

Ⅶ マクロ経済モデルによる持続可能社会の経済成長と CO2 削減策の関係、8 分目 3 乗半減化計画、公共財としての環境管理の原則、環境制御の方法

1. マクロ経済モデルによる GDP の定義

経済学には、大きく分けてミクロ経済学とマクロ経済学の二つの専門分野に分けられる。ミクロ経済学では、経済活動に参加する活動の主体は、各家庭や企業などの個別のミクロな単位の経済主体の行動分析を需要と供給の分析から積み上げるのに対して、マクロ経済学では、個々の経済主体のミクロ的な行動よりは、国民経済全体（マクロ）の経済の動きを分析する分野となる。マクロ経済学の中の重要な指標として、一つの国の GDP の変化が解析される。

GDP は Gross Domestic Product（国内総生産）の略称であり、1 年間に当該国内で生産された財・サービスの総額を表わすものである。GDP はその主要な要素により、(1) 式のように示される。

$$\text{GDP} = (\text{消費} + \text{投資} + \text{政府支出}) + (\text{輸出} - \text{輸入}) \quad (1)$$

消費 (C)：家計部門が消費のために購入する財・サービスの総額

投資 (I)：企業部門が原材料や半製品の在庫のために行う在庫投資や設備拡張のために行う設備投資などの総額（民間投資）

政府支出 (G)：政府が行う支出の総額。政府によるサービスの提供（ゴミ収集や教育サービスなど）である政府消費と道路や港湾などへの公共投資を合わせた支出を政府支出（公共支出）の総額

輸出 (In)：国内で生産された財・サービスの一部は海外へ輸出される、その輸出の総額

輸入 (Ex)：海外から輸入された財・サービスの総額

2. 環境学における GDP モデルの提示

式 (1) に示された GDP の定義を基に、二酸化炭素排出量の削減策の課題等を解析するモデルの提示を進めるために、次のような消費構造を考える。

1) 家計部門の消費は基本的に、家計部門を構成する消費者である人々の消費と考える。

$$C = A \times P \quad (2) \quad (\text{ただし } P = \text{人口}, A = \text{人口一人当たりの消費量})$$

2) 企業部門の行う投資の総額により生産された財・サービスは、最終的には人々による消費されることあるいは輸出されることを前提とするから、

$$I = B \times C + Ex = B \times A \times P + Ex \quad (3) \quad (\text{ただし } B = \text{単位消費当たりの投資額})$$

3) 政府支出額は大きな赤字国債を出さないことを前提とするとき、家計部門あるいは企業部門からの納税額に見合うものであることが求められる。

$$G = (D \times A + F \times B \times A) P + Ex \quad (4) \quad (\text{ただし } D, F \text{ は家計部門、企業部門における納税額の比率をそれぞれ示すものである。もちろん税を所得税でとるのか消費税でとるのかで異なる対応となるが、ここでは消費を重視したモデルとしているので、主}$$

として消費にかかわる税金を想定している。)

4) 輸出と輸入の関係は、輸入に比して輸出を増大させることは、一国の GDP を増大させるためには、必要な政策といえるが、国際的なサステナビリティを求める判断からは、特定の国だけが輸出において独り勝ちとなる状況は決して望ましい関係とはならない。このような一方的な関係となる場合は、通貨の交換レートの高騰が生じたり、途上国に対して特別の支援が必要となり、結局は輸出と輸入はバランスを取ることが必要となる。その結果は、輸出と輸入は見合うものとなり、結局 $In + Ex = 0$ に近くなり、輸出、輸入は GDP には影響を与えない構造となることが想定される。

5) 1) から 4) までの考え方は、国際的なサステナビリティを想定し、輸出、輸入のバランスを考えれば、GDP は結果として、人々の消費に比例する関係として示され、人々の総数に比例する関係として示される。このとき、環境学的マクロモデルによる GDP は人口の関数として式 (5) のように示すことができる。

$$GDP = (A \times P) + (B \times A \times P) + (D \times A + F \times B \times A) P$$

$$= (A + (B \times A) + (D \times A + F \times B \times A)) P$$

$$= K_1 \times P \quad (5) \quad (\text{ただし、} K_1 = (A + (B \times A) + (D \times A + F \times B \times A)))$$

は家計部門、企業部門、政府支出部門の総括的な消費の関係を示し、人口一人当たりの消費を示す定数となる。この定数は、時間とともに変化し、前年の値より大きくなる時は新しい財やサービスが開発された場合さもなければインフレ傾向を示し、小さいときには財等の消費が少ないデフレ傾向を示すこととなる。)

6) ここで示してきたような消費を積み上げるモデルでは、式 (5) が示すように、家計部門の主要な主体となる国民一人一人の消費 ($A \times P$) が、国の GDP の基本的な要素となることが分かる。一つの国においても物を生産し消費することがその国の経済活動の基本と考えることになるが、ここに示したモデルでは、経済成長 (GDP の増大) は人々の消費が増えることに依存する構造となる。経済政策において、経済成長を誘導するもっとも直接的な消費は政府支出となるが、政府支出をフォローして、人々の消費が政府支出の受け皿となり、実質的な消費へと繋がらない限りは、乗数効果の少ない単発的な経済対策として、効果の小さいものになってしまう。GDP の継続的な成長のためには、人々の最終的な消費が、継続することが必要となる。

7) 6) に示した GDP が人々の消費に支えられる構造においては、消費意欲の強い人々の数が増大することが必要となるが、人口減少社会にとっては、人々の消費を継続するのは、なかなか難しいことになる。現在の日本が置かれている状況は、まさにこのような状況を実証しているともいえる。新しく消費をしてくれる人々の数の増大が、経済成長の原動力となるおかしな構造でもある。これは GDP を経済運営の評価基準とするものの限界でもあるが、GDP に代わる適切な経済運営の指標が提示できないところが、現代社会の制約となっている。地球レベルで考えても、経済的な発展の遅れていた、地域や国が、現在的には大きな経済発展の潜在力を持つものとして、経済発展の有望地域と

なっていることから説明される。

3. 環境学的マクロ経済モデルによる CO2 排出抑制策の提案

前節に見たように、国際的なサステナビリティを前提とする輸出、輸入のバランスの取れた関係、消費をベースとする納税額に見合う政府支出の設定、企業による投資において最終的な消費に見合う生産と投資を行う、等の仮定に基づく環境学的マクロ経済モデルを拡張した CO2 排出量推定モデルとそのモデルから想定される CO2 排出抑制策の課題の検討を行う。令和 2 年 9 月に成立した菅内閣のいでは、実質の CO2 排出量を 2050 年までにゼロにする宣言を行っている。宣言自体は歓迎すべきであるが、実行は必ずしも簡単なことではない。CO2 削減へ向けた具体的な取り組みの課題を確認するために、次のようなモデルに基づき検討を加える。

- 1) GDP は式 (5) に示されるように人口の関数として示される。

$$GDP=K_1 \times P \quad (5) \quad (K_1 \text{ は前述の通り国民一人が消費する総括的な額を表わす係数であり、インフレ傾向のときあるいは新しい需要が起きる場合には大きくなり、デフレ傾向の場合あるいは需要が無く場合には小さくなる})$$

- 2) GDP を生産するためのエネルギー消費量 (ENG と表示) の推定式は式 (6) として示される。

$$ENG=K_2 \times GDP=K_2 \times K_1 \times P=K_3 \times P \quad (6) \quad (K_2 \text{ は GDP 当たりのエネルギー消費量を示す係数であり、社会全体のエネルギー効率を示すものである。エネルギー利用の内容は、主として電力によるもの、自動車などの内燃機関として利用するもの、そして熱源として利用するものの 3 つに大別される。} K_3 \text{ は国民一人当たりのエネルギー消費量を示す係数となる})$$

- 3) CO2 の排出量は、エネルギー消費に比例する関係として式 (7) として示される。

$$CO_2=K_4 \times ENG=K_4 \times K_2 \times GDP=K_5 \times P \quad (7) \quad (K_4 \text{ はエネルギー消費量当たりの平均的な CO}_2 \text{ 排出量を示す係数であり、エネルギー源が水力、風力、地熱、太陽光、バイオマス燃料(光合成で得られた有機物を主体とする燃料)などの再生可能エネルギーによる場合には } K_4=0 \text{ となり、石炭、石油など化石エネルギーの場合には } K_4 \text{ は大きくなる。ただし、原子力利用の評価は廃棄物の処理処分までを考えると評価は難しい。} K_5 \text{ は国民一人当たりの CO}_2 \text{ 排出量を示す係数となる})$$

- 4) 式 (5)、(6)、(7) に示される関係式についてその時間変化 (年を単位とする変化) は次のように示される。

$$dGDP/dt = K_1 \times dP/dt + P \times dK_1/dt \quad (8)$$

$$dNEG/dt = K_2 \times dGDP/dt + GDP \times dK_2/dt = K_3 \times dP/dt + P \times dK_3/dt \quad (9)$$

$$dCO_2/dt = K_4 \times dNEG/dt + ENG \times dK_4/dt = K_5 \times dP/dt + P \times dK_5/dt \quad (10)$$

式 (8)、(9)、(10) の示す意味は次のように述べることができる。

- ① 式 (8) においては、人口減少の条件は $dP/dt < 0$ の条件として示されるが、 $dP/dt < 0$

の条件下で GDP を増大させる条件は $dGDP/dt > 0$ であるので、そのためには $dK_1/dt > 0$ であることが求められる。人々の消費を増やすことが必要となる。

② 式 (9) において GDP が増大する条件、 $dGDP/dt > 0$ の下で、ENG を減少させる省エネを推進するためには、 dK_2/dt は $dK_2/dt < 0$ であることが求められる。GDP 当たりのエネルギー消費を削減することが求められる。GDP 当たりのエネルギー消費を削減することが必要である。

③ 同様に、CO₂ の排出量を削減するためには、式 (10) より $dNEG/dt$ および dK_4/dt について、同時に $dNEG/dt < 0$ 、 $dK_4/dt < 0$ の条件が成立するか、 $dNEG/dt$ あるいは dK_4/dt のいずれかが大きなマイナスとなることが必要となる。ただし、CO₂ の排出をゼロとするためには、 $K_4 = 0$ の条件が必要となる。この意味は、エネルギー源を全面的に再生可能エネルギーに依存するシステムへの転換が必要なことを示すこととなる。ただし、再生可能エネルギーはその供給能力において極めて不安定性の強いものであることは十分に認識しておかなければならない。

5) 現在の日本の状況のように、人口が減少する中で、GDP を増加させながら、CO₂ の排出量を抑制し、実質的な排出量をゼロとする政策を取ることが求められる。このことは、化石エネルギーから CO₂ 排出量を光合成による吸収量の範囲に抑えて、あとの必要なエネルギーはすべて再生可能エネルギーへ転換しなければならないことを意味する。この課題は極めて大きいことが次のように示される。

① 国の人口が減少するときには式 (5) により GDP は基本的に減少する傾向となる。我が国の人口変化の現状は、近年では毎年 0.2% 程度の減少となっているので、実質の GDP の年間成長率をプラスにするためには、一人当たりの実質の年間消費を与える係数 K_1 を 0.2% 以上増大させる必要がある。

② 日本銀行は、現在のところ 2.0% の物価上昇率を目指しているが、人口が 0.2% 減少する中において、実質の GDP を増大させるためには、 K_1 に相当する一人当たりの物価に換算したモノ消費を 2.2% 増やす必要がある。ある程度 of 生活レベルとなっている社会にあっては、消費を増やすことは、案外難しいことになる。例えば、現代の日本のような社会経済状態では、食べ物は食べ過ぎないことが大事であり、服も一度に 2 着を同時に着用することはできない。住宅にしても、一度は大邸宅を建てたとしても、毎年建て直すものでもないし、その必要性も小さい。自動車や大型家電にしても何台も所有する必要性はない。消費を増やすのは案外厄介なのである。

③ 新しい消費を創出するためには何か新しい需要を創り出すことが必要である。新しい需要を生む新しいものを作るためには多くの場合エネルギーと労働力が必要となるが、人口減少社会では新規に労働力を探することは難しい。もちろんロボットの導入は可能性があるが、ロボットは必要な消費をしてくれない。高齢労働者あるいは外国人労働者（日本の人口増大には寄与することになり、消費を増大させる可能性は大きい）に依存する社会となる。しかし高齢者の消費は大きくない。

エネルギー消費の増大は、式(6)に示されるCO₂排出量の増大に結び付きやすく、エネルギー消費の少ない消費の具体的な内容の点検が必要となる。望ましい消費を呼ぶ新しい需要は、エネルギー消費を伴いがちであるモノを作るよりも、エネルギー消費の少ない多様なサービスを消費する形が望まれる。例えば、芸術文化、スポーツ、教育、研究、さらには観光振興、健康管理のための新たな消費も有力な省エネルギー的な消費として算入することができる。これらはいずれもモノの生産を伴わない、人間の活動そのものを消費の対象とするものである。

④ GDPを増大させ、エネルギーを消費しながら、さらにCO₂の排出を抑制することは、式(10)の関係からは係数K₄をなるべく小さくしていき、究極的にはゼロにするようなエネルギー源が容易に(適切な価格で)確保できることが条件となる。このようなエネルギー源の確保と安定的な供給を維持することは事実上極めて難しい。問題となるCO₂の排出量は、樹木等によりCO₂が固定化される吸収量を差し引いた実質の排出量である。図-1には日本におけるCO₂の排出量と吸収量の経年変化が示される。

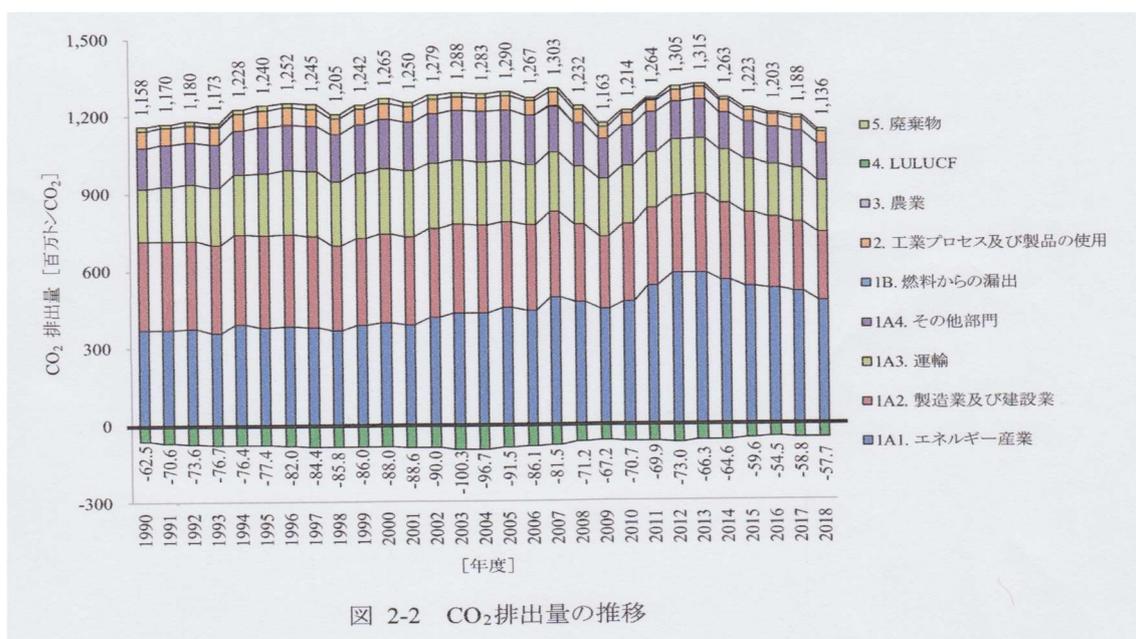


図 2-2 CO₂排出量の推移

図-1 (図 2-2 CO₂の排出量の推移：環境省資料)

図-1に示される2018年の日本の例(環境省資料：National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan 2020)では、林地等での吸収量(実はこの量は森林等の保存状態により変わり、年ごとにも変わる量であることは注意が必要である)は5,770万トンであり、CO₂の総排出量11億3,600万トンとの差10億7,830万トン(94.9%)の実質的なCO₂排出量をゼロに削減しなければならない。実に現状のCO₂の総排出量の95%を削減しなければならないことになる。

⑤ 2018年度の日本の、一人当たりCO₂排出量及びGDP当たりのCO₂排出量の経年変化は、図-2、図-3に示されるように、低下の傾向が示されている。それでもなお、一人

当たりの CO2 排出量 8.98 トンあるいは GDP 当たりの排出量 2.13 トンの 95%を削減する必要があることが分かる。CO2 ゼロを可能とするエネルギー源は、前述の 3) 項に示した自然エネルギー源となるが、緊急対応への備蓄を含めて日本国のすべての社会的需要を十分に賄うエネルギー源として再生可能エネルギーに期待することは、非常に難しいことになる。エネルギー源の多くを水力発電に依存できるとされるスウェーデンにおいても、風力発電を多用するドイツにおいても、現状においては原子力発電あるいは天然ガスを利用する火力発電を利用するエネルギー構成が必要とされており、CO2 排出量ゼロを実現するまでの道筋は明らかではない。

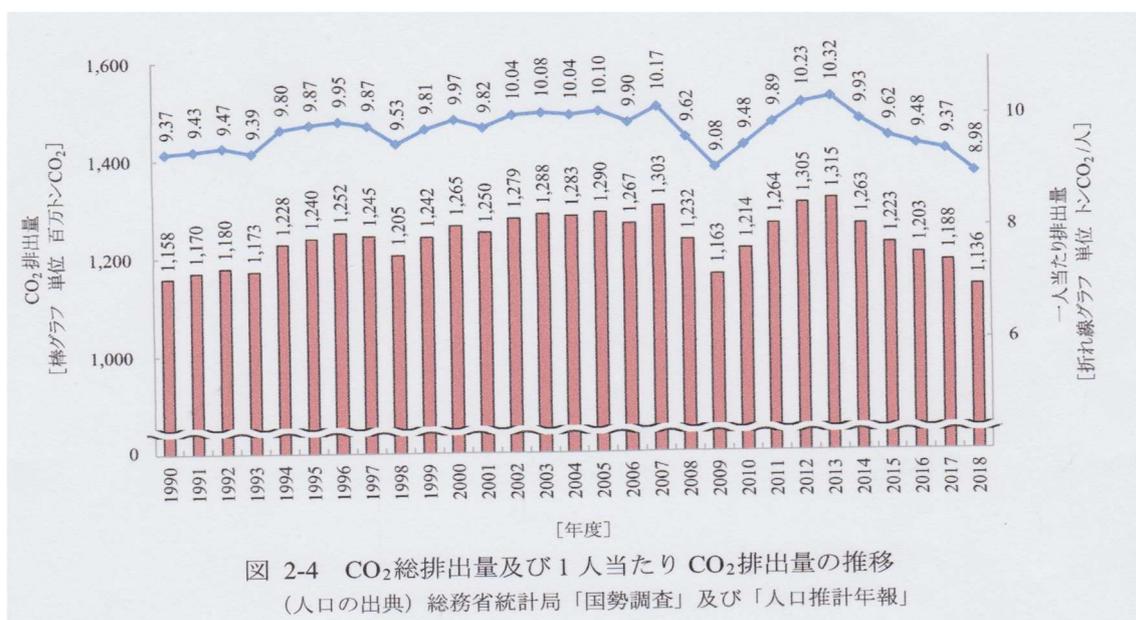


図-2 (図 2-3 CO₂の排出量の推移：環境省資料)

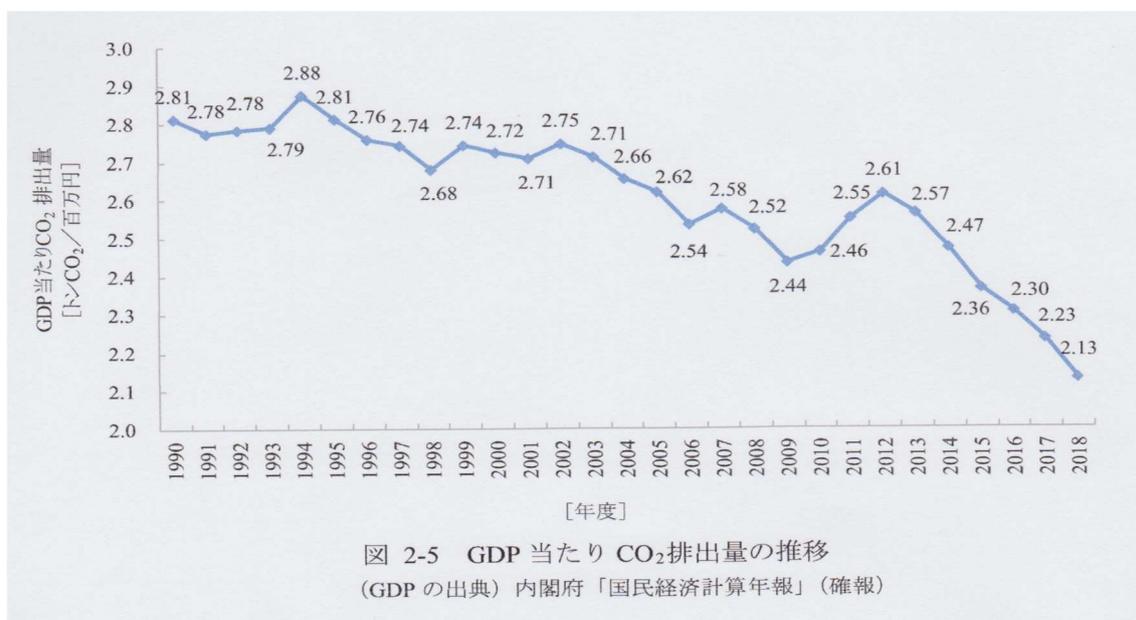


図-3 (図 2-3 CO₂の排出量の推移：環境省資料)

⑥ GDP の成長と CO₂ の排出量との関係は、エネルギー源の再生可能エネルギーへの転換が可能なら、独立のものとなりエネルギー利用の制約はなくなる。このようなエネルギー源をどのようにして獲得するかが大きな課題であり、利用可能な再生可能エネルギー源がどれだけあり、増大する GDP を支える消費のためのエネルギーを賄えるかどうかは課題となる。

⑦ 再生可能エネルギーに頼る社会の最大の弱点は、地域的な特性が大きいことと安定的な供給への不安である。エネルギー源の備蓄の手段の効率改善が課題となる。例えば、太陽光発電においては、昼夜の発電の差異を蓄電池のはたらしにより調整することが考えられるが、この蓄電池の蓄電、放電に際しての効率についても十分注意する必要がある。電力を水素に変換し貯留性を改善する試みも提案されているが、水素を生産する効率、水素をエネルギー化する際の効率という往復での効率の問題も検討事項である。また、揚水式の水力発電では、夜間の火力発電や原子力発電との組み合わせで、その効率的な利用が注目されていたのであり、夜間電力の利用が制約されることになると、発電量の季節的な変化への対応力は弱点を持つものとなる。

⑧ 吸収可能量までの CO₂ の排出は許すとするとき、昼は再生可能エネルギーを主と志、夜間は火力発電で補うような、終戦直後の時代のように水主火従ならぬ再主火従のエネルギー構成の可能性を考えるべきともいえる。もちろん量的なバランスを取る必要はあるが。

⑨ エネルギー源を再生可能エネルギーに依存するとするとき、考えなければならない要素として、エネルギーの利用方法との関係がある。現状のエネルギーの利用方法としては、電力を直接利用する利用、自動車等の内燃機関における利用、炊事や暖房、産業用熱源としての利用が代表的なものとなる。トラック、バスやディーゼル機関車などの車両をすべて電動車両へ転換する可能性、各家庭をオール電化へ転嫁する可能性、産業界においてもすべてのエネルギー源を自然エネルギーへ転換する可能性を考えると、すべてのエネルギー源を電力に変換するためには、家庭に供されるガス管の廃棄（オール電化のための電力供給が現在の電力施設で賄えるのかの検討も必要となる）、ガソリンスタンドの充電施設への転換、全国的な鉄道の電化の推進、等の社会的なインフラ施設の基本的な転換も必要となる。

6) もちろん、バイオマス系の再生可能エネルギーを直接家庭や車両へ利用するシステムへ変換する可能性も指摘できるが、バイオマスエネルギーを電力に変換せず直接家庭等で利用するシステムは、おそらく排ガスによる大気汚染の問題として、改めて環境問題を発生させてしまう可能性を指摘できる。

7) CO₂ の実質排出量ゼロの目標のためには、2018 年のレベルの実質 CO₂ 排出量の例においては、現状の年間 CO₂ の総排出量の 94.9% を削減しなければならない。特に GDP の増大を条件とするとき、エネルギー源の転換だけに依存して、CO₂ 排出量ゼロを求めることは、事実上不可能である。係数 K_4 を減少させるだけでなく、係数 K_2 を併せて減少させていくことが必要となる。また、人口減少の条件を加えて考えるなら、 K_1 は増大が求められ、 K_2 は減少が求められ、 K_4 も減少しなければならない。 K_4 については

適切な再生可能エネルギーが開発されるなら、ゼロにもなりうるが、再生可能エネルギーのエネルギー源は太陽光にしても、風力にしても、バイオマス資源にしても、必要面積、あるいはローカルな自然条件から量的には限られえたものにならざるを得ない。

なお、CO₂ の排出量の少ない電源としては、原子力発電の評価の問題がある。ここでは、最終廃棄物の処理処分の問題を考えるとときには、再生可能エネルギーとしては評価できないものとして扱っていることは断らなければならない。

- 8) いまや国際的な約束ともなった CO₂ の実質排出量ゼロを目指すためには、エネルギーの供給者側の責任だけでなく、エネルギー利用機器の効率改善、最終消費者である市民 1 人ひとりの省エネ的な生活が必要となることは明らかである。ここに示した、エネルギー供給者の責任、機器メーカーの責任、消費者の責任については次章において具体的に検討を加えることにする。

4. CO₂ の総排出量を 2018 年比で 94.9%削減する可能性についての検討

1) 8 分目 3 乗半減化計画の提案

筆者はこれまで、8 分目 3 乗半減化計画の提案を行ってきた。そのおおよそは次のように示される。

- ① ここで、電力の消費に伴う CO₂ 排出量の削減率を R とし、R は 3 つの互いに独立な要素の削減効率の積として表される関係を式 (1) のように想定する。

$$R = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \quad (1)$$

ただし、 η_1 : 各電力会社の努力による各発電所のエネルギー効率の改善により削減された結果排出される CO₂ 排出量の割合 (エネルギー効率が上がると η_1 の値は 1.0 より小さくなっていく。例えば火力発電所においても、熱管理の効率化で、同じ電力を発電する際の CO₂ 排出量を削減できれば、 η_1 は 1.0 より小さくなる。また、再生可能エネルギーの利用割合が増えれば、 η_1 は 1.0 より小さくなる)

η_2 : 電力を利用する電気機器のエネルギー効率を各メーカーの努力で改善することで、同じ効果を得るために消費する電力の割合 (冷蔵庫やエアコンのエネルギー効率を上げることにより η_2 は 1.0 より小さくなる。照明器具の LED への転換は η_2 を小さくするうえで効果が大きいことが知られている)

η_3 : 電力の最終消費者となる消費者の行動改善による電力使用量の削減割合 (例えば、エアコンの使用時間を 80% に減らす、冷蔵庫の開閉を 80% に減らす、階段の利用を奨励しエレベータの利用を 80% に止める、断熱性能の良い住宅とし、家族のだんらんの時間を増やしエネルギー消費の削減を図る、などの工夫により電力の最終消費量を 80% に削減する。効率の良い最新の電気製品への買い替え等への協力も求められる)

ここで、上記 3 つの独立な電力会社、電気製品製造企業、最終消費者のそれぞれが、その責任の範囲で、現在よりも 80% の割合でそれぞれの効率を改善するならば、トータルの CO₂ 排出量は次のようにおおよそ半分に削減されることが示される。

$$R = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.512$$

このとき、いつの時点と比べて半減化を評価するかは議論のあるところであるが、発電所の効率改善、電気製品の効率改善、住宅等のエネルギー改善の近年の動向には大きな改善の方向が確認されている。そのような社会的動向をさらに支援し具体的な努力の目標を与えるものが、0.8を8分目と称して、その3乗はおおよそ0.5となることを評価して、8分目3乗半減化計画と称する提案となる。

② 次に、CO₂排出量の多い用途として、自動車からの排出量がある。自動車からのCO₂の排出量に関しても(1)式と同等の関係を考えることができる。自動車におけるRの構成は次のように説明される。

η_1 ：自動車メーカーのエンジン効率の改善の努力が求められるものとなる。近年においては、ハイブリッドエンジンの開発や電気自動車の開発が進み、CO₂の排出は急速に削減されている。CO₂排出量を80%に削減する技術開発は乗用車においてはおおよそ完成していると考えられる。問題は大型トラックの問題は残るが、アイドリング時にエンジンを止める装置だけでもCO₂削減効果は大きいと推定される。

η_2 ：交差点の立体交差化、信号システムの合理化等による渋滞解消による自動車燃費の改善、路面電車の普及、コンパクトシティー化、共同集配の推進等の社会的システムの合理化による自動車排出ガスを80%に削減する。

η_3 ：消費者は大型車から小型車への乗り換えることで、CO₂排出量削減に大きく寄与することができる。小型車の乗り心地の改善、機能の高度化は求められるが、大きな排気量の車は避けることで、80%への削減は実現可能である。

③ 電力、ガソリンに加えて、CO₂排出の原因となるエネルギー利用として、熱利用の用途がある。熱エネルギーの利用の実際は、都市ガス、プロパンガスあるいは灯油等の燃料を直接家庭等の消費先へ配送され、消費されるシステムとなる。その用途は炊事、入浴、暖房等となるが、電気製品に比べればその効率を上げる技術的改善は限られている。家庭等における熱利用をすべて電化するオール電化のケースでは、発電システムのエネルギー効率はその効率を決めることになるが、ガス等の熱利用を一度電力に変えるようなエネルギー利用は効率を上げることには寄与しない。熱利用にかかわるエネルギー消費を減らす可能性は、太陽光の有効利用を全面的に取り込む方法である。太陽光発電と太陽熱利用を両立させるようなシステムを工夫する必要があること、あるいは住宅の断熱性能の向上など、工夫はなかなか難しいことになる。再生可能エネルギーへの負担はより大きくなることは明らかである。

2) 8分目3乗半減化計画からCO₂実質排出量ゼロ社会への展望

8分目3乗半減化計画は、現在の化石燃料を主とするエネルギー源の利用を前提として、エネルギー利用の半減は、結果としてCO₂の排出量を半減することができるという文脈の提案である。しかし、もしもエネルギー源が再生可能エネルギーへ全面的に転換されるなら、

あるいはされるような社会的インフラを整備できるなら、CO2 削減については議論の必要性はなくなる。

しかし再生可能エネルギーへの転換は必ずしも簡単なことではない。再生可能エネルギーには地球上の緯度の影響、国土の面積、森林の面積、農地の面積、風力にかかわる気象の条件、地熱などの地域性の制約などから、その総量は限りのあるものであることを知らなければならない。全国の一戸建て住宅が屋根に太陽電池を載せたとしても、南向きの屋根は家屋面積の半分以上にはならないし、昼夜、年間を通して完全に自立できる住宅は限られている。このように供給源の絶対量が限られているとき、必要なことは、供給量に見合うように需要を削減していくことが必要となる。まずはエネルギー利用を極力削減する手段をさらに強化する必要がある。

前述の議論と関係させて述べるなら、GDP に影響を与えない要素におけるエネルギー消費の削減策、すなわち、機器の一層のエネルギー消費並びに社会的なインフラの効率化によるエネルギー消費の8分目への削減、家庭レベルでの個人のエネルギー消費を少なくとも8分目に削減する努力は前提としなければならない。このとき $0.8 \times 0.8 = 0.64$ となり、なお0.64の削減が必要となる。前に参考とした2018年のCO2の総排出量に関していえば、94.9%の64%に当たるCO2排出量(6億9000万トン)をゼロにするためにすべてのエネルギー源を再生可能エネルギーへ転換することが必要となる。その意味では、各家庭レベル、個人レベルでの省エネルギー的生活、省エネルギー的製品への交換、転換は、CO2排出量ゼロを目指す出発点となる行動であるといえる。

具体的に、個人レベルのエネルギー消費の削減のためには、省エネを奨励する還付金制度やポイント付与のようなインセンティブを付与するような政策を動員することも必要である。還付金としては、電力使用量が前年より低減したら、それを推奨する還付金を次年度に付与する制度などが想定される。

5. 経済学における外部性、公共財の定義と環境問題の発生

市場経済を前提とする経済学において、環境の問題は、市場の失敗として顕在化する。市場で取引される商品は財・サービスであり、かかわる経済の主体としては生産者と消費者、それに必要に応じて政府が登場する。そして、生産者と消費者の関係において、完全競争的であるにもかかわらず市場がうまく機能しないとき経済学では市場の失敗が生じているといわれる。この市場の失敗を引き起こす要因として、経済の持つ外部性と公共財の存在がある。外部性とはある経済主体の行動が、他の経済主体に市場を通さずに直接影響を与えてしまうことをいい、公共財とは誰もが排除されることもなく、競争することもなく、好きなだけ消費をできる財のこととなる。

公害問題に象徴される環境問題においては、公害の発生源となる企業等が公害防止への費用を市場を通さずに、その費用を外部化してしまうことにより、結果として環境汚染が進行し、人々(企業の関係者、消費者を含む人々)の健康等へ被害を及ぼすことになる。この

ように、与える影響が悪い影響であるとき負の外部性といわれ、その回復には公的な存在の政府の役割が大きくなる。

また、地球上どこでもいつでも存在する大気（酸素）はそもそもだれが吸っても、吐いても他の人々には影響を与えない財であり、排除性も競合性もない存在であるので、公共財の代表といえる。しかし、このような公共財も企業活動により大気汚染物質が排出されるとその企業は公害の発生源となり、公共財は汚染され人々に被害を与える。公害という概念は、発生源となる加害者と被害者の関係が明確となる地域的には限られたローカルな現象に対応しており、企業等の活動に伴う負の外部性の例となる。

一方、近年における地球環境問題、特に地球温暖化の問題、オゾン層破壊の問題は、成層圏にまでつながる大気全体の汚染の問題であり、加害者と被害者が必ずしも明確には区別できない上に、国境を越えたスケールの地球規模の公共財の棄損の問題となる。このような地球規模での公共財の保全の問題に対しては、国際的な協調の下での取り組みが不可欠となる。国際的な取り組みは多くの場合国連にかかわる国際的な活動として取り組みが進む。前述の負の外部性として評価される費用を調整する機能、公共財を適切に管理していく機能は公的機能を持つ政府の役割あるいは国際的な条約の役割となる。

公共財には、大気や水域に例示される環境の他に、身近な生活環境も含まれる。このような公共財を棄損する大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、悪臭の問題、土壌汚染、地盤沈下の問題は我が国においては典型7公害として定められ、国や地方自治体が負の外部性の解消と公共財の管理運営に当たることになっている。さらに公共財としては、人々の安全を守る警察機能や国家を守る軍隊の機能、道路、橋梁、堤防、上下水道等の公共的なインフラ施設の建設や維持管理等が例示される。

地球レベルの環境問題は、地球温暖化の問題、オゾン層破壊の問題、海洋のマイクロプラスチックの問題等が例示されるが、貿易等における物品の移動、人々の移動のグローバル化の影響は、製品や産物の安全性、品質維持等の問題を通して、環境保全の問題は極めて早い速度で国際化している。これまでは地域のローカルな公害問題として扱われてきた環境汚染の問題も直ちに国際的な地球規模での汚染問題となる状況となっている。まさに人々の生活にかかわるすべての環境問題は、今や地球レベルの共通する問題であり国際的な協力関係の中で対策を取るべき問題となる。このような公共財としての特徴を持つ環境問題への対処策は公的機関、政府の責任となるが、その管理の手法は以下の章において説明される。

6. 環境規制の方法

1) 排出基準と環境基準の制定、濃度規制と総量規制の実施

公共財である水域や大気的环境を望ましい状態に保全するためには、公共財の持つ許容量の範囲内で公共財のサステナビリティを保つための管理運営が求められる。このような公共財を人間を含むすべての生態系のサステナブルな状態に維持することが政府の責任となる。一方で、一国の経済を維持するためには、企業活動によるモノの生産が必要であ

る。モノを生産するときには、一定程度の廃棄物（排水であったり、ガス状の排出物であったり、固形状の廃棄物であったりするが）を排出し環境を汚染してしまうことは避けられないのが現実である。このとき、公共財としての環境は、公共財としての本質を維持しながら、許容される範囲で廃棄物を受け入れることが必要となる。この許容される範囲を設定し、それを維持、管理する権力と責任は公的な機関である政府に帰属することになる。

その時政府はある基準を定めることが必要となり、その公共財を非排他的に、非競合的に利用する参加者に対して、平等に規制基準を守らせることが必要となる。基準の公平性はフリーライダーの存在を認めないという意味で重要である。そして、その規制の基準となるものは、公共財の質と量を維持する条件を満たすものでなければならず、その公共財を汚染する物質の特性とその公共財に依存する生態系の特性（ライフサイクル）によって定まる。

汚染物質の影響は、基本的には生態系が受容できる濃度とかかわる生態系の寿命により定まる。濃度の影響は、生物濃縮と食物連鎖の影響により定まるが、食物連鎖の影響はかわる生物の寿命とも関係するものである。生物には寿命があるということは、ある物質が生態系において無限に濃縮するものではないので、基本的には濃度での規制が意味を持つことになる。

このように、公共財である環境に求められるレベルは濃度によって規定されるが、環境の中での希釈の効果を考えるときには、汚染の広がり空間的な大きさを決めることにより、その環境が受容しうる負荷の総量が決まることになる。このように環境を保全し、管理するためには、政府は環境に関する濃度の基準、すなわち環境基準を定め、その環境基準を守るための排水基準を定めることが必要となる。このとき、保存すべき環境の必要性から一定の空間に対応して環境基準を定めるとき、排出側へのコントロールとしては総量規制の考え方が必要となる。総量規制の導入に際しては、許容負荷量をどのように参加者へ割り振るか、先行者と後発者の間での利害の調整、さらには排出権取引等の課題が提起されることになる。排出権取引の具体例は、地球温暖化防止にかかわる国際的な取り決めの中で、具体的な動きがあるが、なお議論は残されている。

2) 水環境における環境規制の具体例

前章で示した、公共財である水環境を守る具体的対策について見てみることにする。現在の日本では、環境基準、排水基準定めることで、水質環境の保全を図っている。基準自体は、いずれも濃度を定め、その濃度を越えないことを調査により確認しているものである。このとき、公共財である環境の側の存在量をどのように取り入れ、基準に反映しているかは案外見過ごされているところである。前節において述べたように、公共財の質と量を維持することの重要性を確認することでもある。

水環境の環境規制においては、量の問題はその環境のおかれている状況により異なる。水環境は、その存在状態により、河川、湖沼、海域に分けて論じるのが適切である。このとき、河川についてはその流量が量を示すものになり、湖沼ではその水位のレベルが量を示すものになり、海域では面的広がり量が量の概念を定めるものとなる。具体的には、水環境基準に

においては、「測定の実施は、人の健康の保護に関する環境基準の関係項目（主として有害物質等）については、公共用水域の水量の如何を問わずに随時、生活環境の保全に関する環境基準の関係項目（pH、有機物質、溶存酸素、浮遊物質、大腸菌群数等）については、公共用水域が通常の状態（河川にあっては低水量以上の流量がある場合、湖沼にあっては低水位以上の水位にある場合等をいうものとする。）の下にある場合に、それぞれ適宜行なうこととする。」とその測定法が定められている。海域については、前記のような水量、水位についての規定を行うことができないが、同心円状に海域の範囲を設定、外周に行くに従い、類型指定を厳しくしていくことにより、海域に流入する汚染負荷量をコントロールすることができる。

環境基準の評価に当たって注意しなければならないことは、人の健康の保護にかかわる基準と生活環境の保全にかかわる基準にあっては、異なる評価基準となっている。人の健康の保護にかかわる基準においては環境側の条件として水量等の水の存在量や利用方法にかかわらず常にその基準を守ることが必要となる。すなわち、年間平均値として環境基準は守られなければならない。一方生活環境の保全にかかわる基準については対象となる水域に対して、河川、湖沼に対しては低水流量、あるいは低水位の水の存在に対して基準が設定されている。当該河川において、年間 365 日の中で 275 日はその流量を下回らない流量をいい、湖沼にあっては年間 275 日はその水位を下回らない水位をいう。

このように定められる低水流量、低水位は、降雨等の自然状況に依存するので、当然に年により異なる。濃度を規定している環境基準との関係でみると、流量の多い方が水質的には良い水質となるので、流量が低水流量より大きいということは、水質的には年間 275 日は基準をクリアすることを定めていることになる。この年間 275 日はクリアしているということは、年間では $275/365=0.753$ となることから、年間では 75%の水質は基準値を満足していることを意味している。このことから、低水流量のさいの水質は年間では非超過確率（その値を越えない確率）が 75%となる値として、環境基準の適否の判定に用いられることになる。

この 75%値を求める実際の手順としては、低水流量の日に合わせて、水質の分析をすることは事実上不可能なので（いつが低水流量の日になるのかは事前には分からないので）、水質は毎月 1 回程度の頻度で、1 年間 12 回の採水の結果としての 12 個の濃度データを大きさの順番に並べ、低い方から 9 番目の値を非超過確率が 75%の値として定め、環境基準の数値への適否を評価することになる。年間のデータの数が多いときには、確率紙の上にプロットして、非超過確率が 75%となるところの水質値を読み取ることになる。

ただし、このような場合には、どの確率紙の上にプロットするかによって結果は異なることに注意が必要である。正の値だけが観測される自然現象に対しては対数正規確率紙にプロットするのが良いようであるが、データが直線に乗りやすい確率紙を確かめてみるのも一つの工夫となる。なお、環境基準の定め方には、どの確率紙を利用すべきという決まりは示されていない。また、環境基準の求め方には、日間変動のあるような対象については、日

間平均値を求めること、人の健康の保護にかかわる基準においては、前述の非超過確率 75% 値ではなくて年間平均値（非超過確率では 50%）が評価の対象となる水質値となる。非超過確率が 50%となることは、河川流に対応していえば、平水量（1年間を通して 185日は下回らない流量）を想定するものであり、流量は低水量より大きな流量となる。非超過確率 50%と 75%では、50%の方が緩い基準となることが分かる。

海域の基準については、主要な発生源となる流入河川等を起点とする同心円状に海域を分割し、発生源からの距離が遠くなるにつれて環境が改善するように設定することで、汚染の広がりをコントロールすることができる。環境基準は公共財である水域を公共財の利用上の価値を維持するために政府が管理の権利（あるいは義務）を行使する基準を与えるものとなる。このとき利用するもの同士の非競合性を確保することは、案外難しいことであり、利用者（負荷の排出者及び周辺住民）間の調整、並びに排出者間の調整は自治体あるいは中央政府の大きな役割となる。

3) CO2 削減策の課題

公共財の管理の責任は政府の仕事であることを述べてきた。しかし、この問題が CO2 の問題に及ぶとき、国際的な課題となり、国際的な管理が必要となる。CO2 問題が他の大気汚染問題と異なる点は、その対象となる公共財が国の国境を越え、大気圏全体が対象となっていることである。歴史的には、国を超える大気汚染の問題は酸性雨の問題として提示されてきたが、CO2 問題は、そのスケールが全く変わってしまっていることが厄介な点である。

現在のには CO2 の排出はローカルなスケールでは濃度の問題としては、非競合的であり非排除的な公共財としての特徴を維持しているが、大気圏全体の問題となった時には、大気存在は限りのある資源となり、競合性と排除性が現れることになる。特に競合性の問題は先進国と発展途上国の間で、深刻な論争を呼ぶところとなっている。すでに現れ始めている地球上の気象異変が地球温暖化によるものとするなら、ある意味で一刻の猶予もなく対策を立てなければならない課題となる。地球上の大気圏という特別な公共財をサステイナブルに保つためには、まさに国際的な協力と CO2 の総排出量を削減する具体的な対策が必要となっていることはいうまでもない。国際的な協力の例は IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル）の活動として、京都議定書(1997年)、パリ協定（2015年）の制定が挙げられる。

4) 環境管理手法としての濃度規制、総量規制、排出権取引、環境税

公共財である環境の保全是、市場経済に任せるだけでは進まず、公的存在である政府の責任となる。政府の責任は、望ましい環境のレベルを設定してそのレベルを守るための施策を設定することにある。望ましい環境のレベルは、その環境が人々の生活にどのような影響を持つかによって異なるが、そのレベルを決める要素としては、影響の及ぶ時間的なスケール、地域的、空間的な広がり、それと濃度の 3つが主要なものとなる。

時間的なスケールは生態系の持つ寿命時間がかかわることになるが、考えなければならない寿命時間はいくつもの要素により影響される。例えば、生物分解される有機物（BOD

5として)は5日が標準とされ、水銀で心配されるマグロは20年を越えるものもあり、人の健康影響においては人の寿命は現代では100歳が一つの目標とされ、地球温暖化の問題では産業革命時代にさかのぼる議論がなされ、かつ将来世代(何世代後まで考えるかは議論のあるところではあるが)への影響が懸念され、さらに屋久島の屋久杉の例では2000年が基準(屋久杉と呼ばれるまでには2000年以上の樹齢が必要とされる)となり、考慮すべき時間のスケールはいろいろ異なることになる。

地域的、空間的な広がりの問題は、河川であれば河川の流域の広がり、流入する湖や海洋での汚染の広がり、大気汚染においては、煙突等からの排煙の拡散する範囲、地球温暖化問題では成層圏への広がりとなる。また、有害物の汚染問題等では農産物、水産物の流通を考えれば、産地付近に限られた問題ではなくて、国内広域化さらに国外へと国境を越えた環境問題となる。

濃度の問題は、すでに見てきたように、環境の影響としてはもっとも基本的なテーマとなる。濃度は対象となる環境の容量により希釈される存在なので、環境の容量が大きい場合には濃度だけをコントロールすることで環境は保全されるが、容量に余裕がなくなると排出総量をコントロールする必要がある。この排出総量をコントロールすることは、総量規制と呼ばれるが、政府にとっては難しい決定過程が必要となる。排出総量自体は環境の容量が決まれば自ずから望ましい濃度が決まり、容量と濃度から総量が決定される。政府にとっての難題は決定した排出総量を排出責任者の間での責任分担を決めるプロセスにある。

総量規制の実現のための排出量の複数の排出者への分配の問題は、歴史的な既得権の問題や新規参入者への分配の問題において、調整の難しい問題となる。この調整の一つの手段として、排出権取引の方法があるが、排出権の価格を具体的に定めることにおいて、改めて問題が生じる。政府にとってはトップダウンで決定する方法とボトムアップで当事者の調整に任せる方法とそれらの中間的な決定過程が考えられるが、政治体制、経済的競合性、決定過程の民主化の程度等により異なることになる。各種規制の違反者への罰則の問題も検討課題となる。

排出負荷量を抑制し、環境改善を図るための財源として排出者への環境税の課税の方法も管理手法の一つとなる。主として道路整備の財源となっているガソリン税等は道路整備の結果が自動車の燃費改善に働くなら、一種の環境税ともいえるが、さらにCO₂の排出抑制を直接の目的とするCO₂税の設定も考慮すべきといえる。CO₂税の目的の一つとしては、省CO₂に成功した消費者に還付金を付与するメカニズムを提案することができる。

主要な参考文献

- 1) 金子明彦、田中久稔、若田部昌澄「経済学入門」東洋経済新聞社(2019年)
- 2) 伊藤元重「マクロ経済学」日本評論社(2012年)
- 3) インゲ・カール他「地球公共財」日本経済新聞社(1999年)
- 4) 東洋大学国際共生社会研究センター「環境共生社会学」朝倉書店(2003年) 以上