

約束之外的經濟：一份投資論綱

Arata Hoshino 阿拉伯聯合大公國 2026年9月

目標讀者

本文寫給機構投資者、主權基金、創投與基礎設施投資者、深度科技創業者，以及設計能源、產業和人口政策的人。它是一個假說。它從當前約束的彼岸，而非從約束之內，去分析、構想和設計；它的用途，是在仍屬假說的階段，充當投資與策略的羅盤。

摘要

本文認為，當代文明面對的是單一的結構性約束，即建造能力的停滯，這一約束由三個部分組成：(i) 有效能源豐裕度的缺失，(ii) 自動化滯後的領域中勞動投入的不足，(iii) 缺少能夠吸引資本與人才的制度。經濟停滯與人口崩塌是這一約束的症狀，本身並不是任何事情的原因。

論述從過去的工業革命出發，經過對當下的診斷，進入分配與價值的設計。本文沿兩條軸線重讀工業革命，一條是配置物質的效率，一條是預測未來的效率，過去30年的不對稱在這兩條軸線上清晰可見。由此產生的供給約束在兩個層面起作用。在宏觀層面，它壓縮了人們所能構想的大型投資的範圍。在家庭層面，它抬高了自動化從未觸及的那些商品的價格，並由此壓低了人口，這就是第二個馬爾薩斯陷阱。基於這一診斷，本文提出以所有權分配取代按任務貢獻分配收入的做法，而所有權分配建立在出生時開設的資本帳戶之上。衡量價值時，本文不用GDP，而藉助服務主導邏輯，即認為價值由受益者在使用之時而非交換之時創造的理論，把價值的中心移向使用價值，並給出使用價值可以被測量的條件。

在約束的彼岸，能源豐裕，自動化在合適的制度下加速，構想大事的能力便會回來。人在工作之前就已持有資本，可以把時間用於完整意義上的價值創造，而不必用於追求生產力。供給約束解除，新的分配機制運轉起來之後，今天令人憂懼的宏觀問題，包括人口崩塌，會作為副產品逐步退去，不需要逐個症狀去治療；供給與需求開始互相抬升。

後面幾節把世界上的群聚放到三個變數分解出來的五個項上，並預測兩個技術陣營的未來：建立在分工之上的美國陣營，和建立在垂直整合之上的中國陣營。本文主張深化美國、阿聯與東北亞之間的分工，建設一個整合三方參與者的生態系統。然後逐項說明應當投資什麼，給出11個預測以及能證明每個預測錯誤的觀察，最後以應當建立的制度作結。

關於方法的說明

本文源於我在2018年至2026年間用日文記下的筆記。觀點和論證是我的。我藉助Anthropic公司的Claude，把這些筆記整理成一篇完整的英文文本，並根據我收集的公開資料繪製圖表。錯誤同樣是我的。

01 建造能力

1847年，英國把當年GDP的近8%投入鐵路，10年之內路網擴張到原來的4倍以上，依靠的是私人判斷與私人資本，沒有任何國家規劃。¹同一個國家如今花了17年時間和468億英鎊，卻沒有開通哪怕1英里的高速鐵路。²在這近200年裡發生變化的，是豐裕的結構，與國民性格或文化無關。

一個文明能在物理世界中新建什麼，取決於三個項的乘積：

文明競爭力 $C \div$ 制度 $I \times$ 有效能源豐裕度 $E \times$ 勞動投入（自動化） L

三項之中只要有一項接近零，無論另外兩項多高，乘積都接近零。這裡的競爭力，指的是一個文明能以多快的速度建起下一層物理基底，能承載多大規模的新增投資。它不涉及生活在那裡的人的生活品質，那是另一個主題。制度做兩件事。它透過產權、投資者保護、租稅待遇和許可審查的速度來保住回報，這吸引資本；它容許失敗、接納外來者，這吸引人才。有效豐裕度與稟賦不是一回事，稟賦指的是資源恰好埋在自己的國土之下。有效豐裕度指的是能夠用上實際上近乎免費的能源，並且相信在即將建造之物的大部分壽命期內，能源都會一直這麼便宜。在今天的發達經濟體，勞動投入意味著自動化，它可以進一步拆分：

$L \div$ 深度科技 $T \times$ 大資本 K

深度科技一項，看的是關鍵瓶頸技術，也就是一旦被扣住、其他所有人都得停下的那些技術，是否掌握在本國手中或者伸手可及。大資本一項，看的是已經積累起來的資產，能否按照自主機器與算力基底所要求的規模調動起來。兩者都不必在本國建成，都可以透過聯盟或轉移獲得，只是必須有人點頭。

這個方程不談一個國家已經擁有多少財富。它說的是這個國家還能建多少，而約束的範圍比實際建成的東西更廣。選項根本走不到被權衡、被否決的那一步，因為已經不再有人提出它們。凡是前提已知不可動搖的地方，就不會有人在其上寫商業計畫，不會有東西送到投資委員會，一開始就不會有人去構想。我們今天覺得現實可行的事業範圍，以及我們對投資規模的常識，都是在三個項停留於當前位置的假定之上形成的。所以，約束既限制了人能建成什麼，也限制了人能構想什麼。

舉兩個三項同時齊備的社會為例：1840年代的英國，與今天的阿聯。阿聯能源便宜有三個各自獨立的原因：長期獲得補貼的國產天然氣，巴拉卡（Barakah）核電廠的5.6 GW裝置容量，以及2020年創下世界紀錄低價的阿爾達夫拉（Al Dhafra）太陽能電廠。³勞動由佔常住人口八成以上的移民承擔；土地是沙漠，實際上沒有上限。19世紀的英國把資本注入鐵路，21世紀的阿聯把資本注入算力基底。這樣的機會之窗也可能關上，日本就經歷過。它的戰後成長立足於廉價的中東原油；這扇窗在1973年關上，疊加在國內結構已經開始的減速之上，實質成長率從每年9.1%減半至4.2%。

4

¹ Andrew Odlyzko, "The collapse of the Railway Mania," rev. 2011: 鐵路投資從1845年的1300萬英鎊增至1847年峰值的4400萬英鎊，「幾乎相當於英國GDP的8%，是該年軍事預算的兩倍」，按當時價格計的實際支出額。大不列顛的線路長度從1840年底的約1498英里增至1850年底的6084英里（B. R. Mitchell, *British Historical Statistics*, 1988, Table 5, p.541；該書未能獲取，1840年的數字依據1962年前身版本中的一條註釋，且可能是聯合王國的數字）。

² 截至2026年3月底，累計支出為名義值468億英鎊，其中442億為現行計畫，26億為已取消的第二期（National Audit Office, *High Speed Two reset*, HC 52, 2026; Department for Transport, *HS2 Six-Monthly Report to Parliament*, May 2026）。同一報告將完工成本定為877億至1027億英鎊，老橡樹公地（Old Oak Common）至伯明罕段的開通時間定在2036年5月至2039年10月之間。HS2 Ltd於2009年1月開始運作。

³ 巴拉卡核電廠為4部APR1400機組，共5.6 GW；自2024年9月4部機組全部投入商轉起，其後12個月發電約40 TWh，按年度計最高佔全國需求的25%（Emirates Nuclear Energy Corporation）。阿爾達夫拉（Al Dhafra）太陽能電廠場銘牌容量2 GW，2020年4月以每度1.35美分中標，為當時全球公布的最低價格，融資交割時修訂為1.32美分（Abu Dhabi National Energy Company, 22 December 2020）。IMF將2011年的隱性能源補貼估為GDP的5.7%（IMF Country Report No. 15/220）。

1840年代英國的豐裕，部分建立在童工和殖民地之上，這是不應重演的人的代價；今天阿聯的勞動成本，則建立在全球薪資差距之上。把能源豐裕、完全自動化的製造與運輸，以及合適的制度結合起來，這三個條件將史上第一次無需犧牲任何人就能獲得，而且在任何地方都能獲得。19世紀用人的痛苦換來的豐裕，21世紀可以用機器買回來。把資本投向物理AI，也就是機器人和自動化工廠，以及投向能源，其文明意義就在這裡。

02 兩種收斂成本

文明在能源這一個基底之上沿兩個方向推進，兩個方向爭奪同樣的問題。30年來，資本流向需要能源較少的那個方向，即數位方向，而到了2020年代，這個方向撞上了能源本身這道牆。因此，把資本投向物理AI與能源是一種回歸：資本回到它曾經離開的那一側。

文明的進步由一個基底和依託於基底的兩個方向構成，基底是能源。方向1把達到目標物質構型的成本推向零，這是以焦耳計量的最佳化；運輸、製造、建築、農業和太空開拓都是它的特例。方向2把獲得所需精度的預測模型的成本推向零，這是以位元計量的最佳化；通訊、運算、科學、教育和AI都是它的特例。兩者都在降低把意圖變成結果的成本，一個靠改變物理世界，另一個靠知道該做什麼。

要預測某個問題會用到哪種手段、哪種技術，可以把兩個方向看作在爭奪這個問題：誰的收斂成本，也就是把意圖變成結果的成本，更低，誰就勝出。要看哪一方成本更低，就把問題拆成步驟，數一數每一步必須移動多少質量。購物這件事裡，搜尋、比較、下單、付款移動的質量都是零，只有最後一段從倉庫到門口的路程移動了質量。所以這個問題大部分遷移到了方向2。亞馬遜勝過人們曾經想像的購物機器人，靠的是成本結構，與兩種設想孰優孰劣無關。

30年來，資本與人才幾乎單向地流入方向2。它以零邊際成本複製，運作摩擦小，需要的能源少；這三個性質中只有最後一個隨時代變化，而在一個受約束的世界裡，資本流向約束較鬆的一側。到了2020年代，方向2撞上了能源之牆，效率的提高也沒能把牆推遠。收斂成本下降會解鎖此前不可行的應用，需求的成長超過效率的增益。據國際能源署（IEA）估計，2025年全球資料中心用電需求年增17%，到2030年將大致翻倍，僅AI專用設施在2025年就成長了50%。⁵同一時期，每項AI任務消耗的電力快速下降，省下的電直接變成了更多的運算，用得更廣、更頻繁，也用在了更重的用途上。

資本的動向比任何預測都說得直白。2025年8月，監管機構把密西根州的帕利塞茲（Palisades）核電廠從除役程序中拉回，恢復了它的運轉執照，這是此類重啟第一次獲得批准。這裡的「運轉」是一個監管類別，並非發電的恢復。⁶這一決定是本文所依賴的結構性變化的一個訊號：算力需求正在使能源供給投資在政治上變得無法迴避，資本已經在往回流動。

⁴ 按財政年度計：1956至1973財年平均9.1%，1974至1990財年平均4.2%（日本內閣府，長期國民經濟核算）。日本銀行將這一減速主要歸於國內結構因素，即追趕型生產力成長的消退與部門間勞動力流動的放緩，石油危機疊加其上（*Bank of Japan Review* 2012-J-17, December 2012；2012年10月的*Outlook*報告在Box 7中討論了同一轉折，但未能獲取）。

⁵ IEA, *Key Questions on Energy and AI*, 16 April 2026：資料中心電力需求2025年成長17%，AI專用設施成長50%；資料中心整體從2025年的485 TWh，按中心預測升至2030年的約950 TWh。IEA稱每項AI任務的耗能每年至少下降一個數量級，但未公布一致的年度序列。有實測依據的美國序列是Shehabi et al., 2024 *United States Data Center Energy Usage Report*, LBNL-2001637：2014至2016年每年約60 TWh，2023年176 TWh，按該報告的情景2028年為325至580 TWh。

03 一種被選擇的稀缺

發達經濟體成長的普遍放緩，本身就是一種陷阱：一種發達國家陷阱，不同於讓發展中國家停步的中等收入陷阱。三項之中，出問題的是能源，而且是因選擇而出問題。1970年代，發達國家停止擴張能源供給，此後半個世紀，它們在「能源不會成長」這一前提之上重建了經濟、制度與價值觀。它們轉而依賴的電源，出力不跟隨需求，其成本透過電費轉嫁給了家庭，一個家庭養得起幾個孩子，也隨之而定。

停滯在三處顯現。第一，人均能源消費停止成長。在美國，人均能源消費在整個戰後時期持續上升，1978年和1979年到達頂點，此後下降了近五分之一；由於效率提升在歷史上一向推高總消費，從不壓低它，這一下降應當讀作擴張的停止，不是效率的回報。⁷第二，生產力成長在同一時期斷裂。美國全要素生產力從1920年到1970年以穩定的速度成長，此後的增速只有原來的三分之一左右；一個用從能源中提取的有用功來解釋成長的模型，能夠擬合1973年、1974年以前的美國產出，之後開始低於實際。⁸第三，這個國家不再建設自己的能源供給：1973年之後美國訂購的41座反應爐，全部被取消。⁹

沒有哪條物理定律要求這樣。美國的反应爐成本在1960年代末已經在攀升，三里島事故發生時仍在建設中的反應爐，成本又高出許多。同一時期，法國把成本上漲控制在美國的幾分之一，韓國則實實在在地把成本降了下來，兩國的做法都是把標準化的設計反覆建造。同一種技術，在一個國家飆升，在另一個國家下降，差別在於監管與政治，而在兩者之下，是一個國家究竟是再建一座同樣的電廠，還是每次都建一座新的。¹⁰1970年代的轉向，是發達國家的人們自己選擇的，而且沒有準備任何東西來替代被放棄的能力。此後半個世紀，發達國家在「能源不會成長」的前提之上重建了經濟、制度和價值觀。這裡所說的稀缺，就是這場重建：一種被選擇的稀缺，而非被給定的稀缺。

那半個世紀裡發達國家主要轉向的新電源，是出力不跟隨需求的電源。風電的市場價值，在滲透率接近零時約為平均電價的110%，當其在系統中的份額達到30%時降至50%到80%。風電越多，其他所有風機就越是在同一時段一齊發電，風電便壓低了自己所生產電力的價值。2025年德國批發電價為負的時間達573小時，連續第二年創下新紀錄。¹¹一個社會把基載交給只適合補充穩定電源的電源，其成本便透過電費轉嫁給了家庭。選擇發電結構就是選擇一條電價曲線；選擇電價曲線，就是把住房、食品和服務的價格作為一個整體一併選定；選定這些價格，最終就是選定一個家庭能有幾個孩子。假如當初把這整條鏈條印在選票上，那就會是一次民主的選擇；所缺的，是人們根本沒有意識到自己正在做選擇。

04 家庭的馬爾薩斯

本文認為，第二個馬爾薩斯陷阱正在發生。在馬爾薩斯描述的世界裡，糧食產量設定了人口的上限。在我們的世界裡，設定上限的是家庭的經濟能

⁶ 美國核能管制委員會（NRC）對10 CFR 50.82(a)(2)的豁免，簽發於2025年7月24日，2025年8月25日生效，允許撤回永久停運認證並將燃料重新裝入反應爐容器（NRC, ML25196A092）。

Holtec於2026年8月30日開始裝料，NRC在2026年9月18日仍顯示輸出為零；尚未出現首次臨界的一手記錄。正文所依據的，只是一座反應爐被從除役程序中拉回這一事實。

⁷ U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.7, 序列“Total Primary Energy Consumption per Capita”: 1949年為每人2.07億Btu, 1978年與1979年並列峰值3.5億, 2025年初步值2.82億。年度序列始於1949年，故此處沒有比這更早的資料。攀升至峰值的過程並非單調。

⁸ Robert J. Gordon, *The Rise and Fall of American Growth*, Princeton University Press, 2016, figure 1-2（全要素生產力1920至1970年為每年1.89%，1970至2014年約為0.65%）。Robert U. Ayres & Benjamin Warr, “Useful Work and Information as Drivers of Growth,” INSEAD Working Paper 2002/121, 其中模型復現美國產出至1973年、1974年，此後略有低估；作者將這一差額歸於資訊科技資本而非能源。在他們後來的著作*The Economic Growth Engine*, 2009中，估計區間為1900至2005年，殘差中唯一顯著的斷點在第二次世界大戰。

⁹ IAEA, *50 Years of Nuclear Energy*, GC(48)/INF/4, Attachment 3, 2004, para. 15, 該句取自Cohn (1997)，而非IAEA自身的反應爐記錄。這一數字由US Energy Information Administration, *Nuclear Plant Cancellations*, DOE/EIA-0392, 1983, Table 1, p.5獨立確認：1973年以後訂購的41部機組，合計48,495 MW。1970年1月以後訂購的全部反應爐中，超過三分之二最終被取消。

力，而這一能力受第1節的方程支配。在有效能源豐裕度和勞動投入停滯的地方，自動化從未觸及孩子所需的商品，即住房、教育、托育和醫療，於是它們的價格比其他一切漲得更快，同時自動化商品的價格崩落。家庭遭遇這一約束的方式並非飢餓，而是一份容不下一個孩子的預算，生育率下降正是這一約束的症狀。

在關於發達經濟體生育率下降的爭論中，有兩種標準解釋：價值觀的變化，以及政策的失敗。人們開始重視事業和自由時間，把孩子視為一種成本；或者家庭政策薄弱，托育、住房和教育供給不足。兩種說法都部分正確，問題在於其中是否有一個稱得上原因。

在馬爾薩斯分析的世界裡，起約束作用的變數是糧食。土地和農業技術有上限的地方，人口增加意味著人均穀物減少，饑荒、瘟疫、戰爭、晚婚和避孕把人口推回到上限附近。這是經典的馬爾薩斯陷阱。20世紀初，哈伯-博施法（Haber-Bosch process）的固氮打破了它：人工肥料把產量提高到如此程度，以至於在發達國家，至少在宏觀層面，熱量短缺不再構成約束。馬爾薩斯的圖式並沒有錯。錯的是農業將永遠是瓶頸這一前提。人口至今仍被其時代的主導性物理約束壓制著。只是約束移動了位置，移進了第1節方程的各項之中：有效能源豐裕度、勞動投入與制度。

今天在發達國家，沒有人把「沒有東西吃」當作不生孩子的理由，生育率卻照樣處於歷史最低點。現代的「糧食」是家庭的經濟能力：以自己的薪資和所面對的價格，有孩子的生活究竟負擔得起還是負擔不起。這一能力本身是一個二階變數，由能源結構和技術水準決定。一件商品或一項服務的價格，大致由能源成本、製造成本、運輸成本、運算成本，以及尚未被自動化替代的勞動成本決定。最後一項在經濟學中有一個正式名稱：鮑莫爾成本病。生產力成長的部門薪資上漲，從同一個勞動市場招人的部門也必須跟著漲薪，否則根本招不到人，教育、醫療、托育、長期照顧都是這樣。它們的生產力沒有上升而薪資上升了，價格便持續上漲。¹²

養育一個孩子的成本，幾乎全部由鮑莫爾部門加上住房構成。2000年以來，美國的醫院服務價格上漲超過200%，大學學費超過180%，托育超過100%，同期電視機、玩具和軟體的價格下降了幾十個百分點到90%以上不等。¹³ 自動化觸及的商品價格崩落，它沒有觸及的人對人服務價格飆升。養育一個孩子，就是連續20年購買恰恰是自動化觸及最少的那些商品。

在這一解讀下，家庭的預期子女數是一個比率的函數：

$$\text{預期子女數 } n^* \doteq g(\text{家庭可支配收入 } Y_d \div \text{每個孩子的預期成本 } C_{\text{child}})$$

其中 C_{child} 是住房、教育、托育和醫療的有效價格的合成，這四項每一項都是鮑莫爾部門，每一項都比價格體系中的其他一切漲得更快。這就是第二個馬爾薩斯陷阱，本節標題所說的家庭的馬爾薩斯：一個壓制人口的結構，由能源、技術和價格機械地推導出來，與人們對孩子持何種信念沒有關係。

因此，生育率下降是一種價格現象，不是文化現象。韓國在2006年至2020年間為低生育率對策編列了約156兆韓元預算，2021年一年又追加43兆，而

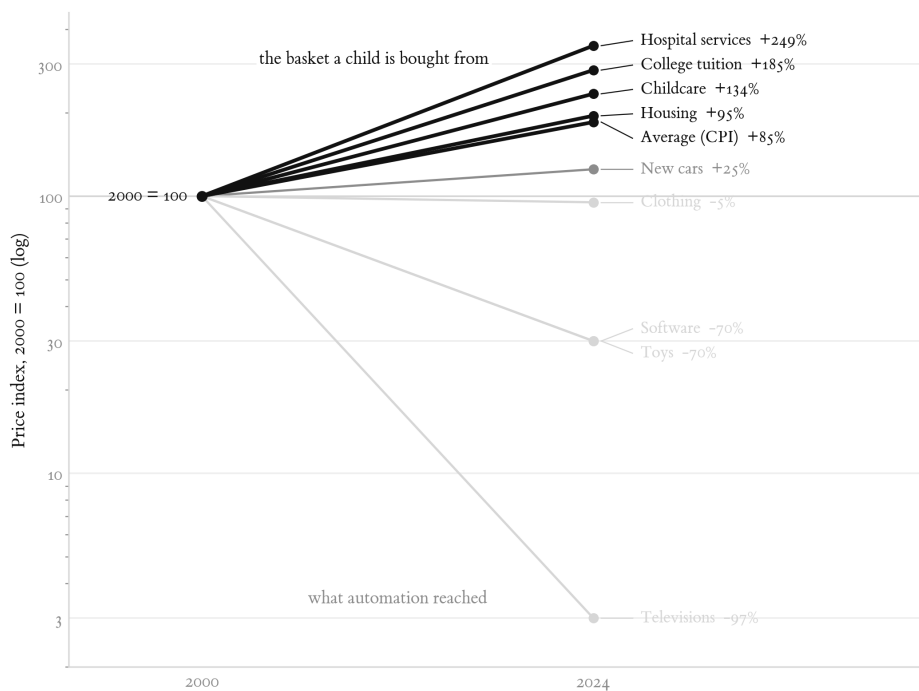
¹⁰ Jessica R. Lovering, Arthur Yip & Ted Nordhaus, “Historical construction costs of global nuclear power reactors,” *Energy Policy* 91, 2016, 371–382。按2010年價格的隔夜建造成本，1967至1972年間開工的48部美國機組從每千瓦約600至900美元升至約1,800至2,500美元，三里島事故發生時仍在建的機組，其成本中位數是此前完工機組的2.8倍；法國的成本在1971至1991年間從每千瓦約1,000歐元升至1,500至2,000歐元；韓國的成本下降約一半。這一比較在資料範圍和成本定義上存在爭議（Koomey, Hultman & Grubler, *Energy Policy* 102, 2017，及原作者的回應）。傅以斌的專案資料庫把同一記錄讀作定製化而非監管的結果，認為核電廠在各地平均超支120%（Bent Flyvbjerg & Dan Gardner, *How Big Things Get Done*, Currency, 2023, chapter 9 and Appendix A）；完整版第3章對這兩種解讀作了權衡。

¹¹ Lion Hirth, “The market value of variable renewables,” *Energy Economics* 38, 2013, 218–236。從110%降至50%至80%是模型結果；觀測到的德國數值（滲透率2.0%時為1.02，8.0%時為0.89）是事後的日前市場結果，屬於另一類證據。負電價小時數為德國聯邦網路局（Bundesnetzagentur）的SMARD資料：2024年457小時，2025年573小時。

¹² William J. Baumol, “Macroeconomics of Unbalanced Growth,” *American Economic Review* 57(3), 1967, 415–426。對美國教育與醫療的應用見Eric Helland & Alex Tabarrok, *Why Are the Prices So Damn High?*, Mercatus Center, 2019，二人把這一機制視為核心機制，而非唯一機制。鮑莫爾本人列舉的部門是教育、警察、醫院、社會服務和檢查；托育與長期照顧是同一機制後來的延伸應用。

¹³ 美國勞工統計局CPI序列，由作者透過API取得。2000年1月至2024年1月：醫院服務+248.9%，大學學費+184.6%，日間托育與

圖4-1 什麼變便宜了，什麼沒有



縱軸為對數刻度，斜率相同即變化率相同。鮑莫爾部門上漲，自動化商品崩落。右側標籤為便於閱讀而拉開了間距，線的端點位置是準確的。
來源：美國勞工統計局，消費者價格資料，2000年至2024年。

圖1. 什麼變便宜了，什麼沒有（美國，2000年至2024年）。縱軸為對數刻度，斜率相同即變化率相同。自動化觸及的商品向下分叉，鮑莫爾部門向上分叉。孩子需要的一切都在上面那一束裡。

它最終得到的2023年總和生育率是0.72，首爾為0.55。¹⁴ 15年的投入，預算規模膨脹了40倍以上，價格結構卻停在原處。如今在發達國家之間造成生育率差異的，是兼顧事業與家庭的成本，收入並不是。¹⁵ 價值觀不是首要原因。它們出現在下游，與位於其下方的結構隔著兩三級：能源和技術設定價格體系，價格體系設定家庭的預算約束及其對未來的憂慮，在這一約束之下，家庭把事業置於孩子之前是一種理性的行動原則，事後才被論證為一種價值觀。察覺到下游變數的變化便稱之為首要原因，與把溫度計指針的移動稱為熱的原因相差無幾。

這一機制以最大規模運作的地方是中國。2025年出生人口降至792萬，一年之內下降17%，不到2016年的一半。這一下降不會逆轉，已經由已出生的人數決定了。佔出生數約85%的20歲至34歲女性人口，從2025年的1.05億降到2050年的5800萬。生育分布在大約18歲到40歲之間，因此2050年將生育的每一位女性，最遲在2032年都已經出生。剩下的唯一自由度是生育率的水準，即便把它維持在當前水準，2032年的出生數仍會降到650萬左右。¹⁶ 在本文的全部變數中，人口是最早被固定、最晚才移動的那一個。

幼兒園+134.3%；電視約下跌97%，玩具與電腦軟體各約下跌70%。電子產品序列含特徵價格調整，因此97%是品質固定的電視的價格，而非同一物件的現金價格。把這兩組區分開的是自動化，這是本文的解讀，而非指數序列所能證明的事。

¹⁴ 韓國國會預算政策處（National Assembly Budget Office），*Analysis and Evaluation of Programs Responding to Low Fertility*, August 2021：2006至2020年間三期基本計畫合計預算國家資金155.63兆韓元，2021年為42.90兆；年度預算從2006年的1.03兆韓元增至2021年的42.90兆。這些是預算額而非決算支出，而且低生育率對策的定義在此期間不斷擴大，所以並不是同一定義下的單一序列。總和生育率來自韓國統計廳2023年出生統計（全國0.72，首爾0.55）；2024年回升至0.75、2025年初步值0.80，此處不作為證據使用，因為目前尚無法將其與反彈區分開來。

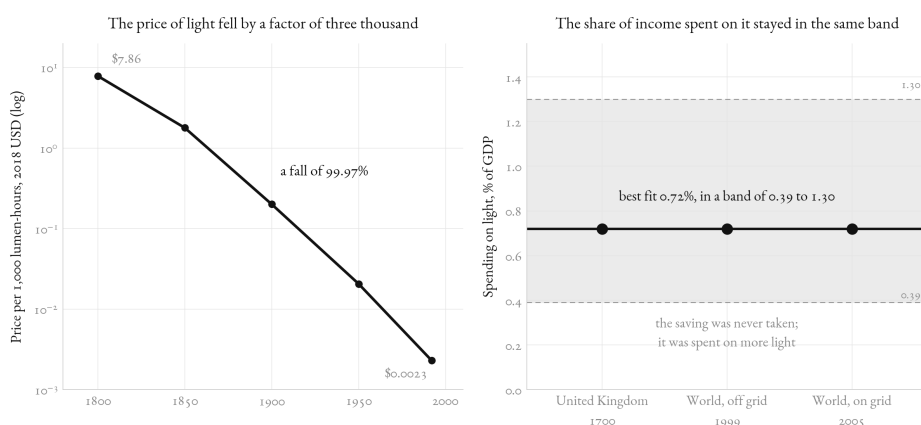
¹⁵ Gary S. Becker, "An Economic Analysis of Fertility," 1960。Matthias Doepke, Anne Hannusch, Fabian Kindermann & Michèle Tertilt, "The Economics of Fertility: A New Era," NBER WP 29948, 2022。價格解釋的是生育率下降的條件，而不是它回升的條件：擁有全球最慷慨家庭政策的北歐諸國自2010年代以來的生育率下降（Hellstrand et al., *Demography* 58(4), 2021），以及高物價社會以色列世俗人口接近2的生育率（以色列中央統計局，*Statistical Abstract of Israel 2025*, Table 2.28：總體2.87，非宗教人口1.98），標出了這一解釋的邊界；而約束已經解除的狀態尚無任何記錄，所以正文中的預測是有條件的，而非一條定律。

05 豐裕連鎖

帶著2GB漫遊流量出門一週，我們會盡力克制。一樣東西是有限還是無限，對心理的作用遠遠超出實際的稀缺程度。潛在的商業模式像樹一樣分枝，因為一個約束擋在路上就在半途停下，可能等於砍掉了本會在更遠處開花的每一根枝條。在能源這件事上，我們的文明就是那個只有2GB的旅行者。

所以，能源成本的崩落不只是讓現有需求得到更便宜的滿足，需求本身也會成倍成長。人造光是人類壓低成本時間最長的商品之一，按諾德豪斯的測算，1000流明小時的實質價格在1800年至1992年間下降了99.97%。¹⁷當光便宜了3000倍，人類在光上的花費減少了嗎？據曹（Tsao）及其同事的研究，三個世紀以來，跨越六大洲和五種不同的照明技術，人類始終把GDP的約0.72%花在光上。效率上升，人們消費的光就更多。人們點亮了夜晚的城市，讓工廠晝夜運轉，後來又讓螢幕在一天中醒著的大部分時間裡亮著。價格崩落而收入份額始終停留在同一區間，這是一種接近完全的反彈效應：人們把效率省下的全部錢，花在了更多的同一種商品上。本文採取的就是這一解讀。¹⁸

圖5-1 光的三個世紀：豐裕連鎖最純粹的案例



右圖的三個點是論文報告的實證情形，彼此相隔三個世紀，從牛脂蠟燭一直到電網供電。陰影帶是論文在17個觀測值上給出的範圍，即GDP的0.39%至1.30%；穿過它的線是論文的最佳擬合值0.72，並不是測量了三次的數值。
來源：左圖為 Nordhaus (1996)，載 *The Economics of New Goods*；右圖為 Tsao et al. (2010), *J. Phys. D* 43(35), 354001。

圖2. 光的三個世紀。價格降到原來的三千分之一，光的支出始終停留在同一收入區間內：17個觀測值介於GDP的0.39%到1.30%之間，最佳擬合值為0.72%。圖中三個點是論文報告的三種情形，1700年的英國、1999年的離網世界和2005年的聯網世界，從牛脂蠟燭一直到電網供電。

光是最清楚的歷史案例，但這一機制並非照明所獨有。更便宜的能源壓低一切用它製造之物的價格；更低的價格解鎖此前不可行的用途；新的需求為更多供給付帳，能源再次變得更便宜。這個循環就是本節標題所說的豐裕連鎖，而它接下來會解鎖什麼，可以從成本結構中讀出來。逆滲透海水淡化成本的四分之一到五分之二是能源，垂直農業營運成本的40%到70%是能源。¹⁹發射成本已降到原來的二十分之一，從太空梭每公斤約54500美

¹⁶ 中國國家統計局，2025年統計公報，2026年2月28日（2025年出生792萬人，2024年954萬人，人口連續第四年下降）。到2050年的推算是本文自行做的年輪組成法推算：將年齡別生育率分布施加於已出生的各世代，並以2025年實際值校準。國家統計局不公布總和生育率；推算中使用的0.93是一項民間估計。人口基數是穩健的，因為2050年生育的每一位女性都最遲在2032年出生；出生的絕對數則不是。

¹⁷ William D. Nordhaus, "Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality?" in *The Economics of New Goods*, University of Chicago Press, 1996, ch.1。一千流明小時的實質價格從1800年的429.628美分降至1992年的0.124美分，均按1992年美元計（Table 1.4, p.46）。這是當時最佳可用技術的序列，而非平均家庭的序列。

¹⁸ J. Y. Tsao et al., "Solid-state lighting: an energy-economics perspective," *Journal of Physics D* 43(35), 2010, 354001，基於Tsao & Waide, *LEUKOS* 6(4), 2010, 259–281的資料：三個世紀、六大洲、五種照明技術；17個觀測值中佔GDP的0.39%至1.30%，最佳擬合為0.72%。兩篇論文都沒有為反彈效應給出數字；從穩定的支出份額推進到接近完全的反彈，這一步是本文自己的，不過Fouquet & Pearson (*EEEP* 1(1), 2012) 直接在英國的照明中發現了回火效應，即超過100%的反彈：19世紀的效率提升之後，用於照明的能源不減反增。

元降到獵鷹9號的約2720美元，而據說星艦的目標是再往下兩個數量級，即每磅10美元，約合每公斤22美元，瓊斯（Harry W. Jones）把這一目標歸於馬斯克。²⁰補上第三個數量級，地球軌道就成爲一個工業區位。

供給按照製造業的時間表到來，價格在2040年代才會移動。按長期能新增多少穩定電源排序，處於頂端的是核融合，其次是常規大型反應爐和在工廠量產的小型模組化反應爐（SMR），再是作爲過渡的化石燃料，最後是疊加在穩定電源之上作爲補充的再生能源。壓低價格的是建造了多少座。成本曲線遵循萊特定律：累計產量每翻一倍，單位成本以恆定比率下降；太陽能模組價格每翻倍下降20%到25%，僅在2010年代就下降了80%以上。²¹ SMR的目標是把反應爐從現場施工的土木工程變爲量產的產品，這將使核電走上製造業的學習曲線，而不是建築業的學習曲線。但從第一座核融合裝置點火到單位成本下降十倍，中間隔著數十年和數百座反應爐，所以對價格的影響要到2040年代才會顯現。

關於供給側有一個提醒。能源實際上多快變得豐裕，不在發電機處決定，而在發電機與負荷之間的連接處決定：新增併網的排隊、製造變壓器和開關設備的工廠、輸電線路和變電所所需的土地與許可。發電一直在指數成長，²²併網卻沒有。在美國，2025年投入運轉的專案從申請到運轉的中位等待時間是5年，所有申請中只有13%最終投入運轉，²³一臺大型變壓器的交貨期是2到3年，是2010年的2到3倍。²⁴不管增加多少工廠，這些前置時間每一項仍以年計。對投資者而言，由此可以得出兩點。轉型期的價格先漲後跌，因爲需求爆發而供給受限。稀缺的資產不是發電廠，是已經併網的場址和排隊中的位置。電力走不遠，土地完全不能動，所以有效能源豐裕度是方程中唯一無法在合作夥伴之間分擔的項，選址本身就是投資決策。

連鎖也會回流到家庭，第4節與本節在這裡匯合。把孩子的價格推到家庭承受不起的商品，是自動化沒有觸及的商品，而沒有觸及的原因，正是同一種能源與勞動投入的不足。鮑莫爾成本病從來只有一種療法：用技術直接提高患病部門的生產力。當廉價電力和物理AI進入住房、教育、托育和醫療，價格體系中那個從來只漲不跌的部分開始下降，第4節的比率轉向，第二個馬爾薩斯陷阱鬆開。人口隨之可以轉向上升，市場整體規模也隨之擴大。豐裕的供給不只是放大對既有事物的需求，它還恢復了人的數量，而任何需求都得先有人。這一恢復需要多長時間，是下一節的主題。

06 需求之谷

約束的彼岸是一個更大的經濟體：豐裕的供給、回升的出生率、重新成長的需求市場。問題在於供給與需求之間的時間差。約束一旦解除，供給按照以年計的時間表成長。需求按照以世代計的時間表成長，2035年轉而上升的出生率會立刻增加消費者，但要幾十年後才會增加工人、納稅人和創業者。本文把這段時間差稱爲需求之谷，它大約持續半個世紀。穿越這段時間，能夠依靠的回報是那些不隨人頭數變化的回報：在自動化資本本身中持有的份額，以及能源與算力的基礎設施。

¹⁹ 海水淡化：Voutchkov

（*Desalination* 431, 2018）將能源定爲每立方米約1.1美元成本中的25%至40%，Ghaffour, Missimer & Amy（*Desalination* 309, 2013）對海水逆滲透給出19%至40%。垂直農業：Pennisi及其同事（*Agronomy for Sustainable Development* 45, 2025）給出照明佔能耗的42%至80%，氣候控制佔16%至43%。在營運成本中所佔的份額是已公布數字彼此分歧之處，從一項按德國電價、不計資本的紙面設計中的約七成

（Banerjee & Adenauer, 2014），到一項對北美營運中的農場的調查中的12%至25%（Agrilyst, 2017）；差距主要來自勞動成本與電價。

²⁰ Harry W. Jones, “The Recent Large Reduction in Space Launch Cost,” ICES-2018-81, 2018。若改以運抵國際太空站計，太空梭每公斤105,800美元，對比獵鷹9號與龍飛船約25,000美元，差距爲4倍而非20倍。

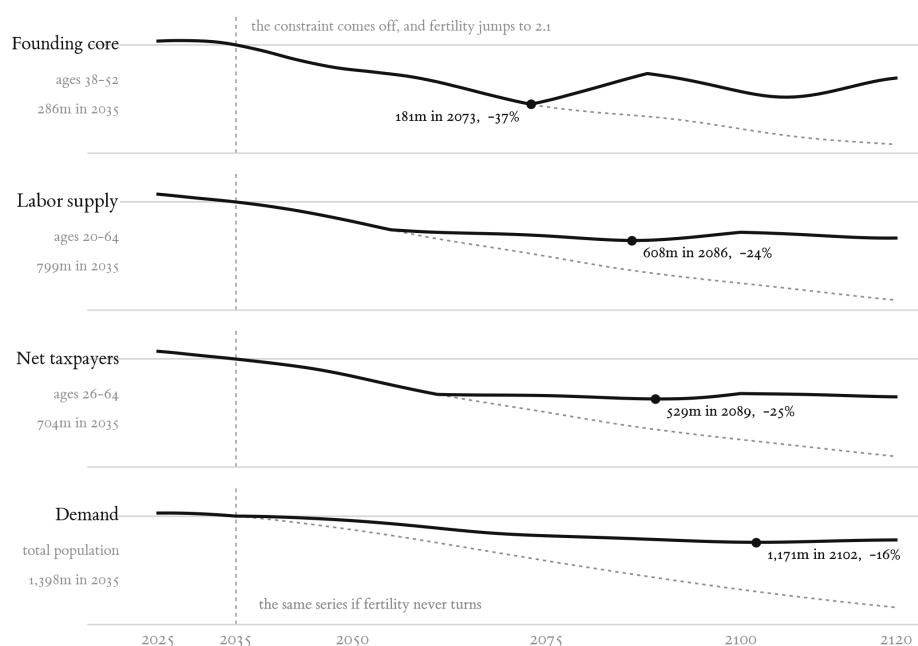
²¹ T. P. Wright, “Factors Affecting the Cost of Airplanes,” *Journal of the Aeronautical Sciences* 3(4), 1936, 122–128。太陽光電序列來自Our World in Data（CC BY 4.0，依據Nemet 2009與IRENA）；按該序列，模組價格2010至2019年下降81.4%，2010至2020年下降85.3%，正文取其中較保守者。快速轉型成本更低這一點，見Way, Ives, Mealy & Farmer, *Joule* 6(9), 2022。

²² 1975年累計裝置容量0.54 MW、2024年1,866,898 MW，是Our World in Data序列（IRENA基礎，併網）截至2026年9月的數值；早先版本將2024年記爲1,852,359 MW。中國的數字來自國家能源局：2025年底風電與太陽光電裝置容量18.4億千瓦。47.3%的佔比是本文相對同日報告的總裝置容量計算所得，並非國家能源局公布的數字。

²³ Lawrence Berkeley National Laboratory, *Queued Up: 2026 Edition*：2025年投入運轉的專案，從申請到運轉的中位時間爲61個月；2000至2020年間提交的

這一差距無法更快彌合，因為一個經濟體至少需要四種人頭數，即勞動供給、需求、冒險者和納稅人，而機器只能替代第一種。如果沒有人想要那件東西，那麼無論造多少，都只是庫存。有多少人願意把自己的人生投進一項沒人嘗試過的事業，取決於人口規模，與生產力無關。機器創造的財富可以被徵稅，但承擔這份稅收、維持其制度的，是一個由人組成的共同體。四者回來的速度也各不相同。人從出生起就是消費者。按國民移轉帳戶的年齡曲線，也就是按年齡列出收入與消費的統計，一個人的勞動收入要到30歲左右才超過其消費。²⁵成長最快的那些企業，其創辦者的平均年齡在45歲上下。²⁶即便約束在2035年完全解除，高收入國家的生育率在同一年躍升至替代水準，這在現實中不可能發生，需求之谷仍將持續到2080年代。²⁷

圖5-5 需求之谷，採用能得到的最樂觀假設



高收入國家，每一行以其自身2035年的水準為基準指數化。總和生育率先設為1.42，在2035年躍升至2.1，遷移設為零；不可能有比這更快的逆轉，所以圖中的谷是一個下限。點線是沒有逆轉時的同一序列。四個谷底不在同一年到來，而創業世代，即創辦公司的年齡組，跌得最深。
來源：作者的年齡組成法推算；基礎人口為世界銀行按年齡和性別劃分的資料（2025年）。

圖3. 需求之谷，採用能得到的最樂觀假設。每一行以其自身2035年的水準為基準指數化。四個谷底不在同一年到來，而創業世代，即創辦公司的年齡組，跌得最深。

跨越這道谷有三部。第一步是上面說的投資組合原則：持有不依賴人頭數的回報，並把回報與需求數量成比例的生意視為在整個時期內面對結構性逆風。第二步是在人所在的地方培育需求。在那幾十年裡，人口仍在成長的地方主要是非洲、黎凡特、巴基斯坦，以及中亞和中美洲的部分地區，那裡的人均購買力很低。需求是人口乘以購買力，所以這些地區持有的是未來的需求而非當下的需求；對於手握賣不出去的設備的發達經濟體來說，培育這些人口的購買能力，與其說是慈善，不如說是把這些設備從負債重新變回資產的工作。第三步最大，有專門的一節來講：確保需求回來的那一天，它回到的家庭，自己也持有一部分為它們生產的資本。

申請中，按容量計13%投入運轉，75%被撤回。這些是發電側統計，不涵蓋負荷側的排隊。

²⁴ Wood Mackenzie, *Making the connection*, Executive Summary, September 2025, slide 5: 2025年第二季度的美國市場，發電機升壓變壓器為下單後143週，電力變壓器為128週。基線是美國能源部的*Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid* (April 2014): 2010年國內生產商為5至12個月，國外為6至16個月，因此2025年的數字是2倍到3倍。

²⁵ National Transfer Accounts Project的年齡別人均剖面；此處使用2011年美國剖面。在該剖面上，勞動收入在30歲首次超過消費，20至24歲的人均勞動收入為49歲峰值的30%，26歲達到峰值的一半，33歲達到80%。這是單一年份的橫截面，而非追蹤一個出生世代的時間序列。

²⁶ Pierre Azoulay, Benjamin F. Jones, J. Daniel Kim & Javier Miranda, "Age and High-Growth Entrepreneurship," *American Economic Review: Insights* 2(1), 2020, 65-82。關於美國僱主企業270萬名創辦人的行政資料：全部創辦人平均41.9歲，按成長率位居前0.1%的企業為45.0歲。

²⁷ 總和生育率在2035年從1.42一步升至2.1並保持不變。基礎人口為世界銀行高收入國家2025年資料，以年齡組成法推算，採用偏正態生育率曲線（平均年齡29.0）、固定不變的岡珀茲-梅克漢（Gompertz-Makeham）生存曲線，遷移設為零。這是一個模型而非預測：零遷移使谷底比實際更深，站得住的是時點，因為把預期壽命上下各移動4年，谷底年份仍落在2085至2090年之間。

現代經濟透過任務來分配財富。工作被拆解為一項項任務，收入按任務的完成來支付。這套機制正在失靈，因為自動化正在接管任務；自動化所創造的資本，以及隨後能源豐裕將創造的資本，必須以別的方式分配。本文提出一種擴大的所有權分配：每個公民從出生起、在開始工作之前，就持有自動化資本的份額。用一句話說，就是讓每個公民都先成為投資者，再成為勞動者。最早的實例已經出現：美國為2025年至2028年出生的每一個孩子開設的帳戶，以及康乃狄克州的嬰兒債券（baby bonds）。本文的提議是把這一設計擴大到未來幾十年所需要的規模，並說明資本從何而來。

任務作為分配工具正在失效。自1980年代初以來，勞動收入份額在大多數國家和行業都在下降，其中約一半的降幅可以用機器和電腦變得便宜、企業用它們替代人來解釋。自動化始終有兩種效應：替代效應，即機器接管人的任務；復原效應，即為人創造出新的任務。近年的美國，替代在加速，復原在減弱。²⁸斷裂已經可以觀察到。在AI滲透最深的職業裡，年輕勞動者的就業相對其他年齡組下降，有經驗的勞動者的就業則保持穩定；下降是透過停止招聘而非裁員發生的，每一次資料更新，這個差距都在擴大。²⁹任務與收入之間的連結正在從入口處、從年輕的一端斷開。

熟悉的那些藥方修復不了它。對再分配的政治訴求在上升，³⁰政治最先伸手去拿的工具，過往都有記錄可查。1990年前後，有12個OECD國家對淨財富徵稅，如今只剩3個。原因不在於高稅率削弱了工作意願，而在於稅基會移動：凡是稅基及其持有者能夠遷移的地方，一國一國分別開徵的財富稅都沒有維持下來。³¹現金移轉幫助了領取者，卻不改變結構。在迄今規模最大的實驗中，連續3年每月領取1000美元的人工作時間略有減少，就業的可能性略有下降，他們報告的壓力和食物保障方面的改善在第一年之後便消退了。³²現金買到的是自主和眼前的安心。一張支票改變不了資本歸誰所有，而正在變動的變數恰恰是所有權。

份額在已經嘗試過的每一種規模上都行得通。美國的帳戶為2025年至2028年間出生的每個孩子向指數基金存入1000美元，康乃狄克州的嬰兒債券為每個在醫療補助（Medicaid）下出生的孩子存入3200美元。阿拉斯加州40年來向每位居民發放石油紅利，對就業沒有可測出的影響；挪威的主權基金是人均約38萬美元的集體資本。³³歷史上，把公民變成所有者，一再造就出廣泛的中產階級：《宅地法》把美國約十分之一的國土轉入私人手中，戰後日本的農地改革把174萬公頃土地轉給了475萬戶佃農。³⁴19世紀分配的是土地，20世紀分配的是住房所有權和退休金，21世紀必須分配自動化資本的份額，因為在勞動收入份額下降的時候，家庭只有靠持有資本才能守住自己在收入中的份額。

誰來出資，資金從哪裡來。答案必須與前面的診斷相一致：一份主要靠對流動稅基徵稅來籌資的份額，會重建它本想逃離的那種失敗。與診斷相一致的來源有三個。第一是已經在實行的那類公共種子資本：金額小、覆蓋全民、出生時注入，讓複利在份額被動用之前的20年裡發揮作用。第二個來源最大，是新資本本身的一部分股權。即將到來的建設中稀缺的投入，恰恰是國家掌握的那些：已併網的場地、許可核准、土地和水。授予這些

²⁸ Loukas Karabarbounis & Brent Neiman, "The Global Decline of the Labor Share," *Quarterly Journal of Economics* 129(1), 2014, 61–103。Daron Acemoglu & Pascual Restrepo, "Tasks, Automation, and the Rise in U.S. Wage Inequality," *Econometrica* 90(5), 2022, 1973–2016。「約一半」這一分解存在爭議，爭議在機制而不在大小：Elsby, Hobijn & Şahin (BPEA, Fall 2013) 與Bergholt, Furlanetto & Maffei-Faccioli (AEJ: Macroeconomics 14(3), 2022) 發現起作用的是自動化，而非機器變得更便宜。

²⁹ Erik Brynjolfsson, Bharat Chandar & Ruyu Chen, "Canaries in the Coal Mine?" Stanford Digital Economy Lab, 2025, revised 2026。作者指出這是相關而非因果，且數字隨資料更新而變動：2025年8月為13%，2025年11月為16%，2026年6月的後續版本為19%。在丹麥登記資料中，Humlum & Vestergaard (2026)將約0.6個百分點的下降中可歸於AI的部分限定在0.14以內，而Hosseini & Lichtinger (2026)發現採用AI的企業初階職位就業下降9%。

³⁰ 2025年11月4日，佐赫蘭·曼達尼（Zohran Mamdani）贏得紐約市長選舉，凱蒂·威爾森（Katie Wilson）贏得西雅圖市長選舉。民調為Jeffrey M. Jones, "Image of Capitalism Slips to 54% in U.S.," Gallup, 8 September 2025（全體成年人中對資本主義持好感者54%，對社會主義持好感者39%）。

投入的國家，可以在它所促成的能源、算力和自動化設施中取得股權，就像挪威對石油所做的那樣，並把這些股權放進公民基金，而非國庫。第三個來源是自願的：企業和富有個人的出資。他們的動機不只是慈善，因為在上一節所說的需求之谷裡，需要市場的設施正握在這些企業手中，而為下一代消費者注入資本，是創造市場最便宜的辦法。

同樣的技術也在改變誰能擁有一家企業。擁有企業過去意味著僱人，並為他們的生計負責，這項固定成本決定了一家企業得以成立的最小規模。AI和機器人技術壓低了這個最小規模。但如果門檻下降而沒有任何分散所有權的設計，增多的將是經營企業卻不擁有資本的人；出生時的份額，正是讓這樣的人成為所有者的初始資本。

必須加快的理由在於，制度與人口走的是兩個不同的時鐘。分配制度可以透過立法建立，一旦決定做出，幾年之內就能運轉。人口卻不是立法可以安排的：現在出生的孩子從第一天起就是消費者，但要20年才進入納稅人名冊，要30年才掙得比消費的多。在2030年代把分配制度化，就是現在買下2050年代的需求、挑戰者和稅收。

08 移動價值的中心

設計的最後一個要素是價值本身。這是本文最抽象的部分，因此分四步來陳述。第一，人們創造的價值大多從未進入GDP。第二，這並非偶然：GDP統計的是價格，而人們在250年前採用價格，是拿它替代當時無法觀測的價值。第三，價格承擔的兩項工作，配給稀缺之物與替代價值，都正在被接管，一項由廉價能源接管，另一項由廉價測量接管。第四，隨著這一切發生，投資者購買的東西也在改變：從製造某物的公司的股份，變成對該物給使用者帶來的效益的請求權。

第一步：價值是什麼，GDP漏掉了其中多少。創造價值，就是運用自己的能力為他人帶來效益。³⁵按這個定義，在咖啡館端上一杯咖啡和母親照料自己的孩子是同一種行為，唯一的區別是前者標了價。GDP漏掉多少是可以測量的，三種不同的測量給出了一致的答案。在官方的衛星帳戶中，無酬的家庭生產約相當於GDP的四分之一。在平均的一天裡，有酬工作和學習佔不到5小時，無酬工作和閒暇則超過8小時。³⁶中位數的網路使用者若果要放棄一個免費平臺，需要每月約50美元的補償，而這類商品對GDP的貢獻接近於零。³⁷市場交易所統計的價值，在一天之中創造的全部價值裡只佔少數。

第二步：GDP為什麼會這樣構造。劃出這條界線的是亞當·斯密。在《國富論》第一篇第四章，他區分了使用價值與交換價值：前者是一件東西對使用它的人的價值，後者是它在交易中能換得的東西。他指出，沒有什麼比水更有用，用水卻幾乎買不到任何東西，隨後便把此後的全部討論限定在交換價值上，因為交換價值可以測量，使用價值不能。他稱使用價值為真實的價值。這個悖論從未被解決，只是被擱置了，經濟學後來忘記了它曾被擱置。³⁸ GDP就是這個決定被制度化的結果：它統計的是付過錢的東西，而不是有用的東西。

³¹ OECD, *The Role and Design of Net Wealth Taxes in the OECD*, 2018。Sarah Perret, *Fiscal Studies* 42(3–4), 2021, 539–563。這一記錄並不證明對財富徵稅是錯的，只說明它在流動性之下難以維持。挪威的納維亞資料顯示，最高財富稅率每提高1個百分點，富裕納稅人的存量約減少2% (Jakobsen, Kleven, Kolsrud, Landais & Muñoz, NBER WP 32153, 2026)；而在瑞士，稅率每下調1個百分點，申報財富至少增加43%，其中只有四分之一是透過人員遷移實現的

(Brühlhart, Gruber, Krapf & Schmidheiny, *AJ: Economic Policy* 14(4), 2022)。稅基在搬家之前，先透過免稅規定、估值和逃稅而移動。

³² Eva Vivalt, Elizabeth Rhodes, Alexander W. Bartik, David E. Broockman, Patrick Krause & Sarah Miller, “The Employment Effects of a Guaranteed Income,” NBER Working Paper 32719, 2024, revised 2026：相對於每月領取50美元的2000人對照組，每週工作時間減少1.3小時，就業率下降4.2個百分點（標準誤1.7）。健康方面見Miller及其合作者，NBER Working Paper 32711, 2025。兩者涉及的都是期限有限的移轉支付，對領取者而言，其含義與預期終身持續的資本收入並不相同。

³³ One Big Beautiful Bill Act (Public Law 119-21) §70204：2025年1月1日至2028年12月31日間出生的每名美國公民兒童獲得1,000美元，投資於追蹤美國股票大盤指數的基金；帳戶於2026年7月4日啟用。康乃狄克州嬰兒債券 (Baby Bonds)：2023年7月1日及以後在醫療補助 (Medicaid) 下出生的每名兒童獲得3,200美元，可在18至30歲之間用於在該州購房、創業、高等教育或退休儲蓄。阿拉斯加：自1982年起每年發放紅利；Damon Jones & Ioana Marinescu, *AJ: Economic Policy* 14(2), 2022, 315–340。挪威：NBIM, *Annual report* 2025。

³⁴ 關於宅地法，見美國國家檔案館與國家公園管理局（至1934年處理申請逾160萬件，逾2.7億英

第三步：替代物為什麼在弱化。價格做兩件事：配給稀缺之物，以及替代價值。第一件事由廉價能源接管。在資訊產品中，多複製一份的成本幾乎為零，價格已經不再傳遞稀缺的訊號；能源與自動化成本的崩落，把同樣的機制延伸到物質世界。第二件事由測量接管，速度要慢一些。價格之所以充當價值的替代物，是因為在斯密的時代沒有辦法觀測效益是否被感受到。這一點已經不再成立。行為資料和生物特徵資料已經有人在記錄，原則上神經系統本身的反應也記錄得了。一旦受益者感受到效益這一事實變得可以記錄，保留替代物的理由就消失了。兩件事中，第二件更難被取代，因為它不僅需要測量，還需要人們相信測量沒有被偽造。

第四步：貨幣和投資者面臨什麼變化。貨幣先失去的是第一項工作，配給；後失去的才是第二項，衡量價值。接管配給的單位是能源單位。計量AI推理的token和碳排放配額，都是作為計價單位設計出來的，兩者都在向貨幣收斂；任何東西，只要作為某種稀缺資源的單位被發行、交換和儲存，都在承擔貨幣的一部分工作。對投資者來說，變化是這樣的。今天，人們為一家公司出資，從它的利潤中獲得回報，也就是從它捕獲的交換價值中獲得回報。一旦某物帶來的效益可以被測量，人們就可以為這件東西本身出資，按它給使用者帶來的經測量的效益獲得回報，無論它是誰製造的。請求權附著於所造之物的使用，而不是製造它的組織。第10節列出了使這種請求權可以執行的基礎設施。沒有它，本節的價值與上一節的分配都沒有可以結算的單位。

09 重心已移向海洋

先給出三個結論，再說理由。世界經濟的單位是群聚，而不是國家。群聚集中在印太沿岸，因為物理建設所需的巨型物資靠海運移動，因此本文處理九個群聚：舊金山灣區、德州、波士華（波士頓至華盛頓走廊）、阿聯、東北亞（日韓臺）、倫牛劍（Loxbridge，倫敦、牛津、劍橋三角）、長三角、珠三角，以及班加羅爾-海德拉巴，其中六個位於這一沿岸或其附近，另外三個，德州、波士華和倫牛劍，透過資本和貿易與之相連。用方程式的五個項來衡量這九個群聚，沒有一處具備全部的項，因此一個群聚的地位取決於它如何獲得自己所缺的項：共創的群聚之間的分工，勝過一國內部的垂直整合。

先說單位與海洋。按夜間燈光的連續性來切分世界的陸地，經濟的集聚區會自行顯現。用這種方法提取出的40個巨型區域，容納不到世界五分之一的人口，卻產出世界三分之二的產值和大部分專利。³⁹通訊成本趨近於零，集聚卻沒有散開，因為密度所帶來的東西，即勞動力池和向身邊的人學習，是無法透過電線傳送的。群聚所在之處，就是海洋所在之處。按貨運量計，世界商品貿易的八成以上走海運，⁴⁰本文討論的物理基底，變壓器、渦輪機、反應爐和建築材料，全都偏重，所以離港口有多遠，離建設就有多遠。地球最大海洋沿岸的城市之所以變大，靠的是地理，而不是努力。距印太300公里以內的陸地佔世界陸地的12%，到2050年將承載世界三分之一的人口和近五分之二的產值。⁴¹這片海洋的沿岸國家合計已產出世界GDP的三分之二，1980年時約為一半。⁴²

畝土地轉入私人手中）。日本農地改革為日本農林水產省提交ICARRD的報告（174萬公頃，475萬佃農戶）；佃耕地比例從45.9%降至9.9%，見Chiang, Fan & Hsu, IZA DP No. 18095, 2025。

³⁵ Stephen L. Vargo & Robert F. Lusch, "Evolving to a New Dominant Logic for Marketing," *Journal of Marketing* 68(1), 2004, 1-17; 公理化見 "Institutions and axioms," *JAMS* 44(1), 2016, 5-23; 專著為 *Service-Dominant Logic*, Cambridge University Press, 2014。

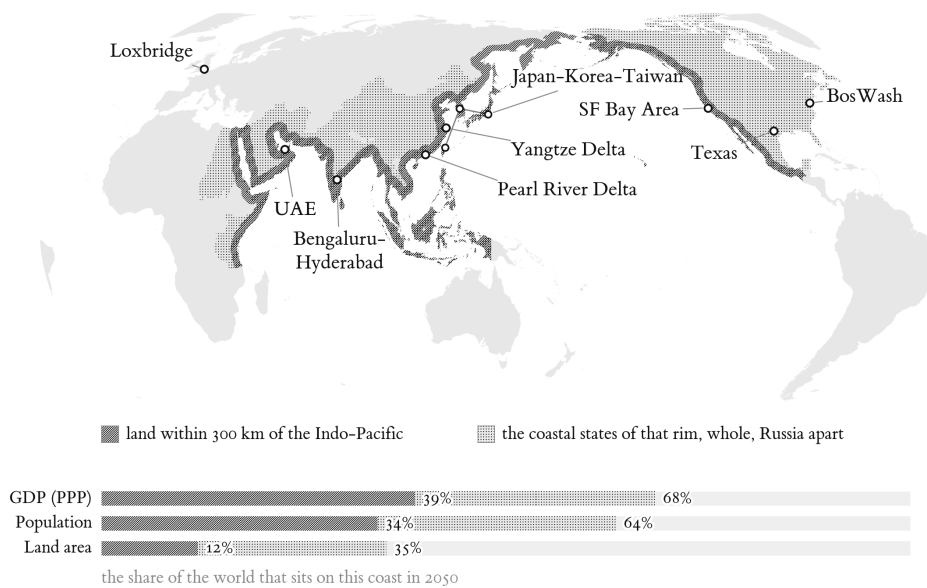
³⁶ Benjamin Bridgman, Andrew Craig & Danit Kanai, "Accounting for Household Production in the National Accounts," *Survey of Current Business* 102(2), 2022 (佔GDP的22%至25%)。時間使用資料來自OECD Time Use Database及Veerle Miranda, OECD Working Papers No. 116, 2011，為29個國家、15至64歲人口的平均值：每天有償工作與學習4.6小時，無償工作3.4至3.5小時，閒暇約4.8小時；平均涵蓋包括週末在內的所有日子以及就業者與非就業者雙方，這正是有償工作看起來偏短的原因。

³⁷ Erik Brynjolfsson, Avinash Collis & Felix Eggers, "Using massive online choice experiments to measure changes in well-being," *PNAS* 116(15), 2019, 7250-7255。放棄一個免費平臺所要求的每月補償，中位數約為48美元。

³⁸ Adam Smith, *The Wealth of Nations*, 1776, Book I, Ch. IV: 真實價值的定義在pp.30-31。亞里斯多德在西元前四世紀區分了使用價值與交換價值，中世紀的經院學者認為使用價值居先。此處的解讀依據Lusch & Vargo, 2014, ch.2。

³⁹ Richard Florida, Tim Gulden & Charlotta Mellander, "The rise of the mega-region," *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 1(3), 2008,

圖8-1 印太沿岸，九個群聚中的大多數所在之處



對同一片沿岸的兩種讀法。黑色斜線為距印太300公里以內的陸地，這裡的印太指太平洋和印度洋，再加上波斯灣和紅海，一側從白令海峽延伸到墨西哥的南部邊界，另一側延伸到坦桑尼亞的南部邊界。島嶼計入持有它的國家；澳大利亞、紐西蘭、巴布亞紐幾內亞和馬達加斯加被排除。網格為該沿岸各國的全部國土，俄羅斯因國土主體位於內陸而除外。位於沿岸帶之外的三個群聚同樣臨海，面向大西洋。每根柱顯示沿岸國家的合計，其內部為沿岸帶所佔的部分。採用等面積的 Equal Earth 投影，圖上的面積與地球上的面積成正比；南極洲在圖框之外，但計入陸地的數字。海岸線為 SRTM15+ v2.7 (GMT earth_relief 02m)，邊界為 Natural Earth 10m，人口和產值採用 Murakami and Yamagata (2019) 的 SSP2，國內分布依據 Kumm, Taka and Guillaume (2018) 的1990年至2015年網格。

圖4. 印太沿岸。黑色斜線為距印太300公里以內的陸地；網格為該沿岸各國的全部國土，俄羅斯除外。柱狀圖為2050年的預測：人口和產值各一根，分別顯示當年沿岸國家佔世界的份額，以及其中沿岸帶所佔的份額。投影為等積投影，因此圖上的面積與地表面積成正比。

接下來是分析：能夠湊齊全部五個項的技術陣營只有兩個，一個靠分工，一個靠垂直整合，後者的瓶頸在制度。在群聚的層面上看，方程式分為五個項：制度、有效能源豐裕度、位元側的深度科技（軟體與AI）、物理側的深度科技（機械、材料與半導體），以及大資本。決定一個群聚地位的，是它能否獲得所缺的項，而不是它自己握有多少項。本文把能夠彼此獲得對方的項的一組群聚稱為技術陣營，目前只有兩個陣營湊齊了全部五項。美國技術陣營靠分工湊齊：灣區專精位元，日韓臺專精物理，德州、波士華和阿聯專精制度、能源與資本，這些群聚彼此疊加，幾乎覆蓋了全部五個項。中國技術陣營試圖在一國內部靠垂直整合湊齊。它的優勢是決策速度和對供應中斷的韌性。它的弱點是，任何一個結構性偏低的項都會成為整體的瓶頸，而在中國的情形裡，這個項是制度。外人直接投資在經濟安全的顧慮中轉而下降，⁴³對外來者來說，這個國家難以進入，也難以留下：外國專業人士的居留權繫於僱主，語言、文化和法律制度又各自構成一道障礙。創造出的財富只有很少一部分流到家庭，於是勞動供給超過需求，青年失業率居高不下，出生數下降，需求收縮。第三個候選者印度，目前還不屬於任何一方。

分工之所以勝出，是因為它比過去更難被打破。1990年代的分工是對薪資差的套利，薪資一變，格局隨之而變。如今決定分工的是日照、土地，以及40年積累下來的製造譜系，這些都不像資本或勞動那樣容易移動。只要

459-476：40個巨型區域擁有世界人口的17.7%、產出的66%與專利的85.6%。產出由夜間燈光強度估算並按各國GDP重新歸一化，是對世界GDP的空間再分配，而非獨立測量。資料約為2000年前後。

⁴⁰ UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2017*, p. x：世界商品貿易按體積計逾80%、按價值計逾70%由海運承擔。2024年版與2025年版未給出這一比率，故引用2017年版。

⁴¹ 本文自行在2弧分網格上的彙總。島嶼計入持有它的國家；澳大利亞、紐西蘭、巴布亞紐幾內亞和馬達加斯加被排除。海岸線為 SRTM15+ v2.7，邊界為 Natural Earth 10m，國內分解為 Kumm, Taka & Guillaume, *Scientific Data* 5, 180004, 2018，預測為 Murakami & Yamagata, *Sustainability* 11(7), 2106, 2019 (SSP2)。將各比率固定在2015年的值，得到34%與38%。

⁴² 本文自行依據 IMF *World Economic Outlook* 資料庫（2025年10月版）的彙總：印太沿岸國家擁有世界人口的69%，按購買力平價生產世界GDP的66%，1980年為53%。按市場匯率計為65.5%。1980年的數值基於67個國家和地區中有資料的49個。最大的單一項是美國；將其剔除後，數字降至51.7%。

⁴³ 按商務部彙編的實際使用外資口徑，2024年對內直接投資年減27.1%至人民幣8262億元，而國際收支口徑下的直接投資負債在2023年和2024年均保持淨流入，2023年的流入為1993年以來最小。原因不能僅歸於經濟安全；房地產市場與利差的貢獻沒有被分離出來。

比較優勢被固定在地理和時間之中，把各項分攤給彼此的一方與把全部項都抱在一國之內的一方，差距就會隨時間拉大。因此，美國、阿聯和日韓臺應當比現在結合得更緊密。位元在美國，物理側在日韓臺，能源、大資本和決策速度在阿聯。三者已經在互相補足，但把它們連在一起的東西仍停留在單筆交易的層面。把三者置於同一個設計之下，五個項才第一次湊到一處。這樣做也使整合的單位從國家變成群聚。

有一樣東西可能鬆開海洋對這幅地圖的掌控：地球軌道上的運算。它勝過地面有兩個原因：陽光無遮擋地到達，並且不需要併網排隊。物理定律不構成障礙，起約束作用的工程限制是散熱。按今天的固體輻射器外推，為1 GW的運算散熱需要約10萬噸；據報導，液滴輻射器能以約2200噸排出同樣1 GW的熱量。⁴⁴ 10萬噸與2200噸之間的差距，決定的是專案可能還是不可能，成本倒在其次。目前進入軌道的最低成本掌握在美國技術陣營內部，所以這一轉移會加強該陣營，而不是威脅它。

10 投資什麼

投資對象與方程式的各項一一對應。方程式是乘積，所以資本在最低的那一項上作用最大。還有第二條檢驗標準：可以依靠的回報，只有那些不依賴人頭數的回報。

提高有效能源豐裕度

- ◎ 核融合與小型模組化反應爐（SMR）。勝負取決於同一設計能複製多少座，所以值得買的與其說是示範反應爐，不如說是在它之後重複同一設計的生產線和供應鏈。對能源價格的影響在2040年代到來，只有能等那麼久的資本才屬於這裡。
- ◎ 電網基礎設施與重型電氣設備。無論新增多少發電能力，新負荷接不上電網就什麼都動不了。可以買的有三樣：變壓器和開關設備的製造能力，輸電線路和變電所的建設能力，以及已經併網的土地。

提高勞動投入

- ◎ 物理AI。人形機器人與自動化工廠。單位成本已開始沿著萊特定律下降，可靠性的驗證卻在滯後，兩者各自推進。這裡沒有一件事能按軟體的時鐘來規劃。工廠、零組件、監管、事故和維修，全都按物理世界的時間運轉。
- ◎ 先進物理供應鏈。材料、半導體生產設備、微影、先進邏輯晶片、高速記憶體、工業機器人、精密馬達。量產開始時，最先告罄的將是製造這一層的能力，而非成品機器。這些層次挨得最近的地區是日韓臺，日韓臺又結構性地缺能源，所以對這一層的投資若不放在與核融合和電網同一個設計之內，價值就會打折，因為電力會成為它的約束。
- ◎ 面向鮑莫爾部門和住房的實地導入設計。住房、教育、托育和醫療。物理AI只有觸及這四個領域，才會對人口產生影響。製造機器，與設計

⁴⁴ 由作者依據史蒂芬·波茲曼定律重新計算，而非引自業界材料。國際太空站在接近422平方米的面積上排出70千瓦熱量；NASA將70千瓦作為設計能力給出，從未給出輻射面積，422這一數字來自下面引用的業界分析。液滴輻射器每公斤450瓦的數字即出自這份分析：SpaceComputer, “Cooling for Orbital Compute: A Landscape Analysis”。這一數值處在NASA自身對該概念所做設計研究的悲觀一端，這些研究把單位質量的散熱能力定在每公斤431至2,141瓦（Karl K. Knapp, *Lightweight Moving Radiators for Heat Rejection in Space*, NASA-CR-161943, 1981, Tables I and III）。

在醫院、學校、託兒所或住房生產的哪個環節使用它們，是兩種不同的投資，後者正是資本最稀薄的地方。

建設制度

- ◎ 分配制度。出生時開設的資本帳戶、公民持股型主權基金，以及自動化資本的全民份額。這是一個工程學的項，而不是倫理學的項：它決定一個群聚20年後是否仍在運轉。
- ◎ 併網與審查的速度。制度好壞，可以從辦手續要花多長時間讀出來。1840年代的英國同時具備兩樣東西：僅憑登記即可設立公司，以及一部把土地徵收程序標準化的法律。今天處在這個位置上的是併網排隊、環境影響評估和建築執照。程序可以按月縮短，變壓器的交貨期卻只能按年縮短。
- ◎ 測量使用價值的基礎設施。可以買的有三樣：記錄受益者感受到效益這一事實的技術，把這種記錄轉化為支付的契約機制，以及證明記錄未被偽造的機制。沒有它，分配和共創都沒有可以結算的單位。

方程式之外

- ◎ 技術陣營之外的基礎設施。從2035年起的半個世紀，人頭數主要在目前不屬於任何技術陣營的那部分世界成長。20世紀那種廉價勞動力吸引製造業的順序不會重演，所以這些人頭數不會自行轉化為購買力。為培育購買能力而投資和為銷售而投資是兩回事：向收入尚未到來的市場銷售，等於把銷售變成放貸。
- ◎ 軌道。能在高溫下運作的半導體，以及可以取代固體面板的某種輻射器形式，值得買入。這是核融合與電網的競爭者，同時也是它們的保險。

以上十項有一個共同的注意事項。這裡列出的回報，大多是因為約束尚未解除才存在的。已併網的土地之所以昂貴，是因為程序緩慢，審查和併網一旦加快，它就會貶值。地面能源基礎設施之所以昂貴，是因為軌道尚未打開，軌道一旦打開，使它昂貴的稀缺租金很快就會消失。

11 十一個預測，以及什麼會證明它們錯了

把預測寫下來還不夠。能讓我承認其中某一條錯了的東西，也必須以同樣的精度寫下來。這張表的存在，不是為了保護預測，而是為了確保錯誤的預測可以被扔掉，不必爭論。

預測	觀察到以下情形，預測即告失敗
I 能源	到2035年底，在任何一個主要經濟體中，都沒有出現過核電新增資本投資超過再生能源新增資本投資的年份

I'	核融合（2030年代向電網供電，2040年代成本達到現有電源水準）	到2040年底，沒有任何核融合電廠向商業電網持續供電；或者到2040年底，核融合的均化成本達到現有電源的水準
II	電網	到2035年，在有效工業電價、可靠性和併網前置時間上排名最前的地區，沒有被選為GW級新建算力與製造的選址
III	物理AI	到2032年底，沒有任何生產商達到年產1萬臺人形機器人
IV	中國出生數	2032年的年出生人口超過700萬
IV'	生育率反轉	在以現金移轉為主的國家，比在降低了能源和住房有效價格的國家更早觀察到顯著的反轉
V	勞動	在測得AI暴露度最高的職業中，青年就業相對其他年齡組的下降在2020年代後半期趨於平穩，此後不再擴大
V'	再訓練	某項大規模再訓練計畫使目標群體的就業率恢復到統計上顯著的程度
VI	政治	到2040年底，財富稅或70%的最高邊際稅率沒有出現在兩個或更多主要發達經濟體執政黨的政綱中
VI'	稅基的流動性	在實施財富稅或70%最高邊際稅率的國家，生效5年後，既沒有觀察到高額納稅人的淨流出，也沒有觀察到該稅種申報稅基相對於頂層財富獨立估計值的萎縮
VII	分配	到2040年底，出生時開設的資本帳戶、作為國民份額持有的基金、自動化資本的全民份額，三者中沒有一項在主要國家被制度化為主流政策
VIII	需求	到2040年底，主要國家的政策文件中，勞動力短缺仍排在需求短缺之前
IX	測量	到2040年底，沒有出現任何一個按使用價值的直接測量結算支付的商業案例
IX'	能源計價單位	到2040年底，在受監管市場之外，沒有任何商業合約直接以所消耗能源的單位或排放配額結算對價
X	價值創造的單位	到2040年底，軟體和AI企業的平均員工人數沒有下降
XI	群聚	到2040年底，德州和阿聯都不在GW級算力與製造的主要選址之列
XI'	軌道	到2032年底，沒有50千瓦規模的在軌示範
零	框架本身	在10年到30年的期間內，制度的品質被證明與資源稟賦系統性地同步變動。若是如此，方程式的第一項就不是獨立的項

其中一條被證偽時，骨架的哪一處會斷？能源的預測若失敗，時間表向後推移，但對約束的識別仍然成立。電網的預測若失敗，約束位於併網這一識別本身就錯了。中國出生數的預測若失敗，診斷所依據的最大案例就錯了。勞動的預測若失敗，任務與收入之間的斷裂，也就是要求所有權分配的那件事，就還沒有發生。分配的預測若失敗，本文稱為必要的那套設計就將被證明在政治上不可行。失敗後波及最廣的是中國出生數。最需要守住的是分配。這些預測中會有一些是錯的，而哪些失敗、如何失敗，所包含的資訊將多於那些成立的預測。

12 要建立的制度

我提議的是一個資源整合者：一個機構，把美國、阿聯和日韓臺各方分別持有的資本、技術、場地和許可核准匯入同一項事業；一個介於基金、工作室和企業聯盟之間的共創平臺。

作為創投基金，它募集資本並讓資本運轉起來。作為工作室，它逐個專案地指定要攻克的主題，整合聚集在該主題之下的各方資源，共創尚不存在的概念。作為企業聯盟，它把能源、算力和監管各方納入同一份合約。同時做這三件事的機構，就是本文所說的生態系統。

工作室這樣運作。它提出一個任何一方單獨都達不到的宏大願景，例如從頭到尾建成一座完全自動化的製造工廠。持有該願景所需各項技術的各方，為創造價值自發聚集起來，把各自的構想組合起來，構思、建造、運轉並測試一系列產品。成員隨專案更換。把不同學科的人放進同一間屋子一起做設計，這本身並不新鮮。這裡改變的是出口：它不停留在一個被提出的概念上，而是為它配上GW級的電力、算力和場地，把工作推進到實物落成。

資本從阿聯的主權基金起步，這些基金正致力於培育本國產業。資本流向位元側，即舊金山灣區、德州和波士華的基礎模型與AI基礎研究；也流向物理側，即日韓臺圍繞先進物理供應鏈和下一代核反應爐的各方。獲得投資的公司隨後選擇阿聯和德州作為物理實驗的場地，因為那裡能源便宜、場地可得、核准迅速，並且監理沙盒已經就位。阿聯和德州就是這樣躋身實體部署的主要地點之列的。

關於作者

你好，我是Arata Hoshino，一名常駐阿拉伯聯合大公國的策略與創業設計師。我在日本長大，但少年時代讀的是矽谷技術、長期主義、科技自由意志主義，以及巴克敏斯特·富勒（Buckminster Fuller）的思想。

我在早稻田大學取得機械與能源工程學士（BEng），在慶應義塾大學取得媒體設計碩士（MSc），研究方向為服務設計與創業設計，隨後在巴黎高等商學院（HEC Paris）和新加坡國立大學完成CEMS MIM（國際管理碩士）。之後，我在舊金山和新加坡從事創投與策略顧問。2024年至2026年，我在一家源自哈佛與OECD社群的公共政策與AI經濟顧問公司，為阿聯各部委提供經濟戰略建議。

這份簡報是《約束的彼岸》（*Far Side of the Constraint*）的精簡版。完整版承載全部論證及其背後的證據：9章、28幅圖、120多頁，圍繞一個基本問題，即什麼決定了一個文明實際上能建造多少。它論證這個答案在過去50年裡幾乎不為人察覺地改變了，並沿著能源、人口、價值、產業群聚和投資追蹤其後果。它是為想自己檢驗推理的讀者寫的：研究者、政策的設計者、深度科技創業者，以及在長時間跨度上建造、治理和配置資本的投資者。讀完它需要幾個晚上，結尾說明了什麼會證偽這個假說，以及它不聲稱證明什麼。如果你想讀一讀，或者想與它爭論，請聯絡我。

完整版、由它衍生的隨筆，以及解說它的註記，都彙集在 aratahoshino.com。你可以透過電子郵件、LinkedIn或X聯絡我。每個專案的範圍見我的作品集（PDF），我的立場見我的願景文件（PDF）。

我們見面聊聊吧。

© 2026 Arata Hoshino. 本文以創用CC姓名標示4.0國際授權條款（CC BY 4.0）發布。只要註明作者和來源，歡迎自由引用、翻譯、摘錄和再分發，包括用於商業目的。引用格式：Arata Hoshino, *An Investment Thesis for the Economy Beyond Constraint* (2026). 本文不是學術論文那種意義上的嚴格證明；除另有說明外，文中的數字、來源和計畫均截至2026年9月。