

# 第二讲 随机实验


Speaker: 许文立

[wlxu@cityu.edu.mo](mailto:wlxu@cityu.edu.mo)

August-November, 2025

Faculty of Finance, City University of Macau





# 因果推断

01

随机实验：因果推断的黄金标准

---

02

一个例子：在线学习的因果效应

---

03

随机实验的理想与局限

---

04

分配机制与因果推断

---

05

总结与展望

---

# CHAPTER 01

## 随机实验：因果推断的黄金标准



# 偏误

$$E[Y|T = 1] - E[Y|T = 0] = \underbrace{E[Y_1 - Y_0|T = 1]}_{ATT} + \underbrace{\{E[Y_0|T = 1] - E[Y_0|T = 0]\}}_{BIAS}$$

- 若不存在偏误（bias），相关即可转化为因果。
- $E[Y_0|T = 0] = E[Y_0|T = 1]$ ，偏误便不会产生
- 换言之，若处理组与对照组除处理因素外其他条件均等或可比，则相关即成为因果



# 相关性与因果性

01

## 相关性与因果性的区别

相关性仅表明两个变量之间存在某种关系，但无法确定因果关系。例如，冰淇淋销售量与溺水人数呈正相关，但两者并无因果联系。因果性则要求一个变量的变化直接导致另一个变量的变化。

02

## 相关性转化为因果性的条件

当不存在偏误时，相关性可以成为因果性的依据。偏误是指由于选择偏差、遗漏变量或测量误差等因素导致的估计不准确。随机实验通过随机分配处理组和对照组，有效消除这些偏误。

03

## 随机实验的关键作用

随机实验通过随机分配，使潜在结果独立于处理方式，确保处理组和对照组在其他方面完全可比。这种设计使得唯一的变化是处理本身，从而能够准确估计处理效应。

# 独立性

- 随机化通过使潜在结果独立于处理方式，彻底消除了偏误。

$$(Y_0, Y_1) \perp\!\!\!\perp T$$

- 如果结果和处理方式无关，这是否也意味着处理毫无效果？
- 这里说的不是实际结果（outcomes）而是潜在结果（potential outcomes）
- 在随机实验中，我们不希望结果独立于处理方式
- 我们期望潜在结果能独立于处理方式

# 独立性

- 所谓潜在结果独立于处理，即意味着在期望值上，处理组与对照组的结  
果是相同的
- 简而言之，这表明处理组和对照组具有可比性
- $(Y_0, Y_1) \perp T$ 意味着：处理是导致处理组与对照组结果差异的唯一因素
- 独立性意味着

$$E[Y_0|T = 0] = E[Y_0|T = 1] = E[Y_0]$$

$$E[Y|T = 1] - E[Y|T = 0] = E[Y_1 - Y_0] = ATE$$

因此，随机化为我们提供了一种方法，即通过处理组与对照组均值的简单差异来定义处理效应



# 随机实验的原理

## 随机分配的机制

随机实验通过随机分配个体到处理组和对照组，确保两组在实验前是相似的。这种随机化消除了潜在结果与处理方式之间的相关性，使因果推断更加可靠。

## 处理效应的定义

处理效应是指处理组和对照组在结果变量上的差异。通过随机实验，可以将这种差异归因于处理本身，而非其他因素。例如，通过比较两组的平均得分，可以估计处理效应。

## 处理组与对照组的定义

处理组是指接受某种干预或处理的个体，而对照组则不接受该处理。通过比较两组的结果，可以估计处理效应。例如，在药物试验中，处理组服用药物，对照组服用安慰剂。

## 随机实验的重要性

随机实验被认为是因果推断的黄金标准，因为它能够有效消除偏误，提供可靠的因果证据。它在医学、政策评估等领域广泛应用，帮助科学家和决策者做出更准确的判断。



# 02

CHAPTER

---

一个例子：网课的因果效应



# 在线学习的因果挑战

## 在线学习的背景

2020年新冠疫情促使许多学校转向在线教学。在线学习具有灵活性和可及性等优势，但也面临互动不足、学习效果难以评估等挑战。

## 研究问题

我们仍需解答在线学习对学生学业表现究竟产生消极还是积极影响？

# 在线学习的因果挑战

## 比较

将上网课的学生与线下上课的学生成绩进行比较

## 偏误问题

简单对比在线学习和面对面授课的学生存在偏误问题，例如选择偏差和经济背景差异。

# 在线学习的因果挑战



## 偏误问题

简单对比在线学习和面对面授课的学生存在偏误问题，例如选择偏差和经济背景差异。

$$E[Y_0|T = 1] > E[Y_0|T = 0]$$

$$E[Y_0|T = 1] < E[Y_0|T = 0]$$

# 在线学习的因果挑战

## 可比

为解决这一问题，我们需要使处理组与未处理组具备可比性

$$E[Y_0|T = 1] = E[Y_0|T = 0]$$

## 解决方法

随机实验：随机将在线课程和面对面课程分配给学生

# 随机实验的设计与结果

## 实验设计

经济学家通过随机分配学生到在线课程、面对面课程和混合教学模式，评估在线学习的因果效应。这种设计确保了处理组和对照组的可比性。

数据和代码: <https://wenzhe-huang.github.io/python-causality-handbook-zh/02-Randomised-Experiments.html>

# 随机实验的设计与结果

<b>class_format</b>	<b>false</b>	<b>exam</b>
<b>blended</b>	<b>77.09373</b>	
<b>face_to_face</b>	<b>78.54749</b>	
<b>online</b>	<b>73.63526</b>	

## 实验结果

实验结果显示，在线课程的平均得分低于面对面课程。通过计算各组的平均得分，可以明确这种差异的统计显著性，从而得出在线学习的效果。





# 随机实验的设计与结果

<b>class_format</b>	<b>asian</b>	<b>black</b>	<b>gender</b>	<b>hispanic</b>	<b>white</b>
<b>blended</b>	<b>.217949</b>	<b>.102564</b>	<b>.550459</b>	<b>.012821</b>	<b>.628205</b>
<b>face_to_face</b>	<b>.20202</b>	<b>.070707</b>	<b>.633333</b>	<b>.010101</b>	<b>.717172</b>
<b>online</b>	<b>.228571</b>	<b>.028571</b>	<b>.542553</b>	<b>.028571</b>	<b>.7</b>

## 随机化的验证

通过检查预处理变量的均衡性，验证随机化过程的正确性。这确保了实验结果的可靠性，为教育政策制定提供了科学依据。

# 03

CHAPTER

## 随机实验的优势与局限



# 随机实验的理想性

## 随机实验的优势

随机实验或随机对照试验（RCT）被认为是获得因果效应最可靠的方法。它类似于高铁，快速、清晰且不受干扰，能够提供无可辩驳的因果证据。

## 广泛应用

随机实验在医学、政策评估等领域广泛应用。例如，在医学研究中，随机实验帮助评估新药的疗效；在政策评估中，它用于评估政策的实际效果。



# 随机实验的局限性

## 局限性

随机实验在某些情况下可能因成本过高、伦理问题或不可行性而无法实施。例如，无法随机分配孕妇吸烟，或国家最低工资标准。在这些情况下，需要通过思考理想实验的形态，找到揭示因果效应的其他途径。



# 04

## 分配机制与因果推断



# 分配机制的重要性

01

## 随机实验中的分配机制

在随机实验中，个体被随机分配到处理组或对照组，这种机制确保了因果推断的可靠性。随机化消除了潜在的偏误，使结果更具说服力。

02

## 非随机实验中的分配机制

在非随机实验中，识别分配机制至关重要。例如，教育与财富之间的相关性可能有多种解释，通过识别分配机制，可以提高因果推断的可信度。

03

## 现实世界的理解

识别分配机制需要对现实世界有深入的理解。例如，在研究教育对收入的影响时，需要考虑教育机会的分配机制，以及可能存在的选择偏差。

04

## 因果推断的关键

在因果推断中，理解分配机制是关键。只有明确了分配机制，才能准确评估因果效应，避免错误的结论。



# 分配机制的重要性

- 在因果问题中，我们常常可以提出两种相反的解释：
- 一种是“ $X$  导致了  $Y$ ”
- 另一种是“有个第三变量  $Z$  同时导致了  $X$  和  $Y$ ，从而造成  $X$  与  $Y$  之间的表面相关”。





# 因果推断的统计显著性



## 统计显著性的评估

通过统计方法评估因果效应估计值的方差，判断观察到的差异是否具有统计显著性。例如，在随机实验中，假设检验用于验证处理效应是否显著。



## 统计显著性的重要性

统计显著性在因果推断中至关重要。它帮助区分真实效应和随机波动，确保研究结果的可靠性。



## 结合统计显著性和实际意义

在实际应用中，需要结合统计显著性和实际意义来评估因果效应。即使统计显著，效应的大小和实际意义也需要综合考虑。

# 05

CHAPTER

## 总结与展望



# 随机实验的核心要点

## 随机实验的作用

随机实验通过随机分配处理组和对照组，消除偏误，提供可靠的因果证据。它是因果推断的黄金标准，广泛应用于医学、政策评估等领域。

01

## 理想与局限

随机实验虽然理想，但在某些情况下可能因成本、伦理或不可行性而无法实施。思考理想实验的设计依然重要，分配机制和统计显著性在因果推断中也至关重要。

02

# 未来研究方向

## 未来研究方向

未来研究可以通过改进随机实验设计或开发新的因果推断方法来克服现有局限性。在大数据时代，利用新技术和新数据源，更好地理解 and 评估因果关系，推动科学和社会的进步。





THANKS