

地理系统数学模拟的趋势

A. M. 格林, H. П. 基布祖

在漫长的历史岁月中,对地理学只有一个要求——看和写。这使人对地理学产生了一种固定的概念,即地理学的价值就是描述事实,在其中占统治地位的是经验思维。但是地理学是关于地理系统的科学,地理学家主要研究系统的表现,而不是造成某种现象的原因和机制。

人们可利用以经验材料为基础的逻辑理论来研究现象的机制和因果联系,而不求助于数学方法。但是数学是由多少代人的经验构成的逻辑理论,它已具有贯串于数学概念和运算方法之中的成熟的逻辑体系和结论。运用数学方法意味着利用成熟的逻辑体系。解决简单的问题可不用数学方法,复杂的问题则很难避开数学而得出应有的结论。

把数学的作用仅仅归结为计算是庸俗的。同样也不能把数学的作用局限在研究模拟结果上。数学模拟表现在善于用数学概念反映地理现象。

数学的作用在于揭示现象的原因和结构,并对它进行研究。现代地理学正在经历由描述科学转为试验—改造科学的阶段。开展这方面的研究就显得更加迫切。大量实际材料过去只是用作时空的描述和比较,现在要用来建立用数学语言表示的地理客体结构。

电子计算机的利用使数学又具备了新的能力。在物理学这类与数学有传统联系的学科中,计算机的出现不会引起“数学浪潮”。但在地理学中,计算机所具有的巨大存储,加工,分析信息的能力,有助于地理研究工作产生判断,并把信息“存入”计算机存储器中,根据已知的数学方法对它进行加工,

从而得到过去单靠知识积累所不能得到的结论。

然而,历史表明,甚至简单地把地理信息“存入”计算机中也不是一种容易的事。如何把不同观测条件下取得的,经常是相互矛盾的信息联结起来,如何把这些信息组织成为关于客体的知识体系,如何给信息标记号存入存储器中,以便于保存和利用?

紧接着又产生另一个问题:如何把这些知识组织到人们的意识中?这是个建立人工智力的问题。这种信息组织问题在科学中是经常存在的。此外应用性模拟应当解决的是现时存在的问题,而不是遥远的将来的问题。现在就已针对上面提的问题得到一定的回答。

数学模型 对任何研究客体都提出几个特征值。这些特征值的总和决定于客体的本质和研究目标。特征值的选择和确定是非正式的,应当在模拟以前完成。这个预先阶段的工作在很大程度上决定着以下研究阶段的成就。

特征值之间有相互制约性,对应性。关于特征值之间存在联系的原理是所有模拟的出发点。模型是用于决定所研究客体特征值之间对应性的规则。如果这个规则用数学概念表示,称为数学模型。譬如“猛兽——受害者”模型表示猛兽和受害者的数量与时间的关系的规则。“自然——社会”系统模型揭示自然特征与经济活动间的对应性。

对应性法则可根据一个数值决定另一特征值。这条法则可用于解决以下问题:监督——根据较易观测到的特征值求另一些难于

观测到的特征值；预报——根据一些已知特征值的变化预测另一些参数的变化，管理——调整一些参数以改变另一些参数。模拟在阐明观测的特征值（现象）的联系方面有重要的作用。如果求得建立在几个较简单现象基础上的现象模型，这个现象就可解释清楚。模型反映了自古以来力图把复杂现象归结为另一些较简单的现象系统的愿望。

模拟方法 有三种建立模型的方法。

1、根据直接的观测决定特征值间的对应性。例如，地理地带性法则有现象性。从现象上可用推理曲线描述在封闭空间中种群数量的增长，土壤中腐殖质的积累，均匀降水条件下小流域水量的增长等。在这种模拟方法中一般采用数学统计方法（相关回归，因素分析，信息分析等），自我组织模型。这种描述现象的模拟方法在地理学中早已应用。所得结果除直接解决所提出的任务外，还可作为建立另一个模型的基础。例如，利用对泰加林地理系统结构的信息分析，预测其平衡状态的更替。它还可以决定其它的模拟方法，即把研究对象归结为几个较简单的现象系统。

2、能解释特殊现象的一些现象要从所研究的客体内部寻找。客体是相互联系的要素的总和：每一要素又可看成是有其独特性的新客体。在特征值之间用数学方法定出对比关系，有的特征值还可能是动态性的，如一些特征值的变化速度，在各种关系中特征值在不同时段内的相互制约性是一种状态转变为另一种状态的规则。结果得出微分、矩阵方程，算法和计算机程序等。解方程式系统，用定性的数学方法研究它，或在数值上用计算机计算几种算法方案，每一次都得到特征值间的一些对应关系。一些大模型的计算很费劲，一般只计算少数几种方案，由专家指定几种为达到目标最重要的必不可少的方案。

地理客体中划分的结构可能在数学中早已研究过；应当看到，很多结构已经研制出

来，而在地理学中还要研究确定，这些结构都是在已知数学理论范围内。它们是在解决数学本身的问题和其它学科的问题时产生的带有普遍性。这类普遍性结构在地理学中也会碰到。譬如，研究动态过程经常可纳入微分方程理论中，物质循环平衡模型可纳入有限马尔科夫链的理论中。我们可以很自信地说，现代数学理论可用来解决很多地理问题。地理学象其它学科一样，要求研究新的数学理论，数学中新的应用领域也将给自己提出相应的新的任务。

运用第二种模拟方法的特殊情况是有很多关于要素的信息，结构已弄清并且能“模仿”。这种模型称为“肖像”模型或感应模型，因为它是建立在大量经验材料的基础之上的。这类模型为数很多，各方面对它都有大量阐述。大部分地理模型也属此类。如果由于费用大，试验复杂等原因不能对客体进行试验，那么模拟就是为得到有关整个客体的认识而进行的要素知识的综合。这类模型有生物圈模型，亚速海模型，草本群落模型和自然综合体模型。

有时会出现相反的问题，即不可能检验要素模型。当我们不能分割客体，对它的各个部分分别进行试验时，可提出一个能解释观测到的现象的假想结构，然后作寻求客体这类结构的感应试验。И. А. 波列塔耶夫称这种模型为“探求”模型。它的建立是为了检验模拟客体未知结构的假设和假设体系 А. Д. 阿尔曼德称这种模型为演绎模型，因为它的结构是建立在一般的意断概念的基础之上的。B. C. 普热奥布拉任斯基指出，近十年来地理学中“探求”模型的数量增多了。提到自然——技术系统模型，旅游系统模型，他强调，它们不是建立在广泛的经验材料的基础之上，而是作为假设独特地“预先反映实现”。

一般不会碰到纯“肖像”模型或“探求”模型，它们是极罕见的情况。可能是以某一方面为主。经常是只有关于客体结构的不完

全信息或关于客体职能作用的不完全信息。这时假定地引入结构的短缺部分到模型中,使它成为完整的模型,就可用它来解释观察到的事实,预测新的事实。

3、在超级系统中寻找某种现象的原因,在其中该客体只是一个要素。例如,众所周知的植物对于光照条件的选择性。一类植物生长在光照度大的地方,另一类则生长在阴暗的地方。有关这类现象已积累了很多资料。它可解释为是由于限制品种存在条件的植物内部机制造成的。但也有人解释这种现象是多品种植物群落超级系统形成的规律性造成的后果。

如果第二种模拟方法是根据客体结构,那么第三种模拟方法则是根据超级系统的结构,根据客体在超级系统中的职能。大系统的规律性给客体特征值提出了一些要求,这些特征值可用来建立模型。而所提要求经常是客体特征值某种意义上的“最优化”。因此最优化模型在这种模拟方法中会经常碰到。

由此得到的客体性质经常形成从客体以外指定的目标,而特征值之间的关系是合理的关系。例如,我们说,植物“选择”具有一定光照度的生长环境。这种说法既不应看成是“自然的人为成因化”,也不能看成是简便的模拟方法。当然,进行这类模拟时,实现特征值合理对应关系的机制是在模型范围以外。

在模拟技术设备时应考虑它们运用的目标,因为它们是为在大系统中履行一定的职能而建立的。旅游活动是由于社会的需求而产生的。编制旅游系统模型的人指出,为了查明旅游系统的性状,只知道一部分要素的性质和联系是不够的。需要知道旅游系统与其它同级系统的联系,与超级系统的联系,后者的需求构成旅游系统的合理性,并可按其执行任务的效益来判定。

这类模拟经常是主观的,这就产生了目标是任意提出的错觉。事实上在建立这类模

型时目标是假定的,正象第二种模拟方法中结构可能是假定的一样。

一般在模拟时不单单只利用一种方法。譬如,模拟亚速海的开始阶段是对客体结构的试验资料进行统计分析;模拟白海时是利用分组计算考虑论据的方法;在自然综合体模拟中用的是信息分析法。

通常结构的未知部分不是以假定结构,而是以假定目标的方式提出。例如,建立树木生长动态模型,为模拟生产过程而需要的有关叶,根干之间产品分配机制的信息不足。作者不是臆造一个可能有的分配机制,而是用假设去补充模型,在几个未知机制的作用下产生出下一时段合理的(最优的)产品分配方案。

综合模拟联结多方面取得的信息,有助于补偿单个模拟方法的不足。

模型的局限性 模拟表现出两个方面:

1、任务是联合所有关于客体结构的已知信息模拟现时可能实现的所有现象。电子计算机的利用使这种模拟得以蓬勃地发展。但是现在建立这类模型的作者也承认,它的结果并不理想。但它有另一种作用,即可对大量信息的一致性进行检验,有助于发现新的事实,更深刻地认识客体,加强不同专业人员之间的合作。2、在模拟中的活动程序是,明确指定模型可能的运用范围及它所具有的对一定现象的针对性,为达到具体目标建立模型。这种提法是由于,对结构进行绝对模拟是达不到的,没有必要要求模型重复客体性状的所有方面。任何模型都有局限性,它表现在研究目的上:我们要研究的是一定的现象——在一定条件一定精确度情况下一定特征值具有对应性规则。

地理系统的多结构性 这里应注意的是,在建立模型时利用的是哪些要素和联系。在同一个地理系统中,水文学家为进行模拟划分一种结构,植物学家或经济学家又划分出另一种结构,这反映地理系统的多结构性。

模拟目标(模型的限制)可能定得不清

楚。譬如，水文学家建立模型是为叙述传统上称之为的水文现象。经济学家是为叙述经济现象。生态学家是为说明生态现象。甚至在每个专业范围内，在一个地理系统内也可建立很多模型，例如各种生态系统的模型。在生态系统内，首先是根据对“主人”的影响评价所建立的联系。如果环境各要素对“主人”没有直接或间接的影响，则它们之间的联系就无关紧要。即或在一小块地区范围内，针对每一个新“主人”都要分别建立具有新联系的新系统，不包括在过去研究的生态系统内。

然而不能就此认为把水文学家，生态学家，经济学家，气候学家等的“模型——概念”联合起来就可得出一个地区的“完整”模型。机械地“相加”是毫无益处的。根据多结构性原则应该在一定的目标下联合成新模型，随着目标的不同得出的“总和”也不同：生态系统，自然技术综合体，旅游系统。

随着时间的进展一些新现象又成为研究目标。在建立能解释新现象的结构时，要求联合过去不同科学领域内形成的概念，如果新的“模型——概念”具有普遍性，甚至还会导致出现新的专业。七十年代出现的深入研究旅游活动的社会需求就是一例。为研究包括休养的社会，经济，生物，心理，美学效益，以及技术，自然保护，文化等方面在内的旅游现象，任何一门现代学科都无力单独进行。

模型中建立的能解释一定现象的结构是模拟的本质。有几种建立这类客体结构的原则。第一，不应当把在不同情况下取得的关于要素的资料联结起来。在从不同学科中选用资料时特别容易犯这类错误。应当实行对结构各部分的研究程度均等的原则。过去精确地描述一些要素也会因另一些要素描述粗略而抵消，它对描述整个现象所要求的精确性也是多余的。此外，这种均等地描述的原则是必须保持的。模型应具有最小的结构，

它只考虑那些对现象进行模拟时必不可少的少量特征。近来制定了利用电子计算机以简化这个过程的方法。产生了专门的模拟方法，这种方法运用计算机进行数字试验，建立专门的程序语言，并定出机械保存和利用信息的方法。然而，这有时会造成一种错误的概念，以为计算机的利用就无需再事先认真研究现象的原因，而这正是科学研究的本质。这个问题摆在科学面前已有几百年，即或出现计算机也不能抹煞它的必要性。新法则的发现从来就是人们艰苦努力的结果，是人类智慧的结晶，任何机械都代替不了它。计算机只是简化了这个过程，承担了众多的陈旧程序。协调地提出模型中的客体结构除取决于模拟人员的水平外，还应善于瞄准模拟的目标，针对想得到的答案的那些问题。

模型的发展 模型的发展是由于目标的复杂化而引起的。取消任何模型原有的限制部分，增加模拟现象的多样性，扩大模型的应用范围，提高模型的精确性，所有这一切都会导致模型结构的复杂化。在模型中纳入一些新的特征值，它们过去由于精度不高和其它条件的限制曾经是忽略不计；对联系的精确性也要求更高，这些都促进了模型的发展。例如，当初联系的强度是根据一个测量数值或几个测量数值的平均值确定，后来则是根据数值分布或时间函数确定。近年来在地理系统模型中引用了很多经过定位站周密研究得出的特征值，例如自然和人为景观中各成分间的物质能量交换。人们不仅试图反映系统的动态，还反映它的发展。

模型结构的复杂化促使建立大模型。这类模型中的结构不会在已知学科范围内建立，而要求各学科联合起来协同解决。这项工作还有很多组织方面的困难，如原始信息利用的系统化和自动化（建立数据库），组织计算机程序系统等。它要求各类专业人员通力合作（生物学家，化学家，经济学家，地理学家，数学家，程序专家，工程师等）。

现在为解释自然客体的性状，经常采用

第二种模拟方法，试图用客体的内部结构阐明全部效益，更加详细地重复客体。结构描述得愈详细，愈难得到必要的信息。并且这种复杂的工作经常得不到满意的结果。

还有另一种模拟的战略，即利用特征值对比关系的合理性，用大系统的规律性论证它，而不去模拟内部结构。针对不同的问题上述两种战略各有优点。

可控地理系统 自然客体“性状”明确的目的性是它客观存在的性质。它可能被意识到也可能没被意识到。为使这个性质成为有意识的活动（管理），除了意识到明确的目的性外，还需具备影响参数的能力，这些参数随着目标的变化而相应变化，即管理参数应包括到人的活动范围内。因此管理问题应成为地理学的重要课题。

地理学现阶段发展的特点是利用一组“主体—客体”模型，其中社会作为主体，积极开展对自然系统的研究和管理。各种形式的人类活动有各种各样的战术目标。针对不同的战术目标建立相应的评价，研究地理系统模型。这些模型有生物产量模型，保持自然系统旅游效益模型，环境保健效益模型。人对地球上一些过程的影响已达到全球规模。显然，所有的概念、评价、目标都要根据对人的关系来衡量。这就提出了研究“社

会——自然”系统发展的全球性战略目标问题。正是地理学提出了这个问题。地理学的理论潜力对于社会这一重大问题的意义从来没有象今天显得这样重要。

地理系统模型的发展与模拟目的的变化有关。人类已进入与自然相互作用的新阶段，人类活动对地理系统有重大影响。这就产生了管理地理系统的问题。因此说，地理学已发生了飞跃，它不仅要描述和比较地理系统，而且还要预报它的发展，控制它的状况。地理学已成为研究可控系统的科学。

地理学的社会任务由描述自然转变为预报和管理自然，这自然也引起了模拟目标的变化。为了描述自然，它只需建立现象模型，并采用统计法就足够了。进行预报就对模型提出了更高的要求，即要研究现象的原因，而这必须从其它已经充分研究过，又较为简单的现象中推导出来，这样模型变得复杂化，它不单只考虑一种现象，而要考虑相互联系的众多现象的总和。但是这样做，在地理系统中加入管理成分会大大提高地理学的社会作用。

李德美译自《Изв. АН. СССР, сер. геогр. 》，1984，№ 5