

シリーズ[環境問題を考える] 6

温暖化の虚像

Various Measurements of Global Temperature

間違った温暖化対策が社会・環境を破壊する

— GISS

— HADCRUT

— NOAA

— RSS

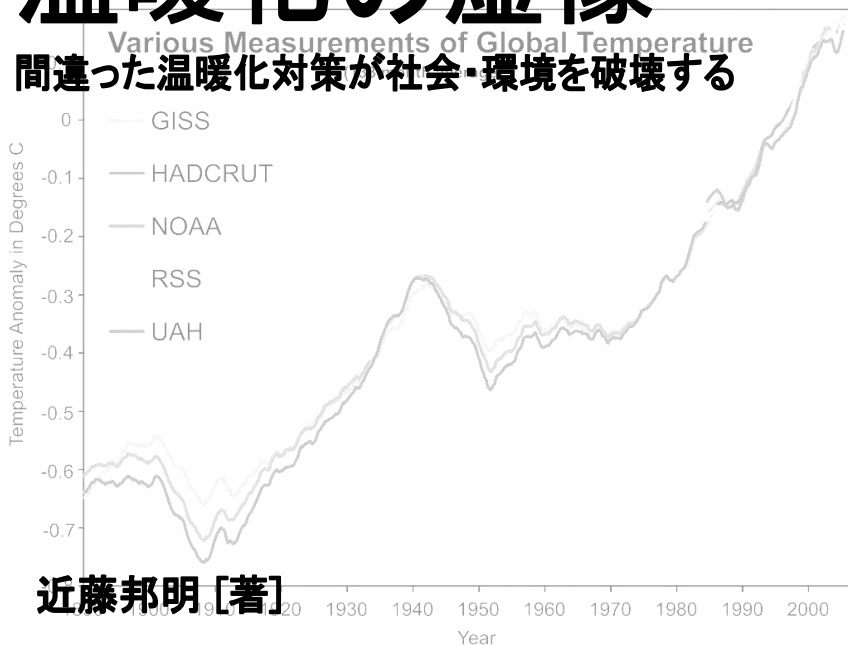
— UAH

近藤邦明 [著]

シリーズ [環境問題を考える] 6

温暖化の虚像

Various Measurements of Global Temperature
間違った温暖化対策が社会・環境を破壊する



近藤邦明 [著]

はじめに

1994年に気候変動に関する国際連合枠組条約が発効して四半世紀が経過しました。今年2020年は、パリ協定の実施期間に入ります。昨年は、パリ協定の実施を控えて、世界中で温暖化対策の推進を求めるデモンストレーションやマスコミによるキャンペーンが行われました。特に若者や子供を動員したデモンストレーションが一躍脚光を浴びました。

中でも最も注目されたのが、北欧スウェーデンの少女グreta・トゥーンベリ嬢が「未来のための金曜日」と称して、毎週金曜日に学校を休んでストックホルムの議会前で温暖化防止を訴える座り込みを行っているというニュースでした。グreta嬢のニュースはマスメディアやインターネットによって瞬く間に世界中に広がり、若者の間に共感を呼び起こしました。グreta嬢は一躍時の人、マスメディアの寵児となり、その発言、一挙手一投足が報道されることになりました。日本も含めて多くの国で、大学生を中心とする若者たちがグreta嬢の行動に賛同してデモンストレーションを行っています。

私はこのグreta嬢や若者たちの発言や行動、そして過熱した報道に強い違和感と同時に薄気味悪さ、そして危うさを感じます。

グreta嬢は科学的な知識の乏しい、思い込みの強い夢見がちな十代の普通の少女です。彼女の発言は「人為的CO₂地球温暖化脅威説」という自然科学的に多くの問題を含む出来の悪い「仮説」を絶対視する偏狭な思い込みによる宗教的な信仰に端を発する若者に特有な短絡的な正義感と情熱、彼女の主張に同意しない人々に対する不寛容によって特徴づけられます。この言わば「駄々っ子の強情」が妥協しない強い信念と勘違いされ、マスコミによる過剰報道によって偶像が生まれたのです。

自らの主張を科学的だと言う彼女の思いとは裏腹に、「人為的CO₂地球温暖化脅威説」を絶対視し、これに批判的な主張を容れずに排斥しようとする彼女の発言は、自然科学の進歩を保証している自由闊達な論争を否定するものです。

しかし、グreta嬢は職業的な研究者でもなければ社会に対して責任を持つ立場にあるわけでもありませんから、本来、彼女が何を言おうと自由です。問題は、「人為的CO₂地球温暖化脅威説」に対する反論を社会的に抹殺するために

グレタ嬢のカリスマ性を利用している者たちがいることであり、その思惑にまんまと乗せられて、彼女の非科学的な発言を無批判に報道するマスコミがあり、学問を希求するはずの大学生や環境 NGO に所属する大人たちまでが思考停止状態に陥り、熱狂的に支持している異常な状況です。

グレタ嬢や世界中の多くの人々、特に若者たちがなぜ科学的に不合理な CO₂ 温暖化防止を訴える熱狂的な運動に容易に取り込まれてしまうのでしょうか？そこに大きな役割を果たしているのが、論理的な判断能力の成熟していない児童生徒に対して義務教育現場で進められている理論的な説明を含まない外形的な温暖化教育による一面的な情報の刷り込み、そしてマスメディアやインターネット上に溢れる自然科学的な検証を伴わない無責任な情報の洪水です。

物心つく前からこうした環境で育った子供や若者たちは、温暖化という問題は特別の問題であり、疑ってはならない聖域であると信じ込んでいるのです。これは、疑問を持ち、考え続けることを本質とする科学的思考の対極にある宗教的な信仰にほかなりません。

グレタ嬢もそうした環境で育った哀れな犠牲者の一人なのだろうと思います。人一倍感受性の強かった彼女は、温暖化による脅威という情報に恐れおののき、一時は精神的にも不安定になったと聞きます。

本来ならば、グレタ嬢の祖国である北欧のスウェーデンというお国柄であれば、暖かくなることは好ましいことであり、忌むべきことではないはずです。グレタ嬢の思い込みは、彼女の周囲の大人たちによって、形而上学的な「人為的な温暖化による脅威」という一面的で誤った情報が選択的に繰り返し刷り込まれた“洗脳”の結果なのでしょう。

本書では、「人為的な原因による大気中 CO₂ 濃度の上昇による地球環境の温暖化による全般的な脅威」という終末思想的なドグマとなった「人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説」について、再び自然科学の問題に引き戻して、冷静に評価します。その手がかりとして、初等中等教育の現場で教えられている温暖化教育の基礎的な内容について、再検討します。

更に、パリ協定によって現在進められようとしている「人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説」という虚像に対する対策技術の大規模な導入が招来する破滅的な影響を示します。

I. 地球温暖化の科学

1 章 間違った温暖化歴史観.....	9
1-1 温暖な時期と氷河期が繰り返される地球.....	10
1-2 新生代の気温変動.....	12
1-3 気温変動と生態系.....	14
1-4 完新世の気温変動と文明.....	15
2 章 CO₂濃度上昇の原因は温暖化.....	19
2-1 大気中 CO ₂ 濃度に対する高校教科書の記述.....	20
2-2 人為的 CO ₂ 蓄積説の誕生.....	22
2-3 地球の炭素循環 ～IPCC2007 年報告から.....	24
2-4 炭素循環に対する人為的な影響.....	27
2-5 高校化学で考える化学平衡と大気中 CO ₂ 濃度.....	30
2-6 原因と結果を取り違えた CO ₂ 温暖化説.....	33
2-7 二つの間違いの上に築かれた虚像.....	37
3 章 温室効果とは何か.....	39
3-1 気体と放射現象についての基礎知識.....	40
分子運動と温度.....	40
気体分子の運動と赤外活性.....	41
黒体放射、太陽放射、地球放射.....	44
放射に対する吸収率と射出率.....	48
3-2 間違った温室効果を広めた JCCCA の一枚の図.....	51
3-3 大気の赤外活性と温室効果.....	55
地球の表面環境のエネルギー収支.....	55
大気圧と対流圏の鉛直温度分布.....	57
温室効果とは何か.....	57
3-4 地球大気の温室効果.....	61
温室効果は赤外線波長に依存する.....	61
大気地表面放射に対する吸収率.....	61

温室効果に対する CO ₂ 濃度上昇の影響.....	63
気温変化は単純な現象ではない.....	65
3-5 ペットボトル実験という見世物.....	67
温室効果に対する誤った認識と実験目的.....	67
地表面放射のモデル化.....	68
CO ₂ を充填したプラスチック容器試料.....	70
実験環境の問題.....	72
ペットボトル実験の理論的な誤り.....	73
杜撰な温度測定方法.....	74
不可解な実験結果と混乱する解釈.....	77
科学を装った非科学的な見世物の罪.....	79
4 章 地球温暖化の虚と実.....	82
4-1 人為的 CO ₂ 地球温暖化は虚像.....	83
CO ₂ の増加の影響はごくわずか.....	83
CO ₂ 濃度の増加は気温を低下させる.....	83
4-2 気温変動の主要な原因は太陽活動の変動.....	86
地球の公転運動の軌道要素の変動.....	86
太陽活性度の変動.....	87
地球温暖化と局所的異常気象.....	89
4-3 人為的な原因による高温化.....	91
都市化による異常高温.....	91
砂漠化の進行による乾燥化.....	94

II. 誤った温暖化対策

5章 CO₂削減技術の科学的検証	96
5-1 脱化石燃料の潮流.....	97
5-2 再生可能エネルギー発電の特性.....	100
自然エネルギーの特性.....	100
再生可能エネルギー発電原価.....	101
5-3 太陽光発電の実像.....	104
太陽光発電の設備利用率.....	104
太陽光発電の設備規模.....	105
全ての電力供給を太陽光発電で賄うことは出来ない.....	106
5-4 風力発電の実像.....	109
風力発電の設備利用率.....	109
風力発電の施設規模.....	111
全ての電力供給を風力発電で賄うことは出来ない.....	112
5-5 工業生産の理論.....	114
エントロピー.....	114
光合成と生物の定常性.....	115
消費と生産の理論.....	117
工業生産.....	118
迂回過程.....	119
電力化率とエネルギー利用効率.....	120
5-6 工業を支えるエネルギー供給システムの条件.....	122
エネルギー供給とエネルギー産出比.....	122
化石燃料によるエネルギー供給システム.....	124
火力発電の生産図.....	125
自然エネルギー発電の生産図.....	126
原子力・再生可能エネルギーは一次エネルギーではない.....	128
5-7 自動車駆動系の電力化.....	131
電気自動車.....	131

燃料電池車.....	132
水電解水素を用いた燃料電池は低効率の蓄電池.....	134
ハイブリッド車.....	137
化石燃料消費を最小化するのには内燃機関.....	137
6章 CO₂温暖化対策で破壊される自然と社会.....	139
6-1 科学性的に見えない若者たちの運動.....	140
反温暖化運動の偶像になった少女.....	140
温暖化説は理論的にトランプに敗北した.....	141
熱狂によって科学性を失った大学生.....	142
今はまだ学ぶことが必要.....	143
6-2 温暖化対策は儲かる産業.....	144
パリ協定が利益を保証.....	144
温暖化対策商品に対する過剰な補助金.....	145
低効率ゆえに儲かる温暖化対策製品.....	145
なぜ太陽光発電パネルは中国製なのか.....	146
6-3 実例で見る温暖化対策の不毛な技術開発.....	148
事例1：風レンズ風車.....	148
事例2：洋上風力発電の経済コスト.....	152
6-4 温暖化対策がもたらすもの.....	158
CO ₂ 放出ゼロの社会は理論的に実現不可能.....	158
温暖化対策が環境を破壊する.....	158
数字が示す再生可能エネルギー導入の無意味さ.....	159
温暖化対策が工業に支えられた社会を壊す.....	161
6-5 パリ協定の崩壊の始まり.....	162
温暖化対策に積極的な経済界.....	162
国家間の思惑の違い.....	162
求められる自然科学に基づく冷静な判断.....	164
6-6 環境問題と温暖化対策.....	165
地球環境の定常性.....	165

地球生態系の第一生産者.....	166
分解者としての動物.....	167
生態系という循環システム.....	168
工業生産システムと環境問題.....	170
環境問題と温暖化対策.....	171
環境問題対策には科学的視点が不可欠.....	173

I. 地球温暖化の科学

1

間違った温暖化歴史観

温暖化することは、そんなに悪いことなのでしょうか？

恐竜が闊歩していた中生代(2億5000万年～6500万年前)は現在よりも15℃程度も高温で、多湿でしたが、豊かな生態系を持っていました。

現在よりも3℃程度温暖であった6000年ほど前を中心とする完新世最温暖期には、豊かな生態系を背景とする古代農耕文明が起こり、日本でも縄文文化の最盛期を迎えました。

日本では平安時代の文化爛熟期にあった1000年ほど前の中世温暖期の後に、地球は寒冷化して14世紀の半ばに小氷期を迎えました。完新世で最も寒冷な時代であった小氷期は冷害に伴う飢饉や戦乱が起こり、ヨーロッパではペストの蔓延で人口が激減した人間社会にとって厳しい時代でした。18世紀後半、産業革命が興ったのは小氷期の末期でした。

19世紀の半ばに小氷期が終わり、ようやく暖かな気候に回帰したのが20世紀でした。産業革命から現在までに地球の気温は0.6～1.0℃ほど上昇しています。

こうした地球史に対する常識は、人為的CO₂地球温暖化脅威説が蔓延するようになると著しく歪曲されることになりました。今では、産業革命以前の小氷期の寒冷で過酷な気候こそが人間社会にとって好ましい気候であったかのような誤った温暖化歴史観が信じ込まされています。

本章では、地球史的に見た気候変動の概要を振り返ることにします。

1-1 温暖な時期と氷河期が繰り返される地球

46億年ほど前、小惑星の衝突によって地球が誕生したとき、表面はドロドロに溶けていました。これをマグマオーシャンといいます。地球の表面温度は2000℃程度であったと考えられます。太古の地球は水蒸気 H_2O と二酸化炭素 CO_2 を中心とする300気圧を超える分厚い大気に覆われていました。大気の激しい対流運動を通して地球の持っていた熱が宇宙空間に放出され、急激に表面温度が下がりました。地表面が冷やされ地殻ができ、43億年前にはマントルもすべて固化しました。

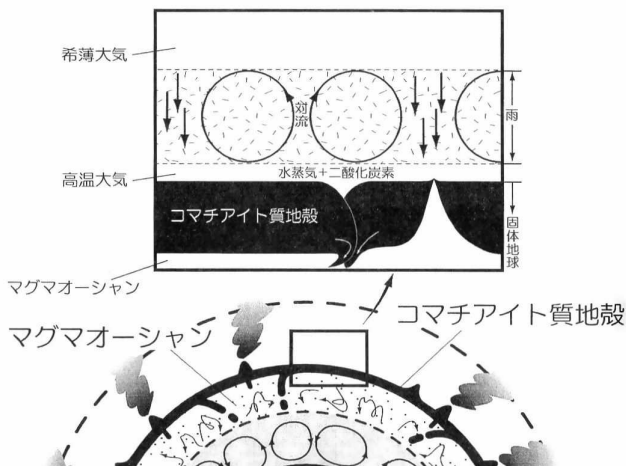


図1-1 44～43億年前の地球(出典:「生命と地球の歴史」岩波新書,p19)

水蒸気は大気上端で冷やされて氷粒あるいは水滴になって地表面に向かって落下しましたが、高温の地表面に到達する前に気化して再び大気中を上昇しました。地球の表面温度が低くなり、やがて雨粒が地表面に到達するようになると長期間雨が降り続け、40億年ほど前に海ができました。大気中の CO_2 も雨水に溶けて取り除かれました。こうして地球大気は急速に薄く、透明になりました。

マントルは上下2層に分かれて対流しています。上部マントルの外側は固いプレートになっています。地球の表面は10数枚のプレートに覆われています。プレートに乗った大陸地殻は、マントルの運動によって絶えず離合集散を繰り返しています。この大陸の離合集散のサイクルをウィルソンサイクルと呼びます。ウィルソンサイクルによって、地球の内部熱の地表面への放出速度が変化することで、地表面の温度状態が大きく変化します。内部熱の放出が大きいときには地表面環境は温暖になり、逆に内部熱の放出が小さくなると地表面環境は寒冷化して氷河期になります。

陸地面積の8割以上が集まったものを超大陸と呼びます。超大陸が形成され始めると地表面環境は寒冷化して氷河期になり、超大陸が再び分裂し始めると温暖化します。

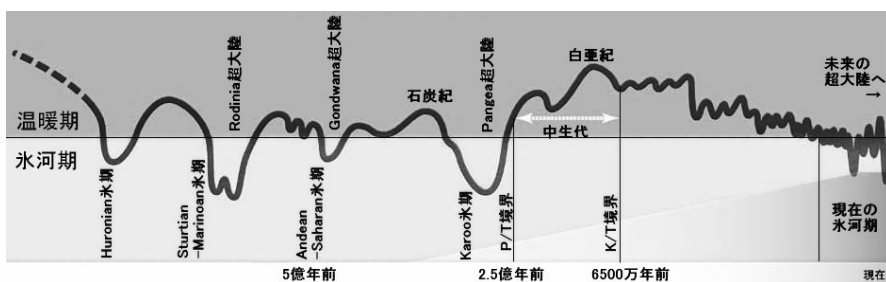
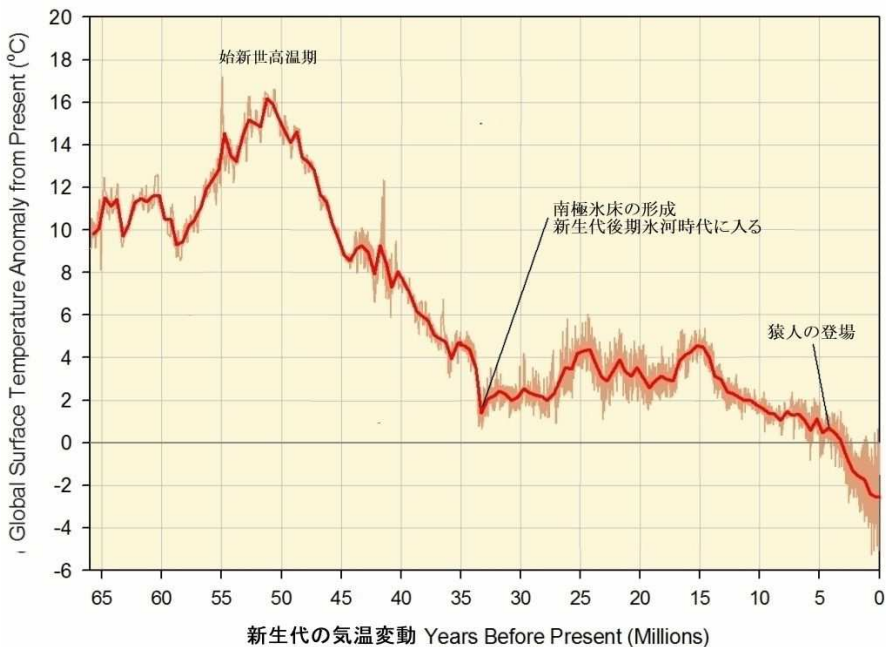


図 1-2 ウィルソンサイクル開始以降の気温変動の概要

図 1-2 にウィルソンサイクルが始まって以降の気温変化の概要を示します。超大陸の形成に向かうと寒冷化して氷河期になることがわかります。現在はユーラシア大陸を中心とする次の超大陸「アメイシア」の形成初期にあり、500万年ほど前に氷河期に入りました。地球史的に見ると現在は寒冷な氷河期の只中にあります。

1-2 新生代の気温変動

新生代 (6500 万年前～現在) の気温変動を図 1-3 に示します。縦軸の値は、現在に対する気温偏差 (°C) を示します。



<https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2011/12/image29.png>

図 1-3 新生代の気温変動の概要

新生代の気温は、5000 万年ほど前に極大期を迎え、その後は長期的な低下傾向を示しています。500 万年ほど前に猿人が登場して以降も全般的に寒冷化が進んでいます。

南極のアイスコア分析による気温偏差と大気中の二酸化炭素濃度、メタン濃度の変動を図 1-4 に示します。

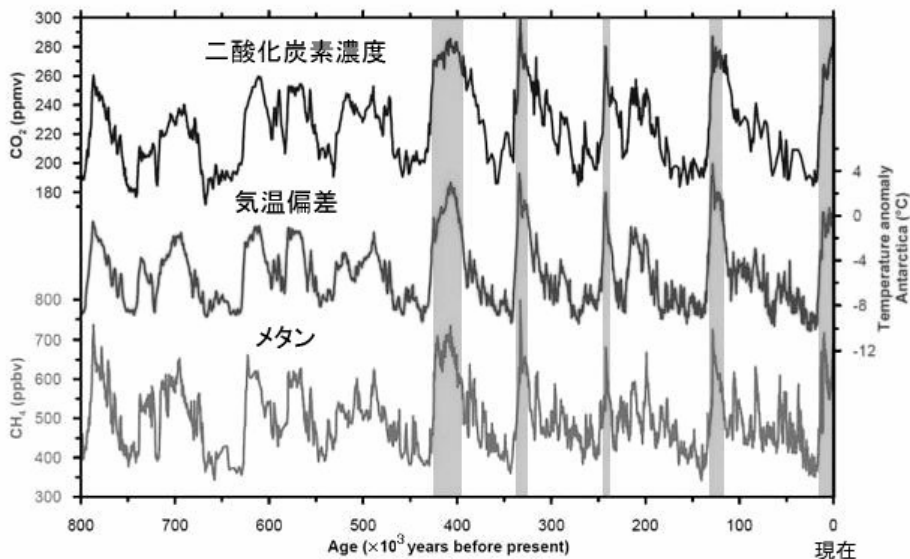


図 1-4 ミランコビッチサイクルによる気温変動

100 万年ほど前からほぼ 10 万年の周期で温暖な時期と寒冷な時期が周期的に表れるようになりました。これは、地球の太陽をめぐる楕円軌道の扁平率の変化、地軸の傾きの変化などによって現れる周期的な変化で、ミランコビッチサイクルと呼ばれています。寒冷な時期を氷期、比較的暖かい時期（灰色で示した部分）を間氷期と呼びます。現在まで 1 万年余り続いている間氷期を地質年代的には「完新世」と呼びます。

1-3 気温変動と生態系

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 国連気候変動に関する政府間パネル) に参加している気象研究者や人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説を信じている大多数の人たちは、気温が上昇することは人間を含めた地球生態系に対する破滅的な脅威であると言います。グレタ嬢は「私たちの家は燃えている」と詩的に表現しています。わずか数℃の気温上昇で地球の表面環境の生態系が破壊されて灼熱の死の世界になってしまうのでしょうか？

地球に残された過去の痕跡から地球の気温変動と生態系の関係を見ると「温暖化の脅威」とはまったく違った実像が見えてきます。

古生代の末 (P-T 境界 : 古生代ペルム紀と中生代三畳紀の境界)、2 億 5000 万年前頃に起こった超大陸パンゲアの形成・分裂に伴う激しい火成活動による酸素欠乏によって起こったと推測されている地球史上最大の生物の大絶滅事件を経て、温暖化した中生代は陸上生物が爆発的に多様化・巨大化し、恐竜を生み出しました。恐竜が闊歩していた中生代白亜紀は、現在よりも 10℃以上も高温だったと考えられています。

中生代の末 (K-T 境界あるいは K-Pg 境界 : 中生代白亜紀と新生代古第三紀の境界)、6500 万年ほど前にユカタン半島に巨大隕石が落下したことによる環境の激変で巨大恐竜が絶滅する大絶滅事件が起きました。その後、気温は少し低下しましたが、図 1-3 に示すように 5000 万年前頃の新生代の最高温期は現在よりも 15℃以上も高温でしたが、地上は湿潤で哺乳類の適応放散が起きました。

このように、気温を含む環境の変化によって、そこに生息する生物種が遷移・変化することはありますが、一般的に高温期の地表面環境は湿潤で生態系は豊かです。現在は地球史的に見て低温な氷河期の只中にあります。わずか数℃の気温上昇によって、暑さのために生態系が破壊され生き物が死に絶えた灼熱の地獄が出現するという主張は妄想であり、杞憂です。

1-4 完新世の気温変動と文明

500 万年ほど前に新生代後期氷河期（現在まで続いている氷河期）に入るとき、猿人が誕生したと考えられます。現在の人類の直系の子孫である新人（ホモ・サピエンス・サピエンス）が登場したのは4 万年ほど前だと言われています。これは完新世の直前の氷期の只中でした。

1 万年余りに氷期が終わり間氷期に入り、地球環境が温暖化・湿潤化したことで陸上の植生は豊かになり、動物も繁栄することになりました。

人間も例外ではありません。豊かな自然環境からの狩猟・採集によるコミュニティから、やがて定住農業による農耕文明が興ることになります。

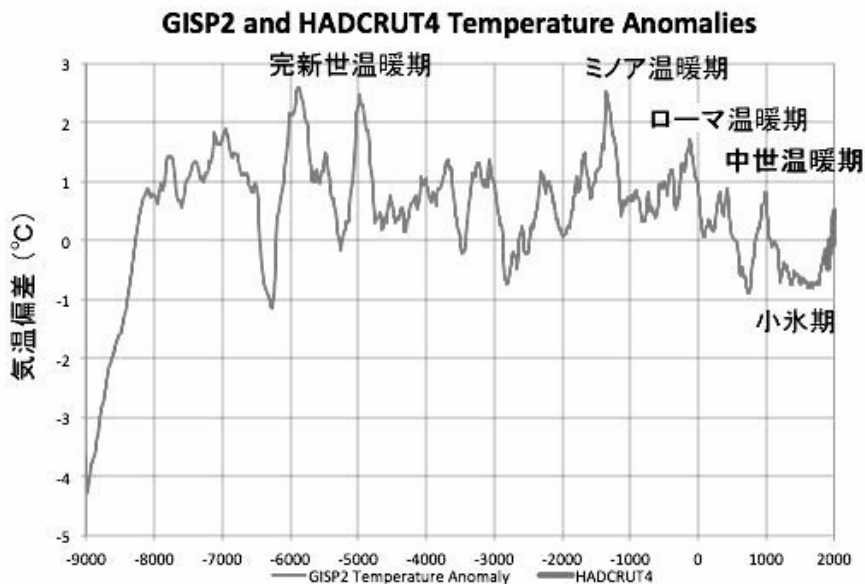


図 1-5 GISP2 による完新世の気温変動

グリーンランド氷床の分析（GISP2：Greenland Ice Sheet Project2：米国によるグリーンランド氷床頂部 [72.6° N, 38.5° W, 標高 3,200m] における

深層掘削計画)によって完新世の気温変動の詳細が明らかになってきました。

図 1-5 に示すように、比較的温暖な完新世の中でも 3~4℃ほどの振幅で気温変動が繰り返されています。3000 年ほど前のミノア温暖期以降は、ほぼ 1000 年周期でローマ温暖期、中世温暖期という気温極大期を示しながらも気温は低下傾向を示しています。現在は中世温暖期から 1000 年を経過した気温極大期にあります。

古代農耕文明が相次いで登場した 6000 年ほど前を中心とする完新世温暖期は、現在よりも 2.0~2.5℃程度高温であったことがわかります。この時期には古代四大文明が興り、日本においても縄文文化が最盛期を迎えました。

ミノア温暖期には地中海文明が栄え、ローマ温暖期には「すべての道はローマに通ず」とまで言われた帝政ローマが隆盛を極めました。

中世温暖期には北欧スカンジナビア半島周辺に居住していたノルマン人=ヴァイキングが北はグリーンランド、西は北米大陸、南は地中海沿岸にまで進出し、盛んに交易を行いました。現在は温暖な南欧で生産が盛んなワインですが、この時期にはイギリスでも盛んに製造されていました。日本では平安文化が爛熟期を迎え、東北では奥州藤原氏が勢力を伸ばし栄華を極めました。

一方、寒冷な時期は人類にとって過酷な時代でした。一般に寒冷化は気温の低下とともに乾燥化が進行するため、文明を支える基本資源である食糧生産を直撃することになります。

直近の気温極小期であった小氷期 (14-19 世紀) には、世界中で飢饉が頻発しました。ヨーロッパではペストの蔓延が重なり、人口が激減する厳しい時代でした。

日本を震撼させた元寇の来襲も、ユーラシア大陸北部にあったモンゴル帝国が寒冷化の影響を避けて南方に勢力を広げようとした戦略の一環であったと考えられています。その後、戦国時代から江戸時代にかけては、日本でも繰り返す飢饉が起きています。

このように、完新世に限っても、地球環境が温暖化することは生態系にとって、したがって人間社会にとって好ましいことだったことがわかります。単純

に温暖化することが、無条件に生態系や人間社会にとっての脅威になるという主張は歴史を無視した暴論です。

産業革命は完新世で最も寒い時期であった小氷期の終盤の 18 世紀に興りました。現在は産業革命以降 0.6~1.0℃程度温暖化しています。完新世の過去の歴史から見れば、気温はもう 1.0~2.0℃ほど上昇したほうが生態系にとっては好ましいのかもしれませんが。

仮に、現状から 1.0~2.0℃温暖化することで、グレタ嬢や IPCC が恐れるように、生態系が破壊された灼熱の地獄が出現するとすれば、それは過去の地球環境にはなかった温度以外の何らかの条件の変化、例えば森林破壊や限界的農地の酷使、廃棄物による環境汚染、都市化、水循環の破壊・・・などの別の要因によるものと考えるのが合理的です。

【 参考文献 】

- 1) 丸山茂徳, 磯崎行雄 生命と地球の歴史 岩波新書 1998
- 2) 熊澤峰夫, 丸山茂徳 プルームテクトニクスと全地球史解説 岩波書店 2002
- 3) 桜井邦朋 眠りにつく太陽 祥伝社新書 2010
- 4) 槌田敦 新石油文明論 農文協 2002

2

CO₂ 濃度上昇の原因は温暖化

人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説は、「産業革命以降の大気中 CO₂ 濃度の上昇は、主に人間社会が化石燃料の燃焼によって放出した CO₂ の半分程度が大気中に蓄積しているからである」という主張が正しいことを前提にしています。

1 年間に人為的に放出される CO₂ の重量はおよそ 25.7Gt=257 億トン、炭素重量に換算すると 7Gt=70 億トンという日常感覚では想像できない莫大な量であることから、多くの人は人間社会からの放出が大気中 CO₂ 濃度上昇の主因なのだろうと誤解しています。

1 年間に地表面環境から大気中に放出されている CO₂ 量は炭素重量で 220Gt 程度に上ります。人為的な CO₂ の放出量 7Gt は全放出量のわずか 3% 程度です。

また、地球大気に含まれている CO₂ 量は炭素重量で 760Gt 程度です。これは地表面環境からの放出量のわずか 3.5 年分にすぎません。大気中に含まれている CO₂ 量が急激に変化していないことから、地表面環境は CO₂ 放出量にほぼ見合う年間 220Gt 程度の CO₂ を吸収していることがわかります。つまり、大気中に放出された CO₂ は長期間にわたって蓄積されることはなく、地表面環境との間で絶えず循環しているのです。大気中に含まれる CO₂ 量は、地表面環境との間の CO₂ の放出と吸収のバランスによって変化するのです。

本章では、観測事実や大気と地表面環境を巡る CO₂ の挙動を調べることによって、産業革命以降の大気中 CO₂ 濃度上昇の主な原因が気温の上昇による自然変動であることを示します。

2-1 大気中 CO₂ 濃度に対する高校教科書の記述

人為的 CO₂ 地球温暖化説は、理論的には二つの仮説から構成されています。一つは CO₂ が地球大気の温室効果の主要部分を担っているという主張である「CO₂ 地球温暖化説」です。そしてもう一つは、産業革命以降に観測されている大気中の CO₂ 濃度の上昇の主な原因が石炭や石油を燃料として消費した結果、人為的に放出した CO₂ が大気中に蓄積したからだという「人為的 CO₂ 蓄積説」です。本章では後者について検討します。

現在の初等中等教育の様々な教科では、理論的な説明なしに、大気中の CO₂ 濃度の変動は人為的な放出が原因であると説明されています。いくつかの例を紹介しておきます。

産業革命以来、人類は大量の化石燃料を使用し続けてきたため、大気中の二酸化炭素濃度は急速に上昇してきており、これによる地球温暖化が、かつてなかった規模の気候の変化をもたらすのではないかとということが世界的に危惧されている。

(帝国書院 新詳地理 B)

大気中の二酸化炭素濃度は、おもに光合成による吸収と呼吸による排出によってバランスが保たれているが、近年の二酸化炭素濃度の増加は、石油などの化石燃料の大量消費による排出量の増加と、大規模な熱帯林の破壊による吸収量の低下が主な原因と考えられている。

(数研出版 生物基礎)

このように、多くの初等中等教育で使用されている教科書では、具体的なデータを示すこともなく、また現象の理論的な説明もないまま、大気中の CO₂ 濃度の上昇は化石燃料の燃焼の結果であるとしています。理科総合 B 改訂版(啓林館)の記述について少し詳しく見ておきます。

図 7 は、1950 年代以降、化石燃料の利用により、大気中への二酸化炭素の放出が

急激に増えてきたことを示している。一方、図 8 を見ると、大気中の二酸化炭素の濃度は、化石燃料の消費による二酸化炭素の放出量の増加と、並行するように増えてきている。これは、人間の活発な活動が、大気中の温室効果ガスの量を増加させてきたことを示している。

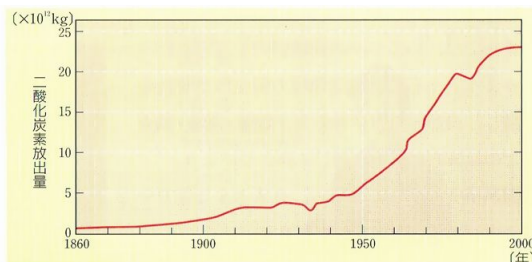


図 7 1860 年以降の化石燃料の消費による二酸化炭素放出量の変化

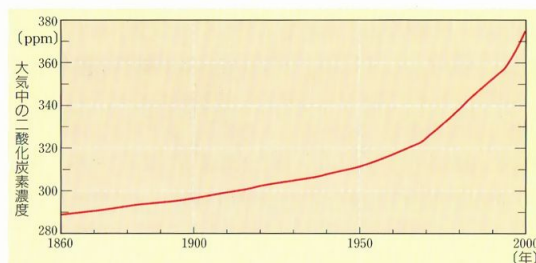


図 8 1860 年以降の大気中の二酸化炭素濃度の変化

(啓林館 理科総合 B 改訂版 pp140-141)

啓林館の理科総合 B 改訂版には二つのデータが示されています。この二つのグラフを比較すると、大局的には右上がりの下に凸の曲線であるという共通点があります。しかし、形状が似ていることと現象として関連があることは全く別次元の問題です。曲線の形が似ていることを以て短絡的に「人間の活発な活動が、大気中の温室効果ガスの量を増加させてきたことを示している。」と断じることは、自然科学の一分野である理科総合 B という教科の説明として、あまりにも乱暴です。

初等中等教育の現場では、このような自然科学的に説明できない不確かな情報が日常的に繰り返し児童生徒に対して語られています。

2-2 人為的 CO₂ 蓄積説の誕生

大気中の CO₂ 濃度の連続精密観測は、1950 年代にキーリング (C.D. Keeling、1928~2005) によって、ハワイのマウナロア山の観測所と南極のサウスポール基地で開始されました。

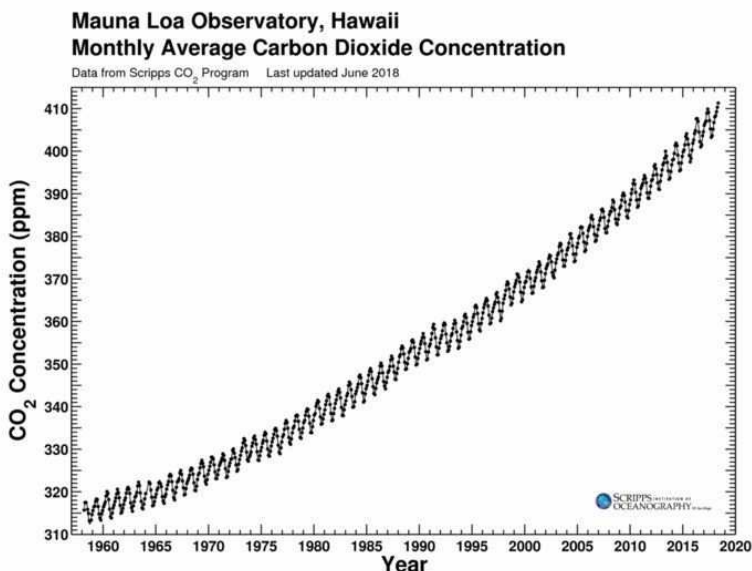


図 2-1 マウナロアにおける月平均 CO₂ 濃度に変動

キーリングは彼の観測結果を報告したレポートの中で、「大気中の CO₂ 増加量は、同じ期間に人為的に放出された CO₂ 量の半分程度に見合う」ことを報告しました。

彼の報告を拡大解釈することで、「大気中の CO₂ 濃度の上昇は人為的に放出された CO₂ の半量程度が蓄積することによって起こる」という「人為的 CO₂ 蓄積説」が誕生し、これが人為的 CO₂ 地球温暖化説のベースになりました。

しかし、冷静に考えれば、人為的 CO₂ 蓄積説は不合理な主張です。

地表面環境からは炭素重量で年間 220Gt 程度の CO₂ が放出されています。人為的に放出される 7Gt 程度の CO₂ 以外にも多くの CO₂ 放出源があります。また、大気中には 760Gt 程度の CO₂ が含まれています。

地表面環境から大気中に放出された CO₂ は、もともと大気中に含まれていた CO₂ と速やかに混合します。一旦混合すると CO₂ を再び放出源ごとに区別して分離することはできません。これは中学校の理科や高校の化学を習得した生徒にとっては容易に理解できる事実です。あるいは高校の物理学を習得した生徒であればより厳密にエントロピー増大の法則として理解できる事柄です。

こうして一様に混合した CO₂ が再び地表面環境に吸収されることとなります。したがって、人為的 CO₂ 蓄積説が主張するように人為的に放出された CO₂ だけが選択的に大気中に蓄積するという現象は起こりません。

大気中に含まれるすべての CO₂ は対流圏の地球大気の循環運動によって絶えず移動し、攪拌されているため、特定の CO₂ だけが長期間大気中に留まり続けることはありません。

このように、中学校や高校の理科の教育課程で習得する常識的な知識で検証するだけでも、人為的 CO₂ 蓄積説が自然科学的に不合理であることは容易に理解できます。次節以下で、地表面環境と大気を巡る CO₂ の具体的な挙動について示すことにします。

2-3 地球の炭素循環 ～IPCC2007 年報告から

地表面環境と大気を巡る炭素の循環の概要を図 2-2 に示します。大気中の重量は CO₂ に含まれる炭素の重量を示しています。

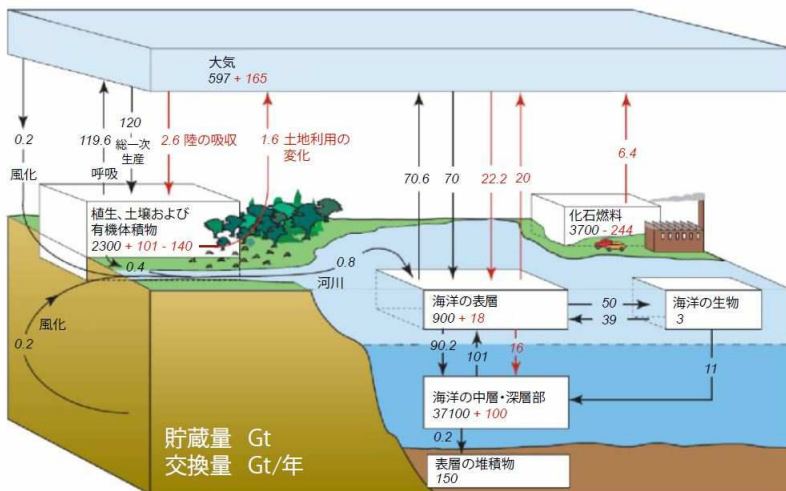


図 2-2 地球の表面環境における炭素循環の概要(IPCC2007 年報告)

図 2-2 に黒で示した数値は、産業革命以前の値であり、赤で示した数値はその後現在までの変化量を示しています。大気を巡る CO₂ の移動量をまとめておきます。

産業革命以前の炭素循環

● 大気への地表面環境からの年間 CO₂ 放出量

呼吸による放出 $q_1 = 119.6$ (Gt/年)

海洋からの放出 $q_3 = 70.6$ (Gt/年)

以上をまとめると、年間 CO₂ 放出量 q_{in} は、

$$q_{in} = q_1 + q_3 = 190.2 \text{ (Gt/年)}$$

● 大気からの地表面環境の年間 CO₂ 吸収量

風化による吸収 $q_5 = 0.2 \text{ (Gt/年)}$

光合成による吸収 $q_6 = 120.0 \text{ (Gt/年)}$

海洋による吸収 $q_8 = 70.0 \text{ (Gt/年)}$

以上をまとめると、年間 CO₂ 吸収量 q_{out} は、

$$q_{out} = q_5 + q_6 + q_8 = 190.2 \text{ (Gt/年)}$$

したがって、 $q_{in} = q_{out}$ なので、大気中 CO₂ 量 Q は変化しません。

現在の炭素循環

● 大気への地表面環境からの年間 CO₂ 放出量

呼吸による放出 $q_1 = 119.6 \text{ (Gt/年)}$

土地利用の変化 $q_2 = 1.6 \text{ (Gt/年)}$

海洋からの放出 $q_3 = 70.6 + 20 = 90.6 \text{ (Gt/年)}$

化石燃料による放出 $q_4 = 6.4 \text{ (Gt/年)}$

以上をまとめると、年間 CO₂ 放出量 q_{in} は、

$$q_{in} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 218.2 \text{ (Gt/年)}$$

● 大気からの地表面環境の年間 CO₂ 吸収量

風化による吸収 $q_5 = 0.2 \text{ (Gt/年)}$

光合成による吸収 $q_6 = 120.0 \text{ (Gt/年)}$

陸による吸収 $q_7 = 2.6 \text{ (Gt/年)}$

海洋による吸収 $q_8 = 70.0 + 22.2 = 92.2 \text{ (Gt/年)}$

以上をまとめると、年間 CO₂ 吸収量 q_{out} は、

$$q_{out} = q_5 + q_6 + q_7 + q_8 = 215.0 \text{ (Gt/年)}$$

大気中 CO₂ 量 Q の一年間の変化量 ΔQ は次の通りです。

$$\Delta Q = q_{in} - q_{out} = 218.2 - 215.0 = 3.2 \text{ (Gt/年)}$$

年間の変化量 ΔQ は、化石燃料による放出量 q_4 のちょうど半分になっています。しかし、3.2 (Gt/年) という値は、年間CO₂放出量218.2Gtのわずか1.5%です。炭素循環の数値はもとより概算の推定値であり、「CO₂放出量とCO₂吸収量はほぼ均衡している」と考えて差し支えありません。

産業革命以降の炭素循環の変化量

産業革命以前の炭素循環と現在の炭素循環の変化量を示します。地表面環境からのCO₂放出量の増加量の内訳を表2-1に示します。

CO ₂ 放出源	CO ₂ 炭素重量	寄与率
海洋放出増加	20.0GtC/年	71.4%
土地利用の変化	1.6GtC/年	5.7%
化石燃料消費	6.4GtC/年	22.8%
合計	28.0GtC/年	100%

表 2-1 大気へのCO₂放出の増加量の内訳

同様に地表面環境のCO₂吸収量の増加量の内訳を表2-2に示します。

CO ₂ 吸収源	CO ₂ 炭素重量	寄与率
海洋吸収増加	22.2GtC/年	89.5%
土地吸収	2.6GtC/年	10.5%
合計	24.8GtC/年	100%

表 2-2 大気からのCO₂吸収の増加量の内訳

2-4 炭素循環に対する人為的な影響

図 2-2 の炭素循環図を基にモデル化したのが図 2-3 です。

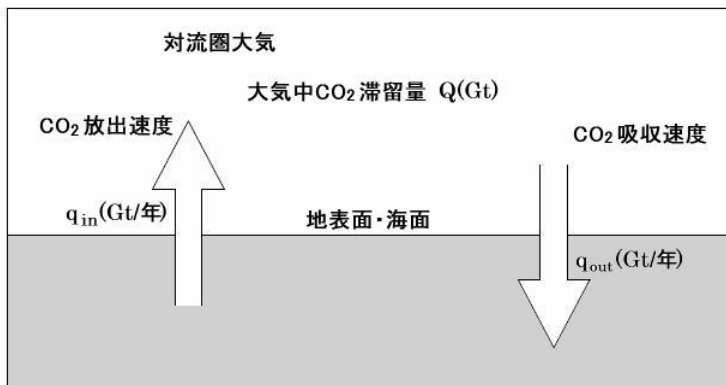


図 2-3 地球の表面環境における炭素循環モデル

大気中に放出された人為的な CO_2 は、もともと大気中に存在していた CO_2 、あるいは別の放出源から放出された CO_2 と区別することはできません。

一方、大気からの主要な CO_2 吸収現象は、海洋への溶解反応と植物の光合成による吸収です。この二つの反応は、いずれも大気中の CO_2 濃度に比例します。したがって、比例定数を r として次のように表すことができます。

$$q_{out} = rQ$$

短い時間 Δt の間の大気中 CO_2 の炭素重量 Q の変化量を ΔQ とすると、次のように表すことができます。

$$\Delta Q = (q_{in} - q_{out})\Delta t = (q_{in} - rQ)\Delta t \quad \therefore \frac{\Delta Q}{\Delta t} = q_{in} - rQ$$

$\Delta t \rightarrow 0$ の極限から Q についての微分方程式を求めることができます。

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} = q_{in} - rQ$$

Q の変化量は年間 3.2Gt 程度です。これは $Q=597+165=762\text{Gt}$ の 0.4% であり、短時間では Q はほとんど変化しません。したがって、 Q の時間に対する変化を追跡する場合を除いて、ある時点の大気中の CO_2 量についての静的な分析を行う場合には、微分方程式の定常解を用いることができます。

微分方程式の定常解は次のように求めることができます。

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad \text{と置くことにより、} \quad q_{in} = rQ \quad \therefore Q = \frac{q_{in}}{r} \equiv \frac{q_{out}}{r}$$

定常解を用いて Q に対する化石燃料の燃焼による寄与を考えることにします。

$$Q = \frac{q_{in}}{r} = \frac{1}{r}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)$$

つまり、 Q の大きさは各 CO_2 放出源からの放出量の線形結合で表すことができます。比例定数 r を求めます。

$$Q = 762\text{Gt} = \frac{218.2\text{Gt}/\text{年}}{r} \quad \therefore r = \frac{218.2}{762} \frac{1}{\text{年}} = 0.286 \frac{1}{\text{年}}$$

Q に対する化石燃料の燃焼による年間 CO_2 放出量 q_4 による寄与は、

$$\frac{q_4}{r} = \frac{6.4\text{Gt}/\text{年}}{0.286/\text{年}} = 22.4\text{Gt} \quad Q \text{ に対する割合は、} \quad \frac{22.4}{762} = 0.029 = 2.9\%$$

現在の大气中 CO_2 濃度を 400ppm とすると、人為的な影響はその 2.9% である 11.6ppm にすぎません。

産業革命前の大气中 CO_2 濃度を 285ppm と仮定すると、現在までの上昇量は 115ppm です。したがって、 CO_2 濃度上昇量の 100ppm 以上は自然増だということがわかります。

近年観測されている気温上昇は、仮に大气中 CO_2 濃度上昇による地球大気の温室効果の増大の影響であったとしても、その 90% 程度は自然現象なのです。したがって、温暖化の対策として化石燃料の消費をゼロにしても、ほとんど効果はありません。

[参考] 大気中 CO₂ 濃度 Q を表す一般解について

大気中の CO₂ 量 Q の一般解は次の通りです。

$$Q(t) = \frac{q_{in}}{r} + C \cdot e^{-rt} \quad \text{ここに、} C \text{ は積分定数}$$

t = 0 における Q の初期値を Q₀ として、積分定数を決定すると次の通りです。

$$Q(t) = \frac{q_{in}}{r} + \left(Q_0 - \frac{q_{in}}{r} \right) e^{-rt}$$

ここで、ある時点で大気中に存在する CO₂ 量 Q₀ が、時間の経過によって地表面環境に吸収されてどのように減少するかを見ておくことにします。これは、右辺の Q₀ を含む項の変化を調べることでわかります。時間経過による CO₂ 残留率は次式で表されます。

$$\text{残留率} = \frac{Q_0 e^{-rt}}{Q_0} = e^{-rt}$$

大気中の CO₂ 量に対する年間吸収率 r の値は IPCC2007 年報告の炭素循環図 (図 2-2) を参考に、 $r = 218.2 \div 762.0 = 0.2864$ (1/年) としています。

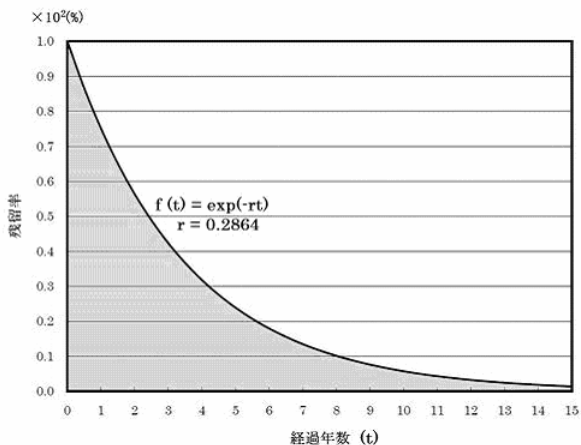
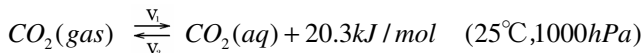


図 2-4 CO₂ 残留率の時間変化

図 2-4 からわかるように、8 年ほど経過すると Q₀ の 90% 以上が入れ替わることがわかります。大気中に放出された CO₂ が長期間蓄積され続けることはありません。

2-5 高校化学で考える化学平衡と大気中 CO₂ 濃度

高校の化学で学習する気体の溶解反応について考えます。CO₂の水への溶解反応は可逆反応であり、次のように表すことができます。



CO₂の水への溶解反応（右向き反応）は発熱反応です。

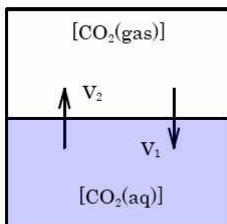


図 2-5 CO₂の溶解反応

反応系の温度を一定に保つと、CO₂の水への溶解速度 v_1 と水中からの放出速度 v_2 は等しくなり、見かけ上、大気中、水中の CO₂ 濃度変化がなくなります。この状態が化学平衡です。

反応速度は、温度で定まる速度定数と物質の濃度の積で表すことができます。大気中の CO₂ 濃度を $[\text{CO}_2(\text{gas})]$ 、溶解反応の速度定数を k_1 とすると、

$$v_1 = k_1[\text{CO}_2(\text{gas})]$$

同様に、水からの CO₂ 放出速度は次のように表すことができます。

$$v_2 = k_2[\text{CO}_2(\text{aq})]$$

化学平衡は次のように表すことができます。

$$v_1 = k_1[\text{CO}_2(\text{gas})] = k_2[\text{CO}_2(\text{aq})] = v_2$$

ある温度の速度定数の比率 k_1/k_2 は一定の値 K となり、これを平衡定数と呼びます。 K は平衡状態の反応物質の濃度を用いて表すことができます。

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[CO_2(aq)]}{[CO_2(gas)]}$$

ここで、ある平衡状態に対して、何らかの擾乱を与えた場合に反応系がどのように応答するかを考えることにします。

平衡状態から反応系の温度が上昇する場合について考えます。反応系の温度が上昇することによって化学反応速度は早くなります。このとき CO_2 濃度はどう変化するのでしょうか？

CO_2 の水への溶解反応は発熱反応です。ルシャトリエの法則に従って温度変化を緩和する方向、つまり吸熱反応が進む逆反応の方向である水中から大気中へ CO_2 が放出される方向に平衡状態が遷移します。したがって、大気中の CO_2 濃度 $[CO_2(gas)]$ が大きくなり、水中の CO_2 濃度 $[CO_2(aq)]$ が小さくなる新たな平衡状態になります。

次に、平衡状態から温度は変化せずに、大気中の CO_2 濃度 $[CO_2(gas)]$ が大きくなる場合について考えます。この場合、反応速度は

$$v_1 = k_1[CO_2(gas)] > k_2[CO_2(aq)] = v_2$$

と CO_2 の水中への溶解速度の方が大きくなります。反応が進むと、 $[CO_2(gas)]$ が減少し、 $[CO_2(aq)]$ が増加することで $[CO_2(aq)] / [CO_2(gas)]$ の値が再び平衡定数 K に等しくなる新たな平衡状態に収束します。大気中の CO_2 濃度の擾乱を緩和する方向に平衡状態が遷移することを示しています。これは反応物質の濃度が増加した場合のルシャトリエの法則だと解釈することができます。

以上、高校の化学で学ぶ化学平衡に関する基礎的な内容を紹介しました。これに基づいて、図 2-2 で紹介した IPCC2007 年報告の炭素循環図を考察することにします。

産業革命以前の炭素循環では、陸上生態系の CO_2 の年間収支は光合成による吸収量が 120Gt/年、呼吸による放出が 119.6Gt/年であり、吸収が 0.4Gt/年だけ卓越しています。更に風化によって 0.2Gt/年だけ吸収されています。合わせ

て吸収量が 0.6Gt/年だけ卓越しています。

海洋における CO₂年間収支は吸収量が 70.0Gt/年、放出量が 70.6Gt/年であり、放出量が 0.6Gt/年だけ卓越しています。これによって陸上生態系および風化による吸収量の不足分が相殺されて、平衡状態になっています。

これは、海洋部分の化学平衡が、陸上生態系ないし風化によって大気中 CO₂が余計に吸収されることで受ける擾乱を緩和するように、海洋からの CO₂放出が増加する方向に遷移して平衡状態に至ったと解釈できます。

次に、産業革命以前から現在までの炭素循環の変化について考えます。

表 2-1 から、この間の CO₂放出の増加量は海洋からの 20.0Gt/年が圧倒的に大きく 71.4%を占め、次いで化石燃料消費が 6.4Gt/年で 22.8%、土地利用の変化が 1.6Gt/年で 5.7%です。したがって、大気中の CO₂濃度上昇の最大の要因は海洋からの CO₂放出量の増加であることがわかります。

表 2-2 から、この間の CO₂吸収の増加量は海洋の 22.2Gt/年が圧倒的に大きく 89.5%を占め、次いで土地吸収が 2.6Gt/年で 10.5%です。

以上から、産業革命前と現在の炭素循環の最大の変化は、海洋部分の炭素循環量が 20Gt/年程度も大きくなっていることです。

産業革命当時は寒冷な小氷期の終盤にあり、19 世紀中盤に小氷期が終わり気温は回復傾向を示し、20 世紀終盤までに 1.0℃程度上昇しました。したがって、気温が上昇することで、海洋と大気を巡る CO₂の循環速度が大きくなると同時に、CO₂の水への溶解反応が発熱反応であることから、逆反応である吸熱反応である大気中 CO₂濃度が上昇する方向に平衡状態が遷移したと考えられます。

初等中等教育の教科書では、データを検討することなく、化石燃料の消費による CO₂放出量の増加と、熱帯雨林の喪失、つまり光合成による CO₂吸収量の低下が大気中 CO₂濃度上昇の主な原因であるかのように説明していますが、いずれも事実に反する誤りです。

初等中等教育の理科の教育課程の内容に基づいて考察すれば、人為的 CO₂蓄積説が誤りであることは容易に理解できます。理科教師たちの怠慢は否めません。

2-6 原因と結果を取り違えた CO₂ 温暖化説

人為的 CO₂ 地球温暖化説の登場までは、気温の変動が原因となって大気中の CO₂ 濃度が変動すると考えるのが自然科学的な了解事項でした。

まず、産業革命以前の気温と大気中の CO₂ 濃度の関係を、氷期-間氷期サイクルに見られる気温と CO₂ 濃度の関係で確認しておきます。図 2-6 に南極ガストーク基地で採取したアイスコアに含まれる気体分析の結果を示します。

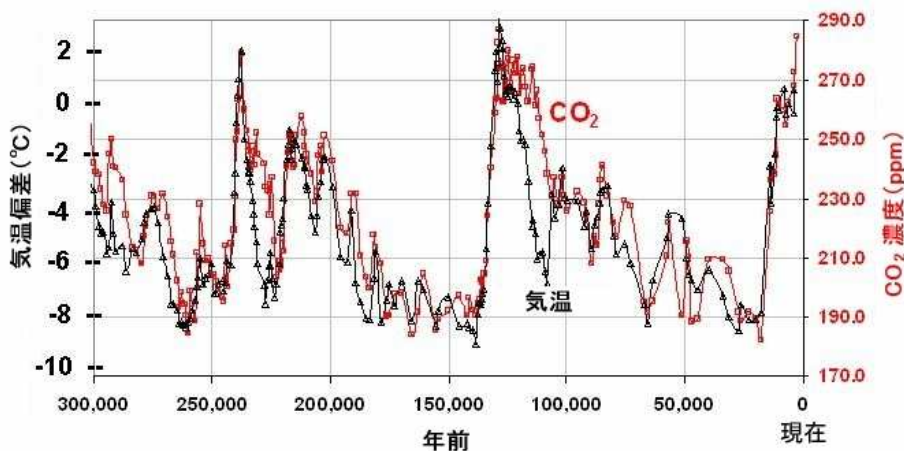


図 2-6 ポストーク基地氷床コア分析による気温と CO₂ 濃度の変動

図 2-6 は同じ時間軸に対して大気中 CO₂ 濃度 (□右軸) と気温偏差 (△左軸) の変動を示しています。CO₂ 濃度と気温偏差はよく似た動きを示していますが、CO₂ 濃度の変動のほうが少し右にずれていることがわかります。気温偏差の変化に遅れて CO₂ 濃度が変化していたのです。つまり、気温変動の結果として CO₂ 濃度が変化していたのです。

人為的 CO₂ 地球温暖化説を主張する研究者であっても、産業革命までは気温変動の結果として大気中 CO₂ 濃度が変動したことを否定する者はいません。しかし彼らは、産業革命以後は人為的に放出した CO₂ による大気中の CO₂ 濃度

の上昇によって気温が上昇するとしています。

それでは現在の気温と大気中の CO_2 濃度の実際の関係はどのようなのでしょうか？熱物理学者の槌田敦氏と一緒に分析した結果を図 2-7 に示します。図 2-7 はキーリングによって観測された大気中 CO_2 濃度と、気象庁のデータベースによる世界平均気温偏差の時間に対する変動傾向を示しています。

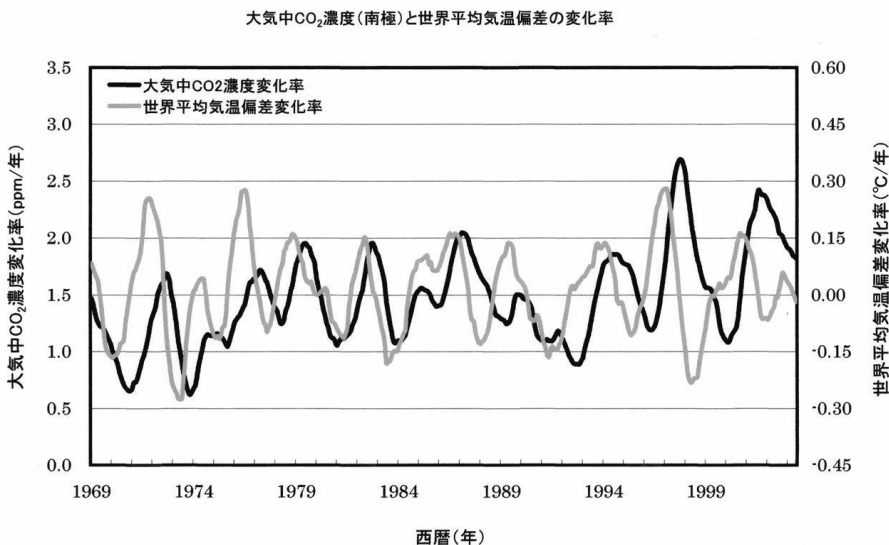


図 2-7 大気中 CO_2 濃度と世界平均気温偏差の年変化率

図 2-7 から、気温の時間変化率と大気中 CO_2 濃度の時間変化率はよく似た変動傾向を示していますが、気温が変化した後少し遅れて大気中の CO_2 濃度に変化していることがわかります。これは気温変動の結果として大気中の CO_2 濃度が変動していることを示しています。

大気中の CO_2 濃度は高々 400ppm 程度と低濃度なので、大気中に含まれる CO_2 量 Q に比例すると考えて差し支えありません。大気中の CO_2 濃度を F とすると $F \propto Q$ と表せます。

大気中の CO_2 の海洋への溶解反応では、海洋への溶解速度 q_{out} と大気への

放出速度 q_{in} は環境の温度に同期して変化します。

大気中の CO_2 量 Q は、時間に対する変化量 $\Delta Q = (q_{in} - q_{out})$ を時間軸に沿って積分することで求められます。したがって Q の変動は、積分効果によって $(q_{in} - q_{out})$ の変動から少し遅れることとなります。したがって、図 2-7 に示すように、 Q に比例する大気中 CO_2 濃度 F の変動は気温の変動に少し遅れることとなります。

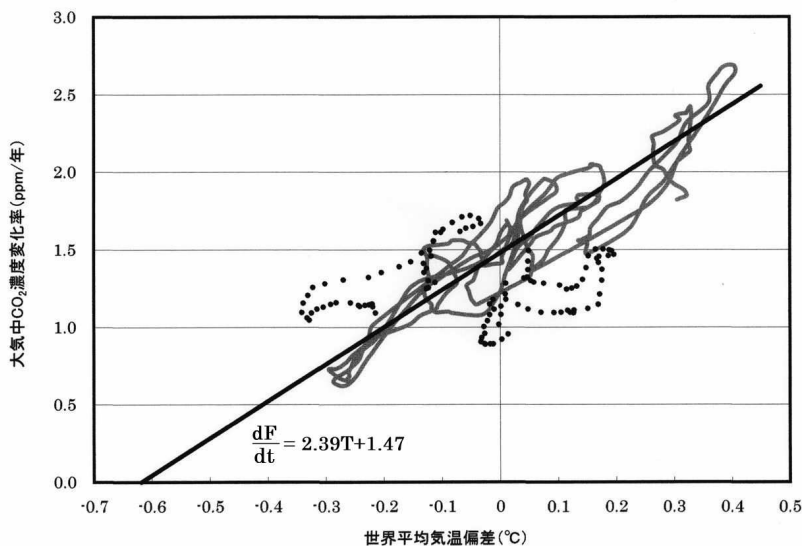


図 2-8 気温と大気中 CO_2 濃度変化率

図 2-8 は、気温（世界平均気温偏差） T と大気中 CO_2 濃度 F の時間 t に対する変化率の関係をまとめた散布図です。回帰直線は、 dF/dt の近似直線を示しています。

$$\frac{dF}{dt} = 2.39T + 1.47 \propto \frac{dQ}{dt} = (q_{in} - q_{out})$$

回帰直線から、気温偏差 $T = 0^\circ\text{C}$ 、つまり観測期間の平均気温に等しいとき、

$$\frac{dF}{dt} = 1.47 (\text{ppm}/\text{年})$$

観測期間中に大気中 CO_2 濃度は平均的に年間 1.47ppm ずつ上昇していたことを示しています。

$dF/dt = 0$ となる温度を求めると、

$$T = -\frac{1.47}{2.39} = -0.62(^{\circ}\text{C})$$

気温偏差が観測期間の平均気温よりも 0.62°C 低くなると大気中 CO_2 濃度変化率がゼロになることがわかります（散布図の回帰直線と気温偏差軸の交点）。

産業革命から現在までの気温上昇は $0.6\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 程度です。産業革命当時の気温の状態では q_{in} と q_{out} がほぼ均衡していたために大気中 CO_2 濃度は安定していたのだと考えられます。

その後、小氷期からの気温上昇に伴って、 F が増加する方向、つまり大気中 CO_2 濃度が上昇する方向に平衡状態が遷移しているのです。

以上の検討から、人為的 CO_2 地球温暖化説を支持する研究者の説明とは異なり、現在においても気温の変動の結果として大気中の CO_2 濃度が変動していることがわかります。

2-7 二つの間違いの上に築かれた虚像

産業革命以降の大気中 CO₂ 濃度上昇の主な原因は、地球環境の温度が上昇したことで、海洋から大気中への CO₂ 放出が増加する方向に平衡状態が遷移したという自然現象であり、人為的 CO₂ 蓄積説は間違いでした。

さらに、南極の氷床の分析や、近年の大気中 CO₂ 濃度の精密観測と世界気温偏差の変動の分析から、気温の変化が大気中の CO₂ 濃度変化の原因であることが確認できました。

このように、人為的 CO₂ 地球温暖化説は、近年の大気中 CO₂ 濃度上昇の主因を見誤った上に、気温変動と大気中 CO₂ 濃度変動の原因と結果を取り違えるという、基本的な二つの事実誤認の上に創造された砂上の楼閣です。

学校教育現場では、科学的な仕組みも示さずに、児童生徒に対して「人間が放出した CO₂ の影響で温暖化しているのだ」という外形的な、しかも原因と結果を取り違えた自然科学的に完全に誤った情報が繰り返し刷り込まれています。

そんな温暖化教育の成果によって、グレッタ嬢のように素直で思い込みの強い子供や若者たちは、人為的 CO₂ 地球温暖化説に対する疑いを持たずにそれを科学だと勘違いしています。彼女たちは温暖化の脅威という「虚像の化け物」に対して、ドン・キホーテよろしく妄信的に果敢に立ち向かおうとしている哀れな犠牲者なのです。

自らの頭で考えることを放棄した無責任な教師たちは、半ば宗教ドグマと化した人為的 CO₂ 地球温暖化説を児童や生徒に対して教え込み、グレッタ嬢のような犠牲者を作り続けているのです。

【 参考文献 】

- 1) 槌田敦 新石油文明論 農文協 2002
- 2) 槌田敦 CO₂温暖化説は間違っている ほたる出版 2006
- 3) 槌田敦 CO₂温暖化脅威説は世紀の暴論 環境経済政策学会和文年報第4集 1999
- 4) 槌田敦 CO₂を削減すれば温暖化は防げるのか 物理学会誌 Vol.62,No.2,2007
- 5) 槌田敦 原因は気温高, CO₂濃度増は結果 物理学会誌 Vol.65,No.4,2010
- 6) 近藤邦明 温暖化は憂うべきことだろうか 不知火書房 2006
- 7) 近藤邦明 検証温暖化 不知火書房 2019
- 8) 太田次郎, 山崎和夫 理科総合 B 改訂版 啓林館 2012

3

温室効果とは何か

2章で検討したように、産業革命以降の大気中CO₂濃度上昇の主因は人為的なCO₂放出ではなく自然現象であることがわかりました。しかも、CO₂濃度の自然変動は気温変動の原因ではなく結果であることもわかりました。人為的CO₂地球温暖化説は歴史的な事実の分析から、完全に誤りであることがわかりました。

20世紀の温暖化についての人為的CO₂地球温暖化説の検証という意味ではこれ以上の議論は必要ないのですが、人為的CO₂地球温暖化説のもう一つの理論的な柱である、地球大気温室効果についても触れておくことにします。

この温室効果は、初等中等教育の現場で取り上げられることが多く、しかもその内容が科学的に全く間違っており、理科教育において将来に大きな禍根を残すことが心配されます。

本章では、温室効果とはどういうものかを紹介すると同時に、初等中等教育現場で温室効果の実証実験として広く行われている「ペットボトル実験」について検討することにします。

3-1 気体と放射現象についての基礎知識

温室効果について考える前に、気体の性質と熱放射現象についての基礎的な知識をまとめておきます。

分子運動と温度

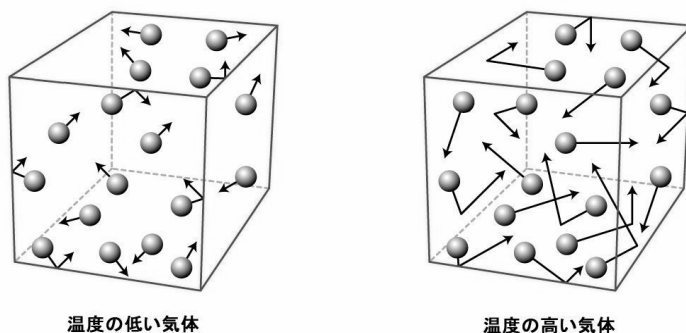


図 3-1 気温と気体分子の運動量

気体分子の密度がある程度高いと分子同士が頻繁に衝突するため気体分子の速さ v は全くバラバラの値をとることは出来ません。気体分子速度の各座標方向の成分 (v_x, v_y, v_z) をそれぞれ確率変数と考えると、その分布は正規分布 $N(0, kT/m)$ になります (k : ボルツマン定数、 T : 絶対温度、 m : 気体分子の質量)。これを「マクスウェル (Maxwell) 分布」と呼びます。気体分子速度がマクスウェル分布に従っている場合、気体の温度 T (K : 絶対温度) は、気体分子の並進運動エネルギー $mv^2/2$ に比例する物理量として表すことができます。

$$T = \frac{2}{3k} \frac{mv^2}{2} \quad \text{ここに、} k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ (J/K): ボルツマン定数}$$

気体の分子速度がマクスウェル分布に従う程度に分子密度が高いとき、気体は多数の気体分子の集団として統計的に取り扱うことができます。このような状態を「局所熱力学平衡」と呼びます。局所熱力学平衡では、任意の微小な空

間に着目すると、エネルギーと物質の出入りがなく、気体の温度、圧力、密度などの状態量を有限確定値として定義することができます。地球の対流圏大気は局所熱力学平衡として取り扱うことができます。

気体分子の運動と赤外活性

気体分子	体積比 (%)
窒素 N_2	78.084
酸素 O_2	20.948
アルゴン Ar	0.934
二酸化炭素 CO_2	0.039
水蒸気 H_2O	~3.000

表 3-1 対流圏の大気組成

地球の大気を構成する主な気体分子には、単原子分子のアルゴン Ar、二原子分子の窒素 N_2 、酸素 O_2 、三原子分子の水蒸気 H_2O 、二酸化炭素 CO_2 があります。このうち大気中の H_2O 濃度は大きく変動するため、通常は H_2O を除いた気体（乾燥大気）で大気組成を表します。表 3-1 から N_2 と O_2 だけで 99% 以上を占めていることが分かります。

気体	並進	回転	振動	合計
Ar	3			3
N_2	3	2	1	6
O_2	3	2	1	6
CO_2	3	2	4(3)	9(3)
H_2O	3	3(2)	3(3)	9(5)

表 3-2 主要気体分子の自由度 (括弧内は赤外活性を示す運動の自由度)

表 3-2 に大気を構成する主要な気体分子の運動の自由度を示します。単原子分子 Ar の運動は空間中の位置の移動である三次元の並進運動だけですべて

を表すことができます (自由度 3)。二原子分子以上の気体分子の運動を表すためには、並進運動に加えて回転運動と、原子間の相対的な位置の変動を伴う振動を考慮する必要があります。

局所熱力学平衡の下では、気体分子の運動の各自由度に対して等しく $kT/2$ のエネルギーが配分されています (振動に対しては kT)。これをエネルギー等分配則と呼びます。頻繁に起こる気体分子の衝突を介して、並進運動、回転運動、振動のエネルギーは等価なものとして絶えず交換・授受されています。

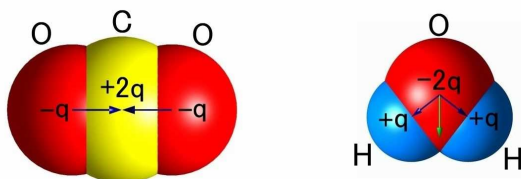


図 3-2 CO₂ 分子と H₂O 分子

対流圏大気を構成する主要な三原子分子は H₂O と CO₂ です。図 3-2 に示すように CO₂ は電氣的に中性ですが、H₂O は電氣的に偏りがある極性分子です。

気体分子のうち、三原子分子以上の多原子分子の回転モードや振動モードの運動の一部では、気体分子の持つ電氣的な性質が加速度的に変動します。それに伴って、固有の回転や振動周期に応じた赤外線領域の電磁波を放出し、また吸収します。この赤外線を放射・吸収する性質を「赤外活性」と呼びます。

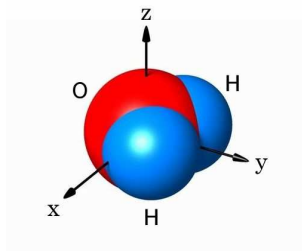


図 3-3 H₂O 分子

H₂O は極性分子であり、二つの回転モード (図 3-3 の x 軸周り、z 軸周り)

で電磁波を放射・吸収します。回転運動は比較的低いエネルギー状態で、容易に $15\ \mu\text{m}$ より長波長側の広い帯域の赤外線を放射・吸収します。

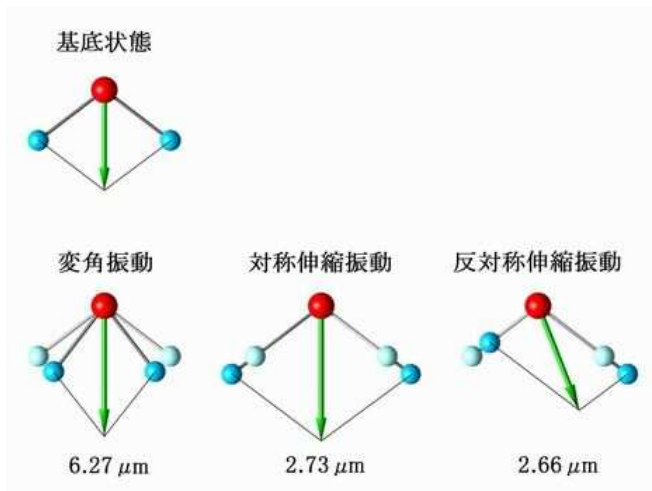


図 3-4 H₂O 分子の振動モード

更に、H₂O は変角、対称伸縮、反対称伸縮の三つの基準振動モードで、それぞれ波長 $6.27\ \mu\text{m}$ 、 $2.73\ \mu\text{m}$ 、 $2.66\ \mu\text{m}$ の赤外線を放射・吸収します。

CO₂ は直線構造を持つ無極性分子です。変角 (2 自由度)、反対称伸縮の二つの基準振動モードで、それぞれ波長 $15.01\ \mu\text{m}$ 、 $4.26\ \mu\text{m}$ の赤外線を放射・吸収します。

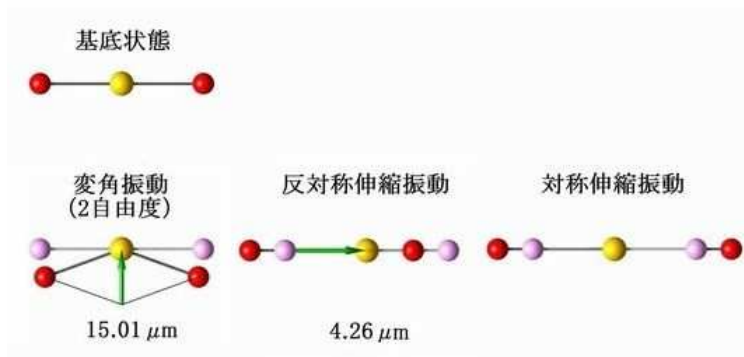


図 3-5 CO₂ 分子の振動モード

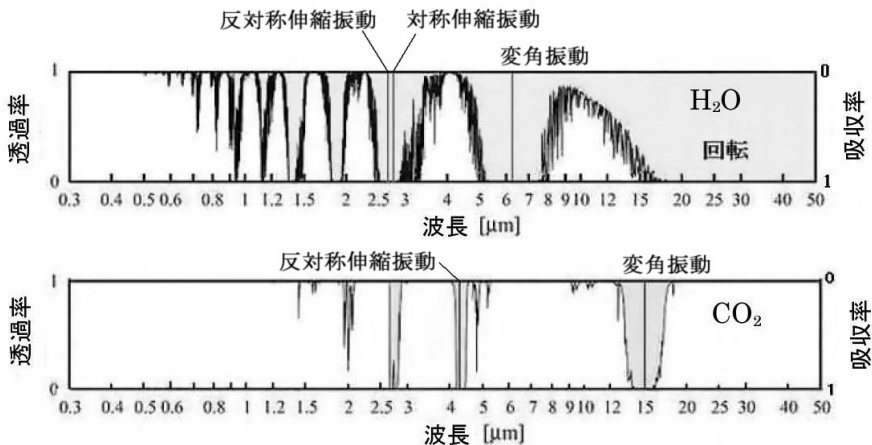


図 3-6 H₂O と CO₂ の赤外線放射・吸収特性

図 3-6 に H₂O と CO₂ の赤外線吸収率の波長に対する分布 (スペクトル) を示します。気体分子の赤外線吸収率スペクトルは、気体分子が大気の中で高速で移動しているため、ドップラー効果の影響で輝線スペクトルにはならず、固有振動数に対応する波長の周辺である程度の幅を持つ分布になります。

黒体放射、太陽放射、地球放射

すべての物質は、絶対零度でない限り、温度状態に応じた電磁波を放出しています。黒体とはすべての周波数の電磁波を完全に吸収すると同時に熱放射することができる仮想の物体です。温度 T (K) の黒体からの特定方向の放射密度の波長 λ に対する分布 (分光放射輝度) は次式で表されます。

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (J \cdot s^{-1} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3})$$

プランク定数	$h=6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
光速	$c=2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
ボルツマン定数	$k=1.380649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

黒体からの全方向への放射密度の波長 λ に対する分布 (分光放射発散度) は

次式で表されます。

$$M(\lambda, T) = I(\lambda, T) \cdot \pi = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \pi \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (J \cdot s^{-1} \cdot m^{-3})$$

地球の表面環境は、主に太陽の放射から受け取るエネルギーによって温められています。地球の位置の大気圏外で太陽光に対して垂直な面が受ける放射照度は 1366 W/m^2 程度です。これを太陽定数と呼びます。

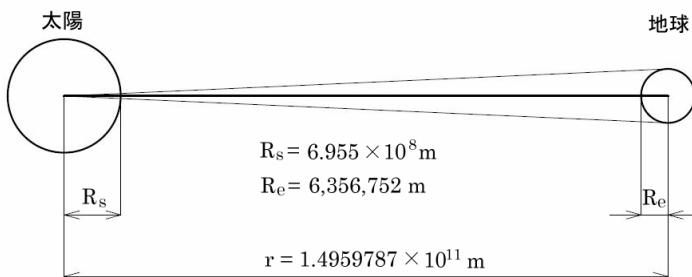


図 3-7 太陽放射と地球

太陽表面が放出する放射エネルギーの合計は、太陽表面の放射発散度を太陽の表面積全体にわたって加え合わせた値です。地球の位置では、太陽表面からの放射エネルギーが太陽と地球の間の距離 r を半径とする球面上に拡散していると考えられます。太陽の表面温度を T とすると地球の位置における太陽放射による分光放射照度 I_0 は次のように求めることができます。

$$I_0(\lambda, T) = \frac{4\pi R_s^2 M(\lambda, T)}{4\pi r^2} = \frac{R_s^2}{r^2} M(\lambda, T)$$

上式を波長に対して積分することで太陽定数を求めることができます。

$$\int_0^{\infty} I_0(\lambda, T) d\lambda = \frac{R_s^2}{r^2} \int_0^{\infty} M(\lambda, T) d\lambda = 1366 (\text{W} / \text{m}^2)$$

一方、ステファン・ボルツマンの式は分光放射発散度を波長に対して積分することによって求めることができます。

$$I = \int_0^{\infty} M(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma \cdot T^4 (\text{W} / \text{m}^2)$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5(1.380649 \times 10^{-23})^4}{15(2.99792458 \times 10^8)^2(6.62607015 \times 10^{-34})^3} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}\text{)}$$

太陽の表面温度 T は次のように求めることができます。

$$\frac{R_s^2}{r^2} \int_0^\infty M(\lambda, T) d\lambda = \frac{R_s^2}{r^2} \sigma T^4 = 1366 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\therefore T = \sqrt[4]{\frac{r^2}{R_s^2} \frac{1366}{5.67 \times 10^{-8}}} = \sqrt[4]{\frac{(1.4959787 \times 10^{11})^2}{(6.955 \times 10^8)^2} \frac{1366}{5.67 \times 10^{-8}}} = 5778.0 \text{ (K)}$$

次に、地球表面の温度 T_e を地球表面からの赤外線放射が太陽から受け取る放射と平衡するものとして推定します。

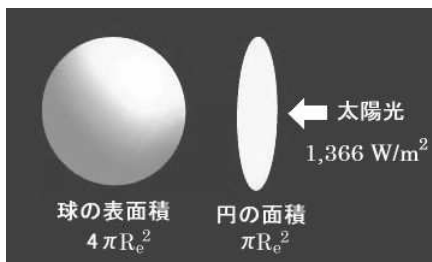


図 3-8 太陽放射と地球の表面温度

地球が受ける太陽放射エネルギーの合計は、 $1366 \pi R_e^2$ (W)です。これを地球の表面が均等に受けるものとして、地球の表面が受ける平均的な放射照度を求めることができます。

$$\frac{1366 \pi R_e^2}{4 \pi R_e^2} = \frac{1366}{4} = 341.5 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

地球大気や地表面で太陽放射の約 30%が反射されるため、地表面を暖めるために有効に働くのは $341.5 \times 70\% = 239.05$ (W/m²) になります。これを「有効太陽放射」と呼びます。地球のエネルギー収支が均衡するためには、地球の表面からの赤外線放射が有効太陽放射と等しくなることが必要です。

図 3-9 に地球大気に温室効果がない場合について、 341.5 W/m^2 を 100 とした場合のエネルギー収支を示します。

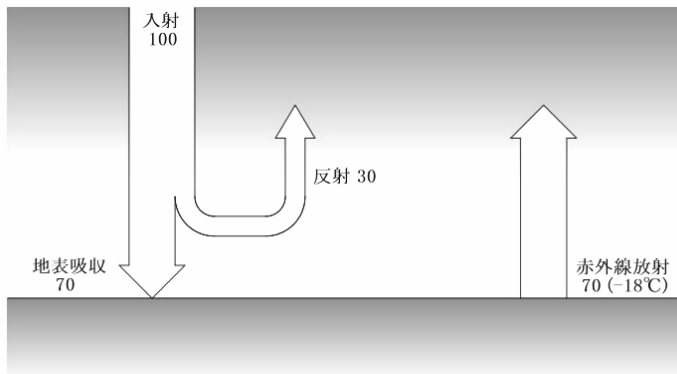


図 3-9 地球大気に温室効果がない場合のエネルギー収支

地球表面からの放射が黒体放射で近似できるものとする、地球表面の放射平衡温度 T_e は次のように求めることができます。

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{239.05}{5.67 \times 10^{-8}}} = 254.8(K) = -18.2(^{\circ}\text{C})$$

熱放射のスペクトルの最大値は、放射源の温度 T によって決まります。放射スペクトルが最大値を示す波長 λ_{\max} はウィーンの変位測から次のように求めることができます。

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} (m) = \frac{2898}{T} (\mu\text{m})$$

次頁の図 3-10 に太陽放射と地球の位置の放射照度と地球放射のスペクトルを示します (両対数目盛であることに注意)。

太陽放射発散度に対して、地球の受ける太陽光による放射照度は $1/10000$ のオーダーに拡散していることがわかります。しかし、太陽放射発散度と太陽光による放射照度の波長に対する分布範囲は共通であり、最大値を示す波長 $\lambda_{\max} = 0.5 \mu\text{m}$ です。

これに対して、地表面放射は $\lambda_{\max} = 11.4 \mu\text{m}$ であり、波長に対する分布範囲が異なることに注意が必要です。

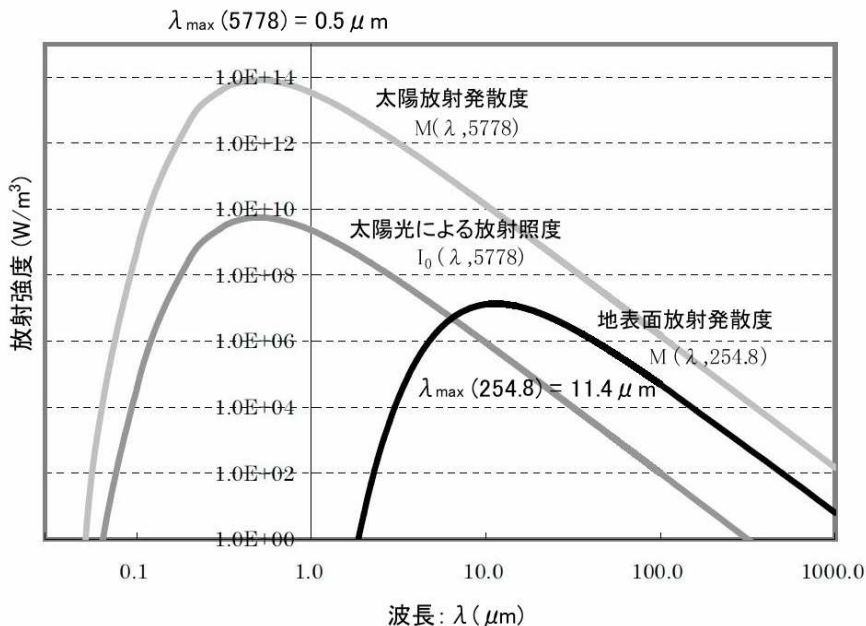


図 3-10 太陽放射と地球放射の分布

放射に対する吸収率と射出率

実在する物質は黒体とは異なり、すべての波長帯域にわたって電磁波を完全に吸収できるわけではありません。

例えば、図 3-6 に示した H_2O と CO_2 のように、電磁波の波長に対して物質固有の吸収率スペクトルを持っています。ここでは、吸収率スペクトルを波長 λ の関数として、 $\alpha(\lambda) \leq 1.0$ と表します。

今、着目している物質を取り巻く環境に温度 $T(\text{K})$ の黒体放射 $I(\lambda, T)$ が満たされているものとします。着目している物質の吸収率スペクトルを $\alpha(\lambda)$ とすると、 $T(\text{K})$ の黒体放射に対して物質が実際に吸収する放射の吸収率 $\alpha(T) < 1.0$ は次のように計算できます。

$$\alpha(T) = \frac{\int_0^{\infty} I(\lambda, T) \cdot \alpha(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I(\lambda, T) d\lambda} < 1.0$$

上式の分子は、図 3-11 の一番上の図の灰色で着色した部分の面積であり、分母は黒体放射スペクトルすべての面積です。同じ物質であっても、温度 T に対する黒体放射の λ に対する分布域が変化するため、吸収率 $\alpha(T)$ は温度ごとに異なる値になります。

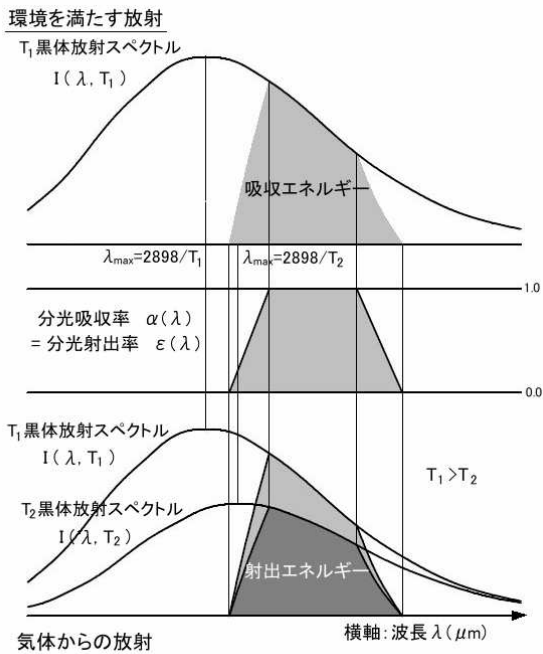


図 3-11 吸収率と射出率

温度 T の黒体放射に満たされた空間に置かれた物質が温度 T の熱平衡状態にあるとします。着目する物質は温度 T になり、吸収率 $\alpha(T)$ で黒体放射のエネルギーを吸収しています。物質が熱平衡状態になるためには吸収したのと同じだけのエネルギーを放射しなければなりません。

物質からの放射を温度 T の黒体放射 $I(\lambda, T)$ に射出率 $\varepsilon(\lambda)$ を乗じた値で表すと、以下の関係が成り立ちます。

$$\int_0^{\infty} I(\lambda, T) \cdot \alpha(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} I(\lambda, T) \cdot \varepsilon(\lambda) d\lambda$$

温度 T に係わらず、常に上式が満足されるための条件は以下の通りです。

$$\alpha(\lambda) = \varepsilon(\lambda)$$

したがって、任意の物質において黒体放射に対する吸収率 $\alpha(\lambda)$ と射出率 $\varepsilon(\lambda)$ は全波長帯域にわたって等しくなります。

物質の温度 $T(K)$ の黒体放射に対する射出率 $\varepsilon(T) < 1.0$ は次のように計算できます。

$$\varepsilon(T) = \frac{\int_0^{\infty} I(\lambda, T) \cdot \varepsilon(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I(\lambda, T) d\lambda} < 1.0$$

任意の温度 T で熱平衡状態にあれば、次式が成り立ちます。

$$\alpha(T) = \varepsilon(T)$$

これを放射に関するキルヒホッフの法則と呼びます。

例えば、温度 T_1 の熱平衡状態にある空間に温度 $T_2 (< T_1)$ の物質を置くと、図 3-11 の一番下の図に示すように、物体が射出するエネルギーよりも吸収するエネルギーが大きいため物質の温度が上昇し、次第に放射エネルギーが大きくなり、 $T_2 = T_1$ となって熱平衡に達すると $\alpha(T_1) = \varepsilon(T_2)$ となり放射平衡になります。

熱平衡状態では物質が環境を満たす放射から吸収するエネルギーと自ら放射するエネルギーは均衡します。したがって、**熱平衡状態では吸収率の大きさにかかわらず物質の温度はすべて等しくなります。**

3-2 間違った温室効果を広めた JCCCA の一枚の図

日本政府が人為的 CO₂ 地球温暖化説を「公認」してから、環境省の肝入りで組織された(財)全国地球温暖化防止活動推進センター（Japan Center for Climate Change Actions、JCCCA）は、教育宣伝用に多くの図表集や解説文書を作成し、各地の地方センターを通して日本中に配布しました。

日本全国の地方自治体や小中学校では JCCCA の資料を基にして温暖化について児童生徒を対象とする様々な読本を作成しています。原本の JCCCA の人為的 CO₂ 地球温暖化説についての資料には多くの科学的な誤りが含まれています。JCCCA の地方組織やその他の環境 NGO や教師たちの温暖化に対する科学的認識は更に大雑把なものでした。その結果、JCCCA の資料の誤りを見抜けず、児童生徒たちに温暖化について誤った情報が繰り返し刷り込まれることになってしまいました。



図 3-12 温室効果に対する誤った認識を広めた JCCCA の解説図

JCCCA の作成した図表の中で、最も広く知られているのが図 3-12 示す地球の温室効果を解説する図でした。この図はいろいろなところで引用され、あるいはこれを参考にした類似の解説図が日本中のありとあらゆる場面で利用されています。

図 3-12 では、「太陽からの光」が地表面で「熱」になり、その一部が温室効果ガスで吸収されて、地球大気を暖めています。温室効果ガスで吸収されなかった熱は宇宙空間に放出されています。

矢印の幅で示されているのは単位時間当たりのエネルギーの移動量だと考えられます。エネルギーの移動量の量的な関係は、

$$\text{「太陽からの光」} = \text{「熱の放出」} + \text{「熱の吸収」}$$

したがって、

$$\text{「太陽からの光」} > \text{「熱の放出」}$$

図 3-12 で示された「200 年前の地球」と「現在の地球」のいずれも地球大気を構成する気体分子の保有するエネルギー量が単調に増え続けている状態を示しています。

大気の温度は「大気の保有するエネルギーの量」(ストック) に比例するのであって、「単位時間に大気が吸収するエネルギーの量」(フロー) に比例するものではありません。したがって図 3-12 は、地球大気のエネルギー保有量=ストックを示していないので、大気の温度状態を示したものではありません。

図 3-12 に示された大気の単位時間当たりの「熱の吸収」が意味するのは、大気の保有するエネルギー量の単位時間当たりの増加量=大気温度の時間当たりの上昇量を示しているのです。

図 3-12 に示されている現在の地球大気の状態だけでなく、200 年前の状態も大気の保有するエネルギー量が単調に増加する「大気温度の暴走状態」を示しています。

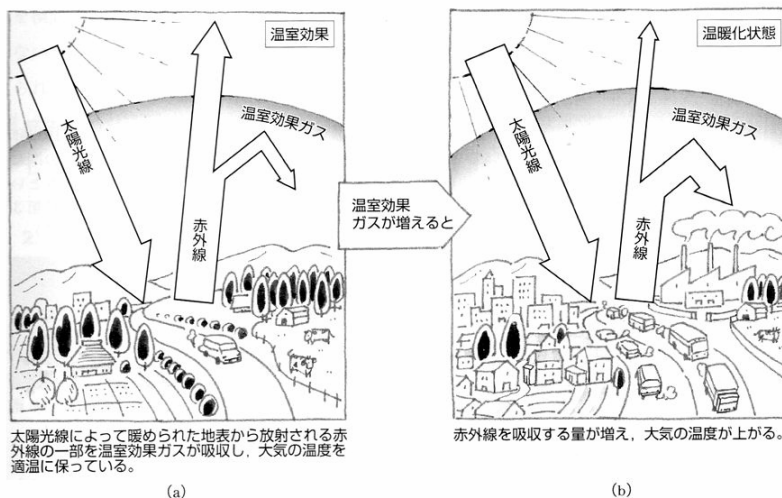
一般に、惑星誕生初期でもなければ、大気の温度が非定常な暴走状態を示すことはありません。地球のように毎年公転周期に応じた安定した温度状態が繰り返される準定常的な惑星であれば、太陽光から受け取るエネルギー量と地球から宇宙空間に放出されるエネルギー量は平衡しています。

このことは、高校の地学基礎の学習指導要領で教えるべき内容の一つとして次のように記述されています。

——「地球全体の熱収支」については、太陽放射の受熱量と地球放射の放熱量が釣り合っていることを扱い、温室効果にも触れること。

この記述には、地球の熱収支が釣り合うことと温室効果は別の現象であり、並立できるという認識が正しく示されています。JCCCA による温室効果の説明図やその類似の図で示された、温室効果の増大を時間当たりの太陽放射からの受熱量と地球放射の放熱量の不平衡量の拡大であると解釈した内容は、高校の地学基礎の内容に反する、きわめて初歩的な誤りです。

しかし、高校の教育現場では、「地学基礎」という自然科学分野の教育内容と明らかに矛盾する温暖化教育が行われています。初等中等教育の現場で使用されている社会科や理科系の教科書の多くに図3-12を基にした類似の解説図を見ることができます。例として工業系高校の教科書である実教出版の「地球環境化学」を紹介します。



(前略) しかし、近年は、人間活動が飛躍的に増大したことで、二酸化炭素やメタン

ガスなどの温室効果ガスが増加し、地表の平均気温が上昇傾向にあると説明されている（図 7 (b)）。

自然科学の基礎的な理論に矛盾する誤った温室効果について疑問を持たずに生徒に教えている教師の存在が第一の問題ですが、こうした矛盾について反応しない生徒の質の低下も憂慮すべき事態です。総じて初等中等教育における理数科教育が失敗しているようです。

3-3 大気の外赤活性と温室効果

3-1 節で紹介したように、地球大気に外赤線を放射・吸収する性質（外赤活性）がなければ、有効太陽放射に対して地表面放射が平衡しなければなりません。その場合、地表面温度は近似的に有効太陽放射に対するステファン・ボルツマンの式で計算した放射平衡温度としてよいでしょう。

地球の表面環境のエネルギー収支

大気が外赤活性気体を含む場合のエネルギー収支を図 3-13 に示します。図の数値は大気圏外における平均的な太陽放射照度 341.5 W/m^2 を 100 とした場合の相対的な値です。

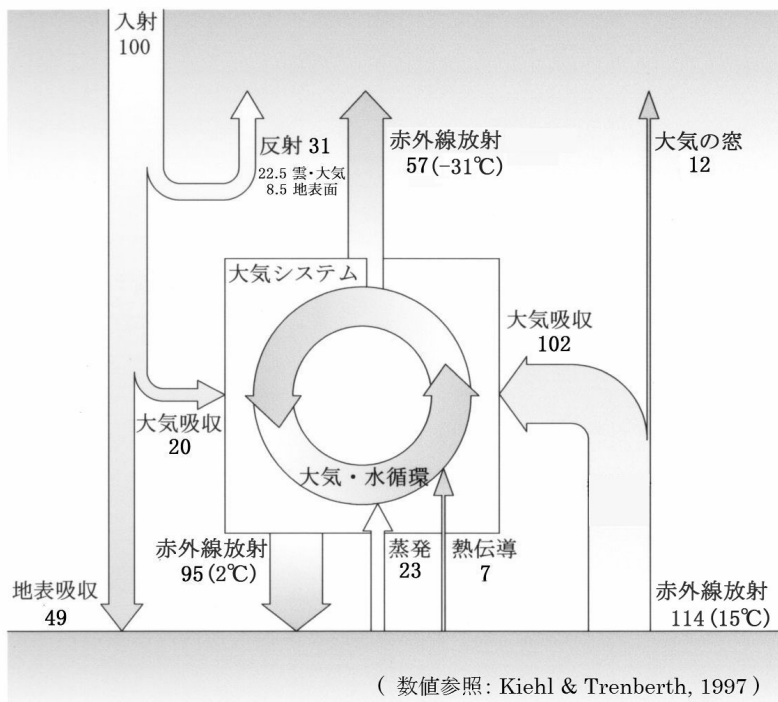


図 3-13 地球大気のエネルギー収支

太陽放射の内、大気や雲、地表面によって 31 が反射されます。反射されずに地球大気や固体地球を暖める 69 が有効太陽放射です。

地球大気は可視光線を中心とする太陽放射に対して比較的透明なため、49 は地表面（海面）にまで到達してこれを温めます。大気を通過するうちに 20 が大気に直接吸収されて大気を温めます。

温まった地表面（海面）からは 114 の赤外線が熱放射されます（地表面放射）。対流圏下層大気には H_2O 、 CO_2 を中心とする赤外活性を持つ気体が含まれています。対流圏下層大気によって地表面放射の内、102 が吸収されます。

赤外活性気体は、地表面放射から吸収したエネルギーを分子衝突によって対流圏下層大気を構成する N_2 、 O_2 を中心とするすべての気体分子に対して速やかに再配分します。赤外活性気体が吸収した地表面放射のエネルギーの大部分を保有しているのは、大気組成で圧倒的に多い赤外活性を持たない N_2 と O_2 です。こうして下層大気を構成する気体分子の平均的な速度が上昇し、大気温度が上昇します。

赤外活性気体は固有の吸収スペクトルを持っています。対流圏下層大気は、波長 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 付近の赤外線を吸収できません。この帯域を地表面放射に対する「大気の窓」と呼びます。地表面放射の内 12 は主に大気の窓を通して直接宇宙空間にまで達して放熱しています。

地表面は熱放射以外に熱伝導 7 と水の蒸発潜熱 23 を大気に供給し、大気を温めます。

地球大気の中では、気体分子同士の衝突、赤外活性を持つ気体分子では赤外線の放射・吸収によって分子レベルで絶えずエネルギーが受け渡されています。赤外活性気体からは、定常的に温度状態に応じた赤外線（熱放射）があらゆる方向に等方的に放射されます。放射された赤外線は周囲の赤外活性気体に吸収されるため、大気中の通過距離に対して指数関数的に減衰します。対流圏大気のように気体分子密度が高いと、赤外線はそれほど遠くまでは届きません。

地球の表面付近の大気から下向きに熱放射された赤外線は地表面に到達して地表面を温めます（図 3-13 の赤外線放射 95 に相当）。

一方、対流圏上層の大気あるいは雲頂から上方に熱放射された赤外線は、成層圏より高層の大気にはほとんど赤外活性気体が含まれていないため、吸収さ

れずに宇宙空間に到達して放熱します（図 3-13 の赤外線放射 57 に相当）。

大気圧と対流圏の鉛直温度分布

地球の大気は重力で鉛直下向きに引っ張られています。大気圧は着目している高度より上空にある大気の重量を足し合わせることで求められます。大気圧は高度が低いほど高く、上空に行くほど低くなります。したがって、対流圏の大気温度は断熱圧縮によって低層に行くほど高くなります。

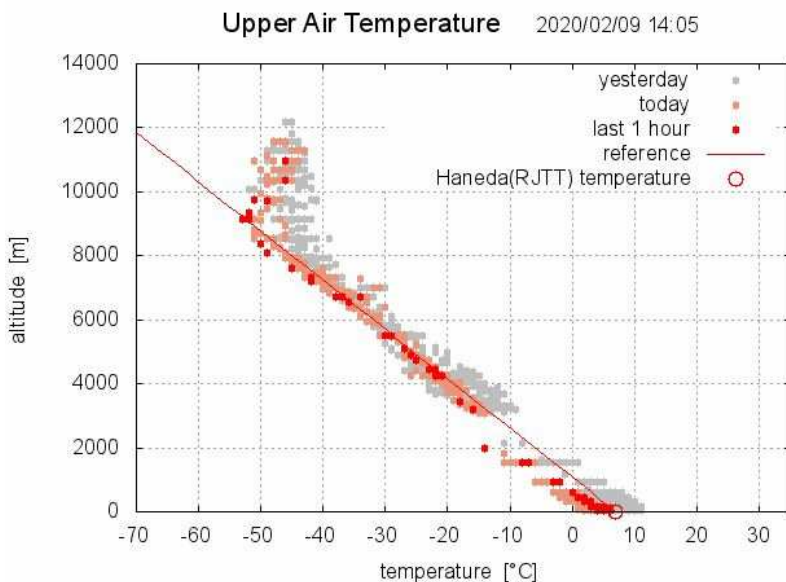


図 3-14 対流圏大気の鉛直温度分布

対流圏では、図 3-14 の実線で示すように平均的に高度が 1.0km 上がる毎に 6.5°C だけ温度が下がります。これを、対流圏の平均的な温度減率と呼び、 $\Gamma = -6.5^\circ\text{C}/\text{km}$ と表します。

温室効果とは何か

熱放射は温度が高いほど強くなります。また、気体の射出率は分子密度が高いほど大きくなります。図 3-13 に示した対流圏下層大気から地表面に到達す

る赤外線が 95 であるのに対して、温度と気体分子密度の低い対流圏上層大気から宇宙空間に放射される赤外線は 57 と小さくなります。

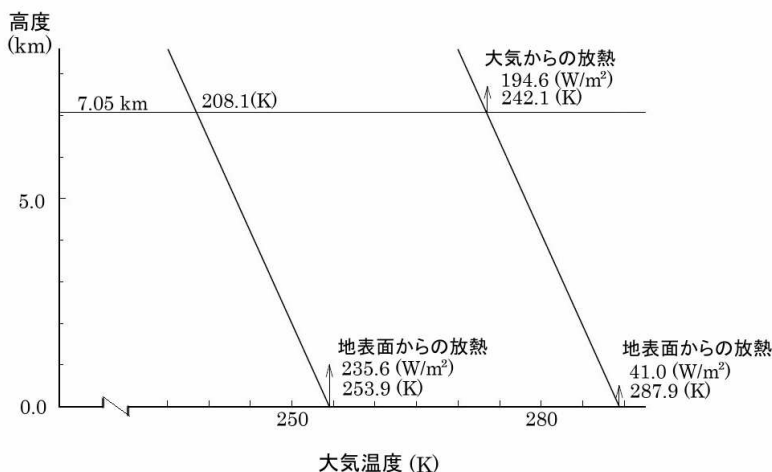


図 3-15 赤外線放射による宇宙空間への放熱

図 3-15 に地球大気の赤外活性の有無によって宇宙空間への放熱の経路がどう変化するかを示します。対流圏の平均的な鉛直温度分布は、 $\Gamma = -6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ に従って、高度が上がるほど大気温度が低下します。対流圏の鉛直温度分布は、有効太陽放射と地球からの放熱が等しくなるように決まります。

大気に赤外活性がない場合は、大気からの放熱はないので、地表面放射と有効太陽放射 69 ($235.6\text{W}/\text{m}^2$) が均衡します。

大気に赤外活性がある場合は、大気に捉えられなかった地表面放射による宇宙空間への放熱 12 ($41.0\text{W}/\text{m}^2$) と対流圏上層大気からの上向きの熱放射による宇宙空間への放熱 57 ($194.6\text{W}/\text{m}^2$) の合計が有効太陽放射と均衡します。

図 3-13 のカッコ内の温度は、ステファン・ボルツマンの式から計算した黒体放射の温度です。黒体放射による近似値として地表面放射から地表面温度 \approx 気温を求めると以下の通りです。

$$T = \sqrt[4]{\frac{341.5 \times (114/100)}{5.67 \times 10^{-8}}} = 287.9(\text{K}) = 14.9(^{\circ}\text{C})$$

大気に赤外活性がない場合の地表面温度は

$$T = \sqrt[4]{\frac{341.5 \times (69/100)}{5.67 \times 10^{-8}}} = 253.9(K) = -18.9(^{\circ}\text{C})$$

なので、地球大気に赤外活性があることで、気温は -18.9°C から 14.9°C に 33.8°C 上昇していることとなります。

気体には個体のような確固とした表面がなく射出率が比較的小さいため、実際の大気の温度は図3-13に示した黒体放射の近似値として計算した放射平衡温度よりも高温になると考えられます。

参考値ですが、地表面の温度を 14.9°C として、宇宙への赤外線放射の放射平衡温度である -30.9°C (図3-13では -31°C) になる高度 H を対流圏の平均的な温度減率 $\Gamma = -6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ を用いて計算すると、次のとおりです。

$$-30.9 = 14.9 - 6.5H \quad \therefore H = \frac{-30.9 - 14.9}{-6.5} = 7.05(\text{km})$$

これまで見てきたように、大気に赤外活性があることによって、太陽放射から受け取ったエネルギーを宇宙空間に放出する経路が変わり、結果として地表面付近の大気温度が上昇する現象の総体を「大気の温室効果」と呼びます。図3-15 からわかるように、**温室効果の本質は対流圏上層大気が熱放射によって宇宙空間に放熱することです。**

大気に温室効果が発現するための条件をまとめておきます。

①地球が真空の宇宙空間に孤立している

地球は可視光線を主体とする電磁波である太陽放射によってエネルギーを受け取っています。地球の表面環境がエネルギー的に安定した定常状態を保つためには、受け取ったのと同じ量のエネルギーを系外に放出することが必要です。地球からのエネルギー放出が電磁波に限定されるためには、地球が真空の宇宙空間に孤立していることが必要です。

②大気に赤外線を放出する性質がある

大気に温室効果がなければ、系外へのエネルギーの放出はすべて地表面からの赤外線放射によって賄われます。温室効果が発現するためには、大気に赤外線を放出する性質があることが必須条件です。

JCCCA などによって、温室効果の本質は大気に地表面放射（赤外線）を吸収する性質があることだという誤った認識が広まりました。大気に赤外線を吸収する性質が無くても、地表面が受け取った太陽放射のエネルギーは熱伝導などによって大気に受け渡すことができるので、必須の条件ではありません。

実際には、赤外線を放出する性質を持つ赤外活性気体は、同時に赤外線を吸収する性質を持つことは既に説明した通りです。

③地球重力に捉えられた大気に圧力勾配がある

地球大気に重力による圧力勾配があることで大気が断熱圧縮され対流圏大気に鉛直方向の温度勾配が生じます。もし圧力勾配がなければ温度勾配がなくなり、地表面の温度と対流圏上層大気に温度差がなくなるため、実質的に温室効果は機能しなくなります。

以上の三つの条件を満たすことによってはじめて温室効果が発現します。

3-4 地球大気の温室効果

近年の人為的 CO₂ 地球温暖化説では、「人為的な温室効果ガスの増加によって、今世紀中には地球の平均気温は 4°C 上昇する」のではないかと不安を煽っています。教育現場やマスコミ報道など、巷にあふれている温暖化に関する情報では、温室効果ガスが増えると単純に温室効果が大きくなり、温暖化すると説明されます。しかしこれは不完全な情報です。

前節までの検討で、地球大気の温室効果の発現する仕組みがわかりました。ここでは具体的に温室効果ガス（正しくは赤外活性を持つ気体）の増加の影響を考えることにします。

温室効果は赤外線の波長に依存する

3-1 節で見てきたように、赤外活性気体による赤外線の放射・吸収現象で重要なのは、気体ごとに赤外線の波長に対して固有の吸収スペクトルを持っていることです。同じ赤外線を受けても、気体ごとに吸収する波長帯域が異なり、吸収するエネルギー量も異なります。同じ「温室効果ガス」であっても、気体の種類が異なれば、温室効果に対する寄与の仕方は一様ではありません。

物体からの熱放射は、物体の温度によって放射される赤外線の分布が決まります。実際の地球の表面温度は -80°C (193K) ~ 50°C (323K) 程度の範囲にあります。対応する熱放射の最大値を示す波長 λ_{\max} は 15.0 μm ~ 9.0 μm の範囲にあります。

地表面の平均的な温度 15°C (288K) に対応する波長 $\lambda_{\max} = 10.1 \mu\text{m}$ で最大値が発現する分布を標準的な地表面放射とします。以下、この平均的な放射について考えることにします。

図 3-16 に同じ波長スケールに対する対流圏大気に含まれる主要な赤外活性気体の、地上から天頂方向を見た場合の吸収率 (= 射出率) スペクトル (図の着色部分) と、平均的な地表面放射のスペクトルを示します。

大気の地表面放射に対する吸収率

人為的 CO₂ 地球温暖化説では、大気中の CO₂ 濃度の上昇によって、大気の

温室効果が著しく増加して地球環境に脅威となるような気温上昇をもたらすと言われていました。初等中等教育現場の教科書の記述やJCCCAのパフレットなども同様です。人為的CO₂地球温暖化説では、人為的に放出される温室効果ガスとしてCO₂とメタンCH₄の影響が大きいと説明されることが多いようです。

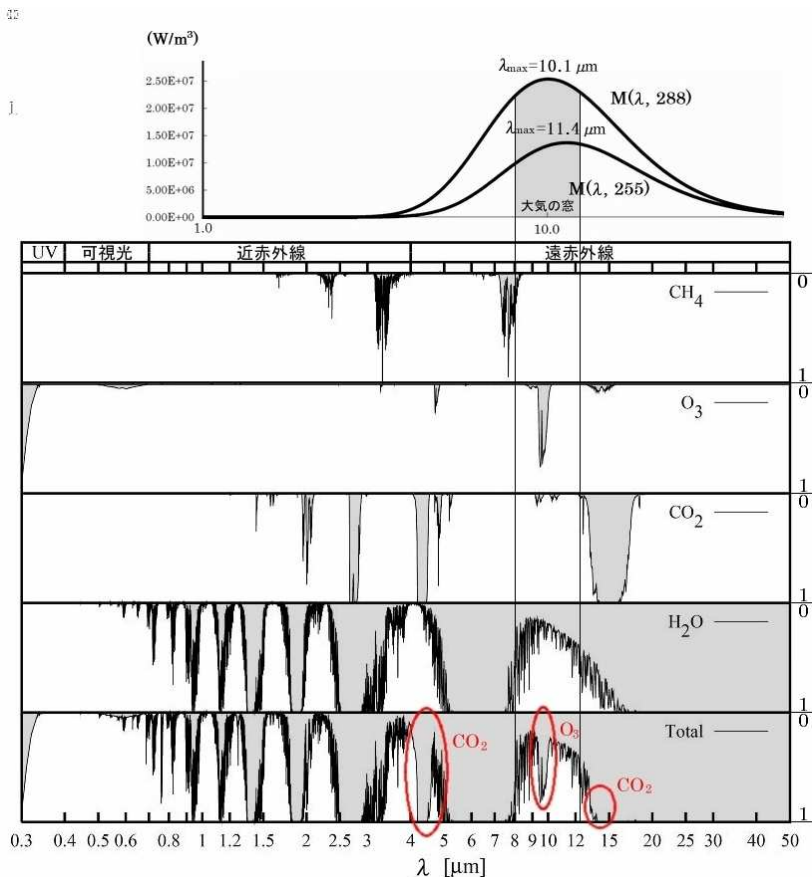


図 3-16 赤外活性気体の射出率・吸収率の分布

3-3 節で述べたとおり、物質の赤外線に対する吸収率あるいは射出率とは、すべての波長帯域で完全に電磁波を吸収し、熱放射する仮定の物体である黒体に対する比率です。したがって、どのような物質でも吸収率あるいは射出率が

1.0 を超えることはありません。各赤外活性気体の温室効果に対する寄与は単純に加え合わせることはできません。

例えば、図3-16の H_2O と CO_2 の吸収帯域が重なっている $15\mu\text{m}$ 付近では、それぞれの吸収率を加え合わせると2.0近くになりますが、大気合計吸収率は1.0以上にはなりません。 CH_4 については、地表面放射の主要な分布域($4\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$)の範囲では $8\mu\text{m}$ 付近に吸収帯域がありますが、 H_2O の吸収帯域と重なっているため、大気合計吸収率にはほとんど影響はありません。

大気合計の吸収率と各赤外活性気体の吸収率を比較すると、大部分は水蒸気 H_2O が担っていることがわかります。 H_2O 以外では、波長 $15\mu\text{m}$ と $4.3\mu\text{m}$ 付近で二酸化炭素 CO_2 、波長 $9.5\mu\text{m}$ 付近でオゾン O_3 が僅かに寄与していることがわかります。

地表面放射の主要な分布域($4\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$)の範囲に注目すると、 $8\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 付近で大気合計吸収率が低いことがわかります。これが地表面放射に対する「大気の窓」です。図3-13において、地表面放射114の内12が宇宙空間へ放熱していますが、これは主に大気の窓に対応する波長帯域を透過する地表面放射であると考えられます。

H_2O の大気中濃度は大きく変動します。高温・高湿度の熱帯雨林や日本の夏は大気中の H_2O 密度が非常に高くなるため、大気の窓はほとんどふさがってしまいます。

温室効果に対する CO_2 濃度上昇の影響

気体の電磁波に対する吸収率は分子密度(相対的な体積濃度ではない)が高いほど大きくなります。そのため、人為的 CO_2 地球温暖化説では、大気中の CO_2 濃度の上昇によって温室効果が大きくなり、異常な高温化が起きるとされています。

地表面放射の主要部分に重なる CO_2 の吸収帯域は波長 $15\mu\text{m}$ 付近と $4.3\mu\text{m}$ 付近です。現在の CO_2 分子密度で基本振動に対応する波長 $15\mu\text{m}$ と $4.3\mu\text{m}$ の近傍では既に吸収率は1.0です。更に分子密度が高くなると、基本振動に対応する波長から少し離れた吸収率が1.0に達していない部分の吸収率が大きくなります。吸収帯域の幅が広がると考えてもよいでしょう。

大気中では高度が上がるほど大気圧が低下するため分子密度が小さくなり、赤外線に対する吸収率あるいは射出率が小さくなります。図 3-17 に主要な赤外活性気体について、標高 0m と 4200m の赤外線吸収率スペクトルを示します。図中の薄い灰色の実線が標高 0m、濃い灰色の実線が標高 4200m の赤外線吸収率を示しています。

標高 4200m における H_2O の吸収率は標高 0m に比べてかなり低くなっています。 H_2O は、標高が上がることによって大気温度が低下し、露天に達すると凝結して水滴となって大気から取り除かれます。その結果、大気圧の低下による影響より以上に大きく分子密度が低下します。気圧の低下による分子密度の低下の影響だけを受ける他の赤外活性気体に比較して吸収率の低下が大きくなります。

CO_2 と O_3 については地上と標高 4200m で顕著な差はありません。 CO_2 については $15\mu\text{m}$ 付近の吸収帯域の幅が少しだけ狭くなる程度です。

標高 0m で気圧 1013 hPa、大気温度 288 K、標高 4200m で気圧 614 hPa、大気温度 260.7 K とすると、標高 4200m の大気分子密度は、地上の 67% 程度になります。

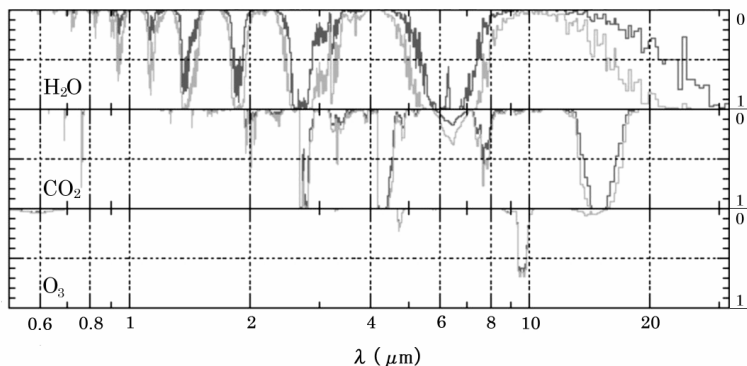


図 3-17 赤外線吸収率の標高に対する変化

現在の大気中 CO_2 濃度を 400ppm とすると、図 3-17 の標高 4200m の CO_2 の赤外線吸収率は、大気中 CO_2 濃度 268ppm (400ppm の 67%) の地上付近の大気の赤外線吸収率と等価と考えてよいでしょう。地表面放射の吸収に影響

する地表面付近の大気中 CO₂濃度が 268ppm から 400ppm に 132ppm 増加しても、赤外線吸収率の増加は僅かだということがわかります。

2章で検討した通り、産業革命以降の大気中 CO₂濃度上昇のうち、人為的な放出による影響は 13ppm 程度でした。観測できるような気温上昇をもたらすことはありません。人為的 CO₂地球温暖化説は虚構の産物です。

気温変化は単純な現象ではない

これまで気温変化について、温室効果の影響についてみてきました。実際の気温変化は温室効果だけではなく、様々な要因の影響を受けます。

例えば大気赤外活性についても単純ではありません。通常、温室効果ガスが増えることは気温上昇の要因であるとされています。しかしこれは赤外線の吸収だけに着目した極めて一面的な判断です。

気体に限らず一般に赤外線をよく吸収する物質は、同時に赤外線をよく放射します。簡単なシミュレーションを行ってみましょう。

現在の対流圏上層大気赤外線射出率はあまり高くありません。仮に射出率 $\varepsilon = 0.7$ と仮定します。この射出率で 194.6 (W/m²) を放出するために必要な大気温度をステファン・ボルツマンの式から計算すると次の通りです。

$$194.6 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \therefore T = \sqrt[4]{\frac{194.6}{0.7 \times 5.67 \times 10^{-8}}} = 264.6 \quad (K)$$

温室効果ガスが増えて射出率が $\varepsilon = 0.75$ になった場合、194.6 (W/m²) を放出するために必要な大気温度は次の通りです。

$$T = \sqrt[4]{\frac{194.6}{0.75 \times 5.67 \times 10^{-8}}} = 260.1 \quad (K)$$

射出率が 0.05 高くなると同じエネルギーを放出するために必要な大気温度は 4.5°C も低くなるのです。大気の標準的な温度減率が変わらなければ、地表面の大気温度である気温も 4.5°C 低くなります。

雲の効果も気温に大きな影響を与えます。雲には相反する二つの効果があります。地球の昼半球の雲量が増えると、太陽放射の反射が多くなり、地球を暖める有効太陽放射が少なくなります。これが雲の日傘効果です。雲量が 1%増

えると気温は1°C程度低くなるといわれます。

一方、雲が発生すると地表面放射を完全に遮るために地表面や大気の温度を保温することになります。

気温上昇は一般に地表面環境の水循環を活発にするため、雲量を増加させます。特に昼半球の雲量が増えることで、気温上昇を抑制する負のフィードバック効果を持ちます。

一方、最近では宇宙線量と雲量の関係が注目されています。太陽活動が強くなり、宇宙線量が減ると雲量は減少し、太陽活動が弱まり宇宙線量が増えると雲量が増加します。総じて太陽活動の消長による地表面に到達する有効太陽放射の増減を拡大する正のフィードバック効果を持ちます。これをスベンスマルク効果といいます。

人為的 CO₂ 地球温暖化説は、気温の上昇の原因を大気への地表面放射に対する吸収能力＝温室効果の増加であるという一面的な解釈に偏りすぎているようです。3-2 節の冒頭で示した JCCCA の温室効果に対する誤った解説図の影響もあり、温室効果に対する誤った認識が蔓延しています。

例えば、ネット上で「温室効果」について検索すると、

「太陽光に暖められた地表が放出する赤外線を二酸化炭素などの温室効果ガスが吸収するため、地表が温室のように保温される現象。(goo 辞書)」

「太陽からの短波放射は、比較的容易に大気中を通過して地表面に吸収されるが、地表面から射出される長波放射は、大気中の水蒸気、二酸化炭素、オゾンに吸収されて大気圏外に逸散しにくい。(ブリタニカ国際大百科事典)」

とされています(傍点:近藤)。これらの説明には、温室効果の本質である対流圏上層大気が熱放射によって宇宙空間にエネルギーを放出していることについて何も触れていません。

これまで見てきたように、地球を含めて定常的な温度状態の惑星では、有効太陽放射と惑星からの熱放射は常に平衡しています。温室効果が増加することで「長波放射が大気圏外に散逸しにくくなる」ことはありません。変わるの、地表面から直接放熱するのか、あるいは大気上層から放熱するのかという違いなのです。

3-5 ペットボトル実験という見世物

初等中等教育の現場では、児童生徒を対象に様々な誤った「温暖化教育」のプログラムが実施されています。その中でも CO₂ の「温室効果」の実証を目的とする「ペットボトル実験」は最も頻繁に行われているプログラムの一つです。

インターネット上でペットボトル実験について調べたところ、いくつかのバリエーションがあり、その目的や実験結果の評価もばらばらであることがわかりました。ペットボトル実験の情報を公開しているホームページ管理者から実験の目的や結果に対する評価を伺った上で、科学的な検討を行うことにしました。ここでは結果の概要を紹介します。

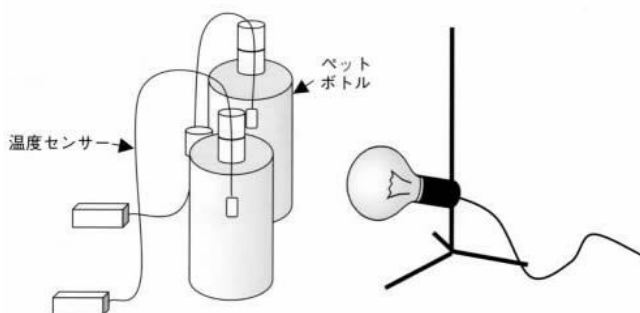


図 3-18 「ペットボトル実験」の標準的な装置の構成

温室効果に対する誤った認識と実験目的

温室効果が発現するためには、真空の空間、赤外活性を持つ気体、圧力勾配の 3 条件が必要です (p.59 参照)。温室効果の再現には巨大な空間構造が必要です。大気中でペットボトルという小さな空間に赤外活性気体を充填した試料と簡便な装置を用いて再現するという発想は無謀です。

ペットボトルを用いた簡単な装置で温室効果が再現できると考えられたのは、図 3-12 に示した JCCCA の誤った温室効果に対する認識——温室効果ガスが地表面放射を吸収して貯め込むことで気温が上昇する——という単純な内容が

広く信じられていることによります。

ペットボトル実験に関する情報を公開しているホームページの管理者に聞き取ったところ、多くはJCCCAの温暖化に対する認識を踏襲して、「温室効果ガスは赤外線を吸収する性質を持っているので、赤外線を吸収する分、温室効果を持たない気体よりも温度が高くなる」という仮説を検証することを目的にしているという回答でした。

少数ですが、気体の赤外活性ではなく、気体の熱容量に注目して「熱容量の大きな気体は温度変化が遅く、それだけ保温性が高い」ことを示すことを目的にしているという回答もありました。

温室効果ガス＝赤外活性を持つ気体は、分子構造に起因する特定波長の赤外線を吸収するだけでなく、同時に放射します。赤外線に対する吸収率が高い気体は同時に赤外線の射出率が高い気体でもあります。熱平衡状態ではキルヒホッフの法則から、(吸収赤外線量) = (放出赤外線量) が成り立つため、赤外活性があることによるエネルギー収支はゼロです。局所熱力学平衡状態と考えられる対流圏大気中では、赤外活性の有無にかかわらず、気体の温度は等しくなります。

気体の熱容量は、そもそも温室効果とは全くかかわりのない物理量です。今更実験するまでもなく、気体の比熱は精密に計測されています。

地表面放射のモデル化

実験によって検証すべき温室効果とは、「地表面放射」に対する気体の赤外線吸収・放射特性に関する現象です。

大気モデルの数値計算では「灰色大気」という仮想の大気を用いられます。灰色大気とは次の条件を満足する仮想の大気です。

赤外線に対して $1.0 > \alpha = const. > 0.0$

太陽光に対して $\alpha = 0.0$

太陽放射は100%透過させ、赤外線に関しては波長にかかわらず1.0未満の一定の吸収率(射出率)を持つ仮想の大気です。灰色大気の使用で数値計算が単純になり、とても便利ですが、実際の気象現象とは似ても似つかぬものになる

ことは当然です。ペットボトル実験の対象とする気体が灰色大気であれば波長に対する依存性がないので、熱源としてどのようなものを用いても大きな問題にはならないかもしれません。

しかし、実際の赤外活性気体には気体の種類ごとに固有の吸収率スペクトルがあります。仮想空間の数値計算という虚構の世界に慣れすぎた人たちは、実在の物質を対象とする実験を行うための基本的な条件に対して、あまりにも無頓着なようです。

地球大気の温室効果を検証するための実験で対象とする電磁波は、平均的な地表面温度である 288K 程度の熱放射による赤外線でなければなりません。

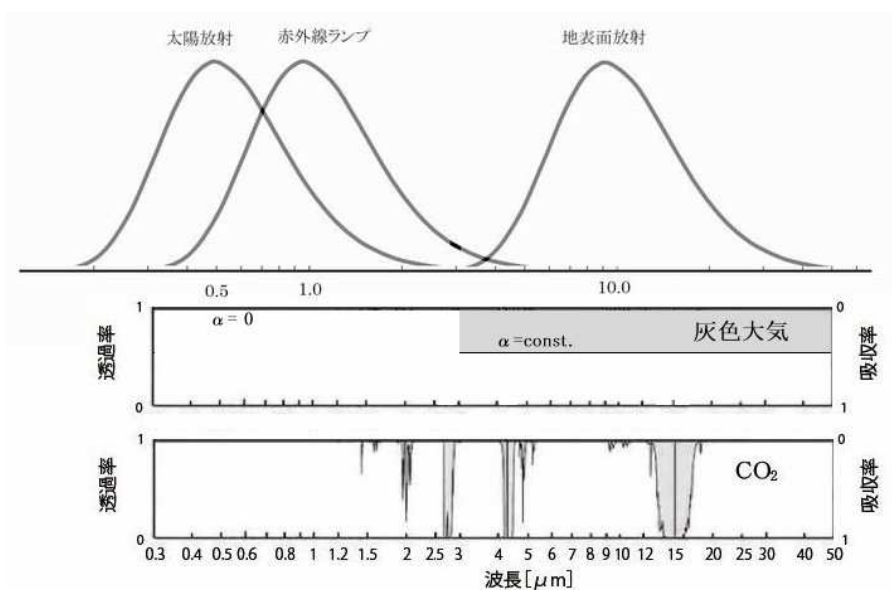


図 3-19 光源の放射スペクトルと CO₂、灰色大気の吸収率

ペットボトル実験で最も多く用いられているのは太陽光と赤外線ランプです。太陽の表面温度は 5800K 程度です。太陽放射は波長 0.5 μm 付近にピークを持ち、可視光線（波長 0.4~0.7 μm）を中心に紫外線（波長 0.01~0.4 μm）と近赤外線（波長 0.7~2.5 μm）の範囲に分布する電磁波です。

赤外線ランプでは光源の温度は 3000K 程度です。赤外線ランプからの放射

は、 $1.0\mu\text{m}$ 付近にピークを持ち、近赤外線（波長 $0.7\sim 2.5\mu\text{m}$ ）を中心に可視光線（波長 $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ ）と中赤外線（波長 $2.5\sim 4\mu\text{m}$ ）の範囲に分布する電磁波です。

地表面からの常温（288K）の電磁波は $10\mu\text{m}$ 付近にピークを持つ遠赤外線（波長 $4\sim 1000\mu\text{m}$ ）です。図 3-19 から明らかなように、太陽放射や赤外線ランプの放射スペクトルは地表面放射スペクトルと波長に対する分布帯域が全く異なっています。

地表面放射を模した遠赤外線源とはどのようなものでしょうか？壁面温度 15°C 、室温 15°C の暗室の中は 288K の赤外線放射の満ちた理想的な実験環境です。周辺環境の擾乱を受けないようにするためには、内面を黒く塗った段ボール箱を用意すればよいでしょう。

室温 15°C に管理された部屋で、段ボール箱の中に CO_2 と乾燥空気を充填したペットボトルを置き、それぞれの温度変化がなくなるまで放置し、温度を計測すれば完全な実験です。結果は明らかです。段ボール箱の中は熱平衡状態なので、すべて 15°C になります。

段ボール箱の中のペットボトルに充填した CO_2 は乾燥空気よりも多くの赤外線を吸収していますが、 CO_2 、乾燥空気のいずれも吸収赤外線量に等しい赤外線を放出する（キルヒホッフの法則）ため、温度差は生じません。ペットボトル実験において「吸収赤外線量の差（＝温室効果の差）は気体の温度差で計測できる」という前提は誤りです。

CO_2 を充填したプラスチック容器試料

ペットボトル実験は、PET 樹脂というプラスチックの透明容器に 1 気圧の CO_2 あるいは CO_2 濃度を高くした空気を充填して試料とします。比較対象として、ほとんど赤外活性気体を含まない乾燥大気や窒素 N_2 を充填した試料が使われています。

赤外活性気体の赤外線吸収率あるいは吸収帯域の幅は、気体分子の密度や気体層の厚さによって大きく変化します。ペットボトル試料の場合、光源からの光軸方向の層厚はせいぜいペットボトルの直径であり 10cm にも満たないため、たとえ 100%、1 気圧の CO_2 を充填したとしても吸収率は非常に低いと考えら

れます。

一方、実験に使用されるペットボトルや類似の透明樹脂容器は、太陽光から遠赤外線まで、充填した気体よりもはるかに吸収率・射出率が高いと考えられます。

図 3-20 に東京理科大学が行ったポリスチレン樹脂球体容器に CO_2 を充填した試料に赤外線ランプを照射した場合の透過スペクトルを計測した結果を示します。赤外線ランプの放射スペクトルの最大値が現れる波長 $\lambda_{\text{max}}=1350\text{nm}=1.35\mu\text{m}$ 程度なので、光源の温度を推定すると以下の通りです。

$$T = \frac{2898}{1.35} = 2147(\text{K})$$

図 3-20 に青で着色した部分が CO_2 を充填したポリスチレン容器の背後で計測した透過赤外線スペクトルを示しています。赤外線ランプの放射スペクトルと着色部分の差がポリスチレン容器と充填した気体によって吸収された赤外線です。



図 3-20 樹脂容器試料背後で計測した赤外線ランプの透過スペクトル

図 3-20 に赤く示した部分は乾燥空気を充填したポリスチレン容器試料の透過スペクトルとの差を示しています。この波長 $2\mu\text{m}$ 付近の赤で着色したごくわずかな部分が CO_2 による赤外線吸収量を示しています。

100%のCO₂を充填しても、あまりにも気体層の厚さが薄いためにほとんど赤外線を吸収していないことがわかります。この赤外線吸収量のごくわずかな差によって、温度計で計測できる明確に温度差が現れることはないでしょう。

この実験は、CO₂による赤外線吸収実験というよりも、赤外線ランプによる樹脂容器の過熱実験というべきです。樹脂容器内に充填されたCO₂や乾燥空気は、主に過熱された樹脂容器からの熱伝導によって温められているのです。

太陽放射については透過スペクトルの観測データがありませんが、赤外線ランプよりもさらに短波長側に分布する太陽放射スペクトルに対して、CO₂による吸収はさらに少ないと考えてよいでしょう。

実験環境の問題

屋内の実験環境を考えることにします。ペットボトル実験は空気の充満する開かれた環境で実施されています。実験室内のすべての物体と空気と樹脂容器と樹脂容器に充填した気体試料は熱伝導や放射伝熱によって熱交換が可能です。



写真 3-1 子供たちを集めたペットボトル実験風景(川崎市公害研究所)

熱源から放射された電磁波はペットボトルとの間の空気中を通過してペットボトル試料に到達し、試料を透過した電磁波は背後の空間に広がります。また

ペットボトルに当たらなかった電磁波はそのまま実験室の空間に広がります。この過程で熱源からの放射のかなり多くの部分 (図 3-20 から少なくとも半分以上) が空気中に散逸し、空気や実験室、実験室内のすべての物体に吸収され、これを暖めます。

絶対零度ではない実験室の壁面や空気、その他実験室内にあるあらゆる物体、観衆から温度に応じた赤外線が放射されています。ペットボトル試料はこれらの室内環境を満たす赤外線からもエネルギーを受け取ります。空気は熱伝導媒体なので、ペットボトル試料との間で熱交換します。実験室内の温度勾配は空気の対流を引き起こし、熱を移送します。実験室はエネルギー的に完全に孤立しているわけではないため、実験室内のエネルギーは周囲に散逸します。

ペットボトル実験は放射と熱、温度に関する実験です。図 3-20 からわかるように、CO₂を充填した試料と乾燥空気を充填した試料の吸収赤外線量の差はごくわずかです。熱伝導媒体である空気が充満し、環境からの赤外線が充満している開かれた環境で実験を行えば、実験環境からの複雑なフィードバックが起こるため、ノイズを取り除いて、熱源からの放射とペットボトル試料の間の応答を正しく計測することは不可能です。

ペットボトル実験の理論的な誤り

これまで見てきたように、ペットボトル実験は実験計画自体が杜撰であり、自然科学の実験としての体をなしていません。しかし、本質的な問題は「CO₂が赤外線を吸収するから高温になる」という温室効果に対する理解が誤っていることです。

これまで繰り返し述べてきたように、温室効果の本質は、対流圏上層大気から宇宙空間への赤外線放射による放熱です。標準的な CO₂ 地球温暖化説では、見事にこの放熱に対する認識が欠如していることがペットボトル実験の誤りを招いたのです。

本来ペットボトル実験が目論んだ理想的な実験「無限の暗黒の真空の空間に乾燥空気と CO₂を充填したペットボトルを置き、これに赤外線ランプを照射した場合、どちらが高温になるのか」を思考実験として検証することにします。

図 3-20 に示すように、赤外線ランプの放射スペクトルの主要部分には CO₂

による高い吸収率の帯域がないため、二つのペットボトルが受け取るエネルギーに差はありません。ペットボトルの受け取るエネルギーを I とします。

赤外線を吸収した二つのペットボトル試料の温度は $30^{\circ}\text{C}=303\text{ K}$ 程度まで上昇して定常状態になるものとします (図 3-22 参照)。 30°C の黒体放射スペクトルは波長 $\lambda_{\max}=9.56\mu\text{ m}$ に最大値を持つ分布になります。

CO_2 には $15\mu\text{ m}$ と $4.3\mu\text{ m}$ 付近に高い射出率を示す帯域があります。乾燥空気には 1 気圧 400ppm 程度の CO_2 が含まれています。 CO_2 の分子密度は 1 気圧の CO_2 の $400/1000000=1/2500$ です。

1 気圧の乾燥空気を充填したペットボトルの射出率を ε_1 、1 気圧の CO_2 を充填したペットボトルの射出率を ε_2 とします。射出率を比較すると、

$$\varepsilon_1 < \varepsilon_2$$

が成り立ちます。したがって、空気を充填したペットボトルの温度 T_1 と CO_2 を充填したペットボトルの温度 T_2 には次の関係があります。

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{I}{5.67 \times 10^{-8} \cdot \varepsilon_1}} > \sqrt[4]{\frac{I}{5.67 \times 10^{-8} \cdot \varepsilon_2}} = T_2 \quad \because \varepsilon_1 < \varepsilon_2$$

乾燥空気を充填したペットボトルよりも CO_2 を充填したペットボトルの射出率の方が高いので、同じ熱放射 I を放出するために必要な温度は T_2 の方が低くなることを示しています。

ただし、ペットボトル試料からの熱放射の大部分はペットボトル容器が担っているため、温度差はごくわずかでしょう。この実験を大気中で行えば温度差を検出することは、おそらく不可能です。

ペットボトル実験は、温室効果を温室効果ガスが赤外線のエネルギーを吸収する=貯め込むことだという誤った理解の上に企図されました。温室効果ガス、つまり赤外活性を持つ気体が赤外線を吸収すると同時に放射することを完全に見落とすという決定的な、しかし全く初歩的な性質を見落としていたのです。

杜撰な温度測定方法

ペットボトル実験では、図 3-21 に示すように、ペットボトルにデジタル温度計を挿入して温度を計測します。



図 3-21 デジタル温度計の設置方法(リセマム)

温度測定に対する考察が行われているホームページはほとんどありませんでしたが、これは極めて重要な問題です。

通常、気体の温度とは熱力学平衡になり、着目している空間について熱や物質の出入りがなく相変化もない状態に対して定義されます。

ペットボトル実験では、熱源とペットボトルと実験室の空間を含む系は大きく見れば熱の流れのある非平衡系です。しかし、ペットボトル内の微小空間については局所熱力学平衡状態として温度を確定することができると考えられます。ただし、そのためには少なくともすべての場所において熱的に定常状態になっている必要があります。

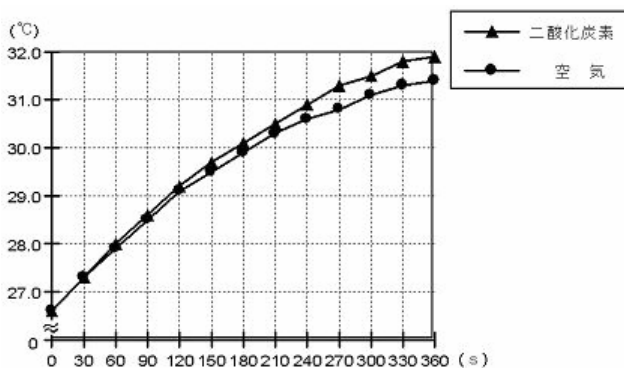


図 3-22 ペットボトル実験の充填気体の温度変化(東京理科大学)

しかし、確認した範囲では、明らかに温度状態が定常状態に達したことを確認したうえで温度を確定するという手続きを踏んだ実験はありませんでした。図 3-22 に示すように、熱源からの電磁波の放射を開始した以後の温度変化を経時的に記録したカーブを描き、CO₂ と乾燥空気のカーブを比較して、「どちらが温まりやすいか」を比較して結論を導いています。

うまく気体の温度が計測されているとしても、ペットボトルに充填した気体の熱容量を比較しているにすぎません。実験の目的としては、温度変化ではなく最終的な定常状態でどちらが高温になるのが重要です。

気体温度の測定位置も重要です。特に赤外線ランプという拡散光を用いた実験では、ペットボトルのどの部分に光軸が当たっているのかによってペットボトル上の放射照度の分布が変わり、それによってペットボトルの温度分布が変わります。また、直接放射を受けない影の側面は低温になります。熱伝導で暖められる充填気体のペットボトル内の対流パターンも微妙に変化することになります。ペットボトル内の充填気体の温度には複雑な温度勾配が生じます。温度計の測温部がペットボトルのどの位置にあるかによって計測される温度が変わります。

温度計の設置方法に特段の注意が払われていないようですが、これも重大な問題です。温度計は温度を計測しようとする対象と熱平衡状態になることで対象の温度を計測します。ペットボトル実験では温度計の測温部に接している充填された気体と熱平衡になることで温度を計測します。

ペットボトル実験で設置された温度計は、熱源からの赤外線の一部を直接吸収します。赤外線に対する吸収率はペットボトルや充填気体よりも温度計の方が高いと考えられます。この場合、ペットボトルと充填気体と温度計の中で温度計が最も早く温度が上昇します。温度計からの熱伝導で充填気体が暖められることになります。定常状態に至っても一定量の熱が周囲の気体に流れている状態になり、温度計の測温部と気体は熱的に非平衡状態となり、実際の気体温度は計測できない可能性があります。

更に、最も基本的な問題として使用する温度計のキャリブレーションが行われているかどうかも疑わしいようです。

不可解な実験結果と混乱する解釈

温室効果に対するペットボトル実験には様々な問題点があることがわかりました。実験結果について検討することにします。

ReseMom ホームページに公開された実験では、熱源として太陽光を用いて屋外で実験しています。結論としては 1°C 未満の微妙な温度差だが CO_2 の温度上昇の方が大きいので CO_2 の温室効果が確認できたとしています。

赤外線ランプを熱源として用いた東京理科大の実験結果は図 3-22 に示すように、 CO_2 の温度上昇の方が速いので CO_2 の温室効果が確認できたとしています。温度が非定常に上昇している状態で実験が打ち切られているので、最終的な温度差は不明ですが、実験を打ち切った段階の温度差は 0.5°C 程度です。

これに対して、ホームページ Weather Information Technology Research & Development の中の「二酸化炭素の温度変化実験」では明確な差は認められなかったと報告しています。

果たして 0.5°C 程度の温度差が意味のある値なのか、それとも誤差なのか、温度測定条件の評価も含めて判断しかねるところです。しかし、図 3-20 のスペクトルの実測値から見る限り、赤外線吸収量の差を計測できるとは考えられません。

しかしそれ以上に不可解なことがあります。

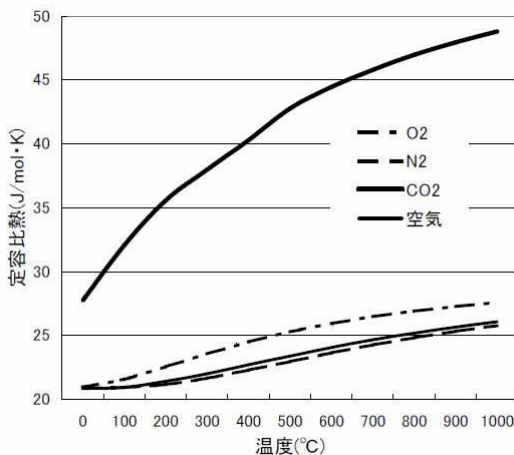


図 3-23 対流圏大気に含まれる主要な気体の定容モル比熱

図 3-23 は CO_2 、 O_2 、空気、 N_2 の定容モル比熱の温度に対する変化を示しています。50°C未満では O_2 、空気、 N_2 の定容モル比熱にほとんど差はなく、 CO_2 の定容モル比熱だけがかなり大きな値を示しています。

ペットボトル試料の吸収赤外線ほとんど全てはペットボトルが吸収しているため、充填された気体はペットボトルからの熱伝導で同じように暖められることになるでしょう。その場合、定容モル比熱が大きな CO_2 の温度上昇が明らかに遅くなるはずですが、しかし実験結果は全く逆になっています。

この不可解な実験結果について合理的な説明として考えられるのは、温度計は気体温度ではなく温度計自体の温度を計測している可能性が高いのではないか、ということです。

香川大学教育学部の実験仮説は東京理科大学とは全く逆です。香川大学の実験では、「 CO_2 の保温効果が大きいために窒素 N_2 よりも温度変化が遅い」という仮説を検証しようとしています。

香川大学の実験は、 CO_2 を充填したペットボトルと N_2 を充填したペットボトルに 5 分間赤外線ランプを照射し、5 分後に赤外線ランプを消して、その後 5 分間放置して温度低下を記録しています。

香川大学の実験結果をプロットしたグラフを図 3-24 に示します。

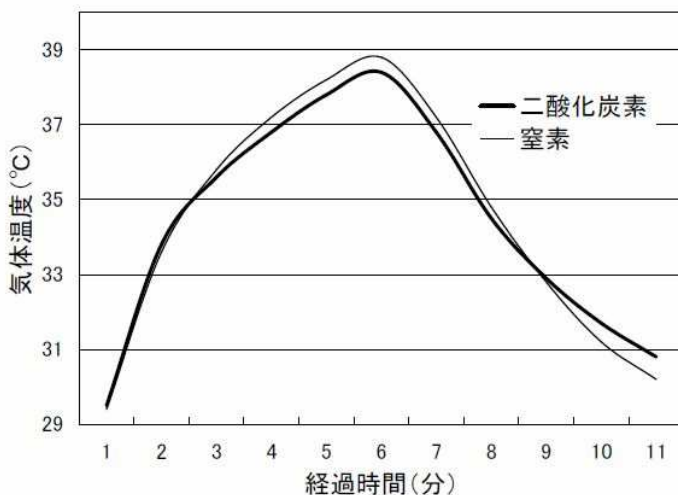


図 3-24 ペットボトル実験の充填気体の温度変化(香川大学)

この結果を見ると、過熱過程でも冷却過程でも N_2 の温度変化が速いことがわかります。これは N_2 の定容モル比熱の方が小さいので妥当な結果です。ただし、定容モル比熱の差から考えると、気体の温度が正しく計測されていればもう少し大きな差が計測されるのではないのでしょうか。

実験結果に対して、香川大学のレポートでは「 CO_2 の温度変化の方が小さいので保温効果がある、つまり温室効果が大きい」と結論付けています。これは温室効果とは全くかかわりのない現象であり、誤った評価です。

いくつかの実験結果を見てきましたが、同様の装置で実験を行い、 CO_2 の方が早く温度上昇したという結果を得た場合、逆に CO_2 の方が遅く温度上昇したという結果を得た場合のどちらに対しても「 CO_2 の温室効果が確認できた」とされています。これは牽強附会のご都合主義というしかありません。

ペットボトル実験は、実験仮説に多くの問題があることはもちろんですが、加えて自然科学の実験で重視される再現性が担保できない安定性を欠いた杜撰な実験計画にも大きな問題があります。自然科学的に正確な実験を行うことよりも、聴衆の前で見栄えのするデモンストレーションを行うことを優先したために、実験仮説を証明するための緻密な実験計画をおろそかにした結果です。

科学を装った非科学的な見世物の罪

これまで検討してきたように、温室効果を検証するペットボトル実験は理論的な誤りと杜撰な実験計画で、およそ科学実験の体をなしていません。本質的な問題は、ペットボトル実験の目的である検証すべき「温室効果」がどのような物理現象であるかを、実験を実施した研究者や教師の中の誰一人として正確に理解していなかった、あるいは考えようとしなかったことです。

彼らは、 CO_2 地球温暖化を自然科学の問題として検証することをおろそかにしたまま、彼らの「信じて」いた CO_2 地球温暖化に対する認識を見える形で示すことを目標に、彼らの思い込みによる「望ましい結果」が得られる出来レースを組み立てようと腐心していたのです。

しかし実際には、彼らの組み立てた赤外線ランプを熱源とする実験を正しく行えば、赤外線射出率の高い CO_2 を充填したペットボトル温度の方が低くなる

というのが自然科学的な結論だったというお粗末です。自然科学に携わる研究者・教師として恥ずべきことです。

おそらく善意から、見よう見まねでペットボトル実験を行った人たちの中には、明確な差が確認できなかつたり、予想とは逆の結果が出たり、困惑した様子がホームページ上に散見されます。そんな時、「実験はうまくいかなかったけど、本当はこうなるはずだよ」と問題を放置して思考を停止してしまったのではないのでしょうか？

自然科学の実験は、いつでもうまくいくわけではありません。むしろ失敗することの方が普通です。どこにうまくいかない原因があるのか、あるいは実験仮説に誤りがあるのではないかを考察することによって真理に近づくことができたはずです。人為的 CO₂ 地球温暖化説を絶対視し、科学の問題として批判することを許さない社会的雰囲気もあるでしょうが、問題を放置した教師や研究者、善意の大人たちの責任は小さくありません。

ペットボトル実験とは、簡単な道具立てで自然科学の実験を装って、外形的に「CO₂の温室効果に見えそうな現象」を子供たちにショーアップして見せるための仕掛けにすぎない様です。子供たちを CO₂ 温暖化説に洗脳することを目的とした見世物です。

洗脳することが本来の目的ではなかったにしても、結果として自然科学的な判断能力の未熟な児童生徒に対して、自然科学的に明確な説明のできない劣悪な見世物によって誤った情報による洗脳に加担した研究者・教師・環境 NGO の責任は重大です。

【 参考文献 】

- 1) 【自由研究・地学】二酸化炭素の性質から地球温暖化の原因を探る ReseMom
<https://resemom.jp/article/2018/07/23/45806.html>
- 2) 実験 1 温室効果 さぬき市立大川第一中学校
http://www.sanuki.ed.jp/ookawa1-j/pcc/h20mediapost/3index_2.html
- 3) 地球温暖化のデモンストレーション実験 東京理科大学川村研究室
<https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~elegance/jikkensp10/onndannka.html>
- 4) 二酸化炭素の性質（保温効果）を調べよう 香川大学教育学部
https://www.ed.kagawa-u.ac.jp/~cst/activity/img/card/yagi_2.pdf
- 5) 温室効果ガスの検証実験と中学校における教材化に向けた基礎研究
弘前大学教育学部紀要 第104号：45～51（2010年10月）
- 6) 二酸化炭素の温室効果を確かめる 神奈川県立横浜桜陽高等学校教諭鈴木正明
https://www.chart.co.jp/subject/rika/scnet/18/sc18_4.pdf
- 7) 二酸化炭素の温度変化実験 Weather Information Technology Research & Development <http://www.ny.airnet.ne.jp/satoh/expmkidsEX.htm>
- 8) 槌田敦 CO₂温暖化説は間違っている ほたる出版 2006
- 9) 近藤邦明 検証温暖化 不知火書房 2019
- 10) 地球環境化学 実教出版 2012

4

地球温暖化の虚と実

ここまで、地球の気候変動の歴史、大気中の CO₂ 濃度の変動機構、地球大気の温室効果について科学的に検証してきました。現在、広く事実として信じられている「人為的 CO₂ 地球温暖化の脅威」に関する膨大な情報の多くは自然科学的な合理性がないことがわかりました。

人為的 CO₂ 地球温暖化という現象が起きていないのなら、現実を観測されている産業革命以降の気温上昇や、近年の日本の異常な高温はどうして起こっているのでしょうか。

本章では第 I 部の総括として、虚像の温暖化と現実に行っている温暖化について整理することにします。

4-1 人為的 CO₂ 地球温暖化は虚像

CO₂の増加の影響はごくわずか

産業革命以降の大気中 CO₂ 濃度の 100ppm 余りの上昇は、主に気温上昇によって海洋と大気を巡る CO₂ 循環が活発になったことが原因です。人為的に放出した CO₂ の影響は 10% 程度です。

現在の大气中 CO₂ 濃度 400ppm の内、人為的に放出した CO₂ の占める割合は 3% 程度です。人為的な放出をゼロにしても、削減できるのは高々 12ppm 程度です。CO₂ 濃度の上昇を防ぐ対策として、社会システムが放出する CO₂ を抑制することに実効性はありません。

地球大気の温室効果の主役は水蒸気 H₂O です。CO₂ による影響は全温室効果の 5% に満たないと考えられています。

地球大気の温室効果の 5% 程度を担う 400ppm の CO₂ に対して、人為的に放出した CO₂ の占める割合は 3% 程度です。CO₂ 濃度が温室効果に対して線形的に働くと仮定した場合、全温室効果に対する人為的に放出した CO₂ の効果は僅かに 0.15% ($=5 \times 3 \times 10^{-2} \%$) です。温室効果による気温上昇を 34°C とすると、人為的な影響は 0.05°C 程度であり、ほとんど誤差の範囲と言ってよいでしょう。

産業革命以降の 1°C 程度の気温上昇の主要な原因が人為的に放出した CO₂ であり、今世紀末には更に最大 4.0°C の気温上昇をもたらす可能性があるという人為的 CO₂ 地球温暖化説の主張は現実とかけはなれた内容です。

CO₂ 濃度の増加は気温を低下させる

それでも、「CO₂ は温室効果ガスなのだから、多少なりとも CO₂ 増加の影響で気温は上がっているはず」だという主張もあります。

CO₂ は赤外活性を持つ気体なので、大気中濃度が上昇すれば、地表面放射の吸収が多くなります。しかし、地表面付近の大気中では H₂O による吸収が圧倒的に多く、CO₂ 濃度増加による影響が現れるのは H₂O による吸収帯域と重ならない部分に限られるため、大気の赤外線吸収率の上昇はごくわずかです。

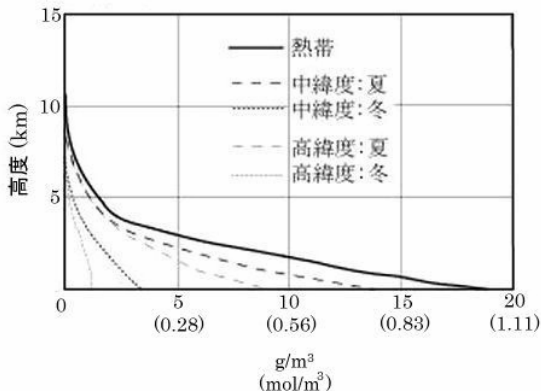


図 4-1 高度に対する水蒸気密度の変化

一方、図 4-1 に示すように、低温の対流圏上層大気に含まれる H_2O の分子密度は地表付近に比較して極端に低くなります。図 4-1 から、中緯度の夏の地表付近の密度を $13(\text{g}/\text{m}^3)$ とすると大気中濃度は

$$\frac{22400(\text{ml}/\text{mol}) \times 13(\text{g}/\text{m}^3)}{18(\text{g}/\text{mol})} = 16178(\text{ppm})$$

CO_2 の 40 倍の濃度です。高度 5km の密度は $1(\text{g}/\text{m}^3)$ 程度であり、

$$\frac{22400(\text{ml}/\text{mol}) \times 1(\text{g}/\text{m}^3)}{18(\text{g}/\text{mol})} = 1244(\text{ppm})$$

CO_2 濃度の 3 倍程度にまで低下します。大気からの上向きの熱放射による宇宙空間への放熱が行われる更に上空では CO_2 濃度と同程度あるいは低くなります。

高度の上昇に伴って、 H_2O の分子密度が急激に低下するため赤外線放射の射出率あるいはその帯域幅は著しく小さく、狭くなります (図 3-17 参照)。 CO_2 からの赤外線放射の帯域と重なる範囲が減少するため、 CO_2 濃度上昇による赤外線放射率の増加の大部分が大気の赤外線放射率の増加につながります。

大気中の CO_2 濃度が増加した場合、地表面放射に対する大気による吸収量の増加率に比較して、相対的に対流圏上層大気の赤外線放射量の増加率の方が大きくなります。したがって、大気中 CO_2 濃度の増加は、むしろ気温を低下させ

る要因になります。

人為的 CO₂ 地球温暖化説では、大気の温室効果について、地表面放射を吸収する側面ばかりに注目が集まり、CO₂ 濃度の増大は気温の上昇に直結するという短絡的な解釈が広がっています。

これは、実在の赤外活性気体それぞれに固有の波長に対する吸収・射出特性や相変化の影響、対流圏上層大気からの赤外線放射による放熱の影響を軽視しているからです。気象研究者は、数値計算を簡単にするために自ら導入した、実際の大气から波長や温度に対する依存性や物性を捨象した数値計算の仮想空間の中にだけ存在している灰色大気という虚構の陥穽にとらわれているのです。

いずれにしても、地球大気の温室効果に対して、人為的に放出した CO₂ による寄与は 0.15% 程度であり、問題にする必要はありません。人為的 CO₂ 地球温暖化はなかったのです。

近年、局地的な異常高温のニュースが必要以上に大きく報道されています。自然科学的で冷静な分析が行われることなく、短絡的に人為的 CO₂ 地球温暖化の影響だとセンセーショナルに語られています。

地球上では平均的な気候が続いているわけではありません。常に異常高温、異常低温が観測されることが常態です。異常気象とは、統計的に 30 年に 1 度程度の頻度で出現する気象現象のことであって、地球の長い歴史の中では取り立てて『異常』なことではありません。

局所的な異常高温と地球規模の全般的な気温上昇には、個別の具体的な検討を行わない限り、直接的な因果関係を説明することは出来ません。また、仮に全地球規模で高温化が進行しているとしても、ここで検討したように、人為的に放出した CO₂ による影響ではありません。

4-2 気温変動の主要な原因は太陽活動の変動

地球の公転運動の軌道要素の変動

人為的 CO₂ 地球温暖化はなかったことがわかりました。しかし、確かに産業革命以降、地球の気温は上昇傾向を示しているのは事実です。

3 章で見たように、地球の表面環境の温度は太陽放射から受け取るエネルギーによって保たれています。太陽放射から地球が受け取るエネルギー量は一定ではなく、様々な時間スケールで変化しています。

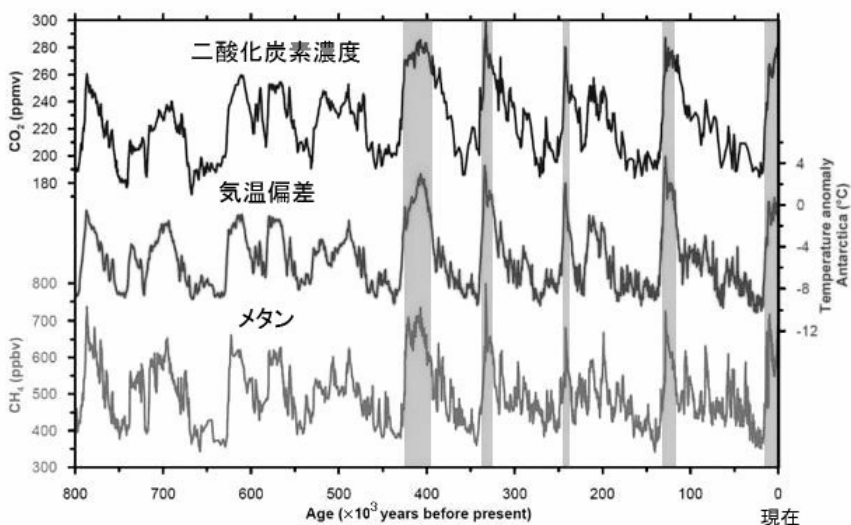


図 1-4 ミランコビッチサイクルによる気温変動(再出)

図 1-4 は南極ポストーク基地付近で採取したアイスコアの成分分析から復元した CO₂ 濃度、気温、CH₄ 濃度の変動です。ここに見られる周期的な気温変動は、太陽の周りを公転する地球の惑星運動の変動によって太陽放射に対する受光能が変化することで生じています。この惑星運動の周期的な変動をミランコビッチサイクルと呼びます。具体的には、太陽を巡る公転軌道の扁平率の変動、地軸の公転面に対する角度の変動、地軸の歳差運動による変動が含まれま

す。ミランコビッチサイクルによる気温変動の周期は 10 万年程度です。

太陽活性度の変動

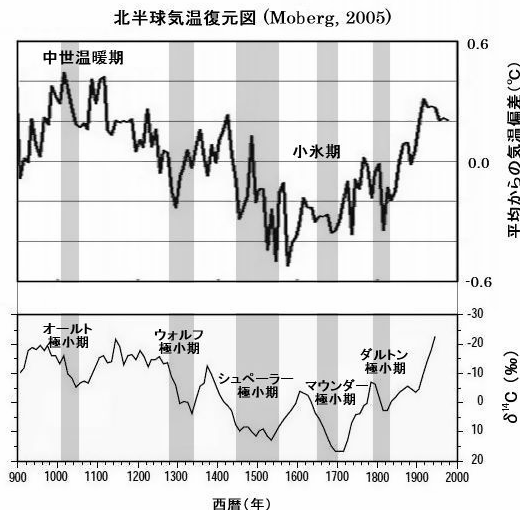


図 4-2 太陽活動と気温変動

もう少し短い気温変動は、太陽活動自体の変化によって生じています。有史以降、過去 1000 年間程度の気温変動と炭素の同位体である $\delta^{14}\text{C}$ の変動を図 4-2 に示します。 ^{14}C は大気中の窒素 ^{14}N に宇宙線が衝突することによって生じる核種変換によって生成します。 $\delta^{14}\text{C}$ の変動と太陽活動の変動は逆相関関係を示します。 $\delta^{14}\text{C}$ が大きな値を示す時期は太陽活動が弱く、 $\delta^{14}\text{C}$ が小さな値を示す時期は太陽活動が活発です。太陽活動と気温変動は同期して変動していることがわかります。

このように、過去の気温と太陽活動の変動を比較すると、両者の間には明確な因果関係があることは疑いようもありません。それにもかかわらず、人為的 CO_2 地球温暖化説では、なぜ産業革命以降の気温変動については太陽活動の影響ではなく、 CO_2 濃度変化の影響であると主張されているのでしょうか？

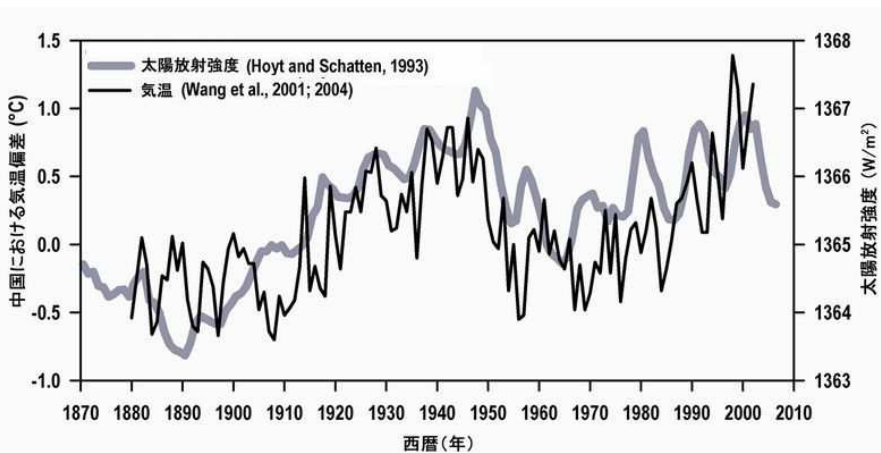


図 4-3 太陽放射強度と気温の変動

図 4-3 は産業革命以降の太陽放射強度と気温の変動傾向を比較したものです。太陽放射強度は気温と同じような変動傾向を示しています。1950 年前後に極大期を示したのち、1970 年代を底とする極小期を示し、再び 1900 年代末にかけて上昇傾向を示しています。この図を見る限り、産業革命以降も太陽活動の消長によって気温が変動していると考えるのが自然です。

図 4-3 の範囲で、気温が 1.5°C 程度の変動を示しているのに対して、太陽放射強度は $3\text{W}/\text{m}^2$ 程度の変動を示しています。人為的 CO_2 地球温暖化説を主張する研究者は、 $3\text{W}/\text{m}^2$ 程度、割合にすると 0.2% 程度の変動では、これほど大きな気温変動を説明できないと言います。

しかし、それは産業革命以前の気温変動についても言えることであり、産業革命以降の気温変動に限った特殊な現象ではありません。本来ならば産業革命以前の気温の変動機構を明らかにしたうえで、それでもなお産業革命後の気温変動に特殊性があるならば、そこで新たな原因を考慮すべきでした。

確かに、単純に太陽放射強度の変動だけでは気温変動を説明できないのは事実です。しかし、図 4-2、図 4-3 に示すように、明らかに太陽活動の消長と気温は同期して変動しています。太陽活動の消長に伴って変動する太陽放射強度以外の要因を検討すべきであったと考えます。

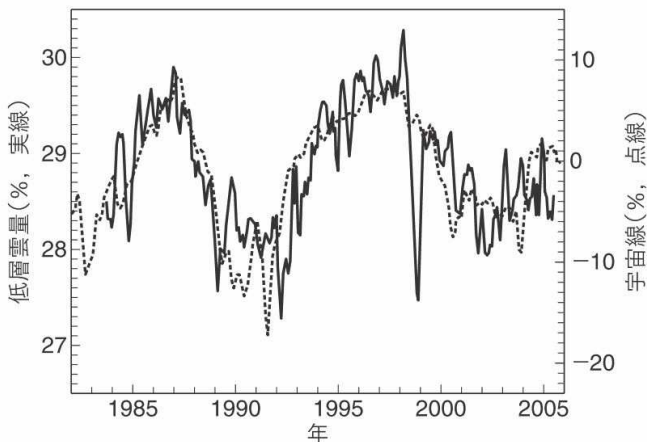


図 4-4 低層雲量と宇宙線の変動

近年、宇宙からの地球観測という新たな手段を得たことで、地球を覆う雲量の測定が可能になりました。その結果、図 4-4 に示すように、地球の低層雲量は地球に侵入する宇宙線量と同期して変化することがわかりました。宇宙線量は太陽の活性度と逆相関を示します。したがって、太陽活動が活発な時は雲が少なく、太陽活動が不活発な時は雲が多いのです。この現象はスベンスマルク効果と呼ばれています (H. Svensmark: *Astron. Geophys.*, 48, 118 (2007))。

スベンスマルク効果は有効太陽放射に対して正のフィードバック効果を示します。したがって、太陽放射強度の変動以上に有効太陽放射の変動を拡大することになります。スベンスマルク効果を考慮することによって、太陽活動の消長によって気温変動を十分説明可能になったのです。気温変動の大きさを説明するために、気温変動に同期していない人為的な CO_2 放出による温室効果の増大という苦しい理論を敢えて導入する必要はないのです。

地球温暖化と局所的異常気象

これまで、人為的 CO_2 地球温暖化について検討してきました。その結果、大気中 CO_2 濃度の上昇の主因は自然変動であること、大気中 CO_2 濃度上昇による大気の赤外活性の変化は気温を上昇させるよりもむしろ低下させる要因にな

る可能性の方が高いことを示しました。結論として、人為的な CO₂ 放出によって全地球規模で気温が上昇することはあり得ない、ということです。

近年、局所的、一時的な異常高温などの気象現象が現れると、個別に自然科学的な検討することなく人為的 CO₂ 地球温暖化の影響であるかのように報道されています。しかし、これは何の自然科学的な必然性のない暴論であり、本当の原因を見誤ることになります。

そもそも、局所的、一時的な異常気象と全地球規模の気温変動との間の直接的な因果関係を一般的に説明することは不可能です。局所的、一時的な異常高温が観測された場合、その原因は個別具体的な検証作業によってはじめて特定できるのだということを銘記しておかなければなりません。

検証の結果、人為的な影響ではない自然変動としての異常気象に対しては、人間社会は受動的に対応する以外にないということも理解すべきです。すべてを人間にとって望ましい方向にコントロール可能だと考えるのは傲慢です。

一方、人為的な影響による局所的な異常高温現象は確かに実在します。これについては、その原因を個別具体的に特定し、解決すべきです。次節ではいくつかの実例を示すことにします。

4-3 人為的な原因による高温化

これまで見てきたように、地球規模の気温変動に対して人為的な CO₂ 放出の影響は主要な原因ではないことがわかりました。しかし、人口の爆発的な増加を含めて、人間社会の膨張、都市化・工業化の進行、森林破壊、農地開発などによって地表面環境の改変が進んでいます。

こうした人間社会の開発行為が地表面環境の大気水循環を乱し、その影響が地球規模の大気水循環システムの異常を引き起こし、異常気象につながっている可能性は否定できません。

都市化による異常高温

近年の日本の都市部では異常な高温化が進んでいることを実感します。地球規模で見ると、産業革命以降の気温上昇は 0.6°C~1.0°C 程度とされています。これに対して同期間に日本の都市部では 3.0°C 以上の気温上昇が観測されています。

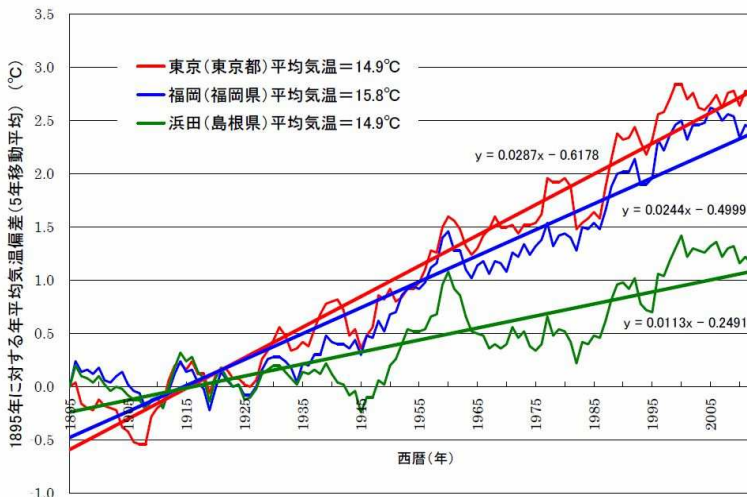


図 4-5 日本の気温変動

図 4-5 は 1895 年から 2012 年の気温変動を示しています。日本国内でも、特に都市化が進んでいる東京や福岡などの大都市の気温上昇が大きいことがわかります。これは都市化に伴う局所的な温度上昇であるヒートアイランド現象です。

日本では、人口が都市部に異常に集中しています。東京・名古屋・関西の三大都市圏だけで全人口の 5 割以上が暮らしています。地方中核都市まで含めると都市部の人口は 8 割以上になります。したがって、日本国民の大多数が近年の異常な高温化を実感し、これを人為的 CO₂ 地球温暖化の影響だと勘違いしています。

日本の都市部で観測されている局所的な異常高温の原因は単一ではありません。主要な原因を列举すると以下の通りです。

①人口エネルギーの大量消費

日本は世界有数の工業的エネルギーの消費国です。2017 年度の一次エネルギー消費は $20.03 \times 10^{18} \text{J}$ です。日本の国土面積を 377900km^2 、人が住める平地面積の割合を 30% とした場合、人の住む環境の単位面積当たりのエネルギー消費量は 5.6W/m^2 になります。大都市部では平均の 5 倍程度のエネルギーを消費すると仮定すると実に 28W/m^2 を消費していることになります。工業的なエネルギーは最終的にすべて排熱になり、環境の温度を上昇させます。人工排熱がない場合の地表面温度は

$$T = \sqrt[4]{\frac{341.5 \times (114/100)}{5.67 \times 10^{-8}}} = 287.9 \text{ (K)} = 14.9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

でした。これに人工排熱を加えた場合には、

$$T = \sqrt[4]{\frac{341.5 \times (114/100) + 28}{5.67 \times 10^{-8}}} = 292.9 \text{ (K)} = 19.9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

5°C の温度上昇となります。人工エネルギー大量消費による気温上昇は、大都市部の局所的な気温上昇に限られます。

②地表面環境の乾燥化

地表面は蒸発によって冷やされています。図 3-13 から、 341.5W/m^2 を 100 とした場合、蒸発による放熱量は 23 です。これは地球の表面から 1 年間に約

1000mmの水が蒸発することに対応しています。その冷却効果は78.5W/m²に相当します。

都市化によって、地表面は舗装され、雨水は速やかに地表面から排除されるようになり、地表面から蒸発する雨水は激減しました。仮に、都市部では地表面からの蒸発量が半減したと仮定すると、失われた冷却効果は39.3 W/m²になります。失われた蒸発による冷却効果を地表面放射が肩代わりした場合、地表面温度は、

$$T = \sqrt[4]{\frac{341.5 \times (114/100) + 39.3}{5.67 \times 10^{-8}}} = 294.9 (K) = 21.9 (^\circ C)$$

7°Cの温度上昇となります。地表面の乾燥化による気温上昇は、大都市に限らず、地表面舗装と排水システムを整え、緑地の減少した地方都市でも見られる現象です。

③人工構造物による蓄熱

都市部には巨大な人工構造物が密集して建てられています。これが昼間の太陽放射を蓄積し、夜間に放熱することで気温の低下を妨げます。

これらの複合した効果としてヒートアイランド現象という都市部で局所的な異常高温化が起きています。

ヒートアイランド現象を個別に見れば局所的な問題ですが、欧州地域、東アジア地域、北米沿岸地域など、エネルギー多消費型の都市が集まった地域では、大気水循環の異変を引き起こし、地球の大気大循環を乱すことで異常気象の原因となっている可能性は否定できません。

このヒートアイランド現象は原因の明らかな温暖化であり、人間社会が本気で対応策を実行すれば速やかに解消することが可能です。しかしそれは、都市住民に対して都会的で快適な社会・生活環境を放棄することを求めることになります。

穿った見方をすれば、日本の経済最優先の政策と不可分のヒートアイランド現象による異常温暖化を隠蔽し、「快適な都市生活」を放棄することを避けるために、日常感覚とは乖離した地球規模の異常温暖化という虚構である人為的CO₂地球温暖化説を利用しているようにも思えます。

砂漠化の進行による乾燥化

ヒートアイランド現象が都市化された環境の局所的な異常昇温であるのに対して、森林や農地における開発や土壌の酷使によって生じる砂漠化は広範囲にわたって気温上昇をもたらす大気水循環を大きく変えることで地球規模の気象変動につながる危険性が高いと考えられます。

現在、途上国の発展に伴って、都市建設のための森林の大規模な皆伐、用材を得るための伐採、食糧増産のための焼き畑を含めた農地開発のための森林の大規模な伐採などによって、森林面積は減少を続けています。

一旦、地表面の植生を失うと、表土が流亡し保水力を失い乾燥化が進み、やがて砂漠化が進行します。広範囲に砂漠化が起きると地表面温度が上昇する一方、地表面放射による放熱が大きくなり気温の日較差が大きくなります。乾燥した大気は温度減率は大きく、上空の大気は冷たく重くなり安定した高圧帯になって下降気流が吹くため、ますます雨が降らなくなります。

アジア・アフリカを中心に、途上国の生活水準の向上と人口増加によって必要となる食糧が増加しています。これを賄うために限界的な農地の酷使、焼き畑農法による森林の利用によって、砂漠化が進行しています。食糧生産と直結したいわば生きるための開発行為が砂漠化の進行をもたらすという意味で、ヒートアイランド現象よりも深刻な問題を含んでいます。

Ⅱ. 誤った温暖化対策

5

CO₂削減技術の科学的検証

人為的 CO₂ 地球温暖化の狂騒状態によって「環境問題＝人為的 CO₂ 地球温暖化の脅威」という単純な図式が定着し、環境問題は CO₂ 放出問題に矮小化されることになりました。

地球環境に致命的な悪影響を及ぼす異常な高温化をもたらすという人為的 CO₂ 地球温暖化を防ぐための対策として、生産性の低さから一度は実用化を放棄された再生可能エネルギー発電が再び脚光を浴びることになりました。

その副産物として、再生可能エネルギー発電技術と情報技術の更なる高度化、工業化社会の普遍化によって、エネルギー資源の枯渇による工業文明の限界は克服できるという幻想が広まり、資本主義社会はさらなる経済成長を進めようとしています。

4 章までの検討で人為的 CO₂ 地球温暖化説は間違いであり、「人為的な CO₂ の放出による全地球的な高温化による脅威」は杞憂であることがわかりました。温暖化対策としての CO₂ 放出量削減は無意味です。

しかし、非常に優れたエネルギー資源である化石燃料は希少で有限の資源です。その意味で、できるだけ化石燃料の消費量を減らし、将来世代に温存することは正しい選択です。

本章では現在パリ協定の下で進められようとしている再生可能エネルギー発電に代表される CO₂ 放出量削減技術の大規模な導入について、その科学的な妥当性を検証することになります。

5-1 脱化石燃料の潮流

1970年代に2度の石油危機を経験し、資源の枯渇や環境の悪化について現実感を持って受け止め、真摯に工業化社会の限界に向き合い、省資源、省エネルギー＝肥大化した工業化社会からの脱却を目指す機運が芽生えそうになった時代がありました。同時に、化石燃料に頼らないエネルギー供給技術の研究が本格的に開始されました。

日本では1970年代に槌田敦によってエントロピー論に基づく「資源物理学」が創始され、生産についての物理学の理論が確立されました。槌田や数理経済学の室田武は、当時石油代替エネルギーと目されていた原子力発電、太陽光発電、風力発電などについて分析を行い、すべての石油代替エネルギーは石油の浪費を加速する「間接火力発電」にすぎないことを理論的に示しました。

日本政府によって1974年に開始された再生可能エネルギー利用技術の開発プロジェクトであった「サンシャイン計画」は、槌田らの分析通り、あまりにも生産性が低かったために大失敗して頓挫しました。その後、日本は原子力発電を急速に拡大することになりました。

しかし、1979年3月28日に米国スリーマイル島原発事故が起こり、核燃料のメルトダウンが現実のものとなりました。1986年4月26日には旧ソ連チェルノブイリ原発で核爆発を伴う事故が起こり、放射性物質が欧州を中心に世界中に拡散しました。

一連の原発事故を受けて、欧米を中心に原子力発電を忌避する雰囲気が広がり、特に欧州では脱原発の動きが活発になりました。米国でも原子力産業は新規受注が激減する事態となりました。

このような時期に人為的CO₂地球温暖化説が注目を集めるようになり、1992年にリオデジャネイロで「環境と開発に関する国際連合会議」が開催され、その後の「気候変動に関する国際連合枠組条約」につながりました。「予防原則」を拠り所として、自然科学的に立証されていなかった人為的CO₂地球温暖化説という出来の悪い仮説が事実であるという前提で世界を律する国際条約がまとめられるという前代未聞の愚行が強行されました。

気候変動枠組条約では温室効果ガス、とりわけCO₂の排出量削減の数値目標

が打ち出されました。これを受けて、温暖化防止のためには発電段階で CO₂ を放出しない「クリーン」な原子力発電や再生可能エネルギー発電に再び注目が集まることになりました。

一説には、斜陽にあった米国の原子力関連企業が、気候変動枠組条約に CO₂ 放出への規制を盛り込むために、人為的 CO₂ 地球温暖化説を強力に支持したのではないかとされています。脱原発にシフトしつつあった欧州諸国は風力発電や太陽光発電を積極的に推し進めることになりました。

そして日本では、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による巨大な津波に襲われた福島第一原発において、電源喪失によって冷却能力が失われ、爆発を伴う核燃料のメルトダウン事故が起きました。今も放出された放射性物質による汚染と後処理に苦しんでいます。福島第一原発事故を受けて、日本国民の間にも脱原発の機運が芽生えました。

その後、高速増殖炉もんじゅの廃炉によって、高速増殖炉核燃料サイクルの実現は不可能になりました。日本の原子力政策は、技術的な前提であった高速増殖炉核燃料サイクル技術の確立が不可能となり、導入の合理性を完全に失いました。それでも電力業界・電力関連の労働組合は温暖化対策と電力の安定供給のために原子力発電はまだ必要であると主張しています。

福島第一原発事故後、元総理大臣であった小泉純一郎は「原発は危険でありしかも高価である」と主張しています。権力の中核にいて日本の原子力政策のすべてを知る立場にあった小泉の主張は重く受けとめるべきです。

原子力発電は熱効率の低い汽力発電であり、発電用燃料として化石燃料を使わないだけで、運用のためには火力発電以上に化石燃料を消費します。高速増殖炉核燃料サイクルの実現が事実上不可能となった現在、CO₂ 温暖化対策としても、原子力発電の存在の合理性は失われました。原子力については、もはやこれ以上の検討は必要ありません。

福島第一原発事故後、表向きには保守政党を含めてすべての政党は、原子力発電を積極的に推し進める従来の方針を改め、人為的 CO₂ 地球温暖化対策として、火力発電を削減し、再生可能エネルギー発電の導入を積極的に推進する立場を表明しています。

保守政党は原子力発電について、エネルギーの安定供給のために再生可能エネルギー発電の補完発電方式として必要であり、暫定的に容認するとしています。電力関連の労働組合を支持母体に抱える野党は、既に存在の合理性を失っている原子力発電に対して正面から批判することができず、保守政党が再生可能エネルギー発電の導入に消極的だという批判に終始するだけです。その結果、野党は保守政党以上に再生可能エネルギー発電の導入に前のめりになり、科学的で合理的な判断ができなくなっています。

エネルギー供給の脱化石燃料化には二つの潮流があります。

一つは有限の地下資源に頼っている工業生産に基づく現在の豊かさを、化石燃料が枯渇した後も永續させたいという技術的な願望を実現するための潮流です。これは産業革命以降、繰り返し語られてきた古くからの問題です。技術的な視点からの再生可能エネルギー利用の検討は、1970年代の石油危機後～1980年代にピークを迎えました。1980年代には現在再生可能エネルギー発電として脚光を浴びているほとんど全ての技術について既に検討が行われました。しかし、あまりにも生産性が低く高価であったことから実用的な導入に合理性はないと判断されました。

もう一つは人為的 CO₂ 地球温暖化の脅威という虚像に怯え、闇雲に化石燃料の消費を忌避するいわば科学に基づかない宗教的な潮流です。理念ばかりが先行した再生可能エネルギー発電の政策的な導入では、技術的な検討がおろそかにされる一方で、国家予算が重点的に投入されることになりました。企業は、この「温暖化対策マネー」をできるだけ多く獲得するために、狂奔しています。こうした人為的 CO₂ 地球温暖化の狂騒状態の中で、再生可能エネルギー発電を中心とする CO₂ 放出削減技術の自然科学的な検討はおろそかにされたままです。

5-2 再生可能エネルギー発電の特性

CO₂放出量の削減対策として、最も注目されている技術が「再生可能エネルギー発電」です。まずその一般的な特性をまとめておくことにします。

自然エネルギーの特性

再生可能エネルギー発電として、ある程度導入が進んでいるのは風力発電と太陽光発電です。その他に潮流を使うもの、干満差を利用するものなどがあります。これらをまとめると自然エネルギー発電ということになります（水力発電と地熱発電も自然エネルギーですが、ここでは除外しておきます。）。自然エネルギーの一般的な特性をまとめておきます。

①予測不能な不規則変動

自然エネルギーは究極的には太陽光と地球の惑星としての運動に起因しています。その強さは地球の自転周期や太陽を巡る公転周期、地球を巡る月の公転周期に応じて周期的に変動します。さらに、天候によって短期的に不規則な変動をします。

工業的に供給されるエネルギーに必要な機能は、使いたいときに使いたいだけの量が使えることです。言い換えれば、供給されるエネルギー量を完全に制御できることが必要です。特に電気エネルギーは貯めておくことができないため、電力需要に電力供給量をできるだけ一致させることが必要です。電力供給は常に少し先の電力需要を予測しながら、需要と供給の差を数%内に抑えるように発電量を調整するという繊細な運用が行われています。

予測不能でしかも制御不能な不規則変動する自然エネルギーを発電に利用することは究極のミスマッチです。既存の繊細に制御されている電力供給ネットワークに自然エネルギー発電電力を組み込むことは、それだけで過大な負担になることは容易に想像できます。

変動する自然エネルギー発電を電力供給ネットワークに接続するには、自然エネルギー発電の予測不能な不規則変動を緩和することが必要です。そのためには、制御可能な火力発電や水力発電の出力調整だけでは不十分であり、何ら

かの付帯的な緩衝システムを追加することが必要になります。

また、自然エネルギーは非常に大きく変動するため、必然的に設備利用率が低くなります。風力発電では発電装置自体が破損しないようにするために、自然エネルギーのピーク（あるいはピーク・カットする場合はその上限）値を想定した発電設備が必要になります。

②低いエネルギー密度

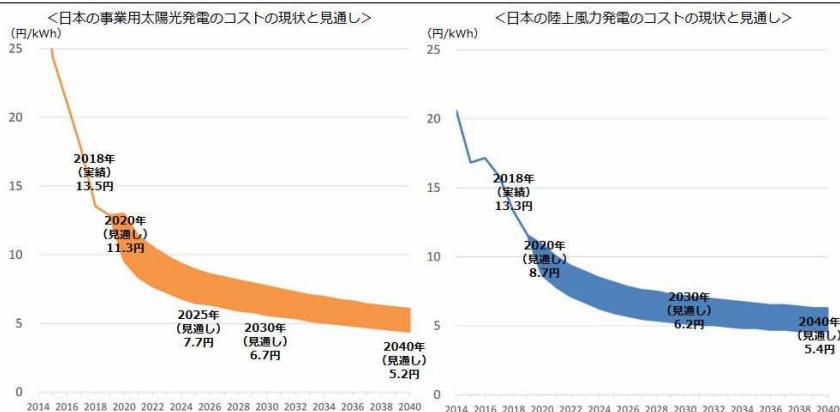
自然エネルギーは私たちの身の回りのどこにでもあるありふれた存在であり、生身の動物がその中で暮らせる程度の密度の低いエネルギーです。自然エネルギー自体はそのままでは工業的・経済的な価値がない「自由財」です。工業的に利用できるエネルギー密度で大量の電力を生産するための装置は巨大なものになります。単位供給電力量当たりの施設規模は、火力発電に比較して圧倒的に大きくなります。

再生可能エネルギー発電原価

②日本の動向：再生可能エネルギーのコストの状況

13

- 民間調査機関のデータによると、現状の発電コストは、**事業用太陽光発電で2018年13.5円/kWh、風力発電で2018年13.3円/kWh程度**となっている。
- また、発電コストの見通しとしては、**事業用太陽光発電で2030年6.7円/kWh、風力発電で2030年6.2円/kWh程度**といった水準が示されている。



※Bloomberg NEFデータより資源エネルギー庁作成。2020年以降は見通し。資金調達コストを踏まえた割引率は太陽光：3%、風力：4%程度で計算。1\$=110円換算で計算。
 なお、Bloomberg NEFの推計は、日本の2020年度までは現行のFIT制度、2020年度以降はFIT制度からの自立化を前提としている。見通しのコストの値は、上位ケースと下位ケースの中央値。

図 5-1 政府統計による再生可能エネルギー発電の電力原価

政府のエネルギー統計（2019年9月資源エネルギー庁「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案」）によると、太陽光発電原価は13.5円/kWh、風力発電原価は13.3円/kWh（2018年現在）ということになっています（図5-1参照）。

現在日本では、再生可能エネルギー発電の導入を促進するための財源を確保するために、すべての電力消費者から「再生可能エネルギー発電促進賦課金」が徴収されています。再生可能エネルギー発電促進賦課金の目的について、次のように説明されています。

「再生可能エネルギー発電促進賦課金」（電気料金の一部）とは、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」によって電力の買取りに要した費用を、電気をご使用のお客さまに、電気のご使用量に応じてご負担いただくものです。

（引用：再生可能エネルギー発電促進賦課金 | 関西電力）

2019年度に再生可能エネルギー発電促進賦課金は2.95円/kWhに引き上げられ、年間3兆円程度が徴収されています。2020年度は再生可能エネルギー発電促進賦課金がまた値上げされることとなります。

日本の一年間当たりの総発電量は、 $1,020 \times 10^9 \text{kWh}$ 程度です。その内、再生可能エネルギー発電によって供給される電力量は8%、

$$1,020 \times 10^9 \text{kWh} \times 8\% = 8.16 \times 10^{10} \text{kWh}$$

程度です。したがって、再生可能エネルギー発電電力量1kWh当たりの賦課金額は、

$$3 \times 10^{12} \text{円} \div 8.16 \times 10^{10} \text{kWh} = 36.8 \text{円/kWh}$$

になります。

通常の電力原価では賄えないコストを再生可能エネルギー発電促進賦課金で補填するので、通常の電力原価10円/kWh程度に、さらに賦課金額36.8円/kWhを加え合わせた46.8円/kWh程度が再生可能エネルギー発電電力の平均的な電力会社による購入価格ということになります。

2019年に稼働開始した大分県日出町のメガソーラー発電所は、安い里山の山林に中国製の安いソーラーパネルを使用して建設されました。九州電力による電力買取価格は40円/kWh程度です。冒頭で示した政府統計の数値は現実とかげ離れているようです。

もしも政府統計が言うように太陽光発電原価が 13.5 円/kWh、風力発電原価が 13.3 円/kWh であれば、そもそも再生可能エネルギー発電促進賦課金の徴収は必要ありません。以下の検討では、再生可能エネルギー発電の原価を 45 円/kWh 程度であるとします。

このように、再生可能エネルギー発電電力は従来の火力発電に比較して発電コストが大きくなります。これは、再生可能エネルギー発電が火力発電に比べて圧倒的に大きな施設規模を必要とし、同時に工業的なエネルギー消費、つまり化石燃料の消費も少なくないことを反映しています。

以下、再生可能エネルギー発電として最も普及している太陽光発電と風力発電について具体的に検討することになります。

5-3 太陽光発電の実像

太陽光発電の設備利用率

自然エネルギー発電装置の定格出力に対する、稼働実績の平均出力の比率を「設備利用率」と呼びます。設備利用率が高いほど設備が有効に利用されていることを示します。

日本の太陽光発電の運用実績は 100～120 (kWh/m²年) 程度です。これは、面積 1m²の太陽光発電パネルが 1 年間に発電する電力量が 100～120kWh であることを示しています。これを基に、太陽光発電の平均的な設備利用率を求めることにします。

日本の位置を北緯 35 度とすると、南中時の平均太陽高度（春分、秋分の南中高度）は 55 度です。地球の大気圏外で太陽光に垂直な面に対する太陽放射照度を 1366W/m²、大気による反射・散乱による減衰を 30%とすると、地表面に到達する有効な太陽放射は次のように計算できます。

$$1366(W/m^2) \times \sin 55^\circ \times (1.0 - 0.3) = 783.3(W/m^2)$$

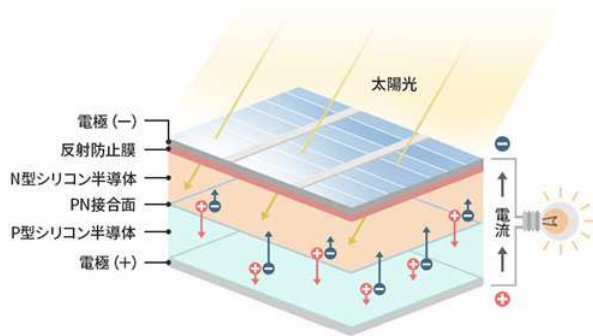


図 5-2 太陽光発電の仕組み(出典:TEPCO ホームページ)

太陽光発電は、受け取った太陽放射を半導体によって電気に変換することで発電します。太陽放射を受けたパネルの表面温度はかなり高温になります。真夏の快晴日の南中時には 65°C を超えることもあります。ここでは平均的な南中時のパネルの表面温度を 55°C と仮定します。パネル表面からは熱放射でエネル

ギーが放出されています。熱放射を黒体放射で近似すると次の通りです。

$$I = 5.67 \times 10^{-8} \times (273 + 55)^4 = 656.3 (W/m^2)$$

以上から、この場合の理想的な最大発電能力は有効太陽放射から熱放射を差し引くことによって求めることができます。

$$783.3 - 656.3 = 127 (W/m^2)$$

有効太陽放射に対する発電効率は次の通りです。

$$\frac{127.0}{783.3} = 0.162 = 16.2\%$$

実際にはその他にも損失があるので、ここでは発電効率を 15% と仮定しておきます。太陽光発電パネルの南中時の平均的な発電能力は、次の通りです。

$$783.3 W/m^2 \times 0.15 = 117.5 W/m^2$$

太陽光発電の運用実績から平均的な発電能力は次のように計算できます。

$$120 kWh/(m^2 \text{年}) = \frac{120 \times 1000 Wh}{m^2 \times 365 \text{日} \times 24 h/\text{日}} = 13.7 W/m^2$$

太陽光発電の設備利用率は次の通りです。

$$\text{設備利用率} = \frac{13.7 W/m^2}{117.5 W/m^2} = 0.117 = 11.7\%$$

太陽光発電は日中しか発電できないだけでなく、太陽高度の日変化や天候による出力変動が大きいいため、設備能力の 11.7% しか利用できないのです。ただでさえエネルギー密度が小さい自然エネルギーを利用するために巨大になる太陽光発電装置ですが、不規則な出力変動の影響によって、さらに平均的な出力に対して 10 倍近くの規模の発電設備が必要になるのです。

太陽光発電の設備規模

次に、具体的な太陽光発電の設備規模を、軽油を燃料として使用する定置型のディーゼル発電機と比較することにします。定格出力 300kW の定置型ディーゼル発電機の重量は 6t 程度です。

太陽光発電の実効発電能力は、13.7W/m² でした。300kW の平均出力を得るために必要な太陽光発電パネル面積は次の通りです。

$$\frac{300(kW)}{13.7(W/m^2)} = \frac{300,000(W)}{13.7(W/m^2)} = 21,898(m^2) = 148(m) \times 148(m)$$

148m 四方といえば、野球ができるほどの面積です。太陽光発電装置設置のための構造物の鋼材重量を、控えめな数値ですが 5kg/m^2 とすると、必要な総鋼材重量は次の通りです。

$$5\text{kg/m}^2 \times 21,898\text{m}^2 = 109,490\text{kg} = 109.5\text{t}$$

これに加えて、太陽光発電モジュールの重量は 12kg/m^2 程度です。総重量は次の通りです。

$$(5+12)\text{kg/m}^2 \times 21,898\text{m}^2 = 372,266\text{kg} = 372.3\text{t}$$

ディーゼル発電機を太陽光発電装置に置き換えることによって、重量比で 62 ($=372.3 \div 6$) 倍の設備規模が必要になります。工業生産量が爆発的に大きくなるのが容易に想像できます。

実際の主力の火力発電はディーゼル発電機とは形式が異なりますが、単位発電量当たりの設備規模はディーゼル発電機とそれほど大きな差はないと考えてよいでしょう。

全ての電力供給を太陽光発電で賄うことは出来ない

2016 年度の日本の最終エネルギー消費量は $13,622 \times 10^{15}\text{J}$ です。これを供給するために必要な平均的な発電能力は次の通りです。

$$\frac{13,622 \times 10^{15}(\text{J/年})}{365(\text{日/年}) \times 24(\text{時間/日}) \times 3600(\text{sec/時間})} = 4.320 \times 10^{11}(\text{W})$$

これをすべて太陽光発電の電力で供給する場合に必要な太陽光発電パネルの面積を求めると次の通りです。

$$\frac{4.320 \times 10^{11}(\text{W})}{13.7(\text{W/m}^2)} = 31.5 \times 10^9(\text{m}^2) = 3.15 \times 10^4(\text{km}^2)$$

これは日本の国土面積の 8.3%に相当します。実際には、太陽光発電施設を建設するためにはパネル面積よりも広い敷地が必要です。敷地面積がパネル面積の 1.5 倍程度必要だと仮定すると国土面積の 12.5%になります。日本の耕地面積は国土面積の 12%程度です。日本のすべての農地面積に匹敵するほどの面積を太陽光発電所にすることが必要になります。

太陽光発電で最終エネルギー消費をすべて賄う場合の1年間の費用を推定してみます。太陽光発電の設置費用を定格出力1kW当たり50万円^{註)}とします。設備利用率を11.7%とすると、供給電力1W当たりの設置費用は次の通りです。

$$\frac{50\text{万円}}{1\text{kW} \times 11.7\%} = \frac{500,000\text{円}}{1,000\text{W} \times 0.117} = 4.27 \times 10^3 \text{円/W}$$

最終エネルギーをすべて太陽光発電電力で賄うための設置費用は次の通りです。

$$4.27 \times 10^3 \text{円/W} \times 4.320 \times 10^{11} \text{W} = 1,845 \times 10^{12} \text{円} = 1,845 \text{兆円}$$

太陽光発電の耐用年数を20年間として、1年間に1/20ずつ更新すると1年間あたりの設置費用は92.3兆円です。運転費用を含めた太陽光発電施設の年間経費は100兆円を超えるでしょう。

ここで検討したのは、単純に現在のエネルギー需要を満たすために必要な、平均的な設備利用率を想定した場合の太陽光発電の施設規模およびその費用です。実際の運用では、更に需要の変動に対応するための発電能力、巨大な蓄電装置および出力調整システム、国土全体を覆いつくす高規格送電線網、再生可能エネルギー発電装置や関連施設の製造、建設に必要な工業生産力の増強などが必要です。これらすべての製造・建設・運用・メンテナンス等に必要とするすべてのエネルギーを含めたエネルギー需要は現在のエネルギー需要を大きく上回ることになります。それを賄うためには更に太陽光発電を増設しなければなりません。

再生可能エネルギー発電によってすべてのエネルギー供給を賄おうと闇雲に導入量を増やそうとすれば、やがて経済・社会システムだけでなく、自然環境・生態系全体が崩壊することになります。

鉱物資源や化石燃料の利用効率が極めて低い太陽光発電で、太陽光発電所建設・運用のために必要なエネルギー需要の増加分を含めた社会が必要とするすべてのエネルギー需要を満たすことは、たとえ日本の全国土を太陽光発電所で隙間なく埋め尽くしたとしても、実現不可能です。その理由は5-6節以降で考えることにします。

註) 太陽光発電の設備費用

5-3 節の検討から、太陽光発電電力の発電コストを 45 円/kWh と仮定します。太陽光発電装置の耐用年数を 20 年、設備利用率を 11.7% とすると、定格出力 1kW 当たりの生涯発電電力量は以下の通りです。

$$1kW \times 11.7\% \times 24h / \text{日} \times 365\text{日} / \text{年} \times 20\text{年} = 20,498kWh$$

発電コストの内、設備費用を 80% とすると、1kW 当たりの発電設備費用は次の通りです。

$$45\text{円} / kWh \times 80\% \times 20,498kWh = 737,928\text{円}$$

したがって、1kWh 当たりの設備費用 50 万円は控え目の価格です。

5-4 風力発電の実像

風力発電の設備利用率

風力発電は太陽光発電とは異なり、風さえ吹いていれば昼夜を問わず発電が可能です。しかし、風速は太陽放射以上に短時間で激しく変動します。

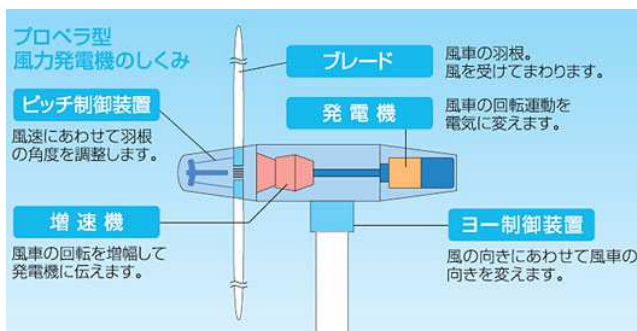


図 5-3 風力発電の仕組み(出典:中部電力ホームページ)

風力発電は大気の運動エネルギーの一部を捕捉して発電機を回すことで発電します。大気の流れる速さである風速を v (m/s)、風力発電風車のブレードの回転面の面積を A (m²)、大気の密度を ρ (kg/m³) とすると、風力発電風車のブレードの回転面を通過する単位時間当たりの大気の運動エネルギーは次のように表すことができます。

$$\frac{\rho A v^3}{2} \text{ (W)}$$

したがって、風力発電の発電出力は、風速の3乗に比例します。短時間に大きく変動する風速の更に3乗に比例する発電出力は非常に大きく変動することになります。

風力発電は風が弱いと発電することができません。ブレードが回転していない風力発電を見ることは珍しくありません。発電できる最低の風速をカットイン風速と呼びます。一方、風が強すぎれば発電能力を超え、発電機が破壊されます。それを防ぐために、ある程度の風速以上では発電を停止します。これを

カットアウト風速と呼びます。風力発電は、建設場所の風況の特性に合わせて、できるだけ設備利用率が高く、また発電量が多くなるようにカットイン風速とカットアウト風速を設定します。

横浜市の実際の風力発電「ハマウイング」の一日の発電実績を図 5-4 に示します。

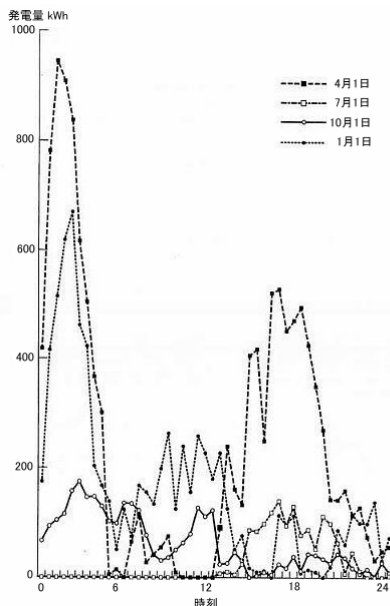


図 5-4 激しく変動する風力発電(出力 2MW 横浜市ハマウイング)

図 5-4 に示す通り、発電量は激しく変動していることがわかります。ハマウイングの定格発電能力は 2MW (2000kW) ですが、図 5-4 に示された 4 日間で、1MW に到達した時間帯さえないことがわかります。

風力発電では、建設場所の風況に対する最適化がむつかしく、多くの風力発電で予定発電量に届かず、経済的に破綻した例も少なくありません。

また、風のエネルギーを捕捉するブレードやタワーが野外の厳しい自然環境下に曝されるため、破損事故も少なくありません。ブレードへの落雷や強風での破損、あるいは台風時の強風によるタワーの倒壊、発電機からの出火による焼失事故も起こっています。アジアモンスーン帯に位置する日本では季節ごと

の風況の落差が大きく、風力発電を安定運用するにはかなり厳しい気象条件です。日本の風力発電の設備稼働率は高めに見積もって15%程度です。

風力発電の施設規模

例えばハマウイングと同規模の定格出力2MWの風力発電装置の場合、平均的な出力は次の通りです。

$$2\text{MW} \times 15\% = 2000\text{kW} \times 0.15 = 300\text{kW}$$

設備費用を節約するために発電装置を小さくすれば、突風が吹いたときに発電装置が過熱して火災事故になる危険性が大きくなります。



写真 5-1 定格出力2MWの風力発電「ハマウイング」

地上の平地に建設された風力発電の装置規模をハマウイングをモデルとして検討することにします。比較の対象は前出の300kW出力の定置型ディーゼル発電機の重量6tとします。

定格出力2MWのハマウイングのタワーの高さは80m程度、ブレード長40m程度（直径80m）です。建設に使われた鋼材重量は、発電機を含めて250t程度です。重量で比較すると、定格出力2MW風力発電装置はディーゼル発電機の41.7（ $=250 \div 6$ ）倍になります。

陸上に建設される風力発電装置であっても山地の稜線など立地条件が厳しくなると必要な資材量は更に増加します。洋上風力発電では地上風力発電よりも

格段に大規模な装置が必要になります (p.152 参照)。

全ての電力供給を風力発電で賄うことは出来ない

2016年度の日本の最終エネルギー消費量は $13,622 \times 10^{15} \text{J}$ でした。これを賄うために必要な発電施設の平均的な出力は $4.320 \times 10^{11} \text{(W)}$ です。これをすべて風力発電の電力で供給する場合に必要な発電施設の規模を推定してみます。

風力発電施設は、出力 2MW クラス、設備利用率 15%、平均出力 300kW とします。必要な風力発電の基数は次の通りです。

$$\frac{4.320 \times 10^8 (\text{kW})}{300 (\text{kW} / \text{基})} = 1.44 \times 10^6 (\text{基})$$

風力発電の設置密度を考えてみます。日本の国土面積は 37.79 万 km^2 なので、1 基当たりの面積は次の通りです。

$$\frac{0.3779 \times 10^6 (\text{km}^2)}{1.44 \times 10^6 (\text{基})} = 0.2624 (\text{km}^2 / \text{基}) = 262,400 (\text{m}^2 / \text{基}) = 512\text{m} \times 512\text{m} (/ \text{基})$$

つまり、山岳地帯、住宅地、市街地を含めた日本の全国土に対して、512m 四方に 1 基の割合で 2MW クラスの風力発電装置 (全高 120m、ブレード長 40m、回転直径 80m 程度) が林立することになります。

しかし、現実に風力発電施設を建設できるのは、市街地、工業地帯、住宅地、農地を除いた平地、あるいは急峻な山岳地帯を除いた里山なので、建設適地は限られます。144 万基もの風力発電施設を建設する用地を確保することはかなり難しいことです。現実の立地の選定では、更に風力発電に適した風況であることが必須の条件となるため、風力発電の建設適地はさらに狭まることになります。事実上、風力発電で現在のエネルギー消費を賄うことは不可能です。

実現は不可能ですが、仮に 144 万基の風力発電施設を運用する場合の 1 年間の費用を推定してみます。

2MW 風力発電施設の建設費を 1 基当たり 5 億円と仮定すると、144 万基の風力発電施設の総建設費は 720 兆円です。風力発電施設の耐用年数を 20 年間として、1 年間に 1/20 ずつ更新すると、1 年間あたりの建設費用は 36 兆円です。

2MW 風力発電施設の 1 年間あたりの運転経費を 3000 万円程度とします。

144 万基の風力発電施設の運転経費は 43 兆円程度です。

以上から、144 万基の風力発電施設を継続的に運用するために必要な年間経費は 79 兆円程度です。太陽光発電よりも少し安くなります。

ここで検討したのは、単純に現在のエネルギー需要を満たすために必要な、平均的な設備利用率を想定した場合の風力発電の施設規模およびその費用です。実際の運用では、更に需要の変動に対応するための発電能力、巨大な蓄電装置および出力調整システム、国土全体を覆いつくす高規格送電線網、再生可能エネルギー発電装置や関連施設の製造、建設に必要な工業生産力の増強などが必要です。特に、風力発電は短期間の出力変動が激しいため、電力の安定供給のためには太陽光発電以上に大規模な出力安定化のためのシステムが必要になります。

これらすべての製造・建設・運用・メンテナンス等に必要とするすべてのエネルギーを含めたエネルギー需要は現在のエネルギー需要を大きく上回るようになります。それを賄うためには更に風力発電を増設しなければなりません。風力発電の場合、既に立地の問題で陸上風力発電だけでエネルギー需要を満たすことは不可能です。

そのためか、風力発電については「洋上風力発電」の検討が進められています。しかし、洋上に風力発電設備を建設するためには、発電設備規模が格段に大きくなります。更に潮風に曝される厳しい自然環境によって劣化が激しくなるため、メンテナンスコストが跳ね上がるばかりでなく、耐用年数も短くなります。

陸上風力発電でできないことを、更に厳しい環境の洋上風力発電で実現することは不可能です。

5-5 工業生産の理論

学校教育の現場では子供たちに対して、CO₂放出を削減して温暖化をくい止めるためには発電段階でCO₂を出さない自然エネルギー発電の導入が有効だと説明しています。しかしこれは自然エネルギー発電の一つの側面だけを見た誤った認識です。

人為的なCO₂放出量を本当に減らす方法を考えるには、工業生産の仕組みや社会の構造について知ることが必要です。

エントロピー

物質世界は四つの階層に分けることができます。

第一の階層：素粒子から構成される世界。

第二の階層：原子・分子の世界。可逆的な世界。

第三の階層：物質、エネルギー、エントロピーの世界。

熱力学の成立する非可逆的な世界。

第四の階層：宇宙の世界。

私たちが暮らしているのは第三の階層に含まれている、熱力学によって表すことのできる現象の世界です。熱物理学の研究者である樋田敦は熱力学の第二法則である「エントロピー増大の法則」に注目して、地球、生態系、工業生産の定常性について考察しました。

エントロピー s は熱機関の効率を分析するために導入された物理量で、熱量 $Q(\text{cal})$ をその絶対温度 $T(\text{K})$ で除した値として定義されます。

$$s = \frac{Q}{T} > 0$$

エントロピーは熱の拡散の程度を表す状態量です。その後、エントロピーは物質の拡散に対して拡張されました。エントロピーは熱エネルギーと物質の拡散の程度を表す「正の値を持つ状態量」です。

エントロピー増大の法則とは「あらゆる熱力学的な現象において孤立系のエ

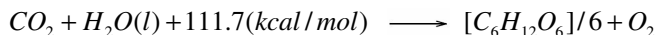
ントロピーは単調に増加し、エントロピーが最大になるとすべての活動が停止する」という内容です。熱力学現象の非可逆性を示す物理量です。

エントロピーは孤立系に付随する状態量であると考えられていましたが、槌田はエントロピーを開放系に対して拡張し、熱や物質に付随して移動することができると考えました。

生物活動の定常性は、熱力学の理論を逸脱する現象として物理学者を悩ませていました。生物は盛んに活動しているのに、なぜエントロピーが急速に増加することなく一定の低い水準を保ち、活動を続けられるのかを孤立系の熱力学は説明できなかったのです。苦し紛れに「太陽ネグエントロピー論」、つまり太陽から供給される「負のエントロピー」を取り込んだ植物を食べることによって増加したエントロピーを相殺するという説明まで登場しました。しかし、エントロピーは負の値をとることのできない物理量です。

光合成と生物の定常性

ブドウ糖 1/6 モルを生成する光合成の反応式を示します。



標準状態（1気圧 25°C）の物質のエントロピーを表 5-1 に示します。

物質	エントロピー(cal/K·mol)
CO ₂	67.2 (300ppm)
H ₂ O (l) 水	16.7
H ₂ O (g) 水蒸気	52.0 (飽和水蒸気圧)
O ₂	52.1 (21%)
[C ₆ H ₁₂ O ₆]/6	8.5

表 5-1 物質のエントロピー

表 5-1 を参考に、太陽表面温度を 6000K とし、反応式の左辺のエントロピーを計算すると次の通りです。

$$67.2 + 16.7 + \frac{111.7 \times 10^3}{6000} = 102.5(\text{cal} / \text{K} \cdot \text{mol})$$

同様に右辺についてエントロピーを計算すると次の通りです。

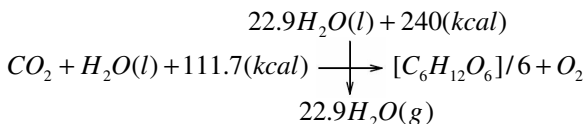
$$8.5 + 52.1 = 60.6(\text{cal} / \text{K} \cdot \text{mol})$$

したがって、光合成反応の前後でエントロピーが 41.9 (cal/K·mol) だけ減少することになります。

これは熱力学の第二法則に反する結果であり、光合成反応は起こるはずのない不可解な現象ということになります。これは反応式が光合成反応の全容を表しているという先入観から生じた誤解です。この光合成の反応式が太陽光は「負のエントロピー源」なのだという誤った解釈を生みました。

ここには大きな見落としがありました。通常の反応式では光合成反応に直接関係する物質、エネルギーの変化だけが表示されています。しかし実際に光合成をおこなうためには、それ以外に大量の水とそれを蒸発させるためのエネルギーが必要です。反応の前後のエントロピーを比較する場合にはこれを含めた光合成反応にかかわるすべての変化を考慮する必要があります。

樋田はこれを「エントロピー論的反応式」で次のように表しました。



エントロピー論的反応式を基に、反応前のエントロピーを計算すると次の通りです。

$$67.2 + 16.7 \times (1 + 22.9) + \frac{(111.7 + 240) \times 10^3}{6000} = 524.9(\text{cal} / \text{K} \cdot \text{mol})$$

同様に反応後のエントロピーを計算すると次の通りです。

$$8.5 + 52.1 + 22.9 \times 52 = 1251.4(\text{cal} / \text{K} \cdot \text{mol})$$

このように光合成反応でも、それに関わるすべての現象を含めると、必ず反応前よりも反応後のエントロピーが増加していることがわかります。

一見するとエントロピーが変化していない、あるいは減少しているように見える反応は、増加したエントロピーを何らかの物質や廃熱に付随するエントロピーとして系外に廃棄しており、これを含めると反応前に比べて反応後のエントロピーは必ず増加しています。

同様に、動物は食料を摂取し、活動の結果増大したエントロピーを体表から

の放熱、発汗、排せつによって体外に廃棄することによって体内を一定の低いエントロピー水準に保っています。

消費と生産の理論

私たちが何かを消費するという場合の消費の実体とは何なのでしょう？「食べ物を消費する」、「エネルギーを消費する」と言ったとき、何を消費するのでしょうか？

物理学的には、食物を食べて消化してもその前後で食べ物を構成していた物質が分子レベルで消滅することはありません。私たちにとって有用なエネルギーを消費しても物理学的にはエネルギーは保存量であり減るわけではありません。消費されているのは食べ物や有用エネルギーの使用価値です。

食べ物を消化することによって食べ物を構成していた物質が分解され、エネルギーや体組織の材料になります。エネルギーは利用されたのちに廃熱になり、体組織の代謝に利用できなかった物質は廃物として体外（環境）に廃棄されます。物質の量は消費の前後で不変ですが、エントロピーが増大しています。消費されている使用価値の実体とは物質の持っていた拡散能力です。

有用エネルギーについても同じです。高温の熱は簡単にお湯を沸かすことができます。常温の熱は大気中に大量に存在していますが拡散しているため、いくら大量にあっても使用価値は低くなります。

拡散の程度を表す物理量はエントロピーでした。有用な資源とはエントロピーが低い状態の物質やエネルギーであり、それは拡散能力の大きな物質やエネルギーです。これを低エントロピー資源と呼びます。

消費の対立概念として生産があります。光合成反応は原材料である二酸化炭素 CO_2 と水 H_2O からブドウ糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ を生産する反応です。ブドウ糖を生産するためには単に CO_2 と H_2O があれば反応が進むわけではありません。太陽光から得たエネルギーと大量の水の蒸発があってはじめて反応が進みます。

生産という過程も、何らかの物質やエネルギーの状態の変化を含む現象なのでエントロピーを増大させます。増大したエントロピーを処分することによってはじめて低エントロピー状態の=使用価値の高い生成物が生み出されます。したがって、生産という過程も何らかの低エントロピー資源の拡散能力を「消

費」することに成り立っているのであり、消費の一形態です。

工業生産

製品の原料となる資源を集め、これを工場に運びます。鉱物資源であれば鉱石を採掘して中間工程として精錬工場で不純物を取り除いて原料資源として利用可能にすることが必要です。工場では、原料資源から更に不純物を取り除き、形を整え、製品に加工します。

この工業生産は、原料資源だけがあればできるわけではありません。原料を集め、工場に運搬し、工場で不純物を取り除き、加工する各段階でエネルギーの投入が必要です。また、不純物を取り除くためには洗浄用の水や溶剤が使用されます。

エントロピー論的反応式と同じように、水平方向に原材料から製品への流れを示し、縦方向に低エントロピー資源の拡散を表した図を「生産図」と呼ぶことにします。工業生産は図5-5のように表すことができます。

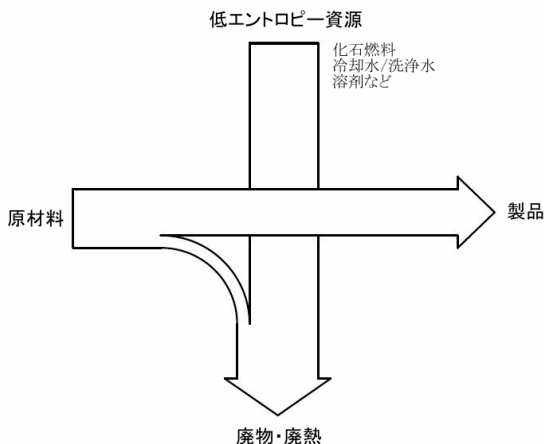


図 5-5 工業生産の理論

現在の工業生産システムを駆動している主要なエネルギー源は石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料です。燃料の燃焼によって得られる熱エネルギーは温度に応じたエントロピーを持っています。力学的な仕事や電気はエントロピー

がゼロのエネルギーです。したがって、熱機関で熱から有用な力学的エネルギーを取り出すためには冷却水などの拡散によって廃熱を取り除き熱エントロピーとして廃棄することが必要です。

工業生産とは、原料資源に対してエネルギー資源、冷却水、洗浄用水・溶剤などの低エントロピー資源を消費しながら製品を作る過程です。その過程で、低エントロピー資源は廃熱と廃物になります。

製造された製品は高度に体制化され低いエントロピー状態にあります。これは製造過程で増加したエントロピーを、大量の低エントロピー資源を消費して廃物や廃熱として処分することによって実現しているのです。この廃物や廃熱と製品のエントロピーを加え合わせれば、必ず加工前の原材料のエントロピーよりも大きくなっています。

蛇足ですが、生産活動がある限り『ごみゼロ社会』は理論的に実現不可能です。問題は、廃物が出ることを認識した上で、いかに環境に負荷をかけない廃物として処理するのか、という問題です。

迂回過程

ある目的を達成するための最短のプロセスに対して、目的の達成のために必須ではない付随的なプロセスを迂回過程と呼びます。その付随的なプロセスの程度を迂回度と呼ぶことにします。

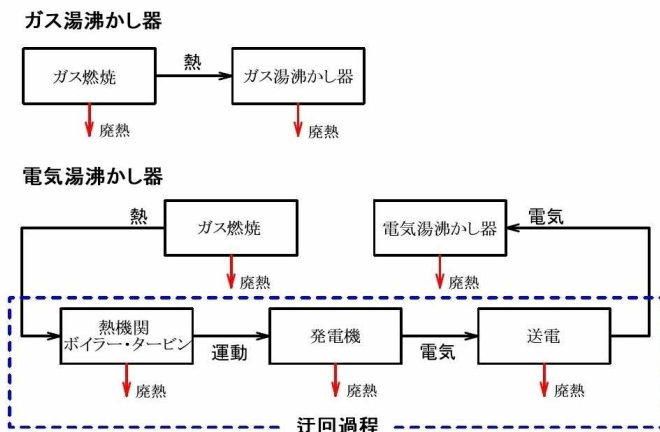


図 5-6 迂回過程

具体例として天然ガスを使ってお湯を沸かすことをについて考えます。

図 5-6 に示すように、最も単純な方法は天然ガスの燃焼熱を用いた瞬間湯沸かし器でお湯を沸かすことです。現在の瞬間湯沸かし器はとても優秀で、ガスの燃焼熱の 90%程度が水を加熱するために有効に利用できます。

迂回過程として電気湯沸かし器を利用することにします。この場合、天然ガスを火力発電所の燃料として使用します。発電所で作られた電気は送電線を経て家庭に送られ、電気湯沸かし器でお湯を沸かします。

電気湯沸かし器を使用する場合、天然ガスの燃焼熱を熱機関で運動エネルギーに変換し、さらに発電機で電気エネルギーに変換し、これを送電線で家庭に送電し、最終的に熱エネルギーに戻します。多段階の余計なエネルギー変換過程が迂回過程であり、変換の各段階でエネルギーの損失が発生します。最大の損失が発生するのは熱機関で燃焼熱を運動エネルギーに変換する過程であり、エネルギー損失は 50%以上になります。

多段階のエネルギー変換の過程でエネルギー損失が発生するため、火力発電所で投入した天然ガスの燃焼熱のうち、最終的に家庭の電気湯沸かし器で水を温めるために利用できるのは、おそらくガスの燃焼エネルギーの 40%にも満たないのです。

電気湯沸かし器はお湯を沸かすときには CO₂ を放出していません。しかし発電段階まで遡ってみると、ガス湯沸かし器の 2 倍以上の CO₂ を放出しています。巷では、温暖化対策としてガス湯沸かし器やガス調理器具から電気の調理器具に交換することが推奨されていますが、実際には逆効果です。

一般的に、システムの迂回度が大きくなるほど資源の利用効率が低くなります。資源を有効利用するためには、特殊な事情がない限り、迂回過程を極力避けることが必要です。

特殊な事情とは使用環境の制約がある場合です。小さな密閉された空間でガス湯沸かし器を用いる場合、燃焼に必要な酸素の供給や排気ガスが問題になります。このような場合には電気湯沸かし器を用いる合理性が生じます。

電力化率とエネルギー利用効率

一次エネルギー（工業的に加工されていないエネルギー）の内で発電に投入

される割合を電力化率と言います。湯沸かしの例でみたように、電力という質の高いエネルギーは、それだけ生産コストが高く、それは生産過程で多くの低エントロピー資源を消費していることを反映しています。一次エネルギーを最終的な消費段階のエネルギーに転換するために生じるエネルギー損失のうち、実に70%以上を電力供給が占めています。

電子機器のように電力でなければ駆動できない場合は、迂回過程の特殊事情として「例外的に」電力を使用する合理性があります。しかし、電力以外のエネルギー形態で実現可能な熱や動力の供給に対してまで「電力の使用を普遍化すること＝電力化率を上げること」は、社会システム全体のエネルギー資源の利用効率の低下になり、したがってCO₂放出量の増加につながります。

ここまで、化石燃料によるエネルギー供給システムと、そのサブシステムとして火力発電による電力供給を前提に、電力化は化石燃料の消費を拡大させ、CO₂放出量を増やすことを述べました。これに対して、「化石燃料を使わない発電方式を採用すれば良いのではないか」という疑問がわくかもしれません。

次節ではこの問題を含めて、工業化社会を支えるエネルギー供給システムの条件について考えることにします。

5-6 工業を支えるエネルギー供給システムの条件

エネルギー供給とエネルギー産出比

工業的に供給されるエネルギーとは、使用価値の高いエネルギーです。熱力学的には低エントロピーで拡散能力が高いエネルギーのことです。工業的に供給されるエネルギーもまた工業製品です。

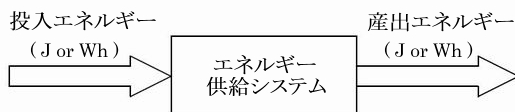


図 5-7 エネルギー供給システム

エネルギー供給システムは、工業的なエネルギー（エネルギー資源）を投入して製品として産出するのも工業的なエネルギー（エネルギー資源）という特殊な形態を持っています。

エネルギー供給システムでは、投入した工業的なエネルギー量（エネルギー資源の場合は保有するエネルギー量）に対する製品として産出する工業的なエネルギー量（エネルギー資源の場合は保有するエネルギー量）の比率である「エネルギー産出比」によって工業生産システムとしての優劣の客観的な指標を示すことができます。

$$\text{エネルギー産出比} = \frac{\text{産出エネルギー量}(J, Wh)}{\text{投入エネルギー量}(J, Wh)}$$

エネルギー産出比は熱機関の効率 η に似ていますが少し違います。熱機関の効率 η は、投入される燃料の熱エネルギー量に対する取り出される運動エネルギー量の比率です。

エネルギー産出比の投入エネルギーは燃料も含めてエネルギー供給システムの運用に投入されるすべての工業的エネルギー（資源）と、エネルギー供給システムという工業製品の製造、建設、維持管理、廃棄までに投入されるすべての工業的エネルギー（資源）を含みます。

工業生産を支えることのできるエネルギー供給システムの必要条件は、生産したエネルギーを用いてエネルギー供給システムを再生産した上で、更にその他の工業生産に対して余剰のエネルギーを供給できることです。その条件は次のように表すことができます。

エネルギー産出比 > 1.0

しかし、エントロピー増大の法則から、あらゆる工業生産過程はエントロピーを発生するために、エネルギー供給システムであっても原材料資源の拡散能力を消費するので、製品である工業的エネルギーの拡散能力は原料資源の持つ拡散能力よりも必ず小さくなります。つまり、エネルギー産出比は必ず 1.0 未満になるはずで

す。産業革命以後、工業生産を支えてきたエネルギーは、石炭、石油、天然ガスという化石燃料と呼ばれる地下資源です。石炭による工業的なエネルギー供給システムがなぜ成り立つのかを検討します。

産業革命を支えた石炭によるエネルギー供給システムの成立には、石炭の燃焼熱を用いた蒸気機関という動力機関の発明が決定的に重要な役割を果たしました。石炭の採掘に、石炭を燃料とする蒸気機関を利用することで、石炭を効率的に生産することが可能になりました。

石炭による工業的なエネルギー供給システムが成立したのは、石炭が工業的な加工をしなくても、もともと低エントロピーの熱エネルギーに転化する能力を持っていたからです。

石炭の燃焼熱から外燃機関で力学的な運動エネルギー（＝動力）というエントロピーがゼロの高度なエネルギーを取り出すためには石炭の持っていた燃焼エネルギーの半分以上が廃熱となります。しかし、取り出した動力を石炭採掘に投入することで、石炭採掘のために外燃機関に投入したよりもはるかに大量の石炭を掘り出すことができたのです。こうして石炭という「熱エネルギーを供給する能力を持つ資源」を拡大再生産できたのです。

石油や天然ガスも同様に、自らを拡大再生産できるので工業生産を支えるエネルギー供給システムになることができます。

ただし、化石燃料は有限の資源ですから化石燃料に支えられた工業文明はやがて終焉を迎えることとなります。化石燃料の鉱山は条件の良いところから採

掘され、次第に採掘条件の悪い鉱山だけが残ります。単位重量の化石燃料を産出するための動力を得るために必要な化石燃料の投入量が次第に増加し、投入量と産出量等しくなった段階で化石燃料の採掘は無意味になります。

化石燃料によるエネルギー供給システム

現在の工業化社会を支えている化石燃料によるエネルギー供給システムについて考えてみます。化石燃料は、炭鉱、油田、ガス田の品位や消費地との地理的な位置関係などによってエネルギー産出比が変化しますが、供給する化石燃料 1 単位を化石燃料供給システムに投入すると 10 単位程度の化石燃料を新たに産出することができます。エネルギー産出比は $10.0 > 1.0$ であり、優れたエネルギー供給システムです。

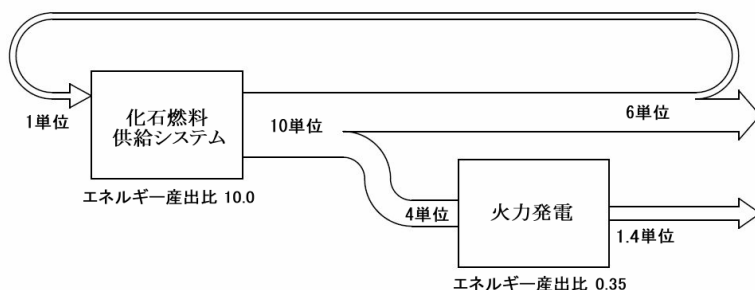


図 5-8 化石燃料エネルギー供給システム

現在の電力化率を 40%程度として、産出した化石燃料 10 単位の内 4 単位を火力発電に投入するとします。火力発電のエネルギー産出比を 0.35 とすると産出される電気エネルギーは $4 \text{ 単位} \times 0.35 = 1.4 \text{ 単位}$ です。

火力発電を含めた化石燃料エネルギー供給システムは、1 単位のエネルギーを投入することで化石燃料 6 単位と電気エネルギー 1.4 単位の合計 7.4 単位を生産するので、エネルギー産出比は $7.4 > 1.0$ です。

化石燃料エネルギー供給システムは優れたエネルギー供給システムであり、化石燃料の一部をエネルギー損失の大きな火力発電に投入しても十分に工業化社会を支えることができます。

火力発電の生産図

化石燃料価格を確認しておくことにします。

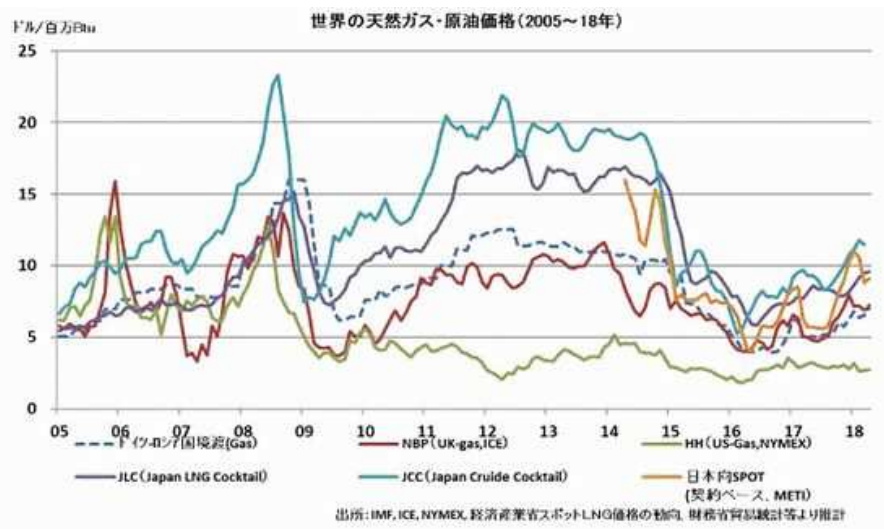


図 5-9 化石燃料価格の推移

図 5-9 から、ここ 4 年間程度の化石燃料の平均価格を 7 ドル/百万 Btu、1 ドル=110 円、1Btu=1.054kJ とします。

$$7\text{ドル/百万Btu} = \frac{770\text{円}}{1,000,000 \times 1.054 \times 1,000\text{J}} = \frac{770\text{円}}{1,054\text{MJ}} \therefore 1.369\text{MJ/円}$$

化石燃料によるエネルギー供給システムのサブシステムとして火力発電があります。最終的に供給できる熱量換算のエネルギー量を犠牲にして敢えて発電を行っているのは、電力はエントロピーがゼロの高品位の使用価値の高いエネルギーだからです。

化石燃料の燃焼熱はエントロピーを持つエネルギーなので、電力に変換するためには化石燃料の持っている拡散能力を大量に消費します。その結果、電気への変換効率は 50%前後です。

ここでは、発電用化石燃料の燃焼熱の電気への変換効률을 45%、火力発電のエネルギー産出比を 0.35 とし、火力発電の生産図を示します。

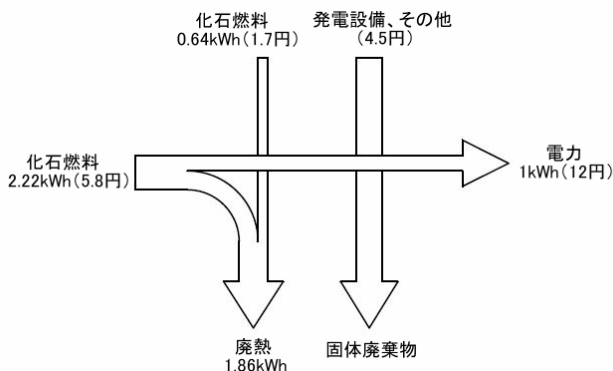


図 5-10 火力発電の生産図

火力発電の化石燃料の燃焼エネルギーから電気への変換効率は 0.45 なので、1kWh の電力を生産するために投入される熱エネルギー量は次の通りです。

$$\frac{1kWh}{0.45} = 2.22kWh$$

火力発電のエネルギー産出比は 0.35 なので、火力発電に投入される熱エネルギー量は発電用燃料を含めて次の通りです。

$$\frac{1kWh}{0.35} = 2.86kWh$$

したがって、燃料分を差し引いた 0.64kWh が火力発電を運用するために消費された化石燃料です。

自然エネルギー発電の生産図

5-3 節の検討で、電力会社による再生可能エネルギー発電電力の平均的な買取価格が 46.8 円/kWh 程度であることを示しました。ここでは、自然エネルギー発電電力の発電原価を 40 円/kWh とします。

自然エネルギー発電電力の原料は自然エネルギーというどこにでもある自由財です。発電燃料として化石燃料の消費はゼロです。しかし、発電施設は高度な工業製品であり、その製造・建設・運転・維持・補修作業などにおいて化石燃料を消費しています。

ここでは人件費は無視して、発電原価の内、設備費用を 70% (28 円/kWh)、施設建設・運転・維持・補修作業にかかわる損料を 10% (4 円/kWh)、設備の製造・建設・運転・維持・補修作業に消費された工業的に供給されたエネルギー費用を 20% (8 円/kWh) とします。

現在の社会は化石燃料によってエネルギーを供給しているので、エネルギー費用は化石燃料費です。化石燃料価格を 0.73 円/MJ (∵1.369MJ/円) とします。自然エネルギー発電による電力 1kWh 当りに投入されている熱量を計算すると以下の通りです。

$$8\text{円}/kWh \times 1.369\text{MJ}/\text{円} = 10.95\text{MJ}/kWh = 3.04kWh/kWh$$

$$\therefore 1kWh = 1000(J/s) \times 3600s = 3.6\text{MJ}$$

以上の数値を用いて自然エネルギー発電の平均的な生産図を示します。

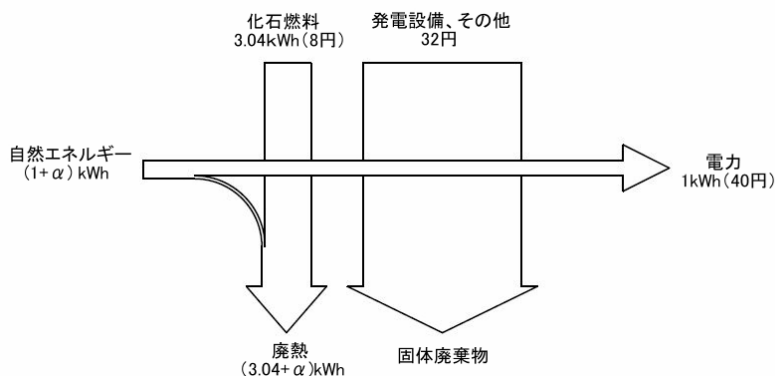


図 5-11 自然エネルギー発電の生産図

エネルギー産出比は、あくまでも工業生産システムとしての優劣を示す指標です。自然エネルギーは電力の直接的な原料であっても自由財なので、エネルギー産出比を算定する場合の投入エネルギーには含めません。自然エネルギー発電のエネルギー産出比は次の通りです。

$$\frac{1kWh}{3.04kWh} = 0.33 < 0.35 < 1.0$$

再生可能エネルギー発電のエネルギー産出比は 1.0 よりも小さいので、単純再生産すらできません。したがって、再生可能エネルギー発電は工業生産を支

えるエネルギー供給システムになることはできません。5-3 節、5-4 節で太陽光発電や風力発電では工業生産に基づく社会の電力需要を賄うことができないことを示唆しましたが、これがその理論的な内容です。

更に、火力発電よりもエネルギー産出比が小さいので、化石燃料によるエネルギー供給システムの下での電力供給サブシステムとして火力発電を代替する合理性もありません。

ここで検討した内容はあくまでも概算です。しかし、実際に制御不能な自然エネルギー発電を運用するためには巨大な出力調整システム、日本全土を覆う高規格送電線網などの付帯設備の製造・建設・維持・管理のために、更に莫大な資源と工業的エネルギーの消費が発生します。自然エネルギー発電の多少の効率改善によって状況が変わる可能性は全くありません。

火力発電に比較して自然エネルギー発電システムは化石燃料と鉱物資源を浪費する発電方式であり、CO₂放出量を増加させます。自然エネルギー発電のエネルギー産出比<1.0 であって、工業生産を支えるエネルギー供給システムにはなり得ません。

原子力・再生可能エネルギーは一次エネルギーではない

日本のエネルギー統計には、一次エネルギー、二次エネルギー、最終エネルギーという分類があります。一般的には、一次エネルギーとは工業的に加工されていないエネルギーであり、石炭、原油、天然ガスなどがこれに当たります。

最終エネルギーとは消費者が利用する際のエネルギーです。二次エネルギーとは一次エネルギーを精製し、あるいはエネルギー転換して使いやすくしたエネルギーです。例えば石油製品であるガソリン、軽油や電力などがこれに当たります。2013 年度版エネルギー白書では、次のように説明されています。

エネルギーは、生産されてから実際に私たちエネルギー消費者に使用されるまでの間に、様々な段階、経路を経ています。大まかにみると、原油、石炭、天然ガス等の各種エネルギーが供給され、電気や石油製品等に形をかえる発電・転換部門（発電所、石油精製工場等）を経て、私たちに最終的に消費されるという流れになっています。この際、発電・転換部門で生じるロスまでを含めた我が国が必要とする全てのエネルギーの量という意味で「一次エネルギー供給」の概念が用いられ、最終

的に消費者に使用されるエネルギー量という意味で「最終エネルギー消費」の概念が用いられています。国内に供給されたエネルギーが最終消費者に供給されるまでには、発電ロス、輸送中のロス並びに発電・転換部門での自家消費が発生し、最終消費者に供給されるエネルギー量は、その分だけ減少することになります。量的には、日本の国内一次エネルギー供給を100とすれば、最終エネルギー消費は69程度（2011年度の総合エネルギー統計による）でした。

特に再生可能エネルギーについては次のように述べています。

原油、石炭、天然ガスなど化石エネルギーを燃焼させて発電する場合、一次エネルギー供給量も発電量も計測できます。ところが、水力、地熱、風力、太陽光エネルギーなど非化石エネルギーによる発電では、時々刻々と水量や風速が変動するため、発電に投入されたエネルギー量（一次エネルギー供給量）を計測したり計算で求めたりすることは不可能です。

そこで、我が国の「総合エネルギー統計」では、非化石エネルギーは便宜的に火力発電の平均変換効率を用い、一次エネルギー供給を逆算し推計する方法が採用されています。

つまり、一次エネルギーは最終エネルギーとして有効なエネルギーを供給できることを前提に、最終エネルギーに至る中間のエネルギー転換工程の損失を差し引いたものを二次エネルギーと呼んでいるということです。

再生可能エネルギーを電力に転換する過程で、再生可能エネルギー発電に投入した再生可能エネルギーの3倍あるいはそれ以上（図5-11参照）の化石燃料を消費しています。再生可能エネルギー発電に投入した再生可能エネルギーから電力にする過程で消費する化石燃料のエネルギーを差し引くと供給できる電力量はマイナスになります。再生可能エネルギーは有効な最終エネルギーを供給していません。

再生可能エネルギー発電は火力発電と同じであり、かつて榎田が述べた通り「間接火力発電」と言うべきです。したがって、再生可能エネルギーは一次エネルギーから除外すべきです。

この構造は原子力発電でも同じです。原子力発電は、ウラン鉱石を採掘し、これを長大な精練・濃縮などの加工工程を経て初めて原子炉用の核燃料になり

ます。核燃料は『エネルギー集約的な工業製品』です。原子力発電では核燃料加工や発電装置の製造・建設、装置の運用や廃棄物処理に莫大な化石燃料が投入されています。特に、高速増殖炉核燃料サイクルの破綻によって、電力の生産量は予測値の数十分の一に激減しました。

数万年に及ぶ高レベル核廃棄物の後処理に投入される莫大な化石燃料を加えると、原子力発電の純電力生産がプラスになる可能性はありません。

以上の特性から、実質的な一次エネルギー消費量は、現在の統計から原子力と再生可能エネルギーを差し引くべきです。

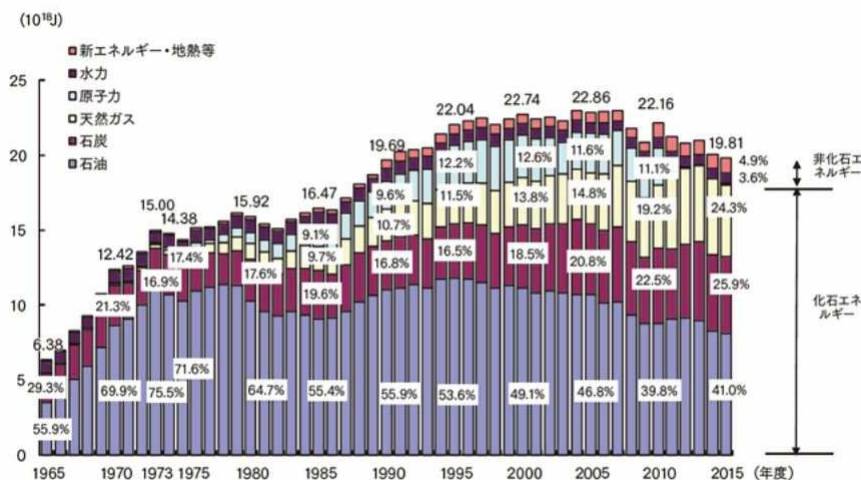


図 5-12 日本の一次エネルギー消費の推移

5-7 自動車駆動系の電力化

社会からのCO₂排出量を減らすための対策として、再生可能エネルギー発電の導入と並んで、自動車駆動系の動力源を石油燃料から電気エネルギーに変えようとしています。従来の石油燃料を使う内燃機関の自動車の場合、燃料の燃焼熱に対する走行の駆動力として有効に利用できるエネルギーはディーゼルエンジン車で30%台、ガソリンエンジン車で20%台です。平均として内燃機関自動車の効率を30%程度としておきます。

自動車駆動用のモーターに電力を供給するシステムによって電気自動車と燃料電池車とハイブリッド車があります。

電気自動車

電気自動車は、何らかの発電システムで発電した電力を車載蓄電池に溜めて利用します。電気自動車のエネルギー効率は発電システムの優劣によって大きく変動します。一般的な化石燃料を用いた火力発電電力であれば、発電効率は40%台でしょう。これを送電線を介して電気ステーションに供給し、電気自動車の車載蓄電池に充電し、車載モーターで自動車の駆動力に利用します。送電、車載蓄電池の充電、動力への変換の各プロセスのエネルギー損失を各10%とすると、発電所で投入された化石燃料の燃焼熱の中で自動車駆動に有効に利用できるエネルギーの効率は、次の通りです。

$$40\% \times (1.0 - 0.1)^3 = 29.16\%$$

したがって、化石燃料による火力発電電力を用いた場合、電気自動車を利用しても化石燃料使用効率は内燃機関の自動車とほとんど変わらないこととなります。

自動車は移動手段なので、システム自重が大きいことは決定的な欠点になります。電気自動車は車載蓄電池重量が大きいため、内燃機関の自動車に比較して重くなるため、化石燃料使用効率が同等であれば、内燃機関の自動車の方が総合的な効率は高くなります。あるいは軽量化するために蓄電池を小さくすれば航続距離が短くなります。

化石燃料を用いた火力発電を前提としても、CO₂排出量削減の目的で電気自動車の導入を進めることに合理性はありません。電力供給システムとして、火力発電よりも化石燃料利用効率の低い再生可能エネルギー発電システムを使用すれば、更に化石燃料の利用効率が低くなります。CO₂排出量削減の目的で電気自動車を導入することは無意味です。電気自動車に利用価値があるのは排気ガスやエンジンの騒音が問題となる屋内空間などの特殊な環境における利用に限られます。

燃料電池車

再生可能エネルギー発電は出力制御ができず、激しく変動します。そこで、大規模に導入するためには蓄電装置を併用して運用する必要があります。特に出力変動の激しい風力発電では、蓄電池に電力を蓄える代わりに、発電した電気ですべての水素を製造して、これを燃料電池で電力に戻すという、いわゆる水素社会構想が持ち上がりました。

既に、電気を車載蓄電池に溜めて運用する電気自動車はCO₂削減効果がないことがわかりました。燃料電池車は駆動用モーターを電気で駆動するという意味で、本質的には電気自動車に分類されます。電気自動車と燃料電池車の違いは電力をバッテリーで供給するのか、あるいは車載の燃料電池で供給するのかの違いです。

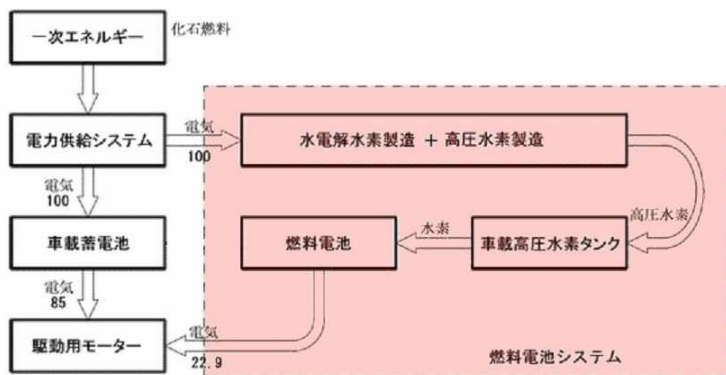


図 5-13 蓄電池電気自動車と燃料電池車のエネルギー・フロー

したがって、電気自動車と燃料電池車の技術的な優劣の判断は、火力発電－蓄電池システムによる電力供給と車載燃料電池による電力供給のいずれが化石燃料の利用効率が高いかという問題に集約されます。これはとても単純な問題です。燃料電池の技術的評価をする以前に、システムの迂回度を比較することで容易に判断できます。

図 5-13 に、電気自動車と燃料電池車のエネルギー・フローの概略を示します。図の数値は、電力供給システムが供給する電力量を 100 としたときの相対的なエネルギー量を表しています。通常の電気自動車（図の縦方向の流れ）に比較して燃料電池車の場合は、「燃料電池システム」という迂回過程が必要になります。いかに技術的に改良が加えられても、水電解水素燃料を使う限り、理論的に燃料電池車のエネルギー利用効率が電気自動車のエネルギー利用効率を上回ることはありません。

しかも、電気自動車の供給電力に対する利用効率が 85%なのに対して、燃料電池車ではわずかに 22.9%です。

米テスラ・モーターズのイーロン・マスク CEO は『我々は、今まで様々な技術を実験的に試してきたが、燃料電池車に向かうべきではないと考えている。燃料電池車で必要となる水素ガスを作るのに要するエネルギーは、燃料電池から得られるエネルギーよりも多いし、水素ガスの貯蔵や輸送も困難だ。信頼性の高い再生可能エネルギーで発電できる EV と比較すれば、燃料電池車にはエコカーとしての勝ち目はないと思う。』と述べています。「信頼性の高い再生可能エネルギー」という認識には異論がありますが、EV の方が燃料電池車よりも優れているというのは極めて妥当な判断です。日本以外で燃料電池車が普及することはありません。

一般的にエネルギー技術は単純な技術ほど効率が高くなります。迂回度が大きくなるほど、供給可能なエネルギー量は指数関数的に減少します。これは経済的な視点から見れば、低価格のエネルギー技術ほど効率が高く、高価なエネルギー技術ほど効率が低いとも言えます。燃料電池車やそれを支える水素ステーションが極めて高価格になることが、燃料電池車の総合的なエネルギー利用効率が極めて低いことを示しています。

燃料電池の場合、高品位のエネルギーである電力を使って水素を作り、水素

を圧縮し、燃料電池に水素を供給して、最終的にまた電気に戻しています。燃料電池システムを介さず、電気エネルギーをそのまま使う方が効率的なことは自明です。燃料電池車をはじめとする新規のエネルギー技術の開発に携わっている多くの技術者は視野狭窄が陥り、細切れの技術の達成目標に対してしか思いが及ばないようです。

水電解水素を用いた燃料電池は低効率の蓄電池

参考までに、水電解水素を用いる燃料電池について検討しておきます。

水の電気分解で水素を製造するプロセスと燃料電池の運転は逆反応です。あらゆる化学反応はエントロピーを増大させるため、化学プロセスの効率は100%にはなり得ません。したがって、どんなに理想的なシステムであっても、必然的に「水素燃料製造に投入した電気エネルギー > 水素燃料から得られる電気エネルギー」になります。

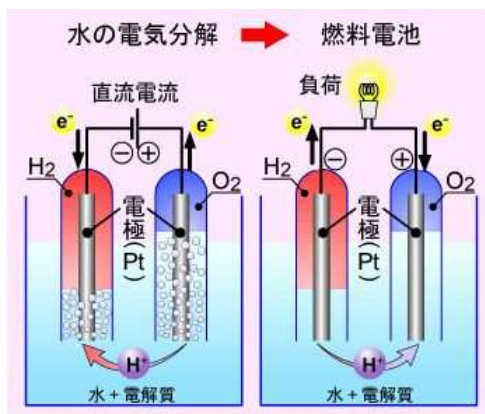


図 5-14 水の電気分解と燃料電池

図 5-15 を参考に、燃料電池の理論発電効率を求めることにします。

$\Delta H^\circ = 286 \text{kJ/mol}$: エンタルピー (燃焼熱)

$\Delta G^\circ = 237 \text{kJ/mol}$: ギブズエネルギー

ΔS° : エントロピー

$T = 25^\circ\text{C} = 298\text{K}$: 温度

$$\text{理論発電電力量} : \Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\text{理論発電効率} : \varepsilon = \Delta G^\circ / \Delta H^\circ \doteq 0.83$$

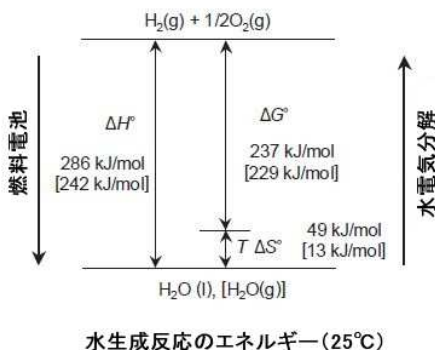


図 5-15 燃料電池の理論発電効率

理論的には、水という液体を電気分解して水素を作るためにはエンタルピー ΔH° に相当する仕事量が必要です。水素から電気を取り出して水を生成するときには、エンタルピー ΔH° から化学反応に伴うエントロピー発生によるエネルギー損失 $T\Delta S^\circ$ を差し引いたギブズエネルギー ΔG° を電力として取り出せます。損失のない理想的な場合であっても、水素の製造のために水の電気分解に投入した電気エネルギー量よりも燃料電池から得られるエネルギーは必ず小さくなるのです。これは技術の改良では克服出来ません。

燃料電池の発電効率が高いというのは、この理論効率 $\varepsilon = 83\%$ のことを指しています。しかし、現実の工業的な燃料電池の発電効率は反応温度などの条件によって大きく変わります。

図 5-15 に示すように、水素の燃焼熱=水の生成エンタルピーは $286\text{kJ/mol} \doteq 143\text{MJ/kg}$ です。燃料電池車で利用される PEFC 固体高分子形の燃料電池では、反応温度は比較的低温 100°C 程度、発電効率は $\sim 40\%$ 程度です。したがって、電力として供給可能なエネルギー量は $143 \times 0.4 \doteq 57.2\text{MJ/kg}$ 程度です。

工業的に水の電気分解で水素 1kg を製造するためには 200MJ ($=55.6\text{kWh}$) 程度が必要です。製造した標準状態の水素を 350 気圧まで圧縮するために必要な仕事は、JHFC (水素・燃料電池実証プロジェクト: Japan Hydrogen & Fuel

Cell Demonstration Project＝経済産業省が実施する燃料電池システム等実証試験研究補助事業）の試験結果の値 13.79MJ/kg を使用すると、アルカリ水電解法によって 350 気圧高圧水素を製造するために投入される電力による仕事量の合計は、 $W=200\text{MJ/kg}+13.79\text{MJ/kg}\doteq 214\text{MJ/kg}$ 程度です。損失を考慮すれば、 250MJ/kg 程度が現実的な値ではないでしょうか。

以上から、 350 気圧水電解水素燃料 1kg 当たりのエネルギー収支をまとめておきます。

投入電力量（水電解・圧縮）	250MJ
産出エネルギー量（電力量）	57.2MJ
エネルギー収支	$57.2-250=-192.8\text{MJ}$
エネルギー産出比	$57.2\div 250=0.229$

表 5-2 350 気圧水電解水素燃料製造のエネルギー産出比

エネルギー技術ではエネルギーの利用効率を犠牲にしてエネルギーの質を高くするプロセスに意味がある場合があります。

例えば、内燃機関のように、石油燃料の熱エネルギーを熱機関に投入することによって、力学的なエネルギーにする場合や、火力発電のように石油燃料の熱エネルギーを電気エネルギーに変換する場合です。

しかし、入力エネルギーと出力エネルギーの質が同じ場合、入力エネルギーよりも出力エネルギーが小さくなるようなシステムは無意味です。水電解水素を利用した燃料電池の場合、自家消費分の電力量は 250MJ/kg であり、電力量の収支は -192.8MJ/kg という値になります。つまり、水電解水素を用いる燃料電池は、電気を浪費するだけです。

それでも、電力を使って水素を製造することで、移動用の動力源として利用できるという利点があると主張するかもしれません。しかし、それならば燃料電池車の代わりに電気自動車に電力を投入すれば、リチウム電池の効率から、投入電力量の 85% 程度、 $250\text{MJ/kg}\times 0.85=212.5\text{MJ/kg}$ が有効に利用されます。これは燃料電池車の $212.5\div 57.2=3.7$ 倍程度の仕事ができることを意味しています。

ハイブリッド車

ハイブリッド車には3つのタイプがあります。

①シリーズハイブリッド車

内燃機関は発電専用であり、発電した電気を車載蓄電池を介してモーターに供給し、モーターで走行します。またモーターは減速時に発電します（回生ブレーキ）。

②パラレルハイブリッド車

内燃機関は発電と駆動の両方に用いられます。主に内燃機関で走行し、低速時や出力が足りない場合にモーターと併用し、内燃機関に余裕があるときおよび減速時（回生ブレーキ）にモーターで発電します。

③スプリットハイブリッド車

駆動と発電を兼用するモーターの他に専用の発電機を備えています。

現在の内燃機関の自動車とハイブリッド車の構成に決定的な違いはありません。内燃機関の自動車でも電気で駆動するモーターを含む多くの機器を備えています。バッテリーとセルモーターを大型化すればハイブリッド車と変わりません。ハイブリッド車と従来の内燃機関の自動車の違いは構成するパーツのバランスの違いだけです。

石油燃料消費量と車体の製造・メンテナンスなど、自動車の運用に消費される化石燃料とその他鉱物資源の総合的な消費量を最小化することが技術開発の方向です。最適なのは従来の内燃機関だけで駆動するタイプになるのか、あるいは内燃機関と電気モーターのハイブリッドタイプになるのかは、今後の技術開発の動向を見る必要があるでしょう。

化石燃料消費を最小化するのは内燃機関

化石燃料の消費量を最小化するために従来の内燃機関にとって代わる可能性のある自動車駆動システムがあるとすれば、それは内燃機関と電気モーターのハイブリッドシステムだけです。とはいえ、ハイブリッドシステムのエネルギー供給の本質は内燃機関です。自動車駆動用の動力源が内燃機関であることは今後も変わらないでしょう。

【 参考文献 】

- 1) 槌田敦 資源物理学入門 NHK ブックス 1982
- 2) 地球環境・読本 別冊宝島 101 1989
- 3) 槌田敦 熱学外論 朝倉書店 1992
- 4) 槌田敦 新石油文明論 農文協 2002
- 5) 槌田敦 CO₂温暖化説は間違っている ほたる出版 2006
- 6) 室田武 新版原子力の経済学 日本評論社 1986
- 7) 近藤邦明 太陽光発電の大疑問 不知火書房 2010
- 8) 近藤邦明 電力化亡国論 不知火書房 2012
- 9) 近藤邦明 検証温暖化 不知火書房 2019
- 10) E.シュレーディンガー 生命とは何か 岩波新書 1975

6

CO₂ 温暖化対策で破壊される自然と社会

これまでの検証から、人為的 CO₂ 地球温暖化は虚像であることがわかりました。また、CO₂ 放出量削減対策として導入が進められている再生可能エネルギー発電や電気自動車は、従来の火力発電や内燃機関の自動車よりも化石燃料を大量に消費することがわかりました。

それにもかかわらず世界では大多数の人が人為的 CO₂ 地球温暖化は現実に行っていること信じ、CO₂ 放出削減に全く役に立たない対策の実施に積極的に協力しようときえしています。この異常な事態がどうして起こっているのでしょうか？

第一の理由は、気象研究者にとって人為的 CO₂ 地球温暖化説を正しいとしておくことで潤沢な研究費を得ることができるからです。第二の理由は、先進工業国グループにとって、「当面」温暖化対策を導入することが、経済規模を大きくし、そこから大きな利益を得ることができるからです。

第三の理由は、この二つのグループと、その巨大な利権構造に群がる権力者が結託して、学校教育、マスコミ、インターネットなど、ありとあらゆる情報媒体を使って大衆を人為的 CO₂ 地球温暖化説で洗脳しているからです。

この狂騒状態の下で行われている人為的 CO₂ 地球温暖化対策の実体について、確認しておく必要があります。

6-1 科学性の見えない若者たちの運動

反温暖化運動の偶像になった少女

昨年 2019 年は、パリ協定の実施年を控えて、CO₂温暖化対策を求める市民運動が注目を集めました。それはまるでお祭り騒ぎのようでした。

中でも最も注目を集めたのが、北欧の国スウェーデンの少女グreta・トゥーンベリ嬢を始めとする若者たちの行動でした。グreta嬢は国連気候行動サミット、第 25 回気候変動枠組条約締約国会議(COP25)、ダボス会議で演説を行い、若者や似非進歩主義者、マスコミによって称賛され、一躍、CO₂温暖化防止を求める市民運動のリーダーに祭り上げられました。



写真 6-1 COP25 で演説するグreta・トゥーンベリ嬢

グreta嬢はごく普通の少女であり、人間的にも未熟です。本来ならば彼女が何を言おうと自由ですし、それどころか彼女自身が人為的 CO₂ 地球温暖化の狂騒状態のあわれな犠牲者でもあります。

しかし、彼女の発言は大人たちによって利用され、大衆を誤った方向に扇動

するために大きな役割を果たしています。彼女はそれを十分認識した上で行動しているのですから看過することはできません。彼女の行動、あるいはこれに同調する若者たちの行動について少し言及しておくことにします。

温暖化説は理論的にトランプに敗北した

グreta嬢の一連の演説は、私にとって聞くに堪えないものでした。彼女の言動は、人々を論理的に納得させて行動に導くための演説というよりは、感情に訴えることで扇動するためのアジテーションでした。

彼女は「人為的 CO₂ 温暖化によって多くの人が命を失っている」、あるいは「人為的 CO₂ 温暖化によって全ての生態系が破壊されている。私たちは大量絶滅の始まりにいる。」と言います。しかし、人為的な CO₂ の放出によって大気中の CO₂ 濃度が顕著に上昇しているという事実があるのでしょうか？ CO₂ 濃度の上昇による温室効果の増大で、生態系を破壊するような気温上昇が起きているのでしょうか？

何人であっても、他者に対して何らかの行動を呼びかけるには、自らの発言の内容に対して責任を持つことが必要です。人為的 CO₂ 地球温暖化説についてその自然科学的な正当性を論証すること、その対策としての CO₂ 削減対策が自然科学的に正しいことを論証できなければなりません。

「十代の少女にそんなことを求めるのは無理な要求だ」と言われるかもしれません。そうなのかもしれません。しかし、もしそうであるのなら、Greta嬢には他者に対して人為的 CO₂ 地球温暖化防止の行動を起こすように呼びかける資格はないというだけのことです。

Greta嬢は「石炭や石油の消費量を減らせ、生態系を破壊しないために残された人為的な CO₂ 放出の限界はすぐそこまで迫っている」と主張します。そして COP25 では「何もしない政治家」たちを感情的に批判しました。

彼女が本当に科学主義を標榜するのならば、「人為的 CO₂ 地球温暖化は起こっていない」と主張する米国大統領トランプに対して、自らの主張が正しいことを自然科学的に説明し説得すべきでした。感情的な批判しかできなかったことは、彼女の主張が論理的に破綻していることを認めていることにほかなりません。

熱狂によって科学性を失った大学生

人為的 CO₂ 地球温暖化対策を求める若者たちの中には世界各国の大学生も数多く参加しています。日本の大学生たちも、はるばる海を越えて、グレタ嬢の参加している COP25 の会場に詰めかけたようです。彼らの行動は、本来ならば真理の希求を目的とする大学生が、自ら考えることを放棄して、グレタ嬢のアジテーションの尻馬に乗っているだけなのではないのでしょうか？私にはそう見えて仕方ありません。私はグレタ嬢や若者たちのこうした無責任で軽率な行動に強い不快感を覚えます。

科学的・論理的な思考の出来る大学生ならば、そもそも人為的 CO₂ 地球温暖化説を信じ、グレタ嬢の間違いだらけの主張に対して無批判に賛同することはないはずです。



写真 6-2 温暖化防止を訴えるデモンストレーションに参加する若者たち

詰まるところ、グレタ嬢や若者たちの主張は、IPCC を牛耳っている拝金主義の気象研究者たちが Climategate 事件に見られるようなデータ改竄まで行ってでっち上げた人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説の虚像を、自ら検証することせず、宗教的に妄信してなぞっているだけです。

私には、グレタ嬢や若者たちの発言は、自らの考え方や主張のない空疎なものに感じられます。加えて、デモンストレーションに参加している若者たちが、

お祭りにでも参加しているように、一様に楽し気な笑顔なのがなんとも不気味であり、違和感を禁じえません。

グreta嬢は、科学の下に結集して温暖化対策に取り組むべきだと言います。しかしその実態は、大衆に対して IPCC の自然科学的に間違っただグマに対して批判を許さず、一元的に服従することを強要しているだけです。主張とは裏腹にグreta嬢の発言には科学性はなく、ただ「IPCC が主張しているから」正しいのだという宗教的な妄信があるだけです。グreta嬢にとって本意ではないかもしれませんが、彼女は IPCC の広告塔として利用されているのです。

今はまだ学ぶことが必要

現在、温暖化対策＝CO₂ 放出削減対策として進められようとしているのは、主に火力発電を再生可能エネルギー発電に代替することと、移動手段の動力源として化石燃料を電気に変えることです。

おそらくグreta嬢や若者たちもそう思っているのだと思います。グreta嬢は欧州から北米大陸に移動するために航空機を使わずにヨットで海を渡ることに固執したと聞きます。この出来事は、彼女の幼稚な心情を象徴的に示しています。

残念ながらグreta嬢や彼女を支持する多くの若者たちの主張は、発電所や車の燃料として化石燃料を使わないことが則ち CO₂ 放出量を削減することだという短絡的な思考であり、工業生産の理論を理解していない近視眼的で幼稚な内容です。

グreta嬢や若者たちは人為的 CO₂ 温暖対策を求めて行動するよりも前に、自然科学や社会構造について自らの頭で考え、学ばなければなりません。

6-2 温暖化対策は儲かる産業

既に5-3節や5-4節で検討した通り、温暖化対策の主要な技術と考えられている太陽光発電や風力発電は、火力発電に比較して圧倒的に大きな発電装置が必要であることを示しました。それは自然エネルギー発電という方式が投入する資源量に対する発電効率が著しく低いことを反映しています。通常の経済市場であればこのようなコストの大きい非効率な発電方式が選択される可能性はありません。

パリ協定が利益を保証

しかし、国連気候変動に関する枠組条約の下で決定されたパリ協定によって、批准国に対して温暖化対策としてCO₂放出量削減が求められています。パリ協定批准各国では、「発電段階でCO₂を放出しない発電方式」であればいくらかでも資金が支払われるという異常な状況になっています。

日本では再生可能エネルギー発電の赤字補填のために、すべての電力消費者から再生可能エネルギー発電導入促進賦課金が強制的に徴収され、必要なだけの資金が支払われています。

再生可能エネルギー発電に限らず、一般に温暖化対策製品の市場価格は、通常の温暖化対策を施していない製品に比べて割高です。それは製品の本来の使用目的に直接かわりのない何らかの「温暖化対策」という迂回過程が余分に組み込まれているからです。

通常の市場であれば、出来ることが同じであれば、消費者はより安い製品を購入します。しかし、気候変動枠組条約の締約国では、温暖化対策の国内措置として、温暖化対策製品の使用を推奨し、補助金や税金の優遇措置によって消費者の負担額を軽減するなどして、温暖化対策製品の市場競争力を強くしています（しかし、これは製品代金の一部を税金から企業に支払っているわけですから、結局「温暖化対策」のための費用の皺寄せはすべて国民消費者が負担しているのですが・・・）。

温暖化対策商品に対する過剰な補助金

企業にとって温暖化対策市場は、通常の市場では売れるはずのない高額商品が売れ、しかも国家的、制度的な価格保証があるために取り逸れることはなく利益が大きくなる「儲かる産業」です。

例えば、いわゆるエコカーに対する補助金を見てみましょう。



図 6-1 電気自動車購入に対する公的補助金

これは日産の電気自動車の場合です。公的購入補助金の合計は 1 台当たり 110 万円です。

燃料電池車の場合はさらに高額で、国の補助金だけで 1 台当たり 200 万円以上です。地方自治体の補助金を加えると 400 万円近くの補助が支出されます。これは普通車の新車 2 台分ほどの金額です。あまりにも異常な金額です。

こうした理由から、温暖化対策市場は企業にとって利益率の高い魅力的な分野になっています。パリ協定によって、後発工業国でも温暖化対策の何らかの国内措置が求められるようになったため、温暖化対策製品の海外市場は先進国だけでなく、今後拡大する可能性が大きくなりました。このような理由から、経済界は温暖化対策に対して大賛成です。

経団連は 2020 年 1 月に「チャレンジ・ゼロ」という低炭素社会に向けて全産業で取り組むという景気の良いビジョンを発表しました。しかし、彼らの目的は温暖化対策市場を大きくするために投資を呼び込み、国家予算を食い物にしようということであって、CO₂ 放出量の削減につながるかどうかなどは眼中にありません。

低効率ゆえに儲かる温暖化対策製品

では、温暖化対策製品は本当に CO₂ 放出量削減につながるのでしょうか？

前述の通り、温暖化対策製品とは、製品に求められる本来の使用目的以外に、実質的な効果は別として、「温暖化対策」という何らかの迂回過程を組み込まれた製品です。したがって、通常の製品よりも多くの原料資源を消費し、生産過程で投入されるエネルギー量も大きくなります。

社会システムに温暖化対策を施すことによって、社会システムが必要とする工業生産量とエネルギー消費量が増大します。これが、温暖化対策によって景気が良くなる＝経済規模が拡大するということの物理的な意味です。

温暖化対策は資源を浪費し、エネルギーを大量消費するがゆえに短期的には経済を拡大して活性化することになります。しかし看板とは裏腹に CO₂ 放出量を増加させます。

なぜ太陽光発電パネルは中国製なのか

表 6-1 は太陽光発電パネルの製造量の企業別ランキングです。6 位までは全て中国製です。私の住んでいる町からも見える隣の里山の広大な南斜面の植生をはぎ取って建設されているメガソーラー発電所は第 3 位のカナディアンソーラーによるものですが、太陽光発電パネルの製造を担っているのは中国の工場です。

1 位	Jincosolar (中国)
2 位	Trinasolar (中国)
3 位	Canadiansolar (本社はカナダ、製造が中国)
4 位	JAsolar (中国)
5 位	HanwhaSolar (韓国のハンファグループが運営、中国とドイツメーカーを買収済み)
6 位	GCL-SI (中国)

表 6-1 太陽光発電メーカーのシェアランキング 2019 年

図 6-2 は国別のシェアです。大多数の太陽光発電パネルは、中国をはじめとする日本以外の東アジア諸国によって製造されていることがわかります。

2018年国別太陽光発電供給量シェア

出所：SPV MARKET RESEARCH

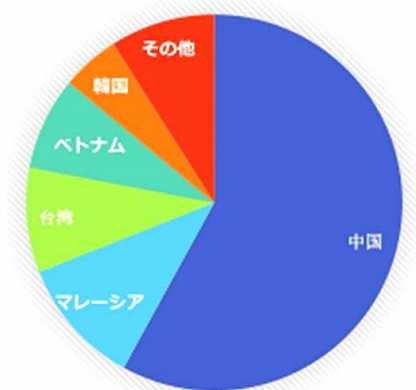


図 6-2 国別太陽光発電供給量シェア(出典:日経 XTECH)

中国や東アジア諸国では火力発電の安価な電力を得ることができます。製造過程で大量に電力を消費する工業製品の製造を行えば、その製品は「比較優位」になります。電力価格の安い国で製造される太陽光発電パネルは比較優位の工業製品であり、世界市場を席巻しているのです。穿った見方をすれば、太陽光発電の発電効率は低く、化石燃料の大量消費によってはじめて実現できることを、この事実が裏付けています。

少なくとも、再生可能エネルギー発電によって供給される電力だけを用いて、再生可能エネルギー発電装置システム（発電装置のみならず、送電線網建設や蓄電装置などを含む）が拡大再生産できなければ、実質的に CO₂排出量をゼロにすることは理論的に不可能です。科学的な分析能力のない環境 NGO の活動家やグレタ嬢には、この点が理解できていないようです。

先進国は、太陽光発電の導入を進めていますが、その実態は中国などの火力発電の安い電力を使って生産された太陽光発電パネルを購入して、その製造のために放出された CO₂をアジア諸国に付け回しているだけということです。

6-3 実例で見る温暖化対策の不毛な技術開発

5章で自然エネルギー発電にはCO₂放出削減について利用価値がないことを示しました。それでもまだ、「利用価値のないものを国や研究者、技術者が研究するはずはない」と考える方がいるかもしれません。

ここでは実際の自然エネルギー発電を含めた不毛なエネルギー技術開発の動向について、いくつかの事例で紹介しておくことにします。

事例1：風レンズ風車

①風レンズ風車の構造

工業的に優れた発電システムとは、必ずしも物理学的に発電効率が高いシステムではありません。工業的に優れた発電システムとは、同量の電力を供給するために必要な鉱物資源量・エネルギー資源量が小さいシステムのことです。単純で価格の安い電力供給システムこそ工業的に優れた発電システムです。

ここでは風力発電について、発電効率を高めることと発電システムの優劣は全く別であることを示すことにします。

風力発電は既に「枯れた技術」であり、それほど大きな技術的なブレークスルーは考えられません。

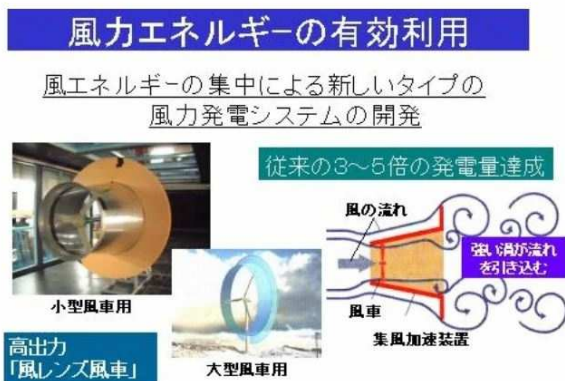


図 6-3 風レンズ風車の概念図

九州大学の応用力学研究所は、横軸型の主流であったプロペラ型風車の発電効率を改善する技術として、図 6-3 に示すリング状の乱流発生装置＝風レンズを備えたプロペラ型風車の研究を行っています。風車の後流にリング状の障害物を設置することで後流渦を発生させることで、主流に対するプロペラの回転半径よりも広い面積の風を引き込む（図では流線が風車の回転軸側に曲がっていることに対応）ことによって、同一半径のプロペラに対して捕捉する運動エネルギー量を大きくしようという試みです。概念図では従来のプロペラ風車の3～5倍の発電量とされています。

②風レンズ風車の発電コスト

この九州大学の研究は、実用化を度外視すれば、一つの研究として意味があるのかもしれませんが、しかし、現在の MW クラスの大型風力発電装置の発電効率の改善が目的であるならば、評価は異なります。



図 6-4 MW クラス風レンズ風車の構想図とハマウイング

大型風力発電に適用する場合、風レンズの構造が問題になります。MW クラ

スの風力発電風車の直径は小さくても 60m 程度はあるでしょう。風レンズは自然風の中に強制的に後流渦を生じさせる装置であり、風レンズの受ける抵抗は非常に大きくなります。風レンズの構造だけでなく、これを支える下部構造にも非常に大きな負荷がかかります。風速 70m/s 程度を想定して、直径 60m のリング状の風レンズの形状を維持することは構造力学的に厳しい問題です。

図 6-4 に現在構想中の洋上風レンズ風車のイメージとハマウイングの写真を示します。ハマウイングのスレンダーなプロポーションに対して、風レンズ風車はかなり無骨なプロポーションになります。しかしこの程度の構造ではリングの形状は維持できないでしょう。

また、図 6-3 の概念図で示されたプロペラに対する風レンズのプロポーションに対して、図 6-4 の構想図の風レンズはずいぶん小さく、後流渦による発電効率の向上は僅かであろうと考えられます。

結局、MW クラスの風レンズ風車の構造を維持するためには、通常と同径のプロペラ風車に比較しておそらく数倍あるいは 10 倍以上の構造用材料が必要になるでしょう。それに対して、発電効率の改善はそれほど期待できません。風レンズ風車の発電コストは通常のプロペラ風車の数倍になるでしょう。

これは工業的な発電システムとして通常のプロペラ風車よりも性能が劣ることを示しています。2 倍の電力を得るためには、風レンズ風車ではなく、通常のプロペラ風車を 2 基設置することが合理的です。

③小型風レンズ風車の洋上試験

2011 年秋に博多湾で小型風レンズ風車の実証試験が開始されました。実証実験プラントの諸元は次の通りです。

- 風力発電装置：直径 3.6m 風レンズ風車×2 基
- 定格出力：3kW×2
- 総費用：5,000 万円

実験開始当初、九州大学の応用力学研究所は新聞の取材に対して『将来的に、大型の風車 10 基以上を玄界灘に浮かべる構想を持っており、大屋裕二教授（風工学）は「5 年以内の実用化を目指したい」と話している。』と語っていました。



写真 6-3 博多湾に設置された実証実験用風レンズ風車

この実証プラントの発電電力の原価、ならびにエネルギー産出比を推定してみます。推計の条件はかなり甘く、次のように設定しておきます。

- 耐用年数：20 年間
- 設備利用率：25%

以上の条件下における、耐用期間中の総発電電力量は次の通りです。

$$3\text{kW/基} \times 2 \text{基} \times 24\text{h/日} \times 365 \text{日/年} \times 20 \text{年} \times 25\% = 262,800\text{kWh}$$

この 5,000 万円には運転期間中の運用・補修コストも含んでいるものと仮定すると、実証プラントの発電電力原価は次の通りです。

$$\text{電力原価} = \frac{50,000,000\text{円}}{262,800\text{kWh}} = 190(\text{円/kWh})$$

火力発電の発電原価 10 円/kWh 程度とすれば 19 倍の価格です。

発電原価の 20%が投入エネルギー費用だとすれば、38 円/kWh になります。化石燃料価格を 1.369MJ/円として投入エネルギー量を求めると次の通りです。

$$1.369\text{MJ/円} \times 38\text{円/kWh} = 52.0\text{MJ/kWh} = 14.4\text{kWh/kWh}$$

この実証プラントのエネルギー産出比は次の通りです。

$$\frac{1kWh}{14.4kWh} = 0.07$$

火力発電のエネルギー産出比は0.35程度なので、この実証プラントは単位発電電力あたりで、火力発電の5倍の化石燃料を消費しています。

この実証実験プラントではありませんが、2014年12月には福岡市内に設置されていた小型の発電用風レンズ風車が強風によってプロペラと風レンズが破損するという事故が起きました。やはり風レンズが構造的な弱点なのであろうと考えられます。



写真6-4 強風で破損した福岡市に設置された風レンズ風車

その後この実証実験がどのような成果を残したのかを報告する情報は得られません。しかし、2020年の現在まで、玄界灘にMWクラスの風レンズ風力発電施設が建設された記録がないことがすべてを物語っています。

事例2：洋上風力発電の経済コスト

①洋上風力発電の特性

5章の風力発電についての検討で、エネルギー産出比が低く、火力発電の代替に合理性がないこと、陸上に建設適地が少ないことを指摘しました。そこで、陸上よりも安定した風が吹いている海上の方が設備稼働率を稼げるという発想

で洋上風力発電に過大な期待がもたれています。

しかし、海上に風力発電所を作るためには、陸上以上に巨大な構造物が必要になります。潮風を受ける厳しい自然環境中に常時曝されるため劣化が著しく、運転・維持管理・補修コストの増加と同時に耐用年数が短くなります。洋上風力発電を運用するためには、同規模の発電能力を持つ陸上風力発電に比較して遥かに大量の鉱物資源と工業的エネルギーの投入が必要になります。したがって、工業技術として洋上風力発電は陸上風力発電に劣ると考えるのが常識的な判断です。これは実証実験する以前の思考実験で十分確認できることです。

ところが、経済性を度外視した大盤振る舞いの国家プロジェクトの温暖化対策マネーに巨大企業や大学が群がっています。

②福島洋上風力コンソーシアム事業の概要

ここでは温暖化対策と東北地方太平洋沖地震の震災復興の大盤振る舞いの国家資金に群がった大学や大企業が行った風力発電の実証実験プロジェクト「福島洋上風力コンソーシアム」事業について検討します。

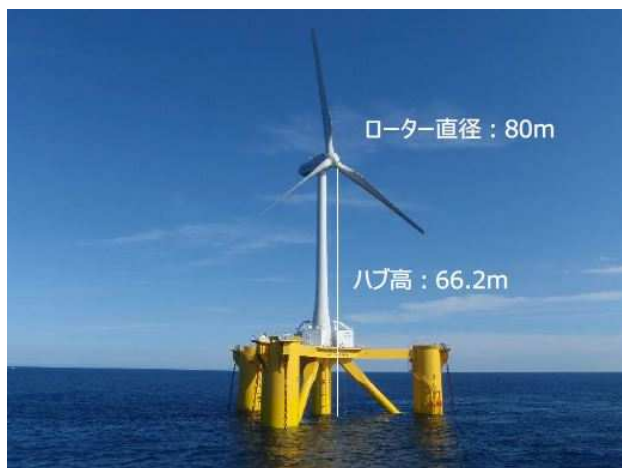


写真 6-5 2MW 風力発電風車「ふくしま未来」

福島洋上風力コンソーシアム参加企業は福島原発事故にも深くかかわった大学や企業の名前が並んでいます。

福島洋上風力コンソーシアム

丸紅株式会社、国立学校法人 東京大学、三菱商事株式会社、三菱重工業株式会社、
 ジャパン マリンユナイテッド 株式会社、三井造船株式会社、新日鐵住金株式会社、株
 式会社日立製作所、古河電気工業株式会社、清水建設株式会社、みずほ情報総研株
 式会社

事業は原発事故の直後から動き始めました。事業内容は、それぞれ出力 2MW、
 5MW、7MW の浮体構造の洋上風力発電装置および変電システムなどを設置し
 て運用実験をするというものです。最初に運転を開始したのが写真 6-5 に示
 した 2MW 風力発電装置「ふくしま未来」です。

各風力発電装置の概要を表 6-2 に示します。

	2MW 風車	5MW 風車	7MW 風車
開発・製造業者	日立製作所	日立製作所	三菱重工業
風車の位置づけ	量産商用機	2 基目実証機	2 基目実証機
増倍速方式	固定ギア式	固定ギア式	可変油圧式
ローター位置	ダウンウィンド	ダウンウィンド	アップウィンド
ローター直径	80m	126m	167m
ハブ高	66.2m	86.4m	105m
運転開始	平成 25 年 11 月	平成 29 年 2 月	平成 27 年 12 月
運転期間 (平成 30 年 6 月時点)	4 年 8 ヶ月	1 年 5 ヶ月	2 年 7 ヶ月

表 6-2 風力発電装置の概要

2014 年のあるマスコミの取材に対して、事業のプロジェクトの技術リーダー
 は次のように答えていました。

「国際競争に勝つには、できるだけ早く技術を確立する必要がある」。プロジェクトの技
 術リーダーを務める東大の石原孟教授は言い切る。政府も3年の実証期間のうち、すで
 に2年で実証試験として破格の220億円の予算を計上し、「国を挙げて採算度外視で臨
 んでいる」(関係者)。

プロジェクトの技術部門のリーダーがこのような認識であることは非常に驚
 きです。工業技術の中でもエネルギー供給技術はコストがそのままシステムの

効率を反映します。採算を度外視した実証試験など暴論です。

③エネルギー産出比

以下具体的に福島洋上風力コンソーシアムの報告書の記述を基に、実験風車のエネルギー産出比を確認します。

算定条件は、発電費用を設備建設費と運転経費とし、年間運転経費は出力1kWh当たり1500万円、耐用年数を20年とします。設備建設費と設備利用率は報告書の数値を参照します。

建設費用の内訳を表6-3に示します。

風車・浮体・ケーブル

項目	2MW(百万円)	7MW(百万円)	5MW ³ (百万円)
風力発電機	468	6,923	2,120
風車(設計含)	468	6,923	2,120
発電機基礎部	1,804	3,287	5,798
設計費	271	424	388
浮体設備	842	2,041	4,873
係留系	691	822	537
工事	2,232	6,010	3,326
風車搭載工事*1	43	2,417	850
曳航作業	303	746	1,692
チェーン敷設・係留作業	940	1,697	784
把駐力試験	418	370	上記に含む
工事その他*2	528	780	上記に含む
小計	4,504	16,219	11,244
単価(万円/kW)	225	232	225
ケーブル(浮体間)	1,116	1,579	1,578
設計費	68	-	-
ケーブル材料費	138	156	155
その他材料費	225	178	178
工事費	685	1,245	1,245
合計	5,620	17,798	12,822

表 6-3 設備建設費の内訳

表 6-3 から、建設費用は 2MW システムでは 56.2 億円、5MW システムでは 128.2 億円、7MW システムでは 178.0 億円です。設備利用率は、2MW システムは 32.9%、5MW システムは 14.8%、7MW システムは 3.7%です。7MW システムは故障続きでまともに運転ができずに撤去されることになりました。180 億円近くが無駄になってしまいました。ここでは 2MW システムと 5MW システムについて検討します。

● 2MW システムのエネルギー産出比

20 年間の総発電量は次の通りです。

$$2MW \times 32.9\% \times 24h / \text{日} \times 365\text{日} / \text{年} \times 20\text{年} = 1.152 \times 10^8 kWh$$

20 年間の総発電経費は次の通りです。

$$56.2\text{億円} + 1500\text{万円} / MW \cdot \text{年} \times 2MW \times 20\text{年} = 62.2 \times 10^8 \text{円}$$

2MW システムの電力原価は次の通りです。

$$\frac{62.2 \times 10^8 \text{円}}{1.152 \times 10^8 kWh} = 54 \text{円} / kWh$$

発電施設の運用に必要な化石燃料費を電力原価の 20% とし、化石燃料価格を 1.369MJ/円とすると、電力 1kWh を生産するために投入されるエネルギー量は次の通りです。

$$1.369MJ / \text{円} \times (54 \text{円} / kWh \times 20\%) = 14.8MJ / kWh = 4.1kWh / kWh$$

エネルギー産出比は次の通りです。

$$\frac{1kWh}{4.1kWh} = 0.243$$

● 5MW システムのエネルギー産出比

20 年間の総発電量は次の通りです。

$$5MW \times 14.8\% \times 24h / \text{日} \times 365\text{日} / \text{年} \times 20\text{年} = 1.296 \times 10^8 kWh$$

20 年間の総発電経費は次の通りです。

$$128.2\text{億円} + 1500\text{万円} / MW \cdot \text{年} \times 5MW \times 20\text{年} = 143.2 \times 10^8 \text{円}$$

5MW システムの電力原価は次の通りです。

$$\frac{143.2 \times 10^8 \text{円}}{1.269 \times 10^8 kWh} = 112.8 \text{円} / kWh$$

発電施設の運用に必要な化石燃料費を電力原価の 20%、化石燃料価格を

1.369MJ/円とすると、電力 1kWh を生産するために投入されるエネルギー量は次の通りです。

$$1.369MJ/\text{円} \times (112.8\text{円}/kWh \times 20\%) = 30.9MJ/kWh = 8.6kWh/kWh$$

エネルギー産出比は次の通りです。

$$\frac{1kWh}{8.6kWh} = 0.116$$

2MW システムは設備利用率が 32.9%と高い値を示しましたが、設備建設コストが大きいためエネルギー産出比は陸上風力発電よりも明らかに低い 0.243 です。5MW システムは設備利用率が 14.8%と陸上風力発電と同程度なので設備建設費の大きさからエネルギー産出比は 0.116 と非常に低い値です。

この推計値は運転経費や耐用年数を陸上風力と同程度とし、運転期間中に重大事故がないことを前提にしていますが、実際にはもう少し厳しい条件を設定すべきかもしれません。

巨額の費用を投入して行われた洋上風力発電の実証実験でしたが、予想通り、陸上風力発電よりも低効率であることが証明されました。大量の資源と化石燃料を浪費し、血税で賄われる大金を大企業や東大が食いつぶしただけの無意味な事業でした。温暖化対策技術開発と称して、血税をドブに捨てるような無意味な事業がいつまで続けられるのか、厳しい目で注視していく必要があります。

6-4 温暖化対策がもたらすもの

虚像である人為的 CO₂ 地球温暖化を防止するという建前で、資源と化石燃料を浪費し経済を肥大化させるという空前の異常事態が進行しつつあることを見てきました。誤った温暖化対策を実施することが人間社会に何をもたらすのかを考えることにします。

CO₂ 放出ゼロの社会は理論的に実現不可能

これまで検討してきたように、現在進められようとしている工業的な技術による温暖化対策は、既存の社会システムに「温暖化対策」という迂回過程を組み込むことです。これは同じサービスを受け取るために、これまで以上に大量の資源とエネルギーを消費することを意味しています。

人間社会からの CO₂ 放出をゼロにするための鍵となるのは、化石燃料を消費せずに工業生産システムと社会システムにエネルギーを供給する技術の実現です。しかし期待された再生可能エネルギー発電の実体は火力発電以上に化石燃料を消費し、加えて莫大な有用鉱物資源を必要とすることがわかりました。したがって「CO₂ 放出ゼロ社会」は技術的に実現不可能です。

付け加えれば、すべての再生可能エネルギー発電は既存の火力発電よりも生産性が劣るため、化石燃料によるエネルギー供給システムのサブシステムとしての発電システムとしても利用価値はありません。化石燃料と鉱物資源の利用効率を最適化するためには、すべての再生可能エネルギー発電を即刻すべて放棄することが現実的な選択です。

温暖化対策が環境を破壊する

現在進められようとしている再生可能エネルギー発電を始めとする「温暖化対策」を推し進めるほど人間社会が消費する化石燃料と鉱物資源量は増大します。工業製品は耐用期間の後に廃棄されることでいずれ全てがゴミになるため、温暖化対策を行うことは、必然的にゴミの増加につながります。

温暖化対策として自然エネルギー発電が導入され始めてから既に四半世紀が

経過し、当初導入された風力発電や太陽光発電がそろそろ廃棄される時期に差し掛かっています。こうした廃棄物にはレアメタルやレアアースを含む有害物質を含むものも少なくありません。また、廃棄物の嵩が大きいことそれ自体も大きな問題です。

温暖化対策として導入される再生可能エネルギー発電による直接的な環境破壊も深刻です。既に私の居住地の近くの里山でも広範囲に二次林を剥ぎ取って建設された巨大な太陽光発電所が少しずつ目につき始めています。温暖化対策の無意味さに気付かず、闇雲に再生可能エネルギー発電を導入し続ければ、やがて豊かな里山の自然環境は破壊しつくされてしまうこととなります。

面的に広範囲に植生をはぎ取られた里山は保水力が低下し、雨水は浸透して地下水になることなく地表を流れ下ることとなります。大雨が降れば表土は泥水となり、鉄砲水あるいは土砂崩れとなって麓の住居や農地を襲うことなるかもしれません。

数字が示す再生可能エネルギー導入の無意味さ

1992年にリオデジャネイロで気候変動に関する国際連合枠組条約が採択され、1994年に発効して既に四半世紀が経過しています。

この間、1997年12月の第3回締約国会議 COP3 京都会議において京都議定書が採択され、2008年から2012年の温暖化ガス（ CO_2 ）削減の第一次の実施期間が設けられました。更に2015年12月の COP21 パリ会議において2020年以降の温暖化ガス削減を取り決めたパリ協定が結ばれました。

これを受けて、世界各国で再生可能エネルギー発電の導入を進めていますが、全く CO_2 放出量削減の実効性がないようです。具体的な統計数値を見ておくことにします。

図 6-5 に世界の一次エネルギー消費量の推移を示します。5-6 節で触れたように、一次エネルギーの内、原子力と再生可能エネルギーは最終エネルギーを供給する能力がないので、エネルギー統計の一次エネルギーから除外した方が実態を表すこととなります。

実質的に、世界の一次エネルギー消費は石炭、石油、天然ガスと水力で賄われています。水力は自然環境によって利用できる場所は限られ、ほぼ 100%が

発電用に用いられています。水力を除けば工業化社会とは化石燃料によって供給される熱エネルギーによって成り立っています。工業生産が増加する限り化石燃料消費が減少することはありません。化石燃料消費は京都議定書の実施期間であった 2008 年以降も一貫して増加していますが、唯一減少したのはリーマンショックによる世界同時不況によって工業生産が後退した時期だけでした。

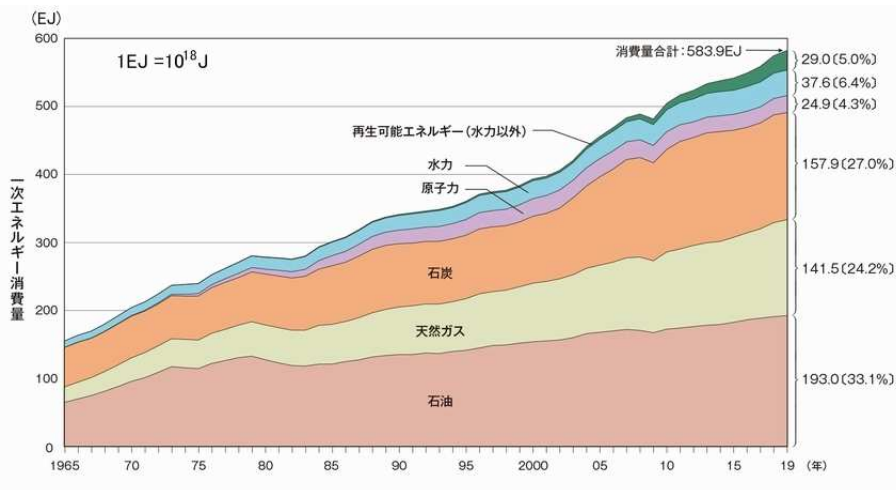


図 6-5 世界の種類別一次エネルギー消費量の推移

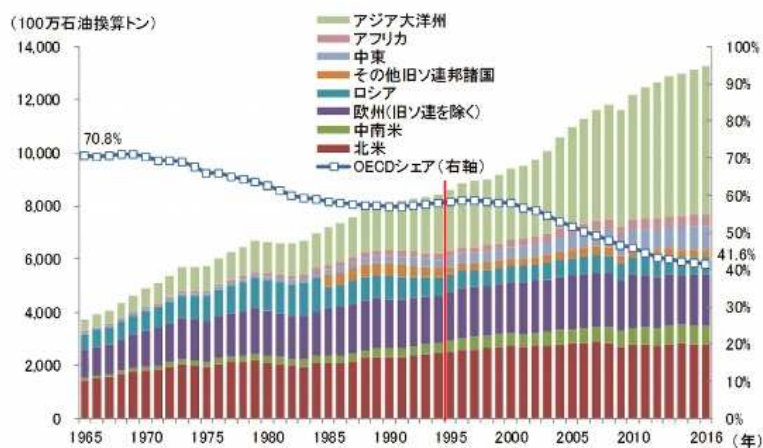


図 6-6 世界の地域別一次エネルギー消費量の推移

図 6-6 は一次エネルギーの地域別の消費量の推移を示しています。工業化が目覚ましいアジア大洋州の増加傾向が顕著です。アジア大洋州という工業化の緒に就いたばかりの地域では、安く使いやすい化石燃料の消費が主流です。アジア大洋州の国々は、安い化石燃料を使った火力発電電力を使って比較優位の「太陽光発電パネル」を製造して世界各国に輸出しています。

先進国の再生可能エネルギー発電電力の供給による発電部門の「見かけ上のCO₂放出量の削減」は、太陽光発電パネルの製造をアジア大洋州に委託することでCO₂放出を肩代わりさせているだけに過ぎません。CO₂排出量削減対策として再生可能エネルギー発電の導入には実効性がないということをそろそろ理解すべき時期に来ています。

温暖化対策が工業に支えられた社会を壊す

温暖化対策は、社会システムを運用するための鉱物資源や化石燃料の消費を大きくします。それは工業生産規模の拡大をもたらします。短期的には温暖化対策特需によって経済成長・好景気をもたらすことになるでしょう。しかしそれは長くは続きません。

温暖化対策を導入することで既に述べたように豊かな自然環境が失われ、廃棄物が増大し、自然環境が破壊されます。自然環境の悪化を食い止めるための社会的なコストも次第に上昇します。

再生可能エネルギー発電はエネルギー産出比が 1.0 に満たないエネルギー供給システムです。したがって、再生可能エネルギー発電の導入量の増大に伴ってエネルギー価格は際限なく上昇します。価格だけの問題ではありません。次第に再生可能エネルギー発電を維持するため以外の人々の暮らしや、工業製品の生産に供給できるエネルギー量が減少します。

理論的には、化石燃料によるエネルギー供給システムとそのサブシステムである再生可能エネルギー発電を合わせたエネルギー産出比が 1.0 に落ち込んだ段階で社会システムに供給できる有効なエネルギーはゼロになります。工業化社会の完全な崩壊です。現実には工業化社会の完全な崩壊以前に、エネルギー価格、工業製品価格、そして社会的サービスすべての料金の暴騰に耐えられなくなり、温暖化対策の愚かさに気付くことになるでしょう。

6-5 パリ協定の崩壊の始まり

2019年12月にスペインの首都マドリードで開催された気候変動に関する国際連合枠組条約第25回締約国会議COP25は、会場周辺の温暖化防止対策の実行を求めるグレタ嬢を始めとする若者たちのデモンストレーションばかりが注目を集めました。

温暖化対策に積極的な経済界

それに対して会議自体では目立った新たな政策決定はありませんでした。2020年を控えて、いよいよ温暖化対策に対して現実に行動を起こさなくてはならない段階になり、締約国の代表たちも景気の良い理想論を迂闊に述べることを控え、現実に対して向き合い始めた結果ではないかと推測します。

COP25において、世界各地のおよそ1300の環境NGOでつくるグループという「気候行動ネットワーク」が温暖化対策に積極的ではない国や人物に対して盛んに「化石賞」を授与しました。冷静な科学的判断を欠いた気候行動ネットワークのヒステリックな行動に対して、ファシズムに通じる危うさ、不気味さを感じます。科学的な分析能力の低い日本のマスコミに登場する進歩的を気取ったキャスターや似非知識人たちは、日本が二度「化石賞」を受けたことについて落胆して見せました。

年が明けて2020年1月に開催された世界経済フォーラムの年次会議（ダボス会議）は少し違っていました。どうも経済界の方が温暖化対策に対して積極的なようです。これまで検討してきたように、先進工業国の企業にとって温暖化対策の推進は格好のビジネスチャンスですから当然です。

国家間の思惑の違い

温暖化に対する姿勢は先進国の間でも立場が分かれているようです。

COP25、ダボス会議の議論を通して、一様にEU、ヨーロッパ圏の国々は温暖化対策にとっても積極的、というよりも前のめりになっているように感じます。EU欧州委員会は2020年1月14日に「2050年に実質的にCO₂排出ゼロにす

る目標を達成するために10年間で1兆ユーロ（約120兆円）を拠出する」と発表しました。

EUは人為的CO₂地球温暖化説を当初から積極的に支持し、「温暖化対策技術」の開発に熱心です。それは、IT部門では米国のGAF Aと中国・東南アジア勢に後れを取ってしまい、長期的に低落傾向にあるEUの経済的地位の回復の切り札こそ温暖化対策分野だと考えているからであろうと推測します。額面通り「欧州は温暖化問題に積極的」だと考えるのはナイーブすぎます。

EUは、気候変動に関する枠組条約の中で、人為的CO₂地球温暖化説を定着させ、パリ協定ではついに先進国に限らず、全ての参加国に対して何らかの温暖化対策の国内措置を取らせることに成功しました。これまでは先進国に限られていた温暖化対策市場を全世界に拡大することに成功したのです。

EUにとって、まさにこれからが稼ぎ時、ということです。大盤振る舞いに見える1兆ユーロの先行投資は温暖化対策市場で儲けるための呼び水なのでしょう。

これに対して、米国のトランプ大統領は選挙公約から一貫して温暖化対策を否定し続けています。彼の主張の背景には彼の支持層である古い体質の鉱工業生産に携わる労働者の雇用を保障する目論見があることは周知の事実です。トランプの主張が理解を得るためには、単に政治的な立場から人為的CO₂地球温暖化説に反対するだけでなく、人為的CO₂地球温暖化説に反対している米国の誠実で優秀な自然科学者を結集して、自然科学の立場から大衆に見える形で人為的CO₂地球温暖化説の非論理性について理論的な議論を深めていくことが必要です（このままでは、残念ながら、民主党政権に移行すると同時に、米国は人為的CO₂地球温暖化説を支持する勢力に吸収され、パリ協定の暴走を止めることが難しくなりそうです）。

ロシアのプーチン大統領も人為的CO₂地球温暖化説、あるいは温暖化対策の実効性について疑問を持っているようです。それは当然と言えば当然です。ユーラシア大陸北部地域に位置するロシアの地理的な条件であれば、温暖化することを歓迎することはあっても忌避する理由は全くありません。わざわざ貴重な資金を投入して敢えて温暖化対策を行うなど、馬鹿げています。

一枚岩に見えた国連を中心とする温暖化騒ぎですが、ここにきて少し潮目が

変わりつつあるように感じられます。

求められる自然科学に基づく冷静な判断

一般に、温暖化問題は客観的な自然科学の分析に基づいた「事実」だと考えられています。しかし、人為的に放出した CO₂によって顕著な気温上昇が起きているという明確な実証的なデータはありません。人為的 CO₂地球温暖化が実在しているのは、研究者によっていくらかでも恣意的な条件設定が可能な超高速コンピューターの仮想空間の中だけです。人為的 CO₂地球温暖化説の登場や気候変動に関する国際連合枠組条約の背景には、利権と金の渦巻くドロドロした闇があることを認識しておかなくてはなりません。

再生可能エネルギー発電でぼろ儲けをしようとしている重工・重電メーカーの企業技術者たちは再生可能エネルギー発電では CO₂放出量は減らないし、化石燃料によるエネルギー供給システムを代替することもできないことを十分承知しているはずですが、彼らは、企業利益のために、CO₂温暖化対策によって社会に崩壊の兆しが見えるまでは稼げるだけ稼ごうという企業の経営戦略に従い、口を閉ざしているのでしょう。

日本では自然科学的に実証されていない人為的 CO₂地球温暖化説に対して国家が公認し、一面的な情報による強制がまかり通っています。まさに温暖化ファシズムです。

科学的な論理性を教えるはずの初等中等教育現場では、無責任な教師たちによって、児童生徒たちまでが自然科学的に検証されていない人為的 CO₂地球温暖化説によって洗脳されています。露骨に学問を国家の下に統制しようとする菅内閣の登場によって、ますますこの傾向が強まることになるのかもしれませんが。

今後長期間にわたる温暖化対策への対応には、子供や若者が重要な役割を担うこととなります。そのためには初等中等教育現場において、国家や企業の思惑に惑わされない確固とした自然科学的な分析能力を身に付けさせることが重要です。そのために教師は自らの責任を自覚し、事実の観察と論理的な考察に基づく自然科学を復権させることが必要です。

6-6 環境問題と温暖化対策

人為的 CO₂ 地球温暖化説が蔓延し始めてから、人類の直面する最大の環境問題は人為的な温暖化だという認識が定着しました。その結果、肥大化した工業生産による全般的な地表面環境の悪化としての環境問題の本質が、ともすると忘れ去られています。

最後に、環境問題と現在進められようとしている温暖化対策の関係について見ておくことにします。

地球環境の定常性

現在の地球の表面環境は 3-3 節で見たように、主に太陽から放射されている可視光線を中心とする電磁波から得るエネルギーで暖められ、地表面と対流圏上層からの赤外線放射によって放熱することで安定した温度状態を保っています。

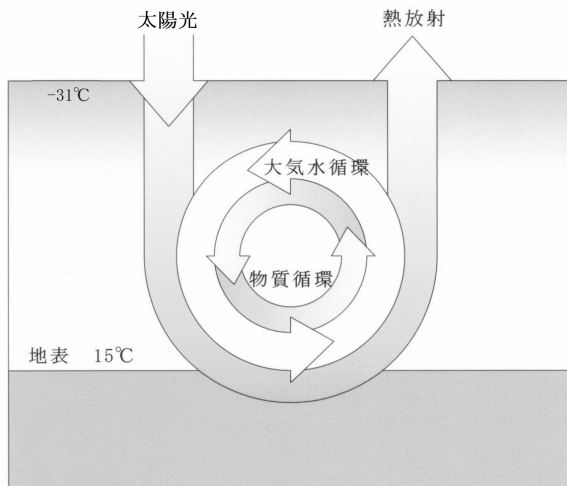


図 6-7 地球熱機関の構造

太陽放射から受け取ったエネルギーによって大気は暖められ重力に抗して大

気中を上昇し、同時に地表面・海面から供給される水蒸気を大気上層に運び上げます。大気は対流圏上層で冷やされ重くなり下降気流になります。水蒸気は水滴あるいは氷粒となって降水となり地表あるいは海に戻ります。水蒸気を含んだ大気は循環運動をしています。

地球の表面環境は太陽放射を熱源として大気を動作物質とする一種の熱機関を構成しています。太陽放射から受け取った熱と地表面環境の変化や大気の運動によって生じた熱エントロピーは対流圏上層からの低温赤外線放射によって宇宙空間に廃棄されています。

一般に定常状態を示す系は、物質の循環と、循環を引き起こす安定したエネルギーの供給、そして活動の結果増加したエントロピーの廃棄機構を持っています。

大気は鉛直方向の対流運動に加えて、地球の自転運動の影響を受け、地球全体を覆う大気の大循環構造を形成します。海水もまた太陽放射から受け取るエネルギーと自転運動によって大循環構造を形成しています。この大気と海流の大循環運動と地球表面地形の相互作用によって、複雑な気象現象が引き起こされています。

厳密には地球は約 46 億年前に太陽系の惑星の一つとして誕生し、一方的に冷却されており、主星である太陽の寿命とともに消え去る運命にあります。その意味で地球環境は非正常に変化し続けています。

しかし、私たちにつながる新人＝ホモ・サピエンス・サピエンスが登場したのはわずか数万年前です。新人が登場してから現在まで、ウィルソンサイクルに伴う地表面環境の激変や生物の大量絶滅は生じておらず、氷河期が継続しています。勿論この期間においても氷期―間氷期サイクルによる気温変化はありましたが、氷河期が継続しており、この氷期―間氷期サイクルを含めて、準定常的だと考えることにします。

地球生態系の第一生産者

地球の表面環境には生態系が存在しています。生態系は地球環境の激変に対応しながら 40 億年近くも連続と続いています。

生態系の中で、他の生物に依存せず、無機栄養と環境中のエネルギーによ

て有機化合物を生産するものを第一生産者と呼ぶことにします。現在の地球の生態系で主要な第一生産者は植物です。

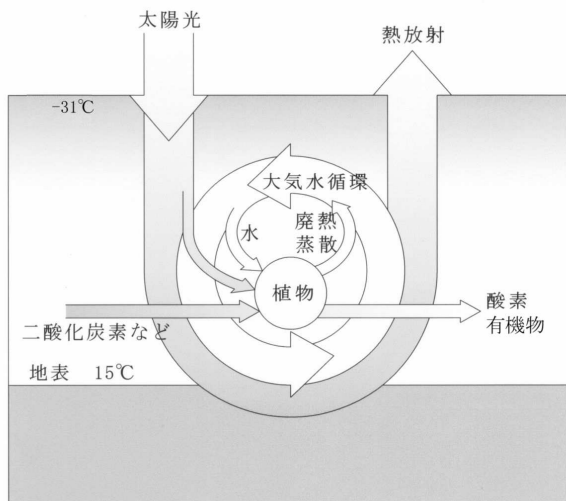


図 6-8 植物

5-5 節で示したように、植物は光合成反応で水 H_2O と二酸化炭素 CO_2 を材料として太陽光から受け取るエネルギーを使ってブドウ糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ と酸素 O_2 を生成します。植物の体組織や果実や種子は動物の食料となります。

反応で生じた熱エントロピーは水の蒸散によって大気中に放出され、大気水循環を介して宇宙空間に廃棄されます。

大気中の CO_2 濃度は 400ppm 程度です。図 2-2 に示す IPCC による炭素循環図によれば、光合成によって消費される CO_2 量は炭素重量で 120Gt/年であるのに対して、大気中に存在する CO_2 量は炭素重量で 762Gt です。大気中に存在する CO_2 量は光合成によって消費される CO_2 量の 7 年分にも満たないのです。もし地球の生態系が植物だけで構成されていたならば、生態系はごく短期間で消滅します。

分解者としての動物

動物は他の生物に依存して生きている従属栄養生物です。動物は独立栄養生

物である植物などによって合成された有機物や他の動物の体組織を食料として取り入れます。体内では食物で取り入れた有機物と酸素を反応させることでエネルギーを取り出すとともに CO_2 を放出します。また、食物は動物の体組織の材料として利用されます。

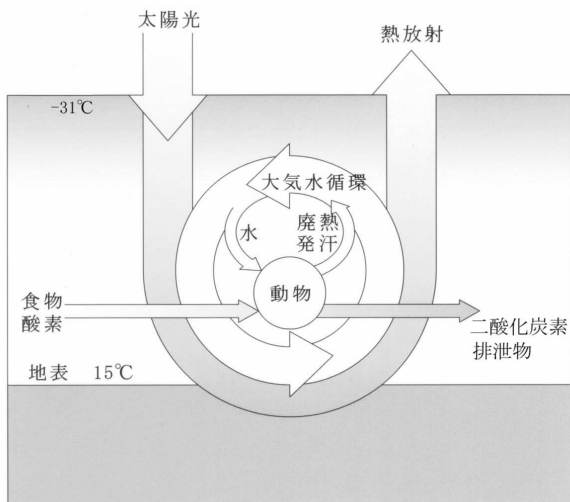


図 6-9 動物

動物は活動で増加した熱エントロピーを体表面からの熱伝導と汗の蒸発潜熱として大気に放出します。大気が受け取った熱エントロピーは大気水循環を介して宇宙空間に廃棄されます。動物に利用できなかった食物や老廃物は排泄物として環境に廃棄されます。

動物の体組織や排泄物は更に他の動物の食料となります。動物の多段階の食物連鎖によって最終的に菌類やバクテリアによって無機物に分解されます。

動物は従属栄養生物なので、独立栄養生がいなければ存続することは出来ません。

生態系という循環システム

植物だけで構成されたシステムあるいは動物だけで構成されたシステムは、利用する資源の枯渇によって短期間で崩壊します。安定した定常状態を長期間

維持するためには、利用可能なエネルギーの供給と同時に物質の循環構造が必要です。植物だけ、あるいは動物だけのシステムでは有用資源を一時的に消費し、短期間で崩壊します。

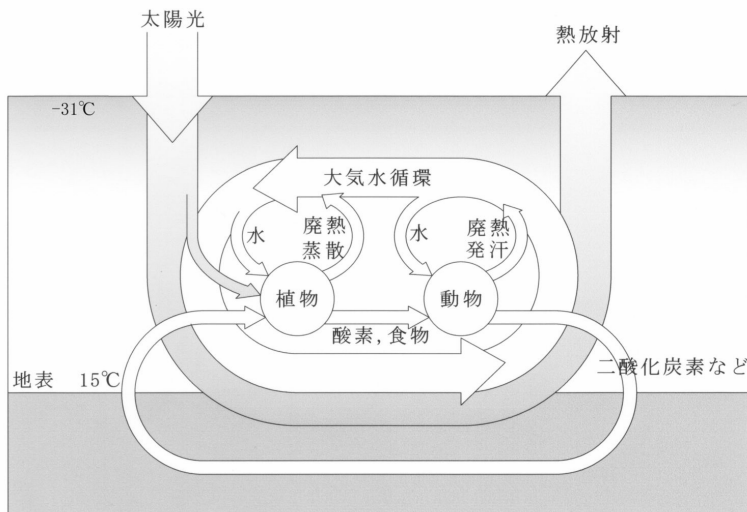


図 6-10 生態系の循環構造

地球の生態系は植物と動物によって構成されています。第一生産者である植物は主に無機栄養素と CO_2 と H_2O を原料として有機物と O_2 を生成します。植物とその果実や種子は草食動物の食料になり、 O_2 は生物が呼吸によってエネルギーを得るために利用されます。動物の多段階の食物連鎖によって、有機物が分解され、最終的に CO_2 と無機物と排熱になります。 CO_2 と無機物は再び植物に吸収されます。

植物あるいは動物単独では一方的な有用資源の消費であった生命活動が、植物と動物で構成される生態系として結びつくことによって栄養循環という形の物質循環が形作られます。生態系の活動から生じる熱エントロピーは大気水循環によって対流圏上層からの低温赤外線放射で宇宙空間に廃棄されます。

こうして生態系の活動は地表面環境に汚染を残すことなく不断に更新されるため定常的な低エントロピー状態を維持しています。

工業生産システムと環境問題

工業生産が開始される以前は、人間を含めた地球生態系は太陽からの安定したエネルギー供給と物質循環によって準定常的な状態を維持していました。人間社会は生態系の準定常的な物質循環から得られる更新性資源によって維持されていました。したがって人間社会からの廃物が環境を汚染することはありませんでした。

工業生産システムは、もともと地球の表面環境や生態系に含まれていなかった、化石燃料をエネルギー源として鉱物資源を原料として消費する特異なシステムです。

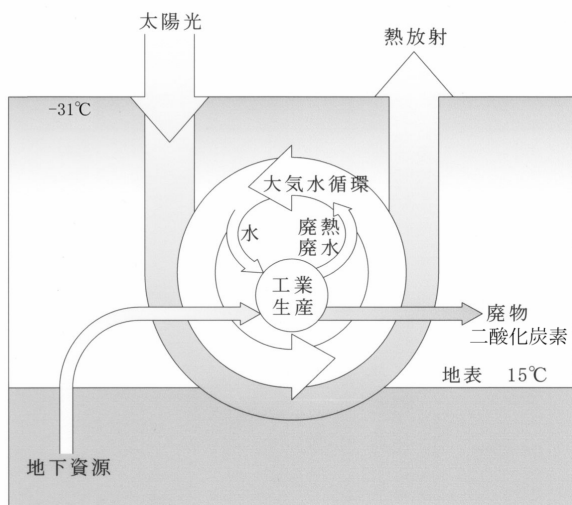


図 6-11 工業生産

工業生産システムは、化石燃料から得られる燃焼熱と熱機関から取り出した力学的エネルギーを利用することによって成り立っています。化石燃料の燃焼で生じる CO_2 と H_2O そして排熱は生態系の物質循環や大気水循環によって処理されるため、生態系の物質循環の定常性を乱すことはありません（局所的には工業的エネルギーの大量消費で異常な気温上昇が生じています）。

工業生産システムは、化石燃料という有限の地下資源からエネルギーを得ることによって駆動されています。化石燃料を含む地下資源は工業生産によって

一方的に消費され、廃物となって環境中に廃棄されます。

工業的リサイクルによって、原料資源の一部を循環利用しようと試みられています。しかし、工業的リサイクル自体が工業生産過程であり、新たな化石燃料とその他の鉱物資源を消費します。無理な工業的リサイクルはバージン資源を原材料とするよりも化石燃料を多量に消費することもあります。

工業生産システムには定常的な物質循環がなく、化石燃料の枯渇によって有限の期間で終焉を迎えることとなります。

工業製品はもともと生態系を含む地球の表面環境に存在しなかった鉱物資源を原材料として製造されています。また、工業生産過程で人工的に新たな物質を合成しています。工業製品は耐用期間が経過した後はすべてが廃物となり環境中に廃棄されます。

工業生産過程から生み出される不純物や廃物、そして工業製品に含まれている生態系にとって分解できない毒物によって地表面環境や生態系の物質循環が汚染されることが環境問題の本質です。

環境問題のもう一つの側面は、工業的な強力な技術によって生態系を含む地表面環境がかつてない勢いで急速かつ大規模に改変され、地表面環境の水循環と生態系の物質循環が破壊されていることです。

環境問題と温暖化対策

地球生態系の第一生産者である植物の光合成反応にとって CO_2 は必須の資源です。現在の大气中 CO_2 濃度は低すぎるため、大气中 CO_2 濃度の上昇は植物のブドウ糖の生産性を高めます。大气中 CO_2 濃度の上昇は生態系を豊かにします（例えば、施設園芸では灯油を燃やしてハウス内を暖めると同時に CO_2 濃度を上げています）。

人為的 CO_2 地球温暖化説が蔓延し始めると、従来の環境問題の影が薄れ、温暖化こそが最重要な環境問題であるという認識が常識として定着しました。その結果、「 CO_2 を放出しないこと」＝「クリーン」という奇妙な認識が広がりました。

例えば、「温暖化対策のために CO_2 を放出しないクリーンな原子力発電を」という主張は原子力発電継続の格好の免罪符となっています（もっとも、この

認識は全く事実誤認であって、原子力発電を運用するためには膨大な化石燃料が消費されています。)

原子力発電システムを運用することによって不断增加する放射性廃物は、生態系を汚染する最も危険な毒物です。しかも原子力発電の操業終了後、数千年～数万年に及ぶ途方もない期間の厳重管理が必要です。管理のためには莫大な資源を投入して放射性物質を環境から隔離するために頑強な施設を建設するだけでなく、温度管理のために膨大なエネルギーを消費します。

数千年～数万年に及ぶ期間の気密性を保証するような構造物建造技術は、人間のライフタイムスケールとかけ離れており、検証の方法はなく実現は不可能と考えるのが常識的な判断です。極めて高い確率で放射性物質の環境への漏洩が起こることを覚悟すべきでしょう。放射性物質の環境への漏洩は生態系を遺伝子レベルで長期間攻撃することになります。

環境問題という視点からは、原子力発電は最も早急に利用をやめるべき工業技術だということを再確認する必要があります。

再生可能エネルギー発電については 5-6 節で詳しく検討した通り、発電過程では化石燃料を消費しませんが、発電装置システムの製造・建設・運用・維持管理・補修・廃棄の各段階で大量の化石燃料を消費します。同量の電力を供給する場合、火力発電よりも化石燃料を大量に消費するため CO₂排出量は増加します。



写真 6-6 里山を切り開いて建設されるメガソーラー発電所

勿論、CO₂地球温暖化は虚像であり、CO₂は生態系の第一生産者である植物にとって重要な資源であり、環境問題とはかかわりありません。環境問題の対策としてCO₂放出量を削減するというのは全く無意味です。

しかし、工業社会を支える希少資源である化石燃料を浪費するという意味で再生可能エネルギー発電は導入すべきではありません。

更に、再生可能エネルギー発電は余りにも非効率的なため、同量の電力を供給するために火力発電に対して少なくとも数十倍の資源を必要とし、工業生産規模を爆発的に大きくします。これは工業生産に伴う環境汚染を確実に大きくします。

耐用期間が経過した後は発電装置システムそのものが巨大な廃棄物になります。莫大なボリューム自体が大きな問題です。更に、例えばソーラーパネルには鉛、セレン、カドミウムといった有害物質が含まれており、産業廃棄物として処理する必要がありますが、有害物質の漏洩が避けられないでしょう。

そして、低効率な再生可能エネルギー発電装置の建設によって里山の植生が広範囲に失われることになります。

再生可能エネルギー発電の導入によって、莫大な鉱物資源と化石燃料が浪費され、広範囲に自然環境が破壊され、莫大な廃棄物によって環境が汚染されることになります。再生可能エネルギー発電の導入は環境問題を激化させます。

環境問題対策には科学的視点が不可欠

環境問題としてマイクロプラスチックによる生態系の汚染が注目を集めています。プラスチックごみが大量に発生する本質的な原因は、プラスチックが加工しやすく軽量で適度の強度を持つことから工業製品のいたるところで使用され、また市場経済の商品大量流通において梱包資材・容器として使いやすい材料なので大量に生産されているからです。そしてもう一つの理由は、利用価値を失った廃プラスチックの後処理に失敗したことです。本来ゴミとして処理すべきものが、行き過ぎたリサイクルによって環境が汚染されているのです。

リサイクルについて整理しておきます。

工業的リサイクルは、地下資源を消費しながら行われる工業生産過程の一種であり、原料資源の一部として一旦工業生産システムから廃棄された物を再利

用しているだけです。

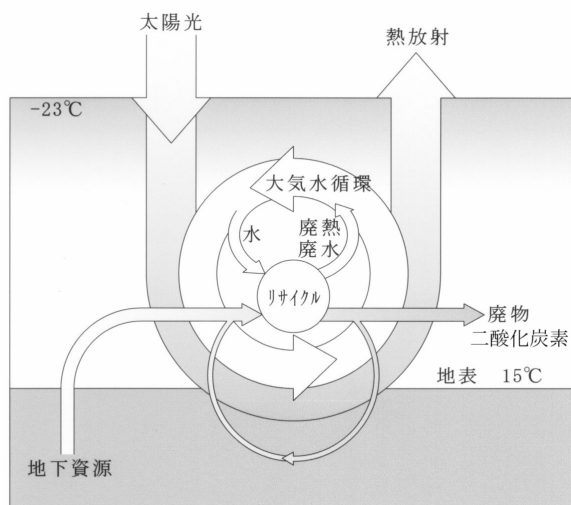


図 6-12 リサイクル

有用な工業的リサイクルとは、バージン資源を利用するよりも低コストで同等の製品を作ることができる工業生産過程です。この場合、リサイクル製品には商品価値があり市場が成立します。

例えば、鉄屑や銅線であれば、バージン原料を使って製鉄、精錬を行うことに比較すると、ただ溶解するだけで即座に製品となるのでとても安上がりです。安上がりという意味は経済的な意味だけではなく、製品製造に投入する地下資源量やエネルギー量が節約され、したがって工業生産過程から新たに生じる廃物量が少なくて済むことを意味しています。

ところが、環境問題が注目され始めると無意味なりサイクルが始まりました。工業的に有用であることよりも、捨てるのがもったいないからという理念が先行し、廃物量を減らすこと自体が自己目的化しました。

伝統的な屑屋のリサイクルは業者が有償で屑を買い取っていたのとは逆に、最近の無意味なりサイクルではリサイクル資源を提供する側がリサイクル処理業者に処理費を支払う「逆有償」になりました。

これは、無理なりサイクルによる再資源化はバージン資源を使うよりもはる

かに大きなコストがかかること、再資源化の過程で大量の新たな資源とエネルギーの投入が必要なことを示しています。しかも雑多な混入物のために再生品は低品質の製品にしかありません。これではリサイクル製品には市場競争力がなく経済的に「リサイクル業」は成り立ちません。そこでリサイクル業を維持するために逆有償が必要になりました。

適正なリサイクルとは経済的、物理的に有効な再利用が可能な経済価値のあるリサイクルです。それ以外の工業廃物はごみとして処分すべきです。

容器包装リサイクル法などによって政策的にプラスチックについてもリサイクルが推奨されるようになりました。しかし、プラスチックごみは材質が多種多様であり、質的に安定した再生プラスチックを作ることは高コストになるため、一般的に再生品の品質は低くなります。その結果、再生プラスチックに対する需要は低く、回収した再生用のプラスチックが利用されずに溢れ、処分できずに山積みとなり、最終的にはゴミ輸出で処理されているのが実情です。実際には不法投棄も相当量に上るものと思われます。

科学的・経済的な合理性のない愚かな政策によって行き場を失ったプラスチックごみが環境に溢れ出し、劣化し微細なプラスチック片＝マイクロプラスチックとなって生態系を汚染しているのです。



写真 6-7 処理できずになったリサイクル資源

ゴミ処理の基本的な方向は、工業的な処理によって出来るだけ生態系に無害な物質にして環境に還元することです。どう処理しても環境を汚染する有害物質は体積を小さくした上で安定化処理して管理することです。どう処理しても毒性を消すことのできない有害物質の典型的なものが「核廃物」です。この種の工業廃物を生むような工業生産はいくら便利であったとしても利用すべきではありません。

プラスチックの組成の大部分を占めているのは炭素 C と水素 H です。これは生態系に悪影響を与える物質ではありません。むしろ生態系を構成している基本的な物質なので、積極的に生態系の利用できる形にして還元することで生態系を豊かにします。

プラスチックごみの問題である体積の大きさと分解しにくい特性を解決する最も合理的な処分方法は焼却することです。プラスチックごみは焼却によって体積が激減し、大部分は生態系で処理可能な排熱と H_2O と CO_2 に分解されるためそのまま環境中に放出して問題ありません。

ただし、塩素 Cl などの添加物によっては焼却の過程で有害性のある物質となって新たな問題を引き起こすこともあるため、焼却方法あるいは有害物質の除去には注意が必要です。焼却灰と除去した有害物質は安定化処理した上で管理された施設で埋設処分することになります。

プラスチックの焼却によって得られる廃熱のエネルギーは火力発電で利用することができます。容器包装リサイクル法を改定して、プラスチックごみの焼却処分を全面的に解禁すれば、プラスチックごみは発電用燃料として有償で引き取ることも可能になるかもしれません。そうすればプラスチックごみの不法投棄は激減するでしょう。

プラスチックを燃やして熱エネルギーを利用することはきわめて合理的な工業的な再利用です。これによって新規に消費する化石燃料が減少するとともに、無意味なプラスチックのリサイクルに投入する化石燃料を節約できるため、化石燃料消費は減少します。

生態系の第一生産者である植物にとって CO_2 はかけがえのない重要な必須資源です。樹脂製品、紙製品、木材などの炭化水素系のゴミを焼却処分するこ

とは、人間社会から出たゴミを地球の生態系が処理できる有用資源に還元する、最も優れたごみ処理方法です。

理念ばかりの非科学的なリサイクル至上主義と「人為的 CO₂ 地球温暖化説」という虚像が CO₂ の放出を忌避する「温暖化対策」を生み出し、これがプラスチックごみ問題を悪化させているのです。環境問題の解決には自然科学的な合理性が必要です。

【 参考文献 】

- 1) 槌田敦 資源物理学入門 NHK ブックス 1982
- 2) 槌田敦 新石油文明論 農文協 2002
- 3) 槌田敦 「地球生態学」で暮らそう ほたる出版 2009
- 4) 室田武 天動説の経済学 ダイヤモンド社 1988
- 4) 近藤邦明 温暖化は憂うべきことだろうか 不知火書房 2006
- 5) 近藤邦明 検証温暖化 不知火書房 2019
- 6) E.シュレーディンガー 生命とは何か 岩波新書 1975

結 語

現在はとても奇妙な時代です。現実世界で起こっている現象を自然科学に基づいて判断すれば、おそらく誰もが納得できるであろうごく当たり前の主張が奇異の目で見られ、それどころか非難されます。

その一方で、専門家と言われるごく少数の研究者が超高速コンピューターの仮想空間の中で描き出した、現実世界の現象と明らかに食い違っている仮想現実を多くの人々は信じて疑いもしません。

今年 2020 年からパリ協定の実施期間に入ります。世界の大多数の国が批准したパリ協定の第二条目的の第一では次のように述べています。

「世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも摂氏二度高い水準を十分に下回るものに抑えること並びに世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも摂氏一・五度高い水準までのものに制限するための努力を、この努力が気候変動のリスク及び影響を著しく減少させることとなるものであることを認識しつつ、継続すること。」

この内容は過去の歴史的事実から見て、あるいは自然科学的にも到底同意できるものではありません。

完新世で最も寒冷であった小氷期からの気温上昇が 2℃を超えることで「気候変動によるリスク」が著しく増大するというパリ協定の前提は誤った認識です。現在よりも 2℃ほど高温であったと考えられる千年ほど前の中世温暖期は温暖で穏やかな時代でした。その後 14 世紀から 19 世紀まで続いた寒冷な小氷期は、飢饉が頻発した厳しい時代でした。

こうした歴史的な事実は一部の研究者しか知り得ない特殊な情報ではありません。初等中等教育の歴史の教科で教えられてきた基本的な内容であり、かつては平均的な日本国民であれば誰でも知っていて当たり前の事柄でした。

ところが、IPCC の権威を背景として「人為的に放出された CO₂による温暖化の脅威」が吹聴され始めると、歴史的な事実、あるいは自然現象に対する科学的な評価さえ覆されることになりました。

初等中等教育の現場では、教科の内容と明らかに矛盾する「温暖化」に対する情報が、論理的な思考力が未熟で教師の言葉を疑うことを知らない児童生徒に対して繰り返し、繰り返し刷り込まれることになりました。この「温暖化教育」という名で行われる洗脳の成果によって、若い世代ほど温暖化の脅威を無批判に、自明のこととして信じています。

前著「検証温暖化」では、「人為的 CO₂ 地球温暖化説」に対する科学的な検証を行いました。本書はその姉妹編として、現在「温暖化の常識」として信じられている事柄の多くが、初等中等教育の教科の内容から見てさえ如何に非常識なものであるかを紹介することで、余人には評価することのできない不可侵の領域と見なされている「人為的 CO₂ 地球温暖化脅威説」が、私たち自身の常識の範囲で検証し評価できる問題であることを示しました。

本書では、「人為的 CO₂ 地球温暖化説」を無批判に受け入れている科学教育に携わる教師や研究者、あるいは大学生を含む若者たちの行動を厳しく批判しています。それは、科学性を捨てて声の大きな主張を自ら評価することなく妄信しているからです。これは無謀な戦争に突入していったかつての日本の教師や若者たちの轍を踏む行為です。温暖化問題に限らず、大衆が自ら考えることを止めた時、世界はまた危うい状況を迎えることになるでしょう。

愚かなパリ協定の下で進められようとしている無謀な温暖化対策から脱却するためには、大衆、とりわけ教育関係者や若者が思考停止状態を脱して、自らの頭で考え、声を発すること以外にないと考えます。本書がそのための一助となることを願っています。

2020年10月

近藤 邦明

近藤邦明

1957年 大分県別府市生まれ

1982年 大阪大学大学院工学研究科前期課程修了

土木工学専攻 工学修士

鉄鋼メーカーエンジニアリング部門勤務を経て、

現在別府市で自営業

ホームページ「環境問題」を考える”主宰

<https://www.env01.net>



著書 温暖化は憂うべきことだろうか 2006

誰も答えない！太陽光発電の大疑問 2010

東電・福島第1原発事故備忘録 2011

電力化亡国論 2012

公立高校とPTA 2015

検証温暖化 2019

いずれも不知火書房から

温暖化の虚像 — 間違った温暖化対策が社会・環境を破壊する
シリーズ [環境問題を考える]6

2020年10月 第1版発行

2021年8月 第1.1版発行

著者 近藤邦明

E-mail : kondoh@env01.net

温暖化は憂うべきことだろうか CO₂ 地球温暖化脅威説の虚構



ISBN 978-4-88345-041-4

近藤邦明 ①化石燃料の燃焼による温室効果ガスの増大で気温が上昇、人間社会に破滅的な悪影響が広がると主張するCO₂地球温暖化脅威説。本書ではその科学的な妥当性を徹底検証、実はその「予測」がスーパードットコム・コンピューターの中で創り出された虚構でしかなく、実証的な研究とことごとく矛盾するものであることを明らかにする。「妄説」は誰が広め、なぜ信じられた？ ②「温暖化防止」CO₂削減を大義名分に導入が図られている石油代替エネルギー供給技術（太陽光発電・風力発電・燃料電池・原発など）の有効性を検討、それらが石油と鉱物資源を浪費する「環境破壊」システムであることを明らかにする。③事実と虚構を区別して、環境問題論議、エネルギー問題論議を科学の道に引き戻すことを提言する。シリーズ「環境問題を考える」1 A5 2000円＋税

誰も答えない！ 太陽光発電の大疑問 エネルギー供給技術を評価する視点



ISBN 978-4-88345-047-3

近藤邦明 本書では、現在進められている電力分野におけるCO₂削減政策を、自然科学あるいは技術の問題としてその有効性を検討、結論として、今回国が打ち出した「太陽光発電電力の高値買取制度」が、①環境政策としては科学的に根拠の無いもので（温暖化は人為的CO₂排出とは無関係の自然現象）、②技術的にもはじめから完全に破綻していること（発電装置の製造に投入したエネルギーを耐用期間中に回収することさえ不可能）を明らかにする。また、経済政策としては③電力会社に低所得層・一般消費者から法外な電気料金を徴収することを認め、④太陽光発電を設置した富裕層をトンネルとして太陽光発電装置メーカーにこれを横流しすることを国が制度として強制する亡国の経済政策であることを明らかにする。シリーズ「環境問題を考える」2 A5 1200円＋税

電力化亡国論

核・原発事故・再生可能エネルギー買取制度

近藤邦明

シリーズ「環境問題を考える」4

A5 2000円＋税



▽「発電」とは電気を創り出すのではなく、何らかの有効なエネルギーを電気エネルギーに「転換」すること。電気は便利なエネルギーであるが、「転換」の過程で膨大なロスを生む。

▽「電力化」とは、電気エネルギー以外で実現できる機能を取って電気で実現しようとするをいう。「電力化」は社会全体の一次エネルギーの利用効率を著しく悪化させる。

▽福島原発事故の破局を経験して、日本では今、原子力発電に対する怒り、嫌悪が国民レベルで強まり、脱原発の気運が広がっている。脱原発は正しい選択である。しかし、「脱原発のための再生エネルギー発電」は間違った選択である。再生エネの導入拡大は、短期的に原発以上に資源・エネルギーを浪費する。

▽10年前に自然エネルギーグリーン電力導入に舵を切ったヨーロッパでは今、エネルギー利用効率の悪化⇨電気料金の高騰で固定価格買取制度が相次いで破綻している。日本は「先発国」の失敗に学ばず、なぜ亡国の坂道を転がり落ちていくこうとするのか。

本書では、①核武装と結託することで形成された巨大電力権のクラクリを明らかにし、②原発廃止と整合性のある対応は自然エネルギー発電の導入拡大などではなく、できる限り社会システムの最終エネルギー利用形態を電気以外に戻すこと、「脱・電力化」であることを示す。今ほど冷徹で科学的な政策判断が必要とされている時はない。

『脱原発のための再生エネの導入拡大』という言説は、科学的根拠のないデマである。再生エネ固定価格買取制度の先発国、スペイン・ドイツでは電気料金の高騰と財政赤字で制度が破綻した。日本はなぜ先発国の失敗の教訓に学ばないのか。

ISBN978-4-88345-053-4

