

プロジェクトの環境影響評価と 社会的便益性評価の研究

— 埼玉県越谷市の越谷レイクタウン分析のケースを中心として —

小笠原 均 郎

キーワード：産業連関表，原単位排出量，ライフサイクル・コスト，経済波及効果，環境負荷量，統合化係数，社会的被害費用，技術導入効果，LCA (Life Cycle Assessment)

1. はじめに

昨今の気温上昇は温室効果ガス濃度上昇による温暖化が主原因であり、既に20世紀の間に0.6℃程度温暖化が進んでいると考えられている。地球全体の平均気温が0.6℃上昇するという事は、夏季にはもっと気温が上昇し、地域的にはもっと大きな温度上昇があり得るということである。

今のままのペースで世界中から温室効果ガスを排出していくと2050年には二酸化炭素の大気中濃度は600ppmになり、気温は2℃上昇すると予測されている。

この様な温暖化の悪影響を阻止するべく世界では先進国を対象に2050年までに温暖化ガスの排出量を80%削減することが目標とされ、日本政府は2010年1月、2020年迄の温室効果ガスについて「全ての主要国による公平かつ実効性のある目標の合意が前提」との条件付きで、1990年比25%削減するとした目標を国連に提出した。2010年4月から「改正省エネ法」などが施行され、地球温暖化防止に向けての規制は益々強化されることとなった。この内、日本のCO₂排出量の約40%は建設関連分野が占め、内、80%は運用時に発生している。

今回、対象とする「開発プロジェクト」は、多

くの材料と製品を集積して造られる構造物である。その寿命も極めて長いために、建築竣工時から運用・廃棄時に消費する光熱用水費も膨大である。従来だと開発プロジェクトが計画された場合、開発が齎す環境への影響、地域経済への影響把握については、環境影響評価と地域開発が齎す経済波及効果を其々の関連を考慮することなく実施してきた。近年の社会情勢を考慮すると、今後の開発プロジェクトは、環境負荷をより低減する方向が行政側、地域住民側からもとめられることは必至であり、経済的合理性をも考慮した環境負荷低減の度合いを評価・決定する手法が必要である。

この研究は、今回の「開発プロジェクト」に関して設備投資額、経済波及効果額、地域環境へ与える社会的被害額、温暖化緩和へ貢献する環境負荷低減技術の導入効果を総合的に研究し効果度を評価するものである。

この種の研究は既に優れた報告が多数なされているが、社会的被害費用を産業連関表に基づいた環境要素原単位排出量を使い、運用時評価したこと、また、新技術導入の設備投資金額をプロジェクトの産業連関表に戻し経済波及効果、社会的被害費用を抽出し地域産業の便益、環境負荷量の低減技術導入を総合的に評価する仕組みを研究したことは特異である。

1.1. 先行研究の概説

国内の先行研究としては、環境負荷量の計算として参考とした幾つかの文献がある。社団法人建築業協会では山口・小笠原（1995）が建設分野でのエネルギー消費量、CO₂排出量の算定及び事務所ビルでの固定資源量の算定の研究を行っている。環境配慮設計として施設毎のCO₂排出量削減量の算定に関しては今井・香川（2010）の分析がある。社団法人建築・設備維持保全推進協会では、良好で良質な建築ストック形成を目指して建築物の評価LC（Life Cycle）用データ集として小池・澤田（2008）が報告している。社団法人日本建築学会では佐藤・近田（2006）が建設・建材による資源消費量LCCO₂と全建築ストックのLCCO₂算定として建物のLCA指針を報告している。同じく同学会では、伊香賀・外岡（2005）が消費支出・国内資本形成による海外波及環境負荷の算定を実現したLCAデータベースを報告している。

経済波及効果・社会的被害費用の計算として参考とした幾つかの文献がある。財団法人電力中央研究所では本藤・外岡・内山（1998）が纏めた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がある。また、産業連関表（1995年表）部門別直接エネルギー消費量および直接CO₂排出量の調査分析として本藤・森泉・外岡（2001）がある。更には、独立行政法人国立環境研究所の南斎・森口・東野（2002）が発表した産業連関表による環境負荷原単位データをまとめた産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）がある。また、金本・外岡（2009）は我が国の貿易に伴うCO₂排出量の計算がある。被害費用の計算としては、社団法人産業環境管理協会では伊坪・稲葉（2010）が発表した環境の変化により受ける被害量を環境影響評価手法（LIME2）がある。

環境負荷抑制コストの算出について参考とした幾つかの文献がある。植田・落合・北島・寺西（1992）の社会的費用論アプローチ方法を体系化した環境経済学がある。また、FM推進連絡協議

会（1998）がまとめた施設の運用管理側面からの分析方法を記載したファシリティマネジメントガイドブックがある。また、2000年12月の環境確保条例の制定により東京都環境局（2004）が発表した東京都建築物環境配慮制度マニュアルを参考とした。事務所ビルに関して、田中・三船・山本（2002）が纏めたビルの実践的省エネルギー省コスト戦略がある。

産業連関表の作成に参考とした幾つかの文献がある。本田・中澤（2000）は市町村地域産業連関表の作成と応用を纏めた。小地域産業連関表の試行とその活用である。小都市圏の分析では、石川（2001）がNonsurvey手法を用いた小都市圏レベルの地域間産業連関モデルを報告した。また、今回の産業連関表分析では埼玉県が2010年に発表した埼玉県産業連関表2005版を参考とした。

諸外国での先行研究としては、欧米が中心である。欧州の場合は地域統合の側面と昨今の地球環境問題に伴い、統計的に統一モデルでの商取引や経済政策の評価が必要となってきた。標準化されたEU統計局（Eurostat）の産業連関表を利用した研究が数多く発表されている。また、ISO14000シリーズの発祥地でもあり環境抑制技術も数多く発表されている。ここでは本研究に係る代表的な先行研究を取り上げる。

環境負荷量においてはLenzen, Pade and Munksgaard（2004）が発表したCO₂排出量を其々の国の産業連関表とそれに対応した部門別CO₂排出量を用いた多地域間産業連関（Multi-Region Input-Output: MRIO）モデルを利用することによって計算することが可能になった。また、部門別CO₂排出量の統計は国際エネルギー機関（IEA）及び気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の国別温室効果ガスインベントリープログラムのもとで管理されているデータベースが公開されており国連気候変動枠組条約（UNFCCC）では、インベントリーデータの策定が定められている。日本では独立行政法人国立環境研究所がIPCCと連携した研究活動を実施していることから、今回はこのインベントリーデータを利用した。

経済波及効果・社会的被害費用の計算として参

考とした幾つかの文献がある。インプットとアウトプットの関係を経済構造と環境影響と捉え産業連関表から経済波及効果や環境へ影響度合いを分析した世界的権威である Leontief (1970) が開発したレオンチェフモデルがある。また、Houghton (1997) は大気汚染の貨幣価値換算係数について NO_x などの排出に伴う外部費用の原単位を用いて地域特性別に外部費用を算定する方法を明らかにした。

環境負荷抑制コストの算出について参考とした幾つかの文献がある。既存の開発プロジェクトが齎す環境や生態系への影響を経済評価する先駆けの John and Maynard (1993) の環境経済評価方法を参考とした。一方、Robert and Daniel (1986) は、環境負荷低減のために最適な投資コストを算出するために統計的解析を論理的に確立した経済モデルを発表した。

産業連関表の作成に関しては日本国の国・地方自治体レベルで作成されるため諸外国の文献はあまり参考にならないが、米国を対象に国・地域別に CO_2 などの排出量を原単位ベースで Weber and Matthews (2007) らが比較した文献は参考になる。また、LCA の観点からは生産から廃棄までの一連の分析方法を確立した Peters and Hertwich (2008) のフットプリントモデルを産業連関表のインプットデータとして活用した。

既存文献調査からわかった事は、今迄の研究例は産業連関表を使い経済波及効果も含めた環境負荷の定量化は行っているが、殆ど国・都市を対象とした広域分析モデルが多く、エネルギー政策立案などのための基礎的検討の域を出ていない。また、個々の建物については積上げ方式を採用したエネルギー消費量推計が多く地域産業への影響など経済波及効果と合わせた分析は少ない。更には、経済効果の有る環境負荷量の低減技術を導入した場合の経済波及効果及び環境負荷量の削減量並びに社会的被害量の削減量などを一元的に総合評価している研究例はなかった。

1.2. 本研究の目的

一定規模の面的拡がりを持つ建設プロジェクト

の構想段階に於いて、計画案の環境へ与える負荷を把握すること、また、環境への負荷を軽減する各種の対策技術を投入することによって齎される社会的便益性を計量化し、計画の評価と適切な対策技術を取捨選択出来るモデルを研究することにある。

本研究内容は4研究プロセスで構成されている。(1)越谷市産業連関表策定による最終需要部門の生産額の把握、(2)環境負荷抑制コスト算定モデル、(3)越谷市産業連関表から導かれた経済波及効果、環境負荷量、社会的被害額、(4)環境負荷低減技術を導入した場合の便益性評価、である。産業連関表へ導入するデータは建設段階、運用廃棄段階、環境負荷低減技術導入の各段階毎に分析した。社会的被害費用には有害化学物質・生態毒性のインパクト評価法、環境負荷抑制コスト分析にはミクロ経済モデルを使用した。

2. 越谷市産業連関表策定

産業連関表は、産業部門間の物資やサービスの取引を行列の形で表したものである。実際に作成されている殆どの産業連関表では、取引は貨幣価値単位で記述されているが、この金額のフローとともに物質が移動すると考えることにより、産業間でのエネルギーや資源のフローの分析が行えることから、産業連関表の環境問題への応用は昨今、行われるようになってきた。産業連関表は投入産出分析とも言われ産業連関表の形式を拡張し、産業間だけでなく自然環境から産業への投入や産業から自然環境への算出まで含めた物質単位の投入産出表を作成すれば、環境問題への適用も広がる。

一方、有る活動に付随して直接発生する環境負荷だけでなく、間接的、波及的に発生する環境負荷にまで目を向けるライフサイクル的な思考は社会全体に於ける資源や廃棄物の循環を分析する上で不可欠な要素である。この様に工学的アプローチと経済学的アプローチの組合せによることが環境のシステム分析にとって有力なツールとなりうる。

本研究では総務省が公表した生産者価格基準の

産業連関基本表に準拠した2005年版埼玉県産業連関表を対象とした。産業連関表は1965年から5年毎に公表されており最新のものは2005年(平成17年)のものである。

埼玉県産業連関表の基本分類は520×407部門であるが、越谷市「事業所・企業統計」に部門分類を合わせ、統合中分類である108×108部門で分析した。また、「事業所・企業統計」は日本産業標準分類の小分類で調査を行っており、基本分類名が多少異なるため総務省編集「産業連関表基本分類—日本標準産業分類細分類対比表」を使い相互調整を行った。

分析モデルは、輸入外生型逆行列(2.1)を採用した。その理由は、越谷市は埼玉県の標準的な中核都市であり相似形モデルとして競争輸入型逆行列(2.2)も採用できるが、移出・移入の正確な情報が得られないためである。

$$X = (I - A)^{-1} \{F_{(D)} + F_{(E)}\} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$X = \{I - (I - M)A\}^{-1} \{(I - M)F_{(D)} F_{(E)}\} \dots\dots\dots (2.2)$$

- X: 国内生産額 (百万円/年)
- $(I - A)^{-1}$: レオンチェフ輸入外生型逆行列
- $\{I - (I - M)A\}^{-1}$: レオンチェフ競争輸入型逆行列
- I: 単位行列
- A: 投入係数
- $F_{(D)}$: 国内最終需要額 (百万円/年)
- $F_{(E)}$: 輸出額 (百万円/年)
- M: 輸入係数体角行列
- $m_i = M_i / C_i$
- m_i : 輸入係数
- M_i : 製品の輸入額 (百万円/年)
- C_i : 製品の国内需要 (百万円/年)

(2.1) 式のレオンチェフ輸入外生型逆行列を計算し、国内最終需要を乗算し経済波及効果を含んだ国内生産額: X を算出した。

越谷市の市内生産額を推計するために、越谷市「事業所・企業統計」の2006年産業別就業者数を分割指標として、「事業所・企業統計」の「市町村・産業中分類、民営の事業所数及び従業者数」及び「市町村・産業中分類、民営以外の事業所数

及び従業者数」の総和を求めた。この従業者数を部門別に集計し、比率により埼玉県生産額から越谷市生産額を推計した。表1は越谷市経済の項目別粗付加価値額について埼玉県と越谷市の生産額の比較を行った結果である。構成比を見るとおおよそ埼玉県と同じようなコスト構造になっていることがわかるが、特徴的なのは越谷市の粗付加価値に占める営業余剰の割合が埼玉県に比べて2.6ポイント程高いということである。これは恐らく、越谷市の産業構造の特徴が表れているものと考えられる。越谷市には、凸版印刷、日立エレベータなどの大企業の工場があり、また、工業団地として増森工業団地・平方工業団地もあり、特に粗付加価値額に占める営業余剰の割合が高い繊維・パルプ・紙・鋳業部門が越谷市の生産活動の大きな部分を占めているからである。

表2は、埼玉県及び越谷市の域内生産額とその構成比、特化係数を比較したものである。特化係数をみていくと、最も高い値を示すのは鋳業部門の7.16である。次に高い値を示すのは農業部門の2.55である。市内生産額は低いものの、多数の河に接する水郷都市“越谷”の立地条件を生かした特徴と言える。また、三次産業では金融・保険部門が1.62、医療・保険・社会保障部門が高い。越谷市の特徴として病院・介護保険施設が多く、少なからず越谷市経済に影響を与えていることを示唆している。産業毎の集計を見てみると、第一次産業は2.44と非常に高い値を示し水郷越谷市の特徴となっている。農業部門は2.55と高い値を示している。第二次産業は0.79と埼玉県の水準をやや下回っている。第三次産業は1.14と埼玉県の水準を上回っていることが分かる。

表3は越谷市の最終需要部門の生産額を推計した結果である。ここで策定された越谷市産業連関表の生産額が今後の分析の基本となり、建設プロジェクトの経済波及効果、社会的被害費用などの分析を行うことになる。

尚、社会的便益は抑制技術への新たな投資が齎す経済波及効果として捉えることとし、産業連関表を用いて計算した。

表1 越谷市経済の項目別粗付加価値額

単位：百万円

項 目	埼 玉 県		越 谷 市	
	金 額	構成比 (%)	金 額	構成比 (%)
生産額	39,358,447	100.0	1,536,020	100.0
中間投入額	18,987,105	48.2	674,418	43.9
粗付加価値額	20,371,342	51.8	861,614	56.1
家計外消費支出（行）	690,906	1.8	25,006	1.6
雇用者所得	10,219,878	26.0	388,581	25.3
営業余剰	4,207,718	10.7	205,848	13.4
資本減耗引当	3,547,418	9.0	169,487	11.0
資本減耗引当（社会資本等減耗分）	592,852	1.5	27,829	1.8
間接税（除関税・輸入品商品税）	1,219,987	3.1	50,574	3.3
（控除）経常補助金	-107,416	-0.3	-5,711	-0.4

表2 越谷市生産構造の特徴

単位：百万円

産業部門	越谷市生産額	構成比 (%)	埼玉県生産額	構成比 (%)	特化係数
第一次産業	22,781	0.0148	240,512	0.0061	2.44
農業	22,781	0.0148	230,917	0.0058	2.55
林業	0	0.0000	8,572	0.0002	0.00
漁業	0	0.0000	1,023	0.0000	0.00
第二次産業	517,383	0.3368	16,844,138	0.4250	0.79
鉱業	5,724	0.0037	20,640	0.0005	7.16
食料品	37,352	0.0243	1,425,792	0.0360	0.68
繊維製品	6,745	0.0044	109,082	0.0028	1.60
パルプ・紙・木製品	37,800	0.0246	658,497	0.0166	1.48
出版・印刷	15,754	0.0103	804,658	0.0203	0.51
化学製品	29,459	0.0192	1,386,815	0.0350	0.55
石油・石炭製品	1,747	0.0011	30,091	0.0008	1.50
その他の製造工業製品	47,993	0.0312	845,850	0.0213	1.46
窯業・土石製品	3,180	0.0021	279,635	0.0071	0.29
鉄鋼	17,854	0.0116	298,391	0.0075	1.54
非鉄金属	7,683	0.0050	400,276	0.0101	0.50
金属製品	28,996	0.0189	637,085	0.0161	1.17
一般機械	95,189	0.0620	1,700,820	0.0429	1.44
電気機械	18,904	0.0123	657,712	0.0166	0.74
輸送機械	8,138	0.0053	2,904,965	0.0733	0.07
精密機械	11,303	0.0074	273,940	0.0069	1.06
その他製造工業製品	26,955	0.0175	1,628,997	0.0411	0.43
建設	116,607	0.0759	2,780,892	0.0702	1.08
第三次産業	995,856	0.6483	22,551,612	0.5690	1.14
電力・ガス・熱供給	12,178	0.0079	507,329	0.0128	0.62
水道・廃棄物処理	17,434	0.0114	390,623	0.0099	1.15
商業	32,641	0.0213	3,356,931	0.0847	0.25
金融・保険	92,828	0.0604	1,474,849	0.0372	1.62
不動産	263,335	0.1714	4,176,491	0.1054	1.63
運輸	84,387	0.0549	1,955,399	0.0493	1.11
通信・放送	44,778	0.0292	1,256,106	0.0317	0.92
公務	61,301	0.0399	1,485,744	0.0375	1.06
教育・研究	80,689	0.0525	1,617,173	0.0408	1.29
医療・保険・社会保障	116,536	0.0759	1,890,571	0.0477	1.59
その他の公共サービス	1,666	0.0011	125,554	0.0032	0.34
対事業所サービス	44,152	0.0287	2,021,321	0.0510	0.56
対個人サービス	134,552	0.0876	2,071,632	0.0523	1.68
事務用品	3,129	0.0020	61,217	0.0015	1.32
分類不明	6,250	0.0041	160,672	0.0041	1.00
計	1,536,020	1.0000	39,636,262	1.0000	1.00

表3 越谷市最終需要部門の生産額推計結果（一部削除）

単位：10億円

部門番号	産業部門 (統合分類)	内生部門	家計外消費	民間消費	一般政府	一般政府消費	市内総固定	市内総固定	在庫純増	最終需要	市内
		計	支出(列)	支出	消費支出	支出(社会資本等減耗分)	資本形成(公)	資本形成(民)	部門計	生産額	
001	耕種農業	6	0	5	0	0	0	0	0	5	17
002	畜産	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
003	農業サービス	1	0	1	0	0	0	0	0	1	2
004	林業	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
005	漁業	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
006	金属鉱物	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
007	非金属鉱物	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
008	石炭・原油・天然ガス	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
009	食料品	19	1	33	1	0	0	0	1	35	37
010	飲料	5	1	10	0	0	0	0	0	11	1
011	飼料・有機質肥料（除別掲）	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
012	たばこ	0	0	5	0	0	0	0	0	6	0
013	繊維工業製品	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
014	衣服・その他の繊維製品	2	0	7	0	0	0	0	0	7	7
015	製材・木製品	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4
016	家具・装備品	4	0	0	0	0	0	1	0	1	8
017	パルプ・紙・板紙・加工紙	12	0	0	0	0	0	0	0	0	11
018	紙加工品	4	0	0	0	0	0	0	1	1	15
037	鉄鉄・粗鋼	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
038	鋼材	17	0	0	0	0	0	0	0	0	10
039	鋳鍛造品	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
040	その他の鉄鋼製品	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7
041	非鉄金属製錬・精製	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
042	非鉄金属加工製品	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7
043	建設・建築用金属製品	10	0	0	0	0	0	0	0	0	11
044	その他の金属製品	14	0	1	0	0	0	0	0	1	18
045	一般産業機械	7	0	0	0	0	0	5	0	5	15
046	特殊産業機械	6	0	0	0	0	0	11	0	12	26
047	その他の一般機器及び部品	2	0	0	0	0	0	3	0	3	7
048	事務用・サービス用機器	9	0	0	0	0	0	9	0	9	46
049	産業用電気機器	3	0	0	0	0	0	4	0	5	8
062	精密機械	2	0	2	0	0	0	3	0	5	11
063	その他の製造工業製品	4	0	3	0	0	0	1	0	5	17
064	再生資源回収・加工処理	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
065	建築	2	0	0	0	0	8	58	0	66	72
066	建設補修	20	0	0	0	0	0	0	0	0	16
067	公共事業	0	0	0	0	0	16	0	0	16	17
068	その他の土木建設	0	0	0	0	0	5	5	0	10	11
069	電力	15	0	8	0	0	0	0	0	8	0
070	ガス・熱供給	2	0	3	0	0	0	0	0	3	12
071	水道	6	0	4	0	0	0	0	0	4	12
072	廃棄物処理	4	0	0	2	0	0	0	0	3	5

プロジェクトの環境影響評価と社会的便益性評価の研究

部門番号	産業部門 (統合分類)	内生部門	家計外消費	民間消費	一般政府	一般政府消費	市内総固定	市内総固定	在庫純増	最終需要	市内
		計	支出(列)	支出	消費支出	支出(社会資本等減耗分)	資本形成(公)	資本形成(民)	部門計	生産額	
073	商業	66	3	66	0	0	1	10	0	79	33
074	金融・保険	45	0	22	0	0	0	0	0	22	93
075	不動産仲介及び賃貸	10	0	1	0	0	0	0	0	1	28
076	住宅賃貸料	0	0	22	0	0	0	0	0	22	51
077	住宅賃貸料(帰属家賃) * 国勢調査世帯数割合	0	0	122	0	0	0	0	0	122	185
097	その他の公共サービス	2	0	6	0	0	0	0	0	6	2
098	広告	13	0	0	0	0	0	0	0	0	5
099	物品賃貸サービス	17	0	1	0	0	0	0	0	1	25
089	インターネット付随サービス	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
090	映像・文字情報制作	5	0	3	0	0	0	0	0	3	5
091	公務	2	0	1	40	15	0	0	0	56	61
092	教育	1	0	14	28	10	0	0	0	52	80
093	研究	15	0	1	3	0	0	0	0	4	1
094	医療・保健	3	1	12	20	0	0	0	0	33	98
095	社会保障	0	0	7	3	0	0	0	0	11	9
096	介護	0	0	1	5	0	0	0	0	6	9
108	分類不明	7	0	0	0	0	0	0	0	0	6
109	内生部門計	674	27	529	102	26	33	137	3	3,287	1,536
111	家計外消費支出(行)	25									
112	雇用者所得	389									
113	営業余剰	206									

3. 環境負荷抑制コスト算出モデル

最適環境負荷低減技術を導入するためには投資コストが発生すると同時に経済波及効果と社会的被害費用も合わせて発生するため、社会的便益性モデルを使うこととした。また、環境負荷低減技術を導入した場合の最適投資金額を把握するために利潤最大化モデルを使った。最後に、経済波及効果・社会的被害費用分析に関してはレオンチェフモデルを使い、生産額の原単位評価は国立環境研究所の3EID(環境負荷原単位データブック)、社会的被害費用に関してはLIME2(日本版被害算定型影響評価法)を使った。

3.1. 社会的便益性モデル

環境負荷の増大が地域社会へ与える社会的被害(外部不経済)と環境負荷低減コスト(環境負荷低減技術の導入コスト)とのクロスポイントを開発プロジェクトが地域社会へ与える社会的便益を考慮しながら、限界費用(マージナルコスト)の評価式で求めるものである。

$$MC(:E_2) - MB(:E_3) = MSC(:E_1) \quad (3.1)$$

となるC(環境負荷抑制コスト)を求める。

MC: 限界防止費用 (: Marginal Cost)

環境負荷抑制技術の投資コスト。

MB: 限界社会的便益 (: Marginal Benefit)

便益を環境負荷抑制技術を導入することによ

る経済波及効果。

MSC：限界社会的費用（：Marginal Social Cost）

環境負荷排出者に対する課徴金又は環境負荷抑制者に対する補助金。今回は、環境負荷抑制に掛かる費用として計算。

※ E_1, E_2, E_3 は、表記を簡略化したもの

3.1.1. 環境負荷が齎す社会的コスト： E_1

環境負荷低減関数を定義する。

抑制技術別投資費用対環境負荷低減量：

$$R_{lk}(\cos t) \quad (l = 1, 2, \dots, L; k = 1, \dots, K)$$

R_{lk} は第 l 抑制技術の投入費用対環境負荷低減量を示す関数であり、一つの技術に対して最大 K 個の関数を与えるベクトル関数である。環境負荷量を抑えるための負荷低減量対市場導入コスト関数を仮定する。市場導入関数は個別の環境負荷に対する課徴金が一般的であるが、研究では環境負荷抑制に掛かる費用とした。

$$P_k(k = 1, 2, \dots, k)$$

P_k を関数とすると、 $P_k(q_k)$ となる。 q_k は環境項目 k の低減量である。従って、

$$q_k = \sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l) \dots\dots\dots(3.2)$$

$$P_k(q_k) = P_k\left(\sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l)\right) \dots\dots\dots(3.3)$$

(c_l は第 l 技術の投入コスト)

E_1 = 全ての環境負荷項目への低減効果に対する費用

$$= \sum_{k=1}^K P_k\left(\sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l)\right) \dots\dots\dots(3.4)$$

3.1.2. 環境負荷抑制投資コスト： E_2

L 個の抑制技術を投入した場合の総投入コストは下式で定義する。

$$E_2 = \sum_{l=1}^L c_l \dots\dots\dots(3.5)$$

尚、抑制技術を投入したことによる運転コストの変化を下式で定義する。

$$E'_2 = \sum_{l=1}^L \Delta PE_l(c_l) \dots\dots\dots(3.6)$$

3.1.3. 環境負荷抑制投資が齎す経済誘発効果： E_3

環境負荷を抑制することによる社会的便益 (E_3) は抑制投資の結果としての建設部門へ投入する最終需要の増加が及ぼす波及効果 (便益) を越谷市産業連関表逆行列表を用いて推計する。

逆行列表を用いて第 1 制御技術でコスト C_1 を投入した時の波及効果を算出する。 C_1 は費用のスカラ値であるが実際には投入商品に対する内訳の合計値であり、逆行列表に利用するため、次のベクトルを定義する。

第 l 技術投入コストベクトル

$$= C_1 * \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ \cdot \\ h_{1m} \\ h_{1M} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\sum_{m=1}^M h_{1m} = 1.0$$

第 l 技術の波及効果 $T_l (l = 1, \dots, L)$ は下式

$$T_l = \{I-A\}^{-1} * C_1 * \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ \cdot \\ h_{1m} \\ \cdot \\ h_{1M} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.8)$$

$\{I-A\}^{-1} = \{a_{ij}^{-1}\}_{N \times M}$ とすれば、

$$T_l = \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \dots a_{12}^{-1} \dots a_{1M}^{-1} \\ \vdots \\ a_{N1}^{-1} \dots a_{N2}^{-1} \dots a_{NM}^{-1} \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} h_{11} \\ \vdots \\ h_{1M} \end{bmatrix} * C_l$$

$$= C_l * \begin{pmatrix} a_{11}^{-1} \cdot h_{11} + \dots + a_{1M}^{-1} \cdot h_{1M} \\ \vdots \\ a_{N1}^{-1} \cdot h_{11} + \dots + a_{NM}^{-1} \cdot h_{1M} \end{pmatrix} \dots\dots(3.9)$$

上記 T_l は産業別の内訳を含んでいるため要素の総和を波及効果のコストとする。

$$T_l = c_l \cdot (a_{11}^{-1} h_{1l} + \dots + a_{1M}^{-1} h_{1M} + a_{21}^{-1} h_{2l} + \dots + a_{2M}^{-1} h_{2M} + \dots + a_{N1}^{-1} h_{Nl} + \dots + a_{NM}^{-1} h_{NM}) \dots (3.10)$$

() 内は技術別の定数項なので F_l とする。

$$E_3 = \text{全ての抑制技術投入による波及効果} = \sum_{l=1}^L T_{cl} = \sum_{l=1}^L F_l \cdot c_l \dots (3.11)$$

以上を統合すると、環境負荷抑制投入の全費用は、 $E_2(+E_2')-E_1$ であり、社会的経済波及効果： E_3 との限界投入コストを求めることになる。また、プロジェクトへの初期投資効果で比較すると環境負荷投資コストは金額的にも限られることから他産業への経済波及効果は大きくないと言える。

尚、社会的被害費用として、今回の分析では環境影響物質の外部流出はない状態にすることを目標にするため、排出側の課徴金は発生しない。しかしそのための対策費用が発生することから LIME (Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling) データによる社会的被害費用抑制費を算出し $-E_1$ とした。

以上を踏まえ、 $MC(:E_2)-MB(:E_3) = MSC(:E_1) \dots (3.1)$ を次式で整理した。尚、投資コスト、経済波及効果は割引率を使用した³⁾が、LIME 分析では割引率は織り込み済みであるため除外した。

$$\frac{\partial \{E_2(+E_2')-E_3\}}{\partial c_l} = \frac{\partial E_1}{\partial c_l} \dots (3.12)$$

($l=1, \dots, L$)

c_l ($l=1, \dots, L$) : 第 l 技術の投入費用
(3.12)式の左辺は

$$E_2(+E_2')-E_3 = \sum_{l=1}^L c_l + \sum_{l=1}^L \Delta PE_l(C_l) - \sum_{l=1}^L F_l \cdot c_l \dots (3.13)$$

よって、

$$\frac{\partial \{E_2(+E_2')-E_3\}}{\partial c_l} = 1 + \frac{\partial \Delta PE_l(C_l)}{\partial c_l} - F_l = 1 + \Delta PE_l'(c_l) - F_l \dots (3.14)$$

(F_l は定数, $l=1, \dots, L$ ΔPE_l は c_l で微分)

(3.12)式の右辺は、

$$E_1 = \sum_{k=1}^K P_k(q_k, s_1, \dots, s_j) \dots (3.15)$$

但し $q_k = \sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l)$

よって、

$$\frac{\partial E_1}{\partial c_l} = \sum_{k=1}^K \frac{\partial P_k(q_k, s_1, \dots, s_j)}{\partial q_k} \frac{\partial q_k}{\partial c_l} = \sum_{k=1}^K \left[\frac{\partial P_k(q_k, s_1, \dots, s_j)}{\partial q_k} \right] \cdot \frac{\partial \sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l)}{\partial c_l}$$

s_1, \dots, s_j は q_k とは独立と考えられるため、

$$= \sum_{k=1}^K [P_k'(q_k, s_1, \dots, s_j) \cdot R_{lk}'(c_l)] \dots (3.16)$$

但し、 P_k は q_k で微分、 R_{lk} は c_l で微分

(2.16)式、(2.18)式を等号すると、

$$1 + \Delta PE_l'(c_l) - F_l = \sum_{k=1}^K [P_k'(q_k, s_1, \dots, s_j) \cdot R_{lk}'(c_l)] \dots (3.17)$$

但し、 $q_k = \sum_{l=1}^L R_{lk}(c_l)$
($j=1, 2, \dots, L$) ($k=1, \dots, K$)

(2.19)式をもって定式化できる。

分析には、以下の前提条件をおいた。

- 1) 運転コストの変化分は投入した環境負荷低減技術の規模に比例する。

$$\Delta PE_l(C_l) = p_l c_l \dots (3.18)$$

- 2) 社会的被害費用は、環境負荷低減量に対して下式の関係を持つ。

$$P_k(q_k, s_1, \dots, s_j) = P_k^{(3)} \cdot q_k^3 + p_k^{(2)} \cdot q_k^2 + p_k^{(1)} \cdot q_k + p_k^{(0)} \dots (3.19)$$

但し、 $P_k^{(3)}$, $P_k^{(2)}$, $P_k^{(1)}$, $P_k^{(0)}$ は3次方程式の係数とする。

3) 環境負荷低減量は投入コストとの間で逡減曲線の関係を持つ。

$$c_l = r_{lk}^{(2)}(R_{lk}(c_l))^2 + r_{lk}^{(1)}(R_{lk}(c_1)) \dots (3.20)$$

3.2. 利潤最大化モデル

環境負荷低減技術の導入による利潤最大化のポイントは、 $MC=MR$ ($: MB+MSC$) になる。環境負荷低減技術を分野毎に導入した場合の投資コスト・経済波及効果・社会的被害費用の分析に用いる。

環境負荷低減技術の投入量が利潤最大化の規模になっているかを検証するものである。利潤最大化のポイントまで設備投資した場合に経済波及効果がどのようになるかを観るのが目的である。図1は、 MC と MR との関係を示したものである。

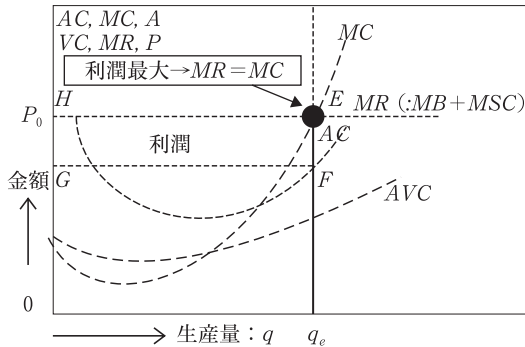


図1 限界費用と限界 (MC : Marginal Cost) と限界社会的便益 (MB)・社会的費用 (MSC)

3.3. 経済波及効果・社会的被害費用モデル

今回の分析用基礎データは、独立行政法人国立環境研究所の3EID：環境負荷原単位データ、社団法人産業環境管理協会のLIME：日本版被害算定型影響評価手法を活用した。

1) 3EID：環境負荷原単位データ (Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables)

生産者価格による原単位として、生産者ベースの基本モデルを用いた。輸入品の生産にかかわる

環境負荷が同一製品を国内で生産した場合と同量であると仮定した場合、部門 j の活動に伴う総環境負荷量は中間需要に伴う間接負荷と直接負荷との和であるから次式を満たす。

$$e_1 x_{1j} + e_2 x_{2j} + \dots + e_k x_{kj} + \dots + e_n x_{nj} + D_j = e_j X_j \dots (3.21)$$

e_j ：部門 j の単位生産（百万円一生産者価格）当たりの直接、間接に誘発される環境負荷量。すなわち、環境負荷原単位（負荷量/百万円一生産者価格）を示す。

X_j ：部門 j の国内生産額（生産者価格）

D_j ：部門 j の生産活動に伴う直接環境負荷量

：部門 j における部門 i からの投入額（生産者価格）

(3.21)式の両辺を国内生産額 X_j で割ると投入係数： a_{ij} 単位生産額当たりの直接環境負荷量 d_j を用いて表せる。

$$a_{1,j}e_1 + a_{2,j}e_2 + \dots + a_{k,j}e_k + a_{n,j}e_n + d_j = e_j \dots (3.22)$$

但し、 $a_{i,j} = x_{i,j}/x_j$ $d_j = D_j/X_j$

部門 $j = 1, \dots, n$ についてベクトル及び行列を用いて表す。

$$(e_1, e_2, \dots, e_n) \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$+(d_1, d_2, \dots, d_n) = (e_1, e_2, \dots, e_n) \dots (3.23)$$

また、原単位ベクトル e 単位当たりの直接環境負荷ベクトル d 及び投入係数行列 A を用いて表すと次のようになる。

$$e = (e_1, e_2, \dots, e_n) \dots (3.24)$$

$$d = (d_1, d_2, \dots, d_n) \dots (3.25)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \dots (3.26)$$

$$e * A + d = e \dots (3.27)$$

環境負荷原単位は

$$e = d*(I-A)^{-1} \dots\dots\dots(3.28)$$

2) LIME：日本版被害算定型影響評価法 (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)

LIME は、LCA (Life Cycle Assessment), LCIA (Life Cycle Impact Assessment) を基軸に環境影響評価法である。製品を構成する原料の採取から材料入手、製品製造、使用、廃棄、リサイクルに至る全てのライフサイクルステージを範囲として、対象製品が及ぼす環境負荷を定量的に評価するために最適な分析法である。

内容としては、地球温暖化、オゾン層破壊、有害化学物質、生態毒性など 11 項目の影響領域を係数化した「特性化係数リスト」、人間健康、社会資産、生物多様性など 4 項目を計数化した「被害係数リスト」、外部費用など 3 項目を計数化した「統合化係数リスト」がある。今回は、統合化係数を採用した。

特性化： $CI^{impact} = \sum(CF^{impact}(X) *Inv(X)) \dots\dots\dots(3.29)$

被害評価：

$$DI(safe) = \sum_{impact X} DF^{impact}(safe, X) *Inv(X) \dots\dots\dots(3.30)$$

統合化： $SI = \sum_{impact X} IF^{impact}(X) *Inv(X) \dots\dots\dots(3.31)$

- X：環境負荷物質
- impact：環境領域
- safe：保護対象
- CI^{impact} ：特性化（影響評価指標）
- $DI(safe)$ ：被害評価（被害指標）
- SI：統合化（単一指標）
- $CF^{impact}(X)$ ：特性化係数
- $DF^{impact}(sage,X)$ ：被害係数
- $IF^{impact}(X)$ ：統合化係数

4. 環境影響評価と社会的便益性評価

事例としては、「越谷レイクタウン」を採用し

た。昨年 3 月に JR 武蔵野線に新駅が開業した 225.6 ヘクタールの開発プロジェクトである。将来的には 2 万 2,400 人が暮らす街が生まれる予定であるが、その最大の特徴は、計画段階から排出量 20%削減を目指す取り組みが行われた点にある。今回はこのプロジェクトの運営責任者である独立行政法人 UR 都市再生機構の支援によりデータ収集、分析を実施した。

4.1. 建設設備投資金額の計算条件

建築容量分析は容積率・建蔽率を使った。表 4 は越谷レイクタウンの建設設備投資額を示したものであるが、13 年間に亘る投資金額は 6,035 億円であるが建設充足稼働率は 90%と仮定し投資金額は 5,487 億円とした。投資期間は 2006~2018 年である。また、日本建築学会（2008 年ベース）で推計された建設関連年間価格変動率（%）は 2000 年を 100 として時系列データを評価した場合、建築・施工単価指数及び設備資機材等単価指数評価では、年間-0.42%であった。従って、今回の建設・設備に関する年間投資額の価格変動率（%）は年間-0.42%として計算した。

4.2. 環境負荷量の計算条件

環境負荷量の推計に当たって、CO₂ は 2005 年版の国内生産額当り排出量（CO₂ kg/百万円）を使用した。それ以外の環境物質は 1995 年版の原単位排出量を使い 2005 年版の国内生産額で補正し排出量を推計した。対象とした環境負荷物質は CO₂, SO_x, NO_x, SPM, CH₄, N₂O の 6 物質とした。

4.3. 社会的被害費用の計算条件

社会的被害費用の推計は、環境要素ごとの排出量に、人体・環境への影響度合いを金額レベルで示した統合化係数を乗算して推計した。環境要素ごとの排出量は、独立行政法人国立環境研究所が纏めた産業連関表による環境負荷原単位データブック（3 EID）の各環境物質原単位排出量を使用して産出した。次に、社会的被害費用の算出は、特性化と被害評価を統合化した評価体系である日本

表4 越谷レイクタウン建設設備投資金額

単位：億円

北地区		地区細区分	地積 (ha)	用途地域	容積率	建蔽率	延面積 (m ²)	建設単価 (円/m ²)	投資金額
種別									
公共用地	道路		32.8						
	水路 公園・緑地 調整池		0.1 6.9 38.8						
		計	78.6						900
宅地	住宅用地	一般住宅	44.8	第一種・第二種低層住居専用地域	100	50	896,000	154,000	1380
		計画住宅	43.1	第一種・第二種低層住居専用地域	100	50	862,000	154,000	1330
		沿道施設	10.2	第一種低層住居専用地域	100	50	204,000	176,000	360
		共同住宅区	0.8	第一種・第二種住居地域	200	60	26,670	154,000	40
		小計	98.9						3110
	公益的施設用地	商業地域 I	12.5	商業地域	400	80	625,000	100,000	630
		商業施設 II・業務施設	1.1	準工業地域	200	60	36,700	106,000	40
		工業	4.6	第一種中高層住居専用地域	200	60	154,000	168,000	260
		教育施設	1.7	第一種住居地域	400	80	85,000	204,000	170
		鉄道施設	1.2	第二種低層住居地域	100	50	24,000	188,000	45
		その他公益的施設	1.2						
	小計	21.1						1145	
	計画建設用地	小計	26.4	第二種住居地域	200	60	880,000	100,000	880
	集合農地区	小計	0.6	第一種低層住居専用地域			6,000	5,700	0
計		147.0						5,135	
合計		225.6						6,035	

出典：独立行政法人UR都市再生機構（2008）

表5 社会的被害費用原単位表

排出物質	排出原単位 (I-A) ⁻¹	kg/生産額 百万円	t-CO ₂ /生産額 百万円	*TOE/生産額 百万円
NO _x	〃	3.647		
SO _x	〃	2.202		
SPN	〃	0.392		
N ₂ O	〃	0.134		
CH ₄	〃	0.556		
CO ₂	〃		1.544	
Energy	〃			0.802

*TOE=10,000,000 Kcal=11,628 Kwh 860 Kcal/Kwh
出典：独立行政法人国立環境研究所（1995）

版被害算定型影響評価値を使用した。これは、其々の環境要素領域で事例を基にしたインベントリーデータから人体・環境への影響度合いを金額レベルで推計した統合化係数と定義されている。表5は社会的被害費用原単位表、表6は社会的被害費

表6 社会的被害費用換算表

環境負荷要素	排出量：単位	単位当たり被害費用	金額基準
CO ₂	t-CO ₂	1,740	円/t-CO ₂
NO _x	t-NO _x	141,000	円/t-NO _x
SO _x	t-SO _x	77,300	円/t-SO _x
SPM	t-SPM	4,030,000	円/t-SPM
CH ₄	t-CH ₄	44,300	円/t-CH ₄
N ₂ O	t-N ₂ O	570,000	円/t-N ₂ O

出典：産業環境管理協会（2010）

用換算表を示したものである。

越谷レイクタウンの大半は店舗・量販店、集合住宅で構成されていることから、両施設の年間平均光熱用水費・保全費・修繕費を使うこととした。表7に詳細を示す。

今回の対象は従来型設備工事費は日本建築学会地球環境委員会のデータを活用した。規模を考慮

表7 光熱用水費・保全費・修繕費

	項目	単位		億円
1	延面積	m ²	3,793,370	
2	光熱用水費	円/年	4,339	164.6
3	保全費（清掃・保安）	円/年	4,822	182.9
4	修繕費（修繕・更新）	円/年	2,315	87.8
	計	円/年	11,475	435.3

出典：独立行政法人 UR 都市再生機構（2006）

表8 延床面積当たり設備工事費
（共通費含む，消費税別）（1990年価格）

単位：千円/m²

番号	規模	内 訳	店・舗 量販店	集合住宅
1	10,000 m ² 以上	照明	20.280	19.410
		コンセント		
		熱負荷		
		外皮		
2	10,000 m ² 以上	熱源本体	4.890	16.630
		水搬送		
		換気		
		空気搬送		
3	10,000 m ² 以上	給排水	18.190	11.660
		給湯		
4	10,000 m ² 以上	昇降機	3.510	5.530
5	10,000 m ² 以上	その他	1.000	1.000

出典：日本建築学会（2006）

し10,000 m²以上とした。表8は延床面積当たり設備工事費（共通費含む）である。

4.4. 正味現在価値法による経済性計算条件

建設設備投資額，修繕・更新費・光熱用水費，社会的被害費用，経済波及効果は毎期のキャッシュフローを現在価値に直し便益性を評価する。割引率は8.0%とした。企業価値の計算に用いる割引率には通常，加重平均資本コストであるWACC（Weighted Average Cost of Capita）を用いる。WACCは，株主資本コストと負債資本コストを

加重平均して求める。つまり自己資本と他人資本の調達コストを加重平均していることになる。以下に計算式を示す。

$$WACC = \left[rE \times \frac{E}{D+E} \right] + \left[rD \times (1-T) \times \frac{D}{D+E} \right] \dots (4.1)$$

rE ：株主資本コスト

rD ：負債コスト

D ：有利子負債の額（時価）

E ：株主資本の額（時価）

T ：実効税率（40%）

次に割引率8.0%とし，そこから得られる将来のキャッシュフローの現在価値とを比較考量した。割引率を i ，毎期のキャッシュフローを $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ で示すと投資額を差し引いた正味の現在価値（NPV）は表9に示される。

$$NPV = \left\{ \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \left\{ \frac{R_n}{(1+i)^n} \right\} \right\} - C_0 \dots (4.2)$$

C_0 ：投資額

i ：割引率

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ：毎期のキャッシュフロー

表9 正味現在価値表

期 間	現在	1年	2年	n年	
投資額	C_0	R_1	R_2	R_n	
毎期キャッシュフローの現在価値	$R_1/(1+i) \leftarrow$	$\downarrow (1+i)$	$R_2/(1+i)_2 \leftarrow$	$\downarrow (1+i)_2$	$R_n/(1+i)_n \leftarrow$	$\downarrow (1+i)_n$
正味現在価値	$R_1/(1+i) + R_2/(1+i)_2 + \dots + R_n/(1+i)_n - C_0$					

5. 分析結果

投入した環境負荷低減技術金額と省エネルギー効果の相関性が認められるかを検証し分析した。次に，産業連関表を使った建設・運用・廃棄段階の建設投資コスト，経済波及効果，社会的被害費用分析で，前記した様に従来型の場合（環境負荷低減技術を導入しない場合），環境負荷低減技術

を分野総計で導入した場合、環境負荷低減技術を各分野毎に分析した場合の3パターンで分析した。

5.1. 従来型で評価した場合、導入環境負荷技術を総合で評価した場合、分野毎に最適解で評価した場合の比較

従来型の場合は、建設投資額、投資による経済波及効果、運用期間を30年とした場合の発生する修繕費（修繕費、更新費）及び保全費（清掃費、保全費）である。また、光熱用水費が掛かると伴に社会的被害費用が発生する。前記した基準により割引率は8.0%と想定し、社会的被害費用には経時変化は生じないとし割引率は除外した。

5.1.1. 従来型で評価

建設段階だけでなく運用段階での地域経済に及ぼす社会的被害費用を考慮しプロジェクト全体の便益性を正味現在価値で評価すると4,703億円の効果が出ていることが分かった。社会的被害費用は割引率を考慮しないことで分析した。表10はその内訳を示した。

5.1.2. 導入環境負荷低減技術を総合で評価

導入した環境負荷低減技術100種類を総計で計算した場合の推計値である。

この場合は、運用段階に於いてエネルギー削減効果が大きく効く技術を導入していることから光熱用水費が約50億円も削減できていること、修繕・更新費、清掃・保全費も大きく削減できていることからプロジェクト全体の便益性を正味現在価値で評価すると5,183億円の効果がでていることが分かった。これは従来型の建設設備投資よりは正味現在価値で480億円も便益性に優れていることになる。表11はその内訳を示したものである。

5.1.3. 環境負荷低減技術を各分野毎で評価

導入した環境負荷低減技術100種類を分野毎に利潤最大化点まで投資額を上昇させる、或いは利潤最大化点まで投資額を下降させることにより最適投資額を決定し便益性評価を行った。これによると図2利潤最大化ポイントの位相図による様に、最適点で投資されていない分野を改善すると更に

便益性が上がることが分かる。プロジェクト全体の便益性を正味現在価値で評価すると5,535億円の効果がでていることが分かった。これは従来型の建設設備投資よりは正味現在価値で830億円も便益性に優れていることになる。この場合も社会的被害費用は割引率を考慮しないことで分析した。表12はその内訳を示したものである。

表13は、今回採用した環境負荷低減技術一覧の一部である。現在は、国・地方自治体が入札条件として仕様に織り込んでいる。

表10 従来型建設設備投資の便益性評価表

単位：億円

	CashFlow	経過年	13年目金額	43年目金額
	※補償費用			
①	建設投資額		377	0
	建設投資累積額		5487	0
②	建設経済波及効果		805	0
	経済波及効果累積額		11637	0
③※	建設社会的被害額		4	0
	建設社会的被害累積額		61	0
④	修繕費（修繕・更新）		88	88
⑤	保全費（清掃・保全）		183	183
⑥	修繕費・保全累積額		271	271
⑦	経済波及効果累積額（修繕更新・清掃保全）		541	541
⑧※	社会的被害費用累積額（修繕更新・清掃保全）		3	3
⑨	運用光熱用水費		165	165
⑩	計：（経済波及効果＋社会的被害費用）－建設投資額（初期、運営時）：（年度建設経済波及効果②＋累年運用経済波及効果⑦＋年度建設社会的被害費用③（補償費）＋累年運用社会的被害費用⑧）－（年度建設投資①＋累年運用費用⑥＋運用光熱用水費⑨）		542	109
	割引率：8.00% WACC基準		0.3677	0.0249
	社会的被害費は割引率除外正味現在価値額		199	3
	正味現在価値累計		4254	4703

表 11 導入環境負荷低減技術総合評価表

単位：億円

	CashFlow	経過年	13年目金額	43年目金額
	※補償費用			
①	建設投資額		377	0
	建設投資累積額		5487	0
②	建設経済波及効果		805	0
	建設経済波及効果累積額		11637	0
③※	建設社会的被害額		4	0
	建設社会的被害累積額		61	0
④	運用修繕費（修繕・更新）		88	88
⑤	運用保全費（清掃・保全）		183	183
⑥	運用修繕費・保全累積額		271	271
⑦	運用経済波及効果累積額（修繕更新・清掃保全）		541	541
⑧※	運用社会的被害費用累積額（修繕更新・清掃保全）		3	3
⑨	運用光熱用水費		165	165
①	環境負荷低減導入額（全分野一括）		7	0
	環境負荷低減導入累計額		91	0
②	環境負荷低減経済波及効果額		15	0
	環境負荷低減経済波及効果累計額		194	0
③※	環境負荷低減社会的被害額		0	0
	環境負荷低減社会的被害累積額		1	0
④	運用修繕費（修繕・更新）		0	0
⑤	運用保全費（清掃・保全）		0	0
⑥	運用修繕費・保全費年計		0	0
	運用修繕費・保全費累積額		3	3
⑦	運用経済波及効果累積額（修繕更新・清掃保全）		6	6
⑧※	運用社会的被害費用累積額（修繕更新・清掃保全）		0	0
	運用光熱用水費		115	115
⑨	運用光熱用水費削減分（AV: 30%down）		49	49
⑩	計：（経済波及効果＋運用光熱用水費削減分⑨＋社会的被害費用）－建設・環境投資額（初期，運営時） ：（年度建設・環境・経済波及効果②②＋累積運用建設・環境経済波及効果⑦⑦）＋年度建設・環境社会的被害費用③③（補償費）＋累積運用建設・環境社会的被害費用⑧⑧）－（年度建設・環境投資①①＋累積運用建設・環境費用⑥⑥）		603	162
	割引率：8.00%	WACC 基準	0.3677	0.0249
	社会的被害費は割引率除外	正味現在価値額	222	4
		正味現在価値累計	4517	5183

表 12 環境負荷低減技術各分野毎の評価表

単位：億円

	CashFlow	経過年	13年目金額	43年目金額
	※補償費用			
①	建設投資額		377	0
	建設投資累積額		5487	0
②	建設経済波及効果		805	0
	建設経済波及効果累積額		11637	0
③※	建設社会的被害額		4	0
	建設社会的被害累積額		61	0
④	運用修繕費（修繕・更新）		88	88
⑤	運用保全費（清掃・保全）		183	183
⑥	運用修繕費・保全累積額		271	271
⑦	運用経済波及効果累積額（修繕更新・清掃保全）		541	541
⑧※	運用社会的被害費用累積額（修繕更新・清掃保全）		3	3
⑨	運用光熱用水費		165	165
①	環境負荷低減導入額（各分野毎）		12	0
	環境負荷低減導入累計額		156	0
②	環境負荷低減経済波及効果額		24	0
	環境負荷低減経済波及効果累計額		312	0
③※	環境負荷低減社会的被害額		0	0
	環境負荷低減社会的被害累積額		2	0
④	運用修繕費（修繕・更新）		0	0
⑤	運用保全費（清掃・保全）		0	0
⑥	運用修繕費・保全費年計		0	0
	運用修繕費・保全費累積額		2	2
⑦	運用経済波及効果累積額（修繕更新・清掃保全）		4	4
⑧※	運用社会的被害費用累積額（修繕更新・清掃保全）		30	30
	運用光熱用水費		104	104
⑨	運用光熱用水費削減分（AV: 40%down）		66	66
⑩	計：（経済波及効果＋運用光熱用水費削減分⑨＋社会的被害費用）－建設・環境投資額（初期，運営時） ：（年度建設・環境・経済波及効果②②＋累積運用建設・環境経済波及効果⑦⑦）＋年度建設・環境社会的被害費用③③（補償費）＋累積運用建設・環境社会的被害費用⑧⑧）－（年度建設・環境投資①①＋累積運用建設・環境費用⑥⑥）		654	208
	割引率：8.00%	WACC 基準	0	0
	社会的被害費は割引率除外	正味現在価値額	240	5
	正味現在価値累計		4682	5535

表 13 環境負荷低減技術一覧表（一部分）

エネルギー消費先区分		年間 エネルギー 消費量	エネルギー 消費構成	省エネ率	省エネルギー 量	KWH/m ² ・ 年	エネルギー 削減金額
消費先 区 分	導入技術項目	MJ/m ² ・ 年 (スーパー)	比率 (全国平均) %	(全国平均) %	MJ/m ² ・ 年	省エネルギー 量	百万円/年
熱 負 荷	高効率パッケージ形空調機	* 1	0.452	0.098	1.304	4.693	8.370
熱 負 荷	厨房外調機・ファンの風量モード切 換制御	* 1	0.452	0.076	1.011	3.640	6.491
熱 負 荷	全熱交換器	* 1	0.452	0.072	0.958	3.448	6.149
熱 負 荷	放射冷暖房空調システム	* 1	0.452	0.051	0.678	2.442	4.356
熱 負 荷	太陽光	*	0.452	0.038	0.505	1.820	3.245
熱 負 荷	自然通風	* 1	0.452	0.033	0.439	1.580	2.818
熱 負 荷	外気冷房システム	* 1	0.452	0.031	0.412	1.485	2.648
熱 負 荷	局所冷房設備	* 1	0.452	0.030	0.399	1.437	2.562
熱 負 荷	冷気と暖気が混合しない設備	*	0.452	0.030	0.399	1.437	2.562
熱 負 荷	コジェネレーションシステム	*	0.452	0.028	0.371	1.336	2.382
熱 負 荷	ウォーミングアップ時の外気遮断制御	*	0.452	0.022	0.293	1.054	1.879
熱 負 荷	ハイブリッド換気システム	*	0.452	0.022	0.293	1.054	1.879
熱 負 荷	厨房外調機の換気モード切換制御	* 1	0.452	0.020	0.266	0.958	1.708
熱 負 荷	空調機の気化式加湿器	*	0.452	0.010	0.133	0.479	0.854
熱 負 荷	冷却除湿再熱方式以外の除湿システム	*	0.452	0.007	0.093	0.335	0.598
熱 負 荷	空調の最適起動制御	* 1	0.452	0.011	0.146	0.527	0.939
熱 負 荷	フリークーリングシステム	*	0.452	0.006	0.080	0.287	0.512
熱 負 荷	高効率厨房換気システム	* 1	0.452	0.010	0.133	0.479	0.854
熱 負 荷	大空間の居住域空調又は局所空調シ ステム	* 1	0.452	0.010	0.133	0.479	0.854
熱 負 荷	地中温度活用	*	0.452	0.002	0.027	0.096	0.171
熱 負 荷	太陽熱	*	0.452	0.001	0.013	0.048	0.085
熱源本体	高効率熱源機器	* 1	0.258	0.282	2.141	7.708	13.747
熱源補機	高効率空調用ポンプ	* 1	0.258	0.143	1.086	3.909	6.971
熱源補機	冷却水ポンプ変流量制御	* 1	0.258	0.100	0.759	2.733	4.875
熱源補機	高効率冷却塔	* 1	0.258	0.097	0.737	2.651	4.729
熱源補機	空調 1 次ポンプ変流量制御	* 1	0.258	0.088	0.668	2.405	4.290
熱源本体	蓄熱システム	* 1	0.258	0.050	0.380	1.367	2.437
熱源本体	高効率コージェネレーション	* 1	0.258	0.050	0.380	1.367	2.437
熱源本体	デシカント空調システム	* 1	0.258	0.053	0.402	1.449	2.584
熱源本体	冷凍機冷凍水熱回収	* 1	0.258	0.037	0.279	1.003	1.789

エネルギー消費先区分		年間 エネルギー 消費量	エネルギー 消費構成	省エネ率	省エネルギー 量	KWH/m ² ・ 年	エネルギー 削減金額
消費先 区 分	導入技術項目	MJ/m ² ・ 年 (スーパー)	比率 (全国平均) %	(全国平均) %	MJ/m ² ・ 年	省エネルギー 量	百万円/年
熱源本体	冷却・除湿分離方式省エネ空調システム	* 1	0.258	0.032	0.243	0.875	1.560
熱源補機	冷却塔ファンインバータ制御	* 1	0.258	0.030	0.228	0.820	1.462
熱源補機	冷却塔ファン等の台数制御又は発停制御	* 1	0.258	0.030	0.228	0.820	1.462
熱源本体	熱回収ヒートポンプシステム	* 1	0.258	0.022	0.166	0.596	1.063
熱源本体	自家発電冷却設備の廃熱利用	*	0.258	0.014	0.109	0.391	0.697
熱源本体	蒸気ボイラーのエコノマイザー	*	0.258	0.013	0.099	0.355	0.634
熱源本体	熱源機器出口設定温度の遠方制御	*	0.258	0.006	0.046	0.164	0.292
熱源本体	蒸気弁・フランジ部の断熱	* 1	0.258	0.007	0.053	0.191	0.341
換 気	高効率ファン	* 1	0.062	0.131	0.239	0.861	1.535
換 気	外気取入れ制御	* 1	0.062	0.121	0.221	0.795	1.417
換 気	置換換気システム	* 1	0.062	0.100	0.182	0.657	1.171
換 気	電気室の温度制御	* 1	0.062	0.048	0.088	0.315	0.562
換 気	人感センサーによる換気制御	*	0.062	0.016	0.029	0.105	0.187
換 気	エレベーター機械室の温度制御	* 1	0.062	0.016	0.029	0.105	0.187
換 気	熱源機械室ファンの燃焼機器等連動制御	* 1	0.062	0.010	0.018	0.066	0.117
空気搬送	高効率空調機	* 1	0.118	0.165	0.573	2.063	3.679
空気搬送	空調機の変風量システム	* 1	0.118	0.260	0.903	3.250	5.797
空気搬送	大温度差送風空調システム	*	0.118	0.248	0.861	3.100	5.529
空気搬送	床吹出空調システム	* 1	0.118	0.110	0.382	1.375	2.453
空気搬送	空調機の間欠運転制御	* 1	0.118	0.100	0.347	1.250	2.230
給 排 水	省エネ型便座又は洗浄便座のスケジュール制御	*	0.008	0.300	0.071	0.254	0.453
給 排 水	大便器の節水器具	* 1	0.008	0.200	0.047	0.170	0.302
給 排 水	高効率給水ポンプ	* 1	0.008	0.100	0.024	0.085	0.151
給 排 水	雨水利用システム	* 1	0.008	0.029	0.007	0.025	0.044
給 排 水	洗面器の自動水栓	* 1	0.008	0.030	0.007	0.025	0.045
給 排 水	中水利用システム	*	0.008	0.010	0.002	0.008	0.015
給 排 水	擬音装置	* 1	0.008	0.100	0.024	0.085	0.151
給 排 水	空調ドレン再利用システム	* 1	0.008	0.013	0.003	0.011	0.020
		計			20.145	72.521	193.080

出典：東京都環境条例 技術認定基準表（2006）

注記）* 1：従来設備の取替分，*：設備の追加

6. 今後の研究の発展的可能性

今回の研究は単一プロジェクトに於いて、建物のLCC (Life Cycle Cost) の内、環境負荷低減技術を導入した場合に社会的便益がどの様に発生するかを研究した。その結果、割引率8.0%で評価すると、従来技術適用の場合に比べて環境負荷技術の利潤最大化ポイントで投入した場合の方が正味現在価値で評価すると830億円の経済効果があることが分かった。

今後は、国・地方自治体環境条例技術だけでなく、もっときめ細かな技術の集約と導入効果データを集約し企画段階で精度高くプロジェクト評価できる研究を継続したい。尚、どの技術が目的変数に対して寄与度が高いかを多変量解析などの手法を使いながら分析の速度を上げていきたい。また、環境負荷低減技術導入に関しては、投資制約がある場合は数理計画法を使い領域内での利潤最大化ポイントを抽出する研究を行う予定である。更には、都市形成その物に今回のモデルを導入した場合の地球環境問題解決への寄与度を定量的に把握できる仕組みを研究していきたい。

参考文献

- 山口 一・小笠原均郎 (1995), 「省資源・少廃棄物型オフィスビル分析基礎調査」『環境問題報告』No. 51, 建築業協会, pp. 54-105.
- 今井康博・香川邦彦 (2010), 「環境配慮設計の推進状況」『2009年CASBEE対応状況および省エネルギー計画書に関する調査報告』No. 62, 建築業協会, pp. 10-56.
- 小池浄一・澤田晃也 (2008), 『建築物のLC評価用データ集 (改訂第4版)』, 建築・設備維持保全推進協会.
- 佐藤正章・近田智也 (2006), 『建物のLCA指針』, 日本建築学会.
- 伊香賀俊治・外岡 豊 (2005), 『LCAデータベース』, 日本建築学会.
- 本藤祐樹・外岡 豊・内山洋司 (1998), 「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』No. Y97017, 電力中央研究所.
- 本藤祐樹・森泉由恵・外岡 豊 (2001), 「産業連関表 (1995年表) 部門別直接エネルギー消費量および直接CO₂排出量の推計」『電力中央研究所報』No. Y01908, 電力中央研究所.
- 南斎規介・森口祐一・東野 達 (2002), 『産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)』, 国立環境研究所.
- 金本圭一朗・外岡 豊 (2009), 「我が国の貿易に伴うCO₂排出量の推計」『エネルギー資源』第30巻第3号, エネルギー資源学会, pp. 6-14.
- 伊坪徳宏・稲葉 敦 (2010), 『LIME 2 (意思決定を支援する環境影響評価手法)』, 産業環境管理協会.
- 植田和弘・落合仁司・北島佳房・寺西俊一 (1992), 『環境経済学』, 有斐閣ブックス.
- FM推進連絡協議会 (1998) 『ファシリティマネジメントガイドブック』, 日刊工業新聞社.
- 東京都環境局 (2004), 『東京都建築物環境配慮制度マニュアル』, 東京都環境局.
- 田中稔・三船俊治・山本 亨 (2002) 『ビルの実践的省エネルギー/省コスト戦略』, オーム社.
- 本田 豊・中澤純治 (2000), 「市町村地域産業連関表の作成と応用」『立命館経済学論集』第49巻第4号, pp. 40-65.
- 石川良文 (2001), 「Nonsurvey手法を用いた小都市圏レベルの地域間産業連関モデル」『第12回環太平洋産業連関分析学会全国大会論文集』, 環太平洋産業連関分析学会, pp. 1-15.
- 埼玉県総務部統計課 (2010), 『埼玉県産業連関表』, 埼玉県総務部.
- 沼田博美・横山計三・竹林芳久・横尾昇剛・岡 建雄 (2010), 「2005年産業連関表による建設に伴うCO₂排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究」『日本建築学会環境系論文集』第75巻, 日本建築学会, pp. 653-659.
- Lenzen, M., Pade, L., and Munksgaard, J. (2004), "CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models," *Economic Systems Research*, Vol. 16, pp. 391-412.
- Peters, G., and Hertwich, E. (2007), "Opportunities and CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy," *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 8, pp. 1401-1407.
- IPCC (2001), "Global Regional and National Costs and Ancillary Benefits of Mitigation," *IPCC Third Assessment Report*.
- IPCC (2007), "Mitigation from a cross sectoral Perspective," *IPCC Fourth Assessment Report*.
- Leontief, W. (1970), "Environmental Repercussion and Economic Structure; An Input-Output

- Approach," *The Review of Economics and statistics*, Vol. 12, pp. 262-271.
- Houghton, J., Meio, B., Callander, N., Kattenburg, A., and Maskell, K. (1997), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- John, A., and Maynard, M. (1983), *Economic Valuation Techniques for the Environment*. (長谷川 弘 訳『環境の経済評価テクニック』築地書館, 1993年)
- Robert, S., and Daniel, L.(1986), *Econometric Models and Economic Forecasts*, McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- Weber, C., and Matthews, H. (2007), "Embodied Environmental Emissions in US International Trade," *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 14, pp. 4875-4881.
- Cole, R. J. (1993), "Energy and Greenhouse Gas Emissions Associated with the Construction of Alternative Structural System," *Building and Environment*, Vol. 34, pp. 335-348.
- Lenzen, M., and Treloar, G. (2002), "Embodied Energy in Buildings," *Energy Policy*, Vol. 30, pp. 249-255.
- Buchanan, A. H., and Honey, B. G. (1994), "Energy and Carbon Dioxide Implications of Building Construction," *Energy and Buildings*, Vol. 20, pp. 205-217.