

国際分業による自動車部品生産物流体制の設計とその運用方法について

01103860 早稲田大学 片山 博 KATAYAMA Hiroshi  
01500665 広島大学 平木 秀作 HIRAKI Shusaku

1. はじめに

近年の ASEAN-中国圏域における自動車需要の伸びとこの圏域における比較的脆弱な自動車部品産業の構造を背景として、世界の広域自動車製造業は、域内の適切な国々で必要な部品を生産し、それらを海上物流を介して相互に融通し合う、いわゆる部品相互補完体制を導入・運用しつつ、積極的にこの市場への進出を図っている。しかし、その活動は圏域内重複投資の回避など巨視的な意味での理論的妥当性が弱く、また、この圏域の国々の健全かつ効果的な産業育成という視点とは必ずしも整合していない。そこで本研究では、このような相互補完システムの構築を国際分業体制及び広域生産物流オペレーションの設計問題と捉えてその方法論を提案し、求めたシステムの特性を解析することによって、部品相互補完体制構築のための知見を得ることを目的とする。

2. 国際分業体制の設計モデル (ステップ1)

2.1. 前提条件

< 考察対象自動車部品 >

- |          |            |           |
|----------|------------|-----------|
| 1: ピストン  | 5: エンジン電装品 | 8: ステアリング |
| 2: シリンダー | 6: エンジン    | 9: プレス部品  |
| 3: バルブ   | 7: ミッション   | 10: 電装品等  |
| 4: シャフト  |            |           |

ただし、1~5 は、エンジン部品であり、これらを組立てることでよりエンジンが生産される。

< 考察対象国 >

- |           |          |        |
|-----------|----------|--------|
| 1: タイ     | 5: ベトナム  | 8: ラオス |
| 2: インドネシア | 6: ミャンマー | 9: 中国  |
| 3: マレーシア  | 7: カンボジア | 10: 日本 |
| 4: フィリピン  |          |        |

2.2. 総コスト最小化数理計画モデル

以下に提案する総コスト最小化モデルにより国際分業体制を求める[1]。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{10} \sum_{k=1}^{10} Y_{p-i} (1+S_{6ik}) G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} \sum_{k=1}^{10} Z_{6ik} (1+S_{6ik}) V_{6ik} G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} \sum_{l=1}^{10} \sum_{k=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilk}) (1+S_{ilk}) V_{ilk} G_{il} \quad (1.1)$$

$$Y_p = \sum_{i=1}^5 \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilp}) (1+S_{ilp}) V_{ilp} G_{il} \quad (1.2)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{10} V_{ilk} = D_k \quad (i = 6, \dots, 10; k = 1, \dots, 10) \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{10} V_{ilk} \leq C_{il} \quad (i = 1, \dots, 10; l = 1, \dots, 10) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{10} V_{ilp} = \sum_{k=1}^{10} V_{6lk} \quad (i = 1, \dots, 5; p = l = 1, \dots, 10) \quad (4)$$

ただし、(左辺の p) = (右辺の l)

$$\sum_{i=1}^{10} V_{ilk} = \sum_{i=1}^{10} V_{2ik} = \sum_{i=1}^{10} V_{3ik} = \sum_{i=1}^{10} V_{4ik} = \sum_{i=1}^{10} V_{5ik} \quad (k = 1, \dots, 10) \quad (5)$$

< ASEAN における国産化率規制 >

$$\frac{\sum_{i=1}^8 Y_{p-i} (1+S_{6ik}) G_{6i} + \sum_{i=1}^8 Z_{6ik} (1+S_{6ik}) V_{6ik} G_{6i} + \sum_{i=1}^8 \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilk}) (1+S_{ilk}) V_{ilk} G_{il}}{\sum_{i=1}^{10} Y_{p-i} (1+S_{6ik}) G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} Z_{6ik} (1+S_{6ik}) V_{6ik} G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilk}) (1+S_{ilk}) V_{ilk} G_{il}} \geq A_k \quad (k = 1, \dots, 8) \quad (6)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilp}) (1+S_{ilp}) V_{ilp} G_{il}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilp}) (1+S_{ilp}) V_{ilp} G_{il}} \geq A_p \quad (p = 1, \dots, 8) \quad (7)$$

< 中国における国産化率規制 >

$$\frac{Y_{p-9} (1+S_{699}) G_{69} + Z_{699} (1+S_{699}) V_{699} G_{69} + \sum_{i=1}^{10} (X_{i9} + Z_{i99}) (1+S_{i99}) V_{i99} G_{i9}}{\sum_{i=1}^{10} Y_{p-i} (1+S_{6ik}) G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} Z_{6ik} (1+S_{6ik}) V_{6ik} G_{6i} + \sum_{i=1}^{10} \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{ilk}) (1+S_{ilk}) V_{ilk} G_{il}} \geq A_9 \quad (8)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^5 (X_{i9} + Z_{i99}) (1+S_{i99}) V_{i99} G_{i9}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{l=1}^{10} (X_{il} + Z_{il9}) (1+S_{il9}) V_{il9} G_{il}} \geq A_9 \quad (9)$$

< 使用記号 >

- $X_{il}$  部品  $i$  の  $l$  国における生産コスト
- $Y_p$  エンジン組立国  $p$  が調達するエンジンサブ部品のコスト
- $Z_{ilk}$  部品  $i$  の  $l$  国から  $k$  国までの輸送コスト
- $S_{ilk}$  部品  $i$  を  $k$  国が  $l$  国から輸入する際の関税率
- $V_{ilk}$  部品  $i$  の  $l$  国から  $k$  国への輸送計画量 (決定変数)
- $D_k$   $k$  国における年間乗用車需要量 (1998 年実績を用いる)
- $C_{il}$   $l$  国における部品  $i$  の生産能力
- $A_k$   $k$  国における国産化率 ( $k=1, \dots, 9$ )
- $G_{il}$  部品  $i$  の  $l$  国における技術係数

2.3. 得られた結果

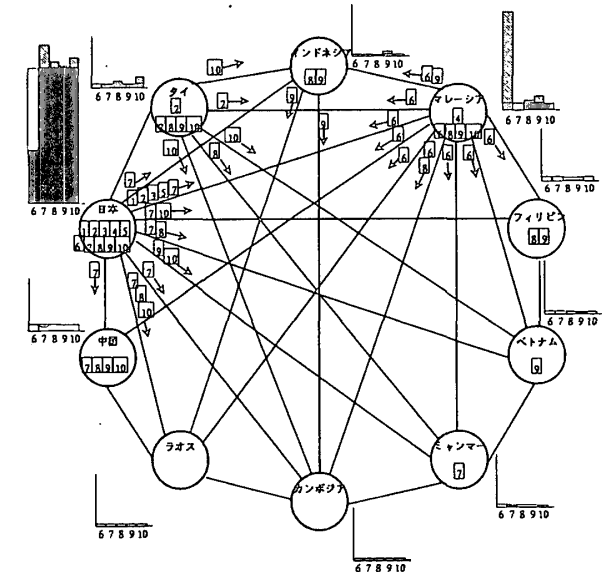


図1. 自動車部品の国際生産物流ネットワーク

- \*注1. 図中の番号は部品のコード →は部品の輸先
- \*注2. 図中のグラフの黒塗り部分は自国内調達量、灰色部分は輸出量、白塗り部分は海外調達量

### 3. 広域生産物流システムの運用方法 (ステップ2)

#### 3.1. 運用モデル

前章で求めた生産物流ネットワークにPULL型物流スキームを導入し、部品の流れを図2に示す。

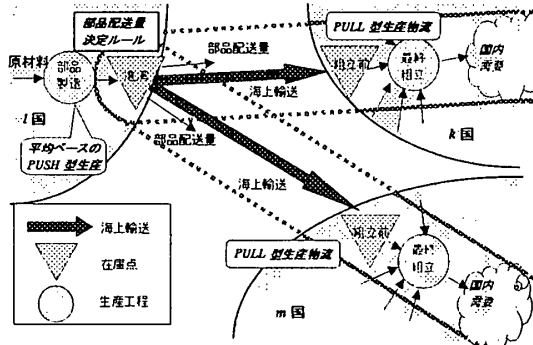


図2. シミュレーションにおける部品の流れ

なお、図3及び式(10)~(17)にシミュレーションのフローチャートとモデルの構造式を示す。

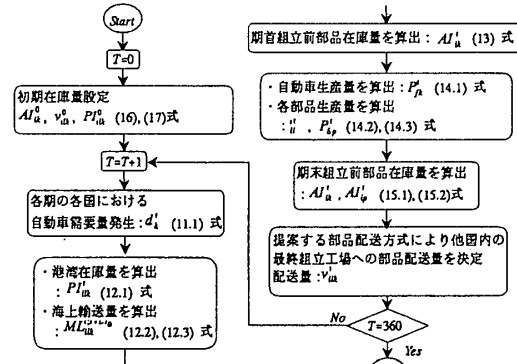


図3. シミュレーションのフローチャート

$$T=360 \quad (10)$$

$$d_k^t = \mu_k (1 + \varepsilon^t) \quad (k = 1, \dots, 10; t = 1, \dots, 360) \quad (11.1)$$

$$\mu_k = D_k / T \quad (11.2)$$

$$PI_{ik}^t = PI_{ik}^{t-1} + v_{ik}^{t-1} \quad (12.1)$$

$$t=2n-1 \text{ のとき } ML_{ik}^{t+LT_k} = PI_{ik}^t, \quad PI_{ik}^t = 0 \quad (12.2)$$

$$t=2n \text{ のとき } ML_{ik}^{t+LT_k} = 0 \quad (12.3)$$

$$(i = 1, \dots, 10; l = 1, \dots, 10; k = 1, \dots, 10; t = 1, \dots, 360)$$

$$AI_{ik}^t = AI_{ik}^{t-1} + v_{ik}^{t-1} + \sum_{l=1}^{LT_k} ML_{ik}^{t-LT_k+l} \quad (13)$$

$$(i = 1, \dots, 10, k = 1, \dots, 10, k \notin l; t = 1, \dots, 360)$$

$$P_{ik}^t = \text{Min} \left\{ \text{Min}_i (AI_{ik}^t), \sum_{l=1}^l (d_k^t - P_{ik}^{t-1}) \right\} \quad (14.1)$$

$$(i = 6, \dots, 10; k = 1, \dots, 10; t = 1, \dots, 360)$$

$$P_{il}^t = \sum_{k=1}^{10} V_{ik} / T \quad (i = 1, \dots, 5, 7, \dots, 10; l = 1, \dots, 10; t = 1, \dots, 360) \quad (14.2)$$

$$P_{6p}^t = \text{Min} \left\{ \text{Min}_i (AI_{ip}^t), \left( t \cdot \sum_{k=1}^{10} V_{6pk} / T - \sum_{l=1}^l P_{6p}^{t-1} \right) \right\} \quad (14.3)$$

$$(i = 1, \dots, 5; p = 1, \dots, 10; t = 1, \dots, 360)$$

$$AI_{ik}^t = AI_{ik}^t - P_{ik}^t \quad (i = 6, \dots, 10, k = 1, \dots, 10, t = 1, \dots, 360) \quad (15.1)$$

$$AI_{ip}^t = AI_{ip}^t - P_{6p}^t \quad (i = 1, \dots, 5, p = 1, \dots, 10, t = 1, \dots, 360) \quad (15.2)$$

$$AI_{ik}^0 = \sum_{l=1}^{10} \frac{V_{ilk}}{T} (2 + LT_k) + \frac{V_{ilk}}{T} \quad (i = 1, \dots, 10, k = 1, \dots, 10, k \neq l) \quad (16)$$

$$v_{ik}^0 = PI_{ik}^0 = 0 \quad (17)$$

<使用記号>

- $T$  シミュレーション期間
- $d_k^t$   $t$ 期の $k$ 国における自動車需要量
- $\mu_k$  各期の $k$ 国における自動車需要量の母平均
- $\varepsilon_k^t$   $t$ 期の $k$ 国における自動車需要量の変動部分
- $P_{ik}^t$   $t$ 期の $k$ 国における自動車生産量
- $P_{il}^t$   $t$ 期の $l$ 国における部品 $i$ の生産量
- $v_{ik}^t$   $t$ 期末の $l$ 国における部品 $i$ の $k$ 国向け出荷量
- $PI_{ik}^t$   $t$ 期の $l$ 国における部品 $i$ の $k$ 国向け港湾在庫量
- $AI_{ik}^t$   $t$ 期の $k$ 国における部品 $i$ の組立前在庫量
- $LT_{ik}$   $l$ 国と $k$ 国間の海上輸送リードタイム
- $ML_{ik}^{t+LT_k}$   $t$ 期首における部品 $i$ の $l$ 国から $k$ 国への海上輸送量で、 $t+LT_k$ 期首に到着する。

#### 3.2. 運用特性の評価指標

部品過不足率(Parts Just-in-quantity Rate: PJR)

$$(AI_{ik}^t - d_k^t) / \mu_k \times 100 \quad [\%] \quad (18)$$

自動車需要充足率(Demand Fulfillment Rate: DFR)

$$\sum_{l=1}^T P_{ik}^t / d_k^t \times 100 \quad [\%] \quad (19)$$

#### 3.3. 部品配送ルールの提案と特性解析結果

(1) 提案部品配送ルール

輸送計画量残(20)式がすべての部品配送先国で等しくなるように $v_{ik}^t$ を決定する。

$$V_{ik} - \left\{ \sum_{l=1}^l P_{ik}^t \frac{V_{ilk}}{D_k} + AI_{ik}^t \frac{V_{ilk}}{D_k} + PI_{ik}^t + \sum_{j=1}^{LT_k} ML_{ik}^{t-LT_k+j} \right\} - v_{ik}^t = V_{ik} \quad (20)$$

(2) 特性解析結果

表1. PJRの平均及び総需要量による加重平均

部品	タイ	インドネシア	マレーシア	フィリピン	中国	日本	加重平均
エンジン	32.3	147.7	0	115.3	182.2	56.1	70.4

表2. DFRの平均及び総需要量による加重平均

国	タイ	インドネシア	マレーシア	フィリピン	中国	日本	加重平均
DFR	99.58	99.08	100	100	100	98.51	98.73

#### 4. 結論

結果より、提案した方法論のフィージビリティ及び有効性が確かめられ、ASEAN-中国圏における広域自動車生産のための国際分業体制及びその運用方法についての有用な知見が得られたと考えられる。

#### 参考文献

- [1] Katayama, H., "Design of a global car production-logistics system for a future ASEAN-China region", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 19, No. 5/6, pp. 582-601 (1999).