

中央大学博士論文

車群の車両挙動・車両特性を考慮した
環境負荷量評価手法の開発

Takashi Kobayashi

小林 貴

博士（工学）

中央大学大学院
理工学研究科
土木工学専攻

平成26年度

2014年7月

目次

1章 序論

1. 1 研究の背景	1-1
1. 1. 1 自治体による局所汚染対策の必要性	1-1
(1) 大気環境の改善傾向	1-1
(2) NO _x PM 法による重点対策地区指定	1-1
1. 1. 2 局所汚染評価手法の必要性	1-1
(1) 規制の副次的影響の評価の必要性	1-1
(2) 自治体の規制影響評価の現状	1-1
(3) 簡便な評価手法の必要性	1-2
1. 2 研究の目的	1-2
1. 3 研究の構成	1-2
1章 参考文献	1-5

2章 研究の位置付け

2. 1 局所汚染評価手法を構築する上での課題の整理	2-1
2. 1. 1 通過する車両の多様性	2-1
(1) 車両挙動の多様性	2-1
(2) 車両特性の多様性	2-2
2. 1. 2 道路の多様性	2-2
2. 1. 3 評価に要する手間とコストの課題	2-2
2. 2 既存の手法の課題整理	2-3
2. 2. 1 手法の実用上の課題	2-3
(1) 車両挙動の表現力の課題	2-3
(2) 車両特性の表現力の課題	2-3
2. 2. 2 手法の表現上の課題	2-4
(1) ラグランジュ的表現方法	2-4
(2) オイラー的表現方法	2-4
2. 3 本手法の位置付け	2-5
2. 3. 1 車両挙動と車両特性を独立に考慮するメリット	2-5
2. 3. 2 個別車両の実走行データを用いた排出量推計式	2-6
2. 3. 3 排出量推計式と断面計測データを用いた車群の地点別排出量の表現	2-7
(1) 車群の車両挙動のオイラー的表現	2-7
(2) 車群の車両特性の平均的表現	2-8
2. 4 まとめ	2-9
2章参考文献	2-9

3章 大気汚染問題の現状

3. 1	はじめに	3-1
3. 1. 1	背景	3-1
3. 1. 2	本章の目的	3-1
3. 1. 3	本章の構成	3-1
3. 2	大気汚染対策の歴史的背景	3-2
3. 2. 1	固定発生源対策	3-2
(1)	固定発生源対策の基礎	3-2
(2)	K値規制	3-2
3. 2. 2	固定発生源対策から移動発生源対策へ	3-2
(1)	総量規制の実施	3-2
(2)	移動発生源新車対策（単体規制）	3-3
3. 2. 3	移動発生源新車対策から中古車対策へ	3-3
(1)	車種規制（自動車NO _x 法）	3-3
(2)	車種規制強化（自動車NO _x PM法）	3-3
3. 2. 4	広域汚染対策から局所汚染対策へ（重点対策地区の指定）	3-3
3. 3	車種規制・運行規制の定量的評価	3-6
3. 3. 1	規制の概要の整理	3-6
(1)	規制の概要	3-6
(2)	規制の影響の仮説	3-7
3. 3. 2	規制影響台数の推計方法	3-9
3. 3. 3	規制影響台数の推計	3-9
(1)	移出入移転	3-9
(2)	流出入移転	3-11
(3)	事業者移転	3-11
(4)	新車及び中古車による代替	3-11
(5)	輸送効率	3-12
3. 3. 4	規制の影響の考察	3-13
(1)	過去の車種規制（自動車NO _x 法）との比較	3-13
(2)	地域間（関東・関西・東海）比較	3-14
(3)	異なる規制方法（車種規制と運行規制）の比較	3-14
3. 4	まとめ	3-15
3. 4. 1	まとめ	3-15
3. 4. 2	今後の課題	3-16
補注		3-17
3章	参考文献	3-19

4章 自治体の規制影響評価制度の現状

4. 1	はじめに	4-1
4. 1. 1	背景	4-1
(1)	規制の地方分権化の進展	4-1
(2)	規制の副次的影響の発生	4-1
(3)	規制の副次的影響評価の必要性	4-1
4. 1. 2	本章の目的	4-2
4. 1. 3	構成	4-2
4. 2	方法	4-3
4. 2. 1	評価を実施する部局（企画・執行・評価）の整理	4-3
4. 2. 2	企画担当部局・執行担当部局へのヒアリング調査	4-4
(1)	ヒアリング方法	4-4
(2)	ヒアリングを行った規制影響評価項目	4-4
4. 2. 3	評価担当部局へのアンケート調査	4-5
4. 3	自治体の規制影響評価制度の導入状況	4-7
4. 3. 1	企画担当部局による評価	4-7
4. 3. 2	執行担当部局による評価	4-7
4. 3. 3	評価担当部局による評価	4-8
(1)	アンケート票回収状況	4-8
(2)	規制影響評価導入状況	4-9
4. 3. 4	まとめ	4-9
4. 4	規制影響評価制度の課題の整理	4-10
4. 4. 1	規制影響評価制度未導入要因	4-10
4. 4. 2	自治体の行政評価制度の発展段階	4-11
4. 5	まとめ	4-14
4. 5. 1	自治体で規制影響評価を行う上で今後への提言	4-14
補注		4-15
4章	参考文献	4-15

5章 個別車両の排出量推計式の構築

5. 1	はじめに	5-1
5. 1. 1	排出量推計式構築の背景と本章の目的	5-1
(1)	勾配を考慮する必要性	5-1
(2)	車両特性の違いを一般化する必要性	5-1
(3)	本章の目的	5-2
5. 1. 2	先行研究の整理	5-2

(1) 個別車の排出量に影響をおよぼす要素の表現のしかたに関する整理.....	5-3
a) 速度項で表現した排出量推計式	5-3
b) 速度項・加速度項で表現した排出量推計式.....	5-3
c) 速度項・加速度項・勾配項で表現した排出量推計式.....	5-4
(2) 車両挙動の時間変動の表現のしかたに関する整理.....	5-5
a) 時刻別に表現する排出量推計式	5-5
b) 時間で集計して表現する排出量推計式.....	5-5
c) 時間で平均して表現する排出量推計式.....	5-6
(3) 既存の推計式の課題整理	5-6
a) T S モデルの優位性	5-6
b) T S モデルの課題	5-7
5. 2 勾配を考慮した TS モデルの構築	5-8
5. 2. 1 勾配を考慮する方法	5-8
5. 2. 2 式形の検討	5-10
5. 2. 3 データ	5-11
5. 2. 4 パラメータ推定	5-13
5. 2. 5 検証	5-17
5. 3 車両特性（車種・積載量）を一般化した TS モデルの構築.....	5-19
5. 3. 1 車両総重量で積載重量・車種の違いを一般化する方法.....	5-19
5. 3. 2 データ	5-20
5. 3. 3 パラメータ推定	5-22
5. 3. 4 検証	5-23
(1) 1 T S 合計の実測値と推計値の比較.....	5-23
(2) 走行モード別の実測値と推計値の比較.....	5-23
(3) 車種別の実測値・推計値の比較	5-24
(4) 積載有無別の実測値・推計値の比較.....	5-25
5. 4 感度分析	5-26
5. 4. 1 感度分析	5-26
(1) 方法	5-26
(2) 結果	5-27
a) 勾配の感度分析	5-27
b) 車両総重量の感度分析	5-27
5. 4. 2 従来手法との比較	5-28
5. 5 まとめ	5-29
(1) まとめ	5-29
(2) 今後の課題	5-30
補注	5-31
5 章 参考文献	5-34

6章 車群の地点別排出量の表現

6. 1	はじめに	6-1
6. 2	研究の位置付け	6-1
6. 2. 1	先行研究の整理	6-1
(1)	ラグランジュ的視点の評価手法	6-2
(2)	オイラー的視点の評価手法	6-2
6. 2. 2	本手法の位置付け	6-3
6. 3	車群の地点別排出量の定式化	6-4
6. 3. 1	地点別停止時間の表現	6-8
6. 3. 2	地点別走行モード別通過台数の表現	6-9
6. 3. 3	走行モード別車群平均パラメータの表現	6-12
6. 4	検証	6-13
6. 4. 1	車両特性と車両挙動を独立と仮定することが算出結果に及ぼす影響	6-13
(1)	方法	6-14
a)	従属手法の表現方法	6-14
b)	独立手法の表現方法	6-16
(2)	結果	6-17
a)	地点別排出量の比較	6-17
b)	区間総排出量の比較	6-17
6. 4. 2	車両到着に一樣到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響	6-18
(1)	1サイクルの一樣到着を仮定することの影響	6-18
a)	一樣到着でない場合が発生する条件	6-18
b)	オフセット・交通流率赤青比の設定	6-19
c)	一樣到着でない場合の排出量算出方法	6-19
d)	地点別排出量の比較	6-19
e)	区間総排出量の比較	6-21
(2)	1時間の通過車両に一樣到着を仮定することの影響	6-22
a)	ポアソン到着手法の算出方法	6-22
b)	一樣到着手法の算出方法	6-23
c)	結果	6-23
6. 4. 3	交差点付近の車群の走行モード割合の現況再現性	6-24
(1)	方法	6-24
a)	西村手法と本手法の算出方法	6-24
b)	実測値の交通条件データ	6-25
(2)	結果	6-26
6. 5	感度分析	6-27
6. 5. 1	方法	6-27

6. 5. 2 結果	6-28
(1) 地点別排出量	6-28
(2) 区間総排出量	6-35
6. 6 まとめ	6-38
6. 6. 1 結論	6-38
6. 6. 2 今後の課題	6-39
補注	6-39
6章 参考文献	6-41

7章 道路網の地点別排出量の表現

7. 1 はじめに	7-1
7. 2 右左折車の考慮方法	7-1
7. 2. 1 進行方向・到着時の信号による交通量の連続性の表現方法.....	7-2
7. 2. 2 進行方向別の走行モードの違いの表現方法.....	7-4
(1) 直進車の走行モード	7-4
(2) 右左折車の走行モード	7-4
(3) 交差点内方向転換時の排出量の表現方法.....	7-5
7. 2. 3 進行方向別・到着時信号別交通量と走行モードの表現.....	7-6
7. 3 右左折車の後続車の考慮方法	7-8
7. 3. 1 方法	7-8
(1) 右左折車が後続車へ及ぼすショックウェーブの表現方法.....	7-9
(2) 右左折車後続車の走行モードの表現.....	7-10
7. 3. 2 後続車を考慮した場合としない場合の算出結果の比較.....	7-11
(1) 地点別排出量	7-11
(2) 区間総排出量	7-12
7. 4 多様な交差点形状の表現方法	7-14
7. 4. 1 多様な交差点形状を表現する際の課題.....	7-14
(1) 現示の違い	7-14
(2) 車線数の違い	7-14
(3) 交差形式の違い	7-14
7. 4. 2 多様な交差点形状の表現方法.....	7-15
7. 4. 3 3車線・右折信号有の交差点の表現例.....	7-15
7. 5 まとめ	7-18
7. 5. 1 結論	7-18
7. 5. 2 今後の課題	7-19
補注	7-19
7章 参考文献	7-19

8章 局所汚染評価システム

8. 1はじめに	8-1
8. 2 システムの概要	8-1
8. 2. 1 システムの目的	8-1
8. 2. 2 出力画面の説明	8-2
(1) 地点別排出量分布図	8-2
(2) 範囲合計排出量分布図	8-2
8. 2. 3 入力画面の説明	8-3
(1) 道路網情報入力画面	8-3
(2) 入力画面	8-4
(3) 入力データのリスト	8-5
8. 2. 4 操作方法	8-6
(1) 道路網の作成	8-6
(2) データ入力	8-6
(3) 平均パラメータ出力	8-7
(4) 排出量算出	8-7
8. 2. 5 システムの構造	8-8
8. 3 入力データの入手方法	8-9
8. 3. 1 道路網情報	8-10
(1) 断面交通量	8-10
a) 厳密に断面交通量を入手する方法	8-10
b) 簡易に断面交通量を入手する方法	8-10
(2) 右左折率	8-10
(3) 延長・幅員・勾配	8-11
(4) 平均速度	8-12
(5) 信号オフセット・信号サイクル	8-12
8. 3. 2 車両挙動情報	8-12
(1) 加速度・減速度	8-12
(2) 車頭時間	8-13
(3) 車長	8-13
8. 3. 3 車両特性情報	8-13
(1) 車両特性構成割合	8-13
a) 実測による入手方法	8-14
b) 推計による入手方法	8-14
(2) 車両重量	8-15
(3) 積載量	8-15
(4) 排出パラメータ	8-16

a) 実測	8-16
b) 推計	8-16
8. 4 適用事例	8-17
8. 5 終わりに	8-18
8章 参考文献	8-18

9章 結論

9. 1 結論	9-1
9. 1. 1 各章の成果	9-1
(1) 2章 研究の位置付け	9-1
(2) 3章 大気汚染問題の現状	9-2
(3) 4章 自治体の規制影響評価制度の現状.....	9-3
(4) 5章 個別車両の排出量推計式の構築.....	9-4
(5) 6章 車群の地点別排出量の表現.....	9-5
(6) 7章 道路網の地点別排出量の表現.....	9-6
(7) 8章 局所汚染評価システム	9-7
9. 2 今後の課題	9-8
9. 2. 1 手法面の課題	9-8
(1) 車種による勾配・車両総重量の変化に対する排出量の感度の違いの検討.....	9-8
(2) 実際の交通環境における一様到着でない場合の発生状況の分析.....	9-9
(3) 車群の地点別排出量の現況再現性の確認.....	9-9
(4) 車線変更の影響の検討	9-9
(5) 局所汚染評価システムの操作性の検証.....	9-9
(6) 既存の交通シミュレーションソフトとの連携.....	9-9
9. 2. 2 応用面の課題	9-9
(1) 濃度への寄与率評価（応用面）	9-9
(2) 重点対策地区範囲の検討（応用面）	9-9
9章 参考文献	9-10

APPENDIX 1 自治体の行政評価に関するアンケート調査表

APPENDIX 2 TSモデルのパラメータ推定時の実走行データ詳細

APPENDIX 3 TSモデルのパラメータ推定結果

APPENDIX 4 多様な交差点形状の表現例

APPENDIX 5 本手法の鉄道踏切における分析への適用例

APPENDIX 6 断面交通量から右左折率を推定する方法

APPENDIX 7 新車の単体規制適合値の違いによるパラメータ補正方法

APPENDIX 8 規制の最適範囲検討手法への応用例

謝辞

1章 序論

1. 1 研究の背景	1-1
1. 1. 1 自治体による局所汚染対策の必要性	1-1
(1) 大気環境の改善傾向.....	1-1
(2) NO _x PM 法による重点対策地区指定	1-1
1. 1. 2 局所汚染評価手法の必要性.....	1-1
(1) 規制の副次的影響の評価の必要性	1-1
(2) 自治体の規制影響評価の現状	1-1
(3) 簡便な評価手法の必要性	1-2
1. 2 研究の目的	1-2
1. 3 研究の構成	1-2
1章 参考文献.....	1-5

1. 1 研究の背景

1. 1. 1 自治体による局所汚染対策の必要性

(1) 大気環境の改善傾向

現在、国や広域自治体によって、車種規制や運行規制といった中古車を対象とする排ガス規制が強化されている。規制の効果もあり、大気観測局の大半が環境基準をクリアしており、大気環境は改善傾向にある。しかし、依然として局所（交差点部・踏切部）では汚染の著しい地域が存在する。局所汚染の改善に対して現状の車種規制や運行規制といった広域対策は非効率であると考えられ、車種規制や運行規制のような広域対策から、局所対策にシフトすることが求められている。

(2) NO_xPM 法による重点対策地区指定

平成21年に改正された自動車NO_xPM法¹⁾では、自治体が重点対策地区を定め、対策を講じることが定められている。しかし、重点対策地区は今までの車種規制や運行規制の範囲と同じ範囲が設定されており、局所への絞りこみがされていない。

1. 1. 2 局所汚染評価手法の必要性

(1) 規制の副次的影響の評価の必要性

車種規制や運行規制のような特定地域の中古車を対象とする規制は、規制対象車の地域間移転や迂回を引き起こし、予期せぬ地域が汚染される可能性がある。

地域間移転は、規制地域内に保有されていた高車齢の中古車が規制地域の周辺の地域(周辺地域)に地域間移転され、周辺地域の環境を悪化させる問題として指摘されている。地域間移転の詳細は3章で述べる。

迂回は、特定の路線に流入規制やロードプライシングを導入した場合に他の路線や地域に及ぼす影響をシミュレーションにより分析した結果、対象路線の環境負荷量は削減されるが、条件によっては他の地域の環境を悪化させることや、道路ネットワーク全体での環境負荷量が削減されない場合がありうる事が中村³⁾、白濱⁴⁾らにより、指摘されている。

今後、自治体が局所汚染対策を実施する際には、規制が他の地域に及ぼす影響を評価する規制影響評価が必要となる。

(2) 自治体の規制影響評価の現状

規制が他の地域に及ぼす影響を評価するため、平成19年(2007)に国の実施する規制において、規制影響分析(RIA:Regulation impact analysis⁵⁾)が義務化された。規制影響分析は、国の実施する規制について、新規規制や既存規制が経済や社会にもたらすネガティブおよびポジティブな影響の双方について、体系的に分析することを目的とした一連の分析手法である。しかし、201

5年現在、自治体において統一的な規制影響評価制度は導入されていない。自治体の規制影響評価の現状については4章で述べる。

平成12年(2000)に地方分権一括法が施行され、地方分権が進み、自治体の裁量が増加するなか、自治体が独自に規制を行うと予期せぬ地域が汚染される可能性があり、自治体において規制影響評価が必要である。

(3) 簡便な評価手法の必要性

現在、大気汚染を評価するための手法はいくつか開発されている。しかし、交通量調査、交通シミュレーションによる車両挙動の再現、車両特性を考慮した排出量推計式による排出量の算出といった分析が必要となり、多大な手間とコストが発生する。自治体が独自に評価をする場合、既存の手法は手間とコストがかかるため、局所汚染を評価するのに適したスケールの簡便な評価手法が必要である。

1. 2 研究の目的

本研究では、自治体が行う局所汚染対策の評価手法として、局所を通過する車群の車両挙動・車両特性を考慮した環境負荷量評価手法の開発を目的とする。

汚染の著しい交差点部等の局所では、加減速といった車両挙動が急激に変化する。また、通過する車両の車種や車齢といった車両特性が異なる。これら車両挙動や車両特性によって排出量は異なるため、車両挙動・車両特性による排出量の違いを考慮する必要がある。

1. 3 研究の構成

研究の構成は以下のとおりである(図1-1-1)

2章で、本手法の位置付けを行う。ここでは、本手法の特徴を明確にするために、局所汚染評価手法を構築する際の課題として、車両挙動の多様性・車両特性の多様性・道路構造の多様性を考慮する必要性、実用上簡便である必要性について述べ、既存の手法の課題を整理し、本手法の位置付けを示す。この中で、既存の手法の課題として、平均速度別原単位による方法では交差点部の加減速といった車両挙動の表現力に課題があり、個別車を表現する方法では考慮できる車両特性に限界があるため、車両特性の表現力に課題があることについて述べる。そして、車両挙動と車両特性を独立なものと仮定することで、地点別の車両挙動と車両特性を別個に算出でき、それらから、地点別排出量を算出できるといった本研究の特徴について述べる。

3章で、過去の大気汚染対策の経緯を整理し、現在の大気汚染対策における課題を整理する。ここでは、特定地域を対象とする中古車の排ガス規制を実施すると現れる中古車の地域間移転・不適切使用・ELVの発生といった副次的影響の問題について既存の統計を用いて定量的に示し、自治体が規制を実施する際の規制影響評価の必要性について述べる。

4章で、自治体の規制影響評価制度の現状について述べる。ここでは、自治体の規制影

響評価導入状況の現状を調査した結果から、自治体では規制影響評価を導入・導入検討がされておらず、その背景にある手間やコストといった課題について述べる。そこから、自治体に合った局所スケールで簡便な評価手法の必要性について述べる。

5章で、個別車両の排出量に車両挙動・車両特性・道路構造が及ぼす影響を明らかにするために、個別車両の実走行データを用いた排出量推計式の分析を行う。ここでは、既存の排出量推計式の整理、勾配を考慮したTSモデルの構築、車種・積載量を車両総重量で一般化したTSモデルの構築を行い、考慮した勾配・車種・積載量の感度分析を行う。

6章で、車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量の表現方法を示す。ここでは、従属の関係にある車両特性と車両挙動を独立に表現し、車群の地点別排出量を定式化する。車両挙動を、交差点1方向を信号1サイクルに通過する車両の地点別モード別台数で表現し、車両特性を、車両特性構成割合により平均的に表現する方法について述べる。

7章で、6章で構築した区間別の地点別排出量表現手法を結合し、局所の道路網に拡張する際に必要となる右左折車の考慮方法、右左折車後続車の影響の検討、多様な交差点への適用方法について述べる。

8章で、前章までに示してきた評価手法の考え方をを用いて構築した実務用のシステムの説明をする。システムの概要、入力データの入手方法について述べる。

9章で、得られた結果のまとめと今後の課題について述べる。

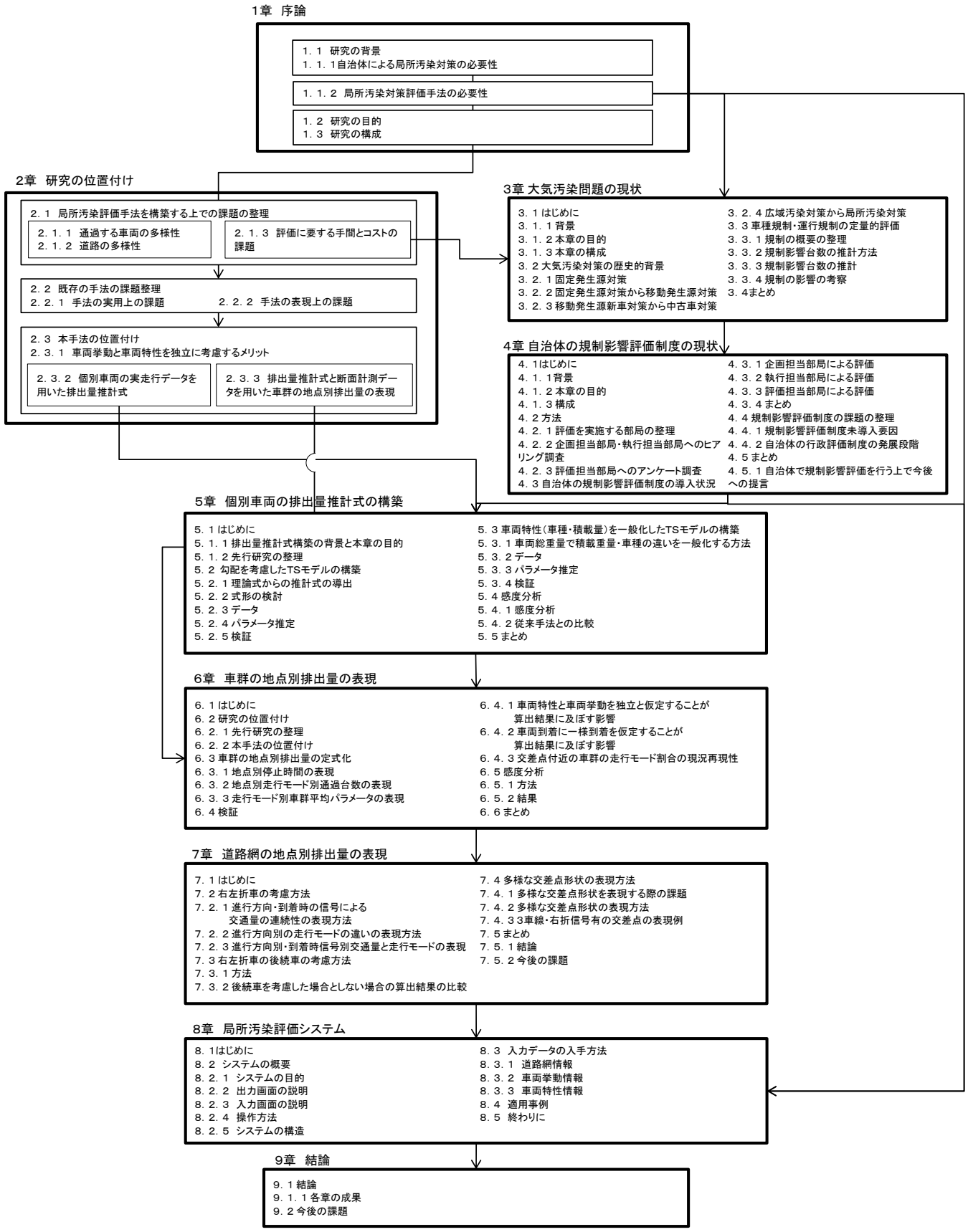


図 1-1-1 本論文の構成

1章 参考文献

- 1) 環境省・国土交通省(2002),「自動車NO_x・PM法の手引き」
- 2) 九都県市あおぞらネットワークホームページ(2013), <<http://www.9taiki.jp/>>
- 3) 中村有克, 谷口栄一, 山田忠史(2006),「マクロ交通シミュレーションを用いた大型車交通施策の評価に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol. 23, PP513-520
- 4) 白濱好文, 屋井鉄雄, 福田大輔, 神田学(2004),「マイクロシミュレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム」, 土木学会論文集, NO. 772/IV-65, PP115-130
- 5) 山本哲三(2009),「規制影響分析(RIA)入門～制度・理論・ケーススタディ～」
- 6) 環境省保健部(2012),「局地的大気汚染の健康影響に関する疫学調査報告書」
- 7) 環境省(2011),「主な大気汚染物質の濃度測定結果」
- 8) 村上一真, 松岡俊二(2005),「都市大気汚染政策における社会的能力の評価」, 日本評価研究 6 卷 1 号, PP55-69

2章 研究の位置付け

2. 1 局所汚染評価手法を構築する上での課題の整理	2-1
2. 1. 1 通過する車両の多様性	2-1
(1) 車両挙動の多様性	2-1
(2) 車両特性の多様性	2-2
2. 1. 2 道路の多様性	2-2
2. 1. 3 評価に要する手間とコストの課題	2-2
2. 2 既存の手法の課題整理	2-3
2. 2. 1 手法の実用上の課題	2-3
(1) 車両挙動の表現力の課題	2-3
(2) 車両特性の表現力の課題	2-3
2. 2. 2 手法の表現上の課題	2-4
(1) ラグランジュ的表現方法	2-4
(2) オイラー的表現方法	2-4
2. 3 本手法の位置付け	2-5
2. 3. 1 車両挙動と車両特性を独立に考慮するメリット	2-5
2. 3. 2 個別車両の実走行データを用いた排出量推計式	2-6
2. 3. 3 排出量推計式と断面計測データを用いた車群の地点別排出量の表現	2-7
(1) 車群の車両挙動のオイラー的表現	2-7
(2) 車群の車両特性の平均的表現	2-8
2. 4 まとめ	2-9
2章参考文献	2-9

ここでは、本手法の特徴を明確にするために、局所汚染評価手法を構築する際の課題として、車両特性と車両挙動を考慮する必要性、実用上簡便である必要性について述べ、既存の手法の課題を整理し、本手法の位置付けを示す。

本章の構成は以下の通りである。

次節で、局所汚染評価手法を構築する上での課題について述べる。ここでは、車両特性と車両挙動を考慮する必要性、実用上簡便である必要性について述べる。

2節で、既存の手法の整理を行う。ここでは、既存の手法の実用上の課題・表現上の課題の整理を行い車両挙動と車両特性を考慮すると計算が煩雑になる課題について述べる。

3節で、本手法の位置付けを行う。

2. 1 局所汚染評価手法を構築する上での課題の整理

開発する局所汚染評価手法では、局所を通過する車群の地点別排出量を表現する。地点別の排出量を表現する必要性は、濃度を評価する際に、地点別に定常的に排出される排出量が必要となるためである。ここでは、濃度は対象とせず、排出量のみを対象とする。局所汚染評価手法を構築するうえでの課題は、通過する車の多様性と評価を行う道路の多様性、評価の手間とコストである。

2. 1. 1 通過する車両の多様性

車群の地点別排出量は、個々の車両の地点別排出原単位を地点別に重ねあわせたものとして式(2-1)により表せる。ここで、車群とは、 T 時間に通過した車両で形成される台数をいう。個々の車両の地点別排出原単位は、その地点を通過した車両の速度・加速度といった車両挙動と、車種や車齢・積載量といった車両特性によって決まる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{f_{(v_i(x(t)), a_i(x(t)), M_i)}\} dx dT \quad \dots (2-1)$$

ここに、 $F_{(x,T)}$ ：地点 x を時間 T の間に通過した車両の合計排出量、 T ：算出時間、 i ：車両番号、 $q(x,T)$ ：地点 x を時間 T の間に通過した車両台数、 Δx ：単位距離 (1 m)、 $f_{(v_i(x(t)), a_i(x(t)), M_i)}$ ：個々の車両の地点別排出量、 $v_{i(x(t))}$ ：車両 i の地点別速度、 $a_{i(x(t))}$ ：車両 i の地点別加減速度、 M_i ：車両 i の車両特性を表す。

(1) 車両挙動の多様性

実際の局所を通過する車両の車両挙動(速度・加速度)が多様である。例えば、交差点の先頭に停止する車両は、停止する先頭の位置まで減速し、その位置から加速し、停止する時間は長くなる。一方、後方に停止する車両は、停止する後方の位置まで減速し、その位置から加速し、停止する時間は後方になるにしたがって短くなる。このように、車両によって、加減速をする区間、停止時間、停止位置といった車両挙動が異なる。

車両の速度によって空気抵抗が発生し、加速度によって加速抵抗が発生する。これらの

抵抗が大きいほど燃料消費量・排出量が多くなる。また、停止時は時間あたりの排出量は少ないが、停止する時間が長くなると、同じ地点に排出する量が増える。このため、車両別・地点別・時刻別に変化する車両挙動による排出量の違いを考慮する必要がある。

(2) 車両特性の多様性

実際の局所を通過する車両の車両特性（車種・車齢・積載量）が多様である。

車種により異なる車両総重量や走行時の積載量によって転がり摩擦抵抗・勾配抵抗が発生する。これらの抵抗が大きいほど燃料消費量が多くなり、排出量も多くなる。

また、車齢（車両の製造された年度）によって適合する排ガス規制の規制値が異なる。一般に車齢の古い車両ほど排出量は多くなる傾向にある。

これらの車両特性は、車両の発生した地域に保有されている車両の車種や車齢の構成や路線の特性・時間帯別の交通特性によって決まる。保有されている地域の車両特性構成は、地域によって異なる。その主な要因は、特定地域を対象とする中古車の排ガス規制である。規制を行うと規制で使用できなくなった古い中古車の地域間移転が発生し、車種・車齢構成が変化する。このように、車両特性によって排出量が異なる。

排ガス規制を行う際の規制対象車の設定には、新車登録時に規制される単体規制の規制区分が用いられている。現状国内に保有されている規制区分は6区分（長期規制・短期規制・新長期規制・新短期規制・ポスト新長期規制・ポスト新短期規制）あり、それぞれの区分ごとに、車両総重量や積載量の違いが有り、排出量に違いが生じる。これら車両特性の違いによる排出量の違いを評価できる必要がある。

2. 1. 2 道路の多様性

道路の多様性は、上り坂や下り坂といった勾配、車線数が異なる道路、平面交差や立体交差といった交差点の交差形式の違いといったものである。上り坂では下り坂より多くの排出量が排出されるため、勾配の影響を考慮する必要がある。車線数が多い路線では、右左折車の影響を受けず定速で通過する車両が増えるため、一台あたりの排出量が少なくなるなど、排出量に影響をおよぼす。立体交差は勾配の影響や、走行モードの違いにより排出量に影響をおよぼす。このように、評価対象の道路の多様性を評価できる必要がある。

2. 1. 3 評価に要する手間とコストの課題

現状、大気汚染対策として規制の方法を検討する場合、規制の効果や影響についての事前評価を外部の専門機関に委託する。局所汚染対策を自治体を実施する場合、個別の汚染箇所に対応する必要があるため、その都度外部の専門機関に委託をすることは、手間とコストの面から現実的ではない。局所汚染対策の効果や影響について自治体内部で簡便に評価できる手法が必要となる。

また、局所汚染対策として排ガス規制を実施すると、直接的な効果以外に、古い車両の地域間移転や、不適切使用（俗に言う車庫飛ばし）といった副次的な影響が発生する^{1) 2)}

3)。現状、国の行う規制では、規制影響評価（R I A）が義務付けられているが、ほとんどの自治体では制度として導入されていない。自治体で規制影響評価が行われない背景に手間やコストの問題が考えられ、簡便に地点別排出量を評価できる必要がある。

2. 2 既存の手法の課題整理

車群の地点別排出量を表現する際に参考となる既存の手法の、実用上の課題と手法の表現上の課題について整理する。

2. 2. 1 手法の実用上の課題

(1) 車両挙動の表現力の課題

実用上、最も一般的な手法は平均速度別原単位による方法である^{4) 5)}。これは、路線の区間毎の断面交通量と平均速度に平均速度別原単位を乗じて排出量を算出する方法である。この手法では、地点を通過する個々の車両が一定の平均速度で走行すると仮定し、地点毎（路線単位）に得られる平均速度を用いて車両の挙動としている。

広域な大気汚染が問題とされていた時には、全体的に高濃度であったため、交通量と平均速度から算出する方法で評価することができていた。しかし、大気環境が改善傾向にあり、地域によって濃度に差が生じる状況では、濃度差を生む要因である車両挙動を適切に表現することが求められる。

(2) 車両特性の表現力の課題

平均速度別原単位による方法より詳細に車両挙動を表現したい場合に、車両挙動を詳細に表現可能な手法が提案されている。これは、個々の車両挙動を自動車追従理論に基づき再現し、車両別・地点別の車両挙動を出力し、出力した車両挙動データを排出量モデルに入力し、算出した車両別・地点別排出量を地点別に通過台数分合計して算出する方法である。白濱ら⁶⁾は、交通シミュレーションにより30km圏の道路ネットワーク上の車両挙動を再現し、排出量モデルにより排出量分布を算出する手法を開発している。

しかし、この個々の車両挙動を表現する手法では、個々の車両挙動データを入力する必要がある。実際の車群の車両挙動を計測することは困難であり、交通シミュレーションソフトにより、車両挙動データを作成することが有効となる。しかし、現在市販されている交通シミュレーションソフト¹⁷⁾は、交通需要予測等の交通流を表現することを主目的に開発されており、表現できる車両特性の数は大半が3~5車種程度である。

局所汚染を評価する際に考慮したい車両特性の数は、単体規制の区分・車種・積載の有無があり、最低でも12種類の違いを表現する必要があり、個々の車両挙動を表現する手法では車両特性の表現力に課題がある。

さらに、個々の車両挙動を表現する手法で評価を行う場合、交通シミュレーションソフトの使用には、交通工学の専門知識を要するため、一般には外部の専門機関に委託をする

場合が多い。局所対策を行う際に、局所ごとに評価を外部委託することは、手間とコストの観点から現実的ではない。このように、手間とコストの課題がある。

以上、既存の手法には、局所汚染評価に必要な車両特性と車両挙動を同時に表現することの難しさといった課題があることを述べた。

2. 2. 2 手法の表現上の課題

車両挙動と車両特性を同時に表現する際に参考となる先行研究を整理する。

先行研究で提案されている地点別排出量の表現方法をラグランジュ的手法とオイラー的手法の2つの視点から整理する。

個々の車両挙動は車両特性を維持したまま、距離軸方向に連続的に変化する。そのため、車両挙動・車両特性は個々の車両に視点を置いた移動座標系によるラグランジュ的視点で現象をとらえる必要がある。

一方、個々の車両が排出する環境負荷物質は通過した地点にとどまり、その地点の住民や歩行者に影響をおよぼすため、排出量を把握するためには固定座標系によるオイラー的視点が必要となる。

そのため、車群の地点別排出量を検討する際には、個々の車両の挙動に着目したラグランジュ的視点と、地点を固定して通過車両の挙動に着目したオイラー的視点の双方で現象を捉えることが必要となる。

(1) ラグランジュ的表現方法

車両挙動と車両特性をラグランジュ的に表現する方法では、自動車追従理論に基づく交通流により再現し、車両別・地点別の車両挙動を移動座標系のまま出力し、出力した車両挙動データを排出量モデルに入力することで、車両別・地点別排出量を算出する方法である。個々の車両の車両挙動と車両特性をラグランジュ的に表現する手法であり、例えば、白濱ら⁶⁾ 小根山ら⁷⁾ がある。

車両挙動を詳細に表現することができる反面、車両挙動を連続的に表現しているため、複数の車両特性の違いを考慮したい場合に、計算が煩雑になり車両特性の種類に制約が生じる。

(2) オイラー的表現方法

車両挙動と車両特性をオイラー的に表現する手法には従来用いられている平均速度別原単位による方法がある。この方法は、地点を通過する車群の平均速度から車両挙動を表現し、車両特性別の排出原単位を乗じることで、地点別排出量を算出する方法である。複数の車両特性の考慮は比較的容易に行なえる利点を持つ。例えば松橋ら⁸⁾ は従来の平均速度別原単位による方法の車両特性（車種や、車齢、積載量）の区分の詳細化を行っている。

反面、車両挙動を詳細に表現することができない課題がある。

古屋ら⁹⁾は、交差点付近の加減速等の車両挙動を把握するために、交差点付近の定点からのビデオ撮影により車両の速度変動を取得する手法を開発している。取得した車両挙動から、到着順序によって加速度・速度の分散に違いがあるものの平均値はほぼ一致することを示しており、本手法で、車群の車両挙動を簡便に表現する際に参考になる。

西村ら¹⁰⁾は、交差点付近を通過する車両の車両挙動を加速・減速・定速・停止の4つの走行モードに区分し、それぞれの走行モードの時間構成割合を予測する手法を開発している。予測手法では、交差点における実測データより、停止波・発進波を推定し、停止行列長、加速波、減速波を決定している。加速波は、発進波を実測値より得た平均的な加速時間分距離軸方向に平行移動させ、減速波は、停止波を実測値より得た平均的な減速時間分距離軸方向に平行移動させて決定している。この手法によって算出した予測値と実測値を比較した結果、減速11.2%、停止4.8%、加速1.7%、定速0.2%の誤差が生じる程度であり概ね表現であることを明らかにしている。通過する車群の車両挙動を構成割合として表現する考え方は、本手法で車群の地点別排出量を簡便に表現する際に参考になる。しかし、次の2点の課題が残る。第一に、停止波・発進波を実走行データからモデル化しているため、手法の一般化をする必要があり、車両挙動の理論化が必要である。第二に、車両挙動に関する議論はされているが、通過車両毎に異なる車両特性と車両挙動の関係、排出量の算出に関する議論がされていない。

以上、ラグランジュ的に車両挙動を表現した手法は複数の車両特性の考慮が困難となり、オイラー的に車両挙動を表現した手法は、車両特性は考慮されるが、車両挙動の表現力に課題があることを述べた。

2. 3 本手法の位置付け

以上整理した、既存の手法では、車両挙動と車両特性を同時に表現することが難しい課題を踏まえ、本手法の位置付けを示す。

2. 3. 1 車両挙動と車両特性を独立に考慮するメリット

車両挙動と車両特性を同時に表現することが難しい原因として、「車両特性と車両挙動が従属の関係にある」ことが挙げられる。これは、実際の交通環境では、個々の車両が異なる車両特性を維持したまま、車両挙動が距離軸方向に連続的に変化する。そして、車両挙動の変化のしかたは、前の車の影響を受けて決まるため、到着順序に依存するためである。これにより個別車両の地点別排出量を算出したのち車群の地点別排出量に足し合わせる積分順序の制約が生じる。このことが車両挙動と車両特性を同時に表現することを難しくしている。

本手法では、車両挙動と車両特性を同時に表現するために、実際の交通環境では従属の

関係にある車両特性と車両挙動を独立であると仮定する（図2-3-1）。車両挙動と車両特性を独立に考える理由は次のとおりである。

第1に、交差点に到着する車両の到着順序は、車両特性によらず一様であると考えられ、車両挙動は到着順序に依存するが、到着順序は車両特性に依存しないと考えられる。例えば、「赤信号の停止車列の何番目に停車するか」と、「到着した車両の車種はなにか」といったことは互いに依存しておらず、独立に扱うことができると考えられる。

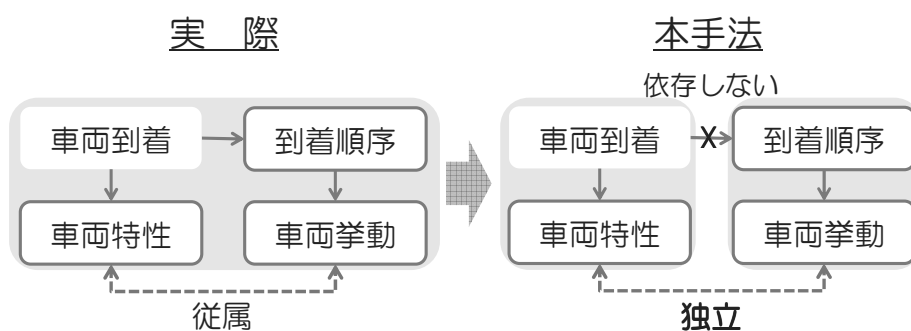


図2-3-1 本手法の特徴

第2に、両者を従属に考える従来のラグランジュ的手法では車両別の地点別微小区間排出量を積分した後に通過台数分合計する必要があるため積分順序に制約が生じ、車両挙動と車両特性を同時に表現することが難しくなる。独立に考える本手法では、車両と地点、車両と時刻の関係を考えずに、別個に算出した地点別の車両挙動と車両特性から、簡便に地点別排出量を算出できる利点がある。

車両挙動と車両特性を独立に考え車群の地点別排出量を表現するために必要なことは、次の2点である。

- ①個別車両の実走行データを用いた排出量推計式の構築
 - ②排出量推計式と断面計測データを用いた車群の地点別排出量の表現
- 以降この2点について本手法の考え方について述べる。

2. 3. 2 個別車両の実走行データを用いた排出量推計式

個別車両の車両挙動・車両特性が排出原単位に及ぼす影響を表現する際に課題となるのは、次の2点である。

- 課題1：車両挙動が時々刻々変化し、車両挙動によって排出原単位が異なる。
- 課題2：車両挙動の変化による排出原単位の変化の仕方に、車両特性が及ぼす影響が不明であることである。

課題1を解決するために、TSモデル¹⁾²⁾の時間変動を平均的に表現する考え方が参考になる。TSモデルは、個々の車両挙動を発進から次の発進までを1トリップセグメント(以後、TS)と定義し、1TS内を5つのモードに分割して考える。5つのモードごとに速度を平均化して表現することで、個々の車両の速度・加速度の時間変動を平均的に表現することが可能となる(図2-3-2)。

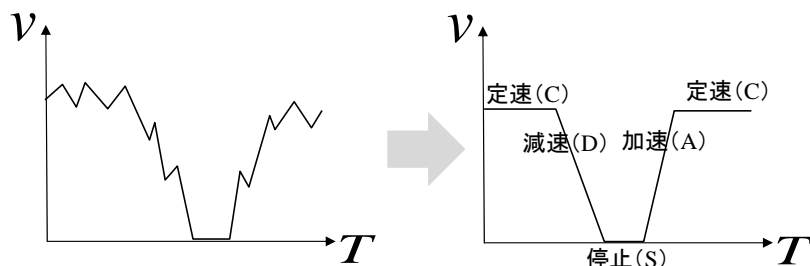


図2-3-2 速度変動から時間変動を除去する方法の概念図

しかし、既存のTSモデルは、個別車両が道路構造上の要因(勾配)から受ける原単位への影響が考慮されていない。理論上の排出量は、車両にかかる抵抗力と推進力のつり合い式から導かれた燃料消費量から算出される。車両にかかる抵抗は、空気抵抗・加速抵抗・転がり摩擦抵抗・勾配抵抗があり、空気抵抗は速度、加速抵抗は加速度、転がり摩擦抵抗は車重、勾配抵抗は車重と勾配によって決まる。そのため、既存TSモデルにおいて、勾配抵抗が排出量に与える影響を考慮する必要がある。

課題2を解決するために、異なる車両特性を持つ車両のTSモデルのパラメータを比較することが有効となる。既存のTSモデルでは、車両のもつ車両特性が変わるとその都度パラメータを推定する必要があり、異なる車両特性を持つ車両で構成される車群を評価する際に不便である。転がり摩擦抵抗・勾配抵抗に影響する車重によりTSモデルのパラメータを一般化されていることが望ましい。

以上整理した個別車両の車両挙動・車両特性が、排出原単位に及ぼす影響を表現する際の課題1・課題2については5章で実走行データを用いた排出量推計式の分析を行う。

2. 3. 3 排出量推計式と断面計測データを用いた車群の地点別排出量の表現

独立と仮定した車両挙動と車両特性から地点別排出量を算出する本手法の考え方(図2-3-3)について述べる。

(1) 車群の車両挙動のオイラー的表現

車両挙動をオイラー的に表現する際の課題は、車両挙動が地点・時刻・車両によって異なることである。

地点・時刻・車両によって異なる車群の車両挙動を表現するために、地点別・時刻別・

車両別の車両挙動を表現する際に便利な時間距離図を用いて、1サイクルに交差点を通過する車両の挙動を5つの走行モードに分けて考える。時間距離図に表現した車両挙動にいくつかの仮定（車両の一樣到着、加速度一定、減速度一定、定速度一定）を置くことで、車群の地点別走行モード別台数を台距離図上に表現する。台距離図に表現することで、地点別走行モード別台数を幾何学的に表現することが可能となる。

(2) 車群の車両特性の平均的表現

車両特性の構成割合が地域・路線によって多様であるため、車両特性構成割合を平均的に表現できることが望ましい。本手法では、車群の車両特性を1時間に通過する車両の車両特性構成割合が既知であるとして、通過車両の排出パラメータを車両特性構成割合で加重平均して表現する。車両特性を平均的に表現することで、車種や車齢・積載量の違いを詳細に表現したい場合にも対応することが可能となる。

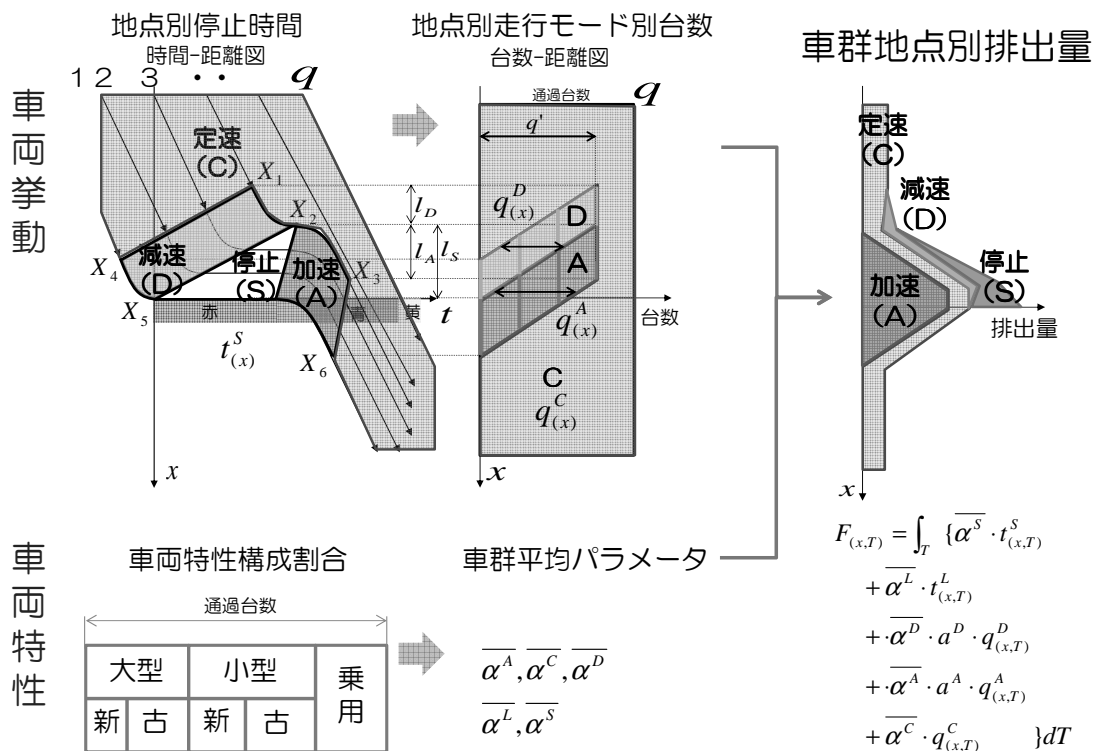


図 2-3-3 本手法の考え方

以上示した、独立と仮定した車両挙動と車両特性から地点別排出量を算出する方法、車両挙動の表現方法、車両特性の表現方法について6章で詳細に述べる。

2. 4 まとめ

2章では、局所汚染評価手法を構築する際の課題、既存の手法の課題を整理し、本手法の特徴を述べた。以下に要点を述べる。

局所汚染評価手法を構築する際の課題は次の3点に整理される。第1に、局所を通過する車両の車両挙動や車両特性が多様であること。第2に、道路勾配や交差点形状等の道路構造が多様であること。第3に、手間やコストの観点から、実用上簡便である必要があること。

既存の手法には、平均速度別原単位による方法と交通シミュレーション等により個別車を表現する方法がある。平均速度別原単位による方法では交差点部の加減速といった車両挙動の表現力に課題があり、個別車を表現する方法では考慮できる車両特性に限界があるため、車両特性の表現力に課題がある。つまり、既存の手法では、局所汚染を評価する際に必要な車両挙動・車両特性を同時に表現することが難しい。車両挙動と車両特性を同時に表現することが難しい原因として、「車両特性と車両挙動が従属の関係にある」ことが挙げられる。

本手法の特徴は、車両挙動と車両特性を同時に表現するために、実際の交通環境では従属の関係にある車両特性と車両挙動を独立なものと仮定することにある。両者を独立に考えることで、別個に地点別に算出した車両挙動と車両特性から地点別排出量を算出できる利点がある。

2章参考文献

- 1) 布施正暁, 横田久, 谷下雅義, 鹿島茂(2003), 「中古貨物車の地域間移転からみた自動車排出ガス規制の影響分析」, 環境情報科学, 32 巻 3 号, PP59-68
- 2) 小林貴, 布施正暁, 鹿島茂(2007), 「自動車排ガス規制の影響分析—自動車 Nox 法の車種規制を例に」, 環境情報科学 36 巻 1 号, PP40-46
- 3) 小林貴, 鹿島茂(2014), 「中古車の地域間移転に着眼した自動車排ガス規制の影響分析—自動車 NOx PM 法の車種規制, ディーゼル車運行規制条例を例に—」, 環境情報科学 43 巻 2 号
- 4) 公害研究対策センター, 「窒素酸化物総量規制マニュアル」
- 5) 浮遊粒子状物質対策検討会, 「浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル」
- 6) 白濱好文, 屋井鉄雄, 福田大輔, 神田学(2004), 「マイクロシミュレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム」 土木学会論文集 No. 772/IV-65, PP115-130
- 7) 小根山裕之, 桑原雅夫(2001), 「排出量推計モデルに基づく信号交差点の排出量推計」, 第 2 1 回交通工学研究発表会論文報告集, PP121-124
- 8) 松橋 啓介, 田邊 潔, 森口 祐一, 小林 伸治(2004), 「自動車に起因する大気汚染物質排出量推計手法の開発(II) : 地域分布推計と沿道曝露人口の試算」, 大気環境学会誌 39(6),

PP294-303

- 9) 古屋秀樹, 金山直司, 石田東生, 岡本直久(2002), 「交差点における排出ガス量推計のための車両挙動特性分析」, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, No4, PP831-838
- 1 0) 西村昂, 日野泰雄, 海住正治(1982), 「信号停止モデルによる自動車走行モードの予測方式に関する基礎的研究」, 土木学会論文報告集第 324 号, PP141-149
- 1 1) 鹿島茂, 横田久司, 国領和夫(2005), 「自動車の走行モードを明示的に考慮した NOx 排出量推計モデルの開発」, 大気環境学会誌, 第 40 卷, 第 4 号, PP137-147
- 1 2) 横田久司, 鹿島茂, 国領和夫, 田原茂樹(2005), 「走行動態記録に基づく自動車からの環境負荷量推計モデルの開発(トリップセグメントモデルの汎用化)」, 大気環境学会誌第 40 卷, 第 2 号, PP67-83
- 1 3) ALESSANDRA CAPPIELLO, ISMAIL CHABINI, EDWARD K. NAM, ALESSANDROLUE, AND MAYA ABOU ZEID(2002), 「A STATISTICAL MODEL OF VEHICLE EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION」, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, THE IEEE 5TH INTERNATIONAL, PP801-809
- 1 4) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明(2002), 「都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル」, 土木学会論文集 NO. 695, PP125-136
- 1 5) 山崎絢也, 北原俊史, 高木 直樹(2011), 「自動車交通に伴う大気汚染濃度の分布状況把握とその手法の検討(環境系)」, 日本建築学会北陸支部研究報告集 54, PP283-286
- 1 6) 岡本真一, 塩沢清茂(1977), 「交差点付近の一酸化炭素を対象とした大気汚染モデルに関する研究」, 大気汚染研究, 第 12 卷, 第 3 号, PP39-56
- 1 7) 社団法人交通工学研究会, 「交通シミュレーション適用のススメ」

3章 大気汚染問題の現状

3. 1	はじめに	3-1
3. 1. 1	背景	3-1
3. 1. 2	本章の目的	3-1
3. 1. 3	本章の構成	3-1
3. 2	大気汚染対策の歴史的背景	3-2
3. 2. 1	固定発生源対策	3-2
(1)	固定発生源対策の基礎	3-2
(2)	K値規制	3-2
3. 2. 2	固定発生源対策から移動発生源対策へ	3-2
(1)	総量規制の実施	3-2
(2)	移動発生源新車対策（単体規制）	3-3
3. 2. 3	移動発生源新車対策から中古車対策へ	3-3
(1)	車種規制（自動車NO _x 法）	3-3
(2)	車種規制強化（自動車NO _x PM法）	3-3
3. 2. 4	広域汚染対策から局所汚染対策へ（重点対策地区の指定）	3-3
3. 3	車種規制・運行規制の定量的評価	3-6
3. 3. 1	規制の概要の整理	3-6
(1)	規制の概要	3-6
(2)	規制の影響の仮説	3-7
3. 3. 2	規制影響台数の推計方法	3-9
3. 3. 3	規制影響台数の推計	3-9
(1)	移出入移転	3-9
(2)	流出入移転	3-11
(3)	事業者移転	3-11
(4)	新車及び中古車による代替	3-11
(5)	輸送効率	3-12
3. 3. 4	規制の影響の考察	3-13
(1)	過去の車種規制（自動車NO _x 法）との比較	3-13
(2)	地域間（関東・関西・東海）比較	3-14
(3)	異なる規制方法（車種規制と運行規制）の比較	3-14
3. 4	まとめ	3-15
3. 4. 1	まとめ	3-15
3. 4. 2	今後の課題	3-16
補注		3-17
3章	参考文献	3-19

3. 1 はじめに

ここでは、過去の大気汚染対策の歴史的背景を整理し、現在実施されている車種規制・運行規制を対象に既存の統計を用いた定量的評価を行う。規制の定量的評価から特定地域を対象とする中古車の排ガス規制を実施すると現れる中古車の地域間移転・不適切使用・ELVの発生といった副次的影響の問題について述べ、自治体が規制を実施する際の規制影響評価の必要性について述べる。

3. 1. 1 背景

現在、関東地域、関西地域、東海地域を対象とした自動車NO_x・PM法の車種規制(平成14年実施)や、関東地域におけるディーゼル車運行規制(平成15年実施)、関西地域におけるディーゼル車運行規制(兵庫県:平成16年・大阪府:平成21年実施)といった特定地域を対象とした自動車排ガス規制が強化されている。

布施ら¹⁾、小林ら²⁾は自動車NO_x法(平成6年)の車種規制について定量的な分析を行い、このような特定地域の環境改善を目的とした排ガス規制の課題として、以下の点を指摘している。1点目は、排ガス規制は規制地域の規制対象車の地域間移転を引き起こし、周辺地域、その他の地域で貨物車が高車齢化すること。2点目は、周辺地域に移転された規制対象車が再び規制地域を運行する「車庫飛ばし」と言われる不適切使用が行われ、排ガス規制の効果が得られないこと。3点目は、規制地域で規制対象車が廃棄され、ELV(End-of-Life-Vehicle)が増加すること。Fuse and Kashima³⁾によるとELVの一部は国内のその他の地域や海外へも移転されている。

平成15年以降に実施された規制の影響には、NO_x法時点と異なる影響が想定される。第1に、車種規制の規制物質にPMが追加されたこと。第2に、関東地域・関西地域で車種規制と運行規制が同時に実施されたこと。第3に、車種規制の対象地域に東海地域が追加されたこと。これらNO_x法と異なる影響は明らかにされていない。

3. 1. 2 本章の目的

ここでは、平成15年以降に実施された車種規制及び運行規制の影響を関東地域・東海地域・関西地域において評価を行い、特定地域を対象とする規制により発生する副次的な影響を明らかにすることを目的とする。規制の影響は、既存の統計を用いて規制の影響台数を推計し、推計結果をNO_x法の影響との比較、地域間の比較、車種規制と運行規制の影響との比較から評価する。

3. 1. 3 本章の構成

次節で過去の大気汚染対策の歴史的変遷を整理する。ここでは、固定発生源対策、移動発生源対策、新車対策、中古車対策、広域対策、局所対策といった大気汚染対策の歴史的

背景について述べる。

3節で、現状実施されている車種規制と運行規制について、既存の統計を用いた影響台数の推計を行う。推計した3地域の影響台数より、過去のNO_x法車種規制の影響との比較、地域間の影響の比較、車種規制と運行規制の影響の比較を行う。

4節で、まとめと今後の課題として、局所汚染対策を実施すると発生する迂回の問題について述べる。

3. 2 大気汚染対策の歴史的背景

ここでは、大気汚染問題の現状残されている課題を整理し、局所汚染対策評価手法の必要性を述べるため、過去の大気汚染対策の歴史的背景を整理する。大気汚染対策の変遷を表3-2-1の年表に示す。

3. 2. 1 固定発生源対策

(1) 固定発生源対策の基礎

高度経済成長期の鉱工業生産活動が活発化する社会的背景の中、昭和30年代に四日市喘息等大気汚染をはじめとする公害が発生する。四日市地区・京浜地区等の工業地帯における鉱工業生産工場による排出ガスが原因とされ、対策として、昭和37年に固定発生源の基礎となる「ばい煙の排出の規制等に関する法律」が成立した。

(2) K値規制

4大公害病である水俣病・第二水俣病・四日市ぜんそく・イタイイタイ病の発生を受け、昭和42年に公害対策基本法が交付された。昭和43年には、ばいじん規制法が全面的に改正され、大気汚染防止法が交付された。ばいじん規制法は石炭の燃焼によるばいじんを規制するための法律である。石炭燃料が石油燃料に移行すると硫酸化物の排出量が増え対応しきれなくなった。大気汚染防止法の中で、SO₂について「K値規制」が導入された。K値規制は煙突の高さに応じて許容排出量を定める規制方式で、地上の濃度が基準値以下になるように基準式の定数Kを決定するものである。

3. 2. 2 固定発生源対策から移動発生源対策へ

(1) 総量規制の実施

K値規制により、煙突を高くすることで工場付近の大気環境は改善が見られたが、地域全体の大気環境が課題として残った。さらに、昭和40年代後半から自動車交通量の増大が重なり、固定発生源におけるK値規制では対応しきれなくなった。そのため、対策として、昭和49年の大気汚染防止法の改正により、排出総量を規制する「総量規制」が導入された。

(2) 移動発生源新車対策（単体規制）

固定発生源の総量規制に加え、増加する自動車交通に対する移動発生源対策として「単体規制」が実施された。昭和50年にガソリン乗用車の新車時のNO_x排出基準が設定され、53年には日本版マスキー法といわれる乗用車の代表的な規制が開始された。その後年々排出基準が強化された。昭和52年にはディーゼル車のNO_x排出基準が設定され、その後54年・58年・63年に排出基準が強化された。

3. 2. 3 移動発生源新車対策から中古車対策へ

(1) 車種規制（自動車NO_x法）

固定発生源に対する総量規制や、新車に対する単体規制は実施されたが、沿道の大気環境が改善されなかった。その背景には、使用過程車（中古車）の排出量が多いことがあった。特に貨物車は生存年数が長いいため新車の単体規制の効果が現れるまでに時間を要した。

平成4年に自動車NO_x法による「車種規制」の導入により、使用過程車のNO_x排出量が規制された。その間同時に単体規制（短期規制→長期規制→新長期規制→新短期規制）により新車の基準が強化された。

(2) 車種規制強化（自動車NO_xPM法）

PMの発がん性が指摘されたことに伴い平成13年にNO_x法の車種規制が改正され、自動車NO_xPM法が制定された。NO_xPM法の車種規制によって規制地域の高車齢車の登録を規制することができたが、規制地域外に保有されている高車齢車が、規制地域内を運行することによる排出に対応できなかった。車種規制の規制地域外の高車齢車による運行を規制するため、平成15年に、関東の広域自治体（8都県市）の条例により、規制地域内の運行を規制する運行規制が実施された。その背景には平成12年に地方分権一括法が施行され、地方の裁量が拡大するきっかけとなった。

3. 2. 4 広域汚染対策から局所汚染対策へ（重点対策地区の指定）

地方分権が叫ばれるなか、単体規制・車種規制・運行規制により、大気汚染は改善傾向にあるが、交差点部等局所の排出量が依然として課題に残っており、従来の広域汚染対策では対策が非効率となった。平成19年のNO_xPM法改正により、自治体が重点対策地区を設定し対策を講ずることが義務付けられた。

表 3-2-1 大気汚染対策の歴史的背景

		社会的背景	課題	対策
昭和 3 5	1960	四日市で喘息患者増加が発表	産業公害型対策	
昭和 3 6	1961	京浜地方の悪臭事件		
昭和 3 7	1962		鉱工業生産活動による大気汚染	「ばい煙の排出の規制等に関する法律」成立
昭和 4 1	1966			「ガソリンを燃料とする普通自動車及び小型自動車の一酸化炭素濃度規制」
昭和 4 2	1967	四日市公害訴訟提起		「公害対策基本法」典型 7 公害において環境基準を設定
昭和 4 3	1968			「大気汚染防止法」K 値規制 (SO ₂)
昭和 4 4	1969			SO ₂ 排出基準
昭和 4 5	1970	光化学スモッグ初被害 (東京)	汚染の多様化	「大気汚染防止法改正」カドミウム、フッ化水素
昭和 4 6	1971	環境省発足		SO _x 排出基準 燃料規制地域の指定
昭和 4 7	1972	四日市公害裁判原告敗訴		PM 環境基準
昭和 4 8	1973	第 1 次石油危機 公害健康被害補償法	自動車交通量の増大	都市・生活型対策 固定発生源 NO _x 排出基準
昭和 4 9	1974		煙突を高くする事で工場周辺の局所は改善されたが、地域全体で改善されなかった	「大気汚染防止法改正」 総量規制 単体規制 (移動発生源対策)
昭和 5 3	1978			「日本版マスキー法」 NO ₂
昭和 5 6	1981			NO _x 総量規制導入
昭和 6 0	1985	オゾン層の保護のためのウィーン条約		
昭和 6 2	1987	公害健康被害補償法新規認定廃止 WCED レポート (持続可能な開発) の提出		
昭和 6 3	1988	オゾン層保護法		
平成 4 年	1992	地球サミット	使用過程車の排出	「自動車 NO _x 法」車種規制 移動発生源対策 (中古車対策_車種規制)
平成 5 年	1993	環境基本法		

平成6年	1994			「単体規制強化（短期規制）」
平成7年	1995		車種規制による規制対象車の地域間移転	
平成8年	1996			ベンゼン
平成9年	1997			「単体規制強化（長期規制）」
平成10年	1998	地球温暖化対策推進法		
平成11年	1999	PRTR法 ダイオキシン類対策特別措置法		
平成12年	2000	グリーン購入法 地方分権一括法		
平成13年	2001	環境省発足		「自動車NO _x PM法」車種規制強化 PM排出基準
平成14年	2002			「単体規制強化（新短期規制）」
平成15年	2003			「運行規制（関東）」
平成16年	2004			「大気汚染防止法改正」 VOC
平成17年	2005	オフロード法		「単体規制強化（新長期規制）」
平成19年	2007			「自動車NO _x PM法強化」 移動発生源対策（中古車対策_重点対策地区）
平成21年	2009			PM _{2.5}
平成22年	2010	地球温暖化対策基本法案		

環境白書昭和50年~平成15年をもとに筆者作成

以上、過去の大気汚染対策の経緯を整理し、固定発生源対策（1960年代）、新車の移動発生源対策（1970年代）、中古車の広域な移動発生源対策（1990年代）と対策が進められてきており、現在は、中古車の局所な移動発生源対策が求められていることを示した。次節では、局所対策を行うと発生する副次的影響について、平成15年以降に実施された車種規制・運行規制の定量的分析から、副次的影響を既存統計よりマクロに推計し、課題の整理を行う。

3. 3 車種規制・運行規制の定量的評価

現在実施されている車種規制と運行規制について、既存の統計を用いた影響台数の推計により評価を行う。

3. 3. 1 規制の概要の整理

(1) 規制の概要

車種規制と運行規制の概要を表3-3-1に示す。車種規制は、平成6年のNO_x法から平成14年にNO_x・PM法により強化されている。強化内容は、規制物質にPMが加わり、NO_xの規制値が新車の単体規制の平成10年規制（長期規制）適合車並に強化された。規制内容は、対象地域に登録されている中古車を対象に排出ガス基準を満たさない車両の継続登録が規制されている。対象地域は、関東地域の4都県、関西地域の2府県、東海地域の2県のそれぞれ山間部を除く地域である。対象車種は、普通貨物車・小型貨物車、バス、特殊自動車、乗用車である。

運行規制は、対象地域内を運行する車両のうち、排出ガス基準を満たさない車両を取り締まる規制である。対象地域は、関東地域の4都県、関西地域^{*1}の1県である。東海地域では平成24年現在実施されていない。関東地域の4都県では、平成15年よりPMのみ規制が行われており、規制値は、単体規制の平成6年規制（短期規制）並とされている。関西地域の兵庫県では、平成16年からNO_xとPMで単体規制の平成6年規制（短期規制）並の規制値が定められている。対象範囲は沿岸部工業地帯を除く地域のみである。

表 3-3-1 規制の概要

		車種規制	運行規制（関東）	運行規制（関西）
正式名称		自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地位域における総量の削減等に関する特別措置法	東京都「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」、神奈川県「神奈川県生活環境の保全等に関する条例」、埼玉県「埼玉県生活環境保全条例」、千葉県「ディーゼル自動車から排出される粒子状物質の排出の抑制に関する条例」	兵庫県「環境の保全と創造に関する条例」
実施時期		平成15年10月	平成15年10月	平成16年10月
規制物質		NOx,PM	PM	NOx,PM
排出基準	-2.5t	平成10年規制適合車	平成5年規制適合車	平成6年規制適合車
	2.5t	平成10年規制適合車	平成5年規制適合車	平成6年規制適合車
	-3.5t			
	3.5t	平成6年規制適合車	平成5年規制適合車	平成6年規制適合車
規制内容		対象車の規制地域内の登録を規制	対象車の規制地域内の運行を規制	対象車の規制地域内の運行を規制
対象地域		関東(東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県)、関西(大阪府、兵庫県)、東海(愛知県、三重県)	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県	兵庫県一部地域、
対象車種		普通貨物、小型貨物、大型バス、マイクロバス、特殊自動車（貨物車、バス）、ディーゼル乗用車	貨物車（普通貨物車、小型貨物車）、乗合自動車（大型バス、マイクロバス）、特殊自動車	普通貨物車、大型バス、特殊自動車
対象車齢	普通貨物	車齢9年以上	車齢7年以上	車齢9年以上
	小型貨物	車齢8年以上	車齢7年以上	—
	大型バス	車齢12年以上	車齢7年以上	車齢12年以上
	マイクロバス	車齢10年以上	車齢7年以上	—
	特殊車	車齢10年以上	車齢7年以上	車齢10年以上
	乗用車	車齢9年以上	—	—
規制手段		車検	路上・立入検査	路上・立入検査

環境省・国土交通省⁴⁾、九都県市あおぞらネットワーク HP⁵⁾、兵庫県 HP⁶⁾ より作成

(2) 規制の影響の仮説

想定される規制の影響として、規制の実施に伴い事業者が規制に適応するための「選択」と、保有中止に伴う不足分を補う「対策」についての仮説を表3-3-2に示す。

想定される規制の影響として、規制の実施に伴い事業者が規制に適応するための選択は次の3つである。選択①は、周辺地域へ保有の本拠を移転し使用するものである。選択②は、事業者自体が周辺地域に移転するものである。選択①・選択②は、周辺地域に登録されるため、車種規制には適合するが、運行規制には適合しない。選択③は、規制対象車の抹消登録を行い、使用を停止するものである。抹消登録された車は、周辺地域・その他の地域（国内外）の中古車市場へ供給されるか、スクラップ処分される。

次に、保有中止に伴う不足分を補う対策は次の4つである。対策①は、新車または中古

車に代替するものである。新車購入に要する費用が高価であるため、中古車購入による代替も考えられる。しかし、中古車は代替後に使用可能な年数が少ないため、少数であると考えられる。対策②は、周辺地域の同系列事業所が保有する低車齢車を規制地域に移転するものである。対策①と同様に中古車による代替は代替後の使用可能な年数が少ないため、少数であると考えられる。対策③は、周辺地域へ移転した規制対象車を規制地域内で使用（以後不適切使用）するものである。これには、周辺地域に登録した車両を規制地域内で使用する俗にいう「車庫飛ばし」と言われる違法行為が含まれる。これは、布施ら¹⁾、小林ら²⁾の分析により、自動車 NOx 法が実施された際に関東地域・関西地域において発生が指摘された問題である。今回、関東地域では運行規制が実施され、運行自体が規制されるため、不適切使用は減少すると考えられる。ただし、DPF の装着などにより、運行規制には適合したが、車種規制には適合していない車両が、周辺地域に登録され、規制地域内で使用されている可能性がある²⁾。対策④は、輸送効率を向上し保有台数を節約するものである。

表 3-3-2 規制（車種規制・運行規制）の影響の仮説

事業者の行動		既存統計の指標	規制地域	周辺地域
保有中止	選択① 保有移転	中古車移出入台数	移出増加	移入増加
	選択② 事業所移転	中古車移出入台数	移出増加	移入増加
		運輸事業者	減少	増加
	選択③ 抹消	中古車流出入台数	流出増加	流入増加
不足への対策	対策① 新車代替	ELV	増加	増加 ^{注1}
		新車販売台数	増加	減少 ^{注2}
	対策② 中古車代替	中古車販売台数	増加	減少・増加 ^{注3}
		中古車移出入台数	移入増加	移出増加
		中古車移出入台数	移出増加 ^{注4}	移入増加
対策④ 輸送効率	輸送効率	向上	—	

注1 周辺地域に規制地域から高車齢の規制対象車が移転してくるため、将来的なELV台数は増加することが考えられる

注2 規制地域からの中古車の移転により周辺地域の保有が増加し、新車販売台数が減少することが考えられる

注3 規制地域からの中古車移入台数が増加する場合は、中古車販売台数は減少し、中古車流入台数が増加する場合は、中古車販売台数は増加すると考えられる

注4 車種規制と運行規制を同時に行なっている関東地域では不適切使用があまり行われないと考えられる。

3. 3. 2 規制影響台数の推計方法

選択①～③、対策①～④のそれぞれの影響を既存統計の指標(表3-3-2)より推計する。これらの指標から時系列推移より規制の影響台数を推計する。

推計方法は、既存統計より時系列で規制地域および周辺地域の地域率^{※3}を求め、その変動分を台数に換算し、規制の影響の関係性から台数を推計する^{※4}。ただし、移出入移転台数推計時に用いる車齢別保有台数のトレンドが、NOx法時点とは異なるトレンドをしており、車齢12年以上の保有台数の割合が増加していた。NOx法の規制対象となるはずのこれらの車両が増加することが考えにくいため、車齢12以上の影響台数は、既存の推計方法とは別の方法で推計する^{※5}。

周辺地域の設定について、規制地域に隣接する都府県を周辺地域としているが、静岡県は、関東地域、東海地域両地域に隣接しているため、両地域の周辺地域となりうる。影響台数の推計では関東地域と東海地域の保有台数比率により分けて推計を行う。

地域間移転について、移出入移転と流出入移転の2つに分けて考える。移出入移転は所有者を変更せず使用の本拠地だけを変更する移転を言う。移出入移転を示す統計は公表されていないため、規制の影響の関係性から推計する。流出入移転は、中古貨物車売買に伴う地域間移転を言う。流出入移転を推計可能な統計は車齢別保有台数^{7) 8) 9)}が公表されており、中古車売買市場を通してどの程度車両が移転したかを把握することができる。

3. 3. 3 規制影響台数の推計

選択①～③、対策①～④の台数の推計結果を示す。

(1) 移出入移転

関東地域・関西地域・東海地域における小型貨物の車齢別保有台数残存率^{※6}の地域率推移を図3-3-1に示す。

a) 関東地域での影響

関東地域では、規制地域において規制対象車が約5年に渡り減少し、周辺地域では増加している。これは、台数に直すと、規制地域において146千台減少し、周辺地域では71千台が増加している。

規制地域の減少の傾向には、平成15年と平成18年に2つの減少のピークがある。1つ目のピークは運行規制(平成15年)の影響が現れたものと考えられる。運行規制は、規制開始とともに、規制地域内の運行が規制されるため、規制直前にその影響が大きく現れる。全数が運行規制の影響であるとはいえないが、平成15年のピークを運行規制の影響であると仮定し、台数に換算すると平成15年に50千台減少している。2つ目の平成18年のピークは、車種規制の影響であると考えられる^{※7}。車種規制は規制開始後、猶予期間と次回の車検までの間、規制対象車を使用することが可能である。そのため、車種規制の影響は規制開始から数年遅れて現れる。この傾向はNOx法の影響と同様である。

周辺地域の増加の傾向には、平成18年にピークが1つあり平成15年にピークはない。これは、運行規制は運行を規制されるため、周辺地域へ車両を移転しても規制地域内での使用は規制される。そのため、周辺地域へ移転することのメリットが薄いために生じた結果であると考えられる。

b) 関西地域での影響

関西地域では、規制地域において規制対象車が約5年にわたり減少し、周辺地域では増加している。これは、台数に直すと、規制地域において39千台減少し、周辺地域では27千台増加している。

規制地域の減少の傾向には、平成18年にピークが1つある。関西地域では平成15年に兵庫県で運行規制が実施されているが、その影響が確認できない。これは、兵庫県の規制地域が南部の工業地帯と阪神高速3号・5号を対象外としており、兵庫県の貨物車交通の多くは工業地帯目的または通過交通であるため、運行規制の影響が減少台数に現れなかったと考えられる。

周辺地域の増加の傾向には、平成15年と平成18年に2つのピークがある。1つ目のピークは、関東地域の運行規制の影響と関西地域の運行規制の一部の影響により移出が起きたものと考えられる。これは、前述したように、平成15年の兵庫県における運行規制の影響は確認できなかったことから、関西地域の規制地域からの移出台数は少数であると考えられる。そのため、関東地域の車両が関西地域の周辺地域に移出されたものと想定される。平成15年のピークを関東地域の運行規制の影響であると仮定すると、関西地域の周辺地域において約2千台が増加している。2つ目の平成18年のピークは、関東地域と同様、車種規制の影響であると考えられる。ただし、平成21年に大阪府において運行規制が実施されているため、この影響の一部が含まれている可能性がある。

c) 東海地域での影響

東海地域では、規制地域において規制対象車が減少し、周辺地域では増加している。これは、台数に直すと規制地域で100千台減少し、周辺地域では24千台増加している。

規制地域の減少の傾向は、平成18年に減少のピークがある。東海地域では運行規制が実施されていないため、車種規制の影響が現れたと考えられる。

周辺地域の増加の傾向には、平成15年と平成18年に2つのピークがある。1つ目のピークは、関東地域からの移出が行われていることが想定される。これは次の理由が考えられる。第1に、前述したとおり東海地域では運行規制が行われていないため影響は現れないこと。第2に、規制開始前に車種規制の影響が現れることは過去の分析上考えにくいこと。第3に、平成15年に運行規制の影響が顕著に現れた。

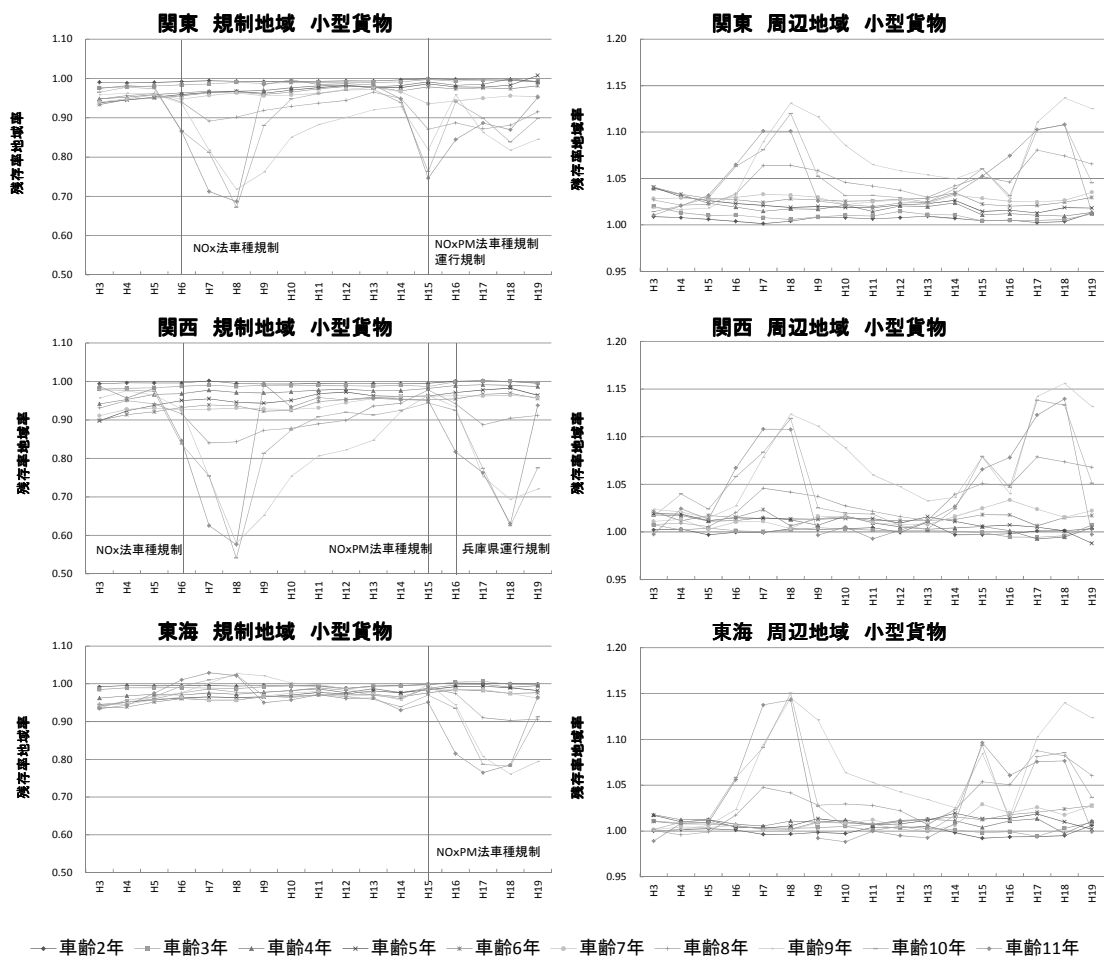


図 3-3-1 車齢別保有台数残存率の地域率推移

(2) 流出入移転

選択③の結果が表れる流出入移転は、規制地域、周辺地域ともに地域率推移に変動は見られなかった。

(3) 事業者移転

選択②の結果が表れる規制地域の事業者の、周辺地域への移転について、国土交通省(1991～2007)より運輸事業者数の地域率推移を確認した。規制地域および周辺地域において規制実施前後で変化はなく、規制地域から周辺地域への事業者の移転は確認できなかった。

(4) 新車及び中古車による代替

対策①の結果が表れる新車および中古車への代替について、規制地域および周辺地域の普通貨物・小型貨物販売台数の地域率推移を図 3-3-2 に示す。

関東地域では、規制地域において新車販売台数の地域率は、平成 15 年をピークに増加

している。この増加分は、82千台の増加に相当する。中古車販売台数は、平成15年をピークに若干ではあるが、増加している。これは3.5千台の増加に相当する。周辺地域では、規制前後で明確な変化は見られなかった。

関西地域では、規制地域において、新車販売台数の地域率は平成15年に若干減少している。この傾向は東海地域においても現れている。これは、関東地域の運行規制により、新車の需要が増加し、貨物車の供給が関西地域・東海地域にまで及ばなかったことが原因として考えられる。周辺地域においては、平成15年に若干減少している。この傾向は東海地域にでも現れている。中古車販売台数は、規制前後で規制地域・周辺地域において、明確な変化は見られなかった。この傾向は東海地域でも同様であった。

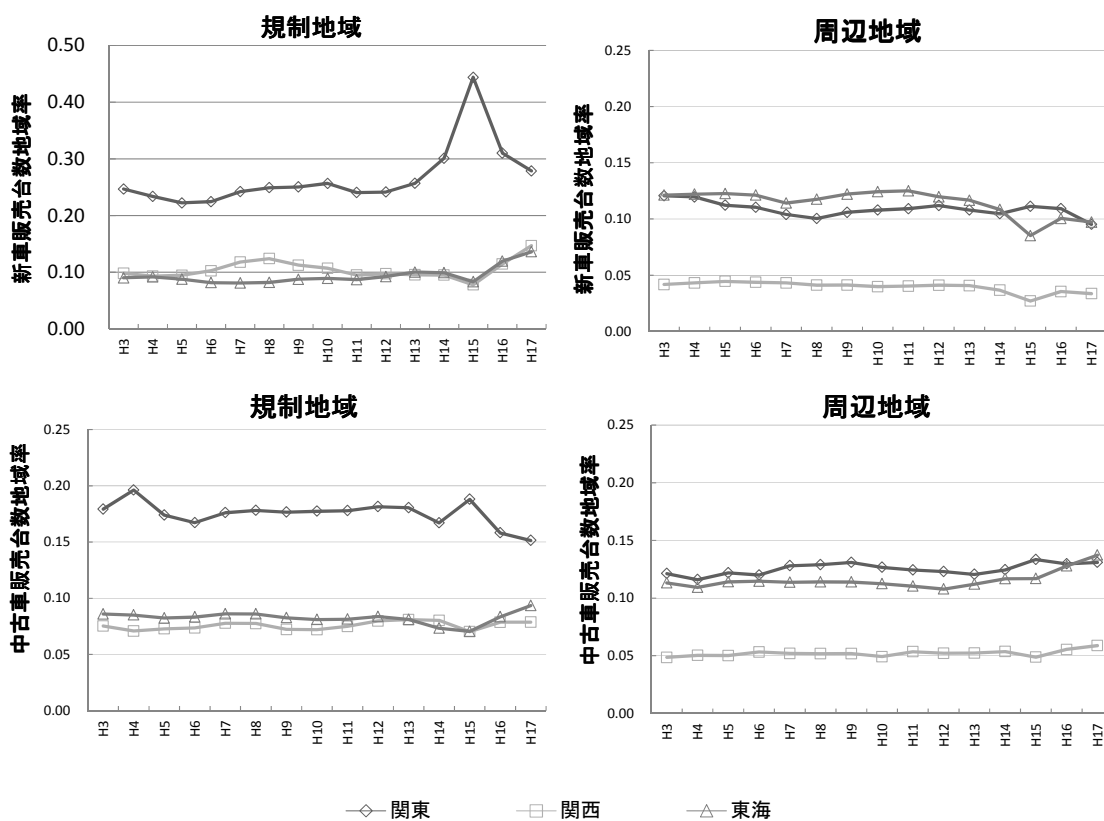


図3-3-2 新車・中古車販売台数地域率推移

(5) 輸送効率

対策④の結果が表れる1台あたりの輸送効率について、普通貨物・小型貨物の実車率^{※8}の地域率は、規制地域・周辺地域共に変化は見られなかった。これは、普通貨物の輸送効率向上の余地が少ないこと（輸送能力の8割を使用している）、小型貨物の要求性能が容量以外（小回り性能や即時性）にあることが原因と考えられる。しかし、統計指標に表れない範囲で実際には輸送効率向上による対応は存在すると想定される。

3. 3. 4 規制の影響の考察

以上推計した3地域の普通貨物の影響台数（図3-3-3）、小型貨物の影響台数（図3-3-4）より、過去のNO_x法車種規制の影響との比較、地域間の影響の比較、異なる規制方法である車種規制と運行規制の影響の比較を行う。

（1）過去の車種規制（自動車NO_x法）との比較

普通貨物の影響台数はNO_x法と比べて1.6倍程度に増加しているが、小型貨物の影響台数がNO_x法と比べて減少している。この影響は概ね全地域に共通して現れている。この背景には、普通貨物と小型貨物の保有台数トレンドの違いと小型貨物の残存率の短さがあると考えられる。普通貨物の保有台数トレンドはほぼ一定の推移を示しているのに対し、小型貨物の保有台数トレンドは減少傾向にある。NO_x法時点と保有台数を比べると、NO_xPM法時点は、普通貨物保有台数が98%であるのに対して、小型貨物保有台数は76%にまで減少している。小型貨物の残存率は、新車で保有された車が50%になるのに普通貨物は12年かかるのに対して、小型貨物は9.5年程度であり、小型貨物の規制対象となる古車が残る割合が少ない。この双方が重なり規制対象となる小型貨物が少なかったと考えられる。

NO_x法時点で問題となっていた不適切使用を規制の影響台数の保有台数に占める割合で見ると、NO_xPM法時点では関東地域・関西地域ともに減少しており、新車代替が増加している。これは、関東地域では運行規制の影響により不適切使用が行いにくい状況にあった。そのため、所有者が新車代替か減車を選択した結果が現れたと考えられる。関西地域では、前述のとおり運行規制の実施が兵庫県の一部地域のみであった。これにより、不適切使用をしなくてもほとんどの車両に運行規制が障害とならなかった可能性がある。この点について、関東地域と関西地域とでは、不適切使用の減少の要因が異なると考えられる。

周辺地域への移転台数とELV台数の保有台数に占める割合をNO_x法と比較する。ここで、移転台数は周辺地域の移出台数と流出台数を足した値を示している。同じ地域の周辺地域への移転台数割合は関東地域では普通貨物が68%から32%に減少し、関西地域では43%から25%に減少している。ELV台数は、関東地域では32%から68%に増加しているが、関西地域ではNO_x法とほぼ同程度である。これは、関東地域は周辺地域に移転しても規制地域内を運行する際に運行規制に不適合となってしまうことから、所有せずELVとしてしまう所有者が増加したと考えられる。関西地域では、運行規制の影響を受けにくいことからNO_x法と同程度の影響であったと考えられる。

以上より、NO_x法時と比較すると普通貨物の影響が1.6倍に増加していること、関東地域でNO_x法時に問題となっていた不適切使用は減少し、新車代替が促進されているが、ELV台数が保有台数比率で2倍以上に増加していることが明らかになった。

(2) 地域間（関東・関西・東海）比較

規制の影響台数の保有台数に占める割合を地域間で比較すると関東地域・関西地域は同程度の割合であるが、東海地域では普通貨物・小型貨物ともに多い。普通貨物の場合、関東地域35%関西地域34%に対し東海地域は47%程度である。この背景には次の2点が考えられる。第1に、東海地域はNOx法により規制を受けていないため規制対象車が多く残っていた。第2に、NOx法による関東地域・関西地域からのNOxPM法の東海地域の規制地域へ地域間移転が発生していた可能性がある。

東海地域のELV台数が少なく、周辺地域への移転が多い。関東地域と関西地域は各地域の影響台数に占めるELV台数の割合が普通貨物の場合、それぞれ68%、75%であるのに対し、東海地域は57%と少ない。また、関東地域と関西地域は周辺地域への移転が31%、25%程度であるのに対し、東海地域は45%と多い。これは、東海地域で減少した車両以外に関東地域と関西地域の規制対象車両が東海地域の周辺地域に移転されていることが原因として考えられる。特に関東地域からの移転が多いと考えられる。理由は、運行規制の影響が現れやすい平成15年の影響のみをみると、東海地域で実施されていない運行規制の影響が東海地域の周辺地域で現れている。関西地域の規制地域の運行規制の影響は確認できなかったことから、関東地域の規制地域から東海地域の周辺地域に移転していると考えられる。実際に移転台数を推計すると、関東地域で減少した車両が東海地域に11%程度移転し、関西地域に2%程度移転していることがわかる。移転された地域の中でも奈良県・和歌山県が保有台数に占める増加割合が最も多く14%増加し、次いで岐阜県で9%増加している。全周辺地域の平均で7%程度増加している。ただし、車種規制の影響で関東地域・関西地域から東海地域へ移転した車両台数を推計出来きていないため実際は更に多くの車両がこれらの地域へ移転していることが想定される。

以上より、新たに規制が行われた東海地域の影響が関東・関西とくらべて保有台数比率で1.3程度多く、運行規制の実施されていない東海の周辺地域に移転される車両が1.4倍以上多いことが明らかになった。

(3) 異なる規制方法（車種規制と運行規制）の比較

関東地域・関西地域において車種規制と運行規制の影響の比較を行うため、平成15年の影響を運行規制の影響とし、それ以降の影響を車種規制の影響であると仮定して影響台数を推計する。平成15年に関東地域の規制地域では93千台が減少し、周辺地域では7千台が増加している。関西地域の規制地域では明確な減少は見られず、周辺地域では2千台が増加している。東海地域の規制地域では明確な減少は見られず、周辺地域では10千台が増加している。

規制の影響の現れ方として、車種規制の保有台数に及ぼす影響は規制開始後概ね5年程度にわたり徐々に現れるが、運行規制の影響は規制開始前に大きく現れる傾向にある（図1）。車種規制の規制開始後5年間に影響が現れる傾向はNOx法の車種規制の影響と同様で

ある。車種規制は猶予期間や次回の車検時まで規制対象車両を使用可能であるが、運行規制は規制開始と共に運行が規制されるため、即座に影響が現れると考えられる。ただし車種規制と運行規制が同時に行われているため双方の影響を厳密に分離することは難しい。

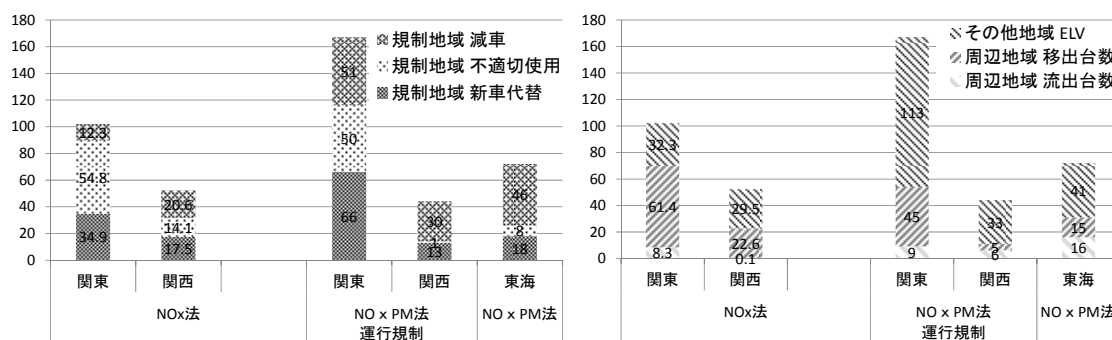


図 3-3-3 普通貨物の規制影響台数 (千台)

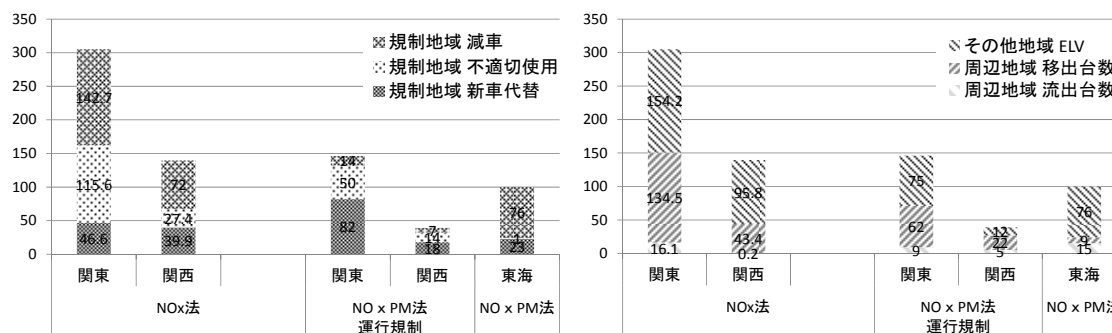


図 3-3-4 小型貨物の規制影響台数 (千台)

以上より、運行規制の影響は車種規制と運行規制の全影響台数の約2～3割程度であり、規制の影響の現れ方は、運行規制の影響は規制開始前に現れ、車種規制は規制開始後5年程度の間には現れることが明らかになった。

3.4 まとめ

3.4.1 まとめ

本章では、過去の大气汚染対策の経緯を整理し、現在関東地域・東海地域および関西地域で実施されている自動車NOxPM法の車種規制と、関東地域及び関西地域で自治体条例により実施されている運行規制を対象に、既存の統計を用いて定量的な評価を行い、次の知見を得た。

過去の大气汚染対策の経緯を整理し、固定発生源対策（1960年代）、新車の移動発生源対策（1970年代）、中古車の広域な移動発生源対策（1990年代）と対策が進められてきており、現在は、中古車の局所な移動発生源対策が求められていることを明らかにした。

第1に、普通貨物と小型貨物の保有台数トレンドの違いや残存率の違いにより、NO_x 法時より普通貨物の影響が大きく（NO_x 法時の1.6倍）現れた。

第2に、車種規制に加え運行規制の実施により関東地域・関西地域では、NO_x 法時より不適切使用や周辺地域への移転が減少し、新車代替が促進されている。しかし、ELV 台数が増加し、増加した ELV 台数の一部が、関西地域や東海地域の周辺地域（特に岐阜県、奈良県、和歌山県）に移転し、保有台数の約1割程度が増加している。

第3に、新たに規制が行われた東海地域の影響が関東・関西とくらべて保有台数比率で1.3程度多く、運行規制の実施されていない東海の周辺地域に移転される車両が1.4倍以上多い。

第4に、運行規制の影響は車種規制と運行規制の全影響台数の約2～3割程度であり、車種規制の保有台数に及ぼす影響は規制開始後概ね5年程度に現れるが、運行規制の保有台数に及ぼす影響は規制開始前に大きく現れる傾向にある。

以上の結果より、特定地域を対象として規制を行うと、様々な副次的影響が発生し、その発生のしかたは、車種規制や運行規制といった規制の方法や、地域の特性、全国的なトレンドによって異なるため、地域ごとに評価を行うことが必要であるといえる。今後、自治体が局所汚染対策を実施する際には、規制影響評価が必要となる。規制影響評価を行う際に、今回の分析のように、既存の統計（車齢別保有台数統計）を利用したマクロ的な分析から、特定地域を対象とする排ガス規制による地域間移転の影響を台数ベースで把握することができる場合がある。このことは、今後地方分権が進み、自治体が独自に実施する政策について、既存の統計を有効活用することで、規制の影響を評価可能な場合があることを示唆している。

3.4.2 今後の課題

今後の課題として以下の4点が挙げられる。

第1に、運行規制と車種規制の影響を分解して推計する手法が必要である。今回は平成15年の前後で運行規制と車種規制の影響とに分けて試算したが、大阪府が平成21年に実施した運行規制の影響や、周辺地域以外の地域から長距離輸送により規制地域を運行する車両の影響といった影響が推計されていない。

第2に、規制の中間・事後評価として、地域間移転により規制地域外の自治体が負担している社会的費用や、規制対応に伴う所有者の遵守費用を考慮した費用対効果分析により、規制の影響を総合的に評価することが必要である。

第3に、既存の統計を用いた局所汚染対策評価手法を開発する必要がある。

大気汚染問題においては、従来の国や広域自治体の行ってきた広域対策から、局所対策にシフトすることが求められている。道路交通センサス等の既存の統計を用いて、交差点部等局所のメゾスケールな評価手法の開発が必要となる。

第4に、規制による移転等の副次的影響のモデル化を行い、評価手法を構築する必要がある。

補注

※1 平成21年に大阪府で運行規制が実施されているが、本分析では平成19年までを分析対象としているため、今回の分析期間には含めていない。分析期間は規制開始後概ね5年程度を対象とし、設定している。また、平成18年に関東地域で車種規制の強化が実施されており、その影響を含まない影響を評価したいため平成19年までを分析対象とした。

※2 今回は、地域間移転を対象に影響台数を推計するが、PMを除去する機能を有するDPFを装着する事で、排出基準に適合させ、使用を継続する選択がありうる。この選択は、PMにおいては有効であるがNO_xの規制値に適合することは難しい。そのため、PMのみを規制している関東地域の運行規制には有効であるが、車種規制や関西の運行規制では、NO_xの規制値に適合しない可能性が残る。DPFは使用の本拠地を変更することなく対応することができるため、地域間移転の原因にはなりにくい。そのため、DPFの装着による影響は対象としていない。

※3 地域率とは、規制地域および周辺地域各都府県の指標を全国の指標で割った値である。地域が全国と同じ変動をする場合は一定であるが、地域固有の変動をする場合は一定にならない。つまり、規制の前後で地域率の変化が見られる場合、その原因は規制の影響であると考えられる。

※4 規制による変動分の台数換算は以下の方法で行った。

①規制がない場合の規制対象車齢の残存率を推計する。規制対象車齢の残存率は、規制対象車齢の残存率の変化率が、規制対象でない車齢の残存率の変化率と等しいと仮定し、変化率と規制実施前の残存率を用いて推計する。

②規制がない場合の規制対象車齢の残存率から、規制がない場合の保有台数を推計する。

③実際の保有台数と規制がない場合の保有台数との差から保有の増減台数を求める。

推計方法の詳細については布施ら（2003）の推計方法に譲る。

※5 移出入移転台数を推計するために用いる車齢別保有台数統計は、車齢12年以上の車両が同一区分に集計されている。この車齢12年以上の保有台数は、平成9年以降急激な増加傾向が見られる（既存の手法を適用した平成6年時点では見られなかった）。これらの車両は、本来NO_x法の規制対象車であり規制地域において増加することは考えにくい。そのため、車齢11年までの車齢別保有台数より推定した残存率曲線を用いて、車齢20年までの車齢別保有台数を推計し、以下の手順で車齢12以上の影響台数の補

正を行なう。

①地域別・車種別に残存率曲線を推定する

規制の影響を受けない1992年製の車両の車齢別保有台数のデータから式1により残存率曲線を推定する。

$$z = 1 / (1 + e^{\alpha \cdot t + \beta}) \quad \dots \text{式1}$$

z: 残存率
t: 経過年数
 $\alpha \cdot \beta$: パラメータ

表3 残存率曲線パラメータ

	普通貨物		小型貨物	
	α , β	R^2	α , β	R^2
関東	0.40 , -4.29	0.98	0.51 , -4.31	0.97
関西	0.44 , -4.67	0.98	0.64 , -4.95	0.97
東海	0.68 , -7.20	0.97	0.54 , -5.22	0.98

②残存率曲線により、車齢20までの保有台数を推計する。

③車齢12以上の推計値②と実測値を比較し、補正係数（推計/実測）を算出

表4 影響台数補正係数

	普通貨物	小型貨物
全国	0.63	0.68
関東規制地域	0.26	0.49
関東周辺地域	0.75	0.68
関西規制地域	0.77	0.72
関西周辺地域	0.77	0.70
東海規制地域	0.41	0.53
東海周辺地域	0.70	0.68

④補正係数により車齢12以上の影響台数を補正する。

※6 車齢別残存率は今年度T車齢の保有台数を前年度T-1車齢の保有台数で割ったものである。車齢別残存率の増加は他地域からの移転の増加、またはELV台数の減少、あるいは両者が同時に起きたことを意味する。

※7 関東地域では、平成18年に運行規制の強化が実施されているが、その影響は台数には影響を及ぼさず、ほぼ後付装置(DPF)による対応を行っていると考えられる。理由は、この時期の両規制の規制値は車種規制より、運行規制の規制値の方が厳しい規制となっている。そのため、所有者の行動を制約する規制は運行規制である。運行規制に適合するためには新車代替か後付装置(DPF)の装着の2通りがあり、後者の方が安価で済み、その後の規制を受ける可能性も少ないため、所有者の大部分は後者を選択したと考えられる。実際にいくつかの貨物車所有者へのヒアリングの結果、平成18年時点ではDPF装着により対応しているという声が大半であった。

※8 実車率は1台あたりの輸送効率の指標として、国土交通省(1991~2007)自動車輸送統計年報より1台あたりの輸送 $t \cdot km$ を1台あたり能力 $t \cdot km$ で割った値を用いている。

3章 参考文献

- 1) 布施正暁, 横田久, 谷下雅義, 鹿島茂(2003), 「中古貨物車の地域間移転からみた自動車排出ガス規制の影響分析」, 環境情報科学, 32巻3号, PP59-68
- 2) 小林貴, 布施正暁, 鹿島茂(2007), 「自動車排ガス規制の影響分析—自動車Nox法の車種規制を例に」, 環境情報科学 36巻1号, PP40-46
- 3) Masaaki Fuse and Shigeru Kashima(2004), The Effect of Vehicle Exhaust Emissions Regulations on the Export of Used Trucks and Auto Parts Proceedings of 2004 International Conference on Traffic & Transportation Studies (ICTTS2004), PP584-593
- 4) 環境省・国土交通省(2002), 「自動車NOx・PM法の手引き」
- 5) 九都県市あおぞらネットワークホームページ(2013)<<http://www.9taiki.jp/>>
- 6) 兵庫県(2013)兵庫県大型ディーゼル自動車運行規制ホームページ,
<http://www.pref.hyogo.jp/JPN/apr/keikaku/diesel/diesel_index.htm>
- 7) (財)自動車検査登録協会(1980~2007), 初度登録年別自動車保有台数
- 8) (社)日本自動車販売協会連合会(1980~2007), 自動車登録統計情報
- 9) (社)日本自動車販売協会連合会(1980~2007), 自動車統計データブック
- 10) 国土交通省(1991~2007), 自動車輸送統計年報
- 11) 総務省統計局(1991・1996・2001・2006) 事業所統計調査
- 12) 環境省(1980~2013), 環境白書
- 13) 板野泰之(2006), 「都市大気汚染と広域大気汚染」, 生活衛生, 50巻, 5号, PP313-316
- 14) 小林貴, 鹿島茂(2014), 「中古車の地域間移転に着眼した自動車排ガス規制の影響分析—自動車NOxPM法の車種規制、ディーゼル車運行規制条例を例に—」, 環境情報科学 43巻2号, 掲載待ち

4章 自治体の規制影響評価制度の現状

4. 1	はじめに	4-1
4. 1. 1	背景	4-1
(1)	規制の地方分権化の進展	4-1
(2)	規制の副次的影響の発生	4-1
(3)	規制の副次的影響評価の必要性	4-1
4. 1. 2	本章の目的	4-2
4. 1. 3	構成	4-2
4. 2	方法	4-3
4. 2. 1	評価を実施する部局（企画・執行・評価）の整理	4-3
4. 2. 2	企画担当部局・執行担当部局へのヒアリング調査	4-4
(1)	ヒアリング方法	4-4
(2)	ヒアリングを行った規制影響評価項目	4-4
4. 2. 3	評価担当部局へのアンケート調査	4-5
4. 3	自治体の規制影響評価制度の導入状況	4-7
4. 3. 1	企画担当部局による評価	4-7
4. 3. 2	執行担当部局による評価	4-7
4. 3. 3	評価担当部局による評価	4-8
(1)	アンケート票回収状況	4-8
(2)	規制影響評価導入状況	4-9
4. 3. 4	まとめ	4-9
4. 4	規制影響評価制度の課題の整理	4-10
4. 4. 1	規制影響評価制度未導入要因	4-10
4. 4. 2	自治体の行政評価制度の発展段階	4-11
4. 5	まとめ	4-14
4. 5. 1	自治体で規制影響評価を行う上で今後への提言	4-14
補注		4-15
4章	参考文献	4-15

4. 1 はじめに

ここでは、自治体の規制影響評価導入状況の現状を把握し、自治体に適した局所スケールで簡便な評価手法の必要性について述べる。

4. 1. 1 背景

(1) 規制の地方分権化の進展

平成12年(2000)に地方分権一括法が施行され、地方分権が進むなか、自治体主導で実施する規制が増加している。大気汚染対策では、新車に適用される単体規制や、中古車を対象に国が実施する車種規制・広域自治体を実施する運行規制が行われている。これらの規制の効果もあり、大気汚染問題は全国的に改善傾向にある。しかし、場所によっては依然として環境基準を満たさない地域も存在し、求められる対策は国が行う広域汚染対策から地方が行う局所汚染対策にシフトしているといえる。最新の NOxPM 法では、自治体が重点対策地区を定め、対策を講ずる事が定められており、NOxPM 法の趣旨からも地方による局所汚染対策の必要性が伺える。

(2) 規制の副次的影響の発生

車種規制は特定地域に登録されている中古車を対象に登録を規制し、運行規制は特定地域を運行する中古車を対象に運行を規制するものである。このような特定地域を対象とした規制は、規制地域内に保有されていた高車齢の中古車が規制地域の周辺の地域(周辺地域)に使用済み自動車の発生や地域間移転といった副次的影響が発生し、周辺地域の環境を悪化させる問題が指摘されている。布施¹⁾、小林²⁾は平成6年(1994年)に実施された NOx 法車種規制の影響を既存の統計より分析を行い、規制の影響を台数ベースで推計している。その結果、規制対象車の一部が周辺地域やその他の地域に移転されていることを明らかにしている。平成15年以降に実施された車種規制及び運行規制においても、前章で明らかにしたように、地域間移転等の副次的影響が発生する。

また、中村³⁾、白濱⁴⁾では、特定の路線に流入規制やロードプライシングを導入した場合に他の路線や地域に及ぼす影響をシミュレーションにより分析した結果、対象路線の環境負荷量は削減されるが、条件によっては他の地域の環境を悪化させることや、道路ネットワーク全体での環境負荷量が削減されない場合がありうることを指摘している。

(3) 規制の副次的影響評価の必要性

大気汚染対策のために特定地域を対象とする排ガス規制を実施することは、規制地域の高車齢中古車の保有台数や交通量を減少させ、周辺地域へ分散させる狙いがあると考えられる。そのため、周辺地域における多少の環境悪化はやむを得ないと考えられる。しかし、

分散した周辺地域の気環境を把握しつつ規制を実施しないと、規制自治体の規制により、周辺自治体に過度な社会的費用を負担させていることになりうる。

今後自治体が局所汚染対策を実施する際には、規制自治体が、規制による副次的な影響を評価することが必要である。

平成19年(2007年)に国の実施する規制において、規制影響分析(RIA:Regulation impact analysis)が義務化された。規制影響分析は、国の実施する規制について、新規規制や既存規制が経済や社会にもたらすネガティブおよびポジティブな影響の双方について、体系的に分析することを目的とした一連の分析手法である。

自治体では、現状、統一的な規制影響評価制度を導入する動向は見られない。しかし、自治体が行う評価制度は多種多様であり、統一的な評価を実施していないだけで、評価項目によっては異なる部局で個別に評価している場合がありえる。例えば、企画を担当する部局で規制の効果を評価している場合や、行政評価を担当する部局で評価を実施している場合等が考えられる。

これら評価項目によって、評価している部局が異なる場合を考慮した規制影響評価の現状については明らかにされていない(図4-1-1)。

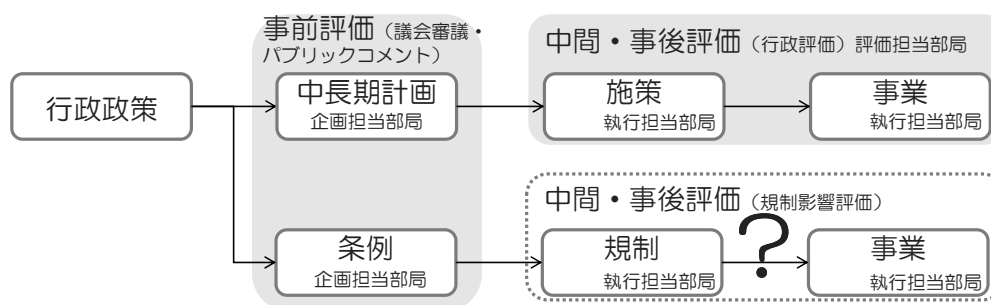


図4-1-1 自治体における規制影響評価の背景

4. 1. 2 本章の目的

以上の背景のもと、本章の目的は次の2点である。

第一に、自治体で実施されている規制において、異なる部局で評価している可能性に着目し、規制影響評価の実施状況を調査し、評価が行われていない現状を明らかにする。

第二に、評価状況の調査結果・統一的な規制影響評価制度未導入要因の分析から規制影響評価導入に伴う課題を整理し、自治体に適した局所スケールで簡便な評価手法の必要性について述べる。

4. 1. 3 構成

本研究の構成は以下のとおりである。

次節では、自治体の規制影響評価状況の調査方法について述べる。ここでは、条例の制

定から実施・評価までの過程で担当する部局として、企画担当部局・執行担当部局・評価担当部局を取り上げ、それぞれの部局に対する導入状況の調査方法・調査項目について説明する。

3節では、運行規制条例を導入している自治体の企画担当部局と執行担当部局における規制影響評価の実施状況、行政評価制度を所管している評価担当部局における規制影響評価の取り組み状況の調査結果を示す。

4節では、自治体の規制影響評価制度の課題を整理する。

5節で、まとめと今後の課題について述べる。

4. 2 方法

4. 2. 1 評価を実施する部局（企画・執行・評価）の整理

規制影響評価の導入状況を把握するにあたり、前述したとおり、自治体によって評価制度が様々であるため、評価項目によって評価を行う部局が異なる可能性がある。ここでは、自治体内で評価を行う可能性のある部局の整理を行う。

平成12年(2000)に地方自治法が改定され、地方分権一括法が施行された。これに伴い各自治体で自治基本条例を制定し、条例に基づく独自の行政を実施している。自治体で条例が制定される過程は、「企画担当部局」による条例案の作成、住民からのパブリックコメント、議会審議の実施を行い、条例が制定された後、施策・事業と細分化され、「執行担当部局」で執行される。また、平成14年(2002)の三重県による事務事業評価の導入及び、平成15年(2003)の政策評価法の施行を契機に各自治体で行政評価制度が導入されており、現時点で、9割以上の自治体が行政評価制度^{*1}を導入している。この行政評価制度は「評価担当部局」が所管している。

ここでは、条例の評価を実施する可能性のある部局は、条例の実施過程に関係する部局として、企画担当部局、執行担当部局、評価担当部局の3部局を取り上げる。

企画担当部局では、議会への説明・答弁を担当しているため、規制の総合的な影響評価機能を有していると考えられる。ただし、企画担当部局の評価内容としては、事前に効果の予測や影響を評価し、議会への説明根拠を作成することに重点が置かれることが想定できる。

執行担当部局では、条例を実際に執行する際に、継続・中止等の政策決定上必要な評価や、住民への説明責任のために効果に重点をおいた業績測定や、事業の進捗管理目的の評価を実施していることが想定できる。

評価担当部局は、行政評価全般を所管しており、説明責任を重視する面が強いため、規制の結果住民への効果を評価していることが想定される。

4. 2. 2 企画担当部局・執行担当部局へのヒアリング調査

企画担当部局・執行担当部局が行っている規制影響評価の項目を明らかにするために、自治体に対して行ったヒアリング調査の内容を説明する。企画担当部局・執行担当部局については、具体的な条例の種類に応じて部局が異なるため、運行規制条例に絞って調査を行う。

(1) ヒアリング方法

企画担当部局や執行担当部局で実施された政策・施策・事業がどのように評価されているかは、公表されている内容からは判断することができない。規制の影響として評価している項目を明らかにするために、自治体にヒアリング調査を実施した。

対象自治体はディーゼル車運行規制条例を制定している6自治体(埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府、兵庫県)とした。調査内容は、総務省で作成している「規制の事前評価の実施に関するガイドライン」にもとづき、ディーゼル車運行規制条例において起こりうる影響を挙げ、それらの評価実施の有無についてメールによる問い合わせを行った。規制の影響は、プラス面の影響を便益、マイナス面の影響を費用として、19項目を挙げた。前述したように、どの部局でどの影響の評価が実施されているかが不明であり、どちらかの部局で分担して評価を行なっている可能性があるため、同じ19項目を評価しているか否かを問う質問を2部局に対し質問メールを送付した。

(2) ヒアリングを行った規制影響評価項目

規制の影響の評価項目について説明する。規制の影響はプラス面の影響を便益、マイナス面の影響を費用として19項目を挙げた(表4-2-1)。

便益を表す指標は、アウトプット(結果)、アウトカム(成果)、インパクト(影響)の段階での指標がある^{5) 6) 7)}。アウトプット指標は、政策・施策・事務事業を実施し、どのような結果を得るかを示し、広報活動を行った時間や広報ビラを配布した枚数などである。運行規制では、後付装置の装着台数、新車買替台数などの影響台数、補助金の執行額がアウトプット指標にあたる。アウトカム指標は、インプットがどのような成果を生むか、広報活動を行った結果、目的とした効果がどの程度現れたかを表す。運行規制では、大気濃度の改善効果をアウトカム指標としてあげる。インパクト指標は、アウトカムがどのような影響を発生させるかを示す。これは、政策・施策・事務事業の結果、人々の効用をどの程度変化させたかを示す。運行規制では、曝露リスクの軽減効果や発病リスクの軽減効果をあげる。

費用は、行政の負担する政策費用・執行費用、企業の負担する遵守費用、社会が負担する社会的費用に分けて考える。政策費用は政策の立案策定に要する費用で運行規制条例制定時に必要となる費用である。執行費用は政策の執行に要する費用で、補助金に要する費用・規制の影響評価費用・モニタリング費用・不正運行の取締費用である。遵守費用は、企業が規制を遵守する際に必要となる費用であり、規制対象車を買替えるための買替費

用、後付装置装着費用、規制を避けるために事業所を移転する費用である。社会的費用は、沿道住民や歩行者が負担する費用であり、規制対象車の地域間移転により移転先の大気を悪化させることによる費用や、事業者が周辺へ移転する事により移転先の大気を悪化させる事による費用である。

表4-2-1 ヒアリング調査内容

	項目	評価有無
便益		
アウトプット	後付装置装着台数	(有・無)
	規制影響台数(規制地域内の新車買換台数)	(有・無)
アウトカム	補助金執行額	(有・無)
	大気の濃度改善状況(大気観測局達成数)	(有・無)
インパクト	濃度の監視	(有・無)
	曝露リスクの軽減効果	(有・無)
費用	発病リスクの軽減効果	(有・無)
	政策費用	政策立案策定に要する人件費
執行費用	補助金に要する費用	(有・無)
	規制の影響評価費用	(有・無)
	モニタリング費用	(有・無)
	非対応車の不正運行の取締費用	(有・無)
企業の遵守費用	買換費用	(有・無)
	後付装置装着費用	(有・無)
	事業所の移転	(有・無)
社会的費用	規制対象車の県外への流出	(有・無)
	流出による県外の大気環境悪化	(有・無)
	周辺自治体への運輸事業者の移転状況	(有・無)
	周辺自治体への車両の移転状況	(有・無)

4. 2. 3 評価担当部局へのアンケート調査

評価担当部局が所管している行政評価内での規制影響評価の導入状況を明らかにするために自治体宛に行ったアンケート調査の内容を説明する。

平成14年(2002)の三重県による事務事業評価の導入及び、平成15年(2003)の政策評価法の施行を契機に各自治体で行政評価制度が導入されている。現時点で、9割以上の自治体が行政評価制度を導入している。自治体で導入されている行政評価制度に規制影響分析の要素が含まれるか否かを調査するために、評価担当部局宛にアンケート調査

を実施する。

アンケート調査の概要を表4-2-2に示す。アンケート調査では、政令市以上の自治体に対しアンケート表を郵送し、国の規制影響分析義務化に伴う各自治体の規制影響評価の導入状況または検討状況及びその理由を問うている。質問1では、行政評価の導入に至る経緯について時期や導入のきっかけとなった出来事についての質問である。質問2は、行政評価を導入する際に参考とした自治体についての質問である。質問3は、規制影響評価の導入段階についての質問である。ここでは、導入の有無や検討の有無について質問している。質問4は、規制影響評価を導入している自治体に対して、導入していることでの現状の課題についての質問である。質問5は、規制影響評価を導入していない自治体に対して、導入していない理由を問う質問である。送付したアンケート表をAPPENDIX 1に示す。

表4-2-2 アンケート調査概要

調査対象	47都道府県及び19政令指定都市の評価担当部局担当者
アンケート方法	郵送
アンケート時期	2011年11月
質問内容	質問1 行政評価制度の導入時期 質問2 行政評価制度導入時の参考自治体 質問3 規制影響評価の導入検討段階について 質問4 規制影響評価の現状の課題 質問5 規制影響評価の未導入理由

4. 3 自治体の規制影響評価制度の導入状況

4. 3. 1 企画担当部局による評価

運行規制を実施している自治体の企画担当部局宛に実施したヒアリングにより得られた回答をまとめると次の通りであった。

第1に、表4-2-1の項目について企画担当部局で規制影響評価を行う統一的な基準をしている自治体はなかった。

第2に、条例の評価は制定時や改定時に事前評価に重点が置かれている。

評価は審議会での審議やパブリックコメントを行なったうえで、議会での審議を行う。

第3に、一部の自治体で、条例制定時に条例の条項に中間評価を継続的に実施することを義務付けている自治体があったが、運行規制のように過去に行われた規制が現在も継続しているものについて評価義務を課している自治体はなかった。

第4に、大気環境の常時監視や基準値達成測定局数の評価を実施しているが、評価を実施しているのは執行担当部局である。

4. 3. 2 執行担当部局による評価

運行規制を実施している自治体の執行担当部局宛に実施したヒアリングにより得られた回答をまとめると表4-3-1の通りであった。

第1に、便益について、アウトカムまでの評価はされているが、インパクトの評価は行われていない。すべての自治体で大気の濃度状況を把握していた。しかし、これは大気汚染防止法において政令市以上で義務付けられているため、規制の影響評価に伴う評価であるとは必ずしも言えない可能性がある。

第2に、政策費用や執行費用は一部の自治体で把握されていた。が、企業の遵守費用や社会的費用に関する項目を評価している自治体はなかった。

表4-3-1 ヒアリング結果集計

	項目	評価実施自治体数
便益		
アウトプット	後付装置装着台数	2
	規制影響台数(規制地域内の新車買換台数)	
	補助金執行額	3
アウトカム	大気濃度改善状況(大気観測局達成数)	6
	濃度の監視	6
インパクト	曝露リスクの軽減効果	
	発病リスクの軽減効果	
費用		
政策費用	政策立案策定に要する人件費	1
執行費用	補助金に要する費用	2
	規制の影響評価費用	1
	モニタリング費用	
	非対応車の不正運行の取締費用	4
企業の遵守費用	買換費用	
	後付装置装着費用	
	事業所の移転	
社会的費用	制対象車の県外への流出	
	流出による県外の大気環境悪化	
	周辺自治体への運輸事業者の移転状況	
	周辺自治体への車両の移転状況	

以上より、規制影響評価の費用便益分析の枠組みで総合的に評価を行なっている自治体はなく、大気汚染対策の効果として、大気の監視や補助金の交付状況の監視といった事業レベルの評価が個別に行われている程度であることが明らかになった。

4. 3. 3 評価担当部局による評価

(1) アンケート票回収状況

自治体宛てに送付したアンケート票の回収・未回収／導入・未導入のクロス集計結果を表4-3-2に示す。アンケート票の回収・未回収／導入・未導入のクロス集計結果は、ウェブから全自治体の行政評価制度の導入・未導入に関する情報を入手し作成した^{*1}。

回収率は76%であり、そのうち98%が行政評価制度を導入している。導入していな

い自治体のアンケート票はほぼ回収できていない。

表 4-3-2 アンケート調査票の回収状況

	回収	未回収	計
行政評価導入	49(74%)	12(18%)	61(92%)
行政評価未導入	1(2%)	4(6%)	5(8%)
計	50(76%)	16(24%)	66(100%)

(2) 規制影響評価導入状況

規制影響評価導入状況を問う質問3の結果を示す。

質問内容:「平成19年(2007年)に国の行う規制において、規制影響分析(RIA)が義務化されました。貴自治体の対応で最も近い番号をひとつ選び番号に○をつけて下さい。

A: 現在、規制影響分析を行い運用している。

B: 現在、委員会・研究会などで諮問し規制影響分析の導入を検討中である。

C: 現時点では検討していないが、今後、規制影響分析の導入を検討する予定

D: 現時点では、規制影響分析の導入を検討する予定はない。」

有効回答票の内96%が規制影響評価はD(現時点では、規制影響評価の導入を検討する予定はない)であった。残り4%がC(現時点では検討していないが、今後、規制影響評価の導入を検討する予定)を選択した。96%が「検討する予定はない」を選択したため、その後の質問の回答が得られなかった。

このことから、政令市以上の自治体のほぼ全てが規制影響評価を導入しておらず、今後導入を検討していないことが明らかになった。

4.3.4 まとめ

以上、運行規制条例を実施している自治体の企画担当部局と執行担当部局宛実施した運行規制条例の評価範囲の調査および、評価担当部局宛に実施した規制影響評価導入状況に関するアンケート調査の結果より、次の3点を明らかにした。

第1に、企画担当部局で運行規制条例の影響の総合的な評価は行われていない。

第2に、執行担当部局では、個別に評価を実施しているが、大気の監視による達成状況や、補助金の執行状況等対策の進捗状況が主である。他の自治体への社会的費用や企業の遵守費用の評価は行われていない。

第3に、政令市以上の自治体のほぼ全てが規制影響評価を導入しておらず、今後導入を検討していないことが明らかになった。

4. 4 規制影響評価制度の課題の整理

4. 4. 1 規制影響評価制度未導入要因

次に規制影響評価を導入・検討を実施していない C、D を選択した自治体に対して追加で次の質問を実施した。

「貴自治体の規制影響評価の実施を見送っている要因に関して、適切な番号を記入してください。

A: 評価に必要な予算の確保が難しい

B: 評価に必要な人材(人数)の確保が難しい(手間を要する)

C: 評価に必要な人材(専門性)の確保が難しい

D: 評価に必要なデータの確保が難しい

E: 評価の手間に対して効果が薄いと考える

F: その他()

追加質問を集計した結果を図 4-4-1 に示す。

「目的外」の回答が最も多く、29%を占めている。これは、選択肢にはないが、自由記入欄(F その他)に記述された「進捗管理が行政評価の主目的であるため、規制影響評価は不要である」との主旨の回答結果を集計したものである。多くの自治体がこの趣旨の回答をしている。自治体の政策を大別すると条例に基づく政策と、中長期計画に基づく政策がある。条例に基づく政策は、住民の行動を規制するために法律の範囲内で制定されるものである。企画担当部局で条例案が作成され、パブリックコメントを受け、議会審議を経て施策や事業レベルに細分化され執行される。中長期計画に基づく政策は、中長期にわたる自治体の方向性を定め、それを実現するための施策や事業に細分化し執行する計画を策定するものである。企画担当部局において計画案が作成され、パブリックコメントを受け、議会審議を経て施策や事業レベルに細分化され執行される。パブリックコメントや議会審議において計画の方向性の合意を得ているため、評価では、計画の進捗を管理することに重きが置かれる。評価担当部局で行政評価の評価対象とする政策は中長期計画に基づく政策であり、条例の評価は対象とされていないことがわかる。

次に「評価の手間に対して効果が薄いと考える」が2番目に多い回答で、23%を占めている。行政評価の担当者が手間を懸念している状況が現れた結果であると考えられる。

「不要」の回答が19%で3番目に多い回答となっている。これも自由記入欄(F その他)に記述された内容であり、「規制影響評価については議会において議論しているため、不要である」との主旨の回答結果である。これは、条例案がパブリックコメントや議会審議を経る過程で、合意は形成されおり、行政の役割はその後の執行にあると自治体で認識していることが読み取れる。ここからも条例による規制の中間・事後の評価の必要性が認識されていないことがわかる。

「評価に必要なデータの確保が難しい」が4番目に多い回答となっており、データの入手が課題である状況がうかがえる。

「評価に必要な人材(専門性)の確保が難しい」「評価に必要な予算の確保が難しい」については問題とされていない。専門性については、行政評価の目的が進捗管理であるため、専門性を有した人材の確保は重要ではないとの認識から生じた結果であると推測される。「予算」については、必要な事であれば予算は確保でき、政策評価上の支障にはならない。または、現状の政策評価は低予算で出来る簡易的なものを考えていると解釈できる。

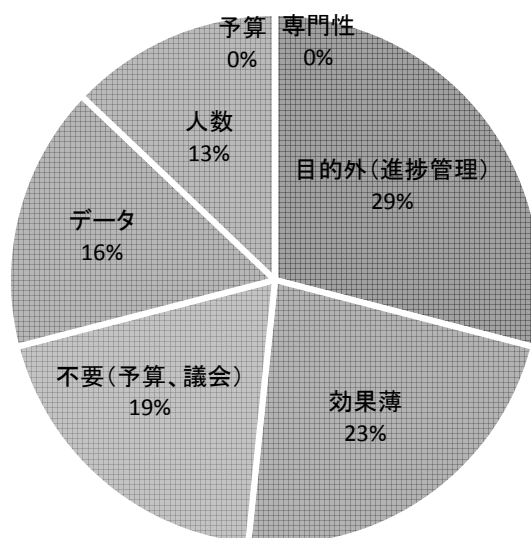


図4-4-1 規制影響評価未導入要因

以上の結果から、現時点で、規制影響評価を導入している自治体はなく、導入の検討を実施している自治体は4%程度であった。自治体が規制影響評価を実施しない背景には、主に次の3点があることが明らかになった。

第1に、行政評価を導入している自治体の多くは、行政評価を中長期計画の進捗管理を主目的として位置づけていること。

第2に、評価の手間と効果の薄さを懸念していること。

第3に規制影響評価は議会で審議されているため、評価の対象外であると考えていること。

4. 4. 2 自治体の行政評価制度の発展段階

今後の自治体の行政評価制度の発展段階について考察を行う。国のRIAでは、規制は政策の一部として位置付けられており、政策評価法の中に位置付けられている。今後自治体の規制影響評価についても、行政評価の中に位置づけることが有効であると考えられるため、行政評価の発展段階を整理し、今後の発展に必要な課題を整理する。

行政評価の発展段階を整理する際に、田中ら⁸⁾のフェーズ(「導入初期」、「本格導入期」、「本格運用期」)を参考に、自治体と国の行政評価の発展段階を概観する。行政評価の発展段階を比較する際の軸として、評価目的、評価対象、評価時点を取り上げる。

行政評価を行う目的は、住民への説明責任や効率的な行政運営、最適な資源配分等、さまざまな評価目的が存在する。自治体と国の行政評価目的の変遷を把握する必要がある。

評価対象は、一般的に政策、施策、事務事業において実施されている。小規模な組織単位で実施できる事務事業評価は実施が容易であり、導入し易いことが想定される。一方政策評価は大規模な組織単位で実施するため実施が容易でなく、導入しにくいことが想定される。このように、評価対象によって導入のしやすさが異なるため、評価対象の導入の変遷を把握する必要がある。

評価時点は、一般に事前評価、中間評価、事後評価がある。事前評価には起こりうる事象をあらかじめ想定し、その評価指標に対してデータを継続的に採取する必要がある。さらに、分析手法に統計や経済の専門的な知識が必要となる場合が多い。そのため、中間評価や事後評価の方が実施しやすいことが想定される。このように、評価時点によって導入のしやすさが異なるため、評価時点の導入の変遷を把握する必要がある。

自治体と国の行政評価の発展段階を表4-4-1に示す。

導入初期は、三重県で事務事業評価が導入された時期である。自治体では事務事業の効率化を目的としており、事務事業評価を中心とした事後・中間評価が行われていた。この頃は住民への公表は重視されていなかった。一方、国では環境価値や時間価値の定量的評価を目的とし、それぞれの分野で。個別に評価が行われていた。公共事業のみ事前評価が導入された。

本格導入期、自治体において「説明責任」を重視するようになり、評価書の公表が行われるようになる。この頃、自治体では、事務事業評価導入のピークを迎え、後半には施策評価の導入が増加し始め、徐々に評価対象の範囲が広がる。事前評価の導入は少なく、事後・中間評価が主である。国では政策評価法が施行され、その中で複数の組織間を総合的に評価する総合性確保評価が政策評価法の中で定められ、総務省が総合性確保評価を実施している。また、規制影響分析で事前評価の試行が始まる。

本格運用期は、NPMの導入に伴い、「成果」が重視され、自治体において住民満足度を重視した住民参加型政策形成が盛んに行われるようになる。これに伴い、住民の満足度を向上させることを主目的の一部の自治体で満足度調査が行われる。評価対象は施策評価の導入がピークを迎え、政策評価の導入が増加し始める。評価時点は、依然、実績測定に基づく事後評価や中間評価が主流であり副次的な影響の評価がかけている点が問題とされている³⁾。国では、規制影響分析の事前評価が義務化される。時間価値や生命価値の定量化に基づく outcome 指標による評価が求められているが、評価担当者レベルでのデータの収集や分析手法に手間やコストがかかり、評価の形骸化が問題視されている^{9) 10)}。

現在から今後を成熟期とすると、自治体において、副次的な影響を評価することが求め

られると考えられる。その際の手段として、事前評価の導入と評価対象を広げる政策評価の導入が求められると考えられる。その際、国で導入されている定量化手法を自治体に適用することは手間や効果の薄さといった懸念を解決できない。その要因の一つに対象とする規模が異なる事が挙げられる。今後の自治体において求められる手法のスケールは、国の広域なスケールをではなく、局所なスケールであると考えられる。

表4-4-1 行政評価発展段階

	評価目的	評価対象	評価時点
導入初期 (H8～H11) 自治体初の行政評価が三重県において事務事業評価という形で導入された	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、事務事業の効率化を目的に行っており、住民への公表は行っていなかった。 国では環境影響評価法(平成9年)、公共事業事前評価(平成10年)が行われ、環境価値や時間価値を定量化する手法が導入されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、事務事業評価が中心だが、埼玉県・山形県・秋田県等一部の自治体で施策評価・政策評価が導入される。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、中間・事後評価が中心。国の公共事業事前評価の影響で公共事業のみ事前評価が急激に導入された。
本格導入期 (H12～H16) 国の政策評価法が施行されるとともに、自治体の行政評価導入件数が急激に増加	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、住民への説明責任・情報公開といった目的が重視されるようになり、評価書の公表が行われ始める。 国では交通安全分野の問題意識から生命価値を定量化する手法が導入される。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、事務事業評価の導入がピークを迎える。徐々に後半から施策評価の導入が増加し始める。 国では、複数の組織間を総合的に評価する総合性確保評価が政策評価法の中で定められ、総務省が総合性確保評価を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、ごく一部で事前評価が実施されているが、事後評価、中間評価が大半を占める。 国では、規制影響分析の事前評価が試行を始める。
本格運用期 (H17～H22)	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では「成果」が重視され、住民満足度を向上させる事を主目的に、住民参加型政策形成や満足度調査が盛んに行われるようになる。 国では、時間価値や生命価値の定量化に基づく outcome 指標による評価が求められているが、評価担当者レベルでのデータの収集や分析手法に手間やコストがかかり、評価の形骸化が問題視されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、施策評価の導入件数がピークを迎え、徐々に政策評価が導入され始める。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体では、事後評価や中間評価が主流である。 国では、規制影響分析の事前評価が義務化される。
成熟期 (H23～)	<ul style="list-style-type: none"> 自治体において、outcome 指標によりある程度定量的な評価が必要となる。その際、国で導入されている定量化手法では対象とする規模が異なるため、国の規模をマクロとすると、セミマクロな視点での評価が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体において、組織を横断して評価することが必要となり、施策評価や政策評価の導入が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体において、事前評価が必要となる。

4. 5 まとめ

本章では、自治体の規制影響評価制度の現状について述べた。ここでは、自治体内の企画担当部局・執行担当部局に対して運行規制条例を例に、規制影響評価の実施状況を調査し、評価担当部局に対して、行政評価による規制影響評価機能の有無を調査した。自治体の実施した調査の結果、以下の知見を得た。

第1に、企画担当部局は、運行規制条例制定時に議会への説明目的のための事前評価は実施しているが、その後の総合的な影響の評価までは実施する機能がなく、他の自治体への地域間移転の影響等の副次的影響の評価は実施されていない。

第2に、執行担当部局では、個別に評価を実施しているが、大気監視による環境基準値の達成状況や、補助金の執行状況等、対策の進捗状況の把握が主である。他の自治体への社会的費用や企業の遵守費用の評価は行われておらず、規制の影響を評価する機能は有していない。

第3に、評価担当部局において、規制の影響を評価する制度を導入している自治体は少なく、導入を検討している自治体も少ない。その背景には、第1に行政評価を導入している自治体の多くは中長期計画の進捗管理を主目的と位置づけていること、第2に事前評価の手間と効果の薄さを懸念していること、第3に規制影響評価は議会で審議されているため評価の対象外であること、の3点がある。

4. 5. 1 自治体で規制影響評価を行う上で今後への提言

今後、地方分権化が進み、自治体の裁量が拡大すると、各自治体が独自の政策を企画し、実施するとその周辺自治体への影響が発生する場合が生じてくる可能性がある。自治体において、周辺自治体への影響を評価する制度が必要である。また、規制影響評価を実施すると総費用の変化により、政策判断が異なる場合が発生する可能性がある。しかし、3節・4節から明らかなように、規制影響評価を導入している自治体はなく、検討している自治体もごく少数である。

自治体で、規制影響評価を制度として導入する際には、制度面の課題と評価の実用面の課題が挙げられる。

制度面の課題の解決策として、既存の行政評価の枠組みを国のRIAを参考に拡張することが有効であると考えられる。その際、国が自治体に規制影響評価を義務付け、自治体間の規制の強度の調整を行うことが望ましいと考える。

評価の実用面の課題の解決策として、従来国の対策に適した評価手法が開発されてきたが、自治体に適した局所スケールな評価手法の開発が必要であると考えられる。大気汚染対策に関して述べると、従来広範囲の汚染を評価するために移動発生源からの排出量をマクロに推計する手法が開発されている。しかし、交差点部等の局所汚染を適切に評価できる手法の開発が十分に行われていない現状があり、自治体が独自に局所対策を行う際に局所スケールな評価手法が必要であると考えられる。

補注

※1 行政評価には政策評価・施策評価・事務事業評価の3種類があり、自治体ごとにごとの評価を導入しているかは様々である。ここで、導入件数は政策評価・施策評価・事務事業評価のいずれかを導入している自治体を1自治体とカウントしている。

4章 参考文献

- 1) 小林貴, 鹿島茂(2014), 「中古車の地域間移転に着眼した自動車排ガス規制の影響分析-自動車NO_xPM法の車種規制、ディーゼル車運行規制条例を例に-」, 環境情報科学43巻 2号, 掲載待ち
- 2) 布施正暁, 横田久, 谷下雅義, 鹿島茂(2003), 「中古貨物車の地域間移転からみた自動車排出ガス規制の影響分析」, 環境情報科学, 32巻 3号, PP59-68
- 3) 中村有克, 谷口栄一, 山田忠史(2006), 「マクロ交通シミュレーションを用いた大型車交通施策の評価に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol. 23, PP513-520
- 4) 白濱好文, 屋井鉄雄, 福田大輔, 神田学(2004), 「マイクロシミュレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム」, 土木学会論文集, NO. 772/IV-65, PP115-130
- 5) 龍慶昭, 佐々木亮, 「政策評価の理論と技法」 多賀出版
- 6) ハリー・P・ハトリ, 「政策評価入門」, 東洋経済新報社
- 7) 山本哲三, 「規制影響分析(RIA) 入門」, NTT 出版
- 8) 田中啓(2008), 「都市自治体の評価: 本格普及から10年後の実態」, 日本評価研究, 第8巻第1号, PP39-57
- 9) 小野達也(2008), 「都道府県の評価の10年~定量評価のこれまでとこれから~」, 日本評価研究, 第8巻第1号, PP19-38
- 10) 原田久(2009), 「規制影響分析の影響分析」, 評価クォーターリー2009/7, PP2-12
- 11) 窪田好男(1998), 「NPM 型政策評価と政府の失敗」, 会計検査研究 (18), PP47-62
- 12) 長峯純一(2004), 「地方分権・政策評価による資源配分のガバナンス」, 財務省財務総合政策研究所フィナンシャル・レビュー 2004(2), PP59-78,
- 13) 窪田好男(2008), 「公共政策学・政策評価論・日本型政策評価」, 日本評価研究, 第8巻第1号, PP59-71
- 14) 総務省(2010), 「地方公共団体における行政評価の取組状況」
- 15) 三菱総合研究所(2009), 「地方自治体における行政評価への取り組みに関する実態調査」
- 16) Robert W. Hahn, Jason K. Burnett, Yee-Ho I. Chan, Elizabeth A. Mader, Petrea R. Moyle (2000), 「Assessing the Quality of Regulatory Impact Analyses」
- 17) 総務省大臣官房企画課(2001), 「規制影響分析に関する調査研究報告書」
- 18) 総務省政策評価窓口 HP

<http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hyouka/seisaku_n/index.html>

19) 樋口耕一, KH Coder , <<http://khc.sourceforge.net/>>

20) 小林貴, 鹿島茂(2012), 「地方自治体の行政評価制度形成過程の現状～国の行政評価制度の影響～」, 日本計画行政学会第35回全国大会研究報告要旨集, PP117-120

21) 小林貴, 鹿島茂(2013), 「地方分権に伴う自治体の規制影響評価の現状～ディーゼル車運行規制条例を事例に～」, 日本公共政策学会2013年度研究大会講演集, PP47

5章 個別車両の排出量推計式の構築

5. 1	はじめに	5-1
5. 1. 1	排出量推計式構築の背景と本章の目的	5-1
(1)	勾配を考慮する必要性	5-1
(2)	車両特性の違いを一般化する必要性	5-1
(3)	本章の目的	5-2
5. 1. 2	先行研究の整理	5-2
(1)	個別車の排出量に影響をおよぼす要素の表現のしかたに関する整理	5-3
a)	速度項で表現した排出量推計式	5-3
b)	速度項・加速度項で表現した排出量推計式	5-3
c)	速度項・加速度項・勾配項で表現した排出量推計式	5-4
(2)	車両挙動の時間変動の表現のしかたに関する整理	5-5
a)	時刻別に表現する排出量推計式	5-5
b)	時間で集計して表現する排出量推計式	5-5
c)	時間で平均して表現する排出量推計式	5-6
(3)	既存の推計式の課題整理	5-6
a)	T Sモデルの優位性	5-6
b)	T Sモデルの課題	5-7
5. 2	勾配を考慮したT Sモデルの構築	5-8
5. 2. 1	勾配を考慮する方法	5-8
5. 2. 2	式形の検討	5-10
5. 2. 3	データ	5-11
5. 2. 4	パラメータ推定	5-13
5. 2. 5	検証	5-17
5. 3	車両特性(車種・積載量)を一般化したT Sモデルの構築	5-19
5. 3. 1	車両総重量で積載重量・車種の違いを一般化する方法	5-19
5. 3. 2	データ	5-20
5. 3. 3	パラメータ推定	5-22
5. 3. 4	検証	5-23
(1)	1 T S合計の実測値と推計値の比較	5-23
(2)	走行モード別の実測値と推計値の比較	5-23
(3)	車種別の実測値・推計値の比較	5-24
(4)	積載有無別の実測値・推計値の比較	5-25
5. 4	感度分析	5-26
5. 4. 1	感度分析	5-26
(1)	方法	5-26
(2)	結果	5-27
a)	勾配の感度分析	5-27
b)	車両総重量の感度分析	5-27
5. 4. 2	従来手法との比較	5-28
5. 5	まとめ	5-29
(1)	まとめ	5-29
(2)	今後の課題	5-30
補注		5-31
5章	参考文献	5-34

5. 1 はじめに

車群の地点別排出量を表現する際に、個別車の排出量に車両挙動・車両特性・道路構造が及ぼす影響を明らかにする必要がある。ここでは、個別車両の排出量に車両挙動・車両特性・道路構造が及ぼす影響を明らかにするために、個別車両の実走行データを用いた排出量推計式の構築を行う。

5. 1. 1 排出量推計式構築の背景と本章の目的

(1) 勾配を考慮する必要性

個別車両の車両挙動は時々刻々変化し、車両挙動によって排出原単位が異なる。車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量を表現するためには、個別車両の車両挙動・車両特性が排出量に及ぼす影響の時間変動を平均的に表現する必要がある。

個別車両の車両挙動・車両特性が排出量に及ぼす影響の時間変動を平均的に表現する際に既存のTSモデル^{1) 3) 8)}の考え方が参考になる。

TSモデルは、個々の車両挙動を発進から次の発進までを1トリップセグメント(以後、TS)と定義し、1TS内を5つのモードに分割して考える。5つのモードごとに速度を平均化して表現することで、個々の車両の速度・加速度の時間変動を平均的に表現することが可能となる(図5-1-1)。

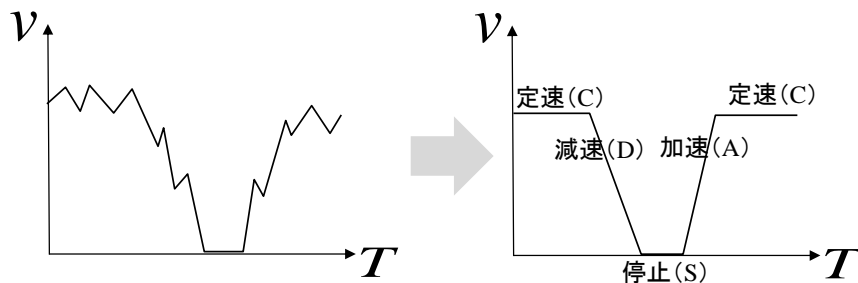


図5-1-1 速度変動から時間変動を除去する方法の概念図

しかし、既存のTSモデルは、個別車両が道路構造上の要因(勾配)から受ける原単位への影響が考慮されていない。理論上の排出量は、車両にかかる抵抗力と推進力のつり合い式から導かれた燃料消費量から算出される。車両にかかる抵抗は、空気抵抗・加速抵抗・転がり摩擦抵抗・勾配抵抗があり、空気抵抗は速度、加速抵抗は加速度、転がり摩擦抵抗は車重、勾配抵抗は車重と勾配によって決まる。そのため、既存TSモデルにおいて、勾配抵抗が排出量に与える影響を考慮する必要がある。

(2) 車両特性の違いを一般化する必要性

車群を構成する車両は様々な車両特性を有し、車両特性によって排出原単位が異なる。

既存のTSモデルでは、車両挙動の変化による排出源単位の変化のしかたに、車両特性が及ぼす影響が不明なため、車両のもつ車両特性が変わるとその都度パラメータを推定する必要があり、異なる車両特性を持つ車両の構成する車群を評価する際に不便である。TSモデルのパラメータが車両特性を表す指標で一般化されていることが望ましい。

規制を実施すると、規制地域を迂回する車両の発生、規制で使えなくなった車両の地域間移転、規制適合により個々の車両の排出係数の変化といった影響が発生する。特に、地域間移転については、近年行われているNO_xPM法の車種規制やディーゼル車の運行規制の影響により、中古車の地域間移転が行われており、地域によって保有されている車両特性の構成が変化することが明らかにされている。この車両特性の変化が局所汚染に及ぼす影響を評価する必要がある。

(3) 本章の目的

本章の目的は次の2点である。第1に、既存のTSモデルで考慮されていなかった道路構造上の要因である勾配が排出量に及ぼす影響を考慮する。第2に、車両特性の違いが排出量に及ぼす影響を一般化する。

本章の構成は以下のとおりである。

本節で、既存の排出量推計式を整理し、TSモデルの考え方が車群の地点別排出量を評価する際に有効であることを述べる。そして、車群の地点別排出量を算出するにあたりTSモデルの課題となる点の整理を行う。

2節で、勾配を考慮したTSモデルの構築を行う。ここでは、自動車工学理論に基づいた車両にかかる抵抗力と推進力のつりあいの関係式から理論的に導かれる燃料消費量算出式をもとに、排出量推計式を導出する。導出した推計式により、実走行データからパラメータ推定・現況再現性の確認を行う。

3節で、個別車両の車両特性（車種・積載量）を一般化したTSモデルの構築を行う。ここでは、抵抗力と推進力のつり合い式から、車種・積載量の一般化に有効な項目として車両総重量を選択し、車両総重量で車種・積載量の違いを一般化した排出量推計式を導出する。導出した推計式により、実走行データからパラメータ推定・現況再現性の確認を行う。

4節で、考慮した勾配・車種の違い・積載の有無の感度の確認を行う。また、従来の旅行速度別原単位による推計結果と、本排出量推計式による推計結果との比較を行う。

5節で、まとめと今後の課題について述べる。

5. 1. 2 先行研究の整理

ここでは、車両挙動・車両特性を考慮した車群の地点別排出量を表現するにあたり、必要となる個別車両の車両挙動・車両特性を考慮した排出量推計式の先行研究を整理し、TSモデルの考え方が車群の地点別排出量を評価する際に有効であることを述べる。そして、

車群の地点別排出量を算出するにあたりTSモデルの課題となる点の整理を行う。

先行研究を整理する際の比較軸として、個別車の排出量に影響をおよぼす要素と、影響要素の時間変動の表現の仕方の2軸で整理する。影響要素の時間変動の表現の仕方に着目した理由は、車群の地点別排出量に拡張する際に、時間変動を平均化して表現する必要があり、この観点から先行研究を参考にすることがあるためである。

(1) 個別車の排出量に影響をおよぼす要素の表現のしかたに関する整理

個別車の排出量は、車両が走行時に受ける抵抗力が大きいかほど多く排出される。総抵抗力は表5-1-1に示すとおり、転がり摩擦抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、加速抵抗の4つがあり、式(5-1-1)で表せる。転がり摩擦抵抗は車両総重量で、空気抵抗は速度の2乗で、勾配抵抗は勾配と車体重量で、加速抵抗は加速度と車体重量と回転部相当質量でそれぞれ表現される。

$$R_t = \mu Mg + kv^2 + Mg \sin \theta + (M + m)a \quad \dots (5-1-1)$$

M : 車体重量[kg]、 R_t : 車に作用する総抵抗力、 a : 加速度[m/s²]、 v : 速度[m/s]、 μ : 転がり摩擦係数、 k : 空気摩擦係数と全面投影面積の積、 θ : 傾斜角度、 m : 回転部分相当質量(軸やタイヤ、歯車等全ての回転部分の完成モーメントを質量換算したもの)[ton]を表す

表 5-1-1 車両走行時に受ける抵抗力と影響要素の対応関係

抵抗力	影響要素
空気抵抗	速度
勾配抵抗	勾配
転がり摩擦抵抗	車体重量
加速抵抗	
	加速度

a) 速度項で表現した排出量推計式

先行研究では、様々な式形でこれらの要素と排出原単位との関係を表している。最も一般的なものは速度の累乗項で排出原単位を説明するものである。代表的なものは片山ら¹⁰⁾の排出量推計式があげられる。しかし、速度項のみでは、交差点部の加減速の影響を適切に表現できていないといえない。

b) 速度項・加速度項で表現した排出量推計式

Alessandra ら²⁾はエンジンから触媒まで、触媒からマフラー出口までの2区間に式を分割し、CO₂、NO_x排出量を速度と加速度からなる複数の説明変数により説明する重回

帰式を構築している。

エンジンから触媒間の排出ガスは式 (5-1-1) により表現している。

$$EO_i = EI_i \cdot FR \quad \dots (5-1-1)$$

ここに、 EO_i :エンジンから排出される排出ガス g/s、 i : CO_2 CO HC NO_x 、 EI_i :エンジン諸元係数、 FR :燃料消費量を表す。

燃料消費量 FR は、エンジン負荷の有無により式 (5-1-2) の2つの式で表している。

$$FR = \begin{cases} \alpha_{FR} + \beta_{FR}v + \gamma_{FR}v^3 + \delta_{FR}av & \text{負荷有} \\ \alpha'_{FR} & \text{負荷無} \end{cases} \quad \dots (5-1-2)$$

触媒以降マフラー出口から排出される排出ガスは式 (5-1-3) で表している。

$$TP_i = EO_i \cdot CPF_i \quad \dots (5-1-3)$$

ここに、 TP_i :マフラーの出口から出る排出ガス量[g/s]、 EO_i :エンジンから排出される排出ガス[g/s]、 CPF_i :触媒の補正係数を表す。

この排出量推計式では、車両ごとにエンジンの諸元を表す EI_i と、触媒の補正係数 CPF_i を入力する必要があり、局所汚染を評価する際に車群についてこれらの値を入手することは困難である。

Lee and Miller⁴⁾はアイドリング時、減速時、段階的に区分した道路勾配についてダミー変数を導入することで、異なる走行環境を考慮しPM排出量を速度、加速度、ダミー変数で説明する重回帰式を構築している (決定係数は0.49)。

$$\ln(E_{CO_2}(t)) = 0.173 + 0.025v_{(t)} - 0.066a_{(t)} + 0.005a_{(t)}v_{(t)} - 0.08D_{d(t)} - 0.296D_{i(t)} \quad \dots (5-1-4)$$

ここに、 $E_{CO_2}(t)$:単位時間あたりのCO2排出量、 $v_{(t)}$:速度、 $a_{(t)}$:加速度、 $D_{d(t)}$:減速時ダミー変数、 $D_{i(t)}$:アイドリング時ダミー変数を表す。

c) 速度項・加速度項・勾配項で表現した排出量推計式

白濱らは Lee and Miller の排出量推計式を元に、加速度と速度の累上項、段階的に区切ったダミー変数に加えることで勾配を考慮している (決定係数は0.89)。

$$\begin{aligned} \ln(E_{PM}(t)) = & -2.09 + 0.0496v_{(t)} - 7.45 \times 10^{-4}v_{(t)}^2 + 5.21 \times 10^{-6}v_{(t)}^3 \\ & + 0.116a_{(t)} - 0.465D_{d(t)} + 0.0709D_{i(t)} - 0.188D_{\sim 2.5(t)} \\ & - 0.0391D_{-2.5 \sim 0.5(t)} + 0.133D_{0.5 \sim 2.5(t)} + 0.401D_{2.5 \sim (t)} \end{aligned} \quad \dots (5-1-5)$$

ここに、 $E_{PM}(t)$ ：単位時間あたりのPM排出量、 $v_{(t)}$ ：速度、 $a_{(t)}$ ：加速度、 $D_{d(t)}$ ：減速時ダミー、 $D_{i(t)}$ ：アイドリング時ダミー、 $D_{\sim 2.5(t)}$ ：勾配—2.5%以下ダミー、 $D_{\sim 2.5\sim 0.5(t)}$ ：勾配—2.5%~0.5%ダミー、 $D_{0.5\sim 2.5(t)}$ ：勾配0.5%~2.5%ダミーを表す。

AlessandraらやLee and Miller、白濱らの排出量推計式は速度・加速度・ダミー変数を組み合わせた重回帰式により排出量を推定する点で、基本となる排出量推計式の式形は同じである。しかし、互いの相関が高い説明変数を用いているため、パラメータの負号が現象と整合しておらず、統計的に優位とはいえない障害（多重共線性）を所持している可能性がある^{※1}。

（2）車両挙動の時間変動の表現のしかたに関する整理

車群の地点別排出量を表現する際に、時々刻々変化する車両挙動を平均的に表現することが必要となる。排出原単位に影響する要素の時間変動の表現方法は主に①時刻別に表現する、②時間で集計して表現する、③時間で平均して表現する、の3種類が提案されている。

a)時刻別に表現する排出量推計式

前述した4つの排出量推計式は①に分類される。時間変動する影響要素をそのまま考慮し、排出量を要素の関数として表現し、時刻別に排出量を算出するものである。

時刻別に排出量を算出するためには、時刻別の車両挙動・車両特性のデータを入力する必要がある。現状、既存の交通シミュレーションソフトを用いて車両挙動のデータを作成することが可能である。しかし、交通シミュレーションソフトは交通需要予測等、交通量の分析に用いられることが主であり、考慮できる車両特性数に制約がある。そのため、車両特性を考慮した車両挙動のデータの入手が困難である。

b)時間で集計して表現する排出量推計式

大口ら⁵⁾はトリップ全体のCO₂排出量を集計して表現している。トリップをST（発進～次の発進）の概念を導入し、ST毎のCO₂排出量を単位距離あたりの旅行時間・単位距離あたりの加速エネルギー当量で説明し、旅行距離を乗じることで、トリップ全体のCO₂排出量を算出する排出量推計式を構築している。加速エネルギー当量は、走行距離中の加速エネルギーの総和を指標化し、排出量推計式に組み込んでいる。加速エネルギー当量は理論的導出式との整合が概ねとれていることを確認している。

$$E = 0.3 \cdot K_C \cdot T + 0.028 \cdot K_C \cdot D + 0.056 \cdot K_C \cdot AEE \quad \dots (5-1-6)$$

ここに、 E はトリップにおけるCO₂排出量、 K_C は燃料消費量CO₂変換係数、 AEE は

加速エネルギー当量、 T は旅行時間、 D は旅行距離を表す。

個別車両のトリップ全体のCO₂排出量を算出する方法であり、地点別排出量の表現には適さない。

c)時間で平均して表現する排出量推計式

時間で平均して表現する考え方として、鹿島ら^{1) 3) 8)}のトリップセグメント排出量推計式(以下TSモデル)がある。TSは、発進から次の発進までを1TSと定義し、1トリップをTSに分割し、さらにTS内を加速度と速度によって加速区間、定速区間、減速区間、低速走行区間、停止区間の5つの走行モードに分割している。分割した走行モードごとに排出量を積算・平均することで、貨物車におけるNO_x排出量を高精度に近似できる推計式の構築を行っている(図5-1-2)。

この平均化して表現する考え方は、車群の地点別排出量を算出する際に有効である。

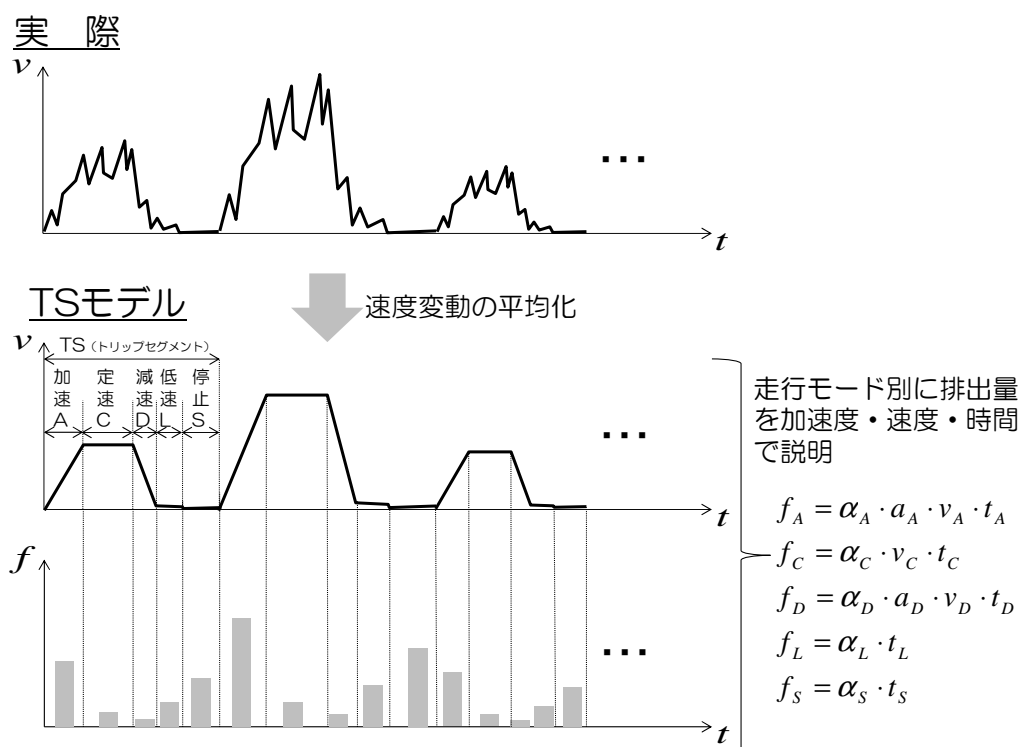


図5-1-2 TSモデルの概念図

(3) 既存の推計式の課題整理

a) TSモデルの優位性

本研究では、TSモデルを基本式として採用する。理由として次の2点をあげる。第1に、個別車両の車両挙動の時間変動を平均的に表現でき、車群の地点別排出量に拡張させ

る際に利便性が高いためである。第2に、発進から次の発進まで（1TS）を1単位としているため、交差点部の加減速といった車両挙動を考慮する際のスケールとして適しているためである。車両挙動は、地点によって傾向が見られ、交通量・信号サイクルから平均的に表現できる。例えば、信号上流は減速し、信号下流では加速する車両が多い等である。交通量・信号サイクルから地点別の走行モードを表現する際に、TSモデルの5つの走行モードで表現できていると拡張性が高いメリットが有る。

b) TSモデルの課題

前述したとおり、TSモデルには、道路構造上の要因である勾配の考慮、車両特性（車種・積載量）の一般化が行われていない。車種の違いの一般化については、横田ら³⁾が取り組んでおり、TSモデルのパラメータと回転部分の重量である等価慣性重量を比較し、パラメータを等価慣性重量の指数近似とすることで車種の違いを一般化している。しかし次の2点の課題が残る。第1に、等価慣性重量のデータは一般には手に入りにくいいため、実用に向かない。入手が容易な指標で一般化することが望ましい。第2に、等価慣性重量とパラメータの関係のみ考察しており、等価慣性重量が排出量に及ぼす影響の理論的考察に欠ける。

以上、既存の排出量推計式の整理を行い、排出量の時間変動の表現方法について①時刻別の排出量を表現する排出量推計式、②時間集計値を表現する排出量推計式、③時間で平均して表現する排出量推計式（TSモデル）の3つのタイプがあり、この内TSモデルが、交差点部の加減速といった車両挙動を考慮した地点別排出量を表現する際に適したスケールを有していることを明らかにした。既存のTSモデルは、勾配が考慮されていないこと、車両特性の異なる車種ごとに実走行データよりパラメータの推定を行う必要があり汎用性に欠けるといった課題があり、この点を改良する必要があることを明らかにした。

5. 2 勾配を考慮したTSモデルの構築

勾配を考慮したTSモデルの構築を行う。ここでは、自動車工学理論に基づいた車両にかかる抵抗力と推進力のつりあいの関係式から理論的に導かれる燃料消費量算出式を基に、排出量推計式を導出する。導出した式形の比較式形として、勾配項を説明変数として加えた重回帰式と、勾配を考慮しない式形においてパラメータを推定し、説明力 t 値の比較を行う。導出した式形で勾配の感度を確認する。

5. 2. 1 勾配を考慮する方法

勾配を考慮する際、理論式との整合を確保したいため、自動車工学⁹⁾に基づく、車両にかかる推進力と抵抗力のつり合い式から燃料消費量を表す式を導出する。

自動車に作用する総抵抗力として転がり摩擦抵抗、空気抵抗、勾配による抵抗、加速抵抗が考えられる。転がり摩擦抵抗はタイヤと路面の摩擦抵抗、車輪を支える軸受けの摩擦抵抗、タイヤが回転する際の空気抵抗が含まれ、車両重量に転がり摩擦係数を乗じて算出される。空気抵抗は車体表面に空気の粘性により発生する摩擦抵抗と、表面積に受ける正圧の抵抗の和である。前面投影面積に空気摩擦係数を乗じた値に速度の2乗を乗じて算出される。勾配による抵抗は車両重量と勾配の傾斜角度により決定される。加速抵抗は車軸やタイヤ、歯車など全ての回転部位に生じる慣性力であり、車両重量+回転部位の慣性モーメントに加速度を乗じて表せる。

以上の転がり摩擦抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、加速抵抗の総和を式(5-2-1)で表す

$$R_t = \mu Mg + kv^2 + Mg \sin \theta + (M + m)a \quad \dots (5-2-1)$$

M : 車体重量[kg]、 R_t : 車に作用する総抵抗力、 a : 加速度 [m/s^2]、 v : 速度 [m/s]、 μ : 転がり摩擦係数、 k : 空気摩擦係数と全面投影面積の積、 θ : 傾斜角度、 m : 回転部分相当質量 (軸やタイヤ、歯車等全ての回転部分の完成モーメントを質量換算したもの) [ton]を表す

車の推進力は実効トルクをタイヤの有効半径で除して求められる。実効トルクは最終減速比、総伝達効率、実効出力を乗じた値をタイヤの回転数で割って求められる。車の推進力は式(5-2-2)で表せる。

$$T_f = \frac{Q_e}{R} = \frac{r \cdot \eta \cdot P}{R \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{r}{n \cdot 2\pi R} \cdot \varepsilon \cdot \eta \cdot H \cdot f_t = \frac{\varepsilon \cdot \eta \cdot H \cdot f_t}{v} \quad \dots (5-2-2)$$

ここに、 T_f : 車の推進力 $T_f = \frac{Q_e}{R}$ 、 Q_e : 実行トルク [$N \cdot m$] $Q_e = \frac{r\eta P}{2\pi n}$ 、 P : 実行出力

[W] $P = \varepsilon H f_t$ 、 R : タイヤの有効半径[m]、 r : 最終減速比、 η : 総伝達効率、 ε : エンジンの正味熱効率、 f_t : 単位時間あたりの燃料供給量[cc/s]、 H : ガソリンの熱当量[j/cc]、 n : タイヤの回転数 $n = \frac{vr}{2\pi R}$ を表す。

自動車に作用する総抵抗力式 (5-2-1) = 自動車の推進力式 (5-2-2) のつり合い関係より式(5-2-3)が導かれる。

$$f_t = \frac{\mu Mg + Mg \sin \theta}{\varepsilon \cdot \eta \cdot H} \cdot v + \frac{\kappa}{\varepsilon \cdot \eta \cdot H} \cdot v^3 + \frac{(M+m)a}{\varepsilon \cdot \eta \cdot H} \cdot v \quad \dots (5-2-3)$$

さらに、車両別サフィックスを導入し、両辺に単位時間を乗じて走行時間あたりの燃料消費量に整理すると式 (5-2-4) が導かれる。

$$f_i = \frac{(\mu + \sin \theta) \cdot M_i \cdot g}{\varepsilon_i \cdot \eta_i \cdot H_i} \cdot v_i \cdot t_i + \frac{\kappa}{\varepsilon_i \cdot \eta_i \cdot H_i} \cdot v_i^3 \cdot t_i + \frac{M_i}{\varepsilon_i \cdot \eta_i \cdot H_i} \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i \quad \dots (5-2-4)$$

ここに、 f_i : 車両*i*の走行時間あたり燃料消費量、 i : 車両番号を表す。

ここで式 (5-2-4) の第1項は転がり摩擦抵抗による走行時間当たりの燃料消費量、第2項は空気抵抗による走行時間当たりの燃料消費量、第3項は加速抵抗による、走行時間当たりの燃料消費量を表している。

式 (5-2-4) から勾配を残し、転がり摩擦抵抗、空気抵抗について、車種による違いが微小であると考えられることから無視し、整理すると式 (5-2-5) を導ける。転がり摩擦抵抗、空気抵抗を無視する理由は次のとおりである。

第1に、3つの項を含めた重回帰式では統計的に有意なパラメータ推定ができないこと。3つの項を含めて実走行データを用いてパラメータ推定を行った結果、空気抵抗項のパラメータが負の値となる等、現象を再現できない結果となった。3つの抵抗を考慮してパラメータを推定すると、前述のとおり多重共線性の問題が発生する可能性があり、極力1つの項で説明できる推計式を導出したいためである^{*2}。

第2に、加速抵抗項のみで説明した場合でも十分な説明力が得られること。加速抵抗のみで説明した場合のパラメータの方が3つの項で説明した場合よりも説明力が高かった。係数についても加速抵抗の係数が他の係数より大きく、排出量に加速抵抗が寄与する割合が高かった。

第3に、転がり摩擦抵抗や空気抵抗は車種によって生じる差が加速抵抗と比べると微小であると考えられること。

$$f_i = \frac{M_i}{\varepsilon_i \cdot \eta_i \cdot H_i} (a_i + g \cdot \sin \theta) v_i \cdot t_i \quad \dots (5-2-5)$$

ここで、 $\alpha_i = \frac{M_i}{\varepsilon_i \eta_i H_i}$ と置き、 α を燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量別に最小二乗法で推定する。燃料消費量とNO_x排出量・PM排出量を同じ式形で表現する理由は次のとおりである。排気ガスの基となるのは燃料と空気であり、NO_xとPMの量も燃料消費量に依存するため、同じ式で推定できると考えられる。ただし、運転操作により空気と燃料の比率（空燃比）が変化し排出量に差が生じる可能性がある。この点について走行モードを5つに分けて排出量推計式化することで対応している。

さらに、勾配について、 $\sin \theta$ は θ が微小であるため、 $grad$ (%) で近似し、式 (5-2-6) を導出する。

$$f_i = \alpha (a_i + g \cdot grad) v_i t_i \quad \dots (5-2-6)$$

5. 2. 2 式形の検討

勾配の考慮の仕方による推計式の説明力や係数の大きさに関する比較を行うため、①勾配を考慮していない既存の式 (5-2-7) と、勾配抵抗を考慮した式形として、②既存の式形に勾配の項を加えた式 (5-2-8) と、③理論的に導出した式 (5-2-9) の3つの式形についてパラメータを推定し、式形の検討を行う。

式形①は既存のTSモデルの式形である。

$$\begin{aligned} f_i^A &= \alpha 1_i^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A \\ f_i^C &= \alpha 1_i^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C \\ f_i^D &= \alpha 1_i^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D \\ f_i^L &= \alpha 1_i^L \cdot t_i^L \\ f_i^S &= \alpha 1_i^S \cdot t_i^S \end{aligned} \quad \dots (5-2-7)$$

ここに、 f_A : 加速モードNO_x排出量、 f_C : 定速モードNO_x排出量、 f_D : 減速モードNO_x排出量、 f_L : 低速モードNO_x排出量、 f_S : 停止モードNO_x排出量、 $\alpha 1^A, \alpha 1^C, \alpha 1^D, \alpha 1^L, \alpha 1^S$: パラメータを表す。

式形②は既存の式 (5-2-7) に勾配項を加えたのみの式形である。

$$\begin{aligned}
f_i^A &= \alpha 1_i^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A + \alpha 2_i^A \cdot grad \\
f_i^C &= \alpha 1_i^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C + \alpha 2_i^C \cdot grad \\
f_i^D &= \alpha 1_i^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D + \alpha 2_i^D \cdot grad \\
f_i^L &= \alpha 1_i^L \cdot t_i^L + \alpha 2_i^L \cdot grad \\
f_i^S &= \alpha 1_i^S \cdot t_i^S
\end{aligned}
\tag{5-2-8}$$

ここに、 $grad$: 勾配[%]を表す。

式形③は、式(5-2-6)を各モードに変形した式形である。

加速、減速区間については式(5-2-6)をそのまま適用する。ここで、実走行データの加速度の値は実際に勾配から影響を受けた上で決定された値であり、加速度データの中に今回考慮しようとしている勾配抵抗の影響が含まれていると考えられる。本来であれば、式(5-2-6)の括弧内を展開し2つのパラメータ(加速度の項、重力加速度と勾配の項)の推定を行い、関係を明らかにすることが望ましい。しかし、この変数同士に相関があるため、多重共線性の問題が生じることが想定されるため、今回は勾配の項を含んだ加速度の項で推定を行う。

定速モードの式を導出する際は、加速度が無いため、 $a_i = 0$ となる。そのため、勾配の項の符号が直接推計結果に影響してしまい、推計結果が負になる等、現実と整合しない場合が生じる。これを避けるため、勾配を表す項を0~1の値となるよう基準化を行っている。実際の道路勾配がほぼ±10%以内であることからこの範囲での基準化を行っている。

低速モードは定速の式から速度項を無くし、時間と勾配の関数としている。

停止モードは低速時の式から勾配を無くし時間のみ関数としている。

$$\begin{aligned}
f_i^A &= \alpha 1_i^A \cdot (a_i^A + g \cdot grad) \cdot v_i^A \cdot t_i^A \\
f_i^C &= \alpha 1_i^C \cdot (1 + 10 \cdot grad) \cdot v_i^C \cdot t_i^C \\
f_i^D &= \alpha 1_i^D \cdot (a_i^D + g \cdot grad) \cdot v_i^D \cdot t_i^D \\
f_i^L &= \alpha 1_i^L \cdot (1 + 10 \cdot grad) \cdot t_i^L
\end{aligned}
\tag{5-2-9}$$

5. 2. 3 データ

使用するデータ^{※3}は平成15年に車載型排ガス計を用いて計測した実走行データである。データの詳細を表5-2-1に示す。

採取データは、車載器により、走行経路を走行中の測定項目を0.5秒間隔で測定している。測定項目は燃料消費量、NOx排出量、PM排出量、加速度、速度、時間、勾配である。

走行経路は、神保町をスタートし、23区内の一般道35kmを走行し、再び神保町に

戻る経路で測定したデータで分析を行う。

積載は満載されている状態で車両総重量5.8tのいすゞエルフで測定している。表5-2-2に車両の諸元を示す。

表5-2-1 データの説明

走行調査 車載型排ガス計データ 環境省委託 平成15年度 使用過程車(株) 数理計画	
採取データ	燃料消費量, NO _x 排出量, PM排出量, 加速度, 速度, 時間, 勾配, が0.5秒間隔
走行経路	神保町-後樂園-護国寺-新宿 -渋谷-青山1丁目-神宮外苑 -青山1丁目-日比谷-銀座-浅草 -上野-秋葉原-神保町 (図5-2-2)
積載の有無	積載有
採取日	2003/11/17, 18, 27の3日間
採取時間	9:00~16:00
計測方法	NO _x センサー(MEXA-120NO _x)、オパシメーターO ₂ センサーにより排気管出口部の値を計測し、エンジン回転数と排気量の関係から検出遅れ時間を補正している。

表5-2-2 エルフ車両諸元

車名	いすゞ
通称名	エルフ
燃料等	軽油 直噴式
型式(識別記号)	KK
初度登録	H12/8
規制年	H10
車両重量(kg)	3710
乗車定員(人)	3
最大積載量(kg)	2000
総重量(kg)	5875
排気量(L)	4.57
吸気方式	NA
EGR	○

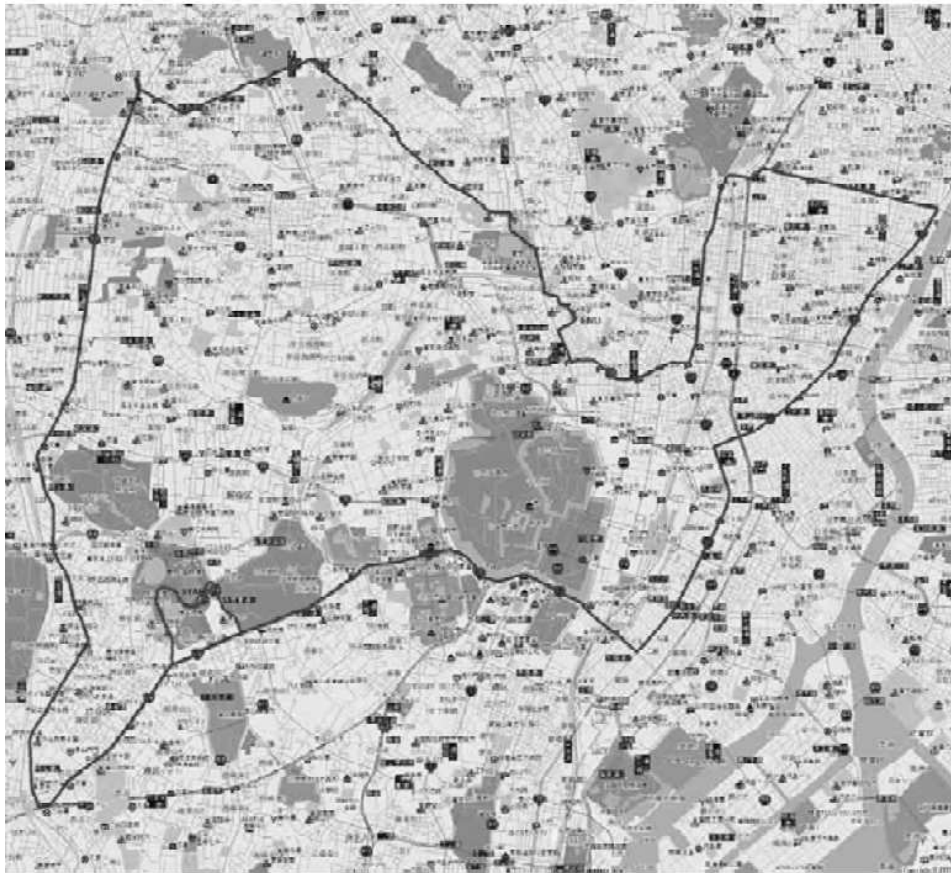


図 5-2-2 走行経路図

この実走行データを排出量推計式構築のため、表 5-2-3 の TS データ抽出条件にもとづき TS データを抽出する^{*4}。分割した実走行データでは、走行モードは多数考えられ、再加速、再減速がいくつも存在する。TS データでは、1 TS 内では加速区間、定速区間、減速区間、低速区間、停止区間は 1 度であると定義し、再加速、再減速時間は加速区間、減速区間に含まれる。

表 5-2-3 TS データ抽出条件

加速区間	速度 > 5 [km/h] , 0.14[m/s ²] < 加速度
定速区間	速度 > 5 [km/h] , -0.14[m/s ²] < 加速度 < 0.14[m/s ²]
減速区間	速度 > 5 [km/h] , 加速度 < -0.14[m/s ²]
低速区間	0[km/h] < 速度 < 5[km/h]
停止区間	速度 = 0[km/h]

5. 2. 4 パラメータ推定

3つの式形についてパラメータの推定結果を表 5-2-4 ~ 5-2-6 に示す。
式形②③は、全ての走行モードにおいてパラメータの符号は現象と整合している。t 値

も全ての走行モードにおいて有意である。決定係数は③が低い値であるが、どちらも説明力は高い。決定係数が②より③のほうが低い原因の一つとして、重力加速度を 9.8[m/s²]で推定していることが挙げられる。前述したとおり、実走行データの加速度の値は実際に勾配から影響を受けた上で決定された値であり、加速度データの中に今回考慮しようとしている勾配抵抗の影響が含まれていると考えられる。今後、重力加速度のキャリブレーションを行いさらに当てはまりの良い排出量推計式を検討することが課題として残る。

式形は、説明力に大差が無いこと、勾配の項を加えたのみの②式に比べ、③式は力学的特性に基づき導出されており、理論的に妥当であることから③式を採用する。また、本排出量推計式において加速度と勾配の項は独立であり、勾配の変化に応じて加速度と速度が内生的に変化する排出量推計式ではないことに留意が必要である。

表 5-2-4 燃料消費量推計式パラメータ推定結果

式形 (加速)	α_1 t 値	α_2 t 値	R^2
① $f_i^A = \alpha_1^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	1.7e-02 68.0		0.98
② $f_i^A = \alpha_1^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A + \alpha_2^A \cdot grad$	1.7e-02 68.6	2.7e-02 3.3	0.98
③ $f_i^A = \alpha_1^A \cdot (a_i^A + g \cdot grad) \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	1.7e-02 33.7		0.95
式形 (定速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^C = \alpha_1^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	1.4e-03 23.8		0.85
② $f_i^C = \alpha_1^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C + \alpha_2^C \cdot grad$	1.7e-03 20.7	2.1e-01 3.6	0.88
③ $f_i^C = \alpha_1^C \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	1.7e-03 19.6		0.85
式形 (減速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^D = \alpha_1^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-6.7e04 -16.4		0.73
② $f_i^D = \alpha_1^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D + \alpha_2^D \cdot grad$	-7.0e-04 -13.8	2.0e-02 3.8	0.79
③ $f_i^D = \alpha_1^D \cdot (a_i^D + g \cdot grad) \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-7.2e-04 -13.2		0.75
式形 (低速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^L = \alpha_1^L \cdot t_i^L$	2.5e-02 38.7		0.94
② $f_i^L = \alpha_1^L \cdot t_i^L + \alpha_2^L \cdot grad$	2.4e-02 32.5	1.7e-02 4.0	0.99
③ $f_i^L = \alpha_1^L \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot t_i^L$	2.5e-02 30.5		0.99

表5-2-5 NOx排出量推計式パラメータ推定結果

式形 (加速)	$\alpha 1$ t 値	$\alpha 2$ t 値	R^2
① $f_i^A = \alpha 1_i^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	5.0e-01 56.9		0.97
② $f_i^A = \alpha 1_i^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A + \alpha 2_i^A \cdot grad$	5.0e-01 47.7	4.1 3.5	0.97
③ $f_i^A = \alpha 1_i^A \cdot (a_i^A + g \cdot grad) \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	5.1e-01 33.6		0.95
式形 (定速)			
① $f_i^C = \alpha 1_i^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	2.8e-01 20.5		0.81
② $f_i^C = \alpha 1_i^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C + \alpha 2_i^C \cdot grad$	6.0e-02 17.3	6.9 2.8	0.84
③ $f_i^C = \alpha 1_i^C \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	6.0e-02 16.2		0.82
式形 (減速)			
① $f_i^D = \alpha 1_i^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-2.4e-02 -13.0		0.64
② $f_i^D = \alpha 1_i^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D + \alpha 2_i^D \cdot grad$	-2.6e-02 -10.4	8.5e-01 3.4	0.68
③ $f_i^D = \alpha 1_i^D \cdot (a_i^D + g \cdot grad) \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-2.7e-02 -10.2		0.65
式形 (低速)			
① $f_i^L = \alpha 1_i^L \cdot t_i^L$	6.0e-01 34.3		0.92
② $f_i^L = \alpha 1_i^L \cdot t_i^L + \alpha 2_i^L \cdot grad$	8.6e-01 17.6	6.3e-01 3.7	0.96
③ $f_i^L = \alpha 1_i^L \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot t_i^L$	8.9e-01 27.7		0.93

表5-2-6 PM排出量推計式パラメータ推定結果

式形 (加速)	α_1 t 値	α_2 t 値	R^2
① $f_i^A = \alpha_1^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	1.0e-02 37.23		0.93
② $f_i^A = \alpha_1^A \cdot a_i^A \cdot v_i^A \cdot t_i^A + \alpha_2^A \cdot grad$	1.0e-02 24.3	1.4e-01 3.2	0.92
③ $f_i^A = \alpha_1^A \cdot (a_i^A + g \cdot grad) \cdot v_i^A \cdot t_i^A$	1.0e-02 19.8		0.90
式形 (定速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^C = \alpha_1^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	1.1e-03 24.13		0.86
② $f_i^C = \alpha_1^C \cdot v_i^C \cdot t_i^C + \alpha_2^C \cdot grad$	7.3e-05 17.2	1.0e-01 2.0	0.84
③ $f_i^C = \alpha_1^C \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot v_i^C \cdot t_i^C$	1.3e-03 16.7		0.83
式形 (減速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^D = \alpha_1^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-2.0e-03 28.8		0.93
② $f_i^D = \alpha_1^D \cdot a_i^D \cdot v_i^D \cdot t_i^D + \alpha_2^D \cdot grad$	-2.0e-03 -21.8	9.0e-03 1.0	0.89
③ $f_i^D = \alpha_1^D \cdot (a_i^D + g \cdot grad) \cdot v_i^D \cdot t_i^D$	-2.0e-03 -21.3		0.89
式形 (低速)	α_1	α_2	R^2
① $f_i^L = \alpha_1^L \cdot t_i^L$	2.6e-02 65.81		0.98
② $f_i^L = \alpha_1^L \cdot t_i^L + \alpha_2^L \cdot grad$	2.5e-02 46.7	-4.5e-04 -0.2	0.97
③ $f_i^L = \alpha_1^L \cdot (1+10 \cdot grad) \cdot t_i^L$	2.5e-02 48.5		0.97

5. 2. 5 検証

ここでは、勾配を考慮した推計式の現況再現性の確認を行う。現況再現性の確認は、実測値と推計値の比較を1TS（発進から次の発進までの区間）及びモードごとに行う。

図5-2-2に1TSの燃料消費量（FUEL）、NO_x排出量、PM排出量の実測値と推計値の散布図を示す。

燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量全てにおいて45°線上に分布しており、実測値と推計値の相関係数は燃料消費量が0.93、NO_x排出量が0.93、PMが0.88と9割程度の説明力を持っている。このことから、1TSの排出量は現況を再現出来ているといえる。

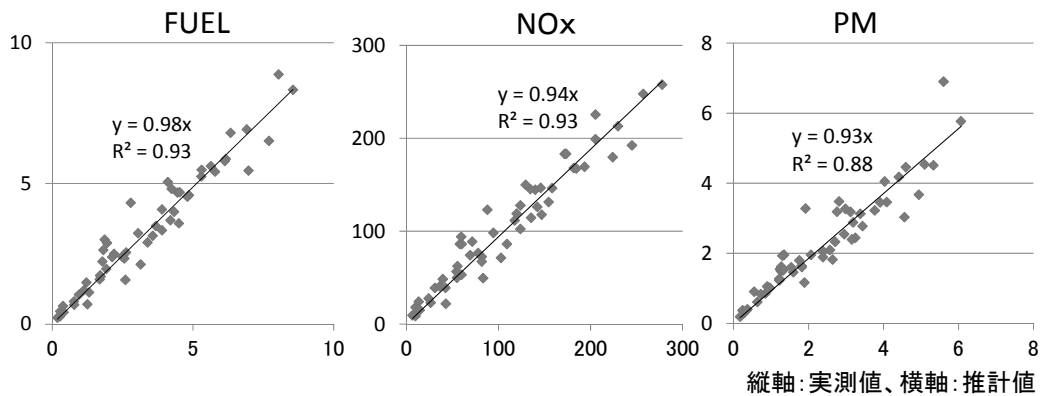


図5-2-2 勾配を考慮した推計式の1TSの実測値と推計値の散布図
(燃料消費量、NO_x排出量、PM排出量)

次に、図5-2-3に走行モード別の燃料消費量（FUEL）、NO_x排出量、PM排出量の実測値と推計値の散布図を示す。

加速モードでは、燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量全てにおいて45°線上に分布しており、推計値は実測値を再現できている。

定速モードでも燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量全てにおいて45°線上に分布しており、推計値は実測値を再現できている。

減速モードでは、燃料消費量とNO_x排出量が45°線から多少のバラつきがみられるものの、実測値と推計値の相関係数は燃料消費量が0.72・NO_x排出量が0.63であり、6割以上の説明力を持っているため、使用に問題はないと考えている。PM排出量は45°線上に分布しており、推計値は実測値を再現出来ている。

低速モードでも、燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量全てにおいて45°線上に分布しており、推計値は実測値を再現できている。

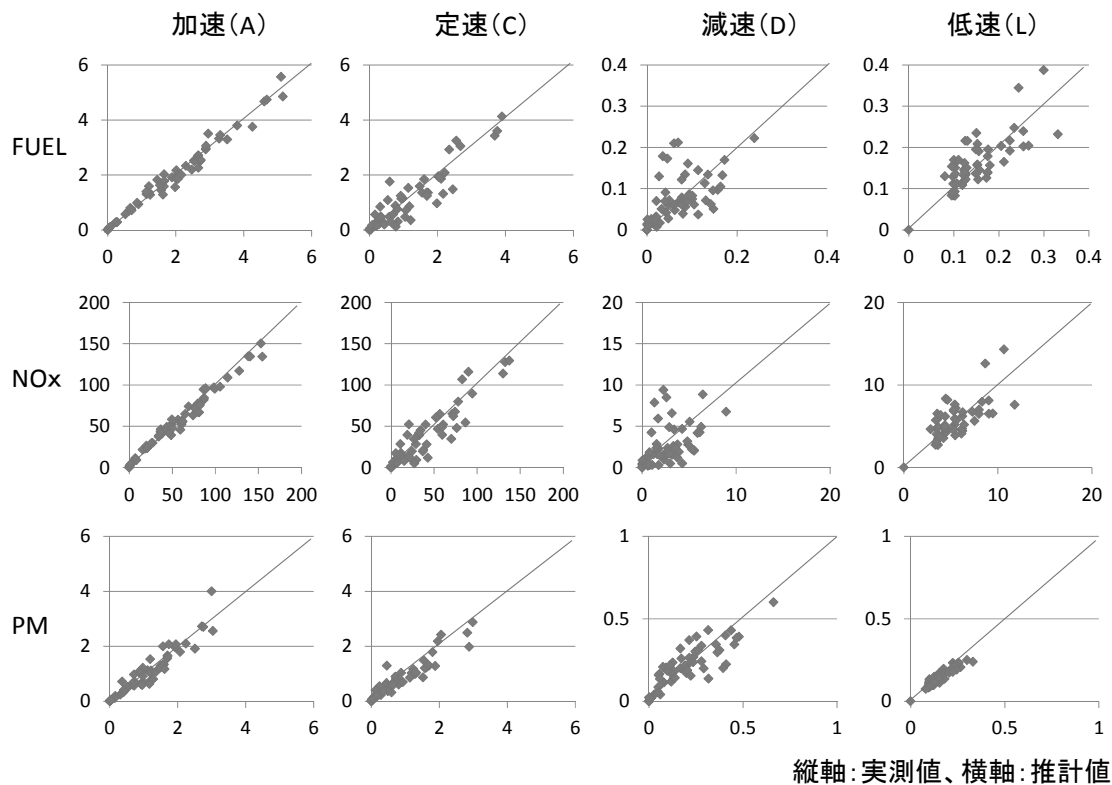


図5-2-3 勾配を考慮した推計式のモード別の実測値と推計値の散布図
(燃料消費量、NOx排出量、PM排出量)

以上、勾配を考慮したTSモデルの構築では、自動車工学上の燃料消費量の理論式をもとに、加速度項を勾配で補正することで勾配を考慮したTSモデルを導出した。実走行データを用いてパラメータ推定を行い、次の結果を得た。排出量推計式の説明力は、排出量の多い加速モードで燃料消費量 ($R^2=0.95$)、NOx排出量 ($R^2=0.95$)、PM排出量 ($R^2=0.90$) であり、パラメータのt値は有意な結果であった。実測値と推計値の比較から実測値の9割以上を再現できることを明らかにした。

5. 3 車両特性（車種・積載量）を一般化したTSモデルの構築

ここでは、抵抗力と推進力のつり合い式から一般化に有効な項目として車両総重量を選択し、車両総重量で車種・積載量の違いを一般化したTSモデルの構築を行う。

5. 3. 1 車両総重量で積載重量・車種の違いを一般化する方法

積載重量と車種の違いを一般化する際に課題となるのは、車種の違いを表す指標がエンジン性能や車体形状によって多様であることである。

エンジン性能の違いは、排気量や過吸器の有無・燃料噴射装置の違い等である。例えば、同じエンジン出力を出すために必要な排気量は、過吸器がない場合に比べある場合の方が少なくすむ。このため、単純に排気量を比較指標として用いることができない。このようにエンジン性能を表す指標を一般化するための指標に用いる際には注意が必要である。

車体形状の違いは、標準仕様で、平ボディの車両やコンテナを積んでいる車両、クレーンを積んでいる車両等、様々な車体形状がある。標準の車体形状で積んでいる装置の重さによって車両重量が異なり、排出量に違いが現れる。

本研究では、車種の違いを表す指標として車両総重量を用いる。車両総重量を用いた理由は以下のとおりである。

第1に、理論的な排出構造を表現できる点である。多様なエンジン性能の違いは、最終的に車両を運動させるために必要な性能の組み合わせであり、運動する車両の総重量がエンジン性能を決めている。前節で示した排出量の理論式（5-2-5）を見ると、パラメータとして推定した α 内に車両総重量 M を含んでおり、理論上、車両を動かすのに必要なエネルギーの基となる燃料と車両総重量の関係は線形の関係にある。 α 内の車両総重量を入力値として与えることで理論的な排出構造を表現して一般化できると考えられる。

$$f_{ij} = \frac{M_j}{\varepsilon_i \eta_i H_i} (a_i + g \cdot \sin \theta) v_i t_i \quad \dots (5-2-5)$$
$$\alpha_i = \frac{M_i}{\varepsilon_i \eta_i H_i}$$

第2に、車両総重量に積載重量を含めることで、車両の標準装備（平・コンテナ・クレーン等）の違いや積載量の違いを考慮することができる利便性があるためである。積載量が増えると燃料消費量が増え、排出ガス量も増加する。質量と燃料消費量は線形の関係にあるため、車体重量や積載量を外生的に与えることで、積載量の違いを表現することができる。

ここで、 β_{im} を排出物質 m 別に導入し、式（5-2-9）を式（5-3-1）に変形する。 β_{im} には物質別の係数の調整、 $\varepsilon_i \eta_i H_i$ の考慮、排出量推計式上は無視した転がり摩擦抵抗・

空気抵抗による影響等、実測値との調整の役割を持たせている。

$$\begin{aligned}
 f_i^A &= \alpha 1_i^A \cdot (a_i^A + g \cdot grad) \cdot v_i^A \cdot t_i^A \\
 f_i^C &= \alpha 1_i^C \cdot (1 + 10 \cdot grad) \cdot v_i^C \cdot t_i^C \\
 f_i^D &= \alpha 1_i^D \cdot (a_i^D + g \cdot grad) \cdot v_i^D \cdot t_i^D \\
 f_i^L &= \alpha 1_i^L \cdot (1 + 10 \cdot grad) \cdot t_i^L
 \end{aligned}
 \quad \dots (5-2-9)$$

$$\begin{aligned}
 f_{Ajm} &= \beta_{Am} M_j (a_A + g \cdot grad) v_A t_A \\
 f_{Cjm} &= \beta_{Cm} M_j (1 + 10 \cdot grad) v_C t_C \\
 f_{Djm} &= \beta_{Dm} M_j (a_D + g \cdot grad) v_D t_D \\
 f_{Ljm} &= \beta_{Lm} M_j (1 + 10 \cdot grad) t_L \\
 f_{Sjm} &= \beta_{Sm} M_j t_S
 \end{aligned}
 \quad \dots (5-3-1)$$

ここに、 $f_{Ajm}, f_{Cjm}, f_{Djm}, f_{Ljm}, f_{Sjm}$: 走行モード別 (A 加速、C 定速、D 減速、L 低速、S 停止)・車種別・物質別の 1 T S あたりの排出量、 $\beta_{Am}, \beta_{Cm}, \beta_{Dm}, \beta_{Lm}, \beta_{Sm}$: 走行モード別、物質別のパラメータを表す。

式 (5-3-1) から最小二乗法により排出物質別にパラメータ β を推定する。

5. 3. 2 データ

データは 5. 2. 3 で用いた平成 15 年の実走行データを使用する (表 5-3-1)。平成 15 年の実走行データでは、異なる 8 車種が定められた経路 1~3 を走行したデータが採取されている。ただし経路によって積載条件が変わり、経路 1 については積載有のみで、経路 2、3 は積載の有無両方のデータが採取されている。(データ測定の詳細は APPENDIX 2 参照)

表 5-3-1 データの説明

走行調査 車載型排ガス計データ 環境省委託 平成 15 年度 使用過程車 (株) 数理計画	
走行経路	経路 1 : 都内一般道 経路 2 : 首都高速環状一号線 経路 3 : 一般道、東名高速道路、中央自動車道
積載の有無	経路 1 : 積載有のみ 経路 2 : 積載有、積載無 経路 3 : 積載有、積載無
採取データ	燃料消費量, NO _x 排出量, PM 排出量, 加速度, 速度, 時間, 勾配, が 0.5 秒間隔
採取日時	2003/9/11~2004/11/27 の内車種によって異なる 3 日間 9:00~16:00

表5-3-2に使用した車両の諸元表を示す。

車種は車両総重量2.8t～24tまでの8車種ある。8車種の単体規制の規制値が異なり、4車種が平成10年規制、2車種が平成11年規制、平成9年規制・平成6年規制がそれぞれ1車種ある。平成9～11年の車種は長期規制に区分され、平成6年規制の車種（ファイター）のみ短期規制に区分される。

車種別にパラメータを推定すると、規制値の違いによりパラメータに差が生じる^{*5}ため、ここではファイターを除く車種でパラメータの推定を行う。

表5-3-2 車両諸元表

車名	三菱	いすゞ	いすゞ	UD	UD	いすゞ	UD	ニッサン
通称名	ファイター	エルフ	ギガ	コンドル	ビッグサム	フォワード	コンドル	キャラバン
燃料等	軽油 直噴式	軽油 直噴式	軽油	軽油	軽油	軽油	軽油	軽油 副室式
型式	KC	KK	KL	KK	KL	KK	KK	KG
初度登録	H8/9	H12/8	H13/3	H12/1	H14/1	H12/3	H13/9	H9/9
規制年	H6	H10	H11	H10	H11	H10	H10	H9
車両重量(kg)	4350	3710	9550	5270	10340	4550	3640	1640
乗車定員(人)	2	3	2	2	2	2	3	3(6)
最大積載量(kg)	3500	2000	10300	2600	14500	3300	3000	1000(850)
総重量(kg)	7960	5875	19960	7980	24950	7960	6805	2805(2820)
排気量(L)	8.20	4.57	18.93	6.92	13.07	8.22	4.57	3.15
吸気方式	NA	NA	NA	Tc(IC)	Tc(IC)	NA	NA	NA
EGR	-	○	○	-	○	○	○	-

5. 3. 3 パラメータ推定

パラメータ β の推定結果を表 5-3-3 に示す。

まず、パラメータの符号は加速度が負の値を示す減速区間のみ負であり、その他の走行モードは正の値となっており、現象を再現できている。

次に、 β の値の大小関係を走行モード別に比較をする。PM 排出量の加速区間の値が NO_x 排出量の加速区間の値と比較し、相対的に小さい。これは、PM が加速時に発生しにくく、 NO_x が加速時に発生しやすいという、排出特性が現れた結果であると考えられる。PM は燃焼時に酸素が不足した不完全燃焼時に発生するため、アクセルペダルを踏みエンジンの燃焼室に酸素が十分に供給された状況では排出されにくい。一方、 NO_x は、酸素が十分にあり、高温、高圧縮下で発生するため、酸素が十分に供給される加速時に多く排出される。

t 値は全て有意な値を示しており、決定係数に関しても燃料消費量、 NO_x 排出量は 0.7~0.9、PM 排出量は 0.6~0.9 となっている。

表 5-3-3 パラメータ β 推定結果

	走行モード	パラメータ β	標準誤差	t 値	決定係数
燃料消費量	加速 (A)	1.78E-06	1.9.E-07	9.2	0.92
	定速 (C)	1.79E-07	2.6.E-08	6.9	0.87
	減速 (D)	-9.67E-08	1.1.E-08	-9.2	0.92
	低速 (L)	2.09E-06	3.1.E-07	6.1	0.84
	停止 (S)	9.35E-07	1.7.E-07	4.7	0.75
NO_x 排出量	加速 (A)	5.77E-05	5.9.E-06	9.6	0.92
	定速 (C)	6.06E-06	6.8.E-07	8.6	0.91
	減速 (D)	-3.20E-06	3.7.E-07	-9.6	0.92
	低速 (L)	6.35E-05	7.8.E-06	7.6	0.89
	停止 (S)	1.95E-05	4.2.E-06	4.1	0.70
PM 排出量	加速 (A)	6.48E-07	2.0.E-07	3.0	0.59
	定速 (C)	7.00E-08	2.0.E-08	3.3	0.61
	減速 (D)	-1.63E-07	3.5.E-08	-4.2	0.71
	低速 (L)	1.34E-06	2.0.E-07	6.1	0.84
	停止 (S)	7.97E-07	2.2.E-07	3.3	0.60

5. 3. 4 検証

車種の違いと積載有無の違いを車両総重量で一般化したことの検証を行う。検証では、車種や積載条件の異なる実測値と車種や積載条件を車両総重量で表現した推計値を比較し再現性を確認する。最初に全車種・全積載条件をプールした1 T S合計の実測値と推計値の比較を行い、走行モード別の比較、車種別の比較、積載有無別の比較を行う。

(1) 1 T S合計の実測値と推計値の比較

1 T S合計の燃料消費量 (FUEL)、NO_x排出量、PM排出量の実測値と推計値の散布図を図5-3-1に示す。

燃料消費量・NO_x排出量・PM排出量全てにおいて点は45°線上に分布しており、実測値と推計値の相関係数は燃料消費量が0.91、NO_x排出量が0.95、PMが0.88と9割程度の説明力を持っている。このことから、車種・積載量の違いを車両総重量で一般化したT Sモデルは、1 T Sの排出量の現況を再現出来ているといえる。

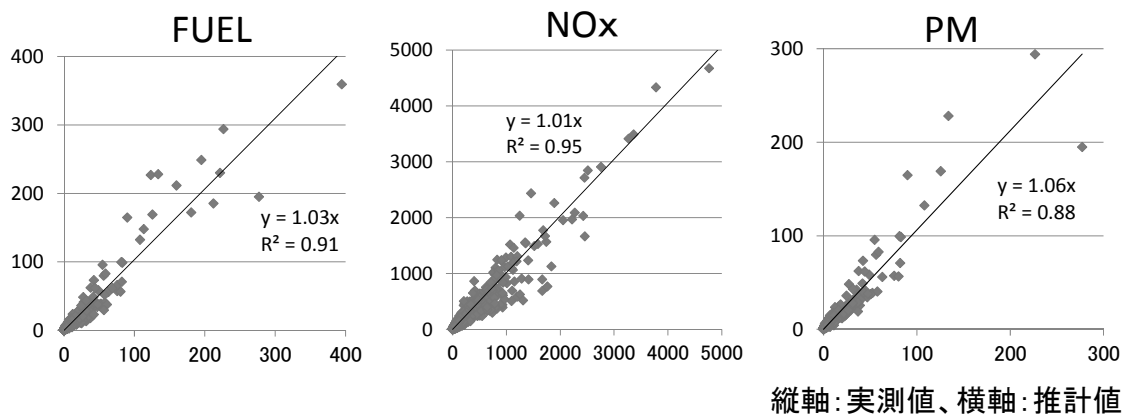


図5-3-1 1 T S合計の実測値・推計値

(2) 走行モード別の実測値と推計値の比較

走行モード別の燃料消費量 (FUEL)、NO_x排出量、PM排出量の実測値と推計値の散布図を図5-3-2に示す。

燃料消費量は、全ての走行モードで45°線上に分布しており、実測値を表現できている。低速や停止で多少バラつくが実測値と推計値の相関係数は0.7以上であり、使用には問題ないと考えている。

NO_x排出量は、全ての走行モードで45°線上に分布しており、実測値を表現できている。

PM排出量は、加速・定速・低速・停止において45度線上から離れたところにも分布

が見られる。これは、推計式では表現できない車種や積載による排出の違いがあると考えられる。この点については（２）の車種別比較で考察する。

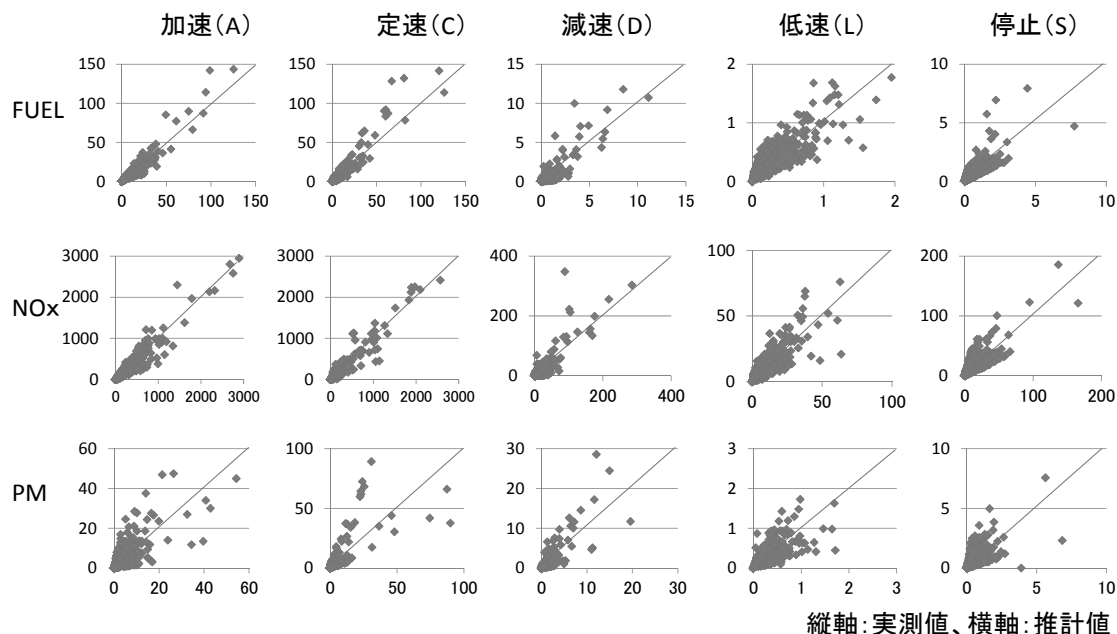


図 5-3-2 実測値・推計値の走行モード別比較

（３）車種別の実測値・推計値の比較

推計値が車種の違いを再現できていることを確認するために（２）で示した図 5-3-2 を車種別にプロットしたものを図 5-3-3 に示す。

燃料消費量は、車種によって偏りはなく全ての車種が 45° 線上に分布している。低速や停止で見られたバラつきにも車種による偏りは見られない。

NOx 排出量も、車種による偏りは見られず、車種による違いを表現できている。

PM 排出量は、車種によるバラつきが大きく、特に UD コンドルとギガが 45° 線上から離れていることがわかる。この 2 車種の車両諸元（表 5-3-2）をみても、規制値や装置に特段特徴的なものは見られない。実測値と推計値に差が生じた原因として、DPF 装着の有無が考えられる。本データを採取した平成 15 年は八都県市のディーゼル車走行規制が開始された年であり、PM を除去する機能を有す DPF を装着済みの車両とそうでない車両とが混在している可能性がある時期にあたるためであると考えられる。本モデル使用时には、DPF 装着の有無や性能の違いによるパラメータ違いに留意する必要がある。

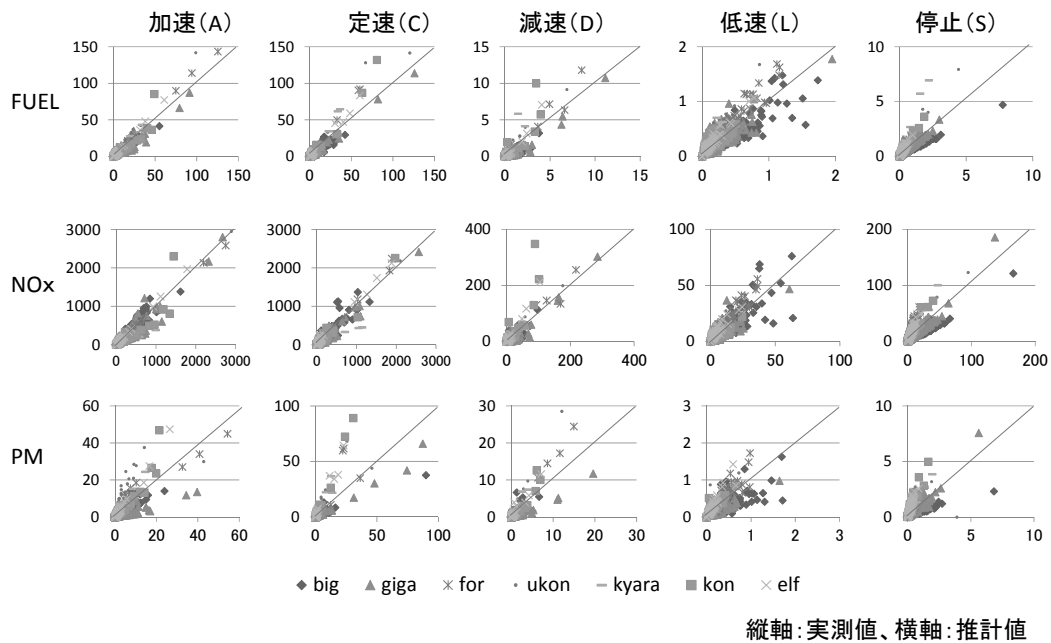


図5-3-3 実測値・推計値の車種別比較

(4) 積載有無別の実測値・推計値の比較

推計値が積載有無の違いを再現できていることを確認するために、(2)で示した図5-3-2を積載有無別にプロットしたものを図5-3-4に示す。

燃料消費量・NOx排出量・PM排出量ともに、積載有無による偏りはなく均等に45°線上に分布している。

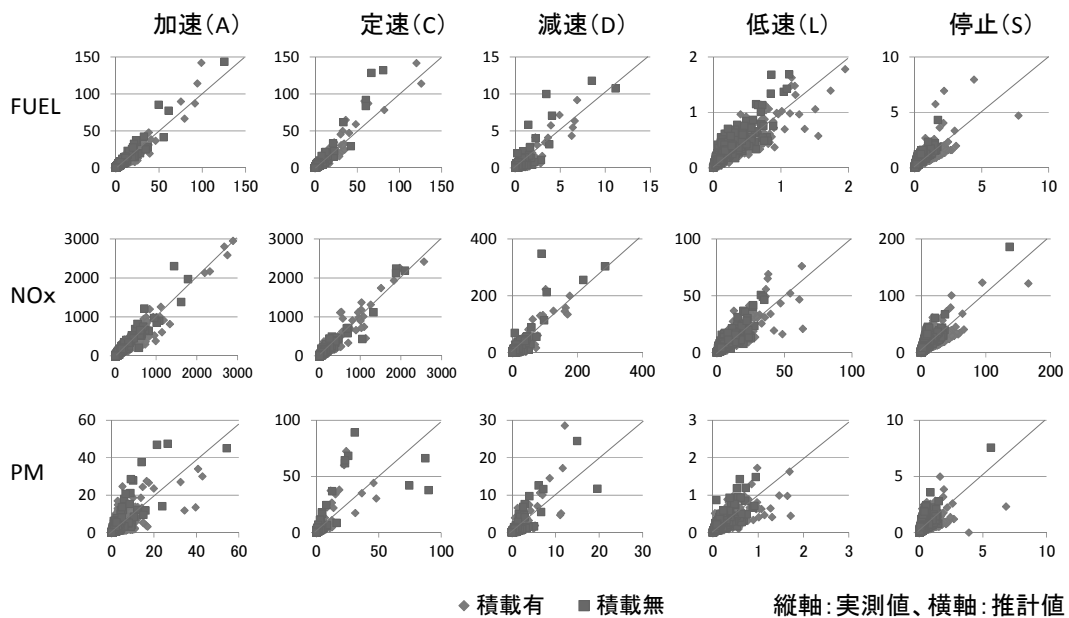


図5-3-4 実測値・推計値の積載有無別比較

以上、車種・積載量を一般化したTSモデルの構築では、自動車工学上の燃料消費量の

理論式をもとに、積載量の違いや車種の違いを車両総重量により一般化したTSモデルを導出した。実走行データを用いてパラメータ推定を行い、次の結果を得た。排出量推計式の説明力は、排出量の多い加速モードで燃料消費量 ($R^2=0.92$)、NO_x 排出量 ($R^2=0.92$)、PM 排出量 ($R^2=0.59$) であり、パラメータのt値は有意な結果であった。実測値と推計値の比較から実測値の9割以上を再現できることを明らかにした。

5.4 感度分析

ここでは、勾配・車種・積載量の違いを考慮したことにより、勾配・車種・積載量が排出量に及ぼす感度を示すため、勾配を変化させた場合、車両総重量（車種・積載量）を変化させた場合について感度分析を行う。また、従来の旅行速度別原単位による推計結果と、本推計式（TSモデル）による推計結果との比較を行う。

5.4.1 感度分析

(1) 方法

a),b)の2ケースの感度分析を行う。a)は勾配の感度を確認するため、勾配を-3%、3%を設定する。b)は車両総重量の感度を確認するため、車体重量を5t（エルフ級）・25t（ビクサム級）とした場合、積載を行った場合として、5t車は2tの積載を行った場合・15t車は15tの積載を行った場合を設定する（表5-4-1）。

表5-4-1 感度分析ケース

分析ケース	勾配[%]	車体量[t]	積載量[t]
a)勾配	-3%	5t車(エルフ級)	0
	3%	5t車(エルフ級)	0
	-3%	25t車(ビクサム級)	0
	3%	25t車(ビクサム級)	0
b)車両総重量	0%	5t車(エルフ級)	2t
	0%	25t車(ビクサム級)	15t
	0%	5t車(エルフ級)	0
	0%	25t車(ビクサム級)	0

対象区間通過時の走行モードは、60km/hで走行中の車両が一定の減速度で減速し、赤信号により60秒停止した後、再び60km/hまで一定の加速度で加速し、合計500mを走行するものとする。加速度、減速度は実走行データから平均値として0.4m/s²、-0.3m/s²とする（図5-4-1）。

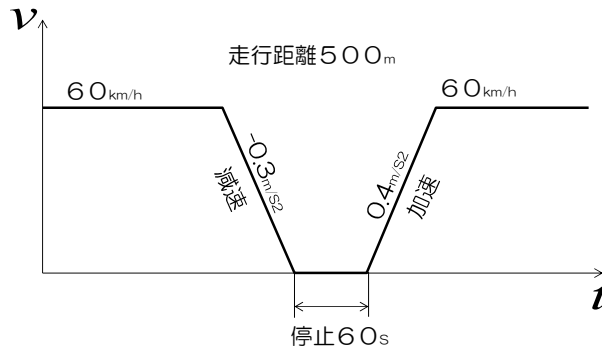


図 5-4-1 感度分析設定走行モード

(2) 結果

a) 勾配の感度分析

勾配の感度分析結果を図 5-4-2 に示す。

勾配 6% の増加（上り勾配）に対して 5 t 車の燃料消費量は 14.0%、NO_x 排出量は 13.6%、PM 排出量は 8.0% 変化し、25 t 車の燃料消費量は 15.8%、NO_x 排出量は 16.9%、PM 排出量は 7.6% 変化する。

燃料消費量・NO_x 排出量に比べ、PM の感度が低い理由は、NO_x と PM の排出特性の違いが推計式で表現されていると考えられる。勾配が増加するとアクセルを開度が増えるため、空気を取り込む量が増える。空気不足の不完全燃焼下で発生する PM は勾配が増加してアクセル開度が増すと排気量の増加に応じて排出量は増加するが、増加の仕方は NO_x に比べて低くなる。

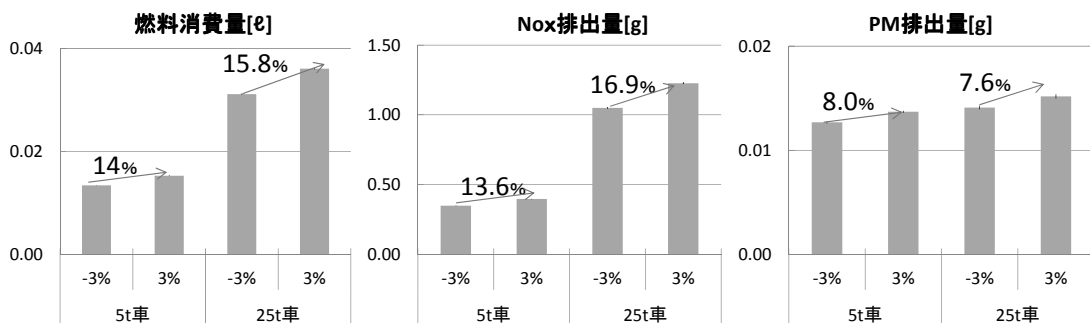


図 5-4-2 勾配感度分析結果

b) 車両総重量の感度分析

車両総重量の感度分析結果を図 5-4-3 に示す。

車両総重量 400% の増加（5 t 車と 25 t 車の差）に対して積載無の燃料消費量は 134%、NO_x 排出量は 230%、PM 排出量は 11% 増加し、積載有の燃料消費量は 230%、NO_x 排出量は 320%、PM 排出量は 51% 増加する。

車両総重量34%の増加（5t車の積載有無の差）に対して燃料消費量は16.7%、NO_x排出量は24.6%、PM排出量は7.2%増加する。

車両総重量58%の増加（25t車の積載有無の差）の燃料消費量は64.6%、NO_x排出量は73.5%、PM排出量は45.7%増加する。

車両総重量の増加に対する感度が、燃料消費量・NO_x排出量に比べPM排出量が小さい理由は、NO_xとPMの排出特性の違いが現れたものと考えられる。車両総重量は主に加速・定速時に負荷となる。加速・定速時に多く排出されるNO_xは車両総重量の影響を受けやすいが、PMは減速・低速・停止時に排出されやすいため、NO_xに比べ車両総重量の影響を受けにくい。

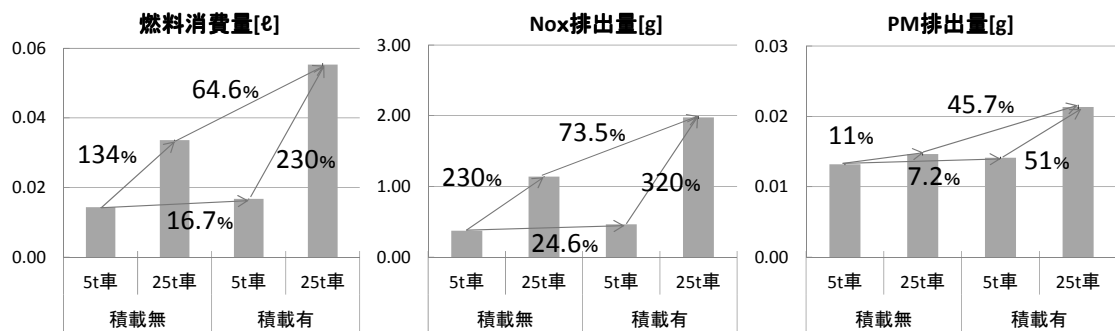


図5-4-3 車両総重量感度分析

5.4.2 従来手法との比較

従来用いられている旅行速度別原単位⁶⁾⁷⁾の算出結果との比較を行う。TSモデルの算出結果と原単位による算出結果の比較を図5-4-4に示す。原単位は長期規制適合車のものが入手できなかったため、長期規制適合車で推定したTSモデルによる算出結果と比較基準を合わせるために、原単位を規制値の比率により長期規制適合車並に補正して比較している。

NO_x排出量はTSモデルの算出結果が1.24gに対し、原単位の算出結果は0.27gであり約77%少なく算出される。PM排出量はTSモデルの算出結果が0.020gに対し、原単位の算出結果は0.017gであり約14%少なく算出される。

NO_x排出量の排出原単位との差は減速、停止、加速を行うことで生じる排出増分であり、一定速度で走行させた場合に推計した値はほぼ排出原単位と一致する。交差点部等停止・発進が行われる場合を評価する際には排出原単位は過小に評価されることがわかる。PM排出量の排出原単位との差はNO_xと比較して小さい。これは、前述の通り、加速と定速で排出されやすいNO_xと停止や減速時に発生しやすいPMの排出特性の違いが現れたものと考えられる。

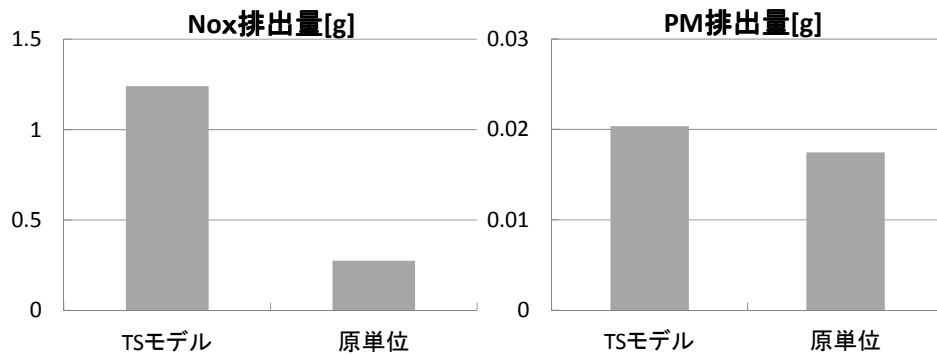


図 5-4-4 TSモデルと旅行速度別原単位の算出結果比較

以上、構築した排出量推計式を用いて、勾配、積載量を変化させた感度の確認、旅行速度別原単位による推計との比較を行い旅行速度別原単位による推計値よりも明確な感度が確認できた。これにより、交差点部等の加減速を表現できること、勾配や積載量の考慮の必要性を示した。

5.5 まとめ

(1) まとめ

本章では、個別車両の排出量に車両挙動・車両特性・道路構造が及ぼす影響を明らかにするために、個別車両の実走行データを用いた排出量推計式の分析を行った。ここでは、既存の排出量推計式の整理、勾配を考慮したTSモデルの構築、車種・積載量を車両総重量で一般化したTSモデルの構築を行い、考慮した勾配・車種・積載量の感度分析を行った。その結果以下の知見を得た。

第1に、既存の排出量推計式の整理を行い、排出量の時間変動の表現方法について①時刻別の排出量を表現する排出量推計式、②時間集計値を表現する排出量推計式、③時間で平均して表現する排出量推計式（TSモデル）の3つのタイプがあり、この内TSモデルが、交差点部の加減速といった車両挙動を考慮した地点別排出量を表現する際に適したスケールを有していることを明らかにした。

第2に、勾配を考慮したTSモデルの構築では、自動車工学上の燃料消費量の理論式をもとに、加速度項を勾配で補正することで勾配を考慮したTSモデルを導出した。実走行データを用いてパラメータ推定を行い、次の結果を得た。排出量推計式の説明力は、燃料消費量（ $R^2=0.95$ ）、 NO_x 排出量（ $R^2=0.95$ ）、PM排出量（ $R^2=0.90$ ）であり、パラメータのt値は有意な結果であった。実測値と推計値の比較から実測値の9割以上を再現できることを明らかにした。

第3に、車種・積載量を一般化したTSモデルの構築では、自動車工学上の燃料消費量の理論式をもとに、積載量の違いや車種の違いを車両総重量により一般化したTSモデル

を導出した。実走行データを用いてパラメータ推定を行い、次の結果を得た。排出量推計式の説明力は、燃料消費量 ($R^2=0.92$)、 NO_x 排出量 ($R^2=0.92$)、PM 排出量 ($R^2=0.59$) であり、パラメータの t 値は有意な結果であった。実測値と推計値の比較から実測値の9割以上を再現できることを明らかにした。

第4に、構築した排出量推計式を用いて、勾配、積載量を変化させた感度の確認、旅行速度別原単位による推計との比較を行い、旅行速度別原単位による推計値よりも明確な感度が確認できた。これにより、交差点部等の STOP&GO 等を表現できること、勾配や積載量の考慮の必要性を示した。

以上、交差点部の地点別排出量を表現する際に TS モデルが有効であること、加速度項で勾配を補正することで勾配を考慮できること、車両総重量で車種・積載量を一般化できることから、局所汚染評価手法で考慮すべき車両挙動・車両特性・道路構造が個別車の排出量に及ぼす影響を表現できる排出量推計式を構築できたといえる。

このことは、各モードの平均加速度・平均速度・時間・勾配・車両総重量・パラメータがわかれば個別車の排出量を算出できることを意味している。

(2) 今後の課題

今後の課題として次の4点をあげる。

第1に、規制値によりパラメータに差が生じるためパラメータ推定を行う際に留意する必要がある。規制値別にパラメータを推定すれば、規制値を検討する際の事前評価に本排出量推計式を応用することも可能であると考ええる。

第2に、自動車メーカーや車種により、さまざまなエンジン機構・排ガス浄化システムが採用されている。そのため、車種により勾配・車両総重量の変化に対する感度が異なる可能性があり、推計の際に留意する必要がある^{※6}。

第3に、規制や対策の事後評価として、既存の統計から上記 TS モデルによる推計に必要なデータを生成することがあげられる。その際、既存の交通流モデルとの連携や次章で述べる車両挙動の平均的表現から TS モデルに必要なデータ(各走行区間の加速度、速度、時間、車両総重量、道路勾配データ)を作成することが課題となる。

補注

※1 実際に、速度の3次関数でパラメータを推定した結果（表1式形①）、空気抵抗項のパラメータが負になる。これは、空気抵抗の増加と共に排出量が減少することを示し、現象を再現できていない。変数同士の相関が高いために多重共線性が現れている可能性がある。そこで、両辺を $v_i \cdot t_i$ で割ることで変数同士の相関を無くすことを試みた式形②でパラメータを推定した。しかし、説明変数が不足するため、説明力が得られなかった。

表1 NOx排出量推計式パラメータ推定結果（エルフ，経路1，積載有）

式形（加速）	α_1	α_2	α_3	R^2
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i + \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$	0.0296 0.290	-0.05 -1.5	1.53 4.6	0.92
② $f_i / v_i \cdot t_i = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot v_i^2 + \alpha_3 \cdot a_i$	3.093e-0 1 4.3	-1.977e-0 4 -3.4	1.117e+0 0 7.9	0.64
式形（定速）				
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i$	1.334e-0 1 8.7	8.674e-04 0.05	0	0.77
② $f_i / v_i \cdot t_i = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot v_i^2$	2.106e-0 1 10.5	-3.972e-0 5 -1.7	0	0.04
式形（減速）				
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i + \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$	0.646 0.646	-0.014 -2.2	-0.068 -1.48	0.41
② $f_i / v_i \cdot t_i = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot v_i^2 + \alpha_3 \cdot a_i$	5.563e-0 2 4.3	-1.745e-0 5 -1.466	6.467e-0 2 1.7	0.1

※2 ①摩擦抵抗・空気抵抗・加速抵抗の全ての項を含めた場合、②加速抵抗項のみの場合、③空気抵抗項のみの場合、④摩擦抵抗項のみの場合の4つの式形でパラメータを推定した結果を表2に示す。セル内上段がパラメータ α 、下段がt値を表す。車種はエルフ、経路1、積載有の場合の推定結果を示す。

推定の結果、全抵抗を含めた①では、加速時の空気抵抗のパラメータが負になっている。これは、空気抵抗が増加するとNOx排出量が減少すること意味しており、現象を再現できていない。この原因として、説明変数同士の相関が高いことによる多重共線性の影響が現れていると考えられる。2つ以上の項を用いると同様な結果が現れてしまう。

各抵抗項でパラメータを推定した場合、②の摩擦抵抗項のみの場合、③の空気抵抗のみの場合、④の加速抵抗のみの場合の全てにおいて、t値は有意な結果となり、説明力も高い結果となった。なかでも④加速抵抗項のみの場合が最も説明力が高かった。また、

係数の大きさについても加速抵抗項が最も大きく、加速抵抗が排出量に寄与する割合が大きいことがわかる。これらの結果は他の経路、積載の有無、車種によらず同様の結果が得られた。

3つの項を含めた重回帰式では統計的に有意なパラメータ推定ができないこと、加速抵抗項のみで説明した場合でも十分な説明力が得られること、加速抵抗の係数が他の係数より大きかったこと、ドライバが入力できる情報として加速度・減速度・速度を排出量推計式に反映できていることから、摩擦抵抗・空気抵抗を無視し加速抵抗項のみの式形を選択した。

表2 NOx排出量推計式パラメータ推定結果（エルフ，経路1，積載有）

式形（加速）	α_1	α_2	α_3	R^2
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i + \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$	0.0296 0.290	-0.05 -1.5	1.53 4.6	0.92
② $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i$	0.51 33.9			0.95
③ $f_i = \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i$		0.35 19.8		0.86
④ $f_i = \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$			1.52 40.8	0.96
式形（定速）				
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i$	1.334e-0 1 8.7	8.674e-04 0.05	0	0.77
② $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i$	0.144 20.7			0.87
③ $f_i = \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i$		0.10 12.6		0.72
④ 定速は加速度=1であるため②と同じ式形				
式形（減速）				
① $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i + \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i + \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$	0.646 0.646	-0.014 -2.2	-0.068 -1.48	0.41
② $f_i = \alpha_1 \cdot v_i \cdot t_i$	0.019 9.0			0.57
③ $f_i = \alpha_2 \cdot v_i^3 \cdot t_i$		0.012 7.0		0.45
④ $f_i = \alpha_3 \cdot a_i \cdot v_i \cdot t_i$			-0.051 -8.8	0.58

※3 入手したデータには、異なる8車種・3経路・積載有無の条件で計測したデータがあり、ここでは、1車種・1経路・積載有の場合を示すが、他の条件については APPENDIX 3に推定結果を示すので参照されたい。結果は全ての車種や条件でほぼ同じ結果となっ

た。

※4 TSデータ分割方法

[手順①] 0.5秒データを1秒データに変換

基データが0.5秒間隔で与えられており、計算の都合上1秒データに変換する。1秒データに変換する際に平均化を行っている。

[手順②] TSに分割

速度の値より、停止してから、発進するまでの区間を1TSとして、分割する。

[手順③] 以下の抽出条件でTS内を5つの走行区間に分割

加速区間 速度>5[km/h], 0.14[m/s²]<加速度

定速区間 速度>5[km/h],

-0.14[m/s²]<加速度<0.14[m/s²]

減速区間 速度>5[km/h], 加速度<-0.14[m/s²]

低速区間 0[km/h]<速度<5[km/h]

停止区間 速度=0[km/h]

[手順④] 走行区間ごとに、平均加速度、平均速度、燃料消費量、NO_x排出量、PM排出量を算出する。

※5 車種別にパラメータを推定した結果、短期規制適合車(ファイター)のみ異なる結果となった。ここでは同等クラスの長期規制適合車(フォワード)とのパラメータを比較する。表3にNO_x排出量推計式パラメータを表4にPM排出量パラメータを示す。NO_xについては短期規制適合車に対し長期規制適合車は0.2~1.5倍程度の値となっているが、PMについては1.5~3倍の差が現れる。誤差分を加えても有意な差が現れたといえる。PMについて差が大きく現れた要因として、短期規制から長期規制に移行する時期PMが問題視され、規制が大幅に強化されたことが考えられる。

表3 NO_x排出量推計式パラメータ

走行区間	短期規制		長期規制	
	β (SE)	R^2	β (SE)	R^2
加速	2.2E-01 (2.3.E-02)	0.99	4.1E-01 (2.9.E-03)	0.99
定速	2.2E-02 (1.5.E-03)	0.99	5.3E-02 (2.7.E-04)	0.99
減速	-2.5E-02 (1.5.E-03)	0.98	-3.0E-02 (4.5.E-04)	0.98
低速	3.9E-01 (6.8.E-02)	0.96	6.9E-01 (1.1.E-02)	0.98
停止	2.7E-01 (1.9.E-03)	0.99	5.7E-01 (6.5.E-03)	0.99

表4 PM排出量推計式パラメータ

走行 区間	短期規制		長期規制	
	β (SE)	R^2	β (SE)	R^2
加速	3.9E-02 (2.3.E-02)	0.98	8.2E-03 (2.9.E-03)	0.99
定速	4.5E-03 (1.5.E-03)	0.87	1.5E-03 (2.7.E-04)	0.99
減速	-8.6E-03 (1.5.E-03)	0.36	-2.9E-03 (4.5.E-04)	0.95
低速	5.1E-02 (6.8.E-02)	0.93	2.0E-02 (1.1.E-02)	0.95
停止	4.8E-02 (1.9.E-03)	0.96	1.8E-02 (6.5.E-03)	0.98

※6 車種による勾配・車両総重量の変化に対する感度を確認するため、個別の車種ごとに推定したパラメータ α と、汎用化を行った排出量推計式で推定した β において、4章の感度分析と同様の比較ケース及び比較条件において感度の確認を行った。ここでは、感度の差が最も大きく現れると考えられる、車両総重量が最大のピックアップと最小のエルフにおいて比較を行った。

その結果、エルフ・ピックアップは最大で±30%程度の差が生じた。ただし、 α による推計値を説明変数に、 β による推計値を被説明変数とした切片を無とする回帰係数を求めると、係数は1.02、決定係数は0.99と45度線上に分布するため使用には問題ないと判断した。

5章 参考文献

- 1) 鹿島茂, 横田久司, 国領和夫(2005), 「自動車の走行モードを明示的に考慮したNO_x排出量推計排出量推計式の開発」, 大気環境学会誌, 第40巻, 第4号, PP137-147
- 2) ALESSANDRA CAPPIELLO, ISMAIL CHABINI, EDWARD K. NAM, ALESSANDRO LUE, AND MAYA ABOU ZEID(2002), 「A STATISTICAL MODEL OF VEHICLE EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION」, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, THE IEEE 5TH INTERNATIONAL, PP801-809
- 3) 横田久司, 鹿島茂, 国領和夫, 田原茂樹(2005), 「走行動態記録に基づく自動車からの環境負荷量推計排出量推計式の開発 (トリップセグメント排出量推計式の汎用化)」, 大気環境学会誌第40巻, 第2号, PP67-83
- 4) 白濱好文, 屋井鉄雄, 福田大輔, 神田学(2004), 「マイクロシュミレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム」 土木学会論文集 NO. 772/IV-65, PP115-130
- 5) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明(2002), 「都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定排出量推計式」, 土木学会論文集 NO. 695, PP125-136

- 6) 公害研究対策センター, 「窒素酸化物総量規制マニュアル」
- 7) 浮遊粒子状物質対策検討会, 「浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル」
- 8) 鹿島茂, 今長久, 小金沢祥平(2010), 「トリップセグメント単位でのガソリン乗用車燃料消費量推計排出量推計式の開発と省エネルギー運転の評価への活用方法の提案」, 交通工学, Vol145, NO. 2, PP53-63
- 9) 尾崎紀男(1976), 「自動車工学」 森北出版
- 1 0) 山硬, 鮎澤正(1993), 「交通流と燃料消費率に関する研究 ; その 1」, 走行実験結果, 自動車研究, Vol115, NO. 1, PP10-15
- 1 1) 高田寛, 宮崎富夫, 飯田訓正(2005), 「車載型の排出ガス計測装置による沿道局所汚染の解析 : EGR 排出ガス制御付き車両の路上における過渡時のNO_x 排出特性(機械力学, 計測, 自動制御)」, 日本機械学会論文集, C 編 71(706), PP260-267
- 1 2) 兵藤哲朗, 渡部大輔, 呉明暢(2014) , 「電気自動車の電気消費量推計式を用いた道路走行特性の把握可能性分析」, 交通工学, Vol149, N01, PP61-70
- 1 3) 小林貴, 鹿島茂(2013), 「貨物車の走行状態、走行環境を考慮した燃料消費量、環境負荷物質排出量推計排出量推計式の構築」, 交通工学, Vol. 48, NO. 2PP45-52

6章 車群の地点別排出量の表現

6. 1	はじめに	6-1
6. 2	研究の位置付け	6-1
6. 2. 1	先行研究の整理	6-1
(1)	ラグランジュ的視点の評価手法	6-2
(2)	オイラー的視点の評価手法	6-2
6. 2. 2	本手法の位置付け	6-3
6. 3	車群の地点別排出量の定式化	6-4
6. 3. 1	地点別停止時間の表現	6-8
6. 3. 2	地点別走行モード別通過台数の表現	6-9
6. 3. 3	走行モード別車群平均パラメータの表現	6-12
6. 4	検証	6-13
6. 4. 1	車両特性と車両挙動を独立と仮定することが算出結果に及ぼす影響	6-13
(1)	方法	6-14
a)	従属手法の表現方法	6-14
b)	独立手法の表現方法	6-16
(2)	結果	6-17
a)	地点別排出量の比較	6-17
b)	区間総排出量の比較	6-17
6. 4. 2	車両到着に一樣到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響	6-18
(1)	1サイクルの一樣到着を仮定することの影響	6-18
a)	一樣到着でない場合が発生する条件	6-18
b)	オフセット・交通流率赤青比の設定	6-19
c)	一樣到着でない場合の排出量算出方法	6-19
d)	地点別排出量の比較	6-19
e)	区間総排出量の比較	6-21
(2)	1時間の通過車両に一樣到着を仮定することの影響	6-22
a)	ポアソン到着手法の算出方法	6-22
b)	一樣到着手法の算出方法	6-23
c)	結果	6-23
6. 4. 3	交差点付近の車群の走行モード割合の現況再現性	6-24
(1)	方法	6-24
a)	西村手法と本手法の算出方法	6-24
b)	実測値の交通条件データ	6-25
(2)	結果	6-26
6. 5	感度分析	6-27
6. 5. 1	方法	6-27
6. 5. 2	結果	6-28
(1)	地点別排出量	6-28
(2)	区間総排出量	6-35
6. 6	まとめ	6-38
6. 6. 1	結論	6-38
6. 6. 2	今後の課題	6-39
補注		6-39
6章	参考文献	6-41

6. 1 はじめに

本章では、車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量の表現方法を示し、車群の地点別排出量を表現する際に置いた3つの仮定（①車両挙動と車両特性を独立に考えること、②車両は一樣に到着すること、③定速度・加速度・減速度を車両によらず一定とすること）の検証、加速度・定速度・貨物車混入率・新車混入率の感度分析を行う。

車両挙動と車両特性を考慮した車群の地点別排出量を表現するためには、本来従属の関係にある車両挙動と車両特性を独立に考える必要がある。車両挙動は車両の到着順序によって決まるが、車両特性は到着順序には依存しないと考えられる。そのため、車両挙動と車両特性は独立に考えることができる。車両挙動と車両特性を独立に考えることにより、地点別の車両挙動と車両特性をそれぞれ表現できれば、車両挙動と車両特性を考慮した車群の地点別排出量をオイラー的に表現することが可能となる。

本章の構成は以下のとおりである。

次節で、車群の地点別排出量を既存の手法で表現する際の課題の整理を行い、本手法の位置付けを明確にする。

3節で、最初に、車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量の表現方法を示す。ここでは、①車両挙動と車両特性を独立に考えること、②車両の一樣到着とすること、③定速度・加減速度を車両によらず一定とすることの3つの仮定を置くことで、別個に算出した車両挙動を表す地点別モード別台数・地点別停止時間と、車両特性を表す車群平均パラメータから地点別排出量を算出する方法を述べる。

4節で、車群の車両挙動を表現する際に置いた3つの仮定が、算出結果に及ぼす影響について検証する。ここでは、車両特性と車両挙動を従属なものとした場合が算出結果に及ぼす影響の確認、1サイクルの到着車両と1時間の到着車両に一樣到着が仮定できない場合が算出結果に及ぼす影響の確認、既存の推計手法との比較、推計値・実測値の比較から車両挙動の現況再現性の確認を行う。

5節で、車両挙動を表す加速度・定速度、車両特性を表す貨物車混入率・新車混入率の感度分析を行う。

6節で、まとめと今後の課題について述べる。

6. 2 研究の位置付け

6. 2. 1 先行研究の整理

先行研究で提案されている地点別排出量の表現方法をラグランジュ的手法とオイラー的手法の2つの視点から整理する。

実現象上の車群の地点別排出量は、個々の車両から排出される排出物質を地点別に重ねあわせたものとなる。個々の車両挙動は車両別に、時刻別・地点別に連続的に変化するた

め、移動座標系によるラグランジュ的視点での記述が必要である。一方、個々の車両が排出する排出物質は通過した地点にとどまり、その地点の住民や歩行者に影響をおよぼすため、排出量を把握するためには固定座標系によるオイラー的視点が必要となる。そのため、車群の地点別排出量を検討する際には、個々の車両挙動に着目したラグランジュ的視点と、地点を固定して通過車両の挙動に着目したオイラー的視点の双方で現象を捉えることが必要となる。

(1) ラグランジュ的視点の評価手法

ラグランジュ的手法は、自動車追従理論に基づく交通流を表現し、個々の車両挙動を移動座標系のまま表現し、地点別の速度や加速度のデータを出力する方法である。出力した速度や加速度のデータから排出量推計式を用いて地点別排出量を算出する方法である。

白濱ら¹⁾は交通シミュレーションにより30km圏の道路ネットワークの排出量を算出している。交通シミュレーションによる方法は、広範囲を網羅した交通の表現が可能である。しかし、条件の設定や結果の解釈に専門知識が必要となり、複数の車両特性を考慮しようとする計算の複雑化を伴う。

小根山ら²⁾は、車群の走行モードを時間距離図により表現している。車群の時々刻々変化する走行モードを理論的かつ、簡易的に表現する際にこの時間距離図による考え方は参考になる。

いずれの方法も、車両特性の異なる個々の車両挙動データを入力する必要がある。実際の車群の車両挙動を計測することは困難であり、考慮できる車両特性に限界がある。

(2) オイラー的視点の評価手法

オイラー的手法は、計測地点を固定し、その地点を通過する車両挙動を表現し地点別排出量を算出する方法である。主に、車群を構成する個々の車両が一定の平均速度で走行すると仮定し、地点毎（路線単位）に得られる平均速度を車両挙動としている。

オイラー的手法の代表として、従来用いられている、旅行速度別原単位³⁾による方法がある。路線区間毎の断面交通量と平均速度に平均速度別原単位を乗じて排出量を推計する方法である。排出原単位は、一定の走行時間単位で平均化して推定されている。そのため、原単位を用いて排出量を算出する際に、交差点部の地点別速度を入力しても、原単位が平均化されているため、地点別の速度変動を適切に表現できない。計算は簡便であるが、交差点部で表現したい加減速が排出量に及ぼす影響を適切に表現できず粗いといった難点がある。

西村ら⁴⁾は、自動車に起因する排ガスを推定するために、排ガスに及ぼす影響の大きい交差点付近の走行モードの構成割合を予測する手法を開発している。

予測手法では、加速・定速・減速・停止の4つのモードを考えている。停止は、信号における停止波・発進波を実走行データより推定している。加速は、発進波を実測値より得

た平均的な加速時間分距離軸方向に平行移動させた加速波を表現している。減速は、停止波を実測値より得た平均的な減速時間分距離軸方向に平行移動させた減速波を表現している。この手法によって算出した予測値と実測値を比較した結果、減速11.2%、停止4.8%、加速1.7%、定速0.2%の誤差が生じる程度であり概ね表現できている。

通過する車群の車両挙動を構成割合として表現する考え方は、本手法で車群の地点別排出量をオイラー的に表現する際に参考になる。しかし、次の2点の課題が残る。第1に、停止波・発進波を実走行データからモデル化しているため、手法の一般化をする必要があり、車両挙動の理論化が必要である。第2に、車両挙動に関する議論はされているが、通過車両毎に異なる車両特性と車両挙動の関係、排出量の算出に関する議論がされていない。

6. 2. 2 本手法の位置付け

以上整理した、既存のラグランジュ的手法では、車両特性を十分に表現できず、オイラー的手法では、車両挙動を適切に表現できない課題を解決する際に障害となるのは、「車両特性と車両挙動が従属の関係にある」ことである。実際の交通環境では、個々の車両が車両特性を維持したまま、車両挙動が距離軸方向に連続的に変化する。そして、車両挙動の変化のしかたは、前の車の影響を受けて決まるため、到着順序に依存する。さらに、到着をする車両はみな車両特性が異なる。つまり、実際の交通では、到着順序を介して車両特性と車両挙動が従属の関係にある（図6-2-1左）。

本研究では、車両挙動と車両特性を独立なものとして考える（図6-2-1右）。車両挙動と車両特性を独立に考える理由は次のとおりである。

第1に、交差点に到着する車両の到着順序は、車両特性によらず一様であると考えられる。車両挙動は到着順序に依存するが、到着順序は車両特性に依存しないと考えられる。

第2に、両者を従属に考える従来のラグランジュ的手法では車両別の地点別微小区間排出量を積分した後に通過台数分合計する必要があり積分順序に制約があり、この制約により計算が煩雑になる。独立として考える本手法では、車両と地点、車両と時刻の関係を考えずに、通過交通の時刻別・地点別の車両挙動のみを考えれば良いため、積分順序によらず簡便に排出量を算出できる利点があるためである。

以降、車両挙動・車両特性を平均的に表現した車群の地点別排出量の表現方法について説明する。

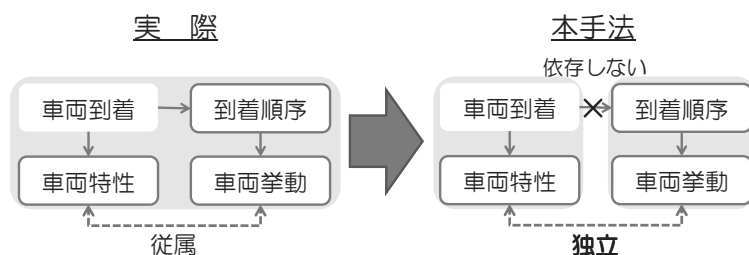


図6-2-1 本手法で表現する車両特性と車両挙動の関係

6. 3 車群の地点別排出量の定式化

車群の地点別排出量の表現方法について述べる。

一定時間に通過した車群が単位距離に排出した地点別排出量は式 (6-3-1) で表せる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{f_{(v_{i(x(t))), a_{i(x(t))}, M_i)}\} dx dT \quad \dots (6-3-1)$$

ここに、 $F_{(x,T)}$: 地点 x を時間 T の間に通過した車両の合計排出量、 T : 算出時間、 i : 車両番号、 $q(x,T)$: 地点 x を時間 T の間に通過した車両台数、 Δx : 単位距離、 $f_{(v_{i(x(t))), a_{i(x(t))}, M_i)}$: 個々の車両の地点別排出量、 $v_{i(x(t))}$: 車両 i の地点別速度、 $a_{i(x(t))}$: 車両 i の地点別加減速度、 M_i : 車両 i の車両特性を表す。

個々の車両の車両挙動である速度・加減速度は車両ごと地点ごとに変化し、車両特性は車両ごとに異なる。

個々の車両の車両挙動の違いによる地点別排出量の違いは、TSモデル^{5) 6)}により、5つの走行モード(停止、低速、減速、加速、定速)に分割することで、平均して表せることがわかっている。これを用いると、式(6-3-1)は式(6-3-2)に表せる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{f_{i(x(t)|X_i^S)}^S + f_{i(x(t)|X_i^L)}^L + f_{i(x(t)|X_i^D)}^D + f_{i(x(t)|X_i^A)}^A + f_{i(x(t)|X_i^C)}^C\} dx dT \quad \dots (6-3-2)$$

$$\begin{aligned} f_{i(x(t)|X_i^S)}^S &= \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i(x(t)|X_i^S)}^S \\ f_{i(x(t)|X_i^L)}^L &= \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i(x(t)|X_i^L)}^L \\ f_{i(x(t)|X_i^D)}^D &= \alpha_i^D \cdot a_{i(x(t)|X_i^D)}^D \cdot v_{i(x(t)|X_i^D)}^D \cdot \Delta t_{i(x(t)|X_i^D)}^D \\ f_{i(x(t)|X_i^A)}^A &= \alpha_i^A \cdot a_{i(x(t)|X_i^A)}^A \cdot v_{i(x(t)|X_i^A)}^A \cdot \Delta t_{i(x(t)|X_i^A)}^A \\ f_{i(x(t)|X_i^C)}^C &= \alpha_i^C \cdot v_{i(x(t)|X_i^C)}^C \cdot \Delta t_{i(x(t)|X_i^C)}^C \end{aligned} \quad \dots (6-3-3)$$

ここに、 $f_{i(x(t)|X_i^S)}^S, f_{i(x(t)|X_i^L)}^L, f_{i(x(t)|X_i^D)}^D, f_{i(x(t)|X_i^A)}^A, f_{i(x(t)|X_i^C)}^C$: 地点別車両別走行モード別排出量、 $x_{(t)} | X_i^S, x_{(t)} | X_i^L, x_{(t)} | X_i^D, x_{(t)} | X_i^A, x_{(t)} | X_i^C$: 車両別走行モード条件付き地点、 $x_i^S, x_i^L, x_i^D, x_i^A, x_i^C$: 車両別走行モード別走行区間、 $\alpha_i^S, \alpha_i^L, \alpha_i^D, \alpha_i^A, \alpha_i^C$: 車両別走行モード別パラメータ、 $\Delta t_{i(x(t)|X_i^S)}^S, \Delta t_{i(x(t)|X_i^L)}^L, \Delta t_{i(x(t)|X_i^D)}^D, \Delta t_{i(x(t)|X_i^A)}^A, \Delta t_{i(x(t)|X_i^C)}^C$: 地点別車両別の単位距離内のモード継続時間、 $a_{i(x(t)|X_i^D)}^D, a_{i(x(t)|X_i^A)}^A$: 地点別車両別の加減速度、 $v_{i(x(t)|X_i^D)}^D, v_{i(x(t)|X_i^A)}^A, v_{i(x(t)|X_i^C)}^C$: 地点別車両別速度を表す。

式 (6-3-3) を式 (6-3-2) に代入してまとめると式 (6-3-4) となる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{ \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^S)}^S + \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^L)}^L + \alpha_i^D \cdot a_{i,(x(t)|X_i^D)}^D \cdot v_{i,(x(t)|X_i^D)}^D \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^D)}^D + \alpha_i^A \cdot a_{i,(x(t)|X_i^A)}^A \cdot v_{i,(x(t)|X_i^A)}^A \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^A)}^A + \alpha_i^C \cdot v_{i,(x(t)|X_i^C)}^C \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^C)}^C \} dx dT \quad \dots (6-3-4)$$

ここで、以下の仮定を置く。

第1に、車両は一様に到着する。

$$\frac{\partial q_{(x,T)}}{\partial T} = \text{const} \quad \dots (6-3-5)$$

第2に、C(定速)モードにおける速度は車両・地点によらず一定とする。すなわち車両密度による速度の変化や車群拡張の影響は考慮しない。

$$v_{i,(x(t)|X_i^C)}^C = \text{const} \quad \dots (6-3-6)$$

第3に、A(加速)・D(減速)モードにおける、加減速度は車両別・地点別によらず一定とする。これにより、加速距離・減速距離は車両によらず一定とする仮定をおいていることと同義である。

$$a_{i,(x(t)|X_i^D)}^D = \text{const}, a_{i,(x(t)|X_i^A)}^A = \text{const} \quad \dots (6-3-7)$$

これらの仮定をもとに式(4)を整理すると式(8)が導ける。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{ \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^S)}^S + \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^L)}^L + \alpha_i^D \cdot a^D \cdot v_{i,(x(t)|X_i^D)}^D \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^D)}^D + \alpha_i^A \cdot a^A \cdot v_{i,(x(t)|X_i^A)}^A \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^A)}^A + \alpha_i^C \cdot v^C \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^C)}^C \} dx dT \quad \dots (6-3-8)$$

時間と距離と速度の関係から (6-3-8) を変形すると式 (6-3-9) となる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \int_{\Delta x} \{ \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^S)}^S + \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^L)}^L + \alpha_i^D \cdot a^D \cdot \Delta x_{i,(x(t)|X_i^D)}^D + \alpha_i^A \cdot a^A \cdot \Delta x_{i,(x(t)|X_i^A)}^A + \alpha_i^C \cdot \Delta x_{i,(x(t)|X_i^C)}^C \} dx dT \quad \dots (6-3-9)$$

単位距離 $\Delta x = 1$ とすると式 (6-3-9) は式 (6-3-10) に変形できる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \sum_{i=1}^{q(x,T)} \{ \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^S)}^S + \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_i^L)}^L + \alpha_i^D \cdot a^D + \alpha_i^A \cdot a^A + \alpha_i^C \} dT \quad \dots (6-3-10)$$

さらに、 $q_{(x,T)}^S + q_{(x,T)}^L + q_{(x,T)}^D + q_{(x,T)}^A + q_{(x,T)}^C = q_{(x,T)}$ となる地点別通過台数のモード別内訳が既知であるとし、前述した、車両挙動と車両特性を独立なものと考えることにより、積分順序の制約を解除する。すなわち、 Σ を展開することが可能となる。これにより、式(6-3-10)は式(6-3-11)に変形できる。

$$F_{(x,T)} = \int_T \left\{ \sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^S} \alpha_i^S \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_t^S)}^S + \sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^L} \alpha_i^L \cdot \Delta t_{i,(x(t)|X_t^L)}^L \right. \\ \left. + a^D \cdot \sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^D} \alpha_i^D + a^A \cdot \sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^A} \alpha_i^A + \sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^C} \alpha_i^C \right\} dT \quad \dots (6-3-11)$$

ここに、 $q_{(x,T)}^S, q_{(x,T)}^L, q_{(x,T)}^D, q_{(x,T)}^A, q_{(x,T)}^C$ は地点別走行モード別通過台数を表す。ただし、停止については、通過しないため、地点別に停止した車両の停止時間の合計を $t_{(x,T)}^S$ で表し、低速については、低速区間を走行した時間 $t_{(x,T)}^L$ で表す。

これにより、車両挙動を、時間軸を考えず地点と通過車両の走行モードのみで表現することができる(図6-3-1上中央 台距離図)。

$$F_{(x,T)} = \int_T \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^S} \alpha_i^S}{q_{(x,T)}^S} \cdot t_{(x,T)}^S + \frac{\sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^L} \alpha_i^L}{q_{(x,T)}^L} \cdot t_{(x,T)}^L \right. \\ \left. + a^D \cdot \frac{\sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^D} \alpha_i^D}{q_{(x,T)}^D} \cdot q_{(x,T)}^D + a^A \cdot \frac{\sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^A} \alpha_i^A}{q_{(x,T)}^A} \cdot q_{(x,T)}^A + \frac{\sum_{i=1}^{q_{(x,T)}^C} \alpha_i^C}{q_{(x,T)}^C} \cdot q_{(x,T)}^C \right\} dT \quad \dots (6-3-12)$$

ここに、 $t_{(x,T)}^S$ ：地点別停止時間の合計、 $t_{(x,T)}^L$ ：低速区間の走行時間の合計、 $q_{(x,T)}^D, q_{(x,T)}^A, q_{(x,T)}^C$ ：地点別走行モード別通過台数を表す。

走行モード別に車群の平均パラメータを定義し、整理すると式(6-3-13)が導ける

$$F_{(x,T)} = \int_T \left\{ \overline{\alpha^S} \cdot t_{(x,T)}^S + \overline{\alpha^L} \cdot t_{(x,T)}^L + a^D \cdot \overline{\alpha^D} \cdot q_{(x,T)}^D + a^A \cdot \overline{\alpha^A} \cdot q_{(x,T)}^A + \overline{\alpha^C} \cdot q_{(x,T)}^C \right\} dT \quad \dots (6-3-13)$$

ここに、 $\overline{\alpha^S}, \overline{\alpha^L}, \overline{\alpha^D}, \overline{\alpha^A}, \overline{\alpha^C}$ ：走行モード別車群平均パラメータを表す。

以上より、①車両挙動と車両特性を独立に考えること、②車両の一樣到着とすること、③定速度・加減速度を車両によらず一定とすることの3つの仮定を置くことで、別個に算出した車両挙動を表す地点別モード別台数・地点別停止時間と、車両特性を表す車群平均パラメータから地点別排出量を算出できることを示した。地点別停止時間・地点別モード別通過台数・走行モード別車群平均パラメータがわかれば、車群の地点別排出量を算出可

能となる(図6-3-1)。

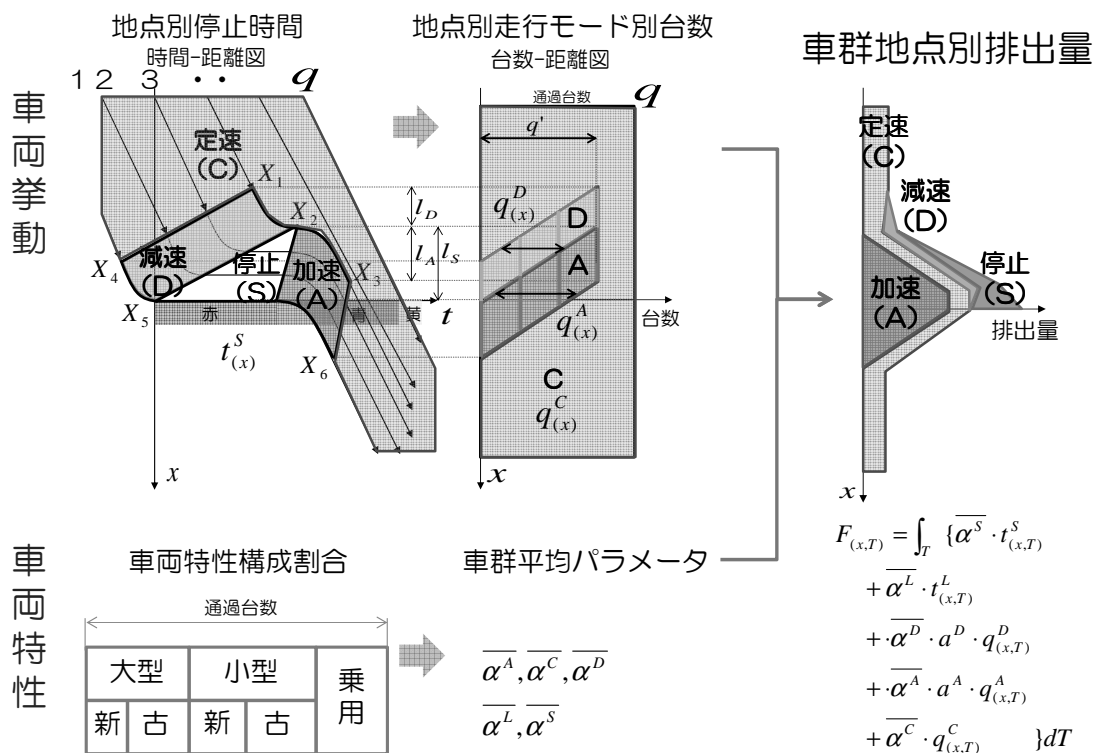


図6-3-1 本手法の考え方

6. 3. 1 地点別停止時間の表現

ここでは、地点別停止時間を表現する方法を説明する。ここで知りたいのは一定時間に通過する車両の地点別停止時間である。それを知るために信号1サイクルに通過する車群の車両挙動を表現することを考える。

1サイクルに到着する車両の地点別停止時間は、時間距離図(図6-3-2)の停止(S)モードの三角形部の面積を距離軸方向に足しあわせた値、すなわちその地点に停車している車両の停止時間が地点別停止時間となる。この三角形は、車群の総遅れ時間を表しており、車列の先頭に停車する車両が最も長く(赤時間)停車し、信号が青に変わった後、車列がなくなる最後尾に到着した車両の停止時間が最も短いことを表している。厳密には車両毎に車長が異なるため、三角形にはならないが、ここでは通過車両の車長は車群の平均車長で表すことで、三角形に近似して考える。この三角形から幾何学的に、地点別停止時間を表現する。

まず、任意の車両が車列に到着する際の停止地点は、赤信号によりすでに形成されている車列の最後尾となる。最後尾の位置(以後「停止波」という)は式(6-3-14)により表せる。

$$x_{END(T|0<T<t')} = -Q \cdot l \cdot T \quad \dots (6-3-14)$$

ここに $x_{END(T|0<T<t')}$: 停止波、 l : 車両の平均車長、 Q : 交通流率を表す。

次に、車列長の先頭位置(以後「発進波」という)は、前車が発進し最小車頭時間が確保できた後に後車が発進するものとする式(6-3-15)により表せる。信号が赤から青に変わった後、形成された車列が前方からさばけ、車列長は減少する。

$$x_{FRONT(T|t_R<T<t')} = \frac{l}{t_H} \cdot (t_R - T) \quad \dots (6-3-15)$$

ここに、 $x_{FRONT(T|t_R<T<t')}$: 発進波、 t_H : 最小車頭時間、 t_R : 赤時間を表す。

赤時間開始から車列がなくなるまでの時間 t' は、式(6-3-14)、式(6-3-15)より、 T で解くと式(6-3-16)で表せる。

$$t' = \frac{t_R}{1 - t_H \cdot Q} \quad \dots (6-3-16)$$

式(6-3-16)より t' は車長 l に依存しないことがわかる。この式から停止時間が0となる台数 q' は式(6-3-17)で表せる。

$$q' = t' \cdot Q = \frac{t_R}{1 - t_H} \cdot Q \quad \dots (6-3-17)$$

地点別停止時間は赤時間開始から車列がなくなるまでの時間 t' に到着する台数 q' を用いて式 (6-3-18) で表せる。

$$t_{(x,T)}^S = \frac{t_R}{q' \cdot l} (x + q' \cdot l) \quad \dots (6-3-18)$$

以上、地点別停止時間の表現方法について述べた。

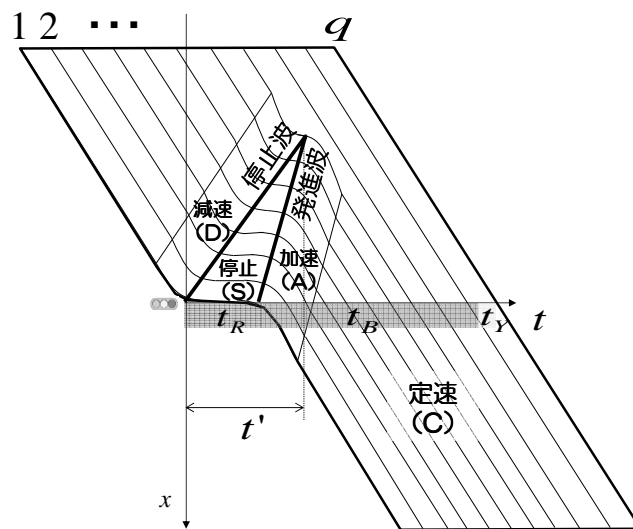


図 6-3-2 時間距離図中の停止波・発進波

6. 3. 2 地点別走行モード別通過台数の表現

ここでは、地点別走行モード別通過台数（減速台数・加速台数・定速台数）を表現する方法を説明する。地点別停止時間と同様に、1 サイクルの地点別モード別通過台数を考える。

時間距離図上の停止時間を表す三角形の上流には停止のための減速区間があり、下流には定速に達するための加速区間がある。通過する全車両の加速度・減速度が一定であるとの仮定から、各車の減速波・加速波は図 6-3-3 の太線（減速波・加速波）で表せる。停止地点と減速波で囲まれた領域 D は車両が減速を行なっている地点と時刻を表している。同様に停止地点と加速波で囲まれた領域 A は車両が加速を行なっている地点と時刻を表している。

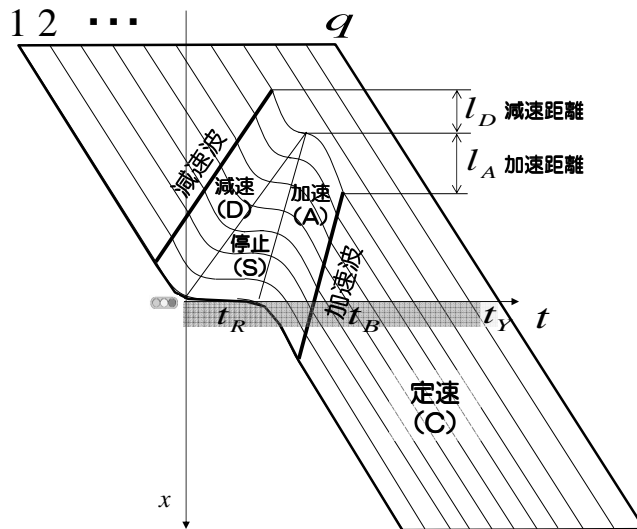


図 6-3-3 時間距離図中の減速波・加速波

この領域Dと領域A内の車両の軌跡を表す線の本数を、地点を固定し時間軸方向に足し合わせることで地点別減速台数・加速台数を算出することができる(図6-3-4)。これを「台距離図 (Volume-Space-Diagram)」と定義する。

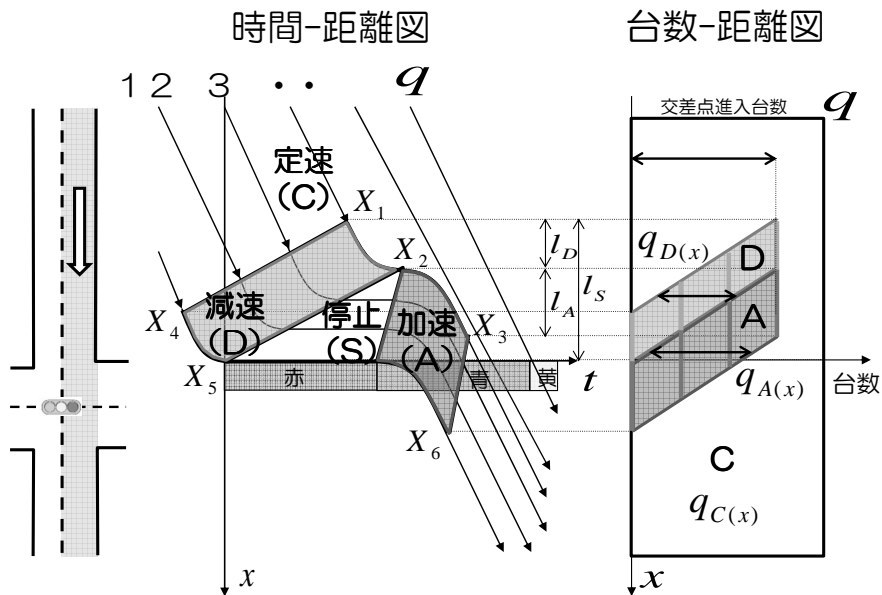


図 6-3-4 時間距離図—台距離図変換過程

地点別減速台数・加速台数は、計算上、加速距離 l_A 、減速距離 l_D に対する車列長 l_S 、の大小関係によって3つの場合分けが必要となる。① $l_S < l_D < l_A$ 、は減速距離・加速距離より車列長が少ない場合で、交通量が少なく、比較的空いている状況である。② $l_D < l_S < l_A$ は、車

列長が減速距離より長く、加速距離より短い場合で、混雑し始めの状況である。③ $l_D < l_A < l_S$ は、車列長が加速距離より長く、混雑している状況である。

表 6-2-1 に3つの場合の地点別加速台数・減速台数を示す。

定速距離 $q_{C(x)}$ は1サイクルに通過する台数 q から加速台数 $q_{A(x)}$ と減速台数 $q_{D(x)}$ を引くことで式 (6-3-19) により算出する。

$$q_{C(x)} = q - (q_{A(x)} + q_{D(x)}) \quad \dots (6-3-19)$$

表 6-2-1 地点別減速台数・加速台数

減速台数	加速台数	時間距離図
<p>① $l_S < l_D < l_A$ $X_1 < x < X_4$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_1)$ $X_4 < x < X_2$ の区間 $q_{D(x)} = q'$ $X_2 < x < X_5$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_S - x + X_2)$</p>	<p>$X_2 < x < X_3$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_2)$ $X_5 < x < X_3$ の区間 $q_{A(x)} = q'$ $X_3 < x < X_6$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_S - x + X_3)$</p>	
<p>② $l_D < l_S < l_A$ $X_1 < x < X_2$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_1)$ $X_2 < x < X_4$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot l_D$ $X_4 < x < X_5$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_D - x + X_4)$</p>	<p>$X_2 < x < X_3$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_2)$ $X_5 < x < X_3$ の区間 $q_{A(x)} = q'$ $X_3 < x < X_6$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_S - x + X_3)$</p>	
<p>③ $l_D < l_A < l_S$ $X_1 < x < X_2$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_1)$ $X_2 < x < X_4$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot l_D$ $X_4 < x < X_5$ の区間 $q_{D(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_D - x + X_4)$</p>	<p>$X_2 < x < X_3$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (x - X_2)$ $X_3 < x < X_5$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot l_A$ $X_5 < x < X_6$ の区間 $q_{A(x)} = \frac{q'}{l_S} \cdot (l_A - x + X_3)$</p>	

以上地点別モード別通過台数の表現方法について述べた。

6. 3. 3 走行モード別車群平均パラメータの表現

ここでは、一定時間に通過する車両の個々の車両特性を走行モード別車群平均パラメータとして表現する方法について説明する。

車両特性は車種・車齢・積載量で表現する。車種と積載量の違いは、前章で積載重量も含めた車両総重量により式（6-3-20）で考慮できることを示した。

車齢によって単体規制の適合値が異なり、適合値の違いは β_i^{MODE} に現れる。 β_i^{MODE} は単体規制の適合値によって異なることがわかっており、適合値ごとの車両総重量換算係数は実走行データから推定する必要がある。ここでは、全ての適合値区分の値がわかっているものとする。

$$\begin{aligned}\alpha_i^A &= \beta_i^A \cdot M_i \\ \alpha_i^C &= \beta_i^C \cdot M_i \\ \alpha_i^D &= \beta_i^D \cdot M_i \quad \dots (6-3-20) \\ \alpha_i^L &= \beta_i^L \cdot M_i \\ \alpha_i^S &= \beta_i^S \cdot M_i\end{aligned}$$

ここに、 β_i^{MODE} ：走行モード別パラメータの車両総重量換算係数、 $MODE$ ：走行モード（ A 加速・ C 定速・ D 減速・ L 低速・ S 停止）、 M_i ：車両総重量を表す。

車両別に与えられている車両総重量と車両総重量換算係数は、それぞれ車種区分 l 、適合値区分 k に区分できる。

交差点を一定時間に通過する車群の平均パラメータを車種区分別・適合値区分別通過台数を用いて式（6-3-21）に表す。車群平均パラメータは適合値区分別車種区分別構成比率で加重平均することで表現している。

$$\begin{aligned}\bar{\alpha}^A &= \frac{\sum_{i=1}^{q(x,T)} \beta_k^A \cdot M_l \cdot q_{kl}}{q_{(x,T)}} \\ \bar{\alpha}^C &= \frac{\sum_{i=1}^{q(x,T)} \beta_k^C \cdot M_l \cdot q_{kl}}{q_{(x,T)}} \\ \bar{\alpha}^D &= \frac{\sum_{i=1}^{q(x,T)} \beta_k^D \cdot M_l \cdot q_{kl}}{q_{(x,T)}} \\ \bar{\alpha}^L &= \frac{\sum_{i=1}^{q(x,T)} \beta_k^L \cdot M_l \cdot q_{kl}}{q_{(x,T)}} \\ \bar{\alpha}^S &= \frac{\sum_{i=1}^{q(x,T)} \beta_k^S \cdot M_l \cdot q_{kl}}{q_{(x,T)}}\end{aligned} \quad \dots (6-3-21)$$

ここに、 k ：短期規制（H5）、長期規制（H10）等の新車に適用される単体規制の適合値区分、 l ：車両総重量区分（単体規制における車両重量区分（1.7t～3.5t、3.5t以上）とする）、 q_{kl} ：適合値区分別・車両総重量区分別通過台数、 q ：1サイクルの通過台数を表す。

以上、適合値・車両総重量・適合値別車両総重量別保有台数比率を入力すれば走行モード別車群平均パラメータを算出可能な定式化を行った。

6. 4 検証

車群の車両挙動・車両特性を考慮して地点別排出量をオイラー的に表現する際に置いた仮定（表6-4-1）が、算出結果に及ぼす影響について検証する。

表6-4-1 車両挙動表現時の仮定

仮定①	車両特性と車両挙動を独立とする
仮定②	車両は一樣に到着するものとする
仮定③	定速度は地点, 時刻, 車両によらず一定とする
仮定④	加減速度は地点, 時刻, 車両によらず一定とする

仮定①の検証は、6. 4. 1で車両特性と車両挙動を従属とした場合と独立とした場合との比較から仮定が算出結果に及ぼす影響を確認する。仮定②は、6. 4. 2で1サイクルの到着車両と1時間の到着車両に一樣到着が仮定できない場合が算出結果に及ぼす影響の確認を行う。仮定③④は、6. 4. 3で西村ら⁴⁾が開発した走行モード推計手法による推計値・実測値を基に走行モード時間構成割合の現況再現性の確認を行う。

6. 4. 1 車両特性と車両挙動を独立と仮定することが算出結果に及ぼす影響

ここでは、前章の定式化の際に個々の車両挙動と車両特性を独立なものとする仮定を置いたことが、算出結果に及ぼす影響を確認するために、車両特性と車両挙動を従属に表現した場合と独立に表現した場合との比較を行う。

実現象上では、車両挙動と車両特性が従属であるため、サイクルごとに車両の到着順序のバラつきや車群を構成する車両特性構成のバラつきが発生する。車両特性と車両挙動を独立に考えることで、到着順序のバラつきと車両特性構成のバラつきを考慮できていないため、バラつきの程度を確認する必要がある。

車両の到着順序のバラつきは、車両属性の異なる車両が異なる位置で減速・停止・加速することで発生する。例えば、高排出の古い大型貨物車が信号で停止する場合と停止せず

に青信号で通過してしまう場合等である。車両到着順序のバラつきの影響で、地点別排出量分布が不連続となる。この不連続な分布を本手法では変化点ごとに線形に近似しているため、この近似が妥当であるか分布形を比較することで確認する必要がある。

車群の車両特性構成のバラつきは、計測した車群によって、大型車の多い車群であったり、小型車の多い車群であったりするため、交差点全体の排出量にバラつきが発生する。本手法では、個々の車両特性を平均化しているため、単位時間あたりの排出量は一定の値が出力される。本手法の平均化した値と、従来手法のバラつきのある値とを比較する必要がある。

(1) 方法

車両特性と車両挙動を独立としたことの検証は、車両挙動と車両特性を独立に表現した独立手法と従属に表現した従属手法を比較する(図6-4-1)。算出結果は地点別排出量と区間総排出量で行い、地点別排出量で分布形の排出区間・排出量を比較し、区間総排出量でバラつきの確認を行う。

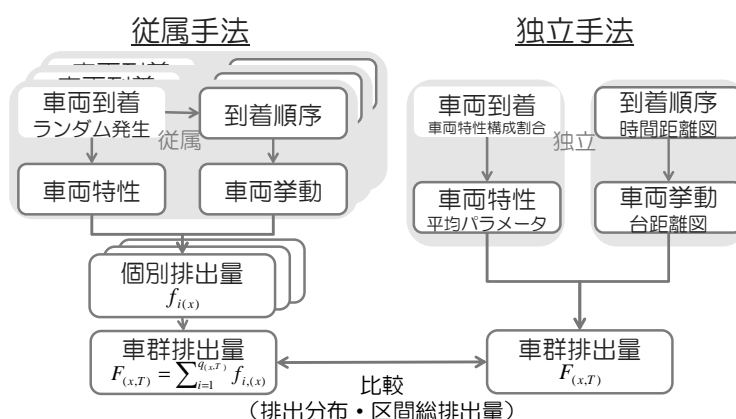


図6-4-1 独立手法と従属手法の表現方法

a) 従属手法の表現方法

従属手法による車群の地点別排出量は、個別車両の地点別排出量を地点別に車群分合計して算出する。区間総排出量は、算出した車群の地点別排出量を一定区間合計した値を算出する。算出方法を以下に示す。

手順1： 車両特性構成割合を設定する。

車両特性構成割合は、適合値別車種別保有台数の保有台数の比率であり、表6-4-2により車種別・適合値別に設定する。

$$\delta = \frac{q_{kl}}{q} \quad \dots (6-4-1)$$

ここに、 δ ：適合値区分別車種別保有台数構成比率、 q_{kl} ：適合値別車群別保有台数、 q ：保有台数を表す。

表 6-4-2 車両特性構成割合

	乗用車	小型貨物車	普通貨物車
短期以前	0.67	0.031	0.021
短期		0.058	0.032
長期		0.090	0.045
新短期		0.007	0.046

車両特性構成割合には、平成19年の関東地域における車齢別保有台数の車両特性構成割合を用いている。

地点を通過する車両の車両特性構成割合と、保有されている車両の車両特性構成割合は異なることが想定される。厳密に割合を算出するためには、対象地域の交通量の発生元を地域別に発生地域の保有台数の車両特性構成割合を考慮して、通過車両の車両特性構成割合を算出する必要がある。この点については本論8.3で述べている。排ガス規制を行っている地域では、地域で使用できる車齢に制約があるため、保有車両の車両特性構成割合と通過車両の車両特性構成割合が概ね一致してくると考え、保有車両の車両特性構成割合を用いている。

手順2：ランダムに車両を発生させる。

交通流率を400・800台/hの2段階で変化させた交通を発生させる。0～1の間で乱数を発生させ、車両特性構成割合に応じた車両特性の排出パラメータを付与する。車両の到着は一時間一様到着を仮定する。独立手法と従属手法で100時間分の車両を発生させた車両特性構成割合の1時間値は、図6-4-2の散布図に示す通りほぼ一致していることを確認している。

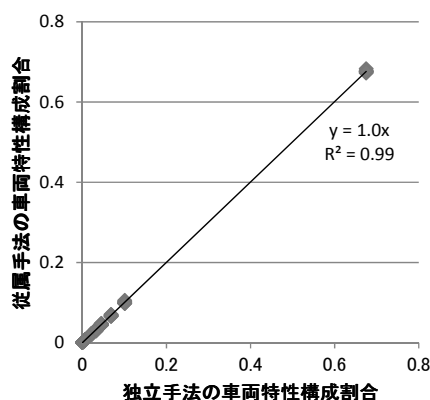


図 6-4-2 独立手法と従属手法の車両特性構成割合発生状況

個々の車両に付与された車両特性情報に応じた、適合値別走行モード別パラメータ β (表6-4-3) を付与する。 β は実走行データから長期規制のパラメータは得られているため、この値を元に、適合値の比率で補正している。適合値は、規制ごとに適合値の単位や測定方法が異なるため、一律に比率で補正することには留意が必要であるが、個々の車両特性の違いを考慮出来れば良いので、この方法を用いた。乗用車には排出パラメータを与えず、貨物車から排出される NO_x のみを扱う。個々の車両の車種を表す車両総重量 m_i は、大型貨物車を12 t、小型貨物車を5 tとする。

表6-4-3 適合値別走行モード別パラメータ 6

	A	C	D	S
以前	9.95E-05	1.05E-05	-5.52E-06	3.36E-05
短期	7.76E-05	8.18E-06	-4.30E-06	2.62E-05
長期	5.77E-05	6.08E-06	-3.20E-06	1.95E-05
新短期	3.36E-05	3.54E-06	-1.86E-06	1.14E-05
新長期	1.99E-05	2.10E-06	-1.10E-06	6.72E-06
P 新長期	6.96E-06	7.34E-07	-3.86E-07	2.35E-06

手順3：車両特性の異なる個別の車両挙動を表現

個々の車両の車両挙動の表現のしかたは、車両特性情報を持った車両ごとに、発生順序にしたがって走行モードの変化地点を設定する^{*1}。走行モード変化地点は、最初に個々の車両の停止位置を決定する。停止位置は前の車の車長と車間ずつ後ろにずれるように設定する。車長は乗用車4m、小型貨物5.5m、大型貨物12mとしている。停止位置から減速距離分さかのぼり減速開始位置を決定し、停止位置から進行方向に加速距離分進み加速波を決定する。発生順序が信号停車台数までの車両は、信号で一度停止するため、到着順序に従った走行モード変化地点で走行モードを変化させる。走行モードは定速→減速→停止→加速→定速の順で変化させる。発生順序が信号停車台数以降の車両は、信号で停止しないため、定速のみの走行モードを設定する。加速度は 0.5 m/s^2 、減速度は -0.5 m/s^2 とし、信号サイクルは、赤60秒・青60秒の120秒とする。

手順4：地点別排出量・区間総排出量の算出

個々の車両ごとに、車両特性と車両挙動により車両別地点別排出量を算出する。地点別排出量は、1時間に通過した台数分地点別排出量を合計し、車群の地点別排出量を100時間分算出し平均する。区間総排出量は1時間値を100時間分算出する。

b)独立手法の表現方法

独立手法の算出は前節で導出した方法に、前節の入力条件をもとに算出した地点別走行モード別台数を入力して算出する。ただし、従属手法では車両をランダムに発生させているため、車両特性構成割合の1時間値が独立手法と一致しない。車両特性構成割合の1時間値は固定して、1サイクル値のバラツキの影響を評価したい。そのため、独立手法の車両特性構成割合は、従属手法で算出した1時間毎の車両特性構成割合を与え、比較する条件を合わせている。

(2) 結果

a) 地点別排出量の比較

独立手法と従属手法の地点別排出量の算出結果を図6-4-3に示す。図は地点別排出量の1時間値を100時間算出した平均値を示している。

排出区間（排出分布の底辺の長さ）を比較すると、400台/hでは従属手法で約140mに対し、独立手法で137mであり3mの差がある。800台/hでは従属手法で約193mに対し、独立手法で188mであり5mの差がある。

排出量（分布の高さ）を比較すると、400台/hでは従属手法で約21.5gに対し、独立手法で21.6gでありほぼ一致している。800台/hでは従属手法で39.1gに対し、独立手法で36.2gであり7%程度の差がある。

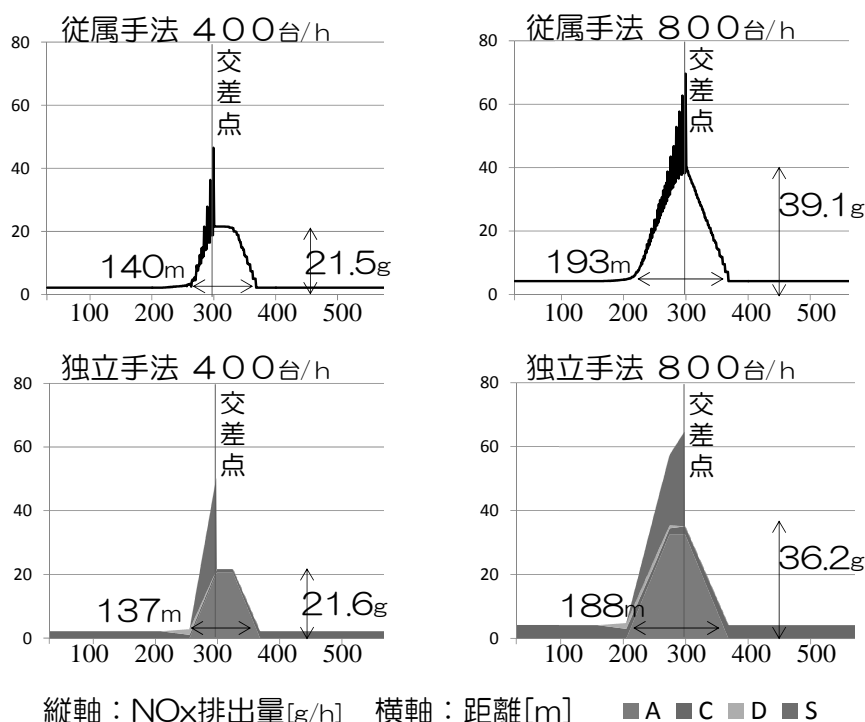


図6-4-3 独立手法と従属手法の車群地点別排出量の算出結果

b) 区間総排出量の比較

独立手法と従属手法の区間総排出量の算出結果を図6-4-4に示す。

図は、従属手法で算出した値を縦軸、独立手法で算出した値を横軸にとった散布図である。点は交通量条件全てにおいて45°線上に分布しており、決定係数は0.79以上である。個別の時間毎に多少のバラつきはあるものの、車両挙動と車両特性を独立なものとした独立手法の算出結果は、従属なものとした従属手法の算出結果とほぼ一致する結果が得られた。

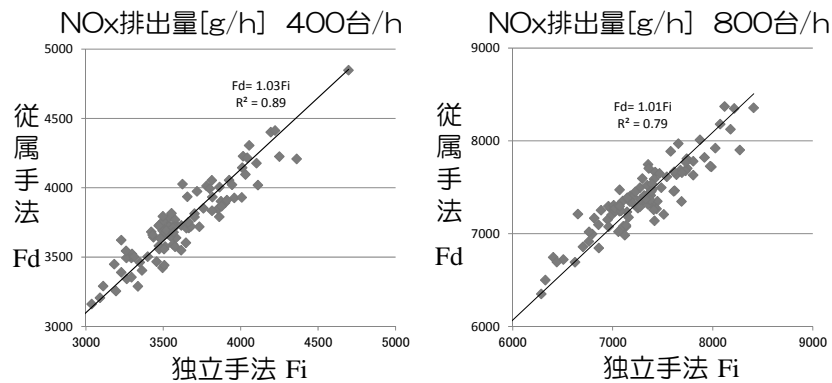


図 6-4-4 独立手法と従属手法の区間総排出量の算出結果

以上より、車両挙動と車両特性を独立なものと仮定することで、地点別排出量の排出区間では最大で 5 m、排出量では最大で 7 % 程度の差が発生するが、区間総排出量は従属に考える場合と平均はほぼ一致する。このことから、長時間の排出量を平均的に評価したい場合には、算出結果に及ぼす影響は小さいといえる。

6. 4. 2 車両到着に一様到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響

ここでは、1 サイクルの到着車両と 1 時間の到着車両に一様到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響の確認を行う。

手法構築の際に、到着する車両には一様到着を仮定している。しかし、現実には、1 サイクルの一様到着が仮定できない場合と、1 時間の一様到着を仮定できない場合が考えられる。1 サイクルの到着車両が一様でない場合とは、赤時間の交通流率(単位時間あたりに到着する台数)と青時間の交通流率に差があり、一様到着が仮定できない状態が定常的に続く場合をいう。例えば、スルーバンドを通すように信号制御されている場合等である。1 時間の到着車両が一様でない場合とは、1 時間中の各サイクルの通過台数が一定でなくバラつく場合をいう。現実には、1 時間中の各サイクルの通過台数はバラつきがあると考えられる。

これら、車両到着のバラつきを一様と見なすことで平均的に表現した場合の影響を確認する必要がある。

(1) 1 サイクルの一様到着を仮定することの影響

1 サイクルの到着車両に一様到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響を確認する。

a) 一様到着でない場合が発生する条件

実際の交通環境で一様到着を仮定できない場合が定常的に発生する条件として次の 2 点が考えられる。

第 1 に、前後の交差点の信号サイクルに規則的なズレ(オフセット)がある場合である。これは、前後の信号でサイクル長が等しく、特定のオフセットが定常的に発生する場合で

ある。

第2に、交差点到着車の内、手前の交差点を赤信号に退出する車（右左折車）と、青信号に退出する車（直進車）の交通流率の比が大きい場合である。これは、交差する2路線の交通量の差が大きい場合等に発生する。

b) オフセット・交通流率赤青比の設定

規則的なオフセットの影響を表現するために、信号サイクルをG : R = 60秒 : 60秒として、オフセット0秒～120秒の間を10秒刻みで変化させた場合を考える。ただし、オフセットが30秒以上90秒未満の場合は交差点①の青時間の半分以上が交差点②の赤時間となる状況であり、このような信号制御を定常的に行う交差点は考えにくいいため、この領域は除外して考える。

交通流率の赤青比の影響を表現するために、交通流率赤青比が等しい場合を50 : 50とし、50 : 50～20 : 80の間で、10%刻みで変化させた場合を考える。交通流率赤青比の上限を20 : 80とした理由は、大気汚染が問題となる路線は交通量が多く、飽和度が高いため、交通流率赤青比が20 : 80%以上になることが考えにくいためである。

c) 一様到着でない場合の排出量算出方法

設定したオフセットと交通流率赤青比の条件での排出量算出手順を以下に示す。

手順1 : オフセット条件・交差点①退出車の交通流率赤青比の設定条件から、交差点②到着車の交通流率赤青比を算出する。

手順2 : 到着車の交通流率赤青比を50 : 50～20 : 80の条件で変化させ、1サイクルの赤時間到着台数と青時間到着台数を算出する。この時1サイクルに通過する台数は固定し交通流率のみ変化させる。

手順3 : 赤時間到着台数から停止車列長を算出し、構築した手法により排出量を算出する。
車両挙動・車両特性の入力条件は前節同じ条件とする。

d) 地点別排出量の比較

交通流率赤青比の異なる交差点での地点別排出量算出結果を図6-4-5に示す。

図より、A（加速）モードの排出区間（台形の底辺の長さ）は、青時間の交通流率が増加するのに伴い減少する。50 : 50では374mの範囲で排出されていたが20 : 80では313mに短くなっている。これは、信号停止車台数の減少が、車群の加速区間の長さの減少に影響を及ぼした結果が現れたものである。信号が青になると、停止していた車両が停止地点から加速を開始する。加速に必要な距離は全車同じであるため、先頭に停止した車両が加速を終える地点はどのケースでも同じになり、加速による排出区間の終了地点（台形底辺の右端部）は固定される。停止車列が短い場合は、車列最後尾の車両が加速を開始地点（台形底辺の左端部）が右側にずれ、加速区間の排出区間（台形の底辺の長

さ)が短くなる。ずれ方は、停止車列長と一致する。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は青時間の交通流率が増加するのに伴い減少する。50 : 50 では単位距離あたり 16.3 g 排出されていたが、20 : 80 では 5.5 g に減少している。これは、信号停止車台数の減少が、車群の加速区間の長さの減少に影響を及ぼし、排出量が減少する結果に現れたものである。停止している車両の加速距離は全車同じであるため、信号で停止していた車両の台数が多くなるほど交差点部を加速で通過する台数が多くなり、加速時の地点別排出量 (台形の高さ) が減少する。

S (停止) モードの排出区間 (三角形の底辺の長さ) は、青時間の交通流率が増加するのに伴い減少する。50 : 50 では 124 m の範囲で排出されていたが 20 : 80 では 43 m に短くなっている。これは、赤時間の交通流率が、信号で停止する車両の台数に及ぼす影響が現れたものである。赤時間の交通流率が低くなったことで、赤時間の停止車列長が短くなり、停止による排出区間 (三角形の底辺の長さ) が短くなる。

S (停止) モードの単位距離あたりの排出量の最大値 (三角形の高さ) は、青時間の交通流率が増加しても変わらない。これは、停止車列の先頭で停止した車両は車列長によらず赤時間停止するためである。

D (減速) モードの排出区間の距離は、赤時間の交通流率が減少するのに伴って短くなる。50 : 50 では 358 m の範囲で排出されていたが 20 : 80 では 277 m に短くなっている。これは、赤時間の交通流率が減少したことにより、停止車列長が減少し、減速開始位置が後方にずれ、車群の減速区間が短くなったことが現れた結果である。D (減速) モードの排出量は C (定速) モードより少ないため、減速車両が減少することで、D モード排出区間が減少し、その分 C モード排出量が増加する影響が現れる。

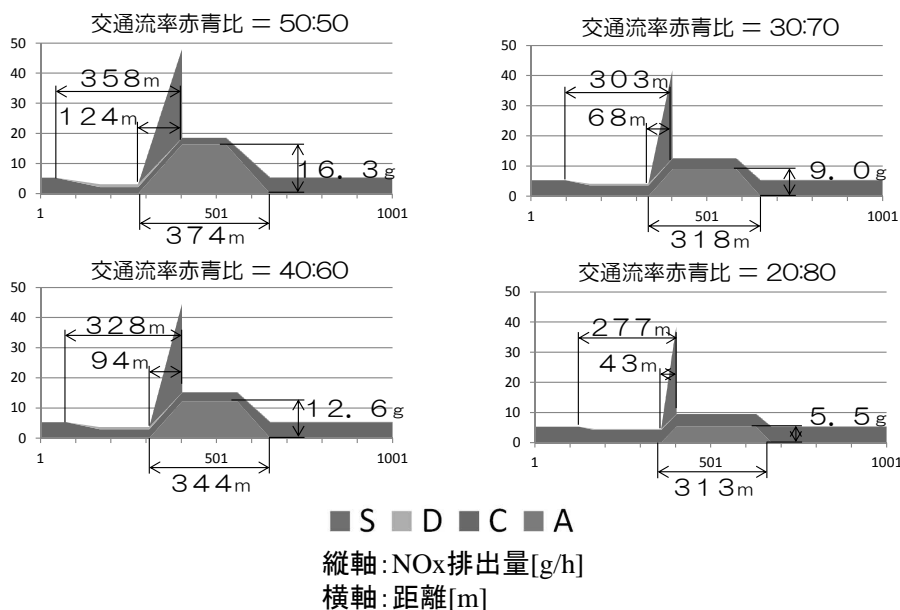


図6-4-5 交通流率赤青比の異なる交差点での地点別排出量算出結果

e) 区間総排出量の比較

交通流率赤青比を変化させた区間総排出量算出結果を図6-4-6に示す。図より、交通流率赤青比が50:50の場合と20:80の場合を比べると、交通量400[台/h]時はNO_x排出量が24%、交通量800[台/h]時は26%それぞれ少なく算出される。一様到着が仮定できない状態が定常的に発生する場合に、本手法において一様到着を仮定して排出量を計算すると最大で26%多く算出される。

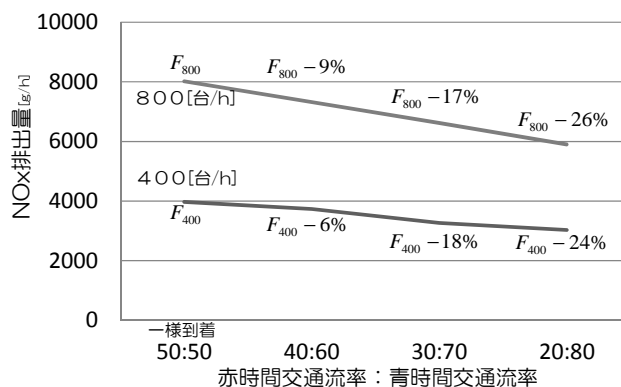


図6-4-6 1サイクル非一様到着時の算出結果

1サイクル非一様到着時の算出結果の影響とオフセット・交通流率赤青比条件との対応関係を表6-4-4に示す。A領域は、実際の交通環境でも一様到着とみなせ、本手法で一様到着を仮定しても問題ない領域である。B～D領域は、赤交通流率が青交通流率より少ない領域である。この領域で一様到着を仮定して算出すると、赤停止車両を過大に算出するため、B領域では10%、C領域では20%、D領域では30%多く排出量が算出される可能性がある。

表6-4-4 算出結果の影響とオフセット・交通流率赤青比条件との対応関係

交差点①	退出時の交通流率赤青比			
	50:50	40:60	30:70	20:80
交差点②	到着時の交通流率赤青比			
$\Delta t = 0$	50:50	40:60	30:70	20:80
$\Delta t = 10$	50:50	43:57	37:63	30:70
$\Delta t = 20$	50:50	47:53	43:57	40:60
$\Delta t = 30$	50:50	50:50	50:50	50:50
$\Delta t = 90$	50:50	50:50	50:50	50:50
$\Delta t = 100$	50:50	47:53	43:57	40:60
$\Delta t = 110$	50:50	43:57	37:63	30:70
$\Delta t = 120$	50:50	40:60	30:70	20:80

- A 一様到着を仮定しても問題ない領域
- B 最大10%過大推計される領域
- C 最大20%過大推計される領域
- D 最大30%過大推計される領域

以上より、B～D領域について一様到着を仮定すると最大で10～30%の差が生じる可能性があることが明らかになった。ただし、実際に、大気汚染が問題となる道路では交通量が多く、このような1サイクルの到着のしかたに偏りが生じる状況が、定常的に発生することは少ないと考えられる。そのため、実際には、一様到着を仮定して良い場合が多いと考えられる。しかし、スルーバンドを確保する信号制御を行っている場合等、このような条件が実際に発生し、一様到着ではない状況を考慮したい場合には、S（停止）モードの停止波の設定を2パターン導入することで対応が可能であると考えている（図6-4-7）。

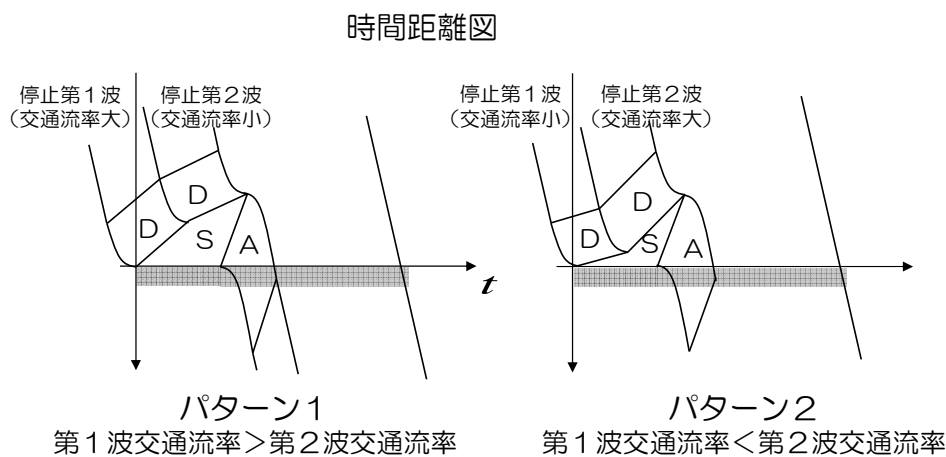


図6-4-7 1サイクルの到着車両に一様到着を仮定できない場合の停止波の設定方法

(2) 1時間の通過車両に一様到着を仮定することの影響

1時間に到着する車両に一様到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響を確認するために、1時間に発生する1サイクルの通過台数が一定の場合とポアソン到着の場合で区間総排出量の算出結果の比較を行う。

a)ポアソン到着手法の算出方法

ポアソン到着手法の算出方法は以下の手順で行う。

手順1：車両の到着のしかたはポアソン分布に従うことが知られていることから、交通量から算出した1サイクルの平均通過台数を平均とするポアソン分布に従う乱数を発生させる。交通量は400台/h、800台/hの2種類を設定する。

手順2：発生させた乱数を1サイクルの通過台数とし、1サイクルごとの排出量を算出したものを1時間分合計する。通過する車両は全車両長期規制適合車の小型貨物車（5.5t）とする。その他の車両挙動・車両特性の入力条件は前節と同じ条件とする。

手順3：1時間分合計した排出量を100時間分計算し平均する。

b)一様到着手法の算出方法

一様到着手法の算出方法は、1時間全てのサイクルの通過台数を一定値として排出量を算出する。通過台数は、交通量[台/h]から1サイクルの平均通過台数を算出する。交通量はポアソン到着手法で発生させた1サイクルの通過台数を1時間毎に合計した値を用いる。ポアソン到着手法では、乱数を発生させて車両の通過台数を決めているため、算出する時間帯によって1時間の通過台数がバラつく。1時間の通過台数は固定して、1サイクルの通過台数のバラつきの影響を評価したいため、ポアソン到着手法で発生させた1時間毎の通過台数を一様到着手法に入力して算出する。

c)結果

一様到着手法とポアソン到着手法の区間総排出量の算出結果を図6-4-8に示す。

図は、一様到着手法で算出した値を縦軸、ポアソン到着手法で算出した値を横軸にとった散布図である。交通量条件全てにおいて係数は1.0付近であり、決定係数は0.99となっている。よって、1サイクルの通過台数をポアソン分布で与えて算出したポアソン到着手法は、1時間に通過する車両を一様到着とした一様到着手法とほぼ一致する結果が得られた。このことから、1時間に通過する車両に一様到着を仮定することが算出結果に及ぼす影響は小さいといえる。

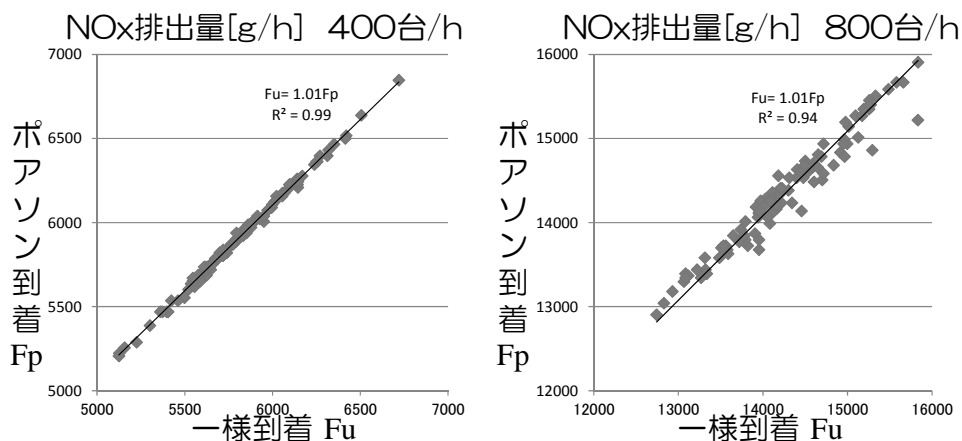


図6-4-8 一様到着手法とポアソン到着手法の区間総排出量の算出結果

6. 4. 3 交差点付近の車群の走行モード割合の現況再現性

ここでは、車両挙動の現況再現性の確認を行う。

本手法構築時に、仮定③定速度一定、仮定④加減速度一定を置いている。西村ら⁴⁾も走行モード推計手法を構築する際に、同様な仮定を置いている。推計した走行モード時間構成割合を実測値と比較し、±1%程度の精度で表現できる事を示している。このことから、仮定を置くことが算出結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。ただし、西村手法と本手法では、停止台数・停止車列長の表現のしかたが異なるため、本手法・西村手法・実測値の比較を行い本手法の現況再現性を示す。

(1) 方法

本手法の現況再現性を示すために、西村らが実測した車群の走行モード時間構成割合の実測値・西村手法推計値・本手法推計値の比較を行う。

a)西村手法と本手法の算出方法

西村手法と本手法の算出フロー図を図6-4-9に示す。西村手法と本手法の違いは、赤信号の停止台数・停止行列長を算出する際、西村手法では、実測値から推定した経験式で算出しているのに対し、本手法は、停止台数を交通量・車群の平均車長・赤時間・車頭時間の関数として理論的に定式化している点にある。以下、入力値、停止台数、停止行列長、加速・減速・定速時間、走行モード構成割合の算出方法の違いについて説明する。

①入力値の違い

西村手法では交通量、信号サイクル、平均加速距離、平均減速距離、平均速度を入力している。本手法では、交通量、車頭時間、信号サイクル、加速度、減速度、平均速度・平均車長を入力する。

②停止台数の算出方法の違い

西村手法では、測定交差点の実測値より経験的に推定した停止波推定式と発進波推定式から車列による青ロス時間を加えた修正赤時間を繰り返し計算により算出し、修正赤時間に到着した車両を停止台数として算出している。

本手法では、停止台数を交通量・平均車長・赤時間・車頭時間の関数として理論的に定式化している。定式化は、交通量・平均車長・時間の関数として表現した停止波と、交通量・赤時間・車頭時間・時間の関数として表現した発進波が一致する時間を求めることで導出している。この方法により、交差点毎に異なる、交通量・平均車長・赤時間・車頭時間を与えれば、停止台数を算出でき、汎用的である。車頭時間は平均的な値として2秒としている⁷⁾。

③停止行列長の算出方法の違い

西村手法では、測定交差点の停止台数と停止行列長の実測値から経験的に推定した関係式に、停止台数を入力することで算出している。

本手法では、算出した停止台数に、その交差点を通過する平均車長を乗じる事で算

出している。平均車長は、大型車混入率13%を考慮して5.3m（乗用車4.7m、小型貨物8.4m、大型貨物12.5m）としている。

④加速時間・減速時間・定速時間

加速時間・減速時間・定速時間の算出方法はほぼ同じ方法である。西村らは、加速距離・減速距離・平均速度を実測値から与えて加速度・速度・時間の関係から算出しているが、本手法では、加速距離・減速距離ではなく加速度・減速度を与えて算出している。

⑤走行モード構成割合算出方法の違い

本手法は、地点別排出量を評価することが目的であるため、各モードの構成割合を「台×距離」で算出している。一方、西村らは、走行モードの構成割合を「台×時間」で算出している。両者を比較する際には、同一条件で比較するため、本手法で算出した走行距離の構成比を「台×時間」に変換して比較している。実際に評価に用いる際には「台×距離」で使用する。

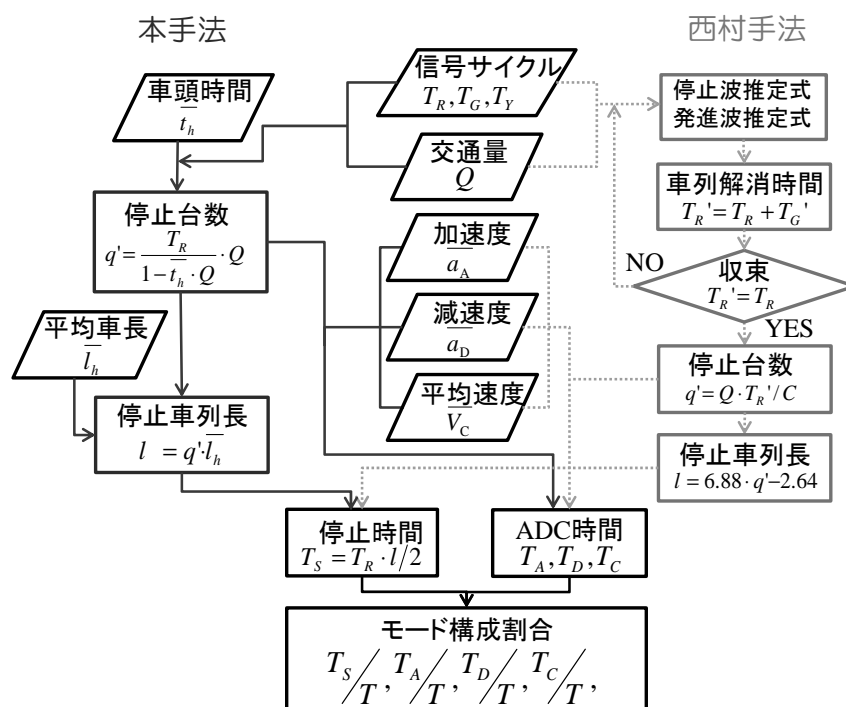


図6-4-9 西村手法と本手法の算出フロー図の比較

b)実測値の交通条件データ

実測区間は4つの交差点(A-B-C-D)が接続されている890m区間である(図6-4-10)。実測区間を、タコグラフを搭載した車両で平日10時30分~17時30までの間に28回走行し、各地点での走行モード、通過時刻、信号停止位置を計測している。区間の交通条件は論文に示されている条件を用いる。

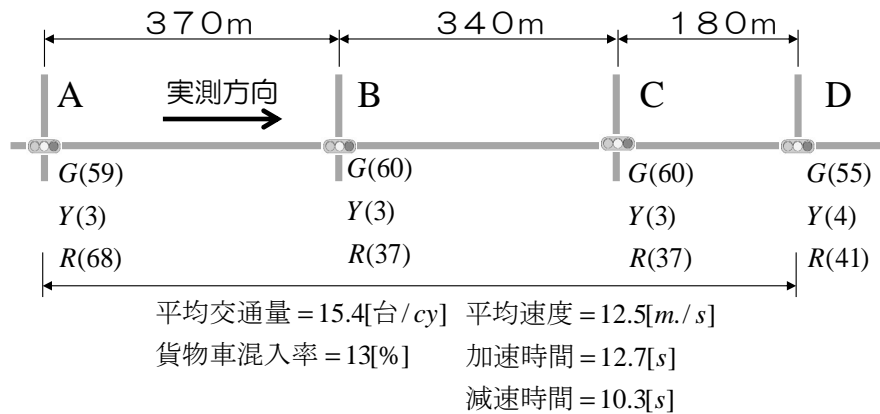


図 6-4-10 実測区間概要 (西村ら)

(2) 結果

実測値・西村推計・本手法の比較を図 6-4-11 に示す。図より、次の 3 点の結果が得られた。

第 1 に、加速・減速は、実測値・西村推計・本手法全てがほぼ一致している。

第 2 に、定速は、実測値・西村推計は一致しているが、本手法が 2% 多く推計される。

第 3 に、停止は、実測値より西村推計が 1% 多く、本手法は 2% 少なく推計される。

本手法で停止構成割合が少ない理由は、停止車列長（停止波と発進波の交わる点と停止線との距離）が西村推計より本手法の方が短く計算されるためである。B 交差点の停止車列長は西村推計では 50 m となるが、本手法では 42 m と短い。車列長が短い事により停止時間が少なく計算される。停止車列長が短くなる理由として、発進波の設定のしかたが考えられる。西村推計では、青開始からの時間と、停止車列先頭車両の停止線からの距離の実測値から推定しているが、本手法では、前車との間で最小車頭時間が確保された後、後車が発進する考え方で、発進波を表現している。今回は最小車頭時間を平均的な値として 2 秒と設定しているが、この値が、実測時には大きい値であったと考えられる。平均的な 2 秒の車頭時間で計算しても、誤差は 2% 程度であり、評価対象箇所の車頭時間を設定すれば、更に厳密に再現できると考えられるため問題ないと考えている。

本手法で定速構成割合が少ない理由は、定速の構成割合の算出時に、通過台数より加速通過台数・減速通過台数・停止台数を除くことで算出しているため、停止が少ないことが定速に現れたためであると考えられる。

以上本手法と西村推計と実測値との比較を行った結果、実測値との誤差は最大でも定速で +2%、停止で -2% 程度であり、排出量に影響の大きい加速構成割合は精度よく表現できている。このことから、ある程度の精度は得られたものと考えられる。

本手法は、理論的に一般化しているため、入力条件を変更すれば、別の箇所にも適用可能であり汎用性が高いと考えられる。

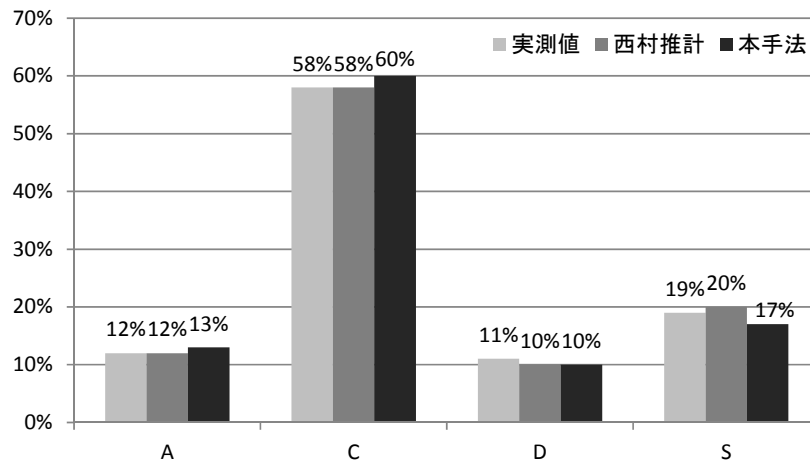


図 6-4-1 1 実測値・西村推計・本手法の比較結果

6. 5 感度分析

ここでは、車両挙動・車両特性を考慮したことで、車両挙動・車両特性が排出量算出結果に及ぼす影響の感度を確認する。

車両挙動として、車群の平均加減速度、平均定速度、平均車頭時間が異なる場所を評価したい場合に、排出量に及ぼす影響の感度を確認する必要がある。

平均加速度が変わる場合として、交差点間隔が長い場合には車群の平均加速度が高く、短い場合には低いことが想定される。平均減速度が変わる場合として、交差点間隔が長い場合には、高速度から減速を必要とするため、車群の平均減速度が高く、短い場合には低いことが想定される。平均定速度が変わる場合として、交差点間距離が長い場合には平均定速度が高く、短い場合には低いことが想定される。

車両特性として、地点を通過する貨物車混入率・大型車混入率・新車混入率が異なる場所を評価したい場合に、排出量に及ぼす影響の感度を確認する必要がある。

車種構成が異なる場合として、地域によって、貨物車・大型車が多い地域や少ない地域があり、貨物車混入率・大型車混入率の大きさが排出量に及ぼす影響の感度を確認する必要がある。車齢構成が異なる場合として、排ガス規制の有無がある。規制地域では低車齢化し、周辺地域では高車齢化する傾向にあるため、新車混入率の大きさが排出量に及ぼす影響の感度を確認する必要がある。

6. 5. 1 方法

a)~f)の6ケースの感度分析を行う(表6-5-1)。

a)は加速度の感度を確認するため、加速度を0.2~1.0[m/s²]まで0.2[m/s²]刻みで変化させる。

b) は減速度の感度を確認するため、減速度を $-0.2 \sim -1.0$ [m/s²]まで 0.2 [m/s²]刻みで変化させる。

c) は定速度の感度を確認するため、定速度を $20 \sim 60$ [km/h]まで 10 [km/h]刻みで変化させる。

d) は車頭時間の感度を確認するため、車頭時間を $1 \sim 4$ [s]まで 1 [s]刻みで変化させる。

e) は車種の構成割合の内、貨物車の構成割合の感度を確認するため、貨物車混入率を $0.1 \sim 0.5$ まで 0.1 刻みで変化させる。

貨物車以外は乗用車とし、排出量算出の対象としない。

f) は車種の構成割合の内大型貨物車の構成割合の感度を確認するため、大型車混入率を $0.25 \sim 0.45$ まで 0.05 刻みで変化させる。大型車の車両総重量を 12 t、小型車の車両総重量を 5.5 tとする。

g) は車齢の構成割合の感度を確認するため、貨物車の新車混入率を $0.3 \sim 0.6$ に 0.1 刻みで変化させる。ここで、新車は車齢 6 年までの車両をさし、新長期規制並の排出係数を与える。それ以外の車両には長期規制並の排出係数を与える。

表 6-5-1 感度分析設定ケース (刻み幅)

	分析 ケース	加速度 [m/s ²]	減速度 [m/s ²]	定速度 [km/h]	車頭時間 [s]	貨物車 混入率 (=α)	大型車混入率	新車混入率
車両挙動	a)	0.2~1.0 (△0.2)	-0.4	30	2	0.3	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.45$
	b)	0.4	-0.2~-1.0 (△0.2)	30	2	0.3	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.45$
	c)	0.4	-0.4	20~60 (△10)	2	0.3	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.45$
	d)	0.4	-0.4	30	1~4 (△1)	0.3	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.45$
車両特性	e)	0.4	-0.4	30	2	0.1~0.5 (△0.1)	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.45$
	f)	0.4	-0.4	30	2	0.3	$\alpha \times 0.25 \sim 0.45$ (△0.05)	$\alpha \times 0.45$
	g)	0.4	-0.4	30	2	0.3	$\alpha \times 0.35$	$\alpha \times 0.3 \sim 0.6$ (△0.1)

6. 5. 2 結果

(1) 地点別排出量

a) 加速度の感度分析結果

加速度の感度分析結果を図 6-5-1 に示す。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、加速度が増加するのに伴い、短くなる。 0.2 m/s² では 228 m の範囲で排出されるが、 1.0 m/s² では 90 m に短くなっている。A モードの排出区間距離の減少のしかたは指数関数的である。これは、加速度が増加することで、個々の車両の加速距離が短くなり、車群の加速区間が短くなったことが現れた結果である。

A（加速）モードの地点別排出量（台形の高さ）は、加速度が増加するのに伴い、増加する。0.2 m/s²では単位距離あたり1.4 g排出されるが、1.0 m/s²では4.4 gと約3倍に増加している。地点別排出量の増加のしかたは対数関数的である。これは、加速度が増加することで、単位距離あたりの排出量が増加し、交差点付近で加速する車両のAモードでの排出量が蓄積されたことが現れた結果である。

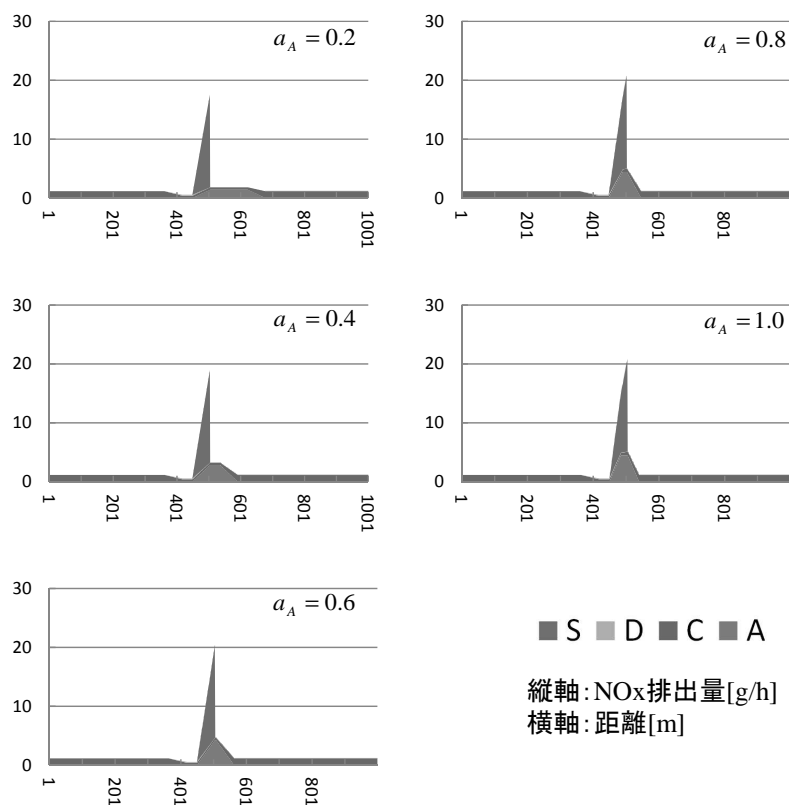


図 6-5-1 加速度の感度分析結果

b)減速度の感度分析結果

減速度の感度分析結果を図 6-5-2 に示す。

D（減速）モードの排出区間の距離（点線丸部）は、減速度が増加するのに伴い、短くなる。-0.2 m/s²では228mの範囲で排出されるが、-1.0 m/s²では90mに短くなっている。Dモードの排出区間距離の減少のしかたは指数関数的である。これは、減速度が増加することで、個々の車両の減速距離が短くなり、車群の減速区間が短くなったことが現れた結果である。Dモードの排出量はCモードより少ない。減速度が増加することで、Dモード排出区間が減少し、その分Cモード排出区間が増加することが現れた結果である。

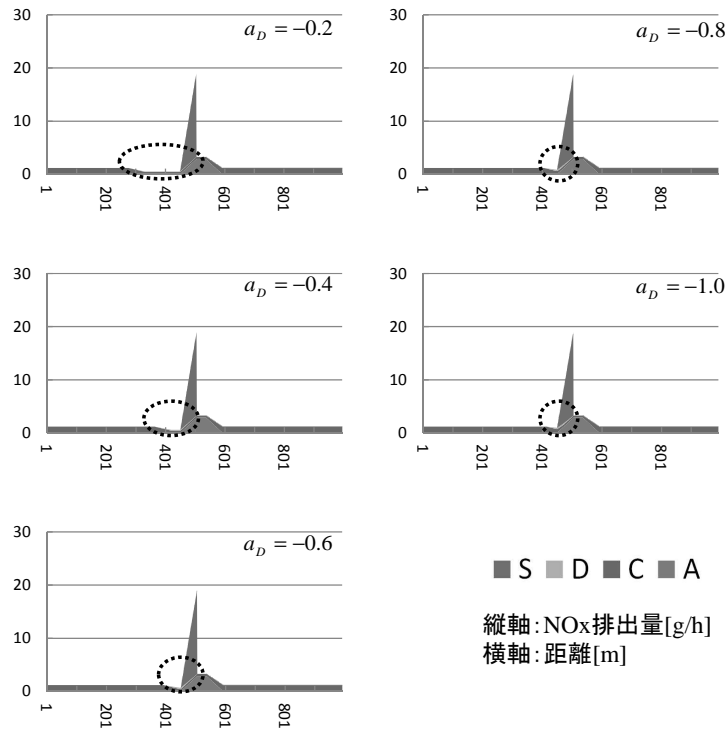


図 6-5-2 減速度の感度分析結果

c)定速度の感度分析結果

定速度の感度分析結果を図 6-5-3 に示す。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、定速度が増加するのに伴い、長くなる。20 km/h では 93 m の範囲で排出されるが、60 km/h では 402 m と長くなっている。A モードの排出区間距離の増加のしかたは指数関数的である。これは、定速度が増加することで、個々の車両の加速距離が長くなり、車群の加速区間が長くなったことが現れた結果である。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は、定速度によらず 2.84 g の一定値をとる。これは、定速度が増加しても加速度は一定値 (0.4 m/s²) としているため、地点別排出量は一定値となることが現れた結果である。

D (減速) モードの排出区間距離 (点線丸部) は、定速度が増加するのに伴い、短くなる。20 km/h では 93 m の範囲で排出されるが、60 km/h では 402 m と長くなっている。定速度の増加による D モードの排出区間距離の増加のしかたは指数関数的である。

点線丸部の地点別排出量をみると、定速度が増加するのに伴い、排出量が少ない区間が増加する。これは、定速度の増加に伴い、D モード通過車両割合が増加するため、排出量の多い C モードのみの区間が減少し、排出量の少ない C モードと D モードが混在する区間が増加することが現れた結果である。地点別排出量は C モードのみの区間は 1.1 g、C・D の混在区間は 0.8 g である。

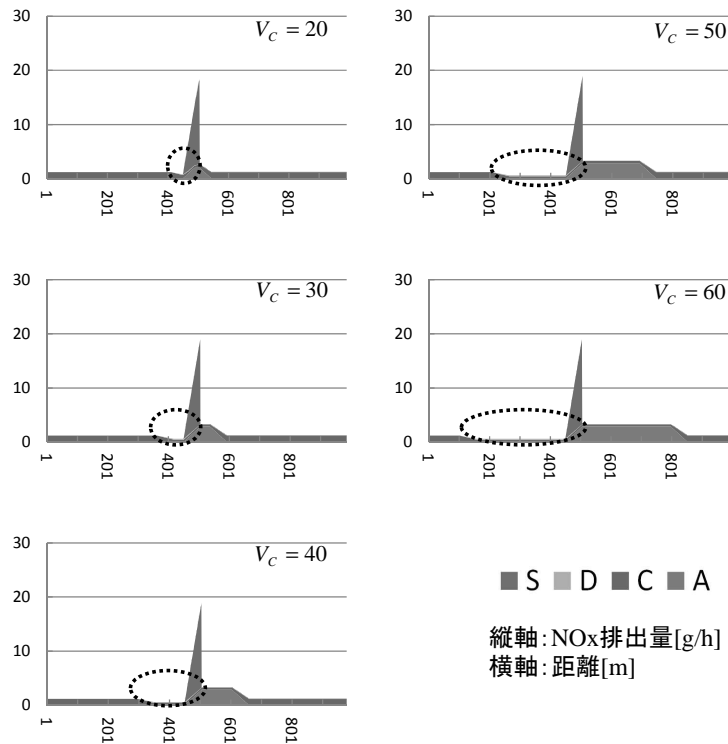


図 6-5-3 定速度の感度分析結果

d) 車頭時間の感度分析結果

車頭時間の感度分析結果を図 6-5-4 に示す。

S (停止) モードの排出区間距離 (三角形の底辺の長さ) は、車頭時間が増加するのにもなって長くなる。1 s では 75 m の範囲で排出されるが、4 s では 100 m と長くなっている。これは、車頭時間が増加することで、停止車列前方のさばける速度が遅くなり、停止車列長が後方まで伸びることが現れた結果である。

S (停止) モードの地点別排出量 (三角形の高さ) は、車頭時間によらず 15.8 g の一定値をとる。これは、車頭時間が増加しても信号での停止時間は一定値であることによる。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、車頭時間が増加するのに伴い長くなる。1 s では 135 m の範囲で排出されるが、4 s では 160 m と長くなっている。A モードの排出区間距離の減少のしかたは指数関数的である。これは、車頭時間の増加に伴い車列長が後方まで伸びることにより、加速波が後方に伸びたことが現れた結果である。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は、車頭時間が増加するのに伴い高くなる。1 s では単位距離あたり 2.53 g 排出されるが、4 s では 3.79 g と約 49% 増加している。地点別排出量の増加のしかたは指数関数的である。これは、車頭時間の増

加に伴い、Aモードで通過する車両の割合が増加したことが現れた結果である。

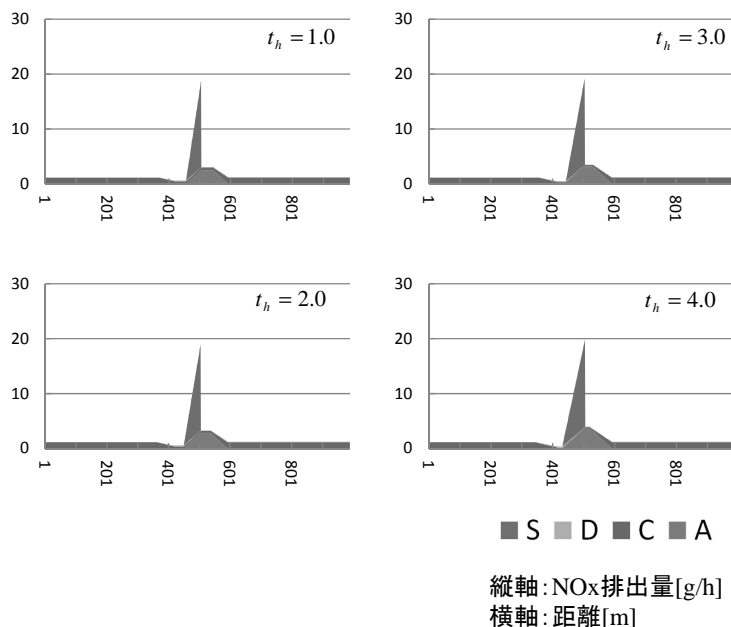


図 6-5-4 車頭時間の感度分析結果

e) 貨物車混入率の感度分析結果

貨物車混入率の感度分析結果を図 6-5-5 に示す。

S (停止) モードの排出区間距離 (三角形の底辺の長さ) は、貨物車混入率の増加に伴い、増加する。貨物車混入率 0.1 では 45 m の範囲で排出されるが、0.5 では、63 m と長くなっている。これは、貨物車の車長が乗用車より長いため、車群の平均車長が増加することによる停止車列長の増加が現れた結果である。

S (停止) モードの地点別排出量 (三角形の高さ) は、貨物車混入率の増加に伴い、増加する。貨物車混入率 0.1 では単位距離あたり 5.23 g 排出されるが、0.5 では 26.3 g と約 5 倍にほぼ線形に増加する。これは、貨物車の排出量が貨物車混入率の増加に伴って増加したことが現れた結果である。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、貨物車混入率が増加するのに伴い長くなる。貨物車混入率 0.1 では 132 m の範囲で排出されるが、0.5 では、150 m と長くなっている。A モードの排出区間距離の増加のしかたはほぼ線形である。これは、貨物車混入率の増加に伴い停止車列長が後方に伸びたことにより、加速波が後方に伸びたことが現れた結果である。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は、車頭時間が増加するのに伴い高くなる。貨物車混入率 0.1 では単位距離あたり 0.94 g 排出されるが、0.5 では 4.74 g と約 5 倍にほぼ線形に増加する。これは、貨物車の排出量が貨物車混入率の増加に

伴って増加したことが現れた結果である。

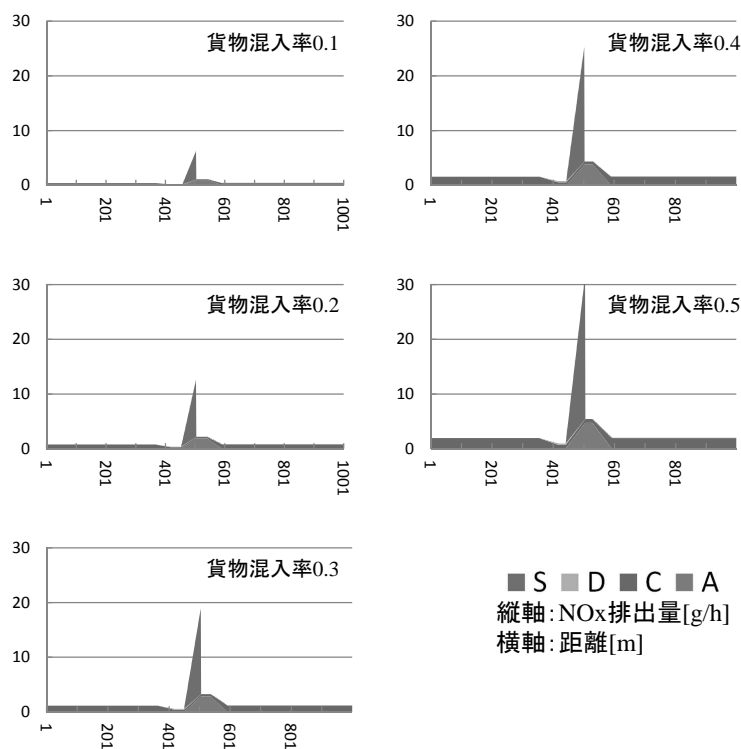


図 6-5-5 貨物車混入率の感度分析結果

f) 大型車混入率の感度分析結果

大型車混入率の感度分析結果を図 6-5-6 に示す。

S (停止) モードの排出区間距離 (三角形の底辺の長さ) は、大型車混入率によらず一定である。

S (停止) モードの地点別排出量 (三角形の高さ) は、大型車混入率の増加に伴い、増加する。大型車混入率 0.25 では単位距離あたり 14.4 g 排出されるが、0.45 では 17.1 g と 18% 増加する。これは、貨物車の内、排出量の多い大型車が増加したことにより排出量が増加したことが現れた結果である。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、大型車混入率によらず一定である。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は、大型車混入率が増加するのに伴い高くなる。大型車混入率 0.1 では単位距離あたり 2.61 g 排出されるが、0.45 では 3.08 g と 18% 増加する。これは、貨物車の内、排出量の多い大型車が増加したことにより排出量が増加したことが現れた結果である。

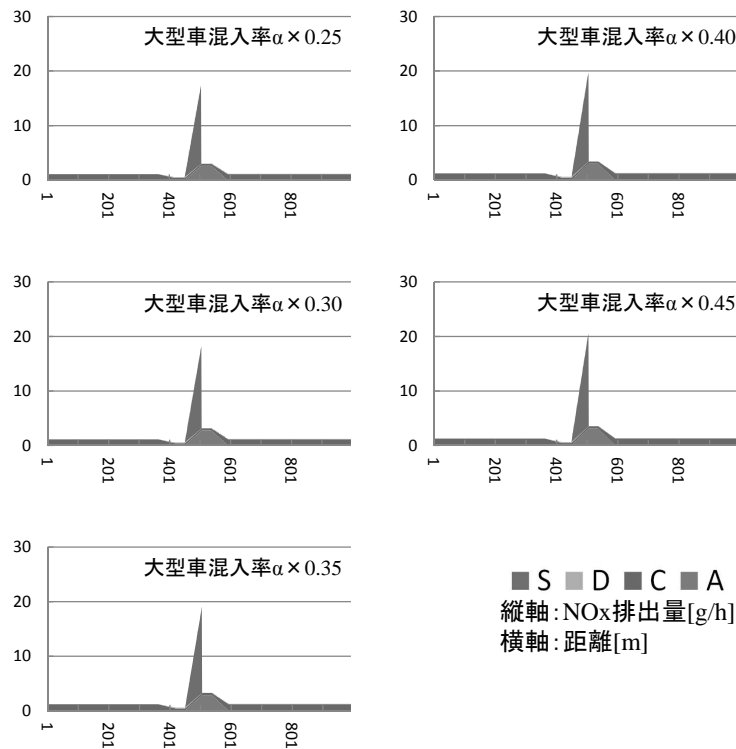


図 6-5-6 大型車混入率の感度分析結果

g)新車混入率の感度分析結果

新車混入率の感度分析結果を図 6-5-7 に示す。

S (停止) モードの排出区間距離 (三角形の底辺の長さ) は、新車混入率によらず一定である。

S (停止) モードの地点別排出量 (三角形の高さ) は、新車混入率の増加に伴い、減少する。新車混入率 0.3 では単位距離あたり 17.9 g 排出されるが、0.6 では 15.7 g と 12% 減少する。これは、貨物車の内、排出量の少ない新車が増加したことにより排出量が減少したことが現れた結果である。

A (加速) モードの排出区間の距離 (台形の底辺の長さ) は、新車混入率によらず一定である。

A (加速) モードの地点別排出量 (台形の高さ) は、新車混入率が増加するのに伴い低くなる。新車混入率 0.3 では単位距離あたり 3.24 g 排出されるが、0.6 では 2.84 g と 12% 減少する。これは、貨物車の内、排出量の少ない新車が増加したことにより排出量が減少したことが現れた結果である。

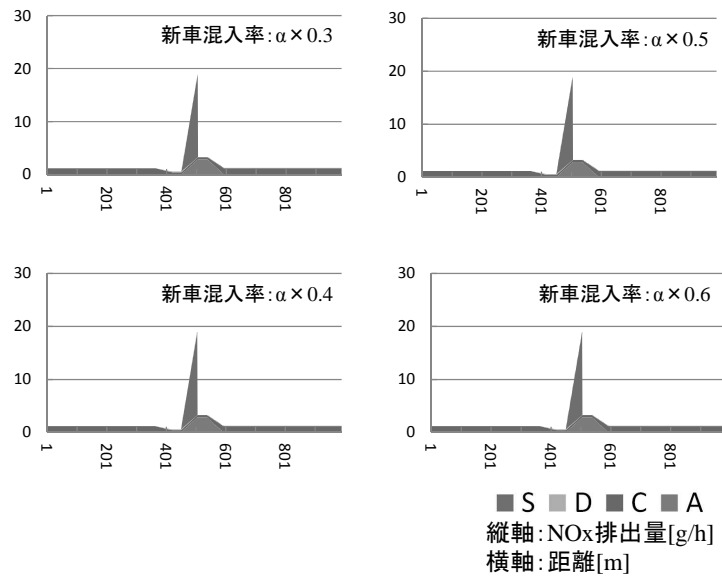


図 6-5-7 新車混入率の感度分析結果

(2) 区間総排出量

区間総排出量の感度分析結果を図 6-5-8 に示す。

a) 加速度の区間総排出量感度

加速度の区間総排出量感度は、 0.2 m/s^2 では 1671 g 排出されるが、 1.0 m/s^2 では 1775 g と 6% 程度増加している。増加のしかたは対数関数的である。地点別排出量では約 3 倍の増加が確認されたが、区間総排出量では 6% 程度の増加となりほぼ一定であるといえる。これは、加減速度と加減速距離が反比例の関係にあり、加速度が増加しても、加速に必要な加速距離は減少するため、加速度と加速距離の積は一定になるためである。Aモードの排出量はパラメータ・加速度・加速通過台数の積で表されるため、地点別排出量は変化するが、区間総排出量はほぼ一定値となる。

b) 減速度の区間総排出量感度

減速度の区間総排出量感度は、減速度の増加により増加する。これは、減速度の増加に伴い、Cモードの排出量が増加し、区間総排出量が増加することが現れた結果である。

区間総排出量の加速度感度と減速度感度を比較するとほぼ同じ変化のしかたをしていることがわかる。これは、前述したとおり、加速度・減速度の変化に伴い加速距離・減速距離も変化するため、加速時・減速時の区間総排出量は一定となる（地点別排出量は変化する）。加速距離・減速距離の変化は定速距離に影響が及ぶため、定速排出量を変化させる。加速度・減速度が増加すると、加速距離・減速距離が減少し、定速距離が増加し、定速排出量が増加する。そのため、加速度・減速度の変化のしかたが同じであれば、区間総排出

量の変化のしかたも同じになる。

c)定速度の区間総排出量感度

定速度の区間総排出量感度は、20 km/hでは1664 g排出されるが、60 km/hでは2128 gと28%程度増加している。増加のしかたは指数関数的である。これは、排出量の多い加速区間の増加が現れた結果である。

d)車頭時間の区間総排出量感度

車頭時間の区間総排出量感度は、1 sでは1672 g排出されるが、4 sでは1929 gと15%程度増加している。増加のしかたは指数関数的である。これは、排出量の多い加速区間の増加・停止車列の増加の影響が現れた結果である。

e)貨物車混入率の区間総排出量感度

貨物車混入率の区間総排出量感度は、貨物車混入率0.1では555 g排出されるが、0.5では3013 gと約5.4倍にほぼ線形に増加する。これは、貨物車の排出量が貨物車混入率の増加に伴って増加したことが現れた結果である。

f)大型車混入率の区間総排出量感度

大型車混入率の区間総排出量感度は、大型車混入率0.1では1584 g排出されるが、0.5では1890 gと19%増加する。これは、貨物車の内、排出量の多い大型車が増加したことにより排出量が増加したことが現れた結果である。

g)新車混入率の区間総排出量感度

新車混入率の区間総排出量感度は、新車混入率0.3では1978 g排出されるが、0.6では1736 gと12%減少する。これは、貨物車の内、排出量の少ない新車が増加したことにより排出量が減少したことが現れた結果である。

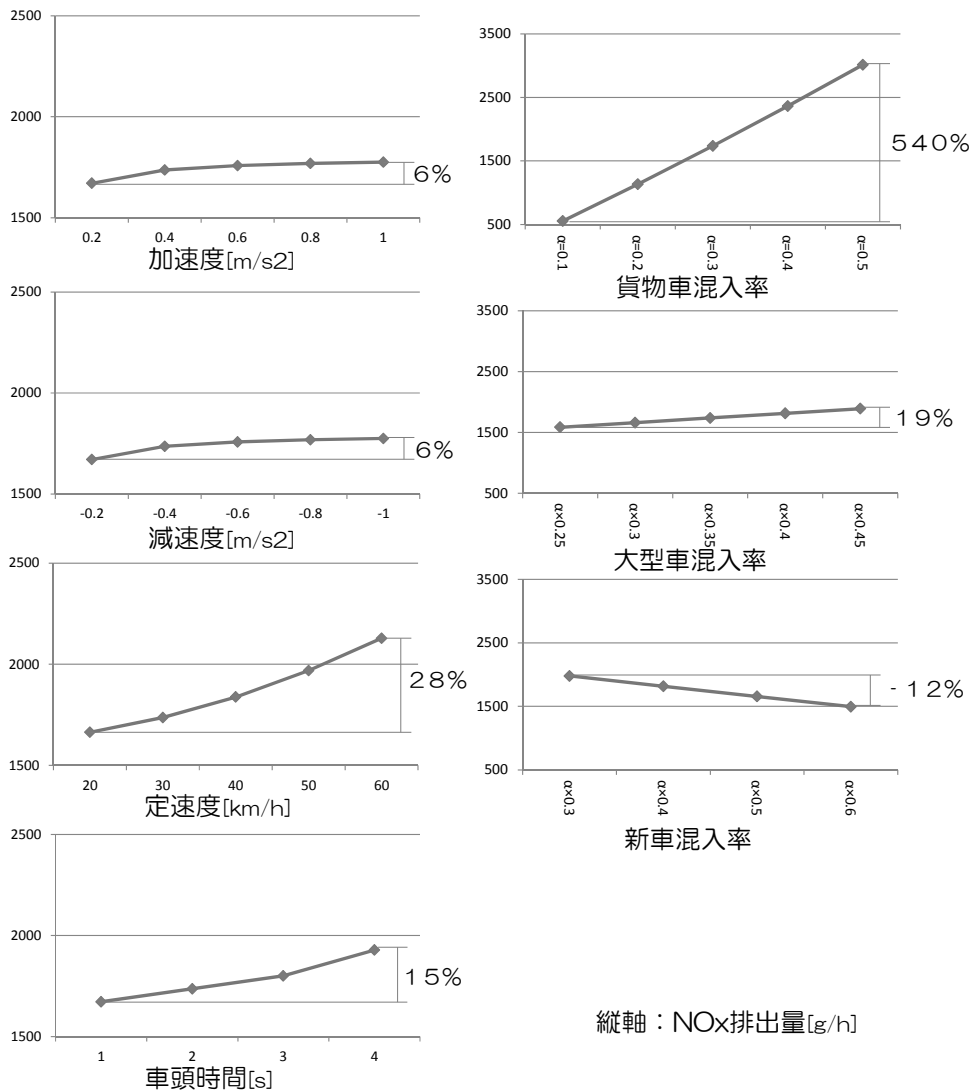


図 6-5-8 区間総排出量の感度分析結果

以上、加速度・定速度・貨物車混入率・新車混入率の感度分析の結果から加速度 400% の変化に対し 6% の変化、定速度 200% の変化に対し 26%、貨物車混入率は 400% の変化に対し 141%、新車混入率 100% の変化に対し 50% の変化を評価できることが明らかになった。このことから、地域や路線による道路構造や貨物車混入率の違いの評価、エコドライブや速度制限・排ガス規制といった行政施策の評価の際にこの分析手法を用いることでこれらの違いを評価可能である。

6. 6 まとめ

6. 6. 1 結論

6章では、車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量の表現方法を示し、車群の地点別排出量を表現する際に置いた3つの仮定（①車両挙動と車両特性を独立に考えること、②車両は一樣に到着すること、③定速度・加速度・減速度を車両によらず一定とすること）の検証、加速度・定速度・貨物車混入率・新車混入率の感度分析を行い、以下の知見を得た。

第1に、車群の車両挙動・車両特性を考慮した地点別排出量の表現方法では、①車両挙動と車両特性を独立に考えること、②車両の一樣到着とすること、③定速度・加減速度を車両によらず一定とすることの3つの仮定を置くことで、別個に算出した車両挙動を表す地点別モード別台数・地点別停止時間と、車両特性を表す車群平均パラメータから地点別排出量を算出できることを示した。

第2に、車群の地点別排出量を表現する際に置いた3つの仮定の検証を行い次の3点を明らかにした。

①車両挙動と車両特性を独立なものとして仮定することで、地点別排出量の排出区間では最大で5m、排出量では最大で7%程度の差が発生するが、区間総排出量は従属に考える場合と平均はほぼ一致し、長時間の排出量を平均的に表したい場合には、算出結果に及ぼす影響は小さいといえる。

②車両挙動表現時に、一樣到着を仮定して算出することは、汚染が問題となる交通量の多い路線では、一樣とみなしても算出結果に影響は無いが、スルーバンドを確保する信号制御を行っている場合等、条件によって最大で26%の差が生じる可能性があり、停止波を2波考慮することが必要な場合がある。

③車両挙動の表現について走行モードの時間構成割合を既存手法¹⁰⁾・実測値・本手法で比較した結果、本手法と実測値との誤差は、加速は+1%、減速は-1%、定速は+2%、停止は-2%程度で表現することができ既存の手法とほぼ同程度の結果を得ることができた。

第3に、車両挙動を表す加速度・定速度、車両特性を表す貨物車混入率・新車混入率の感度分析の結果から、相応の感度の確認ができた。このことから、車両挙動・車両特性を考慮することの必要性を示した。

以上、車両挙動と車両特性を独立に考えても算出結果に及ぼす影響が小さいこと、一樣到着を仮定しても算出結果に及ぼす影響は小さいこと、加速度・減速度・定速度を一定としても車両挙動は現況を再現出来ていることから、3つの仮定を置くことで別個に計算した車両挙動と車両特性から地点別排出量を表現可能である。

このことは、断面交通量・断面平均速度・信号サイクル・が分かれば、5つのモード（加速・定速・減速・低速・停止）で表現した車両挙動と、車種・車齢・積載量の違いを表現

した車両特性を考慮した地点別排出量を算出できることを意味している。

6. 6. 2 今後の課題

今後の課題として次の4点をあげる。

第1に、車両の追従理論を厳密に表現すると車列の後方の車ほど加速度が小さくなることが想定される。その影響は加速波の後方への伸び具合に影響してくる。本稿では加速度を一定とする仮定を置いているが、この点を厳密に考慮することで加速区間の範囲をより厳密に表現することができると考えている。

第2に、手法構築時に仮定した車両の一樣到着について、1サイクルの交通流率赤青比を、20:80を最大値と想定して検証を行った。実際の交通環境で交通流率赤青比がどの程度の値を取りうるかを分析する必要がある。

第3に、この車群の地点別排出量が、実際の沿道における車群の地点別排出量の現況をどの程度再現できるかを確認する必要がある。そのためには、拡散の影響を無視できる状況下（例えばトンネル内等）で車群の地点別排出量を計測する方法が必要となる。

第4に、道路ネットワークへ拡張して評価する際に、交差点4方向からの流入・流出・右左折交通量の連続性、右左折車の加減速の影響の表現方法が課題となる。

補注

※1 従属手法の個々の車両ごとの走行モード変化地点の決定方法を説明する。最初に個々の車両の停止位置を決定し、停止位置からさかのぼり、減速開始位置を決定し、停止位置から進行方向に加速波を決定する。

停止位置は発生させた車両の順番に依存する。車両*i*の停止時間 ts_i 、停止位置 Xs_i は車列形成台数 q' 、個々の車長 l_i を用いて式(1)、式(2)で表せる。ただし、 i は車列形成台数である q' 台までの発生とする。

$$ts_{i \mid 0 < i < q'} = \frac{t_R}{1 - q'}(i - 1) + t_R \quad \dots (1)$$

$$Xs_{i \mid 0 < i < q'} = \sum_i l_i \quad \dots (2)$$

次に、停止位置からさかのぼり、減速開始位置を決める。車両*i*が減速を開始する位置 X_{Di} は X_{Si} を用いて式(3)で表せる。

$$X_{Di} = X_{Si} - l_D \quad \dots (3)$$

ここに、 l_D : 減速距離とし、 l_D は停止位置や交通量によらず全車一律の距離と仮定する。減速距離 l_D は定速速度 V_C から時速 0 [km/h] まで減速度 a_D で減速する場合に式 (4) で表せる。

$$l_D = \frac{V_C^2}{2 \cdot a_D} \quad \dots (4)$$

減速距離 l_D 内では等減速度で減速すると仮定すると、地点 x において車両 i が単位距離を減速モードで走行する速度は式 (5) により表せる。

$$v_{Di(x)} = \frac{V_C}{l_D} \cdot (l_D - x) \quad \dots (5)$$

単位距離を減速モードで走行する時間は速度と加速度と時間の関係から式 (6) により表せる。

$$t_{Di(x)} = \frac{v_{i(x)} - v_{i(x-1)}}{a_D} \quad \dots (6)$$

さらに、加速終了位置を決める。車両 i 加速を終了する位置 X_{Ai} は X_{Si} を用いて式 (7) で表せる。

$$X_{Ai} = X_{Si} + l_A \quad \dots (7)$$

ここに、 l_A : 加速距離とし、 l_A は停止位置や交通量によらず全車一律の距離と仮定する。

加速距離 l_A は時速 0 [km/h] から定速速度 V_C まで加速度 a_A で加速すると仮定すると式 (8) で表せる。

$$l_A = \frac{V_C^2}{2 \cdot a_A} \quad \dots (8)$$

加速距離 l_D 内では等加速度で加速すると仮定すると、地点 x において車両 i が単位距離を加速モードで走行する速度は式 (9) により表せる。

$$v_{Ai(x)} = \frac{V_C}{l_A} \cdot x \quad \dots (9)$$

単位距離を加速モードで走行する時間は速度と加速度と時間の関係から式 (10) により表せる。

$$t_{Ai(x)} = \frac{v_{i(x)} - v_{i(x-1)}}{a_A} \quad \dots (10)$$

定速については、一度停止する車両 ($1 < i < q'$) と停止せずに通過する車両 ($q' < i < q$) について分けて定式化する。一度停止する車両は停止前の定速走行と加速後の定速走行に分けて定式化する。定速距離は車両 i により異なる。停止前の定速距離を l_{C1i} 、加速後の定速距離を l_{C2i} とすると、 X_{Di} 、 X_{Ai} を用いて式 (11) で表せる。

$$\begin{aligned} l_{C1i} &= X_{Di} - X_1 \\ l_{C2i} &= X_2 - X_{Ai} \end{aligned} \quad \dots (11)$$

ここに、 X_1 : 定速開始位置 (=対象区間の開始位置)、 X_2 : 定速終了位置 (=対象区間の終了位置) とする。

停止せずに通過する車両は $X_1 \sim X_2$ 間を定速速度 V_C で通過する。定速距離は式 (12)、定速時間は式 (13) でそれぞれ表せる。

$$l_{Ci} = X_2 - X_1 \quad \dots (12)$$

$$t_{Ci} = \frac{l_{Ci}}{V_C} \quad \dots (13)$$

6章 参考文献

- 1) 白濱好文, 屋井鉄雄, 福田大輔, 神田学(2004), 「マイクロシュミレーションを活用した交通と大気環境の広域評価システム」, 土木学会論文集, NO. 772, IV-65, PP115-130
- 2) 小根山裕之, 桑原雅夫(2001), 「排出量推計モデルに基づく信号交差点の排出量推計」, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, PP121-124
- 3) 公害研究対策センター, 「窒素酸化物総量規制マニュアル」
- 4) 西村昂, 日野泰雄, 海住正治(1982), 「信号停止モデルによる自動車走行モードの予測方式に関する基礎的研究」, 土木学会論文報告集, 第324号, PP141-149
- 5) 小林貴, 鹿島茂(2013), 「貨物車の走行状態、走行環境を考慮した燃料消費量、環境負荷物質排出量推計モデルの構築」, 交通工学, Vol. 48, NO. 2, PP45-52
- 6) 鹿島茂, 横田久司, 国領和夫(2005), 「自動車の走行モードを明示的に考慮した環境負荷量推計モデルの開発」, 大気環境学会誌, 第40巻, 第4号, PP137-147
- 7) 久保田尚, 大口敬, 高橋勝美, 「交通工学・交通計画」, PP53
- 8) 松橋啓介, 田邊潔, 森口祐一, 小林伸治(2004), 「自動車に起因する大気汚染物質排出量推計手法の開発(II) : 地域分布推計と沿道曝露人口の試算」, 大気環境学会誌, 39(6),

PP294-303

- 9) 山田裕之, 林留美子, 戸野倉賢一(2012), 「高速道路上の二酸化窒素濃度および自動車車室内への影響調査結果について」, 大気環境学会誌, 第 47 卷, 第 1 号, PP67-74
- 1 0) 岡本真一, 塩沢清茂(1977), 「交差点付近の一酸化炭素を対象とした大気汚染モデルに関する研究」, 大気汚染研究, 第 12 卷, 第 3 号, PP39-56
- 1 1) 森野伸崇, 寺町賢一, 角知憲(1999), 「交差点付近の窒素酸化物の濃度分布予測」, 環境システム研究-アブストラクト審査部門論文, Vol. 27, PP643-648
- 1 2) 西村昂, 日野泰雄, 伊藤智仁(1986), 「渋滞時の自動車走行モード予測方法」, 土木計画学研究論文集, No. 3, PP161-168

7章 道路網の地点別排出量の表現

7. 1	はじめに	7-1
7. 2	右左折車の考慮方法	7-1
7. 2. 1	進行方向・到着時の信号による交通量の連続性の表現方法	7-2
7. 2. 2	進行方向別の走行モードの違いの表現方法	7-3
(1)	直進車の走行モード	7-3
(2)	右左折車の走行モード	7-4
(3)	交差点内方向転換時の排出量の表現方法	7-5
7. 2. 3	進行方向別・到着時信号別交通量と走行モードの表現	7-6
7. 3	右左折車の後続車の考慮方法	7-8
7. 3. 1	方法	7-8
(1)	右左折車が後続車へ及ぼすショックウェーブの表現方法	7-9
(2)	右左折車後続車の走行モードの表現	7-10
7. 3. 2	後続車を考慮した場合としない場合の算出結果の比較	7-11
(1)	地点別排出量	7-11
(2)	区間総排出量	7-12
7. 4	多様な交差点形状の表現方法	7-14
7. 4. 1	多様な交差点形状を表現する際の課題	7-14
(1)	現示の違い	7-14
(2)	車線数の違い	7-14
(3)	交差形式の違い	7-14
7. 4. 2	多様な交差点形状の表現方法	7-15
7. 4. 3	3車線・右折信号有の交差点の表現例	7-15
7. 5	まとめ	7-18
7. 5. 1	結論	7-18
7. 5. 2	今後の課題	7-19
補注		7-19
7章	参考文献	7-19

7. 1 はじめに

前章までで、単一交差点の単一区間を通過する車群の地点別排出量の表現方法を示した。本章では、前章で構築した区間別の地点別排出量表現手法を結合し、道路網に拡張する際に必要となる右左折車の考慮方法、右左折車後続車の影響の検討、多様な交差点への適用方法について述べる。

本章の構成は以下のとおりである。

2節で、右左折車の考慮方法について述べる。ここでは、進行方向別・到着時信号別交通量の連続性の表現方法、進行方向別の走行モードの違いの表現方法、進行方向別・到着時の信号別の交通量と走行モードの表現方法について述べる。

3節で、右左折車の後続車の影響を検討する。ここでは、右左折車の後続車の考慮方法を示し、後続車を考慮した場合としない場合の算出結果の比較から、後続車を考慮した場合の影響の大きさを示す。

4節で、車線・現示・交差形式の異なる多様な交差点に、本手法を適用するために交通量を走行パターン別に分類する方法を示す。

5節で、まとめと今後の課題について述べる。

7. 2 右左折車の考慮方法

ここでは、右左折車の考慮方法について述べる。右左折車両は交差点部で必ず加減速をする。特に右折車は停止する時間が長い場合が多いため、これら右左折車の加減速による排出量を無視することはできない。そのため、右左折車の加減速を考慮する必要がある。

右左折車の影響を考慮する際の課題として次の3点をあげる。

①進行方向別・到着時信号別の交通量の連続性の表現

右左折車を考慮する場合、進行方向別（直進・右折・左折）・到着時信号別（赤到着・青到着）の台数の連続性を表現する必要がある。

直進車は交差点前・交差点後ともに直進方向の台数にカウントされるが、右左折台数は、交差点前は直進方向の台数（右左折進入台数）にカウントされ、交差点後は直交方向の台数（右左折退出台数）にカウントされる。さらに直進車・右左折車それぞれに、赤時間に到着する車両と青時間に到着する車両がある。

②進行方向別・到着時信号別の走行モードの違いの表現

交差点通過車の走行モードは進行方向・到着時信号によって異なるため、進行方向・到着時信号による走行モードの違いを表現する必要がある。

直進車は交差点内を加速で通過するが、右左折車は交差点内を低速で方向転換した後、直交方向で加速する。さらに、右折車、左折車はそれぞれ交差点内で方向転換する距離が異なる。また、到着時の信号によっても走行モードが異なる。

③進行方向別・到着時の信号別交通量と走行モードの表現

進行方向別・到着時点の信号別交通量ごとに走行モードを表現する必要がある。

赤時間に到着する直進車は交差点内を加速で通過し、青時間に到着する直進車は定速で通過する。赤時間に到着する右左折車は右左折によらず赤信号の停止車列に加わり、赤時間終了後、交差点内で方向転換した後、直交方向の区間で加速する。青時間に到着する右左折車は交差点手前で減速し、交差点内で方向転換した後、直交方向の区間で加速する。

7. 2. 1 進行方向・到着時の信号による交通量の連続性の表現方法

ここでは、進行方向別・到着時信号別の交通量の連続性を表現する方法を示す。進行方向（直進・右左折）・到着時の信号（赤到着・青到着）によって、走行モードが異なるため、進行方向別・到着時信号別に分けて考える必要がある。

図7-2-1に4方向の交差点を考えた場合の進行方向別・到着時信号別交通量の連続性の概念図を示す。ここでは、定常状態・交通量が保存されている状態の交通量・右左折率がわかっていることを前提とする。

①方向から交差点に進入する右折車は⑧に退出するため⑧の断面交通量に加算される。同様に、①方向から交差点に進入する左折車は⑥の断面交通量に、直進車は②の断面交通量に加算される。

⑦方向から交差点に進入する左折車は左折進入車として②の断面交通量に加算され、⑤方向から交差点に進入する右折車は右折進入車として②の断面交通量に加算される。

直進車・右折車・左折車それぞれが、交差点到着時の信号によって赤到着・青到着に分類される。

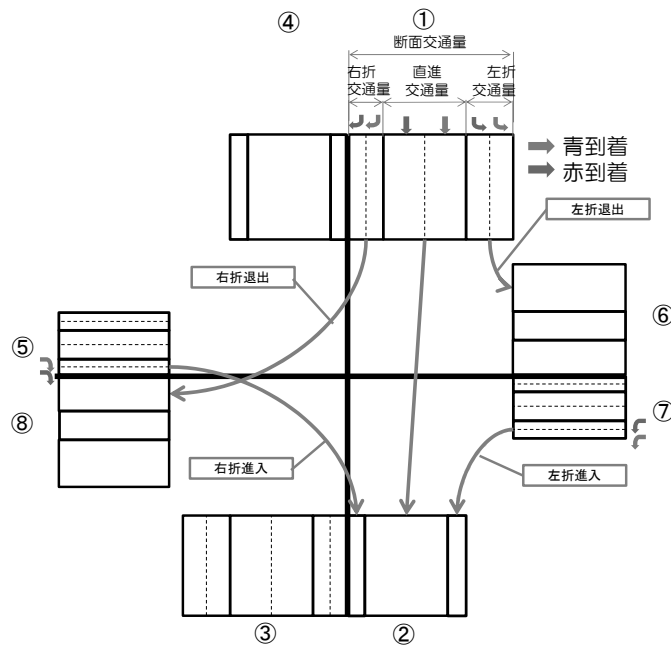


図 7-2-1 進行方向別・到着時信号別断面交通量の連続性表現方法の概念図

赤時間到着車の直進車・右左折車、青時間到着車の直進車・右左折車の算出式を表 7-2-1 に示す。赤時間に到着する交通量は前章で導出した交通量・赤時間・車頭時間との関係式より算出する。赤時間到着車台数と青時間到着台数と右左折率から信号別・進行方向別交通量を算出する。

表 7-2-1 進行方向別・到着時信号別交通量の算出式

信号	進行方向	台数[台/h]
赤 $q_R^{\textcircled{1}} = \frac{t_R \cdot q^{\textcircled{1}}}{1 - t_h^{\text{min}} \cdot q^{\textcircled{1}}}$	直進①→②	$q_{R直}^{\textcircled{1}} = q_R^{\textcircled{1}} \cdot (1 - \delta_{右}^{\textcircled{1}} - \delta_{左}^{\textcircled{1}})$
	左折①→⑥	$q_{R左}^{\textcircled{1}} = q_R^{\textcircled{1}} \cdot \delta_{左}^{\textcircled{1}}$
	右折①→⑧	$q_{R右}^{\textcircled{1}} = q_R^{\textcircled{1}} \cdot \delta_{右}^{\textcircled{1}}$
	左折⑦→②	$q_{R左}^{\textcircled{7}} = q_R^{\textcircled{7}} \cdot \delta_{左}^{\textcircled{7}}$
	右折⑤→②	$q_{R右}^{\textcircled{5}} = q_R^{\textcircled{5}} \cdot \delta_{右}^{\textcircled{5}}$
青 $q_G = q - q_R$	直進①→②	$q_{G直}^{\textcircled{1}} = q_G^{\textcircled{1}} \cdot (1 - \delta_{右}^{\textcircled{1}} - \delta_{左}^{\textcircled{1}})$
	左折①→⑥	$q_{G左}^{\textcircled{1}} = q_G^{\textcircled{1}} \cdot \delta_{左}^{\textcircled{1}}$
	右折①→⑧	$q_{G右}^{\textcircled{1}} = q_G^{\textcircled{1}} \cdot \delta_{右}^{\textcircled{1}}$
	左折⑦→②	$q_{G左}^{\textcircled{7}} = q_G^{\textcircled{7}} \cdot \delta_{左}^{\textcircled{7}}$
	右折⑤→②	$q_{G右}^{\textcircled{5}} = q_G^{\textcircled{5}} \cdot \delta_{右}^{\textcircled{5}}$

ここに、 $q^{\textcircled{1}}$ (進入方向) は進入方向別の断面交通量、 $q^{\textcircled{1}}_{(車線)}$ (進入方向) は進入方向別・車線別・到着時信号別・進行方向別の台数、 $\delta_{右}^{\textcircled{1}}$ 、 $\delta_{左}^{\textcircled{1}}$ (進入方向) は進入方向別の右左折率を表す。

以上の方法で進行方向別（直進・右折・左折）、到着時信号別（赤到着・青到着）別に交通量を分類し、連続性を表現する。

7. 2. 2 進行方向別の走行モードの違いの表現方法

(1) 直進車の走行モード

青到着の直進車の走行モードは、交差点で変化せず定速 (C) で交差点を通過する。青到着の直進車の内、右左折車の後続車である場合には、右左折車の加減速の影響を受け、加減速する場合がある。この点は次節で述べる。

赤到着の直進車の走行モードは、定速 (C) で走行している状態から交差点手前で減速 (D) し、車列最後尾で停止 (S) する。その後停止位置から加速 (A) し、再び定速 (C) に戻る。青到着・赤到着の直進車の表現方法は前章で述べた方法と同じである。

(2) 右左折車の走行モード

青到着の右左折車の走行モードは、定速 (C) で走行している状態から交差点手前で減速 (D) し、交差点入口で対向車や歩行者との交錯を回避するために停止 (S) する。その後交差点内で低速 (L) で方向転換を行い、交差点出口以降で加速 (A) し、再び定速 (C) に戻る (図7-2-2)。

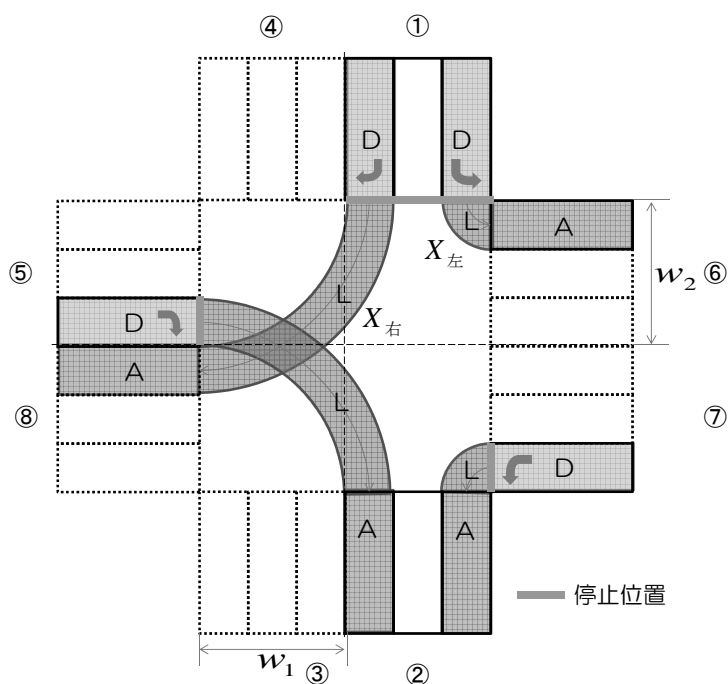


図7-2-2 青到着の右左折車の走行モード

赤到着の右左折車の走行モードは、定速 (C) で走行している状態から交差点手前で減速 (D) し、車列最後尾で停止 (S) する。その後停止位置から低速 (L) で走行し、交差点入口で対向車や歩行者との交錯を回避するために停止 (S) する (図7-2-3)。

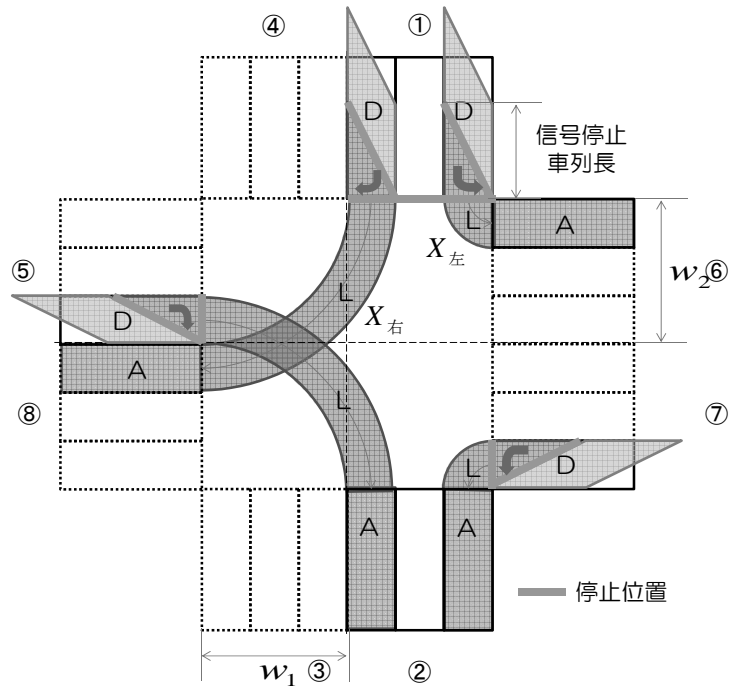


図 7-2-3 赤到着の右左折車の走行モード

(3) 交差点内方向転換時の排出量の表現方法

交差点内で方向転換する際の低速 (L) モードの排出量は時間の関数として式 (7-2-1) で表現できる事がわかっている¹⁾。

$$f_i^L = \beta_i^L \cdot M_i \cdot t^L \cdot \dots (7-2-1)$$

ここに、 f_i^L は車両 i の単位時間排出量、 β_i^L は車両 i の排出パラメータ、 t^L は低速モードの走行時間を表す。

交差点内で時間 T に排出される量は式 (7-2-2) に表現できる。この時、算出する排出量の交差点内の分布は考えず、交差点中心部の四角形内から交差点内通過車両の合計排出量が排出されるものとして考える。

$$F^L = \int_T \overline{\alpha^L} \cdot t_{(x,T)}^L dT \quad \dots (7-2-2)$$

$$F_L = \overline{\alpha^L} \cdot T_L$$

ここに、 $\overline{\alpha^L}$ は低速モードの交差点通過車両の平均パラメータ、 T_L は交差点内を右左折した車両の合計走行時間を表し、式 (7-2-3) で表現できる。

$$T_L = \frac{X_{右} \cdot q_{右} + X_{左} \cdot q_{左}}{v_5} \quad \dots (7-2-3)$$

ここに、 $X_{右}$ 、 $X_{左}$ は右左折車の交差点内走行距離を表す。右折車・左折車はそれぞれ交差点内で走行する距離が異なる。右折車両が交差点内を走行する距離は式(7-2-4)に、左折車が交差点内を走行する距離は式(7-2-5)にそれぞれ表せる(図7-2-4)。

$$X_{右} = \frac{3\pi}{8}(w_1 + w_2) \quad \dots (7-2-4)$$

$$X_{左} = \frac{\pi}{8}(w_1 + w_2) \quad \dots (7-2-5)$$

ここに、 w_1 は交差点進入方向の幅員、 w_2 は交差点退出方向の幅員、 π は円周率を表す。

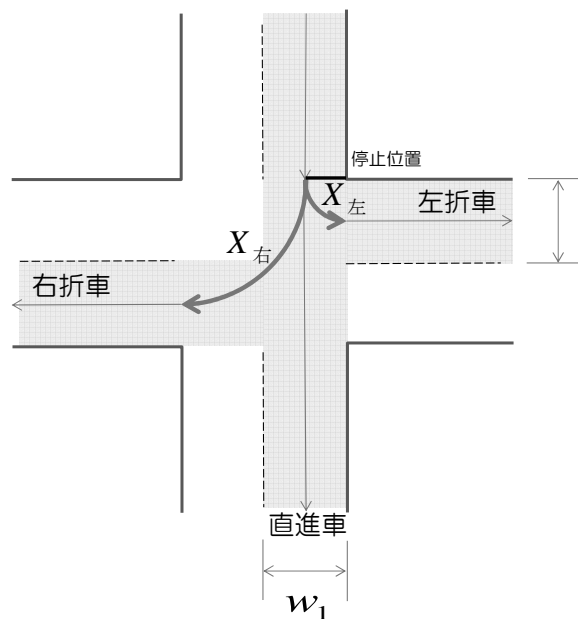


図7-2-4 右左折距離の表現方法

7. 2. 3 進行方向別・到着時信号別交通量と走行モードの表現

赤時間到着車の直進車・右左折車、青時間到着車の直進車・右左折車それぞれの台数と加速波・減速波・停止波の表現方法について述べる(図7-2-5)。

赤時間到着車は信号のため、交差点手前の停止車列最後尾から減速距離を引いた地点から減速する。直進車は停止地点から定速に達するまで加速する。右左折車は交差点内を方向転換のために低速走行した後、交差点出口から定速に達するまで加速する。

青時間到着車の直進車は減速が無いため、定速で通過する。直進車で右左折車の後続車

は右左折車の影響をうけるため、交差点停止線部まで減速し、停止地点から定速に達するまで加速する。停止地点は全車同一の交差点停止線部とする。右左折車は交差点手前で減速し、停止線で停止した後、交差点内を方向転換のために低速走行し、交差点出口から定速に達するまで加速する。

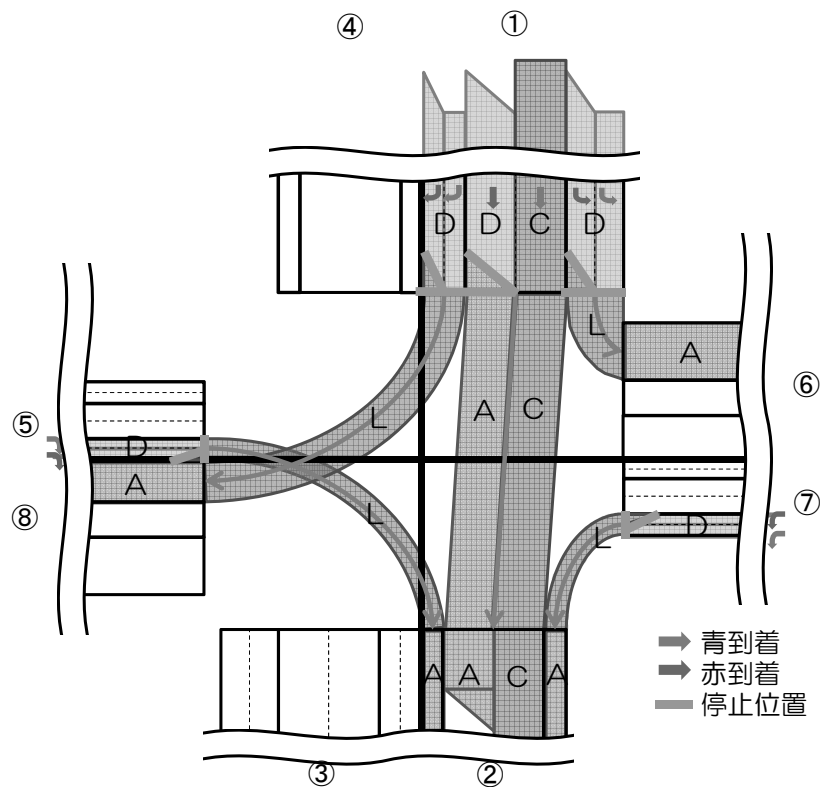


図 7-2-5 進行方向別・到着時信号別交通量と走行モード

以上、右左折車の表現は、交通量・信号サイクル・右左折率より、進行方向別・到着時信号別の台数・走行モードを時間距離図・台距離図で表すことで表現できることを示した。

7. 3 右左折車の後続車の考慮方法

大気汚染が問題となる交通量の多い路線では、右左折車が交差点部で加減速をする際に、後続車が右左折車の影響を受け加減速するが発生する。右左折車の後続車が加減速することによる排出量の影響を考慮した場合と、考慮しない場合の算出結果を比較し、右左折車の後続車の影響の大きさについて述べる

7. 3. 1 方法

右左折車の後続車の影響を確認するために、右左折車の後続車を考慮した場合としない場合の地点別排出量と区間総排出量を比較する。

右左折車後続車の排出量を算出する際に課題となるのは次の2点である。

第1に、右左折車が後続車へ及ぼすショックウェーブの表現方法である。1台の右左折車が何台の後続車に影響を及ぼすかを表現する必要がある。

第2に、右左折後続車の走行モードの表現方法である。右左折車後続車それぞれの台数と加速波・減速波・停止波を表現する必要がある。

前提として、右左折率、右左折車が対向車や歩行者の隙間を待つ間の平均停止時間（ギャップ時間）が右折8秒・左折5秒で与えられているものとする。

区間別合計排出量を算出する際に、右左折率の大きさによる算出結果の違いを確認するために、表7-3-1に示すとおり右左折率を0.2～0.4に変化させた条件で算出する。排出量を算出する区間は、交差点を中心とする4方向500mの範囲とする（図7-3-1）。交通は、1方向からの流入と直進・右折・左折の3方向への流出のみを考える。交通量は400台/h^{*1}、信号サイクルは青：赤：黄色＝60：60：3としている。

表7-3-1 右左折率設定ケース

直進率	右折率	左折率
0.8	0	0.2
	0.1	0.1
	0.2	0
0.7	0	0.3
	0.1	0.2
	0.2	0.1
	0.3	0
0.6	0.1	0.3
	0.2	0.2
	0.3	0.1

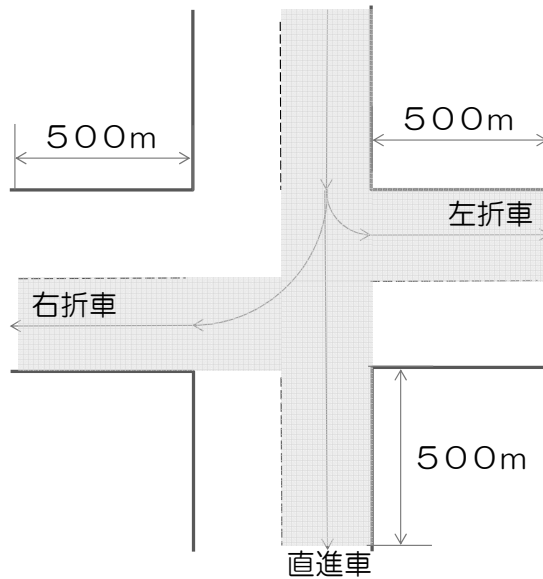
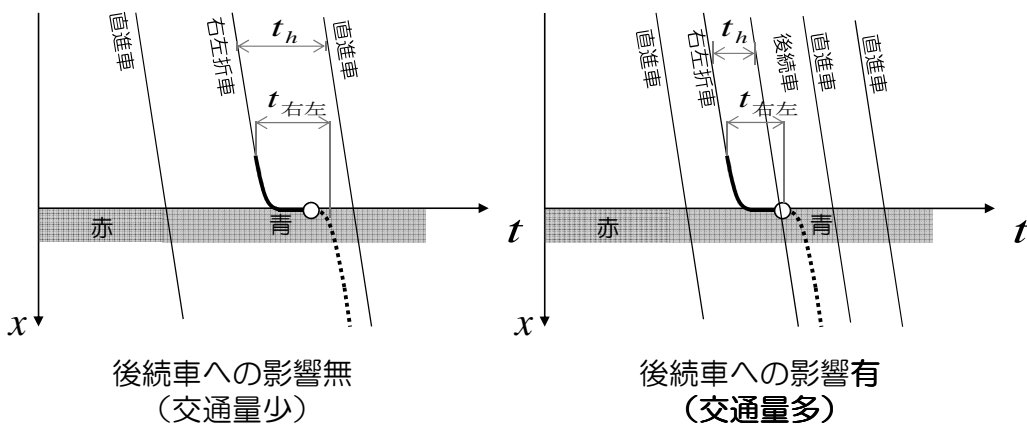


図 7-3-1 進行方向別・到着時信号別交通量と走行モード

(1) 右左折車が後続車へ及ぼすショックウェーブの表現方法

右左折車の後続車が受ける影響は、右左折車によって車線を封じられている時間に到着した車両が減速・停止・再加速することである (図 7-3-2)。

後続車台数は 1 台の右左折車から発生する後続車台数に、右左折車台数を乗じて算出する。1 台の右左折車から影響を受ける後続車台数は、到着する車両の時間間隔に占める右左折に要する時間比率と右左折車台数から式 (7-3-1) で表せる。



後続車への影響無
(交通量少)

後続車への影響有
(交通量多)

図 7-3-2 右左折車後続車のショックウェーブの表現方法

$$q'_{直} = \text{int}(t_{右}/t_h) \cdot q_{右} + \text{int}(t_{左}/t_h) \cdot q_{左} \quad \dots (7-3-1)$$

ここに、 $q'_{直}$ は右左折車の影響を受ける後続車台数[台/h]、 $t_{右}, t_{左}$ はそれぞれ右折所要時間[s]、左折所要時間[s]、 t_h は到着車両の時間間隔[s]、 $q_{右}, q_{左}$ は右左折車台数[台/h]を表す。 $t_{右}/t_h, t_{左}/t_h$ は、小数点以下切捨により整数化する。

右左折所要時間は、右左折車が元の車線上からいなくなり、車線上に後続車が走行可能なスペースが確保できるまでの時間として、減速時間・停止時間・低速時間（方向転換）の和で表せる（式（7-3-2））。低速時間は、右折は右折距離の1/2 走行時点（交差点中央部まで進んだ距離）とし、左折は左折距離走行時点としている。

$$t_{右} = \frac{v_c}{a_D} + t_{右}^S + \frac{3 \cdot \pi \cdot (w_1 + w_2)}{16 \times 1.38} \quad \dots (7-3-2) \cdot a$$

$$t_{左} = \frac{v_c}{a_D} + t_{左}^S + \frac{\pi \cdot (w_1 + w_2)}{8 \times 1.38} \quad \dots (7-3-2) \cdot b$$

ここに、 $t_{右}, t_{左}$ は右折所要時間と左折所要時間、 v_c は定速度、 a_D は減速度、 $t_{右}^S, t_{左}^S$ は停止時間（ギャップ時間）、 π は円周率、 w_1 は進行方向車線の片側幅員、 w_2 は直行方向車線の片側幅員を表す。

（2）右左折車後続車の走行モードの表現

右左折車後続車の走行モードは、定速（C）で走行している状態から右左折車に追従して、交差点手前で減速（D）し、交差点入口で右左折車が交差点から退出するまで停止（S）する。その後、加速（A）し、再び定速（C）に戻る。

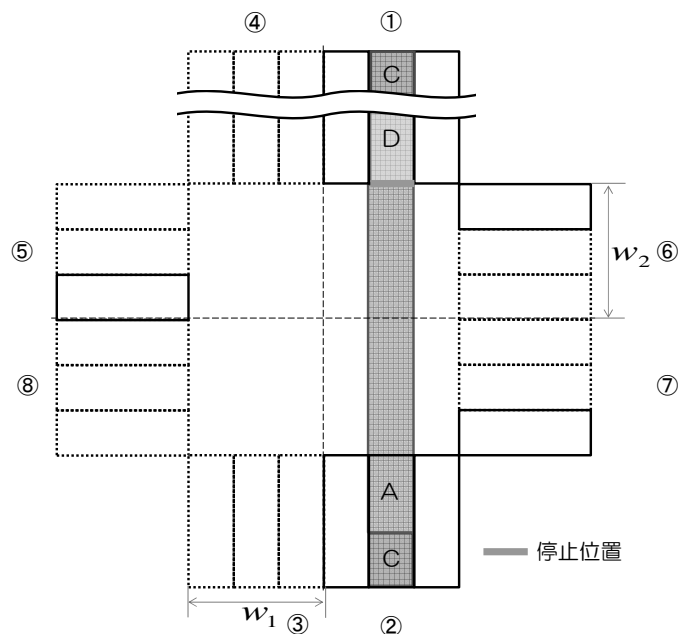


図7-3-3 右左折後続車の走行モード

7. 3. 2 後続車を考慮した場合としない場合の算出結果の比較

(1) 地点別排出量

図7-3-4に右左折車の後続車の影響を考慮した場合としない場合の地点別排出量の算出結果を示す。図は、直進・左折・右折の3分割に示している。直進には交差点部までは直進車+右左折車、交差点以降は直進車が表示しており、左折・右折には、交差点以降直交方向の左折車と右折車が表示している。

430m付近で定速排出量が不連続に減少している。これは、青時間の右左折車が減速を開始する影響が現れている。430m付近は、青時間に右左折する車両が減速を開始する地点である。青時間に到着する右左折車は全車同じ地点から減速を開始するため、不連続に変化する。減速台数が増加することで、定速台数が減少し定速排出量が減少している。

交差点部(500m地点)で加速による排出量が不連続に増加している。これは、右左折車の後続車が再加速する際の排出量が現れた結果である。

地点別排出量を見る限り、後続車の影響は大きくないことがわかる。右左折車1台が影響をおよぼす後続車台数は3台であった。

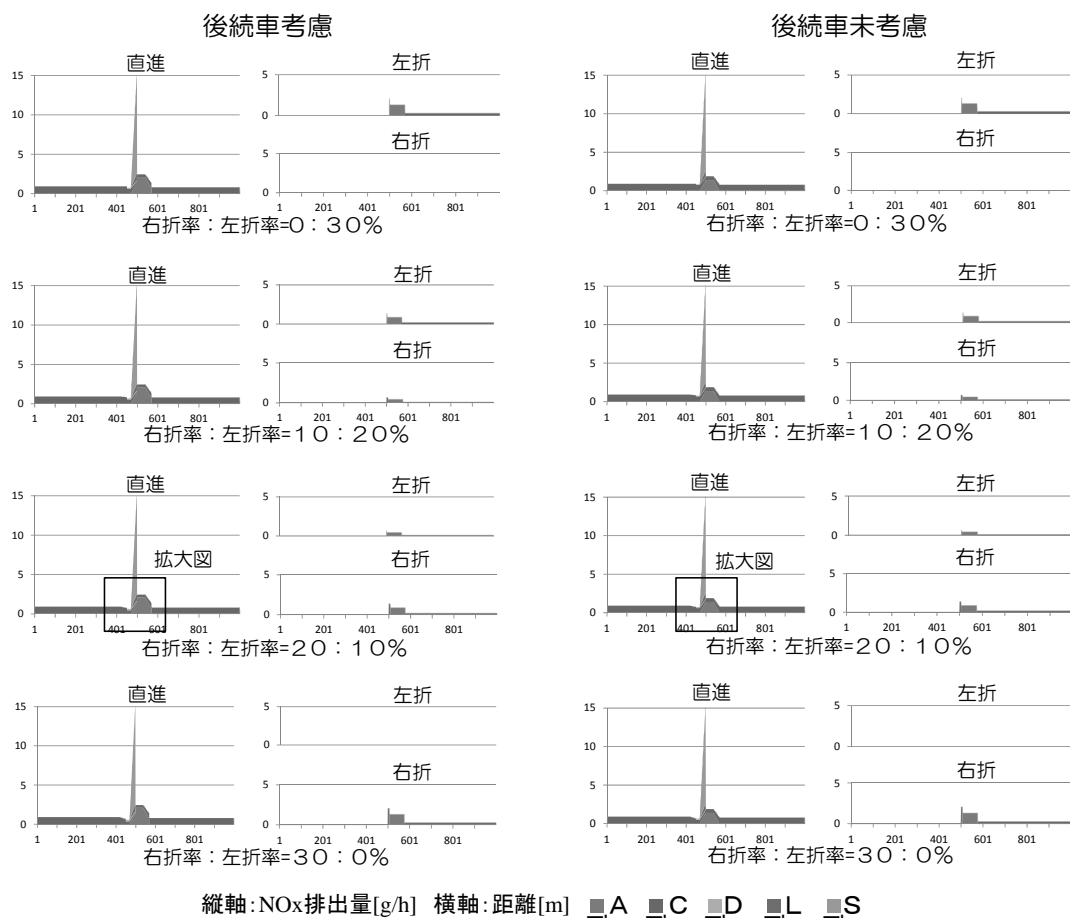


図7-3-4 右左折車の後続車の影響を考慮した場合としない場合の地点別排出量の比較

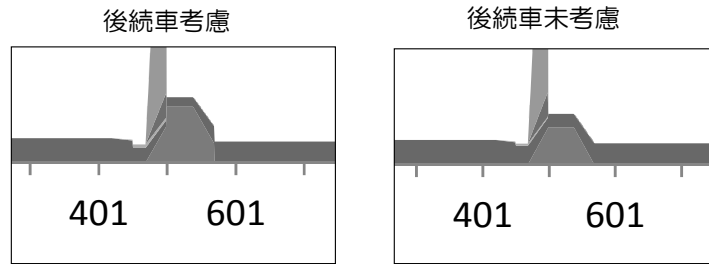


図 7-3-4 (拡大図)

(2) 区間総排出量

右左折車の後続車の影響を考慮した場合としない場合の区間総排出量の算出結果を図 7-3-5 に示す。

右左折率が高くなるほど（直進率が低くなるほど）合計の排出量は多くなる。これは、右左折車の加減速による排出量が多くなっているためである。

右左折率が高くなるほど、区間総排出量の後続車考慮と後続車未考慮の差は大きくなり、右左折率の内右折率が高くなるほど、後続車考慮と未考慮の差は大きくなる。これは、右左折率の増加（特に右折車の影響が大きい）に伴い、後続車への影響が増加している結果が現れている。

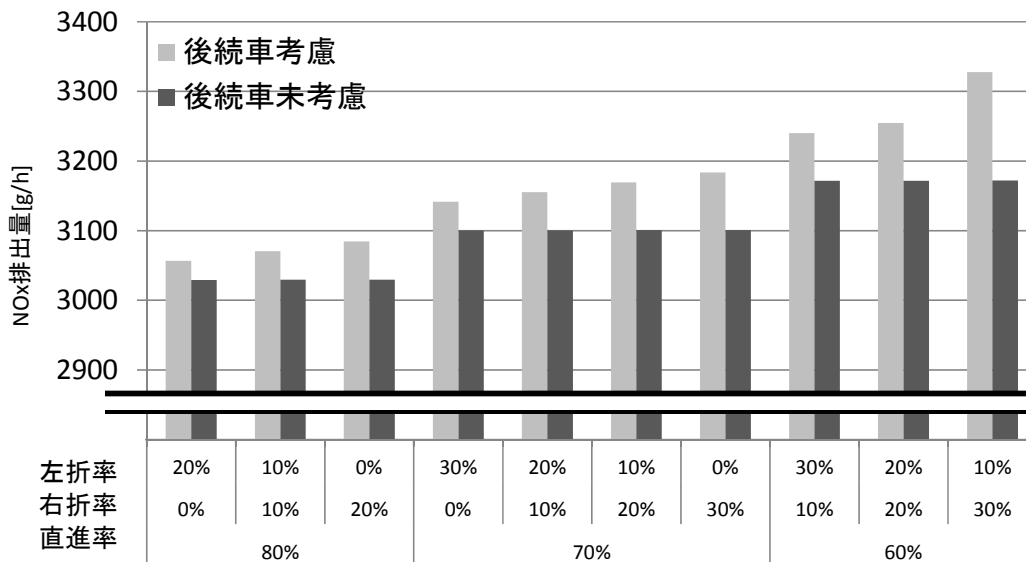


図 7-3-5 後続車考慮と後続車未考慮の区間総排出量の比較

後続車考慮と後続車未考慮の区間総排出量の差を図 7-3-6 に示す。

全ての条件で差は 5%未満であり、多くの条件では 3%未満である。右左折車の影響を最も大きく受ける 1 車線の場合で計算しており、交通量の多い路線で、右折車線がある場

合等では、さらに差が小さくなると考えられる。このことから、本手法により、後続車の影響を考慮することは可能であるが、後続車の加減速を考慮した場合としない場合では、差は5%未満であることが明らかになった。

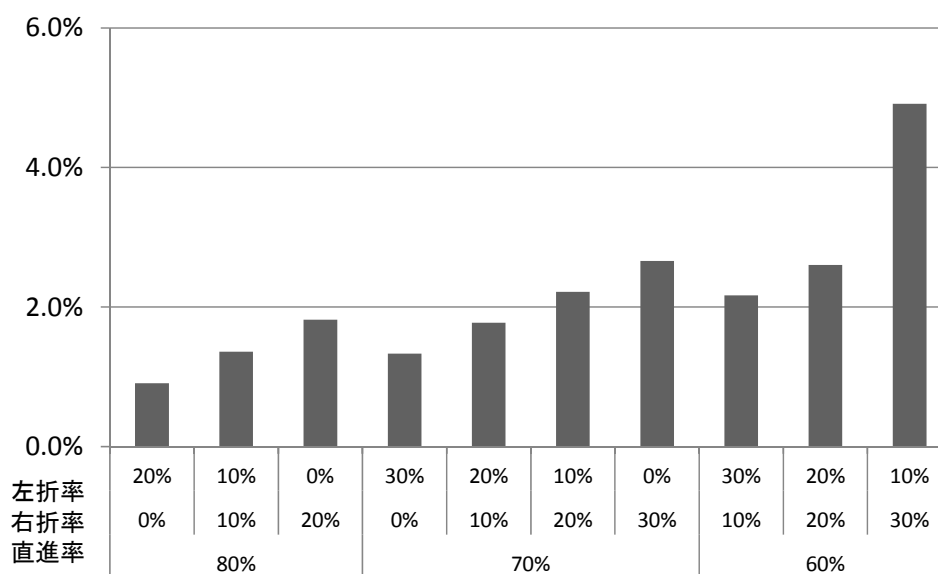


図7-3-6 後続車考慮と後続車未考慮の区間総排出量の差

以上、右左折車の後続車の影響は、右左折車の右左折に要する時間と、平均到着間隔によって表現できることを示し、後続車の影響を考慮した場合としない場合で、最大5%程度の差が生じることを明らかにした。

7. 4 多様な交差点形状の表現方法

現実の交差点は車線数・現示・交差形式ともに多様である。車線数は右折車線がある場合や左折車線がある場合等であり、現示は右折信号や左折信号がある場合である。本手法を用いて評価を行う際に、多様な交差点において、地点別走行モード別台数を表現可能であることを示す必要がある。ここでは、3車線・右折信号有の場合を事例に、本手法で地点別走行モードを表現する方法を示す。

7. 4. 1 多様な交差点形状を表現する際の課題

多様な交差点に適用する際に課題となるのは、車線・現示・交差形式によって複数の走行パターンが混在する点である。

(1) 現示の違い

右折現示や左折現示がある場合等、現示の違いを表現する必要がある。

右折現示がない場合には、直進・右折・左折車両ともに停止時間は赤時間に依存するため、直進車と右折車の走行パターンは同一の現示で表現することが可能である。

右折現示がある場合には、直進車両にとっての停止時間は赤時間+右折青時間になり、右折車両にとっての停止時間は赤時間+青時間となるため、右折車と直進車の現示の違いを表現する必要がある。

(2) 車線数の違い

車線数が複数の場合、車線ごとに異なる走行パターンと交通量を表現する必要がある。

1車線の場合には、前節までで示したように右折・直進・左折が混在するため、交差点手前（流入側）では赤到着車と青到着車の2パターンを考えればよい。交差点以降は、交差点内の走行距離を表現することで、直進・右折・左折の走行パターンを表現することが可能である。

直進左折車線+右折車線の2車線の場合には、右折車線の車両は全て右折するため、右折車線の走行パターンと直進左折車線の走行パターンを分類して表現する必要がある。

直進左折車線+直進車線+右折車線の3車線の場合には、さらに直進車線の走行パターンと直進左折車線の走行パターンを分類して表現する必要がある。

(3) 交差形式の違い

平面交差・立体交差・RAといった交差形式によって、時間距離図が異なり、走行パターンの分類の仕方が異なる。平面交差は、交通量を現示や車線数によって走行パターン別に分類する必要がある。立体交差は、立体化されている主方向（直進方向）の車両挙動は定常的に定速で表現することができ、現示による走行パターン分類を考えなくて良い。主方向の右左折車や従方向の車両は走行パターン別に分類する必要がある。RAは、交差点内の

走行距離のみ表現すれば、全車走行モードが同一とみなせるため、走行パターンの分類を現示によって変える必要がない。

7. 4. 2 多様な交差点形状の表現方法

車線数・現示・交差形式の異なる交差点を表現するにあたり、前章までで示した地点別走行モード別台数の表現方法の考え方を前提とする。すなわち、一定のサイクルを設定し、サイクル中の車両挙動を時間距離図に描き走行モードに分割する。走行モード別に示した時間距離図を台距離図に変換することで、車両挙動を地点別走行モード別台数で表現することができる（図7-4-1）。以降、車線数・現示・交差形式の異なる交差点の表現例について述べる。

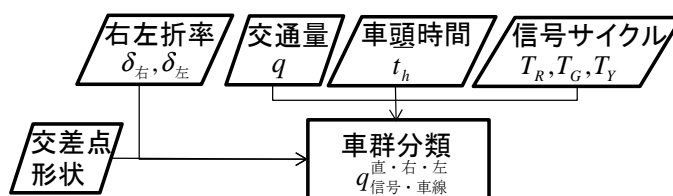


図7-4-1 多様な交差点形状表現方法

7. 4. 3 3車線・右折信号有の交差点の表現例

3車線（右折信号無）の場合の時間距離図・台距離図を車線別に図7-4-2に示す。

第1車線内は、交差点手前で赤到着の直進車・左折退出車、青到着の直進車・左折退出車、交差点以降で左折進入車が混在する。交差点手前では、1車線内に直進車・左折退出車が混在するため、赤信号による停止車列長は直進・左折挙動によらず一定の長さで表現することができる。交差点以降では、左折進入車が①—②方向の赤時間に加速進入する。

第2車線内は、赤到着の直進車・青到着の直進車のみとなる。停止車列長は赤+右折青時間と直進+左折交通量の1車線平均交通量によって決定する。

第3車線内は、赤到着の右折退出車、青到着の右折退出車が混在する。交差点手前の停止車列長は、右折退出交通量と赤+右折青時間によって決定する。停止車列長が回復した後、青到着の右折退出車が通過する。交差点以降では、右折進入車が①—②方向の赤時間に加速進入する。

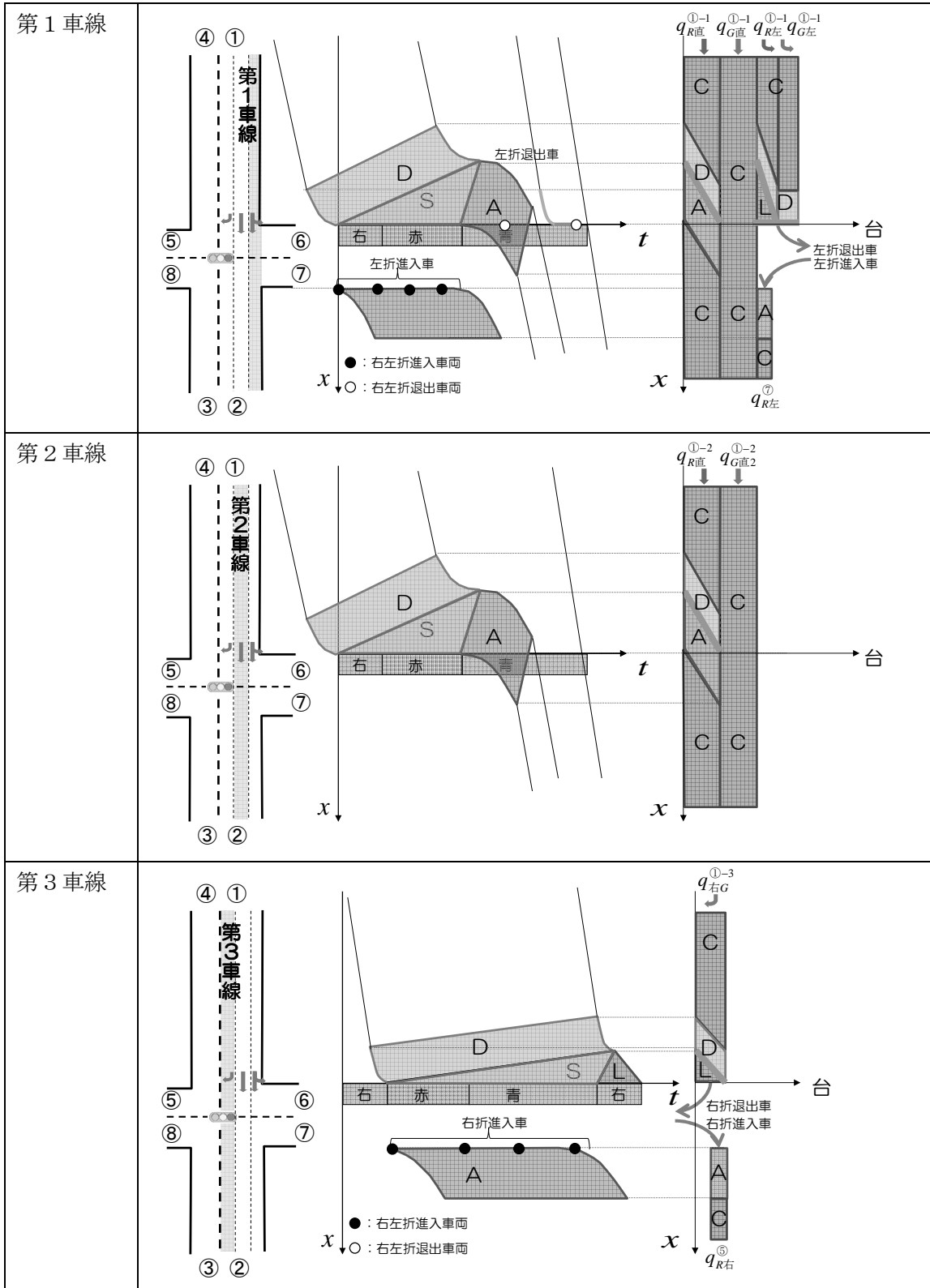


図7-4-2 3車線（右折信号有）の場合の時間距離図・台距離図

走行パターン別交通量の算出式を表7-4-2に示す。

赤信号により停止する交通量は直進+左折交通量、赤時間によって決定する。青信号で通過する交通量は①断面交通量から赤信号停止交通量と右折交通量を除いて求める。赤到着・青到着ごとに、右左折率を乗じることで、到着時信号別・進行方向別の交通量を求めることができる。

表7-4-2 3車線の場合の進行方向別・到着時信号別交通量の算出式

信号	進行方向	台数[台/h]
赤 $q_R^{\text{①}} = \frac{(t_R + t_{右G}) \cdot (q^{\text{①}} - q_{右G}^{\text{①-3}})}{1 - t_h^{\min} \cdot (q^{\text{①}} - q_{右G}^{\text{①-3}})}$	直進①→②	$q_{R直}^{\text{①-1}} = q_R^{\text{①}} / 2 - q_{R左}^{\text{①-1}}$ $q_{R直}^{\text{①-2}} = q_R^{\text{①}} / 2$
	左折①→⑥	$q_{R左}^{\text{①-1}} = q_R^{\text{①}} \cdot \delta_{左}^{\text{①}}$
	左折⑦→②	$q_{R左}^{\text{⑦}} = q_R^{\text{⑦}} \cdot \delta_{左}^{\text{⑦}}$
	右折⑤→②	$q_{R右}^{\text{⑤}} = q_R^{\text{⑤}} \cdot \delta_{右}^{\text{⑤}}$
青 $q_G^{\text{①}} = q^{\text{①}} - q_R^{\text{①}} - q_{右G}^{\text{①-2}}$	直進①→②	$q_{G直}^{\text{①-1}} = q_G^{\text{①}} / 2 - q_{G左}^{\text{①-1}}$ $q_{G直}^{\text{①-2}} = q_G^{\text{①}} / 2$
	左折①→⑥	$q_{G左}^{\text{①-1}} = q_G^{\text{①}} \cdot \delta_{左}^{\text{①}}$
右折青 $q_{右G}^{\text{①-3}} = q^{\text{①}} \cdot \delta_{右}^{\text{①}}$	右折①→⑧	

ここに、 $q^{(進入方向)}$ は進入方向別の断面交通量、 $q_{(到着時信号)(進行方向)}^{(進入方向)-(車線)}$ は進入方向別・車線別・到着時信号別・進行方向別の台数、 $\delta_{右}^{(進入方向)}$ ・ $\delta_{左}^{(進入方向)}$ は進入方向別の右左折率を表す。

以上、車線・現示の異なる多様な交差点に適用する際には、車線別交通量を走行パターン別に分類し、分類ごとに、前章の方法で走行パターン別に台距離図を描き、地点別走行モード別台数を表現することで表現可能であることを示した。

同様の方法で左折信号がある場合や歩行者のスクランブル制御をした場合、さらに車線数が多い場合、3差路や5差路への応用が可能である。(APPENDIX 4に車線別(2車線・3車線)、右折信号有無、RA、立体交差の表現例を示す。)

7. 5 まとめ

7. 5. 1 結論

道路網を評価する際に必要となる、右左折車の考慮方法、右左折車後続車の考慮方法、多様な交差点の表現方法を示し、次の点を明らかにした。

第1に、右左折車の表現は、交通量・信号サイクル・右左折率より、進行方向別・到着時信号別の台数・走行モードを時間距離図・台距離図で表すことで表現できる。

第2に、右左折車の後続車の影響は、右左折車の右左折に要する時間と、平均到着間隔によって表現できることを示し、後続車の影響を考慮した場合としない場合で、最大5%程度の差が生じる。

第3に、車線・現示・交差形式の異なる多様な交差点に適用する際には、車線別交通量を走行パターン別に分類する過程を経ることで、前章の方法で走行パターン別に台距離図を描き、地点別走行モード別台数を表現することが可能である。

以上より、交差点を通過する交通量を多様な走行パターンの車群に分類して、それぞれの車群ごとに、前章の方法で地点別走行モード別台数を算出することで交差点の排出量を表現できる。個々の交差点を組み合わせることで、道路網を表現することが可能となる（図7-5-1）。この方法を応用し、交差点と踏切の組み合わせられた道路網の環境負荷量を評価することも可能である。（APPENDIX 5に本手法を用いて踏切の一時停止により排出されるCO2排出量を評価した事例を示す）

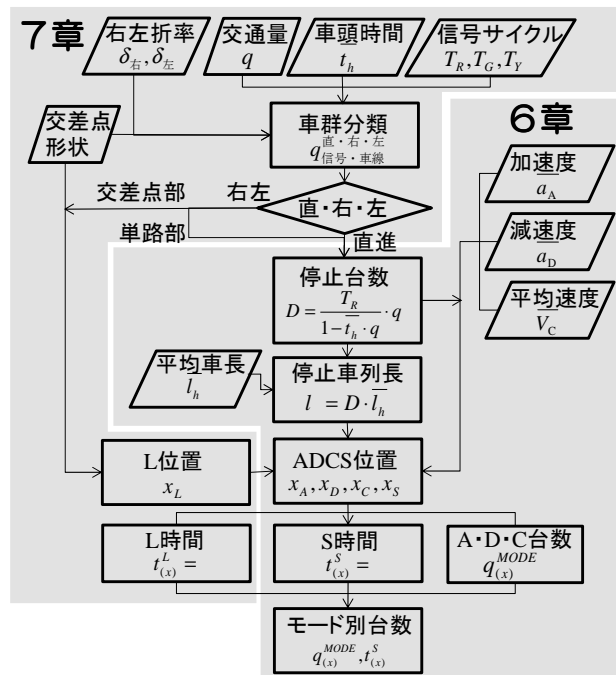


図7-5-1 本手法のフロー図

7. 5. 2 今後の課題

今後の課題として次の2点をあげる。

第1に、7. 4で、3車線の交差点の表現例を示したが、車線変更は行われていないものとしている。複数車線を表現する際に、車線変更による影響の大きさを検討する必要がある。

第2に、実際に使用するためのシステム化することや、右左折率や交通量等の入力データの入手方法が課題である。

補注

※1 大気汚染が問題となる箇所では交通量がさらに多いと考えられる。交通量800台/hで計算すると1サイクルでさばけない非定常な状態となってしまう。非定常な状態が常時続く箇所は分析の対象としていない。今回の分析では、後続車は一度停止して再加速するものとしているが、実際には停止せず速度の調整を行い通過する場合が多くあると考えられる。このような停止しない後続車の表現方法は今後の課題であると考えている。

7章 参考文献

- 1) 小林貴, 鹿島茂(2013), 「貨物車の走行状態、走行環境を考慮した燃料消費量、環境負荷物質排出量推計モデルの構築」, 交通工学, Vol. 48, NO. 2, PP45-52
- 2) 森健二, 本間正勝, 斎藤威(1995), 「信号交差点における右折車のギャップアクセプタンス特性のモデル化」, 土木計画学講演集, No18(2), PP233-236
- 3) 上原清(2002), 「実在交差点周辺の大気汚染濃度分布に関する風洞実験 : 高架道路の存在影響, 幹線道路からの距離による濃度の減衰, フィールド観測値と風洞実験値の比較」, 日本建築学会計画系論文集 (485), PP25-34
- 4) 上原清, 林誠司, 山尾幸夫, 松本幸雄, 若松伸司(2007), 「実在交差点周辺の沿道大気汚染 : 風洞実験によるNOx長期平均濃度分布の推定」, 大気環境学会誌, 42(2), PP93-106
- 5) 吉岡慶祐, 米山喜之, 宗広一徳, 中村英樹, 大口敬(2012), 「実車走行実験に基づくラウンドアバウトと信号交差点のCO₂排出量の比較分析」, 土木学会論文集 D3, 土木計画学 68(5) I, PP1253-1259

8章 局所汚染評価システム

8. 1	はじめに	8-1
8. 2	システムの概要	8-1
8. 2. 1	システムの目的	8-1
8. 2. 2	出力画面の説明	8-2
(1)	地点別排出量分布図	8-2
(2)	範囲合計排出量分布図	8-2
8. 2. 3	入力画面の説明	8-3
(1)	道路網情報入力画面	8-3
(2)	入力画面	8-4
(3)	入力データのリスト	8-5
8. 2. 4	操作方法	8-6
(1)	道路網の作成	8-6
(2)	データ入力	8-6
(3)	平均パラメータ出力	8-7
(4)	排出量算出	8-7
8. 2. 5	システムの構造	8-8
8. 3	入力データの入手方法	8-9
8. 3. 1	道路網情報	8-10
(1)	断面交通量	8-10
a)	厳密に断面交通量を入手する方法	8-10
b)	簡易に断面交通量を入手する方法	8-10
(2)	右左折率	8-10
(3)	延長・幅員・勾配	8-11
(4)	平均速度	8-12
(5)	信号オフセット・信号サイクル	8-12
8. 3. 2	車両挙動情報	8-12
(1)	加速度・減速度	8-12
(2)	車頭時間	8-13
(3)	車長	8-13
8. 3. 3	車両特性情報	8-13
(1)	車両特性構成割合	8-13
a)	実測による入手方法	8-14
b)	推計による入手方法	8-14
(2)	車両重量	8-15
(3)	積載量	8-15
(4)	排出パラメータ	8-16
a)	実測	8-16
b)	推計	8-16
8. 4	適用事例	8-17
8. 5	終わりに	8-18
8章	参考文献	8-18

8. 1 はじめに

ここでは、前章までに示してきた評価手法の考え方をを用いて構築した実務用のシステムの説明をする。

本章の構成は以下のとおりである。

2節で、システムの概要について述べる。ここでは、システムの目的、出力画面、入力画面、操作方法、システムの構造について説明する。

3節で、入力データの入手方法について述べる。ここでは、入力画面に入力する項目の入手方法について厳密に入手する方法と簡易に入手する方法について説明する。

4節で、実際の適用例を示す。

5節で、まとめと今後の課題について述べる。

8. 2 システムの概要

8. 2. 1 システムの目的

現在、大気汚染問題は、従来の国や広域自治体による広域汚染対策から自治体による交差点部等の局所汚染対策が求められており、局所汚染対策を評価する方法が必要となる。

交差点部の排出量の評価には、加減速といった車両挙動や、車種・車齢といった車両特性を考慮する必要がある。現状、交差点部の排出量を評価するには、交通シミュレーションによる車両挙動の再現・排出量算出モデルによる車両特性格別の排出量の算出が必要である。これらの評価を行うには交通に関する知識やシミュレーションソフトの習熟が必要であり、専門機関に委託する等、多大の手間とコストがかかる。

本システムは、交差点を通過する車両の車両挙動と車両特性を考慮した地点別排出量分布を簡便に出力することを目的としたシステムである（図8-2-1）。

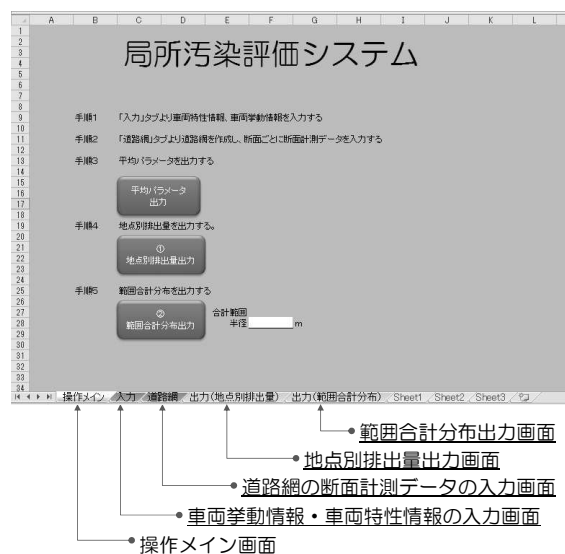


図8-2-1 局所汚染評価システム

8. 2. 2 出力画面の説明

本システムでは、地点別排出量分布図、最大値分布図、範囲合計排出量分布図を出力可能である。

(1) 地点別排出量分布図

地点別排出量分布図は、単一区間の排出量分布を評価したい場合に用いる。排出量の走行モード別内訳を示すことができる。エコドライブによって加速度や制限速度が変化した場合の地点別排出量の変化等を評価する場合に有効である。

図8-2-2に地点別排出量分布図の出力結果の一例を示す。図は交差点周辺の地点別排出量を示している。

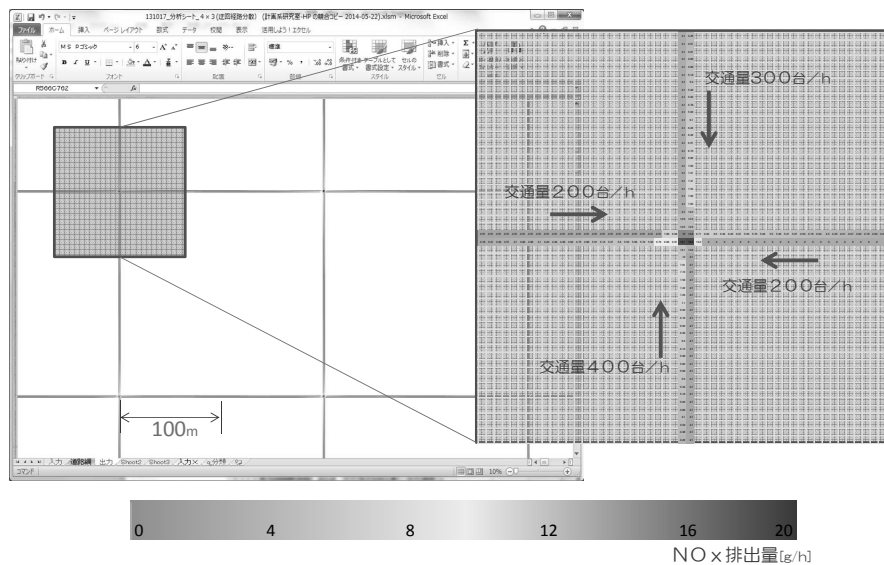


図8-2-2 地点別排出量出力画面の一例

(2) 範囲合計排出量分布図

範囲合計排出量分布図は、複数の交差点で形成される道路網を評価する際に、交差点ごとの交差点周辺の一定範囲に排出される合計排出量を評価したい場合に用いる。信号制御・道路改良・流入規制を評価する場合に有効である。

図8-2-3に範囲合計排出量分布図の出力結果の一例を示す。図は7×7の交差点で形成される道路網に交差点(3,3)～(5,5)の範囲で流入規制を実施した場合の出力結果の一例を示している。

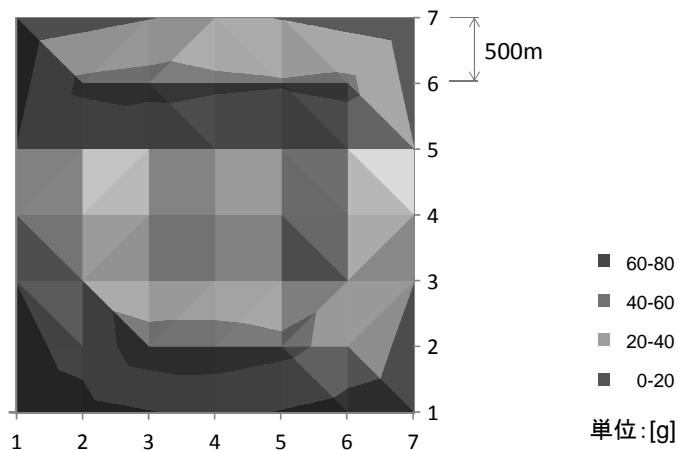


図 8-2-3 範囲合計排出量分布図出力結果の一例

8. 2. 3 入力画面の説明

本システムでは、道路網情報の入力、車両挙動情報・車両特性情報の入力が必要である。

(1) 道路網情報入力画面

道路網情報入力画面では、区間ごとの断面交通量・交差点間延長・幅員・勾配・区間ごとの平均速度・信号サイクル・信号オフセットの入力が必要である。

入力は図 8-2-4 に示す空欄に直接数値を入力する。交差点間延長は反対車線も同じ値が自動入力され、勾配は反対車線では逆の値が自動入力される。信号サイクルは交差する路線毎に入力を必要とし、反対車線は同じサイクルが自動入力され、直交方向には、赤時間と青時間が逆の値となるように入力する。

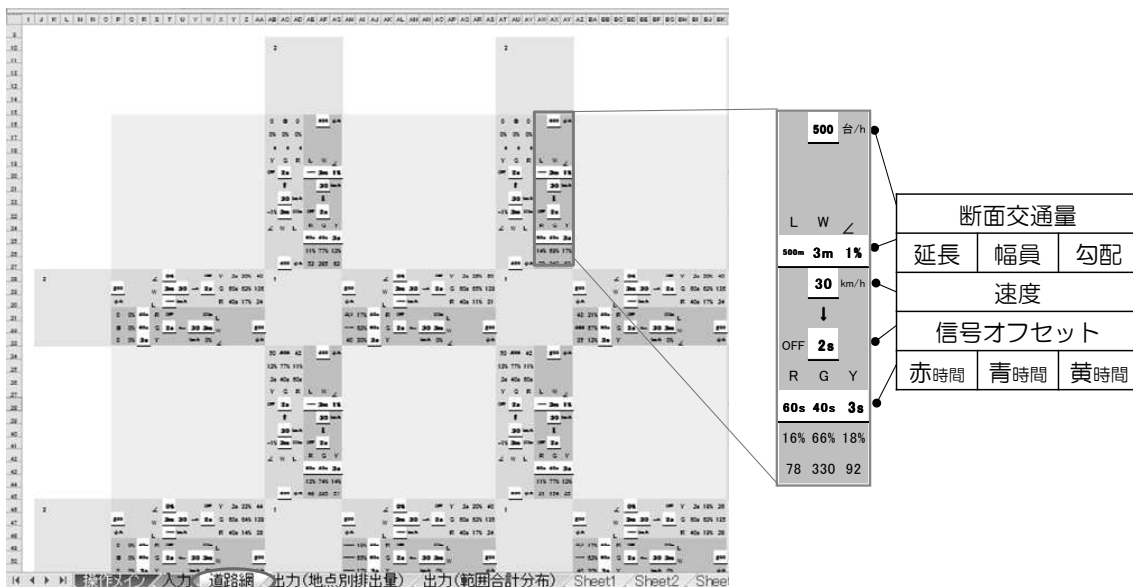


図 8-2-4 道路網情報入力画面

(2) 入力画面

入力画面(図8-2-5)では、加速度・減速度・車頭時間・車種別平均車長・車両特性構成割合、車種別の車両総重量・積載量、走行モード別・適合値別の排出パラメータの入力が必要である。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
10													
11													
12	加速度			0.43	m/s ²								
13													
14	減速度			-0.31	m/s ²								
15													
16	車頭時間			2	s								
17													
18	車長	乗用車		3.8	m								
19		小型貨物		5.5	m								
20		普通貨物		12	m								
21	平均車長			5.64	m								
22													
23													
24	車両特性構成割合												
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36	車両総重量												
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44	排出パラメータ												
45													
46													
47													
48													
49													
50													
51													
52													
53													
54													
55													

図8-2-5 入力画面

(3) 入力データのリスト

以上、入力データを整理すると表8-2-1に示す項目が必要となる。これらの項目の入手方法は次節で述べる。

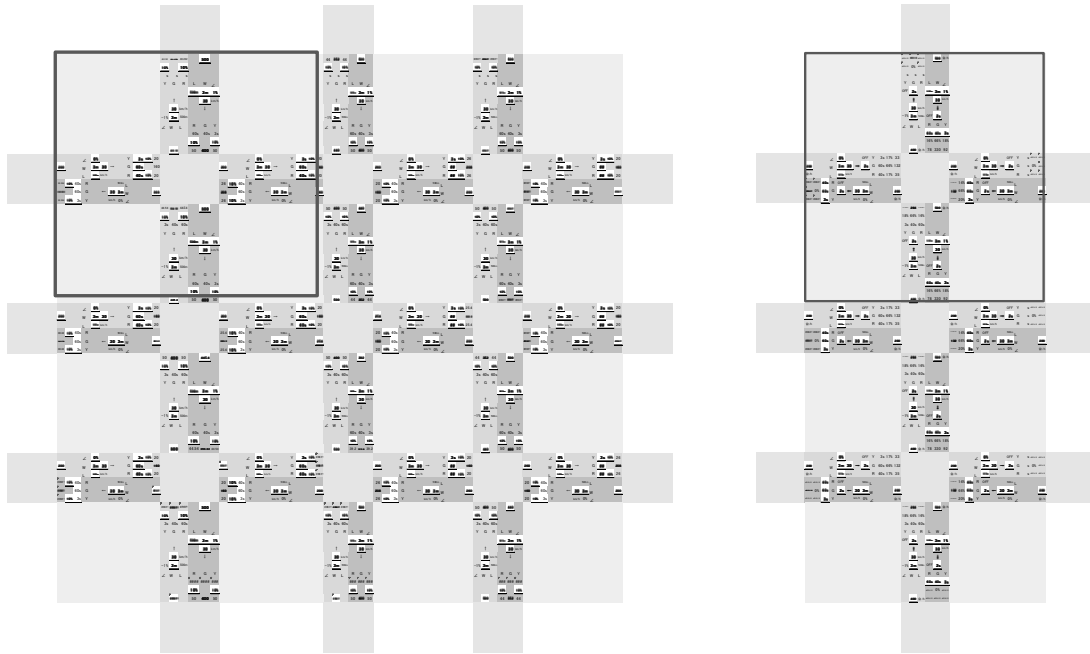
表8-2-1 入力データリスト

	項目	入手方法記載箇所
道路網情報入力画面	断面交通量（右左折率）	8. 3. 1 (1) (2)
	延長	8. 3. 1 (3)
	幅員	
	勾配	
	平均速度	8. 3. 1 (4)
	信号オフセット	8. 3. 1 (5)
	信号サイクル	
車両挙動情報入力画面	加速度	8. 3. 2 (1)
	減速度	
	車頭時間	8. 3. 2 (2)
	車長（車種別）	8. 3. 2 (3)
車両特性情報入力画面	車両特性構成割合（車種別・規制適合値別）	8. 3. 3 (1)
	車両重量（車種別）	8. 3. 3 (2)
	積載量（車種別）	8. 3. 3 (3)
	排出パラメータ （走行モード別・規制適合値別）	8. 3. 3 (4)

8. 2. 4 操作方法

(1) 道路網の作成

道路網の作成は、エクセル上の作業で、単位交差点をコピー&ペーストにより結合する。
3×3と3交差点直列の道路網の結合例を図8-2-6に示す。太線部が単位交差点であり、3×3では9つ結合し、3交差点直列の場合は3つ結合している。



3×3の道路網を評価したい場合

3交差点直列の直線道路を評価したい場合

図8-2-6 道路網の作成例

(2) データ入力

作成した道路網図の空欄部、車両挙動条件入力画面、車両特性情報入力画面に必要な項目を入力する。入力後に表8-2-1の項目をチェックすることが望ましい。

番号	チェック項目
1	断面交通量入力時に流入交通量の合計と流出交通量の合計が概ね一致している
2	評価範囲の境界部を手入力している。境界部は自動入力に対応していないため手入力の必要がある。
3	オフセットを正の値で入力している

(3) 平均パラメータ出力

入力終了後、操作メイン画面（図8-2-7）の「平均パラメータ出力」ボタンをクリックし、平均パラメータを出力する。

(4) 排出量算出

平均パラメータを出力後、「地点別排出量出力」ボタンをクリックする。

範囲合計分布を出力したい場合は、評価範囲全体の地点別排出量を基に計算するため、地点別排出量を出力した後、「範囲合計分布出力」ボタンをクリックし計算を実施する。

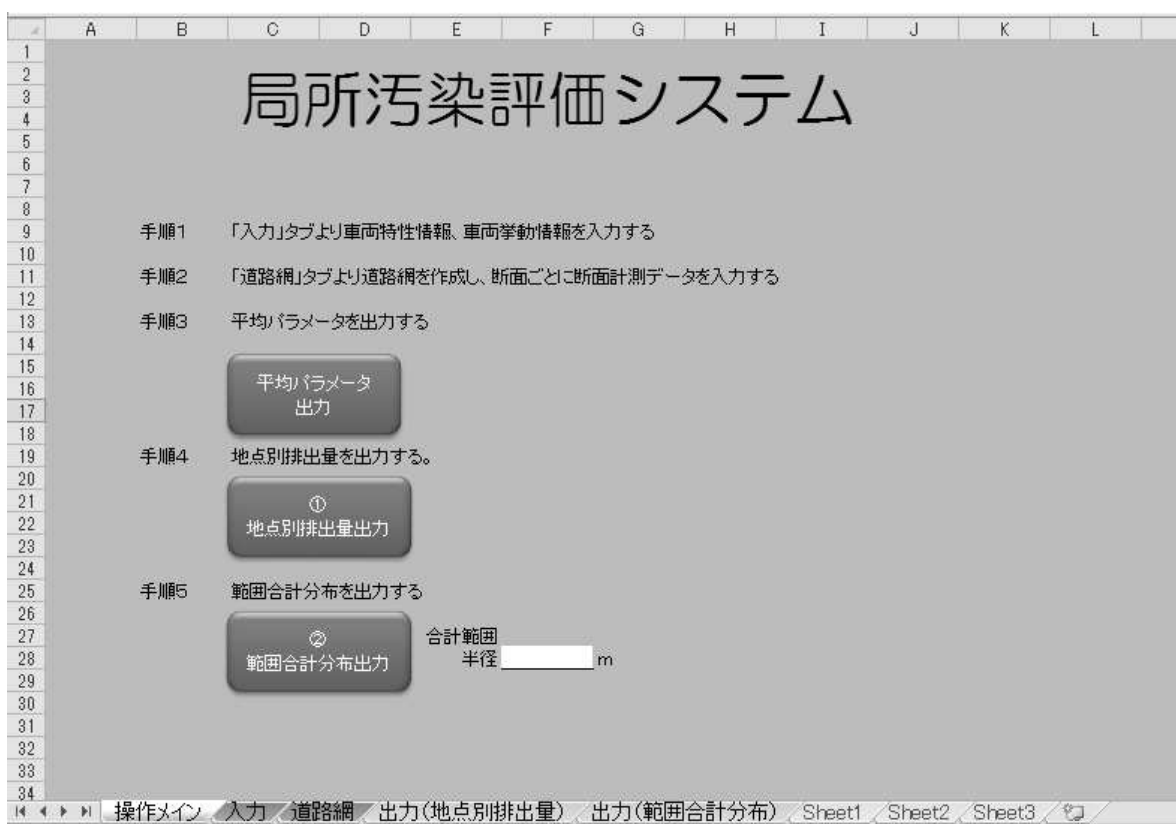


図8-2-7 操作メイン画面

8. 2. 5 システムの構造

本システムの計算フローを図8-2-9に示す。

本システムは、最初に、評価対象範囲の、①道路網図の作成をする。次に、区間ごとに、車両挙動を表す②交通量の走行パターン別分類、③地点別モード別台数の算出、車両特性を表す④平均パラメータの算出を行う。そして、③と④の算出結果から⑤区間別地点別排出量の算出を行う。最後に、①と⑤を組み合わせ、⑥評価対象範囲の排出量分布を算出する。

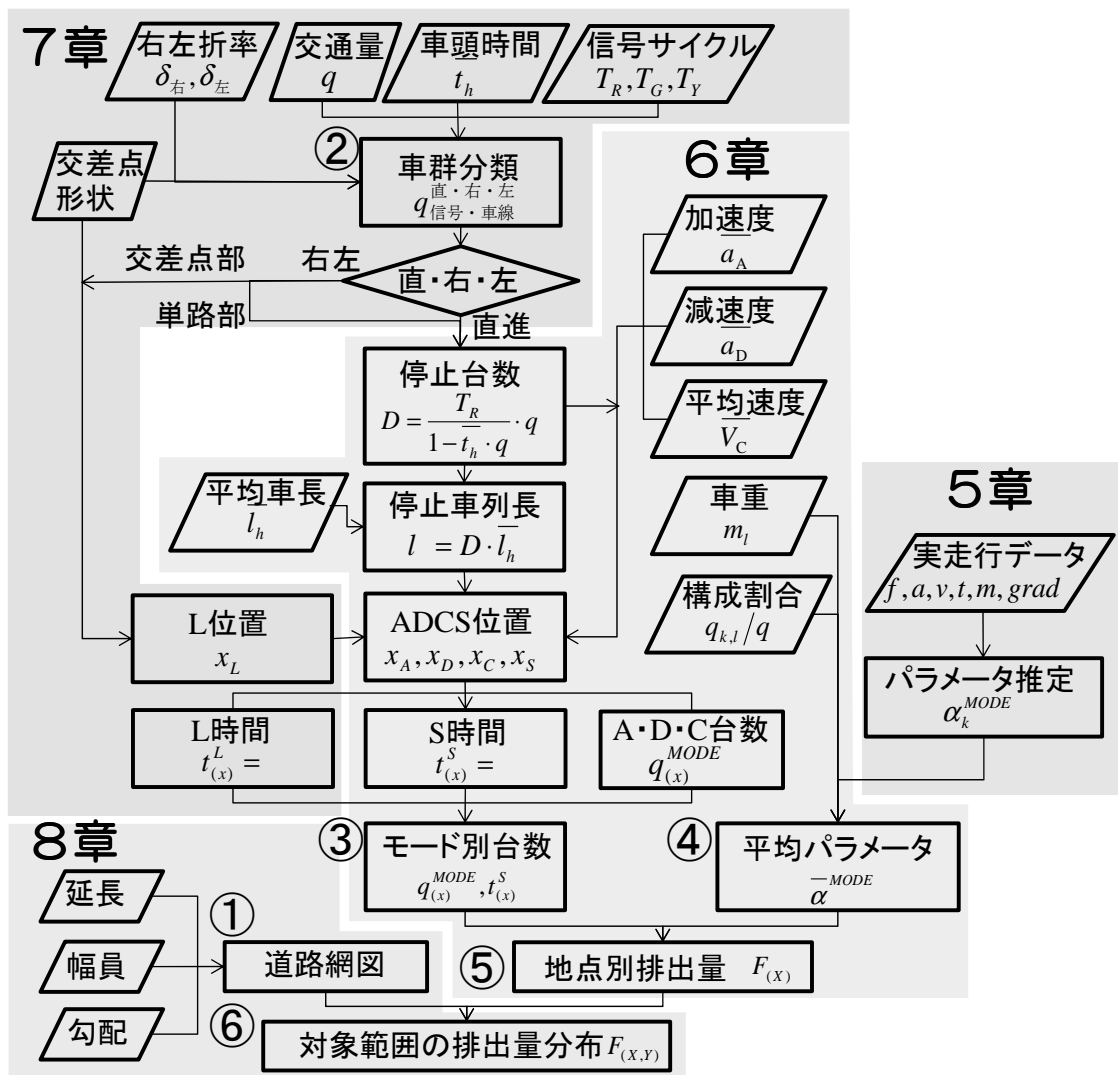


図8-2-9 本手法の計算フロー図（詳細）

8. 3 入力データの入手方法

地点別排出量出力時に必要となる入力データのリストと入手方法を表8-3-1に整理する。

表8-3-1 道路網作成時の入力データリスト

	項目	入手方法	
		厳密	簡易
道路網情報	断面交通量	実測、交通シミュレーションより出力	道路交通センサスデータを利用
	右左折率	実測または、交通シミュレーションの出力結果を利用	道路交通センサスより得た断面交通量から推定
	延長	地図データ	
	幅員	地図データ	
	勾配	地図データ	
	平均速度	実測	道路交通センサスデータを利用
	信号オフセット	実測	無視
	信号サイクル	実測	
車両挙動情報	加速度	実測（車載器、撮影）	調査済データを利用
	減速度	実測（車載器、撮影）	調査済データを利用
	車頭時間	実測（撮影）	平均2～3秒
	車長（車種別）	道路運送車両法による自動車の分類より 小型乗用車 4.7m 小型貨物車 8.4m 大型貨物車 12.0m	
車両特性情報	車両特性構成割合（車種別・規制適合値別）	発生地域別集中交通量と発生地域の車齢別保有台数より推計	都道府県別車齢別保有台数統計を利用
	車両重量（車種別）	道路運送車両の保安基準より 小型貨物車 5.5t 大型貨物車 12.0t	
	積載量（車種別）	調査	地域別自動車輸送統計年報より輸送トンキロ/能力トンキロから推計
	排出パラメータ（走行モード別・規制適合値別）	車載器による実走行データからパラメータ推定	単体規制適合値から補正

8. 3. 1 道路網情報

(1) 断面交通量

断面交通量は、区間ごとに定常状態で、交通量の保存則が成立した状態の断面交通量を入力する。定常状態とは、時間の経過によって交差点の車列長が変化しない場合を指し、交通量の保存則の成立した状態とは、流入交通量と流出交通量が等しい状態を指す。

実際には、定常状態と交通量保存則が成立した状態を満たす入力データを入手することは難しいと考えられる。交通量保存則は成立している状態でないと計算出来ないわけではないが、排出量分布が不連続となってしまう可能性があるため、極力満たしている状態が望ましい。

断面交通量の入手は、厳密な方法として、実測する方法と交通シミュレーションの出力結果の利用が考えられる。簡易な方法として、道路交通センサ等の既存の統計を利用する方法がある。以降それぞれについて説明する。

a) 厳密に断面交通量を入力する方法

対策の事後調査を厳密に行いたい場合や、交通量の時期・曜日・時間帯の変動を厳密に評価したい場合には、交通量を実測することが必要となる。

局所汚染対策実施のための事前評価を行いたい場合等、既存の統計からデータを入手できない場合には、推計が必要となる。推計手法の代表的なものは、市販の交通シミュレーションソフトにより、OD 交通量や道路網情報を与えることで出力可能である。交通シミュレーションソフトは車両移動方法、車線変更挙動、経路選択モデルの機能によって様々なものが市販されている¹⁾。

b) 簡易に断面交通量を入力する方法

道路交通センサ²⁾ や自治体の独自調査結果等の既存統計からデータが得られる路線については、既存の統計を用いることができる。ただし、使用する交通量データの持っている季節変動・曜日変動・時間帯変動に留意して使用する必要がある。

(2) 右左折率

右左折率の入手は、厳密な方法として、断面交通量と同様に実測する方法、交通シミュレーションの出力結果を利用する方法があり、簡易な方法として、既存の統計を利用する方法、断面交通量から推定する方法がある。右左折率は道路交通センサには公表されておらず、既存の統計から入手することが難しいが、自治体等で独自に調査を行っている場合がある。

既存の統計から得られない場合には、断面交通量から式(8-3-1)により右左折率を推定することが可能である(図8-3-1)。式(8-3-1)は、直進率・右折率・左折率を流入方向の断面交通量と流出方向の断面交通量から推定する式である(推定式の詳

細は APPENDIX 6 参照)。システムではデフォルトで断面交通量を入力すると右左折率が自動計算される設定になっている。

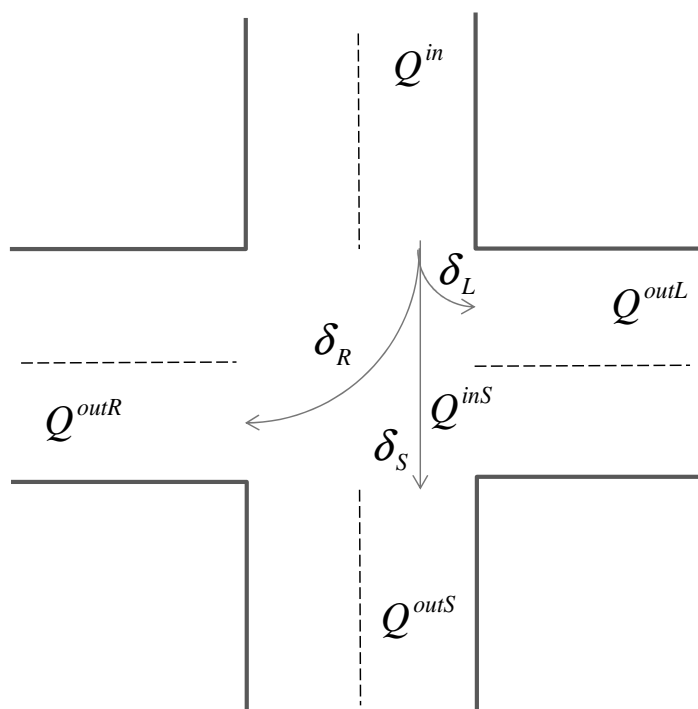


図 8-3-1 断面交通量と右左折率

$$\delta_S = \frac{Q^{inS}}{Q^{in}} = 0.66 \cdot \frac{Q^{outS}}{Q^{in}}$$

$$\delta_R = \frac{Q^{inR}}{Q^{in}} = (1 - 0.66 \cdot \frac{Q^{outS}}{Q^{in}}) \cdot \frac{0.50 \cdot Q^{outL}}{0.50 \cdot Q^{outL} + 0.42 \cdot Q^{outR}} \dots (8-3-1)$$

$$\delta_L = \frac{Q^{inL}}{Q^{in}} = (1 - 0.66 \cdot \frac{Q^{outS}}{Q^{in}}) \cdot \frac{0.42 \cdot Q^{outR}}{0.50 \cdot Q^{outL} + 0.42 \cdot Q^{outR}}$$

ここに、 δ_S は直進率、 δ_R は右折率、 δ_L は左折率、 Q^{in} は流入方向断面交通量 ($Q^{in} = Q^{inS} + Q^{inR} + Q^{inL}$)、 Q^{inS} は流入方向断面交通量の内直進交通量、 Q^{inR} は流入方向断面交通量の内右折交通量、 Q^{inL} は流入方向断面交通量の内左折交通量、 Q^{outS} は直進流出方向断面交通量、 Q^{outR} は右折流出方向断面交通量、 Q^{outL} は左折流出方向断面交通量を表す。

(3) 延長・幅員・勾配

延長・幅員・勾配は実測または、GIS 等既存の地図データから入手する。

(4) 平均速度

平均速度の入手は、厳密な方法として、実測する方法と交通シミュレーションの出力結果の利用が考えられる。簡易な方法として、道路交通センサ等の既存の統計を利用する方法や、QV 関係を用いて断面交通量から推定する方法がある。

(5) 信号オフセット・信号サイクル

信号サイクルは、既存の統計や必要に応じて実測する。前述した信号サイクルのオフセットが定常的にあり、交通の一樣到着が仮定できない場合は、オフセットを考慮して測定する必要がある。

オフセットの測定は、前後の交差点の信号サイクルのズレ時間[秒]を前の信号に対する遅れ時間を入力し、すべて正の値で入力する (図8-3-2)。

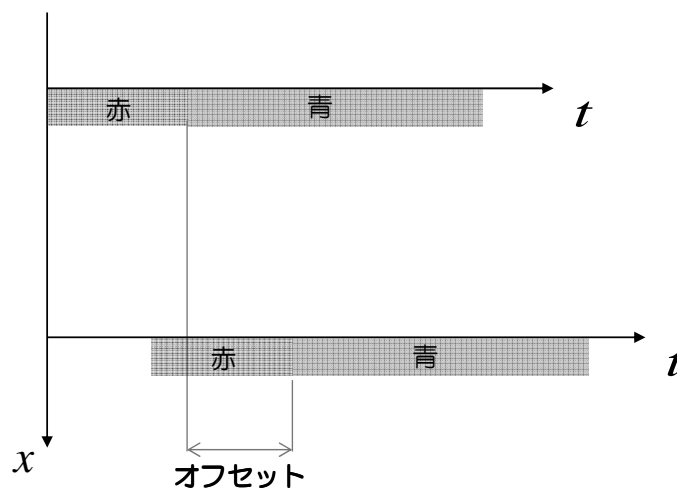


図8-3-2 入力するオフセットの概念図

8. 3. 2 車両挙動情報

(1) 加速度・減速度

加速度・減速度は混雑時と自由流時とで異なることが想定される。混雑時には、前後車両の制約があり車両ごとの特性が現れにくく概ね一定値となるが、自由流時には加速度・減速度のばらつきが発生する可能性がある。大気環境が問題となる箇所では混雑している可能性が高いため、加速度・減速度は概ね一定値であると仮定するが、正確に入力する必要がある場合は実測する。

参考として、TSモデル推定時の実走行データから加速度のヒストグラムを図8-3-3に示す。同じ経路を異なる車種で異なる日時に走行したデータである。加速度の平均は 0.43 m/s^2 、分散は 0.018 であり、減速度の平均は -0.31 m/s^2 、分散は 0.017 であり、参考値として用いることができる。混雑区間や自由流区間によって加減速

度が異なると考えられるため、別途分析が必要であると考えている。

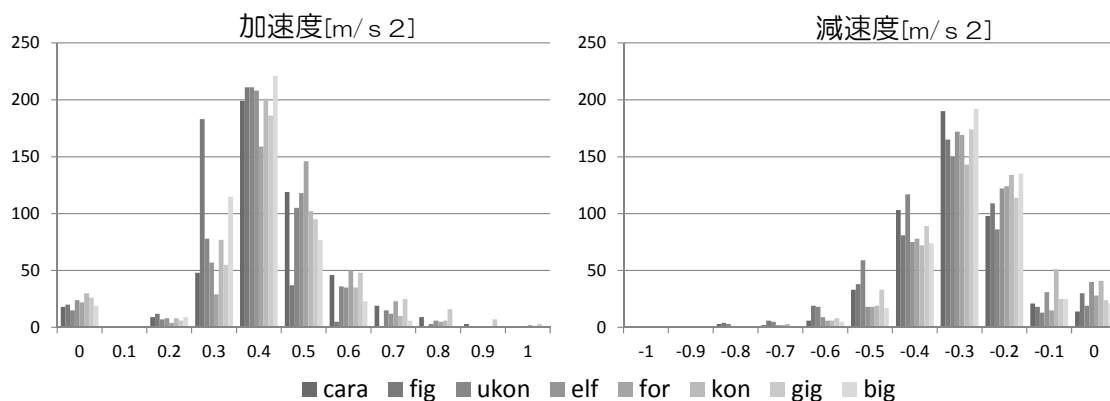


図 8-3-3 加速度・減速度ヒストグラム

(2) 車頭時間

車頭時間は、概ね 2～3 秒であることが知られている³⁾。運転方法に季節・曜日・時間帯・地域特性等があり、車頭間隔を正確に入力する必要がある場合は実測する。

(3) 車長

車長は道路運送車両法による自動車の分類より、小型乗用車 4.7 m、小型貨物車 8.4 m、大型貨物車 12.0 m を標準とする。

8. 3. 3 車両特性情報

(1) 車両特性構成割合

車両特性構成割合は評価したい内容によって評価対象範囲の車両特性構成割合を一定とする場合と、区間別に車両特性割合を設定する場合の 2 種類の入力方法がある。

評価対象範囲の車両特性構成割合を一定として良い場合は、車両特性情報入力画面に入力した割合が評価範囲の通過車両に適用される。

区間別通過車両の車両特性構成割合は、規制区分別・車種別・構成割合を交差点別方向別に入力する。これは、流入規制を行った場合に規制地域を迂回する車両によって区間ごとに、車両特性構成割合が変化することを評価するための方法である (図 8-3-4)。

本システムでは、デフォルトで前者 (評価対象範囲の車両特性構成割合を一定とする場合) の設定となっており、後者を評価する場合は別途設定が必要である。

入手方法は、実測による方法と推計による方法がある。以降それぞれについて説明する。

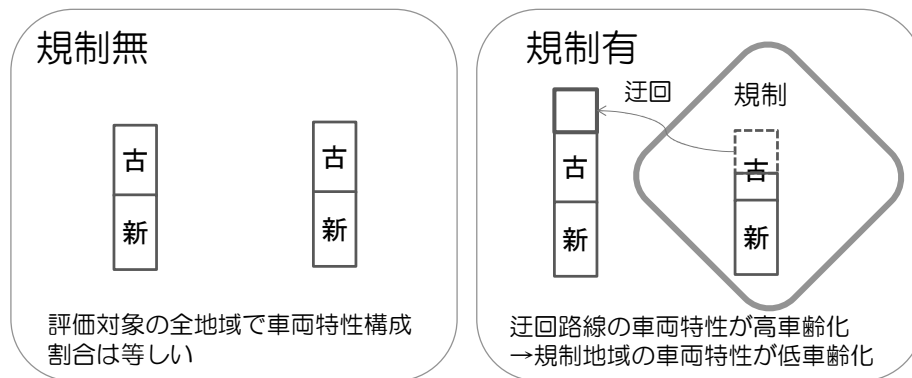


図 8 - 3 - 4 局所対策時に区間別に車両特性構成割合を設定する必要性

a)実測による入手方法

通過する車両の車両特性の割合を実測により調査する。車両のナンバープレートの情報をもとに車両特性を特定し、車両特性構成割合を入手することができる。

b)推計による入手方法

通過車両の車両特性構成割合は、地域によって保有構成が異なるため、対象とする地点を通過する車群の構成も地域によって異なる。車群構成割合を入力する方法は厳密な方法と簡易な方法の2通りがある。

厳密な方法は、対象とする地点を通過する交通の発生地域別集中交通量と発生地域別の保有構成を考慮して車群構成割合を算出する方法である。発生地域別集中交通量は、4段階推定法の手順で算出する。発生地域別集中交通量を推定する方法はモデル法・原単位法が提案されている。発生地域別集中交通量を算出する際のグラビティモデルのパラメータは地域によって異なることが知られている⁴⁾ため、地域ごとのパラメータから推定する必要がある。発生地域別保有構成は、都道府県別に公表されている車種別・車齢別保有台数統計を用いることができる。発生地域別交通量を車種別車齢別保有台数で加重平均し、全集中交通量を車種別車齢別に算出する(図3-8-5)。

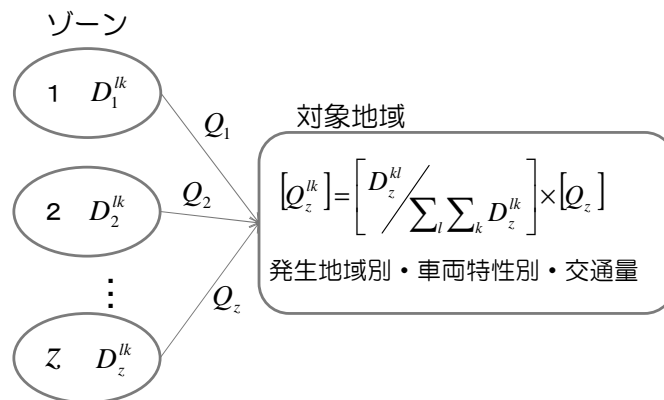


図 8-3-5 発生地域別・車両特性格・交通量の算出方法

ここに、 Q_z^{lk} はゾーン z から対象地域に集中する車種 l・車齢 k 別交通量、 D_z^{lk} はゾーン z の車種 l・車齢 k 別保有台数、 Q_z はゾーン z から発生し対象地域に集中する交通量を表す。

簡易な方法は、対象地域の都道府県の保有構成を交通構成とする方法である。対象とする地点を通過する車群の大部分はその都道府県内から発生していると考えられる。簡易に車群構成割合を入力したい場合にはこの方法で入力を行う。統計として都道府県別車齢別保有台数⁵⁾ が公表されている。

(2) 車両重量

車両重量は道路運送車両の保安基準による分類から、小型貨物 5.5 t、大型貨物は 12.0 t を標準とする。

(3) 積載量

積載量を入手するためにはアンケート調査等で実測する方法と、既存の統計から推計する方法が考えられる。

既存の統計から推計する際に自動車輸送統計調査⁶⁾ が有用である。

一例として、表 8-3-2 に平成 24 年度の輸送トンキロを能力トンキロで割った値を運輸局別に示す。評価したい年度や地域に応じて値を参考に積載量を設定することが可能である。

表 8-3-2 積載率参考値

平成24年度分

局別	合計	営業用		自家用	
		普通車	小型車	普通車	小型車
全国計	37%	41%	25%	31%	8%
北海道	36%	38%	17%	26%	4%
東北	38%	43%	22%	31%	6%
関東	34%	37%	25%	34%	7%
北陸信越	37%	42%	25%	28%	8%
中部	36%	40%	21%	30%	7%
近畿	39%	43%	26%	29%	10%
中国	41%	46%	28%	27%	10%
四国	44%	46%	27%	29%	10%
九州	38%	41%	24%	29%	9%

(4) 排出パラメータ

通過する車両の車齢によってパラメータ $\beta_k^A, \beta_k^C, \beta_k^D, \beta_k^L, \beta_k^S$ が異なるため、実測または、推計により求める必要がある。k は車齢区分を表す。

a) 実測

単位時間あたりの排出量と加速度・速度のデータを採取し、5章の方法でTSモデルのパラメータを推定する。

b) 推計

長期規制（単体規制）のパラメータは推定できているため、規制値の比率で長期規制のパラメータを補正する事もできる。ただし、規制ごとに、排出量の測定方法や単位が異なっており、単位・測定方法の補正に留意が必要である（詳細は APEENDIX 7 参照）。規制値から補正して算出したパラメータを表 8-3-3 に示す。

表 8-3-3 適合値別走行モード別パラメータ β

	A	C	D	S
以前	9.95E-05	1.05E-05	-5.52E-06	3.36E-05
短期	7.76E-05	8.18E-06	-4.30E-06	2.62E-05
長期	5.77E-05	6.08E-06	-3.20E-06	1.95E-05
新短期	3.36E-05	3.54E-06	-1.86E-06	1.14E-05
新長期	1.99E-05	2.10E-06	-1.10E-06	6.72E-06
P 新長期	6.96E-06	7.34E-07	-3.86E-07	2.35E-06

8. 4 適用事例

ここでは、手法を用いて試算の紹介を行う。

交通量400台/hの幹線道路に200台/h・300台/hの路線が交差する道路網の計算事例を示す。交差点間隔は500m、信号サイクルは交差点A・Bで青60秒、赤60秒、黄3秒とする（図8-4-1）。

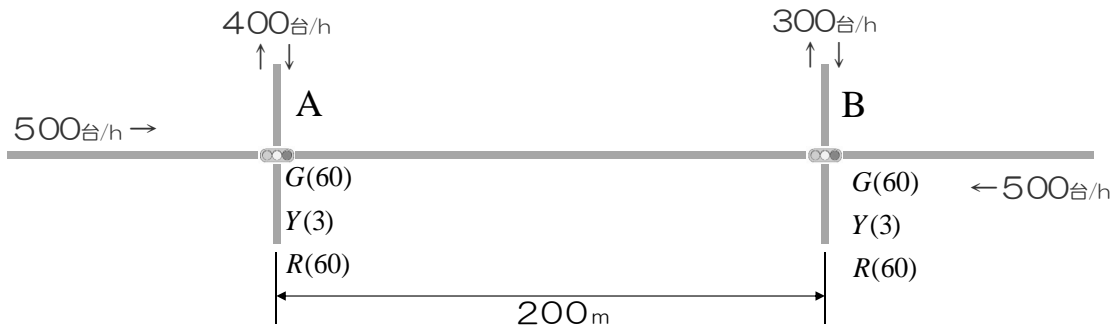


図8-4-1 適用事例計算条件

図8-4-2に地点別排出量の算出結果を示す。

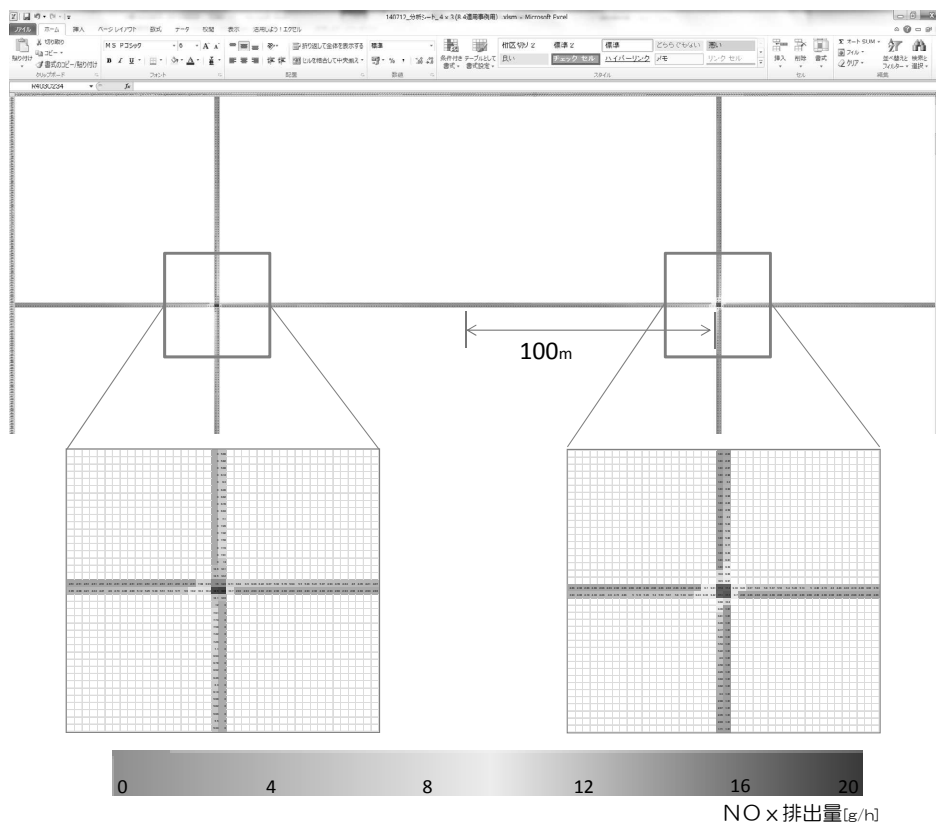


図8-4-2 適用事例計算結果

8. 5 終わりに

本章では、前章までに示してきた評価手法の考え方をを用いて構築した実務用のシステムの概要、入力データの入手方法、について述べた。

システムは、入力データとして、道路網情報、車両挙動情報、車両特性情報を入力し、地点別排出量分布図、最大値分布図、範囲合計排出量分布図を出力することが可能である。入力データの入手方法として、簡易な入手方法と厳密な入手方法を示した。評価事例を示し、使用可能であることを示した。

今後の課題として次の3点が挙げられる。

第1に、実際の評価箇所での評価を行い、操作性の検証を行う必要がある。自治体の実務では様々な事例があると考えられるため、様々な事例に耐えうるかを検証する必要がある。

第2に、交通シミュレーションとの連携を検討する必要がある。本手法では、断面交通量と右左折率を入力値として与えているため、局所で規制を実施した場合等、対策による交通流の変化を別の方法で表現する必要がある。交通流の変化の表現方法の一つとして、市販の交通シミュレーションがある。交通シミュレーションにより出力された断面交通量・右左折率を本手法に入力することで、道路網の地点別排出量を算出することが可能となる。仮想道路網において局所に規制を実施した場合の排出量分布の分析例を **APPENDIX 8** に示す。

8章 参考文献

- 1) 社団法人交通工学研究会, 「交通シミュレーション適用のススメ」
- 2) 平成22年度全国道路・街路交通情勢調査
<<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>> (アクセス H26. 3. 30)
- 3) 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬(1997), 「信号交差点における飽和交通流率の変動の基本特性」, 土木計画学研究・論文集 N0. 14, PP877-882
- 4) 奥井正俊(1991), 「関東地方における自動車交通圏の類型ならびに類型の分布秩序」 地理学評論 64A, PP167-192
- 5) (財)自動車検査登録協会(1980~2007) 「初度登録年別自動車保有台数」
- 6) 自動車輸送統計年報, <<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/06/annual/06a0excel.html>> (アクセス H26. 3. 30)
- 7) 榎谷有三(1998), 「時間距離からみた北海道の市町村間自動車交通流動の特性」, 土木計画学論文集 15, PP583-591
- 8) 塚井誠人, 奥村誠(2007), 「日帰り交通圏の非対称性を考慮した都市間業務交通量・立地量の分析」, 土木計画学研究・論文集(24), PP59-65