特集　ヘルスダイナミックス

自動化総合健診センターを含む医療システム分析の試み

野城真理

1. はじめに

1.1 医療と健診センター

医療は人間生活のために不可欠のものであって十分な医療を受けることは基本的人権のひとつであるともいわれる．しかし，十分な医療は技術的進歩(たとえば人工腎臓による透析)とも相俟って費用の急上昇を避けがたく，アメリカにおいては“skyrocketing”という形容詞が用いられ，社会福祉のいきとどいた国々では高税率がつねに問題となる．また，最近では，治療を中心とした従来の医療から，健康を積極的に維持することや病後のリハビリテーションをも含めた包括的な医療を行なおうとする動きが出てきている．これらの社会状況を背景にして，Automated Multiphasic Health Testing and Services (AMHTS) が登場してきた．これは乱暴な表現をすれば，人間ドックの簡易版ともいうことができ，日本語では自動化総合健診センターとよばれている(以下では健診センターと略記する)．その特徴はつぎのようにまとめられる[1]．

1)　きわめて多くの人を対象にスクリーニング検査を行なうことを目的としており，そのために検査の方法，順序，受診者の流れ，建築施設の能率化，合理化が行なわれている．

2)　自動化検査機器を用いて大量の検体が迅速かつ正確に処理され，計算機による心電図の自動診断が行なわれるなど，省力化がはかられている．

3)　発生する膨大なデータの収集，整理，さらにデータの保存や検索などに計算機を縦横に駆使し，これを医療データバンクの基礎とする．

4)　アメリカではとくに健診の合理化による医療費の軽減が主張される．

5)　健康人を対象にして，現在の健康状態の評価を行ない，積極的な健康増進を推進する．

AMHTSはアメリカのKaiser財団のHealth Planの一環としてはじまり，1964年以来かなりの勢いで増えつづけてきた(最近は勢いが鈍り，反省期にあるといわれる)．日本にはアメリカについで多くの健診センターがあり，1975年で約40機関と推定されている[2]．

このように多くの健診センターが設立されているものの，その評価はまだ定まっておらず，一部には「病人製造工場」という極端な批判もある．健診センターが，前に述べた特徴の4)，5)のように，現在の医療の抱える問題点のひとつの解決法という性格をもつだけに，その評価は重要な課題といえよう．

1.2 健診センター評価の方法論

現在の医療システムは，大病院，一般開業医，診療所，保健所などで構成されているが，健診センターは，そこに新たな要素として付加されることになる．現実の健診センターの状況は，実態調

© 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．

査によると，健診能力の半分程度の受診者しかいないため，健診希望者の募集に追われているが[1]，そのような現状はさておいて，健診センターの理想的な姿を考え，その能力をすべて働かせたときに，はたして健診センターは国民の健康増進に役立ちうるかということを論じてみたい．すなわち，システムに新要素を付加してシステムの構造を変えたときに，そのシステムの挙動はいかに変化するかを調べようとするわけである．

このようなシステム分析を行なうためには，まずその方法を吟味しておく必要がある．病気というものは，発病するまでに時間がかかり，治癒するにも時間がかかるものであるから，一時点のみに注目して静的な特性を論じても意味がなく，時系列として動的特性を把握しなければならないことは明らかである．さらに，定量的なデータの入手しがたい部分が多く含まれているというやっかいな性格がある．これらを考え合わせると，Forresterが展開したシステムダイナミックス的な考え方をするのが適切だろうという結論に達した．

システムダイナミックスの方法論的主張[3)~5)]は周知のことと思われるが，ごく簡単にまとめると，構造重視と大胆な仮定ということになろう．これまでにシステムダイナミックスが対象としていた企業体，都市システムなどにおいては，システムダイナミックスの方法論が一応の成果をあげているが，医療システムにおいても成功するかどうかは疑問の余地がないわけではない．

また，システムダイナミックスは，因果関係がからみあう複雑なシステムに対して有効とされているが，本論文のモデルはそれほど複雑なものではなく，その意味では従来のシミュレーションと差は少なく，システムダイナミックス手法そのものの適用とはいえないかもしれない．ただ，システムの構造を重視し，大胆な仮定を置いてシステムの全体像をとらえようとする態度をとっているので，その意味ではシステムダイナミックス的であるといえよう．

2. 健診センターを含む医療システムの基本モデル構造

2.1 モデルの前提

医療について考えるとき，他の社会システムとの密接な相互関係を無視すべきではないが，モデルの簡単化のため，とりあえず医療システム内部の主要因に着目している．したがって，経済成長，国民の食生活の変化，新薬開発や新診断法の確立による医療の進歩などはモデルに含まれていない．健診センターでは，異常でないのに異常と判断する誤り (false positive) やその逆の誤り (false negative) が発生するが，このモデルではその誤りはないと仮定した．すなわち，理想化した健診センターを考えている．

健診センターの対象とする疾患は，おもに成人病であり，カゼや急性伝染病は除かれているので，モデル化の対象もこれに合わせ，つぎのような疾患をまとめてあつかった．

1) 呼吸器系の結核
2) 悪性新生物
3) 糖尿病
4) 心疾患
5) 脳血管疾患
6) 胃および十二指腸潰瘍

モデルの挙動は，健診センターが設立されない場合に現状を維持するものとした．ただし出生が死亡を上回ることによる全人口の増加は考慮した．この仮定は現実と一致しない(過去の統計によると医療需要は人口増よりも激しい割合で増加している）が，健診センター設立の影響を見るために本質的な問題とはならない．

2.2 モデルの構造

図1にモデルの構造を示す．システムダイナミックスではレベルとよばれるもの(現代制御理論でいう状態変数）は，大別すると3種類ある．

1) 健康人　客観的に(医師が診断して)健康であるもの

© 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．

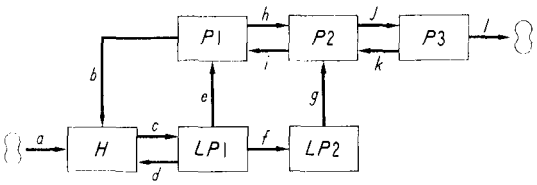


図 1　モデルの構造

H	健康人	a	出生率
$LP1$	潜在患者 1	b	病人 1 治癒率
$LP2$	潜在患者 2	c	潜在患者 1 発生率
$P1$	病人 1	d	潜在患者 1 自然治癒率
$P2$	病人 2	e	潜在患者 1 受診率
$P3$	病人 3	f	潜在患者 2 発生率
		g	潜在患者 2 受診率
		h	病人 1 悪化率
		i	病人 2 回復率
		j	病人 2 悪化率
		k	病人 3 回復率
		l	死亡率

2)　潜在患者　客観的には疾患をもっているが，なんらかの理由で治療を受けていないもの

3)　病人　客観的に疾患をもっていて，現在治療中のもの

さらに，疾患の程度(軽度，中度，重度)に対応して病人を 1，2，3 に，潜在患者を 1，2 に分類した．重度の病人 3 は，入院患者と考えており，入院を要するほどの病人が長く放置されることはほとんどないとして，潜在患者 3 は省略してある．疾患の程度の区別について厳密な定義を与えようとすれば，個々の疾患についてそれぞれ医学的基準を定める必要があるが，現在そのようなものは存在しない．直観的にはこの区分は納得しうるものである．

健康人(H)を例にとって人の流れを説明しよう．Δt 時間に何人かの人が発病して潜在患者 1 ($LP1$) となる．潜在患者 1 からは少数ではあるが，治療をしなくとも健康を回復する(自然治癒)人が存在すると考えられる．また，治療によって健康となる人々が当然ある．新生児もすべて健康と仮定しているから，出生者数も健康人に加えられる．これらの各レベル間の移行者数(レイト)は，その時のレベルに比例すると考えるのが妥当であろう．すなわち，

$$H(t+\Delta t)=H(t)-\text{潜在患者発生率}\cdot H(t)\cdot\Delta t$$
$$+\text{潜在患者 1 自然治癒率}\cdot LP1(t)\cdot\Delta t$$
$$+\text{病人 1 治癒率}\cdot P1(t)\cdot\Delta t$$
$$+\text{出生率}\cdot\text{全人口}\cdot\Delta t$$

とあらわされる．

病人は治療によって病人 3 から順次，病人 2，病人 1 を経て健康人に回復する．しかし，治療にもかかわらず悪化するものもある．死亡者は入院患者に対応する病人 3 のみから生ずるとしている．現在の社会状況と慢性疾患を対象にしていることを考えれば，この仮定はほぼ妥当であろう．慢性疾患以外の原因による死亡は，他のすべてのレベルから等しい率で生ずるようにしてある(図では省略)．

健診センターのおもな役割は，病気を早期に発見して健康を回復させることであろう．ガンの検診などがこの考え方の代表例であり，また，実効をある程度あげている．そこで，このモデルでは，潜在患者 1 の受診率を上昇させることが，健診センターの役割であるとした．

2.3　パラメータ推定

このモデルのパラメータを推定するために，厚生省の各種統計を利用した．患者調査，人口動態統計などから新来患者数，新入院患者数，繰越入院患者数，出生率，死亡率などのデータを得たが，データの得られない部分のほうが多い．データ以外でパラメータを拘束するものは，健診センターがないときにはシステムが平衡状態を保つという仮定である．たとえば，潜在患者 2 においては，

$$\text{潜在患者 2 発生率}\cdot LP1(t)\cdot\Delta t$$
$$=\text{潜在患者 2 受診率}\cdot LP2(t)\cdot\Delta t$$

となる．さらに，合理的と考えられる大小関係，たとえば健康人の数は潜在患者数より多い，などがいくつかあるが，全体としてはかなり任意な部分がある．そこは仮定として一応全体のパラメー

© 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．

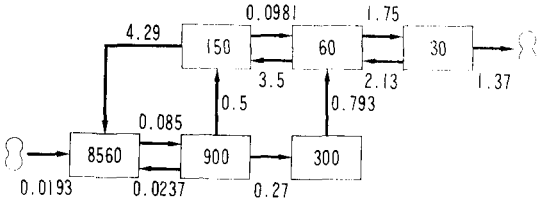
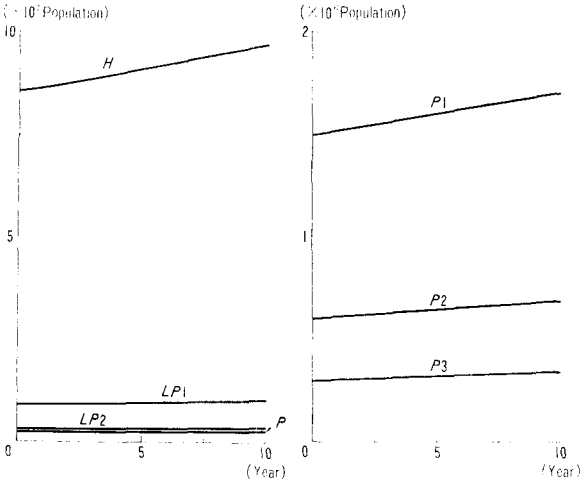


図 2 モデルの推定パラメータ値
図1と対応，各レベルの単位は万人，率の単位は1/年.



(a) 全人口構成　　(b) 病人の構成

図 3 モデルの挙動(1). 図2のパラメータを用いた場合

タを定めた(**図 2**). 本質的な仮定は，疾患の進行は疾患が重くなるほど早くなり，回復は重くなるほど遅いということである. したがって，潜在患者2発生率は潜在患者1発生率よりも大きく，病人2悪化率は病人1悪化率よりも大きい. また病人2回復率は病人3回復率よりも大きい. これは妥当な仮定と思われるが，実際の疾患の進行についてのくわしいデータはないので，今後の検証にまたなければならない.

3. モデルによる結果

図 3 に図2のパラメータ(基本パラメータ)を用いたときのモデルの挙動を示す.

人口自然増による影響が見られるのみで，初期状態から10年間経過してもほとんど変化はない. そこで健診センターを設立して潜在患者1受診率を0.5より大きくした場合を考えてみる. 図2の基本パラメータでは潜在患者1受診率は潜在患者2受診率よりも低かった. これは，疾患の軽いうちは自覚症状がはっきりあらわれないことや経済的理由などから病院へいかない人が多いということを意味している. これらの人々をなんらかの方法で(定期的に健診センターで検査を受けることを奨励あるいは義務づけるなど)発見してやるということが，潜在患者1受診率をあげることになるわけである.

このように，このモデルは健診センターをきわめて抽象的にとらえているので，かならずしも現在の健診センターの姿に固執する必要はなく，スクリーニングを行なう別の方法とおきかえてもよい.

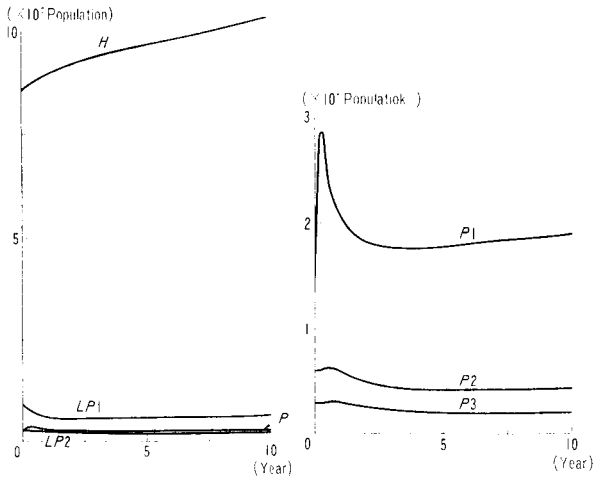
表 1 潜在患者1受診率を変えたときの各レベルの比(%)

レベル＼潜在患者1受診率	0.5 (基準値)	0.7	0.9	1.1
健康人	85.6	87.7	89.3	90.5
潜在患者1	9.0	7.4	6.3	5.5
潜在患者2	3.0	2.5	2.1	1.8
病人1	1.5	1.6	1.7	1.6
病人2	0.6	0.5	0.4	0.37
病人3	0.3	0.26	0.21	0.19

さて，潜在患者1受診率を初期時点で変化させると，ある時間が経過した後に新しい平衡状態に落ちつく. 潜在患者1受診率を0.7, 0.9, 1.1としたときの平衡状態における各レベルの割合を，**表 1** に示す. 疾患の軽いうちに治療を受けることにより，健康を回復する人数が増加して健康人が増加し，潜在患者は1，2ともに減少していることがわかる. 病人1は潜在患者1からの流れが多くなるためにやや増加ぎみであるが，病人2，3は潜在患者2からの流れが減るために，やや減少している. 病人の総数もやや減少しているがそれほど顕著ではない.

したがって，この計算結果からいえることは，健診センターを設立しても，病人を全体として大

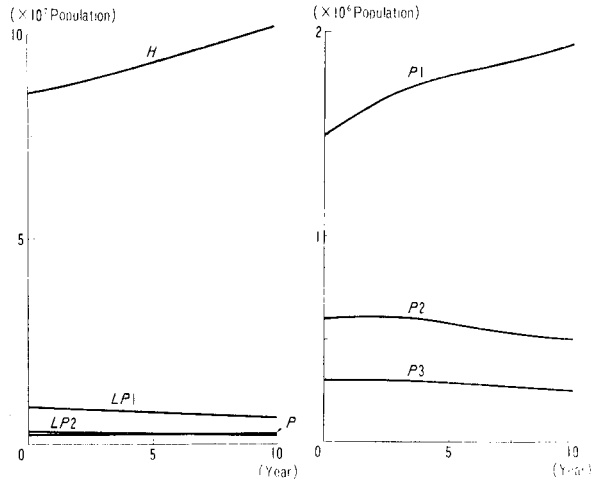
© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.



(a) 全人口構成　　(b) 病人構成

図 4 モデルの挙動(2). 潜在患者1受診率を1.1とした場合

きく減らすことは期待できないが，潜在患者が減り，健康人が増えて社会全体としての健康状態は良好になるといえよう．病人数が減らないから，病院などの治療機関の仕事量は減らず，病院側から見れば，健診センターを設立したメリットはあまりない．もっとも，疾患の重さによって病院の仕事量が変わるとすれば(少なくとも入院患者よりも通院患者のほうが人手がかからぬであろう)，軽い病人が増えて，重い病人が減っているから，



(a) 全人口構成　　(b) 病人の構成

図 5 モデルの挙動(3). 潜在患者1受診率を0.5から1.1まで10年間直線的に増加させた場合

病院の仕事量が減ることもありうる．

さて，以上は静的解析から得られる結論であるが，動特性を見るために，10年間のモデルの挙動を計算したのが**図 4** である．病人数には初期にオーバーシュートが見られ，それが落ちつくまでに約5年ほどかかっている．この原因は，潜在患者1受診率をステップ状に増加させたため，病人1が急増し，これが治癒するまでに時間を要するからである．

一時的にもせよ，病人が増加して病院の仕事量が増えるのは好ましくないので，ひとつの対策として，潜在患者1受診率をステップ状ではなく，ランプ状に増加させたときの結果を**図 5** に示す．オーバーシュートがある程度押えられているのがわかる．現実には同時に多くの健診センターを設立することはなく，年を追って次第に健診センターが設立されるのが実情であろうから，この結果のほうが実際に近いと思われる．

これらは，図1に示したきわめて簡単なモデルによる結果である．モデルをさらに精密にしようとすれば，きわめて多くのことを考慮に入れなければならない．たとえば，個人が病院あるいは健診センターへいこうとする動機や判断の基準などを分析して，受診志向の行動様式を求める必要がある．健診センターや病院での待ち時間，治癒率などは当然行動様式に影響を与えるであろう．また，病人数が増せば，治療の質が低下することも予想される．これらの情報の流れを取り入れて，ある程度システムダイナミックス的なモデルをつくってみた[6)7)]．

その結果は，ここで示した簡単なモデルによる結果と量的なちがいはあるが，本質的にはちがわない．いくつか付加的な結果が得られている．そのひとつは，健康人の健診センターにおける受診の問題である．現実の健診センターでは，受診者の半分以上は健康と判定されており，その中には積極的な健康確認のため(たとえば，結婚や事業開始前の健康チェック)の受

© 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．

診者もある．健康人を対象とした検診というのは健診センターのひとつの大きな役割であるが，図1のモデルの挙動には影響しないので，これまでは考えに入れていなかった．しかし，これは健診センターの仕事量として大きな意味をもっている．

われわれの計算によると，健診センターに年間5,000万人の処理能力をもたせると，その30%程度は健康人で占められる．年間に全人口の15%が健康を確認するというのは社会全体の健康管理のためには重要なことであろう．年間5,000万人の処理能力をもつ健診センターを建設するにはごく大ざっぱな見積りで，1兆7千億円ほどかかる．昭和46年度の国民総医療費は，2兆8千億弱であるから，設立費用はかなりの額ということができよう．この他に運営維持費用を要する．

これだけの投資に見合った効果が得られているかということは，潜在患者が減り，健康人が増えたこと，多数の健康確認者が生ずること，重い病人が減って，軽い病人がやや増えることなどをどのように評価するかという点にかかっている．医療費節減の可能性については，経済的分析をさらに細かく行なってからでないとはっきりしたことはいえない．

4. 結果の検討と今後の課題

ここに述べた研究は，研究の名に値しないほど未熟なものであって，今後に残されている問題はきわめて多い．図1の基本的なモデルによる結果と，やや複雑にして情報フィードバックを付加したモデルによる結果とが定性的には同じであったので，本質的なものは，図1のモデル構造と図2のパラメータ値であると考えられる．モデルの構造自体には大きい問題はないと思うが，パラメータ値には問題がある．

まず第1に，パラメータに対するモデルの挙動の感度がかなりあるということである．従来のシステムダイナミックスのモデルのように，パラメータ依存性はあまりないなどと主張するわけにはいかない．潜在患者1受診率が増しても，新たな平衡状態では病人1がほとんど増えないのは，病人1の治癒率がかなり高いためである．もしこのパラメータが正しくなければ，モデル全体の挙動が変わってくることが予想される．したがって，パラメータ推定の精度をあげることは重要なことである．厚生省の統計データは，その統計の目的のためには十分な信頼度をもっているが，モデルのパラメータ推定のためには十分でない点がいくつかある．

たとえば，治癒率推定の基礎とした傷病日数は世帯を対象とした調査によるものであるが，入院患者数，新来患者数などは医療施設を対象とした調査から得られている．これらがひとつの調査から得られたほうが，データの信頼性がよくなるであろう．また，疾患の程度による患者の分類，潜在患者数の十分な調査などは行なわれていない．どのようなデータがどのような形で必要かということは，モデルを作成してみてはじめてわかることであるが，モデルに本質的なデータを見つけ，それが欠けている場合にはなんらかの方法でそれを収集していく必要があろう．

2.3でもふれたが，疾患の進行と治癒の過程についてのデータはきわめて重要であるので，今後の研究が望まれる．本態性高血圧や糖尿病がはたして早期発見によって早く治癒することがあるのかということは，大いに疑問である．おそらく，早く発見して早目に手を打てば，疾患の進行をくいとめて遅らせることができるという考え方がこれらの疾患についてはより適切であろう．この考え方をすればモデルの構造を変えなければならない．現在のモデルでは慢性疾患として各種の疾患をひとまとめにしたが，疾患の性質によって区別したほうが現実をよく表現できよう．疾患の進行過程が明瞭になってくれば，早期発見を目的とした健診センターは対象をどの疾患とし，何の検査をするのが効率的かということも明らかになって

© 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．

くる．

モデルの理論的検討に関しては，大別して3つの面がある．1つはモデル構造の検討である．このモデルでは省略した要因を取り入れてモデルをリファインすることや，基本構造を見直して代替案を見いだすことが残されている．つぎにパラメータの感度解析である．どのパラメータがもっともモデルの挙動に影響をおよぼすかをきちんと押えておかなければならない．医療システムのような社会システムでは，どんなにデータの精度をよくしようとしても限界があるのだから，あいまいさの残るモデルで，どれほどたしかな結論をみちびき出せるかということを検討しておく必要がある．もっと問題を大きくすれば，システムダイナミックスを越える手法を創り出すということにつながっていく．

3番目は，いまのモデル構造はある程度承認して，現状を変えて良好な状態にもっていくためにはどのような方策がよいかを検討することである．ある評価関数を設定し，最適制御理論を用いて解くことになろう．これによって健診センターに代わる方策を見いだすことができるかもしれない．

医療に関するシステム分析は，いまのところ十分に行なわれているとはいいがたい．多くの研究者がさまざまの角度から研究を進め，十分な討論を行なうことが期待される．

おわりに，数値計算は本学第二補綴学教室新井泉氏のお世話になったことを付記して心から謝意を表する．

参考文献

1) 岩塚 徹，斉藤正男：総合健康診断システム，医療情報システムの研究開発報告書（地域医療情報システム），305/431(1974)(財)医療技術研究開発財団

2) 岩塚 徹，水野嘉子：自動化健診システム(AMHTS)，医用電子と生体工学，**13**，123/132(1975)

3) W. W. Schroeder, Ⅲ：System dynamics：A unique tool for analyzing data-deficient social systems, *IEEE Trans. on SMC, SMC-2* 217/220 (1972)

4) J. W. Forrester：Urban dynamics, The M. I. T. Press (1969) 小玉陽一訳：アーバン・ダイナミックス，日本経営出版会(1970)

5) 池田謙一，野城真理：システムダイナミックスと医療システム，医用電子と生体工学，**14**，95～103 (1976)

6) 池田謙一，野城真理，宮崎信次，平野裕司：健診システムの医療事情に与える影響のシステム・ダイナミックス，電子通信学会研究会資料 **MBE 74-7** (1974)

7) 池田謙一：健診システムの設立計画のためのシステム・ダイナミックス，医療情報システム研究開発報告書(基本問題) 361/408 (1975) (財)医療情報システム開発センター

のしろ・まこと

昭和44年東大工学部電気工学科卒業．同年富士通(株)入社．昭和47年東京医科歯科大学医用器材研究所入所，現在電気機器部門助手．横隔神経電気刺激による人工呼吸法の実用化，呼吸制御系の解析，システム工学的手法のMEへの導入などに従事．日本ME学会，電子通信学会員．

書評者募集

つぎの本が届いております．書評をしてくださる方には差し上げますので，学会事務局までお申し出ください．

1) Kilmann, R. H., Pondy, L. R. and Slevin, D.P., The Management of Organization Design, I&II, North-Holland, 1976, 608 pp.

2) Grinold, R. C. and Marshall, K. T., Manpower Planning Models, North-Holland, 1977, 267 pp.

3) Ladany, S. P. and Machol, R. E., ed., Optimal Strategies in Sports, North-Holland, 1977, 231 pp.

4) 三上 操，ORへのアプローチ，内田老鶴圃，1977, 237 pp.

© 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．