

热带气旋异常运动 可预报性问题的理论研究¹⁾

罗哲贤

(南京气象学院, 210044)

提 要

简要讨论了3个问题:(1)热带气旋移动与大尺度波动流型演变两者可预报性的差别。(2)热带气旋移动可预报性问题的两类方法。(3)近几年来热带气旋移动可预报性研究的若干结果。

关键词: 热带气旋 移动 可预报性

1 概况

1.1 现状

80年代中期,陈联寿^[1]指出,目前还没有一个业务模式具有比较稳定的预报台风异常路径的能力。这一状况近10年来并未得到根本改善。台风路径72小时预报的误差一直在400—500km左右。

1.2 原因及改进途径

一般认为,造成上述现状的原因是:(1)洋面测站太少,初始场上台风中心的位置及台风环流的细致结构难以准确决定;(2)对台风移动特别是异常移动的物理机制缺乏深刻的科学认识。

改进途径:(1)组织和实施台风现场试验,增加测站,卫星资料反演等;(2)开展台风异常移动的诊断分析、理论研究和数值试验。国家重大科技攻关项目85—906的不少研究内容均与此直接有关。这些内容的确定具有十分严谨的科学性。

1.3 问题的提出

现在的问题是:如果经过努力,上述资料问题和机制问题已取得明显进展,那么,台风异常路径预报,包括72小时预报的准确率是

不是一定会大幅度提高?有没有可能,超过一定时限以后,台风异常路径本来就不能准确预报出来,即使已经掌握了足够多的资料和足够深的认识,为了回答这些问题,需要专门研究台风异常路径的可预报性问题。

1.4 特殊性与普遍性

我们想,加深对台风移动的科学认识,应该包括两层含意。第一层,加深对台风移动这个具体的运动形态的认识,其中包括目标台风加密观测资料的诊断分析,以及台风移动的理论研究和数值研究;第二层,把台风移动视为一个非线性系统的行为,加深对非线性系统根本属性的理解。前者是矛盾的特殊性,后者是矛盾的普遍性。

对非线性系统根本属性的认识,可以为台风移动的预测提供一个背景。非线性系统的行为,在一定的时限内可能被预测;但超出此时限,就不能被预测了。对矛盾普遍性的忽略,缺乏了解,钻在具体现象的研究之中出不来,容易精力分散,出现以下情况:对于本来就不能被预测的现象,花费大量的时间去研究它们的预测方法。这样,就削弱了对于本来能被预测的现象的研究。另一方面,对矛盾特

1) 1994年6月全国第三次热带气旋科学讨论会特邀报告 该文由国家自然科学基金项目资助

殊性的忽略,对台风异常路径的具体问题不做深入分析,对可以预测的若干台风异常移动的现象,也不可能有深刻认识,同样不能解决。

需要把两者结合起来。应该在两者结合的层次上去分析台风移动的可预报性问题,去认识台风移动及其预测问题。

2 台风异常移动的可预报尺度

2.1 非线性系统的可预报尺度

对于一个非线性系统而言,即使我们已经有能力足够精确地测量系统状态变量的当时场及其前期的演变,即使我们已经透彻理解了系统状态演变的全部物理机制,我们还是不能说,我们可以准确地预测未来的全部演变。无论是自然科学领域,还是在社会科学领域,都已积累了大量的例证。这是非线性系统的一个根本属性。

一般而言,大气动力学方程组是一个决定性的非线性系统。台风移动必须遵循这个系统的约束。这里,所谓决定性,指的是模式方程、模式参数、模式初边条件中,均不含随机项,是决定性的。所谓非线性,指的是大气动力学方程组中所包含的平流非线性,热力非线性(如 σT^4),参数化非线性(如积云对流参数化方案)和湿过程非线性等。已有的研究指出,这个决定性的非线性系统在某段时间内完全可能输出混乱的,不可思议的,莫名其妙的,因而看来也无法预测的时间演变形态,称之为决定性的非周期流。

与之密切相连的是,系统状态演变特征对初值的极端敏感性。两个初始场之间即使只有极其微小的差别,经过一段时间 τ 以后,两个终态场会截然不同。这个时段 τ 即为不可预报的时间尺度。如果经过一段时间 T 以后,两个终态场的主要特征仍然相似,当 $t > T$ 以后,两个终态场的主要特征不再相似,则时段 T 可视为可预报的时间尺度。

2.2 大尺度波动流型的可预报尺度

对此问题已有比较深入的研究。一般认为

为可预报尺度约15天左右。

2.3 热带气旋运动的可预报尺度

热带气旋运动的可预报尺度与大尺度波动流型的可预报尺度不同。主要差别是:热带气旋的运动与两个方面的因素有关。第一,大尺度环境场的引导气流。第二,非环境场的作用,如非对称结构,台风与中尺度系统的作用,双台风作用,台湾岛与东南沿海岛屿的作用等。因此,台风路径的可预报尺度也与两个方面的因素有关,即与环境场的可预报尺度以及非环境场作用的可预报尺度有关。这里,环境场的可预报尺度与大尺度波动流型的可预报尺度相近。据此可以推断,热带气旋路径的可预报尺度要小于15天左右。因为台风异常路径出现时,往往非环境场的作用更为显著,据此还可推断,异常路径与正常路径相比,其可预报尺度可能更短。

2.4 热带气旋运动可预报性问题的两类研究方法

第一是实施大量的数值试验。在这些试验的初始场上,台风中心的位置略有差别。然后看看这些差别如何随着积分时间的增加而放大。当这些差别放大到不能接受的程度,即可估计出不可预测的时间尺度。具体做时,要根据不同的大尺度流型,不同的台风环流结构等,仔细设计各类试验。第二是根据台风路径资料,计算分维数和 K 熵等, K 熵的倒数一般取为可预报的时间尺度。

3 已有工作的主要结果及存在问题

到目前为止,直接分析台风异常路径可预报性问题的工作并不多见。德国科学家Fraedrich K. 与澳洲气象工作者合作,计算了澳洲台风路径的分维数, K 熵及可预报时间尺度。结果:台风路径可预报性随地理区域及环流型类的不同而不同。短的只有1天,长的可达5天左右^[2]。他们的工作代表了国外同类研究的水平。

已有的工作对以下问题似乎注意不够:

(1)只用台风路径的常规观测资料,没有用台

风特别试验的加强观测资料。(2)没有做任何数值试验,没有研究模式大气台风运动的可预报性问题。(3)只是给出分维数、 K 熵和可预报尺度的计算结果,没有用某些方法(如建立相应的低阶动力学系统)来验证这些计算结果的正确性。(4)没有与台风移动路径的试报、台风移动统计预报方法的改进结合起来。

4 85-906-07 课题中可预报性问题研究的回顾

4.1 陈联寿和罗哲贤^[3]应用 SPECTRUM 期间目标台风 Yancy 的加强定位资料,重建相空间,计算了 Yancy 路径的分维数和可预报时间尺度。

4.2 用一个准地转正压模式实施了多组数值试验。先模拟出台风移动的西北路径、向东北转向的路径、逆时针打转的路径、蛇行摆动路径等运动形态;然后分别计算了它们的分维数和 K 熵^[4]。[3]、[4]的结果比较一致。

4.3 取 1949—1987 年 10° — 45° N、 110° — 170° E 范围内 1402 条台风路径,对不同季节、不同地理区域、正常路径与异常路径,首次比较系统地分析了西太平洋台风路径的可预报性问题。指出:可预报时间尺度,异常路径为 1—2 天,正常路径为 3—5 天;分维数的取值范围为 1.4—2.2 之间^[5]。

4.4 分维数的计算结果表明,西太平洋台风的移动可以用一个低阶(3 阶)的动力学系统来描述。根据实际台风路径资料,我们拟合了

这个动力学系统。计算了拟合系统与实际台风路径之间的残差平方和,以及其它阶拟合系统的残差平方和。结果验证了分维数与可预报时间尺度估计值的正确性^[6]。

4.5 考虑了上述结果在台站台风路径统计预报中的可能应用,给出了一次台风路径拟合试报的结果^[6]。

4.6 最近,我们用一个准地转正压模式实施了 15 组时间积分为 5 个模式日的试验^[7]。在不同的试验中,台风中心初始位置之间的距离很小。随着积分时间的增加,它们之间的距离不断加大。用此途径分析了初始误差的放大与可预报性问题。

参考文献

- 1 陈联寿. 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展. 台风会议文集. 北京:气象出版社,1985:6—30.
- 2 Fraedrich, K. et al. Estimates of Cyclone track Predictability. Q. J. R. Meteor. Soc., Vol. 115:79—92.
- 3 陈联寿、罗哲贤. 9012 号台风的动力学结构. 第二次 SPECTRUM 台风特别试验技术会议大会报告论文. 广州,1991.
- 4 Luo Zhexion and Ma Jingxian. Study of the randomness inherent in the typhoon movement. Acta Meteor Sinica, 1993, Vol. 7:153—161.
- 5 肖天贵. 西太平洋台风路径动力学结构的研究. 南京气象学院研究生毕业论文,1994.
- 6 肖天贵、罗哲贤. 西太平洋台风运动低阶动力系统的确定. 1994,初稿.
- 7 罗哲贤、张涛、黄春雷、徐迪峰. 热带气旋运动可预报性的数值研究. 1994,初稿.

Theoretical Studies on the Predictability of the Tropical Cyclone Anormal Motion

Luo Zhexion

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract

The basic differences of predictabilities between the tropical cyclone motion (TCM) and the evolution of large-scale wave flow patterns are discussed, brief discription of the two kinds of methods on studies of the predictability of TCM, and review of recent progress concerning the predictability of TCM are made.

Key Words: tropical cyclone movement predictability