

Project No. CRRP2020-04MY-Sethi

## 应用 ICLAP 工具促进亚太城市的科学气候规划

Mahendra Sethi <sup>a,\*</sup>, Shilpi Mittal <sup>a</sup>, Eva Ayaragarnchanakul <sup>b,c</sup>, Ram Avtar <sup>d</sup>, Li-jing Liu <sup>e,f</sup>, Aki Suwa <sup>g</sup>, Akhilesh Surjan <sup>h</sup>

<sup>a</sup> Indian Society for Applied Research & Development, New Delhi 110092, India

<sup>b</sup> Department of Economics, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand, eva.a@psu.ac.th

<sup>c</sup> Sustainability Economics of Human Settlements, Technical University Berlin, Berlin 10623, Germany

<sup>d</sup> Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, Hokkaido, Japan; ram@ees.hokudai.ac.jp

<sup>e</sup> Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; liulijing@bit.edu.cn

<sup>f</sup> School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

<sup>g</sup> Faculty of Contemporary Society, Kyoto Women's University, Kyoto 605-8501, Japan; suwa@kyoto-wu.ac.jp

<sup>h</sup> Humanitarian, Emergency and Disaster Management Studies Program, Charles Darwin University, Darwin NT 0810, Australia; akhilesh.surjan@cdu.edu.au

\* Correspondence: mahendrasethi@hotmail.com

### 摘要

气候变化现象具有全球性的贡献和影响。科学家们一致认为，2°C 的全球变暖挑战可通过多个部门和各级政府的协调行动来应对。然而，由于许多不同变量的重叠，如不同地点的温度和降水偏差，不同 RCP 和时间线下的温室气体情景，以及全球各地(特别是城市机构)正在尝试的不同气候解决方案，地方气候治理充满了复杂性。这就需要开发智能工具，能够整合这些广泛而复杂的数据，并对其进行处理，以便城市政府在未来的气候倡议中做出基于证据的决策。综合气候行动规划 2050 工具(ICLAP)就是这样一个工具，它是为亚太地区拥有 500 多万人口的城市设计的，考虑了未来的气候变率和长期排放情景，同时系统地告知全球城市正在寻求的气候解决方案。本研究对加强城市气候解决方案和国家城市政策以及促进国际和区域间气候研究合作有一定的作用。

**关键词：**城市气候研究；综合气候行动规划；气候变率；亚太地区；温室气体

### 亮点

- ICLAP 工具为亚太地区 49 个 500 万以上人口城市而设计
- 考虑了未来城市温室气体、区域气候变率和全球最佳实践
- 该方法综合了文献计量学、统计分析和空间分析方法
- 使研究人员、政策制定者和城市机构能够以科学为基础制定政策
- 在能力建设和气候合作方面具有城市、区域和全球价值

## 1. 引言

根据世界气象组织(WMO)整理的最新数据, 2015年至2022年是1850年以来最热的8年。2022年全球平均温度比工业化前的水平(即1850-1900年的平均值)高 $1.15(\pm 0.13)^{\circ}\text{C}$ (WMO 2022)。由于大气中吸热温室气体(GHG)达到创纪录水平, 预计全球变暖和其他长期气候变化趋势将继续下去。与此同时, 《巴黎协定》呼吁所有国家根据切实可行的国家自主贡献(NDC), 即各国减缓全球变暖的计划, 通过协调一致的气候行动, 争取将全球变暖控制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 以内。而气候变化现象具有全球性的温室气体贡献和影响; 科学家们高度一致认为, 全球变暖可以通过多个国家、部门和治理水平的一致行动来解决(UN 2015, UNFCCC 2015, IPCC 2018)。亚太地区拥有世界上相当大比例的人口, 是世界上发展最为迅速的地区之一, 温室气体排放量占全球的一半以上。该地区还拥有世界上大多数低洼城市和脆弱的小岛屿国家。在COP26期间举行的2021年亚太气候周展示了该地区在实现全球气候目标方面面临的特殊挑战(UNFCCC 2021)。近年来, 极端气候事件的强度和频率不断增加, 在印度、巴基斯坦、日本、中国、印度尼西亚、澳大利亚等国家引发了森林火灾、飓风和洪水。大量人口的流离失所凸显了通过建设性和实用性的解决方案来应对气候变化的必要性。该地区的地方政府面临着三方面的挑战, 即: 确保经济发展以提高生活水平, 减少温室气体排放和城市空气污染, 同时保护人口免受气候灾害的影响(Farzaneh 2019)。

实际上, 城市对自身气候状况的认知具有高度的复杂性、不确定性/多变性和碎片化性(Sethi et al, 2021)。作为本研究的一部分, 我们回顾了七个亚太国家(澳大利亚、中国、印度、日本、菲律宾、新加坡和泰国)的17个城市(东京、大阪、北京、上海、广州、天津、深圳、新德里、孟买、加尔各答、班加罗尔、金奈、新加坡、曼谷、马尼拉、悉尼和墨尔本)正在实施的气候行动计划(CAPs), 评估了与气候变化和城市相关的政策解体和数据可用性(Sethi et al 2022)。城市气候研究也充满复杂性, 由于许多不同的变量重叠, 如不同RCPs和时间轴下的温度或降水偏差和温室气体情景, 以及全球范围内正在尝试的不同气候解决方案和治理工具, 特别是地方一级的城市机构(Sethi et al 2021)。这就要求进行协调一致的调查, 以获得能够整合如此广泛复杂的数据并对其进行处理的决策工具, 以便决策者制定基于实证的城市气候政策。为了实现这一目标, 我们开发了一个综合气候行动计划(ICLAP)工具, 该工具是为亚太地区500多万人口的城市设计的, 它考虑了长期气候变化和排放情景, 并系统地告知全球城市正在寻求的气候解决方案。在本文中, 我们介绍了ICLAP工具的主要方法和分析框架, 重点介绍了其空间、统计和文献计量部分(第2节)。我们进一步展示了如何应用该框架(第3节)来识别: (3.1)城市气候领域的全球实践; (3.2)城市层面的气候变率和未来温室气体路径; (3.3)这些结果的区域含义; 然后讨论(3.4)亚太不同城市的合理城市气候解决方案。本文最后阐释了主要研究成果和政策建议(第4节), 以促进亚太地区多层次的基于实证的气候治理。

## 2. 方法

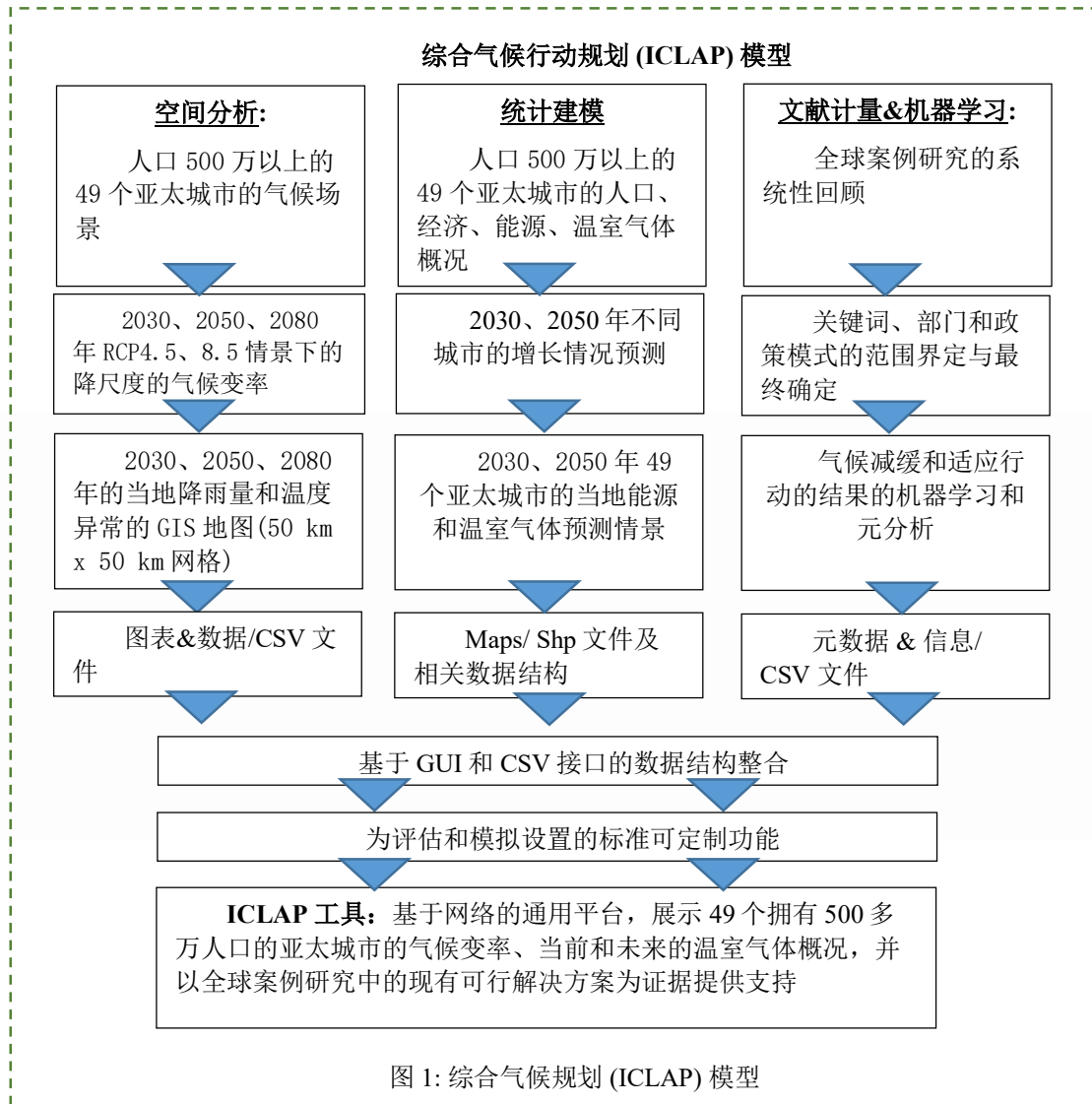
综合规划气候行动模型早在巴黎协定(UNFCCC 2015)和UNFCCC's AR5 Report (IPCC 2014)中就被认证。城市区域的气候变化呈现出高度复杂的模式, 需要系统性的方法评估内在的联系。在大约过去十年前, 在城市气候工具和模型的准备与运用中, 已经有了显著的进步。例如, 在欧洲, 市长契约中30多亿城市人口被10774位参与者代表。这些城市通过一个记录了城市特征、案例研究、已完成的项目等的影像的实践型数据库, 共享气候倡议(2021年市长契约)。这个数据库对决策制定者和政策规划者传播其他城市的气候行动信息来说, 是一个有用的工具。全球范围内看, 可持续发展的当地政府组织(ICLEI)为城市气候规划提供了一些智能工具(ICLEI2021), 例如清洁空气和气候保护软件(CACP)、适应性数据库和气候规划工具(ADAPT)和HEAT+。最近, C40城市开发了小型工具, 支持城市更好地理

解气候适应和减排在共同减缓气候引起的风险。开发实用的、多方面的城市气候评估工具是一项高度复杂的任务。用于综合引领城市气候决策的工具必须是涵盖了跨职能部门和科学方法的。

方法上，城市背景下基于证据的气候规划有三种不同的方法（Sethi et al.2021）：（1）案例分析或文献计量，包括特定背景或相似实践中的深入定性评估。（2）依赖于人口统计或经济预测的统计分析，为低碳发展提供政策建议的能源或温室气体预测。（3）灾害管理、识别气候适应性和弹性需求中评估气候变化和脆弱性的空间方法。在本研究中，我们使用 ICLAP，一个结合了空间、统计和文献计量方法的决策制定模型，连接气候减缓、气候适应和数据科学（APN2021）。模型采用集成的方法，采用高度系统化、透明、易使用的数字化界面，考虑降尺度的温度和降水的气候变率（2030，2050，2080）、人为的减排情景以及城市减排方案的后期结果(Sethi et al. 2022)，如下所示：

1. 空间-降尺度气候情景&变率的 GIS 可视化：为了预测城市-地区规模水平的气候变率，降雨和温度相对于常规水平的偏差会被从全球/地方的 2030、2050 甚至是 2080 年的 MICRO6 情景 SSP245(RCP4.5)和 SSP(RCP8.5) 降尺度，最终在引领适应性的可替代选择方面十分严格。
2. 城市指标的趋势分析与温室气体预测：基于 2030 和 2050 年人口、经济、能源使用（交通、农业/土地利用好、废弃物和相应的温室气体）的城市数据画像的温室气体预测（基准情景，设定上限和下限）(for business-as-usual, with upper and low limits)将被用于支持气候减缓目标（Fujimori et al.2014）。这对识别气候减缓措施非常重要。
3. 文献计量——来自案例研究证据的元分析：数据抽取和机器学习被用于系统性回顾当地气候行动的 644 个全球案例。采用谷歌学术和 Web of Science 数据库进行文献计量分析。在此之前，对关键政策解决方案进行元分析（Sethi 等 2021，Lamb 等 2018，Lamb 等 2019），同时对不同的温室气体排放部门（能源、工业、交通、土地利用-土地覆盖变化，废弃物等）、其相对效率和实施治理模式（联合国人居署 2011 年）如法规、使能机制、经济工具和自愿措施，进行了编码。

对于城市人口，我们采用标准数据库，世界城市化前景：人口的 2018 年修订版（UNDESA 2109）。土地面积、绿化面积、建筑面积、GDP 等城市数据来自全球人类居住层城市中心数据库（Florczyk 2019 年）。对于不同城市的温室气体数据，来自全球大气研究（Crippa 等 2018 年）排放数据库的人为温室气体记录（1970-2012）。这涵盖了来自不同生产活动的 NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>，这些活动遵循标准行业代码/定义(IPCC 1996)，自下而上地进行，确保一致性和可比性。



### 3. 结果与讨论

**3.1 全球城市气候实践:** 通过机器训练的文献计量分析对最佳实践进行系统性的回顾发现了世界各地城市正在实施的几种气候解决方案。在 644 项研究中, 41 种解决方案中的 88 个案例提供了估算温室气体减排潜力的定量数据。我们对减缓气候变化的需求侧潜力进行了排名, 以每项研究中定义的基准情景(BAU)为基准。结果从 5.2 到 105%不等, 因此我们分四组(从最低到最高的减排潜力)进行报告。

**最低潜能(高达 26.25%):** 建筑信息系统、绿色建筑、智能电表/智能控制/恒温器、城市形态、设计、规划、被动式太阳能设计、监测、生物质、生物质气化、能效措施、智能交通系统(ITS)、生物柴油/乙醇、遮阳篷或窗户玻璃、热电联产或三电联产(仅限冬季)、燃料或技术转换、无车城市、光伏太阳能、屋顶花园(高纬度地区)、能源储存-电池。植树造林和绿化扩展, 智能电网, 冷屋顶(高太阳反射率和高热发热率), 区域供热/供冷。

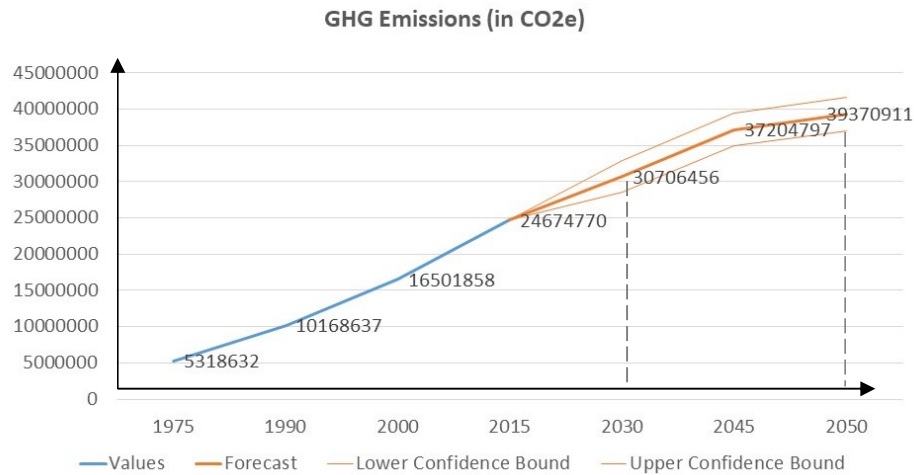
**中等潜能(26.25-52.5%):** 风能、公共交通扩建、建筑、能源和交通组合解决方案(B+E+T)、热电联产或三电联产(城市或城区)、余热回收、地热热泵、热舒适和隔热、交通导向开发、堆肥和废物生物处理、旧建筑改造、冷屋顶、屋顶花园(低纬度地区)、组合墙/屋顶、生命周期评估、DSM 优化、调峰/削峰、出行需求管理优化机动性。潜力较大(52.5-

78.75%)的解决方案包括太阳能三联产 CPVT、EE + PV、PV 热能、私人 and 公共交通、综合废物管理、EE + RE + EV。潜力最高的(78.75-105%)解决方案包括一些最有效的城市气候解决方案，包括公共和私人车辆中的电动汽车(EV)和混合动力电动汽车(HEV)、净零排放建筑(NZEB)、废物产生的能源(WtE/EfW)或废物转化能源。

### 3.2 亚太地区 49 个城市气候变率与温室气体排放路径

利用 ICLAP 模型，我们分析和报告了 49 个人口超过 500 万的亚太城市样本的气候变率和温室气体排放路径。每个城市的结果表展示了最新数据，包括温室气体贡献、历史温室气体路径和基于 BAU 的 2030 年、2050 年(2 种情景)的未来温室气体预测，以及分别基于中等温室气体情景(SSP245)和高温温室气体(SSP585)的 2030、2050、2080 年(2x3=6 个情景)的平均温度和平均降水偏差的空间结果。因此，每个城市除目前的情况外，在 2030-2050 年期间出现了 2 种温室气体情景、6 种温度情景和 6 种降水情景。简单起见，在本节中，我们分享了孟买市的三种温度变率、三种降水变率和两种温室气体路径(在中等 SSP245 情景下)的结果。接下来是整个亚太城市样本的类似结果列表。

**孟买:**1975 年，孟买的温室气体排放量为 530 万吨二氧化碳当量，1990 年上升到 1020 万吨二氧化碳当量，2015 年上升到 2470 万吨二氧化碳当量。2015 年温室气体排放的大部分来自能源部门(48%)和工业部门(36%)，其次是住宅部门(9%)和运输部门(9%)。根据 ICLAP 模型的估算结果(图 2)，排放量将以每年 3.9% 的速度增长，到 2030 年将达到 3070 万吨二氧化碳当量，到 2050 年将达到 3940 万吨二氧化碳当量。孟买气候变率的结果表明，与中等温室气体(MIROC6\_SSP245)排放路径对应的情景在 21 世纪 30 年代(高于 1980 年基线温度)增加 0.5°C，在 21 世纪 50 年代增加 0.7°C，在 21 世纪 60 年代达到峰值 1.0°C，并持续到 21 世纪 80 年代(图 3，顶部)。与此同时，孟买的降水变化在长期内表现出很高的变化率，从 21 世纪 30 年代的 200 多毫米(高于 1980 年基线降雨量)到 21 世纪 50 年代的 370 毫米，在 21 世纪 60 年代再次下降到 200 毫米，此后在 21 世纪 70-80 年代稳定在 360 毫米左右(图 3，底部)。



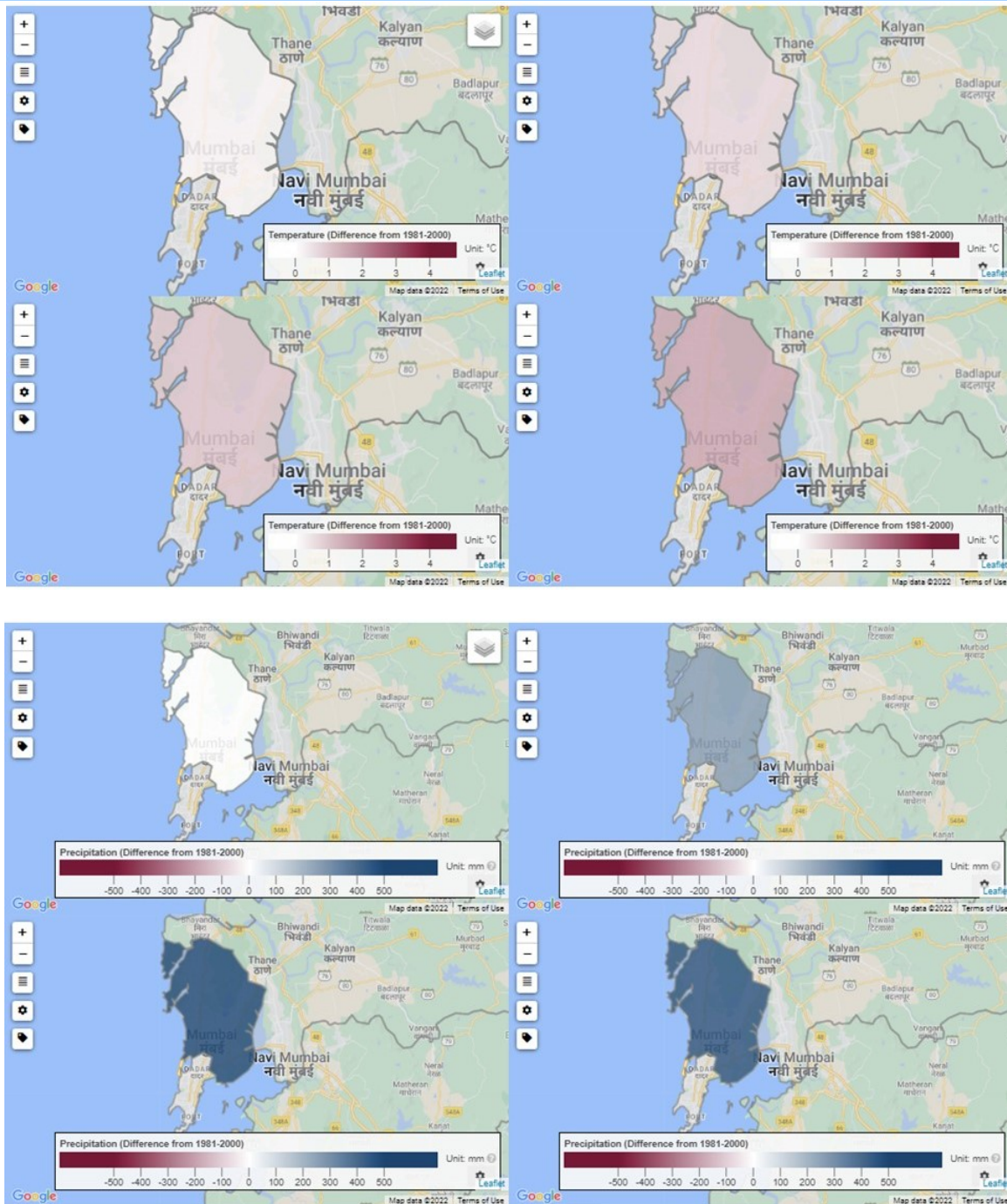


图 3: 中等(SSP245)温室气体情景(上图)下平均温度变异的时空结果(左上顺时针:当前、2030、2050、2080 年); 中等(SSP245)温室气体情景(下图)下平均降水变率的时空结果(左上顺时针:当前、2030 年、2050 年、2080 年)

在 SSP245 情景下对整个样本的结果进行制表后(表 1), 可以观察到亚太城市的 GHG 偏差在-0.3%(福冈)到+7.9%(上海)之间大幅度变化。所有城市的年平均温度偏差均为正, 证实了该地区的全球变暖, 但其幅度从 0.011 摄氏度(雅加达)到 0.29 摄氏度(曼谷)不等。

表 1:SSP245 情景下 49 个城市温室气体、温度和降水变化

	城市	GHGs (Inc/ Dec) 温室气体 (Inc/Dec)	温度（中度情 景）TEMP med (Inc/ Dec)	降水（中度情 景）PPT medium (Inc/ Dec)
1	德里	5.6%	0.022	1.520
2	孟买	3.9%	0.014	3.234
3	班加罗尔	4.9%	0.016	0.730
4	加尔各答	4.7%	0.021	4.246
5	钦奈	6.3%	0.017	2.205
6	海德拉巴德	4.6%	0.014	2.160
7	艾哈迈达巴德	5.2%	0.018	1.372
8	苏拉特	5.2%	0.015	1.119
9	普恩	5.6%	0.015	3.088
10	新加坡	4.5%	0.012	3.326
11	曼谷	7.0%	0.029	-1.827
12	达卡	5.5%	0.028	0.427
13	东京	1.4%	0.021	0.705
14	悉尼	1.3%	0.015	0.099
15	墨尔本	1.1%	0.012	1.042
16	北京	6.0%	0.018	0.560
17	上海	7.9%	0.019	0.222
18	天津	5.1%	0.020	-0.191
19	深圳	6.0%	0.015	4.068
20	广州	6.0%	0.017	4.672
21	马尼拉	2.4%	0.016	-0.600
22	雅加达	6.8%	0.011	4.115
23	胡志明市	7.8%	0.022	-2.221
24	吉隆坡	5.1%	0.014	2.791
25	仰光	7.5%	0.018	2.674
26	卡拉奇	4.9%	0.021	-1.012
27	重庆	3.4%	0.023	1.290
28	成都	5.2%	0.021	2.731
29	南京	6.5%	0.019	0.696
30	武汉	6.4%	0.016	3.825
31	西安	3.6%	0.021	0.335
32	杭州	5.7%	0.020	2.694
33	香港	5.3%	0.015	4.032
34	东莞	6.0%	0.016	4.308
35	佛山	6.0%	0.016	5.145
36	沈阳	4.8%	0.020	0.114
37	苏州	7.1%	0.020	0.246
38	哈尔滨	5.9%	0.023	-0.019
39	青岛	6.5%	0.016	2.016
40	大连	7.0%	0.019	0.989
41	济南	5.3%	0.017	1.547
42	郑州	7.2%	0.017	0.522
43	首尔	3.3%	0.017	1.253
44	名古屋	0.5%	0.021	-0.042
45	德黑兰	6.0%	0.023	-0.299
46	福冈	-0.3%	0.019	0.352
47	吉大港	5.7%	0.020	3.385

48	拉合尔	5.6%	0.025	0.654
49	大坂	0.5%	0.021	0.103
	均值:	5.0%	0.018	1.518

为了对各城市的温室气体、平均温度和平均降水同时如何变化进行比较和长期展望，我们计算了这三个指数的复合年增长率(CAGR)。图 4 显示了截至 2080 年的年度增长/下降(以百分比计算)。其中，49 个亚太城市的温室气体排放量平均每年增长 5%。谁引领了这一变化？平均来看，除了日本、韩国和澳大利亚的少数城市温室气体排放增加 1.1-1.2%外，增幅最大的主要是东南亚(5.9%)和中国(5.8%)的发展中城市，其次是亚洲其他地区(5.5%)和印度(5.1%)。

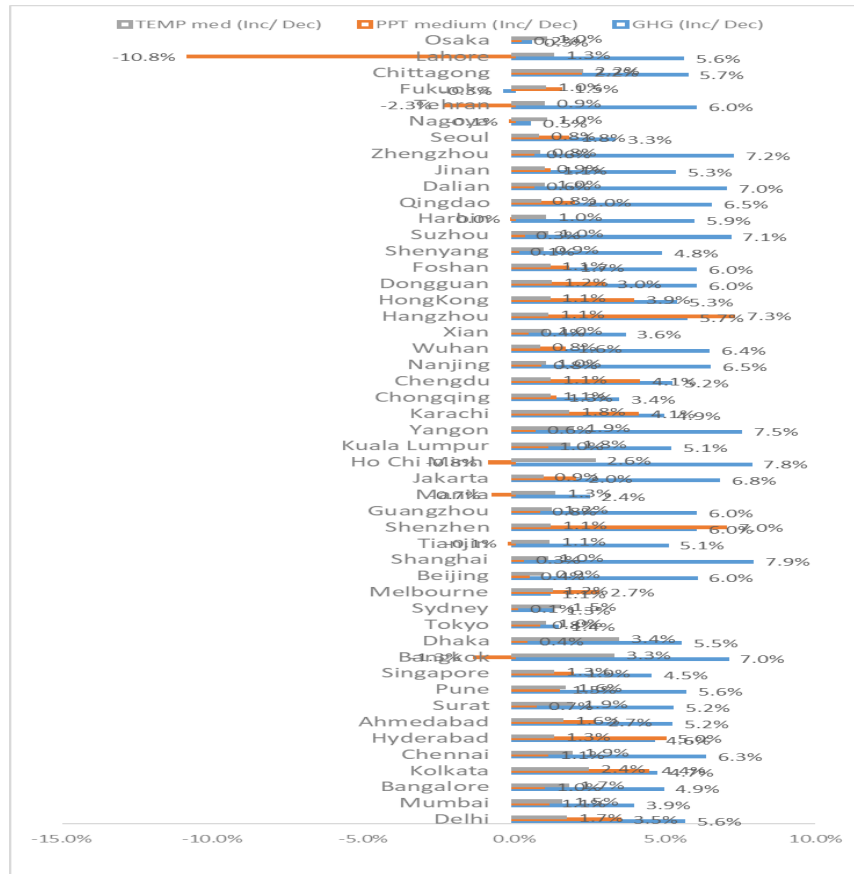


图 4:SSP245 情景下亚太 49 个城市的平均温度、降水量和温室气体排放的年变化(in %)

### 3.3 结果的区域含义

不同亚太子区域的结果有很大差异。气候变率的中级温室气体情景 (SSP245) 下 (如表 2)，49 个亚太城市的平均气温预计每季度升高 0.018°C (1.4%)。相比于澳大利亚 (1.3%)、中国、日本和韩国 (1.0%)，东南亚 (1.9%) 和印度 (1.7%) 的城市更倾向于全球变暖。同时，观测到的平均降水量与正常值的偏差为每季度+1.518mm。与中国 (1.8%) 和澳大利亚 (1.4%) 相比，印度的降水量最有可能增加 (2.3%)。另一方面，日本、韩国 (0.8%)、东南亚 (0.5%) 和亚洲其他地区 (-1.3%) 的降水量增加值可忽略不计。简要地说，在亚太地区，印度城市对年气温和年降水量的敏感性始终较高，而日本城市对年气温和年降水量的敏感性较低。当然，季度/月度，每日和短期的评估结果可能不同。

在 SSP585 情景 (表 3) 下，气候变率预计有较大的提升，温度 (0.45°C) 和降水量 (2.95mm) 都会升高。除了中国 (1.8%)、日本和韩国 (1.7%)，所有子区域都会有温度升



高(2.8-3.3%)。同时,中国(1.8%)、印度(2.6%)日本、韩国(1.9%)及亚洲其他地区(1.8%)的城市降水将显著增加,而东南亚(1.2%)和澳大利亚(-0.9%)的城市降水可以忽略不计。

表 2: 中等温室气体情景下亚太子区域的结果分类

洲	温室气体	温度	温度变率	降水	降水变率
澳大利亚	1.2%	0.014	1.3%	0.571	1.4%
中国	5.8%	0.019	1.0%	1.757	1.8%
印度	5.1%	0.017	1.7%	2.186	2.3%
日本, 韩国	1.1%	0.020	1.0%	0.474	0.8%
东南亚	5.9%	0.017	1.9%	1.180	0.4%
亚洲其他地区	5.5%	0.024	1.9%	0.631	-1.3%
<b>范围</b>	-0.3-7.8%		0.8-3.4%		1.3-4.4%
<b>平均值</b>	5.0%	0.018	1.4%	1.518	1.3%

表 3: 高温温室气体情景下亚太子区域的结果分类

洲	温室气体	温度	温度变率	降水	降水变率
澳大利亚	1.2%	0.051	3.2%	-0.433	-0.9%
中国	5.8%	0.048	1.8%	3.400	3.4%
印度	5.1%	0.040	3.3%	3.535	2.6%
日本, 韩国	1.1%	0.045	1.7%	3.525	1.9%
东南亚	5.9%	0.039	3.1%	2.421	1.2%
亚洲其他地区	5.5%	0.050	2.8%	1.606	1.8%
<b>范围</b>	-0.3-7.8%		1.5-5.1%		4.8-6.2%
<b>平均值</b>	5.0%	0.0451	2.4%	2.954	2.4%

### 3.4 不同亚太城市的可行气候解决方案

通过 ICLAP 的文献计量和机器学习,我们回顾了全球城市气候中的最佳实践案例如何应对城市气候变率和将产生的温室气体。基于增长的温室气体和变化的温度与降水,原则上出现四种情况(表 4)。情况 1 是温度和降水同时变化。情况 2 反映温度的增加和降水的减少。情况 3 表明温度和降水均减少,情况 4 温度降低但降水增加。我们观察到情况 3、4 不存在于我们亚太城市的样本中。

情况 1: 随着气温和降水的上升,亚太地区的大多数城市(49 个城市中的 42 个)容易出现年高温、强降雨和洪水,这对人类和城市基础设施都是危险的。这些城市在中国、日本、印度、东南亚和亚洲其他地方都有。随着极端气候事件的降水强度增加,强降雨可能导致一些密集的居住区发生城市洪水。这对城市居民区和商业区的建筑、电力和交通有很大的危害。减少或避免这类影响需要合适的面向城市规划和治理的气候适应性解决方案。例如,在地方、城市和区域层面整合绿蓝基础设施,促进屋顶花园、道路周围软景观、城市湖泊和森林的复兴、地下水补给等。

情况 2: 在 49 个城市中,约有 7 个城市出现降水减少和气温飙升的情况,这会阻碍空调负荷和城市能源需求,特别是在夏季。曼谷、天津、马尼拉、胡志明、名古屋、德黑兰、拉合尔等城市的降雨水平不断下降,因此需要在水利基础设施、饮用水系统的高效管理、需求方管理和消费者意识、电力系统和交通的弹性、耐热性、节能建筑、控制城市蔓延和碳足迹、以交通运输为导向的发展、城市农业等方面投入大量资金。过度取水对环境、社会和经济都有严重的影响,包括社会纠纷和水资源紧张、水黑手党的统治、地下水的干扰或开采、地面沉降等等。因此,这些社区或市政府需要采取气候适应措施,聚焦废水回收、雨水收集和恢复自然含水层的活力。

表 4：未来不同温度和降水的亚太城市样本的影响和可行性措施

案例	预计温度 (中度情景) (Med)	预计降水 (中度情景) (Med)	观测数量	城市	影响描述	可行方案
1	上升	上升	42	新德里、孟买、加尔各答、班加罗尔、金奈、海得拉巴、艾哈迈达巴德、苏拉特、浦那、新加坡、达卡、东京、悉尼、墨尔本、北京、上海、深圳、广州、雅加达、吉隆坡、仰光、卡拉奇、重庆、成都、南京、武汉、西安、杭州、香港、东莞、佛山、沈阳、苏州、哈尔滨、青岛、大连、济南、郑州、首尔、福冈、吉大港、大阪	热负荷(空调)的增加(特别是季风期间)、能源消耗、城市洪水、抽水能源和排水成本的增加、洪水期间电力系统和运输路线的淹没、预防性停电	绿色建筑、智能电表、DSM 调峰设备、雨水收集、地下水蓄水层的补充、地表水体的恢复、建造屋顶花园和软景观、以促进更大的渗透、具有抗洪能力的流动性替代品
2	上升	下降	7	曼谷、天津、马尼拉、胡志明、名古屋、德黑兰、拉合尔	地下水耗尽、热浪、城市热岛、环境干旱、空调使用增加(特别是夏季)、抽水能源和供水成本增加、电力电缆/装置的熔化和变形、电力和地铁系统的短路、减载等	植树造林和绿化、绿色建筑、智能电网、屋顶太阳能光伏安装、建筑循环水和雨水收集、需求管理系统或建筑信息系统、智能电表、地热热泵、耐热电网、运输系统和工业、办公室和家庭在减负荷期间的备用电源
3	下降	下降	-	未观测到	-	-
4	下降	上升	-	未观测到	-	-

除了这里讨论的案例之外，不同地理气候、经济和政策条件的亚太城市有一系列有前景的城市气候解决方案可供选择。一些最有潜力的解决方案在大多数情况下都适用，如以交通为导向的发展、电动交通、净零排放建筑、废物转化为能源、雨水收集、绿色屋顶等。考虑项目的技术经济可行性、环境和社会影响以及基层实施的治理机制等当地因素，这些方案可以被进一步应用。

## 4. 结论与建议

ICLAP 工具使气候研究人员、政策制定者和城市机构能够平等地了解缓解和适应目标，并根据自身情况（基于事实数据和全球案例研究）评估可能的政策替代方案。它促进了数据集成的过程，确保决策变得更加科学、现实和可验证。最后，我们建议将 ICLAP 应用于多层次城市气候政策治理的短期和长期影响，突出其在城市层面气候规划和监测、区域气候行动、实施全球可持续发展目标、能力发展和环境合作方面的相关性。

**城市气候规划和监测：**有效的气候规划和管理需要制定战略、评估计划和监测框架，以实现城市整体发展目标中的城市气候议程。ICLAP 中使用的可测量指标提供了关于基线条件和计划行动的可量化信息。ICLAP 整合了来自三个不同知识领域的数据集——区域气候变率(温度、降雨量等)、温室气体排放和捕获世界各地城市气候实践的事后研究。利用这样一个智能监测框架，城市可以根据其气候目标来调整城市战略。这使得在规划过程中形成了一个反馈循环，地方利益相关者和决策机构拥有可验证的数据，以评估其气候行动的成果并影响未来的目标。因此，ICLAP 凭借其很强的实用性，不仅可以直接应用于城市规划，还可以直接应用于国家城市政策和财政举措，以帮助有关利益相关者评估目标、总结和确定行动的优先次序。

**区域气候行动：**ICLAP 直接促进了亚太网络正在进行的第五个战略计划的目标，即研究、能力建设、科学-政策互动、社区参与(APN 2015)和为创新的循证决策工具确定的相关问题(APN 2019)，包括改善气候预测以应对多层次的影响、与季风有关的极端事件、提高当地社区对气候影响的抵御能力，开展落实国家自主贡献的政策研究以及促进能源效率和温室气体减排方面的减排政策。特别是，ICLAP 的应用与印度(GNCTD 2017)、泰国(ONEP 2015)和中国(国家发改委 2007)等快速发展和城市化的亚太国家当前的环境、气候减缓、适应和城市发展计划密切相关。

#### **对全球可持续发展的贡献**

ICLAP 在支持实施若干全球可持续发展目标(2015 年大会)方面具有全球相关性，主要是目标 7、10-13 和 17，以及《新城市议程》(联合国人居署 2016 年)，有目的地指导地方发展战略。例如，此工具展示了可控的城市化、紧凑的城市发展、土地利用-交通一体化和城市绿色发展如何有助于减少当地污染物同时最大程度上减少全球温室气体排放。因此，ICLAP 的成果与联合国人居署、联合国、世界银行、世界自然基金会、城市联盟、世界资源研究所、ICLEI-地方政府可持续发展等多个国际组织/网络的计划有关，并与 IPCC 第六次评估报告和各国向《联合国气候变化框架公约》提交的国家自主贡献报告直接相关。

**发展跨学科的知识能力：**最后，综合模型为跨学科专家和城市管理者之间的合作提供了机会，为知识交流提供了平台，最终可以为技术和地方治理过程建立能力。从长期来看，与 ICLAP 类似的指标和工具可以作为基于科学的政策在多层次可持续发展中的应用工具，鼓励公众参与和与私营部门的合作。由于气候变化现象具有全球性的因果关系，ICLAP 与城市气候工具一样，促进了城市间的比较，以及与洲际城市论坛、科学界、非政府组织、企业和公众的互动。在这方面，各国政府、区域和国际科学机构(如本例中的 APN)有潜力支持具有重大实际适用性的综合协作科学工具，以应对全球气候挑战。

END

**Acknowledgment:** This research was primarily supported by grants from the Asia-Pacific Network for Global Change Research (Funder ID: <https://doi.org/10.13039/100005536>) vide Project No. CRRP2020-04MY-Sethi

#### **References**

- APN (2015). APN Fifth Strategic Plan 2020–2024. Kobe: Asia-Pacific Network for Global Change Research accessible at <https://www.apn-gcr.org/wp-content/uploads/2021/03/APN-Fifth-Strategic-Plan-v1-compressed.pdf>
- APN (2019). Calls for Proposals under the CRRP and CAPaBLE Programmes. Last accessed on 5 July 2021 at <https://www.apn-gcr.org/news/2019-calls-for-proposals-under-the-crrp-and-capable-programmes/>
- APN (2021). Developing High Spatiotemporal Resolution Datasets of Low-Trophic Level Aquatic Organism and LandUse/Land-Cover in the Asia-Pacific Region: Toward an Integrated Framework for Assessing Vulnerability, Adaptation, and Mitigation of the Asia-Pacific Ecosystems to Global Climate Change. APN E-Lib. Last accessed on 8 July 2021 at <https://www.apn-gcr.org/publication/project-final-report-caf2017-rr02-cmy-siswanto/>
- Assembly, G. (2015). Sustainable development goals. *SDGs Transform Our World, 2030*.
- C40-Cities (2021). New tool will help cities understand interactions between mitigation and adaptation actions. Retrieved from <https://www.c40.org/news/new-tool-will-help-cities-understand-interactions-between-mitigation-and-adaptation-actions/>
- Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., van Aardenne, J.A., Monni, S., Doering, U., Olivier, J., Pagliari, V. and G. Janssens-Maenhout (2018). Gridded Emissions of Air Pollutants for the Period

- 1970–2012 within EDGAR v4.3.2. *Earth System Science Data* 10(4):1987–2013. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1987-2018>.
- Farzaneh, H. (Ed.). (2019). *Devising a clean energy strategy for Asian cities*. Springer Singapore.
- Florczyk, A. J., Melchiorri, M., Corbane, C., Schiavina, M., Maffneni, M., Pesaresi, M., ... & Kemper, T. (2019). Description of the GHS Urban Centre Database 2015. *Public Release*.
- Fujimori, S., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2014). Development of a global computable general equilibrium model coupled with detailed energy end-use technology. *Applied Energy*, 128, 296–306.
- GNCTD. Delhi state action plan on climate change. 2017. Available online: <http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/Delhi-State-Action-Plan-on-Cimate-Change.pdf> (accessed on 25 September 2022).
- ICLEI (2021). List of Tools. Retrieved from <http://old.iclei.org/index.php?id=19>
- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories IPCC/OECD/ IEA, Paris, 1996.
- IPCC (2014). Synthesis Report. Contribution of working groups I. *ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 138.
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland*, 32 pp.
- Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Creutzig, F., Khosla, R., & Minx, J. C. (2018). The literature landscape on 1.5 C climate change and cities. *Current opinion in environmental sustainability*, 30, 26–34.
- Lamb, W. F., Creutzig, F., Callaghan, M. W., & Minx, J. C. (2019). Learning about urban climate solutions from case studies. *Nature Climate Change*, 9(4), 279–287.
- NDRC (2007). China’s National Climate Change Programme. Beijing: National Development and Reform Commission People’s Republic of China. Last accessed on 26 June 2021 at <http://www.ccchina.org.cn/WebSite/CCChina/UpFile/File188.pdf>
- ONEP (2015). Thailand: Climate Change Master Plan. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Last accessed on 24 July 2021 at <https://www.preventionweb.net/english/professional/policies/v.php?id=60582>
- Saraswat, C., Kumar, P., & Mishra, B. K. (2016). Assessment of stormwater runoff management practices and governance under climate change and urbanization: An analysis of Bangkok, Hanoi and Tokyo. *Environmental Science & Policy*, 64, 101–117.
- Sethi, M., Lamb, W. F., Minx, J. C., & Creutzig, F., (2020). Climate change mitigation in cities: A systematic scoping of case studies. *Environmental Research Letters*.
- Sethi, M., Liu, L. J., Ayaragarnchanakul, E., Suwa, A., Avtar, R., Surjan, A., & Mittal, S. (2022). Integrated Climate Action Planning (ICLAP) in Asia-Pacific Cities: Analytical Modelling for Collaborative Decision Making. *Atmosphere*, 13(2), 247.
- Sethi, M., Sharma, R., Mohapatra, S., & Mittal, S. (2021). How to tackle complexity in urban climate resilience? Negotiating climate science, adaptation and multi-level governance in India. *PloS one*, 16(7), e0253904.
- UN (2015). The Sustainable Development Goals. <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html>
- UNDESA (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. *New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs*.
- UNFCCC (2015). The Paris Agreement. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change. Last accessed on 22 September 2022 at [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- UNFCCC (2021). Asia-Pacific Climate Week 2021 Sends Strong Signal to COP26. UN Climate Press Release (19 September 2022). Last accessed on 28 July 2021 at [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- UN-Habitat (2016). The New Urban Agenda. Nairobi: The United Nations Human Settlements Programme. Last accessed on 28 September 2022 at <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/>
- UN-Habitat. (2011). *Cities and climate change: Global report on human settlements, 2011*. Routledge.
- WMO (2022). State of the Global Climate 2022. Geneva: World Meteorological Association