

台湾人口预测

齐 心, 林莹琦, 黄玉冰, 穆家宏

(中兴大学昆虫学系理论生态学研究室, 台湾)

摘要: 利用生命表理论与人口统计资料, 模拟台湾地区人口至 2050 年的增长。模拟结果显示台湾地区总人数将于 2020 年至 2025 年间达到高峰, 约为 2350~2400 万人。其后则逐渐减少, 到 2050 年可能减少为 2100 余万至 2200 余万人。预测出生率逐年显著下降, 至 2050 年时, 每年每 1000 人约仅生育 10 人。男性与女性人口总数的差距有减少的趋势; 性比率将于 2020 年至 2030 年间更接近 1。年龄结构的变化趋势显示台湾地区人口逐渐老化; 65 岁以上的老年人口数逐年增加, 2050 年时将超过 18%。扶养比于 1985 至 2005 年间下降, 2010 年后则上升。若分别考虑老年人口与幼年人口, 老年扶养比自 1985 起持续增加, 而幼年扶养比则先逐年下降, 至 2010 年后逐渐趋于稳定。

关键词: 生命表; 人口; 电脑模拟

Prediction on the population of Taiwan

CHI Hsin, LIN Ying-Chi, HUANG Yu-Bing, MU Chia-Hong (Laboratory of Theoretical Ecology, Department of Entomology, Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, China)

Abstract Based on the life table theory and demographic data, the growth of Taiwan population is predicted to the year 2050. The predicted population will reach 23.5 to 24 million during the period 2020~2025, then it will begin decreasing to about 21 or 22 millions by the year 2050. The birth rate will gradually decrease and will stabilize at about 10 new born per 1000 people by the year 2050. The trend of age structure shows that the elder population will proportionally increase. There will be more than 18% elder population (age 65 or older) by the year 2050. Since 1985, the elder dependency ratio has and will continue to increase constantly, while the young dependency ratio will decrease until stabilizing after the year 2010. The predicted total dependency ratio decreases between 1985 and 2010, after that it increases again.

Key words: life table; demography; computer simulation

文章编号: 1000-0933(2000)02-0321-14 中图分类号: Q 14 文献标识码: A

在学术上, 人口增长为生态学、经济学、社会学、金融保险学等的重要研究项目。实际上, 人口增长在政治、环境、经济、教育、医药卫生、农业生产等各方面都有非常重要的应用。由马尔萨斯的“人口论”^[1]开始, 人口问题的研究即不断进行。由于现代各先进国家大多有严密的户政制度, 人口的出生、死亡、迁徙的记录相当完整可靠。因此, 除了少数濒临绝种的生物种类外, 人类的资料远较其他大多数生物种类的资料详尽正确。再由于先进国家人民生活安定、医药进步、公共卫生条件高, 出生率与死亡率变动不大, 人口的预测相当可靠。准确的人口预测有助于政府的各种施政规划, 例如: 粮食作物生产、各级教育(幼稚园、小学、中学、大学)的需求、住宅政策、医药与公共卫生、土地利用、经济发展、金融税负、各种资源与能源(石油、电力、煤气、水)的需求与成长预估, 以及其他诸多方面的施政规划。因此, 现代化的政府, 必须要能正确预估人口的增长与人口结构的变化。

在有关种群增长的研究上, 不论人口、森林、鱼类、昆虫等, 都应用生命表理论^[2~5]。本文以生命表理论为基础, 利用电脑模拟, 预测台湾人口的增长、出生率与死亡率的变动、年龄结构与性比率的变化、老年人口的增长、以及扶养比变化趋势等。

1 理论基础

“人口增长”属于生态学中种群增长的“具年龄结构种群的增长”(growth of age-structured population)。Lotka 提出计算种群生长率的公式^[7], Lewis 与 Leslie 则以矩阵运算方式描述种群生长^[8-10], 其基本形式为:

$$\begin{matrix}
 \begin{bmatrix}
 f_0 & f_1 & \dots & f_k \\
 s_0 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & s_1 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 \\
 \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & s_{k-1} & 0
 \end{bmatrix}
 &
 \begin{bmatrix}
 n_0 \\
 n_1 \\
 n_2 \\
 \vdots \\
 n_k
 \end{bmatrix}
 &
 =
 &
 \begin{bmatrix}
 n_0 \\
 n_1 \\
 n_2 \\
 \vdots \\
 n_k
 \end{bmatrix}
 \\
 M & N_t & N_{t+1}
 \end{matrix}
 \tag{1}$$

其中M 矩阵的 f_i 为年龄 i 的个体的繁殖率, s_i 则为年龄 i 的个体存活至年龄 $i+1$ 的存活率, N_t 矩阵与 N_{t+1} 矩阵分别代表时间 t 与 $t+1$ 时的种群年龄结构, 其中 n_i 则为年龄 i 的个体数. M 矩阵一般称为 Lewis-Leslie matrix 或 Leslie matrix, Lewis-Leslie matrix 仅包含雌性种群, 其 f_i 与 s_i 仅为雌性种群的生命表的繁殖率与存活率. 人类以及其他许多生物, 两性间的存活率与发育速率都有明显的差异, 若仅考虑雌性种群, 无法正确计算整个种群的变动. Williamson^[11]将 Lewis^[8]与 Leslie^[9,10]的方法变更为包含雌雄两性的种群矩阵, 其格式如下

$$\begin{matrix}
 \begin{bmatrix}
 f_0 & 0 & f_1 & 0 & \dots & f_{k-1} & 0 & f_k & 0 \\
 g_0 & 0 & g_1 & 0 & \dots & g_{g-1} & 0 & g_k & 0 \\
 s_0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & u_0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & s_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & u_1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & s_{k-1} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & u_{k-1} & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 &
 \begin{bmatrix}
 n_0 \\
 m_0 \\
 n_1 \\
 m_1 \\
 n_2 \\
 m_2 \\
 \vdots \\
 n_k \\
 m_k
 \end{bmatrix}
 &
 =
 &
 \begin{bmatrix}
 n_0 \\
 m_0 \\
 n_1 \\
 m_1 \\
 n_2 \\
 m_2 \\
 \vdots \\
 n_k \\
 m_k
 \end{bmatrix}
 \\
 M & N_t & N_{t+1}
 \end{matrix}
 \tag{2}$$

其中M 矩阵的 f_i 为年龄 i 的雌性个体生育雌性子代的繁殖率, s_i 则为年龄 i 的雌性个体存活至年龄 $i+1$ 的存活率, g_i 为年龄 i 的雌性个体生育雄性子代的繁殖率, u_i 则为年龄 i 的雄性个体存活至年龄 $i+1$ 的存活率, N_t 矩阵与 N_{t+1} 矩阵的 n_i 与 m_i 则为分别为年龄 i 的雌性个体数与雄性个体数. 读者可由 internet 下载 Lewis-Leslie matrix 与 Williamson matrix 之模拟教学程式'其位址为 <http://nhsbig.inhs.uiuc.edu/wes/chi.html>(Illinois Natural History Survey) 或 <http://ftp.nchu.edu.tw/nchu/Ecology/Welcom.html>

2 材料与方法

2.1 人口统计资料

本研究使用之生命表资料引用自台湾省内政部出版之“台闽地区人口统计”^[12], 资料范围包含台湾地区(台湾省各县市、台北市及高雄市)与福建省之金门县及连江县两县, 综合称为台闽地区. 其中主要为每年年底各年龄的男性与女性人口数、各年龄的男性与女性死亡数, 以及各年龄的妇女生育男婴与女婴的数目.

2.2 生命表

依据上述的台闽地区人口统计资料以及前述 Williamson matrix 理论, 计算各年龄的存活率以及各年龄的妇女生育男婴与女婴的生育率. 存活率系依据各年龄的人口数与死亡数计算而得, 男性与女性分开计算, 计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 s_i &= 1 - d_{fi}/n_i \\
 u_i &= 1 - d_{mi}/m_i
 \end{aligned}$$



其中 s_i 与 u_i 分别代表年龄 i 的女性与男性存活率, d_{fi} 与 d_{mi} 分别代表年龄 i 的女性与男性死亡人数, n_i 与 m_i 则代表年龄 i 的女性与男性人口数。各年龄妇女生育男婴与女婴的生育率则以下式计算:

$$f_i = b_{fi}/n_i$$

$$g_i = b_{mi}/n_i$$

其中 f_i 与 g_i 分别代表年龄 i 的女性生育女婴与男婴的生育率, b_{fi} 与 b_{mi} 分别代表年龄 i 的女性生育女婴与男婴的生育数, n_i 则代表年龄 i 的女性人口数。

2.3 预测模式

依据上述理论与资料, 利用 Visual BASIC 设计“台湾人口预测模式”, 本程式适用于 Windows 95 与 Windows 98 系统, 目前亦置于前述网站供读者使用。程式的英文名称为 Taiwan Population, 压缩档案名称为 Human.zip。

3 结果与讨论

近年来, 台湾省人口虽然仍然每年增加, 但增长率已逐渐趋缓。其原因一方面由于政府推动家庭计划生育成效显著, 另一方面则由于社会上传宗接代的观念逐渐转变。依据 1985、1990 及 1995 三年的生命表资料, 分别预测台湾省人口总数的变化, 其结果显示相同的趋势, 人口总数大约于 2020 年至 2025 年间将达 2350~ 2400 万人, 其后自 2025 年逐渐转变为负增长, 于 2050 年时台湾省人口将减少为 2100~ 2200 万人(图 1)。预测结果中, 以 1990 年的生命表所预测的总人数最高, 而以 1990 年与 1995 年的生命表所预测的结果则较接近, 这是因为 1985 与 1995 的出生率较低, 而 1990 年的出生率较高, 此亦反映台湾省人口生命表的变动性。若出生率继续下降, 则于 2020 年至 2025 年间人口总数将会少于 2300 万人, 而 2050 年时台湾省人口将减少为 2100 万人以下的可能性更高。若分别观察预测的男性与女性人口增长情形, 也有相同的趋势(图 2)。然而, 图 2 中另外显示男性与女性人口数的差异有逐渐减小的趋势。若观察实际资料, 1985 年时, 台湾省男性人口的实际总人数为 10023344 人, 较女性的 9290481 人, 多出 73 万余人。1995 年时, 男性人口的实际人数为 10990657 人, 较女性 10366774 人, 多出 63 万余人。比较之下, 1995 年两性人口的差异较 1985 年时减少 10 万人。图 2 的预测结果正反映这种男女人数差异减少的趋势。

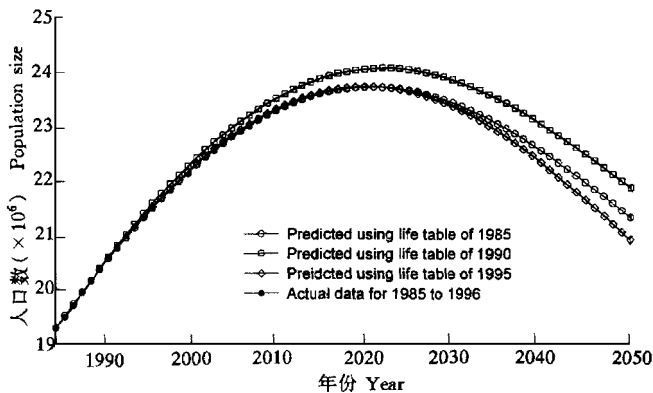


图 1 依据 1985、1990 及 1995 年生命表预测的人口总数(1985 至 1996 年的实际人口数亦绘于图中)

Fig. 1 Total population sizes predicted by using life table of 1985, 1990 and 1995(The actual population sizes from 1985 to 1996 are plotted)

人口数目的变化主要由于出生、死亡及迁徙。由于迁徙人口所占比率甚低, 故本文不讨论迁徙的问题。1985 至 1996 年新生婴儿数有相当的变动, 但整体而言, 有下降的趋势(图 3)。不但生育率降低, 妇女生育率的年龄分布(新生婴儿的母亲年龄分布)也有高龄化的趋势, 此点已有许多学者注意到^[13]。本研究利用生命表的详细资料模拟, 不但包含了生育率的改变, 也包含了生育年龄的变化。以 1985 年的生命表模拟结果显示新生婴儿数仅于初期略有增加, 随后即逐年减少。然而, 以 1990 与 1995 的生命表模拟, 则都显示新生

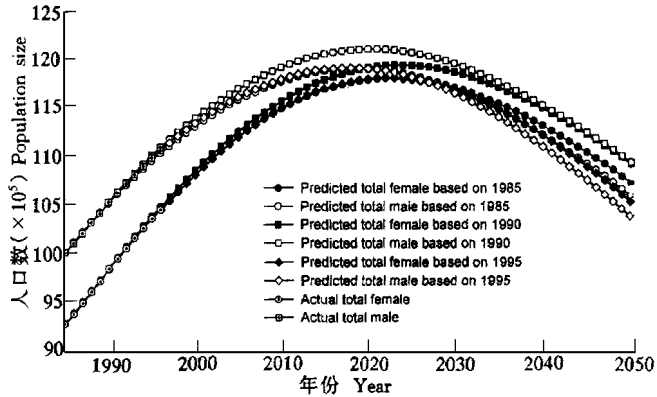


图2 依据1985、1990及1995年生命表预测的男性与女性人口数(1985至1996年的实际人口数亦绘于图中)

Fig. 2 Total male and female populations predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995 (The actual population size from 1985 to 1996 are plotted)

婴儿数逐年减少。预测2050年时,每年新生婴儿仅约20至23万人。图3中显示的1985至1996年的实际出生数各年均均有变动,且均比预测值低。究其原因,一方面由于生育率本身的变动,一方面由于人口统计资料的错误。至于造成此长期降低趋势的原因,则主要由于妇女生育率的变化与人口年龄结构的老年化。有关妇女生育率的变化,必须观察较详细的龄别生育率(Age-specific birth rate)。图4为1985至1996年各年龄女性生育女婴与男婴的生育率。此图显示20至24岁的妇女生育率明显降低,而30至34岁的妇女生育率明显上升,但主要生育年龄仍为25至29岁。若维持1995年的人口生育率,每千人出生率会继续下降,2030年后下降的速率稍缓,至2050年时,出生率可能仅为每千人生育10人左右。若观察死亡人数的变化(图5),以1985、1990、1995三年的生命表资料分别预测的死亡率结果十分相近。

台湾人口总数目前虽仍每年增加,但增长率已渐趋缓。观察预测所得的每两年间的人口增长率(图6),于2020年前后,增长率将进一步降为1,亦即前后两年间人口数目保持固定。2020年后,增长率则进一步降低,人口数目逐年减少,如图1的预测所示。以1985、1990与1995三年的生命表模拟的结果略有差异,以1990年的资料所模拟的结果较高,此乃由于1990年台湾人口生育率较高的缘故。

人口增加或减少,不但对粮食的需求会改变,对住宅、教育、工作、能源等等的需求都会改变。若政府不能预先妥善规划,必然造成供需不能平衡,小则造成物价波动,人民生活水准降低,房屋与土地价格波动,教育水准降低,生活环境恶化;大则造成社会动乱,经济崩溃,国力衰弱。

性比率为人口结构中的要素之一。人口的性比率虽然粗略而言接近1:1,但些微的变化仍应注意。依据预测显示,性比率仍在逐渐改变中。以总人数而论,于2020年至2050年间,女性所占比率将与男性相近,各占约50%(图7)。若以1985与1995的生命表预测,于2050年时,男性人口将较女性人口少十万人(图2);若以1990的生命表预测,于2050年时,男性人口将与女性人口相近(图2)。然而,若观察以1996的生命表所预测的2010年后的男女性年龄结构(图8),则发现小于50岁的男性较女性为多,50岁以上的女性较男性为多。造成这种差异的原因,一方面由于许多年来新生婴儿的性比率为男婴多于女婴,另一方面则由于女性的期望寿命较男性为高(本文依据1996年生命表计算台湾1996年女性新生婴儿的期望寿命为83岁,男性为81岁)。因此,虽然未来男女性总数的性比率接近,但不同年龄的两性人口数目仍有相当差异。适婚年龄人口中的男性人数仍然高于女性,而祖母级的女性数目则高于祖父级的男性。

年龄结构反映生物种群的特性,台闽地区于1985年与1995年的实际年龄结构,以及预测的2010年与2050年的年龄结构如图8所示。于1985年时,35岁以下的人口远多于35岁以上的人口,20岁以下的人口各年龄组相差不大,但已有出生率降低的趋势。至1995年时,0~9岁人口进一步减少,这是由于1985至1995年间出生率明显逐年下降所致,故年龄结构已呈明显“中广”型。若以1996年的生命表模拟至2050

表 1 依据 1996 年台闽人口生命表资料预测的 1998 年与 1999 年人口年龄结构

Table 1 Predicted age structures of 1998 and 1999 based on the 1996 life table of Taiwan-Fukien area

年龄 Age	1998		1999	
	男 Male	女 Female	男 Male	女 Female
0	168563	154997	168304	154760
1	167434	154076	167239	153899
2	167458	154098	167259	153919
3	166630	154342	167365	154002
4	166812	153417	166555	154286
5~ 9	841620	772400	839845	771153
10~ 14	889076	827558	879281	816319
15~ 19	982785	927188	963009	906860
20~ 24	961622	913769	964575	915989
25~ 29	943446	901255	945633	903206
30~ 34	974253	936608	966131	928839
35~ 39	963000	931036	962740	931175
40~ 44	892975	867808	903705	879182
45~ 49	721847	705195	752397	736175
50~ 54	500174	495012	540423	535187
55~ 59	411479	420759	424418	433231
60~ 64	364268	369316	367396	376243
65~ 69	356743	307330	349691	315149
70~ 74	292537	232417	294455	241347
75~ 79	183078	154801	193635	163136
80~ 84	92939	89455	101244	94992
85~	39100	46942	42843	48188
总和 Sum	11247839	10669779	11328143	10767237
总人口数	21917618		22095380	
Total population	21917618		22095380	

表 2 台闽地区年底人口记录的零岁人口数与婴儿出生数的差异

Table 2 Differences between the records of year-end number of age group zero and the number of birth of Taiwan-Fukien area

年份 Year	男 Male			女 Female		
	出生男婴数 Male new born	零岁人口 Age group 0	差值 Difference	出生女婴数 Female new born	零岁人口 Age group 0	差值 Difference
1985	177006	162253	14753	165953	152200	13753
1986	158554	151010	7544	147774	141220	6554
1987	162935	150356	12570	150374	138627	11720
1988	177856	163717	14139	164371	150648	13723
1989	162952	153990	8962	150032	142377	7655
1990	176378	169026	7352	159928	154926	5002
1991	167780	161217	6563	151900	147352	4548
1992	168306	160372	7934	153099	147360	5739
1993	169360	159265	10095	156634	148027	8607
1994	168764	153609	15155	155004	140085	14919
1995	169482	156946	12536	157065	145218	11847
1996	168961	158284	10677	155356	145553	9803

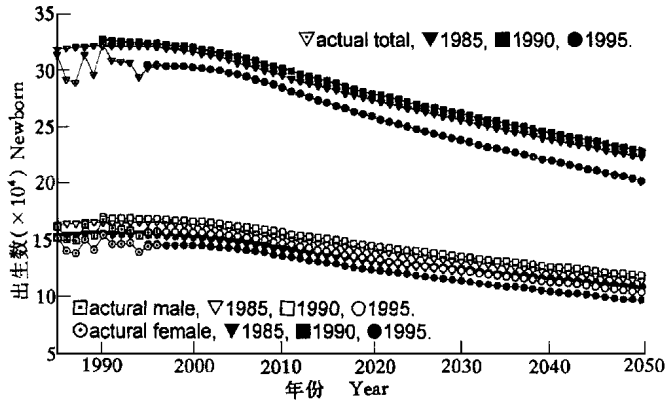


图3 依据 1985, 1990 及 1995 年生命表预测的总出生人数, 男婴出生人数与女婴出生人数(1985 至 1996 年的实际出生人数亦绘于图中)

Fig 3 Total newborns, male newborns and female newborns predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995 (The actual newborns from 1985 to 1996 are plotted)

表3 依据 1996 年台闽人口生命表资料修正的生育率预测的 1998 年与 1999 年人口年龄结构

Table 3 Predicted age-structures of Taiwan-Fukien area for 1998 and 1999 based on the 1996 life table with modified birth rates

年龄 Age	1998		1999	
	男 Male	女 Female	男 Male	女 Female
0	159151	146246	159007	146524
1	158085	145376	158002	145709
2	167458	154098	158020	145728
3	166630	154342	158121	145806
4	166812	153417	166555	154286
5~ 9	841620	772400	839845	771153
10~ 14	889076	827558	879281	816319
15~ 19	982785	927188	963009	906860
20~ 24	961622	913769	964575	915989
25~ 29	943446	901255	945663	903206
30~ 34	974253	936608	966131	928839
35~ 39	963000	931036	962740	931175
40~ 44	892975	867808	903705	879182
45~ 49	721847	705195	752397	736175
50~ 54	500174	495012	540423	535187
55~ 59	411479	420759	424418	433231
60~ 64	364268	369316	367396	376243
65~ 69	356743	307330	349691	315149
70~ 74	292537	232417	294455	241347
75~ 79	183078	154801	193635	163136
80~ 84	92939	89455	101244	94992
85-	39100	46942	42843	48188
总和 Sum	11229078	10652328	11291156	10734424
总人口数	21881406		22025580	

1999内政部统计为	11312728	10779659
差值	21572	45235
误差率	0.19%	0.42%

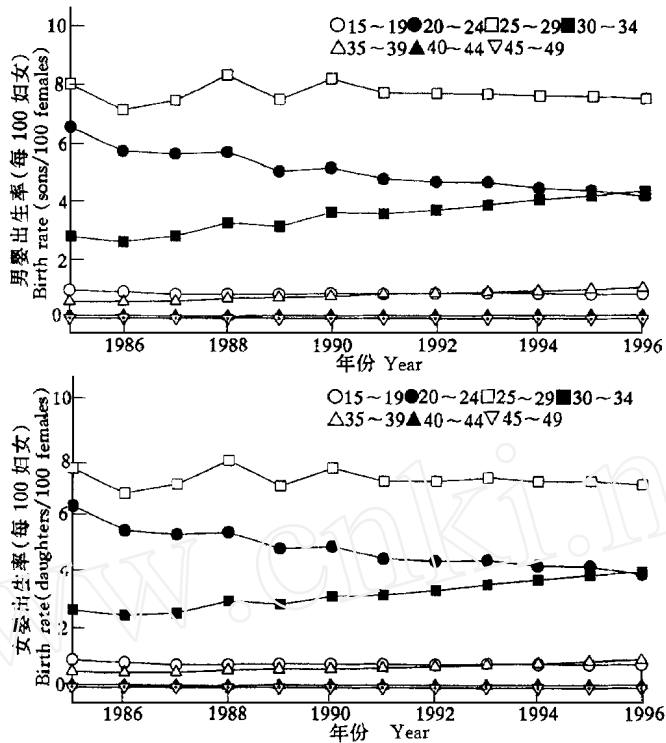


图 4 依据 1985 至 1996 年各年龄组的 100 名妇女的生育男婴与女婴数

Fig. 4 A ge-specific birth rates of male and female offspring per 100 females from 1985 to 1996

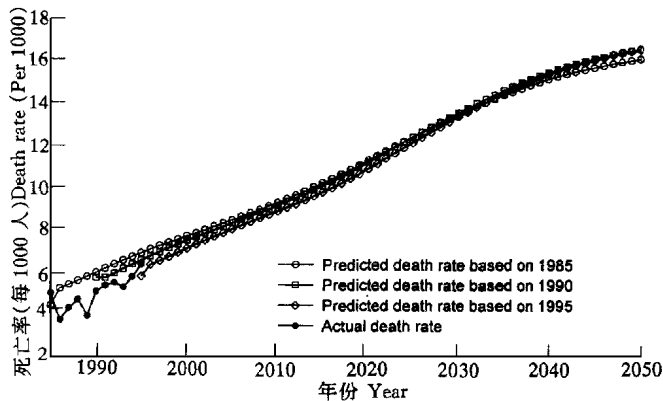


图 5 依据 1985, 1990 与 1995 年生命表预测的每千人死亡数(1985 至 1996 实际死亡数亦绘于图中)

Fig. 5 Death rates per 1000 people predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995 (The actual death rates from 1985 to 1996 are plotted)

年, 结果显示 2010 年时台湾将逐渐步入老年社会, 老年人口比率将逐渐增加。2050 年时台湾省中老年人人数则显著多于青壮年与青少年人口。若计算 65 岁以上人口占人口总数的百分率(图 9), 则可见 65 岁以上人口比率将逐年增加, 至 2050 年甚至可达 18% 或 20% 以上。先进国家由于教育普及而使人民保健知识提升, 同时医药与公共卫生不断进步, 人民的平均寿命较长, 老年人口所占比率因而较高。政府必须针对老年人口的变化提出适当的对策, 以维持社会的安定。台湾近年来常发生独居老人病逝与生活无人照顾的问题, 逐渐促使政府重视老年人口政策的重要性。由于医学不断进步, 未来人类寿命仍可能进一步增长, 老年人

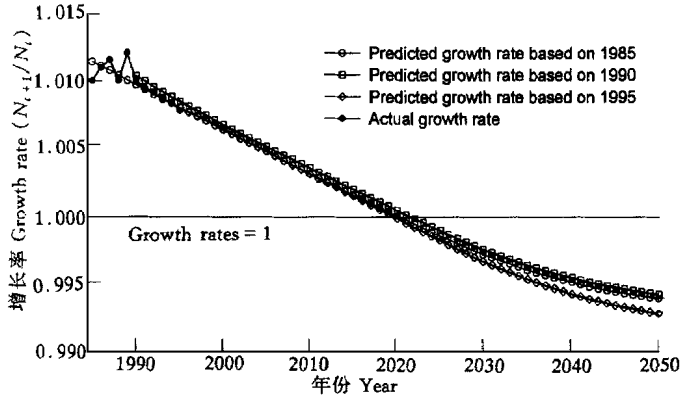


图6 依据1985, 1990与1995年生命表预测的增长率(1985至1996年实际增长率亦绘于图中)

Fig. 6 Growth rates predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995. The actual growth rates from 1985 to 1996 are plotted

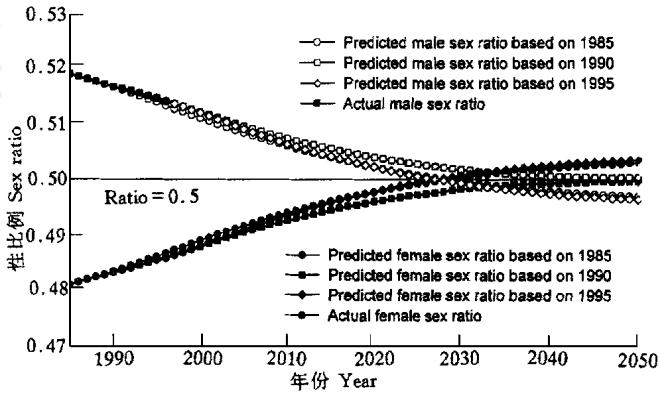


图7 依据1985, 1990与1995年生命表预测的性比例(1985至1996年实际性比例亦绘于图中)

Fig. 7 Sex ratios predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995 (The actual sex ratios from 1985 to 1996 are plotted)

口必然增加, 政府有必要及早调整现行人口政策, 以避免人口老化造成的种种问题, 而不能仅于选举时提出发放“老人年金”的政策。

台湾省内政部出版的“台闽地区人口统计”中以0~14岁及65岁以上的人口为依赖人口, 而以15岁至64岁的人口为有工作能力的人口。将依赖人口总数除以有工作能力的人口总数, 即为抚养比(Dependency ratio)。图10为预测的抚养比变化情形, 图中显示由1985至2005年期间, 抚养比逐年下降, 最低时约为0.42至0.44, 即每个15岁至64岁的人, 除了负担自己的生活外, 另外负担0.42至0.44个人的抚养。其后则逐年渐升。这种抚养比的变化, 乃由于二次大战结束后, 出生率较高, 这段期间出生的人口目前均为工作人口。其后, 政府推行家庭计划, 生育数较低, 因而目前14岁以下的人口较少。此外, 目前老年人口为二次大战时的青中壮年人口, 这些人口存活至今的人数较少。因此1985至2005年期间抚养比逐年下降。然而, 1985年后出生的人口于2010年时, 已达青壮年, 此时二次大战后出生的人口逐渐成为老年人口, 这些老年人口生长的物质环境较好, 医药卫生条件也较好, 因而寿命较长, 故而自2010年后, 老年人口增加较快(见图9), 抚养比逐渐上升。

然而, 上述以0岁至14岁及65岁以上的人口为依赖人口, 15岁至64岁为有工作能力的人口的区分方法并不十分恰当。一般而言, 台湾地区16至25岁的人口多数仍在学, 仍需家长负担生活费用与学费。另外一方面, 55岁至65岁的人口其子女大多已逐渐成年, 负担逐渐减轻, 因此若将这些人口视为有工作能力

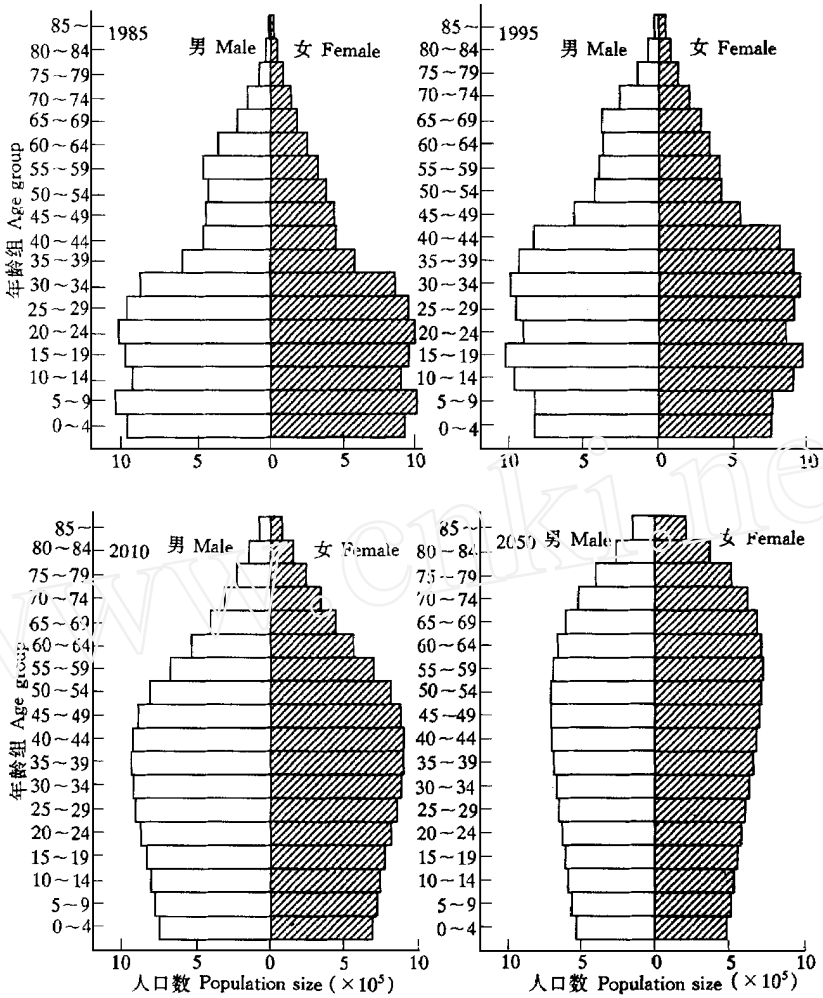


图 8 1985 与 1995 年的实际年龄结构图, 与预测的 2010 与 2050 年的年龄结构图
 Fig. 8 Actual age structures of 1985 and 1995, and predicted age structures of 2010 and 2050

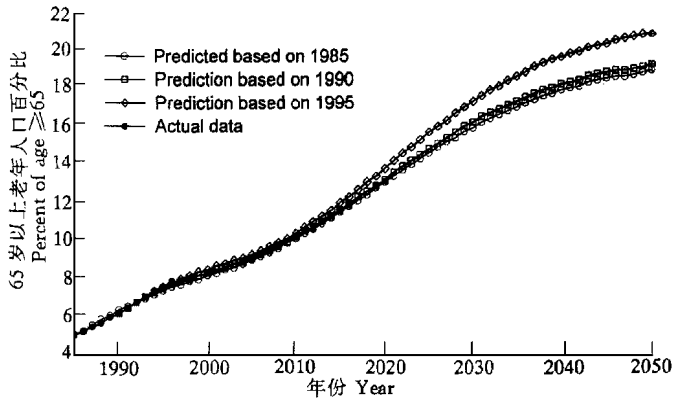


图 9 依据 1985, 1990 与 1995 年生命表预测的老年人口 (65 岁以上) 百分比 (1985 至 1996 年的实际老年人口百分比亦绘于图中)
 Fig. 9 Percentage of elder population (age 65 and over) predicted by using life tables of 1985, 1990 and 1995.

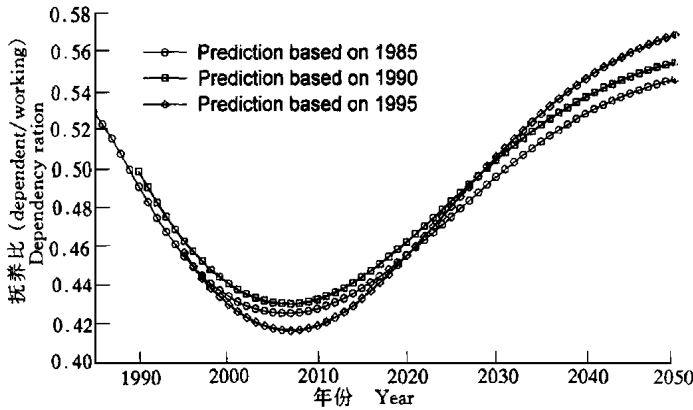


图 10 预测的抚养比曲线, 工作人口年龄组为 15 岁至 64 岁, 依赖人口年龄组为 15 岁以下或 64 岁以上

Fig. 10 Predicted dependency ratio where working age groups are 15 to 64 and dependent age groups are those younger than 15 or older than 64

但无负担的人口, 则可不入抚养比的计算。若将 25 岁至 54 岁的人口数作为抚养比的分子, 小于 25 岁与大于 65 岁的人口数作为分子, 所得的抚养比如图 11 所示, 最低时降为 0.95 至 1.0, 表示每个 25 岁至 54 岁的人口除了自己的外, 每人须负担另一人的抚养。图 11 与前述图 10 的数值大小不同, 然而两图均显示台湾人口抚养比即将于 2010 年起上升, 政府有关单位必须重视, 并能预先在相关政策上做好相应准备。图 10 与图 11 亦显示抚养比的计算必须选择适当的标准以区分工作人口与依赖人口, 若所用的标准适当, 抚养比可以正确反应依赖人口与工作人口的比值, 便可以作为人力资源政策、社会福利政策、教育资源分配的依据。

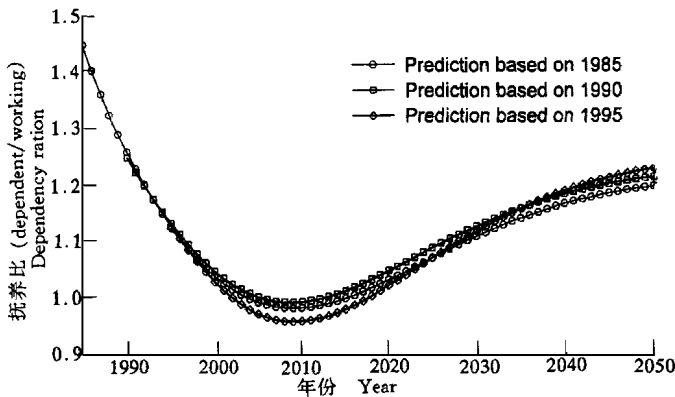


图 11 预测的抚养比曲线, 工作人口年龄组为 25 岁至 64 岁, 依赖人口年龄组为 25 岁以下或 64 岁以上

Fig. 11 Predicted dependency ratio where working age groups are 25 to 64 and dependent age groups are those younger than 25 or older than 64

礼运大同篇中有“老有所终, 壮有所用, 幼有所长。”, 这句话说明不同年龄的人口有不同的需求, 将老年人口与青少年人口合并称为依赖人口, 便无法区分不同需求的变动。若以 15 岁至 64 岁为工作人口, 计算老年依赖人口与工作人口的比, 其老年人口抚养比由 1985 年起逐渐自 0.075 上升, 至 2050 年可高达 0.3 左右, 即每个工作人口抚养 0.3 个 65 岁以上的老人(图 12)。若以 15 岁以上为幼年依赖人口, 以 15 岁至 64 岁为工作人口, 所计算的幼年抚养比则为每个工作人口抚养 0.45 个幼年人口, 至 2020 年后逐渐稳定, 每个工作人口约抚养 0.25 个幼年人口(图 13)。综合观察老年抚养比与幼年抚养比的变化, 可知图 10 与图 11 所显示的抚养比先下降再上升的现象, 其原因乃为老年抚养比持续上升(图 12)而幼年抚养比先下

降后呈水平稳定(图 13)之故。

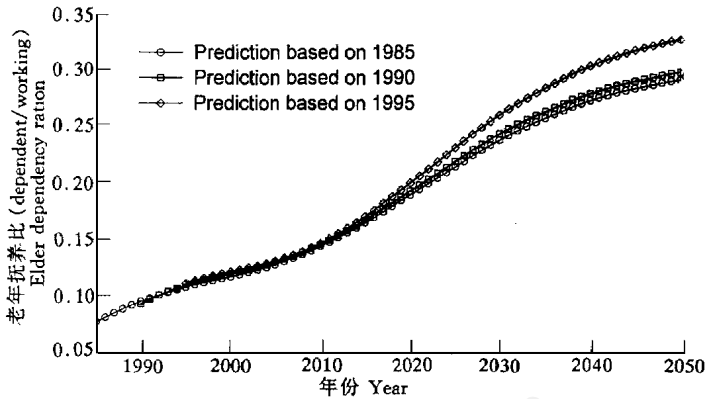


图 12 预测的老年人口抚养比曲线(工作人口年龄组为 15 岁至 64 岁, 依赖人口年龄组为 64 岁以上。)

Fig. 12 Predicted elder dependency ratio where working age groups are 15 to 64 and elder dependent age groups are those older than 64

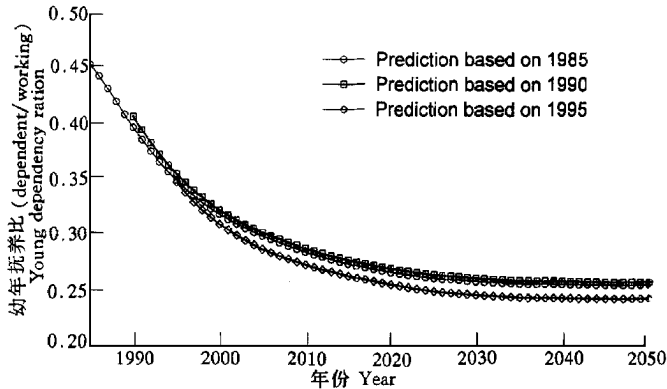


图 13 预测的幼年人口抚养比曲线(工作人口年龄组为 15 岁至 64 岁, 依赖人口年龄组为 15 岁以下)

Fig. 13 Predicted young dependency ratio where working age groups are 15 to 64 and young dependent age groups are those younger than 15

期望寿命为某一年龄仍可存活的平均寿命。在非洲、印度等生活条件较差、医疗设施较落后的地区, 婴幼儿的死亡率较高, 因此婴幼儿的期望寿命较短。若能平安渡过此时期, 则可存活至成年的机率增加, 其期望寿命则较长。台湾物质生活水平较高, 医药发达, 公共卫生条件较落后地区为佳, 婴幼儿死亡率甚低, 因此期望寿命的变化较规律, 随年龄增加而降低。虽然 World Cancer Research Fund and American Institute for Cancer Research^[14]的统计资料显示, 世界各地(包含亚洲)许多种癌症(肺癌、乳癌)的病例自 1960 年起便逐年上升。以 1985 及 1995 的台湾省生命表资料计算所得的各年龄的期望寿命, 显示台湾人口的期望寿命相当稳定, 1995 年的期望寿命仅比 1985 年略为增加。图 14 为以 1995 年生命表计算的期望寿命。

利用本模式以 1996 年的生命表预测台闽地区 1998 年底与 1999 年底的人口结构如表 1 所示。1998 年的人口统计资料台湾省内政部将于 1999 年底出版, 1999 年的人口统计资料台湾省内政部将于 2000 年底出版, 届时便可验证本预测模式的精确度。依据本模式利用 1985 至 1996 的生命表资料模拟的经验, 其误差约在 1%至 3%之间, 初生婴儿数的误差较大, 其原因并非本模式的问题, 而系人口统计资料本身的误差。若扣除资料本身的误差, 本模式的预测相当准确。2000 年为中国人十二生肖中的龙年, 每逢龙年出生率都明显升高, 对台湾省人口变动有显著影响。

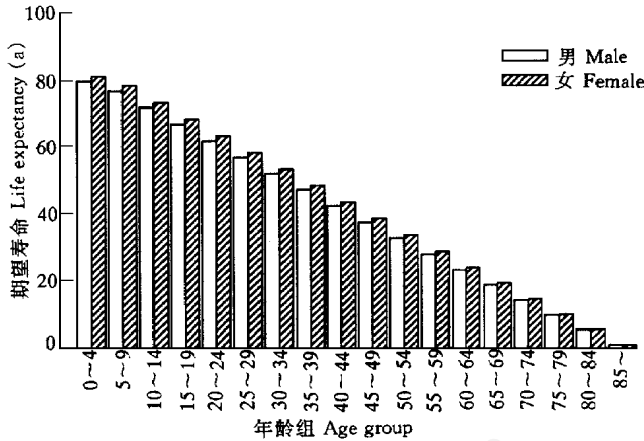


图 14 依据 1995 生命表预测的期望寿命

Fig. 14 Life expectancy calculated by using life table of 1995

4 台湾省人口统计资料的错误

人口统计资料虽然为所有生物中最为正确可靠的,但仍有一些错误。就台湾省人口统计资料而论,每年的新生婴儿数都有相当的错误。以 1996 年的婴儿出生数为例,当年的出生男婴数为 168961,出生女婴数为 155356。0 岁人口死亡数则分别为男婴 1243 人,女婴 1031 人;然而年底的人口记录的 0 岁年龄组(0 岁至未满 1 岁)男婴人数为 158284,女婴人数为 145553,其与出生数的差分别为 10677 与 9803,其差值均高达 1 万人左右,远大于死亡数。表 2 中列出 1985 年至 1996 年的年底零岁人口数与婴儿出生数,表中显示的差异少则数千,多则逾万。这些错误依据台湾省政府人员口头解释可能有数种原因: 婴儿出生后父母未依照规定报户口。部分婴儿死亡后未办理死亡登记。婴儿随父母移民国外。非婚生子女未按规定登记。若扣除这些错误,用修正的生命表预测的 1997 与 1998 年的人口数如表 3 所示。然而,究竟表 1 或表 3 何者的预测与实际人口较相近,则有待观察。

5 预测模式的改进

若仅以年龄区分工作人口与依赖人口,则未考虑两者的重叠性,以 20 岁的人口为例,部分人口于高中毕业后便就业,另一部分人则就读大专院校,或补习重考,大学毕业的人口,一部分就业,另一部分则就读研究所。因此,依赖人口与工作人口的年龄都有相当范围重叠,若要更精确计算抚养比,则必须考虑这种重叠的问题,利用 Chi and Liu^[5]的年龄期生命表可以解决此问题。Chi and Liu^[5]研究昆虫种群的年龄与龄期结构变化时,采用如下的年龄期结构矩阵:

$$\begin{matrix}
 \text{Age} & \text{E} & \text{L} & \text{P} & \text{F} & \text{M} \\
 0 & \begin{bmatrix} n_{01} & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \end{bmatrix} \\
 1 & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \bullet & \bullet & \bullet \end{bmatrix} \\
 2 & \begin{bmatrix} n_{21} & n_{22} & n_{23} & \bullet & \bullet \end{bmatrix} \\
 3 & \begin{bmatrix} n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} & n_{35} \end{bmatrix} \\
 4 & \begin{bmatrix} \bullet & n_{42} & n_{43} & n_{44} & n_{45} \end{bmatrix} \\
 5 & \begin{bmatrix} \bullet & n_{52} & n_{53} & n_{54} & n_{55} \end{bmatrix} \\
 6 & \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & n_{63} & n_{64} & n_{65} \end{bmatrix} \\
 7 & \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & n_{73} & n_{74} & n_{75} \end{bmatrix} \\
 8 & \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & \bullet & n_{84} & n_{85} \end{bmatrix} \\
 9 & \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & \bullet & n_{94} & n_{95} \end{bmatrix} \\
 10 & \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & \bullet & n_{104} & \bullet \end{bmatrix}
 \end{matrix} \tag{3}$$

其中 E, L, P, F, M 分别代表卵期(egg)、幼虫期(larva)、蛹期(pupa)、雌成虫期(Female adult)与雄成虫期(Male adult), n_{ij} 代表年龄为 i 龄期为 j 的个体数。此年龄期结构矩阵可以描述种群的年龄与发育期的变化。Chi and Liu (1985) 论文全文的中文翻译可参考蒲蛰龙(1989)的著作。Getz and Haight(1989)则指出若性别的区分较早,Chi and Liu (1985)的理论亦可做相对的调整。人类虽然不似昆虫有明显的变态,但人类的教育程度、生活依赖程度等也可作为区分的标准。若以生活依赖程度作为标准,可以用下列矩阵表示: N 矩阵与 M 矩阵分别代表女性与男性的年龄与生活期结构矩阵,其中 YS 代表年轻依赖期,WS 代表工作期,OS 代表老年依赖期; n_{ij} 代表年龄为 i 而生活期为 j 的女性人口数, m_{ij} 代表年龄为 i 而生活期为 j 的男

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} \text{Female} \\ \text{Age} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{YS} & \text{WS} & \text{OS} \\ \left[\begin{array}{ccc} n_{01} & 0 & 0 \\ n_{11} & 0 & 0 \\ n_{21} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{201} & n_{202} & n_{203} \\ n_{211} & n_{212} & n_{213} \\ n_{221} & n_{222} & n_{223} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & n_{983} \\ 0 & 0 & n_{993} \\ 0 & 0 & n_{1003} \end{array} \right] \\ \text{N}
 \end{array} & & & \begin{array}{c} \text{Male} \\ \text{Age} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{YS} & \text{WS} & \text{OS} \\ \left[\begin{array}{ccc} m_{01} & 0 & 0 \\ m_{11} & 0 & 0 \\ m_{21} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{201} & m_{202} & m_{203} \\ m_{211} & m_{212} & m_{213} \\ m_{221} & m_{222} & m_{223} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & m_{983} \\ 0 & 0 & m_{993} \\ 0 & 0 & m_{1003} \end{array} \right] \\ \text{M}
 \end{array}
 \end{array} \quad (4)$$

性人口数。女性生命初期并无工作能力, 故 n_{12} 、 n_{22} 、 n_{32} 等均为零, 老年女性一般无工作能力, 故 n_{982} 、 n_{992} 、 n_{1002} 等可能为零。男性族群也有类似情形, 故 m_{12} 、 m_{22} 、 m_{32} 等均为零, 而 m_{982} 、 m_{992} 、 m_{1002} 等可能为零。年轻依赖期人口于不同年龄(中学毕业或大学毕业)转为工作人口, 为处理这种转变, 另外以下述相同大小的矩阵 G_f 与 D_f 存放 N 矩阵(女性年龄与生活期结构矩阵)的转置机率(Transition probability)

$$\begin{array}{c} \text{Age} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{YD} & \text{W} & \text{OD} \\ \left[\begin{array}{ccc} g_{01} & 0 & 0 \\ g_{11} & 0 & 0 \\ g_{21} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{201} & g_{202} & g_{203} \\ g_{211} & g_{212} & g_{213} \\ g_{221} & g_{222} & g_{223} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & g_{983} \\ 0 & 0 & g_{993} \\ 0 & 0 & g_{1003} \end{array} \right] \\ G_f \end{array} & & & \begin{array}{c} \text{Age} \end{array} \begin{array}{ccc} \text{YD} & \text{W} & \text{OD} \\ \left[\begin{array}{ccc} d_{01} & 0 & 0 \\ d_{11} & 0 & 0 \\ d_{21} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{201} & d_{202} & d_{203} \\ d_{211} & d_{212} & d_{213} \\ d_{221} & d_{222} & d_{223} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & d_{983} \\ 0 & 0 & d_{993} \\ 0 & 0 & d_{1003} \end{array} \right] \\ D_f \end{array} \quad (5)$$

其中 G_f 的 g_{ij} 为 n_{ij} 经过 1 年后转变为 n_{i+1j} 的机率, 例如若 n_{221} 转变为 n_{231} 的机率 $g_{221} = 0.6$, 代表 22 岁的女性成长至 23 岁时仍有 60% 为年轻依赖人口。矩阵 D_f 中的 d_{ij} 为 n_{ij} 经过 1 年后转变为 n_{i+1j+1} 的机率, 例如若 n_{221} 转变为 n_{232} 的机率 $d_{221} = 0.4$, 代表 22 岁的女性成长至 23 岁时将有 40% 转变为工作人口。同理以相同大小的矩阵 G_m 与 D_m 存放 M 矩阵(男性年龄与生活期结构矩阵)的转置机率。若要利用此方法时, 人口统计记录中必须有男女两性各年龄中的工作人口数与依赖人口数的详细资料, 以及每年的变化数目。利用此方法, 抚养比(Q) (依赖人口数/工作人口数)的计算则为:

$$Q = \frac{\sum_{i=0}^{100} \frac{n_{i1} + n_{i3} + m_{i1} + m_{i3}}{100}}{\sum_{i=0}^{100} \frac{n_{i2} + m_{i2}}{100}} \quad (6)$$

此外, 年龄相同的女性常因教育程度不同而有不同的婚姻观念与生育子女的观念, 若将女性人口年龄结构与生育数依照上述方法(4 与 5 式)以教育程度区分, 所得的结果将更为精密, 用于预测时, 其结果将会更可

靠。然而,由于目前台闽人口统计资料中尚无详细的记录,因此无法计算每年各年龄不同教育程度或生活期的转置机率(G 矩阵与 D 矩阵)。政府户政单位若能整理分析此种资料,便可进一步研究与应用,用于预测时其结果也会更准确。

6 模式的推广运用

由于本模拟程式并非针对特定地区而设计,只要有生命表的相关资料,更可应用于台闽以外的地区。若将本模式应用于中国大陆,则必须利用各省份的生命表资料分别模拟,所得的模拟结果才会正确。

7 结论

生态学中,对寿命较短的生物,常用的生命表属于 Cohort life table。所谓 Cohort life table 系依据同一时间单位中出生的所有个体的死亡记录计算而得,其结果较为精确。由于人类寿命较长,迁移较频繁,不易构成 Cohort life table。若将台湾省 1800 年出生的所有人口的死亡记录制作 Cohort life table,其结果必然与 1850 年出生的人口的 Cohort life table 不同,这是由于 1800 年与 1850 年的各种条件都有相当差异。这些不同年份的 Cohort life table 反映不同年代的人口所经历的生存环境,有其历史价值。

依据台湾省户政人口记录资料计算所得的生命表为 Current life table,例如:1996 年的生命表是依据当年各年龄人口的生育与死亡计算而得。换句话说,1996 年时 50 岁的人口的存活率,系依据 1946 年出生的人口由 1946 年存活至 1997 年的资料计算而得;1996 年时 30 岁的人口的存活率,系依据 1966 年出生的人口由 1946 年存活至 1997 年的资料计算而得;1996 年的生命表即由这些存活率所构成。以 1996 的生命表计算新生婴儿的期望寿命时,也用这些存活率。然而,1996 年出生的婴儿在 2046 年达到 50 岁时,其存活率很可能与 1996 年时 50 岁的人口的存活率不同。因此,以 1996 的生命表计算 1996 年的新生婴儿的期望寿命时,当然会有误差。总而言之,Current life table 与 Cohort life table 各有其价值,应用时必须了解个别的理论背景与限制,才能获得正确的结果。

参考文献

- [1] Malthus T R. *An essay on the principle of population*. Reprinted by Macmillan, New York. 1798
- [2] Chiang C L. *The life table and its applications*. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida 1984
- [3] Getz W M and Haight R G. *Population harvesting: demographic models of fish, forest, and animal resources*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 1989
- [4] Chi H. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol.* 1988 **17**(1): 26~ 34
- [5] Chi H and Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology. *Acad. Sin., Bull. Inst. Zool.* 1985 **24**: 225~ 240
- [6] Namboodiri K and Suchindran C M. *Life table techniques and their applications*. Academic Press, New York. 1987.
- [7] Lotka A J. A natural population nom. *J. Wash. Acad. Sci.* 1913 **3**: 241~ 248, 289~ 293
- [8] Lewis E G. On the generation and growth of a population. *Sankhya*, 1942 **6**: 93~ 96
- [9] Leslie P H. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biom. Atrika*, 1945. **33**: 183~ 212
- [10] Leslie P H. Some further notes on the use of matrices in population mathematics. *Biom. Atrika*, 1948, **35**: 213~ 245
- [11] Williamson M H. Some extensions of the use of matrices in population theory. *Bull. Math. Biophys.* 1959, **21**: 13~ 17.
- [12] 台湾省内政部户政司. 1985~ 1998 台湾人口统计年报. 台湾省内政部
- [13] 杨静利. 1996 生育率年龄分布对出生数量与年龄结构影响之模拟, *人口学刊*. 1996, **17**: 135~ 152
- [14] World Cancer Research Fund and American Institute for Cancer Research. *Food, nutrition and the prevention of cancer: a global perspective*. The American Institute for Cancer Research, Washington, DC. 1997.