



寿命表及其应用

蒋庆琅
(Chin Long Chiang) 著
方积乾 宇传华 译

 中国统计出版社
China Statistics Press

寿命表及其应用



蒋庆琅
(Chin Long Chiang) 著
方积乾 宇传华 译

图书在版编目(CIP)数据

寿命表及其应用 / (美) 蒋庆琅著 ; 方积乾, 宇传华译.

—— 北京 : 中国统计出版社, 2015.12

ISBN 978-7-5037-7660-1

I. ①寿… II. ①蒋… ②方… ③宇… III. ①生物统计—研究 IV. ①Q-332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 231077 号

寿命表及其应用

作 者/蒋庆琅 方积乾 宇传华

责任编辑/梁 超

封面设计/张 冰

出版发行/中国统计出版社

通信地址/北京市丰台区西三环南路甲 6 号 邮政编码/100073

电 话/邮购(010)63376909 书店(010)68783171

网 址/<http://www.zgtjcbbs.com>

印 刷/河北天普润印刷厂

经 销/新华书店

开 本/710×1000mm 1/16

字 数/385 千字

印 张/16.5

版 别/2015 年 12 月第 1 版

版 次/2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价/39.00 元

版权所有。未经许可,本书的任何部分不得以任何方式在世界任何地区以任何文字翻印、仿制或转载。

中国统计版图书,如有印装错误,本社发行部负责调换。



作者简介

蒋庆琅教授,加州大学伯克利分校(UC Berkeley)公共卫生学院荣誉退休教授,2014年4月1日在家中逝世,享年99岁。蒋教授是将统计学方法应用于健康保健领域的国际杰出生物统计学家。他在UC Berkeley任职40余年,曾任公共卫生学院生物统计主任,学校生物统计学交叉学科的共同主席。1987年退休时,学校因其卓越成就而授予“Berkeley Citation”的荣誉称号。退休后,他继续教书授课。

早在20世纪50年代,蒋先生就认为生物统计学不同于统计学,并将数学和统计学方法应用于健康和疾病领域。其主要贡献之一是变革了古老的寿命表,使之成为严格的统计学工具,用以评价不同省、国家和人群的卫生状况。基于他在随机过程方面的研究,蒋教授在生存分析和竞争风险方面同样做出了重大贡献。他与世界卫生组织、国立卫生研究院以及其他国家和国际组织一起,将统计方法应用于癌症、爱滋病等疾病的研究。他出版了5本书,其中3本书被翻译成中文,一本被翻译成日文。他曾经是许多大学的访问教授,其中有哈佛、耶鲁、埃默里、北京大学和伦敦大学等。蒋庆琅教授是美国统计学会、数理统计研究院和英国皇家统计学会的Fellow,也是世界卫生组织等许多国际组织的顾问。

他的老朋友,曾任牛津大学统计系主任和皇家统计学会会长的Peter Armitage说过:“作为生物统计学领袖,蒋庆琅在国内和国际生物统计学界具有稳固的领先地位。”

UC Berkeley生物统计现任领导Nicholas P. Jewell教授说:“庆琅不仅在Berkeley多年领导生物统计学,而且是20世纪后半叶美国在该领域发展的重

要人物。”“在我们这里以及在他极其受尊敬的出生地中国，他都是整整一代教师和学生的支持者和拥护者。他和他的亡妻 Jane 深受生物统计学界的爱戴。”

蒋先生的老朋友和老同事，前任生物统计主任 Steve Selvin 教授说，“他在寿命表和生存分析方面做了许多领先时代的工作。他的贡献受到高度赞扬，因为创新性应用，为健康资料开辟了崭新的远景”；“在当时，绝对是开创性的。”

1914 年 11 月 12 日，蒋庆琅出生于中国浙江宁波。在北京清华大学读了一年之后，由于日本侵略中国和第二次世界大战，他和他的同学们被迫逃离北京；在三所大学合并成西南联大后，1940 年他获得经济学本科学位，虽然他发现自己真实的兴趣在于统计学。他在大学里遇到后来的妻子，于 1945 年结婚；次年到达美国，进入 UC Berkeley，1948 年和 1953 年先后获得统计学硕士和博士学位。在现代统计学奠基人之一 Jerzy Neyman 教授帮助下，他开始了教书生涯，历时 40 余年。

蒋教授慷慨合群，平易近人，和蔼可亲。学生时代，他本人在没钱完成学业可能离开美国的重要关头，得到过 800 元助学金；为了回馈这一礼物，他后来建立了蒋庆琅助学基金，当高水平生物统计研究生（尤其是博士生）最需要时，支持他们。

译者的话

在原作者蒋庆琅先生鼓励下,本书的中文版于1984年问世。时隔30年,缘何再次出版?首先,寿命表是生物统计学的经典内容。早在17世纪,John Graunt搜集死亡方面的数据,编制了寿命表,创建了人口统计这一学科;19世纪,英国出生和死亡注册局医学统计官William Farr进一步改进了寿命表方法;20世纪,本书作者蒋庆琅以现代统计学和随机过程的观点系统研究了古老寿命表的原理,使之成为生物统计学的重要组成部分,并以世界卫生组织顾问的身份推动了寿命表在国际范围的应用。第二,此书生动地示范了生物统计学研究的方法学。从寿命表的编制上升为统计理论;从横断面资料的汇总,拓展到医学随访研究;从单纯的生—死过程发展出涵盖生存和疾病阶段的新型寿命表;最终更展现一系列创新型应用。方法学脉络如此清晰,值得生物统计学和数理统计学研究者借鉴。第三,此书是一本极好的教材。内容由浅入深,叙述循循善诱,从预备知识到现代应用,既有“自包”性,且具实用价值。1982年,蒋庆琅先生曾应邀在中国卫生部和世界卫生组织联合举办的师资培训班上讲授本书的英文版,此后不久,许多内容便融入了国内医学统计学和卫生统计学课本,直至今今。鉴于以上原因,中国统计出版社陈悟朝主任高瞻远瞩,鼓励我们在绝版30载之时,将这本经典著作奉献给新一代读者。可以预计,其受欢迎程度不减当年。新版稿件的电子版是熟读本书的字传华教授带领其在武汉大学公共卫生学院的博士生王震坤、王瑾瑶,硕士生崔芳芳、曾倩和北卡罗来纳大学教堂山分校本科见习生夏曜轩同学共同制作完成的;其中,字教授将自编的Excel计算程序取代了原书的Fortran程序,以方便读者。出版社梁超及其同

事精心勘误和编辑之余,还帮助我们制作了附录。对于以上诸多朋友的无私援助,我们深深地致谢。蒋先生当年着实为中文版而兴奋过;这次重新出版将告慰先生于天堂——国人永远喜爱他和他的著作!

方积乾

中山大学公共卫生学院

2015年11月

中译本序

生物统计学在最近 30 年来经历了很大进展和演变,虽然这门学科已在 19 世纪末期建立,但主要的活动只限于资料的收集和整理。近年来,数学、概率和数理统计逐渐应用到生物统计学各项课题研究之中。其结果,生物统计学已有很深的理论基础,卓然成为统计学的一个重要门类。

虽然生物统计学的范围很广,其中主要的还是寿命表。第一,寿命表已有理论基础;第二,寿命表有广大的应用,人口统计、生存研究、医学随访等都以寿命表作为基本研究方法,寿命表已经成为一门统计研究方法,称为“寿命表研究方法”。

1982 年夏季我在北京医学院教课时,曾用本书的英文本作教科书。在课堂中的学者是来自中国 30 多个省市的大学或医学院的教师,济济一堂,足见中国教育界对寿命表的重视。他们不但对寿命表内容有深刻的认识,对它的应用亦很有经验。他们都表示有出版中译本的需要。鉴于寿命表对科学和社会研究的重要,希望本书不但对中国生物统计学有影响,而且对数理统计、人口统计等学科亦有点贡献。

最后我谢谢本书的译者方积乾先生,谢谢华东师范大学魏宗舒教授和本书的编辑、出版工作者,由于他们的大力帮忙,使本书得以顺利出版。

蒋庆琅

1988 年 4 月

于 California 大学, Berkeley

序

20 世纪 70 年代中期,世界卫生组织在联合国人口活动基金的资助下,着手编写了侧重于公共卫生、医学研究、统计学和人口学等广泛专业领域的系列教材。在这个系列中,首先出版的是《死亡率分析手册》(*Manual of Mortality Analysis*),该书主要介绍了各国人口统计局常用的基本方法。与此同时,世界卫生组织有幸得到了应用随机方法研究死亡过程的杰出权威专家蒋庆琅教授的帮助,出版了一本介绍人口死亡率分析中较高级方法的专著《寿命表和死亡率分析》(*Life Table and Mortality Analysis*),作为上述手册的补充。像第一本书一样,后者出版后不久即告售罄。鉴于该书如此受欢迎,世界卫生组织请蒋教授将他的书修订后出第二版。然而,在修订过程中很快发现,仅仅修订实在难以满足人们的迫切需求:希望把数学的精美和清晰的讲解相结合,也适合于高等数学不怎么熟悉的读者阅读。《寿命表及其应用》(*The Life Table and Its Application*)就是根据上述要求所作的尝试。它基本上是一本全新的书。书中不仅把教学实践中发现的某些缺陷作了修正,而且也增加了这一快速发展领域的新成果。蒋教授以其丰富的经验阐述了寿命表方法在许多社会科学和医学科学中的广泛应用。这本新书既有牢固理论基础又有实际应用经验,是一本理论与实践相结合的好书。它不但可作为教材,也适用于自学,特别适用于那些想了解最新发展并用之于日常工作的人们。

蒋庆琅

1988 年 8 月

H. Hansluwka 博士

主任统计师

全球流行病监测和卫生状况评估组

日内瓦,世界卫生组织

1982 年 8 月 5 日

序

20 世纪 70 年代中期,世界卫生组织在联合国人口活动基金的资助下,着手编写了侧重于公共卫生、医学研究、统计学和人口学等广泛专业领域的系列教材。在这个系列中,首先出版的是《死亡率分析手册》(*Manual of Mortality Analysis*),该书主要介绍了各国人口统计局常用的基本方法。与此同时,世界卫生组织有幸得到了应用随机方法研究死亡过程的杰出权威专家蒋庆琅教授的帮助,出版了一本介绍人口死亡率分析中较高级方法的专著《寿命表和死亡率分析》(*Life Table and Mortality Analysis*),作为上述手册的补充。像第一本书一样,后者出版后不久即告售罄。鉴于该书如此受欢迎,世界卫生组织请蒋教授将他的书修订后出第二版。然而,在修订过程中很快发现,仅仅修订实在难以满足人们的迫切需求:希望把数学的精美和清晰的讲解相结合,也适合于高等数学不怎么熟悉的读者阅读。《寿命表及其应用》(*The Life Table and Its Application*)就是根据上述要求所作的尝试。它基本上是一本全新的书。书中不仅把教学实践中发现的某些缺陷作了修正,而且也增加了这一快速发展领域的新成果。蒋教授以其丰富的经验阐述了寿命表方法在许多社会科学和医学科学中的广泛应用。这本新书既有牢固理论基础又有实际应用经验,是一本理论与实践相结合的好书。它不但可作为教材,也适用于自学,特别适用于那些想了解最新发展并用之于日常工作的人们。

H. Hansluwka 博士

主任统计师

全球流行病监测和卫生状况评估组

日内瓦,世界卫生组织

1982 年 8 月 5 日

前言

经典的寿命表最初是应用于保险科学,作为寿命的随机分析,亦应用于人口学,进行人口变迁研究。相应的数学方法已先后发展起来。Gompertz(1825)和Makeham(1860)导出了“死亡定律”,以简化养老金和保险金的计算;Euler(1760)所引进的稳定人口的概念已成为人口规划的基础;Lotka(1929)提出了用自然增长的固有速率来度量人口的发展。20世纪初,美国政府部门开始将寿命表方法应用于生命统计和人口调查,以概括现时人口的死亡经历。虽然这些工作在继续进行着,但是寿命表在一个很长的时期里一直处于正规的统计学门类之外。50年代之前,人们对寿命表这一分析工具的潜能缺乏足够的认识。

20世纪50年代初期,由于卫生统计学家在医学随访方面的工作,寿命表才开始受到生物统计学家的重视。正是由于概率和统计理论的发展,才有可能以纯随机的观点来处理寿命表,并为这一主题提供理论基础。现在,我们可以利用寿命表作生存分析,并对寿命表有关指标和所研究人口死亡模型的其他参数进行统计推断。“寿命表分析”已经成为严格而完整的统计学方法。事实上,寿命表分析在统计学领域里是自成一格的,假定拥有一批记录个体生存经历的样本,便可获得一系列有关期望寿命的样本估计值 $(\hat{e}_0, \hat{e}_1, \dots)$ 、一系列有关的概率估计 $(\hat{q}_0, \hat{q}_1, \dots)$ 和 $(\hat{p}_{01}, \hat{p}_{02}, \dots)$,这些样本值都是相应的数学期望和概率的最佳估计。

在生存分析新进展中考虑了许多慢性病的阶段性,病情从轻度阶段经过中度阶段发展到严重阶段,乃至死亡。死亡率随疾病的阶段而不同。疾病过程往往是不可逆的,但病人可能在任何一个阶段死去。引入阶段的概念,我们发现一种新的寿命表,其中年龄区间不是预先确定的,它具有变异性,实为随机变量。这种新的寿命表可应用于许多研究领域,只要阶段的概念有所定义,结局不一定是死亡。本书的最后一章将介绍这种新的寿命表,并通过关于人类生殖分析的生育表来说明其应用。

本书的目标是以统计学观点来阐述寿命表方法的理论和应用。有关理论分析的章节必然涉及一些数学内容,但本书的其余部分并不要求读者已经懂得

统计学。为了提供若干基础知识,便于参考,本书有三章预备知识:第一章是概率初步,第二章是统计学基本概念,第三章是正态分布和统计推断。由于寿命表常常涉及大样本,对于寿命表中的生物统计函数,可以借助中心极限定理利用正态分布和 χ^2 检验作统计估计和假设检验。

死亡率和率的校正与寿命表关系密切,分别见于第四、五两章。第六、七两章分别介绍完全寿命表和简略寿命表,分开叙述只是为了方便和完备,难免会有重复。第八章关于寿命表函数的统计推断主要是以第三章的统计方法为基础。第九章有两个内容:定群寿命表和寿命表的若干应用。后者不限于定群寿命表,尤其是第5节中的胎儿寿命表和第7节中的家庭生活周期。

对于第十章寿命表的理论,一些乐于运用统计理论的数理统计工作者以及寿命表密切有关的保险科学和人口学工作者一定会感兴趣;但是,一些旨在应用寿命表的读者初读时可以略去这一章。第十一章涉及医学随访研究,给出了估计存活概率的若干公式,可惜没有适当的数据来说明每个公式的应用。然而,蒙加州卫生部协助,以频数形式提供了某种肿瘤患者生存经历的数据。最后一章就是为前述新的寿命表而写的,其中给出了这种寿命表的理论基础和一个关于人类生殖分析的应用。

本书可作卫生统计学一个学期或一个学季的教材,不妨采用下列章节:

第一、二、三、四、五、七、八、九、十、十一、十二章(第6节)。

本书也可用作流行病学、人口学、生物统计学、保险科学等有关课程的参考书。

我衷心感谢许多朋友,正由于他们的鼓励和帮助,本书才得以出版。感谢联合国世界卫生组织的 H. Hansluwka,他首先提议我写出《寿命表和死亡率分析》一书;感谢 B. J. Vanden Berg,她和我共同讨论了胎儿和婴儿死亡率问题,并且她同意引用我们合作的生育分析作为第十二章的一个示例;感谢 O. Langhauser,她帮助完成了全部统计表和计算;感谢 J. Hughes,他读了本书的早期版本;感谢我的儿子 Robert,他编写了计算机程序;感谢我的加州大学伯克利的学生们,他们“校阅”了手稿。最后,我深深地感谢 B. Hutohings,她有效而熟练地处理了有关手稿的一切事务性工作。

蒋庆琅

1983年3月

于 California 大学, Berkeley

目 录

第1章 概率初步 / 1

1. 引言 / 1
2. 基本概念 / 1
3. 两个或多个事件——乘法定理 / 4
4. 两个或多个事件——加法定理 / 7
5. 关于加法和乘法定理的注记 / 9
6. 概率的误用——示例 / 10
7. 取自寿命表的一个例子 / 15
8. 习题 / 19

第2章 统计学基本概念 / 22

1. 引言 / 22
2. 随机变量 / 22
3. 二项分布 / 30
4. 习题 / 33

第3章 正态分布和统计推断 / 35

1. 正态分布 / 35
2. 统计推断——区间估计 / 41
3. 统计推断——假设检验 / 43
4. χ^2 检验 / 47
5. 习题 / 54

第4章 年龄别死亡率和死亡的其他测度 / 56

1. 引言 / 56
2. 年龄别死亡率 / 56
3. 年龄别死亡率的标准误 / 62

4. 婴儿死亡率和孕产妇死亡率 / 65

5. 习题 / 69

第5章 死亡率的校正 / 73

1. 引言 / 73

2. 校正死亡率 / 74

3. 校正率的标准误 / 83

4. 直接法年龄校正死亡率样本方差的计算 / 85

5. 寿命表死亡率的样本方差 / 87

6. 习题 / 88

第6章 寿命表及其编制方法——完全寿命表 / 91

1. 引言 / 91

2. 寿命表各列的说明 / 92

3. 完全现时寿命表的编制 / 95

4. 习题 / 107

第7章 寿命表及其编制方法——简略寿命表 / 109

1. 引言 / 109

2. 编制简略寿命表的重要公式 / 109

3. 简略寿命表 / 111

4. 终寿区间成数 a_i / 114

5. 对编制简略寿命表作出重要贡献的人物 / 119

6. 习题 / 122

第8章 寿命表函数的统计推断 / 124

1. 引言 / 124

2. 死亡概率 q_i 和存活概率 p_i / 124

3. 存活概率 p_{ij} / 126

4. x_a 岁时的期望寿命 e_a / 131

5. 基于部分死亡者样本的寿命表 / 135

6. 习题 / 135

第9章 定群寿命表及其若干应用 / 137

1. 引言 / 137
2. 寿命表的元素 / 137
3. 寿命表函数的样本方差 / 139
4. 果蝇的定群寿命表 / 140
5. 胎儿寿命表 / 142
6. 生态学研究的寿命表 / 146
7. 家庭生活周期 / 148
8. 习题 / 154

第10章 寿命表的统计理论 / 156

1. 引言 / 156
2. x 岁时生存人数 l_x 的概率分布 / 157
3. 存活人数的联合概率分布 / 160
4. 死亡数的联合概率分布 / 163
5. $\hat{p}_j$ 和 $\hat{q}_j$ 的优良性 / 164
6. 年龄 x_a 岁时观察期望寿命 $\hat{e}_a$ 的分布 / 170
7. 最大似然估计——一个附录 / 173
8. 习题 / 177

第11章 医学随访研究 / 178

1. 引言 / 178
2. 区间 $(x, x+1)$ 内生存概率 p_x 的估计 / 179
3. 生存概率 p_{ij} 的估计 / 187
4. 期望寿命 e_x 的估计 / 187
5. 对随访群体编制寿命表的一个例子 / 189
6. 习题 / 194

第12章 一种新的寿命表——生存和疾病的阶段 / 196

1. 引言 / 196
2. 关于寿命表的说明 / 197
3. 寿命表的生物统计函数 / 198
4. 寿命表函数的概率分布 / 204

5. 子集的寿命表及其与整群寿命表的关系 / 206

6. 研究人类生殖的生育表 / 207

7. 习题 / 217

附录 I 某些国家和地区的终寿区间成数 a_i / 219

附录 II 寿命表的 Excel 计算程序 / 228

参考文献 / 231

中英文名词对照 / 244

第1章 概率初步

1. 引言

透彻地理解概率的含义是对死亡资料作正确分析的基础。概率论作为有力的分析工具已越来越多地应用于生命统计和寿命表的分析。生命资料的研究不再限于一些表格的描述和数值的说明;人们还可对整个人口总体的死亡和生存的模式作出统计推断。虽然概率是一个数学概念,直观上却饶有兴趣。许多自然现象可以用概率的规律来描述,日常事物的发生也可看成遵从一定的概率模式,即使像事故这样的自发事件也能以一定程度的准确性作出事前的预测。B. Gompertz 于 1825 年提出,后由 W. M. Makeham 于 1860 年修正的死亡定律,目前已在公共卫生学、人口统计学、保险精算学等领域中用以研究人的生存和死亡规律。为此,作为本书的开端,有必要介绍概率的基本概念、有关的公式和实例。

2. 基本概念

2.1 概率的组成部分 概率这个概念包括三个组成部分:(a)一个随机试验,(b)这个试验可能出现的种种结果,以及(c)关心的一个事件。一个随机试验有许多可能的结果,但是在试验之前不能确定哪一个结果会出现。这样,在讨论概率时,人们心目中就必须有一个要考虑的随机试验和一个所关心的事件。

2.2 概率的定义 事件 A 发生的概率(简称“ A 的概率”)定义为发生事件 A 的所有结果的数目与可能结果的总数之比。

假定一个随机试验有 n 个机会均等的可能结果,而其中事件 A 发生的结果有 $n(A)$ 个。那么,事件 A 的概率定义为

$$\Pr\{A\} = \frac{n(A)}{n} \quad (1.2.1)$$

这样,一个随机试验中事件 A 的概率便是事件 A 发生的可能性的一种度量。