

〔加〕 C. W. 克拉克著

数学生物经济学

—更新资源的最优管理

周勤学 丘兆福译
费鸿年校

农 业 出 版 社

数 学 生 物 经 济 学

——更新资源的最优管理

〔加〕C. W. 克拉克 著

周勤学 丘兆福 译

费鸿年 校

农 业 出 版 社

封面设计 朱玉芳

Colin W. Clark
MATHEMATICAL BIOECONOMICS:
THE OPTIMAL MANAGEMENT OF
RENEWABLE RESOURCES
New York, 1976

数 学 生 物 经 济 学
——更新资源的最优管理
〔加〕C. W. 克拉克 著
周勤学 丘兆福 译
费鸿年 校

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 12 印张 310 千字
1984 年 5 月第 1 版 1984 年 5 月北京第 1 次印刷
印数 1—3,600 册

统一书号 4144·505 定价 2.20 元

译 者 的 话

自然资源是人类衣食之源。由于缺乏科学的管理，出现了对自然资源开发过度的现象。目前，许多自然资源都受到不同程度的破坏，对人类产生了严重的不良后果。对自然资源进行适当的保护和合理的开发，已成为人类急待解决的问题之一。

本书作者试图建立一套更新资源的最优管理的理论，书中比较系统地讨论了更新资源开发的动态模型及经济学理论，用最优控制理论探讨了更新资源开发的最优策略，比较具体地讨论了渔业资源和林业资源的开发问题，对如何保护和开发我国的渔业和林业资源及其他更新资源都有一定的参考价值。

在翻译过程中，我们力求准确和忠于原文，对若干问题加了译注，至于某些明显的印刷错误和笔误，我们都给予更正，但不另外注释。由于译者水平有限，错误难免，请读者批评指正。

我们在翻译过程中，自始至终得到我国著名水产学家费鸿年先生的指导。他在百忙中仔细地审校了译稿，对译文存在的问题一一给予改正，在此我们敬表衷心的感谢。

译者

1983年2月

前 言

虽然有大批普及读物和科学文献涉及生物保护的许多方面，但是至今为止还不能说这个课题已经建立了牢固的理论基础。本书的目的在于提供这种资源保护理论的一个入门。为了排除混淆的可能性，一开始就应该说明，我们的课题是生产资源的保护 (conservation)，而不是自然环境的保存 (preservation)。这种区别是重要的，因为“保护”这个术语往往在这两种意义下使用。这样，在本书中应用的主要是对商业性渔业和林业的保护，而不是用于娱乐用途的自然资源群体。

强调更新资源管理的生产方面，显然是为了表明经济学和生物学两者在理论中起着重要的作用。但是，资源保护主要地也是资源群体在一定时间过程内如何最优利用的问题，因此，资源保护理论，必须建立在生物学过程明确的动态数学模型上，并把它与动态最优化问题联系起来。

当然，缺少有力的资源保护理论，在很大程度上应考虑动态最优化理论中所带来的数学上的困难。这些困难相当现实（特别在任何实际情况下），但本书主要目的之一在于说明，资源保护理论中的数字计算不象一般所想象的那样复杂。例如，本书第一至第三章描述的一个渔业动态最优化模型，许多关于这个课题的现有理论文献都包含这一模型，但是，甚至对于严格的解法，也只需要单独应用平面上的格林定理 (Green theorem, 即分部积分)，甚至这一方法读者也可以略去，因为所描述的最优解的有效性几乎是不证自明的。

较高等的最优化方法（就是最大值原理）将在后面各章中采

用，但不需假定具备这些方法的预备知识。事实上，必须具备的数学知识仅仅包括基本熟悉的微积分学和简单的微分方程。因为没有采用随机模型，所以不需要概率统计的知识。

就生物学和经济学而论，没有先决条件，所有必要的定义和模型，在它们被引入到理论中之前，都有详细定义和描述。然而，对这些学科中的有限背景感兴趣的读者，可能希望某种附加的阅读物。为了帮助这些读者，在文献目录前面又先列出背景参考文献。

本书的简单轮廓如下：第一至第三章讨论一个基本的（一维）动态渔业模型，并引进若干必要的生物学和经济学概念。特别是第三章集中讨论了资源开发的资本理论方面的问题。第四章讨论最优控制理论的数学方法，这一理论在本书的后面将广泛地应用。第六章研究动力学系统的相平面分析，这一方法在本书后面也要用到。资源管理的经济学方面的问题，在第五章中稍为深入讨论，这一章也包含会枯竭资源理论的简单综述。本书的前六章使用生物学过程的连续时间模型。第七章研究离散时间模型，在许多场合，这种模型比连续时间模型有更广泛的用途。最后，第八章和第九章把理论扩展到较复杂的生物学模型，包括年龄结构（第八章）和多种群系统（第九章）。这后两章表明，现实的生物学模型尽管复杂，在前面几章中描述的基本生物经济学理论仍然有效，并对更一般的问题引导到极深入的了解。

为了提供更新性资源管理的稳固理论基础，本书中使用的方法完全是分析性的。虽然提到许多实际例子，但只是作为说明而不是理论应用的充分证明。计量生物学和计量经济学方法、数值最优化方法和计算机模拟模型——它们在生物资源管理的实践中是非常重要的，不在本书中讨论。

C. W. 克拉克

加拿大，温哥华

1976.2.

致 谢

感谢我的许多朋友和同事，他们同我一起讨论了本书的写作计划。我的好友和同事Gordon R. Munro的影响尤其深刻，他写了§ 3.4。感谢他的大力帮助，使得本书的经济学方面符合专业标准。在这方面仍然遗留的任何差错应归咎于我自己的过失。我也从其他经济学家A. D. Scott, P. H. Pearse, P. G. Brodley, P. H. Neher, J. A. Crutchfield和M. Sponce那里得到很大的教益。生物学家P. A. Larkin, N. J. Wilimovsky 和 S. J. Holt 也给予我帮助。在数学方面，我要感谢J. De Pree, P. L. Katz和F. H. Clarke，以及我的学生M. Friedlaender 和 W. J. Reed。我还应该高兴地评价我的前任系主任R. D. James的不断鼓励。

目 录

引言.....	1
第一章 被开发种群的基本动态	10
§ 1.1 逻辑斯蒂 (Logistic) 增长模型	11
§ 1.2 广义的逻辑斯蒂增长模型: 退偿作用	18
§ 1.3 小结与评论	23
练习题	25
参考文献注释	26
第二章 更新资源收获的经济模型	27
§ 2.1 开放式渔业	27
§ 2.2 经济学捕捞过度	31
§ 2.3 生物学捕捞过度	35
§ 2.4 最优渔业管理	39
§ 2.5 最优收获策略	43
§ 2.6 建立在Schaefer模型上的例子	49
§ 2.7 线性变分问题	55
§ 2.8 灭绝的可能性	64
§ 2.9 小结与评论	67
练习题	69
参考文献注释	71
第三章 资源管理的资本理论概略	73
§ 3.1 利息和贴现率	73
§ 3.2 资本理论和更新资源	77
§ 3.3 非自治模型	79
§ 3.4 应用于策略问题: 一个例子	82
练习题	92
参考文献注释	93

第四章 最优控制理论	94
§ 4.1 一维控制问题.....	94
§ 4.2 非线性渔业模型.....	101
§ 4.3 最大值原理的经济学解释.....	107
§ 4.4 多维最优控制问题.....	112
§ 4.5 最优投资策略.....	116
§ 4.6 渔业的调节: 征税.....	124
练习题	131
参考文献注释	133
第五章 供给与需求: 非线性模型	134
§ 5.1 供给与需求的基本理论.....	135
§ 5.2 会枯竭资源经济学.....	144
§ 5.3 渔业的供给与需求.....	163
§ 5.4 非线性成本的影响: 脉冲式捕捞.....	178
§ 5.5 小结与评论.....	188
练习题	189
参考文献注释	190
第六章 动力学系统	192
§ 6.1 基础理论.....	192
§ 6.2 平面上的动力学系统: 线性理论.....	197
§ 6.3 等倾线.....	206
§ 6.4 非线性平面自治系统.....	208
§ 6.5 极限环.....	216
§ 6.6 种间竞争的Gause模型.....	222
练习题	224
参考文献注释	226
第七章 离散时间量测模型	227
§ 7.1 一般的种群补充量测模型.....	228
§ 7.2 Beverton-Holt 种群补充模型	235
§ 7.3 退偿模型.....	243
§ 7.4 过度补偿.....	247

§ 7.5 简单的世代模型.....	249
§ 7.6 渔业的生产函数.....	254
§ 7.7 最优收获策略.....	262
§ 7.8 离散型最大值原理.....	270
练习题	274
参考文献注释	276
第八章 生长与年龄.....	277
§ 8.1 林业管理: Faustmann 模型.....	278
§ 8.2 最优森林间伐模型.....	285
§ 8.3 Beverton-Holt 渔业模型	292
§ 8.4 Beverton-Holt 模型的动态最优化	299
§ 8.5 $F_{\max} < \infty$ 的情况.....	305
§ 8.6 多世代: 无选择性的网具.....	309
§ 8.7 脉冲式捕捞.....	317
§ 8.8 多世代: 选择性网具.....	320
§ 8.9 小结与评论.....	322
练习题	323
参考文献注释	325
第九章 多种类问题.....	327
§ 9.1 有差异的生产率.....	328
§ 9.2 收获竞争种群.....	337
§ 9.3 选择收获.....	343
§ 9.4 扩散模型: 沿海—外海渔业.....	352
§ 9.5 小结与评论.....	361
练习题	362
参考文献注释	363
补充读物	364
参考文献目录	366

引言

到处都在实行的更新资源的管理，一般是以最大持续产量 (maximum sustainable yield, 通常缩写为MSY) 的概念为基础的。这对于想使生物资源最终不丧失生产力就不能过量利用这一事实来说，可能是最简单的管理目标。

MSY概念本身又是以生物增长模型 (见图 1) 为基础的, 它假定在某种群大小的水平小于 K 这一水平, 就有一个可以永远收获而不改变群体的剩余产量 (surplus production) (见第一章这一模型的进一步讨论)。另一方面, 如果不把剩余产量收获, 就会引起群体的相应增加, 最终趋于环境负载容量 K , 到那时剩余产量减少为零。

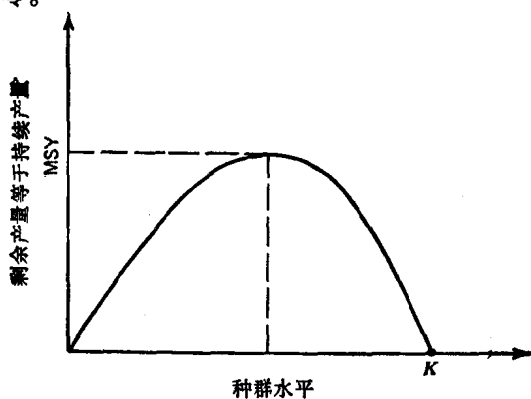


图 1

由于在每一种群水平、剩余产量等于持续产量, 所以 MSY 是在剩余产量最大时的种群水平 (即在种群增长率达到最大值的

水平)取得的。对应用这一模型的大多数种群来说, 出现 MSY 的种群大小水平, 是在环境负载容量的40%到60%之间。

近年来从许多方面看, 把 MSY 用作管理大多数生物资源群体的有效目标, 显然是太过简单了, 人们从生物学和社会经济学的角度提出了严厉的批评意见。在生物学方面, “产量”这个词可能常常是含糊的, 特别在收获若干生态上互相依存的种类时尤其是这样。在这种情况下, 分别使每一种类的收获量达到最大显然是不可能的。所以必须采用建立加权和的某些方法。结果则依赖于加权方式, 或者用总重量, 或者用蛋白质或热含量, 或者用经济价值。如果要把这些复杂因素都加进去, 就不能不把最大产量概念加以修改。

“能持续”(sustainable)这个词在生物学上同样是成问题的。许多资源群体, 特别是海洋种群, 常出现巨大而无法预测的变化, 当种群水平高时所能取得的高产量, 在种群水平低时显然可能难于持续。MSY概念的修改也必须包括这样的波动。

生物学对MSY概念的指责是有意义的, 但这个概念在经济学上的缺点甚至更加突出。MSY概念显然单纯顾及资源利用的收益(而且在这里这个概念显得很肤浅), 完全忽视成本—收益关系中的成本方面。这些基本缺点说明 MSY 概念在描述开发更新资源的理论上没有实质性意义。可以毫不含糊地说, 任何商业性资源企业将与权衡收益一样权衡开发成本。这就说明在任何实际的情况下 MSY 收获策略, 不一定都保证在经济意义上也是最优的。

剩下的问题是 MSY 概念是否具有某种规范的正当理由。本书所持的立场是, 如果作为开发的约束, 而不作为开发的迫切要求, 那么 MSY 概念的确可能具有合乎需要的方面。我们将会看到, 在不同情况下的商业性开发可能导致生物资源的严重开发过度, 也就是种群减少到远远低于 MSY 的水平。为什么出现这样的结果是有可信理由的。从资源开发的观点来说, 它实际上可能

是“最优的”；从社会观点来说，它可能远非最优的。当发生这种分歧而公众有理由去参与判断时，MSY 可能提供一个好的重新合作的出发点。即使如此，认识到下面这一点也是重要的：如果管理政策单独根据 MSY 的成就，将几乎不可避免地由于这个概念用在经济学上不合适，会导致严重的困难。

认识了 MSY 概念的缺陷，引起改用某种最优持续产量 (OSY) 来替代的倾向。可惜，这个概念通常没有讲清楚“最优的”是指什么而言。本书的目的，正如书名所示，在于精确识别和分析最优资源管理策略。虽然不能说它对问题的所有重要方面已得到解决，或者已全部考虑了，但它期望读者将发现已经获得某种进展，并阐明了进一步前进的方向。

本书使用的最优资源管理概念，是以使纯经济总收入的现值达到最大的标准成本—收益准则为基础的。这个准则与私人的和公共的管理要求双方有关，但在两种情况下成本和收益的细则不必相同（私人管理通常仅考虑现实的、内在化的成本；公共管理通常不仅考虑社会的而且还考虑外部成本）。

在开头时就应该说明，没有几种生物资源种群，过去是照现值准则来管理的。例如，大多数海洋种群都是没有在任何严格的经济学意义上“管理”过的。若干重要的渔业已经受到各种国际机构一定程度的控制，但也许还不能说这些机构具有足够的管理权威。在没有这样的权威的情况下，是否能够取得满意的结果，仍然是一个重要的问题。

近年来有一个甚为知名的机构，国际捕鲸委员会 (IWC)，是在 1946 年为管制捕鲸业而建立起来的。由于与鲸鱼保护有关的困难，在许多方面代表了生物资源保护的一般问题，我们引入本书并加以发展的某些主要概念，都是用捕鲸业作为例子的。

我们一开始就要假设性地问，完全拥有开发鲸鱼权力的独家公司（或联合公司）应该如何管理鲸鱼资源。首先，考虑单一一种群，南极白长须鲸。我们将采用图 1 所示的剩余产量模型，暂不

考虑对模型的许多生物学限制。对南极白长须鲸，鲸类科学家已经估计环境负载容量 $K = 150,000$ 条，MSY 大约每年为 2,000 条。假定剩余产量曲线是对称的，我们将会看到产生 MSY 所要求的种群现存量是 75,000 条。

可以设想由于渔业在过去作业，已经使原来 150,000 条减少到产生 MSY 水平的现存量 75,000 条。如果平均从一条白长须鲸所获得的产品市场价值为 10,000 美元，则 MSY 策略每年将获得 2,000 万美元的收入。然而，捕鲸业可以有别的选择，例如，它可以决定立即捕获剩下的 75,000 条鲸鱼，而完全不顾持续生产的可能性。假设在一定意义下这是可以实现的，并忽略在短时间内处理几百万吨鲸油的问题（需求的弹性，在第五章中讨论），捕鲸业将获得 7.5 亿美元的总收入。即使保持按每年 5% 的利率投资，这个总和将获得年利润 3750 万美元。根据这些粗略计算，白长须鲸种群的灭绝看来反而构成一个比 MSY 有利得多的策略。

上面的论述是故意过分简单化的，比较合理的分析的某些含义在下段中讨论。尽管如此，这个论述还是说明了资源管理的经济学的一个基本方面。资源种群的业主倾向于把种群看作资产，这对于会枯竭资源（见 § 5.2）和对于更新资源同样是正确的。他期望财产以正常的利率赢得红利；否则，业主将设法清理这些财产。这个结果可以认为是资源经济学的第一个基本定理，它是 H. Hotelling (1931) 创立的。

从这个结果可以看到为什么鲸鱼保护是一个特别困难的问题。鲸鱼种群的增长率基本上是在 5% 到 10% 的范围内，这些增长率假使不低于选择投资所期望的红利（所谓机会成本利率，见第三章）也将具有同等大小，这可能说明捕鲸本身就没有动机去保护她自己的资源基础。然而，在作出最后结论之前，还必须把问题的许多其他方面都考虑进去。

例如，捕鲸成本怎么样？明显的是一旦白长须鲸种群已被大量减损，在它们南极索饵场大约 2,500 万平方公里的范围内搜索

鲸鱼的成本可能变得过高。在它们现在的种群水平,设想为 8,000 条,开发几乎是不可行的(见 § 2.6)。

现在可以讨论更新资源开发——特别关于象鲸鱼和鱼类这些分布广的种群的第二个基本方面:当种群水平降低时,收获的成本系数就增大。这种影响的结果,使得保持一个较高的种群水平是合乎需要的。

在这里,我们可考察一下遵循“最优”资源收获策略的一个有趣而最有意义的两分法。正如第二章详细证明的一样,与资本的机会成本 (opportunity costs) 相联系的“贴现”(discounting) 影响,总是具有促使最优种群水平趋于 MSY 水平之下,而成本系数在所考虑的问题中具有相反的影响。当这两种影响同时考虑时,最优值将可能偏向 MSY 的哪一边,取决于这两种影响的相对强度[见式(2.16)]。有趣的是,这两种影响之间的冲突,一般并不会一种影响先占优势,然后另一种影响占优势,导致某种振荡形式的捕捞。虽然有时会使用这种收获策略(即,在渔业中我们称之为“脉冲式 (pulse) 捕捞”策略),我们认为(见 § 5.4 和 § 8.7) 这种现象是由于与捕捞规模的效率有关的各种生物经济学原因产生的。

回到白长须鲸种群,我们知道 (1) “低级财产”问题可以引起捕鲸者蔑视鲸鱼保护,但是 (2) 这一种类仍然可以活下来,因为完全灭绝在经济上是不适宜的。应该强调,低级财产问题在捕鲸业中特别重要,是由于鲸鱼种群增长率低。具有较大“生物潜力”的其他资源种类,象金枪鱼种群,考虑到资产效果,不希望使其蒙受开发过度的损失。那类种群经常遭到过量开发,是由于与开放式 (open-access) 或资源属于公共财富这一特性相联系的其他原因引起的。这种极其重要的问题放在进一步讨论捕鲸问题之后研究。

显然,对捕鲸业除了到目前为止所提及的那些问题之外,还有其它重要的方面。例如,根据鲸鱼供应欠缺或者对鲸产品需求

有外因变化，鲸鱼的价格就会提高或者降低。对商业性开发可能具有强烈影响的这种价格变化将在第三章和第五章中研究。利率也可能变化。例如在通货膨胀期间，如果鲸鱼的价值也随通货膨胀（或紧缩通货）率而增加（或减少），则净影响将被抵消。否则，结果将与价格变化一样，并可以用第三章中所描述的方法处理。类似地，或者由于技术的改进，或者由于资源保护工作者所强加的间接政治压力，成本可能随时间而变化。这些影响也可以利用这里所建立的方法来研究，虽然在这一点上我们还没有给予特别的注意（更详细地讨论可参考§ 3.4）。

接着，我们必须考虑到别种鲸鱼的存在。历史上，直到1950年南极鲸鱼的开发仅集中于白长须鲸种群，当此种鲸逐渐减少时，引起捕长须鲸量增加。长须鲸是较小的品种，其重量大约是白长须鲸的一半。当然，见到白长须鲸时照样不放弃，但是近20年来捕鲸业的主要支柱是长须鲸。当长须鲸减少时，甚至更小的鳁鲸和小须鲸也要采捕了。

在这种情况下，白长须鲸种群将进一步减少，低于单独开发白长须鲸还有利可图时的水平。正如第九章中证明的，白长须鲸可能最终被消灭。这样的考虑已经在1965年国际捕鲸委员会(IWC)定中起了作用，给予白长须鲸全面保护并继续把这种保护的决心扩大到其他已严重减少的鲸类。

多种类系统的共同开发，类似于单一捕食者与若干被捕食种类关系的情况。这是生态学家们所熟知的。在这里，生产率较小的被捕食种群，常常在捕食者的压力下趋于灭亡。多种类资源的“最优”开发在怎样程度上也适用这些结果，要看选择性捕捞的是否合用和成本。这个困难的问题将在第九章中讨论。

为了要涉及对捕鲸业分析的现实问题，现在我们放弃独家公司或联合公司控制捕鲸业的假定——尽管在一定范围内IWC似乎起着联合捕鲸公司的作用。现在我们要问，在没有IWC的情况下，鲸鱼开发应该如何进行？在任何国家或公司将自由进入这

个行业的意义下，鲸鱼将是一个开放使用或属于公共财富的资源而不受任何形式的管制。开放式资源 (open-access resources)

(或通常也许不很正确地称为公共财富资源) 的经济理论是由 H. S. Gordon (1954) 建立起来的。这个理论预测了资源和开发业务之间最终达到的“生物经济平衡”，它发生在收益流 (revenue flow) 恰好等于开发成本 (机会成本, 见 § 2.1) 的群体水平。一个简单的论述证明了这个理论 (见第二章)。显而易见，当成本超过总收入时，不可能确立平衡，因为某些开发者将被迫离开这个行业而寻找其他职业。相反，当总收入超过成本时，也不可能确立平衡，因为从事其他报酬较低的职业者将被吸引到这里开发。这一论述的唯一条件，就是在某一资源水平条件下必将出现一个平衡点这个既定的假定。有意义的是，只要假定剩余产量曲线 (图 1) 为凸的 (见 § 6.5) 时，这个假设可以通过其他方法证明其正确性。

Gordon 关于在开放式资源中有“利润消失”的结果，可以认为是资源经济学的第二个基本理论，他补充了 Hotelling 的关于个人占有的资源种类的定理。由于大多数生物资源都不是个人占有的，在这种情况下，Gordon 定理恐怕更加重要。这个定理有许多重要的结果。开放式开发比利润最大化经营更普遍，并且更可能导致不利的生物学结果，包括灭绝的可能性。需求的增加会促使开放式资源受到更加强烈的开发，一旦超越了 MSY 水平，生产水平会逐渐降低。技术上的进步，提高了开发效率，然而可能产生进一步降低生产力的相反效果。

从理论的观点，开放式开发可以当作贴现率为无穷大的个人最优管理的极限情况。直观上这是明显的。因为开放式开发，由于竞争阻碍了为未来收获而保护的热情。然而，如果采用了高贴现率，那么由于开放式开发所造成的许多不利条件也可以在个人所有的情况下出现。从捕鲸业来说，年贴现率高到 10% 已足够对资源保护产生严重的影响。在林业管理中也是这样，已知道贴现