

The Decadal Shift between October to December Typhoon Activity over the Western North Pacific

Chen Yu

College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong
Email: yuchen200905@126.com

Received: Apr. 2nd, 2016; accepted: Apr. 18th, 2016; published: Apr. 21st, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the data sets of Regional Specialized Meteorological Center-Tokyo Typhoon Center, Japan Meteorological Agency and the reanalysis data of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, this paper demonstrated the decadal shift between October to December (OND) typhoon activity over the Western North Pacific (WNP) during 1980 to 2013, and discussed the response of the OND typhoon activity to decadal shift of the large-scale circulation. Meanwhile, by means of the analysis of typhoon activity and its relative large-scale environmental factors, it brought a detail exposition of its impact mechanisms. We analyzed that the WNP typhoon activity during October to December from 1980 to 2013, compared with that from 1980 to 1994, the typhoon activity during October to December among 1995 to 2013 decreased significantly. We discovered the main factor that led to the decrease of Tropical Cyclone Genesis Potential Index was the decadal shift of The Maximum Tropical Cyclone Potential Intensity. The anomalous SST patterns appear to be a La Niña pattern, leading to the increasing of MPI. However, it early affected by the western boundary during tropical cyclones development process so that fewer tropical cyclones enhanced to be typhoon. After 1995, the vertical wind shear and subtropical high to be strengthener, resulting in the southeastern Pacific Northwest dynamic conditions are not conducive to typhoon genesis; all these are the reasons for the decadal shift of typhoon activity. We also found the vertical wind shear mainly affects the eastern part of the Northwest Pacific typhoon activity.

Keywords

Western North Pacific, Typhoon, Decadal Shift

西北太平洋10~12月台风活动的年代际突变

余 晨

中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛

Email: yuchen200905@126.com

收稿日期: 2016年4月2日; 录用日期: 2016年4月18日; 发布日期: 2016年4月21日

摘 要

本文基于日本气象厅区域专业气象中心-东京台风中心(Regional Specialized Meteorological Center-Tokyo Typhoon Center, Japan Meteorological Agency)的热带气旋资料和欧洲中尺度天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)的再分析资料, 在前人的研究基础上, 对西北太平洋10~12月期间台风活动对大尺度环境因子年代际突变的响应进行了讨论, 并且通过台风数量和相关大尺度环境因素的分析, 对其影响机制进行了比较详细的阐述。分析西北太平洋1980~2013年10~12月生成的台风, 与1980~1994年相比, 10~12月的台风数量在1995~2013年期间显著减少。分析发现热带气旋最大潜在强度的年代际变化是导致1995~2013年西北太平洋热带气旋潜在生成指数(Genesis Potential Index, GPI)减少的最主要因素, 1995年后西北太平洋SST异常场呈La Niña形态, 导致热带气旋最大潜在强度(The Maximum Tropical Cyclone Potential Intensity, MPI)增大, 但在热带气旋的发展过程中过早受到西边界的影响使得增强为台风的热带气旋减少。突变后垂直风切变增强造成西北太平洋东南部的动力条件不利于台风生成, 这都是造成台风突变减少的原因。分析还发现垂直风切变主要对西北太平洋东南部的台风活动造成影响。

关键词

西北太平洋, 台风, 年代际突变

1. 引言

台风是生成在热带和副热带海洋上的一种剧烈的天气过程, 是破坏性最强的自然灾害之一。由于台风破坏性强, 给受影响地区的生命和财产安全带来严重的威胁[1], 因此对台风的研究和预测工作一直受到气象学者的重视。早期主要研究台风的生成、发展和移动规律, 以及台风个例的路径、强度和结构变化。近几十年以来, 气象学者注意到台风活动的年际、年代际变化都存在明显的规律, 所以台风在不同大尺度环境下的活动规律、对大尺度环境因素的响应以及响应机制成为台风主要的研究方向。这些研究可以加深对台风活动以及相关影响机制的认识, 从而一定程度上提高预报的准确性, 降低台风天气带来的损失。

近年来, 很多破坏性极强的台风在10~12月期间生成。五级超强台风宝霞(Bopha), 生成于2012年11月末, 造成了菲律宾超过1000人死亡, 经济损失10.4亿美元, 是造成菲律宾损失最严重的台风。2010年10月中旬生成的超强台风鲶鱼(Megi), 也对菲律宾和中国造成巨大的损失(7.359亿美元)。2013年11月, 台风海燕几乎摧毁了菲律宾中部。海燕是菲律宾台风史上最大的台风, 造成菲律宾至少5000人死亡。超强台风泰培(Tip)于1979年10月在西北太平洋生成, 是有确切纪录以来强度最强、中心气压最低的台风。

很多研究表明西北太平洋台风的活动有年代际的变化规律[2]-[6]。大尺度大气和海洋环境的变化是造成台风年代际变化的主要原因。研究表明热带东太平洋和印度洋海表温度的变化对西北太平洋台风的年代际变化起主要作用[7]-[9]。Jin *et al.* [10]指出, 在中太平洋 El Niño 期间, 中太平洋 SST 的升高对气旋向东亚运动提供了有利的条件。因此, 中太平洋 SST 的变化会对大尺度环流和西北太平洋台风的活动造成影响。Xie *et al.* [11]指出, 热带印度洋 SST 升高, 深对流中的湿绝热变化使得对流层温度升高, 所激发的斜压 Kelvin 波传播到太平洋, 导致夏季热带西北太平洋上空对流层下层出现反气旋式环流; Du and Xie [7]的研究进一步表明该反气旋环流会抑制西北太平洋热带气旋的生成。从 20 世纪 70 年代中后期起, 由于热带印度洋持续增温, 使得西北太平洋上热带气旋生成频次减少[12]。Hsu *et al.* [13]分析西北太平洋 1979~2011 年 10~12 月的台风, 发现 1995 年发生了一次突变, 并且发现低层相对涡度的年代际变化是导致西北太平洋热带气旋潜在生成指数减少的主要原因。

尽管 10~12 月生成的台风给人们的生活带来严重的影响, 它的年代际变化规律和影响机制还没有得到充分的研究。前人的研究主要致力于每年生成台风数的变化和 7~9 月的台风活动, 对 10~12 月台风活动的研究则比较少。本文主要对 1980~2013 年 10~12 月西北太平洋的台风活动造成突变的机制进行比较详细的阐述。

2. 数据和方法

热带气旋的数据来源于日本气象厅区域专业气象中心-东京台风中心。包括(0°~60°N, 100°E~180°)。该数据集记录了西北太平洋从 1951 年至今热带气旋每 6 小时一次的位置、强度、最小中心气压。本文选取强度达到台风的热带气旋, 即 10 分钟持续风速达到 64 节以上的热带气旋。气象环境场的数据来自欧洲中尺度天气预报中心, 分辨率为 1° × 1°, 垂直 17 层。

逆跳马尔科夫蒙特卡罗贝叶斯突变检测:

Chu and Zhao [14]建立了一个突变假设条件下的贝叶斯突变点检测法, 其主要特征是: 1) 把台风的频数时间序列用参数服从伽玛分布的泊松过程模式化。2) 制定一个分层的方法来确定突变的后验概率, 其中分为数据、参数、假设 3 层。贝叶斯分析不仅能计算出突变点的数量、发生突变的时间, 还能定量的给出每个突变点的概率信息。

Mann-Kendall 检验:

本文用 MK 检验来检验 10~12 月西北太平洋 SST 时间序列的突变、西风环流指数的突变以及时间序列趋势的显著性。MK 是一种非参数统计检验方法, 其优点在于样本不需要服从一定的分布, 也不受少数异常值的影响[15]-[17]。

曼惠特尼检验:

曼惠特尼检验由 Mann 和 Whitney [18]于 1947 年建立。其目的是检测两个总体的均值是否存在明显的区别。

本文中 E1、E2 分别指 1980 年~1994 年(opoch1 或 E1)、1995 年~2013 年(opoch2 或 E2)。

3. 台风的突变

统计 1980~2013 年生成于西北太平洋的台风, 正如图 1 所示, 1980~1994 年期间 10~12 月月平均生成的台风为 5.27 个, 但 1995~2013 年期间明显下降到 3.21 个, 下降量超过 64%。其线性趋势在 MK 检验中超过 0.05 的显著性水平。对其做逆跳马尔科夫蒙特卡罗贝叶斯突变检验, 分析结果显示有一个突变点(图 2), 且该点在 1995 年的后验概率最为显著(图 3)。1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.05 的显著性水平。下文将对造成台风活动突变的机制做详细分析。

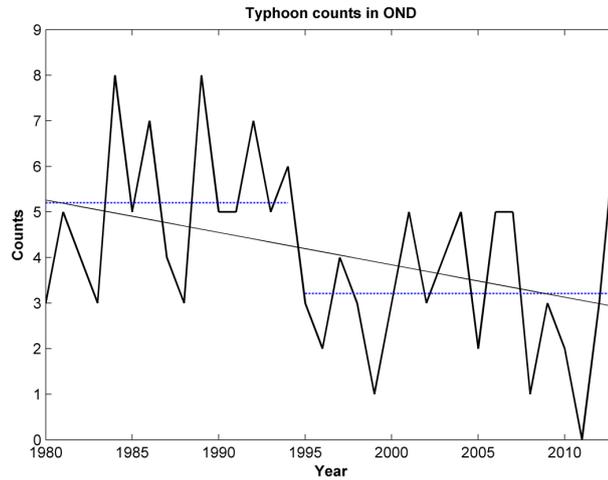


Figure 1. Time series of during October to December typhoon counts in the WNP from 1980 to 2013. Dashed blue lines denote the means for the before and after of the decadal shift, the thin black line denote the linear trend of the 34 years. The linear trend is statistically significant at the 5% level by the MK test; the change around 1995 is statistically significant at the 5% level by the Mann-Whitney test

图 1. 1980~2013 年西北太平洋 10~12 月生成台风的时间序列。蓝色虚线分别为突变前后台风的平均值，黑色细线为 34 年内的趋势线。线性趋势在 MK 检验中超过 0.05 的显著性水平；1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.05 的显著性水平

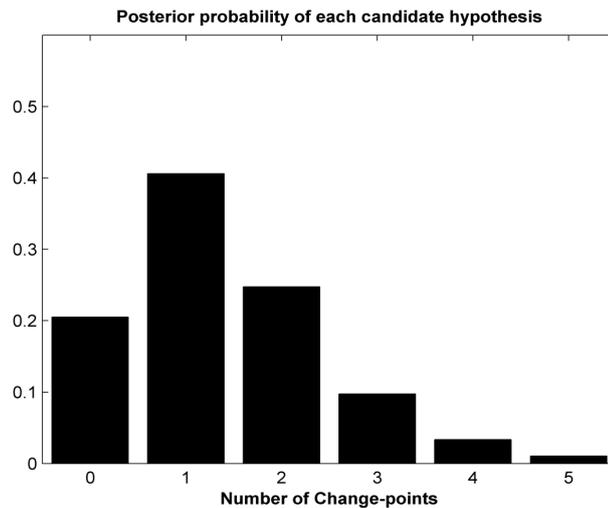


Figure 2. Posterior probability for all the change point of OND typhoon during October to December of 1980 to 2013

图 2. 1980~2013 年 10~12 月台风突变点数的后验概率

4. 响台风生成的物理机制

4.1. 大尺度环境因素的变化

4.1.1 GPI 的变化

为了分析热带气旋生成可能性的大小，引入热带气旋潜在生成指数(GPI)，该指数由 Emanuel 和 Nolan [19]

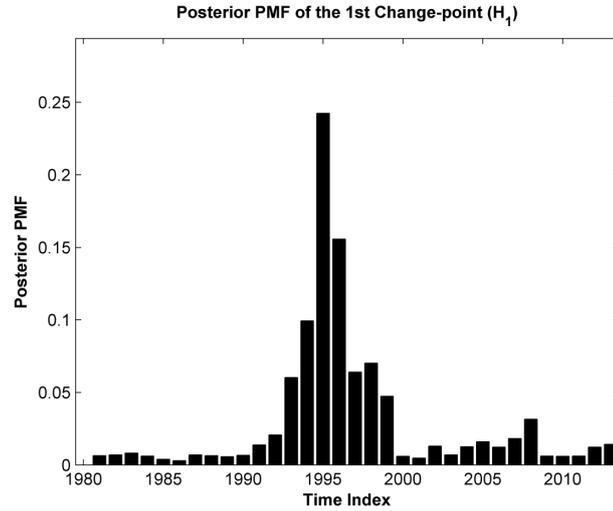


Figure 3. Posterior probability mass function for all change point of typhoons during 1980-2013
图 3. 1980 年~2013 年台风突变点后验概率密度函数

于 2004 年提出, 由热带气旋生成和发展所必须的五项大尺度环境因素计算而得。GPI 能够对热带气旋的生成概率进行计算, 其值越大, 即表示有可能生成更多的热带气旋[18]。其表达式为:

$$GPI = |10^5 \eta|^{3/2} \left(\frac{RH}{50} \right)^3 \left(\frac{V_{pot}}{70} \right)^3 (1 + 0.1V_s)^{-2} \left(\frac{-\omega + 0.1}{0.1} \right)$$

式中 η 为 850 hPa 的绝对涡度(s^{-1}), RH 为 700 hPa 的相对湿度(%), V_{pot} 为热带气旋最大潜在强度($m s^{-1}$), V_s 为 850 hPa 与 200 hPa 间的垂直风切变。 ω 为 500 hPa 的垂直速度($Pa s^{-1}$)。

$$V_{pot}^2 = \frac{C_k T_s}{C_D T_o} (CAPE^* - CAPE^b)$$

式中 C_k 为焓交换系数, C_D 为拖曳系数, T_s 为海表面温度, T_o 为系统输出的平均温度。 $CAPE^*$ 是气团脱离饱和海平面后的对流有效位能(Convective Available Potential Energy)的值, $CAPE^b$ 是边界层空气的对流有效位能。

为了分析热带气旋 GPI 在西北太平洋 10~12 月台风的年代际变化, 本文定义了台风主要生成区域(图 4) ($5^{\circ}N \sim 20^{\circ}N$, $130^{\circ}E \sim 180^{\circ}$), 有 95% 以上的台风都在此区域内生成。计算过去 34 年中该区域内区域平均 GPI 时间序列(图 5)。从图中可清楚地看出, GPI 在 1980~1994 年的多年平均值为 5.57, 在 1995~2013 年的多年平均值为 4.71, 减少量达到 15%。34 年间, GPI 的线性下降趋势在 MK 检验中超过 0.1 的显著性水平, 同时其在 1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.1 的显著性水平。这说明 10~12 月期间台风数量的减少是大尺度环境因素变化造成的。

为了更直观地体现热带气旋 GPI 对突变前后台风影响的不同, 计算 GPI 的年代际差异(图 6), 图中填色部分表示突变前后(1995~2013 年减去 1980~1994 年)的差异。GPI 异常场大值区在菲律宾中部东西两侧的海域, 同时, 从图中可看出, 1995 年后, 在 10~12 月台风主要生成区, GPI 和台风的生成数量都出现负异常(图 1、图 6)。

正如上文所述, 西北太平洋海域 GPI 的年代际差异存在明显的下降, 值得注意的是, 与此相反, 南海一带 GPI 有所增大(图 6), 表明南海 10~12 月生成台风的减少并不是由南海、西北太平洋一带大尺度环境条件变化直接导致的。然而, 南海台风生成数量的变化不是本文讨论的重点, 本文只简要的讨论有可

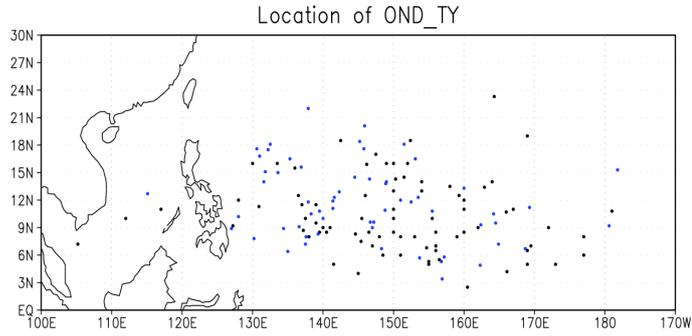


Figure 4. Locations of typhoon during October to December from 1980-2013 1980-1994 (black) and 1995-2013 (blue)
图 4. 1980~2013 年 10~12 月期间台风生成位置。黑色点表示 1980~1994 年生成的台风，蓝色点表示 1995~2013 年生成的台风

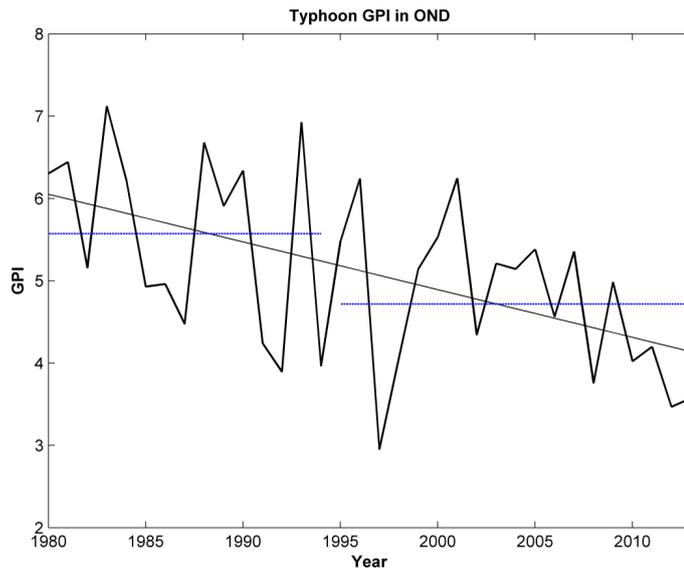


Figure 5. GPI over the WNP typhoon genesis region. Dashed blue lines denote the means for the before and after of the decadal shift, the thin black line denote the linear trend of the 34 years. The linear trend is statistically significant at the 10% level by the MK test; the change around 1995 is statistically significant at the 10% level by the Mann-Whitney test
图 5. 西北太平洋台风主要生成区 GPI 时间序列蓝色虚线分别为突变前后 GPI 的平均值，黑色细线为 34 年内的趋势线。线性趋势在 MK 检验中超过 0.1 的显著性水平；1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.1 的显著性水平

能导致该现象的原因。Wang and Huang [20]的研究表明热带南印度洋(10°S~25°S, 60°E~90°E)的 SST 有很明显的年代际变化，其与南海 5~11 月热带气旋生成频次相关系数达到-0.61，通过 0.01 的显著性检验。南印度洋暖 SST 引起辐合上升，在南海则辐散下沉。除了行星尺度的气候条件，持续的天气尺度扰动也会影响台风的生成、发展[20]，这可能是导致南海一带台风生成变化的一个天气尺度原因。1995 年以来，南海 10~12 月 3~10 天天气尺度的扰动减弱[13]。另一个可能原因是垂直风切变作为对 GPI 贡献第二大的因子，垂直风切变年代际变化的小值中心(图略)，PGI*(VWS)的气候平均值和年代际变化的大值中心都分布在南海-菲律宾群岛附近一带，成西北-东南向分布(图 7(d))。所以尽管西北太平洋海域 GPI 的年代际差

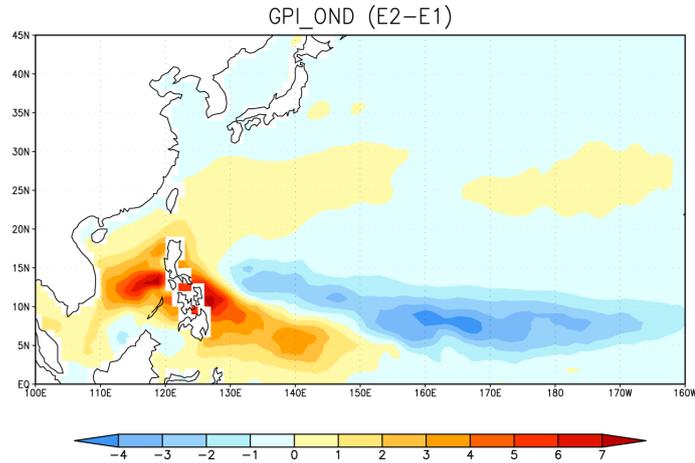


Figure 6. Epoch difference (1995-2013 minus 1980-1994) of GPI during Oct-Dec
图 6. 西北太平洋 10~12 月 GPI 的年代际差异(1995~2013 年减去 1980~1994 年)

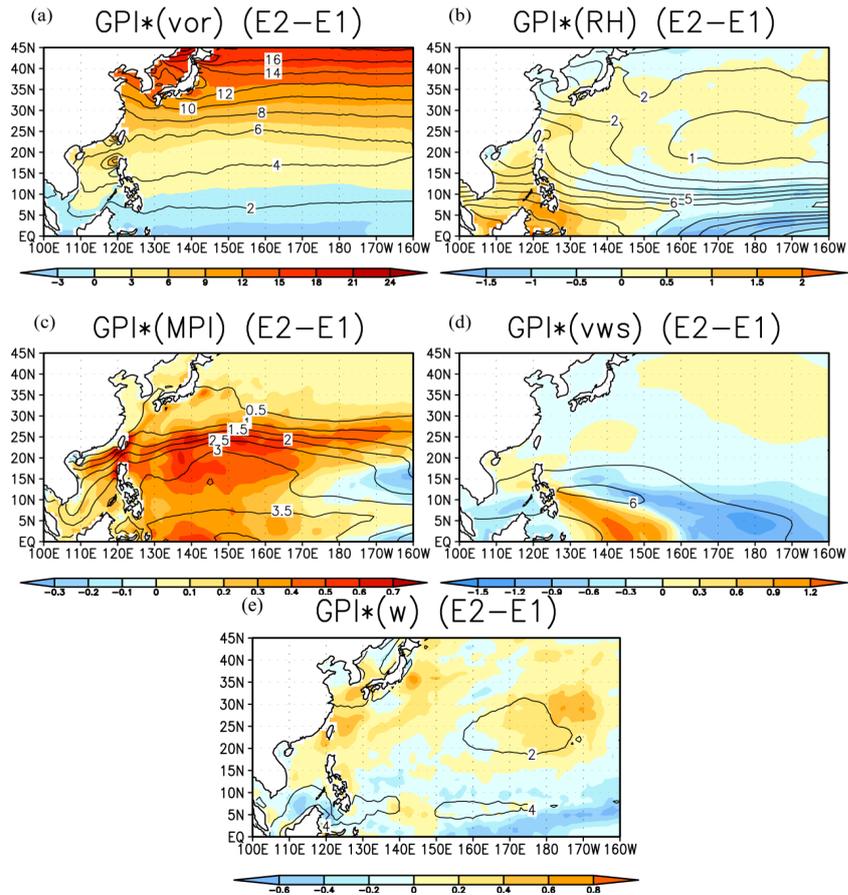


Figure 7. The epochal difference (shaded) (1995-2013 minus 1980-1994) and the mean (1980-2013) of GPI* induced by (a) Low-level Vortices, (b) 700 hPa Relative Humidity, (c)MPI, (d)VWS and (e) Vertical p-velocity
图 7. 西北太平洋低层涡度(a), 700 hPa 相对湿度(b), 最大潜在强度(c), 垂直风切变(d)以及垂直速度对应的 GPI*的气候平均(等值线)和年代际差异(填色)(1995~2013 年减去 1980~1994 年)

异存在明显的下降，但南海 - 菲律宾群岛附近 GPI 有所增大，且大值中心位于该区域。

4.1.2. GPI*的变化

由 GPI 的计算公式可知 GPI 由五个大尺度环境因素：低层大气绝对涡度、中低层大气相对湿度、热带气旋最大潜在强度、垂直风切变以及中层垂直速度决定。但是这五个大尺度环境变量对 GPI 年代际变化的贡献可能不同，为了确定影响台风年代际变化的最关键因子，这五个大尺度环境变量在 GPI 变化中的相对重要性仍需要进一步的分析。因此，本文参照前人的计算方法，引用了一个新的变量[21]：GPI*，计算 GPI*所用的数据和 GPI 的一样，但在计算过程中，固定四个变量为多年气候平均值，第五个变量仍使用 1980~2013 年的时间序列数据，这样得到 GPI*变化，可近似作为第五个变量对 GPI 变化的单独贡献，对 (3) 式中所有变量都进行同样的计算，通过比较 GPI*的变化就可以确定在 GPI 的变化中五个大尺度环境变量作用的相对大小，从而判断影响台风生成最主要因子。计算公式如下：

$$GPI*_{vor} = |10^5 \bar{\eta}|^{3/2} \left(\frac{\overline{RH}}{50} \right)^3 \left(\frac{\overline{V_{pot}}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 \overline{V_s})^{-2} \left(\frac{-\bar{\omega} + 0.1}{0.1} \right)$$

$$GPI*_{RH} = |10^5 \bar{\eta}|^{3/2} \left(\frac{\overline{RH}}{50} \right)^3 \left(\frac{\overline{V_{pot}}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 \overline{V_s})^{-2} \left(\frac{-\bar{\omega} + 0.1}{0.1} \right)$$

$$GPI*_{MPI} = |10^5 \bar{\eta}|^{3/2} \left(\frac{\overline{RH}}{50} \right)^3 \left(\frac{\overline{V_{pot}}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 \overline{V_s})^{-2} \left(\frac{-\bar{\omega} + 0.1}{0.1} \right)$$

$$GPI*_{VWS} = |10^5 \bar{\eta}|^{3/2} \left(\frac{\overline{RH}}{50} \right)^3 \left(\frac{\overline{V_{pot}}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 \overline{V_s})^{-2} \left(\frac{-\bar{\omega} + 0.1}{0.1} \right)$$

$$GPI*_{\omega} = |10^5 \bar{\eta}|^{3/2} \left(\frac{\overline{RH}}{50} \right)^3 \left(\frac{\overline{V_{pot}}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 \overline{V_s})^{-2} \left(\frac{-\bar{\omega} + 0.1}{0.1} \right)$$

从图 7 中可以清楚地看到各个环境变量对应的 GPI*的变化。1995 年后，反气旋性涡度增大(图 7(a))，相对湿度变小(图 7(b))，垂直风切变增大(图 7(d))，下沉运动增强(图 7(d))，这些都不利于西北太平洋台风主要生成区域台风的生成。说明这些动力和热力条件在台风活动的变化中起到很重要的作用，这和 Liu and Chen [22]中得到的结论一致。突变前后，5 个 GPI*中变化最显著的是最大潜在强度对应的 GPI*，其次是垂直风切变，也就是说在 GPI 的年代际变化中，最大潜在强度的贡献最大。

为了能更直观的看出每个因子贡献的大小，计算 10~12 月台风主要生成区 GPI 和 GPI*的变化(表 1)。GPI 的总体变化为-0.8535，从表 1 可清晰的看出每个因子对 GPI 的贡献，可近似认为是每个因子对 GPI 的单独贡献。在所有因素中，MPI 和 VWS 分别作为热力和动力条件，对 GPI 的贡献起到很重要的作用。

4.2. 最大潜在强度与垂直风切变的作用

鉴于上文的分析得出热带气旋最大潜在强度和垂直风切变是西北太平洋 10~12 月 GPI 的年代际变化中贡献最大的两个因子，因此本节将从这两个因子出发解释台风数量和强度的年代际变化。

4.2.1. 热带气旋最大潜在强度的变化

热带气旋最大潜在强度可以表示台风的强度。图 8 为热带气旋最大潜在强度的年代际变化，在整个西北太平洋海域基本为正异常，特别是 20°N~35°N，最大潜在强度在突变后有利于台风的增强发展。对台风主要生成区域的最大潜在强度指数做分析(图 9)，发现热带气旋最大潜在强度在 1995 年有显著的年

Table 1. The epochal difference of GPI* and contributions to GPI induced by each individual factor over the main regions where the typhoon genesis
表 1. 台风主要生成区域内每项因子对 GPI*的影响和对 GPI 的贡献

130°E~180°E, 5°N~20°N	MPI	VWS	VOR	RH	ω
GPI*(x)的变化	0.3089	-0.2923	-0.1828	-0.0662	0.0018
对 GPI 的贡献	-36.19%	34.23%	21.42%	7.76%	-0.21%

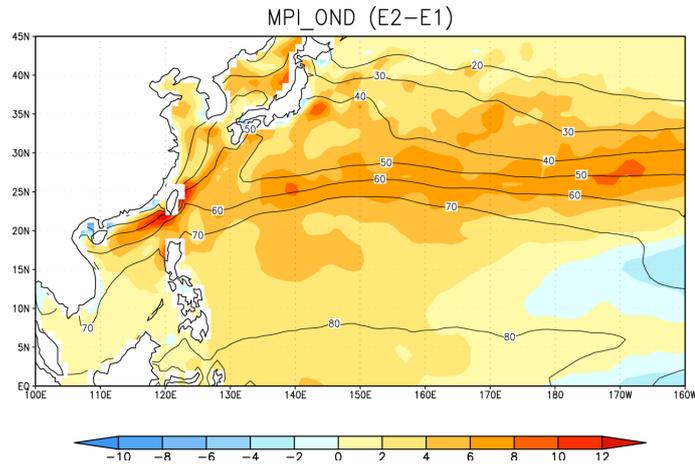


Figure 8. Climatologically monthly mean (contour) and epoch difference (shading) (1995-2013 minus 1980-1994) of MPI during Oct-Dec
图 8. 西北太平洋 10~12 月 MPI 的气候平均(等值线)和年代际差异(填色) (1995~2013 年减去 1980~1994 年)

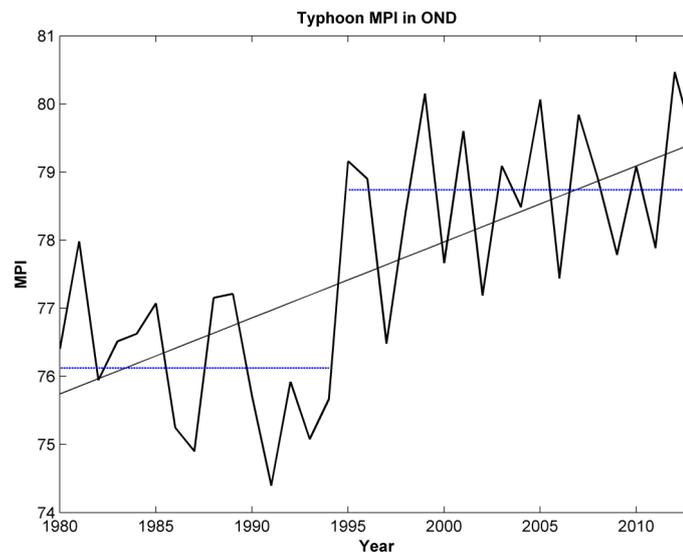


Figure 9. MPI over the WNP typhoon genesis region. Dashed blue lines denote the means for the before and after of the decadal shift, the thin black line denote the linear trend of the 34 years. The linear trend is statistically significant at the 5% level by the MK test; the change around 1995 is statistically significant at the 5% level by the Mann-Whitney test
图 9. 西北太平洋台风主要生成区 MPI 时间序列蓝色虚线分别为突变前后 MPI 的平均值, 黑色细线为 34 年内的趋势线。线性趋势在 MK 检验中超过 0.05 的显著性水平; 1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.05 的显著性水平

代际突变，该突变与台风的年代际突变一致。且其线性上升趋势在 MK 检验中超过 0.05 的显著性水平，1995 年的突变在曼惠特尼检验中通过了 0.05 的显著性水平。

为了更清楚的分析最大潜在强度与台风真实强度的变化，统计了 1980 年至 2013 年 10~12 月西北太平洋共发生热带气旋。结果显示，34 年期间共有 228 个热带气旋生成，其中达到热带风暴等级的有 90 个，占到总数的约 39%；达到一级台风强度的有 50 个，占到总数的约 22.4%；达到二级台风强度的有 41 个，占到总数的约 18%；达到三级台风强度的有 36 个，占到总数的约 15.8%；共有 11 个热带气旋达到超强台风强度(4 级)，占此区域全部热带气旋的比例为 4.8%。共有 139 个热带气旋发展为台风，占 60%。相比之下，在 1995~2013 年西北太平洋 10~12 月份年平均热带气旋个数减少 2.81 个，其中包括 0.74 个热带风暴、1.93 个台风(其中 TY1: 0.95; TY2: 0.35; TY3: 0.49; TY4: 0.14)以及 0.14 个强台风(图 10, 图 11)。就台风平均生命史长度来看，其平均生命史从 1980~1994 年的 11.3 天减少到 1995~2013 年的 10.5 天(图 12)，这表明台风平均持续时间有所减短。值得注意的是，MPI 的值增大，而实际台风的强度减弱。这有可能是 1995 年后，西北太平洋 SST 升高(图 13)，造成 MPI 增大。而 SST 异常场的分布呈 La Niña 形态(图 14)，在 1980~1994 年期间，台风生成位置的平均经度为 150.4°E，在 1995~2013 年间，台风生成位置的平均经度为 148.5°E，表明在 1995~2013 年间，台风生成的平均位置发生了明显的向西偏移，生成位置西移导致台风在发展过程中过早受到西边边界的影响，导致发展为台风的热带气旋偏少，其强度也偏弱。

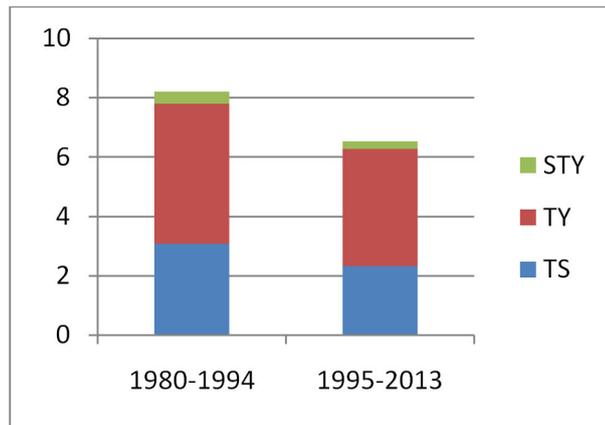


Figure 10. Averaged of OND in each year TC numbers before and after shift
图 10. 突变前后每年 10~12 月热带气旋的平均生成数

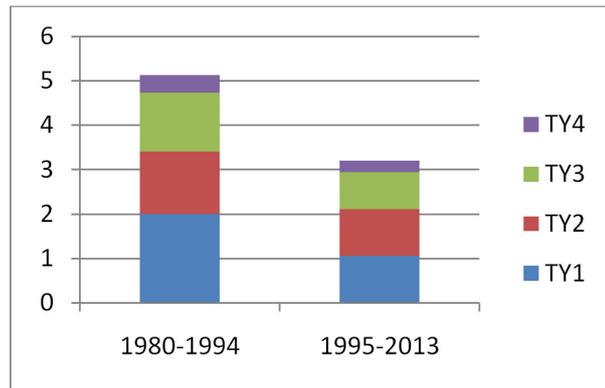


Figure 11. Averaged of OND in each year TY numbers before and after shift
图 11. 突变前后每年 10~12 月各级台风的平均生成数

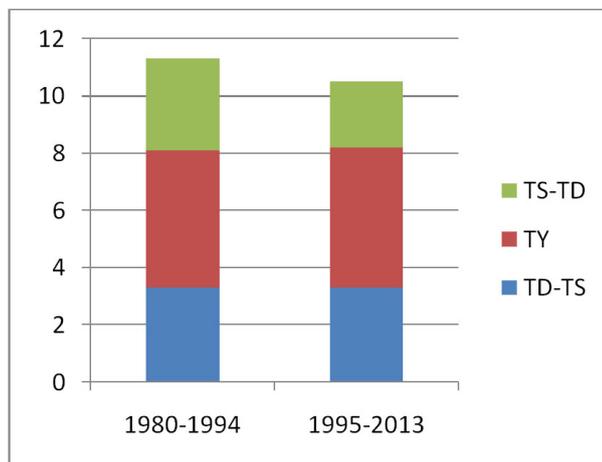


Figure 12. Averaged of OND TY lifespan before and after shift
图 12. 突变前后 10~12 月台风的平均生命史长

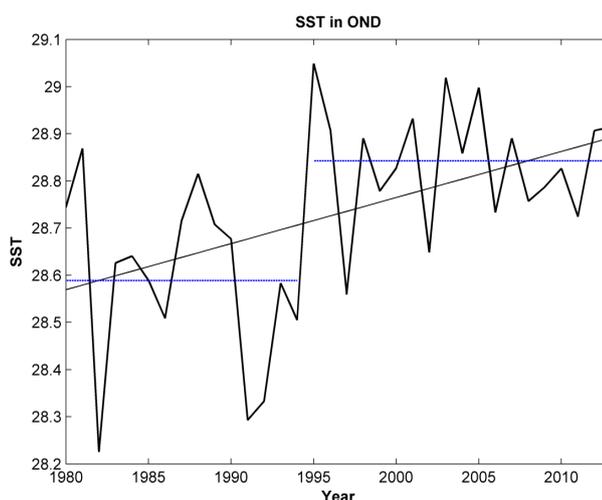


Figure 13. SST over the WNP typhoon genesis region. Dashed blue lines denote the means for the before and after of the decadal shift, the thin black line denote the linear trend of the 34 years. The linear trend is statistically significant at the 5% level by the MK test; the change around 1995 is statistically significant at the 5% level by the Mann-Whitney test

图 13. 西北太平洋台风主要生成区 SST 时间序列蓝色虚线分别为突变前后 SST 的平均值，黑色细线为 34 年内的趋势线。线性趋势在 MK 检验中超过 0.05 的显著性水平；1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.05 的显著性水平

4.2.2. 垂直风切变的变化

定义台风主要生成区域垂直风切变的区域平均为垂直风切变指数(VWSI)，对该指数的异常时间序列进行分析，突变前异常指数平均每年为-0.56，突变后为 0.44，1995 年后有所上升(图 15)，其线性上升趋势在 MK 检验中超过 0.1 的显著性水平，1995 年的突变在曼惠特尼检验中通过了 0.1 的显著性水平，VWSI 与 GPI 的相关系数为-0.43，通过 0.05 的显著性水平。所以说垂直风切变对西北太平洋海域热带气旋 GPI 的变化有很大的影响。

为了更直观地分析垂直风切变与台风活动的关系，做垂直风切变与台风数的相关分布如图 16，西北

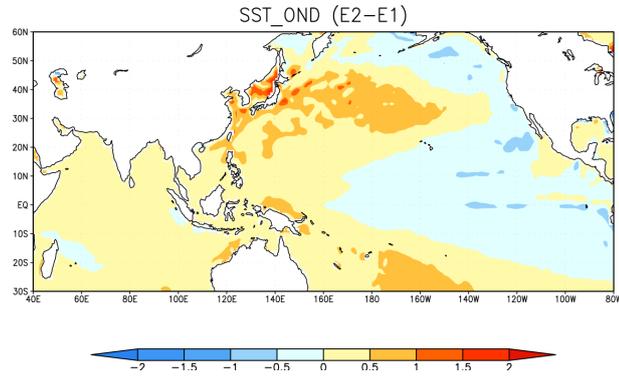


Figure 14. Epoch difference (1995-2013 minus 1980-1994) of SST during Oct-Dec
图 14. 西北太平洋 10~12 月 SST 的年代际差异(1995~2013 年减去 1980~1994 年)

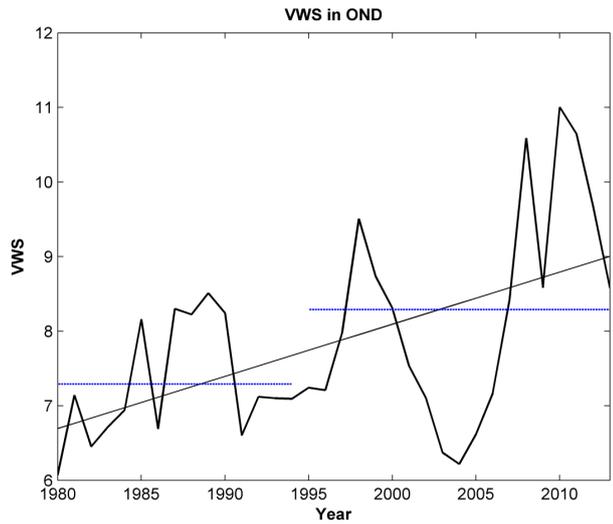


Figure 15. VWSI over the WNP typhoon genesis region. Dashed blue lines denote the means for the before and after of the decadal shift, the thin black line denote the linear trend of the 34 years. The linear trend is statistically significant at the 10% level by the MK test; the change around 1995 is statistically significant at the 10% level by the Mann-Whitney test
图 15. 西北太平洋台风主要生成区 VWSI 时间序列。蓝色虚线分别为突变前后 VWSI 的平均值，黑色细斜线为 34 年内的趋势线。线性趋势在 MK 检验中超过 0.1 的显著性水平；1995 年的突变在曼惠特尼检验中超过 0.1 的显著性水平

太平洋东南部表现为负相关，最大负相关范围(5°N~15°N, 150°E~170°E)出现在台风主要生成区域内。因此，西北太平洋该区域垂直风切变强，对应的 VWSI 值偏大，则西北太平洋台风活动偏少，相反，垂直风切变弱，VWSI 小，西北太平洋台风活动偏多。西北太平洋台风主要生成区域内东部与垂直风切变为负相关，西南部为正相关。

上文的结果表明西北太平洋台风主要生成区域东部，台风的生成与垂直风切变成负相关，西部成正相关。为进一步分析垂直风切变与台风生成的关系，定义垂直风切变指数异常值大于 1 为强垂直风切变年，小于-1 为弱垂直风切变年。1980~2013 年间，有 5 个强垂直风切变年，8 个弱垂直风切变年。强

年平均每年生成 2 个台风，弱年平均每年生成 4 个台风。图 8 为弱、强垂直风切变年台风生成位置分布的不同。台风主要生成区域内东部，弱垂直风切变年生成的台风明显偏多，这也能说明台风主要生成区域东部的台风生成数量与垂直风切变成反比。图 17 也能表明东部台风的生成明显多于西部。以上结论可表明垂直风切变主要通过影响台风主要生成区域东部的台风生成来影响西北太平洋台风的活动。

垂直风切变作为西北太平洋台风活动的主要因子[4]，对 10~12 月台风的活动有很大的影响(表 1，图 17)。但是，目前对垂直风切变与台风年代际变化关系的研究都比较少，Chan 的研究表明，垂直风切变是影响西北太平洋强台风年代际变化的动力因子之一，垂直风切变弱，生成的强台风偏多，反之，垂直风

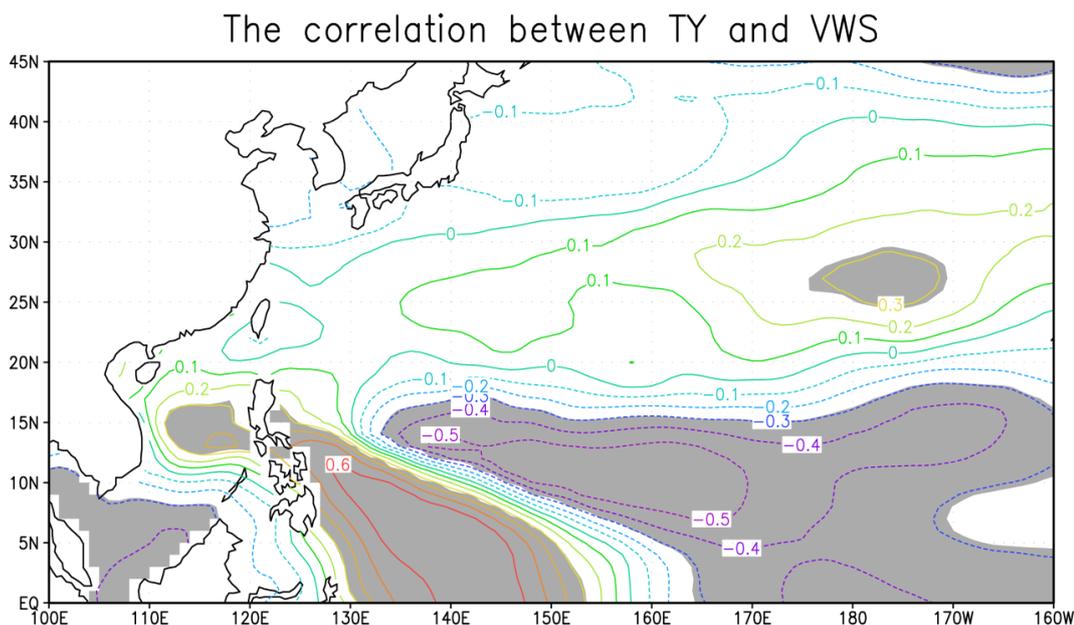


Figure 16. The correlation distribution between VWS and typhoon. Shading indicates correlation significant at the 10% level by the t test

图 16. 垂直风切变与台风的相关分布。阴影部分在 t 检验中超过 0.1 的显著水平

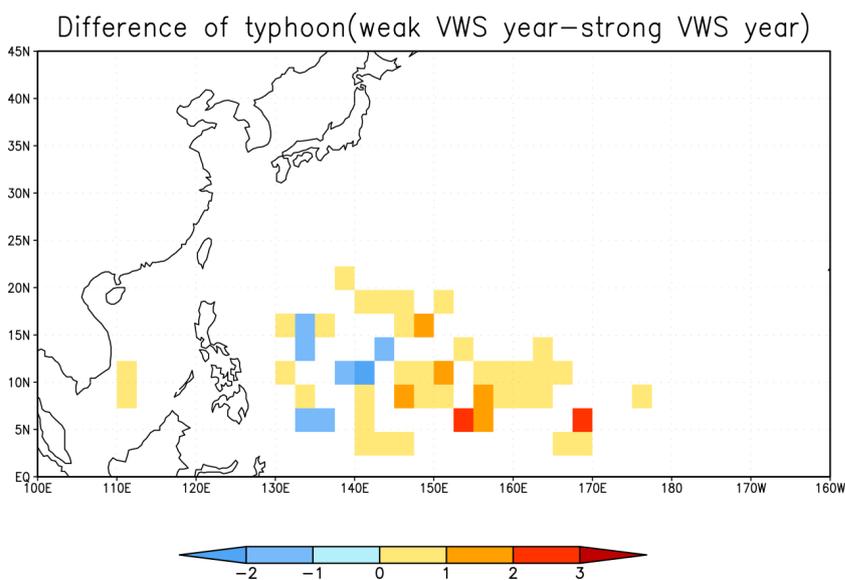


Figure 17. The difference of typhoon (weak VWS year minus strong VWS year)

图 17. 垂直风切变弱、强年的台风异常(弱年减去强年)

切变强, 生成强台风的数量偏少[2]。垂直风切变不仅对强台风的年际变化有影响, 本文发现其还对台风的年代际变化也有重要的影响。总结垂直风切变对台风活动的影响: 垂直风切变主要对西北太平洋东南部的台风活动造成影响。垂直风切变弱, 生成的台风偏多, 反之, 垂直风切变强, 生成台风的数量偏少。

5. 结论与讨论

尽管 10~12 月生成的台风导致一些亚洲国家特别是菲律宾损失严重, 它的年代际变化规律和影响机制还没有得到充分的研究。利用区域专业气象中心 - 东京台风中心记录的 1980~2013 年的台风数据, 和欧洲中尺度天气预报中心的再分析资料, 对西北太平洋 10~12 月期间台风活动的突变、以及台风对大尺度环境因子年代际突变的响应进行了讨论。发现 1980~2013 年 10~12 月的台风存在一次突变, 且该突变发生在 1995 年的后验概率最高。与 1980~1994 年相比, 1995~2013 年期间的台风数量显著下降。西北太平洋台风生成的频率大范围减小, 说明 10~12 月台风数量的年代际突变很大程度上受大尺度环境因子的调制。热力因子如最大潜在强度、相对湿度, 动力因子如垂直风切变、涡度、垂直速度在西北太平洋台风生成的减少中起到了关键性的作用(表 1)。热带气旋最大潜在强度是西北太平洋 10~12 月 GPI 年代际突变中贡献最大的因子。分析还发现垂直风切变主要对西北太平洋东南部台风的活动造成影响。

参考文献 (References)

- [1] 丁一汇, 陈联寿. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-105.
- [2] Johnny, C.C. (2008) Decadal Variations of Intense Typhoon Occurrence in the Western North Pacific. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*, **464**, 249-272. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2007.0183>
- [3] Satoru, Y. and Yukari, N.T. (2013) Attribution of Decadal Variability in Tropical Cyclone Passage Frequency over the Western North Pacific: A New Approach Emphasizing the Genesis Location of Cyclones. *Journal of Climate*, **26**, 973-987. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00060.1>
- [4] Liu, K.S. and Chan, J.L. (2013) Inactive Period of Western North Pacific Tropical Cyclone Activity in 1998-2011. *Journal of Climate*, **26**. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00053.1>
- [5] Kin, S.L. and Johnny, C.C. (2008) Interdecadal Variability of Western North Pacific Tropical Cyclone Tracks. *Journal of Climate*, **21**, 4464-4476. <http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2207.1>
- [6] Jien, Y.T., Chia, C., Ping, H., et al. (2011) An Abrupt Increase of Intense Typhoons over the Western North Pacific in Early Summer. *Environmental Research Letters*, **6**, 034013. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034013>
- [7] Du, Y., Yang, L. and Xie, S.P. (2011) Tropical Indian Ocean Influence on Northwest Pacific Tropical Cyclones in Summer Following Strong El Niño. *Journal of Climate*, **24**. <http://dx.doi.org/10.1175/2010JCLI3890.1>
- [8] Zhan, R.F., Wang, Y.Q. and Wu, C.C. (2011) Impact of SSTA in the East Indian Ocean on the Frequency of Northwest Pacific Tropical Cyclones: A Regional Atmospheric Model Study. *Journal of Climate*, **24**. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-10-05014.1>
- [9] Wang, B. and Chan, J.C. (2002) How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, **15**, 1643-1658. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1643:HSEEAT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1643:HSEEAT>2.0.CO;2)
- [10] Jin, C.S., Ho, C.H., Kim, J.H., et al. (2013) Critical Role of Northern Off-Equatorial Sea Surface Temperature Forcing Associated with Central Pacific El Niño in More Frequent Tropical Cyclone Movements toward East Asia. *Journal of Climate*, **26**. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00287.1>
- [11] Xie, S.P., Hu, K., Hafner, J., et al. (2009) Indian Ocean Capacitor Effect on Indo-Western Pacific Climate during the Summer Following El Niño. *Journal of Climate*, **22**, 730-747. <http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2544.1>
- [12] 冯涛, 黄荣辉, 陈光华, 等. 近年来关于西北太平洋热带气旋和台风活动的气候学研究进展[J]. 大气科学, 2013, 37(2): 364-382.
- [13] Hsu, P.C., Chu, P.S., Murakami, H., et al. (2014) An Abrupt Decrease in the Late-Season Typhoon Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, **27**. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-13-00417.1>
- [14] Zhao, X. and Chu, P.S. (2010) Bayesian Change-point Analysis for Extreme Events (Typhoons, Heavy Rainfall, and Heat Waves): An RJMCMC Approach. *Journal of Climate*, **23**, 1034-1046. <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2597.1>
- [15] Mann, H.B. (1945) Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.

<http://dx.doi.org/10.2307/1907187>

- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [17] Maurice, G.K. (1975) Rank Correlation Methods.
- [18] Mann, H.B. and Whitney, D.R. (1947) On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 50-60. <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- [19] Emanuel, K. and Nolan, D. (2004) Tropical Cyclones and the Global Climate System. *26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. Am Meteorology Soc.*
- [20] Takayabu, Y.N. (1993) 3-5 Day-Period Disturbances Coupled with Convection over the Tropical Pacific Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **71**, 221-246.
- [21] 许士斌. 1990年代末北印度洋及西北太平洋春季热带气旋活动的年代际突变[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学气象系, 2014.
- [22] Liu, K.S. and Chan, J.C. (2013) Inactive Period of Western North Pacific Tropical Cyclone Activity in 1998-2011. *Journal of Climate*, **26**, 2614-2630. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00053.1>