台 风 预 报

预报台风路径的相似原理

广东数值预报试验小组*

近年来，国外预报台（飓）风路径成绩最佳的一个方法，是所谓相似方法。美国迈阿密国家飓风中心称此方法为HURRAN，关岛美国舰队天气中心联合台风警报中心称此方法为TYFOON。

结合预报实践经验，我们对之又作了若干改进，制订出三个方法：相似方法，相似加权方法和相似加权回归方法。其中前两个方法较简单，在不使用计算机的情况下，由一、两个人手算一小时左右即可算出预报结果，适合广大气象台站日常使用。

一、相似方法

1.资料准备：对于出现于一定季节、一定地区的历史台风中的每一个台风，沿其路径每隔6小时取一点，共得若干点，对每点整理出表示其"局部路径特征"的如下数据(见图1)：

（1）初始时刻台风所在经度 λ_0；

（2）初始时刻台风所在纬度 φ_0；

（3）初始时刻前六小时中心位移向量的模ρ(即距离)；

（4）初始时刻前6小时中心位移向量的倾角θ（即中心位移向量与纬线的夹角）；

（5）初始时刻前6小时中心位移向量的模与再前6小时中心位移向量的模的差 $\Delta\rho$；

（6）初始时刻前6小时中心位移向量的倾角与再前6小时中心位移向量的倾角的差 $\Delta\theta$；

以及：

（1）初始时刻到t小时后的点的位移向量的经向分量 $\Delta\lambda_t$；

（2）初始时刻到t小时后的点的位移向量的纬向分量 $\Delta\phi_t$。

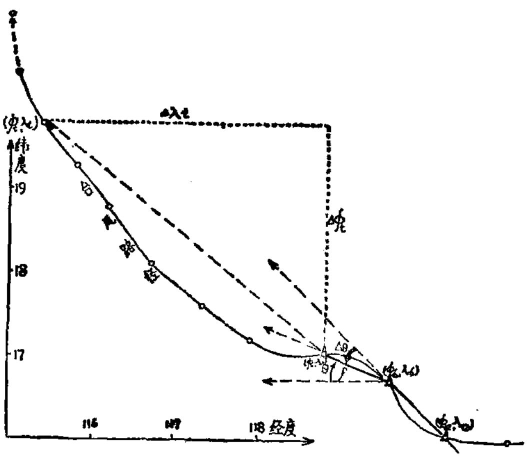

图 1

预报时段t的值可以取 t = 24 小时，36 小时，48 小时，……等，故整理的数据，有 $\Delta\lambda_{24}$，$\Delta\phi_{24}$，$\Delta\lambda_{36}$，$\Delta\phi_{36}$，$\Delta\lambda_{48}$，$\Delta\phi_{48}$，……。将所整理的这些数据制成表格或卡片，以备应用。

2.预报：如果在这个季节、这个海区出现一个新台风，对其当前中心位置，可得出如上的6个局部路径特征数据 λ_0^*、ϕ_0^*、ρ^*、θ^*、$\Delta\rho^*$、$\Delta\theta^*$。然后在历史资料中找出同时能满足如下6个不等式的点：

$$
\begin{aligned}
&|\lambda_0-\lambda_0^*|<\varepsilon_1\\
&|\phi_0-\phi_0^*|<\varepsilon_2\\
&|\rho-\rho^*|<\varepsilon_3\\
&|\theta-\theta^*|<\varepsilon_4\\
&|\Delta\rho-\Delta\rho^*|<\varepsilon_5\\
&|\Delta\theta-\Delta\theta^*|<\varepsilon_6
\end{aligned}
$$

其中ε_1，ε_2，ε_3，ε_4，ε_5，ε_6是适当取定的常数，称为相似判据。(例如我们在试算中取$\varepsilon_1=\varepsilon_2=1.6$，$\varepsilon_3=0.3$纬距，$\varepsilon_4=20°$，$\varepsilon_5=0.15$纬距，$\varepsilon_6=10°$）。这样的点称为"相似点"。

设相似点共找到n个，若n＜5则认为相似点太少，相似方法不能应用（实际上视资料之多少，此种情形约占1/3左右）。当n≥5时，把这n个相似点的$\Delta\lambda_t$相加求出平均值$\overline{\Delta\lambda_t}$，$\Delta\phi_t$也相加求出平均值$\overline{\Delta\phi_t}$。然后分别与

---

* 由广东省气象台、广东师院数学系、中山大学数学力学系共同派人组成

新台风当前的中心位置的经纬度相加：

$$\lambda_t = \lambda_0^* + \overline{\Delta\lambda_t} \qquad \phi_t = \phi_0^* + \overline{\Delta\phi_t}$$

我们即以（λ_t，ϕ_t）作为这个台风在t小时后中心位置的预报点。

二、相似加权方法

如上所述，当相似点太少时，不能用相似方法作预报。为了补救这一缺陷，我们可将相似判据分成K级。也就是说，将判据ε_1代之以由大到小的K个数：

$$\varepsilon_{11} > \varepsilon_{12} > \varepsilon_{13} \cdots\cdots > \varepsilon_{1k}$$

对于ε_2，ε_3，ε_4，ε_5，ε_6亦复如此。如果一个点对于最大的6个判据能满足相似性的判别不等式，即：

$$|\lambda_0 - \lambda_0^*| < \varepsilon_{11} \qquad |\phi_0 - \phi_0^*| < \varepsilon_{21}$$
$$|\rho - \rho^*| < \varepsilon_{31} \qquad |\theta - \theta^*| < \varepsilon_{41}$$
$$|\Delta\rho - \Delta\rho^*| < \varepsilon_{51} \qquad |\Delta\theta - \Delta\theta^*| < \varepsilon_{61}$$

该点即算作相似点，并且赋予权重W＝1。如果λ_0对于次大的判据ε_{12}也能满足相似性判别不等式

$$|\lambda_0 - \lambda_0^*| < \varepsilon_{12}$$

则得此点的权重为$W = 1 + \delta$，δ是一适当取定的正数，例如可取$\delta = 1/(k-1)$*，如果λ_0对于又次大的判据ε_{13}亦能满足相似性判别不等式，即

$$|\lambda_0 - \lambda_0^*| < \varepsilon_{13}$$

则得此点的权重为$W = 1 + 2\delta$，如此类推，对于ϕ、ρ、θ、$\Delta\rho$、$\Delta\theta$亦复如此，这样一个相似点最后即确定其权重为$W = 1 + m\delta$（m为0或自然数）。

如果共有n个相似点，第i个相似点权重为W_i，并且t小时后位移分量为$\Delta\lambda_t^{(i)}$，$\Delta\phi_t^{(i)}$，则计算其加权平均值

$$\overline{\Delta\lambda_t} = (W^1\Delta\lambda_t^1 + W^2\Delta\lambda_t^2 + \cdots\cdots + W^n\Delta\lambda_t^n)/(W^1 + W^2 + \cdots\cdots + W^n)$$
$$\overline{\Delta\phi_t} = (W^1\Delta\phi_t^1 + W^2\Delta\phi_t^2 + \cdots\cdots + W^n\Delta\phi_t^n)/(W^1 + W^2 + \cdots\cdots + W^n)$$

然后以

$$\lambda_t = \lambda_0^* + \overline{\Delta\lambda_t} \qquad \phi_t = \phi_0^* + \overline{\Delta\phi_t}$$

作为这个台风t小时后中心位置的预报值。

这种相似加权方法的预报准确程度和相似方法差不多。但是由于判据分为若干级，最大的判据可以取得比只取一个判据时为大。所以可以找到较多的相似点，绝大多数的台风都能找到5个以上的相似点。所以其适应性较相似方法为广，但是计算量比相似方法多一些。

三、相似加权回归方法

在进行如上加权之后，也可以取相似点的数据，λ_0，ϕ_0，，ρ，θ，$\Delta\rho$，$\Delta\theta$为因子（或者再添一些天气图因子），对λ_t与ϕ_t（t小时后台风中心经、纬度）作加权回归。即应用加权最小二乘法，求α_0，α_1，α_2，α_3，α_4，α_5，α_6与β_0，β_1，β_2，β_3，β_4，β_5，β_6使下列平方和达到最小：

$$\sum_{i=1}^{n} W^i \left[\lambda_t^i - (\alpha_0 + \alpha_1\lambda_0^i + \alpha_2\phi_0^i + \alpha_3\rho^i + \alpha_4\theta^i + \alpha_5\Delta\rho^i + \alpha_6\Delta\theta^i)\right]^2$$
$$\sum_{i=1}^{n} W^i \left[\phi_t^i - (\beta_0 + \beta_1\lambda_0^i + \beta_2\phi_0^i + \beta_3\rho^i + \beta_4\theta^i + \beta_5\Delta\rho^i + \beta_6\Delta\theta^i)\right]^2$$

然后以回归方程

$$\lambda_t = \alpha_0 + \alpha_1\lambda_0 + \alpha_2\phi_0 + \alpha_3\rho + \alpha_4\theta + \alpha_5\Delta\rho + \alpha_6\Delta\theta,$$
$$\phi_t = \beta_0 + \beta_1\lambda_0 + \beta_2\phi_0 + \beta_3\rho + \beta_4\theta + \beta_5\Delta\rho + \beta_6\Delta\theta。$$

来作这个台风t小时后中心位置的预报。

此即相似加权回归方法。此法的计算量更大，需要使用电子计算机。但是其预报准确程度较高。

如用上述6个相似判据及一些天气图因子作为回归因子，考虑到回归方程的稳定性问题，也可改用相似加权逐步回归。

四、试算结果

我们试就1957—1974年7—9月120°E以西、16°N以北南海区域的台风资料，每个台风暂取两点，共得75个点。对每点都试作预报，其结果与美国迈阿密国家飓风中心应用HURRAN方法与其他方法的结果以及关岛美国舰队天气中心联合台风警报中心应用的TYFOON方法的结果比较如下（见图2、表1）：

---

* k是任何大于1的正数

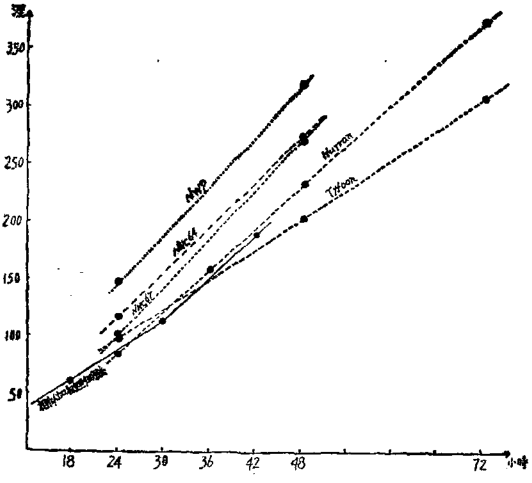

图2　预报平均误差比较图

表1

单　　位	方　　法	平　均　误　差　(浬)						
		18小时	24小时	30小时	36小时	42小时	48小时	72小时
美国迈阿密国家飓风中心	HURRAN		84		158		234	372
	NHC64（逐步回归）		117				274	
	NHC67（逐步回归）		101				272	
	NWP（动力学方法）		147				320	
关岛美国舰队天气中心联合台风警报中心	TYFOON		99				203	308
广东省气象台	相似加权回归	60		113		190		

由表1和图2可以看出，试算的预报误差与HURRAN，TYFOON方法的预报误差几乎相同。但我们所使用的资料仅有75点，远较美国迈阿密国家飓风中心与关岛美国舰队天气中心联合台风警报中心所使用的历史资料为少。例如美国迈阿密国家飓风中心HURRAN方法所使用的资料是1886年至1970年共703个飓风，并在每一飓风路径上每隔3小时采取一点，采点总数在一万个以上。一般统计预报误差常与数据个数N的平方根成反比。考虑到这一情况，可以说我们所使用的方法的效果比HURRAN与TYFOON方法的效果有相当显著的提高。

1975年9月份，对进入16°N以北的南海海区的7510号台风，我们用相似方法进行了预报。第一次初始时刻是9月18日14时，当时台风中心所在经度$\lambda_0=118.4°E$，纬度$\phi_0=16.4°N$，根据上述6个相似判据，并规定它适当范围，从75个点中只找到了1964年第11号台风和1970年第5号台风与其相似。第二次预报是9月19日2时，当时台风中心所在经度$\lambda_0=115.7°E$，纬度$\phi_0=17.0°N$。找到1964年第21号台风、1967年第11号台风、1968年第6号台风与其相似。严格来说，相似个例均太少，但由于相似判据范围也不能再放宽了。所以仅用上面找到的相似个例作新台风路径预报，效果还算令人满意（见图3）。

如果每个台风均沿其路径每隔6小时取一点以增多基本资料，相信可找到较多的相似个例，效果也会有所改进。

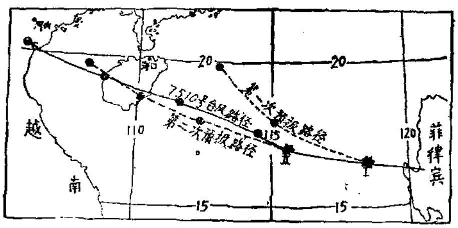

图　3

五、理论探讨

台风路径的预报，一般的统计预报方法或动力学预报方法总是要考虑到初始时刻的各种气象要素，相似方法则只是考察台风本身的前期路径的局部特征，而其预报成绩竟较其它各方法为好，现就其原因试行探讨如下。

台风是大气的一种运动形态。大气作为一个力学系统来看，它的运动基本上是由初始状态决定的。设在初始时刻t_0大气状态以$c(t_0)$表示，那么经过t小时后台风中心的经度λ和纬度ϕ可以认为是t与$c(t_0)$的函数，因之可记为$\lambda[t, c(t_0)]$，$\phi[t,c(t_0)]$。它们对时间t的麦克劳林展式为

$$\left.\begin{aligned}\lambda[t,c(t_0)]&=\lambda[0,c(t_0)]+\frac{\lambda'[0,c(t_0)]}{1!}t+\frac{\lambda''[0,c(t_0)]}{2!}t^2+\cdots\cdots\\ \varphi[t,c(t_0)]&=\phi[0,c(t_0)]+\frac{\phi'[0,c(t_0)]}{1!}t+\frac{\phi''[0,c(t_0)]}{2!}t^2+\cdots\cdots\end{aligned}\right\}(1)$$

（1）式中第1项$\lambda[0, c(t_0)]$与$\phi[0, c(t_0)]$即初始时刻t_0的台风中心经度与纬度。第2项中$\lambda'[0, c(t_0)]$与$\phi'[0, c(t_0)]$是初始时刻t_0台风中心移动速度的经、纬向分量。第三项中的$\lambda''[0, c(t_0)]$与$\phi''[0, c(t_0)]$是初始时刻t_0台风中心移动加速度的经、纬向分量。相似方法中作为相似性判据的6个局部路径特征，实际上恰与（1）式中这前三项系数相当。如果（1）式中每项系数皆能由台风在初始时刻t_0以前的前期路径算出，那么（1）式即是一个完满的预报方程。可惜（1）式中各项系数实际上无法一一算出，这是因为对于前期路径，实际的气象观测只是每隔数小时才进行一次，根据这样时间间隔十分稀疏的观测，自然不可能用数值微分方法算出λ，ϕ的所有各阶导数。

虽然如此，但是正如在相似方法中所做的那样，粗略近似计算（1）式前三项系数仍然是可能的。然而如果就这样直接在（1）式中取三项和来作预报，则余项误差太大，结果不能满意。

现在我们换一种间接的方式来利用这前三项。如果在时刻t_0以前的某历史时刻t_1另有一台风，在时刻t_1的大气状态是$c(t_1)$，那么我们也有展式：

$$\left.\begin{aligned}\lambda[t,c(t_1)]&=\lambda[0,c(t_1)]+\frac{\lambda'[0,c(t_1)]}{1!}t+\frac{\lambda''[0,c(t_1)]}{2!}t^2+\cdots\cdots\\ \phi[t,c(t_1)]&=\phi[0,c(t_1)]+\frac{\phi'[0,c(t_1)]}{1!}t+\frac{\phi''[0,c(t_1)]}{2!}t^2+\cdots\cdots\end{aligned}\right\}(2)$$

假定（1）式与（2）式前三项分别接近，即这两个台风点是具有相似的局部路径特征的相似台风点。这可以在两种场合下发生：

1，$c(t_0)$与$c(t_1)$相似；

2，$c(t_0)$与$c(t_1)$有显著不同。

前一种场合，即在相似的大气状态下，对于出现在一定季节、一定海区内的，而且方向、速率的相差范围不大的台风，与之相联系的周围流场通常在初期有很多共同点，而且其演变也常常以相似的方式进行，可以设想这是多数情形。后一种场合，即在显著不同的大气状态下，也产生了相似的台风局部路径特征。这种可能虽然不可排除，但可以设想这总该是少数情形。

在前一种场合下，基于连续性考虑，可以认为

$$\lambda[t,\ c(t_0)]\approx\lambda[t,\ c(t_1)]$$

$$\phi[t,\ c(t_0)]\approx\phi[t,\ c(t_1)]$$

如果相似台风点多数是属于这种情况，则对于一个新台风，从历史资料中所随机提供的历史台风相似点就多数都具有如上的近似等式。这样一来，相似方法取全部历史台风相似点的t小时后的中心位置经、纬度平均值来对新台风作预报，使将具有相当的准确性。

当然对于认为第一种场合占多数的这种设想的正确性要直接验证是困难的，而只能从相似方法的应用实践中来间接验证。因为在台风路径的预报中所谓两种大气状态的相似性，自然主要是按照对台风路径有重要影响的那一部分气象因子而言的。而弄清这一部分气象因子究竟是些什么，这是至今未能解决的难题。