

# 地理尺度转换若干问题的初步探讨

李双成, 蔡运龙

(北京大学环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 大量研究证实, 地理学研究对象格局与过程及其时空特征均是尺度依存的, 随着研究工作的不断深入, 尺度问题越来越展示出其重要性。针对地理学各个分支学科都不同程度存在诸如概念模糊、转换模式不统一、转换效果评价缺乏客观标准等与尺度相关问题, 本文对一些有关尺度转换的议题进行了探讨。在评述了尺度及其转换研究的地理学意义后, 着重阐述了地理学尺度研究理论框架的内容和对象, 提出了地理科学中需要解决的 10 个关键尺度问题, 并给出了初步的解决方案。

**关键词:** 尺度转换; 格局; 过程

**文章编号:** 100020585(2005)0120011208

## 1 引言

越来越多的研究者关注尺度效应在其研究领域的重要性<sup>[1~18]</sup>。大量研究证实, 地理学研究对象格局与过程的发生、时空分布、相互耦合等特性都是尺度依存的 (scale-dependent)。也就是说, 这些对象表现出来的特质是具有时间和空间抑或时空尺度特征的。因而, 只有在连续的尺度序列上对其考察和研究, 才能把握它们的内在规律。而在一个特定的时段, 由于科学认知水平、财力、时间和精力等方面的限制, 很多研究只能在离散或单一的尺度上进行。因此, 尺度大小的选择、向下或向上转换是研究过程不可或缺的一个环节。

尺度是近年来在地理学研究中出现频率极高的一个术语<sup>[19]</sup>。但在尺度定义、尺度类型、尺度域界定、尺度转换模式与技术等问题上却存在着一些歧义和片面的认识, 在实际研究中具体表现为: (i) 尺度选择不当, 不能正确揭示研究对象的科学本质。研究尺度过大, 大量细节被省略, 研究成为 / 有偏 0 估计; 研究尺度过小, 陷入局部而不能窥其全貌。(ii) 盲目进行尺度转换。一些研究者声称对研究结果进行了尺度转换, 而实际情况是主观的推定; 一些研究结果在参数都没有变换的情况下, 被应用到另外的尺度上, 甚至跨越了几个尺度; 一些研究结果不能够进行尺度转换, 而一些研究者无视尺度转换的限制性条件对研究结果随意进行尺度转换。(iii) 尺度转换技术使用不当。表现为没有认识到概念模型、机理模型和统计模型在尺度转换时应当采取不同的策略, 在工作中倚重回归技术。(iv) 有意或无意漠视研究结果的尺度性, 没有说明研究结果在哪个尺度上产生或有效。(v) 在各个分支学科采用的时间和空间尺度范围不同, 在成果的表述和理解时经常引起歧义, 特别是在跨学科研究日益强化的情形下, 更加剧了综合集成的困难。

收稿日期: 2004206201; 修订日期: 2004209227

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50335046) 和国家自然科学基金资助项目 (40271106)

作者简介: 李双成 (19612), 男, 河北平山人, 副教授。主要从事生态区域评价及现代地学模型研究。

综合上面的问题,可以归纳为以下与尺度相关的几个议题:

- # 不同的地理学分支学科中,大尺度、中尺度和小尺度的区分有无统一的标准?
- # 研究结果向上或向下转换的限制性条件是什么?换句话说,满足了什么条件,才能进行尺度转换?
- # 若一个研究过程或结果被证明是可以进行尺度转换的,那么转换可跨越几个尺度域?
- # 尺度转换有无统一的范式?
- # 检验尺度转换效果的标尺是什么,如何在一个统一的体系内度量和比较?
- # 不同学者采用转换技术能否融入一个统一的模式体系内?

所有地理学的分支学科,尽管都涉及到尺度及尺度转换问题,但没有一个学科对上面这些议题进行全面而准确的诠释。因而,从学科发展角度看,有必要用一个框架体系整合上面这些议题,这就凸现出构建地理尺度研究理论框架的重要性和紧迫性。

本文在界定一些尺度及其尺度转换定义及概念的基础上,尝试提出构建地理尺度转换的理论框架,并对其科学意义、研究对象和研究内容等逐一进行阐述,以期对提议的框架有个大致的轮廓描绘。

## 2 与尺度有关的概念

### 2.1 尺度和尺度转换的联系与区别

研究尺度问题,需要辨识尺度 (scale) 与尺度转换 (scaling) 之间的联系与差异。尺度是自然过程抑或观测研究在空间、时间抑或时空域上的特征量度。而尺度转换 (又称标度化或尺度推绎) 是不同时间和空间层次上过程联结的概念。两者的区别在于尺度仅是格局或过程的时空量级表征,虽包含着范围的涵义,但却是静态的概念;尺度转换蕴含着变化,是格局空间分布的改变,是过程的时间改变,是两者敏感性的改变。如果说自然格局分布与变化过程和人类观测研究都具有尺度特性的话,则尺度转换则仅是人类为识别客体对象的整体特征而采用的一种研究范式。这种范式超越了在某一层面上对客体特性进行的聚集或解聚过程,是对系统行为 (格局与过程) 的一种整体把握。

### 2.2 尺度的类型及特征

Lan 等<sup>[20]</sup>提出了四种空间尺度类型,即制图尺度或地图尺度、地理尺度、分辨率和运行尺度。R1 Schulze<sup>[7]</sup>则把地学中的尺度分为研究尺度或观测尺度 (research scale or observational scale)、过程尺度 (process scale) 以及操作尺度 (optional scale)。

我们将这几类尺度归并为本征尺度 (intrinsic scale) 和非本征尺度 (nonintrinsic scale)。所谓本征尺度是指自然本质存在的,隐匿于自然实体单元、格局和过程中的真实尺度。它也是个变量,不同的格局和过程在不同的尺度上发生,不同的分类单元或自然实体也从属于不同的空间、时间或组织层次。一般本征尺度可区分为空间尺度、时间尺度、组织尺度、功能尺度等等。但事实上,要给本征尺度进行详尽的分类是非常困难的,原因在于本征尺度的叠加、耦合以及隐匿特性。表 1 是对本征尺度按其时空特性进行的初步分类。

尺度是与格局和过程紧密依附在一起的,而格局与过程在空间和时间上常常是连续的,通常难以辨识。因此,本征尺度的划分是相对的而不是绝对的。一般情况是,小空间尺度的事件与短时间尺度相联系,小尺度事件比大尺度事件呈现出更多的变化性。

表 1 地质中时间和空间本征尺度类型

Tab11 Spatio-temporal intrinsic scales in geosciences

划分依据	尺度类型
空间范围	全球尺度、区域尺度、地方及以下尺度
空间周期	长程型、中程型、短程型、非重现型
空间相关	关联型、弱关联型、随机型
时间长短	地质尺度、历史尺度、年际尺度、年及以下尺度
时间特性	周期性、阵发型、随机型
时间相关	依存型、弱依存型、随机型

非本征尺度是人为附加的, 自然界中并不存在的尺度。非本征尺度包括研究 (观测) 尺度和操作尺度。研究尺度包含了范围 (extent)、解析水平或称分辨率 (resolution) 和粒度 (grain)。范围是指客体对象的延展或持续空间, 解析水平是数据集中最小的可区分部分, 粒度指最小可辨识单元的特征长度、面积或体积。对于研究 (观测) 尺度而言, 它的选择常常受到研究目的、科学发展水平以及经济发展水平的制约。操作尺度往往表现为不同级别的行政管理单元, 如农场、县等, 近年来非行政单元作为操作尺度的逐渐增多, 如大小不等的流域等。

### 213 主要的尺度转换途径

尺度推绎主要有两种途径: 尺度上推 (Upscaling) 和尺度下推 (Downscaling)。所谓尺度上推就是将精微尺度上的观察、试验以及模拟结果外推到较大尺度的过程, 它是研究成果的 /粗粒化0。例如, 林窗模型研究者用数十个林窗大小 (约 1/12ha) 小样地的模拟结果来推演区域性的生态系统在一定情境下的演化趋势。与此相反, 尺度下推是将宏大尺度上的观测、模拟结果推绎至精微尺度上的过程。譬如, 用 GCMs模型来推算一个区域的降水或气温状况。尺度下推的主要任务就是从较粗糙的空间和时间分辨率转化为更详细的尺度异质性信息。尺度下推的目的就是

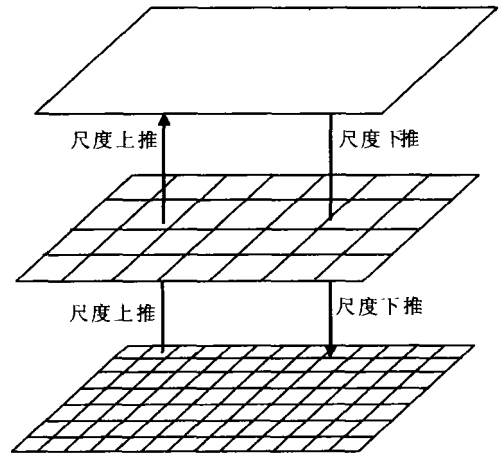


图 1 尺度上推和尺度下推过程示意图

Fig 1 Upscaling and downscaling processes in scaling

是将宏大的观测数据或模型模拟结果应用到局部区域, 以解决当地的实际问题, 如某一区域的作物产量、水资源量和农业生产如何响应宏大尺度因子的改变, 如气候变暖、CO<sub>2</sub>浓度升高等等。图 1 是尺度上推和尺度下推两种过程的示意图。

## 3 地理学尺度研究框架的研究对象、学科性质和研究内容

### 311 研究对象与学科性质

概括起来, 地理学中格局与过程的尺度效应是主要研究对象。由于地理学的各个分支学科研究对象都存在尺度问题, 因而地理学尺度研究框架在地理学学科体系中具有某种

/横断性质0, 属于地理学研究方法和技术范畴。

312 研究内容

以横断学科的性质衡量, 地理学尺度研究框架应当提出尺度转换的一般原则、模式和技术方法。

31211 提出地理学选择研究尺度时应遵循的基本原则 研究尺度的选择涉及许多因素, 如研究目的、研究条件等, 以下三个基本原则应当得到普遍遵循。

(1) 科学性原则: 科学性是观测尺度选择时首先要考虑的原则。科学研究的重要任务就是要准确地探究自然世界的表象、过程及其内在机理。对于地理学研究来说, 首要的任务就是选择与自然现象 (格局与过程) 发生规模相当的观测尺度。如果观测尺度与实际尺度相差甚远, 研究结果的可信度就会很差。其次, 选择的尺度应尽可能是自然界的实体单位。R1 Schulze曾吁请要重新聚焦于 /以天为时间步长的模型模拟上0, 因为, 日长是自然时间尺度, 它蕴含了许多重要的自然过程<sup>[7]</sup>。

(2) 经济性原则: 在满足研究科学性的前提下, 尽可能体现经济性原则。根据科学研究的抽样原理, 避免因过度取样引起的不经济。

(3) 可操作性原则: 为增大研究成果的适用性和可操作性, 在满足上述两个原则的基础上, 尺度选择应尽量地与可操作性兼容, 在目前的管理体制下, 尤其要与行政管理单位相衔接。

31212 建立考虑尺度效应的地理学及其分支学科取样规范体系 在绝大部分情形下我们只能以样本来推断自然世界这个总体的特征, 因而取样方法和技术的规范对于地理学来说是相当重要的。前已述及, 取样尺度大小对于研究的经济性和研究结果的科学性具有重要影响。目前研究中 /取少0、/取偏0 的现象是比较普遍的, 有必要建立统一的技术规范。

对于过程研究, 如果序列是平稳性的, 采样间隔遵循奈奎斯特频率 (Nyquist frequency) 即可, 即采样间隔必须小于其周期的 1/2。对于非平稳过程, 则需进一步辨识过程的基本特性, 防止出现采样误差而出现的 /假频0 现象。

对于空间尺度的选择也需要摸索同样的规范。比如, 在格局研究中要注意取样尺度与斑块大小的关系, 防止取样过大而抹杀了斑块内的异质性波动成分。

31213 构建尺度转换的框架体系 从根本上讲, 要使地理学尺度转换真正规范化, 必须建立科学群体认同的框架体系。目前, 尺度下推和尺度上推转换途径使用比较普遍, 具备了建立尺度转换框架体系的基本条件。表 2是我们提出的一个初步方案。

表 2 地理学尺度研究框架体系

Tabl2 The fram ework of scaling in geography		
研究范式	转换途径	转换技术
自上而下	尺度下推	<sup>1</sup> 传统统计方法 (RA、CART等)
		<sup>o</sup> 地统计方法 (point kriging与 point cokriging)
		» 其他
自下而上	尺度上推	<sup>1</sup> 传统统计方法 (RA、CART等)
		<sup>o</sup> 地统计方法 (block kriging与 block cokriging)
		» 重整化群方法
综合应用上 述两种范式	自适应尺度系统	<sup>1</sup> 小波方差、小波熵等
		<sup>o</sup> 二叉树变换等

31214 制定尺度转换效果的一般评价标准 尽管各个分支学科或各个研究者有各自的评

价标准，但作为地理学尺度研究框架应当制定更为一般的评价标准。我们这里提出的两个标准是围绕两个问题提出的，即什么情形下才能认为尺度转换是可信的？什么情形下才能认为尺度转换结果是可行的？

标准一：推绎结果能够与所在尺度上的现象相吻合，并能泛化解释相关地理科学问题。

标准二：当结果被推绎时，误差在预先设定的范围内。

## 4 地理学尺度研究需要解决的 10个关键问题

从学科功能出发，地理学对与尺度相关的问题都应有科学的阐释。然而，目前我们倡议构建的只是一个大致的框架，这里根据近年一些学者的研究成果，尝试提出地理学尺度研究应当解决的 10个带有挑战性的关键问题，并根据已有研究成果给出初步的答案。

### 问题一：空间异质性如何随尺度改变？

从一般情况看，随着尺度增大，空间异质性将会降低，因为其间的很多细节将会被忽略。也就是说，在大尺度上我们比较多地关注于空间的整体特性。正如我们在万米高空只能肉眼看清地表的大致轮廓一样。实际上，空间格局和时间过程是我们研究尺度大小的函数，当尺度增大时，非线性特征下降，线性特征增强。然而，尺度大小与线性和非线性之间的转变关系是难以确定的。不过有一点是肯定的，空间变异性随着尺度的增加而相对减小。

### 问题二：过程研究中速率变量如何随着尺度改变？

为了尽可能地真实描述某一地理系统的性状和态势，在研究中常选择不同变化速率的变量。每类变量的易变性不尽相同，气候成分比较容易变化，生命组成成分次之，土壤、岩石最为稳定。同时，每类变量所表征过程的时间尺度和影响范围也不相同，有的变量所表征的过程仅发生在很短的时间尺度之内，生存期极短，而有的却持续相当长的时间。一般情况是：随着研究尺度的增大，变化速率高的变量将会被抹除，而变化较慢的变量将会得到保留，其作用在上一层次上得到凸现。诚然，这是一种通常的状况，并不排除在较小尺度上变化速率快的变量或噪声，在系统相变或突变阶段得到放大，其作用域可以跨越多个尺度。

### 问题三：优势或主导过程如何随尺度变化？

不同的过程发生在不同的尺度上，并且每一尺度上的（主导）优势过程是不同的。举例来说，在小尺度上植物的分布主要是受其立地的土壤特性和微地形所决定，而在较大尺度上，气候条件则起主导作用。又如，坡面过程、土壤特性是决定小流域水位过程线的主要因素，而在大流域，河道特征、大尺度降水以及人类活动方式（土地利用、修筑水库等）对水位过程线起到制约作用。

### 问题四：过程特性如何随尺度改变？

某一过程的特性是针对某一尺度或尺度域而存在的，所谓平稳性或非平稳性是尺度依存的。在低尺度上观测到的一个特定的非平稳过程，在较大尺度上也许就表现为平稳过程。当观测尺度越来越大的时，低层次上涌现的非平稳特征将会逐渐得到消除。这一转变将抵消低尺度上异质性的高频波动在增大尺度时的信息丢失。对于科学研究来说，低层次虽信息丰富，但噪声多，随机成分混杂，而高层次信息相对较少，但以确定性成分为主。

### 问题五：敏感性如何随尺度改变？

这里敏感性是对地理格局与过程变化的一种测定。可以看作是：在将其他自变量设定为常量，因变量对单一驱动力或自变量（如降雨）单位变化的响应。上面谈到，变化速率快的变量随着尺度增大将会被隐去，而变化速率较慢的变量将会得到保留。以此推断，随着尺度的增大敏感性将会降低。然而，事实并非如此简单，虽然尺度增大时，自变量与因变量之间瞬时响应敏感性降低，但变化振幅可能增大，因变量响应的程度不可能被阻尼。

#### 问题六：可预测性如何随尺度改变？

可预测性是对系统被测定的度量。在较小的空间和时间尺度上，混沌现象使得系统的行为和特征变得不可预测。在较大尺度上研究对象表现出的统计行为是较为规则的。通过改变尺度的大小，从不可预测、不可重复的个体案例移向行为规则的个体的集合体，从而泛化出某种规律<sup>[1]</sup>。以一个流域为例，可以肯定在较大尺度上，局部的地形、土壤、土地利用、降雨等制约小区域水文过程线的因子的异质性被平均，格局和过程显得更具可预测性。但情况也不是如此简单，虽然我们目前对某个尺度上的非线性特征有所了解和把握，但对尺度域之间的混沌特性却知之甚少。Schulze认为，如果尺度增大，尺度域之间的非线性特性增强，因参量平均而换来的可预测性增大效应将会被抵消<sup>[7]</sup>。

另外，可预测性的高低与时空尺度的匹配密切相关。Wiens认为<sup>[21]</sup>，当时间和空间尺度相似时，可预测性是高的。如果当时间尺度是粗糙的，而相伴的空间尺度是精微的，则可预测性也是较低的。相似的情况是，当时间尺度是精微的（假定1小时），而空间尺度是粗糙的（如300公里，GCM的输出）。这种由于时间短而认为的高预测性，实际上这是一种假性预测（pseudo2prediction）。因为时空尺度不匹配，相差太多。

#### 问题七：对于尺度转换，什么是简单聚合与解聚的充分条件？

对于这一问题的回答可概括为：单一线性因素条件，简单聚合或解聚才能够准确；若有多因素交互，非线性就会存在，简单聚合或解聚误差就会存在，转换结果甚至不可接受。对于格局来说，构成层次较少，格局内部具有较高一致性，格局之间相互作用较少，没有反馈；对于地理过程来说，是单变量的平稳序列。

#### 问题八：干扰因素的尺度效应如何表达？

当扰动因素强加在自然系统之上时，尺度问题随即出现。比如筑坝、排水以及土地利用的变化，如农业的集约化、城市化等。当干扰因素强加在原有格局与过程上时，两者如何结合，尺度如何叠加，或施展哪一格局或过程的尺度效应？人类作用影响到了地表格局与过程的空间异质性和序列特性的一个典型例子是，人类通过修建水库堤坝、垦殖、城市化等改变土地利用方式，影响到了降水与地表径流的关系。又如，在全球变暖影响因素中，人为作用的贡献率有多大，在什么尺度上发挥作用？这些都是有待认真研究的问题。

#### 问题九：尺度转换能否跨越多个尺度或尺度域？

在同一个尺度域中，由于过程的相似性，尺度推绎比较容易；而当跨越多个尺度域时，由于不同过程在不同尺度上起作用，且又有相互间的作用，尺度推绎必然复杂化。在尺度域间的过渡带多会出现混沌、灾变或其他难以预测的非线性变化。因而，研究结果推绎的尺度或尺度域越多，转换结果的不确定性就会越大。

#### 问题十：噪声成分是否随尺度发生变化？

时间和空间尺度包含于任何地理过程之中，不仅格局与过程特性随尺度发生变化，其

中混杂的噪声也有尺度效应。通常在一种空间或时间尺度下, 系统表现出来的是噪声成分(白噪声、随机噪声等), 而在另一种尺度下就可能成为结构性成分。

现在大多数地理学家都已认识到科学研究中尺度问题的重要性, 并且在研究过程中自觉或不自觉地使用了尺度转换方法或技术。然而, 现实情况是尺度转换缺乏统一有效的理论和方法体系, 降低了不同研究之间的可比性。因而, 建立地理尺度转换技术标准显得十分迫切, 创建服务于地理学的尺度科学势在必行。

## 参考文献:

- [1] Simon A Levin. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, 73(6): 1943~1967.
- [2] Sten Bergström, Phil Graham. On the scale problem in hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, 1998, 211: 253~265.
- [3] David A Perry. Selforganizing systems across scales. *Tree*, 1995, 10(6): 241~244.
- [4] Marcel R Hoosbeek. Incorporating scale into spatiotemporal variability: applications to soil quality and yield data. *Geoderma*, 1998, 85: 113~131.
- [5] Heather A Viles. Scale issues in weathering studies. *Geomorphology*, 2001, 41: 63~72.
- [6] Stein A, Riley J, Halberg N. Issues of scale for environmental indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 87: 215~232.
- [7] Roland Schulze. Transcending scales of space and time in impact studies of climate and climate change on agrohydrological responses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 82: 185~212.
- [8] Fred L Bunnell, David J Huggard. Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 1999, 115: 113~126.
- [9] Clark C Gibson, et al. The concept of scale and human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, 2000, 32: 217~239.
- [10] Philip C Elkin, Robert S Rempel. Detecting scales of pattern in boreal forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 2001, 147: 253~261.
- [11] Gupta R K, et al. Problems in upscaling of high resolution remote sensing data to coarse spatial resolution over land surface. *Adv Space Res*, 2000, 26(7): 1111~1121.
- [12] Lau L, et al. Downscaling global information for regional benefit: coupling spatial models at varying space and time scales. *Environmental Modelling & Software*, 1999, 14: 519~529.
- [13] Michael P Bishop, et al. Scale-dependent analysis of satellite imagery for characterization of glacier surfaces in the Karakoram Himalayas. *Geomorphology*, 1998, 21: 217~232.
- [14] Payn T W, et al. Scaling up or scaling down: the use of foliage and soil information for optimizing the phosphate nutrition of radiata pine. *Forest Ecology and Management*, 2000, 138: 79~89.
- [15] Linati J, et al. A numerical comparison between two upscaling techniques: nonlocal inverse-based scaling and simplified renormalization. *Advances in Water Resources*, 2001, 24: 913~929.
- [16] 蔡运龙. 1 自然地理学的创新视角. 1 北京大学学报(自然科学版), 2000, 26(4): 576~582.
- [17] 张颢, 李小文. 1 直方图尺度效应研究. 1 中国科学(D辑), 2002, 32(4): 307~316.
- [18] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. *生态学报*, 2001, 21(12): 2096~2105.
- [19] 苏理宏, 等. 1 遥感尺度问题研究进展. *地球科学进展*, 2001, 16(4): 544~548.
- [20] Lan N, Quattrochi D A. On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences. *Prof Geogr*, 1992, 44: 88~987.
- [21] Wiens J A. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, 1989, 3: 385~397.

# Some scaling issues of geography

LI Shuangcheng CAI Yunbing

(College of Environmental Sciences, Peking University, The Key Laboratory for Earth Surface Processes,  
Ministry of Education, Beijing 100871, China)

**Abstract** The pattern, process and their relationships are fundamental issues in geography. Patterns and processes in nature, such as ecosystem distribution, regional climatic changes, land use and land cover, and rainfall or runoff series, display complex behavior and often intertwine with scale problems. Many scale-dependent phenomena have been exemplified in scientific researches, and scale issues are found at the center of methodological discussions in both physical and human geography. However, some existed research works failed to make a distinction among the concepts of scale and scaling, to employ consistent scaling paradigm, and to adopt an objective criterion for assessing the scaling effects in geography. This paper attempts to calibrate those deviations and to present new branch subject of geography—Scaling Methodology of Geography. After introducing scaling approaches, upscaling and downscaling in geography, we place a focus on the research objects, categories and contents of proposed subjects, and three basic principles: scientific principle, economic principle and operational principle, are proposed in scaling works.

Finally, ten key issues are presented for establishing the scaling methodology of geography. The key questions are as follows: (1) how does spatial heterogeneity scale in scaling? (2) how do ratio variables change with scale in scaling? (3) how do dominating processes change with scale in scaling? (4) how does property of processes change with scale in scaling? (5) how does sensitivity change with scale in scaling? (6) how does predictability change with scale in scaling? (7) what is sufficiency for simple aggregation and disaggregation in scaling? (8) how do disturbance factors change with scale in scaling? (9) can scaling transcend several scales and scale fields? (10) is noise factor changeable with scale in scaling?

**Key words** scaling, pattern, process