

· 学科进展与展望 ·

全球气候变化对台风影响的主要评估结论和问题

雷小途

(中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)

[摘要] 本文简要介绍了近年来国际台风界(包括 IPCC, IWTC 及 ESCAP/WMO 台风委员会)在全球气候变化对台风活动影响方面的最新评估结果,讨论了目前评估工作面临的科学问题和挑战及下一阶段台风气候变化领域的优先研究主题的建议。

[关键词] 气候变化, 台风气候, 评估

1 引言

全球气候系统正经历一次以变暖为主要特征的显著变化,其影响及应对是当前国际科学界、政府及社会公众普遍关注的热点问题之一。Emanuel^[1]和Webster^[2]分别在 *Nature* 和 *Science* 发表论文指出:受全球气候变暖影响热带气旋(俗称“台风”,包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风、强台风及超强台风,下同)潜在破坏力、超强台风比例有明显增强和增多的趋势;Chan^[3]等随后撰文认为:这一“趋势”只是更长时间尺度的年代际变化的一部分,而Landsea^[4]等则指出:这些“变化”主要源于观测技术和仪器的变化,从而引发了全球范围科学家及社会各界对“台风气候是否正悄然发生变化,以及这一变化是否与全球气候变暖有关?”等问题的广泛关注和热议^[5],也受到国际相关组织的高度重视。政府间气候变化专门委员会(IPCC)、世界气象组织(WMO)的热带气旋国际研讨会(IWTC)及亚太台风委员会(ESCAP/WMO TC)等均对上述问题做出了回应。

2 政府间气候评估委员会(IPCC)的评估

IPCC 是 WMO(世界气象组织)与 UNEP(联合国环境规划署)于 1988 年建立的政府间气候变化专业委员会,旨在对世界上有关全球气候变化的现有科学、技术和社会经济信息进行评估,至今共发布了 4 次评估报告。其中,第 1 次评估报告于 1990 年发表,报告确认了对有关气候变化问题的科学基础,并

促成联合国大会做出制定《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》的决定;第 2 次评估报告于 1996 年提交给了 UNFCCC 第二次缔约方大会,并为公约的《京都议定书》会议谈判做出了贡献;第 3 次评估报告于 2001 年发表,并同时发表了侧重于各种与政策有关的科学与技术问题的综合报告;第 4 次评估报告于 2007 年发布,报告涉及了全球气候变化对台风活动影响的评估;第 5 次评估报告将于 2014 年完成。

截至目前,IPCC 关于全球气候变化对台风影响的主要评估结论如下(IPCC AR4)^[6]:

(1) 已有观测证据表明,自 1970 年以来,北大西洋的强飓风趋于活跃,并与热带海面水温(sea surface temperature, SST)密切相关。

(2) 全球一些海域的强台风比例趋于增多(比目前数值模拟的结果要大许多),但其可靠性很大程度上依赖于其资料的质量。在卫星观测(1970 年)前表现出的多年代际变化,使热带气旋活动的长期变化趋势的检测变得更复杂。

(3) 全球热带气旋频数的年际变化趋势并不明显,尚没有足够的证据表明全球的热带气旋频数在减少。

(4) 数值试验表明,由于全球变暖和 SST 升高,未来的强台风(飓风)将变得更强、热带气旋的最大风速极值和热带气旋的降水都将变得更大。

3 热带气旋国际序列研讨会(IWTC)的声明

IWTC (International Workshop on Tropical

本文于 2010 年 11 月 5 日收到。

Cyclone)是世界气象组织(WMO)热带气象研究计划(Tropical Meteorology Research Program, TMRP)和大气科学委员会(Commission for Atmospheric Sciences, CAS)联合组织召开的热带气旋国际序列研讨会,旨在召集全球范围内的台风研究科学家及台风预报业务人员共同讨论台风预报及防台减灾中的科学问题,自1986年以来每4年召开一次。2006年11月,在哥斯达黎加召开的第6次届会(IWTC-VI)期间,首次专题讨论了全球气候变化对台风活动影响的问题,并发表了一份相关的声明^[7]。随着研究工作的继续深入,TMRP和CAS组织专家收集了最新发表的台风气候方面的相关论文,完成了“Tropical Cyclones and Climate Change”的评估报告^[8],并在第7次IWTC届会(2010年11月,法属留尼旺岛)上进行了专题讨论,认为“全球的台风频数将趋于减少或基本保持不变、热带气旋的平均强度将趋于增强和强台风比例将增大”具有较高的可信度^[9]。截至目前,IWTC关于全球气候变化对台风影响的主要观点如下:

(1) 基于有限历史资料进行台风气候的检测和归因及未来变化趋势预估是对气候学科的重大挑战。在过去几十年中,对热带气旋的定强技术(监测和确定热带气旋最大风速的手段)发生了很大变化,这给确定准确的变化趋势带来许多困难。

(2) 对热带气旋的监测方法存在很大的区域性差异,许多海域没有飞机探测手段,这些明显的局限性将继续阻碍台风气候变化的趋势检测研究的深入开展。

(3) 虽然部分海域(如大西洋)的热带气旋记录比较完整(仍不排除存在误差),但是自然变率的存在使得检测是否受温室气体的影响变得十分复杂。

(4) 近年来在一些海域观测到的热带气旋频数和强度的多年代际变化是否已超出了自然变率的范围仍存在不确定性,单个热带气旋的异常活动不宜直接归因于全球气候变化。

(5) 理论分析和高分辨率数值模式的模拟结果显示:温室气体的增加将使全球热带气旋的频数减少6%—34%,但强台风的比例将增大;热带气旋的平均强度趋于增强,到21世纪末(2100年),全球热带气旋的强度平均将比现在增加2%—11%(SST每升高1℃,热带气旋的风速将增强3%—5%);温室气体的增加似乎将使距热带气旋中心100 km范围内的降水率增加20%。然而,模式的预测结果仍有一定的不确定性。

(6) 沿海地区人口增长和基础设施增加是近期台风对社会影响加重的主要原因。如果全球变暖引起的海平面升高这一情景预测成为现实,则对台风风暴潮的脆弱性无疑将会增加。

4 ESCAP/WMO 台风委员会的评估

亚太经社组织(ESCAP)联合WMO于1968年设立了亚太台风委员会,下设气象工作组(组长来自上海台风研究所)、水文工作组(组长来自日本水灾害研究所)、防灾减灾工作组(组长来自韩国减灾研究所)、培训与研究工作组(组长来自中国香港天文台)以及咨询和经费筹措等工作组,旨在促进亚太地区防台减灾的技术交流和提高热带气旋监测预报能力。委员会目前由亚太地区14个成员国(和地区)加盟组成,它们是:柬埔寨、中国、朝鲜、中国香港、日本、老挝、中国澳门、马来西亚、菲律宾、韩国、新加坡、泰国、美国、越南。

作为协调亚太地区各国防台减灾事务的国际性的官方权威机构,ESCAP/WMO台风委员会也十分重视台风气候变化的问题,并于2008年启动了“编制台风气候变化评估报告”的优先工作计划,旨在对台风气候变化问题做出回应,并于2009年在泰国召开的第41次届会上决定由中、日、韩、美以及中国香港组成专家组牵头撰写评估报告。与IPCC及IWTC对已发表的论文(英文)进行综合得到的评估报告不同,亚太台风委员会的评估报告既综合已发表的英文论文,又综合以各成员国语言发表的论文,同时还综合考虑各成员国的官方观点。题为*Assessment report on impacts of climate change on tropical cyclone frequency and intensity in the Typhoon Committee region*的第一份评估报告已于2010年12月印刷并在其第43次届会上(2011年1月在韩国济州召开)公开发布^[10],其主要结论如下:

(1) 在过去50年,发生在西北太平洋的热带气旋频数呈现出显著的年际和年代际变化特征。

(2) 由于不同机构在整编其热带气旋年鉴时使用的资料及定位定强技术不尽相同,如:东京台风中心(RSMC-Tokyo)和香港天文台(HKO)用的是10分钟的平均风速,上海台风研究所(STI/CMA)用的是2分钟平均风速,而美国联合台风预警中心(JTWC)用的则是1分钟的平均风速。因此,使用的年鉴资料的来源不同或所取的资料年限的长短不一会导致分析结果的较大差异,从已发表论文中尚不能确定西北太平洋热带气旋的年频数是否存在长期

(气候)变化趋势。

(3) 将 RSMC-Tokyo, HKO, STI/CMA, JTWC 的年鉴及新近由美国世界数据中心(WDC)牵头整理的 IBTrACS(International Best Tracks Archive for Data Stewardship)等资料统一订正到 10 分钟的

平均风速,并将上述各套资料集的年限统一延长至 2008 年后,即可发现:西北太平洋热带气旋(热带风暴及以上)和台风的年频数有减少(或变化不明显)的长期(气候)变化趋势(如图 1 和表 1 所示)。

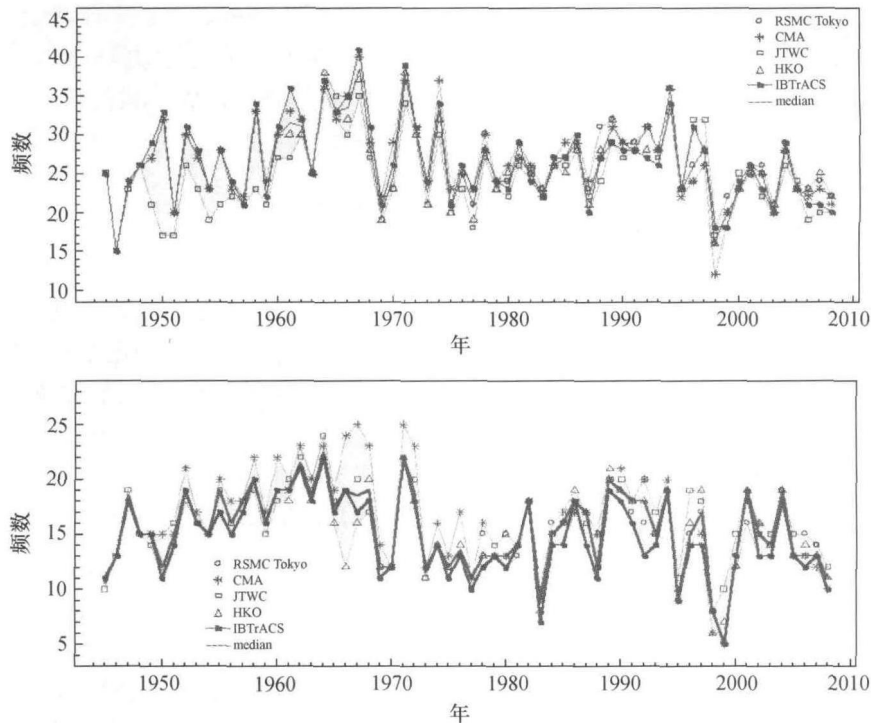


图 1 最近 50 余年来西北太平洋热带气旋频数的分布 (上图: 热带风暴及以上, 下图: 台风及以上)

RSMC Tokyo: 东京区域台风中心; CMA: 中国气象局; JTWC: 美国联合台风预警中心; HKO: 香港天文台; IBTrACS: 气候最佳路径集(International Best Track Archive for climate stewardship); Median: 平均; 灰色阴影区: 不同最佳路径集资料间的频数差。

表 1 最近 50 余年来西北太平洋热带气旋频数的变化趋势 (信度 95%)

数据来源	资料起止时间	原始记录的强度		调整为 10 分钟平均的强度	
		热带风暴及以上	台风	热带风暴及以上	台风
CMA	1949—2008	-0.77/10 年	-0.89/10 年	-0.98/10 年	-1.15/10 年
JTWC	1945—2008	+0.55/10 年	-0.06/10 年	+0.19/10 年	-0.25/10 年
RSMC-Tokyo	1951—2008	-0.34/10 年	-0.39/10 年	-0.34/10 年	-0.39/10 年
HKO	1961—2008	-1.35/10 年	-0.59/10 年	-1.35/10 年	-0.59/10 年
IBTrACS	1945—2008	-0.67/10 年	-0.62/10 年	-0.67/10 年	-0.62/10 年

(4) 由于不同年鉴资料间的差别较大以及存在较大的自然变率,目前尚不能确定西北太平洋的热带气旋强度是否发生了明显的增强或减弱的长期(气候)变化趋势。

(5) 不同地区的登陆热带气旋的频数变化特征差别较大。登陆日本、菲律宾、中国香港的热带气旋频数没有明显的长期(气候)变化趋势,登陆中国大陆及泰国的热带气旋频数则呈减少趋势,而登陆韩国的热带气旋频数却有增加的趋势(但不显著)。

(6) 登陆中国的热带气旋的平均强度没有明显的变化趋势,但登陆热带气旋的最大强度呈减弱的趋势。中国大陆地区受热带气旋影响出现的极端风速有减小的趋势,热带气旋降水总量及降水强度则无明显变化趋势。

(7) 关于未来趋势,多数气候模式的预估结果是:在 IPCC 假定的各种温室气体排放情景条件下,未来西北太平洋热带气旋的总频数均有减少的趋势,但东部(140°E 以东)海域的热带气旋则有增加

的趋势(如图2所示)。

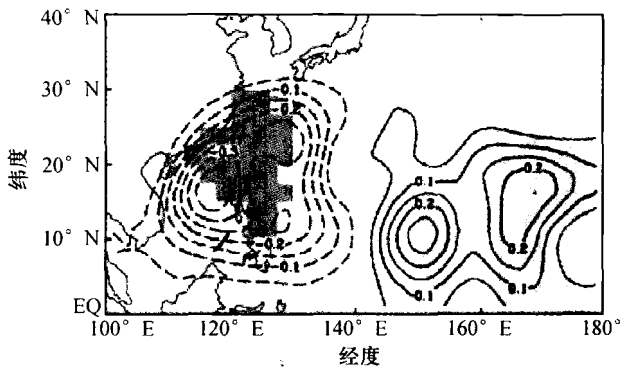


图2 基于IPCC排放情景的西北太平洋热带气旋频数变化趋势的多模式预估

由于未来排放情景的不确定性、气候模式本身的局限性以及降尺度等模式产品释用技术的误差和影响,未来西北太平洋地区的热带气旋频数和强度的长期(气候)变化趋势仍具较大的不确定性。

5 我国在台风气候变化方面的主流观点

我国学者也十分关注台风气候变化问题,利用台风年鉴资料和中国特有的史志记载等资料,开展了大量的台风气候变化方面的统计分析和模拟预估等工作,内容涉及西北太平洋生成的台风频数变化、台风强度的变化,特别是登陆及影响我国的台风频数、强度和降水等的气候变化趋势,也涉及台风气候变化的归因分析及对未来变化趋势的预估等,并比较早地注意到不同来源的资料(最佳路径集)对分析结果的显著影响,受到国际台风界的广泛关注,并被ESCAP/WMO台风委员会的台风气候评估报告所引用(CMA的专家是该评估报告的主要作者之一)^[10]。

截至目前,我国学者在台风气候变化方面的主流观点是^[5]:

(1) 近50年来,西北太平洋区域(含南海)生成的热带气旋频数呈现一定的减少趋势,全球范围的热带气旋频数和平均强度的变化均不显著,但因资料的非均一性等仍存在一定的不确定性;

(2) 1949年以来,登陆中国的热带气旋频数有弱的减少趋势,但达到台风等级的登陆气旋频数却变化不明显或有所增加,登陆时气旋的平均强度有显著增加、登陆时强台风的比例增加,登陆中国的初台推迟、终台提前、登陆季节显著缩短,热带气旋登陆区域更趋于集中在中国海岸的中部地带;

(3) 近50年来,中国受台风影响时的极大风速显著减弱,但华南和华东的台风降水强度和面雨量均增加、华北则减少;

(4) 自然变率的存在,使台风气候变化的归因变得十分复杂,目前尚不能证明全球变暖对台风气候的变化有明显影响;

(5) 由于现阶段气候模式本身的局限性及未来全球气候变化情景的不确定性等原因,对台风气候变化的未来趋势进行较准确的预测仍十分困难。但随着我国经济的迅猛发展,沿海地区对台风风暴潮、内陆地区对台风暴雨的脆弱性均将继续增大。防台减灾,特别是对巨灾台风的风险防御能力建设应进一步加强。

6 存在的主要困难

(1) 没有一套完整的、年限足够长且均一化的热带气旋最佳路径(年鉴)历史资料集,是分析判断台风气候是否发生了变化以及发生了怎样变化的主要障碍。一方面,有记录的器测资料至今不过百余年,这对于气候变化趋势的检测而言显然仍不够长;另一方面,不同历史时期、不同海域监测热带气旋的手段及定位定强技术亦不尽相同(如20世纪60年代以前没有卫星观测、除大西洋外的其他海域缺乏业务性的飞机探测),不同机构整编的热带气旋年鉴资料因采用的定级标准等不一致(美国用1分钟的平均风速,中国用2分钟平均,日本、中国香港等则多用10分钟平均)而存在较大的差异,但却分辨不出哪一套年鉴资料更好。

(2) 自然变率的存在,使台风气候变化的归因变得十分复杂。至今查明的热带气旋频数及强度的长期(气候)变化幅度均未超出自然变率的范围。此外,由于全球变暖(IPCC认为与人类活动有关)及引发的SST升高对热带气旋的影响机理尚不清楚:一方面,高的SST是热带气旋生成的有利条件之一,因而SST的升高势必使热带气旋的频数趋多;另一方面,SST的升高,会增强洋面的对流,释放更多的潜热使上层大气趋暖,大气层结趋于稳定,从而抑制对流的继续发生,因而未必利于热带气旋的生成。

(3) 气候模式的局限性和温室气体排放等未来气候变化情景的不确定性,制约了对台风气候未来变化趋势预测的可靠度。一方面,有限分辨率的全球气候模式,尚不能较好地刻画出台风眼和云墙等精细结构,加之模式物理过程的局限性(如:辐射强迫和海洋热吸收率的敏感性、海-气耦合作用的描述、温室气体浓度的不确定性等),导致目前的模式模拟的热带气旋不很真实。另一方面,虽然高分辨率的区域气候模式在某种程度上可以解决分辨率不

足的问题,但其自身也存在与全球模式提供的边界条件所对应的气候态和气候敏感性不兼容、热带气旋活动对全球气候系统的潜在反馈过程无法用简单的单向嵌套方法来模拟等局限性,而且模拟及预测结果还受所选区域范围的影响。

(4) 受我国气候模式性能等的影响,制约了我国台风气候模拟及预估工作的深入开展,有限的分析工作也大都依赖于 IPCC 境外模式提供的产品,至今尚没有来自中国的台风气候变化模拟及预估的模式产品发表。

7 下一阶段优先研究主题

随着人们对全球气候变化问题的持续关注,台风气候变化问题仍将会是未来台风领域的研究热点。预计 IPCC 将在其第 5 次评估报告中阐述台风气候变化问题, IWTC 将会继续更新其对台风气候变化问题的声明, ESCAP/WMO 台风委员会也将陆续发表台风气候变化问题的序列评估报告。以下主题,已经(或将要)被列入下一阶段的优先研究计划:

(1) 均一化、标准化的热带气旋最佳路径资料集的建立。一方面是对现有及未来年鉴资料的均一化: IWTC 正通过其第 7 次届会(2010 年 11 月)上设立“Drokv 热带气旋定强方法业务应用”的专题讨论,促进全球热带气旋强度等资料的均一性研究; ESCAP/WMO 台风委员会正组织中国(STI/CMA)、日本(RSMC-Tokyo)、中国香港(HKO)和美国(JTWC)于 2010 年 12 月在香港召开“热带气旋年鉴整编技术研讨会”,推进其自 2003 年起实施的“西北太平洋热带气旋最佳路径集资料整编”的工作计划;美国世界数据中心(WDC)亦仍在召集相关机构继续更新其牵头整编的 IBTrACS 资料。另一方面是对历史长时间序列资料的重建,以弥补器测资料年限不够长的窘境,包括:基于中国等国家和地区丰富的史志记载,对近 500—1000 年致灾古风暴(热带气旋)的重建;利用树木年轮、浅水递变沉积岩(碳酸盐沉积)等替代资料进行古风暴长序列资料的反演。

(2) 发展适用的数理统计方法,加强台风气候变化的检测及成因分析研究。改进台风气候模式系统的性能及模式台风识别技术,提高模式对历史热带气旋资料的拟合和模拟能力;发展基于超级集合预报的台风气候变化趋势预估系统,开展自然变率及各类排放情景下台风气候变化的敏感性试验,提高台风气候归因和趋势预测的可信度。

(3) 热带气旋的影响评估。继完成对热带气旋频数和强度的气候变化评估后, ESCAP/WMO 台风

委员会正着手编撰的第 2 份评估报告(预计 2013 年发布),将重点关注:西北太平洋地区热带气旋的移动路径和受热带气旋影响的区域变化,后续还将对热带气旋的风、降水、风暴潮及灾情等进行序列的评估。

随着全球气候变化问题的热议,我国也加大了对台风气候变化问题的研究投入,国家科技部和国家自然科学基金委员会等机构近年来设立了多项相关课题。目前仍然在研的与台风气候变化密切相关的课题主要包括:科技部设立的行业(气象)专项“全球变暖背景下台风季节动力预测和变化趋势预估技术研究”;国家自然科学基金委员会设立的基础性科研课题“全球变暖背景下西北太平洋热带气旋活动的变化”、“西北太平洋热带气旋活动的气候变率及其与大尺度环流背景的关系”、“浙南沿岸台风活动的沉淀记录与变化机理研究”、“PDO 和 ENSO 背景下西北太平洋热带气旋活动的对比研究”、“全球变暖对西北太平洋台风活动和登陆我国台风的影响及其机理研究”和“西北太平洋热带气旋活动的年循环变异机理研究”等。

此外,中国气象局除继续支持中国科学家参与国际台风界的台风气候变化评估工作外,正着手在“十二五”期间,优先开展以下台风气候变化的主要研究计划:

(1) 历史台风长时间序列资料的重建。西北太平洋及登陆(或影响)我国的历史台风长时间序列资料的重建技术研究,代用资料(通过江河海口沉积物、史书和地方志等记载反演出来的台风资料)和器测资料(使用气象观测仪器探测到的台风资料)的均一性研究,各时间尺度的台风长序列资料整编技术研究;

(2) 台风气候变化检测与预测。台风气候变化的诊断和成因检测技术研究,全球气候变化对台风频数、强度、路径、持续时间、大风、降水等的影响评估技术研究,台风气候模式及台风气候变化趋势预估技术研究,台风气候变化对大尺度环流和局地气候变化的反馈作用研究。

参 考 文 献

- [1] Emanuel K A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 2005, 436: 686—688.
- [2] Webster P J, Holland G J, Curry J A et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 2005, 309: 1844—1846.
- [3] Chan J C L. Comment on “changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment”. *Science*, 2006, 311: 1713.

(下转第 104 页)

它不仅是一门新科学,更是一个新希望。我们把最好的祝愿献给中国现代化的建设者!

参 考 文 献

[1] 何传启. 现代化科学: 国家发达的科学原理. 北京: 科学出版社, 2010.

[2] 何传启主编. 中国现代化报告 2011: 现代化科学概论. 北京: 北京大学出版社, 2011.

[3] 何传启主编. 中国现代化报告概要 2001—2010. 北京: 北京大学出版社, 2010.

MODERNIZATION SCIENCE: THE PRINCIPLES AND METHODS OF NATIONAL ADVANCE

He Chuanqi

(China Center for Modernization Research, CAS, Beijing 100190)

Abstract Modernization has been a world phenomenon since the 18th century, and one kind of frontier change of human civilization and international competition. It includes the formation, development, transformation and international interaction of modern civilization, the innovation, selection, diffusion and recession of civilization elements, the global competition for pursuing, and achieving and keeping a world advanced level. Who reached or keeping the world advance level is an advanced country, while the others are developing countries. They may change the status each other. Modernization science is an interdisciplinary science on modernization phenomenon, and includes modernization theories, history of modernization, multi-stages of modernization, multi-levels of modernization, multi-fields of modernization, multi-sectors of modernization, and modernization policy. It expounded the world frontiers, the principles and methods of national advance.

Key words modernization science, national advance, principle, method

(上接第 89 页)

[4] Landsea C W, Harper B A, Hoarau K et al. Can we detect trends in extreme tropical cyclones? *Science*, 2006, 313: 452–454.

[5] 雷小途, 徐明, 任福民. 全球变暖对台风活动影响的研究进展. *气象学报*, 2009, 67(5): 679–688.

[6] Pachauri R K and Reisinger A (Eds.). The fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change: synthesis report. IPCC, 2007. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.

[7] McBride J, Emanuel K, Knutson T et al. Statement on tropical cyclones and climate change, IWTC-VI, 2006. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/tropical_meteorology.html.

[8] Knutson T, McBride J, Chan J et al. Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 2010, 3: 157–163 (published online; 21 February 2010, doi:10.1038/ngeo779 <http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n3/full/ngeo779.html>).

[9] Knutson T, McBride J, Bruyere C et al. TC activity on climate time scales. IWTC-VII, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/tmr/otherfileformats/IWTCVII-documentation.html>.

[10] Lee T C, Lee W J, Nakazawa T et al. Assessment report on impacts of climate change on tropical cyclone frequency and intensity in the Typhoon Committee region. ESCAP/WMO Typhoon Committee, 2001, TC/TD-No.0001.

THE MAIN ASSESSMENT CONCLUSIONS AND ISSUES ON THE IMPACTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON TROPICAL CYCLONE ACTIVITIES

Lei Xiaotu

(Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, Shanghai 200030)

Abstract Based on AR4 (fourth assessment report) of IPCC, the statement of IWTC and the assessment report of ESCAP/WMO Typhoon Committee, a brief introduction to the tropical cyclone climate change during recent years was reviewed in this paper, focusing on the frequency, intensity and landfall of tropical cyclone in the Western North Pacific. The main scientific challenges and some proposals for future studies on the database and subject in the Typhoon Committee region were discussed.

Key words climate change, tropical cyclone, assessment