

武蔵野市気候市民会議 第 1 回会議(2022/7/26)
事前情報提供資料

気候変動の現状と課題

東京大学未来ビジョン研究センター/国立環境研究所
江守正多

(協力：アオイ環境(株))

- A. 導入編
- B. 影響の深刻さ
- C. 脱炭素の可能性
- D. 脱炭素化を考えるための視点

A. 導入編

A1. 地球温暖化の仕組み

A2. 大気中のCO₂の増加

A3. 世界平均気温上昇と人間活動の因果関係

A4. 気候変動問題への国際社会の取り組み

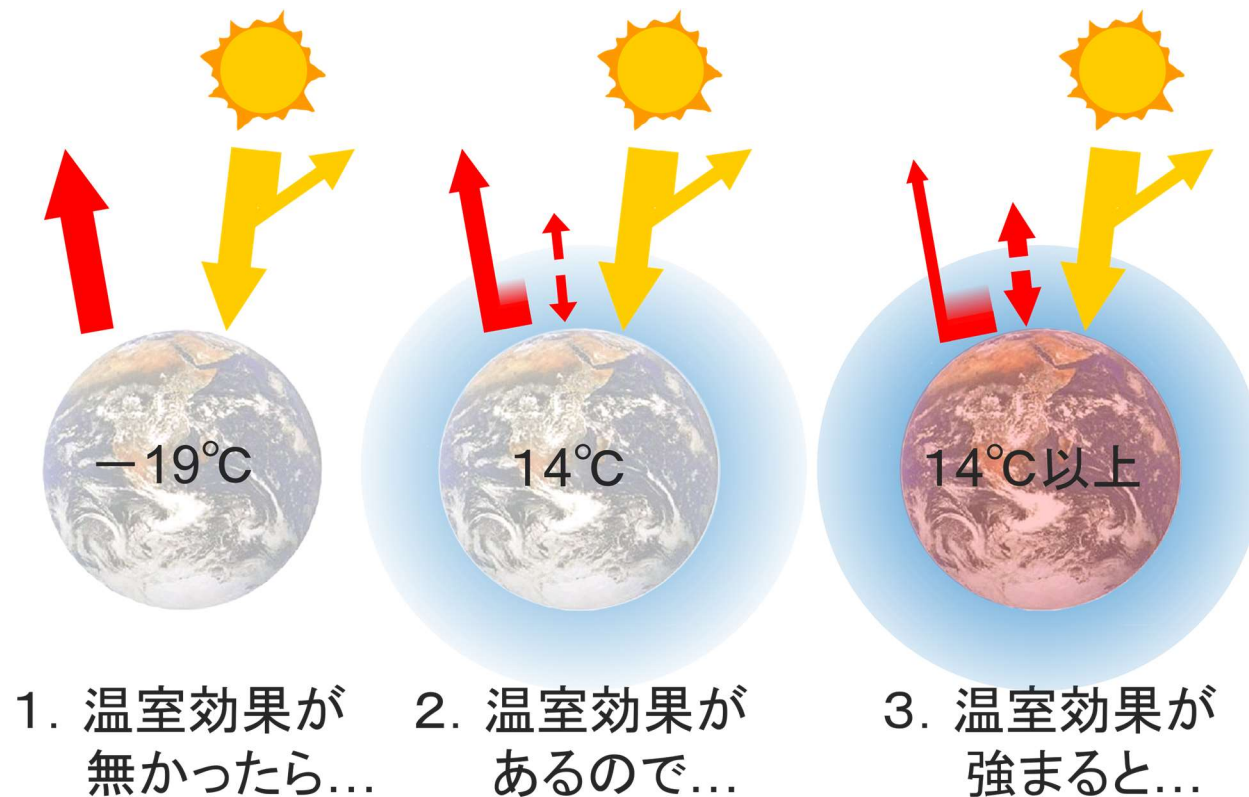
A5. 将来の世界平均気温

A6. パリ協定の長期目標（1.5°C排出経路）

A7. よくある疑問への回答

< A1. 地球温暖化の仕組み >

1. 地球が太陽から受け取る日射のエネルギー（主に可視光線）と宇宙に放出するエネルギー（赤外線）は、ほぼ釣り合っている。仮に地球に「温室効果」がまったく無かった場合、地球表面は平均約**-19°C**になると推定される。
2. 実際には、地球大気には「温室効果ガス」が含まれている。温室効果ガスは地表面から放出された赤外線を吸収し、放出する。放出された赤外線の一部は地表面を温める。この結果、地表付近の気温は平均約**14°C**になる。これが産業革命前の地球の状態である。
3. 近年、人間活動により大気中の温室効果ガスが増加している。これにより、より多くの赤外線が大気に吸収され、より多くが地表面に向かって戻るため、地表付近の気温が上昇している。これが地球温暖化の基本的な仕組みである。

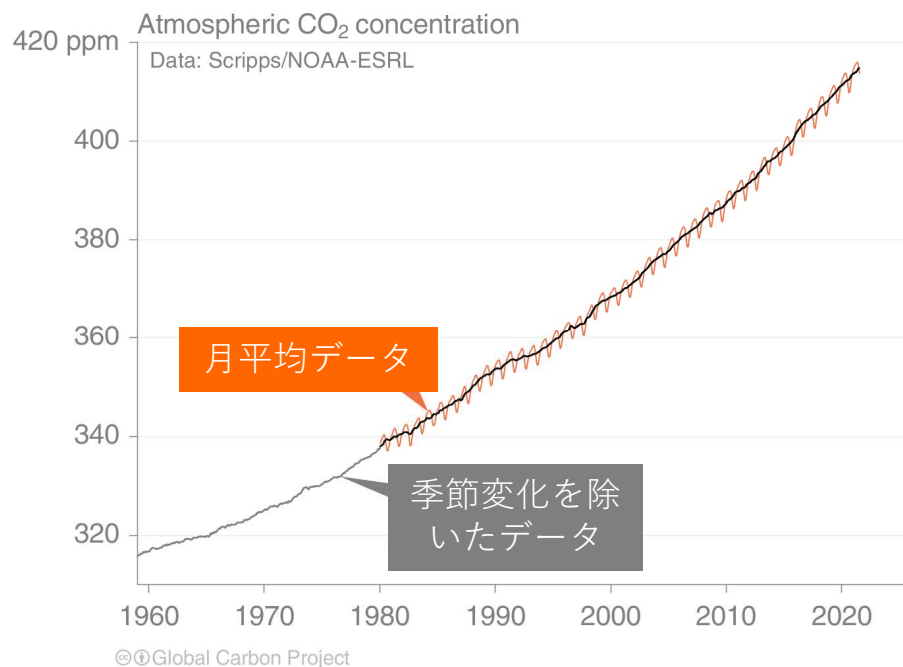


- 地球に入射する日射のうち約**3割**は地表面、雲、大気などで宇宙に反射され、残りが吸収される。
- 地球大気中にもともと含まれる温室効果ガスには、水蒸気、二酸化炭素(CO_2)、メタン等がある。
- 人間活動による排出が原因で大気中の濃度が増加している温室効果ガスには、水蒸気は含まれず、もっとも影響が大きいものは CO_2 である。

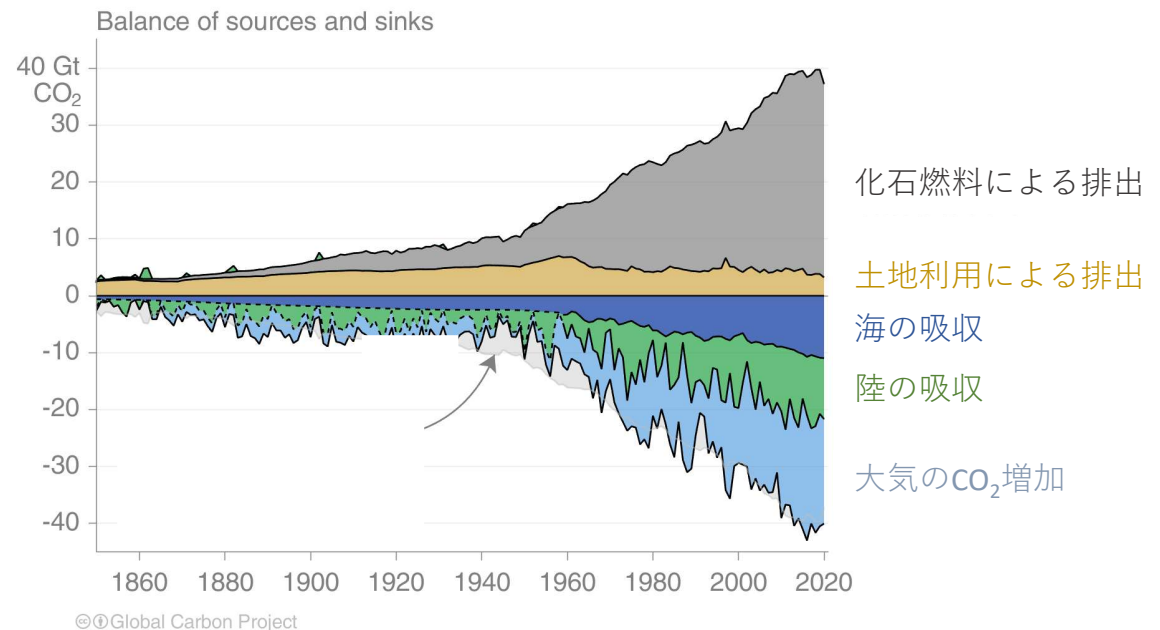
< A2. 大気中のCO₂の増加 >

- 大気中のCO₂濃度は、2019年に410ppmとなり、過去200万年間のどの時点よりも高く、1750年以降に47%増加した(図a) (ppmは100万分の1を表す単位)
- 植物によるCO₂吸収が大きい北半球の夏には大気中CO₂濃度が下がり、北半球の冬には上がるという季節変化がみられる (図a **オレンジの線**)。
- 人間活動により大気に排出されるCO₂は約9割が化石燃料（石炭、石油、天然ガス）の燃焼、約1割が土地利用変化（森林伐採など）によるもの (図b上側)。そのうち約半分は海と陸上生態系（植物や土壌）によって吸収され、残り半分が大気中CO₂濃度を増加させている (図b下側)。
- 化石燃料による排出は歴史的に増加してきている。

(a) 大気中のCO₂濃度[ppm]



(b) 炭素の収支[10億トンCO₂]



< A3. 世界平均気温上昇と人間活動の因果関係 >

- 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告書では、「20世紀後半以降の温暖化の主な原因は人間活動である可能性が…」という表現が、2001年に公表された第3次評価報告書から出ている。
- 第3次評価報告書では、可能性が「高い、66%以上」だったが、第4次評価報告書では「非常に高い、90%以上」となり、前回の第5次評価報告書（AR5）では「極めて高い、95%以上」と書かれてきた。
- 気候変動の自然科学的根拠を担当する第1作業部会（WG1）の第6次評価報告書（AR6/WG1）では、「人間の影響が気候システムを温暖化させてきたのは疑う余地がない」となり、初めて不確実性の表現が外れた。

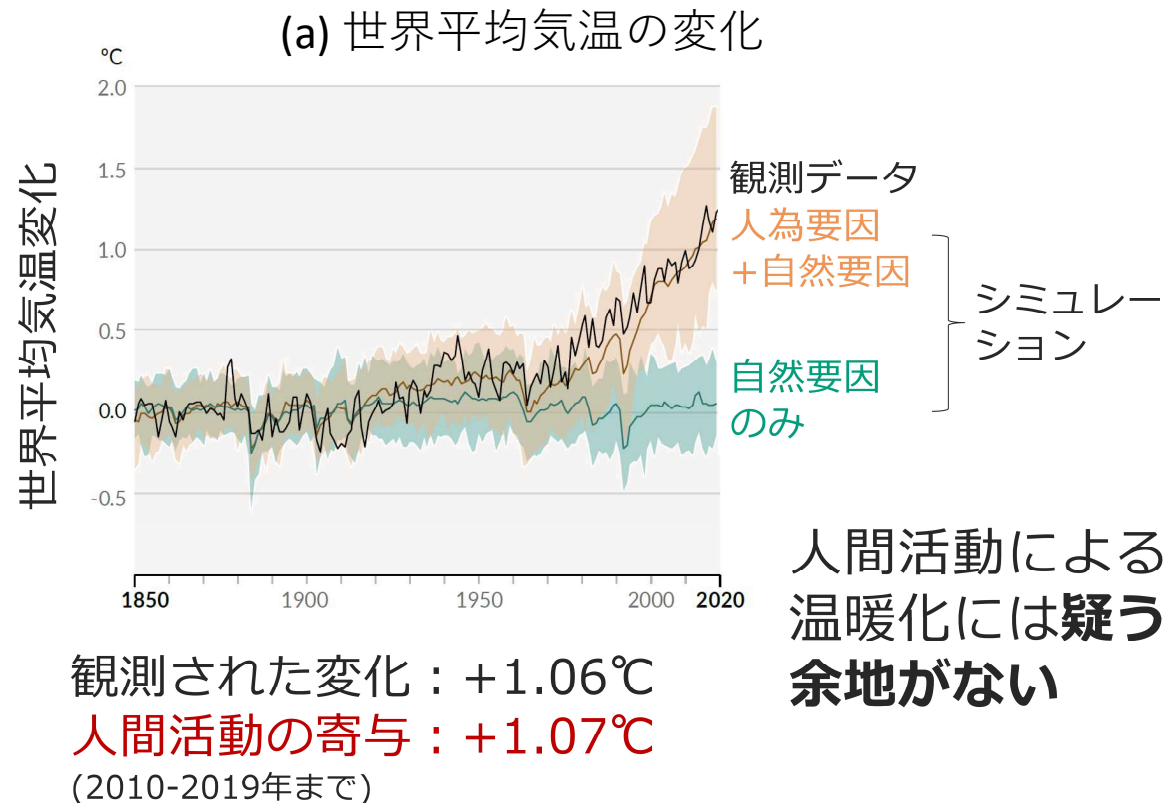
(a) IPCC報告書における、地球温暖化の原因に関する記述の変遷

20世紀後半以降の温暖化の主な原因は
人間活動である可能性が…



< A3. 世界平均気温上昇と人間活動の因果関係 >

- 1850年から2020年までの世界平均気温変化(図の黒線)が何によって説明できるかについて、世界中の研究機関によるコンピュータシミュレーションの研究をまとめた。
- 人間活動の要因を除き、自然の要因（太陽活動の変動と火山の噴火）のみを条件として与えてシミュレーションを行ったところ、観測された気温上昇は再現されなかった(緑帯)。
- 人間活動の要因（人間活動による温室効果ガスの増加など）を加えてシミュレーションを行うと、観測された気温上昇が再現された(オレンジ帯)。
- 定量的には、2019年までに観測された気温上昇が産業革命前と比べて 1.06°C 、そのうちの人間活動の寄与は 1.07°C と評価された。



< A4. 気候変動問題への国際社会の取り組み >

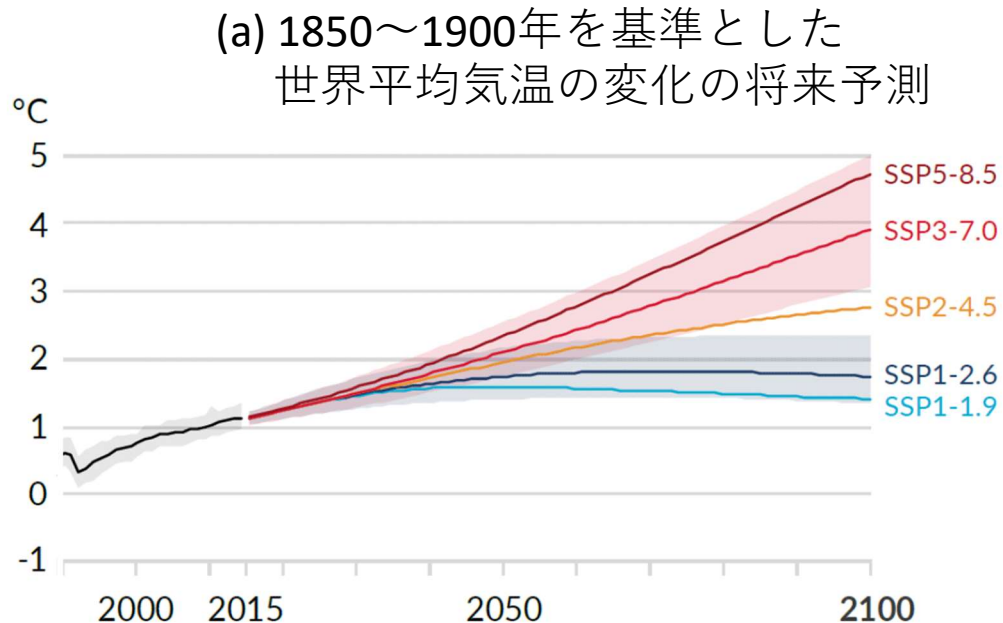
- 1990年ごろから、気候変動問題への国際社会の取り組みが本格的に始まった。（ここで「気候変動」とよぶのは、人間活動に伴う近年の気候の変化のことで、「地球温暖化」と同じ意味）
- 1988年に国連の「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC) が設立された。気候変動およびその対策の科学的、技術的、社会経済学的な評価を5~7年ごとに行っている。
- 1992年に「国連気候変動枠組条約」(UNFCCC) が採択された。人類や生態系に危険な影響を及ぼさない水準で大気中の温室効果ガス濃度を安定化することが究極目標。年に一度、締約国会議 (COP) が行われている。
- 1997年に「京都議定書」がUNFCCCの下に採択された。2008-2012年（第1約束期間）の間に、先進国の排出量を1990年と比べて5%削減する目標。
- 2015年に「パリ協定」がUNFCCCの下に採択された。世界平均気温の上昇を、産業革命前を基準に2°Cより十分低く抑え、さらに1.5°Cより低く抑える努力を追求する長期目標。
- 2021年に英国グラスゴーで開催された気候変動枠組条約第26回締約国会議 (COP26) では、世界目標として1.5°C目標を再確認する「グラスゴー気候合意」が採択。



パリ協定の採択 ©UNFCCC

< A5. 将来の世界平均気温 >

- 世界平均気温は、**IPCC AR6/WG1**で考慮された全ての排出シナリオにおいて、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける。向こう数十年の間にCO₂及びその他の温室効果ガス（メタン等）の排出が大幅に減少しない限り、**21世紀中に、地球温暖化は1.5℃及び2℃を超える。**
- IPCC AR6/WG1**では、共通社会経済経路（**Shared Socioeconomic Pathways: SSP**）をベースにした5つのCO₂排出シナリオ（不確実な将来に対して複数の可能性を設定したもの）で検討している。「非常に高い（化石燃料を使い続ける最悪ケース）」、「高い（温暖化対策が後退する）」、「中間（現状レベルの温暖化対策）」、「低い（パリ協定の2℃を目指す）」、「非常に低い（パリ協定の1.5℃を目指す）」の5つ。
- この5つのシナリオについて世界平均気温の変化の見通しを見ると、脱炭素化しなかった場合である上位の3つでは**2100年までに2℃よりも上昇する**。排出が低いシナリオだと**2℃より十分低く**、非常に低いシナリオだと、**1.5℃を少し超えるが下がっていく**。

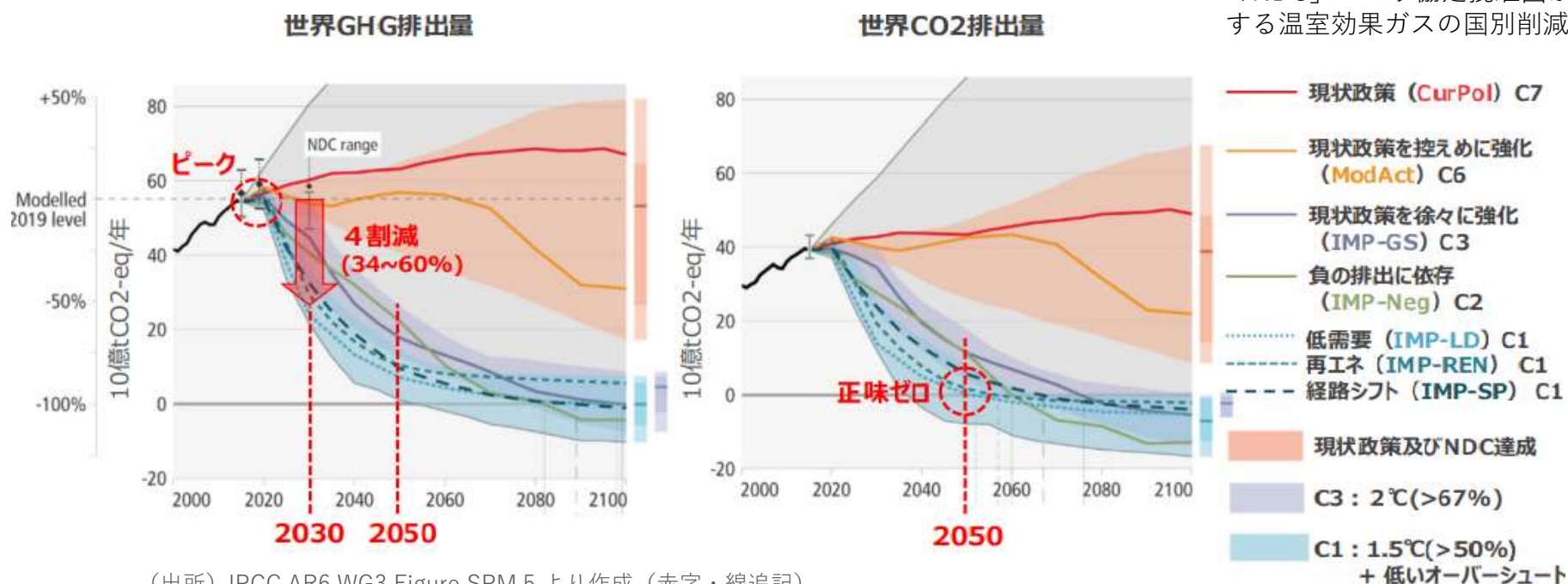


- 5つのシナリオについて世界平均気温の変化の見通しを見ると、脱炭素化しなかった場合である上位の3つでは**2100年までに2℃よりも上昇する**。排出が低いシナリオだと**2℃より十分低く**、非常に低いシナリオだと、**1.5℃を少し超えるが下がっていく**。

< A6. パリ協定の長期目標（1.5℃排出経路） >

- パリ協定では、世界平均気温の上昇を、産業革命前に比べて2℃より十分低く抑え、さらに1.5℃より低く抑える努力を追求することが長期目標。このために、今世紀後半に世界の温室効果ガス排出量を正味でゼロにする必要が認識された（図の青線）。
- 1.5℃経路の実現のためには、世界の温室効果ガス（GHG）排出量は、遅くとも2025年までにピークに達し、2030年までに4割削減(2019年比) する必要がある（図a左グラフの赤字）。特に、CO₂は2050年代初頭に正味ゼロ排出にすることが必要（図aグラフの赤字）。

(a) CO₂シナリオと将来の年間排出量



出典：アジア太平洋統合評価モデルHP「IPCC第6次評価報告書 第3作業部会報告書 政策決定者向け要約 解説資料 2022.4.5」
https://www-iam.nies.go.jp/aim/pdf/IPCC_AR6_WG3_SPM_220405.pdf（アクセス：2022年7月4日）

<A7. よくある疑問への回答>

Q. 地球は温暖化と寒冷化のサイクルを繰り返しているのでは？

- 地球は約**10**万年ごとに寒冷な「氷期」と温暖な「間氷期」を過去何回か繰り返しており、現在は間氷期です。この原因は地球の公転軌道や自転軸が天文学的に変動することです。天文学の予測によれば、次の氷期が訪れるとすれば約**5**万年先なので、それまでは人間活動による温暖化に逆行して氷期が訪れることはないでしょう。

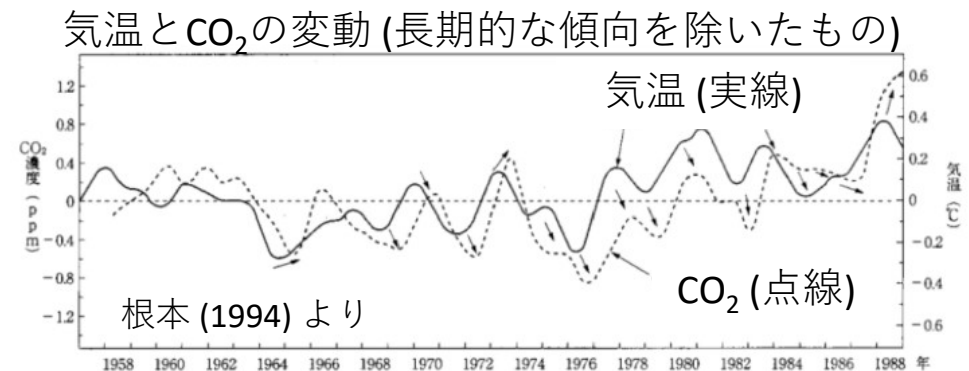
Q. 太陽活動が弱まってきているので寒冷化するのでは？

- 太陽活動は**1980**年代から弱まってきていますが、それにもかかわらず世界平均気温は上昇しています。今世紀中に太陽が本格的な不活発期に入ったとしても、その影響は人間活動による温暖化に逆行して寒冷化を起こすほどではないでしょう。**17**世紀ごろに太陽の不活発期がありましたが、その影響は世界平均では**0.3℃**程度の寒冷化と考えられています。

Q. 気温変化に遅れてCO₂濃度が変化するそうです。気温が原因でCO₂は結果では？

- 数年ごとの自然変動では、気温が先に変化し、CO₂濃度がそれに追従します。これは、エルニーニョなどの自然変動で気温が変化すると、陸上の生態系が応答して（気温上昇→呼吸が増える、光合成が減る、森林火災が増えるなど）、CO₂濃度が変化するためと考えられます。

しかし、このことは人間活動によるCO₂増加が気温上昇をもたらすことと矛盾しません。自然界には、「気温上昇→CO₂増加」と、「CO₂増加→気温上昇」の両方の仕組みがあり、どちらか一方ではないのです。



B. 影響の深刻さ

B1. 重要なリスク分野

B2. 観測された影響

B3. 将来ありうる気候

B4. 予測される気候現象

B5. ティッピング（臨界点）現象

B6. 影響を考える上での留意点

B7. 緩和策と適応策

B8. 「1.5°C」と「2°C」の影響の違い

< B1. 重要なリスク分野 >

- 気候変動が進むことで、人間社会と自然生態系に様々な影響をもたらす可能性（リスク）がある。気候変動の影響の深刻さを考える上で特に重要な代表的リスクとして、IPCC (2022: WG2 AR6) は以下の 8 つを挙げた。
 1. 低平地沿岸の社会生態系へのリスク
（海面上昇や高潮の深刻な影響を受ける低平地沿岸や小島嶼）
 2. 陸上・海洋生態系へのリスク
（生物多様性の減少を伴う）
 3. 重要な物理インフラ、ネットワーク、サービスに関するリスク
（交通、エネルギー、通信などのインフラが気象災害で破壊され社会的混乱が生じる）
 4. 生活水準へのリスク
（格差の拡大を伴う経済的なリスク）
 5. 人間健康へのリスク
（熱中症の増加、蚊の媒介する感染症など）
 6. 食糧安全保障へのリスク
（特に干ばつが増加する乾燥地域で深刻）
 7. 水安全保障へのリスク
（特に干ばつが増加する乾燥地域で深刻）
 8. 平和と人の移動に対するリスク
（既に存在する政治的な緊張関係を気候変動が増幅し、紛争や難民が増加）

< B2. 観測された影響 >

- 人為起源の気候変動は、極端現象の頻度と強度の増加を伴い、自然と人間に対して、広範囲にわたる悪影響と、それに関連した損失と損害を、自然の気候変動の範囲を超えて引き起こしている。
- 気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に関係して拡大し、極端な高温、海洋熱波、大雨、及びいくつかの地域における農業及び生態学的干ばつの頻度と強度の増加、強い熱帯低気圧の割合の増加、並びに北極域の海氷、積雪及び永久凍土の縮小を含む。

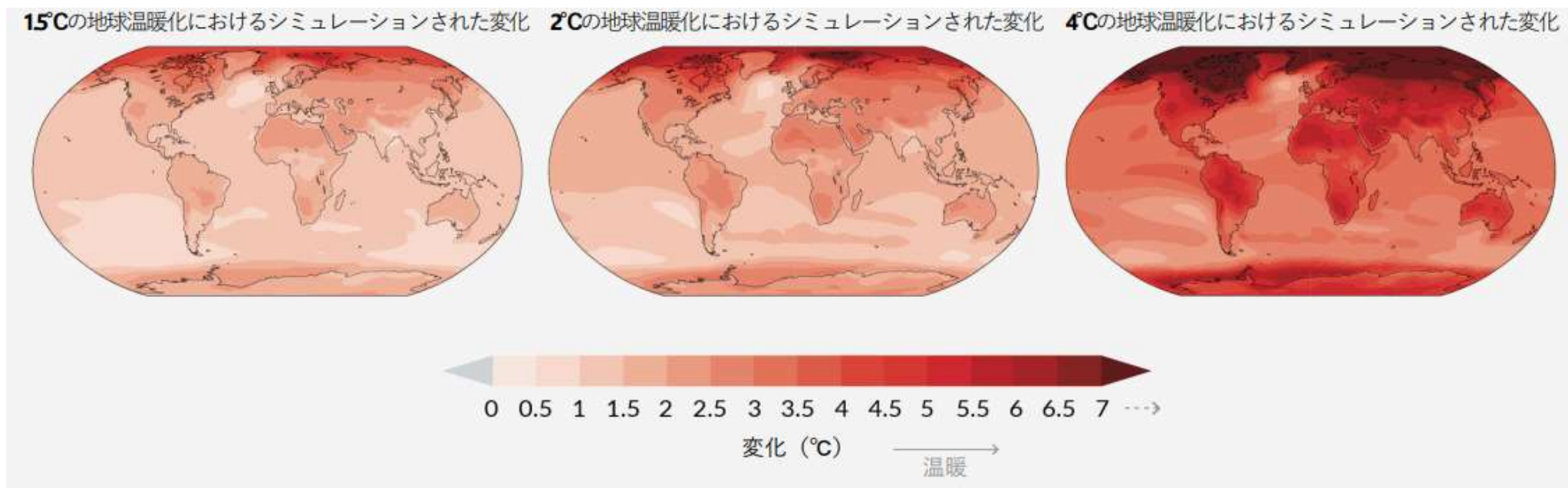
(a) IPCC報告書における、気候変動による影響に関する記述の変遷

報告書	公表年	気候変動が及ぼす観測された影響
TAR	2001年	近年の地域的な気候変化、特に気温の上昇は既に 多くの物理・生物システム に対して 影響を及ぼしている 。
AR4	2007年	多くの自然システム が、地域的な気候変動、とりわけ気温上昇の 影響を受けつつある ことを示している。
AR5	2014年	ここ数十年で、すべての大陸と海洋において、気候の変化が 自然及び人間システム に対して 影響を引き起こしている 。
AR6	2021年	人為起源の気候変動により、自然の気候変動の範囲を超えて、 自然や人間 に対して 広範囲にわたる悪影響 とそれに関連した 損失と損害 を引き起こしている。

< B3. 将来ありうる気候 >

- 気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大する。この気候システムの変化には、極端な高温、海洋熱波、大雨、いくつかの地域における農業及び生態学的干ばつの頻度と強度、強い熱帯低気圧の割合、並びに北極域の海氷、積雪及び永久凍土の縮小を含む。
- 熱帯低気圧や台風、ハリケーンの数自体は減るという研究が多いが、強いものの割合が増える。日本にとって重要なのは、台風は今後、より緯度が高いところで最大の強さになる。つまり台風は発達しながら日本に近づいて来るケースがこれから増える傾向にある。
- 継続する地球温暖化は、世界全体の水循環を、その変動性、世界的なモンスーンに伴う降水量、降水及び乾燥現象の厳しさを含め、さらに強めると予測される。
- 世界全体でこれまでより多く雨が降り、多く蒸発する。雨が降りやすいところではより大雨が降り、乾燥しやすいところではさらに乾燥する。

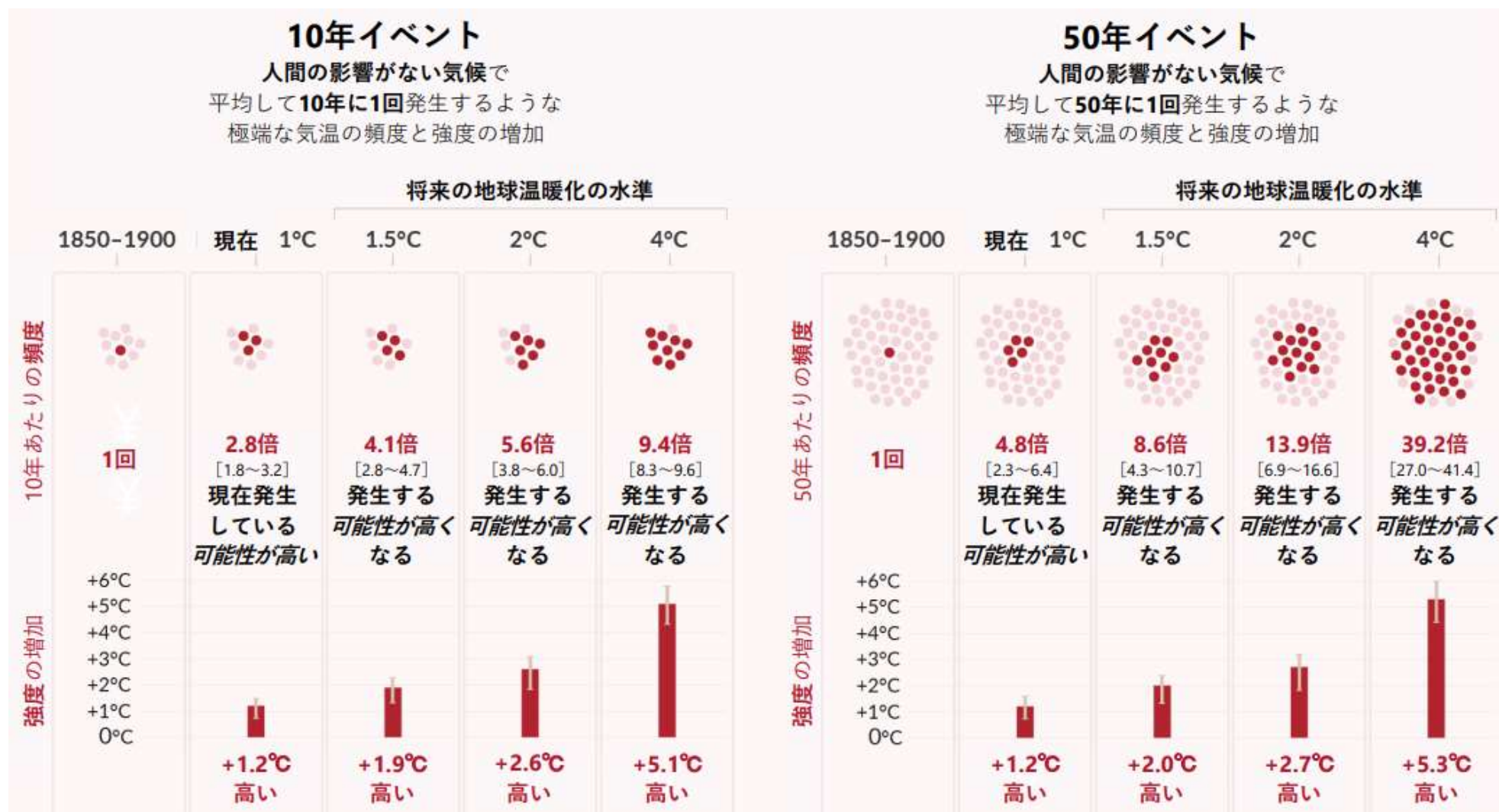
(a) 1850～1900年を基準とする年平均気温の変化 (°C)



< B4. 予測される気候現象：極端な高温 >

- 陸域において、10年に1回発生するような極端な気温の頻度は、1850年～1900年の平均に対し、現在（1℃上昇）が既に2.8倍で、2℃上昇シナリオが5.6倍、4℃上昇シナリオが9.4倍となる。

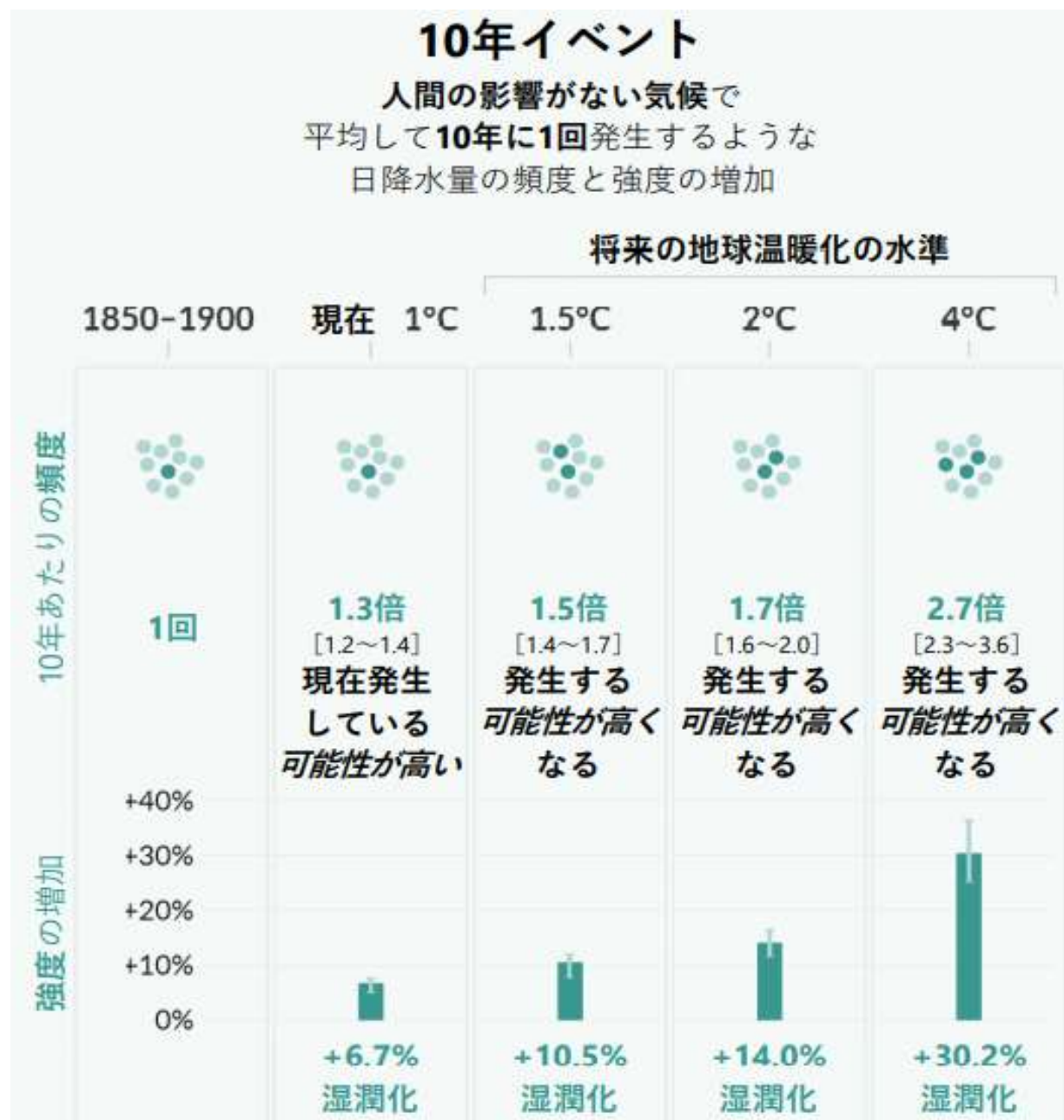
(a)陸域における極端な高温



< B4. 予測される気候現象：大雨 >

- 陸域の平均降水量は1950年以降増加しており、1980年代以降はその速度が上昇した。
- 今世紀末（2081～2100年）の年平均降水量は、1995～2014年と比べて、最大で13%増加すると予測されている。世界規模では地球温暖化が1℃進行するごとに、極端な日降水量の強度が約7%上昇するという予測もなされている。
- 陸域において、10年に1回発生するような日降水量の頻度の増加は、1850年～1900年の平均に対し、現在（1℃上昇）が既に1.3倍。2℃上昇シナリオが1.7倍、4℃上昇シナリオが2.7倍となる。

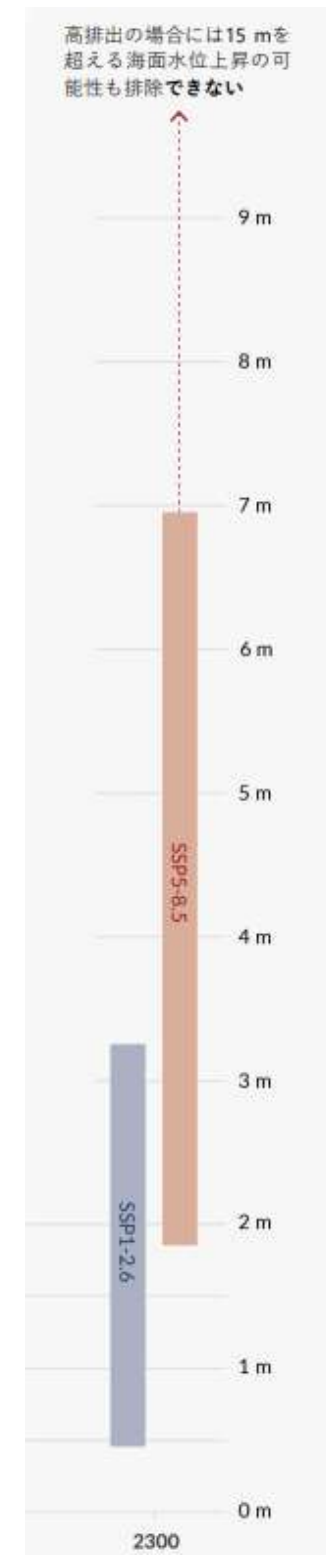
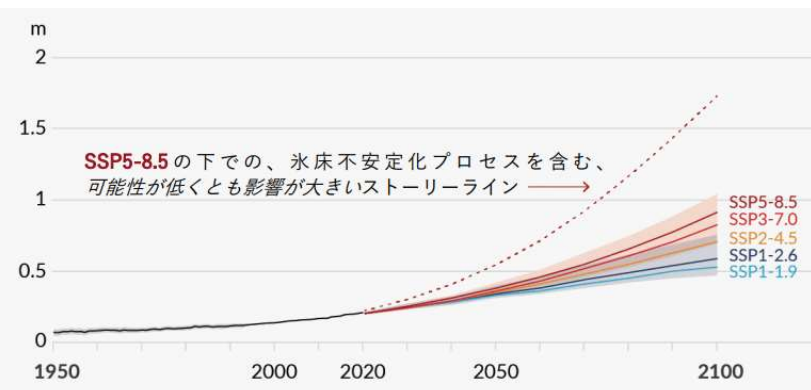
(a)陸域における大雨



< B4. 予測される気候現象：海面水位 >

- 世界平均海面水位は1900年から現在までにすでに20cmくらい上昇している。今世紀末までの予測としては、非常に排出が低い1.5°Cのシナリオの場合50cmくらい、非常に高いシナリオの場合、最悪1m上昇する。さらに、南極の氷床が不安定化して崩壊が始まった場合には、1.5m以上海面上昇することもあり得る。
- 海面上昇は2100年以降も続く。2300年には、2°Cを目指した低いシナリオで0.5mから3m、非常に高いシナリオだと2mから7mも上昇し、南極氷床の不安定化が起きた場合には15mまで上昇するかもしれない。つまり、2100年には海面上昇は始まったばかりで、人間活動によってさらに数百年続くという認識が必要。

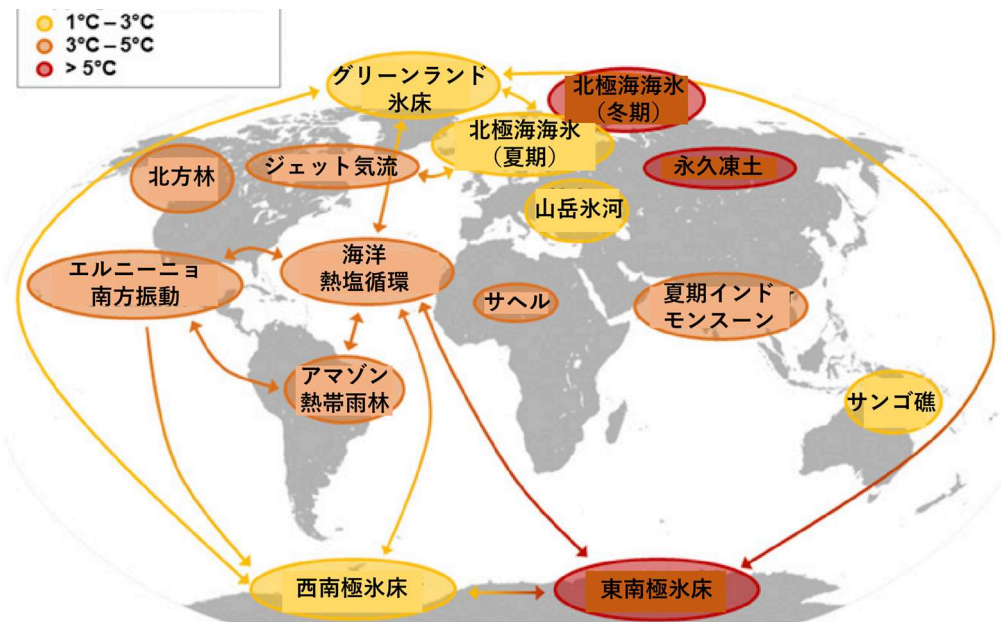
(a)世界平均海面水位の変化



<B5. ティッピング（臨界点）現象>

- 気温上昇がある温度（ティッピングポイント＝臨界点）を超えると、大規模で急激な、もしくは後戻りのできない変化が、気候システムの一部に生じるおそれがある。
- 一例として、南極氷床は現在も減少しているが、気温上昇がある臨界点を超えると、氷床が不安定化するおそれがある。つまり、氷床の流出がさらなる流出を引き起こす悪循環が始まる、もしくは氷壁が自分の重さで崩れ始めるかもしれない。これが生じると、海面上昇が加速する（B4参照）。
- 同様な「ティッピング現象」は、アマゾン熱帯雨林の枯死、海洋の深層循環の停止、永久凍土からのメタン放出などでも生じるおそれがある。
- 現在の科学では、各現象の臨界点が何度であるのかは明確でない。しかし、気温上昇が大きくなるほど、これらの臨界点を超えるおそれが大きくなる。

ティッピングが生じると考えられる
世界平均気温上昇量



Steffen et al. (2018) より

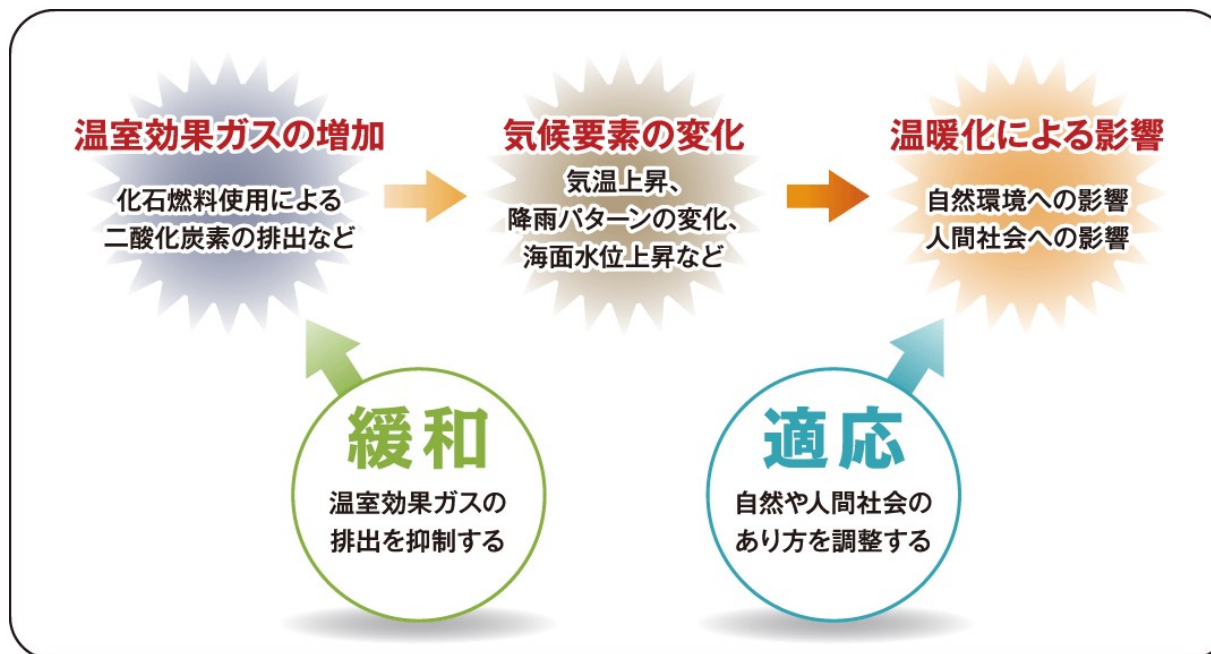
- これらのティッピング現象は、一つが生じるとそれが気温上昇を促進し、その結果として別のティッピング現象を引き起こすという形で、ドミノ倒しのように連鎖するおそれがある。
- これにより、世界平均気温が産業革命前を基準に2°C程度上昇すると、4°C程度まで気温上昇が止められなくなるおそれがあることが指摘されている。

< B6. 影響を考える上での留意点 >

- 気候変動には、好影響もあると考えられる。北極海の海氷が減ることにより北極海航路の海運が可能になること、気温上昇により寒冷域で農業や健康に好影響があることなどがあげられる。
- 問題となっている影響で、気候変動のみにより起きるわけではないものもある。生態系の損失には、人間活動による生息地の破壊、分断、汚染、乱獲、外来生物の侵入など気候変動以外のさまざまな原因が影響している。ただし、気候変動がこれらに加わることにより、問題を著しく悪化させる可能性がある。
- 国内の気候の変化による影響以外にも、海外の影響を通じて間接的に国内にもたらされる影響が考えられる。輸入農作物の原産地での気象災害による食料価格の上昇、企業の海外生産拠点や部品輸入元での気象災害によるサプライチェーンの分断、気候変動により難民や紛争が増加することによる国際社会秩序の悪化などのおそれがある。
- 影響の深刻さは、人によって大きな違いがある。
 - ✓ 地理的には、北極域（気温上昇が大きく、氷の減少で環境が大きく変化）、乾燥域（干ばつが増加して水・食料への被害が深刻）、沿岸低平地と小島嶼（海面上昇や高潮の被害が深刻）の影響が大きい。
 - ✓ 対応能力の違いにより、気候条件が同じであれば、先進国よりも発展途上国の人々の方が深刻な悪影響を被る。さらに、社会的に弱い立場の人（低所得者、傷病者、高齢者など）がより深刻な悪影響を被ると考えられる。
 - ✓ 気候変動が今後も時間と共に進行すると、将来世代ほど深刻な悪影響を被る。
- 発展途上国の人々は先進国の人々に比べて、問題の原因となる温室効果ガスを少ししか排出していない。また、現在世代が排出の削減を怠ると、将来世代が大きな悪影響を被る。このように、原因への責任が小さい人が深刻な被害を受けるという不公平な構造がある。

< B7. 緩和策と適応策 >

- 気候変動対策の考え方には、温室効果ガスの排出を削減して温暖化そのものを抑える「緩和策」と、個々の気候変動影響に対処する「適応策」がある。
- 適応策の例には以下のようなものが挙げられる。
 - ✓ 異常気象の増加に備えて防災を強化する。
 - ✓ 気候の変化に合わせた農業を行う（品種改良、作付変更など）。
 - ✓ 熱中症の増加に備えて、暑さ対策や水分・塩分補給を奨励する。
- 適応策は、気候変動の悪影響を軽減するだけでなく、場合によっては好影響を最大限に引き出すためにも行われる（寒冷域の農業など）。
- 近年、一部の影響が出始めており、どれだけ緩和策に成功したとしても現在よりもある程度は温暖化が進んでしまうという認識から、適応策の重要性が高まっている。

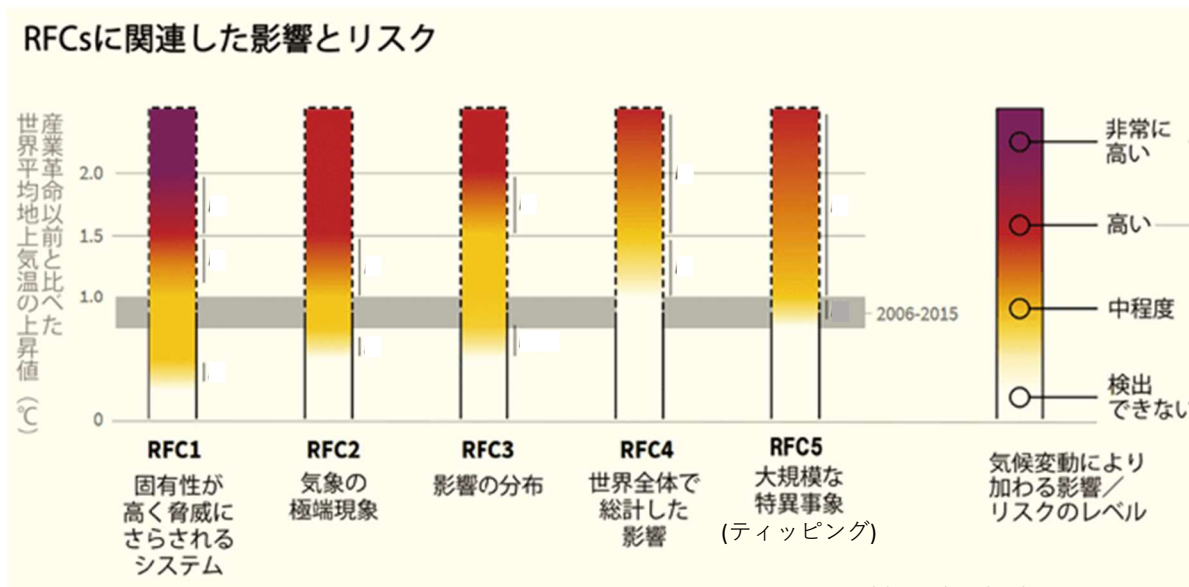


出典：環境省

- 日本でも2018年に「気候変動適応法」が施行され、政府、自治体等が適応策に取り組む仕組みができた。
- 温暖化が際限なく進めば、適応策のコストが増大したり、何らかの限界が来るおそれがあるため、適応策と緩和策は両方進める必要がある。

< B8. 「1.5°C」と「2°C」の影響の違い >

- 2018年10月に発表されたIPCC「1.5°C温暖化に関する特別報告書」で、1.5°Cと2°Cの温暖化の影響の違いが詳しく評価された。現在(1°C温暖化)よりも1.5°C温暖化した方が影響が顕著に大きくなり、2°C温暖化するとさらに大きくなる。例として以下が挙げられる。
 - ✓ 気候関連のリスクと貧困に直面する人口を1.5°Cでは2°Cよりも2050年時点で数億人低く抑えることができる。
 - ✓ 世界平均海面上昇を1.5°Cでは2°Cよりも2100年時点で10cm程度低く抑えることができ、そのリスクに直面する人口を最大1千万人程度低く抑えることができる。
 - ✓ 温水域のサンゴ礁は1.5°Cで今よりさらに70～90%が失われ、2°Cでは99%が失われる。
 - ✓ 1.5°Cから2°Cで必要な適応策も増加し、1.5°Cで限界が生じる部分もでてくる。
- 図は、「懸念の理由」(Reasons for Concerns: RFC) とよばれる5つのリスク指標が、世界平均気温の上昇に伴ってどのように増加するかを示したものの。



IPCC (2018: 1.5°C特別報告書) より

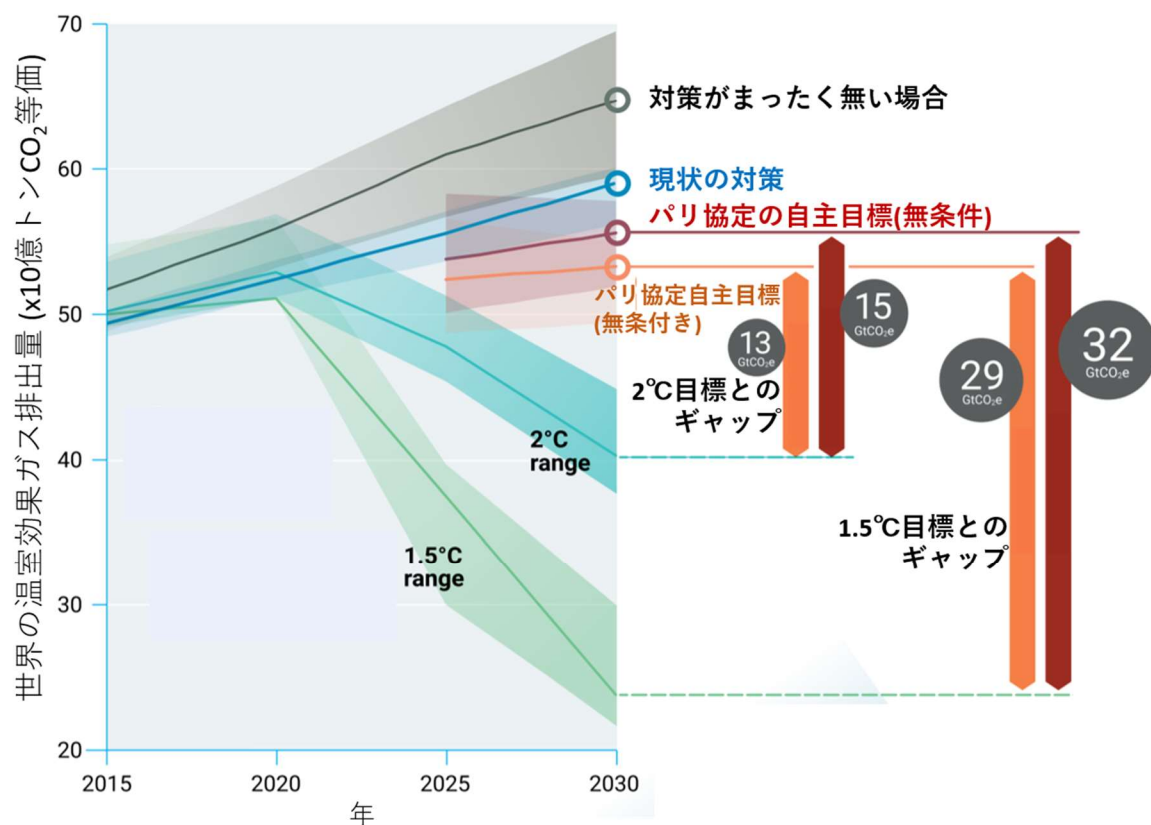
- 「固有性が高く脅威にさらされるシステム」(サンゴ、北極圏等)は、1.5°Cから2°Cの間でリスクが「高い」から「非常に高い」に移る。
- 「影響の分布」(地域によって早く生じる影響)は、1.5°Cから2°Cの間でリスクが「中程度」から「高い」に移る。

C. 脱炭素の可能性

- C1. パリ協定の自主目標と長期目標のギャップ
- C2. 近年の世界のCO₂排出量の変化
- C3. 世界のCO₂排出量変化の要因
- C4. 世界のエネルギー源の変化
- C5. 脱炭素化の方法
- C6. 技術の普及速度
- C7. 新型コロナウイルスの影響
- C8. 地球温暖化抑制のためのシステム変革

<C1. パリ協定の自主目標と長期目標のギャップ>

- パリ協定にあたって各国が宣言した自主目標がすべて達成されたとしても、「2°C」や「1.5°C」未満を目指す削減ペースにはまったく足りていない（大きなギャップがある）。このギャップは、パリ協定の採択時点で認識されている。
- パリ協定の各国の自主目標を合わせた削減ペースでは、3°C前後の温暖化が生じてしまうと評価されている。
- 各国の目標には条件付きのものなどがあるため、達成された場合の削減量の評価に幅がある（図のオレンジと赤）。



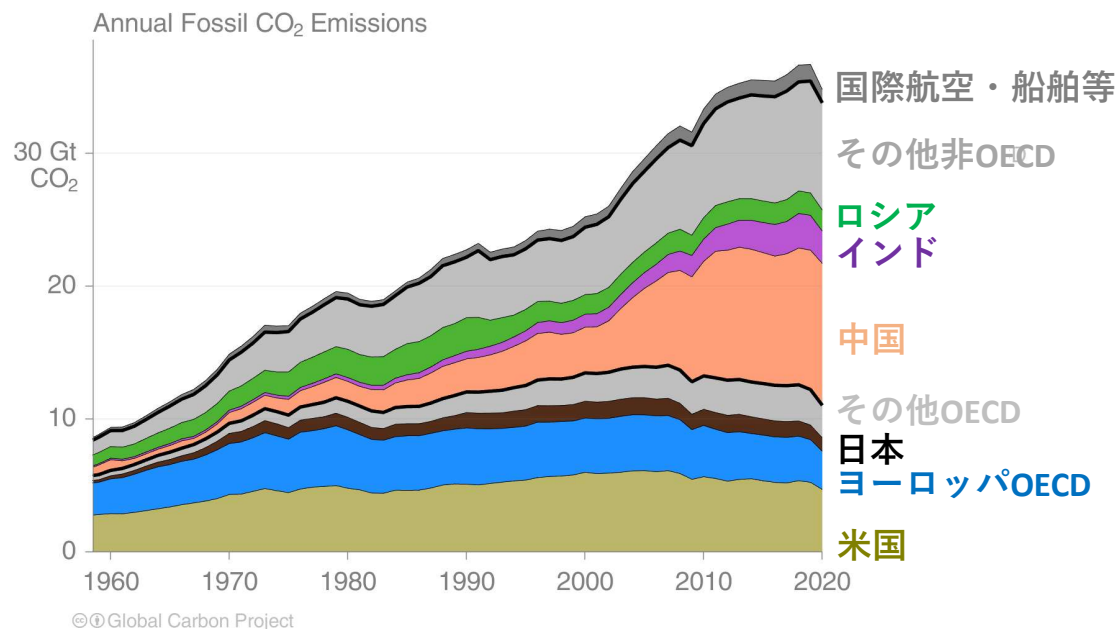
UNEP Emission Gap Report 2018 より

- パリ協定では、このギャップを埋めるために、5年毎に各国の自主目標を見直す話し合いが持たれることになっている（グローバル・ストックテイク）。
- パリ協定の交渉では、すべての国が対策に参加することを優先した。自主目標を設定して、目標達成に向け対策を行い、報告をすることなどが義務付けられている。自主目標を達成できなかった場合の罰則は無い。

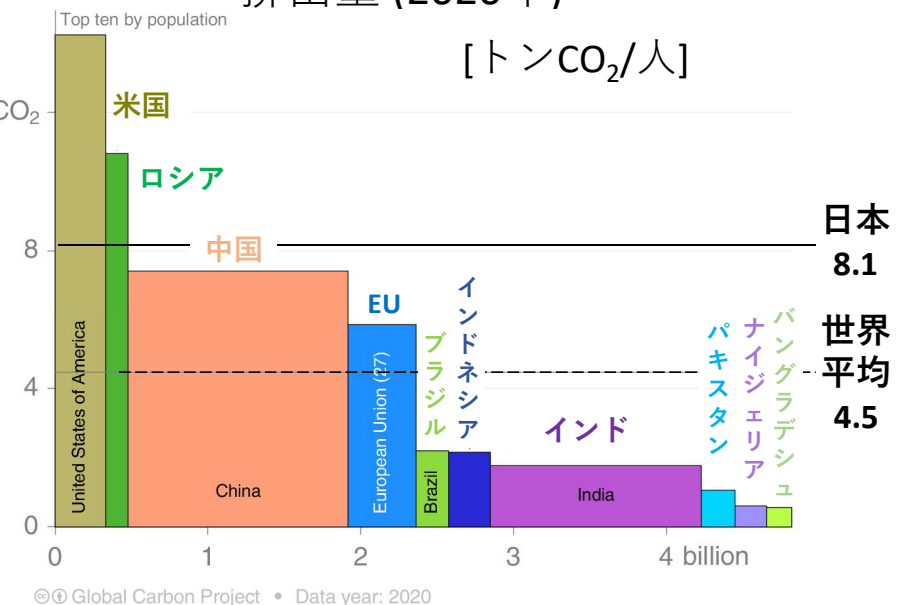
< C2. 近年の世界のCO₂排出量の変化 >

- 世界のCO₂排出量の増加は止まっていない。2014－2016年に排出量は横ばい、2017－2019年に増加した後、2020年に減少に転じた(図a)。
- 1990年からの変化は、OECD加盟国（主に先進国）で9%程度の増加だが、非OECD加盟国（発展途上国や新興国）で1.9倍程度に増加した。
- 1人あたりで見ると、発展途上国の排出量は先進国に比べて未だ小さい(図b)。
- 先進国の多くでは排出量が減少を始めているが、発展途上国・新興国から輸入する工業品等のために輸入元の国で排出された排出量を考慮に入れると、先進国の消費に伴う排出量はそれほど減少していないと考えられる。

(a) 化石燃料起源のCO₂排出量の推移
[10億トンCO₂]



(b) 1人あたり化石燃料起源CO₂排出量 (2020年)
[トンCO₂/人]



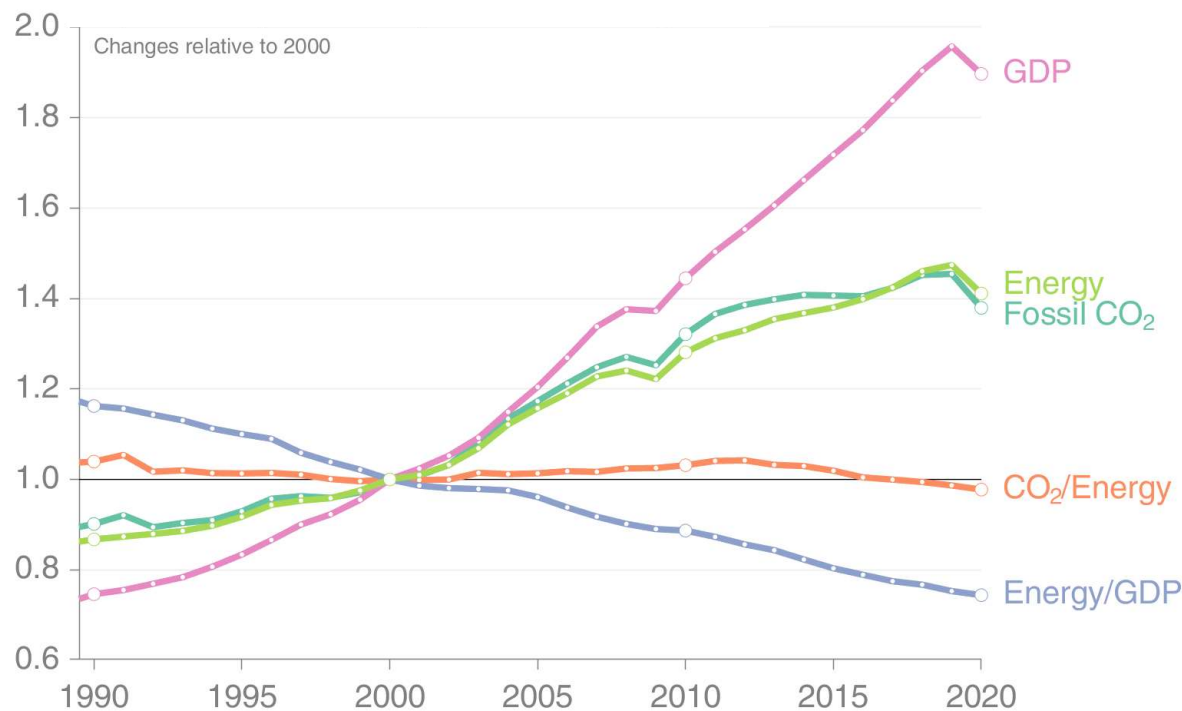
<C3. 世界のCO₂排出量変化の要因>

- 世界全体で見て経済成長が進んでおり、省エネルギーも進んでいるものの、エネルギーの「脱炭素化」はあまり進んでいない。その結果、世界のCO₂排出量は増加してきた。
- 世界の化石燃料起源CO₂排出量の変化は、以下のように要因に分解できる。

$$\begin{aligned} \text{<CO}_2\text{排出量変化>} &= \text{<経済規模の変化>} + \text{<経済規模あたりのエネルギー消費量の変化>} \\ &\quad + \text{<エネルギー消費量あたりのCO}_2\text{排出量の変化>} \end{aligned}$$

- 世界の経済規模 (Gross World Product: GWP) は拡大を続けている。
 - 経済規模あたりのエネルギー消費量 (Energy/GWP) は、省エネルギーやサービス産業の成長により、減少している。（GWPの増加がEnergy/GWPの増加を上回るため、世界のエネルギー消費量 (Energy) は増加している）
 - エネルギー消費量あたりのCO₂排出量 (CO₂/Energy) は、近年わずかに減少しているが、変化は小さい。
 - これらの結果、世界の化石燃料起源CO₂排出量 (Fossil CO₂) は、世界のエネルギー消費量と同程度の変化率で増加してきた。

世界のCO₂排出量とその要因の変化

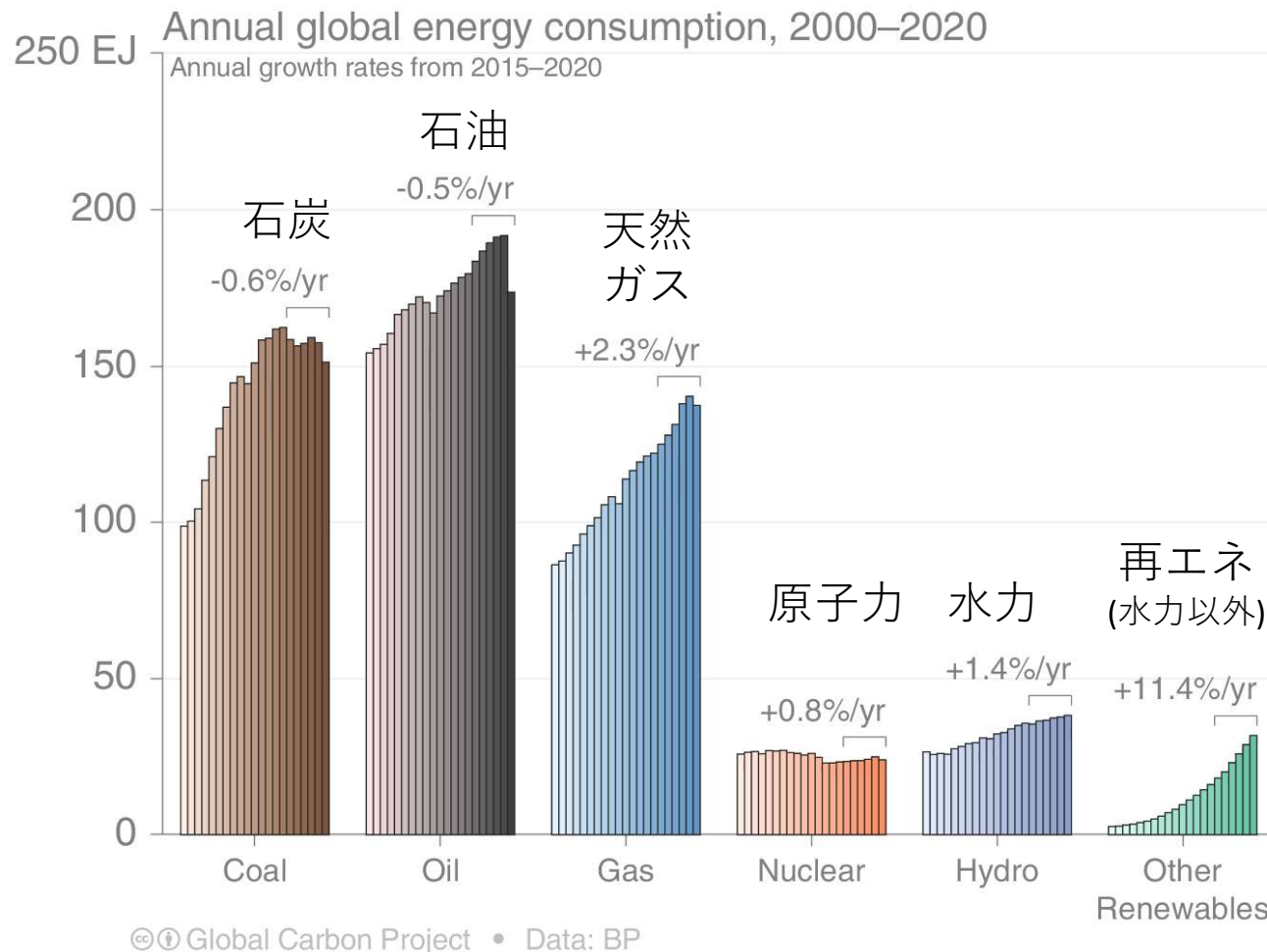


© Global Carbon Project

<C4. 世界のエネルギー源の変化>

- 世界で消費されるすべてのエネルギー（一次エネルギー）のうち約8割は、化石燃料（**石炭**、石油、**天然ガス**）により作られている。
- 再生可能エネルギーは増加しているが、石油、**天然ガス**も増加しているため、化石燃料の比率はあまり変化していない。（→エネルギーあたりのCO₂排出量の変化は小さい）

世界のエネルギー源の変化 (2000-2020年)



- **石炭**は、大気汚染対策や、コストが割高になってきたこともあり、近年、減少傾向に入っている。
- 石油と**天然ガス**は、**石炭**の減少を補い、発展途上国や新興国のエネルギー需要の増加を担うために、増加を続けている。
- **原子力**は横ばいである。
- **水力**は増加している。
- **太陽光、風力等の水力以外の再生可能エネルギー**は、加速度的に増加しているが、絶対量はまだ小さい。

< C5. 脱炭素化の方法 >

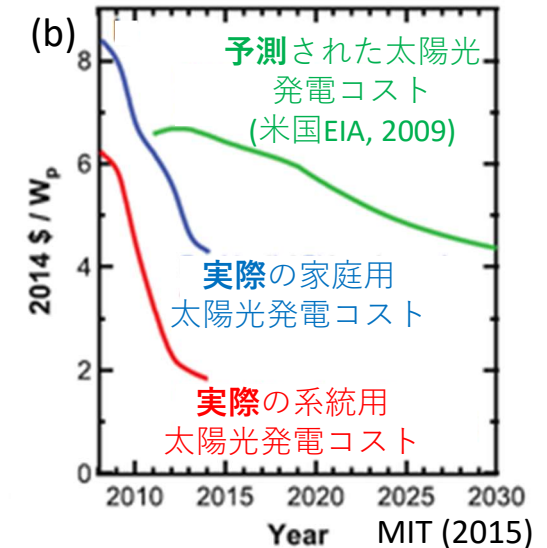
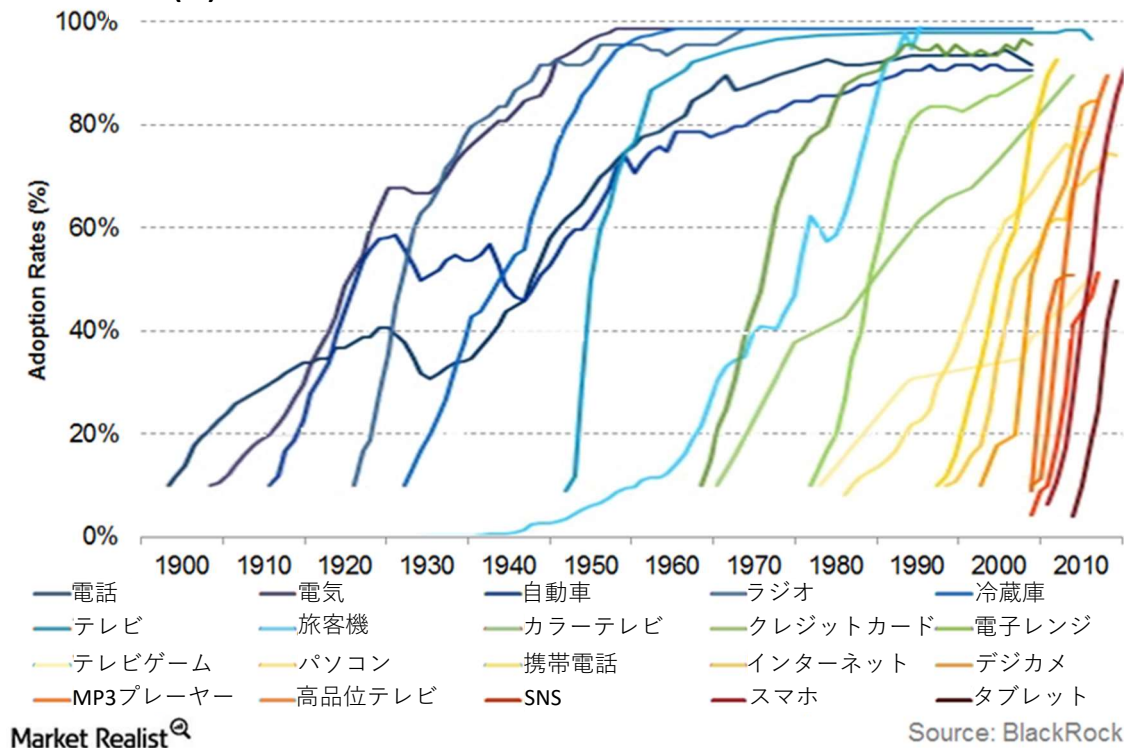
- エネルギー消費からのCO₂排出量をゼロに（脱炭素化）するために有効な方法
 - ✓ 省エネ：機器の効率向上、建物の断熱、ITによる最適制御、ライフスタイル変化などの方法で、無駄なエネルギー消費を極力減らす。
 - ✓ 再生可能エネルギー：太陽、風力、バイオマス、地熱などの利用を増やす。ただし、太陽、風力の変動を吸収するための対策（蓄電、地域間融通など）も必要。
 - ✓ 原子力：ただし、事故の懸念、核廃棄物などの課題がある。
 - ✓ 化石燃料 + CO₂隔離貯留 (CCS)：CO₂の地中への隔離。
 - ✓ 燃料の置き換え：自動車、飛行機、船舶、暖房、給湯、調理などの燃料を、電気/水素/バイオマスなどに置き換え、これらをCO₂を出さずに (再エネ/原子力/CCSで) 作る。
（自動車であれば、電気自動車や燃料電池車）
- 大気中のCO₂を吸収する方法
 - ✓ 植林：植物の光合成で吸収して、森林と土壤に炭素を固定。
 - ✓ バイオマスエネルギー + CCS (BECCS)：植物の光合成で吸収して、エネルギーを作り、CO₂は地中へ隔離。ただし、大規模に行うには大量の土地が必要。
 - ✓ 直接空気回収：化学反応で吸収して、地中へ隔離。ただし、現在は高コスト。
- イノベーション（上記のいずれを進める上でも重要）
 - ✓ 次世代技術、新技術の研究開発と普及、効率向上、低コスト化。
 - ✓ ITによる都市スケールでの最適制御など、社会全体の再設計。

※CO₂以外の温室効果ガス（メタン、N₂Oなど）排出についても、それぞれ対策をして、可能な限り減らす必要がある。（農業分野の対策など）

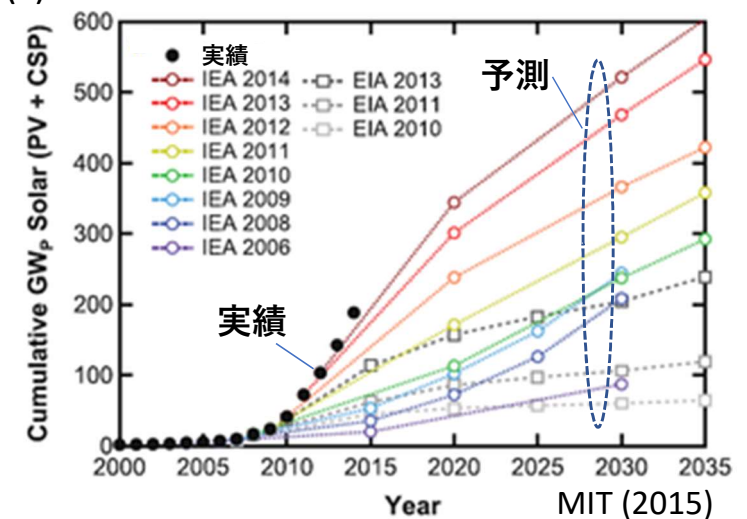
< C6. 技術の普及速度 >

- 技術の普及率は、あるところから急激に上昇することが、過去の多くの例で観察されている。普及にかかる期間は近年ほど（多くはIT関連技術で）短くなる傾向がある (図a)。
- 太陽光発電、電気自動車、バッテリー等の技術の社会への普及が同じパターンを進めば、予想外の短期間でCO₂の排出が減少するかもしれない。
- 太陽光発電の実際のコストは、専門機関の予測を上回る速度で低下している (図b)。
- 太陽光 + 太陽熱発電設備の実際の導入量は、専門機関の予測を常に上回り続けている (図c)。

(a) 米国における諸技術の普及率の推移



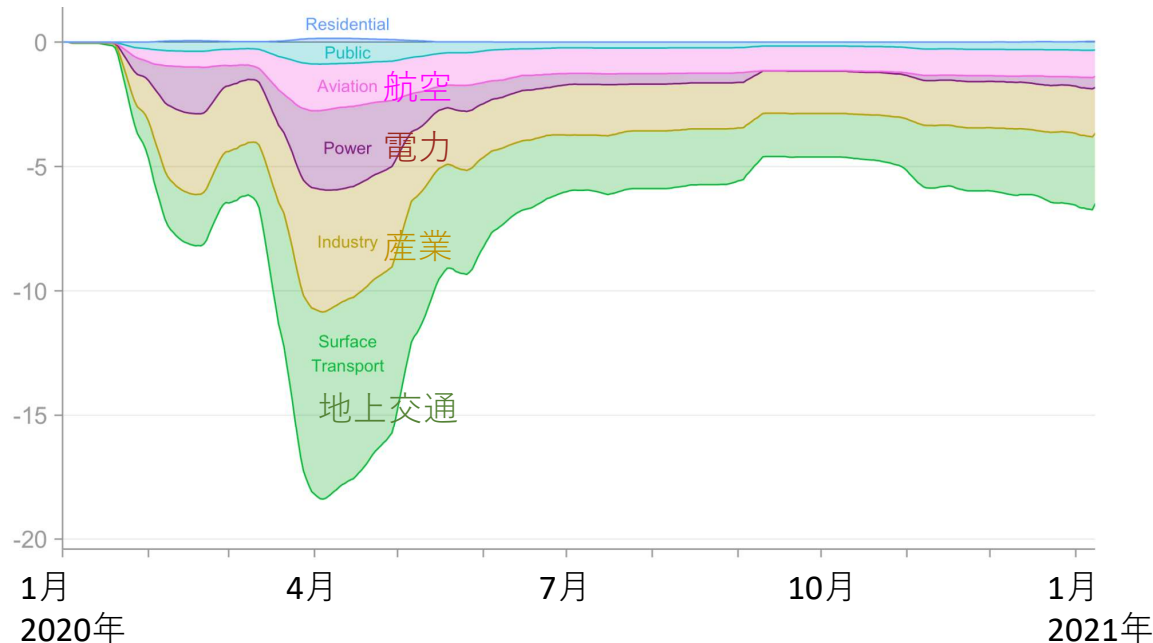
(c) 太陽光 + 太陽熱発電設備の累積導入量



<C7. 新型コロナウイルスの影響>

- 2020年には、新型コロナウイルスの感染拡大対策のため、世界中で外出制限、移動制限などによる経済活動の抑制が起こり、これに伴いCO₂排出量が減少した。
- 減少の大きさは2020年4月上旬のピーク時には前年比17% (下図)、その後徐々に回復し、年間を通じると前年比4～7%程度と見込まれている。
- 排出減少に寄与した分野は大きい順に、地上交通、産業、電力、航空である。
- 前年比7%の減少は、もしも今後もそのペースの排出削減が毎年続いた場合には、パリ協定の1.5°C目標を達成できるような大きさである。
- 一方、排出減少が単年度のみで、次年度から元の排出量に戻った場合には、大気中CO₂濃度の増加ペースにも気温の上昇ペースにもほとんど影響しないと考えられる。

(a) 2020年1月～2021年1月の世界の化石燃料起源CO₂排出量（前年からの差）
[100万トンCO₂/日]

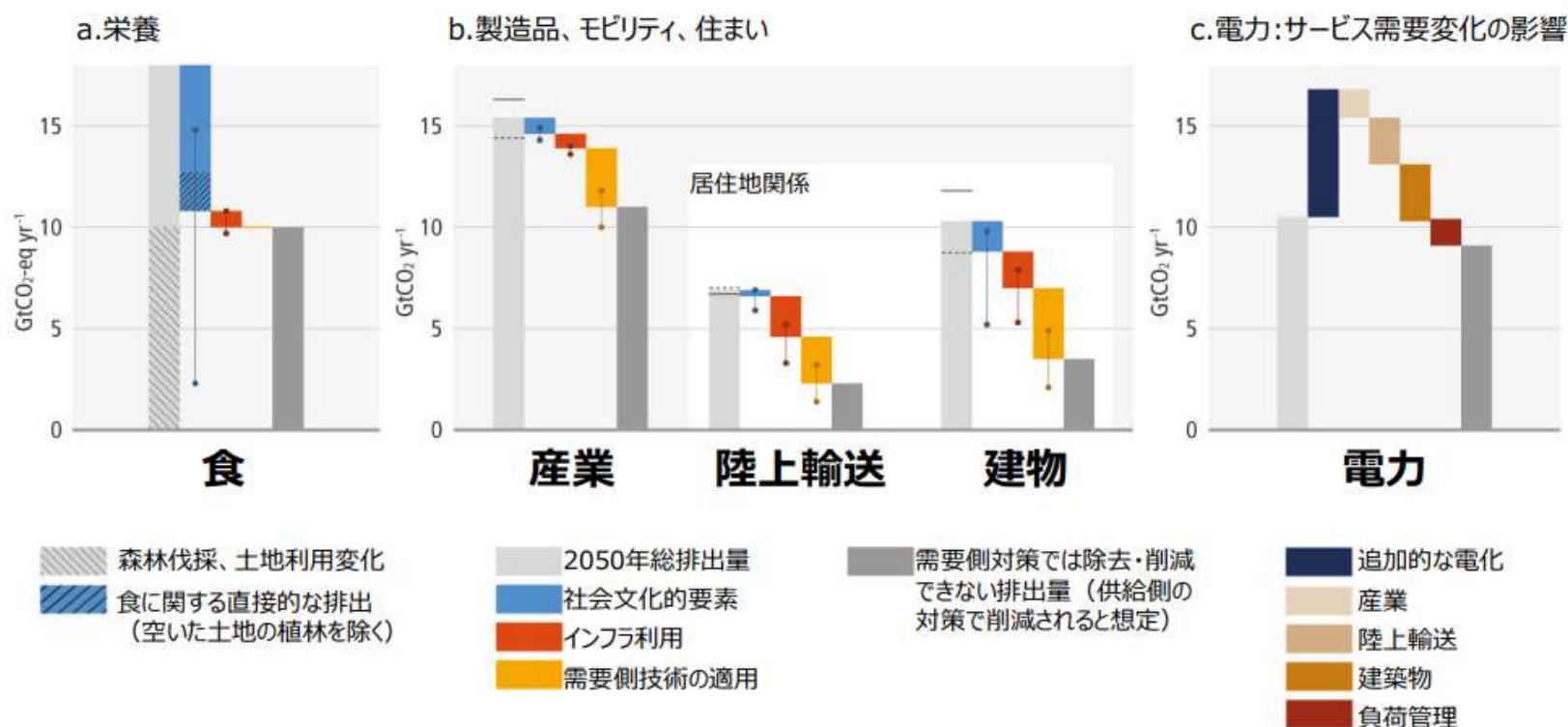


©Global Carbon Project (2020)

<C8. 地球温暖化抑制のためのシステム変革>

- 需要側の対策として、効果的な政策、インフラの改善、行動変容につながる技術を採用することにより、2050年のGHG排出量を40～70%削減する可能性がある。
- 需要側の緩和には、インフラ利用の変化、エンドユース技術の採用、及び社会文化的変化及び行動の変容が含まれる。需要側の対策とエンドユースサービスの新しい提供方法によって、エンドユース部門における世界全体のGHG排出量をベースラインシナリオに比べて2050年までに40～70%削減しうる一方で、いくつかの地域や社会経済集団は、追加のエネルギーや資源を必要とする。需要側の緩和対応策は、全ての人々の基本的幸福の向上と整合的である。

(a)部門別の需要側の削減対策



(出所) IPCC AR6 WG3 SPM Figure SPM.6

< C8. 地球温暖化抑制のためのシステム変革 >

(a)部門別の需要側の削減対策(続)

食	産業	陸上交通	建物	電力
栄養	製造品	モビリティ	住まい	
■ 社会・文化的要素 <ul style="list-style-type: none"> - 食のシフト (バランスのいい持続可能な健康な食へのシフト) - 食料廃棄物 - 過剰消費の抑制 	■ 社会・文化的要素 <ul style="list-style-type: none"> - 持続可能な消費へのシフト (長寿命・修理可能な製品の優先使用など) 	<ul style="list-style-type: none"> - テレワーク、在宅勤務 - アクティブモビリティ (徒歩・二輪) 	<ul style="list-style-type: none"> - 省エネルギーにつながる社会的取組 - ライフスタイル・行動変容 	■ 追加的な電化(+60%) 需要部門における化石燃料代替 (ヒートポンプ、電気自動車等)による発電電力量の増加に起因する追加的な排出量
■ インフラ利用 <ul style="list-style-type: none"> - 食の選択をガイドする情報の提示 - 経済インセンティブ - 廃棄物管理 - リサイクルインフラ 	■ インフラ利用 <ul style="list-style-type: none"> - 金属、プラスチック、ガラスのリサイクル、転用、再製造、リユースのためのネットワーク構築 - 低排出材料・製品に対するラベリング 	<ul style="list-style-type: none"> - 公共交通 - シェア交通 - コンパクトシティ - 空間プランニング 	<ul style="list-style-type: none"> - コンパクトシティ - 生活床面積適正化 - 建築デザイン - 都市計画 (屋上緑化、クールルーフ、都市緑化等) 	<div> 産業 陸上輸送 建築物 負荷管理 </div> 需要側対策 -73% 需要側の電力需要削減対策による排出削減 (最終需要部門：民生、産業、陸上輸送)
■ 技術採用 <ul style="list-style-type: none"> - 現状では削減量の推計に利用できる文献情報がない (研究ベースの肉や類似の対策は定量的な文献がなく、全体のポテンシャルは社会文化的要素に含まれる) 	■ 技術採用 <ul style="list-style-type: none"> - 材料効率の高い製品・サービスに対するグリーン調達 	<ul style="list-style-type: none"> - 電気自動車 - 高効率な輸送手段へのシフト 	<ul style="list-style-type: none"> - エネルギー効率の高い建物・機器 - 再エネへのシフト 	

D. 脱炭素化を考える際の視点

D1. 脱炭素化が生活におよぼす影響

D2. その他の留意点

D3. 複数の脱炭素社会ビジョン

D4. 脱炭素型ライフスタイル

<D1. 脱炭素化が生活におよぼす影響>

- エネルギーの脱炭素化が生活に影響をおよぼす経路として以下のような例があげられる。多くの点で、立場や捉え方によって心配な面とよい面がありうる。
- ✓ 割高なエネルギー技術の導入を急げば、エネルギー価格の上昇が家計の負担になるおそれがある。

逆に、省エネ機器、高断熱や家庭用「創エネ」を意識して導入することにより、長期的にみれば投資を回収して、以降は家計の利益になる可能性がある。

- ✓ 再エネの乱開発が、景観の悪化や地域の自然破壊などをまねくおそれがある。バイオマスエネルギーの大規模利用は、食料価格の上昇をまねくおそれがある。

逆に、地元地域の再エネが増えることにより、域外へのエネルギーコストの流出が抑えられ、地域経済の活性化につながる可能性がある。

- ✓ CO₂を多く排出する産業は大きな転換を迫られる。自分や家族が勤めていれば家計収入が、地元の主力産業であれば地域の税収や雇用が、不安定化するなどのおそれがある。

逆に、CO₂排出削減に貢献する産業は成長する可能性がある。

- ✓ エネルギー価格の上昇が国内の製造業の国際競争力を損うことで、景気不安などのおそれがある。

逆に、国内産業の脱炭素化が進めば、投資家から評価され、海外の投資を順調に呼び込み、景気に好影響となる可能性がある。

- ✓ 無理な省エネ（我慢・辛抱など）が生活の快適さや利便性を損なうおそれがある。（ただし、脱炭素化は必ずしも無理な省エネを意味しない）
- ✓ 原子力発電の増加による事故等への懸念が強まるおそれがある。（ただし、脱炭素化は必ずしも原子力発電の増加を意味しない）



< D2. その他の留意点 >

- 気候変動問題とは無関係な動機で進む社会の変化が、脱炭素化の進展に大きな影響をおよぼす可能性がある。
 - ✓ たとえば、IoT（モノのインターネット）、AI（人工知能）、5G（次世代移動通信）、VR・AR（仮想現実・拡張現実）、3Dプリンタ、ロボット、ドローン、自動運転などのテクノロジーが、10～20年後の産業や人々のライフスタイルを大きく変えるかもしれない。
 - ✓ これらのテクノロジーは、エネルギー需要の増加を抑えたり、エネルギーの需要と供給のバランスを制御するなどに役立ち、脱炭素化に大きく貢献するかもしれない。
 - ✓ 逆に、テクノロジーのために電力需要が増大し、脱炭素化を困難にする要因になるかもしれない。
 - ✓ 2020年の新型コロナウイルスパンデミックにより、オンライン会議やリモートワークが急速に普及し、交通需要の減少をもたらしたように、予期せぬ出来事が社会の変化に大きな影響を与えることも考えられる。
- 社会には気候変動問題以外のさまざまな課題が存在している。日本でいえば、少子高齢化、地方の過疎化、格差の拡大など。将来の社会の脱炭素化を思い描く際には、同時にこれらの課題にどう向き合うかを考えることも重要になるだろう。

<D3. 複数の脱炭素社会ビジョン>

- 脱炭素社会のビジョンは、社会のどんな価値を重視するかによって、さまざまな形のもの
を思い描くことができる。
- ✓ 下図は例として、2007年に描かれた「低炭素社会」の2つのビジョン。この中間のど
こかや、これとは異なる軸で違うビジョンを考えることもできる。

低炭素社会構築に向けた2つの社会ビジョン

シナリオA：活力、成長志向	シナリオB：ゆとり、足るを知る
都市型/個人を大事に	分散型/コミュニティ重視
集中生産・リサイクル 技術によるブレイクスルー	地産地消、必要な分の生産・消費 もったいない
より便利で快適な社会を目指す	社会・文化的価値を尊ぶ
GDP1人当たり2%成長	GDP1人当たり1%成長
	

絵：今川朱美

資料：2050日本低炭素社会シナリオチーム（独立行政法人国立環境研究所、国立大学法人京都大学、みずほ情報総研株式会社）より環境省作成

＜脱炭素社会ビジョン＞環境省

地域循環共生圏（日本発の脱炭素化・SDGs構想）

— サイバー空間とフィジカル空間の融合により、地域から人と自然のポテンシャルを引き出す生命系システム —

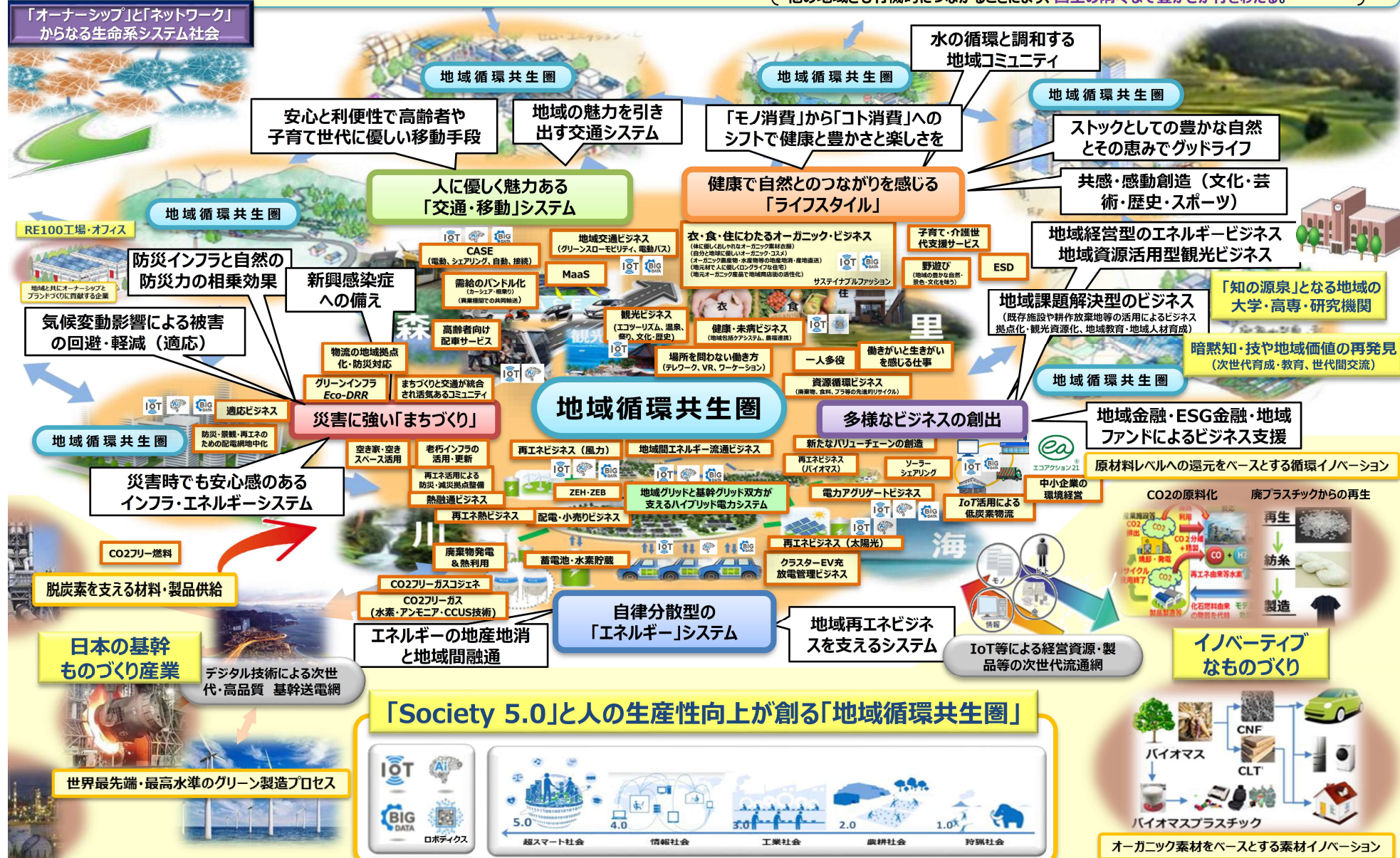
Ver. 26

「**自立分散**」 × 「**相互連携**」 × 「**循環・共生**」 = 活力あふれる「**地域循環共生圏**」 ⇒ 「**脱炭素化・SDGsの実現、そして世界へ**」
「オーナーシップ」 「ネットワーク」 「サステナブル」 「人間の安全保障、次世代・女性のエンパワーメントを基盤に」

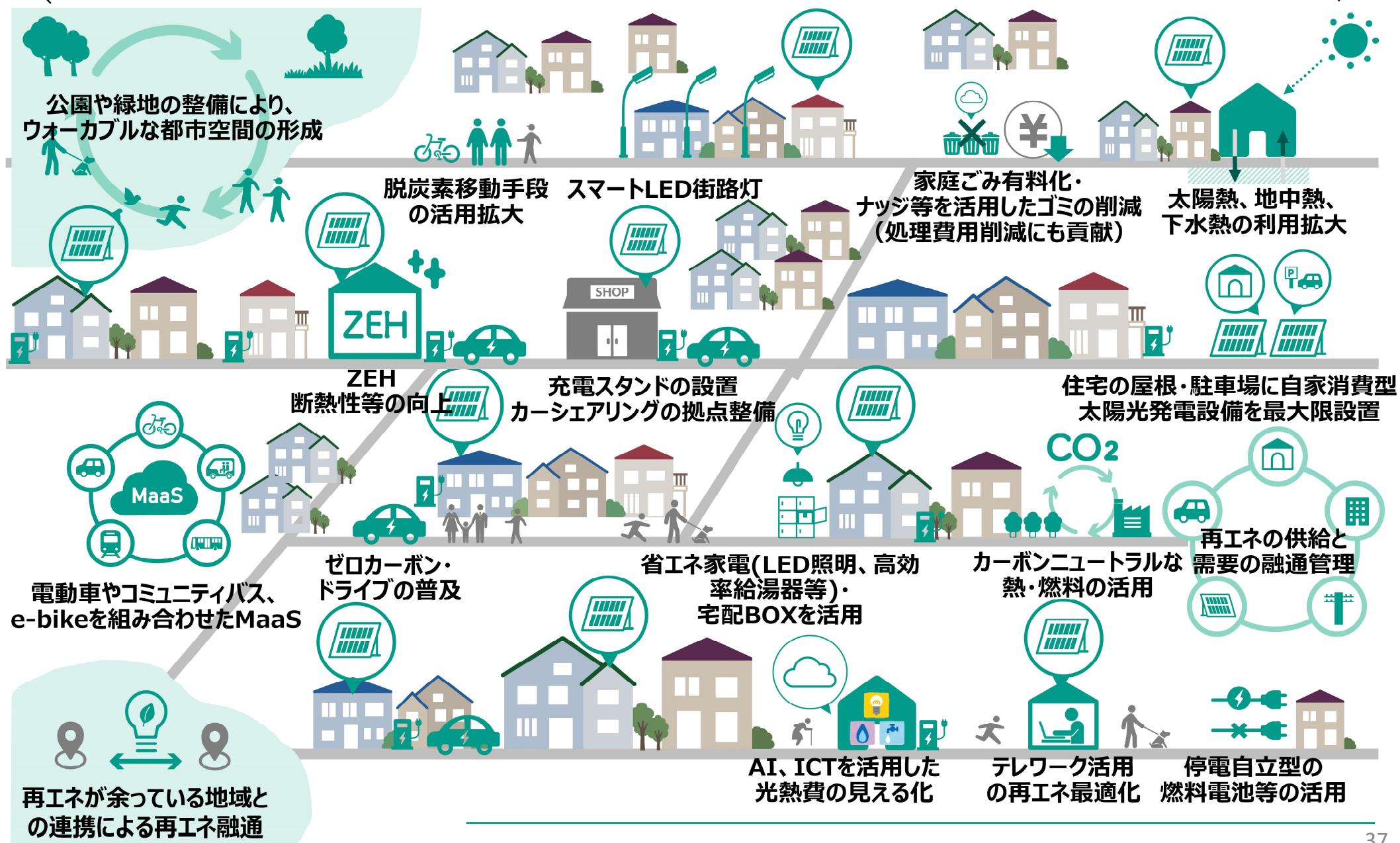
➡ **新たな価値とビジネスで成長を牽引する地域の存立基盤**

人々が健康で活き活きと暮らし幸せを実感することで、地域が自立し誇りを持ちながらも、他の地域とも有機的につながることにより、国土の隅々まで豊かさが行きわたる。

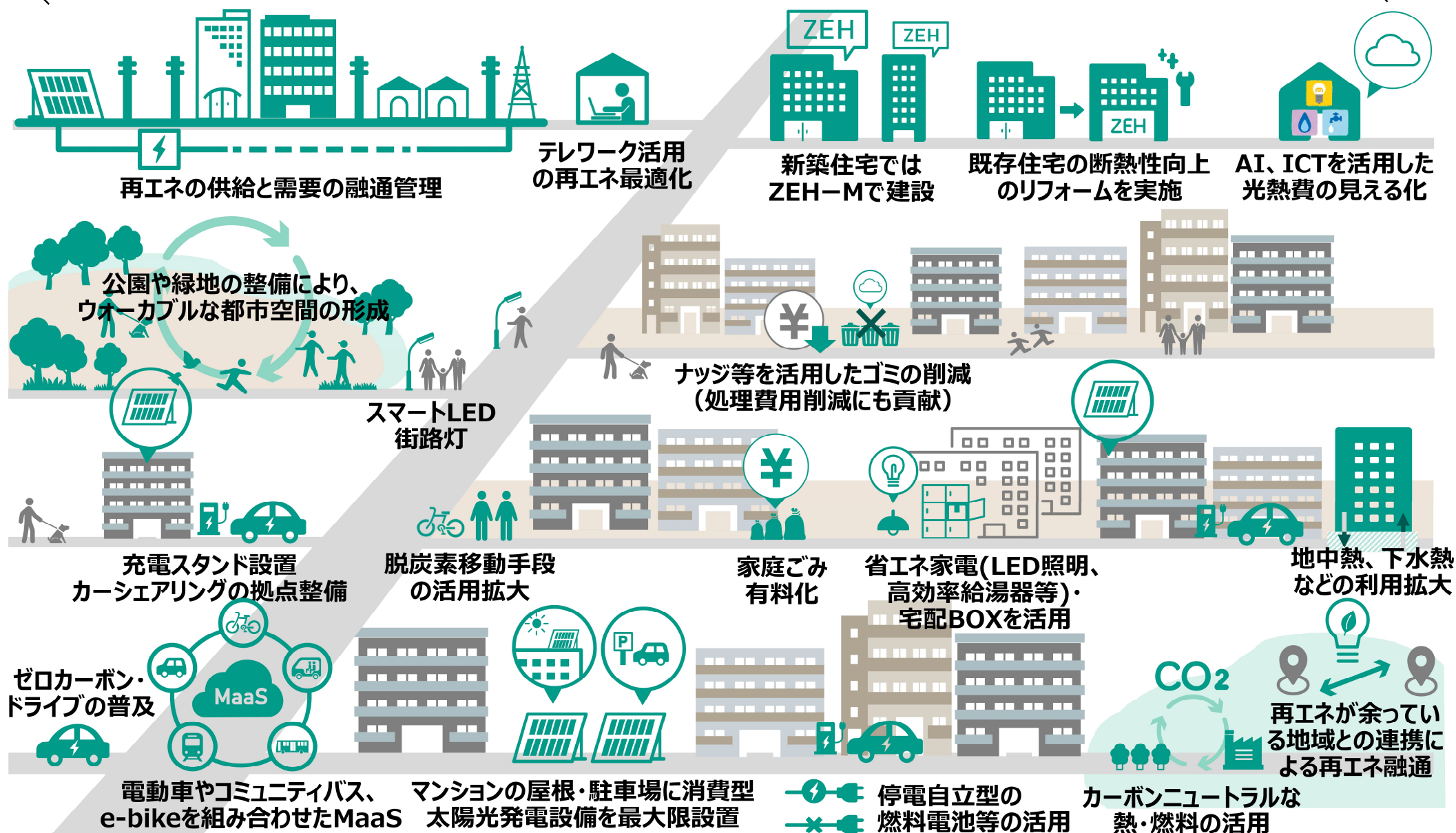
「オーナーシップ」と「ネットワーク」 からなる生命系システム社会



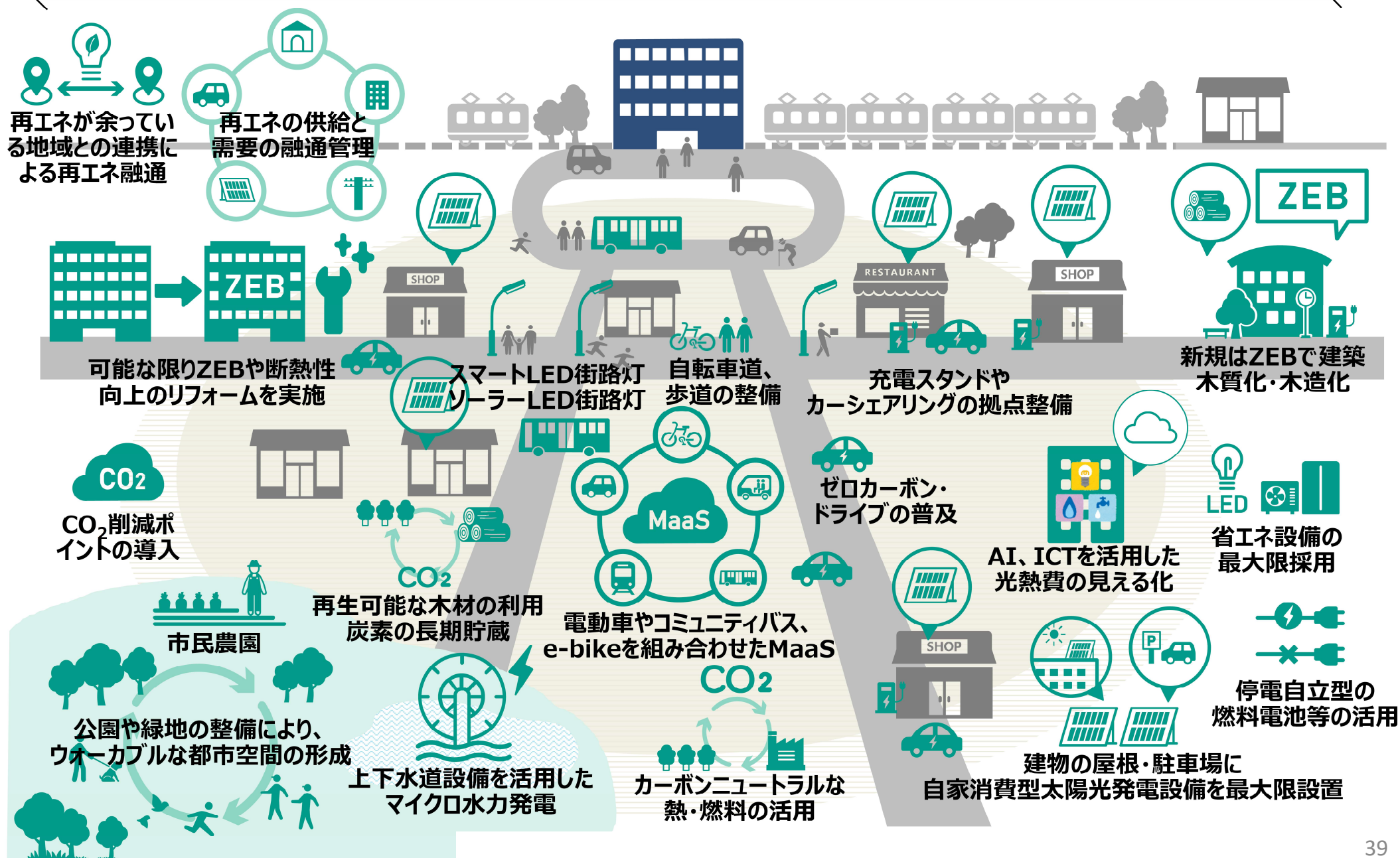
A) 住宅街・団地（戸建て中心）



B) 住宅街・団地（集合住宅中心）



C) 地方の小規模市町村等の中心市街地（町村役場・商店街など）



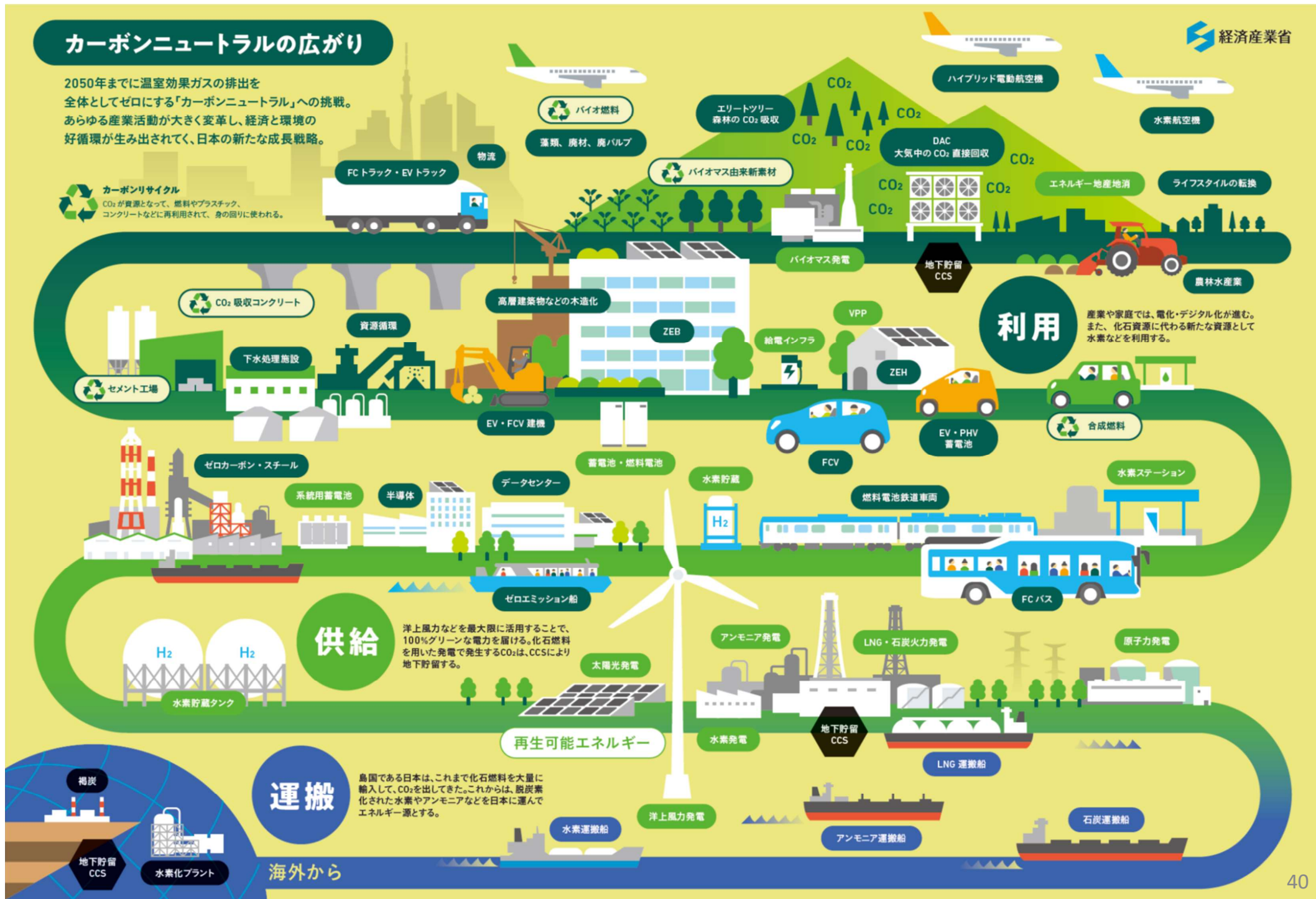
<脱炭素社会ビジョン> 経済産業省

カーボンニュートラルの広がり

2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」への挑戦。あらゆる産業活動が大きく変革し、経済と環境の好循環が生み出されてく、日本の新たな成長戦略。



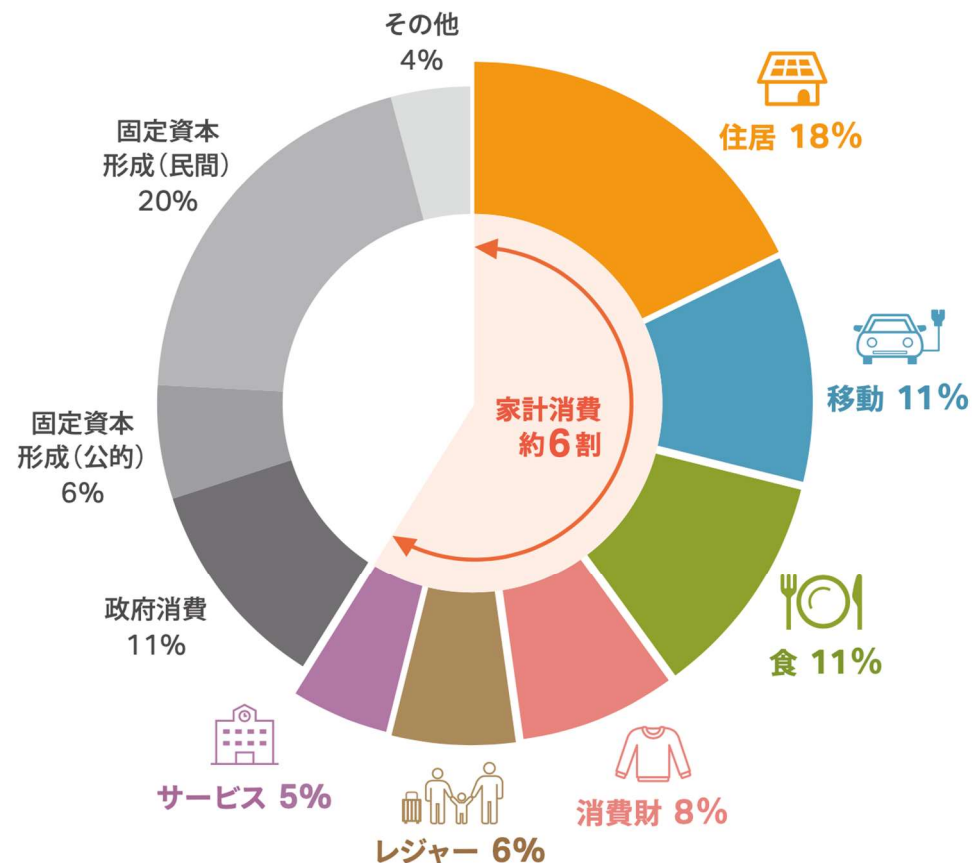
カーボンサイクル
CO₂が資源となって、燃料やプラスチック、コンクリートなどに再利用されて、身の回りに使われる。



<D4. 脱炭素型ライフスタイル>

- 衣食住や余暇の過ごし方をはじめとする私たちのライフスタイルは、気候変動への影響とその対策に密接な関わりがある。
- 家計消費のカーボンフットプリント（ライフスタイルに関連する温室効果ガス排出量）は、市民の生活を支える様々な製品やサービスの利用を通して排出される二酸化炭素（CO₂）などの温室効果ガスを指す。この考え方では、直接的に家庭で利用する都市ガスやガソリンの燃焼だけでなく、家計が消費するあらゆる製品やサービスの資源採掘、素材生産、製品組立、輸送、使用、廃棄までのライフサイクル（ゆりかごから墓場まで）において排出される温室効果ガスを把握することができる。

(a)日本のカーボンフットプリント内訳(2015年)



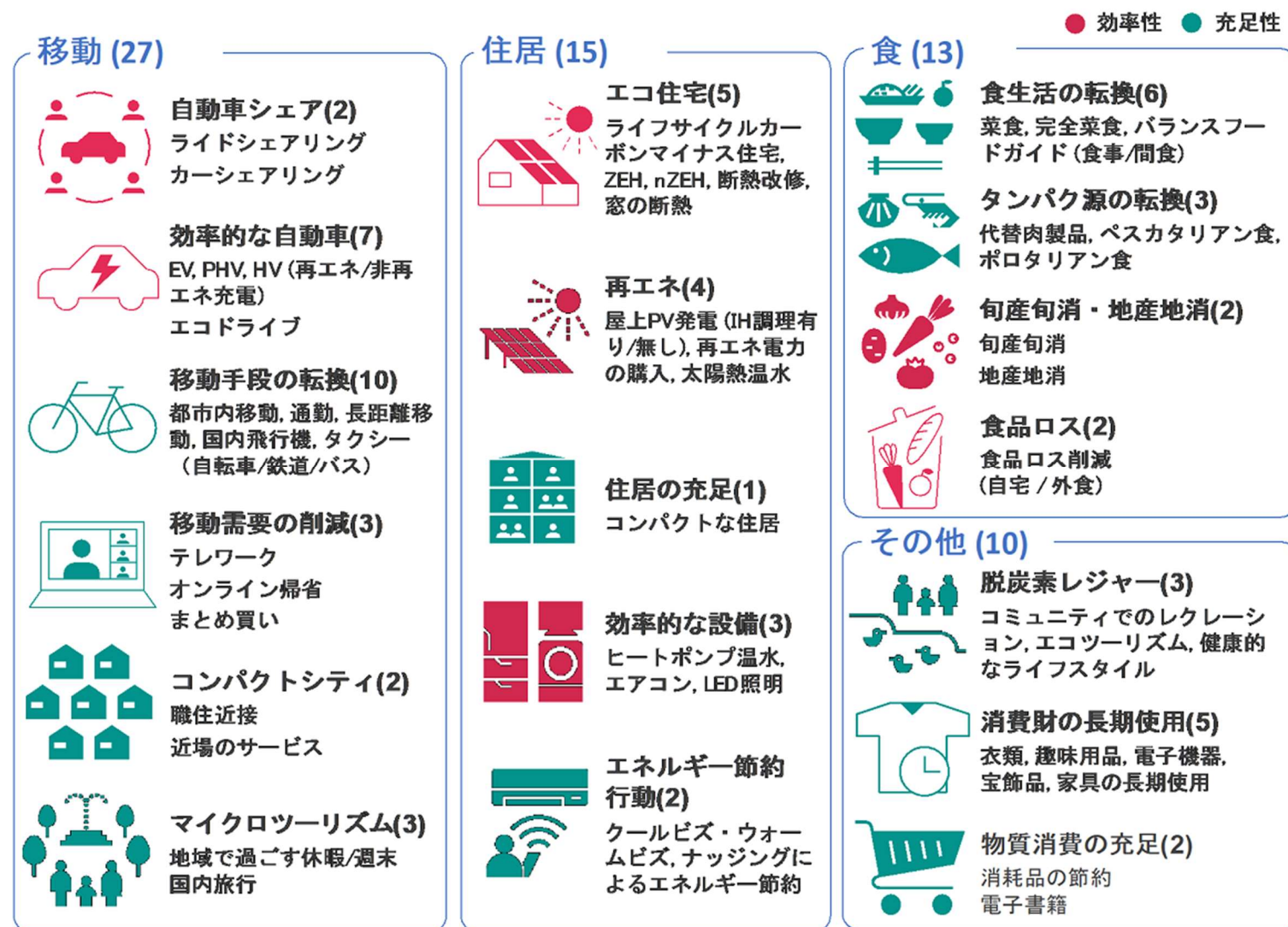
出典：国立環境研究所ウェブサイト「脱炭素型ライフスタイルの選択肢 カーボンフットプリントと削減効果データブック」

<https://lifestyle.nies.go.jp/html/databook.html>

<D4. 脱炭素型ライフスタイル>

- 国立環境研究所と地球環境戦略機関による研究で、脱炭素型ライフスタイル選択肢による1人1年あたり温室効果ガス排出量（カーボンフットプリント）の削減効果を推計した。

(a) 脱炭素型ライフスタイルの65選択肢



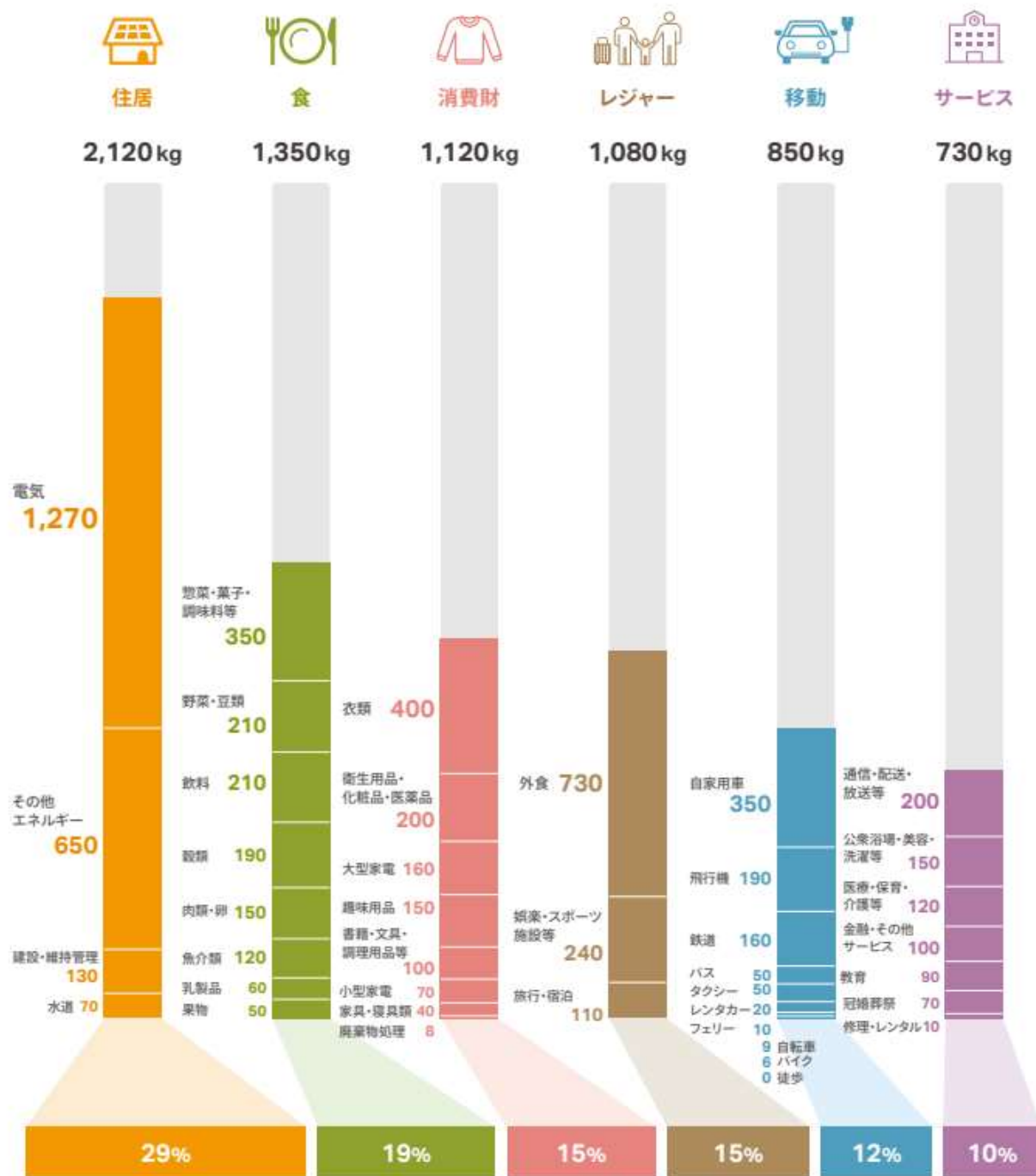
出典：国立環境研究所ウェブサイト

「国内52都市における脱炭素型ライフスタイルの効果を定量化～「カーボンフットプリント」からみた移動・住居・食・レジャー・消費財利用の転換による脱炭素社会への道筋～」 <https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210719/20210719.html>

<D4. 脱炭素型ライフスタイル>

- 東京都（区部）における1人1年あたりの家計消費カーボンフットプリントは、7,270kg-CO₂である。
- なお、地球温暖化を1.5°C未満に抑えるための1人1年あたりの2030年目標上限は、3.200kg-CO₂とされる。

(a)東京(区部)における1人1年あたりの家計消費カーボンフットプリント(2015年)



<D4. 脱炭素型ライフスタイル>

(a)東京(区部)における1人1年あたりの家計消費カーボンフットプリントの削減効果



出典：国立環境研究所ウェブサイト「脱炭素型ライフスタイルの選択肢 カーボンフットプリントと削減効果データブック」

<https://lifestyle.nies.go.jp/html/databook.html>