

海上物流シミュレーションモデルを用いた 政策決定のための知識発見

Knowledge Finding for Policy Making Using Maritime Logistics Simulation Model

稗方 和夫¹ 熊谷 大樹² 野々村 一步¹

Kazuo Hiekata¹, Hiroki Kumagai², and Kazuho Nonomura²

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

² 東京大学工学部

² Faculty of Engineering, The University of Tokyo

Abstract: Maritime logistics is complex, and it is difficult for humans to consider a wide range of possible outcomes. In this study, we perform simulations using policies in maritime logistics as input and find patterns in the results that lead to desirable outcomes. These patterns of choices can be formalized as decision rules to obtain better results. We show in a case study that these patterns can support the selection of policies to achieve decarbonization under uncertainty in oil prices, exchange rates, vessel prices, and freight rates.

序論

国際海運は大量の二酸化炭素を排出している産業のひとつである。こうした状況を改善するために国際海事機関（IMO）は2013年にEEDIという燃費規制を施行し、2023年からはEEXIという新たな燃費規制も実施する。さらに、IMOでは炭素税や補助金の導入についても現在議論が行われている。

著者ら^[1]はこれまでにマルチエージェントシミュレータを開発し、IMOによる規制が海事輸送に携わる企業の二酸化炭素排出量にどのような影響を与えるのかを推定した。この先行研究により規制案を定量的に比較できるようになったが、シミュレータに入力するどのパラメータが二酸化炭素排出量の減少にどの程度寄与したかは明らかではない。

そこで、本研究ではシミュレーション結果を分析することで、二酸化炭素排出量減少に寄与するパラメータを発見する手法を提案する。

提案手法

先行研究で開発されたシミュレータは、船会社に課す規制を入力とし、2023年から2050年における国際海運の二酸化炭素排出量などを出力とするものである。シミュレータ内の船会社はエージェントであり、実際の船会社の意思決定を模擬する。

本研究では、シミュレータの入力パラメータの中の補助金率と炭素税率に着目し、これら2つのパラメータが将来の国際海運の二酸化炭素排出量にどのように影響を与えるのかを調べる。補助金は船会社の環境負荷の少ない船舶や燃料が対象となる還付金であり、炭素税は船会社が排出した二酸化炭素に課される罰金である。シミュレータ内では、補助金と炭素税は2026年に初めて導入され、それ以降は5年ごとに補助金率と炭素税率が更新される。本研究で分析対象としたのは表1の12通りの補助金率と表2の5通りの炭素税率を組み合わせた計60通りである。

シミュレーション結果の中で、対象とした60通りの結果について二酸化炭素排出量を横軸とする度数分布グラフを作成すると図1のようになる。本研究では図1のように二酸化炭素排出量が多い群と少ない群で結果を二分し、決定木を用いることで、両群を分離する性能の高いパラメータ設定とその閾値を発見する。

表 1 補助金率

ID	~2025	~2030	~2035	~2040	~2045	~2050
S1	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	10	20	30	40
S3	0	0	20	40	60	80
S4	0	100	120	140	160	180
S5	0	100	100	100	100	100
S6	0	100	90	80	70	60
S7	0	100	80	60	40	20
S8	0	50	70	90	110	130
S9	0	50	60	70	80	90
S10	0	50	50	50	50	50
S11	0	50	40	30	20	10
S12	0	50	30	10	0	0

[%]

表 2 炭素税率

ID	~2025	~2030	~2035	~2040	~2045	~2050
T1	0	0	0	0	0	0
T2	0	100	0	0	0	0
T3	0	100	150	200	250	300
T4	0	100	200	300	400	500
T5	0	100	250	400	550	700

[\$/ton]

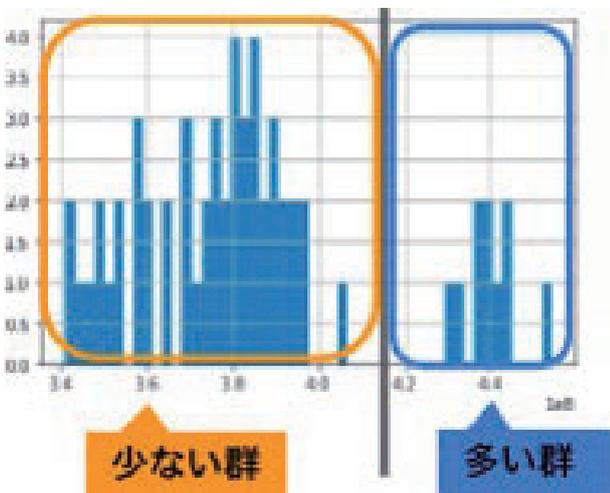


図 1 二酸化炭素排出量の分布

結果

同様のシミュレーション条件で 60 種類のシナリオの結果を得た。これらの結果を対象に、規制案のどのパラメータが二酸化炭素排出量に影響を与えたかを評価するために決定木による分離を行った結果が以下の図 2 である。各ノードの最も上にある評価

式が真の値の場合は右に振り分けられる。色に関しては、青色は二酸化炭素排出量が多いもの、橙色は少ないものであり、グラデーションは最も下の「value」のリストに記載されている値の内訳に応じて表示する。なお、「value」のリストの最初の値は二酸化炭素排出量が平均より少ないもの、最後の値は二酸化炭素排出量が平均より多いものを示す。

図 2 のノードの中の X[1]は 2026 年の補助金率、X[2]は 5 年間の補助金率の変動、X[3]は 2026 年の炭素税率、X[4]は 5 年間の炭素税率の変動を示す。図 2 から、二酸化炭素排出量を下げするためには 2026 年の炭素税率を 50\$/ton より大きくし、補助金率の 5 年ごとの変動を+15 ポイントより大きくすることが効果的であることが読み取れる。これらのシミュレータによる結果から得られた二酸化炭素排出量に影響を与える条件は定性的に説明可能である。

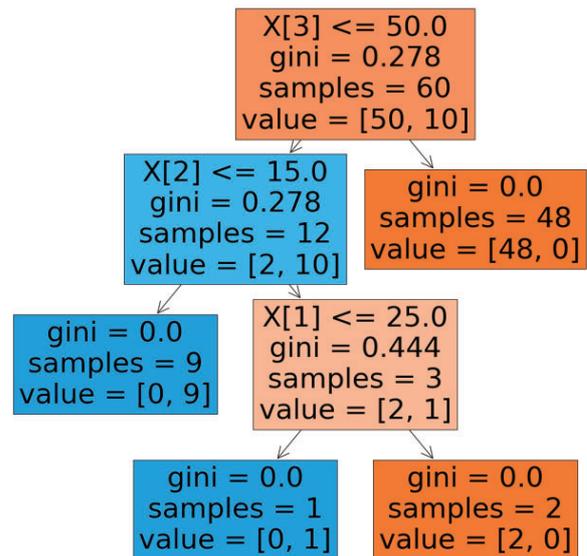


図 2 決定木の結果

結論

本研究で国際海運におけるマルチエージェントシミュレーションの結果を、決定木により分析し、二酸化炭素排出を抑制するのに効果的なパラメータを発見する手法を提案、評価した。今後はシミュレーションモデルの詳細化と結果の妥当性の評価を進め、政策検討に有益な知見を得ることを目指す。

参考文献

- [1] 稗方和夫, 野々村一歩, 吉田準基: 国際海運の脱炭素に向けた政策決定支援シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, Vol. 34, pp. 209-212, (2022)