

社会資本整備プロジェクトLCAを応用した「環境アセットマネジメント」手法の提案*

Proposal of “Environmental Assets Management” Method and Their Application to Life Cycle Assessment of Infrastructure Provision Projects *

柴原 尚希**・加藤 博和***

By Naoki SHIBAHARA**・Hirokazu KATO***

1. はじめに

鉄道整備や道路改良といった社会資本整備プロジェクトの実施には莫大な費用が必要である。このような「投資」が正当化されるのは、プロジェクトの実施によって社会的に望ましい効果を貨幣換算した「社会的便益」の発生額がその投資総額を上回っているからに他ならない。その定量評価手法が費用便益分析である¹⁾。

一方、低炭素社会の実現による持続可能な社会の構築が叫ばれている昨今、社会資本整備プロジェクトの実施も、将来にわたる環境負荷を抑制することが重要な前提条件の1つとなるであろう。環境の観点から望ましい社会資本整備を導くための指標を与えるツールとして Life Cycle Assessment(LCA)が有効である。LCA は、時間的には評価対象のライフタイム全体を、空間的には製品の製造・使用・廃棄に加えて動脈側にある資源やその加工・運搬等への遡及を含めた環境負荷発生量を、包括的に捉えて評価する方法論である。そのため、社会資本整備プロジェクトを将来に環境負荷を出さないための先行投資と捉えれば、費用便益分析と LCA とは類似性があると言える。

ところが、社会資本 LCA は耐用年数が半永久的であるという特徴から、LCA ではそのライフタイム(費用便益分析でいうプロジェクトライフ)の設定が難しく、また将来の不確実性の考慮も問題視されてきた²⁾。その解決策として、費用便益分析で用いられるような割引率の導入が考えられるが、今度は環境負荷をそもそも割引くことができるのか、あるいは割引けたとしても値をどのように設定すればよいか、という問題が発生する。

そこで著者らは既報³⁾で、費用便益分析の手法から類推し、ライフタイム・割引率を設定せずに評価する3つの方法(累積環境負荷チャート、エコロジカルペイバックタイム、環境収益率)を提案している。本稿では、それらの方法を用いた社会資本整備プロジェクトの評価法

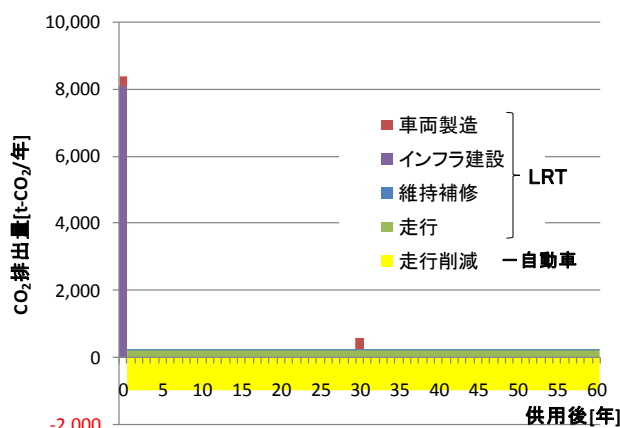


図-1 交通システムに関するCO₂排出の一般的な経年推移(LRT整備の例⁶⁾)

を「環境アセットマネジメント」と名付け、具体的な交通システム整備プロジェクトに適用し、有用性を検証する。その際、著者らが既に LCA を実施している交通システム⁴⁾⁷⁾をケーススタディとして論じる。また、環境負荷物質はCO₂を対象とする。

2. 社会資本整備のライフサイクルCO₂の推計方法

(1)システム境界の捉え方

図-1 に一般の社会資本整備におけるCO₂排出の経年推移を、既報⁶⁾のLRT整備を例に示す。LRTシステムを構成するインフラ・車両とその走行分を範囲とした評価バウンダリを、著者らは SyLCEL(System Life Cycle Environmental Load ; システムライフサイクル環境負荷)と定義している(グラフの正領域の合計)。建設時のCO₂排出が大きく、供用が開始すればその運用(走行)や維持補修に伴う排出は概して小さい。一方、LRT整備に伴い並行道路を走行していた乗用車交通量がLRTに転換するといった波及効果(グラフの負領域)が考えられる。このような波及効果による増減分も合わせた評価範囲を、ELCEL(Extended Life Cycle Environmental Load ; 拡張ライフサイクル環境負荷)と定義している(グラフの正負領域の総計)。

*キーワード：環境計画，地球環境問題，LCA

**正会員，修(環境)，名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市千種区不老町C1-2(651)，TEL：052-789-2773，
FAX：052-789-1454，E-mail：shibahara@nagoya-u.jp)

***正会員，博(工)，名古屋大学大学院環境学研究科
(TEL：052-789-5104，E-mail：kato@env.nagoya-u.ac.jp)

(2)Life Time 法

通常の LCA で行われるような、「ライフタイムをある値に設定し、その期間の環境負荷を単純合計する方法」を、本稿では Life Time 法と呼ぶ。このとき、ライフサイクル環境負荷 E_L は式(1)で定義される。

$$E_L = \sum_{t=0}^T e_t \quad (1)$$

ただし、 e_t : t 年における環境負荷、 T : ライフタイム

(3)Discount Rate 法

将来の環境負荷よりも現在の環境負荷を削減する努力の方が確実だと考え、「将来の環境負荷発生を現在よりも低く見積もる(割り引く)方法」を、本稿では Discount Rate 法と呼ぶ。このとき、インフラシステムのライフタイム(T 年)にわたる環境負荷 E_d は、割引率を i として式(2)で表される。

$$E_d = \sum_{t=0}^T \frac{e_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

式(2)はライフタイム T を無限大とすると収束する(ただし、 $i > 0$ の場合)。そのため、ライフタイム設定による値の恣意性の問題が緩和される。

3. ケーススタディの概要

本稿では、著者らが既に Life Time 法を用いて LCA を実施した事例⁴⁾⁷⁾をケーススタディとして用いる。その主な設定と推計結果を表-1 に、ライフタイムを 60 年とした時の段階別排出割合を図-2 に示す。図-2 の正領域が SyLCEL、正負領域の和が ELCEL にあたる。各ケースの特徴は以下の通りである。

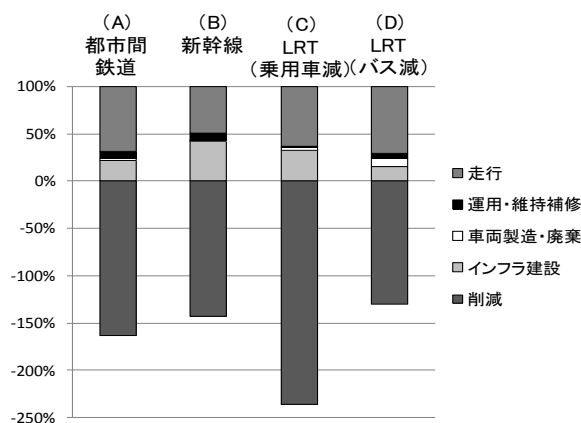


図-2 各ケースの段階別 CO₂ 排出割合

(A)都市間鉄道

走行段階が SyLC-CO₂(SyLCEL で評価した CO₂)の約 68%と最も大きい。並行交通の減少に伴い、SyLC-CO₂ の約 1.6 倍の CO₂ が削減される。

(B)新幹線

輸送量が少ないため、インフラ建設段階(SyLC-CO₂ の 43%)と走行段階(同 49%)が同程度の割合である。並行交通の減少に伴い、SyLC-CO₂ の約 1.4 倍の CO₂ が削減される。

(C)LRT(乗用車減)

走行段階が SyLC-CO₂ の約 64%と最も大きい。並行乗用車交通の減少に伴い、SyLC-CO₂ の約 2.4 倍の CO₂ が削減される。

(D)LRT(バス減)

路線延長が短く、運行頻度が高いため、並行交通の削減は代替されるバスのみの分となる。ケース(C)よりも走行段階の割合が大きく、SyLC-CO₂ の約 71%を占める。CO₂ の削減は SyLC-CO₂ の約 1.3 倍にとどまる。

表-1 各ケースの主な設定と CO₂ 推計結果

交通システム		(A)都市間鉄道 ⁴⁾	(B)新幹線 ⁵⁾	(C)LRT ⁶⁾ (乗用車減)	(D)LRT ⁷⁾ (バス減)
ELCEL	SyLCEL				
	インフラ建設[t-CO ₂]	909,491	10,205,925	8,057	1,965
	車両製造・廃棄[t-CO ₂ /ライフタイム]	22,279 [†]	30,323 [†]	313 [‡]	315 [†]
	運用・維持補修[t-CO ₂ /年]	5,362	29,359	4	354
	走行[t-CO ₂ /年]	46,211	193,293	259	146
	合計[Mt-CO ₂ /60年]	4.07	23.7	0.024	0.012
並行交通走行[t-CO ₂ /年]	-110,778	-564,708	-964	-268	
合計[Mt-CO ₂ /60年]	-2.58	-10.2	-0.033	-0.004	
整備により削減される並行交通機関		鉄道 乗用車	航空 在来線特急 乗用車	乗用車	バス
輸送密度 (輸送量) [人/日(往復)]		327,000	32,000	6,300	7,000
路線延長[km]		58.3	698	5.0	1.7
駅/電停数[箇所]		20	20	34	6

インフラライフタイム 60 年、[†] : 車両ライフタイム 20 年、[‡] : 車両ライフタイム 30 年

4. 環境アセットマネジメントの考え方と社会資本整備プロジェクトの評価方法

アセットマネジメントは元来、不動産や金融の分野で個人や法人の資産を効率的に管理・運用する業務を意味していた。近年、土木分野でも社会資本を資産と捉え、アセットマネジメントの考え方を援用することが多くなっている。特に維持補修計画の立案にあたって導入が進んできている。本稿で提案する「環境アセットマネジメント」は、社会資本整備を環境への先行投資と捉え、初期に環境負荷排出を伴うものの、それを補う(あるいは上回る)見返り(環境負荷削減)があるかどうかで評価するものである。その際、環境負荷総量やそのライフステージ別内訳で議論してきた従来の社会資本 LCA ではあまり行われてこなかった、排出状況の経年推移を定量的に把握する点が重要となる。そのことで、需要量の変化や車両技術の革新といった不確実性もシナリオに明示的に折り込み検討することが可能となる。具体的には、以下の(1)~(3)の方法を提案する。

(1)累積環境負荷チャート

社会資本整備を実施する場合(with)と実施しない場合(without)の各代替案について、時間経過に伴って累積する CO₂ の推移を示すものである。これにより、ライフタイム(使用期間)の変化による効果発生時の分析が可能となる。2つの線が交わることは、インフラ建設分の CO₂ が初期に発生するものの、社会資本整備により削減効果が発生し相殺することを意味している。この分岐が早期であるほど CO₂ 削減型のプロジェクトである。

(2)エコロジカルペイバックタイム

ペイバックタイムは、設備投資の効果によって、投資資金が何年で回収できるかを示す指標である。この考え方を環境負荷に応用するものがエコロジカルペイバックタイムである。without に比べて with の場合に CO₂ がどの程度増えるかを示したものであり、ゼロになるまでの期間が CO₂ ペイバックタイムである。この期間が短いプロジェクトほど環境的に優良なプロジェクトであると言える。なお、累積環境負荷の分岐点とエコロジカルペイバックタイムは同じ期間となる。

ケース(C)の場合、LRT のインフラ建設・車両製造による CO₂ と、ペイバックタイムまでの運用による CO₂ が、乗用車走行による CO₂ 削減によって回収される期間は12年であることが分かる(図-3)。

(3)環境収益率

a)詳細法

費用便益分析において便益と費用が等しくなる場合の

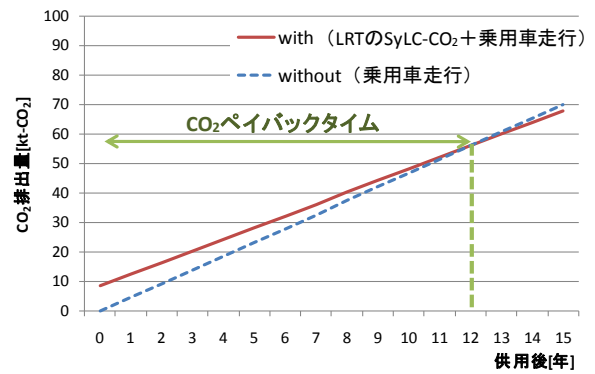


図-3 累積環境負荷チャートとエコロジカルペイバックタイム

割引率を意味する内部収益率(IRR ; Internal Rate of Return)の考え方を応用し、環境収益率(ERR ; Environmental Rate of Return)指標と定義する。ERRはプロジェクトの実施による環境負荷の発生量と削減量が等しくなる割引率であり、式(3)を満たす*i*である。

$$\sum_{t=0}^T \frac{ELC - CO_2}{(1+i)^t} = 0 \quad (3)$$

ERR の高いプロジェクトほど環境負荷削減効果が高い、もしくは削減がより確実に起きると判断できる。Life Time 法や Discount Rate 法では環境負荷の大小で代替案比較を行うのに対し、ERR では環境負荷が削減されるまでの早さが明示される点が特徴である。

b)簡便法

インフラ建設の環境負荷を E_c 、供用時の各年の環境負荷を E_{RL} 一定とすると、式(2)は等比級数となり、 $T \rightarrow \infty$ のとき式(4)の値に収束する。

$$E_d = E_c + \frac{E_{RL}}{i} \quad (4)$$

このとき、並行交通の走行減少による各年の削減環境負荷 E_{RC} 一定とすると、式(3)の値も収束するため、ERR は、

$$i = \frac{E_{RC} - E_{RL}}{E_c} \quad (5)$$

となる。実際のプロジェクトでは、供用中に車両更新等を伴うため、式(5)のように解析的には算出できないが、簡便に値を求めたいときに用いることができる。

以上、(1)~(3)の方法を用いれば、ライフタイムや割引率を設定せずに評価できることはもとより、評価指標が[年]あるいは[%]で基準化されるため、規模や種類の全く異なるプロジェクトを横並びで比較することが可能である。ただし、当然ながら ELC-CO₂ が改善しないプロジェクトは(2)・(3)の方法では評価できないのが弱点である。

5. 推計結果

(1)CO₂ペイバックタイム・ERRの比較

3章で示したケーススタディについて、CO₂ペイバックタイム、ERR(詳細法/簡便法)の推計結果を表-2に示す。

a)CO₂ペイバックタイム

並行交通の走行減少による削減量が大きいケース(C)が最も短い。また、削減割合が同程度のケース(A)と(B)を比べると、ケース(B)の方が約2倍長い。これは、初期に発生するインフラ建設分の割合が大きいことに起因する。

b)ERR

初期投資を早期に回収できるケース(C)が最も大きい。また、詳細法と簡便法を比べると、ケース(A)~(C)については車両製造・廃棄段階の排出割合が数%以下であるため、ほとんど差がないことが確認できる。

(2)乗用車燃費向上による累積CO₂発生量とCO₂ペイバックタイムの変化

ケース(C)を対象に、乗用車燃費が年1%ずつ向上した場合の累積CO₂発生量とCO₂ペイバックタイムを図-4に示す。乗用車の燃費が向上すると、LRT整備に伴う乗用車走行起源CO₂の削減効果が圧縮されるため、CO₂ペイバックタイムは14年となり、2年長くなる。このことから、乗用車性能の改善を考慮しない推計の場合、LRT事業を過大評価する可能性があることが分かる。同様にERRは7.5%となり、1.6%小さくなる。

6. おわりに

本稿では、社会資本整備プロジェクトを将来の環境負荷削減への先行投資として捉え、その評価方法として累積環境負荷チャート、エコロジカルペイバックタイム、環境収益率(ERR)を提案した。4種類の交通システム整備プロジェクトに適用したところ、以下の知見を得た。

- 1) 供用後、並行交通の走行減少による削減割合が大きいプロジェクトほど、CO₂ペイバックタイムは短く、ERRは大きい。
- 2) また、削減割合が同程度の場合、初期投資(インフラ建設分の割合)が大きいほど、CO₂ペイバックタイムは長く、ERRは小さい。
- 3) 車両製造・廃棄段階の排出割合が小さいプロジェクトの場合、ERRの算出に当たっては簡便法を用いても差し支えない。

これらの方法は、整備規模に関係なく社会資本プロジェクトの環境面からの比較評価に利用できる。また、各種シナリオを織り込んだ、感度分析の実施も可能である

表-2 CO₂ペイバックタイム・ERR(詳細法/簡便法)

推計結果				
交通システム	(A)都市間鉄道	(B)新幹線	(C)LRT(乗用車減)	(D)LRT(バス減)
(2)CO ₂ ペイバックタイム	16年	31年	12年	25年
(3-a)ERR(詳細法)	6.7%	3.4%	9.1%	4.8%
(3-b)ERR(簡便法)	6.5%	3.4%	8.7%	6.2%

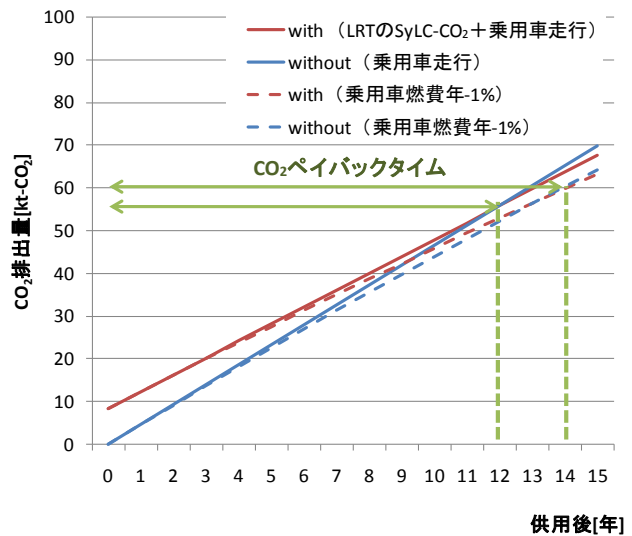


図-4 乗用車燃費の向上による累積CO₂発生量とCO₂ペイバックタイムの変化

ため、様々なプロジェクトへの適用を通じて、さらなる知見の蓄積を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 藤井聡：土木計画学—公共選択の社会学，学芸出版社，2008。
- 2) 加藤博和，柴原尚希：都市・社会資本・交通を対象としたライフサイクルアセスメント研究の現状と課題，土木計画学研究・講演集，Vol.33，CD-ROM(34)，2006。
- 3) 柴原尚希，加藤博和：交通システムのLCAにおける将来の不確実性の考慮に関する検討，土木計画学研究・講演集，Vol.39，CD-ROM(39)，2009。
- 4) 加藤博和：建設構造物のLCI分析，稲葉敦監修，LCAの実務，産業環境管理協会，pp.38-40，2005。
- 5) 柴原尚希，加藤博和，渡辺由紀子：LCAを用いた地域間高速鉄道整備代替案の環境効率比較，土木計画学研究・講演集，Vol.34，CD-ROM(101)，2006。
- 6) 渡辺由紀子，長田基広，加藤博和：LRTシステム導入の環境負荷評価—代替輸送機関との比較と環境効率の適用—，日本LCA学会誌，Vol.2 No.3，pp.246-254，2006。
- 7) 柴原尚希，上宮田裕，森本涼子，加藤博和：LRT整備に伴うライフサイクルCO₂の推計，環境科学会2009年会研究発表会，2009。