

地域医療ダイナミクス・モデルの構築とその解析

山本 勝・斉藤正浩

生産システム

(1985年9月7日受理)

Structure and Its Analysis of Regional Comprehensive Health Care Dynamic Model Masaru YAMAMOTO, Masahiro SAITOH*

Department of Systems Engineering

(Received September 7, 1985)

In order to satisfy the increasing demand for Comprehensive Health Care more effectively and yet equally, within the limited resources of medical and healthy care, systematization of Regional Comprehensive Health Care (RCHC) is expected to be best solution in the welfare-oriented and aging Japanese society. However, as the RCHC-System is one of the complicated, large-scale social system, the systematization requires cooperation and many kinds of technical knowledge of all the parties concerned. Hence, in this paper, mainly from Systems Engineering point of view, by applying the System Dynamics Theory (SD Theory), we will build and discuss about the effective simulation model to assess and analyze dynamically and totally the some proposed systematization policies for the RCHC.

1. はじめに

地域包括医療システムは、地域社会における保健・医療および福祉課題を中心に展開された一つのサブ・システムであるとみなすことができる。そして、この地域社会システム自身は、図1に示されるような多種多様な構成要素から成り立っていると同時に、これらの構成要素間のダイナミックな相互関連によりたえず変化していく動的システムである、と考えることができよう。従って、地域包括医療計画を推進していく上においては、この地域包括医療システムを時間とともに変化していく動的システムとしてとらえ、このシステムを構成している複雑な関連要素間のダイナミックな変化が、システム全体としての動的挙動に対し、どのような影響効果を与えるかを、総合的および長期的立場から、分析・評価していくことが必要となってくるであろう。

そこで、このための一つの有効な解析方法として、システム・ダイナミクス理論^{1)~6)}(System Dynamics : SD)にもとづいた地域包括医療ダイナミクス・モデルを構築していくことが考えられる。そして、このモデルを用いたシステム・シミュレーションを実行することにより、地域包括医療システム全体の構造解明およびダイナミックな動特性を評価・分析することができる。この

結果、各種の地域医療政策に対する総合的、長期的な事

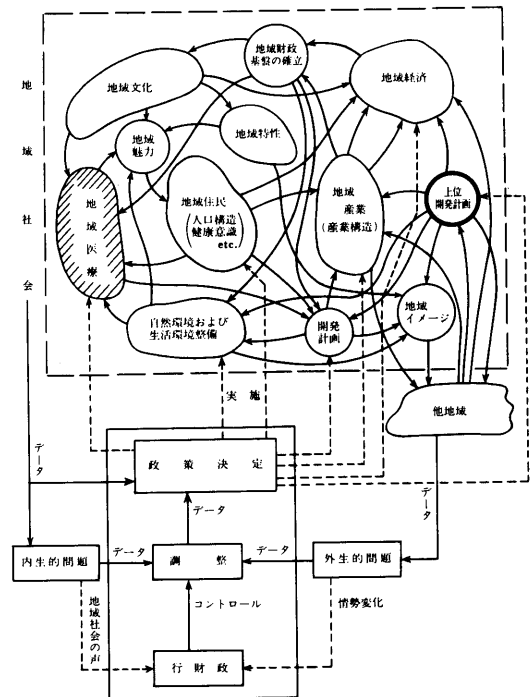


Fig. 1 Dynamic structure of social system

* 現学部短期大学情報計数学科

前評価が可能となり、今後の地域包括医療計画策定における一つの意思決定支援システムとして、重要な役割を果たしていくことが期待されよう。

そこで、本論文においては、システム・ダイナミクス理論を用いた地域包括医療ダイナミクス・モデルの構築と、この解析についてシステム工学的立場から考察を行うこととする。

2. SD 理論の歴史と概要

このシステム・ダイナミクス理論(SD)は、1960年頃マサチューセッツ工科大学の J. W. フォレスト教授らによって開発されたシステム・シミュレーション手法の一つであり、当初は、インダストリアル・ダイナミクス(ID)と呼ばれ、¹⁾主として産業あるいは企業活動のダイナミックな特性の研究に応用されていた。また、彼は、「IDは、経営のためのシステム分析に関する一つの方法であり、動的に変化する経営システムにおける構成要素間の相互作用を取り扱う」と述べており、更に、「IDは、企業システムにおける情報フィード・バック特性の研究および企業形態の改良と政策設計のためのモデルの利用法である」と述べている。従って、このIDは、次に挙げる4つの理論・研究分野より支えられていると考えることができる。

- 1) 情報フィード・バック理論
- 2) 意思決定を支配するマネジメント・ポリシー(意思決定プロセス)に関する研究
- 3) 大規模かつ複雑なシステムのモデル化手法の研究
- 4) コンピュータ技術およびシミュレーション技術(とくに、DYNAMO 言語の開発)に関する研究

その後、工業化社会の進展とともに、ますます顕在化してきた地域社会問題に注目したフォレスト教授らは、このIDを都市地域開発問題に適用した「アーバン・ダイナミクス: *Urban Dynamics*: UD」²⁾を、1969年に開発したのにつづき、1971年地球上における全人類の成長メカニズムを解明するために適用した「ワールド・ダイナミクス: *World Dynamics*: WD」³⁾を発表した。そして、これらの研究成果をもとに、ローマ・クラブは、フォレスト研究グループの D. L. Meadows 教授をチーフとするプロジェクト・チームを結成し、そこでの研究成果の一つである「成長の限界」⁴⁾を世界に発表し、人類の危機を警告するに至った。

以上のように、フォレスト教授により創案されたIDは、UD、WDと対象領域を拡大し、更には、国家レベルの問題を扱うナショナル・ダイナミクス(ND)、保健問題を扱うヘルス・ダイナミクス(HD)をはじめとして、各種のシステムに対して適用可能となり、現在では、こ

れらを総称して、システム・ダイナミクス(*System Dynamics*:SD)と呼ばれるようになったのである。^{5)~7)}

次に、方法論としてのSDの主な特徴を列挙すると、

- 1) 複雑な動的システムにおいて、システムの状態量(レベル変数で表現)と、流れの量(レート変数で表現)を明確に区別することができる。
- 2) システム内における多重フィード・バック・ループの動態解析が容易である。
- 4) 要素間の非線形は因果関係において、非線形方程式を扱うことが容易にできる。
- 5) システムを構成している多種多様の要素を包括的に扱うことができる。
- 6) モデル・ビルディングおよびコンピュータ・プログラミングが比較的容易である。

のようになる。また、上記の特徴に対して、野城⁸⁾は、SDを従来の動的システムにおけるコンピュータ・シミュレーション技法と本質的にかわりはないとしながらも、次に示す3つの特徴を挙げているのが興味深い。

- 1) 第一の特徴は、SDは動的システムの構造を、とくに重視している点である。すなわち、システムにおける過去の挙動を正確に再現することよりも、システムにおける要素間の構造的関係、とくに、フィード・バック・ループの存在に注目している。
- 2) 第二の特徴は、データの無い部分あるいは定量化の困難な部分についても、大胆な仮定をおいてモデルを構築していく点である。これは、各シナリオごとに、システム全体としての動的挙動を総合的に把握および事前評価することに重点を置いているため、未知な部分あるいは、あいまい度の高い部分を削除することより、むしろ不十分のまま仮定として、モデルのなかにとりこむことを重視している。
- 3) 第三の特徴は、DYNAMO 言語なる特殊のシミュレーション言語を開発しているため、これを用いることによりプログラミングが容易である。これにより、各シナリオについて、システムの長期的および総合的な挙動を時系列的に把握並びに事前評価することができる。

そこで、本論文において対象とする地域医療問題に対して、このSDモデルを適用する際には、上述のSDの特徴、問題点および限界を十分理解した上で、正しく活用していくことが必要であろう。また同時に、他手法との結合あるいは併用を図ることにより、このSDの弱点を補っていくなどの試みも、これからは必要になってくるであろう。

3. 地域包括医療ダイナミクス・モデルの構築手順

SD理論による地域包括医療ダイナミクス・モデルの構築は、次に示す具体的手順に従って実行される。

Step 1: 地域包括医療計画策定の立場から、地域包括医療システムの目的並びに対象とするシステム範囲を定義する(図2参照)。

Step 2: 地域包括医療システムに関する問題点および今後の課題について、ブレーン・ストーミングおよびシナリオ・ライティング等により整理

する(図3参照)。

Step 3: 上記システムにおける基本的な構成要素を設定し、トータル・システムとしての基本構造を明確にする。

Step 4: トータル・システムを問題領域ごとに、いくつかのセクター(サブ・システムに相当)に分割する。具体的には、人口セクター、医療需要セクター、医療資源セクター、保健活動セクター、医療財政セクター等が挙げられよう。(図4参照)。

Step 5: 各セクター内、およびセクター間における情報

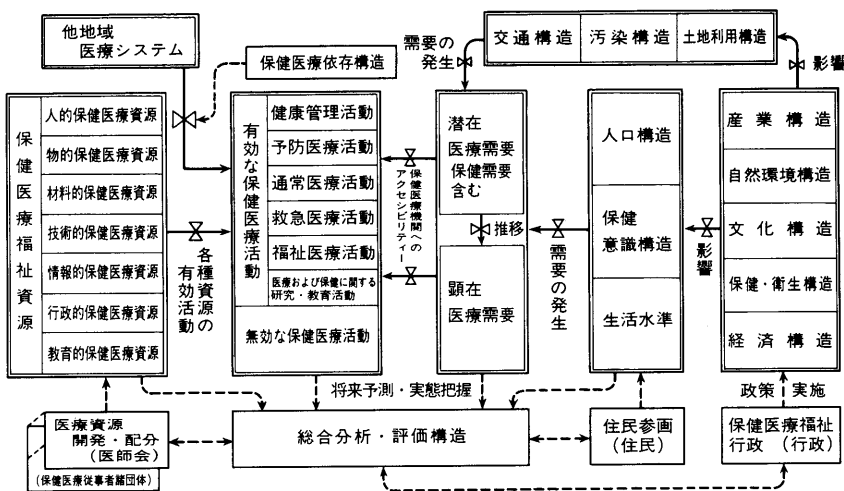


Fig. 2 Total diagram of the Regional Comprehensive Health Care System(RCHC-System)

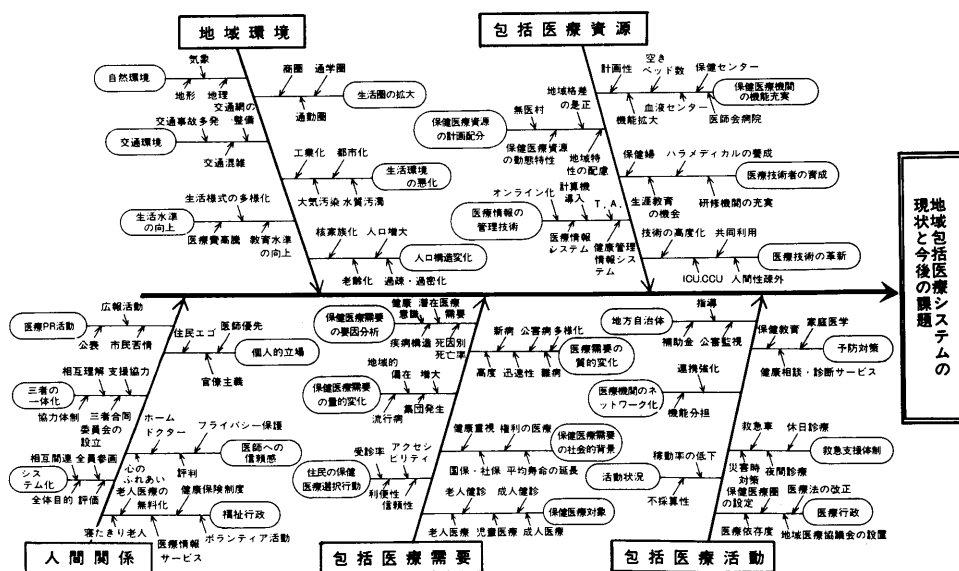


Fig. 3 Problems and subjects on the RCHC-System

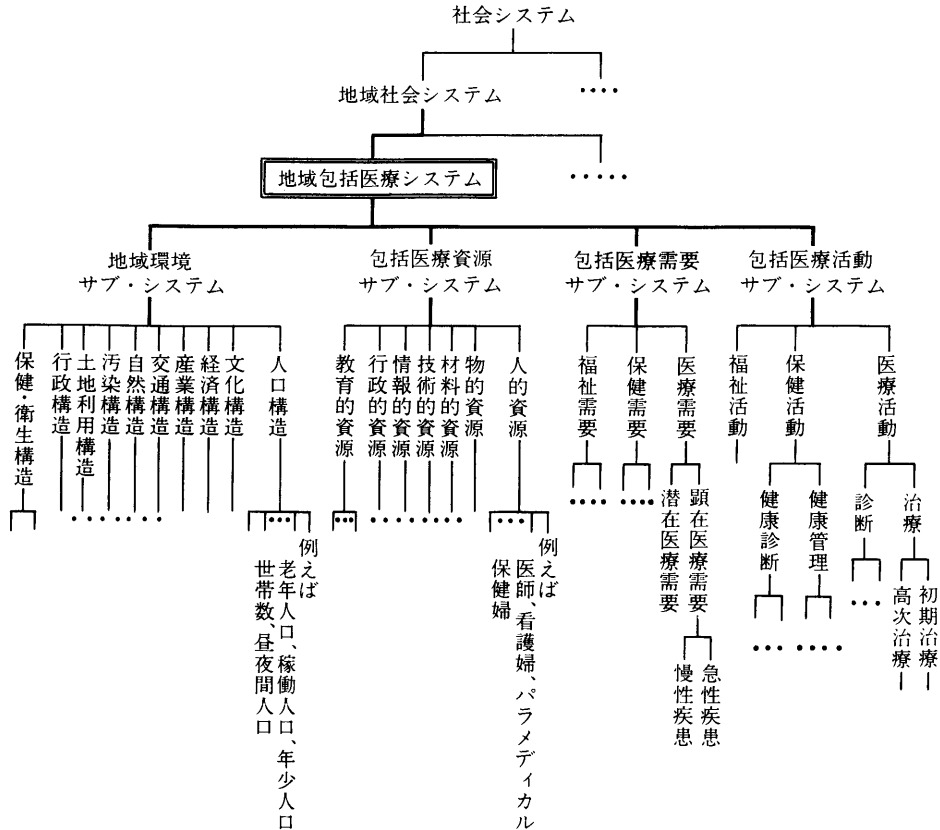


Fig. 4 Hierarchy of the RCHC-System

フィード・バック・ループを確認し、これをもとにして、システム全体の因果ループ図を作成する。

Step 6: システム内の各変数のなかから、レベル変数およびレイト変数を設定し、これをもとに、システム全体のトータル・フロー・ダイアグラムを作成する。

Step 7: 各変数間の相互関係式を、DYNAMO 言語を用いて記述(プログラミング)する。

以上の手順に従って、モデル・ビルディング並びにプログラミングを実施した結果について、次節で考察する。

4. ダイナミクス・モデルの構築と考察

まず、地域包括医療ダイナミクス・モデルの基本構造に関する全体概念を要約すると、図5のように図示することができる⁹⁾。この図から明らかなように、このシステム内の基本フローには、人のフロー、サービスのフロー、金のフロー、物のフロー、および、情報のフローが

存在する。まず、人のフローに関しては、住民(健康者)が発病し患者へ流れる場合と、保健活動サービスを受けるために受診者となる場合が、主として考えられよう。このとき、健康者から患者への流れを決定する主要因として、地域住民の有病率が挙げられよう。また逆に、患者が再び健康者へ戻るのは、医療活動サービスを受け疾病が治癒した時である。なお、このときの回復率は、住民がこれまでに受けた保健活動サービス等に影響をうける。なぜならば、住民が正しい健康意識をもち、健康管理更には健康増進に努めることにより、早期発見、早期治療および効果的な治療が期待されるからである。

次に、人のフローとしては、医師、看護婦および保健婦など言わゆる人的医療資源の教育・養成による流れである。なお、このフローに直接影響を与える要因として、大学医学部・看護学校などの教育・養成機関が挙げられよう。

更に、サービスのフローとしては、包括医療サービスとして、医療活動サービス、保健活動サービス、および福祉活動サービス等が、ここに含まれる。

また、金のフローとしては、住民が保険として支払う

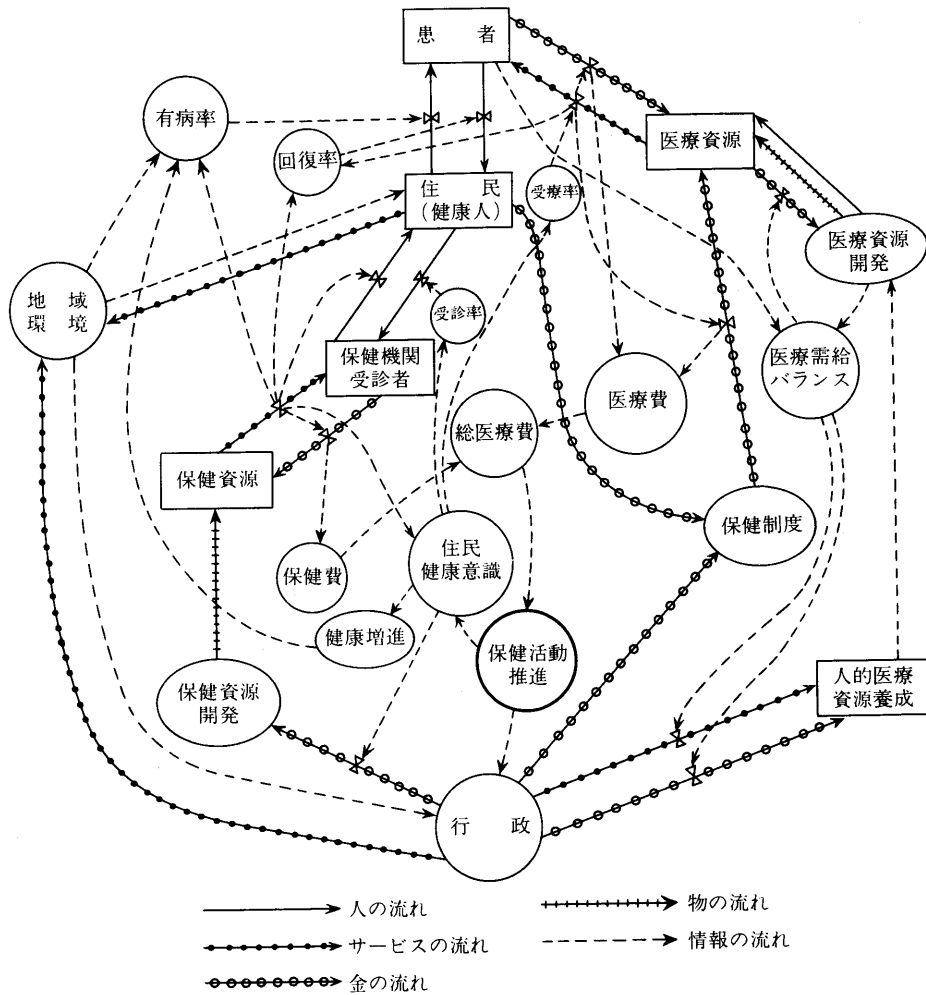


Fig. 5 Dynamic model for the RCHC-System

もの、患者が直接に自己負担するもの等、各種の金の流れが存在する。この内、医療活動サービスに対して支払われるものを医療費と呼び、保健および福祉活動サービスに対して支払われる金を、ここでは便宜上、保健費と呼び、両者を合わせて総医療費と呼ぶことにする。このとき、総医療費が毎年増大していく場合には、これを抑制するための対策として、医療点数の見直し、保健活動あるいは予防医療の強化、保険制度の一部改正などが実施される。この結果、住民の健康意識が高まり、健康増進、健康管理が推進され、有病率の低下、早期回復および医療活動の効率化・システム化が達成され、地域住民全体の総医療費を適正化していくことが期待できる。

最後に、上述の各種の流れを有機的かつ総合的に結合していくのが、情報のフローである。

次に、前述の基本フローをもとにして、地域包括医療

システムにおける各要因間の関係を、簡略化した因果ループ図に要約すると、図6のようになる。この因果ループ図には、いくつかの情報フィード・バック・ループが存在しているが、そのうち重要な情報フィード・バック・ループとして、次の3点を挙げる事ができる。

情報フィード・バック・ループ(A) :

患者数→医療活動→医療点数→医療費→総医療費→保健活動対策→(保健資源)→保健活動→患者数

情報フィード・バック・ループ(B) :

保健活動→医療点数→医療費→総医療費→保健活動対策→(保健資源)→保健活動

情報フィード・バック・ループ(C) :

保健活動→保健費→総医療費→保健活動対策→(保健資源)→保健活動

なお、矢印にプラス(あるいは、マイナス)の記号が付

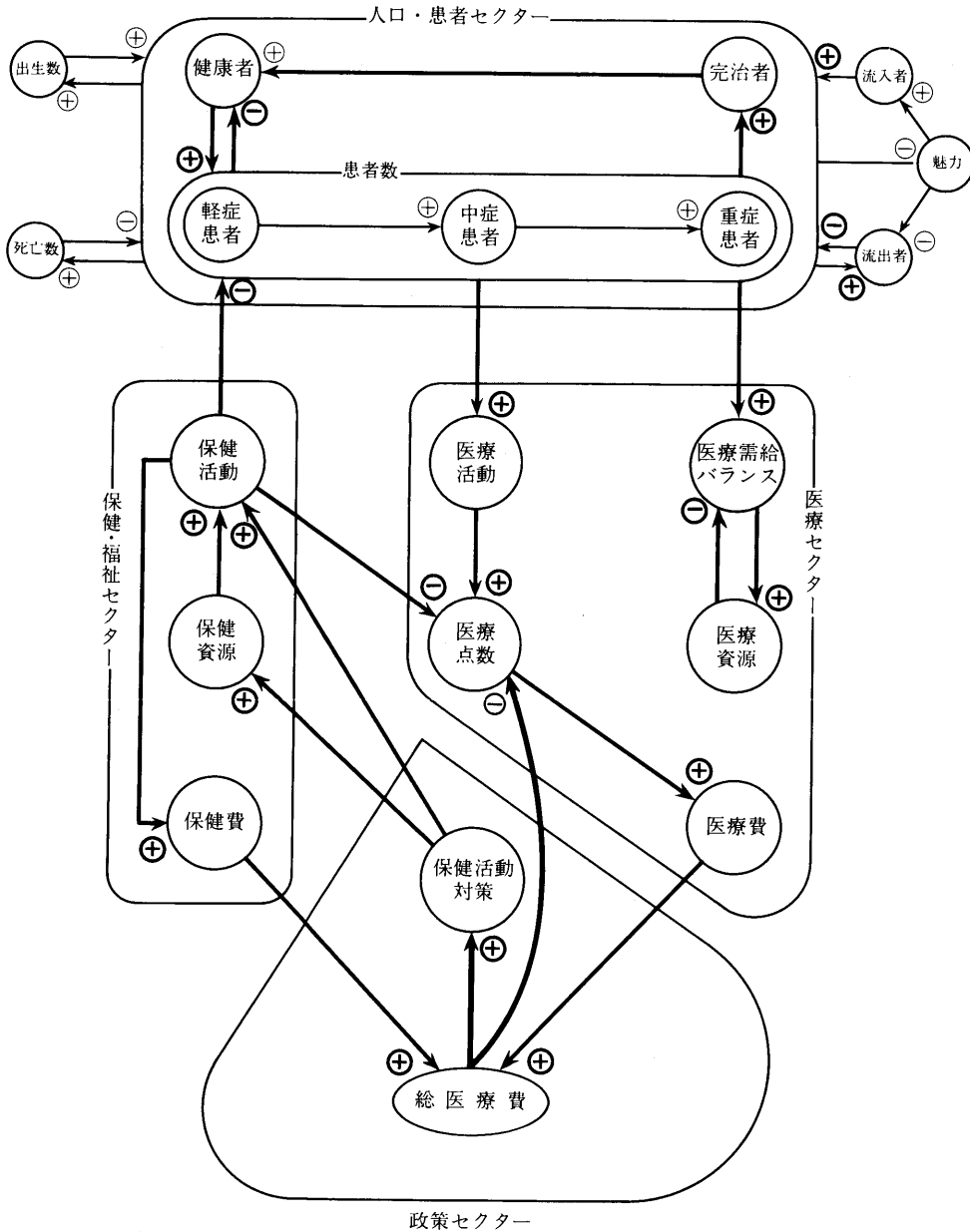


Fig. 6 Simplified influence diagram for the RCHC-System

加されているのは、両者の変数の間には、正(あるいは、負)の因果関係が存在することを示している。

従って、上記の情報フィード・バック・ループの内、(A)および(B)は、負のフィード・バック・ループを、また、(C)は、正のフィード・バック・ループを構成していることが理解される。

次に、前述の図6に示された因果ループ図を基本にして、地域包括医療システムの全体構造を詳細に解析する

ために、図7のようにトータル・システムを、いくつかのセクター(サブ・システム)に分割する。こうして得られた各セクターにおいて、他セクターとの調和と整合性を考慮しながら、より詳細な因果ループ図を作成した後、各要因に対し、レベル変数、レイト変数あるいは補助変数等を設定した。この結果、図8に示されるような地域包括医療ダイナミクス・モデルのトータル・フロー・ダイアグラムを得た。

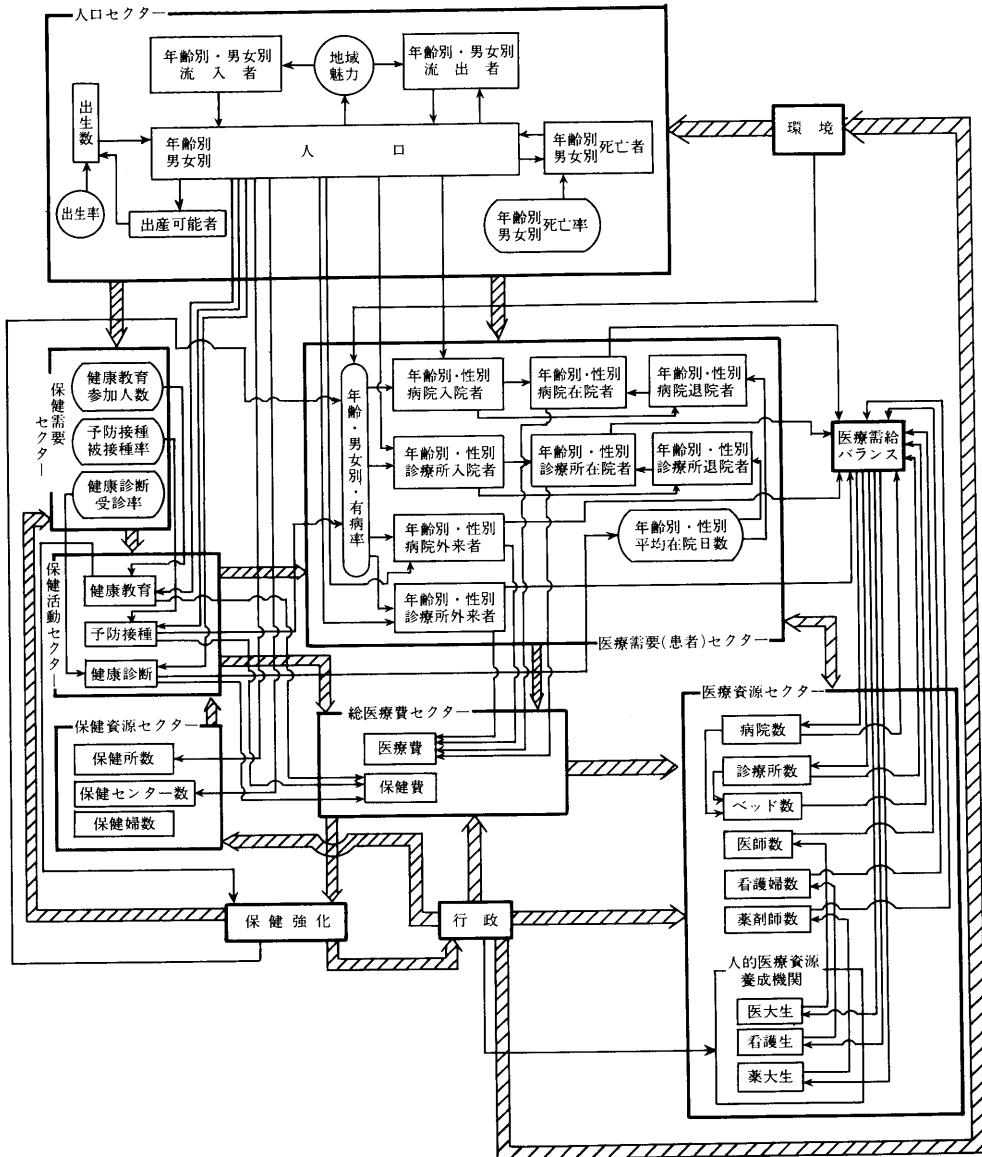


Fig. 7 Total system structure of the RCHC-System

5. シミュレーションの実施概要

前節での考察結果をもとに、また同時に、地域包括医療における各構成要素並びに要素間の相互関連分析に関して、以下に示す主要な課題；

- 1) 人口構造分析, 人口動態分析
- 2) 住民の生活行動分析, 価値観分析
- 3) 疾患別患者発生率の動態分析
- 4) 死因別死亡率の動態分析
- 5) 各科別点数・件数の動態分析

- 6) 保健・医療資源の動態分析, 稼働率分析
- 7) 包括医療面からみた地域環境特性分析
- 8) 包括医療に関する住民意識構造分析
- 9) 包括医療の需給バランス分析
- 10) 診療圏および医療圏分析 etc.

に関する調査分析結果をふまえ、^{9,13)}図8で作成されたトータル・フロー・ダイアグラムにおける各変数の方程式を求め、ダイナモ言語(DYNAMO言語)を用いてプログラミングを行った。^{11),12)}

今回作成したプログラムは、全部で984ステップから構成されている。また、シミュレーション対象地域として、

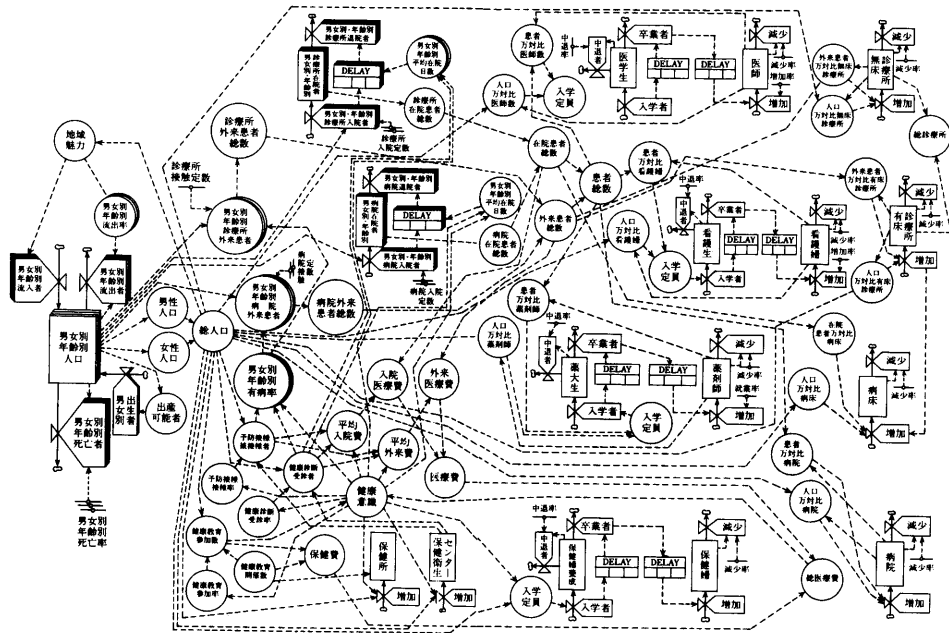


Fig. 8 Total flow diagram of the Dynamics model

A-県を選定した。従って、本プログラムで用いられるパラメータ、データ、定数については、入手可能な限りA-県での資料を用いることとし、それ以外のデータに関しては、全国平均値を代用することとした。また、変数によっては、今だに要因構造が不明確なものも少なくなく、この場合には、SDモデルの特徴を考慮して、適当な仮定のもとについて方程式を作成していくこととした。

このようにして作成されたプログラムの妥当性を検証する目的から、一つの予備実験として、いくつかのシナリオのもとに、コンピュータ・シミュレーションを実施し、主要な変数(たとえば、人口推移、患者推移、総医療費推移、保健活動推移、等)について評価・分析を行い、当SDモデルの有効性を確認した。

なお、今回は、次に示す2つのケース：

case 1) 現在の傾向・状況が、このまま続いていくと仮定した場合

case 2) 保健活動並びに予防医療を、計画的に強化していった場合

について、とくにシミュレーションを実施した。^{*1}なお、シミュレーション間隔は、1年とし、シミュレーション期間は、昭和50年(1975年)から昭和150年(2075年)までの100年間とした、シミュレーション結果の出力グラフは、1年ごとに、また、表は、5年ごとに出力することとした^{11),12)}。

上記の2つのケースにおけるシミュレーション結果の詳細な分析・評価については、別の機会に報告することとし、ここでは、結果の概要について簡単に述べる。^{11),12)}

(1)人口構造の推移

人口は、最初ゆるやかな増加傾向を示し、昭和90年頃に、ピークをむかえ、A-県レベルで、およそ740万人に達する。その後、ゆるやかな減少を示し、昭和115年頃には、再び、600万人台の安定人口に到達すると予測される。また、老年人口の推移は、昭和110年頃にピークをむかえ、その数は、約135万人に達するものと予測される。また、年齢階層別の人口構造は、昭和50年のピラミッド型から、昭和100年には、釣鐘型に移行していくことが予測される。

(2)医療費の推移

ケース(1)のもとでは、日本全体でみた場合、昭和65年頃には、20兆円を越え、さらに、昭和110年には、40兆を、はるかに越えていくものと予想される。これに対し、ケース(2)のように、昭和65年より保健活動を、これまでの倍に強化していくシナリオのもとでは、およそ2割近くの医療費減が見込まれる。また、この減少効果は、時間とともに増大していくことが期待される。

(3)医療資源の推移

医療資源として、医師数、看護婦数、および病院・診療所数、病床数を選び、これらの推移特性を総合的に分析・評価した。

*1 なお、コンピュータは、名古屋大学大型計算機センター、FACOM OSIV/F4 DYNAMOを利用した。

6. おわりに

今後、各地域において地域包括医療計画を策定していくための支援システムの一つとして、本論文においては、システム・ダイナミクス理論を用いた医療ダイナミック・モデルを提案した。とくに、今回は、この医療ダイナミクス・モデルのシステム構造並びに諸特性に関する定性的考察を中心に実施した。また同時に、実際に作成したプログラムを用いて、2つのケースについて実験的にコンピュータ・シミュレーションを試みた。しかしながら、今回作成した医療ダイナミクス・モデルには、いくつかの未解決な箇所も残されているため、今後更に、プログラムの改良、モデルの変更、あるいは、データの入手等を必要とする。

最後に、本プログラム作成およびモデル構築に協力された高石勝氏(㈱日本電気)並びに坂 忠昭氏(サンヨー電機株式会社)に感謝する。

また、貴重な資料の提供並びに助言をいただいた愛知県医師会・医療システム委員会に対し、感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) J. W. Forrester:Industrial Dynamics, The M. I. T. Press, 1961
- 2) J. W. Forrester:Urban Dynamics, The M. I. T. Press, 1969
- 3) J. W. Forrester:World Dynamics, Wright-Allen Press, INC., 1971
- 4) 大来佐武郎監訳: D. H. メドウズ著: 成長の限界, ダイアモンド社, 1972
- 5) 共立出版編: bit 臨時増刊, システム・ダイナミクス, 共立出版, 1973
- 6) J. W. Forrester:Principles of Systems, Wright-Allen Press, Inc., 1968
- 7) 松崎功保・他: SDによる長期総合計画策定支援システム, オペレーションズ・リサーチ, 21(3), 1976
- 8) 野城真理: 医療システム分析手法としてのシステム・ダイナミクス, 第15回日本 ME 学会大会, 1976
- 9) 山本勝: 地域包括医療システム—システム化計画の実践, 金原出版, 1984
- 10) 山本勝・他: システム・ダイナミクスモデルによる地域包括医療システムの分析と評価, 日本経営工学会秋季研究発表予稿集, 1983
- 11) 高石勝: 医療ダイナミクス・モデルによる地域包括医療システムの総合分析, 名古屋工業大学・学士論文, 1983
- 12) 坂忠昭: システム・ダイナミクス理論による地域包括医療システムの分析と評価—高齢化社会と地域包括医療, 名古屋工業大学・修士論文, 1985
- 13) 愛知県医師会・医療システム委員会: 愛知県地域包括医療基本計画, 愛知県医師会, 1983
- 14) 山本勝・他: 地域包括医療システムの構築に関するシステム論的考察(1)—機能分担とネットワーク化, 病院管理, 22(2), 1985