

44. 人間活動によるエネルギー・食料・森林資源利用が地球環境におよぼす影響評価モデル

ASSESSMENT MODEL FOR HUMAN IMPACT BY ENERGY, FOOD AND FOREST CONSUMPTION

後藤 真太郎* ・ 隅谷 寛人*
Sintaro GOTO, Hiroto SUMITANI

ABSTRACT; Under the assumption that the population problem, the food problem and global warming due to energy consumption can be stabilized through managing land use, impacts of human activities such as consumption of food, energy and timber on global environmental changes, and global population capacity are analyzed using a system-dynamics model developed in this research. In the model the world is divided into two groups: OECD countries and the others. Used global land use data set is land cover map derived from satellite data, and potential distribution of arable land is estimated by the method of Cramer and Solomon which takes into consideration spatial distribution of climate data such as precipitation and evapotranspiration. In addition, impacts of carbon dioxide emission from human activities on food production through global warming are included in the model as a feedback. The results of the analysis for both BaU scenario and Toronto Conference scenario are similar to the results of existing models. Improving spatial resolution of the model by using global data on distribution of environmental variables and socioeconomic indices is left for further studies.

KEYWORD; global environmental change, carrying capacity, food problem, global warming

1 はじめに

地球環境問題は、経済発展に伴う人間活動による環境に対する負荷の結果により生じたものである。これらの問題に対応していくには、人間活動が地球環境にどのような影響を及ぼしているのかを理解する必要がある。

本研究では、エネルギー・食料・森林資源消費活動に代表される食料に着目し、OECD地域・非OECD地域の2地域について、ライフスタイルの変化に伴う食生活の向上を考慮した食料消費の推移を推算する。これを、システムダイナミクス法を人間活動が地球環境に及ぼす影響を定量的に評価できるモデルに組み込んだ、2020年までの人間活動によって直接的、あるいは土地利用変化を介して間接的に排出されるCO₂が環境に及ぼす影響評価モデルを構築する。

2 地球環境影響評価

2.1 従来の研究

Gotoらは^[1]、エネルギー消費・食料消費・木材使用の3つを人間活動の対象とし、地球環境に及ぼす影

*;立正大学地球環境科学部 Ritsyo University

**;立正大学大学院文学研究科地理学専攻 Department of Geography, Graduate school of Letters, Ritsyo University

響を評価できるモデルをシステムダイナミックス法により作成し、排出されるCO₂及び収容可能人口を予測している。松村^[2]は、アジア地域を対象として、各国の経済成長が周辺諸国からの投資の影響を大きく受けている現状から、食料需要を中心に捉え、システムダイナミックス法を用いて、各国の新規資本投資・就業者人口比率・為替レートを外生変数とするアジア環境経済モデルを構築している。

2. 2 地球環境影響評価モデルの概要

地球環境影響評価モデルの概要を図1に示す。このモデルは、Gotoら^[1]によって作成されたものであり、一人当たりの食料消費量の変化を一次式で表される相関式を用いたものであり、ライフスタイルの向上をモデル化したものではなかった。そこで本研究では、食料消費量を算出する際、ライフスタイルの向上による食生活の向上をモデル化するため、国内総生産を一人当たりの食物消費量と相関付けて食物消費量を算出することで、各国の経済力を理解した食料消費量が推算できると考えた。国内総生産は、資本ストック、労働投入量によって決定されるものと考え、これらの変数を独立変数としてもつコブ=ダグラス生産関数を用いて推算を行う。土地利用変化に伴うCO₂の固定量の変化は、Gotoらと同様に、NOAA-AVHRRにより求めたNDVI分布から推定したNPP（純一次生産量）分布より求めた。

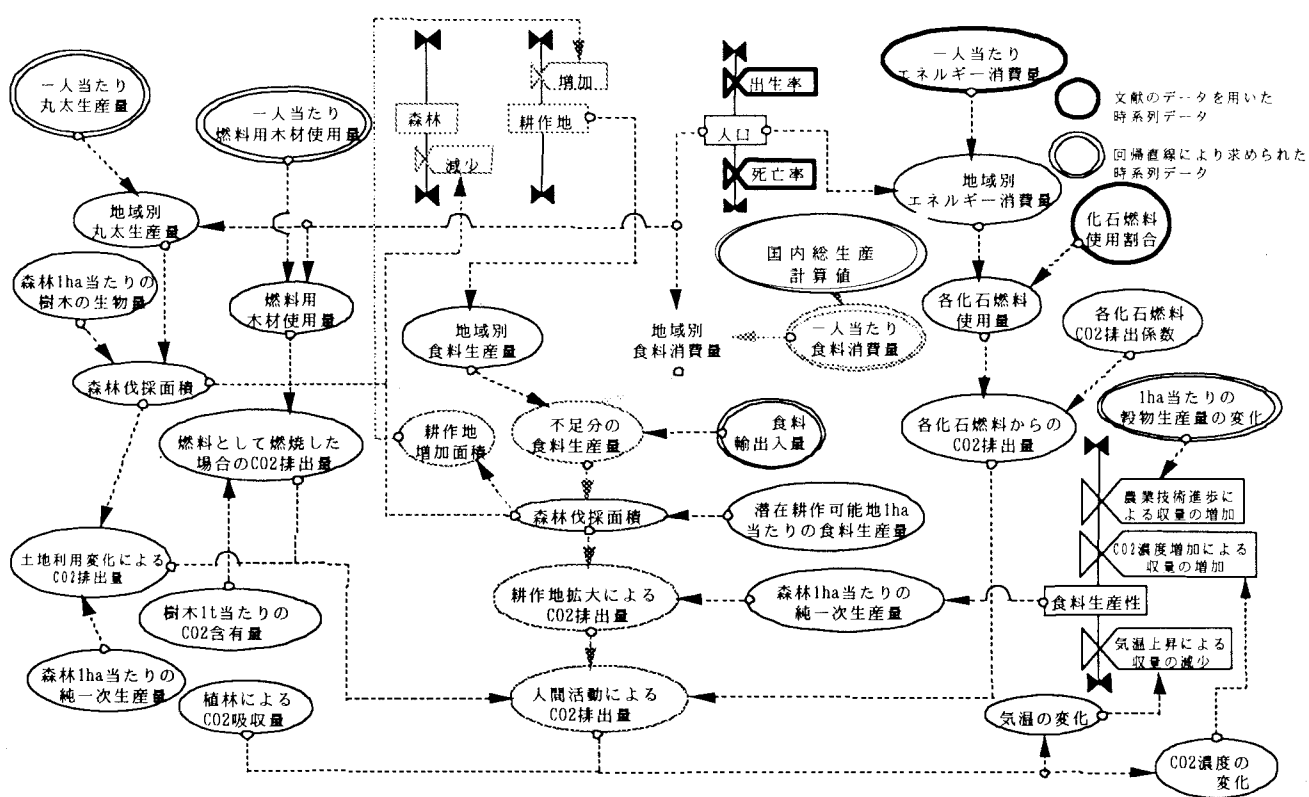


図1 地球環境影響評価モデルの概念図

3 国内総生産の推算

3. 1 資本ストックの推計

国民総生産額が資本投資の大小によって変化するものとし、OECD24カ国、非OECD95カ国の資本ストックデータの推計を行う。資本ストック推計データは、International Monetary Fund(IMF)によって、世界各国の社会統計指標をまとめたものを主とする「International Financial Statistic Yearbook^[3]」の中に含まれる Gross Fixed Capital Formation の時系列データを活用し作成する。推計方法は、米国会計基準に基づき減価償却を設定する。例えば、ある年の Gross Fixed Capital Formation は、米国会計基準に

に基づき、定額法で10年間かけて10%の残存価値で償却されるものと仮定する。以後の年についても同様に計算し、その年における資本ストックを計算する場合には、それまでの各年の残存価値を集計したものとする。

3.2 労働投入量の算出

労働投入量は一般に、賃金と労働者数をかけたものを使用するが、非OECD諸国の時系列的な賃金のデータに関して、精度に不安があり、また入手が困難なため本研究では労働者数をそのまま労働投入量として算出する。OECD諸国ではLabor Force Staistics^[4]を用い、非OECD諸国ではWORLD BUNK世界経済統計^[5]を用いて労働者数を算出する。

3.3 国内総生産の推計

国内総生産は、資本ストック、労働投入量によって決定されるものと考え、これらの変数を独立変数としてもつコブ=ダグラス生産関数を用いて、OECD24カ国と非OECD95カ国の推計を行う。国内総生産のデータは、当年基準の実勢値データを用いる。主に、International Financial Statistic Yearbookを用いたが、トルコに関してはデータが乏しかったため、National Account^[6]を用いる。これらのデータは名目値であるため、OECD地域では1987年のデフレーターを基準値として1987年米ドル変換する。非OECD諸国では、アジア・アフリカ・ヨーロッパ・中東・中南米地域の計算幅が1973年から1993年であることからこの範囲で国内総生産の推算を行う。

(1)推計方法

国内総生産を非説明変数とし、資本ストックと労働投入量を独立変数としたコブ・ダグラス生産関数を用いた推計を行う。以下にコブ・ダグラス生産関数の式を示す。

$D=A \times S^{\alpha} \times L^{\beta}$... (1)

S:資本ストック推計
(Gross Fixed Capital Formation)
D:国内総生産
L:労働力

ここで、コブ=ダグラス生産関数が規模に対して何らかの形で変化しないように、 $\alpha + \beta = 1$ という制約を設定する。この式(1)を対数変換すると式(2)になる。

$\ln D = \ln A + \alpha \times \ln S + \beta \times \ln L$... (2)

$\ln D$ を被説明変数とし、 $\ln A$ を定数項、 $\alpha \times \ln S + \beta \times \ln L$ を説明変数とし最小二乗法により求め、t検定による検証を経て妥当と判断されたものを採用する。

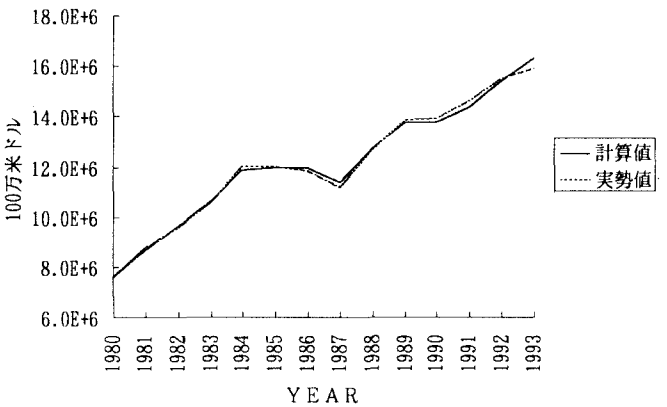


図3 OECD諸国における国内総生産の計算値と実勢値

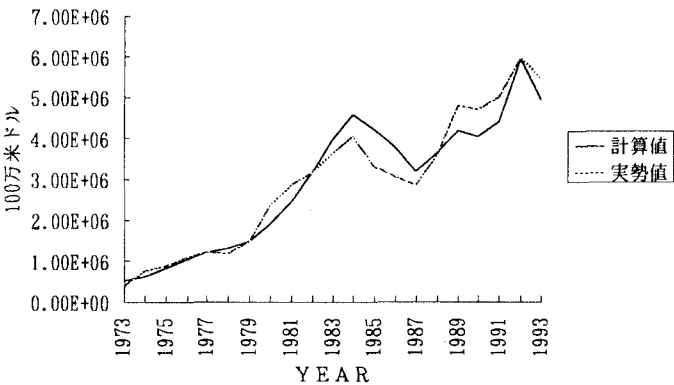


図4 非OECD諸国における国内総生産の計算値と実勢値

4 経済環境を考慮した一人当たりの食料消費量の推算

4. 1 一人当たりの食料消費量の推算

世界の経済格差を考慮するためにOECD地域と非OECD地域に地域分けし、FAO の Agostat - PC^[7]を用いて1961年から1990年までの一人当たりの食料消費量を算出し、この時系列データに対し年度で回帰分析を用いることにより、1991年以降2020年までの一人当たりの食料消費量を推計する。一人当たりの食料消費量の時系列的变化を把握するために、一人当たりの食料消費量を被説明変数とし、年度を説明変数とする回帰分析を行い、1991年以降2020年までの一人当たりの食料消費量を推算する。以下にOECD諸国と非OECD諸国の関係式を表1に示す。

表1 食料消費量（被説明変数）と年度（説明変数）の関係式

	定数項	係数	決定係数	判定： **：1%有意 *：5%有意
OECD諸国	-20819.75695	12.18067297	0.976898424	**
非OECD諸国	-25608.18948	14.15721023	0.975955481	**

4. 2 経済環境を考慮した一人当たりの食料消費量の推算

食生活の向上を考慮した一人当たりの食料消費量は、一人当たりの食料消費量に実質国内総生産計算値を相関付けることで、食料消費量計算値として推算を行う。一人当たりの食料消費量が国内総生産により決定されるものと仮定して、一人当たりの食料消費量を被説明変数とし、実質国内総生産を説明変数とする回帰分析を行い推計式を計算し、その推計結果を表2に示す。

表2 一人当たりの食料消費量とGDP計算値の関係式

	定数項	係数	決定係数	判定： **：1%有意 *：5%有意
OECD諸国	3082.323377	2.43751E-05	0.748621887	**
非OECD諸国	2338.169857	4.23227E-05	0.822663805	**

(1) OECDの一人当たりの食料消費量

一人当たりの食料消費量 = $3082.323377 + 0.0000243751 \times \text{OECD.GDP}(t)$

(2) 非OECDの一人当たりの食料消費量

一人当たりの食料消費量 = $2338.169857 + 0.0000423227 \times \text{非OECD.GDP}(t)$

5 地球環境影響評価モデルの構築とシミュレーション

本研究ではエネルギー消費の将来予測に関して、OECD事務局で開発されたGREENモデル^[8]の2種類のシナリオを参考にして、今後の一人当たりエネルギー消費量・化石燃料使用割合を推測する。

5. 1 GREENモデル^[8]

GREEN (GeneRal Equilibrium Environmental model) とはOECD事務局が開発した、CO₂排出抑制政策にともなう経済全体、及び地球規模のコストを定量化する多地域、多部門の動学応用総合均衡 (AGE: dynamic applied general equilibrium) モデルである。GREENモデルは、世界貿易の流れとエネルギー価格の格差（歪み）を処理できるようにした点でCO₂問題をより深く扱うことができる。

(1) BaU（現状維持）シナリオ^[8]

BaU（現状維持）シナリオでは、世界のCO₂排出量は1990年以降年間2%で増加、2050年には190億tC/

年に達する。

- ・OECD諸国が発表したCO₂排出削減のコミットメントは全く考慮していない。
- ・基準年（1985年）に各地域に存在するエネルギー価格の歪み（格差）は時間が経っても変わらない

(2) トロント型協定シナリオ^[8]

トロント型協定シナリオは、昭和63年6月にカナダ政府主催の下にトロントで開催された、地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨などの地球的規模の大気変動についての国際会議に基づくシナリオであり、OECD地域と非OECD地域に炭素規制の面で異なる負担を課すことを前提にしている。

- ・OECD地域は2010年の排出量を1990年レベルの80%に削減し、それ以降は2010年レベルに安定する。
- ・非OECD地域は2010年の排出量を1990年レベルの50%増に抑え、その後は2010年レベルに安定する。

5.2 シミュレーション結果

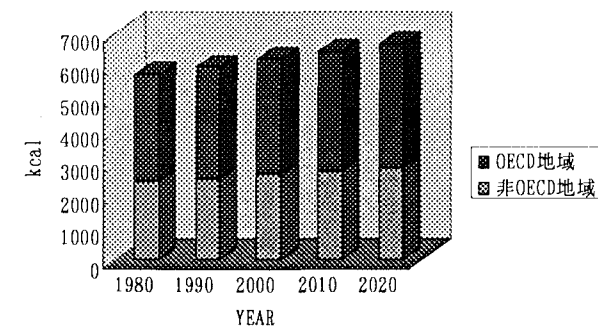


図5 一人当たりの食料消費量の推移

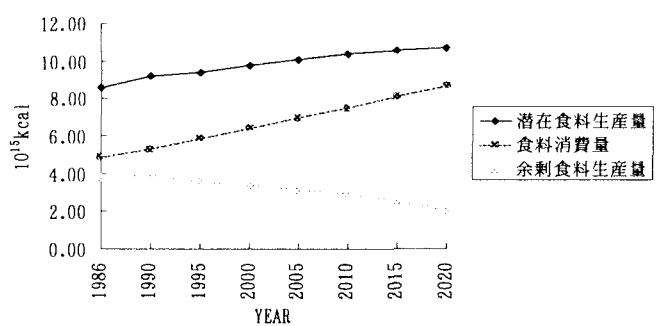


図6 潜在食料生産量・食料消費量・余剰食料消費量の推移

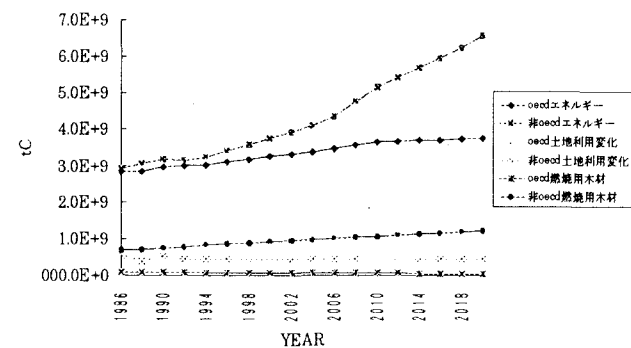


図7 BaUシナリオにおける各人間活動からのCO₂排出量

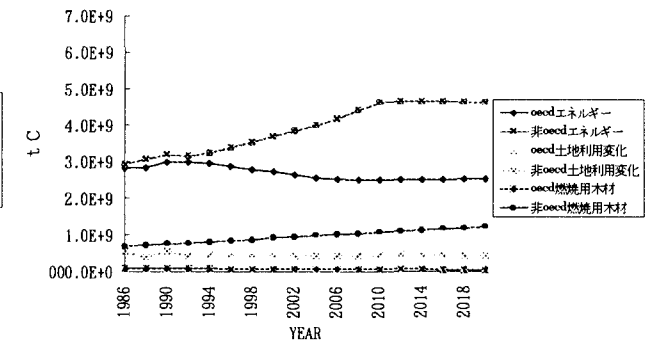


図8 トロント型協定シナリオにおける各人間活動からのCO₂排出量

6 結論と今後の課題及び展望

OECD地域と非OECD地域の2地域に対して、人間活動によって排出されるCO₂の将来予測と人口収容力を評価するモデルを作成し、1986年から2020年までのシミュレーションを行った結果、以下のことが明らかとなる。

- ・ライフスタイルの変化に伴う食生活の向上を国内総生産によって代表させ、これと相関のとれた食料消費量をシステムダイナミックス法に組み込み、エネルギー・食料消費・森林資源利用の新モデルを構築することができた。
- ・人間活動によって排出されるCO₂に関して本研究とIPCCの研究を比較した結果、本モデルで得られた結果はIPCCの結果の範囲内にあり、本モデルの妥当性を示した。

・シミュレーションの結果、2020年時点で80億人以上の人口を養うことが可能であることがわかる。また2020年時点で約 2.0×10^{15} kcalの食料の余裕があり、これは2020年の一人当たり食料消費量で計算すると、約16億人分の食料になる。つまり約96億人の人口を養うことが可能であると考えられる。

・炭素排出規制を行わない現状維持シナリオと、炭素税導入により炭素排出規制を行うトロント型協定シナリオの2種類のシナリオにおける2020年のCO₂排出量は、それぞれ現在の約1.7倍、約1.2倍になる。

・今回、生活水準の向上による食生活の変化を考慮に入れた新モデルの構築を行ったが、結果は、従来の結果と大きく差はない。しかし、近年の世界的な資本の増大により、生活水準は向上し、長年の食事形態が少しずつ変化していると考えられる。今回は変化が少なかったが、食料消費は経済環境に影響を受けると理解し、新モデルは妥当であると考えられる。

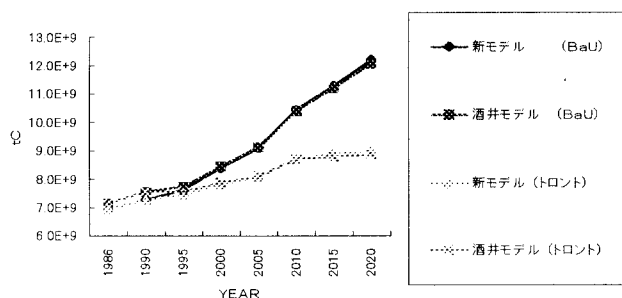


図9 人間活動によるCO2排出量の比較

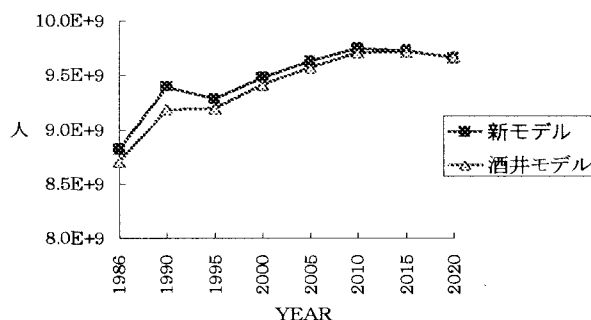


図10 食料需要による収容可能人口の比較

今回は、OECD諸国と非OECD諸国についてのモデルの作成を行なったが、世界各地には様々なライフスタイル・産業スタイル・資本形態を持つ国があり、その気候・地形・風土も多用である。そのため今後は、国毎に評価できるモデルを作成しなければならないだろう。また、国別のモデルを用いることで、CO₂増加の割合・食料消費量・生産量・人口集容力などのバランスの取れた世界の土地利用変化を解析することが可能になる。

引用文献

- [1]Shintaro Goto, Toshikazu Sakai and Makoto Nakano, Analysis of Human Impact on Global Environmental Change through LUC from the View Point of Food Productivity and CO₂ Emission by Assimilating GIS and Socioeconimical Date to System Dynamics Model, International archiives of photogrammetric and remote sensing, Vol. XXXII, Part 7, Budapest, Hungary, pp. 415-420, 1998.
- [2]松村寛一郎, アジア環境経済モデルの構築, 京都大学大学院博士論文, 1995.
- [3]IMF, International Financial Statistics Yearbook 1997, 1997.
- [4]OECD, Labor Force Statistics, pp. 22-23, 1996.
- [5]WORLD BUNK, 「世界経済統計'95」<1973~1993>, 東洋書林, 1995.
- [6]OECD, National Account 1982-1994, pp. 551, 1996.
- [7]Agostat - PC, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1993.
- [8]財団法人 日本エネルギー経済研究所, 地域エネルギーの導入促進に係わる温室効果ガスの排出削減のための各種モデルに関する調査 -通商産業省 資源エネルギー庁国際資源課委託調査-, pp.91-143, 1992.