

气象界如何看待当前科学界关于 “确定论和随机论”的讨论 ——兼论非线性和浑沌的研究

刘 式 达

(北京大学地球物理系)

一、引 言

1963年著名气象学家 E. N. Lorenz 发表了题为“确定的非周期流”的文章,内容是从确定的大气运动方程组中算出了非周期的结果。这篇文章当时并没有引起人们的重视,直到 1971 年 Ruelle 将这种非周期流与实践中的湍流现象的发生联系起来,提出了奇怪吸引子 (strange attractor) 和浑沌 (chaos) 的概念, Lorenz 的文章才受到重视。之后,很多确定的系统(如微分方程或代数方程)当控制参数变化后,系统的状态都能出现非周期的混乱的现象。更有意思的是, 1978 年 Feigenbaum 发现,对于耗散系统(即系统中含有粘性阻尼因子)这种浑沌现象的出现伴随着一个通用无理常数 δ , 它的数值约为 4.6692。这个常数对很多耗散系统都是相同的,故称为 Feigenbaum 常数。由于目前自然界仅发现很少几个无理数(如 $\pi=3.1415\cdots$, $e=2.7182\cdots$),因此新的无理数的发现可能预示着科学上重大的突破。目前数学家、物理学家、气象学家、生物学家、化学

家甚至社会科学家都对浑沌现象发生极大的兴趣。它已形成一股洪流,正在和分岔 (bifurcation)、突变 (catastrophe)、协同学 (synergetics)、耗散结构学说 (dissipative structure)、分维几何学说 (Fractal) 等迅速溶合在一起,渗透到自然科学的各个领域。由于浑沌现象只有在非线性系统中产生,所以凡是研究非线性现象的文章几乎没有不引用 Lorenz 文章的结果。由于 Lorenz 的科学成就,他在 1983 年获瑞典皇家科学院授予的 Crafford 奖。

二、值得深思的一些问题

浑沌概念的提出引起广大气象工作者的深思,有哪些新的认识? 谢义炳教授提出“今后天气学走向何方?”, Lorenz 提出“长期预告是否可能?”, 如何提高认识、更好地揭示复杂的大气运动? 下面就一些认识问题谈谈我的粗浅看法。

(一) 确定的系统可以出现浑沌的结果
过去“确定论”在我们头脑中占统治地位。一个确定的微分方程,只要给出初始条

在上计算机之前须要作定性分析。最常用的定性分析是分析平衡态,即找某些物理量()的定常解 $\frac{d(\quad)}{dt}=0$,也就是找它的时间很长以后稳定下来的“归宿”。而对于非线性系统这种平衡态并不是一个,而是多个。状态的演变正是在这多个平衡态之间演变。一个平衡态失去稳定性(从物理上讲这平衡态就观察不到了)而另一平衡态就得到稳定性,这就是所谓分岔。老的平衡态若无法再继续下去,就跳到另一平衡态那里呆住,这就是突变(就象一个小孩原来在滑梯顶上呆住,当别人将其一推,小孩只能滑到下面来一样)。一般由于平衡态的稳定性问题只须解高次代数方程,用分析的或数值的方法都可以求解,这比求原来的非线性系统要容易得多。

有了平衡态和其稳定性的分析,我们在上计算机之前就事先知道控制参数在何值时,系统必将演变到哪种平衡态,这就避免了若不作平衡态定性分析直接去上机计算那种对参数调节的盲目性。

现在普遍有这样一种看法,对耗散系统状态常常由高维的相空间(即状态空间)最终收缩到相对的低维的相空间中去,也就是说系统的宏观行为可以用较少的自由度来描

述,这就给我们定性分析带来了方便。Lorenz 和 Charney 分别只用了三个和六个状态变量来描述有关的大气现象的。

所以气象工作者将定性分析与数值试验结合起来也许是有益的。

三、大气湍流的研究有了新的希望

自 1883 年 Reynold 提出湍流概念以来已经 101 年,由于实验技术及理论的限制,至今湍流研究还很困难,甚至对湍流还没有确切的定义。但是浑沌概念的提出告诉我们,象湍流这样的非周期现象可以由确定的系统中产生,这对湍流研究的方法有了新的突破。由于湍流的发生是通过周期倍分岔等途径进行的,且分岔点的参数值和 Feigenbaum 常数有关,所以事先可以预示湍流;这对实验和计算机上模拟湍流都带来方便。

湍流现象不但在流体中有,而且化学、生物、光学、声学甚至固体上都有湍流,所以湍流的研究非常重要,现在很多浑沌模型都为湍流发生的实验所证实。

我相信随着湍流和浑沌研究的深入,必将促进气象研究工作的进展。

目前气象工作者非常关心非线性和浑沌的研究,而且科学界也在讨论之中,我们要密切注意新的动态。