



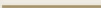


人類はエネルギーの使い過ぎ



副題：豊かで便利な社会は続くか？

小森三郎



目次

目次	1
まえがき	2
第1章 本を読み返して認識	
エントロピーとエコロジー	7
地球の熱機関論	9
生態系の循環	11
第2章 産業革命前後で大転換	
世界観と価値観	15
エントロピー論による放熱の限界	17
生態系循環からの逸脱	19
第3章 驚異的な生産力	
エネルギーの流れと経済活動	23
エネルギーと生産力の三要因	25
エネルギーの質と収支比	27
第4章 グローバル化の経済活動	
ロックの社会契約論	31
エネルギー消費量からエントロピー計算	33
工業化社会による環境破壊	36
第5章 再生可能エネルギーの難題	
安定した発電が望めない	41
鉱物資源の枯渇問題	43
発電装置のリサイクル	45
リチウム電池のリサイクル	47
第6章 エネルギー転換による社会形態	
再生可能エネルギーで経済成長は可能か	51
地球一個分の経済活動	53
経済拡大から縮小への転換	55
指定なし	

あとがき	59
指定なし	
参考文献	63

目次

目次

まえがき

第1章 本を読み返して認識

エントロピーとエコロジー /地球の熱機関論 /生態系の循環

第2章 産業革命前後で大転換

世界観と価値観 /エントロピー論による放熱の限界 /生態系循環からの逸脱

第3章 驚異的な生産力

エネルギーの流れと経済活動 /エネルギーと生産力の三要因 /エネルギーの質と収支比

第4章 グローバル化の経済活動

ロックの社会契約論 /エネルギー消費量からエントロピー計算
/工業化社会による環境破壊

第5章 再生可能エネルギーの難題

安定した発電が望めない /鉱物資源の枯渇問題 /発電装置のリサイクル
/リチウム電池のリサイクル

第6章 エネルギー転換による社会形態

再生可能エネルギーで経済成長は可能か /地球一個分の経済活動
/経済拡大から縮小への転換

あとがき

参考文献

まえがき

2019年の年末に中国で発生した新型コロナウイルスは世界的大流行となり、私たちの日常生活が少なからず影響を受けました。新型コロナウイルスはいまだ収束せず、経済活動への影響が長期間続いています。新型コロナウイルスによる経済活動への影響を凌駕するのが、産業革命以降の化石燃料の使用による地球温暖化です。地球温暖化対策の気候変動枠組条約締約国会議（COP）が、1995年から毎年開催するも着実に進行しています。国連専門機関の世界気象機関（WMO）は、2022年10月26日に地球温暖化を引き起こす大気中の二酸化炭素、メタンガス、一酸化二窒素の世界平均濃度が、いずれも2021年に最高値を更新したと発表しました。その影響で、世界中のいたるところで地球温暖化による災害が、さまざまなかたちをとって現れています。

IEA（国際エネルギー機関）が、2021年5月に発表した資料『2050年ネットゼロに向けた世界のエネルギー分野のロードマップ』は、各国のエネルギー政策の指針になっています。資料における、2050年ネットゼロシナリオの前提条件は、3%/年の経済成長です。2050年ネットゼロシナリオは、再生可能エネルギー主体でも経済成長が実現できると考えています。しかも、再生可能エネルギー主体にするので地球温暖化は、2050年以降1.5度C上昇以内に留められると考えています。

ところが、IPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）は、2022年4月に第6次報告書を公表しました。IPCCの報告書を読むと、IEAが考えている2050年ネットゼロシナリオにおける、発電分野の化石燃料全廃工程を5年前倒ししなければなりません。しかも温室効果ガスの政策強化がなければ、今世紀末までに地球の平均気温が産業革命前と比べ3.2度C上昇するかもしれません。このように、訳の分からない事になってしまうのは、IEAがエネルギー消費量による地球温暖化の科学的分析をしないからです。科学的分析の概念は、エネルギー収支比と熱力学のエントロピー論です。

エネルギー収支比は、エネルギーの質の指標です。エネルギーを得るために元手のエネルギーが

必要です。元手のエネルギーに対する、生産されるエネルギーの割合がエネルギー収支比です。水力発電と条件の良い風力発電を除き、再生可能エネルギーはエネルギー収支比が10未満と悪いです。再生可能エネルギー100%では、投入エネルギーが同じなら化石燃料と比べ余剰エネルギー

（注）が少なくなります。しかも、再生可能エネルギーはフローのエネルギーであり、気象条件により発電出力が大幅に変動するため、停電の問題が付きまといます。ストックのエネルギーである化石燃料の発電では停電は起こりませんが、再生可能エネルギー100%では蓄電によって停電問題を解決しなければなりません。膨大なエネルギー消費量に見合う蓄電が、可能か不安になります。

過去も現在もエネルギー効率は、種々の工夫により向上していますが、エネルギー消費量は増大

する一方です。エネルギー消費量をエントロピー論で計算をすると、再生可能エネルギー100%であってもエネルギー消費量を大幅に下げなければ、地球温暖化を止めることはできないと思います。(エントロピーの意味と計算については、本論をお読み下さい。) エネルギー消費量を大幅に下げるということは、現状の経済規模は維持できず、環境負荷を考慮すると地球一個分の規模まで経済縮小になります。エネルギーを大量に使わない社会構造及び生活様式に切り替えなければ、地球温暖化によるもろもろの危機が加速増大します。つまり、化石燃料から再生可能エネルギーに移行しなければならないが、事は単純ではありません。地球温暖化は、工業化社会の発展と密接に関係しており、エネルギー転換期における経済活動について大きな問題を突き付けています。本論にて再生可能エネルギーへのエネルギー転換に生ずる、欲望と環境保全に葛藤する現在社会を読み取って下さい。

(注) 余剰エネルギー = 生産エネルギー - 投入エネルギー です。再生可能エネルギーは、化石燃料に比べ生産エネルギーが少ないです。そのため、天然ガス火力発電所の発電出力を

太陽光発電で賄えば、投入エネルギーを多くするほかに広大な設置場所が必要になります。

第1章 本を読み返して認識

エントロピーとエコロジー

人類は長い間木材をエネルギー源にして生きてきました。ところが、イギリスのニューコメンが1710年頃に実用的な蒸気機関を発明しました。それまでは、木材をエネルギー源にして石炭を暖房の補助として使用していました。しかし、ニューコメンの蒸気機関は、水とか風の自然力を生のまま使う着想とまったく異なった、石炭から作る蒸気の利用する機械です。産業革命以前に、エネルギー源に空前絶後の革命が生まれました。ニューコメンの蒸気機関は、1776年にワットによって改良されました。後は、ご存じの産業革命に繋がりました。石炭に次いで、アメリカのエドウィン・ドレークが、1859年に初めて機械掘で石油を採掘しました。これが、近代石油産業の始まりです。図1に示すように、戦後は石炭と石油と天然ガスが大量に消費され、化石燃料全盛時代になりました。

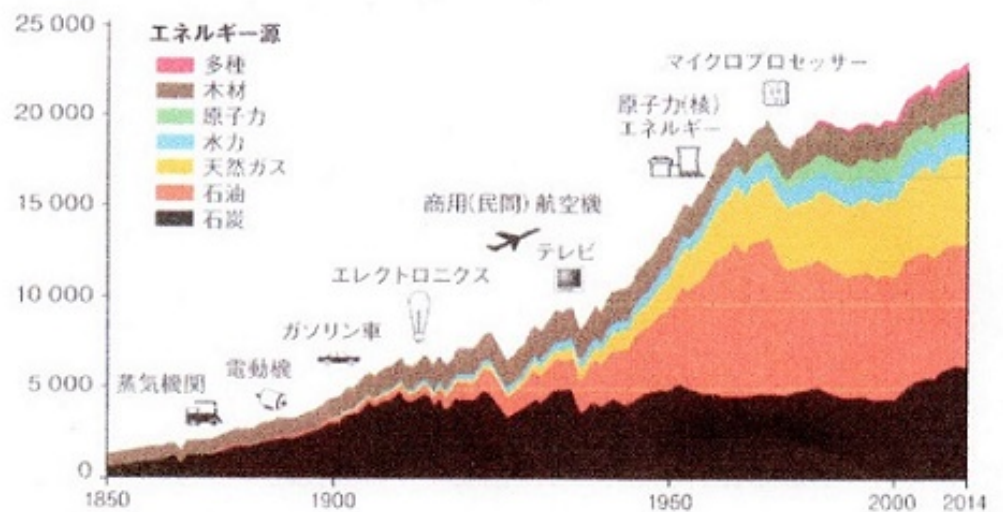


図1：世界平均の1人当たりのエネルギー消費（単位：KW h）

2015年のパリ協定以降地球温暖化対策が叫ばれ、なんとか対処しないと現在文明が破滅すると誰しもが思い始めています。また地味ではありますが、生物の多様性が大量の化石燃料を使った開発に次ぐ開発で危機に瀕しています。これらの問題が噴出していますが、何もパリ協定直前に地球温暖化や生物多様性が引き起こされたわけではありません。地球温暖化や生物多様性の問題は、産業革命以降の化石燃料の大量消費により引き起こされていることを、戦後の石油の大量消費で先見の明ある人が気づきました。過

去に警鐘を鳴らしていた先見の明ある書物を図書館から借りて熟読しました。1992年に出版されたその本は、柴田篤弘と植田敦が対談した『エントロピーとエコロジー再考』です。エントロピーは熱力学の物理法則であり、エコロジーすなわち生態学は、19世紀末に始まる新しい科学です。エントロピーの詳しい説明は、第2章でします。それまでは、意味不明のまま読み進めて下さい。

1992年頃に、地球温暖化や生物多様性の問題を述べても、市井の人は一笑に付したと思います。今は、それが人類存亡の問題になっているわけで傾聴に値します。戦後間もない1960年当時なら、今よりも少ない困難で経済構造を変えることができて、2022年時点では、各国が大量生産・大量消費・大量廃棄にどっぷり浸かっているため、経済構造の根本的転換は想像を絶するほど困難です。化石燃料の使用削減がはかどらず、地球温暖化は着実に進んでいます。一方、地球上には1,000万種の生物が生息していると言われていています。こんなに多くの生物が、生命のネットワークを築いています。生命のネットワークは、「食物連鎖」へと繋がります。人間という雑食動物は、きのこ・かぶ・細菌・微生物といった「分解者」を底辺とし、植物を「生産者」、動物を「消費者」とする複雑な関係の一構成要素に過ぎないことを示している。→A 人間が存在できるのは、植物や動物、それに分解者の存在する複雑な生態系があればこそなのである。→A 自然界に存在する生物すべて、あるいは生態系そのものの存在がいかに重要なものかほどんなに強調しても足りない。→A しかし、人間は化学肥料や農薬を使って、人間を生命のネットワークから切り離しました。また、プラスチックなる微生物が分解できない化学製品を世界中で使っています。世界では毎年、1,000万トンを超えるプラスチックごみが海に流入し続けているといわれます。

国連は、地球温暖化と生物多様性及びその他の問題に対して、SDGs（持続的な開発目標）を掲げています。2015年に国連で開かれたサミットの中で、SDGsは2015年から2030年までの長期的な開発の指針として採択されました。SDGsでは17の目標を掲げており、13番目に「気候変動に具体的な対策を」、14番目に「海の豊かさを守ろう」、15番目に「陸の豊かさも守ろう」が、地球温暖化や生物多様性に対する指針です。各国政府や大企業が推進するSDGsですが、地球全体の環境を守ることができるでしょうか。筆者は、無理だろうと思います。無理な理由を一言で表わすなら、資本主義システムそのものに切り込まないからです。本論をお読みくだされば、ご理解いただけます。

地球の熱機関論

地球は、金星と違って数十億年前から灼熱地獄にならず、平均気温が約15度Cに保たれてきました。それは、生物にとって住みやすい環境です。地球は、金星よりも太陽から遠い距離で回っています。太陽との適度な距離に加え、地球の熱の出入りが数十億年前から平衡しており、平均気温が約15度Cに保たれています。地球には太陽からの光が降り注ぎ、逆に地球は宇宙に熱を放出しています。ところが、そのまま熱が出て行ってしまえば温度が低すぎて、生物が住めません。大気中に水蒸気・二酸化炭素・メタンガスなどの「温室効果ガス」と呼ばれるガスがあることにより、大気中に熱を蓄積できます。温室効果ガスが保温の役目をするので、生物が住みやすい温度を保持しています。地球における熱の出入りから考えるのが、槌田敦の地球熱機関論です。

熱機関は、高温の熱源と低温の熱源とがあって、その中で物質が循環しています。熱機関がなぜ

動くかと言うと、高熱源から熱を取り入れ、低熱源に使用後の熱を捨てる仕組みを有しているからです。内燃機関を考えると、シリンダ内の燃料と空気の混合爆発が高温の熱源であり、低温の熱源

に使用後の混合ガスがマフラーから捨てられます。使用後の混合ガスを捨てるには、低熱源の大気が必要です。高熱源のシリンダ内と低熱源の大気との間を、空気が循環しています。低熱源があればこそ、ピストンが縮むことができます。この考えを地球に適用すれば、高温の熱源が太陽光と地球上の熱源であり、低温の熱源が大気です。その間を、大気の循環と水の循環で繋いでいます。大気の循環と水の循環が、地球上で発生する廃熱を地球圏外に捨てています。地球は物質的に閉じていますが、熱力学的には宇宙に開放された熱機関です。

太陽光と地球上の熱源で空気が地表で温められて、それが上昇気流になって、一部は雨になり、

それ以外の大気はそのまま上の方に行って宇宙に向って放熱します。この一連の動作により、金星と違って数十億年前から平均気温が約15度Cに保たれています。地球上で生物が発する熱をうまく宇宙空間に捨て去ることが、生物が存在できる理由です。植物は、炭酸ガスと水と光を反応させて、デンプンと酸素を作ります。植物は光合成で何を捨てるかと言うと、余分の水を水蒸気にして光合成で発する熱を捨てています。動物は生命を維持するため食糧を摂取し、体から物を排泄すると共に体内で発する熱も捨てます。捨てられた熱は、先に述べた大気と水の循環で宇宙空間に捨てられます。

ところが、図1に示すように産業革命以降化石燃料が使用され、第二次世界大戦頃から多量に化石燃料が使用されました。各国が化石燃料を湯水のごとく使ったため、温室効

果ガスの保温効果に悪影響を与え地球温暖化を招きました。ここで、廃棄物の視点から重要なことは、およそ自然環境に乗る物質においては、何の役にも立たずエントロピーを増大させるだけである、というような「厄介者」の物質は存在しない、ということである。→B 食物連鎖が示すように、生命活動に伴う廃物は、いずれ分解者を經由してまた動植物の体を構成することになり、また、廃熱（例えば、我々の呼吸にしても必ず分解者を經由してまた動植物の体を構成することになり、また、廃熱（例えば、我々の呼吸にしても必ず発熱を伴っている）は地球圏外に捨てられ、絶えずエントロピーが一定のレベルに保たれている。→B エントロピーレベル一定の保持に、エコロジーのいう生態的な安定と生物学的多様性の維持が決定的重要です。ここでエントロピーとエコロジーが結びつきました。自然に対する人為的介入が大きすぎるため、地球温暖化を招きました。

生態系の循環

図2は、江戸時代の生態系循環です。江戸時代ですから、当然化石燃料を使用せず、実に見事な生態系の循環が実現しています。

最初に、図2の左側の水田の方から説明します。鳥は近海の魚を食べて、里山に糞を落とします。人間は、干鰯（ほしか）を肥料として水田に撒きます。これにより、水田に栄養が増し、ドジョウとかフナが成育し虫が湧きます。そうすると、鳥が喜んで虫などを食べます。鳥がそれを食べて里山又は奥山へ帰って糞を落とします。里山及び奥山は、それにより木が育ちます。そして、里山及び奥山からその養分を含んだ水が水田に流れて、米がよく取れます。取れた米は、田舎から都市に運ばれます。

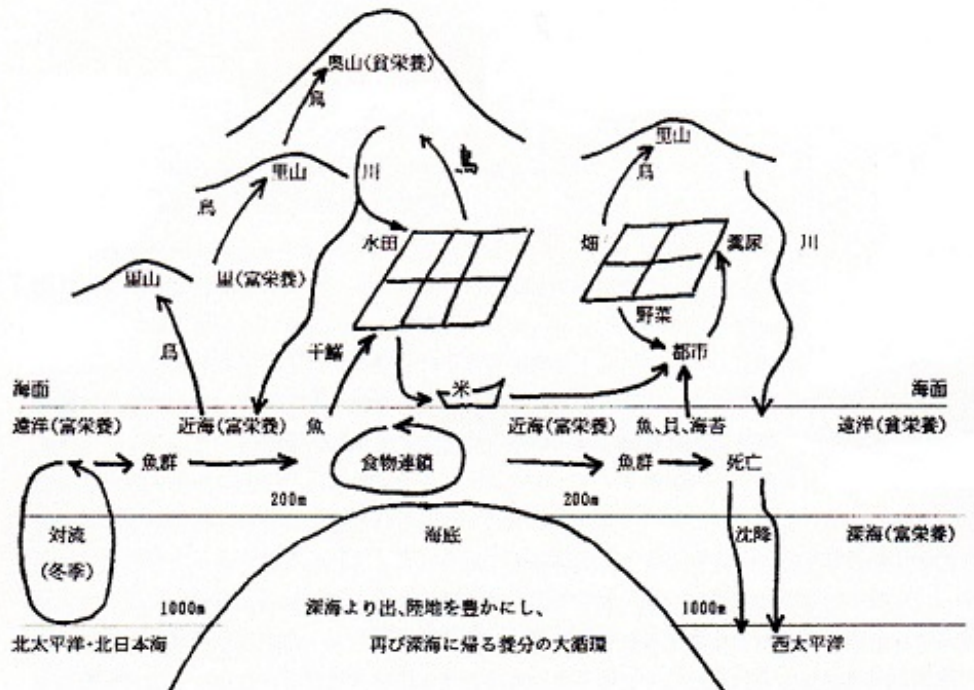


図2：江戸時代の生態系循環

次に、図2の右側の畑の方を説明します。都市住民は、近海の魚・貝・海苔と畑からの野菜及び田舎から運ばれた米を食べます。人間の糞尿は、肥えとして畑に戻します。鳥は、野菜の成育で発生する虫などを喜んで食べます。鳥がそれを食べて里山へ帰って糞を落とします。里山は、それにより木が育ちます。そして、里山からその養分を含んだ水が海に流れて、近海の魚貝類がよく取れます。

最後に海の方の循環を説明します。海の循環を考えると、潮の流れと魚の回遊があります。潮の流れは、海の表層だけでなく、温度と塩分の違いで深海より出てゆっくりと移動し、海の表面に湧き表層を流れます。この海のベルトコンベアは、小さな内海の日本海でも作動しています。海のベルトコンベアで運ばれる魚群の死骸は、海の表層に湧き、そして流れます。この固形物はプランクトンの養分となります。プランクトンから大きい魚へと食物連鎖が続き、人間が近海で魚・貝・海苔を取ります。以上をまとめると、化石燃料を使わない江戸時代は、見事な生態系の循環を維持しつつ、生態系の循環を活かした定常経済の社会です。江戸の町は、百万人を優に超える世界一の都市にもかかわらず、徹底したリサイクルで清潔な街並みを実現しました。また、寺小屋教育により世界一の識字率を有し、町人が豊かな化政文化を育みました。（大坂と京は元禄文化）

第2章 産業革命前後で大転換

世界観と価値観

地球温暖化により地球の平均気温は、産業革命前と比べると 0 度 C の上昇が予想されると、各種メディアが繰り返し報道します。地球温暖化の要因は、産業革命前後で使用するエネルギーが木材から石炭に切り替わったのが主要因です。木材は、木の成長を待って切るので使用制限があります。木の成長を待たずに切るとハゲ山になります。一方、石炭は蒸気機関を使って、採炭時に湧き出る水を効率よく排水できたため採炭を楽にしました。採炭に制限がなくなると、採炭量はうなぎ上りです。石炭をエネルギーにした紡績機・汽車・蒸気船などの機械が、次々と発明されました。

戦後になると、石炭以外に石油と天然ガスが大量に使われ、我々の社会は、化石燃料抜きでは全然成り立たず、かつ経済活動に機械が深く結びついています。これらの機械を利用し、自然の制約を脱し、自然を征服するその度合いには、産業革命以前と比較してほとんど比較にならぬほどの飛躍があります。機械的生産を開始した産業革命以降、工場と家庭は分離し始め、労働と資本は分離し始め、貨幣の輝きが一段と増しました。もう少し詳しく述べれば、家庭は労働力の再生産を、企業は工業製品の生産を担います。また、企業間では工業製品のやり取りをします。これらのやり取りに、お金を用います。

産業革命前は、農業の従事者が多く工業やサービスの従事者は少ないです。産業革命後は、工場に大量の労働者を必要とし、都市に労働者が移り住みました。産業構造の転換により、人口の都市集中が起き、大都市が発生しました。大都市は、自然の制約を脱したコンクリートの街並みを呈し、豊かで便利です。豊かで便利なエンジンは、化石燃料の大量消費にあります。多量のエネルギーを使わなければ、豊かで便利な生活は維持できません。戦後のある頃から産業のグローバル化により、各国が人為的に産業革命を発動しました。それゆえ、各国に大都市が出現しました。各国が豊かさや便利さを追求するゆえ、化石燃料の使用がとどまることはありません。

産業革命以前に、中世の世界観に少しずつ変化が出てきました。それは、ガリレオの地動説・デカルトの二元論・ニュートンの万有引力などです。これらの人の考え方が、近代科学を発展させました。ニュートンの万有引力は、無限に大きい宇宙の仕組みを解明し、近代の科学技術は次々と商品を開発し、工業化に進む国の人々は、未来に明るい希望を持ちました。1851年に開催された第一回ロンドン万国博覧会は、豊かで便利な社会の到来を告げる象徴です。ましてや、地球の資源が有限などと思いません。

主観と客観を下絵にした機械的自然観が、産業革命以降の世界観です。その世界観は、客観化の拡大解釈により、人間と自然とを対立的に捉える二元論です。人間が生態系の中に組み込まれている環境を無視し、化石燃料を利用し豊かで便利な社会を築きました。近代科学は、考え方のモデルを無生物に求めています。ですから、物理あるいは化学が

自然科学の基本になっており、数学と結合するゆえんです。物理的・化学的自然科学であるということは、広く生物はその奴婢（ぬひ）となりました。しかるに中世までは、アリストテレスの自然学に見られるように考え方のモデルを生物に求めています。このモデルの違いが、生物多様性の認識に影響を与え地球環境の破壊に繋がっています。

1992年に国連が、気候危機と生物の多様性に関する問題を取り上げました。1992年6月3日から14日にかけて、ブラジルのリオデジャネイロで後に地球サミットと呼ばれる「環境と開発に関する国際会議」が開かれました。この会議には、172の政府の代表が参加し、NGOからも24,000人が参加するという大規模な国際会議でした。地球サミットの中で結ばれた条約のひとつが「気候変動枠組条約締約国会議（COP）」です。そして、条約に基づき毎年COPを開催することが決まりました。直近のCOP27は、エジプトのシャルム・エル・シェイクで2022年11月6日から11月20日まで開催されました。しかし、各国は資本という「お金」の前に、産業革命以降の機械的世界観と経済的自由主義に固執し、気候危機と生物多様性の状況を抜本的に転換できません。

エントロピー論による放熱の限界

第1章で地球の熱機関を論じましたが、槌田敦は熱力学の物理法則であるエントロピーの概念を地球熱機関論に適用しました。エントロピーの意味は、物理の教科書では「乱雑さ」と説明していますが分かりにくいです。室田武著『エネルギーとエントロピーの経済学』では、エントロピーを日常用語の「汚れ」に置き換え説明しています。つまり、物質やエネルギーの質を表わす尺度がエントロピーであり、秩序の高い事物のエネルギーはエントロピーが低く、汚染度ないし無秩序さの大きい事物は高いエントロピーを持つと説明しています。ゆえに、エントロピーは常に物質（例：大気とか水）に付随する汚れに対する関数であり、負のエントロピーはありません。化石燃料などの資源を使用すれば、必ずしも廃物と廃熱にして捨てる過程が付きまといまいます。1865年クラウジウスによって提唱されたエントロピーなる概念は、森羅万象に付随するエネルギーの変遷過程に生ずる廃物と廃熱を定性的にも定量的にも説明できます。

(エントロピーの法則) → A

第一法則：世界のエネルギーは一定である。 【エネルギー保存の法則】

「熱と仕事とは互換的ではないが、一方から他方への変換が可能であり、そこでの熱と仕事の総和は一定である」

第二法則：世界のエントロピーは最大値に向かう。 【エントロピー増大の法則】

「すべての変化・活動は、エントロピーという物理量の増大する方向に進む。高温の熱が低温へ流れることも、塩が水に溶けることもすべてエントロピーの増大である。これを逆にいうと、エントロピーの減少するような変化・活動は存在しないといってもよい。エントロピー増大則または減少禁止則ということもある」

熱力学の第一法則と熱力学の第二法則の中心となるエントロピーを地球規模で見れば、熱量 (Q) を温度 (T) で割って求めます。それゆえ、エントロピーを直接測定できません。ここで注意すべきは、エントロピーの第二法則からは、エントロピーが増大して熱が一樣に地球に溜まると熱的死で終わります。しかし、地球は数十億年前から平均気温が約15度Cを保っています。地球は、エントロピーの第二法則を免れており、熱機関と同じ構造が地球に備わっています。地球は物質的に閉じていますが、熱力学的には開放された熱機関です。太陽光と地球上の熱源で温められた空気は、上昇気流になって、一部は雨になり、それ以外の大気はそのまま上の方へ行って宇宙に向かって放熱しま

す。地球上に降り注ぐ太陽光は低エントロピーであり、植物の光合成は根から吸い上げた水を水蒸気にし、動物の生命活動で生ずる高エントロピーは、排せつと体温調節で自然界に放出されます。植物と動物から放出された高エントロピーは、大気の循環と水の循環の仕組みにより宇宙に向かって放熱します。この一連の動きにより、エントロピーを宇宙に捨てており、金星のような灼熱地獄になりません。そうすると、地球が宇宙に捨てるエントロピーの能力は、エントロピーの単位で測って、年間一平方センチメートルあたり、41カロリー／度と計算できます。 →B

その分だけ余分にエントロピーを作ってもいいと。 →B ということは余分に活動してもいいというわけです。 →B 余分な活動っていうのは地球全体のことで、たとえば風が吹く、摩擦が起こる、熱が出る。 →B これはもうエントロピーを作ってるわけですね。 →B それから雨が降る。 →B 雨が降って熱になる。 →B 生命がこうやって動き回っているのも、エントロピーを作っている。 →B そういうものを全部合計した値が今の値だと。 →B だから増えもせず減りもせず、片一方でエントロピーを作るものがあるけれど、地球が41単位のエントロピーを宇宙に捨てるからその分までは作れる。 →B それを誰がどこまで使うかは分配の問題なんです。 →B

ところが、人間は化石燃料の大量使用により、二酸化炭素を大量に排出したため、エントロピーを宇宙に捨てる能力(=放熱能力)を下げました。しかも、人類は大量生産・大量消費・大量廃棄でエントロピーを大量に生み出しました。なお、1990年に発刊されたジェレミー・リフキン著竹内均訳の『エントロピーの法則』が、地球のエントロピー問題を世に広めました。

生態系循環からの逸脱

19世紀末に始まる生態学は、人間と自然を対立的に把握する二元論とは逆に、人間と自然が繋がりを有する関係性で把握します。例えば、生命のネットワークは、「食物連鎖」へと繋がります。人間という雑食動物は、きのこ・かぶ・細菌・微生物といった「分解者」を底辺とし、植物を「生産者」、動物を「消費者」とする複雑な関係の一構成要素に過ぎないことを示している。→A 生態系は、関連性のネットワークを特徴とするが、食物連鎖の関係とは、つまり生物間、あるいは環境中のエネルギーや資源の流れ方であると言ってもよい。→A エントロピー論から言えば、あらゆる生物は低エントロピー源を取り入れ、生命活動に伴って発生するより高いエントロピーを廃物と廃熱として体外に捨て生命体を維持しています。生態系で生ずる廃熱（含む廃物の分解による廃熱）は、大気と水の循環により地球圏外に捨てられます。なお、生態系の廃物は分解者によって分解され、再び生態系の食物連鎖に組み込まれます。図2で示したように、生態系はエントロピー的に安定したネットワークです。

ところが、産業革命以降に生態系の外側に工業製品が出現しました。工業化社会は、生態系の循環とは別の生産→消費→廃棄なる新たな流れを生み出しました。工業製品は、生態系で循環する物質とは異質で、廃棄に大変手間取ります。人類は、この工業製品を生活に取り入れ、豊かで便利な社会を構築しました。工業社会は、経済活動が活発で、地球に与えた影響はあまりにも大きいです。その影響のひとつが、「人災」ともいえる森林の破壊です。経済活動により世界の一次エネルギー消費量は右肩上がりですが、世界の森林面積は逆に右肩下がりで、森林は、大気と水の循環及び生態系の循環を担保しています。

図3は、1990年と2015年を比較した森林面積の正味の増減を示したものです。1990年～2020年（30年間）に世界で減少した森林面積は、年平均で約590万haです。→C 数字だけでは想像がつかない面積ですが、計算すると、1年間に東京ドーム1,265,476個分（1分間に約2.4個分、1時間では約144個分）に相当する森林面積が減少していることとなります。→C 森林減少の原因は、農地への転用、過剰な伐採、森林火災、鉱山開発など。→C (XX)は、筆者が追記。南米、アジア、アフリカなどの熱帯林の減少が目立っています。→C 地球温暖化との関連で重要な役割を果たしているのは熱帯林です。熱帯林は他の森林に比べ二酸化炭素の吸収量が多く、かつ生物の多様性に優れています。

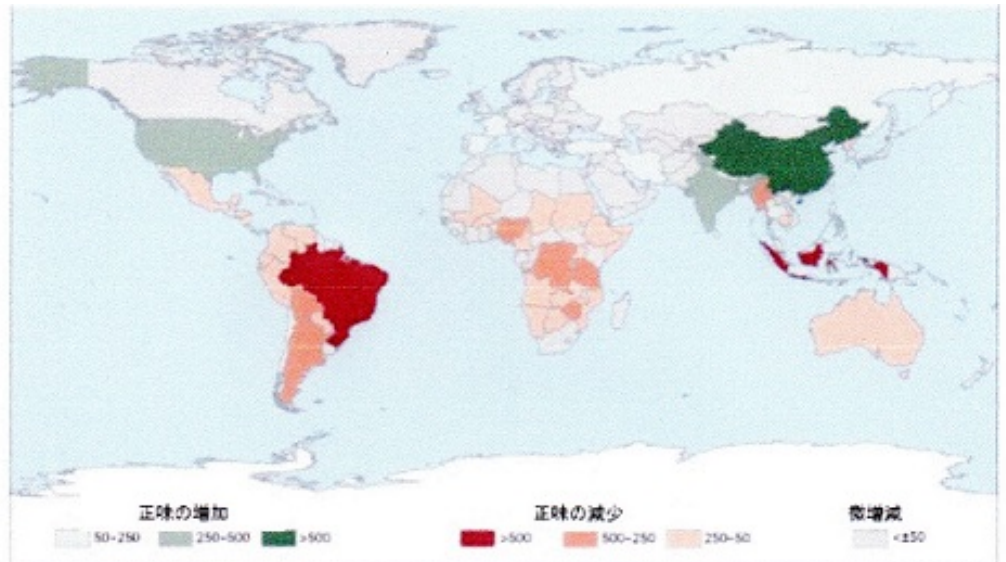


図3：1990年と2015年を比較した森林面積の変化

おかげで、現在使用されている医薬品のうち、三分の一以上が、熱帯林のなかに生きている植物、動物や、土壌のなかに生存している微生物を原材料として作り出されたものです。このような大切な熱帯林の減少が、地球温暖化に拍車をかけています。

工業製品には、資源を取り入れて廃物と廃熱なる製造過程が、必ず付きまといまいます。地球温暖化を招いている化石燃料は、工業化社会のエネルギー源として大量に消費していますが、常に廃物と廃熱なる過程が付きまといまいます。もともと、生態系は生命活動で発生する廃物と廃熱を捨てており、そこに工業製品の生産→消費→廃棄の過程から生ずる廃物や廃熱が加わります。地球の生態系は、生命活動による廃物や廃熱から環境汚染をすることはないが、工業社会は生産→消費→廃棄の過程で生ずる廃物や廃熱で生態系を汚染します。産業革命前であれば、地球の放熱能力に余裕がありました。産業革命後は、二酸化炭素の濃度が上がり放熱能力は下がりました。加えて、森林破壊により二酸化炭素の吸収能力が逆に下がりました。ちなみに、1750年頃（産業革命前）の二酸化炭素濃度は278.3ppm、2019年の二酸化炭素濃度は410.5ppm、2021年の二酸化炭素濃度は415.7ppmです。2021年は、産業革命前と比べ約50%も二酸化炭素濃度が上がっています。

第3章 驚異的な生産力

エネルギーの流れと経済活動

産業革命以降、人類は化石燃料をエネルギーにして驚異的な生産力を獲得しました。図4は、一次エネルギーの採取から生産活動による廃物と廃熱に至る流れです。左半分が一次エネルギー採取で、右半分が生産活動及び生産活動で発生する廃物と廃熱です。一次エネルギーとは、自然界から得られた加工変換しない前のエネルギーのことです。工業化社会では、一次エネルギーを加工変換した電気などの二次エネルギーを多用します。

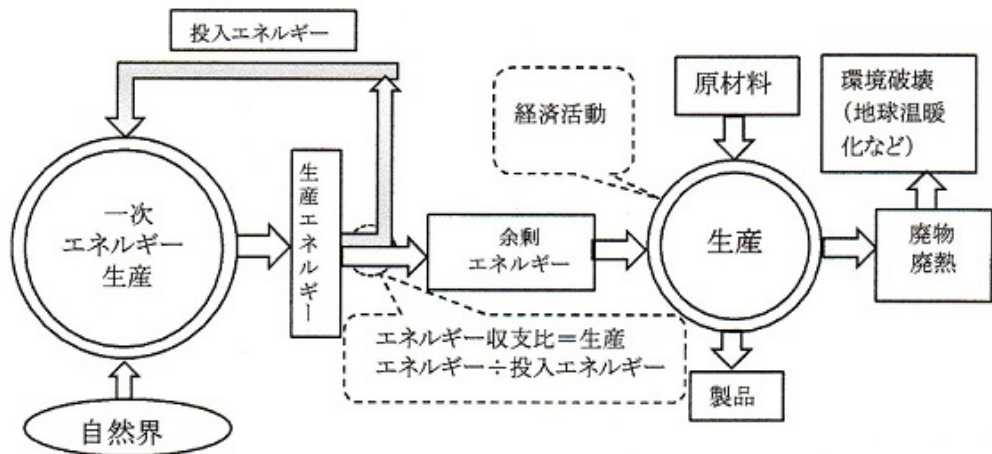


図4：エネルギーの流れと経済活動

自然界には水力・風力・太陽光などのフローの一次エネルギーはありますが、産業革命以降の一次エネルギーは、ほとんどが石炭・石油・天然ガスなどのストックされた化石燃料です。一次エネルギーを生産するために、元手のエネルギーを投入します。得られたエネルギーの一部は、次の一次エネルギー生産に回し、残りのエネルギー（＝余剰エネルギー）を生産活動に回します。この生産エネルギーと投入エネルギーの比率をエネルギー収支比と言いますが、後ほど説明します。

人類は、余剰エネルギーを蒸気・電気・爆発ガス等に加工変換して機械を動かし生産活動を行います。大きく言えば、余剰エネルギーを蒸気・電気・爆発ガス等に加工変換して経済活動及び文明活動を行います。余剰エネルギーが潤沢であれば、豊かで便利な社会が維持できます。生産活動は、原材料を投入して二次エネルギーを使い製品を製造します。この生産活動で必ず発生するのが、廃物と廃熱です。工業化社会は、農業従事者の比重が著しく少なく、工業やサービスの従事者が非常に多いです。工業やサービスの生産で

は、農業に比べ多量のエネルギーを使います。更に、豊かで便利な日常生活においても、多量のエネルギーを使用します。エネルギーを使えば、図4で示すように必ず廃物と廃熱が伴います。廃物と廃熱は、第2章で述べたようにエントロピーに直結します。そのため、地球規模でエントロピーが増え、地球温暖化などの環境破壊を招きました。エネルギーの使い過ぎが、地球温暖化などの環境破壊の原因です。

エネルギーと生産力の三要因

1756年のワットによる蒸気機関改良を契機に、石炭の採炭力は飛躍的に増えました。それまでも、蒸気機関を使い採炭の際に湧き出る水を汲み上げていましたが、熱効率が悪く限定的に使用していました。しかし、蒸気機関の改良により熱効率が良くなり、全ての炭坑に使われ、採炭量がうなぎのぼりに増えました。その後、人工的な蒸気動力を使って紡績機・汽車・蒸気船など、発明品が次々と出現しました。蒸気機関による大量生産方式は、単に生産性を向上させただけでなく、社会と産業の構造を根本的に変えました。英国は、産業革命によりキリスト教的共同体から市場経済社会へと急激に社会構造が社会的混乱の内に進行しました。この市場経済社会の波は世界中に伝搬し、日本には江戸時代末期に到達しました。

市場経済の社会変革力は非常に強く、第一次世界大戦及び第二次世界大戦の遠因になりました。特に図1に示すように第二次世界大戦以降、化石燃料を使って蒸気・電気・爆発ガス等の動力源を使うことで、多くの国が工業化社会になりました。筆者は、産業革命において（1）石炭をエネルギー源とする機械による生産（2）機械を備えた工場制度の確立（3）市場経済の拡大の三つを特筆すべき変革に挙げます。これら三つの要因は、ほぼ並行して進展しました。同時に、大量生産品を購入する需要が社会に出現しました。その結果、社会全体が利得と利潤に基づく市場経済社会になりました。

産業革命前は、道具を使った家内制工業です。道具の場合は、動力源を人間の肉体以外では風力と水力をなまのまま利用しました。機械の場合は、動力源に人工的な蒸気を使います。自然の制約を脱した蒸気機関は、機械を常時稼働でき原材料と労働者さえあれば商品を大量に生産できます。ここで図4を見て下さい。石炭は、自然界にストックされています。無尽蔵にある石炭を多量に採炭し、新たな工場に運べば採炭量に比例し生産力が向上します。つまり、ストックされている石炭を採炭すればする程、生産力が向上します。戦後は、石炭より使い勝手の良い石油が一次エネルギーの主役になりました。自動車工業は、石油がなければ成り立ちません。自然界にストックされた化石燃料を大量に使い、工業化社会が地球規模に広がりました。

二つ目は、機械に伴う生産形態の変革です。道具を使う家内制工業では、家庭が経営組織を兼ねています。しかし、機械を備えた工場は、家内制工業にとって代わりました。機械による生産は、機械制工場で行われます。大量の労働者が整然と働く工場では、監督者の労務管理により工業製品を生産します。しかも、ひとつの企業は、複数の工場を同時に経営できるから、工場数が増えるにつれて企業の規模が大きくなり、新たな経営組織たる株式会社が生まれました。今では、企業は各国に工場を配置し、地球規模の生産をしています。

三つ目は、産業革命により家庭内から生産活動が分離し始めると、労働者が多く集まる場所では野菜を栽培するほどの土地を持たず、食料品や日常消費財を小売店から購入しました。労働者が小売店から財を購入することは、市場取引の拡大を意味します。更に、企業は原材料を市場を通じて調達し、生産した製品を市場を通じて販売します。工業社会が進展する程、市場取引は拡大しました。現在は、生産物の流れの網が国内にとどまらず、地球規模にまで大きく展開しています。

次に、機械に伴う生産形態の変革のひとつに分業があります。大勢の労働者が、工場に据え付けられた機械の傍で仕事をします。工場の作業において、分業なる生産性の向上が図られました。例えば、ひとつの商品が A,B,C,D という四つの工程を経て出来上がるとします。道具の場合は、4人がA~Dの全行程を担当するので、 $4(A + B + C + D)$ の生産量になります。機械の場合は、4人が各工程を分担するので $4A + 4B + 4C + 4D$ の生産量になります。式の上では、生産量が同じに見えます。家内制工業では、ひとりひとりがすべての工程を受け持ちます。と言うことは、各工程の作業をする時、前後の工程のことを考えつつ、出来上がる商品の出来栄を気にして仕事をします。機械で大量に生産する場合、労働者はAという工程に特化します。別の労働者は、Bという工程に特化します。機械に従事している労働者は、自分が受け持つ工程外のことを気にかけません。商品自体の出来栄は、商品設計者または機械設計者なる専門家に委ねます。こうして「余計なこと」を省くことで、個々の労働者は作業に専念する時間が増え、結果として全体の生産性が上がります。機械化と分業は、非常に相性が良いのです。

エネルギーの質と収支比

産業革命以降、人類はエネルギーを木材から化石燃料に移行しました。木材のときは風力とか水力を生のまま使用していましたが、化石燃料になると動力源が蒸気・電気・爆発ガスに進み、人類は自然の制約を脱しました。現在文明を支える化石燃料には（１）～（５）の特徴があり、質の高いエネルギーであると言えます。

- （１） 濃集しており、エネルギー密度が高いこと。 → D
- （２） 自然の中から生産のために必要なエネルギーが小さいこと。 → D
- （３） 大量にあること。 → D
- （４） 経済的な場所にあること。 → D
- （５） エネルギーの使い道が多用であること。 → D

（１）～（５）は、質の高いエネルギーを定性的に説明しましたが、定量的に説明するのが図４で使われているエネルギー収支比です。発電所などのエネルギー設備において、電力などのエネルギーを生産するには、資源の調達（採鉱・運搬など）や設備（タービン・発電機など）の製造、建設や解体・破棄などのためにエネルギーを投入する必要があります。こうした投入エネルギーに対して、そのエネルギー設備からどれだけのエネルギーが生産されるかを生産エネルギー／投入エネルギーの倍率で表したものがエネルギー収支比です。式で表すと、エネルギー収支比（EPR）＝生産エネルギー ÷ 投入エネルギーとなります。表１は、エネルギー源別のEPRです。エネルギー収支比が1/3の石炭は、採掘に必要なエネルギー1単位を除いて、利用できるエネルギーは1/2単位です。ですから、エネルギー収支比の大きいエネルギー源が優れたエネルギーです。

エネルギー源	EPR	エネルギー源	EPR
石炭	13	水力発電	98～
石油・ガス 1970年代発見	30	マイクロ水力発電	2～12
石油・ガス 最近の発見	8	風力発電	2～32
シェールオイル・ガス	3～5	地熱発電	8
原子力発電	5	太陽光発電	2～8

エネルギー収支比が1/3を切ると、利用可能なエネルギーの割合は急激に低下します。1970年代の石油・ガスのエネルギー収支比は3/3、最近発見の石油・ガスのエネルギー

ギー収支比は8、太陽光発電のエネルギー収支比は2～8です。エネルギー収支比が10を切るといのは、水力発電と条件の良い風力発電を除いた脱炭素エネルギー源では豊かで便利な生活が崩壊することを意味します。1973年のオイル・ショックにより、それまで1バレル=2～3ドルというタダ同然の価格で入手できた石油が、およそ1バレル20ドルと10倍に跳ね上がりました。それ以降、石油の価格は高くなることはあれども、元に戻ることはありません。ちなみに、石油の年間平均価格は、2020年が1バレル39ドル、2021年が1バレル68ドルです。石油は豊富に残存していても、安価に手に入る時代が過ぎ去ろうとしています。高価になった化石燃料又は利用可能なエネルギーの少ない再生可能エネルギーでは、豊かで便利な社会は維持不可能です。

第4章 グローバル化の経済活動

ロックの社会契約論

産業革命以前の1688年にイギリスで「名誉革命」が起こり、続く1689年の「権利の宣言」により、王位に対する議会の優位性が承認されました。現在の議会制民主主義の第一歩です。名誉革命が実現するとジョン・ロックは、前にもまして精力的な政治活動が続けつつ、社会契約論を書きました。ロックの社会契約論は、私的所有権を核にした近代社会の構想であり、後に続く産業革命を契機とする資本主義社会の成立へと繋がりました。ただし、「名誉革命」後の重商主義の投機熱の中で、世界初の「南海バブル」が1720年に勃発し、同年バブルが弾けました。

荒屋大輔著『資本主義に出口はあるか』では、ロックの社会契約論における私的所有権の論理展開を簡潔明瞭に述べられています。ロックが社会契約論で私的所有権を展開しているのは、(1) 自分の体は自分のもの、(2) その体を使って作ったものは自分のもの、ただし、材料として使うものが他人にたっぷりと残ること、(3) それが人間の本性に即した自然の状態だ、という論理です。私的所有権は、資本主義社会の根本権利です。ロックが思い描いていた私的所有権は、牧歌的な農業社会を基本にしています。その私的所有権の考えが、工業化社会つまり、競争万能の資本主義社会に引き継がれました。農地に代わる資源獲得競争により、地球の資源有限性が浮上しました。

産業革命を契機に資本主義社会が起こってきます。その資本主義社会は、紆余曲折を経て発展しました。19世紀は、植民地支配によって市場を世界に拡大することができました。→E その植民地市場が飽和して「世界恐慌」が起き、資本主義社会自体を否定するような大きな社会運動が歴史を揺り動かしましたが、第二次世界大戦後には「戦後民主主義」の体制を確立することができています。→E 1980年代になると先進国では、経済成長が鈍化し新たな動きが出ました。その動きは、金融業界の規制緩和と人件費の安価な国への工場進出です。これら二つを実現すべく、資本主義はインターネットの助けを得てグローバルに工場を展開します。グローバル化により、先進国の工業化が発展途上国にまで拡大しました。

戦後の資本主義社会は、高度経済成長を経て経済成長自体を維持することを目的化しました。経済成長が止まると、投資先が失われます。金融業界の規制緩和は、金融技術を駆使して無理やり投資先を創出しました。一方、人件費の安価な国への工場進出は、先進国の労働者の賃上げが限界に達したからです。この二つをもってしても、経済成長はそろそろピークです。無理やりの経済成長は、生産性を高めるために労働者の福祉政策を次々と壊し、1%の富裕層と99%の貧困層と言われるように経済格差を一段と広げつつあります。一方、各国が工業化社会となったため、資源やエネルギーの収穫が留まることなく、地球環境の負荷を増やし続けています。

ここで、ロックの社会契約論に立ち返ります。ロックの社会契約論は、牧歌的な農業社会を前提に「ここで、ロックの社会契約論に立ち返ります。ロックの社会契約論は、牧歌的な農業社会を前提にだから」まったく大丈夫と考えられていました。→E 土地の私的所有権の争いは、起きません。つまりロックの時代の私的所有権は、必ずしも数学的意味の無限ではなく、欲望を満たして余りあるという意味で成立しました。その後の資本主義社会の発展は、ロックの楽観を打ち破りました。工業化社会の発展は、人口の急激な増加と相まって、食料・エネルギーなど地球の資源が有限であることを我々に突き付けています。

エネルギー消費量からエントロピー計算

第3章で生産力向上をもたらしたのは、主に「化石燃料」の使用にあると述べました。戦後から2020年までに高度経済成長を実現した各国は、例外なく化石燃料というエネルギーを活用しました。図5は、世界の一次エネルギー消費量の推移です。2020年は、コロナ禍により経済活動が鈍り、一次エネルギーの消費量が下がりました。本論は、エントロピーについて述べており、ここで世界の一次エネルギー消費量をエントロピーに換算します。

第2章で、地球が宇宙に捨てることができるエントロピー能力は、年間一平方センチメートルあたり41カロリー／度と述べました。図5より、2020年の化石燃料の年間消費量は、水力を含む再生可能エネルギー分を除外すると、 486.7×10^{18} ジュールです。カロリーに換算すると、 116.3×10^{18} カロリーです。地球の表面積は、509,500,000平方キロメートルです。化石燃料の年間消費量を地球の表面積で割ると、年間一平方センチメートルあたり22.8カロリーです。化石燃料が、なんと半分以上の56%も放熱能力を使用しています。水力を含む再生可能エネルギーでも、同様の計算をすると年間一平方センチメートルあたり3.3カロリーです。

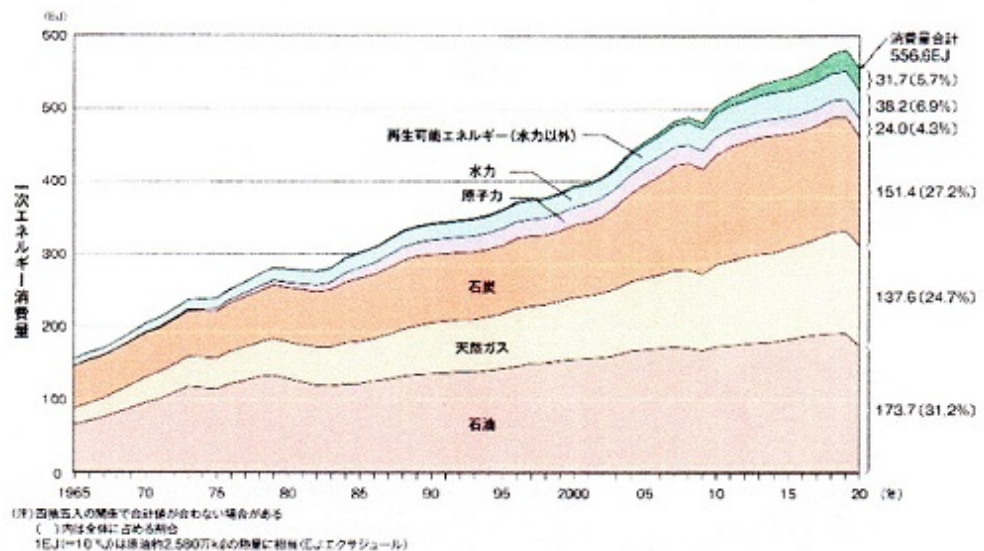


図5：世界の一次エネルギー消費量の推移

エントロピーの第一法則により、エネルギーを消費すれば全てが熱になるわけではなく、仕事と熱に分かれます。自動車为例にとれば、ガソリンの爆発が運動と熱に変わります。熱効率の良い理想的カルノーサイクルなら運動に40%、熱に60%の比率になります。

乱暴な計算をすると、世界の一次エネルギー消費量全体では、41単位のエントロピーの内64% ($0.6 = 38.4\%$)の放熱能力を使用しています。もともと、陸と海を温める莫大な太陽エネルギー及び地球上の動植物とか火山とか山火事などを加えると、年間一平方センチメートルあたり41カロリー／度に近づく放熱と思われれます。更に、地上からの放熱が大気を経由して放射されるが、二酸化炭素の影響により放熱能力が年々低下していると思われれます。もともと、陸と海を温める莫大な太陽エネルギー及び地球上の動植物とか火山とか山火事などを加えると、年間一平方センチメートルあたり41カロリー／度に近づく放熱と思われれます。更に、地上からの放熱が大気を経由して放射されるが、二酸化炭素の影響により放熱能力が年々低下していると思われれます。そこで地球温暖化が進行しているのは、人類がエネルギーを使い過ぎていると思われれます。逆に地球温暖化が止まる一次エネルギー消費量なら、エントロピーの発生が放熱能力以内に収まります。

次にIEA（国際エネルギー機関）が、2019年11月に発表した2040年持続可能な開発シナリオの化石燃料消費量のエントロピーを計算します。2040年持続可能な開発シナリオは、パリ協定の達成に必要な施策が実施されると想定します。もう少し詳細に言えば、今世紀末までの温暖化を1.65度Cに抑える確率が50%です。2040年持続可能な開発シナリオでは、石炭が1,470、石油が3,041、天然ガスが3,162、原子力が596、水力が1,149、他再生可能エネルギーが3,860の合計13,279を使用します。単位は百万石油換算トンです。石油換算トンとは、エネルギーの単位で1トンの原油を燃焼させたときに得られる約42ギガジュールを1単位としたものです。13,279百万石油換算トンに42ギガジュールを掛けると、347.3 (10^{18})の18乗ジュールです。カロリーに換算すると、133 (10^{18})の18乗カロリーです。地球の表面積は、509,500,000平方キロメートルです。2040年持続可能な開発シナリオのエントロピーは、年間一平方センチメートルあたり26.1カロリーです。

2040年持続可能な開発シナリオと2020年の一次エネルギー消費量の増減を比較すると、石炭が61%の減、石油が16%の減、天然ガスが3%の減、原子力が4%の増、水力が26%の増、他再生可能エネルギーが411%の増です。2020年の世界の一次エネルギー消費量は556.6エクサジュール、2040年持続可能な開発シナリオの一次エネルギー消費量は557.7エクサジュールと同じです。地球温暖化の今後に対し、2022年4月4日にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、より厳しい温室効果ガスの排出削減を報告しました。IPCCは、産業革命前と比べた気温上昇の幅を1.5度Cに抑えるためには、世界の温室効果ガス排出量のピークを遅くとも2025年以前に抑える必要があると指摘しました。

最後にIEA（国際エネルギー機関）が、2021年5月に発表した2050ネットゼロシナリオの世界の一次エネルギー消費量は約550エクサジュールであり、2040年持続可能な開発シナリオと同じエネルギー消費量です。残念なことに、2020年以降世界の一次エネルギー消費量は減少していません。再生可能エネルギーを増やせど2050ネットゼロシナリオのエネルギー消費量は2020年と変わらず、どちらもエントロピー換算で約40%の放熱量です。エントロピー論から言えることは、化石燃料を

含む世界の一次エネルギー消費量をもっともっと削減する必要があります。でないと、地球温暖化を止められません。

工業化社会による環境破壊

年々深刻化する地球規模の公害が、環境問題です。環境問題は工業化社会が発展するに伴い、深刻化しました。工業化社会は、多種多量の商品を生産していますが、代表として鉄鋼の生産過程をエントロピー論に基づき図6で示します。エントロピー論では「低い方」は質が良く、「高い方」が質を悪いとします。鉄鋼を生産するには鉄鉱石・鉄屑、石灰石・コークスを原料資源として投入し、さらに低熱エントロピー資源の電力・重油・ガスと低物質エントロピー資源の淡水を投入することで生産が可能になります。同時に、高エントロピーな副産物である汚水・廃物・炭酸ガス・窒素酸化物・廃熱が、環境に排出されます。なお、生産された鉄鋼は自動車・電車・建設資材・鉄橋などで使用され、豊かで便利な社会の発展に役立っています。

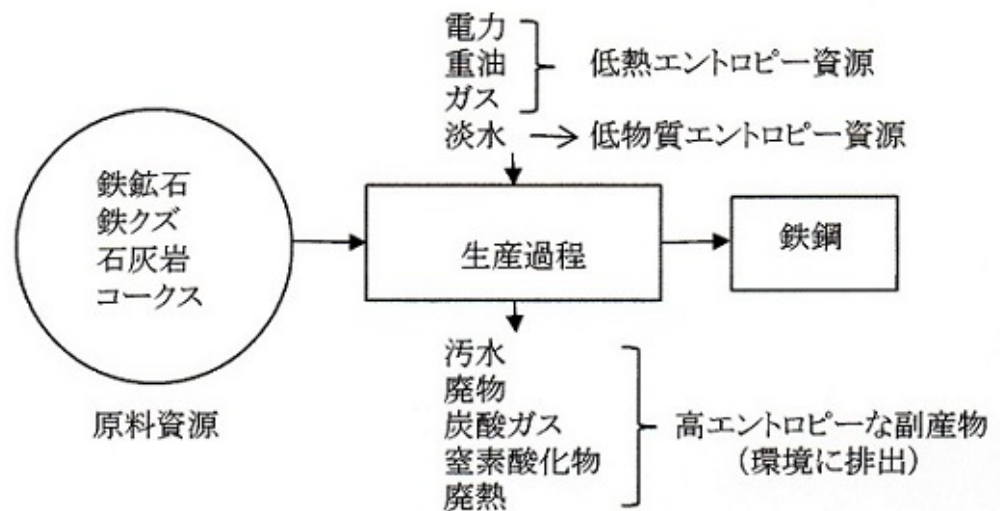


図6：エントロピー論による鉄鋼生産（一部追記）

経済学では原料資源を生産過程に投入し、商品が生産されると論じます。しかし、エントロピーに着目した考えでは、原料資源の投入と生産される商品に加え、生産に必要な低エントロピーと生産に伴う高エントロピーな副産物を生産過程に組み込みます。現実の生産過程は、明らかにエントロピー論の考えと一致しています。エントロピー論に基づけば、低熱エントロピー資源と低物質エントロピー資源は有限であり、高エントロピーな副産物が多量に環境へ排出されます。長期に亘って環境に多大な負荷をかけた結果、炭酸ガス他から地球温暖化、プラスチック他から海洋汚染、汚水他から水質汚染、窒

素酸化物他から大気汚染、廃物他から森林破壊を引き起こしました。これら5つの環境問題が複雑に絡み、異常気象の頻発から人類の生存を揺るがす気候危機に突入しました。

2022年夏、北半球が猛暑になりました。中国では、最高気温44度C超の都市が出現しました。次に、北海道より緯度の高い英国では、観測史上初めて40度Cを超えました。欧州大陸の各地では山火事が発生し、死者も出ています。国連の世界気象機関(WMO)は、温暖化の事態は深刻さを増すと警告しました。米国のカリフォルニア州でも大規模な山火事が発生し、IPCC(国連の気候変動に関する政府間パネル)は、温暖化の要因について「人間の影響であることが明白だ」と指摘しました。

本章の最初にロックの社会契約論を述べました。ロックの社会契約論は、資本主義の要である私的所有権の大本です。ロックの社会契約論を図6に適用すると、原料資源は取り放題、低熱エントロピー資源と低物質エントロピー資源は使い放題で、鉄鋼生産はし放題です。その結果、環境に高エントロピーな副産物は排出し放題となります。低エントロピー資源の使い放題と環境への高エントロピーな副産物の排出を無視し続けた工業化社会は、豊かで便利になりました。工業化社会の発展に伴う人類の最優先課題は地球温暖化の防止であり、原因がエネルギーの大量消費にあるため解決を難しくしています。人類は、低エントロピー資源の使用量と高エントロピーな副産物の絶対量を大幅に下げる以外に、希望の道はありません。

第5章 再生可能エネルギーの難題

安定した発電が望めない

IEA（国際エネルギー機関）が、2021年5月に発表した2050年ネットゼロの資料によると、2050年の世界の電源構成は、2019年と比べ様変わりします。電源別内訳は、石炭が37→1%・石油が3→1%・天然ガスが23→1%・原子力が10→7%・水力が16→12%・太陽光が2→35%・風力が5→35%などです。化石燃料が3%と極端に減り、太陽光と風力が70%を占める再生可能エネルギーの時代です。期待されている太陽光発電と風力発電ですが、共にフローエネルギーという性質を有しています。

地球温暖化の切り札とされる再生可能エネルギーは、エネルギー密度の低いエネルギーが流れていると見なせます。再生可能エネルギーの主力は、フロー・エネルギーの太陽光発電と風力発電です。太陽光発電は夜間や雨や雪の日に発電できず、風力発電は風のない日に発電できません。ストック・エネルギーの化石燃料による火力発電は、安定した発電が可能です。現状は、化石燃料による火力発電と再生可能エネルギーによる発電の併用ですが、火力発電の割合が圧倒的です。ところが、電気は需要と供給を常に一致させる必要があります。電気が余りそうな場合、火力発電所の出力を抑えたり、他電力会社の管内に送電したりしても需給バランスの維持が難しい場合は、再生可能エネルギーの出力抑制を実施しています。例えば、電力会社が太陽光発電の出力抑制をするとカラ発電になります。再生可能エネルギーの比率が高まるほど、安定した電力供給が困難になります。そのため、電力エネルギーの需要と供給を一致させる制御システムが必須です。例えば、2018年における再生可能エネルギーの発電構成比率は、水力を除くとスペインが上期で約29%、日本は年間で9.6%、水力を加えるとその構成比率はスペインが上期で54.2%、日本は年間17.4%という大差です。電力エネルギー制御システムの優劣で、再生可能エネルギーの発電構成比率が大きく変わります。日本では、電気を一時的にためておく大型蓄電池が必要です。蓄電容量は、停電にならないように再生可能エネルギーの発電特性から決めます。停電を回避するには、とてつもない電気容量の蓄電池が必要になります。太陽光というフロー・エネルギーを、蓄電池を使いストック・エネルギーに形態を変えざるを得ません。

太陽光発電の場合は、化石燃料と比べエネルギー密度が低いため、とにかく広い設置場所を必要とします。太陽光発電に砂漠は適していますが、日本には砂漠がありません。2020年の日本の一次エネルギー消費量は、石油が38%、天然ガスが22%、石炭が27%、原子力が2%、水力が4%、再生可能エネルギーが7%の合計17(E10)の18乗ジュールです。進行する地球温暖化を止めるため、石油と石炭と原子力を再生可能エネルギーに転換し、その半分を太陽光発電と仮定すると、3,600ジュール=1ワッ

トの比率から換算すると2.4E10の8乗キロワットになります。エバーグリーン株式会社の資料によると、100万キロワット級の発電施設をつくる場合、原子力発電所なら約0.6Km²の面積で済みますが、太陽光発電の場合だと約58Km²の敷地が必要になります。約58Km²の敷地というのは、JR山手線とほぼ同じくらいの面積です。2.4E10の8乗キロワットの発電施設は、JR山手線の面積の2.4倍です。2.4E10の8乗キロワットの発電は、太陽光が24時間365日当たっている条件ですから、実際の太陽光発電装置はさらにn倍用意しなければ停電になります。他に、大型蓄電池の設置場所が必要です。ゆえに失われる緑の面積は、JR山手線とほぼ同じくらいの面積の2.4倍E n倍+大型蓄電池の敷地になります。それだけ二酸化炭素の吸収が少なくなります。現にメガソーラシステムの設置において、森林伐採問題が深刻化しています。

現状は、化石燃料による火力発電と再生可能エネルギーによる発電の併用です。再生可能エネルギーによる安定した電源を実現するには、現在のところ水素型燃料電池と太陽光発電と蓄電池の組み合わせになります。この組み合わせなら、ある程度の規模の電力を再生可能エネルギーのみで実現できます。晴れの日には太陽光発電で電力を賄い、余剰分は蓄電池に蓄えます。太陽光発電が使えないときは、蓄電池に貯めた電力を使います。不足する場合は、水素型燃料電池に頼ります。水素型燃料電池の燃料補給は、太陽光発電が使えている間に行います。こうすれば、ある程度の太陽光発電の敷地で済みます。しかし、電気料金は高くなります。しかも、水素を運搬する自動車は水素燃料で動かし、水素自体は再生可能エネルギーで水を電気分解して製造します。再生可能エネルギー100%の社会は、実現が非常に困難です。

鉱物資源の枯渇問題

進行する地球温暖化を止めるため、各国は急速に再生可能エネルギーと電動化に舵を切りました。再生可能エネルギーと電動化の急速な普及拡大は、世界的な鉱物資源の需要を増大させました。表2は、再生可能エネルギーや電動化などに多く使われる非鉄金属とレアアースです。再生可能エネルギーでは、風力発電と太陽光発電が主力であり、今後再生可能エネルギーの比率が高まると、大容量蓄電池が多く設置されると予想します。一方、電動化の象徴は電気自動車です。2030～2040年の間に、先進国は内燃機関車の販売を禁止します。表2を見ると、銅があらゆる装置で使用されています。資源エネルギー庁の鉱物資源政策の資料によると、銅は洋上風力発電1 MW 当たり11,500 kg、陸上風力発電1 MW 当たり1,740 kgです。また、内燃機関車1台当たり23 kg、ハイブリッド車1台当たり40 kg、電気自動車1台当たり83 kgです。内燃機関車が電気自動車に移行すると、銅の使用量は3.6倍増えます。とても多くの銅が使われていることに驚きます。

表2：CO₂排出削減で多く使われる金属

再生可能エネルギー	発電・蓄電池	風力発電	銅、アルミニウム、レアアース
		太陽光発電	インジウム、ガリウム、セレン、銅
		地熱発電	チタン
		大容量蓄電池	バナジウム、リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、銅
電気自動車・燃料電池車	蓄電池・モーターなど	リチウムイオン電池	リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、銅
		全固体電池	リチウム、ニッケル、マンガン、銅
		高性能磁石	レアアース(ネオジウム、ジスプロシウムなど)
		燃料電池(電極・触媒)	プラチナ、ニッケル、レアアース
		水素タンク	チタン、ニオブ、亜鉛、マグネシウム、バナジウム

次に、豊かで便利な社会を維持するため、世界中でインターネットを介して電子機器を接続しています。例えば、パソコン1台には、金約0.3 g、銀約0.8 g、銅約80 gが含まれており、この銅80 gは、10円玉約18枚に相当する量となります。 ←

F 携帯電話では金0.05g、銀0.3g、銅15gが含まれ、1台で10円玉約3枚分に相当する銅が使用されているのです。← F パソコンや携帯電話と対をなすデータセンターのサーバー及び通信網の機器には、パソコンより多くの金・銀・銅が使用されています。

このように非鉄金属とレアアースが多く使われることで、化石燃料の枯渇より先に鉱物資源の枯渇が懸念されています。2020年時点での枯渇予想年数は、金=14年後、銀=18年後、銅=35年後と、やや持ち直しています。← F そして、金属枯渇は金銀銅だけではありません。← F 錫=25年後、亜鉛=23年後など、多くの金属は枯渇年数100年を切っています。← F 仮に若干枯渇年数が伸びたとしても、金銀錫亜鉛の産出は近い将来全滅するかもしれず、2050年カーボンニュートラル社会の実現が危ういです。銅は2060年頃には枯渇を予想できますが、銅を多く使う再生可能エネルギー用発電装置と自動車の電動化による消費量の増大により、枯渇予想年数の予断を許しません。

発電装置のリサイクル

人類は、化石燃料から排出される二酸化炭素の後始末をしなかったため地球温暖化になりましたが、再生可能エネルギーはクリーンだと楽観しています。再生可能エネルギーの代表的な存在が、太陽光発電と風力発電です。日本の太陽光発電は、2012年に導入された「固定価格買取制度」がきっかけになり急速に普及しました。

太陽光パネルは、屋外で風雨にさらされるため、耐用年数が一般に20～30年ほどです。2030年代半ば以降、寿命を迎える太陽光パネルが大量に出ると予想されています。破棄する場合、埋め立て処分するかリサイクルのいずれかになります。埋め立て処分の方が、リサイクルするより破棄費用は安くなります。そう考えると、埋め立て処分に傾きそうですが、埋め立て所分場の容量に限界があります。リサイクルの出番ですが、リサイクル技術を開発中です。リサイクルできれば、金属資源の有効活用が期待できます。

現在主流のシリコン型太陽光発電に代わって、ペロブスカイト型太陽光発電が開発中です。ペロブスカイト型太陽光発電は、ペロブスカイトと呼ばれる結晶構造を用いたフィルム型次世代太陽光発電です。ペロブスカイト型太陽光発電は、①薄くて軽い ②発電効率が低い ③レアメタルを必要としない 特長があります。積水化学は、ペロブスカイト型太陽光発電の実証を経て2025年に事業化を目指しています。仮に、現在主流のシリコン型太陽光発電からペロブスカイト型太陽光発電に置き換わったとしても、今度はペロブスカイト型太陽光発電のリサイクル問題が必ず付きまといまいます。

欧米では、風力発電が普及しています。風力発電のブレード（羽）は、長いもので100mほどの大きさです。軽くて丈夫なブレードにするため、ブレードの素材はガラス繊維・ポリマー・芯材であり、熱硬化接着剤でひとつに固められています。そのため、リサイクルが容易ではありません。現在、使用済みのブレードは埋め立て地に破棄されています。この方法は好ましくなく、世界中でブレードのリサイクル技術を開発中です。

植物は、光合成の仕組みにより二酸化炭素を吸って、デンプンを生成しつつ酸素を放出します。植物は、朽ち果てると微生物が次に発芽する植物の養分に分解します。太陽光発電装置と風力発電装置は、寿命が来ると人間が処分に介在します。再生可能エネルギーへの移行過程では、リサイクルシステムのリスクがあります。太陽光パネルとブレードは、耐用年数が過ぎるとエネルギーを使い破棄しますが、リサイクル処分になるとより多くのエネルギーを使います。表1に示すように、太陽光発電と条件の悪い風力発電のエネルギー収支比は10未満です。少ない余剰エネルギーの中から、破棄またはリサイクルにエネルギーを割かねばなりません。再生可能エネルギーは、化石燃料より生産に供するエネルギーが少なくなるので、豊かで便利な社会は維持できません。

温室効果ガスは、資源ゴミのようにリサイクルができません。仮に温室効果ガスを今すぐに排出を停止すれば、濃度は急激に下がるのでしょうか。気候システムには複数の時間スケールがあるために、結果として排出量の変化と気候応答の関係は非常に複雑になり、変化によっては排出が停止したずっと後に現れるものもある。→G モデルと諸過程に対する理解によれば、海洋の慣性が大きいうえに、主に二酸化炭素であるが、多くの温室効果ガスの寿命が長いことの結果、温暖化の大部分は温室効果ガス排出の停止後数世紀にわたり持続することが示されている。→G 残念ながら、工業化社会には生態系のような自然な循環がありません。

リチウム電池のリサイクル

国際エネルギー機関（IEA）によれば、2021年におけるバッテリー電気自動車（BEV）とプラグインハイブリッド（PHEV）を併せた電気自動車（EV）の新車販売台数合計は、前年比2.2倍の660万台です。2021年までに累計販売台数は、1,650万台に達しました。IEAは、2030年までのEV新車販売台数が2025年に世界全体で1,800万台、2030年に3,000万台と予測しています。EVには大容量の蓄電池が必須であり、リチウムイオン電池が非常に多く使用されています。

リチウムイオン電池の材料には、様々な希少金属が使用されており、主な金属として炭酸リチウム、水酸化リチウム、コバルト、ニッケルが挙げられます。希少金属の採取では、環境負荷が非常に高いです。特に、リチウムは大量に産出できる地域に限られています。よって、世界中の車をEVに変えるほどの安価なリチウムは確保できません。2020年には1トン当たり1万ドルだった炭酸リチウムの価格が、電気自動車の需要増によって2022年には7万ドルを超えるほどまでに値上がりしました。現状、使用済みリチウムイオン電池はコストが合わないため捨てられており、希少金属（コバルト、ニッケル、マンガン、リチウム）を回収する技術の開発が急がれています。

希少金属のリサイクルは喫緊の課題ですが、埋め立てに比べリサイクルに多くのエネルギーを必要とします。現状の社会は経済成長を金科玉条にしていますが、経済成長には図1のようにエネルギーが必要です。経済成長に伴い生産量と消費量及び廃棄物は増加する一方で、廃熱によるエントロピーの増加は熱力学の物理法則ゆえ逃れることができません。持続可能な社会の実現に向けて、化石燃料から再生可能エネルギーに移行することで、二酸化炭素の排出量を減らしカーボンニュートラルを実現しようとしています。しかし、現在及び未来にわたってエネルギーの効率化を図るも、世界中で消費するエネルギーの絶対量を大幅に減らさない限りエントロピーの増加は免れず、しいては地球温暖化を止められません。エントロピー理論から言えることは、我々が経済成長を断念し経済縮小に方向変換しなければ、地球温暖化を防止できません。

第6章 エネルギー転換による社会形態

再生可能エネルギーで経済成長は可能か

1990年代のソ連邦崩壊により、米国主導で進められていた新自由主義の中核である市場原理主義が新興国と途上国に及びました。市場原理主義は、グローバルな市場・金融を中心とした自由な資本移動の実現にインターネットを基盤にしています。グローバルな経済活動は、図7に示すように経済成長率が、先進国よりも新興国と途上国で大幅に上回りました。工業化社会が、先進国から新興国と途上国に拡大した結果、地球規模の温暖化・海洋汚染・水質汚染、大気汚染・森林破壊が深刻化しました。

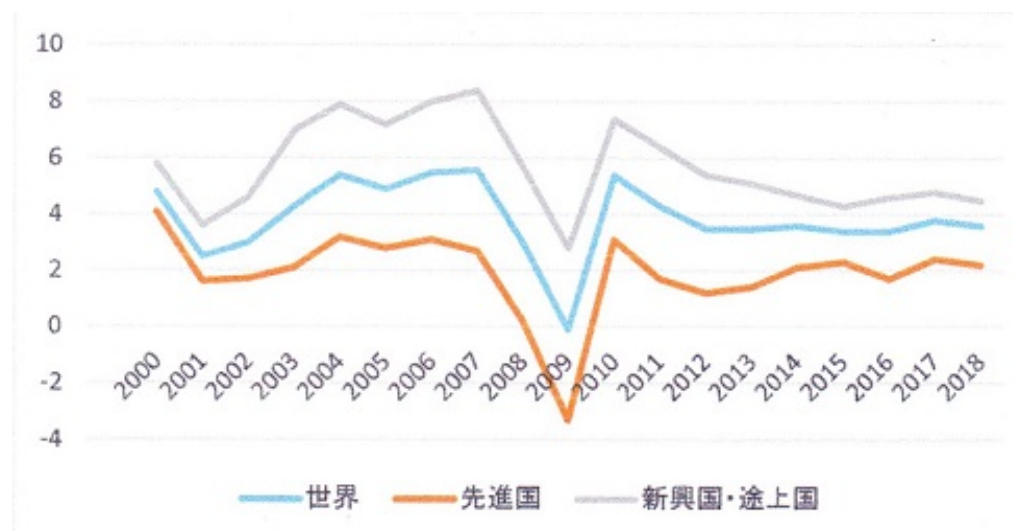


図7：世界の実質 GDP 成長率の推移

工業化社会は、化石燃料を基盤に築かれました。過去の化石燃料は、非常に安価であり世界中で湯水のごとく消費しました。また、化石燃料はエネルギー収支比が良く、社会に富を生み出し、豊か便利な社会を築きました。つまり、化石燃料の消費量と経済成長の間には、基本的に強い相関関係があります。進行する地球温暖化を止めるには、どれだけ速く再生可能エネルギーに移行できるかです。しかし多くの人は、再生可能エネルギーで従来通りの経済成長及び豊かで便利な社会が維持できると考えてはいないでしょうか。

IEA は、カーボンニュートラル社会を2050年目標にすべく、資料『2050年ネットゼロに向けた世界のエネルギー分野のロードマップ』を2021年5月に公表しました。発電分野に限ってですが、次のように化石燃料の使用を年々減らし、再生可能エネルギーの使用量を増やします。

- 2021年 新規の化石燃料火力発電所の開発を承認しない。
同じく、新規の炭鉱開発あるいは拡張も承認しない。
- 2030年 先進国における石炭火力発電所を全廃する。
- 2035年 先進国において電力部門からの温室効果ガス排出をゼロにする。
- 2040年 世界の全ての石油・石炭火力発電所を段階的に廃止する。
- 2050年 エネルギー供給に占める風力と太陽光の割合を約70%に引き上げ、
再生可能エネルギー全体では90%とする。

ところが、IPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）は2022年4月4日に第6次報告書を公表しました。同報告書では、「人為的な温室効果ガス排出量は、2010～2019年、増加し続けた」と指摘しました。また、政策強化がなければ排出量は、2025年以降も増加し、「今世紀末までに3.2度Cの温暖化をもたらす」と警告しました。つまり、IEAの報告書の化石燃料全廃工程を5年前倒ししなければなりません。

既に世界は、化石燃料から再生可能エネルギーに転換を急速に進めています。今後も、図5で示す2020年の世界の一次エネルギー消費量で推移すると仮定して、石油と石炭と原子力をすべて再生可能エネルギーに75%転換できたとします。そうすると、再生可能エネルギーの比率は75%です。再生可能エネルギーに75%転換できたとして、経済成長及び豊かで便利な社会を維持できるのでしょうか。ここで表1に示した再生可能エネルギーのエネルギー収支比を思い出してください。水力発電と条件の良い風力発電を除いた、再生可能エネルギー収支比は10未満です。利用可能なエネルギーは、化石燃料より少ないです。しかも、再生可能エネルギーは、過去の化石燃料のように安価ではありません。加えて、第5章で述べた再生可能エネルギーの難題が控えています。経済成長を自己目的化した資本主義は、再生可能エネルギーで拡大再生産が可能でしょうか。化石燃料という質の良いストックのエネルギーだから拡大再生産は可能でしたが、再生可能エネルギーは質の悪いフローのエネルギーであり、高価格な商品の拡大再生産になります。水力を除いた再生可能エネルギーの構成比率が、50%を超える頃から経済成長が止まると思われます。

また、第4章で世界の一次エネルギー消費量からエントロピー計算をしました。エントロピー論から言えることは、化石燃料を再生可能エネルギーに置き換えるだけでは地球温暖化が止められません。地球温暖化を止めるため、世界の一次エネルギー消費量を大幅に削減しなければならず、自ずと経済成長はできません。残念ながら、エネルギーを大幅に削減すれば豊かで便利な社会を維持できません。

地球一個分の経済活動

経済成長一辺倒の資本主義ですが、経済活動は次のような動的機構に則っています。資本主義とは、将来へ向けて経済を拡張してゆく活動である。そのためには、手元に資本が必要で、それは借金によるほかない。→H 借金は将来の収益によって返済される。→H 将来に向けて収益が得られると期待できれば、企業は借金をするから、当然、利子がつく。→H 借金つまり負債を動力にして成長するのが資本主義の本質である。→H この動的機構により、豊かで便利になる経済活動は、各国で実現した高度経済成長期のみです。その後は、富裕層と貧乏層に二極化する経済活動になりました。

この競争する動的機構は、人間意志のブレーキがきかず、資本主義社会が自分自身で自分の道を驀進するという自動性を有しています。つまり、資本の自己増殖を推進する動機は商機なる欲望にあり、かつ商機を実現してくれる科学技術の進展です。電気自動車を例にとれば、2015年のパリ協定以降二酸化炭素を排出しない自動車を錦の御旗にできる商機到来です。世界の自動車会社は生き残りをかけて、電気自動車の開発競争をしています。電気自動車の弱点は、長時間の充電でも長距離を走行できないことにあり、高価なりチウム蓄電池から技術革新により全固体蓄電池に開発が移ってきました。更に、電気自動車の充電に再生可能エネルギーを活用しつつ、自動運転できる電気自動車にインターネット接続装置の役目を付与する壮大な構想が検討されています。工業化社会の豊かで便利な基本価値に一致する限り、企業は技術革新にて電気自動車又は水素燃料自動車を安価な方向に以っていきます。

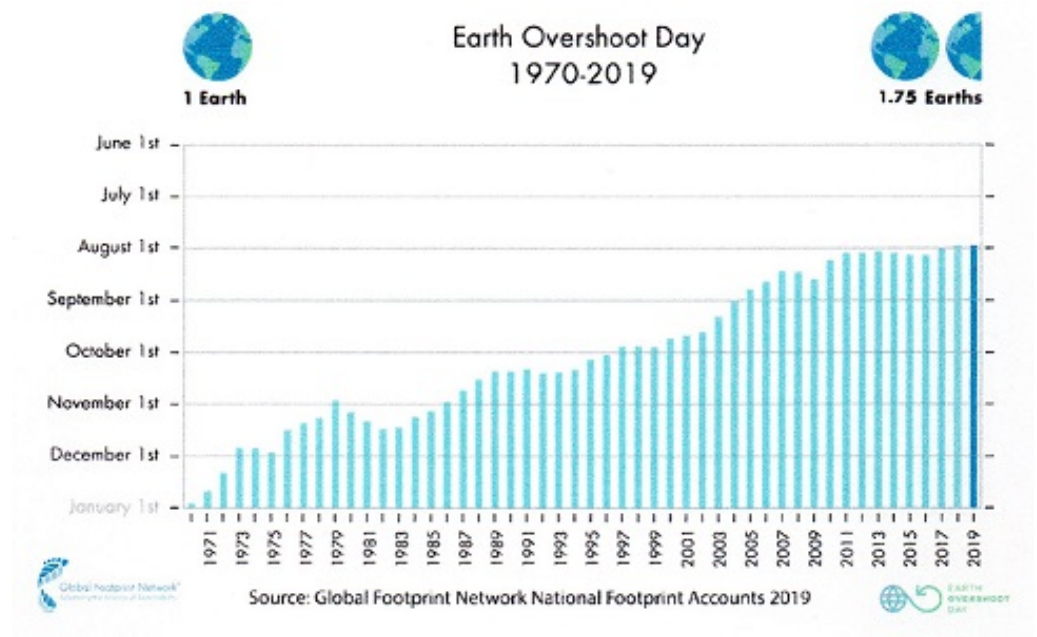


図8: アース・オーバーシュート・デーの推移

図8に、1970年からのアース・オーバーシュート・デーの推移を示します。アース・オーバーシュート・デーとは、地球が1年間で生産できる自然資源の量を人類の消費が上回ったことを示す日のことです。1970年初頭には、温室効果ガスの排出量と海や森からの資源需要量が増大し、地球の生物生産量を上回りました。その後、化石燃料の消費量に比例するかのように、アース・オーバーシュート・デーは、年々早まる傾向にあります。2009年のリーマン・ショックの影響により、アース・オーバーシュート・デーは若干下がりました。経済活動が再び活発になるにつれ、2019年のアース・オーバーシュート・デーは7月29日でした。

2020年は、新型コロナウイルスの影響で経済が停滞したことで、使用される資源の量が減り、アース・オーバーシュート・デーは8月24日まで遅れましたが、2021年は2019年と同じ7月24日がアース・オーバーシュート・デーになりました。限界を超えた分は、化石燃料のようなストックを食いぶし、かつ環境汚染という未来への付け回しです。豊かで便利な工業化社会は、地球環境に負担をかけます。不思議と、地球一個分の経済活動が経済政策の柱になることはありません。

経済拡大から縮小への転換

産業革命以降の西洋文明は、科学技術の応用により国々にばらつきはあるも経済成長を果たしました。特に、第二次世界大戦後の先進諸国の高度成長と、その後20世紀末以降に途上国から急激にキャッチアップして中進国化したいわゆるNIEs（新興工業経済、香港、シンガポール、韓国、台湾の「四小龍」から更にタイ、インドネシア、マレーシア等）、21世紀でいえばBRICS（ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカ）の事例であるわけです。← I 経済成長を果たせたのは、当該国に供給される化石燃料の余剰エネルギーの量が多く、質が良好であったからです。図1を見れば、戦後の化石燃料の消費量と経済成長の相関関係を見て取れます。工業化により第一次産業の従事者が減っても、化学肥料と農業の機械化で食糧増産が可能になり、第二次と第三次産業への従事者が圧倒的に増えました。エネルギー収支比の高い化石燃料が、社会及び経済構造を激変させました。

IEA（国際エネルギー機関）が、2021年5月に発表した2050ネットゼロの資料によると、2050年の世界の電源構成は、2019年と比べ様変わりします。電源別内訳は、石炭が37→1%・石油が3→1%・天然ガスが23→1%・原子力が10→7%・水力が16→12%・太陽光が2→35%・風力が5→35%などです。化石燃料が3%と極端に減り、太陽光と風力が70%を占める再生可能エネルギーの時代です。2050ネットゼロシナリオでは、化石燃料による二酸化炭素排出が完全にゼロと言うのではなく、木などによる二酸化炭素の吸収量分の排出は認めます。第5章で述べたように、今すぐに温室効果ガスの排出を停止しても、濃度の高い状態が数世紀にわたります。ところがIPCCは、2022年4月に温室効果ガス排出量のピークを2025年以前に抑えなければ、産業革命前と比べた気温上昇の幅1.5度Cを達成できないと指摘しました。次に、2022年10月26日に国連気候変動枠組み条約事務局は、各国が温室効果ガスの排出削減目標を達成した場合でも、今世紀末までに気温が産業革命前より約2.5度C上昇する恐れがあると発表しました。ただし、ロシアのウクライナ侵略に伴う温室効果ガス排出増は加味されていません。

そもそも2050ネットゼロシナリオの前提条件は、3%/年の経済成長です。アフリカ・インド・東南アジアの伸びが大きく、他は横ばいと見積っています。要は経済拡大であり、IEAはIPCCの第6次報告書から2050ネットゼロシナリオの見直しを迫られています。またエントロピー論から言えば、2020年以前から地球の放熱能力に近づくエネルギーを消費しています。2050ネットゼロシナリオであっても、地球温暖化を止めることができません。地球温暖化を止めるには、エネルギーの消費量を減らし経済拡大から縮小に向うしかありません。経済縮小をどこまでするかは、図8が参考になります。地球一個分の経済活動にすべきであり、1970年代初頭の規模です。

産業革命以降、石炭を始めとする化石燃料の大きな余剰エネルギーが、各国の社会及び産業構造を一変させました。2050ネットゼロシナリオにおける再生可能エネルギーのエネルギー転換は、産業革命時の木材から石炭へのエネルギー転換に匹敵し、各国の社会及び産業構造を根底から変えるかもしれません。残念ながら再生可能エネルギーは、エネルギー収支比が化石燃料に比べ10未満と小さいですから余剰エネルギーが少ないです。経済成長ができない資本主義は、「失われた30年」の日本のように最悪です。企業は、より一層必死になって利益を上げようとします。そのため、手っ取り早い方策（労働者の賃金を下げたり、リストラ・非正規雇用化など）を進めて経費削減を断行します。その結果、社会の貧富格差、分断が広がる一方です。会社構造に即して言えば、投資—リターンという株主の投機的欲望が、労働—生産—販売—資本回収のサイクルを無理やり動かしています。

2050ネットゼロシナリオ崩壊の今、真に再生可能エネルギーの社会にするには、社会のあらゆる面において改変しなければなりません。現在の社会構造及び生活様式は、再生可能エネルギー時代にまったく即わないのです。再生可能エネルギーは、化石燃料のようにエネルギーが凝集されておらず、高度に集中化した社会構造及び生活様式に不向きです。たとえば、高層ビルとかタワーマンションは、一か所で大量のエネルギーを使い、大工場も一か所で大量のエネルギーを使います。再生可能エネルギー100%の場合、常に停電が心配になります。ストックの化石燃料からフローの再生可能エネルギーへの転換において、一番大事なのは大量にエネルギーを使わない社会構造及び生活様式に切り替えることです。人類は、経済拡大を選ぶかそれとも経済縮小を選ぶか迫られています。経済縮小を選ぶ場合、経済を民主的政治に従わせつつ、富の分配に意を用いた社会を構想します。

指定なし

あとがき

私たちは、人に出会うと、今日は「暑い」ですとか、今日は「寒い」ですとか挨拶をします。前日との気温差が大きいから、感覚で気温をとらえられます。地球温暖化は、産業革命以降の平均気温を2050年までに1.5度C以内に抑える話です。人間の感覚ではとらえられません。地球の各所で気温測定をし、平均気温を算出しています。気温測定の統計処理の結果、地球温暖化が進行していると結論付けます。しかし、私たちは今日は「暑い」ですとか、今日は「寒い」ですとかの挨拶止まりで、地球温暖化の影響まで考えません。更に、地球温暖化の影響を話しても、経済成長の話を持ち出し、自分が生きている間は大丈夫と高を括っています。そのため、今のエネルギー消費の積み重ねが、気候危機につながることに思いが行きません。

工業社会の夢を語るのはとても楽しいですが、工業社会の発展に伴う多量のエネルギー消費が、地球に温暖化なる異変を与えました。政府は、目指すべき未来社会を『Society 5.0』で方向を定めています。少子高齢化の将来は、ロボットにより乗り切ろうと考えています。しかし、夢を実現するには、半導体を多用したロボットが必要であり、今以上にエネルギーを消費します。高度経済成長期の公害問題と異なり、技術で地球温暖化を解決するのは非常に困難です。事の本質は、過剰なエネルギー消費にあるわけで、化石燃料を再生可能エネルギーに置き換えても、世界の一次エネルギーの消費量を今よりも大幅に下げなければ地球温暖化が止まりません。

産業革命前の中世後半には、アリストテレスの自然観から機械的自然観に自然観が、多くの産業革命前の中世後半には、アリストテレスの自然観から機械的自然観に自然観が、多くのよる経済成長は、豊かで便利な社会を築いてきました。ところが、経済成長に伴う地球温暖化により、大規模災害が皮肉にも人類の繁栄を壊しています。豊かで便利な社会でエネルギーの消費量を減らすと言えば、江戸時代に戻るのかと暴論を吐く人がいますが、エントロピー理論から言えば、1970年代初頭に戻るわけです。化石燃料から再生可能エネルギーへのエネルギー転換期において、自然観の変化とはいかずとも、社会構造に対する新たな哲学的思想が必要です。その脱成長哲学は、経済縮小による地球温暖化の防止を社会的に正当化します。

指定なし

参考文献

第1章 読み返して認識

- ・ ベルトラン・バレ他1名著 倉持不三也(訳)
地図とデータで見るエネルギーの世界ハンドブック

原書房

- ・ 富増和彦著 エコロジーとエントロピーの企業会計
- ・ 柴田篤弘・槌田敦著 エントロピーとエコロジー 再考 創樹社 ← B
- ・ ニューズウィーク日本版 人類は2040年代をピークに破滅?
世界に衝撃を与えたレポート「成長の限界」を再

検証

第2章 産業革命前後で大転換

- ・ 室田武著 エネルギーとエントロピーの経済学 東洋経済新報社
- ・ ウィキペディア
- ・ 富増和彦著 エコロジーとエントロピーの企業会計
- ・ 森林・林業学習館 ← C
- ・ 宇沢弘文著 地球温暖化を考える 岩波新書

第3章 驚異的な生産力

- ・ 関根順一著 機械による生産と労働力の商品化 九州産業大学 経済理論第42巻第4号
- ・ ウィキペディア
- ・ 田村八洲夫著 21世紀文明の岐路とエネルギー選択 金融ブックス → D

第4章 グローバル化の経済活動

- ・ 荒屋大輔著 資本主義に出口はあるか 講談社現在新書 → E
- ・ 2022年4月5日 東京新聞朝刊
- ・ 渡辺雄二著 エントロピー論による「生産」という言葉の考察と永続可能性社会の展望

第5章 再生可能エネルギーの難題

- ・ エバーグリーン株式会社の資料
- ・ 2022年4月11日 産経新聞
- ・ 2050年カーボンニュートラル社会実現に向けた鉱物資源政策

- ・ 玉川基行著 玉川堂メールマガジン・コラム [第153号] ←F
- ・ グローバル・フットプリント・ネットワーク 2019年6月 プレスリリース (日本)
- ・ 仙台放送局記者 高垣祐郷著 太陽光パネル ”大破棄時代” NHK
- ・ クリス・ヌーン著 分解してリサイクル：風力タービンプレードの完全な再生利用に挑む

- ・ よくある質問と回答 FAQ 12. 3排出を今すぐに停止したら将来の気候はどうなるのか？

第6章 エネルギー転換による社会形態

- ・ 2022年4月5日 東京新聞朝刊
- ・ 佐伯啓思著 経済成長主義への訣別 新潮選書 ←H
- ・ WWF ジャパン
- ・ 稲葉振一郎著 不平等との闘い 文藝春秋 ←I

人類はエネルギーの使い過ぎ

著 小森三郎

制作 Puboo
発行所 デザインエッグ株式会社
