



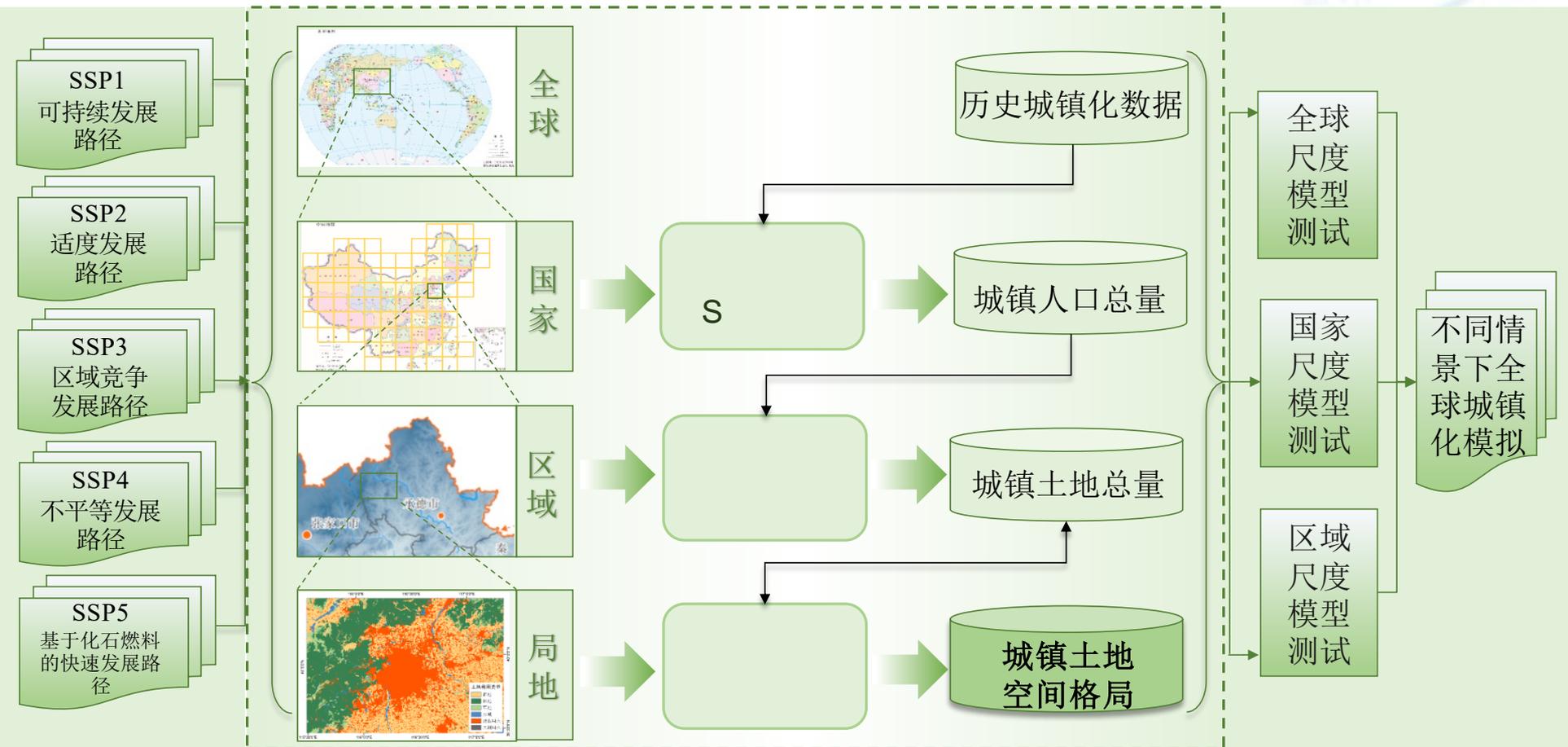
# 不同SSPs情景下 全球城镇土地面积模拟

黄庆旭 刘紫玟 陈诗音

北京师范大学

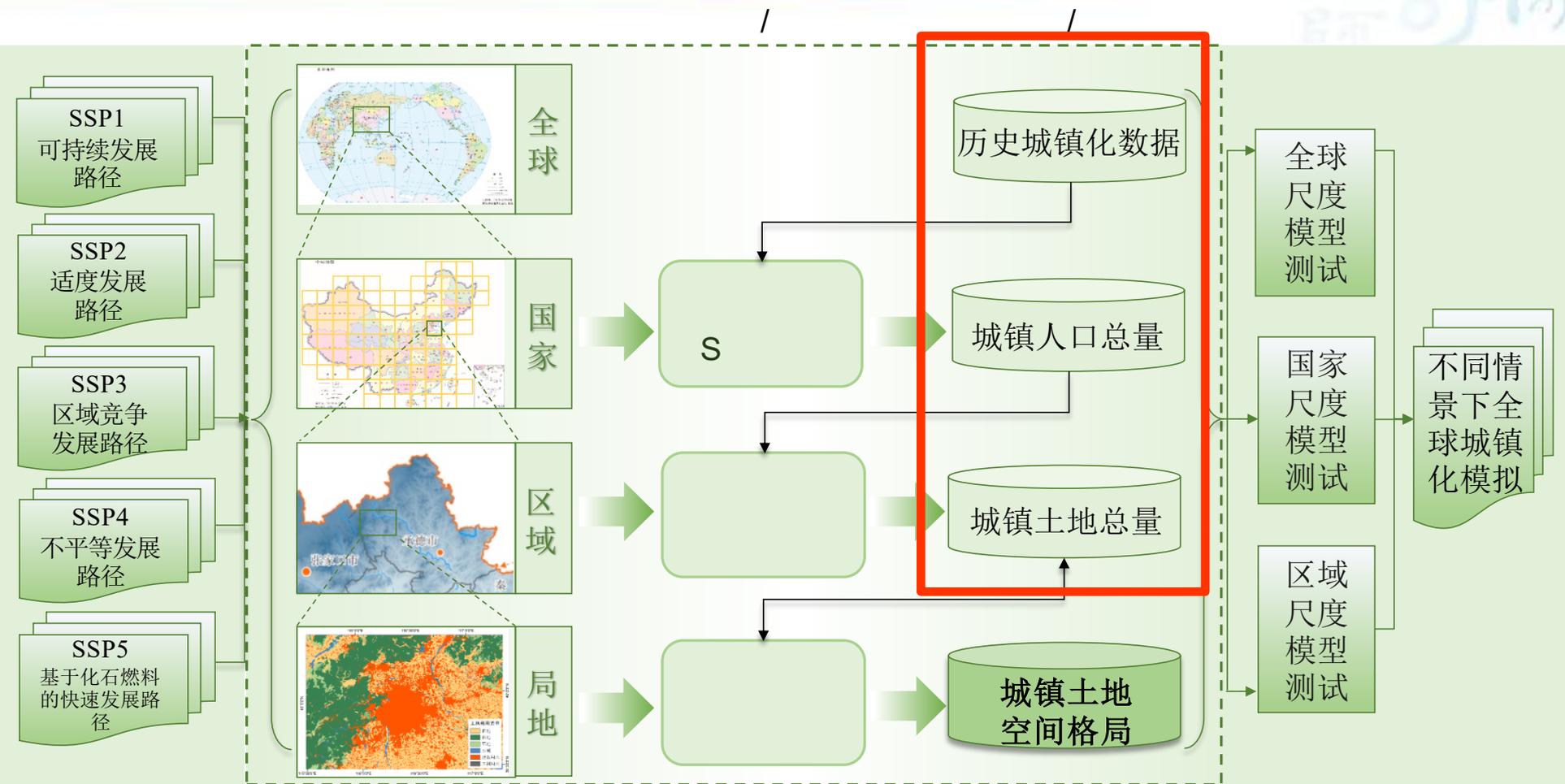
2019年10月18日

# 局地-区域-全球多尺度城镇扩展模型框架



该模型首先采用国家尺度城镇化率S型回归模型和SSPs框架，预测不同SSPs情景下全球各国城镇人口动态，然后在区域尺度上基于机器学习量化城镇土地面积，最后在局地尺度上基于元胞自动机模型模拟城镇土地的空间格局。

# 局地-区域-全球多尺度城镇扩展模型框架



该模型首先采用国家尺度城镇化率S型回归模型和SSPs框架，预测不同SSPs情景下全球各国城镇人口动态，然后在区域尺度上基于机器学习量化城镇土地面积，最后在局地尺度上基于元胞自动机模型模拟城镇土地的空间格局。

# 主要内容

1. 已有城镇土地面积模拟的思路
2. 城镇土地面积模拟的不足与改进
3. 城镇土地面积模拟的初步实验

# SSPs框架下城镇土地面积（HYDE 3.2）的估算方法



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Global Environmental Change

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gloenvcha](http://www.elsevier.com/locate/gloenvcha)



## Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways

Leiwen Jiang<sup>\*</sup>, Brian C. O'Neill<sup>1</sup>

*National Center for Atmospheric Research, 1850 Table Mesa Drive, Boulder, CO 80303, USA*

Earth Syst. Sci. Data, 9, 927–953, 2017

<https://doi.org/10.5194/essd-9-927-2017>

© Author(s) 2017. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

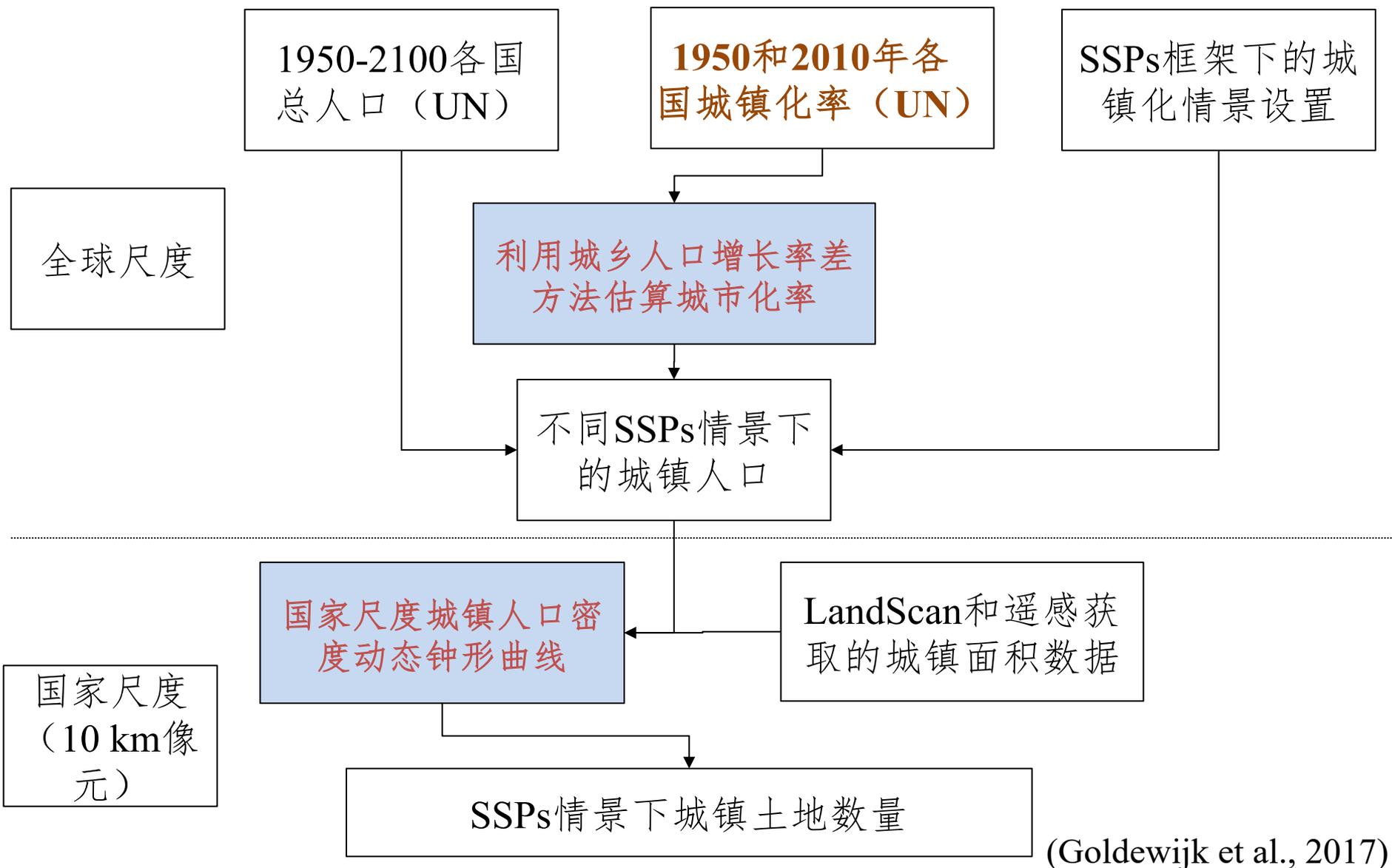


Open Access  
Earth System  
Science  
Data

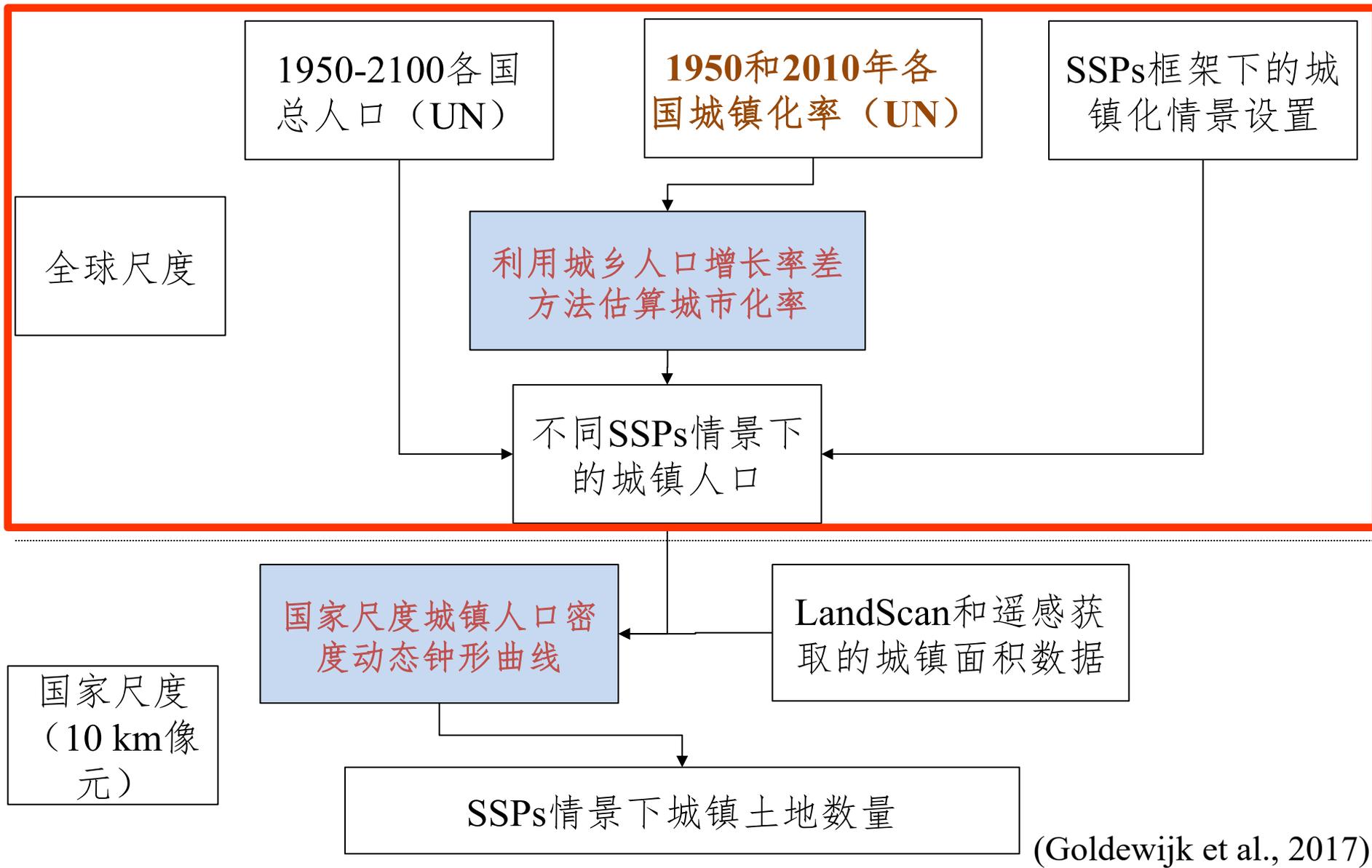
## Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2

Kees Klein Goldewijk<sup>1,3</sup>, Arthur Beusen<sup>2,3</sup>, Jonathan Doelman<sup>3</sup>, and Elke Stehfest<sup>3</sup>

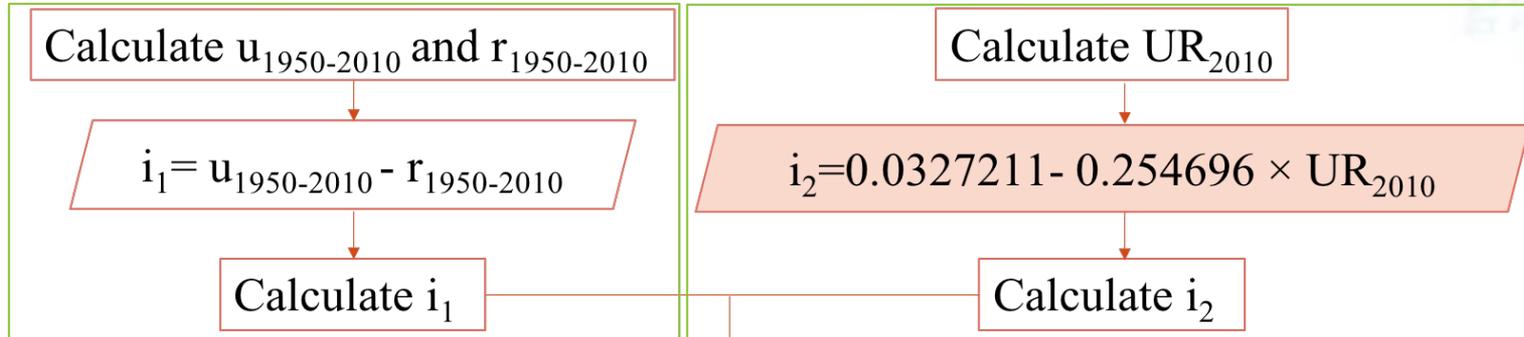
# SSPs框架下城镇土地面积（HYDE 3.2）的估算方法



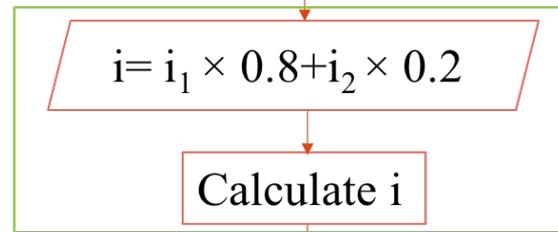
# SSPs框架下城镇土地面积（HYDE 3.2）的估算方法



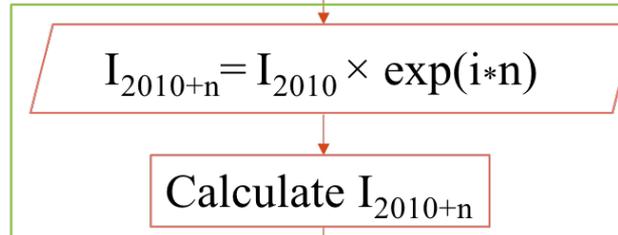
# HYDE3. 2城镇土地估算——城镇化率预测的问题



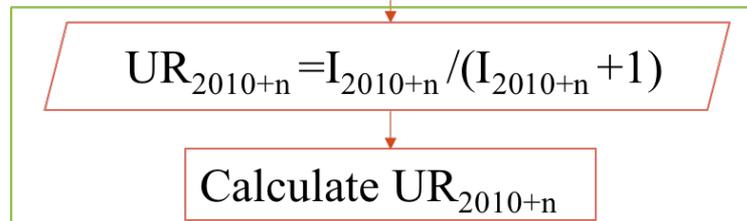
城乡人口增长率差



城乡人口比随时间是一个幂函数



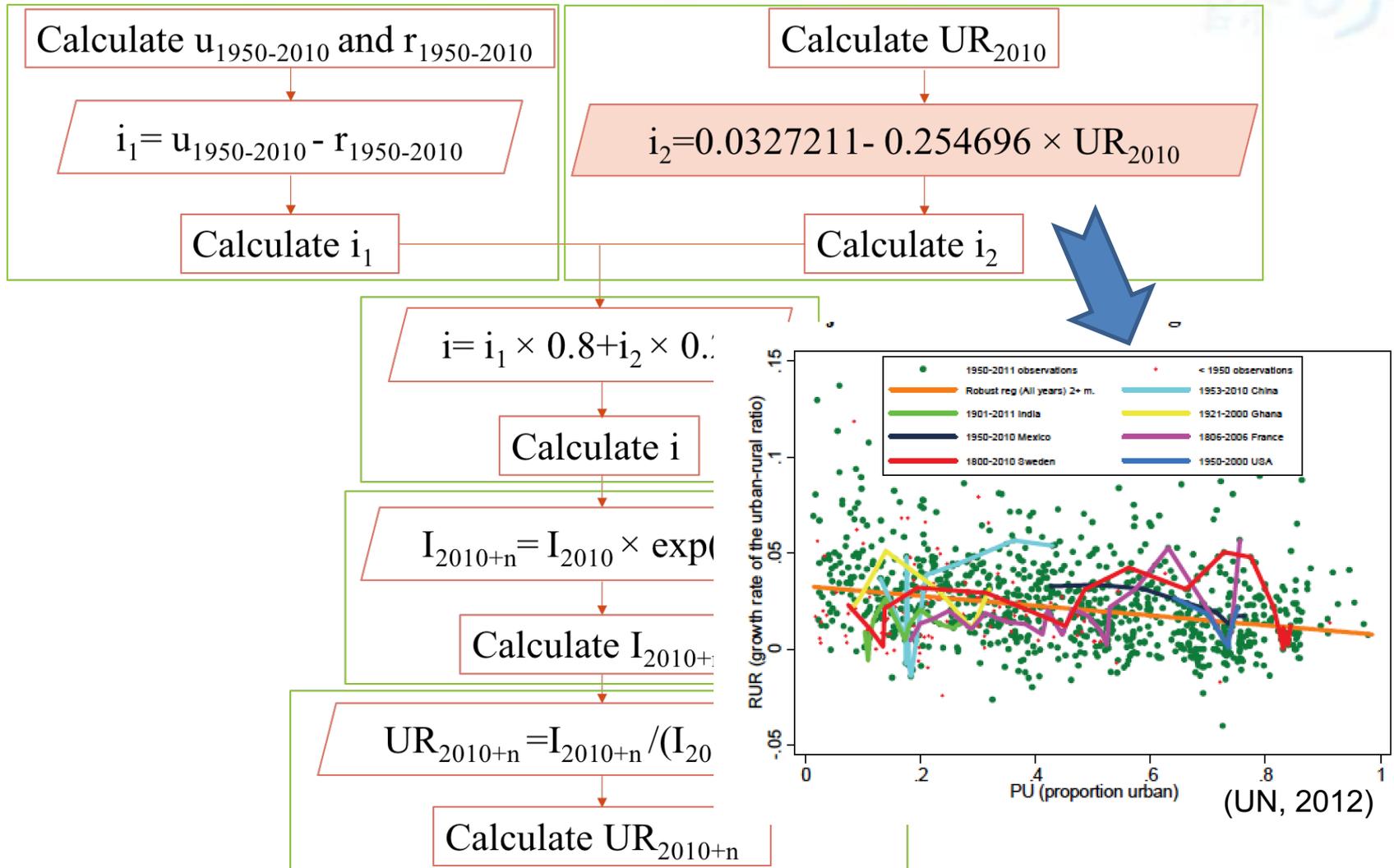
I: 城乡人口比



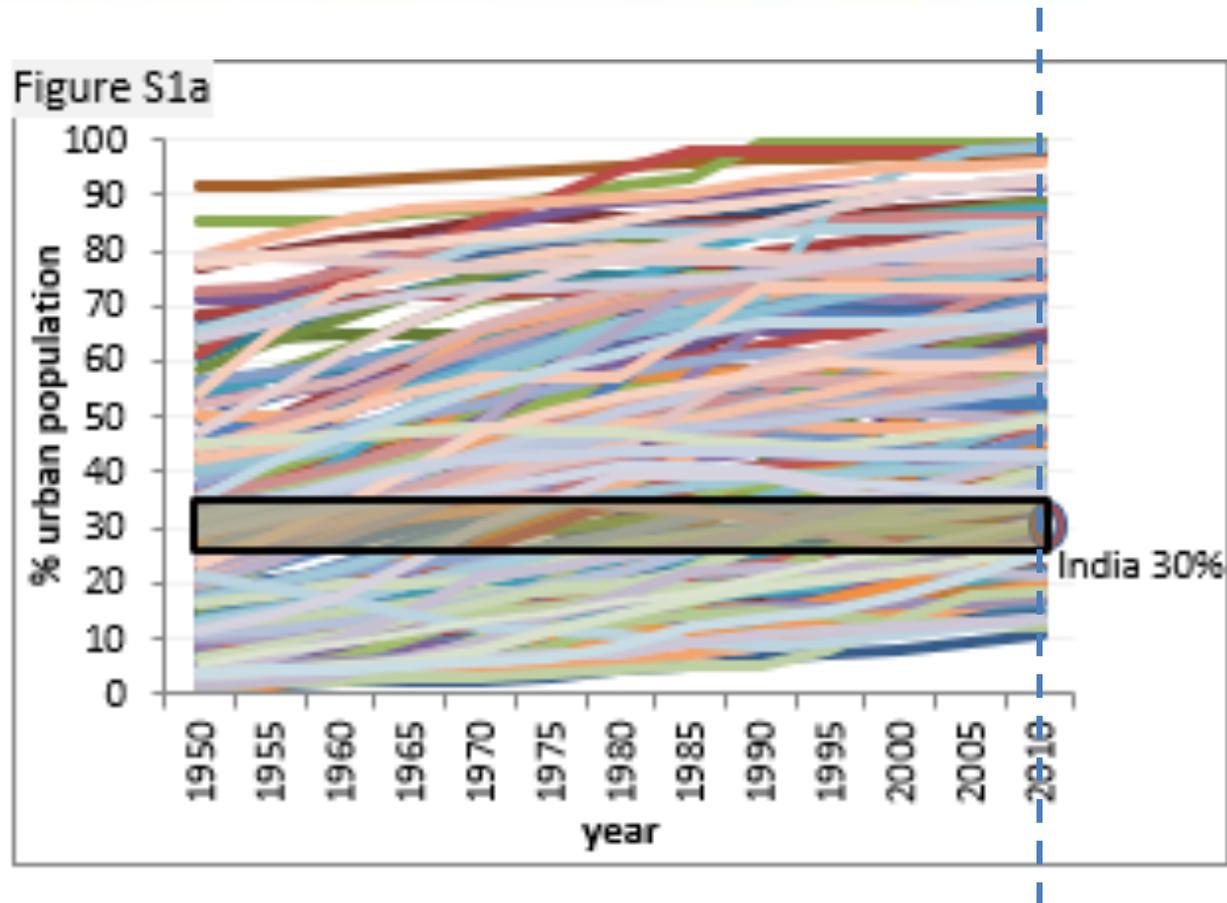
UR-城市化率

(UN, 2012)

# HYDE3. 2城镇土地估算——城镇化率预测的问题

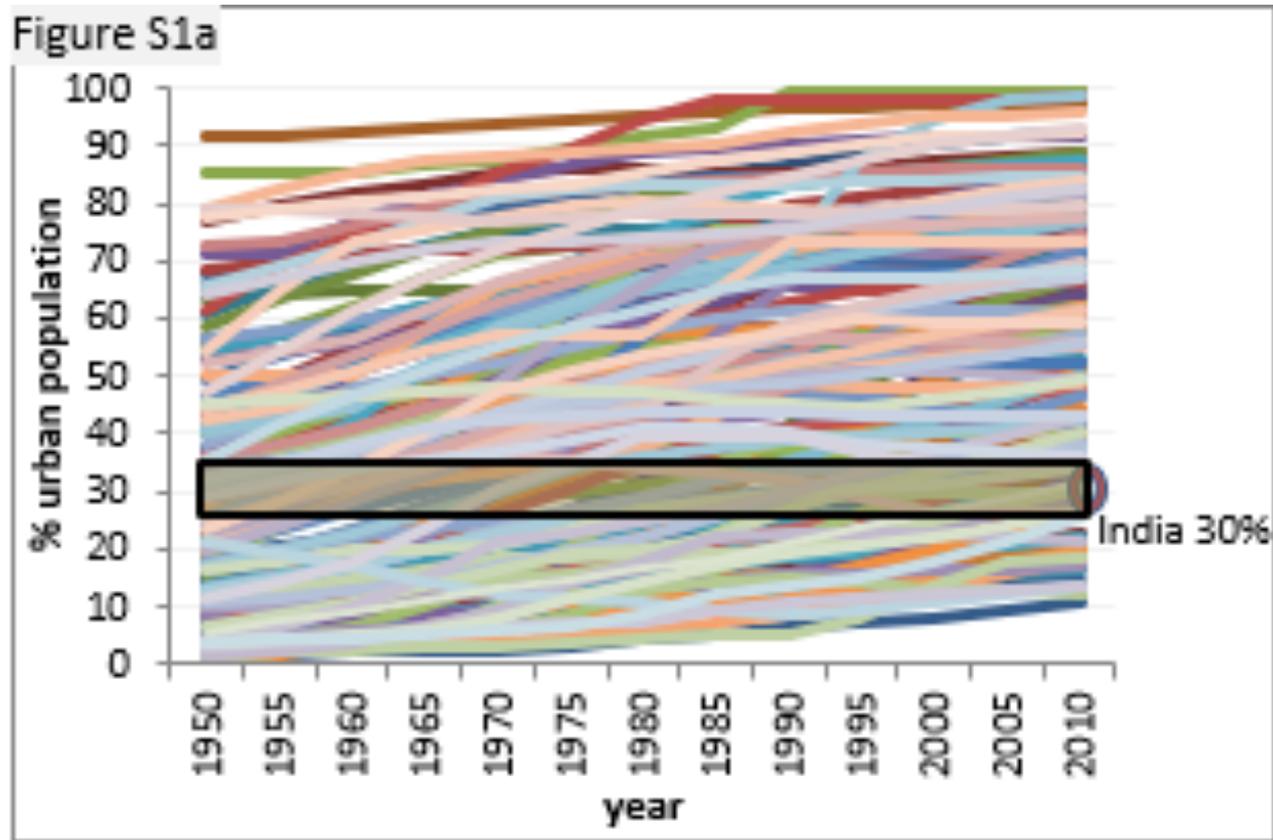


# 逐个国家预测的步骤（1）：选择目标国家



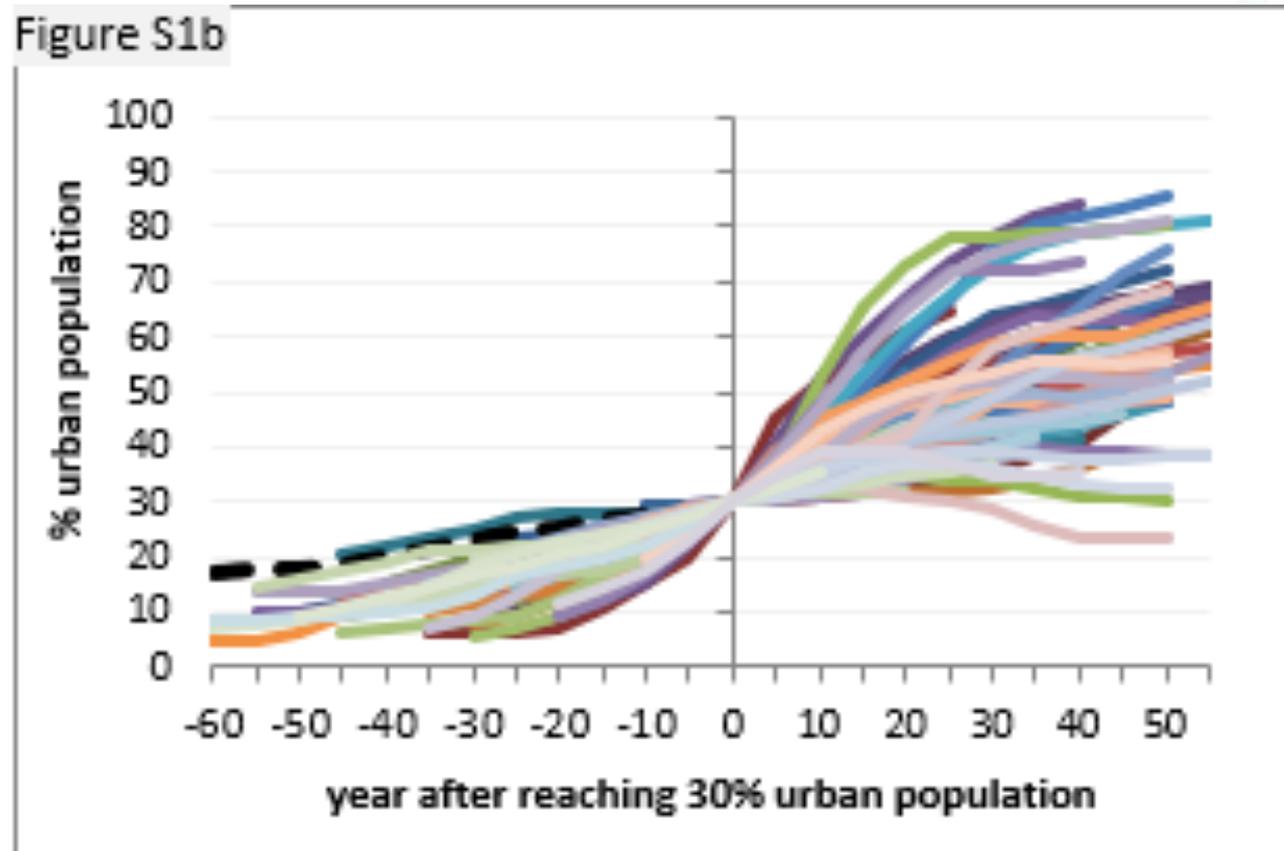
Firstly, select India as the **target country**, which is 30% urban in the base year 2010.

## 逐个国家预测的步骤（2）：选择参考国家



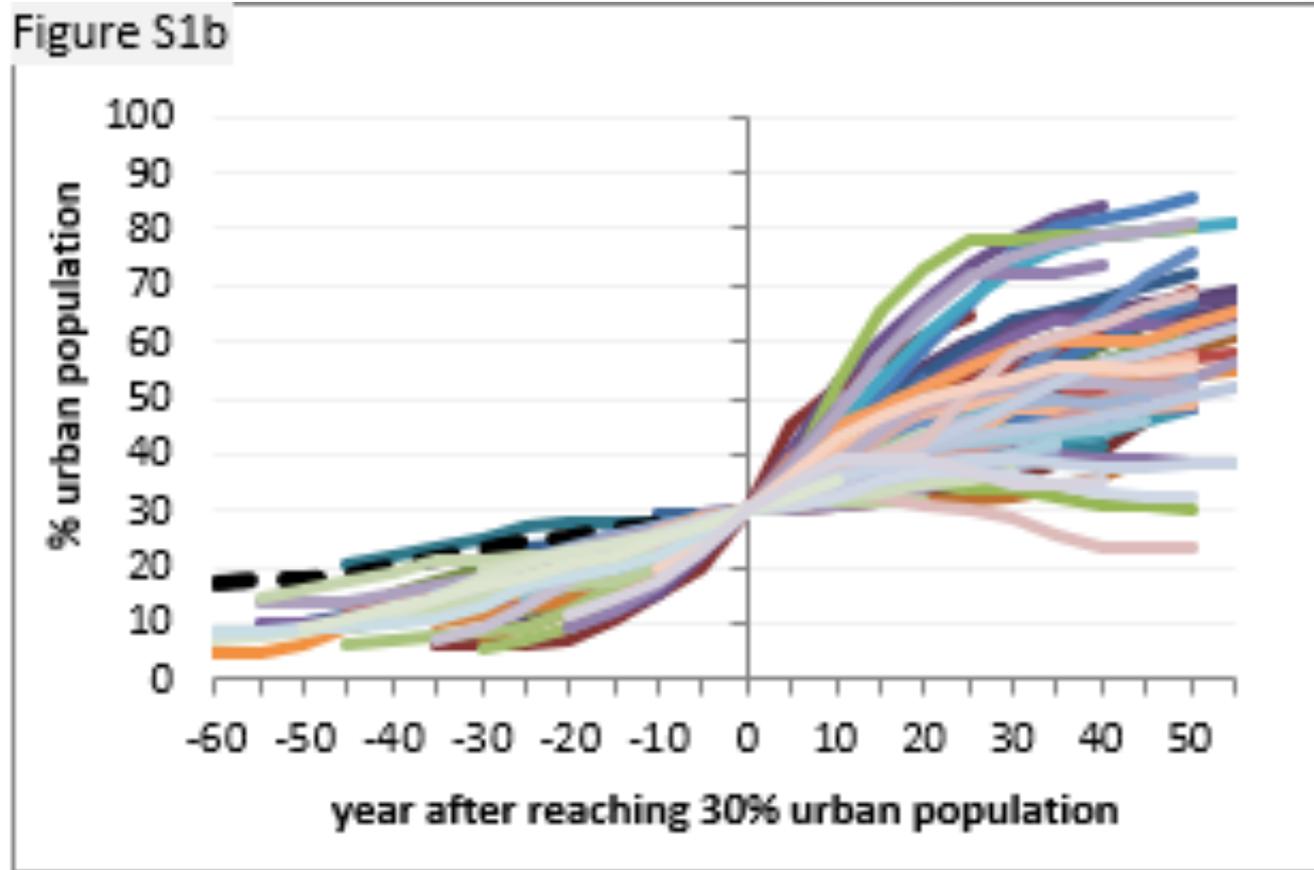
Secondly, choose from all countries that have ever achieved an urbanization level **within 5% points of the current level** in the target country. (25%~35%)

## 逐个国家预测的步骤（3）：剔除差别较大的国家



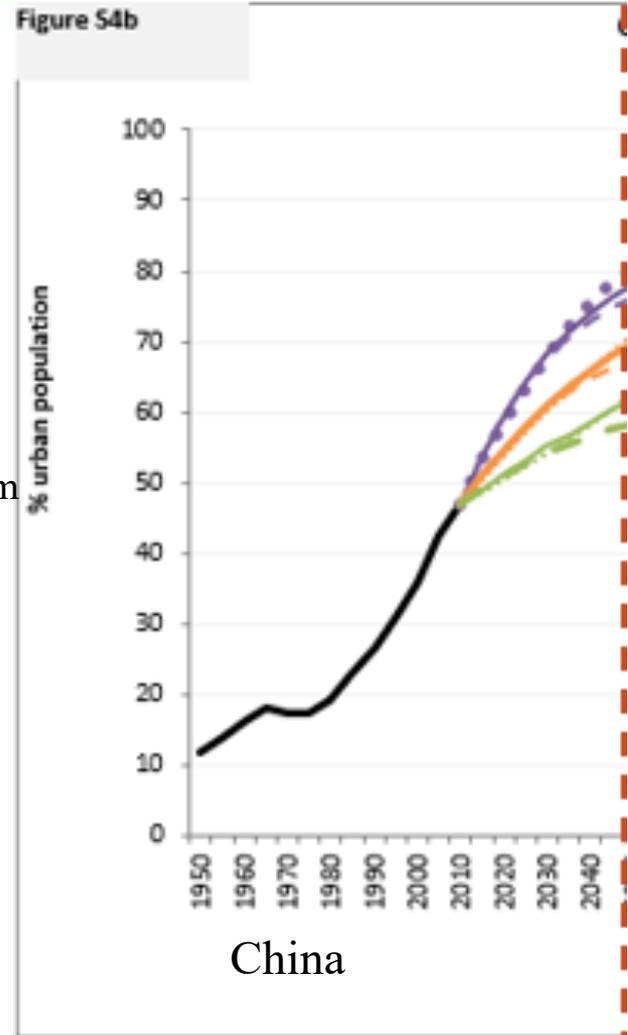
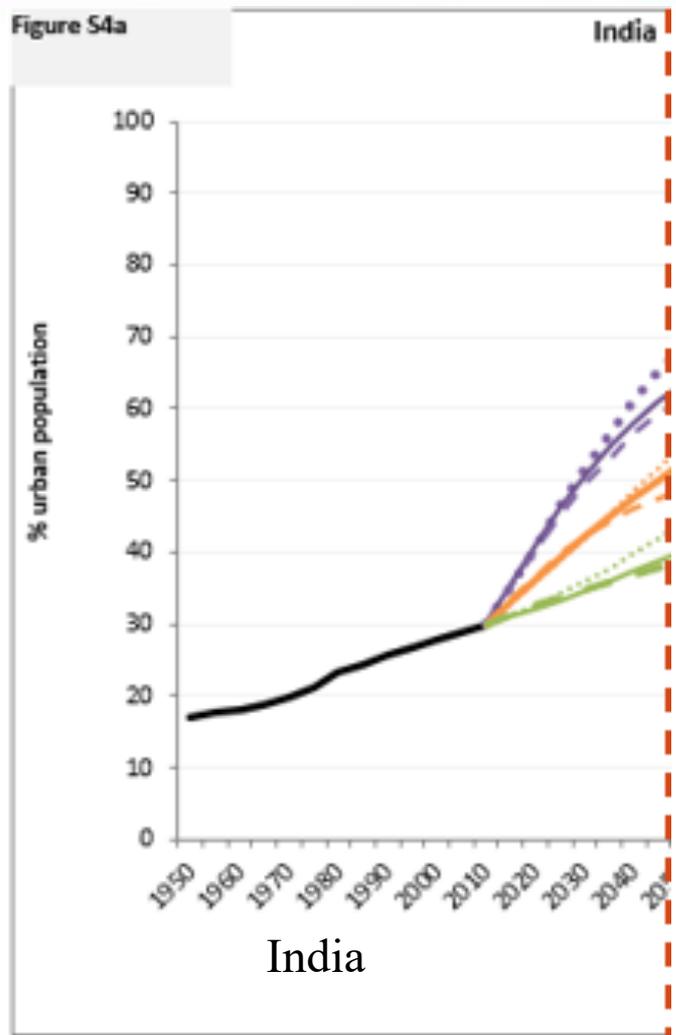
Thirdly, **eliminate from this sample the 25%** of countries which differ the most from the target country's growth rate.

## 逐个国家预测的步骤（4）：将剩余参考国家分类

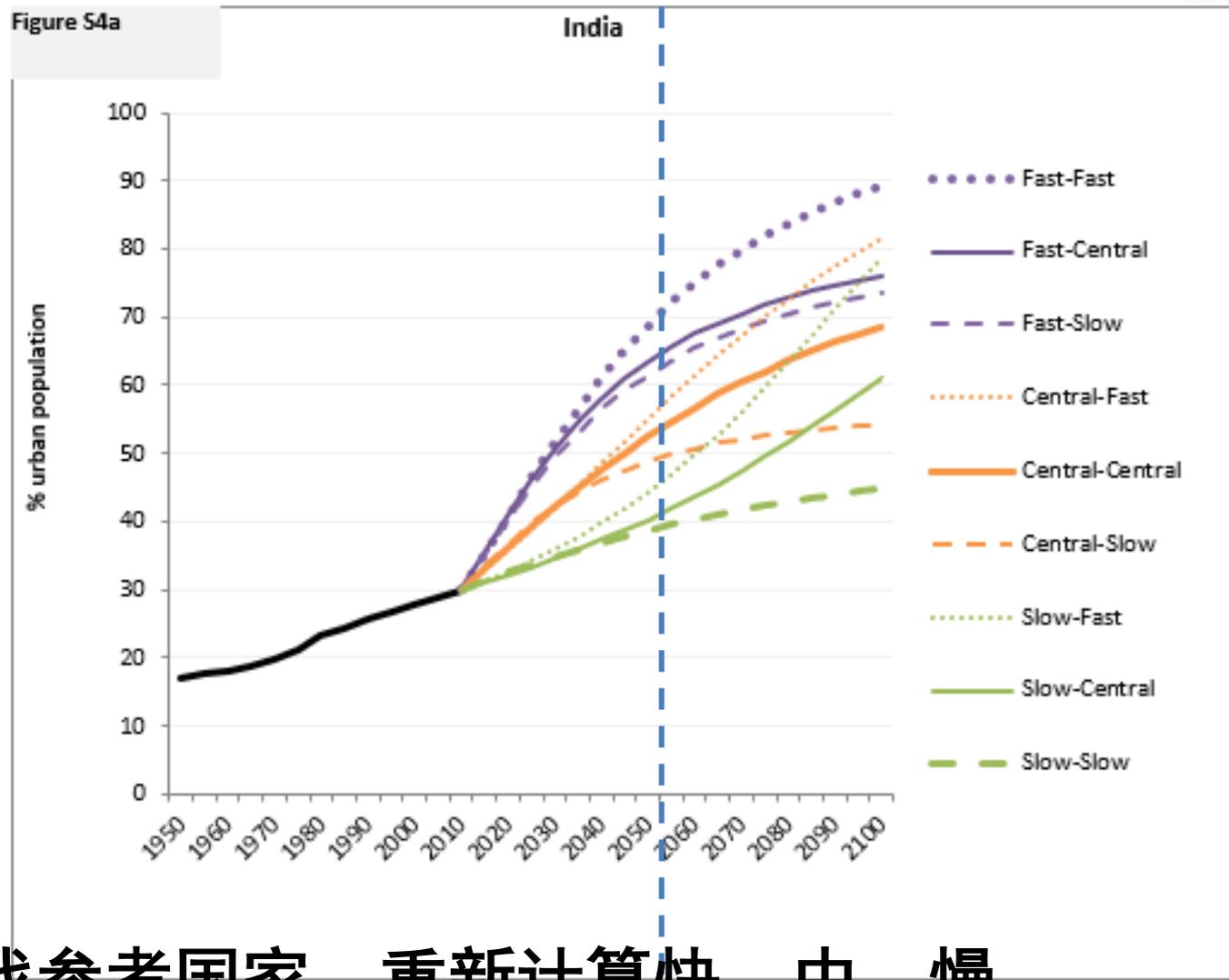


Finally, **divide the remaining sample** into three different groups: the 25% of countries with the highest urbanization levels, the 25% of countries with the lowest, and the 50% of the sample in between.

# 逐个国家预测的步骤 (5) : 模拟2010-2050



# 逐个国家预测的步骤（6）：模拟2050-2100



重新寻找参考国家，重新计算快、中、慢

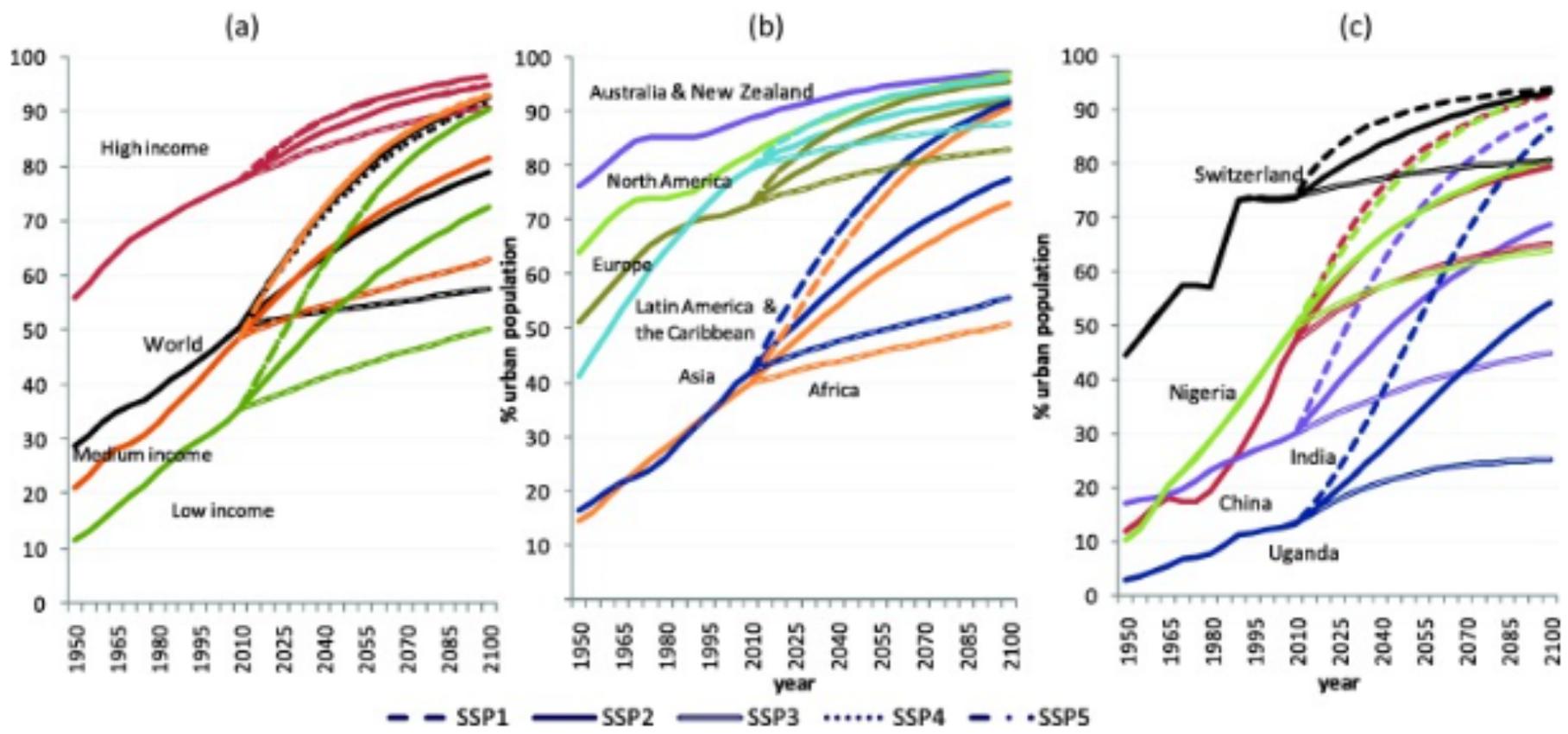
# 逐个国家预测的步骤（7）：设置不同SSPs下的速度

类别	要素	SSP1			SSP2			SSP3			SSP4			SSP5		
		低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高
人口	人口数量		较低		中等		高		较高		低		低		较高	
	城市化	→	快速		中等		低速		快速		快速		中等		快速	
	教育		高		中		低		低/不均衡		低/不均衡		低/不均衡		高	
经济和生活方式	经济增长	高	高	中	中, 不均衡		低		低		中		中		高	
	不平等		减少		减少		严重				严重				减少	
政策和制度	政策	以可持续发展为目标			保持历史趋势			以安全为导向			以利于政治和经济高层为导向			以发展、自由市场、人力资本为导向		
	制度	国际和国家层面都很高效			不平衡, 中等有效性			以国家政府为主导进行决策			对政治和经济高层有效, 对其它社会阶层无效			逐渐有效, 以培育竞争型市场为导向		
科技	发展速度	快速			中等, 不平衡			低速			高科技经济体和部门发展速度快			快速		
环境和自然资源	环境	不断改善环境			持续退化			严重退化			在中高收入人群居住地被高效管理和改善, 在其它地区退化			高度工程化的措施, 局部问题被成功解决		

## 查找表 (looking-up table)

在SSP1路径下，中国（中等收入国家）的城市化水平是 fast  
 在SSP3路径下，印度（中等收入国家）的城市化水平是 slow

# 预测结果

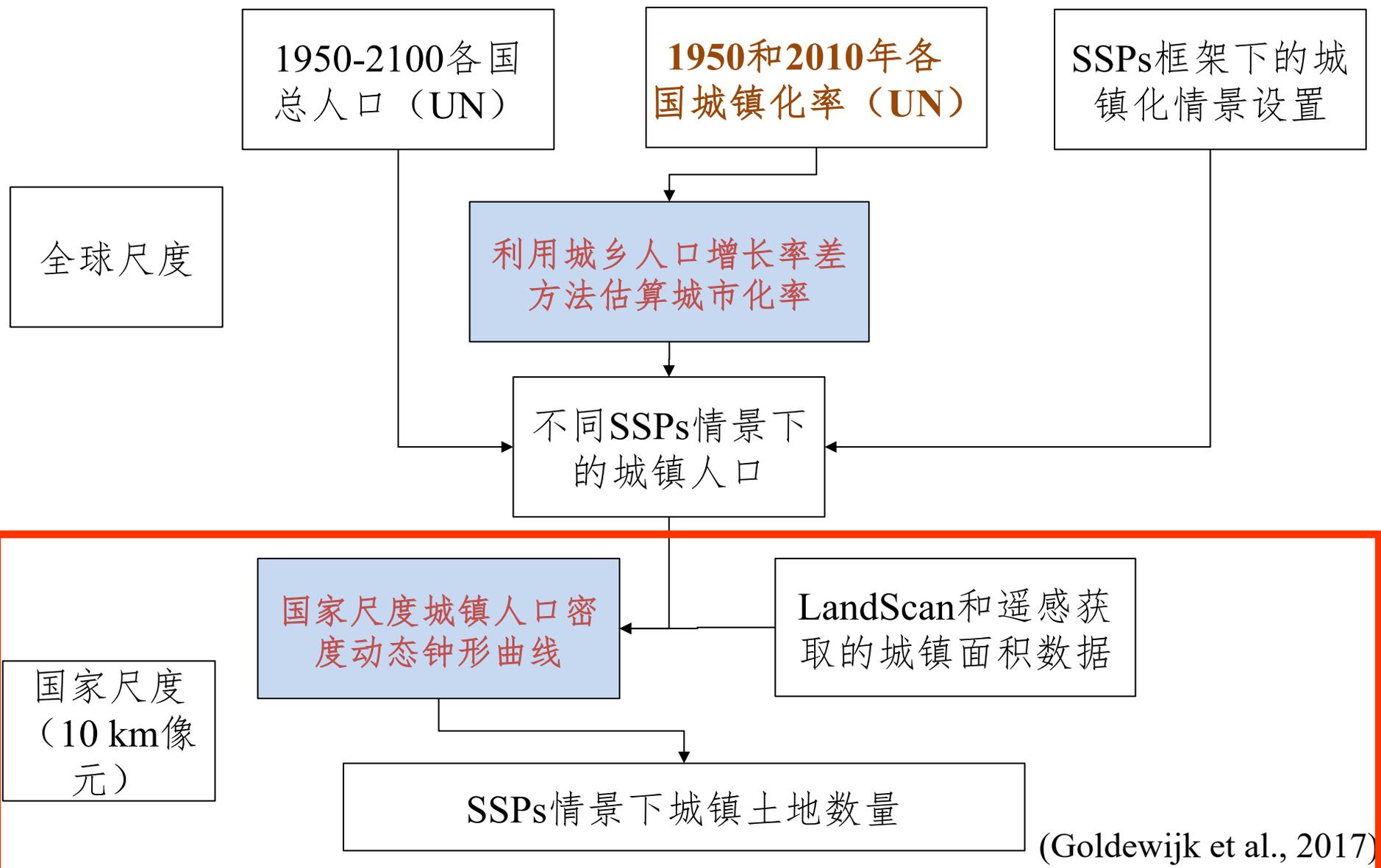


# 主要优势

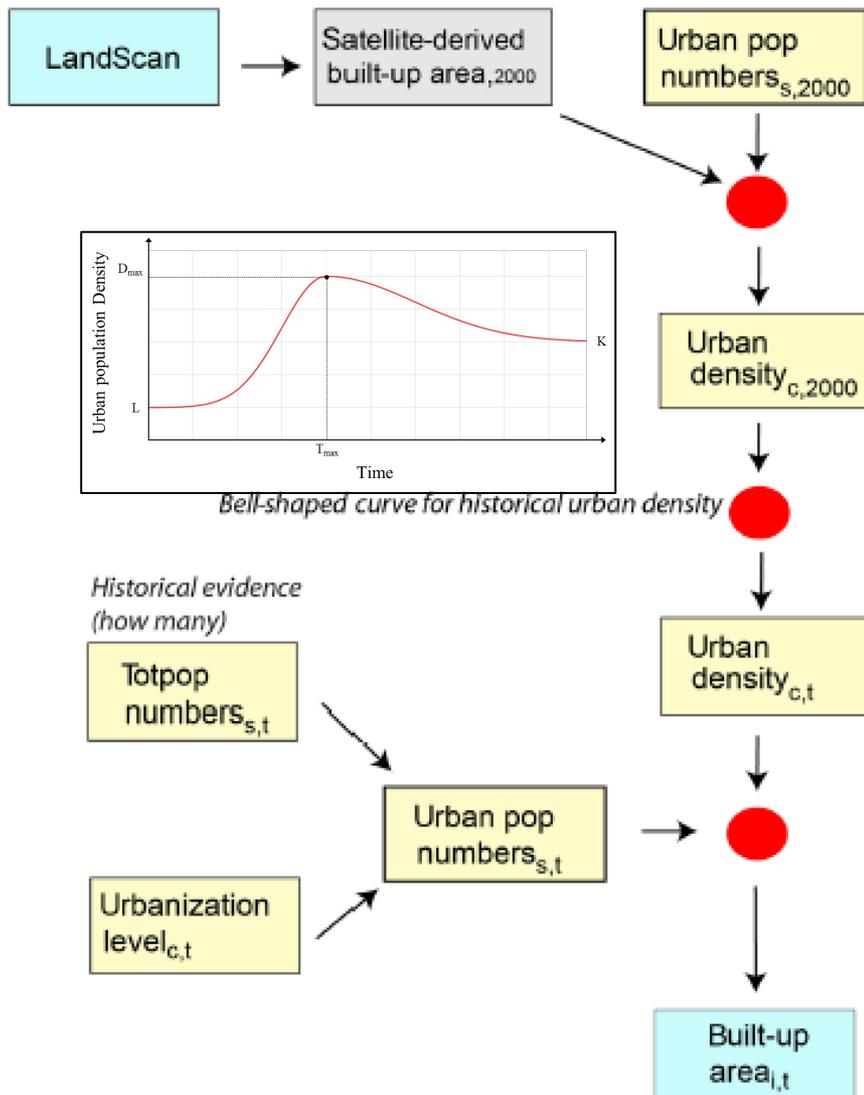
量身定制： These projections produce urbanization pathways that are typical of countries **in different stages of urbanization**, including outcomes in which urbanization stalls or is substantially delayed, as well as outcomes in which it proceeds rapidly to high levels.

幅度更大，兼容性高： Projection results cover a wide range of uncertainty in both the level of urbanization and in the degree of convergence across countries, and these outcomes are **consistent with the SSP narratives** and assumptions about other factors such as GDP and population growth.

# SSPs框架下城镇土地面积（HYDE 3.2）的估算方法



# SSPs框架下城镇土地（HYDE 3.2）的估算方法



(Goldewijk et al., 2017)

第一步：在国家尺度计算2000年城镇人口密度（城镇人口/城镇面积）

第二步：建立城镇人口密度与时间之间的**钟形曲线**

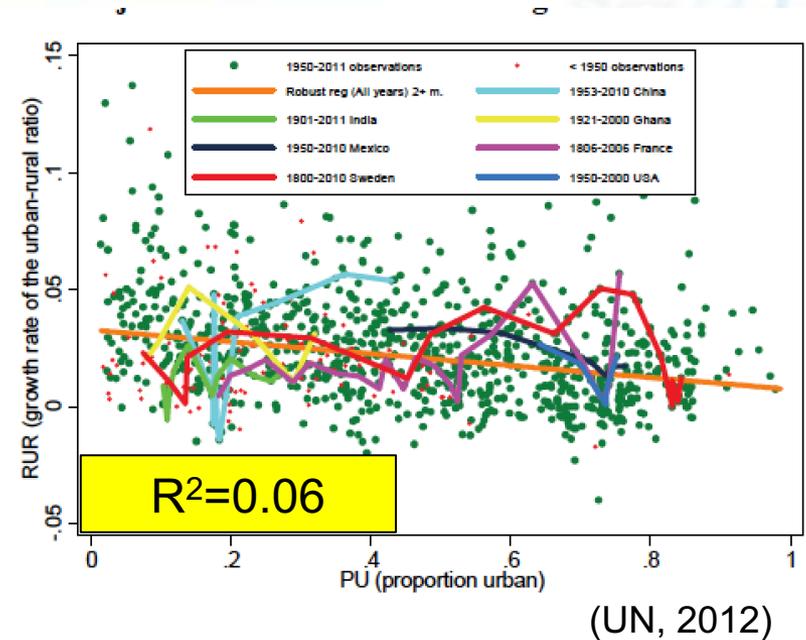
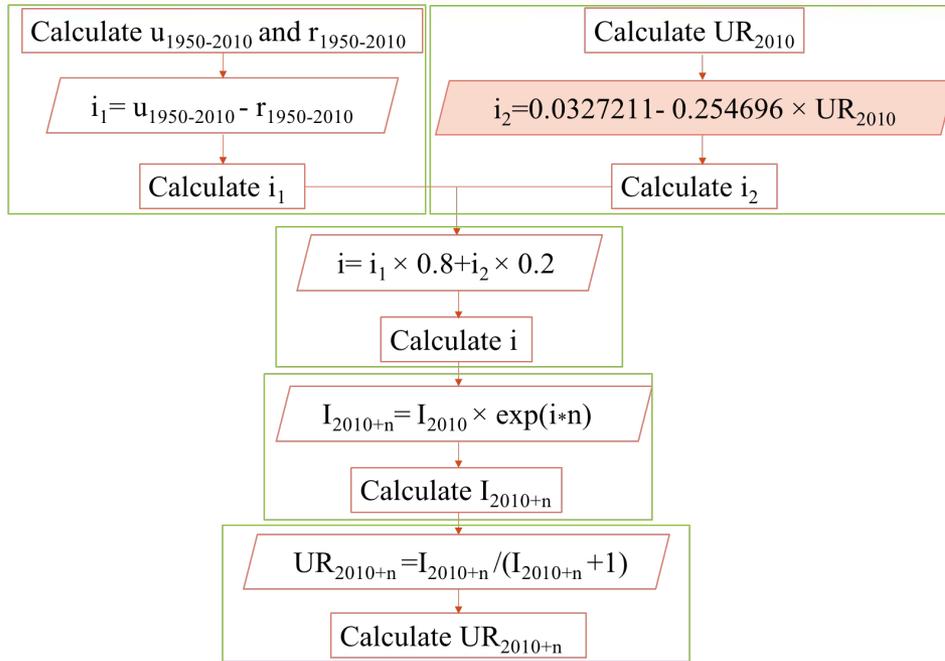
第三步：在国家尺度上根据总人口和**城镇化率**估算未来城镇人口

第四步：根据未来钟形关系和未来城镇人口估算城镇面积

# 主要内容

1. 已有城镇土地面积模拟的思路
2. 城镇土地面积模拟的不足与改进
3. 城镇土地面积模拟的初步实验

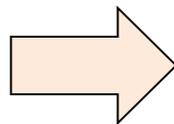
# HYDE3. 2城镇土地估算——城镇化率预测的问题



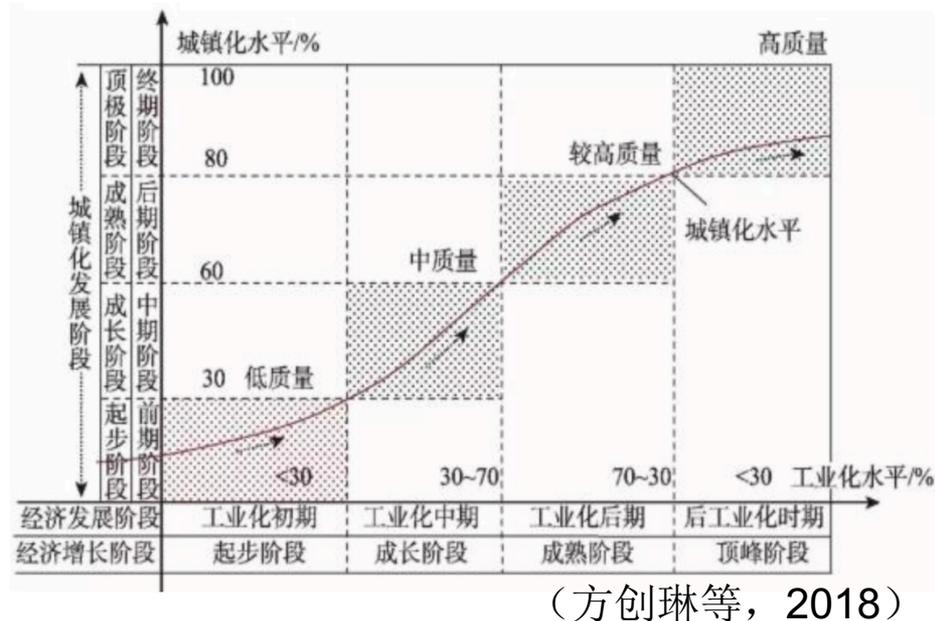
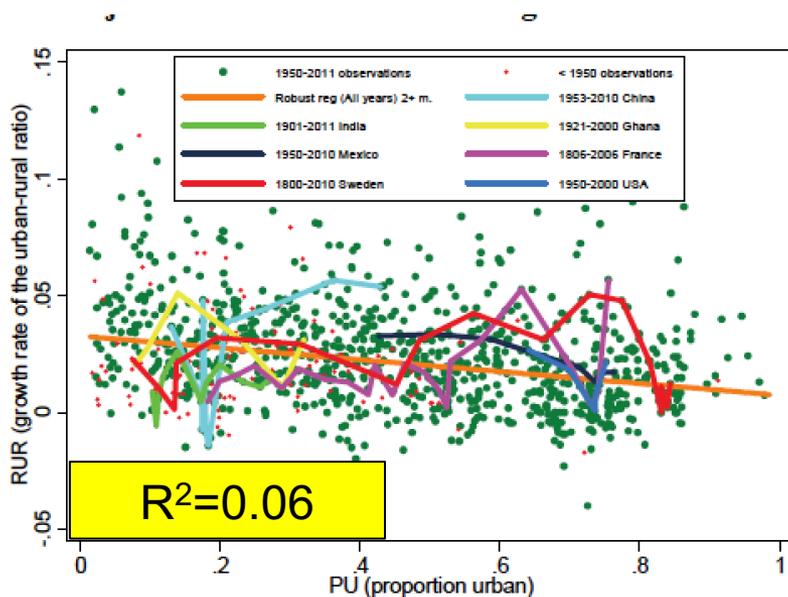
- 建立线性回归关系只用了1950和2010年时期的数据，不确定性高，不适宜长期预测
- 全球使用同一套城乡人口增长率差与城市化的关系 ( $R^2=0.06$ ) (Jiang et al., 2015)
- 城乡人口增长率差与城镇化率的关系是非线性的，特别是在中低收入的发展中国家（流动人口大的国家）

# 通过改进SSPs框架下城镇化率的预测模型，提高不同国家城镇土地面积模拟的准确性

城乡人口增长率差法



S型曲线模型法



- 城乡人口增长率差与城镇化率的关系是**非线性的**，特别是在中低收入的发展中国家（流动人口大的国家）
- 建立回归关系只用了2个时期的数据，不确定性高，**不适宜长期预测**

- S型曲线模型（Logistic模型）是学者在总结全球城镇化路径得出的模型，适用性更强
- 可以使用**多年数据捕捉年际波动**
- 可以模拟城镇化的“饱和”现象

# 利用S型曲线模型能够更好地模拟和预测城镇化率

第14卷 第4期  
2018年7月

气候变化研究进展  
CLIMATE CHANGE RESEARCH

Vol. 14 No. 4  
July 2018

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2018.018

丁小江, 钟方雷, 毛锦凰, 等. 共享社会经济路径下中国各省城市化水平预测 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14 (4): 392-401

## 共享社会经济路径下中国各省城市化水平预测

丁小江<sup>1</sup>, 钟方雷<sup>1,2</sup>, 毛锦凰<sup>1</sup>, 宋晓谕<sup>2,3</sup>, 黄春林<sup>4,5</sup>

1 兰州大学经济学院, 兰州 730000;

2 中国科学院西北生态环境资源研究院内陆河流域生态水文  
重点实验室, 兰州 730000;

3 中国科学院资源环境科学信息中心, 兰州 730000;

4 中国科学院西北生态环境资源研究院黑河遥感试验研究站, 兰州 730000;

5 中国科学院西北生态环境资源研究院甘肃省遥感重点实验室, 兰州 730000

- 成功利用S模型模拟了不同SSPs情景下的中国各省2016-2050的城镇化率
- 与国内学着（周一星、周干峙、李善同）的预测结果具有较好一致性，预测在合理范围之内；并且还有多种SSPs情景下的预测，更能表现未来发展的不确定性。

# 利用S型曲线模型能够更好地模拟和预测城镇化率

本文对于城市化水平的度量主要从人口角度来计算，即城市化率为城市人口占总人口的比重。城市化预测采用 Logistic 模型，使用 STATA 计量软件进行参数回归，预测基期为 2010 年。由于城市化轨迹在图形上表现为一条被拉长的“S”型曲线，可将城市化的发展过程大致分为 3 个阶段：城市化率 30% 以下，为城市化发展速度比较缓慢的初期阶段；城市化率在 30% ~ 70% 时，为城市化加速发展的中期阶段；城市化水平超过 70% 并趋向 90% 时，为城市化发展渐趋饱和的后期阶段<sup>[33]</sup>。

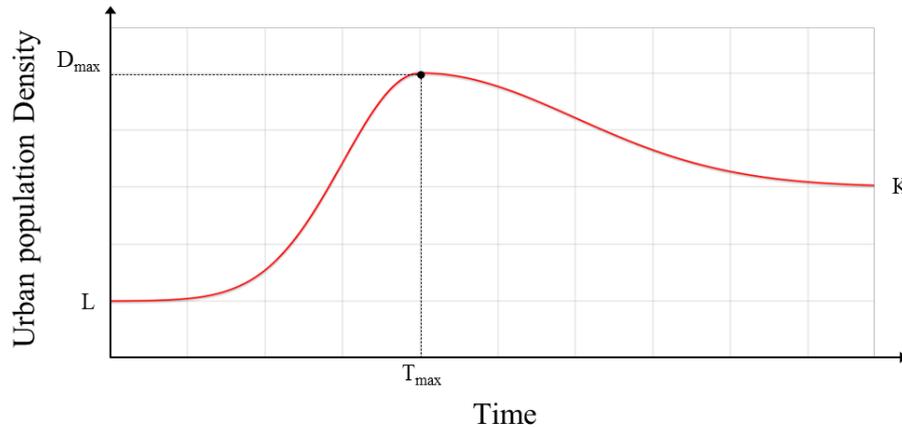
Logistic 模型的数学表达式可以表述为：

$$Y_{ij} = \frac{\beta_i}{1 + e^{\alpha_i - k_i t_j}} \quad (i = 1, 2, \dots, 31)。 \quad (1)$$

$i$  表示所观测省， $j$  表示年份， $Y_{ij}$  表示  $i$  省在  $j$  年的城市化水平； $\beta_i$  表示  $i$  省城市化水平的饱和值； $\alpha_i$  反映  $i$  省的基期城市化基础； $k_i$  反映  $i$  省的城市化速度； $t_j$  表示观测点所处年份距离基期年份的差值。

- **饱和值：95%**
- **城市化速度：也是快中慢**

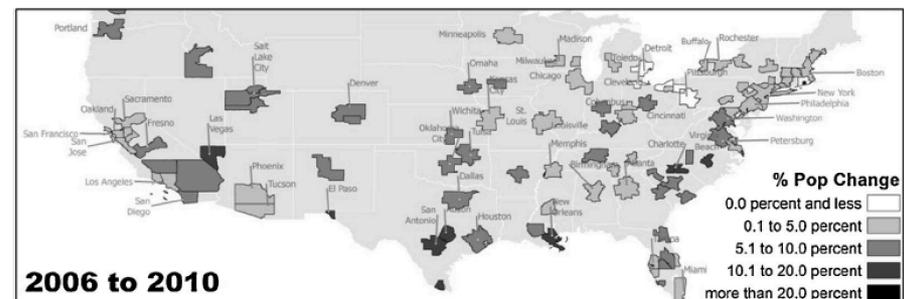
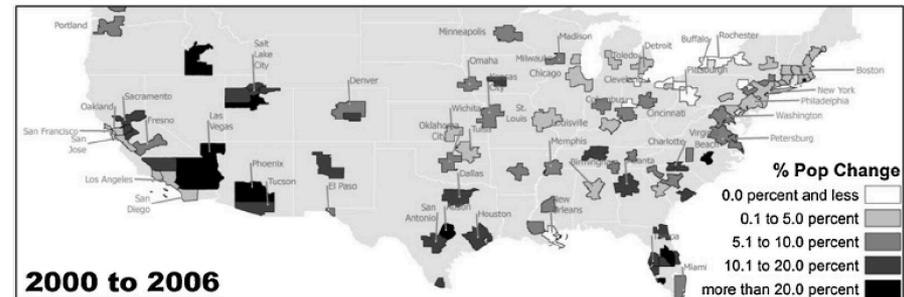
# HYDE3. 2城镇土地估算——城镇土地面积预测的问题



- 城市人口密度随时间变化的曲线是一条非对称的钟形（类高斯分布）曲线。城镇人口密度先快速上升而后缓慢下降（Goldewijk et al., 2010）
- 该曲线参数值主要是在国家尺度得到，认为美国和欧洲等发达国家城镇密度呈下降趋势

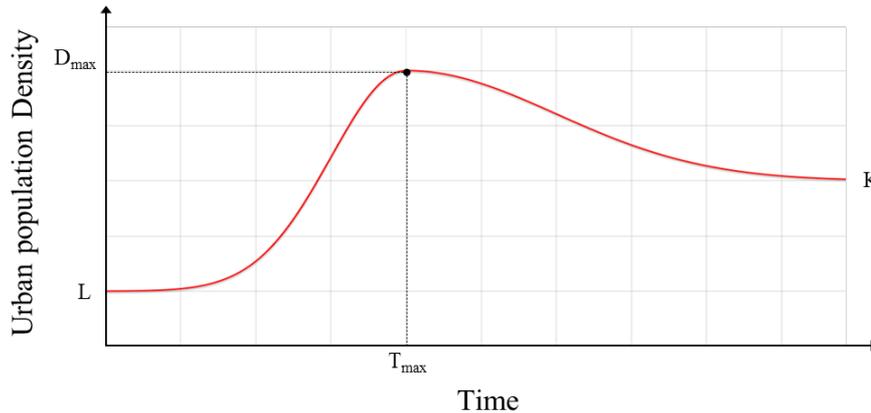
但是，国家内部异质性很高

- 美国东部的“铁锈带”城镇人口收缩，但是西南部的“阳光地带”城镇人口密度上升(Martinez-Fernandez et al., 2016)
- 中国东北部一些城镇的局地收缩，东部沿海三大城市群的城镇扩张，西部中小城镇土地的快速蔓延（Gao et al., 2016; Long et al., 2019）



(Martinez-Fernandez et al., 2016)

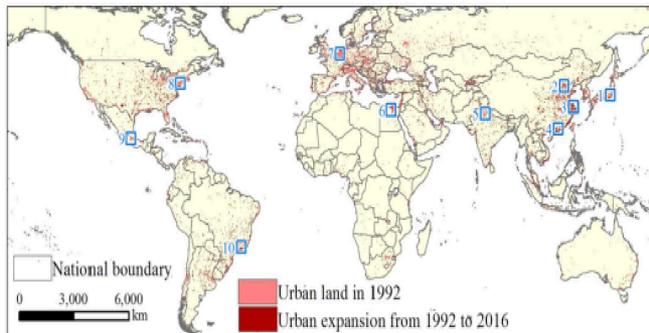
# 在区域尺度重新建立城镇密度的钟形曲线



$$D_{urb}(t) = \begin{cases} f_1 \exp\left(-0.5\left(\frac{t-t_{\max}}{\sigma}\right)^2\right) + L & \text{for } t < t_{\max} \\ f_2 \exp\left(-0.5\left(\frac{t-t_{\max}}{c\sigma}\right)^2\right) + K & \text{for } t \geq t_{\max} \end{cases}$$

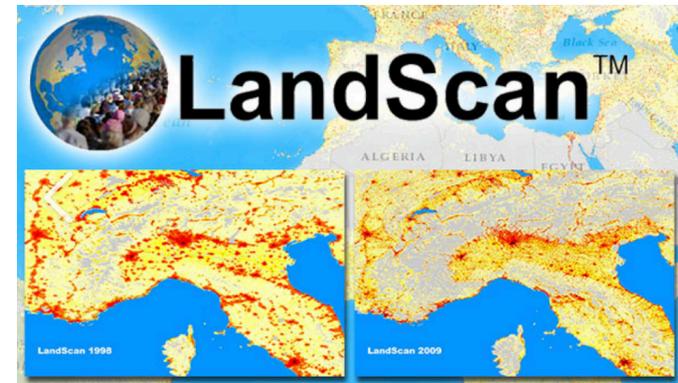
(Goldewijk et al., 2010)

- 1992-2016年全球城镇扩展数据



(He et al., 2019)

- LandScan人口分布数据



# 主要内容

1. 已有城镇土地面积模拟的思路
2. 城镇土地面积模拟的不足与改进
3. 城镇土地面积模拟的初步实验



# HYDE数据城镇化率预测准确性的验证

预测数据	2010-2100（每5年）	(Jiang et al., 2015)
真实数据 (世界银行)	到2018，各国，每年	<a href="https://data.worldbank.org.cn/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=chart">https://data.worldbank.org.cn/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?view=chart</a>
真实数据 (HYDE3.2)	到2014年，单元格	
预测数据 (HYDE3.2)	已删除	

# 除SSP3的2015年预测值外，大部分国家预测值都偏大

SSP1				
	个数		比例	
	2010	2015	2010	2015
>0	-	138	-	73.4%
<0	-	47	-	25.0%
0	-	3	-	1.6%

SSP2				
	个数		比例	
	2010	2015	2010	2015
>0	-	116	-	61.7%
<0	-	69	-	36.7%
0	-	3	-	1.6%

SSP3				
	个数		比例	
	2010	2015	2010	2015
>0	-	88	-	46.8%
<0	-	97	-	51.6%
0	-	3	-	1.6%

SSP4				
	个数		比例	
	2010	2015	2010	2015
>0	-	134	-	71.3%
<0	-	51	-	27.1%
0	-	3	-	1.6%

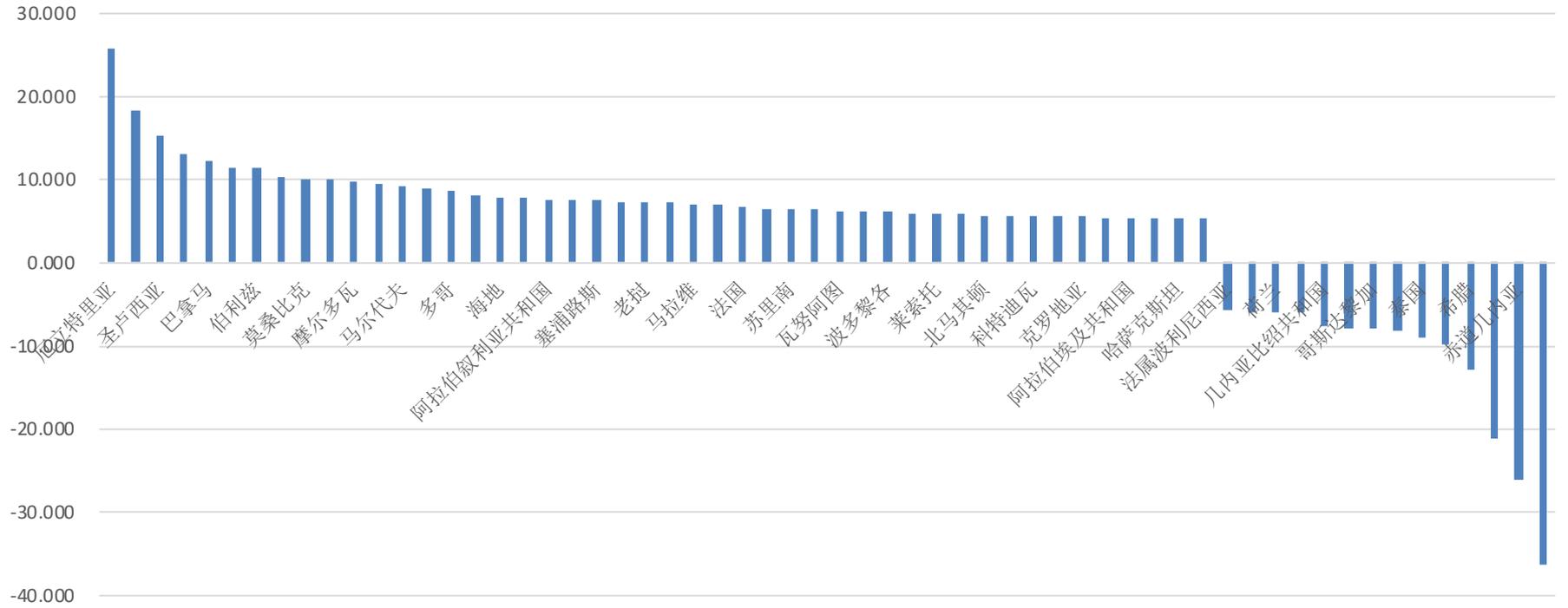


# 大部分误差在5%以内

- 主要误差在5%以内，其次是5%-10%
- SSP3情景表现最好，将近80%的国家预测误差都小于5%
- 其次是SSP2、SSP4情景表现较好

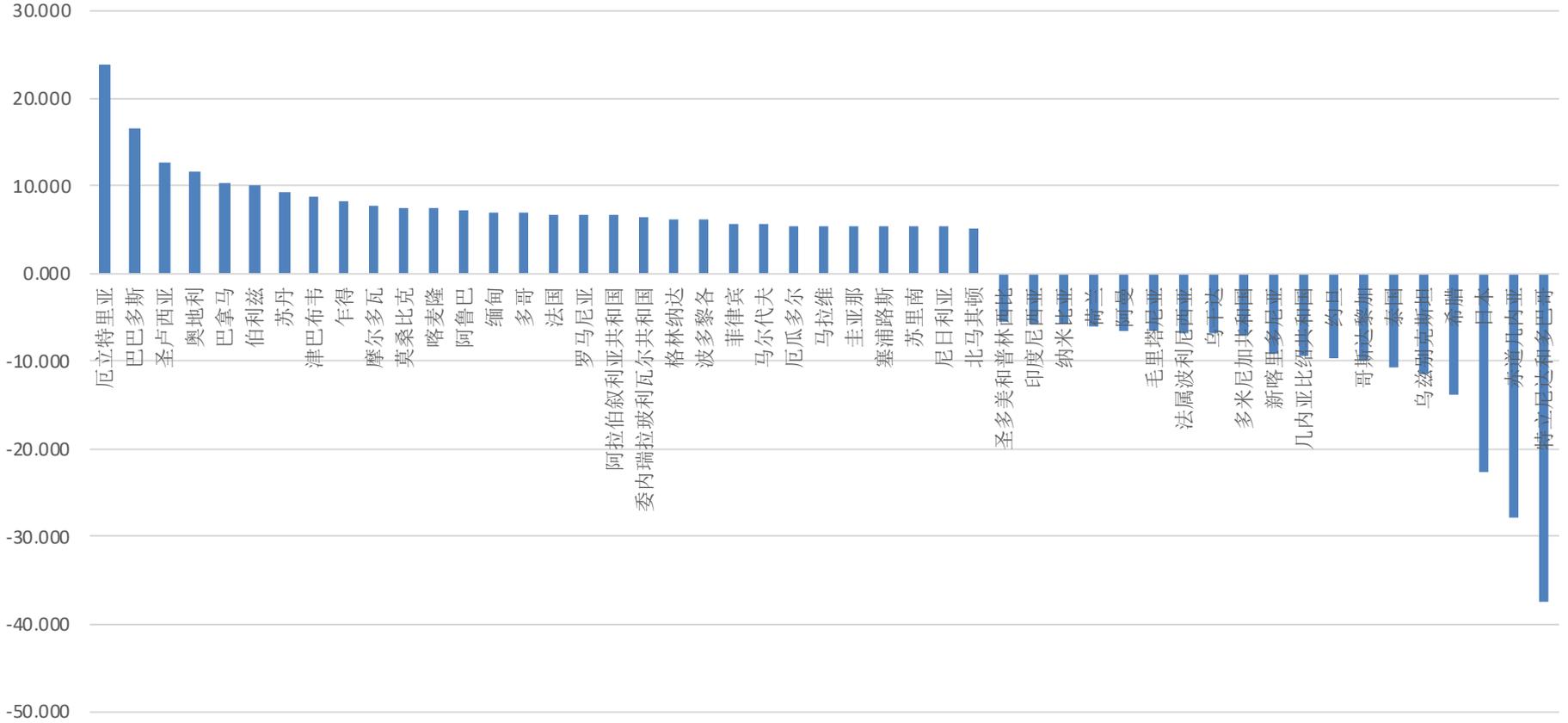
		SSP1		SSP2		SSP3		SSP4		SSP5	
		个数	比例								
		2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
误差	>0	138	73.4%	116	61.7%	88	46.8%	134	71.3%	138	73.4%
	<0	47	25.0%	69	36.7%	97	51.6%	51	27.1%	47	25.0%
	0	3	1.6%	3	1.6%	3	1.6%	3	1.6%	3	1.6%
	5%	60	31.9%	49	26.1%	38	20.2%	59	31.4%	60	31.9%
	10%	14	7.4%	12	6.4%	14	7.4%	14	7.4%	14	7.4%
	15%	6	3.2%	5	2.7%	5	2.7%	6	3.2%	6	3.2%
	20%	4	2.1%	4	2.1%	4	2.1%	4	2.1%	4	2.1%
25%	3	1.6%	2	1.1%	2	1.1%	3	1.6%	3	1.6%	
30%	1	0.5%	1	0.5%	1	0.5%	1	0.5%	1	0.5%	

# SSP1

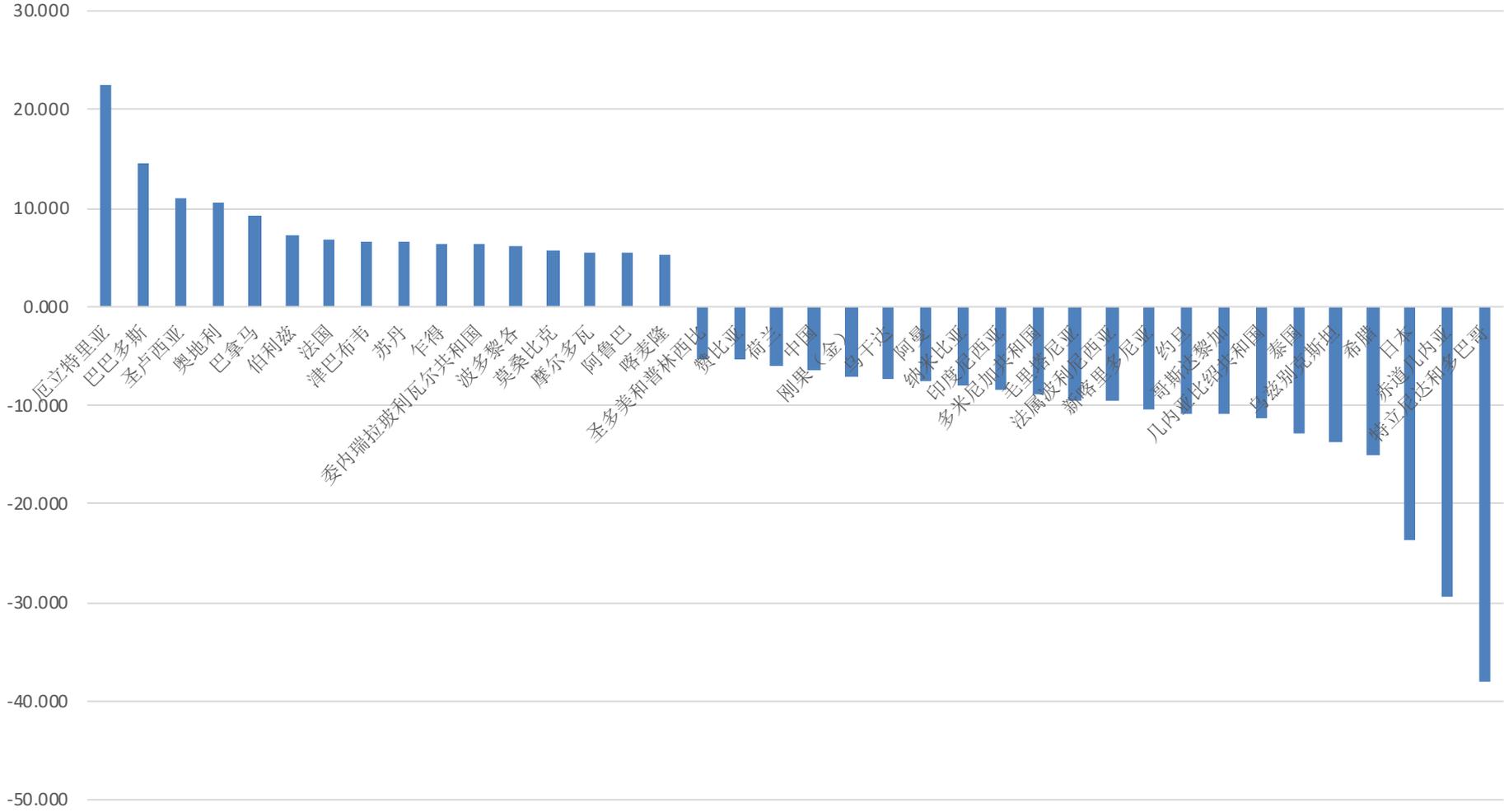




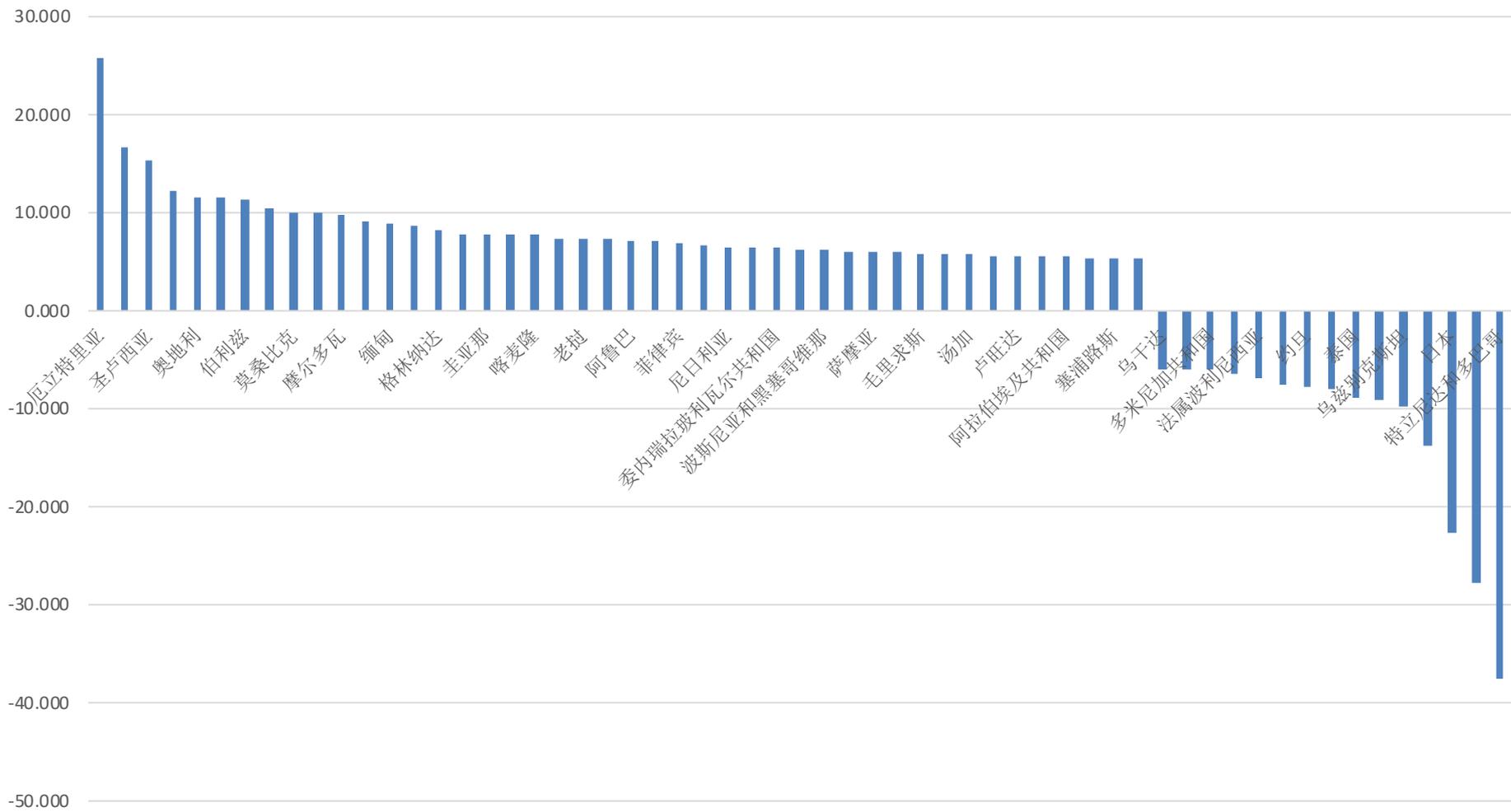
## SSP2



### SSP3



### SSP4



# 利用Logistic函数模拟

- 根据世界银行1960-2009年40年城镇人口数据预测了2010-2050年全球221个国家和地区的城市化水平。
- 其中百慕大、开曼群岛、直布罗陀、中国香港特别行政区、科威特、中国澳门特别行政区、摩纳哥、瑙鲁、新加坡、圣马丁(荷属)这10个国家和地区2009年城市化水平平均已达到100%，因此没有预测



# 不同情景设置和验证

类别	要素	SSP1			SSP2			SSP3			SSP4			SSP5		
		低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高
人口	人口数量	较低	中等	高	低	中等	高	低	中等	高	低	中等	高	低	中等	高
	城市化	快速	中等	低	快速	快速	中等									
	教育	高	中	低	低/不均衡											

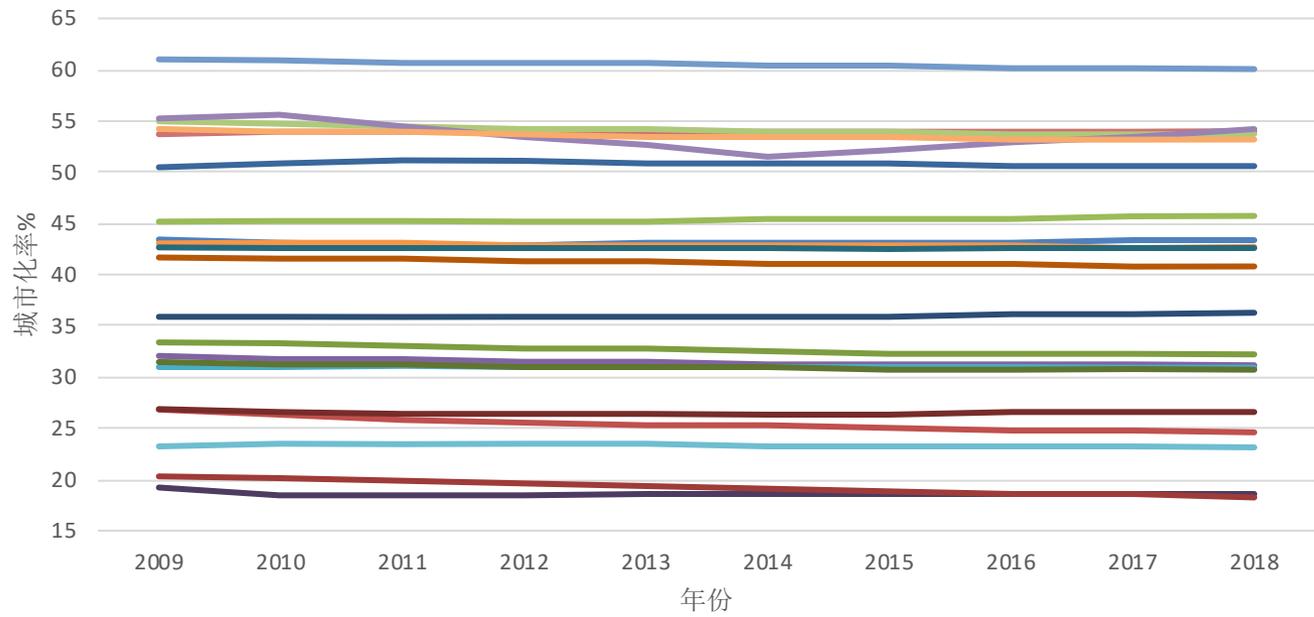
- SSP1/SSP5 情景下所有国家按fast速度预测
- SSP2情景下所有国家按middle速度预测
- SSP3情景下所有国家按low速度预测
- SSP4对不同收入国家设置不同速度，尚未进行
- 对比不同预测速度下各国家和地区2010-2018年预测与真实数据差别

# 与真实值对比

	误差	2010-2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
fast	>5%	0	9	27	49	72	86	94
	<-5%		0	0	1	1	1	2
	5%		9	27	50	73	87	96
	>10%		0	0	0	0	4	14
	<-10%		0	0	0	0	0	0
	10%		0	0	0	0	4	14
	>15%		0	0	0	0	0	0
	<-15%		0	0	0	0	0	0
	15%		0	0	0	0	0	0
	>20%		0	0	0	0	0	0
	<-20%		0	0	0	0	0	0
	20%		0	0	0	0	0	0
central	>5%	0	1	1	2	8	13	21
	<-5%		0	0	1	3	4	4
	5%		1	1	3	11	17	25
	>10%		0	0	0	0	0	0
	<-10%		0	0	0	0	0	0
	10%		0	0	0	0	0	0
	>15%		0	0	0	0	0	0
	<-15%		0	0	0	0	0	0
	15%		0	0	0	0	0	0
	>20%		0	0	0	0	0	0
	<-20%		0	0	0	0	0	0
	20%		0	0	0	0	0	0
low	>5%	0	0	0	0	0	0	0
	<-5%		0	2	6	10	13	17
	5%		0	2	6	10	13	17
	>10%		0	0	0	0	0	0
	<-10%		0	0	0	0	0	0
	10%		0	0	0	0	0	0
	>15%		0	0	0	0	0	0
	<-15%		0	0	0	0	0	0
	15%		0	0	0	0	0	0
	>20%		0	0	0	0	0	0
	<-20%		0	0	0	0	0	0
	20%		0	0	0	0	0	0

- 随着年份增长，各预测情景的误差都加大
- middle和low表现最好，到2018年为止，所有预测误差都在10%以内。2018年middle的预测中误差在5%~10%的有25个国家，占全部国家和地区11.8%
- low低速情景下，所有误差来自于预测过小
- middle中速情景下预测过大引起的误差较多

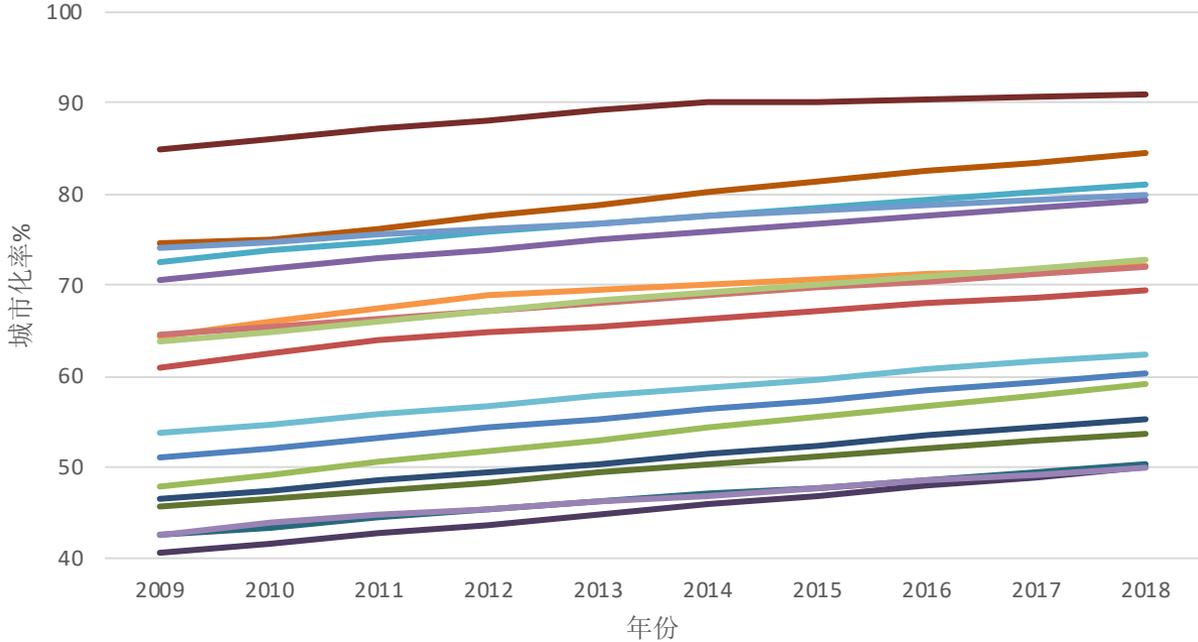
# 高速情景下的高估



2018年 fast 和 middle 中预测值明显偏大的国家，其真实城市化存在下降趋势，或上下波动

- 阿鲁巴
- 安提瓜和巴布达
- 伯利兹
- 巴巴多斯
- 海峡群岛
- 阿拉伯埃及共和国
- 格林纳达
- 圭亚那
- 圣基茨和尼维斯
- 圣卢西亚
- 摩尔多瓦
- 毛里求斯
- 波兰
- 罗马尼亚
- 斯洛伐克共和国
- 阿拉伯叙利亚共和国
- 汤加
- 特立尼达和多巴哥
- 乌兹别克斯坦
- 萨摩亚
- 津巴布韦

# 低速情景下的低估



## 2009-2018城市化率实际增长最多的国家排名与预测明显偏小的国家

实际增长最多的国家 预测中明显偏小的国家

实际增长最多的国家	预测中明显偏小的国家
1 中国	中国
2 阿曼	阿曼
3 纳米比亚	纳米比亚
4 阿尔巴尼亚	阿尔巴尼亚
5 圣多美和普林西比	圣多美和普林西比
6 哥斯达黎加	哥斯达黎加
7 海地	海地
8 图瓦卢	图瓦卢
9 多米尼加共和国	多米尼加共和国
10 博茨瓦纳	博茨瓦纳
11 毛里塔尼亚	毛里塔尼亚
12 赤道几内亚	赤道几内亚
13 尼日利亚	尼日利亚
14 基里巴斯	萨尔瓦多
15 萨尔瓦多	泰国
16 泰国	约旦
17 索马里	帕劳

2018年central和low中预测值明显偏小的国家

# 与Jiang的预测对比

	fast		middle		slow	
	Jiang	us	Jiang	us	Jiang	us
	2015	2015	2015	2015	2015	2015
5%	46	49	30	2	16	0
-5%	14	1	19	1	22	6
<b>5%</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>49</b>	<b>3</b>	<b>38</b>	<b>6</b>
10%	10	0	6	0	4	0
-10%	4	0	6	0	10	0
<b>10%</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>0</b>
15%	3	0	2	0	1	0
-15%	3	0	3	0	4	0
<b>15%</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
20%	1	0	1	0	1	0
-20%	3	0	3	0	3	0
<b>20%</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
25%	1	0	0	0	0	0
-25%	2	0	2	0	2	0
<b>25%</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
30%	0	0	0	0	0	0
-30%	1	0	1	0	1	0
<b>30%</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

- 我们预测结果中误差在5%~10%以内的国家和地区明显少于Jiang的预测结果
- 对于2015年的预测情况，我们预测数据误差均在10%以内，Jiang预测的结果中均有个别国家真实情况与预测结果差别较大

# 参考文献

- Gao, B., Huang, Q., He, C., Sun, Z. and Zhang, D., 2016. How does sprawl differ across cities in China? A multi-scale investigation using nighttime light and census data. *Landscape and Urban Planning*, 148: 89-98.
- Jiang L & O'Neill BC. 2017. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change* 42:193-199.
- Klein Goldewijk, K., Beusen, A. and Janssen, P., 2010. Long-term dynamic modeling of global population and built-up area in a spatially explicit way: HYDE 3.1. *The Holocene*, 20(4): 565-573.
- Klein Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J. and Stehfest, E., 2017. Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2. *Earth Syst. Sci. Data*, 9(2): 927-953.
- Long Y, Gao S.(eds) *Shrinking cities in China*. Singapore: Springer.
- Martinez-Fernandez, C., Weyman, T., Fol, S., Audirac, I., Cunningham-Sabot, E., Wiechmann, T. and Yahagi, H., 2016. Shrinking cities in Australia, Japan, Europe and the USA: From a global process to local policy responses. *Progress in Planning*, 105: 1-48.
- UN 2012 World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. (United Nations, Department of Economic and Social Affairs/Population Division, New York).
- 丁小江, 钟方雷, 毛锦凰, 等. 共享社会经济路径下中国各省城市化水平预测. *气候变化研究进展*, 2018, 14(4):392-401.
- 方创琳. 改革开放40年来中国城镇化与城市群取得的重要进展与展望. *经济地理*, 2018, 38(9).



感谢聆听，欢迎讨论！