

# 区域性和全球性变化的综合模型

吕鸣伦 王恩儒 译

实施 LUCC 的一个主要目的是拓展对土地覆盖原因动力学机制的理解,以便改进区域及全球性的模型并反映这种动力学机制。模型体系需构建能重点描述分散区域(如描述省级、次国家级经济系统的模型)但又适用于全球性整体区域,能够多方面准确描述反映土地利用和土地覆盖变化的那些非线性的相互联系的作用因素,解释主要的生物物理反馈过程,并能将生物物理反馈过程有机地联系起来,如全球循环模型(Frodevick 与 Rosenberg 1994;等)。除模型体系外很难想象再有什么别的方式能反映这样一种复杂的多因素作用的影响和生物物理反馈过程。若能正确建立此类模型,它们就不仅可用在土地利用和土地覆盖物的变化研究中,还能

正象上面所举的哥斯达黎加的实例那样,如果不密切注意尺度动态,对一些妨碍土地利用/覆盖变化的可能性的研究将可能被忽视。如在这个例子中,本地农业专家对全球农业价格对本地种植决策的影响凭经验是不清楚的,但却常常制造出一些给定的从全球到本地尺度的关系的模型,对土地利用/覆盖可以通过这些尺度求积分。静态模型参数将使我们建立一种跨尺度的转换方法,这比经济学上的“传递机制”更成熟、更有辨别力。

同样,一般都承认,全球尺度、国家尺度或低于国家尺度的变化之间的联系可以作为国际系统变化。因此,生产、消费和商品交换的习惯随着 19 世纪 70 年代远洋货轮的出现和大萧条时期的开始而发生变化。事实上,等级的数量问题包括各地区、各部门关于“适宜尺度”(为使他们的尺度不交叉而提出的策略)的讨论,与之相对应补充的是需要分析不同时间内自然、社会的不同尺度间的关系,这一“适宜尺度”的考虑,将使人联想起创造一种在地图上表示本地到全国乃至全球的联系,或者对数据进行粗略的划分。将数据套入普通方程或将粗略划分的数据套入重新标准化以后的方程。跨尺度的考虑是明显的经验主义和把研究重点放在追踪整个历史时期组织跨尺度的影响,考虑甚至强调系统通过时空尺度来转移。

## 土地利用/覆盖研究方案的政策关联

土地利用/覆盖变化的人类驱动力是土地利用/覆盖变化研究的重点,土地覆盖生物物理参数的组成部分。土地利用/覆盖变化为科研和政策部门分析土地覆盖变化方式,土地利用和土地覆盖变化结果,及这些结果引起的局部、区域和全球的环境效应提供了全球到地方(及地方到一全球的)基础,且能依据不断变化的需求和价值为人类社会改变全球土地利用曲线提供可能的参照点。

简言之,土地利用/覆盖变化研究项提出,为地方、国家及国际等不同级别的政策制定提供广泛而充满科学活力的信息基础,使各级政策制定可了解更丰富的知识。具体而言,土地利用/覆盖变化研究可提供与土地利用、资源、环境政策与规划有关的信息,包括人类对环境变化和乡村经济活动之持续性的反映。在缺乏清楚规定的成套政策价值和制度环境的情况下,土地利用/覆盖变化研究不能提供政策性指导。它也无意这样做。但该研究项目可为科学顾问和政策制定者提供:(1)高级政策所需的信息背景;(2)方案模型分析及适当管理系统的数据库,及综合评价和观察手段;(3)一套长期的科学目标,用来帮助在全球变化中确定未来政策的优先选择。

译自 Chapter 3, IGBP Report No. 35/HDP Report No. 7 "Land—Use and Land—Cover Change" 1995

提供用于进行气候变化、碳循环、生物多样性、可持续性、食物安全性以及社会品味、价值观、社会模式方面总体变化的方案分析的量化体系。

LUCC 的模型体系应设计成便于把握土地利用和土地覆盖的发展方向以及今后 50 至 100 年间起作用的动力学机制,并能处理可能发生的一些例外情况。某些发展方向已十分明确,如与所期待的经济增长同时发生的全球人口增长加速了对以土地为基础的资源的需求增长。发展,或者更广义地说,现代化正在改变经济和生活的结构。引起土地利用和土地覆盖变化的大部分原因是城市人口对农、林业产品的需求而不是乡村人口的生存需求。当前,世界人口中至少有 25% 的人从事农业生产,开发了地球表面相当比例的土地。因此,模型还要能够解释不公平和非市场条件下的情况。另一方面,与 1960 年的 34% (Simpson 1993) 相比,1990 年全世界有 44% 的人口居住在城市,到 2025 年,这个比例将上升到 60%,到 2050 年,在发展中国家将有超过 75% 的人口居住在城市,而只有不到 25% 的人口从事农业方面的经济活动。因此,土地利用和土地覆盖的变化与特定的土地利用活动将进一步受到城市经济活动的影响。模型系统必须能适应市场体系的扩散,若到 2025 年,世界上绝大部分农业均已商业化,在这方面的土地利用决策及相应的土地覆盖将主要以价格—工资为导向 (Parikh et al. 1988)。

直到本世纪早期,几乎所有的粮食生产的增加均由开发新的土地来实现;而到本世纪末,几乎世界上所有的粮食生产的增加都来自于较高的单产 (Hayami 与 Ruttan 1985)。如据世界粮农组织 (FAO) 估计,在 1990 年至 2010 年,全世界发展中国家 (不包括中国) 大约 80% 的农业生产的增加来自于单产提高和土地使用强度的增加。在这些地区,可耕地的使用将扩大约 12% (FAO 1993a:104)。在发达国家,最近的例子表明,由于农业生产率的上升导致农用土地面积的下降。

技术进步将继续成为加强粮食生产的中心。在现有的许多模型体系中,技术进步导入的过程被当作对经济系统的一种外界影响。然而,先进的理论和日积月累的实践经验表明,技术进步在很大程度上是一种内部影响。环境问题的压力促使技术创新。技术进步是增长的基本要素,因而也是将来土地利用的主要决定因素。因此,有必要介绍一下技术进步过程在土地利用和土地覆盖模型中的动力学机制。

社会经济系统中三个最典型的角色是生产者、消费者和政府。价值和土地的利用,以及其它诸如水、森林、矿产资源的价值是制定可行的经济持续发展、环境变化和污染控制战略时的关键因素。农业资源的生产潜力常常由于其物理、化学特性的退化而有所降低,且冒着遭受气候变化不利影响的威胁。另一方面,农业生产自身也会产生污染。保护和改善环境可以通过各种方法实现,如土地利用规划,净化技术、污染清理以及污染扩散控制措施等。因此,对模型而言,体现上述环境保护方法的有关政策和其它各项政策措施,如区域基础设施方面的投资或者土地开垦和改良方面的投资都非常重要。

任何有关人类与环境相互作用的决策都会导致带有不确定性和风险后果的行动。重大的战略性的决策都有实际上不可逆的结果,如修筑一座水坝,为了农业生产破坏一片热带雨林,将农业用地转为城市或工业用地。当制定决策时,应考虑到将来不确定的经济成本和收益,以及可能存在的环境方面的风险。设计反映人与环境长期相互作用的 LUCC 模型时,应涉及预测、不确定性和风险方面的概念。

生物物理反馈过程在土地利用和土地覆盖的长期动力学过程中担任着一个重要的角色。但在其强度和时空尺度上却并没有形成一种一致的看法。例如对土壤侵蚀的损失及其对农业生产率和土地覆盖的长期影响常被夸大。并非没有人对联合国关于沙漠化和其它关于全球水

土流失方面的估计提出批评,批评者们认为不但是有关估计数值被夸大了,而且水土流失在经济上的危害也被夸大了。一些早期的观察家认为,在非洲大陆某些地方的过度放牧只会对景观造成短期的破坏,从传统的管理方式、当地土壤条件、土壤侵蚀和沉积的空间分布特性来估计,这种在次大陆尺度空间上的土壤退化和变化已持续了 100 年或更长时间,虽然这并不意味着就存在生态方面的退化。

在较长的时间跨度内,影响土地利用和土地覆盖的因素会发生较大的变化,其中一些因素的变化对土地覆盖的作用是积极的而不是消极的(例如提高管理活动水平,减少直接依赖农作物或畜牧产品作为生存方式或收入方式的人口数量)。此处最关键的问题模型必须能把握生物物理影响和土地利用的反馈信息。从生物物理影响方面考虑,模型必须兼顾消极的和积极的两方面的因素。模型应能说明:(I)有关覆盖和覆盖影响的定义的模糊性;(II)人类活动和物理过程原因的不确定性,及两者之间的联系;(III)反映或估计的对将来产生影响的因素的不确定性;(IV)人类短期反应与长期适应性和创新能力之间的差别。

最后我们看到农业中水的供求矛盾日益突出,尤其在灌溉方面,这一问题在如西亚和半干旱的非洲地区将成为土地利用动力学过程的关键因素。世界范围内,农业大约要占全世界用水量的 70—80%(如, Kulshreshtha 1993),而其它方面在国家发展过程中还要为争夺更多的水资源而竞争。在一些耕地比例较高的国家(如按 1987 年统计数据,耕地中可得到灌溉的比例为:埃及 100%,巴基斯坦 78%,中国 47%,伊拉克 47%,世界平均 16% [Postel 1992]),农作物生产很大程度上要依赖灌溉。大量用水量预测数据表明,未来几十年内,日益严重的水资源短缺将对土地利用和土地覆盖的改变产生重大影响(Postel 1992; Gleick 1993; Kulshreshtha 1993)。因此,土地利用与覆盖变化模型必须反映有关水资源的两个特殊方面:(I)水资源使用和分布的机制,(II)对于可用水资源存量的变化与土地利用和土地覆盖变化之间的联系。

考虑到上述各种原因,用单一的模型来进行土地利用和覆盖变化的综合性的、详细的评价是非常困难的。然而 LUCC 全球尺度的模型并非没有例子。这些具体模型虽然都是为某些专门的目的而建立,但却为我们提供了方法上和理论上的借鉴。以下就是若干具体的例子。

有人分析了气候变化对自然生态系统和农业生产系统分布及发展的影响。这些静态研究包括将发生在当前土地覆盖模式和农业生产潜力方面的巨大变化。气候变化研究只涉及整个地球系统的一部分,但在生态和农业系统的变化及解释大气层  $\text{CO}_2$  增加的直接影响方面已取得了很大的进步。但是这些研究中没有一项是明确地针对土地利用变化问题的,它们只是试图评估全球气候变化的影响。

第一个全球变化模型是一个评估温室效应的综合模型(IMAGEI)(Rotmans 1990; Rotmans 等 1990)。这个模型主要反映 1900 年至 2100 年期间地球大气层温室气体(GHGs)的含量变化情况。IMAGEI 包括能量扩散、碳循环、大气化学等一系列高度综合的子模型。模型输入不同的能源和人口数量方案,用以模拟不同条件下温室气体在大气层中的变化情况,通过以上步骤,计算出地球大气层的平均温度变化。这个模型的使用导致了 ESCAPE 机构的发展(CRU 与 ERL 1992)在该机构内,一个更为先进的气候模型用以揭示不同模型之间的联系,如海平面上升模型、农业模型和生态系统模型。这些模型在土地利用变化及有关人文因素的研究方面存在着较大的缺陷。土地覆盖变化常被设定,而且只局限于热带地区,土地覆盖类型也很少。森林破坏率是按照 70 年代早期和 80 年代的较高数值设定的,而最近这一数值已有所下降。而且全球变化的结果未能反馈到引起变化的原因中去,忽视了重要的反馈机制。

另一项雄心勃勃的计划是世界粮食和农业系统模型 IIASA,该模型试图指示农业与国民

经济其它部门之间的复杂关系。该模型体系包括多个相互联系的建立在经济学与均衡理论基础之上的国家模型。这个模型系统包括人口动力学、城乡间的移民,社会经济因素、资本积累、在国家范围内反映需求与农业土地利用的市场条件。最近,一个更为具体的粮食生产模型与IIASA模型联系起来。尽管这些模型很具体,能够适用于较大的区域,但它们的重点仍是全球变化对农业的影响,并未评估其它方面的土地利用与土地覆盖在将来的变化。

另一个涉及合理的地理因素的长期生态经济评价的例子是一个研究全球气候变化对美国农业影响的空间均衡模型。这个模型在生产与消费方面选择了包括粮食与畜牧产品的30种主要农产品,这个模型包括两个组成部分:一套微观或农场规模的模型以及与之相联系的国家模型。适用性和土地利用、劳动力、灌溉用水等由区域级的供给曲线决定。

全球气候变暖对美国4个州的潜在影响的综合经济分析即是众所周知的MINK研究。这项研究内容包括了经济中的4个部分(农业、林业、水资源和能源),其研究目的是揭示4个部分之间联系的空间分布规律及其与气候条件变化的相互联系。

另一类不同的模型是用来评估适用于粮食和林业生产的自然资源的适用性。很多这类模型的基础是世界粮农组织发展的农业生态区域法。这种方法已有一些具体的应用实例,如在国家发展规划的框架内分析土地利用;在不同的气候条件下决定农作物分布和产量。

一个揭示土地利用和覆盖变化规律的全球性综合模型系统是IMAGE 2。它包括一个基于规则的土地覆盖变化模型,该模型与农产品的变化需求联系在一起。该模型的目的是模拟大气层中温室气体短时间尺度的动力学机制并解释地球系统内主要的相互作用。人类活动的影响以人口统计学、经济、技术发展的形式表示,从外部作用于土地利用系统,这些影响是在一些聚集在一起的区域内实现的。但这些外部因素作用于土地利用系统时,在模型模拟短缺的情况下,并不能反映人口统计学,经济或技术的反馈机制。

大多数畜牧产品模型和与草场管理相联系的饲草动力学模型都不是很静态化、太片面就是太微观,不足以为土地利用和土地覆盖的模型化提供一个立足点。这些模型都倾向于体现地区特点,或者集中在排除畜牧产品/放牧土地管理和社会经济方面影响的生物物理关系上。然而有些模型也包括了在较大尺度空间范围对土地利用和土地覆盖变化模型化工作有益的内容和方法。因此,虽然FLIPSIM(固定标准收入和政策模拟器模型)模型是一个动力学的、统计性质的模拟模型,它最初是用来进行微观分析的,但通过有代表性的农场,它也可以将适用范围扩展至区域或国家范围。通过有代表性的生态学模型方法,可用CENTURY模型来描述有管理的或未加管理的草场生态系统中植被覆盖和土壤动力学的情况。与上述模型有关的SAVANNA模型是一个适用于大区域的面向过程的牧业生态系统模型。

在国家和区域范围内,一些林业模型包括详细的社会经济因素对土地利用和土地覆盖变化的作用及人类殖民和毁林的过程。其中有些模型空间关系明确并包括模拟土地利用对持续发展影响的反馈关系。但是这些模型的主要反馈关系无论大尺度空间模型,还是小尺度空间模型都是单向的,例如表示模型的生物物理一方是如何影响社会经济一方的。

较为完善的LUCC模型要求体现上文提及的各项改进。更新模型与改进措施对模型的作用并不会引发不可避免的矛盾。问题的复杂性和过去模型化工作的经验都表明:要全面评价和反映土地利用和土地覆盖的变化,需要建立和综合应用一系列模型。图1表示一个体现几个重要组成部分的综合LUCC模型:人口统计学部分,模拟反映社会期望和价值观的变化,政策的设置;一个经济模型,土地利用分配部分,模拟土地覆盖和环境影响;土地生产率模型,将模拟影响的结果反馈回经济和其它系统,这样构成一个反馈环。主要任务是选择和建立适用于各

种特殊情况的模型,模型能够联系起来并适用于各种时间尺度。重要的是图1中所表示的土地覆盖和环境影响、土地生产率及气候系统模型应能与其它的全局变化模型联系起来,包括那些由 IGBP 建立的模型。

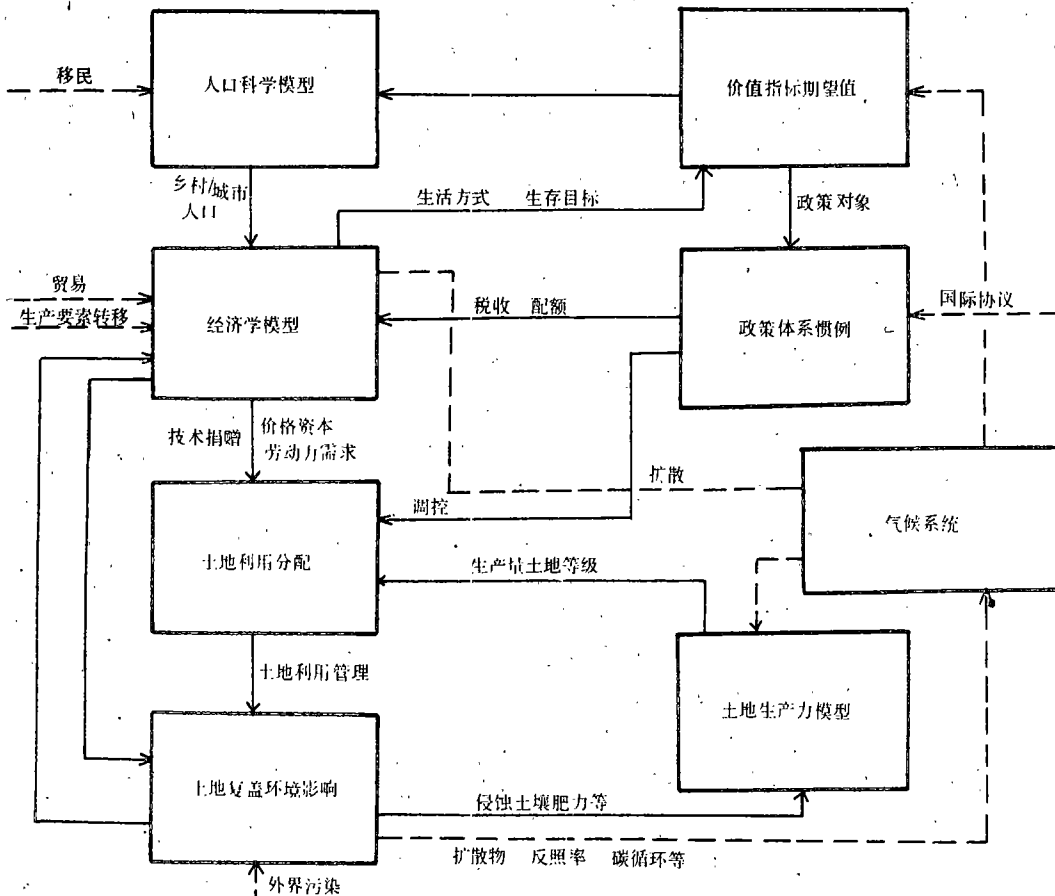


图1 土地综合利用和土地覆盖模型

最后,敏感性分析问题和模型的检验及有效性问题是第3点细节中最重要的。模型专家们普遍认为模型有效性的确立是建模过程中最重要的步骤之一。不考虑这些共识,确立模型有效性的正常方法只存在于某些类型的模型中,并可进行一系列有益的试验。在这些情况下,统计模型可用于有效性的确立。许多建模者指出模型的有效性是面对目标。在建立LUCC模型的过程中,各种情况都会出现。有些模型,尤其是第2点中提到的,可用作短期预测。在建立长期的LUCC方案过程中,模型可用来进行方案分析和目标搜索(如最优化过程)。模型的有效性因模型的种类而有所变化。某些情况下,有效的模型不再适用,这时必须强调的有效性问题是:(I)严格检验模型的方法论基础和特性;(II)用参数化的方法检验模型的敏感性;(III)模型的敏感性与所用数据源的质量有关;(IV)经济预测所用的参数质量由可用的数据的质量和数量作保证。

#### 土地覆盖动力学:来自经验测量的诊断模型

了解土地利用/覆盖变化的另一个重要途径是利用从土地覆盖变化的一系列经验原始资料中得出的直接观测,这些资料包括卫星遥感、全国人口普查和土地覆盖详查清单及大地量测等。这些观测可用来直接校验有关土地覆盖变化经验的、空间详尽的模型(拉宾 1994)。

这种途径强调两点。首先,它强调有必要用适当的时间频度和空间尺度来进行观测,以使

土地覆盖变化和土地利用分布明晰量化,这些观测为一系列模型的检验或论证提供了基础。除了提供土地覆盖变化空间模式的数量性测量外,还可以为以下分析提供重要的信息:(a)土地利用和土地覆盖变化的空间关系分析;(b)土地覆盖和景观单元的分析;(c)土地利用/覆盖变化的空间趋势和空间扩散的分析;(d)其它一系列地理特有的动态分析。其次,对土地覆盖变化的空间上的明晰、直接的量测可与其它形式的地理或空间信息一起被用来建立土地覆盖随时间变化的诊断模型。自然环境(如土壤、植被、地貌)和社会—人口条件(如人口结构、经济行为、土地保有权)有关的空间信息可与土地覆盖变化的数据融合在一起,建立经验模型,这些模型预测土地覆盖在较短时间间隔内变化的能力是有限的。这些模型将为定义当代土地覆盖变化(如过去 20 年)以完成对地区和全球碳的预算而提供基础,并为脆弱性评估和其他未来分析提供短期预测(今后 20 年)。

研究土地利用和土地覆盖变化的 OIEC 全球变化研究所的一个土地利用和土地覆盖规划工作组分析了有关土地覆盖变化的经验、诊断模型的一种方法(罗宾逊等 1994)。他们的结论是:对相对简单的经验研究适合于复杂的全球模型设计。推动土地利用/覆盖变化的许多基本力量在几十年期而不是在几年期的时间尺度上起作用。这些基本力量包括人口规模、地理分布、科技选择,收入及收入分配、交通设施和其他变量。抓住简单、坚牢关系和发展后果影响的一套方法以能胜任于作为几十年时间的预测的结构。这样,经验模型的建立为现在测量时期的推断及超出测量时期的趋势预测提供了一种方法。

这种方法假设在观察和检验时期占统治地位的力量在整个预测或推断时期仍然存在。在此假设基础上的模型理所当然具有预测性,特别是在几十年的时间间隔上。许多新近的文献表明这种方法是可行的(V. 拉宾 1994)。例如,有证据显示热带雨林地区的森林破坏在空间和时间上一直持续了十年。为不同的土地和生态带定义参数和方法有更多的工作有待于完成。虽然对森林破坏来说这些模型或许可行,但对其他类型的土地覆盖变化来说还有必要进一步发展。即便如此,这些模型没有提供有关潜在推动力量的信息,虽然它们或许为推动变量提供了重要的见解或相关联系。因而,这种模型设计需紧紧地与样本研究分析结合在一起。利用有关随机性的进一步的知识,这些模型可与基本样本研究、限制或拖延经验模型空间、时间趋势的估计值修正者结合在一起。属于研究土地利用和土地覆盖变化的 OIES 全球变化研究所的土地利用和土地覆盖规划工作组提供了一些信息,这些信息可从基于样本研究的分析中获得以完善经验模型。

这种方法的一个重要方面是建立一定时期内土地覆盖变化的可证模型,在这段时期内其他的全球变化模型(如全球碳的模型)需求土地覆盖变化的知识以增强功能。目前全球变化研究的一个目标是对三个重要领域的联系有一个全面、深入的了解,即:(a)全球气候;(b)全球生物化学循环;(c)全球水及能量平衡。

这种类型的完整的全球变化模型有两个总的要求。第一,有必要建立一些模型,在这些模型中使用实际的而不是平均的条件和参数。例如,为完成全球碳的预算,气候的实际估测,大气中  $\text{CO}_2$  含量,海洋中  $\text{CO}_2$  含量和天然及人为生物流将被同时纳入一个模型框架。用十年平均值是不够的;为使模型结果与大气测量中过去 20 年的量测相一致,需对实际的、时间上独立的土地覆盖力量进行估测。这样做的目的是把土地覆盖年度变化与大气集聚物及地球系统模型的其他元素结合起来。另一个例子是 ENSO(厄尔尼诺—南方涛动现象),了解响应这种短期的、但却具有全球意义的气候扰动的实际土地利用与覆盖变化是有必要的。对于响应于气候模式在某一特定年份变化的土地覆盖和土地利用来说,土地覆盖变化的年平均速率不是一种很

# “欧洲和北亚土地利用/土地覆盖变化模拟”项目简介

李秀彬 译

## 1 背景

在大约 40 亿年以前,地球表面的变化还主要是由物理和地质过程驱动的。那时,火山、陨星和大陆漂移塑造着这个星球的面貌。当最原始的生物体出现以后,在地球表面上一种由生命驱动的过程开始了。微生物在地球生物界统治了约 30 亿年的时间,它们的活动改变了地球大气的组成,氧气和氮气成为主要成分。接着出现了种类繁多的生物体,它们在陆地上、水体和大

好的指示。

第二,有必要对土地覆盖变化的空间和地理分布有一明确了解并有高度空间解析。例如,土地覆盖对能量平衡和水的流动之影响,是土地利用和土地覆盖变化的规模及空间排列的一个应变变量。再比如,作为水流规律、坡度和其他地理特定因子的一个应变变量,沉积物的搬运率和流域内土地覆盖正在发生变化有关。

对于空间上清晰的模型和土地覆盖变化的估算而言,还有其他的要求。试图对一些重要的微量气体,如氮氧化物,建立全球预算,但缺乏空间数据。微量气流的区域推测以代表性的或平均的、本地的测量为基础。

马特森,韦特斯克和斯克迈认为(1989),全球预算可以借助说明空间和时间变化来完善,并可以加强空间元素的分析,从分析中可以得出气流和土地覆盖、气候及扰动的功能关系。

土地覆盖转化特别是森林被破坏的空间排列,也影响洲际尺度气候和能量平衡的模型模拟的结果。从对可感知的、潜在的热流的影响而言,以几大块分布的森林破坏要大于同样分布的许多散布的小块(汉德森—赛勒 1987,汉德森—赛勒和高内兹 1984)。

最后,在潮湿的热带雨林的 land 覆盖变化将会引起很多物种的损失,人们对此日益关注(思勒克和韦森 1991)。对生物多样性的影响与森林转变的总面积和森林分割的数量有关。量化这种分割要求对空地的空间分布有一个了解(苏尔 1991,韦尔森和彼得 1988)。

了解覆盖发生的情况,它的空间特征和变化轨迹对全球变化的许多研究来说至关重要。然而,现在对土地覆盖、土地覆盖属性、土地覆盖转化的同时期的分布却知之甚少。对土地覆盖转化的几何和空间组织就了解更少。新的努力必须集中在自然土地覆盖和转化行为的空间与时间特征上。这些主动行动对于当代时期(过去 20 年)特别重要。为平衡全球碳的循环将要求能直接与陆地生态系统模型、一般的循环模型、大气 CO<sub>2</sub> 的直接观测和观察期内获得的气象数据,并在一起的空间上分散的结果。气候变化框架公约和 IPCC 指出,有必要基于过去 20 年和今后 5—10 年的高度空间解析作工作。

这里需强调的是,尽管这项工作能被拓展包括对覆盖的调整,然而至今大部分工作还是集中在土地覆盖的转化上。从转化过程对几个全球变化议题的意义而言,这种强调能被理解。例如,目前热带雨林转化为草场和农田,带来 30% 的净 CO<sub>2</sub> 流,尽管森林的转化速率小于 1%/年。换句话说,相对小数量覆盖的转化能有显著的环境影响。

摘译自 Chapter 3, IGBP Report No. 35/HDP Report No. 7 'Land—Use and Land—Cover Change' 1995