

第五章

中介歷程的分析

第四章的迴歸用線性方程式解釋變項與反應變項間的關係，而當研究者想要知道解釋變項 X 如何影響到反應變項 Y，一個可能的回答，是找到另一個變項 M，而認為 X 透過影響到 M，再影響到 Y；這樣的機制稱做**中介歷程**（mediation process），而 M 被稱為 X 與 Y 的**中介變項**（mediator）。

青少年的身材問題常常不只牽涉到身體健康，也可能透過影響社交，進而影響到心理健康，這即是中介歷程的問題。Yen 等人（2014）文章即著眼於此，我們利用文章的部分資料，示範中介效果的檢驗。

中介歷程可以想成是迴歸的延伸，因此發展了以迴歸驗證中介效果的作法。以迴歸檢驗中介歷程至少有兩種取向，一種是假

設中介效果存在下，對反應變項與中介變項作迴歸分析時，放進不同解釋變項，預期迴歸係數是否顯著。如果實際分析結果與預期一致，則「間接」驗證中介效果存在；此作法檢定力較低，目前多以第二種作法，利用迴歸但伴隨拔靴法製作中介效果的信賴區間，「直接」檢驗中介效果是否顯著。細看中介模型，可以意識到中介變項相較於解釋變項其實也是反應變項，這也是以迴歸方式分析中介需要執行多次、較為麻煩的原因；因此，使用容許多個反應變項的**徑路分析**（path analysis），便是迴歸外的另一個選項。

本章分成兩個小節，第一小節是以迴歸分析作法，分別以間接與直接的兩種方式，檢驗青少年互動情形，是否是身材問題影響心理健康的中介變項；第二節則以徑路分析，檢驗前述想法，並進一步將性別與年齡納入分析。

本章使用的核心套件（或指令）有兩個，一個與前一章相同，即執行迴歸分析的 *lm*，另一個則是執行徑路分析的 *lavaan* 套件，分析時需要設定模型，設定方式即為將模型中每一個反應變項牽涉之迴歸式列出。例如，在僅牽涉到反應變項 y 、中介變項 M 與解釋變項 x 的中介歷程模型，模型設定包括 $y \sim x + m$ 以及 $m \sim x$ 兩個式子。此外，我們仍會利用 *ggplot* 等套件繪圖、

gtsummary 與 broom 協助整理報表。

範例資料

資料 bully.txt 是一份文字檔，包含青少年男性與青少年女性參與者各 1000 位，變項依序是性別、憂鬱、被霸凌經驗、**身體質量指數**（body mass index, BMI）與年齡。憂鬱與被霸凌經驗各自對應一份量表的總分，分數愈高表示程度愈嚴重。為了分析時方便，我們將被霸凌程度的變項稱為被霸凌，身體質量指數則命名為體指數，檢視前六筆資料顯示如程式報表 5.1。

R 程式報表 5.1

	性別	憂鬱	被霸凌	體指數	年齡
1	女	29	3	18.49	17
2	女	4	0	20.17	15
3	女	3	2	15.63	16
4	女	20	1	21.48	18
5	女	25	4	18.43	15
6	女	24	3	16.29	13

我們有興趣看身材問題是否透過影響社交狀況，進而影響到心理健康。我們分別用身體質量指數、被霸凌經驗與憂鬱作為身材、社交狀況與心理健康的指標。因此，問題可以轉述為被霸凌經驗是否是身體質量指數與憂鬱間的中介變項。年齡與性別可能影響被霸凌經驗多寡與憂鬱，在第二節分析中納入。

一、中介效果的分析：迴歸取徑

進行分析前，我們先以迴歸式瞭解中介效果以及分析方式。我們以為反應變項 Y 受到中介變項 M 的影響，而解釋變項 X 沒有直接影響；而中介變項 M 則受 X 影響，所以有式一與式二。

$$(式一) Y = b_0 + bM + 0X + e_1$$

$$(式二) M = a_0 + aX + e_2$$

$$(式三) Y = (b_0 + ba_0) + (ab)X + (be_2 + e_1)$$

把式二帶進式一整理後，可以得到式三，其中即可看到 X 透過 M 對 Y 的**中介效果（間接效果）**大小是 ab ，為 X 對 M 效果 (a) 與 M 對 Y 效果 (b) 的乘積。在此，我們假設 X 沒有直接影響到 Y，這種狀況稱作**完全中介** (complete mediation, 圖 5.1 左)。如果 X 除了透過 M 影響到 Y，還直接影響到 Y，亦即式一中 X 對 Y 的係數不是 0，而是 c ，我們稱這種狀況是**部分中介** (partial mediation, 圖 5.1 右)。在部分中介時，式三會成為式四，

$$(式四) Y = (b_0 + ba_0) + (ab + c)X + (be_2 + e_1)$$

可以看到 X 對 Y 的**總效果** (total effect) 包括兩部分，亦即間接效果 ab ，以及直接效果 c 。當間接效果與直接效果同號（都是正的或都是負的），我們可以以間接效果佔總效果的比率，當作一

種間接效果的效果量。

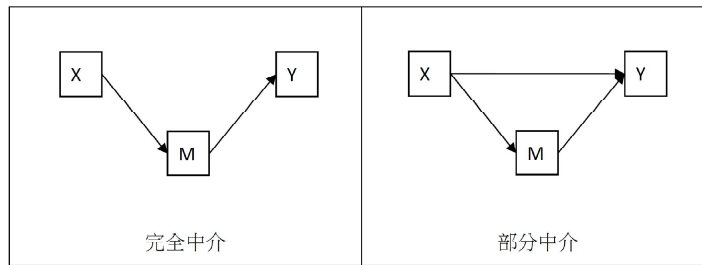


圖 5.1 中介機制示意圖

Baron 與 Kenny 建議，我們可先在假設 M 是 X 與 Y 間的中介變項下，推論出應該觀測到的統計結果，如果繼而在資料上看到了這些統計結果，就顯示資料支持 M 是 X 與 Y 間的中介變項。假設 M 是 X 與 Y 的中介變項，Baron 與 Kenny 推出四個應該看到的統計結果。每個統計結果可以分別以迴歸求得，而總共需要四個步驟，因此被稱為四步驟法。

首先，單純考慮 X 與 Y，如果以 X 對 Y 迴歸，這時 X 的係數（相當於 ab 或 $ab + c$ ）應該顯著，畢竟 X 影響到 Y。其次，X 影響 M，係數 a 應該顯著。第三，M 影響 Y，係數 b 應該顯著。第四部分與第一部分類似，都考慮 X 與 Y，不過在第四步驟把 M 考慮進來，這時 X 的迴歸係數 c ，應該就消失（不顯著），或相較於第三部分係數減少。總合來說，Baron 與 Kenny 建議作法包括四個檢驗，分別對應四個迴歸，包括 M 對 Y 的迴歸、X 對 M 的迴歸、

R 在行為科學之應用

X 對 Y 的迴歸，以及 X 與 M 對 Y 的迴歸，前三部分迴歸係數應該顯著，第四部分解釋變項的迴歸係數應該不顯著，或至少數值應小於第三個迴歸式。

在正式進行四步驟法前，我們先載入共通設定，包括作業系統語系設定、管理使用套件、設定輸出時的字型以及將繪圖配色主題預設為極簡主題以因應本書印刷。完整設定請參考第三章，程式碼 5.1 僅呈現第二部份，管理本章使用套件。

R 程式碼 5.1

```
#確認套件管理軟體 pacman 有載入
if(!require("pacman")){
  install.packages("pacman", repos="https://cran.csie.ntu.edu.tw")
  library(pacman)
}
#載入本章所用的套件供後續使用
pacman::p_load(tidyverse, forcats, printr, flextable, broom,
  ragg, here, jtools, broom, webshot2, bda, DiagrammeR, DiagrammeRsvg, rsvg,
  statmod, GGally, vctrs, MBESS, mediation, lavaan, lavaanPlot, semPlot,
  MASS, magrittr, gtsummary, parameters, kableExtra, Hmisc, tidyr)
```

程式碼 5.2 在讀進資料後，以 head 看看資料前六筆，如程式報表 5.1 所示。

R 程式碼 5.2

```
#讀檔案，這是一般的文字檔，可以用 notepad 開啟
dta <- read.table("../Data/bully.txt", header = TRUE)

#程式報表5.1，看一下前六筆
head(dta)
```

程式碼 5.3 利用性別分組，再以 gtsummary 套件的 tbl_summary 製表，並要求對於連續變項要輸出平均數與標準差。程式碼 5.3 最後則要求同時輸出未分組整體資料的統計值。

R 程式碼 5.3

```
#程式報表5.2，看一下基本統計
gtsummary::tbl_summary(dta, by = '性別',
  statistic = list(all_continuous() ~ "{mean} ({sd})")) |>
  gtsummary::add_overall()
```

程式報表 5.2 呈現變項的基本情形。在我們有興趣的三個變項中，女性憂鬱高於男性 2 分，被霸凌的情形則差不多，體指數方面，則是男生較高。年齡方面，由於資料是針對中學生調查，大致上散佈在 12 歲到 17 歲間。

R 程式報表 5.2

在正式分析前，程式碼 5.4 先以 ggpairs 指令，繪製兩兩變項的散佈圖。如果被霸凌是憂鬱與體指數的中介變項，我們應該預期體指數與被霸凌有顯著相關、被霸凌與憂鬱有顯著相關、體指數與憂鬱有顯著相關。

R 程式碼 5.4

```
#圖5.2。看一下變項間關聯
dta |>
  dplyr::select_if(is.numeric) |>
  as.tibble() |>
  GGally::ggpairs(data = _, axisLabels= 'internal', title= '變項間關聯')
```

Characteristic	Overall, N = 2,000 [†]	女, N = 1,000 [†]	男, N = 1,000 [†]
憂鬱	16 (10)	17 (10)	15 (9)
被霸凌	2 (2)	2 (2)	2 (2)
體指數	20.6 (3.7)	20.1 (3.4)	21.1 (4.0)
年齡			
12	213 (11%)	107 (11%)	106 (11%)
13	367 (18%)	177 (18%)	190 (19%)
14	311 (16%)	140 (14%)	171 (17%)
15	325 (16%)	168 (17%)	157 (16%)
16	306 (15%)	145 (15%)	161 (16%)
17	345 (17%)	195 (20%)	150 (15%)
18	131 (6.6%)	68 (6.8%)	63 (6.3%)
19	2 (0.1%)	0 (0%)	2 (0.2%)

[†] Mean (SD); n (%)

圖 5.2 顯示出憂鬱與被霸凌有不小相關，另外兩個相關則都不大，不過因為樣本數很大，可能仍顯著，我們還是接著以四步驟方式分析。

如果被霸凌經驗確實是中介變項，我們期待四步驟的前三步驟關鍵係數要顯著。程式碼 5.5 接下來做四次迴歸，分別對應四個步驟。我們將四次分析結果，利用 `jtools::export_summs`，整理到表 5.3。

R 程式碼 5.5

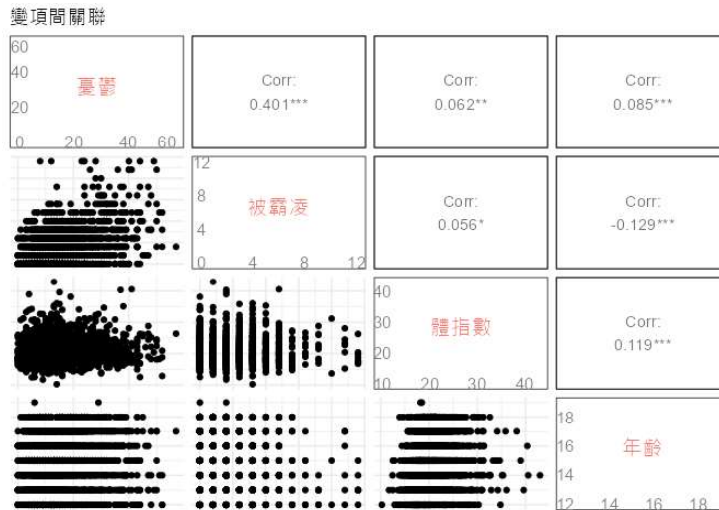


圖 5.2 變項間關聯

```
#程式報表5.3，Baron & Kenny (1986) 的四步驟
m1 <- lm(憂鬱 ~ 體指數, data=dta)
m2 <- lm(被霸凌 ~ 體指數, data=dta)
m3 <- lm(憂鬱 ~ 被霸凌, data=dta)
m4 <- lm(憂鬱 ~ 被霸凌 + 體指數, data=dta)

options(huxtable.knitr_output_format="md")
jtools::export_summs(m1,m2,m3,m4,
  model.names = c("憂鬱", "被霸凌", "憂鬱", "憂鬱"),
  error_format = "[{conf.low}, {conf.high}]")
```

程式報表 5.3 顯示，體質指數對憂鬱的迴歸係數為.17，顯著不為 0，四步驟中第一個預期結果成立。同樣地，體質指數對被霸凌的迴歸係數，以及被霸凌對憂鬱的迴歸係數也都顯著，四步驟中第二、三個預期結果成立。而在第四步驟，當考慮被霸凌時，體質指數對憂鬱的迴歸係數為.11，不顯著，顯示在這筆資料中，依據四步驟方式，被霸凌經驗是身體質量指數與憂鬱間的完全中

介變項。

R 程式報表 5.3

	憂鬱	被霸凌	憂鬱	憂鬱
(Intercept)	12.31 *** [9.85,14.77]	1.41 *** [0.91,1.90]	11.70 *** [11.13,12.26]	9.53 *** [7.26,11.81]
體指數	0.17 ** [0.05,0.28]	0.03 * [0.01,0.05]		0.11 [-0.00,0.21]
被霸凌			1.99 *** [1.79,2.19]	1.98 *** [1.78,2.18]
N	2000	2000	2000	2000
R2	0.00	0.00	0.16	0.16

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.
Column names: names, 憂鬱, 被霸凌, 憂鬱, 憂鬱

分析中介歷程是否成立的**四步驟法**出自 Baron 與 Kenny(1986)，這個作法不直接討論中介效果，而以間接的方式推論效果是否存在。Baron 與 Kenny 的作法可以僅用迴歸完成，容易執行，但推論比較間接，更需要多個檢驗同時顯著，檢定力較低。目前多傾向於直接檢驗中介效果的有無，在此我們以間接效果法，用 a、b 估計值的乘積估計中介效果，再搭配**拔靴法** (bootstrapping) 得到中介效果的區間估計。

在線性假設下，中介效果是 a 與 b 的乘積，中介效果估計值很容易得到，但如何得出標準誤或信賴區間，則沒有那麼直接。Sobel 在大樣本假設下，導出標準誤近似式，並建議以 z 檢定檢定

乘積是否為 0；但 Sobel 檢定假設中介效果的抽樣分配近似常態、且為大樣本，又忽略了估計值之間的相關，在許多情形下並不適當，因而許多文獻中建議以拔靴法求得中介效果的 95% 信賴區間，替代 Sobel 檢定。如果信賴區間不包括 0，顯示資料支持中介效果不是 0，M 是 X 與 Y 間的中介變項；反之，如果信賴區間包括 0，則無法證實中介效果存在。

拔靴法利用**重抽樣** (resampling)，得到近似的抽樣分配，進而計算信賴區間。拔靴法可以免於大樣本或分配的假設，但計算時間比較長。最直覺而簡單的拔靴法，是在現有樣本中抽樣（抽後放回），得到新的樣本，計算我們需要的統計值，重複重抽樣與計算統計值若干次，就可以得出近似的統計量抽樣分配，計算信賴區間。

程式碼 5.6 以 mediation 套件的 mediate 功能，將前面四個迴歸模型的 m2,m4 帶入，指定解釋變項是體指數 (treat='體指數')，中介變項是被霸凌 (mediator='被霸凌')，並要求執行拔靴法 (boot=TRUE)。程式碼 5.6 最後用 summary，輸出中介效果以拔靴法得出之信賴區間。

R 程式碼 5.6

```
#程式報表5.4，以拔靴法看中介效果信賴區間
res <- mediation::mediate(model.m=m2,model.y=m4,
  treat='體質指數',mediator='被霸凌',boot=TRUE)
summary(res)
```

程式輸出 5.4 中，分別顯示中介效果（ACME, average causal mediation effect）、直接效果（ADE, average direct effects）與總效果（Total Effect）的估計值（Estimate）、95% 信賴區間下界與上界（95% CI Lower, 95% CI Upper）與 p 值（p-value）。結果顯示，中介效果的估計值是 .060，信賴區間為 (.011, .12)，未包含 0，顯示中介效果顯著，這也與 p 值所得結論一致 ($p < .05$)。直接效果部份，信賴區間 (-.011, .22) 包含 0，不顯著。以拔靴法方式估計中介效果，支持被霸凌經驗是體質指數到憂鬱的中介變項，且為完全中介歷程，結果與四步驟法一致，不過拔靴法可以得到中介效果的區間估計，有助於瞭解中介效果的可能大小。

程式輸出 5.4 也呈現了中介效果佔總效果的比率，為 0.36，區間估計則為 (.071, 1.07)。前面提及，這是中介效果的效果量指標之一。

R 程式報表 5.4

```
Running nonparametric bootstrap
Causal Mediation Analysis
Nonparametric Bootstrap Confidence Intervals with the Percentile Method
```

	Estimate	95% CI Lower	95% CI Upper	p-value
ACME	0.0599	0.0109	0.12	0.012
ADE	0.1062	-0.0116	0.22	0.070
Total Effect	0.1661	0.0403	0.29	0.010
Prop. Mediated	0.3606	0.0710	1.07	0.022

Sample Size Used: 2000

Simulations: 1000

程式碼 5.7 以 plot 指令，將前面數據繪製成圖 5.3。

R 程式碼 5.7

```
#圖5.3
plot(res)
```

圖 5.3 中的圓點是估計值，線段則表示信賴區間。可以看到，中介效果、直接效果與總效果依序變大，但直接效果的信賴區間包括 0，顯示直接效果不顯著。

程式碼 5.8 最後根據模型四繪製了部分殘差圖。迴歸中，觀察值 Y 與模型預測值 \hat{Y} 的差異稱為殘差 ϵ ，當只有一個變項時， $Y = b_0 + b_1X_1 + \epsilon$ ；而當有兩個變項時， $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \epsilon$ ，而 X_1 的部份殘差圖 (partial residual plot for X_1)，則是以 X_1 為橫軸， X_1 效果 (b_1X_1) 加上殘差為縱軸的散佈圖。當只有一個解釋變項時，縱軸 ($b_1X_1 + \epsilon$) 就是 Y 觀測值 (平移一常數 b_0)，可以用來瞭解 X_1 與 Y 之間的關係；而當有兩個解釋變項時， X_1 的部份殘差圖的縱軸 ($b_1X_1 + \epsilon$) 則可以想成控制 X_2 下 Y 的觀測值

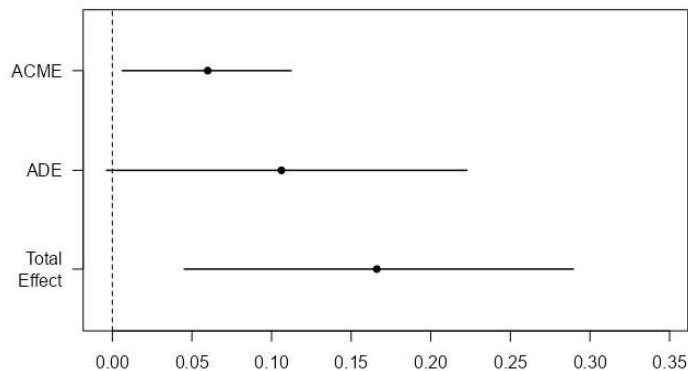


圖 5.3 效果量大小

(仍平移一常數 b_0)，我們可以觀測在考量其他變項下， X_1 與 Y 之間的關係。

每個解釋變項都有自己的部份殘差圖，以模型四為例，我們有兩個解釋變項，因此有兩個部分殘差圖，程式碼 5.4 將要顯示的圖分成兩小圖 (`par(mfrow = c(1, 2))`)。

R 程式碼 5.8

```
#圖5.4，部分殘差圖，先設定一張圖分成兩小圖
par(mfrow = c(1, 2))
termplot(m4, partial.resid = T, smooth = panel.smooth)
```

圖 5.4 顯示兩個變項的部分殘差圖。如果被霸凌經驗是完全中介，在考慮被霸凌經驗下，體指數應該與憂鬱沒有相關，最右邊的圖確實相關不高，迴歸線很接近水平；而在考量體指數下，被

霸凌經驗則仍應該對憂鬱有影響力，左方的圖證實如此；部分殘差圖看起來支持完全中介。

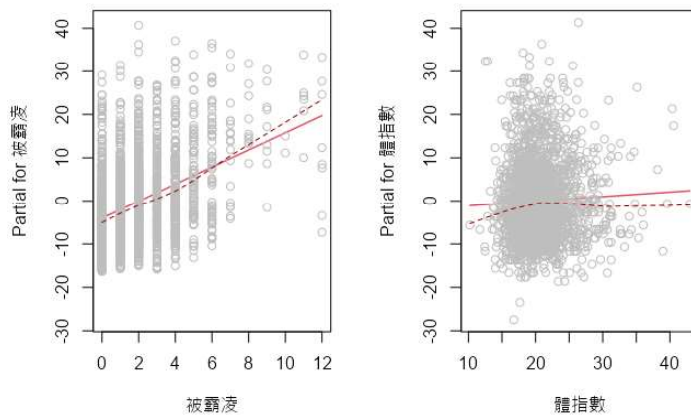


圖 5.4 部分殘差圖

二、中介效果的分析：徑路分析取徑

徑路分析模型是一個或多個反應變項的聯立迴歸式形成的模型，不同迴歸式可以共有解釋變項，甚至某些迴歸式的反應變項，會是另一些迴歸式的解釋變項。估計方面，現在多把徑路分析模型視為結構方程模型的子模型，透過結構方程模型軟體或套件，同時性地估計出係數。

結構方程模型特點之一，是會得出用來表示模型與資料的適合度指標。當徑路分析模型描述部份中介歷程時，因屬於飽和模

型，適合度指標並不適用。因此本節中並不討論適合指標，而著重利用結構方程模型套件所得之同時性估計，並進一步得出中介效果與其他相關效果的信賴區間，進而檢驗效果是否存在。

在本節中，我們使用結構方程模型套件 lavaan 分析徑路分析模型。在第八章，將會說明包含潛在變項的結構方程模型，分析使用 lavaan 套件，並會討論適合度指標。

程式碼 5.9 呈現了徑路分析模型在 lavaan 中的表示方式。在 lavaan 中，模型被記為字串，因此前後都需要以字串符號（' 或"）標示。程式碼 5.9 中，model1 對應前述分析的部份中介模型，第一行與第二行分別列出以憂鬱以及被霸凌為反應變項的迴歸式，「憂鬱 ~ 體指數 + 被霸凌」與「被霸凌 ~ 體指數」。比較特別的是，我們在解釋變項前，加上代號，以便後續用來對應迴歸係數。以「憂鬱 ~ c* 體指數 + b* 被霸凌」，我們將體指數與被霸凌同時存在於迴歸式時之迴歸係數，分別命為 c 與 b。

接下來，:= 指的是利用已有的係數，定義新的係數。以 $indirect := a * b$ 來說，我們將體指數對被霸凌的迴歸係數 (a) 與被霸凌對憂鬱的迴歸係數 (b) 相乘，定義為新的參數 indirect，用來代表中介效果（間接效果）。同理，我們定義總效果 (total) 為 $c + a * b$ ，直接效果與間接效果的和；由於前面已定義了 indirect，

也可以 $total := c + indirect$ 。最後一行，則是計算間接效果佔總效果的比率（命名為 `proportion`）。

程式碼後半則將模型字串以及資料，設定在 `lavaan` 套件的 `sem` 功能中，將結果命名為 `fit`，再用 `summary` 觀看結果。

R 程式碼 5.9

```
#以 SEM 中的徑路分析方式，分析中介
modell <- '
  憂鬱 ~ c*體指數+b*被霸凌
  被霸凌 ~ a*體指數
  indirect := a*b
  total := c + (a*b)
  proportion := indirect/total
'

#程式報表5.5，徑路分析報表
fit <- lavaan::sem(modell, data=dta)
summary(fit)
```

程式報表 5.5 呈現徑路分析的結果。程式報表首先說明 `lavaan` 利用 8 次疊代算出答案，對於複雜的模型難以直接算出答案，而是利用一次一次的嘗試貼近答案，只要沒出現計算沒收斂的警告訊號（像是「** WARNING ** lavaan did NOT converge after 397 iterations」），疊代次數的意義不大。程式報表 5.5 並說明以最大概似法（ML）搭配 `NLMINB` 數值方法進行估計，模型中有 5 個參數，樣本數則是 2000。

卡方值與自由度協助我們評估模型與資料間的一致性。如同前面所說，徑路模型中的部份中介模型是飽和模型，所以卡方值

與自由度都會是 0，未能提供模型與資料一致性的訊息。我們把焦點放在估計出來的參數。

估計出來的參數分為三部份，第一部份以 Regression 為段落標題，是同步估計出來的迴歸係數估計值、標準誤、z 值與 p 值，讀者可以與第一節結果的迴歸結果對照，兩者一致，我們將某些迴歸係數命名，也對應呈現在這一部份，例如，體指數對憂鬱的迴歸係數，就加上 c 的標示。第二部份是以 Variances 為段落標題，在反應變項名稱前加「，」表示是該變項對應的殘差，呈現的是殘差變異數估計值、標準誤等等。第三部份以 Defined Parameters 為段落標題，顯示我們定義的額外三個參數的估計值、標準差等等。

結構方程模型也是在大樣本下導出標準誤與檢定，此處對中介效果的檢定即與 Sobel test 類似，需在在樣本很大時才會是準確的檢定。利用徑路分析估計出來的中介效果、總效果與中介效果所佔比率，分別為 0.060、0.166 與 .361，皆與第一節分析一致。

R 程式報表 5.5

```
lavaan 0.6.15 ended normally after 8 iterations

Estimator                               ML
Optimization method                       NLMINB
Number of model parameters                 5

Number of observations                     2000

Model Test User Model:
```

Test statistic					0.000
Degrees of freedom					0
Parameter Estimates:					
Standard errors					Standard
Information					Expected
Information saturated (h1) model					Structured
Regressions:					
		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)
憂鬱 ~					
體指數	c	0.106	0.055	1.928	0.054
被霸凌	b	1.978	0.102	19.444	0.000
被霸凌 ~					
體指數	a	0.030	0.012	2.504	0.012
Variances:					
		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)
. 憂鬱		83.081	2.627	31.623	0.000
. 被霸凌		4.013	0.127	31.623	0.000
Defined Parameters:					
		Estimate	Std.Err	z-value	P(> z)
indirect		0.060	0.024	2.484	0.013
total		0.166	0.060	2.769	0.006
proportion		0.361	0.152	2.373	0.018

lavaan 提供拔靴法，程式碼 5.10 第四列顯示，只需要在先前呼叫 sem 功能中，加入以拔靴法做檢定（test='bootstrap'）、拔靴次數（bootstrap=501）即可。拔靴法牽涉到隨機抽樣，我們因此在第三列設定隨機種子（set.seed(1234)），讓每次執行結果可以一致。只要有設定即可，至於設定數字，則視讀者喜好。有些研究者會以工作當日，或是自己生日設定，也算博個彩頭。

程式碼 5.10 再利用 parameterEstimates 功能擷取估計值相關

資訊，要求呈現信賴區間 (ci=TRUE)，以 bca (bias-corrected and accelerated) 方式計算信賴區間。我們選出迴歸係數 (op=='') 或是定義參數 (op==':=')，再依序輸出效果名稱、估計值、標準誤、p 值以及信賴區間。

R 程式碼 5.10

```
#程式報表5.6，以拔靴法看徑路係數與中介效果信賴區間
set.seed(1234)
fit <- lavaan::sem(model1, data=dta, test="bootstrap", bootstrap=501)
parameterEstimates(fit,ci=TRUE,boot.ci.type="bca.simple")|>
  filter(op == ":= " | op == "~") |>
  select(label, est, se, pvalue,contains("ci"))
```

程式報表 5.6 呈現三個迴歸係數，三個定義參數的估計值等，並包含拔靴法所得信賴區間，其中 c (直接效果) 的信賴區間包含 0，並不顯著，其餘五個參數的信賴區間都沒包括 0，都顯著。

程式報表 5.5 是基於大樣本假設下的檢定，程式報表 5.6 則在不需要大樣本假設下進行拔靴法，在本例中，兩者所得結果非常接近，這是因為本例樣本數為 2000，樣本數算大。如果在樣本數較小的情形下，兩者差異可能就比較大。

R 程式報表 5.6

label	est	se	pvalue	ci.lower	ci.upper
1 c	0.106	0.055	0.054	-0.002	0.214
2 b	1.978	0.102	0.000	1.779	2.178
3 a	0.030	0.012	0.012	0.007	0.054
4 indirect	0.060	0.024	0.013	0.013	0.107
5 total	0.166	0.060	0.006	0.049	0.284
6 proportion	0.361	0.152	0.018	0.063	0.658

程式碼 5.11 繪製包含所得結果的徑路圖 (path diagram)。我們使用 lavaanPlot 套件的同名功能，讀進剛剛所得的模型結果 (fit)，將連接線設為灰色，顯示係數 (coefs=TRUE)，也標準化 (stand=TRUE)。

我們將圖命名為 pl_01，並將之存為 PNG 圖檔 (或 PDF)。

R 程式碼 5.11

```
#圖5.5，畫圖看模型與估計值
pl_01 <- lavaanPlot::lavaanPlot(model = fit,
  edge_options = list(color = "grey"), coefs = TRUE, stand = TRUE)
#將圖存為 pdf
# lavaanPlot::embed_plot_pdf(pl_01, "figure/plot_01.pdf")
#將圖存為 .png
lavaanPlot::save_png(pl_01, "figure/plot_01.png")
```

圖 5.5 顯示徑路圖，並加上估計的係數。變項都以方框表示，共有三個。其中的箭頭線段表示影響 (相當於模型中的 \sim)，標準化迴歸係數則標示在旁。箭頭線段如我們所設定，是灰色的。

程式碼 5.12 則在剛剛的模型上，再加入性別與年齡作為解釋變項。模型字串前兩部份仍對應於迴歸式，只是解釋變項更多，我們也對更多迴歸係數加了代號標示。由於在此模型中，我們都設定體指數、性別與年齡可能直接影響憂鬱，也影響被霸凌，因此，總共有三個可能的中介效果。程式碼在此則以體指數以及性別為例，呈現中介效果、總效果與中介效果佔總效果比率。

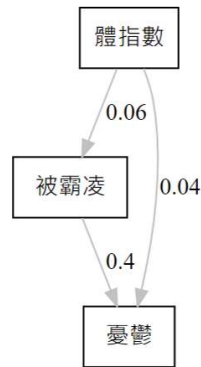


圖 5.5 中介模型徑路圖

程式碼 5.12 呈現結果時，將參數區分為模型中的迴歸係數與定義參數，分別呈現在報表 5.7 與程式報表 5.8。

R 程式碼 5.12

```
model2 <- '  
  憂鬱 ~ c1*體指數 + c2*性別+ b*被霸凌+ d2*年齡  
  被霸凌 ~ a1*體指數 + a2*性別 + d1*年齡  
  indirect_體指數 := a1*b  
  total_體指數 := c1 + (a1*b)  
  proportion_體指數 := indirect_體指數/total_體指數  
  indirect_性別 := a2*b  
  total_性別 := c2 + (a2*b)  
  proportion_性別 := indirect_性別/total_性別  
,  
fit <- lavaan::sem(model2, data=dta)  
  
#程式報表5.7  
parameterEstimates(fit) |>  
  filter(op == "~") |>  
  select(label, est, se, pvalue,contains("ci"))  
  
#程式報表5.8  
parameterEstimates(fit) |>  
  filter(op == ":=") |>  
  select(label, est, se, pvalue,contains("ci"))
```

程式報表 5.7 呈現迴歸係數的代號、估計值、標準誤、p 值與信賴區間上下界。可以看到，體指數對憂鬱的直接效果 (c1) 不顯著，但對被霸凌的效果 (a1) 顯著，而性別正好相反，對憂鬱的直接效果 (c2) 顯著，但對被霸凌效果 (a2) 則不顯著。

R 程式報表 5.7

label	est	se	pvalue	ci.lower	ci.upper
1 c1	0.095	0.055	0.087	-0.014	0.203
2 c2	-1.741	0.406	0.000	-2.537	-0.945
3 b	2.052	0.101	0.000	1.853	2.250
4 d2	0.719	0.113	0.000	0.497	0.940
5 a1	0.043	0.012	0.000	0.019	0.066
6 a2	-0.173	0.090	0.054	-0.348	0.003
7 d1	-0.155	0.025	0.000	-0.204	-0.107

程式報表 5.8 顯示定義參數的代號、估計值等等。體指數的中介效果顯著，信賴區間不包括 0，佔整體效果的 47.9%。性別的中介效果不顯著，信賴區間包括 0，中介效果佔總效果的 16.9%。

將程式報表 5.8 與程式報表 5.5、5.6 對照，可以發現，在考慮性別下，體指數的直接效果雖然也變大，但中介效果佔總效果的比率，則由 36.1% 上升到 47.9%。

R 程式報表 5.8

label	est	se	pvalue	ci.lower	ci.upper
1 indirect_體指數	0.087	0.025	0.001	0.038	0.137
2 total_體指數	0.182	0.061	0.003	0.063	0.301
3 proportion_體指數	0.479	0.164	0.003	0.159	0.800
4 indirect_性別	-0.354	0.185	0.055	-0.716	0.008
5 total_性別	-2.095	0.446	0.000	-2.969	-1.222
6 proportion_性別	0.169	0.080	0.035	0.012	0.327

程式碼 5.13 幾乎與程式碼 5.10 相同，都在執行拔靴法，只是程式碼 5.13 區分參數呈現兩個表格。

R 程式碼 5.13

```
#以拔靴法看徑路係數與中介效果信賴區間
set.seed(1234)
fit <- lavaan::sem(model2, data=dta, test="bootstrap", bootstrap=501)

#程式報表5.9
parameterEstimates(fit,ci=TRUE,boot.ci.type="bca.simple")|>
  filter(op == "~") |>
  select(label, est, se, pvalue,contains("ci"))

#程式報表5.10
parameterEstimates(fit,ci=TRUE,boot.ci.type="bca.simple")|>
  filter(op == "=:") |>
  select(label, est, se, pvalue,contains("ci"))
```

程式報表 5.9 呈現迴歸係數的代號、估計值、標準誤、p 值與信賴區間上下界。可以看到所得結果與 5.7 非常類似，體指數對憂鬱的直接效果 (c1) 不顯著，但對被霸凌的效果 (a1) 顯著，而性別正好相反，對憂鬱的直接效果 (c2) 顯著，但對被霸凌效果 (a2) 則不顯著。

R 程式報表 5.9

	label	est	se	pvalue	ci.lower	ci.upper
1	c1	0.095	0.055	0.087	-0.014	0.203
2	c2	-1.741	0.406	0.000	-2.537	-0.945
3	b	2.052	0.101	0.000	1.853	2.250
4	d2	0.719	0.113	0.000	0.497	0.940
5	a1	0.043	0.012	0.000	0.019	0.066
6	a2	-0.173	0.090	0.054	-0.348	0.003
7	d1	-0.155	0.025	0.000	-0.204	-0.107

程式報表 5.10 顯示定義參數的代號、估計值等等。與程式報表 5.8 結果一致，體指數的中介效果顯著，信賴區間不包括 0，佔整體效果的 47.9%。性別的中介效果不顯著，信賴區間包括 0，中介效果佔總效果的 16.9%。

R 程式報表 5.10

label	est	se	pvalue	ci.lower	ci.upper
1 indirect_體指數	0.087	0.025	0.001	0.038	0.137
2 total_體指數	0.182	0.061	0.003	0.063	0.301
3 proportion_體指數	0.479	0.164	0.003	0.159	0.800
4 indirect_性別	-0.354	0.185	0.055	-0.716	0.008
5 total_性別	-2.095	0.446	0.000	-2.969	-1.222
6 proportion_性別	0.169	0.080	0.035	0.012	0.327

程式碼 5.14 幾乎與 5.11 相同，只是繪製模型不同，另外，圖的命名也不同。

R 程式碼 5.14

```
#圖5.6，畫圖看模型與估計值
pl_02 <- lavaanPlot::lavaanPlot(model = fit,
  edge_options = list(color = "grey"), coefs = TRUE, stand = TRUE)
lavaanPlot::save_png(pl_02, "figure/plot_02.png")
```

圖 5.6 顯示模型的徑路圖，並包含估計的係數。可以看到，相較於圖 5.5，變項則多了性別與年齡。

本章小結

中介歷程是社會科學中用來瞭解現象、或是問問題的架構，當知道 X 影響到 Y 時，我們可以進一步追問 X 如何影響到 Y。如

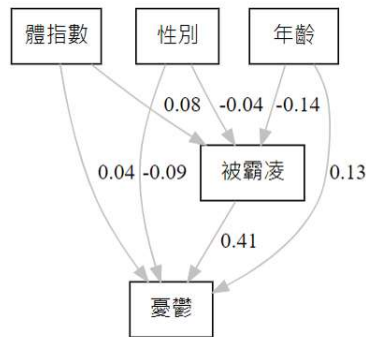


圖 5.6 中介模型徑路圖

果找到 X 與 Y 的中介變項 M，而知道 X 影響到 M、而 M 影響到 Y，我們就知道了 X 影響 Y 的路徑，回答了如何的問題。中介效果的分析方法很多，目前文獻中多建議以間接效果法，特別是拔靴法進行分析。

習題

1、理性行為理論（計畫行為理論）的中介歷程。

理性行為理論主張信念、價值影響了態度，進而決定行為意圖，套件 QuantPsyc 提供了基於理性行為理論的一份模擬資料。

- (1) 請載入 QuantPsyc，以 `data(tra)` 讀進資料，描述四個變項的平均數、標準差與兩兩變項的相關係數。
- (2) 請以四步驟法，檢驗態度是否是信念與行為意圖的中介變項。
- (3) 請以徑路分析方式，在控制價值下，檢驗態度是否是信念與行為

意圖的中介變項。

(4) 呈 (3)，請以拔靴法，計算中介效果、總效果以及中介效果佔總效果比率。

(5) 呈 (3)，請繪製徑路圖。

2、數學興趣、數學分數與數學信心。

第四章資料包含數學興趣、數學分數與數學信心。

(1) 請以四步驟法，檢驗數學興趣影響數學分數，進而影響數學信心的中介歷程模型。

(2) 請以四步驟之模型四，繪製部份殘差圖。

(3) 請以徑路分析方式，檢驗數學興趣與數學價值共同影響數學分數，進而影響數學信心的中介歷程模型。

(4) 呈 (3)，請以拔靴法，計算數學興趣與數學價值各自的中介效果、總效果以及中介效果佔總效果比率。

(5) 呈 (3)，請繪製徑路圖。

參考文獻

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 1173-1182.

Yen, C. F., Liu, T. L., Ko, C. H., Wu, Y. Y., & Cheng, C. P. (2014). Mediating effects of bullying involvement on the relationship of body mass index with social phobia, depression, suicidality, and self-esteem and sex differences in adolescents in Taiwan. *Child abuse & neglect, 38*, 517-526.