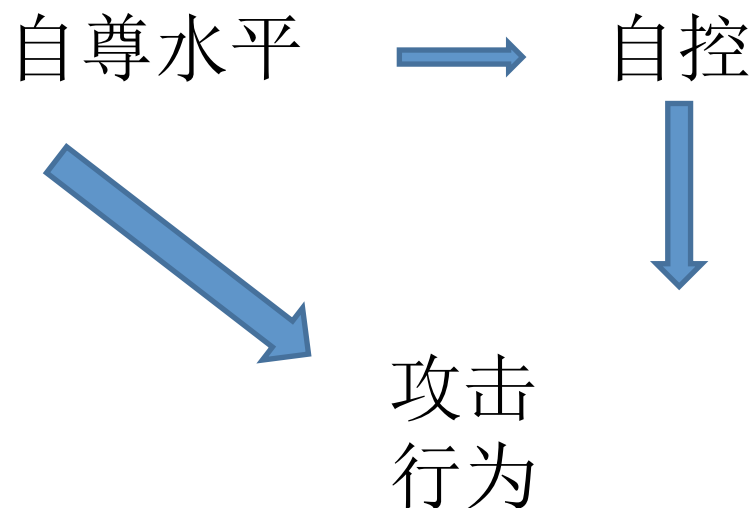


# 第十章 中介和调节效应

# 中介效应

# 1, 中介变量的定义

- 考虑自变量X对自变量Y的影响，如果X通过影响变量M来影响Y，则称M为中介变量。而X通过M对Y产生的间接影响称为中介效应。
- 例如：青少年自尊水平与攻击性的关系



中介变量：青少年的自控能力

- 中介效应可以建立方程如下：

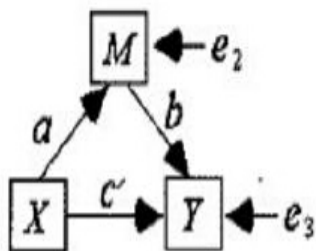
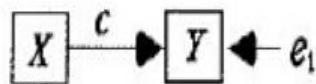


$$Y=cx+e_1 \quad 1)$$

$$M=ax+e_2 \quad 2)$$

$$Y=c' x+bM+e_3 \quad 3)$$

上述 3 个方程模型图及对应方程如下：



注意：

**c**是X对Y的总效应，  
**ab**是经过中介变量M的间接效应（中介效应），

**C'**是直接效应。

但只有一个自变量、一个中介变量时，有如下关系：

$$C = C' + ab$$

## 2, 相关概念

### 中介效应与间接效应

- 中介效应都是间接效应，但间接效应不一定是中介效应，这两个概念之间是有区别的。当中介变量不止一个时，中介效应要明确是哪个中介变量的中介效应，而间接效应既可以指经过某个特定中介变量的间接效应（即中介效应），也可以指部分或所有中介效应的和。
- 在只有一个中介变量的情形中，中介效应是否等于间接效应？
- 在只有一个中介变量的情形中，两者还是不同。中介效应的大前提是自变量与因变量相关显著，否则不会考虑中介变量，但是，即使自变量与因变量相关系数为零，仍然可能有间接效应。

中介效应



间接效应

# 3， 中介效应的检验方法

传统的中介检验方法有三种，下面做一下简要介绍。

依次检验法（也叫因果步骤法）

首先检验方程1)  $y = cx + e_1$ ，如果回归系数 $c$ 显著，则继续检验方程2)，如果 $c$ 不显著，则停止中介效应检验；

在 $c$ 显著性检验通过后，继续检验方程2)  $M = ax + e_2$ ，如果 $a$ 显著，则继续检验方程3)，如果 $a$ 不显著，则停止检验；

在方程1) 和方程2) 显著性检验都通过后，检验方程3)  $y = c'x + bM + e_3$ 中 $b$ 的显著性，若 $b$ 显著这说明中介效应显著。此时检验 $c'$ ，若 $c'$ 显著，则说明是不完全中介效应，若 $c'$ 不显著，则是完全中介效应。

$c$ 是X对Y的总效应，

$ab$ 是经过中介变量M的间接效应（中介效应），

$C'$ 是直接效应。

但只有一个自变量、一个中介变量时，有如下关系：

$$C = C' + ab$$

## 对依次检验法的评价：

- ◇首先，依次检验法将自变量显著影响因变量（即**c**显著）作为中介效应检验的前提条件，认为如果**c**不显著就不存在中介效应。这个前提条件的存在使得许多原本有意义的中介研究停止在第一步，因为在**c**不显著的情况下完全可能存在中介效应。**Shrout**和**Bolger**指出，当**ab**和**c'**方向相反时，就可能会导致系数**c**不显著。在有两个中介效应的模型中，如果两个中介效应方向相反也可能会导致系数**c**不显著。
- ◇其次，**Mackinnon(2002)**通过模拟研究比较了三种中介效应检验方法，发现依次检验法的统计功效（**power**）最低，并且容易低估第一类错误率。
- ◇第三，依次检验法是通过一系列的假设检验去推测中介效应的有无，而不是直接检验中介效应**ab**是否显著不为0，因此无法直接提供中介效应的点估计，也无法提供中介效应的置信区间。
- ◇依次检验法根据系数**c'**的显著性将中介效应分为完全中介效应和部分中介效应，这是一种粗糙的效果量诊断。

一个好的效果量指标应该满足三个标准：

- （1）效果量指标应该有一个合适的尺度，没有合适的尺度就无法对不同的研究结果进行比较。
- （2）效果量的指标应该可以报告总体效果量的置信区间。由于效果量的点估计是基于样本得到的，而研究者的兴趣在于总体而不是样本估计值，基于总体得到的效果量和基于样本得到的效果量是有差异的，因此报告总体效果量置信区间是很有必要的。
- （3）效果量应该独立于样本量。



# 系数乘积法（也叫系数乘积项检验法）

系数乘积法由于直接检验中介效应 $ab$ 是否显著不为0，无需以系数 $c$ 显著作为中介效应显著的前提条件，可以直接提供中介效应的点估计和置信区间。

$$s_{ab} \text{ 的计算公式为: } s_{ab} = \sqrt{a^2 s_b^2 + b^2 s_a^2},$$

- Sobel检验：这种方法主要是检验 $ab$ 乘积项的系数是否显著，检验统计量为 $Z = ab / s_{ab}$ ，

评价：Sobel检验的前提假设是中介效应 $ab$ 是正态分布且需要大样本，因为只有在正态分布下，才能使用基于标准正态分布的临界 $Z$ 值。但实际情况是，即使 $a$ 和 $b$ 都是正态分布， $ab$ 也不一定是正态分布，更进一步说，只要 $ab$ 不为0， $ab$ 的分布就是偏态分布。因此基于中介效应 $ab$ 是正态分布的Sobel检验也是不准确的。

# 系数乘积法（

► 不对称置信区间法。对中介效应的抽样分布不加限制，区间法包括：Bootstrap法和乘积于乘积分布法，乘积分布法优于都能进行Bootstrap法计算。

Bootstrap法有多种，其中偏差校正的百分位 Bootstrap 法分为五步。第一，以原样本（样本容量为  $n$ ）为基础，在保证每个观察单位每次被抽到的概率相等（均为  $\frac{1}{n}$ ）的情况下进行有放回的重重复抽样，得到一个样本容量为  $n$  的 Bootstrap 样本；第二，由步骤 1 中得到的 Bootstrap 样本计算出相应的中介效应估计值  $\hat{ab}$ ；第三，重复步骤 1 和 2 若干次（记为  $B$ ，常设  $B = 1000$ ），将  $B$  个中介效应估计值的均值作为中介效应的点估计值，将  $B$  个中介效应估计值  $\hat{ab}$  按数值大小排序，得到序列  $C$ ；第四，根据原样本数据求取中介效应估计值  $\hat{ab}^*$ ，求  $\hat{ab}^*$  在序列  $C$  中的百分比排位，即得到  $\hat{ab} < \hat{ab}^*$  的概率  $\Phi(z_0)$ ；第五，在标准正态累积分布函数中，根据  $\Phi(z_0)$  求取相应的  $z_0$  值，求  $2Z_0 \pm Z_{\alpha/2}$  在标准正态累积分布函数中对应的概率  $\Phi(2Z_0 \pm Z_{\alpha/2})$ ，用  $\Phi(2Z_0 \pm Z_{\alpha/2})$  在序列  $C$  中的百分位值作为置信区间的上、下置信限，构建置信度为  $1 - \alpha$  的中介效应置信区间，如果置信区间不包括 0，说明有中介效应存在；置信区间包括 0，说明中介效应不存在（Fritz & MacKinnon, 2007; MacKinnon, 2008; 方杰等, 2011）。

1、得到容量为  $n$  的样本

2、计算出中介效应的估计值  $ab$

3、重复上述步骤，得到  $ab$  的均值作为中介效应的点估计值，并且得到序列  $C$

4、根据所有样本求  $ab$  的估计值  $ab^*$ ，求  $ab^*$  在  $C$  中的百分位比得到  $ab < ab^*$  的概率  $P$

5、根据  $P$  值求置信区间的上、下限。

偏差校正的百分位 Bootstrap 法分为五步。第一，以原样本（样本容量为  $n$ ）为基础，在保证每个观察单位每次被抽到的概率相等（均为  $\frac{1}{n}$ ）的情况下进行有放回的重重复抽样，得到一个样本容量为  $n$  的 Bootstrap 样本；第二，由步骤 1 中得到的 Bootstrap 样本计算出相应的中介效应估计值  $\hat{ab}$ ；第三，重复步骤 1 和 2 若干次（记为  $B$ ，常设  $B = 1000$ ），将  $B$  个中介效应估计值的均值作为中介效应的点估计值，将  $B$  个中介效应估计值  $\hat{ab}$  按数值大小排序，得到序列  $C$ ；第四，根据原样本数据求取中介效应估计值  $\hat{ab}^*$ ，求  $\hat{ab}^*$  在序列  $C$  中的百分比排位，即得到  $\hat{ab} < \hat{ab}^*$  的概率  $\Phi(z_0)$ ；第五，在标准正态累积分布函数中，根据  $\Phi(z_0)$  求取相应的  $z_0$  值，求  $2Z_0 \pm Z_{\alpha/2}$  在标准正态累积分布函数中对应的概率  $\Phi(2Z_0 \pm Z_{\alpha/2})$ ，用  $\Phi(2Z_0 \pm Z_{\alpha/2})$  在序列  $C$  中的百分位值作为置信区间的上、下置信限，构建置信度为  $1 - \alpha$  的中介效应置信区间，如果置信区间不包括 0，说明有中介效应存在；置信区间包括 0，说明中介效应不存在（Fritz & MacKinnon, 2007; MacKinnon, 2008; 方杰等, 2011）。

# 差异检验法

- 差异检验法同样要找出ab的联合标准，目前存在一些公式，经过Mackinnon等人的分析，认为其中有两个公式效果最好，分别是Clogg和Freedman等人提出来的，公式

Clogg 差异检验公式

$$t_{N-3} = \frac{c - c'}{r_{xm} s_{c'}}$$

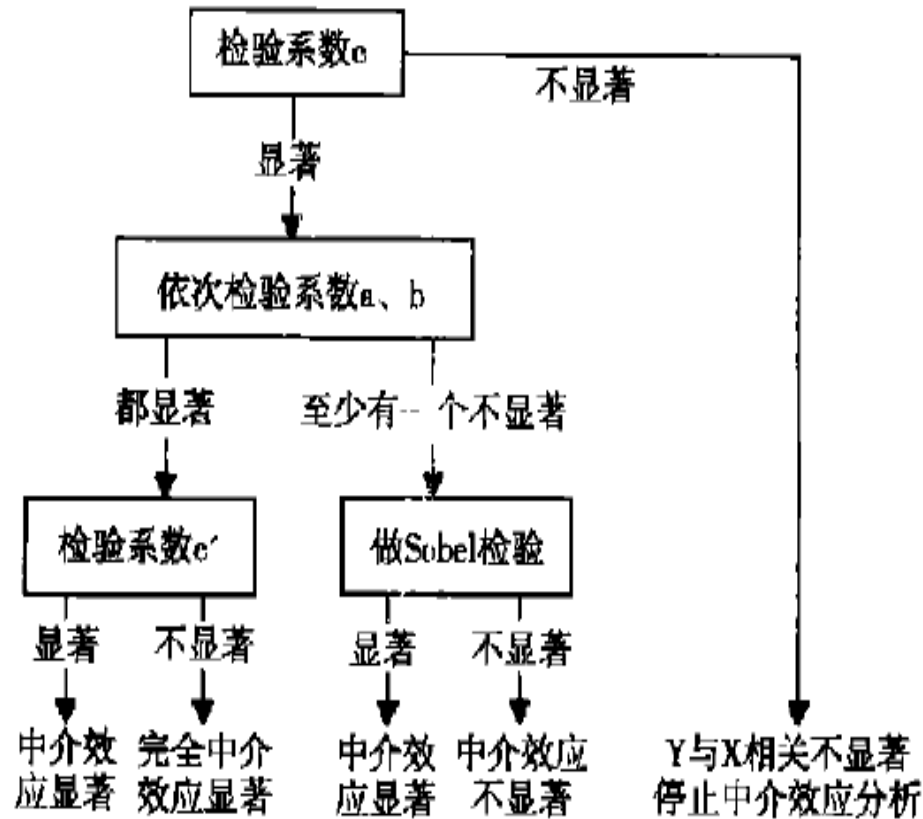
Freedman 差异检验公式

$$t_{N-2} = \frac{c - c'}{\sqrt{(s_c^2 + s_{c'}^2 - 2s_c s_{c'}) (1 - r_{xm}^2)}}$$

$r_{xm}$  为自变量与中介变量的相关系数

评价：这两个公式在  $a=0$  且  $b=0$  时有较好的检验效果，第一类错误率接近 0.05，但当  $a=0$  且  $b \neq 0$  时，第一类错误率就非常高，尤其是 Clogg 等提出的检验公式在这种情况下第一类错误率达到 100%，因此要谨慎对待。

- 温忠麟，张雷，侯杰泰，刘红云等提出了一个中介效应检验模型：



## 4，中介效果量

- 由于中介效应 $ab$ 的统计显著性实际上是效果量和样本量共同作用的结果，所以当中介效应显著后还要报告独立于样本量的效果量大小，效果量才是研究者最关心的。目前，使用最广泛的效果量指标是 $ab/c$ 和 $ab/c'$ ，但 $ab/c$ 和 $ab/c'$ 作为效果量存在诸多问题
- （1）效果量的大小可能不能准确反映中介效应的实际重要性，二者之间可能存在较大的差异。例如，当 $C$ 很小时，即使很小的 $ab$ 都会产生较大的效果量，反之亦然。
- （2）当 $ab$ 与 $c'$ 方向相反时， $ab/c$ 可能是正值可能是负值，还可能小于-1。
- （3） $ab/c$ 需要使用大样本量，但样本量大于500时，效果才稳定。
- （4）在多个中介变量的模型中不适用。  
于是有的研究者提出了用其他效果量作为指标。

- 效果  $\kappa^2$

$\kappa^2$  的计算公式是  $\kappa^2 = ab/ab_{\max}$ ,  $ab_{\max}$  表示中介效应  $ab$  可能达到最大值的值。

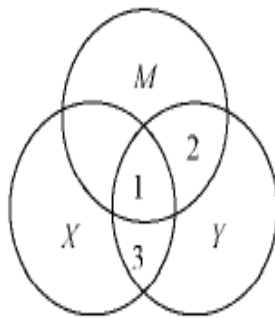
$\kappa^2$  取值范围是0到1. 该方法可以求出总体效果量的置信区间。  
效果量

$$R_{med}^2$$

$R_{med}^2$  的计算公式是  $R_{med}^2 = r_{MY}^2 - (R_{Y,MX}^2 - r_{XY}^2)$

其中  $r_{MY}^2$  是因变量  $Y$  和中介变量  $M$  的相关系数, 表示  $Y$  的方差能被  $M$  解释的部分

$R_{Y,MX}^2$  是方程3) 的决定系数, 表示  $Y$  的方差能被  $x$  和  $M$  解释的部分。





# 调节效应

# 目录 CONTENTS

1

定义和性质

2

交互效应

3

统计方法

4

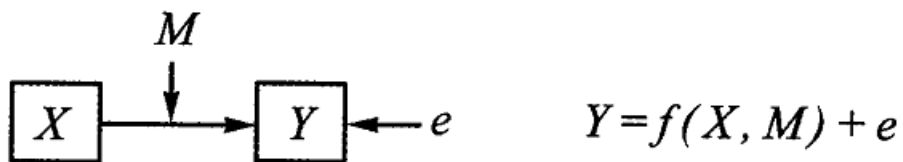
比较



# 调节效应

## 定义和性质

- Y与 X的关系受到第三个变量M的影响
- 调节变量可以是定性的 (如性别) , 也可以是定量的 (如年龄)
- 影响因变量和自变量之间关系的方向 (正或负 )和强弱



# 调节效应

## 例子

- **例1.** 学生的学习效果和指导方案的关系,往往受到学生个性的影响：一种指导方案对某类学生很有效，对另一类学生却没有效，从而学生个性是调节变量。
- **例2.** 学生一般自我概念与某项自我概念（如外貌、体能等）的关系，受到学生对该项自我概念重视程度的影响：很重视外貌的人，长相不好会大大降低其一般自我概念；不重视外貌的人，长相不好对其一般自我概念影响不大，从而对该项自我概念的重视程度是调节变量。

# 调节效应

## 调节效应和交互效应

- 从统计上看，调节效应和交互效应是相同的  
(对 $H_0: c=0$ 进行检验， $c$ 显著，则调节效应显著)
- 从概念上看，交互效应中，两个自变量地位不固定，可以任意解释。  
调节作用中，调节变量和自变量根据假设模型固定。

$$Y = aX + bM + cXM + e$$

# 调节效应

## 调节效应和交互效应

- 在交互效应分析中，两个自变量的地位可以是对称的，其中任何一个都可以解释为调节变量；也可以是不对称的，只要其中有一个起到了调节变量的作用,交互效应就存在。但在调节效应中，哪个是自变量，哪个是调节变量,是很明确的，在一个确定的模型中两者不能互换。

# 调节效应

## 例子

- **例** 如果要研究数学能力的性别差异，将年级作为调节变量，这个问题关注的是性别差异，以及性别差异是否会随年级而变化。如果从小学一年级到高中三年级都获得了各年级学生有代表性的样本，每个年级各用一份测试题，所得的数据就可以进行上述分析。但同样的数据却不能用于做年级为自变量、数学能力为因变量、性别为调节变量的分析，因为各年级的测试题目不同，得分没有可比性，因而按调节效应的分析方法，分别不同性别做数学能力对年级的回归没有意义。要做数学能力对年级的回归,应当用同一份试题测试所有年级的学生。

# 调节效应

## 统计分析方法

- **关键词解释**
  - -显变量：可以直接观测的显变量
  - -潜变量：实际工作中无法直接测量到的变量，一个潜变量常对应多个显变量，可看做其对应显变量的抽象和概括
  - -伪变量处理：将连续变量分组成为类别变量
  - -中心化变换：使各变量平均数为0，在各各变量上减该变量的平均数
  - -偏回归系数：多元线性回归情况下，多个自变量中的一个和因变量之间的关系。

# 调节效应

## 统计分析方法

- 显变量

根据不同的变量水平可以利用SPSS进行方差分析和回归的处理

表 1 显变量的调节效应分析方法

调节变量 ( $M$ )	自变量 ( $X$ )	
	类别	连续
类别	方差分析	分组回归
连续	伪变量处理 层次回归分析 ( $R_2^2 > R_1^2$ )  XM偏回归系数检验	层次回归分析 ( $R_2^2 > R_1^2$ )  XM偏回归系数检验

问题：如何对分组回归 $R$ 进行比较？如何验证 $R_2^2 > R_1^2$ 显著？

# 统计方法详析. 调节效应

## 统计分析方法

- 主要方法
- 方法一
  - -分组回归（适用于M为分类，X为连续变量的情况）
- 方法二
  - -层级回归（适用于M为连续变量的情况）
- 方法三
  - -偏回归系数分析（适用于M为连续变量的情况）



# 统计方法详析. 调节效应

## 方法一 分组回归

- 统计工具：SPSS
- 步骤：
  - 1. 中心化自变量和调节变量（可做可不做）
  - 2. 对样本变量按调节变量的类别进行分组
  - 在每组内做Y对X的线性回归分析
  - 3. 选择回归命令并设置自变量和因变量
  - 4. 检验系数显著性（可画图，更直观）

# 统计方法详析. 调节效应

## 方法二 层级回归

- 统计工具：SPSS
- 步骤：
  - 1. 中心化自变量和调节变量
  - 2. 建立交互作用变量
    - 在SPSS建立一个新变量XM，两个变量的乘积
  - 3. 层次化多元回归
    - 放入X、M变量，对Y进行回归，得到 $R_1^2$
    - 放入X、M和XM变量，对Y进行回归，得到 $R_2^2$
    - 比较 $R_1^2$ 和 $R_2^2$ 的差异
  - 4. 绘制和解释交互作用项

# 统计方法详析. 调节效应

## 伪变量处理

- 统计工具：SPSS

- 假设自变量X有n种分类，则可以转换为n-1个伪变量.例如自变量为年收入水平，假设按人均年收入水平分为8千以下、8千~2万、2万~5万、5万~10万、10万以上四种类型，则可以转换为3个伪变量如下

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + cM + e$$

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + cM + c_1MX_1 + c_2MX_2 + c_3MX_3 + e$$

- $X_1=1$ 表示10万以上； $X_2=1$ 表示5万到10万；
- $X_3=1$ 表示2万到5万；8千以下=0。
- 检验方法为分析 $R^2$ 显著性或调节系数C'显著性。

	X1	X2	X3
10万以上	1	0	0
5万-10万	0	1	0
2万-5万	0	0	1
8千以下	0	0	0

# 调节效应

## 统计分析方法

- 潜变量（潜变量均为连续变量）  
利用结构方程模型或其他特定方法

表 2 变量的调节效应分析方法

调节变量 ( $M$ )	自变量 ( $X$ )	
	类别	连续
类别	不考虑	分组结构方程模型
连续	不考虑	中心化乘积指标 GAPI 无约束模型

# 比较

## 调节变量 VS 中介变量

### • 差别的关键在于？ 统计模型

	调节变量 $M$	中介变量 $M$
研究目的	$X$ 何时影响 $Y$ 或何时影响较大	$X$ 如何影响 $Y$
关联概念	调节效应、交互效应	中介效应、间接效应
什么情况下考虑	$X$ 对 $Y$ 的影响时强时弱	$X$ 对 $Y$ 的影响较强且稳定
典型模型	$Y = aM + bM + cXM + e$	$M = aX + e_2 \quad Y = c'X + bM + e_3$
模型中 $M$ 的位置	$X, M$ 在 $Y$ 前面, $M$ 可以在 $X$ 前面	$M$ 在 $X$ 之后、 $Y$ 之前
$M$ 的功能	影响 $Y$ 和 $X$ 之间关系的方向 (正或负) 和强弱	代表一种机制, $X$ 通过它影响 $Y$
$M$ 与 $X, Y$ 的关系	$M$ 与 $X, Y$ 的相关可以显著或不显著 (后者较理想)	$M$ 与 $X, Y$ 的相关都显著
效应	回归系数 $c$	回归系数乘积 $ab$
效应估计	$\hat{c}$	$\hat{a} \hat{b}$
效应检验	$c$ 是否等于零	$ab$ 是否等于零
检验策略	做层次回归分析, 检验偏回归系数 $c$ 的显著性 ( $t$ 检验); 或者检验测定系数的变化 ( $F$ 检验)	做依次检验, 必要时做 Sobel检验 <sup>[18]</sup>