

一般道路を対象とした費用便益分析への 環境コスト適用の手法に関する研究

三上 市蔵¹・窪田 諭²・田中 将睦³

¹フェロー 関西大学教授 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:mikami@civil.kansai-u.ac.jp

²正会員 株式会社オーグス総研 (〒560-0083 大阪府豊中市新千里西町1-2-1)
E-mail:Kubota_Satoshi@ogis-ri.co.jp

³学生会員 関西大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:m-tanaka@civil.kansai-u.ac.jp

本研究では、一般道路を対象に、環境問題を統合的に扱い、影響と効果の両方を考慮した費用便益分析を行った。環境問題として、エネルギー資源枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染、騒音、振動を扱った。環境負荷物質の発生量を貨幣価値で表現するために環境負荷物質一単位あたりの被害額を表す貨幣評価原単位を作成した。本研究による手法の妥当性を検証するために、現在計画中の新規バイパス整備事業に手法を適用し、環境への影響と効果を考慮した費用便益分析を行った。適用の結果、本手法による費用便益比は、現在の手法によって算出した費用便益比よりも小さくなり、これまで扱われていなかった環境への影響が大きいことがわかった。

Key Words : cost-benefit analysis, environmental cost, open roads

1. まえがき

環境問題が世界規模で重要視されているため、社会基盤の整備に際して環境への影響を考慮しなければならない。よって、社会基盤整備の有用性および効率性を評価するための費用便益分析を行うにあたり、環境に対する影響を考慮するために、その大きさを定量的に把握する必要がある。そのための手法として貨幣計測があり、環境コストが算定される。ただし、社会基盤の整備においては環境負荷の低減対策が行われることから、環境に対する影響だけが与えられるのではなく、環境に対する効果も存在する。費用便益分析においては、影響を費用として考慮するだけでなく、効果を便益として考慮することも必要である。

道路整備の費用便益分析には、自動車走行によって発生する環境に対する影響が考慮されている¹⁾。しかし、実際に行われている道路整備の費用便益分析では、環境への影響として一部の環境問題のみが扱われている。また、環境への影響に寄与する環境負荷物質は環境問題毎

に一つずつしか扱われておらず、環境への影響を的確に捉えているとは言い難い。また、環境対策技術の向上から、環境への影響は軽減されている。しかし、環境対策を行うことによる効果は考慮されておらず、対策によって社会全体が受ける便益は考慮されていない。

本研究では、環境問題を統合的に扱い、影響と効果の両方を考慮した費用便益分析を行う。対象は一般道路であるが、日常の利用率の高さと整備事業数の多さを考慮し、道路整備の中でも供用段階に着目する。環境問題としては、一般道路の供用段階で発生し、環境負荷の発生量が多いと考えられるエネルギー資源枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染、騒音、振動を扱う。環境への影響だけでなく環境対策による効果の貨幣評価を行う。そして、環境への影響と効果を費用と便益として考慮する費用便益分析手法を作成し提案する。提案する手法を実道路に適用し、手法の正当性を検証する。

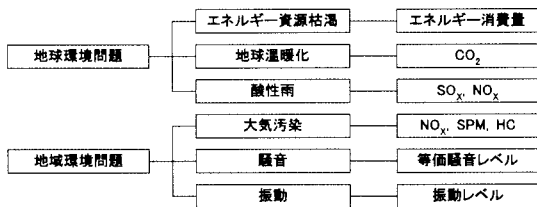


図-2 扱う環境問題と環境負荷物質

2. 一般道路の費用算定手法

一般道路の費用は初期費用、維持管理費用と環境コストである。初期費用と維持管理費用については既に算定手法が確立されている²⁾ため、本章では環境コスト算定手法について述べる。

(1) 扱う環境負荷と環境負荷物質発生量の算定手法

a) 扱う環境問題と環境負荷物質

現在の費用便益分析において扱われている環境問題は地球温暖化、大気汚染、騒音であるが、一般道路の整備および供用に伴い発生する環境問題はこれらだけではない。本研究で扱う環境問題と環境負荷物質を図-2に示す。

本研究では、一般道路を対象としているため、その整備および供用において発生し、影響が大きいと考えられるエネルギー資源枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染、騒音、振動の六つを環境問題として扱う。

道路整備においては、建設機械などによりガソリンや軽油などの石油燃料が大量に消費され、道路利用においても自動車走行により大量の石油燃料が消費されるため、エネルギー資源枯渇は重要な環境問題の一つである。そこで、環境問題としてエネルギー資源枯渇を扱い、その環境負荷物質として、石油燃料（ガソリン、軽油）を熱量に換算したエネルギー消費量を取り扱う。

運輸部門からのCO₂排出量は我が国のCO₂排出量の約2割を占めている。また、運輸部門のCO₂排出量の約9割は自動車によるもので、うち約5割は自家用乗用車からとなっており、2001年度は1990年度比でみると、約22.8%の増加となっている。運輸部門のCO₂排出量は1990年度から1998年度の間に約21.8%の大幅な増加を示していたが、1998年度から2001年度では約0.08%増と増

加の伸びは鈍化している。現状では運輸部門のCO₂排出量に改善の傾向が見られるものの運輸部門からのCO₂排出量は依然として多く、CO₂排出による地球温暖化も重要な環境問題である。そこで、環境問題として地球温暖化を取り扱う。地球温暖化の環境負荷物質としては、寄与度が最も高く、建設機械や自動車から大量に排出されるCO₂を取り扱う。

酸性雨は主として化石燃料の燃焼により生ずる硫酸化合物（SO_x）や窒素酸化合物（NO_x）がガスとなって大気中に放出されることが原因で起こる。運輸・建設部門では、ガソリン、軽油などの化石燃料を大量に消費するため、SO_x、NO_xの排出量が多い。そこで、環境問題として酸性雨を取り扱い、建設機械や自動車からの排出量が多いSO_x、NO_xを環境負荷物質として取り扱う。

大気汚染は工場などの固定発生源や自動車などの移動発生源から排出されるNO_x、HC、SPMなどによって引き起こされる。NO_x、HC、SPMの環境基準達成状況は悪く、これらの物質による環境への影響が大きい。そこで、大気汚染を環境問題として扱い、その環境負荷物質として、NO_x、HC、SPMを取り扱う。

我が国の幹線道路の沿道における騒音問題については、環境基準の未達成地点が依然として多く、道路環境問題の中でも苦情が多い。現在、道路環境対策として、低騒音舗装の敷設、遮音壁、環境施設帯の整備などが積極的に実施されているが、苦情件数は増加の傾向にある。そこで、道路利用による地域環境問題として騒音を扱う。環境負荷物質としては、自動車走行による騒音のような変動騒音を示す指標として適している等価騒音レベル[dB]を用いる。等価騒音レベルは住民反応との対応が良好であり、汎用性が高く、計算・比較・予測が容易である点で適用性が高い。

我が国の幹線道路の沿道における振動問題については、建設作業や交通機関の運行によるものが考えられる。振動対策として、自動車のサスペンションや高架道路のジョイント構造に関する技術開発、振動抑制型舗装技術が開発されており、要請限度値を下回っているケースがほとんどである。ただし、騒音と振動は相乗的に影響しているため、同時に解決する必要がある。そこで、道路利用による地域環境問題として振動を取り扱う。環境負荷

表-1 各環境負荷物質の貨幣評価原単位

環境負荷物質	貨幣評価原単位
エネルギー消費量	0.002 [円/kcal]
CO ₂	0.002 [円/g-c]
SO _x	3.329 [円/g]
NO _x	2.330 [円/g]
HC	1.118y [円/g]
SPM	12.348y [円/g]
等価騒音レベル	17425y [円/dB・km・日]
振動レベル	4274y [円/dB・km・日]

y: 暴露人口指数

物質としては、自動車走行による振動に適した振動レベル[dB]を用いる。

b) 環境負荷発生量の算定手法

環境への影響として、建設機械の燃料消費および減価償却による環境負荷と自動車走行による環境負荷を扱う。環境負荷物質発生量は文献3)による環境負荷発生量算定手法を用いる。ただし、文献3)では騒音算定において現在道路整備で多く用いられる排水性舗装を考慮していない。本研究では排水性舗装における自動車走行による騒音発生量算定について述べる。文献4)より、排水性舗装における騒音算定は、式(1)～(2)によるパワーレベルの補正により可能である。

$$L_{WA,dr} = L_{WA} + \Delta L_{WA,dr} \quad (1)$$

$$\Delta L_{WA,dr} = -3.5 \log_{10} V + 3.2 \quad (2)$$

ここで、 $L_{WA,dr}$ は排水性舗装のパワーレベル[dB]である。 L_{WA} は通常舗装のパワーレベル[dB]であり、 $\Delta L_{WA,dr}$ は通常舗装に対する排水性舗装のパワーレベル補正量[dB]である。 V は平均走行速度[km/h]である。

(2) 貨幣評価原単位

環境コストを算出するために、環境負荷物質の発生による環境への影響を費用として表すための貨幣評価原単位を算出する。算出結果を表-1に示す。

a) エネルギー消費量

エネルギー資源枯渇問題の環境負荷物質は熱量に換算したエネルギー消費量[kcal]によって算出されるので、1[kcal]を貨幣価値に換算する。エネルギー消費量 1[kcal]を原油の質量[g]に換算すると、原油の発熱量 $Q=9,250$ [kcal/l]、原油価格は 2002 年で 1 バレル 24.96 ドル、為替レートは 1 ドル 125.39 円⁹⁾、1 バレル = 159 リ

ットル、比重 830[g/l]であるから、22,878[円/l]となる。したがって、エネルギー消費量 1[kcal]あたりの貨幣価値は次のように算出できる。

エネルギー消費量の貨幣評価原単位

$$= \frac{830 \times 22,878}{9250 \times 10^6} = 0.002 \quad [\text{円/kcal}]$$

b) CO₂

文献 6)では、交通による社会的費用の総額は GNP の 0.6%程度とされている。社会的費用の構成の割合は、地球温暖化が 20%、大気汚染が 60%、騒音が 15%、交通事故が 5%となっている。また、交通において、鉄道及び船舶を除いた道路交通の分担率は 80%である。これから、道路交通の大気汚染の環境費用は、(交通の対 GNP 比) × (道路交通の分担率) × (社会的費用の構成比)で求めることができ、対 GNP 比で、約 0.096%であることがわかる。2000 年度の日本の GNP は 517.76 兆円なので、地球温暖化の環境費用は 4970.05 億円となる。

2000 年の運輸部門の CO₂排出量は 26450 万トン^cであり、その中で道路交通の分担率は 80%であるから、道路交通の CO₂排出量は 21160 万トン^cである。地球温暖化の環境費用を CO₂排出量で除すと、CO₂の貨幣評価原単位は 0.002 [円/g-c]となる。

c) HC, NO_x, SPM

文献 6)より、2000 年度の日本の GNP は 517.76 兆円なので、大気汚染の環境費用は 1.49 兆円となる。大気汚染の環境負荷物質として HC, NO_x, SPM の三種類を扱っているため、これらの物質の重み付けを行った。等価換算係数としては、大気に関するパラメータである HCA 値を用いる。この値は大気内で容認できる濃度または空気質に関するガイドラインにより決定される。WHO (世界保健機構)による空気質に関するガイドラインを用いると、HC=0.45, NO_x=2.92, SPM=1.56 となる。これらの値を NO_xを基準とした値に換算すると、HC=0.15, NO_x=1.00, SPM=0.53, となる。

2000 年度の HC, NO_x, SPM の各排出量⁷⁾は 20 万トン、64 万トン、6.4 万トンであり、以上の値から各大気汚染物質の貨幣評価原単位を求めると以下ようになる。

HCの貨幣評価原単位

$$= \frac{\text{大気汚染の環境費用}}{\text{HC排出量}/0.15} = 1.118 [\text{円/g}]$$

NO_xの貨幣評価原単位

$$= \frac{\text{大気汚染の環境費用}}{\text{NO}_x \text{排出量}/1.00} = 2.330 [\text{円/g}]$$

SPMの貨幣評価原単位

$$= \frac{\text{大気汚染の環境費用}}{\text{SPM排出量}/0.53} = 12.348 [\text{円/g}]$$

大気汚染は地域的な環境問題であるので、沿道状況の差である暴露人口の差を考慮する。そこで、文献1)を参考に暴露人口指数を用いて経済価値を考慮する。ただし、酸性雨の原因物質としての NO_x 排出量と大気汚染の原因物質としての NO_x 排出量の両方を環境コストとして考慮すると、NO_x 排出による影響の貨幣評価が二重計算されることになる。よって、暴露人口指数の考慮は HC および SPM のみとする。

HCの貨幣評価原単位 = 1.118 y [円/g]

SPMの貨幣評価原単位 = 12.348 y [円/g]

ただし、y = 暴露人口指数

d) SO_x

NO_xの貨幣評価原単位が 2.574 [円/g] であることから、酸性化ポテンシャル (AP : Acidification Potential) を用いて SO₂ 等量に換算した結果である SO_x = 1.00, NO_x = 0.70 より SO_xの貨幣評価原単位を算出する。SO_xの貨幣評価原単位は 2.330/0.7 = 3.329 [円/g] となる。

e) 騒音

騒音の貨幣評価原単位については文献3)を参考にした。
騒音の経済価値 : 17,425 y [円 / dB / km / 日]

ただし、y = 暴露人口指数

f) 振動

振動の貨幣評価原単位については騒音と同様に文献3)を参考にした。

振動の経済価値 : 4274 y [円 / dB / km / 日]

ただし、y = 暴露人口指数

3. 一般道路の便益

道路整備により目的地までの走行時間が短縮され、それに伴い走行費用が減少する。また、周辺道路の交通流

が改善され、新規の道路においては道路構造がより安全なものとなるため、交通事故も減少する。また、道路整備により交通流が改善されることで周辺道路における環境負荷物質発生量が減少する。便益として、走行時間短縮便益、走行費用減少便益、交通事故減少便益、環境改善便益を扱う。走行時間短縮便益、走行費用減少便益、交通事故減少便益、環境改善便益の算定については、公共事業評価で利用され信頼できる手法⁹⁾を用いる。

さらに、本研究では環境対策による便益を追加する。社会基盤整備による環境負荷が大きいことから、環境対策を講じることは当然となっている。近年の道路整備においては排水性舗装の採用や遮音壁の設置といった環境対策が行われ、騒音発生量は軽減される。この騒音発生量の減少分は便益として考えることができる。そこで、環境対策による便益を算出する。環境対策による便益 BE' の算定式を式 (3) に示す。

$$BE' = BE'_o - BE'_w \quad (3)$$

ここで、BE'_k は環境対策 k の場合の環境の貨幣評価値であり、k は対策ありの場合 w、なしの場合 o である。環境対策なしの場合の環境の貨幣評価は、環境対策なしの場合の環境負荷物質発生量を算定し、環境負荷物質発生量の貨幣評価を行う。そして、環境対策なしの場合と環境対策ありの場合の差異をもって環境対策による便益とする。

4. 実道路への本手法の適用

本章では、現在の費用便益分析手法による評価結果との比較・検討を行うために、提案した手法を実道路に適用し環境への影響や効果を考慮した費用便益分析を行う。適用対象は3種2級の新規バイパス道路整備事業とし、対象道路は延長約 0.8km、幅員 25~31m の四車線道路である。建設機械による環境への影響は道路打換え工事を対象とする。建設機械の燃料消費による環境負荷量の算定を行う。各建設機械の時間あたり燃料消費量、使用燃料の熱量、100m²あたり施工時間、100m²あたりエネルギー消費量、各排出原単位、100m²あたり NO_x 排出量を基に算出した値に施工面積を乗じ、環境負荷量を算定す

る。次に各環境負荷物質の算定量に貨幣評価原単位を乗じ、環境への影響の貨幣評価を行う。

建設機械の減価償却による環境負荷量の算定は建設機械の時間あたり減価償却費、各環境負荷原単位、100m²あたり施工時間、100m²あたり NO_x 排出量を基に算出した値に、施工面積を乗じ環境負荷量を算定する。そして、各環境負荷物質の貨幣評価原単位を乗じ、環境への影響の貨幣評価を行う。そして、自動車走行による環境負荷物質発生量の算定を行う。車種別交通量、走行速度、各環境負荷原単位からエネルギー消費量および各環境負荷物質発生量を算定する。

環境負荷物質発生量算定の後、各環境負荷物質の貨幣評価原単位を乗じ貨幣評価を行った。騒音および振動に関しては、貨幣評価原単位および道路延長を乗じて算定する。便益算定においては、車種別時間原単位および車種別走行費用原単位から走行時間短縮便益および走行費用減少便益を算定する。また、交通事故減少便益はバイパス整備なしの場合の交通事故損失額からバイパス整備ありの場合の交通事故損失額を減ずることにより求める。

環境改善便益はバイパス整備なしの場合の現道および

関連道路の環境への影響の貨幣評価値からバイパス整備ありの場合の現道および関連道路の環境への影響の貨幣評価値を減ずることによって算定する。

最後に環境対策による便益の算出を行った。バイパス整備における環境対策を低騒音舗装（排水性舗装）および遮音壁の設置とし、通常舗装かつ遮音壁なしの場合における騒音の貨幣評価値から排水性舗装および遮音壁の設置ありの場合における騒音の貨幣評価値を減ずること

によって環境対策による便益を算定する。

費用便益分析では、文献 1)を参考に社会的割引率として一般的に用いられている 4%を用い、評価対象期間は建設期間に供用期間 40 年を加えた年数とする。

算定した費用と便益を基に費用便益分析を行った。経済指標として費用便益比（B/C）を用いる。結果の比較・検討を行うために、現在の費用便益分析手法の場合と環境に係わる費用と便益を考慮した場合に分けて費用便益分析を行った。算定結果を表-2と表-3に示す。

現在の費用便益分析手法による算定結果と本研究の費用便益分析手法の算定結果を比較すると、本研究の費用便益分析手法で扱う環境問題が増えたことによって環境

表-2 現在の費用便益分析手法による算定結果

	初期コスト			維持管理費 [百万円/年]	環境コスト (自動車走行) [百万円/年]		単純費用 [百万円/年]	費用の 現在価値 [百万円/年]	走行時間 短縮便益 [百万円/年]	走行費用 減少便益 [百万円/年]	交通事故 減少便益 [百万円/年]	環境改善 便益 [百万円/年]	単純便益 [百万円/年]	便益の 現在価値 [百万円/年]
	工事費 [百万円/年]	用地費 [百万円/年]	補償費 [百万円/年]											
1		700,000	300,000				1000,000	961,538						
2		1100,000	500,000				1600,000	1479,290						
3		1100,000	500,000				1600,000	1422,394						
4	200,000	700,000	200,000				1100,000	940,285						
5	500,000						500,000	410,964						
6				8,000	406,114	414,114	327,280	971,477	27,458	8,679	274,637	1282,251	1013,381	
15				8,000	406,114	414,114	229,943	971,477	27,458	8,679	274,637	1282,251	711,988	
25				8,000	406,114	414,114	155,341	971,477	27,458	8,679	274,637	1282,251	480,994	
35				8,000	406,114	414,114	104,943	971,477	27,458	8,679	274,637	1282,251	324,942	
45				8,000	406,114	414,114	70,896	971,477	27,458	8,679	274,637	1282,251	219,519	
	700,000	3600,000	1500,000	320,000	16244,560	22364,560	11951,367	38859,088	1098,308	347,151	10985,480	51290,027	20859,933	
費用便益比 (CBR)													1.745	

表-3 本研究の費用便益分析手法による算定結果

	初期コスト			維持管理費 [百万円/年]	環境コスト (建設機械) 燃料消費 減価償却 [百万円/年]		環境コスト (自動車走行) [百万円/年]	単純費用 [百万円/年]	費用の 現在価値 [百万円/年]	走行時間 短縮便益 [百万円/年]	走行費用 減少便益 [百万円/年]	交通事故 減少便益 [百万円/年]	環境改善 便益 [百万円/年]	環境対策 便益 [百万円/年]	単純便益 [百万円/年]	便益の 現在価値 [百万円/年]
	工事費 [百万円/年]	用地費 [百万円/年]	補償費 [百万円/年]													
1		700,000	300,000					1000,000	961,538							
2		1100,000	500,000					1600,000	1479,290							
3		1100,000	500,000					1600,000	1422,394							
4	200,000	700,000	200,000					1100,000	940,285							
5	500,000							500,000	410,964							
6				8,000	0,000	0,000	1841,348	1849,348	1461,566	971,477	27,458	8,679	1820,596	4,697	2832,906	2238,887
15				8,000	1,287	0,304	1841,348	1850,939	1027,761	971,477	27,458	8,679	1820,596	4,697	2832,906	1573,012
25				8,000	1,287	0,304	1841,348	1850,939	694,318	971,477	27,458	8,679	1820,596	4,697	2832,906	1062,671
35				8,000	1,287	0,304	1841,348	1850,939	469,057	971,477	27,458	8,679	1820,596	4,697	2832,906	717,902
45				8,000	1,287	0,304	1841,348	1850,939	316,878	971,477	27,458	8,679	1820,596	4,697	2832,906	484,989
	700,000	3600,000	1500,000	320,000	5,148	1,217	73653,912	79780,277	35302,219	38859,088	1098,308	347,151	72823,842	187,861	113316,250	46086,335
費用便益比 (CBR)																1.305

コストが現在の手法に比べて増大した。本研究の手法では環境対策便益を追加したが、これは総便益の 0.17%程度で、非常に小さい。本事例では、環境対策を排水性舗装の採用と遮音壁の設置としているが、工法や環境対策効果を有する設備の選択により発生する便益の大きさを今後検討すべきであると考えられる。

5. あとがき

本研究では、一般道路を対象として地球環境問題であるエネルギー資源枯渇、地球温暖化、酸性雨と地域環境問題である大気汚染、騒音、振動の六つを扱い、環境に対する影響と効果を事業の費用便益分析の段階から費用と便益に考慮する費用便益分析の手法を提案した。環境負荷量の貨幣評価を行うことで、費用便益分析に環境に対する影響と効果を考慮できた。また、現在の費用便益分析手法による評価結果との比較・検討を行うために、実道路へ適用した。

その結果、扱う環境問題が増えたことにより、環境コストは増大し、費用便益比が小さくなることがわかった。費用便益分析において社会基盤の供用による環境に対する影響を考慮する場合、道路の整備および供用によって発生し、その影響が大きいと考えられる環境問題は正確

に扱うべきであることがわかった。また、環境対策による便益を考慮したことにより環境へ与える効果を費用便益分析に反映することができた。

本手法により、事業主体は道路整備による環境に対する影響と効果を定量的に把握でき、環境への影響と効果を考慮した費用便益分析を行うことができる。

参考文献

- 1) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針（案），財団法人 日本総合研究所，1998.
- 2) 国土交通省 道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2003.8.
- 3) 三上市蔵，窪田論，奥裕子：一般道路の供用段階における環境負荷の算定と統合評価に関する研究，環境システム研究論文集，土木学会，VOL31，pp.101-111，2003.10.
- 4) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55 巻 4 号，pp.281-324，1999.4.
- 5) 総務省統計局：世界の統計 2004，2004.
- 6) 森杉壽芳，小池淳司，武藤慎一：自動車交通の公平な燃料価格水準，土木計画学研究・論文集，12 巻，pp.283-294，1995.
- 7) 環境省：自動車排出ガス原単位および総量に関する調査，2001.

A STUDY ON CONSIDERING INFLUENCE AND EFFECT ON THE ENVIRONMENT TO COST-BENEFIT ANALYSIS FOR OPEN ROADS

Ichizou MIKAMI, Satoshi KUBOTA, and Masachika TANAKA

In this study, cost-benefit analysis in consideration of both influence and effect on the environment was performed. The environmental loads causing energy, global warming, acid rain, air pollution, noise, and vibration as the environmental problems were dealt. The money evaluation specific productivity which express the amount of damage per unit of environmental-load substance was created in order to express the amount of generating of an environmental-load substance in monetary value. This cost-benefit analysis was applied to the improvement project of bypass highway under plan for verifying validity of the analysis. As a result, the cost benefit ratio was smaller than it computed with the present analysis. And, it turned out that the influence on the environment which was not treated until now is large.