

第2章

温室効果ガス(CO₂)排出量の推計

伊藤 忠温・槌屋 治紀

I CO₂排出源の比較

CO₂の排出量については、すでにさまざまな文献で報告されているが、ここでは基礎的な問題にたちかえり、まず各種CO₂発生源およびCO₂発生原単位について検討したうえで、各発生源の量的な比較を行い、その後、一国、あるいは世界全体におけるCO₂排出量を推計するための計算方式について検討する。

まず、この地球上でCO₂が人為的な原因によって発生する場合を項目別にあげると次のようになる。

- (1)化石燃料の燃焼…石油，天然ガス，石炭等の燃焼
- (2)石炭の生産……セメント，鉄鋼その他の用途のために，石灰石をか焼して石灰を製造する際にCO₂が発生する。
- (3)廃棄物の焼却……可燃性廃棄物（木材，プラスチック，紙，生ゴミ等）を焼却する際にCO₂が発生する。
- (4)生物燃料の燃焼…薪，木炭，バガス等の燃焼
- (5)焼畑，森林破壊

(6) 人間および動物の呼吸

上記の6つのCO₂発生源は大別して、鉱物起源((1), (2)および(3)の一部)と生物起源((4), (5), (6)および(3)の一部)の2つに分けることができる。

そして、生物起源のCO₂については、これらは自然環境におけるCO₂循環の一環をなすものであるゆえ、大気中のCO₂の増大に対する各発生源の寄与という見地から除外してよいとする考え方も一方では存在する。

しかしながら、いったんCO₂が発生すればそれらはすべて同質であってその起源を問わないこと、また生物起源のCO₂といえども現状では循環バランスを超えた排出が行われていること((5)および(4)等)を考慮し、ここでは(1)から(6)までをすべて、まずは同等に扱うことにする。ただし、相互の量的な比較を行い、相対的に寄与度の小さい発生源については、簡単のためCO₂排出量の算定から除外するものとする。

(1) 化石燃料のCO₂発生源単位

前記(1)~(6)の各発生源相互の量的比較を行うためには、各発生源のCO₂発生源単位を決める必要がある。ここで特に問題となるのは、各化石燃料のCO₂排出原単位である。

単純に考えれば、排出量原単位(単位熱量当りのCO₂排出量)は燃料の発熱量と炭素の割合によって一義的に決まるのであるが、同じ化石燃料といってもその種類は石油、天然ガス、石炭ごとにそれぞれ千差万別であって、どれを代表的な原単位とすべきかは国や地域ごとに異なってくるという問題がある。特にこの問題は、その種類によって組成が大きく異なる石炭の場合に顕著である。

次に問題となるのは、化石燃料のCO₂排出原単位については、燃焼段階でのCO₂排出量だけでなく、採掘から燃焼段階までのトータルなCO₂排出量を考慮した原単位を用いるべきではないかという点である。

すなわち、燃料が採掘されて燃焼に供せられるまでには、随伴CO₂の発生、フレア燃焼、輸送、ハンドリング、精製の各段階においてそれぞれCO₂

第1表 CO₂ 排出原単位の比較

(単位: g-C/MJ)

| | 発熱量 | 石油 | ガス | 石炭 |
|----------|------|------|------|------|
| Marland | 真発熱量 | 19.2 | 13.7 | 23.8 |
| 富館・小川 | 真発熱量 | 19.8 | 15.3 | 25.2 |
| 富館・小川換算値 | 総発熱量 | 18.5 | 13.9 | 24.0 |

(出所) 筆者作成, 以下同じ。

が発生する。

これらすべて考慮したCO₂排出原単位については、富館、小川の研究があり、これをエドモンド・ライリーモデルで使われたMarlandの原単位と比較してみると第1表のようになる。

なお、ここで燃焼の消費のデータとして利用する国連エネルギー統計の単位は総発熱量ベースで記載されているので、計算に用いるべき原単位も総発熱量ベースでなければならない。第1表の最下段の値は、富館・小川の原単位を各燃料の平均的な真発熱量と総発熱量の比でもって換算したものである。

以上に述べたとおり、化石燃料のCO₂排出単位については、燃料の種別、産地、採掘形態、輸送形態等によってかなり影響を受けるので、本来は各消費地の各銘柄ごとに原単位を計算すべきであるが、ここでは簡単のため、第1表の富館・小川の原単位の総発熱量を世界各国におけるエネルギー消費に対して一律に適用してCO₂排出量を計算する。

(2) 石灰石起源のCO₂排出原単位

石灰石 (CaCO₃) をか焼して石灰 (CaO) を製造する際、か焼のために使われる燃料消費とは別にCO₂が発生する。そのCO₂排出原単位は214g-C/kg-CaOである。石灰の主な用途はセメント、鉄鋼および中和剤であるが、日本における比率はそれぞれ72%、17%、および10% (1985年) となっている。

世界各国における石灰石起源のCO₂排出量を計算する場合、石灰 (CaO) の

生産量そのものを把握することが統計データの収集上困難であるため、セメント生産量に基づいて石灰石起源のCO₂排出量を推定することにする。

セメントの原材料は日本（1990年）の場合、1135kg-CaCO₃/ton-Clinkerおよび37kg-CaSO₄・2H₂O/ton-Cement および180kg-高炉スラグ/ton-Cement（セメント生産量に対する高炉スラグ使用量）となっている。

これらから、セメントの生産に伴うCO₂排出原単位を算定すると、143kg-C/ton-Cementとなる。もちろんこの値はセメントの製造技術や混合セメント（高炉セメント）の割合等によって国ごとに少しずつ異なる。

一方、石灰石起源のCO₂排出量を計算する際、便宜上鉄鋼用や中和用に使用される石灰もセメント用で代表させて計算するものとすれば、日本の場合には、セメントのCO₂排出単位の1.39倍、すなわち199kg-C/ton-Cementが、全体のCO₂排出原単位となる。

もちろん、国により石灰の用途比率は異なり、また同じ鉄鋼用といっても製法により原単位が異なる。それゆえ、この原単位を世界各国のセメント生産量に対して一律に適用するのは問題があるが、セメントのみの原単位を適用する場合よりは実際に近くなる。

以上を考慮して、世界の平均的なCO₂排出原単位を170kg-C/ton-Cementとして石灰石起源のCO₂排出量を推定するものとする。

(3) 廃棄物焼却に伴うCO₂排出原単位

焼却に伴ってCO₂を発生する廃棄物としては、木、紙、プラスチック、ゴム、廃油、繊維、生ゴミおよび活性汚泥があげられる。これらの廃棄物中における割合は地域によって千差万別であるうえに、発生する廃棄物のうちどれだけが焼却処分されるかも国によって異なる。日本の場合を例にあげれば、第2表のとおりである。

上記のCO₂排出原単位は、一般廃棄物については排ガス量と排ガス中のCO₂濃度ベースとして計算したものであり、産業廃棄物については廃棄物中の大まかな炭素含有量から推定したものである。

第2表 日本における廃棄物起源 CO₂ 排出量

| | 発生量 | 焼却量 (焼却割合) | 平均 原単位 | CO ₂ 排出量 |
|--------------|---------------------|-------------------------|------------|------------------------|
| 単位 | 10 ⁶ ton | 10 ⁶ ton (%) | ton-C/ト-ゴミ | Mton-C |
| 一般廃棄物(1988年) | — | 34.1(—) | 0.22 | 7.5 |
| 産業廃棄物(1987年) | 128.8 | 6.9(5.4) | 0.43(0.02) | 3.0 |

なお、化石燃料のうち、非エネルギーおよび科学工業原料として使用される分も含めて燃料起源 CO₂ にカウントする場合には、これらは廃棄物起源 CO₂ と二重カウントされることになり、注意が必要である。

また、一般廃棄物のうち、焼却されないで埋め立て処分されるものは CO₂ は発生しないかわりに、CO₂ よりも温室効果の強いメタン CH₄ を発生することに留意する必要がある。

世界各国の廃棄物起源 CO₂ 排出量の推定にあたっては、以上のような問題があることを考慮しつつ思い切った簡略化を行い、産業廃棄物は非エネルギー分としてすでに燃料消費の中で考慮されているものとして無視し、一般廃棄物に対してのみ、その発生量に 0.2ton-C/ton-廃棄物という原単位をかけて推定するものとする。

(4) 生物系燃料に伴う CO₂ 排出原単位

伝統燃料としては、薪、木炭、バガス、動物の糞等があり、その CO₂ 排出原単位はそれぞれ異なっているが、ここでは薪の場合の原単位 26g-C/MJ を総発熱量基準に換算した 24-C/MJ を代表値として採用する。

(5) 焼畑・森林破壊の CO₂ 排出原単位

森林の伐開・焼畑耕作等により森林の植生および土壌中に貯えられていた炭素が大気へ放出される。どれくらいの炭素が大気へ放出されるかは、森林の種類や伐開の態様によって異なるが、熱帯林の場合、およそ 100～200ton-C/ha 程度と考えられている。

ここでは、炭素放出原単位を 150ton-C/ha として、これを各国の森林消滅面積（森林破壊面積から森林再生面積を差し引いた正味の値）にかけることにより、国ごとの森林消滅による CO_2 排出量を推定する

なお、実際に排出されるのは CO_2 のみではなく、 CH_4 等も含まれるが、ここではすべて CO_2 が放出されるものとして扱う。

焼畑・森林破壊による CO_2 排出と薪等の燃焼に伴う CO_2 排出量とは一部重なり合っていることが考えられるが、その程度を推定するデータがないので、ここではこの2つの項目はそれぞれ独立であるとして処理することにする。

(6) 人間および家畜の呼吸による CO_2 排出原単位

成人は1日に約 $0.8\sim 0.9\text{kg}$ の O_2 を消費し、約 1kg の CO_2 を呼出する。もちろん人間の CO_2 呼出原単位は、年齢、性別、体格等によって異なるが、ここでは簡単のため $1\text{kg/日}\cdot\text{人}$ という原単位をすべての国の人口に対して適用して人間の呼吸起源 CO_2 排出量を計算するものとする。

一方、家畜の呼吸に対する CO_2 排出については、ウマ 5.72 、ウシ 6.86 、ヒツジ・ヤギ 0.69 、ブタ $0.60\text{kg/日}\cdot\text{個体}$ という原単位でもって計算するものとする。

なお、家畜については呼吸の他に腸内から発生する CH_4 や CO_2 も重要であるが、ここでは呼吸による CO_2 排出のみを扱うものとする。

以上(1)～(6)に述べたような CO_2 排出原単位に基づき、世界各国の CO_2 排出量の推定を行うが、その前に、まず先進国と開発途上国での CO_2 の排出量およびその構成を比較する。

先進国の例として日本を、開発途上国の例としてインドをとりあげ、それぞれの CO_2 排出量について計算した。

結果を示すと、第3表および第4表のようになる。

第4表によれば、日本の場合は生物系燃料の燃焼や家畜の呼吸による CO_2

第3表 CO₂ 排出量の計算に用いる単位および原単位

| CO ₂ 排出源 | 原単位の値 | 原単位の単位 | 消費量等の単位 |
|---------------------|-------|------------------------|--------------------|
| 石 油 | 18.5 | t-C/TJ | P J |
| ガ ス | 13.9 | t-C/TJ | P J |
| 石 炭 | 24.0 | t-C/TJ | P J |
| 生 物 系 燃 料 | 24.0 | t-C/TJ | P J |
| 石 灰 石 | 0.17 | t-C/t-Cement | 10 ⁶ t |
| 廃 棄 物 | 0.2 | t-C/t | 10 ⁶ t |
| 森 林 消 滅 | 150 | t-C/ha | 10 ⁶ ha |
| 人 の 呼 吸 | 100 | t-C/10 ³ 人年 | 10 ⁶ 人 |
| 家 畜 の 呼 吸 | | | |
| 牛 | 690 | t-C/10 ³ 頭年 | 10 ⁶ 頭 |
| 馬・ラクダ | 570 | t-C/10 ³ 頭年 | 10 ⁶ 頭 |
| 豚 | 60 | t-C/10 ³ 頭年 | 10 ⁶ 頭 |
| 羊・山羊 | 70 | t-C/10 ³ 頭年 | 10 ⁶ 頭 |

の排出量は無視しうる大きさである。しかし、インドの場合は反対にこれらの項目が大きな割合を占める一方、廃棄物起源やガス燃料起源のCO₂排出量が無視しうる割合となっている。

結局、世界のCO₂排出量を国別に計算する場合には、第3、第4表で計算したすべての排出源を考慮する必要があるということが明らかとなった。

また、第4表から明らかなのは、日本におけるCO₂の排出の90%以上は化石燃料の燃焼に因っているのに対し、インドではその割合は30%以下であり、人をも含めた生物起源の排出が大半を占めている。

また、1人当りのCO₂排出量を比較してみると、両者の差は1人当りのGNPの差（日本：インド=51：1）ほどかけ離れておらず、その比は2.89：1となっているにすぎない。

結局、日本は石油をはじめとする化石燃料の非再生的消費により、またインドは、森林消滅を中心とする生物資源の過度の利用によってCO₂を排出する構造となっている。

第4表 日本およびインドにおけるCO₂年間排出量(1988年)

| CO ₂ 排出源 | CO ₂ 排出 原単位 | 日 本 | | | イ ン ド | | |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | | 消費量等 | 排出量 | (%) | 消費量等 | 排出量 | (%) |
| 石 油 | 18.5 | 8,008 | 148.1 | 51.4 | 1,729 | 32.0 | 4.6 |
| ガ ス | 13.9 | 1,750 | 24.3 | 8.4 | 260 | 3.6 | 0.5 |
| 石 炭 | 24.0 | 3,318 | 79.6 | 27.6 | 4,698 | 112.8 | 16.3 |
| 生物系燃料 | 24.0 | 7 | 0.2 | 0.1 | 2,603 | 62.5 | 9.0 |
| 石 灰 石 | 0.17 | 68,345 | 11.6 | 4.0 | 35,971 | 6.1 | 0.9 |
| 廃 棄 物 | 0.2 | 41,530 | 8.3 | 2.9 | × | × | × |
| 森 林 消 滅 | 150 | × | × | × | 1,327 | 199.1 | 28.7 |
| 人 の 呼 吸 | 100 | 123.5 | 12.4 | 4.3 | 853.4 | 85.3 | 12.3 |
| 家 畜 の 呼 吸 | | 16.2 | 3.9 | 1.4 | 442.9 | 192.1 | 27.7 |
| 合計 | | | 288.5 | 100.0 | | 693.4 | 100.0 |
| GNP | | 1,924,663×10 ⁶ US\$ | | | 248,073×10 ⁶ US\$ | | |
| 1人当りCO ₂ 排出量 | | 2.34t-C/人・年 | | | 0.81t-C/人・年 | | |
| GNP当りCO ₂ 排出量 | | 150g-C/US\$ | | | 2,795g-C/US\$ | | |

- (注) (1) 各CO₂排出源の原単位および量の単位は第2表と同一である。
 (2) CO₂排出量の単位は10⁶tである。
 (3) 家畜の呼吸によるCO₂排出量は、各家畜ごとに計算したものを合計した値を示す。
 (4) 廃棄物量は1985年の一般廃棄物量を示す。
 (5) 人口は1990年、GNPは1987年の値である。
 (6) ×は利用すべきデータが無いことを示し、合計処理の際にはゼロとして扱っている。

Ⅱ 世界各国のCO₂排出量の現状

第3表の原単位を用いて世界のCO₂排出量を国別に計算した。利用したデータは、次のとおりである(第4表のデータも同じ)。

- ・燃料消費量(1988年)……………国連エネルギー統計
- ・セメント生産量(1987年)……………World Resourcesのセメント起源CO₂排出量から換算

- ・ 廃棄物発生量 (1985年) *World Resources* の一般廃棄物発生量の
みを採用
- ・ 森林消滅 (1980年代) *World Resources* の森林消滅面積から森
林再生面積を差し引いた正味の消滅面
積
- ・ 人口 (1990年) *World Resources*
- ・ 家畜頭数 (1986～88年平均) *World Resources*
- ・ GNP (1987年) *World Resources*

上記の利用生データのうち、*World Resources* の森林消滅データ (FAOの統計) については、その信憑性について多方面から疑問がなげかけられている。例えば、インディラガンジー開発研究所が国連環境開発会議のためにまとめた報告書では、コートジボアールとエクアドルの例をあげて、FAOの森林消滅面積および薪の生産量データが過大であり、信用できないことを指摘している。しかしながら、FAOのデータに代わる利用すべきデータが見あたらないので、ここではFAOの森林消滅面積のデータが過大であるという指摘を十分認識しつつ、なおかつFAOのデータに基づいて計算することにする

計算結果をさまざまな角度から整理してみた。それらのうち、特に重要なものについて以下に記す。

(イ) 発生源別内訳

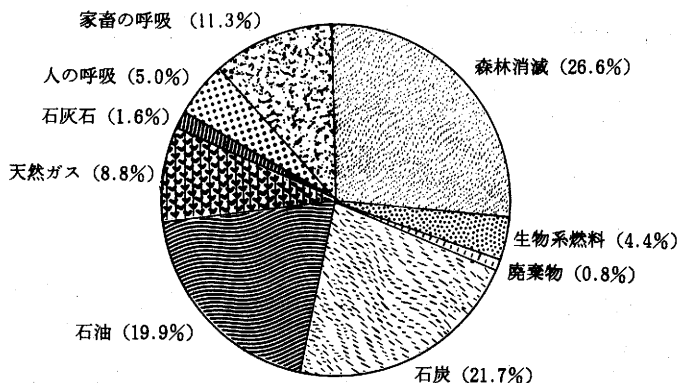
まず、世界全体のCO₂排出量の発生源別内訳を示すと第5表および第1図のようになる。計算結果によれば、世界全体のCO₂の排出量は炭素換算で約106億トンとなっている。この値は、これまでに報告された値のどれよりも高い値となっているが、それは主として家畜や人間の呼吸によるCO₂の発生も考慮していることによる。

CO₂の排出源別の順位としては、家畜および人間の呼吸は化石燃料の燃焼(50.4%)、森林の消滅(26.6%)に次いでそれぞれ3位(11.3%)および4位

第5表 CO₂排出量の内訳（世界合計）

（単位：100万トン-C）

| 起 源 | 排 出 量 | 割合（％） |
|-----------|--------|-------|
| 石油 | 2,111 | 19.9 |
| 天然ガス | 937 | 8.8 |
| 石炭 | 2,309 | 21.7 |
| 生物系燃料 | 464 | 4.4 |
| 石灰石 | 170 | 1.6 |
| 廃棄物 | 80 | 0.8 |
| 森林消滅 | 2,831 | 26.6 |
| 人の呼吸 | 527 | 5.0 |
| 家畜の呼吸（合計） | 1,197 | 11.3 |
| ●牛 | 873 | 8.2 |
| ●馬・ラクダ | 158 | 1.5 |
| ●羊・山羊 | 116 | 1.1 |
| ●豚 | 50 | 0.5 |
| 合 計 | 10,627 | 100.0 |

第1図 CO₂排出量（世界合計）の内訳

（5.0％）を占め、生物系燃料の燃焼（4.4％）石灰石の生産（1.6％）よりもはるかに高い割合となっていることは注目値する。

また、CO₂排出源を非生物起源（化石燃料、石灰石）と生物起源（森林消滅、家畜および人の呼吸、生物系燃料の燃焼および廃棄物）の2つに大別すると、それ

それぞれの寄与率は、52%対48%と全体をほぼ2分する割合となっている。これは、CO₂排出量の抑制に対しては生物系発生源の制御が、化石燃料等の非生物系発生源のコントロールと同程度に重要であることを意味している。

(ロ) 国別排出割合表

次にCO₂排出量の国別順位を示すと、第6表のようになる。排出量の多い順にブラジル、アメリカ合衆国、旧ソ連邦、中国、インドが並び、この上位5カ国だけで世界全体の半分以上(53.8%)を占めている。また、この上位10、20および30カ国が世界全体のCO₂排出に占める割合は、それぞれ63.9%、75.4%および82.4%となっている。

このように、CO₂は世界のすべての国において排出されているのであるが、その排出割合は上位の国による寡占状態にあるとあってよく、特にブラジル、アメリカ合衆国、旧ソ連邦、中国およびインドの動向が今後の地球温暖化におよぼす影響は大きい。この意味で、これら5カ国をCO₂大国と呼んで差し支えないであろう。

(ハ) 地域別排出量

世界を地理的・経済的・文化的条件に従って10の地域に分け、それぞれのCO₂排出量と全体に占める割合、および生物系と非生物系に2分した起源別内訳を示すと第7表のようになる。この表では、地域を非生物系発生源の割合の多い順に並べてある。

第7表によれば、日本、NIES、北米、オセアニア、ヨーロッパおよび旧ソ連邦の先進諸国のみで世界全体の排出量の半分弱(45%)を占め、残りの半分強(55%)を中近東を含む開発途上国が占めていることがわかる。

また、排出量の起源別内訳によって分類すると、生物系発生源が20%以下の地域(日本・NIES、北米、ヨーロッパ、旧ソ連邦)と、20~40%の地域(中近東、中国、オセアニア)および80%以上(東南アジア、南アジア、アフリカ、ラテンアメリカ)の3つに分かれる。

第6表 国別CO₂排出量

| 順位 | 国名 | 排出量合計 (100万トン-C) | 各国が占める割合 (%) |
|---------|----------|---------------------|--------------|
| 1 | ブラジル | 1,495 | 14.07 |
| 2 | アメリカ合衆国 | 1,488 | 14.00 |
| 3 | 旧ソ連邦 | 1,197 | 11.26 |
| 4 | 中国 | 837 | 7.88 |
| 5 | インド | 693 | 6.53 |
| 6 | 日本 | 288 | 2.71 |
| 7 | 旧西ドイツ | 209 | 1.97 |
| 8 | メキシコ | 208 | 1.96 |
| 9 | インドネシア | 199 | 1.87 |
| 10 | イギリス | 175 | 1.65 |
| 11 | コロンビア | 172 | 1.62 |
| 12 | カナダ | 139 | 1.31 |
| 13 | ポーランド | 137 | 1.29 |
| 14 | イタリア | 128 | 1.20 |
| 15 | フランス | 121 | 1.14 |
| 16 | ミャンマー | 120 | 1.13 |
| 17 | ナイジェリア | 110 | 1.04 |
| 18 | スーダン | 101 | 0.95 |
| 19 | タイ | 98 | 0.92 |
| 20 | オーストラリア | 97 | 0.92 |
| 11 | 南アフリカ連邦 | 93 | 0.88 |
| 21 | 旧東ドイツ | 92 | 0.86 |
| 22 | コートジボアール | 81 | 0.76 |
| 23 | アルゼンチン | 76 | 0.71 |
| 24 | ベネズエラ | 72 | 0.67 |
| 25 | ザイール | 69 | 0.65 |
| 26 | ルーマニア | 68 | 0.64 |
| 27 | チェコスロバキア | 66 | 0.62 |
| 28 | 韓国 | 64 | 0.60 |
| 29 | スペイン | 63 | 0.59 |
| 世 界 合 計 | | 10,627 | 100.00 |

第7表 地域別 CO₂ 排出量

| 地域 | 項目 | 年間二酸化炭素排出量 | | 起源別内訳 (%) | |
|---------------|----|------------|-------|-----------|------|
| | 単位 | 100万トン-C | % | 生物系 | 非生物系 |
| 日本, NIES | | 406 | 3.8 | 7.0 | 91.1 |
| 北米 (USA, カナダ) | | 1,627 | 15.3 | 9.1 | 90.9 |
| 旧ソ連邦・東欧圏 | | 1,667 | 15.6 | 12.4 | 87.6 |
| ヨーロッパ (東欧を除く) | | 935 | 8.8 | 13.4 | 86.6 |
| 中近東 | | 232 | 2.2 | 24.4 | 75.6 |
| 中国, 北朝鮮, モンゴル | | 888 | 8.3 | 31.0 | 69.0 |
| オセアニア | | 123 | 1.2 | 38.5 | 60.4 |
| 東南アジア, 南アジア | | 1,419 | 13.3 | 82.5 | 17.4 |
| アフリカ | | 1,018 | 9.6 | 84.8 | 15.0 |
| ラテンアメリカ | | 2,345 | 22.0 | 89.6 | 10.0 |
| 合 計 | | 10,662 | 100.0 | 47.1 | 52.7 |

(二) 1人当り CO₂ 排出量

第8表に、1人当り CO₂ 排出量を上位から20カ国、生物起源、非生物起源および合計の3つに分けて示す。

また、世界の主要国（人口5000万人以上）の1人当り CO₂ 排出量を示すと第9表のようになる。

1人当り CO₂ 排出量の世界平均は2.02t-C/年・人であり、これよりも値が大きい国は約70カ国存在する（この場合、旧ソ連邦、ユーゴスラビアおよびドイツはそれぞれ1国として数えている）。ちなみに、日本の1人当り排出量は2.34t-C/年・人で世界平均より若干大きく、上から数えて60番目の順位にある。

人口5000万人以上の国は世界で21カ国存在するが、この中だけで1人当りの排出量を比較すると、トップのブラジル、アメリカ合衆国と最下位のバングラディッシュの間には、20～30程度の開きがある。また、中国、インド、ナイジェリア、パキスタン、バングラディッシュといった、大きな人口をかかえ、かつ開発途上にある国の1人当り排出量は世界平均の半分以下である。

第8表 1人当りCO₂排出量

(単位: t-C/year)

| 順位 | 合計排出量 | | 生物起源排出量 | | 非生物起源排出量 | |
|----|----------|-------|----------|------|-----------|-------|
| | 国名 | 排出量 | 国名 | 排出量 | 国名 | 排出量 |
| 1 | カタル | 10.67 | ブラジル | 9.59 | カタル | 10.49 |
| 2 | ブラジル | 9.94 | パラグアイ | 9.04 | アラブ首長国連邦 | 8.28 |
| 3 | パラグアイ | 9.13 | ギニア・ビサウ | 9.03 | バーレーン | 6.27 |
| 4 | ギニア・ビサウ | 9.06 | コスタリカ | 7.07 | ルクセンブルグ | 5.72 |
| 5 | アラブ首長国連邦 | 8.50 | コートジボアール | 6.33 | アメリカ合衆国 | 5.43 |
| 6 | コスタリカ | 7.32 | ニカラグア | 5.31 | 旧東ドイツ | 5.13 |
| 7 | コートジボアール | 6.44 | ラオス | 5.25 | カナダ | 4.74 |
| 8 | バーレーン | 6.38 | エクアドル | 5.22 | シンガポール | 4.13 |
| 9 | アメリカ合衆国 | 5.97 | コロンビア | 4.99 | オーストラリア | 3.99 |
| 10 | オーストラリア | 5.84 | スーダン | 3.98 | チェコスロヴァキア | 3.83 |
| 11 | ルクセンブルグ | 5.84 | マラウイ | 3.23 | 旧ソ連邦 | 3.63 |
| 12 | エクアドル | 5.82 | ボリビア | 3.23 | ブルガリア | 3.48 |
| 13 | 旧東ドイツ | 5.54 | ウルグアイ | 3.17 | オランダ | 3.46 |
| 14 | ニカラグア | 5.45 | ニューゼーランド | 3.15 | クウェート | 3.42 |
| 15 | コロンビア | 5.40 | カメルーン | 3.14 | ポーランド | 3.19 |
| 16 | ラオス | 5.27 | リベリア | 3.03 | 旧西ドイツ | 3.14 |
| 17 | カナダ | 5.24 | チャド | 2.98 | デンマーク | 3.07 |
| 18 | ニューゼーランド | 5.14 | パナマ | 2.94 | サウジアラビア | 2.94 |
| 19 | シンガポール | 4.24 | ミャンマー | 2.84 | ベルギー | 2.93 |
| 20 | チェコスロバキア | 4.21 | ベニン | 2.64 | フィンランド | 2.90 |
| | 世界平均 | 2.02 | 世界平均 | 0.95 | 世界平均 | 1.06 |

第9表 主要国の1人当り排出量

| NO. | 順位 | 国名 | 人口 (百万人) | 排出量 (t-C/Capita) |
|-----|-----|----------|----------|---------------------|
| 1 | 2 | ブラジル | 150.4 | 9.94 |
| 2 | 9 | アメリカ合衆国 | 249.2 | 5.97 |
| 4 | 21 | 旧ソ連邦 | 288.0 | 4.16 |
| 5 | 30 | 旧西ドイツ | 60.5 | 3.45 |
| 6 | 41 | イギリス | 56.9 | 3.07 |
| 7 | 58 | メキシコ | 88.6 | 2.35 |
| 8 | 60 | 日本 | 123.5 | 2.34 |
| 8 | 64 | イタリア | 57.3 | 2.23 |
| 9 | 66 | フランス | 56.2 | 2.15 |
| 10 | 82 | タイ | 55.7 | 1.75 |
| 11 | 99 | インドネシア | 180.5 | 1.10 |
| 12 | 101 | トルコ | 55.6 | 1.09 |
| 13 | 103 | ナイジェリア | 113.0 | 0.97 |
| 14 | 106 | イラン | 56.0 | 0.95 |
| 15 | 114 | インド | 853.4 | 0.81 |
| 16 | 123 | 中国 | 1,135.5 | 0.74 |
| 17 | 130 | フィリピン | 62.4 | 0.63 |
| 18 | 131 | ベトナム | 67.2 | 0.63 |
| 19 | 137 | エジプト | 54.1 | 0.55 |
| 20 | 139 | パキスタン | 122.7 | 0.49 |
| 21 | 145 | バングラディシュ | 155.6 | 0.34 |
| 9 | 69 | 世界 (平均) | 5,273.5 | 2.02 |

(注) (1) 人口は1990年推計値である。

(2) 表中の点線は世界平均の位置を示す。世界平均の欄の人口は合計値、その他は順位も含めて平均値を示す。

ということは、これらの国の1人当り排出量は、将来急激に伸びる余地があると考えられ、人口増加とも併せて今後の地球温暖化に与える影響は非常に大きいと予想される。

なお、第8表によれば、1人当り生物起源排出量の多い国の上位は、ほとんどラテンアメリカとアフリカの諸国によって占められていることがわかる。これに対し、非生物起源排出量の場合には、中東産油国、アメリカおよびカ

第10表 GNP当りCO₂排出量

| 生物起源 | | | 非生物起源 | | |
|------|----------|-----------|-------|------------|-----------|
| 順位 | 国 名 | kg-C/US\$ | 順位 | 国 名 | Kg-C/US\$ |
| 1 | ギニア・ビサウ | 62.3 | 1 | 北朝鮮 | 2.07 |
| 2 | ラオス | 34.4 | 2 | 中国 | 1.82 |
| 3 | チャド | 23.1 | 3 | ポーランド | 1.69 |
| 4 | マラウイ | 21.0 | 4 | 南アフリカ連邦 | 1.26 |
| 5 | ミャンマー | 14.2 | 5 | イエメン | 1.22 |
| 6 | マダガスカル | 14.0 | 6 | カタール | 1.02 |
| 7 | ザイール | 13.6 | 7 | モーリタニア | 0.95 |
| 8 | スーダン | 13.1 | 8 | ハンガリー | 0.94 |
| 9 | モザンビーク | 11.0 | 9 | バーレン | 0.85 |
| 10 | ブルキナファソ | 10.7 | 10 | アルバニア | 0.84 |
| 11 | パラグアイ | 10.0 | 11 | ガイアナ | 0.84 |
| 12 | コートジボアール | 9.7 | 12 | ジンバブエ | 0.78 |
| 13 | エチオピア | 9.4 | 13 | トリニダード・トバゴ | 0.63 |
| 14 | ベニン | 9.4 | 14 | インド | 0.62 |
| 15 | ネパール | 8.9 | 15 | ユーゴスラビア | 0.59 |
| 16 | ソマリア | 8.8 | 16 | アラブ首長国連邦 | 0.58 |
| 17 | ザンビア | 8.8 | 17 | トルコ | 0.57 |
| 18 | ニジェール | 8.6 | 18 | ジャマイカ | 0.57 |
| 19 | ギニア | 7.7 | 19 | エジプト | 0.56 |
| 20 | マリ | 7.6 | 20 | アフガニスタン | 0.54 |
| 世 界 | | 0.30 | 世 界 | | 0.34 |

ナダ、旧ソ連邦・東欧圏それに西・北欧諸国といったさまざまな地域グループに属する国が上位を占めている。

(※) GNP当りCO₂排出量

GNP当りのCO₂排出量の上位20カ国を示すと第10表のようになる。

GNP当りのCO₂排出量は、その値が多いほど生産が非効率的であって生物資源あるいは非生物資源を過度に消費していると考えられる。

第10表によれば、生物起源のGNP当りCO₂排出量の多い国はすべてアフリカ、アジアおよびラテンアメリカの開発途上国が占めている。また、非生

物起源のGNP当り排出量については、計画経済体制下であり、かつ石炭を主要なエネルギー源としている国々および中東産油国が上位を占めているが、インド、トルコ、南アフリカ等、開発途上国でかつ石炭を産出している国も高い値となっいることが注目される。

また、生物起源のGNP当り排出量については、第10表の非生物起源のGNP当り排出量と比較すると、1ヶタ値が大きくなっていることが注目される。このことから、生物資源については不確定要素が多く、自家消費される割合も多いこと等を考慮しても、なお、世界的にみれば“農牧畜業”の方が工業よりもCO₂集約度（GNP当りのCO₂排出量）が高いことがうかがわれる。

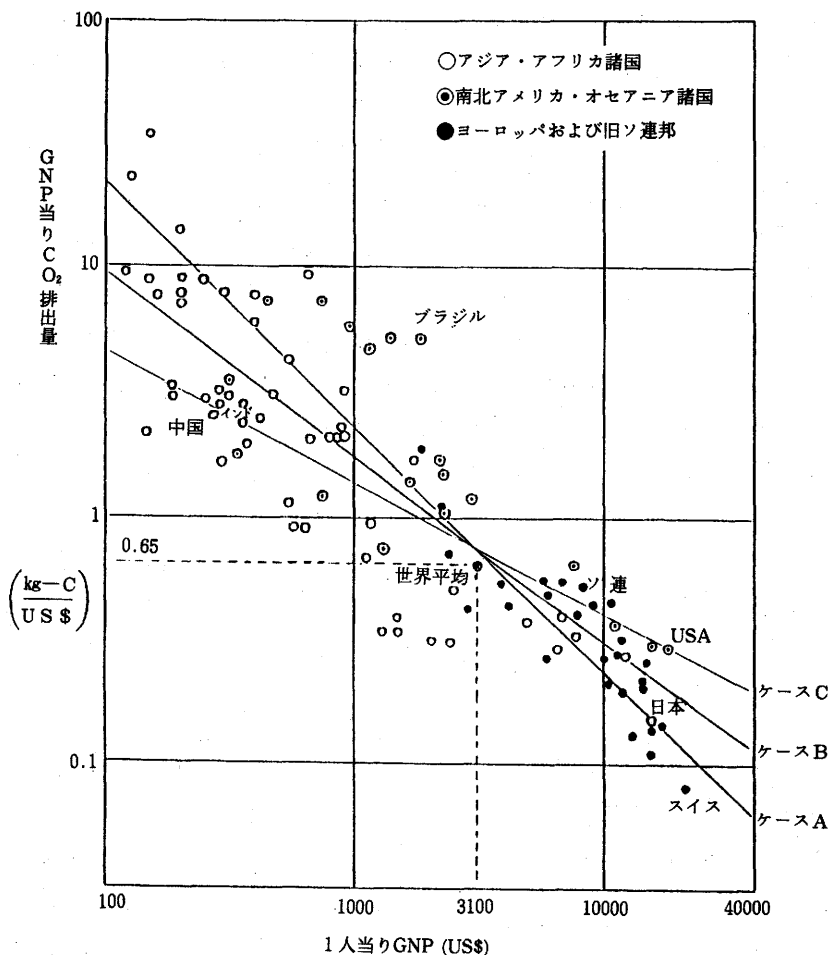
第11表は、主要先進国の非生物起源GNP当り排出量を比較したものである。この表から、気候や政策の違いによって多少とも影響されるものの、1人当りGNPが多くなるほどGNP当りの排出量は低下する傾向がうかがえる。

この関係をより明確にするために、世界各国の1人当りGNPとGNP当りのCO₂排出量をプロットしてみると第2図のようになる。ただし、旧ソ連

第11表 主要先進国の非生物起源GNP当り排出量

| NO. | 順位 | 国 名 | 排 出 量 kg-C/UC\$ | 1人当りGNP UC\$/Capita |
|-----|-----|---------|--------------------|------------------------|
| 1 | 30 | 旧ソ連邦 | 0.44 | 8,183 |
| 2 | 46 | オーストラリア | 0.37 | 10,803 |
| 3 | 55 | カナダ | 0.32 | 14,790 |
| 4 | 58 | アメリカ合衆国 | 0.30 | 18,125 |
| 5 | 64 | イギリス | 0.27 | 10,418 |
| 6 | 75 | 旧西ドイツ | 0.22 | 14,559 |
| 7 | 83 | イタリア | 0.19 | 10,364 |
| 8 | 103 | 日本 | 0.14 | 15,584 |
| 9 | 108 | フランス | 0.13 | 12,660 |
| 10 | 120 | スウェーデン | 0.11 | 15,740 |
| 11 | 131 | スイス | 0.08 | 21,457 |

(注) 1人当りGNPは1987年集計値である。

第2図 GNP当りCO₂排出量と1人当りGNPの関係

(注) 湾岸産油国 (アラブ首長国連邦, カタール, バーレーン) を除く。

邦, および東欧諸国の1人当りGNPは実勢値より過大となっている可能性があるが, 利用した資料のデータそのままの値でもってプロットしてある。

この図から, 地理的, 経済的, 政治的条件が異なるにもかかわらず, 総体としてみれば1人当りGNPが増加すればするほど, GNP当りのCO₂排出

量は減少する傾向にあることがわかる。

いま仮に、GNP当りのCO₂排出量が1人当りGNPに反比例する直線を日本のプロットを通るように引いてみるとAのようになり、これは次式で表すことができる。

$$y = 2500/x$$

ただし、 x は1人当りGNP (US\$) であり、 y はGNP当りCO₂排出量 (kg-C/US\$) である。もし、CO₂の排出量がこの式に従うと仮定すれば、1人当りGNPが変化しても人口が変わらない限りCO₂の排出量そのものは変化しないことになる。いいかえれば、これは全体のCO₂排出量を増加させずに開発途上国の経済を成長させる可能性を示すものである。

しかしながら、第2図をよく吟味すると、中国や、インドといった大人口国はA線よりも下にプロットされており、したがって第2図で人口に重みをつけた平均的な直線(ケースB、ケースC)を引くと、直線Aより傾きがゆるやかになる。このことは、開発途上国の1人当りGNPが増大すると、たとえ人口が一定であるとしてもCO₂排出量の絶対値は増大する傾向にあることを意味する。それゆえ、CO₂排出量を増大させずに1人当りのGNPを増大させようとするれば、これまでのような社会経済の発展パターンとは異なる施策が必要となる。

なお、第2図において、南北アメリカおよびオセアニアといった新大陸諸国のプロットが、1人当りGNPの多少にかかわらず総じて高い位置にあることは注目に値する。

Ⅲ 将来のCO₂排出量予測

将来のCO₂排出量の予測については経済成長率、燃料価格、産業構造、消費構造および人口を予測して、産業、運輸、民生といった各部門別のCO₂排

出量を求めそれらを積み上げるという方法により、特定の国あるいは地域のCO₂排出量が報告されている。

しかしながら、このような方法を世界各国に適用して結果を集計することは、膨大なデータの収集や計算手続を考えると実際上は非常に困難である。もし、世界全体のCO₂排出量をその内部構成を考えることなく予測するのであれば、以下に述べるような簡易な方法も考えられる。

まず第2図から、GNP当りCO₂排出量と1人当りGNPとは一義的な関

第12表 2025年におけるCO₂排出量予測

| 項 目 | ケース A | ケース B | ケース C |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 対1人当りGNP弾性値 | -1.0 | -0.77 | -0.52 |
| 人口増加 | 1.77倍 | 1.77倍 | 1.77倍 |
| 1人当りGNP | | | |
| 年率2%成長 | 2.08倍 | 2.08倍 | 2.08倍 |
| 年率3%成長 | 2.99倍 | 2.99倍 | 2.99倍 |
| 年率4%成長 | 4.28倍 | 4.28倍 | 4.28倍 |
| GNP当りCO ₂ 排出量 | | | |
| 年率2%成長 | 2.08 ^{-1.0} 倍 | 2.08 ^{-0.77} 倍 | 2.08 ^{-0.52} 倍 |
| 年率3%成長 | 2.99 ^{-1.0} 倍 | 2.99 ^{-0.77} 倍 | 2.99 ^{-0.52} 倍 |
| 年率4%成長 | 4.28 ^{-1.0} 倍 | 4.28 ^{-0.77} 倍 | 4.28 ^{-0.52} 倍 |
| 1人当りCO ₂ 排出量 | | | |
| 年率2%成長 | 1.0倍 | 1.04倍 | 1.08倍 |
| 年率3%成長 | 1.0倍 | 1.13倍 | 1.29倍 |
| 年率4%成長 | 1.0倍 | 1.23倍 | 1.53倍 |
| CO ₂ 排出(比) | | | |
| 年率2%成長 | 1.77倍 | 1.83倍 | 1.90倍 |
| 年率3%成長 | 1.77倍 | 1.99倍 | 2.27倍 |
| 年率4%成長 | 1.77倍 | 2.16倍 | 2.69倍 |
| CO ₂ 排出(量) | 単位:100万トン | | |
| 年率2%成長 | 18,810 | 19,450 | 20,190 |
| 年率3%成長 | 18,810 | 21,150 | 24,120 |
| 年率4%成長 | 18,810 | 22,950 | 28,590 |

係にあり、将来各国の1人当りGNPが変化してもこの関係は変わらないと仮定する。次に第2図のプロットした点は各国の地理的、政治・経済的条件によってかなりばらついているが、次の3つの式のいずれかでGNP当りCO₂排出量が表されるものと仮定する。すなわち、

| ケース | 対1人当りGNP弾性値 | 式 |
|-----------------|-------------|---------------------|
| ケースA (高弾性値シナリオ) | -1.0 | $y = 2500/x$ |
| ケースB (中弾性値シナリオ) | -0.77 | $y = 380/x^{0.77}$ |
| ケースC (低弾性値シナリオ) | -0.52 | $y = 27.4/x^{0.52}$ |

ただし、 x は1人当りGNP (US\$), y はGNP当りのCO₂排出量 (kg-C/US\$) である。ここにケースAは、第2図において日本のプロットを通り、 y が x に反比例する直線であり、ケースCはアメリカ合衆国とインド、中国を結ぶ直線を表し、ケースBは直線AおよびCの中間に引いた線である。

これはまた、GNP当りCO₂排出量の対1人当りGNP弾性値を、ケースAは-1.0、ケースBは-0.77、ケースCは-0.52と仮定したことに相当する。

一方、経済成長率を世界平均(1人当りで平均したもの)で2.0%、3.0%および4.0%と仮定すると、1988年から2025年までの37年間で国民総生産の世界合計はそれぞれ2.08倍、2.99倍、4.28倍となる。また世界の人口はこの間に48億人から85億人へと約1.77倍に増大するものと予測されている。

以上に述べた値を用いて西暦2025年のCO₂発生量を予測すると、第12表のようにまとめられる。

第12表の計算過程およびその結果から明らかなように、世界全体のCO₂排出量を抑制するためには、まず第1に人口増加を抑制すること、次にGNP当りCO₂排出量がケースAのように1人当りGNPに反比例するような(対1人当りGNP弾性値が高くなるような)施策を講ずべきこと、それが困難な場合には経済成長を抑えることが必要である。

〔参考文献〕

- (1) 富舘孝夫・小川芳樹「採掘から燃焼までのトータルな温室効果からみた化石燃料の比較」(『エネルギー経済』No.7, 1991年)
- (2) 熊崎実「炭素の放出源から吸収源へ」(『環境研究』No.77, 1990年)
- (3) 『畜産ハンドブック』講談社サイエンティフィク
- (4) 島津康男『地球の物理』裳華房
- (5) "Consumption Patterns: The Driving Force of Environmental Stress," Indira Gandhi Institute of Development Research, Bombay, India.
- (6) J. Sathaya and A. Ketoff, "CO₂ Emissions from Major Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term," International Energy Analysis Program, Lawrence Berkley Laboratory.
- (7) M. D. Levine et al, "Energy Efficiency Developing Nations, and Eastern Europe, A Report to the U. S. Working Group on Global Energy Efficiency"
- (8) *World Resources 1990-91*, World Resource Institute.
- (9) *1988 Energy Statistics Yearbook*, Department of International Economic and Social Affairs, Statistical Office, United Nations.
- (10) 『環太平洋地域の2000年, 2030年のエネルギー需要見通し』(財)日本エネルギー経済研究所エネルギー軽量分析センター, 1991年

(いとう ただはる・つちや はるき/システム技術研究所)