西北太平洋台风强度的统计预报

——前期因子多元回归方程

林有任　邱君瑞　徐维屏

（上海台风研究所）

台风强度是台风预报的主要内容之一，具有一定的难度。本文尝试用逐步回归分析寻找西北太平洋台风初始场气象要素与其后各预报时段台风强度变化的统计关系，试图建立对台风强度正常变化具有一定预报能力的统计预报方程，定名为 SJ—81 方案。

一、资料与样本

资料取自 1971—1980 年中央气象局《台风年鉴》及上海历史天气图。样本取自 1971—1979 年 7—9 月资料。1980 年的 11 个台风作为独立样本试报。

取样范围为 15°N 以北、145°E 以西洋面上的台风，至登陆前 6 小时为止，共得样本 264 个。

同一台风若取样两次，取样间隔不小于 24 小时。

二、预报量与预报因子

预报量ΔW为起报时刻（t_0）的台风近中心最大风速W_0与预报时刻(t)台风近中心最大风速W_t之差。

根据台风发展、维持的动力学和能量学，并参考国内外的一些经验[1—6]，从台风本身和环境场中选择了 37 个气象参数为预报因子，经逐步回归筛选，在方程中入选的因子如下：

φ_0：t_0时台风中心的纬度（0.1 度）；

λ_0：t_0时台风中心的经度（0.1 度）；

W_0：t_0时台风中心附近的地面最大风速（米/秒）；

P_0：t_0时台风中心的最低气压（毫巴）；

$\Delta\varphi$：t_0时与其前 12 小时台风中心纬度差；

ΔP：t_0时台风中心最低气压与其正北 5 个纬距处海平面气压之差（毫巴）；

ΔH：t_0时 500 毫巴上台风中心与其正北5个纬距处高度之差的 1/5（位势什米）；

D：t_0时 500 毫巴上台风中心与副高脊线的纬距（度）；

S：$\sqrt{(\Delta\varphi_{0-12})^2-(\Delta\lambda_{0-12})^2}\cdot\cos\varphi_0$；

SP：起报点日期的旬序，以 6 月上旬为 1，以后逐旬加 1；

$\Sigma\Delta H$：t_0时 500 毫巴上东京、大阪、福冈三点的变高和；

W_0/P_0：t_0时近中心最大风速与中心最低气压之比。

三、预报方程及拟合误差分析

回归建立的各时段预报方程各因子的系数如表 1。

对上述各预报方程的拟合优度分别作 χ^2 检验，由于篇幅所限，只在表 2 中列出了 24 小时预报方程的误差检验结果。若取信度 $\alpha=0.05$，则临界值 $\chi^2_{0.05}(9)=16.919$，显然，$\Sigma\eta=12.0509<\chi_\alpha^2(N)=16.919$，故 24 小时预报方程的拟合误差服从正态分布。

对于 48 小时预报方程，取信度水平 $\alpha=0.05$，则

表 1

预报量		ΔW_{24}	ΔW_{48}	ΔW_{72}
各预报因子的系数	φ_0	−0.33777	−0.56298	−0.67067
	λ_0		0.21599	0.51813
	W_0	−0.39191	−0.72306	−1.04025
	ΔP	−0.03851		
	D	−0.12757		
	SP		0.62538	0.65749
	$\Delta\varphi$		−1.23481	−1.35124
	W_0/P_0	334.2578	306.6667	253.4208
	S		−1.84279	−2.95847
	ΔH		0.66770	0.77908
	$\Sigma\Delta H$			0.21444
回归常数		13.64140	−3.40208	−31.28008
F 值		2.5	3.5	3.5
复相关系数		0.78	0.80	0.88
剩余标准差		5.94	9.82	10.14

临界值 $\chi^2_{0.05}(10)=18.307$。$\Sigma\eta=12.9094<\chi^2_{0.05}(N)=18.307$，故 48 小时预报方程的拟合误差服从正态分布。

对于 72 小时预报方程，取信度水平 $\alpha=0.05$，则临界值 $\chi^2_{0.05}(10)=18.307$。$\Sigma\eta=10.1499<\chi^2_{0.05}(N)=18.307$，故 72 小时预报方程的拟合误差服从正态分布。

由于拟合误差服从正态分布，因而误差绝对值的数学期望为

$$E(|\delta|)=\frac{1}{S_y\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}|x|\exp\left(-\frac{x^2}{2S_y{}^2}\right)dx$$

$$\approx 0.8S_y$$

由此得 24、48、72 小时的强度预报拟合误差的平均绝对值 $\overline{|\delta|}$ 分别为 4.8、7.9 和 8.1 米/秒。

用数字特征法，对 24、48、72 小时预报方程拟合误差的期望作点估计，得各方程拟合误差的分布分别为 x_{24}—N(−0.2103,5.94)，x_{48}—N(0.1526,9.82)，x_{72}—N(0.2420,10.40)。据此，由正态分布函数

$$F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,S_y}\int_{-\infty}^{x}\exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2S_y{}^2}\right\}dt$$

得各种拟合误差出现的概率列于表 3。

表 2

误差组限*	实际频数 (f_i)	理论频数 (np_i)	分歧度(η)**
−∞—−1.664	15	12.575	0.4676
−1.664—−1.316	10	12.078	0.3575
−1.316—−0.968	13	18.969	1.8783
−0.968—−0.620	20	26.488	1.5892
−0.620—−0.272	37	32.802	0.5373
−0.272—0.076	37	36.025	0.0264
0.076—0.424	42	35.082	1.3642
0.424—0.771	36	30.261	1.0884
0.771—1.119	28	23.239	0.9754
1.119—1.467	11	15.825	1.4711
1.467—1.815	5	9.537	2.1584
1.815—3.207	8	9.118	0.1371
Σ			12.0509

* 已划为标准正态变量

** $\eta=\dfrac{(f_i-np_i)^2}{np_i}$

表 3　各种拟合误差($|\delta|$)出现的概率

$|\delta|$ (米/秒)		≤2	≤4	≤6	≤8	≤10	≤12
预报量	ΔW_{24}	0.65	0.76	0.85	0.92	0.96	0.98
	ΔW_{48}	0.57	0.65	0.72	0.79	0.84	0.89
	ΔW_{72}	0.59	0.66	0.73	0.79	0.84	0.89

四、登陆台风强度预报量的修正

上述强度预报方程仅取洋面上的台风为样本，为使其对登陆后的台风仍有预报能力，试用方程所得预报加修正值的办法。

修正值由多元线性回归求取。以1970—1979年登陆台风登陆后1—6小时强度的24小时预报 w_t（$=w_0+\Delta w_{24}$）与实测值之差（即修正值）R_{24} 为回归量，以起报时刻可能取得的一些参数为因子，得回归方程，各因子的系数见表4。

表4

修正值	R_{24}					
因子	φ_L	W_0	ΔH	ΔP	CI	回归常数
系数	0.4019	−0.9666	1.4469	0.1883	−8.7514	0.9172

F值=1.6；复相关系数=0.79；S_y=6.46

其中 φ_L：台风登陆点的预报纬度（0.1度）；CI：登陆前48小时内是否越岛，越岛为1，否则为零；其余与前述相同。

由于 φ_L 与CI两因子取决于路径预报，因而登陆台风强度预报的精度受路径预报精度的影响。

本方程拟合优度的 χ^2 检验详表略。取信度水 $\alpha=0.10$，临界值 $\chi^2_{0.10}(4)=7.779$。由于 $\Sigma\eta=5.0467<\chi_\alpha^2$（N）$=7.779$，故方程拟合误差服从正态分布。

由拟合误差的概率密度求得误差绝对值的数学期望

$$E(|\delta|)\approx 5.2\text{米/秒}$$

即本方程拟合误差的平均绝对值为5.2米/秒。

用数字特征法对误差的数学期望和方差作点估计，得误差分布 N（0.2106，6.46）；由此，据正态分布函数得出各种拟合误差出现的概率列于表5。由于样本容量（35个）较小，不完全满足皮尔逊（Pearson）定理的条件，因此 χ^2 检验的结果不很严格，但仍有参考价值。

表5

编号	起报时刻（月．日．时）	台风近中心地面最大风速（米/秒） 24小时预报 预报	24小时预报 误差	48小时预报 预报	48小时预报 误差	72小时预报 预报	72小时预报 误差
8006	7. 8. 08	31/31	1/1	35/28	5/−2	22/13	−3/−12
	9. 08	34/31	4/1	22/26	−3/1	14/10	−1/−5
	11. 02	*20/13	0/−7				
8007	7. 20. 08	42/31	2/−9	35/36	−5/−4	24/39	−16/−1
	21. 08	43/41	3/1	/41	/16	/21	
8008	7. 18. 14	*18/8	6/−4				
8009	7. 24. 08	48/36	−2/−14	42/41	7/6	33/41	3/11
	26. 20	*22/15	−3/−10				
8010	8. 2. 08	37/41	−3/1	37/44	2/9	35/46	5/16
8012	8. 25. 08	20/23	−5/−2	26/31	−14/−9	29/33	−1/3
	26. 08	29/33	−11/−7	25/36	-5/6	19/31	4/16
	27. 08	*17/44	−3/24				
8013	9. 8. 08	28/39	−2/9	27/44	−8/9	26/39	−9/4
	9. 08	32/41	−3/6	32/44	−3/9	27/39	2/14
8015	9. 14. 08	20/	−5/	31/	−4/		
	15. 08	29/33	−6/−2	33/36	−12/−9	27/21	−28/−34
	16. 08	38/36	−7/−9	41/36	−14/−19		
	17. 08	47/51	−8/−4	42/28	7/−7	/26	
	18. 08	*35/31	0/−4				
8016	9. 15. 08	19/23	−1/3	22/28	−8/−2	22/33	−8/3
	16. 08	23/33	−7/3	28/36	−2/−6	30/33	−5/2
	17. 08	32/36	2/6	30/31	−5/−4	29/18	4/−7
	18. 08	30/18	−5/−17	23/	−2/	18/	3/
8017	9. 28. 08	24/26	−6/−4	27/15	−3/−15		
	29. 08	32/21	2/−9				
8019	10. 10. 08	65/62	5/2	53/57	3/7	34/46	
	11. 08	60/51	10/1	53/44	3/−6	37/36	−3/−4
	12. 08	50/55	0/5	47/33	7/−7	34/	9/
平均绝对值			4.0/6.1		5.9/7.7		6.8/9.3

• 登陆后1—6小时内近台风中心最大风速。斜线之上SJ—81方案预报，之下为关岛JTWC发布的预报。

（下转第19页）

（上接第 7 页）

五、独立样本检验

以 1980 年 7—10 月进入我们预报区域的 11 个台风为独立样本，检验前述各预报方程，并把检验试报的结果与关岛美军 JTWC 发布的同时期的预报对照列于表 5。由表可看出：

1. 试报误差的平均绝对值在拟合误差平均绝对值的范围内，反映出预报方程具有一定的稳定性。

2. 24 小时预报的试报误差平均绝对值与风速实测值的精度（5 米/秒）相当，如果这个结果保持稳定，则此方程具有业务预报能力。

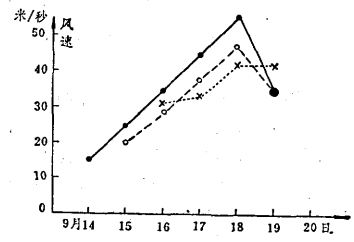
3. 风速变化趋势的试报准确度如表 6。当风速变化＞5 米/秒，即变化趋势显著时，趋势报准的百分比甚好。但当风速变化≤5 米/秒时，特别是风速维持不变时，预报值通常在实测值两侧振动，不能准确反映这种微弱的变化。

表 6　各时段趋势预报准确率

预报时段内风速增量	24小时	48小时	72小时
≤ 5 米/秒	56%	50%	33%
＞ 5 米/秒	91%	100%	100%

4. 在风速迅速增大时，预报误差常为负值；风速迅速减小时，预报误差常为正值。典型实例如附图所示。这一特征反映了回归方程的统计性质，其统计处理的利用，尚待探讨。

5. 试报的相对误差（表略）和绝对误差（见表5）都略优于关岛的预报。



附图　8015号台风的预报　实线：预报值，虚线：24小时预报 点线：48小时预报

六、结束语

综上所述，就统计学的意义上说，本方案能够以80%的保证率，分别以≤5、≤8、≤8 米/秒的误差，做出西太平洋 7—9 月台风近中心最大风速的 24、48、72 小时的定量预报。它可以作为台风强度统计预报系列中的一个子方法，投入业务试验。

本方案在扩大样本、改进因子、非线性处理以及与路径统计预报的结合等方面，尚存在不少可以改善的余地，有待进一步探讨。

参考资料

〔1〕WMO, No.528, Operational technique for forecasting tropical cyclone intensity and movement.

〔2〕Elsberry. R. L., J. Appl. Met., 14, P445—451.

〔3〕陈联寿、丁一汇，西太平洋台风概论，科学出版社，1979年。

〔4〕上海台风协作组，热带气旋强度变化的分析，1974 年台风会议文集，上海人民出版社，1975 年。

〔5〕Miller, B. I., On the maximum intensity of hurricanes, J. Met., Vol. 15, 1958.

〔6〕Brand, S., J. Appl. Met., 12, P94—103.