DOI: 10.6277/TER.202212_50(4).0002

環境汙染、疾病傳播與經濟成長

謝智源・陳智華・陳孟霆*

本文設計一個納入 SIS 傳染病機制與環境污染的內生成長模型, 凸顯環境污染是疾病傳播管道的事實, 據此指出經濟社會存兩種均衡。在無疾病均衡下, 政府的國民健康政策與污染防治政策均不會影響均衡成長率; 然而, 在流行病均衡下, 污染排放係數降低或污染減量效率提高均可以增加經濟社會的勞動力並刺激經濟成長表現。另外, 健康支出補貼政策與政府污染防治政策亦會提高流行病均衡下的勞動力與經濟成長率。

關鍵詞: 傳染病, 污染, 勞動力, 經濟成長, SIS 傳染病模型
JEL 分類代號: E62, H53

1 緒論

環境污染對國民健康存在重大危害, 除了會導致生產力降低之外, 也會縮短職涯長度並增加工作損失天數 (the number of days lost to illness) 等 (World Bank, 1993)。因此, Bovenberg and Smulders (1995)、Bovenberg and Smulders (1996)、Mohtadi (1996) 與陳智華與謝智源 (2008) 等人將這些環境污染所產生的傷害歸納爲環境的生產面外部性 (environmental production externality) 並納入他們所設計的環境成長模型之中。其文獻強調

*作者分別爲東吳大學經濟學系教授、淡江大學經濟學系教授與東吳大學經濟學系助理教授。陳智華爲通訊作者, E-mail: jhchen@mail.tku.edu.tw。本文初稿曾在台灣經濟學 2021 年年會以及 2022 環境永續與產業發展學術研討會宣讀, 感謝洪小文教授與蕭明福教授兩位評論人以及會議參與人對於本文的建議, 同時也感謝本刊編輯委員與兩位評審的指正。本文同時也獲得行政院國科會對本研究的經費補助, 一併致謝。文中如有任何缺失, 均爲作者修業未深之責。

經濟論文叢刊 (*Taiwan Economic Review*), 50:4 (2022), 395–422。
國立台灣大學經濟學系出版

臺灣大學學術期刊資料庫

環境品質提升有助於改善民衆健康、學習能力與生產力, 會對生產與資本邊際報酬產生正面影響, 因此積極的環境政策有機會得到環境品質維護和刺激經濟成長的雙重紅利。但上述的既存文獻均假設勞動固定, 忽略勞動力對於經濟社會影響的管道, 僅將環境污染影響國民健康的概念透過環境生產外部性引入模型之中, 因而無法探討環境污染對於勞動力這個重要的總體變數所產生的影響。

許多實證研究結果顯示環境污染對於勞動力會產生顯著的負面影響, 以空氣污染對勞動供給的影響爲例: Ostro (1983, 1987)、Ostro and Rothschild (1989) 與 Hausman, Ostro, and Wise (1984) 均指出懸浮微粒 (particulate matter, PM) 會讓工作損失天數 (work loss day, WLD) 與限制行爲天數 (restricted activity days, RAD) 顯著提高、Hansen and Selte (2000) 則發現 PM10 與 NO2 (二氧化氮) 對奧斯陸地區的病假天數影響顯著; Burtraw et al. (1998) 與 USEPA (1996) 則指出降低二氧化硫 (sulfur dioxide, SO2) 排放可以減少發病率; Zuidema and Nentjes (1997) 指出二氧化硫對丹麥的工作損失天數有顯著的影響; Hanna and Oliva (2015) 則利用墨西哥城的資料指出二氧化硫會導致工作時間減少。有一些學者將勞動內生的概念引入環境總體模型之中, 強調環境污染會影響勞動供給, 並對經濟社會產生影響。例如, Chen, Lai, and Shieh (2003)、Chen, Shieh, and Chang (2015) 與 Bosi, Desmarchelier, and Ragot (2015) 提出勞動休閒內生決定的 Ramsey (1928) 型態成長模型, 強調環境污染透過勞動來影響總體經濟的管道; Hettich (1998)、Oueslati (2002) 與 Bosi and Ragot (2013) 則利用納入勞動休閒內生與人力資本的內生成長模型, 強調環境政策可以引導民衆投資人力資本來取代實質資本, 進而刺激經濟成長表現; Schwartz and Repetto (2000)、Williams III (2003) 與 Chen, Shieh, and Chang (2015) 利用修正時間分配的限制條件, 納入可支配時間的概念, 也就是將所有時間扣除生病所造成的工作損失天數後才是民衆可以支配的時間, 因此民衆的工作與消費選擇會受到國民健康程度的影響, 並影響到資本報酬與投資行爲, 進而對總體經濟社會產生影響。

晚近有一些研究發現環境污染會提高疾病的傳播速度, 造成經濟社會的勞動力損失。Wong et al. (2009) 與 Huang et al. (2016) 發現 PM25、

臺灣大學學術期刊資料庫

PM10、NO2、O3等空氣污染物會成爲流感病毒的載體，會提高呼吸道相關疾病的發病率並可能引發結膜炎等相關疾病; Gupta et al. (2021)、Li et al. (2020) 與 Travaglio et al. (2021) 等學者發現空氣污染將會提高 COVID-19 新冠肺炎 (武漢肺炎) 的感染率與死亡率。Goenka and Liu (2020) 利用資本數量來反應經濟社會的發展程度, 強調經濟發展除了會提高民衆的壓力之外, 也會造成環境污染並提高疾病的感染率, 據此指出傳染性疾病會造成經濟社會存在多重收斂路徑, 並進一步討論最適國民健康政策及其特質。但很可惜的是, Goenka and Liu (2020) 的文章雖然指出這一點, 但他們的分析模型卻沒有具體化處理環境污染這個變數。Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 同時納入環境污染與 SIS (Susceptible-Infected-Susceptible) 傳染病機制到內生成長模型之中, 強調污染除了會影響民衆效用之外, 也會提高疾病傳播速度, 是造成內生性景氣循環的重要因子之一。該文同時發現污染稅雖然可以降低傳染病均衡 (endemic equilibrium) 的疾病傳染率並提高治癒率使得經濟社會的勞動力提高, 但卻會造成資本數量減少, 而且對消費與社會福利的影響並不確定。也許是爲了數學分析方便, Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 忽略民衆的健康維護這個重要的因子並假設代表性家計單位將疾病的感染率與治癒率視爲外生變數, 因此最適化決策過程中將健康狀態 (即爲勞動供給量) 視爲外生給定的條件, 遺漏了健康這個狀態變數 (state variable) 對於消費、投資以及總體均衡可能產生的影響。本文將拓展 Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 的分析模型, 納入民衆的健康維護機制, 重新檢視環境污染如何透過傳染性疾病來影響民衆的消費、投資與健康支出決策, 以及環境政策對於競爭均衡下的勞動力與經濟成長表現所產生的影響。

國民健康支出是總體經濟社會相當重要的經濟活動, 尤其是醫療支出具奢侈財特性, 使得國民健康支出隨著經濟發展而大幅提高。[1] 根據健保署資料, 2019年的國民醫療保健支出規模達到新台幣1兆2,385億元, 占 GDP 的比重約爲6.5%, 平均每人每年的醫療保健支出爲52,486元, 比上年度增加2.5%。OECD 國家的健康支出 (national health expenditure, NHE) 占 GDP 的比重平均值爲8.84%, 英國、德國、法國、比利時、奧地利、加拿

[1] Newhouse (1977) 估計醫療支出的所得彈性大約介於1.15與1.31之間。

臺灣大學學術期刊資料庫

大、日本與紐西蘭的健康支出占 GDP 比重甚至超過 10%。另外, 美國國民健康支出增加的幅度超過 GDP 的成長幅度, 從 1929 年有統計數據以來, 平均每人實質醫療支出的成長率大約是 3.8%, 而同期的 GDP 成長率大約只有 1.7%。到了 2019 年, 國民健康支出占 GDP 的比重已經來到 16.96%的水準。實證研究也指出, 國民健康對於總體經濟具有顯著且深遠的影響, 例如: Sala-i-Martin, Doppelhofer, and Miller (2004) 指出, 一國的期初健康條件對於經濟體系的成長現象具有顯著的影響; Weil (2007) 指出, 22%的跨國所得波動可以藉由健康因素來解釋; Knowles and Owen (1995) 的實證研究發現所得與健康 (health) 之間的關係遠比所得與教育之間的關係來得更爲重要而且顯著; Bloom and Canning (2005) 更指出, 健康對於總合產出具有顯著的正向影響, 然而教育對於生產力的影響則是微小而且不顯著的。過去有很多學者從理論觀點討論國民健康問題, Grossman (1972) 強調民衆會投入時間和資源進行醫療保健來維護自身的健康存量, 據此指出民衆的健康需求行爲會受到年齡、醫療價格、工資等因素的影響; Schwartz and Repetto (2000)、Williams III (2003) 與 Chen, Shieh, and Chang (2015) 強調環境污染會影響國民健康進而影響可支配時間 (稟賦時間扣除生病時間), 民衆可以透過健康維護投入改善健康狀態並提高可支配時間。不同於這些文獻, 本文利用 SIS 模型的特性, 強調環境污染會提高發病率與降低治癒率, 但民衆可以透過健康支出來改變健康狀態, 並據此指出政府對於民衆健康支出的補貼 (例如全民健保) 可以降低流行病均衡下的感染率並提高治癒率, 使得勞動力提高進而造成資本報酬增加, 因此有助於投資活動與經濟成長。[2]

具我們所知, Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 雖然連結了環境污染與疾病傳播, 但該文卻忽略民衆的健康維護行爲, 剝奪民衆影響勞動數量的機制, 因此將環境污染與疾病傳播之間的關係設定爲外生的經濟環境參數。這種處理方式最大的好處是大幅簡化數學分析, 因爲民衆將健康狀

[2]Hettich (1998)、Oueslati (2002)、Chen, Lai, and Shieh (2003)、Bosi and Ragot (2013) 等學者強調勞動休閒內生的機制, 認爲政府污染防治支出的增加會減少休閒時間並提高工作時間進而刺激經濟成長。本文的部分分析結果與這些文獻的發現一致, 但影響的管道和機制是不相同的, 此外我們的分析模型可以直接觀察政府的污染防治政策對於勞動力的影響。

臺灣大學學術期刊資料庫

態條件視爲外生參數, 所以最適化決策問題將不會出現勞動力的狀態變數限制。雖然勞動力的跨時變化關係仍然會影響競爭均衡結果 (競爭均衡條件包括勞動力的跨時變化關係), 環境污染或環境政策會透過勞動數量來影響競爭均衡, 但勞動力所扮演的角色宛如外生人口成長模型一般。本文納入民衆的健康維護機制, 除了反應這項經濟活動耗用了大量資源的實際狀況之外, 民衆將會根據經濟環境狀態調整他的決策行爲。因此, 環境污染或環境相關政策除了會影響民衆的健康支出之外, 也會影響消費與投資決策, 進而影響勞動力與總體經濟成長表現。本文的研究結果發現, 環境污染減量可以降低疾病的感染率並提高疾病的治癒率, 因此會降低國民健康支出的需求, 但環境污染減少卻可以增加勞動力並提高國民所得, 導致國民健康支出需求的提高。由於兩種力量是互相衝突的, 因此環境污染減少對於國民健康支出的影響呈現不確定的狀態。

此外, 本文也討論了國民健康支出補貼政策與政府的防治污染支出對於勞動力與經濟成長率的影響。我們發現, 國民健康支出補貼政策所產生的價格效果會讓民衆增加健康支出, 使得疾病的治癒率提高並降低感染率, 因此可以增加經濟社會的勞動力並刺激經濟成長表現。而勞動力提高將可以增加民衆的收入, 所得效果使得健康支出的需求增加, 進一步提升勞動力與經濟成長率。另一方面, 政府的污染防治支出增加將可以改善環境品質, 降低疾病的感染率並提高疾病的治癒率, 進而增加勞動力與經濟成長率。此外, 環境品質改善會降低感染率並提高治癒率會產生民衆健康支出需求減少的替代效果, 而勞動力增加所產生的所得效果將會誘使健康支出增加, 兩種力量是互相衝突的, 使得政府防治污染支出對國民健康支出份額的影響效果並不確定。

本文一共包含 4 節, 除了第 1 節的緒論之外, 第 2 節爲本文的分析模型。第 3 節先從理論觀點討環境污染減量、國民健康支出補貼與政府防治污染支出等參數與政策變動對於總體經濟體系的影響, 最後在輔以數值模擬驗證理論分析結果。第 4 節則爲本文的結論。

2 分析模型

本文設計一個納入 SIS 傳染病與環境污染的內生成長架構, 模型中的經

臺灣大學學術期刊資料庫

濟社會是由家計生產單位與政府部門所組成。以健康狀態做爲區分標準, 我們可以將民衆區分爲易受感染者 (susceptible, 以下稱之爲健康者) 與受感染者 (infected, 以下稱之爲生病者), 依循 Goenka, Liu, and Nguyen (2014)、Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 與 Goenka and Liu (2020) 等人的處理方式, 假設生病 (不健康) 的民衆將會喪失工作能力, 所有健康的民衆均爲勞動力 (labor force) 並投入生產活動。家計生產單位使用勞動與資本生產一種可供消費、健康維護、繳稅與累積資本的複合性商品 (composite goods), 但生產活動會造成環境污染, 使得民衆感到不舒服並影響疾病的感染率與治癒率。政府向代表性家計單位課徵稅賦來融通健康支出補貼與污染防治支出。

2.1 健康狀態與疾病傳播

霍亂、流感、非典型肺炎、禽流感、伊波拉出血熱、新冠肺炎 (COVID-19)、愛滋病等是典型的流行病, 藉由「接觸 — 感染 — 接觸」過程來散播疾病, 健康者接觸感染者將有一定的機率會受到疾病的感染而成爲受感染者, 受感染者則有一定的機會康復, 但康復後的民衆再度接觸受感染者還是可能存在致病的風險。爲了描繪這種現象, 流行病學理論 (epidemiology theorm) 發展出著名的 SIS 模型來討論傳染性疾病的傳播問題。這個模型也廣泛應用到各個領域, 例如電腦的病毒傳播與訊息傳播等領域。

假設經濟社會有 N 個民衆, 其中 S 個爲健康者, 另外 I 個則是受到疾病感染而呈現生病狀態的民衆, 因此 $N = S + I$。假設民衆接觸到病人的機率爲 Ω, 且疾病的感染率爲 β, 則每個時點新增的受感染人數 (脫離健康狀態) 爲 $\beta \cdot \Omega \cdot S$。另一方面, 若受感染者的治癒率爲 α, 則每個時點受感染者轉變爲健康者的人數爲 αI。我們將健康者與感染者的轉換關係描繪在圖 1 之中, 並利用以下的微分方程式來描繪健康者與生病者人數的跨期變化關係:[3]

$$\dot{S} = \alpha I - \beta\Omega \cdot S, \tag{1}$$

$$\dot{I} = \beta\Omega \cdot S - \alpha I, \tag{2}$$

[3]流行病模型有很多種設定方式, Hethcote (1989) 提供了常見的三種設定方式與應用說明, 本文採用的是該文的基本 SIS 模型。

臺灣大學學術期刊資料庫

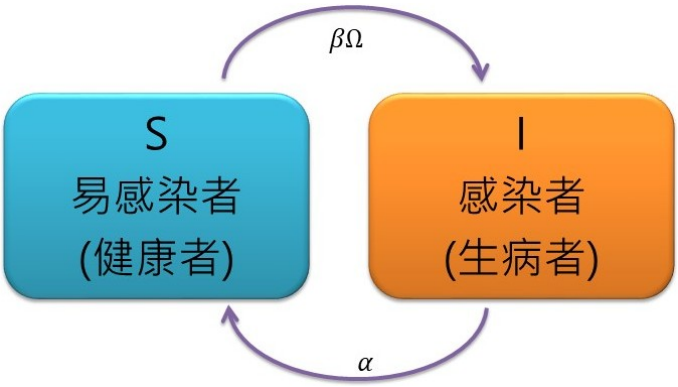


圖 1: SIS 傳染病過程

式中, $\dot{S}$ 與 $\dot{I}$ 分別是新增的健康者人數與新增的生病者 (受感染者) 人數。

依循 Goenka, Liu, and Nguyen (2014)、Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 與 Goenka and Liu (2020), 假設所有的健康民衆都是勞動力 L, 因此 $L = S$。若人口成長率爲 0, 利用式 (1) 與 (2) 可以將健康人口佔總人口比率 s 與勞動參與率 ℓ 的跨期變化關係表示爲:

$$\dot{s} = \alpha(1 - s) - \beta\Omega \cdot s, \tag{3}$$

$$\dot{\ell} = \alpha(1 - \ell) - \beta\Omega \cdot \ell, \tag{4}$$

式中 $s = (S/N)$ 且 $\ell = (L/N)$ 分別爲健康人口比率與勞動參與率 (或每人勞動數量)。根據式 (4) 可以得知, 代表性個人每一期會因爲生病而減少 $\beta\Omega\ell$ 單位的勞動量但也會因爲疾病康復而讓勞動供給增加 $\alpha(1-\ell)$ 單位, 代表性個人每一期都必須面對這個勞動數量變化關係的限制。

關於代表性個人的勞動供給變化關係有兩點必須補充說明的, 首先, 本文納入環境污染與健康維護的概念, 這兩個因子都會對疾病的發病率與治癒率產生顯著的影響。明確地說, 醫療行爲可以提高疾病的治癒率, 營養食品與保健食品則可以增加民衆的免疫力因此有助於降低疾病感染率, 許多健康經濟學的既存文獻, 例如 Grossman (1972)、Van Zon and Muysken (2001)、Williams III (2003) 等, 認爲健康維護支出 (包括實質商品的支出以及健康維護時間) 都可以提高民衆的健康狀態。Gersovitz and Hammer

臺灣大學學術期刊資料庫

(2004)、Goenka and Liu (2012, 2020) 與 Goenka, Liu, and Nguyen (2014) 等納入 SIS 架構的總體分析模型則將感染率與治癒率函數設計爲健康支出的函數。另一方面, Burtraw et al. (1998)、USEPA (1996)、Wong et al. (2009)、Huang et al. (2016)、Gupta et al. (2021)、Li et al. (2020) 與 Travaglio et al. (2021) 等學者則發現環境污染會提高疾病的感染率並降低疾病的治癒率, 因此 Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 將環境污染數量納入感染率函數與治癒率函數之中, 但卻忽略了民衆的健康維護的角色。根據上述討論, 我們將治癒率與感染率分別假設爲:

$$\alpha = \alpha(M, P) = \psi_1 M^{\theta_1} P^{-\theta_1}, \tag{5}$$

$$\beta = \beta(M, P) = \psi_2 M^{-\theta_2} P^{\theta_2}, \tag{6}$$

式中, M 爲民衆的健康支出, P 爲污染數量, ψ_1 與 ψ_2 是大於零的參數。另外, $0 < \theta_1 < 1$ 與 $0 < \theta_2 < 1$ 分別爲衡量健康支出對於治癒率和感染率的影響程度指標。

其次, 個別民衆是經濟社會渺小的個體, 因此接觸疾病帶原者的機率 Ω 對代表性個人來說是一個外生參數。但由於經濟體系的人口數爲 N 且感染者爲 I, 因此接觸病人的機會爲 I/N, 所以 $\Omega = (I/N) = 1 - \ell$ 的關係式在競爭均衡時將會成立, Gersovitz and Hammer (2004) 與 Goenka and Liu (2020) 也做了類似的假設。利用 $\Omega = 1 - \ell$ 的競爭均衡關係可以將式 (4) 改寫成 $\dot{\ell} = (1 - \ell)(\alpha - \beta\ell)$, 並得知當 $\ell = 1$ 或 $\ell = (\alpha/\beta)$ 時會讓 $\dot{\ell} = 0$。由於 ℓ 是勞動參與率, 是一個介於0到1之間的數值, 因此假設 $\alpha \leq \beta$。

2.2 代表性家計生產單位問題

代表性家計生產單位對經濟變數具有完全預知 (perfect foresight) 的能力, 藉由消費獲取正效用, 但環境污染卻會造成效用的降低。代表性家計生產單位以未來所有瞬時效用 (instantaneous utility) 折現值加總的極大爲追求

臺灣大學學術期刊資料庫

目標, 他的目標函數可以表示成:[4]

$$\max \int_0^{\infty} \left[lnc - \Lambda \frac{P^{1+\eta}}{1+\eta} \right] e^{-\rho t} dt, \tag{7}$$

式 (7) 中, c 爲每人消費水準、P 爲污染數量、η 是衡量污染對於效用影響效果的參數, $\rho > 0$ 則爲主觀的時間偏好率 (subject time preference)。必須說明的是, 本文並不考慮勞動 — 休閒決策, 假設所有的健康者都是勞動力直接進入勞動市場賺取工資, 代表性家計單位的瞬時效用函數不包含休閒這個變數。

代表性家計生產單位使用資本和勞動來生產複合性商品, 假設生產技術爲 Cobb-Douglas 形式, 即:

$$y = \widetilde{A} k^{1-\varepsilon} \ell^{\varepsilon}, \tag{8}$$

式中, y 是產出、$\widetilde{A}$ 是技術參數、k 是資本數量、ℓ 勞動投入量。另外, ε 是勞動的產出彈性, 爲了保證資本與勞動的邊際生產力爲正但呈現遞減現象, 因此假設 $0 < \varepsilon < 1$。由於本文採用內生成長模型做爲分析架構, 爲了讓經濟體系保證均衡成長率 (balanced growth rate) 的存在, 因此採用 Romer (1986) 提出的邊做邊學生產外部性做爲經濟成長引擎, 將生產技術假設爲 $\widetilde{A} = A\bar{k}^{\varepsilon}$, 其中 $\bar{k}$ 是經濟社會的平均資本存量。

資本累積是經濟體系唯一的儲蓄工具, 代表性家計生產單位在每一時點都會將所得分配於消費支出、健康支出、繳稅與投資上。代表性家計生產單位的預算限制式 (budget constraint) 可以寫成:

$$\dot{k} = y - c - (1-\tau)M - T, \tag{9}$$

[4]國民健康對於經濟社會的影響管道可以區分成生產、效用與資源限制三個面向來看。生產面效果是指國民健康可以增加勞工的生產力並將國民健康納入生產函數之中, 例如 Gupta and Barman (2010); 效用面效果是指國民健康可以讓民衆感覺良好並將國民健康納入效用函數之中, 例如 Grossman (1972); 資源限制面效果是指國民健康減少生病時間並增加勞動力, 例如 Goenka, Liu, and Nguyen (2014)、Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 與 Goenka and Liu (2020) 等。當然也有部分學者同時考量多種效果, 例如 Agénor (2008) 就同時將國民健康納入生產函數與效用函數之中。本文是一個納入環境因子的 SIS 架構, 爲了方便與既存文獻的分析結果進行比較, 我們依循 Goenka, Liu, and Nguyen (2014)、Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 與 Goenka and Liu (2020) 等學者的腳步僅考量國民健康的資源限制面效果。我們很感謝一位審查人指出這一點。

臺灣大學學術期刊資料庫

式中, $\dot{k}$ 是資本數量的跨期變化, 也就是投資, τ $(0 < \tau < 1)$ 則爲政府對於民衆健康支出的補貼率, 而 T 是定額稅。

另外, 我們假設代表性家計生產單位的健康支出是所得的某一個固定比率, 即:

$$M = \delta y, \tag{10}$$

式中, $\delta(0 < \delta < 1)$ 爲健康支出占所得的比率, 是民衆的內生選擇變數, 在代表性個人分析模型下同時也是國民健康支出份額 (national health expenditure share)。觀察經濟社會不難發現, 民衆在面對環境污染除了會購買空氣清淨機或淨水設備等改善生活環境品質的器具之外, 同時也會以運動、營養以及維他命、保健食品來維持健康狀態。根據衛生福利部的統計資料, 2019年的國民醫療保健支出爲1.24兆元, 佔 GDP 的6.5%。Van Zon and Muysken (2001) 指出西方先進國家的國民健康相關支出佔了國內生產毛額的8–9%。本文不同於 Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 該文並未考量健康維護機制並將健康狀態視爲外生給定的參數, 因此式 (4) 的健康狀態條件不會出現在民衆最適化決策問題之中, 動態規劃的數學處理可以忽略健康狀態這條狀態變數的限制, 大幅簡化數學分析過程。但這種處理方式除了無法反應經濟社會耗費大量資源的現實狀況之外, 也忽略了勞動力跨時變化對於民衆決策行爲所產生的影響效果, 造成分析模型退化成勞動休閒外生決定 (exogenous labor-leisure choice) 的情境。本文納入健康維護機制之後, 代表性家計單位可以藉由健康支出來改變健康狀態 (或勞動數量), 因此式 (4) 的健康狀態將會成爲代表性家計單位最適控制問題的限制條件之一, 當然會影響他的最適選擇行爲。

代表性家計生產單位在式 (9) 的預算限制條件、式 (8) 的生產技術、式 (10) 的健康支出關係、式 (4) 的健康狀態條件、式 (6) 的感染率與式 (5) 的治癒率這些限制條件下, 選取消費和健康支出份額來極大化式 (7) 的目標函數。令 λ 與 μ 分別爲資本與勞動力的共狀態變數, 則代表性家計生產單位的最適決策可以整理如下:

$$\frac{1}{c} = \lambda, \tag{11}$$

$$(1-\tau)\lambda y = \mu\delta^{-1}\left[\theta_1\Psi_1(1-\ell) + \theta_2\ell\Psi_2\Omega\right], \tag{12}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \rho - (1-\varepsilon)[1-\delta(1-\tau)]\frac{y}{k} - \frac{\mu(1-\varepsilon)\left[\theta_1\Psi_1(1-\ell)+\theta_2\ell\Psi_2\Omega\right]}{\lambda k}, \tag{13}$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = \rho - \frac{\lambda[1-\delta(1-\tau)]\varepsilon\frac{y}{\ell}}{\mu} + [\Psi_1+\Psi_2\Omega] - \frac{\varepsilon}{\ell}\left[\theta_1\Psi_1(1-\ell)+\theta_2\Psi_2\ell\Omega\right], \tag{14}$$

式中, $\Psi_1 = \psi_1(P/\delta y)^{-\theta_1}$ 與 $\Psi_2 = \psi_2(P/\delta y)^{\theta_2}$。除了以上4個方程式之外, 代表性家計生產單位的最適決策條件還必須再加上式 (4) 的健康狀態、式 (9) 的預算限制條件以及 $\lim_{t\to\infty}\lambda k e^{-\rho t} = 0$ 和 $\lim_{t\to\infty}\mu\ell e^{-\rho t} = 0$ 兩個終端條件 (transversality conditions)。上述的方程式中, 式 (11) 是代表性家計生產單位的最適消費決策, 式 (12) 是代表性家計生產單位的最適健康支出決策, 式 (13) 是最適資本數量決策, 式 (14) 則是勞動力的影子價格之跨期變化關係。值得特別說明的是, 當我們納入健康維護機制之後, 代表性家計單位的最適決策除了增加了式 (12) 與 (14) 之外, 同時也改變了式 (13) 的最適資本數量決策。

2.3 政府部門

政府向民衆課稅來融通健康支出補貼與政府污染防治支出, 假設政府並未發行公債, 因此政府在每一個時點都必須維持預算平衡。是以, 政府預算限制條件可以表示成:

$$T = G + \tau M, \tag{15}$$

其中, G 爲政府污染防治支出。

由於內生成長模型假設經濟體系處於均衡成長路徑時, 所有的成長變數都會以固定的成長率持續成長, 政府的污染防治支出當然也不能例外。依循 Turnovsky (2000) 處理政府支出的方式, 設定政府的污染防治支出是最終財產出的某一個固定比率, 即:

$$G = \phi y, \tag{16}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

式中, ϕ 爲公共汙染防治支出佔產出的比率, 或稱之爲政府污染防治支出份額 (public abaterment share), 是介於0到1之間的數值, 以下利用 ϕ 做爲政策分析的參數。

2.4 環境品質

生產活動不可避免地會產生污染, 我們假設生產活動是經濟體系唯一的污染源。在沒有污染稅或污染排放標準等環保政策的前提下, 理性的廠商並不會主動進行污染防治工作, 但政府的污染防治支出可以降低污染水準。依循 Xepapadeas (2005) 與 Bosi and Desmarchelier (2018, 2021), 我們將污染的生產函數假設爲:

$$P = ay - bG, \tag{17}$$

式中, a 爲污染排放係數, 是指一單位產出所製造出來的污染數量, b 爲污染減量效率, 是指一單位政府污染防治支出可以降低的污染量。將式 (16) 的政府污染防治支出關係式代入式 (17) 可以將污染的生產函數改寫成 $P = (a - b\phi)y$, 由於污染數量具有非負的特質, 因此我們假設 $a - b\phi \geqslant 0$。[5]

3 競爭均衡與比較靜態

當經濟社會處於對稱均衡 (symmetric equilibrium) 時, $k = \bar{k}$ 的關係式將會成立。是以, 對稱均衡下的生產函數可以表示成 $y = Ak\ell^{\varepsilon}$, 而政府的污染防治支出則可以改寫成 $G = \phi Ak\ell^{\varepsilon}$。此外, 均衡時的接觸率 $\Omega = 1 - \ell$ 這個關係式將會成立。利用式 (4)、(5)、(6)、(9) – (17) 可以將總體經濟的長期均衡關係以及短期動態調整特質以下列方程式來描繪:

$$\begin{aligned}(1-\tau)A\ell^{\varepsilon} = \mu(1-\ell)\Big[&\psi_1\theta_1\delta^{\theta_1-1}(a-b\phi)^{-\theta_1} \\ &+ \theta_2\ell\psi_2\delta^{-\theta_2-1}(a-b\phi)^{\theta_2}\Big]\frac{c}{k},\end{aligned} \tag{18}$$

[5]爲了分析的便利性, 環境經濟文獻通常會區分成流量性的污染問題與存量性的污染問題, 兩種設定方式的長期特質差異性其實不大。本文僅關注的是經濟社會的均衡特質, 因此僅考慮流量性的環境污染問題, 簡化數學的分析過程。

臺灣大學學術期刊資料庫

$$\dot{\ell} = (1-\ell)\left[\psi_1 \delta^{\theta_1}(a-b\phi)^{-\theta_1} - \ell\psi_2\delta^{-\theta_2}(a-b\phi)^{\theta_2}\right], \tag{19}$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = \rho + \psi_1\delta^{\theta_1}(a-b\phi)^{-\theta_1} + \psi_2\delta^{-\theta_2}(a-b\phi)^{\theta_2}(1-\ell) - \frac{\varepsilon(1-\ell)\left[\theta_1\psi_1\delta^{\theta_1}(a-b\phi)^{-\theta_1} + \theta_2\ell\psi_2\delta^{-\theta_2}(a-b\phi)^{\theta_2}\right]}{\ell\delta(1-\tau)}, \tag{20}$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = (1-\phi-\delta)A\ell^{\varepsilon} - \frac{c}{k}, \tag{21}$$

$$\frac{\dot{c}}{c} = (1-\varepsilon)A\ell^{\varepsilon} - \rho, \tag{22}$$

式 (18) 是國民健康支出份額的瞬時關係式, 式 (19) 是勞動力的跨期變化關係, 式 (20) 是勞動力的影子價格 μ 的跨期變化關係, 式 (21) 是經濟社會的資源限制條件, 式 (22) 是消費的成長率, 上述的5條方程式共同決定 δ、ℓ、μ、k 與 c 這5個內生變數。

本文是內生成長模型, 在均衡成長路徑 (balanced growth path) 之下所有變數都以固定的成長率持續地成長。利用式 (8)、(10)、(16)、(17) 與 (22) 可以得知, 產出、健康支出、資本存量、政府的污染防治支出與污染具有相同的均衡成長率。[6] 爲了數學處理的方便, 我們依循 Barro and Sala-i-Martin (2004) 的處理方式, 定義轉換變數 $x = (c/k)$, 並利用式 (21) 與 (22) 可以得到轉換變數的跨期變化關係爲:

$$\frac{\dot{x}}{x} = x + (\phi + \delta - \varepsilon)A\ell^{\varepsilon} - \rho。 \tag{23}$$

經過變數轉換處理之後, 總體經濟體系可以利用式 (18) – (20)、與 (23) 來描繪。但相關方程式均爲高度非線性化函數, 無法解出明顯解值, 只能利用隱含數定理討論政府政策或相關參數對於相關總體變數的影響。

最後, 利用式 (22) 可以將均衡成長率 γ^* 定義爲:

$$\gamma^* = (1-\varepsilon)A\ell^{*\varepsilon} - \rho, \tag{24}$$

變數上標 $*$ 代表該變數的長期均衡值, 以下不再逐一定義。

[6] 由於均衡成長路徑下的 ℓ 是介於0到1之間的常數, 因此藉由式 (22) 可以得知消費的成長率爲固定。利用這個關係與式 (21) 可以得知, 若想滿足資本成長率爲固定, 則必須要求消費與資本存量具有相同成長率。另外, 藉由式 (8) 與對稱均衡關係可以得知資本存量與產出具有相同成長率, 利用式 (10) 與 (16) 可以得知健康支出、政府的防治污染支出與產出具有相同的成長率, 透過式 (17) 可以得知污染與產出具有相同成長率。

臺灣大學學術期刊資料庫

命題 1. 經濟社會存在兩個均衡, 分別爲:「無疾病均衡 (disease-free equilibrium)」與「流行病均衡 (endemic equilibrium)」。

利用式 (19) 可以得知, $\dot{\ell} = 0$ 的解值有兩個, 分別是 $\ell^* = 1$ 與 $\ell^* = (\alpha/\beta)$。$\ell^* = 1$ 時稱之爲無疾病均衡, 經濟社會只存在健康者。$\ell^* = (\alpha/\beta)$ 的均衡稱之爲流行病均衡, 經濟社會只有一部分的人爲健康人口。總體經濟均衡則由式 (18) – (20) 與 (23) 共同決定。

3.1 無疾病均衡

我們首先關心無疾病均衡下的總體經濟特質與政策效果, 利用式 (18) – (22) 與 (24) 可以得到以下命題。

命題 2. 在無疾病均衡下,

1. 經濟體系存在一個完全預期均衡 (perfect foresight equilibrium), 且此時的均衡成長率爲 $\gamma^* = (1-\varepsilon)A - \rho$。
2. 單位產出的污染排放係數 (a)、政府支出的污染減量效率 (b)、健康支出補貼率 (τ) 與政府污染防治支出 (ϕ) 的變動均不會影響均衡成長率。

當 $\ell^* = 1$ 而使得 $\dot{\ell} = 0$ 時, 利用式 (24) 可知均衡成長率爲 $\gamma^* = (1-\varepsilon)A - \rho$。此外, 藉由式 (23) 很容易得知, 唯一的特性根爲正根, 因此該均衡爲完全預期均衡。此外, 利用式 (1) 或 (2) 與 $\Omega = 1 - \ell$ 的關係式可以得知, 此時的生病人數 (I^*) 爲 0, 所有的國民都是健康人口, 即 $S^* = N$。

命題 2 的結果相當直覺, 由於經濟社會終將收斂到無疾病均衡, 使得生病人口完全消失, 因此即便政府提供的健康支出補貼可以降低民衆健康支出的成本, 理性的代表性家計生產單位仍然不會增加健康維護活動的支出, 當然也就不會改變勞動力進而對經濟成長產生影響。此外, 政府防治污染雖然可減緩環境污染, 降低感染率並提高治癒率, 但卻無法改變經濟社會終將收斂到無疾病均衡的結果, 當然不會影響勞動力與經濟成長率。

臺灣大學學術期刊資料庫

3.2 流行病均衡

在流行病均衡下, 利用式 (18) 可以將國民健康支出份額的瞬時關係 δ 以下面的隱含數來表示:

$$\delta = \delta\left(\underset{(+)}{x}, \underset{(?)}{\ell}, \underset{(+)}{\mu}, \underset{(+)}{\tau}, \underset{(?)}{\phi}, \underset{(?)}{a}, \underset{(?)}{b}\right)。 \tag{25}$$

爲了行文順暢, 式 (25) 僅列出相關變數的比較靜態之性質符號, 詳細的比較靜態關係式參見附錄 1。將式 (25) 代回式 (19)、(20) 與 (23) 這三條微分方程式後可以解出 x、ℓ 與 μ 的長期均衡值及其比較靜態, 再將相關的數學結果代入式 (25) 與 (24) 可以分別解出國民健康支出份額的均衡值與均衡經濟成長率。以下僅關注完全預期均衡下的比較靜態分析結果, 據此整理成以下幾個命題。

命題 3. 在均衡的健康支出相對較小 ($\delta^* < \bar{\delta}$) 的前提下, 流行病均衡存在且爲完全預期均衡 (an unique perfect foresight equilibrium)。[7]

命題 4. 在流行病均衡爲完全預期均衡的前提下, 單位產出的污染排放係數 (a) 降低或政府支出的污染減量效率 (b) 的提高均可以增加勞動力, 並刺激經濟成長, 但對於國民健康支出份額的影響並不確定。

利用式 (18) – (20) 與 (23) 與 $\dot{x} = \dot{\mu} = \dot{\ell} = 0$ 的關係可以得知, 污染排放係數降低或污染減量效率提高對於均衡勞動數量的影響分別爲:

$$\frac{\partial \ell^*}{\partial a} = \frac{\alpha\varepsilon\,(1-\ell^*)\,(\theta_1+\theta_2)^2}{\beta\theta_2(a-b\phi)(1-\tau)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} < 0, \tag{26}$$

$$\frac{\partial \ell^*}{\partial b} = -\frac{\alpha\varepsilon\phi\,(1-\ell^*)\,(\theta_1+\theta_2)^2}{\beta\theta_2(1-\tau)(a-b\phi)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} > 0, \tag{27}$$

式中 $\bar{\delta} = [\varepsilon(\theta_1+\theta_2)(1-\ell^*+\theta_2+\theta_1\ell^*)]/[\theta_2(1-\tau)]$。我們可以進一步得知以下的比較靜態:

$$\frac{\partial \delta^*}{\partial a} = -\frac{\delta^*\left[\varepsilon\,(\theta_1+\theta_2)\,(\theta_2+\theta_1\ell^*)-(1-\tau)\theta_2\delta^*\right]}{\theta_2(a-b\phi)(1-\tau)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} \gtrless 0, \tag{28}$$

$$\frac{\partial \delta^*}{\partial b} = \frac{\phi\left[\varepsilon\,(\theta_1+\theta_2)\,(\theta_2+\theta_1\ell^*)-(1-\tau)\theta_2\delta^*\right]}{\theta_2(a-b\phi)(1-\tau)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} \gtrless 0。 \tag{29}$$

[7] 詳見附錄 2。

臺灣大學學術期刊資料庫

再利用式 (24)、式 (26) 與 (27) 可以得知 a 與 b 變動對於均衡經濟成長率的影響分別爲:

$$\frac{\partial \gamma^*}{\partial a} = (1-\varepsilon)\varepsilon A \ell^{*\varepsilon-1} \frac{\partial \ell^*}{\partial a} < 0, \tag{30}$$

$$\frac{\partial \gamma^*}{\partial b} = (1-\varepsilon)\varepsilon A \ell^{*\varepsilon-1} \frac{\partial \ell^*}{\partial b} > 0。 \tag{31}$$

命題4的結果很直覺, 因爲污染排放係數下降 (a 變小) 或污染減量效率提高 (b 變大) 均可以減少經濟社會的污染數量, 降低疾病感染率並提高疾病的治癒率, 因此可以增加勞動力進而提高資本的邊際報酬, 吸引投資並促進經濟成長。這個結論符合 Ostro (1983, 1987)、Ostro and Rothschild (1989)、Hausman, Ostro, and Wise (1984)、Hansen and Selte (2000)、Burtraw et al. (1998)、USEPA (1996)、Zuidema and Nentjes (1997) 與 Hanna and Oliva (2015) 等人的實證研究結果, 也就是空氣污染物會造成勞動力的減損。另一方面, 污染排放係數降低或污染減量效率提高對於民衆的健康支出影響管道包括污染對於健康需求的直接刺激效果與所得效果, 直接的刺激效果是指污染現象改善後降低疾病感染率並提高治癒率這會造成民衆對於健康支出需求減少, 所得效果則是指環境污染改善所帶來的勞動力增加將可以讓所得增加使得民衆有更多的資源進行健康維護, 但兩種管道對於國民健康支出的影響相互衝突, 使得式 (28) 與 (29) 的比較靜態結果呈現不確定狀態。

命題 5. 在流行病均衡爲完全預期均衡的前提下, 政府的健康支出補貼政策與污染防治政策均可以增加勞動力並刺激經濟成長表現。健康支出補貼政策可以提高國民健康支出份額, 但政府的污染防治政策對於國民健康支出份額的影響並不確定。

當經濟社會處於均衡成長路徑時, 消費和資本存量呈現相同成長率使得 $\dot{x} = 0$, 且均衡成長路徑下的勞動數量與勞動力的共狀態變數 μ 的成長率均爲0, 即 $\dot{\ell} = \dot{\mu} = 0$。據此, 利用式 (18) – (20) 與 (23) 可以得知政府

臺灣大學學術期刊資料庫

的健康支出補貼政策與污染防治支出增加對於勞動數量的影響爲:

$$\frac{\partial \ell^*}{\partial \tau} = -\frac{(\theta_1+\theta_2)^2(1-\ell^*)\alpha\varepsilon}{(1-\tau)^2\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)\theta_2\beta} > 0, \tag{32}$$

$$\frac{\partial \ell^*}{\partial \phi} = -\frac{\alpha\varepsilon b(1-\ell^*)(\theta_1+\theta_2)^2}{\beta\theta_2(a-b\phi)(1-\tau)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} > 0, \tag{33}$$

並可以進一步得知:

$$\frac{\partial \delta^*}{\partial \tau} = -\frac{\delta^*(1-\ell^*)(\theta_1+\theta_2)}{\theta_2(1-\tau)^2\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} > 0, \tag{34}$$

$$\frac{\partial \delta^*}{\partial \phi} = \frac{b\delta^*\left[\varepsilon(\theta_1+\theta_2)(\theta_2+\theta_1\ell^*)-(1-\tau)\theta_2\delta^*\right]}{\theta_2(a-b\phi)(1-\tau)\left(\delta^*-\bar{\delta}\right)} \gtrless 0。 \tag{35}$$

再利用式 (24)、式 (32) 與 (33) 可以得知政府的健康支出政策與污染防治政策對於均衡經濟成長率的影響爲:

$$\frac{\partial \gamma^*}{\partial \tau} = \varepsilon(1-\varepsilon)A\ell^{*\varepsilon-1}\cdot\frac{\partial \ell^*}{\partial \tau} > 0, \tag{36}$$

$$\frac{\partial \gamma^*}{\partial \phi} = \varepsilon(1-\varepsilon)A\ell^{*\varepsilon-1}\frac{\partial \ell^*}{\partial \phi} > 0。 \tag{37}$$

式 (32) – (37) 的比較靜態結果相當直覺, 因爲健康支出補貼會讓民衆健康維護的成本降低, 價格效果讓代表性家計生產單位增加健康支出比率, 因此會降低感染率並提高治癒率而使得均衡勞動數量增加。勞動數量增加帶來的所得提高產生的所得效果將會刺激民衆提高健康支出比重, 進一步增加經濟社會的均衡勞動力。由於價格效果與所得效果的方向一致, 式 (34) 的比較靜態結果顯示, 健康支出補貼政策將會刺激民衆提高健康支出。另一方面, 勞動力提高可以增加產出但卻同時增加經濟社會的污染數量, 此時也會讓代表性家計單位的健康支出與政府的污染防治支出同幅度的提高, 因此不會改變疾病的傳染率與治癒率, 也就不會對均衡勞動數量產生額外的影響。此外, 在 Cobb-Douglas 型態的生產函數之下, 勞動量增加將會造成資本的邊際報酬提高, 代表性家計單位將會增加投資, 因此有助於經濟成長表現 (見式 (36))。

另一方面, 政府的污染防治支出增加可以減緩經濟社會的污染現象, 使得疾病感染率降低並提高疾病的治癒率, 因此可以增加經濟社會的勞動

臺灣大學學術期刊資料庫

力。勞動力提高可以增加代表性家計單位的所得, 產生的所得效果會讓健康支出增加。另一方面, 雖然政府的污染防治減緩環境污染可以減緩疾病傳播速度, 但卻會讓代表性家計單位產生健康支出減少的替代效果。由於所得效果與替代效果的力量是相互衝突的, 因此式 (35) 的比較靜態結果呈現不定的狀態。另一方面, 政府的污染防治支出增加可以提高勞動供給量使得資本的邊際報酬提高, 因此可以刺激投資與經濟成長表現 (見式 (37))。許多環境經濟學者, 例如 Bovenberg and Smulders (1995)、Smulders and Gradus (1996) 與 Bovenberg and de Mooij (1997) 等, 強調環境政策可以改善環境品質, 產生生產外部性, 進而提高經濟成長率。

3.3 數值模擬

本文參照 Bosi and Desmarchelier (2018, 2021) 數值模擬參數設定, 將非主要之參數, 包括衡量健康支出對於治癒率和感染率的彈性指標 (θ_1, θ_2) 與係數 (ψ_1, ψ_2) 均標準化爲 1, 並將政府污染防治支出份額 (ϕ) 設定爲 0.015。另外, 我們假設技術參數 (A)、勞動產出彈性 (ε) 以及時間偏好率 (ρ) 分別爲 0.2、2/3 與 0.04, 這些數值符合大部分實證研究的結果。藉由單一參數對健康支出占所得的比率 (δ)、勞動投入量 (ℓ)、以及經濟成長率 (γ) 的影響來校準單位產出的污染排放係數 (a) 與政府支出的污染減量效率 (b), 分別將 a 與 b 設定爲 0.4 與 0.3, 這個數值滿足 $a - b\phi > 0$ 的污染數量具有非負的特質。最後, 文獻並未記載政府對於民衆健康支出的補貼率 (τ), 我們以衛生福利部中央健康保險署公民營事業保險費負擔比率 10%做爲基準。

圖 2 描繪單位產出的污染排放係數對於健康支出份額、勞動投入量與經濟成長率等重要經濟變數的影響, 在我們給定的參數數值下, 單位產出的污染排放係數提高時, 將會讓家計生產單位增加健康支出, 並導致勞動力 (勞動投入量) 下降, 使得經濟成長率降低。圖 3 則是政府支出的污染減量效率對於相關變數的影響效果, 模擬結果顯示, 污染減量效率提高將會造成疾病的感染率降低, 使得家計生產單位的健康支出減少, 因此可以提高勞動力與經濟成長率。上述兩個數值模擬結果符合命題 4 的結論, 也和

臺灣大學學術期刊資料庫

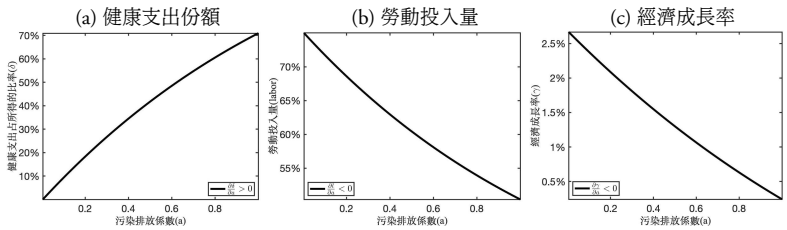


圖 2: 單位產出的污染排放係數之影響

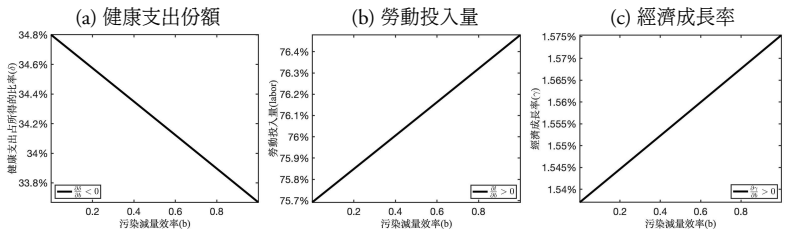


圖 3: 政府污染防治支出效率之影響

眾多實證研究結果一致。[8]

圖 4 與圖 5 分別模擬健康支出補貼與污染防治支出兩項政府政策對於重要經濟變數的影響。圖 4 的模擬結果顯示, 在給定的參數數值下, 政府的健康支出補貼率提高將會使得代表性家計單位增加健康支出, 使得勞動力提高, 進而造成經濟成長率增加。圖 5 的數值分析則顯示, 政府污染防治支出提高將會讓代表性家計生產單位降低健康支出, 但在所選選定的參數之下仍可以增加勞動力, 因此會讓經濟成長率提高。上述模擬結果符合命題 5 的數學分析結果, 也呼應既存文獻的實證研究發現。[9]

4 結論

很多研究顯示, 污染對於疾病傳播具有相當顯著的影響力, 而民眾的健康

[8]詳見 Ostro (1983, 1987)、Ostro and Rothschild (1989)、Hausman, Ostro, and Wise (1984)、Hansen and Selte (2000)、Burtraw et al. (1998)、USEPA (1996)、Zuidema and Nentjes (1997) 與 Hanna and Oliva (2015)。

[9]詳見 Bovenberg and Smulders (1995)、Smulders and Gradus (1996) 與 Bovenberg and de Mooij (1997)。

臺灣大學學術期刊資料庫

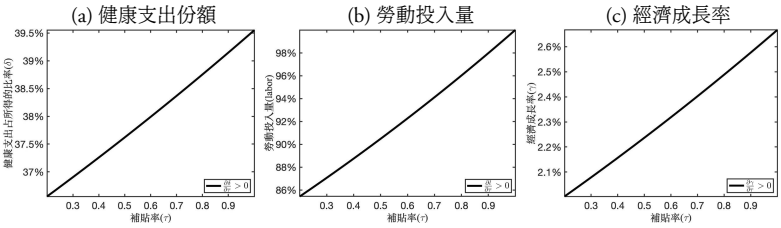


圖 4: 政府健康支出補貼之影響

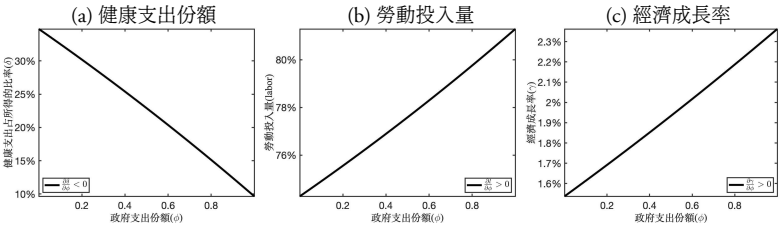


圖 5: 政府污染防治支出之影響

狀態又和經濟社會的勞動數量息息相關。因此, 本文設立一個納入疾病傳播與環境污染的內生成長模型, 模型的特色是考量污染會造成民眾生病機率提高並使得疾病的治癒率降低, 但代表性個人會投入資源進行健康維護來影響健康狀態, 因此經濟社會的勞動力數量將會受到影響, 進而影響到消費、生產活動與總體經濟均衡。我們的研究指出, 經濟社會可能存在兩種均衡, 分別是無疾病均衡與流行病均衡。在無疾病均衡下, 污染累積過程與政府的環保政策和健保政策均不會影響經濟社會的勞動力與均衡成長率。在流行病均衡的情境下, 污染排放係數降低或污染減量效率提高均可以提高經濟社會的勞動力並刺激經濟成長表現, 但對於國民健康支出份額的影響卻是不確定的。另外, 政府的健康支出補貼政策與污染防治政策均可以增加勞動力並刺激經濟成長表現, 但政府污染防治支出政策對於國民健康支出份額的影響卻呈現不確定的影響效果。

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄1

利用式 (18) 可以將國民健康支出份額的瞬時關係以下列的隱含數來表示:

$$\delta = \delta \left(\underset{(+)}{x}, \underset{(?)}{\ell}, \underset{(+)}{\mu}, \underset{(+)}{\tau}, \underset{(?)}{\phi}, \underset{(?)}{a}, \underset{(?)}{b} \right),$$

該函數的各項偏微分爲:

$$\begin{aligned}
\delta_x &= \frac{(1-\tau)A\ell^{\varepsilon}}{\Delta_1 x} > 0, \\
\delta_\ell &= \frac{-1}{\Delta_1}\left\{ \frac{(1-\tau)A\ell^{\varepsilon-1}[\ell + \varepsilon(1-\ell)]}{1-\ell} - \frac{(1-\ell)\mu x \beta \theta_2}{\delta} \right\} \gtrless 0, \\
\delta_\mu &= \frac{(1-\tau)A\ell^{\varepsilon}}{\Delta_1 \mu} > 0, \\
\delta_\tau &= \frac{A\ell^{\varepsilon}}{\Delta_1} > 0, \\
\delta_\phi &= \frac{(1-\ell)\alpha b \mu x \left(\theta_1^2 - \theta_2^2\right)}{\Delta_1 \delta (a - b\phi)} \gtrless 0, \\
\delta_a &= -\frac{\alpha \mu x (1-\ell)\left(\theta_1^2 - \theta_2^2\right)}{\Delta_1 \delta (a - b\phi)} \gtrless 0, \\
\delta_b &= \frac{\alpha \mu x \phi (1-\ell)\left(\theta_1^2 - \theta_2^2\right)}{\Delta_1 \delta (a - b\phi)} \gtrless 0,
\end{aligned}$$

其中, $\Delta_1 = (1-\ell)\alpha\mu x\delta^{-2}[\theta_1(1-\theta_1) + \theta_2(1+\theta_2)] > 0$。

附錄2

利用式 (19) (20) 可以得到以下的均衡關係:

$$\delta^* = f(\delta^*) = \frac{\varepsilon\,(\theta_1+\theta_2)\,(1-\ell^*)\,\psi_1 \delta^{*\theta_1}(a-b\phi)^{\theta_1}}{(1-\tau)\ell^*\left[\rho + \psi_2 \delta^{*-\theta_2}(a-b\phi)^{\theta_2}\right]},$$

式中 $\ell^* = (\psi_1/\psi_2)(\delta^*/a - b\phi)^{\theta_1+\theta_2}$。據此可知, $\lim_{\delta^*\to 0} f(\delta^*) = (\varepsilon(\theta_1 + \theta_2)(a-b\phi)^{\theta_1}/1-\tau)$ 且 $\lim_{\delta^*\to\infty} f(\delta^*) = -\infty$、且 $f'(\delta^*) < 0$。藉由定點定理 (fixed point theory) 可以得知, 必定存在唯一均衡的國民健康支出份額 δ^*。再將 δ^* 代回式 (19) 可以得到均衡的 ℓ, 並利用式 (20) 與 (23) 可以

臺灣大學學術期刊資料庫

分別解出均衡的 μ 與 x。爲了節省篇幅, 在此就不提供相關的圖形說明。但必須說明的是, 相關方程式具有高度非線性特質, 因此無法解出明顯解值, 僅能透過隱函數定理進行比較靜態分析。

將式 (25) 分別代入式 (19)、(20) 與 (23), 並在均衡點附近做泰勒線性展開可將變數轉換處理後的總體經濟體系表示爲:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\ell} \\ \dot{\mu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x^* \\ \ell - \ell^* \\ \mu - \mu^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{14}d\tau + a_{15}d\phi + a_{16}da + a_{17}db \\ a_{24}d\tau + a_{25}d\phi + a_{26}da + a_{27}db \\ a_{34}d\tau + a_{35}d\phi + a_{36}da + a_{37}db \end{bmatrix},$$

式中

$$\begin{aligned}
a_{11} &= x^* \left(1 + A\ell^{*\varepsilon}\delta_x\right), \\
a_{12} &= x^* A\ell^{*\varepsilon-1} \left[\varepsilon(\phi + \delta - \varepsilon) + \ell^*\delta_\ell\right], \\
a_{13} &= x^* A\ell^{*\varepsilon}\delta_\mu, \\
a_{14} &= x^* A\ell^{*\varepsilon}\delta_\tau, \\
a_{15} &= x^* A\ell^{*\varepsilon} \left(1 + \delta_\phi\right), \\
a_{16} &= x^* A\ell^{*\varepsilon}\delta_a, \\
a_{17} &= x^* A\ell^{*\varepsilon}\delta_b, \\
a_{21} &= \frac{\alpha\left(1 - \ell^*\right)\left(\theta_1 + \theta_2\right)}{\delta^*}\delta_x, \\
a_{22} &= \left(1 - \ell^*\right)\left[\frac{\alpha\left(\theta_1 + \theta_2\right)\delta_\ell}{\delta^*} - \beta\right], \\
a_{23} &= \frac{\alpha\left(1 - \ell^*\right)\left(\theta_1 + \theta_2\right)\delta_\mu}{\delta^*}, \\
a_{24} &= \frac{\alpha\left(1 - \ell^*\right)\left(\theta_1 + \theta_2\right)\delta_\tau}{\delta^*}, \\
a_{25} &= \alpha\left(1 - \ell^*\right)\left(\theta_1 + \theta_2\right)\left(\frac{\delta_\phi}{\delta^*} + \frac{b}{a - b\phi}\right),
\end{aligned}$$

臺灣大學學術期刊資料庫

$$a_{26} = \alpha\left(1-\ell^*\right)(\theta_1+\theta_2)\left(\frac{1}{\delta^*}\delta_a - \frac{1}{a-b\phi}\right),$$

$$a_{27} = \alpha\left(1-\ell^*\right)(\theta_1+\theta_2)\left(\frac{\delta_b}{\delta^*} + \frac{\phi}{a-b\phi}\right),$$

$$a_{31} = \mu^*\frac{\Gamma}{\delta^*}\delta_x,$$

$$a_{32} = \mu^*\left\{\frac{\alpha\varepsilon\,(\theta_1+\theta_2\ell^*)}{(1-\tau)\ell^{*2}\delta^*} - \beta + \frac{\Gamma\delta_\ell}{\delta^*}\right\},$$

$$a_{33} = \mu^*\frac{\Gamma}{\delta^*}\delta_\mu,$$

$$a_{34} = -\mu^*\left[\frac{\varepsilon\alpha\,(1-\ell^*)\,(\theta_1+\theta_2)}{(1-\tau)^2\ell^*\delta^*} - \frac{\Gamma\delta_\tau}{\delta^*}\right],$$

$$a_{35} = \mu^*\left\{\frac{b}{a-b\phi}\left[\alpha\theta_1 - \beta\theta_2\left(1-\ell^*\right) - \frac{\alpha\varepsilon\,(1-\ell^*)\left(\theta_1^2-\theta_2^2\right)}{(1-\tau)\ell^*\delta^*}\right] + \frac{\Gamma\delta_\phi}{\delta^*}\right\},$$

$$a_{36} = -\mu^*\left\{\frac{1}{a-b\phi}\left[\alpha\theta_1 - \beta\theta_2\left(1-\ell^*\right) - \frac{\alpha\varepsilon\,(1-\ell^*)\left(\theta_1^2-\theta_1^2\right)}{(1-\tau)\ell^*\delta^*}\right] - \frac{\Gamma}{\delta^*}\delta_a\right\},$$

$$a_{37} = \mu^*\left\{\frac{\phi}{a-b\phi}\left[\alpha\theta_1 - \beta\theta_2\left(1-\ell^*\right) - \frac{\alpha\varepsilon\,(1-\ell^*)\left(\theta_1^2-\theta_2^2\right)}{(1-\tau)\ell^*\delta^*}\right] + \frac{\Gamma}{\delta^*}\delta_b\right\},$$

式中, $\Gamma = \alpha(\theta_1+\theta_2) - \beta\theta_2 + [\alpha\varepsilon(1-\ell^*)/(1-\tau)\ell^*\delta^*][\theta_1(1-\theta_1) + \theta_2(1+\theta_2)]$。

據此可知, 利用根與係數的關係可知:

$$Det = \Delta = \frac{\alpha\beta\theta_2 x^*\mu^*(1-\ell)\delta_\mu}{\ell^*\delta^{*2}}\left(\delta^* - \bar{\delta}\right) \gtrless 0 \quad 若 \quad \delta^* \gtrless \bar{\delta},$$

式中 $\bar{\delta} = [\varepsilon(\theta_1+\theta_2)(1-\ell^*+\theta_2+\theta_1\ell^*)]/[\theta_2(1-\tau)]$。由於 ℓ 是存量變數而 μ 與 x 是流量變數, 因此若想要滿足經濟社會存在完全預期均衡必須要求聯立微分方程體系存在兩個正的特性根與一個負的特性根, 因此我

臺灣大學學術期刊資料庫

們假設 $\delta^* < \bar{\delta}$ 讓 $\Delta < 0$。

參考文獻

陳智華與謝智源 (2008), "污染管制與經濟成長: 一個不完全競爭的總體模型,"《經濟論文叢刊》, 36(3), 357–392。(Chen, Jhy-Hwa and Jhy-Yuan Shieh (2008), "Emission Standards Policy and Economic Growth: An Imperfectly Competitive Macro Model," *Taiwan Economic Review*, 36(3), 357–392.)

Agénor, Pierre-Richard (2008), "Health and Infrastructure in A Model of Endogenous Growth," *Journal of Macroeconomics*, 30(4), 1407–1422.

Barro, Robert J. and Xavier I. Sala-i-Martin (2004), *Economic Growth*, 2nd ed., London: The MIT Press.

Bloom, David E. and David Canning (2005), "Health and Economic Growth Micro and Macro Evidence," CDDRL Working Paper.

Bosi, Stefano and David Desmarchelier (2018), "Pollution and Infectious Diseases," *International Journal of Economic Theory*, 14(4), 351–372. doi:10. 1111/ijet.12157.

——— (2021), "Pollution Effects on Disease Transmission and Economic Stability," *International Journal of Economic Theory*, 17(2), 169–189.

Bosi, Stefano, David Desmarchelier, and Lionel Ragot (2015), "Pollution Effects on Labor Supply and Growth," *International Journal of Economic Theory*, 11(4), 371–388.

Bosi, Stefano and Lionel Ragot (2013), "On the Optimal Control of Pollution in A Human Capital Growth Model," *Mathematical Economics Letters*, 1(1), 9–15.

Bovenberg, A. Lans and Ruud A. de Mooij (1997), "Environmental Tax Reform and Endogenous Growth," *Journal of Public Economics*, 63(2), 207–237.

Bovenberg, A. Lans and Sjak A. Smulders (1995), "Environmental Quality and Pollution-augmenting Technological Change in A Two-sector Endogenous Growth Model," *Journal of Public Economics*, 57(3), 369–391.

——— (1996), "Transitional Impacts of Environmental Policy in An Endogenous Growth Model," *International Economic Review*, 37(4), 861–893.

臺灣大學學術期刊資料庫

Burtraw, Dallas, Alan Krupnick, Erin Mansur, David Austin, and Deirdre Farrell (1998), "Costs and Benefits of Reducing Air Pollutants Related to Acid Rain," *Contemporary Economic Policy*, 16(4), 379–400.

Chen, Jhy-hwa, Ching-chong Lai, and Jhy-yuan Shieh (2003), "Anticipated Environmental Policy and Transitional Dynamics in An Endogenous Growth Model," *Environmental and Resource Economics*, 25(2), 233–254.

Chen, Jhy-hwa, Jhy-yuan Shieh, and Juin-jen Chang (2015), "Environmental Policy and Economic Growth: The Macroeconomic Implications of The Health Effect," *The BE Journal of Macroeconomics*, 15(1), 223–253.

Gersovitz, Mark and Jeffrey S. Hammer (2004), "The Economical Control of Infectious Diseases," *Economic Journal*, 114(492), 1–27.

Goenka, Aditya and Lin Liu (2012), "Infectious Diseases and Endogenous Fluctuations," *Economic Theory*, 50(1), 125–149.

——— (2020), "Infectious Diseases, Human Capital and Economic Growth," *Economic Theory*, 70(1), 1–47.

Goenka, Aditya, Lin Liu, and Manh-Hung Nguyen (2014), "Infectious Diseases and Economic Growth," *Journal of Mathematical Economics*, 50, 34–53.

Grossman, Michael (1972), "On The Concept of Health Capital and The Demand for Health," *Journal of Political Economy*, 80(2), 223–255.

Gupta, Ankit, Hemant Bherwani, Sneha Gautam, Saima Anjum, Kavya Musugu, Narendra Kumar, Avneesh Anshul, and Rakesh Kumar (2021), "Air Pollution Aggravating COVID-19 Lethality? Exploration in Asian Cities Using Statistical Models," *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6408–6417.

Gupta, Manash Ranjan and Trishita Ray Barman (2010), "Health, Infrastructure, Environment and Endogenous Growth," *Journal of Macroeconomics*, 32(2), 657–673.

Hanna, Rema and Paulina Oliva (2015), "The Effect of Pollution on Labor Supply: Evidence from A Natural Experiment in Mexico City," *Journal of Public Economics*, 122, 68–79.

Hansen, Anett C. and Harald K. Selte (2000), "Air Pollution and Sick-leaves," *Environmental and Resource Economics*, 16(1), 31–50.

Hausman, Jerry A., Bart D. Ostro, and David A. Wise (1984), "Air Pollution and Lost Work," NBER Working Papers, No. 1263.

臺灣大學學術期刊資料庫

Hethcote, Herbert W. (1989), "Three Basic Epidemiological Models," in Simon A., Thomas G. Hallam, and Louis J. Gross (eds.), *AppliedMathematical Ecology*, 119–144.

Hettich, Frank (1998), "Growth Effects of A Revenue-neutral Environmental Tax Reform," *Journal of Economics*, 67(3), 287–316.

Huang, Lei, Lian Zhou, Jin Chen, Kai Chen, Yang Liu, Xiaodong Chen, and Fenyang Tang (2016), "Acute Effects of Air Pollution on Influenza-like Illness in Nanjing, China: A Population-ased Study," *Chemosphere*, 147, 180–187.

Knowles, Stephen and P. Dorian Owen (1995), "Health Capital and Cross-country Variation in Income Per Capita in The Mankiw-Romer-Weil model," *Economics Letters*, 48(1), 99–106.

Li, He, Xiao-Long Xu, Da-Wei Dai, Zhen-Yu Huang, Zhuang Ma, and Yan-Jun Guan (2020), "Air Pollution and Temperature Are Associated with Increased COVID-19 Incidence: A Time Series Study," *International Journal of Infectious Diseases*, 97, 278–282.

Mohtadi, Hamid (1996), "Environment, Growth, and Optimal Policy Design," *Journal of Public Economics*, 63(1), 119–140.

Newhouse, Joseph P. (1977), "Medical Care Expenditure: A Cross-National Survey," *Journal of Human Resources*, 12(1), 115–125.

Ostro, Bart D. (1983), "The Effects of Air Pollution on Work Loss and Morbidity," *Journal of Environmental Economics and Management*, 10(4), 371–382.

——— (1987), "Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test," *Journal of Environmental Economics and Management*, 14(1), 87–98.

Ostro, Bart D. and Susy Rothschild (1989), "Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity: An Observation Study of Multiple Pollutants," *Environmental Research*, 50(2), 238–247.

Oueslati, Walid (2002), "Environmental Policy in An Endogenous Growth Model with Human Capital and Endogenous Labor Supply," *Economic Modelling*, 19(3), 487–507.

Ramsey, Frank Plumpton (1928), "A Mathematical Theory of Saving," *Economic Journal*, 38(152), 543–559.

Romer, Paul M. (1986), "Increasing Returns and Long-run Growth," *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.

Sala-i-Martin, Xavier, Gernot Doppelhofer, and Ronald I. Miller (2004), "Determinants of Long-term Growth: A Bayesian Averaging of Classical

臺灣大學學術期刊資料庫

Estimates (BACE) Approach," *American Economic Review*, 94(4), 813–835.

Schwartz, Jesse and Robert Repetto (2000), "Nonseparable Utility and The Bouble Dividend Debate: Considering The Tax-interaction Effect," *Environmental and Resource Economics*, 15(2), 149–157.

Smulders, Sjak and Raymond Gradus (1996), "Pollution Abatement and Long-term Growth," *European Journal of Political Economy*, 12(3), 505–532.

Travaglio, Marco, Yizhou Yu, Rebeka Popovic, Liza Selley, Nuno Santos Leal, and Luis Miguel Martins (2021), "Links Between Air Pollution and COVID-19 in England," *Environmental Pollution*, 268(Part A), 115 859.

Turnovsky, Stephen J. (2000), *Methods of Macroeconomic Dynamics*, 2nd ed., Cambridge: The MIT Press.

USEPA (1996), "The Benefits and Costs of The Clean Air Act, 1970–1990," United States Environmental Protection Agency.

Van Zon, Adriaan and Joan Muysken (2001), "Health, Education and Endogenous Growth," *Journal of Health Economics*, 20(2), 169–185.

Weil, David N. (2007), "Accounting for The Effect of Health on Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1265–1306.

Williams III, Roberton C. (2003), "Health Effects and Optimal Environmental Taxes," *Journal of Public Economics*, 87(2), 323–335.

Wong, Chit Ming, Lin Yang, Thuan Quoc Thach, Patsy Yuen Kwan Chau, King Pan Chan, G. Neil Thomas, and J. S. Malik Peiris (2009), "Modification by Influenza on Health Effects of Air Pollution in Hong Kong," *Environmental Health Perspectives*, 117(2), 248–253. https://doi.org/10.1289/ehp.11605.

World Bank (1993), "World Development Report 1993: Investing in Health," New York: Oxford University Press.

Xepapadeas, Anastasios (2005), "Economic Growth and The Environment," in KarlGöran Mäler and Jeffrey Vincent (eds.), *Handbook of Environmental Economics*, vol. 3, 1219–1271.

Zuidema, Thijs and Andries Nentjes (1997), "Health Damage of Air Pollution: An Estimate of A Dose-response Relationship for The Netherlands," *Environmental and Resource Economics*, 9(3), 291–308.

投稿日期: 2022年1月3日, 接受日期: 2022年9月30日

臺灣大學學術期刊資料庫

Pollution, Disease, and Economic Growth

Jhy-Yuan Shieh

Department of Economics, Soochow University

Jhy-hwa Chen

Department of Economics, Tamkang University

Meng-Ting Chen

Department of Economics, Soochow University

Pollution not just affects health conditions but also affects the labor supply decision. It shortens working lives and increases the number of days lost to illness. This paper incorporates the SIS (susceptible-infected-susceptible) model into an environmental endogenous growth model, and uses it to examine the impact of pollution on the public health and economic growth. We find that a decrease in the pollution will increase the labor force and hence stimulate economic growth. Furthermore, we show that a health expenditure subsidy or a public abatement expenditure will increase the labor supply and economic growth.

Keywords: epidemic, pollution, labor force, economic growth, SIS model
JEL classification: E62, H53

臺灣大學學術期刊資料庫