

SDGs
系列講堂



全球

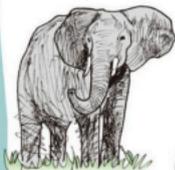


Global climate variability and change

氣候變遷

從氣候異常到永續發展目標，
謀求未來世代的出路

童小芳 / 譯
InoVisual 研究所 / 著



每個人都
該上的
地球素養課!

**異常氣象與自然災害將會導致
人民被迫避難或移居他處**

2050年預估逾1億人恐成氣候難民

2019年9月20日於世界各地同時發起了全球氣候遊行。
為了守護未來，世界各地的孩子及年輕人一同發出怒吼，
因為不得不在那樣的未來中求生存的，正是現在的年輕世代。



SDGs 系列講堂

全球氣候變遷

從氣候異常到永續發展目標，
謀求未來世代的出路



InfoVisual 研究所／著
童小芳／譯

目次

SDGs 系列講堂

全球氣候變遷

前言

人類所引起的
地球最大危機：氣候變遷 4

Part 2 地球氣候系統的運作機制

- 1 地球的氣候是由一套絕妙的系統維持著平衡 14
- 2 因溫室氣體而使地球升溫的機制 16
- 3 地球的氣候系統是巨大的熱能分配裝置 18
- 4 在陸海空之間移動轉換的水循環系統 20
- 5 碳元素連結起生物圈與自然環境並持續循環 22
- 6 各種氣候要素交互作用，在地球上形成複雜的氣候 24
- 7 氣象觀測系統的作用不僅限於天氣預報 26
- 8 利用重現地球氣候的氣候模式來預測未來 28
- 9 地球 46 億年來反覆不斷的氣候變遷史 30

Part 1 氣候系統變遷所引發的 12 件事

- 1 全球的氣溫上升 6
- 2 異常氣象漸成日常 7
- 3 傳染病風險提高 8
- 4 熱浪侵襲都市 8
- 5 糧食產地北移 9
- 6 世界各地都開始缺水 9
- 7 冰層融化導致海平面上升 10
- 8 世界各地水災頻仍 10
- 9 生態系統遭到破壞 11
- 10 氣候催生出新的南北問題 12
- 11 「氣候難民」於焉而生 13
- 12 世界經濟崩潰 13

Part 3 大規模的氣候變遷已經開始

- 1 何以斷言暖化的原因在於人類的活動？ 32
- 2 如果不致力於減碳，氣溫將上升到這種程度 34
- 3 地球暖化造成世界各地異常氣象增加 36
- 4 侵襲歐洲的熱浪是北極暖化所致 38
- 5 聖嬰現象加劇，異常氣象頻頻發生 40
- 6 地球的水循環混亂，啟動了氣候變遷的開關 42
- 7 颱風日漸大型化，擴大了對日本的危害 44
- 8 異常氣象導致世界各地的水災加劇 46
- 9 全球水資源分配出現變化，將陷入嚴峻的缺水困境 48
- 10 兩大碳排放國美國與中國的缺水問題 50
- 11 對全球農業的影響與食品進口大國日本面臨的問題 52
- 12 冰層融化導致海平面上升，世界各地的都市將沒入水中 54
- 13 地球的生態系統劇變，將有無數動植物絕種 56
- 14 以動物與水為媒介的傳染病傳播範圍擴大 58
- 15 在冰層融化的北極海上展開資源與航路的爭奪戰 60
- 16 氣候變遷與南北問題，北方排放的 CO₂ 使南方遭殃 62
- 17 氣候變遷新衍生的「氣候難民」將超過 1 億人 64
- 18 氣候變遷將導致全球水資源之爭愈演愈烈 66
- 19 氣候變遷將對世界經濟造成莫大損失 68

Part 4 人類現在所能做的事

- 1 聯合國永續發展目標 SDGs 所揭示的氣候變遷對策 70
- 2 世界各國通過暖化對策《巴黎協定》的過程 72
- 3 為了達成溫升 1.5°C 內的目標，世界各國現在應該做的事 74
- 4 溫室氣體是從何處產生的？ 76
- 5 世界各國正以在 2050 年前實現脫碳社會為目標 78
- 6 與世界背道而馳，日本的能源解決方案在於「水」？ 80
- 7 零碳的綠色環保汽車將改變我們的生活 82
- 8 CCS 技術可回收並儲存無法減少的 CO₂ 84
- 9 守護可謂碳匯的森林與海洋，增加 CO₂ 的吸收量 86
- 10 碳足跡有助於促進企業致力減碳 88
- 11 為了減少 CO₂，我們可以採取的行動 90

結語

在疫後的世界裡，
是否會萌生全新的經濟學？ 92

參考文獻·參考網站 93

索引 94



前言

人類所引起的 地球最大危機：氣候變遷

如果現在不立即採取對策，恐為時已晚，
為了守護未來，連孩子們都挺身而出了。

2018年，一名瑞典女孩所發起的行動，在世界各地掀起了洶湧。當時才15歲的格蕾塔·童貝里，高舉寫著「為氣候罷課」的標語牌，開始到瑞典的國會議事堂前面靜坐。

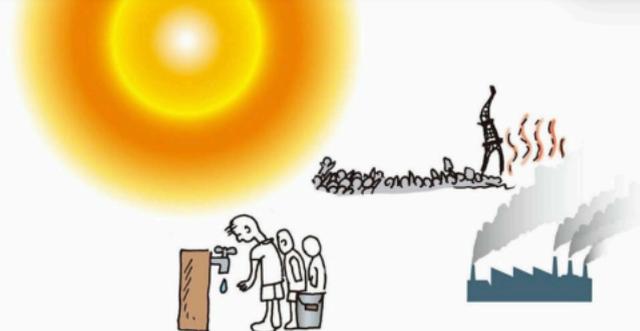
氣候變化即將招來人類史上最大的危機，成年人卻毫無作為。不能再把我們的未來交付給這些大人了——。

出於這樣的想法，格蕾塔每週五都會向學校請假，到國會前表達應對氣候變遷做出對策的訴求，而世界各地的孩子與年輕人都對她的呼籲產生共鳴。她以「星期五救未來(Fridays for Future)」為口號，透過社交媒體集結各方有志之士，紛紛於各地發起了罷課活動。支持者隨之增加，2019年9月20日於世界各地同時發起了全球氣候遊行，一共有161個國家約400萬人響應，成為了史上最大的氣候罷課活動。

格蕾塔獨自發起的活動打動了世界各地人們的心，她開創了一個契機，讓大家認真去思考氣候變遷這個原本被認為遙不可及的問題。

地球自46億年前誕生以來，由於不斷重複著緩慢地變化，因此才能夠一直維持著氣候的平衡。而這樣的平衡持續到英國展開工業革命的18世紀後半葉左右，才被破壞。人類開始挖掘早在幾億年以前就封存於地層之中的煤炭與石油，將其當成燃料大量燃燒。誰都沒有預料到，這些舉動會引發「改變地球的氣候」這般嚴峻的事態。

在1970年代後半至1980年代，人們開始察覺到地球正在變暖，但要到1990



年代才漸漸明白，這種被稱為「地球暖化」的現象，是因為人類的產業活動造成二氧化碳(CO₂)等溫室氣體增加所致。

如果CO₂再以這樣的速度繼續增加，地球會變得愈來愈暖，最終將導致北極與南極的冰層融化、作物因乾旱而歉收，連動物都無法生存。儘管距今約30年前就已經有人做出這般悲觀的預測，但時至今日，發電廠與汽車等仍持續排放著大量的CO₂。

以格蕾塔為首，世界各地的孩子及年輕人之所以發出怒吼，正是這個緣故。如果再這樣不採取任何對策，讓暖化的情況逐漸持續下去，等之後察覺不妙時，就再也無計可施了。不得不在那樣的未來中求生存，正是現在的年輕世代。

氣候變遷是一個龐大的難題，以至於連聯合國都將其列為「永續發展目標(SDGs)」之一。本書則利用圖解並淺顯易懂地解說這個過於龐大而複雜的問題。追根究底，氣候究竟是什麼？如今正如何持續變化？還有，人類面對氣候變遷又能夠做些什麼呢？讓我們一起來一探究竟吧。



現在仍持續惡化的 地球氣候變遷是 我們人類的問題

氣候變遷有何問題？

地球的氣候變遷如今已然成為一個龐大的問題。所謂的「氣候」，是指在很長一段

期間內針對某個地區所觀察到的平均大氣狀態。大氣狀態與海洋、陸地與冰雪等息息相關且會隨之變化，因此將這些視為同一個系統，稱為「氣候系統」。

觀察地球漫長的歷史便可得知，氣候並不是恆定的，而是以約10萬年這樣相當長的週期，由寒冷期與溫暖期不斷交替出現。這是在某種自然力量的作用下，氣候系統緩慢變化而來的結果。然而，一般認為，如今引發問題的氣候變遷並非自然的變化，而是

人類所引起的。人類的活動在短期間內改變了氣候系統。

這種氣候變遷所引發的現象涉及範圍甚廣，這裡就縮減成12項要點來逐一探究吧。每一項的詳細解說請參照Part 3的對應頁面。

1 全球的氣溫上升

溫室氣體增加，
地球持續暖化

詳見
p34 ~ 35

象徵氣候變遷的異常變化之一，便是氣溫的上升。根據IPCC（政府間氣候變遷專門委員會）的第5次評估報告書所示，世界平均氣溫在1880年至2012年期間上升了0.85°C，意味著地球正逐漸暖化。此現象即稱為「地球暖化」。

一般普遍認為，地球暖化的原因在於

二氧化碳（CO₂）等溫室氣體（詳見p16~17）持續增加，由於燃燒煤炭或石油等而使得CO₂大量排放至空氣之中。據說如果再繼續暖化下去，整個氣候系統將會產生變化，對自然環境與人們的生活造成極為嚴重的影響。



2 異常氣象漸成日常

原本極為罕見的
氣象現象頻繁發生

詳見
p36 ~ 37

大約30年才發生1次的罕見氣象現象即稱為「異常氣象」。比方說，2018年的夏天，日本的東日本與西日本分別經歷了破紀錄的酷暑，許多地區都刷新了氣溫觀測史上的最高氣溫。此外，隔年的2019年冬天，往年都會大量降雪的日本海一側卻持續暖冬，降雪量破天荒地持續減少。

這類異常氣象並不僅僅發生在日本，世界各地都有這樣的情況，而且不是「偶爾」出現，而是頻繁地發生。異常氣象已經不再是「異常」，而是逐漸成為日常。一般認為這也是地球的氣候系統正以異於往常的方式運作所致。



3

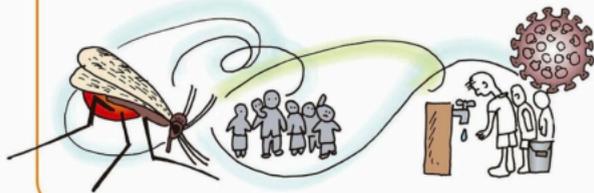
傳染病風險提高

受到地球暖化的影響，
全球傳染病發生區域性的變化

詳見
p58 ~ 59

新型冠狀病毒的全球大流行讓我們重新認識傳染病的可怕。在傳染病當中，也有像瘧疾或登革熱這類透過棲息於熱帶地區的蚊子攜帶病原體來傳播的。一般預測，如果氣候變遷導致地球繼續暖化，熱

帶性蚊子可棲息的地區將更為廣大，傳染人數也很可能隨之增加。日本目前雖然並非瘧疾或登革熱的盛行地區，但難保不久後的將來是否也能如此。



4

熱浪侵襲都市

超過體溫的高溫持續，
將擴大都市環境所受到的損害

詳見
p38 ~ 39

2003年侵襲歐洲的熱浪帶來創紀錄的高溫，估計因中暑或熱衰竭等奪走了約7萬多條人命。此後，歐洲仍屢屢受到熱浪侵襲。美國、印度、巴基斯坦與澳洲等地也相繼遭受同樣的災害。

頻頻發生的熱浪也是氣候變遷造成的。不僅如此，都市化使人造建築物與鋪面道路增加，導致氣溫進一步上升而使得損害逐漸擴大。



5

糧食產地北移

產地會隨著氣候變化而改變，
將會影響到全球的農業

詳見
p52 ~ 53

提及氣候變遷的影響，首當其衝的產業便是農業。不同種類的農作物所適合的栽培氣候也各不相同，因此，一般預測一旦全球氣溫因氣候變遷而上升，農作物的生產分布圖也會隨之改變。

問題最大的便是作為主食的穀物，如果再繼續暖化，在此之前不產穀物的地區很可能會開始盛產，另一方面，原本的產地反而會面臨歉收。產地將逐漸轉移至緯度較高的地區（以北半球來說北移）。



6

世界各地都開始缺水

氣溫上升所造成的乾旱與
人類的活動是造成缺水的原因

詳見
p48 ~ 49

地球上原本就有一些地區降雨量大，而有些地區則很少降雨，如果因為氣候變遷造成氣溫上升，雨量較少的乾燥地區將會愈來愈乾燥，進而陷入嚴重的缺水困境。非洲的乾旱已經持續好幾年，飲用水

與農業用水皆已短缺。不僅如此，人口增加、工業化造成水質污染、超抽地下水等人類所引發的各種問題都進一步加速水資源的短缺。



7 冰層融化導致海平面上升

詳見
p54 ~ 55

冰層與冰河融化入海，
沿海都市將沒入水中

最容易受到地球暖化影響的便是地球上的冰層。一旦氣溫上升，南極與格陵蘭島上的冰層、高原上的冰河等將會融化並流入海中。此外，海水還會因為氣溫上升而膨脹，最終導致海平面上升。

一旦海平面上升，海水就會流入海拔較低的地區。一般預測，倘若海平面上升1 m，日本將會失去9成以上的海灘，東京與大阪的沿海地區也將會沒入水中。



8 世界各地水災頻仍

詳見
p46 ~ 47

地球上的水循環發生變化，
颱風與洪水造成的損害增加

近年來，日本因豪雨或大型颱風所造成的災害日益增加。同樣的，世界各地也是水災連連，美國有大型颶風，歐洲與中國則因豪雨引發大洪水等。

一般認為其原因在於地球暖化造成海

水溫度上升而水蒸氣增加。此外，森林的砍伐、水壩的建設與都市澱青化等，造成水不再自然地循環，也是擴大災情的其中一個原因。



9 生態系統遭到破壞

詳見
p56 ~ 57

無法適應氣候的變化，
使許多物種面臨絕種的危機



無尾熊

持續的乾旱釀成森林火災，造成許多無尾熊受傷且失去棲息的森林，必須採取更進一步的保護行動。

北極熊

一般預測，到了21世紀中葉，對於北極熊生存所不可或缺的夏季海冰將會消失42%，導致其個體數驟減。

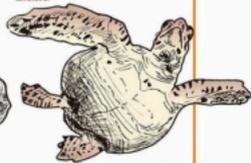


大熊貓

目前估算的物種個體數不到2,000頭。氣候變遷將會導致其棲息地的特殊竹林消失，以那些竹子為食的林貓正瀕臨絕種。

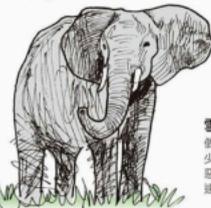
綠蠵龜

暖化造成的氣溫變化打亂了綠蠵龜的生殖平衡，使得繁殖更加困難。



蘇門答臘猩猩

一般預測，暖化所造成雨量增加，將會導致熱帶叢林果實的生長狀況惡化，對牠們的生存造成嚴重影響。



非洲象

人類為了採集象牙所進行的盜獵導致其個體數減少，而暖化造成叢林乾枯則使其棲息領域縮小。



雪豹

個體數因盜獵等原因而減少，暖化則造成高山環境惡化，進一步加快減少的速度。

氣候變遷會對地球上所有生物造成莫大的影響。為了適應棲息地的環境，動物與植物都投注了漫長的時間進化至今。然而，一旦氣溫上升，不耐暑熱的生物就不得不往北遷移，生物的分布將會與至今為止的有所不同。

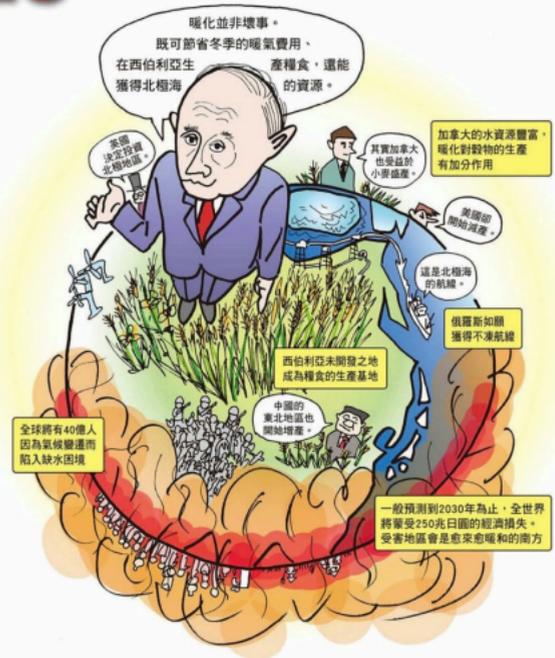
如今已經有許多生物因為人類濫捕與破壞大自然等而面臨絕種的危機，如果再受到氣候變遷的影響，絕種的風險恐怕會愈來愈高。

10

氣候催生新的南北問題

詳見 p62 ~ 63

將會有國家因暖化而受益，
也會有國家蒙受損失



世界上有經濟富裕的國家與貧困的國家之分，以地圖來看，富裕的國家多位於北方，貧困的國家則集中於南方。因此兩者之間的經濟差距又被稱為「南北問題」，然而，據說氣候變遷將會催生出新的南北問題。

比方說，位於北方的國家將會因為暖化而開始獲得豐富的農作物。另一方面，南方的國家則面臨愈來愈嚴重的缺水與糧食短缺。由於暖化所導致的這些現象，將有可能衍生出受益的國家與受害的國家。

11

「氣候難民」於焉而生

詳見 p64 ~ 65

異常氣象與自然災害
將導致流離失所的人遽增

受到氣候變遷的影響，近年來自然災害頻仍，失去家園的人口益增加。一般普遍認為，往後將有愈來愈多人因為颱風、季風、森林火災、乾旱與洪水等異常氣象而被迫避難或移居他處。

尤其是在較容易受到暖化影響的乾燥地區裡，有許多是開發中國家，原本就存儲在貧困與紛爭等問題，很可能因此衍生出數量龐大的「氣候難民」，各國都必須做好接納難民的準備。



12

世界經濟崩潰

詳見 p68 ~ 69

氣候變遷將會以各種形式
對經濟造成損失

氣候變遷也會影響到人們的生活與經濟，當氣溫上升，生產力也會因為炎熱而下降。乾旱或洪水則會重創農業，導致糧食短缺。此外，一旦發生重大災害，災後修復的費用將會相當可觀。

氣候變遷將會以這樣的形式直接打擊世界經濟，另有一些估算顯示，到2030年為止，全世界將會出現高達250兆日圓的損失。更有甚者，地區之間的差距恐怕也會因為氣候變遷而愈來愈大。



因溫室氣體而使地球升溫的機制

往地球傳送熱能的電磁波

太陽的能量驅動著地球的氣候系統，太陽的表面溫度高達約6000°C，但是熱能並不會直接傳遞至地球，而是由含有熱能的物質以能量的形式釋放出電磁波。該電磁波接觸到其他物質時，就會因為震動而產生熱

能。太陽的熱能會以可見光與紫外線等電磁波的形式放射出來，並傳遞至距離約1億5000萬km的地球。如此一來，地球就會變得溫暖，而含有熱能的地表也會釋放出一種電磁波，即紅外線。

換言之，來自太陽的電磁波大部分都會被反射回宇宙，在這樣的情況下，地球的氣

溫推估只有-19°C左右。

然而，事實上地球地表的平均氣溫約為14°C，這33°C的落差便是所謂的「溫室效應」所造成的。

維持地球氣溫的溫室氣體

地球的大氣之中挾帶著水蒸氣、二氧化碳(CO₂)、甲烷與氟氯烴等。這些「溫室氣體」會吸收從地表釋放出來的紅外線，並再度送回地表。因此，就好比在地球上嚴實地覆蓋一層毛毯，溫暖了地表，讓氣溫維持在

生物宜居的14°C左右。

然而，自18世紀後半葉發起工業革命以來，人類開始燃燒煤炭與石油，從此大氣中的CO₂含量急速增加，加劇了溫室效應。據說是氣候變遷最主要的原因。

從表面溫度6000°C的太陽釋放出的電磁波 = 太陽光 = 可見光，是維持地球溫暖的要素

所有物體都會根據其所含的溫度釋放出電磁波。紅外線也是其中一種



一般都用紅外線熱成像儀來測量紅外線

我們的身體也會發出紅外線

電磁波會晃動地球表面物質的基本粒子而產生熱能

紅外線
波長較長的電磁波

地表升溫後會放射出紅外線

地表會升溫，平均約為14°C

較具代表性的溫室氣體



來自地表的紅外線會震動二氧化碳的分子



紅外線 放射出紅外線

再度放射出紅外線

使地表變暖

地球的大氣與溫室效應的機制

二氧化碳以外的溫室氣體



化學鍵震動 → 產生熱能

再次放射出紅外線



再次從地表放射出紅外線

再次放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線

再次從地表放射出紅外線



再次放射出紅外線

一般認為地球暖化的主要原因在於這些溫室氣體的濃度上升而導致地球變得過於溫暖

詳見
p32-33

地球就是這樣
逐漸變得溫暖

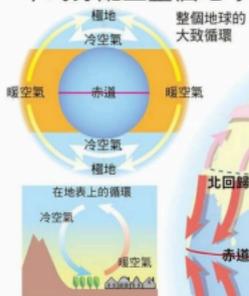
地球的氣候系統是巨大的熱能分配裝置

透過大氣的循環來分配太陽能

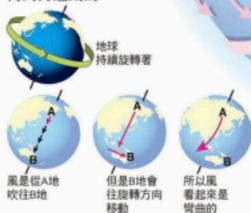
地球會將從太陽接收的熱能轉化為能量，以此來驅動氣候系統，不過地球呈球體，距離太陽幾乎直角照射的赤道愈近，熱能就愈多而氣溫愈高，反之，距離太陽斜照的極地（北極・南極）愈近，則氣溫愈低。

大氣循環系統會試圖調整這樣的溫差而發揮作用。地球的大氣會讓熱能從氣溫高的地方往氣溫低的地方移動。然而，其運作因為地球持續自轉而變得複雜。赤道附近的暖空氣會上升，分別往南北兩個推進，把熱能運至中緯度地區後，便會下沉並流回赤道附近。這道返回赤道的氣流即為信風。運至中

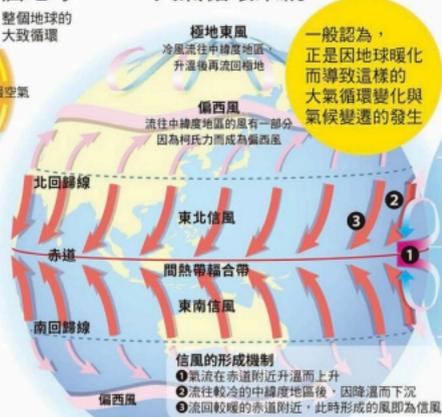
大氣會試圖將熱能平均分配至整個地球



信風方向會彎曲是柯氏力造成的



這樣的結果驅動著大氣循環系統



這種現象即稱為柯氏力

緯度地區的熱能會因為偏西風送往高緯度地區，極地的冷空氣也會循環，從高緯度地區接收熱能。大氣中的熱能便是透過這樣的循環來進行分配的。

時間循環世界海洋一周。這樣的海洋大循環緩和了冰冷海水與溫暖海水之間的溫差。然而，有一說法指出，地球暖化很有可能導致冰冷而較重的海水減少而削弱了循環。

1000年規模的海洋大循環

不僅限於大氣，海洋中的水也會循環。有些海流是因風吹動所形成，有些則是因水溫或鹽度差異而引起。後者是北極或南極附近的冰冷海水變重而下沉至深層，在不斷移動中又返回表層，花了1000~2000年的

海水循環系統

海水也會從低緯度流往高緯度地區，發揮運送地球熱能的作用

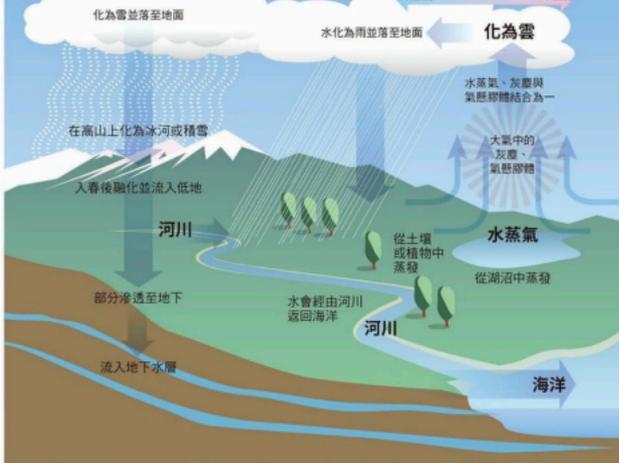


海洋較淺處的溫暖海水與較深處的冰冷海水已循環了約2000年

在陸海空之間移動轉換的水循環系統



地球上約有13.86億km³的水，其中97.5%是海水，這些水有少量會蒸發，為陸地帶來淡水。這套龐大的水循環持續驅動著氣候。



在自然界中移動的水

海水並不只在海洋當中循環，另有一個橫跨陸海空的龐大水循環系統。

地球上約有14億km³的水，不過其中約97.5%都在海中，其餘則分布於河川、湖泊、冰層、冰河與地下等處。水的總量雖說幾乎是固定的，但並非總是停留在同一個地方。水的型態不僅限於液體，還會轉換成固

體（冰）或氣體（水蒸氣），持續在地球上移動。

水滴匯聚形成雲層

海洋或河川等處的水升溫後會蒸發，化作水蒸氣並上升，這些水蒸氣到了高空會冷卻而形成雲層，再降雨或雪。雨或雪會滲透地面，一部分形成地下水，另一部分則化為泉水並注入河川，最後回歸大海。隨後再

熱帶低氣壓形成颱風的機制



次重複同樣的循環。

雲在這套水循環系統中也發揮著莫大的作用，如上方插圖所示，水蒸氣會附著在空氣中的灰塵上並往上升，愈接近高空，氣壓愈低，換句話說，來自四周的壓力會減弱，於是狹帶水蒸氣的空氣會向外推而膨脹，膨脹會消耗能量，所以溫度會下降，水蒸氣便改變型態轉化為水滴。這些水滴匯聚後所形成的便是雲。當雲中的水滴增加，就

積雨雲的形成機制



會互相碰撞而形成大水滴，再也承受不住重量後，便化為雨水落下。如果此時高空的溫度較低，水滴就會結冰而形成雪。

各種氣候要素交互作用， 在地球上形成複雜的氣候

氣候取決於大氣與海洋的循環

下方地圖是以顏色來區分的「柯本氣候分類法」。為什麼氣候會因為地區不同而出現這樣的差異呢？

赤道附近會接收到最多太陽的熱能，因而升溫的空氣會挾帶水蒸氣往上升，形成

雲層後再降雨。這便是高溫多雨的熱帶雨林氣候。

在熱帶促進降雨的空氣會透過大氣循環移動至中緯度地區後下沉，故會把乾燥的暖空氣帶至地表。此外，發生下沉氣流的地方不會形成雲層，所以幾乎不會降雨，因而產生一年到頭都乾燥的沙漠氣候。

地球的複雜氣候是水、大氣與溫度相互

- 熱帶雨林氣候**
最炎熱的地帶，也是熱帶低氣壓帶。海平面處的水蒸氣會上升而導致大量降雨。
- 熱帶季風氣候**
受到季風（季風風）的影響，有乾季，一般會種植水稻。
- 熱帶草原氣候**
雨季多雨而冬季少雨為其特徵所在。耐旱的樹木形成草原。
- 草原氣候**
全年少雨，雨季會少量降雨，晝夜溫度差相當大。
- 沙漠氣候**
全年氣溫超過10°C，是幾乎不會降雨的地帶。
- 地中海型氣候**
地中海與中緯度地區的西海岸岸。冬季降雨，夏季乾燥。
- 冬乾溫暖氣候**
介於各大熱帶草原氣候與夏季型溫暖氣候之間的地帶。
- 夏季型溫暖氣候**
有四季之分，夏季高濕潤，冬季低濕潤。除了北海道與部分東北地區外，日本大部分地區都屬於這種氣候。
- 溫帶海洋性氣候**
多分布在北半球中緯度地區。夏季溫度低而舒適。
- 常溫冷溫氣候**
北半球北緯40度以北的大部分地區，是地球上分布最廣的氣候。夏季會超過10°C，冬季則下降至-3°C，冬季降雪量大。
- 冬乾冷溫氣候**
有些地區冬季會低於-30°C，降雨量少。
- 苔原氣候**
溫暖時的溫度介於-3°C以上、未達10°C之間；幾乎全年都覆蓋在冰霜之下。
- 極地冰原氣候**
終年冰雪覆蓋，沒有野生植物，人類也無法居住。

*海流的路線經過簡化

相對於氣流的垂直移動，風則是往水平方向流動。風是空氣從氣壓高的地方（高氣壓）往氣壓低的地方（低氣壓）流動所引起的。亞洲的夏季會從海上的高氣壓往陸地的低氣壓吹起東南風，冬季的氣壓位置則會相反過來，吹起西北風。這些就是所謂的季風（季候風），為夏天帶來雨季，在冬天則形成乾季。

日本經常有颱風登陸也是受到風的影響。颱風是由熱帶低氣壓擴展而成，受到從太平洋高氣壓吹出的風、信風與偏西風這3

種風的推擠而改變路徑，循著弓形路線行進，直撲日本。

此外，西歐明位於高緯度地區，冬季卻相對溫暖，是因為來自南方海洋的暖流與吹拂其上的偏西風帶來了暖空氣。

大氣與海洋的循環、地形等會如上所述般相互作用，在地球上形成複雜的氣候。

作用的結果



日本颱風多是 偏西風造成的

- 1 大型熱帶低氣壓於赤道附近形成後，發展成颱風
- 2 遭到來自東北的信風推擠而往西南前進
- 3 前進路線受到來自大陸的偏西風推擠而彎曲
- 4 沿著日本列島往東前進

- 洋區高壓與環流所稱，歐洲緯度雖高，卻屬於冬季暖溼的溫帶海洋性氣候
- 於中緯度地區形成沙漠
- 熱帶低氣壓與中緯度附近高氣壓的大氣循環
- 1 因赤道附近海水的熱能而產生水蒸氣，上升後形成雲層並降雨（熱帶低氣壓形成）
 - 2 該區的大氣移動至涼爽的高緯度地帶後，會於高空降溫而下沉（於中緯度30度附近形成高氣壓），因此會形成雲層而產生乾燥地區
 - 3 下沉的空氣會吹回熱帶的低氣壓帶，此即所謂的信風

導致夏季大雨的 亞洲季風大氣循環

- 1 因陸地的高溫而產生上升氣流
- 2 高溫的大氣會往溫度較低的海域移動
- 3 於高空降溫而下沉，形成高氣壓帶
- 4 形成挾帶海洋水蒸氣的風，往大陸吹拂
- 5 碰上喜馬拉雅山而降下豐沛大雨

澳洲乾燥的原因

沙漠地帶範圍擴大，近年來乾旱不斷而頻頻發生野火

發生與北半球中緯度地區一樣的大氣循環

氣象觀測系統的作用 不僅限於天氣預報

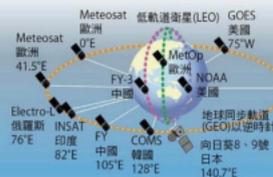
各式各樣的氣象觀測系統

氣象（天氣）時時刻刻都在變化。為了掌握其動態，日本的氣象廳在全國各地架設了氣象台與氣象觀測站，以此來進行氣壓、氣溫、溼度、風向、風速、降雨量等的氣象觀測。此外，全國約有1300個地方設置了

地區氣象觀測系統「AmeDAS」，自動觀測著各地區的氣溫、降雨量、風與日照時間等。

不僅如此，還有觀測高空大氣的無線電探空儀、觀測大範圍雨與雪的氣象雷達、從外太空觀測雲層與水蒸氣的靜止氣象衛星「向日葵號」等，這些透過各種方式收集來

世界氣象衛星觀測網

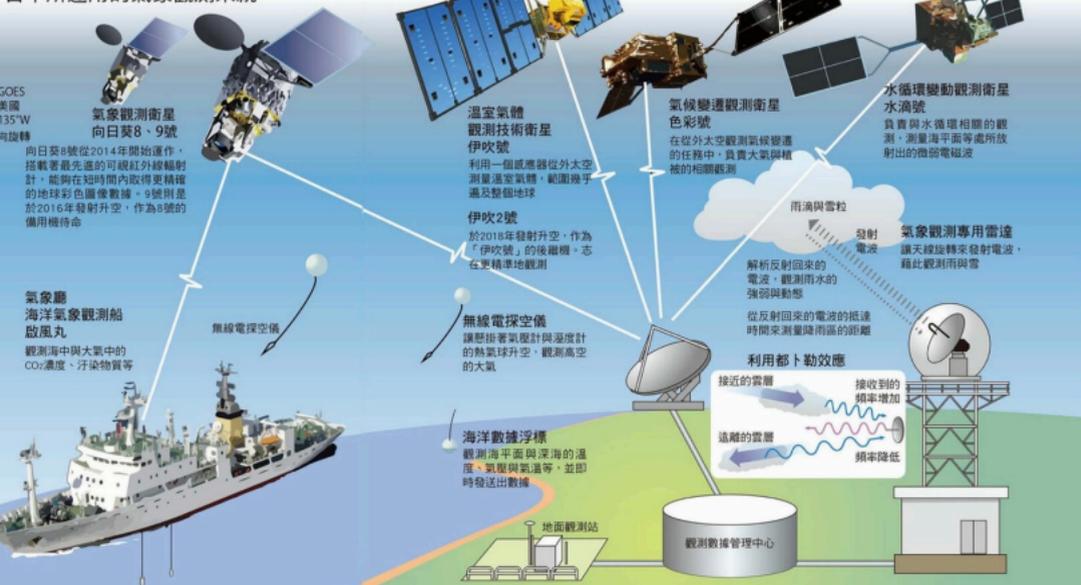


透過世界各國的衛星觀測，24小時監測地球的陸域、海洋的氣象與大氣及環境。除此之外，美國另有無數衛星在運作，比如透過觀測海洋來收集地球水環境相關數據的「Aqua」，還有持續觀測陸地、大氣與海洋來掌握森林植被變化等的「Terra」等等

海洋地球研究船 未來號

在北極海、太平洋與印度洋上實施觀測航。此船在觀測數據不足的北極海上，致力於釐清隨著海冰減少所產生的海洋變化

日本所運用的氣象觀測系統



的觀測數據，都在我們看到的天氣預報等處派上用場。

透過國際合作來觀測全球

進行氣象觀測不僅是為了天氣預報，現在的氣象觀測還肩負著一項使命，即觀測持續不斷的氣候變遷與地球環境的變化。

日本氣象廳會透過海洋氣象觀測船來觀測海上的大氣與海中的CO₂。日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 為了觀測氣候變遷與溫室氣體等，已經發射出多顆人工衛星。

各國都在這方面不遺餘力，為了統合這些努力，國際組織「地球觀測集團 (GEO)」於2005年開始運作。透過世界各國的合作，建構了一套觀測全球的「全球地球觀測系統」，目標在於為解決地球環境諸多問題做出貢獻。

利用重現地球氣候的氣候模式來預測未來

模擬大氣的變化

在電視的天氣預報中，都會利用動畫一目了然地顯示出雨雲或氣壓的位置後繼續將如何變化。這是奠基於 AMeDAS 或氣象衛星等所收集到的觀測數據，利用超級電腦來模擬大氣的狀態，才得以如此詳細地預測未來的

如果二氧化碳的排放量增加一倍，地球的氣候會如何變化？我們很想知道，卻無法實際測試看看。既然地球只有 1 個，那就再打造一個地球吧！



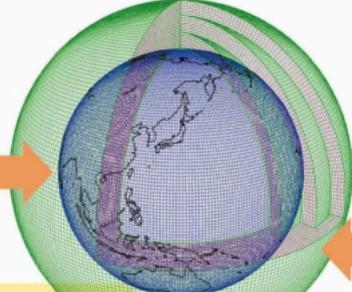
整個地球的氣象數據實在過於龐大，所以把地球分割成 1 億 3000 萬個網格。

這套電腦系統是將右頁所示的氣象現象轉為數值模式，並輸入各種條件數據，藉此來模擬氣候現象。

天氣。

一般雖然都認為，天氣瞬息萬變且難以捉摸，但無論是刮風或者下雨皆為物理現象。因此能夠根據物理法則，透過數學公式來表現，還能交給電腦進行運算，進而預測出地球的天氣。

可以模擬地球整體氣候的全球氣候模式於焉而生



一個網格的水平距離為 100km，垂直方向則約為 1km，以此空間為單位，計算氣象模式來模擬全球的氣候。

氣象預測會隨著電腦的進化而有所發展。圖片顯示的是海洋研究開發機構所用的超級電腦「地球模擬器」。自 2002 年開始運作以來的 2 年半期間，一直保持著世界最快的地位。可執行氣候變遷預測等高精度的模擬，對 IPCC 報告書也有所貢獻。

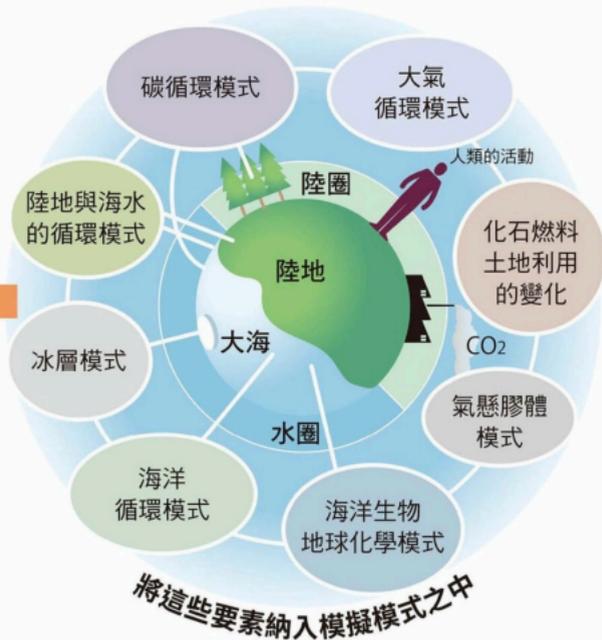


透過氣候模式預測氣候變遷

電腦模擬不僅可用於天氣預報，也會用來預測橫跨更長時間的氣候變化，即重現地球氣候系統的「氣候模式」。這種模擬地球整體氣候的模式又稱為全球氣候模式。

氣候模式是基於研究氣候變遷的機制與預測地球暖化等目的而研發出來的，在日本，最為人熟知的便是運用了海洋研究開發機構專用世界級超級電腦「地球模擬器」的氣候模式，以及日本氣象廳氣象研究所的

「地球系統模式」。各個國家都在嘗試根據過去到現在所累積的龐大數據，在電腦中創建一個虛擬地球並預測未來。這些氣候模式所導出的預測結果，在決定國家政策等方面都派上了用場。



地球46億年來 反覆不斷的氣候變遷史

反覆交替的寒冷期與溫暖期

地球的氣候在其46億年的漫長歷史中，不斷反覆出現寒冷期與溫暖期。大約在40億年前誕生的生命便是在戲劇性的氣候變化中逐漸進化至今。

一般認為，在約25億年前至約5.4億年

前的原生代期間，曾有過幾次全球結凍而被稱為雪球地球(Snowball Earth)的大冰河期。其後又因為火山爆發導致CO₂增加，地球開始暖化，多樣的多細胞生物就此誕生。

一開始只棲息於海中的動物最終上了陸地。在約3.6億~3億年前所謂的石炭紀時期，大型森林繁茂叢生。這個時期的植物

化石便是如今作為燃料來使用的煤炭。

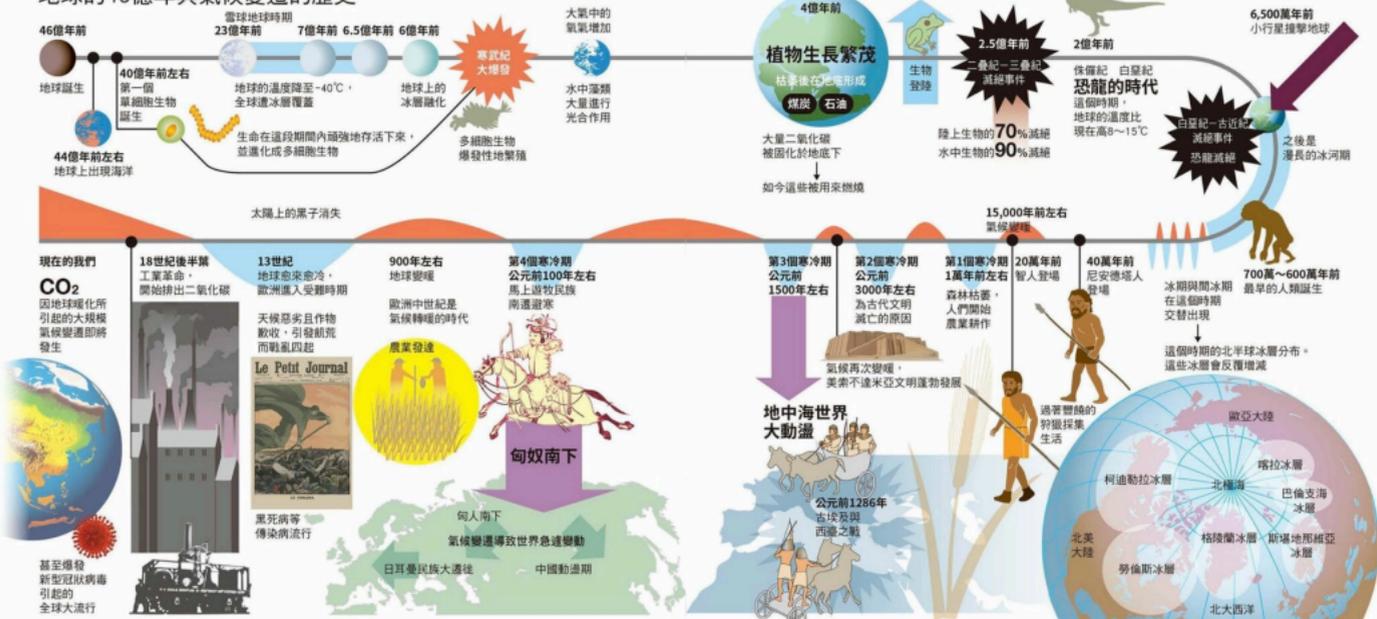
擺布生物的氣候變遷

生物過去曾經歷5次大規模的滅絕。恐龍因為連續溫暖的氣候而得以長期生存，卻也因為小行星撞擊所造成的環境變化而於約6500萬年前不幸滅絕。其後，哺乳類動物蓬勃發展，人類的祖先隨之誕生。另一方面，地球愈來愈冷，迎來了冰河時期。冰河擴張的冰期與變暖的間冰期以約10萬年為週期交替出現，而最後一次冰期結束於約1

萬年前。此後便一直是間冰期，不過這期間也有週期性地出現小規模的寒冷期與溫暖期，也對人類造成了影響。

一般認為，這種氣候變遷的週期是因為地球自轉等因素造成太陽日照射量出現變化所致。那麼，如今的氣候變遷與在此之前的狀況有何不同？讓我們從下一頁逐一詳細地探究。

地球的46億年與氣候變遷的歷史



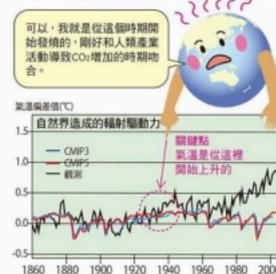
Part 3

大規模的氣候變遷已經開始



地球暖化法庭旁聽記

1. 氣溫是從何時開始上升的？



何以斷言暖化的原因在於人類的活動？

絕非自然現象的氣溫上升

正如我們在上一章節所看到的，因為太陽日照量的變化與火山爆發等因素，地球的

2. 氣溫上升的原因為何？



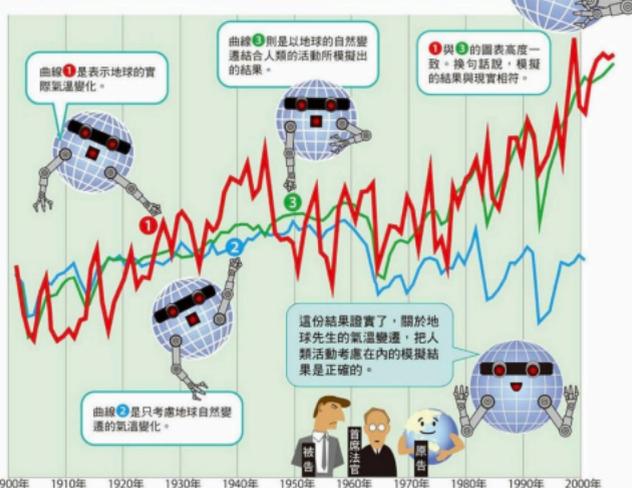
氣候到目前為止已經反覆發生了幾次變遷。因而有些人認為，目前持續暖化應該也是由自然界所引起的。

我們在p28 ~ 29中看到氣候模式所做的模擬，否決了這種可能性。不妨比較看看下方的圖表。在只考慮自然變遷的模擬②中，直到20世紀前半葉為止，曲線都大致貼合實際的氣溫變化①，但是並未成功重現20世紀後半葉所出現的急遽氣溫上升。另一方面，在加入溫室氣體等影響因素的模

擬③中，則描繪出與實際氣溫相符的上升曲線。

有鑑於這樣的結果，IPCC的第5次評估報告書（詳見p35）根據超過95%的機率做出了這樣的結論：「20世紀中葉以後，暖化的主因極有可能來自人類的活動」。人類竟然連地球的氣候都改變了。

3. 如何證明模擬結果是正確的？



如果不致力於減碳， 氣溫將上升到這種程度

IPCC 證明了暖化

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，並對世界各國的政策決定造成重大影響。IPCC 是由聯合國環境規劃署（UNEP）與世界氣象組織（WMO）於 1988 年設立的

組織，憑藉著讓全世界意識到地球暖化是人類活動所引起的這份功績，而於 2007 年獲得諾貝爾和平獎。

IPCC 的基本活動便是匯集世界各地數千名專家之見解，並定期以報告書的形式公開。

在 100 年內最多將上升 4.8°C

在 2013 年公布的最新 IPCC 第 5 次評估報告書中，首度採用了所謂的「RCP（典型濃度路徑）情境」。這是依循 4 種情境讓多個氣候模式進行模擬，藉此確認氣候會因人類所排出的溫室氣體在大氣中的濃度而產生多大的變化。

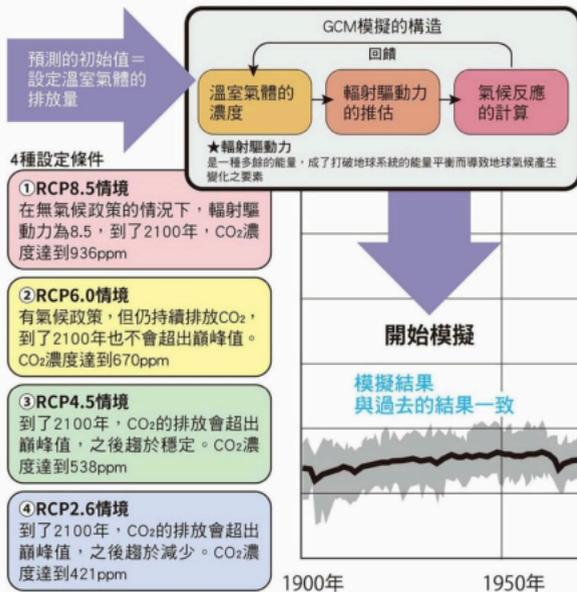
下圖呈現出的模擬結果，預測了直至 2100 年為止的氣溫上升狀況。

假設 1986 ~ 2005 年的平均氣溫為 0。

在預設繼續這樣排放 CO₂ 等溫室氣體的情境①中，氣溫會上升多達 2.6 ~ 4.8°C；即便是在將溫室氣體的排放量控制在最低的情境④中，也有很高的可能會升溫 0.3 ~ 1.7°C——這便是 IPCC 所得出的結論。

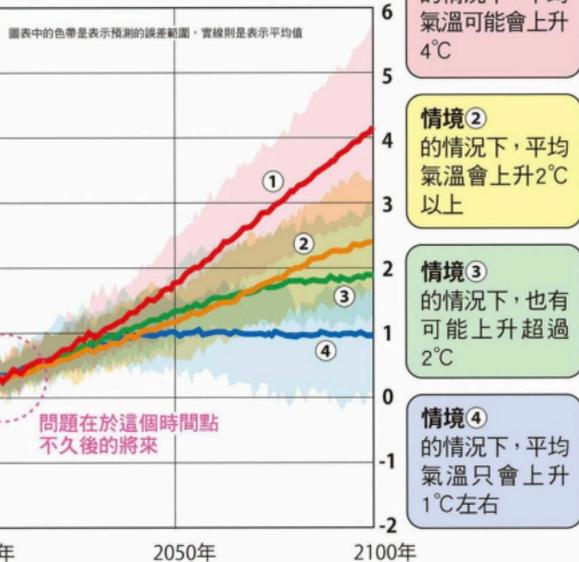
光看這個結果就再清楚不過了，我們必須現在就立即開始努力減少溫室氣體的排放量。

全球氣候模式 (GCM) 預測了 2100 年的地球氣候



世界平均氣溫變化預測

根據 IPCC 第 5 次評估報告書編製而成



地球暖化造成 世界各地異常氣象增加

同一地區內持續的異常高溫

近年來，世界各地頻頻發生異常氣象，下方地圖標示出2015年至2019年期間，有哪些地方被觀測到發生超出常年氣溫的異常高溫。

所謂的異常氣象，是指大約30年才發

生1次的氣象現象，但從下圖可得知，在短短5年間，同一個地區出現了好幾次異常高溫的紀錄。尤其是南非至模里西斯一帶、亞洲南部、北美南部至南美西北部一帶、澳洲沿岸地帶，幾乎每年都遭受異常高溫影響。就連日本也是如此，夏季的酷暑已經漸漸變成一種常態而不再是異常現象。

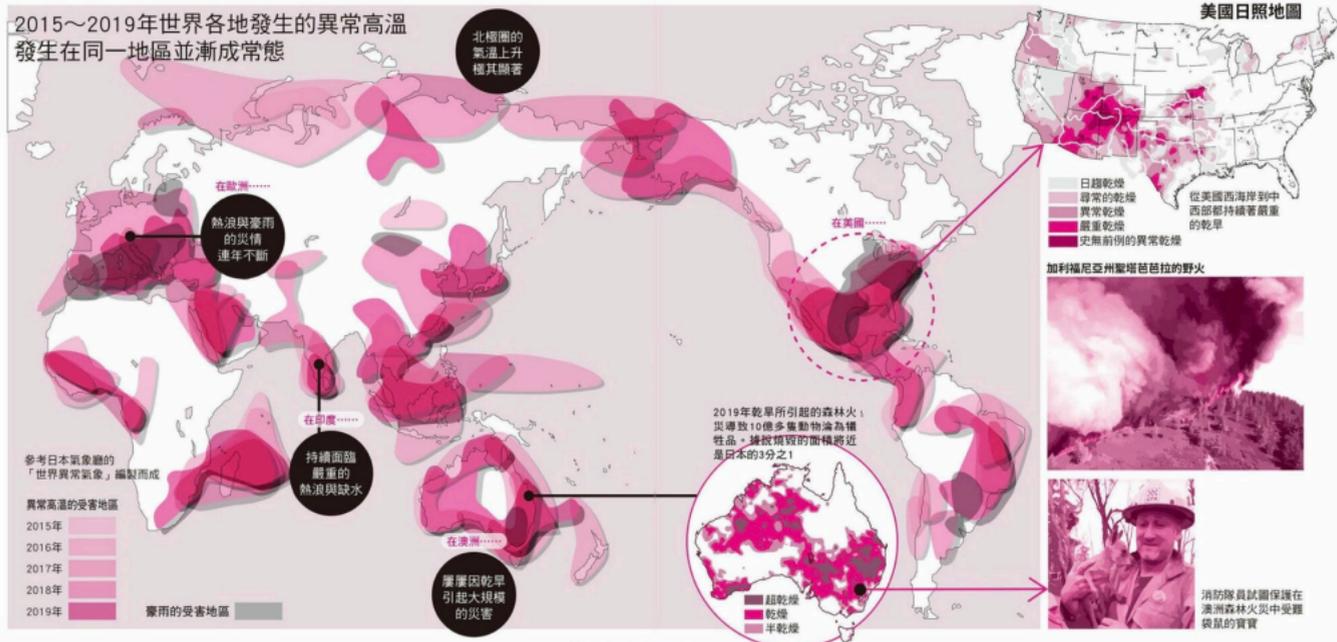
過度降雨或無雨

平均氣溫原本是用來判斷異常與否的基準，如今也持續在上升。氣象廳的數據顯示，日本的年平均氣溫在100年內就上升了1.24℃，尤其是在1990年代以後，創下高溫的年份持續增加。僅以東京來看，100年內就升溫了3.2℃。不光是溫室氣體，人口集中於人工建築物環繞的都市中，也是導致氣溫上升的原因。

一旦氣溫上升，海洋就會產生更多水蒸

氣而開始降下更多雨水。這便是近年來豪雨持續增加的原因之一。反之，在原本就少雨的地區，則因氣溫上升而愈來愈不下雨，導致乾旱與森林火災等災情。這類異常氣象在地球各處頻頻發生，開始對人類的生活造成影響。

2015~2019年世界各地發生的異常高溫 發生在同一地區並漸成常態



聖嬰現象加劇， 異常氣象頻頻發生

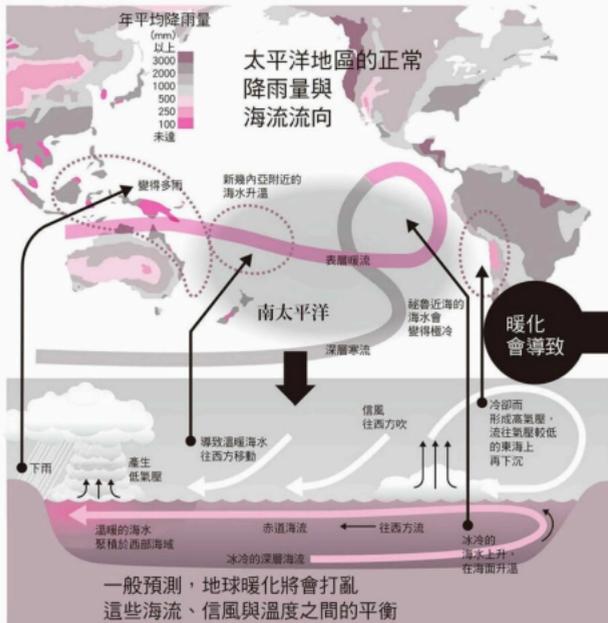
原因在於海面水溫異常

引發異常氣象的原因中，較為人所知的便是「聖嬰現象」與「反聖嬰現象」。

聖嬰現象是指東太平洋赤道附近的海面水溫變得比常年還高，且該狀態持續1年左右的現象。反之，在同一個海域中，如果海

面水溫一直處於比常年還低的狀態，這樣的現象則為反聖嬰現象。

一旦發生聖嬰現象，被稱為信風的東風會變得比常年還弱，導致原本應該被送至西側的溫暖海水往東方擴散。因此，平常為印尼一帶帶來雨水的積雨雲會往東移動，在美國西部降下大雨。



另一方面，如果發生反聖嬰現象，信風會變強而把更多溫暖的海水送至西側，所以印尼近海的海上會頻繁產生積雨雲。反之，冰冷海水則是聚積於東側，導致美國因天氣乾燥而遭受乾旱或野火的侵襲。

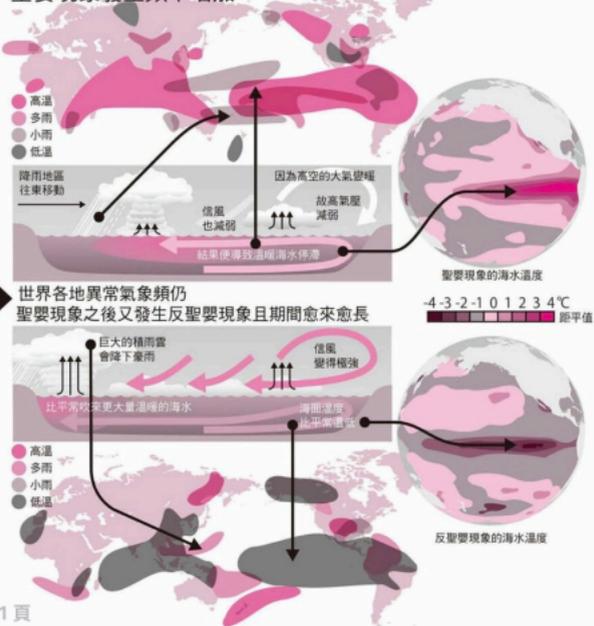
暖化使異常氣象更加極端

這兩種現象都是每隔數年就發生一次，對世界的氣象造成莫大影響。以日本受到的影響來說，如果是聖嬰現象，往往會造成冷夏與暖冬；如果是反聖嬰現象，則多會帶來

酷暑與嚴冬。

一般預測，如果再繼續暖化下去，將會打破大氣與海洋之間的平衡，聖嬰現象與反聖嬰現象所造成的影響會變得更加劇烈。尤其是在強烈的聖嬰現象發生不久後又出現反聖嬰現象，導致乾旱與豪雨這樣兩極化的氣候接連不斷，恐怕會造成重大災害。

聖嬰現象發生頻率增加



地球的水循環混亂， 啟動了氣候變遷的開關

暖化所帶來的水危機

地球又被稱為水行星，有別於其他行星，地球擁有豐沛的水資源，故而誕生了各種多樣的生物，還孕育出人類的文明。

然而，如今地球上的水資源已經出現危機。正如我們在p20 ~ 21所看到的，水

會改變型態化為水蒸氣或冰，維持著絕妙的平衡，在大氣、海洋與陸地間不斷循環。然而，地球暖化打亂了這樣的循環。

當氣溫上升，首當其衝的便是占了地球上淡水7成的冰層與冰河。北極圈的格陵蘭島、南極的冰層與高原上的冰河等，開始融化並流入大海。其結果就是導致海平面上

升。如果海洋的水位持續上升，陸地的沿岸地區或小型島嶼將面臨淹水或沒入水中的危機。

水循環混亂會引發連鎖效應

此外，如果由於氣溫上升而使得海水溫度升高，便會從大海產生大量水蒸氣並積蓄於大氣之中。海上會以這些水蒸氣為能量，形成強大的熱帶低氣壓，進而帶來暴風與豪雨。

另一方面，原本降雨量就少的乾燥地

區，則因為氣溫上升而變得愈來愈乾燥，連地下水都將枯竭，遭受缺水的衝擊。

據說當地球的氣溫上升超過極限值，即所謂的「臨界點」，就會引發這一連串水循環的異常變化，一口氣加速氣候變遷。讓我們從下一頁開始詳細探討水循環異常所帶來的各種問題吧。

地球暖化與水循環變化的模擬



- 所有開關 ON
- 北極冰層融化
 - 海平面上升
 - 赤道海面溫度上升
 - 頻頻生成熱帶低氣壓
 - 從海洋移往大陸的水蒸氣增加
 - 頻頻形成積雨雲
 - 危險的豪雨增加
 - 重大水災頻仍
 - 高山冰層融化
 - 乾燥地區的乾旱加劇

啟動氣候變遷開關後，水循環會出現這些變化



- 氣候變遷開關 ON
- 北極冰層融化
 - 海平面上升
 - 赤道海面溫度上升
 - 頻頻生成熱帶低氣壓
 - 從海洋移往大陸的水蒸氣增加
 - 頻頻形成積雨雲
 - 危險的豪雨增加
 - 重大水災頻仍
 - 高山冰層融化
 - 乾燥地區的乾旱加劇

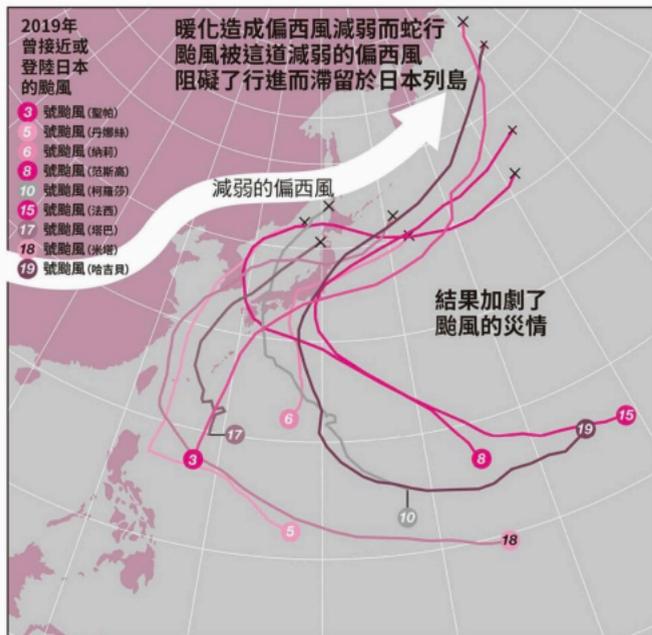
颱風日漸大型化， 擴大了對日本的危害

直接侵襲日本的巨大颱風

近年來登陸日本的颱風有大型化的趨勢，尤其是2019年的19號颱風（哈吉貝），在各地帶來破紀錄的豪雨。以東日本為主的17個地區的總雨量超過500mm，神奈川縣箱根町則達到1000mm，創下觀測史上最高

紀錄。這場大雨導致日本各地的河川相繼氾濫，發生土石流與淹水，有77人喪生且損壞了無數房屋。

日本每年都有颱風登陸，但是造成這麼大範圍的災情卻很少見，有則說法指出，這與暖化脫不了關係。



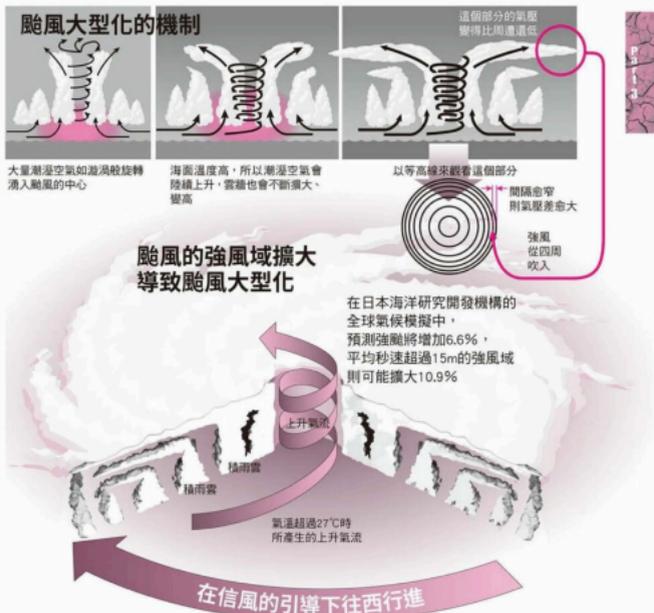
暖化壯大了颱風的強度

颱風是生成於熱帶海面上的熱帶低氣壓壯大了強度後發展而成的。以19號颱風來說，最大瞬間風速在18小時內增強為每秒40m，形成巨大颱風。

一般認為，之所以會在這麼短的時間內就轉為大型颱風，是因為暖化造成海水溫度上升，從海上蒸發的水蒸氣增加所導致。熱帶低氣壓是以大氣中水蒸氣上升並轉化為水時所產生的熱能為燃料，才得以愈變愈大。

因此，水蒸氣愈多，就會不斷注入燃料，使得強度愈趨增強。

19號颱風擴大損害的另一個理由則是，在同一個地方滯留太長時間並降下大雨。這是因為偏西風比起往年往北偏移而削弱了颱風的速度，這也與暖化擾亂大氣循環有關。一般認為，颱風增強且減速的狀況往後還會愈來愈多，必須加強防災措施。



異常氣象導致 世界各地的水災加劇

愈來愈狂暴的熱帶低氣壓

日本不是唯一飽受暴風雨等水災之苦的國家。如下方地圖所示，光是2015年至2019年這5年期間，世界各地就發生了各種水災。

發展得十分強勁的熱帶低氣壓如果生

成於西北太平洋或南海上，一般稱為「颱風」，出現在東北太平洋或大西洋會稱為「颶風」，在印度洋或南太平洋則稱為「氣旋」。此外，最大風速稍弱的颱風或颶風又稱為「熱帶風暴」。無論是哪一種，差別只在於生成地點或風速，發展機制都是一樣的。受到暖化的影響，生成於任何海域的熱

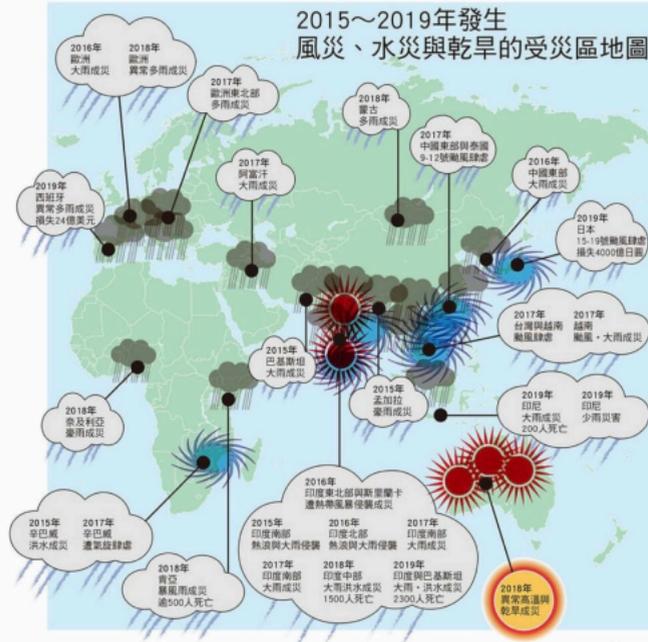
帶低氣壓都不斷增強，也對美國、印度等國家帶來重大災情。

水災頻仍的21世紀

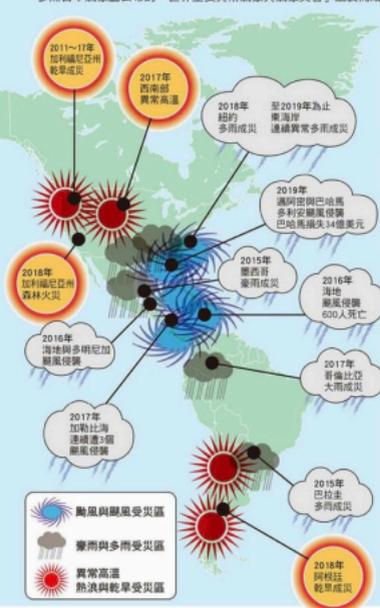
除此之外，大雨在亞洲各地造成洪水災害，歐洲也頻頻出現超出常年降雨量的異常多雨。與其相對的，有些地區則是飽受極端少雨、乾旱與缺水之苦。人類的歷史也是一部對抗自然災害的奮鬥史，尤其到了21世紀以後，水災發生頻率增加，應該可說是受到暖化的影響。

然而，暖化並非水災變嚴重的唯一原因。人類建設水壩、砍伐森林等阻斷了水循環，還有人口集中於臨水都市，這些也會擴大災害的規模。

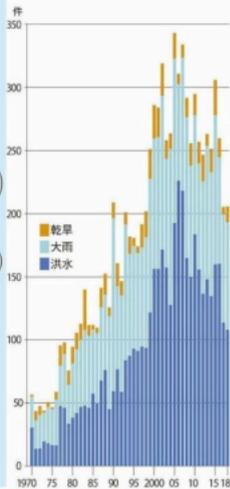
2015~2019年發生 風災、水災與乾旱的受災區地圖



參照日本氣象廳公布的「世界主要異常氣象與氣象災害」編製而成



世界各地 大規模自然災害 在這40年間 增加了一倍



兩大碳排放國 美國與中國的缺水問題

美國的地下水正在枯竭

令人意外的是，不用等到2050年，美國就有可能陷入缺水的困境之中。乾早在美國內陸地區早已見怪不怪，但是到了21世紀，發生的頻率卻變高了。比方說，加利福尼亞州從2011年至2017年為止，已經連

續遭受破紀錄的乾旱侵襲，屢屢發生野火。

一般認為乾旱的原因在於暖化所引起的大氣變遷，不過加連美國缺水危機的卻是超抽地下水。持續使用幫浦從地底抽取大量的農業用水，結果導致奧加拉拉含水層這個世界屈指可數的地下水層的水位下降，面臨枯

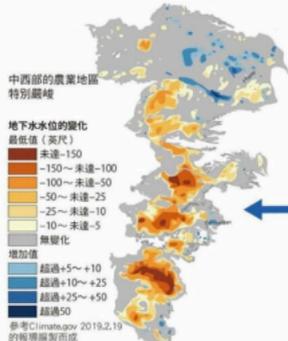
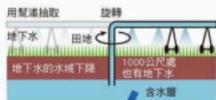
美國在這20年間飽受乾旱之苦



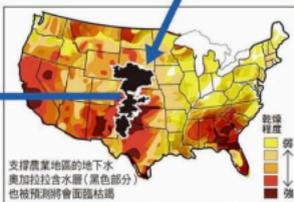
圓狀耕種是往圓形擴散的中樞灌溉系統的一大特色



中樞灌溉系統的灌溉方式可謂世界糧食的中西部地區降雨量少，一直以來都是仰賴地下水，即世界最大的奧加拉拉含水層。據預測，這些歷經幾萬年儲存下來的地下水將會枯竭



下方地圖是以2005年至2018年為止發生乾旱的地區疊合而成。由此可知，乾旱正在美國全境蔓延



參考WIRED的《地圖會說話：困擾美國的「十年乾旱」》編製而成

竭的危機。

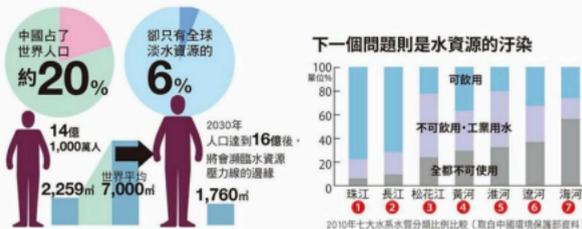
中國的水資源問題重重

中國目前也瀕臨缺水危機。中國人口占世界人口的20%，卻只享有全球6%的淡水資源。不僅如此，降雨多集中於南部，首都北京所在的北部已經開始出現慢性缺水的問題。有說法指出，隨著暖化進一步破壞水循環，河川的水量往後很有可能還會逐漸減少。

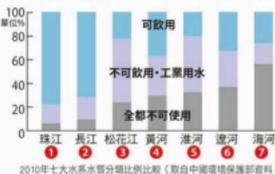
然而，中國水問題的最大主因在於近年

來的快速經濟成長。工廠排放污水造成水污染，過度抽水、輕率的水壩建設等，導致連黃河下游都漸漸乾涸。

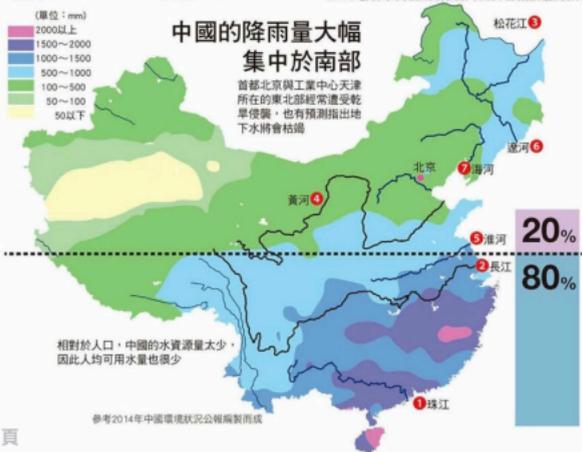
無論是美國還是中國，助長缺水的都是人為因素。此外，光是這兩個國家所排放的CO₂量，就占了全球的4成以上，使得問題更加根深蒂固。



下一個問題則是水資源的汙染



中國的降雨量大幅集中於南部



相對於人口，中國的水資源量太少，因此人均可用水量也很少

參考2014年中國環境狀況公報編製而成

冰層融化導致海平面上升， 世界各地的都市將沒入水中

開始融化的北極圈冰層

日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 於 2012 年 5 月發射了水循環變動觀測衛星「水滴號」，觀測著地球上的水循環。開始觀測不久後的同年 7 月 12 日，「水滴號」便捕捉到北極圈內格陵蘭島的冰層幾乎全境都在升溫，就連通常夏季也凍結的內陸區也被觀測到表面處於融化狀態。

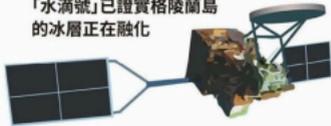
事實上，當時北極圈正經歷連續的異常高溫。光是那一年從冰層流出的水，就讓地球海平面上升超過 1mm。格陵蘭島的冰層正因為暖化而急速融化中。據估算，面積約 173 萬 km² 且平均厚達 1,500m 的冰層一旦全部融化，海平面將會上升 7m 之多。

海平面上升將導致大都市淹水

不僅限於格陵蘭島，南極的冰層與高原上的冰河也開始因為暖化而融化，導致海平面上升中。一般預測，全球平均海平面每年將上升 3mm 左右，到了 21 世紀中葉，最少會上升 26cm，最多甚至會上升 98cm。

一旦海平面上升，一些海拔較低的小型群島將會面臨沒入水中的危機。此外，東京、紐約與上海等世界主要都市大多都臨海，所以很有可能因為淹水成災而迫使無數人移居。

日本的水循環變動觀測衛星「水滴號」已證實格陵蘭島的冰層正在融化



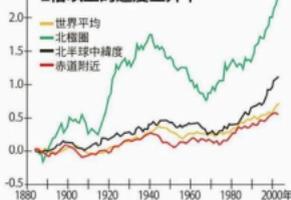
2012 年夏天，「水滴號」觀測到格陵蘭島冰層表面的全境溫度已經達到融化溫度



深綠色部分為冰層。7月10日(左)還在的冰層在2天後(右)消失了。資料取自 JAXA 官網

有研究報告指出，如果在格陵蘭島的這些冰層全部融化的情況下，全球海平面將上升 7m

北極圈的溫度正以其他地區 2 倍以上的速度上升中



還有西伯利亞的永久凍土也在融化中

占了北半球面積 20% 的永久凍土 (藍色部分) 正在融化。土中的甲烷氣體被釋放到大氣之中，促進了暖化



地球的生態系統劇變， 將有無數動植物絕種

生物往北或高地遷徙

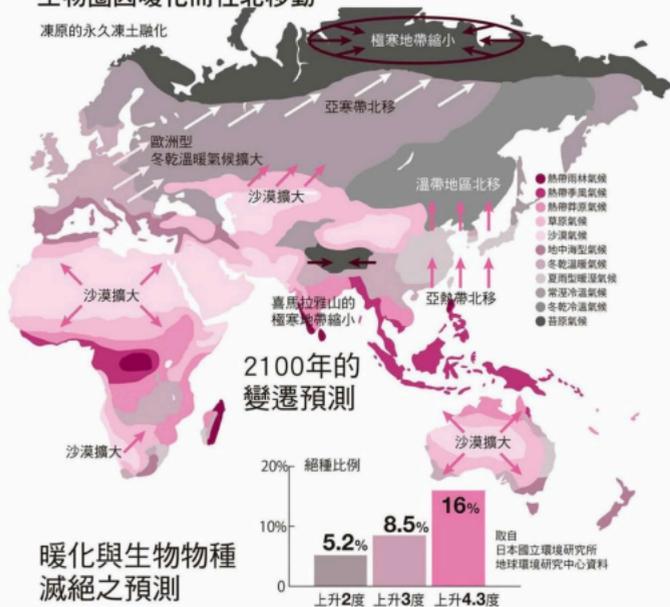
暖化現象對於地球上的所有生物都會造成影響。近幾年來，櫻花的開花時期與燕子飛來的時期比以前還要早，也是地球正持續暖化的證據。

如果氣溫再這樣繼續上升，生物界會發

生什麼樣的狀況呢？首先可以預料的是，生物的分布將會發生變化。動物會往北遷徙，尋求牠們能夠適應的氣候。植物的生長地區也會逐漸從低地轉移至高地。無法移動的樹木或許會無法適應氣候變化而消失無蹤。

生物圈因暖化而往北移動

凍原的永久凍土融化



暖化與生物物種滅絕之預測

2~3成的生物將會絕種

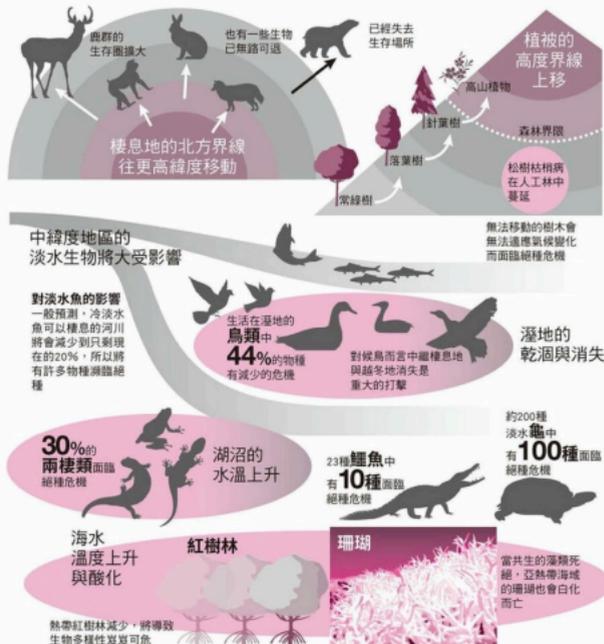
一般預測，當全球平均氣溫上升1.5~2.5°C，20~30%的生物將會面臨絕種危機。

其中一例便是在北極海冰上捕食的北極熊。由於全球暖化，無冰期變長，有愈來愈多北極熊無法捕捉獵物而衰弱。據說如果再這樣繼續暖化下去，到了21世紀中葉左右，北極熊的數量將減少為3分之1。

同樣的，非洲象與無尾熊也面臨乾旱

所造成的缺水危機，綠蠟龜與藍腳企鵝則面臨水溫上升與溶入海水中的CO₂增加等，這些都可能會威脅到物種的存續。失去任一物種都有可能打破食物鏈，進而影響到整個生態系統。

然而，造成生物絕種的不光是氣候變遷，還有人類對自然的破壞、濫捕、引進外來種等原因也不容忽視。



以動物與水為媒介的 傳染病傳播範圍擴大

帶有傳染病的生物北移

截至2020年6月為止，尚未釐清肆虐全球的新型冠狀病毒與暖化之間的關係。然而，有則說法指出，當攜帶病毒的生物若因暖化而改變了分布範圍，與人類接觸的機會就會增加，導致傳染病更容易擴散。

蚊類是瘧疾、登革熱與日本腦炎等的傳播媒介，而暖化有可能擴大其棲息地。

聯合國兒童基金會的報告指出，2018年全世界有高達約26萬名的5歲以下兒童死於瘧疾。其中大多為上下水道設施不完善的非洲孩童。瘧疾是以生於積水的瘧蚊為媒介所傳播的疾病，日本過去雖然也有過病

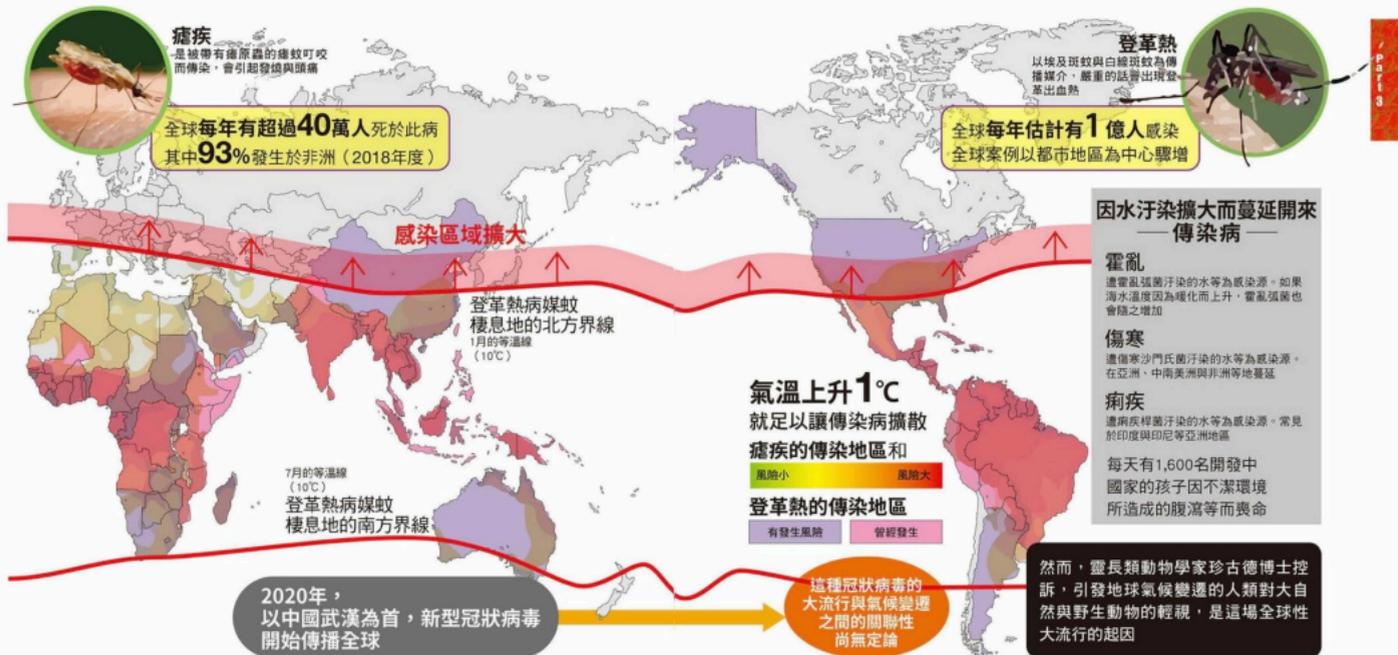
例，但後來由於衛生狀態與居家環境有所改善，如今已不再發生。然而，據說如果氣溫隨著暖化而上升，很有可能再次流行起來。

此外，目前已確定登革熱的傳播媒介白線斑蚊也有棲息於日本，且其分布區域正逐漸北移。

在缺乏安全飲用水的非洲與印度等地，不過如果因為暖化導致水溫上升，感染區域就有可能進一步擴大。此外，連續高溫會使人體力衰退，恐怕會有愈來愈多人因傳染病而喪命。

經水傳播的傳染病也會擴大

另有一些傳染病是經由水傳染給人類的。較具代表性的疾病便是霍亂，會因喝下遭霍亂弧菌污染的水而發病。如今大多發生



在冰層融化的北極海上 展開資源與航路的爭奪戰

縮短運輸路徑的北極海航路

人們擔心北極的冰層會因為暖化而融化，但另一方面又有意利用這種狀況而有所行動。

其中一項行動便是規劃了一條名為「北極海航路」的航線。在此之前，連接東亞與歐洲的航線一般都是選擇通過埃及蘇伊士運河的南行路線，然而，通過北極海的路線近年來備受矚目。如今已有2條航線，分別為通過加拿大側的「西北航路」與通過俄羅斯側的「東北航路」，俄羅斯政府將東北航路稱為北極海航路。

北極海航路自1932年以來都是由蘇聯（後來的俄羅斯）所管控，是條行徑路線受到冰層阻礙的艱難路線，一直都不太能有效地運用。然而，暖化導致海冰減少，所以夏季的特定期間內已經可以通行。

只要使用這條路線，航行距離能夠比南行路線縮短4成左右，燃料費也較低廉，因此以日本為首，各國都已經開始利用這條航線。

沉睡於北極海的天然資源

北極海之所以受到矚目，還有一個理由。根據美國地質調查局的資料所示，全球尚待發掘的石油與天然氣有22%位於北極海。

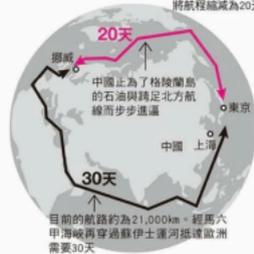
因此，俄羅斯、加拿大、美國、丹麥與挪威等周邊國家皆為了爭奪天然資源的權利而展開攻防戰。不僅如此，就連中國也開始有所行動，打算開發沉睡於北極海的資源並透過北極海航路來運送。

北極海爭奪戰驟然而起，得以開採會排放CO₂的新化石燃料全拜排放CO₂所引發的暖化所賜，實在太諷刺了。

格陵蘭為了管轄地下資源 而希望從丹麥獨立出來



北極海航路約3,000 km。走這條新航線可將航程縮減為20天



美國也可以
花錢買下
格陵蘭島囉。



美國的
川普總統
突然表示

北極海已成為
新的開闢之地

俄羅斯對暖化
喜聞樂見。
無人的凍土
將會是一產寶庫。

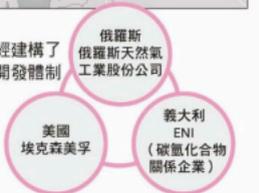


俄羅斯的
普丁總統
欣喜若狂



據說世界上
尚未發掘的
石油與天然氣資源
有**22%**
位於這片北極海中

俄羅斯已經建構了
地下資源開發體制



氣候變遷與南北問題， 北方排放的CO₂使南方遭殃

已開發國家的CO₂壓倒性地多

氣候變遷是會影響全球的問題，需要所有國家都致力於減少CO₂等各種溫室氣體。然而，並非所有國家的碳排放量都一樣。

下方圖表標示出全球碳排放量的推移，可以看出是從18世紀後半葉的工業革命開

始增加，並從1950年代開始急速攀升。再看看排放國的名單便會發現，絕大多數都是參加經濟合作發展組織(OECD)的北美、歐洲與日本等已開發國家。近年來，隨著中國與印度的顯著發展，亞洲的排放量也持續增加。

另一個圖表則顯示，即便依人均碳排放

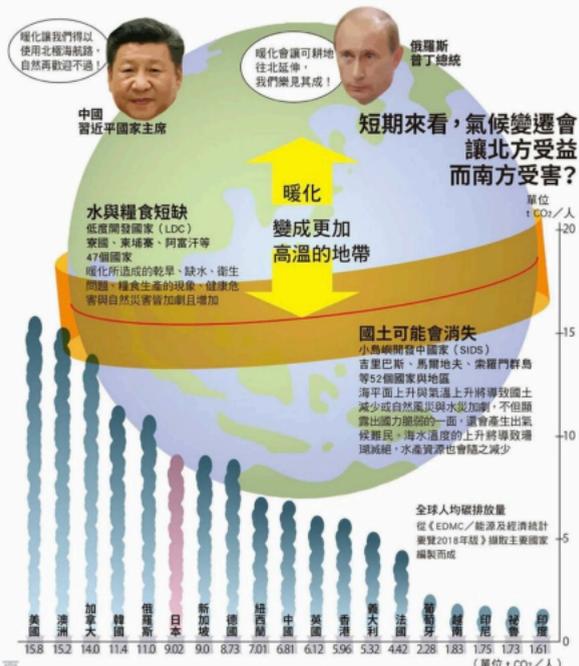
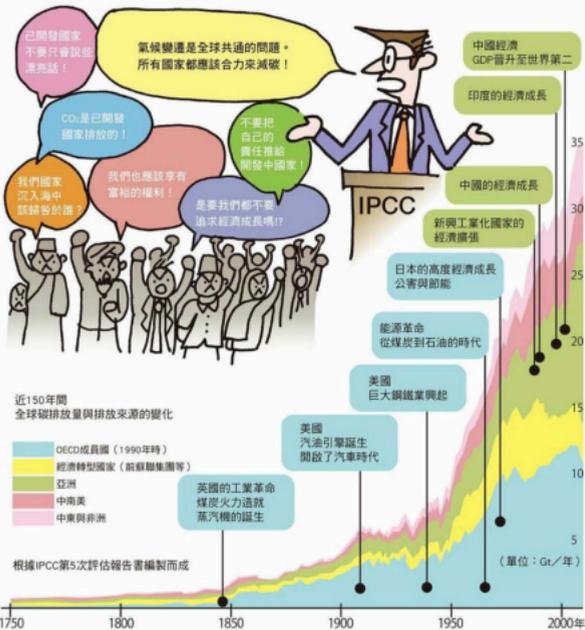
量來看，仍舊是以美國為首的各個已開發國家的排放量居多。

承受暖化之害的開發中國家

另一方面，據說開發中國家的碳排放量只占了全世界的2成左右。儘管如此，乾旱所引起的缺水、海平面上升所引起的洪水與淹水等，這類暖化所引起的嚴重災害，卻大多由開發中國家承受。

一般來說，已開發國家多位於北方，開發中國家則多位於南方，兩者之間的經濟差

距被稱為「南北問題」，然而，在氣候變遷這個全球性的問題中，已經產生另一種南北問題，即北方已開發國家所排放的CO₂導致南方開發中國家受害。此外，一般預測將來的農耕地與漁場將會因為氣溫上升而往北移動，從中受益的仍舊是北方諸國。



氣候變遷將導致 全球水資源之爭愈演愈烈

中國主宰著湄公河

有種較普遍的說法：如果20世紀是爭奪石油的時代，那麼21世紀將會是爭奪水資源的時代。氣候變遷造成缺水問題日益嚴峻，水如今已然成為一種寶貴的資源。

以下便是一個較代表性的水源爭奪案

從湄公河上游襲捲而來，
東南亞「水」戰爭的預兆
中國 vs 越南、泰國、寮國與柬埔寨



雲南小水庫高約300m，發電量為188kw。
自2004年起開始動工湄公河上游的河水



- 雲南水壩在降雨時節洩洪，屢屢引發洪水氾濫，水位的上升使漁業資源不斷流失！！
- 旱季會受到雲南水壩的影響而使得水位嚴重下降！！
- 湄公河三角洲的水位下降，導致海水倒灌而於稻田引發鹽害。已經影響到稻米的收成！！

例，中國在湄公河的議題上與其他下游國家針鋒相對，這個問題近年來尤為嚴重。為了發展水力發電，位於湄公河上游的中國接連建設了巨大的水壩，河水因而遭到攔阻，導致下游的水量減少；另一方面，也因為水壩洩洪而引起下游的洪水氾濫，位於該流域一以以來仰賴湄公河過活的寮國、越南、泰國

中亞的水資源之爭
正導致鹹海枯竭
中亞諸國



從獨立時的內亂至今，
國境與「水」的宿怨之爭
印度 vs 巴基斯坦



印度與巴基斯坦在脫離英國獨立時，爆發了激烈的內戰，最終成為兩個不同的國家。當時的國境紛爭與水資源之爭一直持續至今

與柬埔寨等國紛紛群起提伐。

湄公河流域本來就飽受異常氣象所引起
的缺水之苦，導致漁業與農業衰退。人們憂心中國的水壩建設恐怕會使事態更加惡化。

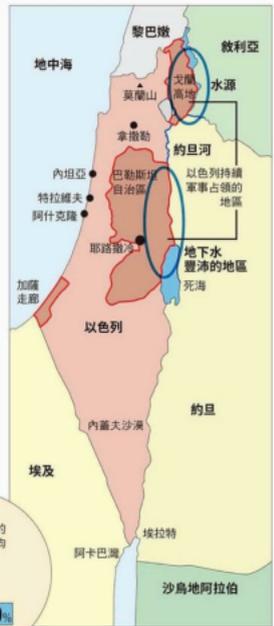
已展開水源爭奪戰的以色列

另一方面，以色列與巴勒斯坦之間的水源爭奪戰已經從半個世紀前持續至今。在1967年的第3次中東戰爭中，以色列占領了水資源豐富的約旦河西岸與戈蘭高地。自此之後，原本居住在該地的巴勒斯坦人在用

水方面受到嚴格限制，僅分配到以色列人的3分之1。

不僅如此，氣候變遷還導致降雨量減少，約旦河的水量正逐漸減少中，以巴衝突最初始於宗教與民族的對立，而水資源分配不均進一步激化了對立。

一滴水點燃
中東戰爭的新危機
巴勒斯坦vs以色列



氣候變遷將對 世界經濟造成莫大損失

自然災害所造成的經濟損失

全球規模的氣候變遷可以預見將會帶來各式各樣的問題，並且對於世界經濟也會造成重大打擊。現今已經以我們看得見的形式顯現出來的，便是由自然災害所造成的經濟損失。

右方地圖是依國別標示出1998年至2017年為止的20年間，各國因自然災害所造成的損失金額。一般認為，除了地震以外，大多數類型的災害都是異常氣象所引起的，損失金額由高至低依序是豪雨、洪水、乾旱、森林火災與極端氣溫（異常高溫或異常低溫）。

這20年之間的損失總額，就算扣除地震的部分，仍超過2兆美元。以國家來看，占居前幾名的分別是：颶風與森林火災持續增加的美國、洪水連連的中國，以及原本就自然災害頻仍的日本。

相較於1978年至1997年為止的20年間，自然災害所造成的經濟損失增加了一倍，而且暖化仍在持續，今後應該還會繼續增加。

因熱應力而生產力低落

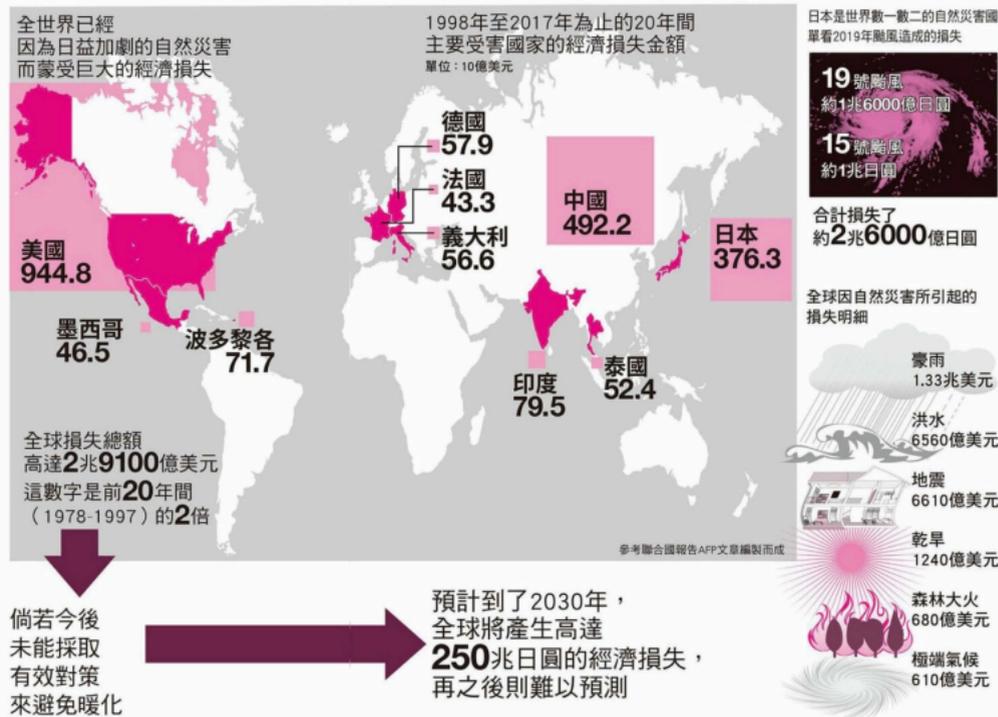
氣候變遷所造成的經濟損失不光是自然災害引起的。國際勞工組織在2019年發表的報告書中發出了警告：酷暑對人類身體造成的熱應力將會降低勞動生產率。該報告書指出，假設到這個世紀末為止能把溫升控制在1.5℃之內，在2030年之前，全球勞動時間會減少2.2%，失業人口達8,000萬人，經濟損失將攀升至2兆4,000億美元。

農業、建築業、運輸業與觀光業等，這些涉及戶外作業的行業所面臨的風險應該會特別高。

有許多全球性企業已經預測到氣候變遷所帶來的風險，並不斷尋找避險之策。比如，加強國內外設施的防災作業以預防自然災害，或是為了抑制暖化而改採不會排放CO₂的能源或運輸等，雖說能採用的方法不少，卻都得要投入新的費用。

氣候變遷所造成的損失，再加上為了

因應氣候變遷所需付出的費用，企業將承受沉重的負擔，對世界經濟造成的影響不可估量。



Part 4

人類現在所能做的事



聯合國永續發展目標 SDGs所揭示的 氣候變遷對策

世界在2030年之前應該做的事

聯合國的193個會員國於2015年通過了「2030年永續發展的議程（行動目

標）」，提出如下所示的17項「永續發展目標（SDGs）」，志在2030年前達成。

其中第13項目標即為對氣候變遷採取對策。具體來說，是以減緩氣候變遷（減碳等）與適應氣候變遷為目標，設定了以下幾項指標：

- 所有國家都須具備應對氣候變遷所帶來的災害與自然災害的能力。
- 將氣候變遷的對策納入國家的政策、戰略與計畫之中。

● 改善因應氣候變遷的教育、啟蒙、人的能力以及制度的運作。

除此之外，這些指標中還包括「為了協助開發中國家而正式啟動綠能氣候基金，支援當地的能力開發」。世界各國已經為了達成聯合國所揭示的這些目標而展開跨國界的合作。

聯合國在2030年前要達

成的永續發展目標 SDGs

目標 1 終結各地一切形式的貧窮

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，及提倡終身學習

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



圖片素材來源：聯合國教科文組織

目標 10 導正國家內部與國家之間的不平等

目標 11 打造包容、安全、堅韌且永續的都市與鄉村

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护、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 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 17 以永續發展為目標，加強執行手段，並促進全球夥伴關係

世界各國通過暖化對策 《巴黎協定》的過程

全世界為減碳而付諸行動

菲拉赫會議是首場與地球暖化相關的
世界會議，於1985年召開。1988年成立了
「政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC)」，
開始發表基於科學數據的報告書，之後的
世界政策皆受到其影響。

1992年，以減少造成氣候變遷的溫室
氣體為目標，通過了《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年為止的減碳目標所擬定的綱要。然
而，適用對象僅限於已開發國家，中國與印
度等新興國家被排除在外，因此美國表明了

不參加。碳排放量最多的美國與中國皆未加
入，這樣的條約迫切需要重新審視。

世界各國皆參與的《巴黎協定》

在此之前，說到氣候變遷的對策，都是
以減碳為主，不過因為《京都議定書》一事
而掀起了熱烈的討論：支援已遭氣候變遷
影響的開發中國家應該列為對策之一，且無
論碳排放量多寡，所有國家都應該參加等
等。

世界各國皆參與的《巴黎協定》就此

通過，並於2016年生效。全世界統一了步
調，皆朝著「將溫升控制在比工業革命前高
不到2°C，並盡量控制在1.5°C之內」的目標
邁進。然而，美國總統川普卻突然在2017
年宣布要退出。美國多個對此持反對意見的
州政府立即成立了「美國氣候聯盟」，表明
會遵守《巴黎協定》的承諾。

在1960~
1970年代 全球寒冷化理論
是一種常識



沒有科學數據佐證的全球寒冷化理論漸漸成為常識

1896年
首度有人指出
地球暖化的現象



如果CO₂增加一倍，氣溫就會上升5~6°C

大家持續無視
暖化理論

這個時期開始為了
環境汙染問題的研究
而持續調查CO₂。

地球
持續暖化

自1980年代中葉起
聯合國
開始採取行動



1988年
政府間氣候變遷
專門委員會
IPCC成立

此為匯集世界各地
氣象相關學術報告
並加以評估的
專業機構

暖化問題
首度受到
關注

1979年
美國國家科學院
發表了查尼報告

到了21世紀，
CO₂會增加一倍，
氣溫將上升
1.5~4.5°C

1992年
通過聯合國
氣候變遷
綱要公約
UNFCCC

每年召開減少
溫室氣體的
COP會議

1997年
於京都召開
COP3會議

通過
京都議定書
到2020年為止

僅已開發國家
參加
已經制定
參加國的
減碳目標

但是碳排放大國
皆未參與其中
實為不妥

印度、中國、開發中國家與
美國皆不參加，
加拿大後來退出



1997年
於巴黎召開
COP21會議

通過巴黎協定
2016年生效

有史以來首次
所有國家皆
參與其中

2020年以後的
長期目標
將從工業革命以來的
溫升控制在
2°C以下
目標控制在1.5°C內

實現手段
減緩暖化之策略
適應暖化之策略

然而，2017年
美國總統川普
宣布要退出

為了達成溫升 1.5°C 內的目標， 世界各國現在應該做的事

減少溫室氣體的減緩策略

SDGs 與《巴黎協定》旨在對氣候變遷做出應對之策，如今各國已經開始認真執行。氣候變遷對策有「減緩」與「調適」兩大主軸，期望兩者能相輔相成，產生更大的效果。

所謂氣候變遷的「減緩」，是指抑制地球再繼續這樣暖化下去。《巴黎協定》所揭示的長期目標是，將地球的平均溫升控制在「比工業革命前高不到 2°C，並盡量控制在 1.5°C 之內」，為此「21 世紀後半葉必須使實質溫室氣體排放量淨零」。

所謂的淨零，意指減少溫室氣體排放量

的同時，還要增加森林等對溫室氣體的吸收量，使其相抵後為零。為此，轉換成不會產生溫室氣體的替代能源等的減碳措施，以及恢復遭人類破壞的森林等的吸碳措施，皆已同步進行中。

因應新氣候的調適策略

另一方面，所謂氣候變遷的「調適」，是指做好準備來應對已經發生的氣候變遷所帶來的影響。

其中一個具體例子便是，預防或減輕

豪雨、洪水、森林火災等起因於氣候變遷的災害，尤其是像吐瓦魯這種島國，已經因為海平面上升而面臨淹沒危機，更是迫切需要採取應對措施。此外，位於乾旱期間愈來愈長的乾燥地帶的諸多國家，則必須確保水資源，並完善農業專用的灌溉設施。要致力於解決這些問題，國際支援也是必不可少的。

於 21 世紀後半葉
使得溫室氣體排放量 **0**

相輔相成

水災防治對策 因應水環境變化引起的
缺水問題 整頓灌溉系統 海平面上升損害對策 保護生態系統等

2017年
CO₂排放量
全世界 WORST **10**
全球整體碳排放量
328 億 4,000 萬噸
取自 EDCM / 能源及經濟統計要覽 2020 年版

單位：100 萬噸



巴黎協定的
兩大主軸

溫室氣體是 從何處產生的？

生活中產生的CO₂

追根究底起來，溫室氣體究竟是從何處排出的呢？

占溫室氣體約65%的二氧化碳(CO₂)是燃燒化石燃料(煤炭、石油、天然氣)所產生。主要是源自於火力發電廠、工廠與汽

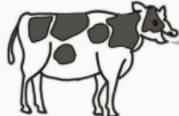
車等，而從中受益的便是我們人類。只要使用電、煤氣與煤油，或是搭乘汽車、巴士與電車等，就會排放出CO₂。我們如今的生活都是透過排放CO₂支撐起來的。

溫室效應強的甲烷與氟氣氫

甲烷的排放量雖然沒有CO₂那麼多，但

HFCs 氟氣烴類中的氟氣碳化物一般會用作空調或冰箱的冷媒、噴霧的推進劑等

N₂O 一氧化二氮是在燃燒燃料或工業製造等過程中產生的。溫室效應是CO₂的298倍

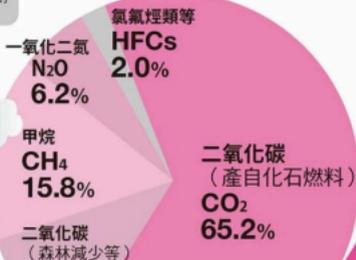


CH₄ 甲烷是天然氣的主要成分，組合、畜舍的糞內發酵與廢棄物處理等也會產生

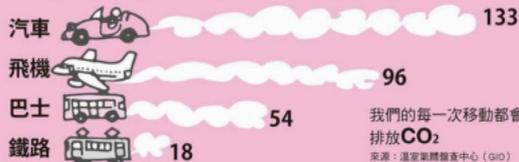
CO₂



溫室氣體的種類及其比例



依移動方式劃分的CO₂排放量



所造成的溫室效應卻是CO₂的25倍左右。甲烷主要是源自於農業領域。甲烷在溼地比較容易生成，因此會出現在日本及其他亞洲地區常見的稻田中。另一方面，在經營著大規模酪農業的美國等地，牛隻打嗝已然成為一大問題。據說牛隻在反芻食物的過程中所產生的甲烷，1天高達160~320公升。

氟氣烴類比甲烷可造成更強勁的溫室效應，這是一種不存在於自然界的人工物質，一般用來作為冰箱或空調的冷媒，或是噴霧罐的推噴劑等。在1980年代，氟氣烴

類被視為破壞臭氧層(可守護地球免受紫外線危害)的物質而引發爭議，如今主要是使用被稱為「氟氣烴替代品」的氟氣碳化物(HFC)。HFC不會破壞臭氧層，但是造成的溫室效應卻是CO₂的1430倍之多。

日本每年 排放出的CO₂ 約11億3,800萬噸 (2018年度)

家庭 4.6% 每戶家庭每年也會排放約4,150kg的CO₂

工業過程 4.1% 廢棄物 2.5%

業務及其他 5.6%

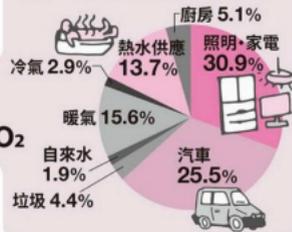
能源 40.1% 主要是發電所排出的CO₂

運輸 17.8%

產業 25.0%

直接排放 (依實際排放來源劃分的比例)

其中一半以上來自家電與汽車



依發電類別劃分的CO₂排放量



世界各國正以在 2050 年前 實現脫碳社會為目標

轉換成可再生能源

到了 21 世紀後半葉，世界各地已經開始為了將溫室氣體的排放量淨零而付諸行動。以下即為實現零排放 (zero emission) 的具體對策。

在排放最多 CO₂ 的發電領域中，正在

從化石燃料轉換成太陽能、風力、中小型水力、地熱與生物質等可再生能源。尤其是歐洲，正致力於「去碳化」，可再生能源在發電中所占的比例，丹麥已經達到約 8 成，瑞典約 6 成，連德國也占了近 5 成。

此外，碳排放量較多的鋼鐵、水泥、化學與紙漿這 4 大產業，以及汽車、飛機與船

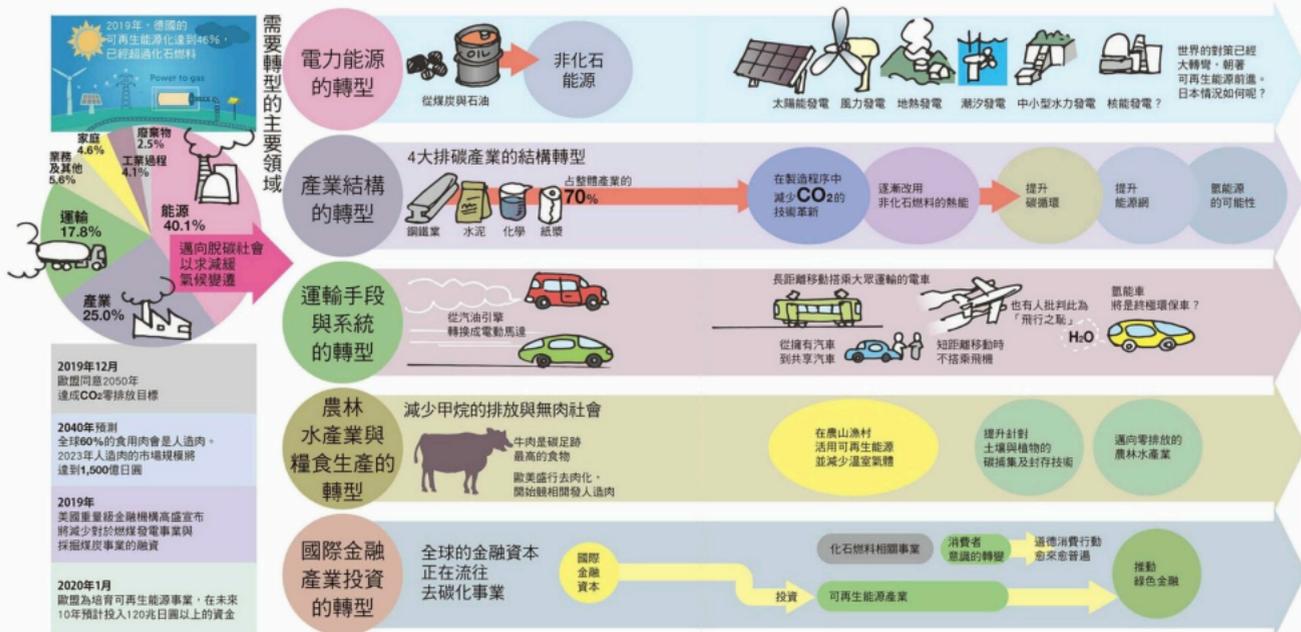
舶等運輸相關產業，也開始以去碳為目標而採取各式各樣的對策。

金融界也開始投資去碳

農業領域也開始重新審視牛肉的生產，因其過程會大量產生強效溫室氣體之一的甲烷。目前已開始投入可抑制甲烷生成的飼料開發，不易產生甲烷的牛隻品種改良，甚至是培養牛細胞的人造肉開發。

此外，支撐著產業的金融業也開始明確展現出支持去碳的態度。積極支援可再生能源

源的相關事業，不再融資給化石燃料中碳排放量最多的燃煤發電，這已經是全球金融業的常識。因此，沒有採取暖化對策的企業正迫切需要轉型以求生存。



2019年12月
歐盟同意2050年
達成CO₂零排放目標

2040年預測
全球60%的食用肉會是人造肉。
2023年人造肉的市場規模將
達到1,600億日圓

2019年
英國重量級金融機構高盛宣布
將減少對於燃煤發電事業與
採掘煤炭事業的融資

2020年1月
歐盟為培育可再生能源事業，在未來
10年預計投入120兆日圓以上的資金

在 2050 年前將溫室氣體的排放淨零

與世界背道而馳，日本的能源解決方案在於「水」？

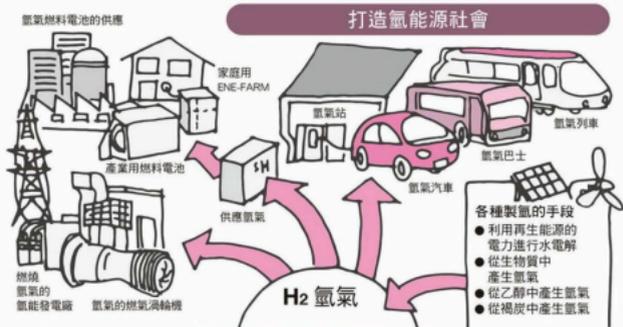
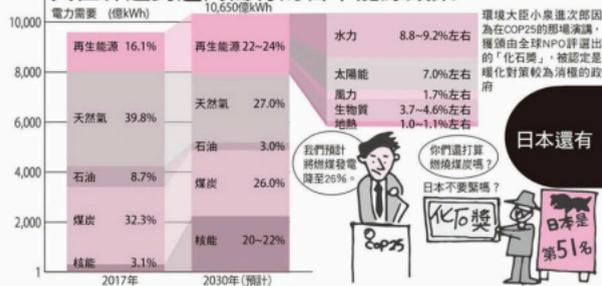
依賴燃煤發電的日本

當全球紛紛以去碳化為目標，日本的能源政策卻與世界背道而馳，故而飽受批判。下方圖表即為日本用於發電的能源明細。在2017年的實際成果中，化石燃料約占整體的八成，其中大部分都是仰賴進口，不僅如

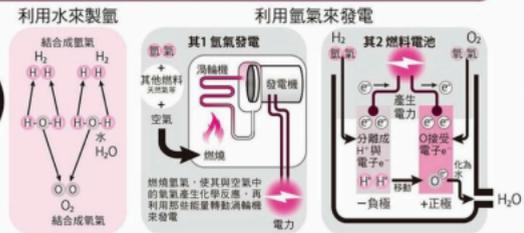
此，CO₂排放量最多的燃煤發電還高達3成以上，且今後預計還會進一步增設燃煤發電廠。

這離煤炭是現今的趨勢，已開發國家中唯有日本至今仍在推動燃煤發電，難怪會遭到譴責。

與世界趨勢逆向而行的日本能源政策



那就是氫能源 使用這些氫氣……



哪一種未來能源最具優勢？

日本已提出「在2030年之前將發電所用的化石燃料比例降至56%」的目標，並試圖提高可再生能源的使用率。

其中備受期待的便是氫能源。除了以水電解的方式來製氫外，還有下水道泥、家畜排泄物等生物質，或是一般稱為褐炭的低品質煤炭等，也可以從中獲取氫氣。只要利用可再生能源來提供製氫過程中所需要的電力，也有可能實現零碳排放。

目，即成功以人工方式重現了植物光合作用的「人工光合作用」。利用陽光從水與CO₂中製造出氫氣與有機化合物，即可藉此產出新的綠色能源，故此項技術被期待能盡早實用化。

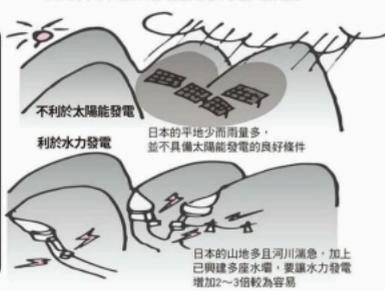
不僅如此，農村與山村如今已不再使用傳統水力發電的大型水壩，而是由低成本即可發電的中小型水力發電來發揮作用。「水」或許可以說是日本次世代能源的關鍵字。

此外，還有一項日本研發的技術備受關

利用水的人工光合作用來製氫



活用日本山區所具備的水力發電潛能



零碳的綠色環保汽車 將改變我們的生活

動力從汽油轉換成電力

日本的碳排放量中，汽車占了將近2成，汽油車是以汽油或柴油等石油作為燃料，藉由引擎燃燒汽油進而奔馳，所以會排放出CO₂。因此，如今都會建議使用碳排放量較少的環保車。

CO₂ 排放量比較



美國創造出 以車子為中心的生活型態



以車子為移動前提的社會基礎設施



最終通往大量生產與大量消費的 超級市場



該是時候結束這種 由美國人創造出來的 移動與消費型態了



運行，所以行駛中完全不會排出CO₂。

然而，如果環保車所使用的電力是以化石燃料產生的，便意味著在發電廠就會排放CO₂，所以使用可再生能源來作為電力較為理想。

靠氫氣奔馳的最新環保車

使用氫氣的燃料電池汽車被視為終極環保車而備受期待，這種汽車是透過氫氣與氧氣的化學反應所產生的電力來驅動馬達，所以只會排出水，碳排放量為零。只要配置為

車輛提供氫氣的氫氣站，應該也是有可能實現氫氣社會。

無論是哪一種環保車，在製造與報廢階段都會用到電力，所以不可能完全不會排出CO₂，不過有些製造商會在工廠導入可再生能源等，試圖藉此來減碳。

以上的碳排放量比較中，不光是行駛中所排出的CO₂，連提煉或運送燃料時所排出的CO₂都包含在內

生活會因為 氫能車而改變!?



若以化石燃料製氫就會排放出CO₂。但如果是再生能源則碳排放量為0

守護可謂碳儲藏庫的森林與海洋，增加CO₂的吸收量

恢復可吸收CO₂的森林

暖化對策有2種方法，分別是抑制CO₂的排放與吸收大氣中的CO₂。上一節所提到的CCS是種以人工方式回收CO₂的技術，不過回收CO₂最有效率的，是自然界。正如在p22~23所看到的，植物會吸收大氣中的

CO₂並儲存碳，吃下這些植物的動物則會經由呼吸吐出CO₂，自然界便是透過這樣的循環，維持著排出的CO₂與吸收的CO₂之間的平衡。

然而，人類將森林轉為農地來使用，並不斷取用木柴與木材，導致吸收CO₂的森林持續減少，2010年至2015年期間，全世

界每年平均損失達330萬公頃的森林。因此，目前正在推動的活動便是透過植樹造林來恢復森林，試圖提高CO₂的吸收量。

海洋所積存的藍碳

在自然界中由生物所吸收並儲存的碳即稱為「綠碳」。聯合國環境規劃署(UNEP)將其中由海洋生物所吸收並儲存的碳取名為「藍碳」，並於2009年發表了一份報告書。從此，藍碳便以CO₂的吸收源之姿備受關注。

海藻與海草的群落，紅樹林與潮間帶泥灘等處的吸碳量特別多，四面環海的日本正好位於可活用藍碳的最佳環境之中。根據專家的研究，只要打造培育海草或海藻的地方並適當管理，到了2030年，預估每年最多可以吸收910萬噸的CO₂，被寄予很高的期待。

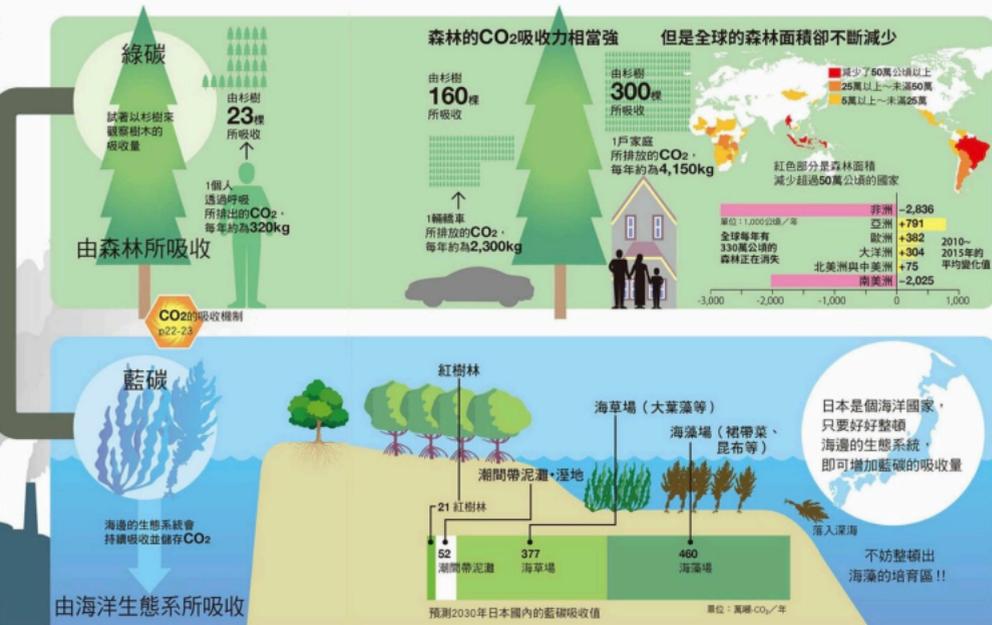
日本的森林與大海所吸收的CO₂量 預測2030年的最大值



地球自行
回收的CO₂會
被森林與海洋
所吸收，
統稱為綠碳



有時還會進一步區分，
海洋所吸收的為藍碳，
相對的，
森林所吸收的則為綠碳



碳足跡有助於 促進企業致力減碳

將溫室氣體數值化

溫室氣體是肉眼看不見的，所以很難感受得到。於是我們以肉眼可見的形式來加以顯示，即為「碳足跡 (Carbon footprint)」。

無論是什麼樣的產品，從原料的取得到生產、流通、使用乃至廢棄為止，大部分

的過程中都會排放出溫室氣體。所謂的碳足跡，便是將產品整個生命週期中所排出的各種溫室氣體量換算成CO₂的排放量，再以數字來表示。

令人意外的是，食品占了全球溫室氣體排放量的4分之1，尤其是牛肉與乳製品，飼養家畜所耗費的能源與其反芻食物所排出

的甲烷量都很可觀，因此在食品中的碳足跡格外地高。

致力減碳成為企業的評價標準

如此一來，只要了解產品的碳足跡，企業會比較容易投入減碳。如今以歐洲為中心的一些國家正在推動公布產品的碳足跡，許多企業都開始投入開發碳排放量更少的產品。日本也已經開始採取對策，比如將工廠所使用的電力轉換成可再生能源，運輸方面則改用鐵路或船運來取代卡車等。此外，

也有愈來愈多企業採用「碳補償 (Carbon offset)」的策略，即透過植樹造林活動等來抵銷無論如何都無法減少的CO₂。

執行碳化對策如今漸漸成為企業的一項社會義務。

碳足跡的細節

將某種商品在其整個生命週期中所排出的溫室氣體量加總後，換算成CO₂的排放量

以瓶裝茶為例



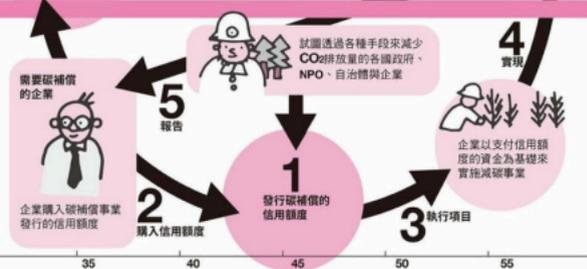
在產品上標示碳足跡

舉例來說，
以這樣的符號來表示



碳補償

透過某些方法來抵銷 (補償) 已經排出的CO₂，也是對碳補償做出貢獻的方法之一



主要食品的
碳足跡

為了減少CO₂， 我們可以採取的行動

家中的減碳對策從節電開始

日本國內有14.6%的碳排放量是來自家庭。這個數字出乎意料地多且令人心驚，不過這是可以透過我們每個人的用心而使其下降的。

日本每年人均碳排放量約為1920kg。

其中由於使用電力而產生的CO₂就占了將近一半。

一開始先確認看看自己家裡每個月大約使用多少電。節電便是減碳的第一步。不妨從得到的地方開始著手，比如隨手關燈、調整冷暖氣的設定溫度、使用節能型家電產品等。隨著電業自由化，有愈來愈多電力公

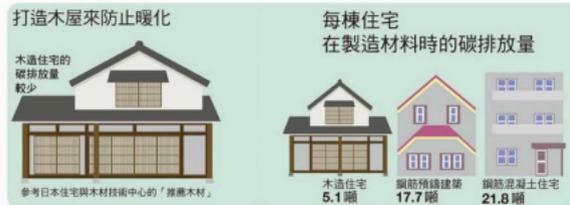
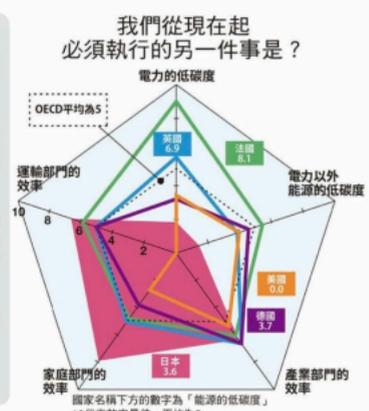
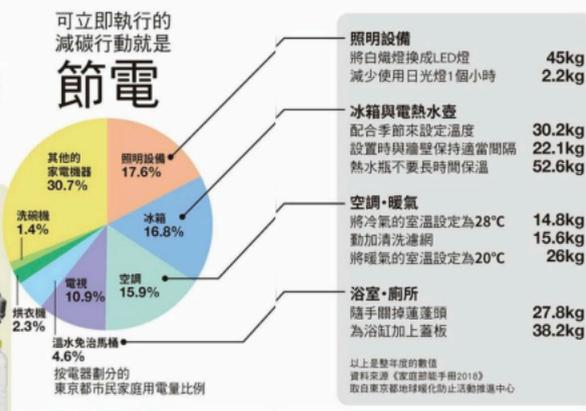
司開始供應以可再生能源所產生的電力，不妨也評估看看。此外，上下水道的設備、垃圾的焚燒與回收等也會耗電，所以節約用水或垃圾減量也等同於減碳。

挑選產品時把CO₂列入考量

不光是減少電力、瓦斯、煤油、汽油等的使用量，意識到碳足跡這種肉眼看不到的CO₂來挑選商品或服務也是很重要的。

比方說，同樣是蔬菜，選擇露天栽培的當季產品而不是耗電的溫室栽培、選擇當地

的產品而不是消耗燃料從遠方運來的產品，較能減少碳排放量。此外，只要積極使用致力於減碳的企業的產品或服務，企業應該會對優化對策付出更多努力。為了挽救未來的氣候，如今是時候好好重新審視我們這種便利的生活方式了。



日本的問題在於，發電事業等能源供給企業的低碳水準遠遠不如其他國家。即便家庭、產業與運輸部門的效率早已達到全球最低水準，卻因為這些部門在低碳度的落後導致日本的評價下滑

我們現在所能做的，便是對供應電力等能源的企業提出推動事業低碳化的要求

結語

在疫後的世界裡， 是否會萌生全新的經濟學？

2020年5月，當新冠病毒毒來勢洶洶而世界各地的都市都相繼封鎖時，新聞播報了一期稍微明快的消息。不但中國傳出「原本空汙嚴重的天空變得清澈許多！」的消息，連印度20年來都看不到的喜馬拉雅山山影也浮現在新德里的藍天之中。全球碳排放量比前一年少了17%的消息也傳了開來。

光是人類稍微停止產業活動，大氣就能獲得如此大幅度的改善。全世界的人們因傳染病的威脅而提心吊膽，卻在這一個期間獲得舒緩。然而，人們很快就意識到這片藍天的真正含意。全世界約有超過1000萬人染疫且已逾50萬人死亡（截至2020年6月30日為止），在面臨性命危機的情況下，人們終於停止了產業活動，結果換來的是這片藍天。

新型冠狀病毒的全球大流行讓我們的生活產生巨變。世界各地都有人表示，疫前的生活已經一去不復返；也有人呼籲，不妨藉此機會打造一個疫後的新社會秩序。

然而，這些聲音卻漏掉了一個重大事項。我們還是得回歸到溫室氣體造成持續暖化的世界。在那個世界裡，應該追求產業活動的持續性減速，而不只是暫時性停止。

格蕾塔在新冠疫情爆發前不久的1月曾在第50屆世界經濟論壇上發表演說，美國財政部長梅努欽卻嘲諷她說：「她應該去上大學學一下經濟學。」然而，氣候變遷正是他們所信奉的那套「經濟學」所引起的。既然如此，格蕾塔根本沒必要學習那種錯誤的經濟學。明眼人都知道，必須重新學習經濟學的是梅努欽先生，以及那些把自身利益擺在地球危機之前的大人們。

參考文獻

- 《地球システムを科学する》（伊勢武史著・BERET出版）
《シミュレート・ジ・アース 未来を予測する地球科学》（河宮未知生著・BERET出版）
《Newton 別冊 この真実を知るために 地球温暖化》（西岡秀三監修・Newton Press）
《絵でわかる地球温暖化》（渡部雅浩著・講談社）
《Newton 別冊 みるみる理解できる 天気と気象》（Newton Press）
《地球を「売り物」にする人々たち》（McKenzie Funk 著・鑽石社）
《世界史を変えた異常気象 エルニーニョから歴史を読み解く》（田家康著・日本経済新聞出版社）
《地球に住めなくなる日「気候崩壊」の避けられない真実》（David Wallace-Wells 著・NHK出版）
※繁體中文版：《氣候緊急時代來了：從經濟學到瘟疫爆發，認清12大氣候風險與新生存模式》天下雜誌
《日本の国家戦略「水素エネルギー」で飛躍するビジネス》（西脇文男著・東洋經濟新報社）
《2050年の技術 英「エノミスト」誌は予測する》（英《經濟學人》編輯部著・文藝春秋）
《水の世界地図》（Maggie Black・Janet King 著・沖天監訳・丸善）
《気候カジノ 経済学から見た地球温暖化問題の最適解》（William Nordhaus 著・日経BP社）
※繁體中文版：《氣候賭局：延緩氣候變遷 vs. 風險與不確定性，經濟學能拿全球暖化怎麼辦？》寶鼎
《水の未来》（Fred Pearce 著・日経BP社）
《温暖化の世界地図》（Kirstin Dow・Thomas Downing 著・丸善）
※繁體中文版：《氣候變遷地圖》聯經出版
《地球温暖化図鑑》（布村明彦・松尾一郎・垣内ユウコ著・文溪堂）

參考網站

- IPCC ● <https://archive.ipcc.ch/>
國際聯合宣傳中心 ● <https://www.unic.or.jp/>
日本環境省 ● <http://www.env.go.jp/>
日本氣象廳 ● <https://www.jma.go.jp/>
日本經濟產業省・資源能源廳 ● <https://www.enecho.meti.go.jp/>
國立環境研究所 地球環境研究中心 ● <http://cges.res.go.jp/ja/>
國立研究開發法人 海洋研究開發機構 ● <http://www.jamstec.go.jp/jp/>
全國地球暖化防止活動推進中心 ● <https://www.jccca.org/>
聯合國 UNHCR 協會 ● <https://www.japanforunhcr.org>
日本 UNICEF 協會 ● <https://www.unicef.or.jp/>
東京經濟 ONLINE ● <https://toyokeizai.net>
AFP BB NEWS ● <https://www.afpbb.com>
日本海洋事業株式會社 ● <https://www.nmeweb.jp>
理化學研究所 計算科學研究中心 ● <https://www.rccs.riken.jp/>
一般財団法人日本遠測技術中心 ● <https://www.restec.or.jp/>
JAXA 地球觀測研究中心 ● <https://www.eorc.jaxa.jp/earthview>
公益財団法人 日本極地研究協會 ● <http://kyokuchi.or.jp/>
日本財團 圖書館 ● <https://nipponzaidan.info>
國際環境經濟研究所 ● <http://ieei.or.jp/>
農研機構 ● <http://www.naro.affrc.go.jp/index.html>
- 藍碳研究會（一般財団法人みなと総合研究財團） ● <http://www.wave.or.jp/bluecarbon/index.html>
東京都地球暖化防止活動推進中心（Cool Net 東京） ● <https://www.tokyo-co2down.jp/>
國家地理 ● <https://natgeo.nikkeibp.co.jp>
WWF Japan ● <https://www.wwf.or.jp>
聯合國環境規劃署（UNEP） ● <https://ourplanet.jp>
BBC NEWS JAPAN ● <https://www.bbc.com/japanese>
REUTERS ● <https://jp.reuters.com>
Record China ● <https://www.recordchina.co.jp>
WORLD RESOURCES INSTITUTE ● <https://www.wri.org/our-work/topics>
Esi! ● <https://www.esi1.com/>
Inside climate news ● <https://insideclimatenews.org/news>
ganas ● <https://www.ganas.or.jp>
WIRED ● <https://wired.jp/nature/>
EL BORDE ● https://www.nomura.co.jp/el_borde
FoE Japan ● <https://www.foejapan.org/climate-swissinfo.ch> ● <https://www.swissinfo.ch>
Global News View ● <https://jglobalnewsview.org>
WORLD ECONOMIC FORUM ● <https://jp.weforum.org>
Smart Japan ● <https://www.itmedia.co.jp/smartjapan>
Tech Factory ● <https://wp.techfactory.itmedia.co.jp>
THE WORLD BANK ● <https://www.worldbank.org>
Our World in Data ● <https://ourworldindata.org/>
Flood Maps ● <http://flood.freetree.net/>

英數字

1.5°C內的目標	73、74
AMeDAS	26、28
IPCC	6、33、34~35、62、72
RCP 情境	34~35
SDGs	70~71

1~5劃

一氧化二氮	76
二氧化碳 (CO ₂)	6、16~17、22~23、76~77
二氧化碳 (CO ₂) 的排放量/碳排放量	62~63、73、74、76~77、82~83、88、90
人工光合作用	80~81
大豆	52~53
大氣循環	15、18~19、24~25
大熊貓	11
小島嶼開發中國家 (SIDS)	63
小麥	52~53
工業革命	17、30、62、73
中國	48~49、51、52、62~63、66、72
反聖嬰現象	40~41
天然氣	23、60~61、76
巴勒斯坦	67
巴黎協定	73
水污染	9、48~49、51
水災	10、46~47
水循環	14~15、20~21、42~43、54
水資源之爭	66~67
水資源壓力	48~49
以色列	67
加拿大	48~49、60~61
北極海航路	60~61
北極熊	11、57
去碳	78~79
可再生能源	78~79、80~81、83、90
永久凍土	54
玉米	52~53

生態系統	11、56~57
甲烷	17、76~77、78~79
石油	6、17、23、60~61、76、82

6~10劃

光合作用	22~23
冰河	10、20、42~43、54
冰期	31
冰層	10、20、42~43、54
印度	48~49、52、59、66
吉里巴斯	63、64~65
吐瓦魯	65、75
地下水枯竭	43、49、50~51、52
地球系統模式	29
地球暖化	6、32~33、34~35、72
地球模擬器	28~29
低度開發國家 (LDC)	63
低氣壓	25
沒入水中	10、54~55、64~65
京都議定書	72~73
季風	24~25
油電混合動力車	82
阻塞現象	39
非洲	48~49、58~59、64~65
非洲象	11、57
俄羅斯	12、60~61、63
信風	18~19、25、40~41、45
南北問題	12、62~63
柯本氣候分類法	24
洪水	10、46~47、66、68~69
砍伐森林	10、47
科氏力	18
約旦河	67
美國	50~51、52、60~61、72
格陵蘭島	10、42、54、60~61
氣候	6~7、15
氣候系統	7、14~31
氣候模式	28~29、32~33、34~35

氣候難民	13、64~65
氣候	46
氣象	14、26~27
氣象雷達	26~27
氣象衛星	26~27、28
氣象觀測系統	26~27
氣溫上升	6、32~33、34~35、56~57
氣態膠體	15、20
海水循環	15、19
海平面上升	10、54~55、64~65
缺水	9、48~49、50~51、65、66~67
臭氧層	14~15、77
高氣壓	25

11~15劃

乾旱	9、36~37、46~47、48~49、50~51、52、64~65、68~69
偏西風	18~19、25、39、44~45
氫氣燃料電池車	83
氫能源	80~81
異常氣象	7、36~37、40~41、46~47
雲豹	11
雪球地球	30
寒冷化 (愈來愈冷)	30、72
插電式混合動力車	82~83
森林火災	37、47、68~69
氣旋	17、76~77
減少二氧化碳 (CO ₂) / 減碳	72、89、90~91
湄公河	66~67
無尾熊	11、57
無線電探空儀	26~27
登革熱	8、58~59
虛擬水	53
間冰期	31
傳染病	8、58~59
奧加拉拉含水層	50~51
新型冠狀病毒	58
溫室效應	16~17

溫室氣體	6、16~17、34~35、72、74~75、76~77
煤炭	6、17、23、76、84~85
經濟損失	13、68~69
聖嬰現象	24、40~41
農業損害	9、52
零排放	78
電動車	83
電磁波	16~17
瘴氣	8、58~59
磁	22~23、86~87
碳足跡	88~89、91
碳捕集與封存 (CCS)	84~85
碳循環	15、22~23、86
碳捕集	89
綠碳	86~87
綠蟻	11、57
蒙雨	10、36~37、43、44、46~47、68~69
颱風	10、21、25、43、44~45、46
熱浪	8、36、38~39
熱帶低氣壓	21、25、42~43、45、46
熱帶風暴	46
熱應力	68

16~20劃

燃料電池	81
燃煤發電	79、80、84~85
積雨雲	21、41、43
雷風	59
環保車	82~83
聯合國氣候變遷綱要公約	72~73
臨界點	47、48
颶風	10、46~47、63
藍碳	86~87
蘇門答臘猩猩	11



閱讀結束

InfoVisual 研究所・著

以代表大嶋賢洋為中心的多名編輯、設計與CG人員，從2007年開始編輯、製作並出版了無數視覺內容。主要的作品有《插畫圖解伊斯蘭世界》（暫譯，日東書院本社）、《超圖解 最淺顯易懂的基督教入門》（暫譯，東洋經濟新報社），還有「圖解學習」系列的《圖解人類大歷史》（漫遊者文化）、《從14歲開始學習 金錢說明書》、《從14歲開始認識AI》、《從14歲開始學習 天皇與皇室入門》、《從14歲開始了解人類腦科學的現在與未來》、《從14歲開始學習地政學》、《從14歲開始了解塑膠與環境問題》、《從14歲開始了解水與環境問題》（暫譯，皆為太田出版）等。

大嶋賢洋的圖解頻道

YouTube（※影片皆為日文簡字幕版本）

<https://www.youtube.com/channel/UC-HqjNCSUJwz985o6KoAqyw>

Twitter

@oshimazukai

企劃・結構・執筆 大嶋 賢洋
費田 菜穂子
插畫・圖版製作 高田 寛務
插畫 二都呂 太郎
DTP 玉地 玲子
校對 鷗來堂

ZUKAI DE WAKARU 14SAI KARA SHIRU KIKOU HENDOU

© Info Visual Laboratory 2020

Originally published in Japan in 2020 by OHTA PUBLISHING COMPANY, TOKYO.

Traditional Chinese translation rights arranged with OHTA PUBLISHING COMPANY, TOKYO, through TOHAN CORPORATION, TOKYO.

SDGs 系列講堂 全球氣候變遷

從氣候異常到永續發展目標，謀求未來世代的出路

2022年3月 初版發行

著 者 InfoVisual 研究所

譯 者 廖小芳

副 主 編 劉宛如

美術編輯 黃海瑤

發 行 人 南都格

發 行 所 台灣東販股份有限公司

<地址> 台北市南京東路4段130號2F-1

<電話> (02) 2577-8878

<傳真> (02) 2577-8896

<網址> <http://www.tohan.com.tw>

法律顧問 羅維權律師

ISBN : 978-626-329-186-7 (EPUB)