

システムダイナミックスの 疾病対策への応用

——予防接種(結核)と集団検診(脳卒中)を例として——

柳川 洋・橋本 勉

1. はじめに

現在わが国では一般住民を対象に各種の集団検診、予防接種が実施されている。これらのうち、結核検診、母子検診、老人健康診査、職業病検診、学校検診および各種の予防接種は法律にもとづいて行なわれており、一方がん検診、循環器検診などは法律にもとづいてはいないが、人口高齢化による疾病構造の変化にともない、重要性はさらに増してくるものと考えられる。

疾病対策における第1次予防としての予防接種、第2次予防としての集団検診を効率的に行うにはどうすればよいか。最小の費用で最大の効果を上げるためには、対象とする疾病の自然史と疫学像を正しく把握したうえで各種対策要素の割付けを考えなければならない。

われわれは結核対策におけるBCG接種と脳卒中対策における循環器検診の有効度をシステム分析の手法で評価できるかどうかについて検討する機会があったので、これらを例として、システムダイナミックスの疾病対策への応用について述べたいと思う。

まずBCG接種を取り上げた理由は、結核まん延度の低下にともない、集団を対象としたBCG接種のあり方を検討しなければならない時期にきていることが上げられる。脳卒中予防を目的とした循環器検診を取り上げた理由は、(1) わが国では脳卒中による死亡は毎年17万人以上におよび、

成人病死亡の首位を占めていること、(2) 脳卒中については全国的な規模で血圧測定を中心とした組織的な早期発見対策が実施されていること、などで脳卒中对策においてもシステム分析の考え方を取り入れ、対策要素の重みづけと評価を行ない、今後有効な脳卒中对策を推進するための資料を得ておく必要があると考えたからである。

2. 予防接種(結核)の例

わが国の人口集団が結核に感染する危険率は、1968年には年間約0.3%、1973年には0.2%と推定される¹⁾。この値は毎年約10%前後減少しているといわれている。この点は最近のわが国の結核死亡率、結核罹患率(毎年新しく結核になる率)および有病率(毎年特定日、たとえば年末現在に人口中に結核患者が占める割合)などの年次推移から見てもほぼ妥当な推定値と考えられる。またノルウエー、オランダ、カナダ、英国など先進諸国の感染危険率減少傾向もここ数年来10~13%の値を示している²⁾³⁾。

わが国の感染危険率が今後もこの割合で減少すると仮定すると、表1に示すように1980年には1973年の1/2の0.11%、1990年にはさらにその1/2の0.05%にまで低下することが考えられる。0歳から9歳までの各年齢における初感染者数の推定値を1965年、1970年、1975年、1980年、1985年生まれコーホート(長期にわたって同じ集団を追跡する場合その人口集団のことをいう)別に計算し

表 1 コーホート別年齢別新感染数の推定

年次	結核感染 危険率 (%)	年 齢 別 新 感 染 数 (単位1,000人)									
		0歳	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1965	0.39	7.9					0-4歳の計				0-9歳の計
66	0.35		7.0								
67	0.32			6.4							
68	0.30				6.0						
69	0.28					5.6					
70	0.25	5.0				(32.9)	5.0				
71	0.23		4.6					4.6			
72	0.21			4.2					4.2		
73	0.20				4.0					4.0	
74	0.18					3.6					3.6
75	0.17	3.4				(21.4)	3.4				(54.3)
76	0.15		3.0					3.0			
77	0.14			2.8					2.8		
78	0.13				2.6					2.6	
79	0.12					2.4					2.4
80	0.11	2.2				(14.2)	2.2				(35.6)
81	0.10		2.0					2.0			
82	0.09			1.8					1.8		
83	0.09				1.8					1.8	
84	0.08					1.6					1.6
85	0.07	1.4				(9.4)	1.4				(23.6)
86	0.07		1.4					1.4			
87	0.06			1.2					1.2		
88	0.06				1.2					1.2	
89	0.05					1.0					1.0
90	0.05					(6.2)	1.0				(15.6)
91	0.04							0.8			
92	0.04								0.8		
93	0.03									0.6	
94	0.03										0.6
年齢別人口 男		1,040	1,030	1,030	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
(0～9歳) 女		980	970	970	970	970	970	970	970	970	970
単位1,000人計		2,020	2,000	2,000	1,990	1,990	1,990	1,990	1,990	1,990	1,990

* 沖縄の結核実態調査による1968, 1973年の推定値により毎年等比級数的に減少すると仮定。この場合年間平均減少率は8%

表 2 コーホート別結核新感染数、発病数の推定

区 分		0 ～ 4 歳						5～9歳
		0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	計	
1965年 生まれ 群	新 感 染 数	7,900	7,000	6,400	6,000	5,600	32,900	21,400
	発病数							
	5%	400	350	330	300	280	1,650	1,070
1970	新 感 染 数	5,000	4,600	4,200	4,000	3,600	21,400	14,200
	発病数							
	5%	250	230	210	200	180	1,070	710
1975	新 感 染 数	3,400	3,000	2,800	2,600	2,400	14,200	9,400
	発病数							
	5%	170	150	140	130	120	710	470
1980	新 感 染 数	2,200	2,000	1,800	1,800	1,600	9,400	6,200
	発病数							
	5%	110	100	90	90	80	470	310
1985	新 感 染 数	1,400	1,400	1,200	1,200	1,000	6,200	3,800
	発病数							
	5%	70	70	60	60	50	310	190
		2.5%	40	40	30	30	170	100

てみると、1965年コーホートでは、0歳7,900名、1歳7,000名、2歳6,400名、3歳6,000名、4歳5,600名となり、わが国の年間出生数約200万名のうち32,900名(1.6%)が4歳までに、54,300名(2.7%)が9歳までに結核感染をうけたと考えられる。この数は世代が新しくなるほど少なくなり、1985年コーホートでは0歳、1歳各1,400名、2歳、3歳各1,200名、4歳1,000名となり、4歳までに6,200名、9歳までに10,000名(0.5%)といずれも1965年コーホートの1/5以下に減少することが示される。

つぎにこれらのコーホートについて、初感染者からの発病数を推定してみると、表2に示すように仮に初感染からの発病率を5%と仮定すると、0歳の発病数は1965年生まれ400名、1970年生まれ250名、1975年生まれ170名、1980年生まれ110名、1985年生まれ70名と出生年次が5年ずれるごとに1/3ずつ減少していくことになる。この点を0～4歳の合計について見ると、5%の場合1965年生まれ1,650名、1970年生まれ1,070名、1975年生まれ710名、1980年生まれ470名、1985年生まれ310名となり、2.5%の場合はそれぞれの1/2となる。この傾向は5～9歳の場合もほぼ同じである。

これらの各コーホートについてBCG集団接種の予防効率について考えてみる。BCG集団接種は0歳に実施されたと考え、0～4

表 3 ツ反応およびBCG接種委託料計算例

(1976年度 東京都C区の例)

項 目	ツ反応注射(300人単位で計算)		ツ判定およびBCG接種(150人単位で計算)	
一般賃金	医師2名, 看護婦1名, 事務1名	1人あたり (円) 96.33	医師3名, 看護婦2名, 事務1名	1人あたり (円) 299.33
光熱水費	ガス代, 滅菌, 消毒など	4.85	ガス代, 滅菌, 消毒など	4.85
一般需用費	ツベルクリン, 接種用品, 文具, その他	25.60	BCG, 接種用品, 文具, その他	162.28
使用料賃借料	自動車雇上	3.47	自動車雇上	3.47
備品購入費	接種用備品	0.27	接種用備品	0.27
計		130.52 円 銭		470.20 円 銭

表 4 コーホート別BCGによる発病阻止数とその費用の推定
(0~4歳)

区 分	発病率 推定値	BCGなし	BCGあり	BCGによる 減少1名あたりの費用
1965年 生まれ群	5%	1,650	330	1,320
	2.5%	830	170	660
1970年 生まれ群	5%	1,070	210	860
	2.5%	550	110	440
1975年 生まれ群	5%	710	140	570
	2.5%	370	70	300
1980年 生まれ群	5%	470	90	380
	2.5%	250	50	200
1985年 生まれ群	5%	310	60	250
	2.5%	170	30	140

歳5年間の予防効率を費用の面も含めて検討することにする。BCG接種に要する費用については、表3に示すように東京都C区における予防接種委託費の算出法に準拠して計算した。その結果ツベルクリン反応検査1件130.52円、ツベルクリン判定およびBCG接種1件470.20円となる。ツベルクリン反応検査を実施したもののうち95%がBCG接種を実施したと仮定すると、BCG接種1件あたりに要する費用は(ツベルクリン注射も含む)607.59円となる。

BCGによる結核発病防護効果

80%⁴⁾ 0~4歳の間に初感染をうけたものが4歳までに発病する率を5%とすると、表4に示すようにたとえば1965年生まれでは4歳までに発病するもの1,650名のうちBCG接種により、1,320名の発病が阻止される。年間202万人の出生者全員にBCG接種を実施するのに要する費用は12億2,700万円となり、1名の発病を阻止するのに平均90万円要することになる。1970年生まれでは140万円、

1975年生まれでは220万円、1980年生まれでは320万円、1985年生まれでは490万円と出生年が5年ずれるごとに費用は50~60%増となり、1985年コーホートでは1965年コーホートの5倍、1975年コーホートの2倍以上の費用が見込まれることになる。

なおここでは、①感染危険率は年齢に関係ない(どの年齢も各年の推定率で感染する)、②全員0歳にBCG接種を実施し、BCG接種以前の発病はない、③単価は、ツベルクリン反応注射は300名単位、判定とBCG接種は150名単位で実施したとして算出する、④将来の費用は現状のままとする、な

どの仮定をおいて単純化したうえで、費用・効果分析を実施したために、実際の効率はこれよりいくぶん上下するかもしれないが、感染危険率の低下にともなってBCG接種の効率が等比級数的に減少しつつあることは事実である。

わが国の結核まん延度は地域によってかなり大きな開きがある⁵⁾。たとえば1974年の府県別地域差を結核死亡率で見ると、最高値を示す熊本は最低値を示す宮城の4.0倍となり、1974年の熊本の値は7年前の1967年におけるわが国の平均値に相

表 5 感染危険率を2倍、1/2倍にした場合の費用・効果分析

区 分		年 齢 別 新 感 染 数					発 病 数				減少1名 あたりの 費用
		総 数 (0～4歳)	0 歳	1 歳	2 歳	3 歳	4 歳	BCG な し	BCG あ り	BCG による 減少数	
感 染 危 険 率 (2 倍)	1965年コーホート	65,700	15,800	14,000	12,800	12,000	11,100	3,290	660	2,630	50万円
	1970年コーホート	42,900	10,100	9,200	8,400	8,000	7,200	2,100	420	1,680	70万円
	1975年コーホート	28,500	6,900	6,000	5,600	5,200	4,800	1,430	290	1,140	110万円
	1980年コーホート	18,800	4,400	4,000	3,600	3,600	3,200	940	190	750	160万円
	1985年コーホート	12,400	2,800	2,800	2,400	2,400	2,000	620	120	500	250万円
感 染 危 険 率 (1/2倍)	1965年コーホート	16,400	3,900	3,500	3,200	3,000	2,800	820	160	660	190万円
	1970年コーホート	10,700	2,500	2,300	2,100	2,000	1,800	540	110	430	290万円
	1975年コーホート	7,100	1,700	1,500	1,400	1,300	1,200	360	70	290	420万円
	1980年コーホート	4,700	1,100	1,000	900	900	800	240	50	190	650万円
	1985年コーホート	3,100	700	700	600	600	500	160	30	130	940万円

当する。結核に感染する危険率についても、死亡率の場合と同様に府県間に3~4倍の開きがあると考えられる。感染危険率が表1の推定値の2倍と1/2倍の2通りの場合を想定して（この場合両者の間に4倍の開きがある）、1965年生まれ~1985年生まれの5群のコーホートの0~4歳における新感染数、BCG有無別発病数（ここでは新感染者中5%のものが発病する場合のみについて考えた）と両者の差およびBCGによる発病阻止1名あたりの費用を計算すると、表5に示すようにたとえば感染危険率の高い地区の1980年コーホートからの新感染数、発病数は感染危険率の低い地区の1965年コーホートからの発生より多く、1980年コーホートに対する発病阻止1名あたりの費用は高率地区で160万円、低率地区で650万円と大きな開きのあることが示された。このことは結核対策の一要素として将来ともBCG接種が有効な役割を果たす府県がまだかなり存在することを示唆するもので、地域の結核まん延度に応じて最適な予防接種計画を作成する必要性を示すものである。

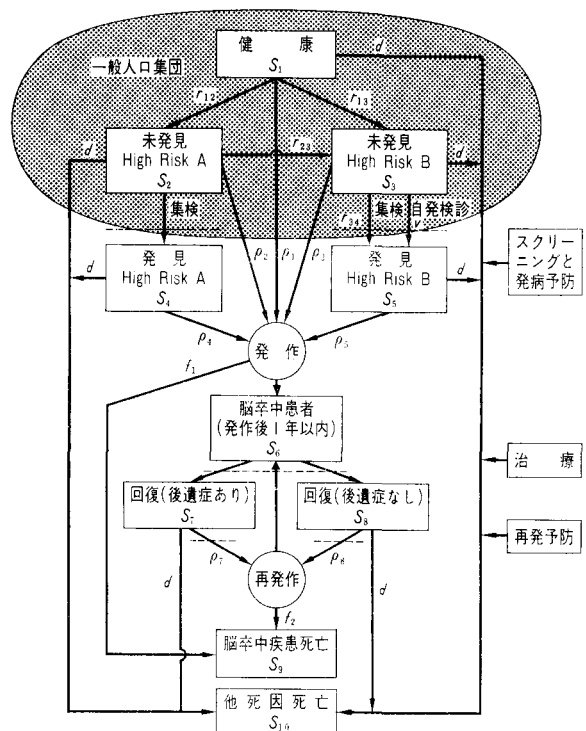


図 1 脳卒中予防の流れ図

脳卒中の発生とその予防対策の流れを図1のように組み立てた。一般人口集団を脳卒中発生の危険度に応じて、健康(S_1)、未発見 High risk A

3. 集団検診（脳卒中）の例

1) システムモデルの設定

(High risk とは疫学で用いられる言葉で、問題とする疾患にかかる危険度の高い集団のことをいう) (S_2), 未発見 High risk B (S_3) の順に3群に分類した。この3群の構成割合は集団の性、年齢によってほぼ一定の値を示し、年齢が上昇すれば当然ながら、High risk A, Bなどの高危険者の割合が増えてくる。未発見 High risk A および B の定義は集団検診を実施する場合の診断項目を考慮してきめればよいが、ここでは前者をWHOの分類による境界域血圧、後者を高血圧と定義してあつかうことにした。

脳卒中の発作は、上記3群の人口サブグループから、それぞれ一定の割合で起こり、その確率はHigh risk B がもっとも高く、High risk A、健康の順に低くなる。脳卒中発作を起こしたものは一定の致命率(ある病気にかかったもののうち死亡するものの割合)で死亡し、脳卒中死亡(S_9)の状態に移行する。死亡をまぬがれたものは1年間は脳卒中患者(S_6)の状態にとどまり、その後回復の状態に移行する。その場合後遺症あり(S_7)、後遺症なし(S_8)のいずれかに分類される。この状態のものは一般人口集団の3群のサブグループのいずれよりも高い確率で再発作を起こす可能性があり、初回発作の場合よりも高い致命率で死亡する。なお他死因による死亡は $S_1 \sim S_8$ の各状態ともに同じ率で起こり、他死因死亡(S_{10})の状態に移行する。

以上の流れのうち初回発作時の致命率と $S_6 \rightarrow S_7$ および $S_6 \rightarrow S_8$ の流れの量的な割合は発作時の治療の適不適に左右されるであろう。また S_7, S_8 よりの再発作の率は回復後の観察、管理が十分によく行なわれているか、に影響されるであろう。

対象集団に集団検診を実施すると、未発見 High risk A および B はそれぞれ発見 High risk A (S_4)、発見 High risk B (S_5)になる。これらは発見後の生活指導、降圧剤投与、継続的な観察などを受けることにより、未発見の状態よりも発病の危険度は減少するはずである。また集団検診が

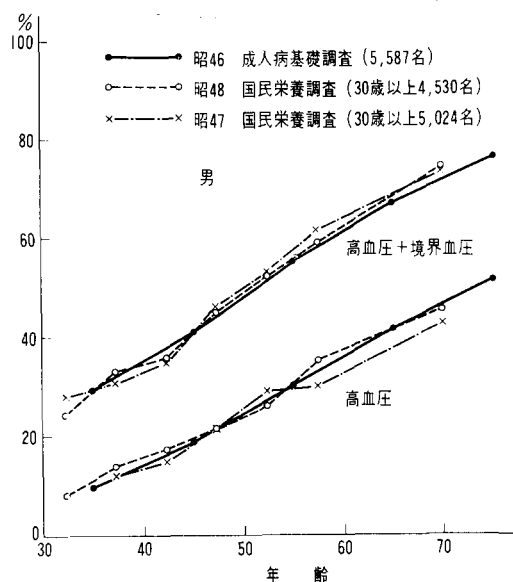


図2 境界血圧および高血圧者の占める割合

実施されなくても、未発見 High risk B のものの一部は自覚症状、その他の理由で自発検診を行なうはずであり、この点も考慮してモデルを作成した。今回は早期発見対策の効果に重点を置いてシステム分析の応用の可能性について検討した。

2) 推移確率の推定

各状態間の推移確率のうち一般人口集団中の S_1, S_2, S_3 間の動きが正しく推定できるかどうか、この点がこのモデルの成否を決定する重要な因子である。血圧区分の1年間の推移については、一般住民を対象にして実施されたいくつかの疫学的な研究成果が利用できるが、通常観察期間内に治療、生活指導などの対策が介入するために血圧は低下する方向に動くので、人口集団内で起きている血圧の自然の推移を直接的に観察することはむずかしい。しかし日本の代表的な人口集団の一断面における高血圧者または境界血圧者の占める割合の年齢傾向がわかれば、間接的に年間の $S_1 \rightarrow S_2, S_1 \rightarrow S_3$ の率を推定することは可能である。

図2は昭和46年成人病基礎調査⁶⁾、昭和47年、48年国民栄養調査⁷⁾における男の年齢別高血圧、境界血圧の割合を示す。いずれもほぼ同じ勾配を示し、このような勾配になるためには毎年健康者

表 6 推 移 確 率 の 推 定

項 目	記 号	推 移 確 率
一般人口集団の動き	健康(S_1)→未発見 High Risk A または B (S_2+S_3)	$\gamma_{12}+\gamma_{13}$
	健康(S_1)→未発見 High Risk B (S_2)	γ_{12}
	健康(S_1)→未発見 High Risk B (S_3)	γ_{13}
	未発見 High Risk A (S_2)→未発見 High Risk B (S_3)	γ_{23}
脳卒中発作のリスク	健康(S_1)より発作率	ρ_1
	未発見 High Risk A (S_2) }よりの発作率	ρ_2
	未発見 High Risk B (S_3) }よりの発作率	ρ_3
	発見 High Risk A (S_4) }よりの発作率	ρ_4
	発見 High Risk B (S_5) }よりの発作率	ρ_5
発作後の予後	発作者の致命率	f_1
	回復者の後遺症を残す率	t
	回復者の後遺症ありよりの再発作率	ρ_7
	回復者の後遺症なしよりの再発作率	ρ_8
	再発作の致命率	f_2
他死因による死亡率		d
RiskB(S_3)の自発検診率		v

の3%が S_2 , S_3 のいずれかへ移行しなければならぬ。今回は $S_1 \rightarrow S_2$, $S_1 \rightarrow S_3$ ともに年間1.5%と等分した。境界血圧の割合は図にも示すように年齢にかかわりなくほぼ一定の値を示すので、 $S_2 \rightarrow S_3$ の率は自動的に約2%ときまる。

表6はモデル操作に用いた推移確率の一覧表を示す。 S_1 , S_2 , S_3 からの脳卒中発作の危険度については、各種の資料^{8~11)}から1:3:9と推定した。また S_1 からの脳卒中発作危険度は40~49歳男で0.0005, 50~59歳男ではその3倍の0.0015, 60~69歳男ではさらにその4倍の0.0060とし、各群とも平均年齢が1歳増加するごとに14.8%増加すると考えた。この値は脳卒中死亡率の年齢による上昇率から推定した。

発見 High risk A または High risk B の発作危険度の低下は各種の資料より^{12~15)} S_4 , S_5 ともに1/2と仮定した。また発見後の治療効果は10年間持続する場合と、脱落を考慮して2年間のみ持続する場合の2通りを設定した。脳卒中発作後の致命率は30%とした¹⁰⁾。脳卒中発作後生き残ったものは1年後に回復の状態に移行するが、その場合後遺症は40%に出現するとした。回復の状態から再発作を起こす危険度については¹⁶⁾とりあえず年間3%とし、再発作の場合の致命率は初回発作の2倍の60%とした。

他死因による死亡率は人口動態統計¹⁷⁾より、40~49歳男

0.0033, 50~59歳男0.0070, 60~69歳男0.0180とし、年齢1歳の上昇につき9.5%の増加を見込んだ。

3) システムモデルの操作

システムモデルの操作はまず50~59歳男10万人のコーホートを想定し、(1) 集団検診による発見

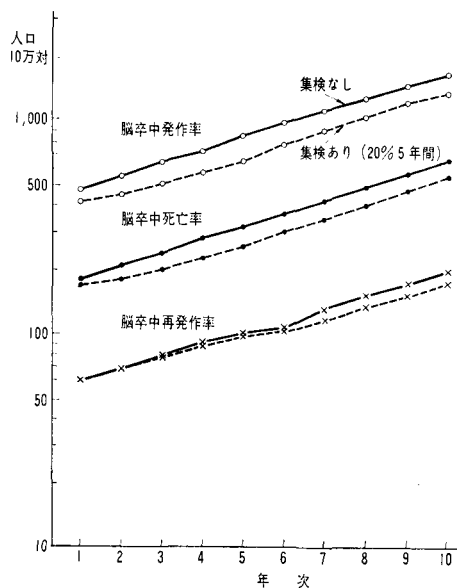


図 3 脳卒中発作率，脳血管疾患死亡率の
集団検診による減少（50～59歳 男）

後の治療効果は10年間持続する，(2) 集団検診を実施しなくても未発見 High risk B のものは年間5%の割合で自発的に検診を受ける，という条件下で集団検診を住民の20%に5年間実施した場合と集団検診なしの場合の2通りについて10年間モデルの操作を行なった．また対象者の年齢が40～49歳，60～69歳の場合についても同様の操作を行ない，検診効率などのように変わるかをみた．

費用効果分析については，対策各要素の単価に漸定的な値を割りあてて，試みに2，3の比較を行なった．

4) 初期分布の推定

40～49歳，50～59歳，60～69歳の男3年齢群の初期分布のうち健康，境界血圧，高血圧の割合は，国民栄養調査，成人病基礎調査などを参考にし，境界血圧はすべて未発見，高血圧は過去の自発検診による発見を考慮して半数が既発見とした．その他の状態のものはモデル操作を繰り返した結果得られる安定値を目標としてきめ，合計10万人になるようにした．

5) 集団検診の効果の測定

図 3 は50～59歳男の場合について，脳卒中発作

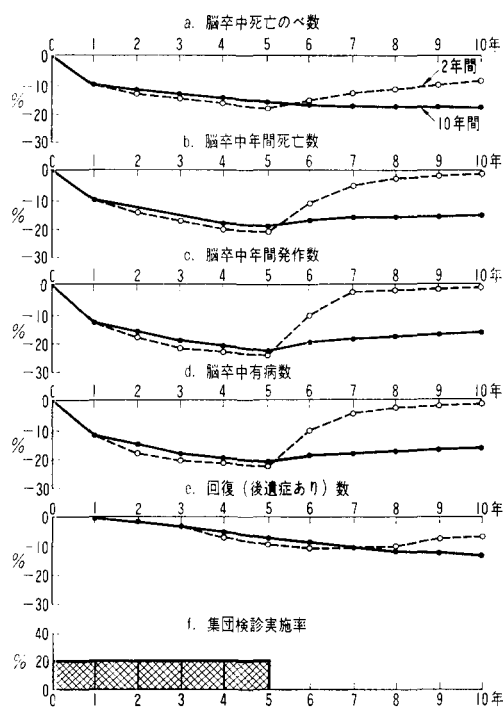


図 4 集団検診実施による各指標の変化（50～
59歳 男）発見後治療効果10年，2年の比較

率，脳卒中死亡率，脳卒中再発作率を比較したものである．前2者は検診実施により減少が見られ検診中止後も減少の傾向をよく維持していた．1度発作を起こして生き残ったものからの再発作の減少は7年目になって，その差が顕著になっている．

図 4 は集団検診実施による各指標の変化を示す．発見後の治療効果持続期間を10年とすると（実線で示す），集団検診実施により，脳卒中死亡のべ数は5年目で-16.3%，10年目で-16.8%，脳卒中年間死亡数は5年目で-20.1%，10年目で-16.5%，脳卒中年間発作数は5年目で-23.6%，10年目で-17.1%，脳卒中有病数は5年目で-22.3%，10年目で-16.9%，回復（後遺症あり）数は5年目で-8.1%，10年目で-14.0%となっていた．脳卒中死亡のべ数と回復（後遺症あり）数は5年間の集団検診終了後もよく減少していたが，残りの3指標は集団検診終了後は減少が徐々に縮小する傾向を示した．

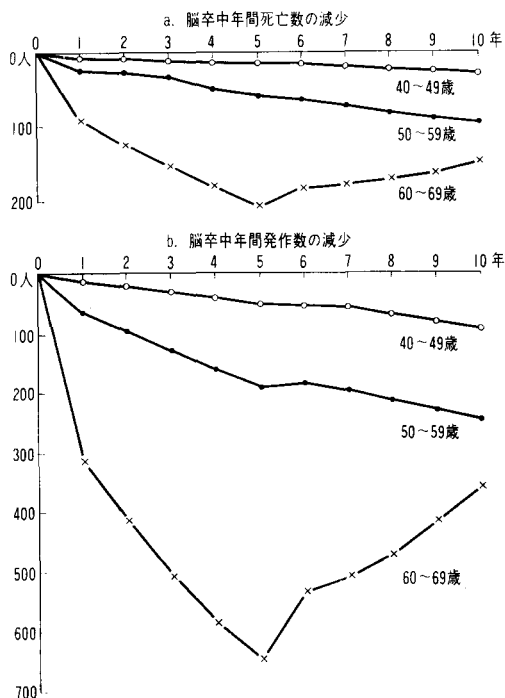


図5 対象者の年齢別に見た集団検診の効果

治療効果持続期間を2年間に変え、他の条件を一致させたときの各指標の変化を比較すると（点線で示す），集団検診が実施されている最初の5年間は治療効果2年間の群の下降がわずかにすぐれているが，これは集団検診により S_4 または S_5 に移行したのが2年後に再び S_2 または S_3 にもどり，その結果集団検診実施数が増加するのである．集団検診中止後は各指標とも急速に差が縮小し，脳卒中有病数はほぼ集団検診なしの状態に戻る．

つぎに集団検診対象者の年齢による効果の差を見るために40～49歳，50～59歳，60～69歳の3年齢群男について同様の比較をしてみたが，集団検診による各指標の値の減少率は年齢にかかわらずほぼ一致していることが示された．しかし脳卒中の罹患率，有病率は各年齢群により大きな開きがあり，集団検診による各指標の減少の実数も年齢により大きな開きがある．たとえば脳卒中年間死亡数，脳卒中年間発作数の減少数を比較してみる

表7 費用・効果

区 分	40 ～ 49 歳							
	検 診 な し		20%検診5年間		差		検 診 な し	
	件 数	金 額 (100万円)	件 数	金 額 (100万円)	件 数	金 額 (100万円)	件 数	金 額 (100万円)
集 検 受 診 数 (単価 3,000円)	—	—	77,543	232.6	+77,543	232.6	—	—
自 発 検 診 受 診 数 (単価 5,000円)	2,797	14.0	1,564	7.8	— 1,233	— 6.2	3,683	18.4
既 発 見 境 界 血 圧 (年間 3,000円)	—	—	47,333	142.0	+47,333	+142.0	—	—
既 発 見 高 血 圧 (年間 30,000円)	54,121	1,623.6	77,579	2,327.3	+23,458	+703.7	78,196	2,345.9
脳卒中発作(含再発作) (単価 150,000円)	1,041	156.2	869	130.4	— 172	— 25.8	3,556	533.4
発 作 後 1 年 以 内 (年間 100,000円)	653	65.3	574	57.4	— 79	— 7.9	2,161	216.1
回 復 (後 遺 症 有 り) (年間 300,000円)	1,887	566.1	1,854	556.2	— 33	— 9.9	5,228	1,568.4
回 復 (後 遺 症 な し) (年間 30,000円)	2,831	84.9	2,780	83.4	— 51	— 1.5	7,843	235.3
区 分 別 費 用	発 見	14.0	240.4		+ 226.4(+1,617%)		18.4	
	予 防	1,623.6	2,469.3		+ 845.7(+52.1%)		2,345.9	
	発作後治療，管理	872.5	827.4		— 45.1(— 5.2%)		2,553.2	
	合 計	2,510.1	3,537.1		+1,027.0(+40.9%)		4,917.5	
脳 卒 中 死 亡		355	303		52		1,184	
脳卒中死亡1人減に要する費用					1,975万円			

と、図5に示すように脳卒中年間死亡数は5年目で40～49歳 18人減、50～59歳 61人減、60～69歳 209人減と40～49歳に比べて50～59歳3.4倍、60～69歳11.6倍の減少が見られた。5年目以降の集団検診中止後は各年齢群の差は徐々に縮小し、10年目では40～49歳30人減、50～59歳91人減、60～69歳150人減で、40～49歳に比べて50～59歳3.0倍、60～69歳5.0倍となっていた。

発作数の減少は死亡よりもさらに大きく、5年目の時点で40～49歳 55人減、50～59歳 192人減、60～69歳 646人減で、40～49歳に比べて50～59歳3.5倍、60～69歳 11.7倍となっていた。また10年目では40～49歳 86人減、50～59歳 255人減、60～69歳 358人減で、40～49歳に比べて50～59歳3.0倍、60～69歳4.2倍となっていた。

以上の結果より集団検診による脳卒中の減少率は年齢により差はないが、減少数は著差のあることが示された。

6) 費用・効果分析の試み

表7は40～49歳、50～59歳、60～69歳の3年齢群男を対象に20%の集団検診を5年間実施した場合の費用と効果の関係を測定したものである。費用は各検査項目の健康保険点数、集団検診委託費の単価などを参考にして仮に表側の各項目に示す単価を設定した。

たとえば50～59歳男の場合、集団検診なしに比べて集団検診を実施した場合発見に要する費用は8.7倍増、発見後の予防の費用は47.0%、増発作後の治療、管理に要する費用は6.7%減、合計22.5%増となる。これを金額で示すと11億850万円増となり、脳卒中死亡1名減少に要する費用は574万円となる。同様にして40～49歳では1975万円、60～69歳では98万円となる。脳卒中死亡1名減少させるのに要する費用は対象者の年齢によって大きな差があり、60～69歳に比べて40～49歳は20倍、50～59歳は5.9倍の費用を要したことになる。

分析の一例 (5年間の成績)

50 ～ 59 歳				60 ～ 69 歳					
20%検診5年間		差		検診なし		20%検診5年間		差	
件数	金額 (100万円)	件数	金額 (100万円)	件数	金額 (100万円)	件数	金額 (100万円)	件数	金額 (100万円)
67,353	202.1	+67,353	+ 202.1	—	—	51,053	153.2	+51,053	+ 153.2
2,046	10.2	— 1,637	— 8.2	4,337	21.7	2,451	12.3	— 1,886	— 9.4
56,131	168.4	+56,131	+ 168.4	—	—	51,715	155.1	+51,715	+ 155.1
109,924	3,297.7	+31,728	+ 951.8	101,793	3,053.8	140,832	4,225.0	+39,039	+1,171.2
2,922	438.3	— 634	— 95.1	14,578	2,186.7	12,064	1,809.6	— 2,514	— 377.1
1,859	185.9	— 302	— 30.2	8,917	891.7	7,632	763.2	— 1,285	— 128.5
5,093	1,527.9	— 135	— 40.5	18,807	5,642.1	18,190	5,457.0	— 617	— 185.1
7,640	229.2	— 203	— 6.1	28,210	846.3	27,284	818.5	— 926	— 27.8
1,786		+ 160.2(+871%)		21.7		165.5		+ 143.8(+663%)	
3,466.1		+1,120.2(+47.0%)		3,053.8		4,380.1		+1,326.3(+43.4%)	
2,381.3		— 171.9(— 6.7%)		9,566.8		8,848.3		— 718.5(— 7.5%)	
6,026.0		+1,108.5(+22.5%)		12,642.3		13,393.9		+ 751.6(+ 5.7%)	
991		193		4,797		4,028		769	
574万円				98万円					

費用・効果分析については資料をさらに収集、解析したうえで、死亡だけでなく発作件数の減少などについても検討していく予定である。

ま と め

システムダイナミックスの疾病対策への応用例としてわが国で広く一般に実施されているBCG接種と循環器疾患集団検診を取り上げた。

BCG接種は結核まん延度の低下にともなってその意義を再検討しなければならない時期にきている。また脳卒中予防の集団検診はわが国の人口高齢化にともなって、今後強化すべき疾病予防対策であり、いずれもその有効度を十分よく知ったうえで対策を進めなければならない。

システムダイナミックスの手法による解析が成功するか否かは、信頼度の高い各種パラメータが得られるかどうかにかかっている。幸い結核、脳卒中ともにわが国では豊富な疫学資料が利用できるが、現段階でパラメータの推定値の不確実なものもいくつかあり、今後より精度の高い疫学資料の収集に努力が払われなければならない。

本研究のうち集団検診（脳卒中）の項は昭和51年度科学的財務管理調査費による「効率的集団検診システムの開発に関する研究」班によって行なわれた成績の一部であり、下記分担委員と連名の報告書はすでに公表されている。本研究班検討委員会重松逸造委員長、安西定研究班長および分担委員の福富和夫先生、飯田稔先生、鈴木猛郎先生に感謝の意を表します。また予防接種（結核）の項では、青木正和先生、志毛ただ子先生、森享先生に貴重な資料のご提供をいただき、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 沖縄県環境保健部、結核予防会結核研究所：沖縄県結核実態調査成績、結核および呼吸器疾患文献の抄録速報，26：440～463，521～533，1975。
 - 2) Fayers, P.M. and Barnett, G.D. : The risk of tuberculous infection in Saskatchewan, *Bull. int. Un. tuberc.*, 50 : 62—69, 1975.
 - 3) Waaler, H., Galtung, O. and Mordal, K. : The risk of tuberculous infection in Norway, *ibid.*, 5—61, 1975.
 - 4) Medical Research Council : BCG and vole bacillus vaccines in prevention of tuberculosis in adolescence and early adult life, *Bull. WHO*, 46 : 371—385, 1972.
 - 5) 柳川洋：今日の結核の疫学的概況，日本胸部臨床，35(10)：725—733，1976。
 - 6) 厚生省公衆衛生局：昭和46，47年成人病基礎調査報告，1976。
 - 7) 厚生省：国民栄養の現状，昭和47年度国民栄養調査成績，昭和48年度国民栄養調査成績，1976。
 - 8) 根岸龍雄，白崎和夫，内藤雅子：Relative Risk Factor Table 試案，日循協誌，10(2)：83～94，1975。
 - 9) 柴田茂男：循環器管理のポイント，健康管理，273：4～17，1977。
 - 10) 福田安平：脳卒中，心発作の疫学的研究——発生機序について——，労働医学研究会，1970。
 - 11) 尾前照雄，竹下司恭，喜久村徳清：脳卒中のRisk-factor，日本臨床，34(1)：57～63，1976。
 - 12) Veterans Administration Cooperative Study Group on Antihypertensive Agents : Effects of Treatment on Morbidity in Hypertension, I. Results in Patients with Diastolic Blood Pressures Averaging 115 Through 129mmHg. *JAMA*, 202: 1028—1034, 1967.
 - 13) — II. Results in Patients With Diastolic Blood Pressure Averaging 90 Through 114 mm Hg. *JAMA*, 213 : 1143—1152. 1970.
 - 14) — III. Influence of Age, Diastolic Pressure, and Prior Cardiovascular Disease, Further Analysis of Side Effects. *Circulation*, 45 : 991—1004, 1972.
 - 15) 嶋本喬：多発地区における脳卒中の特長とその対策——モデル地区対策から一般化への試み——，大阪大学医学雑誌，24(1～4)：91，1972。
 - 16) 岸久博：脳卒中の社会復帰と生命の予後について，日循協誌，9(2)：45～51，1974。
 - 17) 厚生省：昭和50年人口動態統計，1977。
- やながわ・ひろし：国立公衆衛生院疫学部を経て，本年，自治医科大学公衆衛生学教室へ。
はしもと・つとむ：金沢大学医学部公衆衛生学教室を経て，現在，国鉄中央保健管理所勤務。