

触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

地球温暖化の原因と“脱炭素ビジネス”

御園生 誠

はじめに

気候変動に関する国連報告が出た機会に改めてこの問題を考えてみた。また温暖化かと思う方も、また、緊迫したウクライナ情勢でそれどころではないという方も少し我慢してお付き合い願いたい。内容は目次の通り。時間のない方は、2章を飛ばして、もっと忙しい方は3章も飛ばしてご覧ください。

目次

はじめに 自分なりの結論

1. 未来ビジョン もっと考えねば
 2. 地球温暖化は人間のせいかな 自然要因大
 3. 対策 コストパフォーマンス
- おわりに 気候変動雑感

慎重かつ客観的に述べたつもりだが、筆者の誤解や思い込みもあると思うので、忌憚のないご意見を頂ければ幸いである。

“気候正義”を錦の御旗に、急いで化石燃料を捨て、早く太陽光・風力発電、電気自動車、水素を普及せねば世界が終わると言わんばかりに、多くの人が効率もコストもお構いもなしで“脱炭素”（註1）を追っている。他方、温暖化の主因は自然変動だとして慎重な対

策を求める人も少なくない。いずれの考えであれ、2030年までにCO₂排出を真水で半減することは無理なのだから、ここらで立ち止まって冷静に考えた方がよいのではないか。

問答無用で国論が一方向に傾くことにはかつて日本が通った戦争への道のような危うさを感じる。とりわけマスコミが先頭に立って旗を振っているときそう思う。立花隆氏曰く「寒冷化の可能性もある。バカのひとりつ覚えのように温暖化の危機を叫ぶばかりではいけない」（文芸春秋、2012）。

筆者なりの結論を先に述べると、「エネルギー・資源の節約は進めるべきだが、『2050年までに脱炭素』のような過激な対策は不適切である（拙速である）。それは不可能だし、そこまでやる必要はない。温暖化は少なくとも半分は自然要因であり、それに緩和策以外にも適応策があるからである。着実に、炭素フリーエネルギーの拡大、エネルギー・資源利用全体の効率化、省資源・省エネなどを実施しCO₂排出を21世紀中盤までに半減もすれば上出来」である（拙著『現代の化学環境学』、裳華房、2017）。

そして、その先のことはもっと時間をかけて考えるのがよい。なお、温暖化対策につい

ては本ニュースに鈴木俊光氏 (No.154)、中条哲夫氏 (No.157) の論考がある。

1. どんな未来ビジョンを描くのか

人間社会と自然のあるべき未来の姿、つまり未来ビジョンをどう描くべきであろうか。今、前面に出ている「脱炭素」「カーボンニュートラル」の諸施策は、長い目で見て日本と世界の良い未来に本当に貢献するのだろうか (註2)。

未来ビジョンを描くうえで、情報技術、生命技術そして政治・経済の見通しは欠かせないが、これは本稿のテーマではない。

他方、人間活動のベースとなるエネルギー・資源のうち、エネルギーに関しては「21世紀末までに CO₂ 排出量を実質ゼロにする」という大枠が国際的に決められた。さらに主要国は 2050 ないし 2060 年までにそうすると宣言している。世界の CO₂ 排出量が実質ゼロとは「世界中で化石資源を使わない」こととほぼ同義である。化石資源の消費はエネルギー利用がほとんどで、化石燃料 (エネルギー利用の化石資源) は燃えて CO₂ になるからである。

CO₂ 排出実質ゼロを実現するには、今使っている化石燃料をすべて再生可能エネルギーと原子力発電に替えるか、あるいは化石燃料を使う場合は、燃焼により生じる CO₂ をすべて分離貯蔵 (CCS) する必要がある。しかし、CCS 実用化のメドは立っていない。

世界の一次エネルギーの 8 割を占める化石燃料の消費をゼロにすることが本当によいことなのだろうか。かりに全量を再生可能エネルギーに替えると、太陽光パネル、風車そして蓄電池が見渡す限り野山と屋根を覆

いつくすことになるかもしれないが、それは良い景色だろうか。その経済負担に耐えられるだろうか。

その上、脱炭素を最優先に考える今の風潮に従えば、もし炭素フリーのエネルギーを大量に供給できた場合、エネルギーはいくらでも使ってよいことになりかねない。資源の制約さえも、エネルギーを大量に使うリサイクルによって取り払われ、資源をいくら使ってもよいことになる。そうなると、大量生産・大量消費の 20 世紀型社会の再来である。これは目指すべき未来像ではないだろう。期待するのは、エネルギー、資源の消費が適切に抑制された社会なのではないだろうか。

2. 地球温暖化は人間のせいか

6IPCC 報告 (国連気候変動に関する政府間パネル第 6 次報告) の第 1 作業部会の政策決定者向け要約 (SPM、2021 年 8 月) は、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」「自然起源の駆動要因と内部変動は、とくに地域規模で短期的には人為的な変化を変調するが、百年単位の地球温暖化にはほとんど影響しない」と述べている。つまり IPCC は、過去百年余にわたる温暖化は人為的要因のみによると言いきったといえよう。

他方、赤祖父俊一氏 (『正しく知る地球温暖化』(2008)) のいう「現在の気温上昇は、主として中世温暖期に続く 13 世紀ごろから 17 世紀頃にかけて地球を見舞った寒冷期 (小氷期) からの気温回復期にあるためである」に賛同する人も多い。地球の気候に太陽活動の影響が大きいことは広く知られている。ちなみに赤祖父氏は気温上昇分のうち 6

分の5は自然要因であると推定した。

以下、両論の当否を、1) 過去約1万年と2) 過去約150年間について考える。この結果を見れば、6IPCC報告の主張には無理な点が多々あると思うのではないか。

2.1 過去1万年の地球気温と大気中CO₂濃度

地球の気候が人間活動の拡大によってどうなるかが焦点であるから、最終氷期後にホモサピエンスが急拡大した過去1万年を考察するのは適当であろう。

図1上は、グリーンランドの氷床中に含まれる酸素の同位体比から推定された気温で(GISP2,1993)、約1000年周期の大きな気温変動が約10回ある。その中には10世紀頃の中世温暖期とそれに続く小氷期が存在する。図1下には南極氷床(EPICA)で得られた大気中のCO₂濃度を示した。19世紀半ばまで大気中のCO₂濃度に大きな変化がなく260~280 ppmの範囲にある。図1を見て気づくことは、気温に顕著な変動があるのに(上図)、CO₂濃度には対応した変化がなく(下図)、両者は無関係であることである。

ここで寒冷地の一地点の観測結果を地球全体に拡張して議論することの妥当性について若干吟味しておこう。CO₂濃度については、多くの測定・推定値があり、19世紀半ばまでいずれも250~300 ppmの範囲にあるので、この結果は地球全体に拡張してよからう。次に気温であるが、以下の考察により地球全体のものとみなしてよいであろう。

(1) 寒冷地であるから気温が当然低い。極地の気温変化は地球全体の約2倍とされていて(極地増幅)、図1上の右軸に示した地

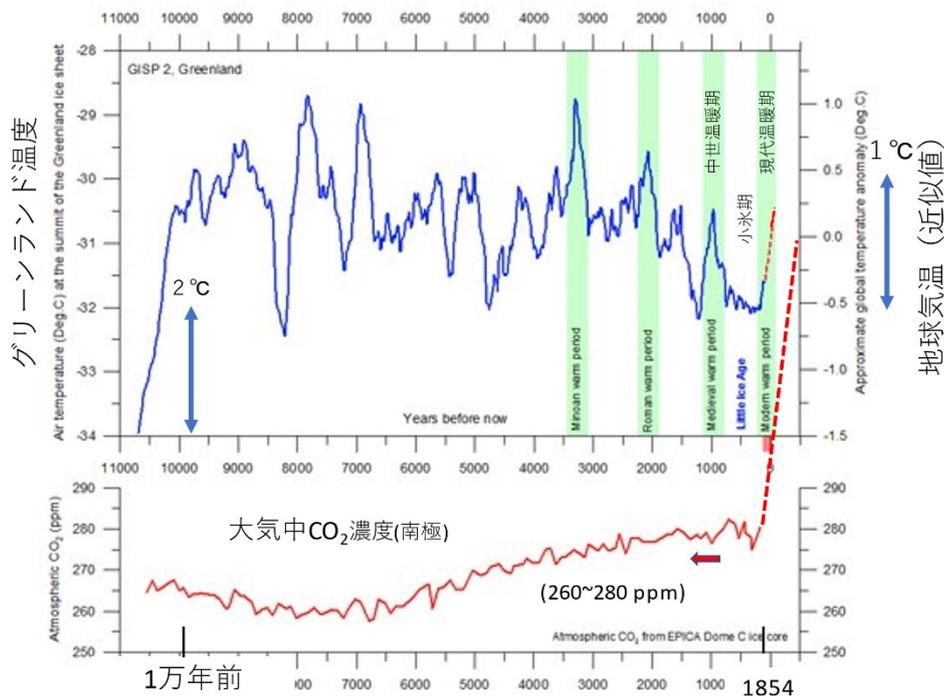
球平均気温の変化は半分になっている。それでも約1度の変動がある。

(2) 図1上の報告後に、Vintherらがグリーンランドの6地点で気温を測定し、岩盤の高さと氷床の厚さの変動を補正すると観測6地点の変化がほぼ同じになることを示した(Nature, 2009)。従って、図の結果は少なくともグリーンランド全体には通用する。なお、彼らはその後中世温暖期、小氷期の存在を示しているが(2011)、中世温暖期、小氷期の存在を支持するものは多い。

(3) 6IPCCにおける“新ホッケースティック曲線”の登場。3IPCC報告(2001)に掲載されたホッケースティック曲線は、多くの批判を浴びて表舞台を去った。

ところが今回6IPCC報告(2021)でこれが見事に復活した。それも2000年前に遡った時点から気温が、変動はあるものの単調に低下して20世紀以降急上昇している。その結果、図1にあった中世温暖期も小氷期もなくなり、近年の気温上昇が際立って見える。復活の理由は、中世温暖期は欧州に限定されたもので、地球全体を平均すると存在しないということらしいが(国立環境研江守正多氏)、6IPCC報告は、この重要な変更についてそれにふさわしい説明をしていない。

中世温暖期とそれに続く小氷期の存在が地球全体に見られたことは、屋久杉や伊勢杉の年輪にも、日本、中国の古文書にもある。また、米国科学アカデミーがまとめた気温変化(2006)でも確認できる。これらが太陽活動の影響ならば当然全地球に及ぶ。このように、新ホッケースティック曲線には大いなる疑問符がつく。その上、図1の1万年全体を見ると、CO₂濃度は増加傾向にあるが、気温は逆に低下傾向が見える。



1.1 万年前から1854 年迄 (図の実線部)、CO₂ 濃度と気温の間に相関なし。近年、両者とも増加しているが(破線)、気温上昇が先行か (図 3)

図 1 過去約 1 万年間の地球気温 (～1940 年) と CO₂ 濃度の変化 (～1854 年)

(上はグリーンランド氷床から。緑色のタテ帯は温暖期。下は南極氷床からの推測値。上図に中世温暖期と小氷期が存在する。図右端には最近の変化を追加、次節参照)

従って、この図を見るかぎり、19 世紀以前について大気中 CO₂ 濃度が気温変動の主因ではあり得ない。そして、この期間の人間活動はごく小さいから、この気温変化は自然要因によるものである。

2. 2 地球平均気温、大気中 CO₂ 濃度、人為的 CO₂ 排出量 (19 世紀末以降)

地球気温は、図 2 のように増加傾向にある (気象庁、5IPCC)。そして、図 3 のように大気中 CO₂ 濃度および CO₂ 排出量は近年急増し過去 2000 年でもっとも大きい (英国気

象庁など)。しかし、これだけでは温暖化の主因が CO₂ とはいえない。

図 2 の赤色直線はこの間の気温が大雑把に言えば直線的に上昇したことを示すが、よく見ると、すでに指摘されているように、緑色折れ線 (一点鎖線。上方にシフトして図示) で示した変動がある。20 世紀前半に気温の山があり、中盤の気温低下時には地球寒冷化騒動が起きた。5IPCC で約 40 例集めたというシミュレーション結果は、それぞれこの変動をどの程度再現しているのだろうか。

さて、図 2、3 を比較すると、(1) 図 2 の 20 世紀前半に見られる気温の山は、図 3

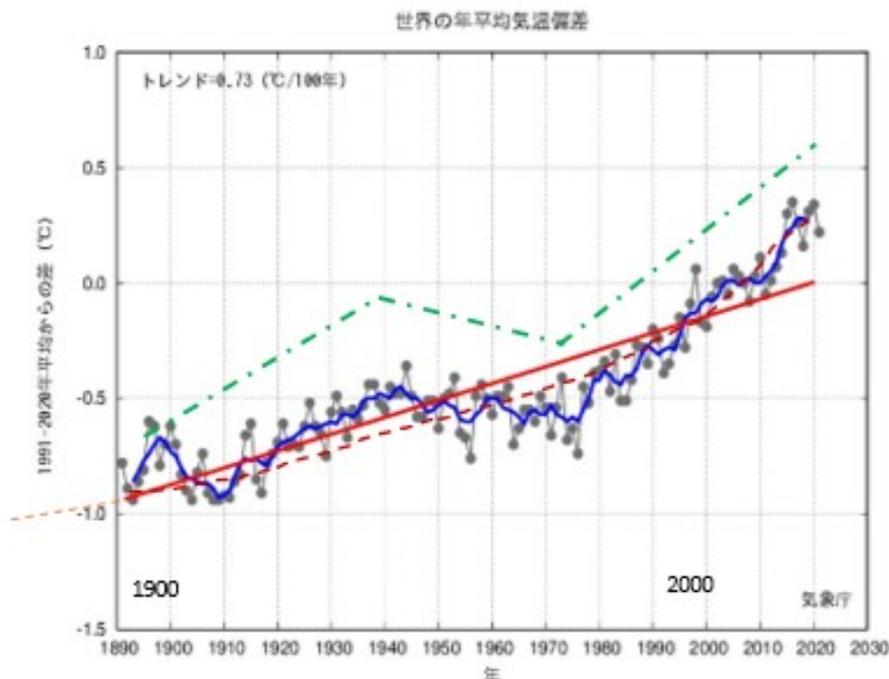


図2 19世紀末以降の地球気温の変化【気象庁（1891～2020）】

（黒線は年平均気温、青線は5年移動平均。赤色直線は気象庁による平均的気温上昇、緑色折れ線と赤色破線は筆者（本文参照））

の CO₂ 濃度・排出量には存在せず、両者の相関は低い（関連がありそうな変化が見られるがその変化幅はずっと小さい）、（2）図3の人為的 CO₂ 排出量は産業革命に伴い増加したとされるものだが、1950年頃からの急増が際立っている（註3）。

この急増を図2と比べると、気温変化の方が CO₂ 排出に先行していて、人為的 CO₂ 排出が気温上昇の主因であるとは思えない。しかし、そう断言するのはいささか早計かもしれない。その理由は、(i) 大気中の CO₂ 量（濃度に比例）は CO₂ 排出量の 100-200 倍（循環総量は約 10-20 倍）あり、排出 CO₂ は大幅に薄まるので、その変化が CO₂ 濃度に及

ぼす影響は小さい。従って、排出量だけを重視すると危険である。(ii) 気温は CO₂ 濃度の増加率の対数に比例するので（通説）、グラフから直感だけで判断することはやや危ない。

そこで、気温と CO₂ 濃度だけについて註4に述べる試算を行ってみた。まず、19-20世紀にかけて気温には約 50-60年周期の変動があると仮定して（19世紀後半にも気温の山あり（5IPCC）、これらはおそらく自然要因であるがメカニズムは不明）、さらにこの周期的変動は気温上昇には寄与しないと仮定して、気温変化からこの周期的変動を除いた残りの単調な増加分（図2の赤色破線）

Carbon dioxide emissions and atmospheric concentration (1750-2020)

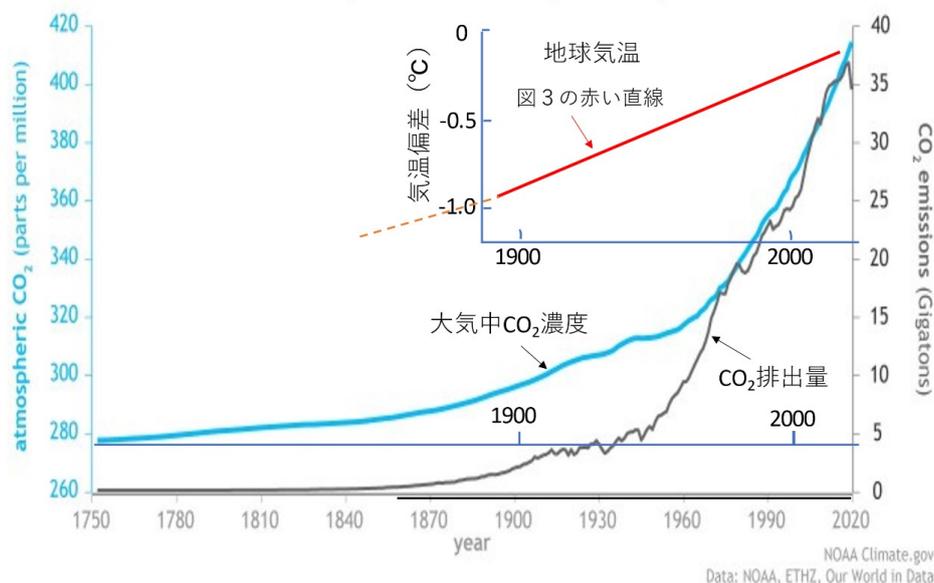


図3 19世紀からの大気中CO₂濃度と人為的CO₂排出量の変化【英国気象庁】

(元は米国 NOAA など。比較のために図3の平均的気温上昇(赤色直線)を挿入図に示した。CO₂濃度は18世紀に立ち上がり、CO₂排出量は19世紀に立ち上がり、20世紀後半に急増。本文参照)

について考えた。この単調増加分は時間に対し1.6次前後の関数となり、CO₂濃度の増加傾向(こちらは~2次超)と似た変化となるが、小氷期からの気温の回復(自然変動)もおそらく似た増加傾向を示すので、単調な気温上昇をCO₂寄与分と小氷期からの回復分に分離することは難しい。

そこであえて行った註4の具体的試算によれば、自然要因と人為的要因は半々程度とみてよさそうである。仮定がありかつ気温データの変動があるので、この試算の精度が高いとは言い難いが、自然要因が相当程度あることは確かであろう。

前節(19世紀まで気温とCO₂濃度の間に

相関なし)と本節の結果(自然要因の寄与がかなりあり)およびいくつかの事実や疑問(観測点の適正さ、データ後処理とヒートアイランド効果補正の不透明性、太陽活動の影響など。渡辺正『「地球温暖化」狂騒曲』丸善出版、2018)を勘案すると、19世紀末以降の気温上昇に対する人為起源と自然起因の寄与が半々程度としておくのがよいだろう。筆者は自然要因の方が大と見ている。

現段階では人為起源と自然要因の割合いを定量的に決めることは難しいが、「気温上昇のすべてが人為起源」とするIPCCの主張を鵜呑みにせず、ゼロベースで総合的に判断することが必要であり、その上で対策を考えるべきである。

3. 妥当な温暖化対策は？

対策としての緩和策と適応策および両者のバランスについて私見を述べる。「対策の過激さ」は温暖化リスクの切迫度と人為的要因の寄与度に依存するわけだが、前述のように筆者は、21世紀中盤にCO₂排出が半減する程度に対策し、様子を見ながら対策の強度を修正すればいいと考えている。ただし、どんな緩和策や適応策をとったとしても、人類がエネルギー、資源を浪費し続けるとしたら遠からず破綻することは確かであろう。

3. 1 緩和策（CO₂削減策）の優先順位

緩和策の一つCO₂排出量削減を考える。マスコミの記事・番組やCMのキャッチコピーに登場する緩和策やSDGsには、CO₂排出がかえって増大するのではないかと心配なものが少なくない。そこで、科学的合理性のない削減策やSDGsを排除するために、以下を発表の条件として推奨したい。

(1) **LCA** 評価領域を広くとったCO₂排出量のライフサイクルアセスメント(LCA) (評価過程の透明性必須)。製品の場合、使用時だけでなく原料、製造、メンテナンス、廃棄を含めて全体を評価する。国のCO₂排出量の場合は、原料、部品、製品の輸出入を含めて算定し、カーボン漏出(つけ回し)によるみせかけの削減に目を光らせる。

価格がメヤス 定量的評価が難しいときあるいは信頼性が低いときは、「製品の価格」をおよそのメヤスとするとよい。似たレベルの工業製品の間では価格とCO₂排出量の間でそこそこの比例関係が認められるからで

(国立環境研、3EID)、不確かなLCAよりも価格のほうが頼りになることがしばしばある。つまり、高価な工業製品や設備は、その価格に見合う大量のCO₂排出を主に製造時に出している。このメヤスは消費者にとってもモノを買う時に役に立つので推奨したい。ちなみに、日本ではCO₂排出量/GDP ≒ 2.2トン/百万円。

(2) **コストパフォーマンス** (CO₂を1トン削減するために要する費用)を評価し、それが良くて削減量大きいものを優先的に実施する。そのメヤスとして概算例を表1にあげる(日本の場合。主に前掲拙著)。

電気自動車の効用は？ 似たサイズの電気自動車とガソリン車のCO₂排出を比較すると、走行時(ガソリン vs. 電力)は電気自動車の方が少ないが、製造時のCO₂排出を算入すると両者は同程度か、わずかに逆転する(重くて高価な蓄電池が最大の課題)。この序列は、製造時と走行時に使用する1次エネルギー(発電を含む)の化石エネルギー依存度によるのだが、当分の間、大勢は変わらない。時間をかけて普及すべき。

従って、一次エネルギーに占める化石燃料の割合が多い中国、米国、日本などで、中級ガソリン車をテスラのような高価な電気自動車に替えるとCO₂排出量はかえって増大する。

そのうえ、電気自動車の場合、膨大な数の充電スタンドを新設しなければならない。充電スタンド新設時のCO₂排出(設備総費用)を含めると、電気自動車のコストパフォーマンスはさらに悪くなる。他の高価なSDG製品、例えばバイオ燃料でも、「価格がCO₂排出量の良いメヤス」となる。

表1 CO₂排出のコストパフォーマンスの概算値

削減技術	削減コスト (1トン当たりの削減コスト)	註
太陽光発電（日本）	約15万円	蓄電池約5万円を含む
バイオエタノール（ブラジルから輸入）	3～4万円	
ハイブリッド自動車	約4万円	メーカー試算値
電気自動車（本文参照, 2019）	高コスト	削減量は非常に少ない
住宅窓（樹脂サッシ、二重ガラス）	1～2万円	快適性に価値
原子力発電	約1万円	最新の安全投資は含まず
参考		
排出権相場（EU, 2021）	2～3千円	
化学産業の投資(2014)	約5万円	

3. 2 適応策の重視

自動車について特に注意すべきは、同じガソリン車でも車種により燃費が大幅に違うことである。高級セダン車と軽自動車では価格も燃費も約一桁違う。従って、ガソリン車の車種選択は「低炭素化」の重要なオプションであるが、「脱炭素」を絶対視すると、燃費改善などの「低炭素化」は対象外になってしまう。それでよいだろうか。

(3) **時間軸**（工程表）も重要。核融合のように実現時期の見当がつかない例や製造と使用の間にある「時間差」などである。「時間差」とは、たとえば、太陽光発電の普及が急速に進む場合、製造時のCO₂排出が先行して発生し、普及速度が頭打ちになるまで、太陽光発電全体としての正味の削減効果が発現しないことである。10～30年スパンの議論では無視できない。

災害が起きたときの被害を低減するために施す事前の対策が適応策であるが、適応策の具体化は遅れている。わが国でも「気候変動適応法」、「気候変動適応計画」が策定されているが具体的な実施例は聞かない。人力の及ばない自然変動があることも適応策の大事な理由である。

適応策の対象として、(1)生態系の変化、(2)気象変化、(3)海水面の上昇などがあるが、変化がゆっくりであれば大抵は対応可能である。なお、温暖化とCO₂濃度の増加により世界全体の食糧生産量は増加すると予測される。

このように適応策も程度の問題である。いま緩和策に巨額の投資がなされているが、緩和策、適応策のそれぞれについてコストパフォーマンスを比較し、両者のバランスの良い対策を講じて無駄な投資を回避したい。

おわりに—雑感

今世紀末あるいは200-300年後の人類は、今の「脱炭素騒ぎ」を振り返ってどう評価するのであろうか。よくやってくれたと感謝するのであろうか。

未来ビジョンを描くには過去を見ておく必要がある。先年評判になったハラリ氏の『サピエンス全史』(2016)では、人類は大昔にくらべ幸福になったのだろうかという疑問を呈している。これは未来への懸念でもある。知人にもそう問う人がいる。それに対して筆者は「寿命がずいぶん延びたのだから幸福になったのではないか」と答えることにしているが、未来のことは分からない。将来がよくなると思う日本の若者が非常に少ないという調査結果を知ると楽観的にはなれない。

最近人気の斉藤幸平氏は、『人新生の「資本論」』(2020)で「SDGsは大衆のアヘン。企業の免罪符」といい、資本主義下では経済成長とCO₂削減は両立しないと断言した。その後、現在の国家目標のスケール(10-30年)では不可能だが、100年スケールでは可能性があるとしている。

川北稔氏の『イギリス近代史講義』(2010)によると、「成長パラノイア」あるいは「成長信仰」(経済成長は人間の本能であり社会の維持に必須なので、止めることはできない)は、17世紀の産業革命前夜、マニファクチャー時代の英国に始まったという。つまり賃金上昇分だけ商品が入手でき生活が豊かになると期待できるようになってははじめ

て、労働者は賃金を上げるとその分よく働くようになった。それ以前は賃金を上げるとその分休暇をとって遊ぶ傾向が強かったそうだ。つまり、「成長パラノイア」は、人間が環境の変化に対応して後から身につけたもので、人間が初めから有した本能ではない。

そうであれば、環境が変われば成長を止める(あるいは大幅に抑制する)ことができるかもしれない。脱成長社会(斉藤幸平氏、ラトウシュ氏ら)、定常社会(広井良典氏)やそれに近いものが未来社会の候補になる。

国はCO₂排出量を2030年にほぼ半減、2050年にゼロにするとしている。しかし、今のエネルギーと資源の消費動向(そしてCO₂排出動向)を見ると、この目標を達成することは非常に難しい。今のライフスタイルを維持したままで、また炭素漏出や排出権取引を認めないで、あと8年でCO₂排出量半減を達成するような具体的対策を想像できない。CO₂削減対策は設備製造時にCO₂排出が先行して発生するものが多く、原発は新設を決めても完成には数十年かかるからである。このことはあと数年もすれば明白になる。先を走っているEUにおいて方針の現実的な見直しが始まるのではないかと注目している。

わが国のエネルギー政策は過激な脱炭素に向け急旋回しているが大丈夫なのだろうか。たとえば、水素社会実現の大前提は、炭素フリー水素の大量、安価、安定的な供給であるが、そのめどが立っていないのに、下流の事業(水素輸送、水素ステーション、燃料電池自動車、アンモニアなど)に巨額の資金がつぎ込まれている。大前提(クリーン水素の製

造) が崩れると下流は絵に描いた餅、砂上の楼閣になってしまう。大前提の見通しを早く知りたい。

また、脱炭素のための「グリーンイノベーション」、「グリーン成長戦略」などの研究プロジェクトや事業が推進されているが、どうして CO₂ が削減できるのかと心配なものも含まれている。コストパフォーマンスと時間軸を公表してほしい。

国策に基づく国の投資は民間の投資を呼び込み、一定期間、一部グループへ多大な利益をもたらすことは確かであろう。その利益への期待が現在の流れを加速しているものと想像できる。つまり、低炭素化に比べ規模がけた違いに大きい**“脱炭素ビジネス”**への期待である。

しかし、CO₂ 排出削減にあまり貢献せず一部の人の利益だけを生む投資や、エネルギー・資源を徒に浪費する効率の悪い投資が多くなると、長期に低迷する日本の経済はさらに弱って、下記ラピュータのように、破綻する恐れがある。

なお、原真人氏（「脱炭素マネー。高すぎる削減目標に透ける思惑」朝日新聞 2021.12.22）によると、30年間で100兆ドルにおよぶ世界の脱炭素ビジネスを仕掛けたのは金融界（カーニー氏）だそうだ。

『ガリヴァー旅行記』（1726）には、国家的な研究プロジェクトに熱心なあまり（しかし一つも成功していない）、国土が荒廃してしまった空飛ぶ島ラピュータの話がある。

その重点プロジェクトの一つとして「人糞をリサイクルして食料を生産する」研究がある。化石燃料を燃やして生じた「CO₂をリサ

イクルして燃料を製造する」にどこか似ている。これは分かりやすい例だが、今の社会には、分かり難いが実はこれと同じというものがかなりありそうである。

「智に働けば角が立つ。情に棹させば流される。意地を通せば窮屈だ。とかくに人の世は住みにくい」（『草枕』、1906）。「ゆく河の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。よどみに浮かぶうたかたは、----- 久しくとどまりたるためしなし。」（『方丈記』、1212）。諸行無常。万物流転。そして輪廻転生はなるか？

時はエントロピー増大に向け一方向に進む。この時の流れのなかで太陽エネルギーを上手に使って人間と自然が調和する社会を目指すことは間違いないと思うが、それに至るには**数百年**という長い時間がかかるのではないだろうか。目指すべき未来像を現段階で具体的に描くことは難しいが、おそらくそれはエネルギー・資源の消費がそう大きくなくてすむ新しい生活様式を基礎にしたもので（量から質への変革）、自然との関係は調和、共生であろう。今の社会と連続的なかどうかは分からない。佐伯啓思氏は「近代社会は欲望の無限の拡張を求めてきた。-----。我々はようやく富の無限の拡張に疑いの目を向けつつある」（「資本主義の臨界点」朝日新聞 2021.12.18）と述べているが、その先の方向性には言及していない。

正しい方向を模索しながらの超長期にわたる努力が求められるのであろう。

註1) 脱炭素、カーボンニュートラル、ゼロエミッション、炭素フリーなどは(本稿では区別しない)、いずれも CO₂ の排出と回収を収支ゼロにすることと思われるが、地域、期間などの境界条件を明確にすべきである。地域とは、企業、国、世界いずれなのか、期間とは、瞬間風速か一定期間の積算量なのか。

註2) 中国は一次エネルギーの約 9 割が化石燃料で、世界の CO₂ 排出の 3 割近くを占める。その 2030 年の目標が 対 GDP 比で 30% 弱削減なので、大幅な GDP 増を考えると CO₂ 排出は今後も増加し続ける。その結果、2030 年時点で中国の排出量は、増加分だけで日本の今の 総排出量の 2 倍超、日本の 排出削減目標の約 4 倍に達すると推測される。

註3) 図3の立ち上がりは、CO₂ 濃度が 18 世紀、排出量が 19 世紀で、前者が先行しているように見える。

註4) “単調増加曲線”(周期変動の 20 世紀の上下の偏差を等しいように引いた)について、まず、1970-2020 年の気温上昇を すべて CO₂ 濃度(≡人為起源)の増加によるものと仮定して、気候感度(CO₂ 濃度が 2 倍になったときの気温上昇幅)を求める。次に、この気候感度の値を使って 1900-1950 年(前期)の気温上昇を推定し、この推定値と単調増加曲線の 1900-1950 年(後期)の気温上昇値とを比べる。もし、両者が同程度なら自然要因の寄与は小さいことになるが、推定値が下回るとその分自然の

寄与があることになる。試算の具体例を以下に示すが、自然要因と人為起源がほぼ半々となる。ただし、仮定がある上、図から読み取った変動の多いデータを用いているので定量性が高いとは言い難い。

具体的には、1970-2020 年の気温上昇は約 0.65 度(図2)、CO₂ の増加率は 412 ppm/325 ppm(図3ではなく Scripps 海洋研究所の大きい図から)、その対数は 0.103。従って、気候感度は 1.9 度(単調増加曲線ではなく、この期間の気温上昇だけを考えると気候感度は約 3 度)。19 世紀の CO₂ 増加率(312/295)の対数は 0.024 なので、1900-1950 年の気温上昇の 推定値は 0.15 度。これは単調増加曲線における 1900-1950 年の気温上昇値 0.23 度の約 2/3になる。残り 1/3 が自然要因。言い換えると、気温上昇がやや先行していることになる。

自然要因があるとわかったので、気温上昇をすべて CO₂ 起因とした最初の仮定を下方修正する必要があり、その分、自然要因が増える。 $1 - (2/3)^2 = 0.56$ (ほぼ半々)。

1900-2020 年だけで議論せず、19 世紀のデータを含めればよいのだが、議論に耐えるデータが見つからない。19 世紀に CO₂ 濃度は 280 ppm から 295 ppm に増加している。他方、米国科学アカデミーのまとめと 4IPCC の図から読み取った 19 世紀の気温上昇は約 0.2-0.25 度だが、3IPCC と 6IPCC の報告書では(ホッケースティック曲線)19 世紀の気温はほぼ 一定かわずかに低下である。後者のデータは CO₂ 濃度上昇と矛盾する(あるいは自然要因がマイナスの寄与とせねばならない)。