



環境プランナー講座

東京大学 大学院工学系研究科 環境海洋工学専攻
 東京大学 工学部 工学創成学科 環境・エネルギーシステム
 助教授 高橋 淳
<http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/>

循環論 / 地球温暖化対策技術

カラーの資料は、下のURLからダウンロードできます)

http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/ut_version/publications/021015.pdf

- Sustainable Development (持続可能な開発)
 - 豊かさから後戻りできない 単位サービスあたりの原単位を下げる
 - 豊かさの内容を考え直す エネルギー・環境面の無駄を無くす
- Equity (地域・世代を越えた公平性)
 - 公平性を考えた場合の日本の役割・産業形態は？
 - グローバル化の中での日本の役割・産業形態は？

推薦図書

- とりあえずの入門書(読み物)として次のものを推薦します。値段も安く、専門知識は必要ともしませんので是非読んでみてください。ネットからは拾えないまとまった情報です。
 - 地球持続の技術、小宮山宏 / 著、岩波新書(新赤板) 647、660円 + 税
 - 地球温暖化を防ぐ - 20世紀型経済システムの転換 -、佐和隆光 / 著、岩波新書、660円 + 税
- 若干専門的になりますが、エネルギー関連問題を俯瞰的視点からよく整理している本として次の1冊をあげておきます。少し高いですが。
 - 新エネルギー技術入門、足立芳寛 / 著、オーム社 3,500円 + 税
- その他環境関連の書籍は無数にあり選択に困ると思います。
 - 私の研究室にある関連図書は一応内容を吟味して研究に活用できると判断したものですので、自習の際の文献探しの参考になるかもしれません。
http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/ut_version/zemi/env-book.pdf
 - ただし、反面教師として活用している駄作もあり、すべてを良書として推薦しているわけではありませんので、念のため。

地球温暖化(に起因する気候変動)問題・エネルギー問題

- IPCCによる気候変動予測(2001年3月:第3次評価報告書)
 - 6つのシナリオ(経済志向か環境志向か、地球主義志向か地域主義志向か)
 - 2100年までに1.4~5.8の平均気温上昇、9~88cmの海面水位上昇
 - UNFCCC-COPでの国際公約(1997年12月京都議定書採択、2003年発効の見通し)
 - 気候変動問題への効果は十分とは考えられないが、国際的行動の貴重な第一歩
 - 日本は2008~2012年の平均で温室効果6ガスを1990年の94%まで削減
 - 排出量の計算ルールや目標達成手段の合意がなかなか得られなかったが、COP7(2001年11月)で概ね合意され、2003年に米国抜きで発効する見通し
 - 国際的エネルギー問題
 - 化石エネルギー高騰の可能性
 - 可採年数(石油40数年、石炭200数十年、天然ガス60数年)半減必至
 - 石油価格は2015年頃から上昇し始めるという予測も
 - 自然エネルギー(太陽光、風力)コストの低下に加え、地球温暖化対策も後押しして、水素エネルギー社会までのソフトランディング戦略を各国が検討開始
- IPCC → COP → CO2排出量 → 炭素循環 → 次 |
- 化石エネルギー 資源需給予測

2. 地球温暖化防止に向けた国際交渉の経緯

A. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

(1) 経緯

1988年、国際的に気候変動に関する科学的知見を取りまとめるため IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) が、設立された。IPCCは、90年に最初の評価報告書を発表し、当時の最新の知見に基づいて、地球温暖化による将来の地球の気温や海面の上昇の程度を予想した。(その後、95年に第2次評価報告書が発表され、現在、第3次評価報告書の2001年後半の完成に向けて、各作業部会(WG) <注>において、「第3次評価報告書」の執筆作業が行われており、その動きをフォロー。なお、我が国からは、故清水克男(財)地球産業文化研究所専務理事のあとを継いで、98年9月から谷口富裕東大工学部客員教授がIPCC副議長を務めている。)

<注> 第1作業部会: 気候変動に関する科学的知見の評価
 第2作業部会: 地球温暖化が環境・社会に与える影響
 第3作業部会: 気候変動への対応戦略

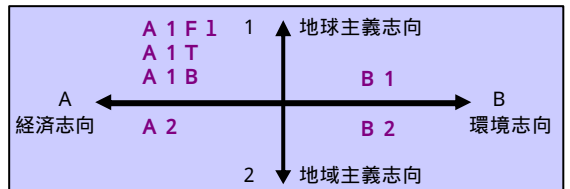
(2) IPCC第2次評価報告書の概要

- 地球温暖化は生じているか

「地球表面の平均温度は19世紀 終わりより0.3~0.6℃上昇したが、この変化は、その全部を気候系の自然変動によるものとは考えにくい。地球の平均地上気温の変化と、地理的、季節的及び 垂直方向の温度変化パターンの変化に関する証拠を比較検討すると、地球の気候に、対する検出可能な人間の影響が示唆される。」とされている。
- 懸念される悪影響の例
 - 生態系(植生)
 - 地球の全植林面積1/3で、現在生えている植物種の生育が困難になる。
 - 植生の変化による森林損壊で大量の二酸化炭素放出の可能性
 - 水循環
 - 降雨と蒸発が盛んになり、洪水や干ばつを激化させる可能性。
 - 食料生産
 - 食料の増産地域・減産地域が生じ、格差が増大。
 - 洪水・高潮
 - 海面が1m上昇した場合、マーシャル諸島の一部で80%、バングラデシュで17.5%、オランダで6%の土地が海没。
 - 健康影響
 - マラリア、黄熱病、ウイルス性脳炎等が増加。
 - 台風等
 - 異常高温、洪水や干ばつの増加など危険な兆候。

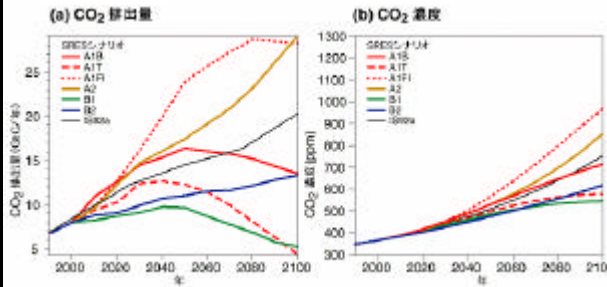
IPCCの予測における想定シナリオ

(SRES: Special Report on Emission Scenarios)

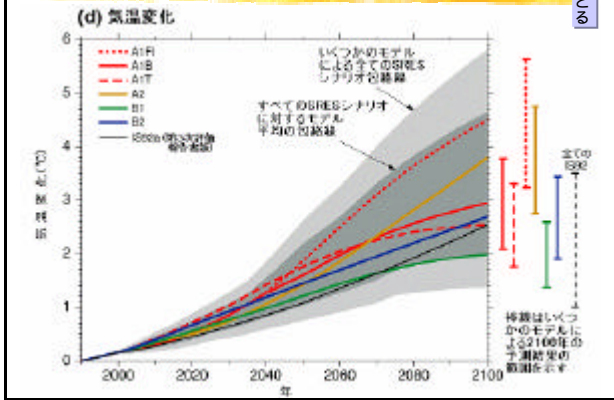


- IPCCでは大きく分けて4つのシナリオが設定され、それぞれにおける気候変動を予測している。
 - A1シナリオファミリーは、エネルギーシステムにおける技術革新の選択肢の異なる三つのグループに分かれており、合計6シナリオ。
 - 化石エネルギー源重視(A1FI)
 - 非化石エネルギー源重視(A1T)
 - 全てのエネルギー源のバランス重視(A1B)

IPCCによる予測結果（第3次：2001年3月）



IPCCによる予測結果（第3次：2001年3月）



国際的動向

- 石油危機以降
 - 各国における省エネの推進・代替エネの導入
- 地球温暖化問題への国際的取り組み
 - 1988 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 設立
 - 1992 環境と開発に関する国連会議 (地球サミット)
 - 1994 気候変動枠組条約 (UNFCCC) 発効
 - 1997 COP3 (京都議定書採択) 90年比6%削減
 - 2001 COP7 (京都議定書運用ルール合意)
 - 2002? 京都議定書批准 発効



国際協調による新たな対応の必要性
(技術開発、メカニズム、etc.)

問題：地球の温度を、次の条件の下で計算せよ。

温度 T の物体から放射される単位面積・単位時間あたりのエネルギーは T^4 [J/m²s] (は物理定数: 5.67×10^{-8} [J/m²sK⁴])

よって、半径 R の球体の表面から放射される単位時間あたりのエネルギーは $4 R^2 \times T^4$ [J/s]

物体の最終温度は入射エネルギーと放射エネルギーがつりあった状態から決定されるので、上記の球体に、単位時間あたり E [J/s] のエネルギーが入射する場合 $4 R^2 \times T^4 = E$

から、物体の温度が計算できる。

例えば、物体に入射されるエネルギーがゼロの場合、 $T = 0$ となる。
(正確には、物体のエネルギー収支には、他に熱伝導があるが、本件では考えない)

半径 R の球体を地球、入射されるエネルギー E を太陽からのエネルギーとして、地球の温度 T を計算せよ。

ここで、太陽から放射されるエネルギーのうち、地球に当たる部分を単位面積・単位時間あたり $S = 1367$ [J/m²s] とすると、単位時間あたりに地球表面に入射する太陽からのエネルギーはつぎようになる。

$$E = R^2 \times S \text{ [J/s]} \quad (S = 1367 \text{ [J/m}^2\text{s]})$$

地球の温度の計算 (その1: 単純計算)

温度 T の物体 (地球) から放射される単位面積・単位時間あたりのエネルギーは T^4 [J/m²s] (は物理定数: 5.67×10^{-8} [J/m²sK⁴])

よって、地球 (半径 R) の表面から放射される単位時間あたりのエネルギーは $4 R^2 \times T^4$ [J/s]

同様に、太陽から放射されるエネルギーが計算できるので、そのうちの地球に当たる部分も計算でき、これを単位面積・単位時間あたり S [J/m²s] とすると、地球表面に入射する太陽からのエネルギーは $R^2 \times S$ [J/s] ($S = 1367$ [J/m²s] 単位面積あたり1367ワット!)

入射エネルギーと放射エネルギーがつりあって、地球は現在の温度になっているのだから、現在の地球の温度を T とすると

$$R^2 \times S = 4 R^2 \times T^4$$

$$T^4 = S / 4 = 1367 / (4 \times 5.67 \times 10^{-8}) = 60 \times 10^8$$

$$T = 279 \text{ [K]} = 6 \text{ [} \text{]}$$

実際の地球の平均気温 (約15)との食い違いの原因は?

地球の温度の計算 (その2: 補正された計算)

実際の地球の平均気温 (約15)との食い違いの原因は?

- (1) 大気による入射エネルギー ($R^2 \times S$) の反射
 - (2) 大気による放射エネルギー ($4 R^2 \times T^4$) の反射
- (正確には赤外光の吸収と再放射) **温室効果**

上記 (1) については、地球の場合の反射率は30%だから、計算直すと $0.7 \times R^2 \times S = 4 R^2 \times T^4$
 $T^4 = 0.7S / 4 = 0.7 \times 1367 / (4 \times 5.67 \times 10^{-8}) = 42 \times 10^8$
 $T = 255 \text{ [K]} = -18 \text{ [} \text{]}$

地球の実際の平均温度である15 との差、33 が上記 (2) の温室効果によるモノである。

入射を遮るガスが増加すれば地球は冷え、温室効果ガスが増加すれば地球は温暖化する。

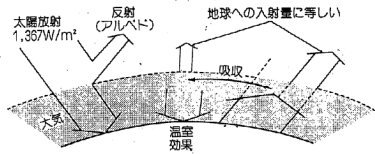


図 1-2 地表でのエネルギー収支と温室効果

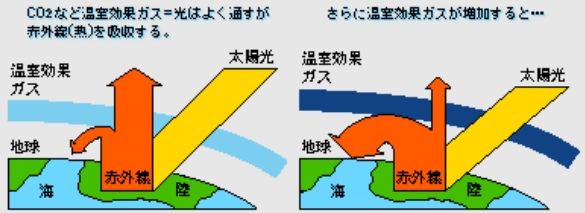
表 1-1 地球と地球類似惑星の温度

	太陽放射 [W/m ²]	基本式 温度 [K]	アルベド	アルベド 考慮温度 [K]	実際の 温度 [K]	温室効果 [K]	温室効果ガス
金星	2,610	327	0.71	240	703	463	90 気圧の CO ₂
地球	1,367	278	0.3	255	288	33	0.01 気圧の H ₂ O と 0.0003 気圧の CO ₂
火星	590	-221	0.17	215	228	13	0.0055 気圧の CO ₂

小宮山宏「地球温暖化問題に答える」東京大学出版会より

温室効果の概念図

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスは、太陽の光は通すものの、地表からの熱（赤外線）は途中で吸収し、宇宙空間に熱が逃げるのを妨ぐ。このため地球上の気温が上昇し（温暖化）、地球規模で降雨パターンや気候の変化、氷河の融解による海水面上昇などが起こると予想されている。



地球温暖化問題への対応

1. 温室効果ガスについて

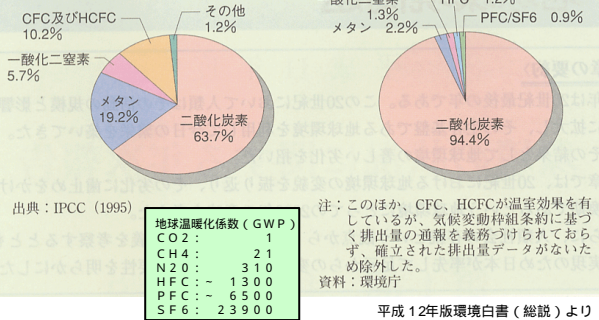
- ・気候変動枠組条約及び京都議定書の対象の温室効果ガスは、6種類。
- ・我が国のエネルギー起源二酸化炭素排出量は、米国（23.8%）、中国（13.8%）、ロシア（6.3%）について、世界第4位（5.1%）。
- ・我が国では、二酸化炭素が温室効果ガス全体の約9割を占める。

①気候変動枠組条約及び京都議定書の対象ガス

- (a) 二酸化炭素 (CO₂) ……化石燃料の燃焼、工業プロセス
- (b) メタン (CH₄) ……家畜、水田、廃棄物、燃料の不完全燃焼
- (c) 一酸化二窒素 (N₂O) ……燃料の燃焼、施肥、工業プロセス
- (d) ハイドロフルオロカーボン(HFC) ……冷蔵庫・カーエアコン、半導体洗浄剤
- (e) パーフルオロカーボン(PFC) (特定フロン(CFC、HCFC)の代替物質)
- (f) 六フッ化硫黄(SF₆) ……電力用絶縁物質、半導体洗浄剤

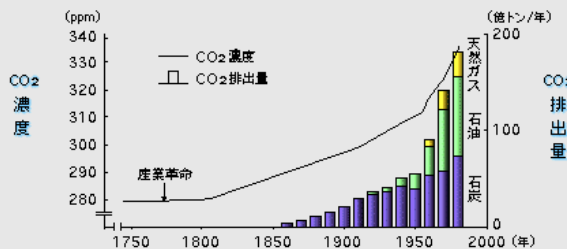
温室効果ガスの地球温暖化への寄与分

- ①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直接的寄与度（1992年現在）
- ②わが国が排出する温室効果ガスによる地球温暖化への直接的寄与度（1993年単年度）



化石燃料からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化

産業革命以降、産業の発展に比例するように二酸化炭素の濃度も上昇しており、1950年代からは急激に悪化しているのがわかる。

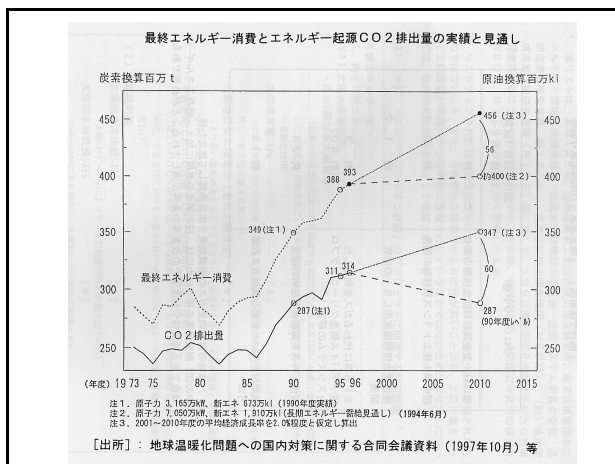


COP3で採択された「京都議定書」のポイント

1. 数値目標（第3条）

対象ガス	二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、HFC、PFC、SF ₆
基準年	1990年（HFC、PFC、SF ₆ については1985年とし得る）
削減等の取扱い	強制的な活動（1990年以降の新設の森林、再造林及び森林減少）を対象とした温室効果ガス吸収量を削減
目標期間	2008年から2012年
	附属書I締約国会体の対象ガスの人為的な総排出量を、目標期間中に基準年に比べ全体で少なくとも6%削減する。
削減目標	各附属書I締約国は、目標期間中の対象ガスの人為的な排出量が、個別の削減量を超過しないことを確保する。例えば、 日本の削減量：基準年の94%（6%削減） 米国の削減量：基準年の93%（7%削減） EUの削減量：基準年の92%（8%削減）
バンキング	目標期間中の削減量に比べて排出量が下回る場合には、その差は、次期以降の目標期間中の削減量に加えることができる。

平成12年版環境白書（各論）より



地球温暖化問題に対する国内対策

地球温暖化対策推進本部 (1997年12月設置)

- 本部長：内閣総理大臣、副本部長：内閣官房長官、経済産業大臣、環境大臣
- 地球温暖化対策推進大綱 (1998年6月)

環境省：中央環境審議会

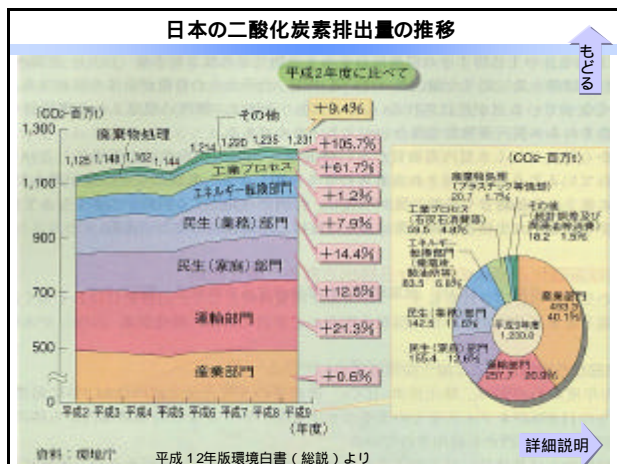
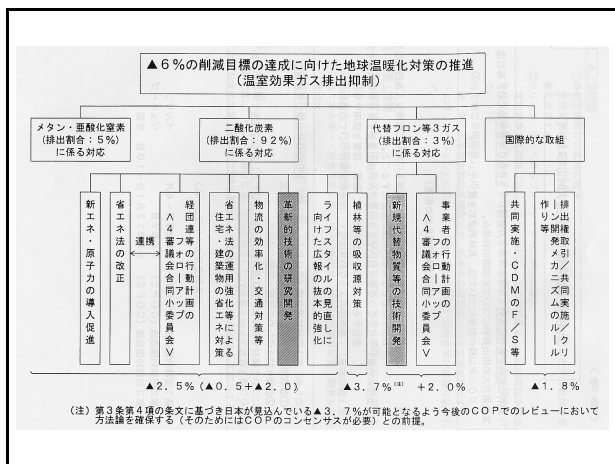
経済産業省：産業構造審議会 / 環境部会がとりまとめ

- 総合資源エネルギー調査会：IHC^{*}-起源CO2対策 (需給見通し、省エネ、新工ネ対策)
- 産業構造審議会 / 環境部会：総合的な温暖化対策の検討 (自主行動計画、京都メカニム)
- 産業構造審議会 / 産業技術分科会：革新的温暖化対策技術開発【*1】の検討
- 産業構造審議会 / 化学・バイオ部会：代替フロン等の対策

産業界：経団連自主行動計画 (1997年)

【*1】 革新的温暖化対策技術開発

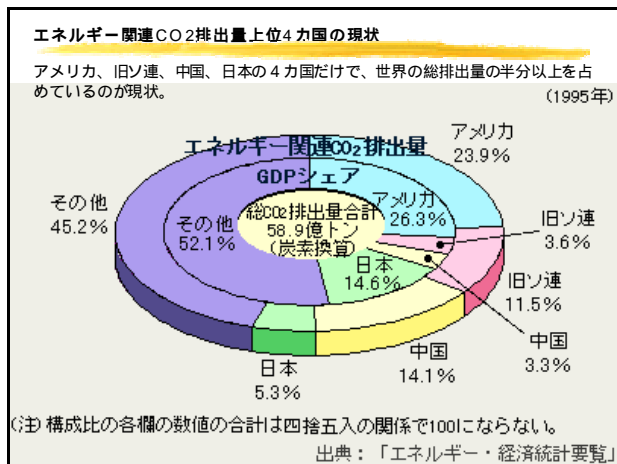
- テーマ抽出と温室効果ガス削減効果の見積もり (2001年4~7月)
- 76テーマが抽出 (2010年に効果が期待：33件、2010年以降に効果が期待：43件)
- 2010年時点での削減効果：2~7MtC (1990年比0.7~2.3%)



一人あたりのCO2排出量と炭素税 (覚えておくと便利な概算値)

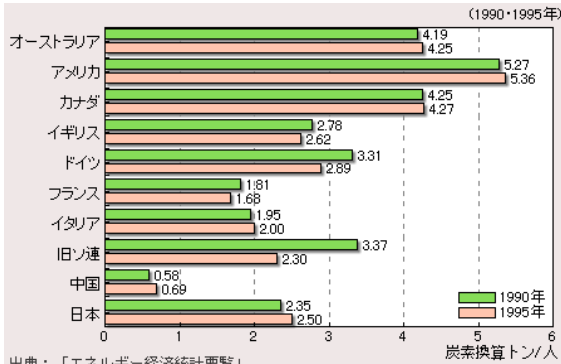
- エネルギー関連CO2排出量 (炭素換算)
 - 世界で約60億トン/年 (一人約1.0トン/年)
 - 日本で約3億トン/年 (一人約2.5トン/年)
- 炭素税・・・その是非、効果の有無は別にして・・・
 - 既に北西ヨーロッパ諸国では導入済み
 - 千円~2万円/炭素1トン
 - 仮に我が国で、3千円/炭素1トンとすると約9千億円の税収
 - これは科学技術関連予算と同等
 - これを温暖化対策特別会計とすると短期効果有りと試算されている
 - 仮に我が国で、3万円/炭素1トンとすると約9兆円の税収
 - これは5%の消費税と同等の税収 (2000年度国家予算は8.5兆円)
 - ただし、一般会計に繰り込んでしまうと、短期効果は小さい

説明へ

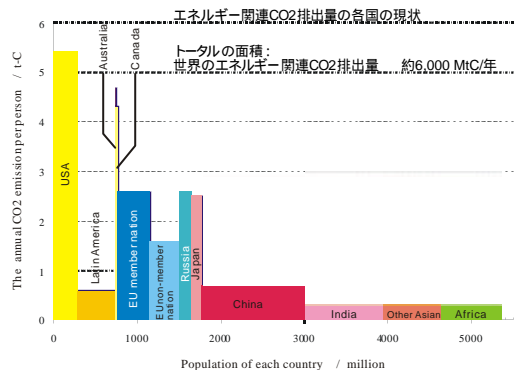


先進国一人当たりエネルギー関連CO2排出量の比較

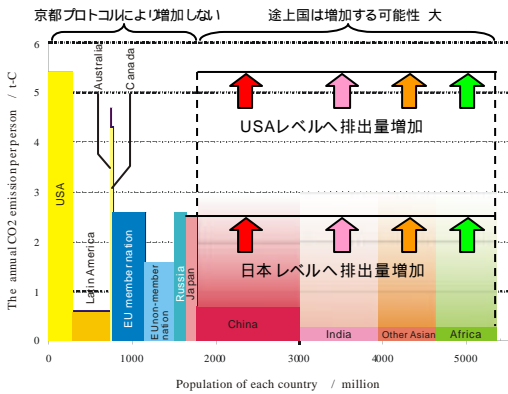
一人当たりの排出量では、日本は他の先進国と比べても低い水準。



現在の世界各国のCO2排出量



未来の世界各国のCO2排出量



温室効果ガス削減コスト

- 日本は世界最高水準のエネルギー効率を達成しており、排出削減コストが高い。

	国内削減コスト (1990年価格US\$/tC)
日本	約400 (97 ~ 1074)
米国	約200 (76 ~ 410)
EU	約300 (20 ~ 966)
途上国	約数十

出典：IPCC第3次評価報告書(2001年3月)等

- 世界全体でのコストは排出量の取り引きにより極小化することができる。

炭素循環と温暖化に関する諸量

CO2換算44トン=炭素換算12トン

地球表層における炭素原子の存在量 (単位：炭素換算)

大気中： 7000億トン (産業革命前は4000億トン)
陸上： 20000億トン
海中： 400000億トン

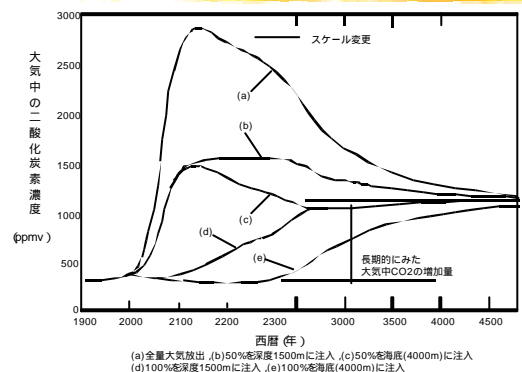
【化石資源が大気中に出る前は、長い年月をかけてこの程度の比率に落ち着いていたが、(海への炭素の移行は[時間がかかるため]化石資源の燃焼などにより大気中にCO2が急激に貯まって行っているのが現状。】

現在の世界の年間CO2排出量 (単位：炭素換算) = 70億トン
このうち、化石資源によるものが60億トン (一人平均1トン)
日本は年間3億トンの化石資源を消費しているので、日本人は一人2.4トン

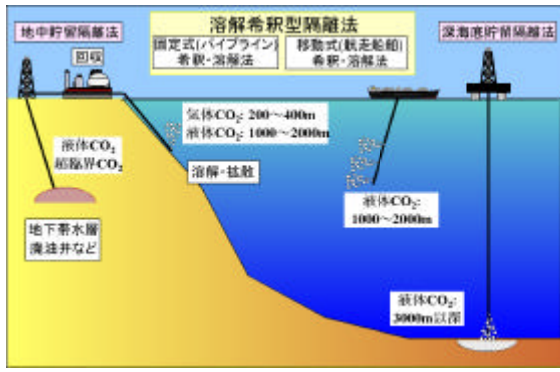
排出された70億トンの行き先
大気中： 35億トン (7000億トンの0.5%)
陸上： 12億トン (20000億トンの0.06%)
海中： 23億トン (400000億トンの0.006%)

化石燃料から放出されるCO2の海洋注入に伴う大気中濃度の予測

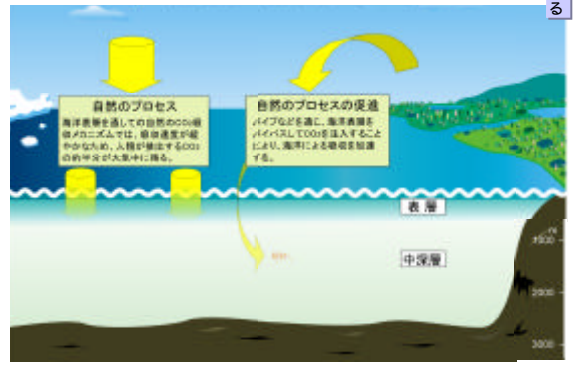
【Hoffert,Miet al., Climatic Change, 2, 53(1977)】



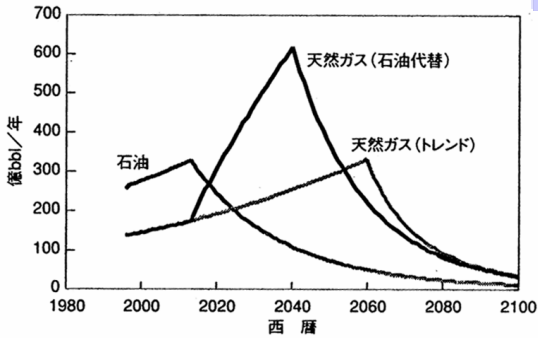
CO₂隔離技術概念図



CO₂の海洋隔離の考え方

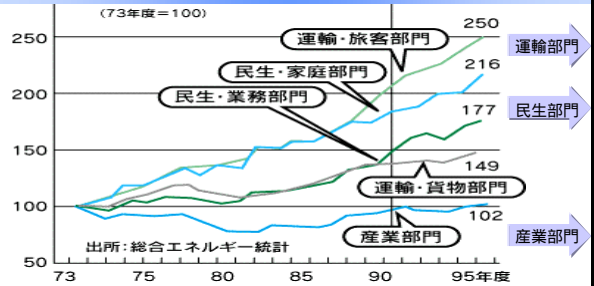


石油 天然ガスの需給予測



小林、エンジンテクノロジー(2000.11, pp.13-18)より引用

部門別エネルギー消費の推移



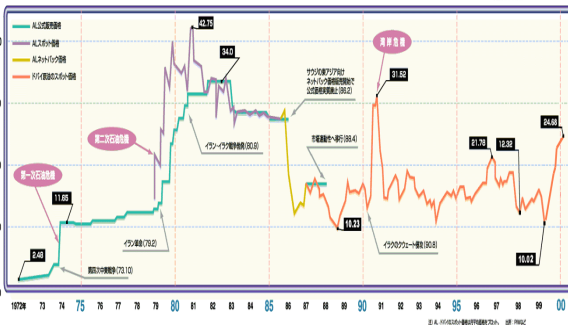
省エネが規制の対象や競争力となる部門では増えない

- 産業部門、運輸(貨物)部門 自主行動計画、省エネ法

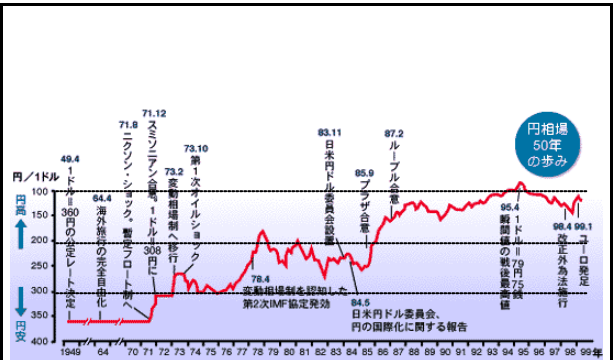
一般大衆に委ねられている部門で大幅に増加している

- 民生(業務)部門 ガイドラインが策定されつつある
- 民生(家庭)部門、運輸(旅客)部門 優遇税制(インセンティブ)期待薄

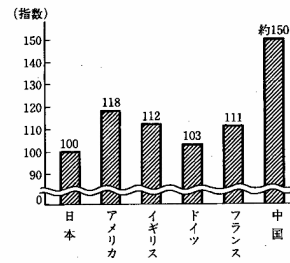
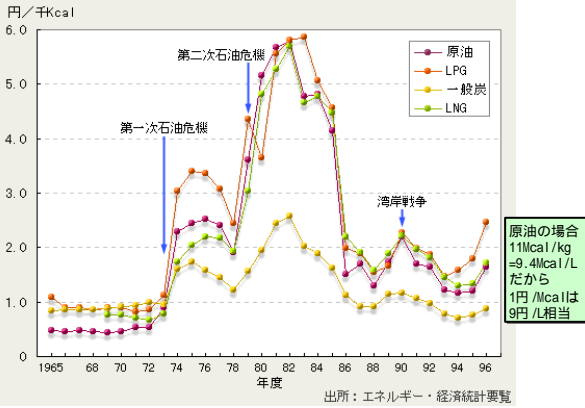
原油価格の推移 (ドルベース)



1 バレル = 159 L 10 \$ / バレル = 0.063 \$ / L
= 7 円 / L (1 \$ = 110 円の場合)



化石エネルギーの輸入価格の推移 (円ベース)



注：鉄鋼比等により補正を行った比較である。アメリカは1991年の原単位で指数比較している。
 図7-2 主要製鉄国のエネルギー原単位比較 (1994年：日本を100とした指数)
 (鉄鋼業の地球温暖化対策への取り組み概要(自主行動計画説明資料), (社)日本鉄鋼連盟, 1998年4月24日)

小宮山宏「地球持続の技術」岩波新書より

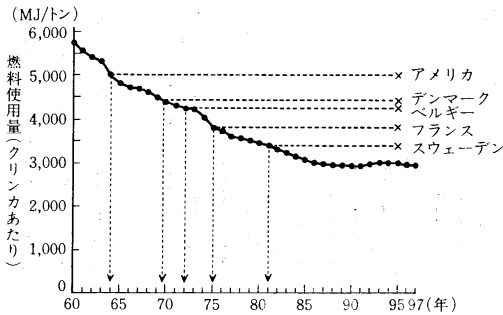
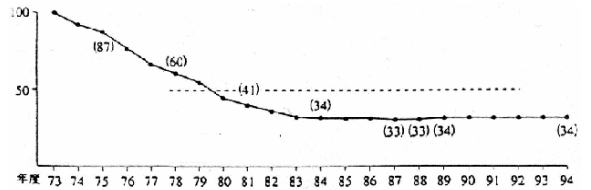


図7-3 日本のセメント産業のエネルギー原単位の推移と各国の位置づけ
 (「セメント産業の環境保全に関する自主的行動計画」セメント協会, 1998年)

小宮山宏「地球持続の技術」岩波新書より

冷蔵庫の消費電力の推移

(73年を100とする)



小宮山宏「地球持続の技術」岩波新書より

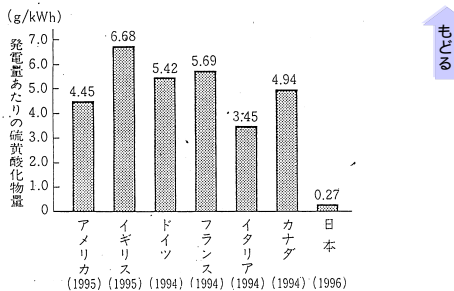
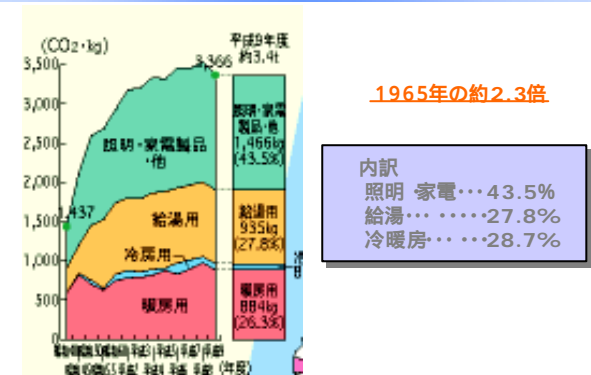


図2-7 火力発電所からの硫黄酸化物放出量の比較 (OECD Env. Data Compendium 1997および Energy Balance of OECD Countries, 1992-93, 1994-95より試算。日本は電気事業連合会をともに作成)

小宮山宏「地球持続の技術」岩波新書より

民生(家庭)部門：1世帯あたり年間CO2排出量の推移



1965年の約2.3倍

内訳
 照明・家電...43.5%
 給湯...27.8%
 冷暖房...28.7%

小宮山宏「地球持続の技術」岩波新書より

一人ひとりの地球温暖化対策

環境省

家庭で以下の取り組みを行うと、我が国の温室効果ガス排出量（1990年）を2.8%削減できる。

取組みの例	一年あたりの削減 CO2削減率 (%)	一年あたりの削減量 CO2削減率 (%)	一年あたりの削減量 削減率 (%)	備考
1 部屋の温度を1度高く、暖房の温度を1度低く設定する	約11%/年	0.3%	約1,000円/年	カーテンを利用して太陽光の直射を調節したり、着るものなどを変えることで、冷暖房に頼らなくても済む。冷暖房をかける時間を少し減らす。
2 週1回（日曜日の車の運転を）をひかえる	約11%/年	3.1%	約9,000円/年	通勤や買い物などの短距離は徒歩、自転車を利用する。長い距離は自家用車を2台の運転にも変え、1台だけ運転する。
3 1日5分間のアイドリングストップを行う	約11%/年	0.7%	約2,000円/年	通勤や買い物などでアイドリングストップをする。大気汚染物質の削減に役立つ。
4 待機電力を削減する	約11%/年	1.0%	約3,000円/年	テレビやパソコンの電源を切る。充電器を抜く。不要な機器はコンセントを抜く。古い機器は新しい機器に買い替える。
5 シャワーを1日1回短縮し湯を絞らす	約11%/年	1.1%	約4,000円/年	身体洗っている間、お湯を流すのを止める。シャワーの温度を低くする。
6 風呂の湯はり量を減らす	約11%/年	0.3%	約1,000円/年	風呂の湯を減らす。お湯を絞らす。お湯を絞らす。お湯を絞らす。
7 ジャーの保温を止めぬ	約11%/年	0.3%	約1,000円/年	ポットやジャーの保温は、利用頻度が高いほど多くの電気消費を要する。こまめに電源ボタンで保温をオフにする。
8 家族の同じ部屋で寝る。暖房と照明の利用を2割減らす	約11%/年	4.1%	約11,000円/年	家族の同じ部屋で寝ると、暖房も照明も必要に必要になる。
9 重い物袋も持ち歩き、重たい物袋の回収なども減らす	約11%/年	1.0%	約3,000円/年	エレベーターやエスカレーターを利用する。重い物袋を回収してもらう。回収してもらう。
10 テレビ番組を選び、1日1時間テレビ利用を減らす	約11%/年	0.2%	約700円/年	見たい番組だけを見てみる。
合計	約11%/年	13.0%	約41,000円/年	
我が国全体での効果	約14.7万トン/年		我が国の温室効果ガス排出量（1990年）を2.8%削減。	

注1 一年あたりの削減CO2削減率：約11%。我が国の温室効果ガス排出量（1990年）を2.8%削減できる。注2 一年あたりの削減CO2削減率：約11%。我が国の温室効果ガス排出量（1990年）を2.8%削減できる。注3 一年あたりの削減CO2削減率：約11%。我が国の温室効果ガス排出量（1990年）を2.8%削減できる。

見やすいところに貼って、できるものから取り組んでみましょう。

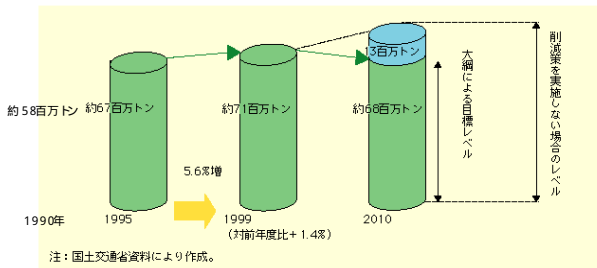
環境省ホームページ（家庭でできる温暖化対策）より
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/katei.html

電気代について

おためし

- 日本の電気代
 - 基本料金： 780円（30A契約の場合）
 - 電力量料金： 約20円/kWh 16.41円/kWh（～120kWh）
21.78円/kWh（120～300kWh）
23.85円/kWh（300kWh以上）
- 電気器具の消費電力量
 - 冷蔵庫 約100W × 24h × 30日 = 72 kWh（約1440円）/月
 - テレビ 約100W × 6h × 30日 = 18 kWh（約360円）/月
 - テレビ（待機時）約1W × 24h × 30日 = 0.72kWh（約14円）/月
 - ビデオ 約20W × 2h × 30日 = 1.2 kWh（約24円）/月
 - ビデオ（待機時）約5W × 24h × 30日 = 3.6 kWh（約72円）/月
 - エアコン 約1000W × 6h × 30日 = 180 kWh（約3600円）/月
- 家電業界の省エネ技術
 - 冷蔵庫、エアコン、ビデオの待機電力の省エネ対策が優先

図表II-4-3 運輸部門起源CO2の推移（平成13年度 国土交通白書より）



このまま無対策でいくと、2010年に輸送部門から8.1MtC（90年比40%増）となる。京都議定書遵守のためには、2010年に6.8MtC（90年比17%増）としたい。現在7.1MtCであるから、6.8MtCというのは比較的達成しやすい目標？

輸送部門での省エネ・温暖化対策

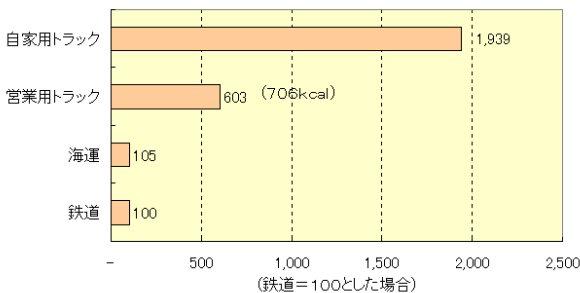
- サービスの質と量を低下させない（Sustainable Development）とすると、単位サービスあたりの原単位を下げるしかない。
- 単位サービスあたりの原単位を下げるためには：
 - より原単位の小さな輸送手段への転換：
 - 貨物部門におけるモーダルシフト（トラック輸送の鉄道・海運への転換）
 - 旅客部門における自家用車から公共交通機関利用への転換
 - 省エネ車購入時の優遇税制
 - 同じ輸送手段をより高い原単位で活用する：
 - 渋滞の緩和（ETC、ITSなど）
 - 長時間停車時のアイドリングをやめる
 - 輸送手段自体の原単位低下（＝燃費向上）：
 - 推進形態の変更（ハイブリッド車、燃料電池車）
 - 車体軽量化（R/F、アルミ、カーボン、プラスチック、複合材料）
 - 空力抵抗低減

運輸（貨物）部門：輸送機関別に見た二酸化炭素排出原単位

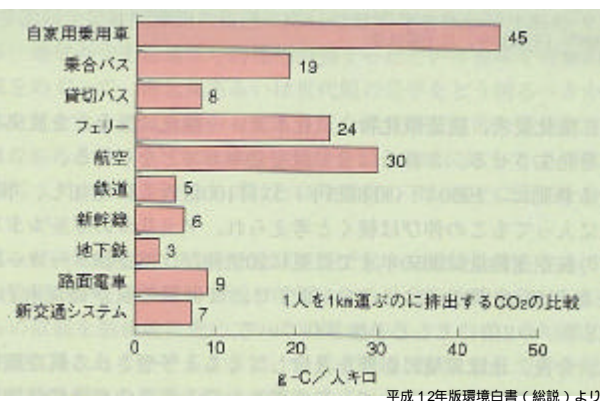
おためし

図 43 1トンの荷物を1km運ぶのに消費するエネルギーの比較（1994年度）

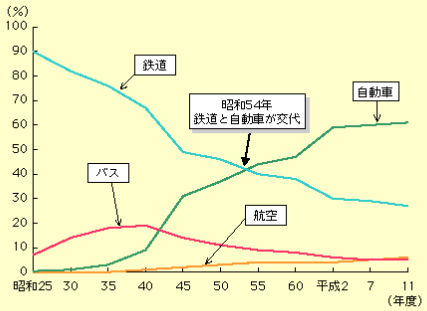
出典：通商産業省作成資料



運輸（旅客）部門：輸送機関別に見た二酸化炭素排出原単位

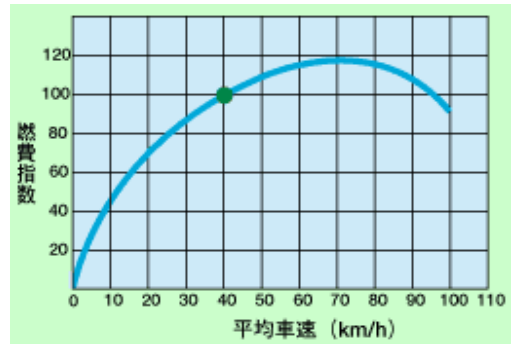


国内旅客輸送の機関分担率の推移（人キロ） （平成13年度 国土交通白書より）



注：国土交通省資料により作成。

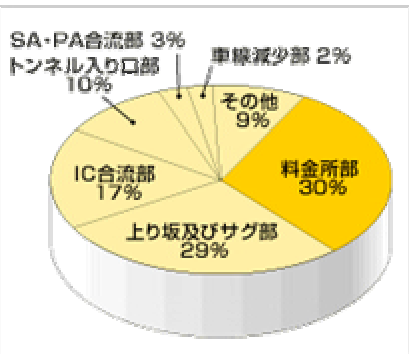
平均車速と燃費



出典：(社)日本自動車工業会

渋滞の現状

- 料金所における渋滞が最も多い。

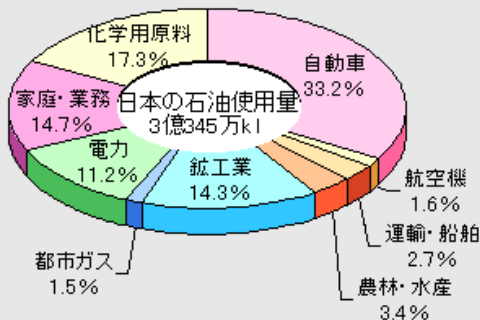


省エネ・温暖化対策としての自動車軽量化

- なぜ自動車なのか？
 - 日本の石油使用量の約3分の1が自動車による
 - 世界の石油使用量の約半分は自動車による
 - 日本のCO₂排出量の約20%が自動車から
 - 運輸部門のCO₂排出量の88%が自動車から
- なぜ軽量化なのか？
 - 燃費向上の費用対効果が高い
 - 他の燃費向上技術（燃料電池、抵抗低減）と共存
- なぜ急いで自動車を軽量化しなければいけないのか？
 - 中国とインドのモータリゼーションに間に合わせないと大変
- 注意点とは？
 - 技術的に、段階を追って軽量化する必要がある
 - 技術適用からポテンシャル発揮まで15～20年かかる
 - リサイクル（正しくは3R）を考慮して設計する必要がある

日本の石油の用途

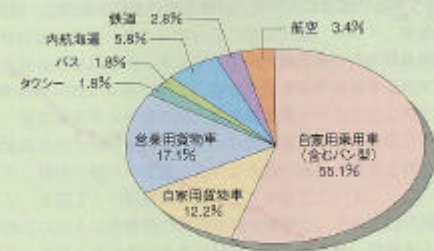
(1996年度)



(注) 構成比の各欄の数値の合計は四捨五入の関係で100にならない。

出典：石油連盟調べ

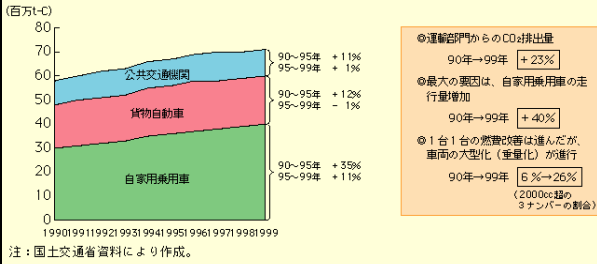
輸送機関別に見た二酸化炭素排出量の割合（1997年度）



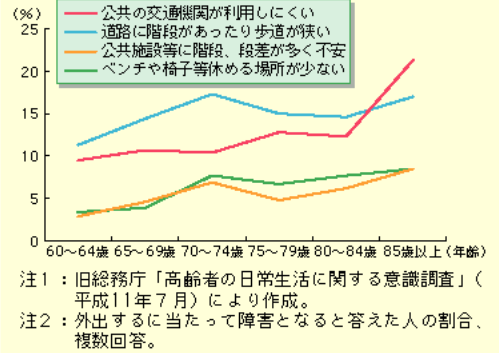
資料：運輸省

平成12年版環境白書（総説）より

運輸部門起源CO2排出量の推移 (平成13年度 国土交通白書より)



高齢者にとっての外出時の障害 (平成13年度 国土交通白書より)



日米の石油使用量とCO2排出量の比較

世界の石油生産量=約3.5億kL/年
確認可採量=約1.62億kL 可採年数=約4.5年

	日	米
石油使用量	3.00億kL/年	10億kL/年
うち輸送部門	1.13億kL/年(37.5%)	6.6億kL/年(66%)
自動車	1.00億kL/年(33.2%)	6.6億kL/年(66%)
航空機	0.05億kL/年(1.6%)	Neg.
船舶	0.08億kL/年(2.7%)	Neg.

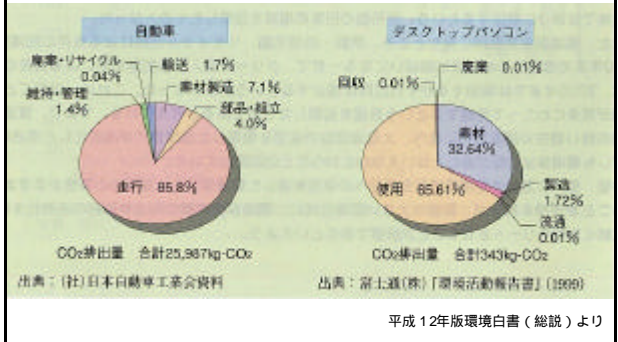
世界のエネルギー関連GHG排出量(炭素換算)=約6.0億トン/年(一人約1トン/年)

	日	米
GHG排出量	3.00億トン/年(一人約2.5トン/年)	14億トン/年(一人約5.2トン/年)
うち輸送部門	0.71億トン/年(24%)	3.5億トン/年(25%)
自動車	0.61億トン/年(20%)	3.5億トン/年(25%)
航空機	0.024億トン/年(0.8%)	Neg.
船舶	0.042億トン/年(1.4%)	Neg.

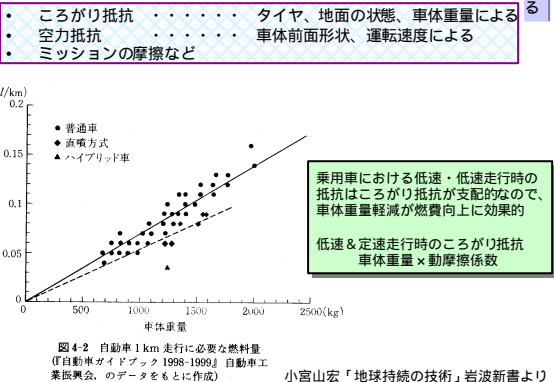
気候変動枠組み条約における日本の公約(GHGの人的排出量を1990年レベルの6%減)

- 1990年のGHG排出量=3.34億トン/年
- 2010年のGHG排出量=3.14億トン/年以下(1990年レベルから0.2億トン/年(6%)の削減)
- 1999年のGHG排出量=3.56億トン/年(2010年までに0.42億トン/年(13%相当)の削減必要)

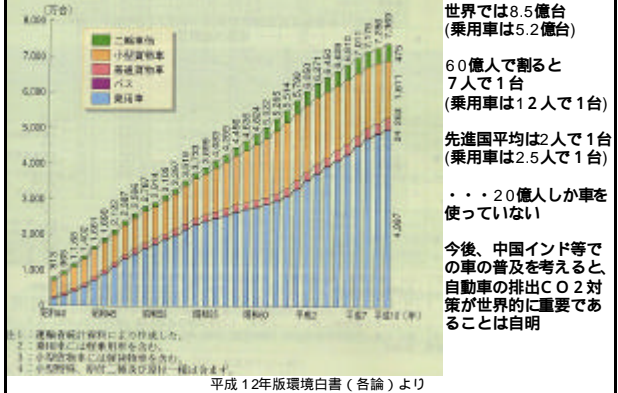
製品のライフサイクルでの二酸化炭素排出量の例



自動車における抵抗



日本の自動車保有台数の推移

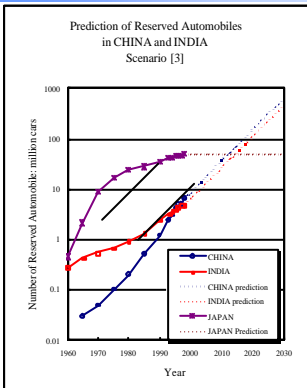


中国 インドにおける乗用車普及を想定した
世界の乗用車保有台数の推定

number of automobile in 1998 (million cars)				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	6.6	4.8	50	520

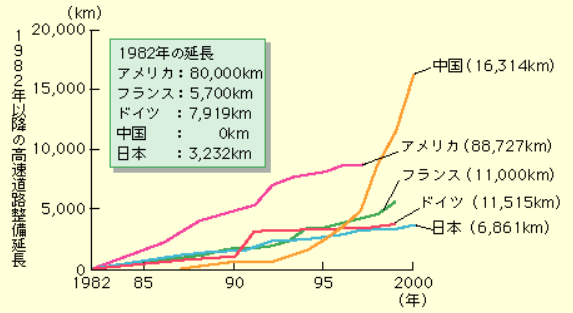
CHINA: depend on production rate 15.3% increase
INDIA: depend on production rate 15.3% increase

number of automobile in 2030 (million cars)				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	623	459	50	1602



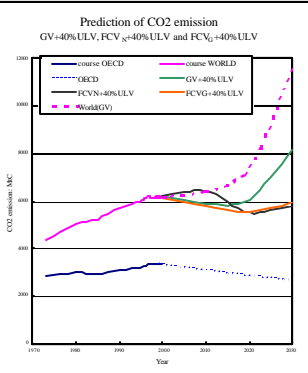
- 中国インドの保有台数増加率を現状維持 (15.3%) と想定
- 2013~2015年に保有台数が日本と同じになる
- 2030年ごろまで増えつづけ、現在の先進国並 (2.5人に1台) となりその後安定化する

1982年以降の高速道路整備延長
(平成13年度 国土交通白書より)



注: 日本、中国: 2000年 仏、独: 1999年 アメリカ: 1997年 のデータ。

世界の温暖化対策・省エネルギー対策としての超軽量CFRP車の効果
(削減ポテンシャルと提言)



- = シミュレーションの前提 =
- GV +40%ULV 2005年導入
 - FCV+40%ULV 2007年導入
 - FCV+40%ULV 2010年導入
- = 結論 =
- 無対策の場合、先進国のGHG削減努力は2020年頃から非常にむなしいものになる。
 - 逆に考えると、中国インドのモータリゼーションの脅威は(気候変動の見地からは)2015年頃までは大きな心配事ではない。
- = 提言 =
- 量産車の燃料電池車化と超軽量化技術は先進国において(当東京都議定書の目標達成を念頭において)早期確立を目指す。
 - 産業競争力・空汚化対策
 - 技術適用車の中国インドへの導入は2015~2020年を目標として、インフラの現地展開などの戦略を考える。
 - 利益をどう国内にフィードバックするか

リサイクルと省エネのトレードオフ
(プラスチックリサイクルについての基本)

- リサイクルしない場合**.....【石油2、ゴミ1】
 - 1トンのプラスチックを作るのに必要な石油は約2トン
 - 原料としての石油1トン + 燃料としての石油約1トン
 - 定常状態では、1トンのプラスチックゴミを排出
- 完全リサイクル(マテリアルリサイクル)の場合**.....【石油3~5、ゴミ0】
 - (劣化によりリサイクルできなくなる現象はここでは無視)
 - 1トンの廃プラが原料となる(プラスチックゴミはゼロ)
 - 廃プラ1トンからプラスチック1トンを作るためには、燃料としての石油が3~5トン必要
 - 結果的に、ゴミを出さない循環型(リサイクル)社会を目指すために、枯渇性資源を倍以上消費することになり、当然、排出CO2もそれに比例して増える(循環型社会を取るか、枯渇性資源節約&温暖化対策を取るかのトレードオフ)
- 完全リユースの場合**.....【石油0、ゴミ0】
 - (劣化によりリユースできなくなる現象はここでは無視)
 - 1トンの廃プラが原料となる(プラスチックゴミはゼロ)
 - 廃プラ1トンからプラスチック1トンを得るエネルギーは極めて小さい
 - 易分解設計、非破壊的寿命評価等、等が重要な技術となる
- 完全サーマルリサイクル(熱エネルギーとしての回収)の場合**.....【石油1、ゴミ0】
 - 1トンの廃プラは1トンの石油と同等のエネルギーとなる(ゴミはゼロ)
 - この熱を利用して、石油1トンからプラスチック1トンを得ることができ
 - 易分解設計、脱塩素、等によりダイオキシン発生を抑制する必要がある

基礎素材としての利用し易さ(集積度と濃度)

- 天然資源(資源として活用できるものは既に地理的に集積しているとする)**
 - 地理的集積度【・・・中~高】
 - 物理的濃度【低~中~高】
 - (大きなエネルギーが必要となる工程)
- 材料・基礎素材**
 - 地理的集積度【・・・高】(鉱物の採掘等、にエネルギー必要)
 - 物理的濃度【・・・高】(濃縮にも大きなエネルギーが必要)
- 製品**
 - 地理的集積度【低~中・・・】(市場に分散)
 - 物理的濃度【・・・中・・・】(組立、溶接等により、純度が低下)
- ゴミ(使用済み製品)**
 - 地理的集積度【・・・高】(回収にエネルギーが必要)
 - 物理的濃度【低・・・】(異種ゴミを混ぜると、純度が低下)
 - (大きなエネルギーが必要となる工程)
- 再生材料**
 - 地理的集積度【・・・高】
 - 物理的濃度【・・・高】(分離、濃縮に大きなエネルギー)

リサイクルの技術開発目標は天然資源からの加工

ご質問等はメールでお気軽にどうぞ。
jun@sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp

ホームページでは講義 研究全般を紹介しています。
http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/

ゼミのページでは、情報収集源として、蔵書リスト 新聞記事データベース、メールグループ、ウェブサイトを紹介しています。
http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/ut_version/zemi/zemi.html