

# CSU<sub>84</sub>热带气旋路径统计预报方法评介

李真光

(广东省气象局)

## 提要

CSU<sub>84</sub>预报方法(1)是一种适用于全球各海洋的气旋路径预报方法,经检验,结果良好。虽然研制该方法时动用了CRAY-1E型计算机,但预报员应用时只须一般计算器。鉴于其所用资料的长度和广度及使用实况资料的新颖性,值得向预报员介绍。本文重点介绍其思路和技术要点,并给出有关西北太平洋和南海的热带气旋预报因子、回归系数及计算公式。

## 一、研究工作背景

回顾以往的热带气旋预报方法,主要有气候学——持续性方法、引导气流方法、统计学方法和数值方法四大类。气候学——持续性预报包括CLIM(根据月份及现在位置作气候预报),XTRP(由前12小时路径外推),HPAC(即 $\frac{1}{2}(P+C)$ )和BPAC(混合P+C,24—72小时预报随时效的增加而减少P的权重)等,这些方法只在热带东风带中有较好的预报效果。引导气流法的概念是重要的,但在资料不足或环境气流有垂直切变时,难以选择引导层应用。统计学方法的模式分为两类,分别以相似法和回归方程为基础,模式因子可包括气候学的、持续性的、实况天气资料的和数值预报资料的。著名的相似模式有HURRAN(1969年起用于大西洋)和TYFOON(1970年起用于太平洋),方法简明,运算快速,在热带东风带偏差较小,但在较高纬度其预报效果变差,对于减弱热带气旋的预报能力也下降。著名的回归方程模式有NHC<sub>64</sub>(用实况资料和12小时移动为因子)、NHC<sub>67</sub>(增加因子,修订NHC<sub>64</sub>)、CLIPER(用气候学的和持续

性的因子)、NHC<sub>72</sub>(NHC<sub>67</sub>和CLIPER的组合)等,均是“古典”统计模式。这些模式的主要问题是使用实况资料存在不稳定性,于是导致统计-动力模式的发展:NHC<sub>73</sub>(在原始方程模式的预告图上选因子),HATTRACK/MOHATT(在多层模式预告图上计算引导气流代替回归方程),CYCLOPS(上一模式的业务化版本),COSMOS(释用CYCLOPS的模式输出统计预报)。由于MOS常遇到缺乏足够资料样本的问题,代替的方案一是PP(完全预报)方案、二是SMOS(模拟MOS)方案。研究证明,前者在72小时预报的前半期表现不如在延伸期,后者则在较短期预报中有好的效果。热带气旋数值预报模式中,著名的有SANBAR(用于大西洋的正压模式),OTCM(单向相互作用,用于太平洋)和NTCM(套网格双向相互作用,用于太平洋)和MFM(斜压移动细网格)。虽然动力模式不依赖于现在的和历史的气旋间的统计关系,气旋的未来路径的变化可直接由运动方程作出预报,但由于气旋涡及其附近初分析的不确定性,所有动力模式均在较短的预报期预报移动太慢,36小时之后才显示技

巧得分增加。

在过去几年里，NTCM、OTCM和COSMOS在太平洋，NHC<sub>73</sub>在大西洋的预报效果较好，显示出天气资料在热带气旋移动预报上的重要性。然而由于动力模式物理过程的某些不完备，导致分析及预报场的不准确。如果预报员在发现有明显误差时能改动这些场，则预报准确率会得到提高。

## 二、思路和方法

### 1. 应用资料

CSU<sub>84</sub>使用了1946—1981年所有热带气旋（包括热带低压）的资料。1948年及此后的每个第三年的资料作为独立资料，留作检验使用，不参加回归系数的计算。

按上节叙述的各种方法的优点，选择因子时只考虑：持续性（过去12小时和24小时的移动）、引导气流（“现在”热带气旋以北和西北0—20°纬距的500/200hPa的高度梯度及其后24小时变化）。“现在”一词，由于预报时段不同，其所指资料分别是实况值或预报值，作一次72小时预报所用资料为：过去24小时气旋的路径、现在的500和200hPa图、24小时和48小时500和200hPa预告图。

天气图取5°×5°格点。格点编序取气旋中心所在处为0，往北取35°(+35)，往南取10°(-10)，往西取40°(-40)，往东取40°(+40)，随气旋的移动而改变。由此定出因子的格点取值。

### 2. 分型方案

采取许健民和Gray(1982)的分型方案。即按照热带气旋位置相对于副高脊线的位置而划分。脊南类指不转向气旋及转向点前24小时的气旋；脊北类指全期处于脊线以北的气旋和转向点后24小时之后的气旋；脊附近类指转向点前24小时至后24小时之间的气旋。为了掌握类间变化，规定脊南类气旋过去24小时移向变为330°—30°，定为脊附

近类；脊南类及脊附近类过去24小时移向变为31°—120°，定为脊北类。本来还有按移速分为快型和慢型的，它与长波形势有关。CSU<sub>84</sub>在确定因子时，对西北太平洋气旋按快和慢给以不同的权重。

### 3. 24小时时间步长

正如上节所述，应考虑各种预报方法的优点。CSU<sub>84</sub>将72小时分成三段24小时时间步长，作三次24小时预报。第一个24小时预报是从500hPa实况图定出气旋类型，用实况资料和过去24小时变化查算因子，代入回归方程计算，得到24小时移动路径和预报位置；第二个24小时预报是从500hPa24小时数值预报图定出气旋类型，用24小时数值预报输出资料和过去24小时变化查算因子，代入回归方程，得到第二个24小时移动路径和预报；第三个24小时预报是从500hPa48小时数值预报图定出气旋类型，用48小时数值预报输出资料和过去24小时变化查算因子，代入回归方程计算，得到第三个24小时移动路径和预报。将三段预报路径合在一起，就是所要做的72小时路径预报。

### 4. 回归方程

CSU<sub>84</sub>使用多元线性逐步回归技术来建立方程。主要是应用了国际数学和统计程序集(IMS L, 1982)的子程序运算，计算每个因子的平均值、标准差和相关系数；IMSL子程序BECOV M计算平方和及交叉积；IMSL子程序RLMUL作方差分析，包括残差的标准差、回归系数及截距；IMSL子程序RLRES作因子适用回归模式的残差分析，其适于模式的残差变为新的因变量(预报量)，依上述步骤重复20次，选出20个最佳因子；IMSL子程序RLSEP用由每段预报程序选出的20个因子作前向逐步回归分析，计算回归系数。

考虑到各海洋地理上的差异，如西北太平洋中，热带气旋在近赤道季风槽内路径复杂，有时北移至相当高的纬度才转向东，南

海西南季风气流与大陆东北风造成强的垂直风切变常引起气旋极复杂的移动路径，太平洋移动特别快和特别慢的气旋所占比率低于大西洋的气旋，北印度洋引导气流弱等，所以分别建立回归方程。

### 三、西北太平洋和南海热带气旋预报

预报公式：

$$\text{新纬度} = [24(C_0 + \sum C_n P_n)] / 1111.949 \\ + \text{旧纬度}$$

表1 西北太平洋脊北类热带气旋24小时纬向和经向移动的预报因子、系数及方差缩减

考虑200hPa引导	U	考虑500hPa引导	V	考虑200hPa引导	V	考虑500hPa引导
C <sub>0</sub> 2567.649	11215.979		-3371.009	108.378		
C <sub>1</sub> .191 φ <sub>500</sub> u	.430 U <sub>-12</sub>		.599 V <sub>-12</sub>	4.427 ΔP <sub>-5, -35</sub>		
C <sub>2</sub> .484 U <sub>-12</sub>	-.345 H <sub>15, 0</sub>		2.781 P <sub>15, 25</sub>	.552 V <sub>-12</sub>		
C <sub>3</sub> -3.952 ΔP <sub>10, 5</sub>	.205 V <sub>-12</sub>		-.407 H <sub>10, -5</sub>	1.776 P <sub>15, 30</sub>		
C <sub>4</sub> .847 H <sub>-5, 15</sub>	-.4643 P <sub>0, 40</sub>		.553 H <sub>0, 35</sub>	-8.952 P <sub>5, 0</sub>		
C <sub>5</sub> -5.038 P <sub>0, 40</sub>	.496 ΔH <sub>10, -30</sub>		-.198 P <sub>10, -5</sub>	8.643 P <sub>0, 15</sub>		
C <sub>6</sub> .448 ΔH <sub>10, -30</sub>	.698 H <sub>-5, 10</sub>		-.289 ΔH <sub>20, -15</sub>	.118 Δφ <sub>500</sub> u		
C <sub>7</sub> -.548 H <sub>-10, 30</sub>	-2.940 ΔP <sub>25, -40</sub>		-.479 ΔH <sub>5, -10</sub>	.400 H <sub>0, 30</sub>		
C <sub>8</sub> -.111 φ <sub>200 NW 20</sub> v	-5.845 ΔP <sub>5, 5</sub>		4.766 ΔP <sub>0, 10</sub>	-.527 H <sub>5, -5</sub>		
C <sub>9</sub> .224 Δ <sub>-12</sub>	-.145 ΔH <sub>25, 20</sub>		-.532 H <sub>-10, 0</sub>	5.029 P <sub>-10, 40</sub>		
C <sub>10</sub> 9.023 ΔP <sub>-10, 25</sub>	4.377 ΔP <sub>0, 15</sub>		10.393 P <sub>-5, 20</sub>	-1.584 ΔP <sub>25, -20</sub>		
C <sub>11</sub> -2.589 ΔP <sub>25, -40</sub>	-.353 H <sub>-10, -30</sub>		-.4958 P <sub>-5, 40</sub>	.027 φ <sub>500 NW 20</sub> v		
C <sub>12</sub> -.088 Δφ <sub>200 NW 15</sub> u	.368 H <sub>0, 35</sub>		.106 Δφ <sub>200 NW 15</sub> u	.364 ΔH <sub>5, -25</sub>		
C <sub>13</sub> -1.899 P <sub>25, 40</sub>	-.300 H <sub>10, 15</sub>		-1.639 ΔP <sub>20, 35</sub>	-4.057 ΔP <sub>5, -15</sub>		
C <sub>14</sub> -.198 φ <sub>500</sub> v	-.757 H <sub>-10, 40</sub>		-.031 φ <sub>200 NW 15-5</sub> u	-.437 ΔH <sub>0, 30</sub>		
C <sub>15</sub> 2.770 P <sub>15, -40</sub>	2.004 ΔP <sub>35, -35</sub>		1.911 ΔP <sub>25, 0</sub>	.174 ΔH <sub>10, 40</sub>		
C <sub>16</sub> .230 ΔH <sub>35, -5</sub>	-.1495 ΔP <sub>10, 5</sub>		-.4530 ΔP <sub>0, 30</sub>	.692 ΔH <sub>-10, 35</sub>		
C <sub>17</sub> -.068 φ <sub>200 NW 20</sub> u	-.929 P <sub>25, 40</sub>		.155 ΔH <sub>15, 40</sub>	5.807 ΔP <sub>-10, 20</sub>		
C <sub>18</sub> .222 ΔH <sub>15, 40</sub>	.105 ΔH <sub>15, 40</sub>		1.426 ΔP <sub>30, -40</sub>	4.216 P <sub>-5, 0</sub>		
C <sub>19</sub> -4.979 ΔP <sub>0, 40</sub>	-2.804 ΔP <sub>10, 0</sub>		1.568 P <sub>25, 10</sub>	-1.535 ΔP <sub>-5, 0</sub>		
C <sub>20</sub>	-0.72 φ <sub>500 NW 10-5</sub> u		-.137 ΔH <sub>30, -35</sub>	.081 Δφ <sub>500 NW 10-5</sub> u		
方差缩减	76%	75%	75%	73%		

导气流的C<sub>0</sub>和C<sub>n</sub>（第二列）P<sub>n</sub>（第三列）代入预报公式，再代入相应的经度或纬度，

$$\text{新经度} = [24(C_0 + \sum C_n P_n)] / 1111.949$$

$$\cos(\text{新纬度} + \text{旧纬度}) + \text{旧经度}$$

式中新纬(经)度就是预报纬(经)度，旧纬(经)度是前24小时的纬(经)度，C<sub>0</sub>是截距(即常数项)，C<sub>n</sub>是对应第n项因子的回归系数，P<sub>n</sub>是第n项因子值。

对于西北太平洋和南海热带气旋，共分为四类分别计算其预报因子、回归系数及方差缩减。限于篇幅，这里只给出脊北类的情况(表1)。将表中的对应热带气旋分类和引

便可以算得预报的经度或纬度，由二者确定热带气旋的预报位置，对南海热带气旋而

言，是不需分类的，只用表4。当转向热带气旋强度 $\geq 90$ 海里/时，同200hPa引导栏，其余情况均用500hPa引导栏。

表中的 $V_{-12}$ 及 $V_{-24}$ 为过去12小时及24小时热带气旋的经向位移，计算式为：

$$1111.949 \times (\text{Lat}_o - \text{Lat}_p) / \text{hour}$$

此处 $\text{Lat}_o$ 是“现在”纬度， $\text{Lat}_p$ 是前12或24小时的纬度，hour视计算12或24小时位移而定。

同样 $U_{-12}$ 及 $U_{-24}$ 为过去12小时及24小时热带气旋的纬向位移，计算式为

$$1111.949 \times \cos[(\text{Lat}_o + \text{Lat}_p)/2] \times (\text{Lon}_o - \text{Lon}_p) / \text{hour}$$

此处 $\text{Lon}_o$ 为“现在”经度， $\text{Lon}_p$ 为前12或24小时的经度，其他同上。

表中 $\varphi$ 及 $\Delta\varphi$ 分别代表地转风及其24小时变化，其下标指示500hPa、格点位置（如在热带气旋中心点，便无此指示码）及风分量的方向（u为东西分量，v为南北分量），计算式有：

热带气旋中心处为

$$\begin{aligned} u &= [(H_{-10,-10} + H_{-10,-5} + H_{-10,0} \\ &\quad + H_{-10,5} + H_{-10,10}) - (H_{10,-10} \\ &\quad + H_{10,-5} + H_{10,0} + H_{10,5} + \\ &\quad H_{10,10})]/5 \sin \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= [(H_{-10,10} + H_{-5,10} + H_{0,10} + \\ &\quad H_{5,10} + H_{10,10}) - (H_{-10,-10} + \\ &\quad H_{-5,-10} + H_{0,-10} + H_{5,-10} + \\ &\quad H_{10,-10})]/5 \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned}$$

热带气旋西北 $10^\circ$ 处为

$$u = (H_{5,-10} - H_{15,-10}) / \sin \varphi$$

$$v = (H_{10,-5} - H_{10,-15}) \sin \varphi \cos \varphi$$

其它格点的 $\varphi$ 及 $\Delta\varphi$ 的取值照此类推，不过 $\Delta\varphi$ 要算出“现在”和前24小时的值相减。

表中P为气压， $\Delta P$ 为24小时变压，H为高度， $\Delta H$ 为24小时变高，所有下标均表示格点的纬度序和经度序。

通过计算得到24小时预报位置。最后，

如有可能，可做计算敏感性的检验。如果高度误差为30gpm，气压误差为5hPa，便得到最坏的情况下，误差达1经纬度，这是使用预报时要考虑的。

#### 四、检验结果

表2列出西太平洋及南海， $\text{CSU}_{84}$ 与一些客观预报方法的预报误差的比较，因为它是由1979—1981年的相同热带气旋，近似预报次数下的不同客观预报方法的比较，因此该结果是比较客观和合理的。

表2  $\text{CSU}_{84}$ 与一些客观预报方法的预报误差比较

方法	时效			
	误差 (海里)	24小时	48小时	72小时
OTCM		126(124)	229(233)	320(348)
HPAC		137(126)	231(229)	320(339)
CLMW		157(126)	247(229)	327(343)
NTCM		143(124)	248(235)	357(368)
$\text{CSU}_{84}$		80(128)	152(235)	235(330)

表中括号中的数字为预报次数，OTCM为单向相互作用热带气旋预报模式，HPAC为 $1/2(P+C)$ ，CLMW为警报位置时的气候学预报方法，NTCM为双向相互作用的套网格热带气旋预报模式， $\text{CSU}_{84}$ 取 $C_5$ -DI-AP方案，即考虑500hPa引导。独立和因变因子混合，使用实际预报场。从表中可以看到 $\text{CSU}_{84}$ 的预报误差明显减小，时效延长一天的预报质量和其它预报质量相同。

#### 五、结论

从以上的介绍可以看出， $\text{CSU}_{84}$ 是一种古典统计预报和统计-动力预报的混合体，它应用了完全预报的概念，使在预报程序上作了合理的改进，方案集中了许多方法的优点，其可信度和稳定性是较高的。由于

(下转32页)

(上接40页)

使用的资料为35年，气旋最佳位置存在一定误差，据其它研究认为，在强度 $>69$ 海里/时时初始最佳位置可以有12海里调整，强度为35—69海里/时时有18海里，其它可有30海里调整（其它各种方法也这样）。如果台站能收到500hPa（若有200hPa更好）24小时及48小时预报图，则可以引用该方法，若

要预报南海热带气旋，则还需要850或700hPa实况和24、48小时预报图。

## 参 考 文 献

- [1] Clifford R. Mabsumoto, A Statistical method for one to three-day tropical cyclone track prediction, Atmospheric Science No 379. Colorado State University, 1984.