

# ストップ 地球温暖化

— — カーボンニュートラルの実現に向けて — —

2022 年5月

土屋爲由

## はじめに

### 持続可能性とは

近年、「持続可能性」、あるいは「サステナビリティ」という言葉が世の中で頻繁に使われるようになってきました。

経営戦略研究所河口主任研究員の『持続可能性「Sustainability サステナビリティとは」何か』の中で、「持続可能性」、あるいは「サステナビリティ」の言葉の本来の意味は、「この地球環境が、我々の生存できる環境を維持できること」であり、「人類が生存可能な地球の生態系を保全する」、という意味が込められていると解説しています。

1987年、「国連環境と開発に関する委員会」は、地球温暖化による環境への影響を懸念する先進国と経済的発展を望み二酸化炭素の排出の抑制に反対する発展途上国との間で、「環境と発展途上国の開発とを両立させる道を探ることを国際政治の課題として位置づけようとする政治的意図」から、「Sustainable Development(持続可能な開発)」という言葉が初めて報告書の中で使い、『「Sustainable Development(持続可能な開発)」とは、将来世代のニーズに応える能力を損ねることなく、現在世代のニーズを満たす開発』と定義しました。その後、国際社会は、「持続可能な開発」を実現するためには、地球の生態系に配慮した開発に転換しなければならないという環境面だけの取組でなく、先進国と途上国の経済的格差や貧困問題という経済社会的な課題の克服も不可欠であると理解されるようになった。現在、「持続可能性」の言葉には、本来の地球環境の「持続可能性」という意味だけでなく、貧富の差の拡大、貧困問題など社会のひずみが人類社会の存続を脅かしているとの認識から、人間の社会経済システムの「持続可能性」も含まれるようになってきました。

2015年9月の国連サミットは、国連の「ミレニアム開発目標」に続き、2030年までの実現を目標にした『SDGs (Sustainable Development Goals ; エス・ディ・ジーズ : 持続可能な開発目標)』に合意しました。「SDGs (持続可能な開発目標)」は、地球環境の「持続可能性」、人間の社会経済システムの「持続可能性」の実現を目指して、国際社会全体における17の開発目標、具体的な行動指針を定め、環境、平和と安全、開発と貧困、人権など広範な人類共通の課題について総合的に解決を図ることにしています。

因みに、2021年5月、墨田区は、政府から「SDGs 未来都市」に選定されています。

### 地球温暖化の防止に向けた国際的な枠組み

2015年12月、第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)は、2020年以降の地球温暖化対策を定めた新たな国際的枠組みである「パリ協定」を採択した。パリ協定は、「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」こと、そのために、「21世紀後半には、温室効果ガス排出量と吸収量のバランスをとること(カーボンニュートラル)の実現」を目標としています。

2020年10月、我が国は、「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、すなわち2050年

カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しています。我が国以外の多くの国も2050年までにカーボンニュートラル実現を表明しており、2060年までのカーボンニュートラル実現を表明している中国を含めると、世界の二酸化炭素排出量の約70%を占める国が、カーボンニュートラルの実現を掲げています。

2021年10月、墨田区は、地球温暖化による気候変動への対応として、区民、事業者、区の協働により、「脱炭素社会」の実現のため、「すみだゼロカーボンシティ2050宣言」を表明しています。

#### 気候変動の生態系への影響

地球温暖化の原因は、人間活動によるものであり、地球温暖化による気候変動の状況がこのまま進むと、人間だけでなく、地球上に暮らすあらゆる生き物に甚大な被害をもたらす、生態系が崩壊する恐れがあります。

現在、地球を取り巻く大気中に、8,800億CO<sub>2</sub>換算トンの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が蓄積されており、その大半を排出し、気候変動を起こしたのは、洗濯機、冷蔵庫、エアコン、乗用車などを利用し、便利で快適な生活を送ってきている先進国の我々世代です。

パリ協定は、世界の平均気温を2℃より十分に低く保つことを目的にしていますが、これは、平均気温の2℃が地球の生態系を保全し、今の地球環境を維持するための限界点であるからです。世界の平均気温が2℃以上上昇した場合、地球環境がどのようなになるか多くの文献がありますが、科学者の見解は大筋で一致しています。その内容は、この資料にも記述してありますが、動植物の生態系は両極方向と、標高が高い場所に移動、それに伴う生物多様性の一部喪失、干ばつ、季節ごとの洪水。異常気象(強風、集中豪雨、酷暑)の頻発、熱帯の砂漠化、また海水温の上昇、夏の北極海の海水の融解、熱膨張による海面水位の上昇(最悪のケースではグリーンランド・南極の氷河の融解による上昇)、海水の酸性度の上昇などです。特に、生物多様性は、栄養の循環、水流の調整、気候の調節といった、生態系の重要な機能と密接に結びついており、生物多様性が失われると、生態系は回復しにくくなり、気候変動によって崩壊した動植物などの生息地の立て直しも難しくなり、結果的に、低緯度から中緯度の陸地のいくらかが荒涼とした砂漠化、半砂漠化になると警告しています。

自然に恵まれた地球環境を、未来の子供たちに！

現在、地球温暖化による気候変動をこれ以上悪化させない解決策はよく知られており、しかも、国連のIPCC(気候変動に関する政府間パネル)などは、解決するための具体的指標なども示しています。このため、地球温暖化に関心のある人、関係している政府関係者などは、世界の平均気温の上昇をプラス2℃以下に保つために何をすべきかはよく知っているはずで、それは、国際社会が、①エネルギー効率を上げ(省エネルギーなど)、②二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギー発電(太陽光、風力、水力、バイオマスなど)、水素・アンモニア発電、また電気自動車・燃料電池車などに切り替える、③森林破壊をやめる、④二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)プラントの導入、⑤カー

ボンリサイクルを実行することなどです。二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）プラントの導入が必要な理由は、再生エネルギーへの移行が遅れ、火力発電所とセメント工場の閉鎖が遅れ、相変わらず二酸化炭素が排出されるからです。これら気候変動の対策は、すべて技術的には可能であり、実行するか否かとなっています。

我々の世代は、今の若者だけでなく、これから生まれてくる世代にも、負債や年金など様々な負担を押しつけようとしており、特に、我々が将来の世代に残す最も大きな問題としては、「人類による生物多様性の破壊」、「気候変動」、「放射性廃棄物の保管」の三つがあるといわれています。しかしながら、上述の通り、地球温暖化を防止し、生物多様性の喪失や気候変動をこれ以上悪化させない解決方法や技術が揃っており、国、区、企業、区民も、二酸化炭素など温室効果ガスの排出削減により地球の温暖化が防止できることを十分理解しています。

時間が限られています。未来の子供たちに、自然に恵まれた地球環境を残して、桜が咲き、木々が芽吹き、蝶が舞い、小鳥のひなが誕生し、山々が紅葉して雪化粧をするといった、滑らかな季節的に起きる動植物の現象などを味わえるようにするためには、国、区、企業、区民が力を合わせて、カーボンニュートラルの実現に向け、それぞれが役割を担い、相応の負担などそれぞれが義務を果たすという組織的な行動を起こす時と考えます。

### 「ストップ 地球温暖化」について

今年度の「すみだ環境共創区民会議」のテーマが「気候変動」となったこと、また墨田区は、「すみだゼロカーボンシティ 2050 宣言」を表明しており、今後、「脱炭素社会」の実現に向けて各種施策や事業の検討が必要となることなどから、地球温暖化の全体像が把握できるように、基礎知識から温室効果ガスの排出の現状、21 世紀末の気候予測、気候変動の影響など、さらに「カーボンニュートラル」実現の切り札となる二酸化炭素の回収・貯留技術（CCS）などネガティブエミッション技術、メタネーション技術（二酸化炭素と水素から「合成メタン」を作成）などのカーボンリサイクルなど、個人的な関心から資料を集め「ストップ 地球温暖化」としてまとめました。

「ストップ 地球温暖化」は、多くの関係する機関等の多くの資料から必要な部分を集め、そのまま使用しているものもあり、用語などに一貫性がなく、排出量も温室効果ガス排出量、二酸化炭素排出量、炭素排出量が混在し、作成年や作成機関等の違いから比較する数値に差もあります。さらに、解説が簡単であったり、やたら詳しくあったりなど、この資料には、個人の趣味的な面も多分にあります。ご容赦ください。

最後に、この配布資料が「すみだ環境共創区民会議」の今年度のテーマ「気候変動」の議論などの一助になることを期待します。

(主要参考文献等)

『2052』今後 40 年のグローバル予測 ヨルゲン・ランダース(野中香方子訳) 日経 BP 社  
関係省庁・関係団体・関係企業 HP 上の資料

## 目次

1. 地球温暖化の基礎知識	7
(1) 大気の組成	7
ミニ解説 %とppmとの関係	7
(2) 温室効果ガスの種類と特徴など	7
(3) 温室効果ガスの役割	7
(4) 地球温暖化の原因と影響	8
①地球温暖化の原因	8
ミニ解説 地球の炭素循環	8
ミニ解説 人間一人が1年間の呼吸で排出する二酸化炭素	8
ミニ解説 光合成	9
②温室効果ガスの累積排出量と気温上昇の関係	9
③地球温暖化による気候変動の悪影響	10
ミニ解説 生態系、生物多様性とは	10
ミニ解説 温室効果ガス排出量のCO <sub>2</sub> 換算トンと炭素トン	10
(5) 二酸化炭素の排出蓄積総量と大気中残留、陸上・海洋の吸収量	10
ミニ解説 人為的な二酸化炭素の収支図	11
ミニ解説 IPCC (気候変動に関する政府間パネル) とは?	11
(6) 地球温暖化防止に向けた国際交渉の流れとパリ協定	11
①国際交渉の流れ	11
②パリ協定の概要	12
(パリ協定の目的と目標)	12
(パリ協定での主な合意内容)	12
(パリ協定での平均気温の長期目標2℃の意味)	12
2. 温室効果ガスの排出の現状	13
(1) 世界の温室効果ガスの排出量	13
①世界の二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )の排出量(2018年)	13
②国別の二酸化炭素の排出量の推移	13
③世界の温室効果ガス別の排出量の内訳(2010年)	14
④世界の温室効果ガス別の排出量の推移	14
(2) 日本の温室効果ガスの排出量	14
①日本の温室効果ガスの排出量の推移	14
②日本の温室効果ガス別の排出量(2020年)	15
③日本の温室効果ガス別の排出量の推移	15
④家庭からの二酸化炭素排出量(世帯当たり、用途別)	15
(参考1) 食材1kgをつくる際に発生する温室効果ガスの排出量(kgCO <sub>2</sub> 換算)	16
(参考2) 日本の豚肉と牛肉の1kgの生産から廃棄までの温室効果ガスの排出量	16
(3) 温室効果ガスの大気中の濃度と世界の平均気温の現状	16
①温室効果ガスの濃度の推移	16
②世界の地上気温の経年変化(年平均)	17
③日本における年平均気温の経年変化	17
(4) 地球温暖化の海洋への影響	17
①海洋の二酸化炭素の吸収量	17
②世界の海面水温の経年変化	18
③日本の海面水温の経年変化	18
④海面水位の上昇(世界、日本)	18
⑤海洋の酸性化	19
3. 21世紀末の気候予測	19
(1) IPCC第6次評価報告書におけるSSPシナリオ	19
ミニ解説 IPCCによる将来予測のシナリオ	20
(2) 二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )累積排出量と気温上昇量の関係	20
①温室効果ガス累積排出量と気温上昇の関係	20
(参考) 気温上昇を2℃に抑えるための二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )の総排出量上限(IPCC第5次評価報告より)	20
②世界平均気温の変化予測(1950~2100年)	21
③気温上昇は1.5℃以下に抑えられるの?	21
ミニ解説 気温上昇が1.5℃と2℃での影響の違い	21

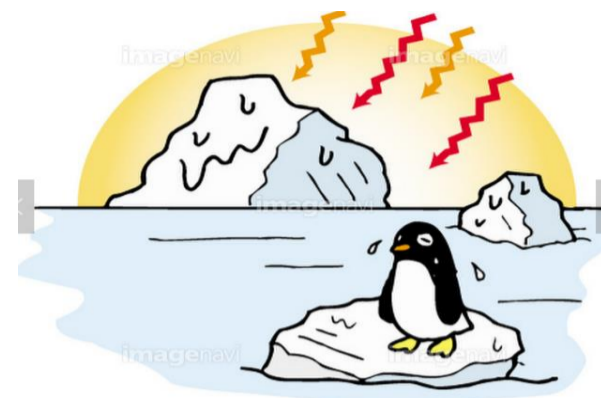
(参考) 1.5℃～2.5℃上昇による生態系への影響	22
(3) 世界の海面水位の変化予測	22
①2100年、2150年の世界の海面水位の変化予測	23
②2300年の世界の海面水位の変化予測	23
(4) 世界全体の海面付近の pH(ペーハー：酸性度の尺度)の予測	23
4. 地球温暖化の日本への影響	24
(1) 米作の適地の移動予測	25
(2) 地球温暖化によるリンゴ及びウンシュウミカン栽培適地の移動予測	25
(3) サンマの回遊ルートの変更	25
(4) 高山生態系の追い落とし現象	26
(5) 都市部のヒートアイランド	26
(6) 海面水位の上昇の影響	26
①世界平均気温上昇 4℃と 2℃の東京近辺の浸水予測 (CLIMATE CENTRAL データより)	27
②世界平均海面水位が 1m 上昇した場合の東京近辺の浸水予測 (CLIMATE CENTRAL データより)	27
③世界平均海面水位が 9m 上昇した場合の東京近辺の浸水予測 (CLIMATE CENTRAL データより)	27
④世界平均海面水位が 9m 上昇した場合の関東地域の浸水予測 (CLIMATE CENTRA データより)	28
(7) 地球温暖化の日本の食糧事情への影響	28
○私たちの食卓における品目別自給率	28
○天ぷらそばの食糧自給率	28
(参考) 畜産物 1kg の生産に必要な穀物量	29
5. カーボンニュートラルに向けて	29
(1) カーボンニュートラルとは	29
(2) 2030 年までのエネルギー起源二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) 排出量の削減	29
(参考) 2030 年の電力需要と電源構成	30
(3) カーボンニュートラル実現に向けた動き	30
ミニ解説 ネガティブエミッション技術	31
(参考 1) 二酸化炭素回収・貯留技術の CCS、CCUS とは	31
(参考 2) 合成燃料と二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) 排出の関係	32
(参考 3) メタネーションによる二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) 排出削減効果	32
(参考 4) バイオマス発電による「カーボンニュートラル」	33
(3) カーボンニュートラル実現に向けた区民の行動など	33

## 1. 地球温暖化の基礎知識

地球温暖化による気候変動は、干ばつ・豪雨・大型台風、猛暑・寒波、また海水温の上昇、海面水位上昇などを起こし、人間を含む地球上のすべての生き物にとっての生存基盤を揺るがし、多くの動植物を絶滅の危機に追い込んでいます。

未来の子供たちに豊かに暮らせる地球環境を引継ぐためにも、我々は、地球温暖化を学び、日常生活でのちょっとした省エネの工夫など、地球温暖化の防止に向けた行動を起こすことが必要です。

**みんなの共有財産である地球環境を、これ以上、悪化させてはいけません。**

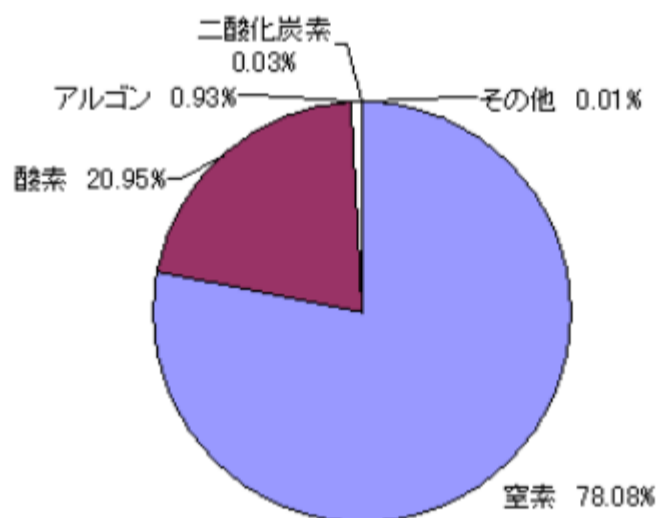


### (1) 大気の組成

惑星・天体がその周りに保持している気体を「大気」といいます。地球の大気は、高さ 80 km 程度（大気の上空では組成が少し変わる）までほぼ同じ組成をしています。その組成を持った気体を「空気」といいます。空気の成分は（水蒸気を除いた乾燥大気）、窒素（N<sub>2</sub>）が 78.08%、酸素（O<sub>2</sub>）が 20.95%、アルゴン（Ar）が 0.93%、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）が 0.035%、その他が 0.01% 混じった気体です。実際の空気には、水蒸気が 0.1~0.2%、多いときで 2~4% 程度含んでいます。空気中の水蒸気は、気温上昇によって増加します。

地球の温暖化は、大気中の水蒸気、二酸化炭素、メタンなど温室効果を持つ気体の濃度により起こっています。

人類は、大気中の酸素濃度が 18% を下回ると酸素欠乏症に陥るため、酸素濃度が 18% より低いと人類が生きられない環境となります。



左の図は、空気の成分です。二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）が「0.03%」ですが、年々この比率が高くなって、2013 年には、「0.04%」を超えています。二酸化炭素の「0.03%」は、「ppm」で表すと「300ppm」になります。

「その他」には、温室効果の強いメタン（CH<sub>4</sub>）、ハーフフルオロカーボン類（HFCs）、パーフルオロカーボン類（PFCs）、六フッ化硫黄（SF<sub>6</sub>）、三フッ化窒素（NF<sub>3</sub>）、その他の気体としてネオン（Ne）、ヘリウム（He）、クリプトン（Kr）、キセノン（Xe）などです。

#### ≡ 解説 %、ppm との関係

微量な単位として「ppm」が使われていますが、「ppm」は、「Parts Per Million」の略であり、直訳すると「100 万分のいくらかの部分」となり、計算式は、 $1 \div 1,000,000 = 0.000001$  です。% と ppm の関係は、 $100\text{ppm} = 0.01\%$  です。空気の成分の二酸化炭素「0.035%」は、「ppm」で表すと「350ppm」になります。

### (2) 温室効果ガスの種類と特徴など

京都議定書でいう温室効果ガスの種類や用途・排出源は、表のとおりです。表のカッコ内は、日本での当該ガスの排出量の比率です。「地球温暖化係数」とは、温室効果ガスそれぞれの温室効果の強さの程度を示す京都議定書により決まっている値です。

温室効果ガス (GHG)	地球温暖化係数	用途・排出源
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	1	化石燃料（石炭・石油・天然ガス）の燃焼（93%）、セメント生産等（4%）、廃棄物燃焼（3%）、森林破壊・山火事・泥炭火災・森林劣化等（0）
メタン (CH <sub>4</sub> )	25	天然ガスの主成分。農業（77%；稲作・家畜の腸内発酵など）、廃棄物の埋立・排水処理等（16%）
一酸化二窒素 (N <sub>2</sub> O)	298	農業（家畜排せつ物管理等 46%）、燃料の燃焼（28%）、排水処理等（21%）など
ハイドロフルオロカーボン類	1430 など	オゾン層を破壊しないフロン。エアコンや冷蔵庫の冷媒（92%）、断熱材の発泡剤（6%）、スプレー、半導体の洗浄剤など
パーフルオロカーボン類、六フッ化硫黄、三フッ化窒素	7390~22000	半導体の製造プロセス、電気の絶縁体など

(出典) 温室効果ガスインベントオフィス 全国地球温暖化防止活動推進センター

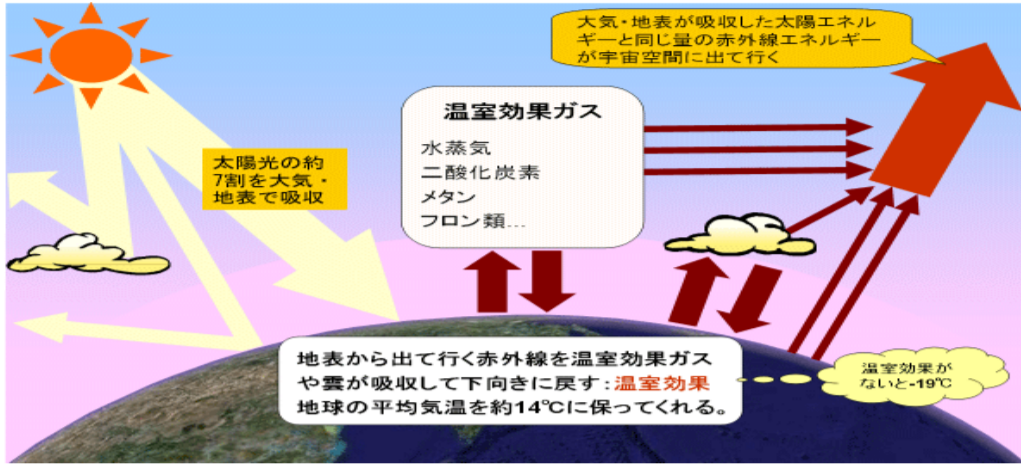
### (3) 温室効果ガスの役割

地球は、太陽光の約 7 割を大気・地表で吸収し、海や陸などの地球の表面を温めます。大気中に含まれる水蒸気、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン、フロン類などには、地球の表面から地球の外に向かう熱（赤外線）を大気に蓄積し、再び地球の表面に戻す性質（温室効果）があります。大気に温室効果のある水蒸気、二酸化炭素などがないと、大気・地表が吸収した熱（赤外線）は宇宙に放散してしまい、地球の平均気

温はマイナス 19℃となり、人が暮らしにくい環境になります。この地球で大切な役割を果たしているのが、大気中の水蒸気や二酸化炭素など「温室効果ガス (GHG ; 「Greenhouse Gas」)」です。

温室効果ガスは、地表から放散する熱(赤外線)を吸収し、熱(赤外線)を宇宙に逃げにくくするとともに、その熱(赤外線)を地表に向けて放射して、地球の気温を、生物の生存に適した約 14℃を保っているのです。

現在の大気の温室効果は、約 60%が水蒸気、約 30%が二酸化炭素によるものです。地球の気温が上昇すると、土壌、海洋などから多量の水分が蒸発して、大気中の水蒸気が増加し、その量の増加が地球の温暖化をさらに増幅させることになります。



(出典) 気象庁

**では、なぜ、地球温暖化が起こったのですか？**

産業革命以降、人間活動による化石燃料の燃焼により排出される二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の量が増加し、また二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の吸収源である森林破壊などもあり、大気中の排出量と森林などで光合成による吸収される量のバランスが大きく崩れてしまいました。その結果、海洋と土壌・森林で吸収しきれない二酸化炭素が大気中に残留し、温室効果が強まりすぎたことから、地球の温暖化が進みました。

**(4) 地球温暖化の原因と影響**

**①地球温暖化の原因**

二酸化炭素は、人間活動、海洋、および土壌・森林から大気中に排出される一方、海洋と土壌・森林は、大気中の二酸化炭素を吸収します。

地球温暖化は、産業革命以降、石炭・石油・天然ガスといった化石燃料の燃焼により二酸化炭素の排出量が増加し、また二酸化炭素を光合成により吸収する森林破壊等から、排出量と吸収量のバランスが大きく崩れ、大量の二酸化炭素など温室効果ガスが大気中に蓄積してその濃度が上昇したことが原因です。

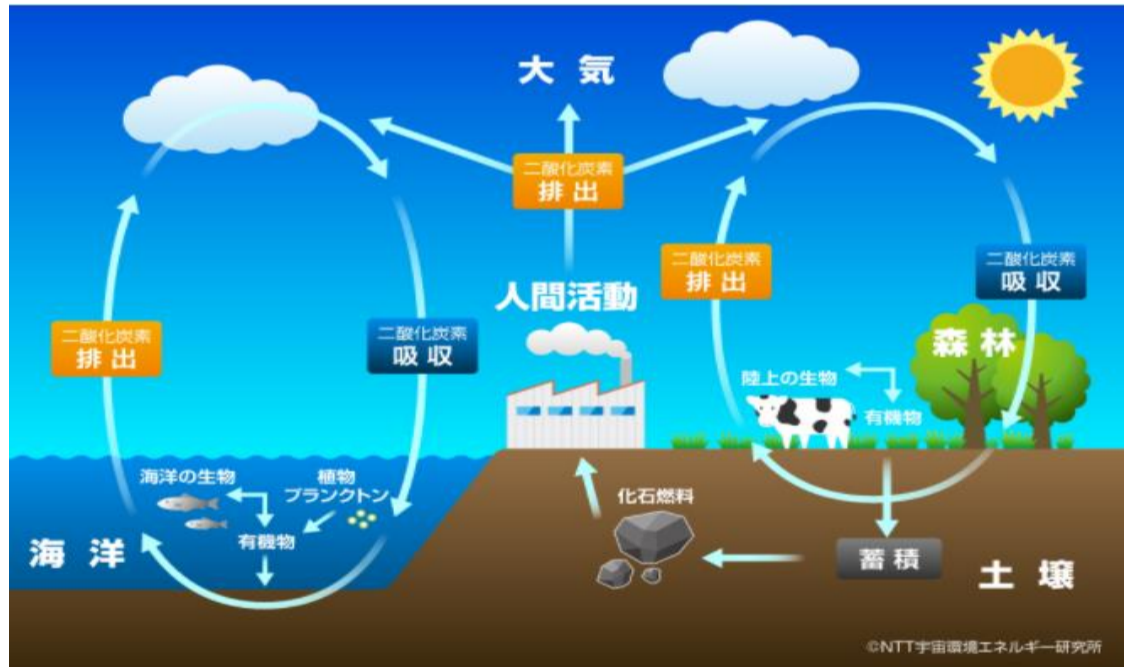
近年でも、世界全体で、海洋と森林等で吸収される量のおよそ 2 倍となる年間 300 億トン以上の二酸化炭素が大気中に排出されており、毎年、大気中の温室効果ガスの濃度が上昇し、世界の平均気温も上昇するなど地球温暖化が進行しています。

大気中に排出された二酸化炭素など温室効果ガスは、気体であり、地球上をすばやく移動し、大気中に長くとどまりますが、やがて陸地や海洋に吸収され、蓄積されます。このため、大気中の温室効果ガス濃度の上昇は、平均気温の上昇による異常気象、動植物の生態系の破壊、また海洋でも海水温の上昇や酸性化によっても生態系が破壊されています。

**ミニ解説 地球の炭素循環**

炭素は「大気」「森林」「土壌」「海洋」「人間活動」のあいだを、さまざまに形を変えながら循環しています。たとえば、大気と森林なら、大気中の二酸化炭素が植物の光合成により有機物の形で生物に取り込まれる一方、生物の呼吸などに由来する二酸化炭素が大気中に排出されます。また、土壌の化石燃料などは、産業革命以降の人為的活動により、二酸化炭素などとして大気中に排出されます。

海洋と土壌・森林は大気中の二酸化炭素を吸収します。しかし、吸収量を超える二酸化炭素が大気中に毎年残留していきま

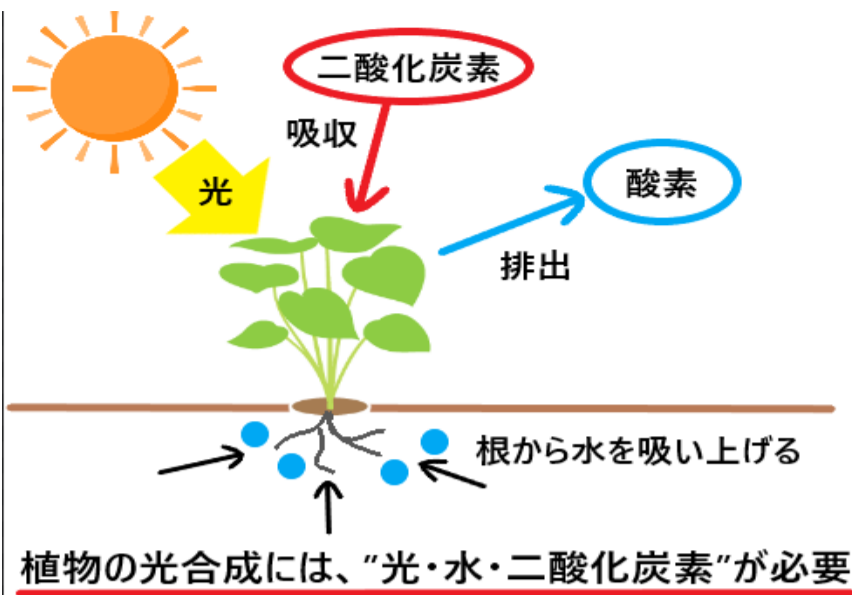


(出典) NTT 宇宙環境エネルギー研究所

**ミニ解説 人間一人が 1 年間に排出する二酸化炭素の量とその吸収**

人間一人が呼吸により排出する二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は、1 日約 1kg とか、年間 360kg とか、色々の説がありますが、関東森林管理局の資料では、年間約 320 kg となっています。また関東森林管理局の資料によると、森林の二酸化炭素の吸収量は、樹種や林齢により異なるが、林齢 50 年のスギ 1 本あたりの二酸化炭素の貯蔵量が約 700kg に達していると試算されています。これを 50 年で割れば、林齢 50 年のスギは、1 年間平均で 1 本あたり約 14kg の二酸化炭素を吸収したことになり、人間一人が 1 年間に排出している二酸化炭素約 320 kg は、約 23 本のスギが吸収していることとなります。





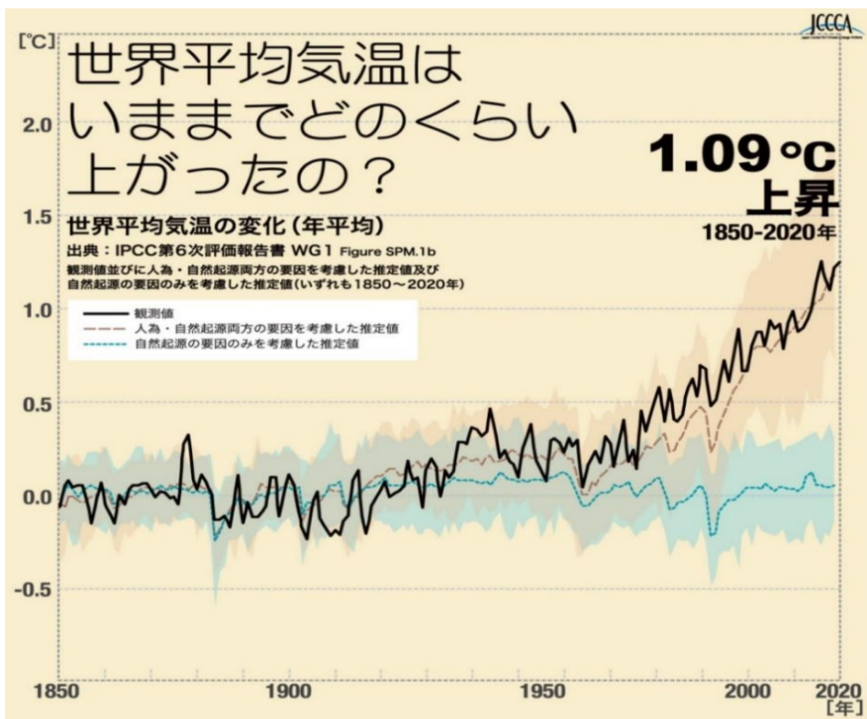
ミニ解説 光合成  
 光合成とは、陸上植物、藻類、シアノバクテリアなどが光のエネルギーを使い、無機炭素からデンプンなどの養分（有機物）を合成する反応をさします。光合成に必要なものは二酸化炭素と水と光です。その過程で水が分解されて酸素が放出されます。地球上のほとんどすべての酸素は光合成に由来し、地球上のほとんどすべての有機物もまた光合成に由来します。

(出典)ギモン雑学

②温室効果ガスの累積排出量と気温上昇の関係

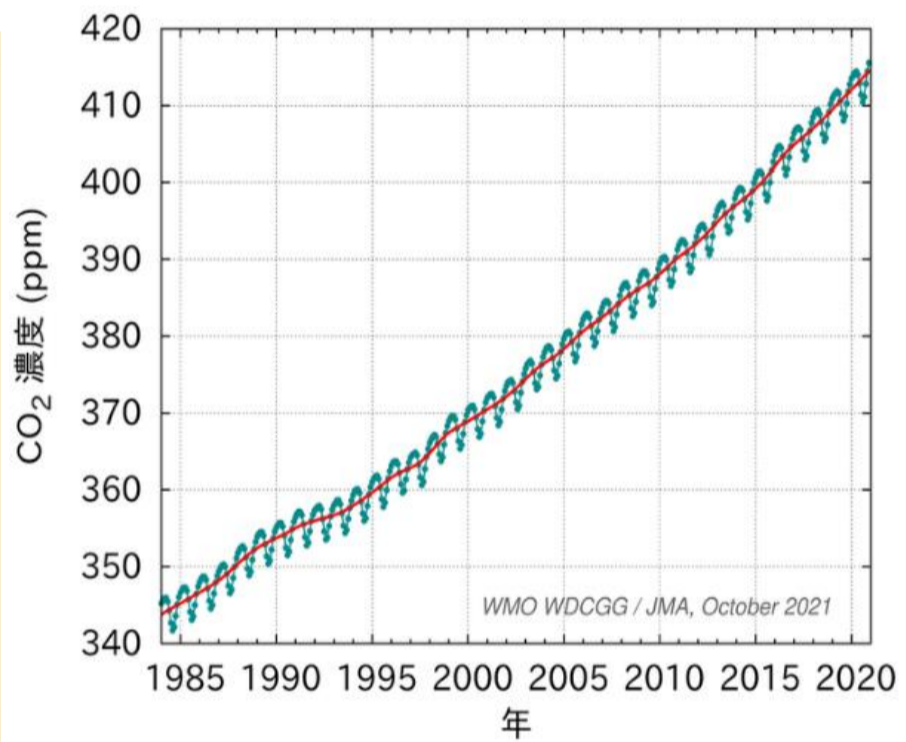
二酸化炭素など温室効果ガスの累積排出量と気温上昇の変化は、ほぼ線形関係（比例関係）にあることがわかっています。つまり、気温上昇上限から二酸化炭素の総累積排出量の上限が決まるということです。すなわち、二酸化炭素など温室効果ガスの濃度が上昇すると世界の平均気温も比例して上昇することになります。世界の平均気温の上昇と大気中の二酸化炭素など温室効果ガスの濃度の関係を示す図です。

世界の地上気温の経年変化（年平均）



(出典) IPCC 第6次評価報告書 全国地球温暖化防止推進活動センター

二酸化炭素など温室効果ガスの濃度の推移



(出典) 気象庁

③地球温暖化による気候変動の悪影響

人間活動による地球温暖化による気候変動は、人間を含む地球上のすべての生き物の生存基盤を揺るがし、多くの動植物を絶滅に追い込んでいます。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書によれば、世界の平均気温が2℃以上上昇した場合、地球環境が一変し、地球上の動植物の多くの絶滅、グリーンランドや南極の氷河などの融解による海面水位の上昇など、人々は、これまで以上に悪化した環境の中で生活することになります。

ヨルゲン・ランダースは、著書「2052」の中で、40年後の地球環境について、地球の生態系は、今の状態と全く変わり、危機的というより、大惨事になる直前ではないかと指摘しています。地球温暖化は、温室効果ガスの排出量を削減する国際約束は守られず、このまま進み続け、①世界の平均気温も2℃以上上昇し、②洪水・干ばつ・大型台風など天災の頻発、③夏の北極海の海水の融解に伴う海水下の生態系の消滅、プランクトンから、魚、海鳥、アザラシなど動物までの生態系全体の連鎖的影響、④海水面の30cm以上の上昇、⑤サンゴの白化・消滅、⑥熱帯の砂漠化などが起こり、⑦永久凍土層の加速度的な融解によるメタンガスの大量放出などがあれば、さらに地球温暖化を加速させる結果となることを予測しています。さらに平均気温上昇による世界の温度帯が1年に5kmずつ極地の方向に移動し、あるいは5mずつ山腹を上って移動し、これに伴い、人間だけでなく、動植物の生存基盤なども大きな影響を受け、生物多様性の一部崩壊につながると警告しています。温度帯の移動は、陸地だけでなく、海水温の上昇による海洋でも起こっており、日本でも、米作やリンゴ・ウンシュウミカンの適地の北方への移動、高山生態系の追い落とし現象、さらに東京湾での熱帯魚の存在、サンゴの成長などに表れています。今後、人間は気候変動による生活環境にいやおうなく適応し、また野生の動植物や海洋生物の生息地、農作物の適地も気候変動に適応するため北方や高所に移動することになります。しかし、気候変動による気温や湿度などに適応できない、また生息地を追

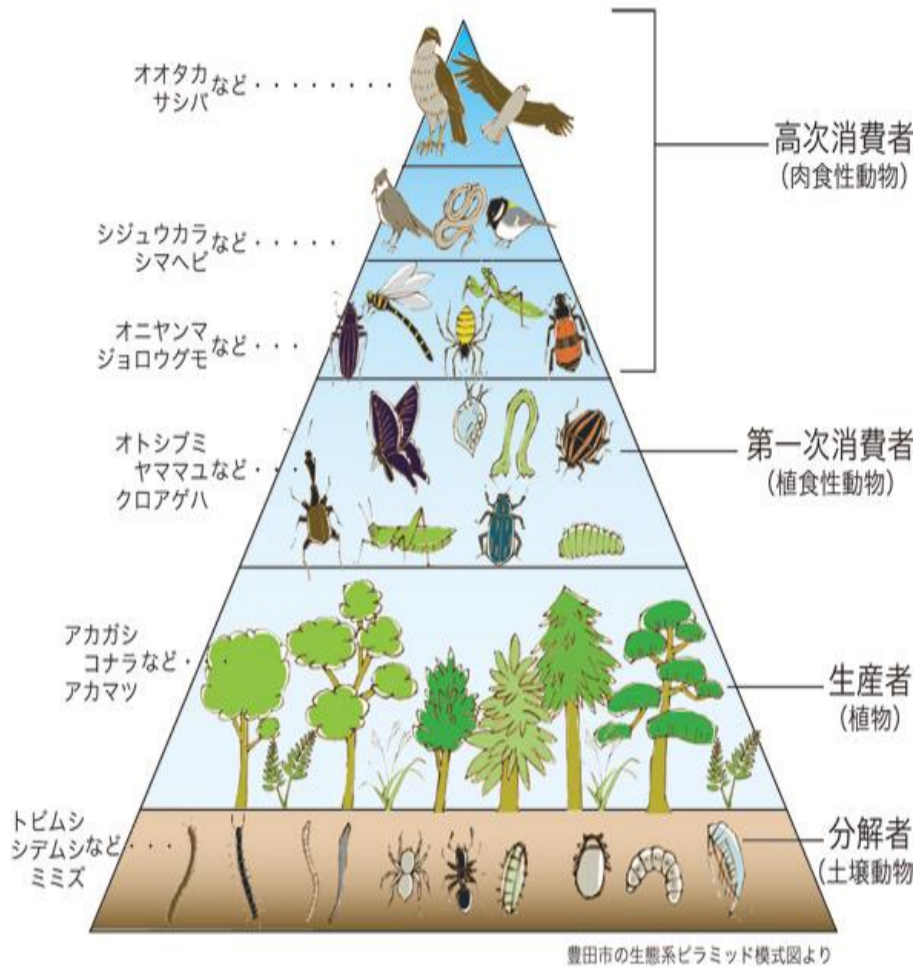
われても分断化などにより移り住む場所が見つからない動植物、海洋生物などは、近い将来絶滅することになります。

地球温暖化による気候変動の悪影響として報告されている事例です。

異常気象	台風の大型化、豪雨の増加、降水日の減少、猛暑・寒波の増加、干ばつ、森林火災
海面水位上昇	島や陸地の浸水・消滅、砂浜の消失など海岸浸食、高潮の被害増大
海水温上昇、酸性化	海の生物の絶滅種の増加、魚類資源の減少、サンゴの死滅など
熱帯の砂漠化	乾燥地帯の拡大、食料危機、水不足
酸性雨	森林の立枯れ、土壌や河川の酸性化

ミニ解説 生態系、生物多様性とは

地球には、人間だけでなく、様々な生き物が住んでいます。おたがいに影響を与え合い、直接に、間接的に支えあって暮らしています。たとえば、森に行くと、鹿やタヌキ、小鳥や昆虫の外にも、私たちが目に見えないほど小さな微生物など、さまざまな生き物がいます。こうした森の生き物たちはバラバラに存在しているのではなく、すべてお互いに関係して生きているのです。そうした生き物たちと、それらが生きる自然環境をあわせて「生態系」といい、生態系にたくさんの種類の生き物がいることを「生物多様性」といいます。生態系では、植物(生産者)が光合成で養分をつくり、その植物を動物など(消費者)が食べる。動物が死ぬと、菌類・細菌類など微生物(分解者)が分解し、その養分を植物(生産者)が取り入れなど、生き物がそれぞれの役割を担当しているのです。このため、気候変動や人間活動により、ある生き物の数が大きく増えたり減ったりすると、生態系に乱れが出て、ほかの生き物全体に影響が出ることとなります。「生物多様性」は、きれいな空気、海や森からの恵み、清浄な水、土の力、安定した気候などを恩恵として、我々人類に対してもたらしています。



(出典) テムズ中日(株) 豊田市役所森林課

ミニ解説 温室効果ガス排出量の CO2 換算トンと炭素トン

「炭素」の酸化したのが「二酸化炭素 (CO2)」です。温室効果ガスの排出量の統計には、炭素トン (Ct) のものと CO2 換算トン (CO2 t) があります。「IPCC (気候変動に関する政府間パネル)」では、炭素トンを CO2 換算トンに変換する場合、二酸化炭素の分子量の炭素の原子量の比「 $44 \div 12 = 3.67$ 」の係数を使用しています。すなわち、CO2 換算トンは、炭素トンの「3.67 倍」の数値になります。

(5) 二酸化炭素の蓄積排出総量と大気残留、陸上・海洋の吸収量

1750 年～2011 年までの二酸化炭素など温室効果ガスの蓄積排出総量は、IPCC 第 6 次評価報告書によると、2 兆 4000 億 CO2 換算トンであり、その約 40% の 8,800 億 CO2 換算トンが現在大気中に残留しています。

同報告書によれば、1850～2019 年までの陸域と海洋の温室効果ガスの吸収量は 1 兆 4300 億 CO2 換算トン、排出量の 59% となっています。

2 兆 4000 億 CO2 換算トンの半分は、過去 40 年間に排出された二酸化炭素など温室効果ガスの量です。

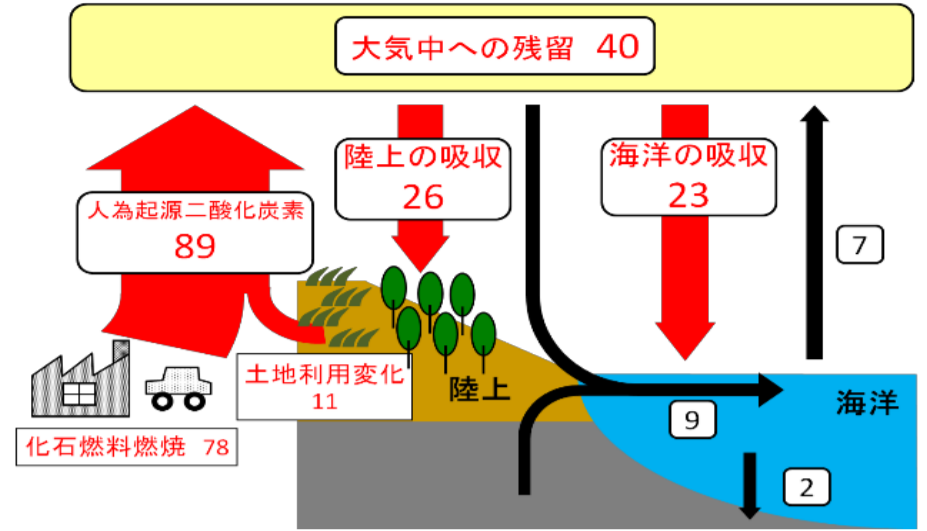
気象庁の観測結果では、海洋による二酸化炭素の吸収量は、1 年あたり 19 億炭素トン(1990 年～2011 年の平均、二酸化炭素吸収量を炭素の重量に換算した値)で、近年増加傾向にあり、大気中から雨に溶けて降り、河川からの海に流入する 7 億炭素トンを考慮すると、海洋は、1 年あたり 26 億炭素トンを受取り、吸収しています。気象庁の資料では、これまで海洋の吸収した蓄積総量は、約 1,550 億炭素トン(約 5,689 億 CO2 換算トン)となっています。

### ミニ解説 人為的な二酸化炭素収支の図

右の図は、「IPCC 第5次評価報告書」のもと気象庁が作成した炭素循環の収支を表した図です。

産業革命以前（「黒の矢印及び数値」）は、河川を通じて1年あたり約9億炭素トンの炭素が流れ込み、2億炭素トンの炭素が堆積物として沈殿し、7億炭素トンが大気中へ二酸化炭素として放出され均衡が保たれていました。

産業革命後の産業活動（「赤の矢印及び数値」）によって排出された二酸化炭素（炭素重量換算で1年あたり89億炭素トン）の蓄積は（2000年～2009年の平均）、大気中の残留が40億炭素トン、海洋の吸収が23億炭素トン、陸面での吸収が26億



(出典) 「IPCC 第5次評価報告書」のもと気象庁作成。(億炭素トン)

### ミニ解説 IPCC（気候変動に関する政府間パネル）とは？

世界の気候変動問題の解決には欠かせない存在である政府間組織「IPCC（気候変動に関する政府間パネル）」(※)とは、世界気象機関（WMO）及び国連環境計画（UNEP）により1988年に設立された政府間組織で、2021年8月現在、195の国と地域が参加しています。

地球規模で起きている気候変動・環境問題は基本的に人間活動が引き起こしているものあり、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、影響やリスク・対策について、科学的・技術的な情報を世界中から集めて評価し、その結果を世界中の政府や人々に知らせる役割を担っている組織です。

#### IPCCの目的

- 各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎知識を与えること、
- 世界中の科学者の協力の下、出版された文献／論文等に基づいて定期的に報告書を作成、
- 気候変動に関する最新の科学的知見の評価を提供

(※)気候変動に関する政府間パネルの英文「IPCC」は、「Intergovernmental Panel on Climate Change」の略称です。

## (6) 地球温暖化防止に向けた国際交渉の流れとパリ協定

### ①国際交渉の流れ

1987年に「国連環境と開発に関する委員会」の報告書の中で、初めて「Sustainable Development(持続可能な開発)」が人類の課題として取り上げられ、そこで、「Sustainable Development(持続可能な開発)」とは、将来世代のニーズに応える能力を損ねることなく、現代世代のニーズを満たす開発」と定義されました。

1992年に、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目標とする「気候変動に関する国際連合枠組条約」を国連で採択し、「人類共通の目標として、地球の生態系に配慮した開発に転換する」ことに合意し、地球温暖化対策を世界全体で取り組むことになりました。

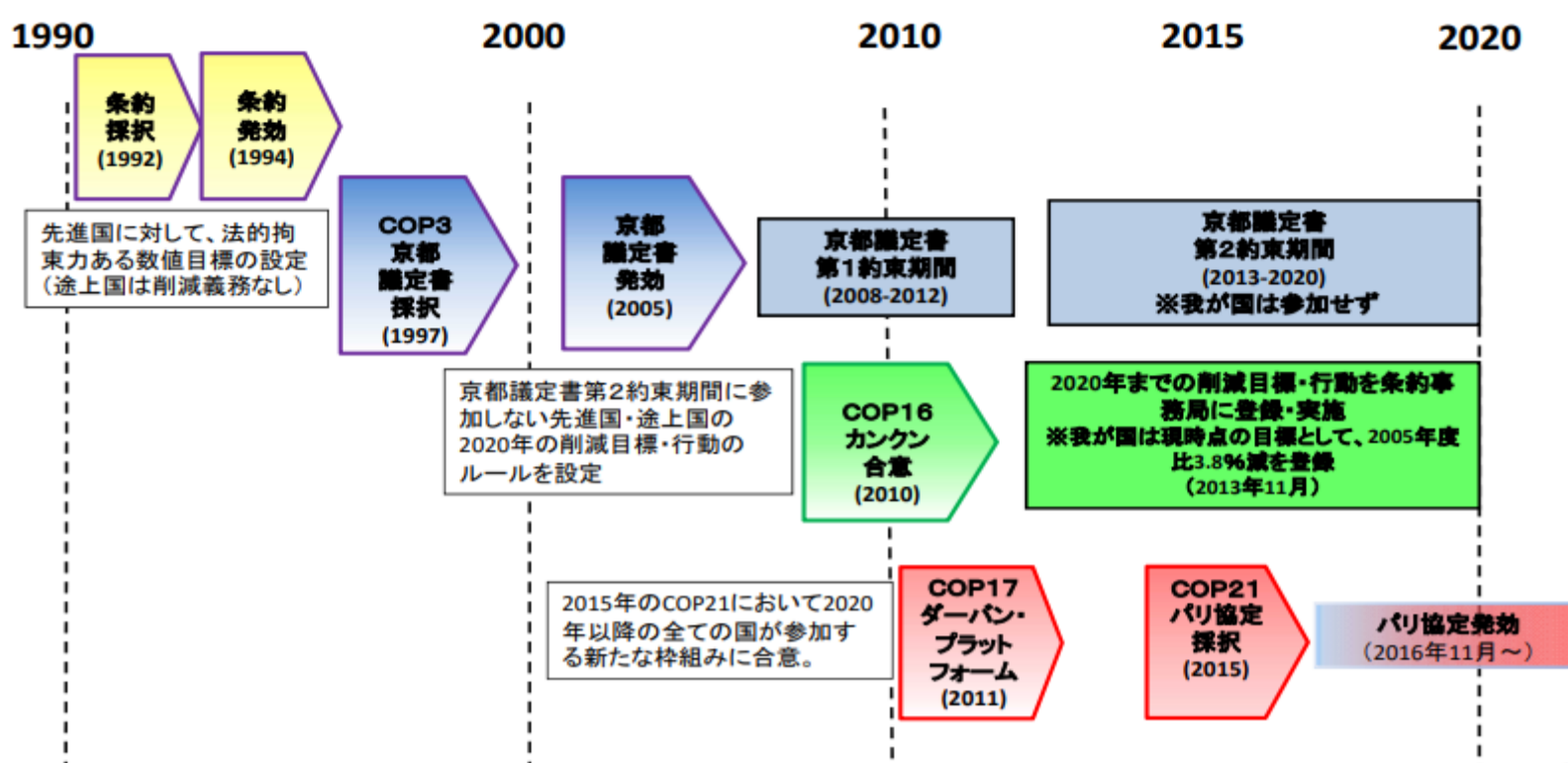
1997年の第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）では、2008年から2012年の間に、先進国に法的な拘束力のある温室効果ガスの削減目標を規定した京都議定書に合意しました。

2000年9月、国連ミレニアムサミットは、21世紀の国際社会の目標として「ミレニアム開発目標」に合意し、その内容は、持続可能な開発のためには環境面だけの取組でなく、先進国と途上国の経済的格差や貧困問題という経済社会的な課題の克服が不可欠であることが合意され、環境や貧困、また人権などを人類共通の課題とし、2015年の実現を目標に具体的な行動指針を設定した。

2015年9月の国連サミットは、「ミレニアム開発目標」を引継ぐ形で、2030年までの実現を目標に『SDGs(Sustainable Development Goals; エス・ディ・ジーズ: 持続可能な開発目標)』に合意しました。「SDGs(持続可能な開発目標)」は、持続可能な社会の実現を目指して、環境、平和と安全、開発と貧困、人権など広範な人類共通の課題について、国際社会全体における17の開発目標、具体的な行動指針として定め、総合的に解決を図ることにしています。

2015年12月、第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）は、2020年以降の地球温暖化対策を定めた新たな国際的枠組みである「パリ協定」を採択した。

## 国際交渉の経緯



(出典)環境省「地球温暖化対策に関する国際交渉の流れ」

### ②パリ協定の概要

パリ協定とは、2015年12月に、フランス・パリで開かれた第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で採択された、2020年以降の地球温暖化対策を定めた国際的な枠組みです。2016年11月に発効し、同年12月に、モロッコ・マラケシュにて第1回締約国会合が行われました。わが国は、2016年11月8日にパリ協定の締約について、国会の承認を得ています。

(パリ協定の目的と目標)

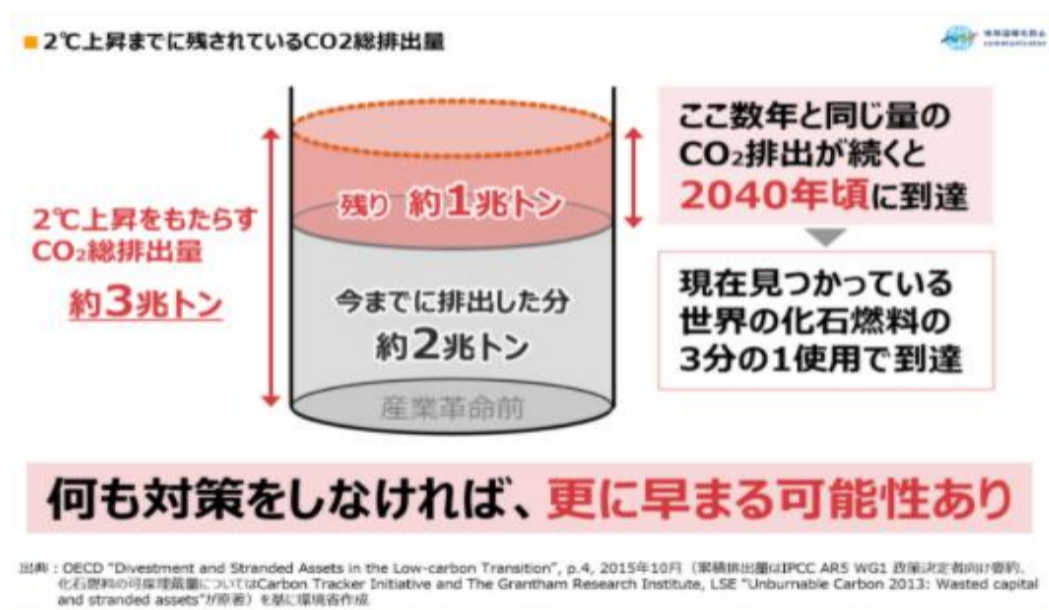
パリ協定の目的は、「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」ことです。そのために、「できるかぎり早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21世紀後半には、温室効果ガス排出量と吸収量のバランスをとること」を目標としています。

(パリ協定での主な合意内容)

- 世界共通の長期目標として2℃目標の設定。1.5℃に抑える努力を追求すること。
- 主要排出国を含む全ての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること。
- イノベーションの重要性の位置付け。
- 先進国による資金提供。これに加えて、途上国も自主的に資金を提供すること。

(パリ協定での平均気温の長期目標2℃の意味)

パリ協定で合意された世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃上昇するまでの二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）総排出量は、約3兆トンとされています。これに対し、既に排出した分は約2兆トン。既に3分の2を出していることになり、残りの1兆トンは、今の世界の排出量で計算すると、あと30年で到達すると考えられています。2011年までに5,150億トンの二酸化炭素が既に排出されており、また近年でも毎年300億トン以上の二酸化炭素が排出され、上限に近づいています。現状以上の対策を取らなかった場合、1兆トンに到達するのが2040年よりさらに早まる可能性もあります。

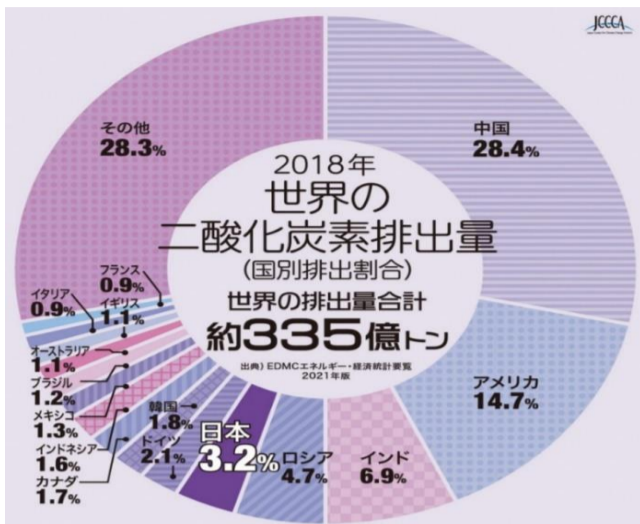


(出典)全国地球温暖化防止活動推進センター

## 2. 温室効果ガスの排出の現状

### (1) 世界の温室効果ガスの排出量

#### ①世界の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出量(2018年)

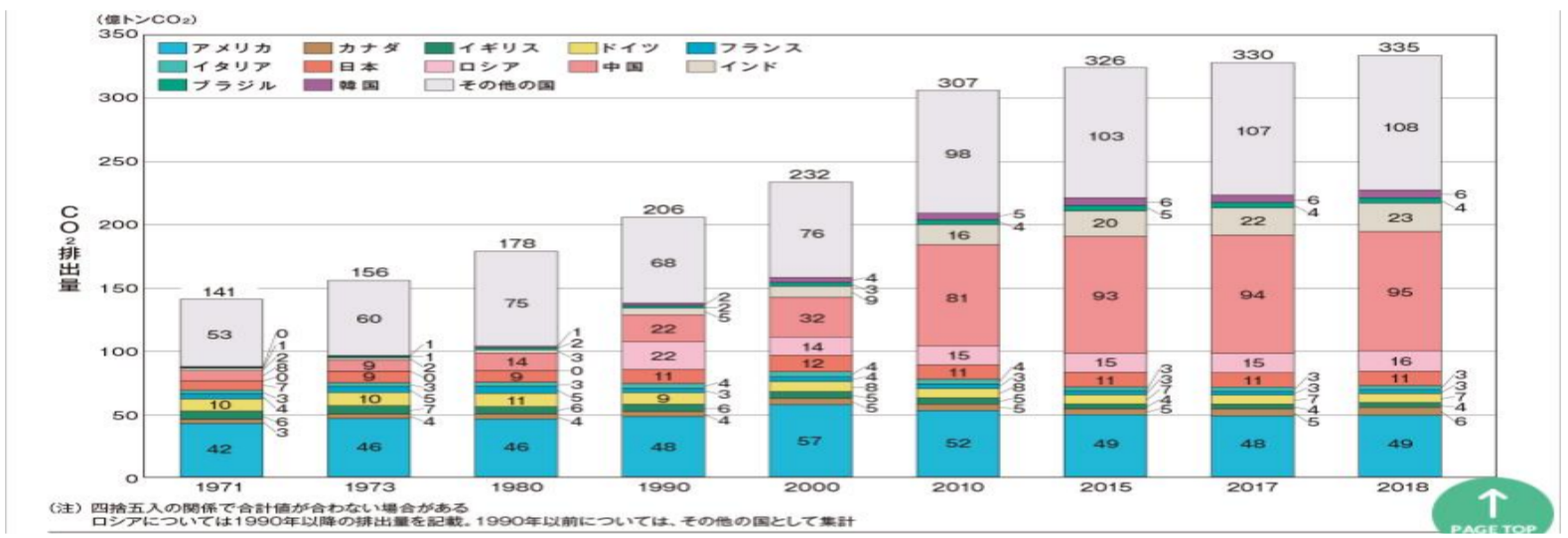


2018年の世界の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出量は、約335億トンであり、中国、95.28億トン、アメリカ、49.21億トン、インド、23.08億トン、ロシア、15.87億トンとなっており、上位3国の排出量合計は、世界の排出量の5割を占めます。

なお、2018年の世界の二酸化炭素を含む温室効果ガス（GHG）の排出量は、国連環境計画（UNEP）によると過去最高の553億CO<sub>2</sub>換算トンに上ったとの報告がありました。

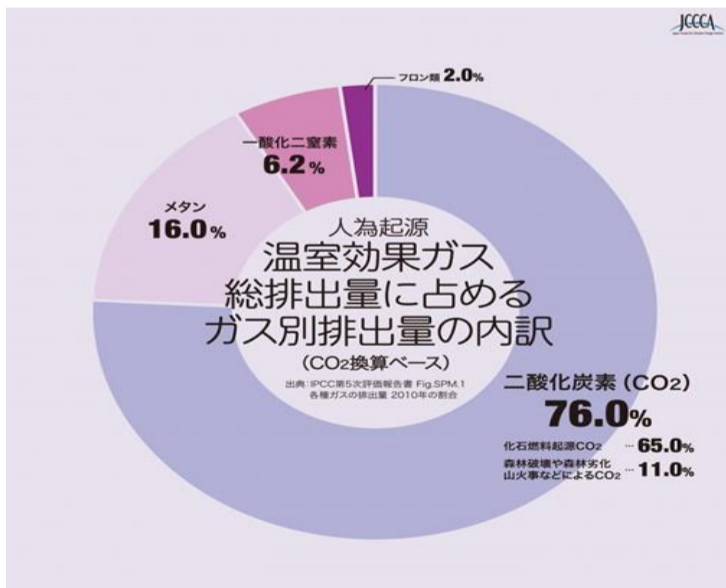
(出典) 全国地球温暖化防止活動推進センター

#### ②国別の二酸化炭素の排出量の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある  
ロシアについては1990年以降の排出量を記載。1990年以前については、その他の国として集計

#### ③世界の温室効果ガス別の排出量の内訳(2010年)

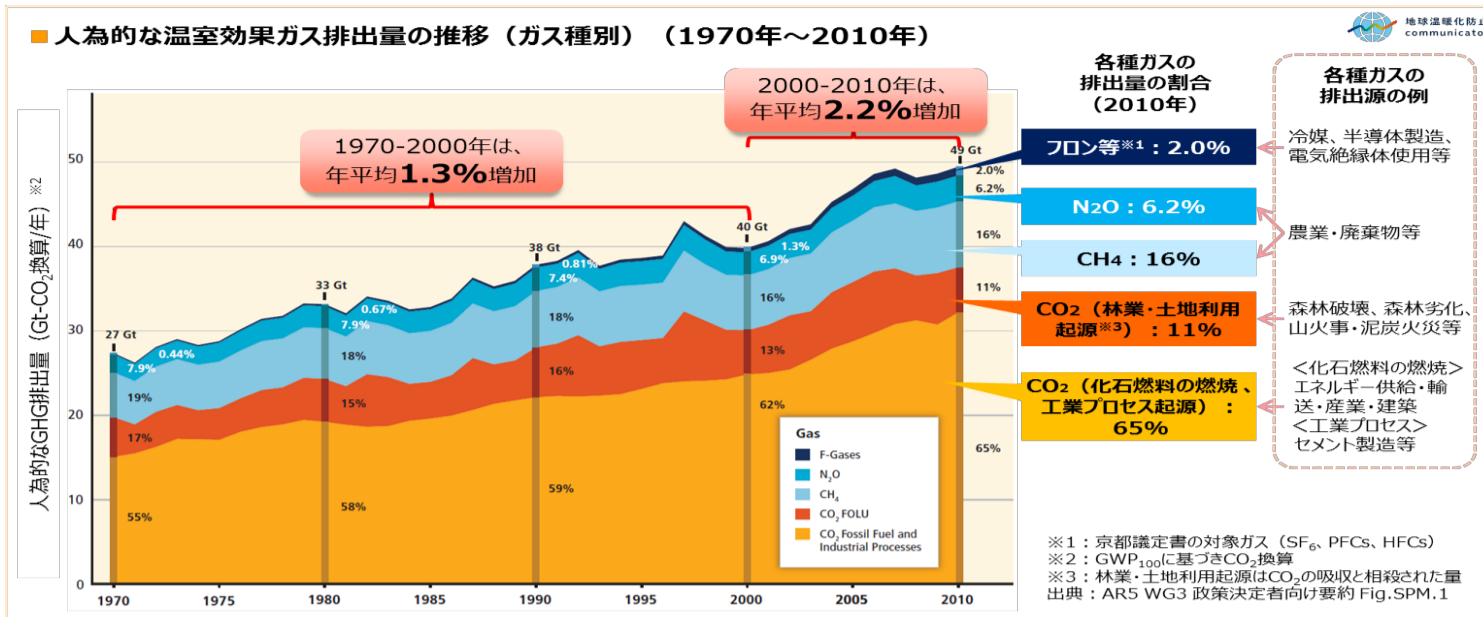


温室効果ガスの大半は二酸化炭素であり、温室効果ガスというと二酸化炭素を指して呼ぶこともあります。ただしメタンなど二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出量は、温室効果の強さから「地球温暖化係数」により二酸化炭素に換算して表しています。

森林破壊・山火事・泥炭火災・森林劣化等による二酸化炭素の排出量の内訳の11.0%は、森林等の二酸化炭素の吸収量と森林破壊により減少した吸収量と相殺された量を表示しています。

(出典) 第5次評価報告書 温室効果ガスインベントリオフィス 全国地球温暖化防止活動推進センター

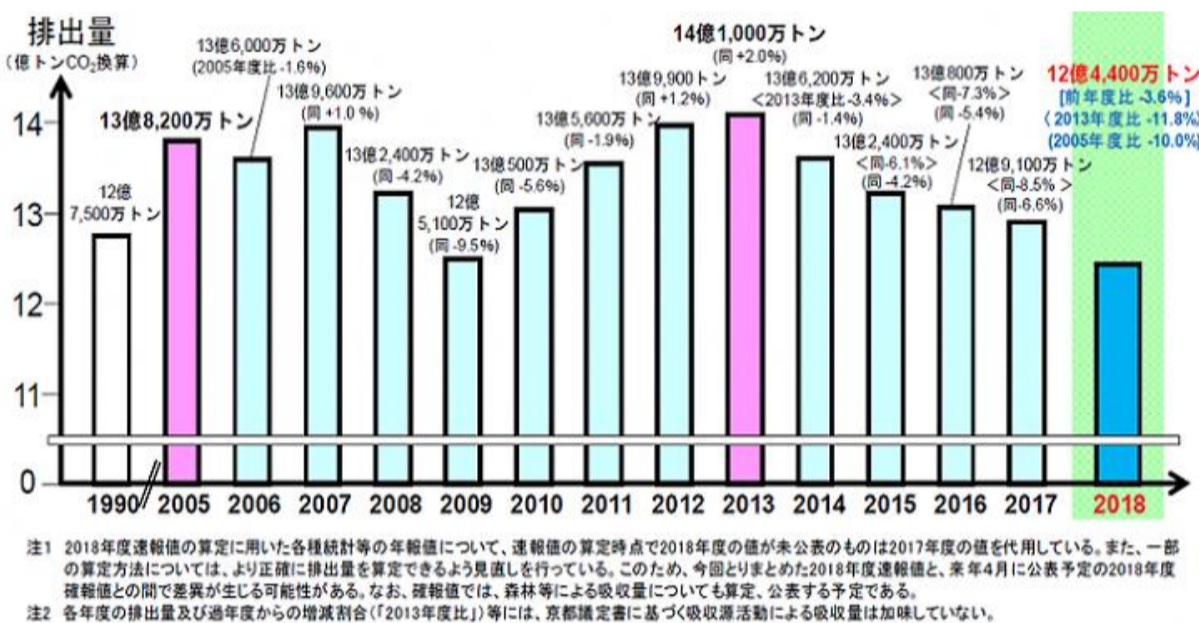
#### ④世界の温室効果ガス別の排出量の推移



（出典）全国地球温暖化防止活動推進センター

#### （2）日本の温室効果ガスの排出量

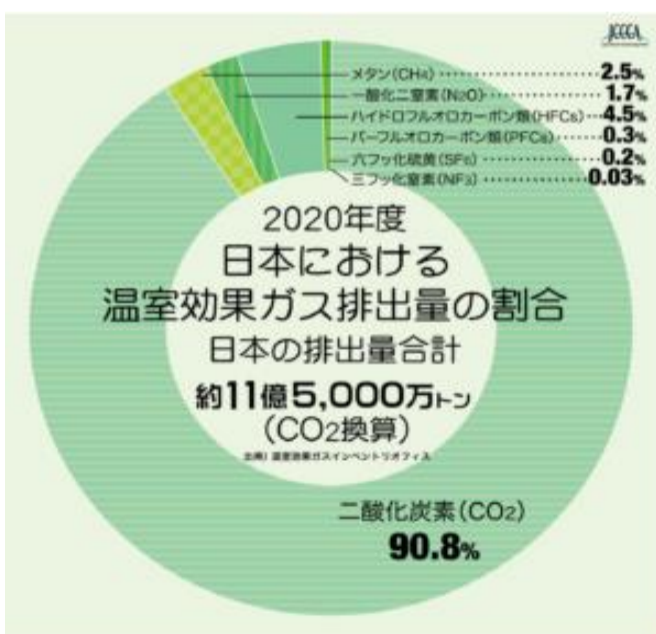
##### ①日本の温室効果ガスの排出量の推移



日本の温室効果ガスの排出量は、明治以降の推移を見ると、高度経済成長期に二酸化炭素など温室効果ガスの排出量が急増した、1970年代のオイルショックを経て、省エネに努めた結果、温室効果ガスの排出量は横ばいになりました。90年代に入り、また増加傾向となりましたが、左の図のように、2013年度を最高に、減少傾向にあり、最近公表された2020年度の実績は、下述してあります。

（出典）国立環境研究所 「温室効果ガス排出量(確定値)について」

##### ②日本の温室効果ガス別の排出量(2020年)



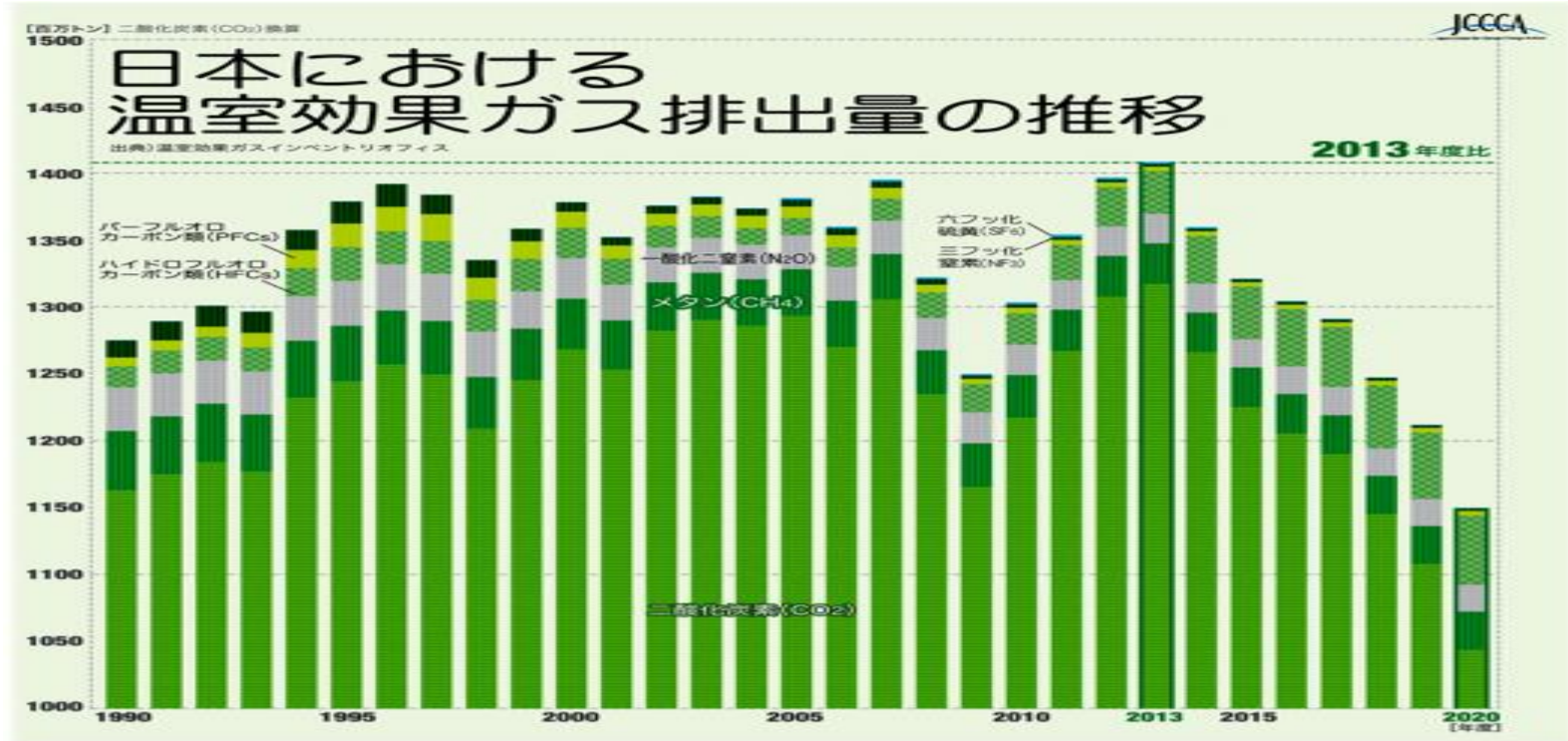
2020年の日本の温室効果ガス排出量は、11.5億CO<sub>2</sub>換算トンであり、二酸化炭素が10.4億トン(家庭部門で1億66百万トン)、比率で約90.8%となり、他国に比べ極めて高い。メタンが0.3億CO<sub>2</sub>換算トン、約2.5%ですが、そのほとんどが、農業分野(稲作と家畜の消化管内発酵)によるものです。一酸化二窒素0.2億CO<sub>2</sub>換算トン、約1.7%となります。

日本の森林破壊・山火事・森林劣化等による二酸化炭素の排出量は、森林による二酸化炭素の吸収量が排出量を上回り、ゼロとなります。

因みに、2019年度の日本の森林等の吸収活動では、4,590万CO<sub>2</sub>換算トン(森林等が4,290万CO<sub>2</sub>換算トン、農地・都市緑化等300万CO<sub>2</sub>換算トン)を吸収しています。

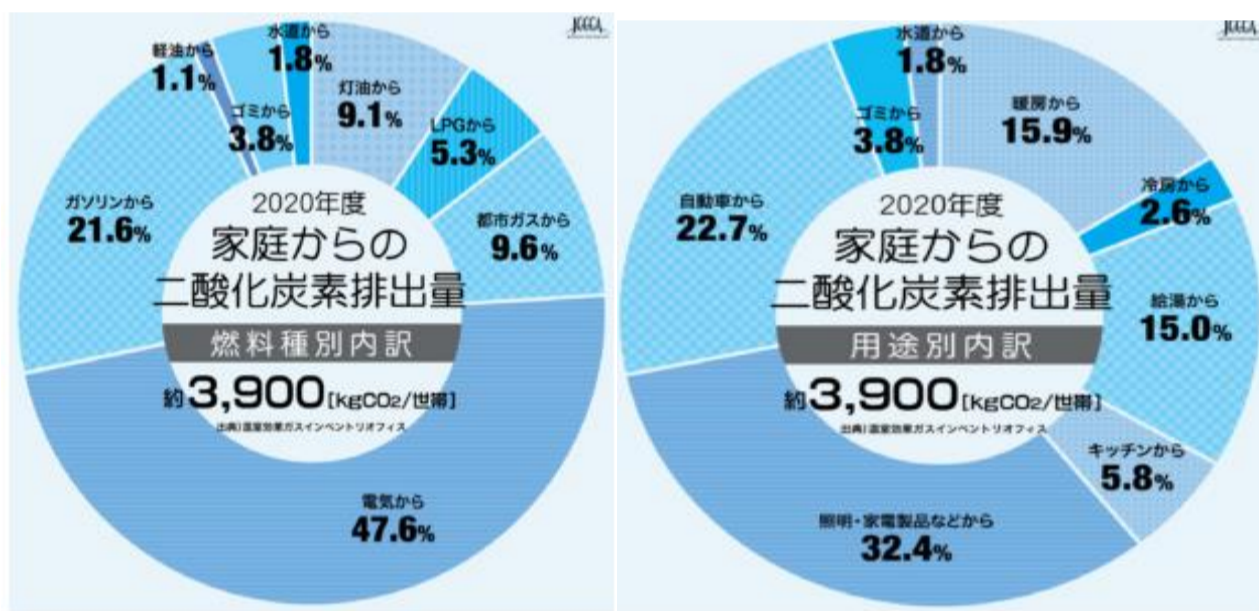
（出典）国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス

③日本の温室効果ガス別の排出量の推移(1990~2020年度)



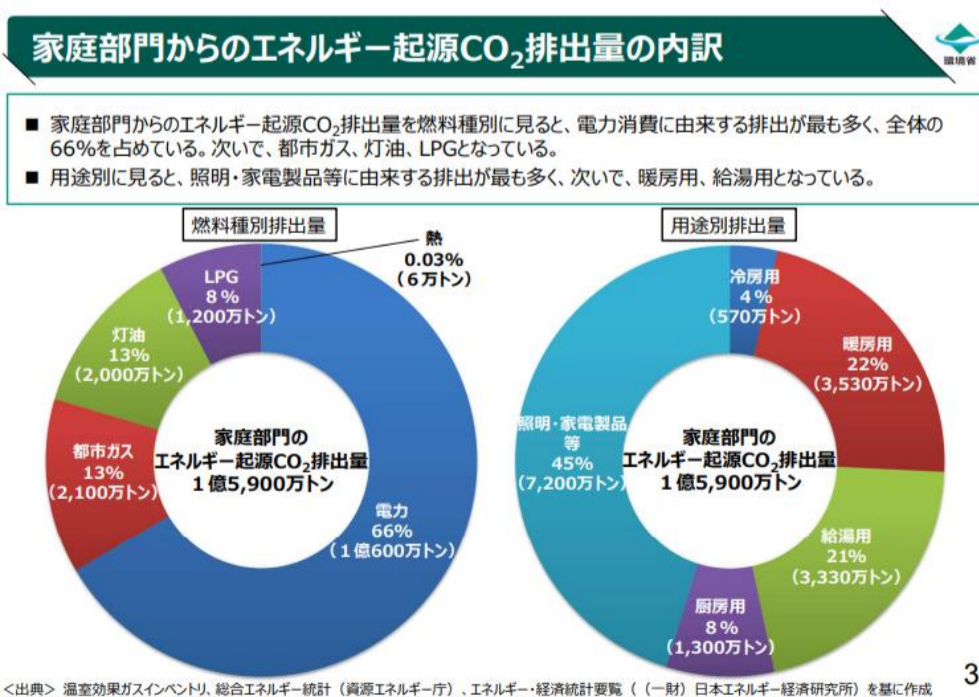
(出典) 全国地球温暖化防止活動推進センター

④家庭部門からの二酸化炭素排出量(2020年度世帯当たり、用途別)



(出典) 温室効果ガスインベントリオフィス、(出典) 全国地球温暖化防止活動推進センター

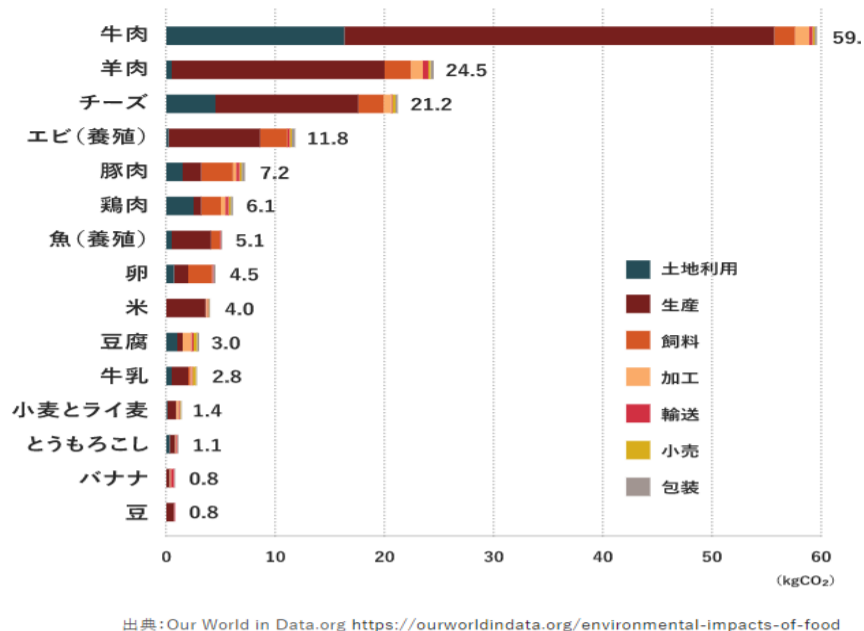
(2019年度の家庭部門のエネルギー起源二酸化炭素排出量の内訳)



(出典) 環境省

日本の2019年度の温室効果ガスの排出量は、12億1200万CO<sub>2</sub>換算トンであり、そのうち、二酸化炭素が11億8000万トンであり、家庭部門のエネルギー起源二酸化炭素の排出量は、1億5900万トン、14.4%を占めています。

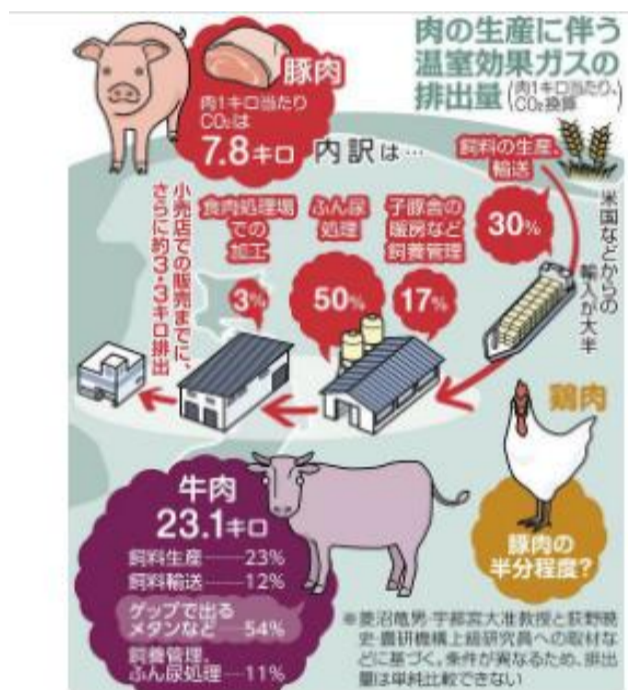
(参考 1) 食材 1kg をつくる際に発生する温室効果ガスの排出量 (kgCO<sub>2</sub> 換算)



国連食糧農業機関 (FAO) の 2013 年報告によると、世界の温室効果ガスの総排出量のうち、実は畜産だけで 14% に上るといふ。特に多く排出するのが牛で、畜産のうち 65% を占めます。牛の温室効果ガスの排出量の高い主要因は、牛がする「ゲップ (消化管内発酵)」です。牛のゲップには、温室効果の高いメタンガスが多く含まれているからです。ただし、牛、羊など反芻動物は、豚や鶏などと異なり、耕作に不向きな土地の草を食べて肉にしてくれるが、豚の飼育には人間の食用レベルと同じ炭水化物とタンパク質の飼料が必要となる。鶏は効率的に飼料をタンパク質に変えてくれる。(※)牛など家畜の胃腸から排出されるメタンの量は、年間 20 億 CO<sub>2</sub> 換算トン。温室効果ガスの実に 4% を占め、一つの国の排出量に匹敵するといわれている。

(出典) Our World in Data.org

(参考 2) 日本の豚肉と牛肉の 1kg の生産から廃棄までの温室効果ガスの排出量



2015 年、宇都宮大の菱沼竜男准教授 (農業環境工学) は、原料調達や廃棄物処理も含めて、養豚での排出量を、精肉までの工程ごとにまとめた。豚肉 1kg 当たりの温室効果ガスの排出量 7.8 キロ CO<sub>2</sub> 換算の内訳では、えさのトウモロコシや小麦の生産・輸送が 30%、ふん尿処理が 50% を占めている。日本の養豚では、えさを米国などから輸入するトウモロコシや小麦に頼っている。その栽培に使う重機や輸送の船の燃料、化学肥料などから二酸化炭素の排出がある。安価な飼料を大量に輸入することで、環境への負荷が大きくなっているだけではなく、他国での二酸化炭素排出にも関わっている。ふん尿処理では、尿を川に流す前の窒素を取り除く浄化の過程で、温室効果ガスの亜酸化窒素が出てしまう影響が大きいという。ふんの堆肥化でも、同じく温室効果ガスのメタンが出てしまうことがある。牛肉の温室効果ガスの排出に関する農研機構の萩野研究員の調査によると、牛肉の生産に関わる温室効果ガス排出量は同じ量の豚肉の 4 倍ほどに上る。主要因は、牛がする「ゲップ」。国内の黒毛和牛の場合、頭や内臓を取り除いた骨付きの枝肉 1 キロ当たりの排出量は二酸化炭素換算で 23.1 キロ CO<sub>2</sub> 換算、うち、ゲップなどで出るメタンが半分余りを占めた。

(出典) 東京新聞

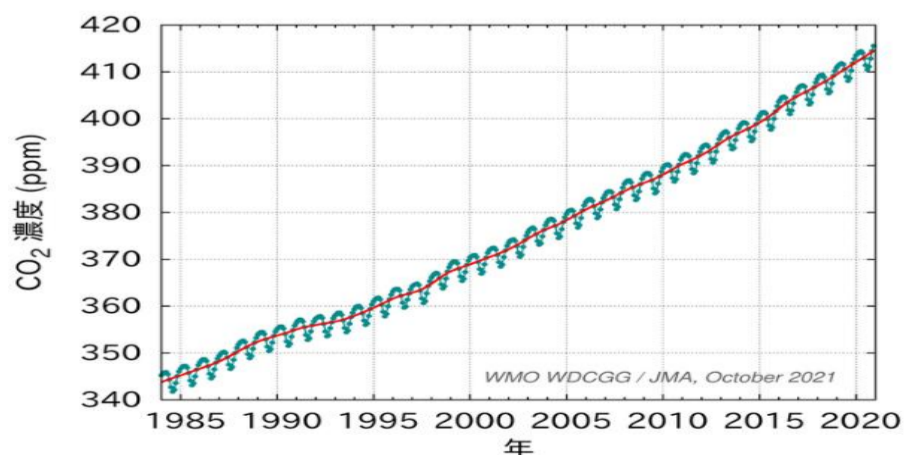
(3) 温室効果ガスの大気中の濃度と世界の平均気温の現状

① 温室効果ガスの濃度の推移

二酸化炭素の濃度は、産業革命前 1750 年の 280ppm から 2013 年には 400ppm を超え、2020 年 410ppm に達するなど、1 年に 2ppm 増加しており、2025 年頃には 420ppm に達するといわれています。

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第 6 次評価報告書によれば、2019 年の温室効果ガスの年平均値は、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が 410 ppm、メタン (CH<sub>4</sub>) が 1866 ppb、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) が 332 ppb に達した。(※100,000ppb = 100ppm = 0.01%)

① 温室効果ガスの濃度の推移



(出典) 気象庁

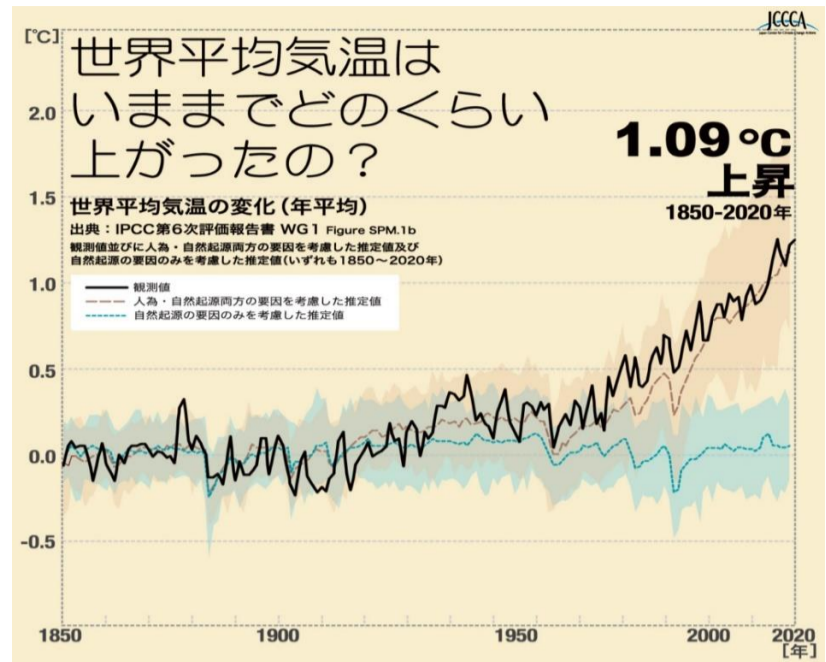
世界の平均気温の上昇を 2℃未満に抑える可能性が高いシナリオでは、2100 年の温室効果ガス濃度を 450ppm (430~480ppm) (CO<sub>2</sub>換算) に抑制するものであり、この目標達成には、2050 年の温室効果ガス排出量を 2010 年比 40~70%削減し、2100 年にはほぼゼロかそれ以下にする必要があるとしています。しかしながら、第 6 次評価報告書によれば、二酸化炭素濃度が、既に 2020 年 410ppm に達しています。



## ②世界の地上気温の経年変化（年平均）

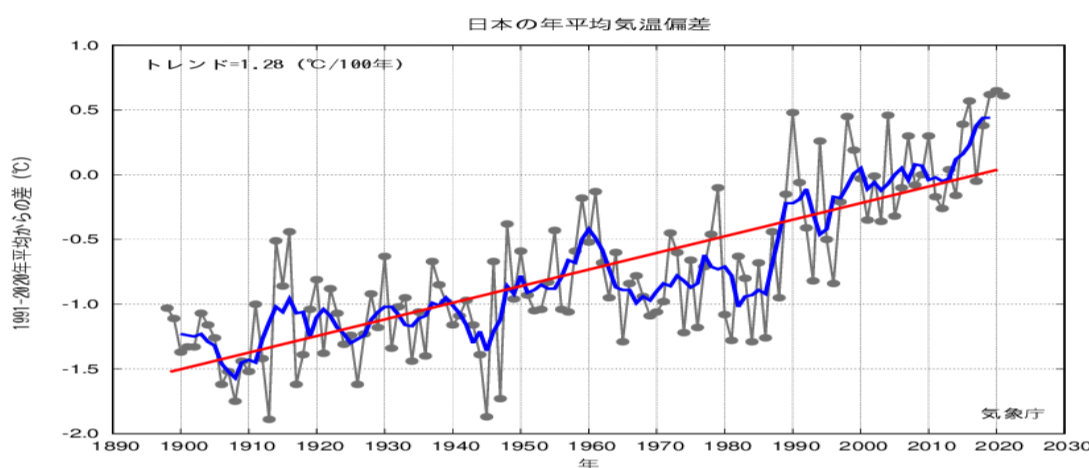
国際社会は現在、パリ協定の下で世界の平均気温の上昇を2度より十分に低く保ち、1.5度以下に抑えようとしているが、IPCC第6次報告書（AR6）によれば、21世紀最初の20年間（2001～2020年）における世界平均気温は、すでに産業革命以前（1850～1900年を基準とする）と比べて0.99℃高く、また2011～2020年平均で1.09℃上昇し、また、海上（0.88℃）よりも陸域（1.59℃）の昇温の方が大きかった。2018年発表の特別報告書では、2006～2015年平均で0.87度上昇したと報告されており、依然として気温上昇に歯止めがかかっていない状態です。

なお陸域では海面付近よりも1.4～1.7倍の速度で気温が上昇し、北極圏では世界平均の約2倍の速度で気温が上昇するとしています。



（出典）全国地球温暖化防止活動推進センター

## ③日本における年平均気温の経年変化



（出典）気象庁

2021年の日本の平均気温の基準値（1991～2020年の30年平均値）からの0.61℃上昇し、長期的には1.28℃/100年の割合で上昇しています。特に1990年代以降、高温となる年が頻出しています。

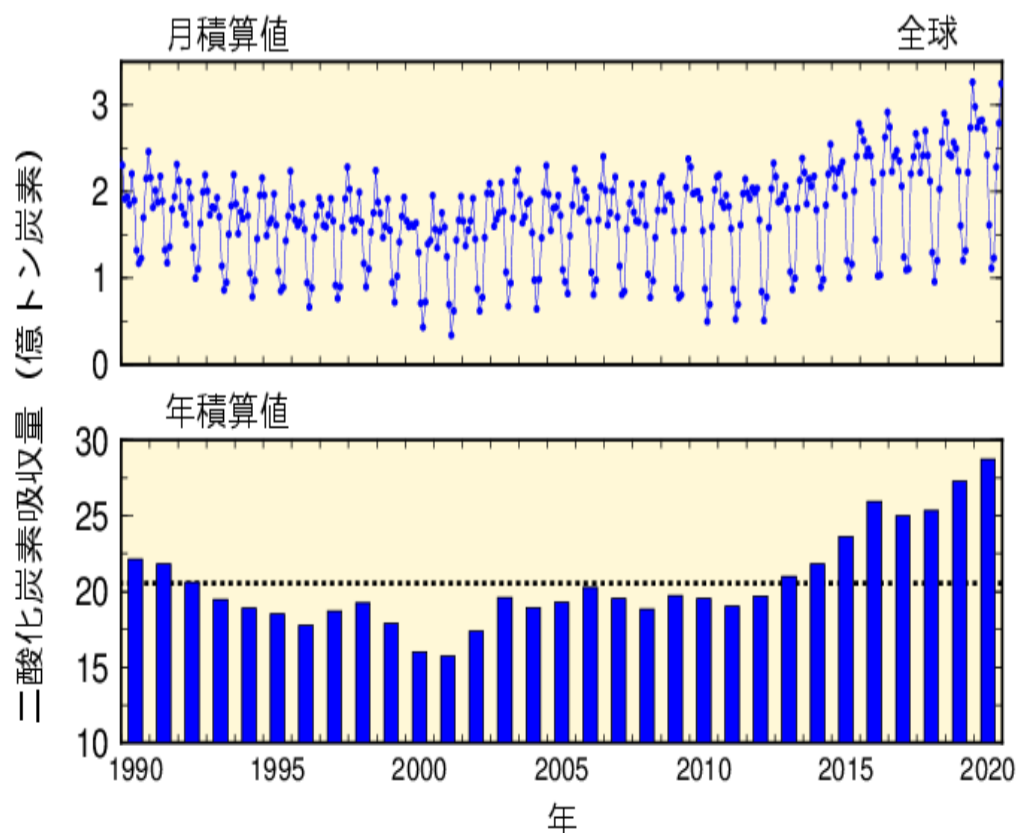
細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差、  
太線（青）：偏差の5年移動平均値、  
直線（赤）：長期変化傾向。

基準値は1991～2020年の30年平均値。

## （4）地球温暖化の海洋への影響

地球温暖化の海洋への影響は、海水温の上昇、海面水位の上昇、また海洋が吸収する二酸化炭素の量から生じる酸性化があります。海面水位は、山岳やグリーンランドや南極の氷河などの融解による影響もあり、さらに平均気温が上昇して永久凍土の融解が始まると、凍土から炭素やメタンガスが大量に放出され、気温はさらに上昇して、海面水位の上昇を加速することになります。

### ①海洋の二酸化炭素の吸収量



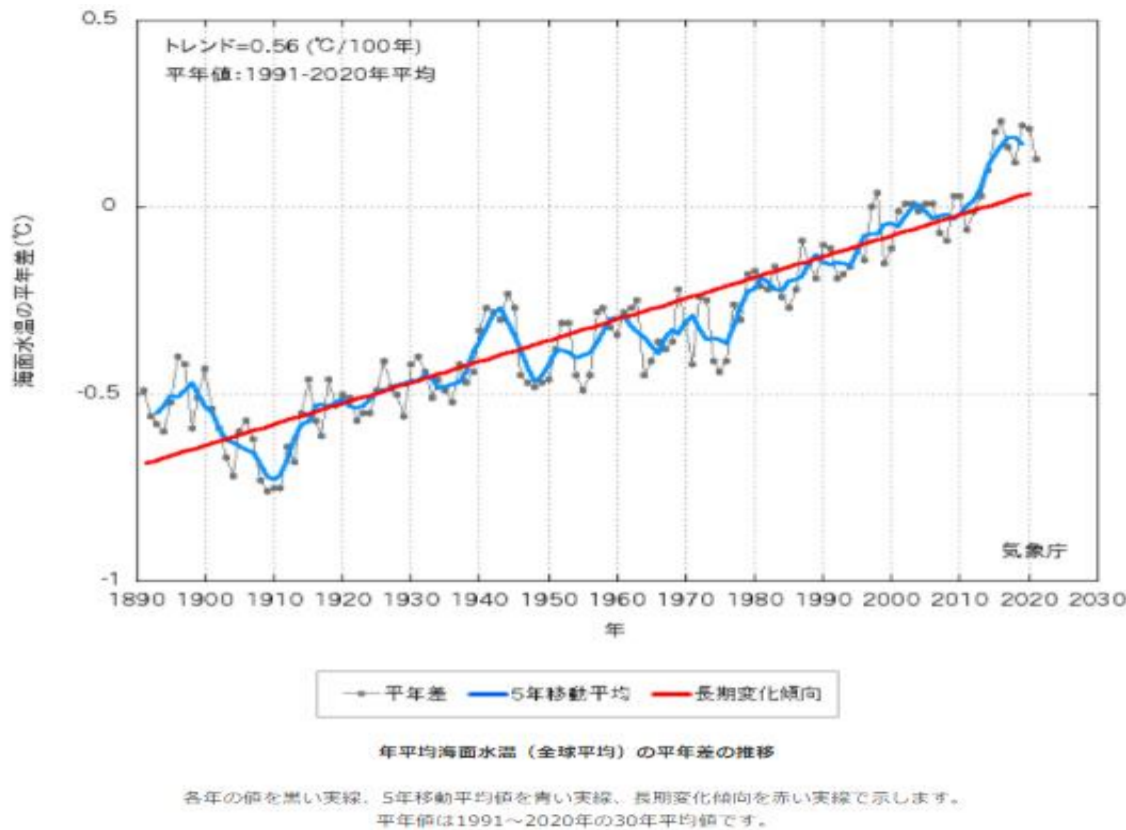
大気から海洋への二酸化炭素吸収量の月及び年間の積算値（1990～2020年）

（出典）気象庁

地球温暖化を考える際、地球表面の7割を占める海洋の存在を無視することはできません。海洋は地球温暖化の進行をやわらげる役割を担っています。例えば、1971年から2010年までの40年間に地球全体で蓄積された熱エネルギーの9割以上は海洋に吸収されています。また産業活動によって排出された二酸化炭素の約30%を海洋が吸収しています。

海洋は大気から吸収している二酸化炭素その量は、1990～2020年の平均で1年あたり77億CO<sub>2</sub>換算トン（炭素の重さに換算して21億炭素トン）。海洋の二酸化炭素の吸収量は、数年から10年程度の規模で変動しながら、全体として増加しています。2020年の吸収量は106億CO<sub>2</sub>換算トン（29億炭素トン）で、1990年以降の期間で最大となりました。

## ②世界の海面水温の経年変化

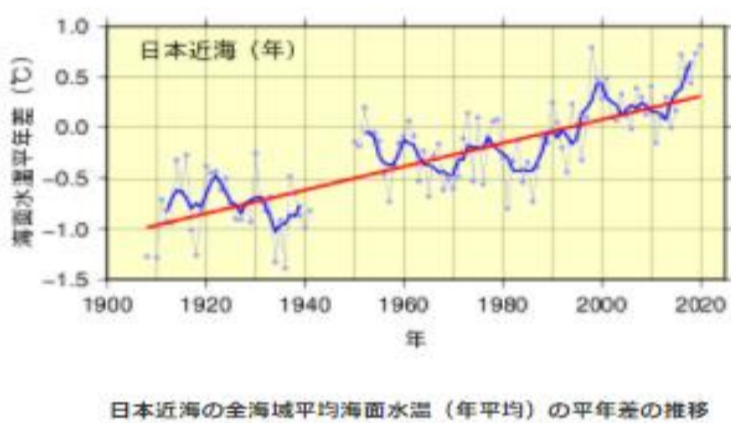


2021年の世界の年平均海面水温（全球平均）の平年差は0.13°C上昇し、統計を開始した1891年以降で6番目に高い値でした。

世界の年平均海面水温は、数年から数十年の時間スケールの海洋・大気の変動や地球温暖化等の影響が重なり合って変化しています。長期的な傾向は100年あたり0.56°Cの上昇となっています。

(出典) 気象庁

## ③日本の海面水温の経年変化



日本近海における、2020年までのおよそ100年間にわたる海域平均海面水温（年平均）の上昇率は、1.16°C/100年の上昇です。この上昇率は、世界全体で平均した海面水温の上昇率0.56°C/100年上昇よりも大きく、日本の平均気温の上昇率1.28°C/100年上昇と同程度の値です。

左の図の青丸は各年の平均差を、青い太い実線は5年移動平均を表します。赤の太い実線は長期変化傾向を表します。平均値は、1981年～2010年の30年間の平均です。

(出典) 気象庁

## ④海面水位の上昇

季節を超えるような長期間にわたって平均した海面の高さを「海面水位」という。海面水位は、海洋が熱を吸収することで、海水の温度上昇による熱膨張、また山岳氷河や南極・グリーンランドの氷床の融解、地下水など陸水の変動といったさまざまな要因で変化します。海洋は大気に比べて変化しにくいですが、いったん変化してしまうとその状態が長く続きます。

フィジー諸島共和国、ツバル（平均海拔が1.5m）、マーシャル諸島共和国など海拔の低い多くの島国で、高潮による被害が大きくなり、潮が満ちると海水が住宅や道路に入り込んでいます。さらに、海水が田畑や井戸に入り込み作物が育たない、飲み水が塩水となるなど生活に大きな影響が出ています。

(世界)

(IPCC 第6次評価報告書)

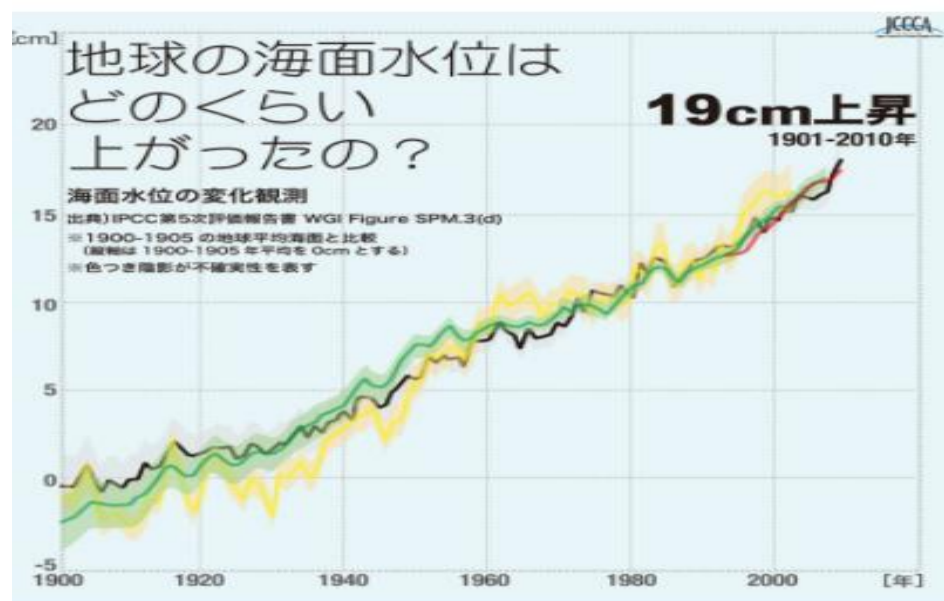
世界の平均海面水位は1901～2018年の間に20cm上昇した  
2100年までの世界平均海面水位は、50cm～1m近くまで上昇すると予測

世界平均海面水位の平均上昇率は、1901～1971年の間は1.3mm/年だったが、1971～2006年の間は1.9mm/年に増大し、2006～2018年の間には3.7mm/年に更に増大した。

グリーンランド氷床は21世紀を通して減少し続けることがほぼ確実であり、南極氷床も21世紀を通して減少し続ける可能性が高くなっており、温室効果ガス（GHG）排出が多いシナリオの下で南極氷床の減少を数百年にわたって強く促進させるであろう、世界平均海面水位は、21世紀の間、上昇し続けることは、ほぼ確実である。

(IPCC 第5次評価報告書)

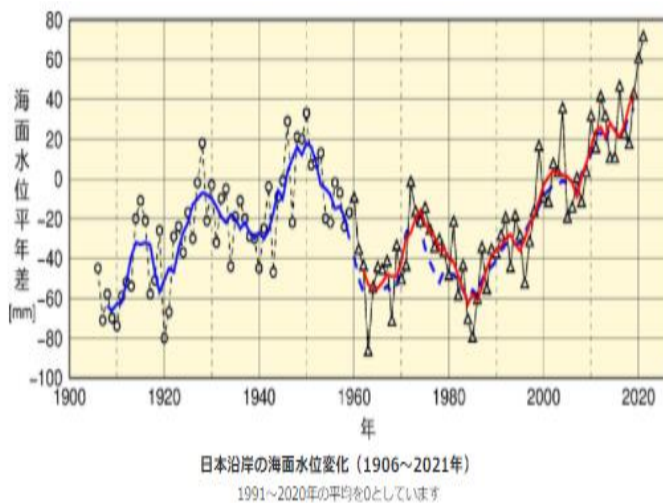
世界の平均海面水位は1901～2010年の約100年間に19cm上昇した。21世紀中に世界平均海面水位は、最大82cm上昇すると予測し、2100年までの世界平均海面水位上昇は、1995～2014年と比べて、28cm～1m1cm上昇するとの予測



(出典) IPCC 第 5 次評価報告書 全国地球温暖化防止活動推進センター

左の図は、IPCC 第 5 次評価報告書によるものです。1900-1905 年の地球平均海面との比較です。縦軸は 1900-1905 年平均を 0cm としています。1901~2010 年の間に世界の平均海面水位は 19cm 上昇しています。また同報告書によれば、海面水位の上昇は気温とは違い「数百年から数千年のタイムスケールで不可逆的なもの」であり、気温上昇は止まることがあっても、その後も海面水位は上昇を続けると報告しています。つまり、気温上昇は止まることがあっても、その後も海面水位は上昇を続けるということです。今後 2000 年の間に海面水位は最大で 22 メートル上昇する可能性があるとしています。

(日本)



(出典) 気象庁

2021 年の日本沿岸の海面水位は、平年値（1991~2020 年平均）と比べて 71mm 高く、統計を開始した 1906 年以降で第 1 位の値を更新しました。値を更新した主な要因として、1980 年以降に見られる上昇傾向に、黒潮及び黒潮から分かれた暖水が関東から東海地方の沿岸に影響したことなどが重なったためと考えられます。海面水位の上昇は、高潮災害のリスクを増大させる要因になります。1960~2021 年までの海面水位の変化を海域別に見た場合、北陸~九州の東シナ海側で他の海域に比べて大きな上昇傾向がみられます。

### ⑤海洋の酸性化

純粋な蒸留水は中性で、pH は 7 です。pH が 7 より低ければ酸性で、値が低いほど強い酸性になる。

海水は、弱アルカリ性で、二酸化炭素が海水に溶け込むときに炭酸を生成し、海洋の酸性度を増加させて、pH を低下させ、海洋酸性化を進行させます。

海水は、海面の近くの pH は 8.2 前後ですが、二酸化炭素吸収量の増加で、これまでに海洋の表層水の pH は産業革命以前と比べて約 0.1 低下している。pH が 0.1 と、酸性度は 30% 強く、多くの海洋生物の殻や骨格の形成能力を阻害している。

海洋の酸性化が進むとサンゴや円石藻類（えんせきそうい）のような炭酸カルシウムの骨格や殻を形成する種は死滅する。しかし、それらの多くは、炭素を取り込んだり、地球を冷やす雲の種（硫化ジメチル）を産出したりして気候のコントロールに重要な役割を担っている。そのため、こうした種が死滅すれば、ますます地球の平均気温が上昇することになる。

海洋の進んだ酸性化は、理論上は、アルカリ性の物質を海に投げれば、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）増加の影響を中和できるはずですが、現実には不可能です。たとえば 1 トンの二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を中和させるのには少なくとも 2 トンの石灰が必要ですが、現在世界中で排出されている二酸化炭素は年間 300 億トン以上にのぼるため、必要な石灰はとてつもない量になり、おそらく元に戻せないだろう。自然の作用で海水の pH が工業化以前のレベルに戻るには、何万年もかかるだろう。（東邦大学レポート）』

## 3. 21 世紀末の気候予測

### (1) IPCC 第 6 次評価報告書における SSP シナリオ

左の図の解説

- SSP1-1.9 世界平均気温上昇を 1.5℃に抑えるシナリオ。2050~2060 年に二酸化炭素の排出実質ゼロ
- SSP1-2.6 世界平均気温上昇を 2℃未満に抑えるシナリオ。2070~2080 年に二酸化炭素の排出実質ゼロ
- SSP2-4.5 現状の気候対策を導入するシナリオ。2030 年国別削減目標の集計値に等しい排出量
- SSP3-7.0 地域対立的な発展の下で気候変動対策が限定的シナリオ
- SSP5-8.5 化石燃料依存型、最大排出量シナリオ

(出典) IPCC 第 6 次評価報告書及び環境省資料をもとに JCCCA 作成

ミニ解説 IPCCによる将来予測シナリオ

気候変動の予測においては、さまざまな可能性・条件を考えに入れた上で、気候変動が進行した場合の「すじがき」を「シナリオ」と呼んでいます。気候変動の予測を行うためには、放射強制力（気候変動を引き起こす源）をもたらす温室効果ガスや大気汚染物質の排出量と土地利用変化を仮定する必要があります。

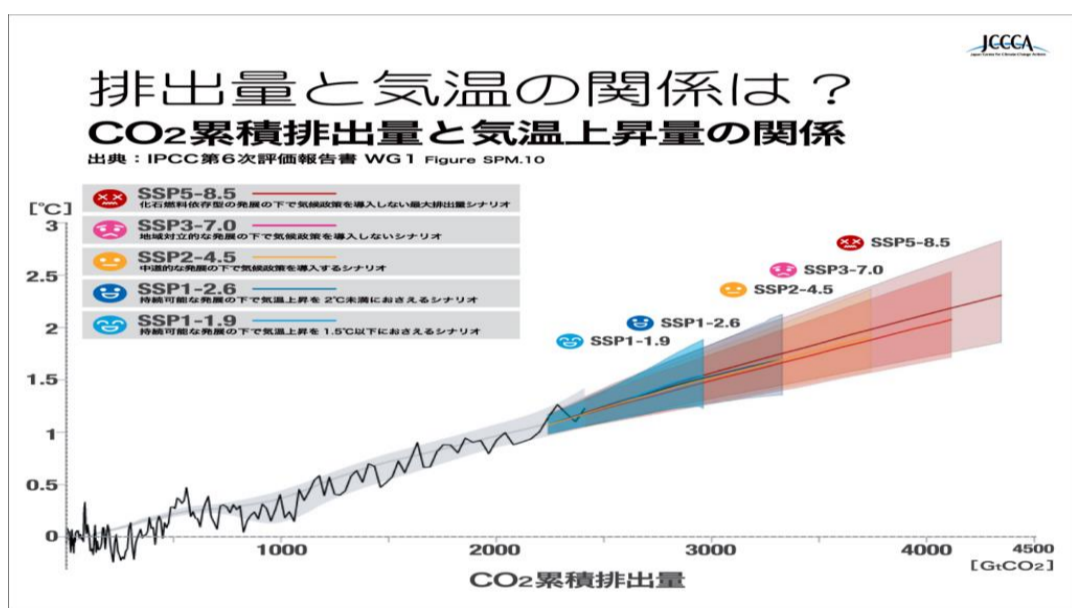
IPCC 第6次評価報告書（AR6）では、将来の社会経済の発展の傾向を仮定した「共有社会経済経路（SSP）シナリオ」と放射強制力を組み合わせたシナリオから、SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5の5つが使用されます。

（2）二酸化炭素（CO2）累積排出量と気温上昇量の関係

二酸化炭素（CO2）など温室効果ガスの累積排出量と気温上昇量の変化は、ほぼ線形関係（比例関係）にあることがわかっています。つまり、気温上昇上限から二酸化炭素の総累積排出量の上限が決まるといえます。

世界の平均気温が2℃以上上昇すると永久凍土の融解が始まり、凍土に閉じ込められた炭素や温室効果の強いメタンガスが大量に放出され、気温はさらに上昇し、数百年の時間スケールで不可逆的な気候変動の自己増幅が起こります。気候変動の自己増幅は、1.5℃の上昇では免れることはできますが、平均気温が4℃上昇すれば確実に始まります。気候変動の自己増幅とは、現在の地球温暖化がさらなる温暖化を招き、その影響でますます地球の温暖化が進むという、制御不能の悪循環が始まることをいいます。わかりやすい例は、ツンドラの南の縁が溶けることで、強力な温室効果ガスであるメタンガスなどが放出されて気温が上昇し、さらにツンドラが溶けるといったものです。この悪循環は、ツンドラがすっかり溶けてしまうまで続くこととなります。気候変動の自己増幅は、一旦始まると止めることが不可能だという点で、他の問題とは性質が異なります。今、地球の温暖化の流れは、気候変動の自己増幅に極めて近いところにあるというのが専門家の意見です。気候変動の自己増幅が起こると、世界の平均気温の上昇、海面水位の上昇などの影響は、全く変わってきます。

①温室効果ガス累積排出量と気温上昇の関係



IPCC 第6次評価報告書では、産業革命以降、1750年～2011年までの二酸化炭素など温室効果ガスの蓄積排出総量は、2兆4000億CO2換算トンであり、その約40%の8,800億CO2換算トンが現在大気中に残留している。世界の平均気温上昇を1.5℃に抑えるためには、残りの温室効果ガスの累積排出量上限は、あと4000億CO2換算トンであることも示されました。気温上昇をあるレベルで止めるためには、二酸化炭素累積排出量を制限し、少なくとも正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要がある、としています。

(出典) IPCC 第6次評価報告書 全国地球温暖化防止活動推進センター

(参考) 気温上昇を2℃に抑えるための二酸化炭素（CO2）の総排出量上限(IPCC 第5次評価報告書より)

世界の平均気温を2℃未満に抑える高い確率(66%超)では、下の図にあるように二酸化炭素だけの累積排出量で、上限が1兆炭素トンです。メタンガスなど温室効果ガス全体では、上限が7,900億炭素トンとなります。しかし、2011年までに5,150億炭素トンの二酸化炭素が既に排出されています。下の表の単位は、GtC=10億炭素トンです。

14. 気候の安定化 気温上昇を2℃に抑えるためには

- 人為的な二酸化炭素排出のみによる温暖化を、ある確率で1861-1880年の平均から2℃未満に抑えるには、同期間以降の全ての人為的発生源からの累積二酸化炭素排出量を下表の範囲に制限する必要があるだろう (IPCC AR5 WG I SPM p.27, 20-21行目)
- 2011年までに515GtCの二酸化炭素がすでに排出された (IPCC AR5 WG I SPM p.27, 24-25行目)

2℃未満に抑える確率	累積二酸化炭素排出量	
	二酸化炭素排出のみの強制力を考慮	二酸化炭素以外の強制力も考慮※
33%超	0～約1570GtC	約900GtC
50%超	0～約1210GtC	約820GtC
66%超	0～約1000GtC	約790GtC

(※) 二酸化炭素以外の強制力をRCP2.6シナリオと同等として考慮  
出典: IPCC AR5 WG I SPM p.27, 20-24行目

(出典) 環境省作成「IPCC 第5次評価報告書の概要」

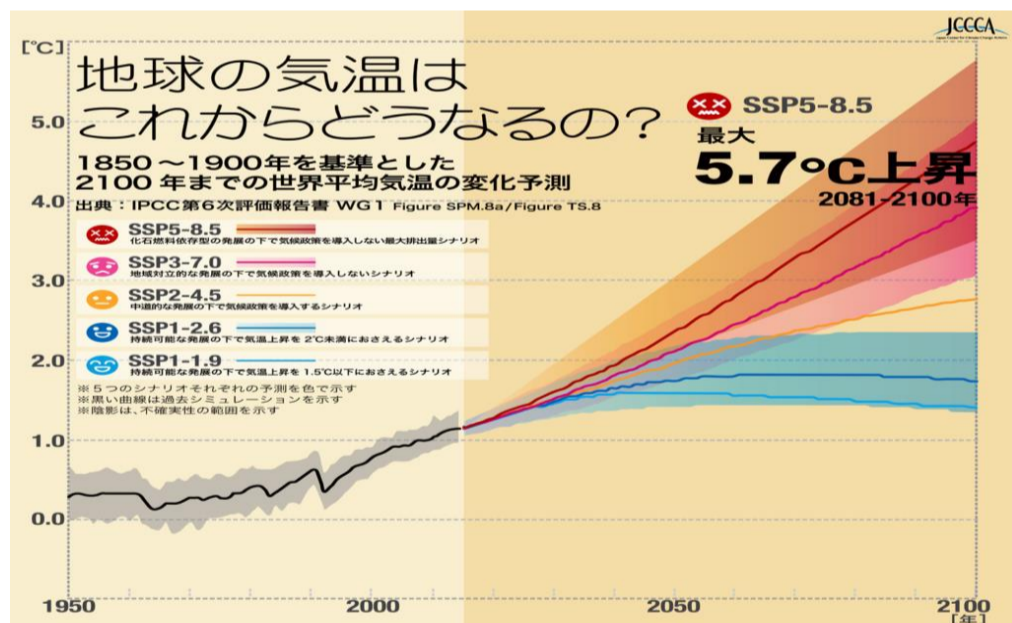
## ②世界平均気温の変化予測（1950～2100年）

世界の平均気温上昇は、2030～2050年に1.5℃に達すると予測されていました。しかしIPCC第6次評価報告書によると、2021～2040年までに、全てのシナリオで、産業革命以前と比較して1.5℃以上になる可能性が非常に高くなっています。

各シナリオの世界の平均気温の短期(2021～2040)、中期(2041～2060)、長期(2081～2100)の予測は、次のとおりです。  
(IPCC第6次評価報告書 気象庁暫定訳より転記)

SSP1-1.9 世界平均気温上昇を1.5℃に抑えるシナリオ					
短期	2021年～2040年	最良推定値	1.5℃	可能性が高い範囲	1.2℃～1.7℃
中期	2041年～2060年	最良推定値	1.6℃	可能性が高い範囲	1.2℃～2.0℃
長期	2081年～2100年	最良推定値	1.4℃	可能性が高い範囲	1.0℃～1.8℃
SSP1-2.6 世界平均気温上昇を2℃未満に抑えるシナリオ					
短期	2021年～2040年	最良推定値	1.5℃	可能性が高い範囲	1.2℃～1.8℃
中期	2041年～2060年	最良推定値	1.7℃	可能性が高い範囲	1.3℃～2.2℃
長期	2081年～2100年	最良推定値	1.8℃	可能性が高い範囲	1.3℃～2.4℃
SSP2-4.5 現状の気候対策を導入するシナリオ					
短期	2021年～2040年	最良推定値	1.5℃	可能性が高い範囲	1.2℃～1.8℃
中期	2041年～2060年	最良推定値	2.0℃	可能性が高い範囲	1.6℃～2.5℃
長期	2081年～2100年	最良推定値	2.7℃	可能性が高い範囲	2.1℃～3.5℃
SSP3-7.0 地域対立的な発展の下で気候変動対策が限定的シナリオ					
短期	2021年～2040年	最良推定値	1.5℃	可能性が高い範囲	1.2℃～1.8℃
中期	2041年～2060年	最良推定値	2.1℃	可能性が高い範囲	1.7℃～2.6℃
長期	2081年～2100年	最良推定値	3.6℃	可能性が高い範囲	2.8℃～4.6℃
SSP5-8.5 化石燃料依存型、最大排出量シナリオ					
短期	2021年～2040年	最良推定値	1.6℃	可能性が高い範囲	1.3℃～1.9℃
中期	2041年～2060年	最良推定値	2.4℃	可能性が高い範囲	1.9℃～3.0℃
長期	2081年～2100年	最良推定値	4.4℃	可能性が高い範囲	3.3℃～5.7℃

(出典) IPCC第6次評価報告書 気象庁暫定訳



(出典) IPCC第6次評価報告書 全国地球温暖化防止活動推進センター

気温の将来予測について、21世紀半ばに実質二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出ゼロが実現する最善シナリオ(SSP1-1.9)は、2021～2040年平均の気温上昇は1.5℃に達する可能性があるが、今世紀末は、1.0℃～1.8℃の気温が予測されています。

化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない、最大排出量のシナリオ(SSP5-8.5)においては、今世紀末までに3.3～5.7℃の昇温を予測しています。

## ③気温上昇は1.5℃以下に抑えられるの？

2018年、IPCCが臨時発行した『1.5℃特別報告書』で、気温上昇を2℃ではなく1.5℃未満に抑えることは、人間が心身ともに安全・健康に暮らし、世界が抱える貧困などの社会課題を解決する上でも重要だと訴えています。

1.5℃の上昇でサンゴ礁は70～90%、2℃の上昇で99%が消失すると予測されており、海面上昇は、気温上昇が2℃の場合よりも1.5℃の場合のほうが約10センチ少なくなり、浸水等にさらされる人は最大1千万人減る。世界の海洋での年間漁獲量の減少は2℃なら300万トンを超えるが、1.5℃では半分の約150万トンだ。他にもさまざまな影響の差がある。

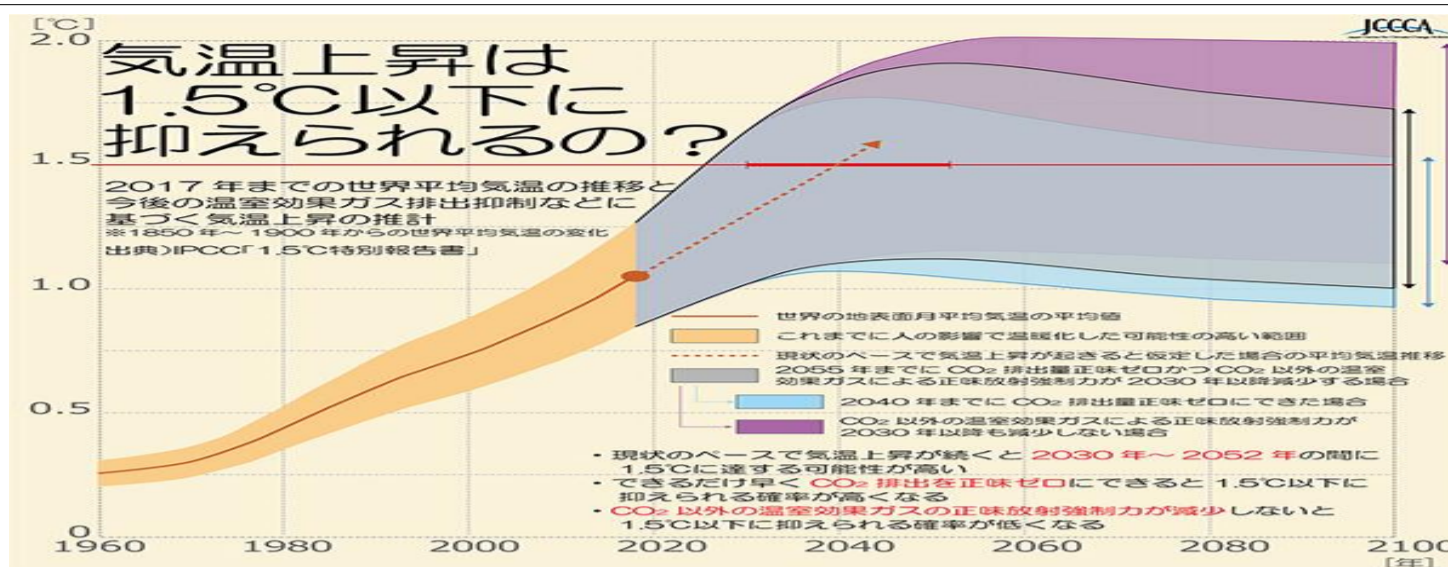
同報告書の中で、平均気温を1.5℃に抑えるには、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の世界の排出量を2030年に2010年比で45%減らし、2050年には、森林などの吸収分や技術で回収する分などを差し引いて「実質ゼロ」にする必要があると指摘しています。

### ミニ解説 気温上昇1.5℃と2℃での影響の違い

地球の中でも、海洋、そして凍結した地域にとっては、産業革命前からの気温の上昇幅が1.5℃か2℃かの違いは死活的に重要です。サンゴ礁は、2℃だと99%以上が消失し、1.5℃は70～90%減少する。永久凍土の融解は、2℃ではなく1.5℃に抑えることにより、

150万～250万平方キロの面積で永久凍土の融解を何世紀にもわたり防ぐことができる。

ペンシルベニア州立大学の気候学者マイケル・マン氏は「1.5℃に抑えられれば、グリーンランドと南極地方西部の氷床のほとんどについて、崩壊を食い止められる可能性がかなりある」と述べた。これならば、21世紀末までの海面上昇を数フィート（1フィート＝約30センチメートル）に抑えることにつながる。とはいえ、それでも大きな変化であり、海岸線は後退し、小さな島しょ国や沿岸部の都市は水浸しになりかねない。しかしマン氏によれば、気温の上昇幅が2℃を突破すれば、氷床が崩壊し、海面上昇は最大10メートルに達する可能性があるという。ただし、どの程度のペースでそうした事態が生じるかは未知数です。



(出典)IPCC「1.5℃特別報告書」 全国地球温暖化防止活動推進センター

(参考) 1.5℃～2.5℃上昇による生態系への影響

# 生態系

## 1.5～2.5℃の気温上昇により、動植物の約2～3割で絶滅リスク増加

AR4では、世界平均気温が産業革命前より1.5～2.5℃以上高くなると、調査の対象となった動植物種の約20～30%で絶滅リスクが増加する可能性が高いと予測されています。

### 生態系が、温暖化のスピードに追いつかなくなる

生態系は、もともと気候などの変化に合わせて適応する能力をもっています。しかし、温暖化の影響で起きる洪水、森林火災、海洋酸性化等と、土地利用変化等のさまざまな要因が組み合わさると、その適応能力を超えてしまい、生息適地の変化に追いつけなくなる可能性が高いといわれています。

温暖化すると、植生の分布を決める「暖かさの指数」が増加し、気候帯が北上します。2100年までに地球の平均気温が3～4℃上昇する場合、日本では気候帯が4～5km/年のスピードで北上するという報告があります。しかし、生態系の基礎である樹木はそれほど速くは分布域を移動させることができないため(コナラやカシワで75～500m/年)、枯れたり生育できなくなる可能性があります。

#### 気温上昇に応じた生物種の絶滅リスクの増加

気温上昇 <sup>※1</sup>	種への影響	地域
3.5℃	世界の生物多様性ホットスポットで固有種の15～40%が絶滅と予測	全世界
3.1℃	残存していたサンゴ礁生態系が絶滅	全世界
2.9℃	21～52%の種が絶滅に瀕する	全世界 <sup>※2</sup>
2.8℃	夏の北極の海水範囲が62%消失すると、ホッキョクグマ、セイウチ、アザラシの絶滅リスクが高まる	北極
2.2℃	15～37%の生物種が絶滅に瀕する	全世界 <sup>※2</sup>
1.7℃	全てのサンゴ礁が白化	グレートバリアリーフ、東南アジア、カリブ海
1.6℃	9～31%の生物種が絶滅に瀕する	全世界 <sup>※2</sup>

※1 産業革命前からの気温上昇値。値は各文献からの引用、文献中の気温幅の中央値、または計算結果の中央値を使用。  
 ※2 地表面の20%を対象とした調査 (出典9より作成)

(出典)IPCC 第4次評価報告書をもとに環境省が作成

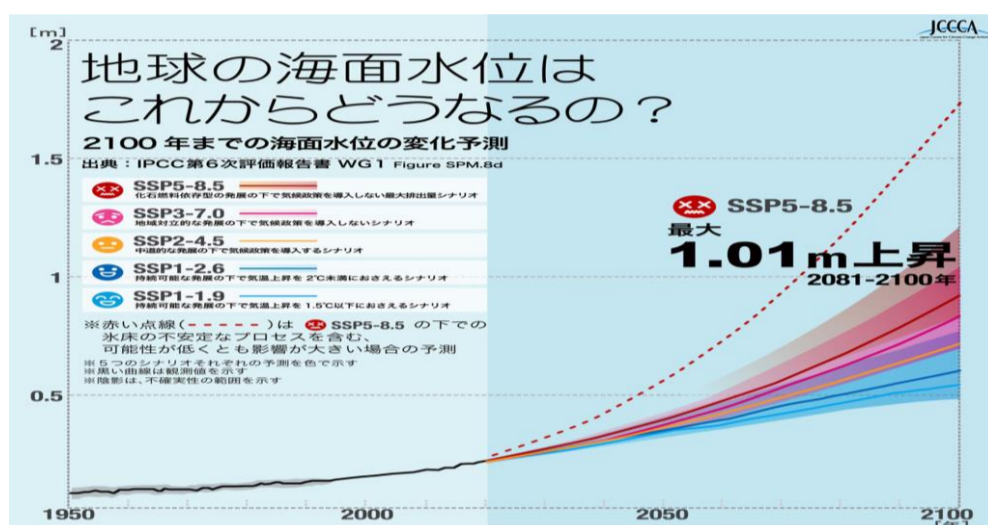
### (3) 世界の海面水位の変化予測

海面水位上昇に大きな影響を与える要因としては、海水の熱膨張、氷河・氷帽の融解、グリーンランド氷床の融解、南極氷床の融解となります。

### ①世界の海面水位の2100年、2150年の上昇予測

2100年までに起こる可能性が高い世界平均海面水位の上昇量について、各シナリオの予測値は、1995～2014年の平均と比べて、次のとおりです。

- SSP1-1.9 世界平均気温上昇を1.5℃に抑えるシナリオ  
2100年 28cm～55cm  
2150年 37cm～86cm
- SSP1-2.6 世界平均気温上昇を2℃未満に抑えるシナリオ  
2100年 32cm～62cm  
2150年 46cm～99cm
- SSP2-4.5 現状の気候対策を導入するシナリオ  
2100年 44cm～76cm  
2150年 66cm～133cm
- SSP5-8.5 化石燃料依存型、最大排出量シナリオ  
2100年 63cm～101cm  
2150年 98cm～188cm



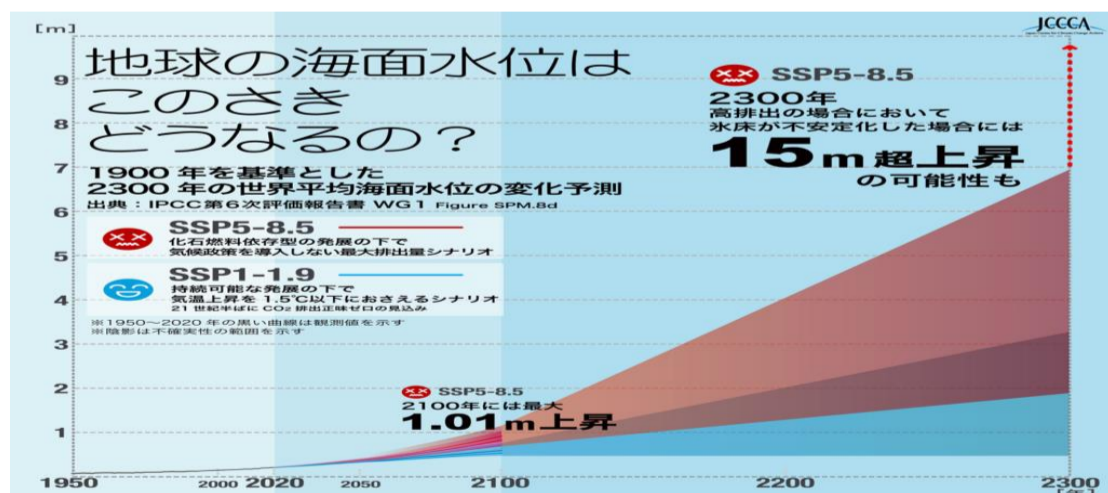
SSP5-8.5 シナリオの下では、2100年までに世界平均海面水位の上昇量は、63cm～101cmであり、2150年までに98cm～188cmと予測されます。このSSP5-8.5シナリオの下では、グリーンランド・南極氷床の融解など氷床プロセスの不確実性が大きいいため、可能性の高い範囲を超えて、2100年までに2m、2150年までに5mに迫る可能性も否定できない。

(出典) IPCC 第6次評価報告書 全国地球温暖化防止活動推進センター

### ②2300年の世界の均海面水位の変化予測

世界の海面水位は、長期的には、海洋深部の温暖化と氷床の融解が続くため、海面水位は数百年から数千年にわたり上昇することは避けられず、また数千年にわたり海面水位が上昇した状態が継続することになります。2℃を超えれば、永久凍土の融解などから、グリーンランド氷床の融解、南極氷床の融解に繋がり、5℃の温暖化では、下に示すように19～22m上昇し、その後も数千年にわたり上昇し続ける。1900年を基準にした2300年の世界の平均海面水位の上昇の予測は次のとおりです。

- 平均気温を1.5℃の抑えた場合、 2～3m
- 平均気温を2℃に抑えた場合、 2～6m
- 平均気温5℃の温暖化 19～22m



この数千年にわたる世界平均海面水位上昇の予測は、過去の温暖な気候の期間から復元される水準と一致している。世界の気温が1850～1900年と比べて0.5～1.5℃高かった可能性が非常に高い12万5千年前頃には、海面水位が現在よりも5～10m高かった可能性が高く、世界の気温が2.5～4℃高かった約300万年前には、海面水位が5～25m高かった可能性が非常に高い。

(出典) IPCC 第6次評価報告書、全国地球温暖化防止活動推進センター

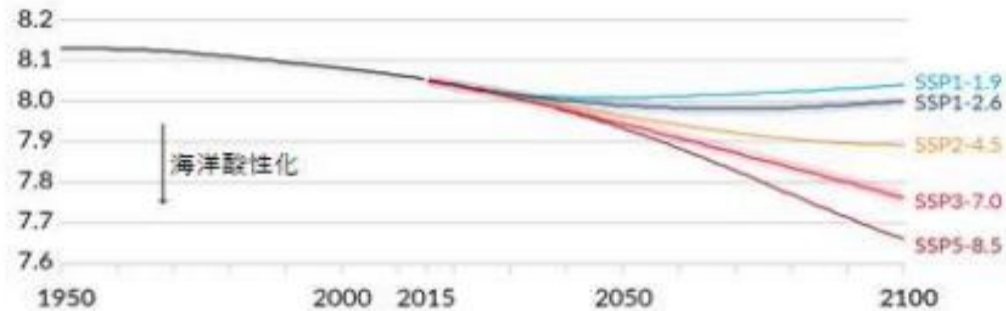
### (4) 世界全体の海面付近のpH(ペーハー：酸性度の尺度)の予測

二酸化炭素が海水に溶け込むときに炭酸を生成し、海洋の酸性度を増加させて、pHを低下させ、海洋酸性化を進行させます。海洋における炭素貯留の増加が、将来において、酸性化を進めることはほぼ確実である。今のペースで二酸化炭素の排出が続けば、2100年には表層水のpHは7.8以下になります。

酸性化の影響は、二酸化炭素は冷たい水に溶けやすい性質をもつので、まず南極や北極の海に生息する生物であり、次に、温暖な海に生息しているサンゴなどです。サンゴは、海水温の上昇でも白化して死んでしまい、またサンゴは、炭酸カルシウムの骨格を持っているので酸性化にも弱い。温暖化やそれともなう酸性化によって、極めて豊かな生態系の一員である翼足類やサンゴなどの石灰化生物が大きな打撃を受ける。

現地観測においても、石灰殻をもつ主要な海洋生物のなかに、酸性化の影響がすでに現れているものがあると指摘されている。海洋酸性化とそれに伴う海水の化学的性質の変化は、カキ、ウニ、イカ、魚類などの海洋生物の生殖、行動、生理学的機能にも影響を及ぼします。そして、酸性化は海洋の食物連鎖に影響し、漁業資源への変化を及ぼし、何百万人もの人々のタンパク源や食料を脅かす可能性があります。海洋の酸性化は、気候変動とともに我々が対処すべき、二酸化炭素に関わるもうひとつの課題です。(東邦大学のレポート)

#### 海面付近の pH(酸性度の尺度)の予測



(出典) IPCC 第 6 次評価報告書 気象庁暫定訳

#### 4. 地球温暖化の日本への影響

サンゴが白化するなど生態系にも深刻な影響がでます。  
写真提供(財)海中公園センター

ブナ林や亜高山帯・亜寒帯の針葉樹林の分布適地が減少する。

2100年までに地球の平均気温が3~4℃上昇する場合、日本では気候帯が4~5km/年のスピードで北上するという報告があります。

温暖化により、強い熱帯低気圧は今後も増加することが予測されており、その結果、激しい風雨により沿岸域での被害が増加する可能性があります。

沿岸域では海面上昇に高潮が重なることによる被害拡大、海面上昇による海岸浸食や砂浜の消失等が予想される。

猛暑日や熱帯夜が大幅に増える。熱波により、熱中症患者が増加し、デング熱や日本脳炎が発生する可能性が高まる。

出典：環境省「STOP THE 温暖化 2008」  
環境省地球温暖化影響・適応研究委員会「気候変動への賢い適応」

(出典)環境省、全国地球温暖化防止活動推進センター



(1) 米作の適地の移動予測

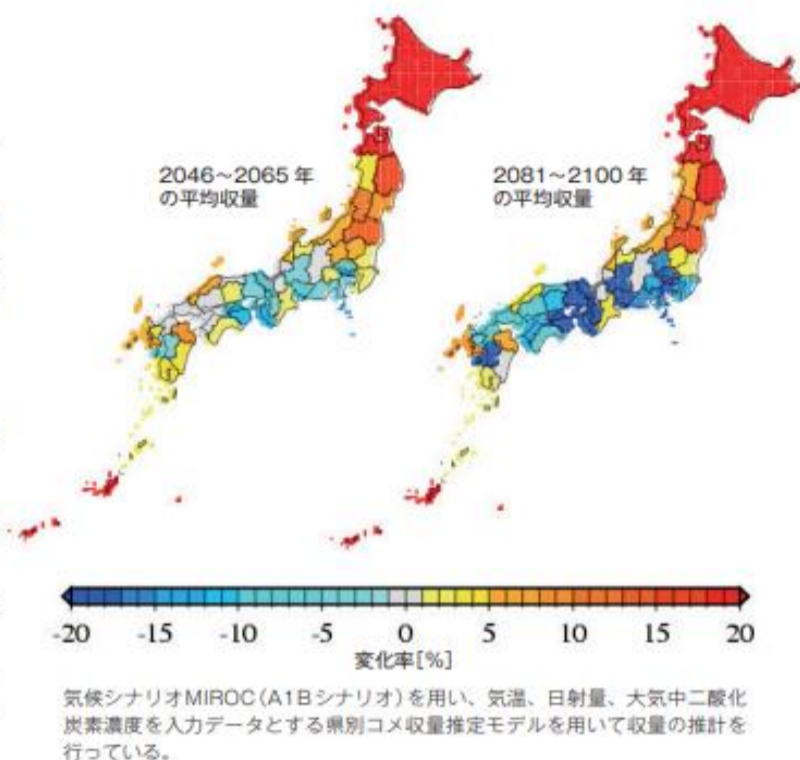
コメの収量が変化する

温暖化の進行によって、コメの収量が変化すると考えられています。

気温上昇や大気中二酸化炭素濃度の上昇等によって、将来のコメ収量がどのように変化するか、予測した結果が右図です。移植時期の変更などの対策を行わない場合に、2046～2065年には現在(1979～2003年)と比べて、北日本では収量が増加し、西日本では現在とほぼ同じかやや減少すると予測されています。また、2081～2100年には、温暖化の影響が強まり、コメ収量が減少する地域が中国・九州に拡大すると予測されています。

さらに、雪どけ時期の水資源量の変化や病害虫の影響等の要因を考慮すると、右図で収量増加と予測された地域においても収量減少となる可能性が示唆されています。

コメの収量の変化(1979～2003年との比較) ▶  
出典11より



(出典)環境省

(2) 地球温暖化によるリンゴ及びウンシュウミカン栽培適地の移動予測

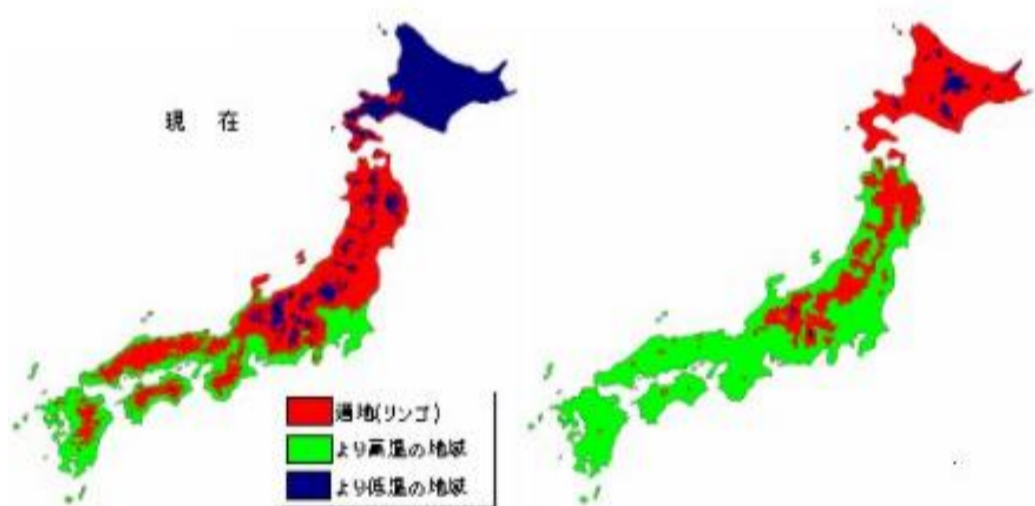


図1 地球温暖化によるリンゴ栽培に適する年平均気温(7～13℃)の分布の移動。現在の値は1971～2000年の平年値。



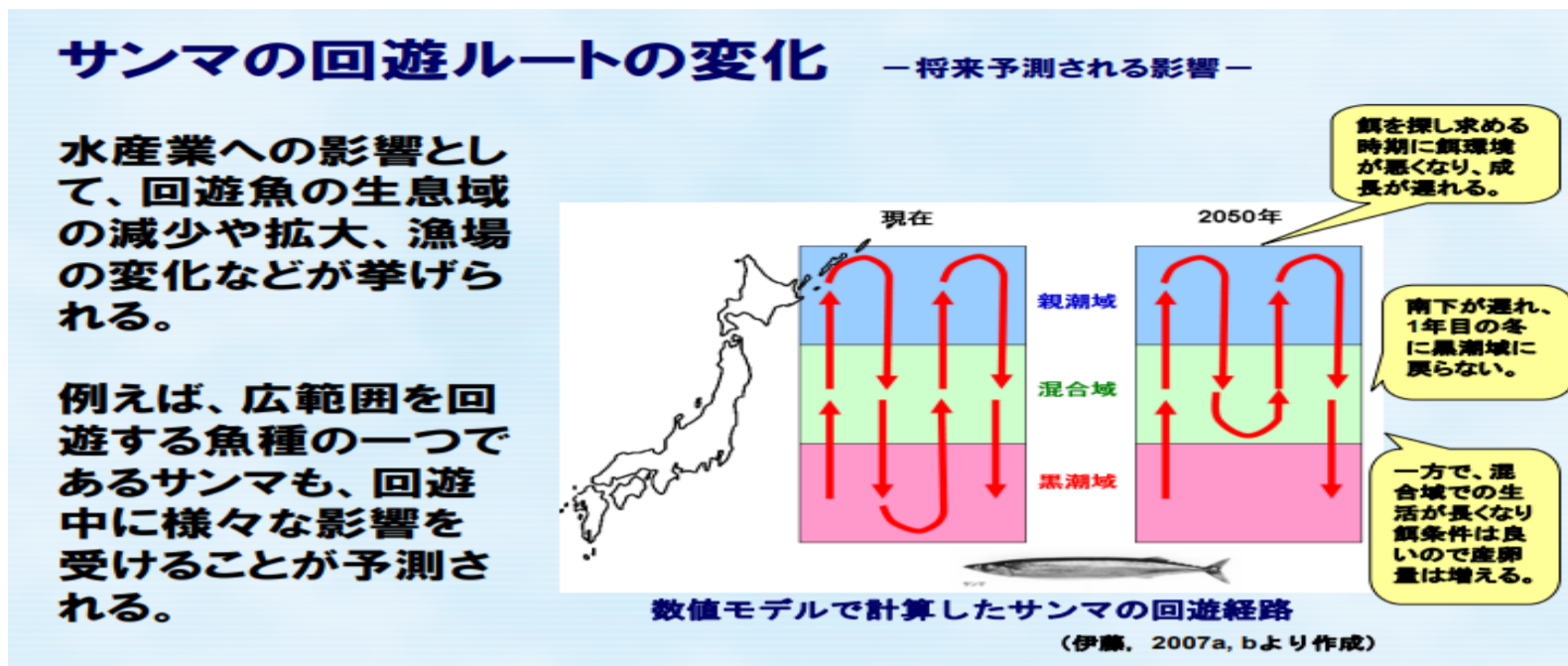
図2 地球温暖化によるウンシュウミカン栽培に適する年平均気温(15～18℃)の分布の移動。現在の値は1971～2000年の平年値。

左の図1は、リンゴの適地の移動予測です。リンゴ栽培に適する地域に係る年平均気温として「果樹農業振興基本方針」(農水省、2000)に示されている温度域は6～14℃である。2040年代に東北南部、2060年代には東北中部の平野部まで14℃以上となる一方、北海道はほぼ全域が適地になると予想される。2060年代には東北地方の平野部のほぼ全域が範囲外となり、現在の主産地の多くが、暖地リンゴの産地と同程度の気温になる可能性がある。

左の図2は、ウンシュウミカン栽培に適する地域の年平均気温は15～18℃である。2020年代に山陰地方等の日本海沿岸、2040年代に関東及び北陸の平野部全域、2060年代には南東北の沿岸部まで適地となる。

(出典)農研機構ホームページ

(3) サンマの回遊ルートの変更



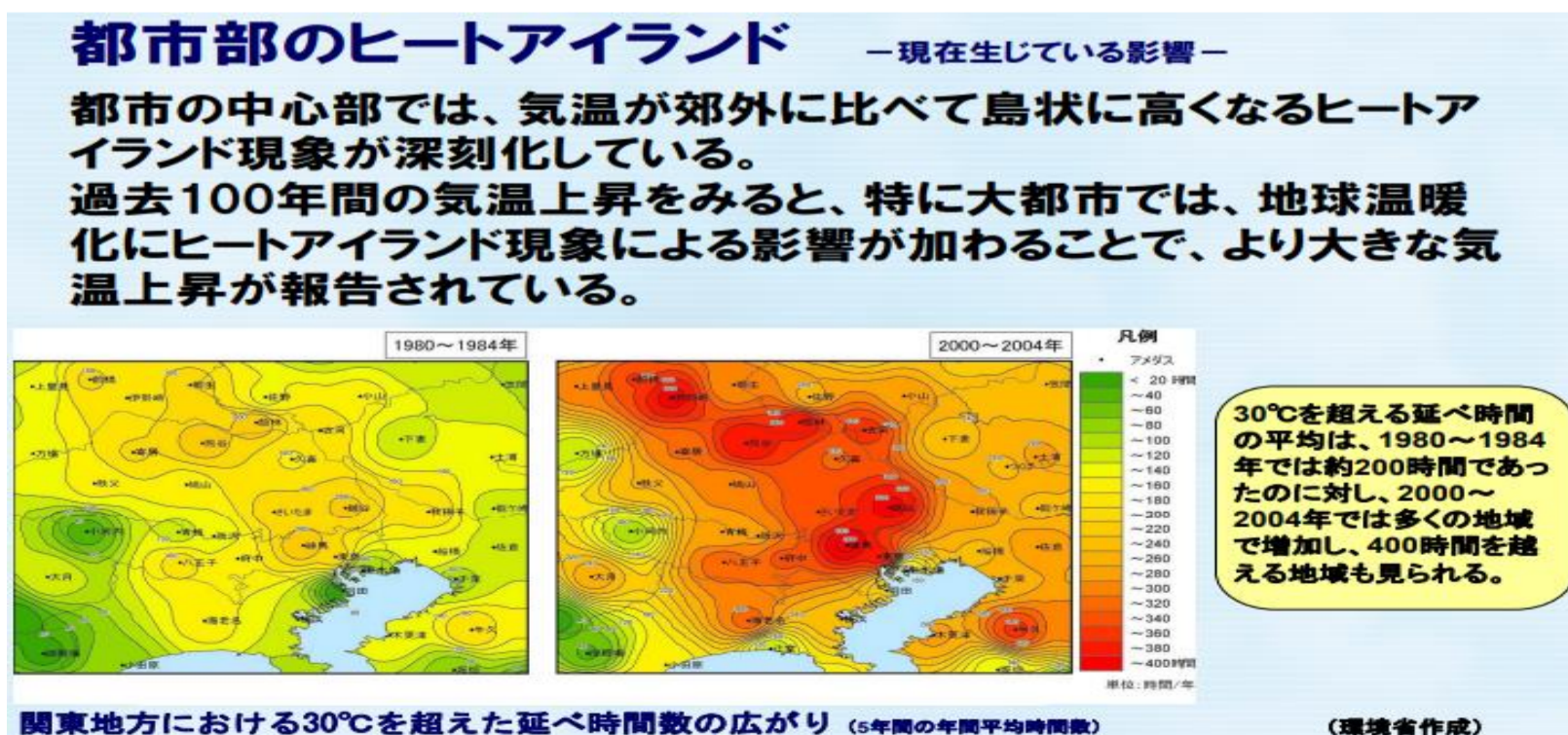
(出典) 環境省

(4) 高山生態系の追い落とし現象



(出典) 環境省

(5) 都市部のヒートアイランド



(出典) 環境省

(6) 海面水位の上昇の影響

①世界平均気温上昇 4℃と 2℃の東京近辺の浸水予測 (CLIMATE CENTRAL データ)

(平均気温 4℃上昇時)

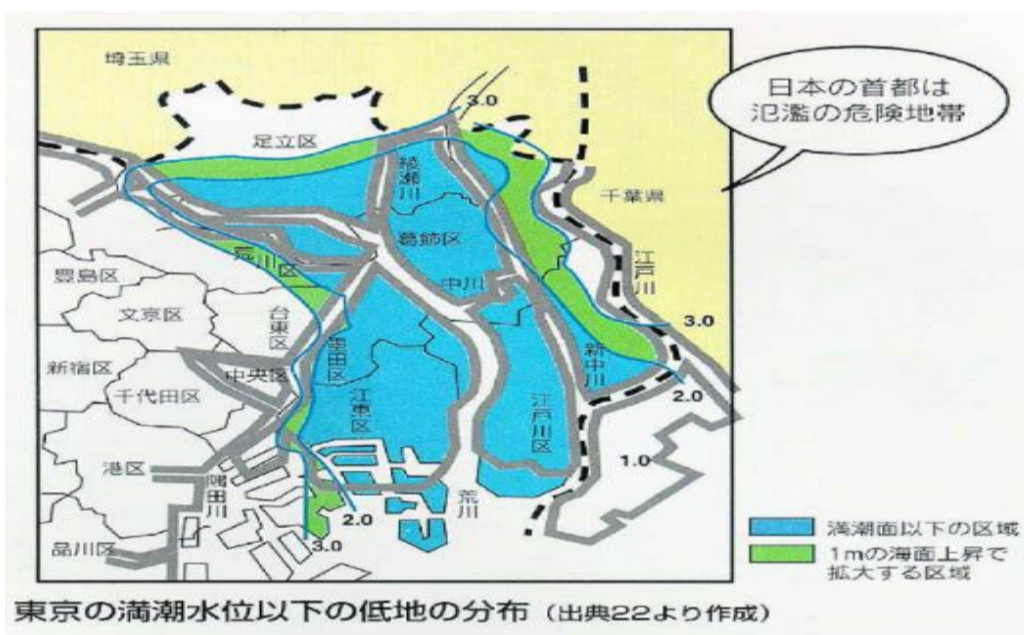
(平均気温 2℃上昇時)



左の図が平均気温 4℃上昇時、右の図が 2℃上昇時の東京近辺の浸水地域  
 (気温上昇と東京近辺の浸水予測)  
 首都圏では、2℃の気温上昇で湾岸地域や川崎市の工業地帯が浸水、埼玉県の一部も浸水地域が発生します。4℃上昇してしまった場合、東京湾岸地区から埼玉県の八潮市、蕨市などにかけてはほとんどが水没してしまうという計算です。

②世界平均海面水位が 1 m 上昇した場合の東京近辺の浸水予測

日本では海面が 1m 上昇すると、日本全国の砂浜の 9 割以上が失われると予測されています。かつ、大阪では北西部から堺市にかけての海岸線はほぼ水没、東京でも、対策を取らなければ江東区、墨田区、江戸川区、葛飾区のほぼ全域が影響を受けます。



日本周辺海域の海面水位は、この 30 年間の観測結果から、1 年間に 2 mm 程度上昇しているが、日本海側と太平洋側では、上昇の程度が異なっている。このまま温暖化が進むと 1990 年にくらべて 2100 年には地球の平均気温が 1.8~5.7℃ 上昇すると予測されており、海面水位も 28~101cm 上昇すると予測されている。  
 1 m 海面が上昇すると陸地はどこまで後退するか、たとえば、東京湾周辺では、現在でも海面 (満潮位) 以下の 0 m 地帯があり、強固な堤防で守られているが、1m 海面が上昇すると仮定した場合、0 m 地帯が広がる。現在の満潮面以下の区域と、1m の海面上昇によりあらたに満潮面以下になる区域を示しています。

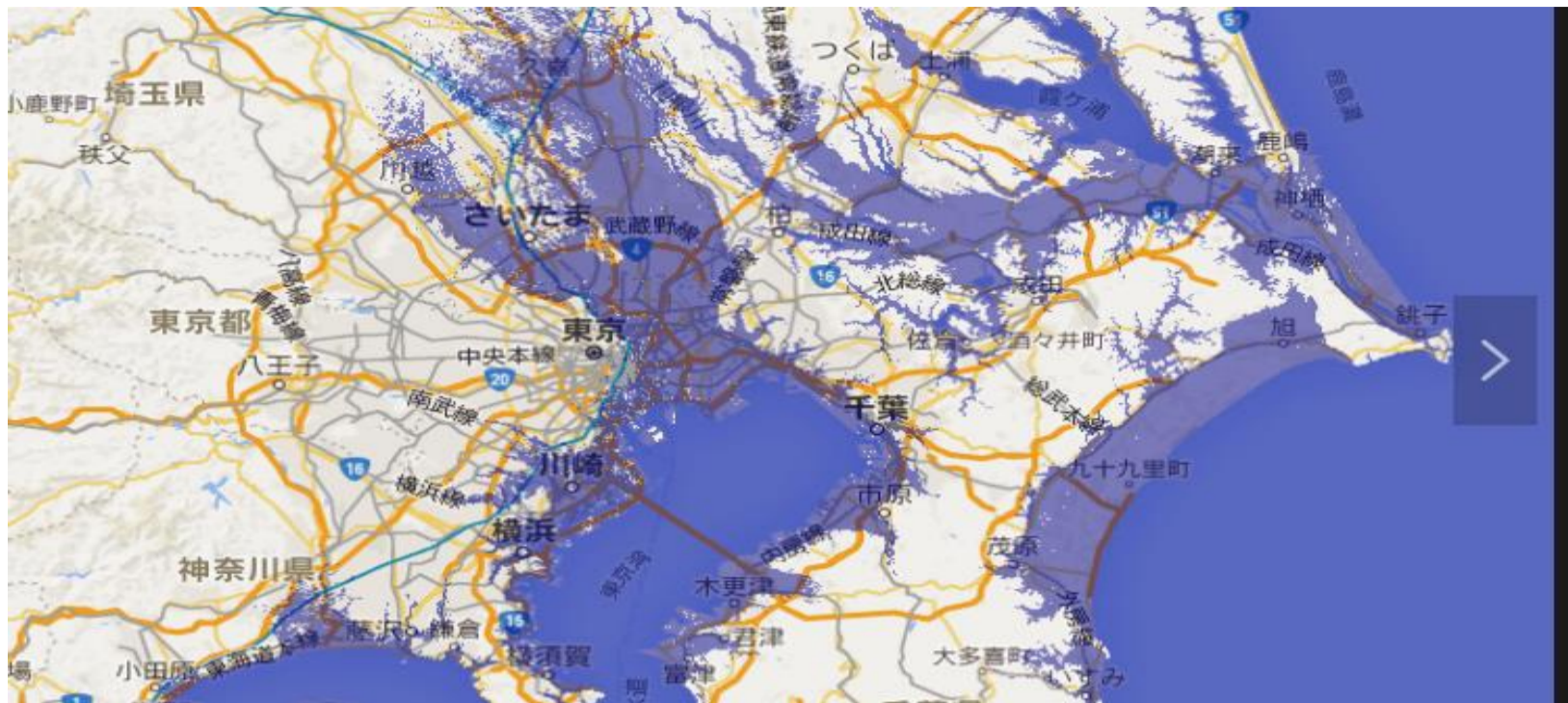
東京の満潮水位以下の低地の分布 (出典22より作成)

(出典) 環境省

③世界平均海面水位が 9m 上昇した場合の東京近辺の浸水予測 (CLIMATE CENTRAL データ)



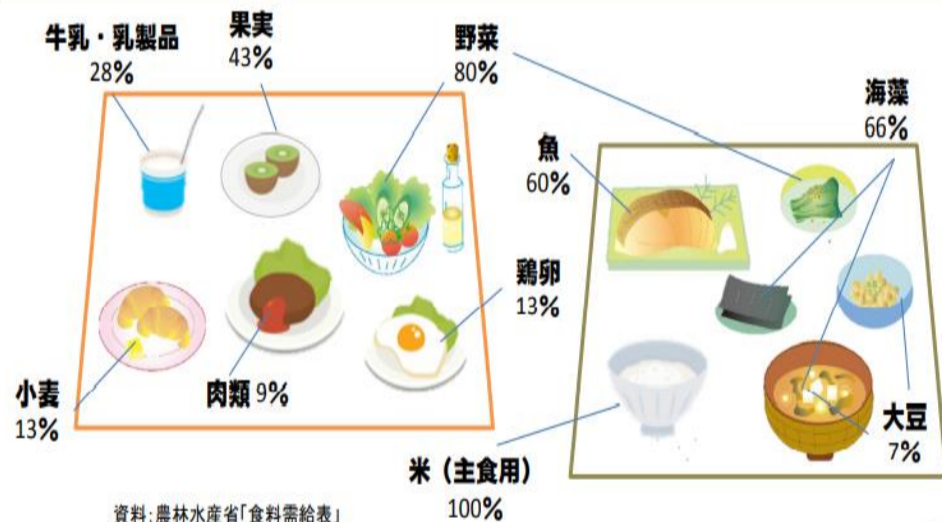
④世界平均海面水位が9m上昇した場合の関東地域の浸水予測（CLIMATE CENTRAL データ）



(7) 地球温暖化の日本の食糧事情への影響

○ 私達の食卓における品目別自給率

食料自給率（国内で消費する食料が国内生産によってどの程度賄えているかを表した割合）は、品目により異なります。品目別自給率をみると、高い国内生産能力を有する米で高い一方、家畜の飼料の多くを輸入に頼っている肉類等で低い水準にあります。



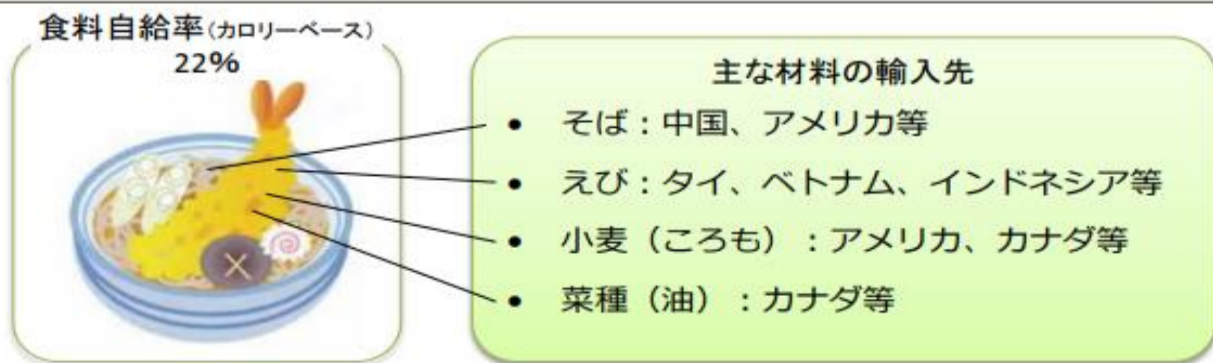
農作物や漁業は、天候に大きく影響を受けます。地球温暖化が進むと、干ばつ、豪雨、季節ごとの洪水などにより食糧の生産に大きな悪影響が出ます。海の魚も海水温の上昇や海水の酸性化が進むことにより獲れる量が変動します。

日本は、世界有数の食糧輸入国で、日本の食料自給率は特に低く、わずか 38% (カロリーベース) しか自給していません。気候変動は、食料の生産量とも密接な関係があり、温帯地域、熱帯地域のいずれにおいて、小麦、大豆、米、トウモロコシの主要 4 農作物の収量マイナスの影響が及ぶこととなります。日本はパンや麺の原料である小麦や味噌・しょうゆ・豆腐等の原料である大豆をアメリカやカナダ、オーストラリアから、輸入しています。これらの国々での収量が減ることは、輸入に頼っている日本にも大きな影響を及ぼすことが考えられます。

(出典) 農水省「知ってる?日本の食糧事情」

○ 天ぷらそばの食料自給率

天ぷらそばは日本食ですが、その食料自給率（カロリーベース）は22%です。これは、そばは中国産、えびはベトナム産など、多くの材料を輸入に頼っているためです。

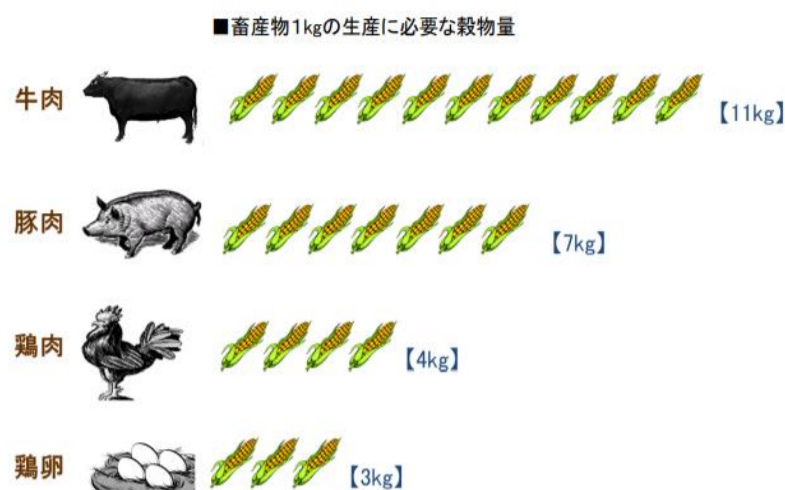


資料: 農林水産省「食料需給表」、財務省「貿易統計」等  
注: 数値は平成26年度(概算値)

(出典) 農水省「知ってる?日本の食糧事情」

(参考) 畜産物 1 kgの生産に必要な穀物量(飼料はほとんど輸入もの)

畜産物 1 kgの生産には、その何倍もの飼料穀物を家畜に与える必要があることから、畜産物消費量が増加すると、急激に穀物需要が増加します。



2 注:日本における飼養方法を基にしたとうもろこし換算による試算。農林水産省作成

(出典)農水省「知ってる?日本の食糧事情」

牛肉より鶏肉や豚肉を食べるようになれば、同じ農業の生産基盤でより多くの人を養うことができます。日本は家畜の飼料(トウモロコシ等穀物)のほとんどが輸入であり、牛肉、豚肉、鶏肉といった陸上動物由来のタンパク質の供給には、海外からの飼料の安定的確保が必要となります。気候変動による干ばつや豪雨等から飼料となる穀物の生産に影響が出ており、今後、十分な飼料の確保が難しくなるでしょう。牛肉より鶏肉を多く食べるようになれば、少ない海外からの飼料で多くのタンパク質の供給が可能となります。海洋タンパク質源の海水魚なども漁獲量が既に頭打ちとなり、気候変動や乱獲により資源も減少しています。これを養殖魚などによって補わなければなりません。魚の養殖にも飼料として高品質のタンパク質(通常は魚)が必要です。海洋のタンパク質の確保のためにも、飼料となる魚の確保も難しくなることから、植物性飼料により養殖を行うことも必要となります。

5. カーボンニュートラルに向けて

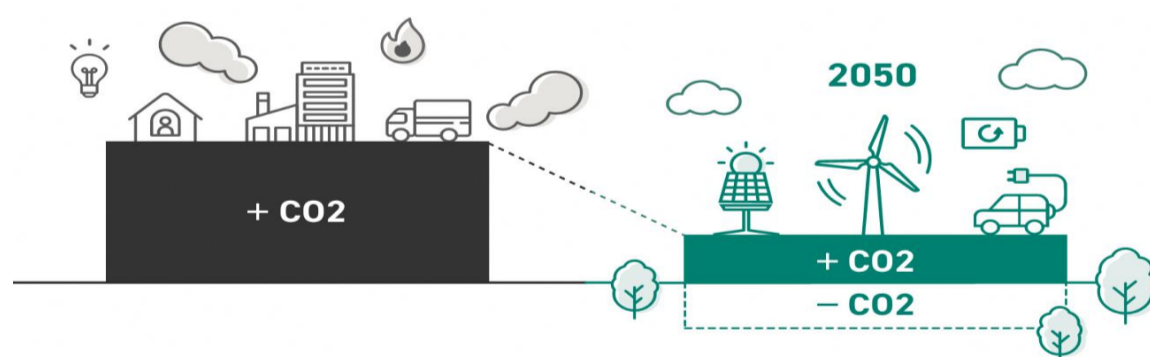
(1) カーボンニュートラルとは

「カーボンニュートラル」とは、大気中に排出される温室効果ガスの量と森林などにより光合成により吸収される量を均衡させることを意味し、世界全体でこれが実現すると、大気中に新たに蓄積される人為的な発生源による二酸化炭素を含む温室効果ガスがなくなる効果があります。

2020年10月、我が国は、「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、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言し、その実現に向けて、現在、様々な取組を行っています。

我が国を含む多くの国で、2050年までにカーボンニュートラル実現を表明しており、2060年までのカーボンニュートラル実現を表明している中国を含めると、世界の二酸化炭素排出量の約70%を占める国が、カーボンニュートラルの実現を掲げています。

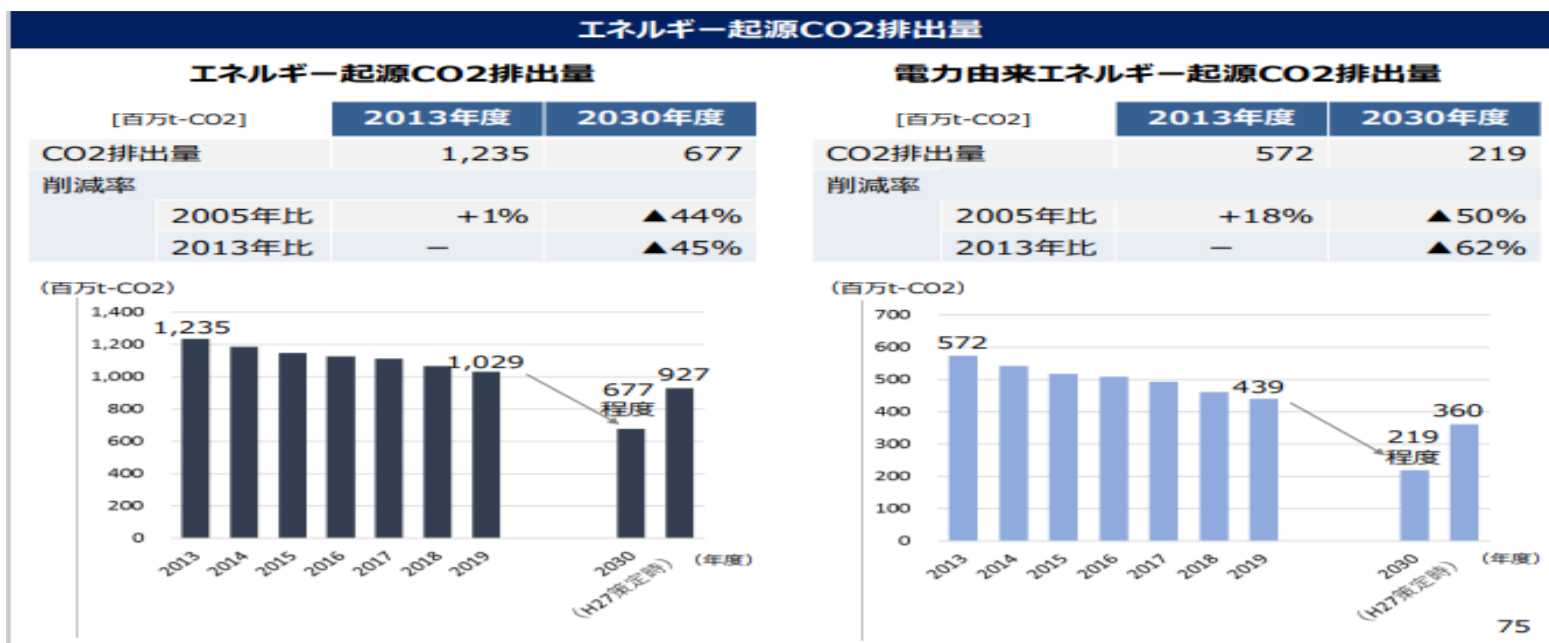
我が国の宣言の「温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」とは、社会全体で二酸化炭素、メタン、N<sub>2</sub>O(一酸化二窒素)、フロンガスを含む「温室効果ガス(GHG)」の人為的な「排出量」を抑制すること、削減が難しい「排出量」については、森林などでの光合成による「吸収量」、大気中に既に存在する二酸化炭素、また燃焼時に排出される二酸化炭素を回収して貯留する「二酸化炭素回収・貯留技術」などの活用による「除去量」を差し引いた合計をゼロにする状態をいいます。



(出典)環境省脱炭素ポータル

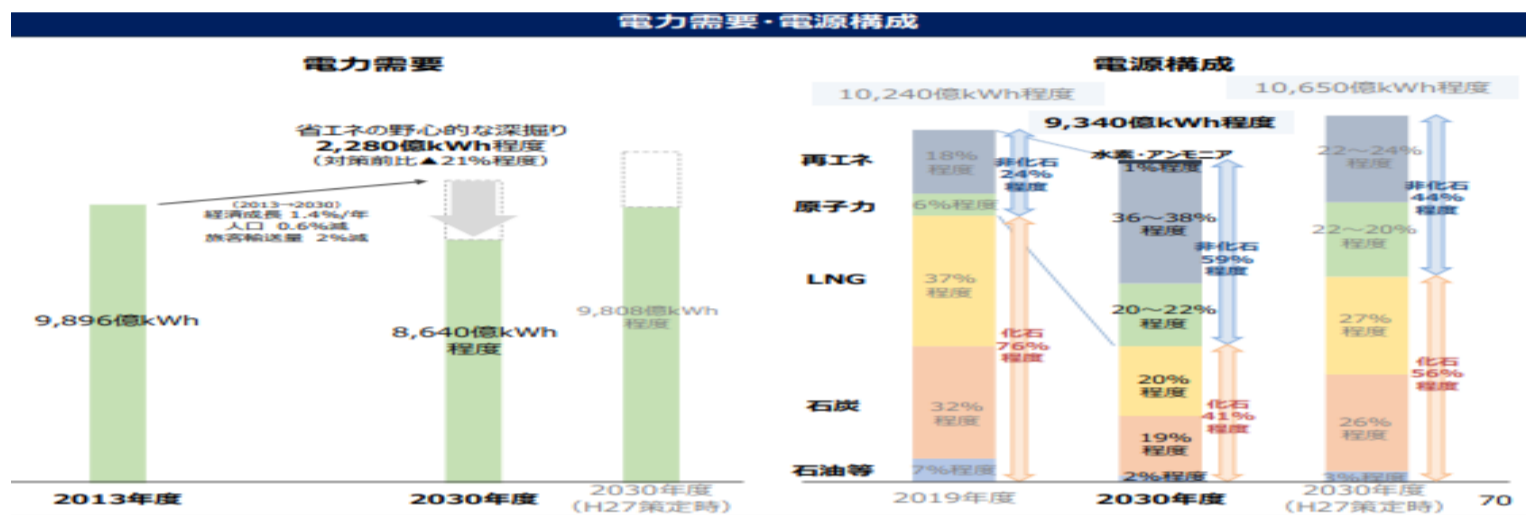
(2) 2030年までのエネルギー起源二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減

2030年度におけるエネルギー需給の見通しは、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、更に、50%の高みに向けて挑戦を続けることを表明した。下の図は、これを踏まえ、46%削減に向け徹底した省エネルギーや非化石エネルギーの拡大を進める上での需給両面における様々な課題の克服を野心的に想定した場合に、どのようなエネルギー需給の見通しとなるかを示すものです。



(出典) 資源エネルギー庁「2030年におけるエネルギー需給の見通し」2021年10月

(参考) 2030年の電力需要と電源構成

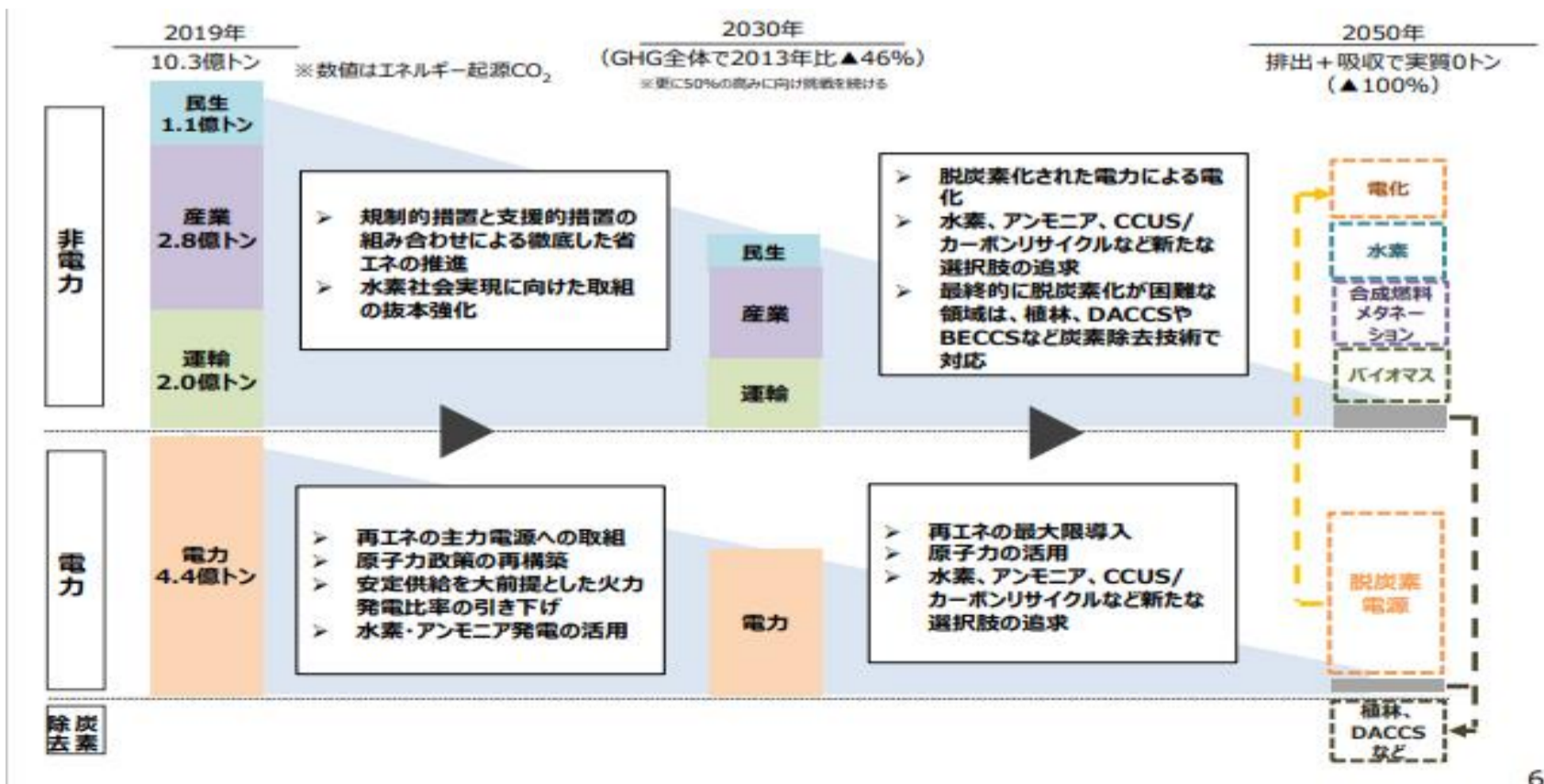


(出典) 資源エネルギー庁「2030年におけるエネルギー需給の見通し」2021年10月

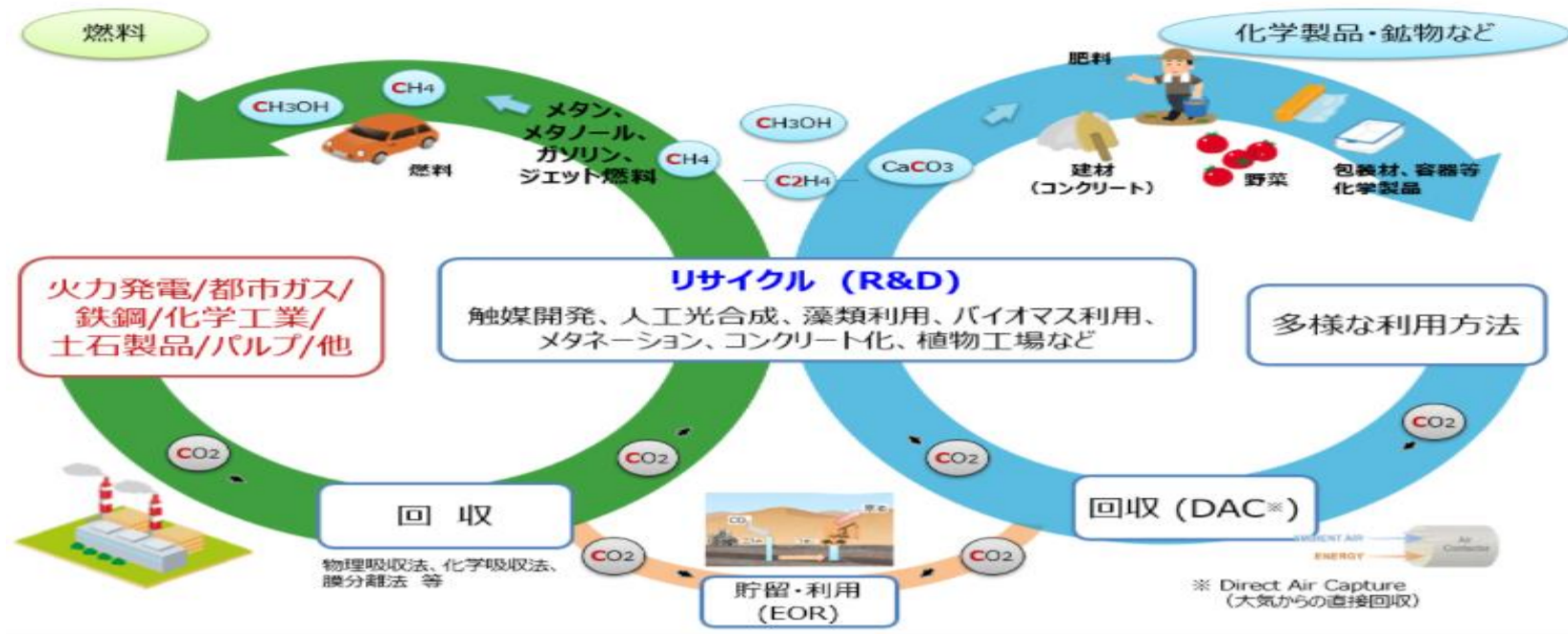
(3) カーボンニュートラルの実現に向けた動き

2050年カーボンニュートラルの実現のためには、①省エネ、②電源の脱炭素化や非電力部門の二酸化炭素(CO2)排出原単位の低減、③化石燃料の利用から脱炭素化された電力による非電力部門の電化、④ネガティブエミッション技術を組み合わせ、トータルでのカーボンニュートラルを目指すことが重要です。

2030年の二酸化炭素削減から2050年のカーボンニュートラルに向けた対応(技術開発など)



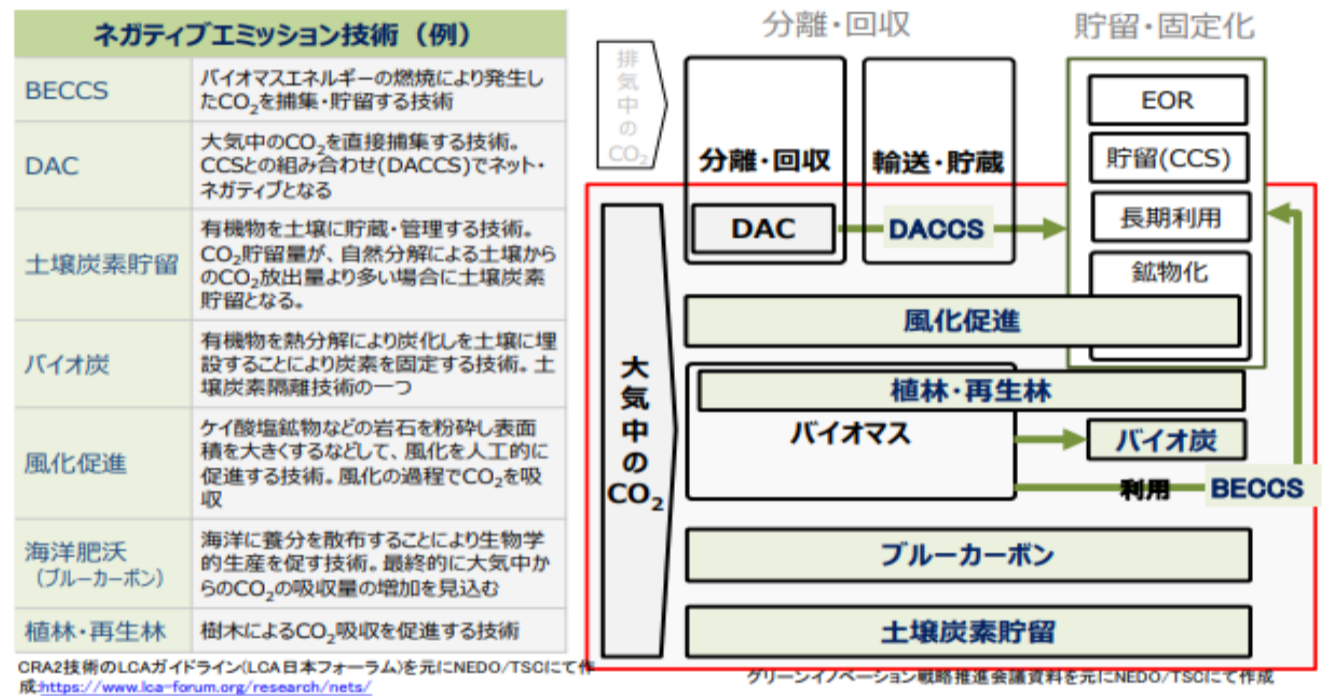
(出典) 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」



(出典) 経済産業省

ミニ解説 ネガティブ  
エミッション技術  
2050年、カーボンニュートラルを達成するためには、どうしても避けられない二酸化炭素を回収・貯留するネガティブエミッション技術が不可欠です。ネガティブエミッション技術とは、DAC(大気中に排出した二酸化炭素を直接回収する技術)など、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の回収し実質ゼロを達成する技術です。

- ネガティブエミッション技術とは、DACや生物機能利用と、貯留または固定化等とを組み合わせることにより、正味としてマイナスのCO<sub>2</sub>排出量を達成する技術。



(出典) 経済産業省「ネガティブエミッション技術の検討方針について」2021年12月

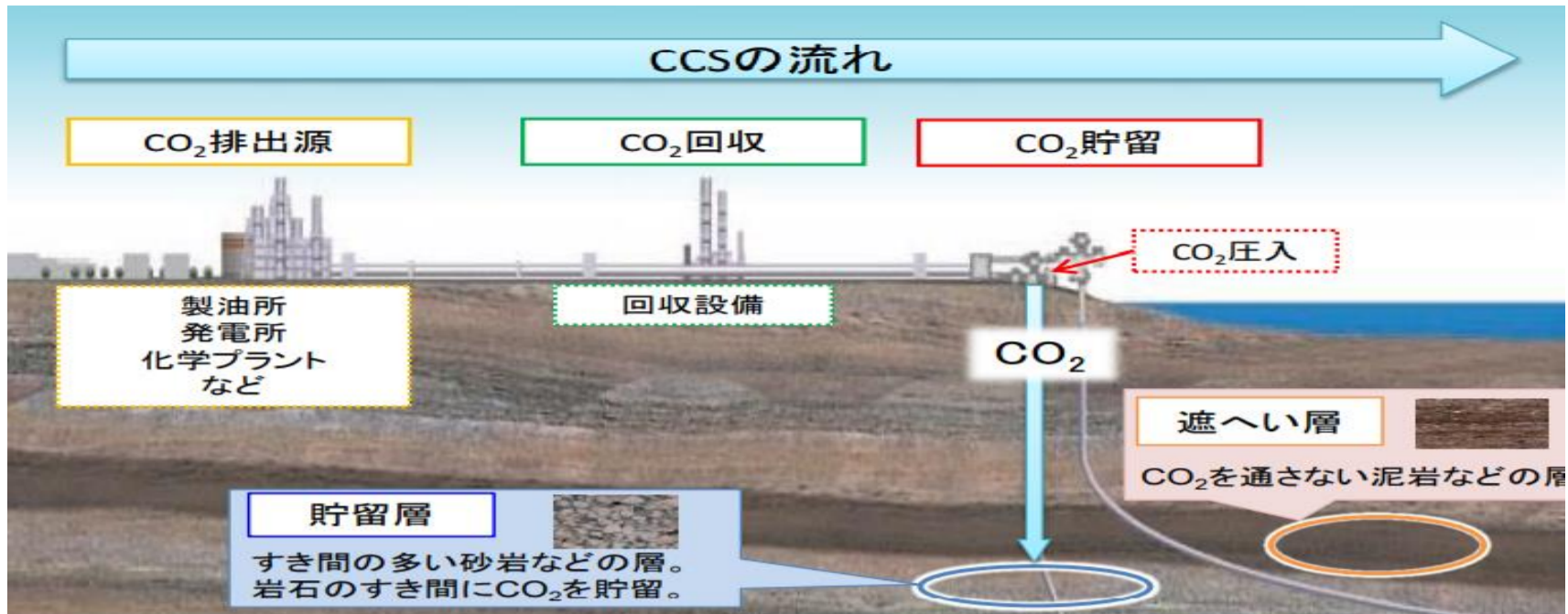
(参考 1) 二酸化炭素回収・貯留技術の CCS、CCUS とは

「CCS」とは、「Carbon dioxide Capture and Storage」の略で、日本語では「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれます。化石燃料などの燃焼により排出される二酸化炭素は、植物により光合成や海洋の藻類などにより吸収されますが、二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)は、石炭火力発電所・ガス火力発電所や化学工場、その他、二酸化炭素排出源の排気から二酸化炭素を約80%以上回収し、圧縮して液化し、地中深くに貯留・圧入するというものです。「CCUS」とは、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留した二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を利用しようというものです。

二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)は、二酸化炭素排出源の排気から二酸化炭素の回収に加え、大気中に残留している二酸化炭素をも直接回収することもできる技術です。大気から大量の二酸化炭素を除去できる方法は、この技術以外あまりなく、2050年カーボンニュートラルの切り札といわれています。後述のバイオ発電では、発電しながら大気中の二酸化炭素の回収が可能となります。

日本では、2012年から、北海道・苫小牧でCCSの大規模な実証実験がおこなわれています。

IEA(世界エネルギー機関)の「新政策シナリオ」では、最善の場合、2050年には、二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)によって年間80億トンもの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を除去できるようになると予測しています。ただし、それを実現するには、約10億ドルの大規模なCCSプラントが4,000基から8,000基が必要になります。

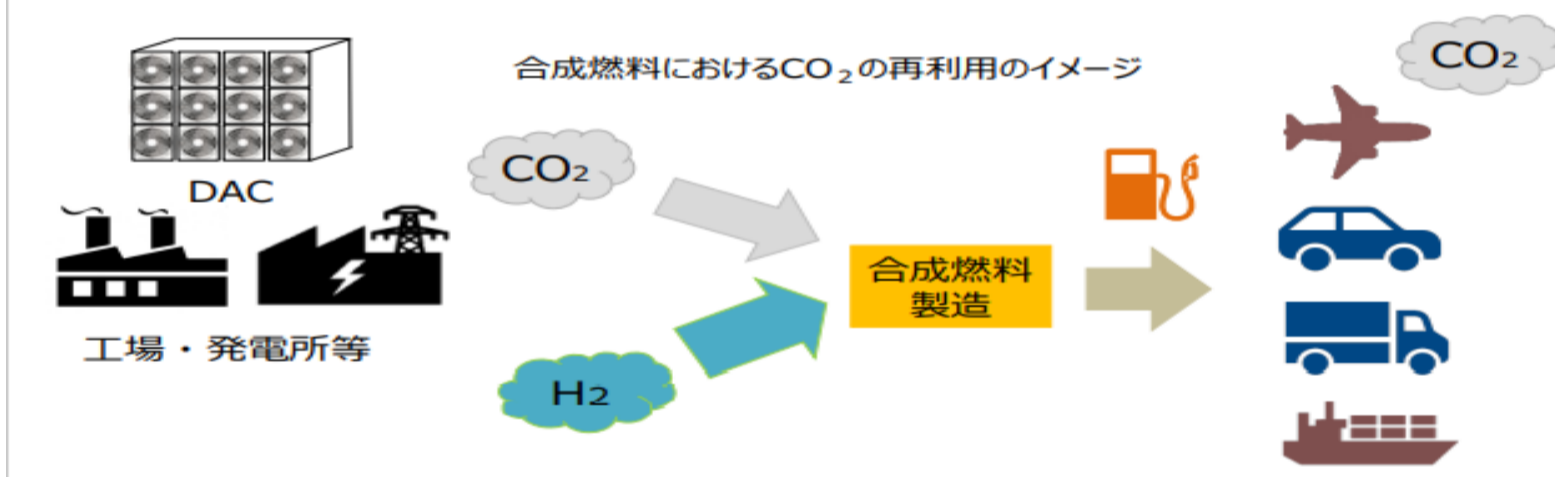


(出典) 経済産業省

(参考 2) 合成燃料と二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出の関係

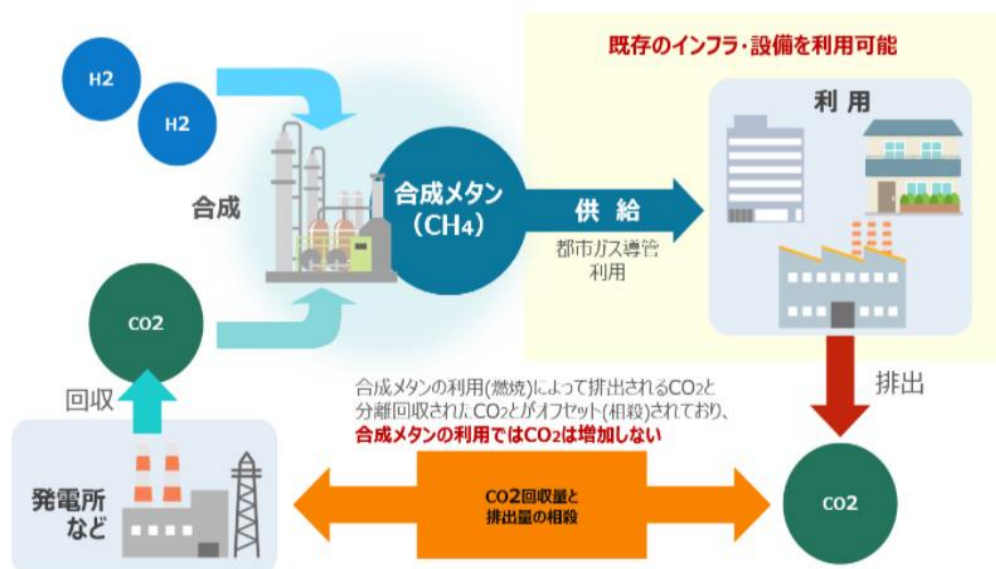
二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) と水素による合成燃料の「カーボンリサイクル」のイメージです。発電所や工場、または大気から直接回収した二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を利用すれば合成燃料であり、燃焼時に排出された二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は、後述のメタネーション同様に、回収した二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を原料としているため相殺され、大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 量は増加しないことになります。

- CO<sub>2</sub>を原料とした合成燃料は、発電所や工場等から排出されたCO<sub>2</sub>や、将来的には大気からDAC技術により回収されたCO<sub>2</sub>を再利用（カーボンリサイクル）することから、脱炭素燃料とみなすことができる。
- さらに、合成燃料は、原油に比べて硫黄分や重金属分が含まれていないとの特徴があり、排出ガス中に健康影響リスクのあるSO<sub>x</sub>を含まないなど、クリーンな燃料である。



(出典) 経済産業省・資源エネルギー庁

(参考 3) メタネーションによる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出削減の効果



温室効果ガスの脱炭素化技術で、もっとも有望視されているのは、水素 (H<sub>2</sub>) と二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を反応させ、天然ガスの主な成分であるメタン (CH<sub>4</sub>) を合成する「メタネーション」です。

メタンは燃焼時に二酸化炭素を排出しますが、メタネーションを行う際の原料として、発電所や工場などから回収した二酸化炭素を利用すれば、燃焼時に排出された二酸化炭素は回収した二酸化炭素と相殺されるため、大気中の二酸化炭素量は増加しません。つまり、二酸化炭素排出は実質ゼロになるわけです。

(出典) ガス協会資料を資源エネルギー庁一部修正 『ガスのカーボンニュートラルを実現する「メタネーション」技術』



#### (参考 4) バイオマス発電による「カーボンニュートラル」

バイオマスエネルギーには、木質燃料(木材チップ、木質ペレット)、バイオ燃料(バイオエタノール)、バイオガス(家畜の糞尿発酵しメタンなど)などさまざまな種類があります。(注)バイオマスとは、生物を意味する「bio」と量を意味する「mass」から成る言葉で、石炭や石油など化石燃料以外の生物由来の再生可能資源を指します。

バイオマス発電は、燃やしても二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の増減に影響を与えない「カーボンニュートラル」という発想でつくられています。木やサトウキビなどは、成長過程で大気中の二酸化炭素を吸収し、組織の素材とします。それら植物やサトウキビやトウモロコシなどから作ったバイオエタノールを燃やすと二酸化炭素を排出します。しかし、排出する二酸化炭素は、成長過程で光合成により大気中から吸収したものであり、排出と吸収による二酸化炭素のプラスマイナスはゼロになり、二酸化炭素の総量は増えないことになります。また太陽光発電や風力発電などと組み合わせたバイオマス発電所は、天気の悪い時も夜も発電が可能となります。

バイオマス発電所に二酸化炭素回収・貯留技術設備(CCS)を併設した場合、バイオエネルギーの燃焼時の排気から成長過程で大気中から吸収した二酸化炭素が回収されることになり、バイオマス発電所では、発電しながら大気中の二酸化炭素を回収して地中に貯留していくことができます。

(バイオマスエネルギー)

(カーボンニュートラル)



(出典)中部電力

#### (3) 「カーボンニュートラル」実現に向けた区民の行動など

脱炭素社会実現に向けた脱炭素行動について、国(環境省)、東京都、墨田区でも、国民、区民の関心を広げ行動につなげるように紹介しています。特に、東京都が作成した「家庭の省エネハンドブック」は、家庭でできる省エネ行動や地球温暖化と家庭との関係、また副題に「チョットの工夫で家計も地球も笑顔に」とあるように、省エネにより節約できる金額や削減できる二酸化炭素の量までわかる立派な資料です。

省エネ・節水は、家計だけでなく、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出を削減する地球に優しい行動です。