

3D列印技術對國際貿易之影響

◎江文基／中華經濟研究院WTO及RTA中心 助研究員

WTO於《2018世界貿易報告》指出，數位科技對全球貿易將產生顛覆性影響。其中，3D列印技術為重要角色之一，其可以取代傳統生產方式，降低離岸生產組裝的需求、生產步驟數目，以及庫存、倉儲、配銷、零售與包裝等需求。本文除說明3D列印發展、對傳統供應鏈影響，以及產業之可能應用與限制外，亦將透過經濟模型分析3D列印技術對國際貿易之影響，並針對我國發展意涵，以及對既有原產地規則之挑戰提出分析。

關鍵詞：3D列印、國際貿易

Keywords: 3D Printing, International Trade

世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）於2018年10月3日公布的《2018世界貿易報告》（*World Trade Report 2018*）強調，數位科技對全球貿易將產生深遠影響，國際貿易模式將面臨來自3D列印挑戰。3D列印目前主要用於上游全球價值鏈（global value chain, GVC）生產活動，例如原型設計或與傳統生產過程不足之處互補。長遠來看，3D列印在某種程度上可以取代傳統生產方式，降低離岸生產組裝的需求、生產步驟數目，以及庫存、倉儲、配銷、零售與包裝

等需求。在3D列印的影響下，價值鏈可能不只是變得更短，透過3D列印相關的跨境交換，交易內容將以設計、藍圖與軟體為主，而非傳統貨品與服務。

本文以3D列印技術為對象，首先說明其發展、對傳統供應鏈影響，以及產業之可能應用與限制；其次介紹Abeliansky et al.（2015）之理論模型，探討3D列印技術究竟如何影響國際貿易與投資；最後，針對3D列印技術對臺灣之意涵及其對既有經貿規則之可能挑戰進行討論。

3D列印技術概述

3D列印（three dimensional printing），或稱積層製造（additive manufacturing），被視為可能為全球生產帶來顛覆性影響的技術，該技術最早由赫爾（Chuck Hull）在1986年註冊專利，一開始稱為「光固化立體造型」（stereolithography）技術，主要係利用雷射將極薄的聚合物凝固成型。隨著專利的發明，赫爾成立的公司（3D Systems）為市場主要參與者之一；不過，即使身為市場主要領導者之一，赫爾仍無法獨占整個市場，阻擋來自其他競爭者的威脅，以及相關技術不斷的蓬勃發展（Zhang, 2014）。目前，3D列印技術領導者包括Stratasys、EOS與3D Systems等公司。

有別於過去傳統減法製造，將一整塊原材料不要的部分移除，留下所要的部分（又稱減法製造），3D列印係透過連續堆疊不同材料（主要是塑膠與金屬）來生產物品，因此對於同一個產品而言，更能符合節省材料之目的。此外，3D列印亦能克服一般工具機加工無法達成的幾何形狀死角，做到自動化固體自由成型製造（Solid Freeform Fabrication），可快速創造出無形狀限制之模型，故也將3D列印技術稱為快速成型（Rapid Prototyping）技術。

3D列印又被視為破壞性技術（disruptive technology），相對於傳統生產供應鏈，將帶來以下影響：（1）許多小型製造商品之組裝

生產線可能減少甚至消失；（2）靠近消費市場之在地化生產趨勢興起，進而降低以往長距離運送最終商品之需求；（3）消費者想法與設計更容易體現在產品上，使產品多樣性增加；（4）由於列印之設計檔案或代碼能隨時傳送到世界各地，廠商維持庫存的需求會下降；（5）在原材料成分不變的情況下，3D列印對環境傷害較小，因為3D列印積層製造較傳統減法製造節省材料，製程縮短也使得中間財運送過程簡化，進而減低物流所產生的碳排放量；（6）使用更少勞工生產，更多產品的可能性增加，勞動生產力得以提升。值得一提的是，就上述第（6）點來看，技術取代勞工在短期也許會造成衝擊，但對許多正在步入高齡化社會的國家而言（像是西歐國家與日本），利用新技術提升生產力長期而言仍有其正面效益與必要性。

除了對於供應鏈之影響，3D列印技術在產業上亦有許多應用。目前工業用大型3D印表機已經問世，其可列印直徑一公尺且高度三公尺的物品（如SeeMeCNC公司的delta-style 3D印表機），且產業應用實例不勝枚舉，範圍涵蓋：汽車零件、航太組件、醫療器材及營建材料等。舉例而言，Audiovox公司為一間替BMW車座頭靠製作數位電視的廠商，其利用3D列印技術生產該數位電視之控制按鈕，不僅節省許多工具費用，亦使按鈕能夠更快速地被送到目的地進行組裝。此外，為了滿足客戶要求，亦有家用紅外線攝像機廠商利用3D列印來因應客戶端可能的設



計變更。據了解，世界第一座3D列印混擬土橋已在2018年於荷蘭正式啟用，即使規模不大，其仍是3D列印技術在建築上一個重要的應用實例。此外，荷蘭當地公司亦成立「里程碑計畫」（Milestone Plan），在恩荷芬（Eindhoven）打造全球第一個用3D列印機製造的房屋，預計於今（2019）年完工交屋。由此可見，3D列印技術對全球生產模式與供應鏈的影響確實正在發酵，而非僅是空穴來風。

3D列印技術固然有許多應用，卻也面臨一些瓶頸。例如：技術開發者目前遇到的主要挑戰為3D印表機列印過於耗時，尤其是龐大數目之物件要在短時間內生產，對3D列印而言是一大挑戰，故3D列印技術現階段只適用原型、高單價、體積小或已停產原件之生產，不具有經濟規模，不適合大量生產。其次，3D列印技術還無法達到工程等級的精密程度（Strange and Zucchella, 2017），而且某些3D列印材料的耐受度不足也是一大問題。最後，現階段特定3D列印的生產成本還不夠低，特別是用金屬粉作為列印材料的印表機龐大且昂貴，小規模公司根本無力負擔。此外，不同國家氣候條件可能改變3D列印生產過程中材料或粉末的特性，可能造成最終產品質變（Stahl, 2013）。

總言之，3D列印具有高度發展潛力，美國總統歐巴馬的「再工業化」策略就將其列為重振美國製造業之重點技術。《經濟學人》雜誌也將3D列印比擬作新一波工業革命重點之一，可見對產業發展的影響不容小

覷。此外，技術不斷持續進步，未來具成本效率後將逐漸完熟，並取代既有傳統技術；甚至過去中國大陸或其他低所得國家的比較優勢可能受到衝擊，尤其是對小規模且多樣化物件的生產影響可能更深。更重要的是，倘價格夠便宜，3D列印也將大幅降低微中小型企業在製造業之進入門檻。針對3D列印擁有改變全球價值鏈的潛力影響，可參考著名經濟學家鮑溫（Richard Baldwin）的分析。

經濟理論模型之探討

過去研究曾指出，一旦高速3D列印技術被大量採用且夠便宜，產品生產的勞動與進口需求將會大幅度降低，全球貿易可能因為產品中間過程簡化與縮短而減少25%。然而，世界經濟論壇（World Economic Forum, WEF）針對3D列印為貿易帶來的衝擊持保留態度，若考量製造業大量製造的實際情況與複雜程度，則3D列印不見得能對製造業貿易產生巨大影響。但無論結果為何，3D列印目前對於全球貿易的影響確實在發酵，特別是在未來快速且便宜的技術將越來越容易取得，全球生產網絡與供應鏈可能進一步重整。

雖然由過去許多媒體或是國際組織報告可以發現3D列印對國際貿易與全球供應鏈可能會產生衝擊，但鮮少有學術研究特別提出經濟理論模型來說明其對貿易之影響。Abeliansky et al.（2015）為少數針對3D列印對貿易與投資的影響提出完整經濟理論模型之先驅，該研究先將廠商分成四種不同類

型，再探討3D列印發展對不同類型廠商最適生產選擇之影響，進而推斷3D列印技術究竟如何改變全球貿易與投資結構改變。上述四種不同類型廠商茲分別說明如下：

- (1) 低生產力廠商：此類型廠商生產力不足，僅能供應內需；
- (2) 中生產力廠商：此類型廠商之生產力水準足以供應內需與外銷，且有能力負擔外銷成本，但還無力至國外設立子公司（因為到國外設立子公司需要龐大的投資固定成本）；
- (3) 中高生產力廠商：此類型廠商除供應內需，亦有能力直接到國外投資設立子公司，並複製母公司的傳統技術在當地進行生產與銷售，直接取代外銷；
- (4) 高生產力廠商：此類型廠商由於擁有高生產力，除了供應內需，亦有能力到國外投資設立子公司，並採用固定成本相當高的先進3D列印技術進行生產，直接取代外銷。

針對上述四種不同類型廠商為基礎，將3D列印技術對貿易的影響分成以下三個階段說明，分別為：導入期、成長期與成熟期。

一、導入期

圖1是3D列印在導入期時不同廠商最適之生產模式，橫軸代表生產力（ θ ），縱軸代表利潤（ π ），不同生產模式所對應的利潤曲線與固定成本也不相同；其中， π_D 與 FC_D 分別為國內銷售之利潤曲線與固定成本， π_X 與 FC_X

分別為外銷之利潤曲線與固定成本， π_I 與 FC_I 分別為投資國外同時使用母國公司傳統技術之利潤曲線與固定成本， π_{3D} 與 FC_{3D} 分別為投資國外同時使用3D列印先進技術之利潤曲線與固定成本（相對於傳統生產，3D列印為較先進之生產技術，其面臨的固定成本也會相對較高，隱含廠商採用3D列印技術的門檻也會較高，故3D列印技術之固定成本為所有生產模式中最大應為合理之設定。）。值得注意的是，生產力低於 θ_D 的廠商由於利潤不足以彌補固定成本支出，廠商無利可圖，會選擇退出市場。本研究以下將詳細說明不同類型廠商在導入期之最適選擇及其背後原由。

1. 生產力介於 θ_D 與 θ_X 之間的廠商（低生產力廠商）會選擇純粹內銷之生產模式，因為此模式對其所產生的利潤為一正值。其他生產模式包括外銷、至國外投資利用母國公司生產技術或3D列印技術生產，則因為固定成本太高，導致利潤為負值，並非低生產力廠商之最適選擇。

2. 生產力介於 θ_X 與 θ_I 之間的廠商（中生產力廠商）最適選擇為內銷加外銷（總利潤為 $\pi_D + \pi_X$ ），其他生產模式包括內銷加海外設立子公司用母國技術在當地生產與銷售（總利潤為 $\pi_D + \pi_I$ ），以及內銷加海外設立子公司用3D技術在當地生產與銷售（總利潤為 $\pi_D + \pi_{3D}$ ）所產生的利潤皆相對較小，因此不會是中生產力廠商之最適選擇。

3. 中高生產力廠商（生產力介於 θ_I 與 θ_{3D} ），由於其有能力將海外投資設立子公司

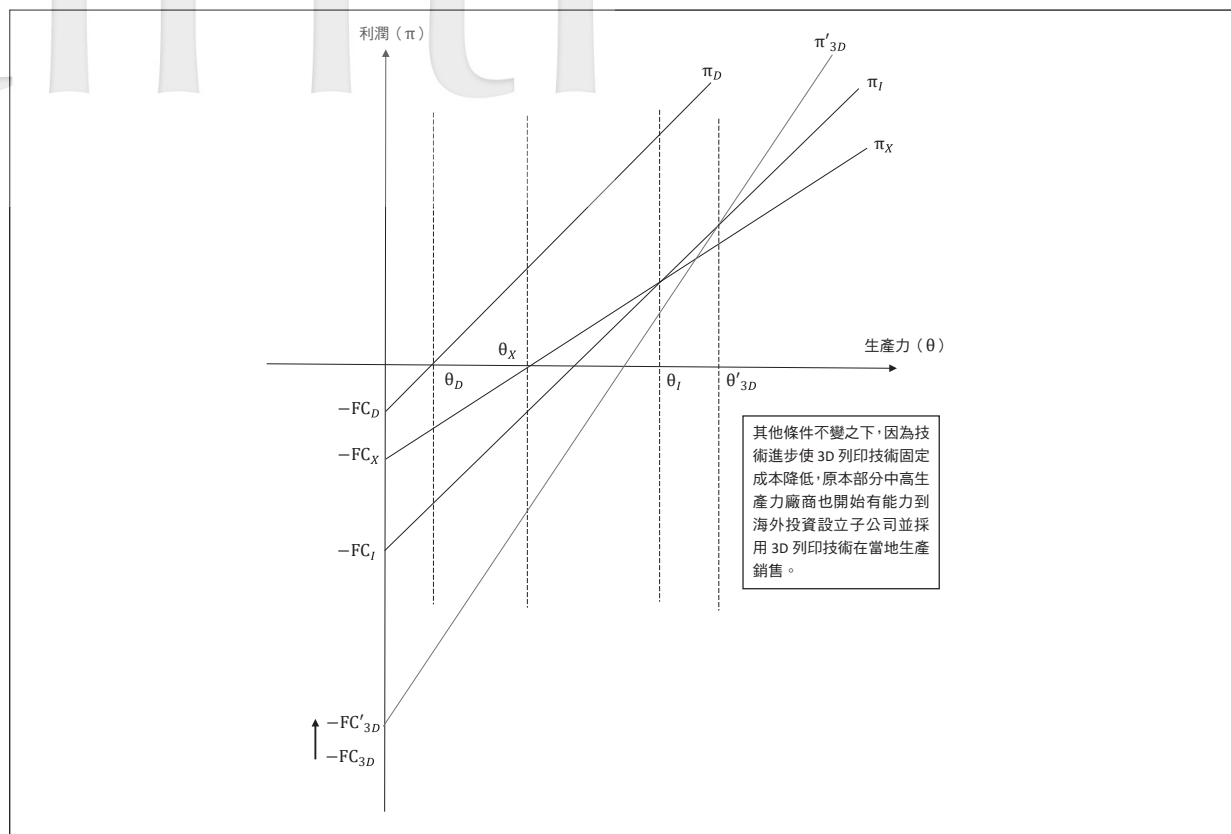


圖1 3D列印對貿易與投資的影響：導入期

4. 高生產力廠商（生產力大於 θ_{3D} ）有能力吸收3D列印技術的高固定成本，進而享

二、成長期

105



資料來源：作者參考Abeliansky et al. (2015) 繪製。

圖2 3D列印對貿易與投資的影響：成長期

利潤線較導入期上移了 $FC'_{3D} - FC_{3D}$ 的距離，隱含原本一部分中高生產力的廠商也開始有能力到海外投資設立子公司並採用3D列印技術在當地進行生產與銷售，進而導致這些廠商原來在導入期時到海外投資設立子公司並使用母國傳統技術生產的FDI（傳統生產技術相關FDI）轉變為到海外投資設立子公司並使用3D列印技術生產的FDI（3D列印技術相關FDI）。

值得一提的是，承上所述，在成長期中先改變的會是FDI結構，然此時國際貿易不

會受到影響，原因在於3D列印的固定成本仍遠高於直接外銷所產生的固定成本。簡單來說，在成長期中，3D列印固定成本的下降幅度還不足以讓中生產力廠商有能力採用，因此在導入期中的中生產力廠商之最適選擇（生產模式為內銷+外銷）並沒有受到3D列印技術發展影響，故3D列印對國際貿易結構還未產生衝擊。

三、成熟期

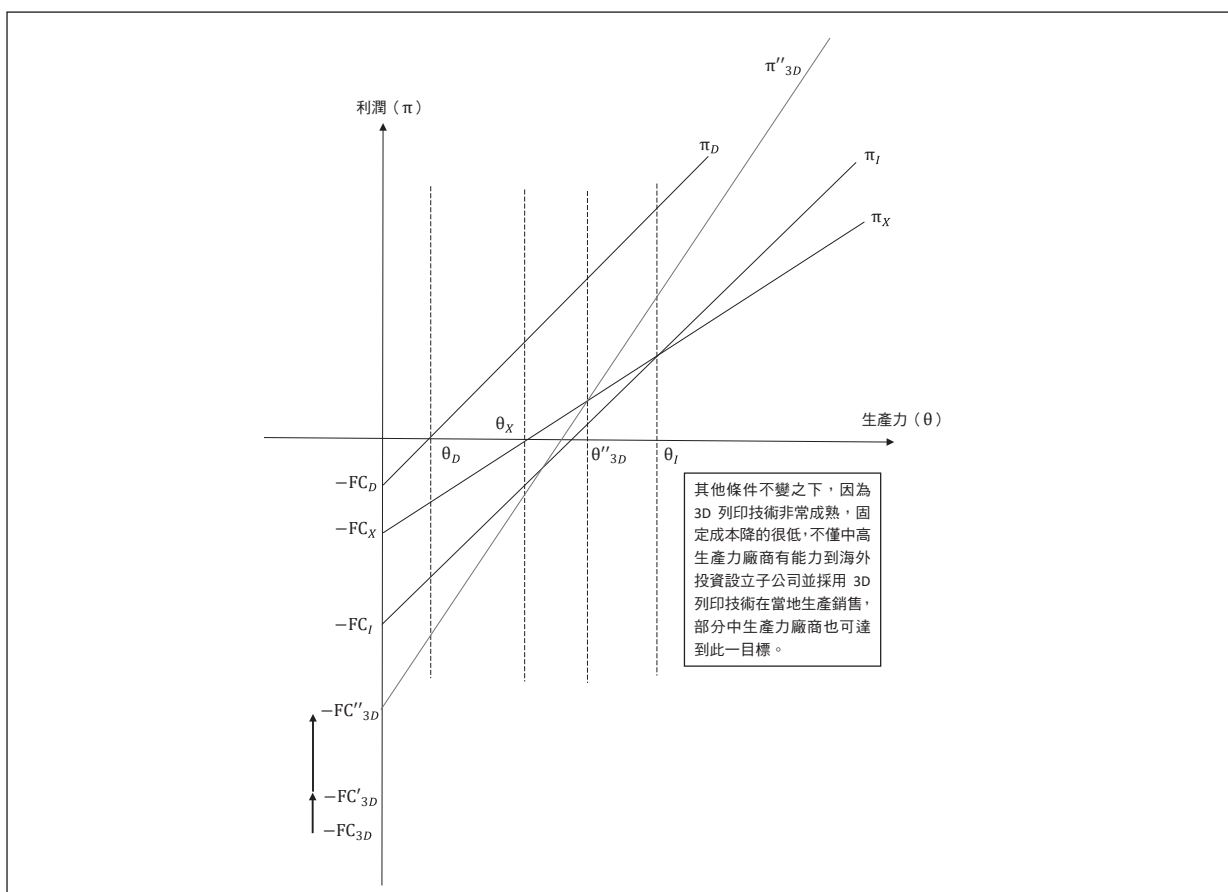
3D列印技術固定成本大幅下降，此時到海外投資設立子公司並利用3D列印在當地生



產與銷售的利潤線又較成長期上移了 $FC''_{3D}-FC'_{3D}$ 的距離，隱含不僅所有中高生產力的廠商已有能力到海外投資設立子公司並採用3D列印技術在當地進行生產與銷售，連原本部分中生產品廠商也可以達到此目標。在此情況下，傳統生產相關的FDI已不具任何優勢，將被3D技術相關FDI所取代，而原本部分中生產品廠商（最適生產模式為內銷與外銷）將選擇利用3D列印技術到國外直接生產銷售，致使這些廠商的外銷行為減少，進而影

響國際貿易結構。（圖3）

綜合歸納，透過理論模型推導，Abeliansky et al.（2015）之三點重要結論如下：（1）經濟活動活絡且面對高運輸成本的地區會採用3D列印機及其技術；（2）3D列印機及其技術的進步會漸漸導致傳統生產相關FDI結構被3D列印相關FDI取代，而此階段國際貿易尚不受影響；（3）3D列印技術進入成熟期且被廣泛採用，逐漸取代國際貿易。



資料來源：作者參考Abeliansky et al.（2015）繪製。

圖3 3D列印對貿易與投資的影響：成熟期

3D列印技術對臺灣意涵與既有經貿規則挑戰

一、對臺灣之意涵

根據上述理論模型說明，3D列印相關技術可能違反過去所認為投資會帶動貿易之效果，甚至其對於貿易反而有負面效果，原因在於3D列印技術強調的是在地化生產，而非仰賴傳統國際貿易及國與國之供應鏈關係，最終財運送與中間財的製造過程都被省略了。值得注意的是，貿易的角色雖然減少了，但3D列印技術生產相關國外投資會增加，未來掌握關鍵生產技術將是各國將面臨之重要課題。我國相關單位除了應密切關注技術發展趨勢，亦可提供研發補助誘因，增加臺灣掌握全球3D列印生產技術專利之機會，俾以在3D列印技術發展潮流中取得一席之地。

整體而言，由於3D列印市場以及投入該市場的企業正在增加，技術會更加進步，未來3D印表機的價格可能下降，使用3D列印技術的固定成本降低；同時，伴隨著網路服務普及，以及材料種類的增加，將可望帶動3D列印之應用進入成長階段。此外，隨著產業發展，3D列印能使用的材料越來越多，製作產品的精密程度越來越高，其應用範圍也不再侷限於工業用模型製造，而且延伸其他產業應用領域，包括：國防與航空、汽車工業、保健市場、消費零售市場、供應鏈、製造業，以及商業及其可能的發展。由此可見，3D列印技術一方面使過去離岸外包模式

受到挑戰，另一方面對於個別產業也帶來新的發展方向，因此我國在面對未來科技發展潮流時，應更加慎重地思考未來如何在全球供應鏈上找到新的定位以及產業調整方向。

二、對既有經貿規則之挑戰：產品、原產地規則與搭便車問題

在3D列印技術快速發展的情況下，產品型態勢必日新月異，而這些產品在進行國際貿易時，可能產生既有經貿規則難以適用之情形，從而衍伸出各方對此等規則有不同解讀與意見分歧之現象。

3D列印原理為利用電腦輔助設計（computer-aided design）與積層製造檔案（additive manufacturing file）技術，將製造過程中的材料（如液體分子或是粉末顆粒）在電腦控制之下連接或凝固成3維空間之固體並作為3D模型。儘管一個產品（如服飾）是使用3D列印技術進行生產，其產品本身與透過傳統設計、打樣、運輸，直到生產之過程所產生的商品並無太大差異，兩種生產方式較大的差別在於3D列印僅需一連串代碼，其生產省略中間冗長的交換過程，可直接從設計跳到生產。

在3D列印技術生產過程中，倘某產品是一間公司在一個國家設計，而該產品之製造指令被傳送到另一個國家進行3D列印生產，顯然中間傳送對象並非產品本身，而是能使公司跨境列印產品的設計、構想與列印代碼。值得思考的是，如果該公司將上述跨境列印的商品再出口到他國，會發生甚麼事？



《2018世界貿易報告》指出跨境3D列印產品之後再出口，首先會面對的是原產地認定的問題。

原產地規則（Rules of Origin, RoO）乃是為確定貿易貨品國家來源所訂定之標準，除完全取得（wholly obtained）之外，亦針對不同特例有不同方式來認定所謂的產品實質轉型（substantial transformation）。不過，依據既有產品實質轉型之原產地規則來看，除附加價值率認定方式，其餘無論是稅則號列變更或是特定生產程序，皆無法針對3D列印產品產生作用，原因在於稅則號列變更僅考慮最終產品與實體投入兩者關稅分類之改變（tariff classification）（3D列印從原料直接到商品的過程已使關稅分類改變），而且3D列印基本上已包括從原料到成品所有生產程序。此情形顯示既有經貿規則對於跨境3D列印產品存在原產地認定之問題，尤其是目前各國針對產品原產地的認定準則並不一致，使得跨境3D列印產品再出口在國際貿易上可能出現管理漏洞。在原產地問題之下，利用他國FTA產生「搭便車」現象可能是3D列印

技術所衍伸的另一個問題。

假設有三個國家，分別為A國、B國與C國，A國的甲公司為某產品3D模型設計者，B國對出口該產品之原產地認定原則為稅則號列變更與特定生產程序。A國與C國之間沒有FTA，但B國與C國之間有FTA，且C國對上述該產品的關稅壁壘相當高。倘A國甲公司欲將產品銷往C國，為了避開關稅，A國甲公司可能選擇先在B國設立子公司，應用其3D列印技術將商品印出來，再利用B國原產地認定準則取得B國原產地證明後進而銷往C國，享受該商品免關稅待遇。在此例中，A國的甲公司對B國沒有任何經濟貢獻，但卻因為現有貿易規則漏洞，無償地利用了B國與C國之間的FTA。

目前3D列印技術受限於材料種類與速度，還無法達到多樣與量產的地步。不過，科技發展迅速，如同二十多年前網路才開始起步，在二十多年後的今天網路與Wifi已成為國民基本配備。現在3D列印技術亦是如此，未來一旦技術發展成熟，這些3D列印產品（或稱未來產品）對既有經貿規則的影響將無法忽視，值得持續關注。

