

出國報告（出國類別：實習）

赴美國 MIT 實習出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：柴蕙質 副工程師

派赴國家：美國

出國期間：107年3月2日~107年4月30日

報告日期：107年5月30日

摘要

柴蕙質副工程師本次奉派赴美國麻省理工學院全球變遷中心 (The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 以下簡稱 MIT JP) 之目的，為擴增 Economic Projection and Policy Analysis (EPPA) -Taiwan 模型之家計運輸活動模擬功能。赴美移地研究過程中，觀察 MIT JP 研究團隊之運作方式，以及與 MIT 研究員及各國參訪學者交流過程中，綜合以下建議作為後續核研所能經策略中心模型建置、維護及發展之參考： 1. 積極與國內熟稔全球 CGE 模型及 MPSGE 語法的資深學者合作可較頻繁地定期與國內資深學者討論，彌補將來可能無法派員長期移地研究，研究困難無法即時討論及解決的問題。 2. 與國內具計畫執行經驗之資深學者合作，比 MIT 專家更了解國內其它政府單位之需求，有利於爭取計畫。 3. 與國內資深學者合作進行中文文章撰寫，加速文章產出及在國內的知名度。 4. 建置基礎模型後，應持續與 MIT JP 合作，藉由 MIT JP 与其它知名學者合作，擴增 EPPA-Taiwan 特色模組。

關鍵字： 美國麻省理工學院、EPPA-Taiwan、跨國一般均衡模型、家計運輸

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	3
(一) 赴美與 MIT 移地研究工作心得分享.....	3
(二) 會議心得分享.....	4
(三) 本次出差工作成果.....	16
四、建議.....	24
五、附錄:EPPA meeting 簡報投影片.....	26

一、目的

本次奉派赴美國麻省理工學院全球變遷中心 (The MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 以下簡稱 MIT JP) 實習之目的, 為學習如何擴增本所全球可計算一般均衡 (Computable general equilibrium, CGE) 模型: Economic Projection and Policy Analysis (EPPA) -Taiwan 之家計運輸活動模擬功能。本次實習並同時參加 MIT JP 舉辦之第 41 屆全球變遷論壇 (XLI Global Change Forum), 會議為 MIT JP 邀請知名國際機構代表 (如參與 UNFCCC 之氣候變遷專家, 來自 EPRI 的電力專家、北京清華大學 CGE 模型開發團隊主導學者等), 以及產業贊助商, 交流及分享研究成果, 參加此會議可獲得氣候變遷研究趨勢及產業關心議題等新知, 心得於後續內容中分享。另外也定期參加 MIT JP 舉辦之討論會議: MIT JP 午餐會議 (MIT Joint Program Lunch Meeting) 及 EPPA 會議 (EPPA Meeting)。MIT JP 午餐會議主要為提供環境科學及社會科學二領域學者交流之機會, 可理解社會科學關心的經濟活動對環境的影響, 社會科學學者也可透過環境科學學者的研究, 了解未來環境可能變化的趨勢, 如極端氣候, 平均氣溫, 洪水發生機率等, 這些對經濟產出皆可能有重大的影響。而 EPPA 會議則是參與 MIT EPPA 模型開發的核心會議, 本此參與也適逢 MIT 出版新的 outlook 報告準備期間, 因此更了解 MIT EPPA 模型的分工、溝通程序, 以及 MIT 對研究產出嚴謹度的管理態度, 對本所中心的模型運維及應用有相當助益。

二、過程

項次	日期	行程		工作重點
		出發	抵達	
1	107 年 3 月 2~3 日	臺北	劍橋	搭機前往美國波士頓並轉往劍橋
2	107 年 3 月 4 日 至 4 月 28 日	劍橋 MIT		於 MIT JP 辦公室進行 EPPA 模型運輸活動模擬學習及 EPPA-Taiwan 家計運輸功能擴充 參與每週舉行之 MIT JP 午餐會議 參與 EPPA 會議
3	107 年 4 月 29~30 日	劍橋	臺北	劍橋轉往波士頓搭機返台

租屋處(Brooklin, MA) 鄰近地鐵綠線 Babcock st.站，通勤時間約 30~40 分鐘



三、心得

(一) 赴美與 MIT 移地研究工作心得分享

MIT JP 研究中心位於麻州 (Massachusetts) 劍橋市 (Cambridge)，緊鄰地鐵紅線的 Kendal 站，由於川普上任後對氣候變遷的預算刪減，研究中心受到些許影響，聘用之博士後研究員較往年少，但仍維持主要的模型運作及發展，每週舉辦的 MIT JP 午餐會議、EPPA 會議及午茶交流 (Tea Hour) 亦如常舉辦。

筆者出差期間持 MIT 核發暫時之識別證，於非上班時間皆可自由進出，MIT 的資訊人員亦在 2 天內完成提供電腦架設，方便工作。由於此次出差正逢冬春季交替，筆者遇到幾場大雪，MIT JP 辦公室的行政人員都很熱心地提醒注意天氣預報及停班課通知，但幸運的事，沒有連續的大雪，不至於影響通勤；此次住處位於 Brookline 區，自搭乘地鐵綠線轉紅線至 MIT JP 辦公室約 30 分鐘左右，但綠線歷史悠久，且部分在一般路面行駛，可能因為故障或等紅燈等延誤，多半需預留多一點時間，但綠線經過波士頓圖書館及波士頓大學，沿途生活機能完備。

本此進行 EPPA-Taiwan 模型家計運輸擴充的學習及工作過程，主要學習及討論對象為 MIT JP 科學研究員 Y. H. Henry Chen 博士 (陳彥亨博士)，由於 Henry 自初期即參與 EPPA-Taiwan，也扮演 MIT EPPA 模型開發及整合的角色，因此對 EPPA-Taiwan 目前適合擴增的內容及深度都能提供很好的建議。出差期間對於遇到的困難點都能即使討論，很快地得到解決方案，期間也透過視訊與在台灣的核研所同仁討論，對模型開發效率亦提升不少。

(二) 會議心得分享

1. 第 41 屆 MIT 全球變遷論壇

3 月 27 至 27 日參加第 41 屆麻省理工學院 (MIT) 舉辦之全球變遷論壇 (XLI Global Change Forum)，主題為「Science-based Targets: Rational and Challenges」。此為不對外開放之研討會，受邀者多為 MIT JP 的贊助者 與會者除了 MIT 內部其它研究單位(如 the Sloan School of Management、MIT Energy Initiative)、普渡大學 (Purdue)、波士頓大學 (Boston University)、牛津大學 (Oxford University)、大陸清華大學的學者外、還有許多來自石油 (如 shell、ExxonMobil)、化學 (如 Dow) 等贊助企業之代表，以及法國、挪威等國家之政府單位，非營利的研究組織等專家參與 (如 Electric Power Research Institute, EPRI; International Institute for Environment and Development, IIED)，此次研討會議程如下，筆者以下就二天會議之討論重點進行說明，及對未來研究之啓發提出建議。



圖 1. The MIT Global Change Forum 會場



Science-Based Targets: Rationale and Challenges

AGENDA

Download Forum materials: <http://bit.ly/GCF41>

TUESDAY, MARCH 27

All meeting sessions held in Rooms 5 and 6

8:00–8:30 Registration & Light Breakfast

8:30–10:00 Session 1. Defining Science-Based Targets

Presenters: Mr. Matthew Banks, Associate Director, Industry & Large Corporations/Energy & Sustainability, NAVIGANT (Former Climate & Business Manager, WWF)
Ms. Karen L. Coyne, Global Head of Environment, NOVARTIS
Ms. Johanna C. Jobin, Director, Global EHS & Sustainability, BIOGEN
Dr. Iulian Florin Vladu, Manager, Science and Review, Adaptation Programme, United Nations Climate Change Secretariat

Moderator: Dr. John Reilly, Co-Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT

10:00–10:30 Coffee Break

10:30–12:00 Session 2. The Science Behind the Targets

Presenters: Dr. C. Adam Schlosser, Deputy Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change
Dr. Myles Allen, Professor of Geosystem Science Head of the Climate Dynamics Group, University of Oxford

Moderator: Ms. Anne Slinn, Executive Director for Research, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT

12:00–14:00 Lunch

14:00–15:30 Session 3. Time Paths for Emissions and Technology Options

Presenters: Dr. John Reilly, Co-Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
Dr. David Anthoff, Assistant Professor, Energy and Resources Group, University of California at Berkeley

Moderator: Dr. Sergey Paltsev, Deputy Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT

15:30–16:00 Coffee Break

16:00–17:30 Session 4. Sectoral Targets and Technology Options

Presenters: Dr. Sergey Paltsev, Deputy Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
Dr. Steven Rose, Senior Research Economist, Energy and Environmental Analysis Research Group, EPRI

Moderator: Dr. Niven Winchester, Principal Research Scientist, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT

- 17:30–18:00 **Reception**
- 18:00–19:30 **Dinner & Talk: The Paris Agreement and the Global Stocktake**
 Introduction: Prof. Ronald Prinn, Co-Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
 Presenter: Dr. Iulian Florin Vladu, Manager, Science and Review, Adaptation Programme, United Nations Climate Change Secretariat

WEDNESDAY, MARCH 28

All meeting sessions held in Rooms 5 and 6

- 8:00–8:30 **Registration & Light Breakfast**
- 8:30–9:55 **Session 5. Challenging Sectors for Mitigation**
 Presenters: Dr. Niven Winchester, Principal Research Scientist, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
 Dr. Eric Masanet, Associate Professor, Mechanical, Chemical and Biological Engineering, Northwestern University
 Dr. Gary M. Pierzynski, University Distinguished Professor and Head of Department of Agronomy, Kansas State University
 Moderator: Dr. Erwan Monier, Principal Research Scientist, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
- 9:55–10:15 **Coffee Break**
- 10:15–12:00 **Session 6. Panel: Update on Views for Paris – Policy Implications**
 Presenters: Dr. Kenneth Kimmell, President, Union of Concerned Scientists
 Mr. Michael Mehling, Deputy Director, CEEPR
 Dr. Achala Abeyasinghe, Principal Researcher, Climate Change, International Institute for Environment and Development (IIED)
 Dr. Zhang Xiliang, Prof. of Management Science & Engineering, Director of the Institute for Energy, Environment & Economy, Tsinghua University
 Dr. Radhika Khosla, Research Director, Oxford India Centre for Sustainable Development, University of Oxford.
 Moderator: Prof. Henry Jacoby, William F. Pounds Professor of Management, Emeritus, Sloan School of Management, MIT
- 12:00–12:45 **Keynote Address**
 Prof. Ernest J. Moniz, Cecil and Ida Green Professor of Physics and Engineering Systems Emeritus and Special Advisor to the MIT President
- 12:45–13:00 **Closing Remarks**
 Dr. John Reilly, Co-Director, Joint Program on the Science & Policy of Global Change, MIT
- 13:00 **Lunch**
- 14:30–15:30 **Campus Tour – Meet at registration desk**

1.1 國家減量目標和企業減量目標的銜接問題

幾位來自石油、化學的企業代表多發這表示認同減量對氣候變遷的幫助，不過企業對最基本的如何計算排放的範圍，就有很大的爭議，因為這涉及了如何課碳稅或者如何罰款。溫室氣體排放計算範疇主要分成直接排放（如下圖的 scope 1）及間接排放（如下圖的 scope 2 及 scope 3）。對石油公司而言，用任一個範疇來計算都很吃虧，因為化石產品是他們最主要的原料，怎麼認定，排碳都高；另外則是像超市 Walmart 這類零售業，排碳來自整個供應鏈，農業部門的排碳則涉及植物的負排碳，也很複雜，如何計算或認列在企業責任中，產業代表認為必須以個案處理（case by case）才較為妥善。

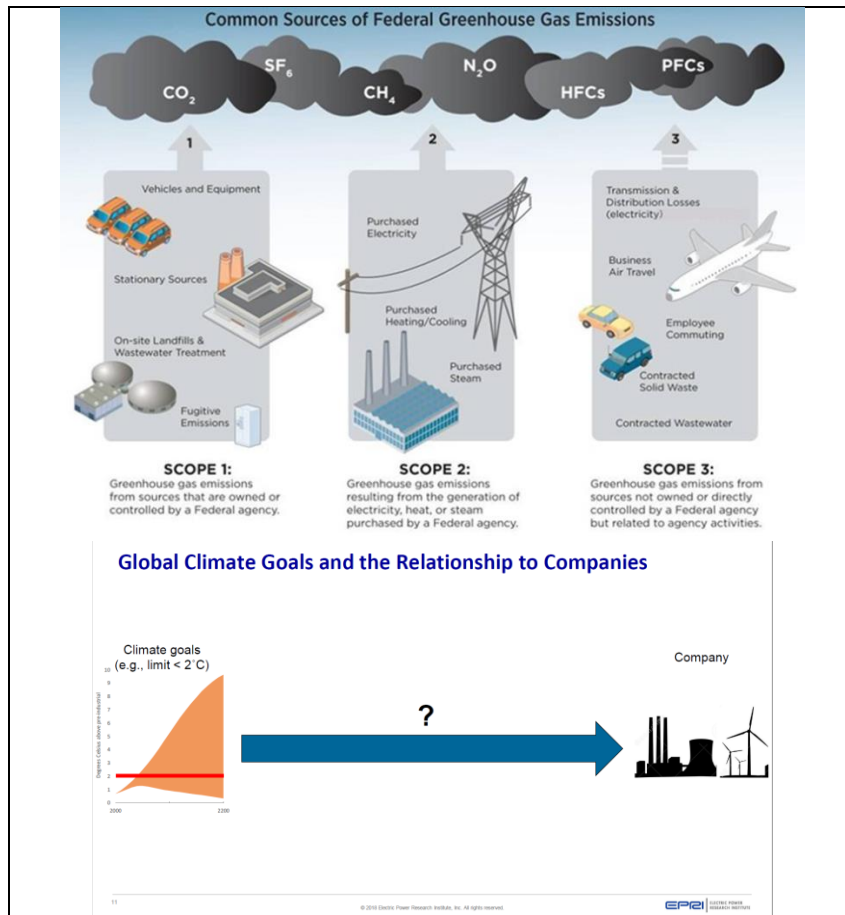


圖 2. 溫室氣體排放計算範疇及企業之疑慮
資料來源:美國聯邦政府 (2018)、Rose (2018)

1.2 第 23 屆聯合國國際氣候大會 (COP23) 提出之促進性對話機制 (Talanoa Dialogue) 對減量之助益

自 2015 年第 21 屆聯合國國際氣候大會 (COP21) 之後，締約國有三年的時間，也就是在第 24 屆聯合國國際氣候大會 (COP24) 之前，談判出實施巴黎協定的詳細規則、準則和程序，即巴黎協定規則手冊 (Paris rulebook)。2017 年 11 月 17 日 COP23 氣候談判於德國波昂落幕，討論如何落實在 2015 年簽署的巴黎協定 (Paris agreement)，COP23 可視為是規則手冊談判從理念到技術落實的階段性會議，其中主辦國斐濟主席提出了促進性對話機制 (Talanoa Dialogue)，列出了一整年的對話流程，促成下一輪 2020 年的自主貢獻；Talanoa 是斐濟語，對話過程需循三項原則：讓利益相關人 (stake holder) 參與、透過公平、平衡的過程達到公平和平衡的協議結果。特別是不受限於國家層級的官方交談，例如美國的城市不需透過總統，各別的城市代表在談判中亦可發揮作用。應用本中心以全球模型模擬國家自定預期貢獻 (National Determined Contribution, NDC) 情境時，是否要因為美國川普總統宣布退出巴黎協議，而不設定美國的減量目標，若 Talanoa Dialogue 可發揮作用，美國各城市的減量仍可能使美國整體達到 NDC 目標，因此可能還是保留美國的減量目標較為妥當。

巴黎協定規定就協定的長期目標進行每五年一次的全球性盤點，第一次全球性盤點的時間是 2023 年，COP23 草擬了概略的盤點結構，包含彙集資料的籌備階段、討論資料內容及評估進展的技術階段，而締約方也必須至少每兩年報告排放量和自主貢獻實施進度，並接受專家審核和某種形式的同儕審核。不過來自 international institute for environment and development (IIED) 的 Dr. Achala Abeyasinghe，目前也是 United Nations Framework on Climate Change (UNFCCC) 裡低度開發國家 (the Least Developed Countries, LDCs) 的法律、技術及策略主任，

她提到審核各國文件就很花時間人力，例如巴黎協定的締約國有 144 個國家，審核一個國家提交的排放量報告，至少就要一個星期，而且每個國家的內容因國而異，無法用單一簡單的規則來審核，要在 COP24 前完成是一個很大的挑戰。因此模擬全球溫室氣體減量時，低度開發國家的減量潛力及減量時程，將是全球模型裡很大的不確定性變數。

1.3 模擬情境趨勢

1) 特定產業的減碳策略

此次研討會看到了幾個可計算一般均衡模型探討產業減碳策略的研究。Niven Winchester 博士的研究回答了部分產業關心的問題，他應用了有更細緻的航空運輸部門的 EPPA 模型，模擬國際航空運輸協會 (The International Air Transport Association, IATA) 提出的全球航空業 2050 之減量目標: 2050 為 2005 排放量之半。該模型假設有碳交易存在，他發現在早期 (2040 年之前)，因為生質燃油尚未成熟，航空運輸業必須靠購入大量的排碳權才能達到減量的目標，也指出對航空業來說，市場機制且讓所有部門都可以參與是比較有效率的，市場上才能有較多便宜的碳權；但 2040 之後，則因為生質燃油價格便宜許多，航空運輸業所需要買的排碳權則大大減少。就筆者觀察，國際航空減碳的應用發揮了全球模型的長處，也具有相當的價值，原因在於各國在盤點產業排放時，國際運輸往往較不易追溯的一個部分，單國模型也無法捕捉這方面的經濟活動，因此未受重視，但全球模型基於全球貿易資料，可計算運輸服務的流向，才能內生模擬區域間對國際運輸的需求，更貼切地推估能源使用及減量缺口。

另外該模型由於有土地模擬的機制，因此也模擬了目前文獻顯少分析的營建產業，分析了減量對林業及木材供應部門的影響，營建業的減量主要依賴建材的重量減輕來達成，不過即便大量使用較輕的新的建材(因為美國木材是建材的大宗)，對整體營建業的減量貢獻有限，但對傳統建材業者有嚴重的影響，該產業產出減少相當多，幾乎要被淘汰了。此研究分析也點出產業內更細的傳統廠商衝擊效果，對未來本中心應用模型進行分析時，也是很好的示範。

2) 碳排交易應包含的產業範疇

大陸的十二五計畫，主要實現了 7 個地區的排碳交易，而十三五的重點則是要實現全國排碳交易 (National emissions trading system) 但首波只納入發電行業。北京清華大學張希良教授的研究計畫便是以中國開發的 EPPA 模型-CGEM，來模擬達成中國承諾的巴黎協議目標，探討十三五碳排交易下的碳價及能源結構；此研究指出，若和之前以中國大陸採用監控排放及龐大財政補貼再生能源的方式相比，市場交易可以更有效率的方式達到減少大陸近一半排放的目的。利用量化工具，從社會福利或經濟損失最小的觀點，來看減量政策要適用於那些產業，可能是未來本所能經策略中心模型應用的方向之一，原因在於政策可能往往先從排放量最多的產業開始，或施予排放量最多的產業最多壓力，但不見得是對整體經濟或社會福利影響最小的作法，透過模型可以提供減碳策略選擇更科學數據的支持。

3) 更嚴格的 1.5 °C 減量目標及負排碳技術的必要性

John Reilly 博士的研究應用 MIT EPPA 模型模擬更嚴格的 1.5 °C 減量目標及不同的林地開發情境。而來自 EPRI 的 Rose 博士比較了很多模型求解 2 °C 或更嚴格的減量目標結果，發現若沒有負排碳技術 (Negative emission technology)，如 bio-CCS，有許多模型電力部門在電力部門減量較大的情境下是無法求解的。國際報告近年皆出現更積極的減量情境，應用全球模型模擬此趨勢可能是必要的全球情境之一，EPPA-Taiwan 目前也已考量負排碳技術作為後進技術 (backstop technology) 的選項之一，應可因應模擬更嚴格減量目標之趨勢。

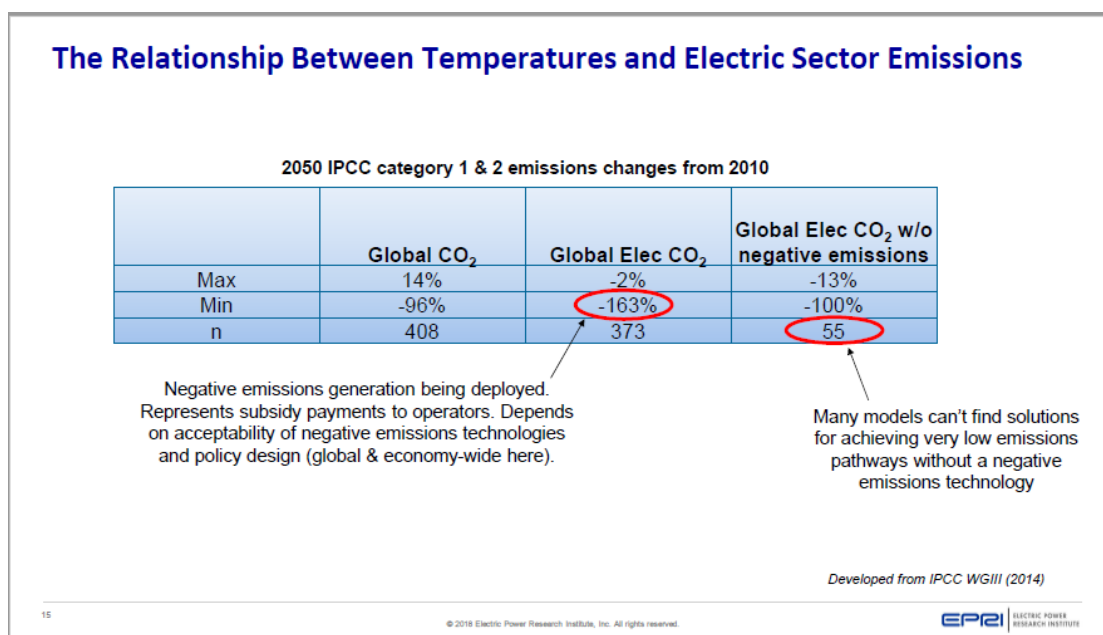


圖 3. EPRI 比較各模型求解 2 度 C 或更嚴格排碳目標之結果

資料來源:Rose (2018)

2.週五午餐會議 (Lunch meeting)

2.1 Jacoby, Montgomery and Yuan (2018) Next Steps in Tax Reform

美國總統川普簽署「減稅與促進就業法案 (Tax. Cuts and Jobs Act, TCJA)」川普目前的稅改沒有碳稅，此外稅改項目會有稅基減少的问题，是目前稅改沒考慮到的，也必須透過模型來模擬。此篇研究應用由 MIT Yuan 博士主責的美國的區域 CGE 模型-USREP，分析川普提出的新的稅改方案 TCIA 之社經衝，並探討其是否能達到減少赤字的目標。模型中大致將稅改分成二種稅處理：營業稅 (business tax) 及所得稅 (income tax)。

在資料處理方面需應用特殊的技巧，簡述如下：一般 CGE 模型用的是平均稅率 (average tax rate)，平均稅率是指混合了不同所得或收入的層級，還有減免等等算出來的稅率，此研究透過區分不同所得，及收入的層級，另外以邊際稅率 (marginal tax rate) 來進行更貼切的模擬。原理大致上是仍用平均稅率作為基期年資料，不過課稅後，以透過補貼的技巧，依邊際稅率把稅退還給被課稅的生產及所得部門；目前 EPPA-Taiwan 沒有區分所得級距，未來仍有精進的空間，若能學習其處理方法，對於將來政府課徵能源相關稅費及更細緻的補貼/退稅政策，會更為貼切。

2.2 Niven Winchester and John M. Reilly (2018) The Economic, Energy, and Emissions Impacts of Climate Policy in South Korea

此研究以單國模型模擬韓國不同排放交易體系 (Emission Trading Scheme, ETS) 欲達到 NDC 減量目標還需要課多少碳稅，靜態模型配合向前校準 (forward calibration)。韓國委託 MIT 研究的原因，也在於雖然有許多研究探討巴黎協議 (Paris agreement) 但原則上不會呈現韓國這個區域的分析結果。本研究回顧了 Yongrok et al. (2017) 的文獻，但 Yongrok et al. (2017) 並未採取動態模型或靜態校準，分析的基準點為 2030 年，另外該研究沒有細緻的發電技術，及未考量 CO₂ 以外的溫室氣體，因此本研究為韓國第一篇以較細緻的經濟模型分析韓國欲達成 2030 減量 (在不同 ETS 情境下) 所需的碳稅及經濟衝擊。該研究假設韓國實行三種不同 ETS 政策：

表 1. 韓國排放交易體系 (Korean Emission Trading Scheme, ETS) 之情境設定

a	KETS (僅包含目前 KETS 鎖定的部分產業:發電、部分工業、營建業、國內航空、廢棄物處理等)
b	KETS 已鎖定之產業加上運輸部門
c	KETS 適用於所有產業及運輸部門

其中 2030 年之國內生產毛額 (內生求解相應的生產要素秉賦，總要素生產力等)、能源價格及自發性能源進步率以外生方式給定，以模擬出基準情境 (Business as usual, BAU) 下的排碳量、經濟及社會福利指標。韓國的減量目標為較 BAU 減少 37% 的溫室氣體 (greenhouse gas, GHG) 排放，此模型雖然假設韓國是小型單國模型，但假設外國市場 (rest of the world) 亦有一完全競爭的碳交易市場，故在固定的世界碳價下，韓國依國內碳交易市場的某個比例可向世界購買碳權。

而在不同情境下額外所需之碳稅為 a.90 b.86 c.62 (in 2011USD/ton CO₂e) 最後 c 情境下，因為 ETS 適用在所有部門時排碳少的部門可抵銷排碳多的部門的排碳，且允許向國際購買的量也變多了，故所需碳價明顯較前 a、b 二個情境來得低。

對本中心之模型開發啟示如下：允許向世界購買的碳權 (credit) 及碳權價格 (在其研究中假設全球的碳權價格是外生的) 便很重要，目前設定之碳權比例 (10%) 及價格是固定的，使得情境 c 下國內碳價較低，但國內排碳量和情境 a 相近，(GDP 損失也相近) 且來自 KETS 管制部門之排碳量皆高於情境 a，部分利用購買國際碳權來抵銷；未來 EPPA-Taiwan 可擴增國際碳交易市場模擬功能，並與本中心的單國模型 GEMEET 連結，提供其一內生的國際碳價，可模擬我國因國內碳交易經濟規模較小，不易建立碳市場，但可向國際購買碳權的策略選項。

另外此模型韓國 BAU 下的所得和 EPPA-Taiwan 相近 (這也是比較時方便之處)，但排碳量較 EPPA-Taiwan 低，可能的原因雖然是能源價格在該研究中是外生 (EPPA-Taiwan 內生)，但另一個原因可能是 EPPA-Taiwan 基期年較高所造成的 (790 百萬噸: 677 百萬噸，約 85%)，若同比例調整，則 EPPA-Taiwan 推估 BAU 韓國之排放為 899 百萬噸，與文中的 840 百萬噸已相近，間接應證了 EPPA-Taiwan 推估的合理性，由於韓國產業結構及經濟規模與我國相近，未來除確認模型大型經濟的模擬結果合理性外，此文對韓國的政策模擬結果也可作為借鏡。

3. MIT EPPA 會議

MIT 出版的 Outlook 2018 由 MIT JP 裡的二大團隊完成: Outlook 2018。今年度 EPPA 會議的大部分重點在於準備年底出版的 Outlook 2018，預計 7 月左右將確定的結果給 the Center for Global Change Science 的團隊 (Andrew 博士負責)，MIT JP 裡能源及環境政策研究中心 (Center for Energy and Environmental Policy Research, CEEPR) 團隊分工更新各部分的參數，技術參數更新及不確定性由 Jennifer 博士負責，運輸由 Abbas 博士負責，土地利用由巴西學者 Angelo 博士負責，每週舉行會議討論，John Reilly 博士和 Sergey Paltsev 博士一起逐一檢視各區域長期排放的合理性，例如來自土地利用改變的 CO₂ 排放，最後由 Henry 整合，團隊溝通和程式碼整合相當耗時費力，每一個項目、模組的整併及合理性檢視至少要一個月左右。MIT JP 對模型結果審視所投入的時間及資源令人印象頗深，藉助 MIT 已投入的資源及專家經驗是本所 EPPA-Taiwan 發展最有效率的方式，而政府機構長期穩定的投入，也是此類模型可持續運維的重要資源。

(三) 本次出差工作成果

筆者本次出差工作成果於 4 月 24 日的 MIT EPPA-meeting 完成簡報，報告之內容主要包含台灣之運輸排放背景資料、與我國主要運輸政策整理、國內外文獻回顧及模型所需資料拆分、模型功能擴增等，簡報及內容概述如後。會議中並與 MIT JP 主任 John Reilly 博士、副主任 Sergey Paltsev 博士等人行交流，工作內容大要及意見反饋整體如後內容，完整簡報內容可參閱附件一。

1. 三年合作計畫產出概覽及今年實習重點

下圖為近 3 年與 MIT JP 合作各期程之重點，相關技術手冊亦登載於核研所論著系統，作為內部知識傳，而利用各階段開發的模型對外發表之研究報告，則如下圖右欄所示，藍色字體為今年度預期完成之報告，其中之一即應用為筆者赴 MIT 開發之家計運輸模擬功能版本，並發表於 6 月於荷蘭舉辦之 IAEE 研討會。

The MIT-INER Project		
Year	Milestones	Applications
2016	1) Develop the static version of EPPA-Taiwan 2) Analyze implication from model runs 3) Papers documenting findings and model features	a. The Economic Projection and Policy Analysis Model for Taiwan: A Global Computable General Equilibrium Analysis (JP Report 323) →Separate it into three papers.
2017	1) Further refining the static model 2) Develop the dynamic version of the model	b. A Comparison between a multi-region computable general equilibrium model with a single-region one: the Example of Taiwan (submit to Taiwan Economic Review)
2018	1) Further refining the dynamic model 2) Papers describing findings of these new runs	c. Economic Implications of the Paris Agreement on Taiwan: A Global Economy-wide Analysis (submit to USAEE 2018) d. An economy-wide analysis of electrifying the transportation sector: The case of Taiwan (submit to IAEE 2018)

圖 4. EPPA-Taiwan 三年合作計畫產出概覽

2.國內運輸相關減碳政策摘要

圖 5 為我國運輸排放之趨勢，及來自各運具之排放量。圖 6 為我國之運輸政策整理，我國較主要且具一般性的的運輸政策如下：第一欄為汰舊換新之補助，適用於所有車輛；第二欄為電動車補助，適用於機車、小客車及巴士；第三欄為燃油效率提升，2020 年相較 2014 年的目標分別是機車 10%、小貨車 25%、汽車 30%。因此若要應用 EPPA-Taiwan，模擬全球減量趨勢下，台灣的運輸相關的政策，應要拆分家計運輸部門，且和 MIT 現有的 EPPA 模型不同，因應台灣幾乎每個家戶都有一台機車的特殊背景，筆者希望區分機車及小客車，使模型模擬結果不僅能呈現小客車，還能呈現或釐清社會大眾關心的機車相關政策影響；另外在 EPPA-Taiwan 既有的商業運輸服務方面，原本的模型是將海陸空運輸加總，無法模擬對貨車或巴士進行燃油效率管制之影響，故筆者亦將商業運輸服務的供給面區分成三類：貨車、巴士及其它。

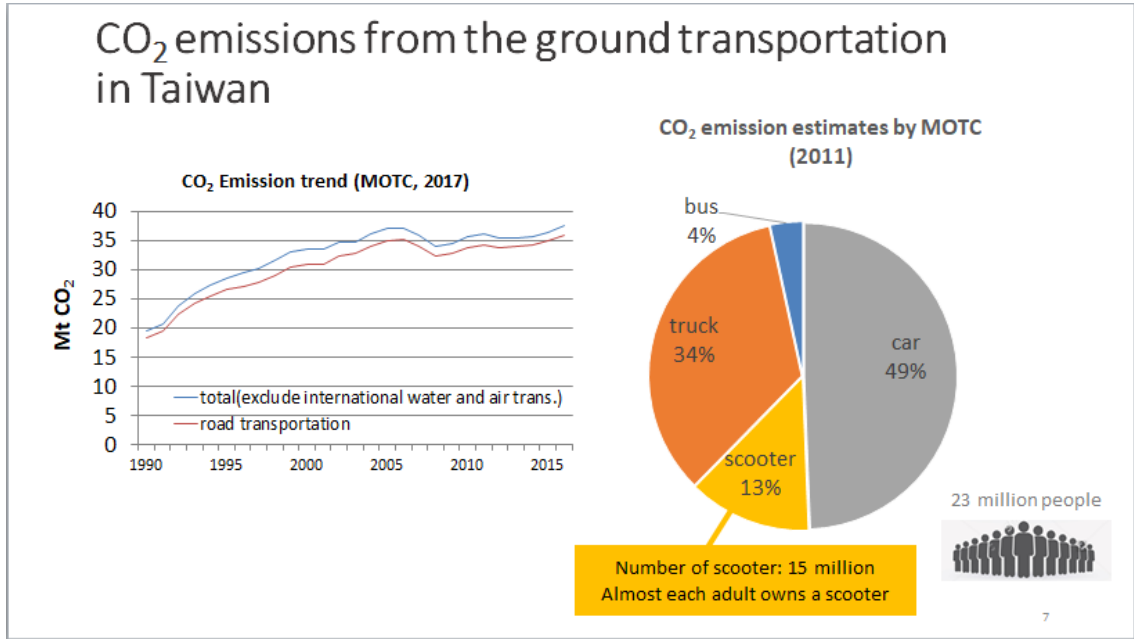


圖 5. 我國運輸排放之趨勢

Current policies and future plans in Taiwan

- An 10 thousand-electric city bus program by 2030, the sale of non-electric scooters and cars banned in 2035 and 2040, respectively

	Trade-in subsidies	Subsidy on electric vehicle/scooter	Improve energy efficiency (by 10~30% compared with the standard in 2014)
	2017-2020	2011-2021	By 2022
scooter	✓	✓	✓
car	✓	✓	✓
bus	✓	✓	
light truck	✓		✓
Heavy truck	✓		

- EU, USA, China, Japan, and Korea tend to introduce fuel standard by 2020 or 2025;

圖 6. 我國主要運輸政策

3.國內外文獻回顧

國內應用 CGE 模型進行運輸議題分析之文獻方面，早期為周濟 (2007)，其著重在我國產業關聯表既有的海、陸、空三類商業運輸服務，而黃宗煌等人 (2015) 及楊晴雯等人 (2017) 應我國交通部運研所之委託，開發有較細運輸種類之 CGE 模型，其模型包含家計運輸及細緻的商業運輸。而國外也不乏應用 CGE 模型進行運輸議題分析之文獻，多半也都會在模型中設較細緻的家計運輸及商業運輸活動模擬功能 (如 Bröcker and Mercenier (2011) ; Bröcker and Korzhenevych (2013) Kim et al. (2017) 等人之研究)，運輸與能源使用，目前是燃油，未來在電動車在載具電動化的趨勢下，電力需求也受影響，電力結構對運輸的排放便形成一重要因素。因此第一，我國可能需要有具有細緻電力部門搭配細緻運輸活動模擬的 CGE 模型，如中國大陸的模型 (Kishimoto et al., 2015)，再者台灣能源 98%以上皆來自進口，除汽油外，未來在發電扮演要角的煤氣也都來自國外，國際油價或電力成本都可能對運輸需求有明顯影響，也會影響消費者對傳統汽油車或電動車的選擇行為，因此透過跨國模型考量國際之能源、減碳政策下，對我國進口能源價量之影響是第二個需求 (如 Paltsev et al. (2018) 之研究)。EPPA –Taiwan 是一具有細緻電力部門之全球模型，擴增模型用於運輸政策模擬有其重要性及必要性。

Literature reviews

		Detailed household trans.	Detailed trans. service sector	Urban model (discrete choice)	International trade	New and Vintage	Detailed electricity sectors and backstop tech.	Backstop tech. for trans.
<u>Bröcker and Mercenier (2011)</u>	Europe	V	V					
<u>Bröcker and Korzhenevych (2013)</u>	Europe	V	V					
<u>Kim et al. (2017)</u>	Korea		V					
<u>Rutherford (2011)</u>	Zurich			V				
<u>*Paltsev et al.(2018)</u>	Global	V			V	V	V	V
<u>*Kishimoto et al.(2014)</u>	China	V	V					V
<u>Chou (2007)</u>	Taiwan		V					
<u>Huang et al. (2015)</u>	Taiwan	V	V					V
<u>Yang et al. (2017)</u>	Taiwan	V	V	V				V
<u>*EPPA-Taiwan: Chai et al. (2018)</u>	Global	V	V		V	V	V	V

Note: Literatures with * are based on EPPA family model

圖 7. 國內外文獻回顧

4. 模型運輸相關巢式結構調整及資料拆分

GTAP 資料庫並沒有家計運輸或是商業運輸中貨車、巴士的細部資料。家計運輸方面所需資料如圖 8，家計運輸活動包含小客車及機車活動的經濟價值，以主計處的家庭收支調查為主要參考資料，取得家計單位花在運輸活動的支出比例；而投入結構，則以交通部的排放統計、及台灣 524x166 投入產出表統計資料，區分能源投入之結構。另外在運具設備投入方面，亦以投入產出表統計資料作為依據，另外服務方面則以交通部的機車、汽車使用狀況調查資料作為依據。

Data used in disaggregating own-supplied car/scooter

- Data used in disaggregation.
 - The **output of Household own-supplied transportation**
 - Total household **expenditure on own-supplied transportation service** from the Survey of Family Income & Expenditure
 - The **Inputs**
 - The **energy inputs** – refined oil usage of household consumption from Taiwan's 524x166 Input-Output table; refined oil usage shares of the car and scooter from MOTC's CO₂ emission statistics
 - The **equipment inputs**-GTAP9power database ("myh"); Taiwan's 166x166 Input-Output table to obtain values of equipment purchase for the car and scooter
 - The **service inputs** – shares of service input for car and scooter are from Survey of car users and Survey of scooter users by MOTC
- The **vintage shares for car/scooter**
 - **Accumulated miles** of the car and scooter from MOTC statistics
 - Share of new car: 17.6%; Share of new scooter: 38.8%
(Share of vintage car: 82.4%; Share of vintage scooter: 61.2%)

14

圖 8. 家計部門拆分所用之本土資料

商業運輸方面所需資料如圖 9，貨車及巴士的產出值亦參考台灣 524x166 投入產出表統計資料，另外貨車及巴士的能源投入則參考交通部的排放統計。其它投入之結構則以原本 EPPA 模型中的運輸服務部門投入結構為依據拆分。但由於資料和研究時間限制，分配面目前假設消費端買到的仍是原本的單一商業運輸服務複合產品，而不是單獨的貨車或巴士運輸服務產品，若未來有更多時間或資源可取得分配結構 (包含出口)，亦可作更細緻的設定處理。

Data used in disaggregating the transportation service sector

- Data used in disaggregation.
 - The **output value** of truck and bus sectors
 - output share of truck, bus in land transportation from Taiwan's 524x166 Input-Output table.
 - The inputs
 - The **energy inputs** : GTAP9power database-refined oil usage of the land transportation; energy inputs of non rail transportation from Taiwan's Energy Balance sheet ; CO₂ emission shares of truck and bus from MOTC statistics.
 - The **non-energy Inputs** : borrow the input structure of original transportation ("tran") sector in EPPA-Taiwan.
- **The vintage shares for truck and bus**
 - we only have data of number of vehicle by **age**
 - Share of new truck is 14%; Share of new bus is 43%
(Share of vintage truck: 86%; Share of vintage bus: 57%)

16

圖 9. 商業運輸拆分所用之本土資料

5. MIT 專家意見及回國後之後續處理情形

以下為 MIT 專家之建議，主要為 John 及 Sergey 提出，目前大多已處理，第 2、3 點由於模型動態機制仍在修正中，未來會再依建議調整。

MIT 專家意見	處理情形
1. To check what are the reasons make CO ₂ emission stay flat during 2011 to 2015.	已查出原因，除部分發電移轉至天然氣外，電子電機業產出縮減、及工業能源密集度降低造成 2011 年後平緩。
2. The substitution between the new and vintage car can be non-zero, keep trace this parameter with Abbas.	先視模擬之結果，再看是否調整參數
3. If we meet the situation that whole ICE cars replaced by EV in policy simulation, we may consider the setting in Abbas study (to keep 20% of the ICE car is irreplaceable by EV)	先視模擬之結果，再看是否調整參數
4. Check the resource for “pbf”, follow the latest version of EPPA outlook (2018) from the Github.	未來確認動態模擬機制時會以最新的 EPPA outlook 為主
5. Commercial transportation for freight and for passengers can be substitute in the current setting, it does not make sense. So we could create a new layer in nesting structure, let “bus” and “othtrn”(ex. Rail trans.) substitute each other firstly (A larger elasticity, ex. 1), and then substitute with track (A small elasticity, ex. 0.1)	已依建議修改模型的巢式結構及彈性
6. Confirm the historical emission in 2011 from EPA, and comparing it with the emission calculated from GTAP data base. Try to find the source cause difference, not get into historical calibration directly. Very important: “To make 100% sure there is no any error in code before the historical calibration	已查出原因在於國內的統計不含國際運輸排放，故有差異
7. For the Scenario, a no policy would be a better choice for BAU. And we can create a baseline with current policy and compare it with other counterfactual scenario. However, we can avoid make judgment about the current policy by address the contribution of the current policy. For example, we may assume a scenario that Taiwan still heavily uses coal, and see what happen with the EV policy.	未來在情境設計確實可考慮天然氣不如預期樂觀，而仍依重燃煤的情境，或維持煤氣加總 80% 即可

四、建議

MIT 學者對於研究皆相當積極、嚴謹，配合 MIT 腳步才能促進研究產出效益，並提升公信力，筆者及本所能經策略中心 EPPA-Taiwan 的研究團隊成員在近三年研究期間除模型開發外，也盡力利用各階段之模型公開發表研究成果，其中逾 6 場國內外研討會發表，亦刊載研究成果於 MIT JP 網站。不過仍不足以與 MIT 的研究能量完全搭配，本所雖然是研發單位，但與學術單位不太相同，工作內容不僅是研究，還包含計畫規劃、管考及各項行政事務，研究的效率其實遠不比赴 MIT 移地研究期間。因此建議學習北京清華大學的模式，與國內熟稔能源經濟全球 CGE 模型的資深學者合作，共同發表學術文章外，也培養以 EPPA-Taiwan 爭取國內計畫之能力。北京清華大學與 MIT 的合作由張希良教授主導¹，合作期間內有北京清華幾個老師及 3 位以上博士生(含中國大陸及 MIT 之學生) 共同參與，研究題目初期配合參與學生的博士論文，以模型開發為主，後續則由北京清華向其政府單位爭取大型計畫，持續運維及精進其模型。因此不論在學術期刊發表或資金來源都相當穩定。對於本中心開發模型之策略面臨之困境，筆者提出邀請 MIT 也熟稔的國內專家參與模型應用，以加速產出。

¹ 張希良教授為清華大學能源環境經濟研究所所長，清華大學中國車用能源研究中心執行主任，中國能源研究會常務理事兼新能源專業委員會秘書長，中國可持續發展研究會理事，中國農業工程學會理事，國家 973 計畫“我國 2020 年溫室氣體控制目標、實現路徑及支撐體系”項目首席科學家、國家社科基金重大項目“中國應對氣候變化國家方案政策措施中的關鍵問題研究”首席專家。

此外，基礎模型建置完成，政策衝擊模擬的合理性判斷是建立公信力的最後一哩路，但合理性判斷相當耗時，以 EPPA outlook 2018 的例子來看，MIT 本身就要花費半年以上的時間比對 EPPA 的推估和其它報告的推估結果 (如 IEA 的 WEO)，若本身看來不合理或和其它報告差異太大，則必須逐一檢視差異的來源；加此 EPPA-Taiwan 用了最新的全球貿易資料庫，不見得完全和 MIT 現有的 EPPA6 模型一樣，而 MIT EPPA outlook 2018 的模型則較 EPPA 6 更為複雜，也不能直接比對，比對內容皆非來自 MIT 隨手或隨時可取得的果，部分可能可以透過 MIT 研究員 Henry 特別處理 MIT EPPA 模型的部分功能才能作合理性比對。另外，若要應用 EPPA-Taiwan 到新南向議題，東南亞國家的資料通常不太公開，藉助 MIT 的人脈資源取得東南亞國家的資料，會相對省力許多，特別是已有應用 GTAP 模型或 EPPA 模型分析東南亞區域的學者 (如 GTAP 或 World Bank 組織內之專家)，應是未來適合透過 MIT 積極爭取合作的對象。因此筆者提出下列幾點建議：

1. 積極與國內熟稔全球 CGE 模型及 MPSGE 語法的資深學者合作可較頻繁地定期與國內資深學者討論，彌補將來可能無法派員長期移地研究，研究困難無法即時討論及解決的問題。
2. 與國內具計畫執行經驗之資深學者合作，比 MIT 專家更了解國內其它政府單位之需求，有利於爭取內計畫。
3. 與國內資深學者合作進行中文文章撰寫，加速文章產出及在國內的知名度。
4. 建置基礎模型後，應持續與 MIT JP 合作，藉由 MIT JP 與其它知名學者合作，擴增 EPPA-Taiwan 特色模組。

五、附錄:EPPA meeting 簡報投影片

An economy-wide analysis of electrifying the ground transportation of Taiwan

Hui-Chih Chai
Center of Energy Economy and Strategy Research, INER

Wei-Hong Hong
Center of Energy Economy and Strategy Research, INER

Y.-H. Henry Chen
Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT

John M. Reilly
Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT

Sergey Paltsev
Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT

EPPA meeting
April 24, 2018



MIT JOINT PROGRAM ON THE
SCIENCE AND POLICY
of GLOBAL CHANGE



核能研究所
能源經濟及策略研究中心
Center of Energy, Economics and Strategy Research

The MIT-INER Project

Year	Milestones	Applications
2016	<ol style="list-style-type: none"> 1) Develop the static version of EPPA-Taiwan 2) Analyze implication from model runs 3) Papers documenting findings and model features 	<ol style="list-style-type: none"> a. The Economic Projection and Policy Analysis Model for Taiwan: A Global Computable General Equilibrium Analysis (JP Report 323) →Separate it into three papers.
2017	<ol style="list-style-type: none"> 1) Further refining the static model 2) Develop the dynamic version of the model 	<ol style="list-style-type: none"> b. A Comparison between a multi-region computable general equilibrium model with a single-region one: the Example of Taiwan (submit to Taiwan Economic Review)
2018	<ol style="list-style-type: none"> 1) Further refining the dynamic model 2) Papers describing findings of these new runs 	<ol style="list-style-type: none"> c. Economic Implications of the Paris Agreement on Taiwan: A Global Economy-wide Analysis (submit to USAEE 2018) d. An economy-wide analysis of electrifying the transportation sector: The case of Taiwan (submit to IAEE 2018)

Outline

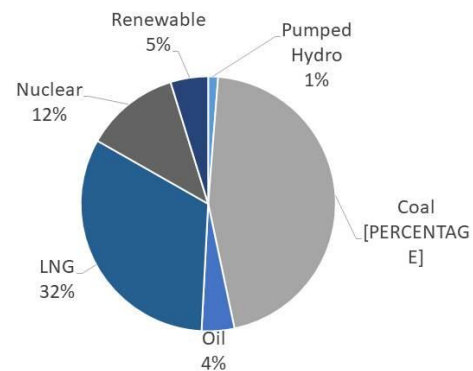
- Focusing on motivations, data, and model setting
 - Why we need to introduce Household transportation and some detailed transportation into EPPA-Taiwan
 - New features in household transportation and transportation sector in EPPA-Taiwan
- Discussions

3

Background information about Taiwan

- 36 thousand square km² (1.3 times as big as Massachusetts)
- Highly dependent on international trade.
- Imported fossil fuels currently account for around 98% of Taiwan's energy supply.
- 82% of our power comes from fossil fuels

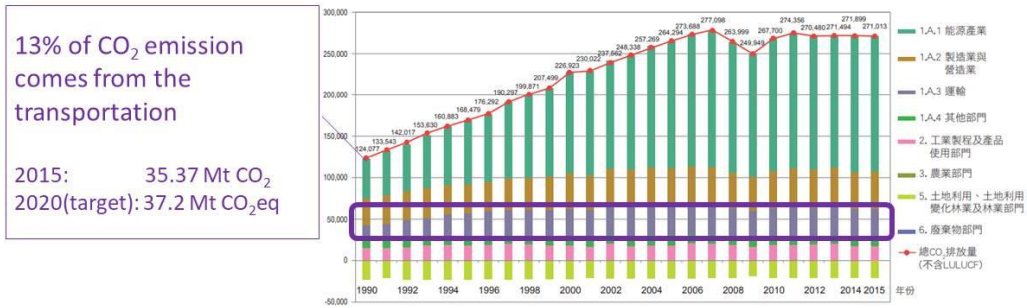
Power generation by fuel (2016)



4

Green house gas (GHG) emissions of Taiwan

- GHG Emission of Taiwan in 2015 is 285 Mt CO₂eq, which accounts for 1% the global emission.
- CO₂ accounts for 95% of GHG emission.

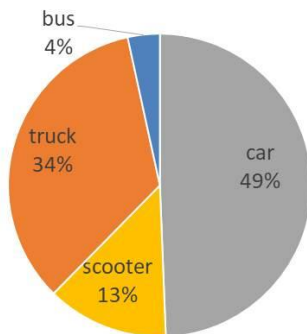


Source: Environment Protection Administration(EPA), Taiwan, 2018

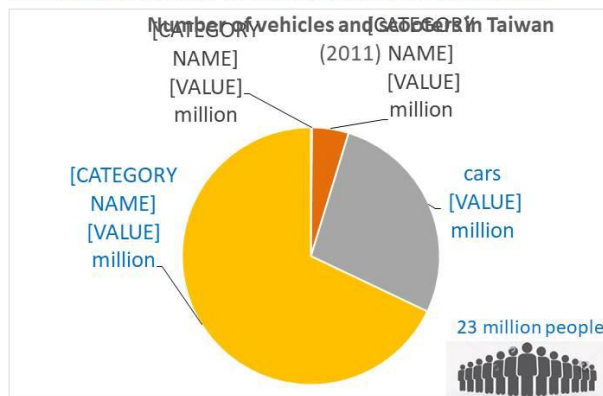
Trend of CO₂ emission by sectors

CO₂ emissions from the ground transportation

CO₂ emission estimates by MOTC (2011)



The ground transportation is one of the major sources of fine particulate matter (PM_{2.5}) air pollutants



Source: Ministry of Transportation and Communication (MOTC), Taiwan, 2018

6

Current policies and future plans in Taiwan

- An all-electric **bus** program by 2030, the sale of ICE **motorcycles** and **cars** banned in 2035 and 2040, respectively

	Trade-in subsidies	Improve energy efficiency by 15% (compared with the standard in 2009)	Subsidy on electric vehicle/scooter
Period	2017-2020	2016-2020	2011-2021
scooter	✓	✓	✓
car	✓	✓	✓
bus	✓		✓
light truck	✓	✓	
truck	✓		

7

Current policy for electrifying vehicle/scooter

- Subsidies on electric vehicle/scooter
 - Car: The commodity tax exemption and tax rates around 25%~30%. (2011~2021)
 - Scooter : Subsidies for purchases at most NT\$34,000 (USD\$1,100), nearly 40% off. (till the number of scooter from any single producer exceeds 100,000)
 - Bus : Subsidies for purchases around 50% to 80% of the total price. (2011~2021)

gogoro



8

Questions we raise include:

- How do households shift their consumption from conventional (ICE) car/scooter to electric car/scooter under the policy scenario
- How much of CO₂/GHG reduction after the policy implementation.

9

Literature reviews

	Detailed household trans.	Detailed trans. service sector	International trade	New and Vintage	Backstop tech. for trans.
Chou (2007)		V			
Huang et al. (2015)	V	V			V
Yang et al. (2017)	V	V			V
EPPA-Taiwan	V	V	V	V	V

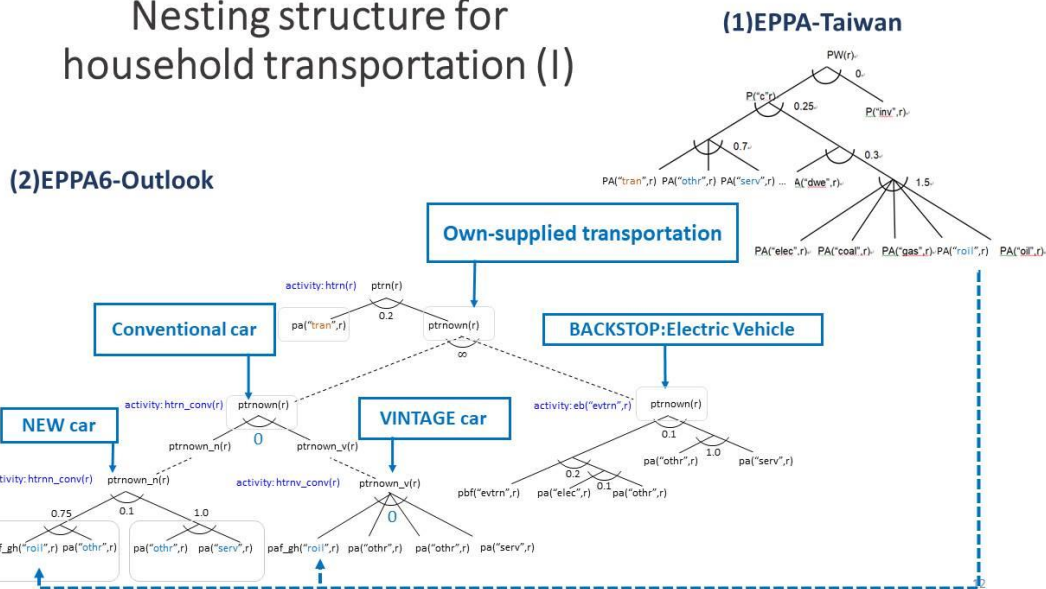
10

A quick review of EPPA-Taiwan

EPPA-Taiwan	
modeling language	the GAMS/MPSGE
Database	GTAP9power (more easily to adjust sectors and regions)
Region	19 (including Taiwan as a separate region)
Sector	14 aligned with MIT EPPA 6
Substitution Elasticity	aligned with MIT EPPA 6
Function form	CES with multiple layers
Nesting structure	1) Backstop technology 2) Detailed household transportation (scooter for Taiwan) 3) Detailed transportation (bus and truck for Taiwan) 4) Stone-Geary in household consumption
Dynamic mechanism	1) Backstop technology 2) Vintage in transportation 3) Vintage in all production sector and backstop technologies

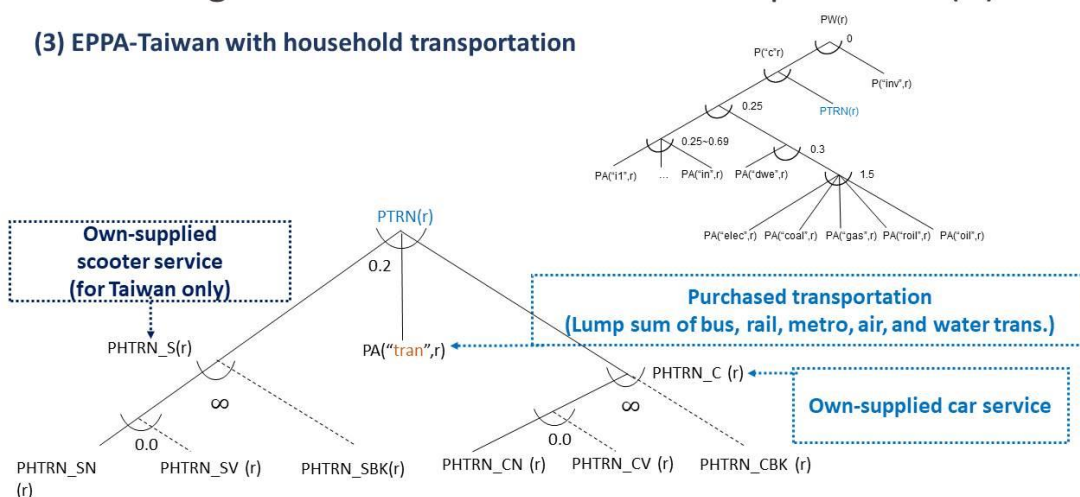
11

Nesting structure for household transportation (I)



Nesting structure for household transportation (II)

(3) EPPA-Taiwan with household transportation



13

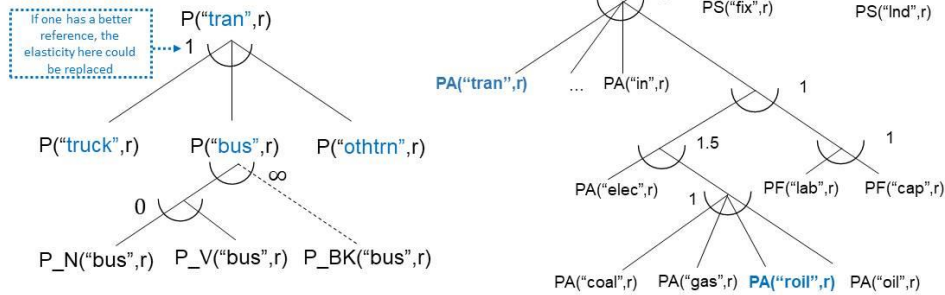
Data used in disaggregating own-supplied car/scooter

- Data used in disaggregation.
 - The **output of Household own-supplied transportation**
 - Total household **expenditure on own-supplied transportation service** from the Survey of Family Income & Expenditure
 - The **Inputs**
 - The **energy inputs** – refined oil usage of household consumption from Taiwan's 524x166 Input-Output table; refined oil usage shares of the car and scooter from MOTC's CO₂ emission statistics
 - The **equipment inputs** – GTAP9power database ("mvh"); Taiwan's 166x166 Input-Output table to obtain values of equipment purchase for the car and scooter
 - The **service inputs** – shares of service input for car and scooter are from Survey of car users and Survey of scooter users by MOTC
- The **vintage shares for car/scooter**
 - **Accumulated miles** of the car and scooter from MOTC statistics
 - Share of new car: 17.6%; Share of new scooter: 38.8%
 - (Share of vintage car: 82.4%; Share of vintage scooter: 61.2%)

14

Nesting structures: Detailed Bus and truck in transportation sector

- For Taiwan only
- Break down the transportation service into three types:
bus, truck and other transportations



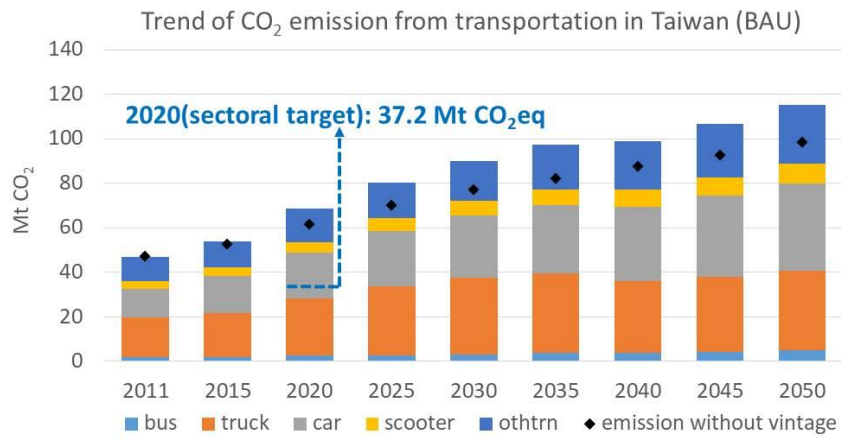
15

Data used in disaggregating the transportation service sector

- Data used in disaggregation.
 - The **output value** of truck and bus sectors
 - output share of truck, bus in land transportation from Taiwan's 524x166 Input-Output table.
 - The inputs
 - The **energy inputs** : GTAP9power database-refined oil usage of the land transportation; energy inputs of non rail transportation from Taiwan's Energy Balance sheet ; CO₂ emission shares of truck and bus from MOTC statistics.
 - The **non-energy Inputs** : borrow the input structure of original transportation ("tran") sector in EPPA-Taiwan.
- The **vintage shares for truck and bus**
 - we only have data of number of vehicle by **age**
 - Share of new truck is 14%; Share of new bus is 43%
(Share of vintage truck: 86%; Share of vintage bus: 57%)

16

Emissions from the transportation in Taiwan under the business as usual (without Backstop)



17

Next step

- Historical calibration
- Add backstop for the ground transportation
 - Electric car, scooter, bus, and truck
- BAU projection and Policy simulation
 - Subsidies on electric vehicle/scooter
 - Fuel efficiency standard of Taiwan

18