特集　ヘルスダイナミックス

医療需要の分析へのひとつのアプローチ

開原成允

現在，日本の医療の現状を把握するためにいろいろの統計調査が，毎年またはそれ以上の頻度で行なわれ，その結果が発表されている．こうした統計調査を行ない発表しているのは，単に国などの公的機関にかぎらない．民間機関や国際機関においても，かかる統計類の整備に大きな努力がはらわれている．

こうした統計類は，現在の医療の実情を調査しそれを発表するという点にもひとつの意義がある．しかし，最近では医療の分野にも計画性の概念が導入された結果，こうした統計は将来の医療のあるべき姿に対し計画性をもって対処するための基礎的資料として，ますます大きな重要性をもつようになっている．

日本においても，医療関係の統計類はいちじるしく多い．その数は，おそらく100をはるかに越えるものであろう．また公的機関の発表するこうした統計類は，その正確さにおいて世界的な水準にあることは広く認められているところである．

しかし，日本で多く発表されているかかる統計類の利用方法については，まだ十分開発されていないように思われる．現在多くある医療統計の間の相互の関連性や相互の影響については，あまり知られていないし，また，将来の日本の医療の動向を予測する手法もまだ十分開発されていない．すでに述べたように，かかる統計類のもつ最近の大きな意義は，過去の日本の医療の実態を記述するよりはむしろ，過去のデータの分析から，将来への計画の基礎データを得ることにあることを考えれば，統計値の利用方法に関しては，さらに多くの研究が必要と考える．

本稿は，以上のような観点にたって，国または地方自治体レベルで調査された統計値を分析し，将来を予測するひとつの手法を確立しようとするわれわれの研究[1]について解説したものである．

本研究では，日本の医療のシミュレーションモデルを作成し，この中で，いろいろの統計値の相互関連を分析し，その結果から将来の動向を，予測値として計算することを試みた．利用した手法としてはDYNAMOを用いたが，この研究がシステムダイナミックスの手法を用いたものというべきか否かは疑問である．いろいろの変数をレベルとrateにわけて，そのダイナミックな動きを分析するという意味ではシステムダイナミックスに共通するものをもつ．しかし，多くの変数をできるだけ内生化し，一部の外生変数を除いてはひとつの閉じたモデルをつくるという通常のSDモデルの形はとっていない．ここでは変数相互間の関連性のダイナミックな動きを解析することがむしろ興味の中心であったからである．

この研究はまだ決して完成したものではない．しかし，医療の世界では，まだこのような試みは少ない．したがって，ここにひとつの試みとして，かかる手法を医療の世界にも導入し，その成果について批判をあおぐことは十分意義があると考えた．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

これが本稿を掲載する理由である．

なお，諸外国におけるこの分野の研究については，別にまとめた論文があるのでここには掲載しない．興味のある方は文献を参照されたい[2)3)]．

1. 医療モデルをつくる目的

本研究の目的は，すでに述べたとおりであるが，ここで，さらに具体的に，本研究の目的および目標について述べておきたい．

本研究の第1の目的は，日本において過去に発表された多くの統計類を，相互に矛盾なく，ひとつの整合性をもって説明し得るようなシミュレーション・モデルをつくることにある．このことは，いいかえるならば，日本の医療の各分野の動きの反映であるいろいろの統計値を，相互に関連させつつ分析し，それぞれの変数の間に内在する関数関係を明らかにすることにほかならない．

医療は，たしかに外的条件によって大きく変動する性格をもつ．しかし，仮にそうした性格を多くもつにしても，それぞれの統計値がおのおの独立に相互関連なく変化してきたとは考え難く，その間には，なんらかの必然性があったと考えるほうが自然である．

したがって，その当然の帰結として，ここにつくりあげられたモデルは，descriptive type のモデルであり，資源の最適配置を求めるような最適化型のモデルではない．医療のあるべき姿を想定し，それにいたる解を求めるのではなく，まず，過去の実態を解析することを目標に定めたからである．

また，ここでつくられたモデルは，日本の国全体のマクロレベルのモデルである．それは，現在あるいろいろの統計値が，国という単位で発表され，それ以下の単位ではいちじるしく値が得にくいという実情による．しかし，ここで研究されている手法は，他のレベルの問題に対処し得ないのではなく，十分なデータさえあれば，より小さな単位の医療の問題の解析にも十分用い得るものである．

本研究の第2の目標は，第1に設定した目標が，ある程度達成されたうえで，その結果にもとづき，将来の日本の医療を予測しようとするものである．過去の統計値の間の，相互の関数関係が明らかになれば，その関数関係が将来も持続するものと仮定して，将来を予測することがある程度可能となるし，また，いろいろの政策の変化をその中に適応してみることもまた，可能となるであろう．これがわれわれの研究の目標の第2であった．

しかし，将来といってもその範囲は広い．ここで，一応の目標と定めたのは，現在を起点として，20年以内の動向である．この期間を目標としているのは，過去に得られたデータが主として，15年間のものであるからであり，過去のデータを越えて予測することは，かなりの無理があると思われたからである．

つぎに問題になるのは，「医療」とは，何を指すのかという点であろう．医療という言葉の意味するところはいちじるしく広く，いろいろの経済的因子や社会的因子まで，相互に関連をもっている．したがって，ひとつの考え方は医療モデルというものが独立して存在するとは考えられず，日本の社会というモデルの中で，その一環としてのみ医療モデルが考えられるというものであろう．

この考え方は，十分根拠をもつものであり，事実，後にも述べるように，医療の統計値は，いろいろの社会的因子と深いかかわりあいをもっているように思われる．しかし，ここでは，ひとつのステップとして，かかる社会的因子の影響はひとつの外的な変数として，モデルの中に導入することとし，医療モデルの中の変数が逆に社会に影響をもつようなことが，比較的少ないようなところに，その境界を定め，モデルをつくっていった．たしかに，医療の問題は長期的にみた場合，日本の経済社会に大きな影響をもたらすであろう．しかし，ここで想定した20年の範囲においては，医

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

療が経済・社会に影響をおよぼし，その影響が再び医療にかえってくるような事実は無視し得るものと考えて，このモデルをまずつくっていくことにした．

2. 方 法

本研究において用いた手法は，基本的には人・物，または資金が，ある率をもって流動しており，その間に相互に影響を与えあう関数関係が，存在すると考える考え方である．この考え方は，システムダイナミックスと共通するものであるが，システムダイナミックスのように，将来のトレンドを予測することを目的として，できるかぎり多くの変数を内生化していくのではなく，まず，上記の考え方にたって各統計値の相互関係を分析していこうとするものである．

これまでの研究において，まだ，医療に関連するすべての因子の解析が終ったわけではない．したがって，ここでは医療需要について分析結果の一部を紹介することとする．

2.1 医療需要のモデル

図1は，医療需要モデルの基本的な考え方を示したものである．図1を記号で示すと**図2**のようになる．ここでは人口を健康人(X_1)，無自覚の病人(X_2)，自覚はしているが医療機関にかかっていない病人(X_3)，医療機関にかかっている病人(X_4)の4つのレベルに分割する考え方をとった．健康人が病人になるのは，疾患発生の要因が作用し，その発生率はおもに環境の変化や予防医学の発達により影響を受ける．

無自覚の病人が自覚するための要因としては，文化や教育の影響が考えられる．たとえば，無自覚の病人が，その病気の教育を受けることにより，また，テレビ等でその病気が話題になり，一般の人々の関心が高まることによりそれを自覚する．病気であることを自覚したすべての人々が，医療機関にかかっているわけではなく，医療機関へのaccessibilityが作用している．このaccessibilityは医療供給側の要因と個人所得，医療保険給付率等の経済状態により決定される．医療機関にかかっている人の大部分は再び健康人へもどるか，このとき作用する回復率は医療供給量と治療医学の進歩に関係しているものと思われる．

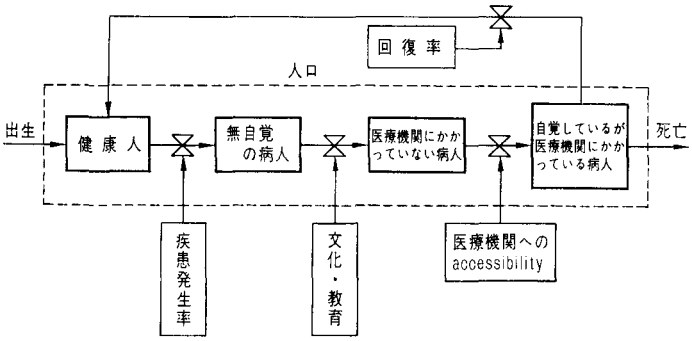

図 1 医療需要モデルの基本構成図

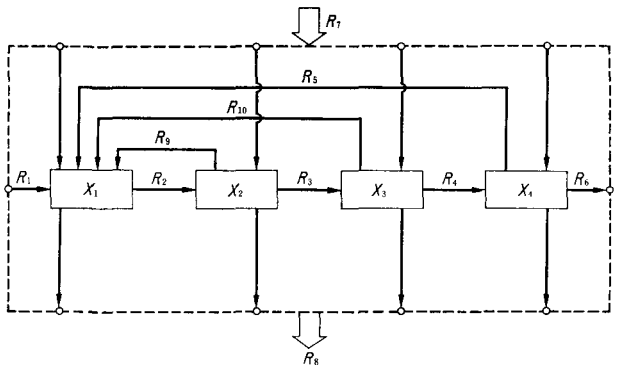

図 2 医療需要モデルの基本構成と，ここで用いた記号

各レベル間の流れの量（レイト）を決定する係数をCRとすれば，医療需要をモデルは数式的に，

$$\frac{dX_1}{dt}=CR_1\cdot TX+CR_9\cdot X_2+CR_{10}\cdot X_3+CR_5\cdot X_4-CR_2\cdot X_1$$

$$\frac{dX_2}{dt}=CR_2\cdot X_1-CR_9\cdot X_2-CR_3\cdot X_2$$

$$\frac{dX_3}{dt}=CR_3\cdot X_2-CR_9\cdot X_3-CR_4\cdot X_3$$

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

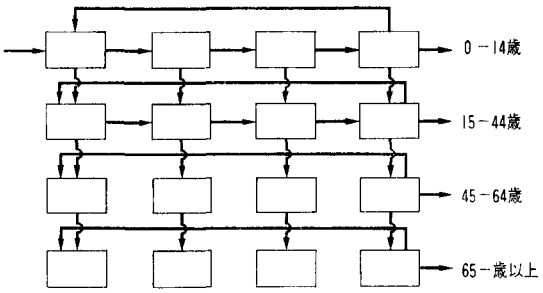

図 3

モデルは4つの年齢階層にわかれ，それぞれの年齢階層の中の構造は図2に同じである．

$$\frac{dX_4}{dt}=CR_4\cdot X_5-CR_5\cdot X_4-CR_6\cdot X_4$$

$$XT=X_1+X_2+X_3+X_4$$

となる．各要因の影響は，年齢的に異なっていると考えられるので0～14歳，15～44歳，45～64歳，65歳以上の4つのブロックに分割した階層的なモデルをつくり，実際のシミュレーションでは用いていた(**図 3**)．

2.2 利用したデータ

まず，レベルに関して用いた統計値を**表 1** に示す．

X_1 から X_4 までがあるが，このうち X_1, X_2 は統計値としては得られない．X_3 については有病率に人口を乗ずることにより有病者数が得られるから，これから X_4 を減ずることによって求めることができる．X_4 については，受療率に人口を乗じたものに，さらに診療間隔を乗ずることにより求められる．すなわち次式である．

$$X_4=\text{人口}\times\frac{\text{受療率}}{10\text{万}}\times\text{診療間隔(日)}$$

フローに関係ある統計値は**表 2** に示すものである．

R_7 および R_8 は，本モデルが4つの年齢階層から成立しているためにこの年齢階層の間のフローを示す係数である．R_2 は健康な人が病気になる真の意味での疾患発生率である．しかし，病人はこの状態においてはまだ自覚していないために，この「真の意味での疾患発生率」を測定することは不可能である．したがって，このモデルの計算

表 1 計算に用いた統計値（その1）

記　号	名　　称	関係ある統計
X_1	健　康　者	
X_2	無自覚の有病者	
X_3	医療機関にかかっていない病人	
X_4	現在医療機関にかかっている病人	受療率
$\sum X$	全　人　口	人口動態
X_3-X_4	自覚している有病者	有病率

表 2 計算に用いた統計値（その2）

記号	名　　称	関係ある統計
R_1	出　生　率	出生率
R_2	罹　患　率（理論値）	
R_3	無自覚の患者が自覚するようになる率	
R_4	有病者が患者になる率	初診患者数
R_5	患者が回復する率	1疾患あたり傷病日数
R_6	患者が死亡する率	死亡率
R_7	前の年齢層から移ってくる率	(人口動態統計)
R_8	つぎの年齢層へ移行する率	(人口動態統計)
R_9	無自覚の病人が自然に回復する率	
R_{10}	有病者が医療機関に頼らずに回復する率	医療機関選択率

においては，年齢ごとのこの率は一定という仮定を設けて，その率を推定し，計算を行なった．この仮定は過去15年間の日本の社会を考えたとき，十分正当化できる仮定であると思われる．

R_2 と同様に R_3 も測定することはいちじるしく困難である．したがって，この係数はこのモデルの中の未知数として求められた．R_4 は自覚している病人が，診療機関にかかっている病人に変わる係数である．この係数は，現在発表されている統計値の中では初診患者数が対応する．ただし，この相対的な変化は，十分意味をもつものと考えられるが，その実数はかならずしも他の統計値と十分な整合性をもっていない．

R_5 にあたる統計値は現在発表されていないが，この率に関係ある統計値として，患者調査の中に1疾患あたりの疾病日数がある．これは，平均値として示されてなく，その分布が記載されているが，この1疾病あたりの傷病日数は，その数が回復率と密接な関係をもつ．理論的には，もし，X_4 のレベルから流出するフローが R_5 のみであれば，

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

等しくなるはずであるが，実際には X_4 からは R_6 というフローも流出している．しかし，R_6 は死亡率であり，疾病の回復に比べればいちじるしく低い値であり，ほとんど無視し得る．したがって，傷病日数の逆数をそのまま回復率と考えられても，ほぼ誤りはないものと考えられる．しかし実際に発表されている統計値は分布が示されているのみであり，また，かかる値は一般に正確性を期することはいちじるしく困難と思われる．したがって相対的な傾向を重視してモデルの中にこの値をあてはめていった．

R_9 は，無自覚のうちに病気がなおる率であるが，これも統計から求めることは不可能であり，未知数として他の変数から求めた．

R_{10} は，医療機関にかかることなく，健康人にもどっていく率である．これは，たとえば「薬局で薬を買ってのんでカゼをなおす」人に相当する．これに対応する統計値は患者調査の中の医療機関選択率がある．

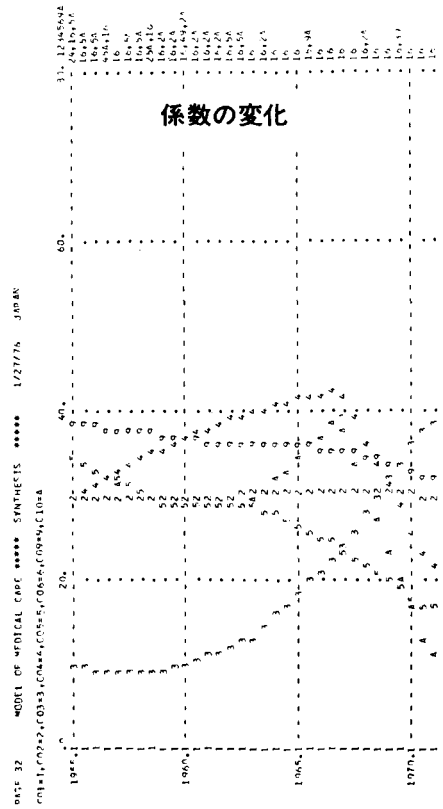

図 4　各係数の過去15年間の年次別変化

3. 結　　果

3.1 過去の医療需要増加を説明する係数の変化

1955年から1975年に至る過去の医療需要関係の統計値の変化を説明するためには，このモデルの中で定義された係数はどのような動きを示すと考えるべきであろうか．

図 4 はこの係数の変化を示している．横軸は時間軸であり，左端が1955年である．また，グラフの線を構成している数値はモデルの各レイトに定義された数値と一致している．

すなわち「2」の変化は前節において述べた仮定にしたがって，一定値としたもので，これは，統計値から定められたものではない．

最下端に「1」で示す線があるが，これは出生率の変化を示す．また，これには「6」が重なっている．これは，出生率，死亡率ともに他の係数に比べていちじるしく小さいため基線に近くなっていて，その変化もこのグラフ上では明らかになっていない．

「4」は，「患者変換率」とでもいうべきもので外来患者数から推定された値を代入し，他の値と整合性をもたすように定めたもので，1967年頃まで上昇するが，その後減少する．

「5」は，「回復率」とでもよぶべきもので，一疾患あたりの疾病日数の逆数から推定したもので，次第に減少の傾向をたどっている．

「3」は，いわば「疾患自覚率」とでもいうべきもので，以上の係数から推定によって求めたものであるが，いちじるしい上昇傾向を示している．

「9」は，「2」の変化とほぼ同じであるが「3」の上昇にともないやや減少する．

以上のことを医療需要という立場から解釈するならば，医療需要の増加を係数の変化という観点から見たときは大きな要因として，

①無自覚の病人が自覚するようになる率の上昇

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

（レイト3の係数（CR_3 と記す）の上昇）

②疾患の回復率の低下（CR_5 の減少）

の2つが考えられる．

これは，いわば，

①10年前は少しくらい熱があっても病気とは思わなかった人が，最近では少しでも熱があるとすぐ病気と思って医者にかけこむということと，

②最近は，病気が次第に慢性化し，一度外来に通いはじめると一生医者にかからなければならない病気が増えてきたこと．

の2つの事実の数値的な表現に他ならない．

CR_4 の変化も興味あるところであり，最近の医療供給の不足を示しているようにも思われるが，この段階で結論づけることは困難である．

3.2 モデルの妥当性の検証

さて，以上のような係数の変化を仮定したときに，このモデルによって計算された結果は過去の実際の統計値と一致する必要がある．

これらの結果をすべて統計値と比較した結果は，受療率，有病率，人口，出生率，死亡率等の基本的な統計とはよく一致することが明らかとなった．

図5は，その一例として，医療機関に現在かかっている患者数をモデルから得られた結果と実測値について比較したものである．変動を除いてよく一致していることがわかる．

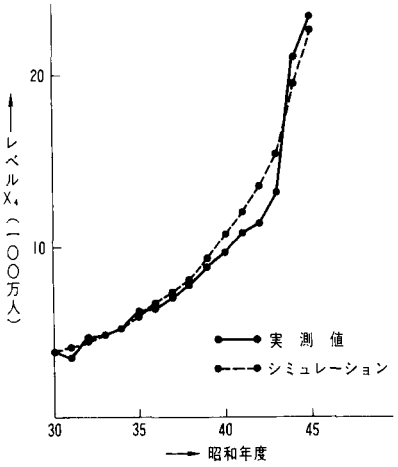

図5 患者数（X_4）の実測値および計算値

初診患者数については，傾向は一致しているが，統計値においてはかならずしも一致せず，これは，モデルの妥当性よりは統計値に内在する問題のように思われた．

また，有病率については，患者調査と国民健康調査との間の不一致がすでに指摘されており，有病率は患者調査から逆算するほうがよく信頼されるともいわれている．ここでは，こうした点を考慮して患者調査からの計算値に近い値をとった．したがって，国民健康調査の有病率の約2.5倍の値になる．しかし，どちらにとっても変化自体の傾向は同様である．

上記のように統計調査にともなう方法論上の問題は常に存在するが，概要についてはこのモデルとその係数の変化はほぼ，実際の値と一致するものと考えられた．したがって，こうした考え方がほぼ妥当であると仮定してから，つぎのような分析をさらに行なった．

3.3 過去における医療需要増加の分析

すでに2.1において係数の変化から過去の医療需要の増大の原因を推定したが，これをさらに定量的に把握するためつぎの分析を行なった．すなわち，1955年の医療需要を起点として，1つの係

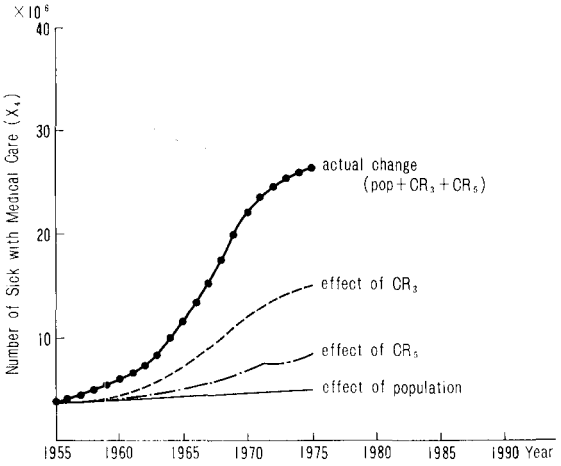

図6 患者数の年次別変化とそれに関与する要因
細い線はそれぞれの要因のみが変化したと仮定した時の患者数の増加を，1955年を基点として示している

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

数のみが変化したと仮定したときに，医療需要はどのようになったはずであるかを計算し，現在の需要増の内部構造を求めたのである．

需要を求めた条件はつぎのようである．

(1)人口構成の変化のみおこり，CR_3, CR_4, CR_5 はすべて一定であったと仮定した場合．

(2)人口構成の変化にCR_3(自覚率)の変化のみが加わったとき．

(3)人口構成の変化にCR_5(回復率)の変化のみが加わったとき．

この計算の結果を**図6**に示す．

第1の人口構成の変化のみがおこり，他の係数は変化がおこらなかったとすると，医療需要はほとんど増加していない．老人は一般に高い受療率をもっているから，老人人口が増加すれば，それだけでも全体の病人数は増えるはずである．事実，わずかながら病人数は増加しているが，過去15年間には人口構成の変化による需要増はそれほど大きな要因とはなっていない．

これに対し，自覚率(R_3)の変化が加わった場合の病人数の変化は大きく，全体の需要増の50%以上を占めている．また，回復率(CR_5)の変化もかなりの需要増を惹起したことがわかるが，これは自覚率に比べればそれほど大きな値ではない．

以上のことから明らかなことは過去15年間におこった変化の要因としては無自覚病人が自覚するようになる率の変化がもっとも大きく半分以上の原因を形づくっており，ついで疾病の慢性化があり，人口の老齢化による需要増はほとんど無視し得ると考えられる．

3.4 医療需要の将来予測

これまでに述べた過去の需要の分析にしたがって，つぎに将来20年にわたる日本の医療需要の予測を行なってみよう．

このとき，前提としてはつぎのものを置く．

(1)このモデルに示される医療需要の構造は，将

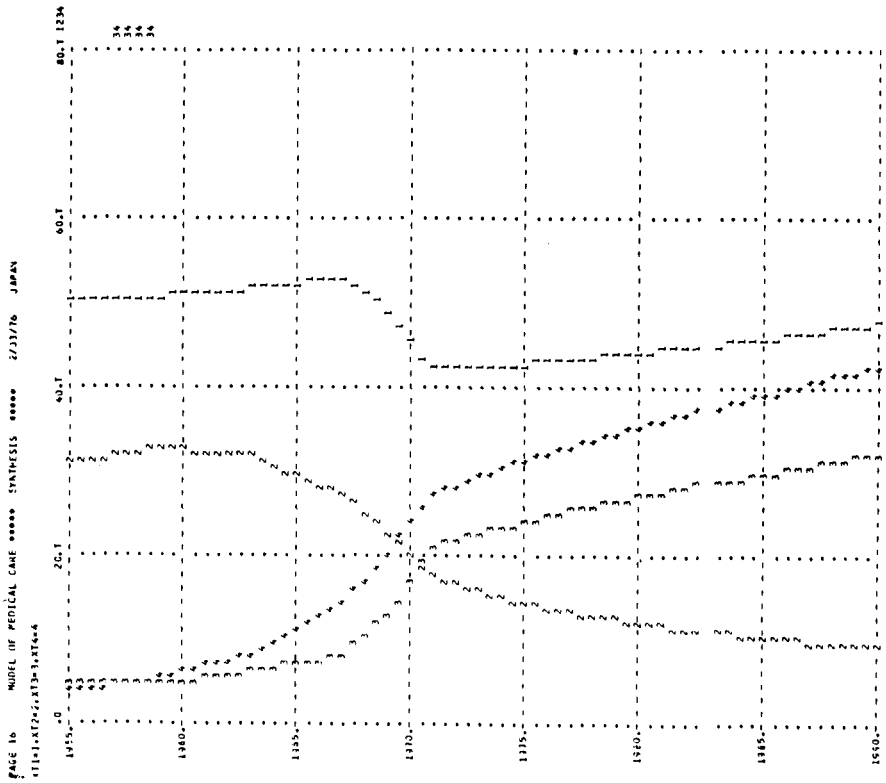

図 7 年齢別患者数の将来予測
1，2，3，4はそれぞれ図3の年齢階層に相当する

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

来においてもあてはまるものとする．

(2)真の疾患の発生率は将来も変化しないものと仮定する．

(3)自覚率の増加は今後もつづくが，その増加傾向は減少する．その理由は，CR_3とCR_9の和が1.0/日を越えることは理論上あり得ない．したがって，上限は存在するはずである．また，将来いかに医療が進歩したとしても，疾患に罹患してすぐに自覚するようになるとは考えにくいから，1.0以下の点で上限となるはずであるからである．

(4)CR_5の減少は今後もつづくが，その減少傾向はゆっくりとなる．その理由はCR_3と同様で，CR_5が0となるということは病気になった人が，なおらなくなることを意味するので，0以下になることはあり得ない．老齢人口においては今後，CR_5は0にいちじるしく近づくと思われるが，若年層においてはCR_5は減少するとは考えられない．

(5)CR_4の変化は一定とする．これが一定となるためには，医療の供給が需要に十分追いついていく必要があるが，ここでは一応この仮定において計算することとする．

さて，以上の仮定によって計算した将来の医療需要を**図7**に示す．この図は医療機関にかかっている病人の数を年齢階層別に示したものであり，老人の患者が次第に増加していく傾向を示している．

しかし，全体としての患者数の増加は，過去15年間ほど急激ではなく，全体として増加はゆるやかになっている．この増加のゆるやかになる一種の変曲点は，1975年頃にあらわれ，これは受療率が実際に減少を示した事実ともよく一致している．

さて，過去の例にならって将来の医療需要増の構造を分析してみるとどのようになるであろうか．

前と同じような方法により1975年を起点とし，

(1) 人口構成のみの変化したとき

(2) CR_3のみが変化したとき

(3) CR_5のみが変化したとき

のそれぞれの患者数の変化を見てみよう．

この計算の結果は**図8**，**図9**に示すとおりである．ここで明らかなことは，過去15年の場合と異なりCR_5の変化が大きな要因として浮かびあがってきていることである．CR_3は，これに比べその影響は小さくなっている．また，人口の老齢化による需要増もかなり大きな比率を示すようになる．

以上の事実は，今後の医療需要は構造的にかなり過去とは異なっていることを示している．増加の率としてはそれほど高くないが，疾患の慢性

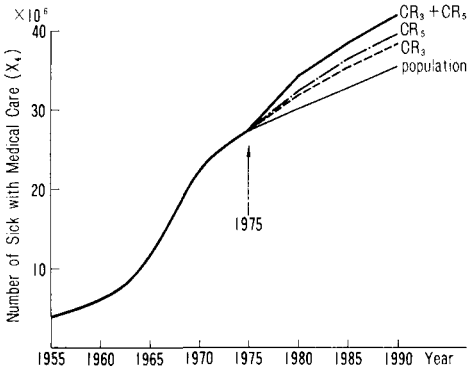

図 8 患者数の将来予測と関与する要因．細い線は1975年を基点として，要因が単独に作用した時の予測

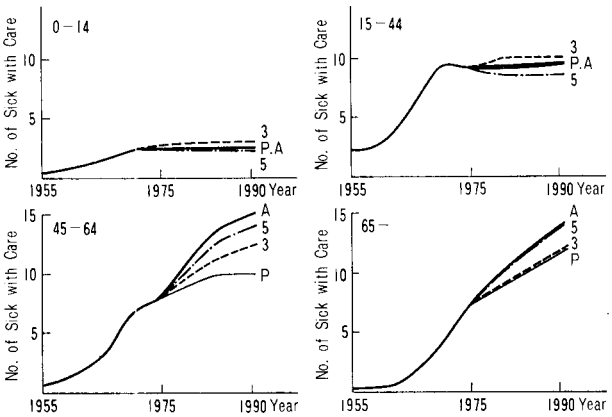

図 9 図8を年齢階層別に求めた図

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

化・老齢人口の増加にともなう医療需要の増加という，本質的な意味での需要増が，将来の需要増であることを意味しており，これに対応するには単に数のみの供給を増加するということではもはや対処し得ないことを示しているように思われる．

む す び

日本におけるヘルスケアーに与えるさまざまな因子の相互関係を分析し，また，ヘルスケアーの将来を予測する手段として，ヘルスケアー・シミュレーション・モデルの手法を述べた．

これは，日本のヘルスケアー全体を包含するモデルをつくるひとつの過程である．これまでの研究の結果から，この方法はまだ未成熟ではあるが，多くの成果を生むことも期待できることが明らかとなった．

これまでの本研究から結論されることはつぎのとおりであった．

(1) 過去における日本の医療の需要の増加は，第1に，より多くの無自覚な病人が疾患を自覚するようになったためであり，第2には疾患が慢性化したためであると考えられる．

(2) 医療需要は，1974年頃をひとつの境として，構造的な変化を示しつつある．

すなわち，需要の増加傾向は鈍化しているが，需要増加の要因は疾患の慢性化，老齢人口の増加等のより本質的な要因にとって変わりつつある．

今後，さらに他の要因も含めモデルを拡張するとともに，各部分についても詳細な検討を行ないつつ，モデルの妥当性を検討していく必要があろう．

参 考 文 献

1) S. Kaihara, K. Atsumi and N. Kawamura : A simulation model of Medical Demands in Japan, *2nd USA-Japan Computer Conference Proceedings*, 1975.

2) 開原成允：医療のシミュレーションモデル，総合臨牀 26：125，1977.

3) S. Kaihara, I. Fujimasa, K. Atsumi and A. Klementiev : An approach to building a universal health care model : Morbidity model of degenerative diseases, Research Memorandum RM-77-6. International Institute for Applied Systems Analysis, 1977.

かいはら・しげこと　1937年生
昭和36年　東京大学医学部卒
米国 Johns Hopkins 病院留学後，東大病院第二内科助手
昭和50年　東京大学医学部助教授　病院電算機室長
昭和51年　国際応用システム研究所短期研究員
専門：医療情報科学，統計学，OR，計算機科学等を医療の中に応用していくことの中から新しい学問が生まれることを念願としている．国際情報処理連盟(IFIP)医学委員会日本代表

IFORS 加盟の各国OR学会の住所をお知らせします．1977年最新版です．
国際会議の問合せ，文献入手などにご利用ください．（第2回）

5. CANADA

Canadian Operational Research Society CORS (7/76)
President :
Dr. Dave Daziel
350 Sparks Street, Suite 605
Ottawa
Representative :
Alex Cowie
Sun Oil Company Limited
56 Wellesley Street West
Floor 17, Toronto, Ont. M5S 2S4
Secretary :
Dr. J. J. Conn
Defence Research Board
DRAE, Canadian Forces Headquarters, Ottawa

(613ページにつづく)

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．