

成本考量下雙底冊電話調查的樣本配置^{*}

陳鴻嘉^{**}

《本文摘要》

近年來，隨著唯手機族日增，傳統住宅電話調查面臨了涵蓋率不足的問題，執行手機與住宅電話的雙底冊電話調查便成了必要之舉。進行雙底冊電話調查需要決定樣本如何配置，而配置方式又與權數效應和調查成本有關。準此，本研究依據既有成本比較研究中手機與住宅電話樣本每單位完訪成本比，以及從「數位國情調查」的雙底冊電話調查結果所估計出來的權數效應，試著在調查成本固定的情況下，找出權數效應最小，也就是有效樣本規模最大，讓估計精確性最佳的手機與住宅電話樣本配置。結果顯示，在最常見的住宅電話加上唯手機族之雙底冊電話調查中應配置 64.18% 的住宅電話以及 35.82% 的唯手機族樣本。此外，本研究還進一步將此類雙底冊電話調查的樣本配置通式化，使得唯手機族的樣本數成為調查成本與電話使用習慣的函數，讓研究者在規劃這類的雙底冊電話調查時，可依不同的情況代入相關參數後得到有效樣本規模最大的樣本配置。

關鍵詞：手機調查、有效樣本規模、調查成本、雙底冊電話調查、權數效應

* 本文為作者於中央研究院人文社會研究中心調查研究專題中心 107 年獎助期間的研究成果。作者由衷感謝兩位審查委員的細心審閱，並對本文提出諸多寶貴建議，作者收穫甚豐。當然，一切文責，概由作者自負。

** 中央研究院人文社會科學研究中心博士後研究人員。E-mail: hoopchen@gate.sinica.edu.tw。

壹、研究背景：日益增多的唯手機族

長久以來，透過住宅電話進行的問卷調查一直是社會科學研究要在相對短的時間內，要獲得抽樣誤差在 3% 以內的機率樣本數量時，最有效益的蒐集資料方式。但是通訊科技的發展改變了人們的電話使用習慣，以手機作為主要甚至是唯一聯繫工具者的比例與日俱增。時至今日，相關研究報告或文獻皆顯示，儘管各國「唯手機族」(Cell Phone Only, CPO) 的比率容或不一，但都至少在 15% 以上（參閱表 1）。

表 1 各國唯手機族的比率

國家	年分	唯手機族的比率
埃及	2013	67%
芬蘭	2015	87%
斯洛伐克	2015	70%
立陶宛	2015	71%
捷克	2015	84%
德國	2015	15%
荷蘭	2015	15%
盧森堡	2015	15%
澳洲	2017	36%
英國	2017	18%
美國	2017	52%

資料來源：本研究整理自 Australian Communications and Media Authority(2017, 17)；Blumberg 與 Luke(2017)；Elkasabi(2015)；European Commission(2016, 19)；Office of Communications(2017, 6)。

對照台灣的情況，洪永泰等（2014）與許勝懋（2015）曾分別根據 2009 年「國民健康訪問暨藥物濫用調查」以及 2013 年的「台灣選舉與民主化調查：2013 大規模基點調查」的訪問結果估計台灣地區的唯手機族比率分別僅有 9.3%、6.2%。不過這原本不到一成的唯手機族比率，在近年內有了快速的成長。

根據「國家發展委員會」委託「聯合行銷研究股份有限公司」於 2018 年執行的「持有手機民衆數位機會調查」結果顯示，在 1,012 個手機完訪樣本中，有 28.0% 的受訪者是沒有辦法以住宅電話接觸到的唯手機族，此比率與 2011 年時，同一單位執行的同一份調查之結果：19.0% 相較，已有了明顯的增加（國家發展委員會 2018, 13）。

而綜合上述可知，不論國內外研究皆顯示，僅能透過手機接觸的受訪者，已經有著一定的比例。這樣的比例意味著透過住宅電話的調查訪問將無法觸及這些唯手機族，再加上

相關文獻指出唯手機族與住宅電話調查的受訪者在人口特徵上有差異 (Baffour et al. 2016; Benford et al. 2009; Elkasabi 2015; Vicente and Reis 2009)，所以住宅電話調查結果產生估計偏誤便是可以想見的結果。準此，進行手機與住宅電話的雙底冊調查，以彌補純住宅電話調查的涵蓋率不足，已是必要之舉了。

只是，雙底冊電話調查中的手機與住宅電話分別應該配置多少樣本數？本研究擬透過台灣的實證資料，嘗試從調查成本的觀點回答此問題。首先，本研究先回顧相關文獻對於雙底冊電話調查配置方法的討論；其次，根據現有的本地資料，呈現雙底冊電話調查如何配置樣本；最後，檢視這樣的配置方式所可能產生的限制，並由此出發提出對調查實務的具體建議。

貳、調查成本、估計精確性與雙底冊調查配置

直覺上來說，如果有母體所有人電話使用習慣的資料，按照唯手機族、手機與住宅電話皆用族 (Dual User) 以及唯住宅電話族 (Landline Only, LLO) 的分配來配置雙底冊電話調查中，手機與住宅電話各應該完訪幾案應是符合常理的做法。

然而，電話使用習慣的母體資料顯然無法得知，而需要依靠調查資料推估。以美國為例，疾病控制與防治中心 (Centers for Disease Control and Prevention) 轄下的國家衛生統計中心 (National Center for Health Statistics) 每年皆會執行以全美國為母體的國民健康調查 (National Health Interview Survey, NHIS)，在這項包含近 35,000 個家戶、87,500 個受訪者的全國性面對面訪問調查中 (Okeke, Wittenborn, and Rein 2018)，便會詢問受訪者電話使用習慣，藉此估計全美的唯手機族、唯住宅電話族以及手機與住宅電話皆用族百分比各為多少，進而可供調查研究的學術與實務界參照。

反觀國內似乎沒有類似數據得以參考，各調查機構也只能依循自己的調查結果估計各類型的電話使用者，從而配置雙底冊電話調查中手機與住宅電話的樣本數。譬如：「聯合行銷研究股份有限公司」曾於 2015 年 2 月執行一項逾 6,000 個完訪案（手機：2,991、住宅電話：3,019）的「市話暨手機抽樣架構研究」，該研究的重要發現有二：一為 75.6% 的手機樣本可以透過住宅電話聯繫，且這些家中有裝設住宅電話的手機樣本，有 93.6% 的人於一般常見的住宅電話調查時間（晚上的六點到十點間）有可能在家接聽住宅電話。二為國內 20 歲以上民衆的手機持有率為 89.7%，其中僅持有手機而無法以住宅電話聯繫者有 23.9%。亦即，台灣地區唯手機族的百分比為 $21.4\%(89.7\% \times 23.9\% = 21.4\%)$ （國家發展委員會 2015, 45-48）。

準此，該公司建議在希望抽樣誤差於 3% 以內，而需要完成 1,070 份有效樣本的前提

下，雙底冊電話調查的設計與配置應是以預計完成 840 個 ($1070 \times (1 - 21.4\%) \cong 840$) 有效樣本的住宅電話調查為主，同時以過濾題找出 230 位 ($1070 \times 21.4\% \cong 230$) 唯手機族作為彌補住宅電話所涵蓋不到的部分（國家發展委員會 2015, 47-48）。

當然，上述的做法直覺也合理。不過若能進一步考量調查成本以及估計精確性或許更完善了一些。Wolter 等 (2015) 便提出了同時考量成本以及變異數估計的雙底冊電話調查配置方式。以同時撥打手機與住宅電話，且不過濾出唯手機族與唯住宅電話族的雙底冊電話調查為例，令 C_{total} 為調查總成本， c_C 為每完訪一個手機樣本所需花費的成本， c_L 為每完訪一個住宅電話樣本所需花費的成本， n_C 為手機樣本的完訪數， n_L 為住宅電話樣本的完訪數。故調查成本函數如下：

$$C_{total} = c_C \times n_C + c_L \times n_L$$

接著，假設 y 是某雙底冊電話調查中最重要變數，其不偏估計式如下：

$$\hat{y} = \hat{y}_{CPO} + \alpha \times \hat{y}_{DC} + (1 - \alpha) \times \hat{y}_{DL} + \hat{y}_{LPO}$$

其中， \hat{y}_{CPO} 是唯手機族中 y 的估計值； \hat{y}_{DC} 是來自手機底冊的手機與住宅電話皆用者中 y 的估計值； \hat{y}_{DL} 是來自住宅電話底冊的手機與住宅電話皆用者中 y 的估計值； \hat{y}_{LPO} 是唯住宅電話族中 y 的估計值； α 是組合估計的權重，介於 0-1 之間。而又因為 α 是 n_C 與 n_L 的函數，所以在 C_{total} 固定、 c_C 與 c_L 已知的情況下，可以求令 $Var(\hat{y})$ 最小的 n_C 與 n_L 之組合解。

不過上述方式主要是針對特定變數的雙底冊電話調查配置方法，每個調查容或有一個最為重要的目標變數，但不表示其他變數不重要，倘若能從調查的整體面來考量配置或許更佳。Levine 與 Harter(2015) 從調查成本與「設計效果」(Design Effect, Deff) 以及相應而來的「有效樣本規模」(Effective Sample Size, ESS) 來討論雙底冊電話調查的樣本配置時，便有考量整體調查設計的意涵。

首先，設計效果意指相同樣本數下，某個抽樣設計與簡單隨機抽樣 (Simple Random Sampling, SRS) 之間的變異數比值 (Kish 1965, 258)。當 $Deff > 1$ 表示該抽樣設計與簡單隨機抽樣相較未能有效降低誤差；當 $Deff < 1$ 表示該抽樣設計與簡單隨機抽樣相較可以有效降低誤差。亦即，這個比值同樣蘊含著估計精確性的概念，並且越低越好。

其次，將某個調查的完訪樣本數除以該調查抽樣設計下之設計效果意指有效的樣本數 (effective n)(Kish 1965, 162)，亦即上述曾提及的有效樣本規模。根據這樣的定義，有效樣本規模意味著某個抽樣設計要與簡單隨機抽樣有相同的變異數時所需要的樣本數（陳信木等 2014, 158），並且越高越好。

然而，上述兩個概念都提及了某個特定抽樣設計與簡單隨機抽樣的比較，似乎與雙底冊電話調查的樣本配置無關。其實 Levine 與 Harter(2015) 主要是藉由設計效果與有效

樣本規模引出同樣也是 Kish(1987; 1992) 所提出的「權數效應」(Unequal Weighting Effect, UWE) 概念。權數效應意指因為權數所產生的設計效果，也就是說樣本在經過加權處理之後，也有可能增加變異從而影響估計的精確性，簡言之，基於設計效果越低越好的同樣理由，權數效應也是越小越好。

不過常見的事後分層或多變數反覆加權權數均是在資料蒐集完成後才能計算出來，所以權數效應的評估似乎無法在抽樣設計的階段處理？事實上，在雙底冊電話調查規劃樣本配置的階段，只要能夠獲得電話使用習慣的母體資料，便能計算手機與住宅電話樣本合併時的組合估計權數，也就能透過這個權數所帶來的權數效應，評估如何配置雙底冊電話調查樣本可以有較佳的估計精確性。

準此，Levine 與 Harter(2015) 在忽略分層效果、調查結果與權數間沒有相關或低度相關、手機與住宅電話的調查結果變異相同等前提下假定設計效果近似於權數效應，進而將有效樣本規模改寫成： $ESS = \frac{n}{def} \cong \frac{n}{UWE}$ 。其中， $UWE = \frac{n \sum_{i=1}^n w_i^2}{(\sum_{i=1}^n w_i)^2}$ ，經過整理後，有效樣本規模如下：

$$ESS = n \left[\frac{n \sum_{i=1}^n w_i^2}{(\sum_{i=1}^n w_i)^2} \right]^{-1} = \frac{(\sum_{i=1}^n w_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2} \dots (1)$$

就雙底冊電話調查的設計階段而言，上式中 w_i 即為根據電話使用習慣調整的組合估計權數。

至此，已可知雙底冊電話調查在樣本配置的階段仍舊可以藉由有效樣本規模評估抽樣設計對估計精確性的影響。接下來便是在總調查成本固定的情況下，依照手機與住宅電話樣本的完訪成本，找出令有效樣本規模最大的手機與住宅電話的樣本配置。

而這樣同時顧及調查成本以及估計精確性的配置方式，應值得本地執行雙底冊電話調查時參考。不過就設計效果的學理以及調查設計階段所能擁有的資訊而言，不需要假定設計效果近似權數效應。主因是設計效果得已拆解成權數效應與集群抽樣的設計效果之乘積 (Chatrchi et al. 2015; Kish 1987; Liu, Iannacchione, and Byron 2002) 如下：

$$Def = UWE \times Def_c$$

而就調查實務來說，設計效果往往得透過樣本資料來進行估計 (Lehtonen and Pahkinen 2004, 15)，因此上式中的集群抽樣之設計效果（也就是 Def_c ）在抽樣設計的階段暫時無法評估。亦即在設計如何配置雙底冊電話調查樣本時僅能考量因組合估計權數所帶來的設計效果，也就是權數效應。是以，本研究參考 Levine 與 Harter(2015) 的作法，嘗試透過台灣的實證資料，在調查成本固定的前提下，尋求雙底冊電話調查中手機與住宅電話樣本數應該如何配置，而能夠使得有效樣本規模最大化。

參、固定成本下有效樣本規模最大化的樣本配置

承前所述，雙底冊電話調查的樣本配置除了考慮電話使用習慣的母體分配之外，成本與估計精確度也必須一併考量。準此，本章將先比較手機與住宅電話完訪樣本的成本差異。接著，再藉由調查資料估計台灣民衆的電話使用習慣。最後，根據前述資訊，在總成本固定下，找出雙底冊電話調查中讓有效樣本規模最大化的樣本配置結果。

一、手機與住宅電話調查的成本差異

調查是門學問，同時也是門論斤秤兩的生意，欲透過調查訪問蒐集資料的社會科學研究者總是得在既定的調查成本下，戮力達成符合科學要求的研究目標。進一步地說，也就是得在預算有限的情況下，蒐集足夠的機率樣本，方能在進行統計推論時，有較佳的精確性進而有比較小的抽樣誤差。

所以當透過住宅電話所進行的調查，已經因為唯手機族的日益增長，造成涵蓋率不足進而產生估計偏誤時，撥打通話費率較高的行動電話來接觸唯手機族，就成了必要之舉。如此一來，抽樣調查設計者勢必要對住宅電話與手機調查的成本差異有所理解，才可能在調查成本與估計精確性之間達到較佳的平衡。

而從常識上來思考，既然撥打手機的通話費較高，在所欲完成訪問樣本數相同的情況下，手機調查的成本自然也就比住宅電話調查來得高。事實上，國外的文獻也印證了情況確實如此。

甚早便開始研究雙底冊調查乃至於調查成本比較的美國民意調查協會（American Association for Public Opinion Research，以下簡稱 AAPOR）於 2009 年時，向全美著名的 8 個調查機構（商業與學術單位各 4 個）蒐集了 38 個雙底冊調查的調查成本資訊。結果顯示，手機調查每完成訪問一個樣本所需要的時間 (Hours Per Completion, HPC) 是住宅電話調查的 2 倍；手機調查每完成訪問一個樣本所需要的成本 (Cost Per Interview, CPI) 是住宅電話調查的 2.05 倍 (Guterbock et al. 2011)。

隨著時序演進，Guterbock、Benson 與 Lavrakas(2018) 檢視美國近幾年來手機與住宅電話調查成本的變化時發現，在手機調查大多使用可以辨識哪些號碼為有效號碼的手機強效樣本 (Enhanced Cell Sample) 之情形下，手機調查每完訪一個樣本的成本為美金 44.74 元，雖然仍高於住宅電話調查每完訪一個樣本的成本美金 44.71 元，但兩者的差距已經非常有限。至於台灣的情況又是如何呢？

根據國家發展委員會委託電子治理研究中心自 2013 年起所進行的一系列與數位國家治理相關的計畫來看，在 2014、2016 年的雙底冊電話調查中，住宅電話調查每完訪

一個樣本的成本高於手機調查（國家發展委員會與電子治理研究中心 2014, 263；2016, 242）。不過，這是因為住宅電話調查的問卷題目數量遠多於手機調查所致，且此兩年實際執行電話訪問的民調公司不同，成本計算方式未必一致，著實不容易判定手機與住宅電話調查的成本孰高孰低。

不過 2017 年時，「財團法人台北市公民教育基金會」接受「台北市政府研究發展考核委員會」委託執行的「數位時代下地方民意探索之挑戰與回應」計畫，則在雙底冊電話調查中使用了內容與長度皆相同的問卷。但由於該調查的受訪者為台北市民，而手機號碼不若住宅電話可用區碼大致辨識該號碼的所在縣市，所以撥打手機時必須篩選出合格的受訪者，大幅增加了手機調查的成本。是故，即便已經在協議式費率的優惠下，使用了類似網路電話的方式撥號，手機調查的成本仍是住宅電話調查的至少四倍以上（洪永泰、俞振華與高世垣 2017, 115）。而這正是以特定區域為母體定義的手機調查必然會面對的成本困境。

然而，同年有一項以全國民眾為受訪對象，抽出與目標完訪樣本數皆相同，問卷內容近乎一致且由同一單位執行的雙底冊電話調查提供了較佳的成本比較基礎。¹ 該雙底冊電話調查除了前述的一致性之外，由於手機與住宅電話調查在同樣的時段與地點，透過電腦電話訪問輔助系統 (Computer Assisted Telephone Interview) 撥打並進行訪問，故比較手機與住宅電話調查成本時，系統維護費、水電費等固定成本可視為平均攤提在手機與住宅電話調查上而忽略不計，而從訪員與督導薪資及電話費等變動成本著手進行比較的結果發現，雖然手機的通話費確實比較高，但手機樣本年輕、高教育程度的人口特徵均有助於縮短訪問時間，更重要的是手機調查不需要執行戶中選樣，可以比較有效率地找到合格的受訪者。而必須執行戶中選樣的住宅電話調查在確認合格受訪者的程序上已經耗費不少時間，再加上住宅電話樣本的年齡偏大，完訪所需的時間比起年紀較輕配合度更高的手機樣本來得長，因此住宅電話調查需要動員較多的訪員來達成預定的完訪數量，也因此總合電話費與人事成本之後，手機調查每完訪一個樣本的成本竟是住宅電話調查的 0.73 倍（陳鴻嘉 未定）。

當然，上開研究成果僅是本地雙底冊電話調查成本比較的初步嘗試，究竟每完成一個住宅電話樣本與手機樣本的成本何者較高，應該需要更多的調查機構累積更多的經驗資料來檢證。不過，在住宅電話涵蓋率日漸不足而理應進行手機乃至於雙底冊電話調查的情況下，前述研究結果不失為欲透過電話訪問蒐集資料但又有成本考量的社會科學研究者之一

¹ 此項雙底冊調查係以本地年滿 24 歲以上的民眾為受訪對象，調查主題與消費者意向有關，執行單位為中央研究院人文社會科學研究中心調查研究專題中心。另，住宅電話調查因進行戶中選樣後即可知道受訪者性別，不須再詢問受訪者，故其問卷題數少手機調查一題。

項參照。而本研究正是要在手機調查每完訪一個樣本的成本是住宅電話調查 0.73 倍的基礎上，依據台灣民衆手機使用習慣的估計結果以及根據該結果計算所得的權數效應，嘗試找到估計精確性較佳的雙底冊電話調查的樣本配置。

二、台灣民衆電話使用習慣的估計及雙底冊電話調查的權數效應

前章提及，美國的國民健康調查提供了關於電話使用習慣的數據，可供雙底冊電話調查設計時參考。台灣其實也有一些調查詢問了本地民衆的電話使用習慣，只是本地的面訪調查多半以戶籍資料為抽樣底冊，完訪樣本通常是戶籍地與居住地相同者，但因求學或工作等因素不住在戶籍地且不在居住地安裝住宅電話，卻恰好是唯手機族的重要特性之一，所以面訪調查資料的唯手機族百分比有可能被低估。因此，本研究採用電子治理中心於 2017 年執行之雙底冊電話調查資料，參照張鏡文、黃東益與洪永泰（2017）的作法，估計台灣民衆的電話使用習慣，以及評估根據電話使用習慣加權而產生的權數效應。

首先，說明代數符號的意涵如下：

P_{CPO} ：唯手機族的母體百分比

P_D ：手機與住宅電話皆用族的母體百分比

P_{LLO} ：唯住宅電話族的母體百分比

p_{CPO} ：手機底冊中，唯手機族的母體百分比。於此用手機調查的唯手機族百分比估計之

p_{LLO} ：住宅電話底冊中，唯住宅電話族的母體百分比。於此用住宅電話調查的唯住宅電話族百分比估計之

其次，因為 $p_{CPO} = \frac{P_{CPO}}{P_{CPO} + P_D}$ ； $p_{LLO} = \frac{P_{LLO}}{P_{LLO} + P_D}$ ； $P_{CPO} + P_D + P_{LLO} = 1$ ，且從上述電子治理中心的雙底冊電話調查結果可知 $p_{CPO} = 33.76\%$ 、 $p_{LLO} = 6.83\%$ ，代入本段上述三式求聯立解便可得 $P_{CPO} = 32.20\%$ 、 $P_D = 63.17\%$ 、 $P_{LLO} = 4.63\%$ 。

最後，前章提到，本地電話調查的設計效果可透過因加權而產生的權數效應來評估。是以，本研究原則上以張鏡文、黃東益與洪永泰（2017）的事後分層組合估計權數做為評估權數效應的依據，但由於受訪者的性別、年齡與教育程度並非在規劃樣本配置階段可以獲得的資訊，所以在無法根據上開人口特徵進行事後分層的情況下，僅採用透過調查資料估計得到的電話使用習慣分布作為母體參數，並據以計算組合估計權數。故下述將依據是否設定過濾題來找到唯手機族或唯住宅電話族區分出三種不同的雙底冊電話調查，並分別討論其組合估計權數與權數效應。

（一）住宅電話樣本加上唯手機族

承前所述，在進行抽樣設計配置雙底冊樣本的階段僅能依據電話使用習慣此變數來計

算組合估計權數，進而評估權數效應。一般而言權數的計算方式如下：

$$W_i = \frac{N_i}{n_i} * \frac{n}{N}$$

其中，

W_i ：加權變數中第 i 類的權值

N_i ：加權變數中第 i 類的母體數

n_i ：加權變數中第 i 類的樣本數

N ：母體總數

n ：樣本總數

在撥打住宅電話加上撥打手機時設定過濾題找到唯手機族的雙底冊電話調查中，加權變數即為電話使用習慣，該變數共有兩分類（亦即 $i = 2$ ），一為唯手機族，另一為包含手機與住宅電話皆用族以及唯住宅電話族的住宅電話樣本。其組合估計權數如下：

$$1. \text{ 唯手機族樣本的權數： } W_{CPO} = \frac{N_{CPO}}{n_{CPO}} * \frac{n}{N} = \frac{N_{CPO}}{N} * \frac{n}{n_{CPO}} = P_{CPO} * \frac{n}{n_{CPO}}$$

$$2. \text{ 住宅電話樣本的權數： } W_L = \frac{N_L}{n_L} * \frac{n}{N} = \frac{N_L}{N} * \frac{n}{n_L} = P_L * \frac{n}{n_L}$$

其中，

W_{CPO} ：唯手機族樣本的權數

W_L ：住宅電話樣本的權數

N_{CPO} ：母體中唯手機族的總數

N_L ：母體中使用住宅電話者的總數

n_{CPO} ：唯手機族的總數

n_L ：住宅電話樣本的總數

P_L ：住宅電話用戶的母體百分比

準此組合估計權數以及前述電話使用習慣的估計結果，此種非重疊雙底冊 (Nonoverlap Design) 電話調查之權數效應如下（詳細的推導過程請參閱附錄一）：

$$UWE = n \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L} \right) = n \left[\frac{(32.20\%)^2}{n_{CPO}} + \frac{(67.80\%)^2}{n_L} \right] \dots (2)$$

（二）手機樣本加上唯住宅電話族

同理，在撥打手機加上撥打住宅電話時設定過濾題找到唯住宅電話族的雙底冊電話調查中，加權變數同樣也是電話使用習慣，該變數的兩個分類分別是唯住宅電話族樣本，以及包含手機與住宅電話皆用族和唯手機族的手機樣本。其組合估計權數如下：

$$1. \text{唯住宅電話樣本的權數} : W_{LLO} = \frac{N_{LLO}}{n_{LLO}} * \frac{n}{N} = \frac{N_{LLO}}{N} * \frac{n}{n_{LLO}} = P_{LLO} * \frac{n}{n_{LLO}}$$

$$2. \text{手機樣本的權數} : W_C = \frac{N_C}{n_C} * \frac{n}{N} = \frac{N_C}{N} * \frac{n}{n_C} = P_C * \frac{n}{n_C}$$

其中，

W_{LLO} ：唯住宅電話族樣本的權數

W_C ：手機樣本的權數

N_{LLO} ：母體中唯住宅電話族的總數

N_C ：母體中使用手機者的總數

n_{LLO} ：唯住宅電話族的總數

n_C ：手機樣本的總數

P_C ：手機用戶的母體百分比

同樣地，基於這樣的組合估計權數以及前述電話使用習慣的估計結果，此類非重疊雙底冊電話調查之權數效應如下（詳細的推導過程請參閱附錄一）：

$$UWE = n \left(\frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} + \frac{P_C^2}{n_C} \right) = n \left[\frac{(4.63\%)^2}{n_{LLO}} + \frac{(95.37\%)^2}{n_C} \right] \dots (3)$$

(三) 手機加住宅電話

在同時撥打手機與住宅電話的雙底冊電話調查中，電話使用習慣這個加權變數是一個三分類的變數（亦即 $i = 3$ ），此三分類分別是唯手機族、手機與住宅電話皆用族以及唯住宅電話族。其組合估計權數如下：

$$1. \text{唯手機族樣本的權數} : W_{CPO} = \frac{N_{CPO}}{n_{CPO}} * \frac{n}{N} = \frac{N_{CPO}}{N} * \frac{n}{n_{CPO}} = P_{CPO} * \frac{n}{n_{CPO}}$$

$$2. \text{手機與住宅電話皆用者的權數} : W_D = \frac{N_D}{n_D} * \frac{n}{N} = \frac{N_D}{N} * \frac{n}{n_D} = P_D * \frac{n}{n_D}$$

$$3. \text{唯住宅電話族樣本的權數} : W_{LLO} = \frac{N_{LLO}}{n_{LLO}} * \frac{n}{N} = \frac{N_{LLO}}{N} * \frac{n}{n_{LLO}} = P_{LLO} * \frac{n}{n_{LLO}}$$

其中，

W_D ：手機與住宅電話皆用族的權數

N_D ：母體中手機與住宅電話皆用族的總數

n_D ：手機加住宅電話樣本中手機與住宅電話皆用者的總數

準此組合估計權數以及前述電話使用習慣的估計結果，此種重疊雙底冊 (Overlap Design) 電話調查之權數效應如下（詳細的推導過程請參閱附錄一）：

$$UWE = n \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_D^2}{n_D} + \frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} \right) = n \left[\frac{(32.20\%)^2}{n_{CPO}} + \frac{(63.17\%)^2}{n_D} + \frac{(4.63\%)^2}{n_{LLO}} \right] \dots (4)$$

三、有效樣本規模最大化下的手機與住宅電話樣本配置

根據本章首節可知完訪一個手機與住宅電話樣本之的成本比，而從次節則了解加權對雙底冊調查估計精確性所帶來的效應。本節就將依照前兩小節的資訊，同樣區分三種不同的雙底冊電話調查設計，並逐一探討其樣本配置如下：

(一) 住宅電話加上唯手機族

假定每完訪一個住宅電話樣本要花費新台幣 1 元，則以完成 1,200 案為目標的住宅電話調查之成本即為 1,200 元。如今為了因應住宅電話調查涵蓋率不足的問題，需要在同樣成本下進行住宅電話加上唯手機族的雙底冊電話調查，而由於手機每單位的完訪成本是住宅電話的 0.73 倍，故成本函數如下：

$$1200 = 0.73 \times n_C + n_L \cdots (5)$$

將式 (5) 中所有 n_L 與 n_C 的正整數解帶入式 (2) 得出不同的權數效應，再將權數效應帶入式 (1)，便可得到所有組合解下的權數效應與有效樣本規模如下表 2。

表 2 所有組合解下的有效樣本規模（住宅電話加唯手機族）

C_{total}	n_L	n_C	n	Landline %	Cellphone %	權數效應	有效樣本規模
1,200	1,199	1	1,200	99.92%	0.08%	124.880867	9.609158
1,200	1,199	2	1,201	99.83%	0.17%	62.722693	19.147775
1,200	1,198	3	1,201	99.75%	0.25%	41.968996	28.616362
						⋮	
1,200	853	475	1,328	64.23%	35.77%	1.005541	1,320.681553
1,200	853	476	1,329	64.18%	35.82%	1.005689	1,321.481886
1,200	852	477	1,329	64.11%	35.89%	1.005923	1,321.174847
						⋮	
1,200	2	1,641	1,643	0.12%	99.88%	377.734216	4.349619
1,200	1	1,642	1,643	0.06%	99.94%	755.364559	2.175109
1,200	1	1,643	1,644	0.06%	99.94%	755.824243	2.175109

資料來源：本研究自行整理。

由表 2 可知，若執行住宅電話加唯手機族的雙底冊電話調查時，欲控制調查成本與原先完成 1,200 案的住宅電話調查相同，則能夠使得有效樣本規模最大的樣本配置方式就是在目標完訪數 1,329 案的非重疊雙底冊電話調查中，配置 64.18% 的住宅電話樣本 ($n_L =$

體百分比，並分別用手機、住宅電話調查完訪樣本中唯手機族、唯住宅電話族的百分比估計之。因此理論上不同樣本配置下對應的唯手機族樣本數應為：

$$p_{CPO} = \frac{P_{CPO}}{P_{CPO}+P_D} = \frac{n_{CPO}}{n_C} \Rightarrow n_{CPO} = \frac{32.20\%}{32.20\%+63.17\%} \times n_C = 33.55\% \times n_C \cdots(6)$$

同理，唯住宅電話族的樣本數應為：

$$p_{LLO} = \frac{P_{LLO}}{P_{LLO}+P_D} = \frac{n_{LLO}}{n_L} \Rightarrow n_{LLO} = \frac{4.63\%}{4.63\%+63.17\%} \times n_L = 6.83\% \times n_L \cdots(7)$$

順此，總樣本數扣掉上開兩種樣本即為手機與住宅電話皆用族樣本數：

$$n_D = n - n_{CPO} - n_{LLO} = n - 33.55\% \times n_C - 6.83\% \times n_L \cdots(8)$$

其次，將式(5)中所有 n_L 與 n_C 的正整數解帶入式(6)、式(7)與式(8) 求出 n_{CPO} 、 n_D 、 n_{LLO} 後，再將 n_{CPO} 、 n_D 、 n_{LLO} 代入式(4) 得出不同的權數效應。最後，把權數效應帶入式(1)，便可得到所有組合解下的權數效應與有效樣本規模如下表 4。

表 4 所有組合解下的有效樣本規模（手機加住宅電話）

C_{total}	n_L	n_C	n	Landline %	Cellphone %	權數效應	有效樣本規模
1,200	1,199	2	1,201	99.83%	0.17%	124.9845511	9.609188
1,200	1,198	3	1,201	99.75%	0.25%	124.9845511	9.609188
1,200	1,197	4	1,201	99.67%	0.33%	124.9845511	9.609188
						⋮	
1,200	315	1,212	1,527	20.63%	79.37%	1.0918640	1,398.525859
1,200	315	1,213	1,528	20.62%	79.38%	1.0916342	1,399.736238
1,200	314	1,214	1,528	20.55%	79.45%	1.0982171	1,391.346091
						⋮	
1,200	9	1,631	1,640	0.55%	99.45%	4.4257588	370.557924
1,200	9	1,632	1,641	0.55%	99.45%	4.4279048	370.604176
1,200	8	1,633	1,641	0.49%	99.51%	4.4279048	370.604176

資料來源：本研究自行整理。

由表 4 可知，如果希望手機加住宅電話的重疊雙底冊調查之成本能與完成 1,200 案的住宅電話調查相同，那麼得以最大化有效樣本規模的樣本組合，即是在設定完訪 1,528 案

的重疊雙底冊電話調查中，配置 20.62% 的住宅電話樣本 ($n_L = 315$) 以及 79.38% 的手機樣本 ($n_C = 1213$)。

肆、樣本配置的通式化

前章已根據台灣民衆電話使用習慣的估計結果以及手機與住宅電話調查的單位完訪成本比，實際演繹了調查成本固定的情況下，如何配置不同雙底冊調查設計的樣本。不過這樣的配置方式其實並非建立在特定電話使用習慣分配或手機相對於住宅電話調查的成本比之上。事實上，若將調查成本限制式移項重新整理後帶入權數效應的計算式，有效樣本規模的最大化就成了一個對一元多次方程式求解的問題，而當有效樣本規模最大下所配置的樣本數，可以寫成調查成本以及電話使用習慣的函數時，需執行雙底冊電話調查的研究者可以更直觀地使用樣本配置通式化的結果。

不過，在重疊雙底冊調查設計下，調查成本限制式與權數效應計算式將統整成一元四次方程式，而求解得出的函數樣貌十分龐大複雜，對執行雙底冊電話調查者來說並不實用。再加上現有民意調查實務上所採行的雙底冊電話調查模式多半為住宅電話加上唯手機族，² 故下述將透過公式推導，將 n_{CPO} 寫成 C_{total} 、 c_{CPO} 、 c_L 、 P_{CPO} 、 P_L 的函數，以利不同研究者規劃這類的雙底冊電話調查時，可依據其面臨的調查情境，代入相關參數後得到有效樣本規模最大化下的樣本配置。

首先，根據調查預算限制式可將住宅電話調查的樣本數寫成如下：

$$C_{total} = c_{CPO}n_{CPO} + c_L n_L$$

$$\Rightarrow n_L = \frac{C_{total} - c_{CPO}n_{CPO}}{c_L}$$

其次， $UWE = n \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L} \right)$ ，如前所述在配置樣本階段僅能以權數效應來評估設計效果，所以：

$$ESS = \frac{n}{UWE} = \frac{1}{\left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L} \right)}$$

令 $U = \frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L}$ ，當 U 最小時也就是有效樣本規模最大時。

再者，將 $n_L = \frac{C_{total} - c_{CPO}n_{CPO}}{c_L}$ 代入 U ，求 U 的一階導函數，結果如下（詳細的推導過

² 例如聯合報總統大選民調便採用這樣的設計，可參閱：林修全，2018，〈總統大選民調 / 藍營朱立倫最強 綠營賴贏過蔡〉，聯合新聞網，12月27日，<https://udn.com/news/story/6656/3560197>，檢索日期：2019年1月22日。

程請參閱附錄二)：

$$\frac{dU}{dn_{CPO}} = -\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}^2} + \frac{P_L^2 \frac{c_{CPO}}{c_L}}{\left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO}\right)^2}$$

最後，在令一階導函數為零的情況下解出使得 U 最小的 n_{CPO} ，結果如下（詳細的推導過程請參閱附錄二）：

$$-\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}^2} + \frac{P_L^2 \frac{c_{CPO}}{c_L}}{\left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO}\right)^2} = 0$$

$$\Rightarrow n_{CPO} = \frac{P_{CPO} C_{total}}{P_L \sqrt{c_{CPO} c_L} + P_{CPO} c_{CPO}}$$

至此，只要在 C_{total} 、 c_{CPO} 、 c_L 、 P_{CPO} 、 P_L 已知的情況下，便可藉由上式得知使有效樣本規模最大化的 n_{CPO} 。再將 n_{CPO} 帶入調查成本限制式，則可得 n_L 。表 5 即是在不同參數下所得到的雙底冊電話調查樣本配置結果。

表 5 不同參數下雙底冊電話調查（住宅電話 + 唯手機族）的樣本配置結果

C_{total}	c_{CPO}	c_L	P_{CPO}	P_L	n	n_{CPO}	n_L
1,068	2	1	10%	90%	995	73	922
1,068	2	1	20%	80%	929	139	790
1,068	2	1	30%	70%	866	202	664

1,200	2	1	10%	90%	1,119	81	1,038
1,200	2	1	20%	80%	1,043	157	886
1,200	2	1	30%	70%	974	226	748

1,068	3	1	10%	90%	954	57	897
1,068	3	1	20%	80%	852	108	744
1,068	3	1	30%	70%	764	152	612

1,200	3	1	10%	90%	1,070	65	1,005
1,200	3	1	20%	80%	958	121	837
1,200	3	1	30%	70%	860	170	690

1,068	4	1	10%	90%	921	49	872
1,068	4	1	20%	80%	801	89	712
1,068	4	1	30%	70%	699	123	576

1,200	4	1	10%	90%	1,035	55	980
1,200	4	1	20%	80%	900	100	800
1,200	4	1	30%	70%	786	138	648

C_{total}	c_{CPO}	c_L	P_{CPO}	P_L	n	n_{CPO}	n_L
1,068	5	1	10%	90%	896	43	853
1,068	5	1	20%	80%	760	77	683
1,068	5	1	30%	70%	648	105	543
1,200	5	1	10%	90%	1,008	48	960
1,200	5	1	20%	80%	856	86	770
1,200	5	1	30%	70%	732	117	615

資料來源：本研究自行整理。

當然，調查成本若改為 1,000、1,500；電話使用習慣的母體分配變成：唯手機族：40%、手機與住宅電話皆用族：55%、唯住宅電話族：5%；又或者手機與住宅電話調查成本比改成 1.5、2.5 等數字，表 5 中使得有效樣本規模最大化所相對應的樣本配置結果也都會跟著變動。

伍、討論與建議

本研究初始便提到通訊科技的進展改變了人們使用電話的習慣，越來越多人只依賴手機與她／他人聯繫，這樣的趨勢導致依靠住宅電話進行的問卷調查面臨涵蓋率不足的問題，因此手機調查乃至於雙底冊電話調查便成了彌補住宅電話無法接觸到唯手機族的解決方案。

是以，本研究先檢視雙底冊電話調查的可能配置方式，並基於在調查設計的階段，僅能透過權數效應評估設計效果的限制，認為在有調查成本限制式下，找出令有效樣本規模最大化的樣本配置，應是同時顧及調查成本以及估計精確性的最佳方式。接著本研究透過本地的經驗資料實際演練在三種不同的雙底冊電話調查設計下，如何找出手機與住宅電話的最適配置。

當然，本研究不能就此宣稱本文推演的配置結果可以放諸四海皆準，主因是在有調查成本限制式下讓估計精確性最佳化的雙底冊電話調查樣本配置方式，乃是基於台灣民衆電話使用習慣的母體分配以及手機與住宅電話調查的成本比已知的前提下。關於前者，電話使用習慣可能隨時間而改變，再加上母體定義（例如：受訪對象是 18 歲以上或 20 歲以上）與調查模式（例如：電話訪問或面對面訪問）不同所得到的估計結果可能相異。至於後者，調查成本的計算方式可能因調查執行單位而異。因此，本研究將住宅電話加唯手機族這類本地較常見的雙底冊電話調查設計之樣本配置方法通式化，讓調查規畫者可在不同的電話使用習慣分配以及調查成本下進行樣本配置。

總結來說，成本考量下的雙底冊電話調查樣本配置主要依賴兩項數據：(1) 電話使用習慣的母體分配；(2) 手機相對於住宅電話的單位完訪成本比。為獲得前述兩項訊息，本研究對未來的調查研究的建議有二。首先，應有更多的調查執行單位評估手機與住宅電話的調查成本差異，盡可能累積更多的經驗證據，讓手機相對於住宅電話之單位完訪成本比的相關資訊更加透明；其次，台灣幾乎每年均有以本地成年人為母體、完成訪問目標在 2,000 案以上的大型面對面訪問，³ 應可考慮在這些調查中固定詢問本國民眾電話使用習慣為何，除了彼此參照之外，亦可與電訪結果相互比對，以對本地電話使用習慣的分配有更確定的估計。簡言之，上開兩項數據越準確，調查成本限制式下尋求有效樣本規模最大化的雙底冊電話調查樣本配置結果將越接近真實樣貌。

* * *

投稿日期：107.07.16；修改日期：107.09.20；接受日期：108.03.18

³ 例如台灣社會變遷基本調查 (Taiwan Social Change Survey, TSCS)、台灣選舉與民主化調查 (Taiwan's Election and Democratization Study, TEDS)、台灣傳播調查資料庫 (Taiwan Communication Survey, TCS)。

附錄一 不同雙底冊電話調查設計下的權數效應

一、住宅電話樣本加唯手機族

$$\begin{aligned}
 UWE &= \frac{n \sum_{i=1}^n w_i^2}{(\sum_{i=1}^n w_i)^2} = \frac{n \left[n_{CPO} \left(P_{CPO} \frac{n}{n_{CPO}} \right)^2 + n_L \left(P_L \frac{n}{n_L} \right)^2 \right]}{\left[n_{CPO} \left(P_{CPO} \frac{n}{n_{CPO}} \right) + n_L \left(P_L \frac{n}{n_L} \right) \right]^2} \\
 &= \frac{n \left(\frac{P_{CPO}^2 n^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2 n^2}{n_L} \right)}{(P_{CPO} n + P_L n)^2} \\
 &= \frac{nn^2 \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L} \right)}{n^2 (P_{CPO} + P_L)^2}
 \end{aligned}$$

(在住宅電話加唯手機族的雙底冊電話調查中， $P_{CPO} + P_L = 1$ ，故得下式)

$$= n \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_L^2}{n_L} \right)$$

(根據估計結果： $P_{CPO} = 32.20\%$ ，故 $P_L = 1 - P_{CPO} = 67.80\%$ ，帶入後得下式)

$$= n \left[\frac{(32.20\%)^2}{n_{CPO}} + \frac{(67.80\%)^2}{n_L} \right]$$

二、手機樣本加唯住宅電話族

$$\begin{aligned}
 UWE &= \frac{n \sum_{i=1}^n w_i^2}{(\sum_{i=1}^n w_i)^2} = \frac{n \left[n_{LLO} \left(P_{LLO} \frac{n}{n_{LLO}} \right)^2 + n_C \left(P_C \frac{n}{n_C} \right)^2 \right]}{\left[n_{LLO} \left(P_{LLO} \frac{n}{n_{LLO}} \right) + n_C \left(P_C \frac{n}{n_C} \right) \right]^2} \\
 &= \frac{n \left(\frac{P_{LLO}^2 n^2}{n_{LLO}} + \frac{P_C^2 n^2}{n_C} \right)}{(P_{LLO} n + P_C n)^2} \\
 &= \frac{nn^2 \left(\frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} + \frac{P_C^2}{n_C} \right)}{n^2 (P_{LLO} + P_C)^2}
 \end{aligned}$$

(在手機加唯住宅電話族的雙底冊電話調查中， $P_{LLO} + P_C = 1$ ，故得下式)

$$= n \left(\frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} + \frac{P_C^2}{n_C} \right)$$

(根據估計結果： $P_{LLO} = 4.63\%$ ，故 $P_C = 1 - P_{LLO} = 95.37\%$ ，帶入後得下式)

$$= n \left[\frac{(4.63\%)^2}{n_{LLO}} + \frac{(95.37\%)^2}{n_C} \right]$$

三、手機加住宅電話

$$UWE = \frac{n \sum_{i=1}^n w_i^2}{(\sum_{i=1}^n w_i)^2} = \frac{n \left[n_{CPO} \left(P_{CPO} \frac{n}{n_{CPO}} \right)^2 + n_D \left(P_D \frac{n}{n_D} \right)^2 + n_{LLO} \left(P_{LLO} \frac{n}{n_{LLO}} \right)^2 \right]}{\left[n_{CPO} \left(P_{CPO} \frac{n}{n_{CPO}} \right) + n_D \left(P_D \frac{n}{n_D} \right) + n_{LLO} \left(P_{LLO} \frac{n}{n_{LLO}} \right) \right]^2}$$

$$= \frac{n \left(\frac{P_{CPO}^2 n^2}{n_{CPO}} + \frac{P_D^2 n^2}{n_D} + \frac{P_{LLO}^2 n^2}{n_{LLO}} \right)}{(P_{CPO} n + P_D n + P_{LLO} n)^2}$$

$$= \frac{nn^2 \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_D^2}{n_D} + \frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} \right)}{n^2 (P_{CPO} + P_D + P_{LLO})^2}$$

(在手機加住宅電話的雙底冊電話調查中， $P_{CPO} + P_D + P_{LLO} = 1$ ，故得下式)

$$= n \left(\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + \frac{P_D^2}{n_D} + \frac{P_{LLO}^2}{n_{LLO}} \right)$$

(根據估計結果： $P_{CPO} = 32.20\%$ 、 $P_D = 63.17\%$ 、 $P_{LLO} = 4.63\%$ ，帶入後得下式)

$$= n \left[\frac{(32.20\%)^2}{n_{CPO}} + \frac{(63.17\%)^2}{n_D} + \frac{(4.63\%)^2}{n_{LLO}} \right]$$

附錄二 唯手機族樣本數函數的推導過程

一、一階導函數的推導過程

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}} + P_L^2 \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^{-1} \\
 \frac{dU}{dn_{CPO}} &= -\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}^2} + (-P_L^2) \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^{-2} \left(-\frac{c_{CPO}}{c_L} \right) \\
 &= -\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}^2} + \frac{P_L^2 \frac{c_{CPO}}{c_L}}{\left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^2}
 \end{aligned}$$

二、唯手機族樣本數求解的推導過程

$$\begin{aligned}
 -\frac{P_{CPO}^2}{n_{CPO}^2} + \frac{P_L^2 \frac{c_{CPO}}{c_L}}{\left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^2} &= 0 \\
 \Rightarrow \frac{P_L^2 \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO}^2 - P_{CPO}^2 \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^2}{n_{CPO}^2 \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right)^2} &= 0 \\
 \Rightarrow \left(P_L n_{CPO} \sqrt{\frac{c_{CPO}}{c_L}} \right)^2 - \left[P_{CPO} \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right) \right]^2 &= 0 \\
 \Rightarrow P_L n_{CPO} \sqrt{\frac{c_{CPO}}{c_L}} - P_{CPO} \left(\frac{C_{total}}{c_L} - \frac{c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} \right) &= 0 \\
 \Rightarrow P_L \sqrt{\frac{c_{CPO}}{c_L}} n_{CPO} - \frac{P_{CPO} C_{total}}{c_L} + \frac{P_{CPO} c_{CPO}}{c_L} n_{CPO} &= 0 \\
 \Rightarrow \left(P_L \sqrt{\frac{c_{CPO}}{c_L}} + \frac{P_{CPO} c_{CPO}}{c_L} \right) n_{CPO} &= \frac{P_{CPO} C_{total}}{c_L} \\
 \Rightarrow n_{CPO} &= \frac{P_{CPO} C_{total}}{P_L \sqrt{c_{CPO} c_L} + P_{CPO} c_{CPO}}
 \end{aligned}$$

參考文獻

I. 中文部分

洪永泰、俞振華、高世垣，2017，〈數位時代下地方民意探索之挑戰與回應〉，臺北市政府研究發展成果網：<http://rdnet.taipei.gov.tw/xDCM/DOFiles/pdf/00/00/01/88/81/1070109-pdf-37922-115514.pdf>，檢索日期：2018年10月2日。

(Hung, Yung-tai, Chen-hua Yu, and Shih-yuan Kao. 2017. "Shu wei shi dai xia di fang min yi tan suo zhi tiao zhan yu hui ying" [The Challenges and Reaction of Local Public Opinion in the Digit Era]. The Website of Research and Development, Taipei City Government. <http://rdnet.taipei.gov.tw/xDCM/DOFiles/pdf/00/00/01/88/81/1070109-pdf-37922-115514.pdf> [accessed October 2, 2018].)

洪永泰、洪百薰、林宇璇、呂孟穎、許勝懋、吳淑惠、卓仲彥、徐書儀，2014，〈手機使用對臺灣地區電話調查涵蓋率之影響評估〉，《調查研究：方法與應用》，31: 7-30。

(Hung, Yung-tai, Baai-shyun Hurng, Yu-hsuan Lin, Ming-ing Lu, Shen-mao Hsu, Shu-hui Wu, Chung-yen Cho, and Shu-yi Hsu. 2014. "Shou ji shi yong dui tai wan di qu dian hua diao cha han gai lu zhi ying xiang ping gu" [An Evaluation of the Effect of Cellphone-only Users on Telephone Survey Coverage Rate in Taiwan]. *Survey Research: Method and Application* 31: 7-30.)

國家發展委員會，2015，〈104年持有手機民衆數位機會調查〉，國家發展委員會網站：<https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=55C8164714DFD9E9>，檢索日期：2018年2月11日。

(National Development Council. 2015. "Yi ling si nian chi you shou ji min zhong shu wei ji hui diao cha" [2015 Mobile Phone Users' Digital Opportunity Survey]. National Development Council. <https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=55C8164714DFD9E9> [accessed February 11, 2018].)

-----，2018，〈107年持有手機民衆數位機會調查〉，國家發展委員會網站：<https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=55C8164714DFD9E9>，檢索日期：2019年1月13日。

(-----, 2018. "Yi ling qi nian chi you shou ji min zhong shu wei ji hui diao cha" [2018 Mobile Phone Users' Digital Opportunity Survey]. National Development Council. <https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=55C8164714DFD9E9> [accessed January 13, 2019].)

國家發展委員會、電子治理研究中心，2014，〈數位國家治理(2)：國情分析架構與方法〉，電子治理研究中心網站：https://www.teg.org.tw/research/Research_View/139960828

- 9746，檢索日期：2018年9月28日。
- (National Development Council, and Taiwan E-Governance Research Center. 2014. “Shu wei guo jia zhi li (er): Guo qing fen xi jia gou yu fang fa” [Public Value and Electronic Governance (2): National Status and Methodological Integration]. Taiwan E-Governance Research Center. https://www.teg.org.tw/research/Research_View/1399608289746 [accessed September 28, 2018].)
- ，2016，〈數位國情總綱調查(4)：因應行動服務及共享經濟(資源)發展之策略〉，電子治理研究中心網站：https://www.teg.org.tw/research/Research_View/1467768418867，檢索日期：2018年9月28日。
- (-----. 2016. “Shu wei guo qing zong gang diao cha (si): Yin ying xing dong fu wu ji gong xiang jing ji (zi yuan) fa zhan zhi ce lue” [Public Value and Electronic Governance (4): Strategies for Mobile Services and the Sharing Economy]. Taiwan E-Governance Research Center. https://www.teg.org.tw/research/Research_View/1467768418867 [accessed September 28, 2018].)
- 張鏡文、黃東益、洪永泰，2017，〈住宅電話與手機雙底冊調查的組合估計：以2016總統選舉預測為例〉，《選舉研究》，24(2): 65-96。
- (Chang, Teng-wen, Tong-yi Huang, and Yung-tai Hung. 2017. “Zhu zhai dian hua yu shou ji shuang di ce diao cha de zu he gu ji: Yi er ling yi liu zong tong xuan ju yu ce wei li” [Post-Stratified Estimation Procedures for the Dual Frame Telephone Survey in Taiwan: The Case of the 2016 Presidential Election]. *Journal of Electoral Studies* 24(2): 65-96.)
- 許勝懋，2015，〈「唯手機族」對未來電話調查的挑戰與啟發〉，《調查研究：方法與應用》，34: 33-65。
- (Hsu, Shen-mao. 2015. “Wei shou ji zu’ dui wei lai dian hua diao cha de tiao zhan yu qi fa” [New Challenges and Inspirations for Future Telephone Survey Research in Taiwan: The Cell-Phone-Only Factor]. *Survey Research: Method and Application* 34: 33-65.)
- 陳信木、徐富珍、張喻婷、裘雁鈴譯，Robert M. Groves、Floyd J. Fowler Jr.、Mick P. Couper、James M. Lepkowski、Eleanor Singer、Roger Tourangeau 原著，2014，《調查方法》，台北：雙葉。
- (Groves, Robert M., Floyd J. Fowler Jr., Mick P. Couper, James M. Lepkowski, Eleanor Singer, and Roger Tourangeau. 2014. *Diao cha fang fa* [Survey Methodology]. Hsin-mu Chen, Fu-chen Hsu, Yu-ting Chang, and Yen-ling Chiu, Trans. Taipei: Yeh Yeh Books Gallery.)
- 陳鴻嘉，未定，〈時間就是金錢：訪問時間觀點下的雙底冊電話調查成本比較〉，《調查研

究：方法與應用》，即將出版。

(Chen, Hung-chia. N.d. “Shi jian jiu shi jin qian: Fang wen shi jian guan dian xia de shuang di ce dian hua diao cha cheng ben bi jiao” [Time is Money: A Comparison of the Cost of Dual-Frame Telephone Survey Based on the Length of Interview]. *Survey Research: Method and Application*. Forthcoming.)

II. 英文部分

Australian Communications and Media Authority. 2017. “Communications Report 2016-2017.” <https://www.acma.gov.au/-/media/Research-and-Analysis/Report/pdf/Communications-report-2016-17-pdf.pdf?la=en> (accessed February 28, 2018).

Baffour, Bernard, Michele Haynes, Mark Western, Darren Pennay, Sebastian Misson, and Arturo Martinez. 2016. “Weighting Strategies for Combining Data from Dual-Frame Telephone Surveys: Emerging Evidence from Australia.” *Journal of Official Statistics* 32(3): 549-578.

Benford, Robert, Trevor Thompson, Chris Fleury, Geoff Feinberg, Barry Feinberg, Nicole Speulda, and Annie Weber. 2009. “Cell Phone and Landline: Considerations for Sample Design, Estimates, Weighting, and Costs.” Presented at the 64th Annual Conference of the American Association for Public Opinion Research, Hollywood.

Blumberg, Stephen J., and Julian V. Luke. 2017. “Wireless Substitution Early Release of Estimates from the National Health Interview Survey, January-June 2017.” <https://www.cdc.gov/nchs/data/nhis/earlyrelease/wireless201712.pdf> (accessed February 28, 2018).

Chatrchi, Golshid, Marie-Claude Duval, François Brisebois, and Steven Thomas. 2015. “The Impact of Typical Survey Weighting Adjustments on the Design Effect: A Case Study.” <https://surveyinsights.org/?p=4919> (accessed February 8, 2018).

Elkasabi, M. A. 2015. “Weighting Procedures for Dual Frame Telephone Surveys: A Case Study in Egypt.” <http://surveyinsights.org/wp-content/uploads/2015/02/Weighting-Procedures-for-Dual-Frame-Telephone-Surveys.pdf> (accessed February 2, 2018).

European Commission. 2016. “Special Eurobarometer 438: E-Communications and the Digital Single Market.” <http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/index.cfm/ResultDoc/download/DocumentKy/72564> (accessed February 28, 2018).

Guterbock, T., G. Benson, and P. Lavrakas. 2018. “The Changing Costs of Random Digital Dial Cell Phone and Landline Interviewing.” <http://www.surveypractice.org/article/3168-the-changing-costs-of-random-digital-dial-cell-phone-and-landline-interviewing> (accessed October

- 2, 2018).
- Guterbock, Thomas M., Paul J. Lavrakas, Trevor N. Tompson, and Randal ZuWallack. 2011. "Cost and Productivity Ratios in Dual-Frame RDD Telephone Surveys." <https://www.surveypractice.org/article/3047-cost-and-productivity-ratios-in-dual-frame-rdd-telephone-surveys> (accessed February 8, 2018).
- Kish, Leslie. 1965. *Survey Sampling*. New York: John Wiley & Sons.
- . 1987. "Weighting in Deft²." *The Survey Statistician* 17: 26-30.
- . 1992. "Weighting for Unequal Pi." *Journal of Official Statistics* 8(2): 183-200.
- Lehtonen, Risto, and Erkki Pahkinen. 2004. *Practical Methods for Design and Analysis of Complex Surveys*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Levine, Burton, and Rachel Harter. 2015. "Optimal Allocation of Cell-Phone and Landline Respondents in Dual-Frame Surveys." *Public Opinion Quarterly* 79(1): 91-104.
- Liu, Jun, Vince Iannacchione, and Margie Byron. 2002. "Decomposing Design Effects for Stratified Sampling." Presented at the Joint Statistical Meetings of the American Statistical Association, New York.
- Office of Communications. 2017. "Communication Market Report 2017." https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0017/105074/cmr-2017-uk.pdf (accessed February 28, 2018).
- Okeke, N., J. Wittenborn, and D. Rein. 2018. "NSCH Summary Data Report for the Vision & Eye Health Surveillance System." <http://www.norc.org/PDFs/VEHSS/NHISDataSummaryReportVEHSS.pdf> (accessed May 4, 2019).
- Vicente, Paula, and Elizabeth Reis. 2009. "The Mobile Only Population in Portugal and Its Impact in a Dual Frame Telephone Survey." *Survey Research Methods* 3(2): 105-111.
- Wolter, Kirk M., Xian Tao, Robert Montgomery, and Philip J. Smith. 2015. "Optimum Allocation for a Dual-Frame Telephone Survey." *Survey Methodology* 41(2): 389-401.

Allocation of Dual-Frame Telephone Survey for Given Cost

Hung-chia Chen*

Abstract

With the increase of cell phone usage in recent years, traditional landline surveys face a problem of incomplete coverage. It is now necessary to conduct dual-frame telephone surveys that includes cell phone samples and landline samples. Designing a dual-frame telephone survey requires a decision on the sample allocation. The allocation of the sample to the dual-frame associates with the unequal weighting effect and the survey cost. Therefore, this study aimed to illustrate an optimal allocation of respondents from landline and cellphone frames that result in the lowest unequal weight effect (i.e., the highest effective sample size) for a given cost by using the relative unit cost of obtaining a cell respondent compared to a landline respondent from a comparison study of survey cost, and an unequal weighting effect from “Public Value and Electronic Governance.” The results suggested that the optimal design will have 64.18% of the sample completes from the landline frame, and 35.82% of the sample completes from the cellphone frame in a cell-phone-only screened design. Additionally, this paper shows that the sample sizes of cell phone only could be a function of unequal weight effect and survey cost. Thus, the organizer of the cell-phone-only screened design could substitute parameters into the function depending

* Postdoctoral Fellow, Center Survey Research, Research Center for Humanities and Social Sciences, Academia Sinica.

on different situations.

Keywords: cellphone survey, effective sample size, survey cost, dual-frame
telephone survey, unequal weighting effect