

## システムダイナミクスモデル(SDS)を用いた人工透析患者数の将来予測

本橋 豊\*

西 三郎\*\*

### (緒言)

人工透析療法は腎臓の機能が全く廃絶した腎不全患者の有効な治療法として広く行われている。腎不全の本質的かつ根治的治療法は腎移植術であると考えられているが<sup>1)</sup>、わが国においては腎移植の推進が諸外国に比べて遅れており、人工透析患者数は毎年増加しつつある<sup>2)</sup>。現在、人工透析患者総数は80,553人(1987年12月31日現在)であり<sup>3)</sup>、今後も増加するものと予測される。

人工透析療法は、一般に、1回4-5時間・週3回の治療を必要とし、これに係る医療費は1人あたり年間約500万円前後と推定され<sup>4)</sup>、高額医療の代表とされている。1986年の時点で「腎炎・ネフローゼ及び腎不全」が一般診療費に占める構成割合は、3.1%(4691億円)となっている。腎不全に係る医療費の増加に対して、行政的には人工腎臓の保険点数の切下げにより対応してきたが<sup>4)</sup>、将来的にどのような対策を選択すべきかにあたっては人工透析患者数の将来予測が不可欠なものとなる。今後の限られた医療資源の中で、望ましい人工透析医療の将来像を探るための基礎資料を得る目的で、本研究では、2019年までの人工透析患者数の将来予測を行うことを試みた。将来予測の手法としてはシステムダイナミクスモデルを採用した。

システムダイナミクスモデルはMITのフォレスト教授の研究から出発した数学モデルで<sup>5)</sup>、初期の段階では“Industrial Dynamics”の名前

に示される企業中心の研究であったが、その後、都市問題の分析(アーバングイナミクス)<sup>6)</sup>やローマクラブの「成長の限界」<sup>7)</sup>における世界モデル(ワールドダイナミクス)に代表される都市開発、人口問題、公害問題などの社会システム問題に広く応用されるようになった。医学分野では、傷病量の将来予測<sup>8)</sup>、医師数、看護婦数などのヘルスマンパワーの将来予測<sup>9)</sup>に応用され、その有用性が示されている。

慢性腎不全、人工透析医療においては、人口動態統計などの官庁統計以外に、患者集団についての正確なアンケート調査が学会によって毎年実施されており(日本透析療法学会雑誌:わが国の透析療法の現況)<sup>10)</sup>、患者数の時系列データを詳細に検討することが可能である。このため、システムダイナミクスモデルの将来予測のために必要な変数(レベルとレート:説明後述)の設定を合理的に行うことができ、システムダイナミクスモデルの適用により、精度の高い将来予測を行うことが可能と考えられる。本研究では、シミュレーションは、将来の腎移植数と慢性腎不全から人工透析への導入率を外生的に与えることにより、複数のモデルケースを検討した。

**(資料)**

人工透析患者数は1980年から1986年の日本透析療法学会雑誌の資料<sup>10)</sup>から求めた。この資料では、人工透析患者数のみならず、各年度の慢性透析患者の性別・5歳階級別慢性透析患者数、慢性透析患者原疾患内訳、新規導入患者数およびその性別・5歳階級別患者数、導入患者の原疾患内訳、各年度の死亡患者数および15歳階級別死亡患者数、死亡原因の分類などが記載されており、これらの統計をモデル作製のための基礎資料として用いた。

日本の将来推計人口は厚生省人口問題研究所の資料<sup>11)</sup>により、0～14歳、15～44歳、45～64歳、65歳以上の4つの年齢階級に分けたものを用いた。

慢性腎炎患者数は厚生省特定疾患慢性腎炎調査研究班（班長：武内重五郎教授）が実施した全国疫学調査（1974～76年）<sup>12)</sup>を用いた。慢性腎炎発症率の推定は1974～76年の慢性腎炎患者数の変化から推定した。

糖尿病患者数の年齢階級別推定は、厚生省「患者調査」<sup>13)</sup>および「国民健康調査」<sup>14)</sup>に基づいて行った。

腎臓移植数は日本移植学会の報告<sup>15)</sup>を用いた。腎臓移植術の生着率は、術後1年で93%とし、1年生存率は97%とした。

慢性人工透析、糖尿病からの死亡率は、日本透析療法学会雑誌<sup>10)</sup>および人口動態統計<sup>16)</sup>を用いた。

**(システムダイナミクスモデル)**

システムダイナミクスモデルの実行は、東京大学大型計算機センターのプログラムライブラリを利用して行った（HITAC, SYSTEM DYNAMICS SIMULATOR）。使用言語は、DYNAMOである。

システムダイナミクスは、目的とするシステ

ムを情報フィードバックシステムとしてとらえるものである。図1に本研究に用いた慢性腎不全・人工透析者のフローダイヤグラムを示す。システムダイナミクスモデルでは、流入および流出する率（フロー）をレート，流入・流出する単位期間あたりの一定量（ストック）をレベルと称する。レートはバルブの形をした図形で、レベルは長方形で表現する。レベル，レートに関する方程式を作製していくことで、プログラムを完成していく。図1において、各々のレベル及びレートは、（資料）で示した統計資料からの推定値を利用し、付録に示したプログラムを完成させた。完成したプログラムの妥当性を検討するため、実行結果を1980～1986年の既存資料と比較した。

**(基本関係式)**

モデルにおいて重要な役割をする基本関係式について説明する。

(1)慢性腎炎患者数の推定（Nephritis Sector, 330-470行）

慢性腎炎全国疫学調査（1974-76年）から推定した一般集団からの慢性腎炎発症率（NR：人口10万対，表1）は不変とし、総人口に発症率を掛けて慢性腎炎患者数とした（400-430行）。慢性腎炎患者数（N1～N4）についてのレベルの方程式作製にあたっては、0～14歳の患者の10%、15～44歳の患者の3%、45～64歳の患者の4%が1年毎に次の年齢段階に移行するものと仮定した（360-390行）。この移行率は全国疫学調査の年齢階級別患者数を参考にして決めた。

各年齢階級別のレベル方程式は次のようになる。

$$N1.K = 0.9 * N1.J + (DT)(NR1.JK - HDR1.JK)$$

$$N2.K = 0.97 * N2.J + 0.1 * N1.J + (DT)(NR2.JK - HDR2.JK)$$

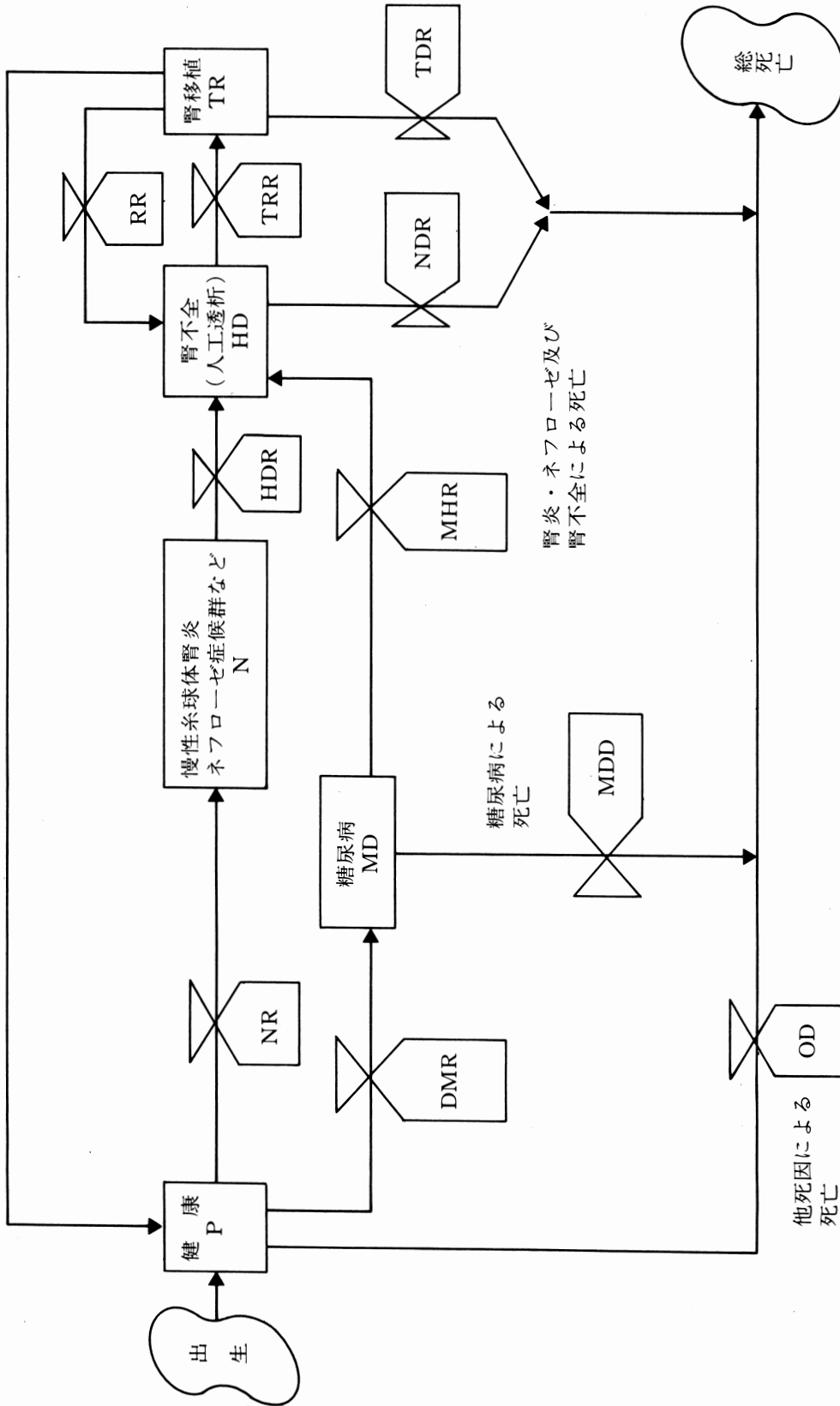


図1 慢性腎不全のモデルのフロー・ダイアグラム

腎炎・ネフローゼ及び腎不全による死亡

糖尿病による死亡

他死因による死亡

総死亡

$$N3.K = 0.96 * N3.J + 0.03 * N2.J + (DT) \\ (NR3.JK - HDR3.JK)$$

$$N4.K = N4.J + 0.04 * N3.J + (DT)(NR4. \\ JK - HDR4.JK)$$

## (2)慢性人工透析患者数の推定

慢性腎炎から慢性人工透析への移行率(HDR：人口10万対、表1)は5年ごとに外生的に与えた(1980～2019年)。1980～1984、1985～1989年の値は日本透析療法学会雑誌の資料を用い、以後、移行率が不変の場合と漸次減少していく場合を検討した(表2)。

糖尿病から慢性人工透析への移行率(MHR：人口10万対、表1)は糖尿病の推定患者数(厚生省「患者調査」と人工透析患者の中で糖尿病を原疾患とする患者数(日本透析療法学会雑誌)から求めた。

腎移植術を行った者のうち7%のものが移植腎の生着失敗により再び慢性人工透析に戻るものと仮定した。

さらに、(1)で述べたN1～N4と同様に、0～14歳の患者の10%、15～44歳の患者の3%、45～64歳の患者の4%が1年ごとに次の年齢階級

表1 システム・ダイナミクス・シミュレータ(SDS)を用いた慢性透析患者数将来予測

1980年推定値

パラメーター	年齢階級	0～14歳	15～44歳	45～64歳	65～ 歳
慢性腎炎発症率 (人口10万対) NR		1 8	4 8	1 2 0	5 0
慢性透析導入率 (人口10万対) HDR		0.0 9	1 8	1 4 3	2 4
慢性透析患者死亡率 (慢性透析患者数に対する百分率%) NDR		9	2.8	5	2 0
糖尿病発症率 (人口10万対) DMR		1	1	3 6 0	7 4 0
糖尿病腎症による慢性透析移行率 (糖尿病患者数に対する百分率%) MHR		0	0.0 4 4	0.3 5	0.1 8
糖尿病死亡率 (人口10万対) MDD		0	0.0 1 9	5	1 3
慢性透析からの腎移植数 (例数) TRR		0	1 4 2	1 4 0	0
腎移植から慢性透析への移行率 (年間移植数に対する百分率%) RR		7	7	7	0
腎移植死亡率 (1年後死亡率：年間移植者数 に対する百分率%) TDR		3	3	3	3

表2 慢性透析導入率(HDR, 慢性腎炎患者に対する百分率%)

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
(Case 1)									
0~14歳	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
15~44歳	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
45~64歳	0.8	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
65~歳	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
(Case 2)									
0~14歳	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
15~44歳	0.32	0.33	0.30	0.30	0.28	0.28	0.25	0.25	0.25
45~64歳	0.8	0.95	0.95	0.80	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70
65~歳	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

へ移行するものと仮定し、慢性人工透析患者数(HD1~HD4)のレベルについての方程式を作製した。

各年齢階級別のレベルの方程式は次のようになる。

0~14歳

$$HD1.K = 0.9 * HD1.J + (DT)(HDR1.JK - NDR1.JK + MHR1.JK - 0.93 * TRR1.JK)$$

15~44歳

$$HD2.K = 0.97 * HD2.J + 0.1 * HD1.J + (DT)(HDR2.JK - NDR2.JK + MHR2.JK - 0.93 * TRR2.JK)$$

45~64歳

$$HD3.K = 0.96 * HD3.J + 0.03 * HD2.J + (DT)(HDR3.JK - NDR3.JK + MHR3.JK - 0.93 * TRR3.JK)$$

65歳~

$$HD4.K = HD4.J + 0.04 * HD3.J + (DT)(HDR4.JK - NDR4.JK + MHR4.JK - 0.93 * TRR4.JK)$$

### (3)慢性人工透析患者死亡率(750~890行)

日本透析療法学会雑誌の資料を用いて1980~1986年の各年齢階級別死亡率(NDR1~NDR4)を推定し、5年ごとのテーブル関数として、外生的に死亡率を与えた。1985~1989年以降は各年齢階級とも死亡率は変わらないものと仮定した。

### (4)糖尿病発症率及び糖尿病性腎症による人工透析移行率

糖尿病発症率(M1~M4)は厚生省「患者調査」および「国民健康調査」による有病率を参考に推定した。総人口と糖尿病発症率を掛けて糖尿病患者数を推定し、日本透析療法学会雑誌の資料から得られる糖尿病性腎症を原疾患とする人工透析患者数とから、糖尿病性腎症による人工透析移行率(MHR1~MHR4)を求めた。1985~1989年以降は各年齢階級の移行率は変わらないものとして、5年ごとに外生的に値を与えた。

糖尿病による死亡率は、人口動態統計を用いて算出した。

### (5)腎移植数、腎移植成功率、腎移植後の生存率(1400~1580行)

緒言にも述べたように、腎移植数、腎移植成功率、腎移植後1年生存率は日本臓器移植学会の報告を用いた。腎移植成功率は術後1年で93%とし、腎移植後1年生存率は97%とした。腎移植数は表3に示すように、1980年~2019年まで5年ごとに外生的に与え、7つのケースを想定してシミュレーションを行った。腎移植の推進が行われず、2019年において年間移植件数が800件の場合(Case 1)から、腎移植が順調に経年的に増加し、2019年において年間移植件数が8100件となる場合(Case 5, 6, 7)までの7つのケースを想定した。これは腎移植の政策的推進の

遅速が将来の人工透析患者数の増加にどのような影響を及ぼすかを明らかにするためである。

さらに、慢性透析導入率が変わらない場合（表4）と、漸次低下傾向を示す場合（表5）の2つのケースのそれぞれについて、腎移植数の7つのケースに分けてシミュレーションを実

行した。

#### (6)初期値の設定

本モデルで用いた各変数の1980年の初期値の一覧表を表1に示した。これらの初期値は、既述の資料から推定されたものである。

表3 腎移植数(ATR)の将来値として実行したパラメーター

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	備 考
(Case 1)										腎移植数の増加がほとんどないと仮定した場合 2019年で800件
0～14歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15～44歳	141	250	300	400	400	400	400	400	400	
45～64歳	140	250	300	400	400	400	400	400	400	
65～歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(Case 2)										腎移植数の緩やかな増加を仮定した場合 2019年で2100件
0～14歳	0	0	10	10	20	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	400	500	600	700	800	900	1000	
45～64歳	140	250	400	500	600	700	800	900	1000	
65～歳	0	0	10	20	50	70	80	80	80	
(Case 3)										腎移植数の中等度の増加を仮定した場合 2019年で4100件
0～14歳	0	0	0	10	10	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	400	700	1000	1200	1500	1800	2000	
45～64歳	140	250	400	700	1000	1200	1500	1800	2000	
65～歳	0	0	0	10	10	50	70	80	80	
(Case 4)										Case 2より増加率が大きいと仮定した場合 2019年で6100件
0～14歳	0	0	0	0	10	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	500	1000	1500	1800	2200	2600	3000	
45～64歳	140	250	500	1000	1500	1800	2200	2600	3000	
65～歳	0	0	0	0	10	50	70	80	80	
(Case 5)										1990～95年にかけて腎移植推進の機運が高まり、以後大きく増加すると仮定した場合 2019年で8100件
0～14歳	0	0	0	10	10	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	300	1000	2000	3000	3500	3800	4000	
45～64歳	140	250	300	1000	2000	3000	3500	3800	4000	
65～歳	0	0	0	10	10	50	70	80	80	
(Case 6)										1995～2000年にかけて腎移植推進の機運が高まり、以後大きく増加すると仮定した場合 2019年で8100件
0～14歳	0	0	0	0	10	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	300	400	1000	2000	3000	3500	4000	
45～64歳	140	250	300	400	1000	2000	3000	3500	4000	
65～歳	0	0	0	0	20	50	80	80	80	
(Case 7)										2000～2005年にかけて腎移植推進の機運が高まり、以後大きく増加すると仮定した場合 2019年で8100件
0～14歳	0	0	0	0	10	20	20	20	20	
15～44歳	141	250	300	400	500	1000	2000	3000	4000	
45～64歳	140	250	300	400	500	1000	2000	3000	4000	
65～歳	0	0	0	0	20	50	70	80	80	

表4 慢性人工透析患者将来予測（全年齢階級）

西暦年	腎移植数						
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
1980	38937	38937	38937	38937	38937	38937	38937
1985	68947	68947	68947	68947	68947	68947	68947
1990	99725	99144	99196	98667	99725	99725	99725
1995	130200	128780	127810	125520	126980	130200	156740
2000	157350	154620	151200	145750	144240	154100	156740
2005	180720	176020	169410	160250	151010	167450	176510
2010	200540	193410	182830	169890	151650	170720	186440
2015	216990	207100	191640	174890	149760	167870	186390
2019	228160	215890	196390	176230	147700	163590	180600

（仮定）慢性腎炎から慢性人工透析への導入率が不変  
一般集団からの糖尿病発症率不変

表5 慢性人工透析患者将来予測（全年齢階級）

西暦年	腎移植数						
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
1980	38937	38937	38937	38937	38937	38937	38937
1985	68947	68947	68947	68947	68947	68947	68947
1990	99246	98666	98717	98188	99246	99246	99246
1995	128850	127420	126450	124160	125620	128850	128850
2000	155810	153080	149660	144210	142700	152550	155200
2005	179000	174300	167690	158530	149290	165730	174790
2010	198540	191410	180820	167880	149640	168580	184440
2015	215000	205110	189660	172900	147770	165880	184400
2019	226090	213810	194320	174160	145630	161520	178530

（仮定）慢性腎炎から慢性人工透析への導入率が漸減  
一般集団からの糖尿病発症率不変

### （結果）

表4および表5は慢性透析導入率が2019年まで変わらない場合と漸次低下傾向を示す場合のシステムダイナミクスモデルの実行結果で、5年おきの人工透析患者数を示したものである。人工透析患者総数は腎移植の推進がほとんどない場合(Case 1)では2019年で228,160人となり、最も移植が盛んになった場合(Case 5)には145,630人となった。図1～3は慢性透析導入率が不変の場合のCase 1, Case 4, Case 5の人工透析患者数を0～14歳, 15～44歳, 45～64歳, 65歳

以上の4つの年齢階級について、その推移を図示したものである。いずれの場合も45～64歳と65歳以上の年齢階級の増大が特徴的である。

Case 4, Case 5では15～44歳の患者数の減少傾向が認められた。

表6から表12に慢性透析導入率が不変の場合(表4)の1980年から2019年までの1年ごとの年齢階級別患者数を数値で示した。慢性透析導入率が漸次低下する場合には、患者総数はすべてのケースで減少した(表5)。

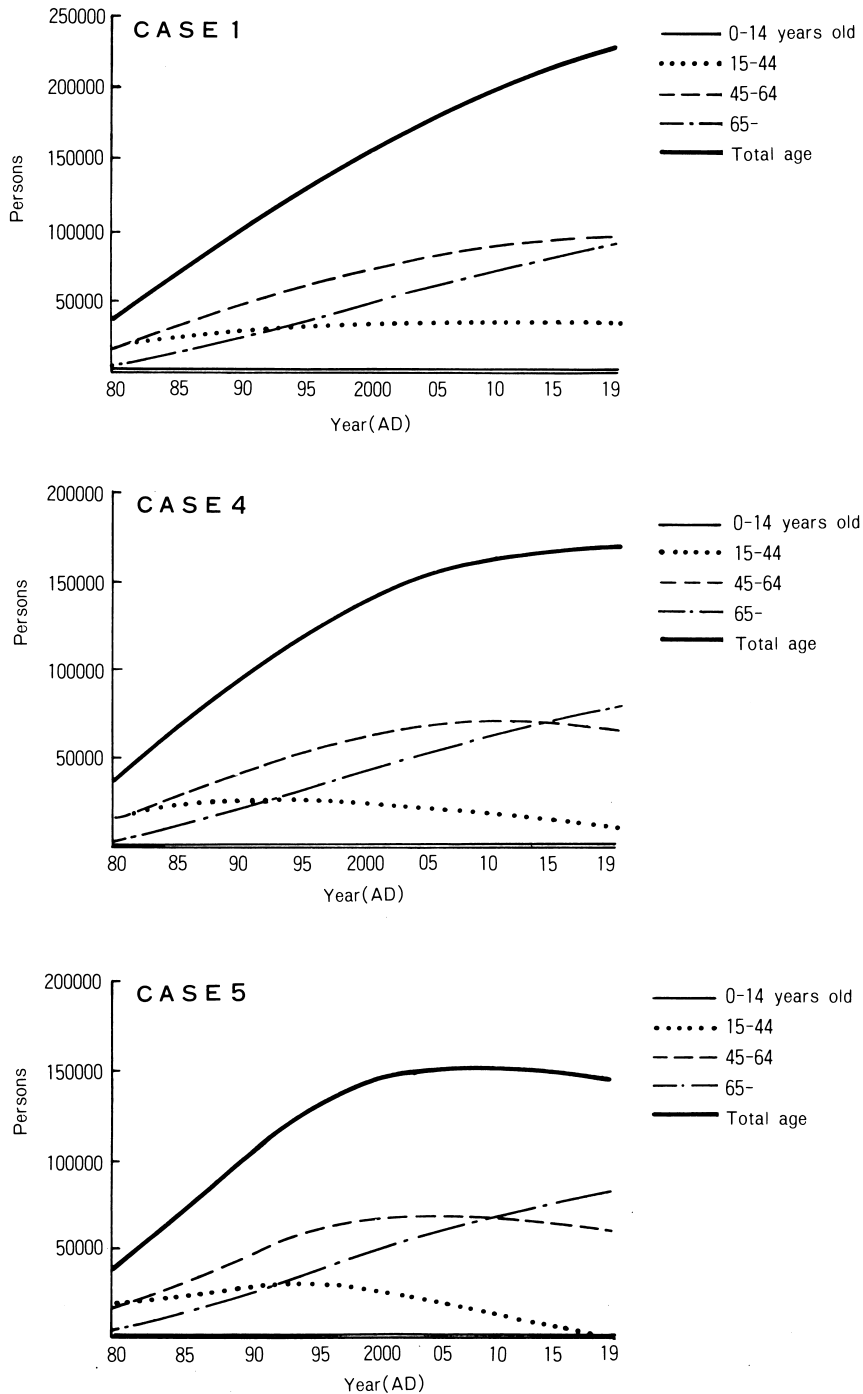


図2 SDSによる人工透析患者数の将来予測(各年齢階級別)

Case 1 : 2019年で腎移植数が800件の場合

Case 4 : 2019年で腎移植数が6100件の場合

Case 5 : 2019年で腎移植数が8100件の場合



### (考察)

人工透析患者数は今後も増加の傾向を示し、2019年には15万人弱から22万人強の間で推移することが示された。特に、45～64歳、65歳以上の年齢階級の増加が著明であった。人工透析患者数は、腎移植の進展度により大きく異なることが示され、腎移植推進の重要性が示唆された。今回の結果はシステム・ダイナミクス・モデルを実行させるいくつかの基本的仮定が変わらないことを前提として計算されたものである。従って、結果の解釈については慎重に行う必要がある。例えば、今回のモデルでは糖尿病性腎症から腎不全に至る移行頻度は変わらないものと仮定しているが、将来の移行頻度は糖尿病の治療・管理の進展に伴い減少する可能性があるであろう。一般集団からの糖尿病発症率は将来増加する可能性があるであろうし、この増加は糖尿病性腎症から腎不全への移行頻度の減少を相殺するかもしれない。このような様々な不確定要因はモデル作成に際して外生変数としていくつかのケースを設定すればよいのであろうが、不確定要因をモデルに組み込もうとすれば、分析すべきケースが膨大な数となり、解析の目的が不明確なものとなる。そこで、今回の研究では、腎移植の進展度により人工透析患者数がどのように変化するか、いかにすれば、今後の腎不全対策の上で最も重点を置くべき腎移植の政策的推進が人工透析患者数の増加にどのような影響を及ぼすかに注目してモデルの作成を行った。

腎移植の推進が2019年まで現在の水準とほとんど変わらず推移すると仮定した場合(Case 1)、人工透析患者総数は22万人強となり、2019年においても未だ定常状態には達せず増加の傾向を示している。45～64歳と65歳以上の年齢階級は漸増傾向を示し、15～44歳の者はほとんど増加がみられない。45～64歳と65歳以上の増加は中高年齢者人口の自然増加によるものと考えられ

る。

これに対して、腎移植の推進が1990～1994年から積極的に進められた場合(Case 5)の人口透析患者総数は2019年で15万弱であり、腎移植数が現在とほとんど変わらず推移した場合と比較して、7万人強の人工透析患者の減少が見込まれる。しかも、15～44歳の年齢階級のものの減少は他の年齢階級と比べて著明である。腎移植の効果は若年層の腎不全に対して特に著しいといえるであろう。また、表4に示すように、最終的に2019年で腎移植件数が8100件に達するとしても、1990～1995年から腎移植数が順調に増加した場合と2000～2005年から増加した場合とでは、2019年に人工透析患者総数で32,900人の差があり、腎移植が早期に増加した場合にはその後の患者数の増加が抑制されることを示している。

わが国の腎不全医療においては腎移植の推進が欧米諸国に比べてはるかに遅れており<sup>17)</sup> 今後は積極的な腎移植体制の整備と推進が望まれる。アメリカにおいては、腎移植件数は年間約10,000件であり<sup>17)</sup>、わが国の年間約600件とは大きな開きがある。医療制度の違い、脳死の判定や移植提供についての社会文化的な態度に大きな相違があるとはいえ、わが国においても臓器移植とりわけ腎移植については、このような社会的に乗り越えるべき課題に精力的に対処していく必要があるであろう。なぜならば、従来問題とされてきた腎移植の医学的な技術的困難は克服されつつあるからである。例えば移植腎提供者の適合者の判定や検索はHLAなどの臨床検査技術の開発<sup>18)</sup>とコンピューター活用<sup>2)</sup>により合理的かつ迅速に行うことが可能となりつつあるし、腎移植後の拒絶反応はサイクロスポリンに代表される免疫抑制薬の導入<sup>17)</sup>により医学的管理がある程度可能となった。また、人工透析者の生活の質(Quality of life)<sup>19,20)</sup>を考えるならば、1回4～5時間・週3回の時間的拘束

を受けて社会復帰するよりは、腎移植により、人工透析医療に比べて肉体的にも精神的にも拘束のない通常の生活に復帰できることは患者個人の生活の質が向上することは言うまでもない。医療経済学的にみても、腎移植により腎不全に係わる医療費の節約が見込まれることが報告されており<sup>21)</sup>、腎移植の推進を支持している。

本研究で示されたシステムダイナミクスモデルによる人工透析患者の将来予測の結果は腎移植の推進が今後の腎不全の医療対策上きわめて重要な課題であることをあらためて示しており、本研究の成果をふまえてなるべく早期に腎移植体制の一層の整備と充実を行う必要があると考えられる。

表6 慢性人工透析患者数将来予測：CASE1

年	年 齢 階 級				全年齢
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25700	33242	15725	74846
1987	165	26725	36079	17867	80835
1988	153	27686	39001	20104	86944
1989	143	28587	42052	22458	93240
1990	136	29433	45209	24948	99725
1991	130	30214	48270	27416	106030
1992	125	30928	51402	29868	112320
1993	120	31572	54383	32320	118400
1994	117	32148	57393	34769	124430
1995	114	32657	60210	37224	130200
1996	112	33113	63013	39678	135920
1997	110	33524	65699	42137	141470
1998	109	33894	68298	44599	146900
1999	108	34223	70800	47063	152190
2000	107	34518	73196	49528	157350
2001	106	34779	75493	51992	162370
2002	106	35014	77638	54455	167210
2003	105	35229	79636	56910	171880
2004	105	35427	81494	59353	176380
2005	105	35615	83224	61774	180720
2006	106	35778	84928	64175	184990
2007	106	35923	86507	66562	189100
2008	106	36051	87966	68934	193060
2009	107	36166	89313	71289	196870
2010	107	36269	90543	73624	200540
2011	108	36366	91700	75929	204100
2012	108	36462	92774	78197	207540
2013	109	36552	93733	80440	210830
2014	109	36635	94558	82666	213970
2015	109	36708	95296	84877	216990
2016	110	36773	95932	87068	219880
2017	110	36826	96537	89233	222710
2018	109	36865	97122	91367	225460
2019	109	36890	97692	93466	228160

表7 慢性人工透析患者数将来予測：CASE2

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	178	25681	33223	15723	74805
1987	159	26670	36024	17860	80714
1988	143	27578	38894	20089	86704
1989	128	28410	41877	22433	92848
1990	114	29171	44951	24908	99144
1991	103	29872	47935	27358	105270
1992	93	30511	50994	29789	111390
1993	86	31083	53906	32216	117290
1994	80	31590	56851	34639	123160
1995	75	32035	59607	37065	128780
1996	69	32412	62334	39484	134300
1997	62	32729	64930	41904	139620
1998	55	32991	67425	44320	144790
1999	47	33201	69811	46734	149790
2000	39	33363	72080	49142	154620
2001	33	33479	74238	51546	159300
2002	28	33559	76234	53945	163770
2003	24	33608	78072	56333	168040
2004	21	33633	79762	58705	172120
2005	18	33636	81315	61052	176020
2006	16	33608	82834	63376	179840
2007	15	33554	84220	65685	183470
2008	14	33475	85479	67978	186950
2009	14	33377	86620	70251	190260
2010	13	33261	87637	72502	193410
2011	13	33132	88574	74723	196440
2012	13	32997	89423	76907	199340
2013	13	32851	90152	79065	202080
2014	13	32692	90742	81205	204650
2015	13	32519	91240	83329	207100
2016	13	32334	91632	85433	209410
2017	12	32133	91989	87510	211640
2018	12	31914	92321	89554	213800
2019	12	31677	92636	91562	215890

表8 慢性人工透析患者数将来予測：CASE3

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25681	33223	15725	74809
1987	165	26670	36024	17866	80725
1988	153	27579	38894	20101	86726
1989	143	28412	41877	22451	92883
1990	136	29175	44951	24935	99196
1991	128	29840	47898	27391	105260
1992	119	30409	50884	29828	111240
1993	111	30878	53692	32257	116940
1994	102	31251	56501	34677	122530
1995	93	31531	59093	37095	127810
1996	85	31716	61628	39507	132940
1997	79	31815	64005	41918	137820
1998	74	31834	66259	44324	142490
1999	70	31777	68381	46724	146950
2000	67	31653	70363	49116	151200
2001	63	31481	72235	51490	155270
2002	58	31270	73941	53847	159120
2003	52	31027	75489	56181	162750
2004	45	30757	76888	58488	166180
2005	38	30466	78148	60762	169410
2006	32	30121	79355	63007	172520
2007	28	29731	80410	65230	175400
2008	25	29299	81321	67429	178070
2009	22	28830	82096	69603	180550
2010	20	28328	82733	71748	182830
2011	19	27798	83275	73857	184950
2012	17	27247	83716	75921	186900
2013	17	26672	84023	77953	188660
2014	16	26072	84180	79961	190230
2015	15	25446	84233	81947	191640
2016	15	24816	84187	83909	192930
2017	14	24177	84115	85840	194150
2018	14	23527	84024	87737	195300
2019	13	22865	83922	89595	196390

表9 慢性人工透析患者数将来予測：CASE 4

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25663	33204	15725	74772
1987	165	26616	35970	17865	80615
1988	153	27472	38786	20098	86509
1989	143	28236	41702	22444	92525
1990	136	28916	44693	24921	98667
1991	130	29467	47525	27371	104490
1992	125	29890	50367	29799	110180
1993	120	30185	53001	32216	115520
1994	117	30357	55610	34620	120700
1995	114	30412	57976	37018	125520
1996	110	30347	60261	39402	130120
1997	105	30175	62368	41774	134420
1998	99	29901	64329	44133	138460
1999	92	29531	66139	46477	142240
2000	85	29074	67791	48805	145750
2001	77	28570	69332	51107	149090
2002	69	28027	70711	53385	152190
2003	61	27453	71932	55637	155080
2004	53	26852	73004	57856	157760
2005	44	26229	73939	60038	160250
2006	37	25555	74820	62187	162600
2007	32	24835	75552	64310	164730
2008	28	24073	76139	66407	166650
2009	25	23276	76592	68476	168370
2010	22	22445	76906	70513	169890
2011	20	21586	77127	72512	171250
2012	19	20708	77246	74465	172440
2013	18	19806	77233	76384	173440
2014	17	18879	77069	78278	174240
2015	16	17926	76802	80147	174890
2016	15	16951	76418	81992	175380
2017	15	15950	75991	83804	175760
2018	14	14921	75529	85579	176040
2019	13	13865	75041	87313	176230

表10 慢性人工透析患者数将来予測：CASE 5

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25700	33242	15725	74846
1987	165	26725	36079	17867	80835
1988	153	27686	39001	20104	86944
1989	143	28587	42052	22458	93240
1990	136	29433	45209	24948	99725
1991	128	30102	48159	27414	105800
1992	119	30600	51074	29858	111650
1993	111	30927	53740	32292	117070
1994	102	31093	56342	34710	122250
1995	93	31104	58664	37118	126980
1996	85	30904	60815	39511	131320
1997	79	30511	62703	41889	135180
1998	74	29936	64365	44246	138620
1999	70	29189	65800	46578	141640
2000	67	28285	67007	48882	144240
2001	62	27229	68001	51145	146440
2002	58	26038	68734	53366	148200
2003	52	24722	69217	55540	149530
2004	45	23293	69466	57661	150460
2005	38	21760	69496	59721	151010
2006	32	20209	69509	61724	151470
2007	28	18645	69405	63681	151760
2008	25	17071	69187	65595	151880
2009	22	15489	68865	67467	151840
2010	20	13900	68433	69296	151650
2011	19	12347	67969	71078	151410
2012	17	10832	67464	72807	151120
2013	17	9349	66882	74501	150750
2014	16	7894	66201	76169	150280
2015	15	6463	65467	77815	149760
2016	15	5073	64681	79439	149210
2017	14	3719	63912	81037	148680
2018	14	2396	63166	82606	148180
2019	13	1099	62448	84143	147700

表11 慢性人工透析患者数将来予測：CASE 6

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25700	33242	15725	74846
1987	165	26725	36079	17867	80835
1988	153	27686	39001	20104	86944
1989	143	28587	42052	22458	93240
1990	136	29433	45209	24948	99725
1991	130	30214	48270	27416	106030
1992	125	30928	51402	29868	112320
1993	120	31572	54383	32320	118400
1994	117	32148	57393	34769	124430
1995	114	32657	60210	37224	130200
1996	110	33001	62901	39674	135690
1997	105	33196	65370	42121	140790
1998	99	33249	67654	44559	145560
1999	92	33169	69749	46986	150000
2000	85	32965	71650	49397	154100
2001	77	32570	73296	51786	157730
2002	69	32000	74642	54149	160860
2003	61	31270	75703	56477	163510
2004	53	30392	76494	58762	165700
2005	44	29378	77035	60993	167450
2006	37	28223	77435	63168	168860
2007	32	26939	77602	65293	169870
2008	28	25535	77546	67368	170480
2009	25	24020	77284	69389	170720
2010	22	22402	76815	71353	170590
2011	20	20783	76280	73256	170340
2012	19	19170	75670	75094	169950
2013	18	17557	74953	76884	169410
2014	17	15942	74108	78634	168700
2015	16	14323	73183	80350	167870
2016	15	12701	72161	82029	166910
2017	15	11072	71115	83668	165870
2018	14	9434	70053	85261	164760
2019	13	7785	68982	86808	163590

表12 慢性人工透析患者数将来予測：CASE 7

年	年 齡 階 級				全年齡
	0-14歳	15-44歳	45-64歳	65歳-	
1980	397	17266	16543	4731	38937
1981	337	19074	19479	6396	45286
1982	290	20669	22261	8043	51263
1983	252	22101	25001	9752	57105
1984	222	23401	27735	11596	62955
1985	198	24598	30503	13648	68947
1986	180	25700	33242	15725	74846
1987	165	26725	36079	17867	80835
1988	153	27686	39001	20104	86944
1989	143	28587	42052	22458	93240
1990	136	29433	45209	24948	99725
1991	130	30214	48270	27416	106030
1992	125	30928	51402	29868	112320
1993	120	31572	54383	32320	118400
1994	117	32148	57393	34769	124430
1995	114	32657	60210	37224	130200
1996	110	33094	62994	39674	135870
1997	105	33470	65644	42124	141340
1998	99	33786	68190	44573	146650
1999	92	34046	70624	47020	151780
2000	85	34257	72938	49463	156740
2001	77	34345	75065	51897	161380
2002	69	34323	76956	54320	165670
2003	61	34202	78622	56723	169610
2004	53	33991	80076	59100	173220
2005	44	33698	81332	61440	176510
2006	37	33223	82405	63745	179410
2007	32	32579	83205	66015	181830
2008	28	31777	83744	68248	183800
2009	25	30830	84041	70437	185330
2010	22	29747	84098	72576	186440
2011	20	28540	83965	74657	187180
2012	19	27221	83640	76668	187550
2013	18	25792	83098	78623	187530
2014	17	24258	82326	80527	187130
2015	16	22621	81375	82382	186390
2016	15	20890	80237	84186	185330
2017	15	19065	78989	85932	184000
2018	14	17149	77644	87614	182420
2019	13	15146	76214	89229	180600

## 参考文献

- 1) Petersdorf R. G. et al. Harrison's Principles of Internal Medicine. New York : McGraw-hill book Co., Ltd. 1983 ; 1622-1627
- 2) 厚生統計協会, 国民衛生の動向: 厚生統計協会 1988 ; 166-168
- 3) 小高 通夫. わが国の透析療法の現況. 日本透析療法学会雑誌, 1989 ; 22 : 221-304
- 4) 矢島 鉄也. 腎患者をめぐる保険制度と医療費の変遷, 厚生 の 指 標 1985 ; 32(10) : 42-51
- 5) Forrester JW. Industrial Dynamics. : M. I. T. Press 1961 ; 石田 晴久, 小林 秀雄 訳, インダストリアルダイナミクス, 東京: 紀伊国屋書店, 1971
- 6) Forrester JW. Urban Dynamics. : M.I.T. Press, 1969
- 7) Meadows DH. et al. The Limit To Growth. New York : Univers Books 1972 ; 大来 佐武郎 監訳, 成長の限界, 東京: ダイアモンド社, 1972
- 8) 横山 英明, 福富 和夫, 永井 正規, 養輪 真澄, 大村 外志隆, 藤井 充. システムモデルによる傷病の将来予測, 厚生 の 指 標 1985 ; 32(1) : 10-18
- 9) 辻 正重, 西 三郎. システム・ダイナミックスによる医師および看護婦数の動態分析. 日本公衛誌, 1977 ; 24 : 453-460
- 10) 小高 通夫. わが国の透析療法の現況. 日本透析療法学会雑誌 1980~1989 ; 13-22(各年度)
- 11) 日本の将来推計人口, 昭和60~100年-昭和61年12月推計 厚生省人口問題研究所編, 東京: 厚生統計協会, 1987
- 12) 小出 桂三. 全国からみた腎疾患, 内科セミナー「腎炎とネフローゼ症候群」. 東京: 永井書店, 1981 ; 1-57
- 13) 厚生省大臣官房統計情報部: 昭和59年患者調査結果の概要 厚生 の 指 標 1986 ; 33(3) : 38-47
- 14) 厚生省大臣官房統計情報部: 昭和59年国民健康調査結果の概要 厚生 の 指 標 1986 ; 33(7) : 35-43
- 15) 日本移植学会 腎移植臨床登録集計報告 (1987), 移植, 1988 ; 23 : 315-333
- 16) 厚生省大臣官房統計情報部: 人口動態統計, 厚生省統計情報部 東京: 1986
- 17) 高木 弘. 世界における腎移植の現状と日本の将来, 日本透析療法学会雑誌 1988 ; 21 : 1109-1113
- 18) 横山 健郎. 腎移植の展望, 新訂. 維持透析 1985 ; 711-722
- 19) 透析医療統計研究会: 血液透析療法の効果と課題, 統計研究会報告書 1988
- 20) 西 三郎. 保険制度内の維持透析, 新訂 維持透析 1985 ; 43 : 781-801
- 21) 大井 玄, 武長 脩行, 甲斐 一郎. 費用便益: 費用効果分析と保健事業(その2) - 特に子宮がん, 胃がん検診をめぐる一公衆衛生, 1984 ; 48 : 53-62

00010 \* RENAL FAILURE MODEL 3  
00020 NOTE  
00030 NOTE ESTIMATION OF HD PATIENTS  
00040 NOTE  
00050 T P1TB=27524E3/27062E3/27254E3/26805E3/26295E3/26042E3/  
00060 X 25468E3/24848E3/24199E3/23601E3/23132E3/22778E3/22545E3/  
00070 X 22393E3/22351E3/22387E3/22531E3/22730E3/22964E3/23240E3/  
00080 X 23591E3/23957E3/24313E3/24642E3/24930E3/25164E3/25336E3/  
00090 X 25438E3/25466E3/25420E3/25301E3/25114E3/24866E3/24568E3/  
00100 X 24233E3/23876E3/23515E3/23166E3/22843E3/22560E3/22327E3  
00110 T P2TB=53498E3/53168E3/53278E3/53375E3/53697E3/53977E3/  
00120 X 54190E3/54564E3/54591E3/54713E3/54698E3/54413E3/53876E3/  
00130 X 53551E3/53162E3/52301E3/52149E3/51710E3/51344E3/51069E3/  
00140 X 50631E3/50603E3/50584E3/50601E3/50690E3/49829E3/49667E3/  
00150 X 49505E3/49398E3/49286E3/49384E3/49651E3/49482E3/49275E3/  
00160 X 49081E3/49096E3/48714E3/48400E3/48135E3/47919E3/47766E3  
00170 T P3TB=25385E3/26103E3/26813E3/27417E3/27962E3/28557E3/  
00180 X 29179E3/29639E3/30442E3/31044E3/31404E3/33098E3/33020E3/  
00190 X 34394E3/33989E3/34867E3/34911E3/35197E3/35386E3/35489E3/  
00200 X 35627E3/35311E3/35006E3/34730E3/34504E3/35059E3/34800E3/  
00210 X 34545E3/34327E3/34025E3/34035E3/33936E3/33541E3/32960E3/  
00220 X 32720E3/32323E3/32476E3/32672E3/32901E3/33163E3/33329E3  
00230 T P4TB=10654E3/11010E3/11349E3/11523E3/11782E3/12472E3/  
00240 X 12863E3/13284E3/13733E3/14234E3/14819E3/15442E3/16074E3/  
00250 X 16714E3/17363E3/18009E3/18690E3/19371E3/20047E3/20675E3/  
00260 X 21338E3/22017E3/22647E3/23196E3/23613E3/24195E3/24890E3/  
00270 X 25587E3/26198E3/26824E3/27104E3/27245E3/28124E3/29063E3/  
00280 X 29970E3/30643E3/31138E3/31487E3/31713E3/31808E3/31880E3  
00290 A P1.K=TABHL(P1TB,TIME.K,0,40,1)  
00300 A P2.K=TABHL(P2TB,TIME.K,0,40,1)  
00310 A P3.K=TABHL(P3TB,TIME.K,0,40,1)  
00320 A P4.K=TABHL(P4TB,TIME.K,0,40,1)  
00330 NOTE  
00340 NOTE NEPHRITIS SECTOR  
00350 NOTE  
00360 L N1.K=0.9\*N1.J+(DT)(NR1.JK-HDR1.JK)  
00370 L N2.K=0.97\*N2.J+0.1\*N1.J+(DT)(NR2.JK-HDR2.JK)  
00380 L N3.K=0.96\*N3.J+0.03\*N2.J+(DT)(NR3.JK-HDR3.JK)  
00390 L N4.K=N4.J+0.04\*N3.J+(DT)(NR4.JK-HDR4.JK)  
00400 R NR1.KL=(1800E-8)\*P1.K  
00410 R NR2.KL=(4800E-8)\*P2.K  
00420 R NR3.KL=(1200E-7)\*P3.K  
00430 R NR4.KL=(5000E-8)\*P4.K  
00440 N N1=3008  
00450 N N2=9491  
00460 N N3=4793  
00470 N N4=4044  
00480 NOTE  
00490 NOTE HD induction rate  
00500 NOTE  
00510 T E1TB=0.005/0.005/0.005/0.005/0.005/0.005/0.005/0.005/0.005  
00520 T E2TB=0.32/0.33/0.3/0.3/0.28/0.28/0.25/0.25/0.25  
00530 T E3TB=0.8/0.95/0.95/0.8/0.8/0.8/0.75/0.75/0.7  
00540 T E4TB=0.3/0.4/0.4/0.4/0.4/0.4/0.4/0.4/0.4  
00550 A E1.K=TABHL(E1TB,TIME.K,0,40,5)

00560 A E2.K=TABHL(E2TB,TIME.K,0,40,5)  
 00570 A E3.K=TABHL(E3TB,TIME.K,0,40,5)  
 00580 A E4.K=TABHL(E4TB,TIME.K,0,40,5)  
 00590 R HDR1.KL=N1.K\*E1.K  
 00600 R HDR2.KL=N2.K\*E2.K  
 00610 R HDR3.KL=N3.K\*E3.K  
 00620 R HDR4.KL=N4.K\*E4.K  
 00630 L HD1.K=0.9\*HD1.J+(DT)(HDR1.JK-NDR1.JK+MHR1.JK-0.93\*TRR1.JK)  
 00640 L HD2.K=XHD2.J+(DT)(HDR2.JK-NDR2.JK+MHR2.JK-0.93\*TRR2.JK)  
 00650 A XHD2.K=0.97\*HD2.K+0.1\*HD1.K  
 00660 L HD3.K=XHD3.J+(DT)(HDR3.JK-NDR3.JK+MHR3.JK-0.93\*TRR3.JK)  
 00670 A XHD3.K=0.96\*HD3.K+0.03\*HD2.K  
 00680 L HD4.K=XHD4.J+(DT)(HDR4.JK-NDR4.JK+MHR4.JK-TRR4.JK)  
 00690 A XHD4.K=HD4.K+0.04\*HD3.K  
 00700 N HD1=471  
 00710 N HD2=15184  
 00720 N HD3=12973  
 00730 N HD4=2984  
 00740 A HDT.K=HD1.K+HD2.K+HD3.K+HD4.K  
 00750 NOTE  
 00760 NOTE HD death rate  
 00770 NOTE  
 00780 R NDR1.KL=HD1.K\*D1.K  
 00790 R NDR2.KL=HD2.K\*D2.K  
 00800 R NDR3.KL=HD3.K\*D3.K  
 00810 R NDR4.KL=HD4.K\*D4.K  
 00820 T D1TB=0.09/0.09/0.09/0.09/0.09/0.09/0.09/0.09/0.09  
 00830 T D2TB=0.028/0.028/0.028/0.028/0.028/0.028/0.028/0.028/0.028  
 00840 T D3TB=0.05/0.05/0.05/0.05/0.05/0.05/0.05/0.05/0.05  
 00850 T D4TB=0.2/0.1/0.1/0.1/0.1/0.1/0.1/0.1/0.1  
 00860 A D1.K=TABHL(D1TB,TIME.K,0,40,5)  
 00870 A D2.K=TABHL(D2TB,TIME.K,0,40,5)  
 00880 A D3.K=TABHL(D3TB,TIME.K,0,40,5)  
 00890 A D4.K=TABHL(D4TB,TIME.K,0,40,5)  
 00900 NOTE  
 00910 NOTE DM SECTOR  
 00920 NOTE  
 00930 T DM1TB=0/0/0/0/0/0/0/0/0  
 00940 T DM2TB=4.4E-4/8E-4/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3  
 00950 T DM3TB=3.5E-3/7E-3/1E-2/1E-2/1E-2/1E-2/1E-2/1E-2/1E-2  
 00960 T DM4TB=1.8E-3/3.1E-3/5E-3/5E-3/5E-3/5E-3/5E-3/5E-3/5E-3  
 00970 A M1.K=TABHL(DM1TB,TIME.K,0,40,5)  
 00980 A M2.K=TABHL(DM2TB,TIME.K,0,40,5)  
 00990 A M3.K=TABHL(DM3TB,TIME.K,0,40,5)  
 01000 A M4.K=TABHL(DM4TB,TIME.K,0,40,5)  
 01010 R MHR1.KL=MD1.K\*M1.K  
 01020 R MHR2.KL=MD2.K\*M2.K  
 01030 R MHR3.KL=MD3.K\*M3.K  
 01040 R MHR4.KL=MD4.K\*M4.K  
 01050 L MD1.K=0.9\*MD1.J+(DT)(DMR1.JK-MDD1.JK-MHR1.JK)  
 01060 L MD2.K=0.97\*MD2.J+0.1\*MD1.J+(DT)(DMR2.JK-MDD2.JK-MHR2.JK)  
 01070 L MD3.K=0.96\*MD3.J+0.03\*MD2.J+(DT)(DMR3.JK-MDD3.JK-MHR3.JK)  
 01080 L MD4.K=MD4.J+0.04\*MD3.J+(DT)(DMR4.JK-MDD4.JK-MHR4.JK)  
 01090 N MD1=1500  
 01100 N MD2=22000



01110 N MD3=165000  
 01120 N MD4=340000  
 01130 T G1TB=1E-6/2E-6/2E-6/2E-6/2E-6/2E-6/2E-6/2E-6  
 01140 T G2TB=1E-6/1E-6/1E-6/1E-6/1E-6/1E-6/1E-6/1E-6  
 01150 T G3TB=3.6E-6/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3  
 01160 T G4TB=7.4E-4/8E-4/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3/1E-3  
 01170 A GL1.K=TABHL(G1TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01180 A GL2.K=TABHL(G2TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01190 A GL3.K=TABHL(G3TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01200 A GL4.K=TABHL(G4TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01210 R DMR1.KL=P1.K\*GL1.K  
 01220 R DMR2.KL=P2.K\*GL2.K  
 01230 R DMR3.KL=P3.K\*GL3.K  
 01240 R DMR4.KL=P4.K\*GL4.K  
 01250 NOTE  
 01260 NOTE DM death  
 01270 NOTE  
 01280 T DD1TB=0/0/0/0/0/0/0/0/0  
 01290 T DD2TB=0.019/0.019/0.019/0.019/0.019/0.019/0.019/0.019  
 01300 T DD3TB=0.014/0.02/0.02/0.02/0.02/0.02/0.02/0.02  
 01310 T DD4TB=0.017/0.016/0.016/0.016/0.016/0.016/0.016/0.016  
 01320 A DD1.K=TABHL(DD1TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01330 A DD2.K=TABHL(DD2TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01340 A DD3.K=TABHL(DD3TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01350 A DD4.K=TABHL(DD4TB, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01360 R MDD1.KL=MD1.K\*DD1.K  
 01370 R MDD2.KL=MD2.K\*DD2.K  
 01380 R MDD3.KL=MD3.K\*DD3.K  
 01390 R MDD4.KL=MD4.K\*DD4.K  
 01400 NOTE  
 01410 NOTE TRANSPLANTATION SECTOR  
 01420 NOTE  
 01430 L TR1.K=0.97\*TR1.J+(0.93)\*(DT)\*(TRR1.JK)  
 01440 L TR2.K=0.97\*TR2.J+(0.93)\*(DT)\*(TRR2.JK)  
 01450 L TR3.K=0.97\*TR3.J+(0.93)\*(DT)\*(TRR3.JK)  
 01460 L TR4.K=TR4.J+(DT)\*(TRR4.JK)  
 01470 R TRR1.KL=TABHL(ATR1, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01480 R TRR2.KL=TABHL(ATR2, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01490 R TRR3.KL=TABHL(ATR3, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01500 R TRR4.KL=TABHL(ATR4, TIME.K, 0, 40, 5)  
 01510 T ATR1=0/0/0/0/0/0/0/0/0  
 01520 T ATR2=141/250/300/400/400/400/400/400  
 01530 T ATR3=140/250/300/400/400/400/400/400  
 01540 T ATR4=0/0/0/0/0/0/0/0/0  
 01550 N TR1=0  
 01560 N TR2=840  
 01570 N TR3=854  
 01580 N TR4=0  
 01590 NOTE  
 01600 NOTE CONTROLS  
 01610 NOTE  
 01620 PRINT HD1, HD2, HD3, HD4, HDT  
 01630 PLOT HD1=1/HD2=2/HD3=3/HD4=4/HDT=T  
 01640 SPEC DT=1/LENGTH=40/PRTPER=1/PLTPER=1  
 01650 RUN MODEL