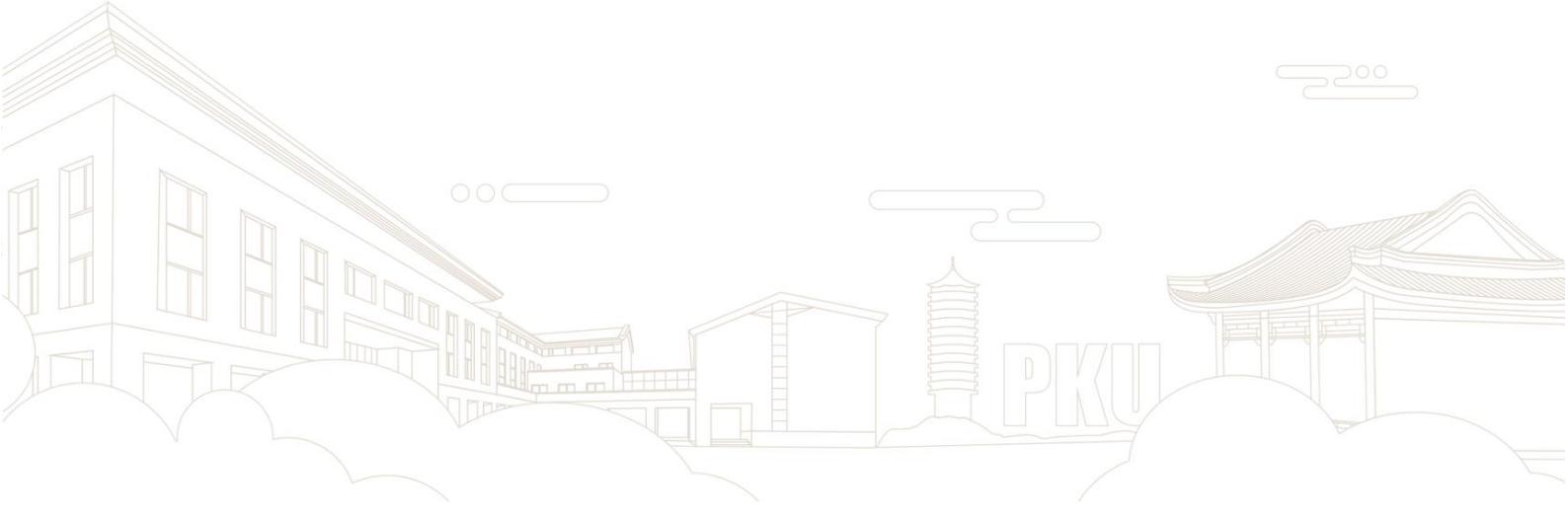




第九部分 空间经济数据





引言

- 数据与城市经济学

- • 数据与经济学

- 假设
- 理论模型
- 占星学
- 经济学
- 相关性
- 因果关系
- 假设检验
- 实证研究

- 城市经济学继续在研究数据上存在优势

- ~ 吉尔·杜兰通 (Gilles Duranton)

今日，我们着手探讨数据与经济分析之间的关联。在我看来，17 和 18 世纪的诸多经济理论，例如亚当·斯密所著的《国富论》，大多建立在个人的假设之上，相比之下，实验性的验证则显得较为稀缺。那个时代的经济学，更多是依赖于理论和假设的逻辑推演，而非数据的实证检验。

现代经济学与往昔相比，有何显著差异？其中一个关键的转变是从“假设”过渡到了“假设检验”。现今，许多实证研究聚焦于一个明确且具体的小假设，研究者们必须搜集大量数据以进行检验。这种做法的优势何在？仅凭理论模型，我们可能会得出错误的结论。正如古人提出的“天圆地方”理论，现在看来颇为荒谬，因为当时缺乏望远镜，无法获取充分的数据。

然而，随着望远镜的发明，人类得以积累更多数据，进而提出了更贴近宇宙实际的理论。因此，理论随着数据的演进而进步，这一点是不言而喻的。数据对于学科进步的重要性是显而易见的。

随着数据的涌现，我们拥有了多种分析方法。在 2000 年之前，大多数经济模型仅仅依赖于相关性分析，那时的研究可能被认为具有探索价值。但现在，如果仅仅展示相关性，许多人会认为这不够精确。目前，我们更倾向于进行因果关系分析，因为先进的数据分析技术，例如因果推断技术，已经被开发出来。对于 Kernel Matrix（核矩阵）有所了解的同学们，我希望你们能够深入研究。一些常见的因果关系识别技术包括双重差分法、空间断点回归和工具变量等。这些技术让我们不再仅仅依赖于数据的简单汇总。最终，我们的工作流程转变为先提出假设，再进行验证。宏观理论的优势通常由经验丰富的研究者实现，这些专家通过整合和总结其他研究者的发现，提出具有更高理论深度的宏观观点。

在众多经济学分支中，城市经济学算是比较幸运的领域之一，因为它总能获得非常有趣的数据。去年我去米兰参加城市经济学年会时，沃顿商学院的 Gilles Duranton（城市经济学会主席）提到，城市经济学领域一直不断获得新的数据。无论是因为技术进步还是制度变迁，新的数据总是不断涌现，供经济学家使用。因此，城市经济学总能得到更多有价值的数据。

城市数据

- 传统统计数据

- 行政数据

- 新型数据

- 来自互联网的空间属性数据

- 遥感数据

- 基于传感器的数据

- 空气污染监测站





- GPS
- 街头摄像头

所以，今天我们将着重讲解一些新的数据类型，它们与传统的数据有所不同。传统的数据通常是由统计局收集的，例如国家统计年鉴中。新的数据则更多来自于互联网，包含了一些具有空间属性的数据。例如，链家网站上的房价数据，可以显示某一房子的具体位置，这点非常有用。另外，高德地图也提供了每条道路的拥堵程度数据。

今天我们特别要讲的是卫星数据，还有基于传感器的数据。前者很好理解，对于后者，我们举例说明，比如在大楼里可能会有很多传感器设备，比如监控摄像头、温度监测器等。当发生火灾时，温度传感器可能触发洒水系统。另外，家里也可能配备烟雾报警器，这些设备都属于传感器类数据。

此外，空气污染监测站提供的空气质量数据，或者是基于 GPS 的数据，通过智能手机等设备实时监测我们的地理位置。街道上也可能有摄像头在监控，这些数据都带有空间属性，是我们在城市生活中不可避免地被收集的数据。

PPT 03

行政数据

城市经济学主要是理论性的，主要关注城市存在的原因

- 阿隆索-穆思-米尔斯模型
- 城市体系

第一波，行政数据

- 举例：

- Duranton, G., & Turner, M. A. (2012). 城市增长与交通运输. 经济学研究评论, 79(4), 1407-1440. <https://doi.org/10.1093/restud/rds010>
- 城市边界内高速公路的长度

在一开始的城市经济学研究当中，传统数据（比如行政数据 - administrative data）是很用的。当时主要研究的是模型城市（model city），以深圳汽车相关研究为例，重点在于不同地方的房价以及它们与市中心的距离。因此，若只是用于研究城市系统，了解不同城市的人口及其主要工业结构，传统数据就足够了。这些数据往往来源于一些文献，比如我们学习过的 Gilles Duranton 等人撰写的《城市增长与交通》（Urban Growth and Transportation）^[14]。在这篇文献中，他们将一个城市边界内的高速公路长度作为主要的自变量（x 变量），然后观察边界内的人口增长情况，这是一种较为简单的数据处理方式。

PPT 04

再比如人口普查数据（population census data），它在城市研究中是非常有用的。有些人口普查数据记录了一个人当前的所在地以及他出生时的地点，这样你就可以识别出哪些属

^[14] Duranton, G., & Turner, M. A. (2012). *Urban growth and transportation*. Review of Economic Studies, 79(4), 1407-1440.



于迁移人口（migration）。你可以了解到人在不同时间所处的位置，而在不同位置上，人们有着不同的收入（income）、不同的效率水平以及不同的健康程度，这些都可以用于研究一些空间属性问题，也就是城市经济学可能会关注的问题。例如“教育如何影响迁移决策（How does education affect migration decisions）？”如果给定了你的教育背景，那么在下一期或者第三次（数据记录）时，你的位置是否发生了变化（即是否迁移了），这件事就可以被研究。

当然，我不是想在这里宣扬说大家找到数据之后，就想一个自变量（x）和一个因变量（y），然后看它们之间有什么关系。如果没有理论支撑或者说还没有足够的假设（hypothesis），我们就只是找一些人来做研究，经济学中把这种做法称为“chicken think”或者“monkey regressions”。就像让一只大猩猩坐在电脑前面，然后给它一些自变量（x）和因变量（y），它也可以做出一些回归分析。我们不要做这样的事情。这里有无数种组合（limitless number of combinations），所以我们还是要有一些理论概念。但鉴于我们有一些数据（given the data we have），就可以做一些实验，或许能从其中发现一些有趣的模式（pattern）。

另外常见的数据还包括经济普查数据，这里可能会记录企业的地址，这也很有用。你可以知道企业什么时候迁移，比如你要了解企业位置转移（location transfer）这个问题，那就很重要了。具体来说，是什么样的企业、什么行业的企业，在什么情况下会迁移到什么样的区域，这很有趣。对于比如一个市长来说，在决定在哪里建一个工业园区，是否能够吸引足够多的企业加入时，这些研究可能会提供一些启示。

PPT 5

行政数据

- 年鉴
- 税务数据
- 自定义数据
 - 进出口

在过去，城市经济学研究中常用的资料包括《中国城市统计年鉴》和《中国县域统计年鉴》，这些资料都可以通过网上的一些渠道获取

以天津为例，之前的一些研究论文中提到，天津的部分数据可能来源于二轮城市统计中的健康区统计，而一些县域数据则可能来自县域年鉴。将这些数据综合起来，可以对中国的不同地区进行较为全面的经济指标收集。

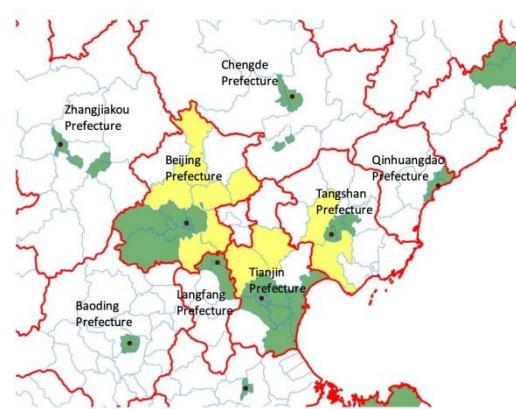


Figure 2b: Beijing area political geography. Red lines indicate 2005 definition prefecture boundaries and light blue lines indicate county/urban district boundaries. Green shaded regions are 1990 central cities and yellow shaded regions are central city expansions 1990-2005.

行政数据

- 年鉴
 - 《中国城市统计年鉴》：链接



- 《中国县域统计年鉴》：链接
- 税务数据
 - 研究问题：例如，环境税如何影响污染企业的行为？
- 自定义数据
 - 进出口
 - 研究问题：例如，企业出口如何影响迁移？

而对于其他数据，比如说企业数据，这里面可能也记录了企业所在的省份或者是区县。你可以问，比如说最近实施的环境税，它在多大程度上影响了企业的行为。再比如说海关数据，有了进出口数据，我们可以看企业出口如何影响一个国家内部的人口流动。从中国的经验来看，由于沿海企业的出口带动了很多向沿海地区的迁移（migration），这些都是我们可以通过数据来回答的问题。

PPT 07

新数据：遥感数据

- 在经济学中的应用范围迅速扩展
 - 夜间光照
 - 白天图像
 - 卫星图像 + 人工智能

今天我们着重会讲的是遥感数据（sensing data），主要分为三块内容。

- 夜光数据
- 日光数据
- 卫星数据与 AI

城市经济学家最初使用遥感数据是从夜光影像数据开始的。当卫星拍摄地球处于阴影一侧的照片时，会发现有些地方亮，有些地方暗。通过这些卫星图像可以隐约识别出不同地区的亮度差异，例如图像中左上角是美国，右侧是印度，而东边较亮的区域是中国和日本。

后来，大家发现白天卫星拍摄的影像也很有用。例如，我们现在打开百度地图查看卫星图层时，可以看到很多建筑物等详细信息，这些数据也具有重要的研究价值。

最后，我们会讲到卫星数据与 AI 的结合。AI 的到来使得分析卫星数据变得更加快速和便宜，这在经济学研究中也越来越受到关注，成为了一个重要的研究方向。

一、夜光数据

首先我们从 Henderson 和 Storeygard 2012 年发表在《American Economic Review》上的文章开始，这篇文章的标题是“Measuring Economic Growth from Outer Space”（从外太空测量经济增长）^[15]。

动机

^[15] Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American Economic Review*, 102(2), 994-1028



- GDP 是经济增长分析中最重要的变量。
- 但它往往被错误衡量，尤其是在发展中国家。
 - 政府可能没有足够的资源及时收集数据。
 - 缺乏子国家级 GDP 数据，许多国家只有全国层面的 GDP 数据。
- 经济学家常用 GDP 的代理指标。
 - 联邦储备委员会使用电力消耗。
 - 人口与健康调查中的消费记录。
 - 经济学历史学家邮寄的信件。
- 新的代理指标：夜间光照。

那么为什么当时他们想到要做这样一项研究呢？原因之一是 GDP 是非常重要的指标，但经常测不准。测不准的原因有很多，一方面可能是政府没有相应的资源去做这样的 GDP 测量，比如非洲一些国家根本就没有这样的资源。即使能算出全国的 GDP，到具体地区又没有数据了。比如在非洲很多国家没有省一级的 GDP 数据，这就带来一个问题：在实施经济政策时，不知道从哪着力。

同样的，在中国，李克强总理在任时也会看一个叫后来被称为“克强指数”的东西，即铁路运输量和工业用电量。所以哪怕是大国总理，有时候也可能要通过一些替代数据来看真实的经济发展走向。在美国，有时候美联储也会使用用电量作为经济活动的度量指标。在一些非洲国家数据缺失的情况下，他们可能会利用人口健康普查数据中记录的房屋消费（consumption）或者持有的资产（如自行车、手表等）来衡量消费水平（consent level）。在没有数据的情况下，就需要想办法找到数据。对于经济史学家而言，他们甚至曾用一个国家在某段时期内所有被运输过的信函数量作为 GDP 的近似指标。这篇论文的贡献在于发现夜光影像其实是一个衡量 GDP 的非常有趣且有潜力的经济指标

发现

- 测量国内的实际 GDP 增长。
- 夜间光照（NTL）作为衡量国家层面收入增长的附加指标。
 - 课堂：它真的有效吗？
 - 多个易出错的度量方法比单一方法更好。
- 测量 GDP 与 NTL 增长的估计弹性：
 - 0.3, NTL 增长 1%, GDP 增长 0.3%。
- 子国家收入增长
 - 城市级 GDP
 - 高频

首先，他们得出的结论之一是，这些数据能够作为衡量国家内部经济增长的指标。虽然跨国比较可能不太适用，但在单一国家内，我们可以通过分析夜光强度来推测其经济发展状况。随着我的讲解，大家可能会思考这是否确实是一个极佳的方法。作者提出，无论是使用信封还是用电量作为指标，它们都不是完美的，因此多一个指标也无妨。同时，他们估计了 GDP 增长与夜光增长之间的弹性关系，大家是否还记得弹性这一概念？即当我的 x 变量增长 1% 时， y 变量会增长多少百分比？他们计算了 GDP 相对于夜光增长的弹性，结果是 0.3。这意味着当夜光强度增长 1% 时，GDP 显著增长 3%。



所以，这一部分研究证明了夜光作为 GDP 指标的有效性。此外，夜光数据的优势不止于此，它还可以细化到国家的各个城市进行分析。在一个较小的地理单元内，我们可以利用夜光数据来衡量 GDP 的增长。而且，由于卫星数据是每日收集的，我们不仅可以观察到年与年之间的 GDP 增长，甚至可以分析月与月之间的变化。这些就是夜光数据的优势所在。

PPT 11

发现

- 作为概念验证：应用 NTL 回答三个问题：
 - 沿海地区的增长速度是否快于非沿海地区？
 - 主要城市是否比内陆地区增长更快？
 - 在近期强力反疟疾运动后，疟疾高发地区的增长速度是否与疟疾较少地区相似？
- 对所有三个问题的回答都是出乎意料的“NO”。

同时，作为一个对这一想法的验证，作者也利用卫星数据研究了三件事。

- 非洲沿海地区（coast area）的经济增长是否比非沿海地区更快。
- 非洲的 primate city（主要城市）的增长是否比 hinterland city（内陆城市）更快。
- 研究在疟疾肆虐的地区与疟疾已被根除的地区相比，其经济增长是否相似？

对于第二个问题，我们之前在中国也研究过类似问题，按常理推测，在非洲 primate city 的增长速度应该比内陆城市更快，这也符合一般直觉。但从结果上看，我们通过卫星数据进行实证研究后发现，情况并非如此。这在一定程度上说明，这些数据可以为我们提供一些洞见，揭示在没有这些数据时无法发现的问题和现象。

PPT 12

贡献

- 被认为是第一篇研究如何在统计框架中使用 NTL 作为经济活动合法代理的论文。
- 承认陈和诺德豪斯（2011）做的相关工作。
- 后者对 NTL 数据的有效性有不同看法。

所以这篇论文的一个很大贡献是，他作为第一篇论文研究了如何使用夜光数据作为一个有效的经济指标近似值。当然，作者也承认在同一时期还有另外两位作者有类似的想法，一个是陈和他的团队（Chen and Nordhaus 2011），但这两位作者可能对夜光数据的使用没有那么积极，因为这个事物比较新，所以不同的人可能有不同的看法。文献中认为哈德森（Henderson）的文章可能是最早将夜光数据引入经济学研究的

PPT 13

什么是卫星数据？

- 示例卫星数据：美国空军防空气象卫星计划（DMSP）
- 从 1970 年代起每天 14 次



- 数字档案从 1992 年开始
 - 主要目标：收集月光云
 - 副产品：人类定居点
 - 8:30 pm - 10:00 pm 的某一位置
- 光强的测量：一个 0 到 63 之间的数字。

让我们更深入地探讨一下，之前可能描述得有些模糊。具体而言，卫星数据是什么呢？举个例子，美国空军的国防气象卫星计划（DMSP），这颗卫星自 1972 年起，每日绕地球运行 14 圈。自 1992 年起，它便开始搜集各类地球信息，主要通过拍摄照片，实际上就是收集了大量地球的图像资料。最初，它的主要功能是观测夜间的薄云层位置，因为这会对大气物理模型产生影响。但意外地，它也捕捉到了人类居住区的画面。这颗卫星通常在晚上 8:30 至 10:00 间飞越某一地点，因此能够获取许多夜间的光亮影像。在非极地区域，无论是夏季还是冬季，晚上 8:30 至 10:00 时分，天色通常已暗，因此它能够记录下夜间的光亮情况。那么，夜光是如何被量化的呢？它是一个介于 0 到 63 之间的数值。可以想象，这就像最早的相机，功能非常基础，甚至无法拍摄影彩照片，只能记录下 0 到 63 这样的数值范围。

PPT 14

全球夜光图

- 反映人口密度和人均收入。
- 各国使用光照的方式不同。
- 仅能在国家内部跨时间进行比较。



那么，假设有这样一个相机，它拍摄的结果是把图像拼接在一起，每次只能扫描地球的一个比较狭窄的轨道。但是将这些图像拼接在一起后，就可以形成整个全球在一定时间内的夜光分布。我们可以看到，美国位于左上角，印度在右侧，中国在东边，而中间是欧洲。通过这些夜光分布，我们可以观察到一些有趣的现象。比如，它确实反映了人口的密度，甚至能体现人均收入的差异。比如，美国的亮度明显高于非洲。通过上下对比，问题也显而易见：每个国家的夜间用电方式并不完全能够直接反映其 GDP 水平。

每个国家的用电方式也有所不同。例如，在美国，可能每周五晚上大家都去参加各种派对，去酒吧喝酒；而在伦敦，大家可能从周四晚上就开始外出喝酒。夜生活的丰富程度直接



影响电力的消耗。而在一些穆斯林国家，晚上八九点钟人们可能已经回家休息，电力消耗并不代表经济实力的差距。

然而，我们之前也讨论过，使用“时间差异”（difference in time）的方法，可以去除一些不可观测的变量，从而剔除这些潜在干扰因素。如果我们观察一个国家内部的夜光变化，至少可以从这个角度看出该国经济增长的趋势。

PPT 15

朝鲜半岛

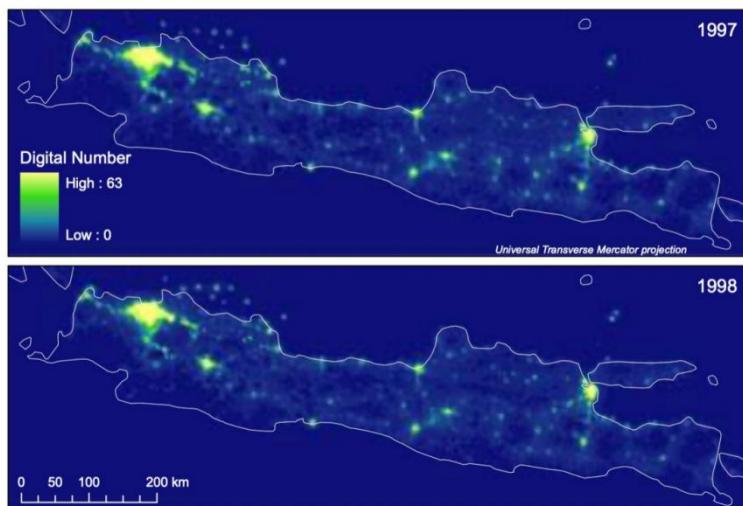
- 从 1992 年到 2008 年
 - 韩国的 GDP 增长了 119%。
 - 韩国的数字光照数量增加了 72%。
 - 朝鲜的数字光照数量下降了 7.4%。

这张图可能是城市经济学家关于生产者的最佳主题，也是最容易被看到的一张图。它展示了 1992 年和 2018 年朝鲜半岛、北朝鲜和南朝鲜夜光的变化。大家可以看到，1992 年时，北朝鲜的夜光较为昏暗，而南朝鲜则有很多亮光，这说明南朝鲜的经济较为活跃。再往后推 16 年，到 2008 年时，北朝鲜依然保持黑暗，而南朝鲜的亮光进一步增长。同一时期，南朝鲜的 GDP 增长了 119%，而夜光则增加了 72%。相比之下，北朝鲜的这些指标则出现了下降，GDP 降低了 7.4%。甚至连 Elon Musk 看到这张图后，也在他的推特上分享了，称其为一张富有洞察力的图。

PPT 16

示例 2：印尼的亚洲金融危机

- 如果比较 1997 年和 1998 年的 NTL，整体光照减少。
- 空间性：
 - 城市地区的光照减少。
 - 一些农村地区的光照增加。
 - 城市迁移者是否返回农村地区？



第二张图展示的是亚洲金融危机之后的马来西亚。我们可以看到，比较 1997 年和 1998 年的夜光图，空间分布和亮度强度确实有所不同。大家都知道，1998 年发生了金融危机，危机过后，很多人在城市里找不到工作。因此，如果将 1997 年和 1998 年的夜光图进行对比，会发现城市地区的亮光强度有所降低，而一些农村地区的亮光却有所增加。这是因为一些外来移民（migrants）回到了农村地区。

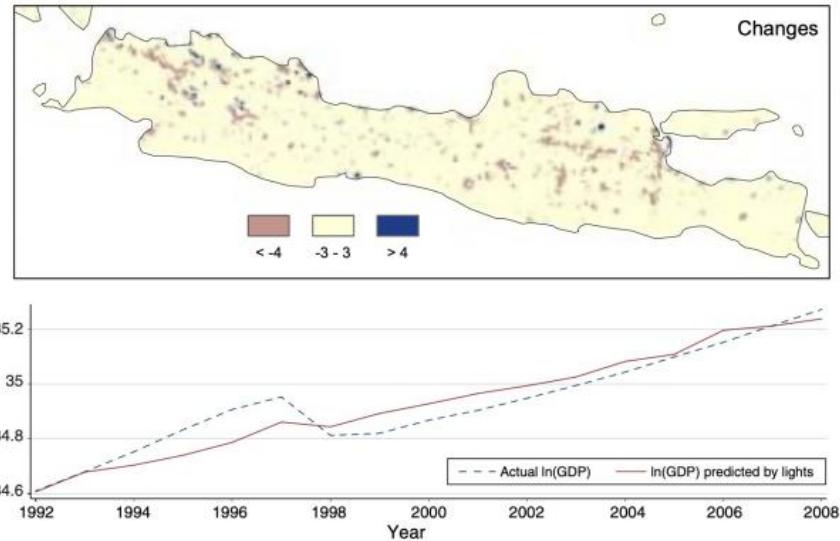


图 PPT17

因此，如果我们对比 1998 年和 1997 年的夜光数据，做一个减法，即用 1998 年的夜光减去 1997 年的夜光，那么在每个区域的配色上，我们就能看到一些夜光变化较小的地方。例如，变化值在 -3 到 3 之间的地区，可以近似认为夜光变化为 0。而在一些地区，变化值小于 -4，显示出夜光变化较大的负值；有些地区则大于 4，表现为夜光变化较大的正值。通过这些差异，我们可以观察到，某些城市的夜光变暗，而一些原本较为偏远的地区，夜光则变强了。

根据作者所使用的统计模型，我们可以通过夜光数据预测 GDP。在下面这张图中，虚线代表实际 GDP，直线代表预测 GDP。从实证角度来看，夜光数据与 GDP 之间确实存在很强的预测能力。具体来说，在 1997 年和 1998 年期间，当实际 GDP 下降时，基于夜光数据的预测也显示出下降趋势。随后，随着经济复苏，夜光数据的预测值也随之上升。

PPT 18

示例 3：卢旺达种族灭绝

- 从 1993 年到 1994 年出现了急剧的暂时性光照减弱。
- 在经济低迷时，光照可能减弱较少。
- 光照由耐用商品产生。

第三个例子是卢旺达大屠杀。我们可以比较 1993 年和 1994 年的卫星图像，发现在大屠杀发生后，夜光图像出现了明显变化。比如，原本作为首都的城市夜光非常明显，但到了 1994 年，这些夜光几乎完全消失了，直到 1996 年才有所恢复。如果将实际 GDP 与基于夜光的 GDP 进行比较，两个指标的趋势也很相似。然而，这里有一个问题，即用夜光来测量经济时，GDP 的增长和下降可能表现得不完全一致。原因在于，如果一个城市已经有了夜光相关的基础设施，那么即便发生经济危机，也不一定会立刻拔掉所有路灯。因此，在经济下行时，夜光的变化可能会稍微滞后或反应较弱。

示例 4：马达加斯加的宝石

- 1998 年末，大量的红宝石和蓝宝石矿藏在伊拉卡卡（Ilakaka）被发现。



- 一个卡车停车站发展成了一个人口为 20,000 的城市。
- 邻近城市的光照减弱。

这个例子讲的是马达加斯加的矿石发现。1998 年，一大批红宝石和蓝宝石在伊拉克卡（位于地图的左下角）被发现。从 1998 年的夜光地图来看，当时这个地方几乎没有任何夜光，它仅仅是一个卡车的停车地点。然而，到了 1999 年，由于矿石的发现，这个地方的夜光开始出现了。到 2003 年，夜光变得更加显著，伊拉克卡的人口增长至 2 万人，且夜光的范围也扩展到了周边城市。我们可以看到，1998 年时这个地方实际上已经存在，只是相较于矿藏开发后的夜光较弱。随着矿藏的开发，周围的夜光变得更加强烈，反映出周边地区的经济活动增加了。

从经济学的角度，我们可以分析这样一个现象：矿藏的发现可能会促使人口的迁移。人们从矿藏附近的区域迁移到矿藏开发的中心地带，从而影响了城市化进程和区域经济发展。

二、夜光数据首次引入经济学研究

遥感数据在经济学中的更多应用

- Donaldson, D., & Storeygard, A. (2016). 从上方看：遥感数据在经济学中的应用。经济学视角期刊, 30(4), 171-198。链接^[16]
- 来自遥感数据在经济学中应用快速扩展时期的观察^[17]。

这篇文章是夜光数据首次引入经济学研究的文章^[18]，我觉得它非常值得关注。接下来，我们将讨论更多关于这一数据的应用。2016 年之前，PPP（购买力平价）相关的研究是 2012 年发表的，当然在发表时，可能已经是作者几年前的工作成果了。所以，夜光数据在 2005 年前后，尤其是 2007、2008 年时，已经开始受到大家的关注。不知道大家有没有看过一部美剧叫《The Feelings》，其中有一集的情节是男主人公们准备投资一个工厂，在投资之前，他们找了一家卫星公司来观察这个工厂，看看里面是否有实际的活动，是否有员工，是否有业务进行。通过卫星数据来统计这个地方有多少卡车。当时，《The Feelings》已经是比较老的剧集了，所以，早在 2007、2008 年，类似的技术就已经开始被应用。对冲基金当时就已经在用这种先进的方法来进行套利了。

这篇文章大约在 2016 年发表，或者说卫星数据在经济学界受到关注已经有了大约 10 年的历史。期间，经济学界利用卫星数据开展了各种各样的研究。

PPT 21

遥感数据在经济学中的优势

- 访问难以通过其他手段获得的信息。

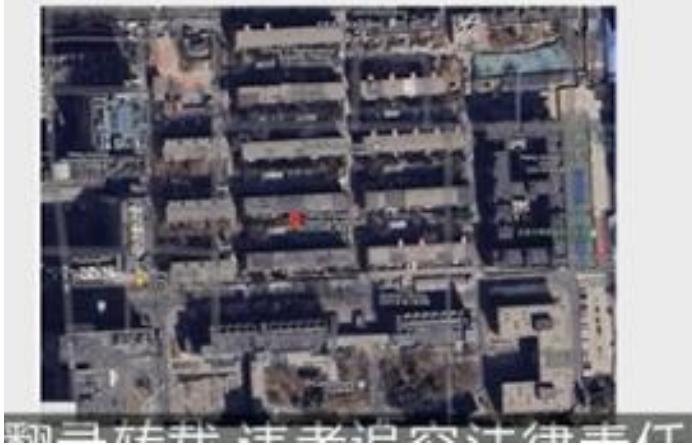
^[16] Donaldson, D., & Storeygard, A. (2016). The view from above: Applications of satellite data in economics. Journal of Economic Perspectives, 30(4), 171-198. Link

^[17] Observations from a rapid period of expansion of the usage of satellite data in economics.

^[18] Donaldson, D., & Storeygard, A. (2016). The view from above: Applications of satellite data in economics. Journal of Economic Perspectives, 30(4), 171 - 198. <https://doi.org/10.1257/jep.30.4.171>



- 边际成本低的面板数据。
- 重要信息：夜间光照、降水量、风速、洪水、地形、森林覆盖、作物选择、农业生产力、城市发展、建筑类型、道路、污染、海滩质量、鱼类丰富度。
- 有些信息只能通过遥感获得。
- 有些信息在没有遥感的情况下容易受到操控。
- **GDP**
- **空气污染监测站？**
- 一些示例应用：
 - 从夜间光照转换到白天图像。



基本上，作者讲了卫星数据的一些优点，大致可以总结为三大点。第一个优点是成本非常低，卫星能够收集到一些通常其他方法无法获取的数据，比如夜光数据、降水量、风速等。例如，最近江西地区连续刮了两场强风，造成了人员伤亡。风速预测可能成为未来灾害应急管理中的重要工具，因为通过卫星数据可以预测强对流天气。

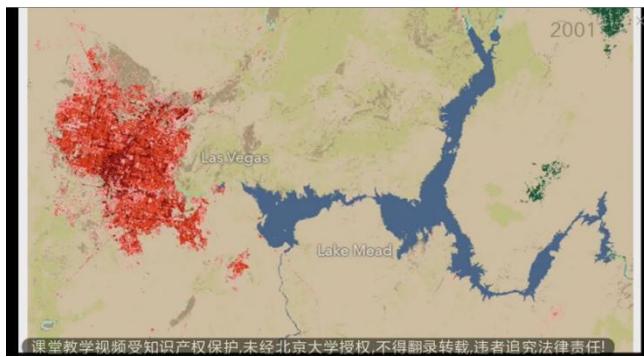
另外，卫星数据也能帮助预测洪水灾害，例如河南郑州或北京的积水情况。当城市遭遇暴雨袭击时，卫星可以评估不同位置的积水深度和面积，这对于保险公司非常有意义。通过卫星图像，保险公司可以验证用户是否过度索赔，例如判断家中是否真的被水淹，以及淹水的深度。

卫星数据还可以帮助分析地形地貌、房地产开发等领域。比如，了解某地区的海拔高度对房地产开发至关重要。而森林覆盖度和农作物价格等数据，甚至能预测农产品作物的变化。例如，随着气候变化，一些地区变得更加干燥，政府可能需要根据卫星数据指导农民调整作物种类。卫星数据还能帮助监测农业生产力，评估作物的生长情况，从而影响大宗商品价格预测，如大豆期货价格，这也能影响到国际油价。

卫星数据还可以用来分析城市发展，例如通过卫星图像可以识别城市的建筑类型、道路状况，甚至是棚户区的分布。这对于国际援助项目（如中国一带一路）在资金分配和项目决策时具有重要意义。

此外，空气污染是大家普遍关注的问题，卫星数据能够通过测量气溶胶浓度，帮助评估地面空气质量。与地方政府上报的空气质量数据相比，卫星数据的独立性使得它不易受人为干扰。比如，地方官员有时会通过人工干预空气质量数据，然而卫星数据不可能被篡改。这使得卫星数据成为一个有效的空气污染监测工具，可以帮助发现和识别数据造假行为。

最后，卫星数据还可以用来识别 **GDP** 造假等问题。这一部分就是我们刚刚讲的，通过夜光数据分析，分析 **GDP** 变化的情况，那当然也就可以用于识别 **GDP** 数据造假问题了。



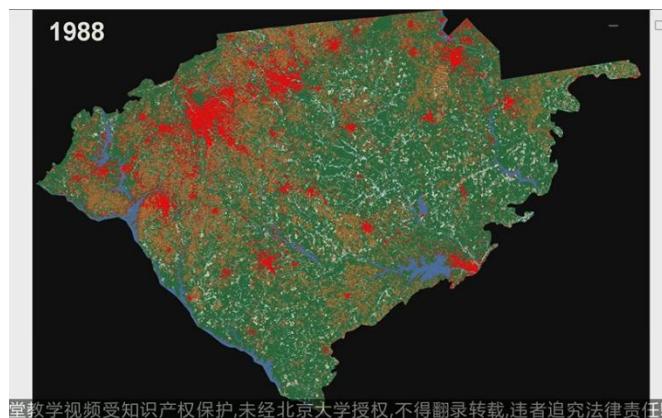
课堂教学视频受知识产权保护,未经北京大学授权,不得翻录转载,违者追究法律责任!



三、日光数据

之前，我分享了夜光数据的实际应用案例，现在，让我们转向日光数据，或者更广泛地说，各种卫星数据的应用实例。这里包含了大约七个案例，我们将逐一展示如何利用卫星数据进行研究，以及在解决特定问题时所展现的优势。首先，卫星数据的一个显著优势在于其低廉的成本，以及它能够收集到那些通过其他方法难以获取的信息，例如我们之前提到的电力消耗、风速、森林覆盖度和农作物产量等。

下图一个关于如何利用卫星监测湖泊长期变化的例子。例如，由于气候变化，湖泊的状况发生了改变。这是自 2000 年以来，位于拉斯维加斯附近的内梅湖面积变化的情况。我们可以观察到，随着时间的推移，气候变得更加干旱，湖泊面积缩小了。图表的左侧是拉斯维加斯，红色区域显示了城市建成区的扩展。从图表中我们可以看出，随着时间的流逝，城市建成区在不断扩张，而周边的湖泊面积则逐渐减少。



课堂教学视频受知识产权保护,未经北京大学授权,不得翻录转载,违者追究法律责任!

第二个动图展示的是美国北卡罗来纳的情况，之前我们也讨论过。大家可以看到，随着时间的推移，原本绿色的地块逐渐变成了黄色的地块。黄色土色的区域代表着人类的建成区。因此，城市蔓延对生态系统的影响是比较负面的。原本的大块绿地逐渐被人类活动侵占。



课堂教学视频受知识产权保护,未经北京大学授权,不得翻录转载,违者追究法律责任!

这张图展示了 1992 年和 2018 年亚马逊丛林森林变化的对比。从图中可以看到，1992 年时，这里已经开始出现一定的森林流失，而到了 2018 年，森林流失的现象变得更加严重。大家都知道，巴西选举了新的总统，而新总统进一步推行了更加不利于森林保护的政策。在全球气候变暖的背景下，每一片森林都显得尤为珍贵。大家可以通过对比 1992 年和 2018 年的变化，进一步了解当前的状况。



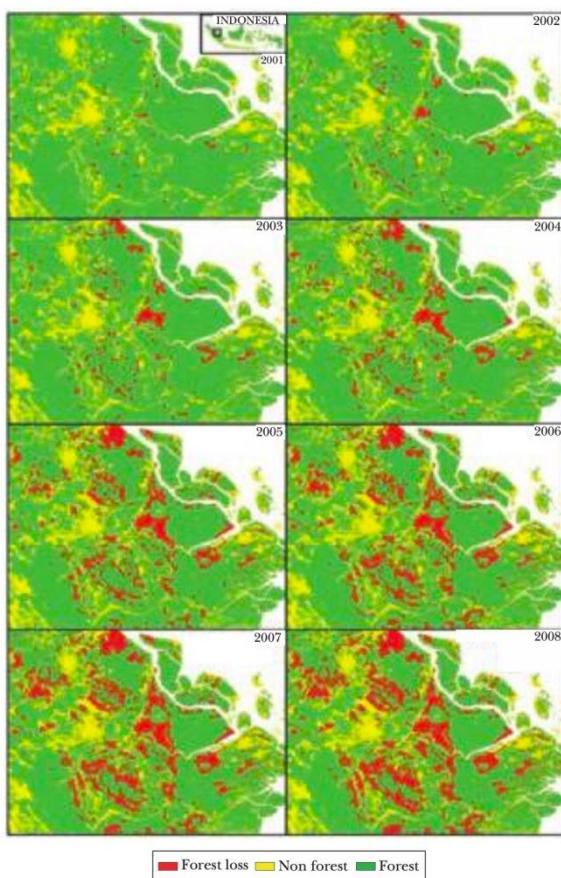
示例 1：印尼的森林砍伐

- 背景:

- 林业是印尼一个重要且高度监管的行业。
- 地方官员有时会收受贿赂，忽视非法伐木行为。
- 地方政府可以被建模为省内木材市场中的库尔诺竞争。

- 政策变化:

Figure 1
Forest Cover over Time in Riau Province, Indonesia



Source: Burgess et al. (2012).

Note: Readers of the printed journal can check out the color versions of this figure in the article at the journal website.

我们可以利用古诺竞争模型来预测林产品的价格、木材价格以及木材供应的数量。

我们现在，我给你们第一个具体的例子——印尼的森林砍伐（deforestation）问题。在这个例子中，讲述了一个经济学的故事。首先，林业在印尼是一个重要的行业，且它是一个高度监管的行业。然而，地方政府官员可能会利用职务之便进行寻租，接受贿赂，从而放任滥砍乱伐。有时，地方政府还会将木材销往省内市场。

在 2000 年到 2008 年期间，发生了一件重要的事情。根据 LSE 的经济学家 Robin Burgess 的研究，印尼的地方政府数量发生了显著变化。由于一些改革，地方政府的数量大约增加了一倍，从 2000 年的 189 个增加到了 2008 年的 312 个^[19]。

所以，我们可以将每一个地方政府看作一个厂商，这些厂商输出非法伐木活动。随着地方政府数量的增加，类似于厂商数量增加的情形，

PPT 22

示例 1：印尼的森林砍伐

- 数据:

^[19] Burgess, R., Hansen, M., Olken, B. A., Potapov, P., & Sieber, S. (2012). The political economy of deforestation in the tropics. CEPR Discussion Paper No. DP9020. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2153452>



- “由于印尼的森林砍伐大多是非法伐木造成的，我们无法依赖官方的生产统计来捕捉森林砍伐。因此，我们使用一个新颖的数据集，该数据集由我们基于中等分辨率成像光谱仪（MODIS）卫星图像构建，这使我们能够捕捉到整个国家的森林砍伐情况。”
- **发现：**
 - 印尼的制度变化经过八年：
 - 政治管辖区数量增加。
 - 导致了森林砍伐增加和木材价格下降，这与各个管辖区之间的库尔诺竞争一致。
 - 通过利用这些区划变化的时间差，我们估计通过增加一个新地区来划分一个省份，能够使该省的总体森林砍伐率增加 8.2%。

作者强调，不能单纯依据该国公布的森林覆盖面积数据来作出判断，因为这些数据可能被地方政府官员篡改。为克服这一难题，研究人员采用了卫星遥感技术，对 2001 年至 2008 年间的森林破坏情况进行了精确测量。研究结果表明，在这八年里，随着地方政府数量的上升，其对森林砍伐的宽松政策导致了木材价格的进一步下跌。

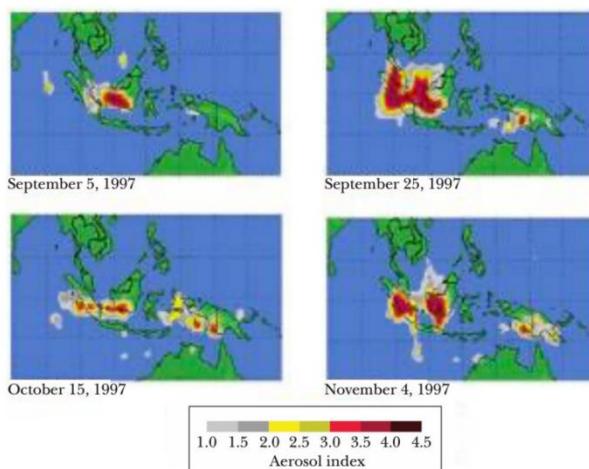
这些现象能够通过经济学中的古诺竞争模型得到阐释。研究还揭示了一个引人注目的观点：若印尼政府持续扩大行政区划，那么每新增一个行政区域，省内森林破坏的程度可能会上升 8.2%。这一发现说明了如何利用最新数据和经济学模型来解答一个关键问题。

最后，这篇文章研究指出，地方政府数量的增多可能是导致印尼森林流失的一个关键因素。

PPT 23

示例 2：使用 AOD 监测空气污染

Figure 2
Aerosol Index of Particulate Air Pollution in Indonesia during Massive Wildfires
in 1997



Source: Jayachandran (2006).

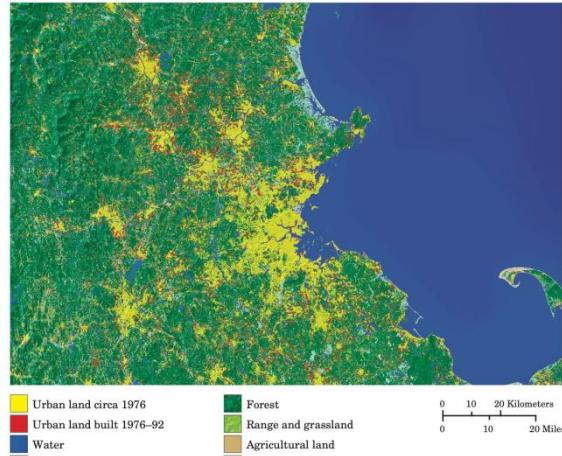
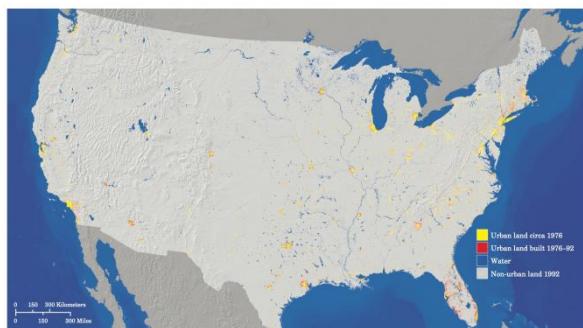
- 空气污染对健康的影响
- 通过使用每日卫星传感器读取的空气中烟雾和尘土数据，Jayachandran 测量了污染的传播，并估计这一为期两个月的事件导致了 16,400 例婴儿和胎儿死亡。

我们接下来探讨的案例是空气污染对健康的影响。研究者分析了 1997 年印尼发生的大火事件，以及它对空气质量的即时影响和对健康造成损害。图中呈现了 1997 年 9 月 5 日、9 月

25 日、10 月 15 日和 11 月 4 日的卫星监测数据，反映了气溶胶浓度的变化。气溶胶浓度的升高意味着空气污染加剧，空气质量下降，烟尘增多。从图中红色区域的变化可以看出，起初火势并不大，但很快蔓延开来，几乎覆盖了整个印尼主岛，并向其他岛屿扩散，烟雾也波及了更广泛的区域，产生了深远的影响。



作者对这个环境事件的健康影响进行了评估，结果发现，在这两个月期间，由于大火所带来的空气污染，约有 1 万 6400 名婴儿死亡，此外还包括其他一些死亡案例。这是第二个案例的研究内容^[20]。

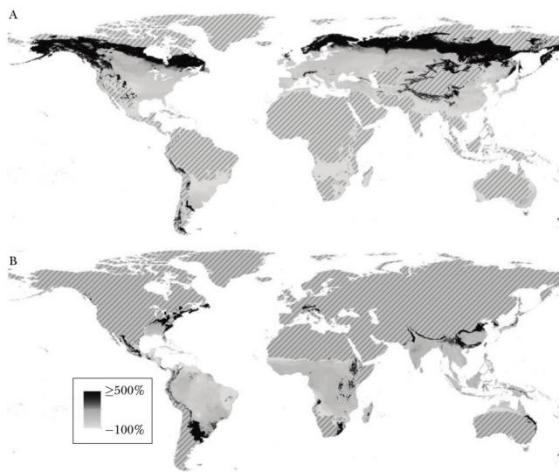


第三个案例是城市蔓延。我们之前已经讲过，大家可以看到美国的城市，通过卫星数据进行用地划分，发现这些城市的布局非常离散。我们提到过，可以通过建立一个指数(index)，用这个指数来衡量不同行政单元的离散程度。然后，结合经济学的框架，进一步分析背后的影响原因。

PPT 29

Figure 5

Predicted Yield Changes due to Climate Change for (A) Wheat and (B) Rice, Based on Global Agro-Ecological Zones (GAEZ) Models



Source: Costinot, Donaldson, and Smith (2016).
Note: Percentage change in predicted yield (between current baseline and the 2070–2099 period) in the GAEZ model. Areas with diagonal stripes indicate regions for which predicted changes are zero.

可能作出的选择。

示例 4：农业产量

- 全球农业产量变化的潜力。
- 适应一般均衡模型，预测未来一个国家在比较优势中的农作物。

第四个案例是关于农业产出的分析。我们需利用特定模型，将全球不同地区划分为若干公里级网格。每个网格对特定农作物的产量进行估算。掌握这一模式后，便能推断出各国对某一作物的潜在产量，以及在不同气候条件下的可能产出。据此，我们能预测气候变化对各国可能产生的影响，以及国家间在农产品生产和贸易方面

遥感数据在经济学中的优势

^[20] Balboni, C., Burgess, R., Heil, A., Old, J., & Olken, B. A. (2021). Cycles of Fire? Politics and Forest Burning in Indonesia. *American Economic Association Papers and Proceedings*, 111, 415 – 419.
<https://doi.org/10.1257/pandp.20211005>



- 更高的分辨率
- Landsat: 30 米×30 米
- 自 1999 年以来，私人公司提供了亚米级影像
- 更加精准
- 允许在微观层面研究问题
 - 统计停车场中的车辆数以估算零售需求
 - 汽车交通
 - 测量建筑物存量和高度

刚才我们讲到的第一个优势是，卫星可以收集到一些渠道方法收集的数据，而且这些数据通常成本较低。第二个优势是，卫星能够提供非常高清的数据。我们之前提到的 Landsat 卫星，分辨率是 30 米×30 米。Landsat 项目始于 1970 年，那时候的技术还不太先进。到了 1999 年，很多私营企业加入了这个领域。如今，我们可以看到像百度卫星图层、谷歌卫星图层等，其中很多卫星影像数据来自这些公司。这使得我们能够研究更为微观的问题。

比如，许多公司会利用卫星影像来研究零售连锁店的情况。例如，可以通过卫星影像查看沃尔玛停车场内的车数量，以此来推测该店的销售情况，甚至预测股价变化。对于这些公司而言，顾客数量直接影响其运营状况，从而决定股价走势。

此外，这些数据还可以用来统计街道上汽车的数量。有些地区可能无法使用交通传感器进行覆盖，或者没有相关的微信或百度数据，这时卫星影像可以用来衡量交通拥堵情况。你也可以利用这些数据来监测船运情况，查看一艘船什么时候到达某个港口，是否会出现延误。延误情况可能会影响股市或期货市场中与该船相关的大宗商品价格。

最后，你还可以用高清卫星影像数据来进行城市建模，观察城市不仅仅是建筑的分布，还可以了解其建筑的高度，从而为城市创建一个立体的体积度量模型。

PPT 25

示例 5：

- 使用 0.5 米分辨率的影像来检测住房质量。
当房东和地方首长属于同一族群时，贫民区居民支付更高的租金并居住在较低质量的住房中（通过卫星图像测量）。
相反，当居民和首长属于同一族群时，租金较低，投资较高。

对于该内容，让我们来探讨一个示例，即经济学家如何研究种族政治与住房投资之间的联系。作者深入分析了三个主要角色之间的相互作用：棚户区的住户、棚户区房产的业主以及当地的酋长。酋长的角色至关重要，类似于村庄中的村长。他首先利用卫星图像来描绘每栋房屋的质量。在图像中，屋顶较为明亮的房屋位于左下角的矩形区域，表明这些房屋随着时间的推移承受了较重的负荷，而右上角的房屋则可能代表了质量较高的住房。结合房价数据，通过地面调研收集的信息，作者比较了棚户区居民与房东之间的关系。如果居民和房东属于同一族群，即便房屋质量较差，租金也会相对较高。反之，如果居民与酋长是同一族群，那么他们支付的租金会较低，而投资则会更高。这个故事揭示了一个非常有趣的现象，当然，我们还可以利用这些数据进行更多的分析。

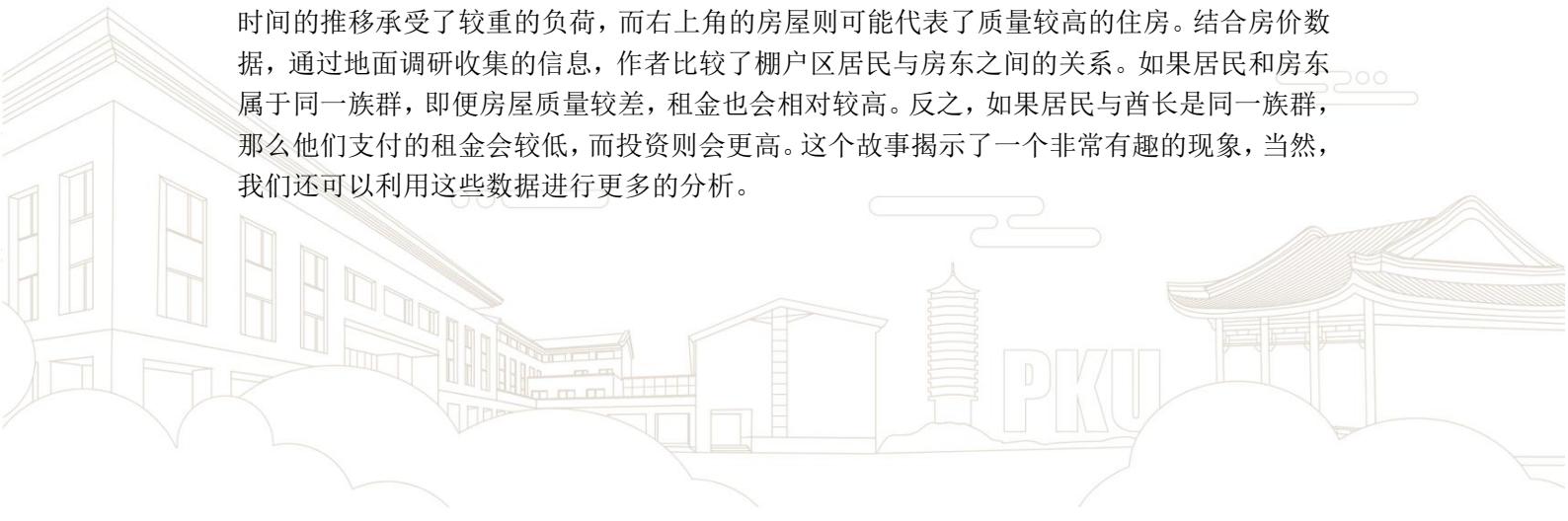
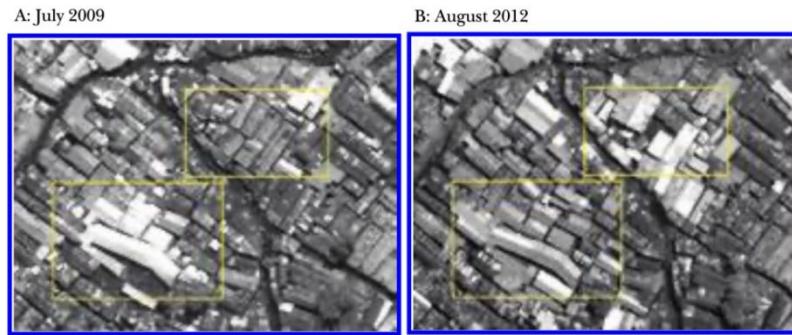




Figure 3
Roofs in Kibera, Nairobi



Source: Marx, Stoker, and Suri (2015).

Notes: This is a 50-cm resolution panchromatic image from Kibera, Nairobi. Roofs in the lower left rectangle dulled over time, while those in the upper right rectangle were replaced.

PPT 28

遥感数据在经济学中的优势

- 广泛的地理覆盖和高频率
- 在各国之间一致地收集数据
- 不同国家在不同时间收集数据
- 有时由于政治纷争或自然灾害而缺失数据
- 时间频率可以高达每周甚至每天

第三个优点是卫星数量众多，这使得它们能在辽阔的地域内采集数据，并且提供高频率的数据信息。同时这些数据在不同国家间保持了高度的一致性。我们知道，传统数据采集方法在不同国家、不同时间点上存在差异，指标和统计方式也各不相同。但是，卫星数据的统计方式相对统一，这使得各国数据具有可比性。有些国家可能由于政治不稳定或自然灾害而难以收集数据，但卫星能够持续不断地采集数据，因此数据缺失较少。同时，卫星数据的采集频率非常高，甚至可以达到每日一次，相比之下，一些老旧的卫星数据，比如 1970 年代的，其采集频率也能达到每月一次，这远高于许多统计数据一年或几年才采集一次的频率。这里我就不再重复之前提到的其他例子了，它们也具有类似的特性，对吧？

因此，卫星数据的一个显著优势在于其能够广泛地、连续地收集时间序列上的信息。这里仅展示了几个例子，实际上卫星数据的应用领域极为广泛，它本身已经形成了一个产业。当我们审视了如此大量的数据后，我们不难理解为何有人认为经济学家似乎总能从“数据彩票”中受益——我们确实拥有大量的空间数据，这些数据可以用来解决许多有趣的问题。

四、当卫星数据遇上 AI

随着人工智能（AI）技术的不断进步，我们开始探索卫星数据的多种新用途，尤其是那些庞大的数据集^[21]。首先，我们关注的是如何利用神经网络（Neural Networks）来预测微观

^[21] Khachiyan, Arman, Anthony Thomas, Huye Zhou, Gordon Hanson, Alex Cloninger, Tajana Rosing, and Amit K. Khandelwal. 2022. "Using Neural Networks to Predict Microspatial Economic Growth." American Economic Review: Insights, 4 (4): 491 – 506. DOI: 10.1257/aeri.20210422

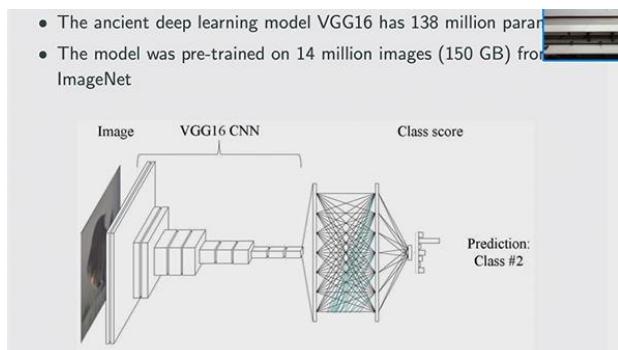


空间的数据。我们之前已经进行了一些实验，例如，一篇文章中提到了使用夜光数据来预测经济发展的趋势。现在，随着卫星图像分辨率的提高，数据质量和信息量都有了显著的提升，处理方法也随之更新。过去，我们可能仅限于使用回归分析来分析这些数据，但现在，我们可以借助 AI 进行更高级的图像处理。

AI 应用的典型例子最初是图像识别，比如区分一张图片中是猫还是狗，这标志着 AI 应用的起点。到了 2019 年，图像识别技术已经非常先进。国内的一些大型企业，如商汤科技，已经成功上市，其图像识别技术在日常生活中得到了广泛应用。例如，许多地方现在可以实时识别个人身份，如北京大学的入口处，系统背后就是 AI 在进行“打标签”，识别个人身份。因此，AI 技术已经深入我们的日常生活。

那么，这篇文章的主旨是什么呢？它主要探讨的是，AI 是否能够通过卫星拍摄的图像来识别某个地区的 GDP。与仅依赖夜光数据相比，这种方法似乎更为先进。夜光数据仅能通过亮度来大致判断，而卫星图像包含的信息要丰富得多。卫星收集的光谱数据不仅包括可见光部分（RTB），还有 16 个波段，以及许多肉眼无法察觉的其他光谱信息。这些数据揭示了不同地表的特征，比如不同矿产、地面材料（例如土地、泥土与建筑区的差异），以及高楼与低矮建筑的区别。

这些信息通过卫星反馈回来，我们能否发现 AI 能够敏锐捕捉到的模式？这些模式可能是我们难以预料的。AI 是否能够利用这些数据来预测 GDP，正是这篇文章试图解答的问题。



本展示呈现了一个较为陈旧的人工智能模型，尽管它已不再新颖，大约源自 2016 年左右的人工智能技术。本课程并非专注于人工智能，但我仍想简要解释一下。人工智能模型可以被视为一个持续演进的过程。回顾之前的回归分析，我们有 X 乘以 β ，其中 β 是一个向量，等于 Y ，而 X 是一个矩阵。那么，人工智能模型主要执行的操作是：它将数据转换为多个矩阵，可能包含多个矩阵 M_1, M_2 ，连续进行乘法运算。当然，我们不称之为简单的乘法，而是使用了一个更专业的术语，即“演化”（evolution）。

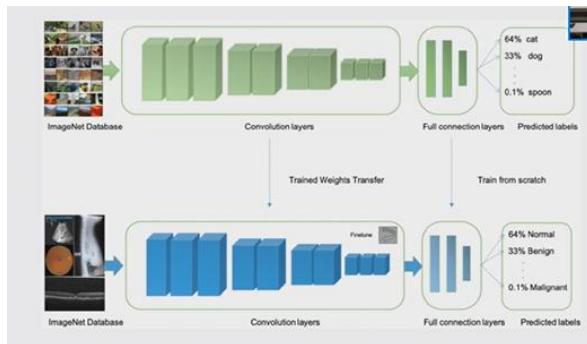
以神经网络（N）为例，最终你会得到一个变量。然而，无论采用哪种模型，它们的共同点在于：都存在一些真实的变量、标签和实际的 Y 观测值。如果模型预测的 Y_{hat} 与真实的 Y 相差甚远，就需要通过某种方式将这个误差反馈到矩阵 M 中，使得这些矩阵不断调整，从而使模型的预测结果 Y_{hat} 逐渐接近真实的 Y 。

在回归模型中，最基础的方法是什么？就是最小二乘法。你计算误差的平方和，然后对 β 进行调整，通过线性方法反推出来。而在机器学习中，方法更偏向工程实践。它通过软件逐步微调每一个矩阵 M 中的数值。这个矩阵可以视为模型的记忆，它通过这些矩阵来记录 X 和 Y 之间的映射关系。



当你通过无数次迭代调整矩阵 M 后，你将找到一组参数，使得模型预测的 Y 能够与真实的 Y 越来越接近。

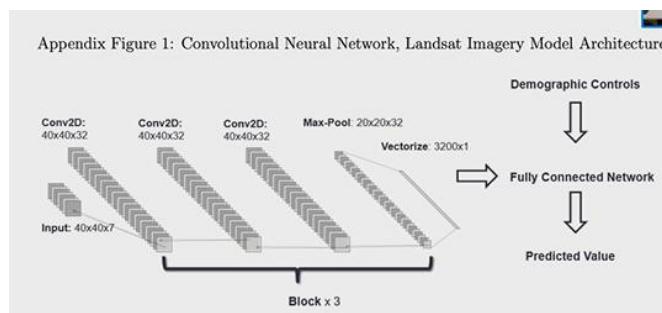
再以图像识别模型为例。我们有这样一个矩阵 MH ，它代表每一层的计算。每一层都是矩阵乘法的过程，最终你会得到一个预测值，然后通过将预测的 Y 与实际的 Y 对比，计算出损失（loss）。通过损失值，你可以将反馈信息传递回原始的矩阵乘法中，调整每一层的矩阵。最终，通过这些工程化的调整，你能够找到最优的或者说最强的权重（weights）。



举个例子，我们如何训练一个模型来识别猫和狗，这个模型会分析图片上的图形。例如，它通过矩阵运算后输出，猫的概率为 64%，狗的概率为 33%。根据这个结果，我们判断这很可能是一只猫。然后，我们对比实际图片，发现其实是一只狗，这就错了。错了之后，我们就需要调整矩阵。如果判断正确，那猫就是猫，我们就这样处理。

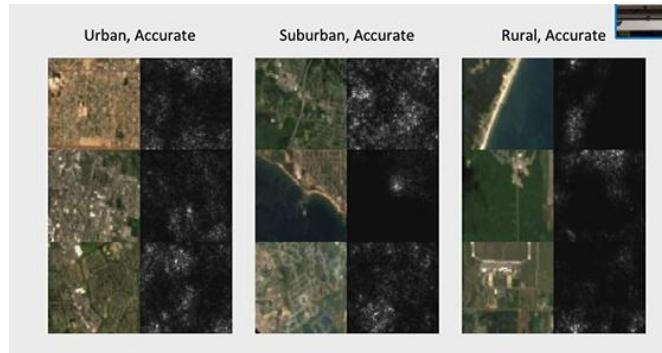
接下来，我们看看预测肿瘤的模型，其逻辑与上述类似。那么，语言模型方面，GPT 可能做得更好。以前的模型有 1.38 亿个参数，而最近 Facebook 发布了一个新的语言模型，名为拉马(LLaMa)。一个简化版的模型，其参数量是之前的 10 倍以上。

还有另一个模型，参数量达到 700 亿。模型变得更大，它能一次性处理的信息也更多。比如，一张图片在 2019 年时可能只有 256×256 像素，但如果你能将多个 GPU 并行使用，那么你可以输入非常长的文章或非常大的图片来进行预测。技术在不断进步，但核心技术似乎变化不大。总体而言，它类似于模拟人脑的网络结构，以找到识别模式的方式。当然，我们希望它甚至能形成自我意识，这是一个长期目标。我们是否希望它实现自我意识，这本身也是值得探讨的，不是吗？



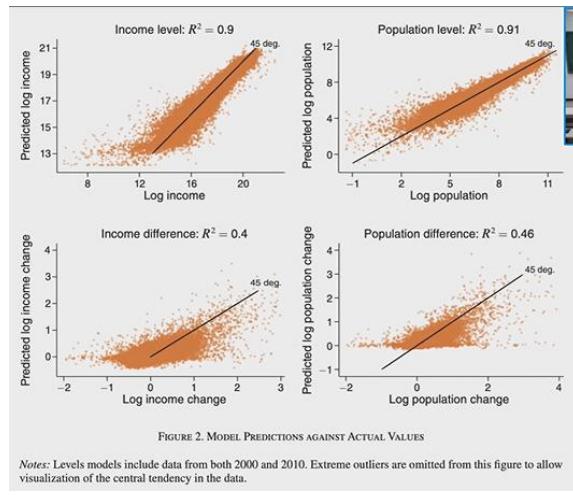
这篇文章所采用的模型，首先处理的是尺寸为 40×40 像素的图像，每个图像代表一个地块和一个卫星视角。它利用了 7 个频段，即 7 个不同的 band。通常，我们所见的彩色图像由 RGB 三个基本频段组合而成。





你所见到的这张图像，它可能是一个网格数据的体现，每个网格单元都对应着一个 `rpg` 数据，对吧？假设它是 $256*256$ 的大小，那么它可能就代表着黑色，不同颜色的混合。通过这种方法，作者能够将卫星数据输入到模型中进行测试，以检验模型是否能够辨识出特定的模式。

作者研究了模型中某些中间层，这些层在一定程度上揭示了模型的灵活性，以及它对哪些信号反应强烈。正如我们的视网膜能够对不同波段的光产生反应，不同细胞的兴奋程度各异，这些反应组合起来形成了我们的视觉神经，对外界产生反应。同样，机器学习模型中的不同神经元也会有不同的分工，它们可能识别不同的模式。较前的神经元可能识别简单的模式，而较后的神经元可能识别更复杂的模式。通过分析这些神经元，我们可以了解模型的兴奋点在哪里。例如，作者发现模型中确实存在某些神经元组合，它们对城市地区、郊区或农村地区表现出特别的兴奋。当然，任何模型都存在错误，因为它们基于概率运算，但总体上，作者认为这个模型是可靠的。



结果发现，通过这个模型，如果你结合实际的收入数据，并将其与模型预测的收入进行比较，发现两者之间的关系非常好，拟合程度相当高。如果用回归分析的语言来看，模型的 R^2 大约能达到 90%。这是针对收入的分析。右边是关于人口选择的情况，如果我们横向比较，可以看到对数人口（`log population`）与模型预测的人口之间的拟合度也非常高，甚至可以达到 0.91。

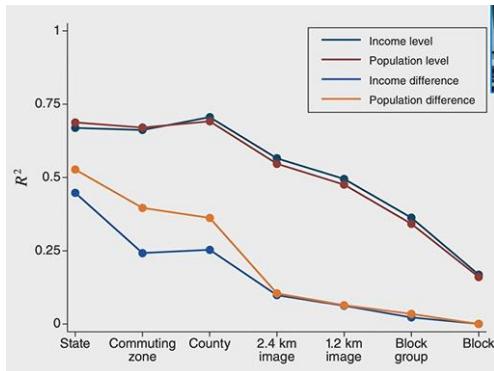
现在我们知道，某些 AI 模型在答题方面表现得非常优秀，比如在 GMAT 和 GRE 考试中，能够达到 90% 的准确率，这让人觉得非常厉害。那么，类似的模型也能通过分析卫星图像，识别出某个地区的 GDP 是多少，且能够达到如此高的精度，这同样很令人惊讶。当然，这种识别可能会存在过拟合问题，也就是说，模型可能只是记住了一些特定的地貌特征，而不是在准确预测经济增长。

我们的目标并不是仅仅拿到一张卫星图像，然后与其他地方进行横向比较，了解该地区



的经济水平如何。我们更关心的是，如果给我们一张外太空拍摄的图像，我们想知道该地区未来经济发展的速度会如何。这是我们更感兴趣的问题。

因此，如果我们将横轴设为收入变化（income change），纵轴设为模型预测的收入变化，虽然我们会发现拟合度明显下降， R^2 会降得很低，但仍能达到0.4。这表明模型具有很强的预测能力，但相较于水平预测，预测增长的难度要大得多。左边是收入，右边是人口的比较。虽然人口的预测略好一些，但其拟合度也仅仅达到0.46。所以，预测经济增长，不仅经济学家做不到，AI目前也还无法做到。



此外，这种预测方式存在显著缺陷，特别是在分析较大的地理区域时，例如州级单位。在这样的大尺度地理单元上进行预测，例如州级，其准确性较高。例如，人口和收入的预测模型中， R^2 值可高达0.9；而人口增长预测的准确度大约为0.5。然而，一旦分辨率降低，预测的准确性就会急剧下降。当分析的地理单元细化至通勤区或县级时，特别是在预测经济增长方面，预测能力会显著减弱。

但从另一个角度看，这个领域仍然有很多潜力。未来是否有可能通过卫星数据来预测某个地区的经济变化呢？随着数据量的增大，我们可能会发现越来越多的信息可以用于建模。例如，假设未来有外星人从母舰上观察我们，他们可以清晰地看到地面上每个人的活动，每时每刻都能监测到。再加上GPS数据、建筑传感器等信息，我们可能能够收集到大量关于地表的信息，将这些数据整合进一个大模型中，也许就能实现实时预测人类社会的经济发展趋势。虽然这听起来像是科幻小说，但很多曾经的科学幻想如今已经逐渐成为现实。例如，最近一部名为《西部世界》的剧，采用AI技术来进行大量数据收集，最初的目的就是预测金融市场，进行量化分析。但随着数据量的增加，AI不仅能够预测股票市场的走势，甚至可以预测每个人的行动轨迹。剧中的公司用这些技术赚了很多钱，资源也因此变得几乎无限。这种情景让我们联想到现在的AI公司竞赛，Facebook、Google和中国的公司都在不断发展各自的模型。未来，随着某个模型的突破，可能会带来深远的影响。

五、案例展示

China's Journey to the West: Using High-Resolution Satellite Imagery to Evaluate Transportation Improvement in Central Asia

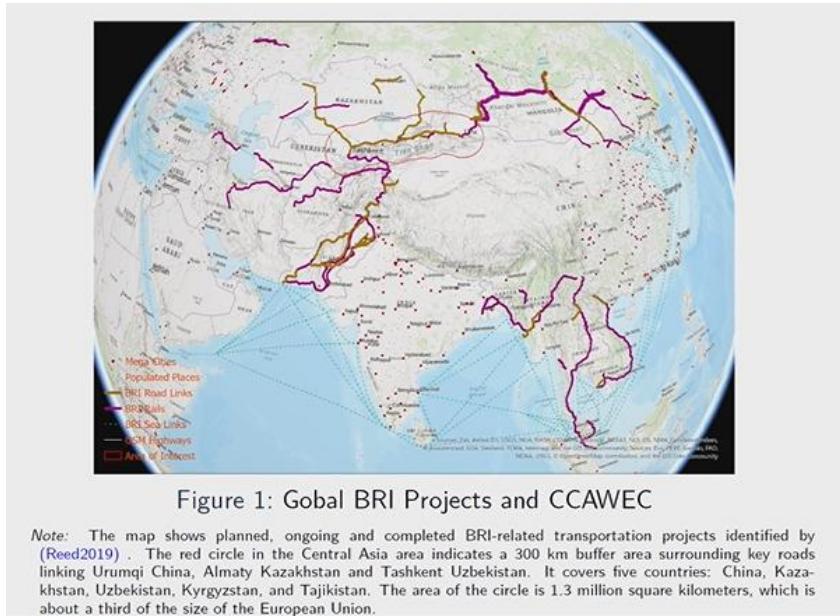
Gordon Hanson and Cong Peng

Harvard

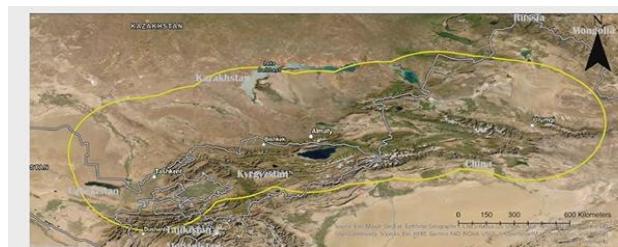
February 26, 2022



我最近开始了一项研究，目前还在进行中，主要研究对象是中亚地区，对吧？研究主题是关于一带一路建设对当地经济的影响。我们可以看到，中国的一带一路倡议在国际上产生了巨大的影响。现在，让我们通过查看地图来具体分析一下。



紫色线条象征着我们打算修复或已经完成修复的铁路，黄色和棕黄色线条则描绘了我们计划或已经修复的道路。特别是在中亚地区，我们已经建设了大量道路。现在，我们来分析这些道路建设对当地经济的潜在影响。从地图上观察，这个项目看起来相当壮观，对吧？人口主要聚集在东南沿海地区，而欧洲则位于地图的另一端。至于中间区域，人口稀少。我们在这里建设道路，旨在连接这些分散的区域。那么，这将如何促进经济增长呢？首先，我们探讨一下这些道路可能对地方经济增长带来的影响。



在这个特定区域，我们绘制了一个圆圈，沿着中亚五国的密集经济走廊，观察了哪些道路被修建，以及这些道路的建设对经济产生了哪些影响。这包括东边的中国乌鲁木齐，从乌鲁木齐出发，接着影响到哈萨克斯坦的经济中心阿拉木图，再向西延伸至塔吉克斯坦的乌兹别克斯坦，那里是乌兹别克斯坦的首都。塔吉克斯坦是一个历史悠久的城市，它在古丝绸之路时期就非常重要，这个地方自古以来就是关键的城镇。



Research question

- Whether improving transportation infrastructure and connectivity improves economic outcomes?
- What is the average return of investment in highways in this area?
- Answering this question is challenging:
 - Incomplete datasets on roads and slow update on economic outcomes
 - These projects go across multiple continents and make data inconsistent across countries
 - Individual transportation appraisal does not factor in global effects or road development
- How are economic activities affected by the changes in connectivity?

Planet Satellite Images



Figure 3: Planet RapidEye Product

Note: Radiometric and sensor corrections applied to the data. Imagery is orthorectified using the RPCs and an elevation model.

The AI algorithm

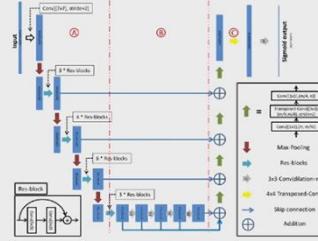


Figure 4: Deep neural net model: D-Link model

Note: Source: (Zhou2018)

我们研究的关键议题是，道路建设对区域经济带来了哪些效应？我们之所以能进行此类研究，是因为我们掌握了卫星数据。关于卫星数据的好处，我之前已经向各位详细解释过，这里不再重复。现在，我将着重讲解我们是如何进行这项研究的。例如，这是我们所使用的卫星数据样本，其清晰度是开放的，可以清楚地看到细节。尽管我们没有采用像谷歌卫星数据那样高分辨率的图像，但在 5 米的清晰度下，我们已经能够识别出道路，并且能够观察到道路表面的铺装材料，甚至对地面建筑进行一定程度的识别。此外，我们还运用了一个模型，这是由 Facebook 研发的模型。

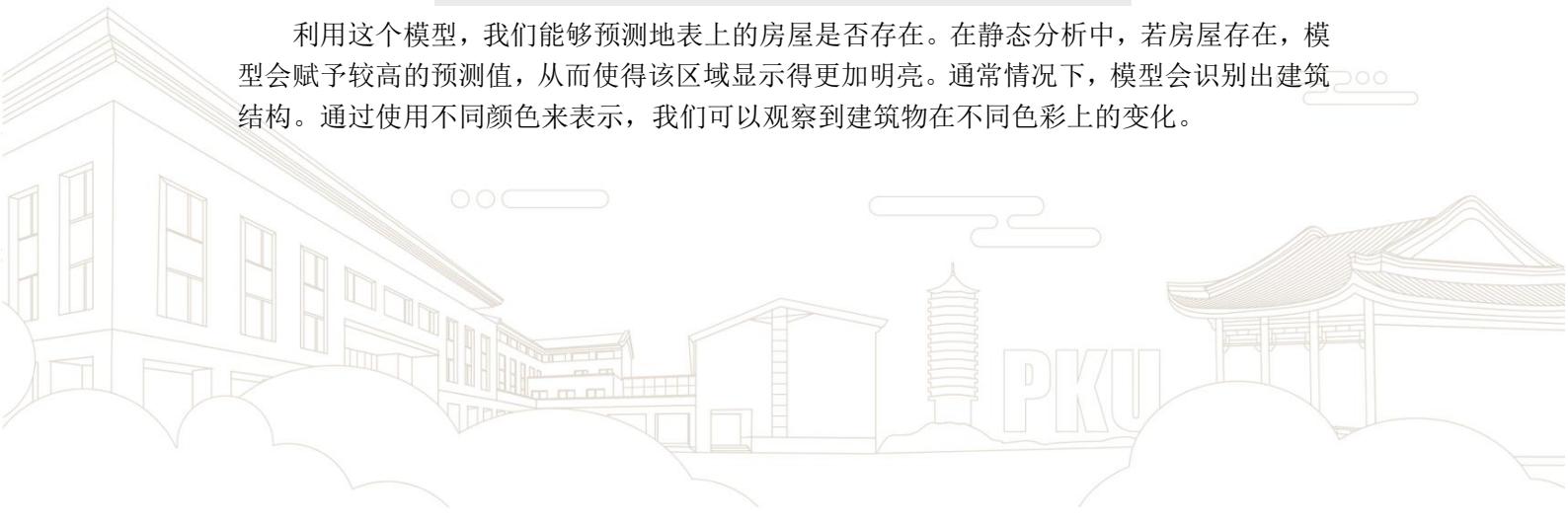
Using AI to generate features from these images



Figure 5: Built-up detection

Note: Source: Zhang et al. (2017)

利用这个模型，我们能够预测地表上的房屋是否存在。在静态分析中，若房屋存在，模型会赋予较高的预测值，从而使得该区域显示得更加明亮。通常情况下，模型会识别出建筑结构。通过使用不同颜色来表示，我们可以观察到建筑物在不同色彩上的变化。



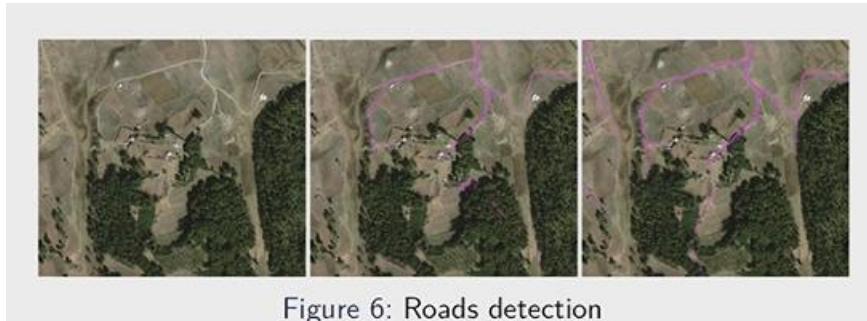


Figure 6: Roads detection

这展示了道路的原始状态，我们利用开源渠道获取了标注信息，即地图上公开的众多道路数据。图中左侧是未经处理的图片，中间部分加入了标注，而右侧则是模型预测的结果。可以看到，该模型不仅能够识别出标准数据中存在的道路，还能推断出因原始数据遗漏而未标记的道路。对于城市建成区或高度发达区域的变化，我们使用 5 米分辨率的数据进行分析。以新疆上海大众工厂为例，红色区域代表 2019 年的建筑，而蓝色和绿色区域则显示了 2009 年至 2019 年间新增的建筑。观察可知，该工厂大约建于 2009 至 2019 年期间，新增的房屋数量在一定程度上反映了该地区经济的发展。这种分析方法相较于使用夜光数据进行测量，提供了更为精确的经济活动指标。

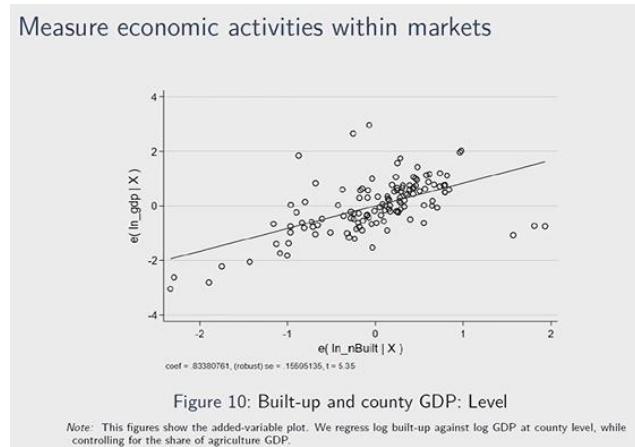


Figure 10: Built-up and county GDP: Level

Note: This figure shows the added-variable plot. We regress log built-up against log GDP at county level, while controlling for the share of agriculture GDP.

以霍尔果斯陆上港为例，在一带一路倡议推动下，该港口经历了显著的扩建。我们通过圈定连续的城市，对这些区域的经济变化进行了统计分析。

确实，我们采用卫星图像分析，主要通过房屋数量来预测 GDP 增长，结果相当令人满意。我汇总了我们的预测数据，并用中国现有的县级 GDP 数据进行了验证。虽然验证 GDP 存在一定的不确定性，但总体来看，我们的预测与实际数据相当吻合。当然，如果从更宏观的角度来看，噪声会更大，但即便数据有限，我们仍能辨识出一定的趋势。

Traditional way of tracking roads development

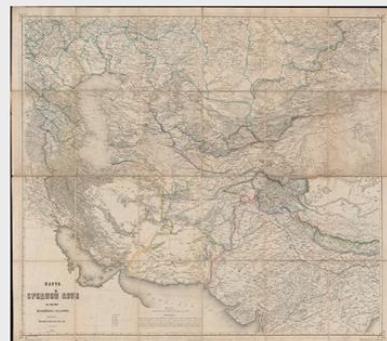


Figure 16: Mapping roads using old maps



Figure 17: Mapping roads by manually checking satellite images

Note: Source: Google Earth

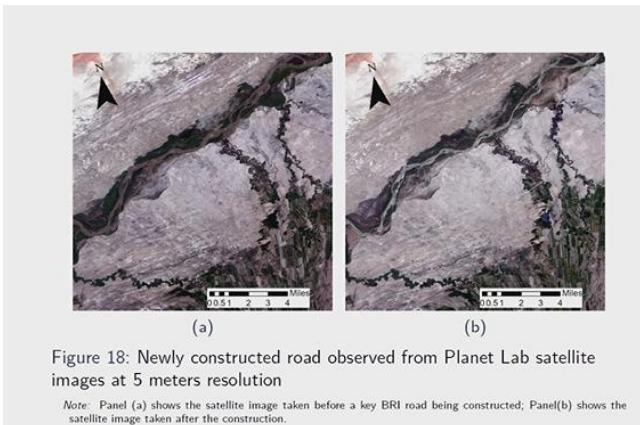


Figure 18: Newly constructed road observed from Planet Lab satellite images at 5 meters resolution

Note: Panel (a) shows the satellite image taken before a key BRI road being constructed; Panel(b) shows the satellite image taken after the construction.

任务之一是突出文章的主要卖点，即多样性。在搜集关于路网发展的资料时，可能需要地方的支持，例如提供电子地图，或者使用旧地图进行手工绘制。但是，数据能够有效解决这个问题。以某个地方为例，过去全是泥土路，但随着道路的建设，情况有了很大的变化。通过处理大量的卫星数据，特别是高清卫星图像，可以迅速了解路网的变化情况。观察细节，比如某个地方原本没有路，但 2019 年与 2009 年的对比显示，确实有新路建成。虽然单张图片可能看不清楚，但从更客观的角度观察，可以明显看到路上的车辆。将这些信息输入我们之前提到的模型中，进行机器学习和人工智能训练，最终模型能够预测某地是否存在道路。例如，MH 数量众多，远超几百万个，数据量达到两个 TB。将这些数据输入模型后，通过学习，模型能够预测并提供相应图像，显示某地是否有路。



Figure 21: All scenes

我们把该地区划分成了大约 2531 个网格，每个网格都进行了相应的拆分操作。尽管拆分之后据说没有进行记录，但实际上，每个网格的面积为 25 平方公里。鉴于我们的数据精度达到 5 米，所以一个网格会被进一步细分为 400×400 ，也就是 160000 个小小的单元。将这些小单元放入模型中进行学习，最后就能生成一张地图，这张地图可以清晰地展示出该地区道路的变迁情况，其中绿色部分代表之前不存在后来新增加的道路。

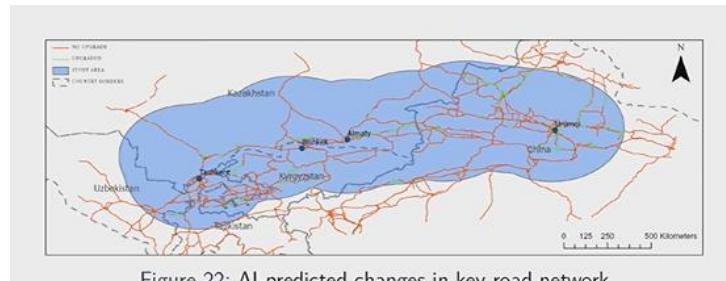


Figure 22: AI-predicted changes in key road network

Note: The figure shows AI-predicted changes in the primary road network that intersects with the 300 km buffer. Roads in red color did not experience upgrades in surface conditions. Roads in green experience upgrades in surface conditions. There are three types of road surface conditions: asphalt paved roads, dirt roads and no roads. Prediction for the surface condition was made for year 2009, 2014 and 2019 separately before identifying upgrades. The prediction was made by an AI, a computer vision algorithm based on (Bonafilia2019) . We adapted the algorithm and trained the AI on Planet satellite imagery with the OpenStreetMap data in 2019 as the label.

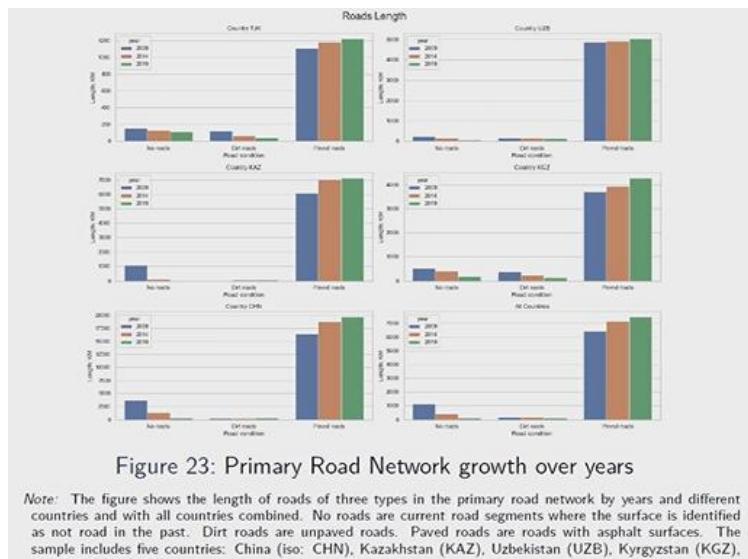


Figure 23: Primary Road Network growth over years

Note: The figure shows the length of roads of three types in the primary road network by years and different countries and with all countries combined. No roads are current road segments where the surface is identified as not road in the past. Dirt roads are unpaved roads. Paved roads are roads with asphalt surfaces. The sample includes five countries: China (iso: CHN), Kazakhstan (KAZ), Uzbekistan (UZB), Kyrgyzstan (KGZ), and Tajikistan (TJK).

我们对中亚五国的道路提升进行了量化分析。以年份区分，蓝色代表 2020 年，绿色代表 2019 年，可见随着道路建设的推进，交通流量在增加，而土建成本则在下降。接下来，我们进行了经济学分析，主要计算了各地的马克 χ 值。大家不必过于深入理解，由于时间有限，我们所做的工作主要是评估经济发展指标，以及道路网络改善对交通速度和市场准入提升的影响，并进行了回归分析，以验证其准确性。

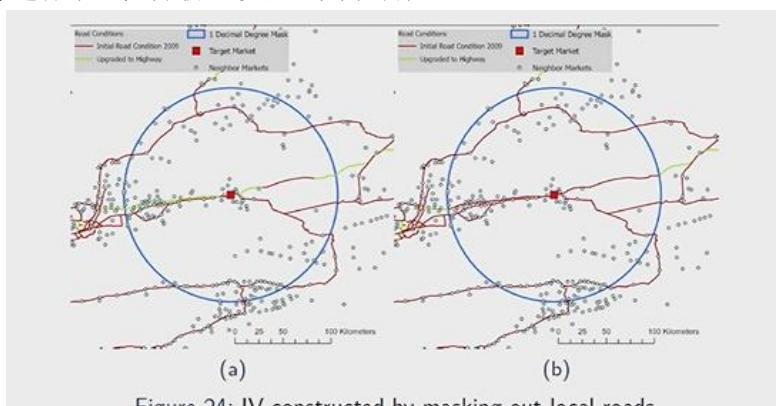


Figure 24: IV constructed by masking out local roads

Note: The figure illustrates the instrument strategies as in (Jedwab2021) . We instrument the changes in market access of the target market (red square) with the changes in market access due to road changes far away (out of the mask as indicated by the blue circle) with the built-up of neighbor markets fixed at their initial levels. Panel (a) shows the road network close to the target market, with initial conditions and upgrades in different colors. Upgraded road segments are used in calculating market access in the current period. Panel (b) shows the road network used to calculate the hypothetical market access with road condition within the masked area is altered back to its initial levels, and that out of the masked area are current level.

以上就是以我的研究所展示出来的这样的一个案例，在这个案例中，我们大概看了一下怎么通过人工大批量更新数据，然后再进入 AI 这样一种工具来做一些可能之前做不了的研



究。

在本次讲座中，我们深入探讨了空间经济数据的演变及其在现代经济学研究中的重要作用。从传统数据的局限性到新兴数据类型的崛起，尤其是卫星数据与人工智能技术的结合，我们看到了数据在推动经济学理论与实证研究中的巨大潜力。通过对夜光数据、日光数据以及卫星数据与 AI 融合的案例分析，我们展示了数据在揭示经济增长、环境变化、城市化进程以及政策影响等方面的应用前景。同时，我们也意识到数据和 AI 技术虽为研究带来便利，但仍需严谨的科学态度和理论基础。未来，随着技术进步和数据资源的丰富，经济学研究将在数据驱动下取得更多突破性成果。

