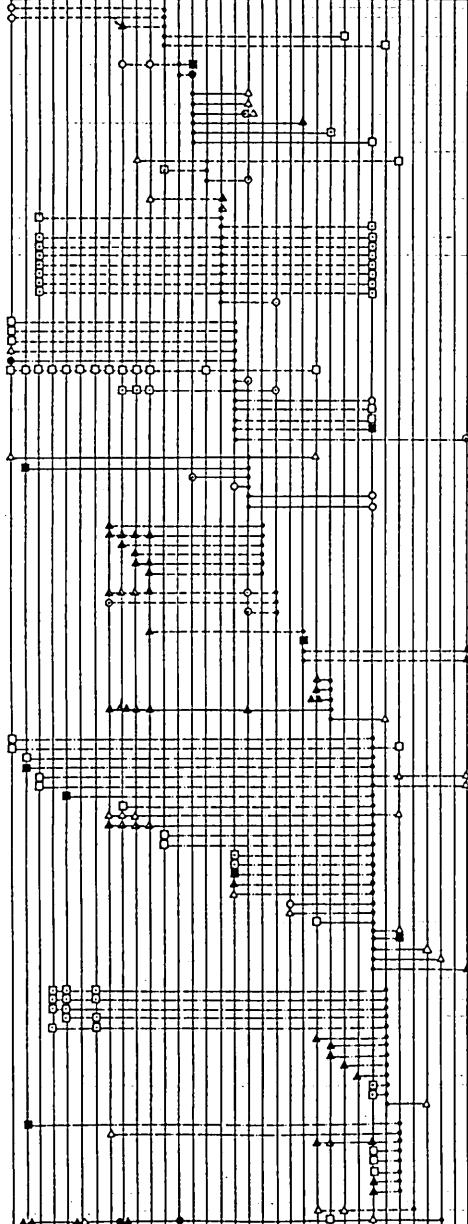
①単純移動(図1-13)

行先部署が1ヶ所で、单一目的のために所属部署と行先部署とを一往復する最も基本的な形態で、出回数の70%(160回)を占める。

②複目的移動(図1-14)

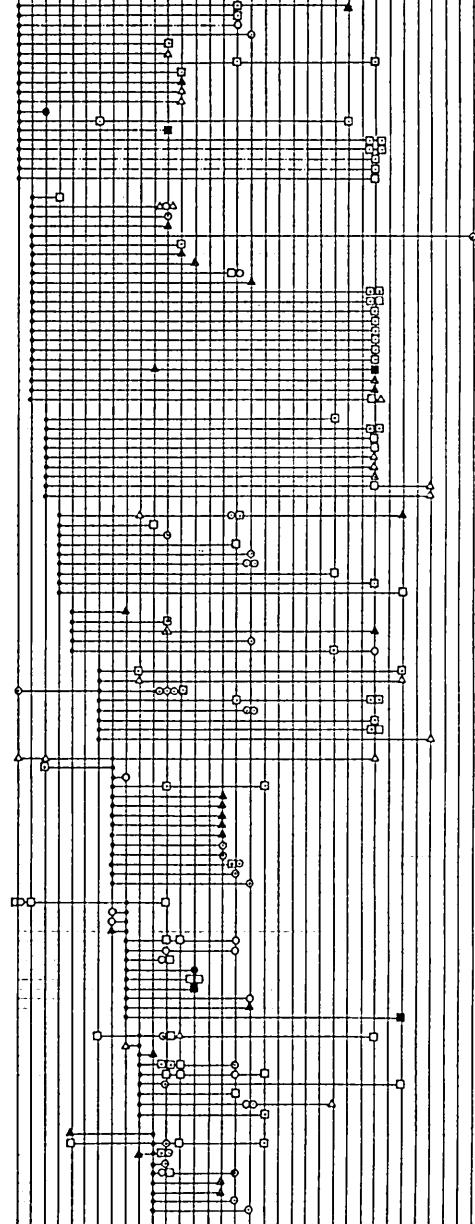
行先部署が1ヶ所で、目的が複数の形態で、出回数の7%(16回)を占める。検体の搬送と検査結果伝票の持ち帰り、中材への医療器械の交換、薬品請求伝票の搬送と薬品の持ち帰り等がこれに該当する。

内外部小切手連1 2 3 4枚放手分り表中給洗食機械器具公事テ入電印当厚モ
形見鼻部留置庫別ハリ院文局の外人内病院ヒ械反臥り院文局の事候
科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科



- は出発部署を示す
- は渡職の移動
- は事務の移動
- - - - その他の中の移動

内外部小切手連1 2 3 4枚放手分り表中給洗食機械器具公事テ入電印当厚モ
形見鼻部留置庫別ハリ院文局の外人内病院ヒ械反臥り院文局の事候
科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科科



	物品搬送	荷物搬送	その他
定時	○	■	▲
勤務時	●	■	▲
領時	○	□	△

図 1-12 目的達成の形態（総出回数の 1 / 3 抽出）

③巡回移動（図 1-15、注5）

单一目的だが行先部署が複数になる移動形態で出回数の13%（31回）を占める。当直看護婦の巡回、供給部門から病棟への物品の配送、放射線や検査の出先業務等がこれに当たる。

④一連移動（図 1-16）

複数の行先で複数の目的を果たす一連の移動形態で、出回数の10%（23回）を占める。入退院手続きのための移動などがこれに該当する。

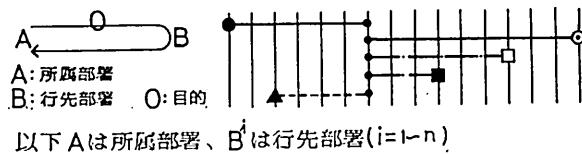


図 1-13 目的達成の形態：単純移動

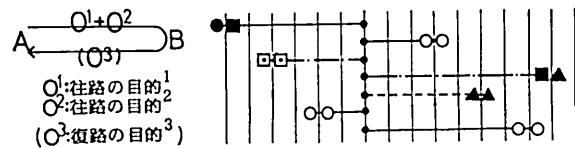


図 1-14 目的達成の形態：複目的移動

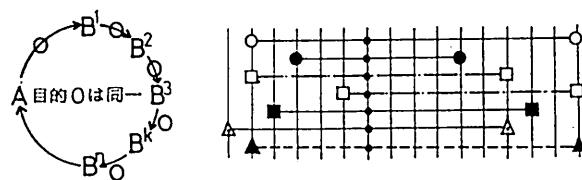


図 1-15 目的達成の形態：巡回移動

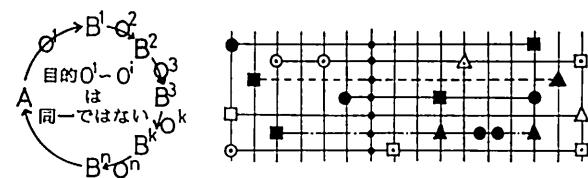


図 1-16 目的達成の形態：一連移動

3-2. 経路選択

部署間の移動の際に、可能な移動の経路が複数となる場合がある。K病院では同一階の移動は一通りであるが、同一階でない場合は階段4ヶ所とエレベーター1ヶ所があるため複数の経路ができる。

K病院の職員追跡調査の235例は移動回数で422回、この内149回が階段利用である。内訳は単一の経路が6回、複数経路のうち最短経路を選択した場合が116回、迂回する経路選択が5回、経路の距離がほぼ等しい場合が22回である。なおB地点(図1-1参照)のエレベータ利用は422回の移動回数のうち47回であり、その内40回は車(ワゴン・ストレッチャー)使用時、2回は患者付き添いである。

以上の分析によって、動線量算定において、移動時の経路は最短経路で、エレベータは車使用のみ利用されるとする。

3-3. 移動速度

(1) 速度算定の前提

①階段利用を含んだ移動は、職員追跡調査では階段利用時間のラップを計測していないため算定資料から除外する。またエレベータ利用の移動については待ち時間・乗車時間を除外した時間を資料とする。階段利用分を除外すると422回のうち229回が算定資料となる。

②移動時間は調査時に実際に移動した基点間の所要時間とし、基点間距離は平面図上で計測した。

表 1-7 移動形態別の平均移動速度

移動形態		速度(M/S)
車利用	ワゴンで搬送	1.20
	車いすで移送	1.07
	ストレッチャーで移送	1.19
	平均	1.19
車利せず	無搬送	1.92
	素手で紙類搬送	1.88
	素手で物品搬送	1.68
	カゴ、箱で搬送	1.50
	患者の付き添	0.91
	平均	1.82
全体平均		1.70

(2) 速度算定結果（表 1-7 参照）

229 回の移動の平均速度は 1.7 m/s である。移動形態によって速度は変化し、徒歩患者に付き添う場合の 0.9 m/s が最も遅く、ストレッチャーで患者を移送する場合が 1.2 m/s であり、物品を持たない場合の 1.9 m/s が最も速い。

3-3. 目的達成形態の変換（図 1-17 参照）

目的達成の形態を 3-1. で①単純移動、②複目的移動、③巡回移動、④一連移動に分類した。計画案の動線量を予測する場合に、現状の運営方式の採用を仮定しての予測と共に、運営方式を改善（2章の 3. 予測の条件を参照）して職員の移動負担の軽減を予測する必要がある。物品搬送や情報伝達については、各部署から同一目的で同一部署へ定期的に移動している場合には、これを搬送の専門職員が一括して定期搬送する方式に切り換えることが考えられる。また、搬送機械やコンピューターの導入によって職員移動の削減の方向が考えられる。

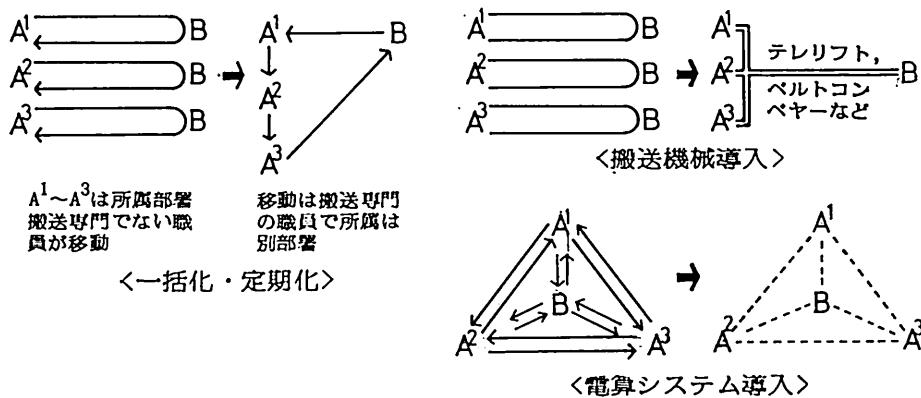


図 1-17 目的達成形態の変換

目的達成の形態を変換するのが容易なのは、①単純移動で、②複目的移動は同時に達成される必要のないものは切り離して一括化・機械化・電算化できる。③巡回移動、④一連移動はその職員の連続的な移動であるので、一部を切り離すのは困難である。

4. まとめ

- (1) 出回数については、K、T病院とも外来・病棟・管理の各部門が多い。部署別には事務が最も多くて全体の16%、19%を占め、職員1人当たりにするとほぼ一致して3.6回前後となる。
- (2) 目的回数については、K、T病院は1床当りでそれぞれ5.2回、2.8回、職員1人当りで5.9回、5.1回となり、職員1人当りの回数は1床当りに比べ近い値となる。さらに看護職員1人当りにすると6回／人と完全に一致する。
- (3) 情報系の目的回数は、K病院で45%、このうちで事務の関与するものが53%に及ぶ。職種別には事務職員の負担が多く1人当りで5.7回になる。
物品系の目的回数は、K病院で18%、供給部門と他部門の間で全体の2／3を占める。但し出発部署は84%が消費部門で、現状では物品搬送を供給部門でなく消費部門の職員に依存していることがわかる。
- (4) 動線量予測の条件作成のため、実態調査の結果を基に、目的達成の形態を、単純移動、複目的移動、巡回移動、一連移動に分類し、予測のための目的達成形態の変換方式について検討した。経路選択、移動速度に関しても予測の条件を作成した。

(注釈)

- 注1)津島市民病院の概要は以下の通り：延床面積 10591m²、地上3階、病床数 289床（6看護単位）、当日勤務職員数 167名（看護職員85名、事務員33名、その他49名）、当日の入院患者数 231名、当日外来患者数 792名。
- 注2)情報系とは、口頭による情報伝達、伝票・カルテ・フィルム・書類などの搬送を目的とする場合であり、物品系とは、医薬品・医療材料・リネン・検体などの物品搬送を目的とする場合であり、その他とは患者移送・会議打ち合わせ、所属以外の部門部署で行なう出先業務等を目的とする場合である。
- 注3)部門間の移動が定期的・定常的なものを「定時」、移動が臨時的で緊急的なものを「緊急」、臨時だが移動がいつでもよいものを「随時」とした。
- 注4)交通量は通過の時間帯別実数だが、自己記載は移動の発生した時間帯を記入したため、途中滞在の長い移動や時間帯の変わる前後の移動に関しては時間帯がずれる可能性がある。

ある。また私用が目的の場合は自己記載で時間帯を記入していないのでその誤差も生じている。

注5)③、④に含めた移動の中には、必ずしも巡回や一連的移動でなく、ついで的な移動も含まれている。つまり本来別個に達成されてもよい移動が、部署同士が近いことやたまたま移動するので同時に達成してくる場合で、実際にはついでと判定しづらいため分類はしなかった。

注6)基点の計測ポイントは受付窓口的な箇所とした。

(参考文献)

- (1) 柳沢忠、今井正次、谷口元、加藤彰一、病棟への物品供給、日本建築学会大会学術講演梗概集、1979.9
- (2) 柳沢忠、今井正次、谷口元、加藤彰一、宮地保男、病棟からみた院内物流に関する研究、日本建築学会東海支部研究報告、1980.2
- (3) 柳沢忠、今井正次、谷口元、宮地保男、病院の物品管理に関する研究（部門間連絡）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1980.9
- (4) 柳沢忠、今井正次、谷口元、宮地保男、池崎徹、病院各部門間の動線研究、日本建築学会東海支部研究報告、1981.2
- (5) 柳沢忠、池崎徹、今井正次、谷口元、村上文洋、病院部門間関係密度に関する研究、日本建築学会東海支部研究報告、1982.2
- (6) 柳沢忠、今井正次、谷口元、池崎徹、病院部門間関係密度に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1982.10
- (7) 柳沢忠、今井正次、谷口元、池崎徹、山本和典、志田弘二、病院の部門間連絡特性に関する研究、日本建築学会東海支部研究報告、1983.2
- (8) 柳沢忠、今井正次、谷口元、志田弘二、池崎徹、病院職員の動線量予測に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1983.9
- (9) 柳沢忠、今井正次、谷口元、志田弘二、池崎徹、病院の職員動線量の予測に関する研究、日本建築学会論文報告集、第339号、1984.5

2章 動線量予測による能率性の評価法

1. 概説
2. 動線量の予測手順
3. 予測の条件
4. 動線量の予測と能率性の評価
5. まとめ

1. 概説

本研究では病院の部門・部署全体を対象に取り挙げ、職員が自分の所属部門・部署以外へ移動する動線を予測して、院内全体の動線の能率性を評価することとした。

動線の能率性を表わす評価尺度として、単位期間に生じる動線量（移動距離あるいは移動所要時間の総量）を選択した。1章で述べたK病院の改築計画案（図1-1、表2-1）を対象として、動線発生の要因である運営方式を合理化するいくつかの段階を設定し、職員動線量の変化を予測しながら計画案を評価した。

K病院での部門・部署間の動線調査の結果が、増築移転後に再現されると仮定している。しかし新しい各種の条件による修正が必要である。新しい部署の増設など病院規模が拡大する（表2-1、病床数約2.8倍、看護単位数6単位増加、延床面積約3.6倍）ことで、現病院における職員動線が大幅に増加するであろうし、予定されている新しい運営方式の合理化案の導入によって、その増加分をどれだけ削減できるかを予測した。

表2-1 K病院の既存・計画案の比較

	延床面積 (M ²)	階数	病床数 (単位数)	診療科数	職員数 (人)	看護婦 事務員 その他		
						既勤務	36 26 55	
既存病院	6,964	地上 4	178	7	167 当勤務	36	26	55
		地下 1	(4)					
計画病院	25,025	地上 8	506	10	291	202	23	66
		地下 1	(10)					

2. 動線量の予測手順

図 2-1は予測のフローを示している。実態データを図中の条件1～6に示す各段階で、
3. 予測の条件で述べる諸条件に従って基点（注1）間の目的回数の削減・追加・分離などの
変更を行ない、移動のリスト（表 2-2）を作成し、各段階で動線量（総移動距離・総移
動時間）の計測を行なった。

(1) 総移動距離

基点間の延移動回数と基点間の歩行距離の積の総和が総移動距離である。基点 i, j 間
の移動回数を N_{ij} 、歩行距離を L_{ij} とすると、総移動距離 ΣD は、

$$\Sigma D = \sum_{i, j=1}^m N_{ij} \cdot L_{ij}$$

m : 総基点数

となる。

L_{ij} は基点間の最短経路の距離を用いることを前提としているが、同一階でない基点間
の場合は、移動形態（1章、3-3. 参照）と基点間の階数の差を基に階段を経由するかエレ
ベーターを経由するかを以下のように設定した。

・エレベータを経由

ワゴン・車いす・ストレッチャーなどの車を伴う場合あるいは階数差が 4階以上の場合。

・階段を経由

車を伴わずかつ階数差が 3以下の場合。

・垂直方向の歩行距離は、階段は 1階当たり 20m（注2）、エレベータ使用の場合は 0m と設
定した。

(2) 総移動時間

基点間の移動回数と移動所要時間の積の総和が総移動時間である。基点 i, j 間の移動所
要時間を M_{ij} とすると、総移動時間 ΣT は、

$$\Sigma T = \sum_{i, j=1}^m N_{ij} \cdot M_{ij}$$

m : 総基点数

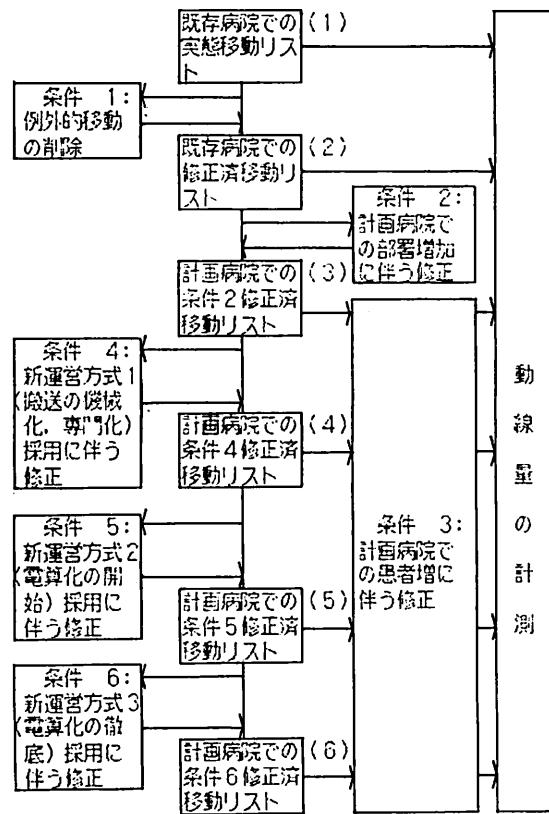


図 2-1 動線量予測のフロー・チャート

表 2-2 移動のリスト

出発基点	到着基点	所属部署	職種	個人NO.	移動時刻	携帯物	移動形態	移動目的	緊急性
3	7	3	1	1	8	1	1	1	1
7	11	3	1	1	8	1	1	1	1
11	35	3	1	1	9	9	9	3	2
35	3	3	1	1	9	9	9	9	2
.
.
.

数字は1つの移動（横1列）に該当する各項目のコード番号

となる。

基点 i, j 間の移動所要時間 M_{ij} は、水平部分での歩行距離を移動速度で除して求めた値と垂直部分（階段・エレベータ）での所要時間の合計である。移動速度は実測値を基に（1章、3-3. 参照）、車を伴う場合 1.2 m/s 、車を伴わない場合の水平部分では 1.8 m/s と設定した。垂直部分の所要時間については、経路は(1) と同様に設定し、階段歩行時間を 1階当たり 14 秒、エレベータ所要時間は、車を伴なわない場合 37 秒、車を伴う場合、ワゴン・車いすの場合は 80 秒、ストレッチャーは 76 秒と設定した（注3）。

3. 予測の条件（図 2-1参照）

(1) 条件 1

調査時にみられた次のような例外的と判断できる移動を削除した。

- ① 外来処方せんを外来から事務へ取りに行く移動。
- ② 事務部署内のカルテ搬送に伴う移動。
- ③ 薬局から外来内科へ処方せんの内容を聞きに行く移動。
- ④ 薬局から病棟・外来へ薬品簿をつけに行く移動。
- ⑤ 事務職員が病棟へ経理関係の調査に行く移動。

(2) 条件 2

予測する計画病院は現在の病院とは異なって部署を新設・増設・分離・廃止する予定である。そのため次のように修正している。

- ① 3看護単位を増設（内科 2、外科 1）するが、同じ科の移動回数モデルを適用する（注4）。
- ② 病棟で新設される脳外科・外科混合病棟は外科病棟モデルを準用する（注5）。
- ③ 外来で脳外科が新設されるが、外科モデルの $1/2$ を準用する。同じく皮膚科・泌尿器科は眼科モデルを準用する。
- ④ 調査当日休診の耳鼻咽喉科は眼科モデルを準用する。
- ⑤ 検体検査は一般検査と生化学検査に分離されるが、検体検査モデルを $1:1$ に振り分ける（注6）。また病理検査は生化学に統合した。
- ⑥ 産婦人科兼小児科病棟は各々 1 単位づつに独立するが、各々同じ産婦人科兼小児科病

棟のモデルを準用する。

- ⑦新生児室は分娩部から産婦人科病棟に移るので、分娩部モデルの新生児関係の移動を産婦人科病棟に統合する。
- ⑧既存病院のテレリフト基点は新病院計画にはないので、カルテ搬送に伴う移動は医事を基点とする。
- ⑨新設部署としての、R I・深部治療・未熟児センター等は準用できる実態モデルがないので、今回は移動を発生させてせない。

(3) 条件 3

条件 2が部署の新設といった直接的な職員移動の増加についてであったが、ここでは患者数の増加によって事務の仕事量が増えるといった間接的な職員移動の増加に関する修正条件である。

- ①病棟のみに関連する部署（手術・分娩・給食）を出発又は到着する移動のうち、定時以外の随時・緊急の移動回数は、病床数の増加割合（現病院 178床に対し、438床で 2.5倍、注7）だけ増加すると設定した。
- ②病棟・外来両方に関連する部署（手術・分娩・給食以外のすべて）を出発又は到着する移動のうち、定時以外の随時・緊急の移動回数は、病床数の増加と外来患者数の増加割合〔調査日の外来患者 470人が 598人になると設定し（注8）、 $1.6倍 = (438\text{床} + 598\text{人}) / (178\text{床} + 470\text{人})$ だけ増加すると設定した。〕

(4) 条件 4

計画病院では現病院では行なわれていない新しい運営方式を採用すると設定して予測を行なう。その第一段階は情報・物品の搬送を次のように機械化・専門職化することである。

- ①外来および病棟と中材間の医療材料・器材・機械の搬送のうち、定時の移動は専門のポーター搬送とする（注9）。
- ②外来及び病棟と薬局間の調剤薬・注射薬・伝票・処方せんの搬送のうち、定時の移動はポーター搬送とする（注9）。
- ③外来と事務間のカルテ搬送をテレリフト搬送とする。
- ④医事と薬局の処方せん搬送をベルトコンベアー搬送とする。
- ⑤外来及び病棟と検査間の検体・伝票・処方せんの搬送のうち、定時の移動は検査職員が各部署を巡回することにする。
- ⑥リハビリは予約制としリハビリと医事間のカルテ搬送は1日1回とする。

(5) 条件 5

計画病院における新運営方式の第2段階は、次のような情報搬送の電算化の開始である。病棟と入退院事務・事務（医事・庶務）・給食・薬局相互間の情報（伝票・処方せん・書類・カルテ）搬送をコンピューターによる伝達とする。

(6) 条件 6

計画病院における新運営方式の第3段階は、条件5に加え伝票・処方せんの搬送をすべてコンピューターによる伝達とすることとした。

4. 動線量の予測と能率性の評価（図2-2、2-3、表2-3、2-4 参照）

(1) 概要（図2-2）

現病院で条件1の修正を行なうと、総移動回数 $\Sigma N = 1568$ 回、総移動距離 $\Sigma D = 75116m$ （約75Km）、総移動時間 $\Sigma T = 14.4$ 時間である。

計画病院で現病院と同じ運営方式（条件1の修正は行なう）では、 $\Sigma N = 3041$ 回、 $\Sigma D = 238164m$ （約238Km）、 $\Sigma T = 58.4$ 時間であり、現病院のそれぞれ約2倍、3倍、4倍となる。

計画病院で新しい運営方式を行なうと、条件4（第1段階）で20%、条件5（第2段階）で25%、条件6（第3段階）までで30%の動線量削減が可能である。

(2) 職種別動線量（図2-2、2-3）

看護職員の動線量が各運営段階とも約50～60%を占める。職員1人当たりでは現病院修正段階で、450m／人、311秒／人となる。計画病院では818m／人、723秒／人となる。職種別には、事務職員の負担が多く、現病院で688m／人、400秒／人、計画病院では1685m／人、1135秒／人となる。計画病院で職員がさらに増員されないと、移動の負担はかなり増大することが分かる。

運営方式が改善されると、事務職員の移動負担はかなり削減される。第1段階で45%、第3段階までで50%程度が減少する。一方、看護職員の移動負担の削減率は事務職員に比べて少ない。

看護職員が主に担当する患者移送は運営方式が改善されても削減されず、規模拡大に比例して移動負担が増大する（移動1回当たりの所要時間は現病院で72秒／回、計画病院では

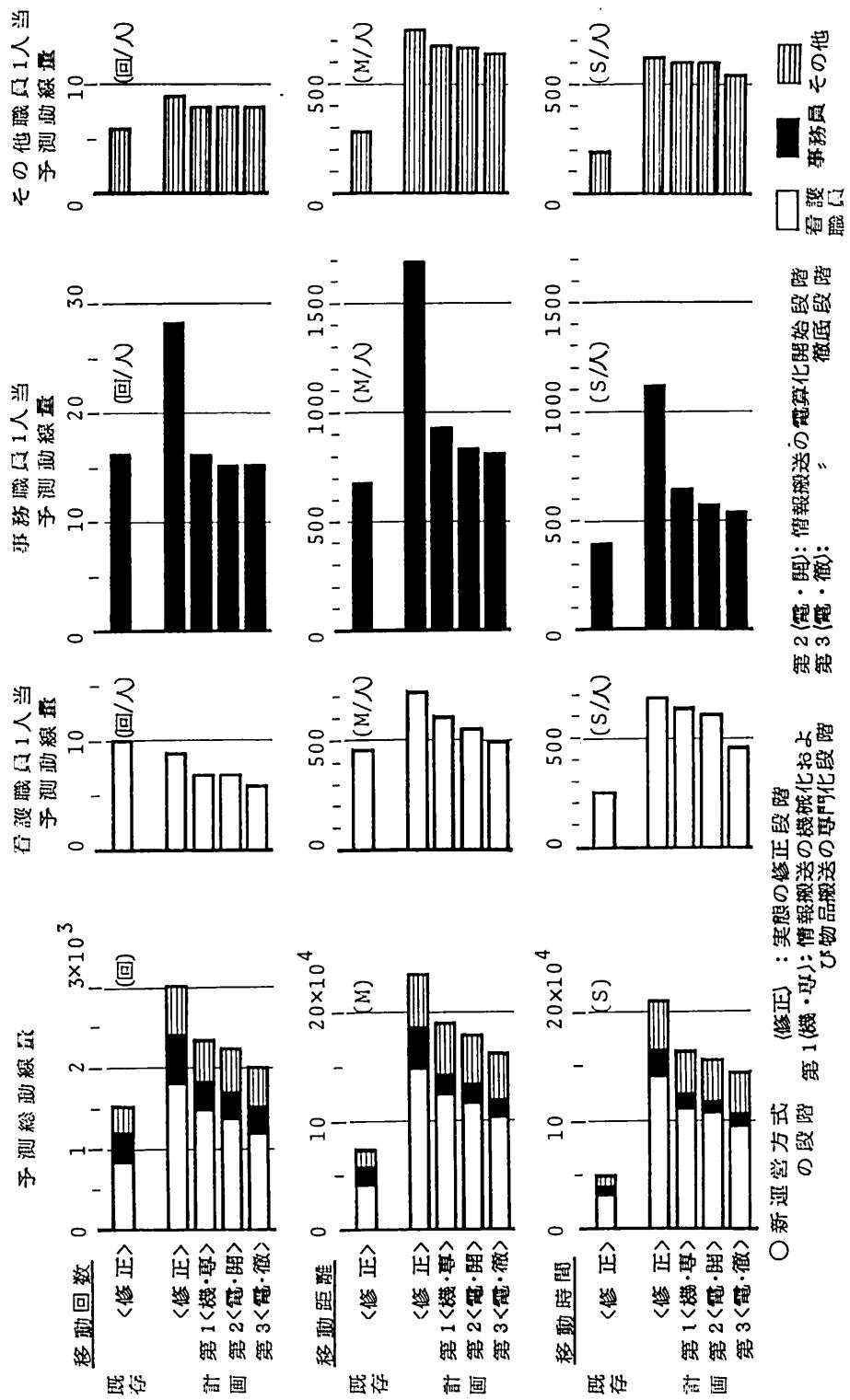


図 2-2 動線量の予測結果（職種別・運営の段階別）

162 秒／回、図 2-3 参照）ことは問題である。

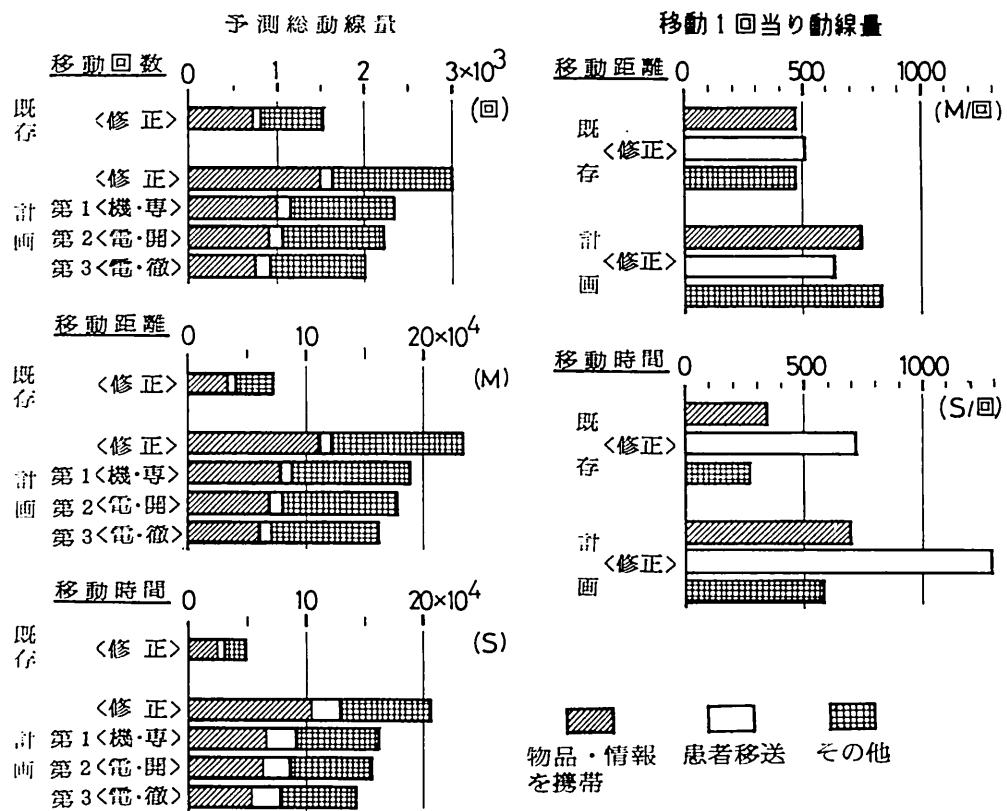


図 2-3 動線量の予測結果（目的別・運営の段階別）

4. まとめ

実態調査を行なった K 病院の改築計画案を対象として、予定されている新しい運営方式の導入によって動線量がどれだけ削減できるかを予測し計画案の評価をした。

- (1) 計画病院での予測結果は、現病院と同じ運営方式では、総移動回数 $\Sigma N = 3041$ 回、総移動距離 $\Sigma D = 238\text{km}$ 、総移動時間 $\Sigma T = 58$ 時間で、それぞれ現病院の約 2倍、3倍、4倍となる。計画病院で新しい運営方式が採用されると、搬送の機械化・専門化段階で 20%、情報搬送の電算化開始段階で 25%、情報搬送の電算化徹底段階まで 30% の

表 2-3 動線量の予測結果（職種別・運営の段階別）

表 2-4 職員 1 人当たり動線量の予測結果（職種別・運営の段階別）

運営方式		全面積		賃借面		事務員		その他	
既存 病院	【修正】 1,568 回	833	416	319					
計画 第1【現状】	3,041	1,817	649	575					
構造 第2【現状】	2,374	1,486	374	514					
構造 第3【仮説】	2,252	1,386	352	514					
	2,060	1,221	341	498					

(2) 移動距離 (M)

運営方式		全面積		賃借面		事務員		その他	
既存 病院	【修正】 75.1 Km	41.3	17.9	15.9					
	【修正】 149.0	38.8	50.4						
計画 第1【現状】	125.5	21.6	45.0						
構造 第2【現状】	117.0	19.2	45.0						
構造 第3【仮説】	103.6	18.4	43.7						

(2) 移動距離 (M／人)

運営方式		全面積		賃借面		事務員		その他	
既存 病院	【修正】 450M／人			480		688		289	
	【修正】 81.8			737		1,685		763	
計画 第1【現状】	660			621		937		682	
構造 第2【現状】	623			579		836		682	
構造 第3【仮説】	569			513		798		661	

(3) 移動時間 (時間)

運営方式		全面積		賃借面		事務員		その他	
既存 病院	【修正】 1.4~4時間	8.5	2.9	3.1				6.7	3.4
	【修正】 58.5	39.3	7.3	11.9					
計画 第1【現状】	46.1	31.1	4.2	10.8					
構造 第2【現状】	44.0	29.5	3.6	10.8					
構造 第3【仮説】	40.4	26.5	3.5	10.4					

動線量削減が可能である。

- (2) 職種別には、看護職員の動線量が最も多くて全体の50～60%を占める。職員1人当たりでは事務職員の動線量が最も多く、看護婦が737m／人（701秒／人）であるのに比べて1685m／人（1,135秒／人）となる。新しい運営方式を採用すると事務職員の動線量が最も削減される（搬送の機械化・専門化段階で45%、情報搬送電算化徹底段階で50%が削減される）。
- (3) 職員の部門間移動の中で最も慎重を要する患者移送については、病院の規模拡大について移動負担が増大することを定量的に把握した。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

本研究では特定病院での職員動線の実態をその病院の計画案に適用したが、今後は更に一般化させて、他病院の計画案にも適用し得るように、職員動線のモデル化を一般化させる必要がある。そのために調査事例を増やし、移動発生の要因分析をさらに深める必要がある。また、特定病院の場合も、複数計画案に適用して動線の面で比較し、より職員移動負担の少ない計画案を作成する方向にもこの研究を発展させたい。

さらに、職員のみでなく、患者の動線に関しても、別の視点で取り上げなくてはならないと考えている。

（注釈）

- 注1) 基点の計測ポイントは受付窓口的な箇所とした。
- 注2) 階高の2倍と階段部分の水平投影歩行距離の合計から20mと設定した。
- 注3) 計画病院のエレベーター台数算定時のRTT (round-trip time、一周時間)を前提に、文6)、7), 8)を参照してストレッチャー、ワゴン・車椅子、その他別に、各々の待時間・乗車時間・走行時間の平均を設定し、加算してエレベーターサービス完了時間を求めた。ストレッチャーは待時間は長いが、走行中は専用となるため走行時間は短いなどの特徴がある。
- 注4) 例えば増設の内科病棟では、既存病院の内科病棟の移動回数のモデルをそのまま再現する。
- 注5) 移動の要求が内科に比べて1/2となると設定した。

- 注6)調査病院の調査当日の発生検体を分類すると、計画病院での一般検査用と生化学用に、ほぼ 1:1分かれるため。
- 注7)既存病院の病床数は、整形外科39床、外科31床、産婦人・小児科混合49床、内科59床である。適用・準用にあたり、各看護単位の病床数の増減による修正は条件3により一括して行なったため、計画病床数 506床と適用・準用した結果の病床数の合計とは一致しない。つまり、内科59床×3= 177床（計画病床数 3単位で 164床）、外科31床×2=62床（同 2単位で 102床）、脳外科31床（同54床）、外科混合31床（同53床）、産婦人科49床（同40床）、小児科49床（同35床）となり合計 438床となる。
- 注8)調査日の外来患者数は 470名であり、診察室 1室当り42.7名。計画病院は診察室は14室であるので、 $42.7 \times 14 = 598$ 人を外来患者数と設定した。
- 注9)ポーターによる定時搬送は動線量に含めていない。

(参考文献)

- (1) 柳沢忠、今井正次、谷口元、志田弘二、池崎徹、病院職員の動線量予測に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1983.9
- (2) 柳沢忠、今井正次、谷口元、志田弘二、池崎徹、病院の職員動線量の予測に関する研究、日本建築学会論文報告集、第339号、1984.5
- (3) 柳沢忠、今井正次、谷口元、志田弘二、部門間の職員動線と運営方式、病院管理 Vol.21 No.4、1984.10
- (4) 志田弘二、竹内千秋、柳沢忠、今井正次、谷口元、病院部門間の動線量予測による部門配置計画の評価に関する研究、日本建築学会大会東海支部研究報告、1985.2
- (5) 志田弘二、竹内千秋、柳沢忠、今井正次、谷口元、病院部門配置計画の評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1985.10
- (6) 伊藤誠、松本啓俊、中祐一郎、病棟を中心にみた院内交通とエレベーター利用病院の建築計画に関する研究、日本建築学会論文報告集、第 178号 1970.12
- (7) 伊藤誠、松本啓俊、寺山佳佑、病院におけるエレベータの所要台数算定、日本建築学会論文報告集、第 179号 1971.1
- (8) 慎貞吉、病院のエレベータ規模に関する考察、日本建築学会論文報告集、第 179号 1971.12

第Ⅲ部 火災安全性の評価手法に関する研究

1章 患者の避難時運動能力の実態分析

2章 火災発生に伴う人命危険の評価法

この部は火災発生時の人命の安全性を評価する手法を研究対象とした。

火災時に建築物に要求される最低限の性能は、その空間を利用する人々の生命安全を確保することであると考えてよいであろう。現状の火災安全計画は主として建築基準法・消防法などの規定に適合することを最終目標に行なわれる傾向にあるが、規定の根拠が明確でない部分もあるため、その有効性については数々の問題点が指摘されている。ここでは、火災発生により生じる利用者の人命安全への危険度を定量化する評価手法を開発した。まず第1章では、人命危険の評価法を病院に具体的に適用するために、統計的な調査資料の不足している患者の避難時の運動能力に関して、実態調査の結果を分析した。そして第2章では、評価尺度である人命の危険度を、各空間で滞在時間当たり火災により死亡する回数と定義した。この危険度の計算は、火災の進展に影響を及ぼす防災設備や人間行動に関する要素の信頼性および煙流動と避難行動のシミュレーション結果を基に確率論的な手法を用いて行なった。この評価法を既存病棟平面に適用し評価した。

1 章 患者の避難時運動能力の実態分析

1. 概説
2. 患者の避難能力を扱った既往の研究
 - 2-1. 火災事例の分析
 - 2-2. 運動能力の定性的な把握
 - 2-3. 運動能力の実測
3. 実地調査
 - 3-1. 概要
 - 3-2. 調査方法
4. 調査結果
 - 4-1. 診療部利用者の運動能力
 - 4-2. 病棟部入院患者の運動能力
5. 避難シミュレーションのための条件値の検討
 - 5-1. 患者の避難移動形態
 - 5-2. 歩行速度
6. おわりに

1. 概説

病院において火災時の人命危険を評価するにはその前提として、患者の避難時の運動能力をどのように予測するかが大きな問題となる。

本章では、2章の人命危険の評価法に利用する避難条件データの整備のため、患者の運動能力に関して、既往の調査資料を整理すると共に、筆者の行なった実測結果を分析する。

2. 患者の避難能力を扱った既往の研究

2-1. 火災事例の分析

実際に発生した火災時における患者の避難行動（避難方法・経路）を調査した例としては、済生会八幡病院火災の青木（文1）、高野（文2）、愛知がんセンター火災の堀内（文3）、伊藤（文4）らの研究がある。これらの事例から共通していることは、自力では移動できない患者が避難できず、病室に取り残されるケースが多くあることで、夜間など限られた職員数でどのように患者を介助するかが病院の避難計画上大きな課題であることがうかがわれる。

2-2. 運動能力の定性的な把握

患者（特に入院患者）の潜在的な避難能力の実態を調査した例としては、渡辺（文5）、厚生省病院管理研究所（文6）、その継続研究として長沢（文7）らの研究がある。これらはいずれも、看護婦・医師に避難すると想定した場合の各患者の運動能力を判定させる方法をとっており、その判定の基準には若干の差異はあるが表1-1のような定性的尺度である。つまり、担送患者とは、医療上動かせない患者および介助者が搬送用具を使用すれば移動可能な患者を意味し、独歩患者とは、歩行補助用具（杖や車いす）を使用する者も含め自力で移動できる患者をいう。その中間の護送患者とは、自力では移動できないが付

表 1-1 患者の避難能力の尺度の例（出典：文 7）

担送	介助者と移動用具による・·····車いす、ストレッチャーを押す、担架に乗せる、シーツにのせてひきずるなど
	介助者と治療装置による・·····移動可能な治療装置をつけたまま避難する
	介助者と移動用具、治療装置による・上記2方法の併用
	移動不能・·····どのような方法によっても移動できないもの
護送	介助者の助けをかりる・·····声による誘導、手を引く、肩を貸す、背負うなど
独歩	普通の歩行・·····健康人並の歩行
	遅い歩行・·····ゆっくり歩く、手すりにつかまるなど
	特殊の歩行・·····はう、いざるなど
	移動用具による・·····松葉杖、歩行補助具、車いすなどを使う

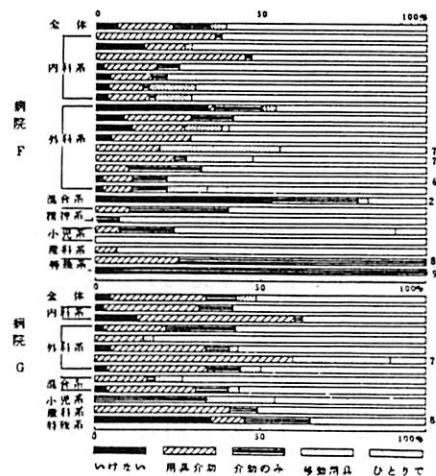


図 1-1 病棟系別非常時移動能力
(出典：文7)より転写)

表 1-2 移動形態の分類

単独で：自由に歩行
〃 : 補助具で歩行
〃 : 車いすで歩行
介助されて：手をひかれて
〃 : 補助具使用
〃 : 車いす使用
〃 : ストレッチャー使用
〃 : 抱きかかえて(親子)

き添われれば搬送用具なしに移動できる患者と解釈できる。ただし、判定は各種の要因を総合判断し行なわれているようだ、日常は不自由なく歩行している患者でも避難という特殊な行動を考慮し担送・護送と判定されるなど、看護婦の主観により判定にはらつきがあるように思われる。文5)の調査結果では、複数の一般病院合計で区分の構成比率が、担送：護送：独歩 = 25% : 25% : 50%、文6), 7)の結果では、同じく 25% : 15% : 60%程度の比率が得られている。概ね 1/4 が担送と判断されているが、これは一つの病棟の標準的な病床数の 50 床では約 13 名となる。なお図 1-1 は文7)の結果の一部である。この構成比率をみると病院毎また病棟毎に大きく変動しているが、これは、担送・護送・独歩の判定の基になる医療・看護上の属性別の患者数にはらつきがあるためで、文7)では患者の担送・護送・独歩の区分判定がどのような要因の影響を受けているかを林の数量化理論 II 類を用いて要因分析している。

2-3. 運動能力の実測

患者の運動能力を定量的に把握するために歩行速度を実測した例としては文6)がある。ここでは、模擬患者を用いて、各種の移動方法に、設定した避難場所までの移動所要時間からその移動速度を求めている。その結果、自力の移動では、普通歩行で約 1.2 m/s、車いす・杖などの補助具を用いた場合約 0.9 m/s から 1.2 m/s。介助されての移動では、ストレッチャーで移送する場合が約 1.8 m/s などの値が得られている。また文8)では、自力のみでは行動しにくい人（重病人・身体障害者など）の歩行速度として 0.8 m/s を提案している。

3. 実地調査

3-1. 概要

以上のような既往の研究には、実際に患者の運動能力を測定する試みがないことに注目し、下記 a. に示す項目を調査した。これらから、2 章にて提案する人命危険の評価法に用いる患者の避難流動予測シミュレーションのための条件値を検討する。

a. 調査項目

・患者の運動能力の実測

・入院患者の属性調査

b. 調査対象病院・調査日程

調査病院：N大学医学部附属病院。

病院規模は、総延床面積 66492 m²、地上 6階・地下 1階。病棟部は計18病棟、病床数 992床。外来診療部は計 18 診療科で、外来患者数は、1983年年間合計 449140 人（1日当当たり 1498 人）。

調査日程：病棟部が昭和58年11月21日（月）から11月25日（金）の午前 6時から午後 2時。診療部が同年12月 5日（月）から12月 8日（木）の午前 7時から午後 2時（外来診療は、受付開始午前 8時30分で午前中のみ診療である）。

3-2. 調査方法

a. 運動能力の実測

(1) 診療部利用者の運動能力

薬局・会計待合ホールと内科診療部を測定対象に選び、利用者をランダムにサンプリングして、歩行速度と移動形態を測定・観察した。移動形態は表 1-2のように分類し、歩行速度は図 1-2に示す測定区間（10 m）を通過する所要時間を基に求めた。

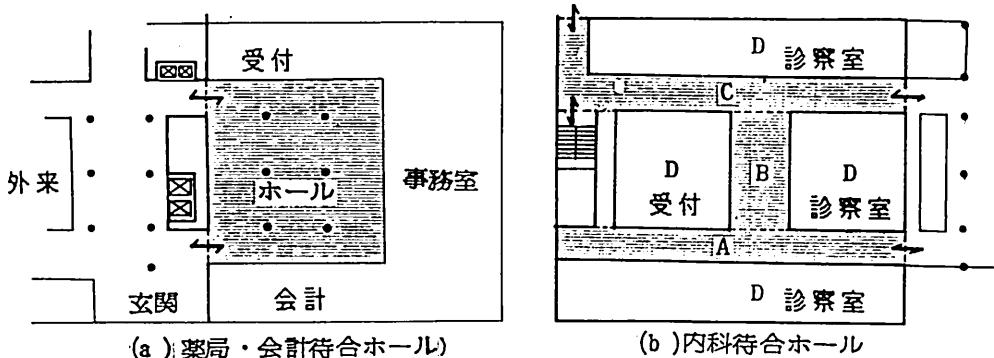


図 1-2 診療部の測定エリア

(2) 入院患者の運動能力

病棟部では、全 18 病棟のうち、内科系 1病棟（名称：第二内科）、外科系 2病棟（名称：第一外科、整形外科）、眼科、小児外科、小児内科の計 6病棟を実測対象とし、病棟内に廊下に設けた測定区間（10 m）を通過する所要時間を基に歩行速度を求め、同時に移動

形態を記録した。また、測定後患者のベッドの位置を確認し、b. の患者の属性調査結果と合わせて利用した。

b. 入院患者の属性調査

入院患者については、歩行速度や移動形態が患者の属性といかなる関連があるかを知るため、属性のうち、生活自由度、非常時の移送区分、年齢、性別について、a. の調査をした病棟の当日の全入院患者を調査した。調査表への記入及び属性の判定は担当の看護婦による。また属性の定義は次のようである。

・生活自由度

：日常の運動能力あるいは日常生活をする上での医療上の制限を表わしている。

分類は、

I : 常にベットに寝たままの状態

II : ベッドに身体を起こせる

III : 室内歩行が可能な状態

IV : 日常生活にほとんど支障なし

・非常時の移送区分

：前記の表 1-1と同様。文5)では「避難能力判定基準」、文6)では「非常時移動能力」という名称を用いているが、ここではこの名称を用いた。

また非常時の移送区分については、病院看護部で毎日調査を実施し、記録しており、これを区分の構成比率の日変化を知る資料として入手した。対象は全18病棟で、期間は調査した11月の全日分である。

4. 調査結果

4-1. 診療部利用者の運動能力

歩行速度の実測数は、薬局・会計139例、内科診療部136例で合計275例。平均速度と標準偏差は両エリアに差はなく、図 1-3のようにそれぞれ、1.16 m/s ($\sigma = 0.24 \text{ m/s}$)、1.19 m/s ($\sigma = 0.21 \text{ m/s}$)となり、速度の相対度数分布はほぼ正規分布に従う。移動形態別には、独歩の自由歩行以外の形態が10例（実測合計の4%）と少ないが、平均で1.09 m/s となり自由歩行より若干低い値となる。

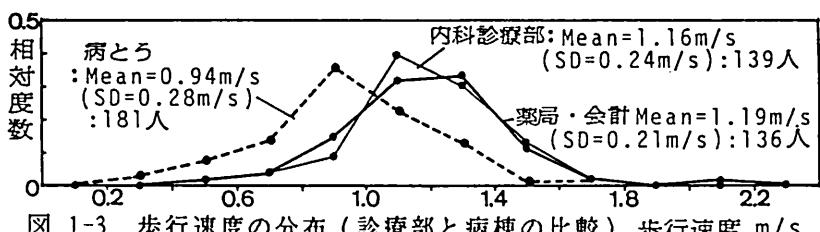


図 1-3 歩行速度の分布（診療部と病棟の比較）歩行速度 m/s

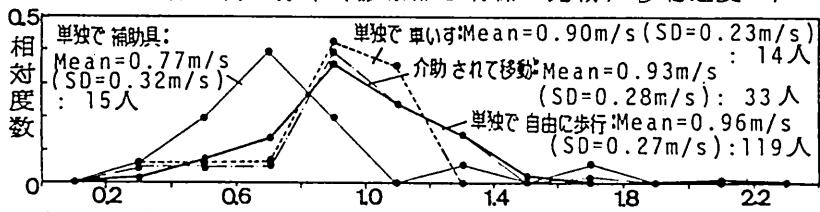


図 1-4 歩行速度の分布（病棟での移動形態別）歩行速度 m/s

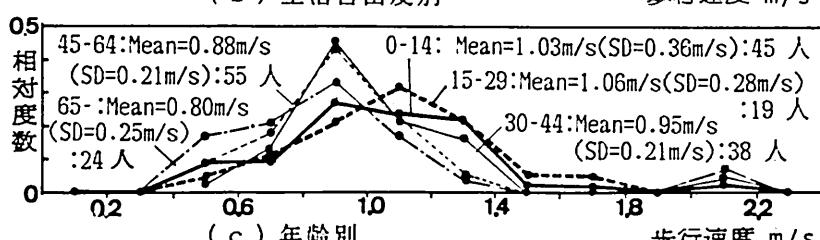
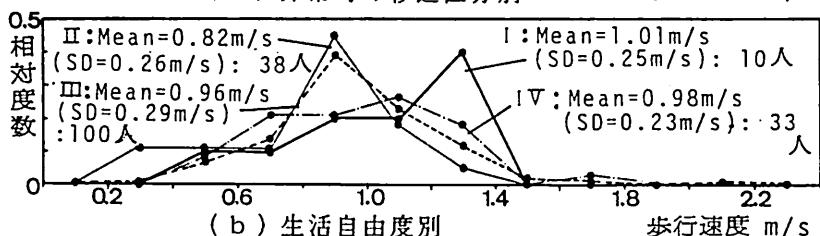
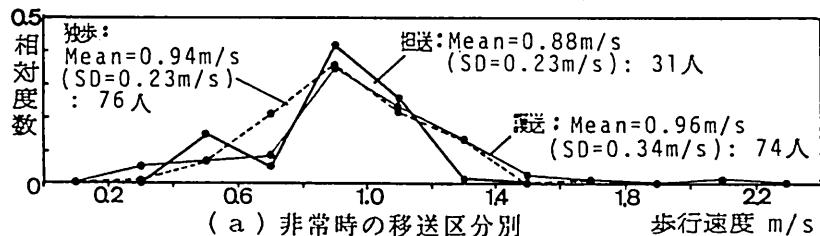


図 1-5 歩行速度の分布（各種属性別）

4-2. 病棟部入院患者の運動能力

a. 概要

歩行速度を実測した患者数は6病棟合計で154人、調査当日の6病棟の入院患者合計

表 1-3 非常時の移送区分別の移動形態発生率

	単独歩行			介助され	退室せず	合計
	自由歩行	補助具使用	車いす使用			
担送	27 (14)	8 (4)	12 (6)	13 (7)	40 (21)	100% (52人)
護送	49 (38)	6 (5)	5 (4)	27 (21)	13 (10)	100% (78人)
独歩	79 (49)	6 (4)	2 (1)	• (・)	13 (8)	100% (62人)
合計	53 (101)	7 (13)	6 (11)	15 (28)	20 (39)	100% (192人)

表 1-4 生活自由度別の移動形態発生率

	単独歩行			介助され	退室せず	合計
	自由歩行	補助具使用	車いす使用			
I	32 (7)	5 (1)	• (・)	9 (2)	54 (12)	100% (22人)
II	32 (12)	8 (3)	14 (5)	27 (10)	19 (7)	100% (37人)
III	56 (54)	6 (6)	6 (6)	14 (14)	18 (17)	100% (97人)
IV	78 (28)	8 (3)	• (・)	5 (2)	8 (3)	100% (36人)
合計	53 (101)	7 (13)	6 (11)	15 (28)	20 (39)	100% (192人)

234人の66%に当たる。残り34%は病室より退室しなかった患者、測定区間の位置の関係で実測不可能であった患者及び測定もれである。実測数は一人で複数の移動形態をとる場合があったため合計181例となる。歩行速度は図1-3に示すような相対度数分布であり、平均と標準偏差は、6病棟合計で、 0.96 m/s ($\sigma = 0.28 \text{ m/s}$) となり、診療部に比べ約 0.25 m/s 遅い。移動形態の内訳は合計181例中、単独で自由歩行119例(66%)、単独で補助具使用15例(8%)、単独で車いす使用14例(8%)、介助されて33例(18%)となる。移動形態別速度の相対度数分布は図1-4のようになり、平均速度は、単独の自由歩行が最も速く 0.96 m/s ($\sigma = 0.27 \text{ m/s}$)、最も遅いのが、単独の補助具使用の 0.77 m/s ($\sigma = 0.32 \text{ m/s}$)と約

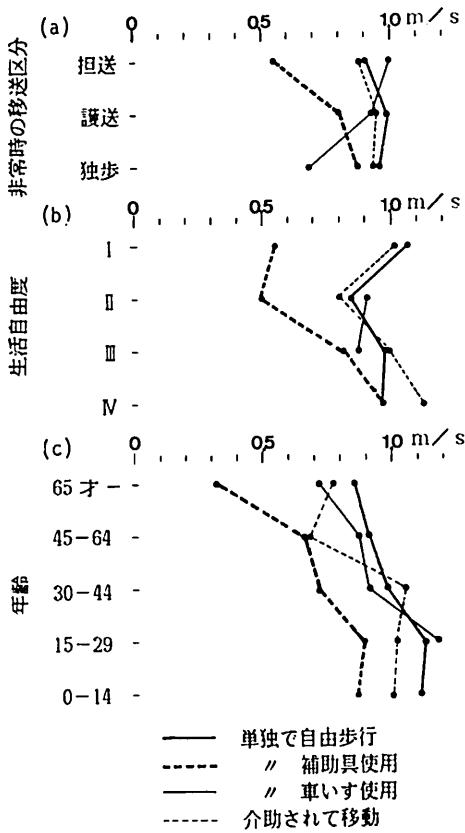


図 1-6 移動形態別・属性別平均歩行速度

0.2 m/s の差がある。また、単独の車いす、介助されての移動は自由歩行に比べわずかに遅い。

b. 患者属性と運動能力の関係

① 移動形態

表 1-3、1-4 は患者属性のうち生活自由度、非常時の移送区分と歩行速度の実測時に観察された移動形態とのクロス集計である。ただし、測定位置の都合で実測不可能だった病室の患者は除いてある。生活自由度は前述のように日常生活能力を判定したものであるが、I : 「常にベッドに寝たまま」と判定されている患者のうち 32% が単独で自由歩行しているなど矛盾がみられる。さらに、非常時の移送区分は避難時の移動介助の必要性の有無を判定・推測したものであるが、担送と判定された患者のうち 27% が、また、護送と判定された患者のうち 49% が単独で歩行している患者である。この相違は、担送・護送・独歩が非常時を想定しての管理者側からの「取り決め」であるのに対し、廊下で観察され

た移動形態というのが、トイレに行くなど患者独自の意思に基づく行動であるために生じたと判断される。

②歩行速度

属性別の速度の相対度数分布は図 1-5(a), (b), (c) となり、非常時の移送区分、生活自由度では分布・平均とも明確な差はないが、年齢別ではその差は顕著である。図 1-6(a), (b), (c) は患者属性別・移動形態別の歩行速度の平均をまとめたものである。このなかで、「単独で補助具で歩行」では、担送が 0.55 m/s に対し護送・独歩が各々 0.80 m/s 、 0.88 m/s と大きな差がみられ、同様な傾向は生活自由度でもみられる。年齢別には、どの移動形態でも年齢が上昇するにつれて速度の低下がみられる。

c. 患者属性別の病室位置

一般には看護の効率上、重症患者の病室は可能な限りナースステーション付近に配置される傾向にある。実測した 6 病棟について、非常時の移送区分別に患者の病室位置を示すと図 1-7 となる。どの病棟でもナースステーション近くに担送患者が分布している。

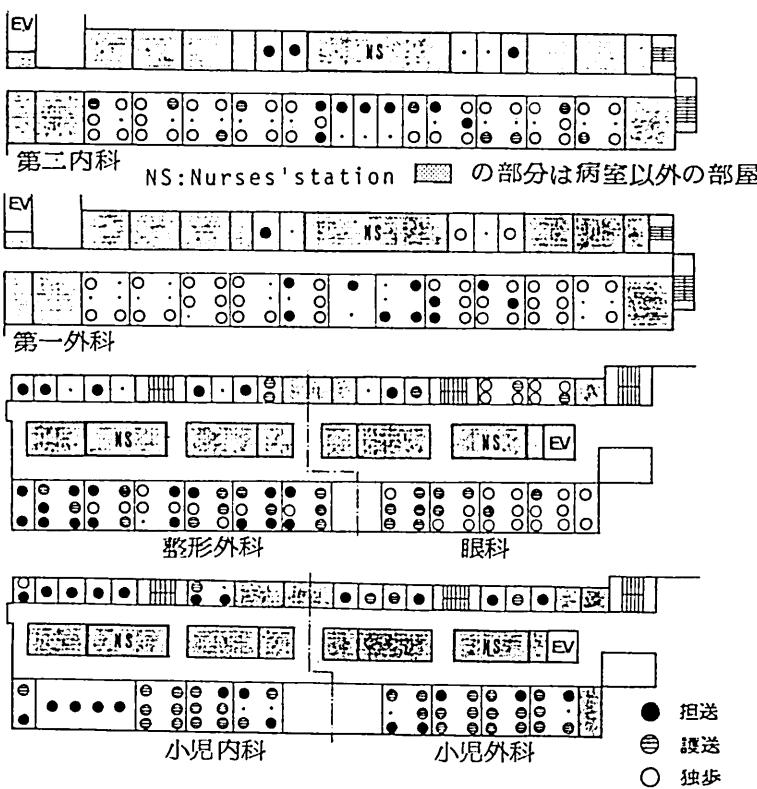


図 1-7 患者の病室位置（病棟別・非常時の移送区分別）

d. 非常時の移送区分の日変化

担送・護送・独歩の構成比率の30日間の平均を表1-5、図1-8に、変動を図1-9に示す。調査病院全病棟での平均では、担送28%、護送35%、独歩38%の構成比率になる。ただし、病棟間の差は大きい。表1-5、図1-8に示す担送と独歩の比率を基に病棟を分類してみると次のようになる。

- (1) 担送患者が40%以上で、独歩患者のほとんどいない病棟(図1-8の(1))
- (2)(1)同様担送患者が40%以上であるが、独歩患者が20%前後(図1-8の(2))
- (3) 担送患者が30%以下で、独歩患者が20%以下(図1-8の(3))
- (4)(3)同様担送患者が30%以下で、独歩患者が40%以上(図1-8の(4))

30日間の日変動の振れ幅は平均の値同様に病棟毎に異なるが(表1-5、図1-9)、例えば担送患者が61%と著しく多い整形外科では、最大71%、最小48%、標準偏差6.7%(変動係数=0.11)と振れ幅も大きい。

表1-5 非常時の移送区分の構成比率
の平均と標準偏差(1983.11)

病棟 名称	非常時の移送区分			患者人数 (30日平均)
	担送	護送	独歩	
整形外科	61.1% (6.7%)	22.7 (4.1)	16.1 (5.1)	43人
脳神経外科	58.5 (7.6)	20.4 (6.3)	21.1 (10.0)	33
第一内科	52.4 (1.9)	20.5 (0.9)	27.1 (2.4)	49
小児内科	49.1 (2.8)	50.6 (2.9)	0.3 (1.1)	28
小児外科	43.6 (5.0)	55.8 (5.3)	1.1 (1.7)	27
第一外科	30.2 (1.8)	25.9 (3.3)	43.9 (4.7)	47
第二外科	24.9 (5.1)	33.8 (5.4)	41.3 (4.7)	48
第二内科	24.6 (2.3)	22.7 (4.0)	52.7 (4.3)	48
老年・歯科	24.2 (1.2)	21.4 (1.3)	54.4 (2.0)	33
混合	22.3 (3.1)	41.5 (6.7)	36.2 (7.7)	31
皮膚科	20.1 (4.0)	26.0 (7.1)	53.9 (4.8)	35
第三内科	19.0 (2.4)	25.8 (3.0)	55.2 (3.0)	37
産科	17.3 (6.5)	60.9 (10.0)	21.8 (6.1)	25
婦人科	13.3 (3.3)	18.2 (6.9)	68.5 (6.9)	35
放射線科	13.9 (4.0)	32.1 (7.4)	54.1 (4.2)	27
耳鼻咽喉科	13.2 (8.7)	35.9 (5.1)	50.9 (6.8)	43
眼科	6.5 (6.2)	51.8 (3.8)	41.6 (7.1)	36
精神科	2.6 (0.1)	81.6 (6.1)	15.8 (6.1)	38
全病棟平均	27.9 (1.0)	34.5 (1.2)	37.6 (1.2)	37

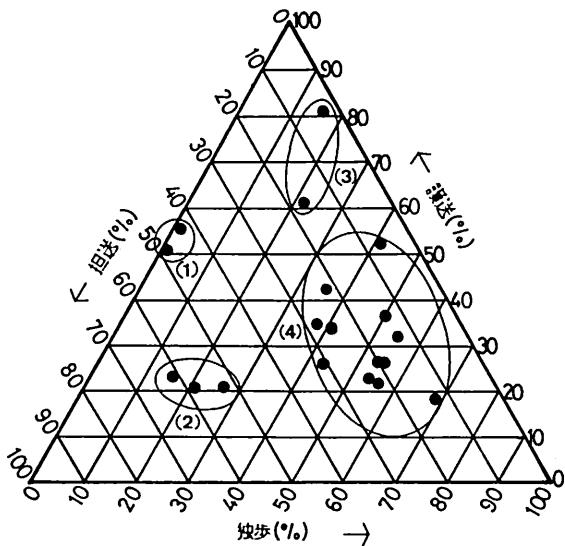


図 1-8 非常時の移送区分の構成比率平均値
のプロット（病棟別）

5. 避難シミュレーションのための条件値の検討

今回の実測結果から病棟の避難シミュレーションなどに用いる条件値の検討をする。

5-1. 患者の避難移動形態

前述（4-2. b.）のように、担送・護送・独歩の区分と実測時の移動形態とは必ずしも対応関係が明確ではない。ここでは、実測した移動形態が患者の本来持つ運動能力と考える立場にたち、避難時にもこの比率で移動が発生すると仮定し、条件値を定めることとする。

病棟毎に移送形態の比率はかなり変動があるが、ここでは合計（表 1-3, 1-4）を基にし、実測できなかった患者の比率 20 % を他の 4 つの形態の比率に従い割り当てて次のような値を得た。ただし、標準的な条件値ということで数値は端数をまるめてある。

単独で自由歩行	65 %
〃 補助具使用	10 %
〃 車いす使用	10 %
介助されて移動	15 %

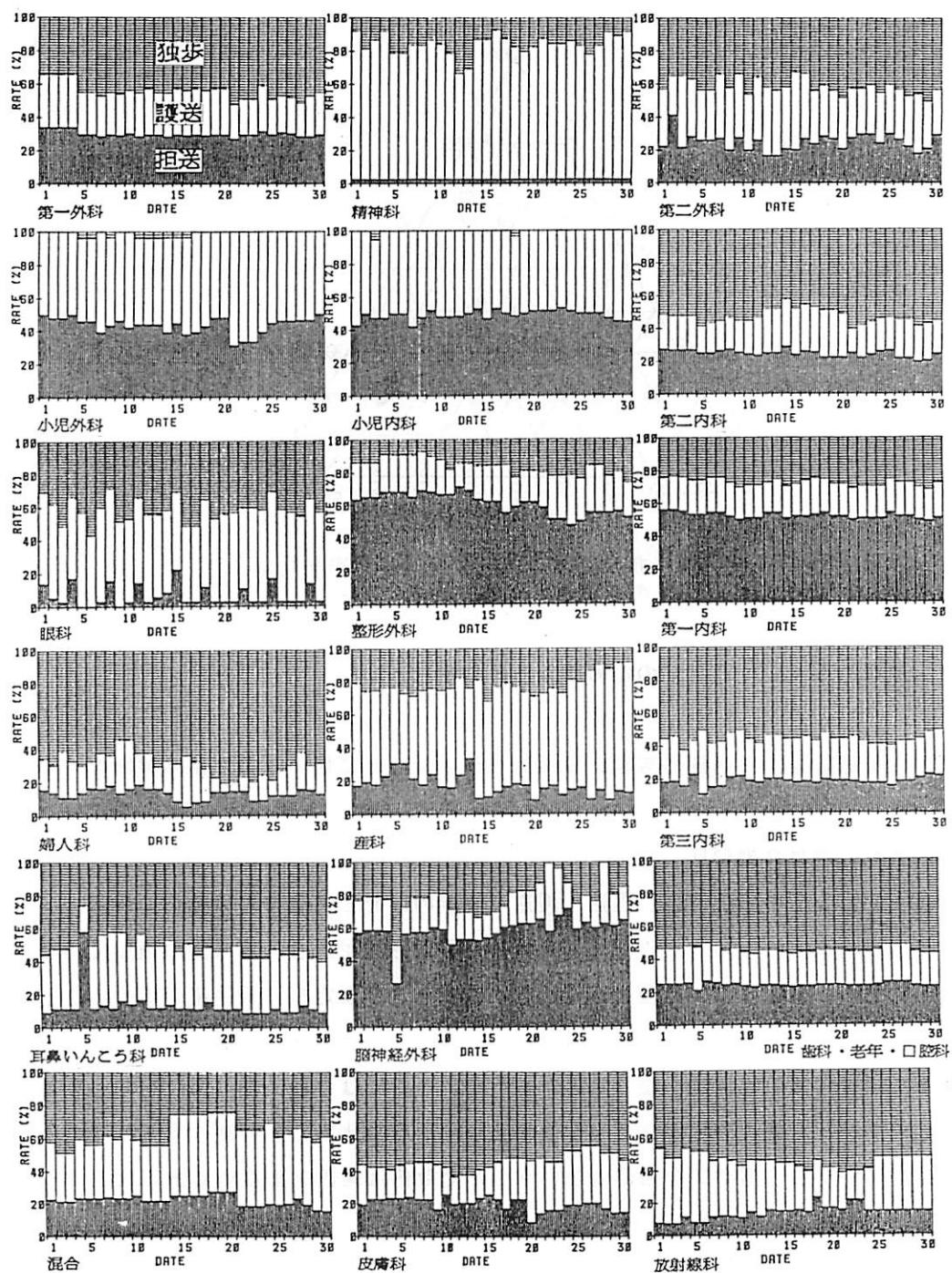


図 1-9 非常時の移送区分の構成比率の 30 日間変動 (1983.11)

5-2. 歩行速度

移動形態別に速度の条件値として、Mean（平均）－SD（標準偏差）（片側信頼区間34%）の値を採用することとすると、図1-4の結果から以下のようなになる。

単独で自由歩行	0.69 m/s
〃 補助具使用	0.45 m/s
〃 車いす使用	0.67 m/s
介助されて移動	0.65 m/s

6. おわりに

以上、患者の避難時の運動能力に関して、実地調査を中心として考察をすすめてきた。病院の場合、前述のように自力では動けない患者の安全をどのように確保するかが大きな課題である。特に夜間は患者を介助する職員も非常に少なく、避難開始が遅れることが予想される。自力で動ける患者にしても健康人に比べれば運動能力は低いし、車いすや杖を使用しなければならない患者も多い。このような観点から、同一階での水平避難計画や重症患者ゾーンとそれ以外を防火区画するといった各種対策の必要性が今までにも何度も指摘されているが、明確な設計方法が定まっていないのが現状である。

(参考文献)

- (1) 青木正夫ほか、済生会八幡病院火災時における患者を中心とした避難行動（病院建築の防火・安全計画に関する研究その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1974.10
- (2) 高野公男ほか、建築設計計画上より観察した病院火災の実態調査その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、1973.10
- (3) 堀内三郎ほか、愛知ガンセンター火災の調査報告、日本建築学会大会学術講演梗概集、1975.10
- (4) 伊藤誠ほか、愛知ガンセンターの火災事故、病院、Vol. 34、No. 8、1975.8
- (5) 渡辺克巳、避難からみた病院建築における2、3の建築計画的考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、1974.10
- (6) 厚生省病院管理研究所、災害に対する病院の保安避難体制に関する研究（中間報告書）1975.3
- (7) 長沢泰ほか、入院患者の行動能力に関する分析－病棟の建築計画の基礎的研究、日本建築学会論文報告集、第346号、1984.12
- (8) 堀内三郎、建築防火、朝倉書店、1980
- (9) 志田弘二、辻本誠、柳沢忠、渡辺郁夫、病院在館者の避難行動能力に関する実地調査、火災学会概要集、1984.5
- (10) 志田弘二、辻本誠、柳沢忠、渡辺郁夫、病院の避難計画に関する研究、(その1)患者の避難行動能力の分析、(その2)患者の避難行動能力別要避難者数、日本建築学会大会学術講演梗概集、1974.10
- (10) 志田弘二、辻本誠、病院患者の避難時運動能力、火災、Vol. 35, No. 6、1985.12

2章 火災発生に伴う人命危険の評価法

1. 概説
2. 既往の評価法
3. 評価法の基本構造
 - 3-1. 目的
 - 3-2. 構成
 - 3-3. 客観化についての考え方
4. 評価法の具体化
 - 4-1. 危険度の再定義
 - 4-2. 条件の設定
 - 4-3. シナリオの作成
 - 4-4. 危険度の計算
5. 病棟平面への適用
 - 5-1. 適用にあたっての条件設定
 - 5-2. 危険度に対する設定値変動の影響
 - 5-3. 複数の平面による評価法の検討
6. イベントツリー－各要素の成否確率の検討
 - 6-1. 検討内容
 - 6-2. 結果と考察
7. まとめ

1. 概説

建築物の任意の空間に潜在する「危険」を定量化する評価法が天賦のものとして与えられるとすれば、合理的な考え方のひとつに、「設計の目標値として、個々の空間の危険度（例えば、滞在時間当たりの死亡回数）を一定値以下にする」ということがあげられる。本章で提案する評価法は、設計者の与える諸条件（図面、管理方法、利用想定等）に基づき、火災発生により生じる利用者の生命安全への危険度を定量的に求め、この危険度を社会的判断により定められる基準値との比較により、防火設計の成否の判断に用いることが出来ることを最終的には目指している。これを概念フローに示すと図 2-1となる。ところで、建物の火災危険度を明らかにすることを目的として種々の評価法が提案されている。しかし、危険度の指標として何を選ぶか、又、評価法の客観性をどう実現するかが明確な提案は少ない。本研究はこれら既往研究を整理した上で、設計上の諸要因に対応できる評価法を提案し、適用例として既存病院の病棟平面を評価した。

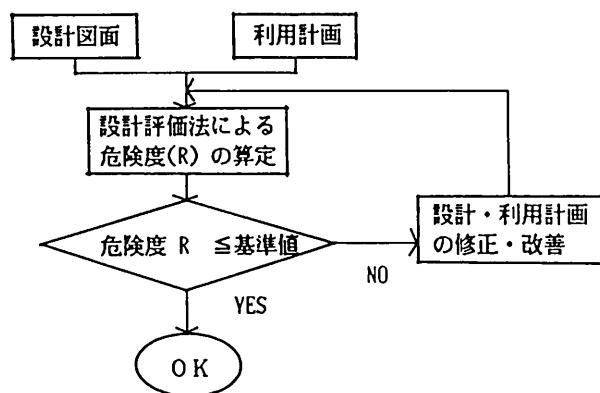


図 2-1 評価法利用の概念フロー

表 2-1 評価法の比較

名称	A・特定防火対象物の防火性能の評価方法	B・医療施設の防火安全性評価	C・ツリーによる総合火災安全性の評価
目的	人命危険性の評価	建物各部での火災安全性	建物全体としての火災安全性
対象	不特定多数を収容する特殊用途の建築物	医療施設	建築物全般
基本構造	<p>①火災事例 1／11 を抽出、人命危険要因 29 項目そなわざれにに対してどの程度不備であつたかを細目での×印の数でチェックする。</p> <p>②1／1 の事例のうち、死亡者の有無による 2 グループに最もよく分かれる重みを 29 項目にに対して与え、項目の合計値で全体の危険度を推計する。</p>	<p>①各対象ゾーンを利用する人で決まる人命危険度 (R) を得点表から計算する。</p> <p>②各種対策（構造・内装・スプリンクラーなど）の水準に対応して決まる得点 (SG) を計算する。</p> <p>③ $SG \geq R$ が達成されれば可。</p>	全体としては、各防火対策の成功確率をツリー解析により総合化したもの。ただし、完成しているのは火災拡大のコントロールの技だけであり、この部分では、消火システムの消火確率、隔壁の耐火性を考慮して空間規模ごとに成功の確率を求めている。
評価の尺度	各項目の重み付点数の合計値	上記①、②の各得点はデルファイ法による専門家の判断。	空間規模ごとに与えられる各システムの成功確率（統計や専門家の判断）の積。
基準	評価した事例全体での平均的な値に対して、その 1／3 以下、1／3～1／2、等のランク付けを行なっている。	$SG \geq R$ かつ SG の要素である火災室の封じ込め (S1)、消火 (S2)、避難安全 (S3) のそれぞれの値が基準値以上であること。	火災拡大コントロールについては、空間規模ごとに成功確率の下限を基準値として与えている。
その他	出火危険、火災の拡大性の評価は手法上対象外、発展的内容のもの（文4）はあるが分かりにくい。	既存建物では各対策の基準値が低めに設定されている。	全体としての判断基準は未完

2. 既往の評価法

建物の火災危険度を評価する代表的な研究例として以下の3つの評価法を概説する。

- A. 特定防火対象物の防災性能の評価方法（東京消防庁）（文1）
- B. 医療施設の防火安全性評価（米国NBS、HEW）（文2）
- C. ツリーによる総合火災安全性の評価（米国GSA）（文3）

これらの評価法の内容は表 2-1のようにまとめられる。このうち、A. は各項目に与えられる得点が、死亡者の有無という統計的事実に基づく重み付けであるため、客観性は高いが、一方、建物のどの部分が危険なのかについての答えは得られない。B. は、対象物を防火（もしくは防煙）ゾーンごとに比較できるため、設計へのフィードバックが容易である。また、利用者の要素と建物の要素を分離して判定する方法をとっており、Rを避難時間、SGを避難路が避難不能となるまでの時間と考えれば評価法として分かりやすい。ただし、Rの算出が各要素の得点の積によるのに対して、SGは火災が制御できなくなるほど拡大する割合に関係する要素（スプリンクラー、内装など）も含めて、各要素の得点の和で与えられる形となっており、積と和の関係が明快でない点、得点を専門家の判断によっている点で客観性に乏しい。C. は延焼阻止ツリーについては、各要素の作動性をうまく取り入れて評価しているが、ツリー方式だけでは結局時間変動の大きいヒューマンファクターを取り込めず、未完である。

このように、建物のどの部分の何を対象として評価するか、及び評価をどうやって客観化するかが評価法を提案する際の大きな問題である。

3. 評価法の基本構造

3-1. 目的

本評価法では、「各空間で滞在時間当り火災により死亡する回数」を危険度と定義し、これを実際の設計で、平面ごとに相対比較できるよう定量化することを目標とした。さらに、病室のように滞在者の運動能力に明らかに差があるような場合には、運動能力別にも危険度が算出できるよう配慮した。また、図 2-1に示したような基準値を設定する場合は、前節のA. の評価法のように多数の平面に適用し、その評価値の分布から判断できると考

えた。

3-2. 構成

確率論的な扱いが可能なこと、また今後得られるであろう新しい知識の付加が容易であることを前提に、以下のような構造で危険度を求めるとした。

- 1)ある空間（ i ）に影響を及ぼす全ての空間（ $j = 1, n$ ）での出火を考える。
- 2)空間（ j ）の出火に伴ない、火災の進展モデルおよび人間行動のモデルを並行してシミュレーションする。
- 3)危険度に大きな影響を及ぼすと判断される要素（スプリンクラーによる消火の成否、火災室の扉の開閉など）の成否により事象を分岐させ、火災発生に伴ない起こる事象をいくつかのシナリオ（ $k = 1, m$ ）に代表させる。火災の進展モデル、人間行動のモデルはこの分岐に対応して変化できるものとする。
- 4)各シナリオで空間（ i ）の滞在者が危険な状態になる頻度を計算し、これを各シナリオ（ $k = 1, m$ ）で合算し、さらに各出火（ $j = 1, n$ ）で合算して空間（ i ）の危険度とする。

3-3. 客観化についての考え方

本章で提案する評価法は、火災について得られている個々の知識を、条件を限定して全体に組み上げたアセスメント手法というべきもので、その評価法の客観性を実証するためには膨大な数の平面における評価値と火災統計を必要とする（ただし、この作業が不可能とは考えておらず、実際の建物群を対象に始めている）。

そこで、ここでは、評価法がアセスメント手法として「矛盾を含むかどうか」をひとつ の用途（病棟）、複数の平面で検討するという方法をとることとする。

4. 評価法の具体化

評価法を実行するために必要ないくつかの条件を設定する。

4-1. 危険度の再定義

煙の拡散予測と避難シミュレーションの重合させから「死亡」を推定することはきわめて困難であるので、滞在時間当たり死亡する回数が、煙により通常の避難が不可能となる回数に比例すると仮定し、さらに、単位を滞在時間当たりとすると出火率の時間変動などの要素も入るため、とりあえず在室者は常に滞在すると考え、滞在時間を単位時間に読みかえる。

危険度：「単位時間当たり火災により避難不能となる回数」。

4-2. 条件の設定

以下の条件・計算プログラム等は適用に際して与えられるものとする。

1) 建築・人間行動の条件

- ・建物側の条件（設計図面、内装材、防災設備（信頼性を含む））
- ・人間行動の条件（滞在者の分布（防災センター配置人員を含む）、運動能力・避難方向は与え、現段階では意志決定など心理的要因までは含めない）

2) 火災性状・煙流動予測プログラム

火災の発生した空間でのフラッシュオーバーの発生時期、廊下への煙の流出量・濃度、煙の拡散等を計算する。これと同時に、火災感知器・スプリンクラー等、火災の物理性状だけで作動の決まるものについては、この作動時期も時間軸上に算出される。

3) 人間行動のシミュレーションプログラム

管理者が火災発生を覚知してから避難誘導に至るまでの行動と避難者が滞在する空間から安全域（火・煙から安全に区画された空間）まで移動する避難行動のシミュレーションをする。

4) 空間の出火率

出火率：ある空間において制御不能の燃焼（火災）が発生する割合はその空間の用途と面積で規定されるものと考える。ここで、

$$F_j = f \cdot A_j \quad \dots \quad (2.1)$$

F_j : 空間 j の出火率 (回／年)

f : 用途別床面積当りの出火率 (回／年・ m^2)

A_j : 空間 j の床面積 (m^2)

f については将来、統計結果を利用できると考えているが（注1）、現状では統計資料が不備のためここでは f のままで用いる。

以上の条件の他に、実際の平面に適用する際には、さらに 5-1. に挙げるような細かい条件設定を別に与えている。

4-3. シナリオの作成

成否の確率を与えられる要素ごとに枝分かれする時間経過を考慮したイベントツリー (Event tree、注2) をつくる。結果として複数の火災進展状態 (拡大規模) を表わすシナリオが、想定する出火室ごとに作成されることになる。成否の確率を与えられる要素としては、以下の4つを考えている。

・機器類：

1) 感知器、 2) スプリンクラー、 3) 防火戸

・人間側：

4) 警備職員が感知器の作動を覚知してから避難誘導に至る行動を類型化して考える。

具体的には、出火室にて火災を確認後すぐ避難誘導が行われるか、それが消火活動の後になるかを枝分かれの条件として与えている（注3）。

上記4つの要素のうち、感知器を除く3つの要素の成否により作られたイベントツリーの例を図 2-2に示す。このイベントツリーは6つのシナリオより構成されている。ここでのそれぞれの要素の時系列的配置 (順序) は当然火災性状もしくは人間行動予測プログラムから決まるもので、空間 (もしくは建物) が異なれば同じ順序になるとは限らない。

各要素での分岐の確率は、既存の研究 (文5) を参考に設定した。図 2-2のシナリオ①、②では、扉の開・閉の要素による分岐がないが、これは、フラッシュオーバー (F.O.) 以前に初期消火が成功して避難不要と判断しているためである (シナリオ①とシナリオ②合計で生起確率 = 93.9%)。それ以外の初期消火のなされない (消火栓を使わない + 使用したが消火失敗) シナリオ (③～⑥) では、F.O. 時の出火室 (火災室) の扉の開・閉により分岐する (出火室の扉「閉」 = シナリオ③+⑤ = 4.9%、「開」 = シナリオ④+⑥ = 1.2

%。5-2.に述べるように火災の拡大規模や避難の必要性が異なる)。

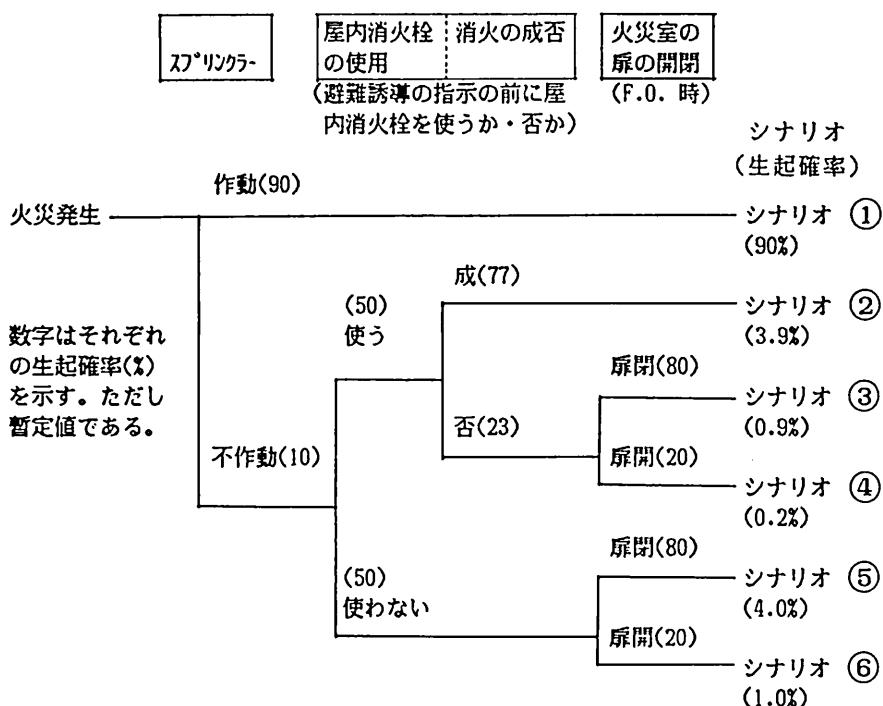


図 2-2 イベントツリーの構成

4-4. 危険度の計算

3-2.の考え方と 4-1. の定義から各空間の危険度を計算する。計算式を以下に示す。

$$R_i = \sum_{j=1(j \neq i)}^n [F_j \cdot \{ \sum_{k=1}^m P_k \cdot T_k / N_i \}] \quad \dots \quad (2.2)$$

R_i : 空間 i 滞在者の危険度 (回/年)

F_j : 空間 j の出火率 (回/年) 式(1)

n : 防火区画内の出火空間の総数 (i を除く)

P_k : ツリーの中でのシナリオ k の生起確率

m : シナリオの総数

T_k : 空間 j からの出火で、空間 i に居た人のうちシナリオ k で避難不能となった人数 (人)。煙により避難不能となる時点を、避難空間の煙の減光係数 C_s が、一般人

の避難時の許容濃度である 0.15 /m^3 (文 6) を越した時点とし、この時点で安全域に達していない避難者は避難不能になるとした。 T_k はこれらのうち空間 i にいた人数である。

N_i : 空間 i の滞在者数 (人)

5. 病棟平面への適用

5-1. 適用にあたっての条件設定

- ・火災性状・煙流動予測プログラム、人間行動のシミュレーションプログラムについてはそれぞれ暫定的に注4)、注5)に述べる内容のものを利用する。特に、避難に関しては、自力では移動できない患者の安全をどう確保するかが計画上の重要課題であることから、この点を考慮できるシミュレーションモデル（注5）を作成・実行した。
- ・階段等豎穴での煙流動を予測することが困難なため、危険度の計算はとりあえず出火した防火区画内に限定する。
- ・病室以外からの出火は考えない。
- ・出火室の居住者の危険度については別途に計算し、評価することとし、ここでは扱わない。
- ・運動能力の異なる人が同一空間に滞在する場合には、式(2)の T_k 、 N_i を同じ能力の人ごとに計算する。結果として、その空間の危険度が運動能力ごとに出力されることとなる。
- ・各空間には感知器が設置され、出火の感知は感知器によるものだけを考える。
- ・防災センターがあり、24時間体制で管理行動マニュアルに従う警備職員が居る。
- ・出火室以外の空間に居る人間は感知器作動後、防火に対し責任をもつ職員の指示があつて初めて避難行動を開始するものとする。
- ・上記職員以外の消火・誘導等の活動は考えない。また、職員の危険度は考慮しない。

5-2. 危険度に対する設定値変動の影響

評価法を用いてある平面を評価したとき、計算の結果求まる危険度を変動させる要因を、仮に〔火災系〕・〔設備系〕・〔人間系〕・〔空間系〕と名付けて分類すると、モデルの

表 2-2 本評価法に組み込んだ危険度を変動させる要素

A. 火災系	
A - 1 : 出火率	
A - 2 : F. O. の発生時期	
A - 3 : $C_s \geq 0.15$ の時期	
B. 設備系	
B - 1 : 感知器の有無・作動信頼性・作動時期	
B - 2 : スプリンクラーの有無・作動信頼性・作動時期	
B - 3 : 火災室の扉の性能・閉鎖率	
C. 人間系	
管理者	C - 1 : 管理者が火災認認に要する時間 C - 2 : 初期消火活動の有無と成功率 C - 3 : 避難指示の時期・誘導者の人数
避難者	C - 4 : 避難者の運動能力
D. 空間系	
D - 1 : 用途・規模	
D - 2 : 平面 (安全域の数、避難経路数、避難距離、廊下幅、開口部幅)	
D - 3 : 空間の使用・管理状況	

表 2-3 設定値の変動

	標準値	変動条件
a. 管理者の出火室への到着時間 (感知器作動後)	評価法の計算条件より求められる値 (防災センターより最も遠い病室の場合) : 80秒	I (0秒) V (90秒) II (60秒) VI (100秒) III (70秒) VII (120秒) IV (80秒) I ~ Vまでは (標準値) F.O.以前
b. 患者の運動能力	実測調査を基にした値 (注4 参照) A : 自由歩行 0.8 m/s • 65% B : 杖・車椅子 0.4 m/s • 20% C : 要介助 (移送時) 0.8 m/s • 15%	Aが100%
C. 安全域の数	2ヶ所以上 (評価する防火区画に接する)	1ヶ所 (平面(a)では右側のみ)

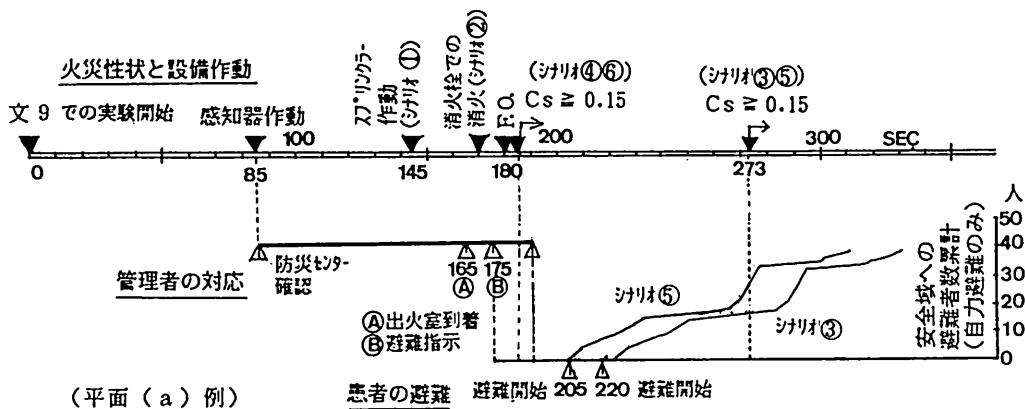


図 2-3 時間軸上に示したシナリオ

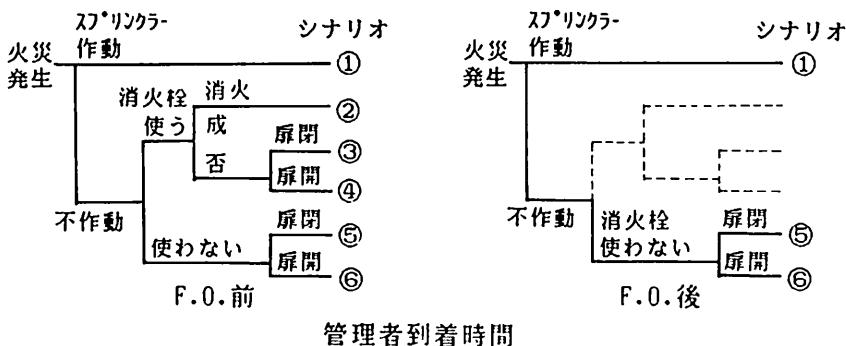


図 2-4 イベントツリーの変化

構造から表 2-2となる。これらの中で、[火災系]・[設備系]については、評価法で用いた設定値にある程度の精度を期待できるが、[人間系]・[空間系]の設定値は、ヒューマンファクターが入るという意味で大きな変動が予想される。そこで、[人間系]・[空間系]の設定値の変動が危険度にどのような影響を及ぼすかを標準的な平面(図 2-8(a))で検討する。表 2-3は、表 2-2のうち3つの要素に注目し、その標準の設定値と変動の条件を示している。

図 2-3は、標準の設定値を用いておこなったシミュレーション結果を時系列上に示したものである。まず、火災性状・煙流動シミュレーションから、F.O. の発生は 180 秒となる。この時、火災室の扉が閉じているか・開いているかで、廊下が避難不能となる($C_s \geq 0.15$)時間は 180 秒(シナリオ④、⑥)、273 秒(シナリオ③、⑤)と与えられる。表 2-3のうち、a(管理者の到着)が、F.O.(180 秒)以降になる場合は消火活動が不可能となるため、イベントツリー自体が変化する結果となる(図 2-4)。

図 2-5, 2-6, 2-7に設定値の変動により、各空間ごと、患者の運動能力ごとに求まる危険度の分布がどのように変化するかを示す。これらの図で、横軸は、床面積当たりの出火率(式(2.1)の f 、注 1)をかけると、式(2.2)の R_i となる数値で、危険度を表わす。縦軸は、平面の各位置にいる患者がどの危険度の範囲にどれだけ分布しているかを示す(注 6)。図 2-9(a)は標準の設定値での各空間の危険度を平面図上に表わしたものである。

a. 管理者の出火室への到着時間の変動(図 2-5)

到着時間が F.O. に近づくとともに、危険度は次第に増大し、F.O. 前後(表 2-3の条件 V、VI)で大きく変化する。これは VI 以降では消火活動の成功による危険度の軽減が存在しなくなるためである。この傾向はどの運動能力(A、B、C、表 2-3参照)でも同様である。

b. 運動能力の変動(表 2-3、図 2-6)

運動能力 C の患者は、2 名の看護婦の往復によってのみ移動できる条件としているため(注 5)、もともと避難条件が他の患者とは大きく異なる。これを運動能力 B、C の患者とも、運動能力 Aとの想定で計算すると危険度は著しく下がり、全体としては標準の構成比率での運動能力 A の分布にはほぼ等しくなる。

c. 安全域の数の変動(図 2-7)

安全域を 1 つ減らすことでの運動能力に対する危険度も増大し、その程度は運動能力が高いほど著しい。また安全域のすぐ隣の危険度の低い空間では、反対側の安全域が無くなっても危険度はそれほど上昇せず、低いままであることが運動能力 A、B の分布の変

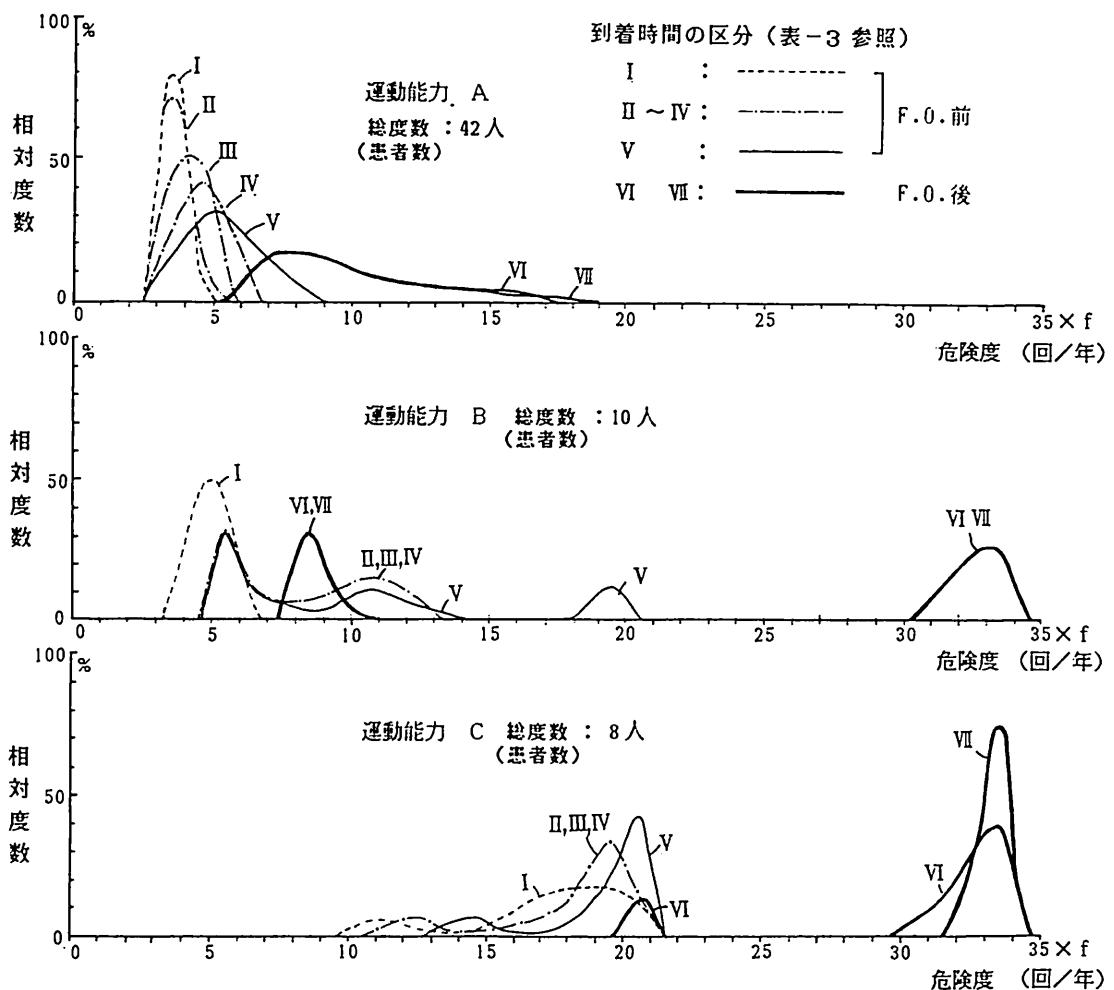


図 2-5 管理者到着時間の違いによる患者の危険度の相対度数分布の変化（運動能力別）

化で分かる。

以上のように、筆者がそれぞれ任意に設定した範囲では、危険度の計算結果は、従来の防火計画上の知見と矛盾を生じていない。そこで、表 2-3 の標準値を採用し、次に、複数の代表的な病棟平面に適用することとした。

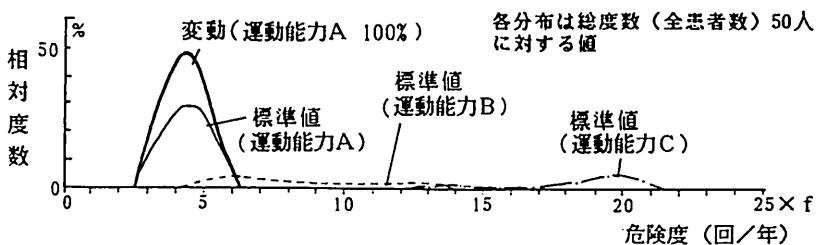


図 2-6 患者の運動能力別構成比率の違いによる
患者の危険度の相対度数分布の変化

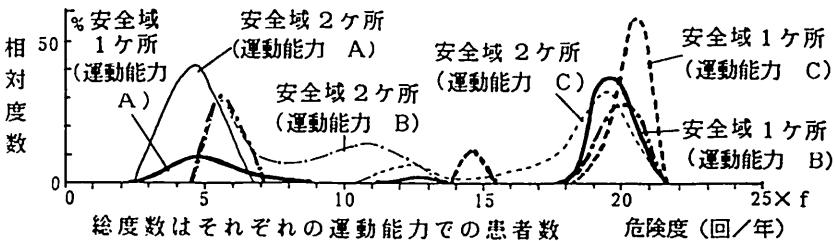


図 2-7 安全域の数の違いによる患者の危険度の
相対度数分布の変化（運動能力別）

5-3. 複数の平面による評価法の検討

図 2-8 (a) ~ (h) に示す8つの既存平面を対象として危険度を算定する。この時、管理者の待機位置（防災センターの位置）により、管理者の到着時間などは、各病院それぞれ異なる。しかし、これらをそのまま設定値として入力すると、5-2.で検討したように危険度への影響が大きいため、病棟の平面構成による危険度の比較が明確にできない。そこで以下の条件については、表 2-3の標準値で統一し計算した。①管理者の到着時間、②運動能力A、B、C患者の構成比率と分布、③安全域の最少数と位置（防火区画は1つのナースステーションで受け持つ病室の範囲と一致し、ここには2ヶ所以上の安全域が接する）。また、廊下の幅・天井高についても同じ条件（2.4m×2.4m）としている。

式(2.2)に従い各病室の危険度を算定すると図 2-9 (a) ~ (h) となる。同一の病室に運動能力の異なる患者が混在する場合は運動能力別に危険度を示している。

また、図 2-10 は運動能力別の、各平面での患者の危険度の累積相対度数分布である。

平面 (b)、(f) を除いて、運動能力Aの患者の危険度はほとんどが3f～5fの値

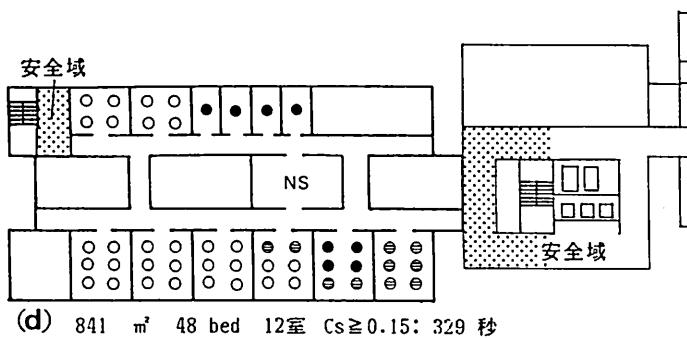
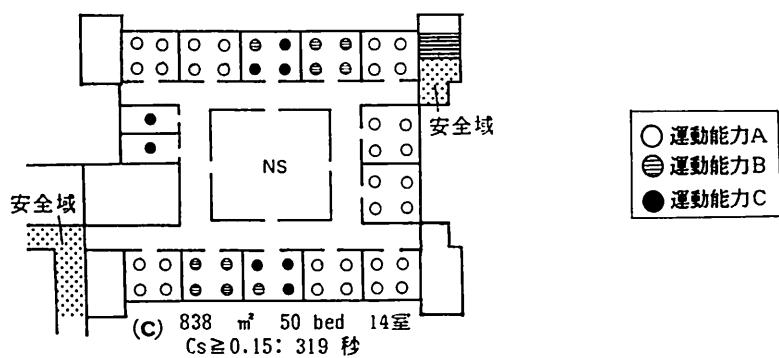
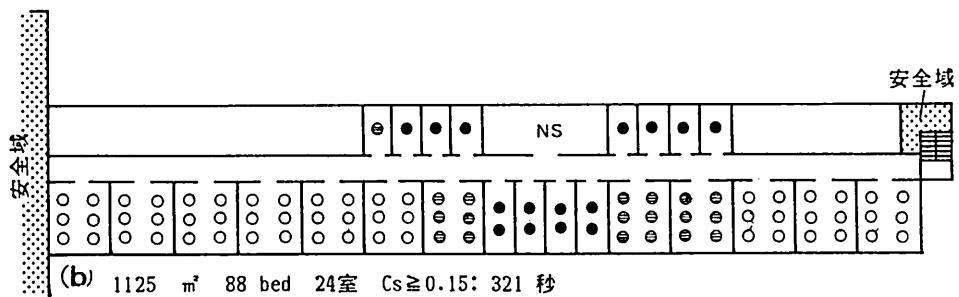
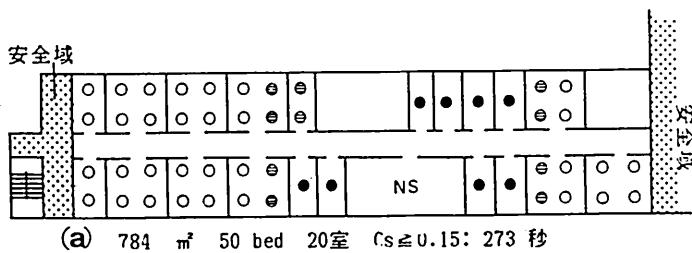


図 2-8 評価法適用対象病棟平面 (a) ~ (h)

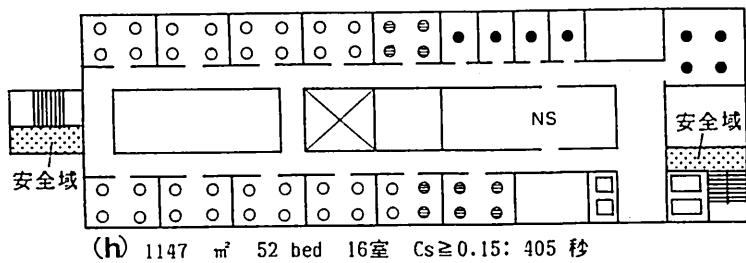
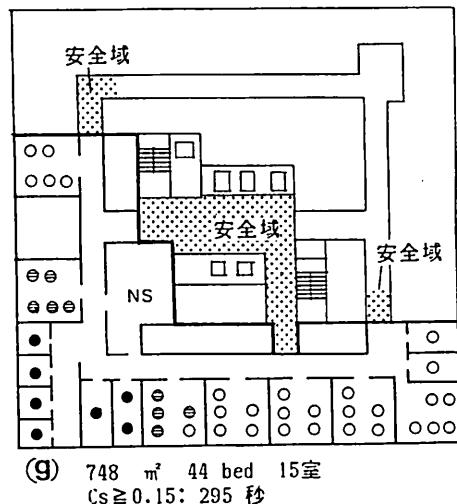
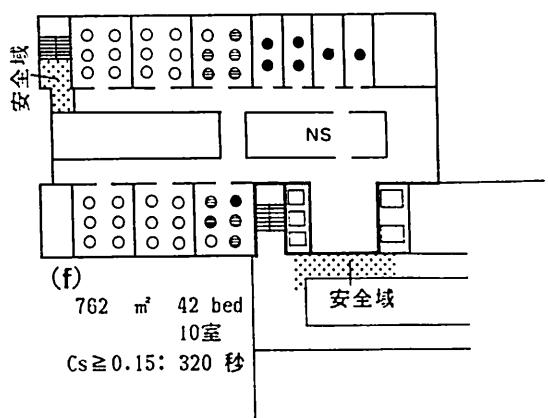
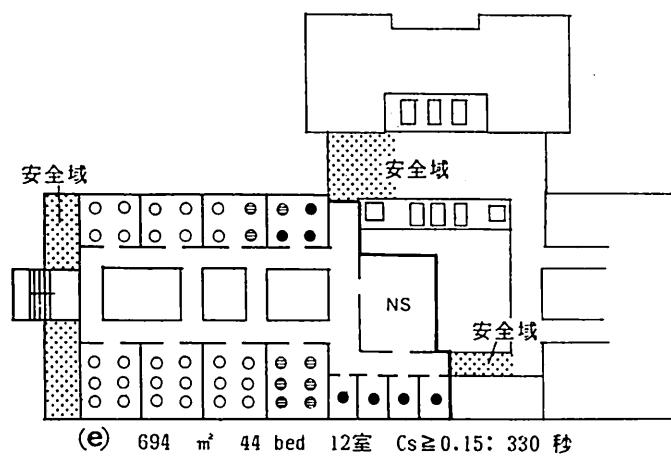


図 2-8 (続き)

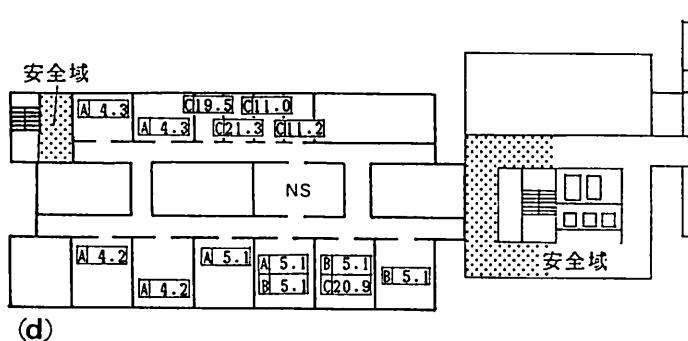
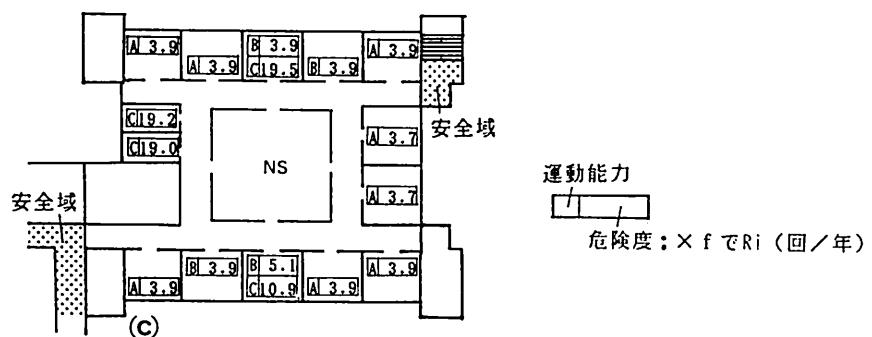
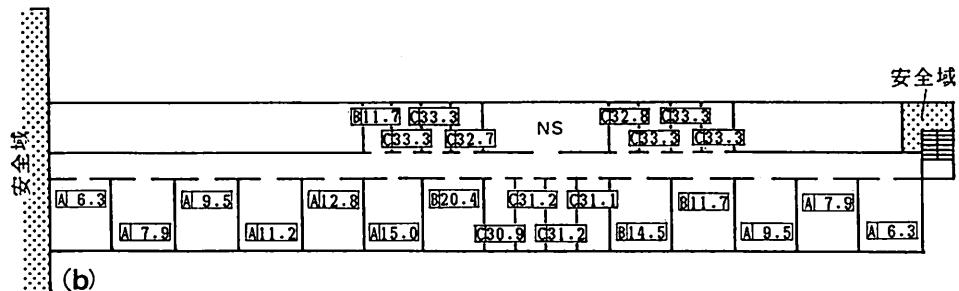
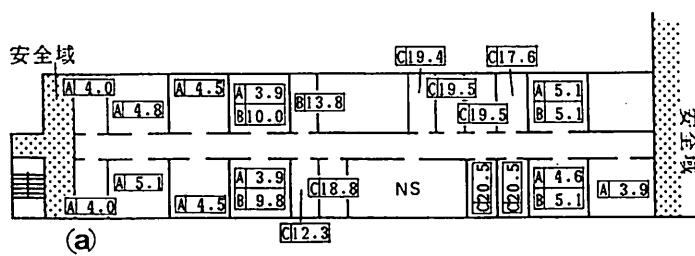


図 2-9 各平面での各空間の危険度 (a) ~ (h)

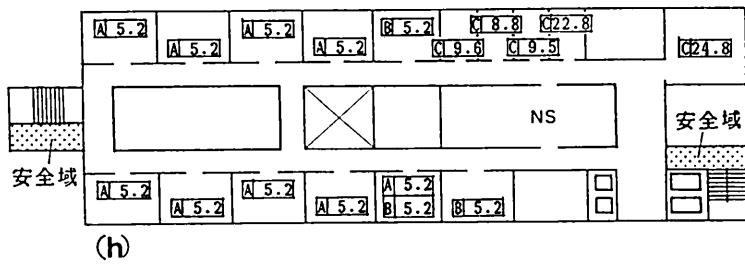
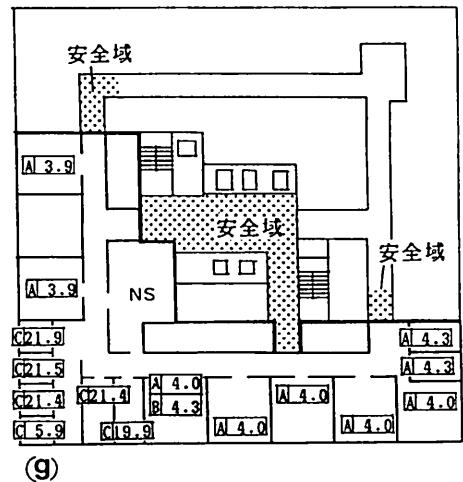
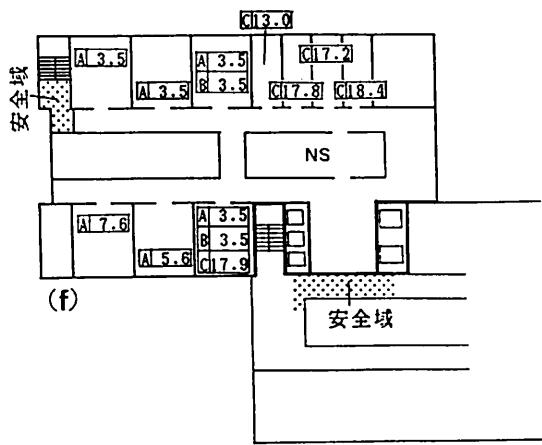
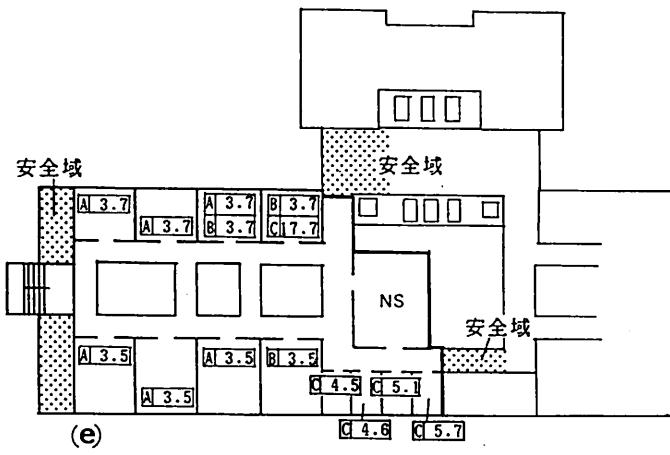


図 2-9 (続き)

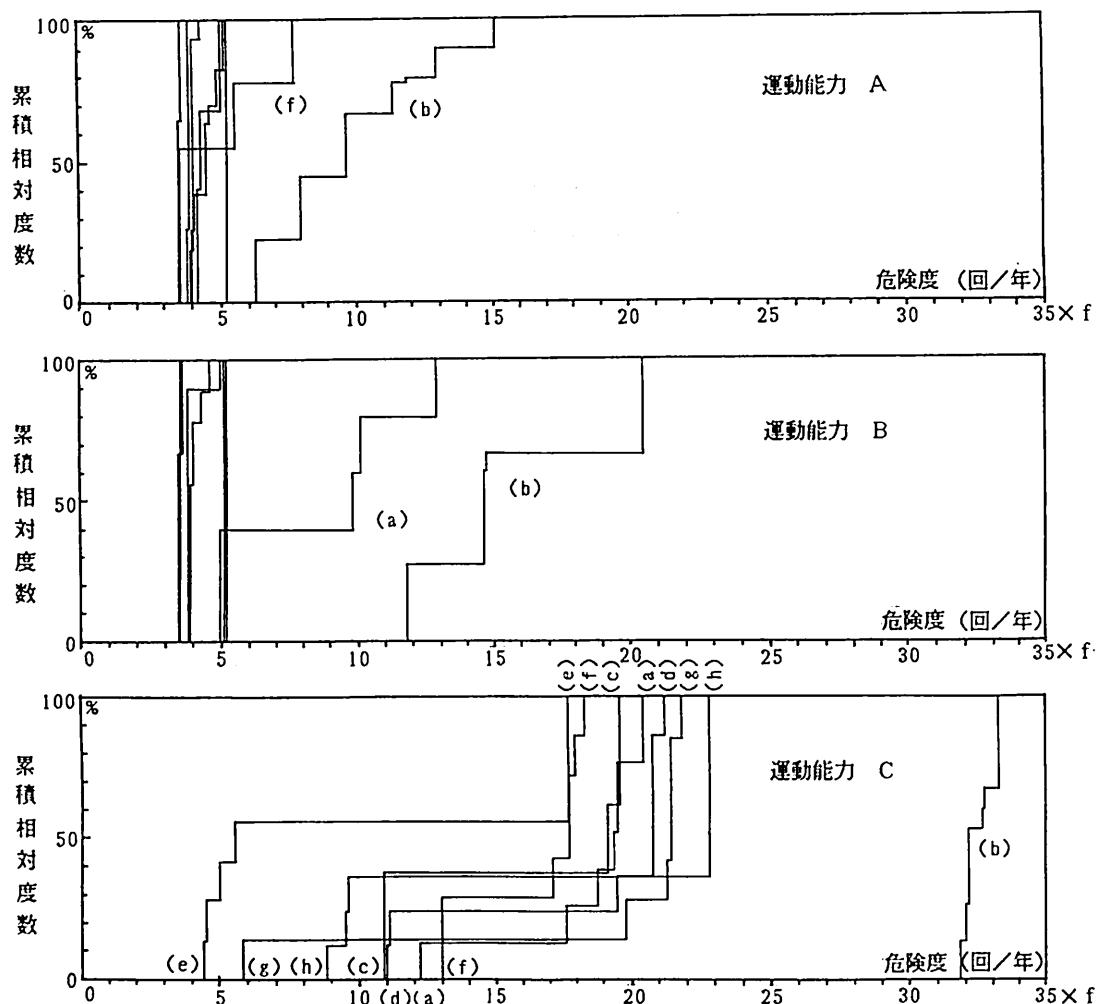


図 2-10 各平面での患者の危険度の累積相対度数分布（運動能力別）

で、病室位置による差はない。平面 (b) では床面積が他の平面より大きいため出火件数が増える結果となり、危険度が全体に高い。さらに、安全域からの距離が増加するにつれて危険度が高くなる。平面 (f) では、避難シミュレーションの条件（注 5）で出火室の前は通れないとしていることから、袋小路（行き止まり）となっている廊下に面する病室で危険度が高くなっている。運動能力 B の患者の場合、平面 (a)、(b) 以外は運動能力 A と同程度に低い分布である。平面 (a) では、避難距離の長い病棟中央付近に滞在する B 患者が高い危険度となっている。

運動能力 C の患者の場合、危険度の最大値は平面 (b) で 32 f ~ 33 f であるのを除

いて 20 f 前後である。病室ごとに差があるのは、看護婦が介助にくる順番（注 5）によって安全域到着の時間が大きく異なるためである。平面（e）では、ナースステーションに近くかつ安全域に近い病室で、看護婦による往復がスムーズなため危険度がひじょうに低く、他の平面ではみられない特徴である。

6. イベントツリー各要素の成否確率の検討

6-1. 検討内容

4. では、成否の確率を与えられる要素ごとに枝分かれする時間経過を考慮したイベントツリーを作成した（図 2-2）。その際、各要素での分岐の確率は、既存の研究を参考に設定したが、それはツリー中の各要素の成否確率を表わすものとして必ずしも十分な説明を与えるものとは言えない。そこでここではツリーの各要素の確率を変更し、各空間（各個人）の危険度にどのような影響が出るかを計算・考察する。

図 2-2で示されるイベントツリーでは、要素の成否を考える4つの分岐により、6つのシナリオが与えられている。そこで、

スプリンクラー作動の確率 : E 1

屋内消火栓使用の確率 : E 2

消火栓による消火成功の確率 : E 3

出火室の扉が閉じられている確率 : E 4

とすると

シナリオ k の生起確率 P k は

シナリオ① P 1 = E 1

シナリオ② P 2 = (1 - E 1) × E 2 × E 3

シナリオ③ P 3 = (1 - E 1) × E 2 × (1 - E 3) × E 4 ··· (2.3)

シナリオ④ P 4 = (1 - E 1) × E 2 × (1 - E 3) × (1 - E 4)

シナリオ⑤ P 5 = (1 - E 1) × (1 - E 2) × E 4

シナリオ⑥ P 6 = (1 - E 1) × (1 - E 2) × (1 - E 4)

で与えられる。

一方、各空間の危険度は式(2.2)で与えられる。

そこで、式(2.3)において、E1, E2, E3, E4を一定の幅でそれぞれ別々に変更すると、式(2)の各シナリオの生起確率P_kが変化するため、R_iで与えられる各空間の危険度の値がある幅で変動することになる。この危険度の変動の幅が、変更した要素の結果への影響力を表わしていると考えてられる。

6-2. 結果と考察

上記の方法を用いて、図2-8の(a)病院を対象として考察する。考慮している建物が病院であるため、同じ空間(病室)に運動能力の異なる患者が混在する場合があるので、ここでは危険度は各空間ではなく各個人の危険度としてとらえている。したがって、式(2.2)の*i*は各個人を表わし、またT_kは常に0か1、N_iは1として計算した。その結果を図2-11(1)～(4)にまとめた。(1)はE1、(2)はE2、(3)はE3、(4)はE4について、それぞれの成否確率を0.0～1.0まで変更し、その他は設定条件の値にした時の危険度の変動の様子を示している。グラフ中では、患者の危険度への影響が、一人の患者について一本の直線で表わされている。(但し、同じ危険度の変動を示す患者は同一の直線で表わされている)

以上の結果から読み取れる特徴として、次の4点が挙げられる。

- 1)スプリンクラー作動の確率の変更による危険度の変動は、他の3つの変更に比べ非常に大きいものになっている。
- 2)グラフ中のほとんどの直線は、右下がり(一部水平)になっている。これは、各要素の成功確率が大きくなれば、ほとんどの患者の危険度は小さくなる、つまりより安全になることを表わしている。
- 3)一つのグラフ中での直線の傾きは全て異なっている。これから、患者によって要素の確率の変更の影響の受けやすさが違っていることがわかる。(傾きの大きい直線で表わされる患者ほど要素の確率の変更の影響を受けやすいと言える)
- 4)図2-11(1), (2), (3)においては、より危険な患者を表わす直線(グラフの上部にある直線)の傾きの方が、より安全な患者を表わす直線(グラフの下部にある直線)の傾きより大きくなっているが、図2-11(4)では、その逆になっており、又より危険な患者を表わす直線は、水平あるいはそれに近いものになっている。

以上の点より、火災時において、次のことが言える。

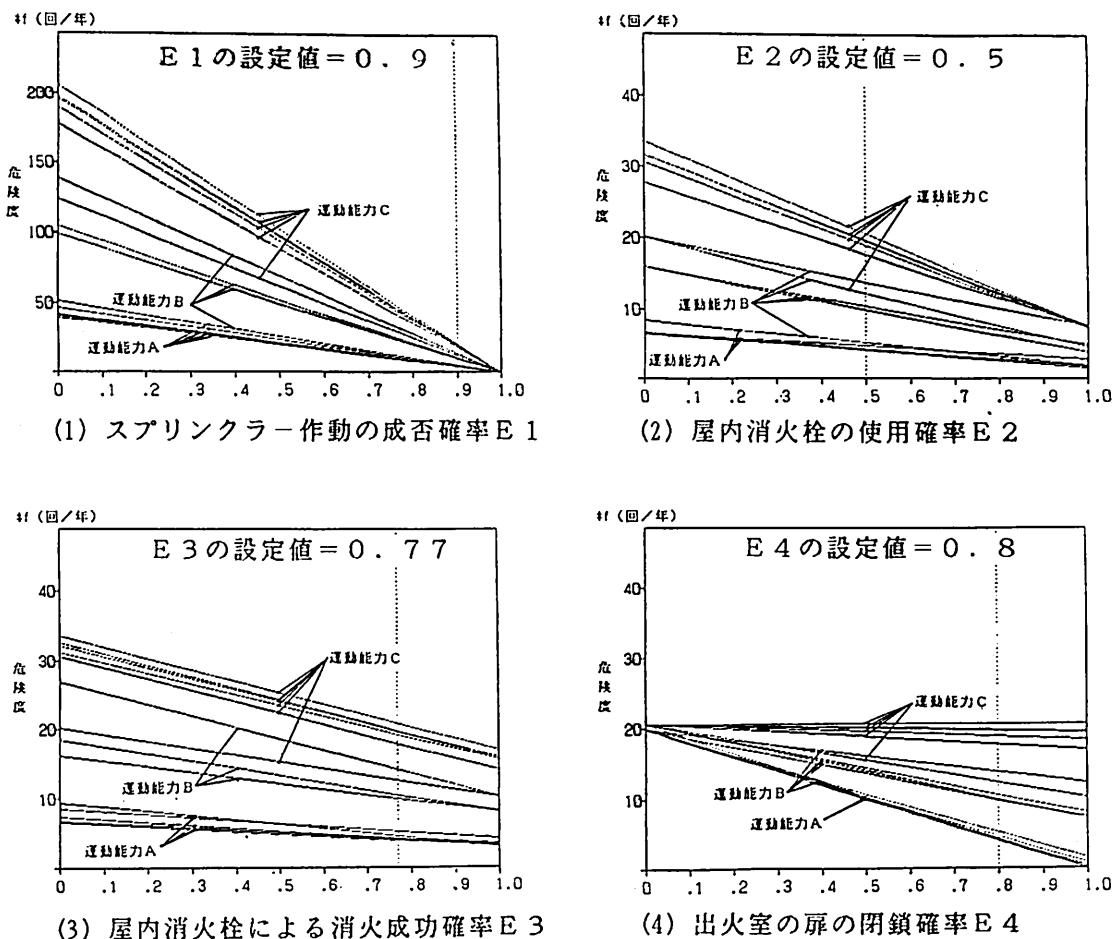


図 2-11 イベントツリー各要素の成否確率の変動による患者の危険度の変化

- ・スプリンクラーが作動する確率、屋内消火栓を使用する確率、消火活動が成功する確率は、より危険な患者の危険度に大きな影響を与える。
 - ・出火室の扉が閉じている確率（出火室の扉の状態）は、むしろより安全とされる患者の危険度に影響を与え、より危険な患者の危険度にはさほど影響しない。
- これは言い換れば、同じ患者でも、要素によってその確率の変更の影響の受けやすさが違っていることになる。そこで、最も安全な患者（グラフの最上部の直線で表わされている）と最も危険な患者（グラフの最下部の直線で表わされている）について、各要素の確率の変更の影響の大きさを、図 2-12(1), (2)に示した。これより、

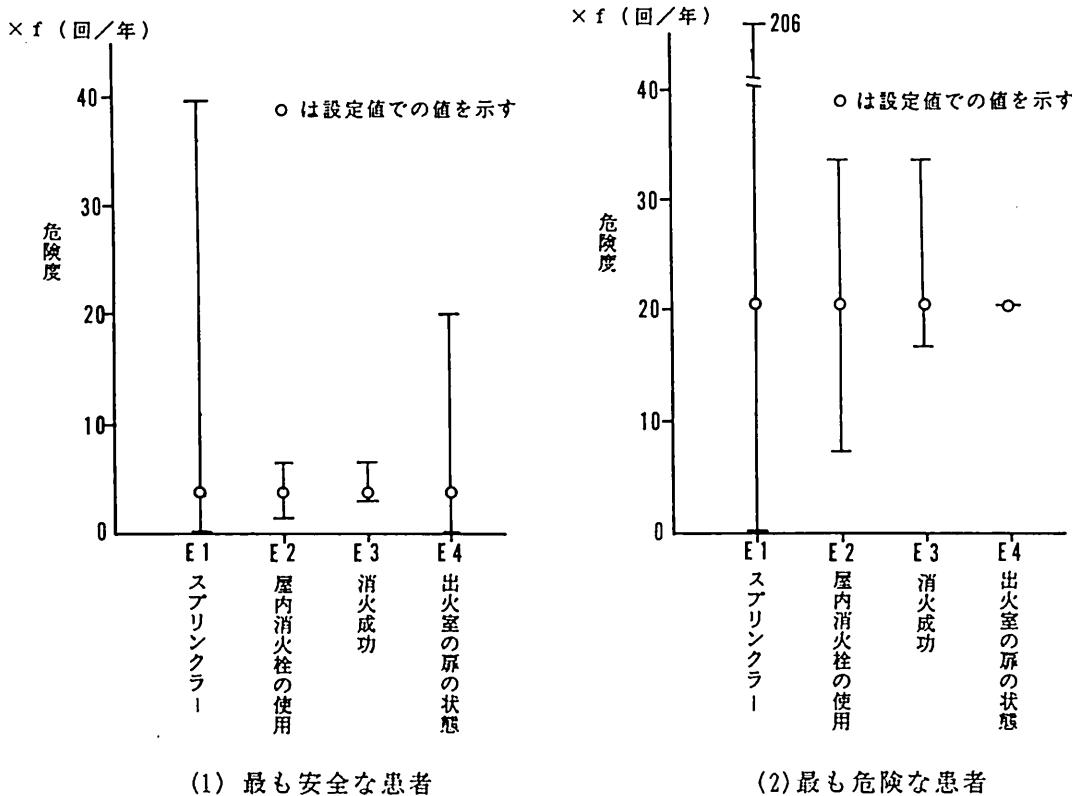


図 2-12 イベントツリー各要素の成否確率の変動による患者別にみた危険度の変化

- ・最も安全な患者は、1. スプリンクラー作動の確率、2. 出火室の扉が閉じている確率、3. 屋内消火栓を使用する確率、4. 消火活動が成功する確率の順に要素の確率の変更の影響を受けやすい。
- ・最も危険な患者は、1. スプリンクラー作動の確率、2. 屋内消火栓を使用する確率、3. 消火活動が成功する確率、4. 出火室の扉が閉じている確率の順に要素の確率の変更の影響を受けやすい。

ということがわかる。両者の中間の状態にある患者は、より安全であるほど前者の、より危険であるほど後者の傾向が強いと言えよう。

以上、(a) 病院について具体的な計算を行なったが、異なる病院の平面について考える場合でも、火災時の要素が図 2-2 のツリーで考えられるものであれば、程度の違いこそあれ、上述した特徴と大きな違いはないと考えられる。

7. まとめ

(1) 提案した危険度評価法により、

- ・防火（防煙）区画が大きくなると危険度が高くなる。
- ・安全域までの避難距離が長くなる空間ほど危険度が高くなる。特に、安全域が長大な廊下の両端にとられる場合には顕著である。
- ・袋小路の廊下に面する空間は危険度が高くなる。
- ・要介助の患者の滞在する病室の場合、ナースステーションと安全域との相互の位置関係により危険度は大きく変動する。

という従来の定性的知見を、ある程度まで定量化して表現できる。さらに、前提とした諸条件・仮定についての検討は残すものの、各対策の効果を定量的に表現でき、代替案の効果を比較する方法としても利用できる。

(2) 自力避難ができないC患者については、介助体制（看護婦2名）による影響が大きく、A、B患者と同程度の危険度に押さえることは従来の平面計画では困難である。ただし、今回のシミュレーションの範囲でも平面（e）のような解が得られることは注目してもよい。

(3) 課題としては、第一にシナリオの作成に際し、どの要素を選ぶべきかを現実の火災事例の分析を通して、取捨選択する作業が必要である。また、イベントツリーの要素の成否確率を0.0～1.0まで変更し、危険度の値への影響を調べたが、実際には要素の確率及び危険度は、ある平均値とある分布を持った確率密度関数の形で与えられるだろうと考えられる。したがって今後の課題として、要素の平均値の変更及び分布の形や幅の変更により、危険度の平均値や分布の状態にどのような影響が出るか検討する必要がある。

(注釈)

(注1)用途別床面積当りの出火率fの統計値

式(2.1)のfを病院について算出してみると、昭和51年の統計では、床面積 = 5.86 × 10⁷ (m²)、出火件数 = 185 (回/年)より、 $f = 3.2 \times 10^{-6}$ (回/年・m²)となる。(床面積は、建築行政、1979, N0.112、掲載の「建築におけるエネルギー消費構造について」に示された数値、出火件数は、昭和52年版消防白書の統計を用いた)

(注2)イベントツリー手法について

イベントツリー(Event Tree)を用いる解析は、1975年に米国の原子力規制委員会(NRC)が発表した報告書(WASH-1400 ラスマッセン報告、文22)で採用された安全解析の手法である。重大事故につながる原子炉システムの要素故障および事故過程の解明に有効であった(文23, 24)。

(注3)シナリオ作成のための検討事項

シナリオの内容を決める際、人間行動のパターン・信頼性をどう想定するかで危険度の期待値は大きく変動すると判断されるが、ここでは、5-1の条件にも示したように、空間滞在者の避難行動の起点は責任ある者(防災センター職員など)の指示・誘導によってのみ誘発されると考え、避難者の自己判断による行動等はシナリオ化しない。これは、このように定められたシナリオが、人間行動の組合せの中で最も危険な結果を生み出すことになると判断しているからである。ただし、この判断は多くの火災事例を用途ごとなどで分析することで明らかにされねばならない。

(注4)火災性状・煙流動予測モデル

天井面での熱気流の温度・速度を与えて、熱感知器、スプリンクラーの作動時期、F.O.の発生時期、廊下への煙の流出量、減光係数Csが0.15を越える時点を計算する。初期火災モデル(文7)は病室のような小部屋での火災には適用不適のため、文8の椅子の燃焼による熱気流温・速度を境界条件として、スプリンクラー・定温式スポット型熱感知器(特種、70°C)の作動時期を求めた。又、実験結果では、180秒で気流温が600°Cを越えるため、この時期にF.O.が起こると仮定し、この時期まで開口部(扉)からの煙の流出はないものとした。また、F.O.後流出する煙は、開口部(扉 H=2.0m × W=1.2m)での重力換気により流出量が決まり、その煙濃度はCs=20/mと仮定した。また扉が開状態のシナリオ④⑥ではF.O.直後に廊下がCs ≥ 0.15となると仮定し、閉状態のシナリオ③⑤の時は、すき間から洩れ、廊下全体に瞬時一様拡散とした。

(注5)人間行動のシミュレーションプログラム

a. 感知から避難指示までの管理者の行動

防災センターで覚知し出火室に到着するまでの所要時間は、退室までの時間（10秒と設定）と移動時間（歩行時間（距離／速度（2.0 m/sとした））+エレベーター待ち時間・乗車時間）の合計とした。

b. 避難流動シミュレーション

自力では避難できない患者を看護婦が介助し移送する活動、また、看護婦の動線と自力で避難する患者の動線が重なる際に生じる対向流も考慮できるプログラムを新たに考案し用いた。シミュレーション実行上の条件を以下に示す。

・時間軸上の範囲

避難指示を受けた避難者が廊下へ出た時点以降とする。避難指示が出た後病室を退室するまでの時間は、要介助患者の場合、看護婦到着までの時間と到着後避難を開始するまでの時間（文9を参考に10秒とした）の合計。自力患者の場合、文9を参考に起床に要する時間を考慮し、どの患者も一様に30秒後に同時に廊下に現われるものと仮定した。

・患者の運動能力と病室位置

筆者らの調査結果（1章および文10, 11, 12）から、患者の移動形態（要介助、自力で車いす使用・杖使用・自由歩行の4種）別の構成比率と移動速度を設定し（表-A）、看護上の通例に従って、介助を要する順（前記の移動形態の順番）にナースステーション近くの病室となるように患者を分布させた。ただし、重症患者用に設計されている空間（重症個室・集中治療室等）がある場合は、それに従った。

表A 患者の運動能力標準値

移動形態	要介助	自力		
		車いす 使用	杖 使用	自由 歩行
歩行速度	0.8 m/s (移送時)	0.4 m/s	0.4 m/s	0.8 m/s
構成比率	15%	10%	10%	65%

・避難誘導方法・避難経路

患者の避難方法は次の2つに分けた。

①自力移動の可能な患者：防災センター職員から避難の指示を受けた後、自力で安全域へ移動する。

②自力移動の困難な患者：防災センター職員から安全域の指示を受けた看護婦により介助（患者1人に対し看護婦2人）され移動する。本章では、夜間の火災発生を想定し、勤務看護婦は2名のみとする。

安全域に至る避難経路の選択は、出火室の前を通らないことを原則とし、2種以上の可能な経路が存在する場合は距離の短い方を選択する。②の患者の場合、避難距離の長い病室から順次、介助されるものとした。なお、ここでいう安全域とは、火・煙から完全に区画され、必要面積を有している空間であり、ここに到達すれば、避難完了とした。病棟の場合、患者の運動能力を考慮し、水平避難可能な同一階に設計されているとした。

・プログラム上の患者・看護婦の動き方

①歩行という連続事象を通路に割りつけたメッシュ上の移動として表現する。長さの基本単位としては、人間1人が歩行中占めるスペースを人間工学上の知見（文13,14）を参考に1メッシュ横（0.7m）×縦（0.55m）とした。時間の基本単位としては、患者の設定歩行速度のうち、0.8m/sで1メッシュ進む時の時間 0.7秒を選んだ。

②占有するメッシュの個数は、自力患者は1メッシュ、介助された患者は看護婦と合わせ横2メッシュ、また介助に向かう看護婦も横2メッシュとした。

③移動は原則として1つ前方のメッシュへ行なわれる。0.8m/sの患者は0.7秒で1メッシュ、0.4m/sの患者は1.4秒で1メッシュ進む。1つ前方のメッシュに自分より速度の遅い患者がいる場合のみ、一旦横のメッシュへ移動（待ちとなる）した後、追い越し可能とした。更に、自力患者の流れと介助中の看護婦との合流・対向流が生じた場合、任意のメッシュへの移動の優先権は看護婦側に与え、自力患者は、前方5メッシュ先に看護婦を発見すると横のメッシュへ進路を変更する。

（注6）図2-5,2-6,2-7は、例えば図2-10のような累積分布をスムージングした後求めたものである。

(参考文献)

- (1) 東京消防庁予防部、建築物の防災性能の評価について、火災、VOL. 31. NO. 6 1981 文
- (2) Nelson.H.E. and Shibe.A.J.:A Systems for Fire Safety Evaluation of Health Care Facilities, U.J.N.R , Panel on Fire Safety 4th Joint Meeting, 1979
- (3) G. S. A:Interim Guide for Goal Oriented Systems Approach to Building Fire Safety, 1972
- (4) 勝野仁、建築の防災性能評価方法、安全工学、VOL. 23. NO. 6 、 1984
- (5) スプリングラー：
 - Fire Journal, Vol. 64, No. 4、 1974
 - Fire Journal, Vol. 74, No. 3、 1980
- 防火戸：渡辺郁夫、辻本誠；防災設備の作動信頼性が火災安全性に及ぼす影響に関する研究、火災学会研究発表会概要集 1985
- 消火栓：Akio WATANABE, Effectiveness of Active Fire Protection Systems, CIB Symposium 1979
- (6) 神忠久、煙の中での心の動搖度に関する研究（第1報）、火災学会研究発表会概要集、1979.5
- (7) 辻本誠、建物火災のモデル化、第9回安全工学シンポジウム講演予稿集、1979
- (8) 川越邦雄ほか、閉空間における家具の燃焼性状、火災学会研究発表会概要集 1979
- (9) 病院管理研究所、災害に対する病院の保安避難体制に関する研究（中間報告書）
1975.3
- (10) 志田弘二、辻本誠、柳沢忠、病院在館者の避難行動能力に関する実地調査、火災学会研究発表会概要集、1984.5
- (11) 志田弘二、渡辺郁夫、辻本誠、柳沢忠、病院の避難計画に関する研究、（その1）患者の避難行動能力の分析、（その2）患者の避難行動能力別要避難者数、日本建築学会学術講演梗概集、1984.10
- (12) 志田弘二、辻本誠、病院患者の避難時運動能力、火災、VOL. 35. NO. 6 、 1985
- (13) M. David Egan (邦訳) 建築の火災安全設計、鹿島出版会、1981
- (14) 中祐一郎、鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究、鉄道技術研究報告、NO. 1079 1978.3
- (15) 志田弘二、辻本誠、柳沢忠、火災発生に伴う人命危険の評価（その1. 防火計画の設

計評価法に関する試論）、火災学会研究発表会概要集、1985.5

- (16)志田弘二、辻本誠、柳沢忠、火災発生に伴う人命危険の評価（1）、（2）、日本建築学会
大会学術講演梗概集、1985.10
- (17)志田弘二、辻本誠、柳沢忠、西岡史仁、火災発生に伴う人命危険の評価法（1）、（2）、
日本建築学会東海支部研究報告、1986.2
- (18)西岡史仁、辻本誠、志田弘二、火災発生に伴う人命危険の評価（その2. イベント
ツリー各要素の成否確率と危険度）、火災学会研究発表会概要集、1986.5
- (19)志田弘二、西岡史仁、辻本誠、柳沢忠、火災発生に伴う人命危険の評価（その1.
イベントツリーの各要素の成否と危険度、その2. 病棟平面での危険度評価と日常看護
効率評価の比較）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1986.10
- (20)志田弘二、辻本誠、柳沢忠、火災発生に伴う人命危険の評価法、日本建築学会計画系
論文報告集、第368号、1986.10
- (21)西岡史仁、朴哲也、志田弘二、辻本誠、火災発生に伴う人命危険の評価法
(その3. 階段室汚染を考慮した火災危険度評価)、日本建築学会東海支部研究報告、
1987.2
- (22)US NRC, Reacter Safety Study ; An Assessment of Accident Risks in US Commer-
cial Nuclear Plants , WASH-1400, NUREG 75/014, 1975
- (23)幸田武久ほか、イベントツリー解析による大規模システムのリスク評価、安全工学、
Vol. 24, No. 20, 1985
- (24)佐藤一男、原子力安全の論理、日刊工業新聞社、1984

糸吉 言吾

本研究は、建築の計画案が人間の生活上の要求に対してどの程度の性能を備えているかを計画実現前に事前に評価する手法の開発を目的としていた。

研究の対象は病院を取り上げ、建築計画上いずれも重要な3つの性能評価手法（規模の充足性評価・動線の能率性評価・火災安全性評価）についてまとめた。これらの評価手法を利用することにより建築の計画案を科学的に評価することを可能にした。

以下、各々の評価手法（第Ⅰ部・Ⅱ部・Ⅲ部）ごとに研究の成果を要約する。

第Ⅰ部では、建築の規模が利用の要求に対してどの程度の充足性を備えているかを評価する手法を開発した。対象として病院の手術室をとりあげた。手術の要求に対しその充足を達成するための手術供給能力は、どのくらいの数の手術室を用意しましたそれらをどのような方式で運営していくかにより規定されると考えた。評価法の特徴は、手術待ち患者人数という具体的に理解しやすい数値を充足性の評価尺度としている点であり、既往の研究にはない新しい試みである。手術の待ちは一般の待ち行列のように観測できる現象ではなく、計画実現前に予測し評価する意義は高い。この手術待ちが発生する過程をマルコフ連鎖モデルを用いて確率論的な扱いをしたことが本評価法の手法上の特徴である。

まず、評価法を構成するに先だって、国内の23病院において基礎的な計画指標について資料の収集・分析をした。その結果として以下のことが挙げられる。

- ・ 単位期間に実施される手術数には病院間でかなりの幅がある。その要因を探るため病床数および新入院患者数との相関分析・回帰分析を行なった結果、相関係数が病床数では約0.8であるのに比べ新入院患者数では約0.9となりより相関が高いことが分かった。
- ・ 952件の手術をもとに分析した結果、手術時間の平均は全診療科では約90分となり、その分布はほぼ指數分布となる。さらに、診療科グループ別にその平均時間を求めると、脳外科・心臓外科が最も長く3時間強となることが分かった。また、手術終了から手術開始のインターバル時間を求めると、平均で約80分となり、前述の手術時間の平均に相当する時間を要している。以上より一つの手術を行なうのに手術室が占有

される時間は平均で約3時間程度となることが分かった。

- ・一つの手術室での1日単位の手術実施数の平均は約1.5件／日で、その分布はほぼボアソン分布に従うことが分かった。
- ・手術室の診療科別の使用実態をもとにすると、特定の診療科に専用化している手術室は全体の2割程度であり、診療科を限定せず広範囲な使用がなされていることが分かった。

充足性を表わす評価尺度である手術待ち患者数は、以下に示すような考え方で求められる。

ある期間における手術を必要とする患者数と手術供給能力の2つの要因を考える。後者の手術供給能力が前者の手術を必要とする患者数を下回る場合にその超過した分の手術が次の期間に繰りこされることを「手術待ち」と定義した。この過程の時間的な推移をマルコフ連鎖を用いて確率論的にモデル化することで、任意の時点での手術待ち人数の確率分布を予測できる。

評価法を調査実例病院のデータを利用し適用した結果として以下のことが挙げられる。

- ・手術待ち人数の時間的推移を分析することで、手術供給能力を構成する手術室数、診療科別の手術室の使い分け及び手術スケジュールに関してその計画案を評価できる。
- ・手術を供給するシステムを原則的な手術スケジュールに従う主手術供給システムと主手術供給システムの能力不足を補うために予備的に機能する副手術供給システムの2系統としたモデルを用いた適用例では、ある期間に新たに発生する手術必要患者数の平均に対して2系統全体の手術供給能力の平均を3割増し程度にしておけば、副手術供給システムでの手術待ちはほとんど発生しない。また、同様に主手術供給システムの平均を6割増し程度にすれば全体としてほとんど手術待ちは発生しないことが分かった。

評価法をさらに客観的な手法にするために必要な事項としては、解析による計算値と手術待ちの実態との整合性の検証が残されている。ただ、観測ができないこの種の待ち現象の実態を正確に調査することが方法的に困難であるという課題がある。モデルを構成する上で設けた種々の前提条件・仮定、例えば手術必要患者数・手術供給可能数の確率分布の妥当性、手術待ち患者数の上限値の設定方法などについての妥当性、また職員構成や運営方式、医師の勤務体制、手術スケジュールといった運営上の要因が及ぼす影響を検討する必要がある。そのためにはこれらの調査資料の整備が必要である。

第Ⅱ部では、病院の部門・部署相互間で発生する職員動線の能率性を評価する手法を開発した。病院は機能の異なる数多くの部門の集合体である。そして部門相互間では、物品の搬送、情報の伝達、あるいは患者の移送など医療をサポートする様々な活動が職員の歩行を伴う移動により行なわれている。これらの移動つまり動線は、数多くの部門の運営方式が複雑に関連し発生するもので、今までその全体像が正確に把握されていなかった動線である。一方、病院の各部門とも面積が著しく増加する傾向が近年特にみられる。全ての部門相互の距離を近接させるには限界があり、職員の移動負担を少なくする合理的な運営方式が計画案作成時点で検討される必要がある。本評価法は、移動の負担（移動距離および移動時間：動線量と定義した）を動線の能率性を表わす評価尺度とした。評価法の主要部分は動線量を予測する手法を確立したことであり、この予測手法を用いて部門の配置や規模また運営方式の違いにより動線量がどの程度増減するかを予測できることを確認した。

まず、部門相互間の移動の頻度を自分の所属する部署を離れる頻度を示す出回数、移動目的の延べ数を示す目的回数の2つの指標（いずれも1日当たり）を用いて2つの病院（K病院、T病院）の実態を把握した。ここで開発した自己記載調査という方法はその精度に一定の限界はあるものの移動の全体把握のための唯一の方法である。分析の結果として以下のようなことが分かった。

- ・出回数については、両病院とも一日総計約600回となった。職種別には、看護職員が約6割を占め、事務職員2割、その他職員2割となる。また、病院規模を表わす病床数の1床当りの数値よりも職員1人当りの数値の方が両病院で近い値となることが分かった。
- ・目的回数については、K病院では990回、T病院では約850回と大きな差がある。目的を情報系・物品系・その他に3区分してみると、K病院の結果ではその構成比がほぼ2:1:2となる。情報系の目的回数では、部署別には事務の関与するものがほぼ半数になる。事務職員1人当りでは約6回となる。物品系の目的回数では、供給部門とその他の部門の間で全体の2/3を占める。そのうち約8割が消費部門から供給部門に取りに行く移動であり、消費部門の職員に負担の多いことが分かった。
- ・1つの出回数における目的回数と行先の部署数に着目すると、目的達成の形態が、単純移動・複目的移動・巡回移動・一連移動の4つに分類できることが分かった。この目的達成形態を分析することが運営を合理化する方式を検討する上で有効であることが分かった。

実態調査を行なったK病院の改築計画案を対象に、動線発生の要因である運営方式を合理化する3つの段階（物品搬送の機械化と専門化・情報伝達の部分的な電算化・情報伝達の全面的な電算化）を設定し動線量の削減を予測した。

- ・計画病院での予測結果は、現病院と同じ運営方式の段階では、総移動回数は約2倍、総移動距離は約3倍、総移動時間は約4倍に増加することが予測できた。計画病院で新しい運営方式が採用されると、搬送の機械化・専門化段階で約20%、情報伝達の全面的電算化段階で最終的に約30%の動線量削減が可能であることが分かった。
- ・職種別には、職員1人当たり1日平均の動線量を求めると、事務職員の動線量が約1.7km／人・約20分／人で、看護婦の約0.8km／人・約12分／人に比べほぼ2倍の負担がある。新しい運営方式を採用すると事務職員の動線量が、搬送の機械化・専門化段階で約45%、情報伝達の全面的電算化段階で最終的に約50%が削減され、今回設定した運営の合理化案が事務職員の負担軽減に効果があることが分かった。
- ・病棟から診療各部門へ患者を移送する動線は運営方式の改善ではその削減が困難であり、今回の計画案では病院の規模拡大につれてほぼ2倍増加することが分かった。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

動線量の予測の方法は特定病院での職員動線の実態をその病院の計画案に適用したが、今後は更に一般化させて、他病院の計画案にも適用できるように職員動線のモデル化を一般化させる必要がある。そのために調査事例を増やし移動発生の要因分析をさらに深める必要がある。さらに、職員のみでなく患者自身の動線に関しても別の視点で取り上げなくてはならないと考えている。

第Ⅲ部では、火災時の人命安全性を評価する手法を開発し、病棟の計画案に適用した。本評価法では、人命安全性を表わす評価尺度を「各々の空間で単位時間当たり火災により避難不能となる回数」とし、これを危険度と定義した。この危険度を具体化する場合に直面する一番の問題は、火災発生に伴う火・煙の拡大現象が、建物の建築的条件、防災設備の条件、さらには建物の使われ方の条件により多様に存在し、さらに各々の場合で人命危険の生じかたが異なることである。言いかえれば、火・煙の拡大状態と人命危険の組み合わせが無限に想定できてしまうということである。本評価法では、これら無限の組み合わせを、火災の進展に大きな影響を及ぼすと判断される事象が起こるか否かを利用して、火災の消火あるいは拡大に至る複数の単純化したシナリオに場合分けした。既往の研究にはみ

られない手法上の一一番の特徴である。ここでは、4つの事象の成否をもとに結果として6つのシナリオを作成した。上述した危険度はその各々のシナリオの生起確率と各々のシナリオごとに求められる人命危険の頻度を用いてその期待値として確率論的に計算できる。そして、危険度が病室や客室など比較的小空間を単位として計算できるため、計画案の平面のどの部分が危険が高いのかを容易に発見できることも従来の手法にはみられない本評価法の特徴である。評価法を具体的に適用するためには、統計資料として単位期間の火災発生頻度を示す出火率（回／年）、また、計画案でシナリオごとに生じる人命危険の頻度を求めるために火災性状・煙流動の予測プログラムと人間行動の予測プログラムを必要とする。病棟に適用するあたって、特に人間行動の予測プログラムについてはその避難シミュレーションに関して、既存のモデルでは一方向に進む避難動線を前提としているため、介助を必要とする患者を安全域へ運び引き返してくる看護婦と自力で安全域へ避難する患者との間に発生する対向流を扱えるプログラムを新に開発し利用した。また患者の避難時の定量的な運動能力について利用できる既存データが整理されていないため、患者の歩行速度を実測し各種の移動形態別に標準的な数値を提案した。

評価法を複数の病棟平面に適用した範囲では、以下に示すような従来から言われていた定性的な知見を定量的に示すことができることが分かった。

- ・ 防火・防煙区画の面積が大きくなるほど危険度が高くなる。区画ができる限り小さくとり区画内の出火率を押さえる計画が必要である。このことは同時に、同一階での水平避難を容易にできるので病棟では有効である。
- ・ 安全域までの避難距離が長くなる空間ほど危険度が高くなる。また袋小路の廊下に面しているため2方向避難の原則が確保されていない空間は危険度が高くなる。2方向避難の原則の重要さがあらためて確認された。
- ・ 避難指令がフラッシュオーバーの時点より後になると危険度は著しく高くなる。火災の感知から避難指令までを短時間で行なえ避難開始を早める伝達システムを確保する必要がある。
- ・ 患者の運動能力によって危険度は大きく異なる。自力避難ができず看護婦の介助を必要とする患者の危険度を自力避難できる患者の危険度と同程度に押さえることは従来の平面計画では限界がある。病室・ナースステーション・安全域の三者を近接させ狭い範囲で避難介助が完結する計画が必要である。
- ・ イベントツリーに組み入れた4つの要素のうち、スプリンクラーの作動の成否が最も

危険度を変動させる。スプリンクラーの作動信頼性はかなり高いことが従来から知られているが、危険度の軽減への効果が定量的に確認された。

今後の課題としては、第一にイベントツリーを作成するに際しどの要素を選択するべきかを現実の火災事例の分析を通してさらに検討すべきである。特に、要素の成否確率については統計資料の整備が必要である。第二に、本評価法で定量化した危険度はあくまで計画案を相対的に比較することができるだけで絶対的な客観性を保証された数値ではない。客観性を高めるには膨大な数の既存建築物への適用結果とそれら建築物の長期間にわたる火災統計を整備しその整合性を検討する必要がある。この作業が進めば、評価の基準値についても、その得られた危険度の分布を求めて適正な値が判断できよう。

以上、本研究で開発した3つの性能評価手法についてとりまとめた。各々の評価法に共通した事項として以下のことが挙げられる。

いずれの場合の評価尺度も各種の前提条件・仮定にもとづいて予測された数値であり、予測手法としての妥当性を検証するため実態値との整合性を確認する必要がある。そのためには、手術待ち患者数の場合ではその値を実測することが容易ではないこと、人命危険では計画実現後長期間にわたる火災統計を必要とするなど実態値そのものを得るにあたって解決すべき課題が残されている。

謝 言

この研究をまとめるにあたり、終始かわらぬ御指導と御鞭撻をいただいた名古屋大学教授 柳沢 忠先生、並びに数々の御助言をいただいた柳沢研究室の皆様に心から感謝いたします。また、確率モデルの解析手法等に関して数々の御教示を頂いた名古屋大学教授 坂本 順先生、火災安全性の評価に関して共同研究者に加えて頂いた名古屋大学助教授 辻本 誠先生、並びに電算機の利用方法等で御指導頂いた名古屋大学助教授 月尾嘉男先生に謹んで感謝いたします。

論文目録

論文題目	発表雑誌等の 名称及び発表 年月	共同研究者
障害者を考慮した建築安全計画に関する研究 その1. 障害者の日常災害に関する実態調査 その2. 火災時における障害者の被害分析	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和57年10月	吉田紗栄子 野村 飴、田村房義
病院の部門間連絡特性に関する研究	日本建築学会 東海支部 研究報告 昭和58年 2月	池崎 徹、柳沢 忠 今井正次、谷口 元 山本和典
病院職員の動線量予測に関する研究	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和58年 9月	柳沢 忠、今井正次 谷口 元、池崎 徹
新設市民病院の患者数予測に関する研究	日本建築学会 東海支部 研究報告 昭和59年 2月	柳沢 忠、谷口 元 今井正次
病院の職員動線量の予測に関する研究	日本建築学会 論文報告集 昭和59年 5月 第339号	柳沢 忠、今井正次 谷口 元、池崎 徹
病院在館者の避難行動能力に関する実地調査	日本火災学会 研究発表会 概要集 昭和59年 5月	辻本 誠、柳沢 忠
部門間の職員動線と運営方式	病院管理 昭和59年10月 Vol. 21, no. 4	柳沢 忠、今井正次 谷口 元
病院の避難計画に関する研究 その1. 患者の避難行動能力の分析 その2. 患者の避難行動能力別要避難者数	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和59年10月	辻本 誠、渡辺郁夫 柳沢 忠、谷口 元
病棟24時間の動線調査 その1. 患者・職員・付添等の移動頻度と 距離の分析 その2. 患者の動線分析	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和59年10月	谷口 元、柳沢 忠 大村幸司、三谷雅彦
病院部門間の動線量予測による部門配置 計画の評価に関する研究	日本建築学会 東海支部 研究報告 昭和60年 2月	柳沢 忠、谷口 元 今井正次

論文題目	発表雑誌等の 名称及び発表 年月	共同研究者
火災発生に伴う人命危険の評価 その1. 防火計画の設計評価法に関する試論	日本火災学会 研究発表会 概要集 昭和60年 5月	辻本 誠、柳沢 忠
病院部門配置計画の評価に関する研究	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和60年10月	竹内千秋、柳沢 忠 今井正次、谷口 元
火災発生に伴う人命危険の評価 その1. 防火計画の設計評価法 その2. 病院におけるケーススタディ	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和60年10月	辻本 誠、柳沢 忠
手術部の室数算定の基礎的研究	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和60年10月	柳沢 忠、今井正次 谷口 元、堀田隆文
病院患者の避難時運動能力	日本火災学会 誌、火災 昭和60年12月 Vol. 35, no. 6	辻本 誠
火災発生に伴う人命危険の評価法 その1. 評価法の構成 その2. 病棟平面の設計評価	日本建築学会 東海支部 研究報告 昭和61年 2月	辻本 誠、柳沢 忠 西岡史仁
火災発生に伴う人命危険の評価 その2. イベントツリー各要素の成否と 危険度	日本火災学会 研究発表会 概要集 昭和61年 5月	辻本 誠、西岡史仁
火災発生に伴う人命危険の評価 その1. イベントツリーの各要素の成否 と危険度 その2. 病棟平面での危険度評価と日常 看護効率評価の比較	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和61年 8月	辻本 誠、西岡史仁 柳沢 忠
病院における部門間物流の効率化に関する 研究	日本建築学会 大会学術講演 梗概集 昭和61年 8月	堀田隆文、柳沢 忠 谷口 元
火災発生に伴う人命危険の評価法	日本建築学会 計画系 論文報告集 昭和61年10月 第368号	辻本 誠、柳沢 忠

論文題目	発表雑誌等の 名称及び発表 年月	共同研究者
手術室数決定に必要な計画指標 手術部の規模計画に関する研究. 第Ⅰ報	日本建築学会 計画系 論文報告集 昭和62年 2月 第372号	柳沢 忠、今井正次 谷口 元
火災発生に伴う人命危険の評価法 その3. 階段室汚染を考慮した火災 危険度評価	日本建築学会 東海支部 研究報告 昭和62年 2月	辻本 誠、西岡史仁 朴 哲也
手術室数に関する統計・確率論的計画手法 手術部の規模計画に関する研究. 第Ⅱ報	日本建築学会 計画系 論文報告集 昭和62年 8月 第378号	柳沢 忠