

## 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

### A Global Environmental Load Evaluation Method of Alternative Road Structure Types Using Life Cycle Assessment

加藤 博和\* ・ 林 良嗣\* ・ 登 秀樹\*\*

Hirokazu KATO \*, Yoshitsugu HAYASHI \*, and Hideki NOBORI \*\*

**ABSTRACT:** Despite the substantial impact of infrastructure improvement on the global environment, estimation methods have not been established yet. In this paper, a method which measures the environmental load of a unit of road infrastructure is developed by applying the concept of Life Cycle Assessment. Especially, it is indicated both environmental load from infrastructure and that from vehicles running on the infrastructure should be evaluated because road infrastructure improvement influences traffic condition. In addition, the integration with the existing assessment methods of infrastructure improvement impacts is attempted. As a case study, some alternative types of road structure are assessed.

**KEYWORDS:** Road Infrastructure, Environmental Load Quantification, Life Cycle Assessment, Vehicle Energy Consumption, Infrastructure Improvement Benefit

#### 1 はじめに

交通インフラストラクチャは、その建設や維持管理自体が環境負荷の大きな発生源であるとともに、供用後それを利用する自動車や公共交通機関も環境負荷を発生し続ける。インフラ整備に伴って交通利便性が向上し、新たな交通が誘発されることで、沿線の環境が長期的に悪化することも多い。したがって、一般に交通インフラ整備は環境に悪影響を与えるという固定観念が存在している。しかし、道路が渋滞緩和や狭あい区間改善の目的で整備される場合、供用後は走行状況が改善され、燃費が向上することによって、結果としてモビリティを確保しつつ自動車から発生する環境負荷を削減できる可能性もある。このように、交通インフラ整備をその建設から利用までにわたるライフサイクルでみた場合、一概に環境に悪影響をもたらすものとは断定できない。

そこで、計画・設計の段階において環境負荷に対する配慮を行うことによって、建設段階はもとより、供用後そのインフラを使用する車両から発生する環境負荷を長期間にわたって削減することが可能になる。環境の観点から交通インフラ整備の影響をライフサイクルで評価する手法としては、局地環境については環境影響評価が、十分とは言えないまでも提案され実施されている。ところが、地球環境の観点からの評価手法はいまだ存在していない。もしそのような手法が確立できれば、個別のインフラに関しては削減量は小さくても、日本全体、世界全体で合わせれば非常に大きな削減につながるものと考えられる。

そこで本研究では、道路インフラを例にとり、各構造代替案の違いによる環境への負荷を定量的に推計評

---

\* 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻

Department of Geotechnical and Environmental Engineering, Nagoya University

\*\* 森本組 Morimoto Corporation

価する手法の開発を目的とする。そのために、インフラの環境負荷定量化手法として近年注目されている LCA (Life Cycle Assessment) の既往研究を概観し、その課題を整理する。これを踏まえ、道路インフラへの LCA 適用の枠組みを提示する。また、実際に各種代替案について地球環境負荷の定量化を行うとともに、道路構造選択にあたって地球環境負荷をどのように考慮すべきかについても論じる。

なお、本論文において環境負荷 (Environmental load) とは、環境に対して悪影響を及ぼすものを指し、特に本研究ではエネルギー消費とそれによる CO<sub>2</sub> 発生を扱うものとする。

## 2 交通インフラのライフサイクル的評価の必要性

### 2.1 インフラの性質と評価手法

交通インフラには 1) 建設・運営者、利用者、沿線住民、地域社会、政府といった多様な主体がかかわっており、2) 一般に外部性を有するため、受益と負担のバランスが問題となり、解決策として運営を公共部門に任せる場合が多い。また、3) 建設期間や耐用期間が長いため、世代間の負担の問題や、時間経過による価値観変化といった問題が生じることや、4) 屋外に設置される大規模な構造物であり、周辺に各種の大きな影響をもたらす、といった性質もある。交通インフラの評価にあたっては、以上の性質を踏まえた手法を用いることが必要である。

現在インフラ整備評価にあたっては、a) 採算性評価、b) 社会経済評価 (費用便益分析が代表的)、c) 環境影響評価 (周辺環境)、の 3 種が併用して用いられている。これらはいずれも、長い耐用期間 (ライフサイクル) にわたる評価であるとともに、b)、c) はインフラの外部効果を評価するものである。

### 2.2 地球環境問題とライフサイクル的評価手法

地球環境問題に対する認識の高まりとともに、土木分野でも構造物が地球環境に及ぼす負荷を定量的に示し、その低減を図る方法を見いだすことが大きな課題となってきた。その有力なアプローチと考えられているのが次章で論じる LCA である。すなわち、インフラから発生する環境インパクトをそのライフサイクルでとらえようという試みである。しかし、前述の採算性評価・社会経済評価・環境影響評価も実はライフサイクル的な評価手法である。したがって、LCA を言葉通りライフサイクルにわたる評価とすれば、これらの既往手法も LCA に含まれることになる。ただし、日本においては一般に LCA という用語は環境インパクト (特に地球環境) の計測に限って用いられることが多いため、本論文でもそれに倣うこととする。

いずれにしても、地球環境への影響を考慮したインフラ評価のためには、既往の LC 的評価手法に加えて、いわゆる LCA を併用するという方法が必要である。

## 3 インフラの環境インパクト評価手法としての LCA

### 3.1 社会資本に関する LCA 研究

LCA 研究は元来、工業製品を対象とした PLCA (Product Life Cycle Assessment) がその始まりである。また、発電プラント等に関するエネルギー収支分析がその源流であるとの見方もある。PLCA は「原材料採取→生産→流通→使用→リサイクル→廃棄」という製品のライフサイクルを通じたコストやエネルギーを定量化し、代替案比較をすることによって、工程・資材についての評価・改善を行う手法として使用されてきた。その後環境問題がクローズアップされると、評価項目に環境インパクトも加えられた。更に近年では、建設分野における地球環境問題への認識の高まりを背景に、LCA を消費財のみならず資本財にも適用する試みが始まり、各種の社会資本や建築物等の建設・供用・廃棄のライフサイクルでの環境負荷を定量化する手法の研究がなされるようになってきている<sup>1) - 3)</sup>。

LCA は、0) 考慮すべき環境問題や空間・時間的範囲を設定する "Scoping"、1) 環境負荷を定量化する "Inventory"、2) 負荷が環境にもたらすインパクトを示す "Impact assessment"、3) 改善手法を提案しその効果

を示す "Improvement assessment" の各段階に分かれる。また、2) "Impact assessment" の段階は、環境負荷とインパクトを関連づける "Classification"、各インパクト間の重みづけをする "Characterization"、それらを総合的に評価する "Valuation" に分けられる。

日本の現在の研究状況は、ほとんどが地球温暖化を問題として設定し、1) "Inventory" の手法を確立することに力点が置かれてきている。したがって、2) "Impact assessment" における評価指標もエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>発生量がそのまま用いられている。これらLCI (Life Cycle Inventory) の研究では特に、社会資本は膨大な資材や機械を投入して建設されるために、環境負荷として、資材や機械を生産する際に発生する分も加えた「内包 (Embodied) 環境負荷」で評価することの必要性が論じられ、その計測手法として、産業連関表を用いる方法と、各資材・機械から発生する環境負荷を積み上げる方法が提案・実施されてきている<sup>2)</sup>。これらのうち、例えば林・京谷らの研究<sup>4)</sup>では、道路建設に伴うCO<sub>2</sub>発生量が推計され、結果としてインフラのCO<sub>2</sub>発生の大部分 (約85%) は資材製造時に生じ、更にその多くは鉄とコンクリートで占められていることから、社会資本整備におけるCO<sub>2</sub>発生量は資材の種類と使用量に大きく依存することが示されている。

### 3. 2 インフラLCA研究の課題

インフラのLCA研究はまだ緒についたばかりであり、大きな課題が残されている。そのうち主なものについて、以下にまとめる。

1) 「ライフサイクル」の評価：LCAの要件は、その名のとおり「ライフサイクル」にわたる評価を行うことである。にもかかわらず、既往のインフラLCA研究では、内包環境負荷の評価を行うことが強調され、「ライフサイクル」については後回しにされてきた。その結果、既往研究は建設段階のみを対象とした分析が大部分であり、それに比較して維持管理や廃棄までを通した研究は少ないというのが現状である。この理由としては、インフラのライフサイクルは非常に長く、またたえず補修や更新が行われるため、そのライフサイクルの定義が困難であるということが挙げられる。

しかし最近では、小泉・高柳<sup>5)</sup>によるダムの事例や、轟巻・藤岡ら<sup>6)</sup>による下水道終末処理施設の事例、伊藤・花木ら<sup>7)</sup>による公園の事例など、供用時の環境負荷を推計した研究も出てきている。

2) 複数代替案の評価検討：土木分野のLCA (LCI) 研究の大部分は、1つのプロジェクトや部門を対象としてその環境負荷発生量を推計するにとどまっている。この結果からでも、ライフサイクルのうちで環境負荷を多量に発生する部分や、環境負荷削減が可能な部分を検討することにより3) "Improvement assessment" を行うことは可能である。しかし、検討対象を複数の代替案にまで広げたものはまだ数少ない。そのうち、例えば伊藤・花木ら<sup>8)</sup>はニュータウンの建設・運用を対象に、代替案として太陽光発電システムの導入を検討している。また、光本・安藤ら<sup>9)</sup>や小泉・高柳<sup>5)</sup>はダム工事における各種代替案の比較を行っている。林・京谷ら<sup>4)</sup>は、高速道路を高架と掘割の各構造で建設した時のCO<sub>2</sub>発生量を推計している。しかしこれらの研究で扱う代替案は、案によって利用量や状況が変化しないものである。この段階では、供用後走行速度や交通容量といった性能が異なることによって自動車交通が誘発されたり走行燃費が変化するような道路構造代替案の比較や、そもそも道路を造ることが環境面から許されるのかといった問いに答えることはできない。道路構造代替案を環境面から検討する時には、まさにそこが問われるのである。

したがって、同一の利用量・利用状況というところから一步踏み出してLCAを適用する必要がある。この場合、性能や利用状況と環境負荷の違いをどのように組み合わせて評価するかという問題が生じる。これは、意思決定にあたって性能と環境のいずれをより重視するかという、項目間での重みのつけ方の問題であるが、少なくとも道路整備に伴う交通パフォーマンスの変化と、それによる各種効果影響の発生を調べることは必要である。

3) インフラ利用による環境負荷の評価：LCAは本来その対象製品自体から生じる環境負荷を推計評価するものである。しかし、インフラはその整備によって大きな外部効果を生じるものであり、そのLCAにあた

っては、整備によって環境負荷が外部にどの程度誘発されるかという範囲を見極め、その範囲内での分析を行う必要がある。さもなくば、そのインフラの環境面からの評価を十分に行ったことにはならない。

そもそも道路インフラの環境負荷をそれ自体から発生する分だけでとらえれば、環境に悪影響をもたらすものであることは明白である。更に、道路整備によって自動車交通が誘発され、自動車走行による環境負荷が長期的に増大することも予想される。一方、インフラ整備によって交通改善が生じ、燃費が改善され、通過車両の燃料消費量が削減されれば、ライフサイクルを通してトータルの環境負荷を削減する可能性もありうる。したがって、道路インフラに係わる環境負荷発生は、a)インフラ自体（道路インフラの建設→維持管理→廃棄）によるものに加え、b)インフラを利用する自動車の走行によるものを考える必要がある。上述のように、a)とb)の間にトレードオフ関係が生じることは多く、その場合には両方を同時に評価する必要がある。既往の研究動向として、a)は環境科学の方面から研究が進められており、b)は土木計画・交通計画の分野で主に注目されているが、この両方を考慮した研究は、日高<sup>10)</sup>や林・加藤・菅原<sup>11)</sup>のものを除いては存在しない。また盛岡<sup>2)</sup>も供用時の環境負荷計測の必要性を述べているものの、将来課題としている。

4)各種環境負荷の評価（環境影響評価との関係）：土木構造物を建設し供用する際には、その付近に局地的な環境影響を及ぼすのが常である。これを予測・評価するのが環境影響評価であるが、LCAと環境影響評価をどう組み合わせるのかという"Characterization"や"Valuation"については将来課題となっている。また、LCAによって複数の環境負荷を推計する場合にも同様の問題が生じる。

### 3. 3 道路インフラのLCAの枠組み

前節の3)で述べたように、道路構造代替案のライフサイクルにわたる環境影響を比較する際には、a)インフラ自体の環境負荷のみならず、b)それを利用する車両から生じる環境負荷の変化をみる必要がある。特に重要なのは、a)は建設時のみに生じる負荷であるが、b)はその後長い道路インフラの耐用期間にわたって生じる負荷であるということである。すなわち、インフラを設計する際に供用後それを利用する車両の環境負荷を考慮することにより、長期的に環境負荷をコントロールすることが可能になるのである。

実はこのような評価の枠組みは、社会経済評価の代表的手法である費用便益分析の枠組みと全く同様である。費用便益分析においては、費用として主にインフラの建設・運営費を、便益として主に時間短縮効果や周辺地域への経済波及効果を考え、便益が費用を上回ればプロジェクトを採用してもよいとする。この時の費用が前述のa)に、便益が前述のb)に相当する。ただし、道路インフラは地球環境負荷低減を第一義として整備されるものではないので、b)での削減効果がa)の建設による負荷を上回る必然性はない。むしろ、インフラは次の3種類に分類されよう。

- 1)環境改善型：ライフサイクルを通してb)の削減効果がa)の負荷を上回る場合
- 2)短期的環境悪化型：b)の削減効果は存在するが、a)の負荷を補うまでにはいかない場合
- 3)長期的環境悪化型：b)での削減効果がなく、むしろ環境負荷が増加してしまう場合

## 4 道路構造代替案のLCI—CO<sub>2</sub>発生量の推計

以上の議論を踏まえた上で、本章では道路整備に関する3つの事例について代替案を設定し、各案のCO<sub>2</sub>発生量に関するLCIを実施する。ケーススタディは以下の通りである。

- (1)トンネルの経路選定の際の比較ルート
- (2)都市部の道路交差点改良事業：アンダーパス／オーバーパス
- (3)山間部の道路改良工事：旧道改良（拡幅）／新道建設（トンネル&橋梁）

### 4. 1 使用する手法

本研究では、道路インフラからライフサイクルにわたって発生する環境負荷のうち、a)建設時に発生する

内包CO<sub>2</sub>、b) 供用後にインフラを利用する車両から発生するCO<sub>2</sub>、を推計する。なお、インフラの維持管理・廃棄段階に関しては、データの問題から推計を行うことができなかった。ただし、上述のように建設段階でのCO<sub>2</sub>の大部分が材料製造に起因する一方で維持管理・廃棄段階では材料投入が少ないことや、盛岡<sup>2)</sup>の研究でトンネルに関して施工時の排出割合が大きいと述べられていることから、その影響は上のa), b)に比べ小さいものと考えられる。この段階の推計は今後の課題である。

#### a) 建設CO<sub>2</sub>

土木構造物の建設におけるCO<sub>2</sub>発生量に関しては、利用可能なデータの関係から、構造物本体にかかわる工事を対象とし、工事用道路建設や立ち退きといった付帯的な工事については考慮しないこととした。手法としては、使用されている各資材・機械についてその使用量を把握した後、産業連関分析を用いて推計された既存の内包LCI原単位を乗じて内包環境負荷を把握し、構造物全体について積み上げるという手法を用いる。これは積算手順とほぼ同様の手法であり、資材・機械の使用量による環境負荷の違いが推計可能であるとともに、資材の内包環境負荷が考慮できるという利点を有している。資材・機械のLCI原単位は既存研究<sup>12), 13)</sup>で算出された値を用いることとした。また、資材の使用量は資料が存在する場合にはそれによることとし、存在しない場合は簡易に設計を行って量を概算している。使用機械の運転時間についてはほとんどデータが存在しないため、道路工事の積算<sup>14)</sup>により算出している。

#### b) 利用CO<sub>2</sub>と時間短縮効果

代替案によって走行速度や交通容量などの性能が違う場合には、自動車走行（インフラ利用）からの環境負荷が変化する場合には、インフラ利用時の考慮も必要となる。

道路インフラ整備による変化は、直接には道路延長・交通量・走行状況の変化となって現れる。このうち交通量は、道路整備による利便性向上がもたらす誘発需要によって増加するため、予測値を用いる必要がある。一方、走行状況の変化は、通過時間や燃費に影響を及ぼす重要な要素である。これについては、本来的には走行モードを推定して通過時間変化を推計するとともに、各モードでの燃費を考慮して通過時の燃料消費量を推計する必要がある。しかし実際には各モードのシェアや燃費に関するデータを得ることが困難であるため、本研究では簡便法として、交通状況を表す指標として（停止や加・減速を含めた）平均走行速度を用い、燃費をその関数として表す方法をとる。平均走行速度は実測値や設計値に準じて設定する。燃費と走行速度の関係については、日本の道路整備五箇年計画で用いている値<sup>15)</sup>を適用する。また時間短縮便益の推計に用いる時間価値も同じく日本の道路整備五箇年計画で用いている値を参考に50円/台分とする。

以上の方法により、インフラ利用CO<sub>2</sub>および通過時間短縮便益を、建設するか否かで性能の異なる（2）の場合と、各代替案で性能の異なる（3）の場合について、代替案ごとに推計する。なお（1）については、交通量が少なく、各ルートの供用時における自動車のCO<sub>2</sub>発生量の変化は建設によるCO<sub>2</sub>に比べて小さいため、本論文では取り上げていない。

## 4. 2 トンネルの比較ルートによる建設CO<sub>2</sub>の推計

長野県にある「矢筈（やはず）トンネル」は、長野県飯田市と静岡県三ヶ日町を結ぶ高規格幹線道路「三遠南信自動車道（一般国道474号線）」のルート上にあり、延長は約4 kmで、1994年に開通した。トンネル完成前の代替路の交通量は約700台/日であり、トンネルの2010年の計画交通量は3,000台/日とされている。このトンネルの計画立案にあたって、1987年に経路選定が行われた。その比較ルートを図4. 1に示す。選定にあたっては、地形要素、施工の容易さ、経済性などが考慮され、結局Aルートが選定された。総建設費は299億4千万円であった<sup>16)</sup>。ここでは各ルートのトンネル部について、建設によるCO<sub>2</sub>発生量を推計する。

各代替案の建設CO<sub>2</sub>の推計結果を図4. 2に示す。この図より、CO<sub>2</sub>の大部分が、資材製造時およびコンクリート打設時に発生していることが分かる。実際に選定されたAルートは、建設CO<sub>2</sub>発生量が比較ルートのうちで最も小さかった。

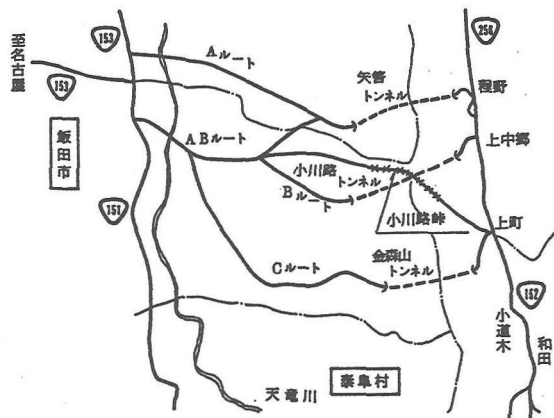


図 4. 1 矢筈トンネルの比較ルート

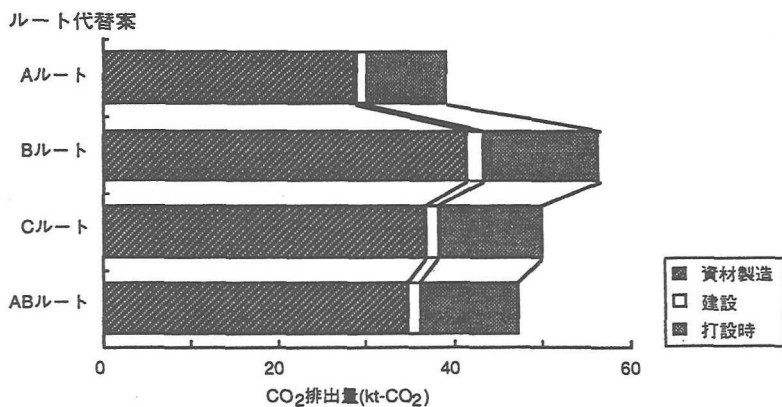


図 4. 2 各計画ルートのトンネル建設によるCO<sub>2</sub>発生量

#### 4. 3 都市部の道路交差点改良事業によるCO<sub>2</sub>の推計：アンダーパス／オーバーパス

都市部の、交通量が多く渋滞が生じている平面交差点道路に対し、一方の交通を高架道路や掘割道路で立体交差することにより円滑な交通を確保する対策が最近しばしば行われている。そこで、アンダーパス（掘割構造）とオーバーパス（高架構造）の各構造代替案についてCO<sub>2</sub>発生量の評価を行う。本研究では、名古屋市内のある交差点の事例を参考に、図 4. 3 に示す代替案を設定して比較を行うものとする。なおこの交差点ではオーバーパスが選択され、現在実用に供されている。

##### （1）建設CO<sub>2</sub>

オーバーパスとアンダーパスによる建設におけるCO<sub>2</sub>発生量の推計結果を図 4. 4 に示す。この代替案では、建設時にはアンダーパスがオーバーパスよりも約1.7倍のCO<sub>2</sub>を発生することが分かる。実際に選定されたのはオーバーパスであり、CO<sub>2</sub>発生量の観点からはより望ましい選択であったといえる。

##### （2）利用CO<sub>2</sub>と時間短縮便益

平面交差点を立体交差に改良することにより、立体交差させた方向の交通は信号による停止や渋滞が解消され、円滑な交通が確保されることによって、走行車両の時間短縮・燃費改善の2つの効果が得られる。この効果は、オーバーパス／アンダーパスという構造の違いによっては変化はない。ここではこの効果を推計する。

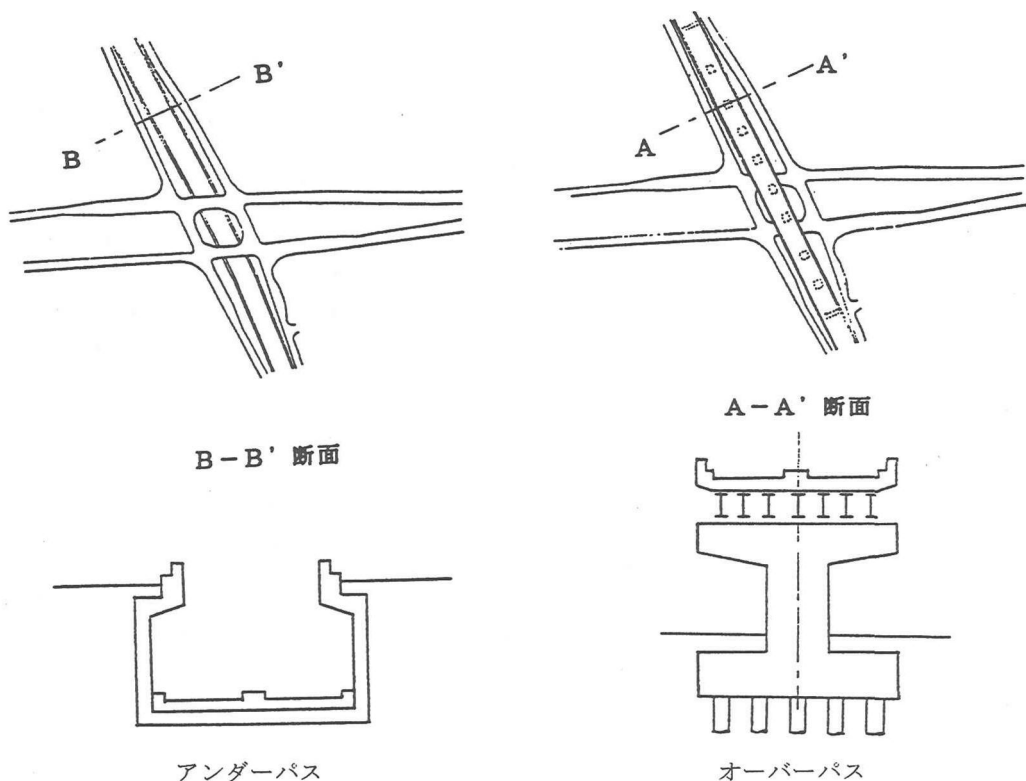


図4. 3 立体交差道路の構造代替案

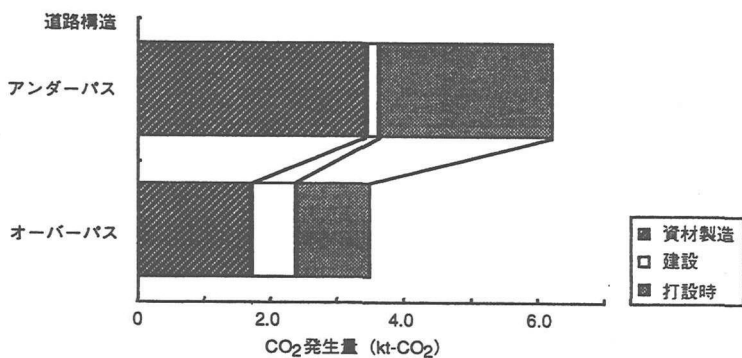


図4. 4 交差点改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生量

対象道路は、実測値を基にして、道路延長280m、日交通量30,000台（両方向）、大型車混入率30%と仮定し、改良後もこの値が変化しないものとする（なおこの場所では実際にも交通量に大きな変化は見られていないが、変化が起こる場合にはこの設定を見直す必要があることに注意すべきである）。この道路を立体交差にした場合の走行状況の変化を推計した結果が表4. 1である。

立体交差化により、走行速度は2.5倍向上し、交差点通過時間が短縮される。通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約76万円、1年では約2.8億円の便益が生じる。

また、走行速度向上によって、燃費は普通車では約1.7倍、大型車では約1.9倍向上する。これによって、通過車の燃料消費量は1日あたり約640ℓ節約でき、1年では約230kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算すると約580t-CO<sub>2</sub>/年となる。

表 4. 1 立体交差化による走行状況の変化

|        | 平面交差     | 立体交差     |
|--------|----------|----------|
| 平均走行速度 | 20km/h   | 50km/h   |
| 通過時間   | 0.84分    | 0.34分    |
| 燃費 普通車 | 9.4km/ℓ  | 15.9km/ℓ |
| 大型車    | 3.2km/ℓ  | 6.2km/ℓ  |
| 燃料消費量  | 1,410ℓ/日 | 776ℓ/日   |

### (3) 建設－利用のCO<sub>2</sub>発生量分析

立体交差道路が建設されることにより、建設時には環境負荷が発生するが、供用後は利用車両の走行改善による燃費向上によって、年ごとに環境負荷が削減される。そこで、建設された年を0年とし、建設－利用にわたる累積CO<sub>2</sub>発生量を時系列的に示したのが図4. 5である。

なおこの図では、各年におけるCO<sub>2</sub>発生量に重みを全くつけていない。これは、費用便益分析における割引率を0としていることと同じである。すなわち、CO<sub>2</sub>発生による単位量あたりの被害は発生時点の違いでは変化しないと仮定していることになる。

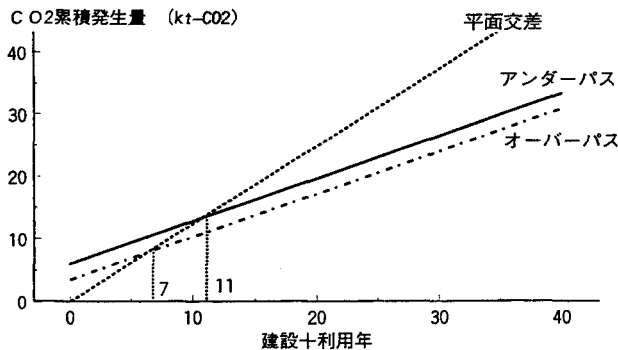


図 4. 5 建設－利用の累積CO<sub>2</sub>発生量

この図より、立体交差化によって、オーバーパスであれば7年、アンダーパスであれば11年で平面交差の累積CO<sub>2</sub>発生量を下回ることになる。すなわちこのケースでは、立体交差改良により、建設段階では多量のCO<sub>2</sub>を発生するものの、供用後は誘発交通が生じなかったこともあり、円滑な交通が確保されると同時に、利用車両の燃費が向上し、結果的に耐用期間（30ないし40年間）内での累積CO<sub>2</sub>発生量が削減できることが分かる。すなわち、3. 3節で定義した「環境改善型インフラ」である。

### 4. 4 山間部の道路改良工事によるCO<sub>2</sub>の推計

山間部の谷あいにある道路は、線形が悪いため交通容量や走行速度が低く、また走行距離も長くなり、自動車走行に支障をもたらす。そこで、道路を改良する手段として、a)従来の道路を拡幅する場合と、b)新たにトンネルと橋梁により線形改良した新道を建設する場合、とが考えられる。本研究では、図4. 6のような中部地方のある一般国道を例にとり、a)旧道改良とb)新道建設の場合との比較評価を行う。旧道では大型車のすれ違いが困難な1車線道路であったものが、改良により2車線道路になるものとする。旧道改良は拡幅による切土と土留め擁壁設置を伴う。また新道建設では、2本のトンネルと2つの橋梁を新設する必要がある。ちなみに、この一般国道では新道が36億7千万円で建設され、現在供用されている。建設された各ト

ネル、橋梁の概要を表4. 2に示す。

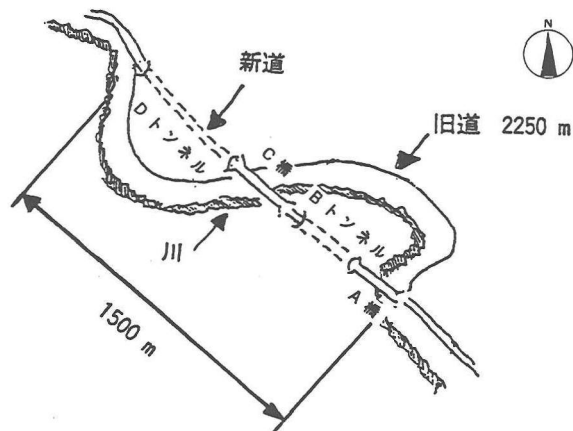


図4. 6 山間部の道路の改良工事における代替案

表4. 2 新道の各構造物の諸元

| 名称   | A橋                                   | Bトンネル                   | C橋                                   | Dトンネル                   |
|------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 延長   | 207.10 (m)                           | 285.50 (m)              | 174.45 (m)                           | 650.00 (m)              |
| 幅員   | 車道6.5 (m)<br>全幅10.5 (m)              | 車道6.5 (m)<br>全幅9.75 (m) | 車道6.5 (m)<br>全幅10.5 (m)              | 車道6.5 (m)<br>全幅9.75 (m) |
| 構造形式 | (上部) PC箱桁<br>3径間有鉋Tラーメン<br>(下部) 直接基礎 |                         | (上部) PC箱桁<br>3径間連続<br>(下部) ケーソン基礎    |                         |
| 工法   | ディビターク工法                             | 上半掘削先進工法<br>開削工法        | (上部) 押出し工法<br>(下部) ニューマチック<br>ケーソン工法 | 上半掘削先進工法                |
| 総事業費 | 7億7千万円                               | 5億9千万円                  | 8億3千万円                               | 13億9千万円                 |

(1) 建設CO<sub>2</sub>

旧道改良工事と新道建設におけるCO<sub>2</sub>発生量の推計結果を図4. 7に示す。これより、新道建設は旧道改良に比べ建設時に約1.4倍のCO<sub>2</sub>を発生することが分かる。

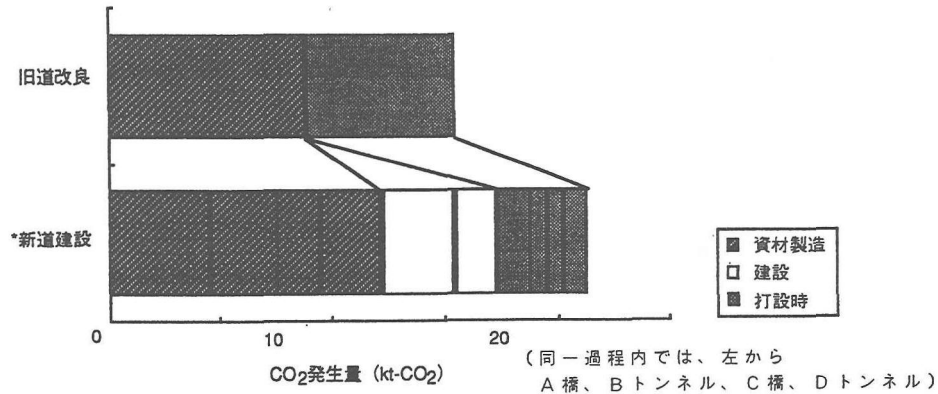


図4. 7 山間部の道路の改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生量

## (2) 利用CO<sub>2</sub>と時間短縮便益

山間部の道路改良によっても、走行車両の時間短縮・燃費改善の2つの効果が得られる。その一方で、利便性向上により交通量増加も予想される。そこでこれらの変化を踏まえ、効果を推計する。

未改良の旧道、改良した旧道、および新道の、それぞれの走行状況を推計した結果が表4. 3である。なお交通量の変化に関しては、この道路の実際の交通量を参考に、改良前の日交通量を2,000台と仮定し、a)旧道改良によつては変化しないとし、b)新道建設の場合は変化しない場合と、供用後の利便性向上により誘発交通が生じ交通量が2倍に増加する場合の両方を仮定している。この2倍という値は、この道路の改良前の交通量と改良後の推計交通量との比に基づくものであり、他の事例では異なった値をとると考えられる。なお大型車混入率はいずれの場合も30%としている。

表4. 3 新道建設による走行状況の変化

|        | 旧道       | 旧道改良     | 新道建設                |
|--------|----------|----------|---------------------|
| 距離     | 2,250m   | 2,250m   | 1,500m              |
| 交通量    | 2,000台/日 | 2,000台/日 | 2,000台/日<br>(4,000) |
| 平均走行速度 | 30km/h   | 40km/h   | 60km/h              |
| 通過時間   | 4.5分     | 3.4分     | 1.5分                |
| 燃費 普通車 | 12.8km/ℓ | 14.4km/ℓ | 16.7km/ℓ            |
| 大型車    | 4.2km/ℓ  | 5.1km/ℓ  | 6.7km/ℓ             |
| 燃料消費量  | 564ℓ/日   | 483ℓ/日   | 261ℓ/日 (522)        |

旧道改良によってこの個所の通過時間は25%短縮される。未改良の場合と比較した通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約11万円、1年では約0.41億円となる。また、燃費の改善により、通過車の燃料消費量は1年では約29kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算すると1年で約75t-CO<sub>2</sub>となる。

一方、新道建設によってこの個所の通過時間は67%短縮される。未改良の場合と比較した通過車の総時間短縮便益を推計すると、1日あたり約30万円、1年では約1.1億円となる。誘発交通が生じない場合には、燃費の改善により、通過車の燃料消費量は1年では約110kℓの削減ができる。これをCO<sub>2</sub>に換算すると1年で約280t-CO<sub>2</sub>となる。ただし、誘発交通によって交通量が2倍になると、1年で約40t-CO<sub>2</sub>と、削減量は大幅に小さくなる。

## (3) 建設－利用のCO<sub>2</sub>発生量分析

道路改良により、建設時には環境負荷が発生するが、供用後は利用車両の走行改善による燃費向上によって、年ごとに環境負荷が削減される。そこで、4. 3 (3)と同様に、建設された年を0年とし、建設－利用にわたる累積CO<sub>2</sub>発生量を時系列的に示したのが図4. 8である。

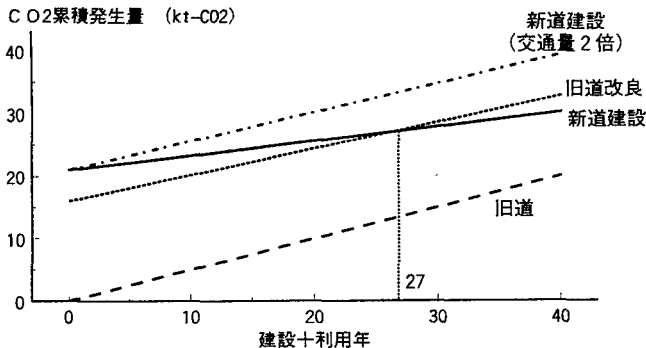


図4. 8 建設－利用の累積CO<sub>2</sub>発生量

この図からも分かるように、改良道路の耐用期間（30ないし40年間）内では、累積CO<sub>2</sub>発生量は、改良の場合が旧道をそのまま利用する場合に比べいずれも上回っている。これは4. 3の道路に比べて交通量が少なく、道路改良による削減効果が小さいためである。すなわち、3. 3節で定義した「短期的環境悪化型インフラ」に分類される。また、旧道改良と新道建設とを比較した場合には、誘発交通がない場合は、建設後27年で新道改良が旧道改良を下回る。しかし交通量が2倍になる場合にはこれが約130年後になり、耐用期間内に利用CO<sub>2</sub>の削減効果が十分現れてこない。すなわち、3. 3節で定義した「長期的環境悪化型インフラ」である。

## 5 地球環境負荷の金銭での評価

4章におけるLCIにより、各道路構造代替案に関して建設・利用にわたって発生するCO<sub>2</sub>を推計することができた。しかし、実際の代替案選択の意思決定にこの値を活用するためには、従来のインフラ評価手法で用いられてきた選択基準に対して地球環境影響がどの程度の重みを持つかどうかを知る必要がある。また、従来の選択基準のうちでもそれぞれにトレードオフの関係が存在している。例えば立体交差の構造については、本研究で推計したCO<sub>2</sub>とともに建設費・維持管理・大気汚染の観点についてもオーバーパスがより優れている一方、景観や騒音の面では、一般的にアンダーパスがよいとされている<sup>17)</sup>。また、山間部の道路改良に関しては、CO<sub>2</sub>や建設費の面では旧道拡張が新道建設より優れている一方で、建設後の波及効果は新道建設の方が大きい。局地環境面では、旧道拡張では地形改変や森林伐採を、新道建設ではトンネル掘削による地下水脈の改変といった変化をもたらす。

以上のような多様な選択基準をすべて同一単位で比較できるようにする方法の1つとして、ここでは金銭を評価指標として取り入れることとし、建設に伴うCO<sub>2</sub>発生を金銭に換算する。その際、既往研究で推計されている単位CO<sub>2</sub>発生あたり社会的費用を原単位として用いる。これらの推計は、温暖化によって生じることが予測される被害の額を基にしており、予測の精度によってオーダーが大きく異なっている。ここでは、中間的な値であるFankhauser<sup>18)</sup>の値を採用する。道路交差点改良による建設時のCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は、オーバーパスで約60～440万円、アンダーパスで約110～750万円と算出される。また、山間部の新道整備による建設時のCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は約370～2,700万円と算出される。これに対し、実際の値が得られている山間部の新道建設費は36.7億円、時間短縮便益は約1.1億円/年であった。このことから、道路建設に伴うCO<sub>2</sub>発生の社会的費用は、建設費や時間短縮便益に比べ非常に小さい値であることが分かる。これは、地球環境問題が全世界にわたって広く薄く影響を及ぼす性質を持っていることや、将来生じる問題であるため、現在に換算する場合には割引率が適用されて過小評価されることが原因であると考えられる。いずれにしても、道路整備の費用便益分析を行うにあたり費用の項目にCO<sub>2</sub>発生の社会的費用を加えても、ほとんど影響が出ないことになってしまう。

したがって、CO<sub>2</sub>発生を代表とした地球環境負荷を考慮に入れたインフラ整備評価の方向性としては、制約条件としての使用が考えられる。例えば、第1条件として整備によってライフサイクルでのCO<sub>2</sub>発生量が増加しないこと（3. 3節における「環境改善型インフラ」）、第2条件として、第1条件が満たされない場合には、局地環境の改善につながることや整備後の便益が大きい場合に限って認めるものとする、といった方法である。

## 6 結論

本研究によって得られた知見を以下に示す。

1) インフラに関するLCA研究の現状と問題点を整理することができた。

- ・ 既往のLCA研究は内包環境負荷の評価に力点が置かれ、ライフサイクル全体の評価は不十分である。
- ・ 1つのプロジェクトのみを対象としており、代替案の比較評価例は数少ない。

2)道路構造代替案についての環境負荷(CO<sub>2</sub>発生量)の定量化の枠組みを示した。

- ・代替案間で性能や利用状況が異なる場合には、費用便益分析でも行われているように、建設と利用の双方を考慮した評価が必要であることを示し、実際の推計を行うことができた。

3)地球環境負荷を考慮したインフラ整備評価手法の新たな枠組みを示した。

- ・LCAを従来のライフサイクル的な評価手法と合わせて使用する必要性を論じた。
- ・本研究で扱った道路構造代替案に関しては、CO<sub>2</sub>発生の社会的費用が、建設費や時間短縮便益に比べて非常に小さいことが分かった。
- ・地球環境負荷をインフラ整備評価の指標として導入する方向性として、制約条件としての使用を提案した。

今後の課題としては、1)他の様々な道路整備代替案に関してCO<sub>2</sub>発生量の推計を行うとともに、利用や維持管理・廃棄段階での推計精度を向上させ、地球環境に対して悪影響を及ぼさないような道路インフラ整備の方向性を探ること、2)推計されたCO<sub>2</sub>の値をどのように評価するべきか、例えば大気汚染・騒音・土地改変といった局地環境変化や、景観・アメニティといったもの、建設費や便益に対してどのような位置づけを与えるかについて更なる検討を要する、ことが挙げられる。

なお、本研究の遂行にあたっては、建設省中部地方建設局道路部および愛知国道工事事務所、日本道路公団名古屋道路管理事務所、愛知県土木部、岐阜県土木部より快く資料をお貸しいただき、参考にさせていただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)和田安彦、三浦浩之、中野加都子：日本のLCA研究の現状と課題、環境科学会誌 第8巻 第1号、1995.8、pp.47-58
- 2)盛岡通：土木建設システムにおけるLCAの考え方と事例、第4回地球環境シンポジウム講演集、1996.7、pp.29-34
- 3)森下研：LCA研究の現状と今後の課題、1993年環境科学シンポジウム講演要旨集、1993.11、pp.176-177
- 4)林良嗣、京谷孝史、加藤博和、中島義人：環境インパクトと周辺アメニティを考慮した道路構造代替案の評価方法に関する研究、環境システム研究Vol.23、1995.8、pp.314-320
- 5)小泉泰通、高柳則男：ダム建設のライフサイクル評価、第4回地球環境シンポジウム講演集、1996.7、pp.49-56
- 6)霧巻峰夫、藤岡荘介、内藤弘：下水道終末処理施設のライフサイクルでの環境負荷の定量化について、第4回地球環境シンポジウム講演集、1996.7、pp.57-62
- 7)伊藤武美、花木啓祐、本多博：公園建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、第4回地球環境シンポジウム講演集、1996.7、pp.63-68
- 8)伊藤武美、花木啓祐、谷口幸幸、有浦幸隆：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究、環境システム研究 Vol.23、1995.8、pp.190-197
- 9)光本純、安藤裕介、小谷克己：ダム仮設工事における炭素排出量の推定、第3回地球環境シンポジウム講演集、1995.7、pp.293-297
- 10)日高聡史：モータルシフトとエネルギー効率 -トラックと鉄道との比較を中心として-、エネルギー経済 第19巻 第6号、1993.6、pp.17-34
- 11)林良嗣、加藤博和、菅原敏文：エネルギー消費からみた都市交通インフラ整備評価の一方法、環境科学会1994年会講演要旨集、1994.11、p.96
- 12)酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定、第4回地球環境シンポジウム講演集、1996.7、pp.43-48
- 13)岡本英靖、酒井寛二、漆崎昇：土木工事における炭素排出量の推定、第1回地球環境シンポジウム講演集、1993.7、pp.93-98
- 14)道路工事積算研究会：道路工事の積算、財団法人経済調査会、1993
- 15)建設省道路局、建設省都市局：第11次道路整備五箇年計画、1993
- 16)建設省飯田工事事務所：矢筈トンネル工事誌 -小川路峠道路-、建設省飯田工事事務所、1995.3
- 17)土木学会編：新体系土木工学62 道路(Ⅱ)-計画と幾何設計-、技報堂出版、1980、p.226
- 18)Samuel Fankhauser: Valuing climate change:An economic assessment of global warming impact, pp.12.1-12.22