

一个诊断厄尔尼诺的三组判别模型

施 能

(南京气象学院, 210044)

曹鸿兴

(中国气象科学研究院)

提 要

根据 1951—1990 年的北半球五个遥相关型的逐月强度指数以及南方涛动指数, 建立了一个用于厄尔尼诺统计诊断的判别模型。用概率三角形图形象地表示了三组判别效果。根据这个模型预测 1991 年发生了厄尔尼诺事件。

关键词: 厄尔尼诺 判别模型 诊断

引 言

目前普遍认为赤道东太平洋上发生的厄尔尼诺事件对全球大气环流异常有重要的作用。这种事件相隔 3—6 年, 每次持续 1—2 年。是一种非周期变化。对于长期预报来说, 希望能预测厄尔尼诺事件。目前, 尽管已经做到了近实时监测, 但要预报这种事件何时出现, 如何发展? 何时结束? 仍是一种困难的事。其原因在于对厄尔尼诺还没有很好的理论解释。一般说来, 厄尔尼诺发生时, 南方涛动指数(SOI)减弱, 赤道中、西太平洋信风崩溃, 低层 850hPa 东风减弱甚至转为西风, 高层 200hPa 西风减弱或转为东风, 赤道中太平洋强对流, 射出长波辐射为负值, 夏季澳大利亚干旱、印尼干旱等等。但是, 这些征兆并不是每次厄尔尼诺现象都能出现, 它们的强度、位置、传播方向也不完全一致。第二, 上述这些征兆彼此呈现强烈的正相关, 这样, 综合提供的信息仍很有限。第三, 某些前期征兆只有较短的历史资料序列, 因而缺乏定量的判据标准。1982 年是一次强厄尔尼诺事件, 由于赤道海温的增温过程与一般的不相同, 增温先出现于西太平洋、中太平洋, 以后才出现于东太平洋^[1], 导致预测失败^[2]。1991 年 7 月 29 日, 国家气象中心气候应用室气候监测组召集的厄尔尼诺诊断会商会上, 虽然多数专家认为 1991 年已发生了厄尔尼诺, 但个别专家认为 1990 年就开始了厄尔尼诺, 也有的认为

新的厄尔尼诺尚未开始。我们认为, 有必要继续研究厄尔尼诺发生的前期征兆, 而将其定量化, 模式化。为此, 我们研制了一个用于诊断厄尔尼诺的定量统计模式。这个模式中的因子有较长的观测序列, 又便于实时补充计算。由于使用了逐步多组判别方法, 明显正相关的因子不可能进入模式, 使因子之间有较好的互补性。经使用, 对历史个例效果良好, 有较好的参考价值。据此模型预测 1991 年发生了厄尔尼诺现象。

1 资料与方法

1.1 资料

资料年代取 1951—1990 年, 40 年。这时段公认的厄尔尼诺年有 10 年, 发生当年是 1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、1976、1982、1986 年。反厄尔尼诺年有 7 年, 发生当年是 1954、1955、1964、1967、1970、1973、1975 年。

月南方涛动指数作为待选因子, 用的是美国 CAC 的资料。近期的 SOI 资料取自国家气象中心气候资料室编制的《气候监测公报》。

天气变化最终的直接原因是大气环流异常。为此, 将逐月的遥相关型强度指数也作为前期待选因子。遥相关型的逐月强度指数我们是根据 Wallace 和 Gutzler 的定义^[3], 在 M-360R 大型机上计算的。计算了 5 个遥相

关型[太平洋北美型(PNA),西大西洋型(WA),东大西洋型(EA),西太平洋型(WP),欧亚型(EU)]。1951—1990年逐月强度指数,可靠程度见文献[4]。因篇幅有限,遥相关型资料不能一一列出。

1.2 方法

用逐步三组判别^[5-7],三组即厄尔尼诺(1),正常(2),反厄尔尼诺(3)。建模时先对因子进行初选。遥相关型强度指数还计算了累计距平值以及季距平值。将符合0.10信度标准的因子,与月南方涛动指数一起进行逐步多组判别建模。时间限于8月份以前,以期达到一定的预报时效。引入和剔除的F临界值标准改动几次,选出一个合适的判别函数。最后将判别结果形象地表现在概率三角形中。

1.3 三组判别的概率三角形表示方法

判别函数 U_g 为

$$U_g(X) = \ln(P_g f_g(X)) \quad g=1,2,3 \quad (1)$$

其中 P_g 为第 g 组的先验概率, $f_g(X)$ 是第 g 组的概率密度函数。

$$U_h(X) = \max [U_g(X)]$$

$$g=1,2,3 \quad (2)$$

则 X 判为第 h 组。

所谓预报方法就是将 m 维空间划分为 h 个(这里 $h=3$)互不相交的子空间 $R(h)$,子空间 $R(h)$ 的确定方法是

$$R(h): U_{hj}(X) > 0$$

$$h, j=1,2,3, h \neq j \quad (3)$$

$$U_{ij}(X) = U_i(X) - U_j(X)$$

$$i, j=1,2,3 \quad (4)$$

符号(概率)

$$P^{(g)} = \frac{\exp(U_{g3}(x))}{\exp(U_{13}(x)) + \exp(U_{23}(x))}$$

$$g=1,2,3 \quad (5)$$

则(4),(5)代入(3)得子空间应满足^[6]

$$R(1): P^{(1)} > P^{(2)}; P^{(1)} > P^{(3)}$$

$$R(2): P^{(2)} > P^{(1)}; P^{(2)} > P^{(3)} \quad (6)$$

$$R(3): P^{(3)} > P^{(1)}; P^{(3)} > P^{(2)}$$

根据判别函数值,算出 $P^{(g)}$, $g=1,2,3$ 。就可以在概率三角形内找到一个对应的点。(见图1)。

图1中A,B,C的坐标($P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(3)}$)分别是(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)。从三角形内任何一点平行三角形三条边作直线,线段之和等于1。图中,AFOD区就是R(1)区,BEOD区就是R(2)区,CEOF区就是R(3)区。这些区满足(6)式。

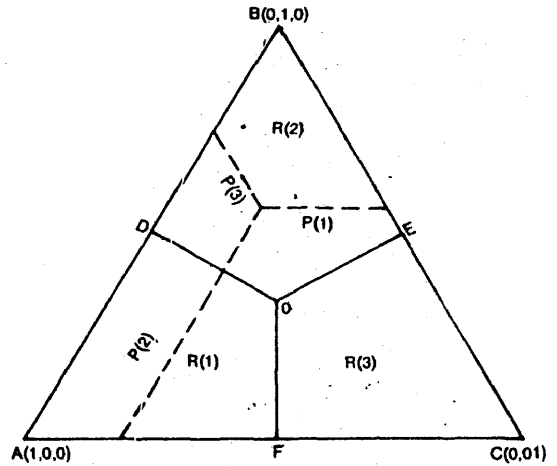


图1 概率三角形示意图

2 计算结果及分析

因为我们在每年夏季前诊断、预测是否发生了厄尔尼诺,所以,前期征兆因子只能用到8月份。

2.1 因子初选结果

对于南方涛动指数,5、6、7、8月的值均满足初选条件,这是预料中的结果。遥相关型强度指数经初选后,如下指标较好:东大西洋型(EA)2—4月的累积强度指数的平均值,欧亚型(EU)夏季强度指数,西太平洋型(WP)5—7月的累积指数的平均值,西大西洋型(WA)春季强度指数。将这4个因子与月SOI值一起再进行逐步多组判别,得到判别函数。

2.2 判别函数

在引入标准 $F=2.3$ 时,依次引入8月份SOI(x_1),5月份SOI(x_3),夏季EU型强度指数(x_2),5—7月WP型强度指数的平均值(x_4),结果为:

$$U_1 = -0.4914 - 1.3441x_1 - 0.8533x_2$$

$$- 0.4582x_3 - 2.3714x_4$$

$$U_2 = -1.850 - 0.0176x_1 + 0.6602x_2$$

$$+ 0.5114x_3 - 0.1018x_4 \quad (7)$$

$$U_3 = -2.942 + 1.6468x_1 - 1.7653x_2$$

$$- 0.2583x_3 + 2.1353x_4$$

表 1

实况	预 报			合计
	厄尔尼诺	正常	反厄尔尼诺	
厄尔尼诺	9	1	0	10
正常	2	20	1	23
反厄尔尼诺	0	2	5	7
合计	11	23	6	40

拟合情况列于表 1。由表 1 可见,拟合准确率为 34/40。仅 6 次错判 1 个等级。判别函数的威尔克斯统计量为 0.3211, χ^2 统计量为 40.3233, 组间的 F 统计量分别是 $F_{12} = 7.047$, $F_{13} = 11.660$, $F_{23} = 4.962$, 信度达到 0.01、0.001 以上。

1991 年, $x_1 = 0.08$, $x_2 = 0.06$, $x_3 = -1.7$, $x_4 = -1.1$ 。代入式(7), 得

$$U_1 = 2.737, U_2 = 0.9264, U_3 = -2.335$$

属于厄尔尼诺年。如将判别函数值代入式(4), 得 U_{ij} , 再利用式(5), 则算得 $P^{(1)} = 0.85$, $P^{(2)} = 0.14$, $P^{(3)} = 0.01$, 在概率三角形中落入 R(1) 区, 见图 2。可以看出, 判别效果是比较理想的, 是一个有参考价值的预报工具。实际上, 由图 2 看出, 判错的 1957、1954、1955 年处在分界线附近, 而判错的 1971 年虽然不是反厄尔尼诺却是一个强涛动年, 判错的 1977 年虽不是厄尔尼诺年却是一个弱涛动年。

需要指出, 当只考虑南方涛动指数 x_3 、 x_4 时, 判别函数的准确率是不够高的, 仅 29/40。增加 x_2 后, 准确率达 32/40, 再增加 x_1 , 组成方程(7)时, 准确率达 34/40。事实上, x_3, x_4 表示的是南半球大气环流的遥相关, 而 x_1, x_2 反映的是北半球大气环流的遥相关, 它们都是对赤道东太平洋升温的遥响应。逐步判别挑选了这几个变量起到了预测信息

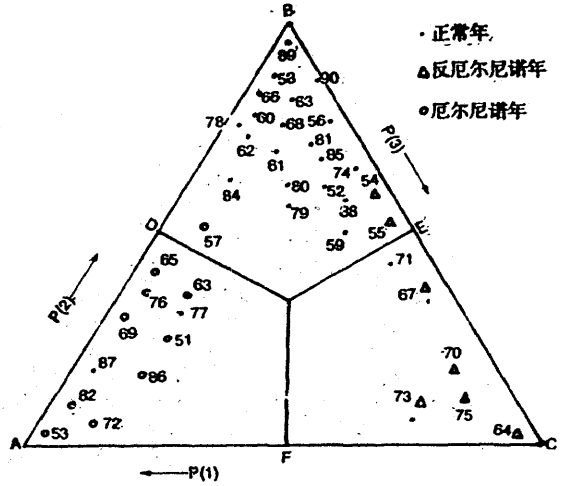


图 2 预测厄尔尼诺、反厄尔尼诺的概率三角形图 (1951—1990)

互补的作用。这些因子都有较好的物理意义。

3 小结

现在我们来回顾一下本文所建的预测模型中因子的天气意义, 作为本文的小结。表 2 是判别函数中 4 个变量在厄尔尼诺、反厄尔尼诺年的取值。表中的 $|t|$ 是差异显著性检验的统计量 t 。

根据 Wallace 定义^[3], WP, EU 的计算的公式为

$$WP = \frac{1}{2} [Z^*(60^\circ N, 155^\circ E) - Z^*(30^\circ N, 155^\circ E)]$$

$$EU = -\frac{1}{4} Z^*(55^\circ N, 20^\circ E) + \frac{1}{2} Z^*(55^\circ N, 75^\circ E) - \frac{1}{4} Z^*(40^\circ N, 145^\circ E)$$

式中 Z^* 是标准化的 500hPa 格点高度。结合表 2 看出:

3.1 5—7 月西太平洋型(WP)强度指数偏低, 是厄尔尼诺发生的一个特征。也就是说, 低纬度副热带高压偏强, 而中高纬度, 阿留申地区高度低, 阿留申低压加深。所以通常在厄尔尼诺盛期(冬季)非常明显的特征(WP 型弱), 实际上在厄尔尼诺初期已有反映了。

表2 5-7月WP型,夏季EU型强度指数,5月、8月SOI值

年型	年份	WP型	EU型	SOI	
		5-7月	夏季	5月	8月
厄尔尼诺	1951	-0.05	0.08	-1.2	-0.80
	1953	0.63	0.15	-2.5	-1.90
	1957	0.84	0.23	-1.1	-1.10
	1963	-1.01	-0.31	0.0	-0.40
	1965	-0.49	0.40	0.0	-1.30
	1969	-0.73	-0.08	-0.8	-0.60
	1972	-0.31	-0.73	-2.2	-1.10
	1976	-0.39	0.26	0.6	-1.50
	1982	-0.24	0.43	-0.6	-2.70
	1986	-0.17	-0.33	-0.6	-0.90
	平均	-0.192	0.011	-0.84	-1.23
反厄尔尼诺	1954	0.35	0.11	0.1	0.90
	1955	-0.86	-0.33	0.8	1.40
	1964	0.43	-0.33	-0.2	1.40
	1967	1.05	-0.03	-0.4	0.40
	1970	0.34	-0.78	0.10	0.30
	1973	0.56	-0.39	0.30	1.20
	1975	0.02	-0.48	0.50	2.00
	平均	0.27	-0.3186	0.17	1.086
	t	1.635	1.96	2.589	7.269

3.2 夏季欧亚型(EU)指数偏强也是厄尔尼诺发生的一个特征。这时欧亚槽位于30°E,稍偏于正常位置的西面。西伯利亚反气旋比正常强,中国,日本大部分地区气温为负距平。

3.3 5月、8月南方涛动指数偏低预示厄尔尼诺发生。表2结果表明,SOI为负值几乎可以认为是厄尔尼诺发生的一个必要条件。反之,SOI为正值是反厄尔尼诺现象的必要条件。

3.4 厄尔尼诺是发生在赤道东太平洋的海温异常增温现象。本文通过厄尔尼诺发生初期大气环流的异常特征建立的统计诊断模型表明,大气对海洋增温的响应是非常快的。

参考文献

- 1 王绍武. 1982-1983年的厄尔尼诺和南方涛动(ENSO). 气象科技, 1984年3期: 1-7.
- 2 王绍武. 美国第七届气候诊断年会. 气象科技, 1984, 4期: 54-61.
- 3 Wallace, J. M., D. S. Gutzler. Teleconnections in the Geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter. Mon. Wea. Rev., Vol. 109, 784-812.
- 4 朱乾根, 施能. 北半球遥相关型强度指数的时空变化特征和统计分析(待发表).
- 5 朱盛明. 数值预报产品统计解释技术的进展. 北京: 气象出版社, 1984.
- 6 施能. 气象统计预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 1992年.
- 7 黄嘉佑. 气象统计分析和预报方法. 北京: 气象出版社, 1990年.

A Three-Group Discriminant Model for Diagnosing El-Nino Event

Shi Neng

Cao Hongxing

(Nanjing Meteorological Institute) (Chinese Academy of Meteorological Science)

Abstract

Based on the monthly data of five teleconnection pattern indices in Northern Hemisphere and SOI during the years of 1951-1990, the discriminant model for diagnosing El Nino event is presented. The results of the discriminant model are figuratively indicated with a probability trigonometry. By means of the model a new El Nino event has been predicted for 1991.

Key words: El Nino discriminant model diagnosis