去碳化社會

從低碳到脫碳，
尋求乾淨能源打造綠色永續環境

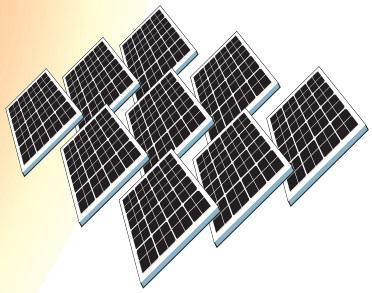


InfoVisual研究所／著
童小芳／譯

目錄

去碳化社會

從低碳到脫碳，尋求乾淨能源 打造綠色永續環境



前言
人類一直以來都是藉由
燃燒碳來達成自身的進化 …… 4

Part 1 為什麼要以去碳化社會為目標？

1 化石能源造就了人類的產業發展 …… 8
2 燃燒化石燃料的產業持續擾亂地球的碳循環 …… 10
3 CO_2增加所造成的溫室效應如何導致地球暖化 …… 12
4 氣溫上升為起因，已經引發氣候變遷 …… 14
5 氣溫今後還會上升多少？這取決於人類的努力 …… 16
6 從敲響地球暖化的警鐘到達成《巴黎協定》的過程 …… 18
7 聯合國永續發展目標（SDGs）力求發展乾淨的能源 …… 20
8 為了實現 1.5°C的目標，世界各國提出了哪些目標與課題？ …22
9 為了在 2050 年前實現淨零排放，日本必須執行的事項 …… 24

Part 2 人類能源轉換的發展史

1 人類透過火的運用而獲得熱能與光能 …… 26
2 人類持續燃燒動植物的油與木材以確保源源不絕的火 …… 28
3 英國工業革命的前夜，因煤炭而解救了木材短缺的窘境 …30
4 蒸汽機與煉鐵技術的革新促進了工業革命與能源轉換 …… 32
5 自從人類得知電的存在後，耗費 2400 年才成功發電 …… 34
6 發電與電動力的結合開啟了電能時代 …… 36
7 石油這個全新的能源在短短 100 年內席捲各產業 …… 38
8 內燃機出現後，依賴石油的汽車社會來臨 …… 40

本出版物之內容未經聯合國審校，並不反映聯合國或其官員、會員國的觀點。

聯合國永續發展目標網站：
https://www.un.org/sustainabledevelopment/





Part 3 邁向去碳化的對策

1 為了實現去碳化社會，全世界應該執行的事項 …… 42

2 全球的電力仍有 6 成以上是產自化石燃料 …… 44

3 最具優勢的可再生能源「太陽能發電」的基礎知識 …… 46

4 中國製造商在急速擴張的太陽能市場上有飛躍性的發展 … 48

5 利用風車來產生電力的風力發電今後有望在海上運用 …… 50

6 有 6000 年風力使用史做後盾的風力發電未來將會如何？ …… 52

7 水力發電佔了再生能源的 6 成，中小型水力發電今後值得期待 … 54

8 可利用龐大的海洋能源而備受期待的潮汐與波浪能發電 … 56

9 火山地區的優勢新能源，利用地底熱能的地熱發電 …… 58

10 再生能源的終極王牌「氫能」是利用水所產生的氫氣來發電 … 60

11 為了實現氫能社會，目前有哪些課題與解決之策？ … 62

12 從引擎到電池，汽車的去碳化將改變產業結構 …… 64

13 到 2050 年為止，汽車與飛機的去碳化將進展到什麼程度？ …… 66

14 佔日本 CO_2 排放量 25% 的產業部門如何實現去碳化？ …… 68

15 我們在生活中能做到的去碳化行動便是減少塑膠垃圾 …… 70

16 日本可以對世界有所貢獻的去碳化技術：以人工光合作用將 CO_2 轉化為資源 … 72



Part 4 去碳化社會的生活方式

1 要實現去碳化，就必須改變現在的經濟體系 …… 74

2 「穩態經濟」這種經濟體系意味著不成長也能享有富裕 …… 76

3 如果要以永續的經濟為目標，已開發國家更需要實現穩態經濟 … 78

4 為了實現去碳化社會，應將社會共有資本排除在市場之外 … 80

5 去碳化社會的能源將從單極集中型轉為分散型 …… 82

6 日本「農協」所具備的去碳化社區之潛能 …… 84

7 「地產地銷」的經濟可孕育出富足的社會 …… 86

8 去碳化社會的生活新常識：凡事皆可從現在開始做起 …… 88

結語
即將來臨的去碳化社會不需要核能發電 …… 90

參考文獻・參考網站 …… 91

索　引 …… 92

前言

人類一直以來都是藉由燃燒碳來達成自身的進化

世界各國如今正以「去碳化社會」為目標，試圖大幅轉換方向。所謂的去碳化社會，是指一個不排放二氧化碳（CO_2）的社會。

我們現在的生活是建立在使用燃燒煤炭或石油所獲得的能源上。這麼做的後果就是燃燒時排出的CO_2過度增加，致使地球暖化而引發氣候變遷。因此，為了阻止地球再

據說人類的祖先因為用火來烹煮食物而讓大腦有所成長



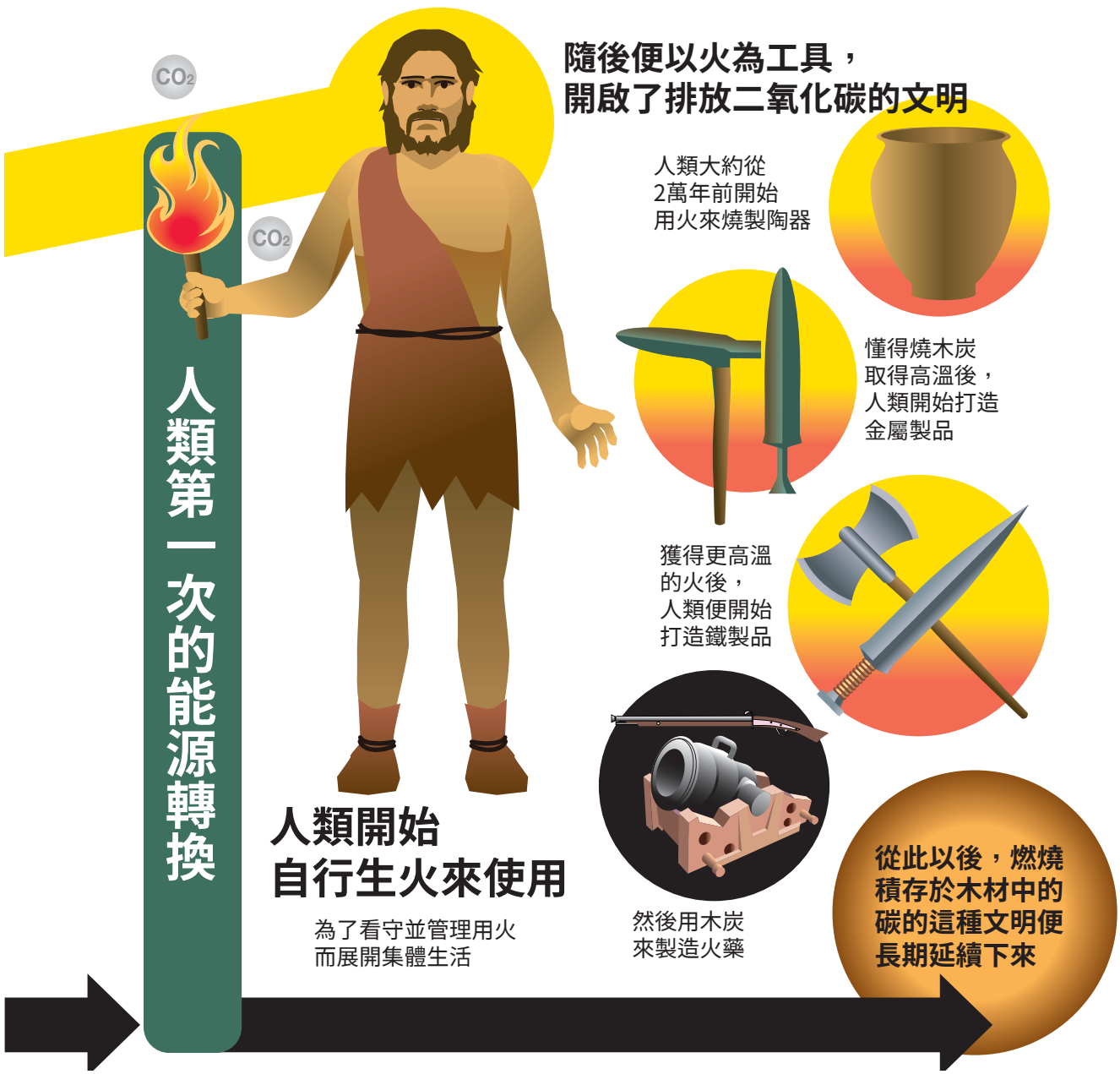
進一步暖化，世界各國經協調後所做出的決斷便是去碳化。

人類透過燃燒東西來獲取能量，並藉此完成了一場卓越的進化。所謂的能量，是指用來做某些事的力量來源。生物自己體內就存有能量。人類也有很長一段時間僅憑自身的能量，也就是靠人力來生活。

然而，自從懂得用火以後，唯獨人類獲得了熱能與光能。學會透過加熱來烹煮食物，並得以有效攝取營養後，人類的大腦便愈來愈發達。

最終，人類利用火來燒製陶器並創建文明，還發展出透過高熱來加工青銅與鐵的技術。

從人力能量轉為火力能量，這就是人類最初的能源轉換。



從古文明時代到17世紀為止，人類一直伐木燒柴，將其轉換為熱能與光能來利用。

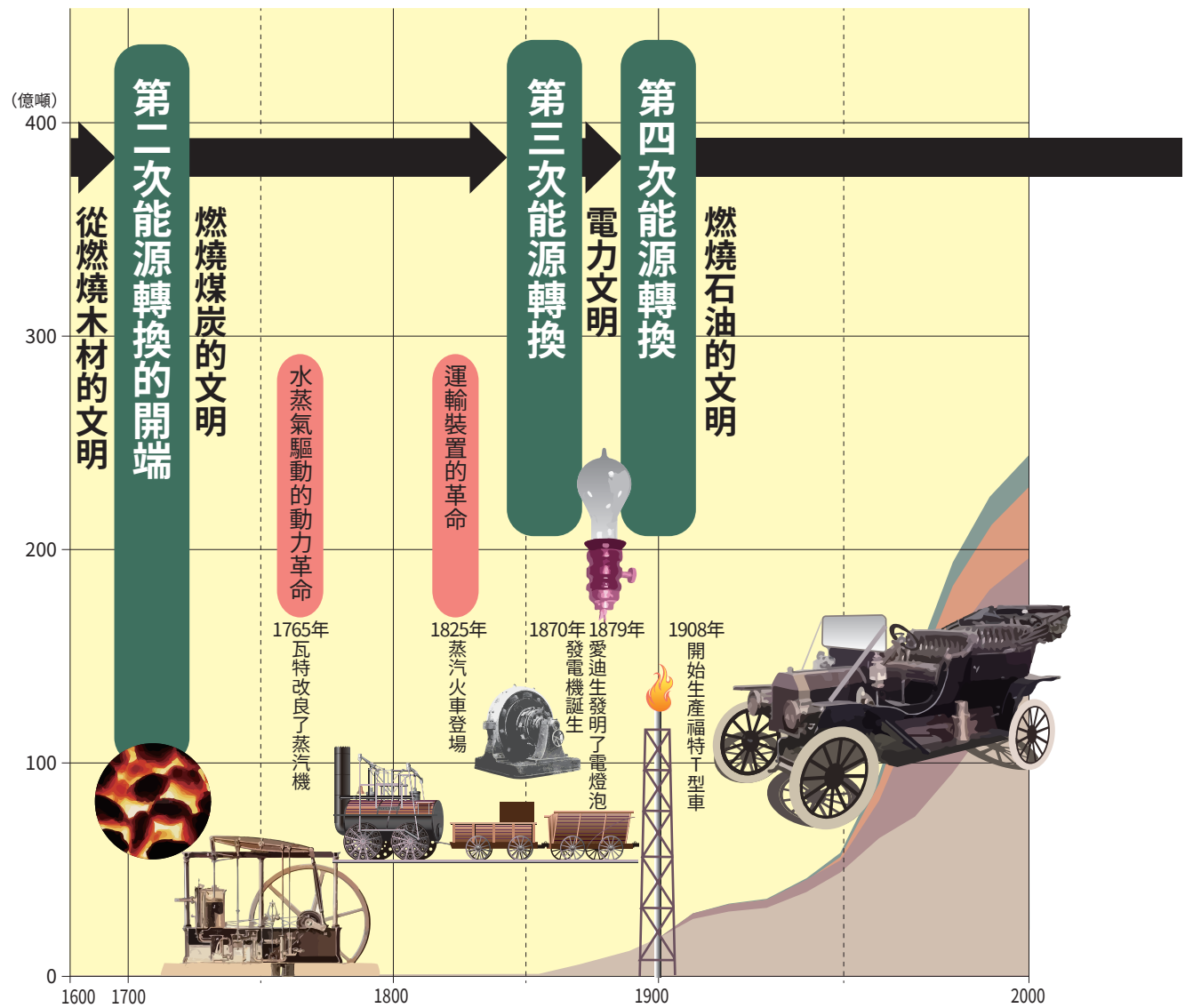
與此同時，人類還逐漸獲得人力以外的動力（移動物品的力量）。一開始是牛與馬等畜力，最後更學會了利用風力與水力。

歷經運用這些自然能源的漫長時期後，在18世紀的英國發生了第二次能源轉換。可將蒸氣的熱能轉換成動力的蒸汽機登場，並開始使用煤炭作為燃料。當時的歐洲因為森林採伐而導致樹木短缺，英國則因能開採到豐富的煤炭而成為工業革命的中心，蓬勃發展了起來。

第三次能源轉換發生在19世紀後半葉，為持續至今的電能之開端。電力被廣泛用於動力、照明與通訊等用途，而要產生電力就不能少了發電廠。

進入20世紀以後，石油成為主要的能量來源，人類進一步迎來第四次能源轉換。各種產業憑藉著燃燒大量廉價取得的石油而

人類經常燃燒碳並持續排放出CO_2，

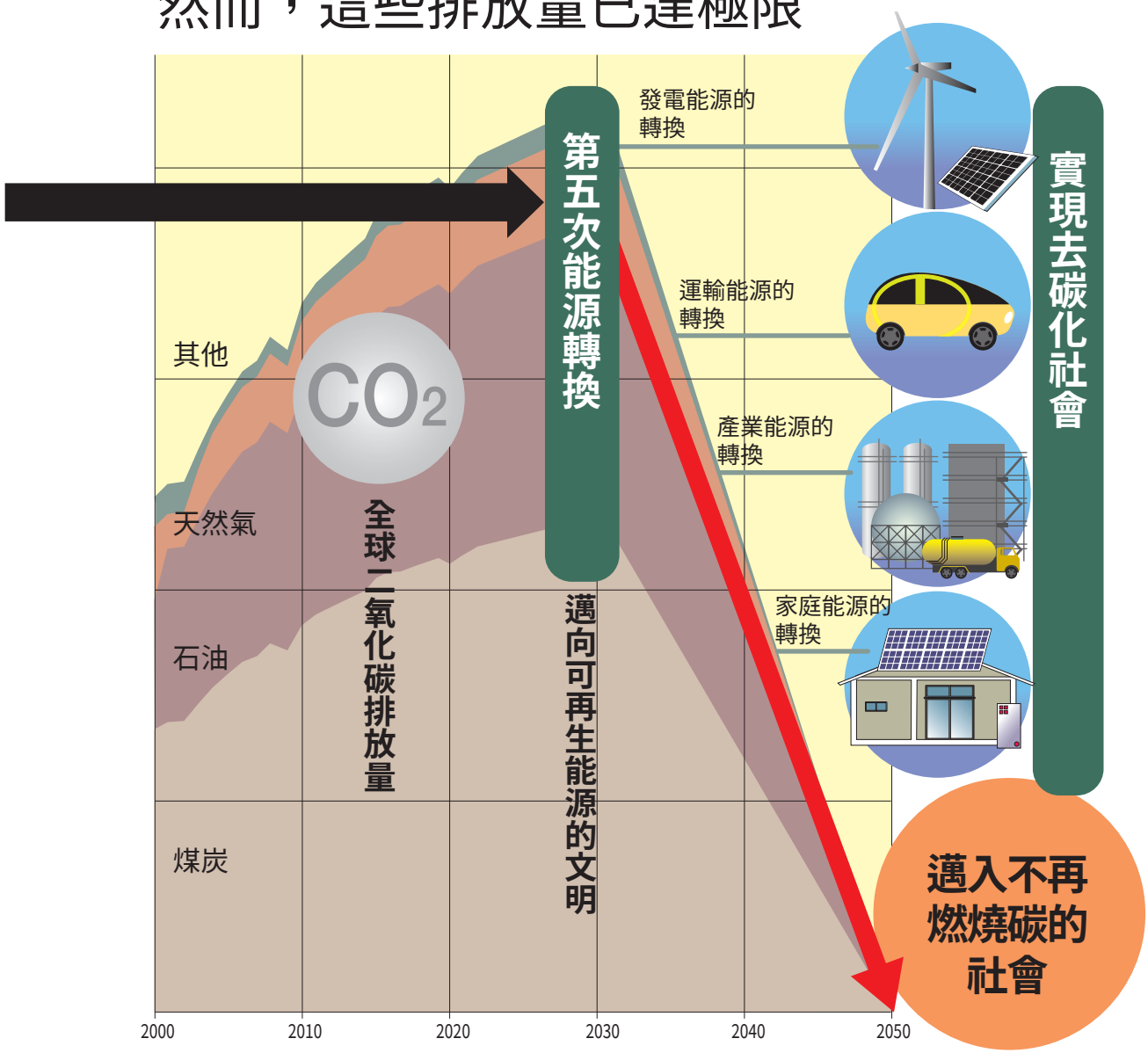


得以發展，能源的消耗持續增加。

其結果如下方圖表所示，可以看出來，自從人類開始大量燃燒煤炭與石油等化石燃料後，大氣中的CO_2便不斷急速增加。19世紀末，首度有人指出CO_2增加會導致地球暖化，但是人類無視這一點，仍繼續排放CO_2。

時至今日，世界各國終於嚴肅看待這樣的情況，並以第五次能源轉換為目標，力圖從會排放CO_2且總有一天會耗盡的化石能源，轉換成永續的可再生能源。實現去碳化社會已經是無可避免的選擇。

然而，這些排放量已達極限



Part 1

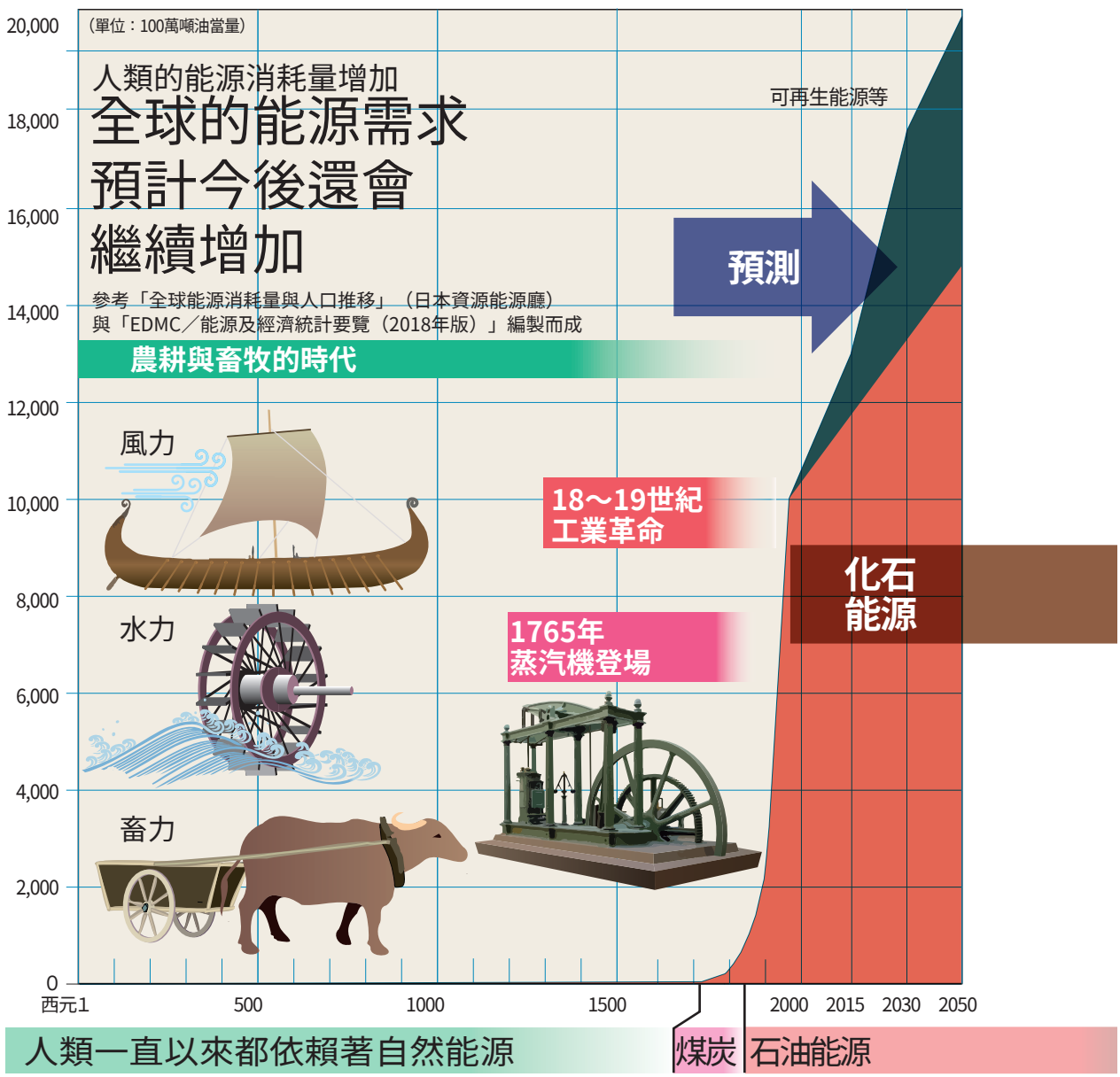
為什麼要以去碳化社會為目標？

①

化石能源造就了人類的產業發展

依賴煤炭與石油的生活

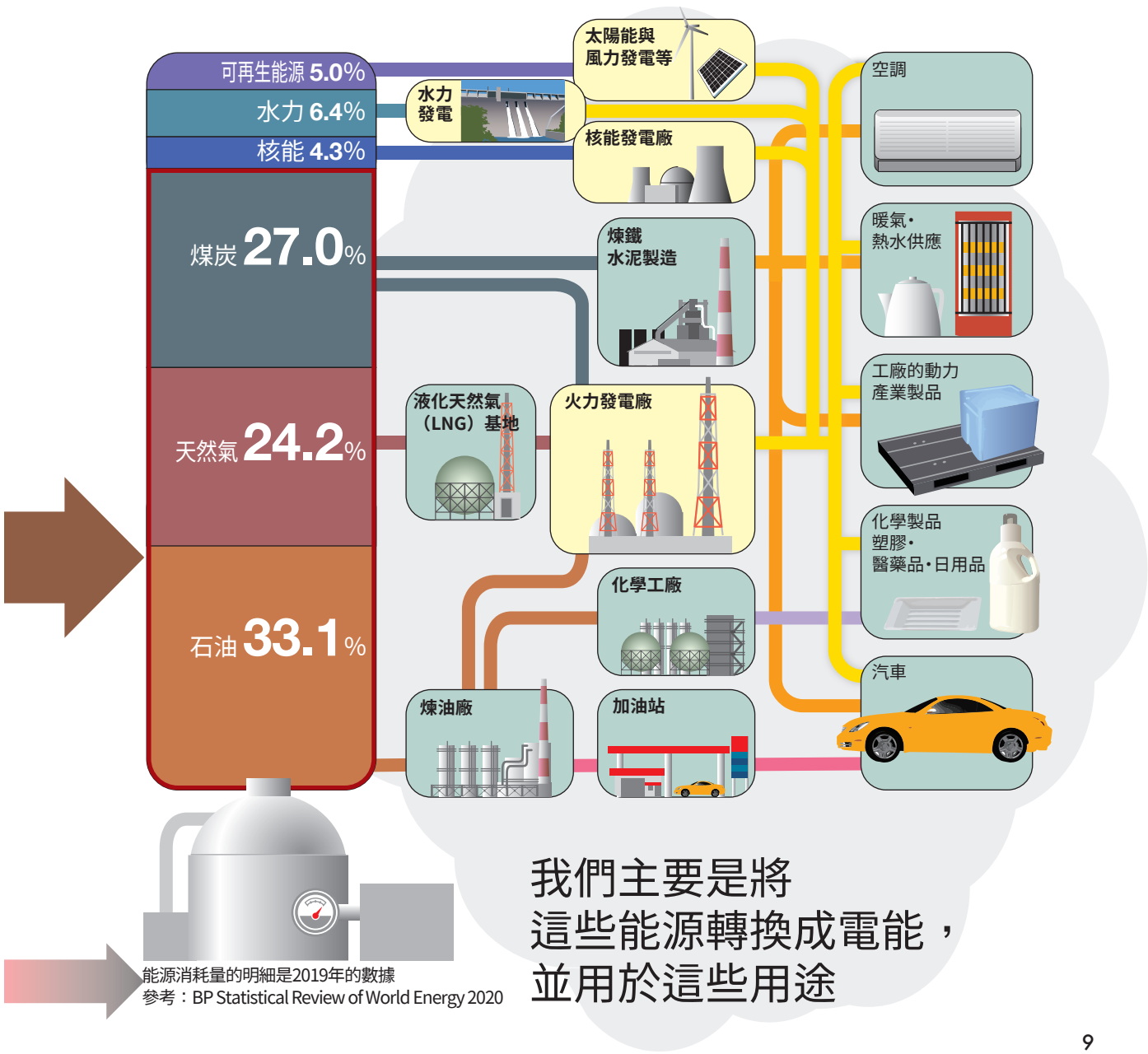
自18世紀後半葉開啟工業革命以來，人類便開始利用化石能源。所謂的化石能



源，是指透過燃燒煤炭、石油、天然氣等化石燃料所獲得的能源。

化石燃料則是上古時期的動植物遺骸所形成的化石。相較於人類自古以來利用的自然能源，化石燃料有易於搬運、儲存，並且能夠提取大量能量的優點，因而可以在工廠中大量生產或大規模發電，促進了產業的現代化。

產業的發展催生出更多能源的需求，化石燃料的消耗量持續地增加。如下方圖表所示，2019年的全球能源消耗量中，化石燃料一共占了84.3%，分別是石油33.1%、煤炭27%、天然氣24.2%，用於重工業、化學工業與汽車工業等多種產業。化石能源如今已是我們生活中不可欠缺的一部分，但現在也引發了全球性規模的問題。



能源消耗量的明細是2019年的數據
參考：BP Statistical Review of World Energy 2020



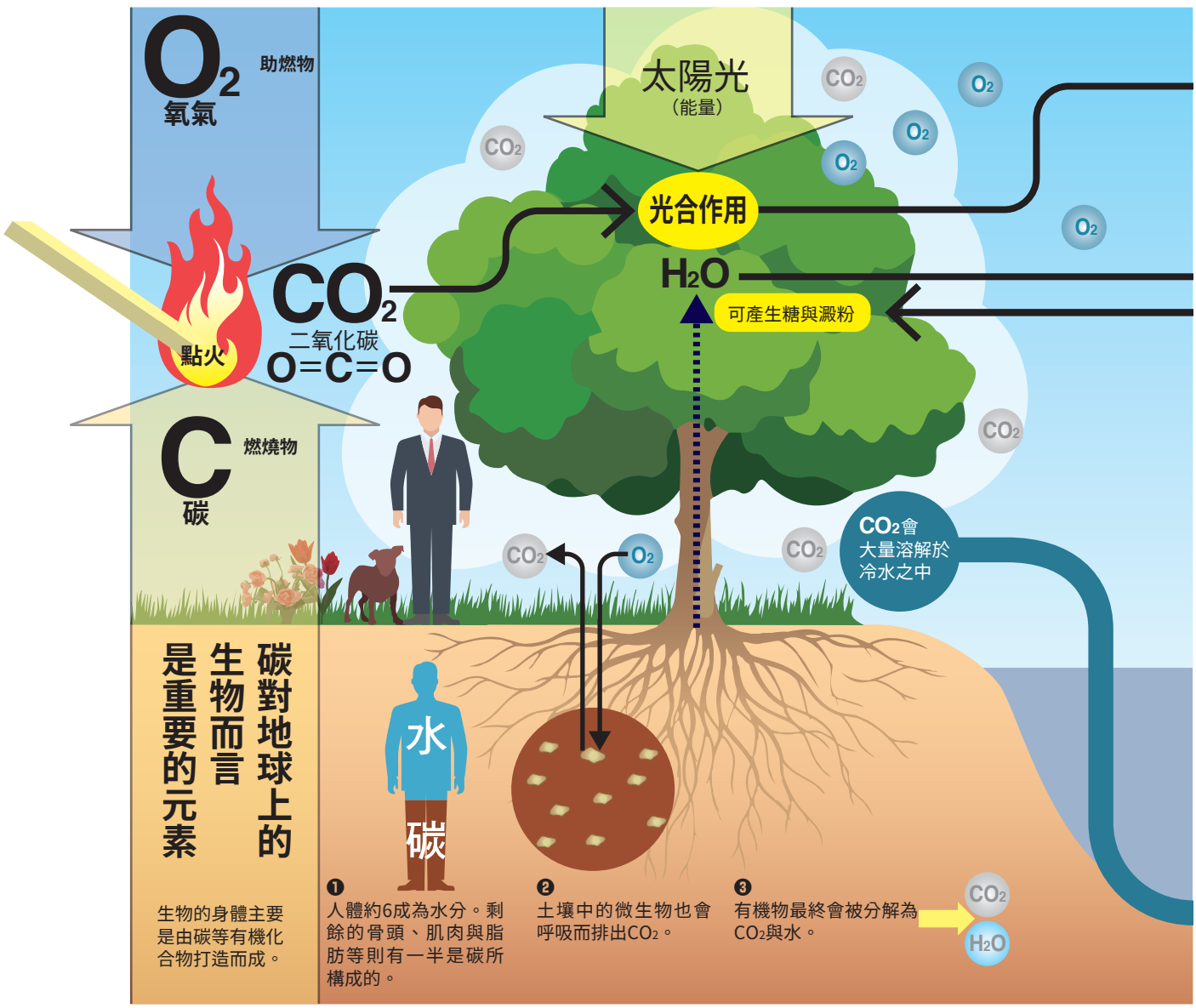
燃燒化石燃料的產業 持續擾亂地球的碳循環

超出碳循環的 CO_2

人類一直以來都是藉由燃燒東西來獲得能量。東西要燒起來，就需要可助燃的氧氣，以及用來點火的熱能。人類自從會用火後，便不斷燃燒木材、植物的油、煤炭與石油等。這些樣樣都含有碳，一經燃燒就會有1個碳原子與2個氧原子結合，進而排放出二氧化碳（CO_2）。

碳有一項特色便是會與各種原子結合，打造出糖、澱粉與蛋白質等維持生命所需的碳化合物，而大氣中的CO_2便是這些碳化合物的起點。

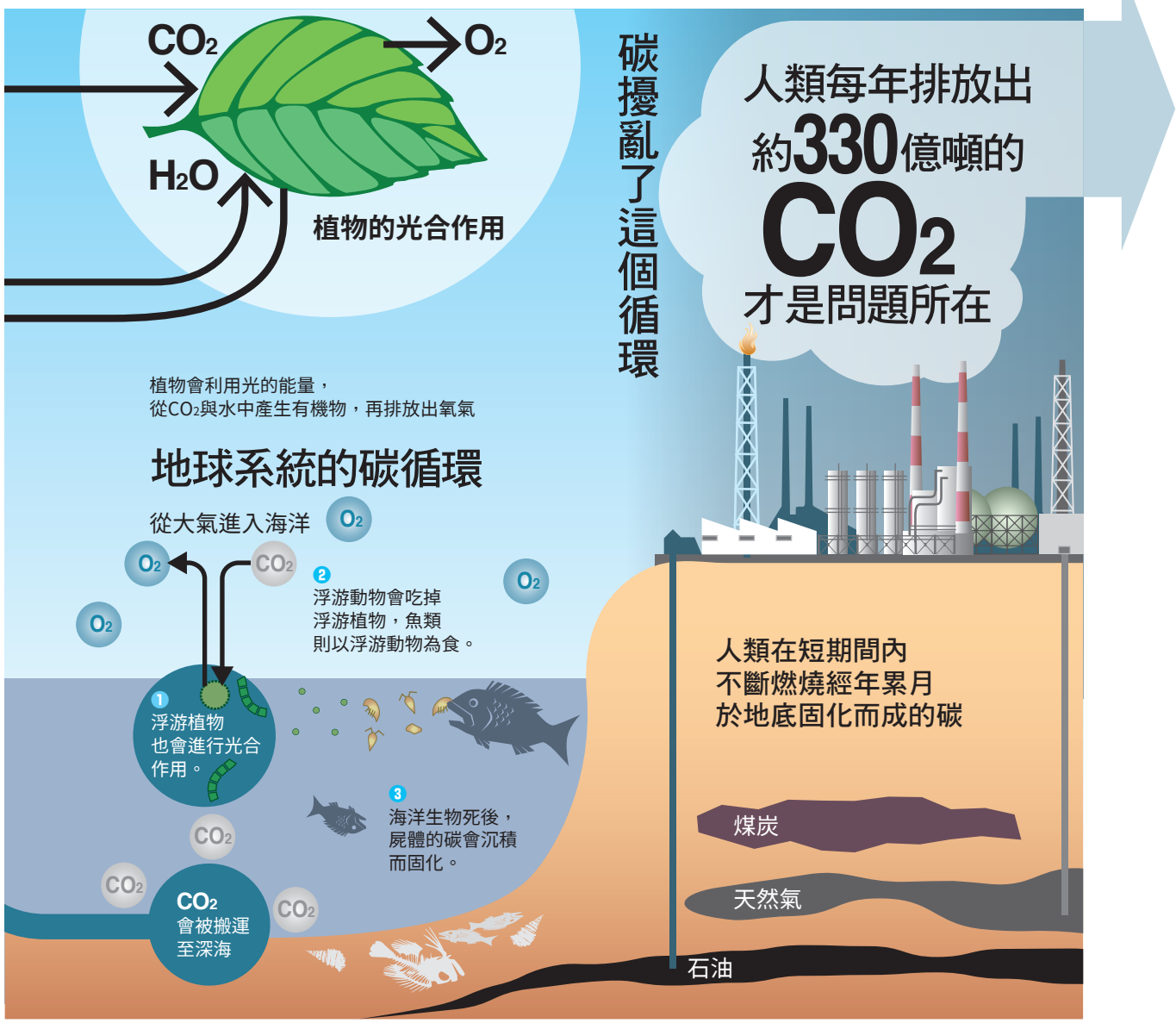
首先，植物會從大氣中吸收CO_2，再透



過光合作用轉化為澱粉等養分，並在這個過程中吐出氧氣；動物會吸入這些氧氣，並食用植物來攝取由碳轉換而成的養分，再經由呼吸吐出CO_2。無論是動物還是植物，壽終正寢後都會遭微生物分解，化為CO_2返回大氣之中。

大氣中的CO_2也會融入海中，維繫著海洋生物的生命。CO_2隨著冰冷海水沉入深海之中，封存於海底達數千年之久，最後又會逐漸從海面返回大氣之中。

碳便是像這樣在地球上持續循環，藉此讓從大氣中吸收的CO_2量與釋放出的CO_2量大致維持平衡。然而，自從人類開始燃燒化石燃料以來，CO_2便急速增加而破壞了平衡。大氣中的CO_2濃度在2019年達到約410ppm，相較於工業革命前的278ppm，增加了將近1.5倍。



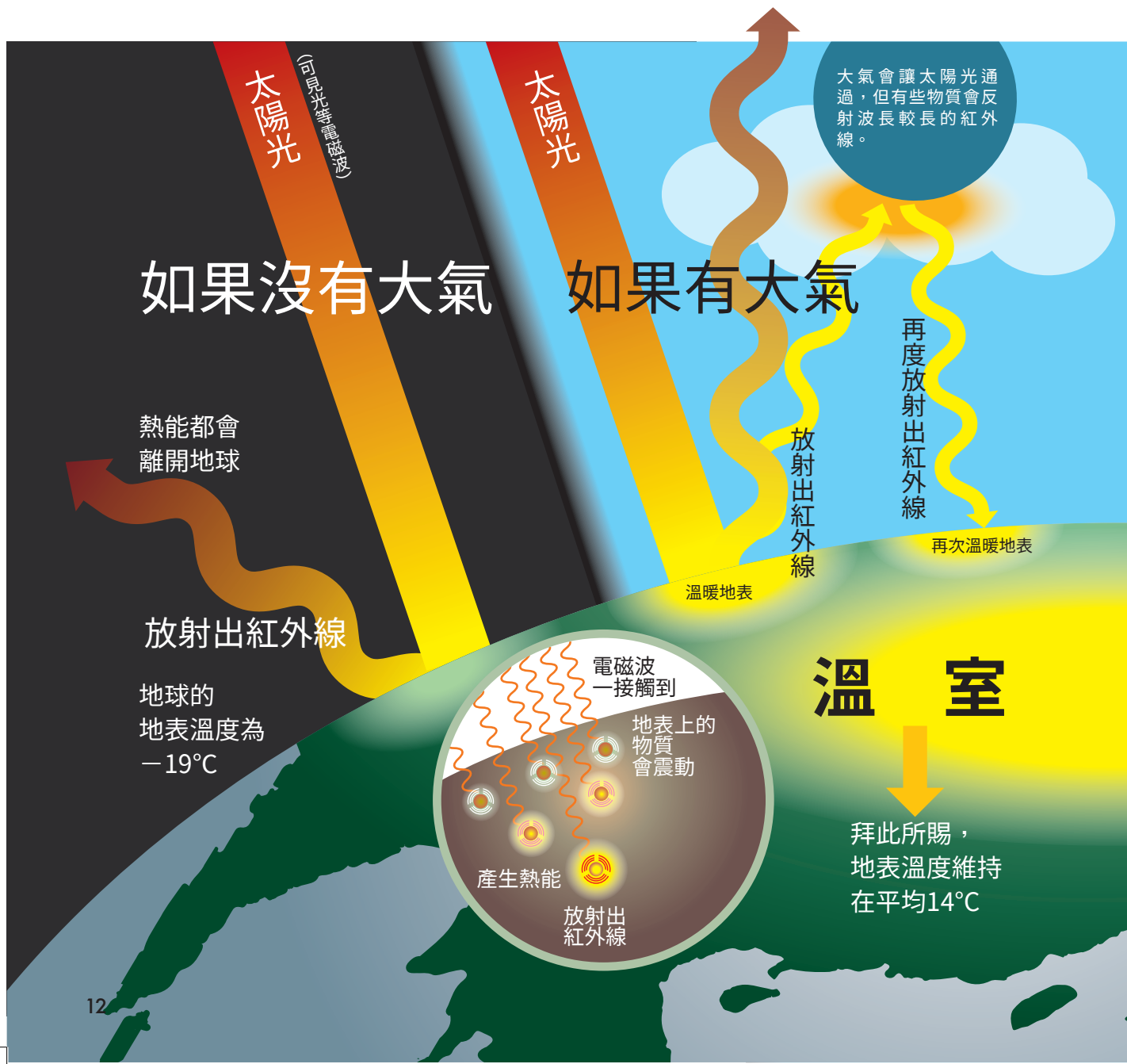


CO_2增加所造成的溫室效應 如何導致地球暖化

氣溫在 100 年內上升了 0.74℃

因為大氣中的CO_2增加，隨之而來引起的便是地球暖化。

地球自46億年前誕生以來，便一直週期性地反覆暖化與寒化。過去所發生的氣溫變化是緩和的，經過5000年上升4～7℃，相當於每100年才上升0.08～0.14℃。然而，在1906～2005年的100年間卻上升了0.74℃，若要認定是自然造成的，未免過於急遽。因此，一般認為這種急遽的變化極有可能是人類的活動所引起的。

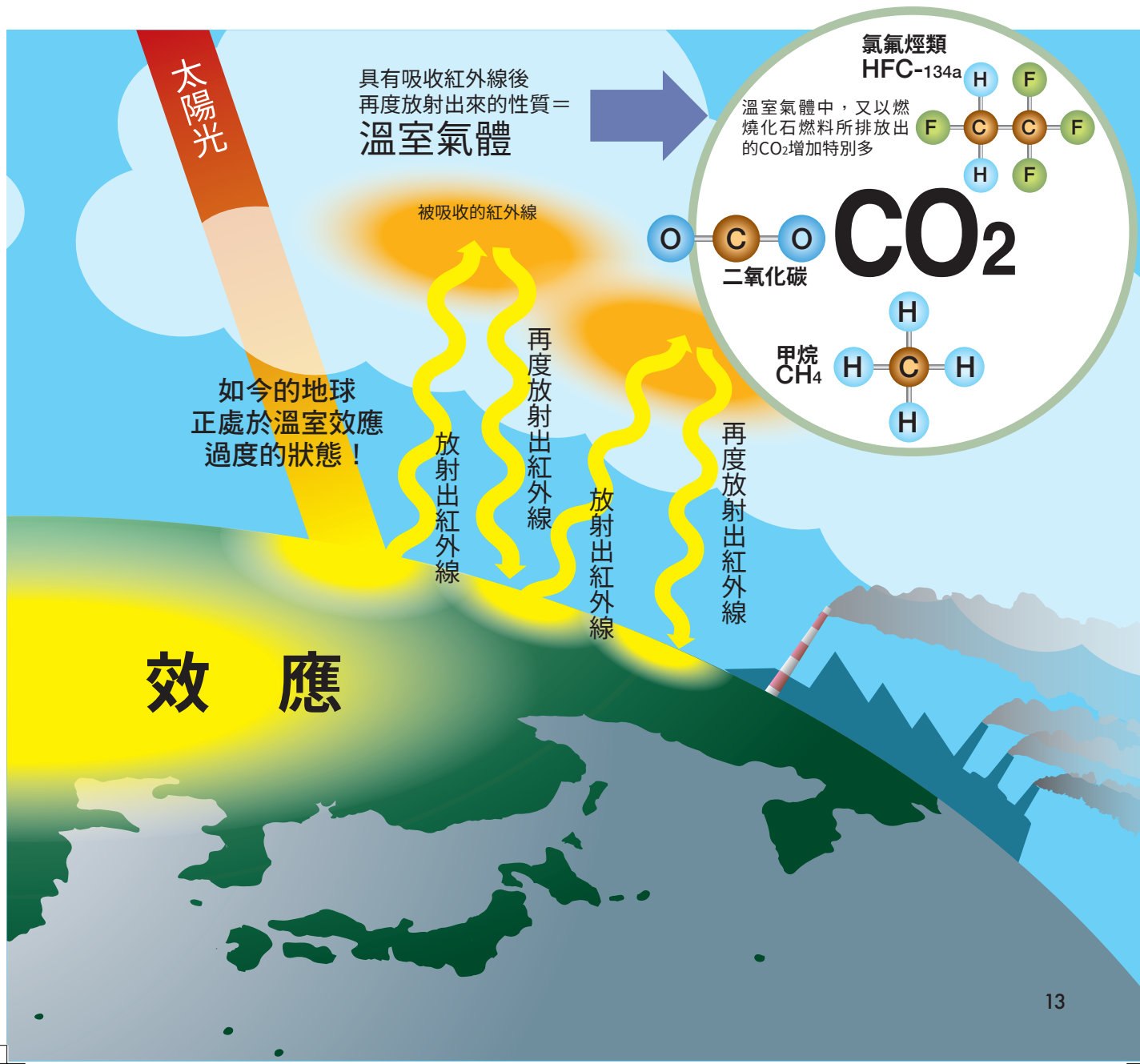


溫室氣體導致地球變暖

地球的溫暖源自於太陽。來自太陽的光溫暖了地表，而變暖的地表則會放射出紅外線。如果只靠這些光，進入的熱能會經由反射回到宇宙中，地表溫度就會只有-19℃左右。然而，實際上地表的平均氣溫約為14℃。

這樣的溫差是地球大氣中所挾帶的CO_2、甲烷、氯氟烴類與水蒸氣等「溫室氣體」所造成的。氮與氧是大氣的主要成分，會讓太陽光與紅外線長驅直入，不過溫室氣體會吸收波長較長的紅外線，並再度放射回地表。因此，地球會如同溫室般適度地升溫，維持適合生物棲息的環境。

然而，由於人類的產業活動開始大量排放出CO_2等溫室氣體，提高了溫室效果，導致氣溫不斷上升。



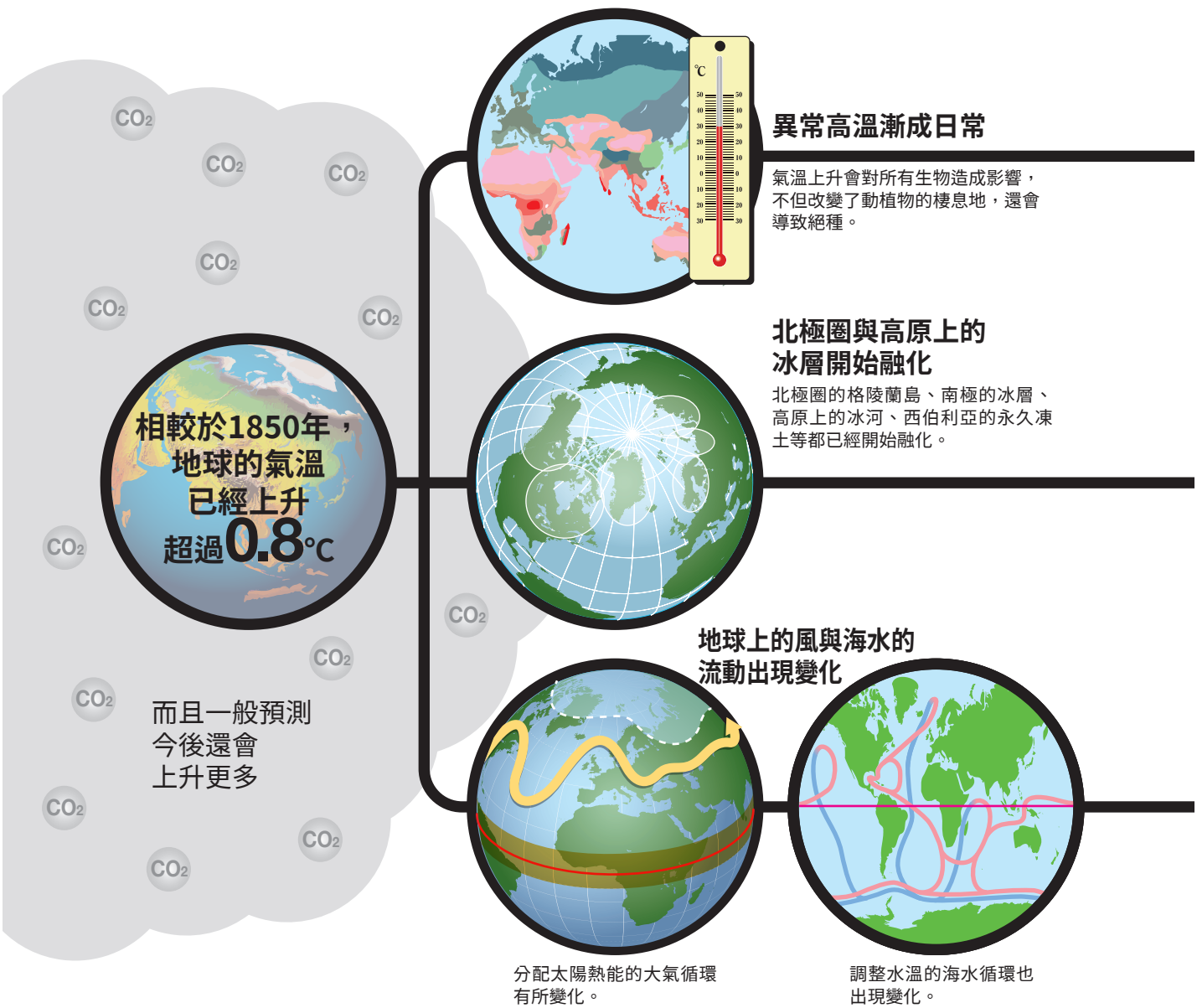


氣溫上升爲起因，已經引發氣候變遷

温暖化的多米諾骨牌效應

地球的氣溫上升引發了什麼樣的事態呢？將其簡化後便如下圖所示。氣溫上升會如多米諾骨牌般產生連鎖反應，引發各種現象。

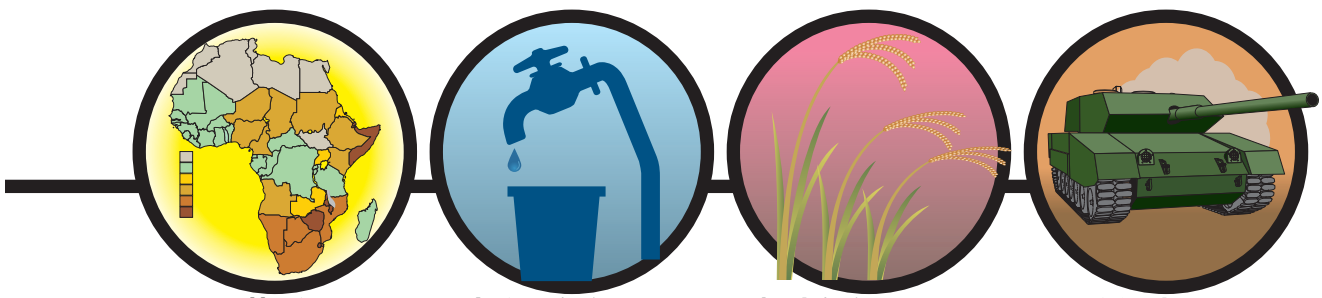
最淺顯易懂的例子，便是北極圈或南極的冰層與高原上的冰河等地面上的冰開始融化。融化的冰會流入大海，導致海平面上升。比方說，據估算，如果北極圈的格陵蘭島冰層全部融化的話，海平面將會上升約7m之多。海平面一旦上升，小型島嶼與低地就會淹水或沒入水中，失去家園的人們便會淪為「氣候難民」而流離失所。



以更切身的例子來說，日本近年來因巨大颱風與豪雨所造成的損害持續增加。其中一個原因便是暖化導致海水溫度上升，而使大氣中的水蒸氣增加了。暖化的影響遍及世界各地，幾乎每年都引發乾旱、熱浪、森林火災與洪水等災害。在1998年至2017年的20年間，這類因氣候災害所引起的經濟損失已經超過200兆日圓，威脅著全球經濟。

氣候變遷的影響甚至還波及到地球上的所有生物，擾亂了生態系統。動植物的棲息地已經開始往更高緯度的地區移動，而無法適應氣候變化的物種則瀕臨絕種的危機。

目前這些變化都是緩慢發生的，但已經敲響了警鐘：一旦地球系統的負載超出臨界點，就會發生無法逆轉的急遽變化。



乾旱蔓延
非洲與美國中西部等乾燥地區愈來愈乾燥。

水資源短缺
因為河川乾涸、地下水枯竭等而引發缺水危機。

糧食短缺
糧食產量減少，飢餓人口增加。

引發衝突
國家或地區之間為了水或糧食而發生衝突。

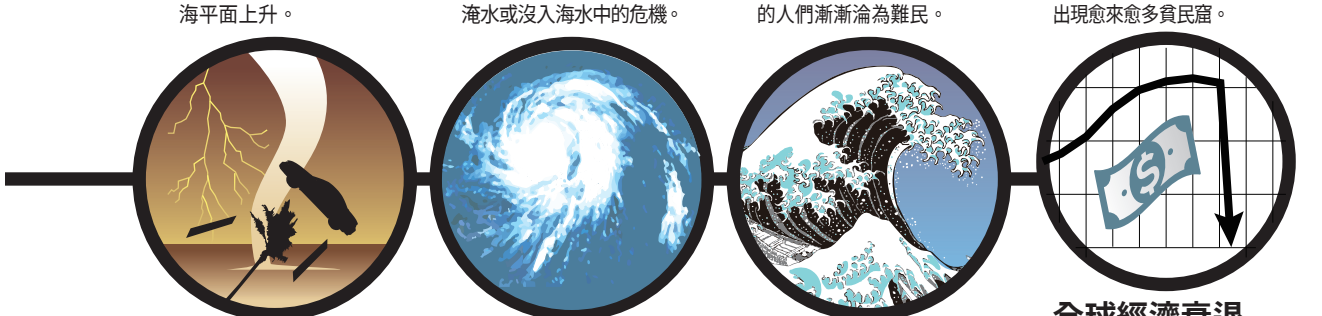


海平面上升
融化的冰流入大海，導致海平面上升。

陸地消失
小型島嶼與沿岸地區面臨淹水或沒入海水中的危機。

氣候難民於焉而生
因為氣候變遷而失去居所的人們漸漸淪為難民。

愈來愈多貧民窟
由於氣候難民的湧入，都市出現愈來愈多貧民窟。



異常氣象漸成常態
大氣與水循環混亂導致異常氣象頻發。

颱風與颶風日漸增強
大型颱風與颶風、豪雨與洪水肆虐各地。

水災頻仍
自然災害導致災情頻傳，還催生出氣候難民。

全球經濟衰退
因應氣候變遷的費用與自然災害所造成的損失都相當可觀。

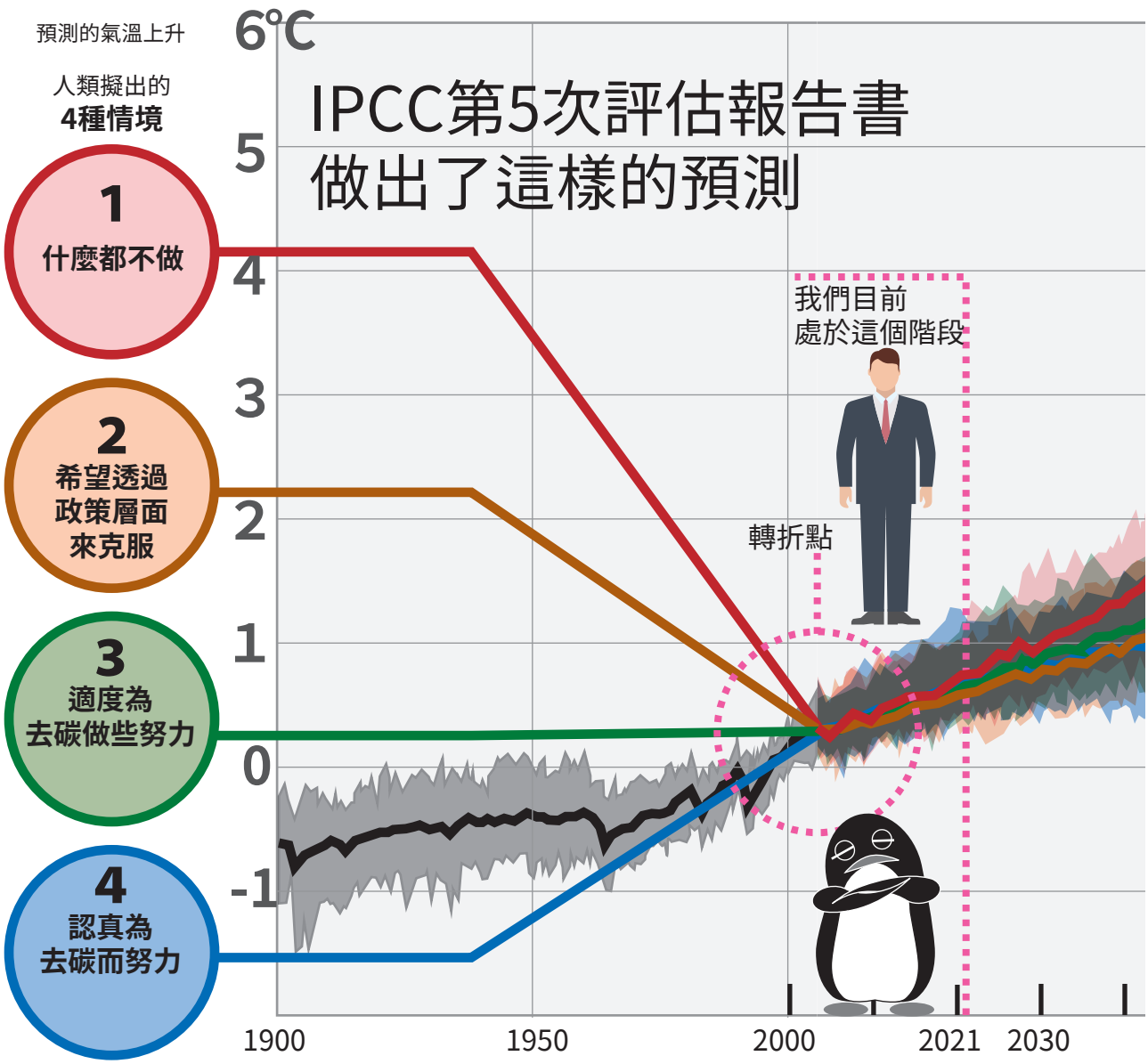


氣溫今後還會上升多少？這取決於人類的努力

預測未來氣候的 4 種情境

IPCC（政府間氣候變遷專門委員會）是一個跨政府組織，以科學的角度分析氣候變遷，並表示地球暖化極有可能是人類的活動所引起的。IPCC會以世界各地科學家的見解為基礎，彙整氣候變遷所造成的影響與未來預測，並定期發表一份評估報告書。這份功績備受肯定，並於2007年獲得諾貝爾和平獎。

在2013年公布的IPCC第5次評估報告書中，依循了4種情境來預測因人類所排出的CO_2等溫室氣體在大氣中的濃度，氣溫會因此而產生多大的變化。將其簡化後，便如

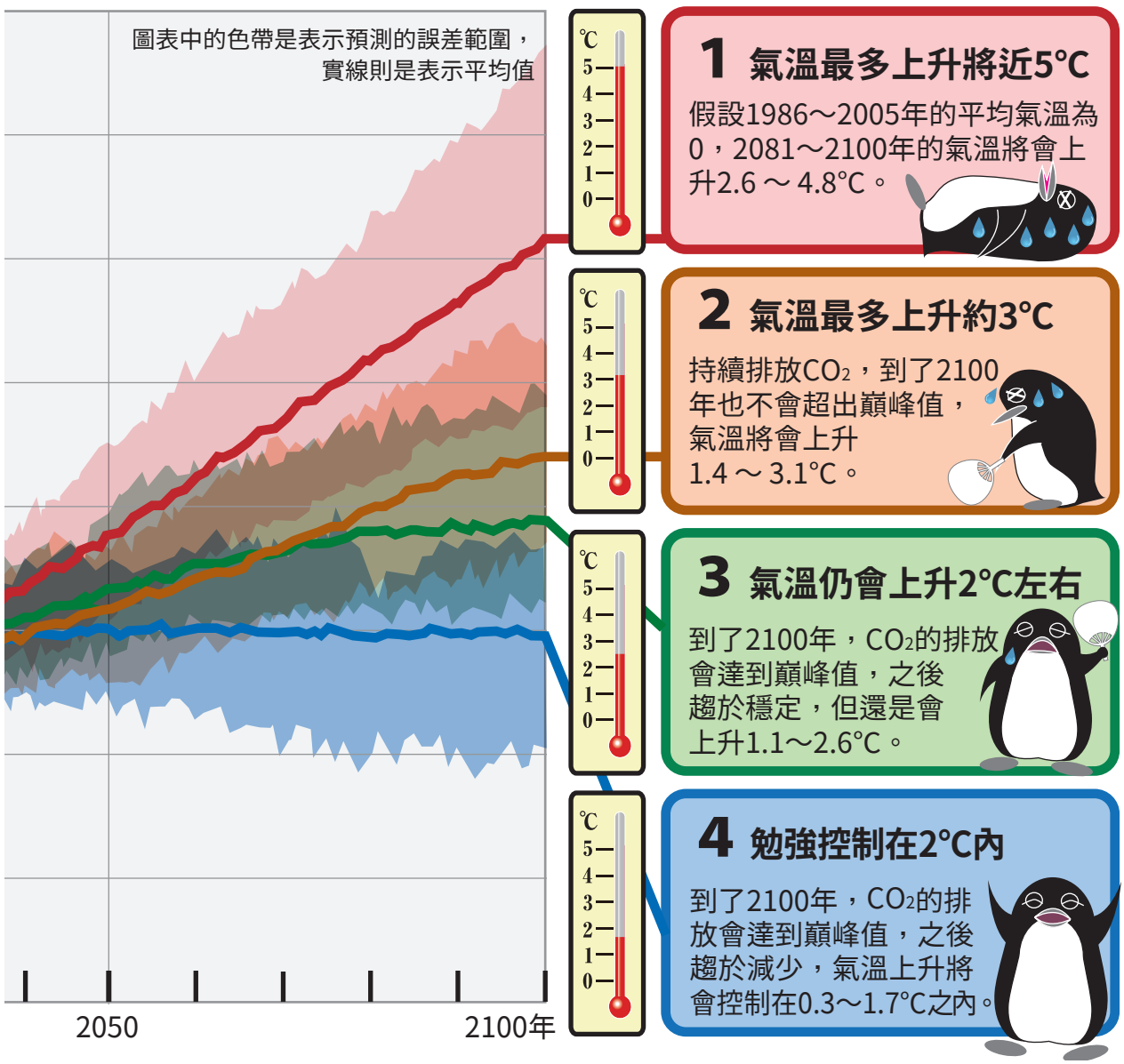


下方圖表所示。

若什麼都不做，氣溫會上升近 5℃ !?

在預設繼續這樣排放溫室氣體的情境1中，得出一個很高的預測值：截至這個世紀末為止，氣溫將會上升2.6～4.8℃。另一方面，在將溫室氣體的排放量抑制到最低的情境4中，估計可將氣溫上升控制在0.3～1.7℃。換言之，地球未來的氣候取決於人類的努力。

這份圖表是假設1986年～2005年的平均氣溫為0，可看出從工業革命發生的18世紀後半葉到基準年為止，氣溫已經上升了約0.6℃。考慮到這些，如果要將今後的氣溫上升控制在最低限度，全世界都必須努力抑制CO_2的排放。下一頁就讓我們來追溯一下，世界各國為了因應氣候變遷而團結一致的過程吧！



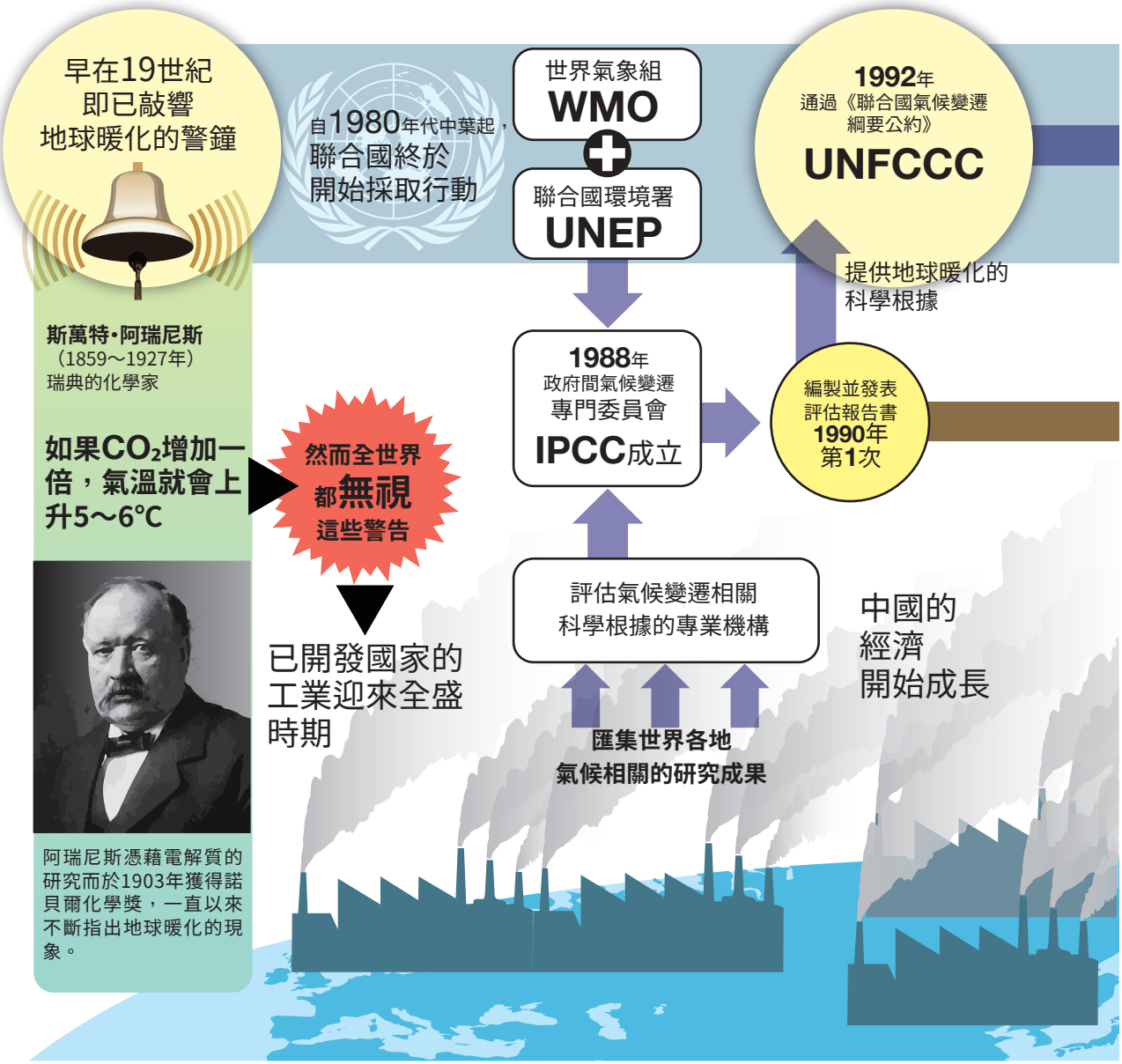
Part 1
為什麼要以去碳化社會為目標？
6

從敲響地球暖化的警鐘到達成《巴黎協定》的過程

在聯合國的主導下，致力於減少 CO_2

世上第一個指出CO_2與地球暖化之間有所關聯的，便是19世紀末的瑞典化學家阿瑞尼斯。他提出了警告，大量消耗化石燃料將會增加大氣中的CO_2。

然而，他所提出的理論長期以來都未受到正視，一直到1980年代之後，地球暖化才列入聯合國的議題。1988年成立了IPCC，並因其發表的評估報告書而於1992年通過了以減少溫室氣體為目標的《聯合國氣候變遷綱要公約》；1997年，在日本京都召開的會議中簽署了《京都議定書》，這

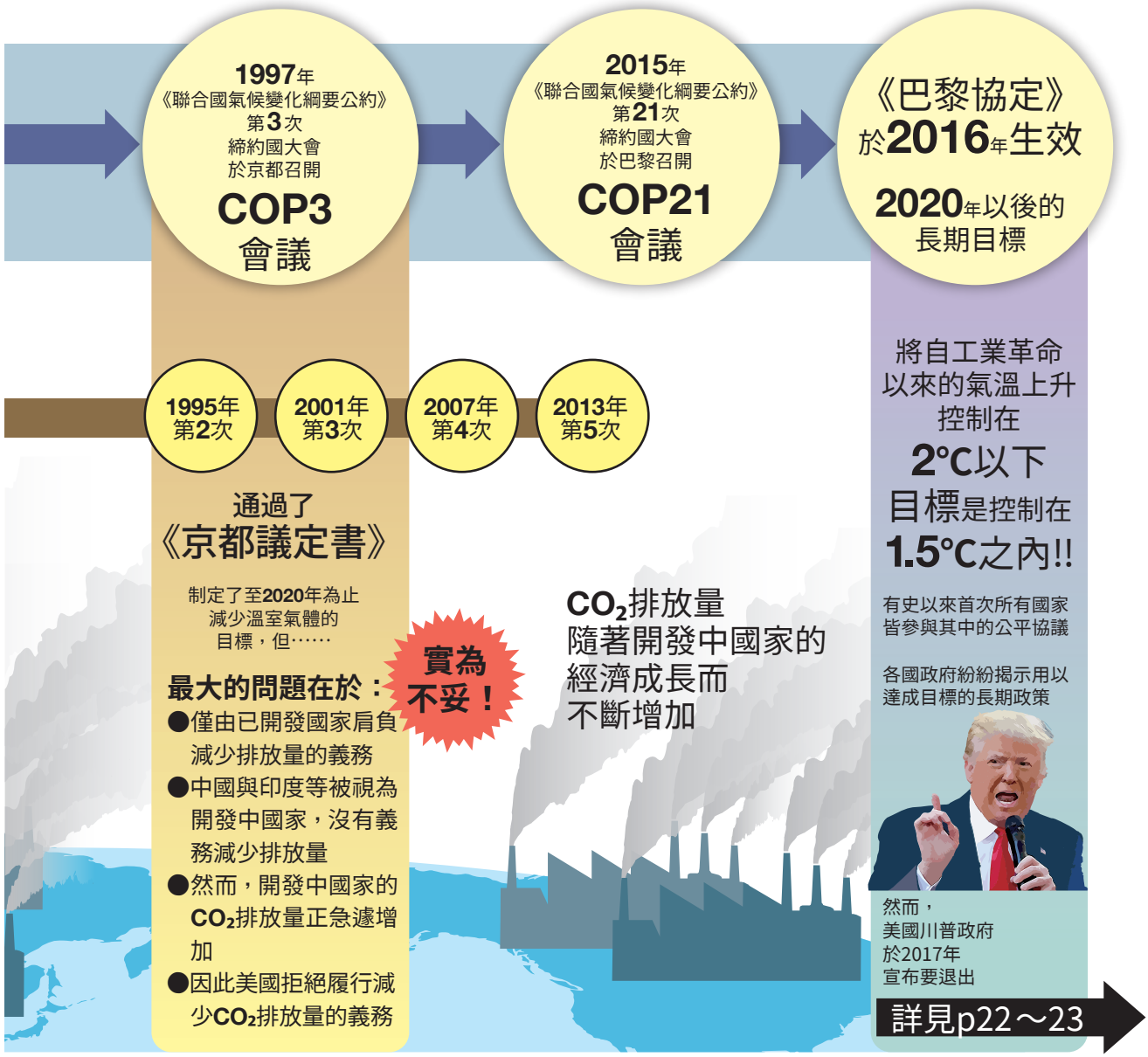


是為了制定至2020年為止減少溫室氣體的目標所擬定的綱要。然而，適用對象僅限於已開發國家，排放量大的中國與印度都被排除在外，美國對此感到不服而不願參加，加拿大也已經退出。

世界各國皆參與的《巴黎協定》

這次狀況掀起了熱烈的討論，大家不再只侷限於減少溫室氣體，而是開始把目光轉向支援已遭受氣候變遷影響的開發中國家，並主張無論排放量多寡，所有國家都應該參加。

2015年世界各國在法國巴黎召開了會議，通過《巴黎協定》並於翌年生效。協定中揭示了全球共同的目標，即將氣溫上升控制在比工業革命前高不到2℃，並盡量控制在1.5℃之內。之後因為美國的川普政府宣布要退出而一時亂了陣腳，不過2021年誕生的拜登政府則表明將重新加入。





聯合國永續發展目標（SDGs）力求發展乾淨的能源

去碳化成為全球的共同課題

通過《巴黎協定》2個月前的2015年9月，於紐約聯合國總部召開了「永續發展高峰會」。在這個會議中，聯合國的193個會員國通過了「2030年永續發展的議程」，提出如下所示的17 項「永續發展目標（SDGs）」，必須在2030年前達成。

其中與實現去碳化社會相關的便是目標7的「可負擔的乾淨能源」。所謂乾淨的能源，是指用了也不會減少，且不會排放CO_2等溫室氣體的可再生能源，比如陽光、風力與地熱等。目標7的具體指標還含括在2030年前大幅增加可再生能源的使用比

目標1 終結各地一切形式的貧窮。

目標2 終結飢餓，確保糧食穩定並改善營養狀態，同時推動永續農業。

目標3 確保各年齡層人人都享有健康的生活，並推動其福祉。

目標4 確保有教無類、公平以及高品質的教育，並提倡終身學習。

目標5 實現性別平等，並賦權所有的女性與女童。

目標6 確保人人都享有水與衛生，並做好永續管理。

目標7 確保人人都享有負擔得起、可靠且永續的近代能源。



目標8 推動兼容並蓄且永續的經濟成長，達到全面且有生產力的就業，確保全民享有優質就業機會。

目標9 完善堅韌的基礎設施，推動兼容並蓄且永續的產業化，同時擴大創新。

例，並提高能源效率。

去碳化之所以這麼迫切，正是因為CO_2的增加已經引發了氣候變遷。因此，目標13「氣候行動」也是必須解決的課題。此外，無論是產業還是生活都是建立在能源的使用上，所以和目標9「工業、創新與基礎建設」與目標12「負責的生產與消費」這兩個課題也有所關連。不僅如此，氣候變遷所影響的範圍甚廣，所以也有必要致力達成SDGs的其他目標。

提出SDGs與《巴黎協定》這些全球共同的方針，並揭示於2030年達成前者、2050年達成後者的目標，各國都開始為去碳化採取行動。

成的永續發展目標 SDGs



圖片素材來源：聯合國教科文組織

目標12 確保永續的消費與生產模式。

目標13 採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響。

目標14 以永續發展為目標，保育並以永續的形式來利用海洋與海洋資源。

目標15 推動陸上生態系統的保護、恢復與永續利用，確保森林的永續管理與沙漠化的因應之策，防止土地劣化並加以復原，並阻止生物多樣性消失。

目標10 導正國家內部與國家之間的不平等。

目標16 以永續發展為目標，推動和平且包容的社會，為所有人提供司法管道，並建立一套適用所有階級、有效、負責且兼容並蓄的制度。

目標11 打造包容、安全、堅韌且永續的都市與鄉村。

目標17 以永續發展為目標，加強執行手段，並促進全球夥伴關係。