

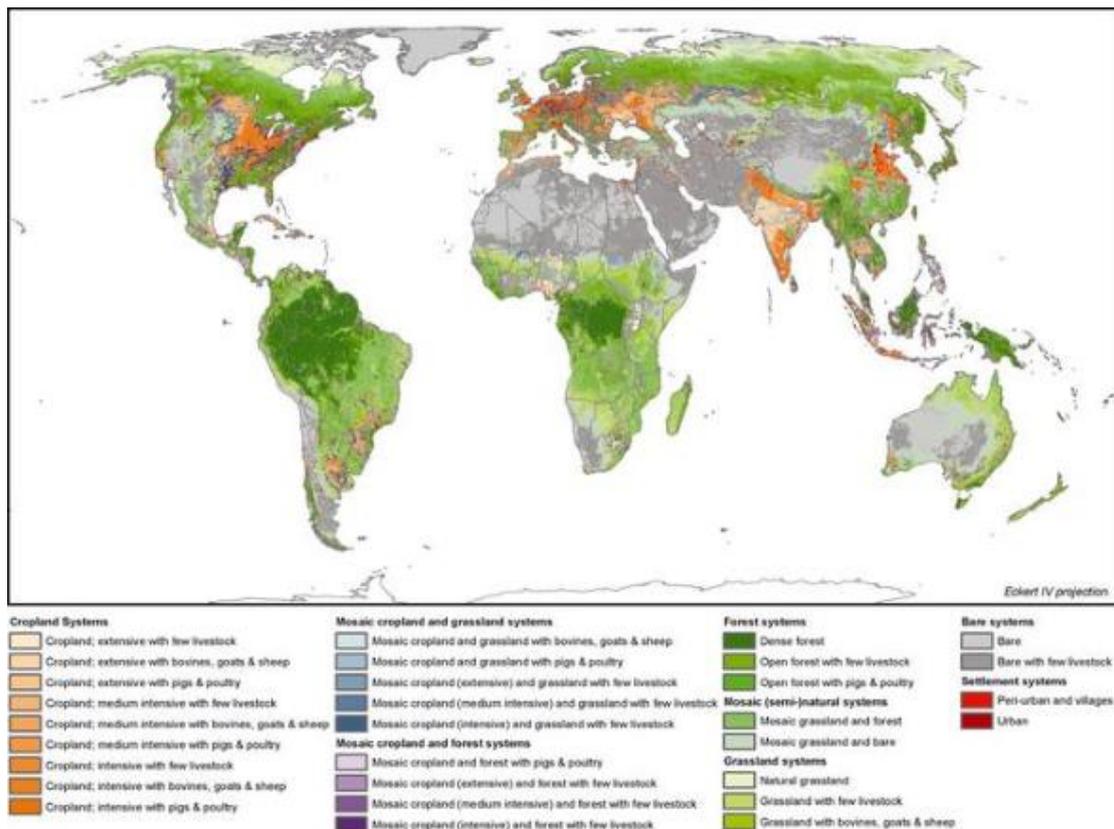


GREATER MEKONG
SUBREGION
CORE ENVIRONMENT
PROGRAM



CLUMondo 土地利用变化模型

使用手册和练习



2015年12月

CLUMondo 是一种动态的、空间直观的土地利用和土地覆盖变化模型。用户界面的发展是由亚洲开发银行的大湄公河次区域核心环境计划基金（CEP）：<http://www.gms-eoc.org>；<http://portal.gms-eoc.org> 资助的。以及模型功能的完善和更新得到了 CEP 和欧盟第七框架计划下欧洲研究委员会 ERC nr.311819 (GLOLAND) 的共同资助。

- CLUMondo 是由 Peter Verburg 创建的。
- 用户界面是由荷兰的 RIKS bv 发起的。
- 文档的编写者是 Jasper van Vliet 和 Ziga Malek。
- 样本数据集是由 Christine Ornetsmüller 发展创建的。

根据 Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 协议（CC BY-NC-ND 4.0）可以使用 CLUMondo。更多信息可参照用户手册。

目录表

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. 前言 | 1 |
| 2. CLUMondo 模型 | 2 |
| 2.1. 背景 | 2 |
| 2.2. 模型结构 | 2 |
| 2.2.1. 空间政策和限制 | 3 |
| 2.2.2. 特定的土地利用类型转换设置 | 4 |
| 2.2.3. 土地利用需求 | 5 |
| 2.2.4. 位置特征 | 5 |
| 2.2.5. 分配程序 | 6 |
| 3. 应用案例 | 8 |
| 3.1 土地利用图 | 8 |
| 3.2.地理位置因素 | 9 |
| 3.3.场景数据 | 9 |
| 4. 准备好您的电脑，应用地理信息系统 | 10 |
| 4.1. 准备好您的电脑 | 10 |
| 4.2. 地理信息系统软件 | 10 |
| 4.3. 安装地图比较工具 | 11 |
| 5. CLUMondo 用户界面介绍（练习） | 12 |
| 5.1. 开始 CLUMondo | 12 |
| 5.2. 用户界面和主要功能 | 13 |
| 5.2.1. 应用特征 | 13 |
| 5.2.2. 回归分析 | 14 |
| 5.2.3. 模型参数 | 15 |
| 5.3. 开始模拟 | 15 |
| 5.4. 结束模拟 | 16 |
| 5.5. 显示和比较模拟结果 | 16 |
| 6. 模拟土地利用变化场景（练习） | 21 |
| 6.1 土地利用变化场景条件 | 21 |
| 6.1.1 转换阻力参数 | 22 |
| 6.1.2 转换矩阵 | 24 |
| 6.1.3 场景参数 | 25 |
| 7. 模拟空间政策（练习） | 27 |
| 7.1 添加排除层 | 27 |
| 7.2 其他排除区域 | 28 |
| 8. 逻辑回归分析（练习） | 29 |
| 9. 创建一个新的应用程序（练习） | 31 |
| 步骤 1:启动一个新的 CLUMondo 模拟项目 | 31 |
| 步骤 2:修改应用程序的特性 | 33 |
| 步骤 3:进行回归分析 | 37 |
| 步骤 4:定义模型和场景参数 | 37 |
| 步骤 5:运行模拟和显示结果 | 40 |
| 参考文献 | 41 |

1. 前言

这是一个 CLUMondo 土地利用变化模型的自学手册。是在 Geonamica 软件环境下所实施的 CLUMondo 版本。因此，所有关于用户界面的参考文献都是指该环境下实现模型的用户界面。

第一部分对模型的结构和不同组成做了简要的概述。随后，介绍了在老挝的应用案例。第三部分是关于使用 GIDS 进行模型输入和输出的预处理和后处理的背景信息。从第四部分开始到最后是大量的练习，一步一步地通过模型和用户界面指导你进行学习。但是，随着练习的深入，难度也在增加。因此，建议按照顺序进行学习。

2. CLUMondo 模型

2.1. 背景

CLUMondo 是一种动态的，空间直观的土地利用模型。这是在土地利用转化及其效应建模框架（CLUE）（Verburg 等人，1999 年）的一系列模型基础上的最新发展。土地利用模型，典型地模拟了与土地覆盖相关的相互排外的土地利用类型的变化，例如森林、耕地、建筑用地等。然而，许多土地利用变化并不是直接对当地的土地覆盖产生影响，而是与土地利用的程度有关。比如从粗放农田到集约化农田，以及从低密度住宅区到高密度公寓等的变化。此外，许多地方不能用单一的土地利用来描述，而应该是多功能或混合的利用方式。例如，很多农村村庄是由居住用地和作物生产，以及畜牧生产相结合的土地利用方式。仅用这些功能中的一种来划分这类地区的土地利用情况是不完整的。

CLUMondo 是专门为模拟土地覆盖变化以及土地利用程度变化而设计的。另外，它可以代表多功能的土地。其核心在于，基于位置适宜性经验分析的土地利用模拟，与对土地利用系统时空动态变化的竞争和相互作用的动态模拟相结合。关于 CLUE 和 CLUMondo 模型发展的更多信息请参阅(Eitelberg 等人，2015; van Asselen and Verburg, 2013; Verburg 等人，2002; Verburg and Veldkamp, 2004)。

2.2. 模型结构

CLUMondo 模型被细分为两种不同的模块，一个是非空间需求模块，另一个是空间显示分配模块（见图 1）。非空间模块指的是，在整个模型区域水平上所需求的变化。这样的需求，可以是对特定土地利用面积的需求，还可以是对物资或服务等在量上的需求。前者的实例是建筑用地面积（可以用公顷来描述），后者的实例则是对食物的需求（可用产品的吨数来表示）。在分配模块中，应用基于光栅的系统，这些需求被解释为在研究区域内具体位置上土地利用的变化。

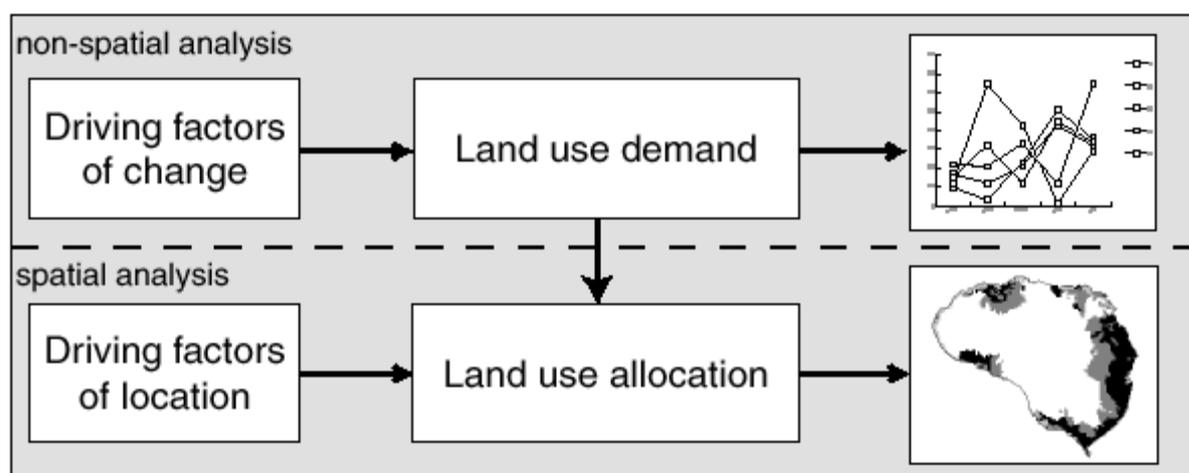


图 1. 建模过程概述

在 CLUMondo 模型中，需求是系统的外部输入，而分配则是由用户界面所支持的模型分配算法决定的。土地利用需求的来源是不同的，包括从简单的趋势外推法到复杂的经济模型。需求需要详细规定在年度基础上。研究区域内最重要的土地利用转化发生的本质及其相关场景条件，很大程度上决定了具体方法的选择。

综合考虑不同的土地利用变化驱动力，对土地利用进行分配，如图 2 所示。这些驱动力可细分为四类：空间政策和限制，土地利用类型转换的特定设置，土地利用需求和位置特征。应用一种迭代计算程序，结合这些驱动力，可以创建土地利用随着时间的变化。在接下来的章节中，我们会对这些驱动力分别逐一地加以讨论。

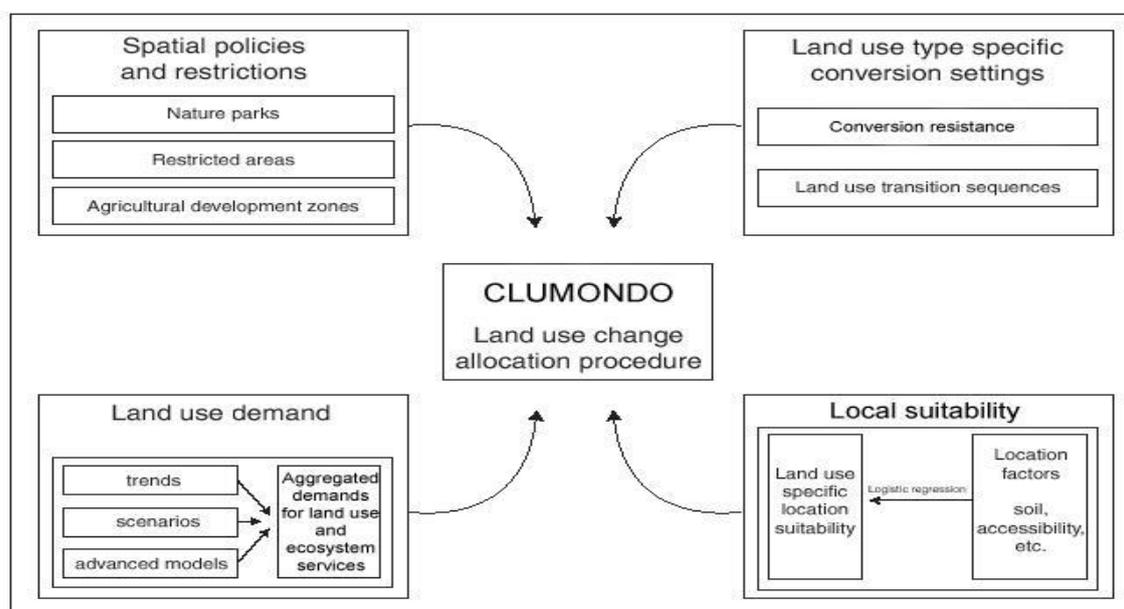


图 2. CLUMondo 模型信息流概述

2.2.1. 空间政策和限制

空间政策和限制主要是指在有些区域，特定的土地利用类型或者特定土地利用变化是受限制的，例如受区划和租赁的限制。在 CLUMondo 模型中，这些地方在一系列的地图中被标记为政策或限制实施的区域。有些空间政策在一定区域内限制了所有土地利用变化，例如，在森林保护区的伐木禁令。这些常用的限制可以包含在地区地图中。其他土地利用政策只针对特定的土地利用转换，例如在指定的农业区进行居住区建设，或者在自然保护区缓冲地带拓展农业生产。受特定空间政策限制的转换，可以用一个土地利用转换矩阵来表达：如果空间政策存在，显示所用可能的土地利用转换。

2.2.2. 特定的土地利用类型转换设置

特定的土地利用类型转换设置，代表一种特定的土地利用类型行为。描绘每一种独立的土地利用类型时，同时需要两套参数：转换阻力和土地利用变迁序列。转换阻力与土地利用变化的可逆性有关。有些土地利用类型是不会轻易被转变为其他用途的，只要有足够的需求，例如由于在这些地区的资本投入。譬如说，居住区以及长久性作物的种植园（例如果树等）。当所在位置更适于其他土地利用方式时，有些土地利用类型很容易被转移。例如，当森林的边缘地区被开垦用于农用地扩增时，耕地往往会为城市发展腾出地方。一个极端的例子就是游耕：由于土壤养分的耗竭，这种土地利用一般不适宜在特定的位置耕作超过两个季节。这些转换行为上的差异近似于转换成本。对于每一种土地利用类型而言，需要一个特定的值来代表相应的转换阻力，范围从0（容易转换）到1（不可逆的变化）。建模者需要依据专家知识或近期的观察来决定这一因子。

第二套需要规定的特性是土地利用类型转换设置。可以用一个转换矩阵详细说明这些设置。该矩阵规定：

- 当前土地利用可以转换为哪些土地利用类型，以及不能转换为哪些土地利用类型（见图3）。
- 某种特定的土地利用转换在哪些地区是允许的，哪些地区是不允许的。
- 在转化为另一种土地利用类型之前，区域内的土地利用类型能保持多少年（或时间步伐）不变。这与森林的再生这一情况有关。稀疏的森林不能直接转化为茂密的森林。然而，由于再生长，一个不受干扰的稀疏森林可能在许多年之后转化为茂密的森林。
- 一种土地利用类型可以保持的最长年限。这一设置特别适用于游耕系统中的作物种植。在这些系统中，由于土壤养分的耗竭和杂草侵扰，土地利用的时间一般会受到限制。

需要重点说明的是，只有土地利用转换可以或者应该发生之前的最短和最长年限可以在转换矩阵中表示出来。具体的年限也取决于来自土地利用竞争的压力和特定的位置条件。这些相互作用的模拟和设置在转换矩阵中的限制条件决定了转换发生前的时期长短。图3提供了仅有三种土地利用类型的简化情景下的转换矩阵的例子。

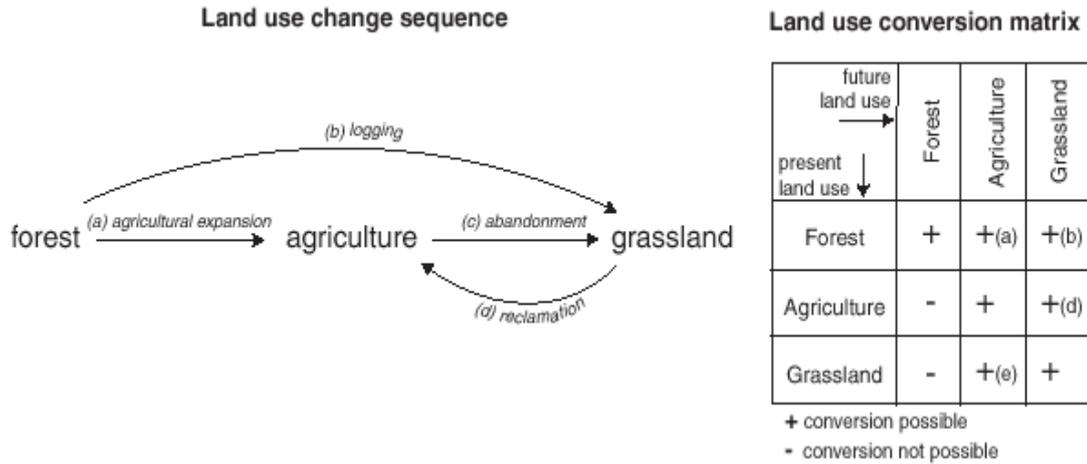


图 3. 将一种假设的土地利用变化序列翻译成土地利用转换矩阵的说明

2.2.3. 土地利用需求

土地利用需求以整体需求（整个研究区域作为一个整体）被定义成一个特定情境的一部分。土地利用需求在 CLUMondo 模型中有不同的表达单位，例如，面积用许多网格单元、公顷、平方千米等表述，但是也有食物的吨数，牲畜的头数，或者房子的数量。土地利用需求因为要满足所有土地利用总需求的限定而限制模拟。土地利用需求可以由 CLUMondo 模型本身进行独立的计算。依据不同的案例研究和场景，这种计算可以基于一系列不同的算法。利用历史趋势外推法计算近期土地利用需求是一种常用的方法。如果可能，这些趋势可根据预计人口增长率和/或土地资源递减进行修正。在政策分析方面，把土地利用需求建立在先进的宏观经济模型上是可以的，例如这些模型可以提供与政策目标有关的场景。

2.2.4. 位置特征

期许土地利用转换发生的地方，是在特定时刻该区域对特定土地利用类型有最高优先权的地方。一个地点的优先权是对一系列基于土地利用变化的空间决定因素的差异、规定、理解等因子进行经验性估算。计算式如下：

$$R_{ki} = C + a_k X_{1i} + b_k X_{2i} + \dots$$

式中， R_{ki} 是区域 i 作为土地利用类型 k 的优先权， C 是一个常数， $X_{1,2,\dots}$ 是区域 i 的生物物理学和社会经济学特性，而且 a_k 和 b_k 是这些特性对土地利用类型 k 优先权的相对影响。准确的模型特定化，需要基于对研究区域内影响土地利用空间配置的重要过程进行全面的了解。

需要建立一个统计模型，该模型是具有两种选择的二项分对数模型：是还是

不将区域 i 转变成土地利用类型 k 。参数 R_{ki} 假定为这一选择的基础响应。然而，这一参数不能通过观察或测量直接得到。因此，只能将它计算为概率。将这些概率与区域的生物物理学和社会经济学特性联系在一起的函数，可用下列的分对数模型来表示：

$$\text{Log}\{P_i/(1-P_i)\} = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i}$$

其中， P_i 是网格单元 i 采用所考虑的土地利用类型的概率，而 X 's 指的是各种位置因子。通过将真实土地利用形式作为因变量的逻辑回归分析，估算系数 (β)。这种方法和在砍伐森林研究中普遍采用的经济计量分析类似。在经济计量分析中，假定行为是追求利益最大化，这会将区域特征限制在（农业）经济因子上。

在一研究区域内，假定将不同位置的分配给最适宜的土地利用类型。适宜性包括货币利润，但也包括文化的和其他引起土地配置合理性偏差的因素。这种假设，给予位置特征或其代表物一个宽广的范围，让能定义不同土地类型相对概率的函数估算成为可能。

许多位置特征与特定的位点直接相关，像土壤特性和海拔。然而，对于一个特定区域，土地管理决策不仅仅取决于点位特定的特征：其他方面的条件，如家庭、社区或行政水平等，也可以影响决策。这些因素可以用可达性指标来代表，表明位点与重要的区域设施位置的远近，例如市场场。也可以用空间滞后变量来代表。人口密度的空间滞后指标不仅表示当地生活的人口，也接近区域人口压力。

2.2.5. 分配程序

当所有输入完成时，CLUMondo 模型利用离散时间步长对最有可能的土地利用变化进行计算。分配程序的总结如图 4。采取以下步骤对土地利用变化进行分配：

- 第一步包括确定所有允许变化的网格单元。属于保护地区部分，和目前土地利用类型不允许变化的网格单元，在进一步的计算中被排外。另外，所设定的转换矩阵确定为不允许转换的区域也不进行进一步的计算。
- 对于特定时间(t)的单个网格单元(i)，用下列式子计算每种土地利用类型的转变潜能 ($P_{tran_{t,i,LU}}$)：

$$P_{tran_{t,i,LU}} = P_{loc_{t,i,LU}} + Pres_{LU} + P_{comp_{t,LU}}$$

其中， $P_{loc_{t,i,LU}}$ 是区域 i 对土地利用类型 LU 的适宜性(依据分对数模型)， $Pres_{LU}$ 是对土地利用类型 LU 的转换阻力。 $P_{comp_{t,LU}}$ 是一种迭代变量，因

土地利用类型而异，表明了特定土地类型的相对竞争能力。只有当网格单元 i 在所设定的年份时已经处于土地利用类型 LU 的前提下， $Pres_{LU}$ ，特定的土地利用类型转换阻力因子才会被添加进来。

- 初步分配是用迭代变量 ($Pcomp_{t,LU}$) 的一个等值来进行的。通过用所考虑网格单元总体最高概率对所有土地利用类型进行分配。转换矩阵不允许转换的不参与分配。这一分配过程会使一些网格单元改变土地利用。
- 现将所有要分配的面积与全部土地利用生产出的物品和服务比作土地利用需求。如果土地利用没有满足需求，增加迭代变量的值；如果土地利用的分配超过土地利用需求，就减小该值。经过这个过程，因地区需求差异性产生的迭代变量有可能会推翻基于点位因素的位置适宜性。随之而来的便是平衡以位置适宜性为依据的自下而上的分配和以区域需求为依据的自上而下的分配。

不断重复步骤 2 到 4，直到所有的需求都得到正确的分配。当土地利用方式满足所有对面积、物资和服务的需求时，保存最终地图，然后继续下一个时间步的计算。有些分配的变化是不可逆的，其它的则依赖于之前时间步内的变化而变化。因此，模拟趋于产生复杂的、非线性的土地利用方式变化，具有复杂系统的特性。

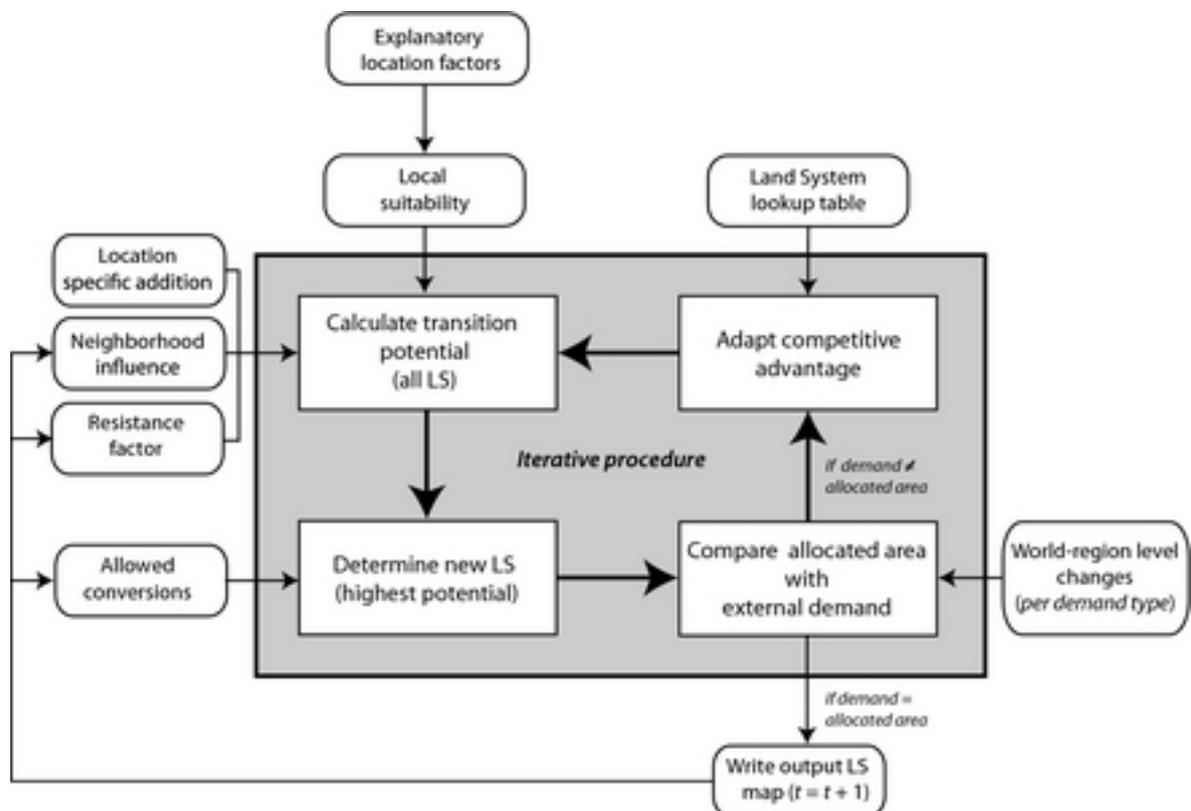


图 4. CLUMondo 模型的分配模块的流程图

3. 应用案例

3.1 土地利用图

在这些练习中，CLUMondo 模型将会应用于对老挝土地利用变化的模拟（图 5）。原始地图中，用十种不同的类别来代表 2010 年老挝的土地利用。

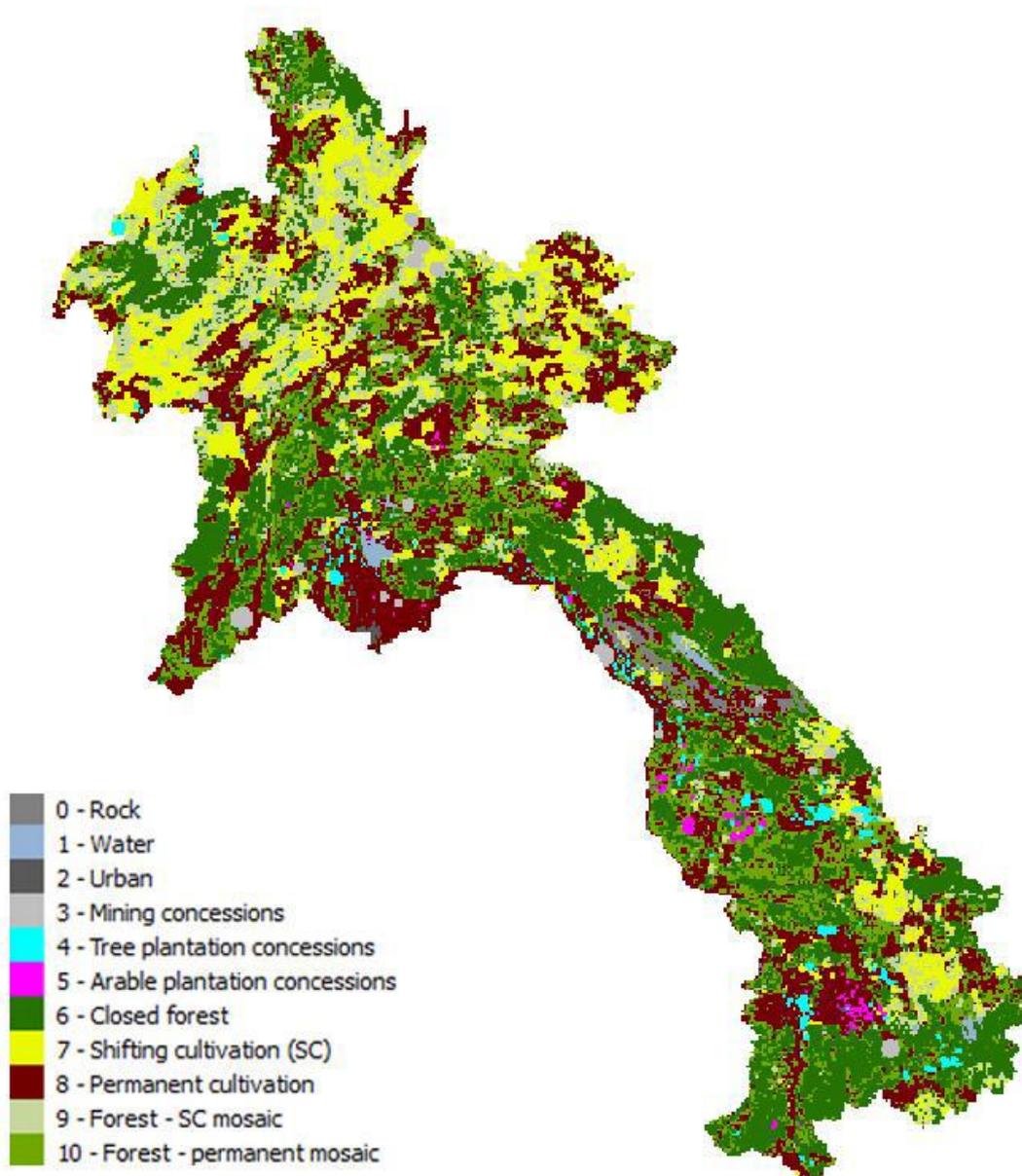


图 5. 老挝案例研究中的土地利用地图

3.2.地理位置因素

除了土地利用地图外，还包括几种其他代表地理位置因素的地图。这些地图作为决定因子用于不同土地利用类型的分配（表 1）。所有地图均在模拟目录文件中以 sc1gr*.fil 格式创立，其中*表示地理位置因素的文件号。

表 1. 用于新应用的地理位置因子。*Cat* 是类型变数（如一个类型的存在与否）以及 *Num* 指的是数值变量

| 代码 | 类型 | 变量名称 | 描述 |
|----|-----|---------------|------------------------------------|
| 0 | Cat | w_3_ab2k | 距上游水源的距离超过(多于) 2 km |
| 1 | Num | access | 到村庄的可达性 |
| 2 | Num | access_dom | 国内市场的可达性 (到省会和地区城市) |
| 3 | Num | access_int | 国际市场的可达性(到首都、机场、边境口岸) |
| 4 | Cat | contractp | 实行订单农业的村庄 |
| 5 | Num | popdensity | 人口密度 |
| 6 | Num | slope | 坡度 (mean of 2x2 km) |
| 7 | Num | elevation | 海拔(mean of 2x2 km) |
| 8 | Num | precipitation | 年均降水 |
| 9 | Num | temperature | 年均温度 |
| 10 | Cat | awc_1 | 有效储水容量 FAO class 1: 150 mm/m |
| 11 | Cat | awc_4 | 有效储水容量 FAO class 4: 75 mm/m |
| 12 | Cat | awc_5 | 有效储水容量 FAO class 5: 50 mm/m |
| 13 | Cat | drain4 | 土壤排水 FAO class 4: moderately well |
| 14 | Num | t_clay | 表层土壤粘粒 % |
| 15 | Num | s_clay | 底土黏粒含量 % |
| 16 | Num | t_gravel | 表层土壤砾石 % |
| 17 | Num | toc_4 | 表层土壤有机碳含量 FAO class 4: 1.2 – 2.0 % |
| 18 | Cat | w_2_un2k | 距下游水源的距离 (小于) 2 km |

3.3.场景数据

本案例研究包括老挝未来土地利用变化的一个场景。这一场景用不同土地利用服务作为需求来表达。在该场景中定义了 4 种不同的需求：建筑用地，粮食作物生产，经济作物生产以及经济林木生产。这一场景假设了适当地增加城镇化，相应地增加粮食作物生产。土地特许权内经济作物和经济林木生产的增加由国外需求所驱动。

这个应用中有两个限制文件，代表模拟中不允许土地利用变化的区域。第一个是老挝国家公园系统，被在 region_park.fil 文件中定义。另一个名为 region_1000，是指海拔高于 1000 米以上的地区，可作为如何包括排除层的例子。对空间政策（section0）的练习，为排除层的应用提供了更多信息。

应该说明的是，本案例研究中的场景纯粹是为了训练，可以有意对其进行修改，以体现模型是如何工作的。因此，它们并不代表老挝的任何真实场景，也不应该被进行如是解释。

4. 准备好您的电脑，应用地理信息系统

4.1. 准备好您的电脑

为了能够应用 CLUMondo 模型，用您自己的数据建立一个应用，您需要检查并调整您电脑中的地理位置设置。尤其是要让电脑的十进制分隔符为一个句号 (.)，而不是逗号(,)。教程中的数据已经准备好了，但是为了避免用自己的数据进行模型模拟时出现任何问题，您就需要在自己的电脑上改变这一设置。

- 在 Windows 中，进入控制面板/时钟，语言和区域。选择“区域和语言”。
- 在“格式”的下拉表中，选择“英语（美国）”（图 6）。点击“其他设置”检查点是否被用作十进制符号。

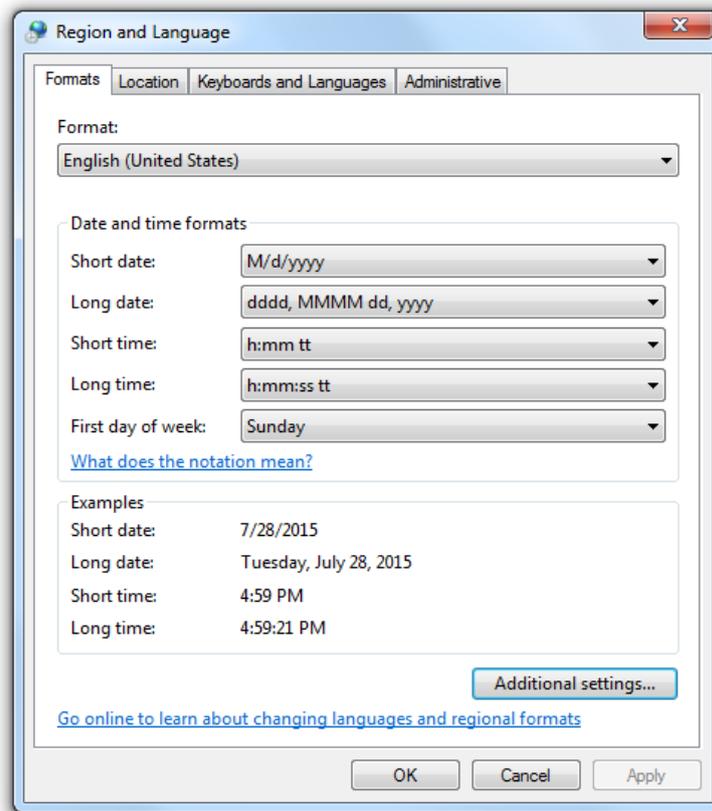


图 6. 调整你电脑上的区域和语言设置

4.2. 地理信息系统软件

为了建立一个新的应用，您可能需要处理一些空间数据，例如，您的土地利

用地图或者适宜性地图。这一前处理不能在 CLUMondo 软件中操作，因此，您的电脑需要安装一个地理信息系统软件（GIS）。一个 GIS 可以：

- 准备和编辑应用 CLUMondo 模型所需要的数据（例如将类似土地利用地图、空间限制、地理位置因子等的空间数据进行数字化和栅格化）。
- 如果需要，对结果进行额外的空间分析。
- 为文件和公开发行者，准备带有图例和文本的地图。

专卖的常用地理信息系统软件包有来自 ESRI (www.esri.com/software/arcgis) 的 ArcGIS 和来自 Clark Labs (www.clarklabs.org/products/idrisi-gis.cfm) 的 IDRISI。然而，也有一些公开来源的 GIS 软件包。在这一部分，我们只关注免费和公开来源的 GIS 软件。最普遍的免费 GIS 软件包列表如下：

- QGIS <http://www.qgis.org>
- GRASS GIS <http://grass.osgeo.org>
- SAGA GIS <http://www.saga-gis.org>
- ILWIS <http://52north.org/downloads/category/10-ilwis>

其中大多数功能齐全，可以很好地替代专用 GIS 软件。这些软件，在显示数据或者准备地图方面，以及在用空间数据处理进行更多详细的空间分析方面，效率都是很高的。

4.3. 安装地图比较工具

在练习中，我们也会用到地图比较工具（MCK）。MCK 包含大量比较栅格地图的计算程序，这对土地利用变化模拟模型是特别有用的。它有一个用户友好型的界面，很容易学习，并且特别适用于比较栅格地图。我们可以用 MCK 比较：

- 总体范围的差异
- 差异的空间分布
- 差异的本质
- 地图的测量刻度（定类的，定序的，间隔的或者比例的刻度）

MCK 可从网站上免费下载。您可以在 <http://mck.riks.nl/> 上找到最新版本。安装之后，开始运行 MCK。出现在用户界面上的主要窗口是（图 7）。软件会要求您打开一个日志文件（log file），但是您还没有创建，因此按取消。

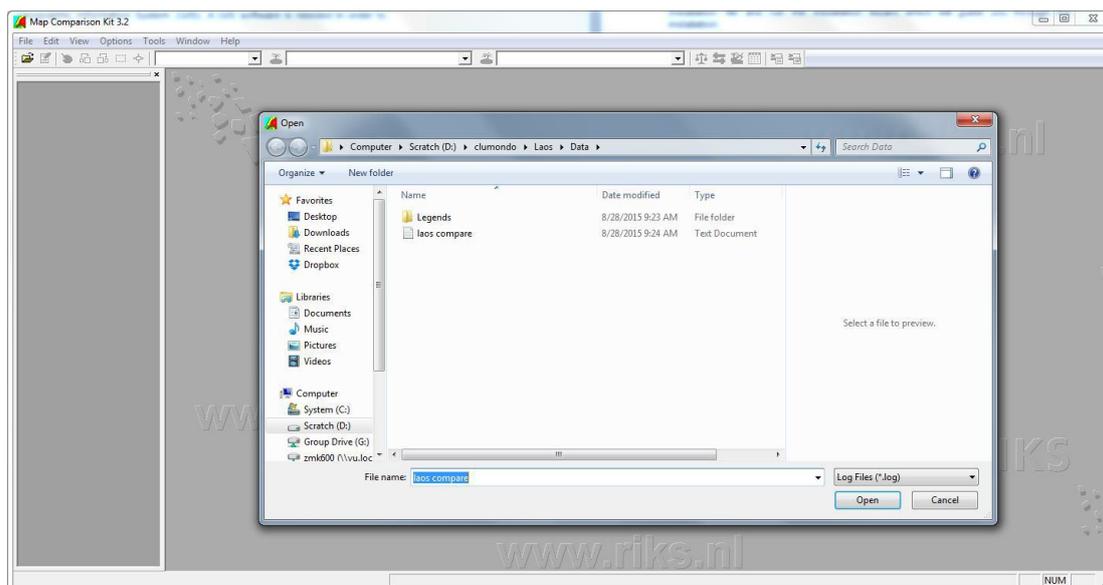


图 7. MCK 用户界面

您可以退出 MCK 软件。在练习 1 的“显示模拟结果”部分，我们会指导大家进行新的地图比较。

5. CLUMondo 用户界面介绍（练习）

本练习的目的是让大家熟悉 CLUMondo 用户界面。您已经看到了一些模型参数，但是关于不同参数和输入文件的更多具体的信息会在其他练习中给出，当然用户手册中也有。

5.1. 开始 CLUMondo

在 CLUMondo 中，模型本身与模型应用是分开来的。从这个角度看，CLUMondo 工作时类似于微软 Microsoft word，后者的文档也是与软件本身分开的。因此，安装时，两者会被安装在不同的位置。

安装 CLUMondo 之后，软件会在开始/所有程序/CLUMondo 中找到。或者，打开 Windows 资源管理器中已经安装 CLUMondo 的目录，双击“Geonamica.exe”文件。

打开软件之后，CLUMondo 提示成一个项目文件，这是一种含有模型应用的文件。模型已提供了一个模型应用（老挝）。找到在安装期间定义过的项目文件夹（一般是 Documents/CLUMondo/Laos），选择老挝。用户界面就应该会出现在屏幕上。

5.2. 用户界面和主要功能

用户界面会使你能够编辑和浏览主要的输入文件和参数，并且允许用户选择场景条件。在老挝的应用中，所有的模型参数已经设置好了，因此，您可以通过点击“Run”按钮进行模拟，或者去模拟/运行。

当模型运行时，所有的键都处于禁用状态（例如，它们都是灰色的，因此不能同时进行新的运行），您可以在右下角看见一个绿色进程条。只要您能看到这个进程条（即使当它显示 100%时），模型就正在运行中。

模拟结果会储存在输出文件（ASCII 格式的地图），这些文件可以输入到 GIS 进行显示和分析。单次运行的所有地图会存储到同一个文件夹，新的运行随之会存储在新的文件夹，所以您永远不会丢失轨迹。这些文件的位置在 CLUmondo/Laos/ClumondoWorkingDir，并且是以你按运行开始的时间和日期进行区别的。这样，你就随时可以找到你最新一次的运行。

5.2.1. 应用特征

在 CLUMondo 用户界面“Application characteristics”的第一个标签中，用户可以添加、删除和显示适宜性层、土地利用类型以及排除层（图 8）。适宜性层---像代表地理位置因素的可达性图、人口密度图、海拔图、降雨量图等---可以通过点击“Add suitability layer”键进行添加。在“Land use services”部分，可以对土地利用类型进行浏览和编辑。“Exclusion layers”部分是定义被排除在模拟之外的区域，可以由“Add exclusion layer”进行添加。点击描述文件旁的“Show”按钮，可以浏览所有的输入地图（适宜性层和排外层）。

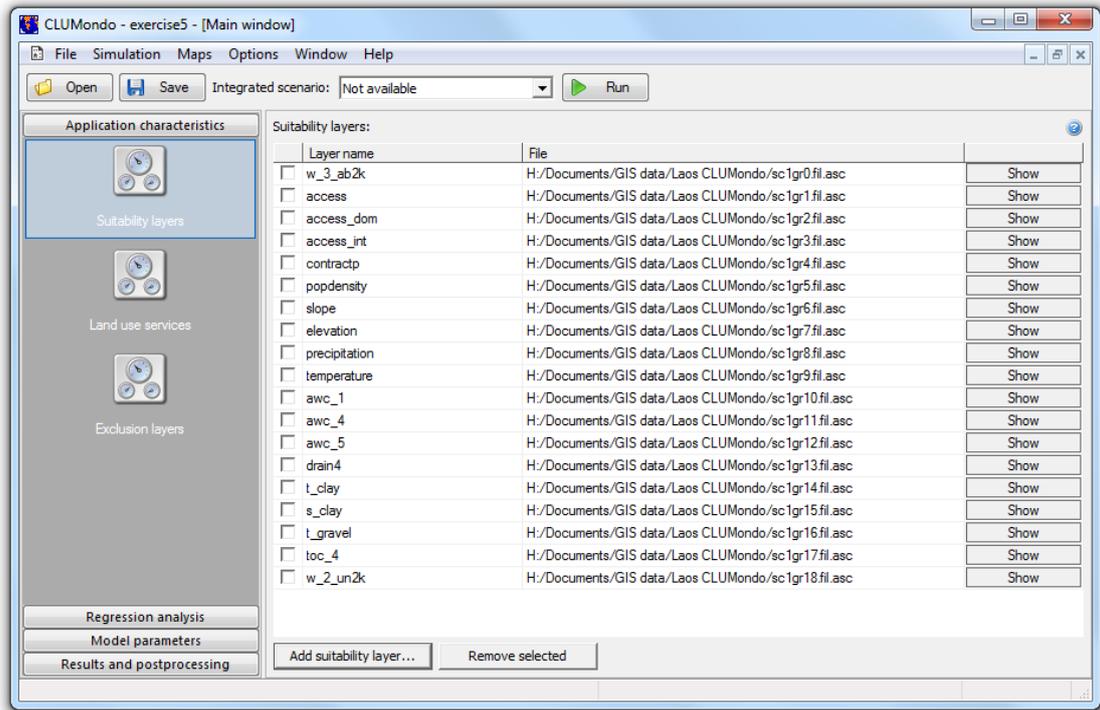


图 8. CLUMondo 模型用户界面的应用特征

5.2.2. 回归分析

在名为“Regression analysis”的第二个标签中，用户可以进行建立新应用所需的统计分析（图 9）。对于已经存在的应用，这一回归分析没有必要再做。

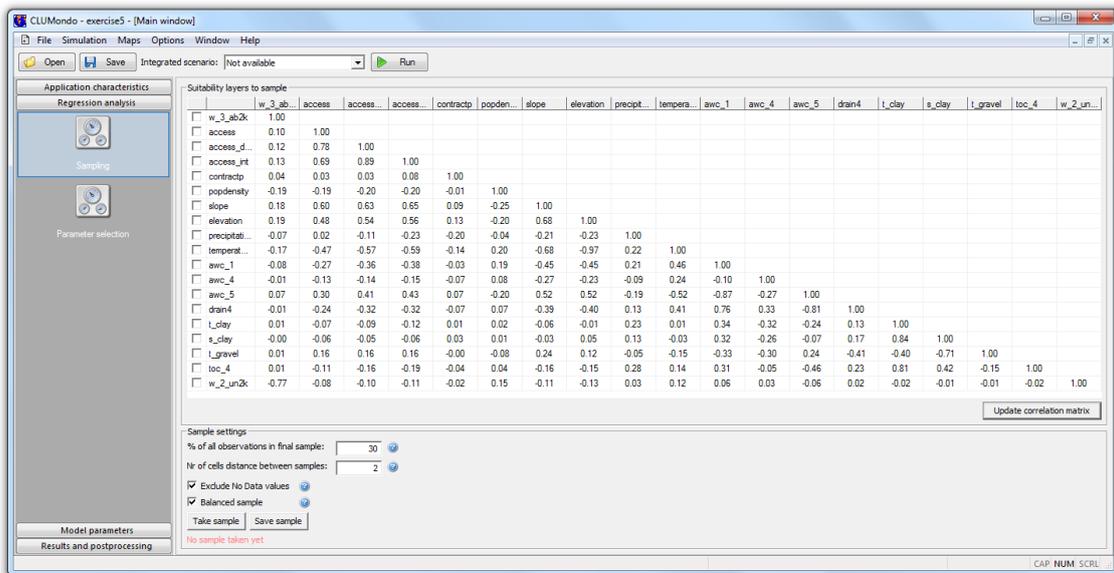


图 9. 在 CLUMondo 模型用户界面进行回归分析

5.2.3. 模型参数

在这一标签内，用户可以定义所有的模型参数，例如回归参数、转换顺序和阻力等。也可以调整转换矩阵和邻域特征，还可以定义场景（图 10）。这些参数对定义新场景来说是很重要的，在练习 2 的土地利用变化场景中会对这些参数进行更详细的描述。

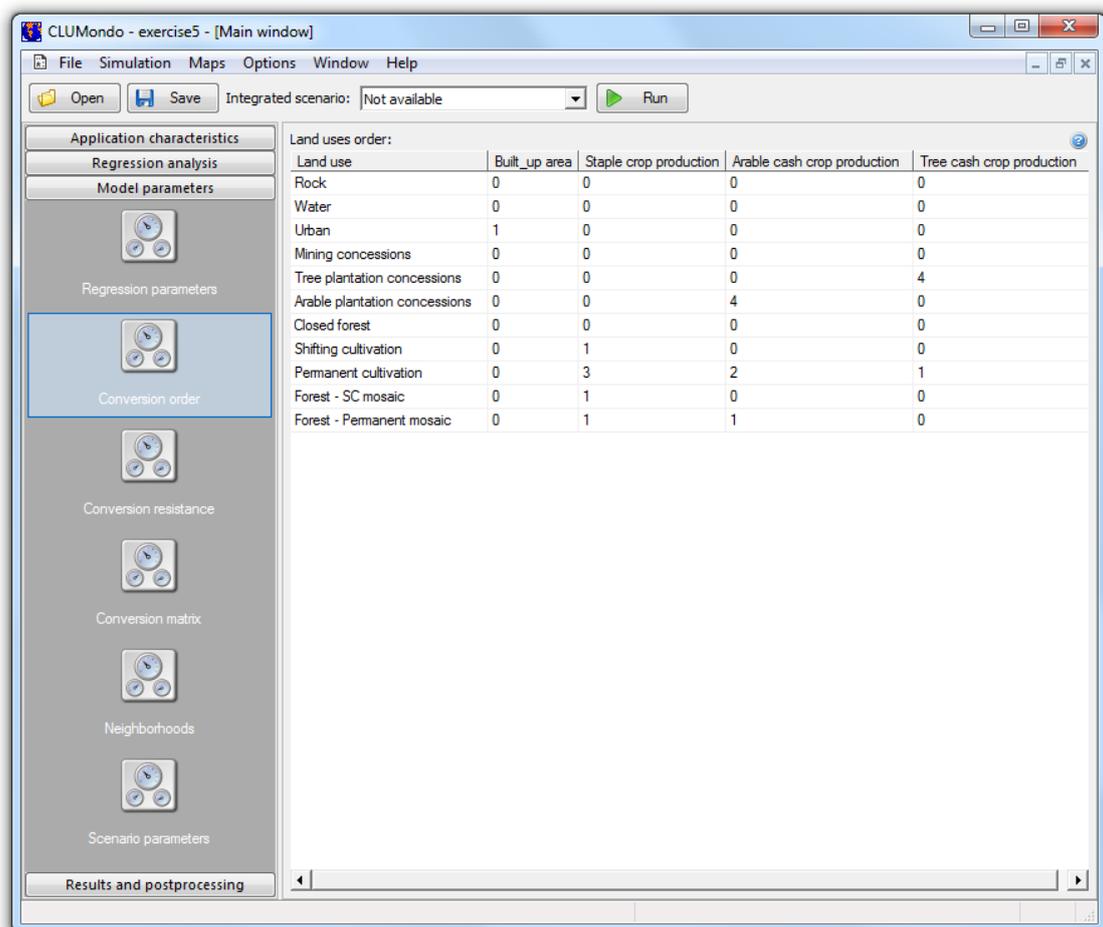


图 10. 在 CLUMondo 模型用户界面对模型参数进行编辑

5.3. 开始模拟

当提供了项目所必须的所有输入文件后，就可以运行模型。这里，所有的输入文件都在工作目录里。

- 按“Run”键，模型开始模拟。

模型已经完成运行时，输出文件可以在结果文件夹（在该例中 \CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking\，子文件夹显示模型执行的日期和时间）

中看到。通过添加新空间层，定义新排外层，或者改变用户界面的任何参数（例如，转换顺序、转换阻力、邻域特征……），都可以再次运行模型。

5.4. 结束模拟

当模拟顺利完成时，CLUMondo 将会给一个提示信息（图 11），进程条将不再显示任何活动。在项目目录里会得到大量的输出文件。首先，日志(log)文件包含输入文件和循环运行的信息，可供错误或者意外结果产生时进行查询。其次，为每年创建一个 cov_all.*文件，其中*代表模拟的年份。它包含对那一年土地利用类型分布的模拟结果。这是一个 ASCII 文件，可以被输入到 GIS 软件包(ArcGis, Idrisi, QGIS)和地图比较工具。再次是 age.*文件，这里的*表示模拟创建的年份。这种文件可以显示出在那一区域最后一次土地利用变化之后，每一网格单元中时间步的数量。甚至，模型会产生一个名为 andarea.txt 的文件。该文件含有每一年（除了 0 年）分配给不同土地利用类型的面积信息（以栅格单元数量*单元尺寸表示）。其它输出文件，在软件（帮助）的手册中都有描述。

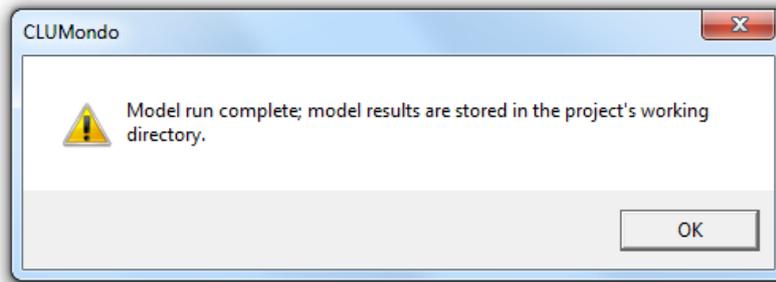


图 11. 模型运行结束

5.5. 显示和比较模拟结果

CLUMondo 模拟的所有结果都保存在 CLUMondo 安装目录 CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking 里。通过在“Results and postprocessing”标签中，显示初始的和模型化的土地利用地图，模拟结果就会出现在 CLUMondo 用户界面。为了更详细地可视化和分析模拟结果，GIS 软件包必不可少。这部分说明了如何用地图比较工具（MCK）对模拟结果进行显示和比较。

- 开始 MCK（在第三部分“Using a geographic information system”中对如何安装 MCK 有说明）。
- 当打开软件，被要求打开.log 文件时，按取消键。我们还没有建立过.log 文件。
- 选择“File/New”。一个“Edit log file”窗口会出现（图 12）

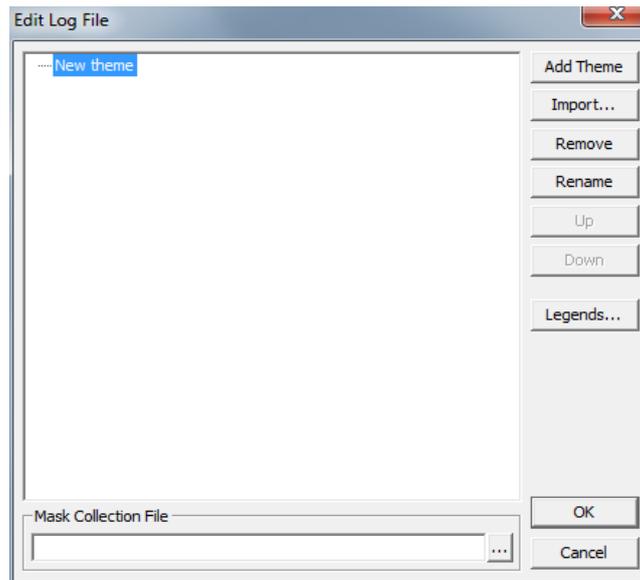


图 12. 在 MCK 中编辑日志文件

- 选择“Import”，浏览模拟结果文件夹（CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking，有模拟日期和时间定义子文件夹），在“ALL Files (*)”中设置“List Files of Type:”。模拟结果（土地利用地图）保存在名为cov_all*的文件中，其中*表示模拟开始之后的年份。
- 选择我们要比较的文件，例如，开始年份（0年）和最终年份（10年）的文件。选择文件cov_all.0和文件cov_all.10，点击“OK”。
- 文件会被添加到“Edit log file”列表里。点击“OK”，软件会要求您给.log file命名并保存。用一个恰当的名称保存它，这样您就可以开始比较地图了。
- 地图会显示在MCK的主窗口中，但是是默认颜色风格。为了使比较地图更容易地进行，建议改变地图颜色。为了改变地图颜色，双击窗口左侧地图的图例，会出现“Legends editor”（图13）。现在您可以改变土地利用类型的颜色，也可以用恰当的名称对土地利用类型进行重命名（像城市，封育林等）。重命名可以使之后的比较更容易。
- 选择与不同土地利用类型相关的颜色，确保图形更有效的显示。现在可以在屏幕上看到模拟结果，并用MCK进行进一步的分析（图14）。
- 您随时可以通过点击  或  键，在初始土地利用地图和模拟的土地利用地图之间进行转换。

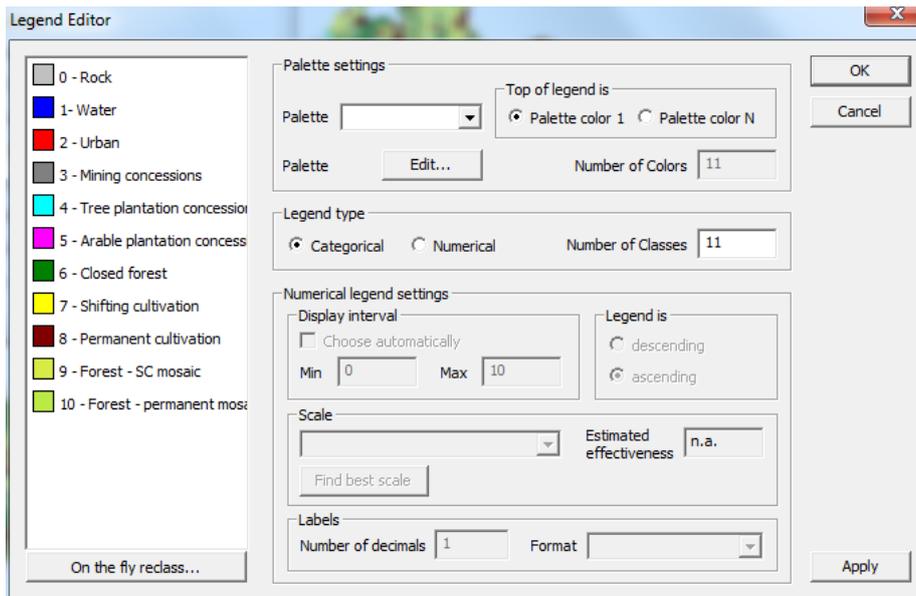


图 13. 在 MCK 中编辑土地利用地图的图示

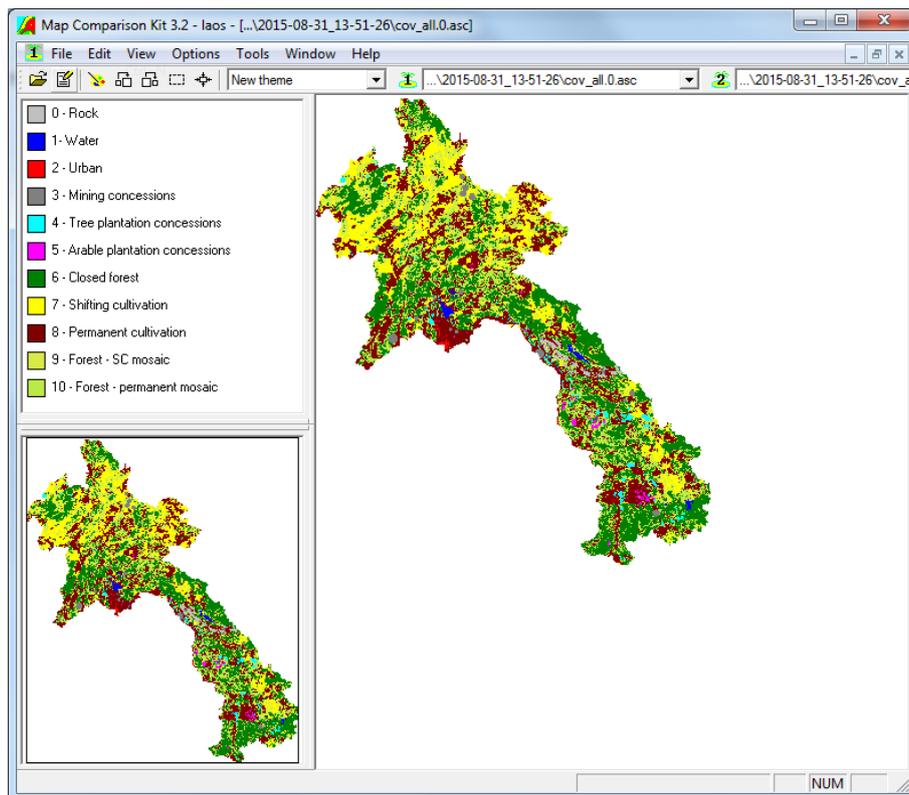


图 14. 在 MCK 中显示一个土地利用地图



图 15. 老挝土地利用类型图样本图例

现在我们可以对地图进行比较了。首先，我们用 MCK 中的“Per comparison”功能对初图和最终模拟图进行比较。这种功能可对所选土地利用类型进行一个单元一个单元的比较。

- 选择“Options/Comparison algorithm”，或者点击比较计算程序键 。选择“Per category”。
- 选择“Options/Algorithm settings”，或者点击计算程序设置键 。
- 选择您首先想要比较的一个土地利用类型。让我们首先关注“6-Closed forest”类。可以观察初始模拟和最终模拟年份之间森林覆盖的变化（图 16）。这样，我们可以看到哪里的森林没有变化，以及模拟到哪里有森林退化和森林扩增。为了更好的比较变化，双击左侧图例，设置“in none of the maps”为灰色。
- 结果统计（“Options/Result statistics”，或者点击 键）用定量法描述了对一种特定土地利用类型而言，两种地图之间的变化。
- 通过在“Algorithm settings”中选择不同类型，继续对其他土地利用类型进行地图间的比较。

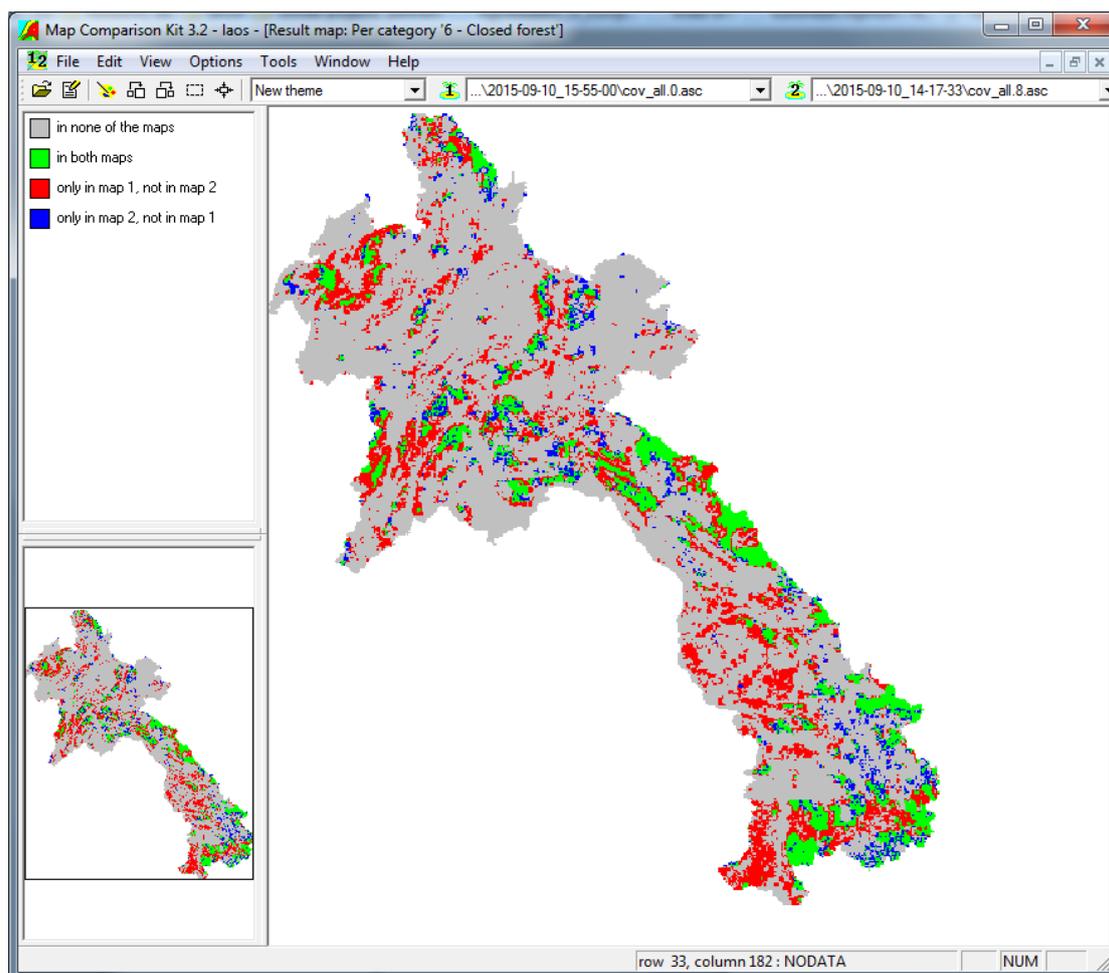


图 16. 在 MCK 中比较每个类别

接下来，我们将使用 Kappa 算法比较两个地图。这个算法通过对网格单元的比较进行两个地图的比较，并确认两个地图上的每一对网格单元是否相等。

- 在“Select comparison algorithm”窗口中选择“Kappa”。在结果中，我们可以看到两者之间的整体差异（图 17）。
- 选择“Options/Result statistics”或单击统计按钮 。我们将检查每一类和列联表的 Kappa 算法。

在“每一类别”表中，您可以看到在特定的土地利用类别方面两张地图之间的区别改变了。K_{Loc} 值描述的是两个地图位置之间的相似性，K_{histo} 值描述量的相似性。两值接近或等于 1，意味着这两张地图在量或位置方面更相似。我们可以预测土地利用类别，如岩石和水，当值为 1 时会保持停滞。另一方面，土地利用类别如封育林，将有更低的值，这意味着模拟年份的森林覆盖相比最初一年的显著不同。

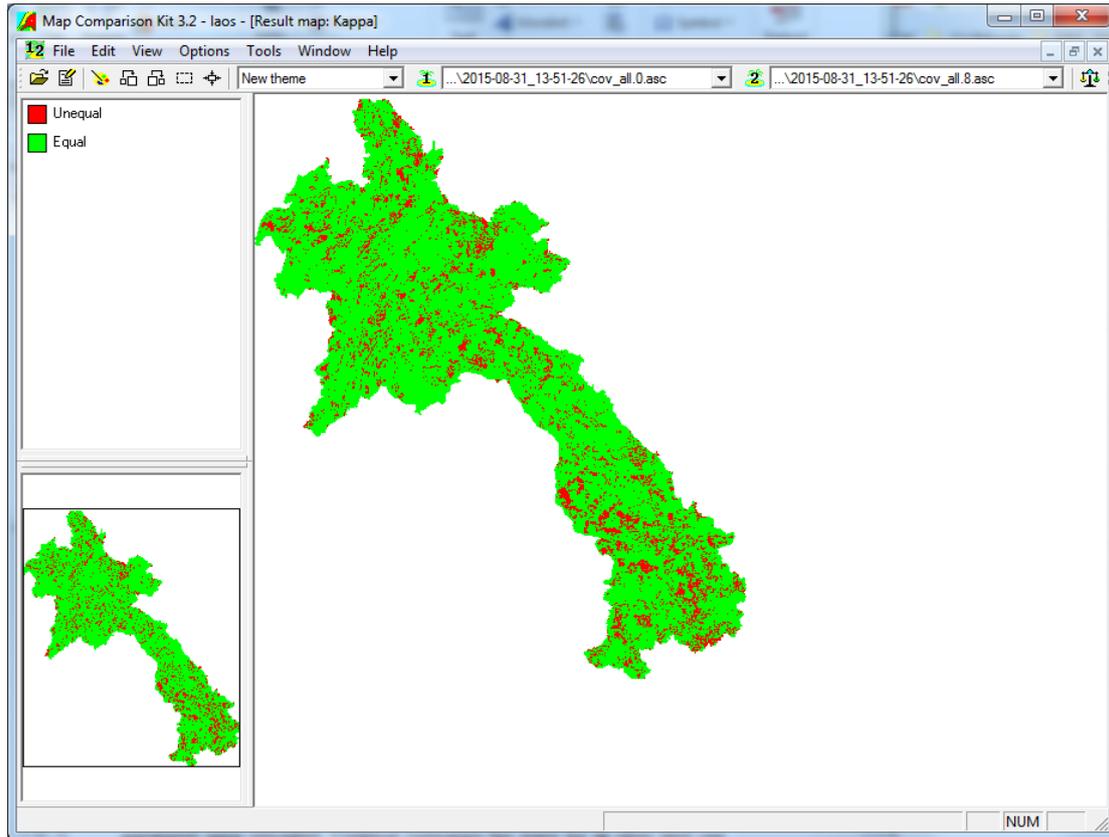


图 17 在 MCK 中用 kappa 算法比较两图

列联表详细说明了两张地图上类型的交叉分布，并表示在网格单元数中。在列联表中，我们可以看出个体土地利用类型中有多少已变成其他土地利用类型。慢慢学习两个表，并试着确定哪些类别变化最大。

6. 模拟土地利用变化场景(练习)

在这个练习中您会熟悉 CLUMondo 对模拟不同的场景的能力。更确切地说，您要经过修改和调整模型参数来定义场景，并根据不同的情况进行结果比较。

6.1 土地利用变化场景条件

CLUMondo有许多参数在模拟之前需要设置。这些参数的设置取决于对一个特定场景的相关假设。可以通过调整以下模型参数来定义不同的场景：

- 转换阻力参数
- 转换矩阵
- 场景参数

场景允许对不同的可能发展进行比较，并洞察模型的功能以及模型正在运行的敏感性分析。这样的分析最容易在 GIS 或地图比较工具中通过视觉比较或两个场景之间差异性的计算来完成。

6.1.1 转换阻力参数

转换阻力是土地利用类型特定设置之一，决定模拟的时间动态。转换阻力与土地利用变化的可逆性有关（图 18）。除非对那些土地利用有土地需求，否则高资本投入或对环境有不可逆影响的土地利用类型，是不会轻易被转换为其他用途的。因此，这种土地利用类型比其他土地利用类型更为“静态”。相对静态的土地用途的例子是住宅区，但也有永久性作物种植园（例如，生长缓慢或昂贵的果树）。有些土地利用类型在位置变得更适合其他土地利用类型或有曾经不可用的位置变成更适合这些土地利用类型的可用位置时，更容易转换。当森林的边缘地区可被开垦用于农用地扩增时，耕地往往会为城市发展腾出地方。一个极端的例子就是游耕：由于土壤养分的耗竭，这种土地利用一般不适宜在特定的位置耕作超过两个季节。

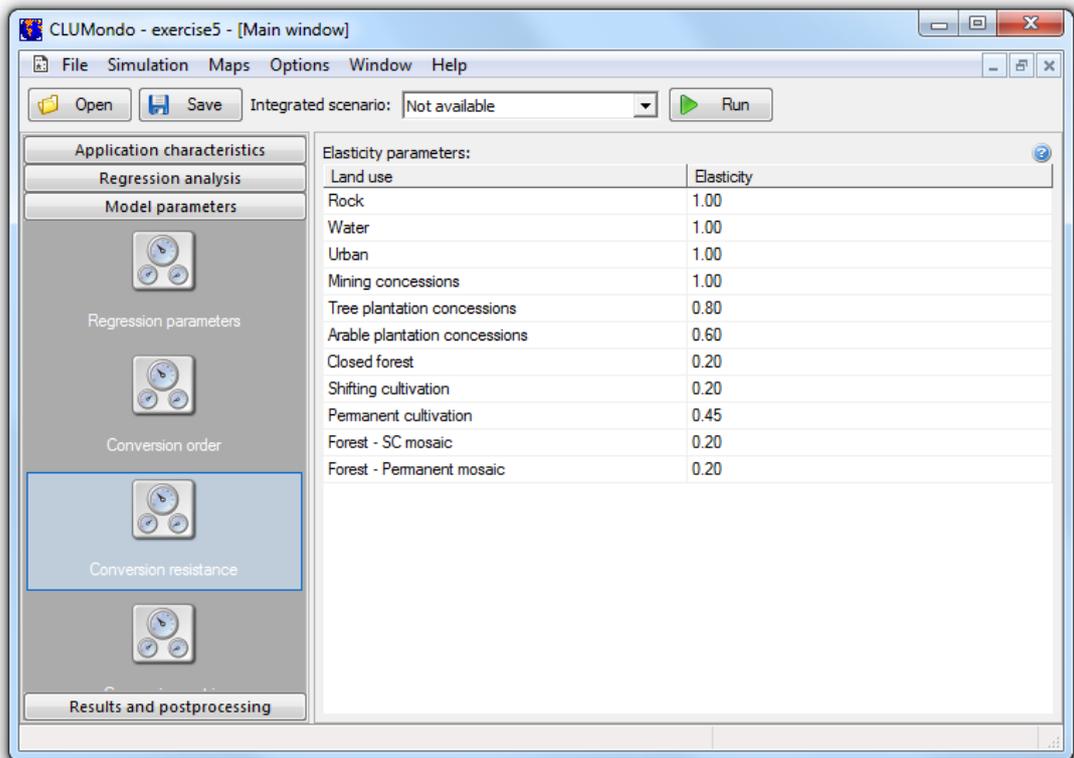


图 18. 转换阻力参数.

不同土地利用类型的行为差异可以近似为转换成本。然而，成本不能代表影响转换决策的所有因素，如营养消耗、审美价值等。因此，在模型中我们分配了各土地利用类型的无量纲因子表示转换的相对弹性，范围从0（易转换）到1（不

可逆变化)。用户应根据专家知识或最近观察到的行为确定这个因素。当土地需求增加或减少时,可能的转换弹性值和行为变化的详细解释如下:

- 0: 意味着这种土地利用变化相对容易,允许所有的土地利用变化发生,不受当前土地利用类型的影响。这意味着特定的土地利用类型在一个地方可以被移除,同时被分配在另一个地方,例如游耕。
- >0...< 意味着变化是允许的。但是数值越高,意味着在这个位置上已经存在的这种土地利用类型发生改变的可能性就越小。这个设置是针对高成本相关的土地利用类型转换。
- 1: 意味着这种网格单元中的土地利用类型不能在同一时间被添加和移除(即在模拟的一个步骤中)。这与难以转换的土地利用类型相关,例如,城市居住区和原始森林。1这个值能使系统稳定,万一有森林砍伐,保证其他地区有植树造林同时发生。

对于这个练习,我们将增加土地利用类型“封育林”的转换阻力。这意味着这个特定的土地利用类型在我们的场景中不太可能改变。大量的森林和农业政策的实施将导致更少以森林为代价的农业和城市扩张,而更多以其他土地利用类型为代价来进行农业和城市扩张。森林覆盖率的变化仍然是可能的,但可能性不大,并且模拟土地利用变化时将首选转换阻力较低的类别。

- 如前一次演习所描述的,在进行任何更改之前,先运行该模型。这次运行将作为一个参考,我们将比较我们的方案。
- 在CLUMondo模型的用户界面,选择模型参数/转换阻力,改变土地利用类型“Forest-SC Mosaic”转换阻力值为0.8。然后,点击“Run”按钮开始模拟。
- 当模型完成它的运行时,将结果与之前的模拟结果在地图比较工具中进行比较。添加最后的模拟地图(10年)到您之前练习产生的MCK日志文件中。
- 对于土地利用类型Forest-SC Mosaic(使用“Per category”),用初始年份与模拟结果进行比较。您会观察到什么呢?
- 将参考场景的模拟结果和Forest-SC地图要调整场景进行比较(使用“Per category”)。
- 最后,检查其他土地利用类型的差异。您能看到改变土地利用的转换阻力也会影响其他土地利用的分配吗?(使用“Per category”或“Kappa”)

我们也可以修改转换阻力参数来模拟其他场景。例如,我们可以降低森林的转换阻力为0,因此,模拟一个森林保护完全缺乏的场景。

6.1.2 转换矩阵

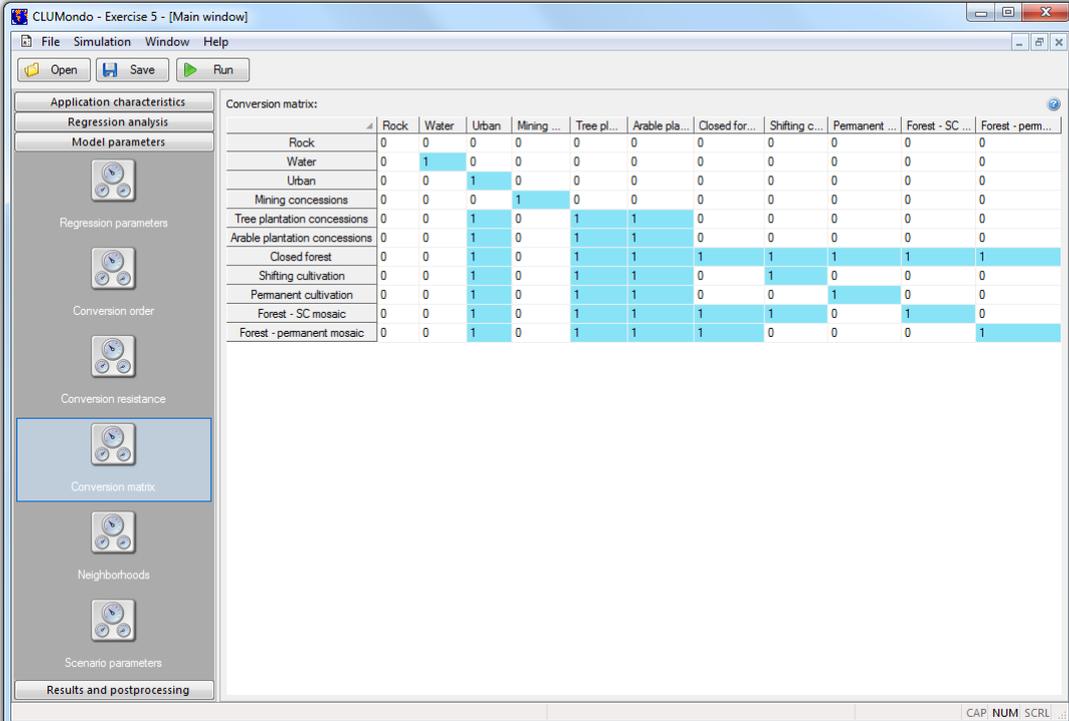
转换矩阵表明了模型所允许的土地利用转换类型（如图19所示）。转换矩阵实际上是在文本编辑器中以及通过用户界面进行编辑的文本文件。矩阵的行表示当前土地利用类型，列表示潜在的未来土地利用类型。要定义两个土地利用之间的转换，您可以通过定义不同选项中的值来编辑矩阵：

0：不允许转换

1：允许转换

10x：在规定年限之后，土地利用类型可以转换。例如，104意味着一个网格单元中的土地利用类型在4年后允许转换，110意味着10年后允许转换等等。比如说，只有4年后，才可以将游耕改为耕地种植。此选项仅与土地利用变化相关，也就是说这些网格单元并不位于转换矩阵对角线上。

-10x值只在对角线上相关，它定义了某一位置的特定的土地利用能保持多长时间：某一类别不能在同一位置保持超过x年。例如，-103表示游耕这一土地利用类型可以在一个位置（即无变化）最多保持为3年，之后，需要改变成其他土地利用类型。在这种情况下，土地利用类型不能保持不变，您必须允许它转换成另一种土地利用类型，以便运行模拟。



| | Rock | Water | Urban | Mining ... | Tree pl... | Arable pla... | Closed for... | Shifting c... | Permanent ... | Forest - SC ... | Forest - pem... |
|-------------------------------|------|-------|-------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Rock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Water | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Urban | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mining concessions | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tree plantation concessions | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Arable plantation concessions | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Closed forest | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Shifting cultivation | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Permanent cultivation | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Forest - SC mosaic | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Forest - permanent mosaic | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

图 19. 转换矩阵.

现在我们将使用转换矩阵模拟一个场景，禁止开垦森林发展种植园。种植园是可以实现的，然而只有牺牲其他(非林地)土地使用类别。这个情况可以证明对树木作物的需求可以由非林地土地利用类别满足。

- 修改“模型参数/转换矩阵”的转换矩阵。找到“封育林/种植林”的行/列组合，并输入值0。
- 运行修改后的模型转换矩阵。模型运行完成之后，在地图比较工具上显示和比较结果。
- 在MCK中将最后的模拟地图添加到第5.5节“显示和比较模拟结果”形成的.log文件中。将结果与最初一年的，以及其他模拟结果进行比较。

为证明转换矩阵的潜力，我们将尝试修改另一个场景的该参数。我们将模拟一个场景，此处5年后所有的采矿权都将失效。这种情况可以描述一组不同的未来：大型采矿作业或因环境问题而关闭。

- 修改“模型参数/转换矩阵”中的转换矩阵。找到“采矿特许权/采矿特许权”行/列组合并输入值-105。通过这种方式，我们可以确定，5年后需要转换。
- 然而，如果不允许在五年后继续开采矿井，应允许（技术上）转变为至少一个其他土地利用类型，否则该模型不能找到一个解决方案。因此，转换矩阵中通过0变为1允许从采矿转换为密闭林。

注意：在CLUMondo模拟开始时，每个网格单元分配一个随机的年龄。由于一些网格单元可能已经有3岁的年龄，它们可能会在2年后改变。

- 修改转换矩阵后运行该模型。模型完成运行后，在地图比较工具中显示和比较结果。
- 在MCK中将最后的模拟地图添加到第5.5节“显示和比较模拟结果”形成的.log文件中。将结果与最初一年的，以及与其他模拟结果比较。
- 除了在MCK中比较结束年，您也可以导入所有年份并与最初的情况相比较。使用“每一类别”选择采矿，你可以看到，矿山部分在逐年消失。

6.1.3 场景参数

在场景参数部分(图20)，用户可以规定模拟持续时间(例如最初的土地10年之后使用情况)，并定义模拟期间每年的要求。土地利用需求是由模型输入，也可以在文件demand.in*中编辑，文件在CLUMondo\Laos\CLUMondoWorking文件夹中。每年的模拟需求决定需要模型分配的每种土地利用类型的总面积。迭代程序将确保所分配土地利用和土地利用需求之间的差别最小化。

土地利用需求计算独立于CLUMondo模型本身，只计算土地利用变化的分配。根据案例和场景，土地利用需求可以基于一系列方法。例如，一种常见的技

术是将最近的历史趋势外推到不久的将来。在必要的时候，可以通过改变人口增长和/或减少土地资源纠正这些趋势。政策分析也可以基于宏观经济变化的先进模型中的土地利用需求，这可以提供与土地利用变化相关的政策目标场景条件。

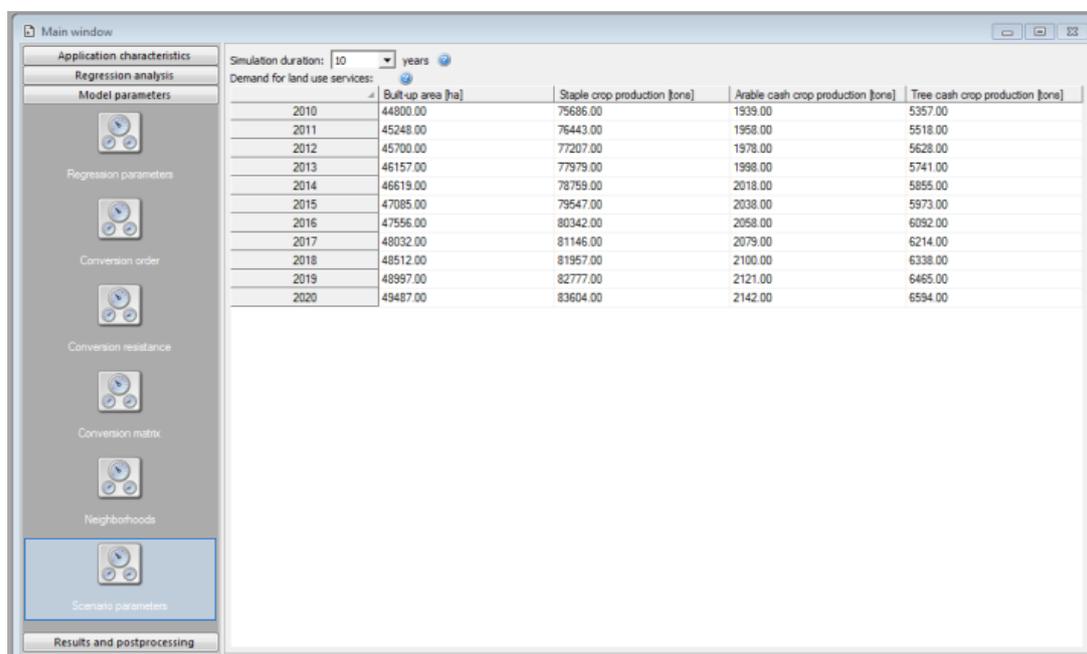


图 20. 场景参数

我们将调整老挝的应用程序中提供的需求场景，并创造一个更戏剧化的城市增长场景。这个场景描绘了一个在不久的将来人口增长惊人的城市。这是随着其它领域如基础设施，工业等的建立而增长的。更准确地说，这个市区从 2010 到 2020 年将有超过 10%的年增长率。尽管事实上，该方案可能显得极端，我们可以用它来研究这种发展的潜在环境影响。

- 点击模型参数/场景参数
- 在这里，您可以通过改变模型参数/场景参数中的土地利用服务的需求来定义自己的方案。在这种情况下，我们将改变每一年“建设用地”的需求。
- 在每年的“场景参数”部分输入下面的值（您也可以从 Excel 文件复制一个表，使用 Ctrl + C 和 CTRL + V）：
-

| 年份 | 建设用地 [公顷] |
|------|-----------|
| 2010 | 44800 |
| 2011 | 53000 |
| 2012 | 57000 |
| 2013 | 64600 |

| | |
|------|--------|
| 2014 | 73000 |
| 2015 | 80000 |
| 2016 | 87000 |
| 2017 | 93000 |
| 2018 | 100000 |
| 2019 | 110000 |
| 2020 | 120000 |

修改场景要求之后运行该模型。模型运行完成后，在地图比较工具中介绍并比较结果。

在 MCK 中将最后的模拟地图添加到第 5.5 节“显示和比较模拟结果”形成的.log 文件中。将结果与最初一年的，以及与其他模拟结果比较。

7. 模拟空间政策（练习）

一些规划和政策工具会影响未来土地利用变化轨迹。在此练习中，我们将探索如何将这些措施包含在 CLUMondo 场景中。为此，您需要一个空间政策实施区域的地图。一些空间政策在一个特定的区域会限制所有的土地利用变化，如在一个森林保护区所有的砍伐都是被禁止的。其他政策限制一些特定的土地利用转换，例如在指定的农业地区进行住宅建设。在此练习中我们只会处理在指定区域的限制土地利用变化的政策。

7.1 添加排除层

区域限制文件可以用来表示不被允许的土地利用变化。示例图可以由场景研究应用程序提供，还可以通过用户界面的“排除层”中的“应用程序特征”标签选择。

“region_park.fil”文件包含一个保护区的地图，标明土地利用变化被限制的区域。该地图如图 21 所示，也可以作为一个 ASCII 光栅文件导入 GIS，类似于用于输入模拟结果的程序。示例空间限制文件代表不允许土地利用变化的自然保护区。

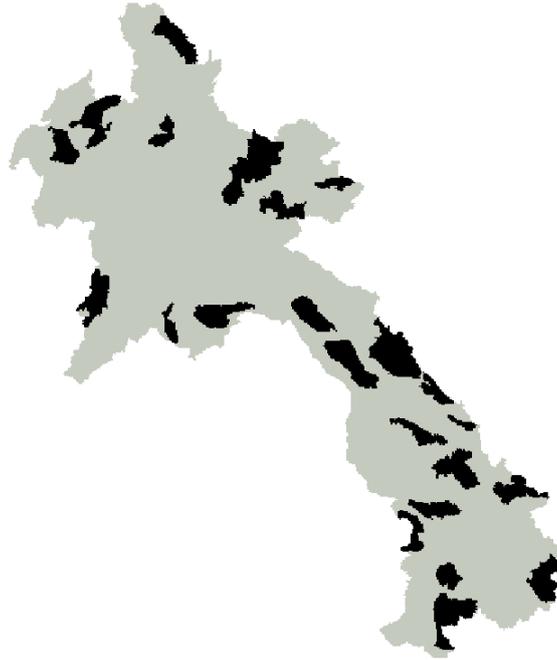


图 21. 空间限制示例

- 开始运行 CLUMondo，如果尚未打开，打开老挝的应用。
- 前往应用程序特性选项卡中的“排除层”部分。目前，正常的区域地图（没有排除）被选中。点击其前面的单选按钮，将其改变为 `region_park` 排除层。
- 不改变其他参数再次运行模型。模型完成运行后，在地图比较工具中显示和比较结果。
- 在 MCK 中将最后的模拟地图添加到第 5.5 节“显示和比较模拟结果”形成的 .log 文件中。将结果与最初一年的，以及与其他模拟结果比较。

7.2 其他排除区域

在国家公园旁边是有可能有其他限制的，比如保护水体附近地区，特定土壤上的斜坡区域，或超过一定海拔的区域。在这个例子中，我们将使用一个，不包括高海拔地区（1000 米以上）的地图。这个空间政策保护高海拔地区，可能是因为高海拔地区更容易受到土地利用变化带来的环境退化的危害。这类退化的例子有高海拔地区森林的砍伐或城市的急剧增加。

- 前往应用程序特性选项卡的“排除层”部分。然后，选择“`region_1000.`”为排除层。
- 不改变其他参数再次运行模型。模型完成运行后，在地图比较工具中显示和比较结果。

- 在 MCK 中将最后的模拟地图添加到第 5.5 节“显示和比较模拟结果”形成的 .log 文件中。将结果与最初一年的，以及与其他模拟结果比较。

注意：您可以使用 GIS 准备您自己的排除层。示例的范围可以是距离水体一定距离的区域内，超过特定坡度的区域，远离道路的区域。您可以通过单击“添加排除层”来添加自己的排除层。请注意，这些层必须和您的土地利用图和区域地图有完全相同的尺寸。有关数据要求的更多信息可以在用户手册中找到。

8. 逻辑回归分析（练习）

在此练习中您将通过进行逻辑回归分析来分析适宜性因素的重要性。逻辑回归分析可以估计一个或多个解释变量（如土壤类型、海拔和可达性），与一个被解释变量（特定的土地利用类型）之间的关系。

- 如果尚未打开，开始 CLUMondo，（重新）打开老挝应用程序。不改变任何参数。
- 首先，在回归分析/抽样部分通过单击“更新相关矩阵”按钮计算相关值。CLUMondo 将显示计算正在执行（如图 22）。
- 在计算完成后，您将能够看到查找表中的多重共线性值。这个值表明，任何适宜性层与其他适宜性层是否高度相关。对于一个正确的分析，适宜性层应该完全不同（即无关）
- 选择所有相关适宜性层。当它们的相关性低于 0.8 时，可以选择为包含层。如果一个或多个地图是显著相关（如 0.8 以上），您只能选择这些地图之一，但不能选择所有。在您选择了不相关的适宜性地图后，点击“取样本”。

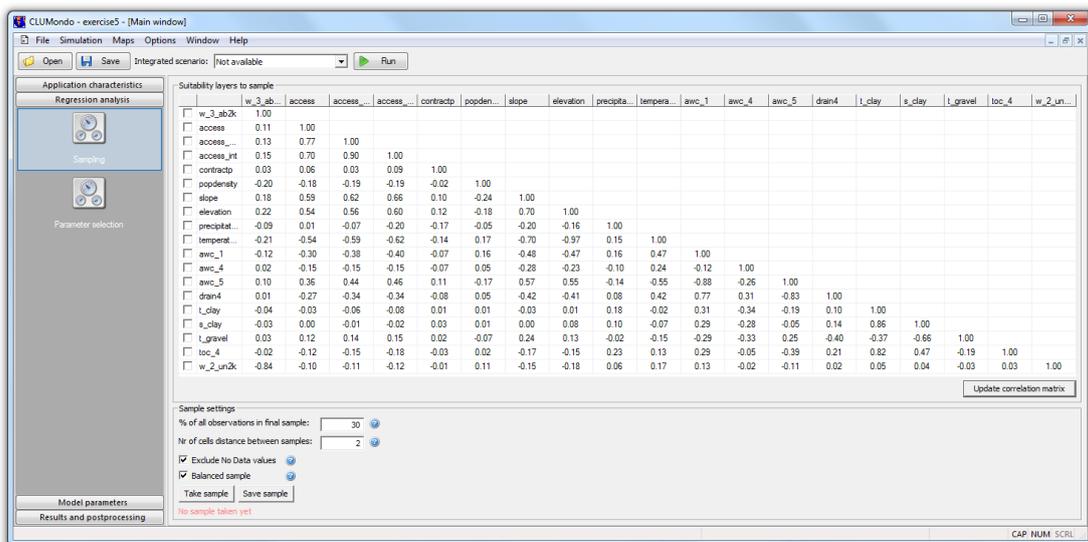


图 22. 计算相关矩阵

- 现在可以在“参数选择”部分计算系数（图 23）。通过选择(所有)适宜性层并单击“计算系数”，选择一个土地利用类型和计算系数。

为了符合包容，适宜性层必须与选择的土地利用类型显著相关。这意味着显著性值应低于 0.05, 并且最好低于 0.01。因为参数和显著性值取决于适宜性层的数量, 它需要一些迭代找到正确的适宜性地图。

- 取消显著性值大于 0.05 的最不显著适宜性层，并通过点击“计算系数”重新计算所有的值。重复这一过程，直到所有的适宜性层都是显著的，而且不多于 7 个适宜层。
- 在某些情况下，CLUMondo 提醒你：“找不到稳定的解决方案，请检查参数”。在这种情况下，取消一个或几个适宜性层，并且再试一次。
- 在您选择了最多 7 个最合适的适宜层之后，再计算系数，然后点击“使用此系数”。这样，您将在“模型参数”选项卡中更新“回归参数”矩阵。
- 为每个土地利用类型执行相同的参数选择步骤，并使用它们的参数值。

注意：在“参数选择”窗口的底部，有一个信息是曲线下的面积，AUC 值。此值代表回归计算的准确性，并被描述为 0 和 1 之间的值。值超过 0.9，表示优秀的精度，值在 0.8 和 0.9 之间表示良好，0.7 和 0.8 之间的值是中等的准确性。值低于 0.7，表明精度差，低于 0.6 的值可以被认为是不好的。这样，您可以实时对 CLUMondo 中适宜性层和回归系数的选择进行评估。

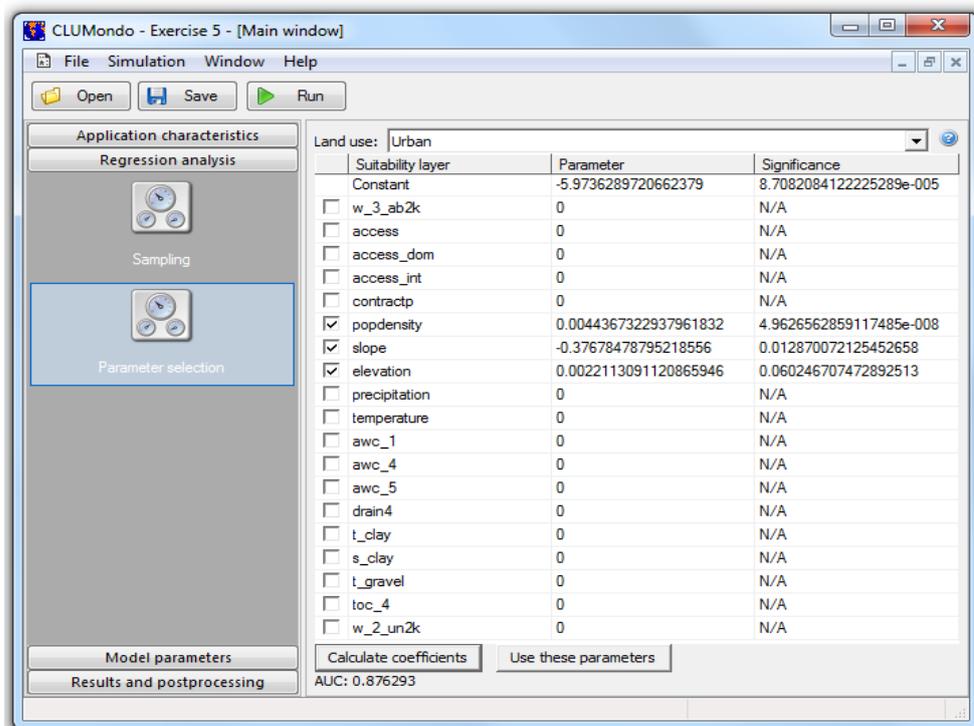


图 23. 计算回归系数

9. 创建一个新的应用程序(练习)

在前面的练习中，您探索了 CLUMondo 模型，学会了如何改编不同的输入文件和场景。在此练习中，我们将引导您一步一步为老挝的案例研究，创建一个新的应用程序。更准确地说，我们将使用前面老挝应用程序中完全相同的数据，模拟 2010 年到 2020 年老挝土地利用变化的场景。

步骤 1: 启动一个新的 CLUMondo 模拟项目

- 开始 CLUMondo，但不要打开现有的应用程序。相反，通过文件/新项目，启动一个新项目。给它一个合适的名称，如“新老挝应用程序”和定义输出目录(图 24)。单击“Next”。

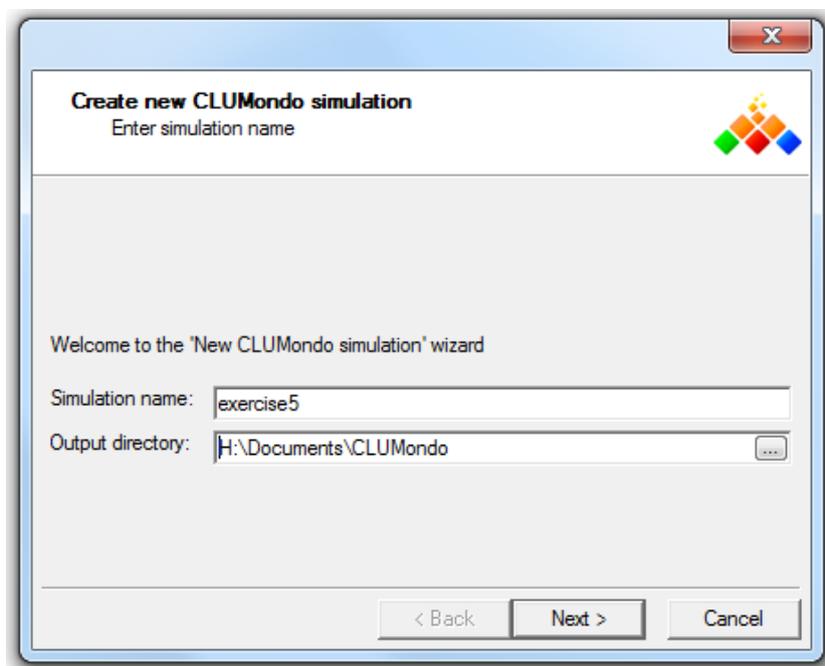


图 24. 创建一个新的模拟

- 找出最初的土地利用地图和区域地图。您能在老挝/数据文件夹中找到。使用地图“cov_all.0.asc”为初始土地利用地图，和“region1.asc”为区域地图(图 25)。
- 软件自动识别土地利用类型的数量，但它不知道名字或与之相关的图例，所以需要您提供。编辑土地利用类型的名称，编辑后的图例颜色如图 26 中所示。

注意: 当您完全创建了模型应用程序之后，就不可能再改变土地利用类型的名称。因此，在此提供完整的名称是一个好习惯，而不是快速地走过此步。

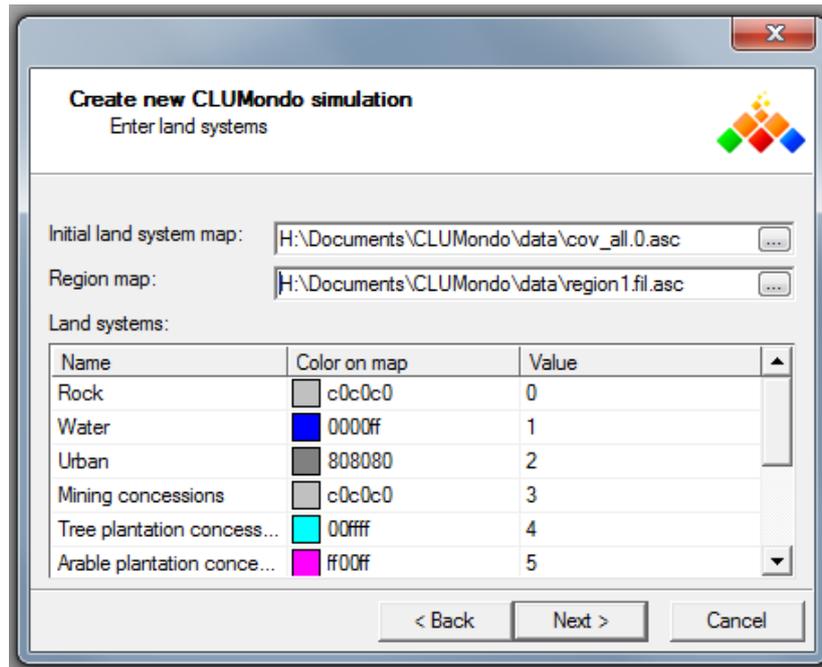


图 25. 定义初始土地利用地图和区域地图

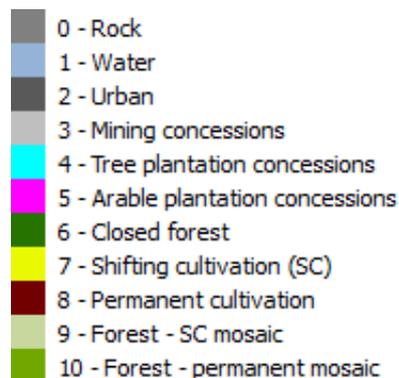


图 26 土地使用类和传奇色彩的例子

- 当所有土地利用都有一个名称和一个颜色，单击 next。
- 定义开始模拟的年份。这一年应该符合您已提供了最初土地利用地图的年份。对于老挝的应用程序，这是 2010 年。
- 定义土地利用服务(即商品或服务，您之后将在模型中为此定义需求)。为了说明这些土地利用和服务之间的关系是灵活的，我们将在这里使用两个需求：建筑面积(平方公里)和粮食作物(吨)。为了便于解释，此处就有单位是一个好习惯(图 27)。注意，这些单位是与示例应用程序中的不同的。

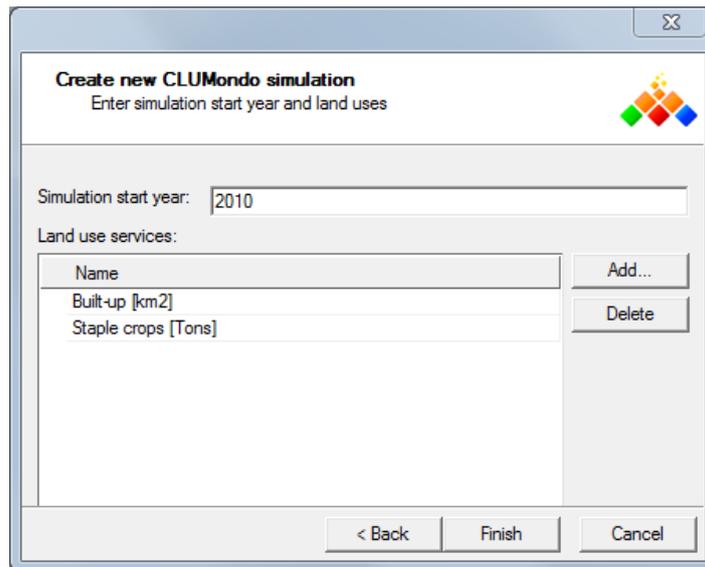


图 27. 定义初始模拟, 增加土地利用要求

- 单击“完成”来完成设置应用程序
- 项目现在已经创建, 但不能运行它, 因为没有参数, 也没有多少数据。只有在数据的基础上, 您才可以模拟变化。在接下来的步骤中, 我们将修改应用程序的特性。
- 通过单击“保存”按钮或文件/保存项目, 您可以随时保存进度。记得在您每次做出改变之后, 保存应用程序。

步骤 2: 修改应用程序的特性

下一步是填补还几乎是空的, 需要提供必要数据的应用程序。首先, 我们将需要添加适宜性层。

- 应用特征/适宜性图层, 点击“添加适宜性层”并选择 `sc1gr0.fil`。命名为“w_3_ab2k”。选择“创建一个新的图例”, 然后单击“编辑图例”。这是一个分类地图, 你可以通过选择“Categoric”图例类型, 并单击“来自地图”自动导出图例(图 29)。您也可以随意改变颜色。点击“Ok”并在“创建新图例”部分, 通过键入图层名称保存图例。
- 每一层的详细描述在第二节的案例研究中。

Suitability layers:

| | Layer name | File | |
|--------------------------|---------------|--|------|
| <input type="checkbox"/> | w_3_ab2k | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr0.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | access | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr1.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | access_dom | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr2.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | access_int | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr3.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | contractp | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr4.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | popdensity | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr5.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | slope | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr6.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | elevation | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr7.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | precipitation | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr8.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | temperature | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr9.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | awc_1 | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr10.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | awc_4 | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr11.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | awc_5 | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr12.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | drain4 | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr13.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | t_clay | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr14.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | s_clay | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr15.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | t_gravel | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr16.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | toc_4 | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr17.fil.asc | Show |
| <input type="checkbox"/> | w_2_un2k | H:/Documents/CLUMondo/data/sc1gr18.fil.asc | Show |

图 28. 适宜性图层的例子

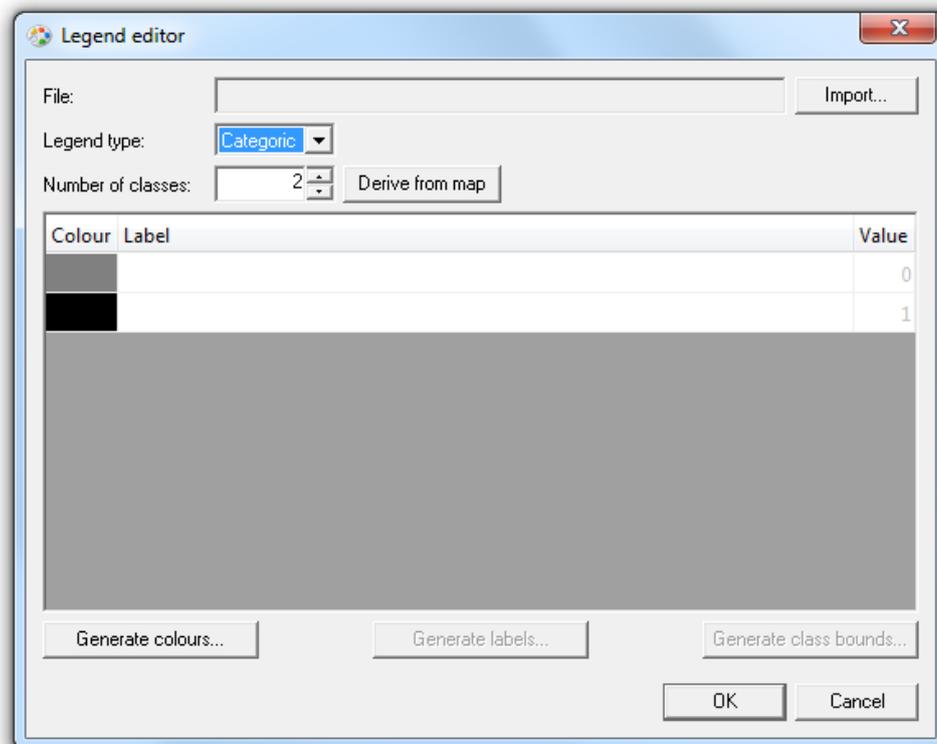


图 29. 分类地图的图例编辑器

- 然后添加 “sc1gr1.ill” 并命名为 “access”。这是一个数值地图, 因此, 这里的

图例需要以不同的方式派生出来。再次创建一个新的图例。选择“数值”图例类型,并在类别的数量部分选择 10 类。之后,点击“Generate class bounds”,选择“自动选择”,然后单击“找到最佳尺度”按钮(图 30)。点击“Ok”关闭窗口。点击“生成标签”。最后,点击“生成颜色”,在选项选择一个颜色梯度。这样做之后,您关闭窗口,在“创建新图例”部分定义名称。为每个数字地图进行同样的操作。

注意:您还可以将现有的图例导入到未来的应用程序中,因此不需要每次编辑图例。给一个适宜性层命名并加载地图之后,选择“创建新图例”。然后,通过点击“编辑/导入图例”加载一个图例文件。用相应名称给图例文件命名。

- 完成适宜性层的添加后,你的“适宜性层”标签应该像图 28 所示。通过点击“显示”按钮,您可以显示任何适宜性层。

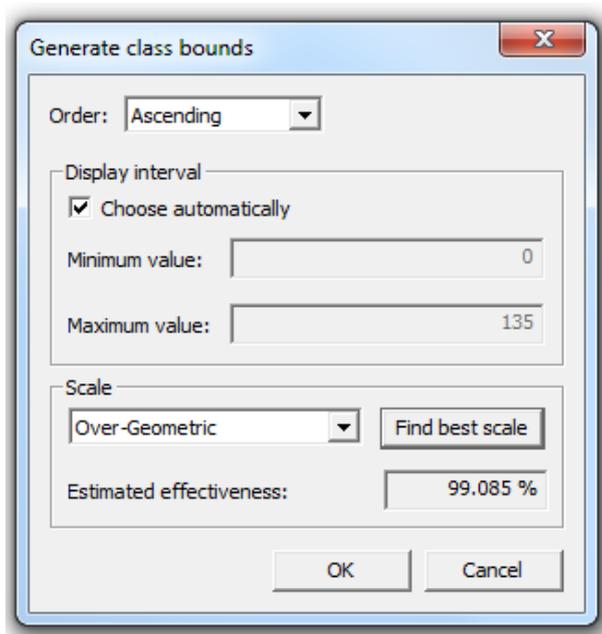


图 30. 生成数值类地图的类界

下一步,您需要定义“土地利用服务”。土地利用服务矩阵定义了一种土地利用类型中一个网格单元对于特定土地服务的生产能力,如每公里的城市土地或作物的产量。这些估计通常是基于数据,并取决于您所使用的单位。

例如,您所导入的建筑面积需求,可以表示为平方公里。土地利用地图中一个网格单元的分辨率为 2 公里,因此一个网格单元等于 4 平方公里。然而,除了城

市土地之外，由于村庄的存在，您也可以认为永久性农业的网格单元中有一些建筑用地。

同样，粮食作物可以由多种不同的土地制度，生产不同的数量。1 公顷的水稻在老挝每年可以生产大约 4000 公斤。但永久性农业网格单元的土地并不是全部用于水稻生产，所以我们估计一个网格单元的水稻产量为： $75\% * 4(\text{吨/公顷}) * 400(\text{公顷/网格单元}) = 1200 \text{ 吨}$ 。

- 像图 31 提供的例子那样，填写土地利用服务矩阵

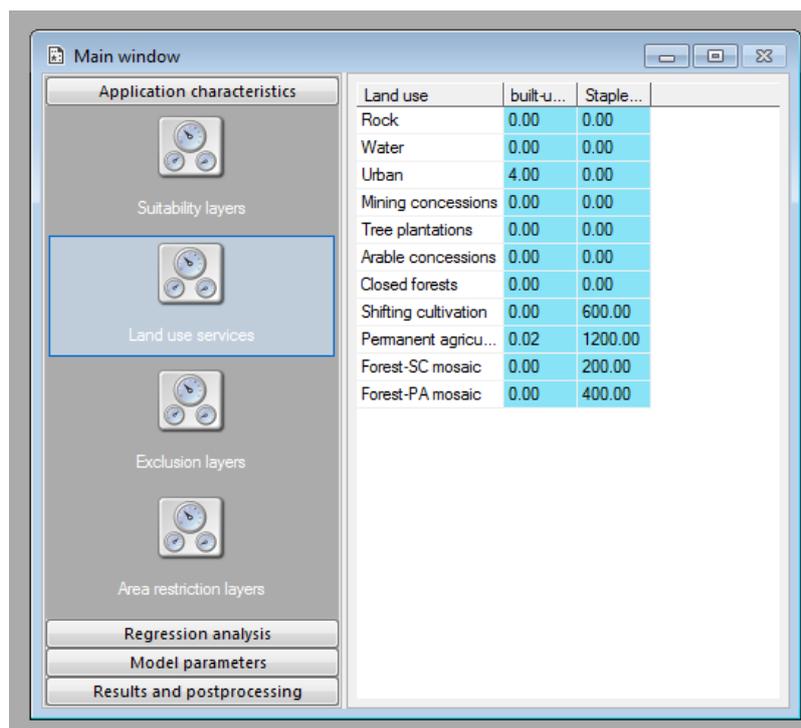


图 31. 土地利用服务矩阵

注意: 当使用您自己的数据时，根据对研究区域土地利用系统的分析来定义这些值。这些值是基于研究区域内，特定的土地利用类型所提供土地利用服务的平均值。用于此分析的数据有土地覆盖图，农业普查，特许权和专家意见。

- “应用程序特征”部分的最后一步，是定义排除层。在我们的示例中，我们将使用老挝国家公园网所提供的地图。
- 点击“添加排除层”，并添加地图 `region_park.fil`，定义数值地图的图例，如空间政策部分所述。

步骤 3:进行回归分析

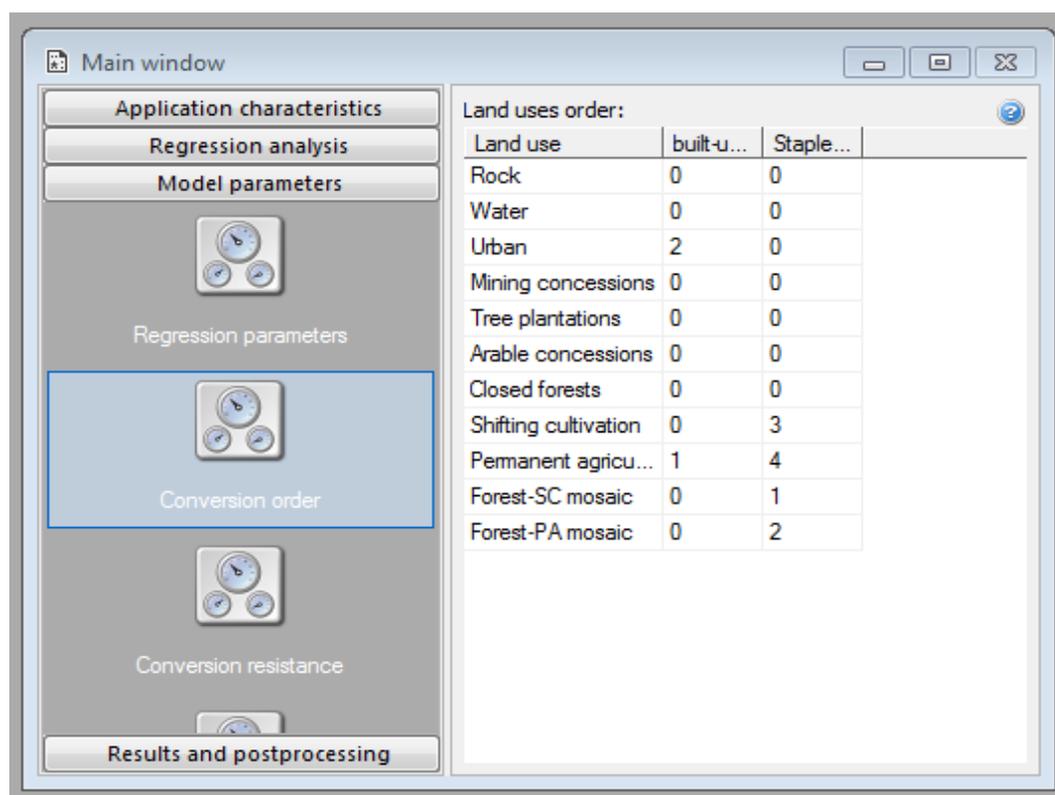
创建应用程序的下一步是进行回归分析。对于这一点，我们指的是之前提到的回归分析。请注意，对于每种土地利用而言，独立的回归分析结果是必需的。

步骤 4:定义模型和场景参数

在您完成了回归分析之后，我们需要在模型参数中填充所有模型参数。在某些情况下，这意味着在创建应用程序时，可以保留指定的默认值，而在其他情况下，这意味着在运行之前，必须提供其他值。在“土地利用变化情景模拟（练习）”中，可以找到“模型参数”各个部分的详细描述。

首先，您需要定义转换顺序。转换的顺序是一个技术参数，它讲述了模型如何改变土地利用来满足需求。基本上，网格单元会得到一个从低到高的整数值，值越大表示供应越多。这意味着所有值当中，不提供商品或服务的会变为 0，所有土地利用中提供商品或服务的会获得一个从 1 开始的值。

- 我们示例中的土地利用顺序值，如图 32 所示。



| Land use | built-u... | Staple... |
|----------------------|------------|-----------|
| Rock | 0 | 0 |
| Water | 0 | 0 |
| Urban | 2 | 0 |
| Mining concessions | 0 | 0 |
| Tree plantations | 0 | 0 |
| Arable concessions | 0 | 0 |
| Closed forests | 0 | 0 |
| Shifting cultivation | 0 | 3 |
| Permanent agricu... | 1 | 4 |
| Forest-SC mosaic | 0 | 1 |
| Forest-PA mosaic | 0 | 2 |

图 32. 土地利用序列值

其次，需要定义转换阻力因素。如练习 2 所述，这些可以在 0 和 1 之间。这个应用程序的转换阻力值，如图 33 所示。

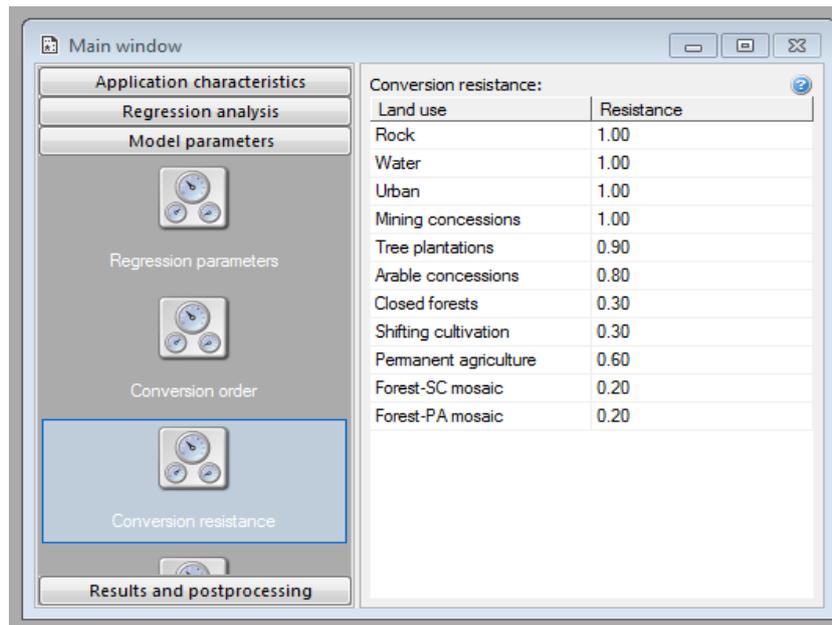


图 33 转换阻力值

- 准备模型参数的下一个阶段是定义转换矩阵。在这里，您可以定义允许的转换，以及在时间或空间上限制这些转换的性质。请参阅练习 2 的转换矩阵部分，用于更详细地解释如何填写转换矩阵。
- 老挝研究区域转换矩阵值的示例，如图 34 所示。

| | Rock | Water | Urban | Mining... | Tree pl... | Arable ... | Closed... | Shifin... | Pema... | Forest... | Forest... |
|-----------------------|------|-------|-------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Rock | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Water | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Urban | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mining concessions | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tree plantations | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Arable concessions | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Closed forests | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Shifting cultivation | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Permanent agriculture | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Forest-SC mosaic | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Forest-PA mosaic | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

图 34 转换矩阵的例子

注意:您也可以从电子表格软件复制转换矩阵(如 Excel, 打开办公室 Calc)。模型参数的最后阶段是准备场景参数。第一步是在最初的土地利用地图中计算所提供的服务。这取决于您为“土地使用服务”的赋值和初始地图中每类网格单元

的数量。

例如，在本文件中提出每个城镇网格单元的城市建设用地为 4 平方公里，每个永久性农业网格单元的建设用地为 0.02 平方公里。在最初的土地利用图中，有 112 个网格单元的城市土地，和 14290 个网格单元的永久性农业用地。因此，总计有 $(4 * 112) + (0.02 * 14290) = 448 + 285.8 = 733.8$ 平方公里的建筑用地。

类似地，如果您使用建议的数字，您可以计算出 2010 年粮食作物的产量是 27565600 吨。请注意，初始土地利用地图中网格单元的数量可以相对容易地在地图比较工具中导出。

未来的土地利用需求是由您来定义，例如通过使用一个年度百分比增加。

- 定义您想要模拟的年数，并在模拟的每个年份中，输入特定的土地利用服务需求。为定义未来土地利用变化的情况，请选择 15 年的模拟时间。
- 然后输入 2010 年土地利用服务需求的示例值，如表 2 所示，这代表了 2% 的年增长情况。

表 2：土地利用服务需求

| | 建筑用地[公顷] | 粮食作物[吨] |
|-------------|----------|----------|
| 2010 | 734 | 27565600 |
| 2011 | 748 | 28116912 |
| 2012 | 763 | 28679250 |
| 2013 | 779 | 29252835 |
| 2014 | 794 | 29837892 |
| 2015 | 810 | 30434650 |
| 2016 | 826 | 31043343 |
| 2017 | 843 | 31664210 |
| 2018 | 860 | 32297494 |
| 2019 | 877 | 32943444 |
| 2020 | 894 | 33602313 |
| 2021 | 912 | 34274359 |
| 2022 | 931 | 34959846 |
| 2023 | 949 | 35659043 |
| 2024 | 968 | 36372224 |
| 2025 | 988 | 37099668 |

步骤 5:运行模拟和显示结果

所有的输入文件已经准备好，统计分析已经完成，模型和场景参数也已被定义，您可以运行该模型，按“运行”按钮。

- 模型运行完成之后，在地图比较工具中显示和比较结果。
- 在 MCK 中，加载最后的模拟地图到第 5.5 节“显示并比较模拟结果”已产生的 log 文件中。与最初一年的，以及与其他模拟结果进行比较。

恭喜您！您已经成功地从头开始建立并运行了一个 CLUMondo 应用程序。通过构建新的场景，或者通过探索极端参数/场景值的影响，来调整模型参数和场景，请您随意探索模型。

参考文献

1. Eitelberg, D.A., van Vliet, J., Verburg, P.H., 2015. A review of global potentially available cropland estimates and their consequences for model-based assessments. *Glob. Change Biol.* 21, 1236–1248. doi:10.1111/gcb.12733
2. van Asselen, S., Verburg, P.H., 2013. Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. *Glob. Change Biol.* 19, 3648–3667. doi:10.1111/gcb.12331
3. Verburg, P.H., de Koning, G.H.J., Kok, K., Veldkamp, A., Bouma, J., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecol. Model.* 116, 45–61. doi:10.1016/S0304-3800(98)00156-2
4. Verburg, P.H., de Nijs, T., Ritsema van Eck, J., Visser, H., de Jong, K., 2004. A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. *Comput. Environ. Urban Syst.* 28, 667–690.
5. Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environ. Manage.* 30, 391–405. doi:10.1007/s00267-002-2630-x
6. Verburg, P.H., Veldkamp, A., 2004. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landsc. Ecol.* 19, 77–98. doi:10.1023/B:LAND.0000018370.57457.58