

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

三上 市藏¹・窪田 諭²・奥 裕子³

¹フェロー 工博 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)

²正会員 修(工) 株式会社オーグス総研 コンサルティング 部 (〒550-0023 大阪市西区千代崎 3-南 2-37)

³正会員 修(工) 東京建設コンサルタント株式会社 (〒532-0003 大阪市淀川区宮原 3-5-36)

本研究では、一般道路の供用段階を対象として地球環境問題であるエネルギー枯渇問題、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、低周波音の七つを扱い、環境負荷の統合評価手法を検討した。そして、これらの環境負荷量を経済価値に変換することによる統合評価を行った。最終的に、妥当性を検証するために実道路へ適用し、環境への影響の実態を把握した。その結果、道路の供用段階に発生する環境負荷は、建設段階よりも大きく、10年以内には建設段階の環境負荷量に達することがわかった。そして、供用段階における酸性雨と大気汚染の環境負荷が建設段階の環境負荷に一日未満で達することから、異なる環境問題の重要度を明確にすることができた。

Key Words : Integrated Assessment, Environmental Loads, Open Roads, Service Stage

1. まえがき

社会インフラストラクチャから発生する環境負荷は膨大であり、そのライフサイクルにおける環境負荷の低減が要求されている。中でも、一般道路の利用における環境負荷の発生が重大な問題¹⁾となっている。我が国の幹線道路の沿道における大気環境については、環境基準の達成状況が低水準であり、地域環境・地球環境に与える影響が大きい²⁾。また、道路交通騒音や道路交通振動による苦情件数は増加傾向にある。道路利用により生じる環境負荷をできる限り低減させるためには、道路利用における環境対策を効果的に施されなければならない。現在、環境施設帯の整備、大気質の常時観測局の設置などの様々な道路環境対策が推進されている。これらの対策を有効に行うためには、道路利用による環境への影響を把握し、道路管理者の意志決定に反映することが重要である。そのためには、道路利用が地球環境や周辺の地域環境に与える影響を定量的に評価する必要がある。道路の供用期間は長く、新設工事以外にも道路改良や補修工事などの保全作業が発生するため、供用期間に実際に起こりうる多様な環境問題に対応することが必要である。

道路を対象とした環境負荷評価に関する研究³⁾⁴⁾には、ライフサイクルアセスメント (LCA : Life Cycle

Assessment) や環境影響評価 (EIA : Environmental Impact Assessment) などの評価手法を用いた評価が多く行われている。これらの多くは、CO₂の排出量の推計や個々の環境負荷物質が与える影響を評価しており、様々な環境負荷物質を統合的に評価していない。

著者ら⁵⁾は、環境問題として、地球環境問題ではエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨を、地域環境問題では大気汚染を取り上げ、環境負荷量を算定した。

本研究では、一般道路の供用段階における環境対策を有効に実施できるようにするために、地球環境問題および地域環境問題を統合的に評価する。そのために、まず、環境負荷量の算定式を作成する。エネルギー枯渇と大気質に対する算定について既往の研究の算定式を改良するとともに、騒音、振動、低周波音に対する算定式を新たに作成する。次に、保全作業や建設段階における環境負荷量の算定について検討する。そして、算定した環境負荷量を基に、統合的に評価を行う手法を検討する。最後に、構築した評価手法を実道路に適用して、供用段階における環境負荷の特徴を明らかにし、本手法の妥当性を検証する。

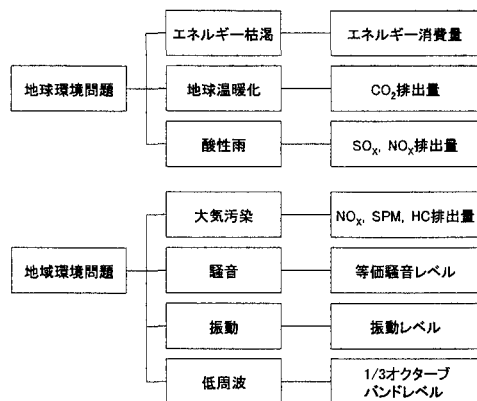


図-1 取り扱う環境問題と環境負荷物質

2. 取り扱う統合評価項目

(1) 取り扱う環境問題と環境負荷物質

一般道路は世界中に存在するため、一般道路の利用によって発生する地域環境問題は、地球規模で発生している環境問題である。したがって、地球環境問題と地域環境問題をそれぞれ別個に対象とするのではなく、地球の保全という目的のために、これらの問題を同時に議論すべきである。環境対策を有効に行い、環境負荷の少ない道路を実現するためには、地球環境問題と地域環境問題の両面で環境負荷の発生を抑制する必要がある。取り扱うべき環境問題は、評価の対象や目的によって異なる。本研究では、評価の結果を既設道路の供用段階における環境対策や市民への情報公開に利用することを考える。一般道路の供用段階において環境に影響を与えている要因は、自動車走行と保全作業である。そのため、図-1に示すように、地球環境問題としてはエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、地域環境問題としては苦情件数が多く早急な改善が求められる大気汚染、騒音、振動、低周波音を扱う。七つの環境問題それぞれに対する環境負荷物質としては、排出を抑えることができれば環境問題が悪化しない主要因物質に着目する。

(2) 評価範囲の分析

一般道路の供用段階における評価区間は、評価手法の利用者が自動車走行における速度と交通量のデータを容易に扱えるようにするために、 $1\text{km} \cdot \text{一日}$ 単位とする。道路幅員については、様々な実道路に算定法を適用し比較分析できるようにようにするために、 1m 単位とする。また、供用段階を道路の供用と保全の全過程とする。評価範囲を図-2に示す。

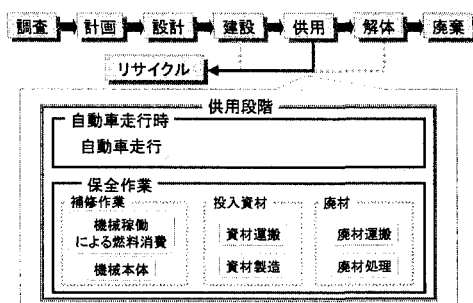


図-2 評価範囲

a) 自動車走行時

道路の供用段階には、道路を利用する立場から自動車走行による環境負荷がある。時間境界としては、交通量の顕著な違いを考慮し、平日・休日のそれぞれ一日を設定する。空間境界（地理的範囲）としては、地球環境問題については地球上の全て場所でそれぞれの環境問題に与える影響は同じであるため、設けないこととする。地域環境問題については、影響を受ける地域が環境負荷発生場所付近に特定されることが多く、健康影響や生態系被害を発生させていることから、各環境問題に適切な人口密度を考慮した影響範囲を設定する。

b) 保全作業時

保全作業に関しては、補修工事で投入する資材と廃材、材料の運搬と清掃作業の全作業を対象とする。時間境界は、道路舗装の打ち換え工事のスパンとアスファルト舗装の耐用年数を考慮して10年単位⁹⁾とする。

地球環境問題に関しては、発生源の位置の違いが環境問題に与える影響は同じであるため、保全作業の全作業工程を扱い、空間境界は設けない。地域環境問題については、道路の評価区間内における補修作業を扱い、空間境界として各環境問題に適切な人口密度を考慮した影響範囲を設定する。

3. 環境負荷量の算定法

(1) 自動車走行による環境負荷物質の算定

a) エネルギー枯渇の算定

自動車走行によるエネルギー枯渇では、自動車走行に要する燃料消費量を熱量に換算し、エネルギー消費量を算定する。まず、燃料消費量を算定するために必要な燃費⁷⁾として表-1の値を用いる。次に、車種 k において走行距離 1km ・車一台あたりの燃料消費量 P_{kG} （ガソリン車） $[\text{l}/\text{km}]$ と P_{kD} （ディーゼル車） $[\text{l}/\text{km}]$ を求める。使用燃料の熱量 ${}^9R_{kG}$ （ガソリン車） $[\text{kcal}/\text{l}]$ と R_{kD} （ディーゼル車） $[\text{kcal}/\text{l}]$ から、 1km ・車一台あたりの排出熱量が得ら

表-1 車種別の 10.15 モードによる燃費

ガソリン(LPG)	燃費 (km/l)	ディーゼル	燃費 (km/l)
軽自動車	11.1	軽自動車	14.4
乗用車	8.3	乗用車	9.1
軽貨物車	10.7	軽貨物車	13.9
小型貨物車	9.0	小型貨物車	11.7
普通貨物車	5.2	普通貨物車	6.8
バス	3.5	バス	4.6
特殊用途車	6.4	特殊用途車	8.3

る。ここで、算定区間の車種別交通量 S_k [台/日] に車種別のガソリン車とディーゼル車の構成比 $K_G:K_D$ を乗じると対象車の台数が決まる。これを RP に乗じて加えると車種別エネルギー消費量 Q_k が算定でき、総計すると算定区間を走行する全車両のエネルギー消費量 Q [kcal/日/km] が次のように得られる。

$$Q = \sum_{k=1}^7 Q_k \quad \text{ただし, } Q_k = P_{KG} R_{KG} S_k K_G + P_{KD} R_{KD} S_k K_D \quad (1)$$

b) 地球温暖化の算定

ガソリンと軽油が燃焼する際、理論的にはほぼ全ての炭素が CO_2 になるので、 CO_2 排出量は自動車走行による消費燃料から算出する。まず、エネルギー枯渇に対する算定と同様にして車種 k のエネルギー消費量を算定する。次に、算定した熱量に、熱量あたりの排出原単位 U_{CO_2G} (ガソリン車) [t-C/kcal] と U_{CO_2D} (ディーゼル車) [t-C/kcal] を乗じて加えると車種別 CO_2 排出量 W_{CO_2k} が算定できる。これらを総計すると算定区間を走行する全車両の CO_2 排出量 W_{CO_2} [g/日/km] が次のように得られる。

$$W_{\text{CO}_2} = \sum_{k=1}^7 W_{\text{CO}_2k}$$

ただし, $W_{\text{CO}_2k} = (R_{KG} P_{KG} S_k K_G) U_{\text{CO}_2G} + (R_{KD} P_{KD} S_k K_D) U_{\text{CO}_2D}$ (2)

c) 酸性雨の算定

NO_x は、自動車走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。そのため、エンジン形式、燃料、排出規制の適用状況、走行時重量の自動車排出ガス特性に関連した排出係数のパラメータとして走行速度域別環境負荷排出係数 E_{NO_xk} [g/km/台] を用いる。これに算定区間の車種別交通量 S_k [台/日] を乗じると車種 k の NO_x 排出量 W_{NO_xk} が得られる。ここで用いる走行速度域別環境負荷排出係数は、交通センサスによる走行速度を基に選定する。これは、交通センサスの調査データが実走行より算出されたものであり、交差点部、信号機、渋滞などに

表-2 縦断補正係数

車種 k	勾配 i の適用範囲 (%)	勾配補正係数 H	
		NO_x	SPM
軽乗用車	$0 < i < +4$	$1+0.25i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.13i$	$1+0.12i$
乗用車	$0 < i < +4$	$1+0.25i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.13i$	$1+0.12i$
軽貨物車	$0 < i < +4$	$1+0.25i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.13i$	$1+0.12i$
小型貨物車	$0 < i < +4$	$1+0.25i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.13i$	$1+0.12i$
普通貨物車	$0 < i < +4$	$1+0.29i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.17i$	$1+0.11i$
バス	$0 < i < +4$	$1+0.29i$	$1+0.21i$
	$0 > i > -4$	$1+0.17i$	$1+0.11i$
特殊用途車	$0 < i < +4$	$1+0.29i$	$1+0.12i$
	$0 > i > -4$	$1+0.17i$	$1+0.11i$

よる自動車の加速、減速、停止を含んだ平均旅行速度を扱っているためである。 NO_x 排出量は縦断勾配のある区間では $W \sin \theta$ (W : 重量, θ : 勾配) の力がエンジンに付加されて排出特性に影響を与える¹⁰⁾ため、排出係数 E を表-2 に示す縦断勾配補正係数¹⁰⁾ H_k で修正する。そして、算定区間を勾配ごとに m 個に区切り、その長さを算定区間との比率 L_j で表すと、排出係数 E に H と L を乗じることになる。算定区間を走行する全車両の W_{NO_x} [g/日/km] は次式より得られる。

$$W_{\text{NO}_x} = \sum_{k=1}^7 W_{\text{NO}_xk} \quad (3)$$

$$\text{ただし, } W_{\text{NO}_xk} = \left(E_{\text{NO}_xk} \sum_{j=1}^m H_{jk} L_j \right) S_k$$

SO_x は硫黄分を含む石油や石炭の燃焼により直接的に発生する環境負荷物質であるため、自動車走行による消費燃料から SO_x 排出量を算定する。 CO_2 排出量と同様に算定できるが、排出原単位⁹⁾として U_{SO_xG} (ガソリン車) [g/kcal] と U_{SO_xD} (ディーゼル車) [g/kcal] を用いる。算定区間を走行する全車両の SO_x 排出量 W_{SO_x} [g/日/km] は、次式より得られる。

$$W_{\text{SO}_x} = \sum_{k=1}^7 W_{\text{SO}_xk}$$

ただし $W_{\text{SO}_xk} = (P_{KG} R_{KG} S_k K_G) U_{\text{SO}_xG} + (P_{KD} R_{KD} S_k K_D) U_{\text{SO}_xD}$ (4)

d) 大気汚染の算定

HC は、走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。 NO_x 排出量と同様に算定できるが、走行速度域別環境負荷排出係数⁹⁾として $E_{\text{HC}k}$ [g/km/台] を用いる。算定区間を走行する全車両の HC 排出量 W_{HC} は次式より得られる。

表-3 タイヤ摩耗による排出係数

車種 k	タイヤ摩耗によるSPM 排出係数 T_j [g/km]
軽乗用車	0.02
乗用車	0.02
軽貨物車	0.02
小型貨物車	0.02
普通貨物車	0.20
バス	0.10
特殊用途車	0.20

$$W_{(HC)} = \sum_{k=1}^7 W_{(HC)k} \quad \text{ただし, } W_{(HC)k} = E_{(HC)k} S_k \quad (5)$$

NO_x 排出量の算定には、式 (3) を用いる。

SPM は、走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。 NO_x 排出量と同様にして算定し、自動車の加減速により駆動力、制動力および横力などの力を路面に伝達する際、タイヤの摩擦から SPM が排出される¹³⁾ことから、タイヤ摩耗による排出量を加算する。そこで、タイヤ摩耗による SPM 排出量を表-3 に示す車種別排出係数 T_j ¹³⁾と車種別交通量 S_k から算出し、走行速度域別環境負荷排出係数⁹⁾ E_{SPM} [g/km/台]を用いて算出した SPM 排出量に加えることにより車種別 SPM 排出量 W_{SPMk} を算出する。これらを総計すると算定区間を走行する全車両の SPM 排出量 W_{SPM} [g/日/km]が次のように得られる。

$$W_{(SPM)} = \sum_{k=1}^7 W_{(SPM)k} + \sum_{k=1}^7 T_k S_k \quad (6)$$

$$\text{ただし, } W_{(SPM)k} = \left(E_{(SPM)k} \sum_{j=1}^m H_k L_j \right) S_k$$

e) 騒音の算定

自動車走行による騒音は、騒音レベルが不規則かつ大幅に変動するので、指標として騒音のエネルギーを平均化した JIS Z 8731 による等価騒音レベルを採用する。等価騒音レベルの算定では、道路構造を始めとして交通量、車種構成、走行速度など交通流に関する要因や自動車自体に関する要因、伝播過程における減衰や回折という物理的要因による影響を考慮しなければならない。これらを考慮した式として ASJ Model 1998¹⁴⁾があるので、本研究ではこれを利用する。ASJ Model 1998 を次に示す。

$$L_{Aeq} = 10 \log(10^{L_{WA1}/10} + 10^{L_{WA2}/10})$$

$$\text{ただし, } L_{Aeq,k} = L_{WA,k} - 10 \log D - 10 \log V + 10 \log Q_k + 10 \log \left(\frac{3.6}{2.86400} \right)$$

$$L_{WA,1} = 82.3 + 10 \log V$$

$$L_{WA,2} = 88.8 + 10 \log V$$

(7)

ここで、 L_{Aeq} は等価騒音レベル[dB]、 L_{Aeq1} は小型車による等価騒音レベル[dB]、 L_{Aeq2} は大型車による等価騒音レベ

ル[dB]である。車種別の等価騒音レベル L_{Aeqd} [dB]は、道路中心から予測点までの距離 D [m]、平均旅行速度 V [km/h]、車種別交通量 Q_k [台/日]、自動車のパワーレベル L_{WAk} から算出される。自動車のパワーレベルには、ASJ Model 1998 における小型車類のパワーレベル L_{WA1} 、大型車類のパワーレベル L_{WA2} を用いる。等価騒音レベルの算定範囲については、文献 15) において特定されている次の範囲を用いる。

・二車線以下の車線を有する幹線交通を担う道路：

道路端から 15[m]

・二車線を越える車線を有する幹線交通を担う道路：

道路端から 20[m]

f) 振動の算定

自動車走行による振動は、振動レベルが不規則かつ大幅に変動する特性を持つので、指標として 80%レンジ上端値 (L_{10})を採用する。振動レベルの算定にあたっては、次の土木研究所提案式¹⁶⁾を用いる。

$$L_{10} = L_{10}^* - \alpha_1$$

$$\text{ただし, } L_{10}^* = a \log(\log Q^*) + b \log V + c \log M + d + \alpha_o + \alpha_f + \alpha_s$$

$$Q^* = \frac{500}{3600} \times \frac{1}{M} \times (Q_1 + K Q_2)$$

(8)

ここで、 L_{10} は振動レベルの 80%レンジの上端値[dB]、 L_{10}^* は基準点における振動レベルの 80%レンジの上端値[dB]、 V は平均走行速度[km/h]、 M は上下車線合計の車線数、 α_o は路面の平坦性などによる補正值[dB]、 α_f は地盤卓越振動数による補正值[dB]、 α_s は道路構造による補正值[dB]、 α_1 は距離減衰値[dB]、 a, b, c, d は定数¹⁷⁾、 Q^* は等価交通量[台/500 秒/車線]である。 Q_1 を小型車時間交通量[台/日]、 Q_2 を大型車時間交通量[台/日]、 K を大型車の小型車への換算係数として 500 秒間の一車線あたりの等価交通量 Q^* を求める。ここで用いる車種分類は、騒音の場合と同様である。振動レベルの算定範囲は、振動規制法施行規則に基づいて、道路の境界線（官民境界）とする。

g) 低周波音の算定

自動車走行による低周波音の発生要因として、高架道路の走行車両による橋梁部の振動や走行車両の車体・エンジンなどから直接放射されるものが考えられる。本研究では、被害が最も大きいと考えられる高架道路の橋梁部の振動から発生する低周波音を算定対象とする。一般道路上の低周波音の周波数特性に対応するために、1-80[Hz]までの周波数を考慮した 1/3 オクターブバンドレベルの中央値を採用する。1/3 オクターブバンドレベルによる低周波音の算定にあたっては、既存の調査結果により導かれた次式¹⁸⁾を用いる。

$$L = L_0 - 10 \log(r/r_0) \quad \text{ただし, } L_0 = a \log X + b \quad (9)$$

ここで、 L は予測位置における低周波音圧レベル[dB]、 L_0 は基準点における低周波音圧レベル[dB]、 r は道路中心から予測位置までの斜距離[m]、 r_0 は道路中心から基準点までの斜距離[m]、 X は大型車交通量[台/h]、 a 、 b は定数⁷⁾である。

低周波音の減衰などによる影響範囲は、振動と同様に道路の境界線（官民境界）とする。

(2) 保全作業による環境負荷量の算定

保全作業時における環境負荷量として、資材に関する環境負荷（資材製造、廃材処理）と補修作業による環境負荷（機械稼働の燃料消費、機械稼働の減価償却）を考える。それぞれにおいて算定された環境負荷量の合計を保全作業時による環境負荷量とする。

a) 資材製造と廃材処理における環境負荷の算定手法

保全作業に伴う環境負荷として、補修のために投入または廃棄処理される資材による環境負荷を考える。これらは算定対象道路上で発生するものではないため、地球環境問題とし、エネルギー消費量、 CO_2 排出量、 SO_x 排出量、 NO_x 排出量を算定する。これらの排出量は、まず、地球環境研究センターによる環境負荷原単位⁸⁾を用い、資材別の原単位[$\text{kcal}/\text{百万円}$]に $1,000[\text{m}^2]$ あたり投入資材金額[$\text{百万円}/1,000\text{m}^2$]を乗じて算定する。次に、算定した $1,000[\text{m}^2]$ あたり環境負荷量に道路幅[m]を乗じて算定区間 $1,000[\text{m}]$ あたり環境負荷量とする。廃材処理により発生するエネルギー消費量、 CO_2 排出量、 SO_x 排出量、 NO_x 排出量も資材製造により発生する環境負荷量と同様にして算定する。ただし、 $1,000[\text{m}^2]$ あたりの処理金額[$\text{百万円}/1,000\text{m}^2$]を乗じて各環境負荷量を算定する。

b) 補修作業における環境負荷の算定手法

補修作業における環境負荷量として、機械稼働の燃料消費による環境負荷と稼働によって物理的に消耗し耐用年数が損失することによる減価償却分の環境負荷を考える。機械の稼働の燃料消費による環境負荷は地球環境問題であると同時に算定対象道路上での作業であるから地域環境問題でもある。したがって、算定する環境負荷量をエネルギー消費量、 CO_2 排出量、 SO_x 排出量、 NO_x 排出量、SPM 排出量、HC 排出量とする。

エネルギー消費量は、建設機械の時間あたり燃料消費量[l/h]^{19)・21)}を熱量に換算して求める。求めた時間あたりエネルギー消費量に $1,000[\text{m}^2]$ の施工

時間[$\text{h}/1,000\text{m}^2$]^{19)・21)}を乗じてエネルギー消費量を算定する。施工時間は、文献 19)より算出する。算定した $1,000[\text{m}^2]$ あたりエネルギー消費量に道路幅[m]を乗じて算定区間 $1,000[\text{m}]$ あたりエネルギー消費量を算定し、各建設機械のエネルギー消費量を総計すると算定区間の補修作業によるエネルギー消費量となる。 CO_2 排出量、 SO_x 排出量、 NO_x 排出量、SPM 排出量については、建設機械のエネルギー消費量に熱量あたりの排出原単位⁸⁾を乗じて、算定区間 $1,000[\text{m}]$ あたり負荷量[$\text{g}/1,000\text{m}^2$]を算定する。次に、算定した負荷量[$\text{g}/1,000\text{m}^2$]に道路幅[m]を乗じて算定区間 $1,000[\text{m}]$ あたり負荷量を算定し、各建設機械の負荷量を総計すると算定区間の補修作業による環境負荷量[$\text{g}/1,000\text{m}$]が得られる。HC 排出量については、既往の研究⁷⁾では、HC と NO_x の排出量の比を 0.18 としているので、本研究でもこの値を用いて NO_x 排出量から算定する。

機械稼働による減価償却分の環境負荷は、算定対象道路上で発生するものではないことから地球環境問題とし、算定する環境負荷量はエネルギー消費量、 CO_2 排出量、 SO_x 排出量、 NO_x 排出量とする。利用時間あたりの損料率より施工量あたりの減価償却費²²⁾を算出し、環境負荷原単位⁸⁾を乗じることによって負荷量を算定する。利用時間あたりの減価償却費は建設機械などの減価償却率の算定方法を採用している減価償却費を用いる。建設機械の時間あたり減価償却費[$\text{百万円}/\text{h}$]に建設機械製造部門の環境負荷原単位⁸⁾を乗じることによって、建設機械の利用時間あたりの環境負荷量を求める。この時間あたり環境負荷量に $1,000[\text{m}^2]$ あたり施工時間[$\text{h}/1,000\text{m}^2$]と道路幅[m]を乗じることによって、算定区間 $1,000[\text{m}]$ あたり環境負荷量を算定する。各建設機械の環境負荷量を総計すると算定区間の減価償却による環境負荷量が得られる。

4. 環境負荷の統合評価手法

(1) 統合評価手法の選定

各環境問題内で環境負荷が与える影響を指標化する。本研究では、以下の観点から適用性を検討した結果、環境影響を経済価値に換算して評価する方法を選定する。

- ・環境負荷の影響が日常用いられている貨幣単位で表されるため、道路管理者は環境対策を行うための改善目標を明確化し、意志決定を容易に行うことができる。

- ・道路管理者と住民との合意形成やアカウンタビリティ

の向上が実現する。

- ・近年重要視され始めた入札条件への環境配慮や LCCA (Life Cycle Cost Analysis) の考え方において、工事発注者が従来の建設コストに加えて環境コストを組み込むことができる。

(2) 環境問題の経済価値の決定

a) エネルギー枯渇の経済価値

希少資源は市場価格が高騰するため、市場価格はエネルギー枯渇を考慮した値であると言える。そこで、エネルギー枯渇の経済価値に資源の市場価格を用いる。ここでは、環境負荷物質として石油燃料を扱っているため、原油の市場価格を用いる。まず、エネルギー消費量 1kcal を原油の質量 [t] に換算する。次に、この原油の市場価格を計算し、原油 1t あたりの市場価格を算出する。算出した値に重み付けを行い、統合化する。重み付けは、客観性が高いことから道路管理者による意志決定の反映が行いやすく、地球環境問題と地域環境問題の両方を取り扱うことができる Distance to Target 法を参考にし、目標値との誤差によって行う。本研究では、被害の最大値を目標値とする。エネルギー枯渇の被害は、埋蔵量を全て消費することにある。そのため、算定したエネルギー消費量[kcal]と原油の埋蔵量との比を用いる。ここでは、英国の「BP 統計 2001」による 2000 年の世界の原油埋蔵量を熱量換算して用いる。統合化したエネルギー枯渇の経済価値は次式のようにになる。

$$1.27 \times 10^{-18} \times \{\text{算定したエネルギー消費量}\} [\text{円/kcal}] (10)$$

b) 地球温暖化の経済価値

CO₂ が地球温暖化に与える影響は、その CO₂ を吸収できる森林が損失することと考えられる。そのため、今後の CO₂ の排出量とこれまでに蓄積された分を吸収できるだけの森林を作り出すために必要な投資を算出し、これを地球温暖化の経済価値とする。1970 年以降に失われた 4 億 4,000 万 [ha] 分の森林を 10 年計画で回復することとし、この面積を植林するための投資額から植林に 1 [ha] あたりに必要な投資額 [円/ha] を算出する。そして、文献 23) を参考に植林後の森林を維持するために必要な投資額を算出し、これらの総額を算出する。ここで森林の CO₂ 吸収力 $16 \times 10^6 [\text{g/ha}]^{20)}$ を用いて CO₂ 1g あたりの経済価値を算出する。この経済価値に重み付けを行い、統合化する。重み付けは、目標値との誤差で行う。地球温暖化による被害は、CO₂ を吸収する地球上の森林全面積を消失することである。そのため、重み付けには、算定した CO₂ 排出量[kcal]を吸収する森林面積と地球上の森林全面積との比を用いる。地球上の森林全面積としては 2000 年の統計 38 億 6 千万 [ha] を用いる。統合化した地

球温暖化の経済価値は次式のようにになる。

$$1.41 \times 10^{-16} \times \{\text{算定した CO}_2 \text{ 排出量}\} [\text{円/g}] \quad (11)$$

c) 酸性雨の経済価値

NO_x と SO_x の排出量が酸性雨に与える影響は、実際の酸性雨による森林の被害額から算出し、経済価値とする。本研究では酸性雨をもたらす環境負荷物質として SO_x、NO_x の二種類を扱っているため、SO_x、NO_x の統合化を行う。等価換算係数としては、科学的な根拠で合意が得られている酸性化ポテンシャル (AP: Acidification Potential) を用い、SO₂ 等量に換算する。次に、酸性雨の影響による被害が著しく、被害額や被害面積などが明確な欧州の数値を基に、世界全体の被害額を算出する。越境流出と越境流入を考慮した欧州主要国の酸性雨による森林被害²¹⁾²²⁾より、SO_x 排出量、NO_x 排出量と森林被害との関係を明らかにし、地球温暖化の場合と同様に、被害を受けた森林を植林によって作り出すために必要な投資を算出する。そして、地球温暖化の経済価値と同様の方法により、算出した経済価値に重み付けを行い統合化する。統合化した酸性雨の経済価値は次式のようにになる。

$$71,194,526 \times \{\text{算定した NO}_x \cdot \text{SO}_x \text{ 排出量}\} [\text{円/g}] \quad (12)$$

d) 大気汚染の経済価値

HC、NO_x、SPM の排出量が大気汚染に与える影響は、地域によって変化する。したがって、被害額や排出量の明確なデータが得られ、都市部の大気汚染が世界で最も深刻な中国の総被害額と米国における大気汚染物質の排出量を参考とした。本研究では大気汚染の環境負荷物質として HC、NO_x、SPM を扱っているため、これらの排出量を統合化する。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²³⁾を用いる。次に、中国における被害額を算出する。中国における大気汚染の都市生活者の疾病・死亡関連コストが GDP の 5% と推定されていることから大気汚染被害額を得る。そして、この中国の被害額を GDP 比によって米国の被害額に換算する。米国における一年間の HC、NO_x、SPM の排出量²⁴⁾と GDP の比を用いることにより日本における HC、NO_x、SPM それぞれ 1g あたりの経済価値を得ることができる。大気汚染物質 1g あたりの経済価値は、NO_x、SPM、HC の経済価値の和で表される。ここで、大気汚染は地域的な環境問題であるので、暴露人口の差、沿道状況の差を考慮する必要がある。そこで、文献 28) を参考に作成した表-4 の暴露人口指数を用いて経済価値を考慮する。

算出した大気汚染物質 1g あたりの経済価値に重み付けを行い、統合化する。重み付けは、目標値との誤差で行う。大気汚染の被害は人間の健康被害を冒すことであるため、環境基準値を目標値として設定する。算定され

表-4 暴露人口指数

センサス区分	人口集中地区 A	人口集中地区 B	人口集中地区 C	その他市街部	非市街部 (平地)	非市街部 (山地)
人口密度 (人/km ²)	12,000 (10,000~14,000)	8,000 (6,000~10,000)	4,000 (2,000~6,000)	1,325	463	17
暴露人口指数	1.000	0.667	0.333	0.110	0.039	0.001

表-5 騒音の経済価値原単位

センサス区分	人口集中地区 A	人口集中地区 B	人口集中地区 C	その他市街部	非市街部 (平地)	非市街部 (山地)
人口密度 (人/km ²)	12,000	8,000	4,000	1,325	463	17
経済価値原単位 (円/dB/km/年)	6,360,000	4,242,100	2,117,900	706,000	248,000	6,400

表-6 振動の経済価値原単位

センサス区分	人口集中地区 A	人口集中地区 B	人口集中地区 C	その他市街部	非市街部 (平地)	非市街部 (山地)
人口密度 (人/km ²)	12,000	8,000	4,000	1,325	463	17
経済価値原単位 (円/dB/km/年)	1,560,000	1,040,500	519,500	171,600	60,800	1,600

た HC, NO_x, SPM の排出量を環境基準値の設定が明確である SPM 排出量に統合する。SPM 排出量への統合は、HCA 値によって行う。SPM の環境基準は最も厳しい値となる 0.10[mg/m³] を目標値として設定する。そして、この目標値の濃度を人間の一日あたりの呼吸量から排出量の値である質量に換算する。統合化した大気汚染の経済価値は次のようになる。

$$3.39y \times \frac{\text{算定したHC排出量}/0.29 + \text{NO}_x\text{排出量}/1.87 + \text{SPM排出量}[g]}{0.10[mg/m^3] \cdot 10^{-3} \times 22.56[m^3]}$$

ただし、y=暴露人口指数 (13)

e) 騒音の経済価値

騒音の経済価値の算出には、騒音の環境属性が土地価格として考慮され、地域性が反映されるヘドニック法を用いる。ヘドニック法は、資産価値データと騒音レベルのデータの地点が一致しており、人の騒音に対する感受性を示す結果と適合していること、1dB あたりの重み付けを考慮していることが重要である。そこで、文献 29) の式を用いて自動車走行による騒音の経済価値を算出する。騒音による被害は地域的な環境問題であるため、暴露人口の差および沿道状況の差を考慮する。文献 28) を参考にして、日本全国の一般道路における地域性を反映させた経済価値原単位を作成すると表-5 のよう

になる。

算出した騒音の経済価値に重み付けを行い、統合化する。重み付けは、目標値との誤差で行う。騒音の被害は人間の健康被害を冒すことであるため、人の健康を保護し生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準とされる環境基準値を目標値として設定し、算定した等価騒音レベルとの比を用いることにより重み付けを行う。ここでは、環境基本法に基づく基準値 I_{noise} を用いる。統合化した騒音の経済価値は次式のようなになる。

$$17,425y \times \frac{\text{算定した等価騒音レベル}[dB]}{I_{noise} [dB]}$$

[円/ dB/km/日] (14)

f) 振動の経済価値

自動車走行による振動の経済価値は、騒音と同様にヘドニック法を用いて算定する。日本全国の一般道路における地域性を反映させた経済価値は、基準の振動レベルを健康被害の観点から 55[dB] (震度 0) 以上と設定し、基準値を超過した値の経済価値に振動の経済価値原単位と評価区間長を乗じて算出すれば、表-6 のようになる。

算出した振動の経済価値に重み付けを行い、騒音の経済価値と同様の方法により統合化する。要請限度を目標

表-7 低周波音の経済価値原単位

センサ区分	人口集中地区 A	人口集中地区 B	人口集中地区 C	その他市街部	非市街部(平地)	非市街部(山地)
人口密度(人/km ²)	12,000	8,000	4,000	1,325	463	17
経済価値原単位(円/dB/km/年)	810,000	540,000	270,000	89,600	31,300	1,100

表-8 平日一日の環境負荷量の算定結果

区間	エネルギー消費量 [10 ³ kcal/日]	CO ₂ [t-C/日]	SO _x [kg/日]	NO _x [kg/日]	SPM [kg/日]	HC [kg/日]	騒音 [dB/日]	振動 [dB/日]	低周波音 [dB/日]
大阪市大正区泉尾3丁目 ～ 大阪市港区磯路1丁目	3.74	10.62	5.00	53.21	8.24	24.71	3.01	181.35	98.32

表-9 自動車走行による環境負荷の経済価値

区間	エネルギー枯渇 [円/日]	地球温暖化 [円/日]	酸性雨 [円/日]	大気汚染 [円/日]	騒音 [円/日]	振動 [円/日]	低周波音 [円/日]
大阪市大正区泉尾3丁目 ～ 大阪市港区磯路1丁目	1.77×10^{-20}	1.14×10^{-9}	1.27×10^{17}	1.62×10^{13}	1.09×10^6	2.30×10^6	2.04×10^5

値として設定する。ここでは、振動規制法の規定に基づく自動車振動の要請限度 I_{wb} を用いる。統合化した振動の経済価値は次のようになる。

$$4274y \times \frac{\text{算定した振動レベル[dB]} [\text{円/dB/km/日}]}{I_{wb} [\text{dB}]} \quad (15)$$

g) 低周波音の経済価値

低周波音対策費は、環境負荷を低減するという観点から低周波音の経済価値に使える。低周波音対策として、効果が最も大きく費用が明確である発生源対策を選定する。経済価値の算定では、大型車が通行する際の橋梁部振動から発生する低周波音の低減に効果を得ている2001年度に名古屋都市高速道路分岐2号線において実施された制振装置(TMD:Tuned Mass Damper)の設置に係る費用を参考とする。経済価値は、基準の音圧レベルを環境省低周波空気振動調査報告書の被害レベルより70[dB]とし、基準値を超過した値の経済価値に経済価値原単位および評価区間長を乗じて算出する。結果を表-7に示す。評価対象範囲は、低周波音の影響がないと考えられる100[m]を境界として設定する。

算出した低周波音の経済価値に、目標値との誤差で重み付けを行い、統合化する。振動の被害は、人間の健康被害を冒すことであるため、裁判事例などにおける被害者の立場に立脚した基準である受忍限度が目標値として適当である。ここでは、国内の裁判事例である名古屋高速道路と西名阪自動車道の値を参考として、最も被害が出ている値である70[dB]の受忍限度の値を用いる。統

合化した低周波音の経済価値は次式のようにになる。

$$1,479y \times \frac{\text{算定した1/3オクターブバンド音圧レベル[dB]}}{70[\text{dB}]} \quad (16)$$

$$[\text{円/dB/km/日}]$$

5. 実道路における環境負荷の統合評価

本手法を国道43号線に適用し、環境への影響の実態を把握し、本手法の有効性を検証する。

(1) 自動車走行による環境負荷の統合化

自動車走行によるエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染に対して、平日・休日それぞれの1,000[m]あたりの環境負荷量を算定する。平日・休日の車種別交通量の値として、1999年の交通センサスによるデータを用いる。道路勾配については、道路台帳付図より読み取った値を用いる。道路区間は道路勾配の違いにより七区間に区切る。平日一日の環境負荷量の算定結果を表-8に示す。そして、算定した環境負荷量を経済価値へ換算し統合化する。ここで、大気汚染の暴露人口指数を算出するために、2000年度国勢調査から人口密度を算出し用いる。

自動車走行による騒音、振動、低周波音についても平日・休日それぞれの1,000[m]あたりの環境負荷量を算定する。車種別交通量は上述と同様である。等価騒音レベルの算定範囲としては、二車線以下については道路端か

表-10 保全作業による環境負荷の経済価値

	エネルギー枯渇 [円/日]	地球温暖化 [円/日]	酸性雨 [円/日]	大気汚染 [円/日]
工事一回あたり	1.38×10^{-17}	9.70×10^{-7}	1.33×10^{20}	3.59×10^{14}
一日あたり	3.78×10^{-41}	2.66×10^{-19}	6.38×10^{33}	9.84×10^{23}

表-11 建設段階における環境負荷の算定結果

エネルギー消費量 [10^7 kcal/日]	CO ₂ [t-C/日]	SO _x [kg/日]	NO _x [kg/日]	SPM [kg/日]	HC [kg/日]
133.98	196.12	3.45×10^3	330.60	98.92	313.03

ら 15[m]、三車線以上については道路端から 20[m]とする。振動レベルおよび低周波音圧レベルの算定範囲は、車道部幅員および歩道幅員などから官民境界を設定する。そして、算定した環境負荷量を経済価値へ換算し統合化する。ここで、暴露人口指数を算出するために、評価区間の人口密度を算出し用いる。統合化した結果を表-9 に示す。

これらの結果、平日における自動車走行による環境問題を比較すると、エネルギー枯渇問題を基準とした場合に、地球温暖化が 6.44×10^{10} 倍、酸性雨が 7.18×10^{36} 倍、大気汚染が 9.15×10^{22} 倍、騒音が 6.16×10^{25} 倍、振動が 1.30×10^{26} 倍、低周波音が 1.15×10^{25} 倍となり、酸性雨問題が非常に大きく、続いて大気汚染問題となることがわかった。休日に關しても同様に、酸性雨問題が非常に大きく、続いて大気汚染問題となることがわかった。これらより、評価区間の自動車交通に対する環境対策は、NO_x、SO_x 排出量削減に向けた対策を中心に行うことが重要であると言える。

(2) 保全作業による環境負荷の統合化

保全作業によるエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染の環境負荷量を算定する。保全工事として道路打換え工事を取り上げる。道路打換え工事は、舗装面の劣化を MCI (Maintenance Control Index) の値で 3.0~5.0 に止め、道路の品質を維持するために 10 年に一回行う⁶⁹⁾ こととする。道路打換え工事による環境負荷量の算定にあたっては、片側三車線と路肩を含む幅員 10[m]、道路延長 1,000[m]の面積 10,000[m²]の道路を対象とし、文献 20) から工事に要する資材投入量と建設機械の供用時間を求め、燃料消費量と減価償却費を算出する。ここで、投入資材および道路打換え工事によって取り壊されるアスファルト混合物の運搬距離はともに 12[km]と仮定し計算する。また、アスファルト混合物は全て再生骨材として処理されることとする。清掃作業については、国道 43 号線の規模と交通量を考慮し、文献 30) を参考に週

表-12 建設段階における環境負荷の算定結果

エネルギー枯渇 [円/日]	地球温暖化 [円/日]	酸性雨 [円/日]	大気汚染 [円/日]
2.28×10^{-17}	3.89×10^{-7}	5.38×10^{20}	2.11×10^{16}

三回とする。保全作業による騒音・振動は、定常的な自動車走行による騒音・振動に比べ、地域環境への影響が極端に小さいことや保全作業による環境改善効果も考えられることより評価対象外とした。

そして、自動車走行による環境負荷の統合化と同様の方法で保全作業による環境負荷を統合化する。統合化した結果は表-10 のようになった。平日・休日それぞれにおける保全作業一日相当分の環境負荷を自動車走行の環境負荷量と比較した結果、平日についてはエネルギー枯渇が四倍、地球温暖化が三倍、酸性雨が六倍、大気汚染が 10 倍となった。これより、保全作業は全ての環境問題について自動車走行より大きく、特に大気汚染による環境負荷が大きいたことがわかった。

(3) 建設段階における環境負荷の統合評価

供用段階と比較分析を行うために、建設段階におけるエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染の環境負荷量を算定する。建設工事による環境負荷量の算定にあたっては、国道 43 号線の両車線、道路延長 1,000[m]、道路幅 20[m]の面積 20,000[m²]とし、路床面の土工からアスファルト舗装面のアスファルト舗装工までを対象とする。建設段階による騒音・振動は、定常的な自動車走行による騒音・振動に比べ、地域環境への影響が極端に小さいことより評価対象外とした。算定方法は保全作業における環境負荷の算定と同様である。建設段階における環境負荷の算定結果を表-11 に示す。

そして、自動車走行による環境負荷の統合化と同様の方法で建設段階における環境負荷を統合化した。結果は表-12 のようになった。

表-13 供用段階における環境負荷の経済価値

区間	エネルギー枯渇 [円/日]	地球温暖化 [円/日]	酸性雨 [円/日]	大気汚染 [円/日]	騒音 [円/日]	振動 [円/日]	低周波音 [円/日]
大阪市大正区泉尾3丁目 ～ 大阪市港区磯路1丁目	1.77×10^{20}	1.14×10^{-9}	6.38×10^{17}	9.84×10^{23}	1.09×10^6	2.30×10^6	2.04×10^5

(4) 供用段階と建設段階の比較分析

供用段階の環境負荷量として一日あたりの自動車走行による環境負荷量と保全作業一日あたり環境負荷量を合計し、建設段階の環境負荷量と同等に達する日数を求める。環境負荷量の合計を表-13に示す。平日の国道43号線の供用段階における環境負荷は、酸性雨と大気汚染については一日未満で建設段階の環境負荷量に達した。エネルギー枯渇については1,288日、地球温暖化については341日で達した。また、休日の国道43号線の供用段階における環境負荷は、酸性雨と大気汚染については一日未満で建設段階の環境負荷量に達することがわかった。エネルギー枯渇については2,620日、地球温暖化については762日で達した。今後、環境負荷の低減を行うためには、酸性雨と大気汚染の環境負荷物質を中心に対策を行うことが重要であると言える。

国道43号線の供用段階における環境負荷を考えると、エネルギー枯渇は約四年、地球温暖化は約一年、酸性雨、大気汚染は一日未満で達する結果となった。つまり、いずれの環境問題についても、供用開始後道路打換え工事を行うまでの10年以内に建設段階の環境負荷量に達する結果となった。このことより、一般道路の供用段階における環境負荷は、供用段階が建設段階よりも大きいことが明らかになった。それらの中でも特に、酸性雨と大気汚染における環境対策が重要であることがわかった。

本研究では、供用段階の環境負荷を定量的に捉えるとともに、統合評価手法を既設道路の環境対策に利用することも考えている。地域における道路を路線毎に評価し、その結果を基にすれば優先的に対策を施すべき路線を明らかにすることができる。また、個々の環境問題に対する評価は既存の手法で可能であるが、本手法を利用することによって、あらゆる環境問題を高い見地から総合的に把握および判断できる。

6. あとがき

本研究では、一般道路の供用段階を対象として地球環境問題であるエネルギー枯渇問題、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、低周波音の七つを扱い、環境負荷の統合評価手法を検討した。そして、これらの環境負荷量を経済価値に変換することによる統合評価を行い、妥当性を示すために実道路へ適用

し、環境問題について議論した。

その結果、道路の供用段階に発生する環境負荷は、建設段階よりも大きく、10年以内には建設段階の環境負荷量に達することがわかった。そして、供用段階における酸性雨と大気汚染の環境負荷が建設段階の環境負荷に一日未満で達することから、異なる環境問題の重要度を明確にすることができた。

一般道路の供用段階という視点からの統合評価手法の開発により、異なる環境問題の重要度が明確にできた。評価手法の重み付け係数として経済価値を用いることにより環境への影響や便益、費用を同じ次元で評価でき、環境負荷を含めた費用と便益の関係が明らかになった。これにより、道路利用による環境問題の環境対策や周辺住民への情報公開に役立てられる。今後、持続可能な開発を行うにあたり、本研究の評価手法を補修設計や供用段階での環境対策で用いることにより、施工時の経済性だけでなく、多数の環境問題が与える影響の大きさを考慮した維持管理を行うことができる。

参考文献

- 1) 桐越信：道路環境対策，道路，日本道路協会，pp.26-27，2001.4.
- 2) 環境省：環境白書 平成14年版，ぎょうせい，2002.5.
- 3) 林良嗣，京谷孝史，加藤博和，中島義人：地球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手法に関する研究，環境システム研究，土木学会，Vol.23，pp.314-320，1995.8.
- 4) 加藤博和，林良嗣，登秀樹：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，土木学会，Vol.24，pp.282-293，1996.10.
- 5) 三上市蔵，窪田諭，奥裕子：一般道路の供用段階における環境負荷量の算定に関する研究，第30回環境システム研究論文発表会講演集，土木学会，pp.91-96，2002.10.
- 6) 財務省：大蔵省令第十五号 減価償却資産の耐用年数等に関する省令，1965.3.
- 7) 環境庁運輸分科会：温室効果ガス排出量算定法に関する検討結果，2000.9.
- 8) 南斎規介，森口祐一，東野進：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 地球環境研究センター，2002.3.
- 9) 野村総合研究所：自動車排ガス原単位および総量に関する

- 調査, 平成9年度 環境庁委託調査業務報告書, 1997.3.
- 10) 辻靖三: 道路環境, 山海堂, pp.309-326, 2002.6.
 - 11) 山崎俊一: 自動車用タイヤにおける摩擦係数, トライボロジスト, 日本トライボロジー学会, Vol.47, No.4, pp.264-275, 2002.2.
 - 12) 環境庁: 浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル, 1997.12.
 - 13) 竹田策三: 建設機械, 森北出版, pp.145-155, 1978.5.
 - 14) 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, 日本音響学会, 55巻, 4号, pp.281-324, 1999.7.
 - 15) 環境法令研究会: 環境基準・規制対策の実務 3, 第一法規, 1997.5.
 - 16) 佐藤弘史, 井上純三: 道路交通振動の予測式に関する検討, 土木技術資料, Vol.41, No.8, 土木研究センター, 1999.8.
 - 17) 道路環境研究所: 道路環境影響評価の技術手法, 第2巻, 財団法人道路環境研究所, 2000.11.
 - 18) 村井逸郎, 竹田和信: 道路橋から発生する低周波音の実態と予測方法, 日本音響学会・振動研究会, 騒音・振動研究会資料 N-99-34, 1999.5.
 - 19) 道路維持修繕積算研究会: 道路維持修繕の施工と積算, 建設物価調査会, 1996.6.
 - 20) 道路工事積算研究会: 改訂版3版 道路工事の積算, 経済調査会, 1999.3.
 - 21) 三上市蔵, 田中成典: 道路橋における経済価値による環境負荷の統合的評価, 平成10年度関西大学学術フロンティア・センター研究成果報告書, pp.65-74, 1999.3.
 - 22) 日本建設機械化協会: 建設機械等損料算定表-平成10年度版-, 1997.4.
 - 23) アサヒビール: エコレポート 1999 アサヒビール環境管理活動の報告, 1999.
 - 24) レスター・R・ブラウン: 地球白書'90-91, ダイヤモンド社, pp.173, 1990.
 - 25) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編: 総合エネルギー統計(平成9年度版) 通商産業研究社, pp.464, 1998.
 - 26) 稲葉敦: ライフサイクルアセスメントにおける環境影響評価手法, 日本エネルギー学会誌, Vol.75, No.8, pp.709-717, 1996.8.
 - 27) 地球環境データブック編集委員会: ひとめでわかる地球環境データブック, オーム社, 1998.
 - 28) 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評価指針(案), 1998.6.
 - 29) 肥田野登, 林山泰久, 井上真志: 都市内交通のもたらす騒音および振動の外部効果の貨幣計測, 環境科学会誌, Vol.9, No.3, 1996.
 - 30) 大字照一, 堀泰晴: 道路維持修繕ハンドブック, 1976.5.

INTEGRATED EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOADS IN SERVICE STAGE OF OPEN ROADS

Ichizou MIKAMI, Satoshi KUBOTA, and Yuko OKU

In this study, the integrated evaluation of environmental loads is presented for the service stage of open roads. The environmental loads causing energy, global warming, and acid rain were dealt as the global environmental problems, and air pollution, noise, vibration, and low frequency as the local environmental problemst. The environmental loads were converted into the corresponding economic values, and were integrated for evaluating the single environmental load. The presented method was applied to the actual open road, and the characteristic of the environmental loads was made explicit.