



全球減碳趨勢模型分析 -黑箱或政策輔助工具?

吳易樺 研究員

綠能與環境研究所

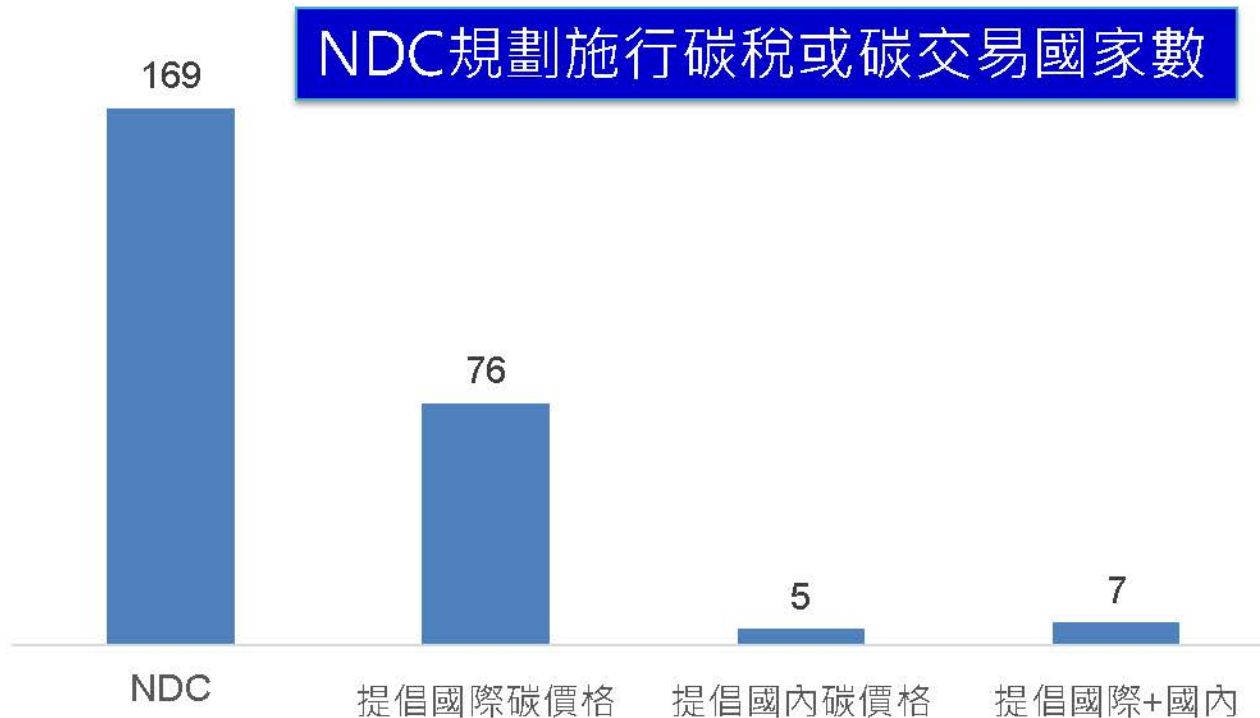
簡報大綱

- 壹、全球碳交易與碳稅趨勢
- 貳、國際減碳文獻分析
 - 一、碳價格與World Bank支出建議
 - 二、全球節能投資對減碳影響
 - 三、碳交易與減碳技術
- 參、揭開神秘黑盒子:Nordhaus 對Stern Review的批評
- 肆、結論與建議

全球碳交易與碳稅趨勢

□ 碳稅或碳交易為NDC的重要減碳策略之一

- 2018年4月前有**88國NDC**提及**碳價格**(占全球GHG排放56%)
- **78國**(占全球GHG排放28%)提及**國際碳價格制度**
- **5國**(占全球GHG排放25%)提及**國內碳價格制度**(中國、挪威、南非、冰島及加彭)
- **7國**(占全球GHG排放4%)提及**國內外碳價格制度**(加拿大、韓國等)

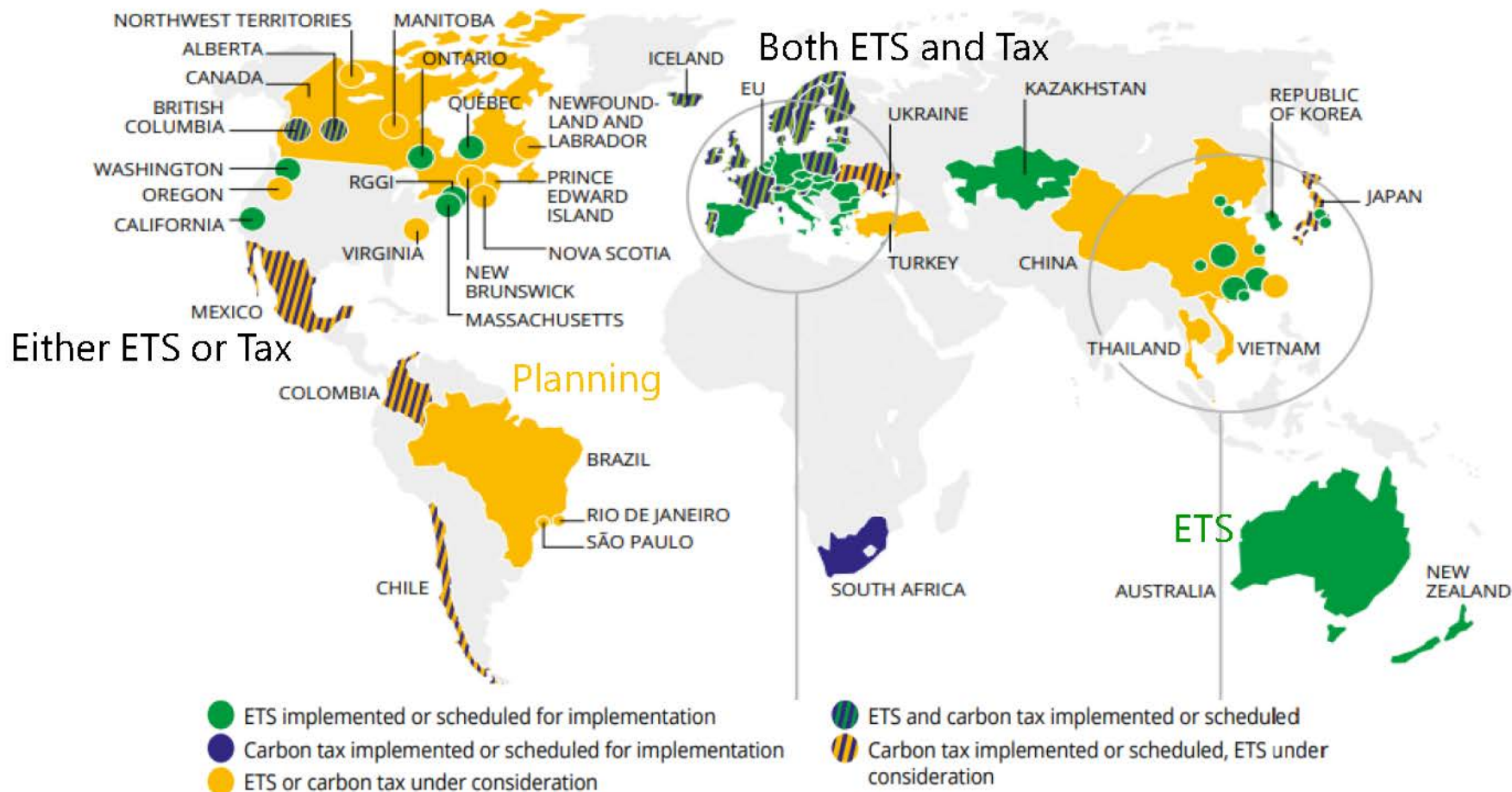


資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

全球施行碳交易與碳稅區域

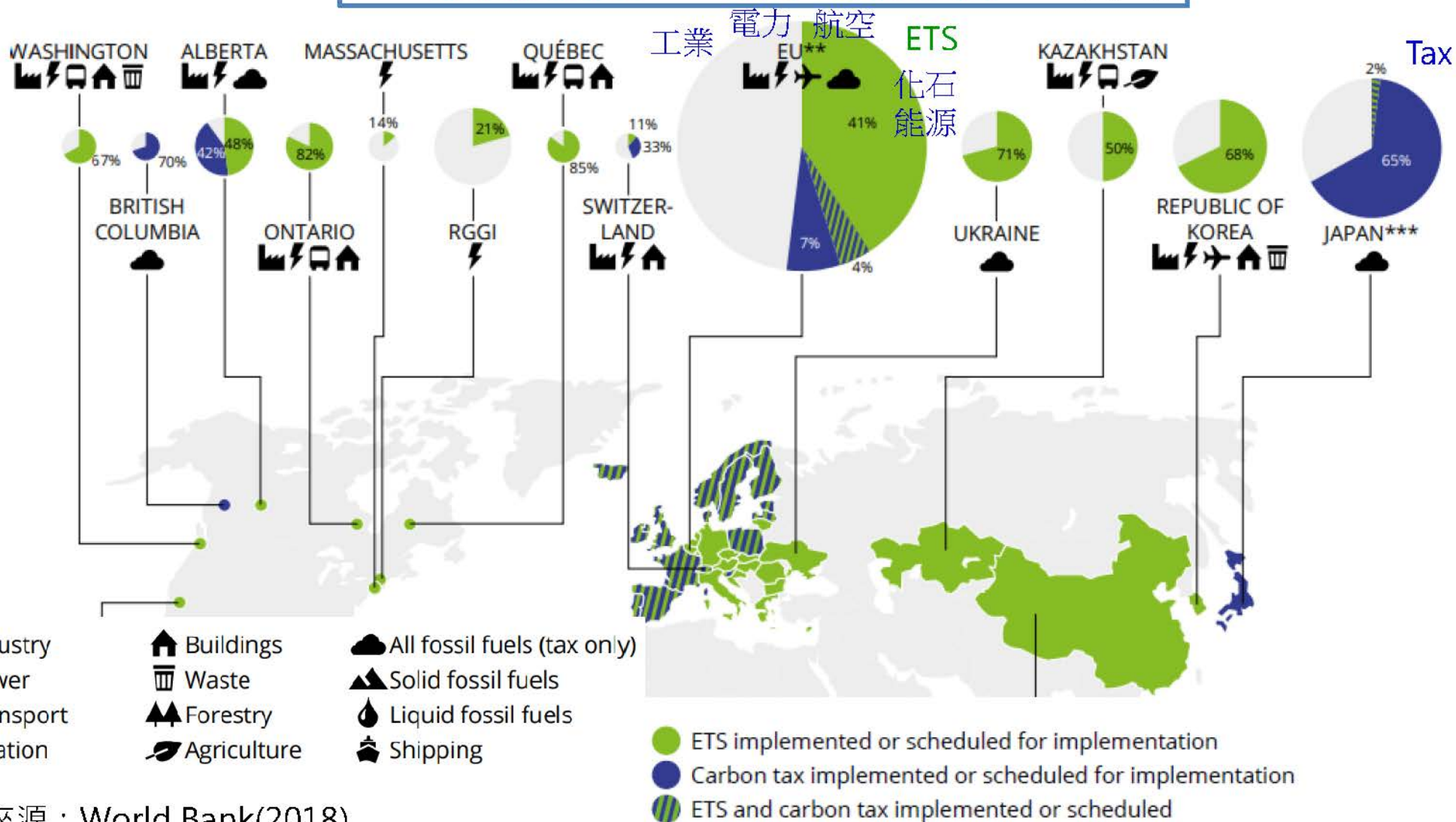
- 同時施行碳稅與碳交易：北歐各國、英國、法國、以及波蘭。
- 加拿大、中國大陸其他中型都市、以及巴西正評估是否施行碳交易或碳稅政策。



資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

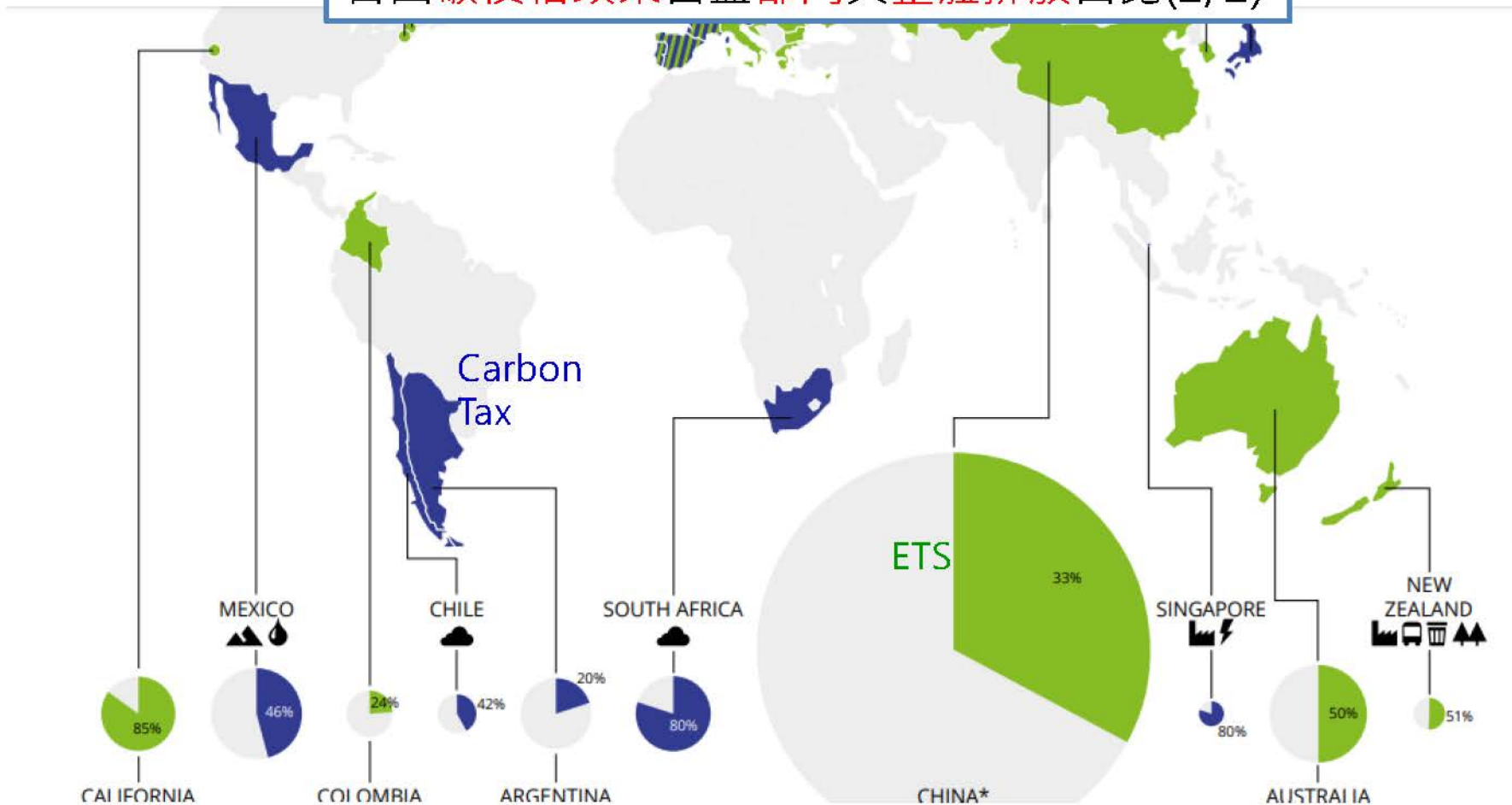
各國碳價格政策含蓋部門與整體排放占比(1/2)



資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

各國碳價格政策含蓋部門與整體排放占比(2/2)



- ETS implemented or scheduled for implementation
- Carbon tax implemented or scheduled for implementation
- ETS and carbon tax implemented or scheduled

- ⚙️ Industry
- ⚡ Power
- 🚗 Transport
- ✈️ Aviation

- 🏠 Buildings
- 🗑️ Waste
- 🌳 Forestry
- 🌾 Agriculture

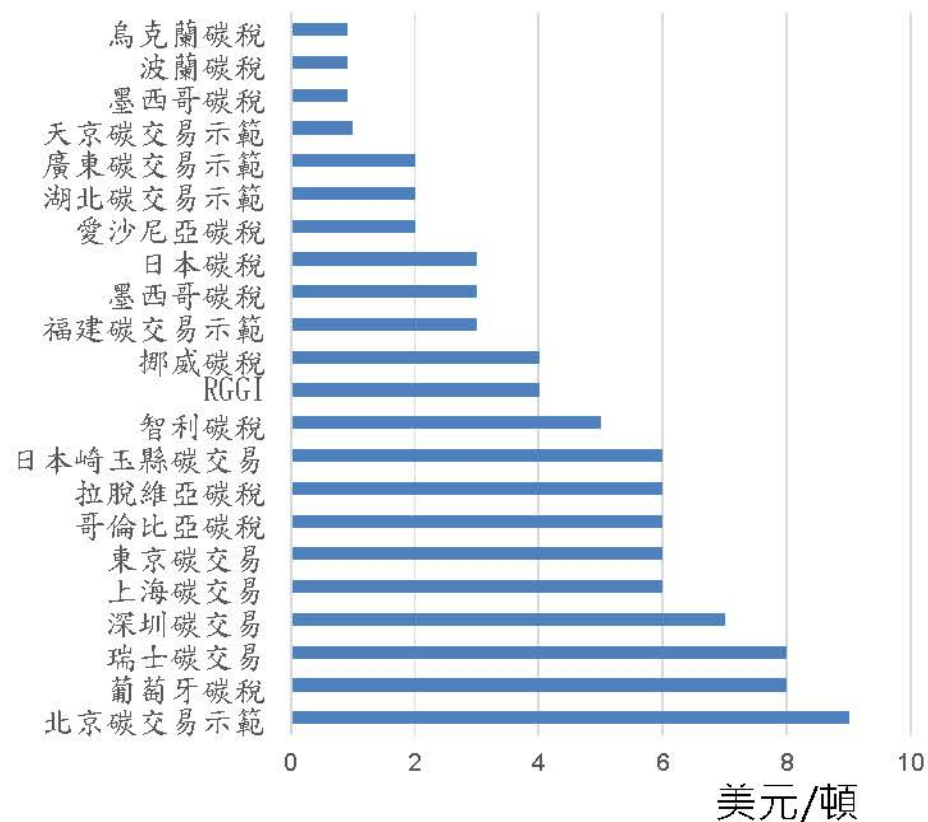
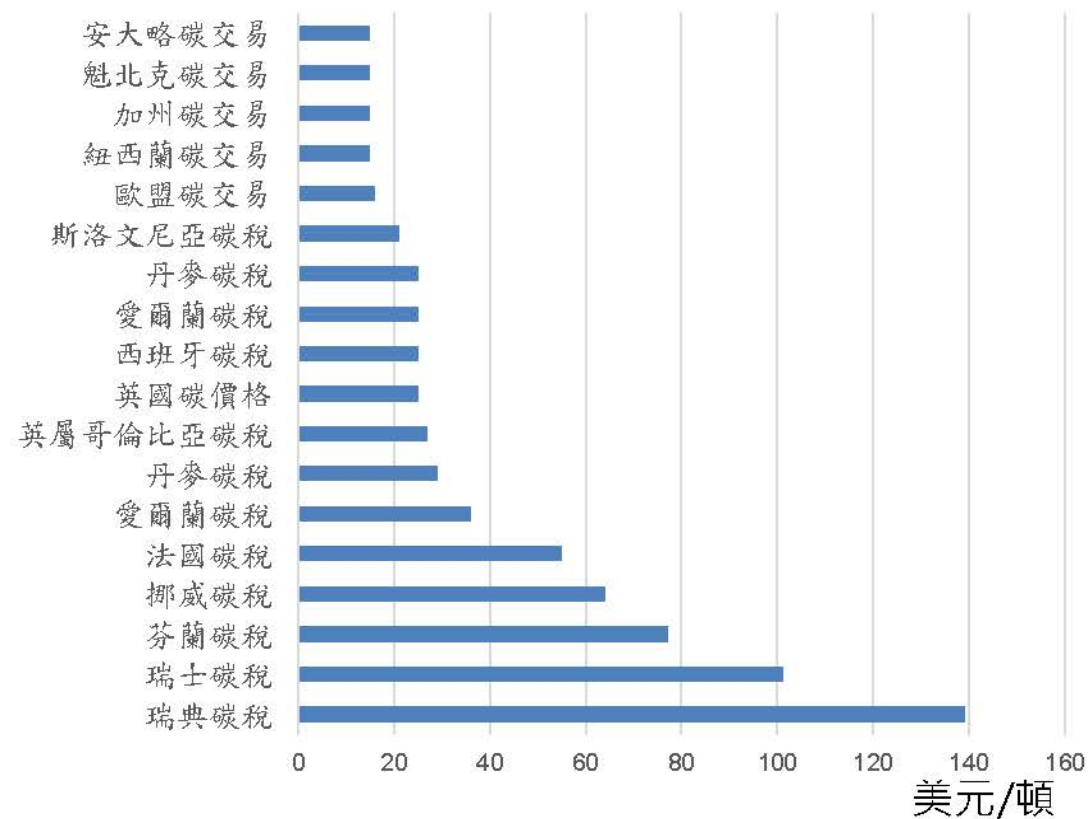
- ☁️ All fossil fuels (tax only)
- ⬆️ Solid fossil fuels
- 💧 Liquid fossil fuels
- 🚢 Shipping

資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

□ 全球碳交易與碳稅價格比較

- 瑞典的碳稅最高，每噸168美元/噸。
- 以北歐價格最高，包含美國RGGI、歐盟都低於20美元以下。

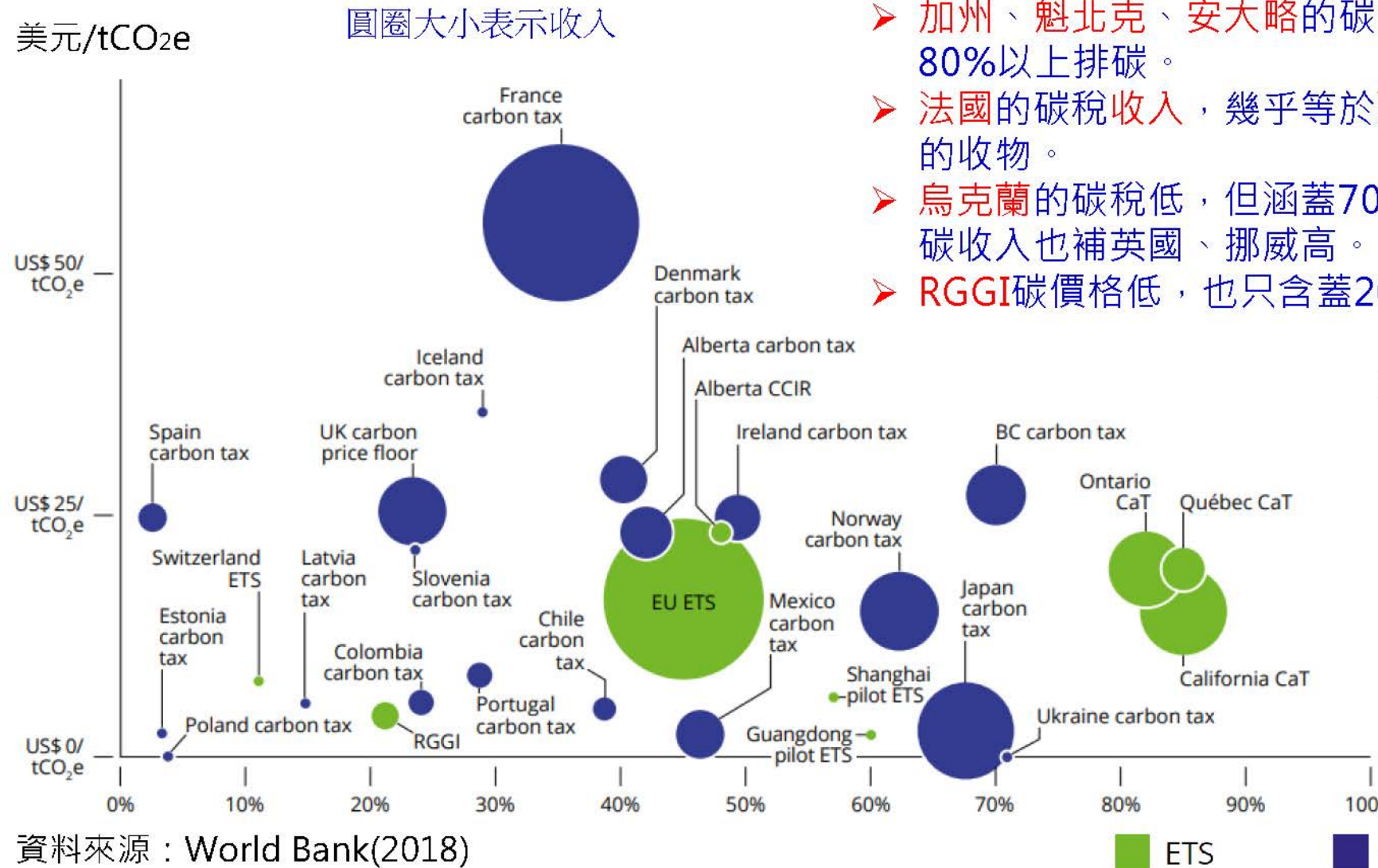


資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

各國碳價格與各國排碳分布

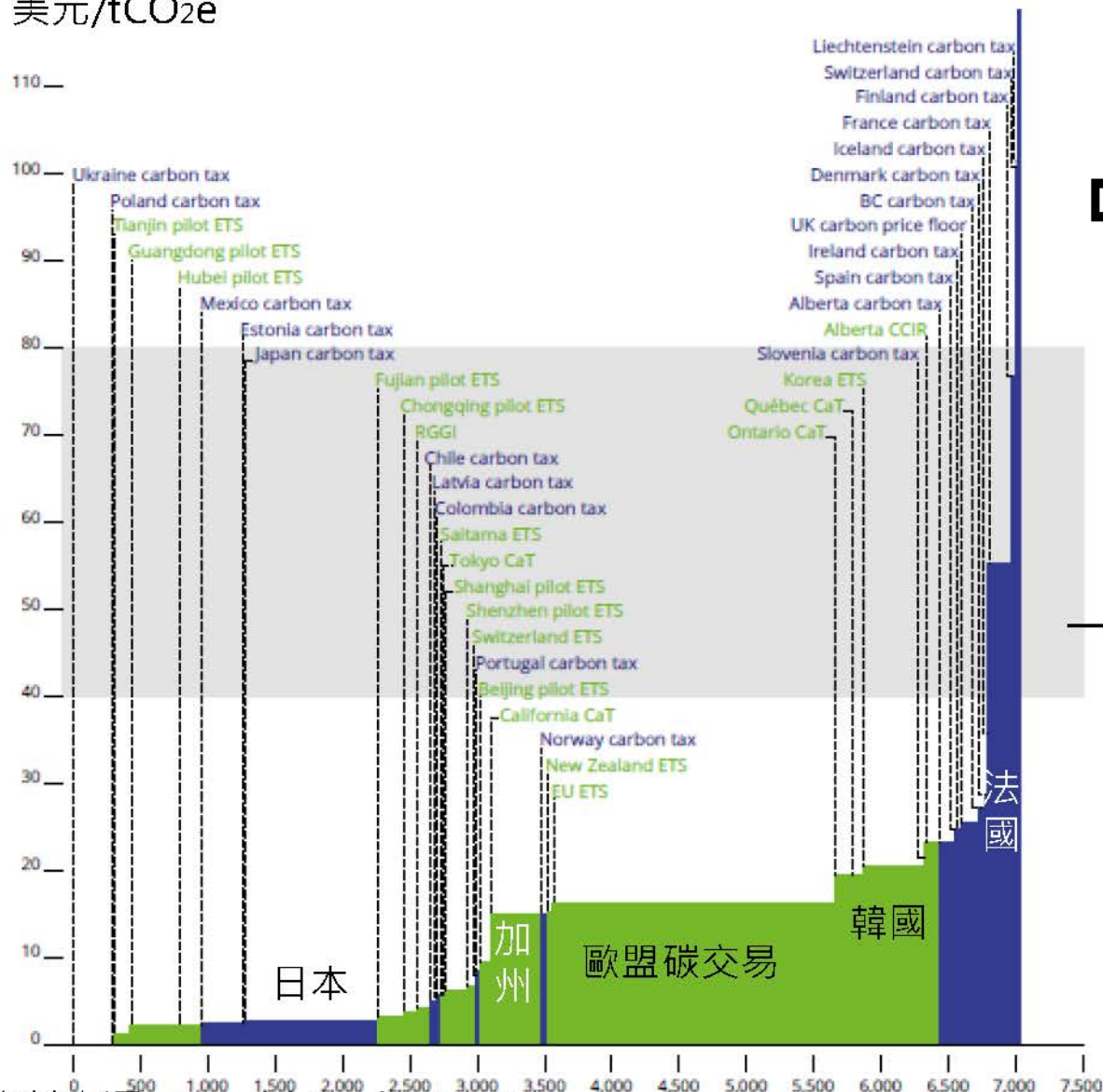
- 加州、魁北克、安大略的碳價制度含蓋80%以上排碳。
- 法國的碳稅收入，幾乎等於歐盟碳交易的收物。
- 烏克蘭的碳稅低，但涵蓋70%碳排放，碳收入也補英國、挪威高。
- RGGI碳價格低，也只含蓋20%碳排放。



資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

美元/tCO₂e



2017年各國碳價格與排碳量分布

- 瑞典的碳稅最高，但該國占全球排碳比率低。
- 歐盟碳交易市場的占比最大，價格約16美元/tCO₂e
- 日本雖占比高，但碳稅價格僅3元

2020年碳價格範圍，才能達到NDC目標

資料來源：World Bank(2017)

ETS

Carbon tax

MtCO₂e

資料來源：World Bank(2018)

全球碳交易與碳稅趨勢

□ World Bank 認為全球未來趨勢

- 整合**碳價格**與**其他制度**，為未來趨勢。
- 單獨靠**碳價格**，可能**不足**。

重點	內容
科技進步將改變碳價格	● 衛星與監控設備 ● Big Data ● 智慧電表 ● 智慧契約(Smart Contract)
促進利益團體的合作，增加碳價格效果	● 加拿大魁北克、安大略及加州碳交易連結 ● 瑞士ETS和歐盟結合 ● 企業、非官方機構、NGO的合作
政策協調	● 氣候、財政、環境、產業政策協調
仍需更高碳價格與擴展碳價格涵蓋部門，才能達到巴黎協議目標	● 2020年40~80美元/公噸的碳價格才可達到巴黎協議目標

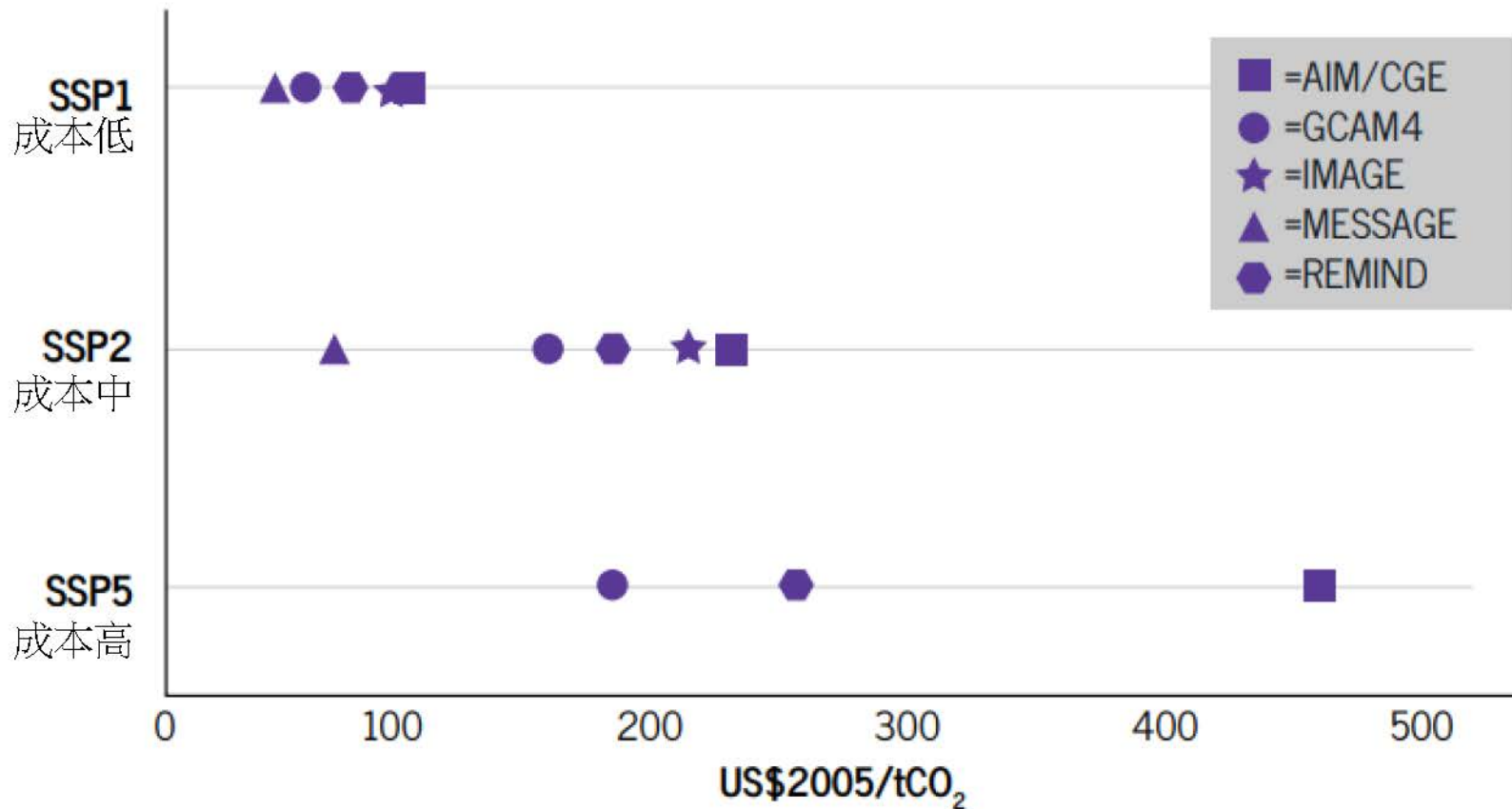
智慧契約:契約電子化，當契約的條件都滿足時，自動進行交易。

資料來源：World Bank(2018)

國際減碳文獻分析: World Bank

□ 全球模型模擬達標2°C目標，2050年碳價格

- Shared Socioeconomic Pathways (SSP)表示各種社會經濟的假設，由成本低(SSP1)到高(SSP5)排序。包含經濟成長、技術發展成本、資源、政策執行效率、以及環境法規等。
- SSP為IPCC的AR6重要假設。
- 光靠碳價格達到2°C目標，要相當大的價格。



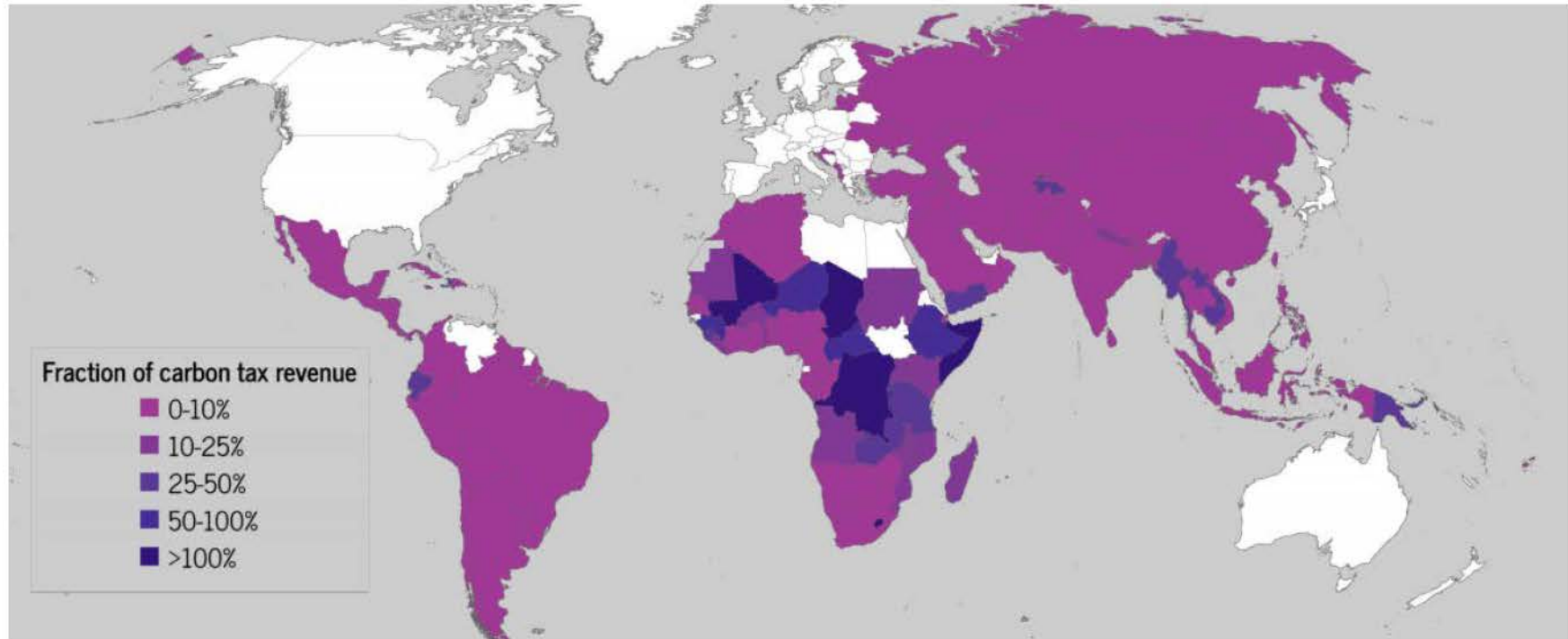
資料來源：World Bank(2017)

國際減碳文獻分析: World Bank

□ 水力投資占碳價格收入比

- 世界銀行的官方目標為**消除貧困**。
- 將碳稅收用於**基礎建設投資**。
- 經過模擬，估算碳價格收入用於投入基礎建設比率**(沒有國際移轉)**。
- 以非洲、東南亞(緬甸、寮國)、巴布亞新幾內亞等國，需要投入水力基礎建設的比率較高。

碳價格收入用於水力投資比

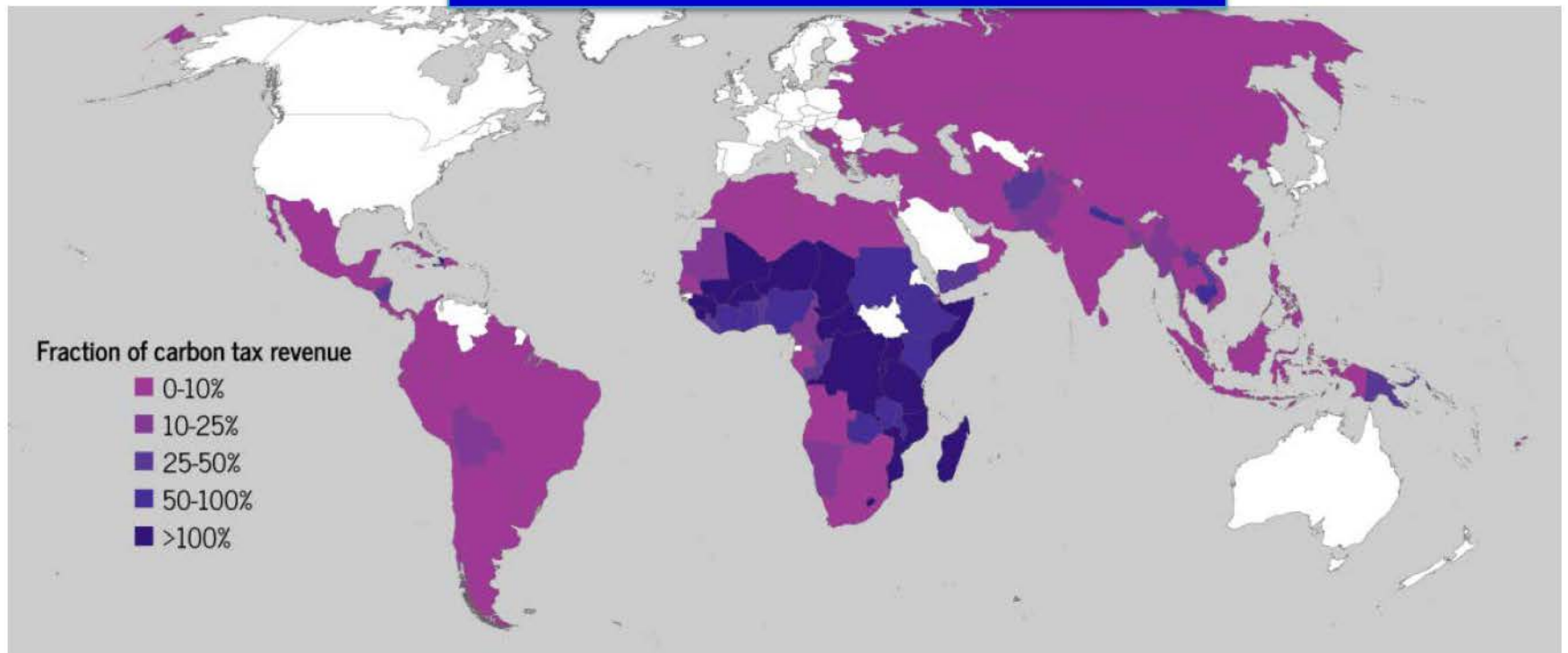


國際減碳文獻分析: World Bank

□ 公共衛生投資占碳價格收入比

- 以非洲、阿富汗、寮國、尼泊爾、巴布亞新幾內亞等國的比例較高。

碳價格收入用於公共衛生投資比



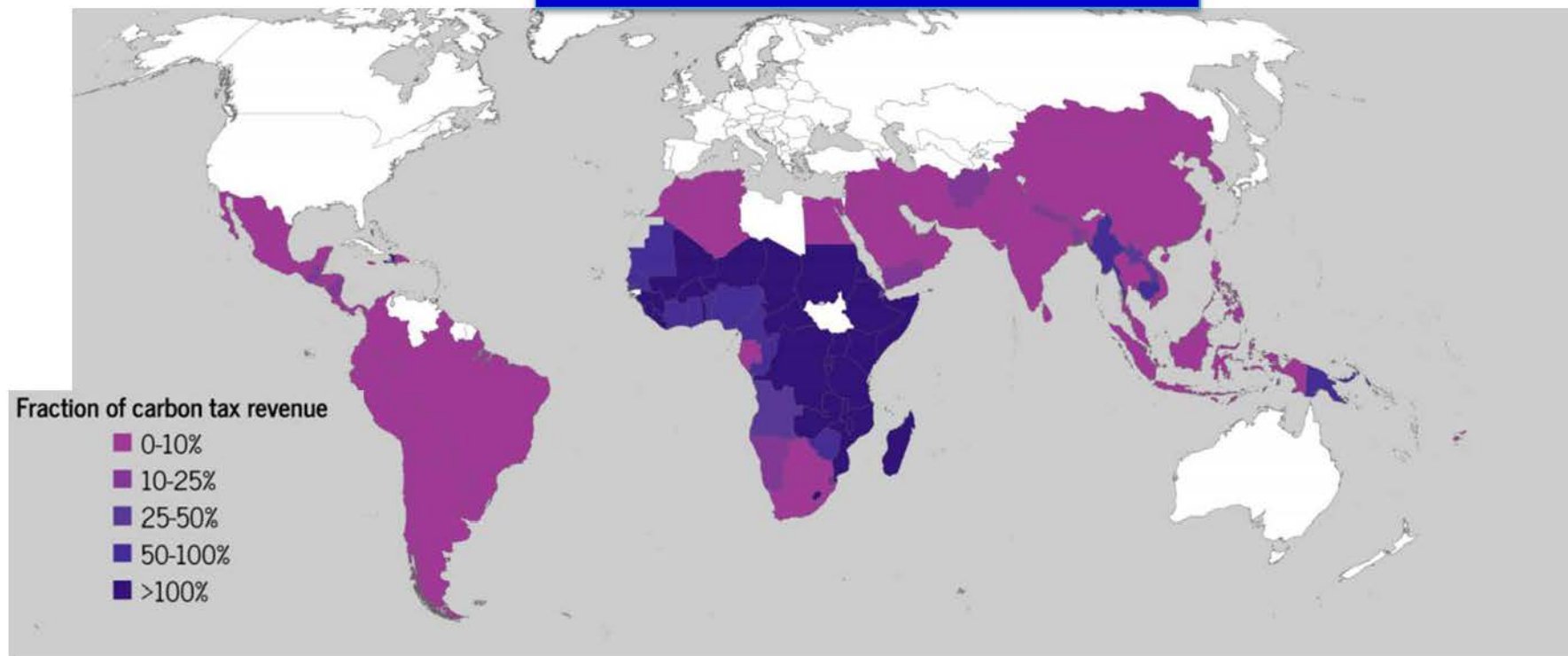
資料來源：World Bank(2017)

國際減碳文獻分析: World Bank

□ 電力投資占碳價格收入比

- 以非洲、緬甸、寮國、巴布亞新幾內亞等國的比例較高。

碳價格收入用於電力投資比

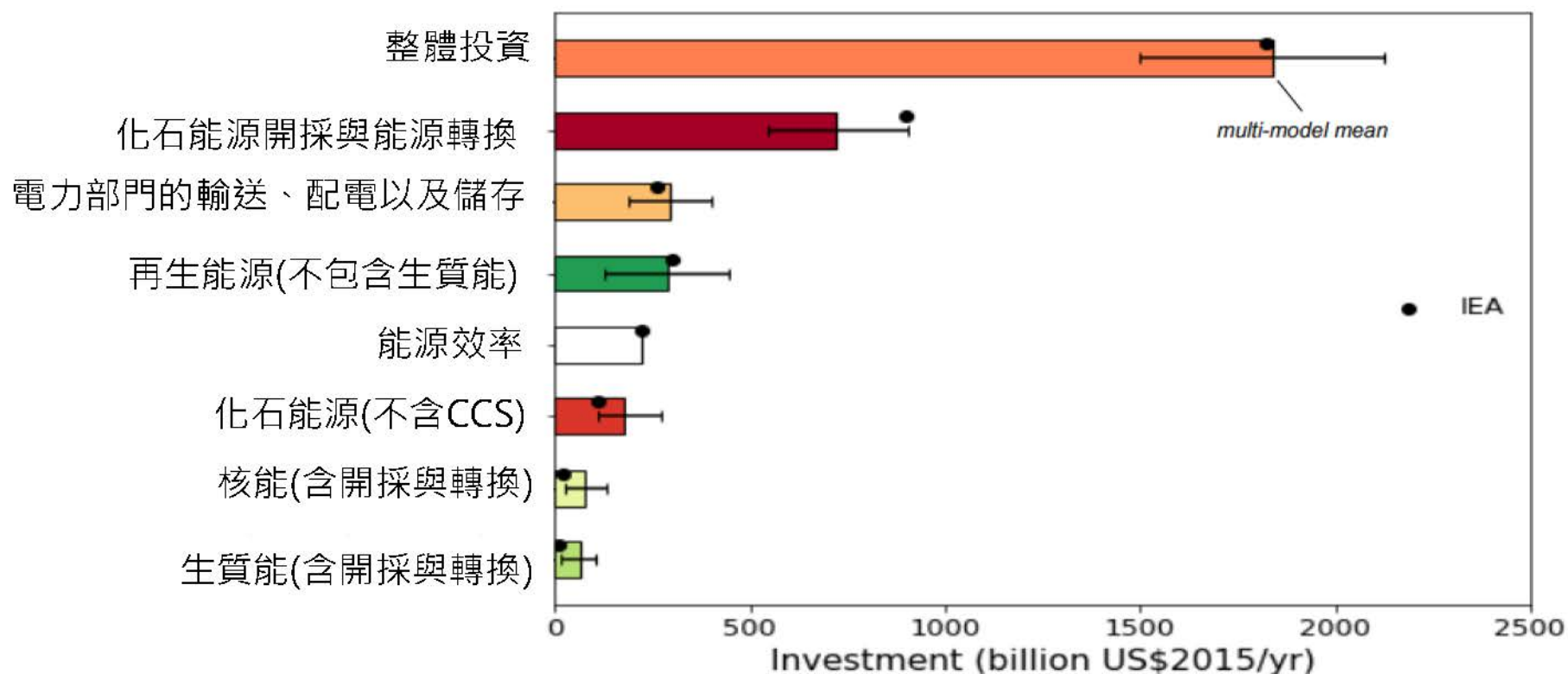


資料來源：World Bank(2017)

國際減碳文獻分析: 能源投資

全球能源投資

- 全球2015年能源投資接近2兆美元(2,000 billion U.S. dollars)，約占全球GDP的2.7%。
- 其中以化石能源開採與能源轉換的投資金額最高，將近7,500億美元。
- 電力部門的輸送、配電以及儲存的投資近3,000億美元。
- 再生能源(不包含生質能)投資近3,000億美元。能源效率投資約2,500億美元。電力部門的化石能源(不含CCS)投資約2,000億美元。生質能與核能投資各約1,000億美元左右。

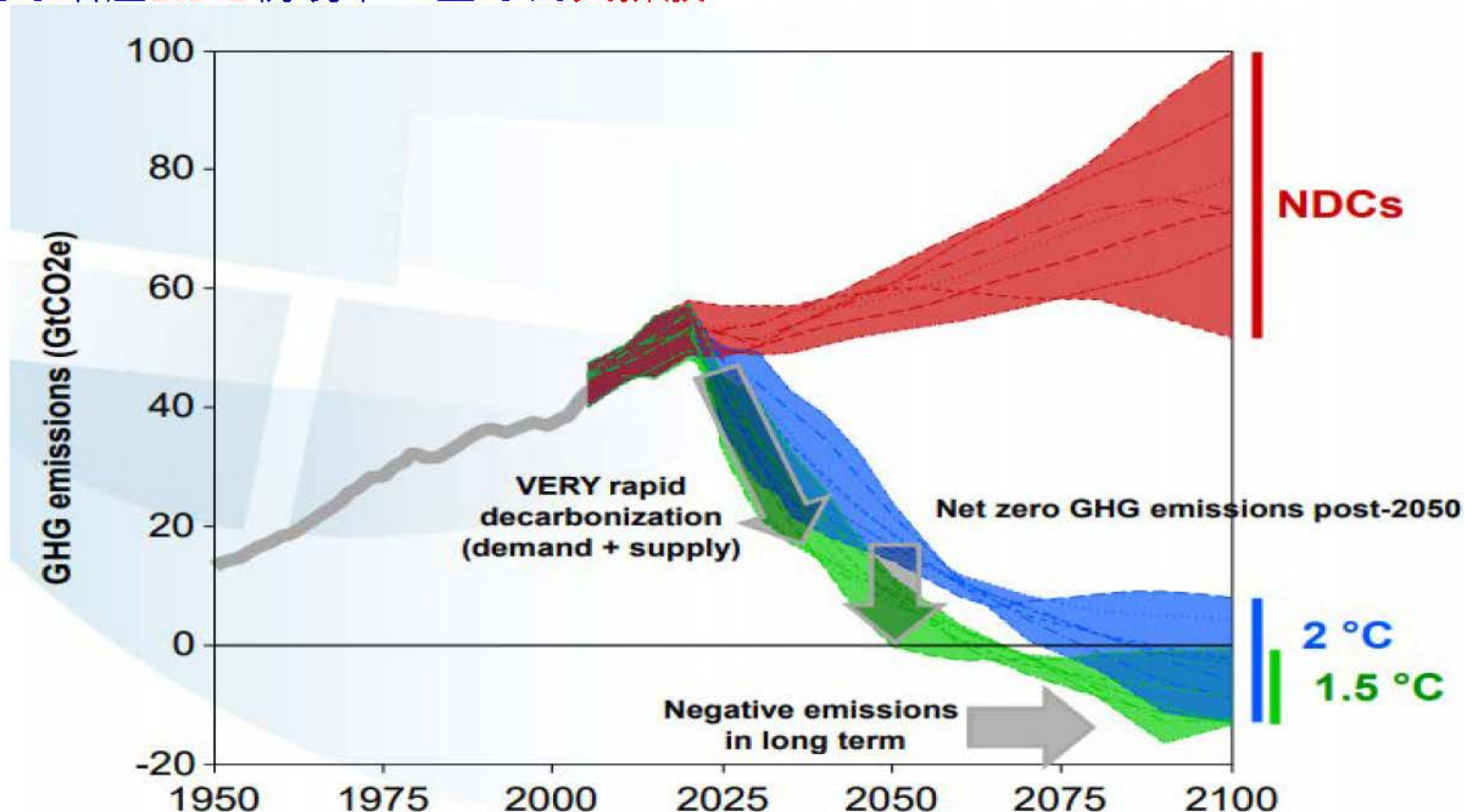


資料來源：McCollum (2018)

國際減碳文獻分析: 能源投資

□ 全球減碳情境

- **NDC**情境下，全球排放稍微趨緩，但仍呈現大幅成長趨勢。
- 在全球增溫**2.0°C**情境下，全球排放接近**零排放**。
- 在全球增溫**1.5°C**情境下，全球需**負排放**。

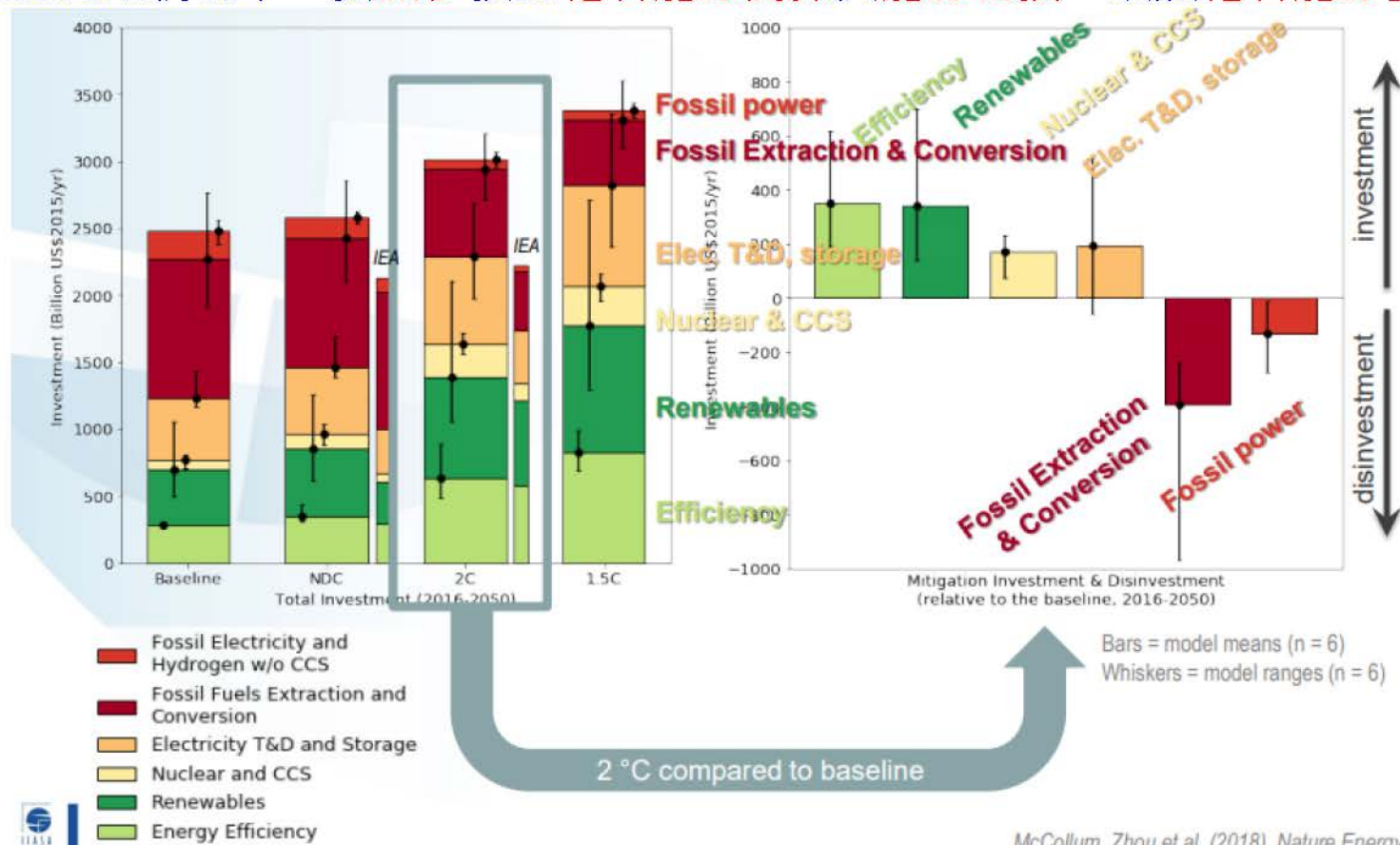


資料來源：McCollum (2018)

國際減碳文獻分析: 能源投資

□ 增溫2.0°C情勢投資金額

- 平均每年投資3兆美元。
- 其中能源效率與再生能源每年平均投資達3,500億美元。
- 核能與電力部門的每年平均投資約2,000~2,500億美元左右。
- 在資源有限情況下，要減少投資化石能源開採與能源轉換，以及化石能源發電。



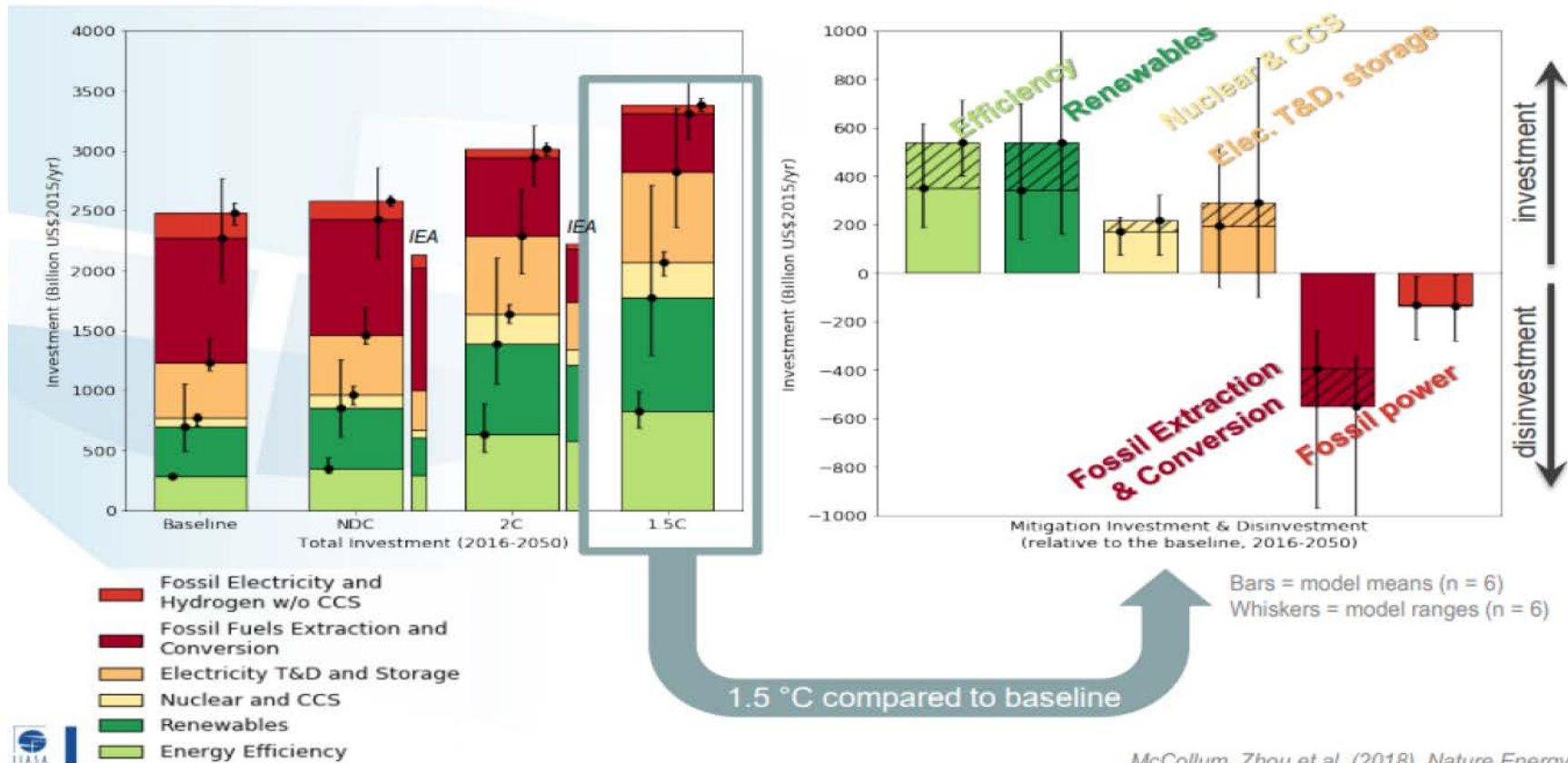
資料來源：McCollum (2018)

McCollum, Zhou et al. (2018). *Nature Energy*

國際減碳文獻分析: 能源投資

□ 增溫1.5°C情勢投資金額

- 平均每年投資接近3.5兆美元。
- 能源效率與再生能源投資每年平均超過5,000億美元。
- 核能與電力部門的每年平均投資約2,000~3,000億美元左右。
- 需減少投資化石能源開採與能源轉換，以及化石能源電力。

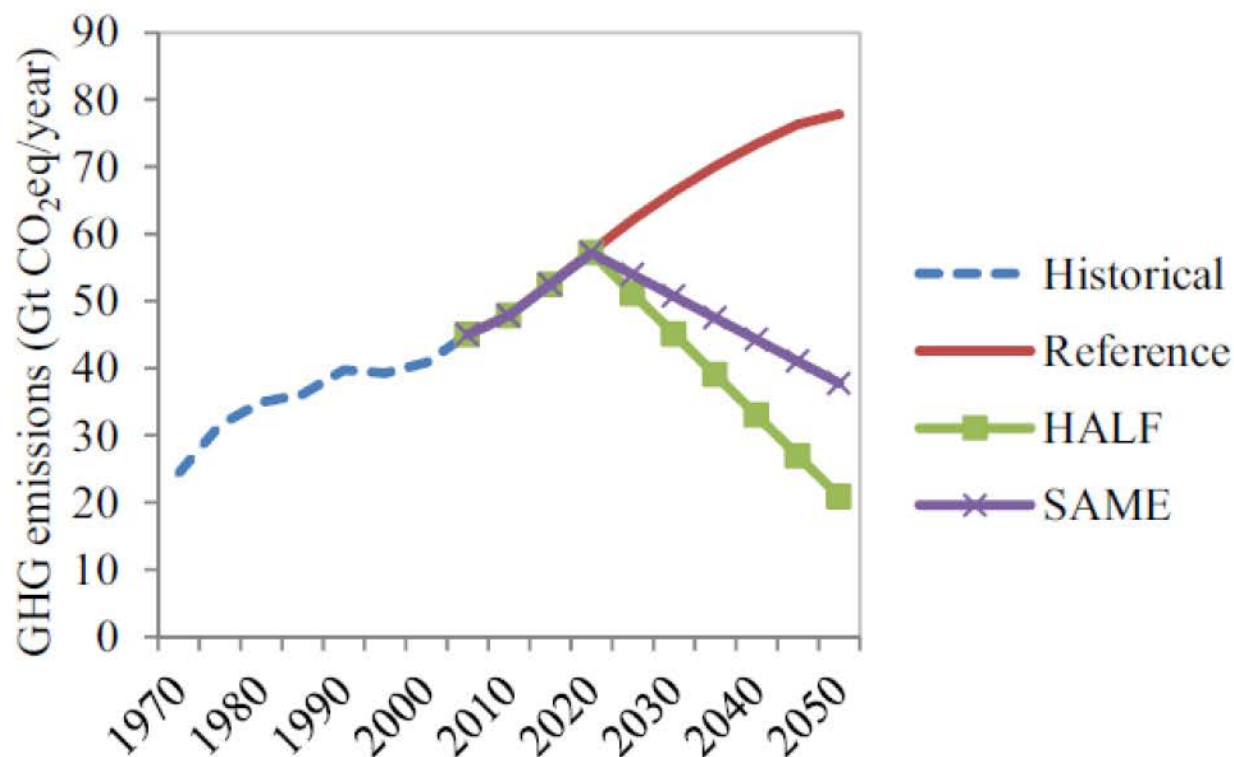


資料來源：McCollum (2018)

國際減碳文獻分析:碳交易與能源技術

減碳情境假設

- 探討各種減碳技術下，對於碳價格的影響
- SAME: 2050年與1990年同樣排放水準
- HALF: 2050年較1990年減少50%排放



資料來源：Fujimori et al. (2015)

國際減碳文獻分析:碳交易與能源技術

□ CCS成本假設

- 主要參考IEA (2008)的數據
- 當CCS的成本比碳價格低時，假設CCS裝置量每年增加5%
- 電業的CCS成本低於工業

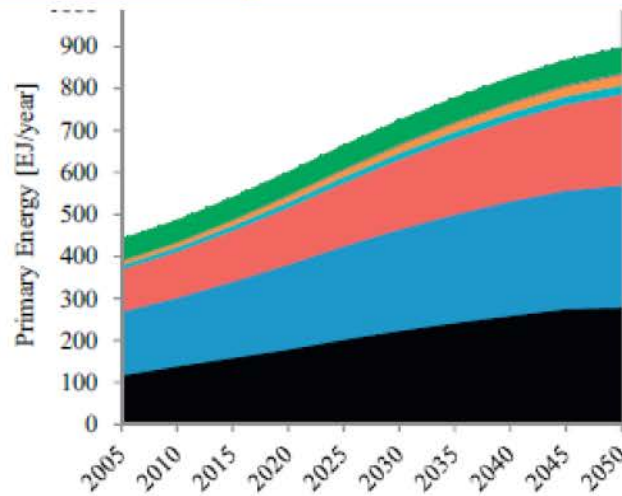
部門	細部門	成本假設(價格/公噸CO ₂)
工業	煉油與煤炭	100
	非金屬與礦業	200
	造紙業	150
	化學	150
電業	燃煤發電	50
	燃油發電	70
	天然氣發電	70
	再生能源	120

資料來源：Fujimori et al. (2015)

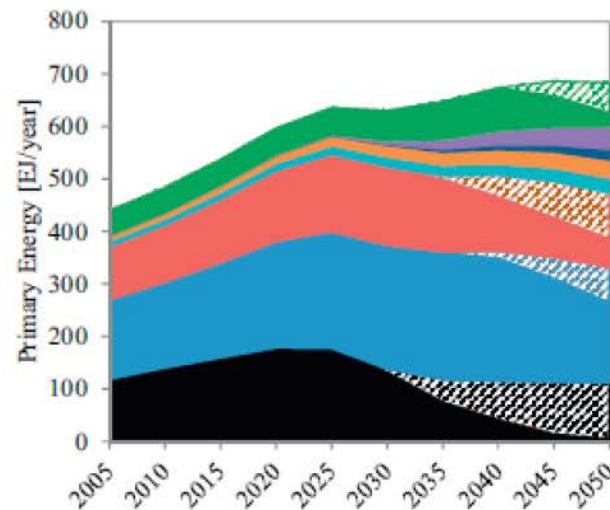
國際減碳文獻分析:碳交易與能源技術

□ 初級能源供給

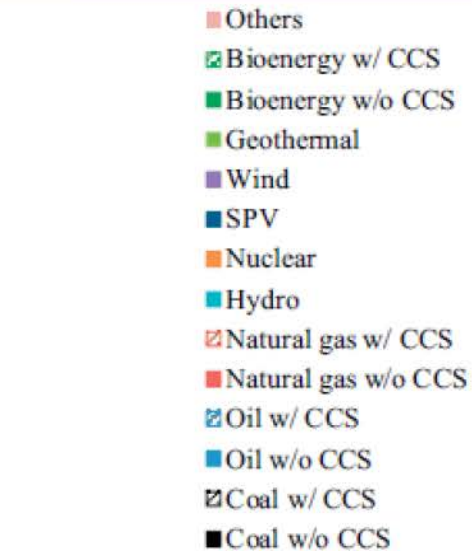
- BaU情境下，化石能源(煤、油)持續增加
- CCS可成為減碳之重要支持
- 在HALF情境下，要大幅**增加CCS的裝置**(虛線部分)。



(a) Reference



(b) HALF



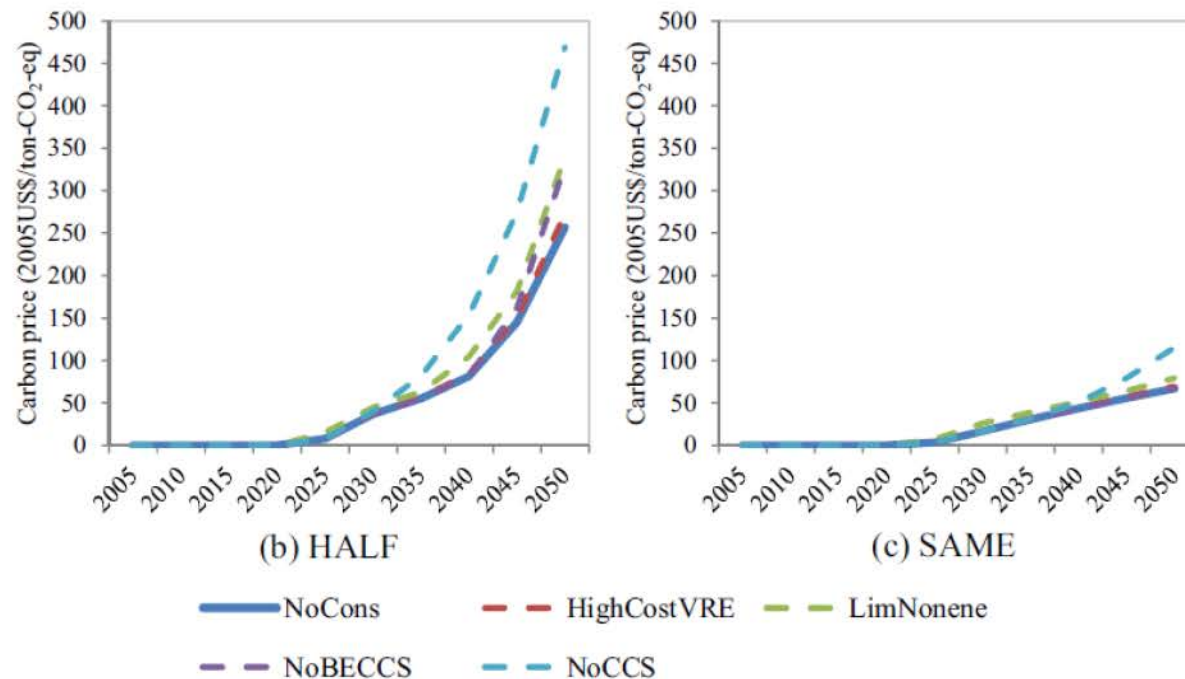
(c) SAME

資料來源：Fujimori et al. (2015)

國際減碳文獻分析:碳交易與能源技術

□ 碳價格影響

- 在沒CCS情境下，碳價格**最高**。
- **HighCostVRE**高變動成本的再生能源，碳價格次高
- 在**LimNonene** (limited non-energy related emissions reduction measures)，非能源排放的措施較弱，碳價格**第三高**。
- 僅生質能沒CCS(**NoBECCS**)的碳價格排**第四**
- 所有CCS技術都施行(**NoCons**)的碳價格最低

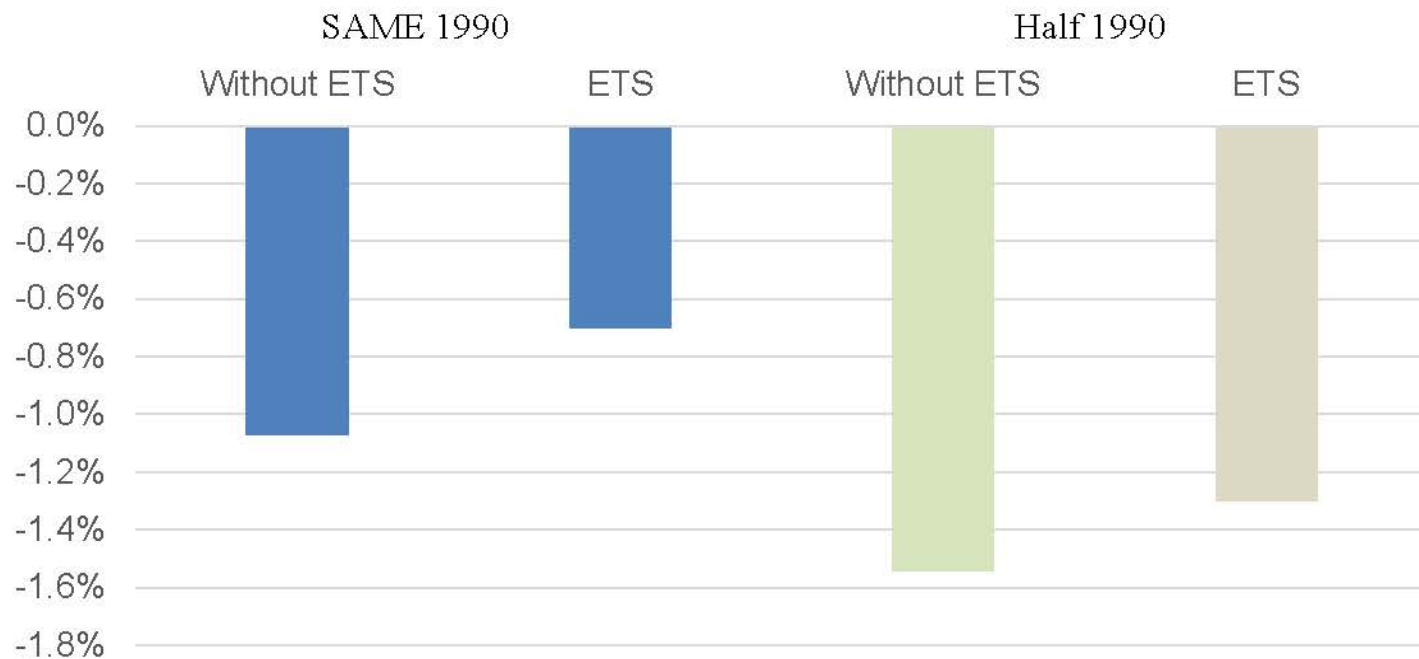


資料來源：Fujimori et al. (2015)

國際減碳文獻分析:碳交易與能源技術

□ 福利(消費)影響

- 減碳幅度較大(Half 1990)，福利減少較多
- 有碳交易的情境下，福利下滑較低。



資料來源：Fujimori et al. (2015)

國際減碳文獻分析:小節

□ 基礎假設的重要

- 社經條件 (SSP?各國各自條件?)
- 情境設計 (單純碳交易?與技術進展結合?)
- 技術進展 (成本?技術演進?)

□ 研究目的

- World Bank→去除貧窮
- 節能投資與效益
- 探價格與技術進展

資料來源：Fujimori et al. (2015)

Nordhaus 對Stern Review的批評

- ❑ Nordhaus (2007, Journal of Economic Literature 中研院評比A+ 期刊) 對 Stern Review的批評
- ❑ A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change
 - Stern Review不符合學術嚴謹度
 - The Review' s unambiguous conclusions about the **need for extreme immediate action** will **not survive** the **substitution** of **discounting** assumptions that are consistent with **today' s market place**. So the central questions about global-warming policy – how much, how fast, and how costly – remain open. The Review informs but **does not answer** these fundamental questions.



資料來源:

<https://economics.yale.edu/people/william-d-nordhaus>

Nordhaus 對Stern Review的批評

❑ A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change

➤ Stern Review基本上是政治產物，畫靶射箭

- 強調對政策支持的文獻，但卻忽略不支持氣候變遷的文獻。
- Stern Review沒詳細說明評估方法，沒法重製結果。也沒有外部審查機制 → Stern Review非學術研究成果
- Nordhaus覺得Stern Review要多花時間。Nordhaus 引用Mark Twain的故事，說明基礎研究要多花很大精力。
 - ◆ 出版商Need two page short story two days
 - ◆ Mark: No can do two page two days. Can do 30 pages 2 days. Need 30 days to do 2 pages.

資料來源：Nordhaus (2007)

❑ Anne Case (2017) (2015年諾貝爾獎得主Angus Deaton的太太)

➤ 經濟學界常常以駁倒人為樂趣

- A Princeton economist has a theory for why there are so few women in economics
- But the minute I started a PhD in economics, it was apparent. I have felt that if I want to be heard, I have to be willing to come in and be ready to fight, with sharp elbow.

Nordhaus 對Stern Review的批評

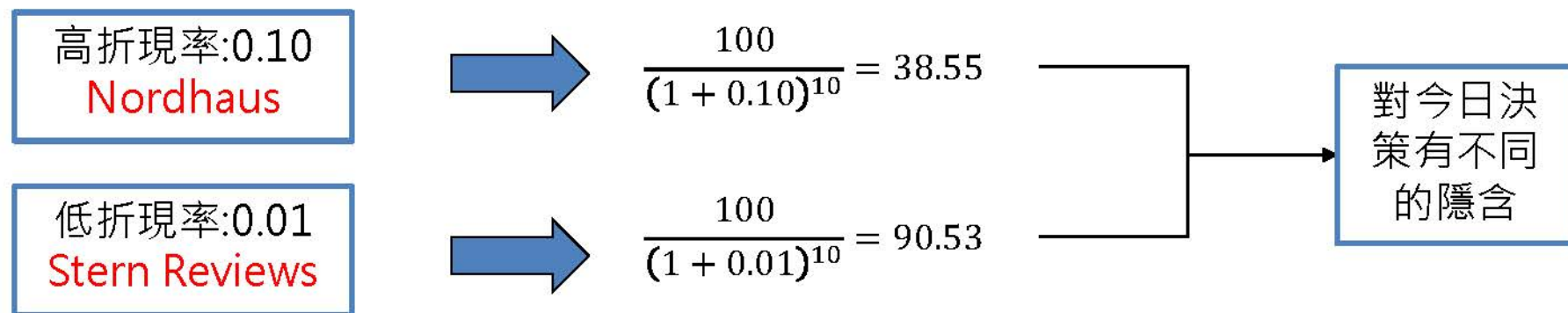
□ Nordhaus (2007) 對Stern Review的批評

➤ 折現率對於決策分析，很重要

● 企業投資回報v.s. 借款利率

● 折現率(實質利率)主導投資決策。當下減碳的邊際成本，以及折現後的未來減碳的邊際成本

➤ 10年後100元的現值



高(低)折現率則表示未來金額折線後數值相對小(大)

未來金額對當下的決策影響較小(大)

Nordhaus批評Stern Review的折現率過低，誇大未來的負面影響

Nordhaus 對Stern Review的批評

□ Nordhaus (2007) 對Stern Review的批評

➤ Stern Review折現率(discounting rate)太低

● Stern Review的折現率=0.1%/每年，換算實質利率1.4%

● 因為折現率低，未來的衝擊以現值而言，衝擊的金額會較大。

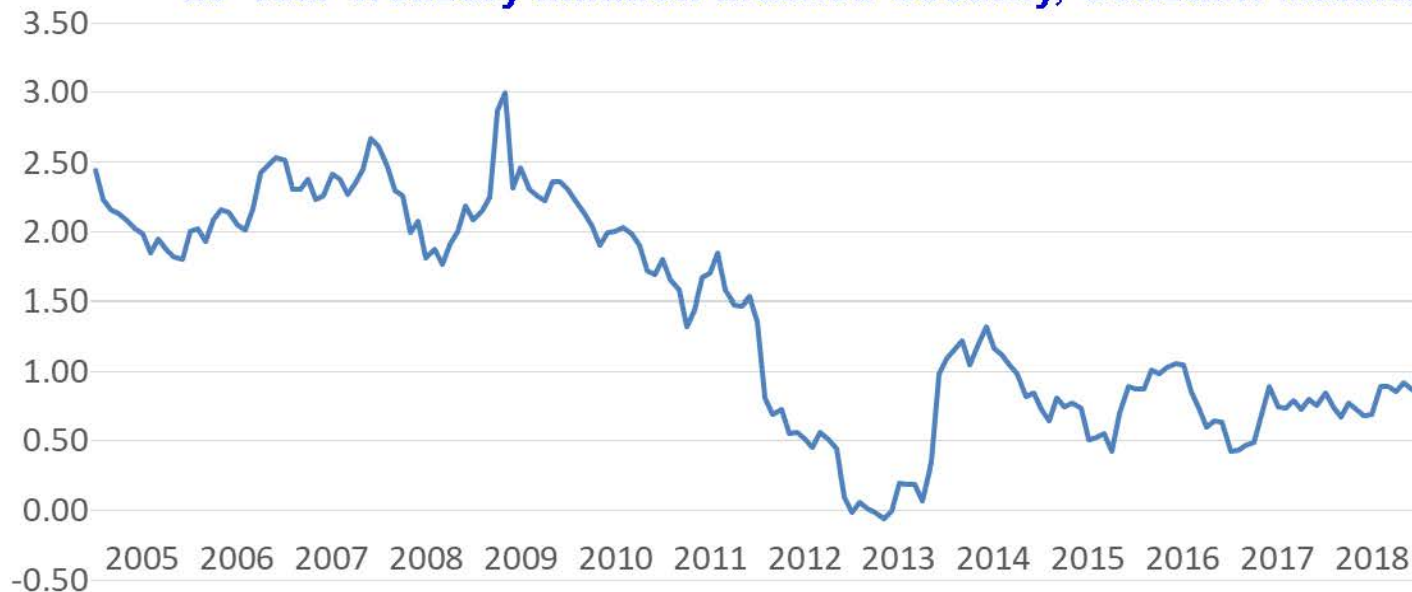
➤ 立即減碳可減少衝擊，帶來更多效益。

● Nordhaus 認為Stern所使用的實質利率，與實際金融市場與資本報酬率無關。

➤ 2007年20年到期的Treasury Security 每年利息為2.4%

➤ 美國1960-2000年美國稅前實質企業資本獲利每年平均達6.6%

20-Year Treasury Inflation-Indexed Security, Constant Maturity



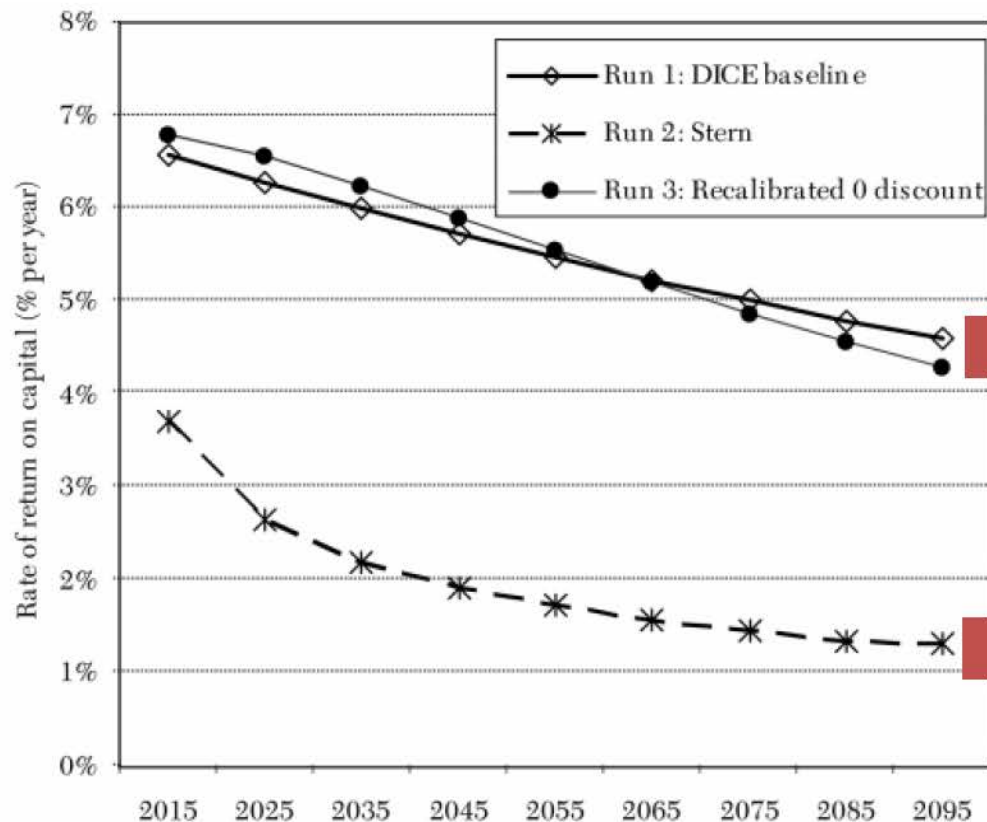
Nordhaus 對Stern Review的批評

□ Nordhaus (2007) 採用DICE Model-2007

➤ Dynamic Integrated model of Climate and Economy

- Stern Review的假設下，資本報酬率過低。與當時資料不符合。
- DICE模型(Run1)與折現率=0(Run 2)的資本報酬率接近。
- Run 3雖折現率=0但改變其他參數，讓資本報酬能接近實際資料

資本報酬率模擬



- DICE模型最適化結果
- 折現率=0並調整其他參數

Stern Review的資本
報酬過低

資料來源：Nordhaus (2007)

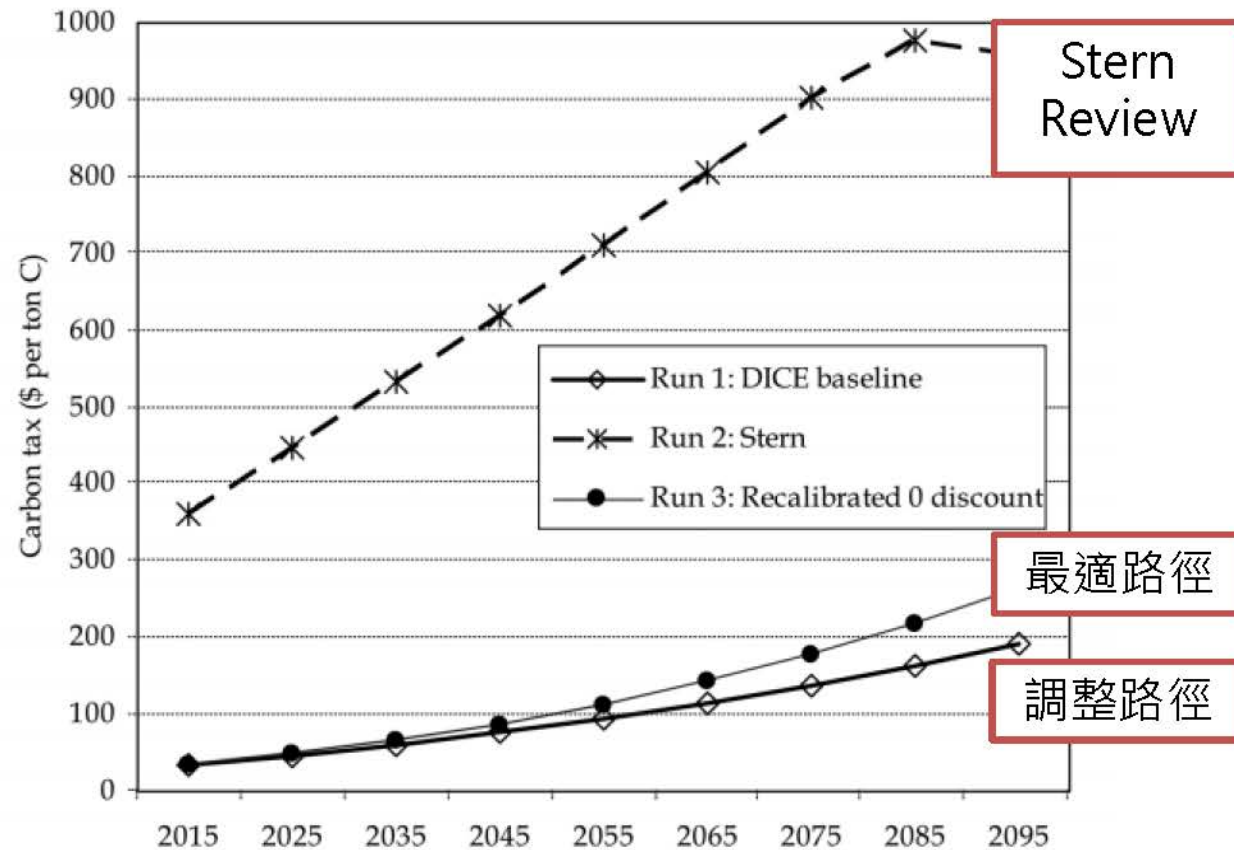
Nordhaus 對Stern Review的批評

□ Nordhaus (2007) 採用DICE Model-2007

➤ Dynamic Integrated model of Climate and Economy

- 最適(optimal)的碳價格
→ 減少排放所產生的邊際減碳成本=抑制氣候變遷所帶來的邊際利益
- Run 1→調整折現率使得資本報酬率=5.5%。
- 在折現率=0 (run 2)，未來的氣候變遷成本，會反映到現在決策→立即大幅提高碳稅
- Run 3→設定折現率=0.1%，但調整彈性讓模型資本報酬率=5.6%。

碳稅價格

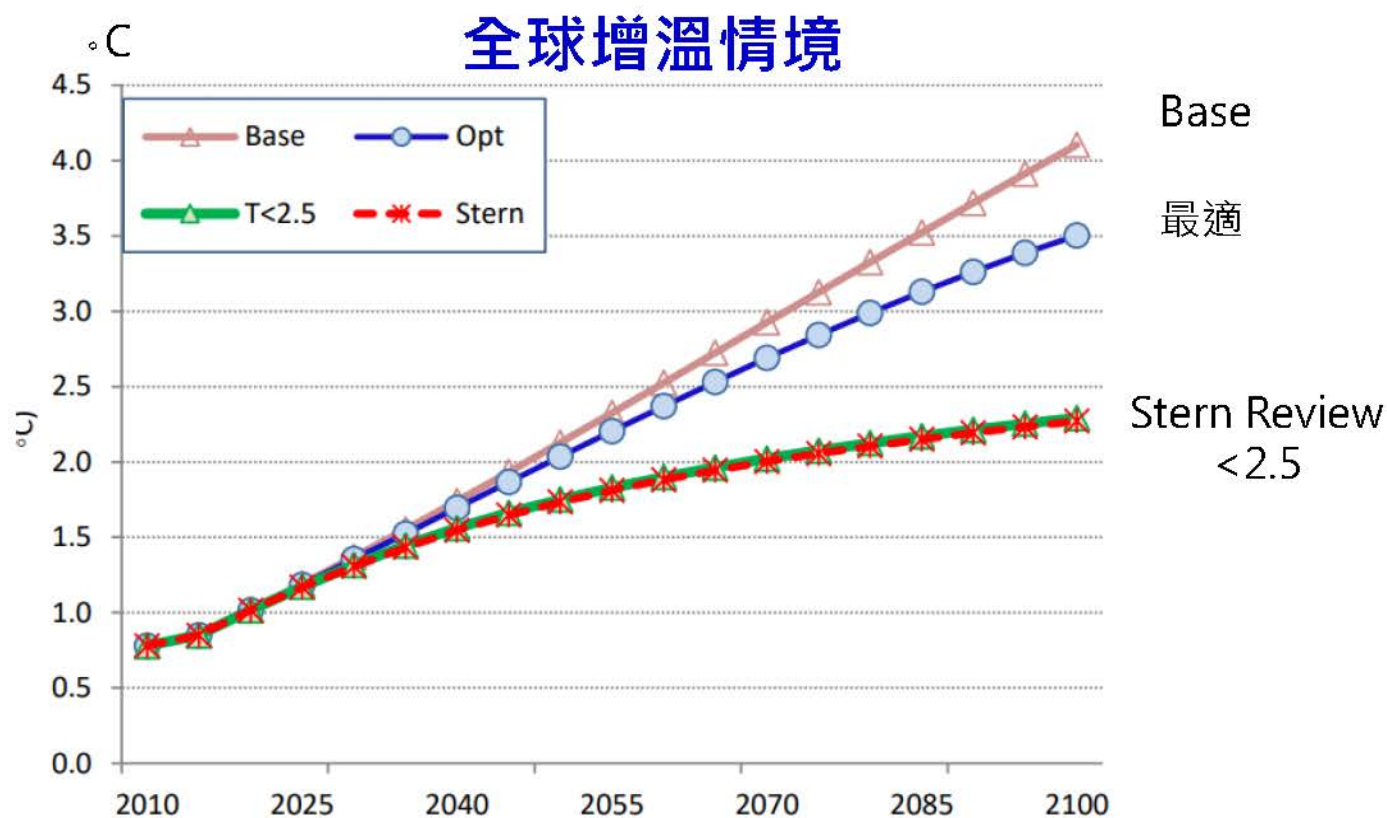


資料來源：Nordhaus (2007)

Nordhaus 對Stern Review的批評

各情境增溫幅度

- Opt:成本效益最適化路徑。
- Stern Review
- 2.5 °C: 技術上可行，但卻需要極盡全能的全球減碳政策強度。
- 2.0 °C: 不可能達成。

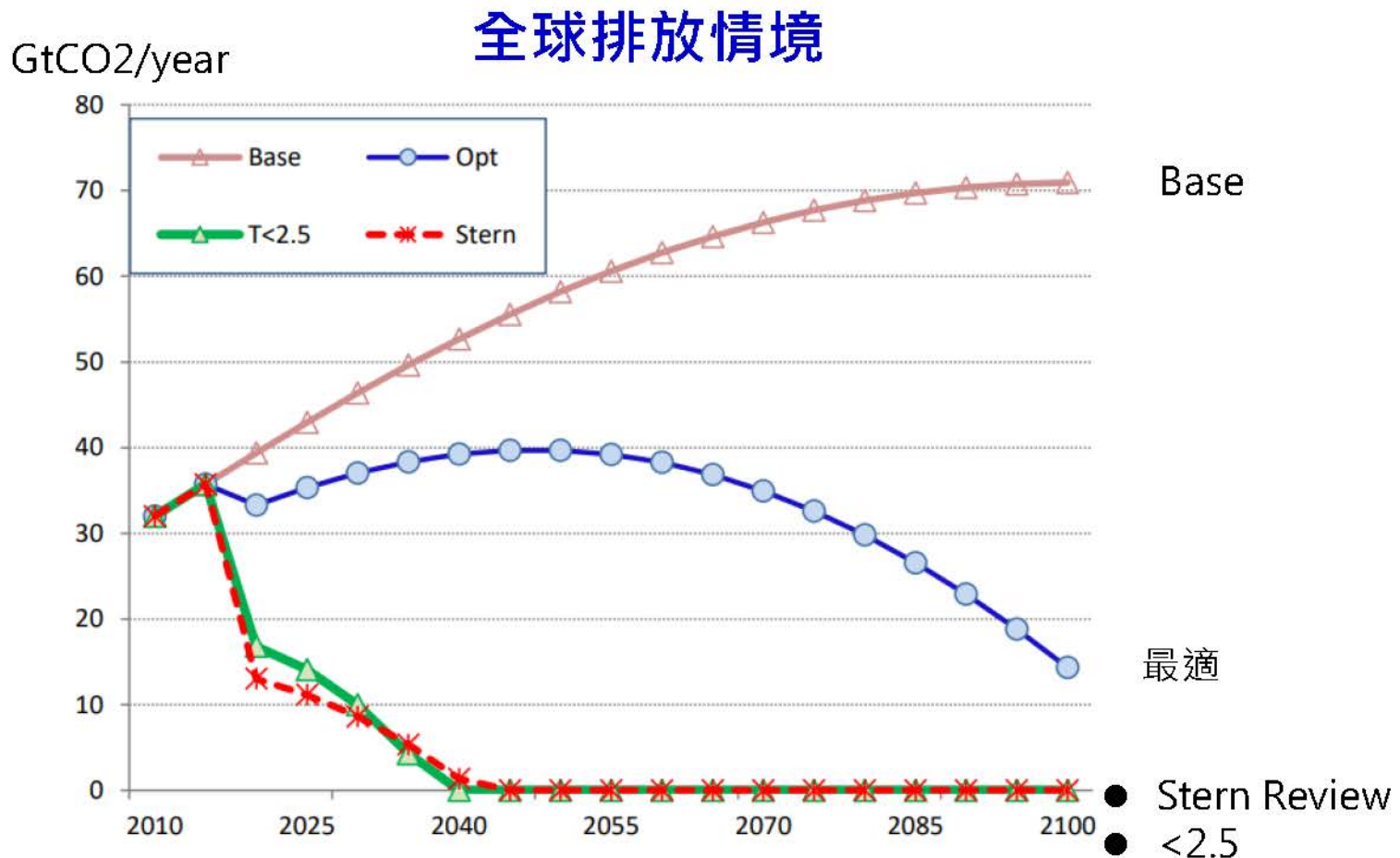


資料來源：Nordhaus (2017)

Nordhaus 對Stern Review的批評

□ 增溫1.5°C情勢投資金額

- Opt: 成本效益最適化路徑達到全球增溫低於2.5度。
- Stern Review

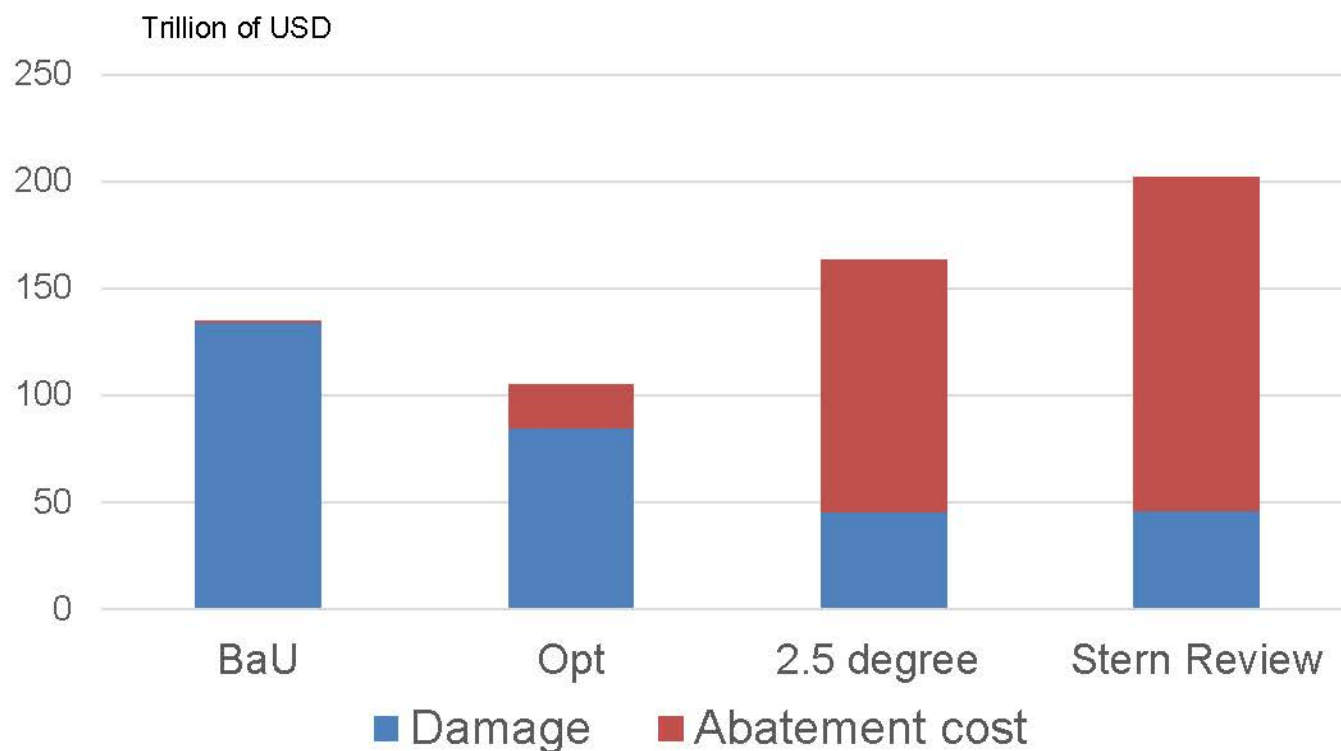


資料來源：Nordhaus (2017)

Nordhaus 對Stern Review的批評

各情境損失比較

- 低排放(如Stern Review) · 減量成本(abatement cost)大幅提高，但氣候變遷的損害成本(damage cost)低
- Stern Review的總損害成本甚至高於BaU



資料來源：Nordhaus (2017)

Nordhaus 對Stern Review的批評

□ 川普會喜歡Nordhaus 的結論?

- 川普政府2017年引用MIT報告: INDC僅能讓2100年全球溫度較BaU減緩0.6~1.1°C。2100年增溫達2.7-3.6°C
- MIT:INDC下95%的機率2100年仍將升溫3。不採取行動可能增溫5°C。Reuters, 2017. MIT News, 2016

Tiny, tiny amount.



照片來源:<https://www.reuters.com/article/us-usa-climatechange-trump-mit-idUSKBN18S6L0>

□ 川普會喜歡Nordhaus 的結論?

- 歐巴馬時代，美國政府利用DICE模型估算社會成本約為36美元/公噸排放，2050年達69美元/公噸
- President-elect Donald Trump' s administration is expected to challenge that figure, considering it too high.

Climate Home Review 2017

□ Nordhaus 也並非反對抵抗溫室氣體效應

- 巴黎協議仍然不夠積極，效果有限。但巴黎協議仍然把各國聚焦一起對抗全球暖化。
- 目前碳價格仍然過低。2017年估計歐盟碳交易要30 ~40歐元比較合理。BBVA, 2018
- Climate is a casino in the sense that we are taking serious risks with our planet and ourselves. But we don't need to walk into that casino, we can take steps now to mitigate and reduce the risks." BBVA, 2018

國際減碳文獻分析:小節

□ 基礎假設的重要

- 社經條件 (SSP?各國各自條件?)
- 情境設計 (單純碳交易?與技術進展結合?)
- 技術進展 (成本?技術演進?)

□ 研究目的

- World Bank→去除貧窮
- 節能投資與效益
- 探價格與技術進展

資料來源：Fujimori et al. (2015)

結論與建議

- 全球增溫為文獻最關注的研究議題
 - 普遍認為全球增溫風險極大，INDC的目標不易達成增溫低於2°C。
- 研究結論可能成為研究者操弄後的結過
 - World Bank→去除貧窮
 - 節能投資與效益
 - 碳價格與技術進展
 - Nordhaus對Stern Review批評
- 了解模型假設、情境為解讀結果的重要關鍵
- 國際逐漸重視模型頭明度
 - 瑞典、美國MIT強調模型透明度。在網頁上公開模型資料
- Taiwan TIMES模型也積極對外透明化
 - 將相關文件
 - 增加曝光度

參考文獻

1. BBVA (2018) William Nordhaus, father of climate change economics, wins Frontiers of Knowledge Award. <https://www.bbva.com/en/father-climate-change-economics-wins-frontiers-knowledge-award/>
2. Climate Home Review 2017 Global 2C warming limit not feasible, warns top economist: <http://www.climatechangenews.com/2017/01/04/global-2c-warming-limit-not-feasible-warns-top-economist/>
3. Fijimori, S., Masui, T. and Matsuoka, Y. (2015) Gains from emission trading under multiple stabilization targets and technological constraints. *Energy Economics* 48, 306–315.
4. IEA, 2008. CO2 Capture and Storage — A Key Carbon Abatement Option. OECD/IEA, Paris, France.
5. McCollum, D. (2018) Energy Investment Needs for Fulfilling the Paris Agreement and Achieving Sustainable Development Goals. In: International Energy Workshop. Goteborg, Sweden.
6. MIT News (2016) How much of a difference will the Paris Agreement make? <http://news.mit.edu/2016/how-much-difference-will-paris-agreement-make-0422>
7. Nordhaus, W. D. (2007) A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, XLV, pp. 686-702.
8. Nordhaus, W. D. (2017) Projections and Uncertainties About Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies. NBER Working Paper No. 22933
9. Reuters (2017) Trump Misunderstood MIT Climate Research, University Officials Say. <https://www.reuters.com/article/us-usa-climatechange-trump-mit-idUSKBN18S6L0>
10. Sterner, T. (2018) After Paris. In: International Energy Workshop. Goteborg, Sweden.
11. Varathan, P. (2017) A Princeton economist has a theory for why there are so few women in economics. <https://qz.com/1165891/why-there-are-so-few-women-economists-according-to-princeton-economist-anne-case/>
12. World Bank (2018) State and Trends of Carbon Pricing 2018. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29687>
13. World Bank (2017) Report of the High-Level Commission on Carbon Price. https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf