

自然灾害中奇异分形现象的研究进展

Progress in the Research of Strange Phenomena of the Fractal in Natural Disasters

朱晓华

(南京师范大学地理科学学院 南京 210097)

近几十年来,随着科学技术的发展,人们对自然灾害的认识不断加深,其中特别值得指出的是,人们借助于 70 年代中期兴起的分形理论,已经初步认识到了在自然灾害中蕴藏着一些奇异的分形现象,而这在很大程度上加深了人们对自然灾害的已有认知。

分形的特点由分形维数(又称分数维或分维)来描述。传统数学对于自然界中连绵起伏的群山、奇形怪状的海岸线、蜿蜒曲折的江河等大量自然构型的描述感到无能为力,而分形理论的产生则为研究这些复杂的对象找到了全新的方法和思路,分维也成为描述这些复杂事物特征的良好参数。根据测算,自然界中大量的现象都是非整数维的,整数维只是其中的特殊现象。例如对山地表面来说,其分维介于 2.1 到 2.9 之间;对山峰的轮廓线、湖岸线、海岸线等线型分形来说,分维介于 1 到 2 之间。

关于分维的具体测算,根据分形基本概念,如果具有大于 r 的特征尺度的客体数目 $N(r)$ 满足关系式:

$$N(r) = \frac{C}{r^D} \quad (1)$$

则定义了一个分形集合。式中 C 为比例常数, D 为客体的分维。根据不同的研究目的,可将 r 定义为时间、长度、距离、能量等。分维可能是整数,这时它与欧几里德空间维数是等价的;但一般而言,分维不是一个整数,而是个分数。如果一客体具有分形性质,则在一定标度域内分维为一常数。对(1)式两边同时取常用对数,得到:

$$\lg N(r) = -D \lg r + \lg C \quad (2)$$

根据(2)式, $\lg N(r) - \lg r$ 散点在一定标度域内在一条直线上,则可以通过求取直线的斜率得到分维数的值。

自然灾害作为复杂巨系统间相互作用的产物,其孕育、发生发展、成灾无不涉及多种自然因素和广泛的社会经济因素,而且这些因素间的相互作用在呈现出一定规律性的同时,主要却是以非线性的作用方式为主的。所以,分形理论的产生就为研究

这些复杂的灾害现象找到了新的方法和思路,分数维也成为描述这些复杂灾害现象特征的良好参数。

在分形理论产生之后,通过研究者的不懈努力,已经发现大量的自然灾害现象都是具有分形性质的。虽然目前对许多自然灾害的发生机制仍是不清楚的,但是借助分形理论发现的自然灾害中的大量奇异分形现象,已经加深了人们对自然灾害发生机理的认识,而且在一定程度上为人们预测预防自然灾害的梦想插上了现实的翅膀。

1. 地震中的分形现象

地震是自然灾害大家族的重要成员,地震的发生往往隐蔽性强、爆发突然、毁坏程度巨大。为了掌握地震的发生规律,有效地防灾减灾,研究者们对此投入了很大的精力。他们运用分形理论初步地揭示了地震在时间、空间和能量这 3 个方面的分形性质。就地震发生的时间序列的分形研究而言,主要探讨了大地震发生前,主震附近小震活动与大震发生之间的关系,希望从小震活动时空分布异常变化特征来预测预报中强地震,即用小震活动的分维这一定量指标来描述震兆关系。我国一些研究者研究了我国历史上长时间和高震级的地震,以及近年来我国发生的几次强地震前小震活动时间序列的分维统计变化特征。他们在分析华北地区 1970~1988 年 12 次中强地震前的小震活动时间序列时发现,华北南部 5 次中强地震前不同起止时间作出的 90 个时间序列的统计结果中,有 52 个时间段存在分形结构;华北北部 7 次中强地震前不同起止时间作出的 75 个时间序列的统计结果中,有 35 个存在分形结构。通过对唐山、海城等具体震例的研究进一步发现,当大震即将来临时,地震的分维会出现低值异常,而在震后分维又会变大。所以,强震前小震活动时间分维的变化,可能作为地震发生趋势判断的一个具有一定统计意义的前兆指标。就地震空间分布的分形性质而言,主要揭示了地震震中分布的分形性质,两个震源之间的距离是服从式(1)所示的幂

次定律的,而且一些研究者还进一步发现,在大地震发生前,中小地震的空间分维比较低,在大地震后余震的空间分维则比较高。同地震在时间、空间方面具有分形性质一样,地震的能量分布也是具有分形性质的,就地震界常用的描述地震震级与地震频度之间关系的 Gutenberg-Richter 公式 $\lg N = a - bM$ (式中: N 为震级在 M 之上的地震数目, a, b 为常数) 而言,就表征了地震强度的分形性质,只是在分形理论没有产生之前,未被明确指出而已;结合地震的震级 M 与地震波能量 E 之间的关系: $\lg E = A + 1.5M$ (式中: A 为常数),可导出地震发生次数与能量成幂次率关系,即 $N \propto E^{-D}$ (式中: D 为地震能量的分维) 成立;根据观测,地震能量分维值在 0.47~0.87 之间;同样,通过对唐山等震例的研究,发现地震的能量分维也有可能成为地震预报的新参数。

2. 旱涝灾害中的分形现象

与地震一样,洪涝和旱灾也是人类遭受的重要自然灾害,历来是社会安定、经济发展的重要制约因素。通过研究发现,旱涝灾害的时间序列是具有分形性质的。英国物理学家赫斯特(Hurst)最早研究了旱涝灾害的可能分形现象(当然,当时还没有明确的分形概念),他通过 60 多年对尼罗河进行的水文测量工作,发现尼罗河流域的干旱不是传统的水文统计所设想的那样是一种随机现象,而是干旱越久,就越可能持续干旱。这一发现被分形创始人曼德勃罗特称为赫斯特现象。后来有学者论证了旱涝时间序列的分维 D 与赫斯特现象的指数 H 之间的关系为: $D = 2 - H$ 。资料表明,河流水位的平均赫斯特指数为 0.72,平均分维为 1.28,而降水的平均赫斯特指数为 0.68,平均分维为 1.32。根据(1)式,我国学者分析了山东省近 600 年旱涝时间序列的分维变化特征,发现不同等级旱涝的分维值有一定的差异,大旱、大涝等级序列的分维值均小于 0.4,正常等级序列的分维值在 0.62~0.8 之间,偏旱、偏涝序列的分维值在 0.5~0.62 之间;同时,各地分维值亦不相同,大体上呈东南向西北增大的趋势。因此,分维值越大,序列变化过程中包含的短周期分量越丰富。采用分形研究水文气象事件具有一定的前景和预测意义。还有学者研究了淮河流域近 500 年流域性洪涝灾害的分形性质,结果表明淮河流域的流域性洪涝灾害是具有分形性质的,即洪涝程度越重,分维值越低。所以,时间分维值随洪涝强度的增加而降低,与洪涝发生周期呈反相关关系。时间分维是描述洪涝发生的一个较好的物理量,它可能对洪涝灾害的认识和预防具有重要意义。

3. 火山喷发中的分形研究现状

火山喷发也是自然灾害的一种,相关研究已经揭示出火山喷发也是具有分形性的。尽管火山的喷发具有多种形式,而且各种形式的定量描述方法也

不尽相同,但可以利用火山灰的体积作为喷发大小的量度。有学者研究了 1975~1985 年间和过去 200 年的火山喷发的频度与体积之间的关系,结果表明,火山灰体积大于某一给定强度的喷发次数与喷发体积之间较好地相关于统计分形特征。这说明在相当的范围内,火山喷发具有分形性质。当然,并不是所有的火山都具有分形性,有学者认为,年青的火山体并不具有分形特征,在遭受侵蚀之前,火山体都是锥形的,得不到能够很好确定的分维值。

4. 滑坡、泥石流中的分形现象

滑坡、泥石流也是危害较大的自然灾害。研究表明,滑坡活动时空分布是具有分形性质的,而且区域性滑坡活动空间结构的分维值存在着明显的变化阶段,特别是滑坡活动的降维现象,对应着一个滑坡活动的高潮期。这一理论对滑坡的时间预测具有一定的指导意义。同时,泥石流流体和堆积物粒度分布的分形结构特征也被揭示了出来。结果表明分数维可作为描述泥石流粒度成分和泥石流沟水系的参数。1988 年我国学者对贵州不同规模滑坡出现的频次与滑坡体积之间的关系进行了探讨,得出滑坡大小与其相应数目之间服从幂次律的关系。这一研究虽然没有冠以分形之名,但与以后的分形研究结论是不谋而合的。

5. 灾害性海潮中的分形现象

灾害性海潮的发生也被揭示出是具有分形性质的。笔者曾统计了我国 1000~1899 年灾害性海潮的累积发生次数和累积发生频率,基于(1)式,探讨了灾害性海潮时间序列的分形性质,结果表明,我国历代灾害性海潮时间序列是具有分形性质的,即越接近近代,时间序列的分维越呈下降趋势。因此,时间分维是描述灾害性海潮性质的一个较好的物理量,它可能对揭示其发生规律和进行有效的预测具有重要意义。

6. 自然灾害相关损失中的分形现象

不仅上述主要的自然灾害中存在着奇异的分形现象,而且各种自然灾害造成的损失也具有分形性质。国内外大量研究表明,飓风、海啸、洪水、地震等自然灾害造成的人员伤亡和财产损失的频率大小关系是服从(1)式所示的幂次率分布关系的。笔者基于(1)式,揭示了我国 1840 年以来水灾受灾县数、受灾面积以及我国 1950 年以来自然灾害农田受灾面积与成灾面积的分形性质,它们的频率、大小关系都是服从幂次率分布关系的。这些有关自然灾害造成损失的分形研究,无疑有助于深入揭示自然灾害分形性的本质,同时对灾情预测必然具有重要的实践意义。

自然灾害中大量奇异分形现象的发现,在丰富已有认知、加深对自然灾害了解的同时,也向人们提出了一系列新的问题。例如,为什么自然灾害中

会有大量的分形现象存在? 这些分形现象的外表下隐含着什么样的共同规律? 它们对于深入认识自然界的自组织规律有何裨益? 等等。分形理论作为高新理论的前缘, 它本身的发展还有许多尚未解决的理论问题, 同时分形理论对大多数学者来说仍是一个较为陌生的领域。但是由于来自物理、医学、地震、计算机仿真等各方面的客观需求, 使得它的发展潜力巨大, 应用前景广阔。分形理论在揭示自然灾害分形现象的过程中, 虽然还处于起步阶段, 仅

限于对自然灾害现象分形性质的揭示水平, 但其前景无疑是十分广阔的。

总之, 自然灾害中存在的分形现象无疑是大量而普遍的, 而分形理论作为一种新理论仍在进一步发展的过程中, 会更加臻于完善。分形理论必将为深入认识自然灾害的复杂性提供新的思路, 可以预见在不远的将来, 它必能为深入认识自然灾害的发展规律产生深远的影响和巨大的作用。

(责任编辑 肖庆山)

科技动态

“学科前沿与国家自然科学基金 优先资助领域战略国际研讨会”在京举行

国家自然科学基金委员会主办的“学科前沿与国家自然科学基金优先资助领域战略国际研讨会”于1999年8月23日至25日在京召开。来自海内外的百余位科学家和高层次科技管理人员参加了会议。1976年诺贝尔物理学奖得主丁肇中教授、1994年诺贝尔经济学奖得主Reinhard Selten教授、1996年诺贝尔化学奖得主Harold W. Kroto教授以及美国伯克利加利福尼亚大学的田长霖教授和J. W. Morris教授、美国洛杉矶加利福尼亚大学的何志明教授和新罕布什尔大学的Berrien Moore教授等10位国际知名学者应邀出席会议并作大会报告。

这次会议是国家自然科学基金“十五”优先资助领域战略研究工作的重要组成部分, 是国家自然科学基金委员会1999年主办的“21世纪核心科学问题”系列论坛之一。旨在进一步广泛征求和听取科学家的意见, 特别是听取国际同行的意见, 以充分借鉴国际上遴选优先资助领域的趋向、方法和经验, 扎扎实实作好我国自然科学基金优先资助领域的遴选工作。

国家自然科学基金委员会主任张存浩院士在大会开幕式上作了“世纪之交的中国基础研究及其国家目标”的报告。他指出: 基础研究有其自身发展的特点, 历史证明, 基础研究已经成为技术创新和经济发展的主要动力; 中国在新的世纪要实现现代化的发展目标, 重视国家目标对基础研究的引导具有十分重要的作用。报告提出, 当今中国基础研究的国家目标应遵循以下几个方向: 一是部

分基础研究应当成为高新技术的先导、源泉和支撑; 二是应当鼓励基础研究为传统产业的升级提供重要基础; 三是基础研究应当为国家实施“科教兴国”和“可持续发展”战略提出新的思路; 四是基础研究应当推动科学创新, 着重推动原始性创新; 五是基础研究应当成为我国培养一批高级科学家和工程师的摇篮。

近年来, 我国在海外的留学人员已崭露头角, 他们了解世界科学发展的前沿, 同时也熟悉国内的情况, 为此, 邀请了部分海外青年学者参加会议, 其中包括田刚、倪军、郭亚军等6名国家自然科学基金“海外青年学者合作研究基金”获得者。

1998年底, 国家自然科学基金委员会正式启动“十五”优先资助领域战略研究工作, 全面规划科学基金“十五”发展战略, 今年已举办了10次“21世纪核心科学问题论坛”, 预计全年将举办15次。国家自然科学基金委员会将按照“目光远大, 筹划未来”、“统观全局, 突出重点, 有所为, 有所不为”的指导方针, 坚持有限目标, 从国家长远需求和促进基础研究创新出发, 瞄准科学前沿和制约我国经济社会可持续发展的科学问题, 通过合理配置有限资源, 努力体现科学基金重点支持“更基础, 更超前, 更长远”研究的优势和特色, 为我国基础研究能够有较大的发展作出贡献。

(国家自然科学基金委员会新闻办公室供稿)

科技动态

美国研制桌面核聚变装置

据英《新科学家》1999年4月3日报道: 美国加利福尼亚劳伦斯利弗莫尔国家实验室的研究人员最近展示了一种用小的激光器使原子发生聚变的反应堆。它虽然还不能解决世界的能源问题, 但可以使科学家用相当少的费用来研究核聚变过程。

核聚变过程是很难开始的, 因为原子核相互排斥, 需要花很大能量才能使它们聚合。过去, 物理学家是用大量激光器汇集的能量来克服原子之间的排斥力, 使它们进行核聚变, 因此要花几亿美元甚至更昂贵的方法, 如用磁

场约束的超热气体反应堆。

托德·迪特米尔和他的同事发明的桌面核聚变装置是将氦气充入真空室中, 然后用激光脉冲照射这些聚在一起氦原子团, 强烈的加热使氦气爆炸, 于是许多氦原子核以足够大的速度碰撞其它原子核并使它们发生聚变反应, 从而产生氦和中子。

这种聚变反应也释放能量, 但释放的能量只有激光器消耗的能量的十万分之一。迪特米尔说, 这当然不是生

(下转第42页)