

中国登陆台风的时间分维特征

冯利华

(浙江师范大学地理系 金华 321004)

关键词 台风, 自相似性, 无标度区, 分形, 分维

台风的发生规律是一个长期研究的课题, 至今仍在探索之中。法国科学家曼德布罗特(B. B. Mandelbrot)通过对自然界中许多复杂现象层次结构的研究, 提出了一种理论——分形几何学(Fractal geometry)^[1]。近年来, 分形理论在地貌形态、地震活动和细胞繁殖等方面获得了应用^[1,2]。本文拟根据分形理论, 对中国登陆台风的发生规律作一研究, 以供商榷。

1 台风的时间分形结构

具有分形结构的自然现象的一个重要特点是: 只有在一定的尺度内和一定的层次中, 它才表现出分形特征, 其两端都受到某种特征尺度的限制, 这个具有自相似性的范围称为无标度区(Non-scaling range)。

分形是用分维(Fractal dimension)来定量描述的。设某一研究时段的子段为 ϵ (标度), 在研究时段内自然现象出现的子段数为 $N(\epsilon)$, 若 ϵ 与 $N(\epsilon)$ 满足:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon} \quad (1)$$

那么该自然现象具有时间分形结构, D 就是它的时间分维。

台风在时间轴上表现为不连续的点分布, 是一种不规整的 Cantor 集合。从周期角度分析, 不同强度的台风以不同的周期重复出现, 短周期包含在长周期中, 长周期又包含在更长的周期中。从分形角度分析, 在一定的时段内, 强度大的台风出现机率小, 而强度小的台风则出现机率大, 当延长或缩小时段时, 更长或更短时段内的台风强度和出现机率的并不改变, 即台风具有时间分形结构。当然, 所取时间单位的大小在时间轴的两个方向上都有自然的限制。如果用比“日”更小的单位来研究台风的发生规律, 那么这种尺度已经太小, 是没有意义的; 反之, 如果用比“世纪年”更大的单位来研究台风的发生规律, 那么这种尺度已经太大, 也是没有意义的。因此, 在“日”和“世纪年”这两个自然限度之间,

时间尺度存在着可以变化多个数量级的无标度区。只有在这个区内, 台风才表现出时间分形结构。

2 中国登陆台风的时间分维特征

台风登陆时的最大风力、最大风速和中心气压是描述台风强度的三个指标。由于中心气压的观测精度相对较高, 故本文采用中心气压来描述登陆台风的强度。

就 1949~1995 年在中国登陆的台风而言, 其研究时段的总长度为 $47 \text{ a} \times 365 \text{ d/a} = 17\ 155 \text{ d}$ 。根据分形理论, 首先把研究时段等分为 $\epsilon = 2^n$ 个子段 ($n = 1, 2, 3, \dots$), 并统计出现台风 ($P \leq P_c$) 的子段数 $N(\epsilon)$ (表 1), 然后把 ϵ 与 $N(\epsilon)$ 点绘在双对数坐标系中 (图 1)。从表 1 和图 1 可以看到, 在 A 段, 当标度 ϵ 较小时, 直线的斜率等于 1, $\ln N(\epsilon) = \ln \epsilon$, 即每一子段都有台风出现, 说明台风在这一时间域上不存在自相似性。在 C 段, 当标度 ϵ 较大时, 直线的斜率等于 0, $\ln N(\epsilon) = b$, 即每一子段最多只有一次台风出现, 这时无无论 ϵ 怎样变大, 台风出现的子段数恒等于台风总次数 ($N(\epsilon) \equiv N$), 说明台风在这一时间域上也不存在自相似性。只有在 B 段, 当标度 ϵ 适当时, 直线的斜率才介于 0~1 之间, 此时,

$$\ln N(\epsilon) = D \ln \epsilon + b \quad (2)$$

说明台风只有在这一时间域上才存在自相似性, 其分布出现时间分形结构, 相应的时间域即为无标度区。就 $P \leq 980 \text{ hPa}$ 的台风而言, 在无标度区 [64, 1024], ϵ 与 $N(\epsilon)$ 的关系为:

$$\ln N(\epsilon) = 0.376\ 7 \ln \epsilon + 2.521\ 3 \quad (3)$$

其时间分维值 $D = 0.376\ 7$, 相关系数 $R = 0.998\ 7$ 。

收稿日期: 1998-08-17; 修回日期: 1999-05-21

表 1 中国登陆台风的时间分形特征

站号	底深 (m)	有机碳含量 (%)	粘土含量 (%)	站位情况描述
13	665	2.02	23	靠近中南半岛,海水较深
47	2 038	2.40	-	海水很深,远离大陆,具有大洋特征
56	105	1.52	13	位于南部陆架区,海水较浅
63	1 883	2.68	23	位于北康暗沙东北域,具大洋特征

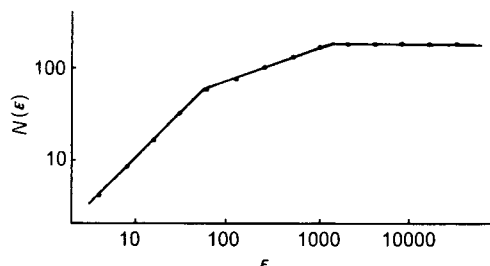


图 1 中国登陆台风 ($P \leq 980\text{hPa}$) 的时间分形结构

表 2 是中国登陆台风的无标度区和时间分维值。计算结果表明,中国登陆台风具有时间分形结构。无标度区、时间分维值和台风周期、灾害程度存在着密切关系。无标度区越宽,时间分维值越大,台风周期越短,但台风灾害越轻;反之,无标度区越窄,时间分维值越小,台风周期越长,台风灾害越严重。因此,时间分维是描述台风发生规律的一个较好的物理指标。

表 2 中国登陆台风的无标度区和时间分维值

站位	K_1	K_2 (斜率) ($\times 10^{-2}$)	K_2 (截距) ($\times 10^{-2}$)	K_3 ($\times 10^{-3}$)
63	1.61	9.58	12.81	4.34
47	1.24	7.74	9.23	2.25
13	1.07	6.65	7.10	2.36
56	0.88	5.01	6.06	9.00

强台风是一种破坏力巨大的自然灾害。在 1949~1995 年的 47 a 中,中国共出现过 4 次中心气压 $P \leq 925\text{hPa}$ 的强台风(表 3)。计算表明,在 4 次强台风发生的后 3 a,其时间分维值均明显降低(表 3),其他时段的时间分维值一般也有类似的特征。这可能表明了台风和海

洋能量积累、释放之间的一种关系。在强台风发生之前,海洋能量逐步积累,台风明显增多,时间分维值上升,经过一次强烈的能量释放,台风明显减少,然后进入下一次能量积累过程,故强台风出现后的数年内,时间分维值明显降低。因此时间分维值的变化可能包含了强台风发生的某些前兆信息。

表 3 中国 4 次强台风前后 3 a 的时间分维特征

处理方式	K_1	K_2 (斜率) ($\times 10^{-2}$)	K_2 (截距) ($\times 10^{-2}$)	K_3 ($\times 10^{-3}$)
原始样	1.61	9.58	12.81	4.34
盐酸处理样	1.20	6.89	7.51	2.52
过氧化氢处理样	1.07	5.82	5.60	1.39

3 结语

从上面的分析可以看到,中国登陆台风具有时间分形结构。在无标度区内, $\ln \epsilon$ 与 $\ln N(\epsilon)$ 的相关系数很大,直线关系良好。无标度区越窄,时间分维值越小,台风周期越长,但台风灾害越严重。在强台风出现的后 3 a,其时间分维值明显降低。因此,时间分维是描述台风发生规律的一个较好的物理指标。强台风发生前后时间分维值的变化可能包含了强台风出现的某些前兆信息,因而有可能为台风的长期及超长期预报提供一定的依据。

参考文献

- 1 陈永。分形与混沌在地球科学中的应用。北京:学术期刊出版社,1989。151~170
- 2 李后强、汪富泉。分形理论及其在分子科学中的应用。北京:科学出版社,1993。3~52