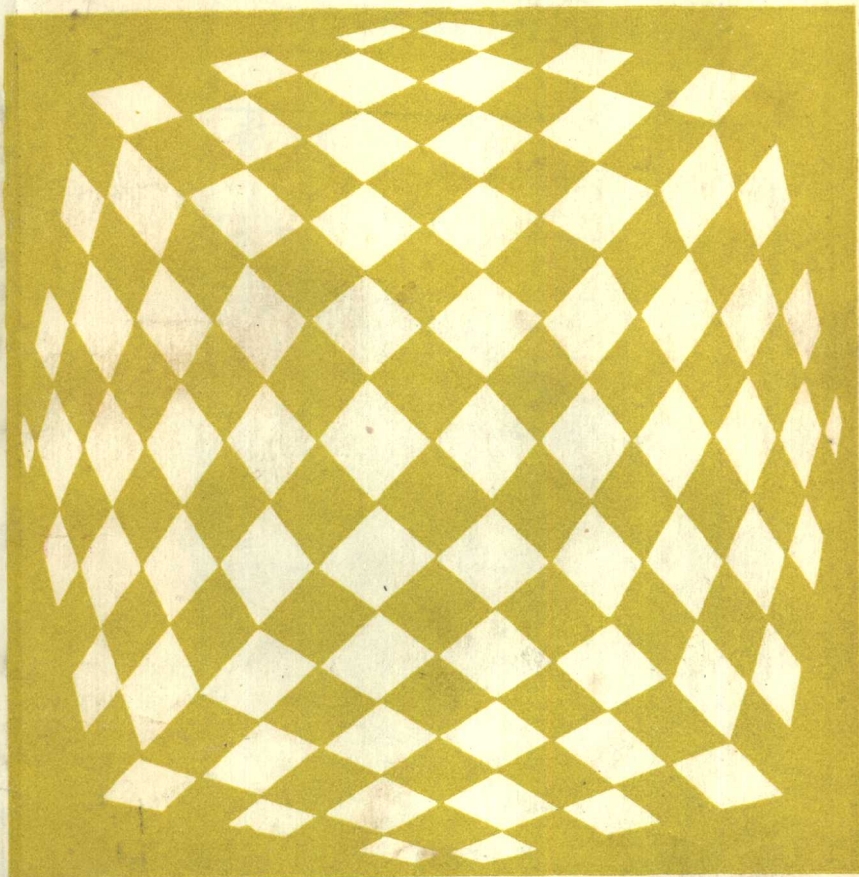


评生态系统研究及 管理中的系统分析

〔荷〕 G. W. 阿诺德 C. T. 戴维特 著



科学出版社

评生态系统研究及管理中的系统分析

〔荷〕 G. W. 阿诺德 著
C. T. 戴维特

孙锡麟 俞之敦 译
陈常铭 吴坤君 校

科学出版社

1982

内 容 简 介

系统分析的模拟、模式技术是当前国际上研究生物学(特别是生态学)、工程学、农学、环境保护等广泛采用的方法。系统分析方法可以使人们对生态系统及其管理策略进行科学的评价,为地球的资源提供更有效的管理方法。本书对此方法的应用及其发展前景作了简要的评述。介绍了模造生态系统的原则和方法,比如决定模式结构时必须考虑的目标、界限,以及对模式的输出估计,模式的各种变化情况等。还阐述了各种生态系统模式的不同用途,比如用一种生物变化过程模式研究在同一类型环境中最高效的植被形式和功能等。还讨论了如何传送模式及其成果,并对从事研究生态系统模式的科学工作者提出严格要求。

本书可供生态学、农业、环保和自然资源管理方面科研人员及有关大专院校师生参考。

G. W. Arnold and C. T. de Wit

CRITICAL EVALUATION OF SYSTEMS ANALYSIS IN ECOSYSTEMS RESEARCH AND MANAGEMENT

Centre for Agricultural Publishing and
Documentation, 1976

评生态系统研究及管理中的 系统分析

〔荷〕 G. W. 阿诺德 著
C. T. 戴维特

孙锡麟 俞之敦 译

陈常铭 吴坤君 校

责任编辑 彭小幸

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年1月第一版 开本:787×1092 1/32

1982年1月第一次印刷 印张:3 1/2

印数:0001—3,600 字数:75,000

统一书号:13031·1802

本社书号:2448·13-6

定价:0.58元

前 言

1974年9月在海牙举行的第一次国际生态学会议上，由戴维特 (de Wit) 和古道尔 (Goodall) 组编了一册论文集，其标题为：“评生态系统研究和管理中的系统分析及模造。预测所需要的资料收集和加工。”

这本论文集引起了人们很大的兴趣，因此，编者决定将这次会议的记录，连同其他论文(其中有些论文曾在会议上宣读过)编成此书。

正如在引言中所指出的，某些生物学家采用系统分析方法解决自己的问题只不过是最近十年的事，而这种方法早已为工程师们所采用并在运筹学中使用。看一看这种方法至今所具有的价值及其在生态系统研究和管理中的未来作用是很有必要的。

物理学家对自己所从事的系统的作用几乎是了如指掌。但生物学家对自己所从事的系统却常常很少了解，而且，一个有机体对其所处环境中某一特定变化的反应地点并不是固定不变的。还有，生物系统常有更多的反馈现象，这就是说，该系统中一个部分的变化会引起其他部分发生变化。因此，预测用的生物系统的模拟模式的建造，虽然在技术上是可行的，但是需要非常小心。模式的目标一定要明确，因为这些目标将在很大程度上决定模式的结构、模式所包含的机能以及系统被模拟所达到的解决问题的程度。

在第一篇论文中，戴维特和阿诺德 (Arnold) 介绍了模造生态系统的一些问题。古道尔的论文说明了怎样用等级法来

5518/07

...

建立模式。万克伦 (van Keulen) 继续更详细地考虑到影响决定模式结构的一些原则,即目标,模式的界限,体现在模式中的过程,对模式的输出估计以及在输入或某些过程的速率变化时该模式的变化情况。

两篇文章阐述了模造生态系统的截然不同的用途。詹姆森 (Jameson) 考虑了发展草地生态系统的一般化模式问题,这种模式将为管理模式提供输入资料。米勒 (Miller) 和穆尼 (Mooney) 用一种生物变化过程模式研究在两个地中海环境中最有效的植被形式和功能,并将这些植被与目前的植被相比较。

在生态系统模式的制订中,精力花得最多的是制订繁殖牲畜所使用的草地系统模式。塞利曼 (Seligman) 严格地评述了其中的一些模式。这样的意见会使将来的模式编制得更健全以适合于它们各自的既定目标。

最后,杰弗斯 (Jeffers) 讨论了生态学中系统分析的前景。他注意到模式的广泛应用,不仅讨论了模式的界限问题,还讨论了模式的建造和验证所需人员的管理问题,而最重要的是讨论了如何传送模式及其结果。与通常使用的脑力模式相比,一直在争论的系统分析可以使人们对生态系统及管理策略对生态系统的影响有更加合理的评价。对于很多生态系统来说,预测结果的试验性验证是不可能的,因为在试验过程中可能发生不可逆的变化,或是因为这种研究所花费的时间和费用太大。但是不管怎样,人们还是继续干预生态系统。必须作出关于干预(亦即管理)的型式的决定。系统分析能提供一种结构,这种结构所产生的结论比用其他方法所得到的结论更有根据,但是对系统进行分析和做模式的人必须头脑清醒,逻辑性强,心中有明确的目标,并认识到模式不是问题的最后综合,而只不过是进一步研究的起点。那种研究必须包

括物理的试验，因为对生态系统不能单纯地用模拟模式方法进行研究。对研究生态系统来说，做模式只不过是系统分析的一个部分。

希望这本书中的几篇文章将有助于那些研究生态系统模式的人们，使他们更加严格要求，避免一些易犯的错误，这样，他们就可以为决策者在做出决定时提供更好的依据，从而为地球的资源提供更有效的管理方法。

目 录

略论模拟.....	1
建立等级模式的途径.....	9
模式的评价.....	21
生态系统的管理：模拟模式提供的信息.....	29
美国干旱地带生态系统的起源和结构生产者：环境、形 态及机能之间的相互作用.....	37
评某些草原模式.....	56
生态学中系统分析的前景.....	93

略 论 模 拟

C. T. 戴维特和 G. W. 阿诺德

系 统 和 模 式

三十多年来,在工程科学方面十分注意对复杂动力系统的分析,而且取得很大成就。在生物科学中现在采取的途径以下述术语为特征:系统、模式和模拟。系统是实际存在着的事物的一部分,它包含着若干个相互联系的组成部分,模式是系统的一个简化表示法。模拟可以定义为建造数学模式的艺术,是根据系统的性能来研究模式的性能。

虽然任何一个模式都应当有明确的目标,都应当是清晰的,都应当达到它的目的,但实际上人们经常用非常概括性的字眼来叙述这些目标,从而只有对已经入门的人才能达到应有的清晰度,同时模式取得的成绩也比生物学家预期的要小。由于这些原因,我们在模拟的定义中使用了“艺术”这个词,而没有用“科学”这个词。

从定义中我们知道模式就是系统,而反过来说也同样属实。一件艺术作品是艺术家想像的简化表示或模式。机器是工程师的概念的模式,它运转得肯定不如预期的好。当工程师应用模拟方法时,他就可在他的概念和实物之间发展模式。最终的机器实际上就是他的模拟模式的一个模式,这个模式就是他设想概念的一个简化表现。

虽然有些人不以为然,但生物系统毕竟不是生物学家的

概念的简化表现,术语、模式和系统的反复转换不会有任何意义。因此,在工程学中用得很成功的方法,在生物学中就可能没有那么大的用处了。聪明人不敢走的地方,傻子们闯进来了,而闯进生物学模拟领域里的大部分人是农学家,也许因为他们是傻子,但也可能是因为他们干预系统,在其中技术观点超越了生物学观点。

状态变量途径

对一个生态系统所作的资料的汇集编排可以称为模式,但那是盲目的、不清晰的模式。资料的运用可能以公式来表示,于是数据经过处理就可以产生清晰度。这就可以形成体现生态系统各个方面的图表,或形成概括某些相互关系的统计分析。在数据的收集和处理过程中,如果引进时间的尺度,就会获得动态模式。但这种模式仍然是描述性的,只能表示各个组成成分之间各种关系的存在,不能作任何解释性说明,这当然不是他们的原意。

然而,以解释系统为目的的模式在生物学中是可能的,因为在这门科学中可以区分出不同水平的组织结构,就象在任何其他自然科学中一样。这些不同水平的组织结构可以按照系统范围的大小和所包含的时间常数划分,如象分子、细胞结构、细胞、组织、器官、个体、种群和生态系统。以解释为目的所制订的模式是不同水平的组织结构之间的桥梁,它们可以根据对具有较小时间常数的较小系统进行试验所得到的知识,来理解具有较大时间常数的较大系统。这样我们就可以通过研究分子更好地理解膜的特性,通过研究物种更好地理解生态系统的特性。

对于解释型的模式,状态变量途径正在获得广泛的承认。

这些模式是以下列设想为依据的：每个系统在任一时刻的状态可以用数量来表示其特点，状态的变化可以用数学方程来表示。这就导致模式中状态变量、速率变量和驱动变量的区别。

状态变量就是象生物量、某一种动物数量、在土壤、植物或动物中含氮量、土壤含水量等一些数量。粗放地讲，在时间静止不动的情况下（就象神话“睡美人”中的世界一样），仍能进行测定的那些变量就是状态变量。

驱动变量以表示系统边界上的相互作用为特点，而且要不间断地加以测量。例如象雨、风、温度和辐射等大气象变量，以及饲料供应或超越系统界限的动物移栖等。同样的变量究竟是驱动变量还是状态变量或速率变量，则决定于这些界限。例如，在植被冠层中贮存的热量，当系统包括微气候的各个方面时，它是一个状态变量。但当系统不包括这些微气候的各个方面时，它就是一个必须进行测量的驱动变量。

每一状态变量都与速率变量相联系，这些速率变量表示了在某一时刻某些特定过程所产生的变化的速率的特点。这些速率变量表示出状态变量之间（例如植物的生物量与正在取食的牲畜之间）物质流量的值。它们的值取决于状态变量和驱动变量，这是按照以所发生的物理、化学和生物的变化过程的认识为依据的法则，而不是按照以被研究的系统的变化的统计分析为依据的法则。这是描述性模式与解释性模式之间最重要的区别。

在计算了所有速率之后，就可得出状态变量的新值；计算过程一般是每隔一定时间重复一次。这是一个最初级形式的数字综合过程。如果遇到方程式十分简单的情况，模拟程序可用解析法来代替，但是这种情况是不多见的。

大多数模式都太复杂，含有非常多的间断和随机过程，不

能直接应用数字综合法。在世界上具有不同看法的各种模拟技术现已逐渐发展到掌握这种模式。从运筹学研究中产生的那些模式是着重偶然事件的。假设一般都不起变化,根据系统的状态和假定的随机过程,下一次稀少的偶然事件的出现时间是可以计算的。然后时间向着这一时刻推移,偶然事件产生了。从工程学产生的模拟技术假定不断的变化是主要的,而且这种模拟技术与标准数字综合技术结合在一起。在这两种模拟技术中,每一种模拟技术都在不断地与另一种模拟技术的组成部分相结合,这种过程已进展到这样的程度以致于对这两种方法的优越性曾经一度展开不可避免的争论现已烟消云散。目前,人们对计算机的反复使用问题更加关心。

特别是对没有入门的人,常常试图按照弗莱斯特(Forrester)(1971)开创的一种表示工业系统模式的方法,将模拟程序简化成表示关系的图表。在詹姆森(Jameson)的文章中就有这样的关系图表。长方形()里是状态变量,物质(水,碳,营养物)流量用实线箭头表示。这些流量速率的控制是用阀形符号()表示的。六角形()里是驱动和决定变量。虚线表示状态变量或驱动变量影响哪种速率,但不表明数量:这些就是所研究的资料流程图。

在这些状态决定的系统中,速率并不是互相依赖的。在每个时刻的速率仅仅取决于状态变量和驱动变量,可以单独计算,与任何其他速率无关。因此决不需要用 n 个未知数来解 n 个方程式。试举一例也许是必要的。一种植物生长的速率(以它的组织结构的重量的增加来测定)显然与叶子光合作用的速率密切相关。在状态变量模式中,这种依从关系是由两个独立过程同时进行而产生的。光合作用增加了储备量,而这个量就是决定生长速率的状态之一。黑暗一开始,光合作用立即停止,但生长继续进行,直至储备耗尽为止,或者生

长更长一段时间，但这时的生长是在消耗现有组织的情况下进行的。

几个实际问题

在一个生态系统中能够加以辨别的状态变量其数目之大是令人生畏的。它们不仅涉及初级生产者、消费者和分解者，而且还涉及各个物种及其数目、大小、年龄、性别、发育阶段等等。就植物而言，不仅叶子的重量和表面积是重要的，而且它们的氮含量和矿物质含量，它们的酶和其他生物化学特性也是很重要的。一个人可以这样没完没了地继续下去，因此一种以所有生物、物理和化学现象的全部知识为依据的模式是永远不能实现的。模式是系统的简化表现，而简化本身是以所考虑的数目有限的状态变量来体现的。

像对其他手段一样，我们假定通过限制模式的界限并将重点集中于最需要重点或最需要理解的那些方面，就可以大大减少状态变量的数量。然后就可以将各过程按照它们的重要性加以排列，而且只有在被限定的要点内的过程才需要详细处理。

最好将注意力集中于一些方面，在这些方面搞得细一些，在其他方面可以搞得粗一些。组建模式的一种模数方法比组建一个大型模式更容易掌握，也就是说，系统可以分成很多亚系统或模数，如土壤的水分，植物的生长，氮的循环，动物的食物消耗和生长等等。同样，适当改编古道尔（Goodall）在本书中所讨论的等级法就可以获得更大的清晰度，凭此，不同水平的解析能力和不同的时间幅度在一个亚系统或模数的各个不同方面可以得到发展。例如从各个叶子在以小时计算的时间幅度内所进行的光合作用和呼吸作用中可以模拟出在以日计

算的时间幅度内的植物生长。

在任何模式中都可以考虑使用的状态变量是为数不多的，这倒不一定是由于计算机的容积太小或计算机使用时间的费用太大，而是因为对每一个问题所能投入的科研力量是有限的。因此，含有大约一百个状态变量的模式就已经是很大了，但是与现在所考虑的生态系统的复杂程度相比，这些模式又不算大了。

为了达到每一目的，总会在某个地方有一个最适宜的应考虑的状态变量的数目。起初，模式对世界上实际问题的适用性随着状态变量数目的增加而增加，但随后又降低了，因为新的状态变量被认为是更重要的，新状态变量的增加将注意力从先前引用的状态变量上转移了。为取得一组按重要性次序排列的状态变量所进行的启发式过程要花费很多时间，而且生态学中很多造模成果有时是既明确而又非常含蓄地导向这个目标。

因此动态模式的效用总是个悬而未决的问题，然而韦干(Wigan)(1972)认为下面的一套方法在最大限度地减少模式内部差误和最大限度地增大模式效用方面是很有用的。他提出五个阶段：(1)假设——对形式和相互作用的基本设想的选择(其它阶段都以这些设想为基础)。(2)配合——根据设想选出一组参数化函数，然后按照对“最好”的配合所规定的标准将“最好”值配合于这些函数。(3)校准——提出一组已经配好的函数(或亚模式)，然后直接参照模式的全面作用情况和模式企图复制的数据，校准它们的相互关系(灵敏度分析)。(4)鉴定——根据现有的数据，保证校准过的模式的细节是正确无误的(如果需要的话，还要找出最简化的形式)。(5)效用——参照在建立、配合和校准过程中没有使用过的新数据，区分不同设想的过程。与建造运输系统模式有关的一

位工程师所写的这些原则同样适用于生态系统。如果生物学家也经常实行这种严格要求的作风，他们的模式的价值也许会更大些。

以这种方式，模拟可能有助于对复杂系统的重要方面的理解，使它们的变化情况形象化，并得到它们的管理指南。但解释只能照此接受下来，如果有否定它们的方法的话，或者比较正面地说，如果能证实它们或能证实它们的有效性的话。有没有能够证实为有效的模式呢？有，但是只有那些可重复系统或循环系统才有。只有在这时才可以从某些系统的分析取得模式，并证实它对其它系统有效。可重复的系统的实例是：微生物学系统(醋的制造)，农业系统(玉米的生长)，或工业系统(汽车的制造)。循环的系统的实例是：星球，物种的个体和具有很强复原力的生态系统，其复原力之强能使原来的发展过程经过干扰之后按预定的路线复原(泥炭沼)。这些循环生态系统于不同地点在同一时间但非同一阶段中出现于观测者面前。农田生态学家力量就在于他能将在不同地点某一时刻观察到的现象看作一个地点的时间系列。可重复系统总是可以用实验来分析的，但循环系统往往只能用观察来分析。目前特别强调对循环生态系统的实验分析，这是正确的，因为干扰已被减轻，在实验过程中由于系统数目很多，对该系统的破坏是可以允许的。

然而也有一些独特的生态系统，或者几个方面都独一无二的生态系统。这些系统的发展不是由负反馈控制的，因此尽管起源可能相同，但它们的发展是多种多样的。其它一些系统之所以独特是由于地理位置所致，如某些港口，湖泊，岛屿，当然也可以把世界看成一个整体的生态系统。独特的系统的模式是一些概念，这些概念不能用实验检验，只能通过随时观察现实系统的变化情况或多或少地得到证实。因此它们

仍然是纯理论的模式。如果对可重复系统或循环系统采用相似的系统分析法导致不能否定的有效模式，那么对纯理论模式的信任就会加深。这样的模式是属于物理系统的：根据对物理过程的分析预测水灾泛滥可能性的理论模式是可以信赖的，虽然在一个人的一生中决不会发生那么多次的水灾来验证模式。不管模式预测的情况如何，一闹水灾，堤坝就要加固，这就证明了这种可靠性是有限的。到目前为止，对生态系统的理论性模式还不能加以信赖，因为经过正式验证的模式还很少见，而且在生态学中模式建立的原理还正在发展中。对所谓的“世界模式”来讲，除非它们的结果非常明显，不用牵强附会的技术即可得出正当的结论，这种说法才是肯定适用的。

然而，如果一个独特系统的理论模式是完全可以信赖的，那么它是否就可以利用呢？为此，至少需要把模式加以缩略，以使全部状态变量的值必须在它们实质上不发生变化的很短时间内加以测定。这就要求在不干扰该独特系统以免影响其发展过程的情况下进行。

归根到底，生态学家看来就像处在与落后的物理学家同样的境地，这些物理学家声称要预测气体原子的未来情况，只须在同一时间内把他房间里的所有气体原子的位置、质量和速度加以测定即可。生态学家所处的境遇可能更糟，因为他必须与他的独一无二的系统生存在一起，甚至生存于其中，不能用平均值定律来回避问题。

参 考 文 献

- Forrester, J. W., 1971. *World Dynamics* (世界动态) Cambridge Mass: Wright-Allen Press.
- Wigan, M. R., 1972. The fitting, calibration, and validation of simulation models (模拟模式的装配、校准和效用). *Simulation* 19: 188.

建立等级模式的途径

D. W. 古 道 尔

摘要 把生态系统分解成亚系统(例如,用空间的或生物的界线来划分)能大大地促进模造过程。另一种有用的工具就是生态系统成分和过程的交叉分类法,应用这种方法,某一特定过程的同一模式就能应用到许多不同的生态系统的成分上去。

引 言

所有的系统都能分解成亚系统,这是极普通的事情。如果一个系统是由不同类型的相互作用联系起来的好几个成分所组成,而且其中包含有物质流和信息流,那末,这些成分中的任何一个亚组(sub-set)都可以被分为一个亚系统,而这种亚系统又通过一个亚组的相互作用与这个系统的其余部分相联系,事实上,这些相互作用把该亚组内的成分与不在该亚组内的成分联系起来了。一般说来,这样划分的亚系统还可进一步分解成亚-亚系统。这样,在“系统”的概念中就包含有一种等级的或巢式的(mested)结构。生态系统也不例外,它们的复杂性可用许多方法来分散,并得出许多较小的实体,其中每一个都比整个的系统来得简单,但仍可进一步细分。

用等级结构来考虑一个生态系统至少有两个优点。第一,它能促进思维过程。任何一个复杂的系统几乎都超越直接思维的能力,这就是说人们的脑子不能在一刹那间抓住许

多成分之间的相互关系。

等级方法的第二个优点是实用。如果一个人用模造法研究一个系统的变化情况的问题，他把系统分解成更简单的亚系统，这会大大促进他的工作。特别是当他想用计算机模造时，编制程序的语言结构是最适用于等级法的。其中每一个亚系统可与一个亚程序配合起来，而且亚程序可像亚系统那样无限地分巢。

把模造一个生态系统的任务分成亚程序有许多好处。发生误差的可能性与程序长度的比率超过二者的正比关系，因此，将程序分成几个可以分别写出和分别验证的部分，就可以大大地缩短时间，减少工作量和节省费用。还有，把任务再细分就可能把亚任务分配给各亚组，这样，就可以把工作负担分开，可由更多的不同专业技术人员来负担，且可使模造工作沿着数条平行的渠道同时进行，而不是只能按一条通路前进。

识别亚系统的原则

为了模造而把一个生态系统分解成亚系统的方法是很多的，为此，我们必须考虑几个原则来划分亚系统。

首先，如果有若干不同的模造者或模造小组在从事这件工作，一个明显的问题是它们具有的专门知识和模式不同部分所需的专门知识的类型问题。如要组织一个研究小组对一个特定的和有一定范围的模造任务进行工作，这个小组的最合适人数是相当少的——几乎不超过十人。假如每一个亚任务的学科范围都很广，那将是很困难的。因此，虽然从其他学科的角度对每一个亚模式提供评论的机会是重要的，但按照学科的内容来分解模式可能是很合适的。

另一个衡量的准则牵涉到有效性。将模式的一组输出与