

---

 資 料
 

---

## 人口と地球環境との相互関係\*

——研究の現状——

今 井 博 之

## 1. はじめに

近年、地球温暖化やフロンによるオゾン層の破壊に代表される地球環境問題が国際的な関心の的となっている。これらの原因物質である二酸化炭素、メタン、フロンなどの気体は、人間の活動に伴って排出されるものであるが、このことから、人口の変動が地球環境に及ぼす影響が議論の対象のひとつとなっている。また、その一方で、地球環境問題が深刻化することにより、人口が影響を受けるのではないかという議論も行われている。

すなわち、人口と地球環境との相互の関係が研究の対象となっているのであるが、本稿では、人口が地球環境に及ぼす影響、地球環境が人口に及ぼす影響の2つの領域における先行研究について、それぞれ、2., 3.で整理を行い、4.では全体のまとめを行う。

## 2. 人口が地球環境に及ぼす影響

人口が地球環境に及ぼす影響に関する研究は、多くの場合、人口増加が地球温暖化を深刻にするという観点から行われている。

考察のために頻繁に用いられるアプローチは、まず1人当たりの温暖化への影響を評価し、それと人口との積という表現により全体の温暖化への影響を分析するというものである。このようなアプローチについては、Bartiaux and van Yperseleの論文<sup>1)</sup>によくまとめられており、本節の(1)および(2)における整理はこれに負うところが大きい。

一方、温暖化気体の排出量を予測する世界モデルの多くにも人口変数がとりいれられているが<sup>2)</sup>、これらのモデルによる分析も人口増加が地球温暖化に及ぼす影響を論じたものとみなすことができる。(3)では、温暖化気体の排出量を予測するための代表的なモデルをとりあげ、そこにおける人口変数の取り扱いについて述べる。

## (1) 1人当たりの地球温暖化への影響の評価

人口が地球温暖化に及ぼす影響を論じるための最も基本的なアプローチは、国や地域で排出される温暖化気体の1人当たりの排出量を求めることである。世界資源研究所 (World Resources Institute) は、国連環境計画 (United Nations Environment Programme) および国連開発計画

\* 本研究の一部は、環境庁の平成5年度地球環境研究総合推進費 FS-8「開発途上国の人口増加が地球環境問題に及ぼす影響に関する予備的研究」の援助を受けて行われたものである。

1) Françoise Bartiaux and Jean-Pascal van Ypersele, "The Role of Population Growth in Global Warming", *International Population Conference, IUSSP, Montreal, Vol. 4, 24 August-1st September, 1993*, pp. 33-54.

2) 松岡 譲・森田恒幸・甲斐沼美紀子, 「地球温暖化に関するシナリオとモデル解析」, 『土木学会論文集』, 第IV-17巻449号, 1992年, pp. 1-16.

(United Nations Development Programme) と共同で作成した報告書<sup>3)</sup>において、二酸化炭素、メタン、フロン<sup>4)</sup>の3種類の温暖化気体について、1989年における各国の排出量を調査し、工業過程で発生した二酸化炭素については、146か国について1人当たりの排出量を計算している。

I P C C (Intergovernmental Panel on Climate Change)<sup>4)</sup> は、二酸化炭素以外の温暖化気体の影響も考慮し、人間の総合的な温暖化への寄与を算出するための方法として、温暖化気体ごとのGWP (Greenhouse Warming Potential) という概念を提示している。これは、任意の時間範囲を設定し、ある気体による温室効果が同じ質量の二酸化炭素による効果の何倍に相当するかを求めたものである。

世界資源研究所<sup>5)</sup> は、I P C C が算出した時間範囲を100年とした場合のGWPをもとに<sup>6)</sup>、各国の1人当たりの温暖化への寄与を算出している。

Agarwal and Narain<sup>7)</sup> は、このような方法で各国の温暖化への寄与を算出することに対して、批判を行っている<sup>8)</sup>。代替として提案されている方法は、二酸化炭素とメタンの自然による吸収能力について、人口に応じた各国への割り振りを行い、吸収能力を越える排出量から温暖化への寄与を算出するというものである。この方法で算出を行うことにより、途上国の寄与は小さいという主張が展開されている。しかし、この主張に対しては、途上国に割り振られる吸収能力が大きく算出されるのは先進国の排出が大きいためであるというBartiaux and van Ypersele<sup>9)</sup>の批判がある。

## (2) Ehrlich and Holdren の式による分析

人口と環境への影響を結びつけるにあたっては、Ehrlich and Holdren<sup>10)</sup> が提示した次の恒等式がしばしば用いられる。

$$I = PF \quad (1-1)$$

$I$  : 全体の環境への影響

$P$  : 人口

$F$  : 1人当たりの環境への影響

Ehrlich and Ehrlich<sup>11)</sup> は、式(1-1)を次のように変形している。

$$I = PAT \quad (1-2)$$

$A$  : 1人当たりの消費

$T$  : 消費1単位の生産に伴う環境への悪影響

3) World Resources Institute, *World Resources 1994-95*, Oxford, Oxford University Press, 1994, pp. 362-365.

4) J. T. Houghton, B. A. Callander and S. K. Varney eds., *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

5) 前掲(注3)書, pp. 199-203.

6) 前掲(注4)書, p. 15, Table 3により、時間範囲を100年とした場合のGWPを、二酸化炭素を1として、メタン、CF C-11, CF C-12について、それぞれ、11, 3400, 7100としている。

7) Anil Agarwal and Sunita Narain, *Global Warming in an Unequal World: A Case of Environmental Colonialism*, New Delhi, Center for Science and Environment, 1991.

8) 批判の対象となっているのは、世界資源研究所による次の報告書である。

World Resources Institute, *World Resources 1990-91*, Oxford, Oxford University Press, 1990. (世界資源研究所編, 森島昭夫監修, 『世界の資源と環境1990-91』, ダイヤモンド社, 1991年)。

9) 前掲(注1)論文, p. 44.

10) Paul R. Ehrlich and John P. Holdren, "Impact of Population Growth", *Science*, Vol. 171, 1971, pp. 1212-1217.

11) Paul R. Ehrlich and Anne H. Ehrlich, *The Population Explosion*, New York, Simon and Schuster, 1990. (P. エーリック・A. エーリック著, 水谷美穂訳, 『人口が爆発する!』, 新曜社, 1994年)。

この表現は、UNFPA (United Nations Population Fund) の報告書<sup>12)</sup>をはじめとする多くの文献<sup>13)</sup> で用いられている。

Ehrlich and Ehrlich<sup>14)</sup> は、全世界をひとつの単位として式 (1-2) を適用し、 $A$  と  $T$  とを 5% ずつ小さくしても人口  $P$  の増加率が現在のままなら 6 年以内に全体の環境への影響  $I$  がもとのレベルにもどると述べている。さらに、この議論は UNFPA の報告書<sup>15)</sup> に引用されている。しかし、現実が増加しているのは概して 1 人当たりの環境への影響である積  $AT$  が小さい地域の人口であるから、地球全体としては  $P$  の増加自体が  $AT$  を小さくする効果をもつことになり、したがって、この議論の方法は適切とはいいがたい。

また、Harrison<sup>16)</sup> は、1950-85 年の二酸化炭素排出量と人口の年間の増加率がそれぞれ 3.1%、1.9% であったことから、二酸化炭素の排出量増加における人口増加の寄与はおよそ 3 分の 2 であるとしており、この議論もまた UNFPA の報告書<sup>17)</sup> に引用されている。

しかしながら、この議論の方法には注意が必要である。二酸化炭素排出量の増加は、1 人当たり排出量が小さいような地域の人口増加によっても起こるし、人口が安定していて 1 人当たり排出量が大きいような地域の 1 人当たり排出量の増加によっても起こる。これらの両方の結果、例えば、世界全体として人口増加率と排出量増加率とが同程度になる場合も起こりうるが、この場合に上述の Harrison の議論をあてはめれば、排出量の増加の原因はすべて人口増加に帰せられてしまう。

Bongaarts の論文<sup>18)</sup> も、式 (1-2) と類似した次の式を用いて地球温暖化を分析しているが、世界を先進地域と途上地域の 2 つに分割し、エネルギー消費による炭素排出量 (二酸化炭素の排出量を炭素の質量で表したものの) に相当する右辺第 1 項については、地域ごとの集合化を行っている。

$$T = PGEC + D \quad (1-3)$$

$T$  : 炭素排出量

$P$  : 人口

$G$  : 1 人当たり GDP

$E$  : GDP 1 単位当たりのエネルギー

$C$  : エネルギー 1 単位当たりの炭素排出量

$D$  : 森林伐採による炭素排出量

右辺を構成する 5 つの変数について、2100 年までの推移がシナリオとして提示されるが、 $P$ 、 $G$ 、 $E$ 、 $C$  の 4 変数については、先進地域と途上地域とで別々のシナリオが提示される。大幅な増加が見込まれるのは、途上地域の  $P$  および先進地域と途上地域の  $G$  であり、大幅な減少が見込まれるのは、先進地域と途上地域の  $E$  である。Bongaarts は、1985-2100 年の全世界の炭素排出量増加における人口増

12) UNFPA, United Nations Population Fund, *Population, Resources and the Environment: The Critical Challenges*, New York, UNFPA, 1991.

13) 例として次の 2 つの文献を挙げておく。

C. P. Green, "The Environment and Population Growth: Decade for Action", *Population Reports*, Series M, No. 10, Baltimore, Johns Hopkins University, Population Information Program, 1992.

吉田昭彦, 「人口と環境」, 『応用数理』, 第 4 巻 1 号, 1994 年, pp. 61-65.

14) 前掲 (注 11) 書, p. 59.

15) 前掲 (注 12) 書, p. 18.

16) Paul Harrison, "Too Much Life on Earth?", *New Scientist*, May, 1990, pp. 10-11, p. 10.

17) 前掲 (注 12) 書, p. 25.

18) John Bongaarts, "Population Growth and Global Warming", *Population and Development Review*, Vol. 18, No. 2, 1992, pp. 299-319.

加の寄与分を35%と算出し、人口増加抑制の必要性を強調している。さらに、二酸化炭素の年間排出量の安定化について、その実行時期と効果との関係に対する評価を行い、以下の2点を結論として掲げている。

- ① 先進国における排出抑制政策の実施は、地球の温暖化を緩和するうえで重要な最初のステップであるが、それだけでは、4℃以上と予想される来世紀末の温度上昇幅を1℃小さくすることもできない。
- ② GDP 1 単位当たりのエネルギー  $E$  を低下させることに、最大の注意が向けられるべきである。人口増加は、地球温暖化の最大の原因ではないが、温暖化気体排出の重要な決定要因 (key determinant) であり、人口増加率の低下は、先進地域と途上地域の双方において、温暖化防止の包括的な政策の本質的な要素として位置づけられるべきである。

式 (1-3) は、エネルギー消費による炭素排出量に関して、式 (1-1) の 1 人当たりの環境への影響  $F$  を式 (1-2) の場合よりもさらに細かく分解したものと見えるが、特に過去の温暖化気体の排出を分析する場合には、このような変形に注意が必要である。なぜならば、人口増加率を大きく上回って増加する任意の変数  $X$  をとり、式 (1-1) を

$$I = P \times \frac{X}{P} \times \frac{I}{X} \times \dots \times \frac{I}{X} \quad (14)$$

の形に変形すれば、二酸化炭素排出量増加の主たる原因は 1 人当たり  $X$  の増加であるということになってしまうからである。

さて、世界を複数の地域に分割することに関しては、より細かな分割の必要性が主張されている。

Lutz<sup>19)</sup> は、個々の地域の住民が十分に均質になるまで集合化のレベルを下げるべきであると主張し、世界を貧富の程度によって 4 つの地域に分割している。こうした場合、予測される 2050 年の二酸化炭素排出量は、世界をひとつの地域として扱った場合、および、世界を先進地域と途上地域の 2 つに分割した場合に比べ、より小さくなる。

Bartiaux and van Ypersele<sup>20)</sup> は、集合化の問題に対する Lutz の見解を支持し、世界を 9 つの地域に分割している。それぞれの地域における 1950-90 年の人口および 1 人当たり二酸化炭素排出量のデータを使用し、先進地域の 1 人当たり二酸化炭素排出量のみを 1950 年レベルで固定した場合、1990 年における二酸化炭素排出量は実際の値より 30.5% 小さくなり、途上地域の人口のみを 1950 年レベルで固定した場合には、18.2% 小さくなるという計算結果を示している。このことから、先進地域における 1 人当たり二酸化炭素排出量の増加は、途上地域における人口増加よりも重大な二酸化炭素排出量の増加の原因であったとしている。

### (3) 世界モデルによる地球温暖化の分析

1971 年に Forrester が *World Dynamics*<sup>21)</sup> を発表して以来、100 年程度の長期的な視野をもつ世界モデルが開発され、地球環境問題の分析に用いられているが、これらの多くは人口を主要な変数として含んでいる。

地球温暖化が世界的な関心事となってからは、温室効果気体の排出量を予測する世界経済モデルが

19) Wolfgang Lutz, "Population and Environment - What Do We Need More Urgently: Better Data, Better Models, or Better Questions?", paper presented at the Annual Conference of the British Society for Population Studies, "Population and Environment", Exeter College, Oxford University, September 9-11, 1992.

20) 前掲 (注 1) 論文。

21) Jay W. Forrester, *World Dynamics*, Cambridge, Wright-Allen Press, 1971.

いくつも開発されているが、なかでも部分均衡型モデルである Edmonds-Reilly モデル<sup>22)</sup> は特に有名であり、そのパーソナル・コンピュータ・バージョン<sup>23)</sup> は温暖化対策の研究に広く用いられている。

Edmonds-Reilly モデルでは、エネルギーに関する需要曲線と供給曲線がそれぞれ設定され、価格の調整によりエネルギーの消費量が決定される。地域ごとの人口の推移がシナリオとして与えられ、需要関数を決定するのに用いられる。人口を大きくすると、同じ価格におけるエネルギー需要は増加するが、価格の上昇が起これるので、エネルギー消費はそれほど増加しない。この点は、(2)に示したアプローチとは異なっている。

Edmonds-Reilly モデルでは、人口増加のシナリオと労働生産性の向上のシナリオとは独立に与えられるが、松岡・森田<sup>24)</sup> は、Edmonds-Reilly モデルに改変をくわえた松岡のモデル<sup>25)</sup> において、人口と経済成長とのリンクを試みている。平均寿命の改善の見直しにある前提がおかれ、TFR が置き換え水準以上の国については、 $\alpha$  をパラメータとして次の式で表されるような経済成長に伴う TFR の低下が仮定されている。

$$\Delta TFR = -\alpha \Delta \ln(GNP/capita) \quad (1-5)$$

このようにして2050年および2100年における二酸化炭素排出量が予測されており、より大きな1人当たりGNP伸び率を仮定した場合に排出量も大きくなるという結果がえられている。

### 3. 地球環境が人口に及ぼす影響

地球環境が人口に及ぼす影響に関する研究は、地球環境の変化が人間の健康に影響を与えるという観点および食糧生産に影響を与えるという観点から行われている。

#### (1) 人間の健康への影響<sup>26)</sup>

米国EPA (United States Environmental Protection Agency) のSmith and Tirpak が編者となっている気候変化の影響に関する報告書<sup>27)</sup> では、地球温暖化が死亡・出生に及ぼす影響に焦点が当てられている。

死亡に関しては、温暖化が起こった場合、呼吸器系・心血管系・脳血管系の疾患による夏の死亡が増加する一方、これらによる冬の死亡が減少するが、アメリカ合衆国では差し引きの死亡が増加する

22) Jae Edmonds and John Reilly, "A Long-Term Global Energy-Economic Model of Carbon Dioxide Release from Fossil Fuel Use", *Energy Economics*, April, 1983, pp. 74-88.

なお、この論文は同じ筆者による以下の2つの論文により補足される。

Jae Edmonds and John Reilly, "Global Energy Production and Use to the Year 2050", *Energy*, Vol. 8, No. 6, 1983, pp. 419-432.

Jae Edmonds and John Reilly, "Global Energy and CO<sub>2</sub> to the Year 2050", *The Energy Journal*, Vol. 4, No. 3, 1983, pp. 21-47.

23) Jae Edmonds and John Reilly, *The IEA/ORAU Long-Term Global Energy-CO<sub>2</sub> Model: Personal Computer Version A84PC*, Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory, 1986.

24) 松岡 謙・森田恒幸, 「地球環境と人口変化の係わりに関する二、三の検討」, 『環境システム研究』, 第21巻, 1993年, pp. 72-80.

25) 松岡 謙, 「温暖化現象の総合化モデルとそれによる温室効果ガス濃度と上昇温度の将来推定について」, 『環境システム研究』, 第18巻, 1990年, pp. 82-87.

26) 地球環境の変化が人間の健康一般に及ぼす影響を論じたものとして次の文献を挙げておく。

Anthony J. McMichael, *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993.

27) "Human Health", Joel B. Smith and Dennis A. Tirpak eds., *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*, New York, Hemisphere Publishing Corporation, 1990, pp. 525-556.

かも知れないという見通しが述べられている。出生に関しては、未熟児出産と周産期死亡が季節の影響を受ける点が指摘されている。

しかしながら、報告書のなかで気候変化の健康への影響の全体像はいまだ不確実であることも指摘されている。

## (2) 食糧生産への影響

UNFPA<sup>28)</sup>は、Daily and Ehrlichのモデル<sup>29)</sup>による予測を根拠に、地球温暖化による気候変動を前提とした場合、来世紀の初めに穀物の生産量が大きく減少することは十分にありうるとし、その結果として5千万から4億人の餓死者がでるかも知れないと述べている。さらに、途上国では、もともと栄養の水準が低く食糧のストックや気候変動に対応するためのインフラストラクチャーがあまりないため、食糧の減産が人口に大きな影響を及ぼす可能性が大きいと指摘している。

また、Ehrlich, Ehrlich and Dailyの論文<sup>30)</sup>は、今後の人口増加に食糧生産が追従できるか否かを論じたものであるが、その結論は否定的である。持続可能な人口(sustainable population)は現状の55億人を大きく下回るであろうことが述べられており、地球温暖化と成層圏のオゾン層の破壊とは、食糧増産を阻む要因として位置づけられている。

この論文によれば、地球温暖化の食糧生産への影響には、降雨パターンの変化によるものと海面の上昇によるものがあるが、降雨パターンが変化して北半球の穀倉地帯が乾燥する可能性は大きく、海面上昇はその幅が40cmでもナイル川下流やバングラデシュのような低海拔地帯には大きな被害をもたらす。また、成層圏のオゾン層の破壊は、地表に到達する紫外線を増加させ、作物の品種の多くに悪影響をもたらすが、地球温暖化のほうがより重大な脅威である。

しかしながら、今後の人口増加に食糧生産が追従できるかという問題については、これらのような悲観的な見解がある一方で、耕地の拡大や近代農業の普及により食糧の大増産が可能であるという楽観的な見解もあり、また、地球温暖化が農業に及ぼす影響についても正負両方の効果が指摘されている<sup>31)</sup>。

## 4. おわりに

人口が地球環境に及ぼす影響の領域では、Ehrlich and Holdrenの式を基本としたアプローチが主流となっている。このアプローチは、集合化の単位をそれぞれの住民が十分に均質になるように設定すれば、人口増加の影響を明瞭にするうえで有用である。しかし、2.の(2)でとりあげた分析では、人口と1人当たりの環境への影響とが互いに独立であることが前提とされているが、これは過度の単純化かも知れない。例えば、人口増加率の低下が、経済成長を促し、1人当たりの二酸化炭素排出量を増加させる可能性も検討されてよいであろう。世界モデルによるアプローチは、より複雑な前提のもとで、人口が地球環境に及ぼす影響を論ずるのに有用である。

Hoganの論文<sup>32)</sup>は、人口と環境との関係が議論される場合に、人口に関する諸要素のうち人口規模

28) 前掲(注12)書, pp. 28-29.

29) Gretchen C. Daily and Paul R. Ehrlich, "An Exploratory Model of the Impact of Rapid Climate Change on the World Food Situation", *Proceeding of the Royal Society of London, Series B*, Vol. 241, 1990, pp. 232-244.

30) Paul R. Ehrlich, Anne H. Ehrlich and Gretchen C. Daily, "Food Security, Population, and Environment", *Population and Development Review*, Vol. 19, No. 1, 1993, pp. 1-32.

31) John Bongaarts, "Can the Growing Human Population Feed Itself?", *Scientific American*, March, 1994, pp. 18-24. (J. ボンガーツ著, 阿藤 誠・今井博之訳, 「100億人を養う食糧生産は可能か」, 『日経サイエンス』, 第24巻5号, 1994年, pp. 114-122).

32) Daniel J. Hogan, "The Impact of Population Growth on the Physical Environment", *European Journal of Population*, Vol. 8, No. 2, 1992, pp. 109-123.

と人口増加率ばかりが注目されることを批判し、出生、死亡、移動、結婚、健康、年齢構造を含む人口に関するあらゆる要素と環境との関係を研究すべきと主張するものである。この論文は地球環境問題を論じたものではないが、この批判は2. で整理した諸研究にもあてはまる。特に、都市人口の増加と農村人口の増加とでは地球環境に及ぼす影響が異なると考えられることから、人口の都市化の影響は注目に値する。

一方、地球環境が人口に及ぼす影響の領域では、確実な結論があまりえられていないのが現状である。Daily and Ehrlichのモデルのような食糧生産に関する数値モデルを用いれば、地球環境の変化が人口に及ぼす影響について定量的に述べることができるが、モデルの選択の恣意性という問題は残ってしまう<sup>33)</sup>。

人口と地球環境との相互関係については、解決すべき課題が多数残っており、よりいっそうの研究が必要といえる。

---

33) Keyfitz は、次の論文において、人口、環境、経済成長に関する議論の争点を整理し、科学的な事実以上に論者の選好が議論の基礎となっていることを示しており、研究の結論が研究者の選好から独立したものでない理由として、モデルの選択が恣意的な過程であることを挙げている。

Nathan Keyfitz, "Population and Sustainable Development: Distinguishing Fact and Preference Concerning the Future Human Population and Environment", *Population and Environment*, Vol. 14, No. 5, 1993, pp. 441-461.