气候治理的“最后一公里”：局地尺度模型如何链接全球预估与本地决策

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43061.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

气候治理的“最后一公里”：局地尺度模型如何链接全球预估与本地决策。气候变化正成为21世纪最紧迫的全球性挑战。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告显示，极端天气事件的频率和强度正持续上升；世界气象组织（WMO）确认，2024年全球平均气温已较工业化前水平升高约1.55°C，再创历史新高。在持续推进温室气体减排的同时，应对不断升级的气候影响已刻不容缓。然而，全球气候模型空间分辨率一般较低，难以捕捉区域、城市尺度的局地差异；开发面向行政区和城市的局地尺度模型，将精细地形、土地利用、城市形态、人口脆弱性等关键细节纳入其中，才能为制定精准的适应策略提供可操作信息。

复旦大学IRDR国际卓越中心团队在中国工程院Engineering集群子刊ENGINEERING Environment期刊发表题为Urgency and importance of local-scale modeling tools to support climate adaptation and sustainable development的观点文章，系统阐述了局地尺度气候模拟工具的战略价值、核心挑战与发展路径。复旦大学汤绪教授和丹麦哥本哈根大学/芬兰赫尔辛基大学Alexander Baklanov教授为共同通讯作者。复旦大学欧阳慧灵博士为第一作者，合作者还包括复旦大学张人禾院士和王芃副教授。

连接全球预估与本地决策的桥梁

局地尺度模型指聚焦某一行政区、国家或指定区域，充分整合全球气候预估与本地化信息，可生成具有空间针对性的气候影响与适应方案评估结果的模型。与城市气候、人体健康、生态系统、农业、水资源、基础设施等多领域风险信息相结合，局地尺度模型可精确识别不同部门的暴露度与脆弱性，为制定差异化适应策略提供科学依据。

研究团队指出，局地尺度模拟的有效性取决于多个关键因素：模型不能只依赖全球模式结果的简单降尺度，而必须在不同尺度间保持物理一致性，并捕捉全球与局地气候动力学之间的双向相互作用；同时需精细刻画地形、土地利用和城市特征，并纳入人口分布、基础设施、健康暴露等社会-环境因素。将空气质量与气候过程耦合，也是实现协同治理的关键环节。

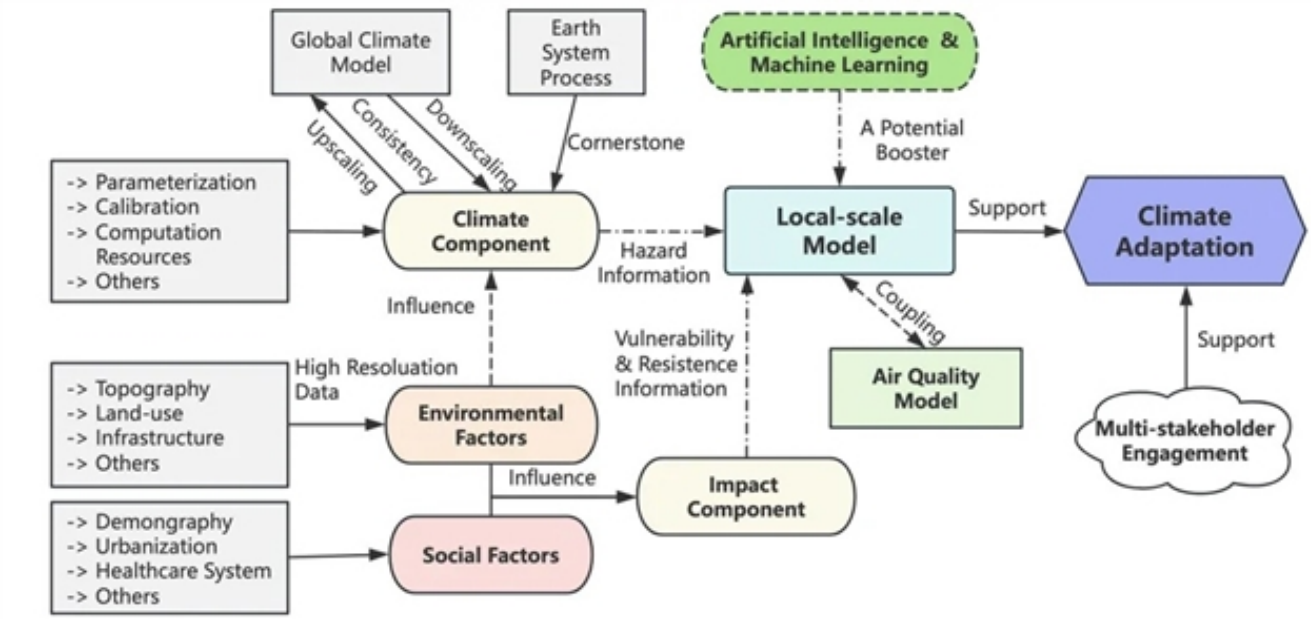


图1. 支撑气候适应的局地尺度模拟工具发展框架示意图。

模型开发的三重难关

· 数据可得性与分辨率是首要瓶颈。局地模型需要高分辨率的地形、土地利用、人口、基础设施及气象观测数据，但这些数据在许多地区尤其稀缺。卫星遥感与地面观测的融合、机器学习与数据同化技术的应用，例如世界城市数据库与访问门户工具（WUDAPT）提出的局地气候区（LCZ）框架，为缓解数据缺口提供了可行路径。

· 多尺度一致性问题同样突出。当前多数模型采用单向嵌套，难以充分考虑局地过程对更大尺度的反馈，且城市效应与微尺度参数化仍有待完善。

· 参数化与校准方面，对流、云和降水等物理过程需要持续优化，并在观测数据基础上严格验证。模型复杂度与计算成本之间的权衡，以及物理机制约束的机器学习框架，都是提升模拟可信度的重要方向。

Table 1 Comparison of different types of local-scale climate models

Model name/type	Description	Advantages	Disadvantages	Best uses	Key references
Dynamical Downscaling (e.g., WRF, RegCM, Enviro-HIRLAM)	Uses Regional Climate Models (RCMs) to dynamically downscale Global Climate Model (GCM) output.	- High spatial and temporal resolution - Physically consistent - Captures complex topography and coastlines	- Computationally expensive - Needs high-quality input data - Long run times	Urban planning, hydrological studies, regional risk assessments	Giorgi and Mearns (1999); Skamarock et al. (2008); Baklanov et al. (2017a); Wang et al. (2021)
Statistical Downscaling (e.g., SDSM, LARS-WG)	Uses empirical relationships between large-scale climate and local weather	- Low computational cost - Easy to implement - Can be applied at specific locations	- Limited in capturing non-stationary relationships - Sensitive to quality and length of observational data	Agriculture planning, water resources, vulnerability mapping	Semenov and Barrow (1997); Wilby et al. (2002); Dafouf et al. (2025)
Empirical-Statistical Downscaling (e.g., BCSD, Delta Method)	Combines observed data and climate projections using statistical techniques	- Simplified method for scenario development - Good for stakeholder communication - Suitable for regions with limited data	- Simplifies physical processes - Assumes stationarity of climate relationships	Risk communication, impact assessments, adaptation strategy design	Wood et al. (2004); Hay et al. (2000); Michalek et al. (2024)
Hybrid Models (e.g., LOCA, BCCAQ)	Combine dynamical and statistical approaches to leverage strengths of both	- Balances accuracy and efficiency - Improved bias correction - Better spatial representation	- Still computationally intensive - Complex methodology - Requires both high-quality obs. and GCM data	Coastal zone management, infrastructure planning, energy systems	Pierce et al. (2013); Werner and Cannon (2016); Lopez-Gomez et al. (2025)
High-Resolution Regional Climate Projections (e.g., UKCP Local, CORDEX)	Outputs from coordinated initiatives providing downscaled datasets	- Readily accessible - Broadly validated - Includes uncertainty quantification	- Limited flexibility for custom applications - May not resolve local microclimates	National adaptation plans, ecosystem impact studies	Murphy et al. (2018); Giorgi et al. (2009); Langendijk et al. (2024)
Machine Learning Models (e.g., Random Forests, Neural Networks)	Data-driven models trained on observed and projected data	- Handles non-linear relationships - Fast predictions - Good for large datasets	- Black box behavior - Requires large, clean datasets - May not generalize well	Decision support tools, forecasting, socio-climate vulnerability	Reichstein et al. (2019); Ganguly et al. (2014); Hobeichi et al. (2023)

表1. 不同类型局地尺度气候模型的比较。

让模型真正落地

模型的最终价值体现在为政策制定和气候服务提供支撑。研究团队强调，需建立模型开发者与终端用户之间的持续对话与反馈机制，将局地模型与早期预警系统和长期灾害风险减缓规划相衔接。在城市层面，综合城市服务（IUS）、城市热岛监测系统和多灾种早期预警系统（MHEWS）等已有实践，为气候韧性城市建设提供了基础。

面向未来，研究团队提出三项优先方向：发展可扩展、无缝、面向应用的局地尺度模型；深度融合人工智能与机器学习以提升模型性能；改进局地社会—环境相互作用的表征，以更具韧性的方式应对气候变化带来的复杂挑战。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fese/EN/10.1007/s11783-025-2091-7

作者：汤绪 等 来源：《工程·环境》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发