

自動車製造業の立地を考慮したグローバルサプライチェーンにおけるCO₂排出量の推計

中道 久美子¹・花岡 伸也²・川原 優輝³

¹正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)
E-mail: nakamichi@ide.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)
E-mail: hanaoka@ide.titech.ac.jp

³非会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツGC事業本部交通計画部 (〒160-0004 東京都渋谷区本町3-12-1 住友不動産西新宿ビル6号館)
E-mail: kawahara-yu@oriconsul.com

CO₂排出量の推計において、海外生産分はその国の排出量として計算されることが一般的であったが、グローバルサプライチェーンを形成する業種の全体像を把握しておくことも重要である。近年では、間接排出量や、上流・下流を含む間接排出量を推計することが重要視されている。本研究では、生産量が多く、その部品数の多さから大きなサプライチェーンを形成する自動車製造業を対象に、1台あたりの生産・輸送におけるCO₂排出量を、サプライチェーンを考慮して算定する。さらに、今後の自動車市場の動向や企業の立地条件を考慮した将来シナリオを作成しその影響を把握する。その結果、市場に近い場所で生産することが環境的にも経済的にも有益であるが、その立地場所によってCO₂排出量が大きく異なることが明らかになった。

Key Words : indirect CO₂ emissions, global supply chain, emission responsibility, transportation and production process, automobile manufacturers

1. はじめに

経済のグローバル化に伴い、国境を越えたサプライチェーンが普及する中、近年、アジア各国で生じている賃金上昇や自然災害などの影響で、製造業のアジア域内の生産移転や新設の動きが活発化している。ASEANでは、2015年に経済統合を目的としたASEAN Economic Communityが成立することから、国家間の人流・物流の動きがこれまで以上に活発化することは間違いない。製造業の中でも、特に自動車製造業はサプライヤー数が多く、途上国では今後も需要が伸び続けるため、完成車メーカーが生産地に与える経済的影響は大きい。その多くの完成車メーカーを抱えるのがタイである。タイ国内での自動車生産台数は、アジアの中で中国、日本、韓国、インドに次ぐ5位であり、2011年輸出の割合が147万8千台である。こうした生産量の中、タイからの完成車輸出の割合は多い(図-1)。特に、生産台数の多い車両は、小型ピックアップトラックである。

2011年にタイ国内で発生した大規模な洪水の影響で被害を受けた企業も多く、日系企業も例外ではない。また、タイ国内の賃金も高騰し始めている。こうした状況において、日系企業は、将来の市場と投資コストを比較して、生産拠点の移転を検討し始めている。

ここで懸念されるのは、グローバルなサプライチェーンの構築によるCO₂排出量の増加である。

サプライチェーンを考慮した排出量の算定に関する研究は、食料品などの一次品目に関する研究が多い²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。食料と家具を対象に比較し、全体のCO₂排出量に対する国際間輸送の占める大きさに言及した研究もある⁶⁾。自動車の一部部品における排出量算定をしている研究⁷⁾もあるが、一国国内に閉じており、グローバルサプライチェーンや国際間輸送に関する研究は見られない。

企業自身も独自に自動車のライフサイクルアセスメントを実施しているが、海外生産分については公表されていないのが実情である。製造業全般に対して行われた調査⁸⁾によると、国際間輸送における排出量を把握してい

る企業は299社中11社で、サプライチェーン全体でのCO₂排出量の把握できている企業はわずか2社であった。日本国内では、エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）や地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）により、特定荷主に対するCO₂排出量は報告義務があるが、報告義務範囲が国内のみであり、国際間輸送や外国内の輸送における排出量は報告義務範囲外である。これに対し、世界資源研究所と持続可能な開発のための世界経済人会議を中心に設立された温室効果ガス（以下、GHG）プロトコルイニシアチブでは、GHG排出量の算定と報告の基準を策定している。ここでは、CO₂排出量をScope1（直接排出）、Scope2（間接排出）、Scope3（その他事業活動外での排出量）の3段階に分けて排出量の開示を要求している⁹。特にScope3における排出量は、調達物流や輸送などのサプライチェーンを含んだものであり、企業のCO₂排出量の報告範囲は、企業単体だけでなく、連結グループやサプライチェーンを含んだ排出量へと拡大させる方向にある。このような動きは、環境への意識の高まりから今後活発になると考えられ、企業単位だけでなく、サプライチェーンを考慮した、包括的な排出量の情報公開が求められる。LCA分野でも、特に途上国を含む、国境を越えたグローバルサプライチェーン全体の環境負荷の把握の重要性が指摘されている¹⁰。

そこで、本研究では自動車製造業に着目し、タイを中心とした周辺国を含むアジア地域を対象に、1)自動車製造業の組立工場及びサプライヤーの立地の現状と海外進出の動向を把握した上で、2)グローバルサプライチェーンを考慮した自動車生産・輸送における一台あたりのCO₂排出量を算定し、3)市場や企業の投資コストを考慮した、2030年のサプライヤー及び組立工場、需要地の変化のシナリオを作成し、それらの変化がもたらす排出量への影響を推定することを目的とする。

2. 使用データ

本研究で使用するデータは、大きく分けて二種類ある。一つ目はCO₂排出量算定に使用するデータ、二つ目はシナリオ作成に使用する将来の自動車市場に関するデータである。

(1) CO₂排出量推計のためのデータ

本研究では、先進国だけでなく途上国市場も狙った車両の中で主軸となっている小型ピックアップトラックを取り上げ、現状のサプライヤーおよび生産拠点の立地を考慮したグローバルサプライチェーンにおける自動車生産・輸送における一台あたりのCO₂排出量を算定する。ここでは、具体的に大手完成車メーカーを取り上げ、表

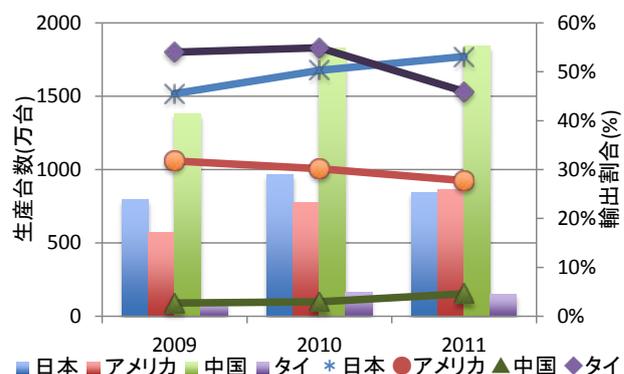


図-1 主要国の生産台数と輸出の割合

表-1 分析対象車両の概要

車種	ピックアップトラック 4WDMT 4ドアタイプ
重量[kg]	1,825
車両寸法[mm]	5,135 x 1,835 x 1,860
排気量[cc]	2,494
エンジン重量[kg]	207

表-2 分析対象部品数とサプライヤー数

	部品数	サプライヤー数
輸送	75+(エンジン, 車体)	88
生産	31	31

-1)に示す車種を対象に計算を行った。計算対象は、表-2に示す通り、輸送部門においては88のサプライヤーと77部品、生産部門においては31のサプライヤーと31部品に及ぶ。

排出量算定に必要なデータは、陸上輸送地点間の距離データ、部品重量、排出原単位、部品の生産における投入電気量である。陸上輸送地点間の距離データは、サプライヤーや分析対象完成車メーカー分析対象完成車メーカーの所在地情報を収集して地図上に独自にプロットし、道路ネットワークを考慮して算出した。国際間輸送における港間の輸送距離は、算定ツール等の情報を基に使用した。生産部門のCO₂排出量は、サプライヤーの生産と組立工場の排出量の双方を分けて算定した。JLCAデータベースの部品データにある部品重量及び電気使用量のデータと、分析対象完成車メーカーのデータから、各国の排出原単位の違いを考慮してCO₂排出量を算定した。

(2) シナリオ構築のためのデータ

シナリオ作成に使用するデータは、GDP、自動車保有台数、投資コストである。GDPはInternational Monetary Fundの予測値を使用し、自動車保有台数は世界銀行が発表しているデータを使用した。また、投資コストは日本貿易振興機構（ジェトロ）が公開している投資コスト比

較を参考にまとめた。

3. CO₂排出量の推計方法

CO₂排出量を算定する上で、自動車製造業の情報収集に基づき、以下の仮定のもと計算を行なった。

- 1) サプライヤーによる自動車部品の輸送車は10tトラックとし、積載率80%とした。
- 2) それぞれのサプライヤーからの輸送は、一台のトラックによって輸送されるとする。
- 3) CO₂排出量の按分方法は、自動車部品の重量を基準に按分される。
- 4) 海上輸送は車両輸送専用船とし、最大積載車両数を2000台とし、積載率は70%とした。
- 5) 港の決定は、分析対象完成車メーカーの物流部門の子会社の情報から引用した。その他の港は、規模の大きい都市から最も近い国際港の中から選定した。
- 6) ディーラーは、分析対象完成車メーカーのホームページを頼りに、市場として設定した都市の中心に位置する店舗を採用した。
- 7) シナリオ分析において、分析対象完成車メーカーが移転または工場を新設する場合、分析対象完成車メーカー子会社の2社も同様に移転・新設するものとする。うち1社は分析対象完成車メーカーにエンジンを生産し、1社は自動車の委託生産・フレーム部品の大半を生産していることから、同様の移動行動をとると考えられる。

(1) 輸送プロセスにおけるCO₂排出量の推計方法

本研究では、輸送と生産に分けてCO₂の排出量を算定する。陸上のトラック輸送は改良トンキロ法を、海上輸送は従来トンキロ法を使用し、国土交通政策研究所が作成した国際物流に伴うCO₂排出量簡易算定ツールを使用した。以下はその計算式である。

$$E_i = \frac{W_s \times d_{ij} \times C \times 1 / 1000 \times H \times F \times 44 / 12}{u} \quad (1)$$

$$E_c = \frac{W_c \times d_{kl} \times C \times 1 / 1000 \times H \times F \times 44 / 12}{q} \quad (2)$$

$$E_m = \frac{W \times d_{lm} \times F_t \times 1 / 1,000,000}{q} \quad (3)$$

E_i : 自動車一台あたりの陸上輸送における排出量 (t-CO₂)

E_c : 完成車一台あたりの陸上輸送における排出量 (t-CO₂) ;

E_m : 完成車一台あたりの海運による自動車輸送における排出量 (t-CO₂)

W_i : 部品ユニットの総重量 (t)

W_c : 完成車の総重量 (t) W : 全車両重量 (t)

c : 改良トンキロ法燃料使用原単位 (ℓ/tkm)

H : 単位発熱量 (GJ/kℓ)

F : 排出係数 (t-C/GJ) F_t : 排出係数 (t-CO₂/tkm)

u : ユニット数 q : 輸送自動車数

d_{ij} : 輸送距離 (km) i, j : サプライヤー番号(1~88)

d_{kl} : 輸出入港間距離 (km)

d_{lm} : 輸入港販売店間距離 (km)

kl : 港番号

m : 販売店番号

(2) 生産プロセスにおけるCO₂排出量の推計方法

生産における排出量は、サプライヤーの生産と組立工場の排出量とで二つに分けた。JLCAデータベースの部品データにある電気使用量を使用し、組立工場における排出量は、分析対象完成車メーカーのデータを基に各国の排出原単位を使用してCO₂排出量を算定している。以下がその計算式である。

$$E_p = \sum_n g_n \times f / 1,000,000 \quad (4)$$

$$E_a = g f / 1,000,000 \quad (5)$$

E_p : 自動車一台あたりの部品生産における排出量 (t-CO₂)

E_a : 自動車一台あたりの組立における排出量 (t-CO₂)

g_n : 使用電力量 (kWh)

g : 使用電力量 (kWh)

f : 排出係数 (g-CO₂/kWh)

n : 部品番号(1~31)

これらの式から算出された排出量を合計したものが自動車一台あたりにおけるCO₂排出量である。

4. 自動車製造業の現状と海外進出動向の分析

(1) 現状のサプライチェーンの立地状況

現在の分析対象完成車メーカー組立工場とそのサプライヤーの位置をその位置によってグループに分けて表示すると、図-2のように点在していることが明らかとなった。また、多くのサプライヤーが湾岸エリアの工業団地に集積しており、特にサプライヤーグループ8,9に固まっている。また、図-2に水色で示す2011年の洪水で被害にあった地域にも、サプライヤーグループ1,2のように企業が数社点在していることがわかる。さらに、アジア国間貨物輸送および内陸貨物輸送における輸送機関は、海上輸送と陸上輸送が利用されていることがわかった。

(2) 自動車製造業の海外進出動向

シナリオ作成する上で、分析対象完成車メーカーの海

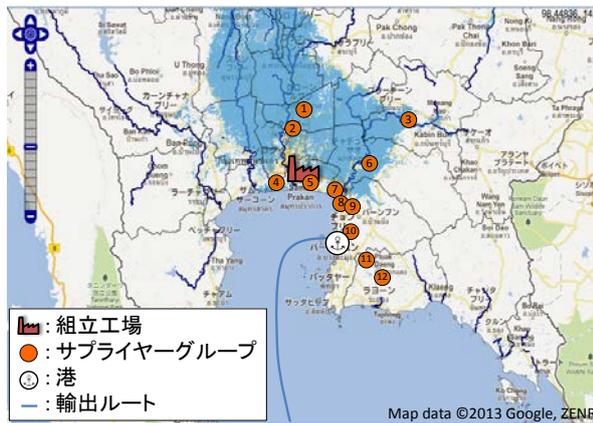


図-2 現状の分析対象完成車メーカー組立工場とサプライヤーグループの分布状況

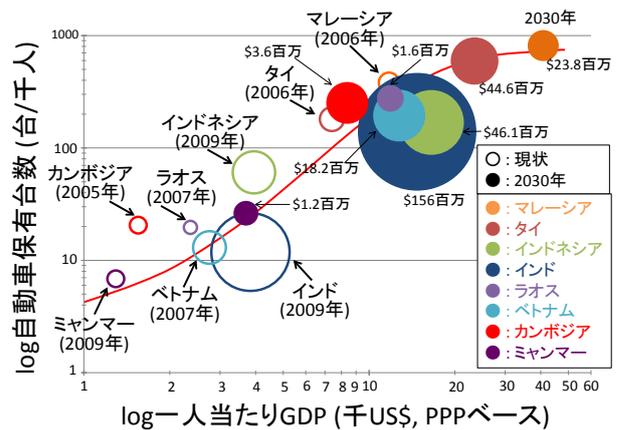


図-3 一人当たりGDPと自動車保有台数の関係

外進出における傾向を把握する必要がある。本研究では、文献資料をもとに分析対象完成車メーカーにおける過去の海外進出の変遷を調査した。また、分析対象完成車メーカーのみならず、他社の自動車メーカーの海外進出における変遷もまとめた。この結果から、自動車メーカーにおける海外進出の傾向は、市場に近い場所で生産し、規模の経済を利用しているが、現地政府の政策に左右されるということがわかった。

また、日本貿易振興機構が行なったアンケート調査¹¹⁾から、企業が海外進出する上で、重要視する要素は、投資コスト（主に人件費）、関税、調達コストであった。

さらに、2011年にタイで発生した洪水の影響により、生産拠点を移転させる動きが活発化してきている。この生産拠点の移転問題は、洪水の影響から逃れるためだけでなく、人件費の高騰が大きな影響を及ぼしている。以上のことを踏まえ、シナリオを作成する基本方針とした。

a) 洪水被害の影響

2011年に起きたタイの洪水による被害は、世界銀行の見積によると1.4兆ドルにまで及ぶと試算されている。

こうした洪水の影響は、日系企業も例外ではない。この洪水によって冠水した工業団地は7カ所（一部冠水の工業団地一カ所）に及び、約800社うち日系企業は約450社が影響を受けている。この被災した企業の中には、分析対象完成車メーカーのサプライヤーも含まれており、実際、分析対象完成車メーカーの自動車生産にも大きな影響を与えた。この被災した分析対象完成車メーカーのサプライヤーの中には、保険の問題や部品調達先の分散によるリスク回避のために、すでに工場移転を決定した企業もある。

b) 自動車市場の予測

本研究では、2030年の自動車市場を予測し、その結果を基に、シナリオを作成した。2030年に設定した理由として、自動車製造業は15～20年先の市場を想定して車両

表-3 現在の自動車保有台数と2030年の予測値

	現在の自動車保有台数 (台/千人)	2030年の自動車保有台数予測 (台/千人)	2030年の自動車台数 (百万台)
カンボジア	21 (2005)	206	3.58
インドネシア	59.6 (2008)	166	46.10
ラオス	20 (2007)	210	1.63
マレーシア	361 (2010)	677	23.80
ミャンマー	7.1 (2010)	23	1.23
タイ	156.9 (2010)	592	44.60
ベトナム	13 (2007)	180	18.27
インド	18.3 (2009)	110	156.00

の開発をすること、参考にしたJoyce et al. (2007)の研究¹²⁾で2030年を予想していること、現在の予想されているGDPが2017年までしかないため、2030年以上先までを単純に予測すると、大きな誤差が発生してしまう危険性があることから、2030年の市場とした。

2030年における自動車市場を探るため、本研究では、自動車保有台数に着目した。Joyceらの研究¹²⁾によると、自動車保有台数と一人当たりGDP (PPPベース)の関係は、図-3のようなS字曲線に沿って増加することが示されている。

この関係曲線に沿って、将来における自動車市場の規模と場所を求めた (表-3)。インドネシア、マレーシア、タイ、インドは、Joyceらの研究¹²⁾から予測されており、数値はそのものを使用した。その他の国の予測値は、表-3で求めた一人当たりGDPの値からJoyceの曲線を交わる点を求め、予測値とした。

c) 投資コストの比較

本研究では、投資コストの比較として、タイ、マレーシア、インドネシア、ベトナム、カンボジア、ミャンマーの人件費や土地の賃料、光熱費などまとめた (表-4)。比較するにあたり、分析対象完成車メーカーの工場に就労している人数と工場面積からそれぞれの国での投資コストに比較した。

表-4 各国の投資コストの比較

	タイ	マレーシア	インドネシア	ベトナム	カンボジア	ミャンマー
人件費 (US\$/月/人)	\$286	\$344	\$209	\$130	\$82	\$68
人件費 (US\$/年)	\$15,444,000	\$18,576,000	\$11,286,000	\$7,020,000	\$4,428,000	\$3,672,000
土地代 (US\$/年)	\$1,731,053	\$1,491,033	\$3,168,555	\$1,309,200	\$956,589	\$1,335,384
電気代 (US\$/年)	\$10,581	\$9,006	\$5,978	\$4,633	\$16,291	\$8,968
水道代 (US\$/年)	\$191,861	\$331,038	\$657,097	\$187,031	\$172,169	\$422,019
Total cost (US\$/年)	\$17,377,495	\$20,407,077	\$15,117,630	\$8,520,864	\$5,573,049	\$5,438,370

表-5 輸送コスト比較

	区間	輸送費 (\$)
陸上輸送	ASEAN, インド	\$1/km (10tトラック)
海上輸送	レムチャバン港-ジャカルタ港	\$562
	レムチャバン港-サイゴン港	\$350
	レムチャバン港-チェンナイ港	\$1323
	ダウエイ港-チェンナイ港	\$590

その結果、人件費が特に安いカンボジアとミャンマーが最も投資コストが低いことがわかった。このことから、シナリオを作成するにあたり、カンボジア、ミャンマーをシナリオの対象とした。

また、ASEAN物流ネットワーク・マップを使用し、輸送コストを算出した結果、表-5のようになった。

5. シナリオの設定内容

4での分析結果を基に、2030年を想定して、表-6のシナリオを構築した。シナリオにおいて、「移転」の場合、その場所から別の場所へ工場が移ること、「拠点」の場合、新規にその場所に生産拠点を新設することとした。以下に各シナリオの詳細を示し、図-4～図-7に各シナリオの概要を示す。

(1) タイ東部移転シナリオ

タイ東部移転シナリオは、タイの洪水に対する防災を考慮したシナリオである。このシナリオでは、被災地域や再び被災の恐れのある地域に所在しているサプライヤーと分析対象完成車メーカー工場を、バンコクから東部の工業団地に移転するものである。

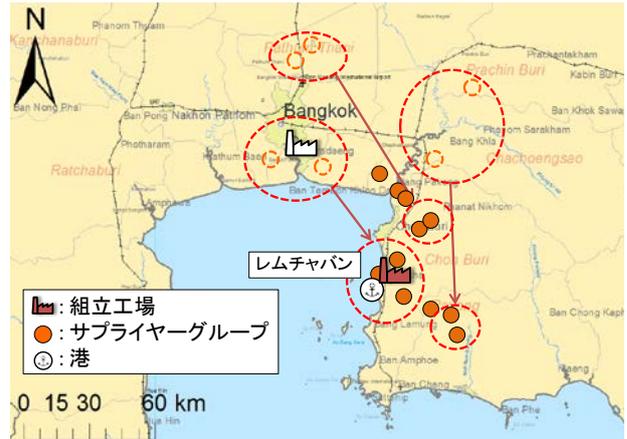


図-4 タイ東部移転シナリオの概要



図-5 カンボジア拠点シナリオの概要

(2) カンボジア拠点シナリオ

カンボジア拠点シナリオは、ベトナムとカンボジアの市場を狙ったものである。カンボジアに分析対象完成車メーカーの組立工場、分析対象完成車メーカー子会社のエンジン製造企業がカンボジアのプノンペンにある工業団地Phnom Penh SEZに工場を新設した場合のシナリオである。

(3) ミャンマー一部移転シナリオ

ミャンマー一部移転シナリオは、タイの洪水に影響を

表-6 構築したシナリオの概要

	シナリオ名	シナリオの種類	組立工場	サプライヤー工場	市場	2030年の市場規模(百万台)	脆弱性
(1)	東部移転シナリオ	災害対策	タイ	タイ	ASEAN	141	一極集中, 災害発生に弱い
(2)	カンボジア拠点シナリオ	市場考慮	カンボジア	タイ	ベトナム, カンボジア	22	交通インフラ, 関税
(3)	ミャンマー一部移転シナリオ	災害対策, コスト削減	タイ	ミャンマー	ASEAN	141	交通インフラ, 輸送コスト
(4)	ミャンマー拠点シナリオ	市場考慮	ミャンマー	タイ	インド	156	交通インフラ, 関税

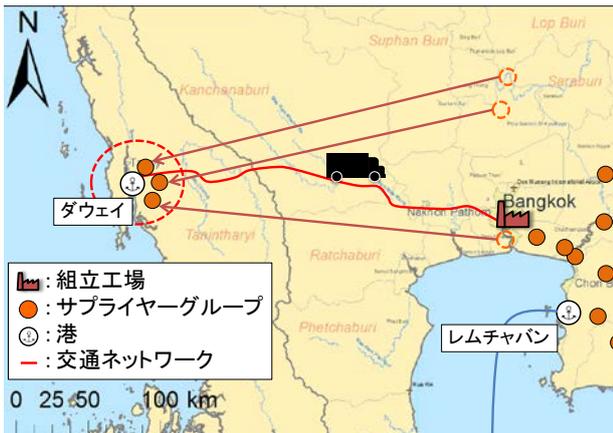


図-6 ミャンマー一部移転シナリオ



図-7 ミャンマー拠点シナリオ

受けた工業団地と洪水の危険性のある地域にある工場をミャンマーのダウェイにある工業団地に移転させたシナリオである。このシナリオでは、洪水からのリスクから逃れること、また、実際に一部のサプライヤーがミャンマーに移転した場合、現状との変化を比較するものである。

(4) ミャンマー拠点シナリオ

ミャンマー拠点シナリオは、インド市場を狙った戦力的シナリオである。このシナリオでは、ミャンマーのダ

ウェイに分析対象完成車メーカーの組立工場、分析対象完成車メーカー子会社のエンジン製造工場を新設するものである。

6. 分析結果と考察

現状のCO₂排出量算定結果は、表-7の通りである。輸送部門に関しては、国際間輸送が最も多く、輸送における排出量の大半を占めている。次に、組立工場から輸出港までの排出量が大きい結果となった。これは、長距離を移動するというだけでなく、輸送するモノの単位がコンテナ船と比較して大きいという、自動車専用船の特性による影響もあると考えられる。例えば、20ftコンテナには、約21tから28tまでの荷物を積む事ができ、コンテナの自重も2tほどある。これと比較して、本研究の対象車両の大きさは20ftコンテナの大きさの約70%の大きさにもかかわらず、一台1.8tということから、多くの製品を入れる事ができるコンテナ輸送の方が、輸送品一つあたりの排出量は抑えられると考えられる。つまり、一般的には水運は低炭素といわれているが、密度の低い自動車の場合、一般的なコンテナ船による輸送よりも、一貨物あたりで見るとCO₂の排出が多くなると考えられる。生産部門においては、部品の輸送数に対して排出量を按分するため部品一つあたりの排出量は少量となり、組立工場における排出量の方が大きかった。また、日本国内で生産された場合に把握されているCO₂排出量は、輸送部門が約0.08 t-CO₂/台、生産部門が0.40 t-CO₂/台である。生産部門におけるCO₂排出量は日本で生産される場合とほとんど差がないが、輸送部門におけるCO₂排出量がタイのほうが3倍近く多いことが明らかとなった。これは、国際間輸送が含まれたこと、サプライヤーの輸送による排出量が加算されたことから、国内での排出量を上回る結果になったと考えられる。

シナリオ別のCO₂排出量の推計結果を図-8に示す。また、参考値として、生産コスト及び輸送コストの推計結

表-7 現状のCO₂排出量算定結果

	輸送部門					生産部門			総排出量
	サプライヤーから組立工場(トラック輸送)	組立工場から輸出港(レムチャバン港)(完成車輸送)	輸出港から輸入港(ジャカルタ港)(海運)	輸出港からディーラー(完成車輸送)	合計	サプライヤー	組立工場	合計	
CO ₂ 排出量(t-CO ₂ /台)	0.0070	0.0187	0.2114	0.0010	0.2381	0.1413	0.272	0.4133	0.6514

果を図-9に示す。以下に、各シナリオの考察を示す。

(1) タイ東部移転シナリオ

このシナリオでは、サプライヤーや組立工場が東部に移転し、それぞれの距離が縮まったことから、サプライヤーの部品輸送におけるCO₂排出量が減少した。また、組立工場から港までのCO₂排出量も減少した。

全体の排出量の増減はほとんど無く、サプライヤーによる部品の輸送から発生する排出量は大きくないことが明らかとなった。部品の輸送数に対して排出量を按分するため、部品一つあたりの排出量は少量となった。

(2) カンボジア拠点シナリオ

このシナリオでは、タイのサプライヤーが輸送された自動車部品をカンボジアで分析対象完成車メーカーが組立生産するものである。すべての輸送は、陸上輸送するため、海上輸送における排出量は無く、発生するCO₂は、トラックやトレーラーからのものである。

このシナリオでは、サプライヤーでの輸送による排出量が5倍以上増加した。これは、単純に組立工場までの輸送距離が伸びたためである。

また、組立工場での生産におけるCO₂排出量が大きく増加した。これは、カンボジアでの発電における排出原単位が大きいためである。結果、シナリオにおける排出量が最も大きくなった。

(3) ミャンマー一部移転シナリオ

このシナリオでは、サプライヤーの輸送からのCO₂排出量が多くなった。これは、カンボジア拠点シナリオと同様に、サプライヤーと組立工場までの距離が長くなったためである。

生産では、サプライヤーからの排出量が減少した。これは、ミャンマーでの電気の生産における排出原単位が小さいためである。結果、輸送における排出量は増加したが、生産における排出量がそれを上回る量のCO₂を削減できたため、全体の結果では、排出量が減少した。

(4) ミャンマー拠点シナリオ

このシナリオでは、カンボジア拠点シナリオ同様、タイのサプライヤーが生産した自動車部品をミャンマーの

分析対象完成車メーカー組立工場で組立生産するものである。

輸送におけるCO₂排出量は、サプライヤーで増加するが、海上輸送における排出量が大幅に減少したため、輸送における排出量は減少した。また、生産における排出量は、ミャンマー一部移転シナリオと同様に、排出原単位がタイに比べ小さいため、生産における排出量でも減少し、全体では約34%も減少する結果となった。

7. おわりに

本研究では、多くの部品数、つまりサプライヤーを抱え、今後も需要の大きな伸びが見込まれる自動車製造業に着目し、国際輸送を含む輸送部門および生産部門によるCO₂排出量を、サプライヤーの立地を考慮して明らかにした。また、アジア全体の市場変化や国別の投資コストの違いも考慮したシナリオを構築し、現状と比較することで、グローバルサプライチェーンの立地状況の違いによるCO₂排出量の変化の可能性を明らかにした。

現状分析の結果、自動車製造業は海外進出する際、市場に近い場所で生産する方針ではあるが、独自にサプライヤーの所在地を調査したところ、需要地の近くとはいえず、分散して立地していることがわかった。これに加えて、既存文献では把握されていない海外でのサプライチェーンを考慮して自動車一台あたりのCO₂排出量を算定したところ、国内で把握されているものの約1.4倍のCO₂が排出されていることがわかった。

シナリオ分析の結果から、東部移転シナリオでは、サプライヤーと組立工場、組立工場と港との距離の短縮により輸送でのCO₂排出量が減少したが、全体の排出量は現状とほとんど変化しなかった。ベトナムとカンボジアの市場を見据えたカンボジア拠点シナリオでは、組立工場を新設したことで、サプライヤーの輸送による排出量が5倍以上増加した上に、カンボジアの発電における排出原単位が大きいため、生産によるCO₂排出量も大きく増加した。ミャンマー一部移転シナリオでは、洪水危険地域の工場をミャンマーのダウエイに移転させたことで輸送における排出量が増加したが、ミャンマーでの電力排出原単位が小さいためサプライヤーの生産による排出

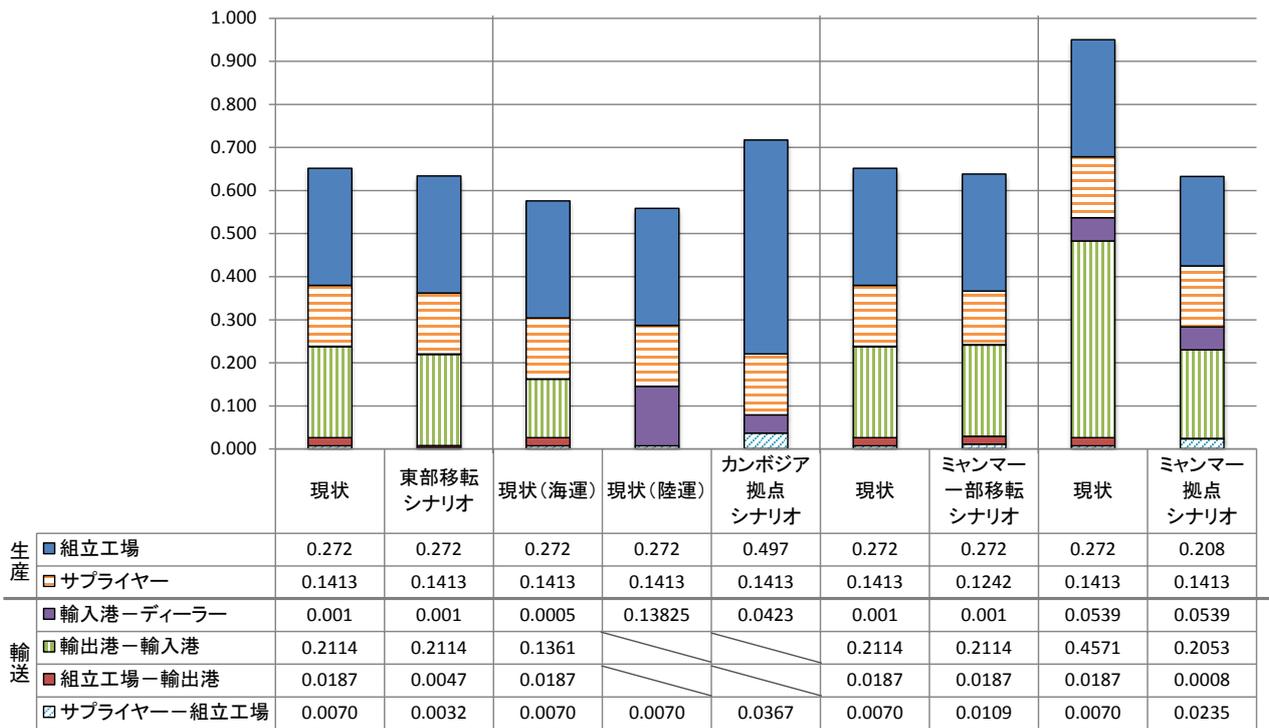


図-8 シナリオ別のCO₂排出量の推計結果 (完成車1台あたり, t-CO₂/台)

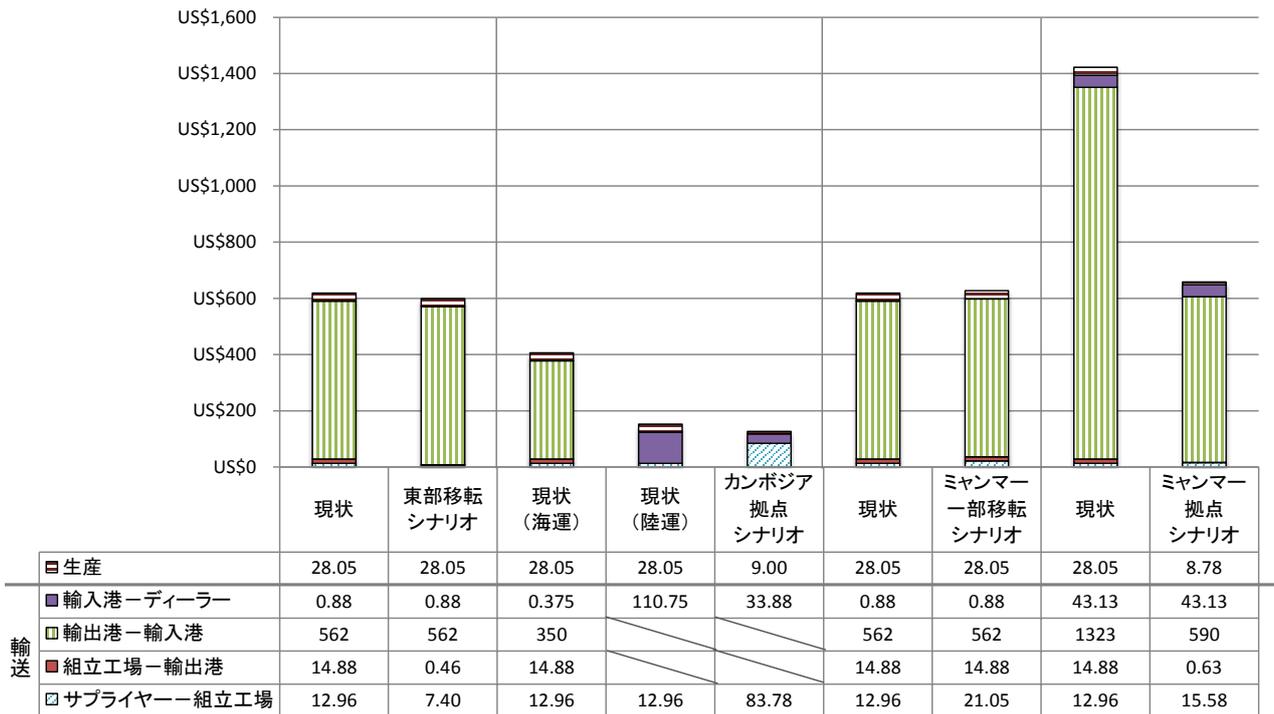


図-9 シナリオ別の生産コスト及び輸送コストの推計結果 (完成車1台あたり)

量が減少し、全体では排出量が減少した。インド市場を狙ったミャンマー拠点シナリオでは、ダウエイに組立工場を新設することでサプライヤーの輸送による排出量は増加するが、海上輸送における排出量が大幅に減少した。また、排出原単位の小ささゆえに生産における排出量も減少し、全体では約34%減少する結果となった。

輸送に関しては、サプライヤーによる部品輸送から発生したCO₂排出量は、一台あたりの自動車における排出量全体に対してあまり影響を及ぼさないことがわかった。反対に、海運による国際間輸送が最も多くCO₂を排出することが明らかになった。これは、長距離を移動するというだけでなく、自動車専用船の影響もあるのではない

かと考えられる。一般的には、貨物船による輸送は、トラック輸送などよりも排出量は抑えられる。

生産に関しては、生産する地域の発電燃料に依存することがわかった。特に、化石燃料に依存しているカンボジアでの排出原単位は大きく、反対に水力発電に依存するミャンマーは、排出原単位が極端に小さかった。実際は、工業団地周辺では、安定的な電力供給を行なうため、火力発電が多いが、本研究の結果は、自然エネルギーを推進している国には興味深い結果となったといえるだろう。

CO₂排出量の総量で、輸送過程ではなく生産過程のエネルギー源が最も大きな影響を与えている結果が示されているのは、成果として非常に重要な点である。多くの人はサプライチェーン全体において輸送過程の排出量が多いと信じ込んでいるが、実際はそうでないことがこの分析結果からわかる。グローバルサプライチェーンの生産拠点を選ぶ際に、その国のエネルギー源が非常に重要になることだけでなく、その国のエネルギー政策の転換が製造業の誘致にもつながる（低炭素と経済成長が同時に満たされる）という政策的含意のある提言も可能といえる。

また、輸送コストとシナリオの結果から、市場に近い場所で生産することは、環境面だけでなく、経済的な面でも有益であるが、その立地戦略によってはコストが削減できてもCO₂排出量は増加してしまうことがわかった。途上国の経済成長、需要の伸びは著しく、経済統合が加速している現状を鑑みると、国家間の人流・物流の動きがこれまで以上に活発化することは避けられない。その状況下で、環境面の改善だけを意図した地産地消等の空間開発は難しい側面もある。しかし、輸送距離や輸送手段、生産場所の電力源を考慮することで、コストの削減とCO₂排出量の削減の双方を同時に達成できる可能性もあることが明らかになった。

このように、自動車は製造段階では貨物交通に影響するが、使用段階では旅客交通にも影響を及ぼす。企業や研究機関の努力によって技術が発展し、ハイブリッド自動車、電気自動車等、燃料自動車等の、走行時の環境負荷がより小さい自動車が開発され、普及も進みつつある。もちろん、走行時のCO₂排出量は大きく、貨物交通、旅客交通ともに、そのような環境負荷の小さい自動車の開発・普及を促進する施策も重要である。しかし、途上国での今後のますますの需要の拡大を考慮すると、製造段階の環境負荷を改善させなければ、ライフサイクル全体での排出量の削減にはつながらないことが示唆された。特に電気自動車に関しては、電池による素材生産における排出量が大きく、結果として電気自動車の製造におけるCO₂排出量が多いといわれている。なお、プロダクトLCA（サプライチェーンLCA）という文脈では、製品の

販売までを考えるため、販売後の自動車走行などは考慮する必要はない。

以上より、GHGプロトコルの概念に基づく環境税の適用範囲拡大等の国際的フレームワークの構築により、国間及び内陸輸送部門と生産部門を含む、グローバルサプライチェーン全体のCO₂排出量削減を促すことが重要であることが示された。

今後の課題としては、このような環境税・炭素税が導入された場合の影響、関税が撤廃され自由貿易が加速した場合の影響等を把握する必要がある。また、本研究では参考値としてコストも示したが、実際には、輸送においては国境を越える際の事務手続で発生する手数料、港における積荷作業などによるコスト、生産においては工場機械のメンテナンス費等のコストも発生することが予想される。コストの厳密な算定については今後の課題としたい。

謝辞：本稿は、環境省・環境研究総合推進費戦略的研究開発領域（S-6）の支援により実施され、有益なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本自動車工業会：Active matrix database system, <http://jamaserv.jama.or.jp/newdb/index.html>, 2013.05.01 閲覧。
- 2) 白木達朗, 中村龍, 姥浦道生, 立花潤三, 後藤尚弘, 藤江幸一: 生産・流通を考慮した地産地消・旬産旬消によるCO₂排出量削減に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.34, pp.135-142, 2006.
- 3) 横山大輔, 谷口守, 松中亮治: 持続可能な商業施設立地・都市構造検討のためのマーケットCO₂排出量の提案—商品搬入・購買行動に着目して, 環境システム研究論文集, Vol.35, pp.247-254, 2007.
- 4) 中田哲也: フード・マイレージ—あなたの食が地球を変える, 日本評論社, 2007.
- 5) Brendan O'Donnell, Anne Goodchild, Joyce Cooper and Toshi Ozawa: The relative contribution of transportation to supply chain greenhouse gas emissions: A case study of American wheat, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.14, Issue7, pp.487-492, 2009.
- 6) Christophe Rizet, Michael Browne, Eric Cornelis and Jacques Leonardi: Assessing carbon footprint and energy efficiency in competing supply chains: Review - Case studies and benchmarking, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.17, Issue4, pp.293-300, 2012.
- 7) Ki-Hoon Lee: Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry, Journal of Cleaner Production, Vol.19, Issue11, pp.1216-1223, 2011.
- 8) 国土交通政策研究所: サプライチェーン物流環境ディスクロージャー調査研究, 2009.
- 9) 国土交通政策研究所: 物流から生じるCO₂排出量のディスクロージャーに関する手引き, 2011.

- 10) 井村秀文: 経済のグローバル化と LCA, LCA 日本フォーラムニュース, No.43, 2007. cle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030, Energy Journal, Vol.28, No.4, 2007.
- 11) 日本貿易振興機構 海外調査部アジア大洋州課・中国北アジア課: 在アジア・オセアニア日系企業活動実態調査 (2012 年度調査), 2012. (2013.5.7 受付)
- 12) Joyce Dargay, Dermot Gately and Martin Sommer: Vehi-

**CO₂ EMISSIONS ESTIMATION CONSIDERING LOCATION OF AN
AUTOMOBILE COMPANY IN GLOBAL SUPPLY CHAIN**

Kumiko NAKAMICHI, Shinya HANAOKA and Yuhki KAWAHARA