

道路改良事業へのLCA適用*

An application of Life Cycle Assessment to Road Improvement Projects*

森本涼子**・加藤博和***・柴原尚希****・渡辺由紀子*****

By Ryoko MORIMOTO**・Hirokazu KATO***・Naoki SHIBAHARA****・Yukiko WATANABE*****

1. はじめに

自動車交通は地球温暖化をはじめとした環境問題の大きな要因となっている。今後も自動車交通量は増加すると予測され、環境負荷削減の立場からの対策が急務である。

自動車走行は、渋滞や交差点・踏切の存在によってストップ・アンド・ゴーが多くなると燃費が悪化し環境負荷が増大するため、走行状況の改善が効果的な環境負荷削減施策になりうる。そこで、自動車交通を円滑化するための道路改良事業において、効果の1つとして環境負荷削減が強調されるようになってきている。一方で、自動車交通の円滑化は、新たな交通の誘発や、改良にあたって必要なインフラの建設・運用・維持管理に伴う環境負荷増大をもたらす懸念がある。これらの影響も含めて環境負荷を包括的かつ定量的に評価してはじめて、他の事業案との環境面での比較が可能となる。

そこで、環境面からの評価を行う手法としてLCA(Life Cycle Assessment)が考えられる。LCAとは、製品やインフラの製造・建設から、運用、更新、廃棄といったライフサイクル全体の環境負荷を定量的に把握する手法である。道路事業へのLCA適用は多く行われているが、大半は道路インフラの建設に伴うCO₂排出量を資材製造段階までしかのぼって推計するものであり、本来のLCAの定義からすると部分的な評価を行っているに過ぎない。一方、加藤ら¹⁾は道路改良事業のLCAを自動車走行の変化分も含め評価することを試みており、その評価範囲はライフサイクル全体にわたっているものの、単純な事例の評価にとどまっており、供用後予想される多様なシナリオに対応できていない。

そこで本研究では加藤らの方法を発展させ、道路改良事業の計画段階においてLCAを用いて環境負荷を評価し、結果を提示する方法論を構築することを目的とする。

*キーワード：環境計画、地球環境問題

** 学生会員、学(工)名古屋大学大学院 博士前期課程

環境学研究所 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

TEL:052-789-3828、mori@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

*** 正会員、博(工)、名古屋大学大学院環境学研究所 准教授

**** 正会員、修(環境)、名古屋大学大学院環境学研究所

***** 正会員、修(環境)、東日本電信電話株式会社

2. LCAの方法論構築

道路改良事業に伴う、高架橋・トンネル・舗装などインフラの整備と、自動車走行状況の変化が、耐用年数内の環境負荷総排出量をいかに変化させるかを推計する。評価対象とする事業として、1)交差点改良、2)踏切除却を取り上げる。推計する環境負荷物質は、地球温暖化に寄与する二酸化炭素(CO₂)とする。

(1) 評価対象範囲の設定

推計方法の全体構成を図-1に示す。評価の対象範囲(システム境界)として、a)インフラ整備、b)自動車走行を考え、これらを合わせて道路システムのライフサイクル環境負荷(System Life Cycle Environmental Load: SyLCEL)を定義する。

a)インフラ整備については、LCAの考え方に沿った場合には、自体の資材消費、建設、供用のライフサイクルを通した環境負荷を評価する必要がある。廃棄の段階は建設や資材調達に比べて排出が小さいことが稲村ら²⁾の推計結果などで示されていることから、廃棄の段階の環境負荷はここでは推計しない。インフラのライフタイムは、減価償却の計算に用いる高架道路の耐用年数を用いて、建設開始から供用後30年までとする。

環境負荷原単位は、資材消費に関しては産業環境管理協会が提供するJLCA-LCAデータベース2006年度3版を、

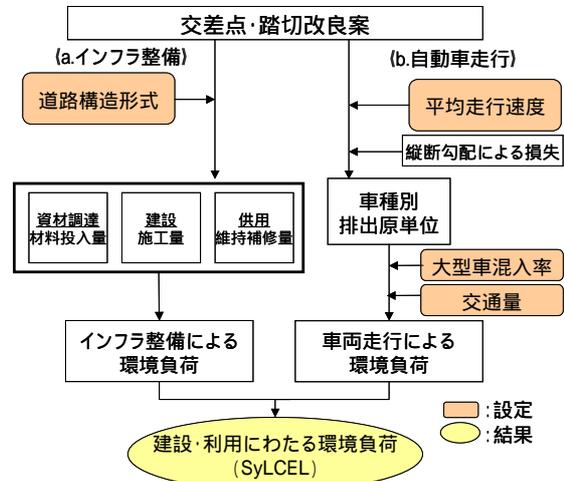


図-1 環境負荷推計の全体構成

そこで提供されていない自動車・建設機械の燃料消費の原単位については、日本建築学会が公表しているLCAデータベースVer.2.2を利用する。

(2) インベントリ分析

a) インフラ整備

インフラの整備にかかる原材料の調達、施工に要するエネルギー消費の推計においては、本来は各資材の詳細な投入量や施工に使用した機材とその運転に使用したエネルギーなどを詳細に数え上げる必要がある。しかし本研究で目的とする計画段階での評価において、詳細な構造設計は当然実施されていないため、そのようなデータは全く得られない。そこで各構造形式別に、既存の構造物の資材投入量データを参考にして構造物を構成する各パーツの資材投入量を求め、これらを合計することによって環境負荷を求める「概略LCA」の方法を適用する。

資材調達では原材料製造時に排出される環境負荷を、建設では施工の際に使用した機械の燃料消費による環境負荷を評価対象に含める。具体的には図-2に示すように、橋脚、橋台、橋桁、コンクリート擁壁、杭基礎、舗装の資材消費・施工を評価範囲とする。供用段階に関してはインフラの維持補修は、アスファルト舗装に対する10年ごとの切削オーバーレイ工事を想定する。

b) 自動車交通

道路上を走行する自動車から発生する環境負荷を、以下に示す方法により推計する。

前提条件として、自動車走行状況パラメータである、日交通量・平均旅行速度・大型車混入率を設定する。自動車交通からの環境負荷は式(1)に基づいて推計する。

環境負荷排出量[kg]

$$= \text{燃料消費率}[\text{l/台km}] \times \text{燃料消費の環境負荷排出原単位}[\text{kg/l}] \times \text{走行距離}[\text{km}] \times \text{交通量}[\text{台}] \cdots (1)$$

燃料消費率は、まず大城ら³⁾が走行試験によって得た、平均走行速度を説明変数とする式を用いて、小型車・大型車それぞれの値(ガソリン・ディーゼル車比率を加味したガソリン換算量)を算出する。この値に、燃料を消費する際に発生する環境負荷(本研究ではCO₂)原単位を乗じて台km当たりの排出量を求め、それに距離・交通量を乗じて、評価範囲における自動車交通起源の環境負荷排出量を推計する。

交差点・踏切を改良する際、立体交差化によって前後に勾配部分ができ、燃費に大きな影響を与える。そこで、勾配による燃費の変化を考慮するため、同じく大城らの研究で示された排出係数変化率を用いて、±4%の勾配部を通過する際には、0%勾配の部分の2.48倍の燃料を消費するものとして推計を行う。また、アイドリングによる燃料消費量は表-1に示す値を用いる。

評価対象の空間的範囲は、交差点・踏切中心部から各

表-1 アイドリング1分間あたりの燃料消費量⁴⁾

| | |
|-----|--------------|
| | 燃料消費量[l/min] |
| 小型車 | 0.0140 |
| 大型車 | 0.0155 |

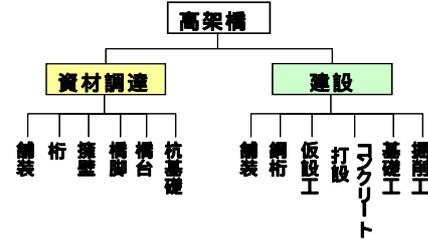


図-2 インフラの評価範囲ツリー (高架橋の例)

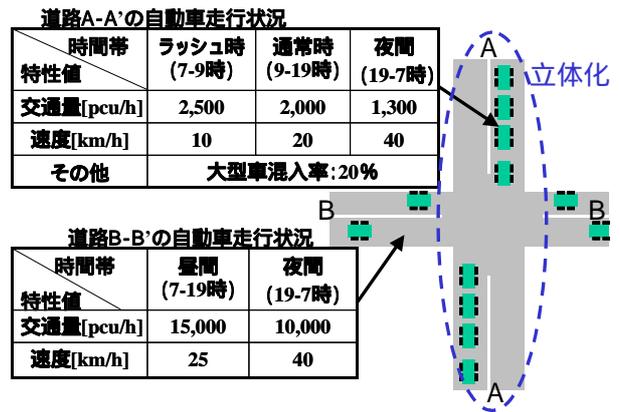


図-3 交差点改良事業の評価例における自動車走行状況の設定

方向500m区間とする。

3. 交差点改良事業への適用

(1) ケーススタディの概要

市街地にある2車線の一般道路同士の十字交差点を立体交差化する事業を対象とする。地下化と高架化の各ケースを扱い、構造の違いを比較する。自動車走行状況はある国道交差点での高架立体交差化事例を参考にして、日交通量・平均旅行速度・大型車混入率を図-3のように設定する。高架化する道路は高さ6mとし、4%勾配の高架橋で平面道路と交差させる。地下化する道路は4%勾配で深さ6mの地下構造に接続し、平面道路と交差させる。つまり道路延長・縦断勾配などの、走行に影響を与える要因は高架化・地下化とも同じ条件であり、自動車からの排出量はインフラの構造の違いによる変化はない。改良後は誘発交通の発生が見込まれるため、交通量を改良前の1.1倍と設定する。走行速度は、渋滞解消によりラッシュ時30km/h、通常時40km/hに向上するものと設定する。

(2) 環境負荷推計結果

交差点の改良に伴う環境負荷排出量を推計した結果を

図-4に示す。自動車走行起源が多くの割合を占めていることがわかる。改良前後を比較すると、インフラ整備による環境負荷の増大があるが、自動車走行状況が改善されることにより、高架化・地下化とともに削減効果が得られている。

高架化ケースはコンクリートや鉄鋼を多く投入するため資材消費起源の、地下化ケースは掘削などの施工起源の割合が高くなっている。インフラのみ着目した場合、CO₂排出量は高架化に比べて地下化の方が1割ほど大きく、CO₂の排出を抑えるには、構造は地下化よりも高架化のほうが有利であるという結果となっている。

(3) 自動車走行状況による感度分析

高架化ケースについて、CO₂を対象に改良後の速度による感度分析を行った結果を以下に示す。図-5は、改良後の走行速度を10～60km/hで変化させSyLC-CO₂を算出した値である。改良前の走行速度が20km/h・30km/hの場合の排出量をあわせて表示している。これにより、改良前の走行速度が20km/hのときは改良後の走行速度35km/h以下、30km/hのときは55km/h以下ではインフラ整備によるCO₂排出を取り戻せずに、環境負荷が増大する結果となる。

(4) 環境負荷削減効果が発現する条件

高架化ケースについて、改良前後の交通状況の違いによる環境負荷の削減効果の程度を、日平均走行速度・日交通量に関して感度分析した結果を図-6、図-7にまとめる。これにより、改良後にどのような交通状況に改善されれば削減効果が得られるかの判断が可能になる。図-6より、速度に関しては、改良前に通常時35km/h以上が確保されていれば、改良後に法定速度の60km/hまで向上しても、改良により環境負荷が増大してしまうことになる。また図-7より、交通量に関しては、改良後に交通量が約1.16倍に増加すると、削減効果が得られないことがわかる。

4. 踏切除却事業への適用

(1) ケーススタディの概要

鉄道高架化による連続立体交差化事業を対象とする。駅は鉄軌道3kmにつき1駅、踏切は1kmに1箇所と設定し、実際のデータを参考に、延長2.1km、駅1箇所、踏切7箇所、高さ9mの連続立体交差化事業について推計を行う。インフラ整備の環境負荷推計は、柴原ら⁵⁾が推計した鉄道駅・高架橋の標準原単位を用いて推計を行う。交差する道路の交通状況は、1つの踏切につき日交通量5,000台、大型車混入率20%で、対象範囲は踏切により渋滞ができるので走行速度は10km/hとする。踏切の遮断による停

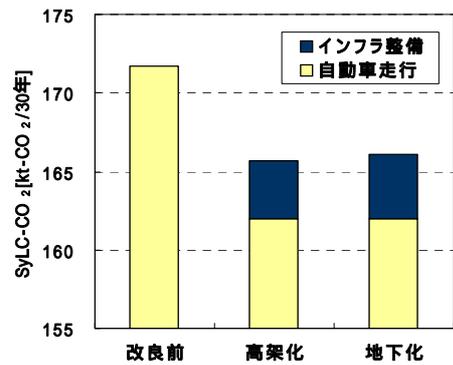


図-4 交差点改良による SyLC-CO₂ 変化

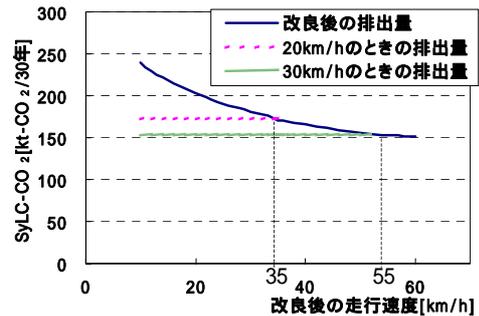


図-5 交差点改良後の自動車走行速度による SyLC-CO₂ の感度分析

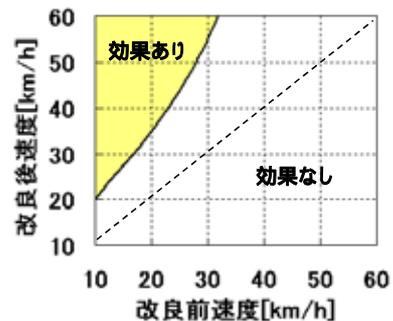


図-6 交差点改良前後の自動車走行速度の変化と削減効果の有無



図-7 交差点改良前後の自動車交通量の変化と削減効果の有無

止は、自動車1台当たりピーク時平均8.6分、通常時平均3分とする。

このような踏切に対し、対象範囲の自動車走行と遮断の間のアイドリングによる燃料損失から環境負荷排出量を推計する。改良により踏切が除却されることで、渋滞が解消し周辺の走行速度は40[km/h]となり、アイドリ

ングもなくなるものとする。

代替案として、各々の道路を交差点で高架化する単独立体交差化ケースを扱う。鉄道を連続立体交差化することで除却できる踏切を、逆に道路をすべて高架化することで踏切の影響をなくすものである。道路高架橋は3章の交差点改良で用いたものと同じ構造物を設定する。自動車走行状況の変化は連続立体交差化ケースと同じとし、勾配抵抗による走行起源環境負荷増大の影響も考慮する。

(2) 環境負荷推計結果

踏切除却事業に伴う環境負荷排出量を推計した結果を図-8に示す。SyLC-CO₂のうち自動車走行起源が多くを占めており、改良によって踏切遮断による停止中のアイドリングと渋滞が解消されることで、連続立体交差化、単独立体交差化の両ケースともに、改良前と比較してSyLC-CO₂は約4割削減という大きな効果が得られている。また単独立体交差化ケースに比べ、連続立体交差化ケースのほうが環境負荷排出量が下回っている。これは道路を高架化した際の勾配抵抗による自動車走行分増大の影響が大きいためである。

(3) 自動車走行状況による感度分析

図-9は、改良後の交通量を0~100,000台の間で変化させ算出した改良後のSyLC-CO₂の値である。単独立体交差化ケースは63,000台まで、連続立体交差化ケースは71,000台以上に交通量が増加すると、改良前よりも環境負荷が増大してしまう。

(4) 環境負荷削減効果が発現する条件

改良に伴う環境負荷削減効果の有無を、交通量に関して図-10にまとめる。これらは、建設による環境負荷排出量が、何台の自動車が走行状況改善されることで相殺されるかを示している。したがって、対象とする事業の総延長と、除却される踏切を通過する全交通量から、計画段階でその改良事業が効果的かどうかを検討することが可能となる。例えば、5km区間の改良であれば、連続立体交差・単独立体交差ともに、約2万台の自動車交通があれば効果が得られることになる。

5. まとめ

本研究では、道路改良事業の環境負荷をLCAを用いて評価する方法論を構築した。これは、当該道路を利用する自動車からの環境負荷はもとより、道路インフラ自体のライフサイクル環境負荷も評価対象範囲とし、自動車走行状況の変化や誘発交通の影響を含めた推計を実施、代替案との比較や感度分析を行うことによって各道路の交通状況に適した環境負荷削減策を導出するものである。

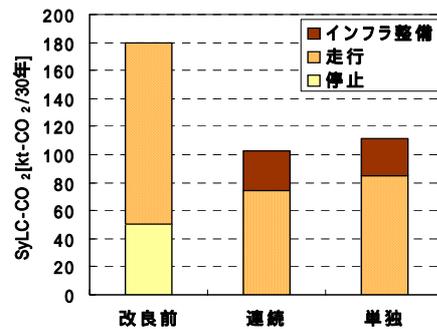


図-8 踏切除却の SyLC-CO₂ 変化

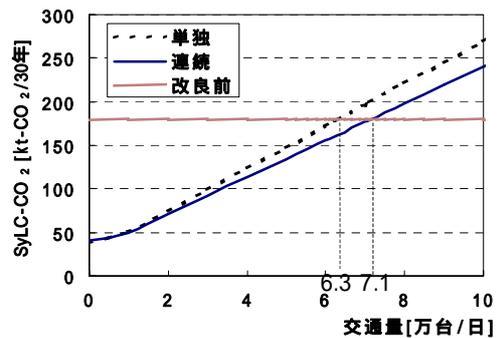


図-9 踏切除却後の自動車交通量による SyLC-CO₂ の感度分析

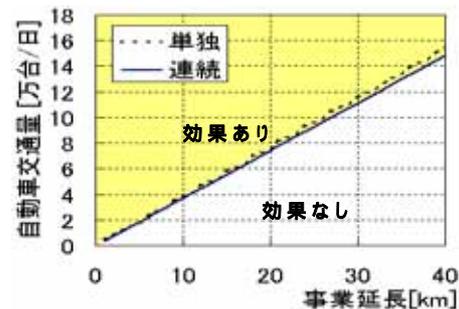


図-10 踏切除却の効果の有無と事業延長・自動車交通量との関係

交差点改良・踏切除却にこの方法を適用した結果、自動車の交通量・走行速度の条件によっては自動車起源の環境負荷削減がインフラ建設による環境負荷排出を相殺することができず、環境負荷削減効果が発生しないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 加藤博和 他：道路構造代替案の地球環境負荷に関するライフサイクル的評価手法，環境システム研究，24，pp28 2-293，1996
- 2) 稲村肇 他：高速道路と新幹線のライフサイクル炭素排出量の比較研究，運輸政策研究，15，pp.11-22，2002
- 3) 大城温 他：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，Vol.43，No.11，pp.50-55，2001
- 4) 環境省：アイドリング・ストップ (http://www.env.go.jp/earth/cop3/dekiru/ta_03-2.html)
- 5) 柴原尚希 他：LCAに基づく標準化原単位を用いた鉄軌道システムの環境性能評価手法，31，環境システム研究論文発表会・講演集，pp.167-172，2003