

基礎講演 「放射線と エネルギー・環境問題の基礎」

日本原子力学会シニアネットワーク（SNW）連絡会

大西祥作

自己紹介（別資料参照）
本講義に対するお願い
出典リスト

第1部 環境問題の基礎

- 第1章 地球環境問題とは？
- 第2章 地球温暖化は本当か？
- 第3章 地球のエネルギー収支は？
- 第4章 地球温暖化対策は？
- 第5章 オゾンホールが広がる！
- 第6章 酸性雨とPM2.5の被害
- 第7章 希少生物を保護しよう！
- 第8章 ゴミ問題を考える
- 第9章 その他の環境問題

第2部 エネルギーの基礎

- 第1章 身の回りのいろいろなエネルギー
- 第2章 エネルギーの種類、発電の種類
- 第3章 色々な発電の仕組み
- 第4章 日本のエネルギー事情と課題

第3部 放射線の基礎

- 第1章 放射線の種類
- 第2章 日常生活と放射線
- 第3章 放射線の利用
- 第4章 放射線の防護と人体への影響

本講義に対するお願い

- 1.環境問題やエネルギー問題は人類全体の問題でもありかつ個人の問題でもあります。従って、環境問題やエネルギー問題を自分事として捉えてください。
- 2.本講義資料にはオリジナリティーはありません（いろいろな資料の寄せ集め）が環境・エネルギー問題の基礎的な情報を掲載していることを理解してください。
- 3.本講義資料は既存の出版資料を核（ベース）にしました。
（読めばわかるようにしました。）
また、既存の出版資料を補足する観点からできるだけ最新のデータを掲載するようにしました。従って、一部重複した内容であったり、見にくい部分がある点ご容赦ください。
注：著作権の観点から本資料は本授業においてのみ使用してください。
（他者への配布、印刷はしないでください）
- 4.これからの多難な社会を生き抜いて行くためには、課題の発見および解決力のような従来教科書で勉強していても身につかないようなスキルも必要ですが、ベースとなる知識も必要です。情報化社会となった現代においては、世の中に多種多様な情報が溢れていますのでその中から正しくかつ有用な情報を選び抜くスキルも身に付けてください。
（足元に非常に有益な情報があっても気付かないことがますます増えている）

- 1.とことんやさしいエネルギーの本（第二版）、山崎耕造、日刊工業新聞社（ベース資料）
- 2.宇部高専SNW対話2022基調講演ー1「エネルギーを身近なところから考える」、金氏顕（ベース資料）
- 3.日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集（ベース資料）
- 4.令和4年版&令和6年版 環境白書、環境省
- 5.よくわかる環境科学、鈴木孝弘、オーム社
- 6.みんなで考える脱炭素社会、松尾博文、日本経済新聞出版
- 7.WWFジャパンHP
- 8.気象庁HP
- 9.Japan fluorocarbon manufacturers association資料
- 10.そらまめ君HP
- 11.財務省（国税庁）HP
- 12.四国電力HP
- 13.NHK HP
- 14.経済産業省HP
- 15.環境省レッドリスト2020
- 16.2022年7月3日毎日新聞
- 17.第29回原子力委員会資料第1ー1号（H29.8）
- 18.令和6年度版原子力白書
- 19.世界人口推計-2024年改訂版
- 20.ウィキペディア：世界人口@20230604
- 21.令和6年高齢社会白書
- 22.エネルギー2024白書
- 23.関西電力HP
- 24.原子力規制委員会HP
- 25.日本のエネルギー2024年2月及び2025年3月発行（資源エネルギー庁）
- 26.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（令和3年6月18日）
- 27.資源エネルギー庁HPエネルギーの基礎用語～CO2を集めて埋め立て役立てる「CCUS」スペシャルコンテンツ
- 28.第7次エネルギー基本計画：エネルギー基本計画の概要 令和7年2月資源エネルギー庁
- 29.原子力文化財団 原子力世論調査(2024年度) 2025年3月

第1部 環境問題の基礎

- 第1章 地球環境問題とは？
- 第2章 地球温暖化は本当か？
- 第3章 地球のエネルギー収支は？
- 第4章 地球温暖化対策は？
- 第5章 オゾンホールが広がる！
- 第6章 酸性雨とPM2.5の被害
- 第7章 希少生物を保護しよう！
- 第8章 ゴミ問題を考える
- 第9章 その他の環境問題

第1章 地球環境問題とは？

3Eトサレンマ
経済
エネルギー
環境

地球環境問題：

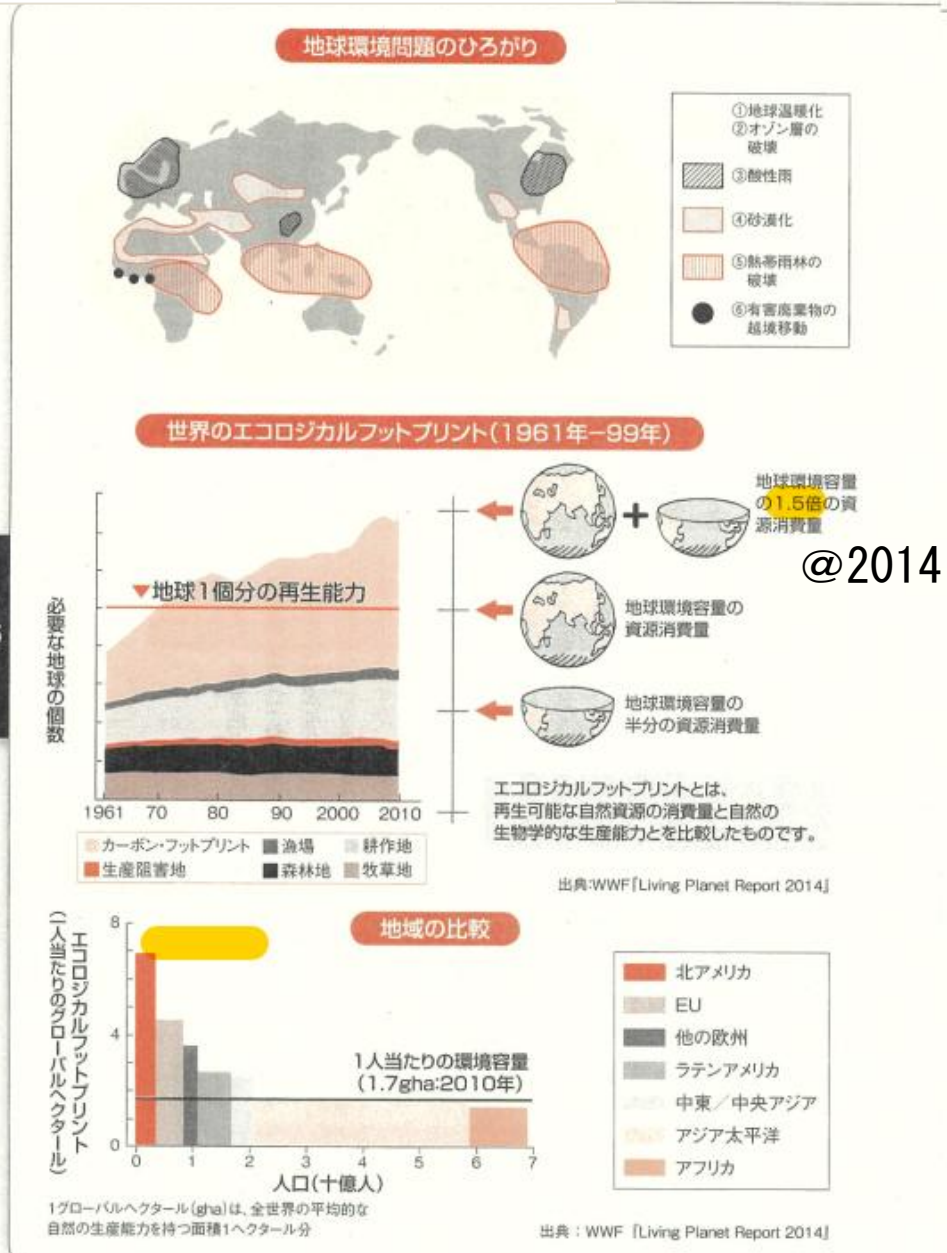
- ①地球温暖化
- ②オゾン層破壊
- ③酸性雨
- ④砂漠化
- ⑤森林破壊
- ⑥廃棄物越境
- ⑦野生動物減少

地球の有限性：

エコロジカル・フットプリント

私たちが消費する資源を生産し、社会・経済活動から発生する二酸化炭素を吸収するのに必要な生態系サービスの総量

二次配布不可



12

地球環境問題とは？

エコロジカル・フットプリント

経済 エネルギー、環境の3Eトリレンマは解決すべき現代の課題です(9節参照)。環境問題は国内局所(環境問題と地球環境問題とがあり、エネルギー関連と非エネルギー関連があります。地球環境問題とは、一国にとどまらない広域の環境問題であり、国際的な援助が必要な開発途上国の問題でもあります。具体的には①地球温暖化、②オゾン層の破壊、③酸性雨、④砂漠化、⑤森林破壊、⑥廃棄物の越境移動、⑦野生生物種の減少、などがあげられます。人類が地球上で生存していくためには、限られた資源を有効に使う持続可能な社会を築くことが必要です。

地球の有限性(環境容量)をあらわす一つの量として、「エコロジカル・フットプリント」があります。人々の資源消費量と自然の生産能力とを比較した指標であり、食料や木材の供給、森林による二酸化炭素の吸収など、一人の人間が持続的な生活を営むために必要な地球上の面積を耕地、牧草地、森林、海洋、二酸化炭素吸収源、土地に換算して計算した量です。これは、カナダのフレイティッシュ・コロンビア大学で開発された指標であり、世界自然保護基金(WWF) World Wide Fund for Nature)などは、この指標を用いて地球の環境容量が計算されています。

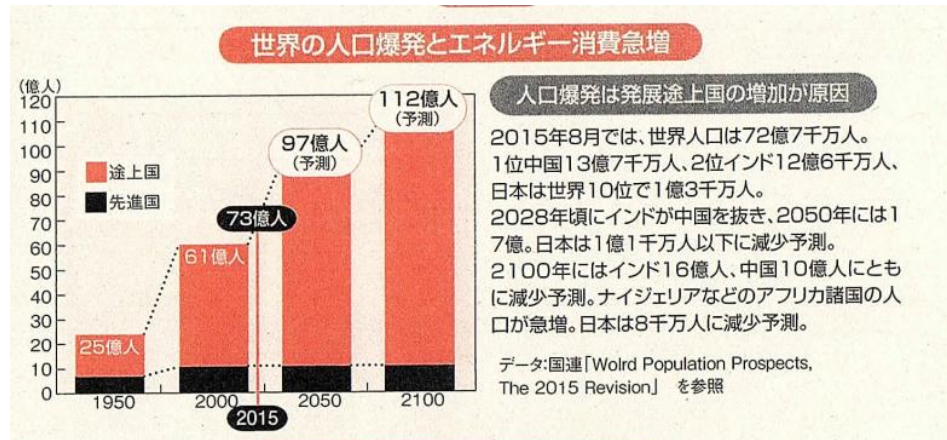
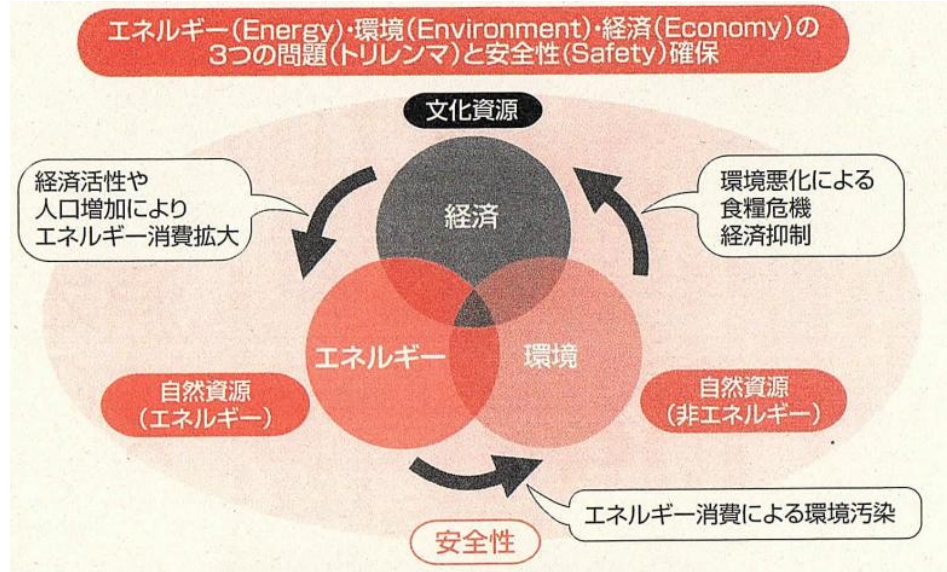
計算結果によれば、世界全体の社会経済活動は、1970年代にすでに地球の持続可能な環境容量を超えているとされています。現在では地球が生産できる容量の1.5倍の量を世界で消費しています。地域別では北アメリカが最も高く、世界平均の4倍以上です。日本は自然資源を海外に依存していますが、日本の環境容量の6~7倍を消費しています。その必要な容量の6割近くが二酸化炭素の吸収に必要な土地です。

世界的な人口増加と発展途上国による消費の拡大により、エコロジカルフットプリントはますます増加し、2030年頃には地球の生産力の3倍近くになると考えられています。

要点BOX

- エコロジカル・フットプリントによれば、人類の活動は地球生物の生産力の1.5倍
- 日本では環境容量を6~7倍も超える消費量

3Eトリレンマ、世界人口



出典：とことんやさしいエネルギーの本（第二版）、山崎耕造、日刊工業新聞社

20220713 毎日朝刊

出典：2022年7月3日毎日新聞

世界人口 11月に80億人

81.2億人

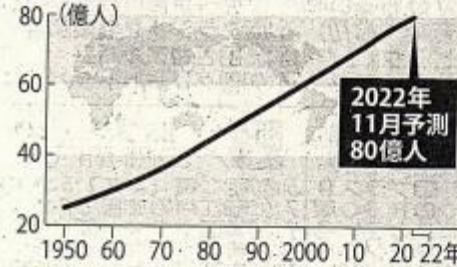
@2024年4月

国連は11日、世界の人口が今年11月中旬に80億人を突破し、来年にはインドの人口が中国を追い抜いて世界最多になるとの推計を発表した。新型コロナウイルスの感染拡大の影響で、世界の平均寿命は2019年の72.8歳から昨年は71.0歳に下がったことも明らかにした。

11日の世界人口デーに合わせて報告書を発表した。それによると、22年時点のインドの人口は既に14億1200万人で、中国の14億2600万人に迫る。インドは50年の時点で16億68

国連推計 インド、中国抜き最多へ

世界人口の推移 ※国連による



00万人まで増加し、減少に転じる中国の13億1700万人を大きく上回るとの見通しを示した。

インドは、乳幼児死亡率が顕著に下がっている。一

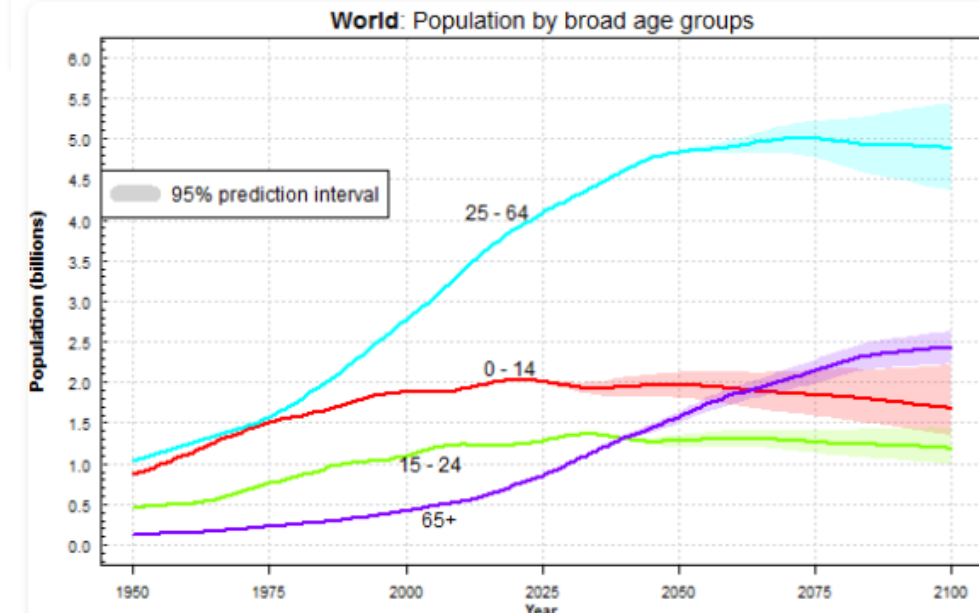
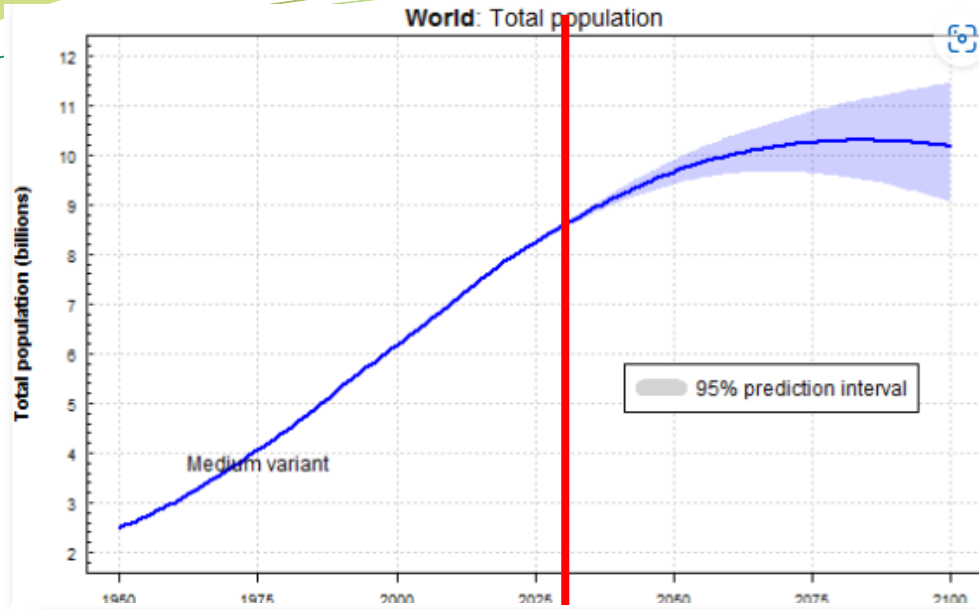
【ニューヨーク 隅俊之】

一方、世界の人口は現在79億4200万人。人口の増加ペースは落ちており、20年には人口の増加率が1950年以来初めて年1%を下回った。報告書は、30年に85億人、50年に97億人、80年代に104億人でピークに達し、100年までその水準が続くと予想している。

方の中国は15年に「一人っ子政策」の廃止を決定。21年には3人目の出産も認めだが、教育費の高さなどを背景に少子化が減速する見通しは立っていない。

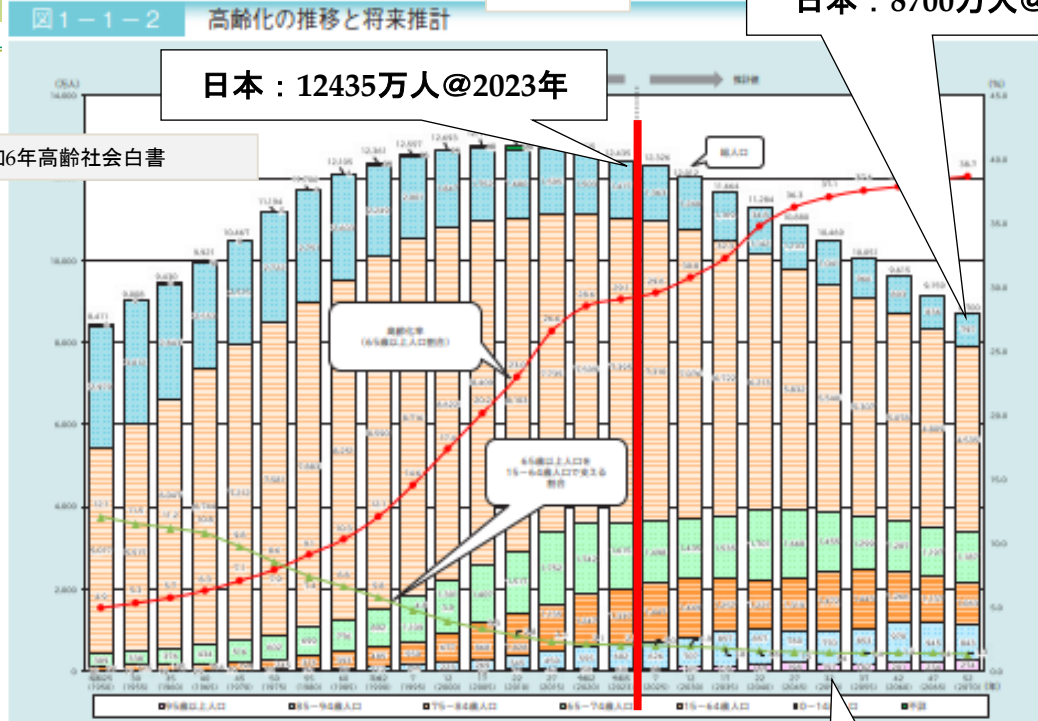
世界人口の推移

81億1900万人@2024年4月



日本

日本：8700万人@2070年



出典：令和6年高齢社会白書

日本：12435万人@2023年

日本：10469万人@2050年

国別の世界の人口 (100万人、国連推計)^[2]

順位	国	2000年	2021年	2050年予測
1	中華人民共和国	1,270	1,426	1,313
2	インド	1,053	1,408	1,670
3	アメリカ	283	337	375
4	インドネシア	212	274	317
5	パキスタン	136	231	368
6	ブラジル	176	214	231
7	ナイジェリア	123	213	377
8	バングラデシュ	131	169	204
9	ロシア	146	145	133
10	メキシコ	103	127	144
	全世界	6,127	7,909	9,079

出典：ウィキペディア
：世界人口@20230707、20250420閲覧

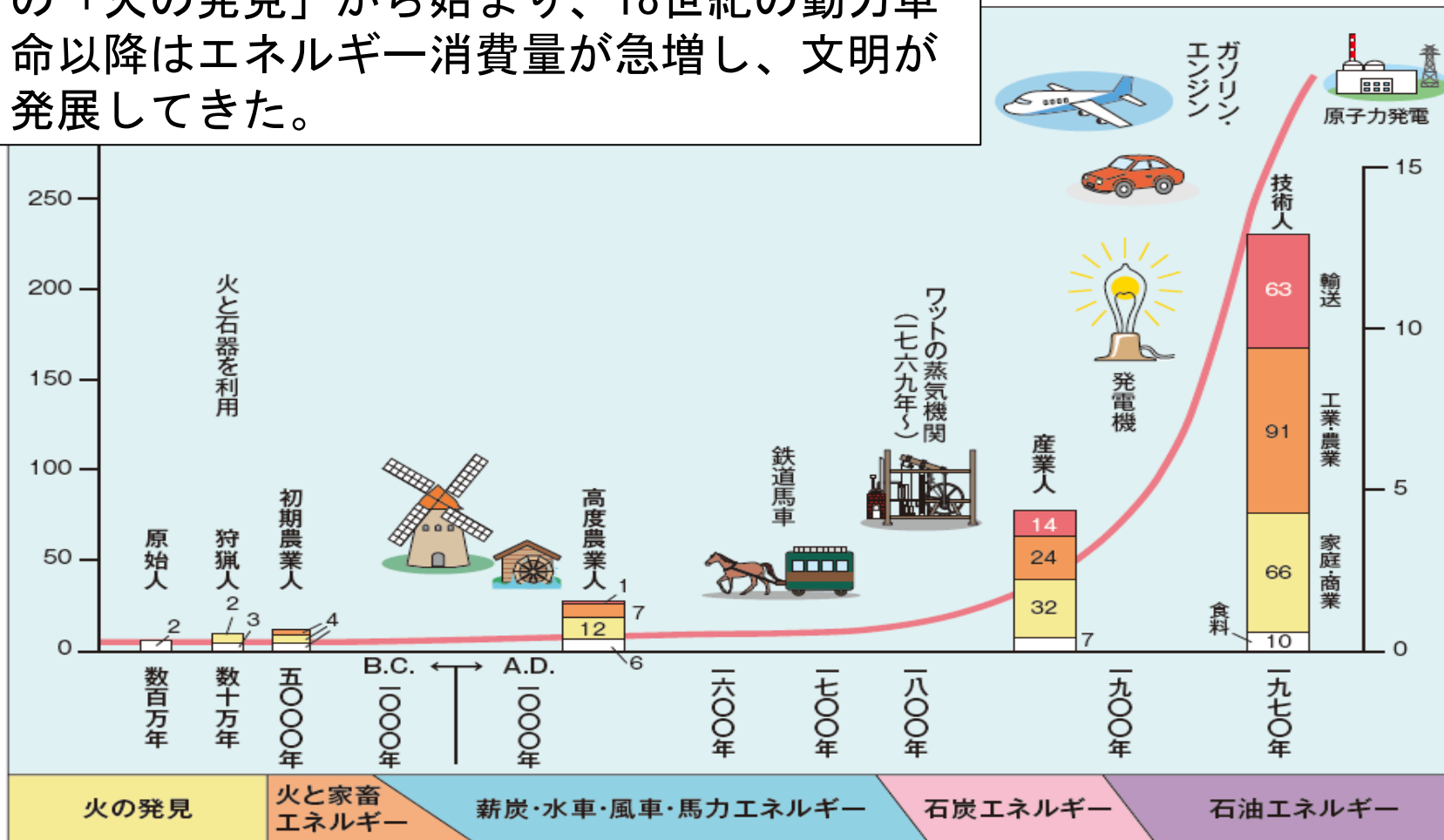
二次配布不可

出典：世界人口推計-2024年改訂版-

人類の文明発展とエネルギー利用

人類とエネルギーのかかわりは、数百万年前の「火の発見」から始まり、18世紀の動力革命以降はエネルギー消費量が急増し、文明が発展してきた。

一人あたり消費量(二〇〇〇キロカロリー/日)・棒グラフ



石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。

狩猟人 十万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。

初期農業人 B.C.5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業人 1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。

産業人 1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。

技術人 1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

日本のエコロジカル・フットプリント その1

2017年資料

エコロジカル・フットプリントとは

私たちが消費する資源を生産し、社会・経済活動から発生する二酸化炭素を吸収するのに必要な生態系サービスの総量



エコロジカル・フットプリントを減らす方法



日本が地球に与える影響の大きさ

日本人と同じ生活を世界中の人がしたとしたら、必要な地球の個数は？ **2.9**個



世界の人々の生活を支えるには

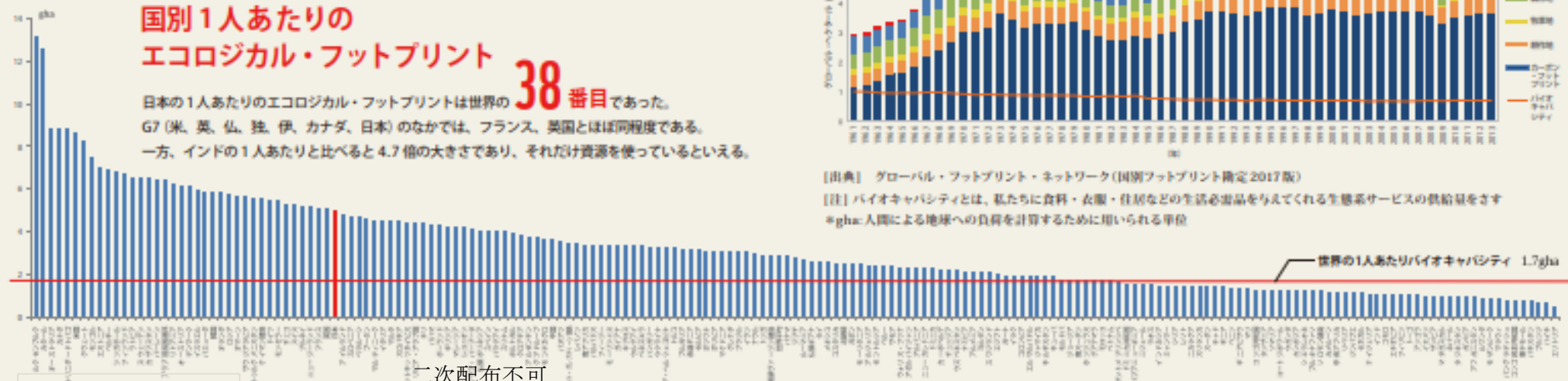
地球 **1.7**個分が必要



私たちの生活は、地球が生産・吸収できる能力を超えてしまっている。

国別1人あたりのエコロジカル・フットプリント

日本の1人あたりのエコロジカル・フットプリントは世界の**38**番目であった。G7 (米、英、仏、独、伊、カナダ、日本) のなかでは、フランス、英国とほぼ同程度である。一方、インドの1人あたりと比べると4.7倍の大きさであり、それだけ資源を使っているといえる。



二次配布不可

出典：WWFジャパンHP

二次配布不可

私たちの生活の何が影響しているか

私たちの日常生活が地球に影響を与えている。特に、「交通」「食」「住居・光熱費」によって生じる負荷の占める割合が大きい。



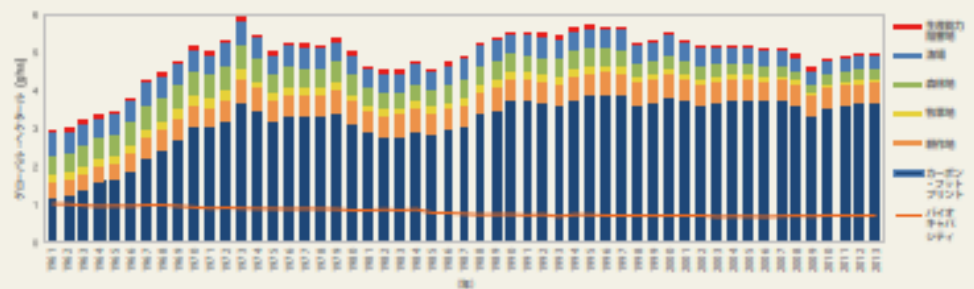
交通 食 住居・光熱費

日本の環境負荷の推移

1973年をピークとして一時的な低下はあるが、今エコロジカル・フットプリントの数値は高い水準にある。

とくに二酸化炭素排出による負荷が全体の**74**%を占める。

日本人1人あたりのエコロジカル・フットプリントとバイオキャパシティの推移



【出典】 グローバル・フットプリント・ネットワーク(国別フットプリント算定2017版)

【注】 バイオキャパシティとは、私たちに食料・衣服・住居などの生活必需品を与えてくれる生態系サービスの供給量をさす
* gha: 人間による地球への負荷を計算するために用いられる単位

世界平均
1.7gha
@2017データ

日本のエコロジカル・フットプリント その2

2017年資料

2.9個

世界中の人が日本人と同じ生活をしたときに必要な地球の個数。

5.0 gha/人

日本人の1人当たりエコロジカル・フットプリント (世界平均は2.9gha)

1.7個 = 7か月

地球が1年間に生産する資源を世界中の人が使い切る期間

7.1

日本の需要を国内だけで賄おうとしたら、必要な日本の数



私たちはWWFです
人と自然が調和して生きられる未来を創出して、地球環境の悪化をくい止めるさまざまな活動を実施しています。
www.wwf.or.jp



© Global Footprint Network. 無断複製を禁じます。

WWF ジャパン (公益財団法人 世界自然保護基金ジャパン)
〒105-0014 東京都港区芝3-1-14 日本生命春羽ビル6F
TEL: 03-3769-1711 FAX: 03-3769-1717

二次配布不可

出典：WWFジャパンHP

WWF 日本のエコロジカル・フットプリント

© 2019 WWF International. All rights reserved. WWF is a registered trademark of WWF International. WWF Japan is a registered trademark of WWF Japan. WWF OR.JP

2019年資料

日本のエコロジカル・フットプリント

7.8倍

7,665万gha

日本全体のバイオキャパシティ

60,146万gha

日本全体のエコロジカル・フットプリント

4.7 gha/人

日本人の1人当たりエコロジカル・フットプリント (世界平均は2.8gha)

2.8個

世界の人が日本人と同じ生活をしたときに必要な地球の個数



私たちはWWFです
人と自然が調和して生きられる未来を目指して、地球環境の悪化をくい止めるさまざまな活動を実施しています。
www.wwf.or.jp

発行年月：2019年5月
発行者：WWFジャパン(公益財団法人 世界自然保護基金ジャパン)
〒106-0073 東京都港区三田1-4-28 三田国際ビル3階 | Tel. 03-3769-1715 |

本刊行物の一部又は全部の複製は、署名を記載するとともに、上記発行者を著作権所有者として明記していただく必要があります。
Designed for WWF Japan by NDC Graphics 2019

WWF 環境と向き合うまちづくり

© WWF International. All rights reserved. WWF is a registered trademark of WWF International. WWF Japan is a registered trademark of WWF Japan. WWF OR.JP

WWF OR.JP

13 地球温暖化は本当か？

今から数十万年前は、地球は何度かの氷期を迎えました。現在は間氷期です。地球温度の長期的な変化は、太陽の周りを回る地球の軌道の変化に関する「ミランコビッチサイクル」で説明・予測が可能と考えられています。春分点での地磁気の軸の傾き(2万年周期)、地球の自転軸の才差運動(4万年周期)や、軌道の離心率(扁平率)の変動(10万年周期)により、地球が受ける太陽の日射量に変化して気温の変動が引き起こされます。この気温の変化は海底の堆積物や氷床コアでの酸素同位体の比率から確認されています。人類が現れた数百万年前は、今よりもかなり暖かかったと考えられています。

短期的には、太陽内部で起こされる磁場の変動や黒点の変化により日射量に変化します。11年ごとに太陽の黒点の極小期と極大期が交互に現れ、これが気温変化や二酸化炭素、メタンの濃度変化と相関があることが判明しています。

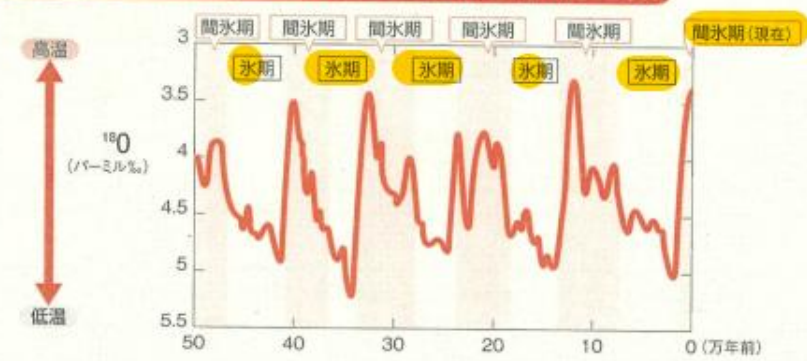
また、産業革命以来、人間が急激に排出している温室効果ガス(二酸化炭素(CO₂)やメタン(CH₄)など)による地球温暖化が問題となっています。温室効果の最も大きいガスは実は水蒸気です。地球の平均温度は15度ですが、仮に空気中に水蒸気などのガスがなかったならば、-18℃の凍りつく世界になってしまいます。現在、CO₂が地球温暖化の元凶と言われています。大気中のCO₂濃度は280ppmでしたが、産業革命期以降には徐々に増加し、現在は400ppm近くまでに急増しています。ここでのppmは100万分の1の意味で、乾燥空気の全分子数に対する分子数の割合で表されています。

人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の要因である可能性が極めて高い(95%)ことが、IPCCの第5次報告書(2012年)により、科学的に結論されています。温暖化に対する国際協調としてパリ協定(2015年12月)が採択されました。

要点BOX

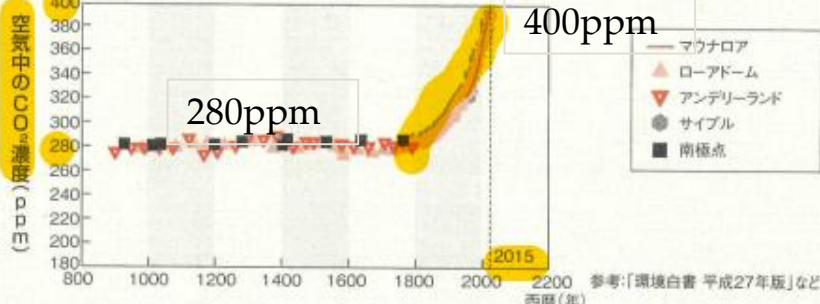
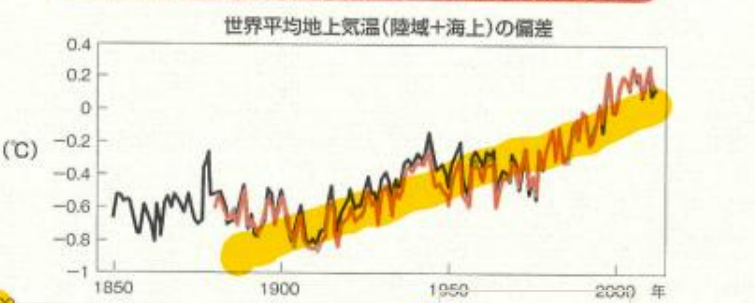
- 地球温度の長期変動はミランコビッチサイクル
- 短期の地球温度の変動は太陽活動に関連し、しかもエネルギー消費によるCO₂排出にも関連

長期的な地球温度の変化(海底堆積物での酸素同位体の千分率(パーミル))



海水が蒸発する際軽い原子番号16の酸素が多く蒸発するので海水よりも氷河の氷は酸素18は少ない。温度上昇時には氷が解けて海中の酸素18が低くなる。

世界の平均気温の変化と大気中の二酸化炭素濃度の変化



長期的変化：
地球の軌道変化
短期的変化：
磁場や黒点
↓
いずれにせよ日射量の変化による

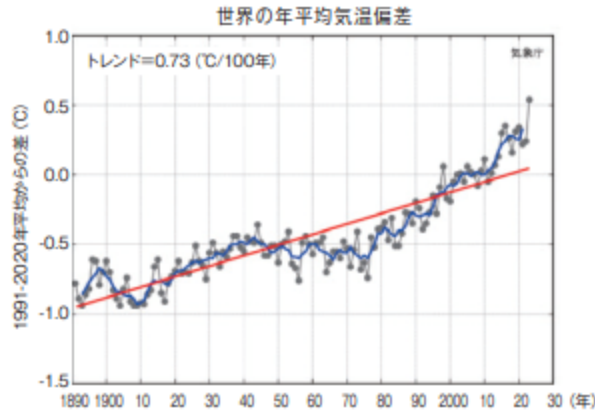
産業革命以来
温室効果ガス
による地球温暖化

- ・水蒸気
- ・CO₂
- ・メタン

太陽の日照量変化と温室効果ガス

平均気温の変化

世界の年平均気温の偏差(1891~2024年)



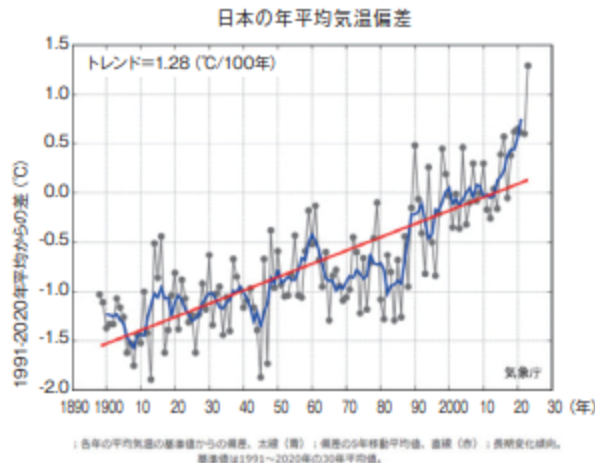
細線(黒) : 各年の平均気温の基準値(1991~2020年の平均差)からの偏差
(2024年は偏差+0.62°C)

太線(青) : 偏差の5年移動平均

直線(赤) : 長期的な変化傾向
(100年あたり0.77°Cの割合で上昇)

約0.77°C/100年の割合で上昇

日本の年平均気温の偏差(1898~2024年)



細線(黒) : 国内15観測地点[※]での平均気温の基準値(1991~2020年の30年平均値)からの偏差
(2024年は平均差+1.48°C)

太線(青) : 偏差の5年移動平均

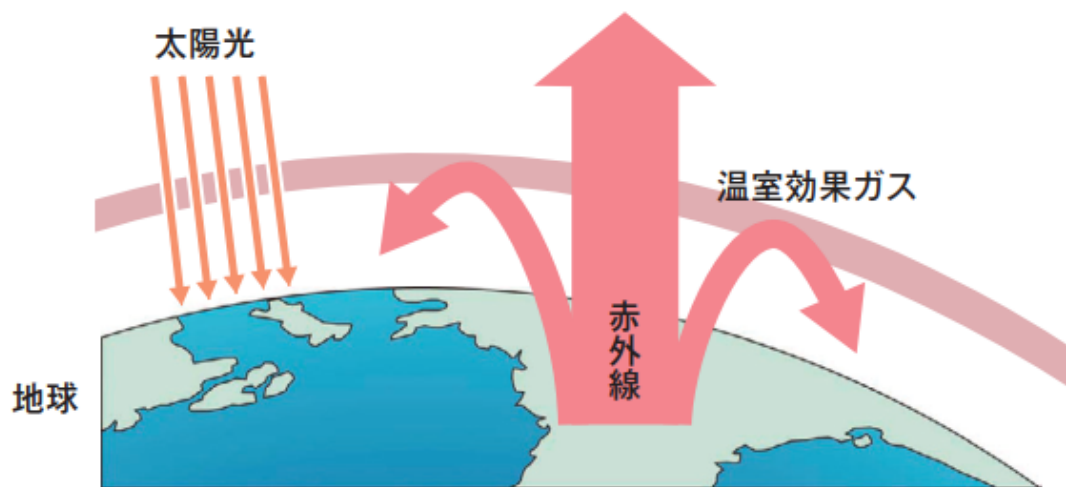
直線(赤) : 長期的な変化傾向
(100年あたり1.40°Cの割合で上昇)

約1.4°C/100年の割合で上昇

※15観測地点: 網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木(高岡市)、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島

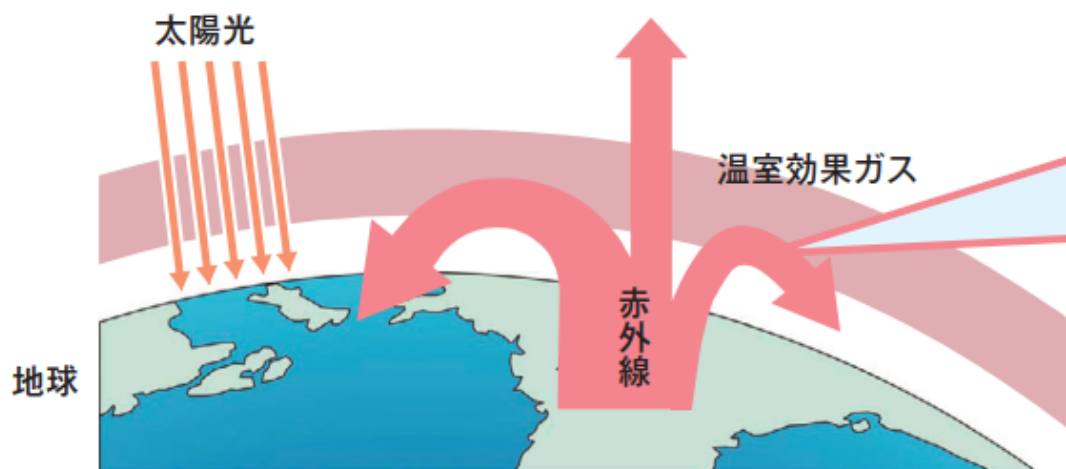
CO₂増加による気温上昇の予測と実績

予 測	世 界	向こう数十年の間に、CO ₂ 及びその他の温室効果ガス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°C及び2°Cを超える※ ¹
	日 本	<p>2100年頃に0.5~5.4°C上昇※²</p> <p>○RCP2.6シナリオ(低位安定化シナリオ:気温上昇を2°C以下に抑えることを想定):0.5~1.7°C上昇</p> <p>○RCP8.5シナリオ(高位参照シナリオ:政策的な緩和策を行わないことを想定):3.4~5.4°C上昇</p> <p>(RCPシナリオは政策的な緩和策を前提として、将来、温室効果ガスをどのような濃度に安定化させるかという考え方から算出するシナリオ)</p>
実 績	世 界	100年あたり約0.77°Cの割合で上昇※ ³
	日 本	100年あたり約1.40°Cの割合で上昇※ ⁴

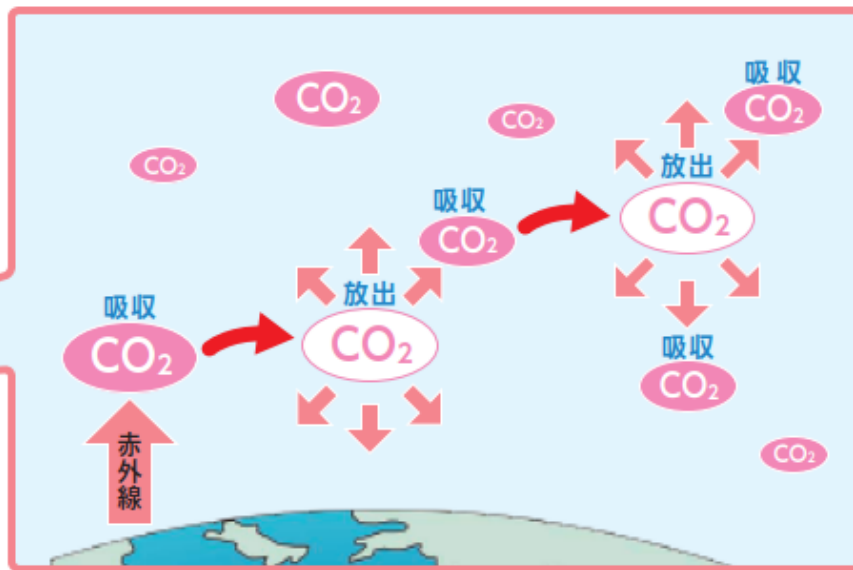


地球の大気にわずかに含まれる二酸化炭素などの温室効果ガスは、赤外線を吸収し、再び放出する性質があります。この性質により、太陽からの光で暖められた地球の表面から外に向かう赤外線は、温室効果ガスに吸収・放出される場合があります。地表に向かう一部の赤外線の熱作用により再び地球の表面を暖めます。大気中の温室効果ガスが増えると、この吸収・放出のプロセスが増え、結果として温室効果が強まり地球の表面の気温が高くなります。

温室効果ガスが増加すると

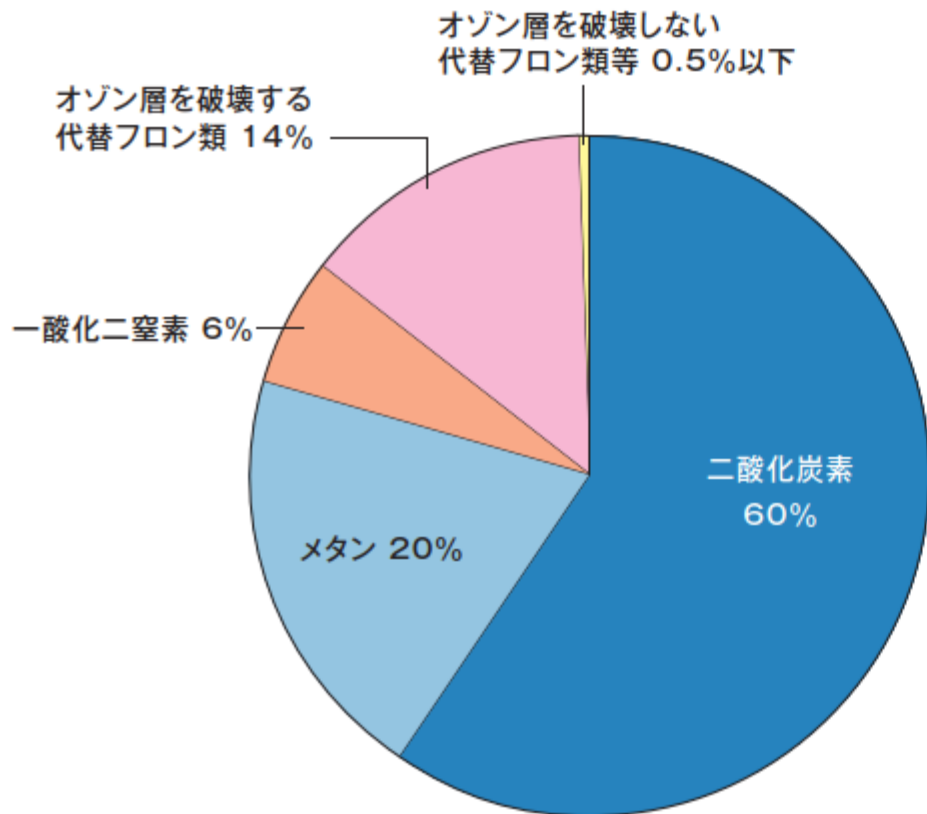


例：二酸化炭素 (CO₂) の赤外線吸収・放出の過程

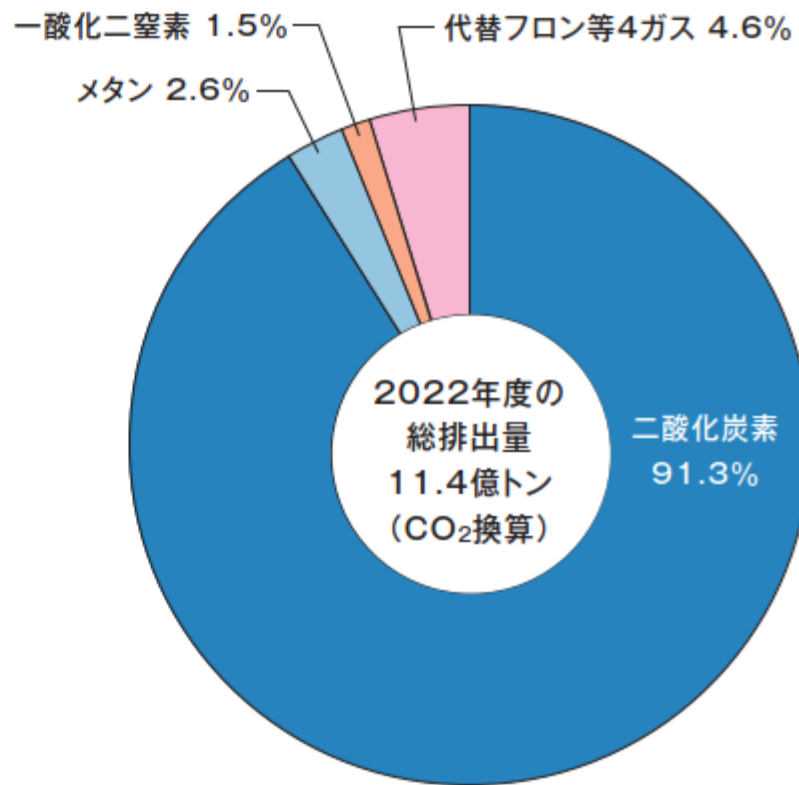


二酸化炭素 (CO₂) が増えることにより地表に向かう赤外線が増える。

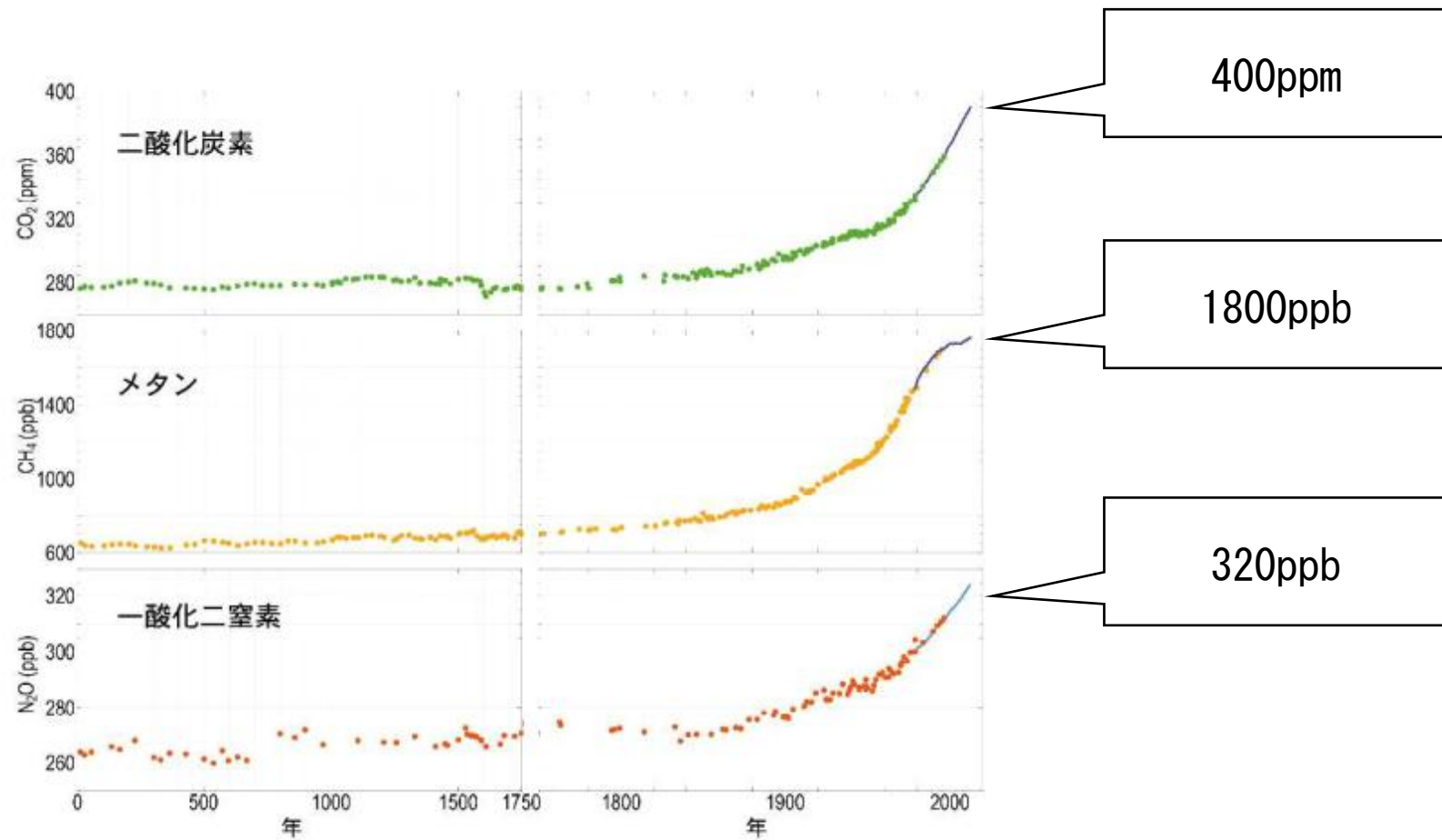
産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる
地球温暖化への寄与度(2008年度)



日本が排出する温室効果ガスの
地球温暖化への直接的寄与度(2022年度)



温室効果ガス濃度



西暦 0 年から 2011 年までの主な温室効果ガスの大気中の濃度の変化
(IPCC 第 5 次評価報告書より)

出典：気象庁HP（地球温暖化に関する知識）

表 3・1 温室効果ガスと地球温暖化係数 (GWP)

化学式	大気濃度 (2005年 / ppb)	大気寿命 (年)	GWP (100年)
CO ₂	379,000	—	1
CH ₄	1,774	12	25
N ₂ O	319	114	298
CCl ₃ F	0.251	45	4,750
CCl ₂ F ₂	0.538	100	10,900
CHCl ₂ F	0.169	12	1,810
SF ₆	0.006	3,200	22,800

フロン

(出典：地球環境センターニュース、Vol.18、No.10 (2008年))

GWP: 同じ重さでCO₂と比較した温暖化の効き方 (100年間平均)

出典：よくわかる環境科学、鈴木孝弘、オーム社

水蒸気による影響

水蒸気は大気中の第一の温室効果ガスであるが、水蒸気は凝結し、降水となる為、**長期的な温室効果に大きく寄与することはない。**

また、人為起源の水蒸気量は自然なそれよりもかなり少なく全体の濃度に影響しない程度である。

よくある質問と回答

FAQ 8.1 | 水蒸気は気候変動にどのように重要なのか？

自然の温室効果の最大の寄与因子である水蒸気は、地球の気候に不可欠な役割を担っている。しかし、大気中の水蒸気量をコントロールするのは主に気温であり、排出量ではない。このため、科学者は水蒸気を気候変動に対する強制力というより、むしろフィードバック因子とみなしている。かんがいや発電所の冷却を通じた人為起源の水蒸気の排出は、地球の気候には無視できるほどの影響しか与えない。

水蒸気は地球の大気中の第一の温室効果ガスである。自然の温室効果への水蒸気の寄与を二酸化炭素(CO₂)のそれと比較すると、計算方法によって異なるがおよそ2倍から3倍に相当すると考えることができる。人為的な活動から大気中へ排出される水蒸気は、かんがいをういた作物からの蒸発の増加によるものがほとんどだが、発電所の冷却によるものや、わずかながら化石燃料の燃焼によるものもある。であれば、なぜ気候変動への強制力としてこれほど二酸化炭素に注目し、水蒸気には目を向けないか疑問に思うかも知れない。

水蒸気は、ある根本的な部分で二酸化炭素とは異なる挙動をとる。水蒸気は凝結し、降水となることができるのだ。高湿度の空気が冷えると、水蒸気の一部が凝結し、水滴や氷晶になって降下する。水蒸気の大気中での典型的な滞留時間は10日である。人為起源の放出源から大気中に入る水蒸気のフラックスは、「自然な」蒸発によるフラックスよりもかなり少ない。したがって、全体の濃度に与える影響は微々たるもので、長期的な温室効果に大きく寄与することはない。対流圏(一般的に高度10 km以下)の水蒸気が放射強制力に寄与する人為起源のガスとみなされないのは、主にこうした理由からである。

人為起源の排出は、成層圏(大気圏の一部で高度約10 km以上)の水蒸気には大きな影響を与える。人間活動によって濃度が増加したメタン(CH₄)は、酸化することで新たな水蒸気の源となる。このことは、成層圏において観測される変化を一部説明する。この成層圏における水の変化は放射に影響を与えるため、1つの強制力とみなされ、評価することができる。成層圏の水の濃度は、過去数十年に大きく変動している。この変動の全体像についてはよく理解されておらず、おそらく強制力というよりも自然変動に追加されるフィードバック過程の色合いのほうが強いだろう。成層圏水蒸気の温暖化への寄与は、強制力及びフィードバックともにメタンや二酸化炭素よりもはるかに小さい。

出典：気象庁HP（IPCC第5次評価報告書関連）

メタン (CH₄) による影響

“地球のために牛を食べない”



世界では「地球温暖化防止のために牛肉や乳製品を食べることを控える」という運動が広がっています。

ことし4月、アメリカの人気レシピサイト「Epicurious」は牛肉のレシピの新規掲載を取りやめると発表しました。その理由として、「世界で最悪の気候犯罪者の1人に出番を与えないため」と表現し、議論を呼んでいます。

「牛が環境に悪い」と言われる1つの原因が、牛の胃で発生し、ゲップとして出されるメタンです。「メタン」は二酸化炭素と比べて25倍の温室効果があると言われています。

世界中の牛などの胃腸から排出されるメタンの量は、年間20億トン（二酸化炭素換算）。温室効果ガスの実に4%を占め、一つの国の排出量に匹敵しているのです。

出典：NHKHP

Mozilla Firefox

ゲップ由来のCO₂
：20億t/年・世界
(CO₂：336億t/年・世界@2019)

どう考える？

牛のゲップ由来の温暖化効果ガス量の推定

1. 排出係数

家畜の飼養（消化管内発酵）	乳用牛	0.1	t-CH ₄ /頭
	肉用牛	0.063	t-CH ₄ /頭
	水牛	0.055	t-CH ₄ /頭

2. 世界の牛の頭数（概算）

乳牛	2.7億頭
その他	12億頭

3. 地球温暖化係数

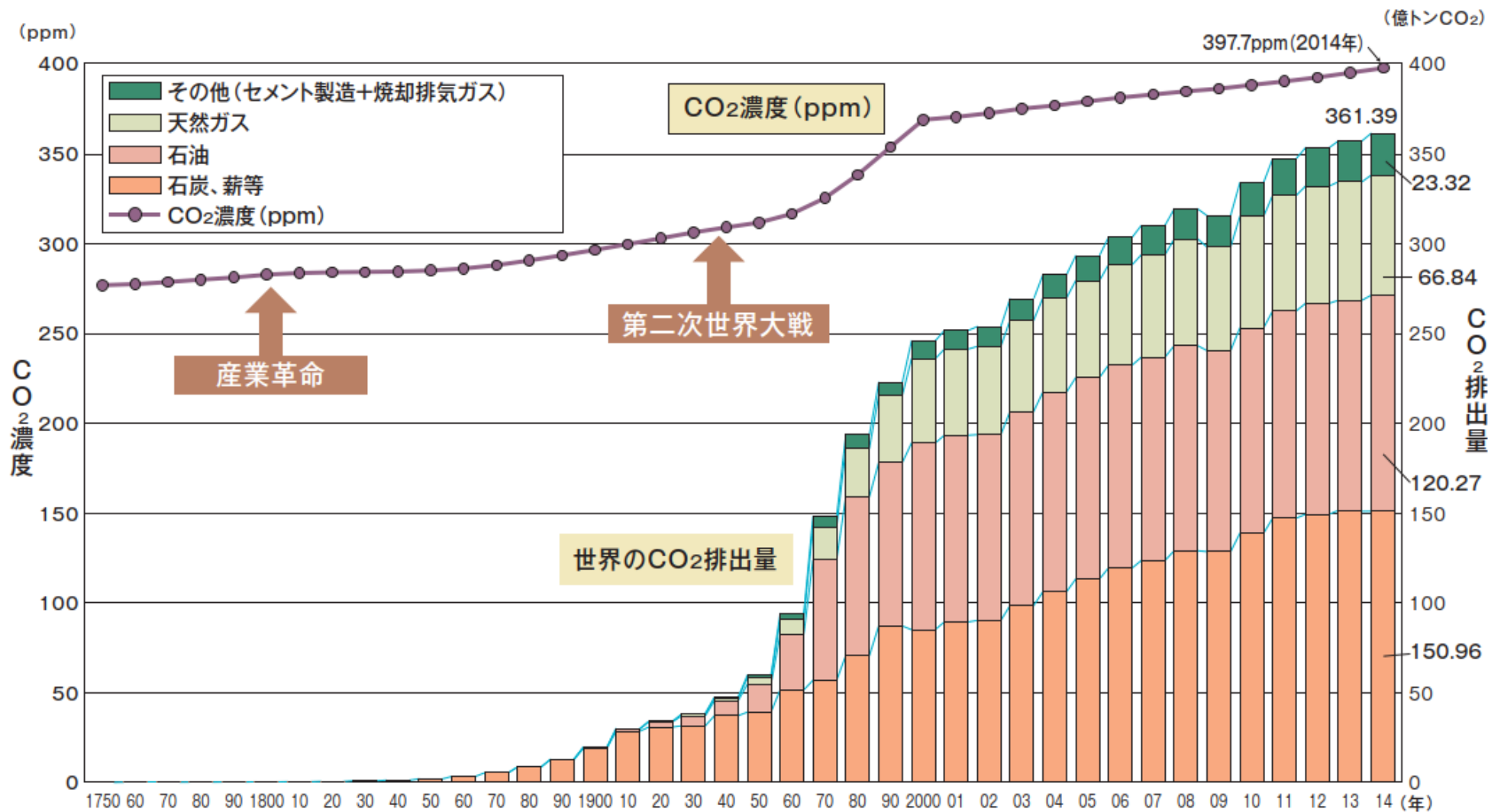
二酸化炭素	1
メタン	28

4. 上記より牛のゲップから排出される1年間当たりのCO₂相当量を推定すると以下となる。

$$W(\text{CO}_2) = (2.7\text{億頭} \times 0.1 \text{ t-CH}_4/\text{頭} + 12\text{億頭} \times 0.055 \text{ t-CH}_4/\text{頭}) \times 28 = 26.1\text{億トン/年} \cdot \text{全世界}$$

注：乳牛以外は水牛の値を使用した。

5. 日本のCO₂排出量「11.7億トン/年@2021」の倍以上！ 今後無視できないのでは？

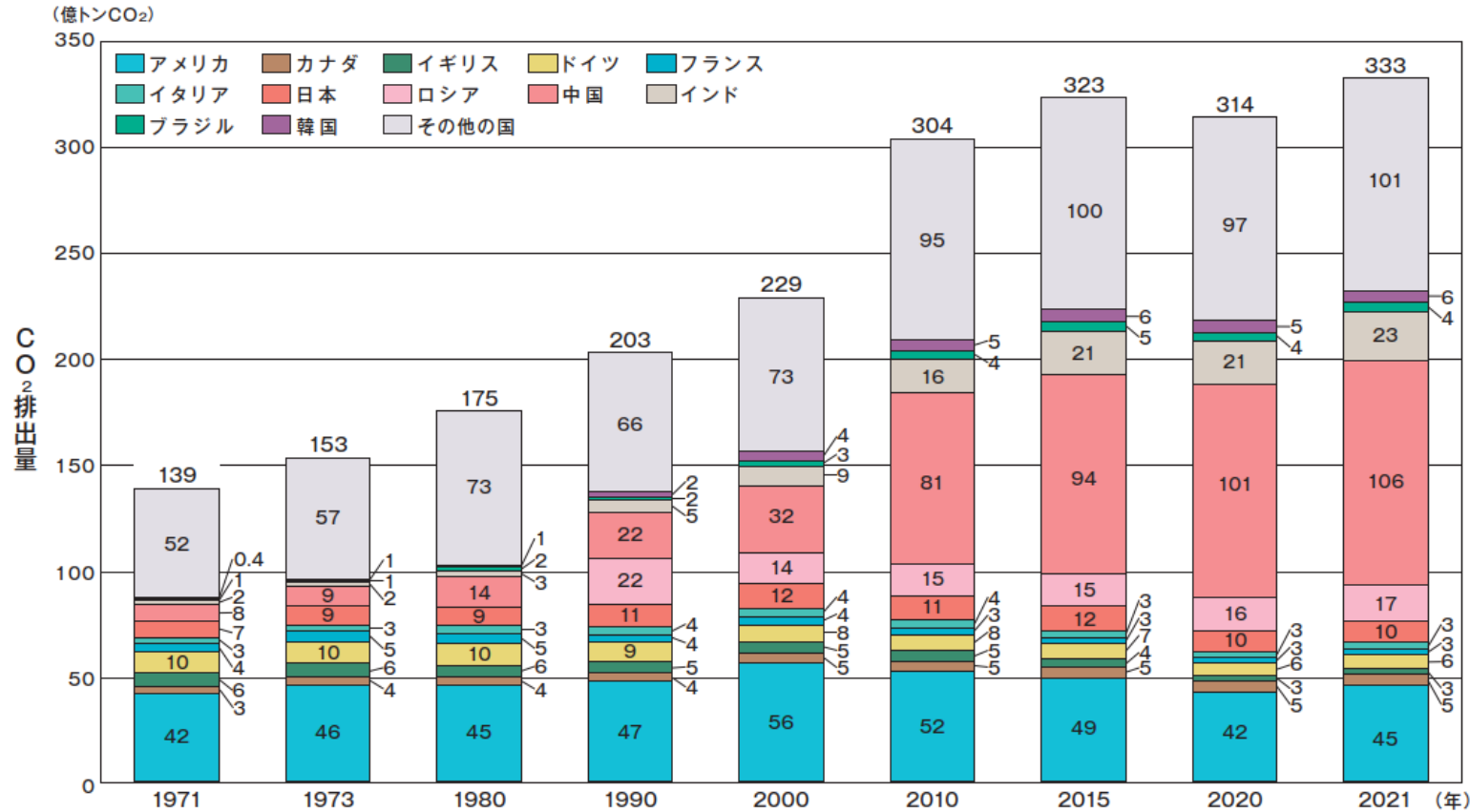


(注)四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

2-1-3

出典：CDIAC [Global Fossil-Fuel Carbon Emissions] 他より作成

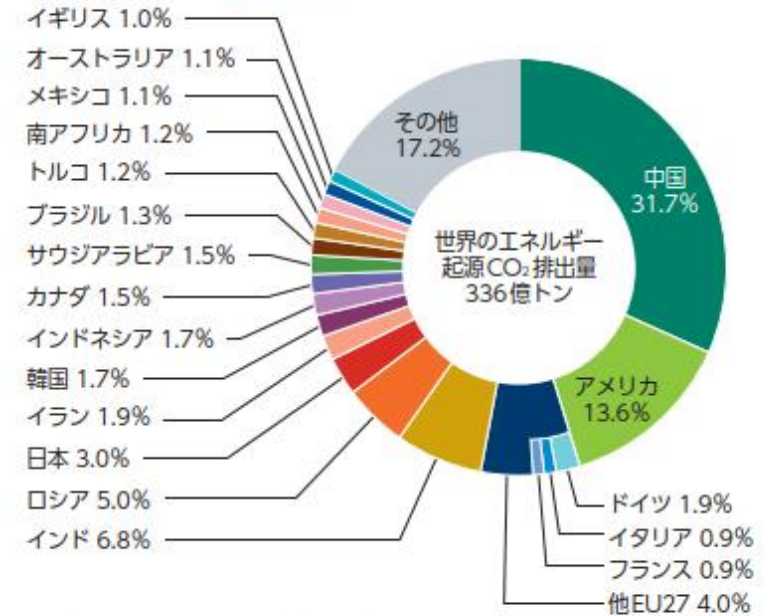
世界のCO₂排出量の推移



(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

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

図 1-1-7 世界のエネルギー起源CO₂の国別排出量 (2021年)



資料：国際エネルギー機関 (IEA) 「Greenhouse Gas Emissions from Energy Highlights」 2023 EDITION を基に環境省作成

出典：令和6年版 環境白書第2部1章、環境省

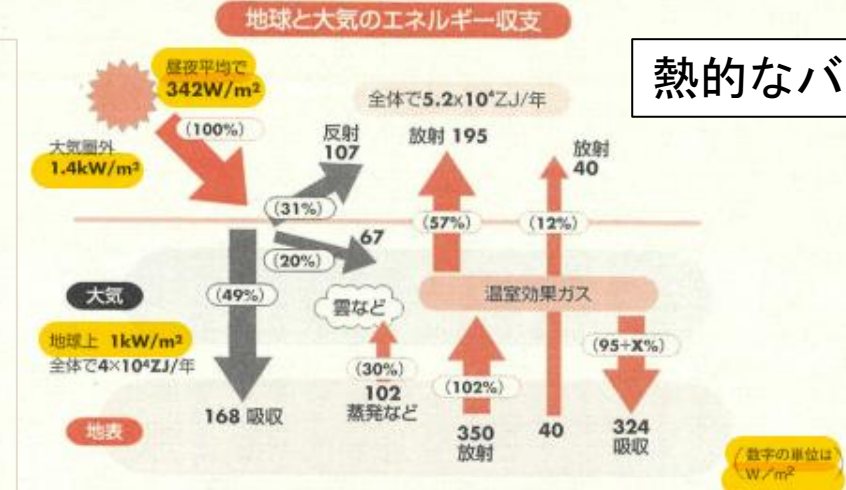
第3章 地球のエネルギー収支は？

太陽の核融合
 $E=mc^2$
 $m=500$ トン/秒

地球の大気圏外
 $1.4KW/m^2$
 地表で
 $1KW/m^2$

黒矢印：
 産業革命前
 赤矢印：
 2000から2009年
 の平均値

二次配布不可



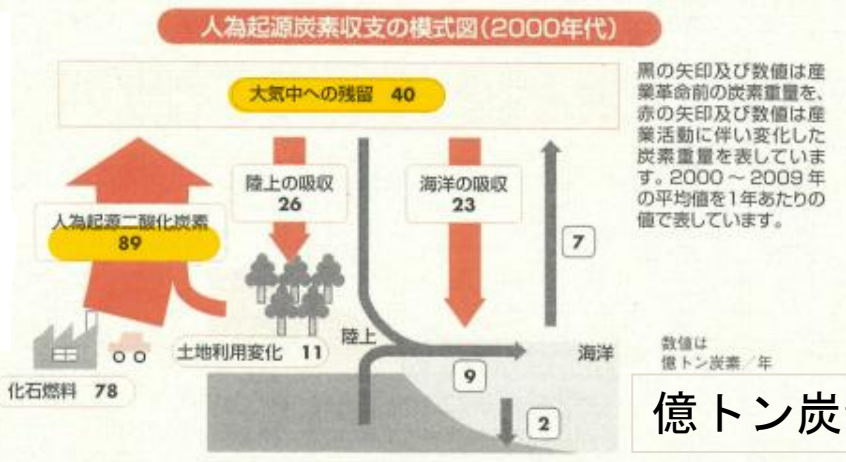
熱的なバランス

地球型惑星の大気組成と温室効果

惑星	表面気圧 (気圧)	主な温室効果気体	温室効果気体がない場合の地表気温	観測される地表気温	温室効果
金星	90	>90% CO ₂	-46°C	477°C	523°C
地球	1	~0.04% CO ₂ ~1% H ₂ O	-18°C	15°C	33°C
火星	0.007	>80% CO ₂	-57°C	-47°C	10°C

金星は気圧が地球の90倍で二酸化炭素も90%以上含まれているので500度近くの温室効果がありますが、火星は気圧が極端に低く地球に比べて温室効果がありません。火星改造計画(テラフォーミング)では、二酸化炭素ガスによる温暖化計画も検討されています。

(出典: IPCC(1990); 気象庁訳)



億トン炭素/年

参考: IPCC (2013)、気象庁ホームページ
 出典: とことんやさしいエネルギーの本 (第二版)、山崎耕造、日刊工業新聞社

14

地球のエネルギー収支は？

太陽エネルギーと二酸化炭素ガス

地球の温度は太陽からのエネルギーで保たれています。質量 2×10^{27} トン(地球の30万倍)を持つ太陽が毎秒6億トンの水を核融合反応で燃やし、50億年の間、毎秒500万トンもの身(質量)を削ってエネルギーを放射しています。地球の大気圏外では1平方メートル当たり1・4キロワットであり、地球上には1平方メートル当たり1キロワットが届きます。これは年間4万ゼータジュール(4×10^{26} J)に相当し、世界のエネルギー消費量の数千倍以上に相当します。

この太陽からのエネルギーの約半分が地表で吸収され、残りが雲などに吸収や反射されます。地表の熱は熱放射や水蒸気の蒸発などで発散されますが、大気中の雲や温室効果ガスで反射されて地上に戻ってきます。太陽から得られた熱は最終的には宇宙空間に放出されて熱的な平衡状態が保たれています。

地球の大気の成分は体積比にして窒素が78%、酸素21%、その他が1%(アルゴンが0・93%、二酸化

炭素が約0・04%、など)です。地球に温室効果ガスがなければ-18°Cですが、幸い大気が大気圏に蓄積させることで、平均15°Cを保つことができています。地球型惑星(表面が固体)である金星や火星でも同じように温室効果により地表の気温が定まっています。

さて、近年の化石燃料の大量消費により温室効果ガスとしての二酸化炭素ガスが急激に増えることにより、温室効果が強まって地球温暖化が起きていると考えられています。産業革命以降の人工的な温室効果は二酸化炭素による寄与が5分の3以上であり、二酸化炭素の生物圏での循環が重要です。大気中には現在7500億トンの炭素が含まれていますが、その約2倍が地中に、約50倍が海中にあり、循環されています。化石燃料消費により、年間90億トンほどの炭素が放出され、大気中には年間40億トンずつ増加しています。地球温暖化の要因のひとつと考えられています。

要点BOX

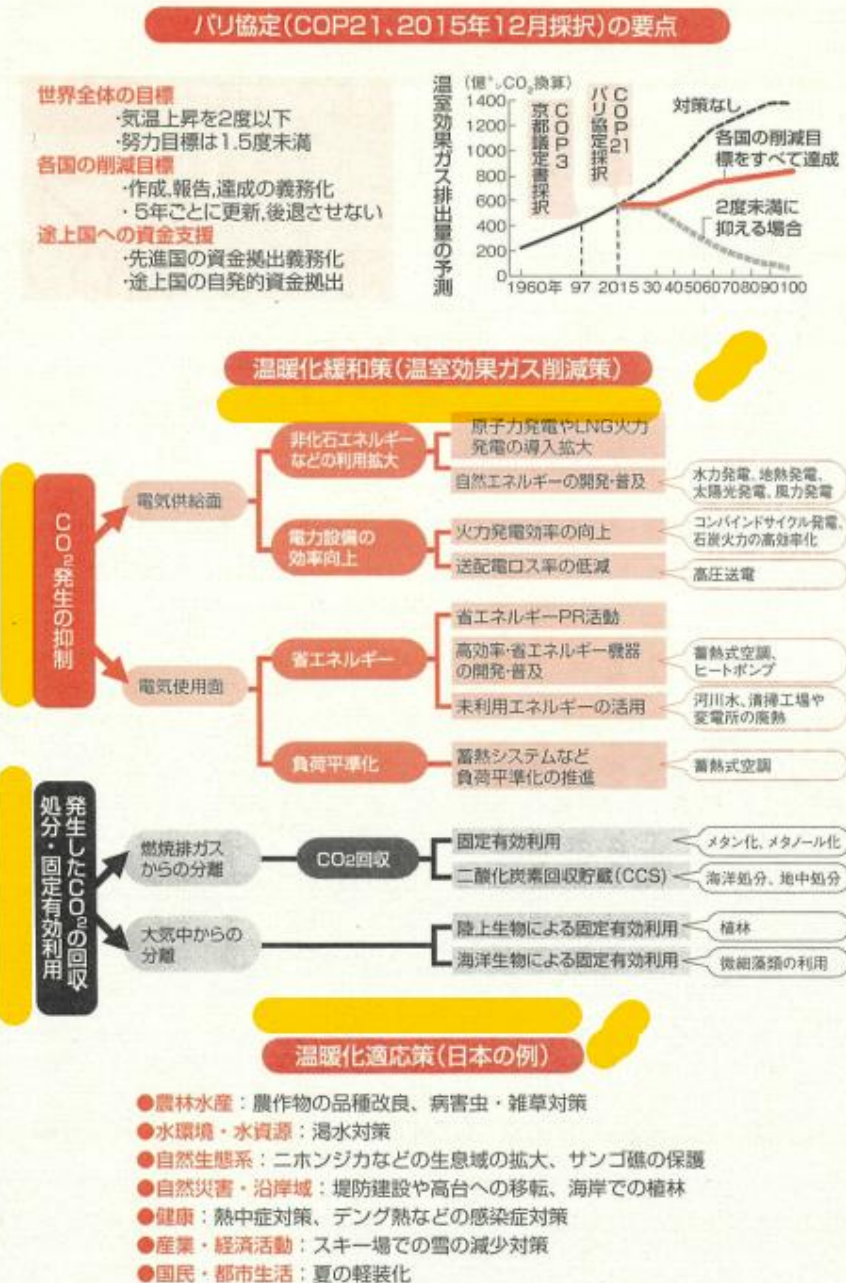
- 太陽は毎秒500万トンの質量を核融合反応によりエネルギーに変換
- 地球に温室効果ガスがなければ-18°Cの世界

京都議定書 (1997年)

先進国は削減義務 (アメリカ不参加)
途上国は義務無 (中国、インド等)

パリ協定へ (2015年) 自主的削減目標

排出量削減策
発生抑制
発生したCO₂の回収等



15 地球温暖化対策は？

COP21でのパリ協定

地球温暖化によりいろいろな影響が予想されています。氷河が融けたり海水温度が上昇したりすることにより海水面が上昇してさまざまな影響を及ぼします。地球規模の洪水パターンの変化やそれによる乾燥化、湿潤化などの気候変動、生態系の変化や穀倉地帯の早魃(かんばつ)なども予想されます。

「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第5次報告書(2013年)によれば、世界平均した気温データは1880~2012年の間に0.85℃の上昇が観測されています。今世紀末には1886~2005年と比較して0.3~4.8℃上昇すると予測されています。世界の平均海面水位は21世紀中に上昇し、今世紀末には1886~2005年と比較して、0.26~0.82メートル上昇するとの予測が発表されています。

急激な温室効果ガスの排出を抑制するために、1992年の地球サミット(国連環境開発会議)で「気候

変動枠組条約」が採択され、第3回締約国会議(COP3(1997年、京都)で京都議定書が採択されました。それから18年、2015年末にCOP21でパリ協定が採択され、地球の温度上昇を2℃以下に抑制する努力が国際的に確認されてきています(コラム参照)。

温室効果ガスの排出量削減のためには、いろいろな対策が必要です。非化石エネルギーや発電効率の向上による発電時の二酸化炭素ガスの発生抑制や省エネルギーなどによる発生抑制も必要です。発生した二酸化炭素の化学吸収法や物理吸着法による二酸化炭素ガスの回収、海洋や地中への貯蔵(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)、生物を利用しての二酸化炭素ガスの固定技術も不可欠です。石油や石炭などの使用量に応じて課税される炭素税などの環境税の導入も効果的であり、日本でも例えば2012年10月からガソリン税の中に「地球温暖化対策税」として組み込まれています。

- 要点BOX**
- パリ協定(COP21)では気温上昇は2度以下が目標、努力目標は1.5度未満
 - 温暖化緩和策と適応策が重要

出典: とことんやさしいエネルギーの本(第二版)、山崎耕造、日刊工業新聞社

パリ協定

2 パリ協定が重要なのは

温暖化防止のこれまでの取り組みは？

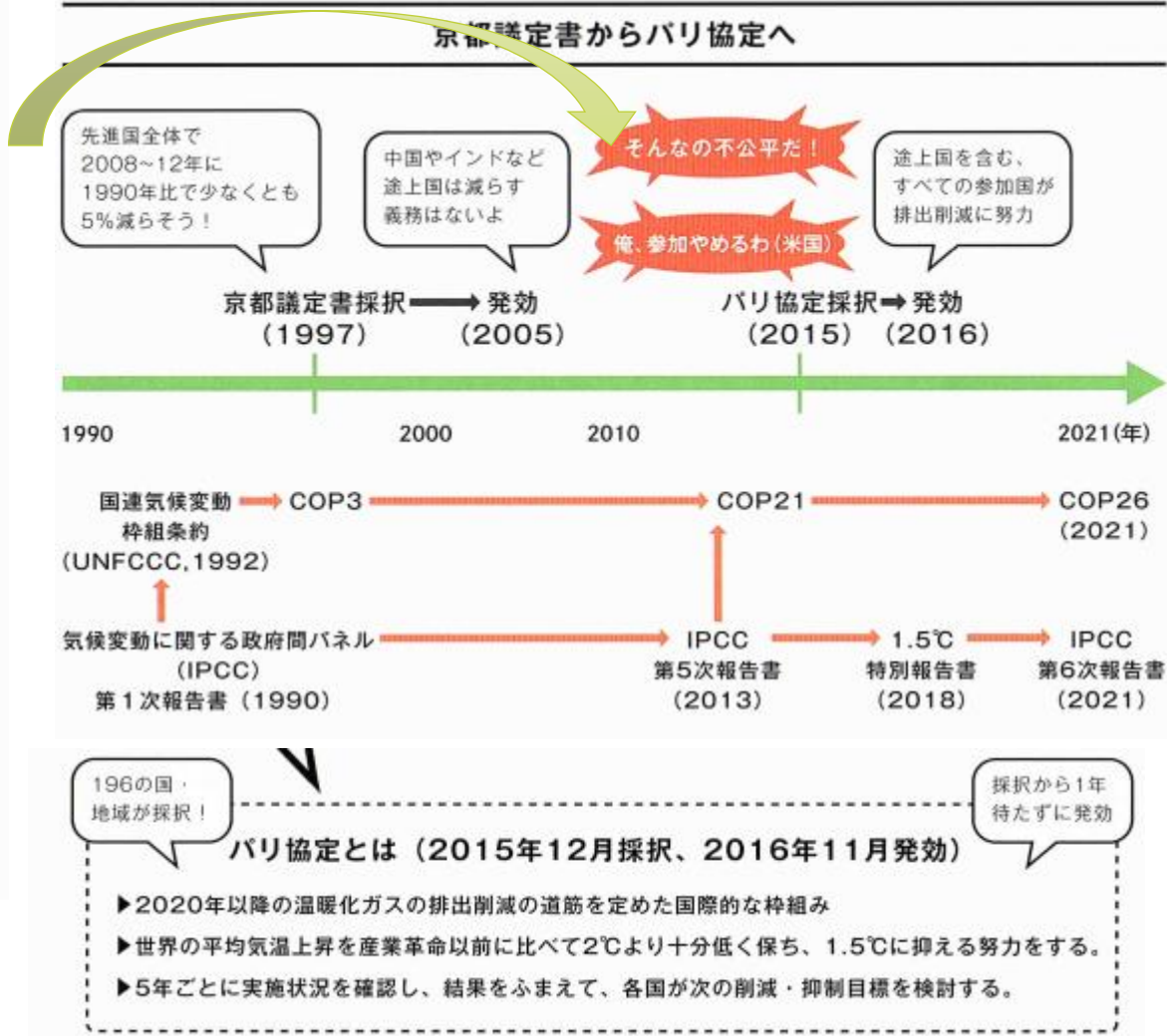
国連は1992年に「気候変動に関する国際連合枠組条約」を採択し、世界全体で地球温暖化に取り組むことを確認しました。この条約に基づいて、1995年から毎年、気候変動枠組条約締約国会議（略称でCOPと呼びます）を開いています。1997年に京都で開催したCOP3では、先進国全体で温暖化ガスの排出量を、1990年に比べて少なくとも5%減らすことを目標とする「京都議定書」を採択しました。2008～12年の時点で日本は6%、米国は7%、欧州連合（EU）は7%減らすとした削減目標を個別に定めるなど、排出抑制に世界全体で取り組む一歩を踏み出しました。

パリ協定とは何ですか？

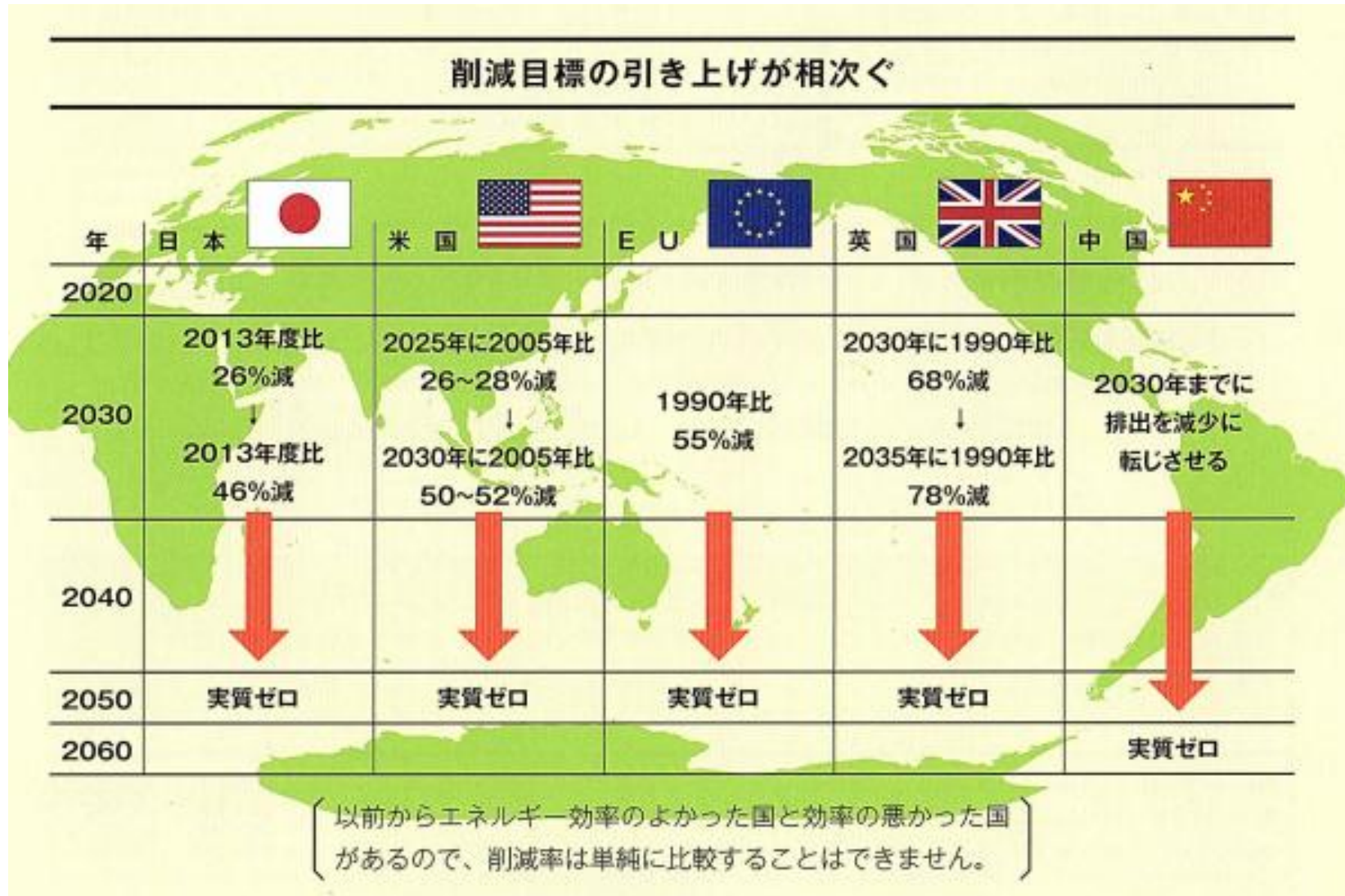
京都議定書は2005年に192カ国・地域が参加

して発効しました。しかし、当時、最大の排出国だった米国が参加を取りやめたことや、途上国には排出削減の義務を課さなかったために、削減を約束した国の排出量を合わせても全体の25%（2010年）にとどまり、これでは温暖化は止められないと考えられるようになりました。そこで2015年にフランス・パリで開催されたCOP21で、2020年以降の気候変動対策の新しい枠組みとして「パリ協定」が採択されました。京都議定書を引き継ぐもので、世界の平均気温上昇を産業革命（1880年頃）以前と比べて2度より十分低く保ち、1.5度に抑える努力をする。そのためにできるだけ早く世界の温暖化ガスの排出量を減少に転じさせ、21世紀後半には人間が排出する量と森林などが吸収する量のバランスがとれる、すなわち実質的に排出をゼロにすると決めました。

出典：みんなで考える脱炭素社会、松尾博文、日本経済新聞出版



各国の温室効果ガス削減目標



出典：みんなで考える脱炭素社会、松尾博文、日本経済新聞出版

パリ協定とCOP26の温度目標

1.5度は努力目標から共通目標になった

パリ協定(2015年12月採択)

気温上昇を2度より十分に低くし、できれば1.5度に抑える

グラスゴー気候合意(2021年11月採択)

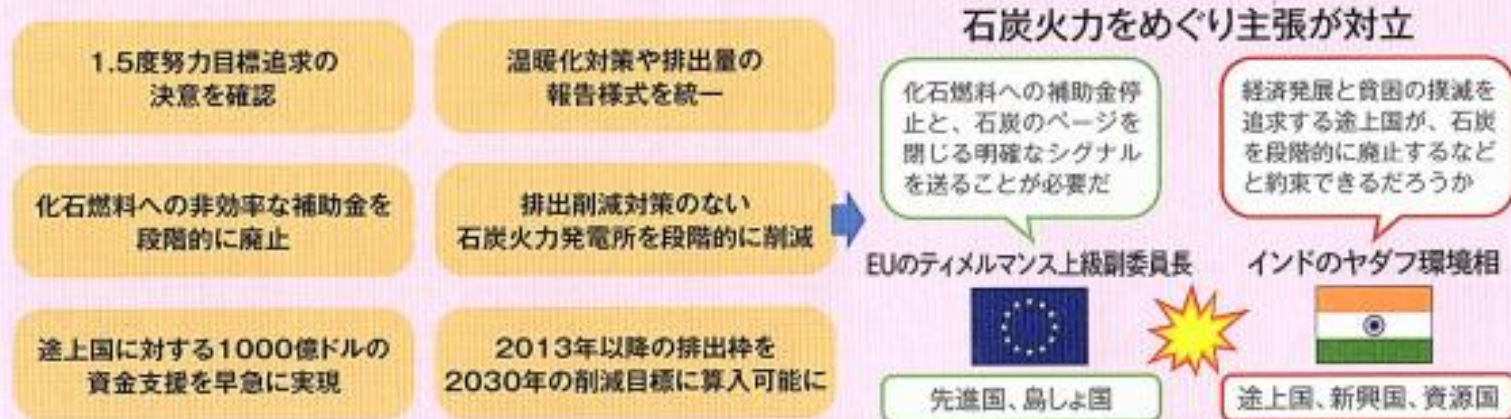
2度をはるかに下回る水準にし、1.5度に抑える努力を追求する



COP26には各国の首脳約130人が参加した。写真中央はシャーマ議長。

Photo by Getty Images

COP26で決まった主な内容



- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、「成長の機会」と捉える時代に入っている。
- 実際に、研究開発方針や経営方針の転換など、「ゲームチェンジ」が始まっている。この流れを加速すべく、グリーン成長戦略を推進する。
- 「イノベーション」を実現し、革新的技術を「社会実装」する。これを通じ、2050年カーボンニュートラルだけでなく、CO₂排出削減にとどまらない「国民生活のメリット」も実現する。

2050年に向けて成長が期待される、14の重点分野を選定。

・高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。・2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。



政策を総動員し、イノベーションに向けた、企業の前向きな挑戦を全力で後押し。

1 予算

- ・グリーンイノベーション基金（2兆円の基金）
- ・経営者のコミットを求める仕掛け
- ・特に重要なプロジェクトに対する重点的投資

2 税制

- ・カーボンニュートラル投資促進税制（最大10%の税額控除・50%の特別償却）

3 金融

- ・多排出産業向け分野別ロードマップ
- ・TCFD等に基づく開示の質と量の充実
- ・グリーン国際金融センターの実現

4 規制改革・標準化

- ・新技術に対応する規制改革
- ・市場形成を見据えた標準化
- ・成長に資するカーボンプライシング

5 国際連携

- ・日米・日EU間の技術協力
- ・アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ
- ・東京ビヨンド・ゼロ・ウィーク

6 大学における取組の推進等

- ・大学等における人材育成
- ・カーボンニュートラルに関する分析手法や統計

7 2025年日本国際博覧会

- ・革新的イノベーション技術の実証の場（未来社会の実験場）

8 若手ワーキンググループ

- ・2050年時点での現役世代からの提言

第5章 オゾンホールが広がる！

地球は太陽からの有害な紫外線がオゾン層で遮断されてきた。

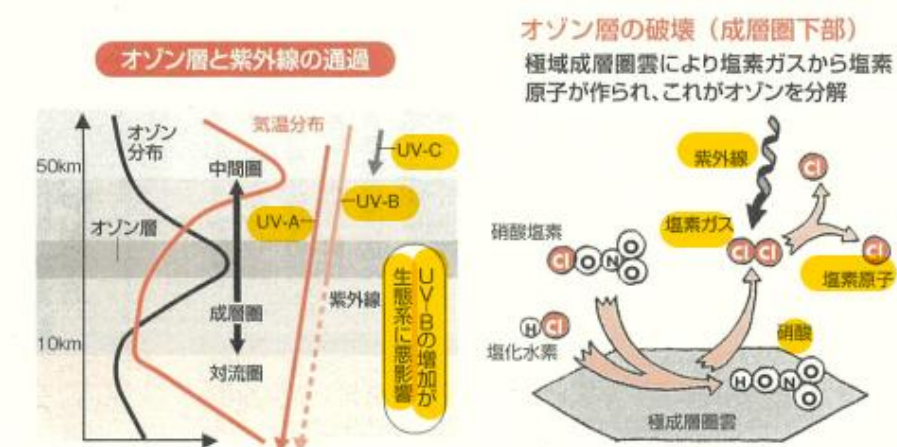
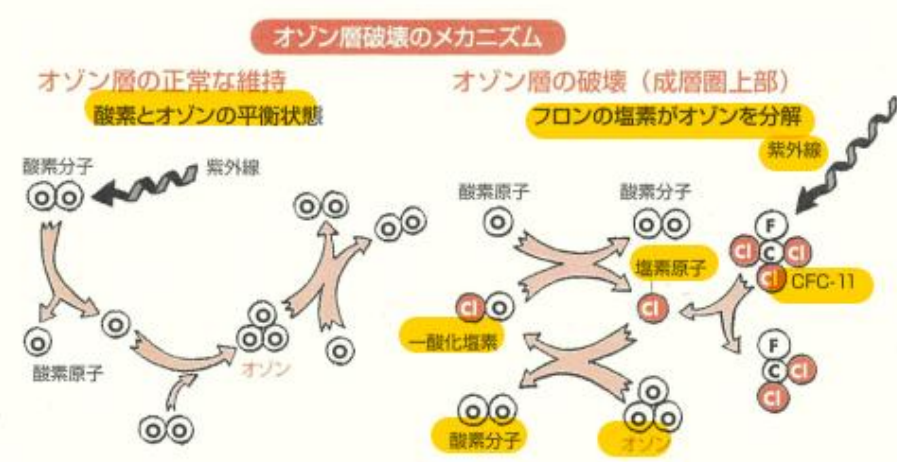
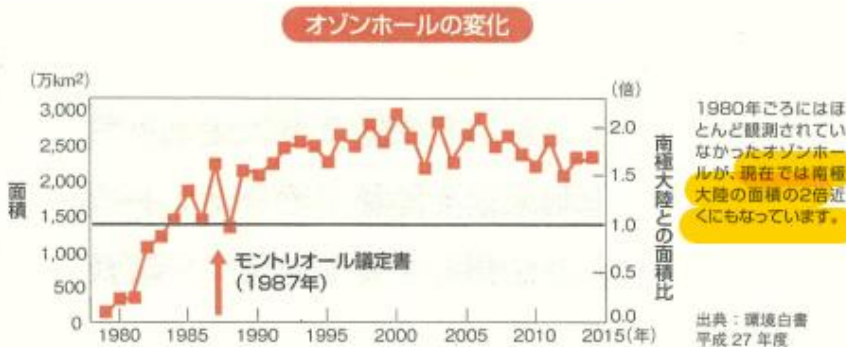
↓
オゾン層の破壊が発生

フロンの塩素がオゾン
を分解

UV-Bの増加
が生態系に
悪影響

↓
皮膚がん
白内障

二次配布不可



出典：とことんやさしいエネルギーの本（第二版）、山崎耕造、日刊工業新聞社

16

オゾンホールが 広がる！

地球では、太陽から受ける荷電粒子の影響を地磁気により和らげることができ、太古の昔、水生植物が繁殖でき、光合成により酸素が生成されました。およそ5億年前には、オゾン層が形成され、太陽からの有害な紫外線が遮断されて地上での生態系が保たれてきました。そのオゾン層の破壊が今問題になっています。オゾン層は酸素原子3個からなる化学作用の強い気体です。地上から10 kmから50 kmの成層圏に多く存在しており、オゾンの特に多い20 kmから40 kmの層をオゾン層と呼んでいます。この成層圏のオゾン（良いオゾン）は、太陽からの有害な紫外線を吸収し、地上の生態系を保護し、同時に成層圏の大気を暖める役割もあります。一方、対流圏のオゾン（悪いオゾン）は地球温暖化を促進しています。

紫外線(UV)は波長によりA、B、Cに区別されています。波長の長いUV-Aは大気による吸収を受けずに地表に到達します。一方、波長の短いUV-Cは

成層圏より上の中間圏(地上50~100キロメートル)で反射されて地上には到達しません。UV-Bは成層圏のオゾンに大部分が吸収され、残りが地表に到達します。このUV-Bの変化が生態系に大きな影響を及ぼします。皮膚がんや白内障など人の健康への影響や地球規模の気候への影響が心配されています。

1970年代には、クロロフルオロカーボン(CFC)類(通常はフロンと呼ばれる)などから生じた塩素・臭素によるオゾン層破壊が、世界各地で観測されています。正常なオゾン層では、紫外線により酸素分子が酸素原子に分解されて原子と分子でオゾンが生成されます。また、オゾンと酸素原子で酸素分子に戻り平衡状態が保たれています。一方、CFCは安定な物質であり対流圏を通り過ぎて成層圏の上部に達し、紫外線により分解されて塩素原子が生成されます。これがオゾン層を分解してしまいます。オゾン層破壊は、特に南極域の春季に発生するオゾンホールに顕著に現れています。

- 要点BOX
- 成層圏のオゾン(善玉オゾン)と対流圏のオゾン(悪玉オゾン)
 - フロンから生じた塩素・臭素によるオゾン層破壊

紫外線によるフロンの分解

オゾン破壊の仕組みとオゾンホール生成モデル

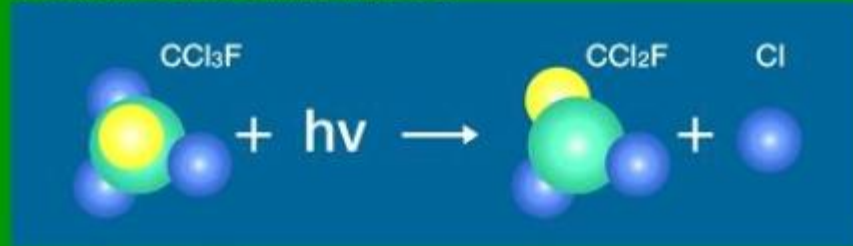
CCl₃F
(CFC-11)
トリクロロフル
オロカーボン

hν
光のエネルギー

オゾンホール
は南極の春季
である9月～
10月にだけ見
られる

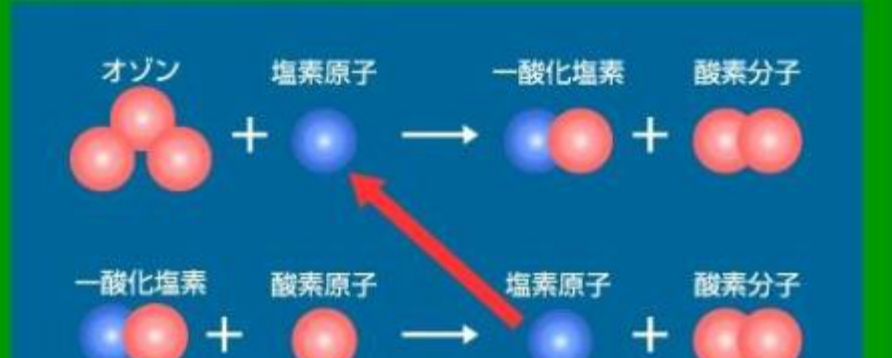
オゾンの破壊のしくみ

フロンは成層圏で壊れ、塩素原子が放出される。



(hν=光のエネルギー)

塩素原子はオゾンを連鎖反発的に壊し続ける。
(気相反応：高度40kmで効率が最大)



塩素原子から不活性物質への変化



*Mは生成したオゾンから過剰なエネルギーを取り去って安定化させるもので、成層圏では窒素分子と酸素分子がこれにあたる。

地球環境研究センター(CGER)提供

オゾンホールの生成モデル

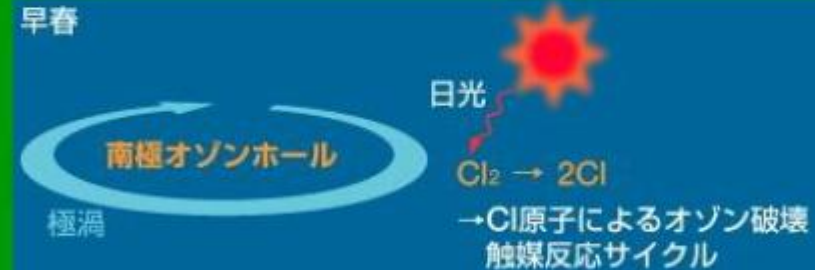
晩冬

極域成層圏雲：PSC (-78°C以下)



冬になると極域成層圏雲が
でき塩素が捕捉される。

早春



春になると雲が解けて解き放た
れた塩素がオゾン分解する。

地球環境研究センター(CGER)提供

主なフロンの種類

主なフロンの種類と用途

種類	製品	主な用途	備考
クロロフルオロカーボン	CFC-11	ビルの空調機器等大型の冷媒、断熱材等の発泡剤	オゾン層破壊物質。1995年末で生産全廃。
	CFC-12	カーエアコン、自動販売機、家庭用冷蔵庫の冷媒	
	CFC-113	電子機器や精密機器の洗浄剤	
ハイドロクロロフルオロカーボン	HCFC-22	家庭用ルームエアコン、業務用冷凍空調機器	オゾン層破壊物質。ただし、破壊係数はCFCに比べ小さい。2019年末で生産全廃予定。
	HCFC-123	冷媒	
	HCFC-141b	発泡剤、洗浄剤	
	HCFC-142b	発泡剤	
ハイドロフルオロカーボン	HFC-32	冷媒	オゾン層は破壊しないが地球温暖化の観点から排出抑制中。
	HFC-125	冷媒	
	HFC-134a	カーエアコン、家庭用冷蔵庫、業務用冷蔵庫の冷媒等、スプレー	
	HFC-143a	冷媒	
	HFC-152a	スプレー、冷媒	
	HFC-245fa	発泡剤	

CFCからの代替フロン

CFC & HCFCからの代替フロン

(3) フロン等の現状

特定フロン（クロロフルオロカーボン（CFC）、
ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC））、
ハロン、臭化メチル等の化学物質によって、オゾ
ン層の破壊は今も続いています。オゾン層破壊の
結果、地上に到達する有害な紫外線（UV-B）が
増加し、皮膚ガンや白内障等の健康被害の発生
や、植物の生育の阻害等を引き起こす懸念があり
ます。また、オゾン層破壊物質の多くは強力な温
室効果ガスでもあり、地球温暖化への影響も懸念
されます。

オゾン層破壊物質は、1989年以降、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書（以下「モントリオール議定書」という。）及び特定物質等の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（昭和63年法律第53号。以下「オゾン層保護法」という。）に基づき規制が行われています。その結果、代表的な物質の一つであるCFC-12の北半球中緯度における大気中濃度は、我が国の観測では緩やかな減少傾向が見られます。一方、国際的にCFCからの代替が進むHCFC、及びCFC・HCFCからの代替が進むオゾン層を破壊しないものの温室効果の高いガス（いわゆる代替フロン）であるハイドロフルオロカーボン（HFC）の大気中濃度は増加の傾向にあります。

オゾン全量は、1980年代から1990年代前半にかけて地球規模で大きく減少した後、現在も1970年代と比較すると少ない状態が続いています。また、2021年の南極域上空のオゾンホールの最大面積は、南極大陸の約1.8倍となりました（図1-1-6）。オゾンホールの面積は最近10年間の平均値より大きく推移しましたが、これはオゾン層破壊を促進させる極域成層圏雲が例年より発達したことなど、気象状況が主な要因とみられます。オゾン層破壊物質の濃度は依然として高い状態ですが、オゾンホールの規模については、年々変動による増減はあるものの、長期的な拡大傾向は見られなくなりました。モントリオール議定書科学評価パネルの「オゾン層破壊の科学アセスメント：2018年」によると、南極域のオゾン層が1980年以前の状態に戻るのは今世紀中頃と予測されています。

図1-1-6 南極上空のオゾンホールの面積の推移



資料：気象庁「南極オゾンホールの年最大面積の経年変化」より環境省作成

代替フロン

HFC

Hydrofluorocarbon

ハイドロ・フルオロ・カーボン

水素 フッ素 炭素

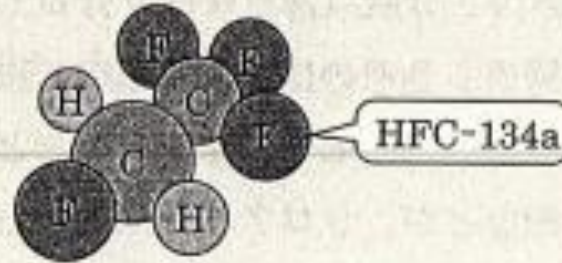


図 7・7 フロンと代替フロン (HCFC と HFC) の構造

表 7・1 特定フロンと代替フロンの比較

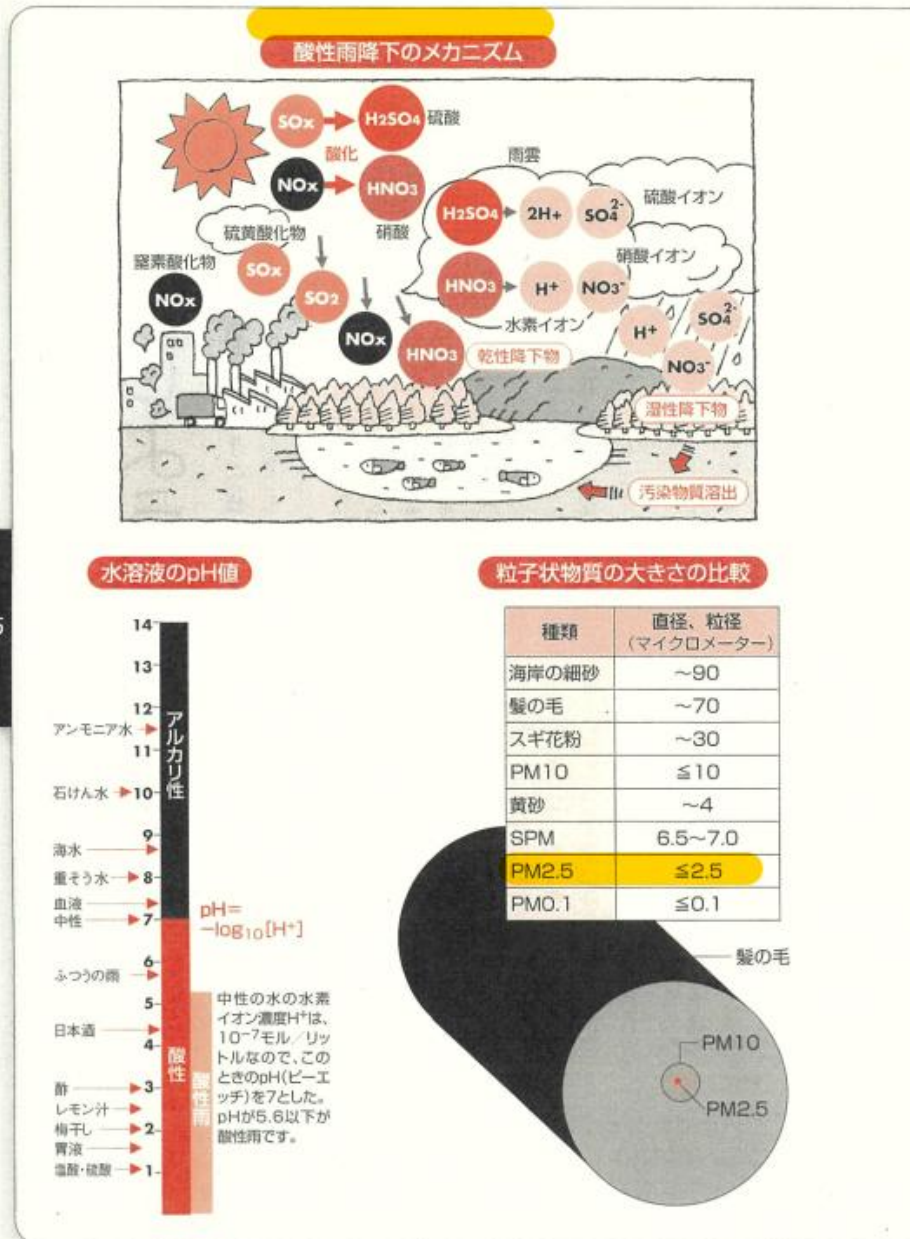
	特定フロン		代替フロン
	CFC	HCFC	HFC
オゾン層破壊	ある	ある	ない
地球温暖化	ある	ある	ある

CO₂の数百～1万倍の温室効果がある

出典：よくわかる環境科学、鈴木孝弘、オーム社

硫黄酸化物
窒素酸化物
↓
酸性雨

浮遊粒子状物質
(10 μ m以下の粒子)
↓
環境基準

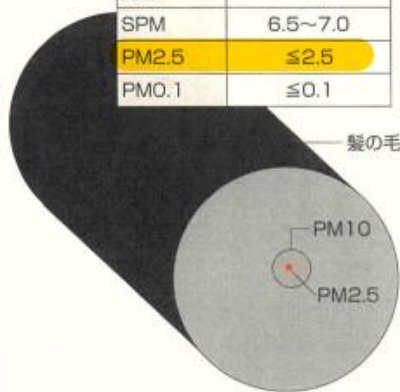


水溶液のpH値



粒子状物質の大きさの比較

種類	直径、粒径 (マイクロメートル)
海岸の細砂	~90
髪の毛	~70
スギ花粉	~30
PM10	≤10
黄砂	~4
SPM	6.5~7.0
PM2.5	≤2.5
PM0.1	≤0.1



17

酸性雨とPM2.5の被害

硫黄酸化物、窒素酸化物、SPM、PM2.5

化石燃料の燃焼などによって排出される硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)によりいわゆる光化学スモッグが発生し、酸性雨が世界各地で発生しています。森林や湖沼への被害も多く出ています。

酸性・アルカリ性は水の中に含まれる水素イオンの濃度で決められ、pH(ピーエッチ、かつてはドイツ語読みで「ペーハー」で表されます。中性は7であり、数字が小さいほうが酸性、大きいほうがアルカリ性です。pHが1だけ小さくなると水素イオンの濃度が10倍多くなることに対応します。

血液は弱アルカリ性ですが、通常の雨は弱酸性です。これは大気中の二酸化炭素が雨滴に溶けて弱酸性の炭酸を作るためであり、pHが5.6程度です。酸性雨とはpHが5.6以下の強い酸性の雨を意味します。東京での雨水のpHは5.0ですが、カナダの五大湖やポーランドやチェコでは4.5以下のpHです。

酸性雨問題は、地域・国を越えて影響する越境大気

の汚染です。現在は酸性の雨だけではなくガスや微粒子(エアロゾル)を含めて「酸性沈着」として、幅広いとらえ方がなされています。二酸化硫黄、窒素酸化物等の大気汚染物質は、大気中で硫酸、硝酸等に変化し、再び地上に戻ってきますが、雲を作っている水滴に溶け込んで雨や雪などの形で沈着する場合(湿性沈着と呼ばれる)が従来の酸性雨です。また、ガスや粒子の形で沈着する場合(乾性沈着)もあります。

日本では従来から浮遊粒子状物質(SPM)粒子径10マイクロメートル以下の粒子について環境基準を定めて対策が進められてきました。マイクロメートルは千分の1ミリメートルです。

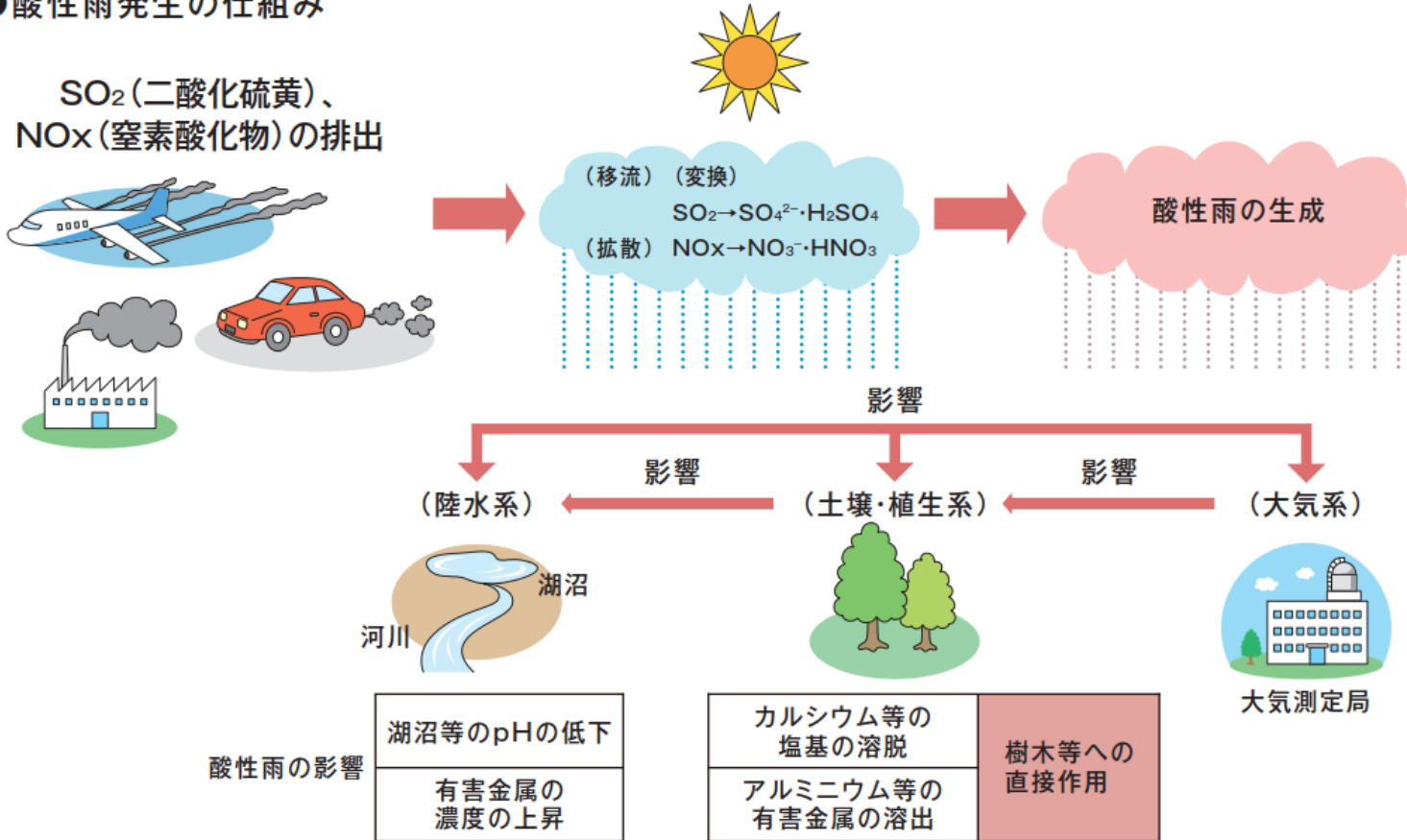
最近では中国からの「PM2.5」としての小さな粒子が問題になっています。これは粒子径2.5マイクロで50%捕集効率の装置で透過する粒子であり、髪の毛の太さの1/30程度です。肺の奥深くまで入りやすく、呼吸系への影響に加え、循環器系への影響が心配されています。

要点BOX

- 酸性雨はpHが5.6以下
- 酸性雨には広い意味での硫黄酸化物や窒素酸化物の湿性沈着と乾性沈着があります

酸性雨の発生

● 酸性雨発生の仕組み

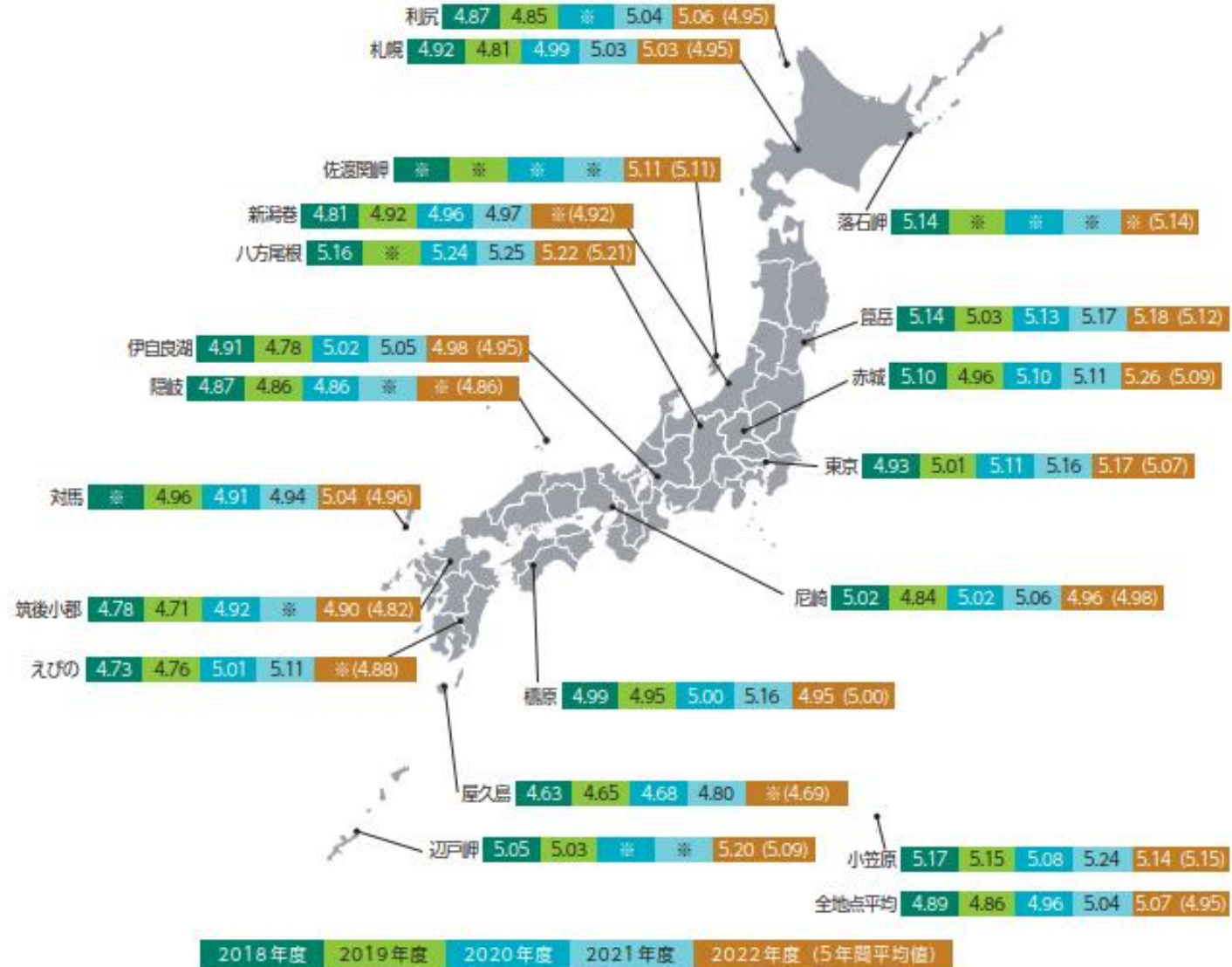


2-2-1

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

日本の降水中のpH分布

図 4-7-6 降水中の pH 分布図



※：当該年平均値が有効判定基準に適合せず、棄却された。

注：平均値は降水量加重平均により求めた。

資料：環境省

出典：令和6年版 環境白書、環境省

環境基準が設定されている大気汚染物質

PM_{2.5}は大気汚染指標の中の一つ

大気汚染物質	環境基準	人および環境に及ぼす影響
二酸化硫黄(SO ₂)	1時間値の1日平均値が ⁰ 0.04 ppm以下、かつ、1時間値が ⁰ 0.1 ppm以下 (S.48.5.16告示)	四日市喘息などの公害病の原因物質 森林や湖沼などに影響を与える酸性雨の原因物質ともなる。
一酸化炭素(CO)	1時間値の1日平均値が ⁰ 10 ppm以下、かつ、1時間値の8時間平均値が ⁰ 20 ppm以下 (S.48.5.8告示)	血液中のヘモグロビンと結合して、酸素を運搬する機能を阻害する。 温室効果ガスである大気中のメタンの寿命を長くする。
浮遊粒子状物質 (SPM)	1時間値の1日平均値が ⁰ 0.10 mg/m ³ 以下、かつ、1時間値が ⁰ 0.20 mg/m ³ 以下 (S.48.5.8告示)	大気中に長時間滞留し、肺や気管などに沈着して呼吸器に影響を及ぼす。
二酸化窒素(NO ₂)	1時間値の1日平均値が ⁰ 0.04 ppmから ⁰ 0.06 ppmまでのゾーン内又はそれ以下 (S.53.7.11告示)	呼吸器系に影響を及ぼす。 酸性雨及び光化学オキシダントの原因物質となる。
光化学オキシダント (O _x)	1時間値が ⁰ 0.06 ppm以下 (S.48.5.8告示)	いわゆる光化学スモッグの原因となり、粘膜への刺激、呼吸器への影響を及ぼす。 農作物など植物への影響もある。
微小粒子状物質 (PM _{2.5})	1年平均値が ⁰ 15 µg/m ³ 以下であり、かつ、1日平均値が ⁰ 35 µg/m ³ 以下 (H21.9.9告示)	呼吸器疾患、循環器疾患及び肺がんの増悪因子

大気汚染物質広域監視システム
(そらまめ君)



そらまめ君

出典：そらまめくん HP

PM2.5の環境基準達成状況

表4-7-1 PM_{2.5}の環境基準達成状況の推移

年 度		2017	2018	2019	2020	2021	2022
有効測定局数	一般局	814	818	835	844	858	855
	自排局	224	232	238	237	240	236
環境基準達成局数							
一般局		732	765	824	830	858	854
		(89.9%)	(93.5%)	(98.7%)	(98.3%)	(100%)	(99.9%)
自排局		193	216	234	233	240	236
		(86.2%)	(93.1%)	(98.3%)	(98.3%)	(100%)	(100%)

資料：環境省「令和4年度大気汚染状況について（報道発表資料）」

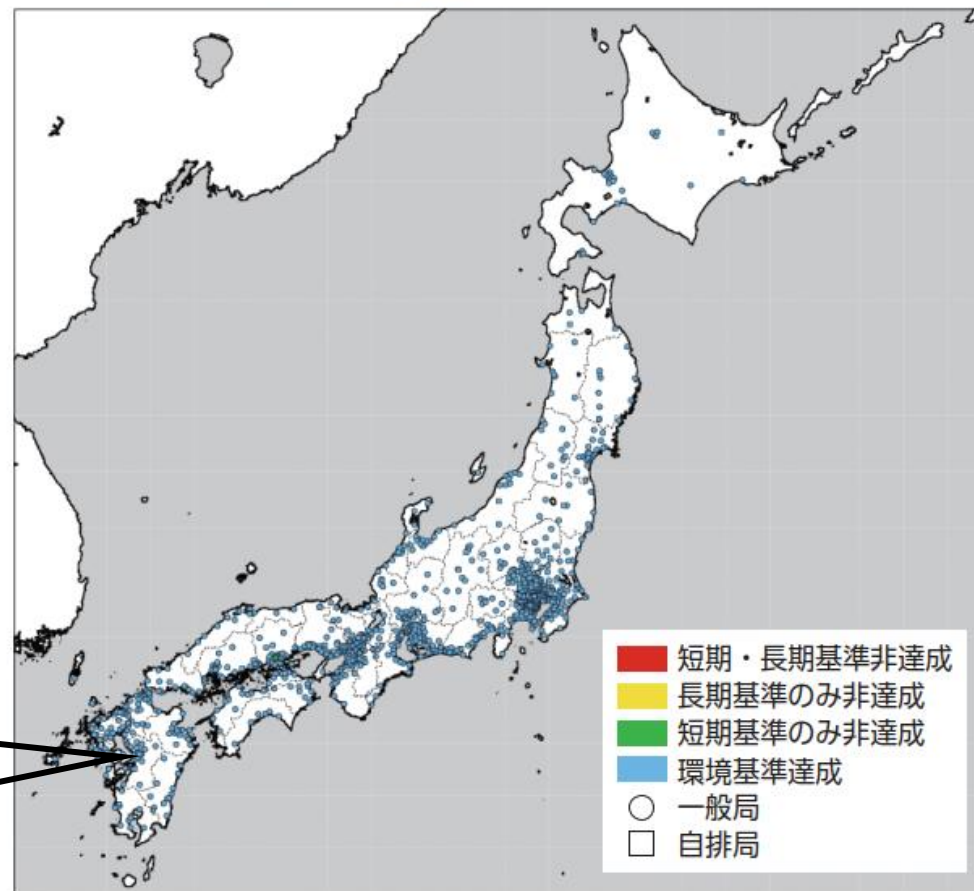
一般局：一般環境大気測定局
自排局：自動車排出ガス測定局

出典：令和6年版 環境白書、環境省

令和2年度において中国・四国地方の瀬戸内海に面する地域、九州地方の有明海に面する地域では環境基準達成率の低い地域があったが令和4年度においては非達成地域は無くなっている。

最新の汚染状況は環境省のデータで確認可能
[環境省大気汚染物質広域監視システム（そらまめくん）](#) | [濃度分布図 \(env.go.jp\)](#)

図4-7-1 全国におけるPM_{2.5}の環境基準達成状況（2022年度）



資料：環境省「令和4年度大気汚染状況について（報道発表資料）」

出典：令和6年版 環境白書、環境省

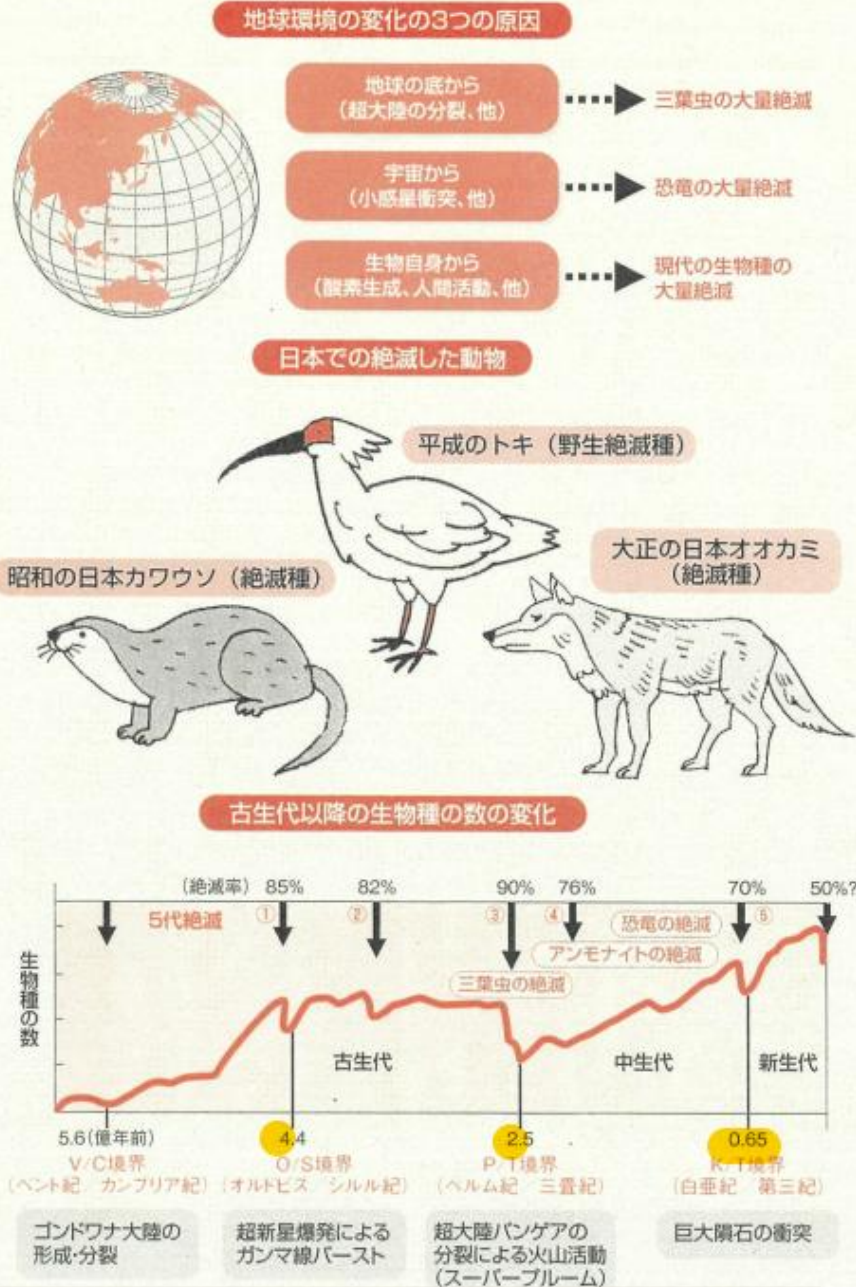
第7章 希少生物を保護しよう！

エネルギーの大量消費

環境問題
(温暖化
砂漠化
森林伐採
環境ホルモン等)

生態系の危機
種の多様性の
保全が困難
に！

二次配布不可



出典：とことんやさしいエネルギーの本 (第二版)、山崎耕造、日刊工業新聞社

18

希少生物を保護しよう！

2003年10月10日、日本産最後のトキ「キン」(雌、36歳)が佐渡トキ保護センターで命の火を消しました。Nipponia nipponの学名で親しまれてきたトキは江戸時代には各地で見られましたが、1981年には佐渡島で最後の5羽が保護され、1995年以来、日本産最後の1羽の保護に懸命の努力がなされてきました。その後、中国からの2羽による人工繁殖に成功して、現在までに百羽の放鳥がなされてきています。トキは「野生絶滅種」なのです。

人間によるエネルギーの大量利用により、地球の生態系が今危機に瀕しています。密漁、汚染、環境ホルモン、森林伐採、砂漠化、温暖化、などによって種の多様性の保全ができなくなっています。最初の生命は40億年前に原始の海で誕生し、およそ6億年前の先カンブリア紀の末に急激に生物種の数が増えました。それ以降今日まで、生物の大量絶滅は何度も繰り返されてきています。主な例として、

古生代の4億4千万年前(20%減)、3億6千万年前(15%減)、古生代末の2億5千万年前(50%減)、中生代末の6千5百万年前(20%減)があげられます。現代では15%の生物種の減少が確認されています。ここで重要な点は、2億5千万年前の絶滅期には1%の減少に数万年かかったのに対して、現在では、わずか百年ですら15%の生物種が絶滅していることです。中生代末の百倍、古生代末の百万倍の絶滅速度です。生態系の恒常性、生殖などに関連して、環境ホルモン(内分泌攪乱化学物質)が話題になっています。人工的で有害な化学物質が長年にわたり食物連鎖等で体内に蓄積して、奇形、不妊、ガンなどの症状が確認されていて、生物種の減少の一因となっています。現在は地球上では何百万もの生物種が食物連鎖などのサイクルで絡み合っています。生態系は複雑であればあるほど、生物種が多ければ多いほど強固となり、環境変化に柔軟性が確保できます。

- 要点BOX**
- 現在の生物種の絶滅速度は古生代末2億5千万年前の百万倍
 - 種の多様性の保全は環境保持の点から重要

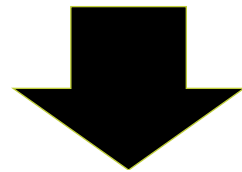
環境汚染と環境ホルモン

環境ホルモン

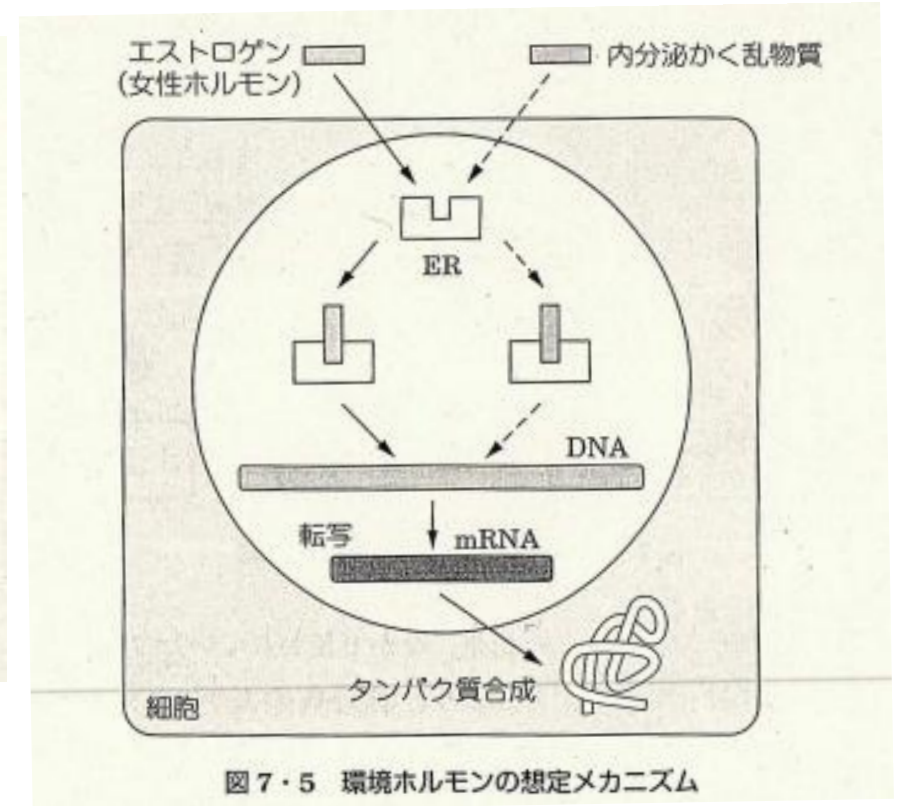
環境ホルモンとは

内分泌かく乱化学物質は、天然の女性ホルモンに分子の構造や大きさが似ているものが多く、一般に、分子サイズが小さく、水にほとんど溶けずに脂肪に溶けやすい、環境中で分解しにくい、微量で生物学的作用を示す、などの共通の特徴がある。それらの物質には、ダイオキシンやPCB、農薬（DDT、HCH）、プラスチックやエポキシ樹脂の原料のビスフェノールA、界面活性剤が微生物の働きで分解して生じるアルキルフェノールなどがある。

内分泌かく乱化学物質は生殖系に作用するため、次世代への影響が最も危惧されている。しかし、合成ホルモン剤やダイオキシンの高濃度暴露のような例外を除くと、その有害性には未解明な部分が多く、科学的知見を集積するための基礎研究が世界各国で実施されている。



化学物質の内分泌かく乱作用に関する今後の対応



ER:エストロゲンレセプター

環境省レッドリスト2020 掲載種数表 その1

環境省レッドリスト2020掲載種数表

分類群	評価対象種数	絶滅 EX	野生絶滅 EW	絶滅危惧種			準絶滅危惧 NT	情報不足 DD	掲載種数 合計	絶滅のおそれのある 地域個体群 LP	
				絶滅危惧Ⅰ類		絶滅危惧Ⅱ類 VU					
				I A類 CR	I B類 EN						
動物	哺乳類	160 (160)	7 (7)	0 (0)	34(33)			17 (18)	5 (5)	63 (63)	26 (23)
					25(24)		9(9)				
					12(12)	13(12)					
	鳥類	約700 (約700)	15 (15)	0 (0)	98(98)			22 (21)	17 (17)	152 (151)	2 (2)
					55(55)		43(43)				
					24(24)	31(31)					
	爬虫類	100 (100)	0 (0)	0 (0)	37(37)			17 (17)	3 (4)	57 (58)	5 (5)
					14(14)		23(23)				
					5(5)	9(9)					
	両生類	91 (76)	0 (0)	0 (0)	47(29)			19 (22)	1 (1)	67 (52)	0 (0)
				25(17)		22(12)					
				5(4)	20(13)						
汽水・淡水魚類	約400 (約400)	3 (3)	1 (1)	169(169)			35 (35)	37 (37)	245 (245)	15 (15)	
				125(125)		44(44)					
				71(71)	54(54)						
昆虫類	約32,000 (約32,000)	4 (4)	0 (0)	367(363)			351 (350)	153 (153)	875 (870)	2 (2)	
				182(177)		185(186)					
				75(71)	107(106)						
貝類	約3,200 (約3,200)	19 (19)	0 (0)	629(616)			440 (445)	89 (89)	1177 (1169)	13 (13)	
				301(288)		328(328)					
				39(33)	28(16)						
その他無脊椎動物	約5,300 (約5,300)	1 (0)	0 (0)	65(65)			42 (42)	44 (44)	152 (151)	0 (0)	
				22(22)		43(43)					
				0(0)	2(2)						
動物小計		49 (48)	1 (1)	1446(1410)			943 (950)	349 (350)	2787 (2759)	63 (60)	
				749(722)		697(688)					

出典：環境省レッドリスト2020

絶滅(EX)	すでに絶滅したと考えられる種
野生絶滅(EW)	飼育・栽培下あるいは自然分布域の明らかに外側で野生化した状態でのみ存続している種
絶滅危惧Ⅰ類 (CR+EN)	絶滅の危機に瀕している種
絶滅危惧ⅠA類(CR)	ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高いもの
絶滅危惧ⅠB類(EN)	I A類ほどではないが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高いもの
絶滅危惧Ⅱ類 (VU)	絶滅の危険が増大している種
準絶滅危惧 (NT)	現時点での絶滅危険度は小さいが、生息条件の変化によっては「絶滅危惧」に移行する可能性のある種
情報不足(DD)	評価するだけの情報が不足している種
絶滅のおそれのある地域個体群 (LP)	孤立した地域個体群で、絶滅のおそれが高いもの

環境省レッドリスト2020 掲載種数表 その2

環境省レッドリスト2020掲載種数表

分類群	評価対象種数	絶滅 EX	野生絶滅 EW	絶滅危惧種			準絶滅危惧 NT	情報不足 DD	掲載種数 合計	絶滅の おそれのある 地域個体群 LP
				絶滅危惧Ⅰ類		絶滅危惧Ⅱ類 VU				
				I A類 CR	I B類 EN					
植 物 等	維管束植物 約7,000 (約7,000)	28 (28)	11 (11)	1790(1786)			297 (297)	37 (37)	2163 (2159)	0 (0)
				1049(1045)		741(741)				
				529(525)	520(520)					
	蘚苔類 約1,800 (約1,800)	0 (0)	0 (0)	240(241)			21 (21)	21 (21)	282 (283)	0 (0)
				137(138)		103(103)				
	藻類 約3,000 ^{注1} (約3,000)	4 (4)	1 (1)	116(116)			41 (41)	40 (40)	202 (202)	0 (0)
95(95)				21(21)						
地衣類 約1,600 (約1,600)	4 (4)	0 (0)	63(61)			41 (41)	46 (46)	154 (152)	0 (0)	
			43(41)		20(20)					
			2(0)	0(0)						
菌類 約3,000 ^{注1} (約3,000)	25 (26)	1 (1)	61(62)			21 (21)	51 (50)	159 (160)	0 (0)	
			37(39)		24(23)					
			0(0)	1(0)						
植物等小計		61 (62)	13 (13)	2270(2266)			421 (421)	195 (194)	2961 (2956)	0 (0)
				2270(2266)						
				1361(1358)		909(908)				
13分類群合計		110 (110)	14 (14)	3716(3676)			1364 (1371)	544 (544)	5748 (5715)	63 (60)
				2110(2080)		1606(1596)				

※表中の括弧内の数字はレッドリスト2019(平成31(2019)年公表)の種数(亜種、および植物等では変種を、さらに藻類では品種を含む)を示す。

LPは対象集団数。

※貝類、その他無脊椎動物、地衣類、菌類の一部の種については絶滅危惧Ⅰ類をさらにI A類(CR)とI B類(EN)に区分して評価を実施。

注1)肉眼的に評価が出来ない種等を除いた種数。

出典：環境省レッドリスト2020

【哺乳類】環境省レッドリスト2020

すでに絶滅したと考えられる種

- 絶滅 (EX)
 - オキナワオオコウモリ
 - ミヤココキクガシラコウモリ
 - オガサワラアブラコウモリ
 - エゾオオカミ
 - ニホンオオカミ
 - ニホンカワウソ(本州以南亜種)
 - ニホンカワウソ(北海道亜種)

7種

- Pteropus loochoensis*
- Rhinolophus pumilus miyakonis*
- Pipistrellus sturdee*
- Canis lupus hattai*
- Canis lupus hodophilax*
- Lutra lutra nippon*
- Lutra lutra whiteleyi*

ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高いもの

- 絶滅危惧IA類 (CR)
 - センカクモグラ
 - ダイトウオオコウモリ
 - エラブオオコウモリ
 - クロアカコウモリ
 - ヤンバルホオヒゲコウモリ
 - セスジネズミ
 - オキナワトゲネズミ
 - ツシマヤマネコ
 - イリオモテヤマネコ
 - ラッコ
 - ニホンアシカ
 - ジュゴン

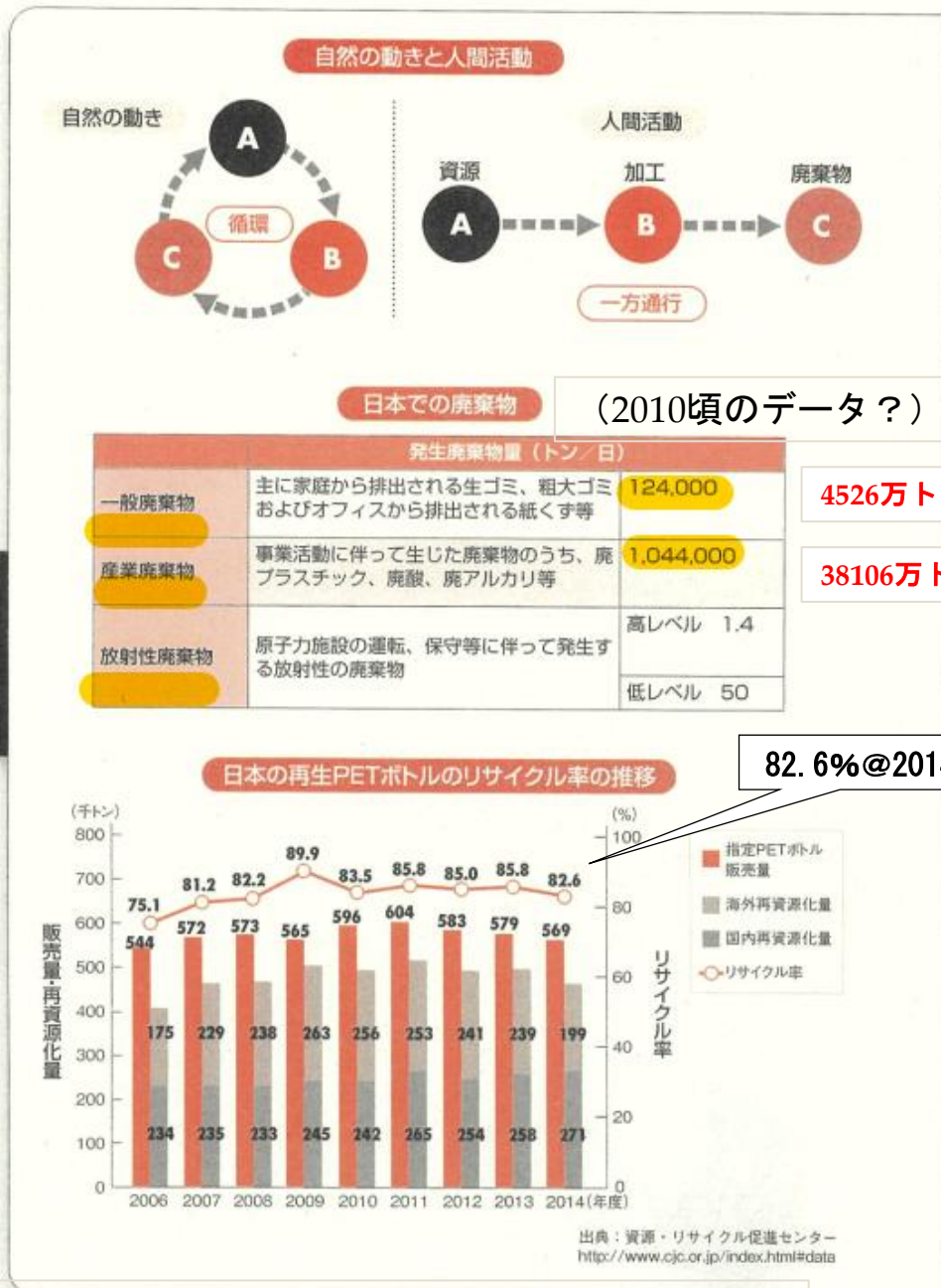
12種

- Mogera uchidai*
- Pteropus dasymallus daitoensis*
- Pteropus dasymallus dasymallus*
- Myotis formosus*
- Myotis yanbarensis*
- Apodemus agrarius*
- Tokudaia muenninki*
- Prionailurus bengalensis euptilurus*
- Prionailurus bengalensis iriomotensis*
- Enhydra lutris*
- Zalophus japonicus*
- Dugong dugon*

出典：環境省レッドリスト2020

資源の
大量生産
加工
大量消費
↓
多くの廃棄物の発生

循環型社会形成
推進基本法
(2001年制定)



自然の生態系では物質が有機的に循環し維持されています。しかし、人間社会では資源の大量生産・加工、大量消費によりたくさんのおもちゃや食品の廃棄物を生み出しています。

産業廃棄物は家庭生活の「一般廃棄物」と工場などからの「産業廃棄物」に分類することができます。わが国では、産業廃棄物が一日あたり約100万トンであり、一般廃棄物はその5分の1程度です。放射性廃棄物の重量は40トン程度であり、1万分の1以下の量です。

経済成長に伴って大量生産、大量消費が進み廃棄物も増えてきています。特に大都市での廃棄物の増加は顕著であり、廃棄物の再資源化の割合(リサイクル率)は年々増加しています。また、近年、産業廃棄物の不法投棄が増加しており、社会問題化しています。さらに、廃棄物の焼却時にはダイオキシン(猛毒性の有機塩素化合物)が出ないような工夫が必要です。

日本では、リサイクルの基本法が1991年に制定され、2000年に改訂されました。また、循環型社会形成推進基本法も制定され、個別に、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、建設リサイクル法、食品リサイクル法、自動車リサイクル法などにより、資源の有効利用の促進が図られています。ここ十年間で、日本はスチール缶やアルミ缶のリサイクル率が90%ほどになっています。ペットボトルの回収率も向上してきています。

廃棄物エネルギーの利用のためのゴミ発電(54節)も行われており、スーパーごみ発電(複合廃棄物発電)、RDF発電(ごみ固形化燃料発電)、ガス化溶融発電などにより、また、生ごみの堆肥化等により、廃棄物エネルギーの有効利用が図られています。

ごみ問題の解決には、ごみの減量化(reduce)、再利用(reuse)、再資源化(recycle)が重要です。この「3R」を積極的に進める必要があります。

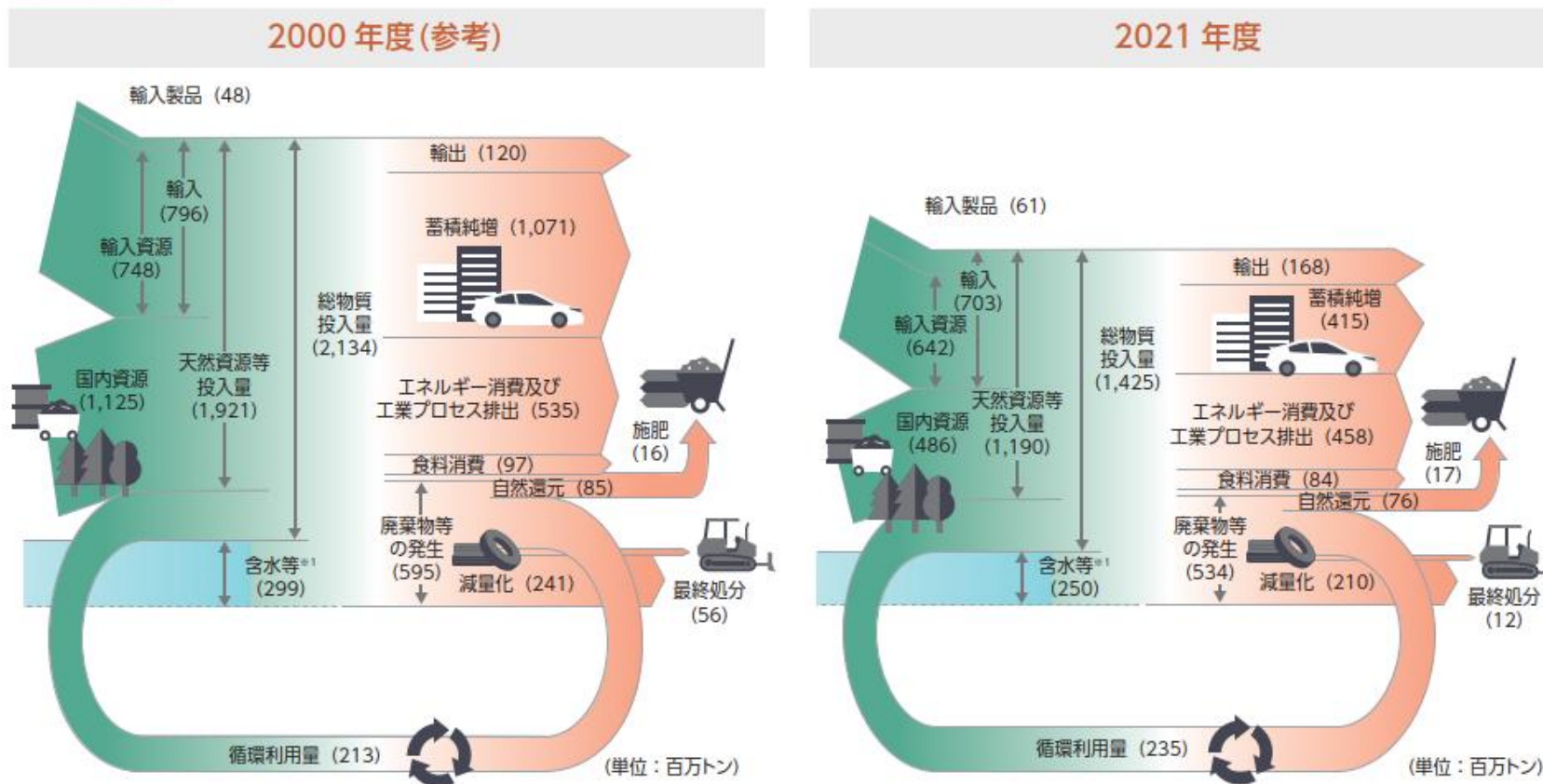
- 要点BOX
- 廃棄物は、一般廃棄物、産業廃棄物、放射線廃棄物に分類される
 - 廃棄物焼却時にはダイオキシンが出ない工夫が必要

19 ゴミ問題を考える

3R(リデュース、リユース、リサイクル)

日本の物質フロー

図 3-1-1 我が国における物質フロー (2021年度)

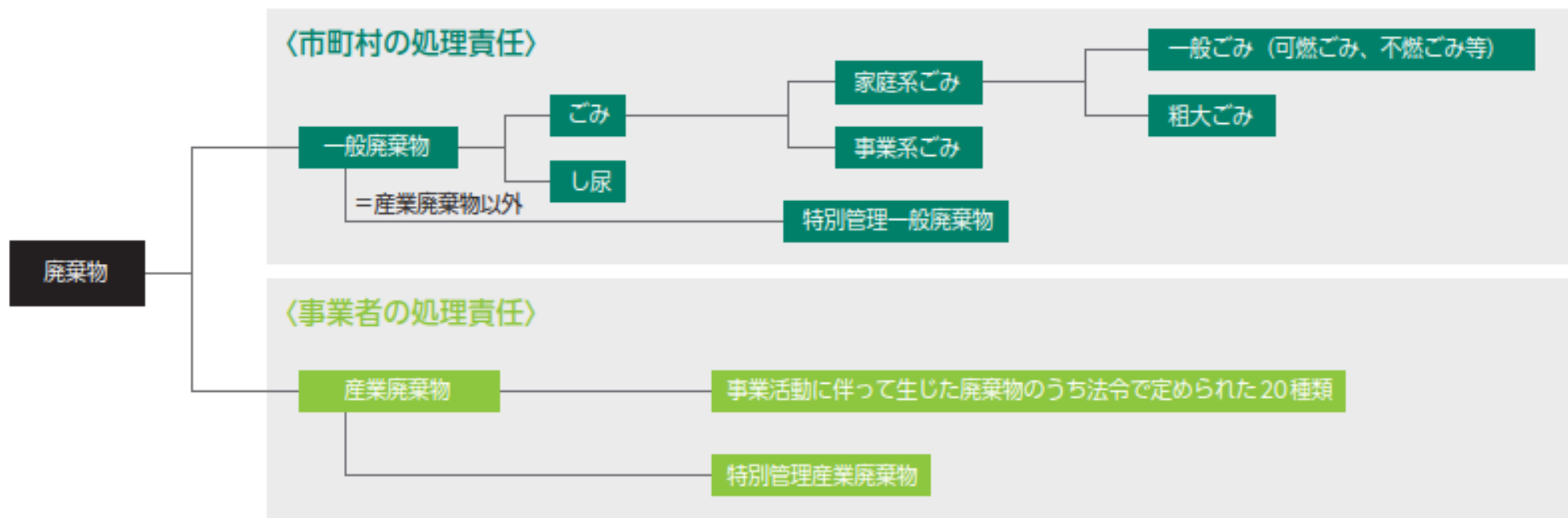


注: 含水等: 廃棄物等の含水等(汚泥、家畜ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ)及び経済活動に伴う土砂等の随伴投入(鉱業、建設業、上水道業の汚泥及び鉱業の鉱さい)。
資料: 環境省

出典: 令和6年版 環境白書、環境省

廃棄物の区分

図 3-1-6 廃棄物の区分



注1：特別管理一般廃棄物とは、一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれのあるもの。

2：事業活動に伴って生じた廃棄物のうち法令で定められた20種類燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣（さ）、動物系固形不要物、ゴムくず、金属くず、ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くず、鋳さい、がれき類、動物のふん尿、動物の死体、ばいじん、輸入された廃棄物、上記の産業廃棄物を処分するために処理したもの。

3：特別管理産業廃棄物とは、産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの。

資料：環境省

出典：令和6年版 環境白書、環境省

廃棄物の区分

非放射性廃棄物	一般廃棄物	ごみ	家庭系ごみ：一般ごみ(可燃ごみ、不燃ごみ等)、粗大ごみ
			事業系ごみ：オフィス、飲食店等からでるもの
		し尿	
	特別管理一般廃棄物 ※1		
	産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち法令で定められた20種類 ※2	
特別管理産業廃棄物 ※3			
放射性廃棄物	低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物
			放射能レベルの比較的低い廃棄物
			放射能レベルの比較的高い廃棄物
	ウラン廃棄物		
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)		
高レベル放射性廃棄物			

※1 爆発性、毒性、感染性、その他の人の健康または生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの

※2 燃えがら、汚泥、廃油、金属くず、ガラスくず、コンクリートくず等

※3 一般廃棄物以外の爆発性、毒性、感染性、その他の人の健康または生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの

特別管理廃棄物

表 3-5-1 特別管理廃棄物

区分	主な分類	概 要	
特別管理 一般廃棄物	PCB使用部品	廃エアコン・廃テレビ・廃電子レンジに含まれるPCBを使用する部品	
	廃水銀	水銀使用製品が一般廃棄物となったものから回収したもの	
	ばいじん	ごみ処理施設のうち、集じん施設によって集められたもの	
	ばいじん、燃え殻、汚泥	ダイオキシン特措法の特定施設である廃棄物焼却炉から生じたものでダイオキシン類を含むもの	
	感染性一般廃棄物	医療機関等から排出される一般廃棄物で、感染性病原体が含まれ若しくは付着しているおそれのあるもの	
特別管理産業廃棄物	特定有害産業廃棄物	廃油	揮発油類、灯油類、軽油類（難燃性のタールピッチ類を除く）
		廃酸	著しい腐食性を有するpH2.0以下の廃酸
		廃アルカリ	著しい腐食性を有するpH12.5以上の廃アルカリ
		感染性産業廃棄物	医療機関等から排出される産業廃棄物で、感染性病原体が含まれ若しくは付着しているおそれのあるもの
	廃PCB等	廃PCB及びPCBを含む廃油	
	PCB汚染物	PCBが染みこんだ汚泥、PCBが塗布され若しくは染みこんだ紙くず、PCBが染みこんだ木くず若しくは繊維くず、PCBが付着・封入されたプラスチック類若しくは金属くず、PCBが付着した陶磁器くず若しくはがれき類	
	PCB処理物	廃PCB等又はPCB汚染物を処分するために処理したものでPCBを含むもの	
	廃水銀等	水銀使用製品の製造の用に供する施設等において生じた廃水銀又は廃水銀化合物、水銀若しくはその化合物が含まれている産業廃棄物又は水銀使用製品が産業廃棄物となったものから回収した廃水銀	
	指定下水汚泥	下水道法施行令第13条の4の規定により指定された汚泥	
	鉛さい	重金属等を一定濃度以上含むもの	
	廃石綿等	石綿建材除去事業に係るもの又は大気汚染防止法の特定粉塵発生施設が設置されている事業場から生じたもので飛散するおそれのあるもの	
	燃え殻	重金属等、ダイオキシン類を一定濃度以上含むもの	
	ばいじん	重金属等、1,4-ジオキサン、ダイオキシン類を一定濃度以上含むもの	
	廃油	有機塩素化合物等、1,4-ジオキサンを含むもの	
	汚泥、廃酸、廃アルカリ	重金属等、PCB、有機塩素化合物、農薬等、1,4-ジオキサン、ダイオキシン類を一定濃度以上含むもの	

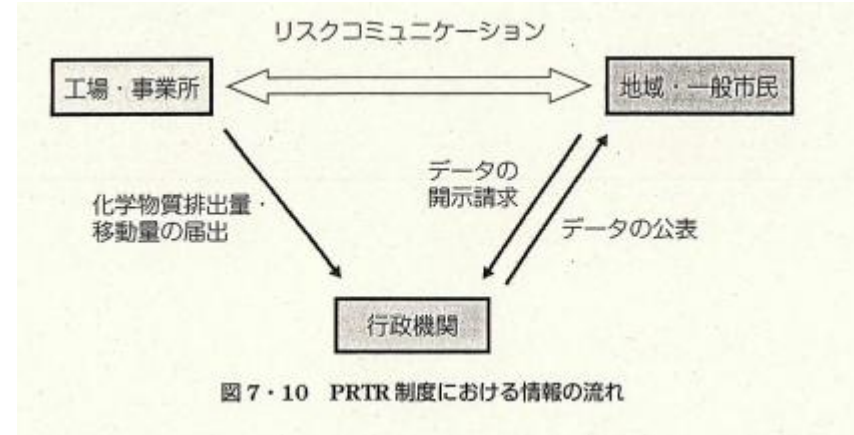
資料：「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」より環境省作成

出典：令和6年版 環境白書、環境省

化学物質排出移動量届出制度

現在では化学物質が広範囲の産業で使われるため、製品の「開発→製造→加工→使用→廃棄」のライフサイクルを通じて化学物質を管理する必要性が出てきた。このため、これらの問題の解決には、化学物質を取り扱う事業者による「自主管理」を促進することが重要であり、1999年、「特定化学物質の環境への排出量の把握および管理の改善の促進に関する法律」（化管法）によって、PRTR制度（Pollutant Release and Transfer Register、化学物質排出移動量届出制度）が設けられた。

この制度では、図7・10のように、一定の条件に該当する工場や事業所が、環境中に排出した人の健康や生態系に有害なおそれのある対象化学物質の量と、廃棄物として処理するために事業所の外へ移動させた量を把握し、行政機関に年1回届け出る義務を負っている。製造業や金属鉱業など24業種のうち、従業員数21人以上、対象化学物質を年間1t以上取り扱う事業者が対象になっている。



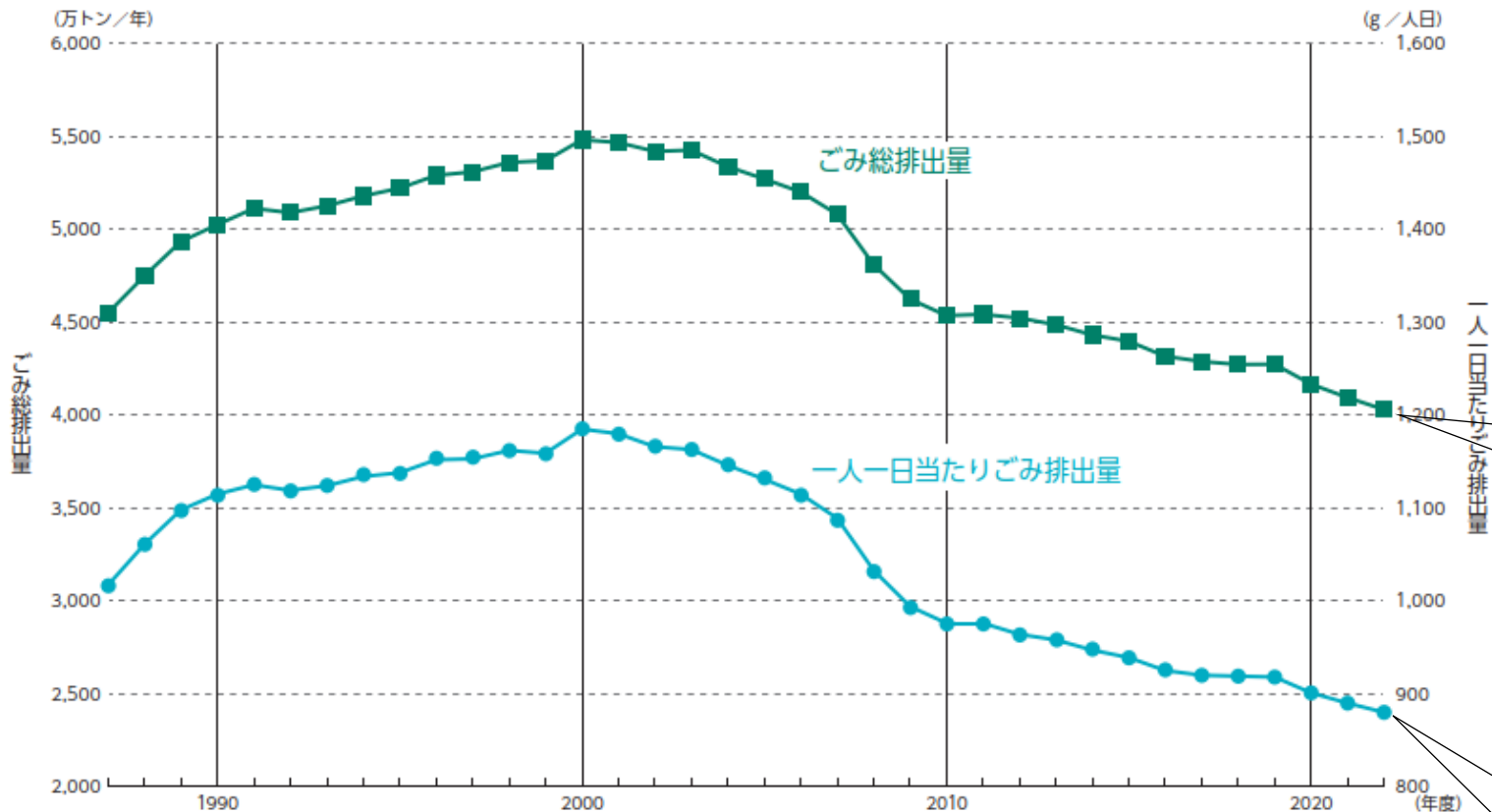
出典：よくわかる環境科学、鈴木孝弘、オーム社

環境省PRTR(化学物質排出移動量届出制度)
インフォメーション広場

[PRTRインフォメーション広場 \(env.go.jp\)](http://env.go.jp)

日本のごみの排出量

図 3-1-7 ごみ総排出量と一人一日当たりごみ排出量の推移



ごみ総排出量：
4034万トン

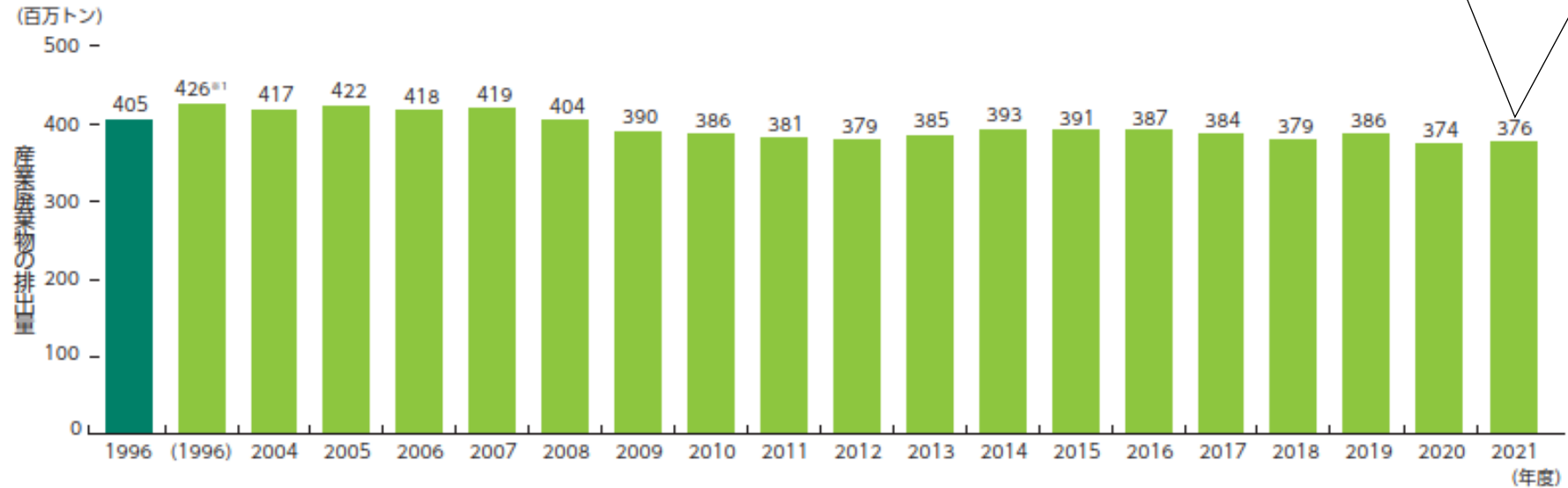
一人一日ごみ排出量：
880グラム

注1：2005年度実績の取りまとめより「ごみ総排出量」は、廃棄物処理法に基づく「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」における、「一般廃棄物の排出量（計画収集量+直接搬入量+資源ごみの集団回収量）」と同様とした。
 注2：一人一日当たりごみ排出量は総排出量を総人口×365日又は366日でそれぞれ除した値である。
 注3：2012年度以降の総人口には、外国人人口を含んでいる。
 資料：環境省

出典：令和6年版 環境白書、環境省

産業廃棄物の排出量

図 3-1-9 産業廃棄物の排出量の推移



103万トン/日
(376百万トン/年)

※1：ダイオキシン対策基本方針（ダイオキシン対策関係閣僚会議決定）に基づき、政府が2010年度を目標年度として設定した「廃棄物の減量化の目標量」（1999年9月設定）における1996年度の排出量を示す。

注1：1996年度から排出量の推計方法を一部変更している。

2：1997年度以降の排出量は注1において排出量を算出した際と同じ前提条件を用いて算出している。

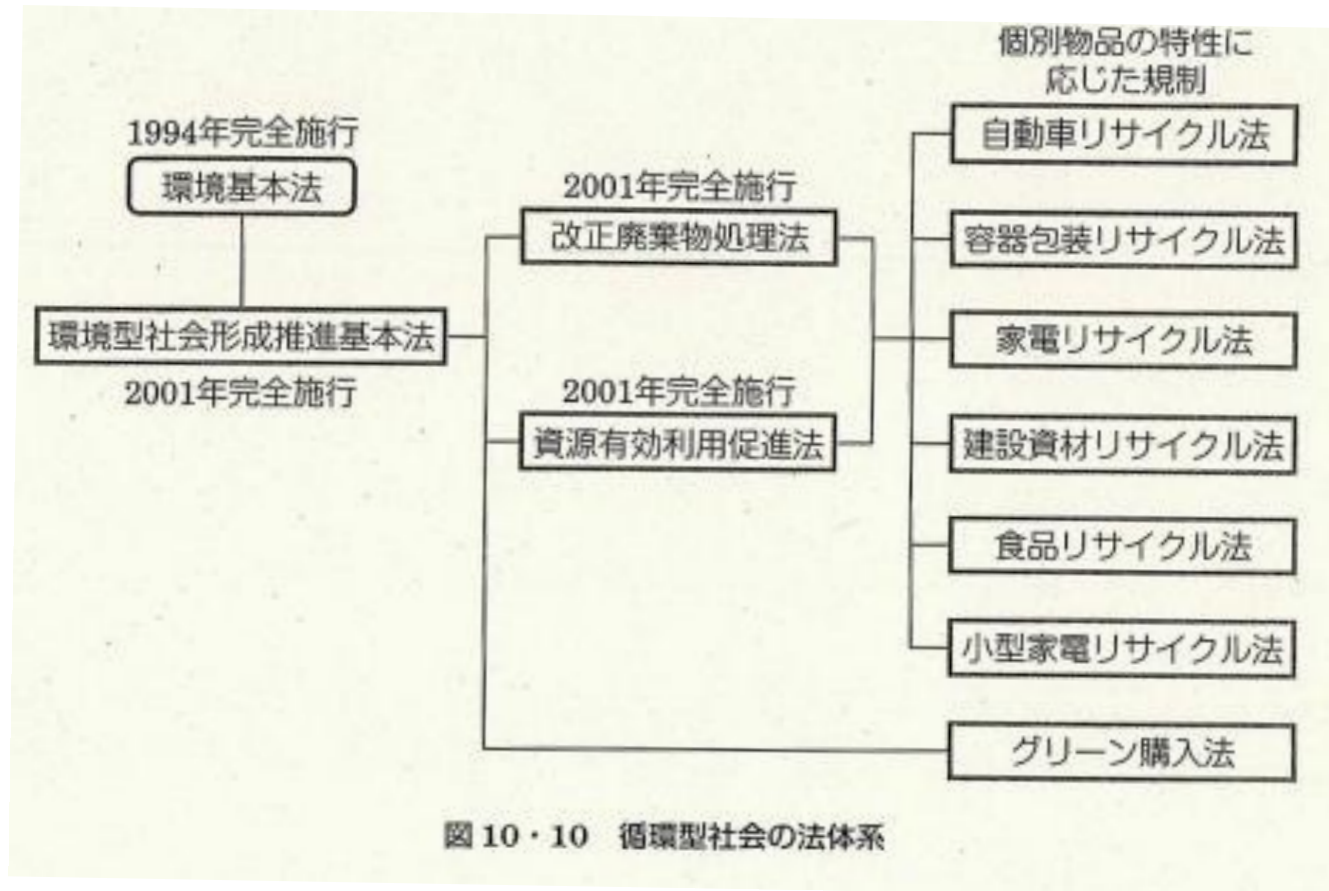
資料：環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」

出典：令和6年版 環境白書、環境省

日本で発生する廃棄物の量

	発生廃棄物量(トン/日)		備考
一般廃棄物	主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ およびオフィスから排出される紙くず等	117,057	平成29年度実績 (2017年)
産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、 廃プラスチック、廃酸、廃アルカリ等	1,060,274	平成28年度実績
放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守等に伴って 発生する放射性の廃棄物	高レベル 1.4	平成12~18年 推定
		低レベル 44	平成29年度実績

循環型社会の法体系



出典：よくわかる環境科学、鈴木孝弘、オーム社

循環型社会形成推進基本法の概要 その1

循環型社会形成推進基本法の概要

環境法令における
酒類業者の義務
国税庁酒税課

■法律の目的

廃棄物の発生量の膨大、廃棄物の最終処分場の確保の困難、不法投棄の増大 などの問題から、廃棄物・リサイクル問題の解決のため「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、環境への負荷が少ない「循環型社会」の形成を推進するとともに、循環型社会の形成について、基本原則を定め、並びに国、地方公共団体、事業者及び国民の責務を明らかにし、現在及び将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的としています。

■循環型社会とは

循環型社会とは、「天然資源の消費が抑制され、環境への負荷ができる限り低減された社会」のことで、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の社会に代わるものとして提示された概念です。

まず製品等が廃棄物等となることを抑制し、次に排出された廃棄物等についてはできるだけ資源として適正に利用し、最後にどうしても利用できないものは適正に処分することが確保された、環境負荷が少ない社会のことをいいます。

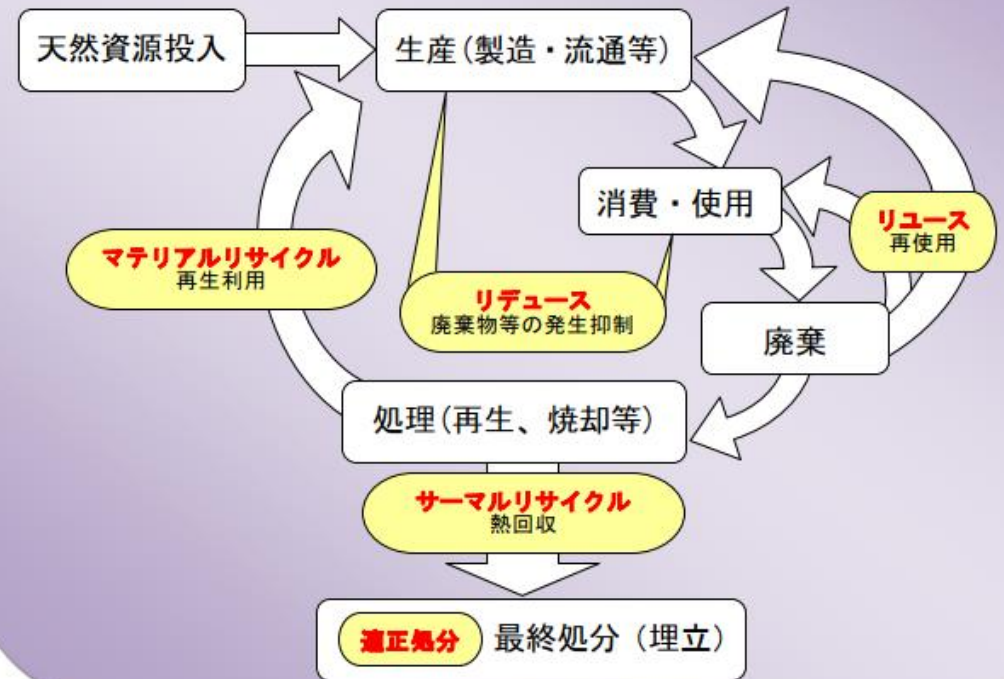
■法律の概要

循環型社会を構築するにあたっての国、地方公共団体、事業者及び国民のそれぞれの役割や、取組を進めるにあたっての基本原則等が規定されています。

出典：財務省（国税庁）HP

基本原則等

循環型社会形成に関する行動が、自主的・積極的に行われることにより、環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の実現を推進。



循環型社会形成推進基本法の概要 その2

■役割と責務

循環型社会の形成

国

○基本的・総合的な施策を策定し、実施する



地方公共団体

○廃棄物のうち有用なもの（以下「循環資源」という。）の適正な循環的利用や処分が行われるよう必要な取組を行う
○地域ごとの自然的社会的条件に応じた施策を策定し、実施する



事業者

○原材料などが事業活動において廃棄物になることを抑制する
○循環資源は、自ら適正に循環的に利用、あるいは、適正な循環的利用が行われるよう対策を講じる
○循環的な利用が行われない循環資源については自らの責任で適正に処分する
○製品、容器等の製造・販売に当たっては、耐久性の向上や修理の実施、再生利用・適正処分が行いやすいようにするとともに、適正に循環的な利用を行う
○循環型社会の形成に自ら努めるとともに、行政（国、地方公共団体）の取組に協力する



国民

○以下のような取組により廃棄物の発生抑制や循環的な利用の促進に努める

- できるだけ長期間製品を使用する
- 再生品を使用する
- 循環資源の分別収集へ協力する

○廃棄物の適正な処分について、行政（国、地方公共団体）の取組に協力する



出典：財務省（国税庁）HP

3Rに対する意識の変化

表 3-8-1 3R全般に関する意識の変化

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
ごみ問題への関心						
ごみ問題に（非常に・ある程度）関心がある	63.3%	69.0%	64.1%	74.3%	65.0%	62.7%
3Rの認知度						
3Rという言葉（優先順位まで・言葉の意味まで）知っている	34.4%	38.1%	36.9%	37.7%	33.6%	31.1%
サーキュラーエコノミー（循環経済）の認知度						
サーキュラーエコノミー（循環経済）という言葉を知っていた、言葉を聞いたことがあった	—	—	22.0%	18.8%	20.2%	19.8%
廃棄物の減量化や循環利用に対する意識						
ごみを少なくする配慮やリサイクルを（いつも・多少）心掛けている	56.6%	66.0%	63.6%	71.3%	65.2%	63.7%
ごみの問題は深刻だと思いつつも、多くのものを買い、多くのものを捨てている	13.0%	11.7%	8.2%	7.7%	8.2%	8.6%
グリーン購入に対する意識						
環境に優しい製品の購入を（いつも・できるだけ・たまに）心掛けている	75.0%	77.5%	72.8%	74.7%	70.4%	73.5%
環境に優しい製品の購入を全く心掛けていない	18.8%	16.4%	19.9%	22.3%	21.4%	18.0%

資料：環境省

出典：令和6年版 環境白書、環境省

3Rに対する具体的行動例

表 3-8-2 3Rに関する主要な具体的行動例の変化

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
発生抑制（リデュース）						
レジ袋をもらわないようにしたり（買い物袋を持参する）、簡易包装を店に求めている	62.2%	64.5%	72.7%	83.3%	73.8%	67.6%
詰め替え製品をよく使う	66.8%	67.0%	66.0%	79.1%	65.5%	61.7%
使い捨て製品を買わない	17.5%	16.4%	15.8%	15.7%	16.9%	15.5%
無駄な製品をできるだけ買わないよう、レンタル・リースの製品を使うようにしている	10.9%	13.8%	11.1%	9.6%	10.5%	11.7%
簡易包装に取り組んでいたり、使い捨て食器類（割り箸等）を使用していない店を選ぶ	8.1%	9.5%	7.8%	7.4%	10.0%	8.7%
買い過ぎ、作り過ぎをせず、生ごみを少なくするなどの料理法（エコクッキング）の実践や消費期限切れ等の食品を出さないなど、食品を捨てないようにしている	30.2%	32.3%	31.6%	44.8%	32.1%	30.1%
マイ箸、マイボトルなどの繰り返し利用可能な食器類を携行している	—	22.6%	22.3%	25.0%	24.9%	24.0%
ペットボトル等の使い捨て型飲料容器や、使い捨て食器類を使わないようにしている	16.3%	14.6%	14.2%	16.5%	16.1%	17.6%
再使用（リユース）						
不用品をインターネットオークション、フリマアプリなどインターネットを介して売っている	—	16.3%	17.9%	18.0%	15.9%	14.7%
不用品を捨てるのではなく、中古品を扱う店やバザーやフリーマーケットなどを活用して手放している	—	20.0%	20.2%	24.8%	17.5%	17.1%
ビールや牛乳の瓶など再使用可能な容器を使った製品を買う	10.8%	9.2%	9.1%	8.2%	8.2%	7.3%
再生利用（リサイクル）						
家庭で出たごみはきちんと種類ごとに分別して、定められた場所に出している	79.7%	81.3%	79.2%	88.7%	78.7%	73.6%
リサイクルしやすいように、資源ごみとして回収される瓶等は洗っている	60.3%	64.8%	62.4%	76.1%	61.1%	57.7%
トレイや牛乳パック等の店頭回収に協力している	39.5%	37.1%	37.9%	43.4%	35.3%	29.7%
携帯電話等の小型電子機器の店頭回収に協力している	22.4%	18.9%	20.9%	23.2%	17.0%	15.8%
再生原料で作られたリサイクル製品を積極的に購入している	10.5%	9.7%	10.2%	13.8%	8.5%	9.3%

資料：環境省（2018年度～2023年度）

出典：令和6年版 環境白書、環境省

第9章 その他の環境問題

1. 環境汚染

(大気汚染、水質汚染、土壌汚染、海洋汚染)

2. 森林や熱帯林の減少

3. 砂漠化

4. 有害廃棄物の越境問題

5. 発展途上国の公害問題

第2部 エネルギーの基礎

第1章 身の回りのいろいろなエネルギー

第2章 エネルギーの種類、発電の種類

第3章 色々な発電の仕組み

第4章 日本のエネルギー事情と課題

身の回りのエネルギーのいろいろ①

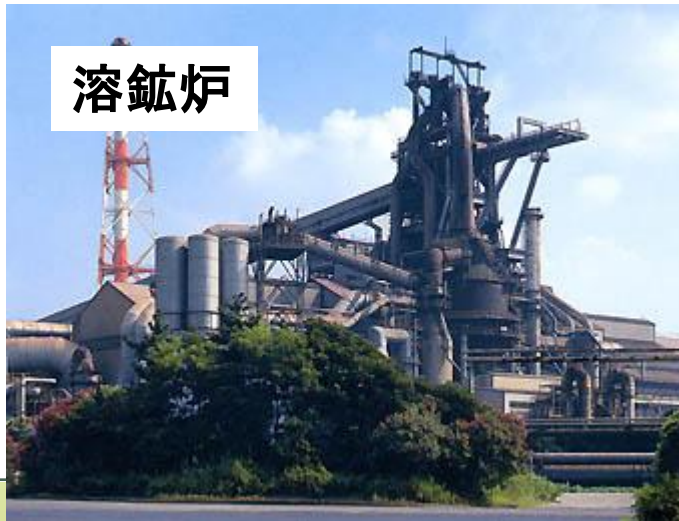
Q: □内のエネルギーの種類？

PRIUS



身の回りのエネルギーのいろいろ②

Q: 口内のエネルギーの種類？



身の回りのエネルギーのいろいろー③

Q: 口内のエネルギーの種類？



出典：宇部高専SNW対話2022基調講演ー1「エネルギーを身近なところから考える」、金氏顕

エネルギーの種類

以上、私たちの身の回りのエネルギーである電気、都市ガス、ガソリン、灯油などは「二次エネルギー」と言われ、「一次エネルギー」から生産されるものです。

■エネルギーの分類

●一次エネルギー（天然資源による分類）

- 化石燃料（世界は85%～90%依存）
 - 石炭、原油・石油、天然ガスなど
- 再生可能エネルギー（再エネ）
 - 水力、地熱、バイオ、太陽光、風力など
- 原子力エネルギー
 - 核分裂、核融合

●二次エネルギー（一次エネルギーから生産）

- 電気、都市ガス、水素、ガソリン、灯油など

エネルギーとは、「仕事をする力」(モノを動かす能力)であるのに対して、石油や石炭などの資源は、エネルギーのもととなるもの=原料や材料のことです。

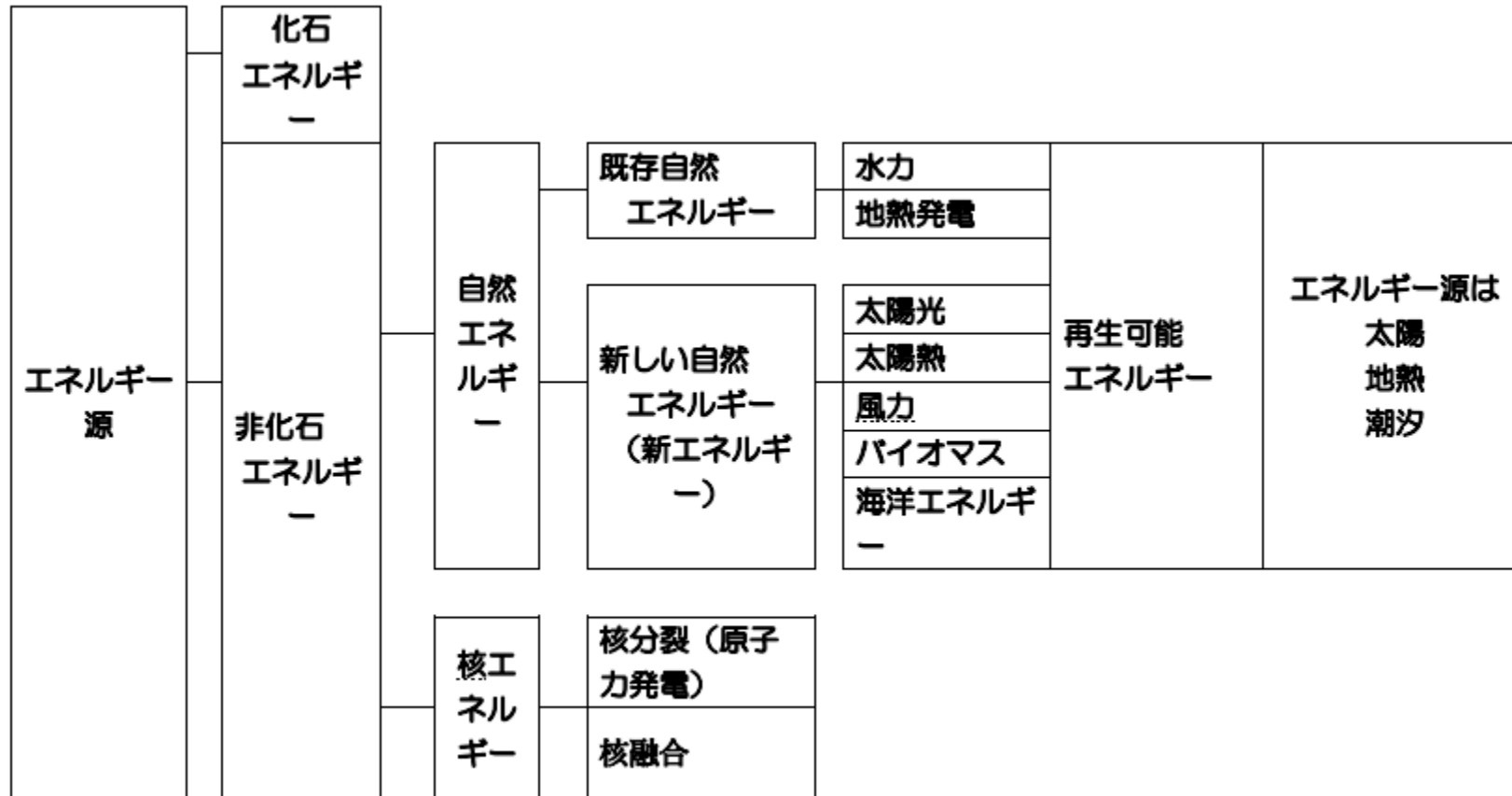
電気やガスなどは、石油や石炭、天然ガスなどの資源を使いやすいように作り変えたもの(変換)であり、自然界からとれた石油や石炭などの資源を「一次エネルギー」、変換・加工された電気や都市ガス、ガソリンなどを「二次エネルギー」とよんでいます。

またエネルギーの分け方には、いろんな方法がありますが、代表的な分け方が「化石エネルギーとその他のエネルギー(非化石エネルギー)」とよばれるものです。



出典：四国電力HP

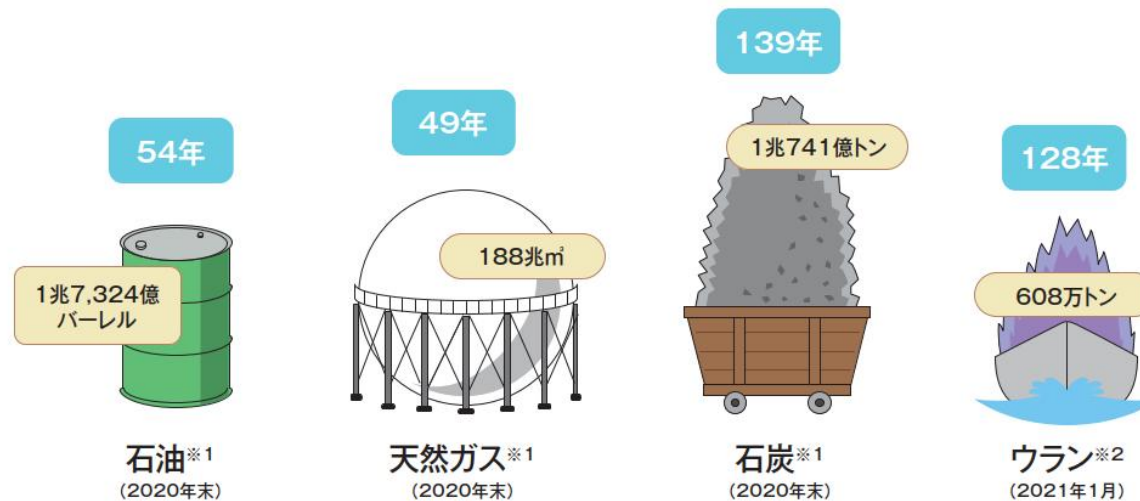
エネルギーの種類



天然資源の確認埋蔵量比較

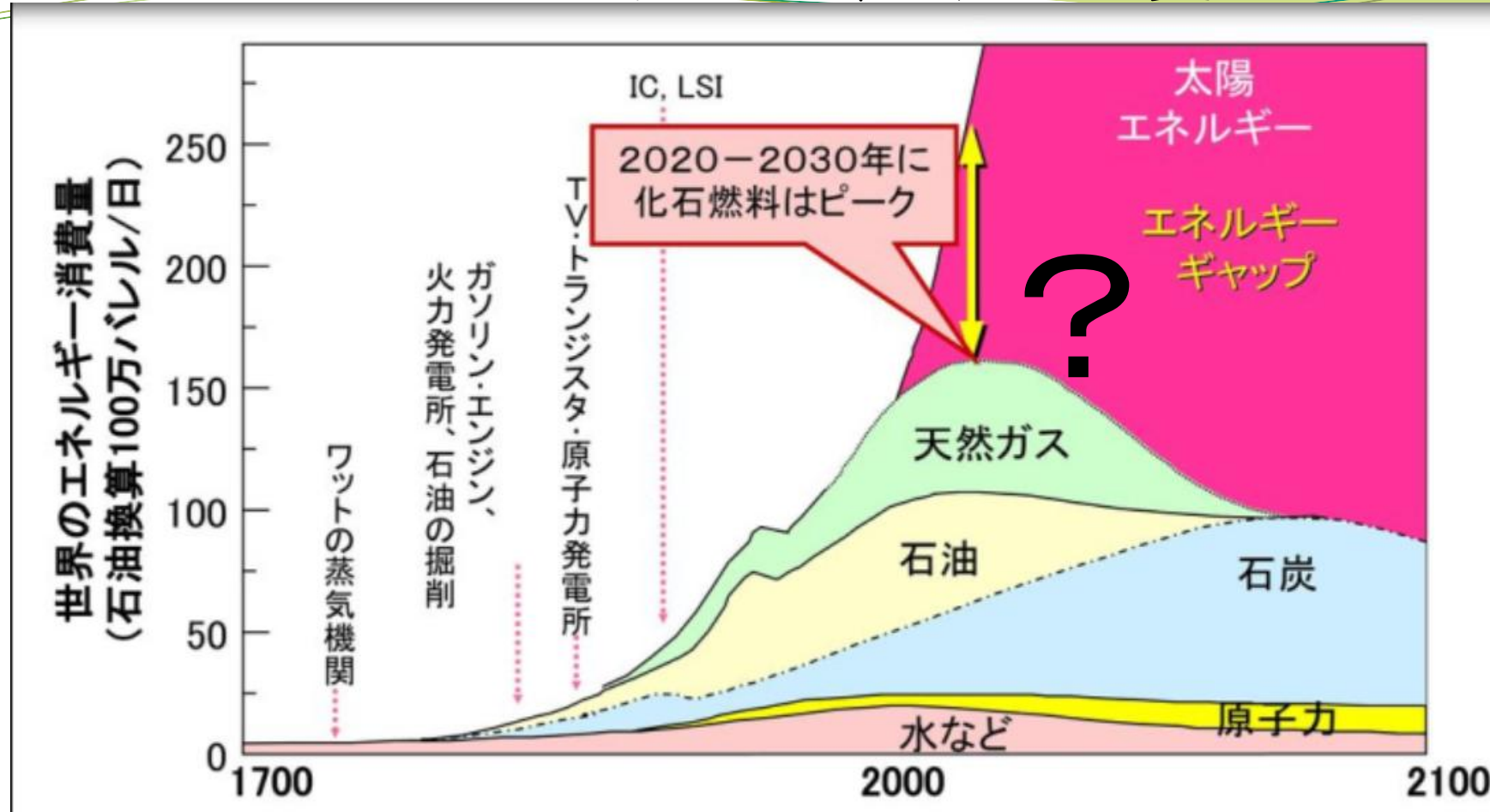
- **石油**は50年前もあと50年と言われたが今でもあと50年と言われるのは、価格が高騰し需要があれば掘削に投資できるから。
- **頁岩（シェール）に含まれる石油や天然ガス**を採掘する技術開発により米国で大量に生産され、米国は資源輸出国に。
- **石炭**は地球上に広く存在する資源で埋蔵量はまだ数百年ある。
- **化石燃料は有限であり、いずれは枯渇する運命。**

■ **ウラン**は使用済み燃料を再処理し得られたプルトニウムを高速増殖炉により更にプルトニウムが増殖され約3000年分の燃料に出来る。



(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

エネルギー資源の長期的消費量



これまで人類が頼ってきた化石燃料のエネルギー消費の内石油、天然ガスは 2020~2030年にはピークとなり、需要とのギャップが大問題になる。石炭も2000年後半にはピークとなり、21世紀後半は非化石燃料として原子力、再生可能エネルギーに頼るしかない。

出典：宇部高専SNW対話2022基調講演-1「エネルギーを身近なところから考える」、金氏顕

電気はどうやって作るのか？

身の周りのエネルギーは最近どんどん電気が増えています。パソコン、スマホ、IHヒーター、電子レンジ、エアコン、オール電化住宅、電気自動車（EV）、電車、新幹線などなど日常生活に電気は欠かせません。

Q. エネルギーの最終消費のうち、電気は何%くらいですか？

次に電気はどうやって作っているのか、関西電力の発電所を訪問し、各発電方式の原理を調べましょう。

日本のエネルギーバランス・フロー (2022年度)

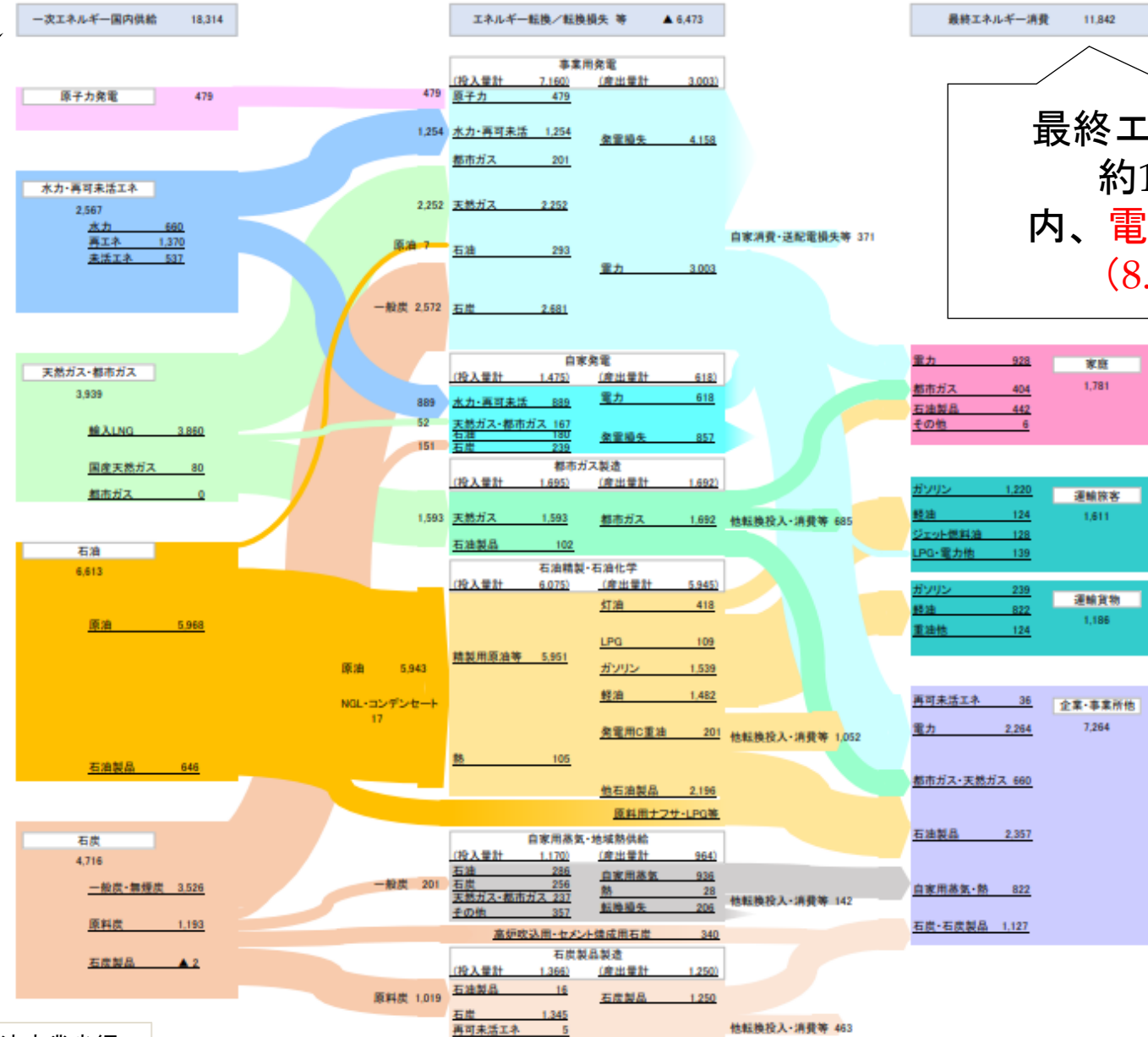
【第211-1-3】日本のエネルギーバランス・フロー概要(2022年度)

単位：10¹⁵J

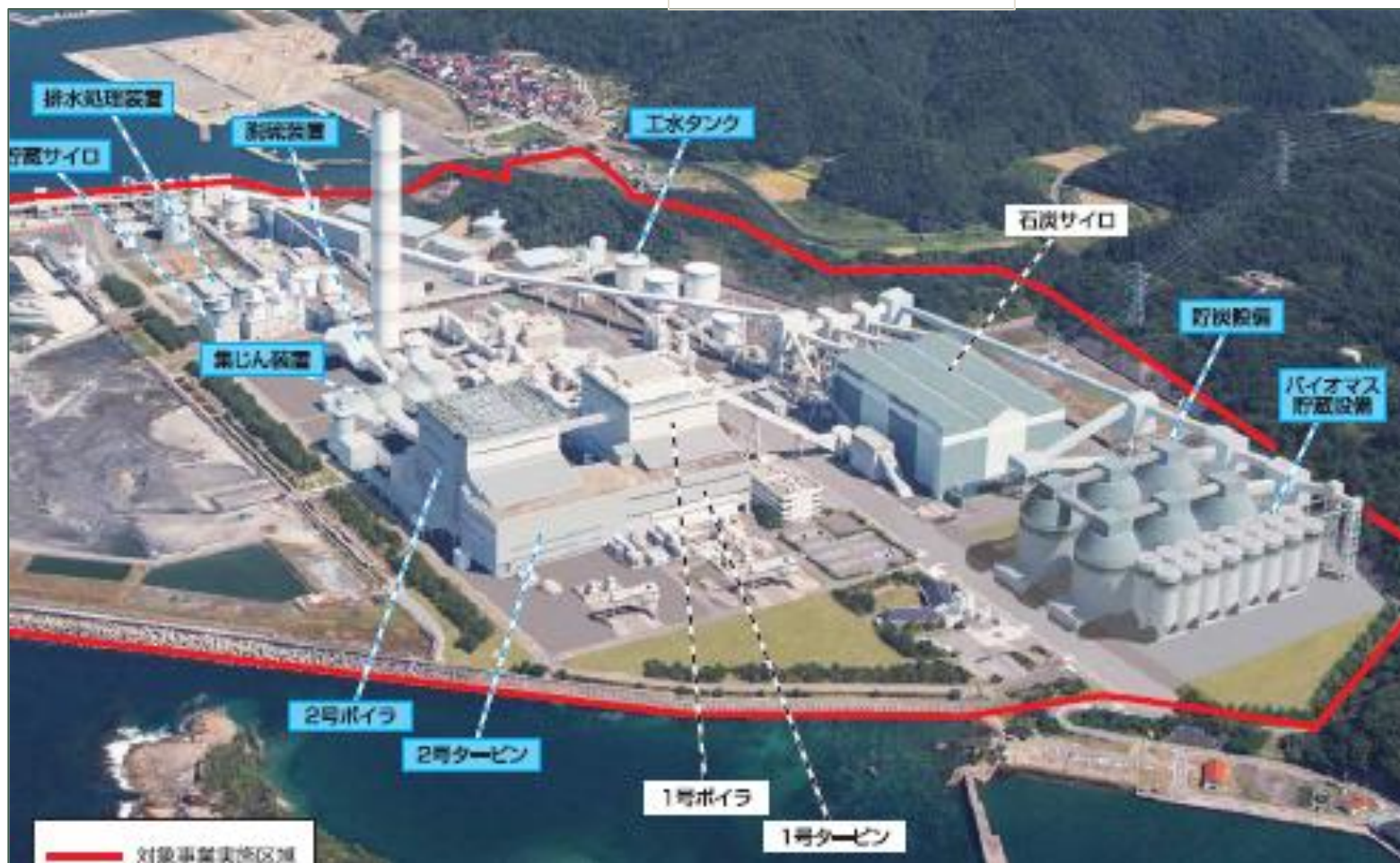
単位PJ

一次エネルギー国内供給
約18.3 × 10¹⁸J

最終エネルギー消費
約11.8 × 10¹⁸J
内、電力は3.2 × 10¹⁸J
(8.89 × 10¹¹Kwh)



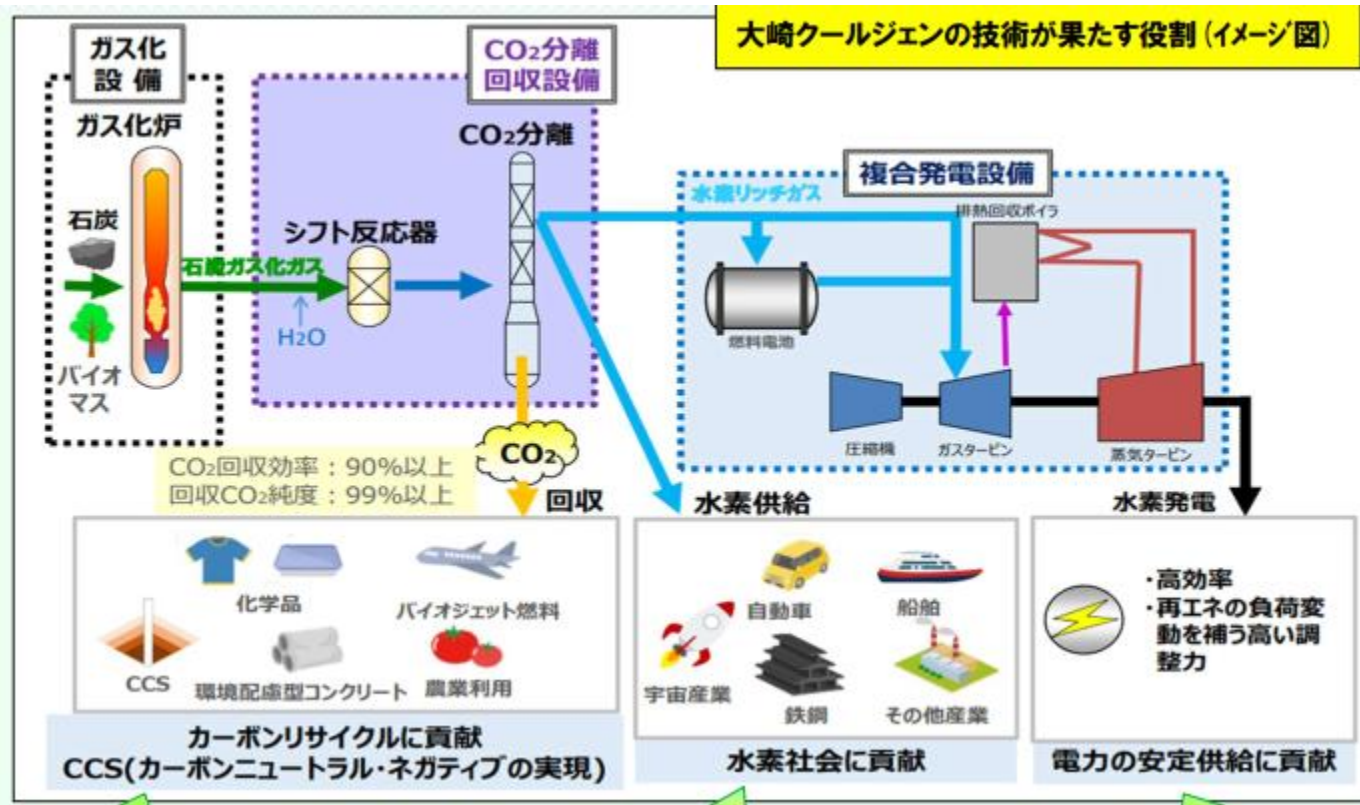
中国電力の最新鋭高効率（発電効率：43.3%）石炭火力発電



三隅2号機石炭火力発電所（2022年11月1日営業運転、100万kW）

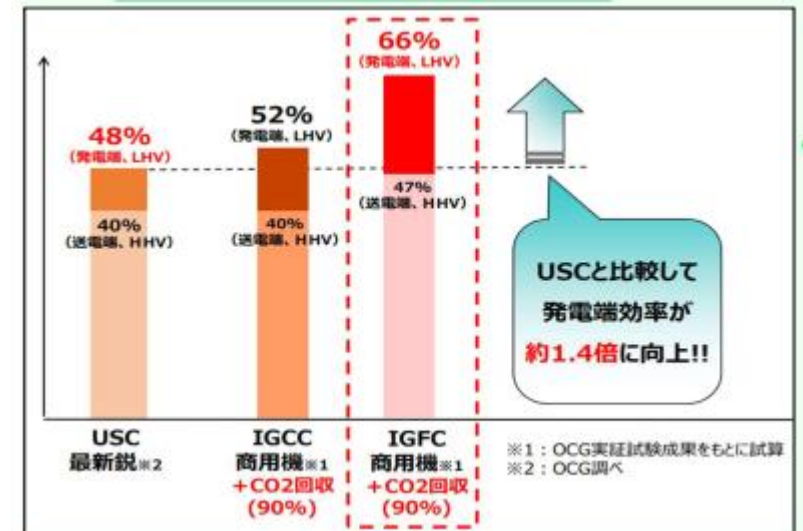
中国電力は次世代火力発電開発中

第3段階 CO₂分離・回収型 IGFC 実証試験完了



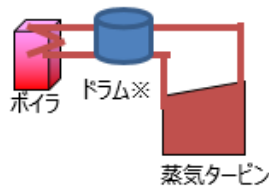
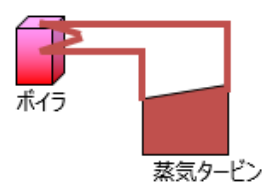
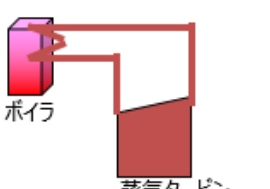
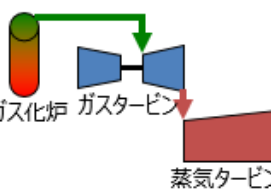
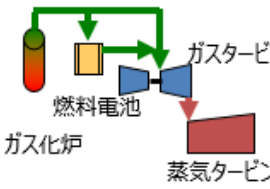
〈第3段階実証試験の主な成果〉

- CO₂分離・回収型 IGCC や CO₂分離・回収型 IGFC は最新鋭の石炭火力発電 (USC) に比べ、CO₂の排出量を90%以上抑制しつつ、USC 相当あるいはそれ以上の効率で発電可能であることを実証しました!



大崎クールジェン (株) 石炭ガス化燃料電池複合発電所 (中国電力・電源開発)
17万 kW、第3段階実証試験2022年4月～2023年3月

参考：火力発電方式

発電方式	亜臨界圧 (SUB-C)	超臨界圧 (SC)	超々臨界圧 (USC)	石炭ガス化複合発電 (IGCC)	石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)
概要	蒸気タービンのみで発電する方式。旧式であり、安価で運転管理も容易。	蒸気タービンのみで発電する方式。途上国では現在導入が進む主流の技術。	蒸気タービンのみで発電する方式。現在の石炭火力の主流。蒸気の温度・圧力を上げることで効率が向上。	石炭をガス化した上で燃焼させて発電する技術。ガスタービン発電と、そこから排熱で発生させた蒸気を利用する蒸気タービン発電の2つを複合させることで高効率化が可能となる。	IGCCにさらに燃料電池を組み合わせたトリプル複合発電方式。更に高効率化が可能。現在広島県の大崎上島で2022年度の実証試験開始に向けて準備中。
構造	 <p>ボイラ ドラム※ 蒸気タービン</p> <p>※ 蒸気と熱水に分離する。</p>	 <p>ボイラ 蒸気タービン</p>	 <p>ボイラ 蒸気タービン</p>	 <p>ガス化炉 ガスタービン 蒸気タービン</p>	 <p>ガス化炉 燃料電池 ガスタービン 蒸気タービン</p>
発電効率	38%以下	38%～40%程度	41%～43%程度	46～50%程度	55%程度
蒸気圧力 蒸気温度	221bar以下 (1bar=1気圧)	221barを超えるもの	221barを超えるもの 593℃以上	ガス温度：1300℃～	ガス温度：1300℃～

用語：USC *Ultra Super Critical Power Plant*
 IGCC *Integrated Coal Gasification Combined Cycle*
 IGFC *Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle*

出典：資源エネルギー庁HP
 非効率石炭火力発電をどうする？フェードアウトへ向けた取り組み | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 (meti.go.jp)

中国電力の原子力発電



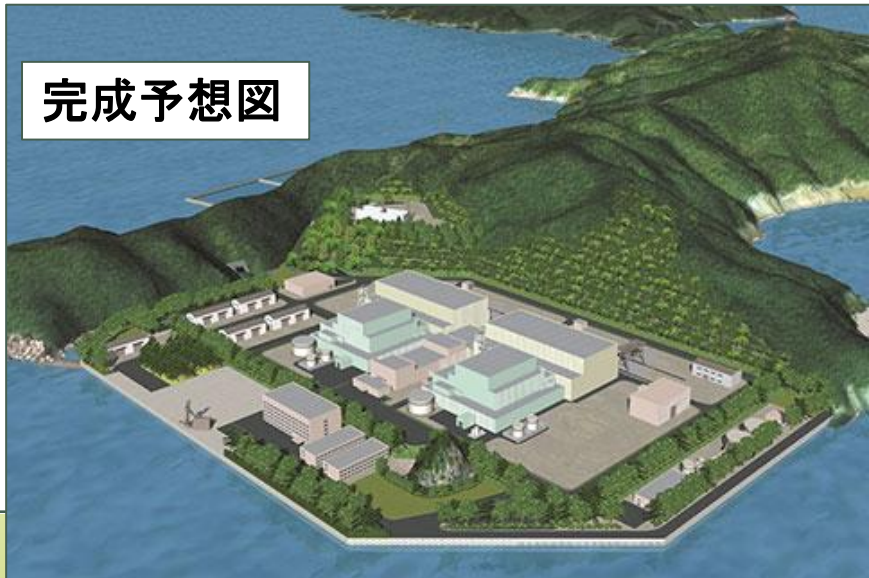
島根原子力発電所

(沸騰水型軽水炉)

1号機 (46万 kW) : 廃炉工事中

2号機 (82万 kW) : 運転中

3号機 (137.3万 kW) : 新規性基準
適合性審査中



上関原子力発電所

(改良型沸騰水型軽水炉)

1号機 (137.3万kW) : 計画中

2号機 (137.3万 kW) : 計画中

中国電力の再生可能エネルギー発電

水力：俣野川発電所（120万kW）



太陽光：宇部 & 福山太陽光発電所
（各3000kW）



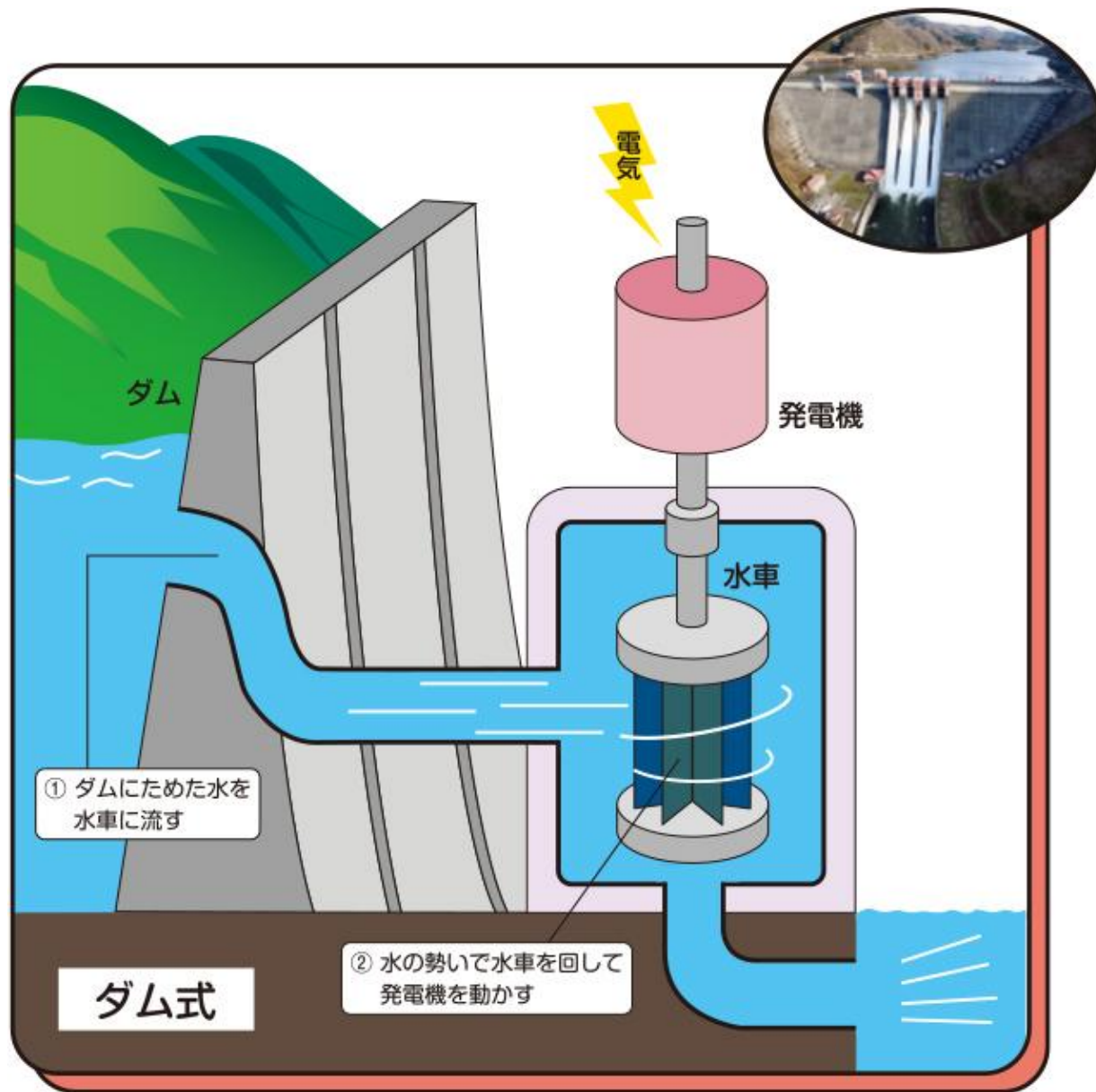
風力：長門市の風力発電（1950kW）
（中電プラント）



海田バイオマス発電（株）（中電・広島ガス）
木質チップ混焼（11.2万kW）

地熱発電中国地方には無い（？）

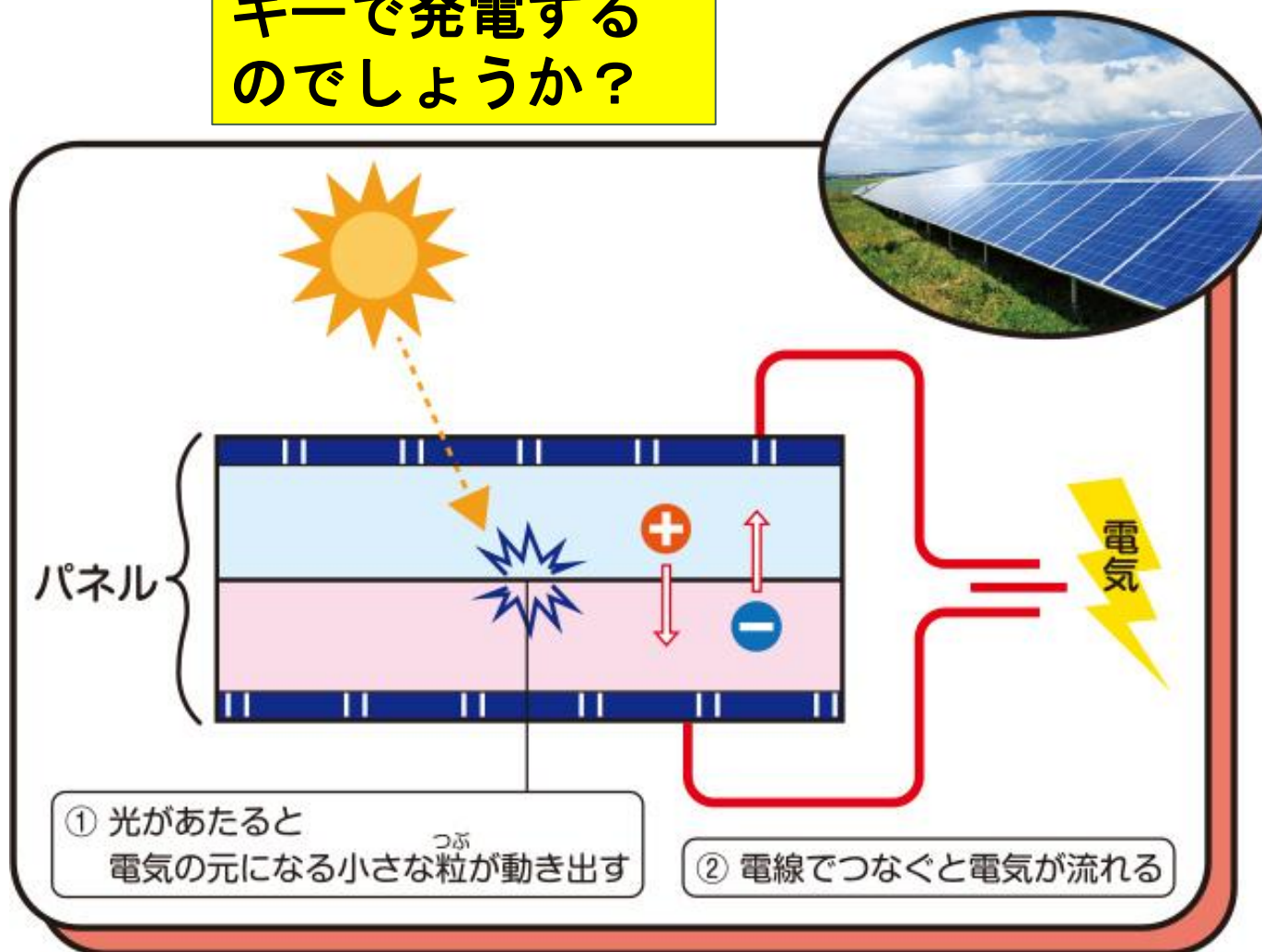
水力発電の仕組み



Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？

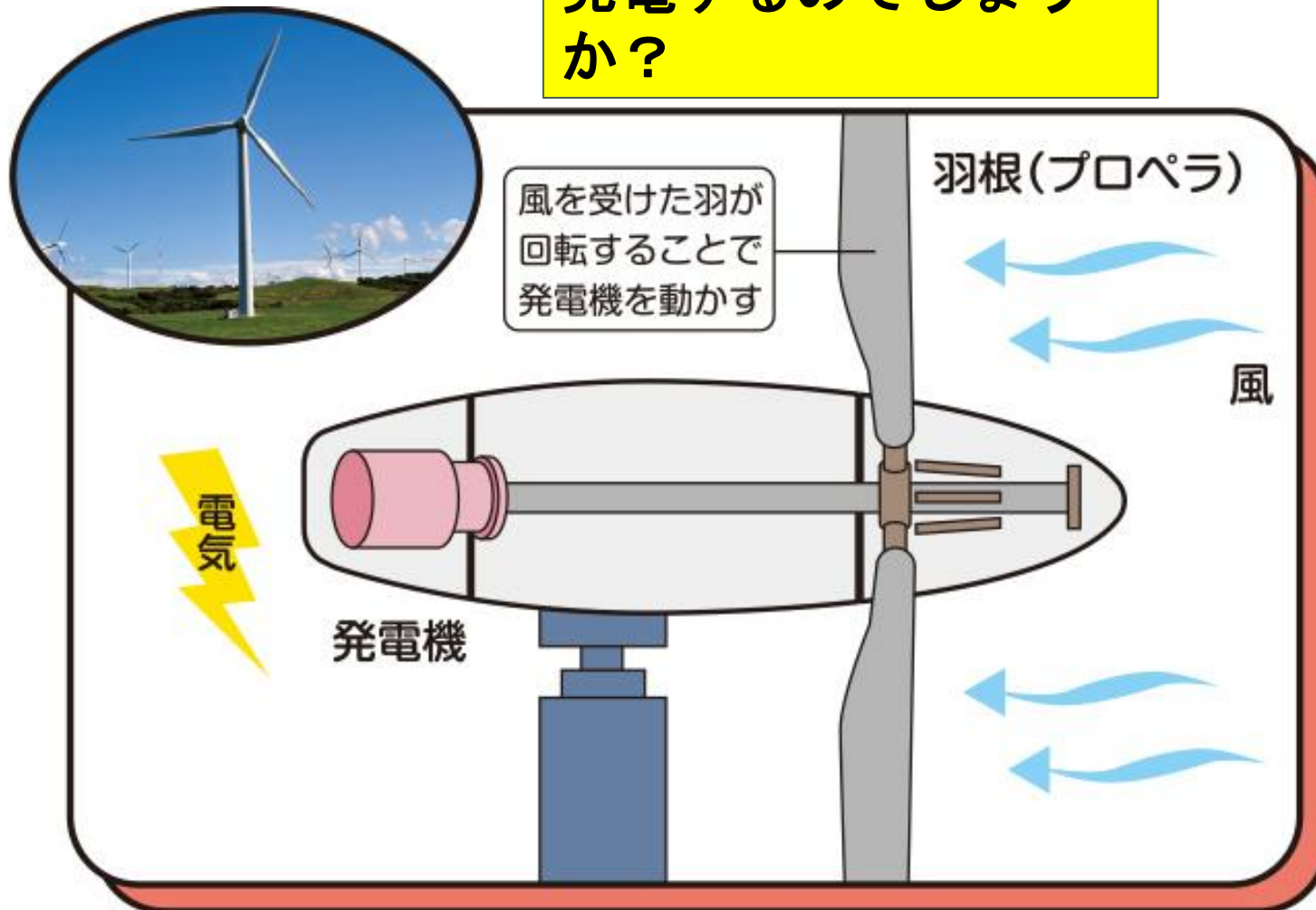
太陽光発電の仕組み

Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？



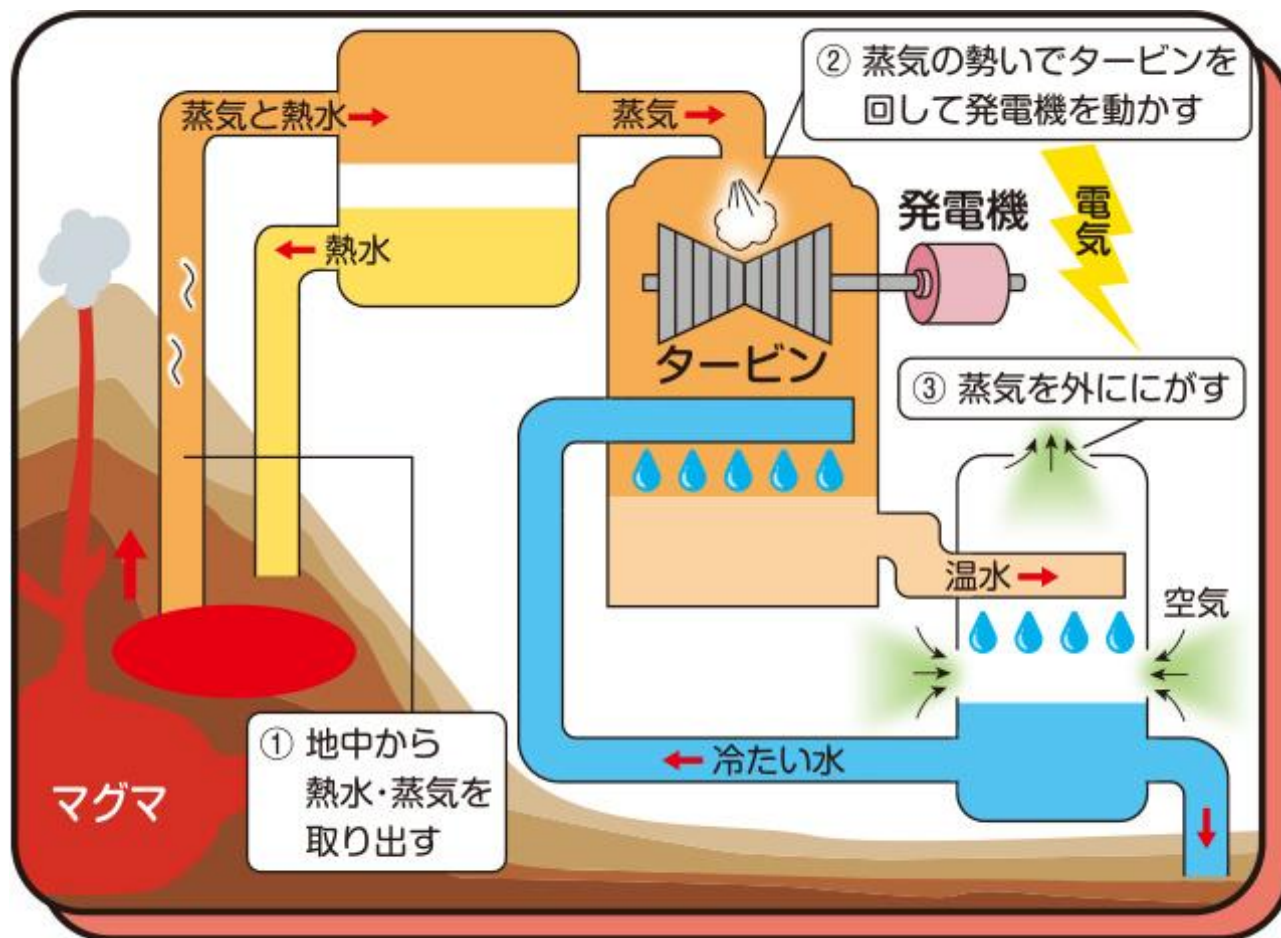
風力発電の仕組み

Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？

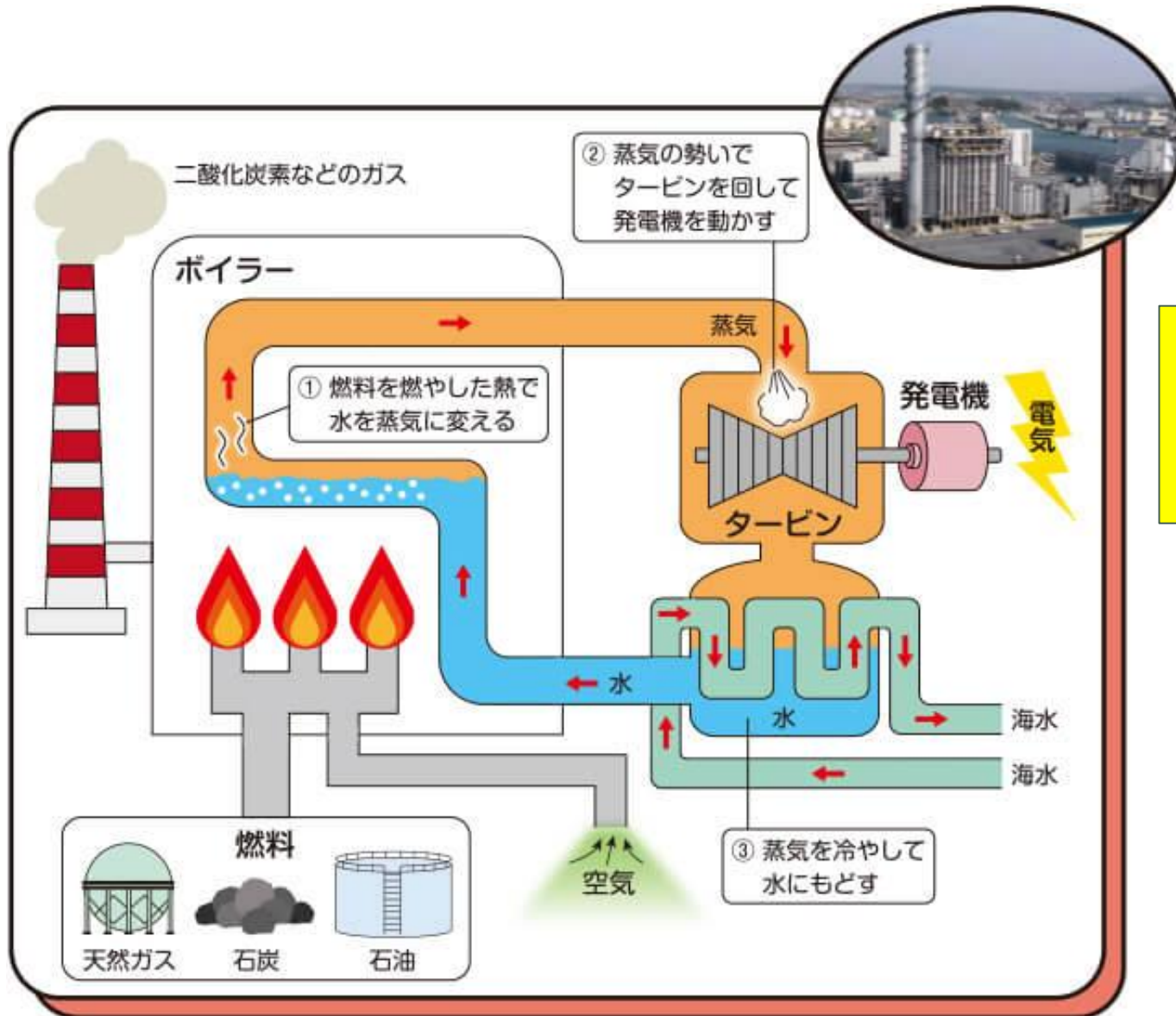


地熱発電の仕組み

Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？



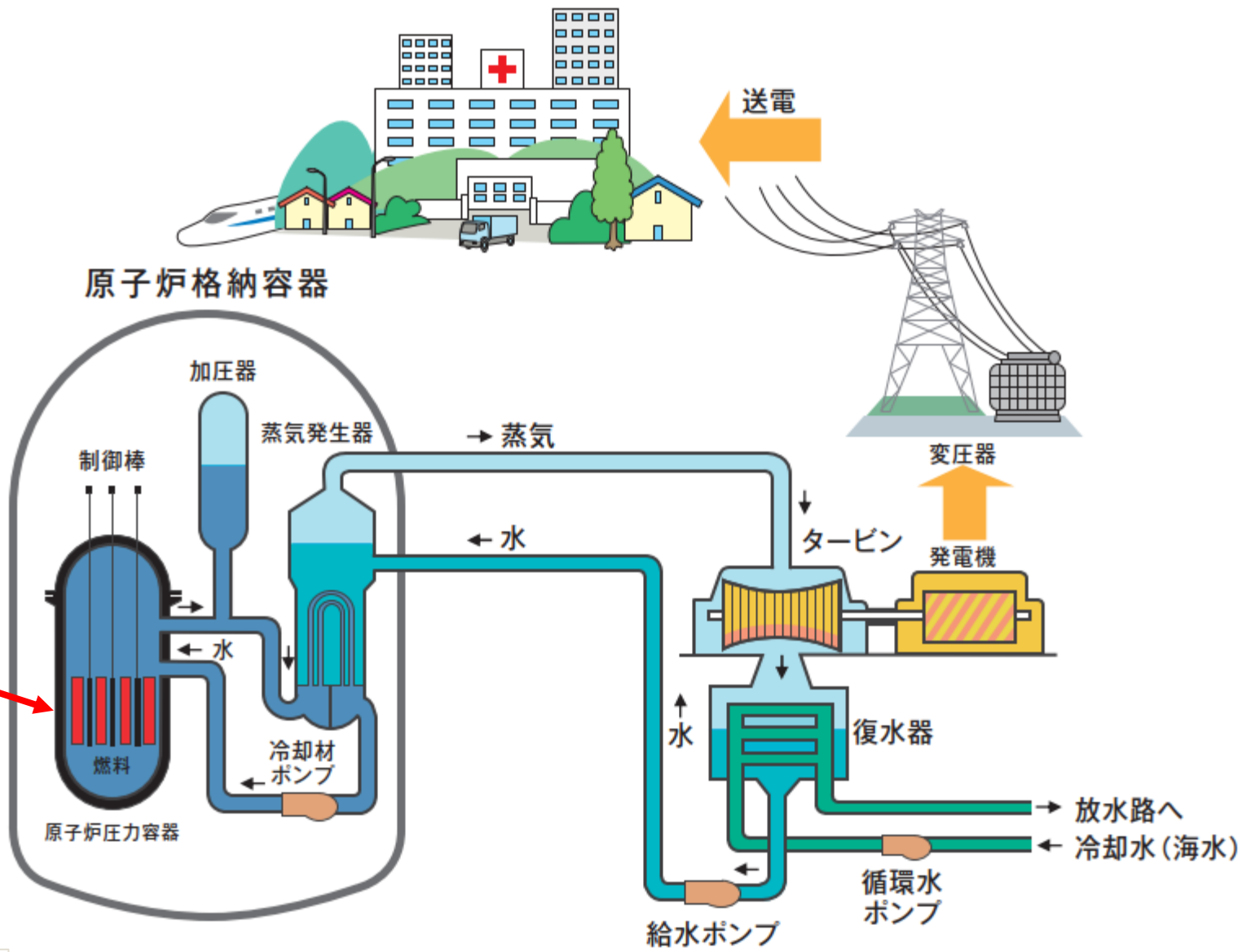
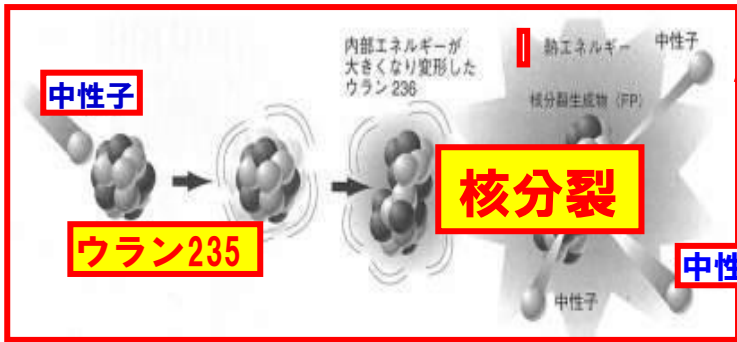
火力発電の仕組み



Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？

原子力発電(PWR)の仕組み

Q: 何のエネルギーで発電するのでしょうか？



火力発電と原子力発電のエネルギーの違い

【火力発電＝化学反応エネルギー】

石油や石炭は炭素や水素が酸素と化学反応し燃焼。

石油1グラムで42キロジュール、石炭1グラムで27キロジュールの熱量発生。

【原子力発電＝核分裂反応エネルギー】

ウラン235に中性子が吸収し、核分裂し熱エネルギーを発生。

アインシュタインの特殊相対性理論「質量がエネルギーに変換」

$$E = m c^2$$

1個のウラン235の核分裂で約200MeVのエネルギーが発生 ($200\text{MeV} = 3.2 \times 10^{-11}\text{J}$)

E: 熱エネルギー (1cal=4.18J、 $\text{J}=\text{kgm}^2/\text{s}^2$)、m: 消失質量 (g)、

C: 光の速度= $3 \times 10^8\text{m/s}$

ウラン235の1グラムで 86.4×10^6 キロジュールの熱量発生。

(約1メガワット・日)

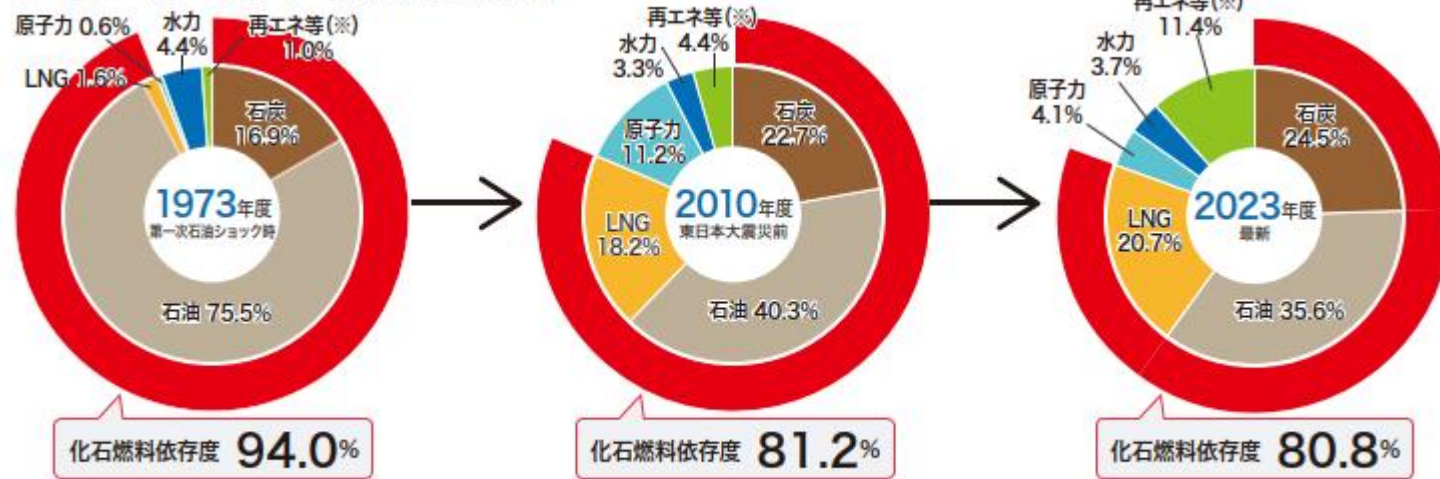
ウラン235の核分裂エネルギーは石油の約200万倍、石炭の約300万倍という膨大なエネルギーを発生する。

エネルギー政策の基本方針



一次エネルギーの供給構成
2022年度自給率12.6%
化石燃料に大きく依存

日本の一次エネルギー供給構成の推移



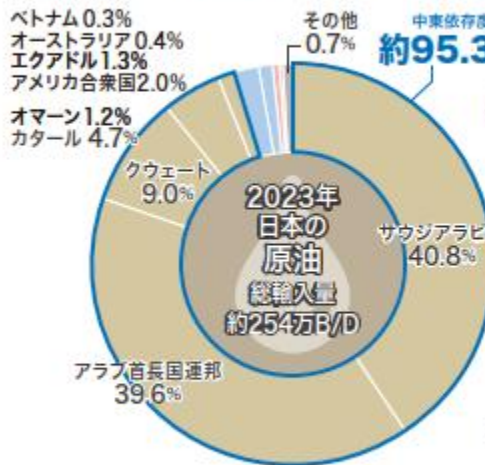
出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2023年度速報値
※四捨五入の関係で、合計が100%にならない場合がある
※再エネ等(水力除く地熱、風力、太陽光など)は未活用エネルギーを含む

出典：日本のエネルギー2025年3月発行(資源エネルギー庁)

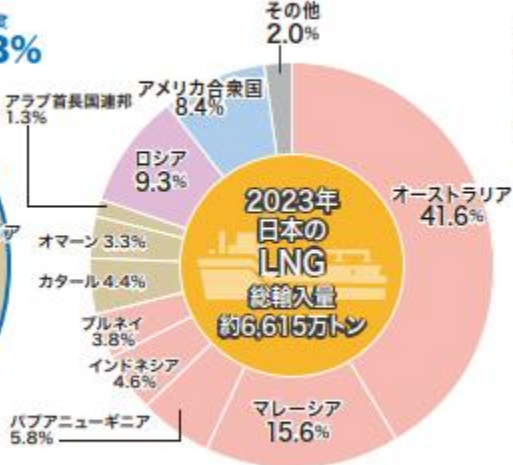
化石燃料輸入先

日本の化石燃料輸入先(2023年)

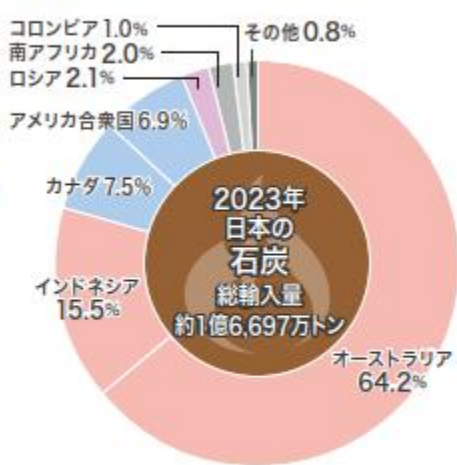
■ 中東から
 ■ アジア・オセアニアから
 ■ ロシアから
 ■ 北・中米から
 ■ その他



原油海外依存度 **99.7%**



天然ガス海外依存度 **97.9%**



石炭海外依存度 **99.7%**

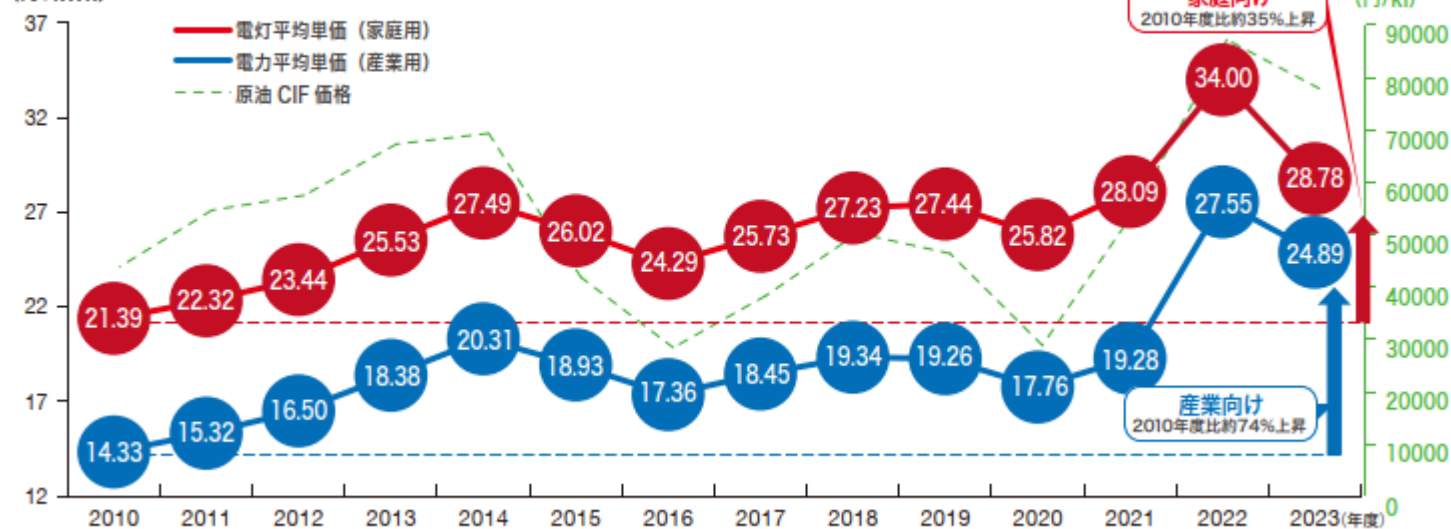
出典:財務省貿易統計(海外依存度は総合エネルギー統計より、年度ベース)

電気料金の推移

電気料金平均単価の推移

燃料輸入価格が低下したこと等により、2023年度は2022年度よりも低い水準になりました。

電気料金単価 (円/kWh)



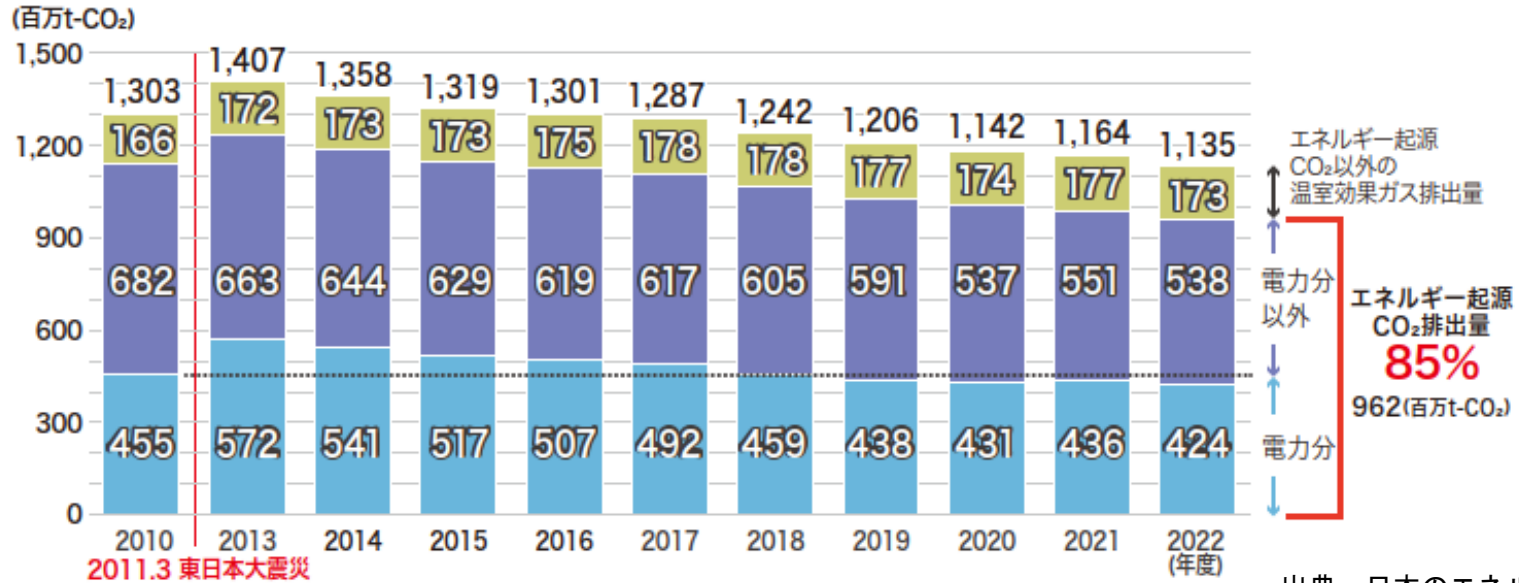
出典:発受電月報、各電力会社決算資料、電力取引報等を基に作成

原油CIF価格:輸入額に輸送料、保険料等を加えた貿易取引の価格

出典:日本のエネルギー-2025年3月発行(資源エネルギー庁)

温室効果ガス排出量

日本の温室効果ガス排出量の推移



出典：総合エネルギー統計、日本の温室効果ガス排出量の算定結果(環境省)を基に作成

出典：日本のエネルギー2025年3月発行(資源エネルギー庁)

化石燃料による環境汚染物質

石炭、石油、天然ガスのCO₂、NO_x、SO_x排出量の比較

二酸化炭素(CO₂)



窒素酸化物(NO_x)



硫黄酸化物(SO_x)



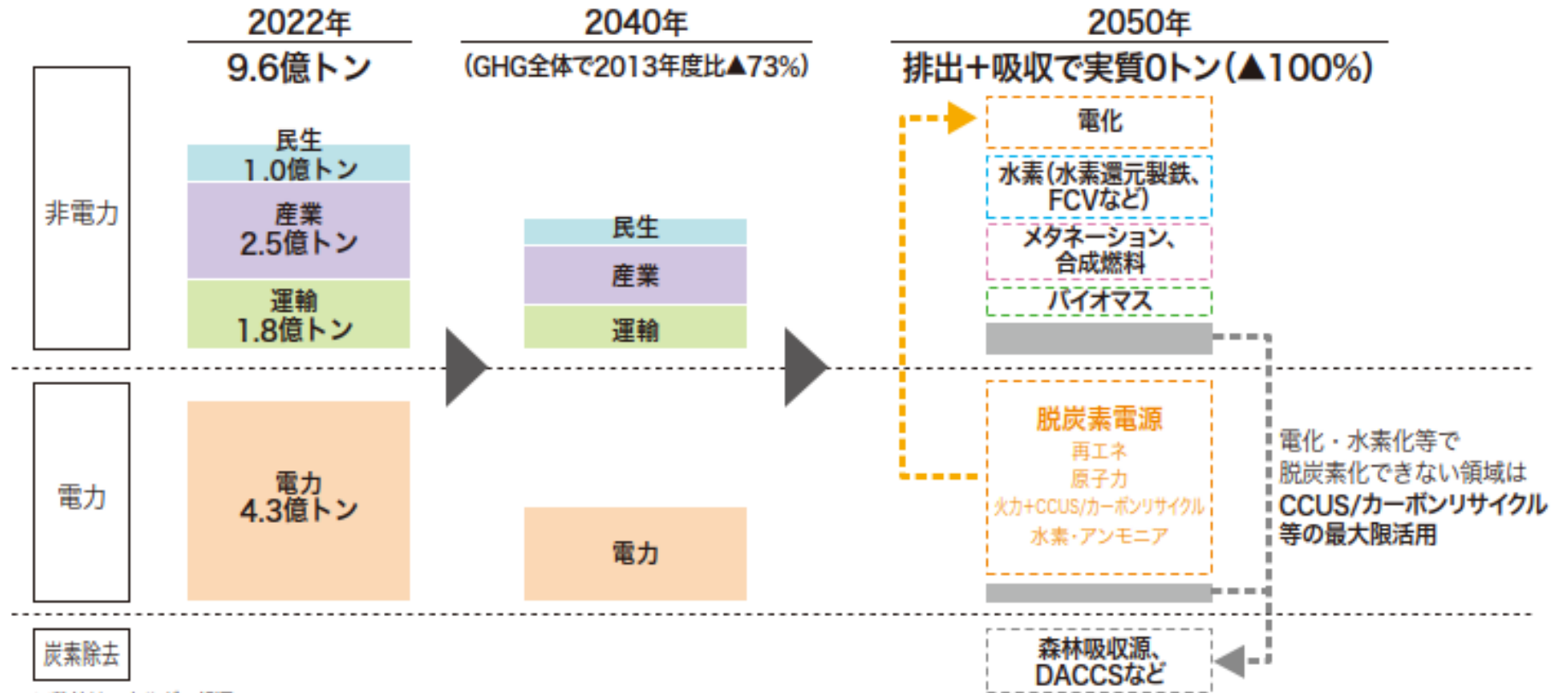
(注) 石炭を100とした場合の発生量(燃焼時)

(出典：「NATURAL GAS PROSPECTS 2010」)

出典：とことんやさしいエネルギーの本(第二版)(山崎耕造、日刊工業新聞社)

2050年に向けた更なる脱炭素化の方向性

カーボンニュートラルへの転換イメージ

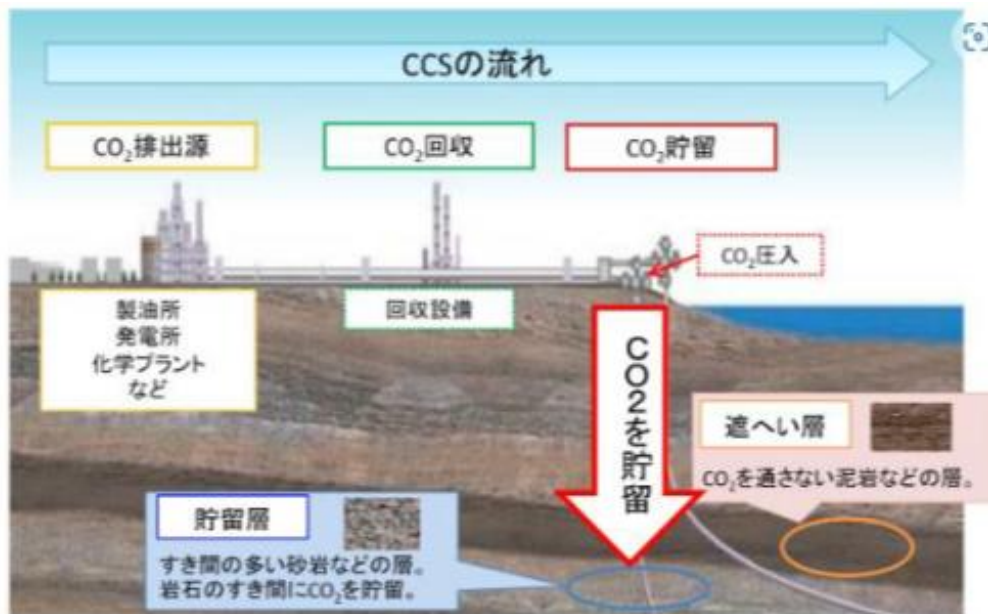


※数値はエネルギー起源CO₂

DACCS(direct air capture with carbon storage): 大気中にすでに存在するCO₂を直接回収して貯留する技術

出典：日本のエネルギー2025年3月発行（資源エネルギー庁）

補足 (CCS、CCUS、DACCS、BECCS)



CCS (Carbon dioxide Capture and Storage)

: 発電所や化学工場などから排出されたCO₂を、ほかの気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入する技術

CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

: 分離・貯留したCO₂を利用しようというもの

DACCS (direct air capture with carbon storage)

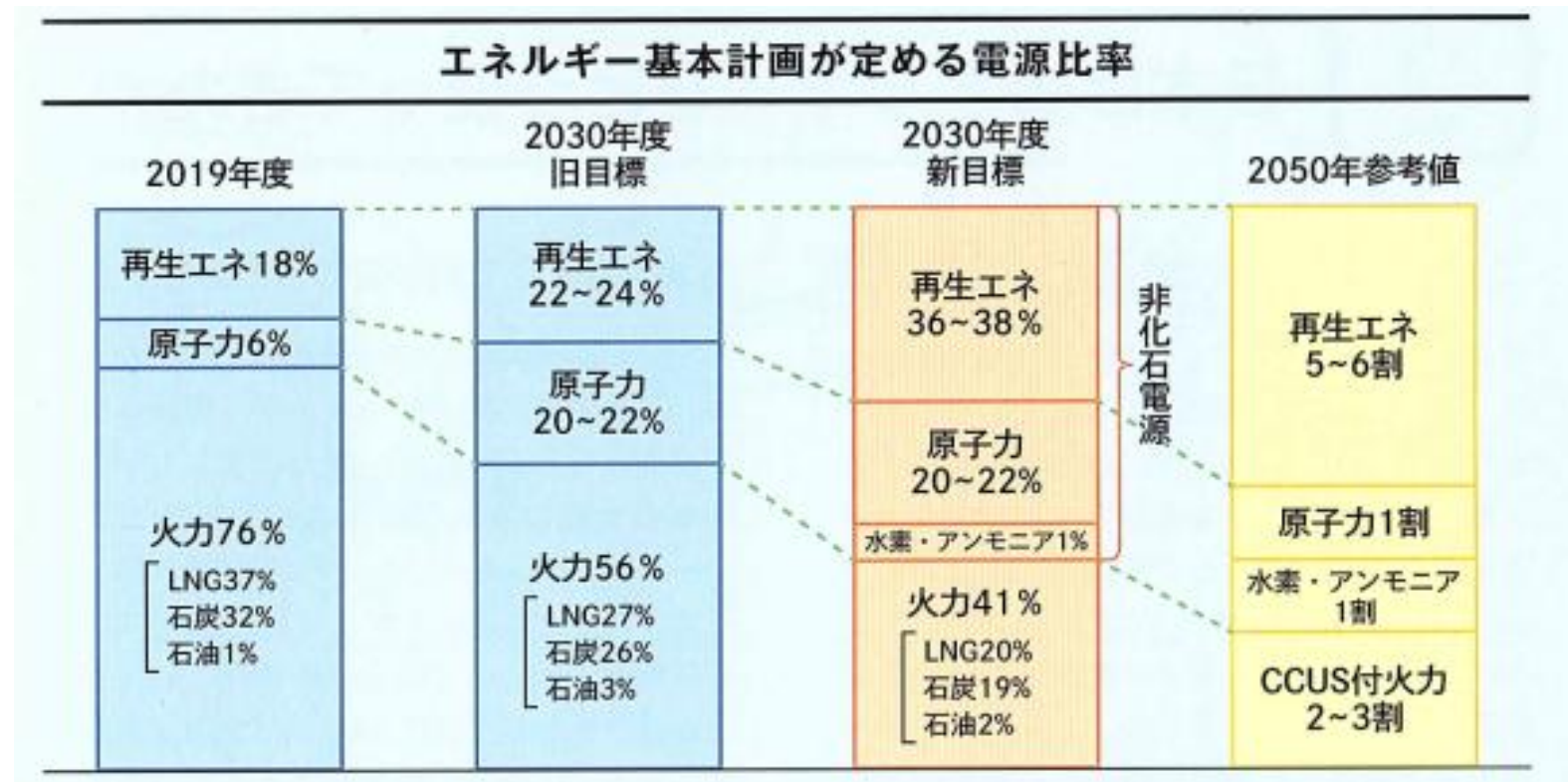
: 大気中にすでに存在するCO₂を直接回収して貯留する技術

BECCS (bioenergy with carbon dioxide capture and storage)

: バイオマス燃料の使用時に排出されたCO₂を回収して地中に貯留する技術

出典：経済産業省HP [エネルギーの基礎用語～CO₂を集めて埋めて役立つ「CCUS」 | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 \(meti.go.jp\)](#)

2030年及び2050年の電源構成比（第6次エネルギー基本計画@2021）

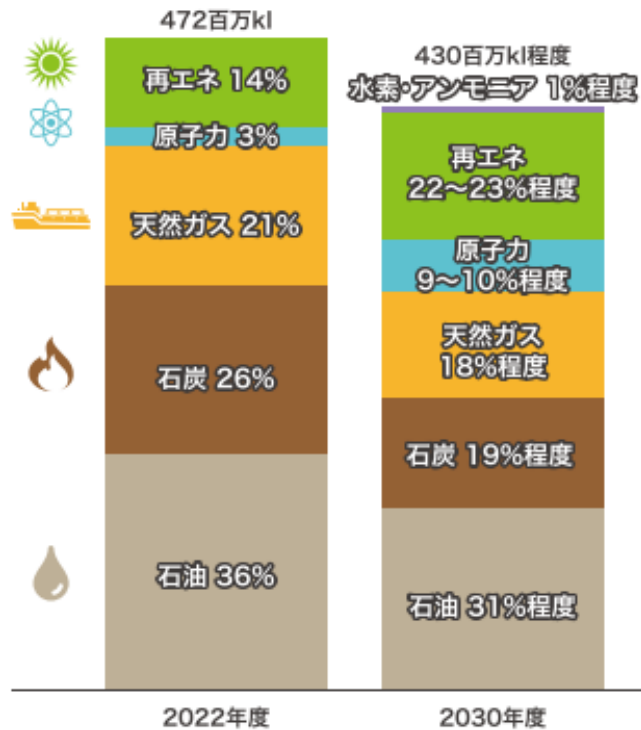


出典：みんなで考える脱炭素社会（松尾博文、日本経済新聞出版）

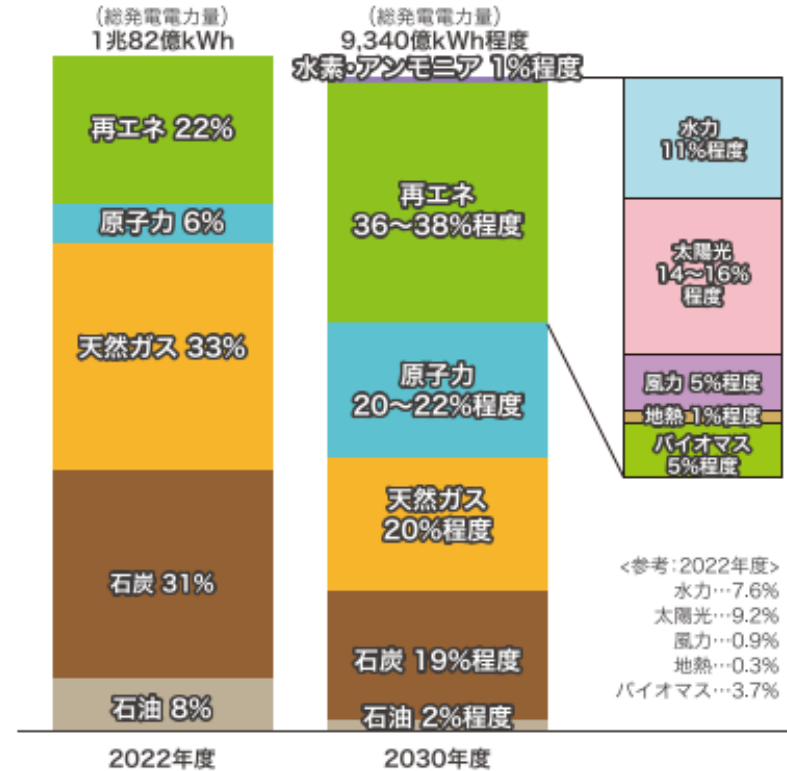
第6次エネ基では2050年の割合は参考値である。

2030年におけるエネルギー需給の見通し@第6次エネルギー基本計2024.2

一次エネルギー供給



電源構成



<参考:2022年度>
 水力…7.6%
 太陽光…9.2%
 風力…0.9%
 地熱…0.3%
 バイオマス…3.7%

出典:資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2022年度速報値、2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)

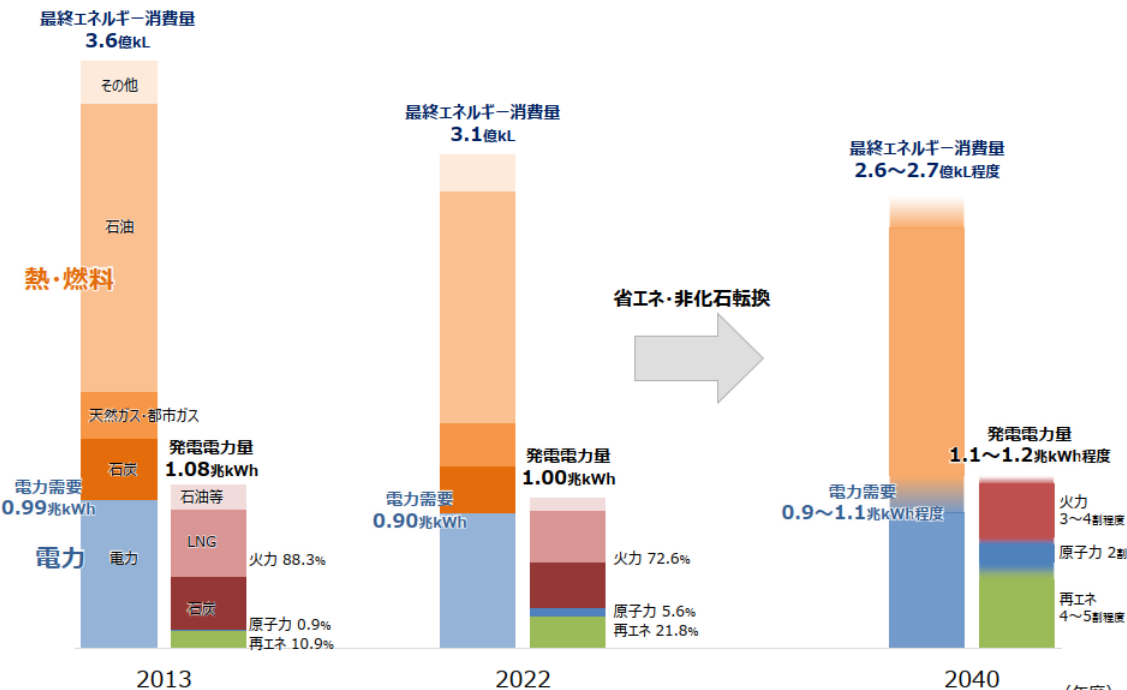
9 ※四捨五入の関係で、合計が100%にならない場合がある
 ※再エネ等(水力除く地熱、風力、太陽光など)は未活用エネルギーを含む

出典:日本のエネルギー2024年2月発行(資源エネルギー庁)

第6次エネ基では2050年の詳細割合は示されていない。

第7次エネルギー基本計画@2025.2

(参考) エネルギー需給の見通し (イメージ)



(注) 左のグラフは最終エネルギー消費量、右のグラフは発電電力量であり、送配電損失量と所内電力量を差し引いたものが電力需要。

	2023年度 (速報値)	2040年度 (見通し)	
エネルギー自給率	15.2%	3~4割程度	
発電電力量	9854億kWh	1.1~1.2兆kWh程度	
電源構成	再エネ	22.9%	
	太陽光	9.8%	23~29%程度
	風力	1.1%	4~8%程度
	水力	7.6%	8~10%程度
	地熱	0.3%	1~2%程度
	バイオマス	4.1%	5~6%程度
	原子力	8.5%	2割程度
火力	68.6%	3~4割程度	
最終エネルギー消費量	3.0億kL	2.6~2.7億kL程度	
温室効果ガス削減割合 (2013年度比)	22.9% ※2022年度実績	73%	



第7次エネ基では2050年の割合は参考値としても示されていない。

出典：エネルギー基本計画の概要 令和7年2月資源エネルギー庁

1.再生可能エネルギー※1

1) 課題

- ①主電源化に向けて発電コストの低減が必要
- ②長期に安定した電源となることも必要（事業の継続性の確保）
- ③再生可能エネルギーを電力系統に接続する際に発生する系統制約の解消
- ④発電量が季節や天候に左右されるため需要と供給のバランスが崩れる

2) 課題への対応

①再エネの主電源化を図る施策の実施

（再エネの入札制度導入やFIP制度の導入、電力の系統整備や調整力の確保、北海道からの海底直流送電の整備、洋上風力の導入、次世代太陽電池（ペロブスカイト太陽電池）の社会実装等）

FIP:あらかじめ設定された基準価格から参照価格（市場取引により期待される収入）を控除した額に再エネ電気供給量に乗じたプレミアムが事業者に交付される制度

2.原子力発電

1) 課題

- ①既設原子力発電所の再稼働の遅れ
- ②新增設・リプレースの兆しが無い
- ③高レベル放射性廃棄物の処理処分問題の解決及び核燃料サイクルの確立が見通せない

2) 課題への対応

- ①まずは原子力に対する社会的受容性の改善を図る

今後の原子力発電の利用に対する考え：2024年度原子力に関する世論調査結果より

問8-1 今後日本は、原子力発電をどのように利用していけばよいと思いますか。（○は1つだけ）



- 当面の原子力利用について容認する考えは過半数超の58.1%
 (「増加+維持」は18.3%+「しばらく利用するが、徐々に廃止していくべきだ」の39.8%)、
 「即時廃止」が4.9%、「わからない」が33.1%
- 当面の原子力利用について容認する考えが過半数超であることから
原子力発電は、現状においては利用すべき発電方法と認識されていることが確認できる
- 「わからない」は、増加傾向で過去最大値の33.1%、2014年から+12.5%
- 2016→2023年度で「即時、廃止」の割合が減少し、2021→2023年度で「増加+維持」の割合が増加しており、2024年度は2023年度の傾向を維持している

第3部 放射線の基礎

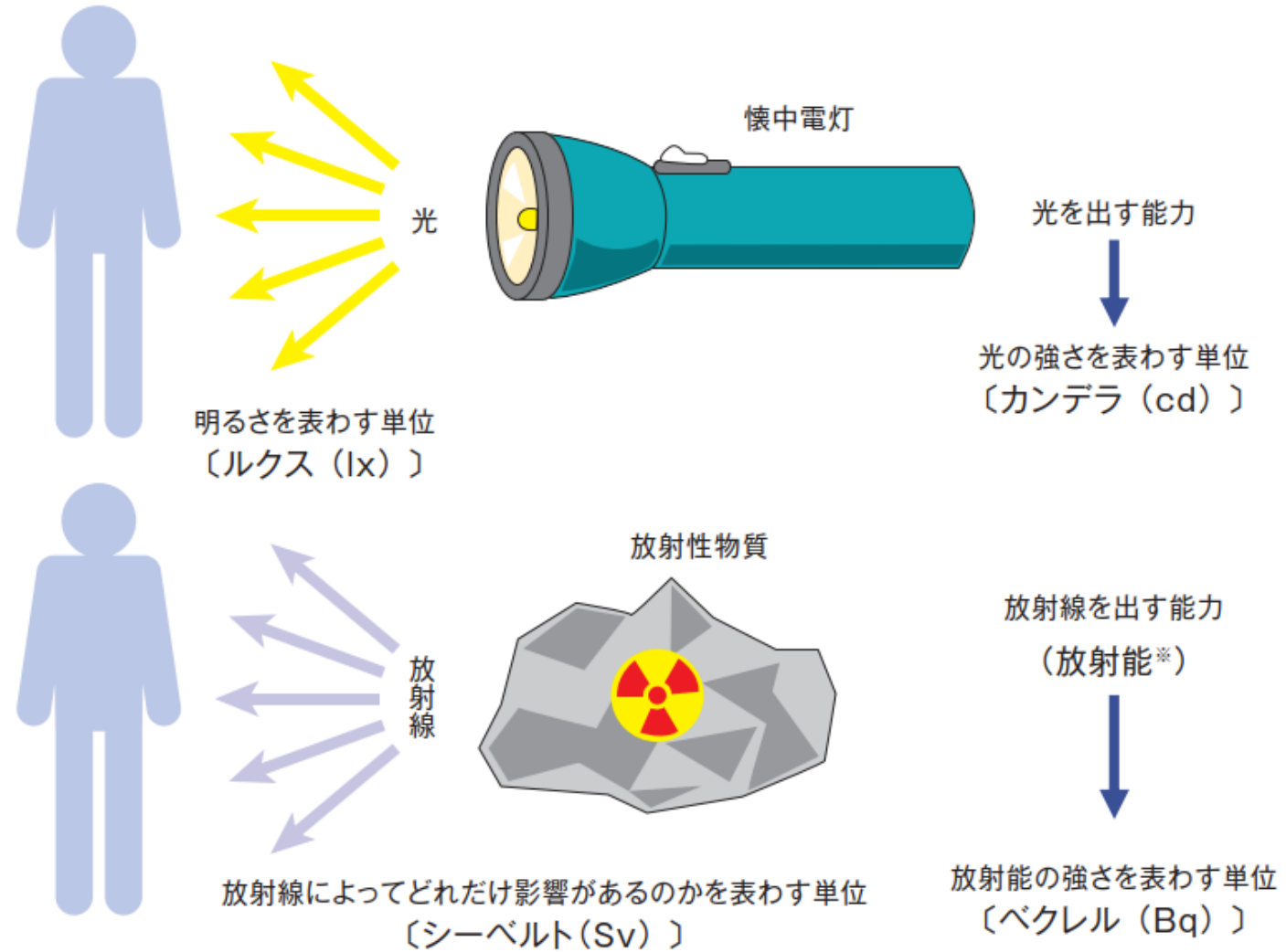
第1章 放射線の種類

第2章 日常生活と放射線

第3章 放射線の利用

第4章 放射線の防護と人体への影響

放射能と放射線



※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

6-1-1

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

放射線に関する単位

線量 $H = Q \cdot D$

Q:放射線荷重係数
(放射線の種類やエネルギーによる影響度合)

等価線量 Sv

(生体組織Tに対する特定の放射線によるH)

$H_T = Q_x \cdot D_T$

Q_x の例

X線 : 1

アルファ線 : 20

実効線量 Sv ※

(身体のすべての生体組織にわたり重み付け)

$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$

W_T : 組織荷重係数

例: 肺 0.12

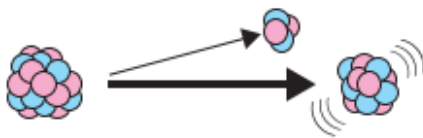


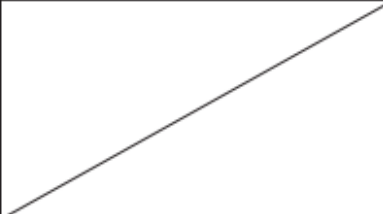
※: 詳細は第3章参照

名 称	単 位 名 (記 号)	定 義
放射能の単位 国際単位系 (SI)		
放射能	ベクレル (Bq)	1秒間に原子核が壊変する数を表す単位
放射線量の単位 国際単位系 (SI)		
吸収線量 (D)	グレイ (Gy)	放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位 1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量
線 量 ($H = Q \cdot D$)	シーベルト (Sv)	放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位 (1シーベルト=1000ミリシーベルト)
エネルギーの単位 国際単位系 (SI)		
エネルギー	ジュール (J)	放射線等のエネルギーを表す単位 ($1J = 6.2 \times 10^{18} eV$)

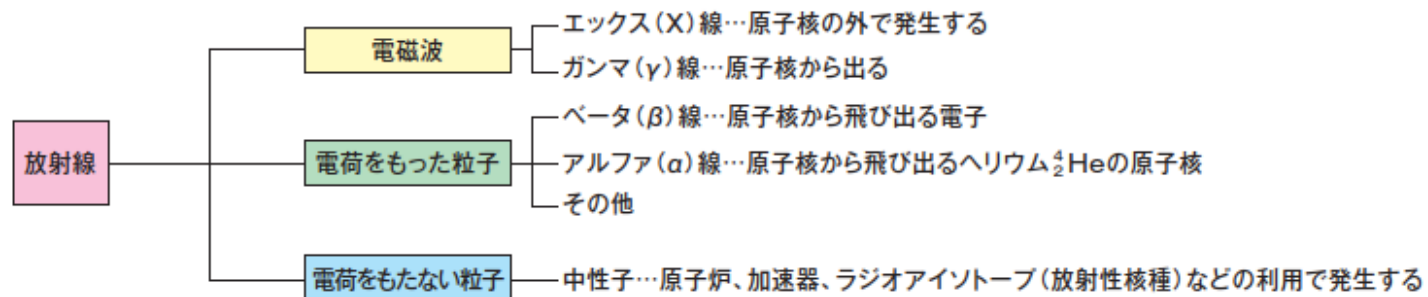


8-1-2

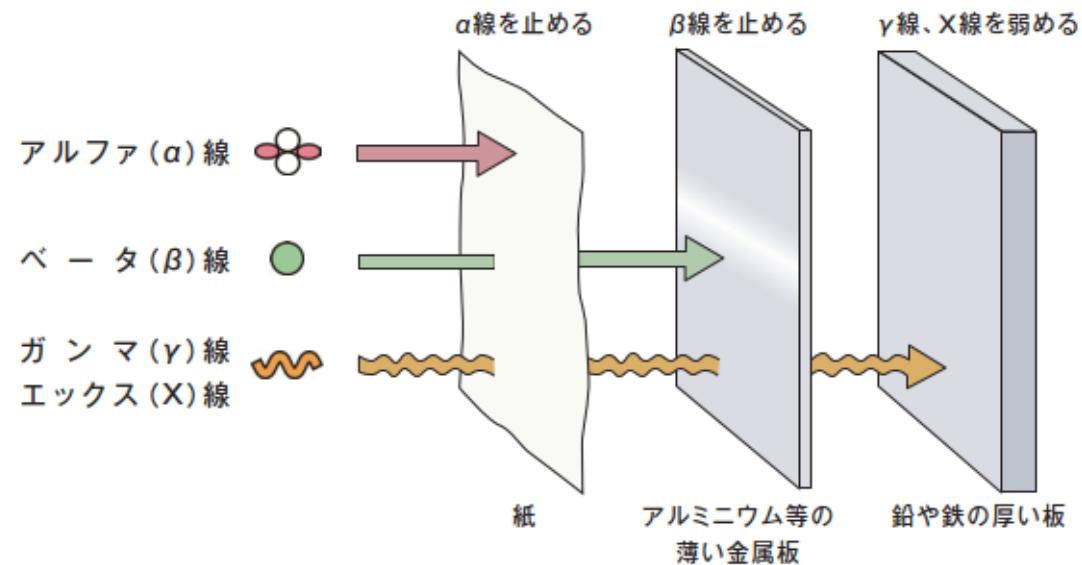
放射線の種類

<p>アルファ(α)壊変(崩壊)</p>	<p>アルファ線(${}^4_2\text{He}$原子核)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$
<p>ベータ(β)壊変(崩壊)</p>	<p>ベータ線(電子)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{24}_{11}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}^{24}_{12}\text{Mg}$
<p>ガンマ(γ)線の放出</p>	<p>ガンマ線(電磁波)</p> 	

● 陽子 ● 中性子



放射線の種類と透過力



放射能の減り方

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

$$(dN/dt = -\lambda N)$$

$$T = \ln 2 / \lambda$$

$$N = N_0 (1/2)^{t/T}$$

ここで

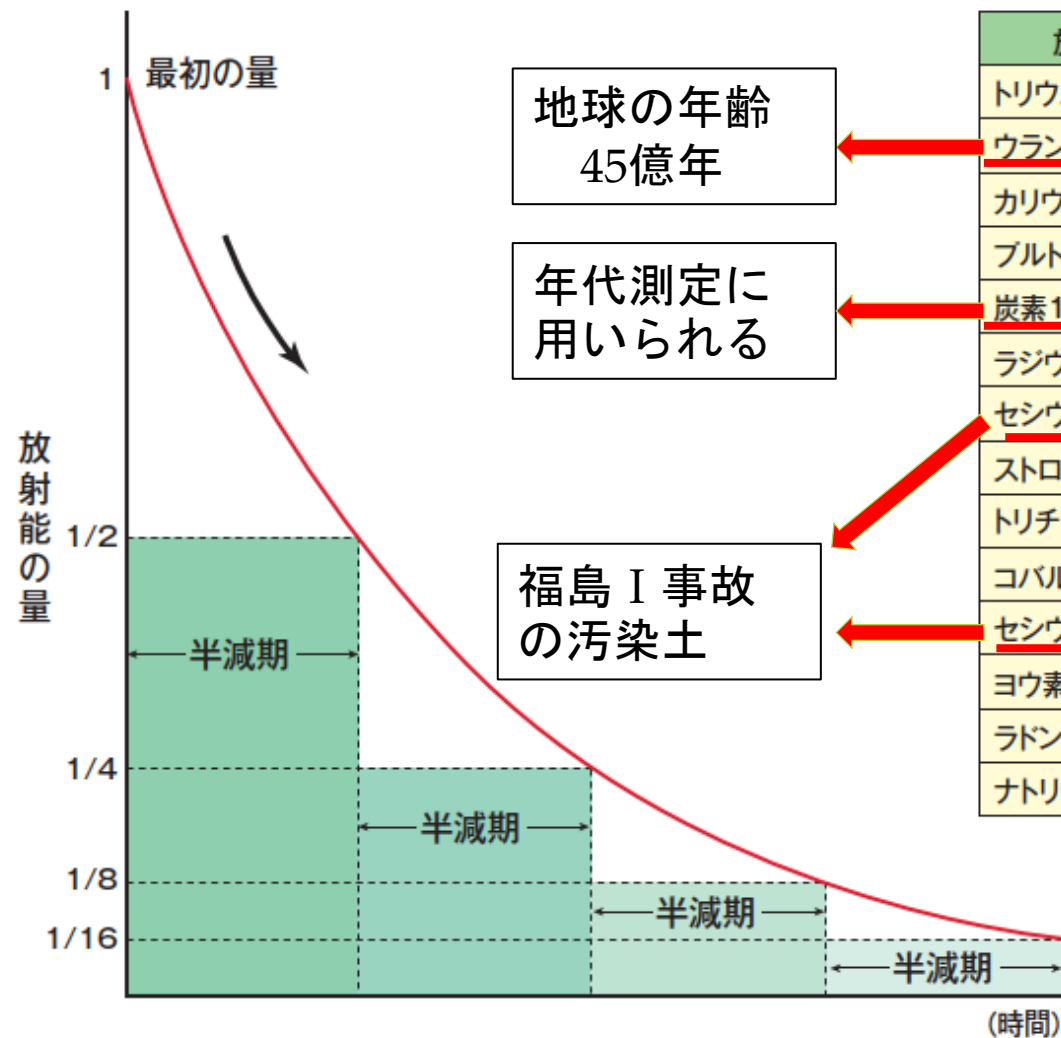
N: 初めの原子数

N_0 : t時間後の原子数

λ : 壊変定数

T: 半減期

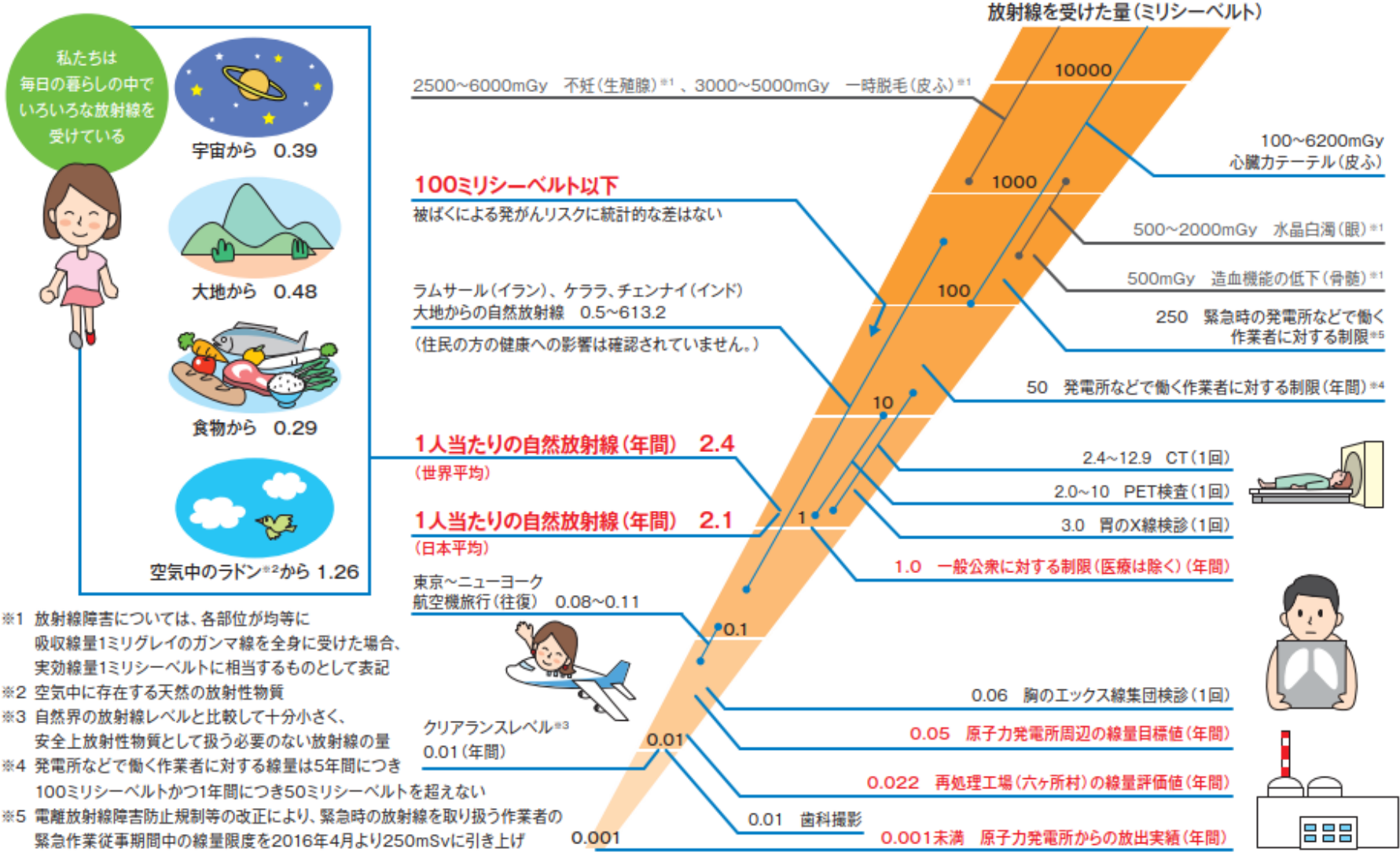
$N = 1/2 N_0$ になる時間



放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	141億年
<u>ウラン238</u>	<u>$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$</u>	<u>45億年</u>
カリウム40	$\beta \cdot \gamma$	13億年
プルトニウム239	$\alpha \cdot \gamma$	2.4万年
<u>炭素14</u>	<u>β</u>	<u>5,700年</u>
ラジウム226	$\alpha \cdot \gamma$	1,600年
<u>セシウム137</u>	<u>$\beta \cdot \gamma$</u>	<u>30年</u>
ストロンチウム90	β	28.8年
トリチウム	β	12.3年
コバルト60	$\beta \cdot \gamma$	5.3年
<u>セシウム134</u>	<u>$\beta \cdot \gamma$</u>	<u>2.1年</u>
ヨウ素131	$\beta \cdot \gamma$	8日
ラドン222	$\alpha \cdot \gamma$	3.8日
ナトリウム24	$\beta \cdot \gamma$	15時間

※壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

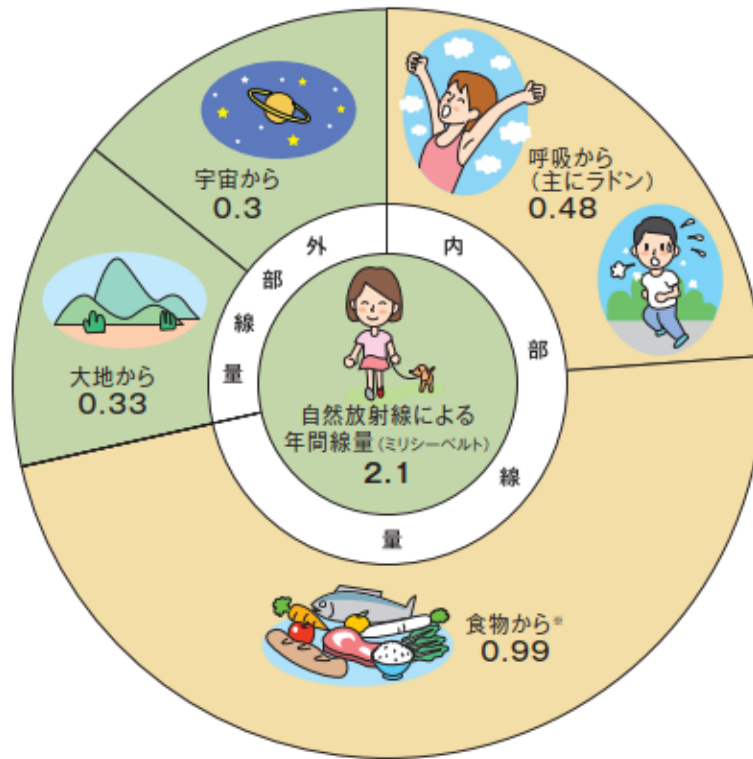
日常生活と放射線



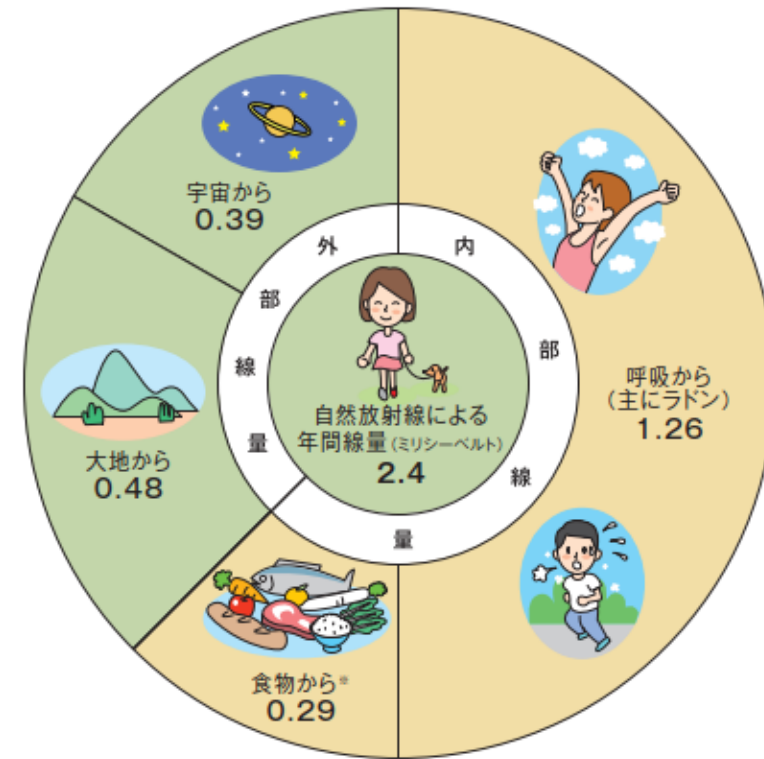
※1 放射線障害については、各部位が均等に吸収線量1ミリグレイのガンマ線を全身に受けた場合、実効線量1ミリシーベルトに相当するものとして表記
 ※2 空気中に存在する天然の放射性物質
 ※3 自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、安全上放射性物質として扱う必要のない放射線の量
 ※4 発電所などで働く作業員に対する線量は5年間につき100ミリシーベルトかつ1年間につき50ミリシーベルトを超えない
 ※5 電離放射線障害防止規制等の改正により、緊急時の放射線を取り扱う作業員の緊急作業従事期間中の線量限度を2016年4月より250mSvに引き上げ

自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)



一人あたりの年間線量(世界平均)



※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が大い

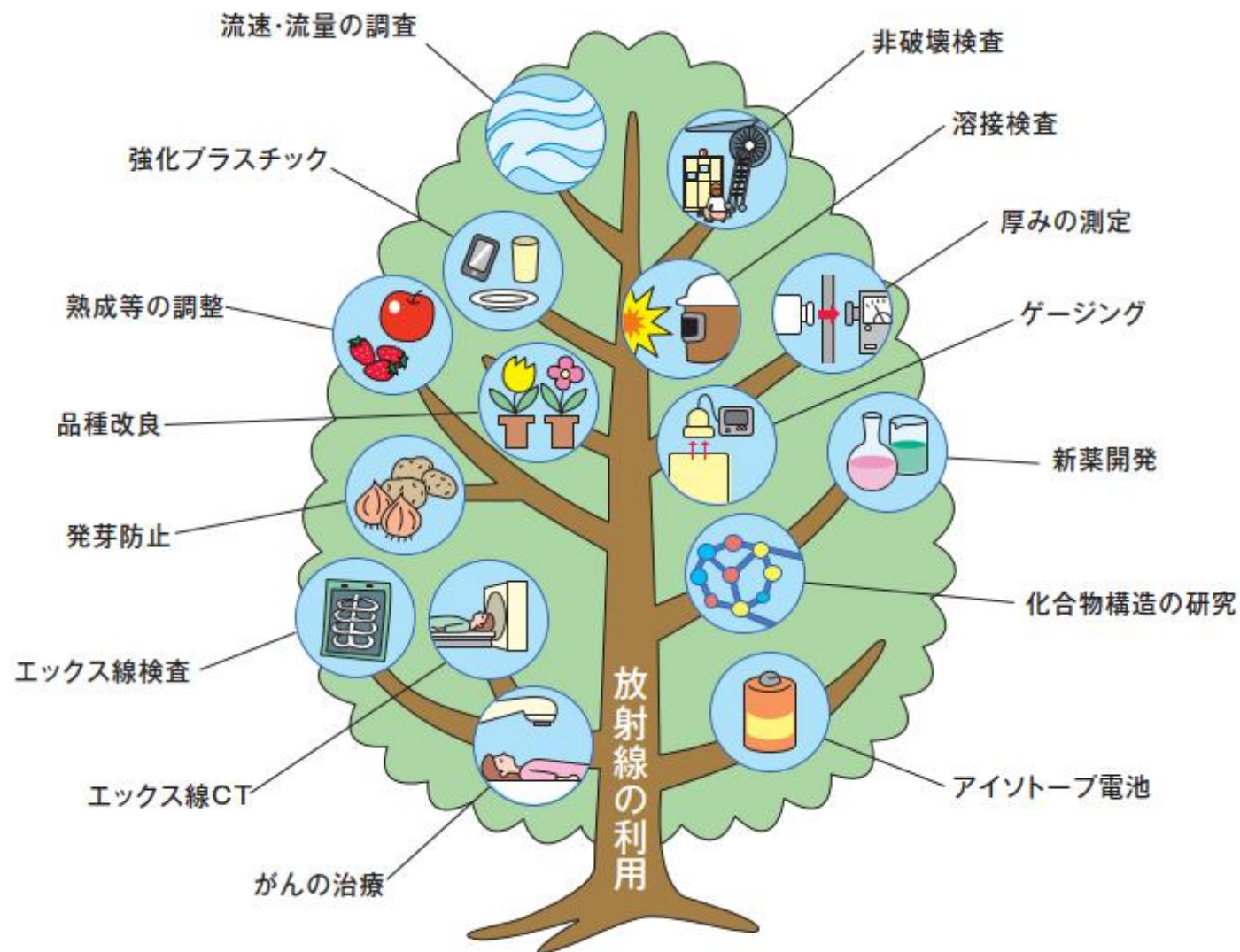
6-2-2

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告書、(公財) 原子力安全研究協会「新版生活環境放射線(平成23年)」より作成

原子力・エネルギー図面集

放射線のいろいろな利用



放射線利用の経済規模の推移

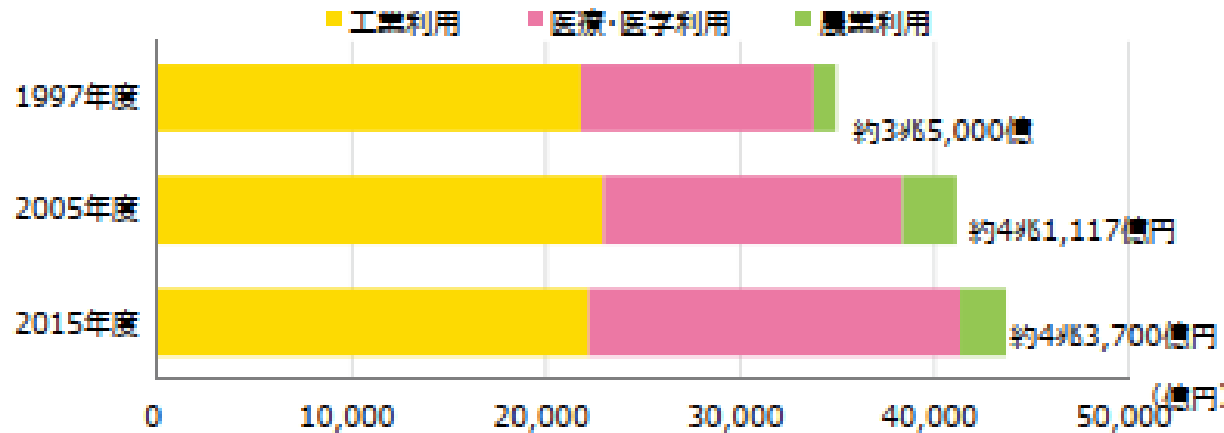


図 7-8 我が国における放射線利用の経済規模の推移

(出典) 内閣府作成

出典：令和6年度版原子力白書

2024年度は推定で約5兆円
(名目GDP比より)

(参考)
2024年度の名目GDP 609兆円



復習 (GDPとは)

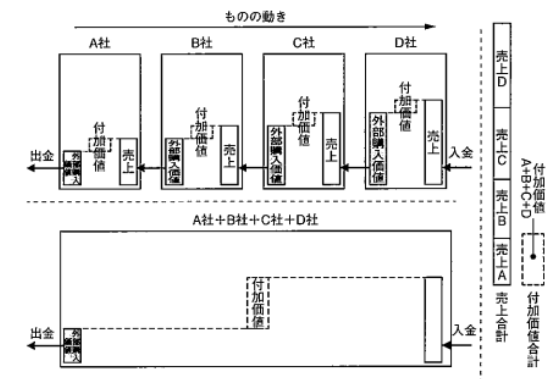
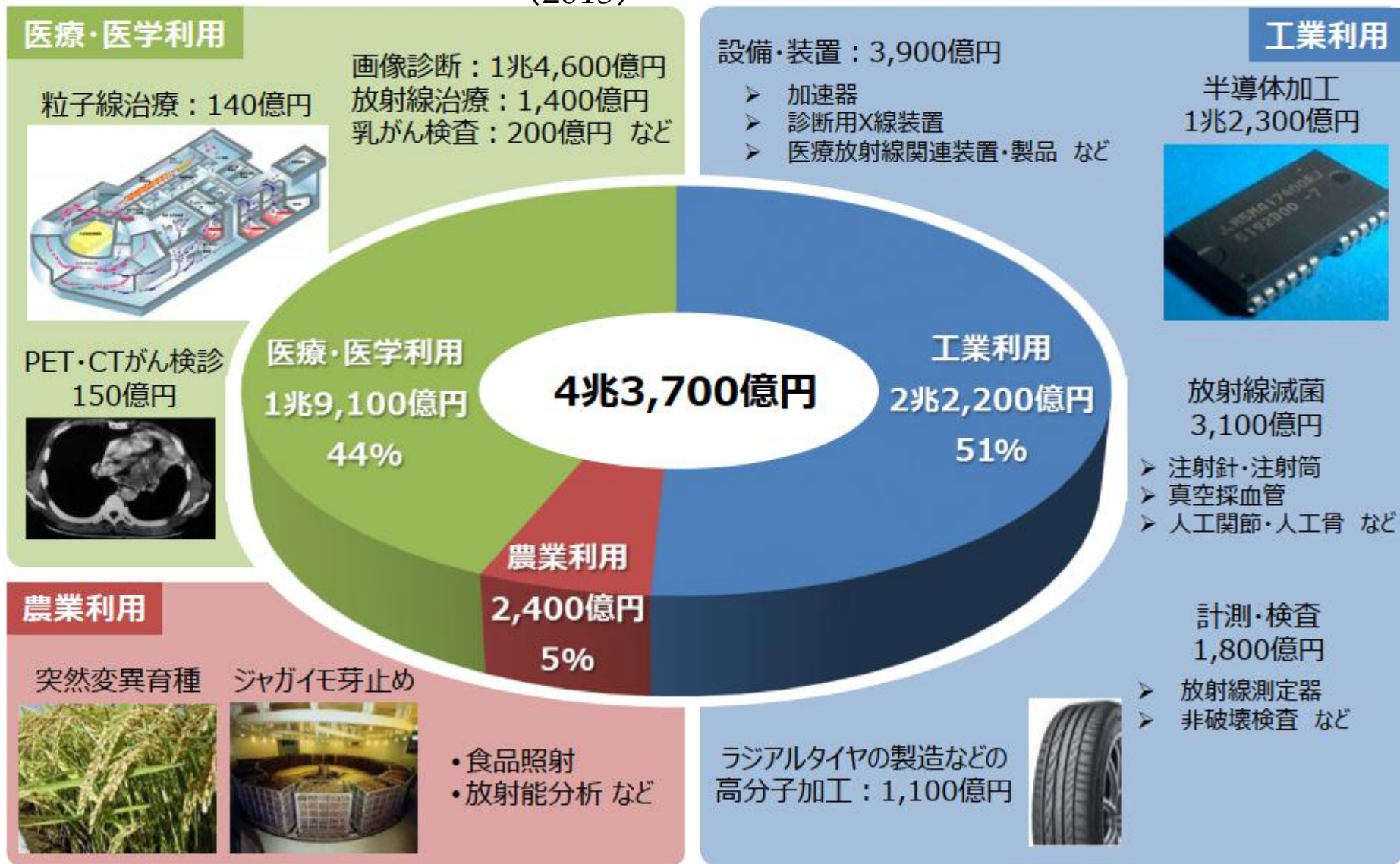


図 3.2 売上合計と付加価値合計

出典：設計者に必要なお金の基礎知識；畑村洋太郎他、日刊工業新聞社

放射線利用の色々

4. 調査結果（2）：平成27年度の放射線利用の経済規模 (2015)



注：R3年度原子力白書でもH27年度のデータが引用されている。
→何故か？

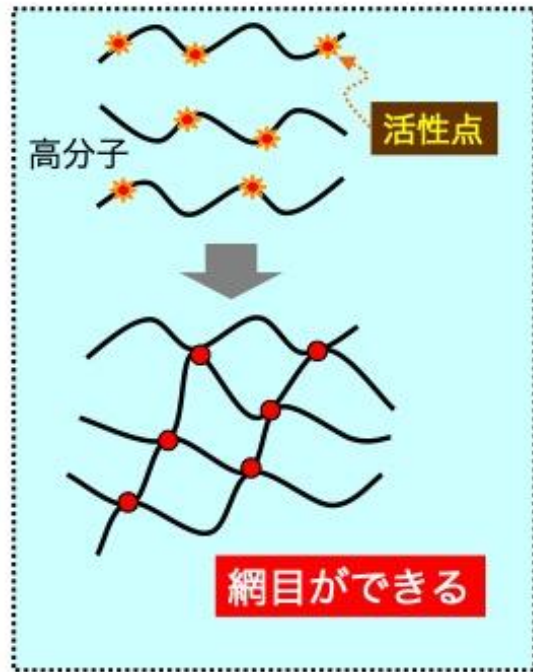
<p>【科学技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○X線・中性子等の量子ビームによる構造解析や材料開発等 ○RIイメージングによる追跡解析  <p>RIイメージングによる追跡実験 (出典) 日本原子力研究開発機構</p> <p>大強度陽子加速器施設 J-ARC (出典) 日本原子力研究開発機構</p>	<p>【医療】</p> <table border="0"> <tr> <td> <p><放射線による診断></p> <ul style="list-style-type: none"> ○レントゲン ○X線CT ○PET ○シンチグラフィ (SPECT) </td> <td> <p><放射線による治療></p> <ul style="list-style-type: none"> ○X線治療 ○ガンマナイフ ○粒子線治療 ○ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) ○核医学治療 (RI内用療法) </td> </tr> </table>  <p>CT画像 PET-CT装置</p>	<p><放射線による診断></p> <ul style="list-style-type: none"> ○レントゲン ○X線CT ○PET ○シンチグラフィ (SPECT) 	<p><放射線による治療></p> <ul style="list-style-type: none"> ○X線治療 ○ガンマナイフ ○粒子線治療 ○ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) ○核医学治療 (RI内用療法)
<p><放射線による診断></p> <ul style="list-style-type: none"> ○レントゲン ○X線CT ○PET ○シンチグラフィ (SPECT) 	<p><放射線による治療></p> <ul style="list-style-type: none"> ○X線治療 ○ガンマナイフ ○粒子線治療 ○ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) ○核医学治療 (RI内用療法) 		
<p>【工業】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○材料の改良・機能性材料の創製 (自動車タイヤ、半導体素子加工プロセス等) ○精密計測 ○非破壊検査 ○滅菌・殺菌等 (医療器具等) <p>半導体の製造 微細加工、不純物導入等、放射線による加工技術を利用して半導体を製造</p>  <p>ラジアルタイヤの製造 電子線照射により、ゴムの粘着性の制御を容易にできることを利用</p> 	<p>【農業】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○品種改良 ○食品照射 ○害虫防除 <p>耐病ナシの開発 黒斑病への耐病性を有するナシ品種「ゴールド二十世紀」</p>  <p>ジャガイモ芽止め 放射線照射によってジャガイモ発芽を防止</p>  <p>(未照射) (照射済み)</p> <p>ウリムシの根絶 放射線を照射し不妊化したオスを大量に放ち、孵化しない卵を産ませ、害虫を根絶</p> 		
<p>【環境保全】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○窒素酸化物、硫黄酸化物等の分解、除去 ○ダイオキシンの要因となる揮発性有機化合物の分解等 	<p>【核セキュリティ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○核鑑識技術 (核物質等の出所、履歴、輸送経路、目的等进行分析・解析) ○隠匿された核物質の検出 		

図 7-9 様々な分野における放射線利用の具体例

(出典) 原子力委員会「原子力利用に関する基本的考え方 参考資料」(2023 年)等を基に内閣府作成

工業分野の利用例：電子線照射による架橋で強度向上

活性点でつなぎ合わせる（橋かけ反応）



橋かけ(架橋)反応

機械的強度、耐熱性の向上



ラジアルタイヤ



耐熱電線



テレビ用配線

コンピュータ用配線

工業分野の利用例： タイヤの開発

低燃費性能とグリップ性能を高次元で維持しながら耐摩耗性能を従来品から51%向上
SPring-8でタイヤのゴム構造の解析を実施

(放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、電磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波)



SPring-8

リアルな
モデル作成



J-PARC



京
K computer

出典：Spring-8のHP「先端構造解析とシミュレーション研究から生まれた最高グレード低燃費タイヤ」の地球環境技術賞受賞にSPring-8が貢献（トピック） - SPring-8 Web Site

医療分野の利用例

:PET(Positron Emission Tomography、陽電子放出断層撮影)

PET検査は、治療前のがんの有無や広がり・他の臓器への転移がないかを調べる、治療の効果を判定するなど、さまざまな目的で行われる精密検査である。FDG(放射性フッ素を付加したブドウ糖)を使う。陽電子と電子が相互作用し消滅し2つの γ 線が放出されるのでこれを検出し画像化するものである。



出典：PET検査とは？(がん検査と基礎知識) | PET検査ネット

農業分野の利用例：品種改良

植物にガンマ線等を照射することにより多様な突然変異体をつ切り出し、その中から有用な特性を持つものを選定し効率的に品種改良する。

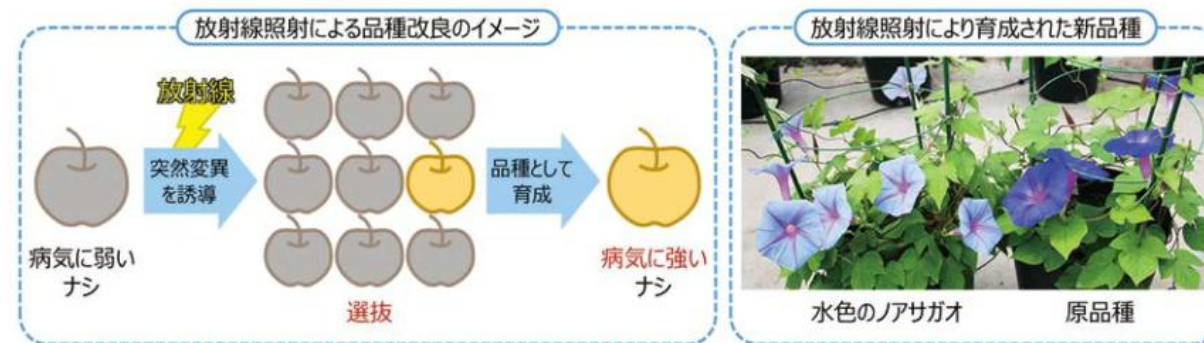


図 7-10 放射線照射による品種改良のイメージ

(出典) バイオステーションウェブサイト「さまざまな品種改良の方法」及び国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構ウェブサイト「放射線育種場」を基に内閣府作成

参考

日本では主要なラジオアイソトープ医薬品のテクネチウム99m(Tc-99m)の原料であるMo-99の全量を海外から輸入している。しかし製造に用いられる原子炉の老朽化等から製品供給が不安定な状況にある。そのため、Mo-99の国内製造に向けた取り組みが進められている。

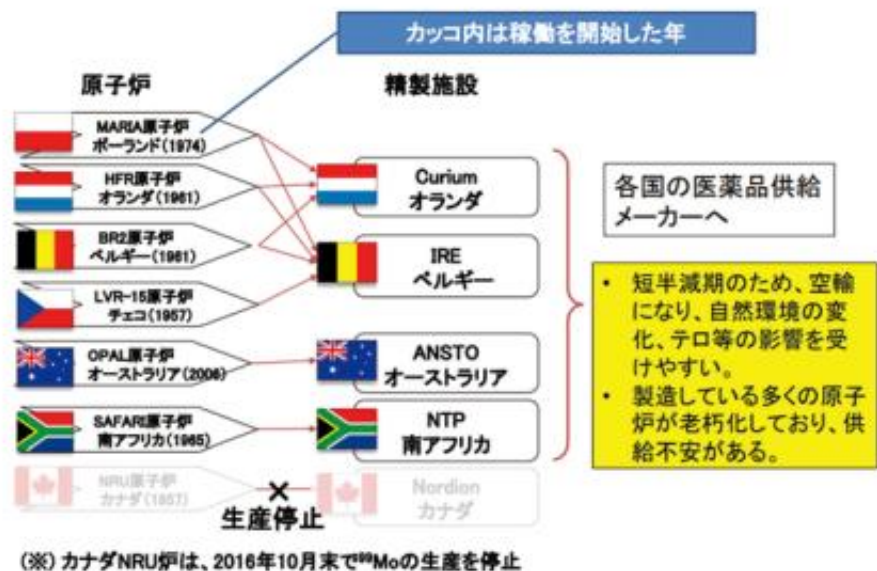


図 7-3 Mo-99 のサプライチェーン

(出典) 第16回原子力委員会資料第1号(修正版) 畑澤 順、北岡 麻美「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン進捗状況概要」(2023年)

コラム 医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプランのフォローアップ

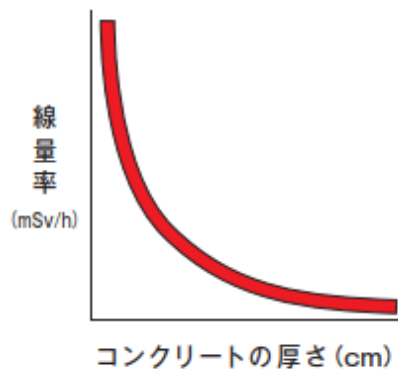
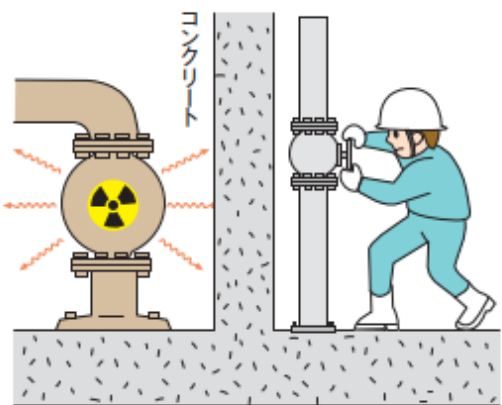
原子力委員会では、2023年5月から6月にかけて、定例会議で「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン」の具体的な進捗状況についてフォローアップを行い、以下のとおり関係省庁や関係機関等で着実に作業が進められていることを確認しました。

アクションプラン	2023年度の主なフォローアップ結果
<重要ラジオアイソトープの国内製造・安定供給のための取組推進>	
✓ JRR-3・加速器を用いたモリブデン-99/テクネチウム-99mの安定供給(可能な限り2023年度末に国内需要の約3割を製造し、国内へ供給)	原子力機構において、モリブデン-99製造に係るJRR-3照射製造技術の開発や製造コストの評価を開始した
✓ 「常陽」・加速器を用いたアクチニウム-225大量製造のための研究開発強化(「常陽」において2026年度までに製造実証)	原子力機構において、アクチニウム-225の製造実証に向けて、常陽の運転準備が進められている。また、加速器を用いた製造については、量子科学技術研究開発機構(量研)から導出された技術を用いて製薬会社で商用化可能な量の製造を成功させたという報告を得た
✓ アスタチン-211 実用化に向けた取組強化(2028年度を目標に医薬品としての有用性を示す)等	AMED「次世代がん医療加速化研究事業」でアスタチン-211等を活用する治療法開発のための研究開発領域を新たに設けた

放射線防護の基本

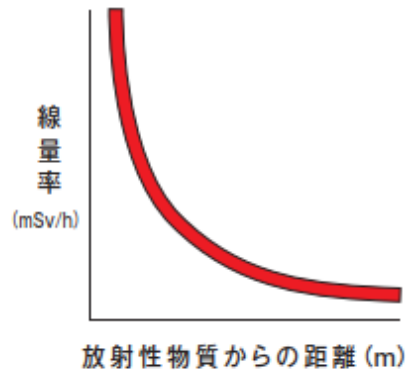
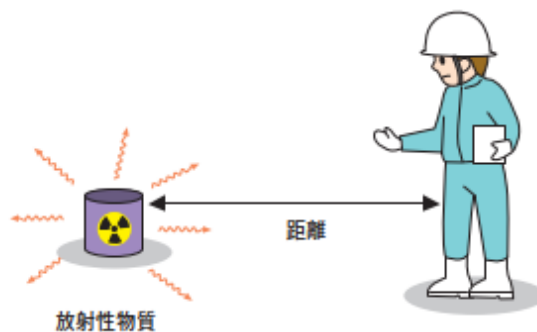
1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



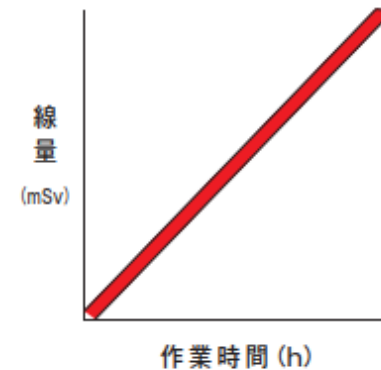
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

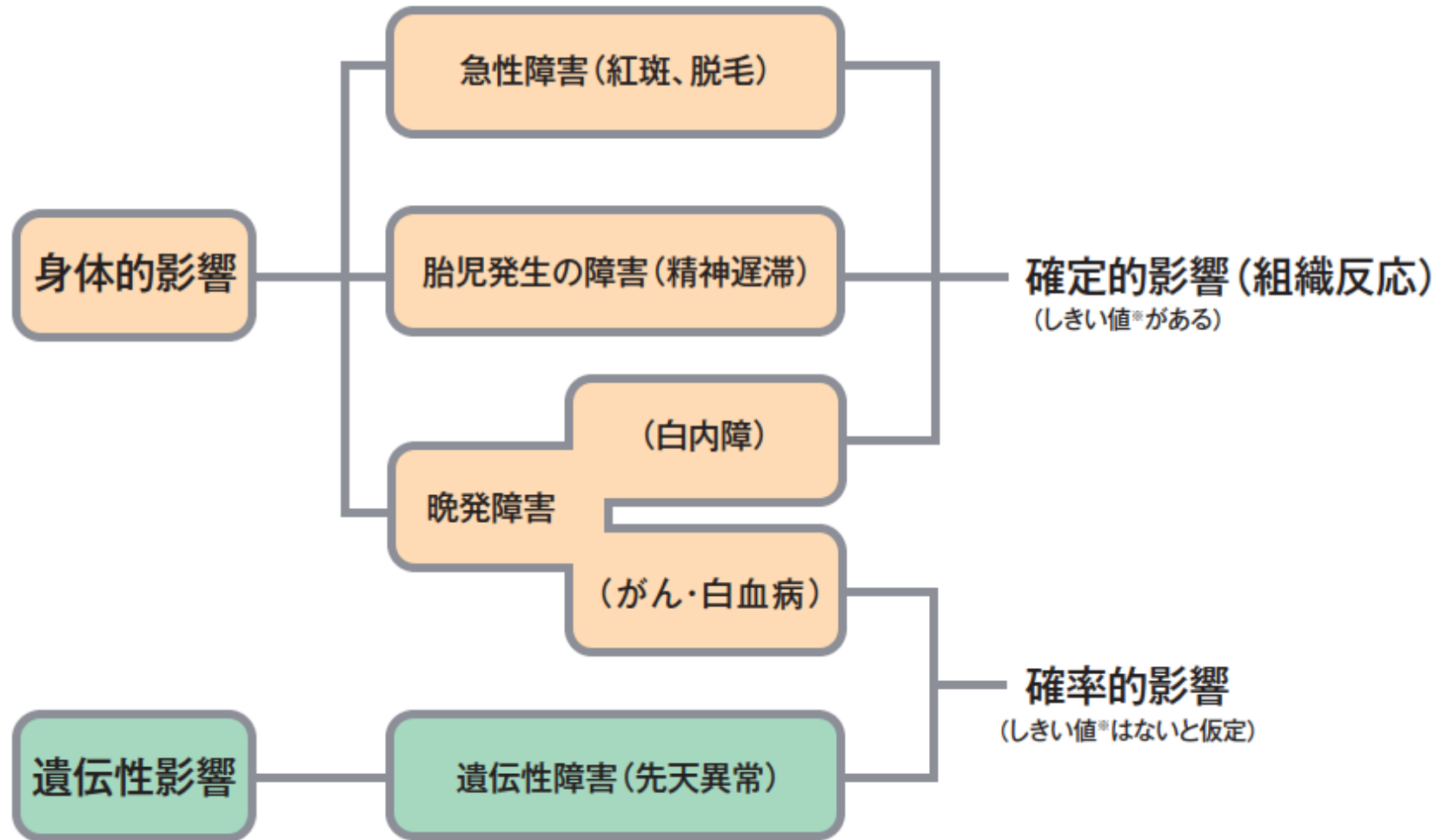


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



放射線の人体への影響



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

6-3-2

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

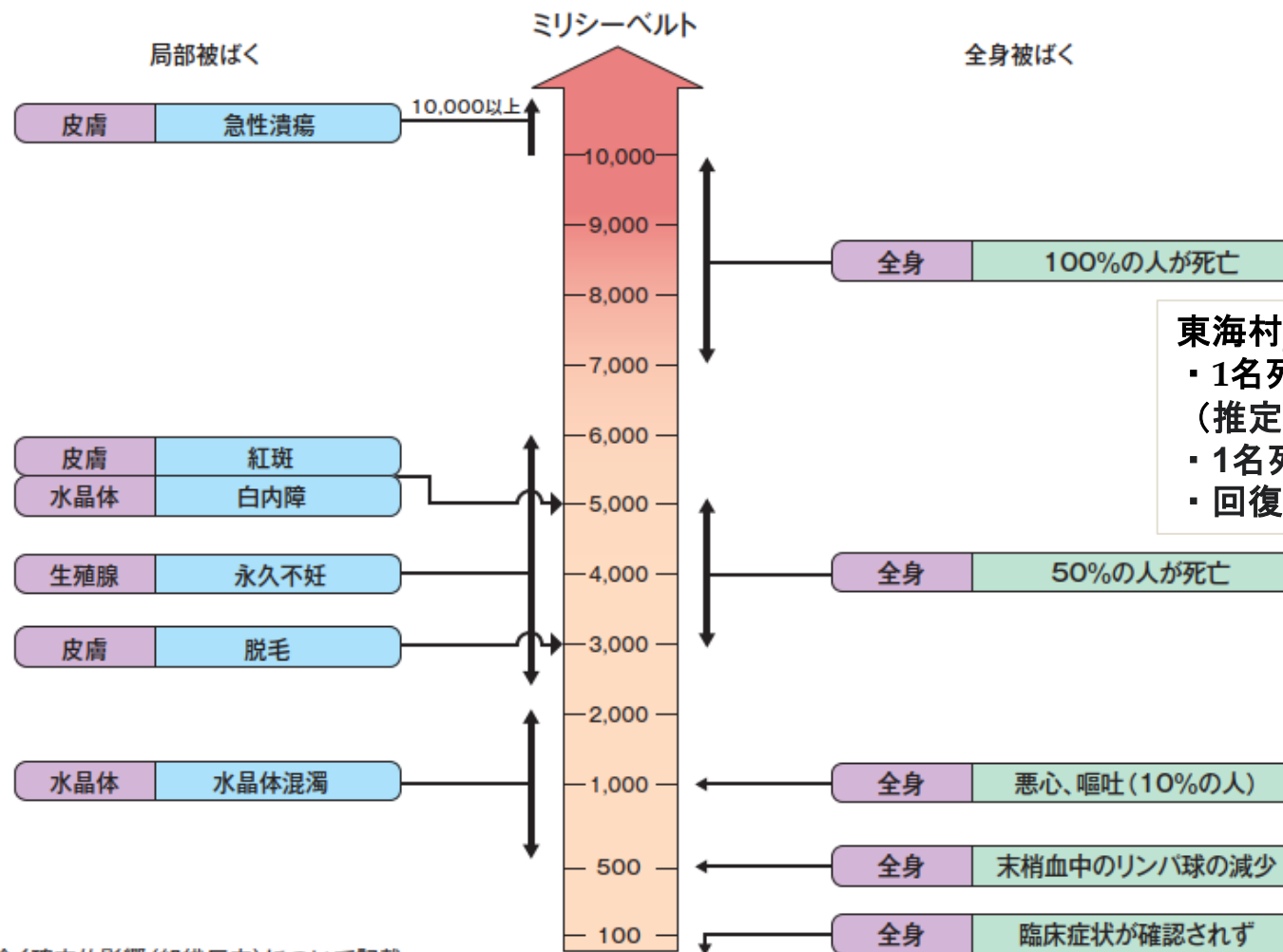
原子力・エネルギー図面集

放射線を一度に受けたときの症状

被ばくは全身に放射線を被ばくする（全身被ばく）か、特定の組織や臓器などに被ばくする（局所被ばく）か、また同じ被ばく線量であっても、瞬時もしくは短時間で被ばくする（急性被ばく）か、長期間にわたって繰り返し被ばくする（慢性被ばく）かによっても影響に違いがある。

生物（人間）の特徴としてDNA損傷の修復機能がある。

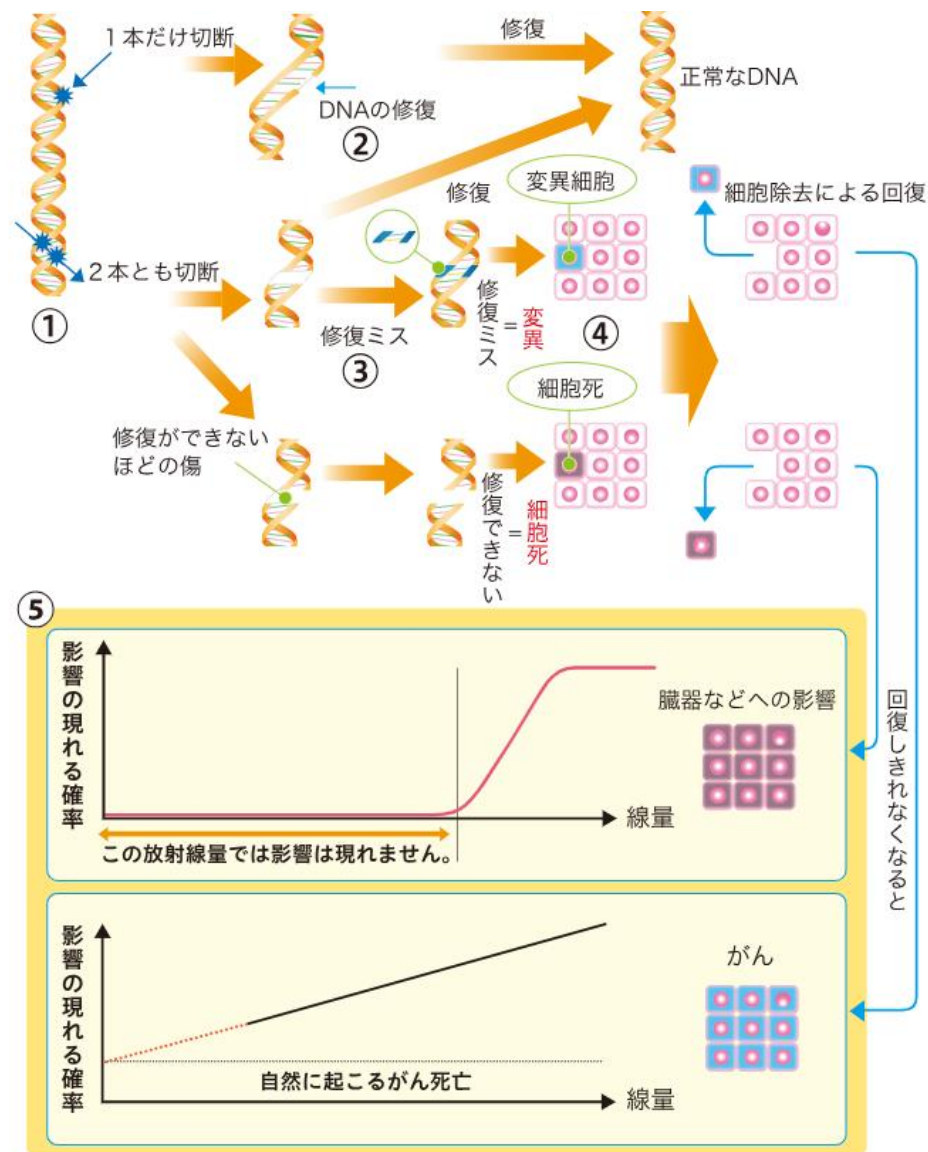
凡例 部位 症状



東海村JOC臨界事故(1999年9月30日発生)
 ・ 1名死亡 (推定16 - 20シーベルト以上被ばく)
 ・ 1名死亡 (推定6 - 10シーベルト被ばく)
 ・ 回復 (推定1 - 4.5シーベルト被ばく)

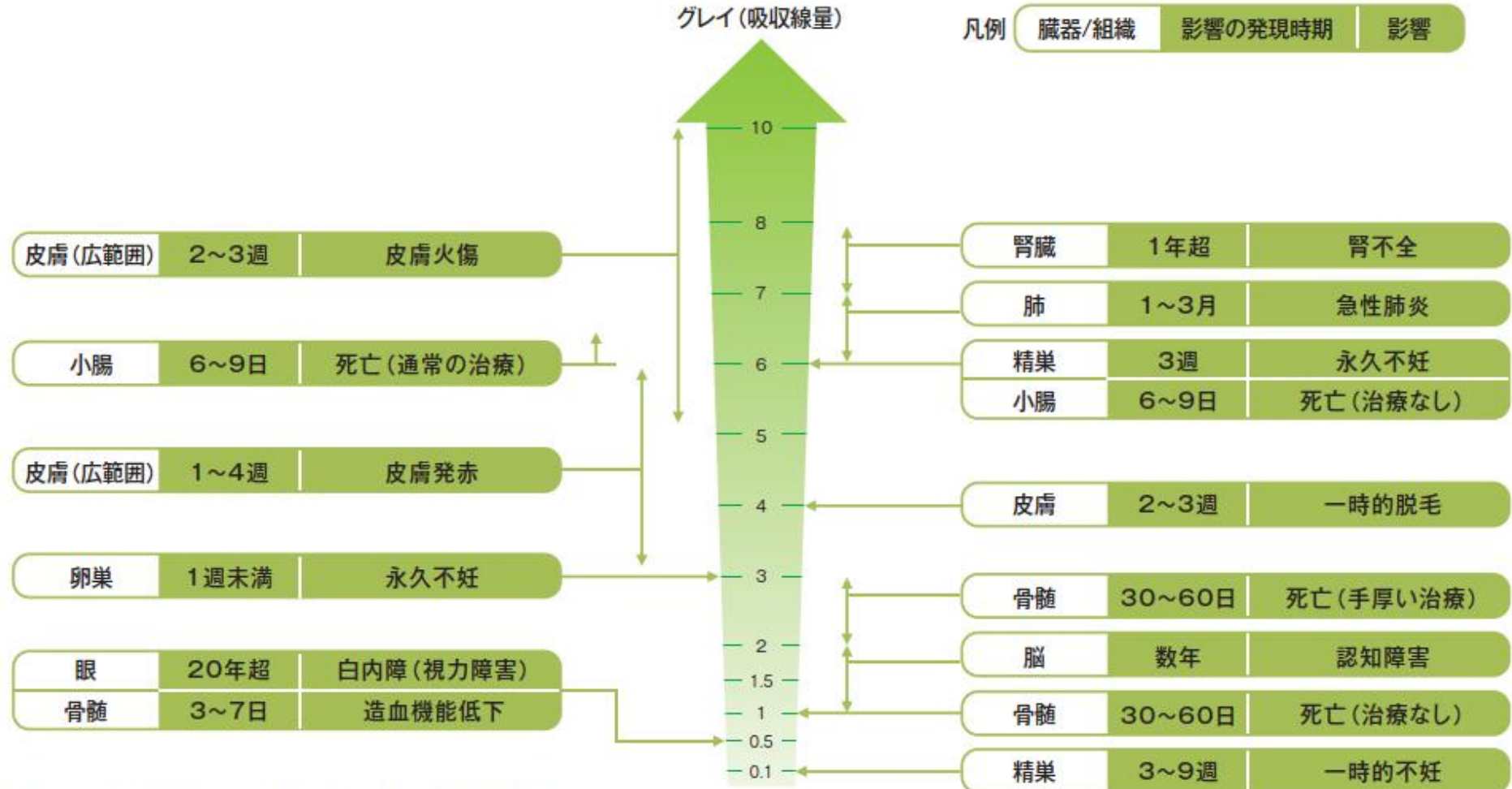
(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載
 (注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

DNA損傷の修復の説明



放射線を受けたときの人体への影響

ガンマ線急性被ばく後の主な罹病の1%発生率と死亡に対するしきい値※



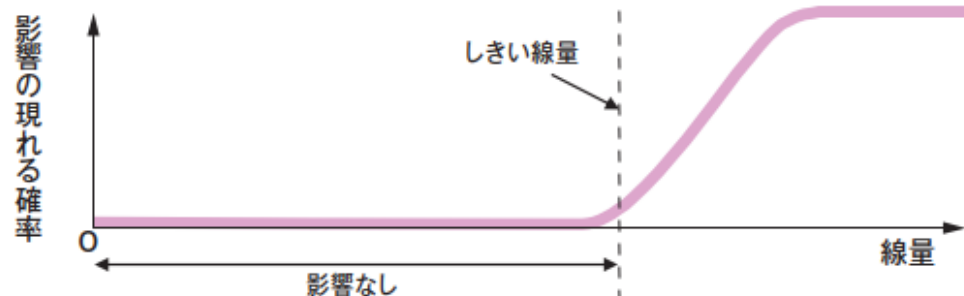
※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

放射線防護の考え方

確定的影響（組織反応）は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

確率的影響は、しきい線量は無いと仮定し、影響の現れる確率が容認できるレベル以下の線量に抑える。

〔確定的影響（組織反応）：脱毛・白内障等〕



〔確率的影響：がん・白血病等〕

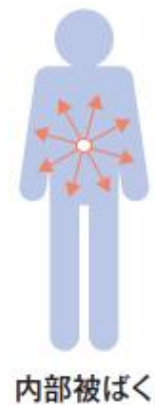
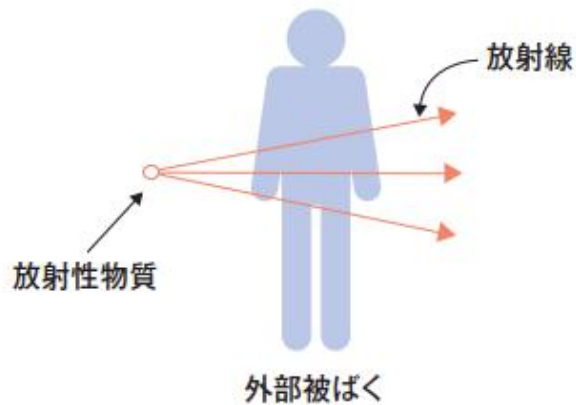


※しきい線量:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

被ばくと汚染の違い

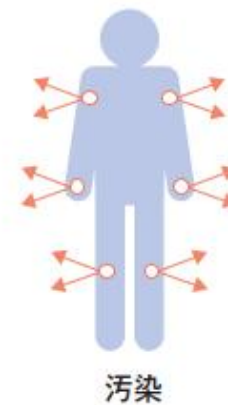
被ばく

放射線を受けること



汚染

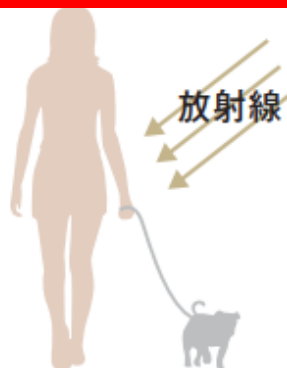
放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



グレイとシーベルトの関係

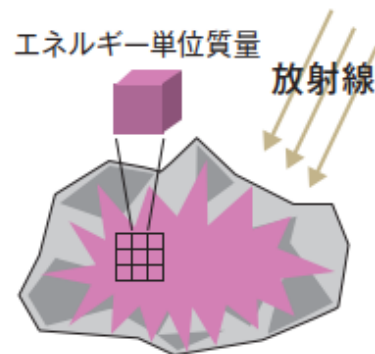
実効線量Sv

$$\boxed{\text{シーベルトの値}} = \boxed{\text{グレイの値}} \times \boxed{\text{放射線加重係数}^{*1}} \times \boxed{\text{組織加重係数}^{*2}}$$



シーベルト (Sv)

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位
(1シーベルト=1000ミリシーベルト)



グレイ (Gy)

放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位
1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量

◆放射線加重係数

放射線の種類	放射線加重係数
光子(ガンマ線、エックス線)	1
電子(ベータ線)	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線	2.5 ~ 20 (エネルギーの連続関数で設定)

※1 放射線の種類による影響の違いを表す
※2 臓器等の組織別の影響の受けやすさを表す

◆組織加重係数

組織・臓器	組織加重係数	組織・臓器	組織加重係数
乳房	0.12	食道	0.04
赤色骨髄	0.12	甲状腺	0.04
結腸	0.12	唾液腺	0.01
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
膀胱	0.04	残りの組織・臓器	0.12
肝臓	0.04		

線量限度について

区分		実効線量限度(全身)	等価線量限度(組織・臓器)
放射線業務従事者	平常時	100mSv/5年 ^{※1} 50mSv/年 ^{※2} 女子 5mSv/3月間 ^{※3} 妊娠中の女子 1mSv (出産までの間の内部被ばく)	眼の水晶体 100mSv/5年 ^{※1} 及び50mSv/年 ^{※2} 皮膚 500mSv/年 ^{※2} 妊娠中の女子 2mSv (出産までの間の腹部表面)
	緊急時 ^{※4}	①100mSv ②250mSv	眼の水晶体 300mSv 皮膚 1Sv ^{※5}
一般公衆	平常時	1mSv/年 ^{※2}	眼の水晶体 15mSv/年 ^{※2} 皮膚 50mSv/年 ^{※2}

(注) 上記表の数値は、外部被ばくと内部被ばくの合計線量(自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まない)

※1 平成13年4月1日以後5年ごとに区分

※2 4月1日を始期とする1年間

※3 4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする各3月間

※4 原子力災害対策特別措置法の対象施設等における緊急作業への従事は、被ばくに関する情報提供を予め受けた上で、参加の意思を表明し、必要な訓練を受けた放射線業務従事者に限る
被ばく線量限度は、①従来の実効線量100mSvに加え、②放射性物質の敷地外等への放出の蓋然性が高い場合の実効線量250mSv、の2段階

※5 1Sv(シーベルト) = 1,000 mSv(ミリシーベルト) = 1,000,000 μSv(マイクロシーベルト)

死因	死亡率(2024年度)		生涯死亡率
	10万人当たりの死亡者数	10万人当たりの割合(リスク係数)	
がん	300人	3×10^{-3}	30%
交通事故	2.7人	2.7×10^{-5}	0.27%
1年に100mSv被ばくした場合のがん死亡者の増加数	5人	5×10^{-5}	0.50%



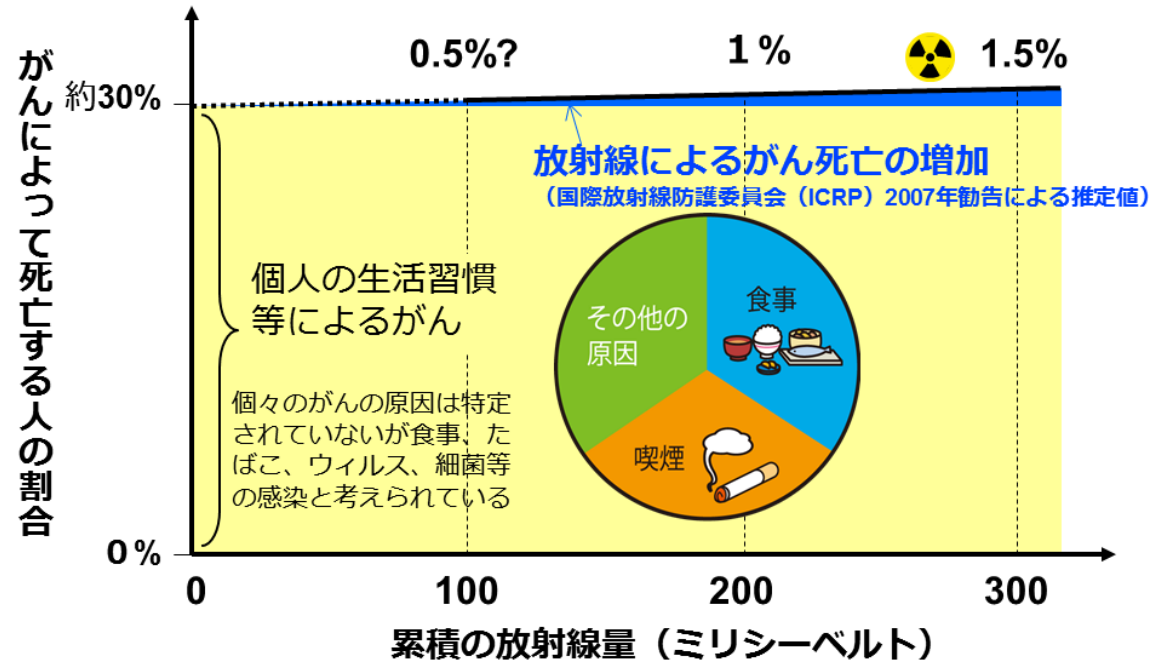
1年間に1mSv被ばくした場合のリスク係数： 5×10^{-7}

(単純に1/100になると仮定した場合)

補足:低線量被ばくの評価において、線形非閾値モデル(LNTモデル)を使用することには一定の妥当性があるが、議論の余地もある(リスクを過剰に評価しているとの意見もある)



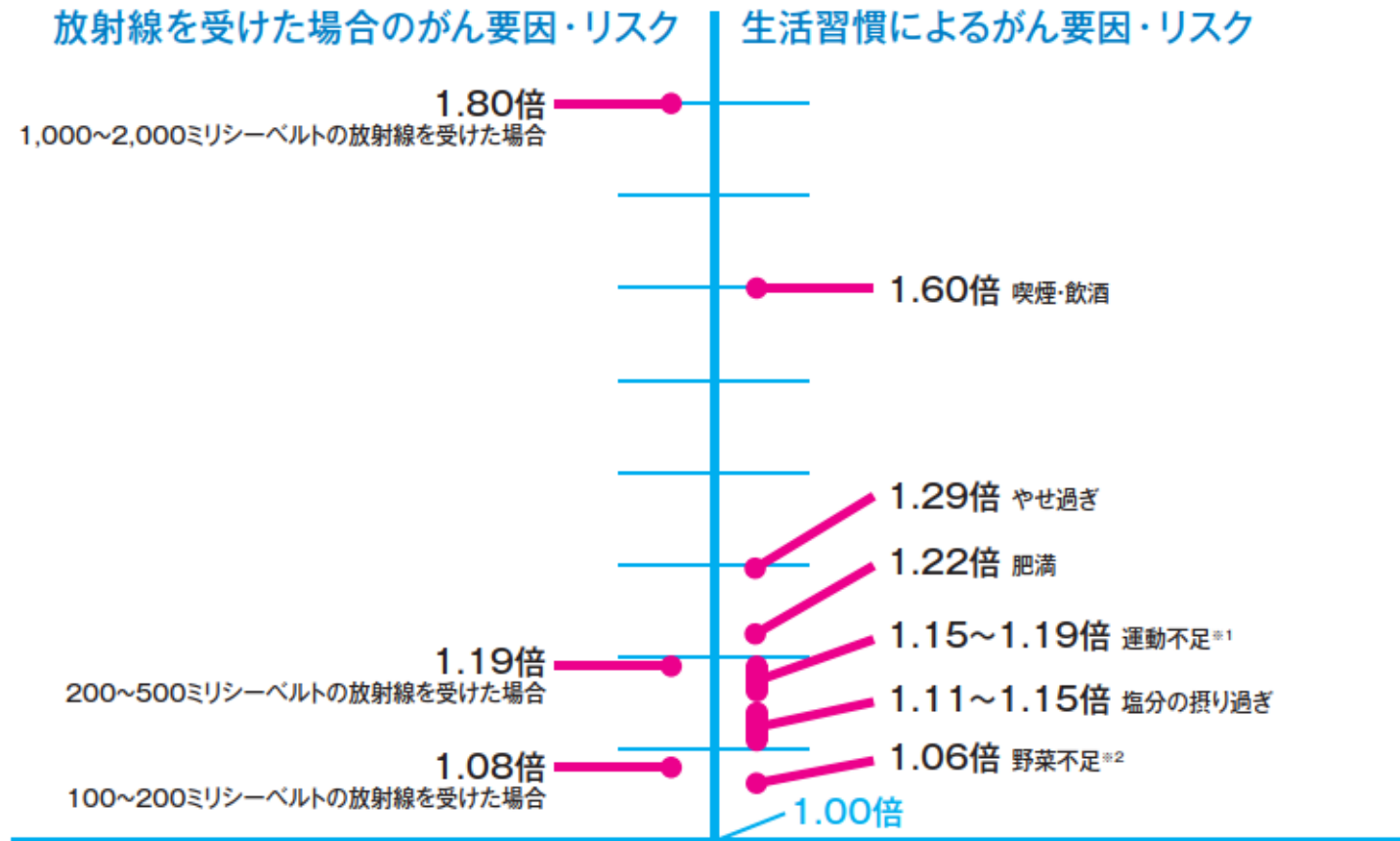
リスク 低線量率被ばくによるがん死亡リスク



出典：環境省HPより（放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（平成29年度版、HTML形式））

放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

(対象:40～69歳の日本人)

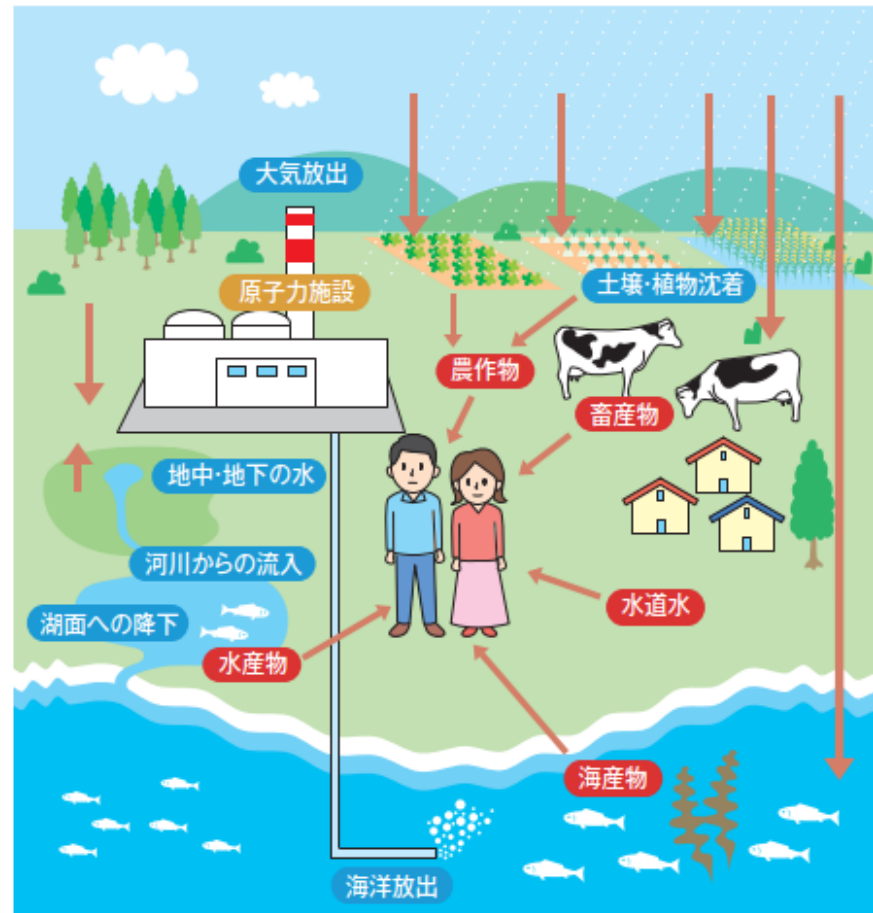


(注) 放射線は、広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない

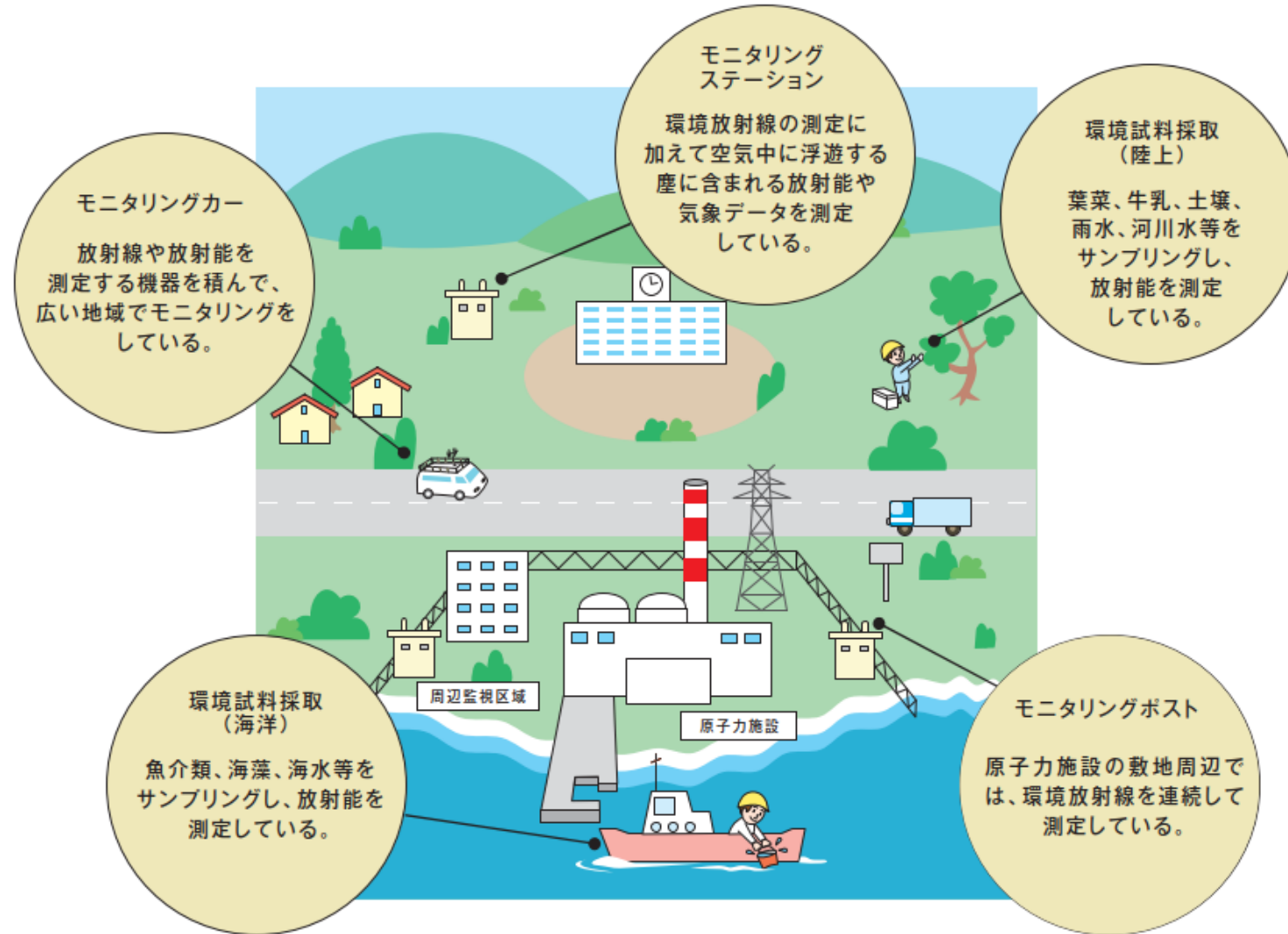
※1 運動不足:身体活動の量が非常に少ない

※2 野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

放射性物質の環境における移行



原子力施設周辺の環境放射線モニタリング



6-4-6

出典：日本原子力文化財団原子力・エネルギー図面集

原子力・エネルギー図面集

