



理科类系列教材

CENGAGE
Learning

中文版

Modeling the Dynamics of Life *Calculus and Probability for Life Scientists*

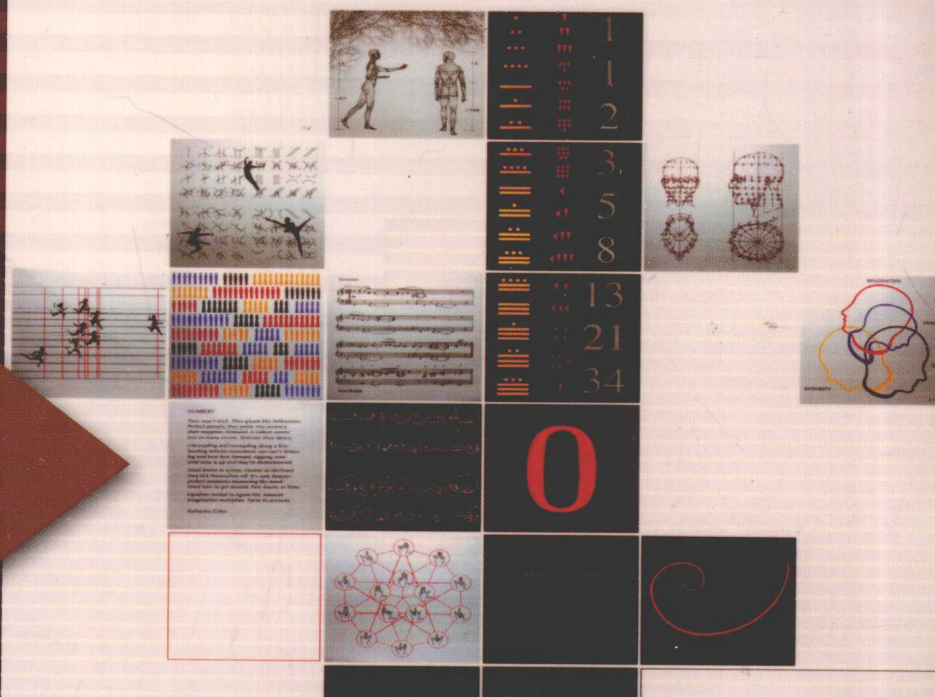
(Second Edition)

微积分与概率统计 ——生命动力学的建模

(第2版)

□ [美] Frederick R. Adler 著

□ 叶其孝 等译



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



理科类系列教材

中文版

Modeling the Dynamics of Life *Calculus and Probability for Life Scientists*

(Second Edition)

微积分与概率统计 ——生命动力学的建模

Weijifen yu Gailü Tongji
—Shengming Donglixue de Jianmo

(第2版)

□ [美] Frederick R. Adler 著

□ 叶其孝 等译



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图字:01-2009-2825号

Modeling the Dynamics of Life: Calculus and Probability for Life Scientists

Frederick R. Adler, 叶其孝等译

Copyright © 2005 by Brooks Cole, a part of Cengage Learning

Original edition published by Cengage Learning.

All Rights reserved.

本书原版由圣智学习出版公司出版。版权所有,盗印必究。

Higher Education Press is authorized by Cengage Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由圣智学习出版公司授权高等教育出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(但不允许在中国香港、澳门特别行政区及中国台湾地区)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

978-7-04-031961-3

Cengage Learning Asia Pte. Ltd.

5 Shenton Way, # 01-01 UIC Building, Singapore 068808

本书封面贴有 Cengage Learning 防伪标签,无标签者不得销售。(Thomson Learning 现更名为 Cengage Learning)

图书在版编目(CIP)数据

微积分与概率统计——生命动力学的建模:第2版/(美)阿德勒(Adler, F. R.)著;叶其孝等译. —2版. —北京:高等教育出版社,2011.7

书名原文:Modeling the Dynamics of Life: Calculus and Probability for Life Scientists

ISBN 978-7-04-031961-3

I. ①微… II. ①阿…②叶… III. ①微积分—高等学校—教材

②概率论—高等学校—教材③数理统计—高等学校—教材

IV. ①O172②O21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 113074 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 850 × 1168 1/16
印 张 67.75
字 数 1 720 000
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2011 年 7 月第 1 版
印 次 2011 年 7 月第 1 次印刷
定 价 83.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 31961-00

本书献给

我的父亲 *Sheldon Adler* 博士

因为他的智慧、胆识、坦诚以及对生活的热情
也献给

我的母亲 *Barbara Adler*

因为她的无私、幽默
以及对生活中的美感和荒谬行为的鉴别能力

出版说明

本书为高等教育出版社“世界优秀教材中国版”系列教材之一。

为了更好地优化、整合世界优秀教育资源,并通过本土化使其最大程度地发挥作用,丰富我国的教育资源,促进我国的教学改革,提高我国高等教育的教学质量,高等教育出版社决定出版“世界优秀教材中国版”系列教材。

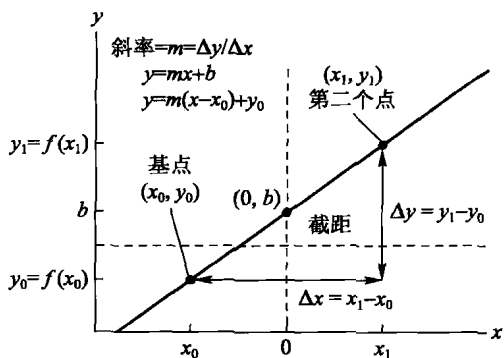
“世界优秀教材中国版”系列教材具有以下特征:

1. 从全球各知名教育出版社精选最好的内容资源进行本土化改造,形成新的系列教材;
2. 由国内一流学者根据我国高等学校的专业设置、课程体系及教学要求,对所选资源进行英文改编或中文改编,使之更具教学适用性;
3. 围绕纸质版主教材,形成包括多媒体及网络资源与服务的整体教学资源集成方案,力争为广大师生提供最优的教学资源与信息服务。

希望该系列教材的出版能为我国高等学校教学改革和教育资源建设作出贡献。

高等教育出版社
2005年5月

代数学



直线的公式

斜-截式：通过点 $(0, b)$ 斜率为 m 的直线公式为 $y = mx + b$ 。

点-斜式：通过点 (x_0, y_0) 斜率为 m 的直线公式为 $y = m(x - x_0) + y_0$ 。

解方程

解关于 x 的线性方程：

$$ax + b = 0 \quad \text{原来的方程}$$

$$ax = -b \quad \text{两边都减 } b$$

$$x = -\frac{b}{a} \quad \text{两边都除 } a$$

解关于 x 的二次方程： $ax^2 + bx + c = 0$ 的解为

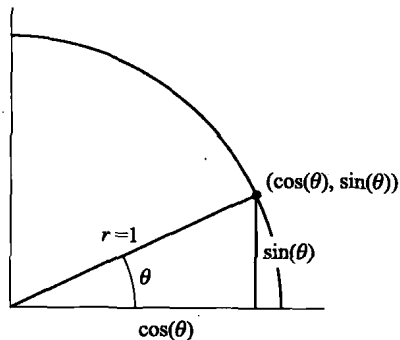
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

几何学

$$\text{半径为 } r \text{ 的圆的面积} = \pi r^2 \quad \text{半径为 } r \text{ 的球的体积} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\text{半径为 } r \text{ 的圆的周长} = 2\pi r \quad \text{半径为 } r \text{ 的球的表面积} = 4\pi r^2$$

三角学



三角函数的定义

正弦 $\sin(\theta)$ 与水平轴的夹角为 θ 的单位圆周上一点的垂直坐标

余弦 $\cos(\theta)$ 与水平轴的夹角为 θ 的单位圆周上一点的水平坐标

$$\text{正切 } \tan(\theta) = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)}$$

$$\text{余切 } \cot(\theta) = \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)}$$

$$\text{正割 } \sec(\theta) = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

$$\text{余割 } \csc(\theta) = \frac{1}{\sin(\theta)}$$

三角恒等式

$$\text{对称性} \quad \sin(-\theta) = -\sin(\theta)$$

$$\cos(-\theta) = \cos(\theta)$$

$$\text{两角和公式} \quad \sin(\theta + \phi) = \sin(\theta)\cos(\phi) + \cos(\theta)\sin(\phi)$$

$$\cos(\theta + \phi) = \cos(\theta)\cos(\phi) - \sin(\theta)\sin(\phi)$$

$$\text{倍角公式} \quad \sin(2\theta) = 2\sin(\theta)\cos(\theta)$$

$$\cos(2\theta) = \cos^2(\theta) - \sin^2(\theta)$$

$$\text{基本恒等式} \quad \sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$$

基本离散-时间动力系统

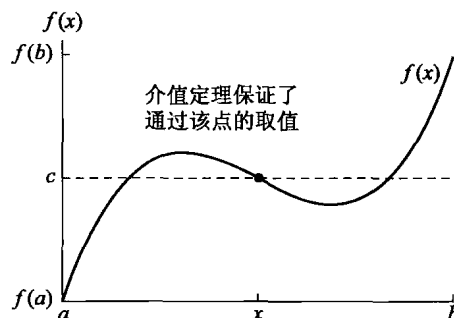
描 述	更 新 函 数	解或解的行为(性态)
平均生产率 r 为常数的种群的大小 b_t	$b_{t+1} = rb_t$	指数增长或衰减 $b_t = r^t b_0$
增长量为常数 c 的量 h_t	$h_{t+1} = h_t + c$	线性增长或减少 $h_t = h_0 + ct$
外部气体浓度为 γ 与外部气体交换的分数部分 $q < 1$ 的肺内气体浓度 c_t	$c_{t+1} = (1-q)c_t + q\gamma$	趋于 $c^* = \gamma$ 的平衡点
选择模型: 变异细菌的平均生产率为 s 而野生细菌平均生产率为 r 的变异细菌的分数部分 p_t	$p_{t+1} = \frac{sp_t}{sp_t + r(1-p_t)}$	若 $s > r$, 则趋于 $p^* = 1$ 若 $s < r$, 则趋于 $p^* = 0$
逻辑斯谛模型: 平均生产率为 r , 相对于种群最大部分为 1 的种群大小 x_t	$x_{t+1} = rx_t(1-x_t)$	若 $r \leq 1$, 则趋于 $x^* = 0$ 若 $1 < r \leq 3$, 则趋于正稳定平衡点 若 $3 < r \leq 4$, 则没有稳定平衡点

基本自治微分方程

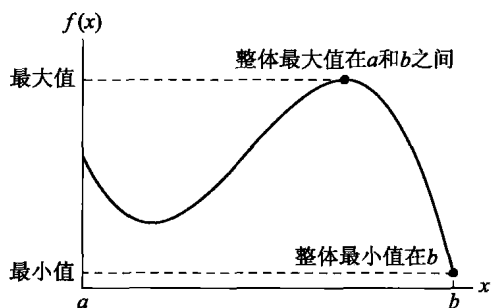
描 述	方 程	解或解的行为(性态)
平均生产率 λ 为常数的种群的大小 $b(t)$	$\frac{db}{dt} = \lambda b$	指数增长或衰减 $b(t) = b(0)e^{\lambda t}$
以常数速率 c 增长或减少的量 $V(t)$	$\frac{dV}{dt} = c$	线性增长或减少 $V(t) = V(0) + ct$
Newton 冷却定律: 物体冷却速率为 α , 周围温度为 A 的物体的温度 $H(t)$	$\frac{dH}{dt} = \alpha(A - H)$	趋于 $H^* = A$ 的平衡点
选择模型: 变异细菌的平均生产率为 μ 而野生细菌平均生产率为 λ 的变异细菌的分数部分 $p(t)$	$\frac{dp}{dt} = (\mu - \lambda)p(1-p)$	若 $\mu > \lambda$, 则趋于 $p^* = 1$ 若 $\mu < \lambda$, 则趋于 $p^* = 0$

微积分基本定理

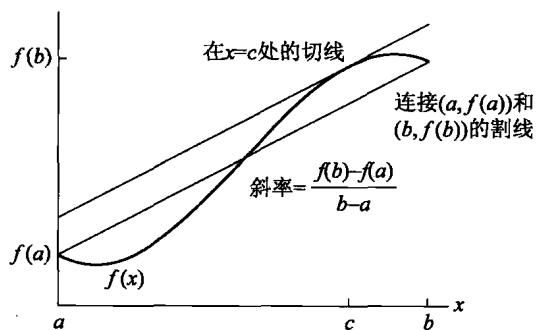
介值定理: 定义在区间 $a \leq x \leq b$ 上的连续函数 $f(x)$ 一定取到 $f(a)$ 和 $f(b)$ 之间的任何一个值 c 至少一次。



极值定理: 定义在区间 $a \leq x \leq b$ 上的连续函数 $f(x)$ 一定取到它的整体最大值和最小值。



中值定理: 定义在区间 $a \leq x \leq b$ 上的可微函数 $f(x)$ 存在一点 c , 在该点 $f'(c)$ 等于连接 $(a, f(a))$ 和 $(b, f(b))$ 的割线的斜率。



微积分基本定理: 若 $F(x) = \int_a^x f(x) dx$, 则 $\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) = F(x) \Big|_a^b$ 。

第二版序言

作为向生命科学专业一、二年级学生介绍数学向生物学提供的种种洞察的一种方式,《生命动力学的建模》是一本附加三章概率论和统计学知识的微积分教材。第二版保持了第一版的风格:强调建模、结果的解释、基本的生物学过程以及微积分和概率统计的结合。

为使本书更好地在课堂上使用,我做了全面的修改。最重要的是将习题数目增加了两倍多,而且把这些习题分为“数学方法”、“应用”和“计算机习题”。所附的 3000 多道习题将使学生通过练习掌握计算的技巧,以及有足够的实践机会来探索建模的技艺。为帮助学生做这些习题,我在教材中纳入了许多解出的例子;而且为了方便查阅,把它们在图形上加以区别。

为使本书的内容更为清晰,我稍微做了一些重新安排和扩写。特别是,在开始讲离散-时间动力系统这个新课题之前,在第一章中先复习函数、单位和线性函数。在研究肺、自然选择和心脏的更为详细的模型之前,先介绍分析离散-时间动力系统的基本方法。去掉了很难的一节“幂函数和异速生长”。最后我在第八章中增加了一节讲述列联表分析的基础。

致谢

要是没有休斯基金会对犹他大学的基金资助(Hughes Foundation Grant),就不可能写出本书,该基金资助的部分使命就是希望更有效地教好生物专业学生的数学课程。这个资助计划是由 Gordon Lark 首先提出来的,他是我的同事、整个计划执行过程的指导者和令人钦佩的人。这个资助计划使系里的以下教师携手组成了一个委员会来指导本书的写作和课程的开设,委员会的成员有: Aaron Fogelson、David Goldenberg、Jim Keener、Mark Lewis、David Mason、Larry Okun、Hans Othmer、Jon Seger 和 Ryk Ward。他们每个人都对本项工作慷慨地提供建议和修改意见,为本书做出了许多贡献。特别要感谢 Jon Seger 对“序言”以及 Mark Lewis 对“关于函数的推理”部分的讨论和建议。Frank Wattenberg、Lou Gross 和 Simon Levin 浏览了本书,并在本书写作早期给予了极其重要的建议。Alan Rogers 让我使用他的习题设计,而 Nelson Beebe 帮助我理顺了许多技术问题。

感谢 Gary Ostedt 使得本资助计划得以启动, Bob Pirtle 继续为第二版工作, Tom Novack 灵活熟练地带领一组人来完成快速的生产过程。Cheryll Linthicum 对所有困难时刻的得当处理, Katherine Cook 给予的编辑方面的帮助, Connie Day 给予的文字编辑方面的帮助, Edgar Diaz 和 Angie Marchant 对习题解答的复核以及 Kathleen Kerr 的多方帮助。感谢 Vernon Boes 对封面的设计, Cheryl Carrington 对版面的精美布局以及 Anna Campbell Bliss 允许我使用她在我有幸工作的大楼里创作的优美的图像。我要特别感谢 Jerry Grossman 教授,他用他的了不起的查证事实的工作态度,用他对从版面设计到文法、术语使用的一致性到数学的严格性和精确性教育我,并使我变得谦虚和不耻下问。

在使本书更容易读懂方面,许多评阅人给予了很多帮助。特别要感谢课堂试用者:加州州立圣迭戈大学的 Joe Mahaffy、Kathleen Crowe、Rollie Lamberson、Daniel Bentil 以及许多学生评阅人。下列评阅人批评坦诚,慷慨贡献他们的专业知识并且不断地提供我们需要的观点和想法:

Sharon Brown, 加州州立洪堡大学; Dwight A. Duffus, 佐治亚州埃默里大学; Tyler J. Evans, 加州州立洪堡大学; Brian M. Loft, 俄勒冈州俄勒冈大学; Bori Mazzag, 加州州立洪堡大学; 以及 Jennifer Lynn Mueller, 科罗拉多州科罗拉多州立大学。只是在我过分自信、个人准则被误导或因懒惰而失去判断能力时,才没有遵从他们的建议。其余的错误和疏漏全应由我自己负责。

我要感谢 Anne Collopy,除了感谢她在缝纫方面的意见和烹饪方面的支持,更要感谢她的具有非常清晰的富有灵感的例子、含义深广的隐喻和精巧的句子结构,还要感谢她以同样的精神给予我在工作之余的精美生活。还要感谢 Claire 和 Frank,感谢他们对生活的享受和许许多多的拥抱和消遣,他(她)们把尼采的如下话语带到了我们的生活中来:“热爱慢拍子的音乐家会把同样的曲子变得越来越慢。所以爱永远不会停顿。”

Frederick R. Adler

犹他州盐湖城

第一版序言

作为向生命科学专业一、二年级学生介绍数学能够向生物学提供的种种洞察的一种方式,《生命动力学的建模》是教给学生微积分以及附加三章概率论和统计学的教材。为什么对这些读者要有一本专门的教材呢?尽管有关生命科学中定量化技能的讨论很多,但是当前诸多的现实往往掩盖了定量化技能的极其重要的作用。对于那些认为“自己不是学数学的料”的学生来说,生物学是自然科学的最后领地,这是常见的情况。大多数学院和大学对其生物专业的学生只要求学一点点微积分,即使是要求学生学习完整微积分课程的大学,当学生在新的环境中表现出甚至不能应用预微积分(precalculus)中的数学知识时,也开始怀疑开设完整的微积分课程是否值得。当学生为了通过考试而学习微积分技能时,随着课程很快结束,微积分技能也会从他们的记忆中迅速消失,学生也产生了类似的怀疑。学生、生物学教授和行政领导看到的是生物学作为一门科学以及作为一个专业正在迅速发展,这种看法似乎并没有因为数学知识的普遍不足而受到任何掩盖。

事实上,数学在生物学中起着重要的作用,数学虽然还未得到正确评价,它已经为包括流行病学、遗传学、统计学以及生理学等方面的重大进展提供了推动力。作为一个理论生物学家,我在运用数学使复杂的生物系统变得明确且易于理解时,看到了数学的这种作用正在扩大,而不是缩小。尽管大量的生物学研究工作可以不用任何数学来做,但是从遗传学和生理学到生态学这些正在发展变化的领域来说,强有力的新技术正在变得日益定量化,因为许多问题都处于知识的前沿。和遗传学一样,数学也是生命科学中的两个统一要素之一。而且当生物学在社会中变得更为重要时,对于医生、商人、律师以及艺术史家(他们和研究人员一样),数学能力都是必需的。

建模

本书的主要目标是简单的:那就是要把我在自己的研究中,以及和我的更倾向于实验的同事的合作中天天用到的数学思想和概念教给生物专业的学生。这些概念不是诸如微分那样的特殊技巧,而是建模的概念。建模的技能包括描述系统、把适当的方面翻译成方程,根据原来的问题对求解结果作出解释。在这个过程中科学是主要的,在某些情况下求解方程是最不重要的一步。

即使对于那些自己几乎不做建模的学生,他们也将面对其他人的模型。本书将教给学生怎样去读模型。就像计算机一样,对于那些不能理解数学模型的人而言,数学模型会让人有一种望而生畏的感觉。作为一个建模者,我希望我的工作能被博学的科学家们阅读、理解并得到挑战。本书的目的就是要教给学生这样做的技能和信心。

生命的动力学

数学通过识别动力学原理,帮助生物学成为统一的整体,这些动力学原理构成了生物过程的不寻常的多样性的真正原因。贯穿本书的三个主题是:**增长、扩散和选择**。每个主题依次研究三类模型:离散-时间动力系统(1—3章)、微分方程(4—5章)以及随机过程(6—8章)。扩散的概念是作为描述肺的离散-时间动力系统(1.9节),描述化学物质通过膜的运动的微分方程

(5.1 节),以及描述个别分子随机行为的 Markov 链(6.2 节)来处理的。以不同的方式来处理这些主题展示了不同的数学概念是怎样描述和解释生物过程的不同方面的。

内容

为了教授微积分教材中的标准内容以及更多的知识,这三个主题提供了合理的背景。首先,学生在动力学的背景下复习作为应用数学构成要素的基本函数。例如,指数函数是作为线性离散-时间动力系统的解来学习的(1.7 节)。因为从一开始动力学就是本书的驱动力,所以导数自然作为描述瞬时变化率的一种方式而出现(2.1 节)。动力学模型提供了一组函数,对这些函数求导数要比代数练习多(2.8 节)。积分是通过求解微分方程(积分的最重要的应用)来引进的(4.2 和 5.4 节)。

本书将传统微积分教材里不详细讲的另外一些论题,很自然地放在由建模和动力学创建的框架的适当的地方。就像学生需要对距离和温度等基本测量有一种直观的理解一样,学生也需要对表示这些测量之间的关系的函数有一种直观的理解。本书强调“关于函数的推理”并有专门讲授诸如“介值定理”(3.4 节)、利用首项性态法来画图(3.6 节)以及用切线或 Taylor 多项式来近似表示函数(3.7 节)等应用方面广泛的内容。这些技能转换成关于离散-时间动力系统(3.1 和 3.2 节)和微分方程(5.2 节)的稳定性的推理技能。为导出并解释 Newton 法(3.8 节)以及二阶导数的意义(2.7 节),动力学提供了自然的背景。

不用微积分来教概率论就像不用遗传学来研究生物学一样。最后三章从动力学的观点来讲授概率论和统计学,利用离散-时间动力系统(6.2 节)和微分方程(7.6 节)来对诸如 Markov 链(6.1 节)和 Poisson 过程(7.7 节)那样的基本随机过程进行建模。积分和微积分基本定理在概率密度函数理论中有一个最重要的应用(6.6 节),这也加强了学生对这些微积分基本概念的理解。

在某些人的头脑里,统计学只是生命科学家需要的定量的技巧。本书强调不理解 Markov 链和 Poisson 过程那样的重要的概率模型,是不可能正确、灵活地运用统计学的。本书强调这些过程的模型与似然(8.1 节)、置信限(8.2 节)和假设检验(8.4 节)那样的基本统计概念之间的联系。学生学习了统计学的原理,并知晓了一组鼓励他们理解统计学的工具,这组工具不仅仅是选择正确的方法。

图解法

当我们把重点放在模型意味着什么的推理分析上时,我们更愿意选择当方程不能解出来时专业人员所用的图形和计算机的技巧和手法。用构造蛛网来理解离散-时间动力系统(1.6 节)使得像稳定性(3.1 节)和混沌(3.2 节)这样的现代论题变得形象化了。就如同相平面(5.6 节)综述了耦合微分方程组并描述了生物振荡(5.8 节)的一种机制一样,相直线(5.2 节)提供了综述自治微分方程的意义的一种形象化表述。在许多更高级的应用数学中,首项性态方法(3.6 节)及其图形解释引进了一种必不可少的近似方法。

算法

算法是一种许多学生将会一再使用的解决问题至关重要的逻辑方法。本书陈述了大约 30 个算法,它们之中包括以下算法:

- 求离散-时间动力系统的平衡点(1.6 节)

- 运用链法则(2.9 节)
- 求整体最大值和最小值(3.3 节)
- 运用换元积分法(4.3 节)
- 运用分离变量法(5.4 节)
- 计算诸如平均值、中位数和众数的描述性统计量(6.8 节)
- 运用标准正态分布(7.9 节)
- 从线性回归求 r^2 的值(8.9 节)

特殊模型的深入探讨

本书包括一些进一步的探究。开始时,把构造蛛网的威力用于心脏中房室传导阻滞现象的研究(1.11 节)。3.3 节讲述了最大化方法在渔场中的应用及其和动力学的相互作用。这些方法被用于把基本的肺模型扩充到最优呼吸模式的分析(3.9 节)。用相平面方法来分析描述神经元的 Fitzhugh - Nagumo 方程(5.8 节)。这些拓展向学生展示了怎样把一组过程组合成一个条理清楚、易于理解的完整的过程,以及怎样利用模型来讲清楚假设以及回答特定的问题。

习题

除了每节末的常规性习题外,为了不断强调解释的重要性,每一节还包括广泛的建模习题。下面是一些例子:

- 收获模型(在 1.5 节习题 57—58 中引入,以及在 1.9 节、3.1 节、3.3 节和 5.2 节中继续)
- 变异模型(1.10 节习题 25—32,在 6.2 节习题 53—56 又回到这个问题)
- 非线性药物动力学的有关结论(在 1.10 节习题 39—42 中引入,并在 3.1 节习题 32—33 和 3.8 节习题 27—28 进行进一步的研究)

每一章还包括从以前的考试和实践训练中提炼出来的补充题。这些补充题介绍了许多新的应用并可作为复习和实践小学期的问题。

全解手册

全解手册是可以买到的。它包括(除计算机习题和研究课题外的)全部奇数和偶数题以及补充题的解答。

计算机习题

本书包括 100 多道精心设计的要用计算机或图形计算器来探究的习题。这些习题强调可视化、实验和模拟。下面是一些例子:

- 描述收获的单个线性离散-时间动力系统的模拟,以及为启发 3.1 节中有关不稳定平衡点的讨论而做的阈值性态的观察(1.6 节习题 47)
- 通过了解怎样能把余弦函数加起来近似方波函数来探究 Fourier 级数的威力(1.8 节习题 55)
- 用近似变化率的实验来启发随后的余弦函数导数的推导(2.1 节习题 45)
- 变异过程的模拟用来展示怎样可以从平均中得到不同个体的样本(6.2 节习题 59)

计算机实验室是另一种很有效的学习环境,在那里学生可以通过计算机来进行很好的交流,

而且这也是学生和其他同学、教师共同工作的极好的场所。

研究课题

每一章都有研究课题。他们是推荐给个别学生或小组研究用的。下面是一些例子：

- 对选择和变异间的平衡进行建模(研究课题 1.1)
- 用一个离散-时间动力系统来研究周期造血过程(研究课题 2.1)
- 用不同的数值格式解微分方程的实验(研究课题 4.1)
- 仔细研究细胞的适应模型(研究课题 5.1)
- 著名的 Luria - Delbruck 波动测试的进一步研究(研究课题 7.2)

教学

尽管本书是为一学年的引论性课程设计的,但是还是有许多其他的方法来使用本书。

- 一学期的微积分课程:1—4 章(有可能略去 1.11 节和 3.9 节中的扩张模型)
- 一学季的微积分课程:1—4 章(有可能略去 1.11 节、3.1 节、3.2 节、3.6 节、3.7 节、3.8 节、3.9 节和 4.7 节)
- 为已经学过微积分的学生开设的一学期的概率论课程:6—8 章(具有 1.5 节—1.7 节的离散-时间动力系统的基础以及像 5.1 节那样的有关微分方程的简要复习)
- 为已经学过微积分的学生开设的一学季的概率论课程:6—8 章(与一学期的课程类似,但是必须加快进度,可以通过去掉最后三节来做到这一点)
- 一学季或一学期的研究生建模课程:本书全书,重点放在建模思想上。引进离散-时间动力系统(1.2 节、1.5 节—1.10 节和 3.1 节—3.2 节)、关于函数的推理(3.3 节—3.8 节)、一维微分方程(4.1 节、4.2 节和 5.1 节—5.3 节)、二维微分方程(5.4 节—5.7 节)、随机过程(6.1 节—6.3 节和 6.6 节)、概率模型(7.3 节—7.8 节)以及统计学(8.1 节—8.4 节)。这种课程应该强调进一步建模的内容(1.11 节、3.9 节和 5.8 节)以及研究课题。

为什么要尽心去做?

建模方法的好处是什么?建模方法当然是一种**问题解决**(problem solving)的方法。每个教师都知道学生不可能记住他们曾经学习过的每一种方法和技巧。本书强调模型**是什么**以及明白模型**说的是什么**,要求学生能够**识别**微分方程,**解释**有关的术语以及**运用**它们的解(这些远比知道怎样**求解**更重要)。除了一般的熟悉模型外,这些推理的技能正是有学习积极性的学生要在本课程里学习的东西,也是我们最在意的事情。

最重要的是,教授本课程是很有趣的。带领学生通过一学年的协调一致的课程的学习将消除由于教师瞬间兴奋的讲授而给学生带来的压力。 (“我班上的每个学生都会求多项式的导数。”) 当概念第二次、第三次出现时,学生就有可能逐渐得到深刻的理解。学生也感觉到了这种心绪不宁和渴望的瞬间兴奋。然而随着时间的推移,学生接受了思考的挑战。当学生开始运用他们的新本领来解决自己的问题时,当学生在没有人告诉他们应该怎么做时,学生在计算机上解决问题时,当学生教给我以数学概念和思想为背景的生物学的某些东西的时候,他们开始感觉到了这种迟到的兴奋和满足感,这恰是可能出现的最好的情形。

译 序

2002年4月,全国大学生数学建模竞赛组委会由组委会主任李大潜院士牵头申报了教育部新世纪高等教育教学改革工程本科教育数学改革立项项目“将数学建模的思想和方法融入大学数学主干课程教学组织的研究与试验”。该项目实施以来,越来越多的数学教师在认真思考、探索和实践各种融入的方法,使更多的大学生通过主干数学课程的学习认识到数学建模是用数学来解决各种实际问题的桥梁,初步学习了数学建模的基本思想、方法和具体的步骤。这项活动不仅激起了学生学好当前数学课程的积极性和强烈愿望,也激发了部分同学要求参加大学生数学建模竞赛的热情,同时也培养了许多受学生欢迎的青年教师。这种思考、探索和实践一直在继续和深化。

2007年底,我在国家图书馆看到了本书的第一、二版,初步阅读后感到本书在把数学建模的思想和方法融入大学本科的微积分和概率论课程方面做得很有特色,有不少值得我们借鉴的地方。我于2008年向当时的高等教育出版社高等理工出版中心数学分社李艳馥社长(现为理工出版事业部副主任)推荐此书,得到了李艳馥社长和数学分社的积极支持,出版社购买了本书的翻译版权。同时也得到北京市教委教改项目“工科基础数学课程引入建模思想的理论研究与实践”负责人李琦和参与该项目的各高校老师们热情支持,研读和翻译本书就成为这个教改项目的重要组成部分。2009年7月25日,我在北京高校“工科基础数学课程引入建模思想骨干教师第三次暑期集训”期间做了题为“《微积分和概率统计——生命动力学的建模》一书的三个主要数学模型”的报告,向老师们介绍了我理解的该书的一些基本内容和特点。在李琦的组织下,我们以不定期讨论班的方式分工研读、翻译和报告本书的各章内容。令我特别感动的是参与翻译本书教师们的钻研精神和互相切磋的认真态度,每位译者不仅研读自己负责章节的主要内容,还详细做完了每章末的研究课题,并在讨论班上报告和切磋。正是因为这样的工作方式,我们对原书作者想传达的思想和方法才有了深刻的体会,对怎样借鉴用于自己的教学,有了更具体的和切合实际的想法和做法。

本书的作者 Frederick R. Adler 是美国犹他大学的数学系和生物系教授。他在讲到为什么要写这本书时,除了强调数学在生物学中起着重要的作用外,还特别说“那就是要把我在自己的研究中以及和我的更倾向于实验的同事的合作中天天用到的数学思想和概念教给生物专业的学生。这些概念不是诸如微分那样的特殊技巧,而是建模的概念。建模的技能包括描述系统,把适当的方面翻译成方程,根据原来的问题对求解结果作出解释。”他写本书的准则是“强调建模、结果的解释、基本的生物学过程以及微积分和概率统计的结合”。此外,他还特别说明“即使对于那些自己几乎不做建模的学生,他们也将面对其他人的模型”。本书有两条主线,即增长、扩散和选择中的数学模型以及从离散到连续到随机现象的发展。本书强调算法,这是非常重要的现代概念。对生物学工作者来说,他们不仅要建立模型,更重要的是要求解,也就是要计算出来。这就要用到计算方法,特别是算法的概念。这实际上是应该教给学生的一个重要的现代概念。本书的另一个特点是尽可能深入浅出地讲述一些重要的应用实例,并且反复应用,尽可能体现重要的概念和方法。本书安排了大量的习题,每章安排一个研究课题,充分体现了因材施教的原

则。本书还在美国一些院校进行了课堂试用的测试。我认为尽管作者说他是为生物系的学生写的,对我们仍然有很大的启发。本书出版后,我们希望能够组织讲授生物、医学等专业和其他专业微积分和概率论课程的教师分别进行研讨,具体落实可以学习、借鉴的方面。我们衷心希望原书的中译本能够在我国的大学数学教学改革中起到积极的推动作用。

本书的序言和第一章由北京理工大学的叶其孝翻译,第二章由北京交通大学的冯国臣翻译,第三章由北京交通大学的刘迎东翻译,第四章由北京化工大学的袁文燕翻译,第五章由北京化工大学的江新华翻译,第六章由北京邮电大学的张文博翻译,第七章由北京邮电大学的孙洪祥翻译,第八章由解放军装甲兵工程学院的杨万利、张玲、范格华和董玉才翻译。翻译过程中还得到李琦、江中豪等同志的帮助。

我们要感谢北京市教委对大学数学教学改革的大力支持。

我们要感谢高等教育出版社理工出版事业部李艳馥副主任的热情支持。

我们要特别感谢高等教育出版社理工出版事业部李晓鹏编辑在翻译和编辑加工过程中给予我们的许多具体的帮助。

由于我们水平有限,书中会有一些不当甚至错误之处,真诚地希望读者批评指正。

叶其孝

2011 年于北京理工大学

目 录

第一章 离散-时间动力系统引论	1	习题 1.6	76
1.1 生物学和动力学	1	1.7 用指数函数表示解	80
增长:疟疾模型	2	一般细菌群体的增长	80
养护:神经元模型	3	指数定律和对数定律	82
复制:遗传学模型	4	用指数表示结果	85
动力系统的类型	4	习题 1.7	91
1.2 生物学中的变量、参数和函数	5	1.8 振动和三角学	93
用变量、参数和图形来描述测量	5	正弦和余弦函数:复习	94
用函数描述测量间的关系	7	用余弦函数来描述振动	96
组合函数	12	更复杂的振动形状	98
求反函数	16	习题 1.8	99
习题 1.2	20	1.9 肺中气体交换的模型	102
1.3 测量的单位、量纲和函数	25	肺模型	103
单位的转换	25	一般的肺系统	105
量纲间的转化	27	具吸收功能的肺动力学	109
函数和单位:复合、伸缩和移位	29	习题 1.9	111
检验:量纲和估计	36	1.10 非线性动力学的一个例子	114
习题 1.3	38	选择模型	114
1.4 线性函数及其图形	40	离散-时间动力系统和平衡点	117
比例关系	40	稳定和不稳定平衡点	119
线性函数和直线的方程	43	习题 1.10	121
求直线的方程并画其图形	45	1.11 可激发系统 I:心脏	125
求解与直线有关的方程	47	一个简单的心脏模型	125
习题 1.4	50	2:1 房室传导阻滞	129
1.5 离散-时间动力系统	53	文氏现象	130
离散-时间动力系统和更新函数	53	习题 1.11	131
更新函数的运用	55	补充题	132
离散-时间动力系统:单位和量纲	57	研究课题	136
求解	58		
习题 1.5	63	第二章 极限与导数	138
1.6 离散-时间动力系统的分析	67	2.1 导数的引出	138
构造蛛网:图解法	67	平均变化率	138
平衡点集:图解法	70	瞬时变化率	141
平衡点集:代数方法	73	极限和导数	145