

西湖大學
WESTLAKE UNIVERSITY

Georgia
Tech

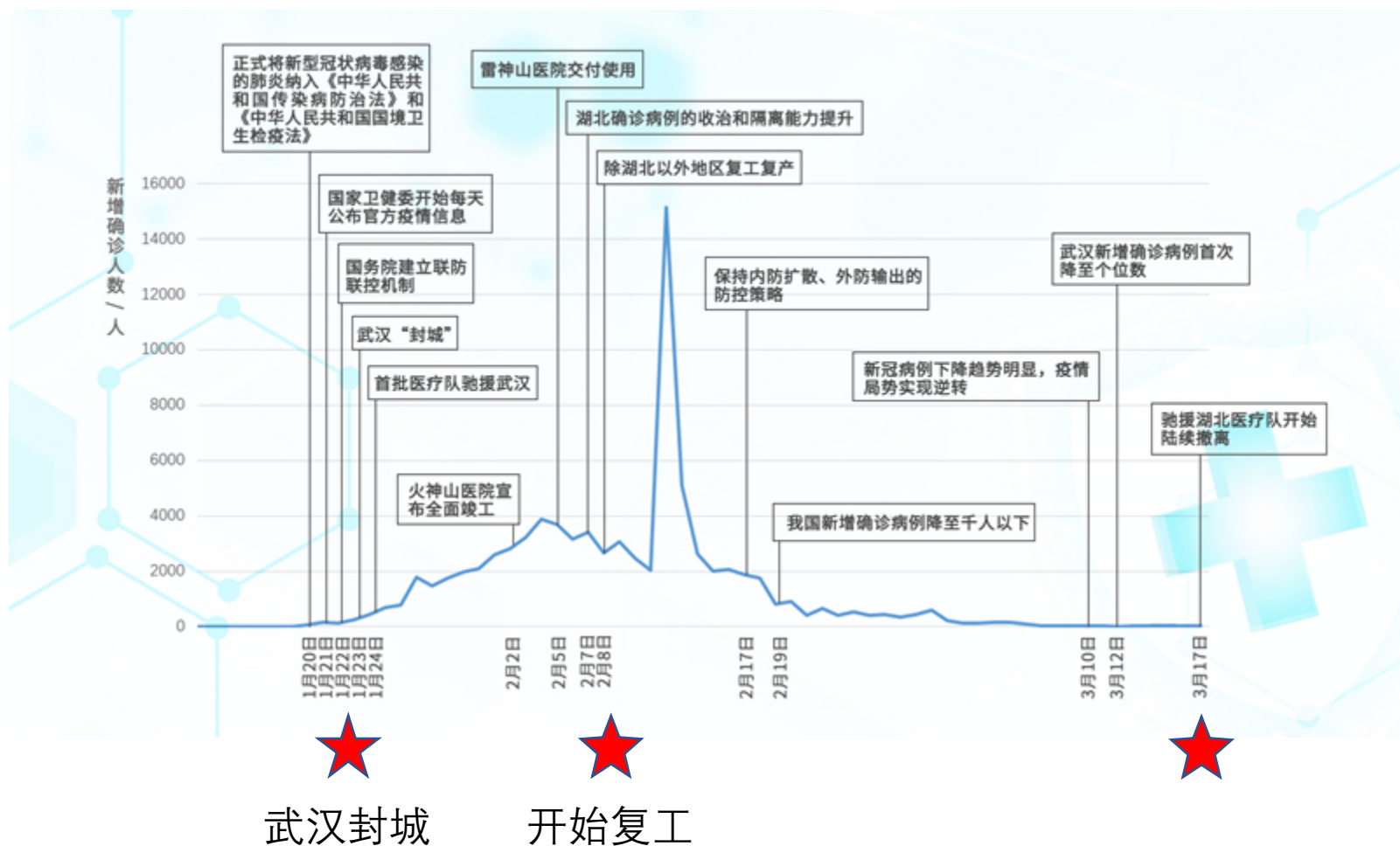


新冠疫情期间中国东部 氮氧化物排放变化

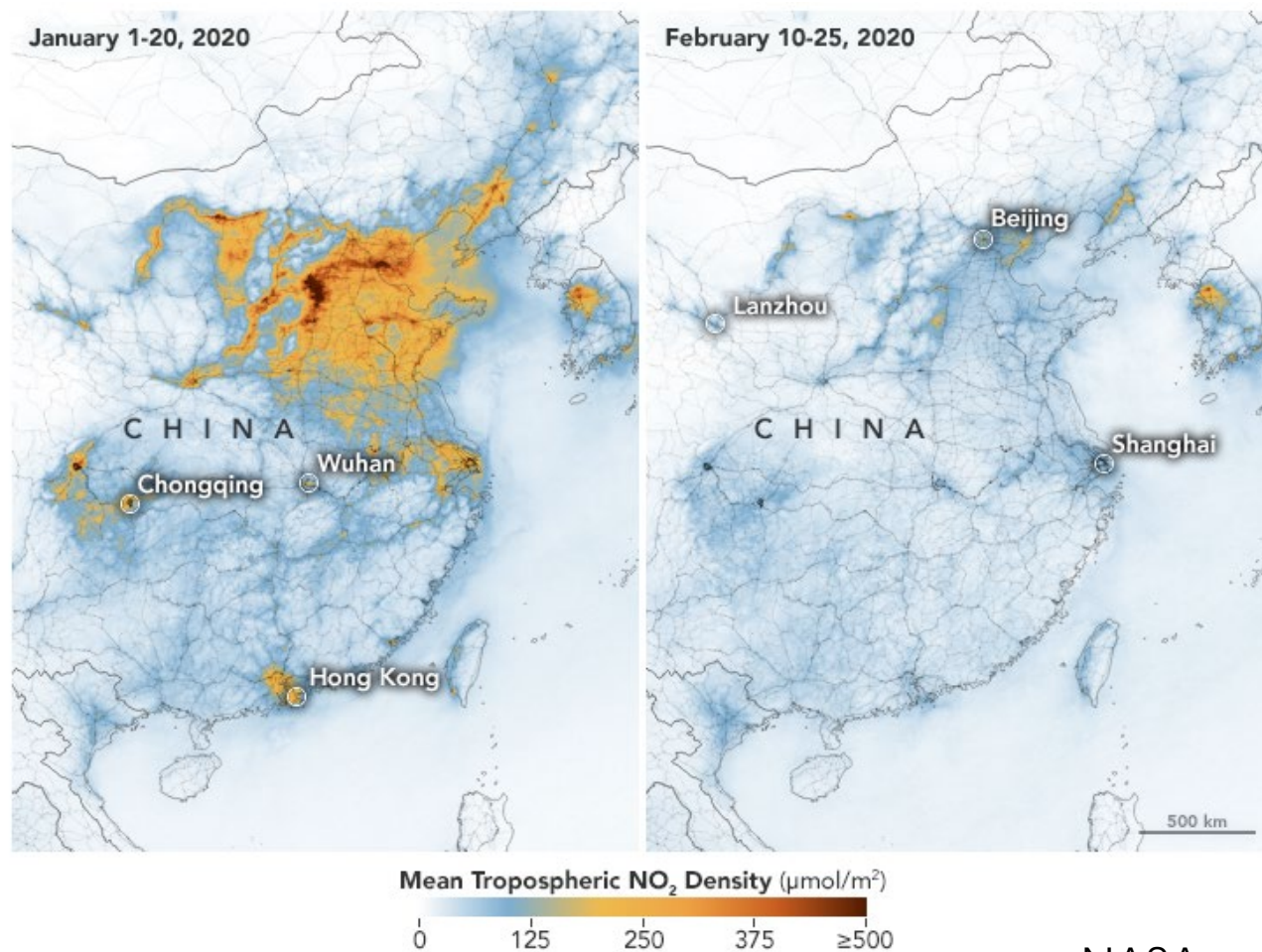
张羽中

with 张睿雄 王育航 林海芃 冯旭 傅宗玫

疫情时间线



二氧化氮 (NO_2) 浓度的卫星观测



NASA

- 短期的浓度变化 \neq 排放变化
- 气象因素有多大贡献?
- 追踪经济活动的复苏情况

利用卫星NO₂观测快速追踪短期经济波动

- 大气中的NO₂主要来源于高温燃烧生成的氮氧化物 (NO_x)



电厂



工业

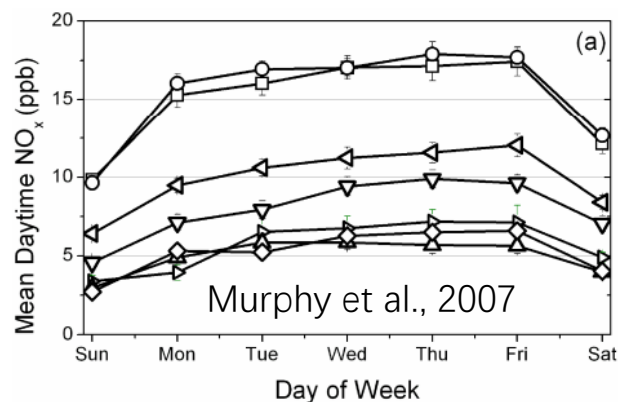


汽车

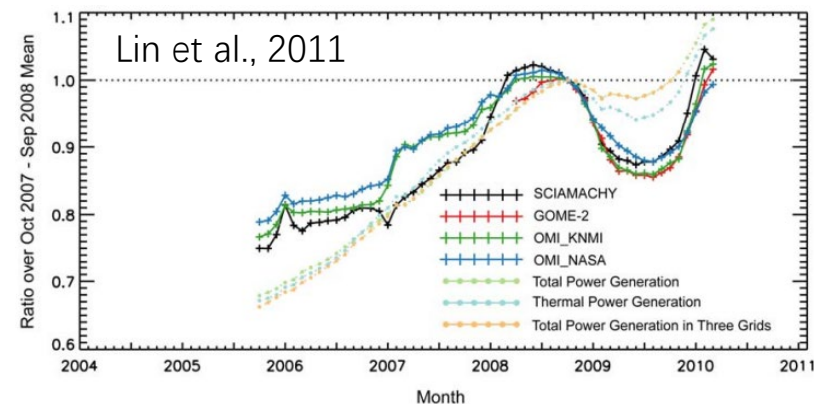
- 其排放强度波动很大程度上反映了人类经济活动强度的短期波动
- GDP的统计具有滞后性，空间分辨率也较差

氮氧化物浓度/排放与人类活动

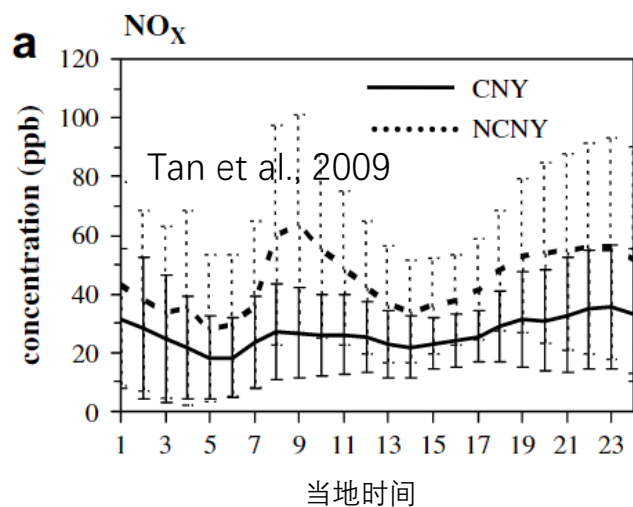
周末效应



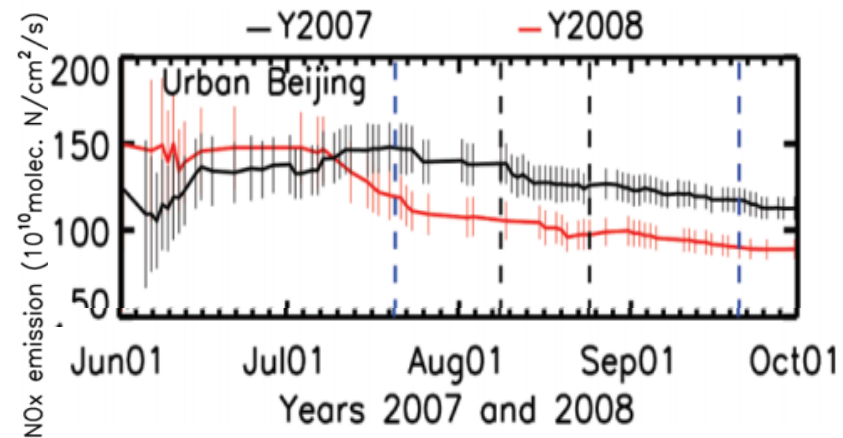
经济危机



春节效应

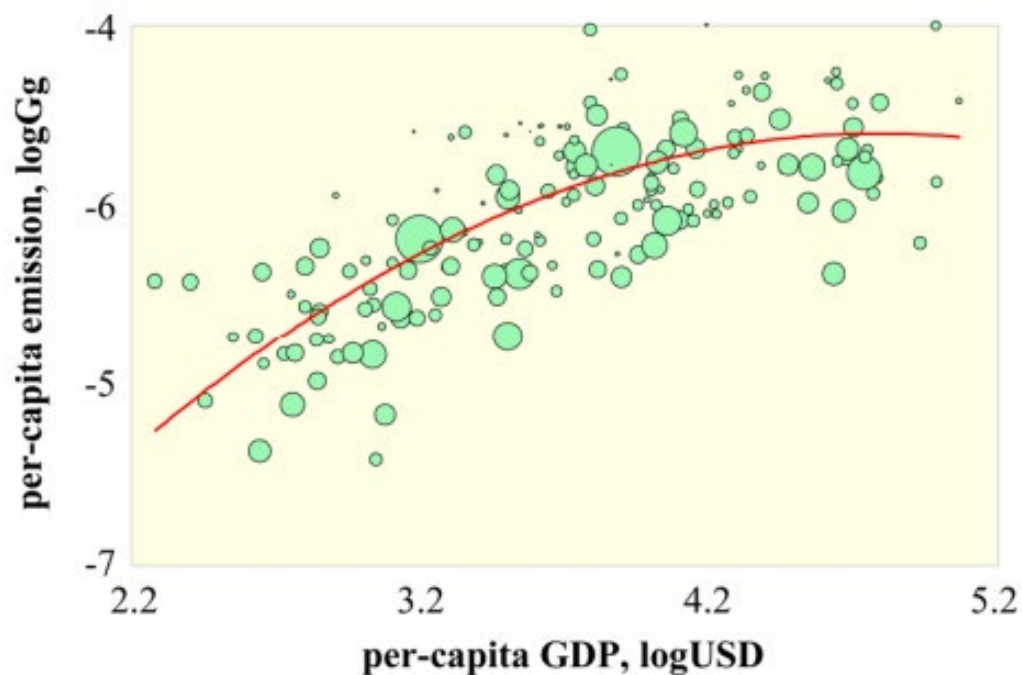


奥运会

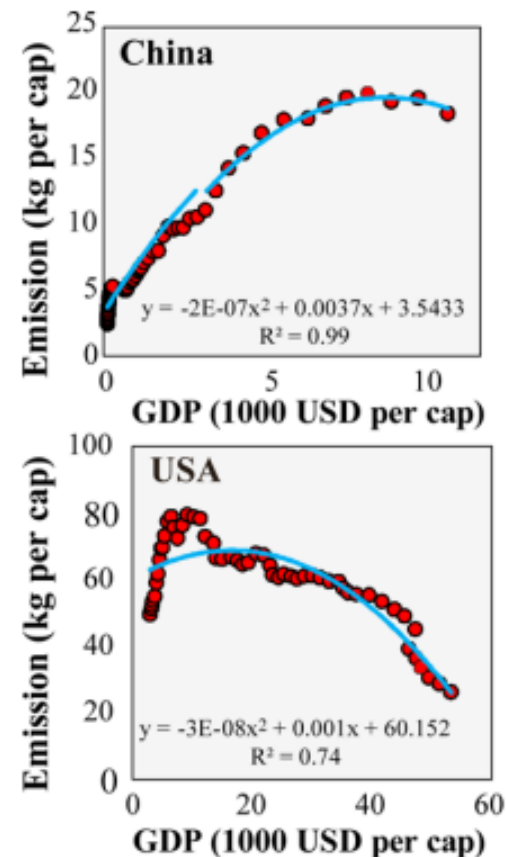


Yang et al., 2011

氮氧化物排放与GDP



- 总体上人均GDP与人均氮氧化物排放有一定正相关
- 随着经济增长、技术进步，GDP增长对氮氧化物排放的依赖降低

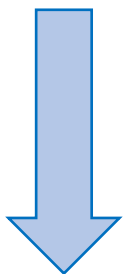


Huang et al., EST, 2014

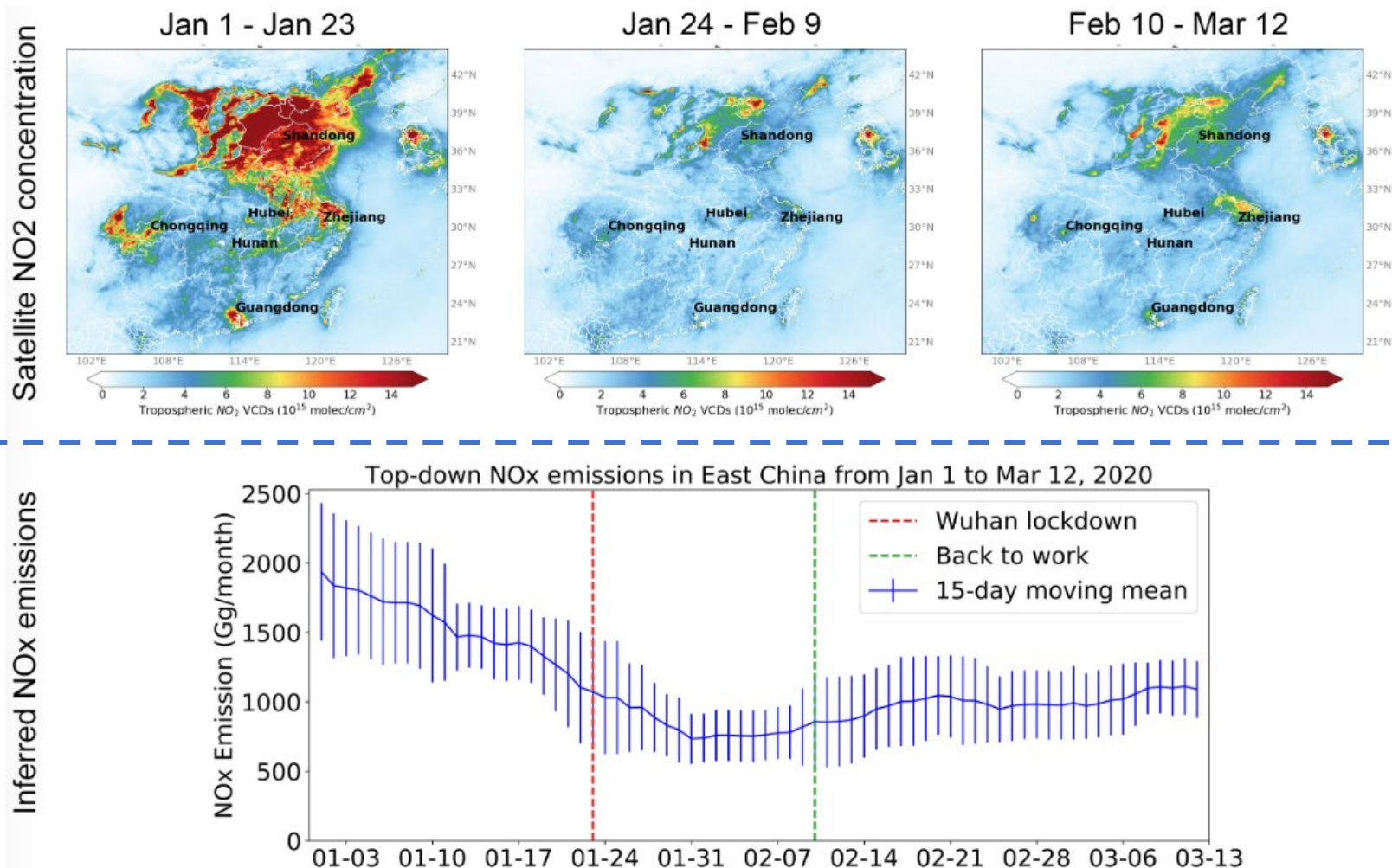
基于卫星NO₂推断NO_x排放变化

卫星观测的二氧化氮浓度分布

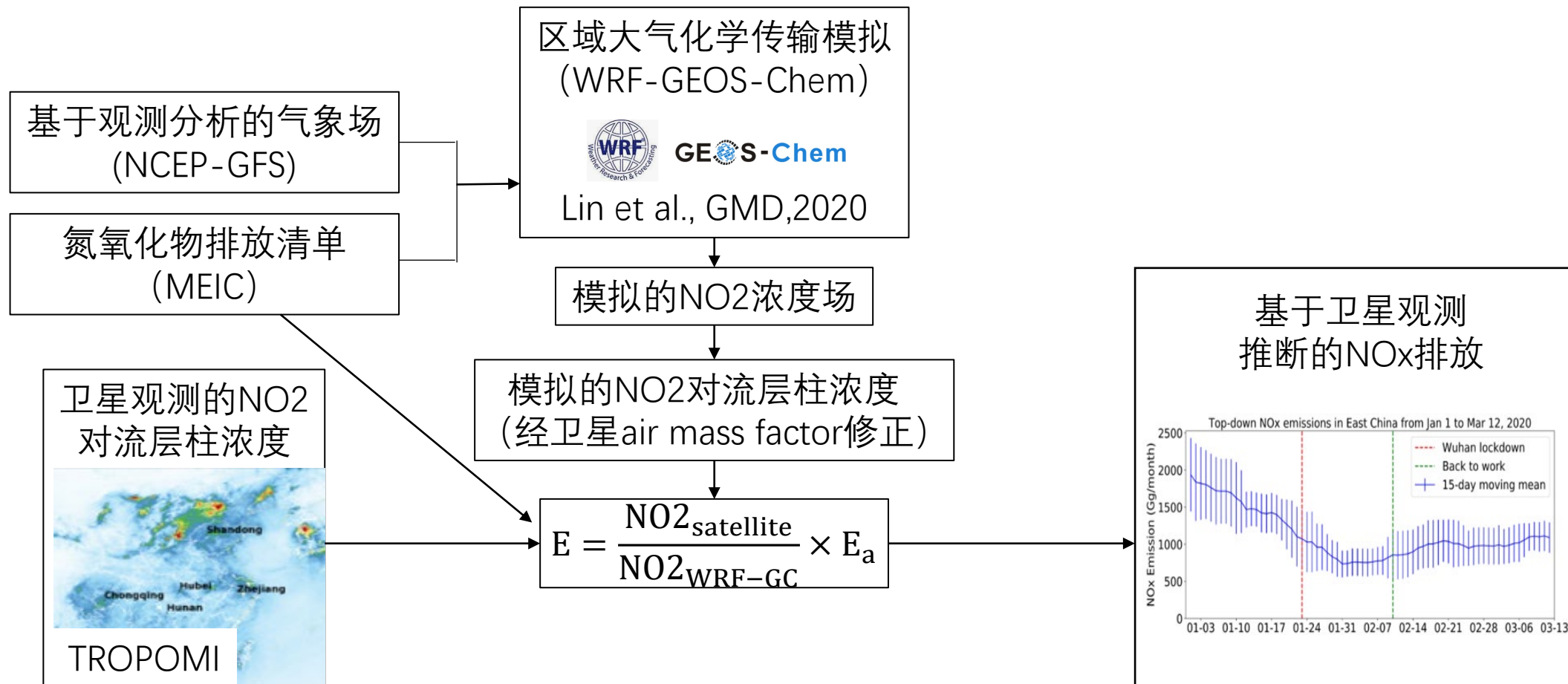
剔除气象因素的影响



估计氮氧化物排放的变化

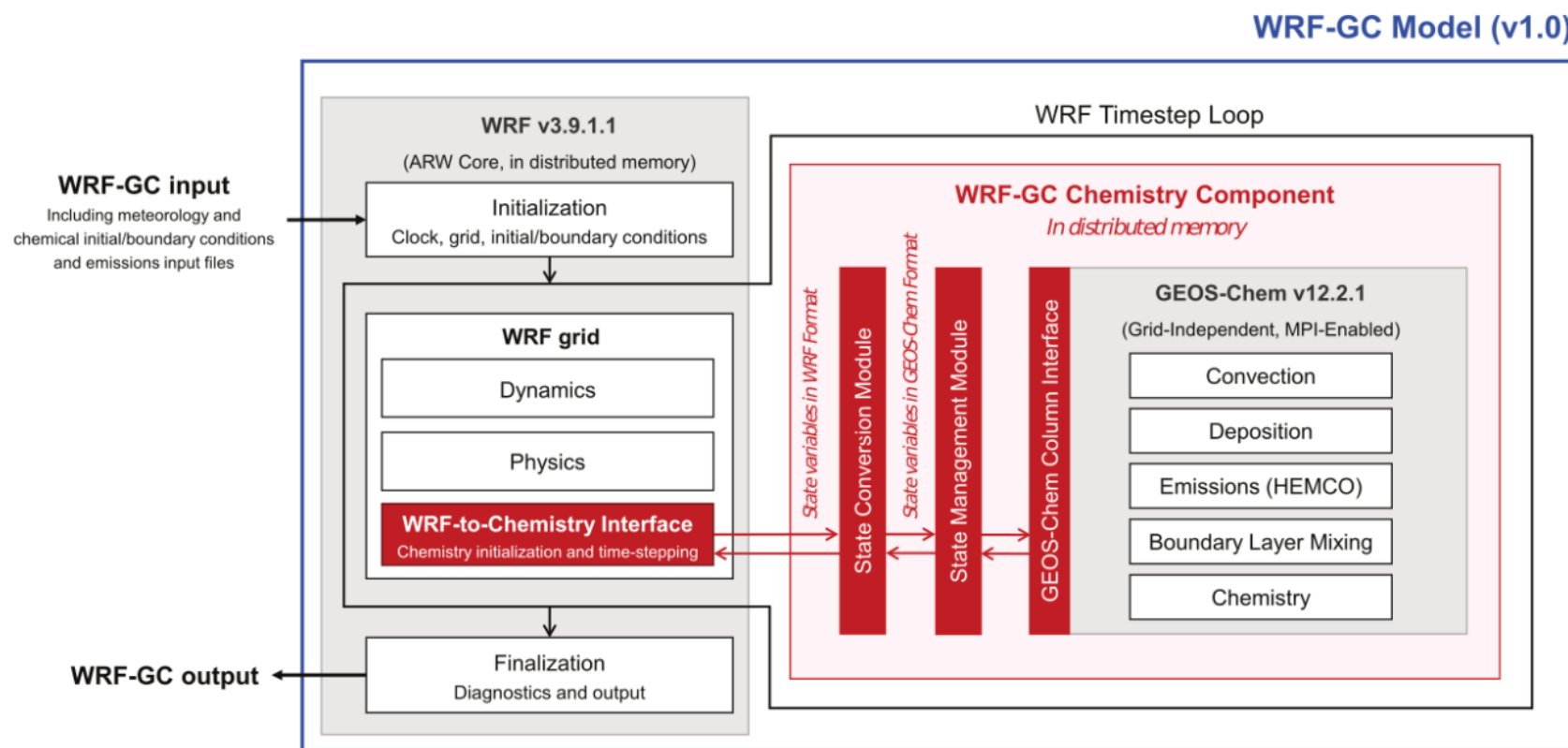


基于卫星NO₂推断NO_x排放变化



WRF-GEOS-Chem 耦合模型

Online coupled model based on the regional meteorology model, WRF, and the chemical transport model, GEOS-Chem. Developed by **Haipeng Lin**, **Xu Feng**, and **Tzung-May Fu**.

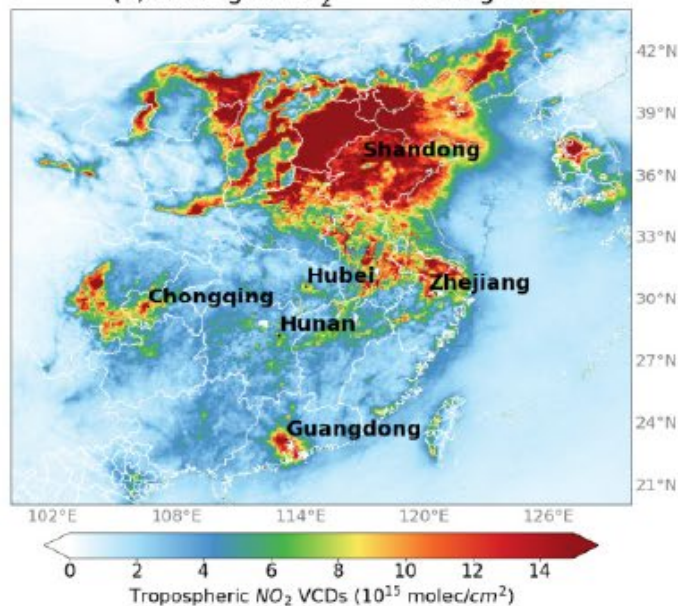


- 利用实时气象数据
- 灵活的网格设置

疫情期间氮氧化物浓度变化

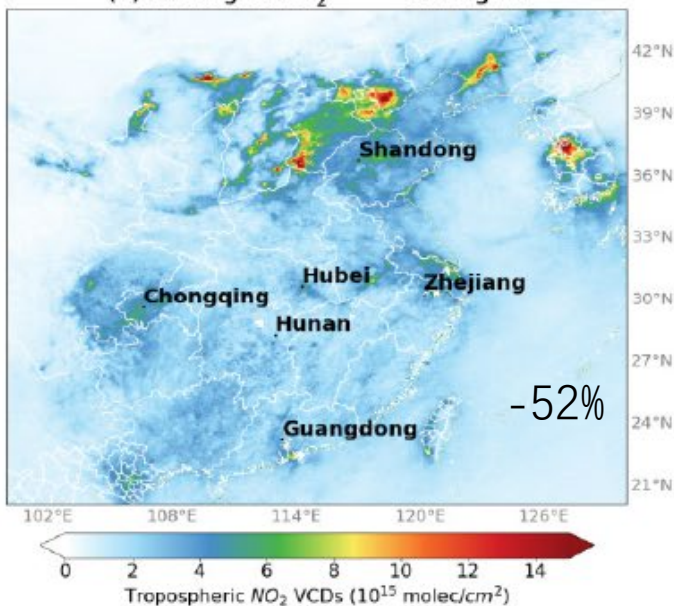
1月1日-1月23日

(a) Averaged $\text{NO}_2^{\text{TROPOMI}}$ during P1



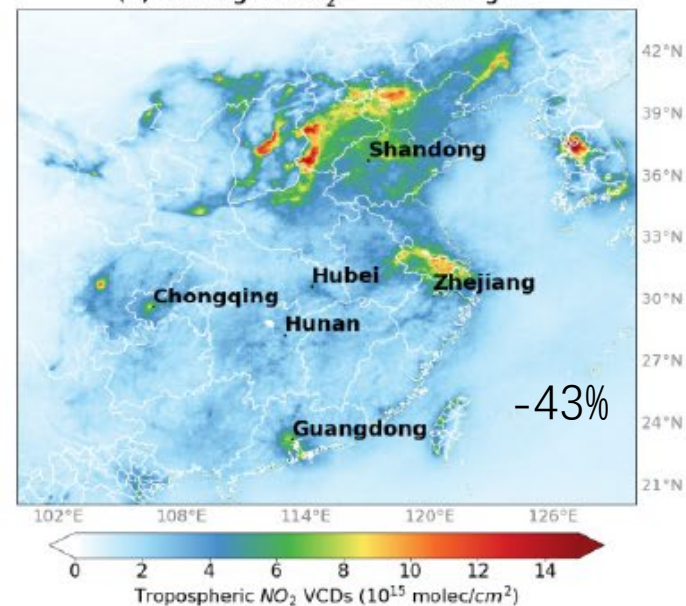
1月24日-2月9日

(a) Averaged $\text{NO}_2^{\text{TROPOMI}}$ during P2



2月10日-3月12日

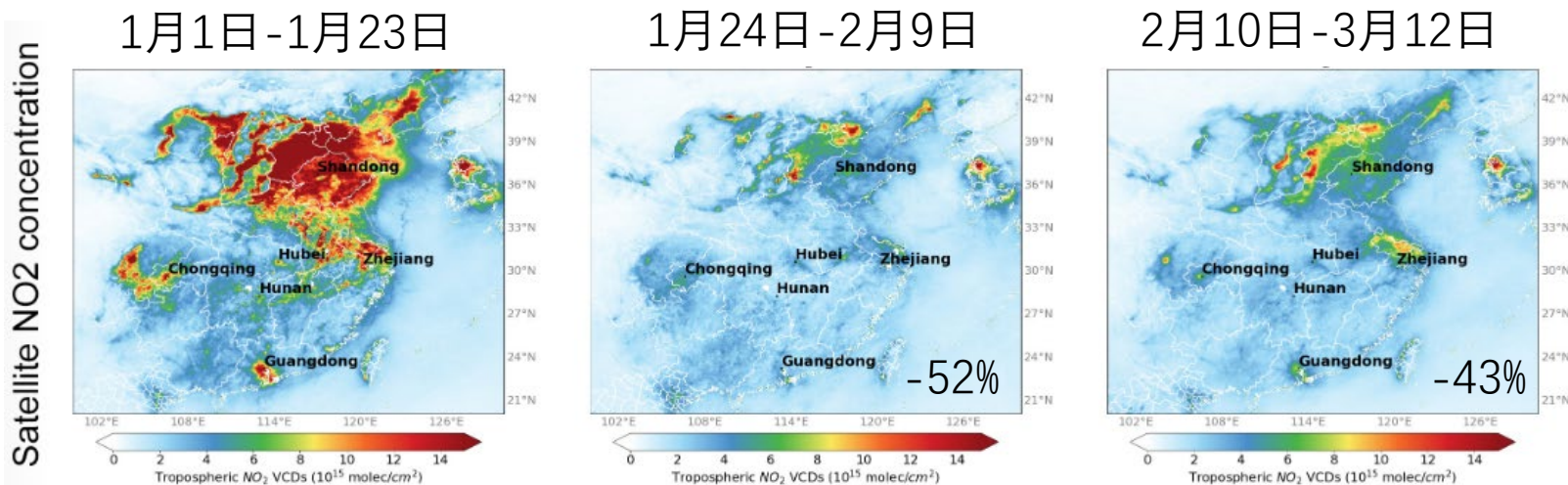
(a) Averaged $\text{NO}_2^{\text{TROPOMI}}$ during P3



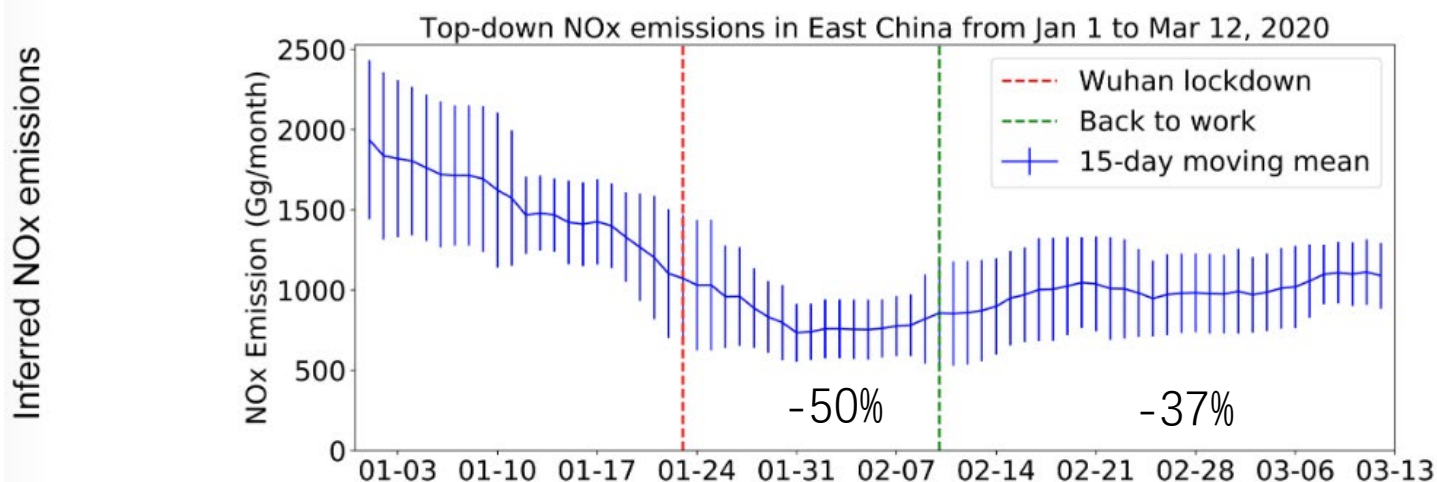
TROPOMI 卫星对流层柱浓度

疫情期间氮氧化物排放变化

浓度

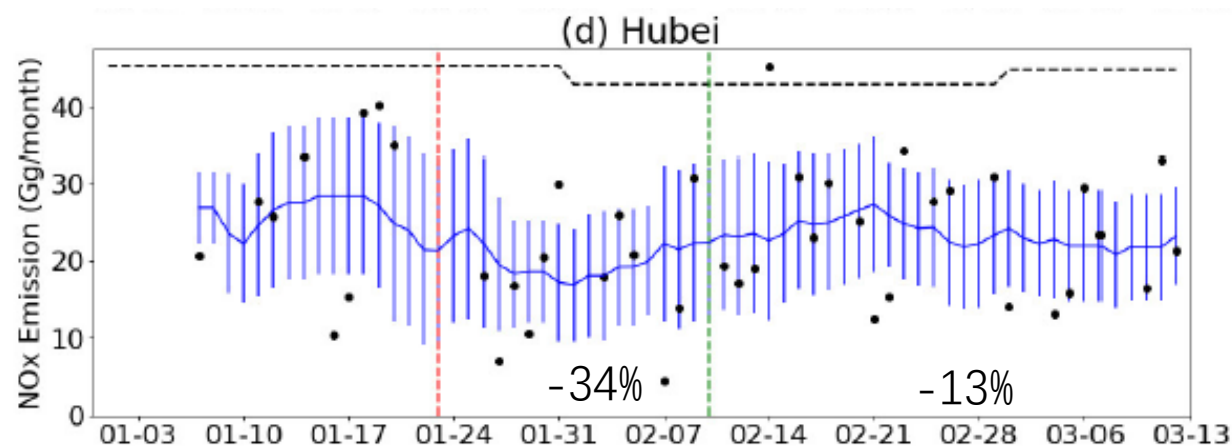


排放

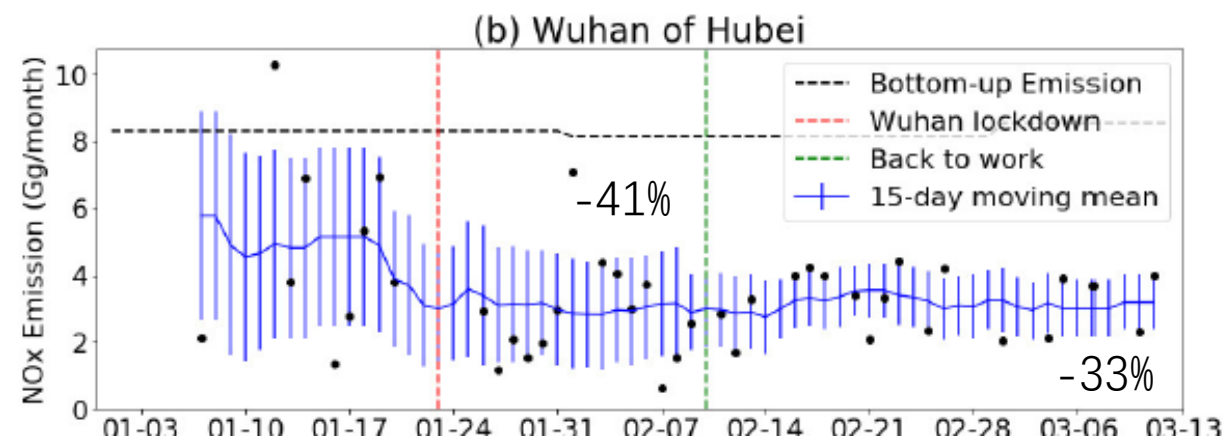


疫情期间氮氧化物排放变化

湖北

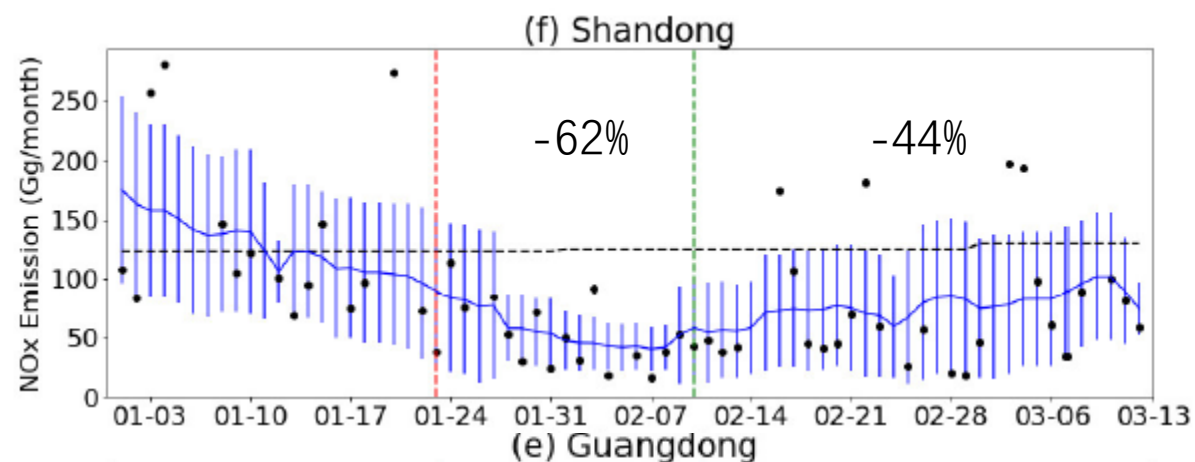


武汉

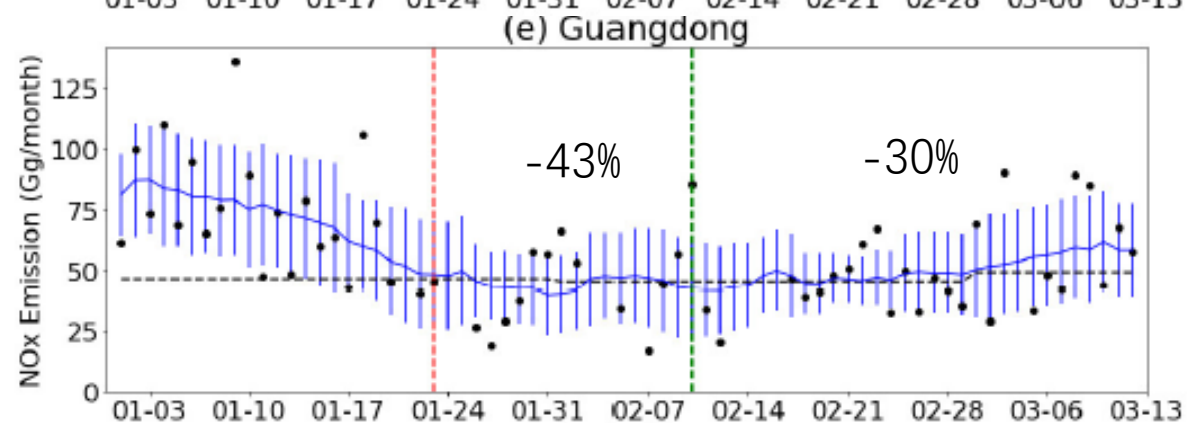


疫情期间氮氧化物排放变化

山东

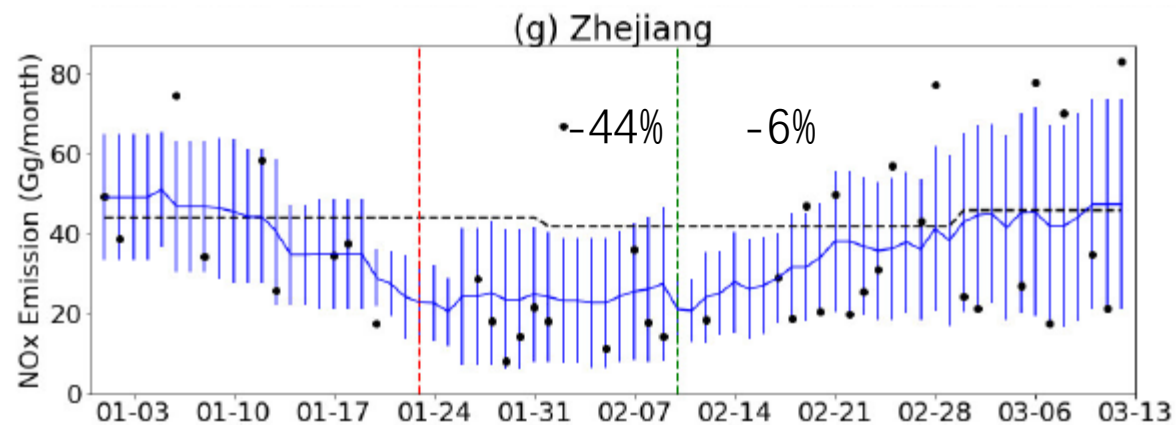


广东

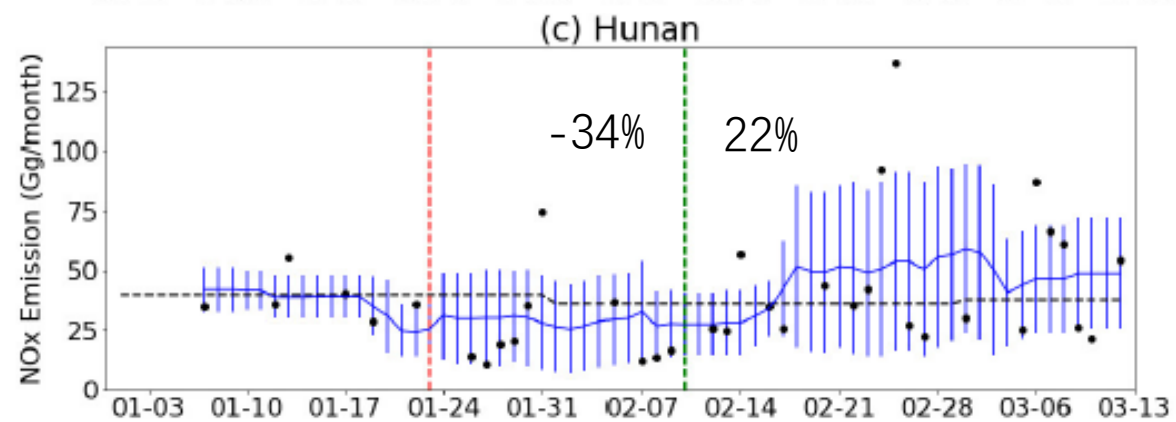


疫情期间氮氧化物排放变化

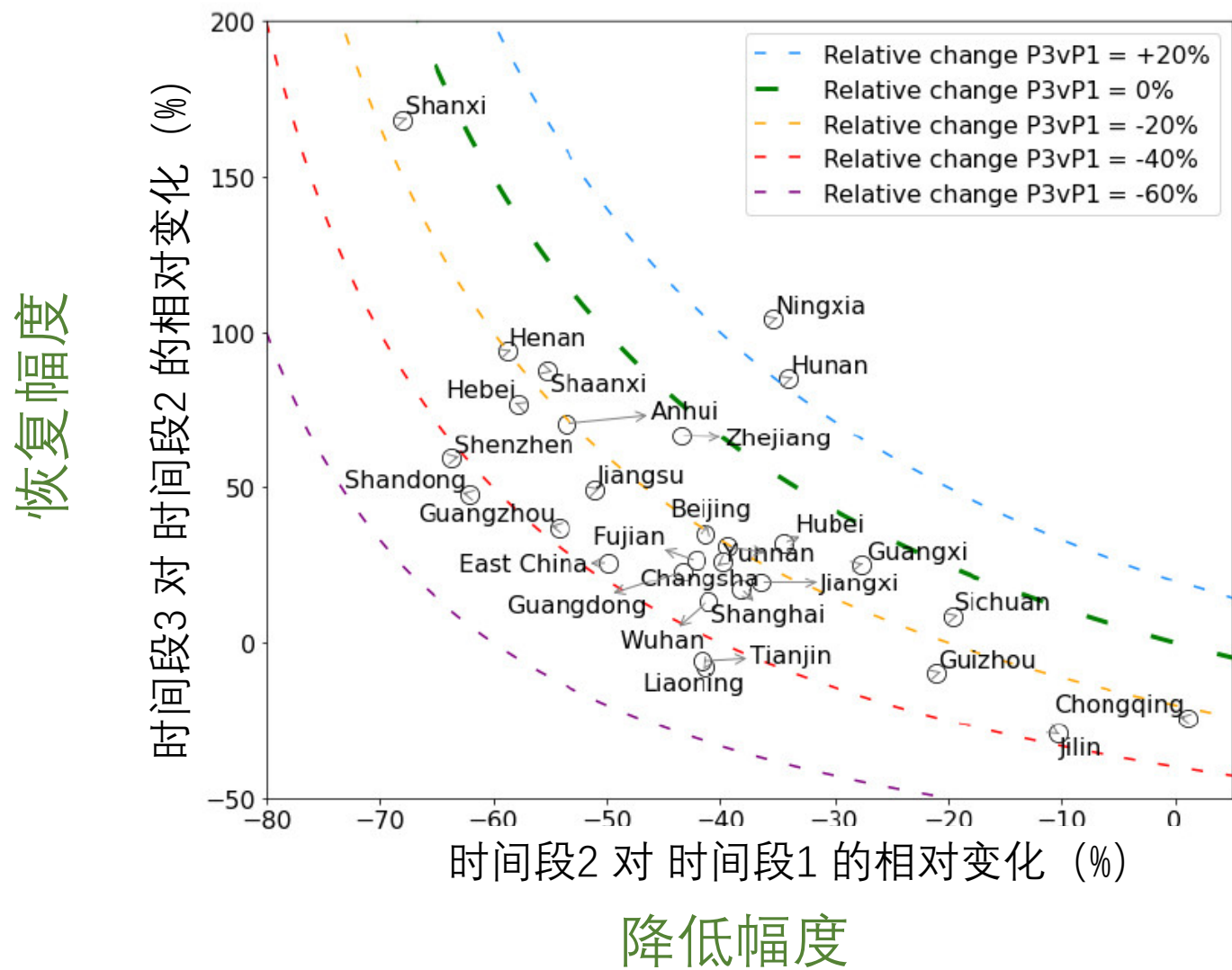
浙江



湖南



疫情期间氮氧化物排放变化



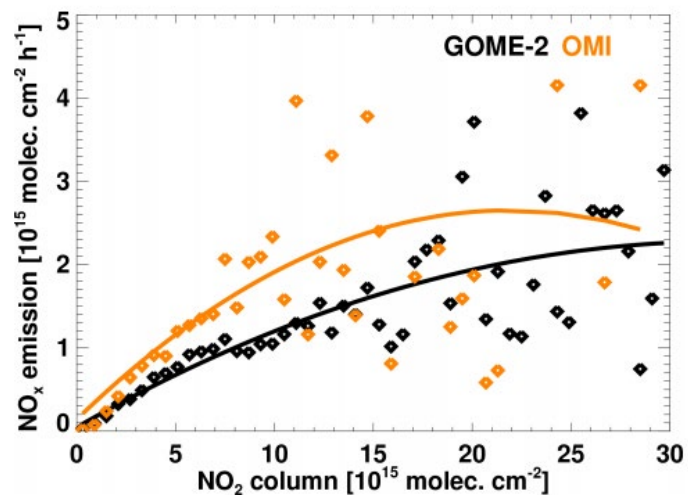
增速排名	地区	2020年一季度GDP (亿元)	实际增长
1	新疆	3055.51	-0.2%
2	湖南	8824.82	-1.9%
3	贵州	3704.04	-1.9%
4	青海	652.68	-2.1%
5	宁夏	808.13	-2.8%
6	四川	10172.85	-3.0%
7	广西	4670.85	-3.3%
8	甘肃	1908.30	-3.4%
9	江西	5343.4	-3.8%
10	云南	5107.77	-4.3%
11	海南	1115.28	-4.5%
12	山西	3634.73	-4.6%
13	江苏	21002.8	-5.0%
14	福建	8999.09	-5.2%
15	浙江	13114	-5.6%
16	陕西	5439.66	-5.6%
17	山东	14919.3	-5.8%
18	内蒙古	3550.9	-5.8%
19	河北	7410.1	-6.2%
20	安徽	7821.30	-6.5%
21	重庆	4987.66	-6.5%
22	北京	7462.2	-6.6%
23	吉林	2441.84	-6.6%
24	广东	22518.67	-6.7%
25	河南	11510.15	-6.7%
26	上海	7856.62	-6.7%
27	辽宁	5082.10	-7.7%
28	黑龙江	2409	-8.3%
29	天津	2874.35	-9.5%
30	湖北	6379.4	-39.2%
-	西藏	-	-

快速推断 NO_x 排放算法：讨论

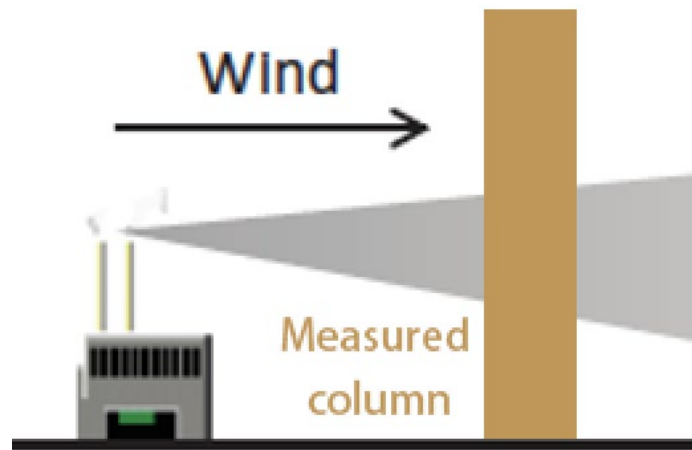
优点：只需要跑一遍模型，就大致剔除了气象因素的影响，适合快速计算追踪

局限：以下因素的影响尚未充分评价

化学非线性



传输非局域性



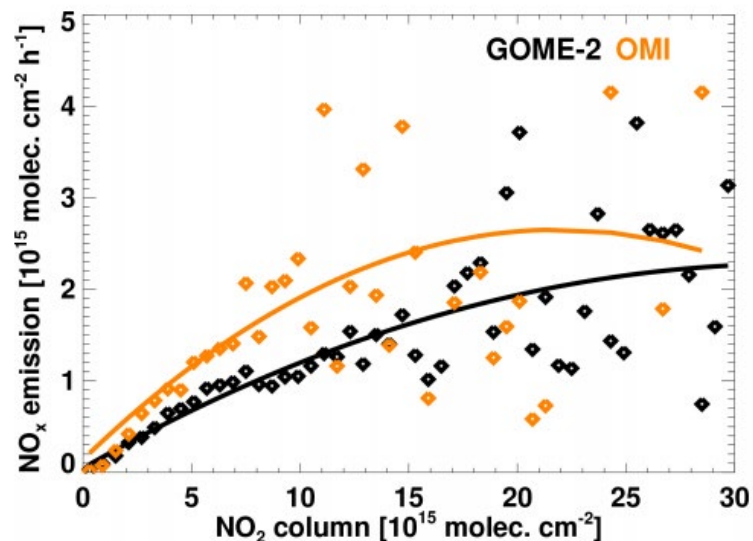
讨论： 化学非线性

$$E = \frac{\text{NO2}_{\text{satellite}}}{\text{NO2}_{\text{WRF-GC}}} \times E_a$$

1. NO₂浓度-NO_x寿命的非线性

高排放NO_x，抑制OH浓度，延长NO_x 大气寿命，进而非线性地增加NO_x浓度

NO₂+OH → HNO₃ 夏季控制NO_x lifetime的主要反应



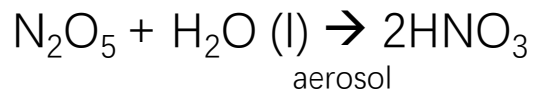
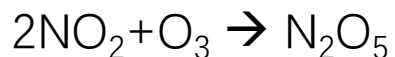
Gu et al., AMT, 2016

改进： 每日迭代反演(daily retrieval-inversion, Gu et al., JGR, 2014), 仅需一遍正向模拟, 迭代更新先验模拟的排放, 使其保持在实际值附近

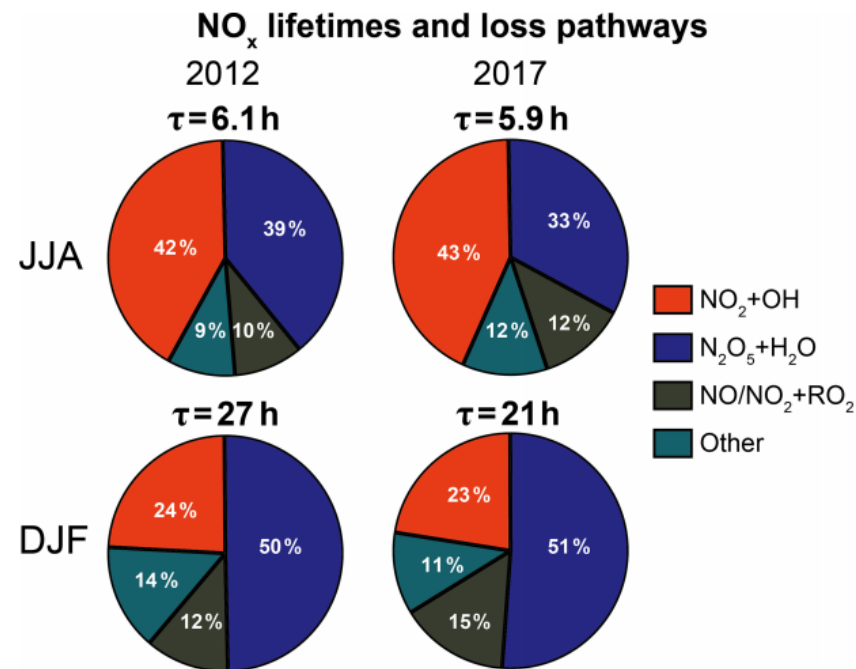
讨论： 化学非线性

2. 其它物种浓度-NO₂寿命的非线性

N₂O₅水解的非均相汇，依赖于O₃对NO₂的氧化、颗粒物浓度、颗粒物水含量等因素



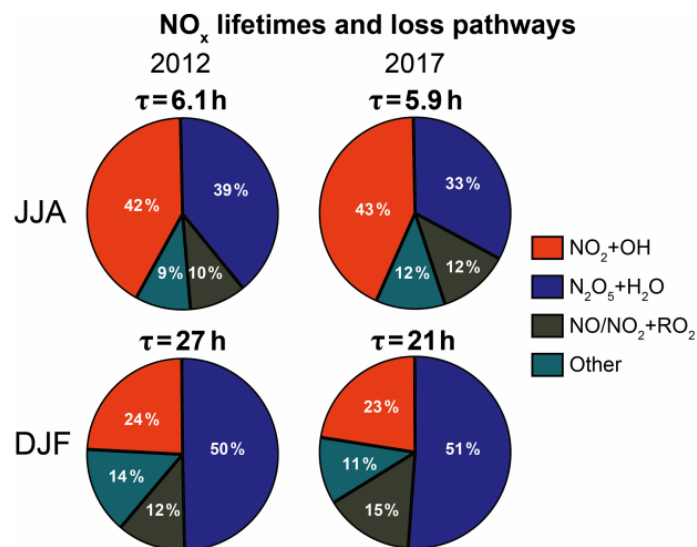
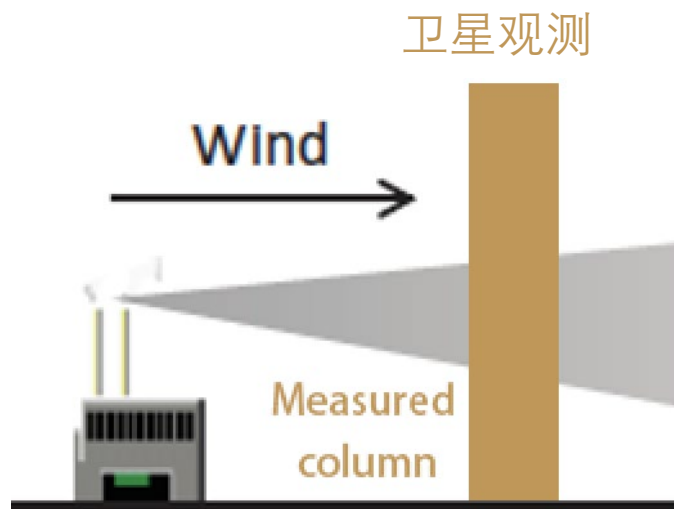
冬季控制NO_x lifetime的主要反应



Shah et al., ACP, 2020

改进：同化其它物种的观测浓度，使先验模拟大致反映颗粒物、臭氧的浓度变化

讨论：传输非局域性



Shah et al., ACP, 2020

通过传输模型模拟（adjoint模型等方法），表征空间上的敏感度

$$\frac{\partial y_i}{\partial x_j}$$

i格点的浓度
j格点的排放

计算量大，不适合快速处理

改进：快速的获得近似解

- 扰动模拟获得一阶近似
- 基于风速风向的参数化

卫星观测与模拟的mismatch不一定是由观测所在格点的排放误差导致的，而是上风向的排放误差导致

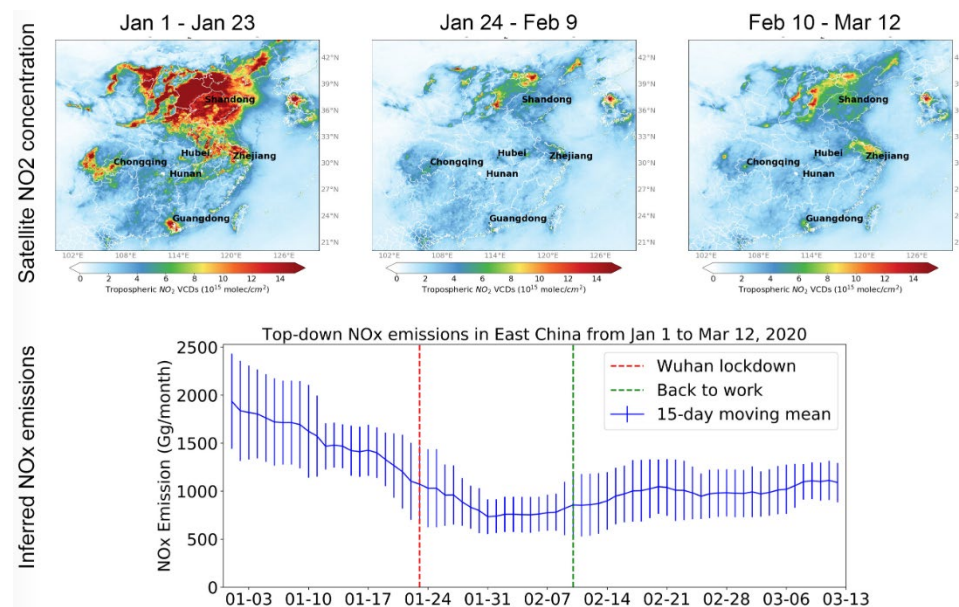
- 因冬季NO_x lifetime长更为重要
- 分辨率越高越重要→以粗分辨率（省）计算排放

总结

- 基于卫星观测，快速反演氮氧化物排放，利用模拟剔除气象影响，定量估计疫情期间（1月-3月）排放的变化，表征各省市排放下降和恢复的情况。
- 下一步计划进一步改进快速反演排放的算法，减少化学非线性、传输带来的误差。

浓度

排放



Article

NO_x Emission Reduction and Recovery during COVID-19 in East China

Ruixiong Zhang ^{1,2,*}, Yuzhong Zhang ^{3,4,*}, Haipeng Lin ⁵, Xu Feng ⁶, Tzung-May Fu ⁷
and Yuhang Wang ¹

¹ School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA

² ClimaCell Inc., 280 Summer Street Floor 8, Boston, MA 02210, USA

³ School of Engineering, Westlake University, Hangzhou 310024, China

⁴ Institute of Advanced Technology, Westlake Institute for Advanced Study, Hangzhou 310024, China

⁵ School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA;
hplin@seas.harvard.edu

⁶ Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China; fengx7@pku.edu.cn

⁷ School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China; fuzm@sustech.edu.cn

* Correspondence: zhangruixiong@gmail.com (R.Z.); zhangyuzhong@westlake.edu.cn (Y.Z.)

Received: 8 April 2020; Accepted: 21 April 2020; Published: 24 April 2020

谢 谢!