ゼロ炭素社会の実現に向けての「世界基準」を

非木材グリーン協会会長 飯山賢治 東京大学名誉教授

はじめに

2022 年 2 月 20 日、北京を会場として冬期オリンピックが閉会し、3 月 4 日からパラリンピックが開催されようとしていた 2 月 24 日、ウクライナ周辺に大規模な戦闘部隊を配置していたロシア軍は一斉にウクライナ各地に侵略し、攻撃を開始するという世界の注目を一点に集める暴挙を開始しました。そればかりではありません。こともあろうに侵略の最初期に 1986 年に大規模な原発事故を起こしたチェルノブイリ(ウクライナ語でチョルノーゼリ)原子力発電所とヨーロッパ最大規模の原発群のあるサポロジェを砲撃や空爆で攻撃し、占領しました。このように、原発は国際紛争や、テロリストの戦略目標される恐ろしさをさらけ出しました。

加えて、国際法規に違反し、人道的にも許されないロシアの暴挙の前で、すっかり陰を潜めてしまいましたが、地球温暖化を防止し、気候変動への対応というもう一つの世界的課題もまた大きな転換点を向えています。今回はこの課題について触れましょう。

2022年1月27日付で、首相経験者小泉純一郎、細川護熙、鳩山由紀夫、菅直人、村山富市各氏が連名の書簡が欧州連合(EU)の行政最高機関に相当するヨーロッパ委員会の委員長宛てに送付されたことが報道されました。その趣旨は「脱原発と脱炭素の共存は可能」とし、「脱炭素化に貢献するエネルギーの投資先」として、欧州での原発推進の動きに異を唱えたもので、原発への投資を含むようなことのないことを求めるものです。

この書簡に「私たちはこの 10 年間、福島での未曽有の悲劇と汚染を目の当たりにしてきました。何十万人という人々が故郷を追われ、広大な農地と牧場が汚染されました。貯蔵不可能な汚染水は今も増え続け、多くの子どもたちが甲状腺がんに苦しみ、莫大な国富が消え去りました」との記載があったとして政府(山口壮環境相)は、「福島県の子どもに放射線による健康被害が生じているという誤った情報を広め、い

われのない差別や偏見を助長する ことが懸念される」と指摘し、首相も また「書簡の表現は適切でない」と 衆議院予算委員会で批判しました。 事実はどうなのでしょうか?

日本の医療統計では、小児(事故時 0歳から 18歳)の甲状腺癌の発症は小児 100万人あたり年間 1~2人とされています。ところが、福島原発事故の影響を受ける可能性のある地域では、対照小児 38万人のうち、「細胞診検査の結果癌の疑



いの子供が109人、手術して癌の確認された子供が84人と報告され、さらに2巡目の本格検査ですでに8人の甲状腺癌の子供が発見(著者註:100万人あたり530人に相当)」されていると、首相官邸のホームページの「東電福島原発・放射能関連情報>原子力災害専門家グループ>世界の甲状腺癌の現状」で、長瀧重信長崎大学名誉教授が記述しています(https://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka g78.html)。

長瀧名誉教授は「超音波診断や細胞診などの診断 方法の進化で甲状腺癌の検診が増加している」のではと した上で、「亡くなるまで無症状の癌患者(ラテント癌)が 相当数ある」のではと説明しています。彼は記述の中で 年齢階級別の甲状腺癌罹患率の図(図 1)を引用してお り(参考のためその図を本稿のとして使わせて頂きま す)、「64~69歳の女性の人口 10万人当たりの甲状腺 癌患者数は 12人」と述べていますが、ここで議論してい るのは 0~18歳の男女ですので、長瀧名誉教授の指摘 は全く関係ありません。逆に図1で見てみますと、図1は 19歳未満の人で甲状腺癌を発生するのは、せいぜい2 人にしかならないことを証明していることになります。

2011年3月の東京電力福島第1原発事故に25年 先立つ1986年4月、旧ソ連ウクライナ共和国の北辺に 位置するチェルノブイリ原発で原子力発電開発史上最 悪の原子炉の暴走事故が発生し爆発に至りました。原 子炉とその建屋は一瞬のうちに破壊され、爆発とそれに

引き続いた火災にともない、大量の放射能放出が継続し、事故翌日の4月27日に、原発に隣接するプリピャチ市住民4万5000人が、さらに周辺30km圏から9万人、計13万5000人の住民が避難し、現在も600万人以上の住民が汚染地域に居住していると言われています。

この事態を受けて、 IAEA 等国際機関は事

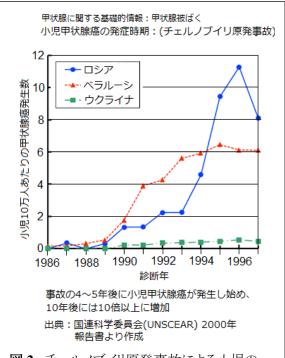
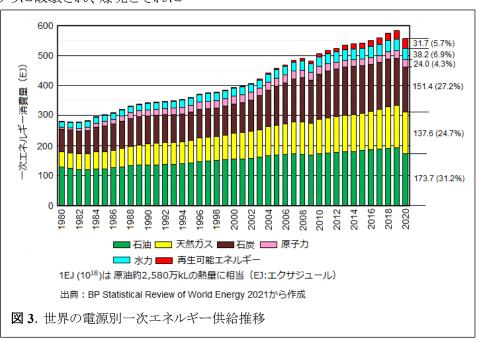


図 2. チェルノブイリ原発事故による小児の 甲状腺癌発症状況



故で放出されたヨウ素 131(半減期 8 日)などの放射性ヨウ素による被曝影響として、チェルノブイリ周辺地域では、事故後 5 年経った 1990 年頃より小児甲状腺癌が急増を始め、1991 年以降世界平均の 100 倍を越える発生率が被ばく後 10 年以上経っても観察されていることを国連科学委員会が報告しています(図

2)。

本稿を執筆している 2022 年 2 月末、ウクライナに大規模な軍事侵略を始めたプーチン大統領率いるロシア軍が、ウクライナにあるこのチェルノブイリの事故現場周辺に進出し、事故を起こした原子炉を接収したとの報道に接しました。いまさら事故への旧ソ連政府の責任の大きさの償いをするというのでしょうか?

それはともあれ、冒頭の小泉氏を始めとするもと首相の書簡の基となっている COP15 でのパリ協定および COP21 のグラスゴー合意を経て、できあがりつつある地球温暖化防止への世界的戦略が、ついに次の段階に移ってきた今日の課題を整理したいと思います。

フランスのマクロン大統領の選択

2022 年 2 月 11 日の NHK ニュースは「2022 年 4 月に大統領選挙を控え、エネルギー価格の高騰 および雇用確保の拡大など難題を抱えたフランス のマクロン大統領は『2028年に原発6基の国内で 新設し、2035年の稼働を目指す。国内の電力需要 および雇用の増大を実現するため、この 6 基の建 設に加えて、別に8基の原発の設置も計画中』」、と 報道しました。その理由として、マクロン大統領は 「再生可能エネルギーだけでは、パリ協定の削減目 標をできない」ことを自ら認め、「削減目標の達成の ためには原発と再生可能エネルギーの組み合わせ こそ、環境面でも経済的にも最適の選択」である、と 述べています。これは、2015年の COP21 で自らが 「パリ協定」を主導してきた「世界が一体となった実 質ゼロ炭素社会の形成への取り組み」が、困難であ ることを自ら認めたものと言わざるを得ません。

1997 年に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)では、先進国の拘束力のある削減目標の合意を得ました。加えて温室効果ガス排出削減に向けた再生可能エネルギーの活用の推進および排出権取引に関する実質合意も

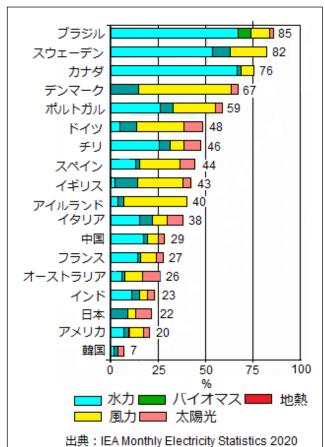


図 4. 主要国の再生可能エネルギーの一次電源とし

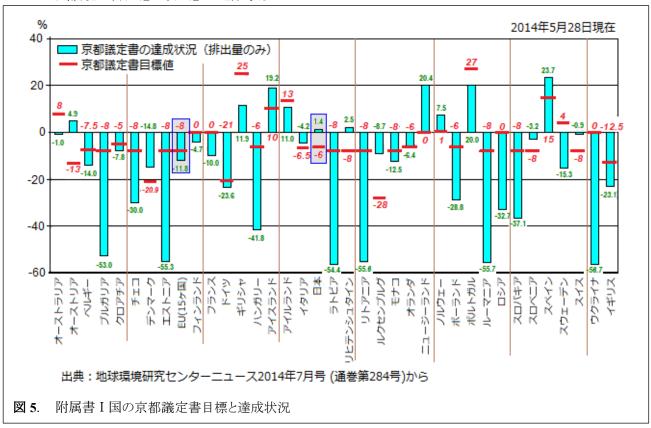
ての利用状況(2018年)

されました。しかし、一次エネルギーの電源として再生可能エネルギーが使われているのは 25 年たった今でもわずかに 5.8%に過ぎません(図3)。大規模な水力発電を加えた「自然エネルギー」による一次エネルギーの供給量は生産された一次エネルギー全体の 12.6%に過ぎません(図3)。特にフランスの再生産可能エネルギーの利用状況は EU 構成主要国の中でも低いレベルに留まっています(図4)

そのような状況の下での今回のマクロン大統領の表明は、と言うよりフランス政府、さらにヨーロッパ委員会自体が数十年に遡って取り組んできた地球環境変動に関する政策「ヨーロッパ基準による管理」の目標が、2021年12月にイギリスのグラスゴーで開催された COP26で完結点を向えたためではないか、と疑わざるを得ない事態になっています。

以下、時間的経過を踏まえた状況の推移について見ていくことにしたいと思います。

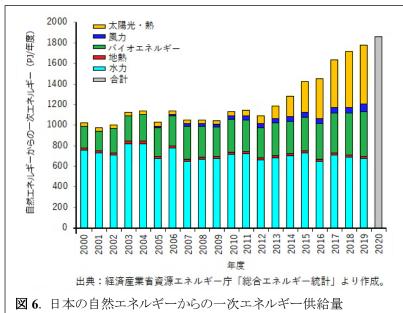
COP3 京都議定書同意と、同意の達成状況



1997 年 12 月に京都国際会議場で開催された COP3 では、対象とする温暖化効果ガスとして CO_2 (二酸化炭素)、 CH_4 (メタン)、 N_2O (亜酸化窒素)、HFCs(フロン)、PFCs(有機フッ素化合物)、及び SF_6 (六フッ化硫黄)の6種を認定しました。先進国および東欧・ロシアの市場経済移行国(旧ソ連、CIS 諸国)を含む附属書I国全体で、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O の3種のガスについては、基準年を1990年とし、他の3ガスについては基準年を1995年として、 $2008\sim2012$ 年の5年間を第1約束期間に、 CO_2 換算での総排出量を少なくと

その中で、「1990年以降の新規の植林、再植林及び森林減少に係る排出及び吸収」を限定的に考慮することになりました。さらに、議定書は「非附属書I国は、本メカニズムに基づき、排出削減につながるプロジェクト活動により利益を得、附属書I国は、同プロジェクトで生じる承認された削減量を自国のQELROs(Quantified Emission Limitation and Reduction Objective:数量的排出制限及び削減目標)達成に使用する」こと、すな

も 5%削減することを目標としました。



わち「クリーン開発メカニズム」が設定されました。本メカニズムは、議定書の締約国会合の監督の下、本メカニズムの理事会による管理・指導を受けて発効することになっています。

附属書I国の京都議定書目標値と、 2014年5月28日現在の達成状況を図 5に示します。温室効果ガス排出量だけ から見ますと、多くの国で排出量の削減 を果たしていますが、とりわけ1990年以 前にソビエト社会主義共和国連邦を盟 主としたワルシャワ条約機構に所属して いた東ヨーロッパ諸国での排出量の削減 が進められました。

「固定価格買取り制度」(FIT 制度)の発足

2012年7月1日、日本における再生可能エネルギーの普及促進を目的とした「固定価格買取り制度」(FIT制度)が発足しました(「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(平成23年法律第108号)。

2011 年 3 月の東日本大震災以降、電気エネルギーについて大きな見直しがあ

り、2030 年度には再生可能エネルギーを主電源化し、全体の 22%~24%までにする計画となっています。2019 年の日本の全一次エネルギー供給量は18,000PJ(ペタ・ジュール:18,000x10¹⁵ ジュール)ですが、従来型の大規模水力発電を加えた「自然エネルギー」の合計量は1,800PJ(図 6)ですから全体の10%になります。日本の水力発電のほとんどは、「大規模水力」ですので、それを差し引いた「再生可能エネルギー」の定義に沿う部分は700PJで、全体の4%弱と、目標からは大きく遅れを取っています。



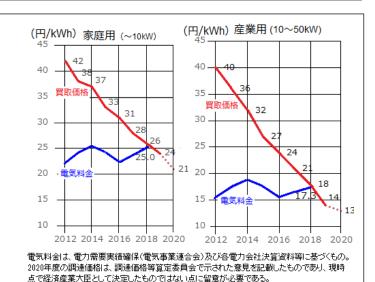
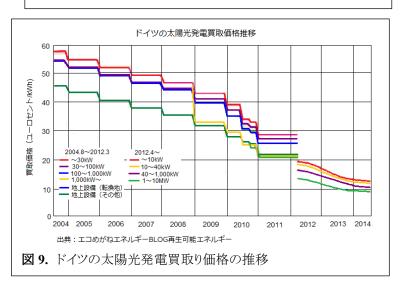
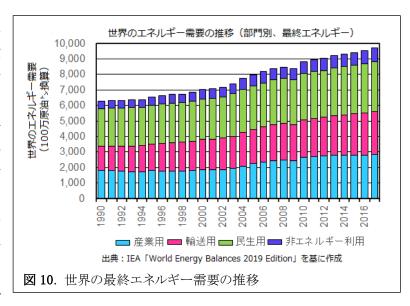


図 8. 日本の太陽光発電買取り価格と電気料金の推移



固定価格買取り制度では、太陽光発電を始めとした再生可能エネルギーによって発電した電力を、固

定価格で電力事業者は買い取ることに なります。太陽光発電ではパネルの設 置市場価格が急速に低下していること から、毎年その年の買い取り価格が変 化します(図7、図8)。太陽光発電以外 の風力、水力、地熱、バイオマスによる 買い取り価格はほとんど変動がありませ んでした。ちなみに日本のFIT導入に約 10 年先だって実施されてきたドイツでの 太陽光発電買取り制度での買取り価格 の推移を参考までに掲載しておきましょ う(図 9)。ドイツでの小規模発電の 2014



年の価格は日本円で17円/kWh 程度で2018年の日本の大規模発電の価格とほぼ同じになります。

そして、この固定価格買取り制度のポイントになるのが、買取りの期間です。地熱で発電した電力につ いては 15 年間、風力、中小水力及びバイオマスについては 20 年間となっていますが、10kW 未満の住宅

用太陽光発電は10年間となっています。10 ~20年間は再生可能エネルギーによる発電 の電力を買い取ってもらえるのですが、それ 以降はこの制度の対象外となるのです。

上述のように、IPCC(「気候変動に関する 政府間パネル」)は、地球温暖化の原因とな る温室効果ガスの排出を削減して地球温暖 化の進行を食い止め、大気中の温室効果ガ ス濃度を安定させる「緩和策」として、エネル ギーの節減と自然エネルギー(「再生可能エ ネルギー」と大規模な水力の合計)の活用を 置いていました。しかし、世界の一次エネル

ギー消費の増加は抑えられておらず、自然エネルギ ーは全消費エネルギーの十数%に留まっている現 状(図 10 及び図 3 参照)では、誰がみても IPCC の もくろみの実現は不可能であることを認めざるを得ま せん。

ヨーロッパ諸国を中心に内燃機関、すなわちガソ リンや軽油をエネルギーとして使う自動車に代えて 自動車の総てを電気自動車にするという「施策」が 進められています。電気自動車に供給するだけの 地球環境に優しい電力を供給することは図 10 から みて不可能です。電力のほとんどが自然エネルギ

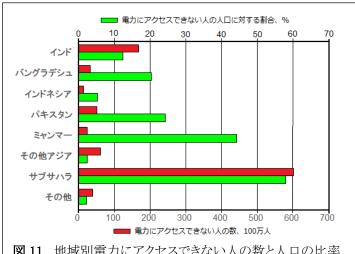


図11. 地域別電力にアクセスできない人の数と人口の比率



図12. 太陽光発電パネルおよび通信用パラボラアン テナを設置したモンゴル砂漠地域での研究拠点

一以外から供給されることになります。こ のような状況でどうして電気自動車にする ことで温室効果ガス排出削減に繋がるこ とになるのでしょうか?フランス政府、い や今や EU 委員会が進めようとしているの は、「何が何でも温室効果ガスを排出しな い電力源への切り替え」、すなわち原発 の推進を諮ろうとする意図が見えてくるの です。

日本に住む私たちにとって災害時の 「停電」の下での生活がズーッと続くことな ど考えても見たくはありません。しかし世 界の人口 77 億人の約 13%の 9 億 9.200 万人の人が電力にアクセスできない状態 に置かれています(図 11)。とりわけサハ



割合

ラ砂漠以南のアフリカ諸国では6億人の人の58%が、南及び東南アジアでは約3億人が電力を供給され ない環境での生活をせざるをえなくなっています。

私が在籍していた国立研究開 発法人国際農林水産業研究センタ ー(JIRCAS)は、モンゴルの草原で 家畜の飼育可能数などの長期継 続調査のため、研究員が何も無い 草原の真ん中にゲル(伝統的な移 動式住居)を設置して滞在していま した。データの集計やつくば市の JIRCAS本部との連絡のため、簡易 型の太陽光発電パネルと蓄電池、 さらに人工衛星を介した連絡とテレ ビ受信のためのパラボラアンテナを 配置してあります(図12)。

再生可能エネルギーの課題

1997 年、京都で開催された



図 14. パラグアイ・ブラジル国境のパラナ皮に設置された水力発電所 (著者撮影)

COP3 では、推奨される「新エネルギー」として、太陽輻射熱利用を含む太陽光エネルギー、風力エネルギ 一、地熱エネルギー、バイオマスエネルギー、そして中小水力エネルギーが推奨されています(図 13)。水 力については、2009年に中国長江に完成した2.250万キロワットの発電が可能な世界最大の三峡ダム水 力発電所、南米イグアスの滝近くのパラグアイとブラジルの国境を流れるパラナ川にあるイタイプダム水力 発電所(図 14)、ナイル川のアスワンダム水力発電所、日本でも黒部川をせき止めて建設された黒部第 4 ダムなど巨大な水力発電所が数多くあります。このような大規模の水力発電所と中小水力発電所とを区別 している国際的資料がありませんので、一括して扱うこととします。

·太陽光

2022 年 3 月 21 日午後 9 時過ぎ、日本政府は突然「電力需給のひっ迫警報」を発出しました。この電力需給ひっ迫警報は、2022 年 3 月 16 日 22:36 福島沖で発生したマグニチュード 7.4 の地震に伴い安全停止した複数の火力発電所の再起動に時間がかかっていること、関東及び東北地方は 3 月 22 日異常な低温が予報されたことで電力需要が見込まれ、需要量が発電量に逼迫し、大規模停電が予測されたためでした。結局は企業及び個人の節電により大規模停電はなく、翌 23 日には「警報」は解除されました。実は東京電力管内で天気が良く晴れる日などは太陽光発電により 1,800 万 kW、およそ、大型の発電所 18 基分の出力になりますが、22 日のように雨や雪が降る日にはほとんど発電しません。また、夜間も当然ですが発電できなくなります。これこそがまさに太陽光の最大の弱点であり、ヨーロッパ諸国が風力をその中心に据えているのと違って、そのことを承知で太陽光を再生エネルギーの利用の先頭に位置づけてきたのが日本の特徴と言えましょう(図 13)。

太陽光の発電能力の直流電流値は傾斜面日射強度の一次関数として、直流電圧値は太陽電池パネル裏面温度の一次関数として算出されることが知られています(式1及び式2)。

$$I = I_{stc} \times G \tag{1}$$

$$V = V_{stc} \times (1 + \beta \times (T-25))$$
 (2)

ここで、G は傾斜面日射強度 (kW/m^2) 、T は太陽電池パネル裏面温度 (\mathcal{C}) 、I: 直流電流(A)、

V: 直流電圧 (V)、*stc*: G = 1kW/m²、T = 25℃等の標準条件での測定値、β: 出力温度係数 (V/℃)、です。

太陽光発電量は設置した地域の日射強度に比例します。日本国内の日射強度については、気象庁のデータベースから得られますが、諸外国の日射強度(solar

irradiance)の入手は困難です。そこで2018年の世界の国別年間降水量をプロットしてみますと、日本は1,668mmと、ベトナム、タイなど東南アジア諸国及びギニア、コンゴ、カメルーンのようなサブサハラ

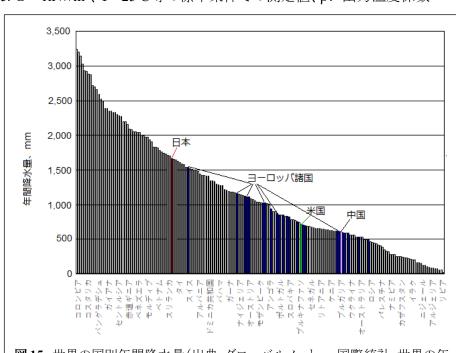
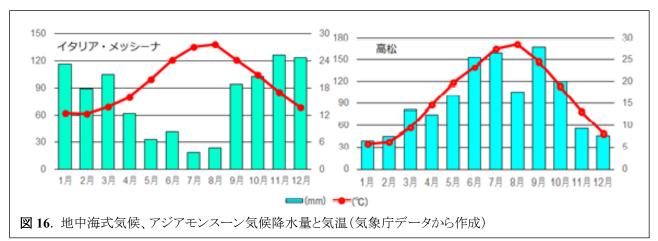


図15. 世界の国別年間降水量(出典:グローバルノート - 国際統計・世界の年間降水量 国別ランキング)

アフリカ諸国とほぼ同じで、平均約 900mm のヨーロッパ諸国の 1.8 倍となり、必然的に日射強度は低くなっていることになります(図 15)。

加えて、日本や東南アジア諸国はアジアモンスーン気候区に属しますが、気象庁のデータベースか



ら世界各地域の降水量と気温の月別デ ータから日射強度を検討するために検 討しました。ヨーロッパ諸国の多くが属 する地中海式気候では、北半球で日照 時間が長くなる夏期に降水量が少なく、 日射強度は相対的に高くなります(例え ばイタリア・メッシーナ)(図16)。

式(1)及び(2)で示されるように、 太陽電池パネル裏面温度(T)が25℃ を超えると、直流電圧出力が低下、すな わち出力が低下してしまうことです(図 17)。この温度は気温ではなく、設置さ れたソーラーパネルそのものの温度で すから、夏期の直射日光のもとでは容 易にこの温度を超えてしまいます。その

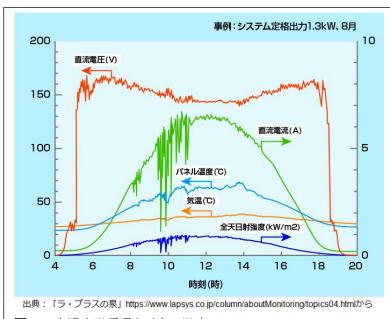


図17. 太陽光発電量とパネル温度

結果、冬期の方が夏期より発電量が多くなると言うことにもなります(図17)。国立研究開発法人新エネルギ

一・産業技術総合開発機構(NEDO)が公開している 日射に関するデータベース

(https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html) に詳 細なデータが紹介されています(図18)。

このことは1年を通して気温の高い熱帯地域及 びアフリカ大陸中央部に拡がるサバンナやブラジル のセラードなど亜熱帯地域での発電効率はさらに低く なってしまうことを示唆しています。つまり太陽光発電 は、比較的に冷涼で、日照時間の長い夏期の地中海 式気候、西海岸性気候などヨーロッパ諸国で有利な 方法と考えられますが、太陽光発電を再生可能エネ ルギーの中心に据えている国はほとんどありません (図13参照)。

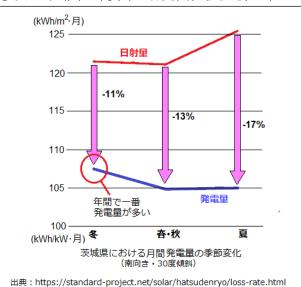
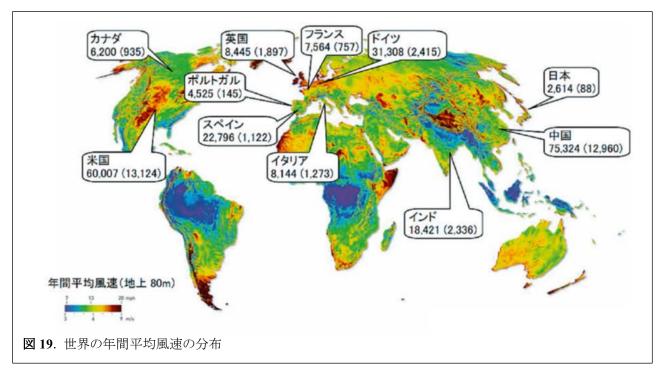


図 18. 茨城県における月間発電量の季節変化

•風力

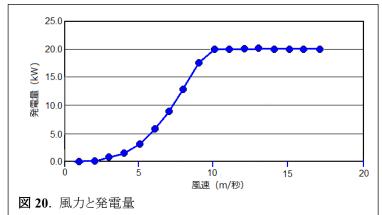
風力について見てみましょう。北半球の西辺にある主要なヨーロッパ諸国は安定した偏西風の勢力

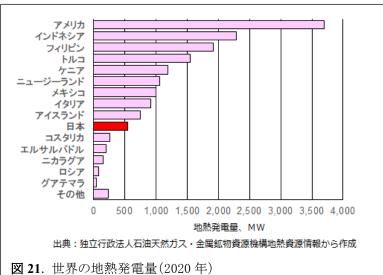


下にあり、1 年を通して比較的安定した風力に恵まれています(図 19)。

これに対して大陸の東端に位置する地域は、偏西風の勢力も弱まり、その一方でときおり台風、ハリケーンのような突発的強風に見舞われます。風速が 10m/秒までは風速につれて発電量が増加しますが、10m/秒を超すと発電量は一定値になってしまいます(図 20)。つまり、台風のような突発的強風は発電量にほとんど寄与しないことになります(図 20)。

なお日本で年間平均風速がもっとも高いのはえりも岬ですが(気象庁データ)地上高で6.5m/秒程度で、ヨーロッパの北海沿岸地域の8m/秒に比べ、発電量が少なくなります。ヨーロッパ諸国に加えて、中国やインドは風力発電を再生可能エネルギーによる発電の中心に据えてきています(図13参照)。ヨーロッパでは洋上風力発電が主流になってきていますが、日本政府も本格的に洋上





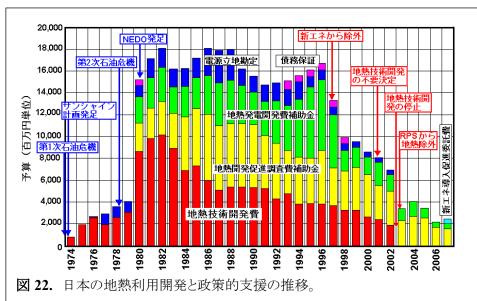
不売る億発電に乗り出してきています。政府は 2021 年末を期限として秋田県能代市沖合、秋田県由利本 荘沖合及び千葉県銚子沖合に、それぞれ 48 万 kW、82 万 kW 及び 39 万 kW の大型施設の設置にかか る入札を公募し、成立させました。成立した応募価格(円/kW)は能代等 13.26、由利本荘 11.99 及び銚子 16.49 とのことでした。

・地熱

太平洋の周囲には現在も至る所で活動を続けている環太平洋火山帯が取り巻いています。国土交通省が認定している活火山の数は 111 に及び、一般財団法人国土技術研究センターによれば日本世界の活火山の 7%にもなります。この火山活動を利用する地熱発電には、大きく2 つの方法があります。発電用のタービンを回すために、地下の高温の蒸気を直接利用する方法(フラッシュ方式)と、沸点の低い別の流体を利用する方法(バイナリ方式)です。

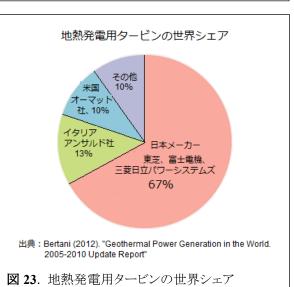
前者は、地下から 200℃以上の高温の熱水をくみ上げられる場合に適した方法で、地下の熱水の貯留層から、鋼管杭で蒸気を取り出し、タービンを回すことで発電する方式です。発電に使われた後の蒸気は、冷却塔で冷やし地下に戻します。後者は、既にある温泉熱(水)・温泉井戸等を活用した方式で、新た

な掘削等は行いません。 まだまだ導入の余地がある発電方式であり、新たな掘削等も必要としいない。 電方法と言えます。地下から大きについても、100℃程度が目安で、既存の温度についても、を発電施設等に発電施設等に発電施設等に発電施設を追加で建設することも可能です。こうした温泉水を水よりも沸点の低い有機



媒体等を温めて作り出した蒸気によってタービンを回 し、発電する方式です。

資源エネルギー庁の資料によると、地熱発電は、2014年時点で約52万kWの設備容量が認定されています(図21)。日本は、世界でも有数の豊富な地熱資源に恵まれており、そのポテンシャルは現在の地熱利用設備容量の約45倍、2,347万kWもあるといわれています。地熱発電は年間を通して高い設備利用率で発電し続けられることが特長です。約52万kWの設備容量について、設備利用率80%で稼働させたとすると、年間の発電量は約36億kWh。一般の家庭約100万世帯分の年間消費電力量をまかなえる計算です。



地熱は、水資源と共に日本が保有する主要なエネルギー源ですが、政府は京都におけるCOP3 が実施された 1997 年に、地熱利用開発は「再生可能エネルギーから除外する」との方向が出されました。その後、2001 年には「地熱技術開発は不要」と言う立場を取り、2002 年には「地熱技術開発を停止」し、関連する「地熱技術開発費」を廃止しました(図 22)。そのためか、日本の地熱発電の実績は全く進展していません(図 6参照)。これはおそらく地熱発電に適した場所が国立公園の中であったり、温泉地であったりすることから、環境省を始めとする政府機関の強い圧力があったのではないでしょうか?最近地熱資源に富む開





図 24. モンゴル草原での国際農林水産業研究センター(JIRCAS)のプロジェクトで馬や羊の糞と利用されていなかった細粉化した石炭を混合することで燃料練炭製造法を開発し市販されている(著者撮影)

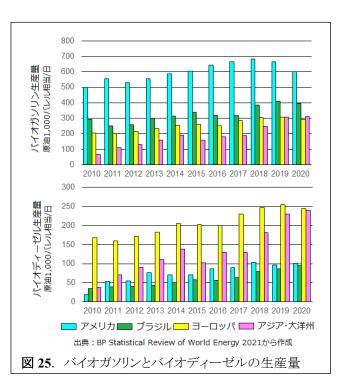
発途上の国でも地熱発電を取り入れてきていますが(図 21)、発電に欠かせないタービンの実に 2/3 は日本企業がシェアしています(図 23)。

・バイオマス

バイオエネルギーは、持続的に開発可能な資源であり、効率的なバイオエネルギーシステムの構築が

可能であることから、その温室効果ガス(GHG)の 緩和ポテンシャルは大きいことはいうまでもありません。多年生作物の栽培システム、バイオマス残 渣や廃棄物の使用、新型の転換システムなどでは、化石エネルギーのベースラインに比べ、80~ 90%の排出削減が可能と言われています。ただし、間接的土地利用変化(d+iLUC)の影響に加え、炭素ストックのロスにつながる土地利用の転換と森林管理で、温室効果ガス緩和の正味の影響を低下させ、一部のケースでは GHG の緩和効果を無効にしてしまう可能性もあり、このことが、バイオマス利用を躊躇する理由になってもいます。

ちなみに、食料、飼料、繊維のために世界で 収穫されたバイオマス全量を熱換算すると、現 在、約 219EJ/年になると推定されているようで



す。だが前述したようにバイオマスをどのように評価した結果なのか、また含水率をどう評価しているのか不 明ですので、この推定は定かではありません。主に開発途上国の貧困層が木材、藁、木炭、家畜や他の動 物の糞尿などを調理、暖房、及び照明に、伝統的に使用しています(図 24)のが約 30.7EJ で、インフォー マル部門による未計上の使用(木炭の生産と分配など)がさらに20~40%あると言われています。

加えて、気温上昇、降雨パターンの変化、極端な出来事の発生頻度の増加による気候変動の影響は、 バイオマス資源のポテンシャルに影響を与えたり相互に作用したりします。この相互作用もまた、今もあまり 理解されておらず、地域差が大きい可能性が高くなっています。電力、熱、コジェネレーション(CHP)、輸 送燃料用のバイオマスによる一次エネルギー供給総量は、2005 年に 9.6EJ でしたが、2008 年には 11.3EJ になったとされています。近代的バイオエネルギーの割合は 2005 年の 20.6%に対し、22%でし た。

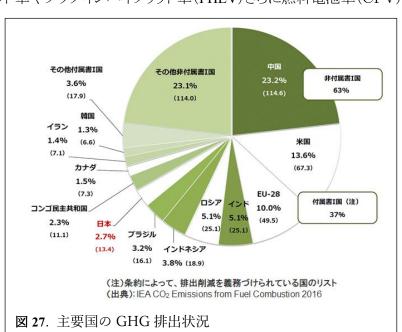
2015 年の COP21 を経て、ヨーロ ッパ諸国は一斉に内燃機関(ガソリン 及びディーゼル)自動車を製造、輸入 を止め電動自動車(EV車)に切り替え るという政策を打ち出してきました。そ のことも影響したのでしょう、それまで 活況を呈していたバイオエタノール(バ イオガソリン)およびバイオディーゼル の生産の伸びは落ちてきています(図 **25**) _o



この政策の最大のターゲットは何なのでしょうか?本論の冒頭述べましたように、今後もEV車に供給さ れる電気の多くが化石燃料で生産されたものであり、化石燃料が何段階にわたって加工されて、エントロピ ーが増大した「質の悪い」エネルギーを使うことになってしまいます。直接的なターゲットは「カーボンゼロ社 会の構築」という「気候変動の緩和策」、すなわち原子力エネルギーの利用拡大をヨーロッパが主導的に進 めることです。それに付随して、ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車(PHEV)さらに燃料電池車(CFV)

など環境対策に精緻な技術開発してい る日本の自動車産業の技術を根こそぎ に陳腐化しようとすることを目的とすると 考えざるをえません。

バイオマスについてもう一つ考慮し ておかねばならないことは、バイオマス が置かれている環境と時間で含水率が 大きく変化し、また微生物による変質も あり、燃料源としてのバイオマスの価値 が大きく変ってしまうことにあります。こ のような変質および発熱量に直接大き な影響を与える含水率を制禦する方法 が、半炭化(トレファクション: Trefaction)



です(図 26)。バイオマスを空気の流通を厳密の制禦しながら 250 ~300℃で数時間処理することで、半炭化物にすることができます。このようにすることで、バイオマスを長期間安定的に蓄積し、いつでも同じ条件で燃料として使用することが可能になります。

パリ協定の合意と発効

2015 年 12 月、第 21 回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21)がフランスのパリで開催され、「パリ協定」が合意されました。このパリ協定とは、1997 年の「京都議定書」の後継となる、2020 年以降の気候変動問題に関する国際的な枠組みです(図27)。パリ協定では、次のような世界共通の長期目標を掲げています。

- ・ 世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする。
- ・そのため、できるかぎり早く世界の温室効果ガス排出量をピー

(出典) 長期エネルギー需給見通し(経済産業省 作成) 図 28. 日本のパリ協定に対応する GHG 排出削減のシナリオ

クアウトし、21世紀後半には、温室効果ガス排出量と(森林などによる)吸収量のバランスをとる。この長期目標を含む「協定書」は、2018年5月時点で176か国・1地域(EU)が締結し、主要排出国を含む全ての国が自国の国情に合わせ、温室効果ガス削減・抑制目標(NDC:Nationally Determined Contribution)を策定し(図28)、5年ごとに条約事務局に提出・更新するという「プレッジ&レビュー」の段階を経て、全ての締約国は、長期的な温室効果ガスの低排出型の発展のための戦略を作成し、及び通報するよう努力する、という長期低排出発展戦略(Long term low greenhouse gas emission development strategy)の段階に入っています。

このように、パリ協定が途上国を含む全ての参加国に、排出削減の努力を求める枠組みであるという歴史上、最も画期的である点を最大限活用したものと言えましょう。事実、COP21 に出席したほとんどの国が COP21 の開催に先立つ 2015 年 10 月 1 日までに「約束草案」を提出し、パリ協定に基づいて長期低排出発展戦略に基づく 2030 年目標を提出しました(表 1)。

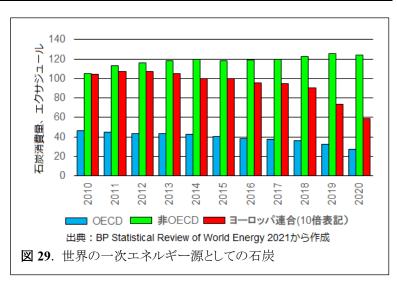
表 1. 各国の 2030 年目標	表 1.	各国の	2030	年月標
-------------------	------	-----	------	-----

国•地域	2030 年目標	2050 ネットゼロ
日本	-46% (2013 年度比) (さらに、50%の高みに向け、挑戦)	表明済み
アルゼンチン	排出上限を年間 3.49 億 t	表明済み
オーストラリア	-35% 見通し	表明済み
ブラジル	-43% (2005 年比)	表明済み
カナダ	-40 ~ -45% (2005 年比)	表明済み
中国	(1) CO ₂ 排出量のピークを 2030 年より前にすることを目指す (2)GDP 当たり CO ₂ 排出量を-65%以上(2005 年比)	CO ₂ 排出を 2060 年ま でにネットゼロ
フランス・ドイツ・イタリ	-55%以上(1990年比)	表明済み
ア・EU		
インド	GDP 当たり排出量を-33~-35% (2005 年比)	2070 年ネットゼロ
インドネシア	-29%(BAU比)(無条件)、-41%(BAU比)(条件付)	2060 年ネットゼロ

韓国	-40% (2018 年比)	表明済み
メキシコ	0	表明済み
米国	-50 ~ -52% (2005 年比)	表明済み
英国	-68%以上(1990年比)	表明済み
ロシア	1990 年排出量の 70% (-30%)	2060 年ネットゼロ
サウジアラビア	2.78 億 t 削減(2019 年比)	2060 年ネットゼロ
南アフリカ	2026 年~2030 年の排出量を 3.5~4.2 億 t に	表明済み
トルコ	最大-21%(BAU 比)	-

グラスゴー気候合意

2021 年 11 月、英国グラスゴーで開催されていた COP26 は、会期を 1 日延長して成果文書「グラスゴー気候合意」を採択し閉幕しました。同合意で注目すべき点としてまず、2100 年の世界平均気温の上昇を産業革命前に比べて 1.5 度以内に抑える努力を追求していくことが盛り込まれたことが挙げられます。た。最大の争点となった石炭火力発電では、合意文書案の「段階的廃止(phase-out)」の表現



に対し、インド、中国が反対し、「段階的に削減(phase down)」と表現を弱めるかたちでの合意となりました。なお、「非効率な化石燃料への補助金」は「段階的に廃止(phase-out)」と明記されました。

また、緩和・適応のための資金の必要性についても強調され、特に開発途上締約国への支援を 2025 年までに年間 1,000 億米ドル以上に増やすことを完全に達成することや、あらゆる資金源から気候資金を 動員する必要があることが強調されています。

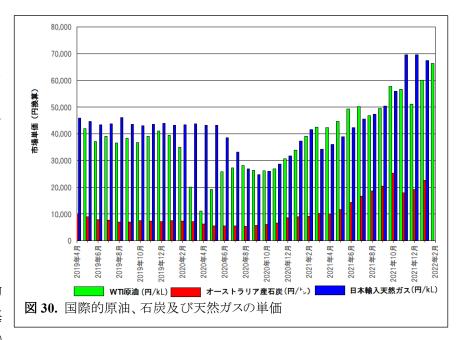
このように、グラスゴーでの COP26 では「石炭火力」が議論の中心課題の一つになりましたが、石炭はエネルギー源としてどのような位置を占めているのでしょうか?本稿の冒頭近くの**図 3** を見てみましょう。人類はエネルギーを 2020 年に 557×10^{18} ジュール(557×10^{18} ジュール)消費していますが (BP Statistic Review of World Energy 2021)、その 27.2%の 151.4×10^{18} ジュールが石炭でした。これは石油の 173.7×10^{18} ジュール(31.2%)に次いでいます。

石炭からの温室効果ガスの排出については、2014年に公表された IPCC 第5次評価報告書では直接触れられていませんでした。その後、発熱の効率性と排出される温室効果ガスが天然ガスに比べて多いとの判断から、「石炭火力発電の段階的廃止」が、議長国であるイギリスや OECD 諸国から提案されることになりました。この主張の中心である欧州連合(EU)について見てみましょう。図29ではEUの石炭消費量は10倍していますが、石炭消費量を減らす効果が明瞭に減少したのは2019年からと見て取れます。

後発途上国から先発途上国を含み、サブサハラアフリカ諸国のように電力にアクセスできない人(図 11 参照)を多く含む非 OECD 国の総計では現在も一次エネルギー資源としての石炭の役割の重要性は 今後も減ることはないでしょう(図 29)。地球上のどこに住もうと人は外部からのエネルギーの供給は必要で

あり、できればできる限り平等で 供給の恒常性が必要でしょう。 再生可能エネルギーはもちろん なくてはならないものですが、そ れだけでは足りない部分は化石 燃料を使わざるを得ません。し かし天然ガス及び石油は比較 的高価で、産出国が限られ、さ らに富裕国が主導する国際的 な政情で大きく価格が変動しま す(図 30)。

温暖化の緩和に関するEUの戦略は、①科学的知見に基づいて高い目標を設定し、②



現在の社会的活動及び個人的生活を維持から発展させていくためには、エネルギー消費の節減と再生可能エネルギーの導入だけではその目標を達成できないことを衆知し、さらに③インド、中国だけでなくアメリカや日本のような先進国でも主力エネルギー源となっている石炭の使用を廃止するとともに、④非効率な化石燃料への補助金はもちろん、投資を段階的に廃止させ、⑤温暖化の緩和には原子力発電の大規模な導入とそのための投資の集中以外にない、という筋書きが見えてきます。「グラスゴー合意」は「石炭火力の段階的廃止」ではなく「段階的に削減」と妥協せざる部分もありましたが、「非効率な化石燃料への補助金はもちろん、投資を段階的に廃止」も取り入れさせ、その最後の仕上げでした。

冒頭でも触れましたが、フランスのマクロン大統領は 2022 年 2 月 10 日、原発 6 基を国内で新設すると発表しました。2028 年に着工し、2035 年の稼働開始を目指すとのことです。マクロン氏は演説で、原発と再生可能エネルギーの組み合わせは「環境面でも経済面でも最適の選択だ」と強調しました。これはフランスの大統領選挙に望んで「原発による雇用の拡大」という彼の最大の政策を示したしたものですが、ロシアのウクライナ侵略の極初期にロシア軍部隊がウクライナ国内の原発及び関連する核施設を標的としたことで、彼の政策は大きな痛手を受けたことでしょう。原発及び核施設は今後の国家間の紛争及びテロリストの標的であり、いかに脆弱であることを示しています。

地球規模での地球環境の緩和を実現することは待つことができない世界的な課題です。誰もが合意でき、すぐにでも実行できる緩和策は、現実と真っ向から向かい合って、①OECD 諸国およびBRICS 諸国はエネルギー消費の節減のための技術開発に真摯に取り組むこと、②数十年から数百年、場合によっては数万年もヒトを始めとする生物が生息不能とし、その回避のために無限とも言える投資を必要とする事態をもたらす可能性のある原子力への依存を止めること、③自然環境、生態環境、社会環境への持続的影響を最小限に留める技術開発で、水力や地熱を含む自然エネルギーの利用開発、④地球環境への影響を最大限排除する技術開発と連動した化石燃料、特に石炭の利用の継続、をすることこそが、世界標準として「環境面でも経済面でも最適の選択」ではないでしょうか?

(完)