

原 著

## 単純な疫学模型による日本の結核の疫学的推移分析の試み

東 義 國

結核予防会結核研究所

受付 昭和 50 年 4 月 18 日

ESTIMATION OF THE EPIDEMIOLOGICAL TIME TREND OF  
TUBERCULOSIS IN JAPAN, A TRIAL WITH A SIMPLE  
EPIDEMIOLOGICAL SIMULATION MODEL

Yoshikuni AZUMA\*

(Received for publication April 18, 1975)

A large scale computer service is not always available in many countries with tuberculosis problem urging for its epidemiological analysis. For the purpose of facilitating such works in those countries, a simple epidemiological simulation model was made to calculate annual trends of prevalence and incidence of tuberculosis and its infection, tuberculosis mortality and BCG coverage in the population with parameter values average in the population, but not specific for age groups or birth year cohorts.

Starting with the initial conditions estimated with results of the National Tuberculosis Prevalence Survey, 1953, and the two-year Follow-up Survey, 1953/1955, 50-year trend was calculated to approximate the trend observed by the five national surveys made during 1953~1973. It was estimated that the prevalence of bacteriologically confirmable tuberculosis would be remaining over 0.1% during 5 years from the last survey in 1973, the tuberculosis mortality over 7 per 100,000 and the risk of infection about 0.2%, should no drastic changes occur in the progress of the National Tuberculosis Programme and the living conditions. Comparing the thus estimated trend with "natural course", estimated by the simulation with no tuberculosis programmes, the tuberculosis problem reduction rate by the National Tuberculosis Programme, giving a total of 2.397 million treatment-years and that of 52.114 million primary BCG vaccinations during 25 years from 1953, was estimated 46.5%, 55.6% and 13.0% respectively by patient-years, tuberculosis deaths and tuberculosis incidence. The number of BCG vaccinations equivalent to one treatment-year in the problem reduction was approximately estimated 352, 457 and 34 respectively by patient-years, tuberculosis deaths and tuberculosis incidence for the 25-year period. Further, the simulation calculation gave a warning information that the prevalence of tuberculosis would go back to its value of 15 years ago in 10 years, should all the tuberculosis programme activities be stopped.

The possibility of applying the model to other countries with shortage of informations was also discussed.

---

\* From the Research Institute of Tuberculosis Japan Anti-Tuberculosis Association, Kiyose-City, Tokyo 180-04 Japan.

1. はじめに

結核対策の疫学的効果を分析するために、結核疫学像の時間的推移を近似する疫学模型が使われている。わが国では、1970年に遠藤・青木<sup>1)</sup>が、Waalder<sup>2)~3)</sup>の epidemiometric model を部分的に変えて用い、結核対策の効率と結核の疫学的将来像の予測を行つている。Waalder の模型では、初感染後の発病率や BCG 接種後の結核発病に対する予防効果の、感染・接種後の経時的減衰を考慮し、また疫学的諸係数の年齢差をも設定している。このために、小容量の計算機にとつてはやや複雑すぎるため、筆者は上記の諸係数を全人口中での平均値としてあつかうことにより、以下に述べるような単純な模型を設定した。1953年第1回結核実態調査以降20年間の疫学像の推移が、この模型によりある程度まで近似できることが見られたので、これを用い、わが国の結核対策の疫学的効果の推定と、結核疫学像の推移の予測を試み、以下に述べるような結果を得た。

2. 疫学模型

人口の流入、流出を無視しうる程度のひとつの閉鎖社会を想定し、その全人口は毎年の出生と死亡により代謝、増減しているものとする。全人口は未感染、結核既感染、

BCG 既感染(有効な BCG 既接種)の3群に分ける。結核既感染群は、その中に結核患者群を含み、後者はさらに結核受療群を含むものとする。これらの各群、亜群間の人口の流れを図1に示す。

単純化のために、有効な BCG 接種を受けた群内では、結核発病に対する予防効果は接種後一定水準にとどまるものとし、また「治癒」は受療群のみから期待できる(実際には、これは、「治癒」数は受療数にほぼ比例するとの設定に等価)とする。さらに、各群の一般死亡率は全人口中での平均死亡率に等しいものとする。

この流れ図に基いて表1に示す15の等式よりなる模型がつくられた。等式(1)~(4)はある時点0年から1年

Fig. 1. Flow of the Population between Different Categories of the Tuberculosis Epidemiology Model

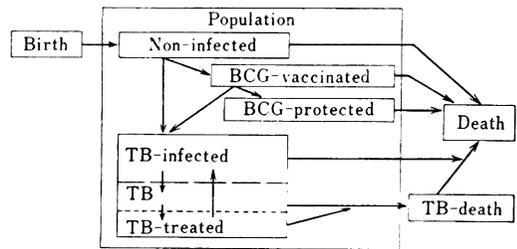


Table 1. Simulation Model of Tuberculosis Epidemiology

$POP_1 = POP_0 * (1 - D_0 + B_0)$ .....	(1)
$INF_1 = INF_0 * (1 - D_0) + inf_0$ .....	(2)
$BCG_1 = BCG_0 * (1 - D_0) + bcg_0$ .....	(3)
$TB_1 = TB_0 * (1 - D_0) - TBD_0 - CURE_0 + inc_0$ .....	(4)
$inf_0 = k * (TB_0 - TR_0) * (POP_0 - INF_0 - BCGP_0) / POP_0$ .....	(5)
$BCGP_0 = BCG_0 * p$ .....	(6)
$TBD_0 = (TB_0 - TR_0) * T + TR_0 * T'$ .....	(7)
$CURE_0 = TR_0 * REG_0 * C / 2$ .....	(8)
$inc_0 = i * (INF_0 - TB_0)$ .....	(9)
$TR_0 = TB_0 * COV_0$ .....	(10)
$bcg_0 = (POP_0 - BCG_0) * (1 - D_0 + B_0) * (1 - A) + BCG_0 * B_0$ .....	(11)
$REG_1 = 1 - (1 - REG_0) + f$ .....	(12)
$COV_1 = COV_0 + (1 - COV_0) * g$ .....	(13)
$B_1 = B_0 * b$ .....	(14)
$D_1 = D_0 * d$ .....	(15)

Symbols; Suffixes 0 and 1 indicate the year of the value, like POP<sub>0</sub> being the population size at 0 year, while POP<sub>1</sub> that at 1 year.

POP=population size; INF=the number of the tuberculosis-infected; BCG=the size of BCG-vaccinated population; TB=the number of tuberculosis cases; BCGP=the size of BCG-protected population; inf=the number of tuberculosis primary infections; bcg=the number of primary BCG vaccinations; TBD=the number of tuberculosis deaths; CURE=the number of tuberculosis cases healing in one year; inc=the number of new tuberculosis cases occurring in one year; TR=the number of tuberculosis cases under treatment; REG=the ratio of regularly treated cases in TR; COV=the treatment coverage in tuberculosis cases; B=the birth rate; D=the general death rate; k=the ratio of the risk of infection against the prevalence of non-treated tuberculosis cases; T=tuberculosis death rate in non-treated cases; T'=that in the non-treated; p=overall protection effect of BCG vaccination; C=overall annual cure rate in regularly treated cases; i=annual tuberculosis incidence rate in infected non-tuberculosis population; A=annual declining rate of the prevalence of the non-vaccinated; f=annual declining rate of irregular treatment; g=rate of annual increase of the treatment coverage relative to the prevalence of the non-treated in all tuberculosis cases; b=the birth rate trend; d=the death rate trend.

間の人口 (POP), 既感染者数 (INF), BCG 既接種数 (BCG) および結核患者数 (TB) の推移を, 年間の出生 (B), 死亡 (D), 新感染者数 (inf), 未感染初接種数 (bcg), 結核死亡数 (TBD), 治癒数 (CURE) および発病数 (inc) の間の差引勘定で示している。

式 (5)~(11) は, 推移を生み出す個々の変数の値を規定し, また (12)~(15) は, 治療の規則性 (REG), 受療率 (COV), 出生および死亡率の経年変化を示す。

等式 (5) で, 初感染数は未治療患者数と, 全人口中での BCG 効果外にある未感染者の相対頻度とに比例するものとし, (7) で, 結核死亡率は未治療患者と受療者のそれぞれについて一定と仮定してある。さらに (9) で, 既感染非結核の人口中での結核発病率を一定と仮定する。

なお, 等式 (4) で, 結核患者の死亡は, 結核死と一般死亡率での死亡との和として近似してあるが, これは, 木原<sup>15)</sup>による, わが国の結核患者の一般人口に対する過剰死亡と結核死亡はほぼ等しい, との分析に基づいている。

式中の定数の値と 0 年における諸変数の値が与えられれば算術計算で 1 年後の諸変数の値は求められる。したがって, 一組の初期条件から出発して, 各定数を規定している諸条件が不変の前提のもとに, 任意年数の間の推移を求めることができる。

### 3. 初期条件および諸係数値の推定

X線所見による結核有病率を疫学指標とする場合, 「活動性」の基準が一意的に決定できぬ点, また「活動性」結核の予後や感染性が病型分布, 病勢分布等の経時的変動により変動する点等が問題となる。これらの変動を小さくするために, ここでは「結核」を菌陽性肺結核に限定した。

1953年結核実態調査<sup>6)</sup>の菌検査成績により X線岡病型別頻度の重みづけ平均をとって菌陽性肺結核の頭初有病率を 0.7447% と推定した。この実態調査時の BCG 未接種群でのツ反陽性率 68.1%<sup>7)</sup> を未接種率 65.8% に乗じ, 頭初結核既感染率 44.8% が得られる。

菌陽性結核患者の頭初受療率は, 1958~68年の 3 回の実態調査<sup>6)8)10)</sup> による「感染性」患者の受療率の推移より, 未受療率の年減少率 2.8% を求め, これにより逆算して, 20.76% と推定した。

おそらくツベルクリン力価や検査技術の変動等により, 実態調査成績より未感染者中の年間感染率 (risk of infection) を推定することは困難なので, 粗大な推定で満足することとして, 次のように計算した。1953年 0~64歳のコホートの1953年と1958年の人口対 BCG 既接種率, BCG 未接種感染率, BCG 未接種未感染率をそれぞれの年の実態調査<sup>6)8)</sup> 成績にそれぞれの翌年の調査<sup>7)9)</sup>

Table 2. Five-year Trend of 0~64 Year Age Group of 1953 in the Prevalence of Unvaccinated Tuberculin Positive Reactors and Non-reactors and the BCG-vaccinated

	1953	1958
Unvaccinated positive reactors	41.65%	44.20%
Unvaccinated non-reactors	24.22	19.16
BCG-vaccinated	34.13	36.64
Total	100.00	100.00

$$\begin{aligned} & \text{Rough estimate of 5-year risk of infection} \\ & \text{(increase of TB-infected)} \\ & = \frac{(\text{infection-susceptibles}) - (\text{BCG-vaccinated})}{44.20 - 41.65} \\ & \approx \frac{24.22 - (36.64 - 34.13)}{0.117} = 0.117 \end{aligned}$$

成績を援用しながら推定すると, 表 2 のようになる。この 5 年間の死亡を無視し, 既感染率の増分 (5 年間初感染) を, 頭初未接種未感染率から既接種率の増分 (5 年間 BCG 初接種) を減じたもので除して, 未感染群からの 5 年間感染率 11.7% を得た。これより, 当時の平均年間感染率は 2.47% と推定される。一方, BCG 既接種率をほとんど無視しえ, かつ 1953~1968 年の 4 回の実態調査で追跡しうる 1953 年 40~59 歳のコホートのツ反陽性率の推移より, 1953/58, 1958/63, 1963/68 の間の年間感染率の推定を行って, 1958 年以降の年間感染率の平均減少率が年 6.6% であることを算出した。これらより逆算して, 1953 年の全年齢平均の年間感染率は 2.9% と推定される。

1953 年実態調査対象地区の 1/3 抽出により 1 年後の追跡調査を受けた 15,170 人中, X線所見による新発生は 54 人であつた。この中の空洞性, 同疑いの計 8 人 (0.05%) をもつて, 全人口中の菌陽性肺結核の発病率に代えた。

未治療および受療患者それぞれの有病率×結核死亡率の和は全人口での結核死亡率に等しいので, 結核死亡率と実態調査による有病率および未治療率の経年傾向を, 時間に関し指数直線型で近似して滑らかにしたものを用いて, 未治療菌陽性患者の年間結核死亡率を 10.15%, 受療患者では 6.30% と推定した。治療による結核死亡率の減少度が小さいように見えるのは, わが国の高い医療普及度により, 死亡へ向かう重症化と受療率のある程度の平行関係によるものであろう。

年間 BCG 初接種数は, 実態調査による BCG 既接種率の経年傾向を, 変化する一般死亡率と出生率の影響下に近似するように定めた。頭初既接種率は実態調査成績より 1953 年 34.1% とした。BCG 接種の結核予防効果は, わが国では厳密に行なわれた大数対照実験はなく, また実態調査 1 年の追跡の成績では, 発病数が小さすぎて推定は困難であるため, BMRC の実験成績<sup>14)</sup> に基づき, 一応 80% とし, 単純化のために, その経時的減衰の可

Table 3. Comparison of the simulation Results with Observed Estimates

Year	Population (10 <sup>6</sup> )		TB prevalence (%)		TB mortality (10 <sup>-5</sup> )		Prevalence of TB infection (%)		BCG coverage (%)		Treatment coverage (%)	
	Ob- served	Simu- lation	Ob- served	Simu- lation	Ob- served	Simu- lation	Ob- served	Simu- lation	Ob- served	Simu- lation	Ob- served	Simu- lation
1953	87.033	87.033	7.447	7.447	66.5	69.6	44.8	44.80	34.1	34.20		20.76
1954	88.293	87.911		6.662	62.4	61.7		44.78		35.75		22.98
1955	89.275*	88.807		5.942	52.3	54.5		44.63		37.28		25.14
1956	90.259	89.719		5.289	48.6	48.1		44.37		38.76		27.25
1957	91.088	90.648		4.702	46.9	42.4		44.03		40.21		29.29
1958	92.010	91.595	5.616	4.181	39.4	37.4	42.0	43.62	38.2	41.63	31.3	31.27
1959	92.971	92.559		3.723	35.5	33.0		43.15		43.01		33.20
1960	93.418*	93.541		3.324	34.2	29.2		42.64		44.36		35.08
1961	94.285	94.541		2.979	29.6	26.0		42.10		45.68		36.90
1962	95.178	95.560		2.684	29.3	23.2		41.54		46.96		38.67
1963	96.156	96.596	1.914	2.432	24.2	20.9	38.5	40.95	47.1	48.22	40.4	40.39
1964	97.186	97.652		2.217	23.6	18.9		40.36		49.45		42.07
1965	98.274*	98.726		2.035	22.8	17.2		39.76		50.64		43.69
1966	99.056	99.820		1.879	20.3	15.8		39.16		51.81		45.27
1967	99.637	100.933		1.747	17.8	14.5		38.55		52.96		46.81
1968	100.794	102.066	0.924	1.633	16.8	13.5	35.6	37.94	52.9	54.07	48.3	48.30
1969	102.022	103.218		1.534	16.1	12.6		37.34		55.16		49.75
1970	102.736*	104.392		1.449	15.5	11.8		36.74		56.22		51.16
1971	104.345	105.585		1.373	13.0	11.1		36.15		57.26		52.54
1972	105.742	106.800		1.307	11.9	10.5		35.56		58.27		53.87
1973		108.035	1.203	1.247	11.1	10.0		34.98	58.5	59.26	44.4	55.16
1974		109.292		1.193		9.5		34.40		60.22		56.42
1975		110.571		1.144		9.0		33.83		61.16		57.64
1976		111.872		1.100		8.6		33.27		62.08		58.83
1977		113.195		1.058		8.3		32.72		62.98		59.99
1978		114.541		1.020		7.9		32.17		63.86		61.11

Population\*) by the population census.

能性の有無は考慮にいれなかつた。

疫学的推移の基本的背景となる人口の推移は、1953年全国推定人口  $87.033 \times 10^6$  を頭初人口とし、頭初出生率 1.837% と死亡率 0.8273% がそれぞれ年 0.093% と 1.2787% で一様に減少するものとして近似した。

「結核」を菌陽性肺結核で定義したので、その自然治癒率は無視しうるものとし、受療者についてのみ治癒を考慮した。この場合の治癒とは、排菌の持続的停止を意味し、その後の再発は、この模型の中では既感染者一般からの発病中に含まれる。この定義での治癒率を実態調査成績から厳密に推定することは困難なので、以下のような仮定の下に計算を行った。すなわち、年間治癒数 = 年間受療者数 × 規則的受療率 × 治癒率 × 1/2、上述の定義による治癒には 1 年の規則的治療を要し、したがってある 1 年間の受療者の大略半数は年内の治癒を期待できないものとしてある。規則的受療率を頭初 60% とし、

以後、年 11% の減少率で不規則率が減少するものとし、規則的受療者中の治癒率は一定で 99% とした。実際の計算上では、これは、年間の受療者中の年間治癒率が頭初 1953 年の 29.70% から、漸減する増加率をもつて、1973 年の 47.57% に向かつて増加する傾向を意味している。

#### 4. 模型計算の結果と観測値との比較

表 3 に、模型計算による人口、菌陽性肺結核有病率、結核死亡率、既感染率、BCG 既接種率、菌陽性肺結核受療率を、1953~1973 年の間の人口統計および結核実態調査<sup>6)~13)</sup> による推定値と比較して示す。

模型計算による人口は、人口統計の推定値よりも、1959 年まではやや過小、それ以後はやや過大だが、その差は 1965 年までは  $\pm 0.54 \times 10^6$  以内にとどまり、以後はそれより大となり、1970 年  $-1.656 \times 10^6$  が最大を示す。

Table 4. The Trend of Prevalence, Mortality and Incidence of Tuberculosis by Various Schemes  
(See the footnote of Table 5)

Year	Tuberculosis prevalence (%)					Tuberculosis mortality (%)					Tuberculosis incidence (%)				
	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT
1953	7.447	7.447	7.447	7.447	7.447	0.755	0.696	0.696	0.755	0.696	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
1958	5.932	4.181	4.184	5.926	4.181	0.602	0.374	0.374	0.601	0.374	0.502	0.494	0.496	0.503	0.494
1963	5.147	2.432	2.452	5.097	2.432	0.522	0.209	0.210	0.517	0.209	0.509	0.468	0.476	0.492	0.468
1968	4.730	1.633	1.669	4.589	1.633	0.480	0.135	0.138	0.465	0.135	0.508	0.435	0.448	0.472	0.435
1973	4.504	1.247	1.292	4.234	1.247	0.457	0.100	0.103	0.429	0.100	0.507	0.402	0.419	0.449	0.402
1978	4.381	1.020	1.070	3.950	1.020	0.444	0.079	0.083	0.401	0.103	0.506	0.370	0.389	0.424	0.370
1983	4.317	0.863	0.915	3.704	1.919	0.438	0.065	0.069	0.376	0.194	0.506	0.340	0.361	0.400	0.343
1988	4.288	0.715	0.797	3.479	2.320	0.435	0.055	0.059	0.353	0.235	0.508	0.312	0.335	0.375	0.326
1993	4.283	0.651	0.702	3.268	2.489	0.434	0.047	0.051	0.331	0.252	0.510	0.286	0.310	0.352	0.317
1998	4.294	0.575	0.624	3.068	2.555	0.435	0.041	0.044	0.311	0.259	0.514	0.263	0.286	0.330	0.312
2003	4.318	0.511	0.558	2.880	2.583	0.438	0.035	0.039	0.292	0.262	0.519	0.241	0.264	0.309	0.311
1953/1978 Cumulative sum (×10 <sup>6</sup> )	12.858	6.882	6.959	12.499	6.882	1.312	0.582	0.588	1.278	0.582	1.259	1.095	1.122	1.172	1.095
ΔP/P (%)		46.47	45.87	2.79	46.47		55.59	55.18	2.58	55.59		12.96	10.86	6.84	12.96
1953/2003 Cumulative sum (×10 <sup>6</sup> )	27.290	9.665	9.941	23.761	14.493	2.768	0.759	0.777	2.421	1.340	2.962	2.081	2.183	2.373	2.178
ΔP/P (%)		64.58	63.57	12.93	46.89		72.56	71.91	12.52	51.57		29.74	26.29	19.89	26.45

Fig. 2. The Trend of Tuberculosis Prevalence by Various Schemes

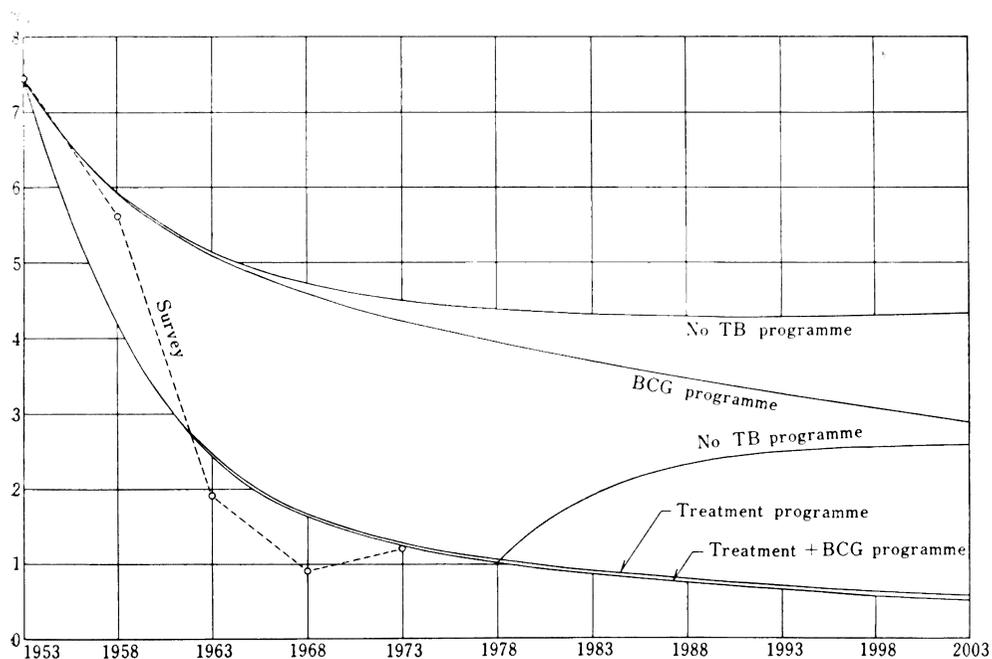


Fig. 3. The Trend of Tuberculosis Mortality Rate by Various Schemes

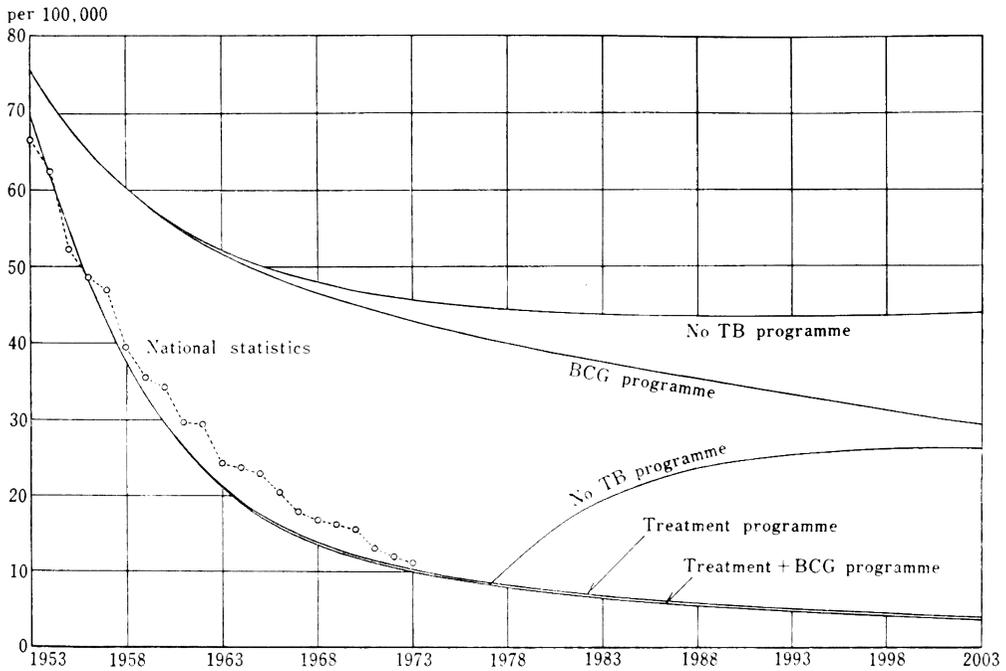
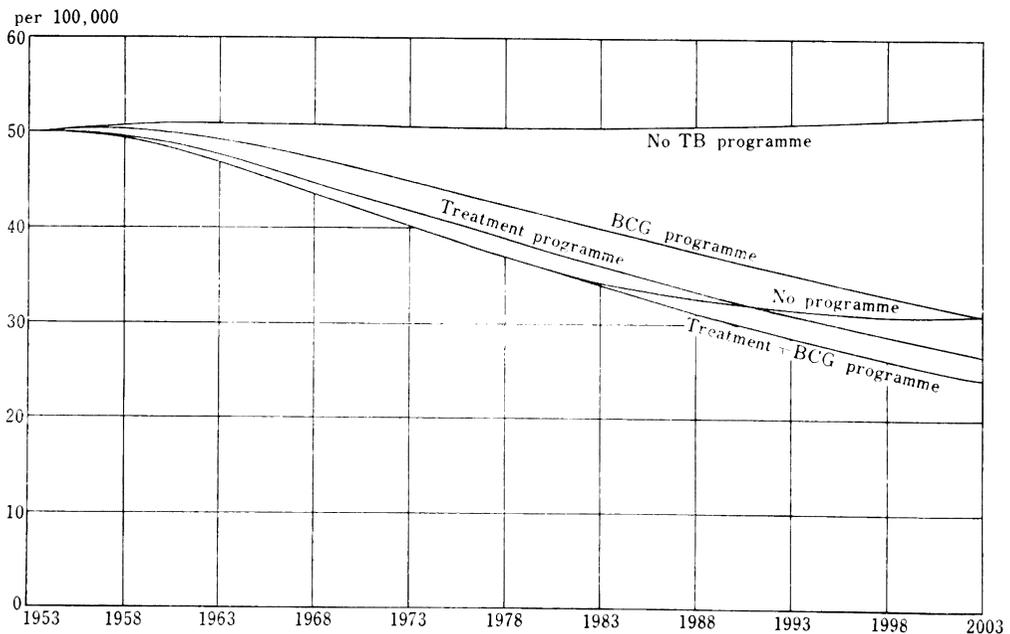


Fig. 4. The Trend of Tuberculosis Incidence by Various Schemes



模型の単純さからすれば、この程度の人口傾向の近似度でさしつかえないと考えられる。

結核死亡率は全結核死亡率とくらべてあるが、図3にも示したように、経年傾向が比較的良好に近似され、その差は1957年以降10万対1.1~6.1の間を上下している。

結核既感染率は、未接種ツ反陽性者の対人口比と比較してあるが、模型計算では既接種群の20%も初感染の対象中に入れてあるので、実態調査による推定値より多少高目だが、その差は2.45%以下にとどまる。

BCG 既接種率は実態調査推定値との間の差が、1958

Table 5. The Trend of Prevalence, Incidence and Risk of Infection of Tuberculosis by Various Schemes

Year	Prevalence of TB infection (%)					Incidence of TB infection (%)					Risk of TB infection (%)				
	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT	NAT	NTP	TR	BCG	NTP →NAT
1953	44.80	44.80	44.80	44.80	44.80	1.01	0.80	0.80	1.01	0.80	3.65	2.90	2.90	3.65	2.90
1958	45.39	43.62	43.93	44.88	43.62	0.86	0.32	0.43	0.63	0.32	2.91	1.41	1.41	2.91	1.41
1963	45.42	40.95	41.78	43.59	40.95	0.80	0.14	0.25	0.44	0.14	2.52	0.71	0.71	2.50	0.71
1968	45.27	37.94	39.19	41.71	37.94	0.78	0.07	0.16	0.33	0.07	2.32	0.41	0.42	2.25	0.41
1973	45.13	34.98	36.52	39.59	34.98	0.79	0.04	0.12	0.27	0.04	2.21	0.27	0.28	2.08	0.27
1978	45.07	32.17	33.94	37.38	32.17	0.80	0.03	0.09	0.22	0.08	2.15	0.19	0.20	1.94	0.50
1983	45.11	29.56	31.47	35.19	30.09	0.82	0.02	0.07	0.19	0.21	2.12	0.14	0.15	1.82	0.94
1988	45.26	27.14	29.14	33.05	28.79	0.84	0.01	0.06	0.16	0.32	2.10	0.10	0.11	1.70	1.14
1993	45.50	24.92	26.96	31.01	28.06	0.86	0.01	0.05	0.14	0.40	2.10	0.08	0.08	1.60	1.22
1998	45.48	22.87	24.92	29.07	27.73	0.88	0.009	0.04	0.13	0.45	2.11	0.06	0.06	1.50	1.25
2003	46.25	20.99	23.02	27.24	27.67	0.90	0.007	0.03	0.12	0.50	2.12	0.04	0.05	1.41	1.26

Footnote: NAT: natural course (no TB programme); NTP: National TB Programme (treatment+BCG); TR: treatment programme alone; BCG: BCG programme alone; NTP→NAT: NTP stopped after 1978.  
 Cumulative workload for 1953~1978: (NTP) 2.397 million treatment-years+52.114 million vaccinations;  
 (TR) 2.430 million treatment-years;  
 (BCG) 52.114 million vaccinations.  
 Cumulative workload for 1953~2003: (NTP) 4.093 million treatment-years+116.843 million vaccinations;  
 (TR) 4.249 million treatment-years;  
 (BCG) 116.843 million vaccinations.

Table 6. Efficiency of Treatment and BCG Vaccination Programmes in the Tuberculosis Problem Reduction

		TB-years	TB deaths	TB incidence
1953~1978				
per 100 treatment-years		242.75	29.79	5.63
per 100 BCG vaccinations		0.68	0.06	0.16
1953~2003				
per 100 treatment-years		408.30	46.85	18.33
per 100 BCG vaccinations		3.02	0.29	0.50
Number of vaccinations equivalent to one treatment-year in the problem reduction	for 1953/1978	352	457	34
	for 1953/2003	135	157	36

年の3.4%を除けば1%前後にとどまる。

菌陽性肺結核受療率は1958~1968年の間は実態調査による推定値とほとんど一致するが、1973年の計算結果は11%近く観測値よりも高くなる。

菌陽性肺結核の有病率は、実態調査による推定値との間に0.004~0.144%の差を示す。実態調査の術式の変更、とくに1963、1968両年の細菌検査材料が主として喉頭粘液であったことが多分影響して、この両年の有病率が落ちこんだと考えられるので、抽出誤差も考慮すれば、実際の有病率の傾向も、図2の1958年と1963年の観測値を結ぶ破線を横切るのはないかと想像される。

菌陽性肺結核の発病率は、実態調査の1年後追跡調査によれば、1953/54年0.05%、58/59年0.03%、63/64年

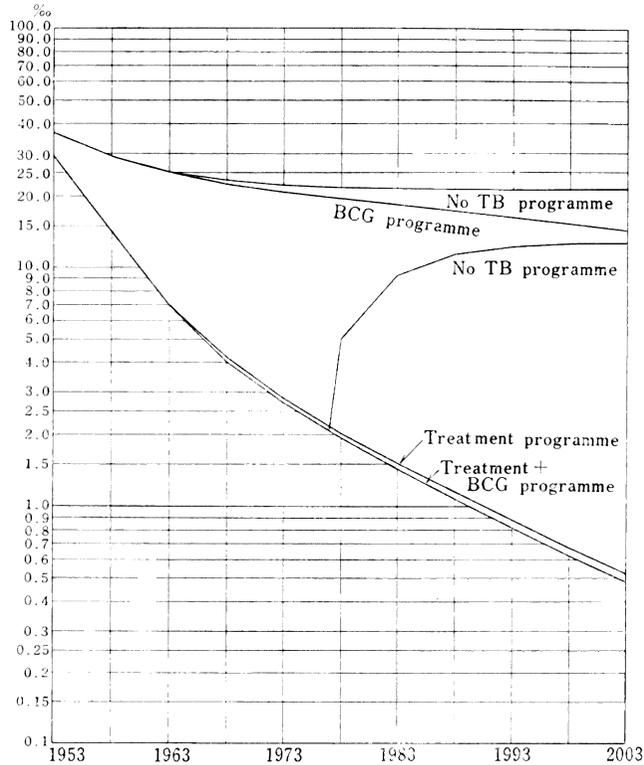
0.02%であつたが、これらは2万人前後の抽出標本中数人程度の発病なので、これらからは、0.05%くらいの頭初発病率から同じ桁内での減少傾向が以後の10年間にみられた、という程度のことしか言えない。模型計算では図4の最低曲線の示すように1953年の0.05%から1973年の0.04%へ漸減している。

既述の初期条件と諸係数値を用いた場合、この単純な模型により1953年以降20年間の日本の結核疫学像の推移を上述した程度に近似しうることが見られた。

5. 模型計算による結核対策の疫学効果の推定

模型計算の中で、1953年以降結核対策が一切なかつたものとする、表5、6のNATの欄に示される結核有

Fig. 5. The Trend of Annual Risk of Infection by Various Schemes



病率、死亡率、罹患率、既感染率、対人口初感染発生率、(対未感染)年間感染率の推移が得られる。NTPの欄には既述の1953年以降の結核対策による傾向が示されている。結核対策の疫学的効果はこの両欄の値の差で近似される。図2, 3, 4, 5にそれぞれ有病率、死亡率、発病率、年間感染率の結核対策の下での推移(Treatment+BCG Programme)と対策なしでの自然過程(No TB Programme)を示す。これらの2曲線に挟まれた面積が、対策による結核問題の減少を現わしている。

1953年以降結核対策なしの「自然過程」には、1953年までに行われた結核対策の残存効果が持続的に含まれているから、もちろん全くの自然過程ではない。

結核対策による結核問題の減少度をみるには、人口対率の変化よりも絶対数での変化の方が便利である。表4の下段には、1953年以降25年間および50年間の結核患者年(各年の患者数×1年の累計)、結核死亡数、結核発病数が示してある。問題の減少度は、自然過程での値に対する結核対策による減少の比率( $\Delta P/P$ )をもつて示した。これによれば、わが国の結核対策の疫学的効果は、1953年以降の25年間で、感染性肺結核の患者年累計の46.5%、同新発生累計の13%、結核死亡累計の55.6%の減少として推定される。表4, 5には1953年以降結核治療のみによる対策(TR)、BCG接種のみでの対策(BCG)、1978年以降対策中止(NTP→NAT)の場合についての計算結

果もせた。対応する曲線は図2～5に示した。これらの図、表にみられるように、死亡率、有病率、感染率に関しては、速効性の強い治療の効果が圧倒的だが、結核および初感染の対人口発生率については、予防手段としてのBCG接種の効果も相当程度にみられる。なお、これらの図に明らかなように、結核対策の効果は、その部分である治療とBCG接種の効果の和よりも小さい。これは、たとえばBCG接種のみによる対策で予防できる初感染のある部分が、併存する治療による対策によって消去される、というように、両方法の併存による相殺効果によるものである。

上述の効果を得るために、表5脚注に示すように、25年間に累計 $2.397 \times 10^6$ 治療年と $52.114 \times 10^6$ のBCG初接種が行われたことになる。一応相殺効果を見捨て、両方法の中の一つだけによる対策の効率でみると、表6に示すように、1953年以降の25年間を通算すれば、100治療年あたり242.8患者年、29.8結核死、5.6新発生が予防され、またBCG100初接種あたり0.7患者年、0.1結核死、0.2新発生が予防されたことになる。同表下段に示すように、これは、結核患者年、結核死、結核新発生について、それぞれ352, 457, 34のBCG初接種が1治療年に匹敵する予防効果をあげたことを意味している。わが国での1治療年の平均費用が検診費も含め、BCG1初接種の費用の2,000倍程度であることを

考慮すると、公衆衛生面での BCG 接種の効率は、その遅効性にもかかわらずきわめてすぐれているといわざるをえない。結核受療率がわが国よりもはるかに低い国々における BCG 接種の果たす大きな役割が、これからもうかがわれる。

## 6. 結核の疫学将来像の予測

以上のように、1953年から25年間の結核疫学像の推移を近似したが、用いた諸係数値、受療率と接種率の推移傾向を決定している諸条件、等が不変の仮定のもとに、さらに25年間の推移の模型計算を行った。表4~6、図2~5にはその結果も併せ示してある。

結核有病率、死亡率の減少速度は次第にゆるみ、最初の25年では前者は1/7、後者は1/10に減少したが、次の25年では両者ともに1/2までには減少しない。だが表4、図4に示すように、発病率（新発生率）の減少傾向はこれほど鈍化せず、前後の25年間ともにほぼ7/10に減少する。したがって、表4最下段に示すように、50年間の結核問題減少率は、患者年累計では最初の25年間の減少率の1.4倍、結核死亡累計では1.3倍なのに比し、新発生累計では2.3倍になっている。

図5に見られるように、年間感染率も次の25年間の減少率は減り、最初の25年間には1/15にまで減少しているのに対し、次の25年間には1/4に減少するにすぎない。

もしも1978年以降結核対策を一切停止した場合には、図2~5に示したように、有病率、死亡率、発病率、年間感染率のいずれも急速に上昇し、5年後には10年以上前、10年後には15年前の状態にもどり、25年間では1953年以降 BCG 接種のみによる推移に近づいていく。

1953年以来、結核有病率も死亡率も急速に減少し、最近にいたりその減少速度の鈍化がみられるため、結核対策による結核問題減少は限度に近づき、今後は放置してもこの傾向は続くかのような印象を与えられるが、上述の計算は、少なくとも感染性結核の発見治療と未感染者に対する BCG 初接種が続けられなければ、結核問題の再悪化がありうることを暗示しているといえよう。

## 7. 要約と結論

出生年コホートごとの計算の代わりに、全人口を一括して扱うための比較的単純な疫学模型を設定し、「肺結核」を菌陽性肺結核で定義し、1953年結核実態調査に基づく初期条件より出発して50年間のわが国の結核の疫学的傾

向の模型計算を行い、1953~1973年間の推移を近似しえた。この模型計算によりまた結核対策が行われない場合の「自然過程」と、治療のみまたは BCG 接種のみが行われた場合の過程を計算し、これらにもとづいて結核対策の疫学的効果とその効率の推定を行った。1953年より25年間の結核対策による結核問題の減少率は患者年累計で46.5%、結核死亡累計で55.6%と推定される。また、この模型計算によれば、1975年の菌陽性肺結核の有病率は0.11%、既感染率は33.8%、(未感染中)年間感染率は0.23%と推定される。結核対策を含め結核問題の推移傾向を規定する諸条件が不変の場合、問題の減少率の鈍化が続き、今後25年間有病率は0.1~0.05%、死亡率は10万対10~3、発病率0.04~0.02%、年間感染率0.25~0.05%程度の範囲内で遞減する傾向が計算された。

この模型中、治療数、BCG 初接種数および人口の推移を近似する部分は、これらに関する入手可能な情報の量と質とにしたがつて適当に調整すればよく、その他の係数値も推定に必要な情報がない場合には適当な仮定を設けることにより、情報不足の国々についてもこのような模型計算は可能であると考えられる。またこの模型は比較的簡単なので、大型電算器を用いなくとも、容量500語、50メモリー程度以上の卓上電算器での計算は容易であり、小型計算器または手計算による逐次計算すら可能である。

終りに、この研究のために種々の援助をいただいた結核予防会結核研究所岩崎龍郎所長と同研究所疫学科の同僚諸兄に厚く感謝の意を表したい。

## 文 献

- 1) 遠藤昌一・青木国雄、結核、46:99, 1971.
- 2) Waaler, H. T., Geser, A. and Andersen, S.: Am. J. Publ. Hlth., 52:1002, 1962.
- 3) Waaler, H. T.: WHO/TB/Techn. Information/61, 1968.
- 4) Waaler, H. T. and Piot, M. A.: Bull. Wld. Hlth. Org., 41:75, 1969.
- 5) Waaler, H. T. and Piot, M. A.: Bull. Wld. Hlth. Org., 43:1, 1970.
- 6)~12) 厚生省: 結核実態調査 I~VII, 1955~1970.
- 13) 厚生省: 昭和48年結核実態調査 VIII, 1975.
- 14) Great Britain, Medical Research Council: Brit. Med. J., 1:973, 1963.
- 15) 木原和郎: 結核, 47:3, 1972.