

自然灾害系统模型——I：理论部分

仪垂祥 史培军

(北京师范大学, 国家教委环境演变与自然灾害开放研究实验室, 北京 100875)

摘 要

本文对孕灾环境、致灾因子、承灾体和灾情给予了定量研究, 建立了自然灾害系统模型。该模型不但为灾情计算提供了一个统一的标准, 而且对成灾的因果关系表述得十分清楚。它是一个综合性强和操作简单的实用模型, 也使灾情评估和成灾机制得到统一。

主题词: 自然灾害 酿灾系统 数学模型

中国图书分类号: X43

1 引言

自然灾害是自然和人文二系统相互作用的复杂现象, 同时它也直接威胁着人类的生存。正是它的复杂性和对它研究的迫切性, 促使它成为当今世界性的难题和热点。目前在自然灾害研究中存在的严重问题是, 缺乏统一的概念体系和定量标准, 这必然会导致自然灾害研究的盲目性, 致使许多研究结果不具有可比性, 更难以概括出一般性的规律。

把孕灾环境、致灾因子和承灾体称为自然灾害系统, 把灾情看作它们相互作用的结果, 这些概念的阐述^[1,2]使自然灾害研究有一个基本的概念体系, 无疑迈出了可喜的一步。然而, 如果不把这些概念量化, 不但模棱两可的事情仍然存在, 而且也难于实际操作。

本文的主要目的是定量化孕灾环境、致灾因子、承灾体和灾情这些基本概念, 使灾情计算有一个统一的标准。这部分只提供一般性的理论模型, 案例计算将另文发表。

2 模型

本文研究孕灾环境、致灾因子、承灾体和灾情之间的定量关系, 可以把这方面的研究内容称为自然灾害系统理论。自然灾害系统理论关注的是综合各种成灾因素后的灾情分布, 关于个别致灾因子的变化和承灾体的分布可由专门学科提供, 在这里可以假定它们是已知的。

2.1 孕灾环境

孕灾环境是指能孕育产生致灾因子的自然环境, 它由大气圈、水圈、岩石圈和生物圈组成。这个自然环境可由若干要素来描述, 这里用 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 来表示它们, n 为环境要素的总数目。它们可以分别代表温度、降水量、土壤湿度、河流流量、风速等等。假设这些环境要素是已知的, 对过去和正在发生的取观测值, 对将来的取预测值。

• 国家自然科学基金重点项目资助

2.2 致灾因子

在给出致灾因子定义之前, 首先给出致灾空间的定义。如果把由孕灾环境要素 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 支起的空间看作是孕灾环境空间, 则致灾空间只是孕灾环境空间的一个子空间, 只有在这个子空间才可能对承灾体造成灾害。即在给定的某地区, 对某种承灾体来说, 仅当环境要素超过某些值或低于另一些值时才能造成伤亡或损坏, 我们把这些值称为孕灾阈值, 用

$$x_{1\pm}^*, x_{2\pm}^*, \dots, x_{m\pm}^*, x_{m+1}^*, \dots, x_n^* \quad (1)$$

来表示。其中假定对某种承灾体有 $m (m \leq n)$ 种环境要素具有双重孕灾阈值和 $n - m$ 种环境要素具有单一孕灾阈值。比如, 用 x_1 表示降水量, 当 x_1 超过 x_{1+}^* 时, 对某种承灾体可能造成涝害, 当 x_1 低于 x_{1-}^* 时又可能造成旱害。具有单一孕灾阈值的环境要素有地震震级、风速、害虫密度、河流流量等。

我们把对某种承灾体可能造成灾害的那些环境要素取值区间的集合

$$\begin{aligned} x_i &\in [x_{i-}^*, x_{i+}^*], i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &> x_j^*, j = m + 1, m + 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

定义为该种承灾体的致灾空间。对某种承灾体来说, 仅当孕灾环境要素在致灾空间取值时方可能酿成灾害。故致灾因子可以用环境要素与孕灾阈值偏差的绝对值来表示, 即

$$\begin{aligned} \Delta x_{i\pm} &= |x_i - x_{i\pm}^*|, x_i \in [x_{i-}^*, x_{i+}^*], i = 1, 2, \dots, m, \\ \Delta x_j &= x_j - x_j^*, x_j > x_j^*, j = m + 1, m + 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

由此看到, 致灾因子起到一种力的作用, 也可以把它们称为致灾力。

2.3 承灾体

承灾体是指人和与人有关的物质财富。承灾体在成灾过程中的作用可以从两方面来考虑。一方面是它们本身的价值, 这可以用美元来统一量度。若有 l 种承灾体, 可用 $W_1, W_2, \dots, W_l$ 来分别表示它们的价值。这些价值在成灾过程中起到一种权重的作用。另一方面是每种承灾体对各种致灾因子的抗灾能力。如果用 σ_{ij} 表示第 i 种承灾体对第 j 种致灾因子的易损度, 则 $1/\sigma_{ij}$ 就是第 i 种承灾体对第 j 种致灾因子的抗灾能力。如果第 j 种致灾因子对第 i 种承灾体无论如何都不能造成损害, 则 $\sigma_{ij} = 0$, 这时它的抗灾能力为无穷大。 σ_{ij} 的量纲等于第 j 种致灾因子量纲的倒数。

2.4 灾情

灾情主要是承灾体与致灾因子相互作用的结果。第 i 种承灾体的灾情 I_i 可以表示为:

$$I_i = \sum_{s=1}^m W_i (\sigma_{is}^+ \Delta x_{s+} + \sigma_{is}^- \Delta x_{s-}) + \sum_{s=m+1}^n W_i \sigma_{is} \Delta x_s, \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (4)$$

其中

$$[\sigma_{ij}] = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^{\pm} & \sigma_{12}^{\pm} & \cdots & \sigma_{1m}^{\pm} & \sigma_{1m+1} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21}^{\pm} & \sigma_{22}^{\pm} & \cdots & \sigma_{2m}^{\pm} & \sigma_{2m+1} & \cdots & \sigma_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{l1}^{\pm} & \sigma_{l2}^{\pm} & \cdots & \sigma_{lm}^{\pm} & \sigma_{lm+1} & \cdots & \sigma_{ln} \end{bmatrix}$$

是承灾体的易损矩阵, 它代表承灾体本身固有的性质。由于 $\sigma \Delta x$ 为一无量纲量, 所以灾情的

量纲和承灾体价值的量纲相同。

总灾情 I 可以表示为各承灾体的灾情之和, 即

$$I = \sum_{i=1}^l I_i = \sum_{i=1}^l \sum_{s=1}^m W_i (\sigma_{is}^+ \Delta x_{s+} + \sigma_{is}^- \Delta x_{s-}) + \sum_{i=1}^l \sum_{s=m+1}^n W_i \sigma_{is} \Delta x_s \quad (5)$$

3 讨论

自然灾害系统理论关注的是灾害, 没有承灾体就没有灾害, 也就没有孕灾环境和致灾因子可言。如在荒无人烟的地区不会形成灾害。所以, 本文讨论的一些基本概念都是相对承灾体而言的。同一种环境因子对不同的承灾体可以有不同的孕灾阈值。例如, 对一些植物造成冷害的最高温度可以完全不同于另一些植物。确定环境要素的孕灾阈值是确立致灾因子的关键, 它可以由已有的观测事实或通过实验得到。承灾体的价值 W 和易损度 σ 以及致灾因子 Δx 是成灾不可缺少的三要素, 公式 (4) 用这三要素的乘积表达了灾情, 即 $I \sim W \sigma \Delta x$ 。用它可以解释各种成灾的原因。例如, 致灾因子 Δx 大, 在贫困地区 (W 小) 或抗灾能力强的地区 (σ 小) 都不会产生大的灾情。在经济发达地区, 即使致灾因子 Δx 小但由于 W 大, 也可能造成大的损失, 如果提高抗灾能力 (使 σ 小) 也会减少损失。

公式 (5) 既可用于灾情计算, 又明确地包含了成灾机制。孕灾阈值和易损度是模型的关键参量, 它们的确定取决于观测事实和科学实验, 这样就减少了对灾情评估中的人为因素。大力开展这方面的研究, 为灾情评估提供一个统一的客观标准将成为可能。

参 考 文 献

- 1 史培军. 灾害研究的理论与实践. 南京大学学报 (自然科学版), 1991 (自然灾害成因与对策专辑): 37
- 2 张兰生等. 中国自然灾害地图集. 北京: 科学出版社, 1990

(1995 年 1 月 17 日收稿)

NATURAL DISASTER SYSTEM MODEL

Yi Chuixiang Shi Peijun

(Open Study Laboratory of Environmental Evolution and Natural Disaster of
National Education Committee, Beijing Normal University, Beijing)

ABSTRACT

The hazard — formative environments, hazard — formative factors, hazard — affected bodies are quantitatively studied, based on which a natural disaster system model is established. The model not only can be used to provide a standard of calculating disaster effects but also may manifest the causes of leading to the disaster effects.

KEY WORDS: Natural disaster Brew disaster system Mathematical model