

フィリピン地域間産業連関表を利用したエネルギー効率改善による 環境負荷軽減の効果に関する分析*

An analysis for effects of energy and environmental improvement using the 1994 Philippines Inter-regional I/O table *

川島啓**, 内山洋司***, 土井健司****

By Kei KAWASHIMA** · Yohji UCHIYAMA*** · Kenji DOI****

1. はじめに

フィリピンでは交通インフラが未整備の段階で急激なモータリゼーションを迎え、都市部における慢性的な交通渋滞による大気汚染が深刻な問題を呈している。また、所得格差の問題や地方から都市部への急激な人口流入が、住宅やライフライン等の生活基盤の不足を通じて、スラムの形成や生活汚染等を進行させている。

このような急激な都市化に伴う環境悪化に対しては、当面の環境負荷を軽減・抑制するための短期的な対策と、国土開発のあり方に関わる長期的な対策を必要とする。前者は産業における環境改善型の技術の採用や、エネルギー大量消費部門における燃料転換などによって達成され、後者は社会資本を含む資本ストックの整備・利用・更新・廃棄の各段階における環境負荷をライフサイクル全体で評価した都市計画や国土開発計画に委ねられるであろう。開発と環境を結びつける定量的な手法が要請される。そのような評価手法として産業連関表は非常に有用な分析ツールである。

一般に産業連関表を用いた環境負荷分析では、各産業の生産額あたりの環境負荷量（環境負荷原単位）を定義し、ある経済主体の経済活動が及ぼす波及効果から直接間接の環境負荷量を推計する。しかしながら産業連関表を用いた環境負荷分析では膨大

な環境データを収集しなければならないばかりでなく、産業連関表の部門分類に適合的なデータベースを構築しなければならない。筆者らが加わったJSPS「メトロマニラの環境保全」プロジェクトでは1994年マニラ首都圏地域内産業連関表(2001)、フィリピン地域間産業連関表(2002)の作成から手がけ、それらの産業部門分類に適合的な環境負荷データベースの整備に努めてきた。本論では上述の成果を利用して、フィリピンにおけるエネルギー効率改善による環境負荷軽減効果を計測する。

2. 1994年フィリピン地域間産業連関表(PIRIO)と環境勘定データベース

1994年フィリピン地域間産業連関表(PIRIO)はフィリピンにおける初の地域間表である。フィリピン統計局(NSO)が開発した1994年産業連関表をベースにマニラ首都圏(NCR; National Capital Region)とその他の地域(ROP; Rest of Philippines)を対象としている。産業部門数は84部門であり、輸入と地域間交易に関する非競争型/競争型取引表への組換えが可能となっている。

またPIRIOは付帯表として部門別エネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、NO_x排出量に関する環境データを用意している。エネルギー消費量データの作成にあたっては、フィリピンのエネルギー・バランス表から燃料種別消費量を配分し、発熱量等価の石油換算トンで表示している。CO₂排出量は燃料に固有の排出係数を乗じて求めている。SO₂排出量に関しては、脱硫装置の普及度に関するデータが得られなかったために、燃料に含まれる硫黄分が燃焼によってすべて大気中に放出されると仮定して、硫黄含有率データから推計している(NISTEP)。NO_x

*キーワード：産業連関表分析，都市環境問題，

**経修，(財)政策科学研究所(千代田区永田町2-4-8, TEL:03-3581-2141, E-mail: kei@ips.or.jp)

***工博，筑波大学機能工学系(つくば市天王台1-1-1, TEL:0298-53-6194, E-mail: uchiyama@kz.tsukuba.ac.jp)

****正員，工博，香川大学安全システム建設工学科(高松市林町2217-20, TEL: 087-864-2165, E-mail: doi@eng.kagawa-u.ac.jp)

排出量については、フィリピン統計調整委員会(NS CB)のデータを用いた。それ以外の部門では、ボイラなどの固定発生源から放出されるFuel NO_xをわが国の原単位(本藤他, 1998)を用いて推計しており、Thermal NO_xについては推計の対象とはしていない。

以下の表2-1に地域別部門別エネルギー消費量を、表2-2にCO₂排出量を、表2-3にSO₂排出量、表2-4にNO_x排出量をそれぞれ示す。部門分類は誌面の都合上、内生部門を11部門に集計して表している。

表 - 1 地域別部門別エネルギー消費量

(TOE)			
Sectors	NCR	ROP	Total
01 Agriculture, fishery & forestry	1,775	23,371	25,146
02 Mining and quarrying	3,819	21,985	25,804
03 Manufacturing	1,677,389	135,460	1,812,849
04 Electricity, steam & water	1,834,013	3,652,586	5,486,599
05 Construction	65,852	3,831	69,682
06 Wholesale and retail trade	146,478	10,892	157,370
07 Transport, storage & communication	1,607,310	3,569,490	5,176,801
08 Financial and insurance services	51,072	2,127	53,199
09 Real estate & ownership of dwellings	3,801	299	4,100
10 Other private services	178,512	4,425	182,937
11 Government services	26,523	816	27,339
12 Private consumption expenditure	408,522	8,251,304	8,659,826
total	6,005,066	15,676,585	21,681,651

フィリピンでは農村地域において薪や落ち葉などの非商業系エネルギーの利用がまだまだ高く、全国の最終エネルギー消費量のおよそ30%を占める。一般にバイオマス系燃料の燃焼に伴うCO₂発生量に関しては樹木の二酸化炭素固定分と相殺して、環境負荷として計上されることはない。またその利用のほとんどが家計消費部門であるので、他のエネルギー財との代替は燃料の最終需要の増加として捉えられる。したがって非商業系エネルギーについては外生的に扱うのみで、モデル分析には用いない。

表 - 2 地域別部門別CO₂排出量

(t-CO ₂)			
Sectors	NCR	ROP	Total
01 Agriculture, fishery & forestry	2,962	942,930	945,892
02 Mining and quarrying	11,056	1,488,910	1,499,966
03 Manufacturing	3,502,377	8,075,797	11,578,174
04 Electricity, steam & water	7,480,085	12,677,078	20,157,163
05 Construction	171,657	238,968	410,626
06 Wholesale and retail trade	66,344	207,347	273,691
07 Transport, storage & communication	4,672,547	12,956,146	17,628,694
08 Financial and insurance services	4,550	9,455	14,005
09 Real estate & ownership of dwellings	1,353	2,534	3,888
10 Other private services	180,414	741,642	922,056
11 Government services	58,883	47,090	105,973
12 Private consumption expenditure	299,303	698,860	998,163
total	51,531	,757	54,538,288

(kg-SO ₂)			
Sectors	NCR	ROP	Total
01 Agriculture, fishery & forestry	182,914	18,194,206	18,377,120
02 Mining and quarrying	126,088	16,980,535	17,106,623
03 Manufacturing	49,430,026	94,061,865	143,491,891
04 Electricity, steam & water	142,116,307	162,068,698	304,185,005
05 Construction	1,003,158	1,396,521	2,399,679
06 Wholesale and retail trade	1,271,257	3,973,098	5,244,355
07 Transport, storage & communication	7,289,479	61,444,825	68,734,304
08 Financial and insurance services	87,188	181,164	268,352
09 Real estate & ownership of dwellings	25,930	48,565	74,495
10 Other private services	1,614,782	868,963	2,483,746
11 Government services	1,128,292	902,313	2,030,605
12 Private consumption expenditure	5,154,808	5,418,848	10,573,656
total	209,430,230	365,539,601	574,969,831

表 - 4 地域別部門別NO_x排出量

(kg-NO _x)			
Sectors	NCR	ROP	Total
01 Agriculture, fishery & forestry	30,214	6,543,883	6,574,098
02 Mining and quarrying	8,125	1,094,150	1,102,275
03 Manufacturing	4,270,001	7,238,875	11,508,876
lectricity, steam & wate	63,245	,981	426,226
05 Construction	171,870	239,264	411,134
holesale and retail trade	5	,358	4
07 Transport, storage & communication	26,234,595	125,413,712	151,648,307
inancial and insurance service	0	2,738	8
09 Real estate & ownership of dwellings	1,823	3,415	5,238
ther private services	22,224	,224	8
overnment services	3	3,444	7
12 Private consumption expenditure	354,508	838,988	1,193,496
otal	31,455	79,202,032	,733,486

PIRIOは輸入と地域間移出入に関して非競争型の取引額表で構成されている。NCRもしくはROPのどちらかの地域の需要の変化が及ぼす影響を見る場合には、非競争型のまま利用して詳細な波及を計測することが出来る。しかしながら、NCR地域の変化がROPに影響を及ぼし、さらにROPの変化がNCRに二次的に影響を及ぼすといった相互作用を考察する場合には移出入に関する競争型のPIRIOに組替えて利用することになる。図1は輸入および移出入に関して競争型のPIRIOとその構成要素を示したものである。競争型PIRIOの産出均衡モデルは以下のよう

に示される。

$$X_N = B_{NN} \left[D_{NP} F_N + X P_N + (D_{PP} + \hat{t}_p) F_P + D_{PP} X P_P \right] \quad (2.1)$$

$$X_P = B_{PP} \left[D_{PN} F_P + X P_P + (D_{NN} + \hat{t}_N) F_N + D_{NN} X P_N \right] \quad (2.2)$$

ここで

$$D_N = (I - \hat{t}_N - \hat{m}_N) \quad D_P = (I - \hat{t}_P - \hat{m}_P) \quad B_N = (I - D_N A_N)^{-1}$$

$$B_P = (I - D_P A_P)^{-1} \quad D_{NN} = \hat{t}_N A_N B_N \quad D_{PP} = \hat{t}_P A_P B_P$$

$$D_{NP} = D_N + D_{PP} \hat{t}_N \quad D_{PN} = D_P + D_{NN} \hat{t}_P \quad B_{NN} = (I - D_{NP} A_N)^{-1}$$

$$B_{PP} = (I - D_{PN} A_P)^{-1} \quad t \text{ は移入係数, } m \text{ は輸入係数}$$

	Intermediate demands in NCR	Final demands in NCR	Exports from NCR		Imports in NCR (deducted)		Total output
Intermediate inputs in NCR	$X_{ij}^N = A_N^* X_N$	F_N	T_P	XP_N	T_N	IM_N	X_N
Value added	V_N						
Total Inputs	X_N						

	Intermediate demands in ROP	Final demands in ROP	Exports from ROP		Imports in ROP (deducted)		Total output
Intermediate inputs in ROP	$X_{ij}^P = A_P^* X_P$	F_P	T_N	XP_P	T_P	IM_P	X_P
Value added	V_P						
Total Inputs	X_N						

図 - 1 競争型PIRIOと変数

(2.1)、(2.2)式はNCR、ROP地域の生産額が地域交易を通じて両地域の最終需要に依存していることを示している。この地域間均衡産出モデルを用いて環境負荷分析を行う。

3．エネルギー効率改善シナリオ

エネルギー大量消費部門のエネルギー効率が変わった場合の影響をみるために、次のようなシナリオを想定した。

表 - 5 想定シナリオ

Scenario	Story
S1	Power plants in the NCR could improve energy efficiency by 7.8%
S2	Diesel fuel consumption of road transportation in NCR could reduce by 10%.
S3	Power plants in Rest of Philippines (ROP) could improve by 7.1 %
S4	Diesel fuel consumption of the ROP road transportation could reduce by 7%.

今仮にNCRの道路輸送部門において、何らかの対策により生産額に対するエネルギー効率が10%改善されたとする。同様のエネルギーをNCRの電力

部門で削減した場合、ROPの道路輸送部門で削減した場合、ROPの電力部門で削減した場合の原単位、投入係数をそれぞれ想定し、その変化が及ぼす一国全体の環境負荷軽減効果を比較してみた。

(2.5)、(2.6)式からシナリオ別の環境負荷軽減効果は以下のように計測される。

$$\begin{bmatrix} \Delta \varepsilon_{Nk}^s \\ \Delta \varepsilon_{Pk}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \hat{e}_{Nk}^s & 0 \\ 0 & \Delta \hat{e}_{Pk}^s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta B_{NN}^s & 0 \\ 0 & \Delta B_{PP}^s \end{bmatrix} \\ \times \left[\begin{bmatrix} \Delta D_{NN}^s & \Delta D_{NP}^s \\ \Delta D_{PN}^s & \Delta D_{PP}^s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_N \\ F_P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \Delta D_{PP}^s \\ \Delta D_{NN}^s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} XP_N \\ XP_P \end{bmatrix} \right] \quad (2.7)$$

ここで、 $\hat{e}$ は各環境負荷物質の生産額あたりの排出原単位であり、添字のkは環境負荷物質の識別であり、sはシナリオの識別を表している。(2.7)式はエネルギー消費量もしくは環境負荷物質の排出が、ある地域の産業のエネルギー原単位あるいは排出原単位の変化とその産業の生産に対する需要構造の変化によって決定されることを意味する。

計算の結果は以下の図2、3に示される。図2はシナリオ別にNCRとROPにおけるエネルギー消費量とCO₂排出量の変化分を図示したものである。地域別ではNCRよりもROPでの対策の方がエネルギー消費量及びCO₂削減効果は大きく、部門別では電力部門よりも道路輸送部門における対策の方がエネルギー消費量及びCO₂削減効果は大きいことが分かる。

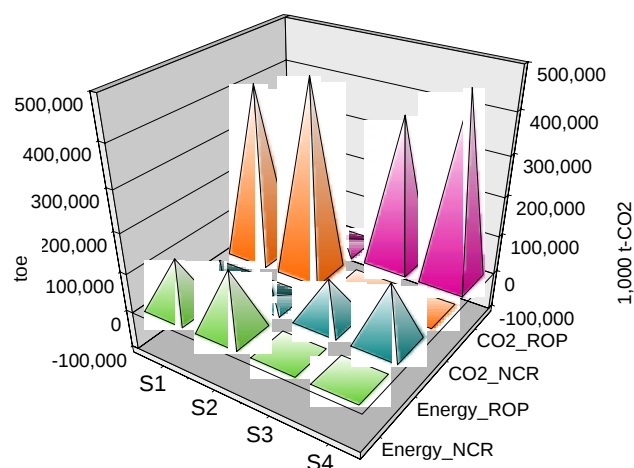


図 - 2 エネルギー消費量とCO₂排出量の変化

図3は同様にSO₂とNO_x排出量の変化分を図示したものである。SO₂に関してはNCR電力部門での対策が

もっとも削減効果大きい。これはNCRにある火力発電所が旧式の発電効率の悪いものであり、燃料に重油を用いているからである。NO_xに関してはROPの道路輸送部門における対策がもっとも削減効果がおおきい。

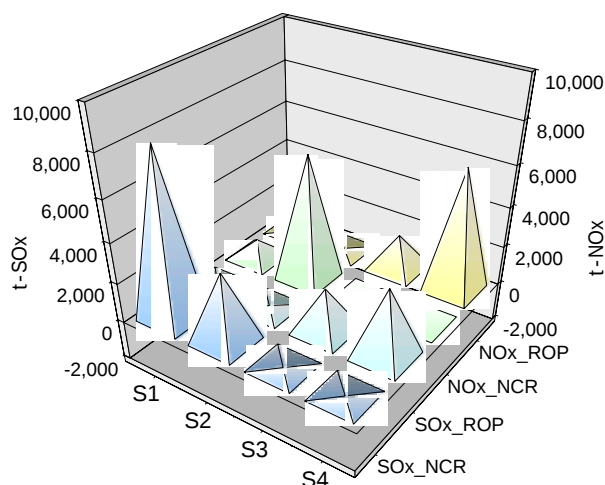


図 - 3 SO₂とNO_x排出量の変化

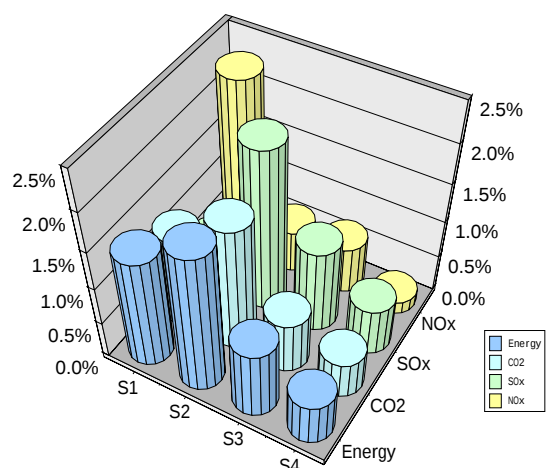


図 - 4 環境負荷物質削減に関するGDPロス弾性値

図4は各環境負荷を一単位削減させることによるGDPロスの大きさ（GDP弾性値）をシナリオ別に図示したものである。同じ環境負荷物質で比較した場合、棒グラフの低い方がGDPの減少が小さいことを意味する。各環境負荷の削減量あたりのGDPロス弾力性を比較すると、ROPの方がNCRよりも波及的な経済縮小を伴わずに削減を達成できる。NCRにおいては電力部門の方が道路輸送部門よりもGDPロスを発生させないことが分かる。

自動車の環境負荷抑制対策には、個別の車体に排ガスフィルターの装着や、燃費の良い自動車への

買い替え、もしくはアイドリング・ストップのような対策があげられる。これらについては直接的な対策費用の他にモニタリング・コストもかかるので実施の可能性が低いことも考えられる。しかしながら、発電部門において現状の発電効率を7、8%改善することは技術的に難しいだけではなく、モニタリング・コストもほとんど掛からないといえる。特にマニラ首都圏へ電力を供給するための大型電源がROPに設置されれば、環境負荷物質削減の面からは最も効果が期待されることが分析から明らかである。

4. 結論

本分析の結論は次のようなものである。

- 1) 燃料削減技術の費用を考えた場合、電力部門の発電効率を上昇させることは道路輸送部門において省エネを図るよりも低コストである。
- 2) ROPにおいて効率的な大規模電源を構築するシナリオ(S3)が直接・間接の環境負荷削減を社会的に低コストで達成する可能性が大きい。

本分析で用いたアプローチは対策費用と波及的影響の両面から地域的な、もしくはフィリピン全体の環境負荷を低減させるような技術移転の評価に応用していくことが可能である。今後はデータの精緻化を図るとともに、具体的な事例を対象にPIRIOを用いて環境外部性の評価に役立てていきたい。

参考文献

- ・ NISTEP (1991), Analysis of structure of energy consumption and dynamics of emission of atmospheric species related to the global environmental change (SO_x, NO_x & CO₂) in Asia.
- ・ NSCB/UN (2000) Environmental Degradation due to Selected Economic Activities.
- ・ OECD/IEA (2000), Energy Balances of Non-OECD Countries 1969-1998.
- ・ Secretario F. T. (2001) Inter-regional Input-Output table of the Philippines, ARCSIGMA SCII.
- ・ 金広文, Secretario F.T., 土井健司, 内山洋司 (2001), "マニラ首都圏における地域産業連関表作成の試みと構造分析", イノベーション & I-Oテクニク, vol.10, NO.1.
- ・ 本藤祐樹, 外岡豊, 内山洋司 (1999) 産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析, 電力中央研究所報告Y97017.