

World3 モデルを用いた運輸部門における二酸化炭素排出抑制策の評価^{*}
An analysis of reducing CO₂ emissions from transport sector using World3 model

山中 勇紀^{**}・榛澤 芳雄^{***}・福田 敦^{****}

by Yuki YAMANAKA^{**}, Yoshio HANZAWA^{***}, Atsushi FUKUDA^{****}

1. はじめに

近年、二酸化炭素など温室効果ガスによる地球温暖化は、地球規模の環境問題として世界的な関心を集めている。大気中の二酸化炭素濃度は、産業革命以前の約 280ppm から最近では約 350ppm にまで増大している¹⁾。この二酸化炭素は、産業活動に必要なエネルギーとして石炭、石油など化石燃料を使用した結果、排出されたものであり、この半分近くが大気に残留し、植生や農業生産など様々な影響を及ぼすと考えられている。

特に、交通活動から排出される二酸化炭素量は大きく、日本の場合、運輸部門からの排出量は総排出量の約 2 割を占める。これに対して世界各国では、二酸化炭素の排出を削減するために様々な取り組みを行っているが、地球全体でのその効果については十分解明されていない。そのため、運輸部門の移動体における機器単体の省エネルギーおよびモーダルシフトなどを考慮したシステムの省エネルギーが、どの程度有効なのかを総合的に検討することは重要な課題となっている。

本研究では、システム・ダイナミクスを用いて作成された Word3 モデルに、交通環境セクターを明示的に取り入れたモデルを作成し、これを用いて二酸化炭素排出量削減のための様々な交通政策の導入効果を推計し評価する。

2. World3 モデルの概要²⁾

World3 モデルは、Dennis L. Meadows らによって、1972 年に考案された World モデル³⁾ を 1992 年に改

良したモデルである。

このモデルでは、世界を 1 地域、1 つの工業生産物、1 種の再生不可能資源および 1 種の環境汚染物質から成り立っていると考え、人口増加、食糧危機、環境汚染、資源枯渇など人類の重要課題がモデル内で統一的に取り扱われている。

Meadows らは、このモデルを用いて、汚染防止技術、土地収穫率の向上、土地の侵食予防、資源を効率的に利用する技術、それらの技術が実施されるまでの遅れの短縮、人口の安定化、工業生産の安定化などの技術や政策を組み合わせ、全部で 13 のシナリオについて、それぞれ「人口」「汚染」「自然資源」などの変動を比較している。

二酸化炭素の影響については、モデルが開発された時点で十分にその仕組みが解明されていなかったことから、汚染の一部として含まれているが明示的には取り扱われていない。

3. 交通環境セクターの概要

World3 モデルに、既存の研究⁴⁾を参考として、交通活動およびそこから排出される二酸化炭素と人口、工業生産、農業生産などとの関係を整理して交通環境セクターを作成し、導入する。交通環境セクターを導入した World3 モデルを図 1 に示す。

二酸化炭素の排出量は排出源でのエネルギー消費量に基づいて推計する。運輸部門からの二酸化炭素の排出源を大きく旅客、貨物に分ける。旅客に関しては自動車・鉄道、貨物に関しては自動車・鉄道・船舶を想定し、それらの間の機関分担を説明することで、モーダルシフトの評価を行う。排出量の直接的な削減などの省エネルギー技術については、エネルギー消費原単位を変化させることによって評価する。なおこのセクターでは、工業生産、農業生産を単独の二酸化炭素排出源として扱い、その他の人為

* keywords: 交通公害, 地球環境問題, システム・ダイナミクス

** 学生員 日本大学大学院理工学研究科交通土木工学専攻

*** 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

**** 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1

Tel/Fax : 047-469-5219

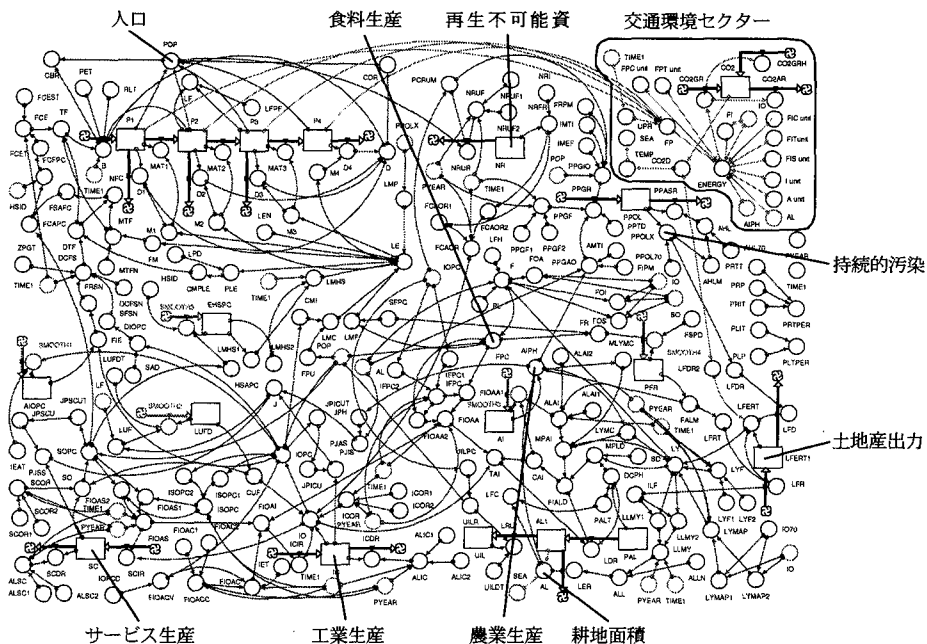


図-1 STELLAによって作成したWorld3モデル

的な排出源に関しては1つの排出源としてまとめて表わす。そのパイプダイアグラムを図-2に示す。

図-3の因果ダイアグラムに示す通り、このモデルの中の基本的因果関係は、①エネルギー消費に伴う二酸化炭素の増加が、肥料効果によって土地産出力を上昇させることにより、農業生産を増加させる構造と、②二酸化炭素の増加が、温室効果によって平均気温を上昇させ、それによる海面水位の上昇、さらには耕地面積を減少させることにより農業生産を減少させる構造の2つである。最終的には、農業生産の増加が人口を増加させることにより、全体としてフィードバックする構造となる。交通環境セクターの構造は図-3に示す。

交通環境セクターで扱う変数は以下の通りである。

(1) 旅客輸送量

これは、4つの年齢階層からなる人口、それぞれの平均通勤・通学距離、通勤・通学者の割合、平均通勤・通学日数・都市人口比率から算出する。

(2) 貨物輸送量

これは、工業生産の産出額から原単位により算出する。

(3) エネルギー消費量

これは、旅客の自動車・鉄道、貨物の自動車・鉄道・船舶の輸送量、工業生産、農業生産の産出額からそれぞれ原単位により算出する。

(4) CO₂量

これは、旅客、貨物、工業生産、農業生産によるエネルギー消費による排出量と、これら以外の人為的な排出の割合を一定と考えたその他の排出量を、二酸化炭素排出量とする。また、人為的な排出に対する海洋などの吸収量を、二酸化炭素吸収量とする。これらの排出量と吸収量を合わせて二酸化炭素量とする。

(5) CO₂濃度

これは、1900年度における二酸化炭素濃度を300ppmとし、大気中の空気量と二酸化炭素量から算出する。

(6) 気温上昇

これは、二酸化炭素濃度の上昇量と気温の上昇量との関数により算出する。

(7) 海面上昇

これは、気温差と海面水位上昇量との関数により算出する。

(8) 耕地面積

これは、海面水位の上昇による耕地面積の減少を原単位により算出する。

(9) 土地産出力

これは、二酸化炭素濃度の上昇量と土地産出力の上昇量との関数により算出する。

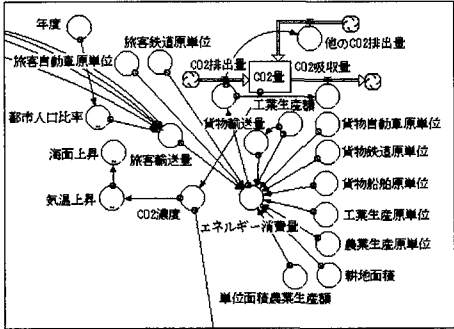


図-2 パイプダイアグラム

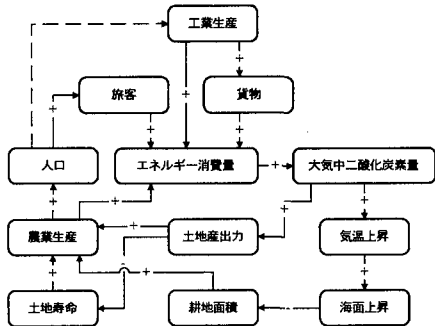


図-3 因果ダイアグラム

4 交通政策の代替案の想定

旅客・貨物輸送全体での輸送機関別の二酸化炭素排出割合は、自動車 87.5%、鉄道 3.3%、海運 6.3%、航空 3.2%であり（1990 年度）、自動車が圧倒的に大きなシェアを占めている。そのため、自動車に対する政策が有効である。

交通政策の代替案として、省エネルギー技術の導入、モーダルシフトの推進、交通総量の削減の3種類を想定する。それぞれの交通政策は達成目標年度を2020年度とし2000年度から実施されるものとする。

(1) 省エネルギー技術の導入

自動車部門における省エネルギー対策としては、自動車本体の燃費改善、省エネルギー運転の実施、走行環境の改善、輸送効率の向上が考えられる。しかし、エンジンの省エネルギー化は技術的に問題が

あり、快適性を望む消費者の嗜好による選択の影響も大きい。また、車体重量の軽減は強度などの安全性の問題がある。

省エネルギー技術の導入の結果として、旅客、貨物ともに自動車の輸送量あたりのエネルギー消費量を削減する場合を想定する。

(2) モーダルシフトの推進

自動車など輸送効率の悪い輸送機関から鉄道など輸送効率の良い輸送機関へシフトするモーダルシフトの推進策としては、輸送効率の良い輸送機関の更なる輸送能力の増強、利便性の向上、高速化が考えられる。モーダルシフトの進展は、それ自体の二酸化炭素排出の削減効果のほかに、道路の混雑緩和等を通して自動車部門のエネルギー消費効率の改善をもたらす。

モーダルシフトの推進の結果として、旅客、貨物のそれぞれについて、自動車から鉄道へシフトする場合を想定する。

(3) 交通総量の削減

交通総量の削減策としては、国土形成や都市構造を人の生活圏に合わせ小さく再編、構築することで旅客、貨物の移動距離を物理的に削減することが考えられる。また、都市部においては交通需要そのものを削減するTDM（交通需要管理）も有効であると考えられる。都市部の自動車抑制策は、保有の抑制と利用の抑制がある。

交通総量の削減策の結果として、旅客、貨物のそれぞれについて、総輸送量を削減する場合を想定する。

5. 交通政策の評価

想定した交通政策の代替案について、2100 年度における二酸化炭素濃度を推計し、評価する。また、2100 年度における二酸化炭素濃度の目標値を想定した場合に必要な政策を推計する。

(1) 各代替案の評価

図-4 に示す通り、政策を実施しない場合の2100 年度における二酸化炭素濃度は 653ppm、平均気温の上昇量は 4.56℃、海面水位の上昇量は 140cm である。

各代替案の改善率、転換率を 10%、30%、50% とし、2100 年度における二酸化炭素削減率を推計

する。

省エネルギー技術を導入した場合、他の代替案と比較して最も大きな効果が期待できる。モーダルシフトを推進した場合、旅客においては比較的效果が期待できるが、貨物においては2020年以降、総貨物輸送量が減少するため効果が期待できない。交通総量の削減を実施した場合も同様の理由から、貨物における効果はあまり期待できない。各代替案の効果の推計結果を図-5に示す。

(2) 二酸化炭素濃度の目標値

2100年度における二酸化炭素濃度の目標値を想定する。二酸化炭素による気候への影響が長期的変動幅をこえないということを考える。多くの研究によれば、その変動幅とは気温にして $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 程度である。

本研究では、 4.3°C の気温上昇、600ppmの二酸化炭素濃度の上昇を目標値とする。目標を達成するために必要な政策は、想定しているどの代替案においても非常に大きな改善、転換が必要である。目標達成に必要な各代替案の改善率、転換率を図-6に示す。

(3) 複数の代替案の導入

改善率、転換率を低く抑えるためには、複数の政策を同時に導入する必要がある。ここでは省エネルギー技術の導入、交通総量の削減をともに実施する。30%の省エネルギー技術の導入、30%の交通総量の削減を行った場合、2100年度における二酸化炭素濃度は573ppm、気温の上昇量は 3.91°C 、海水面の上昇量は110cmである。複数の政策を同時に実施することにより、改善率、転換率を低く抑えることができ、ほとんどの場合で目標を達成することができる。導入効果の推計結果を表-1に示す。

6. おわりに

本研究ではSDを用いたWorld3モデルを改良し、交通政策による運輸部門からの二酸化炭素排出の削減量を推計し、その導入効果を評価した。本研究で想定した代替案では、省エネルギー技術の導入、旅客における公共交通機関の活用が有効である。単独の政策の導入では非常に高い改善率、転換率が必要であり、高い削減効果を得るためには複数の政策の効率的な導入が必要である。

今後の課題として、政策を実施した場合の工業など他の産業への直接的影響、温室効果、肥料効果以外の二酸化炭素による影響をモデルに取り入れる必要がある。しかし、これらは経験的にも理論的にも未解明の部分が多く、検討を要する。

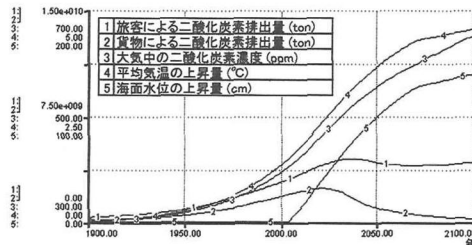


図-4 政策を実施しない場合の出力結果

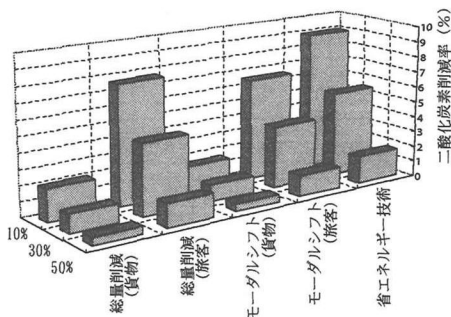


図-5 各代替案の効果の推計結果

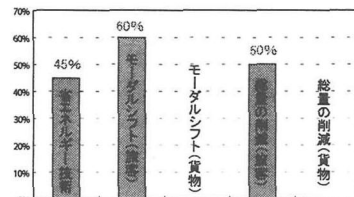


図-6 目標達成に必要な代替案

表-1 複数の代替案の効果の推計結果

		省エネルギー技術の導入		
		10%	20%	30%
交通総量の削減	10%	605ppm	595ppm	585ppm
	20%	597ppm	588ppm	579ppm
	30%	590ppm	581ppm	573ppm

参考文献

- 1) 生田豊明他：温室効果ガスと地球温暖化－影響と対策、展望、アグネ承風社、1989
- 2) デニス・L・メドウズ他：限界を超えて、ダイヤモンド社、1992
- 3) デニス・L・メドウズ他：成長の限界、ダイヤモンド社、1972
- 4) 運輸経済研究センター：運輸部門における環境負荷低減のための経済的負担措置のあり方に関する調査報告書、1996
- 5) Denis L. Meadows et al., The Dynamics of Growth in a Finite World, Wright-Allen Press, 1992.