

# 核能發電之能源風險態度實證分析

王京明<sup>1\*</sup>

## 摘要

本文針對民眾透過問卷調查其對核能發電的風險態度，並應用預期效用理論之風險貼水與等值現金概念，分析民眾對於核能電廠發展所持的風險態度。研究發現不論贊成或是反對核電發展者，幾乎所有受訪者對核電發展之風險態度都是屬於風險趨避；在各種設想預期所得情境水準下，反對核電者都較贊成者更為風險趨避。在較低的預期所得水準的假設情況下，贊成者較不規避「廢止核電」的風險，而反對者卻較規避「發展核電」的風險；但在較高設想預期所得的假設情況下則相反。在願意支付金額以避免風險所帶來可能損失的痛苦方面，反核者的願付金額明顯高於贊成核電發展者之願付金額。因此，核電反對者相對於贊成者，更懼怕其所面對的風險。

**關鍵詞：**預期效用理論、風險態度、風險貼水、等值現金、核電風險

## 1. 緣起及目的

能源供給之風險議題近來已成為社會關注的焦點，能源安全對於國家安全影響更是重大，而兼顧能源之供應與安全並符合環境及經濟永續發展需求的能源決策便極為重要，因此，決策者與社會大眾對於能源風險認知(risk perception)與態度(attitude)對於能源政策之形成便具有舉足輕重的影響力。由於能源具有稀缺性以及能源價格具有波動性，而效用函數用以衡量人們在特定財富水準下的滿足程度亦因能源價格的波動影響財富而產生變動，因此本研究擬依據經濟學之風險與不確定情況下之效用決策理論，以核能電廠的設置發展為例，透過問卷方式，調查受訪者面對風險的願付價格，據以計算受訪者的確定等值金額(cash certainty equivalent; CE)，作為其面臨風險之成本亦即風險貼水(risk premium)的操作性定義，來探討社

會大眾對於核能發電廠設置的風險態度，並探討如何將相關的風險態度納入效用函數以建立決策管理的分析依據，提供國家能源政策的決策者作為能源風險決策管理與民眾溝通之參考工具。

以下本文首先進行相關文獻之探討，其次說明本研究之問卷調查設計與內容和研究方法，第四節則對於問卷調查之結果進行統計分析並進行風險貼水與等值現金之推估以分析大眾之能源風險態度，最後則提出結論與建議供能源決策者參考。

## 2. 文獻探討

有關預期效用理論與風險決策的理論文獻，主要為Pratt (1964)探討風險決策理論的經典著作，作者由效用理論推導風險趨避態度(risk aversion)的衡量，以及風險貼水或保險貼

<sup>1</sup>財團法人中華經濟研究院研究員

\*通訊作者, 電話: 02- 2735-6006 #502, E-mail: kimmie@cier.edu.tw

收到日期: 2017年04月14日

修正日期: 2017年08月14日

接受日期: 2017年08月30日

水的公式推導，同時亦對等值現金的概念提出定義。等值現金係指在風險的情況下個人為達到期望的效用水準所要求保證確定的所得水準，若某人的效用函數為 $U(Y)$ ，而在一風險情況下他的效用之期望值為 $E(U(Y))$ ，則若存在一個等值現金CE值能夠滿足效用 $U(CE) = E(U(Y))$ ，則稱CE為某人在該風險賭局中的確定等值。並且， $CE = [\text{期望報酬} - \text{風險貼水}]$ 。

如圖1所示， $p$ 及 $1-p$ 分別表示特定前景或賭注下，狀態1及狀態3的發生機率，決策者的確定效用函數假設為上凸(concavity downward)的型態，則期望支付或預期所得 $Y_2 = E(Y) = pY_1 + (1-p)Y_3$ 的確定效用水準為 $U[E(Y)]$ ，則狀態1之所得 $Y_1$ 的效用為 $U(Y_1)$ ，狀態2之所得 $Y_2$ 的效用為 $U(Y_2)$ ，其效用期望值 $E[U(Y_2)]$ 落在E點，狀態3之所得 $Y_3$ 的效用為 $U(Y_3)$ ，其效用期望值 $E[U(Y_3)]$ 落在B點。不同所得及其機率，各自對應不同的效用期望值，於座標上沒有明確的軌跡，但每個不確定所得的效用期望值 $E[U(a)]$ 都可對應到一個相同的確定效用水準，如圖中的效用期望值E點對應到確定效用的B點。由於此上凸效用函數的數學性質表示決策者是風險趨避，亦即當所得增加一單位所增加的效用會比所得損失一單位減損的效用來得小，換言之決策者面對具有風險的前景或賭注時，願意支付「正值」的風險成本(亦即風險貼水 $(\overline{CD})$ 來維

持同一水準無風險情況下CE等值現金的預期效用。

Pratt經由對預期效用函數進行二階泰勒展開，首先提出絕對風險趨避的量測指標，其絕對風險趨避函數(absolute risk aversion, ARA)為：

$$ARA(Y) = -\frac{U''(Y)}{U'(Y)} = -\frac{d \ln U'(Y)}{dY} \quad (1)$$

並由其二階泰勒展開可知，當 $ARA > 0$ 為風險趨避， $ARA < 0$ 為風險愛好； $ARA = 0$ 為風險中立。

在實證的分析方面，Binswanger (1980)採預期效用理論，以情境與實境並存的實驗控制設計方式對印度北方330戶農民進行了風險態度的實證研究，利用問卷面訪調查的方式透過風險賭注等值現金的概念，推導出受訪者的風險態度，而實境實驗設計則以設計的賭注和真實的報酬支付來進行農民風險態度的揭露，真實報酬支付的額度設定於超過受訪者平均每月所得，以避免賭注籌碼過小的批評和誤差。研究結果發現情境面訪的方法所導出的風險態度與實境實驗的結果不相一致，情境面訪且易受訪問員的訪問技巧之偏誤影響。實境實驗設計的統計結果相當一致，在高報酬支付的水準上，幾乎所有的農民都是中等程度的風險趨避者，且不被受訪者的其他社經條件或本身特質變數所影響。財富水準經實證量測的結果顯示可降

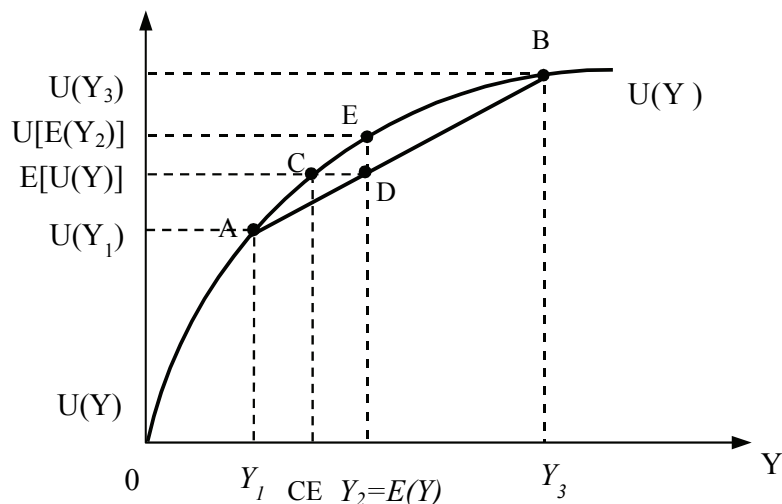


圖1 預期效用函數的圖示說明(本研究繪製)

低農民的風險趨避程度，但在統計上並不顯著。

另外，Bond and Wonder (1980)依據預期效用理論(Von Neumann and Morgenstern, 1953；Arrow, 1964；Arrow, 1970；Pratt, 1964)，指出決策個體效用函數的曲度特性即代表該主體的風險態度，而該效用函數的曲度可透過絕對趨避風險函數衡量，換言之，作者主張若一個風險賭注的統計特性以及決策者的偏好序列為已知的情況，那麼其風險態度便可進行統計推估揭示。Bond用問卷設計的方式導出澳洲農民心中面對各種風險賭注下的等值現金，以推估澳洲農民的風險態度。研究結果發現絕大多數的農民為些微的風險趨避，但亦有相當程度數目的風險中性者和風險愛好者，此外亦有為數不少風險趨避與風險愛好同時存在者，對於同一決策個體風險趨避與風險愛好同時並存的現象並未多加解釋，而直覺認為可能為問卷設計不周或訪員訪問技巧偏誤所致。Bond的重大貢獻在於將風險決策理論透過實證分析導出農民的風險態度，此外亦透過等值現金的概念將絕對風險趨避係數如何整合融入了數理規劃的模型提出重要概念構想，將原本只存在於理論模型中無法直接衡量的效用目標函數轉換為在實證研究上可以現金單位衡量的等值現金目標函數如下：

令 $x_0$ 為等值現金，則在此時的效用為

$$u(x_0) = E[U(x)] \quad (2)$$

若 $x^*$ 為風險賭注的平均報酬支付，則風險貼水 $\pi$ 為

$$\pi = x^* - x_0 \quad (3)$$

故

$$u(x^* - \pi) = E[u(x)] \quad (4)$$

解出(4)式中的 $\pi$ 可得

$$\pi = x^* + u^{-1}(E[u(x)]) \quad (5)$$

由於(5)式難以以數字形式代入，因此依據Pratt (1964)與Malinvaud (1972)的方法，可用下式來趨近(4)式

$$\pi \cong -1/2 \times V[x] u''(x^*) / u'(x^*) \quad (6)$$

由(3)式可知 $x_0 = x^* - \pi$ ，故預期效用最大化的目標函數下可轉換為等值現金的最大化目標(max  $x_0$ )如下：

$$\max x_0 = \max \left[ x^* + \frac{1}{2} V[x] u''(x^*) / u'(x^*) \right] \quad (7)$$

而由(3)與(6)式，可得絕對風險趨避係數為

$$\frac{u''(x^*)}{u'(x^*)} = -2(x^* - x_0) / V[x] \quad (8)$$

由於預期效用函數的推導遭受到受訪者可能厭惡賭博或偏愛某種數值的機率的影響，因此Binici *et al.* (2003)採用了修正模式：均等等值現金模式或稱ELCE (equally likely certainty equivalent model：ELCE)模式，在此模式下，受訪者將面對一系列的均等機率賭局設計並回答心中的相對應等值現金，並藉此等值現金數值導出受訪者的風險效用函數。ELCE的推導步驟如下：

設計兩個均等機率賭局狀態事件S1、S2，並給予支付數值(payoff)，例如：假設均等賭局為(0, 1000；0.5, 0.5)表示狀態S1發生可獲得0元支付，S2發生可獲得1000元支付，各狀態發生的機率 $p$ 為1/2。

其次，詢問受訪者面對此均等機率賭局狀態事件S1、S2下心中的等值現金CE，假設受訪者面對上開賭局的CE為450元，那麼以數學式可表示為：

均等賭局為(0, 1000；0.5, 0.5) = CE (450, 1)，亦即受訪者選擇有風險的均等賭局與無風險的CE在效用上完全相同並無差異。因此，計算第一階段效用高低排序的數值

$$p \times u(0) + (1 - p) \times u(1000) = u(450) \quad (9)$$

計算效用函數上的軌跡。首先常態化效用函數在均等賭局支付下的排序數值(ordinal scale

ranking)使介於[0, 1]之間，再由連續性定理導出CE的排序效用數值；例如依據(9)式：

若  $u(0)=0$  且  $u(1000)=1$ ,

則  $u(450)=0.5u(0)+0.5u(1000)=0.5$

以後依此類推，循下列作業演算程序推導效用函數：

1. 重新設計均等賭局，再詢問第二階段的CE並計算其效用排序數值

比照第一階段重新設計均等賭局，將第一階段的CE假設為新賭注下最高支付，然後詢問相對應的CE，假設受訪者回答第二階段CE為215元，其效用排序數值表示如下： $u(215)=0.5u(0)+0.5u(450)=0+0.25=0.25$

2. 仿照第二階段，重新設計均等賭局，再詢問第三階段的CE (假設為100元)和得出其效用排序數值=0.125

完成第三階段後，我們可得到5個效用排序的數值分別為：

$u(0)=0$ ,  $u(100)=0.125$ ,  $u(215)=0.25$ ,  $u(450)=0.5$  &  $u(1000)=1$

3. 仿照1、2、3階段計算介於450元與1000元中間的效用排序數值與相對應的CE，例如詢問受訪者CE =  $0.5u(450)+0.5u(1000)$ ，假設受訪者回答CE = 700，那麼再問介於700元與1000元間的CE和效用排序數值如此可得出另外一個效用排序數值。

4. 將以上的步驟與結果整理成標準作業演算程序表則可完成ELCE程序的效用函數揭露法，如表1所示。

5. 完成ELCE揭露程序後即可進行受訪者效用函

數與風險態度的推估。

當完成了ELCE的表1程序後，可以得到7個CE數值與相對應的效用排序值，然後可以將效用值對CE進行效用函數的迴歸配適推估。

此外，作者亦對農民風險態度與社經因子採用邏輯式模式(a logit model)進行統計相關的檢定，研究結果發現年齡與教育程度兩變數與風險趨避程度有顯著相關，年齡越大越保守風險趨避程度加大，而教育程度則與風險趨避程度相反，教育程度越高風險趨避程度越低，至於所得或資產對風險趨避程度的影響統計上並不顯著，但一般是呈現負相關的情況，亦即所得高的人較所得低的人來得風險趨避程度較低。

前述的文獻主要是建立在傳統的經濟學以預期效用的方法，來分析風險與不確定情況下的決策。但近數十年來，大量的研究顯示在實際決策中，人們的決策行為有時常違反依據預期效用理論所做的決策(楊秉訓，2013)。例如，Kahneman and Tversky (1979)以大學教授和學生為基礎進行問卷調查，發現大部份受訪者的回答顯示許多偏好行為違反預期效用理論的現象，並據此提出前景理論(prospect theory)指出預期效用理論無法完全描述個人在不確定情況下的決策行為。

例如，Tversky and Kahneman (1981)依據實際的實驗結果亦發現，當以獲利的方式提問時，人們傾向於避免風險；當以損失的方式提問時，人們傾向於冒風險，亦即，儘管得失的期望值相同，但人們會因為提問的方式呈現出

表1 ELCE下的效用函數揭露標準程序(本研究整理)

步驟	CE揭露推導	效用值計算
1	效用常態化排序設定	$U(f)=0$ ; $U(z)=1$
2	$(f, z; 0.5, 0.5) = (y; 1)$	$U(y) = 0.5U(f) + 0.5U(z) = 0.5$
3	$(f, y; 0.5, 0.5) = (h; 1)$	$U(h) = 0.5U(f) + 0.5U(y) = 0.25$
4	$(f, h; 0.5, 0.5) = (g; 1)$	$U(g) = 0.5U(f) + 0.5U(h) = 0.125$
5	$(z, y; 0.5, 0.5) = (j; 1)$	$U(j) = 0.5U(z) + 0.5U(y) = 0.75$
6	$(j, z; 0.5, 0.5) = (k; 1)$	$U(k) = 0.5U(z) + 0.5U(j) = 0.875$

資料來源：Binici *et al.* (2003)。



獲利面或損失面，而做出不同的決定，這與使用Von Neumann and Morgenstern (1953)期望效用理論的「無差異性公理(invariance axiom)」所推論的結果並不一致。從前景理論的角度來看，人們的決策行為有時常違反依據預期效用理論所做的決策，個人會因為問題描述方式的不同而有不同的選擇，再從前景理論的結論可知，獲利或損失的情況以及發生機率的高低，亦會改變個人的風險態度，亦即，問卷的形式與問法和機率的設定都會影響受試者的風險偏好，因此本研究針對有利與不利的賭局分開設計問題，並探討兩種問法的結論是否一致。

在有關核電的願付電價研究方面，曾家宏(2015)對臺灣電力使用者進行願付價格的量化調查研究，作者參考「2050計算器」的方式設立「臺灣能源配比與願付價格線上調查平台」，對民眾進行電力暨綠色電力願付價格之網路調查研究。研究分為四大情境，分別為無資訊前提情境、再生能源極大化情境、非核情境與自主情境，其中非核情境願付價格的調查結果發現有呈現出區域性的差異，願付價格最高至最低依序為東、北、中、南部地區，其中最高的東臺灣與最低的南臺灣受訪者，其電力願付價格相差達平均每度0.16元。整體而言，非核之願付價格與線上調查平台計算器上給出的參考價格相比，只有22%的樣本受訪者願意比計算器給出的參考電力價格提供較高的願付價格，平均高出0.5元/度以上，這些願付較高價格者的2014平均年收入比較低者多出7萬元。

Liao *et al.* (2010)調查臺灣民眾在減緩氣候變遷風險目的下，願意增加核能發電比例或是藉由增加再生能源並降低核能發電比例的每年願付價格，其研究發現增加核電佔比的願付價格為每人每年146.31美元，而減少核電佔比願付價格則較高，為每人每年164.85美元。Sun and Zhu (2014)分析中國民眾核電鄰避效應(not in my back yard: NIMBY)的每年願付價格，其研究將受訪者分為兩組，一組為有提供事前資訊，說明核電知識，包括核電正面優點、負面

風險及發展現況，另一組則不提供資訊。研究結果顯示未提供資訊的受訪者對於避免核電廠成為鄰避設施的願付價值116.6美元/每人每年，顯著高於有提供事前資訊者的80.11美元/每人每年，平均約高出45%的價值。此外，該研究亦彙整了其他國家關於核電願付價格研究的金額，如南韓為了降低20%的核電輻射風險，每人每年願付價值為165.89美元；日本為降低核災的死亡率每人每年願付價值為294美元等。

### 3. 研究方法

在研究方法上，本文首先參考Binici *et al.* (2003)的方法來進行問卷的設計，在調查完成後，進行敘述性的統計分析，再依據Bond and Wonder (1980)的「標準參考合約」方法計算等值現金與風險趨避係數，以下詳述之。

#### 3.1 問卷調查方式

為了進行分析民眾對能源風險的態度，我們採用統計問卷調查的方式，仿效Bond的問卷設計技巧，以Von Neumann–Morgenstern效用定理之精神設計問卷，透過將問卷附加於資訊工業策進會2015年10月9日至10月30日進行的「我國民眾電力願付價格調查」大型調查計畫，進行民眾風險態度的調查與分析(行政院原能會核研所，2016)。該調查計畫係為建立電力願付價格與能源認知之網路互動式調查平台的方式進行全國調查，目的為研析我國民眾對電力暨綠色電力的願付價格。

#### 3.2 釐清民眾對於核能發電的風險態度之問卷內容

由於能源的議題面向很廣，風險議題的範圍也包括廣泛，從能源的開採、運送、利用、轉換、分配到用戶使用以及使用消費後所產生的資源回收和廢料排放處理都是風險可能發生的範疇。為了聚焦也為了引起民眾的關心，我們選取了國內最關心的核能發電議題作為此次

風險態度調查的主題。但本研究並非針對核能存廢也不是探討核能發電的風險，而是要說明如何藉由核能的議題來衡量與導出民眾的能源風險態度，而核能發電續用與否的問卷設計只是我們用來說明民眾能源風險態度的揭露方式。以下說明本研究所設計的「標準參考合約」之風險態度調查問卷內容。

問卷首先說明：政府推動核能發電對於社會大眾的影響有利有弊是風險也是機會，其可能之利弊得失舉例如下：

利：1. 避免缺電對經濟衝擊之危機(可避免所得減少)

2. 避免電價上漲之趨勢(可避免實值所得減少)

3. 有助於我國經濟之長期發展(可使所得增加)

4. 有利於我國能源安全之保障(可使所得穩定與增加)

弊：1. 核廢料之儲存問題(全民須分擔社會成本，所得減少)

2. 核能災害發生之擔憂(間接造成所得減少)

3. 發生核能災害，使所得減少(直接造成所得減少)

4. 社會反核擁核對立，社會成本增加(間接造成所得減少)

為了瞭解與分析社會大眾對於發展核電的風險態度，我們將「核電發展續用」視為一種賭局，並設計如下的賭局情境，請受訪者依據其本身的看法來選擇參加哪一類賭局。

Q1：

假設政府在未來四年內有「可能」完成核四廠並啟封商轉，且其他核能電廠維持持續運轉，也「可能」廢止核電。請依據您個人的情況，在下面三個選項中選擇一個您覺得最接近您的觀點和看法(單選題)：

甲、發展核電產生正面利益的機會較大，會使你的年所得增加

(→跳答Q2-1、Q3) □

乙、發展核電產生負面風險的機會較大，會使你的年所得減少

(→跳答Q2-2、Q3) □

丙、正面與負面兩種情況發生的機率相同

(續答Q2-1、Q2-2、Q3) □

Q2-1：

試請想像您的所得分別為下列四種情況下，請完成以下四個賭局：如果繼續使用核電，有50%的機會可使您年所得不論是何級距皆可上升至100萬元水準，也有50%的機會所得不會變動。假若政府打算廢止核電，您願意每年最多付出多少錢以換取政府能發展核電？

1. 在年所得30萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

2. 在年所得50萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

3. 在年所得70萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

4. 在年所得90萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

Q2-2：

試請想像您的年所得分別為下列四種情況下，請完成以下四個賭局：如果繼續使用核電，有50%的機會可使您年所得不論是何級距皆可減少至20萬元水準，也有50%的機會所得不會變動。假若政府打算繼續發展核電，您願意每年最多付出多少錢以換取能終止核電？

1. 在年所得30萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

2. 在年所得50萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

3. 在年所得70萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

4. 在年所得90萬時，您願意每年支付金額.....(萬元)

Q3：如果您是運轉中核電廠3公里內的住戶，您希望個人每年能獲得多少的回饋補償？

### 3.3 效用與風險係數揭露

我們以上的風險態度問卷實際上設計了兩系列的是否贊成核能續用的四種賭注( $2 \times 4$  risk prospects)，受訪者被要求選擇最貼切於自身情況風險認知的賭局。第一系列的賭局代表核能發電續用下所得有一半的機會會穩定不變但有一半的機會會增加；第二系列的賭局代表核能發電續用下所得有一半的機會穩定不變但也有一半機會減少；每個賭局下都設計了四種可下賭注(4 games)的賭盤，第一系列下賭局的賭盤若以數學式展現，如下：

$$Y = (x_1, x_2; 0.5, 0.5) \quad (10)$$

(10)式中 $x_2$ 固定在一百萬元， $x_1$ 則選定在30萬元，50萬元，70萬元，90萬元四種所得水準；0.5與0.5分別為其輸贏機率 $P(x_1) + P(x_2) = 1$ 。

問卷要求受訪者針對每一項賭盤下注(也就是回答心中的風險貼水或資訊價值)；例如針對系列1賭盤1的受訪者下注為10萬元，表示如下：

$$Y_1 = (30\text{萬元}, 1\text{百萬元}; 0.5, 0.5),$$

由受訪者的回答可計算其風險貼水 $RP = 10$ 萬元，估算其等值現金 $CE_1 = 55$ 萬元。由此可知受訪者是風險趨避，此賭注的平均報酬為65萬元， $CE$ 為55萬元，風險貼水為10萬元。

第二系列下賭局的賭盤若以數學式展現，如下：

$$Y = (x_1, x_2; 0.5, 0.5)$$

式中 $X_1$ 固定在20萬元， $X_2$ 則選定在30萬元，50萬元，70萬元，90萬元四種所得水準；0.5與0.5分別為其輸贏機率 $P(x_1) + P(x_2) = 1$ 。

同樣地，若受訪者同時選有利與不利賭局，則分開處理計算。針對每一位受訪者的賭注下注情況，我們可採用公式(8)計算揭露其風險係數，並依據(6)式計算風險貼水( $\pi$ )及等值現金( $x_0$ )。

## 4. 調查結果與討論

本節首先將針對調查結果進行敘述性統計分析，其次分析贊成與反對者之風險貼水、檢定兩者願支付金額之差異並計算風險係數，最後則針對贊成與反對者的等值現金與回饋金要求進行分析。

### 4.1 統計資料分析

此次調查透過資策會之「我國民眾電力願付價格調查」以附加問卷的方式進行調查，結果有效回收樣本數為1,059份，其中贊成核電者為443份(41.83%)，反對核電者為453份(42.78%)，不確定者為163份(15.39%)。以下為受訪者的屬性(年齡、所得、婚姻、性別與地區)與對核電態度的交叉分析情形。

#### (1) 年齡分布

圖2顯示受訪者的年齡分布，平均為36歲，最年輕者為17歲，最年長者為65歲，以每10歲進行分類，則以介於31至40歲之間占42.87%最多，其次21至30歲之間占27.57%，41至50歲之間占19.92%。從圖3中可以發現在40歲以下皆以反對者之比率高於贊成者之比率，41歲以上則相反。

#### (2) 所得分布

圖3為受訪者所得分布情況，圖中可發現受訪者以年所得介於20~40萬者最多，其次為40~60萬者。進一步贊成與否，可以發覺反對核電發展最力者為年所得介於20~40萬的受訪者，占全體樣本的12.56%，就贊成者來看，以年所得介於40~60萬者占比最高，占全體樣本的9.07%。

#### (3) 婚姻狀況

本次受訪者已婚與未婚者各約占一半，分別約為46%與53%，如圖4所示，可以發現未婚者反對發展核電者略多於贊成者，而已婚者則相反，贊成者略多於反對者。

#### (4) 性別分布

就性別來分，女性受訪者占51.56%，男性

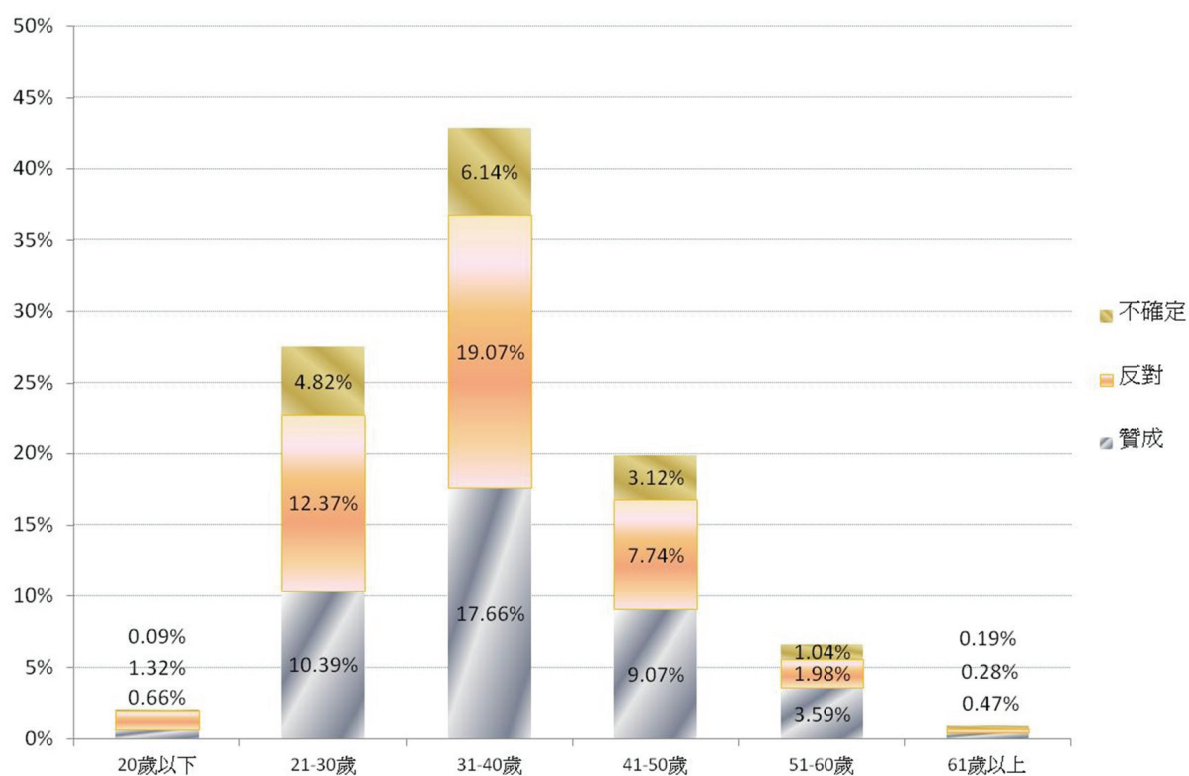


圖2 受訪者年齡分布(本研究繪製)

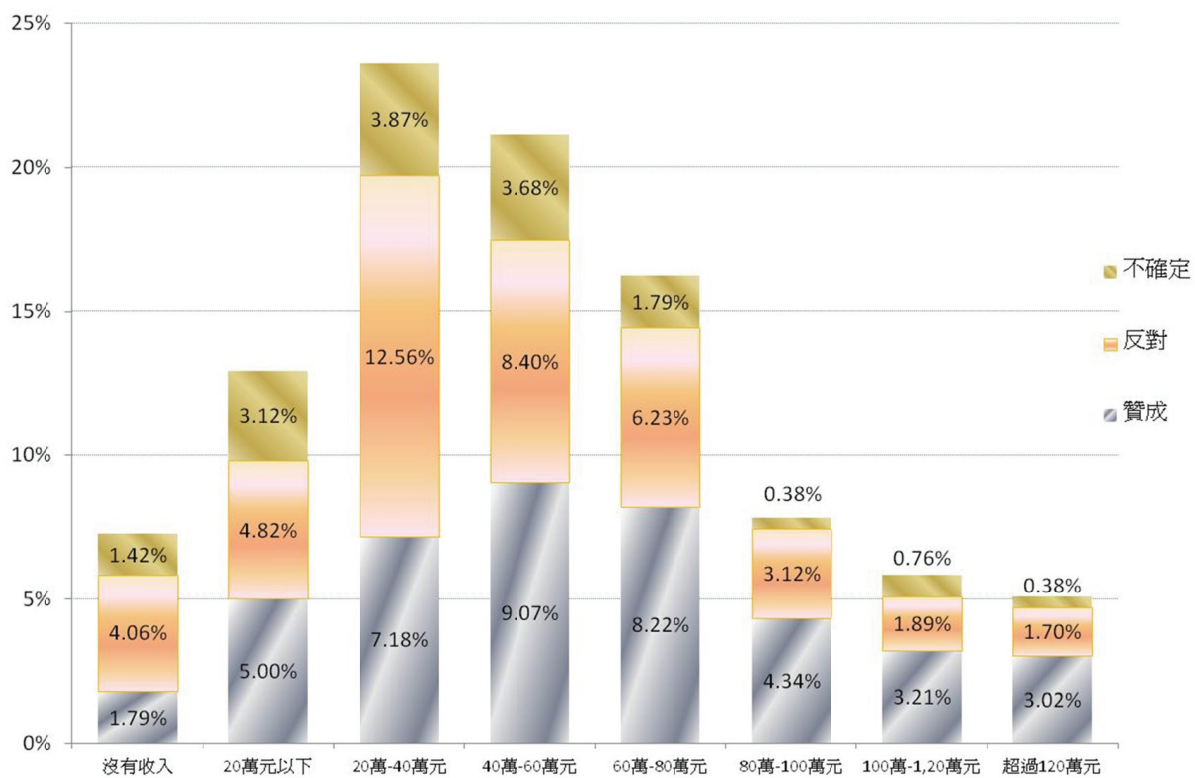


圖3 受訪者所得分布(本研究繪製)



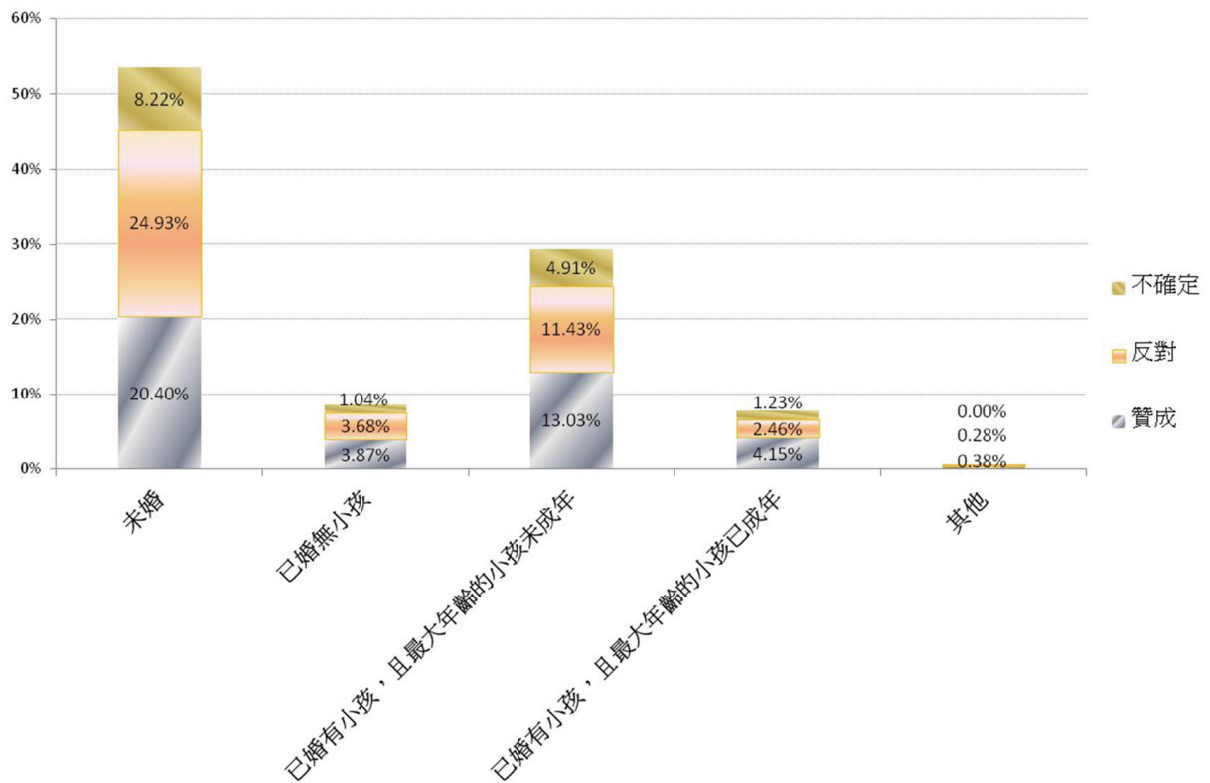


圖4 受訪者婚姻狀況(本研究繪製)

占48.44%，就贊成與否來看，女性受訪者中反對發展核電者高於贊成者，占全體受訪者分別

為24.17%與18.22%；男性則是贊成者略高於反對者，占比分別是23.61%與18.6%，如圖5。

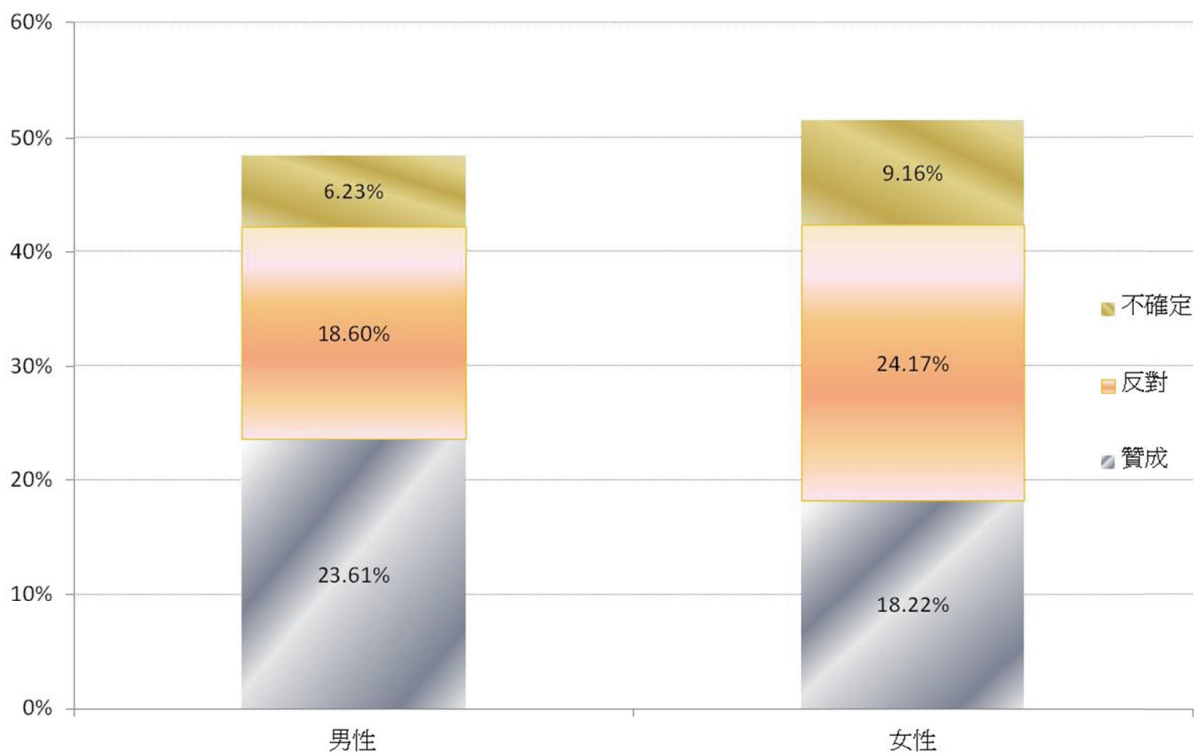


圖5 受訪者性別分布(本研究繪製)

#### (5) 地區分布

圖6為受訪者依據地區之分布，其中以北部地區(含新北市、臺北市、基隆、宜蘭)占比最高。從地區性來看，以高屏地區的反對比例遠高於其贊成比率，其次為中彰投及桃竹苗地區反對比率略高於贊成比率，其餘地區則為贊成者略高於反對者比率。

### 4.2 風險貼水分析

在1,059份回收問卷中回答核電風險態度的願付價值有效樣本數為899份，有160份拒答，在899份有效問卷中，其中填寫贊成核電發展

願支付金額之問卷共377人，占41.9%，填寫反對核電發展願支付金額之問卷共386人，占42.9%，無特定偏好者(同時填贊成與反對核電發展願支付金額之問卷者)共136人，占15.1%。

對於核電發展贊成者樣本377人而言，此處的風險是指贊成者將「廢止核電」這項政策視為風險。表2為贊成核電發展者樣本377人在其不同設想所得情境下願支付以換取政府「不要廢止核電」之金額統計，表中顯示贊成核電發展者，平均而言其願支付金額(亦即風險貼水)統計上皆顯著大於0，且隨設想預期所得的增加而增加；從變異係數CV (coefficient of

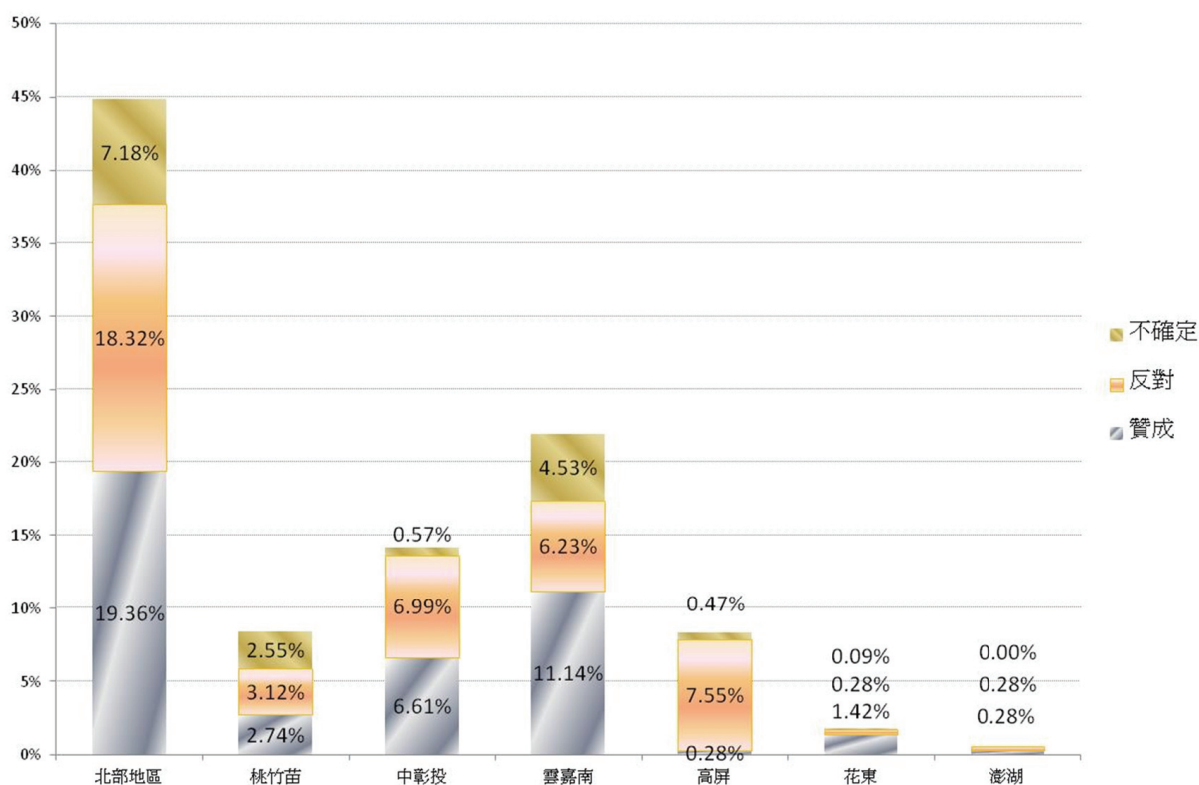


圖6 受訪者地區分布(本研究繪製)

表2 贊成核電發展者願支付金額統計(本研究整理)

單位：萬元

設想所得	平均支付	標準差	最小值	最大值	CV*	風險趨避係數
30萬	1.3597	2.0585	0	20	151%	-0.0022
50萬	2.2751	3.2067	0	20	141%	-0.0073
70萬	3.2329	4.6463	0	30	144%	-0.0287
90萬	4.6032	7.1885	0	50	156%	-0.3683

\*CV = SD/mean。

variation)來看，在設想所得情境最高(90萬元)的情況下願支付金額變異係數最大，變異係數次高是在設想所得情境最低(30萬元)的情況下。另外，從風險趨避係數來看，風險趨避程度(風險係數之絕對值)隨設想所得的增加而提高，顯示對於贊成者而言，設想預期所得愈高時，愈規避「廢止發展核電」之風險。

表3為反對核電發展者樣本386人願支付以換取政府能「廢止核電」之金額統計，亦即將政府續用核電視為是一種能源風險，同表2一樣，平均願支付金額統計上亦皆顯著大於0，且隨設想所得水準的增加而增加；從CV來看，在設想所得情境最低的情況下願支付金額的變異相對最大，這顯示對於反對者而言，當設想預期所得很低情況下，其願付金額的變異係數較大。另外，對於反對者而言，此處的風險是指反對者將「發展核電」這項政策視為風險。因此，從風險趨避係數來看，風險趨避程度隨設想預期所得的增加而下降，這顯示對於反對核電發展者而言，當設想預期所得較低時，愈規避發展核電這項風險。

綜合表2與表3來看，可以發現在各個設想預期所得水準下，反對者所需之風險貼水皆比贊成者高。若從風險趨避係數來看，則可以發

現在較低預期所得的情況下，受訪者較不規避「廢止核電」的風險，卻較規避「發展核電」的風險；但在較高預期所得的情況下則相反，亦即，在較高預期所得的情況下，較規避「廢止核電」的風險，但卻較不規避「發展核電」的風險。因此，似乎有「當預期所得較低時較為反對核電發展，而預期所得較高時較為反對廢止核電」之情形。

關於贊成者與反對核電發展者之願付金額是否具有顯著之差異，我們依據表2、3之結果進行差異性檢定，結果如表4所示。結果顯示在5%的顯著水準下(雙尾檢定臨界值為1.96)，不論何種所得水準，贊成者與反對者之願付金額都有顯著差異。

前述風險趨避係數為依照公式(8)計算而得，分母係採賭盤報酬之變異數，即對贊成者(反對者)而言，有二分一的可能所得變成100萬元(20萬元)及有二分一的可能所得維持在30萬元、50萬元、70萬元及90萬元的情形。然而由於受訪者本身有可能依據其目前本身之實際所得來填寫其願付金額，或因對設想預期所得變化的情形無實際感受，因而造成展望理論中的錨定效應(anchoring effect)，即「當人們需要對某個事件做定量估測時，會將某些特定數值

表3 反對核電發展者願支付金額統計(本研究整理)

單位：萬元

設想所得	平均支付	標準差	最小值	最大值	CV	風險趨避係數
30萬	1.7221	2.6019	0	25	151%	-0.1371
50萬	3.1595	4.4825	0	40	142%	-0.0279
70萬	4.8168	7.0818	0	65	147%	-0.0153
90萬	6.4872	9.2097	0	86	141%	-0.0105

表4 贊成、反對核電者願支付金額差異性檢定(本研究整理)

單位：萬元

所得水準	贊成者願付金額	反對者願付金額	差異性Z值	p-value
30萬	1.3597	1.7221	2.121	0.01697
50萬	2.2751	3.1595	3.116	0.00092
70萬	3.2329	4.8168	3.631	0.00014
90萬	4.6032	6.4872	3.131	0.00087

作為參考值，使該參考值像錨一樣制約著估測值，使其做決策時，不自覺地給予最初獲得的信息過多的重視與權重」。雖然我們無法確知此次問卷之受訪者是否有錨定效應，但為進行比較，我們將公式(8)的分母改為以全體樣本實際所得的變異數來計算，所計算之調整後風險趨避係數與原計算風險趨避係數進行比較於表5，提供讀者參考。

表5顯示調整後的風險趨避係數值隨所得之增加而增加，顯示當設想預期所得愈高時，欲規避其所面對的風險。另外，反對者之調整後的風險趨避係數值，在各設想預期所得水準情況下，皆大於贊成者之調整後的風險趨避係數，這顯示相對於贊成者擔心「廢止核電」的風險而言，反對者更加擔心「發展核電」的風險。我們亦檢定贊成者與反對者之風險趨避係數是否顯著異於0，於表5中之Z統計量可知，以5%的顯著水準下，不論是否贊成與否，受訪

民眾的風險係數皆顯著異於0，這表示受訪者皆為風險趨避者。接著我們再看反對者之風險趨避係數是否顯著大於贊成者，結果於表5最後一欄之Z檢定統計量顯示，反對者的風險趨避係數顯著大於贊成者。

表6顯示對核電發展無特定偏好者樣本136人在不同設想所得情境下願支付之金額統計，其顯示之結果如同表2或表3之情形，在所得較低時較不規避「廢止核電」的風險，但較規避「發展核電」之風險；在高預期所得情況則相反。

#### 4.3 贊成與反對者之確定等值現金分析

圖7將贊成發展核電者與反對發展者之確定等值現金繪於同一圖形進行比較，圖中縱軸為所得，橫軸為確定等值，圖7顯示，在任一所得下，反對者之確定等值都小於贊成者之確定

表5 風險趨避係數比較(本研究整理)

設想所得	贊成者			反對者			差異性檢定
	調整後係數	原係數	Z統計量	調整後係數	原係數	Z統計量	Z統計量
30萬	-0.0022	-0.0022	12.83	-0.0028	-0.1371	12.83	2.09
50萬	-0.0038	-0.0073	13.78	-0.0052	-0.0279	13.78	3.09
70萬	-0.0053	-0.0287	13.51	-0.0079	-0.0153	13.51	3.61
90萬	-0.0076	-0.3683	12.43	-0.0107	-0.0105	12.43	3.11

表6 對核電發展無特定偏好者願支付金額統計(本研究整理)

單位：萬元

設想所得	平均支付	標準差	最小值	最大值	CV	風險趨避係數
贊成						
30萬	1.4360	2.3454	0	20	163%	-0.0023
50萬	2.5009	4.9547	0	50	198%	-0.0080
70萬	3.6005	7.0730	0	70	196%	-0.0320
90萬	4.6252	8.0153	0	70	173%	-0.3700
反對						
30萬	1.1171	1.8218	0	15	163%	-0.0894
50萬	1.8133	2.7229	0	20	150%	-0.0161
70萬	2.5871	3.8961	0	30	150%	-0.0083
90萬	3.4778	5.1130	0	40	147%	-0.0057



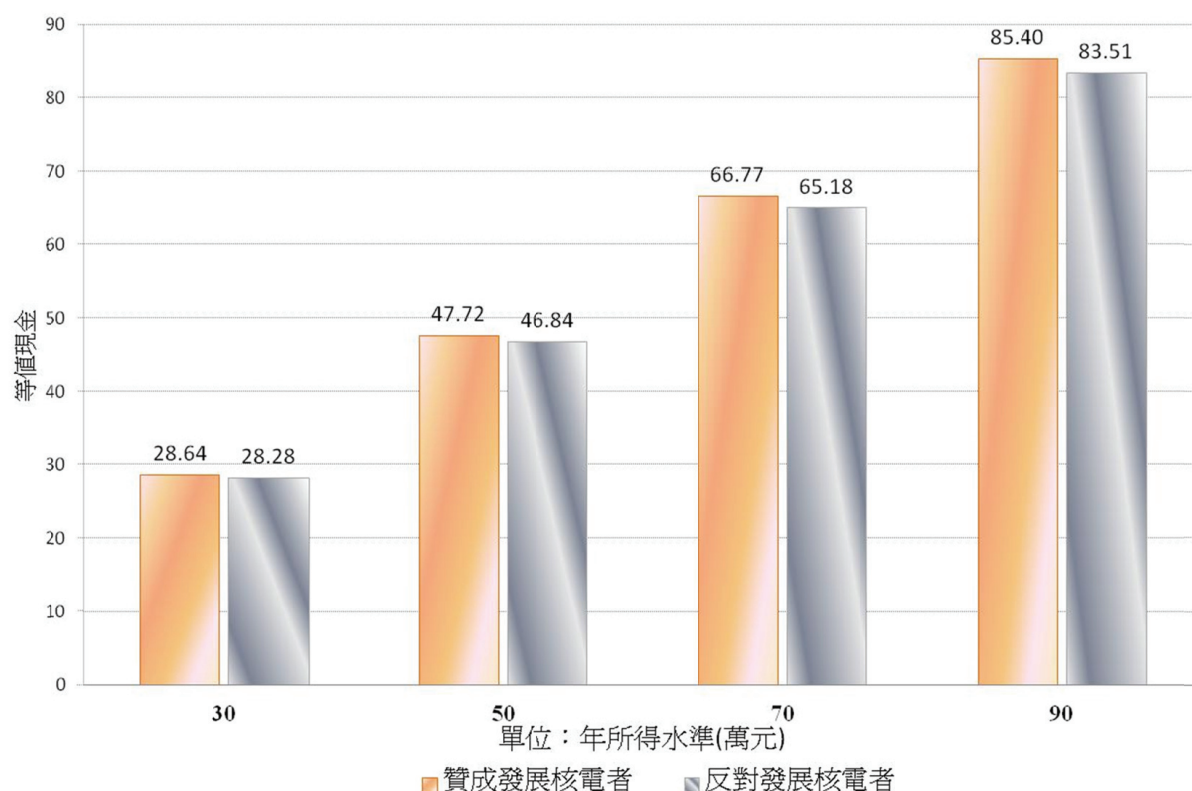


圖7 贊成與反對核電者之確定等值現金之比較(本研究繪製)

等值，這表示反對核電者寧願保有較低的確定所得水準以換取政府停止核電，意即，他們願意付出來換取政府廢止核電之支出金額高於贊成者願意付出以換取政府持續發展核電之支出金額。換言之，要使反對者支持發展核電所需給予之風險貼水，會高於要使贊成者支持廢止核電所需給予之風險貼水。反對者無論是在任何所得水準皆較贊成核電發展者更為保守，其風險效用函數所需的風險貼水較高，核電發展的客觀資訊價值對反對者而言較有價值。

依據展望理論決策者對於機率判斷的方式具有主觀權數函數的性質，決策者對不確定環境下的前景之評估，是依據利得或損失分別處理，當獲益時決策者的主觀價值或效用的增加幅度會小於損失時主觀價值或效用減少的幅度，亦即利得時的高興程度小於損失時的痛苦程度。在此次核電風險態度的調查問卷資料分析結果也進一步印證此一現象，依據我們調查

的結果，反核者的願付金額以避免進一步損失的痛苦明顯高於贊成者願付金額以獲得額外利得之喜悅，這種效用價值函數在利得時的斜率小於損失時的斜率，也在此次調查問卷資料結果整理後間接得到證明，因此本研究的結果符合展望理論的結論。

#### 4.4 回饋金分析

本次問卷亦調查核電鄰避效應「如果您是在運轉中核電廠3公里內的住戶，您希望個人每年能獲得多少的回饋？」，為了避免受到極端值的影響，我們將資料排序後去掉前後端各5%資料<sup>1</sup>。圖8為資料之分配圖，顯示大多數(44.18%)受試者所要求的回饋金介於0~20,000之間。表6則為的敘述統計結果，整體而言，平均要求的回饋金為117,964元；若就贊成與否的分類來看，贊成者平均要求93,299元的回饋，反對者平均要求143,187元的回饋，無特定

<sup>1</sup>原始資料顯示回饋金要求臺幣90億元以上者占1.7%，10億元以上者累計占2.2%，1億元以上者累計占3.1%，1千萬以上者累計占4.99%，為避免極端值影響及兩端平衡，故排序後兩端各去掉5%的資料。

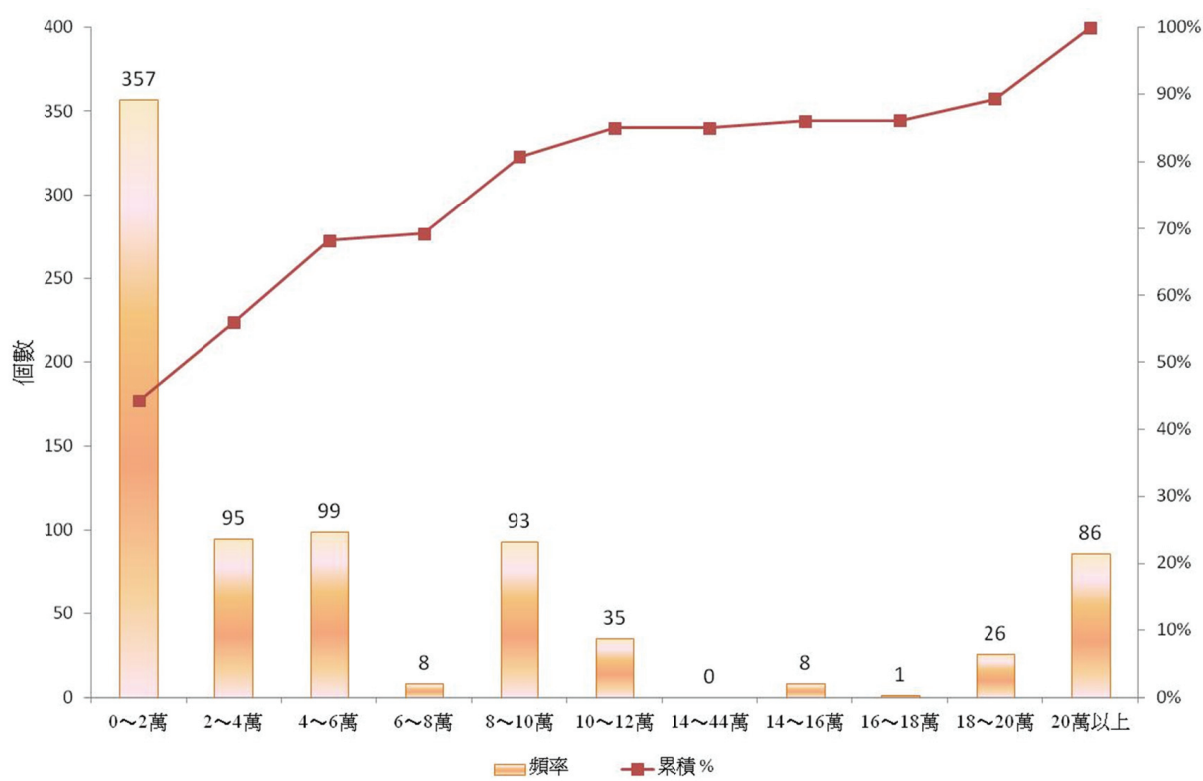


圖8 回饋金額分配(本研究繪製)

偏好者要求121,798元的回饋，將所要求的回饋金由小至大排序則為贊成者 < 無特定偏好者 < 反對者，此結果之含義與前述對於風險貼水之統計結果一致，即反對者要求之風險貼水高於贊成者所要求之風險貼水。就眾數來看，贊成者以要求10,000的人數最多，占贊成者人數之14.08%；反對者以要求100,000人數最多，占反

對者人數12.50%；無特定偏好者以要求10,000的人數最多，占無特定偏好者人數17.46%，因此就眾數之結果來看，亦可發現反對者所要求之回饋金較高。由此可知，此次調查的可信度很高，雖然願付金額(見表2和表3)小於願意接受補償金額(表7)許多，但方向是具有一致性的，而其差異也符合實證分析的文獻經驗，受

表7 回饋金調查之敘述統計結果(本研究整理)

	全部	贊成	反對	無特定偏好
平均數	117,964	93,299	143,187	121,798
標準差	10,001	10,026	20,503	21,424
CV	8.48%	10.75%	14.32%	17.59%
中間值	30,000	30,000	32,500	30,000
眾數	10,000	10,000	100,000	10,000
標準差	284,449	188,895	371,333	240,483
峰度	43	13	34	8
偏態	6	4	5	3
最小值	0	0	0	0
最大值	3,000,000	1,000,000	3,000,000	1,080,000
樣本數	809	355	328	126

訪者對願意接受的補償金額通常都會誇大而無限制，但對需從自己口袋拿錢支付則會保守許多。

## 5. 結 論

為了瞭解民眾對能源風險的態度，本文以核能發電之存廢發展為例，設計問卷進行本研究之風險態度問卷設計，以調查民眾在政府發展核電的不確定下的風險態度。由於經費之限制，本研究主要僅調查民眾的風險貼水，包括贊成發展核電者在政府可能廢止核電下所需之風險貼水，以及反對發展核電者在政府可能持續發展核電下所需之風險貼水，並以調查所獲得之資料計算民眾於發展核電之不確定性情況下的風險趨避係數與等值現金等指標來進行分析。

調查的結果獲得有效樣本數為899，其中贊成核電發展者占41.9%，反對核電發展者占42.9%，無特定偏好者占15.1%。依年齡來看，平均為36歲，最年輕者為17歲，最年長者為65歲；女性受訪者占51.56%，男性占48.44%；已婚與未婚者各約占一半，分別約為53%與46%；年所得介於20~40萬者最多，其次為40~60萬者，再其次為60~80萬者，總計年薪20~80萬者占受訪人數故61%。

對於贊成核電發展者而言，其對於政府有廢止核電之可能情況下，所需之風險貼水(即其為避免風險所願意支付之金額)隨設想預期所得的增加而增加，在設想預期所得很高或很低情況下，其願付金額的變異係數較大。另外，其規避「廢止核電」風險的程度隨設想預期所得的增加而提高，顯示贊成核電發展者在其預期所得愈高時，相對於在所得較低時，更擔心廢止發展核電。

對於反對核電發展者而言，在政府有繼續發展核電之可能情況下，其所需之風險貼水，亦隨設想預期所得的增加而增加；且當設想預期所得很低情況下，其願付金額的變異係數較

大。從風險趨避係數來看，風險趨避程度隨所得的增加而下降，顯示設想預期所得愈高時，相對較不規避發展核電這項風險。此結果與贊成者風險態度相反，我們雖懷疑有可能這是受訪者的錨定效應使然，然而在缺乏真實的實驗設計之面訪調查法驗證情況下，我們無法證實此錨定效應是否為真，因此謹以表5的結果供讀者參考，本文的結論還是基於實證資料的忠實推估結果，無法以假設有錨定效應而修改。

若將贊成者與反對者進行比較，可以發現在各個設想預期所得水準下，反對者所需之風險貼水皆比贊成者高，若從風險趨避係數來看，則可以發現在較低預期所得的情況下，受訪者較不規避「廢止核電」的風險，卻較規避「發展核電」的風險；但在較高所得的情況下則相反。然而對於贊成者在較低預期所得的情況，對反對者在高所得的情況下，風險趨避係數非常低(低於-0.0023)已接近風險中性的程度，其意涵或許代表低所得之贊成者與高所得的反對者而言，核能風險並不是其所關心的主要風險，所以其風險趨避的行為並不非常顯著。

最後本研究亦附帶調查民眾對於運轉中核電廠為其居住地3公里內所要求之回饋金額，所得之結果顯示，不論從平均數或眾數來看，反對者要求的回饋金皆高於贊成者。同時補償回饋金的金額也數倍高於其所願付的風險貼水。

綜合上述調查結果我們可以發覺核電反對者相對於贊成者，更懼怕其所面對的風險，其核電風險貼水顯著較贊成者高，這也可能是如今社會上核電反對者會較強烈地反應其意志的主要因素之一。面對未來的能源低碳轉型，由於核電的溫室氣體零排放特性，繼續發展核電將使低碳轉型較為順暢發展，然而在國人核電反對者的強烈風險趨避態度下，若零核政策付諸實施，在缺乏有效的低碳替代能源下低碳轉型之路將備感艱辛。

由於經費的限制，我們無法採用較為嚴謹的實驗設計面訪調查法或均等等值現金調查

法，受訪者有可能隨意填答而不去思索設想預期所得變異的機率與不確定性的問題本質，而失去了真正揭露其風險態度的機會，因此必然會有許多偏誤產生，這是本研究的限制也是引用本研究結果時所應注意的地方。

## 參考文獻

- 行政院原子能委員會核能研究所，2016。我國民眾電力願付價格調查簡析。能源資訊平台，網址：<http://eip.iner.gov.tw/>。
- 曾家宏，2015。我國民眾對電力暨綠色電力願付價格之研究。行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
- 楊秉訓，2013。不確定與經濟決策。翰蘆圖書出版有限公司，臺北市。
- Arrow, K. J., 1964. The Role of Securities in The Optimal Allocation of Risk-Bearing. *Review of Economic Studies*, 31: 91-96.
- Arrow, K. J., 1970. *Essays in the Theory of Risk-bearing*, Amsterdam: North-Holland Pub. Co. ISBN 9780720430479.
- Binici T., A. A. Koc, C. R. Zulauf and A. Bayaner, 2003. The Risk Attitudes of Farmers and The Socioeconomic Factors Affecting them: A Case Study For Lower Seyhan Plain Farmers in Adana Province, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27: 305-312.
- Binswanger, H. P., 1980. Attitudes toward Risk Experimental Measurement in Rural India. *American Journal of Agricultural Economics*, 62(3): 395-407.
- Bond, G. E. and B. Wonder, 1980. Risk Attitudes Amongst Australian Farmers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 24(1): 16-28.
- Kahneman, D. and A. Tversky. 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2): 263-291.
- Liao, Shu-Yi, Wei-Chun Tseng, Chi-Chung Chen, 2010. Eliciting Public Preference for Nuclear Energy against the Backdrop of Global Warming. *Energy Policy*, 38: 7054-7069.
- Malinvaud, E., 1972. The Allocation of Individual Risks in Large Markets. *Journal of Economic Theory*, 4(2): 312-328.
- Pratt, J. W., 1964. Risk Aversion in the Small and in the Large. *Econometrica*, 32: 122-136.
- Sun, Chuanwang and Xiting Zhu, 2014. Evaluating the Public Perceptions of Nuclear Power in China: Evidence from a Contingent Valuation Survey. *Energy Policy*, 69: 397-405.
- Tversky, A. and D. Kahneman, 1981. The Framing of Decisions and the Psychology of Choice. *Science*, 211: 453-458.
- Von Neumann, J. and O. Morgenstern, 1953. *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, NJ. Princeton University Press.



# The Empirical Study of Public Attitudes Towards Nuclear Energy Risk

King Min Wang<sup>1\*</sup>

## ABSTRACT

This study applied the standard reference contract of expected utility theory to explore the public risk attitudes towards nuclear generation policy through a questionnaire survey. The results indicated that risk aversion is the prevalent risk attitudes no matter the pros or cons of nuclear generation. The cons are more risk averter than the pros. Judging from the parameters of risk coefficients it is evident that the degree of risk aversion is relatively lower among those pros but higher among those cons under the low income contingent scenario. Under the high income contingent scenario, on the contrary, the degree of risk aversion is relatively lower among those cons but higher among those pros. Judging from the certainty equivalent the cons are willing to pay more than those pros to avoid the nuclear risk. The results implied that the pleasure from gains is lower than the suffering from the losses of nuclear risk among the pros and cons. Therefore, the cons are relatively more afraid of nuclear risk.

**Keywords:** Expected utility theorem, risk attitude, risk premium, certainty equivalent, nuclear risk

---

<sup>1</sup> Research Fellow, Chung-Hua Institution for Economics.

\*Corresponding Author, Phone: +886-2- 2735-6006#502, E-mail: kimmie@cier.edu.tw

Received Date: April 14, 2017

Revised Date: August 14, 2017

Accepted Date: August 30, 2017