

地方都市圏における環境負荷削減のための 都市交通の改善策

青柳 舞¹・北村 眞一²・片谷 教孝³

¹ 非会員 株式会社 ジェイアール東日本情報システム
(〒010-0001 秋田県秋田市中通 7-1-1)

E-mail: aoyagim@inet.jeis.co.jp

² 正会員 山梨大学大学院教授 医学工学総合教育部 持続社会形成専攻
(〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: skita@yamanashi.ac.jp

³ 正会員 桜美林大学教授 リベラルアーツ学群 基礎数理専攻
(〒194-0294 東京都町田市常磐町 3758)

E-mail: katatani@obirin.ac.jp

本研究では、NO_x と CO₂ に着目し、甲府都市圏における公共交通機関の導入が環境負荷の削減に繋がることを数値的に評価することを目的とした。シナリオは、1) マイカーの低燃費自動車への買い替え、2) 路線バスの CNG バスへの置き換え、3) 路線バスの BDF バスへの置き換え、4) ノーマイカーデーの実施、5) LRT の新規導入、6) マイカー利用者の鉄道利用へのシフトの 6 つとした。その結果、削減効果は CO₂、NO_x ともに乗用車から LRT・鉄道へのシフトが最も高く、続いて低燃費自動車へのシフトも効果が現れた。一方、CNG バス、BDF バス、ノーマイカーデーはあまり効果が現れず、LRT 導入も建設時の環境負荷が大きいため、短期的には効果が現れなかった。以上より、現時点で最も効果的な施策は、既存の鉄道の活用であるといえる。

Key Words : public transportation, environmental impact, local area, CO₂, NO_x,

1. はじめに

日本では、高度経済成長期以降、急速な自動車の普及により、公共交通機関網が乏しい地域でも、利便性の高い移動手段を確保できるようになった。その結果、主に地方都市で自動車の代表交通手段分担率が上昇するとともに環境汚染物質の排出量も増加し、自動車由来の大気汚染問題が深刻化した。これに対して、政府が大気汚染防止法や自動車 NO_x・PM 法などの対策を行った結果、現在では、緩やかな減少傾向に転じている¹⁾。しかし、必ずしもすべての都市において改善されているわけではなく、地形的特徴など外的要因により未だ改善されていない状況が続いている都市もある。特に、本研究の対象地域である山梨県甲府都市圏では、広大な甲府盆地により、大気の循環が非常に悪く、自動車起因の環境負荷が起こっている。例えば、衛生公害研究所の NO₂ 測定値は、2006 年度の各月における日平均値は全て環境基準値以下であったが、冬には 1 時間値の最高値が基準値を超えることもあった²⁾。そのため、現在でも、京谷ら³⁾に

代表されるような研究が進められている。

また、日本の自動車由来の CO₂ 排出量は、運輸部門の中で約 9 割を占めており、2005 年と 1995 年の自家用乗用車排出量を比較すると約 45%増加している⁴⁾。このような背景から、1997 年に温室効果ガスである京都議定書が採択された。これを受けて環境省⁵⁾では、地球環境研究と位置づけ、青山ら⁶⁾を始めとする研究者らが CO₂ 削減に向けた研究を行っている。

そこで、前報では、山梨県甲府都市圏を対象として、交通システムの変化に対する環境負荷の改善効果を見積もった結果を報告した。対象物質は大気環境への影響を代表する NO_x と地球温暖化への影響を代表する CO₂ とした。まず、NO_x 濃度では 1) 中心市街地活性化と 2) 交通量抑制の 2 つのシナリオの推計を行った。その結果、1) では自動車台数が増加すると同時に NO_x 濃度が上昇し、2) では自動車台数は減少すると同時に NO_x 濃度が減少した。CO₂ 濃度では、1) マイカーの低燃費自動車への買い替え、2) LRT の新規導入、3) 路線バスの CNG バスへの置き換え、4) 路線バスの CNG バスへの置き換え

ることにより、バス利用者も増加という4シナリオの推計を行った。その結果、1)が最も低く、2)は建設時のCO₂排出量を除くと最も低い値になった。しかし、実現性では3)、4)が妥当だといえる。以上より、大気環境保全と地球環境保全の両観点から、甲府市への公共交通機関の導入は有効と判断できるという結果になった。

本報ではこの研究をさらに拡張した。具体的には、NO_xとCO₂を対象物質として、同じシナリオで検討するとともにシナリオ数を増やすことで、環境負荷を削減すると考えられる交通手段の中でも、公共交通機関の導入が環境負荷の削減に繋がることを数値的に評価することを目的とした。これにより、甲府市に適した環境負荷の少ない移動手段を検討した。

2. 研究方法

NO_x・CO₂排出量の削減を想定した後述の6つのシナリオについて計算した。まず、式1より各シナリオで対象となる各車種の排出量を求めた。そして、式1で求めた車種別排出量を式2の該当車種に代入し、他の車種は通常ケース(後に詳細)を代入することで、シナリオ全体の排出量を求めた。なお、NO_xの評価点は衛生公害研究所とし、対象範囲はNO_xが評価点から半径4km以内、CO₂は山梨県甲府都市圏交通実態調査⁷⁾の対象範囲である甲府都市圏(最北端：甲府市、最南端：市川三郷町、最西端：南アルプス市、最東端：笛吹市)とした。なお、式中の区間とは、道路交通センサス⁸⁾の測定単位をあらわしている。

$$X = \sum \{ Q \times d \times k \times D / F \} \quad (1)$$

X: 1車種あたりの排出量[kg-CO₂(NO_x)/(全区間・年)]

Q: 車両台数[台/(日・1区間)]

d: 距離[km]

k: 排出係数[kg-CO₂(NO_x)/(台・L)]

D: 日数(日/年)

F: 燃費(km/L)

$$Y = \{ X_c + X_b + X_s + X_t \} / 1000 (\text{kg/t}) \quad (2)$$

Y: 対象範囲の排出量[t/(全区間・年)]

X_c: 乗用車由来の排出量[kg/(全区間・年)]

X_b: バス由来の排出量[kg/(全区間・年)]

X_s: 小型貨物車由来の排出量[kg/(全区間・年)]

X_t: 普通貨物車由来の排出量[kg/(全区間・年)]

3. 排出量削減シナリオの説明

シナリオを計算するための前段階として、(1)式、(2)

式について要因別感度分析を行った。(1)式では、説明変数である車両台数、排出係数(NO_xのみ)、日数、燃費に注目して、(2)式では各車種に注目して感度分析を行った。なお、変化率は、0～1.5まで0.25間隔で計7点とした。また、各説明変数における変化率1の排出量の値を、平成11年度の道路交通センサスの交通量データを使用した場合(以下、通常ケース)とした。

(1) シナリオ 1[マイカーから低燃費自動車への買い替え]

このシナリオでは、今後数年間で、従来の燃費で走行する自動車の所有者が自発的に低燃費自動車に買い替えることを想定した。計算方法は、まず、国土交通省⁹⁾より発効された車種別環境基準値の+5の燃費を低燃費自動車の燃費と同値であると仮定した。そして、従来の自動車から低燃費自動車へ一定の変化率に応じて増加する場合の計算を行った。次に、低燃費自動車へ買い替えていない残りの自動車(従来の燃費で走行している自動車)の排出量を、変化率0を通常ケース、変化率1を100%シフトした場合として、変化率0から1まで等間隔で削減させた。この2つの値を足した値を1車種あたりの排出量とし、式2の該当車種に代入して対象範囲の排出量を算出した。

(2) シナリオ 2[路線バスのCNGバスへの置き換え]

このシナリオでは、従来の燃費で走行する路線バスを全てCNGバスに買い替えると仮定した。CNGバス由来の排出量は、式1の排出係数をCNGバスの値に置き換えて計算した。また、CNGバスに置き換えていない残りの路線バス(従来の燃費で走行している路線バス)の排出量は、シナリオ1の従来の燃費で走行している自動車と同様の方法で行い、対象範囲の排出量もシナリオ1の対象範囲の排出量と同様の方法で計算した。

(3) シナリオ 3[路線バスのBDFバスへの置き換え]

このシナリオでは、従来の燃費で走行する路線バスを全てBDFバスに置き替えると仮定した。BDFバス由来の排出量は、(1)式の排出係数をBDFバスの排出係数である0kg-CO₂(NO_x)/台・Lに変換して計算した。なお、CNGバスへシフトしていない残りの路線バス(従来の燃費で走行している路線バス)と対象範囲の排出量はシナリオ2と同様の方法で計算した。

(4) シナリオ 4[ノーマイカーデーの実施]

このシナリオでは、平日のノーマイカーデーを導入すると仮定した。ノーマイカーデー導入日数(自動車が走行しない日数)を1年に1日、半年に1日、3ヶ月に1日、2ヶ月に1日、1ヶ月に1日、1ヶ月に2日、1週間に1

日の計7つとし、年間日数である365日からこれらの日数を引いた日数に値する乗用車車両台数を用いて、(1)式より乗用車排出量を計算した。その後、(2)式より他の車種は通常ケースを用いて対象範囲の排出量を算出した。

(5) シナリオ5[LRTの新規導入]

このシナリオでは、山梨県甲府市中心市街地にLRTを新規建設し、自家用車の利用者が移動手段をLRTにシフトすると仮定した。今回は、LRTの排出量が一定の場合に、(a)LRT建設時の排出量を含まない、(b)建設時の排出量を含む、の2パターンを行った。まず、(1)の計算方法は、LRT運行時の排出量を(3)式より計算し、LRTにシフトしない残りの乗用車由来の排出量を(4)式より計算した。対象範囲内の排出量は(2)式に(4)式の値を代入した後、(3)式の値を足した。(b)では表-1中のLRT建設時の公設公営方式の投資金額より、(5)式を用いてLRT建設時の排出量を求めた。この値を、(a)で求めた対象範囲の排出量に足した。

$$X_L = E \times d \times N \times k \times D / 1000 (\text{kg/t}) \quad (3)$$

X_L : LRT運行時の排出量[t-CO₂(NO_x)/年]

E : 使用電力量[kWh/km]

d : 営業km[km/本]

N : 運行本数[本/日]

k : 排出係数[kg-CO₂(NO_x)/kWh]

D : 運行日数[日/年]

$$X_C = X_0 \times r_N / r_0 \quad (4)$$

X_C : 乗用車由来の排出量[kg/(全区間・年)]

X_0 : 通常ケースにおける乗用車由来の排出量[kg/(全区間・年)]

r_N : 変化率Nにおける自動車の代表交通手段分担率

r_0 : 変化率0における自動車の代表交通手段分担率

$$X_{Lb} = \Sigma \{ M \times kM \} / 10^6 \quad (5)$$

X_{Lb} : LRT建設時の排出量(t)

M : 公設公営方式による投資金額(円)

kM : 購入者価格あたりの排出量(kg/千円)

(6) シナリオ6[鉄道]

このシナリオでは、自家用車利用者が山梨県甲府都市圏内を通過している既存の鉄道に交通手段をシフトすると仮定した。計算方法は、LRTと同様に乗用車由来の排出量を求めた値を式2に代入し、式6の値を足すことで対象範囲の排出量を求めた。

$$X_F = E \times k \times CN \times d \times D / 1000 (\text{kg/t}) \quad (6)$$

X_F : 鉄道由来の排出量[t-CO₂(NO_x)/年]

k : 排出係数[kg-CO₂(NO_x)/kWh]

d : 営業キロ[km]

D : 運行日数[日/年]

E : 消費エネルギー[kWh/(車両・km)]

CN : 一日あたりの車両数[車両/日]

4. 推計結果と考察

NO_x排出量の計算結果を図-1に、CO₂排出量の計算結果を図-2に示す。なお、X軸の箇所に1~8までの数値は、X軸の数字が大きくなるほど説明変数の変動率も大きくなり、数字が小さくなるほど変動率も小さくなることを示している。よって、この数字自体に意味はなく、変動率に連動してはいない。なお、図中の低燃・乗用車、低燃バス、低燃・小貨車、低燃・普貨車はシナリオ1の低燃費乗用車、低燃費バス、低燃費小型貨物車、低燃費普通貨物車をそれぞれ意味し、CNGバスはシナリオ2、BDFバスはシナリオ3、ノーマイカーデーはシナリオ4、鉄道はシナリオ5を意味する。また、LRT・建設時排出なしとLRT建設時排出ありはシナリオ5の(a)LRT建設時の排出量を含まない(b)建設時の排出量を含むをそれぞれ意味する。

まず、NO_x排出量・CO₂排出量いずれの場合においても、シナリオ5(LRT・建設時排出なし)とシナリオ6(鉄道)では変化率が大きい(シフト率が高い)ほど、削減効果

表-1 LRT導入時の初期投資により算出した建設時に排出されるNO_x・CO₂排出量

初期投資		公設公営方式による投資金額(十億円)	NO _x 排出量		CO ₂ 排出量	
			購入者価格あたりのNO _x 排出量(g-NO _x /千円)	建設時のNO _x 排出量(NO _x -t)	購入者価格あたりのCO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /千円)	建設時のCO ₂ 排出量(CO ₂ -t)
鉄道軌道建設	路盤	45	14.320	644	5.036	226620
	レール	5		72		25180
	電気設備	22.5		322		113310
	その他	2.7		39		13597
鉄道車両	車両	22	15.849	349	5.253	115566
合計		97.2		1426		494273

初期投資金額は阿部¹⁰⁾、購入者価格あたりの排出量は日本建築学会¹¹⁾より引用

が現れた。これより、電車車両の運行時由来の排出量は、一人当たりの自動車排出量よりもはるかに小さいことは明らかである。これより、特に、すでに設備が整っている鉄道の活用は、現段階で最も実行しやすい施策といえる。一方、シナリオ 5(LRT・建設時排出あり)の排出量は、NOx・CO₂ともにほかのシナリオよりも非常に高くなっており、LRT 建設直後(X 軸「2」)の場合では非常に

高くなっているが、変化率が大きくなる(自動車の交通手段分担率が低くなる)につれて、他のシナリオよりもはるかに大きな削減効果が現れた。ちなみに、今回は、実際に都市圏内を路面電車が走行している熊本都市圏の自動車分担率(59.3%)を X 軸「4」で、長崎都市圏の自動車分担率(34.9%)を X 軸「8」で用いて計算した。ただし、長崎は地理的条件において自動車利用が不便という特徴があるため、甲府市が長崎都市圏の自動車分担率まで減少させることは難しい。しかし、長崎よりも自動車分担率が大きい熊本の値を用いた場合においても、LRT 建設時を含む排出量が削減効果を得られるまでの期間は、NOx では約 32 年、CO₂ では約 8.5 年であることから、長期的な利用を考慮すれば、十分削減効果が得られる施策といえる。

次に、シナリオ 1(低燃・乗用車、低燃・バス、低燃・小貨車、低燃・普貨車)に注目すると、NOx・CO₂ともに車両台数が 100%シフトした場合(X 軸「5」)では排出量が最小値であった。しかし、そこから変化率が移動すると排出量が増加している。これは、変化率が小さい場合(低燃費自動車へのシフト率が小さい)では、まだ低燃費自動車に買い替えていない自動車(従来の燃費で走行する自動車)が存在しているためであり、変化率が大きい場合では、従来の燃費自動車は存在しないが、低燃費自動車が通常ケースの車両台数よりも多くなるため、環境負荷が大きくなるためである。これより、低燃費自動車に買い替えるという施策は、あくまで施策前後の車両台数に変動がない時に効果があり、従来の車両台数を上回って低燃費自動車が増加することは、逆に環境負荷を悪化させる恐れがある。しかし、燃費向上の効果はみられるため、低燃費自動車に買い換える以外に、運転手一人ひとりを対象としたエコドライブの促進も効果的だといえる。

最後に、シナリオ 2(CNG バス)では、バス自体の排出量が大幅に削減し、ある程度の削減効果がみられるが、削減効果はシナリオ 1(低燃・乗用車、低燃・バス、低燃・小貨車、低燃・普貨車)よりも得られなかった。また、シナリオ 3[BDF バス]では路線バス由来の排出量では 0kg と換算されるが、BDF 燃料確保が困難等の問題があるため、山梨県内全てのバスへの普及は難しいと予想される。また、シナリオ 4(ノーマイカーデー)では、行政が実施している 1 年に 1~数回のノーマイカーデーの導入(X 軸「1」~「3」)では、ほとんど効果がみられない。ただし、1 ヶ月に 1 回(X 軸「5」)など定期的な導入では効果が見られる。しかしながら、シナリオ 2, 3, 4 においては、施策自体に削減効果があるというよりも、環境意識を高めるためのイベントの要素が大きいのと考えられる。

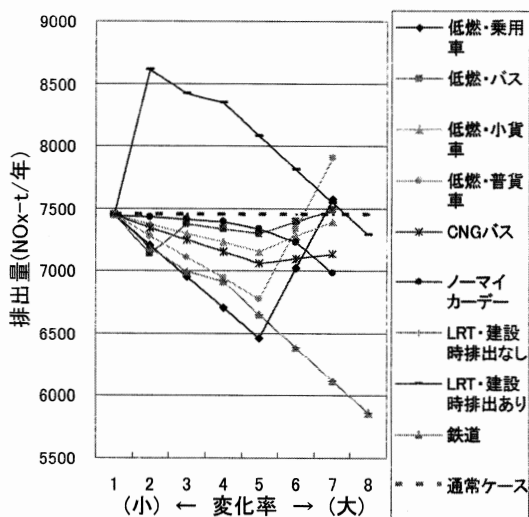


図-1 NOx 排出量の計算結果

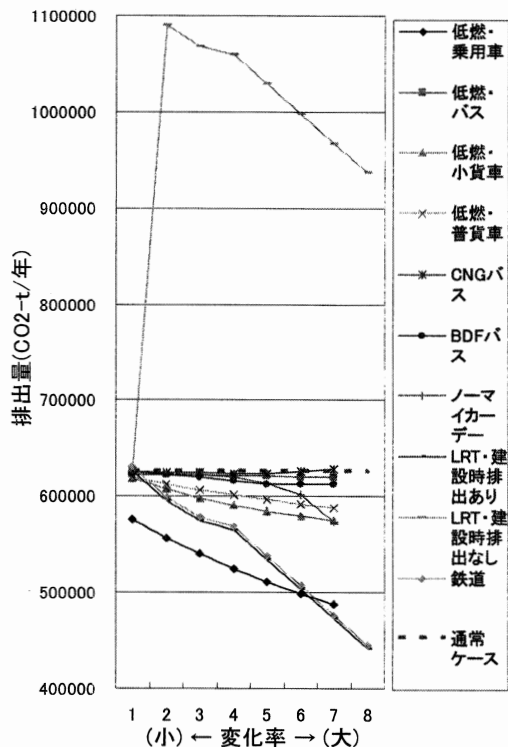


図-2 CO₂ 排出量の計算結果

5. 結論

山梨県甲府都市圏において、公共交通機関利用促進策による環境インパクト削減効果を、6通りのシナリオを設定して定量的に推計した。その結果、削減効果はCO₂・NO_xともに鉄軌道へのシフトを図った場合が最も高かった。また、低燃費乗用車や低燃費普通貨物車の買い替えにも効果が現れた。しかし、CNGバスやBDFバスの置き換えやノーマイカーデーの実施はあまり効果があらわれなかった。また、LRT建設時の排出量を含む場合は、排出量が一時的に非常に大きくなった。これより、NO_xとCO₂の両物質において、最も効果的な施策は既存の鉄道の活用であるといえる。

しかし、今回のシナリオの排出量は、乗用車台数の削減量に大きく左右されていることから、鉄道に限らず、人々が乗用車に頼らないような施策の導入が求められる。それは、計算結果だけで判断できるものではなく、費用や住民の意識なども考慮して、効果的と思われる施策の導入を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 環境省：平成20年版 環境・循環型社会白書，環境省，p138，2008。
- 2) 独立法人国立環境研究所：大気環境月間値・年間値デー

タの閲覧，http://www.nies.go.jp/green/td_disp.html

- 3) 京谷智裕，奥水達司，岩附正明：甲府盆地における初冬季高濃度時のPM10およびPM2.5の状態分析，第43回大気環境学会講演要旨集，p475，2005。
- 4) 環境省：平成20年版 環境・循環型社会白書，環境省，p4，2008。
- 5) 環境省：「地球環境研究・国際環境協力」，<http://www.env.go.jp/earth/study/index.html>
- 6) 青山吉隆(研究代表者)：環境負荷低減に向けた公共交通を主体としたパッケージ型交通施策に関する提言(H17～H19)，http://www.env.go.jp/earth/suishinhi/jpn/projects_underway/pdf/H051.pdf，2008。
- 7) 国土交通省：平成17年度 甲府都市圏交通実態(パーソントリップ)調査，2006。
- 8) 国土交通省道路局編：平成11年度 道路交通センサス全国道路交通調査，(社)交通工学研究，2002。
- 9) 国土交通省：自動車燃費一覧，国土交通省，pp226-227，2008。
- 10) 阿部光太郎・金子雄一郎：LRT整備事業におけるPFI方式の導入可能性に関する定量的検討，土木学会 建築マネジメント研究論文集Vol.14，pp255-262，2007。
- 11) 社団法人日本建築学会環境システム委員会：LCAデータベース(1995年産業連関表データ版)，<http://news-sv.aaj.or.jp/tkankyou/s0/site/arc07.html>，2000。

ON THE URBAN TRAFFIC SYSTEMS REGARDING THE PROTECTION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE LOCAL CITY AREA

Mai AOYAGI, Shinichi KITAMURA and Noritaka KATATANI

In this study, the effects of the introduction of public transportation in the local city area were numerically evaluated regarding the reduction of NO₂ and CO₂ emissions. Six scenarios were assumed as follows; 1) replacement by high fuel efficiency vehicles, 2) replacement by CNG buses, 3) replacement by BDF buses, 4) introduction of "No my car day", 5) introduction of new LRT, 6) shift from my car to existing railway. As a result, scenario 5 and 6 showed highest effects regarding NO_x and CO₂ reductions. Scenario 1 also showed higher effects. On the contrary, scenario 2, 3 and 4 didn't show higher effects. Scenario 5 didn't show higher effects in the short term because it includes large environmental impacts in the construction process. In conclusion, it can be judged that scenario 6 is most effective at present.