

地球温暖化対策の政策オプションに関する研究

九州大学工学部 学生員○松本 亨 学生員 田川 晋作
同 上 正 員 井村 秀文 正 員 楠田 哲也

1. はじめに

現在、大気中の温室効果ガスの増加が観測され、今後その傾向は一層加速されるものと予測されている。温室効果ガスの中で一番ウェイトが高いのはCO₂で、現在の温室効果の半分以上はこれに起因するとされている（今後はCH₄、N₂O等の寄与が増大すると予測されている）。現在のCO₂放出量は、化石燃料から5.5GtC、森林減少から0.4～2.6GtCと推定されており、将来予測される地球平均気温上昇を3℃程度以内に抑え、「安定化」させるには、化石燃料使用量を現在より50%もカットしなければならないとの議論もある。

地球温暖化対策を考えると、経済成長・エネルギー問題と切り離すことはできない。全世界の化石燃料の消費量を見ると、1955-75年の間、年率4.4%の上昇を示したが、1975-87年で見ると、年率2.7%に減少している。経済の発展段階別にみると、OECD諸国の増加率が1975-87年の期間において、年平均0.8%なのに対し、発展途上国は6.4%で、1975年の約2倍の消費量となっている。このように、地球温暖化問題の解決と南北問題が複雑に絡んでいる。

1989年オランダのノルドベイクで行われた大気汚染及び気候変動に関する会議で、CO₂排出安定化の国際的合意に達したが、その数量的レベルと時期、各国が実施すべき具体的対策は今後の課題となっている。21世紀に本格化すると予測される温暖化は、今後の人類社会の経済的、技術的成長の構造及び経路に強く依存しており、政策の選択によってその帰結は大きく異なってくる。

本研究は、以上のような認識に基づき、地球を一つのシステムとして捉え、システム・ダイナミクスによって、政策導入の及ぼす効果をマクロ的に分析し、温暖化対策の望ましい政策オプションを探ることを目的とするものである。

2. モデル作成に用いたアプローチ

図1にモデルの分析フレームを示す。本モデルでは、環境、資源制約条件から、地球上で生産、消費できるエネルギー量を政策的に決定するものと考え、これを外生的に与えるアプローチをとった。分析の零次近似として、複雑なシステムを単純化し、以下の四要素について、それに対応するシステム変数を定めて、変数間の依存関係を記述した。

①将来のエネルギー生産…各々logistic型成長曲線として次式で外生的に与える。

$$\text{化石燃料: } E_f(t) = \frac{E_{f\infty}}{1 + \left(\frac{E_{f\infty} - E_{f0}}{E_{f0}} \right) \exp(-r_f(t - t_0))} \quad (1)$$

$$\text{原子力} : E_a(t) = \frac{E_{a\infty}}{1 + \left(\frac{E_{a\infty} - E_{a0}}{E_{a0}} \right) \exp\{-r_a(t - t_0)\}} \quad (2)$$

$$\text{自然エネルギー: } E_n(t) = \frac{E_{n\infty}}{1 + \left(\frac{E_{n\infty} - E_{n0}}{E_{n\infty}} \right) \exp\{-r_n(t - t_0)\}} \quad (3)$$

$$\text{全エネルギー生産: } E_{\text{t}}(t) = E_{\text{r}}(t) + E_{\text{m}}(t) + E_{\text{p}}(t) \quad (4)$$

②人口、勞働力
人口成長率：
$$\frac{\dot{N}}{N} = \frac{r_0}{\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^a} \cdot \left(\frac{F}{fN} - 1\right)^b \quad (5)$$

$$\text{平均寿命: } h(y) = \frac{h_{\infty}}{1 + \left(\frac{h_{\infty} - h_0}{h_0} \right) \exp\{-\xi(y - y_0)\}} \quad (6)$$

勞働力（生産可能人口）： $L = \frac{h_w}{h(y)} N$ (7)

③ 經濟成長

GNPに関し、生産要素として労働力とエネルギーの2つを考え、技術進歩を考慮したCobb-Douglas型の生産関数を仮定する。

$$Y = Y_0 \left(\frac{L}{L_0} \right)^{\alpha} \left(\frac{E_t}{E_{t0}} \right)^{\beta} e^{r t} \quad (8)$$

ただし、 $\alpha + \beta = 1$

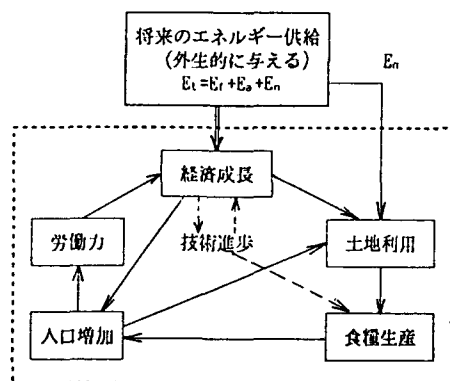


図1 本モデルの構造

④ 土地利用と食糧

(a) 土地利用…世界全体の利用可能面積を、生活用、産業用、食糧生産用（耕地）、及び自然エネルギー（バイオマス等）生産用に区分する。

$$\text{利用可能面積} : \frac{\dot{S}_t}{S_t} = \sigma \frac{N}{N} \left(1 - \frac{S_t}{S_{t\infty}} \right) \quad (9)$$

$$\text{生活用地面積} : S_c = \sigma_c(y) \cdot N \quad (10)$$

$$\sigma_c(y) = \frac{\sigma_{c\infty}}{1 + \left(\frac{\sigma_{c\infty} - \sigma_{c0}}{\sigma_{c0}} \right) \exp(-\eta_c(y - y_0))}$$

$$\text{産業用地面積} : S_i = \sigma_i(y) \cdot Y \quad (11)$$

$$\sigma_i(y) = \frac{\sigma_{i\infty}}{1 + \left(\frac{\sigma_{i\infty} - \sigma_{i0}}{\sigma_{i0}} \right) \exp(-\eta_i(y - y_0))}$$

$$\text{自然エネルギー生産用地面積} : S_n = \sigma_n \cdot E_n \quad (12)$$

$$\text{食糧生産用地面積} : S_a = S_t - (S_c + S_i + S_n) \quad (13)$$

$$(b) \text{食糧生産量} : F = \phi_x \cdot S_a \cdot \exp(\xi_x t) \quad (14)$$

ただし

f : 1人当り必要食糧摂取量

y : 1人当りのGNP

h_0 : 生産可能年齢(60-20=40才とした)

γ : 生産の技術進歩率

ξ_i : 食糧生産の技術進歩率

σ_c : 1人当り必要面積

σ_i : 単位GNP当り必要面積

σ_n : 単位自然エネルギー生産当り必要面積

ϕ_i : 単位面積当り食糧生産

$r_1, r_2, r_3, r_4, a, b, \zeta, \alpha, \beta, \sigma, \eta_c, \eta_i$: 定数

添字 ∞ : 限界値、添字 0 : 初期値

3. 試算例

本モデルによる試算例を図2～4に示す。1985年より2100年までの予測であり、1985年を1として指数化して表している。（エネルギー生産量については、1985年の $E_t=1$ として、比率化している。）

図2は、1985年までのシステム内の関係に今後も大きな変化が無いと仮定した標準型モデルである。

図3は、化石燃料を2050年までに20%削減のラインで安定化させ、それを自然エネルギーで補うと仮定した試算である。（他のパラメータの値は、図2に等しい。）

図4は、図3の仮定において、式(12)における σ_n を大きく見積った試算で、多少誇張されているが、これまでのエネルギー消費の増加を自然エネルギーで補おうとした場合に、食糧生産を圧迫することをよく表している図である。

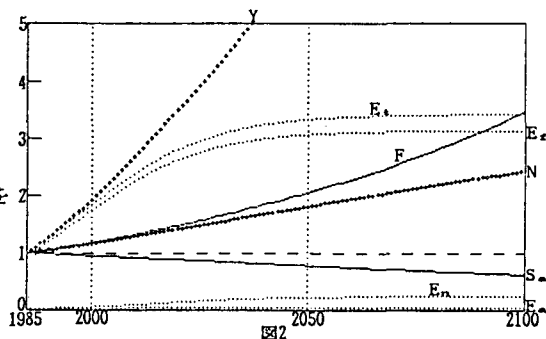


図2

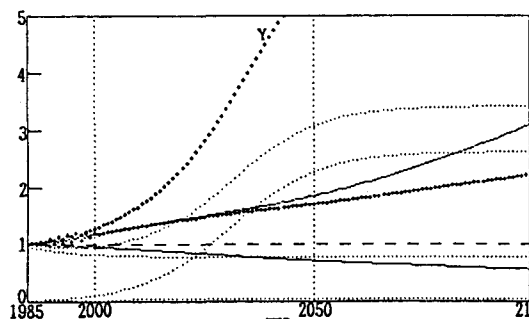


図3

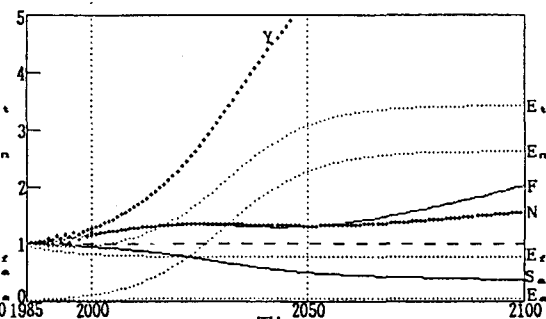


図4

4. 考察

現在のところ、データ不足のため仮の数値を入れている部分もあり、まだ値としては不確定な要素も多く残されているが、システム構成要素間の相互依存関係、パラメータ値による予測の感度特性は把握できた。

今後、正確なデータの入手を図り、システムの構成方程式を更に精密化し、分析フレームの拡大も含めて、モデル全体を改良していきたい。また、世界を南北あるいは地域に分割して、その相互依存関係も取り入れたい。