

# 一个热带气旋的非对称性与 移动的数值模拟

Shigeo Abe

**提要** 通过模式气旋的数值模拟研究了风暴的非对称性结构与移动之间的关系。从总流场中减去对称涡旋得到非对称风场,在低层辐合层,非对称风场中存在两个涡旋。气旋性涡旋在平均风下风方向左侧,反气旋性涡旋在右侧。

在涡旋发展阶段,低层辐合层中,在半径为 1.8 个纬距的内区里,平均风指向涡旋移动方向的左侧,而在半径为 1.8 到 9.5 个纬距的外区,其平均风指向涡旋移动方向的右侧;在涡旋的衰减阶段,这两个区域内的平均风与涡旋移动方向近于一致。

## 1. 引言

关于热带风暴的移动已有过很多研究。例如,George 和 Gray (1976) 利用大量的热带探空资料研究了各层平均风与气旋移动的关系。根据他们的结果,气旋向下风方向移动,且偏于 500 百帕上半径为 1—7 个纬距的范围内平均环境风的左侧。Abe 和 Nakazawa (1982) 分析逐张天气图发现,发展中风暴偏向基本气流的左侧移动,而衰减的风暴则偏向右侧。

Holland (1983) 在假定气旋向涡度变化最大的区域移动的前提下,讨论了气旋的移动。得出的结论是在均匀环境气流中的对称涡旋,由于北半球  $\beta$ -效应的作用而向西偏。在此之前,Kuo (1969) 已经发现,气旋性涡旋,由于马格纳斯效应 (Magnus effect) 偏向基本气流的右侧。

如 Anthes (1972) 和 Jones (1977 b) 已经指出的,热带气旋的非对称性会影响它们的移动。Abe (1987) 通过研究无基本气流情况下气旋的非对称流场,讨论了打转运动 (looping motion) 现象。本文通过数值模拟研究了模式气旋的非对称风场结构以及与模式气旋移动的关系。

## 2. 模式

本研究中所用的数值模式是由 Kitade (1980) 所设计的。该模式为  $\beta$  平面上的移动性细网格模式,其分辨率从 0.5 到 1.5 个纬距,垂直方向分为 1000、900、650、400 和 150 百帕五层,采用了由 Ooyama (1971) 及 Arakawa 和 Schubert (1974) 所提出的积云对流参数化方案。为了避免初始时刻运动方程中各项之间不真实的不平衡性,对初始涡旋进行了平衡处理。在无基本气流的  $\beta$  平面上  $30^{\circ}\text{N}$  处,放置一个平衡涡旋进行数值计算。模式积分 66 小时。

## 3. 非对称场的结构

图 1 给出了  $\beta$  平面上模式气旋的路径,由于地面中心气压在 42 小时达到最低值,然后再逐渐上升,因此,将 42 小时以前和 42 小时之后分别定义为发展阶段和衰减阶段。本文研究了气旋的非对称结构与移动之间的关系。非对称场是由总物理量场减去沿各个半径的平均场来确定的。

### a) 非对称风场

图 2 给出了 24 小时 900 百帕和 150 百帕非对称风场的水平分布示例,此时气旋正在向西移动 (图 1)。

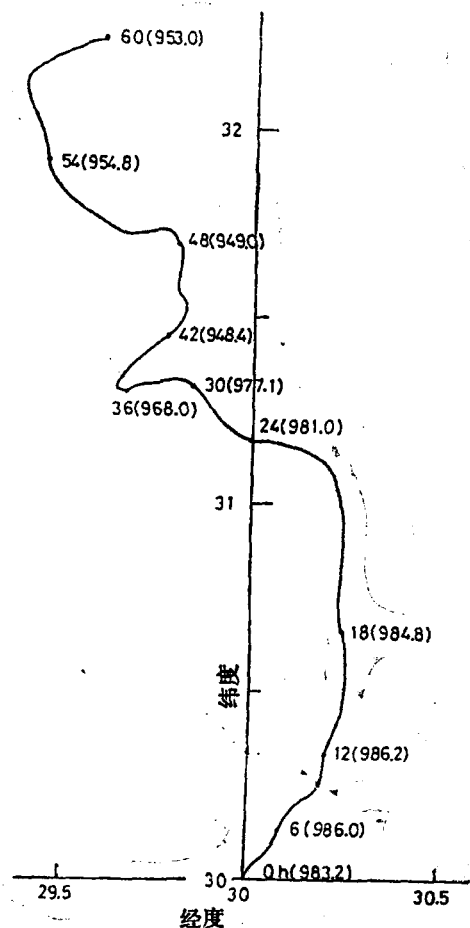


图 1  $\beta$  平面上模式气旋的路径。括号内的数值是气旋中心的地面气压\*

在低层，非对称风场表明，朝涡旋移动方向看（向西），气旋性涡动在涡旋的左侧，而反气旋性涡动在其右侧。正如下一节（图 4）所指出的，在发展阶段，非对称风场产生反时针方向旋转的涡动。在高层，非对称风场流入和流出中心的方向与气旋移动的方向相反，似乎在避开涡旋。与低层相比还可以清楚地看出，外区这些涡动具有与低层相反的环流。

除了量不同外，图 2 的结果与 Black 和 Authes(1971)所分析的高层非对称外流十分相似。另外，尽管模式中无基本气流，但其结果与 Jordan(1952)所给出的高层相对流场也十分相似。

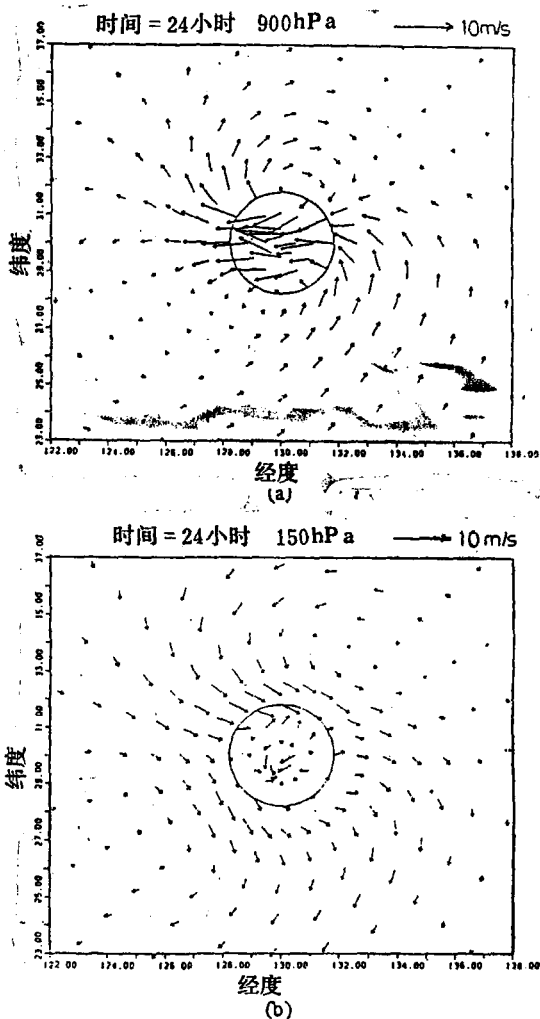


图 2 发展阶段（24 小时）900 百帕(a)和 150 百帕(b)上非对称风场的水平分布。细实线表示半径为 1.8 个纬距的圆

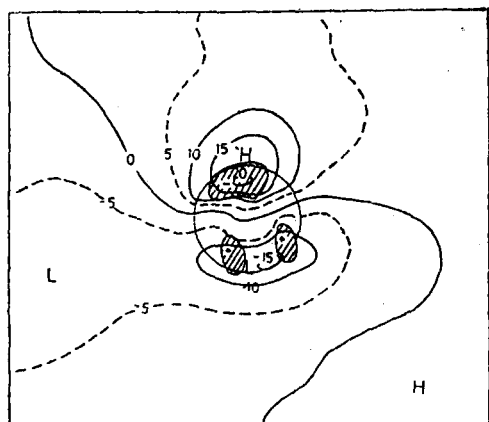
与发展阶段相比，衰减阶段的低层风场更不对称，而在高层，除了量不同外与发展阶段的流场相似。

#### b) 非对称的位势场和涡度场

图 3 给出的是与图 2 相同层次及相同时间的  $\Phi$  水平分布。其中非对称的高、低位势区域分别与图 2 中的反气旋性和气旋性气流相一致。在高层，气旋似乎有点向高非对称位势区域移动。

比较图 2 和图 3 可以看出，非对称涡度

\* 原文图 1 的横坐标的经度值为 29.5、30、30.5 有误，应为 129.5、130、130.5——译者注



(a)



(b)

图 3 非对称的位势场和涡度场，其它同图 2。阴影区表示其量值大于  $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  的涡度区

场与涡动也是一致的。在衰减阶段，中心区域的非对称风场发生畸变，气旋的移动也不规则变化。

#### 4. 非对称场与移动的关系

正如图 2 中所看到的，中心区域的非对称流场不同于外区。下面将研究区域平均风场与气旋移动之间的关系。由于沿半径平均的最大风大约在半径为 1.8 个纬距处，因此，分别对在半径为 1.8 个纬距（内区）以及半径从 1.8 个纬距到 9.5 个纬距（外区）这两个区域进行平均计算。

##### a) 平均风

图 4 和图 5 分别给出了内、外两区的低

层（从 1000 到 400 百帕）和高层（150 百帕）的平均风场。在高空辐散层，这两个区域的平均风方向没有大的差别（图 5）；在低空辐合层（图 4），内区的平均风，尤其在发展阶段，偏向气旋移动矢量的左侧，而外区的平均风偏向右侧。气旋向这两个平均风的平均方向移动。气旋的移动方向随着平均非对称风的旋转呈反时针方向旋转，这表明气旋的移动受内区和外区的气流所控制。

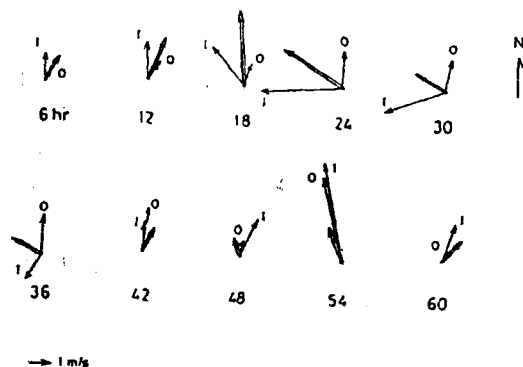


图 4 低层辐合层内每 6 小时平均的内区和外区的平均风矢与气旋移动方向（双矢）

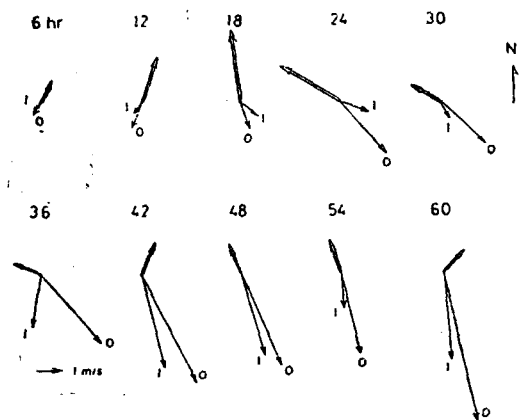


图 5 高层辐散层（150 百帕）内区和外区的平均风矢与气旋移动方向（双矢）

##### b) 最大位势高度

根据 Simpson (1947) 的分析，热带气旋沿气旋上空高层位势高度极大值的轴线移动。正如图 3 (b) 所示，被模拟的气旋似乎移向高层的最大位势高度区。

表 1 给出了对半径为 1.8 个纬距的圆周

表 1 150百帕,对半径为 $1.8^\circ$ 纬距圆周上  
最大位势高度( $\Phi'_M$ )指向与气旋移动方向  
的平均偏差,负值表示气旋偏向最大 $\Phi'$   
指向的左侧

|                         | 6~36<br>小时  | 42~66<br>小时 | 平均          |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 移动方向(平均)                | $346^\circ$ | $357^\circ$ | $350^\circ$ |
| 移向与对 $\Phi'_M$ 的指向之间的偏差 | $-9^\circ$  | $17^\circ$  | $-5^\circ$  |

上最大位势高度  $\Phi_M$  的指向与气旋移动方向之间的平均偏差。在发展阶段,涡旋移向气旋移动方向的前面的  $\Phi_M$  左侧,正如图 3(b) 中所示,在衰减阶段,涡旋向  $\Phi_M$  的右侧移动。它们的标准偏差大致分别为 34 度和 20 度。

## 6. 总结

利用 Kitade 的模式,研究了无基本气流情况下热带气旋的非对称性与移动之间的关系。非对称流场定义为总流场与沿各个半径平均值之偏差。结果发现,非对称流场在强对流区附近表现为两个涡动。反气旋性涡

动在内区平均风矢下风方向的右侧,气旋性涡动在左侧。

在发展阶段,低层辐合层内半径为 1.8 个纬距的内区的平均风指向气旋移动矢量的左侧;而半径为 1.8 到 9.5 个纬距的外区的平均风指向其右侧。气旋沿这些平均风的平均方向移动。这表明气旋的移动受低层辐合层中内区和外区的气流所控制。在高层,非对称风与气旋移动的方向相反,仿佛涡旋是一个障碍物。并且,在高层半径为 1.8 个纬距处的最大非对称位势高度在气旋移动的方向上。

尽管气旋的非对称性与气旋移动之间关系的这些结果是在无基本气流的前提下得出的,但是,对于详细分析和理解有基本气流条件下气旋的非对称结构与气旋的移动关系也是必要的。

王玉清译自«Journal of the Meteorological Society of Japan»,  
Vol.66, No.5, 791—795, 1988

费亮校