

追従時間率を考慮した往復2車線道路における 付加自転車通行空間の設置水準に関する研究

六郷 文昭¹・小川 圭一²

¹学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail: rd0079kv@ed.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail: kogawa@se.ritsumei.ac.jp

近年、自転車の観光利用が注目されている。「ビワイチ」を有する滋賀県では増加する自転車交通に対応するため、琵琶湖湖岸道路で道路空間を再配分し路肩を拡幅した自転車通行空間を部分的に設置している。しかし、この空間の設置間隔・空間長に関して、自転車の追い越しが可能になることによる自動車・自転車のサービス水準への影響は不明確である。

本研究では、往復2車線道路におけるサービス水準の評価指標である追従時間率を考慮し、エージェントシミュレーションを用いて自動車・自転車交通を再現し、付加自転車通行空間の設置水準について分析を行った。現状の交通量を用いた分析の結果、1つの空間を長く設置するよりは短距離の空間であっても繰り返して設置することで追従時間率を小さくでき、サービス水準が改善されることが分かった。

Key Words: Streets space for bicycles, Quality of service, Percent time-spent-following

1. はじめに

自転車交通の増加に伴い平成24年には「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」¹⁾が発出され、自転車通行空間設計についての整備方針が示された。自転車は車両であり車道走行が原則であることに基づき道路空間を整備するものとし、構造的な分離、視覚的な分離、車道混在の3パターンの整備形態を選定することが求められる。このように選定された整備形態について、既設道路では道路空間の再配分や道路拡幅の可能性を検討し整備する必要があるが、本来すべき形態での自転車通行空間整備が当面困難である場合などは一段階レベルを下げた整備などの暫定形態での整備を行うことも認められている。

滋賀県では、琵琶湖湖岸道路を活用したサイクルツーリズムを推し進めており「ビワイチ」としてナショナルサイクルルートに選定されている。この「ビワイチ」体験者数は年々増加しており、ルートの一部である琵琶湖湖岸道路では自転車交通が増加している。一方、琵琶湖湖岸道路は自動車交通にとっても滋賀県内の幹線道路としての面を持ち合わせており、自転車・自動車が混在して走行している状況である。この状況を踏まえ、滋賀県

では部分的に路肩を拡幅した「付加自転車通行空間」を平成28年度より設置している。しかし、付加自転車通行空間の設置間隔についてはビワイチアプリと連携するICT設備の設置箇所依存しており、空間長に関しても安全にICT設備から情報を受信できる距離から定められており、自動車の追い越しが可能になることによる自動車・自転車のサービス水準の向上効果との関係は明確になっていない。このため、これらを考慮した適切な付加自転車通行空間の長さや設置間隔を定める必要がある。



図1 付加自転車通行空間

そこで、本研究ではエージェントシミュレーションソフトArtisocを用いてモデルを作成しシミュレーションを行い、往復2車線道路における利用者の感じるサービスの質に近いとされている追従時間率を評価指標として、自動車のサービス水準の視点から最適な付加自転車通行空間の長さや設置間隔を探し出すことを目的とする。

2. サービスの質の評価方法

(1) 既往のサービス指標

道路のサービス指標として「旅行速度」、「旅行時間信頼性」、「車線利用率」、「追従車密度」、「遅れ時間」が代表例として考えられている²⁾。この中で追従車密度は往復2車線道路での付加追越車線の設置に関する研究など^{3) 4) 5)}で実績がある。これは2車線区間でのトラフィック機能の性能評価として利用者の認知するサービスの質に近いとされていることによる。ほかに「追従時間率」もサービスの質に近いとされている^{5) 6)}。

(2) 追従車密度

追従車密度FD[台/km]はある小区間を考え、その区間における交通密度K[台/km]に追従率Foll%を乗じることによって次式(1)のように求められる。この時、ある小区間の代表断面において観測される追従率により求められた追従率をその小区間の代表する近似値として用いる。

$$FD = K \times Foll\% \quad (1)$$

(3) 追従時間率

追従時間率FTSF_xはある1台に着目して計測される指標である。次式(2)に示すように任意の地点xまでの旅行時間T_x[s]を分母にとり、そのうち追従していた時間FT_x[s]を分子にとることにより求められる。

$$FTSF_x = \frac{FT_x}{T_x} \quad (2)$$

本研究では、一般道路での自転車に対する追従を分析するため自動車は対向車線を用いた追い越しが可能であり、追従車密度では計測しきれない追従が存在する。そのため、シミュレーション上でより細かく計測できる追従時間率を評価指標として採用し分析を行っていく。

3. シミュレーションモデル

(1) 実測調査

a) 調査概要

本研究の各値について、実測調査や道路交通センサス

データ⁷⁾、既往研究⁸⁾より定める。琵琶湖湖岸では13箇所(令和元年12月現在)付加自転車通行空間が設置されており、そのうち草津市山田町、守山市木浜町、守山市今浜町にある付加自転車通行空間3箇所を対象地として実測調査する。なお、今浜町にある付加自転車通行空間は空間の設置方法に特徴があるため区別して考え、本研究では、その例外を除いた山田町や木浜町などの他12箇所採用されている図1に示す付加自転車通行空間の設置パターンをシミュレーションに用いて検討する。

湖岸道路での調査は令和元年10月～11月にかけて行い、サイクリストが多い土日祝の午前中を中心にビデオ撮影により道路側方部から自転車交通量、集団走行人数、自転車速度、車間距離、付加自転車通行空間走行開始位置、付加自転車通行空間走行終了位置を観測した。また、対向車に応じた自動車の自転車追い越し挙動については湖岸道路ではないが歩道橋のある道路で観測したデータを用いる。

b) 調査結果

自転車交通量、集団走行人数として今浜町にある付加自転車通行空間で4時間計測した値を表1に示す。この結果から整数値を用いて、1時間当たり自転車交通量は29[台]、集団走行人数は実測値の割合に合うようにシミュレーション上で設定する。今浜町で計測を行った理由としては事前調査を行った結果、山田町や木浜町では歩道を走行する自転車が多く見られ、対して今浜町では上記2箇所よりも車道走行する自転車が多く見られたことによる。

自転車速度として山田町、木浜町で計測を行った結果を図2に示す。ある基準区間を設定し、その距離を移動するのに掛かる時間を計測し自転車速度を算出する。この結果から、シミュレーション上では平均値である25[km/h]を採用する。

表1 4時間合計自転車交通量

	集団人数[人]	度数	相対度数
	1	45	0.662
	2	13	0.191
	3	4	0.059
	4	1	0.015
	5	2	0.029
	6	3	0.044
合計集団数		68	1
合計自転車交通量		115	
1時間当たり自転車交通量		28.75	

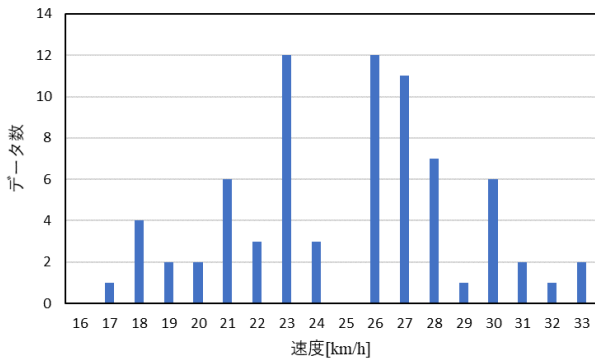


図2 自転車速度分布

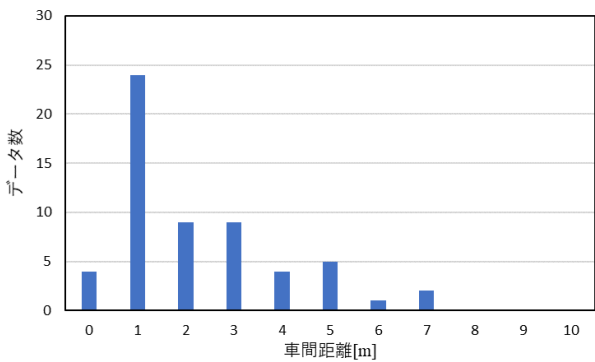


図3 自転車車間距離分布

表2 付加自転車通行空間走行開始位置

通行開始位置 [m]	度数	相対度数
1~2	12	0.375
3~4	4	0.125
5~6	5	0.156
7~8	0	0
9以上	11	0.344
合計	32	1

表3 付加自転車通行空間走行終了位置

通行終了位置 [m]	度数	相対度数
1~2	8	0.308
3~4	2	0.077
5~6	0	0
7~8	0	0
9以上	16	0.615
合計	26	1

車間距離分布として山田町、木浜町で計測を行った結果を図3に示す。車間距離に応じた加重平均を求め、加重平均値である2[m]を用いる。なお、車間距離は四捨五入して求めており、例えば0.5[m]未満であれば0[m]としている。

付加自転車通行空間走行開始位置、付加自転車通行空間走行終了位置として山田町、木浜町で計測を行った結果を表2、表3に表す。なお、サンプル数が少ないため、階級の幅を2[m]としてデータをまとめているが、シミュレーション上では1[m]ごとに直している。

(2) シミュレーションモデル概要

a) 空間概要

想定する道路は湖岸道路をモデルとして交差点や沿道からの出入り口を取り除いた余分な条件のない直線道路である。具体的には図4に示すように、両端にシミュレーションの都合により固定値を設けているが基本形は通常1車線区間と付加自転車通行空間のある区間が交互に存在する空間である。この固定値に関して、左端部では自動車・自転車が互いに干渉せずに自由走行したのちに計測空間へ入るように自転車通行空間を設置し、右端部では自転車への追従が突然消えないようにするために通常1車線区間を設けている。

本研究では、自動車による自転車の追い越し挙動と対向車との関係性、また、自転車の付加自転車通行空間への出入りといった行動を表すため、上り方向の付加自転車通行空間と自転車・自動車、下り方向の付加自転車通行空間と自転車・自動車の計6マスが並列になるように設定していく。なお、琵琶湖湖岸道路では琵琶湖側の片側のみに付加自転車通行空間を設置しているため設置側のみを追従を分析することにし、対向車側の自転車は発生させず、付加自転車通行空間も存在しないように設定する。

b) 各エージェント挙動

各挙動については(1)で求めたデータを用い、表4に示すように定める。

シミュレーションでは1マスを1[m]とし、両端の固定値合計100[m]を含めた全空間長としては6500[m]で固定とする。自転車が1[m]移動する時間をシミュレーションの時間間隔(ステップ)とし定める。また、本研究では、自転車・自動車同士の追従は考えないため、すべての自転車・自動車には希望速度分布から求めた値を与えるのではなく、一律の値を与え一定の速度で進むものとする。

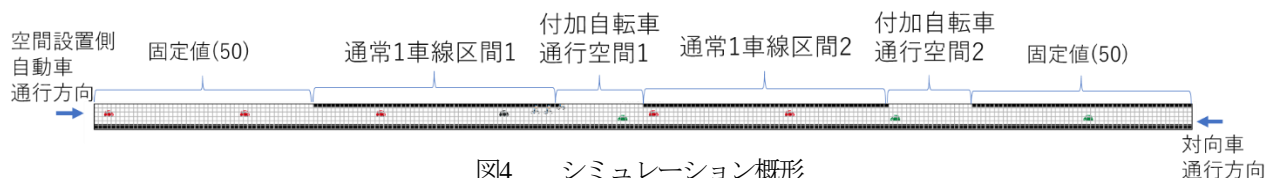


図4 シミュレーション概形

表4 シミュレーション数値

対象	条件	数値
空間	1マス	1[m]
	固定値も含めた全道路空間長	6500[m]
	1ステップ	0.144[s]
	通常1車線区間長D	可変
	付加自転車通行空間長L	可変
自転車	1時間当たり片側自転車交通量 (発生確率はポアソン分布に従う)	29[台/h]
	1ステップごとに進む距離	1[m] (25km/h)
	集団走行時車間距離	2[m]
	自転車通行空間走行開始位置	実測割合
	自転車通行空間走行終了位置	実測割合
	自動車	1時間当たり片側自動車交通量 ⁷⁾ (発生確率はポアソン分布に従う)
1ステップごとに進む距離 ⁷⁾		2[m] (50km/h)
追従走行時最短車間距離 ⁸⁾		16[m]
自由走行時最短車間距離 ⁹⁾		30[m]
・追越開始時の自転車との距離 ・追越終了時の自転車との距離 ・追越待機時の自転車との距離		8[m]
追越開始時の対向車との距離		32[m]以上
追越待機時の対向車との距離		32[m]未満

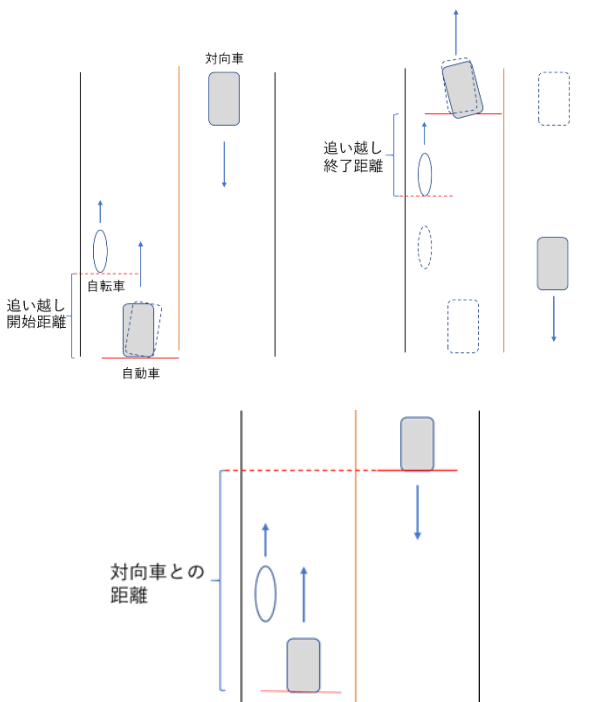


図5 追越し挙動に関する概要図

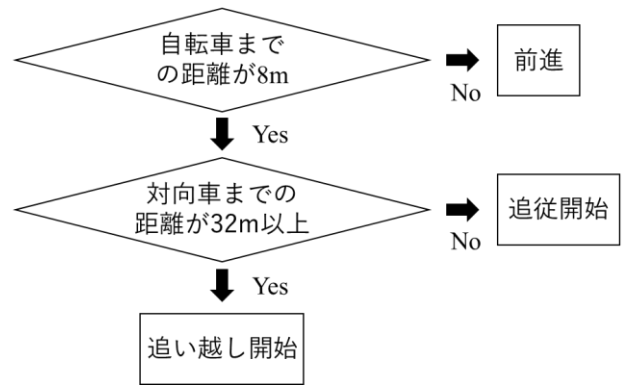


図6 自由走行時の追越しフロー

ただし、自動車が自転車に追従した場合、自転車に追従している他の自動車に追従した場合は速度が変化する。

追越し挙動時の自転車や対向車との関係を図5に示し、自転車の追越しに関するシミュレーションのフローを図6に示す。追従判定に用いる追従時の最短車間距離と自由走行時の最短車間距離については自動運転の車間維持制御の考え方⁸⁾より設定する。その結果、追従判定として、自動車が自転車に8[m]まで近づいた時と前方車に16[m]まで近づいた時の2パターンを追従状態として計測していく。追従状態からの解放に関しては車間距離が自由走行時最短車間距離まで開くまでは追従状態として考える。前方車に16[m]まで近づいた時の車頭時間は約2.3[s]であり、他の研究など^{4) 5)}で用いられた追従判定と比べても過大評価ではないと言える。なお、本シミュレーション上では車両長を考慮していない。そのため、付加自転車通行空間側の自動車は自動車の最後部、対向車線側の自動車は自動車の車頭部を表していることとする。

(3) シミュレーション計測概要

空間両端の固定値では計測せず、通常1車線区間1開始地点から200[m]ごとに小区間を区切り、その区間ごとに追従時間率を計測していく。そして、1時間のシミュレーションを20回行い得られた追従時間率の80パーセント値を計測する。これを12回分行って得られた平均値を用いて分析を行っていく。つまり、シミュレーション回数としては240回行ったこととなる。なお、1回ごとのシミュレーションにおいてウォーミングアップの時間を6500ステップとすることとする。これは自転車が空間全体にいきわたるまでの時間に起因している。

4. シミュレーション結果

(1) 空間の有無比較

まず、付加自転車通行空間がある場合とない場合の比

較を行い、結果を図7に示す。空間を設置していない、つまり付加自転車通行空間長 $L=0[m]$ のとき通常1車線区間1開始地点から下流600[m]程度までは追従時間率が増加していることが分かる。しかし、それより下流ではほぼ横ばいとなり一定の値に落ち着いていると言える。一方、付加自転車通行空間長 $L=200[m]$ を設置した場合も一定の値に落ち着くまでに関しては同じ結果が表れている。付加自転車通行空間は大きく追従時間率が減少している3000m~3200[m]地点に設置されており、空間の下流400m程度までは他の区間よりも追従時間率が減少していることからサービスレベルの改善が図られていることが分かる。しかし、通常1車線区間1開始地点での値までには改善されていないことが分かる。

(2) 空間長の比較

付加自転車通行空間長を変えた場合として $L=200[m]$ と $L=800[m]$ の比較を図8に示す。空間を長くとしているが、空間の下流でのサービスレベルに関しては大きな変化がないことが分かる。本来ならば、空間を長くとることにより、空間後の追従時間率は通常1車線区間1開始地点の値に近づくことが予想されるが、大きな改善が見られないこととなった。しかし、これは自動車側に希望速度分布を与えていないため、車群が分散しないことが影響しているとも考えられる。

(3) 空間設置数の比較

空間の設置数を変更した場合として、総自転車通行空間長を同一にして $L=800[m]$ を2箇所設置した場合と $L=200[m]$ を8箇所設置した場合の比較を図9に示す。設置数を多くしたとしても、すべての空間の下流で追従時間率の改善が図られていることが分かる。そのため、設置数を多くした方が空間下流での追従時間率の低い距離の合計が長くなると言える。しかし、回数を重ねていくうちに効果が徐々に薄くなっていることも分かる。

(4) 設置効率の検討

建設コストの面から考えると、付加自転車通行空間は通常1車線区間に比べて費用がかかるので、付加自転車通行空間 L は短く通常1車線区間長 D は長くすることが望ましい。つまり、同じ効果が得られるのであれば、 L に対する D の割合が大きいほど費用対効果が大きいこととなる。そのため、この割合 D/L を設置効率と呼び、 D/L に応じた全空間の追従時間率を図10に示す。付加自転車通行空間は2箇所設置し、 $L=0[m]$ から200[m]ごとに増加させて計測していく。なお、 $L=0[m]$ のときの値を右端($D/L=25$)にプロットしている。この図より、 D/L が2.5程度より小さくなると追従時間率が大きく減少していることが分かる。つまり、 L を200[m]と設定するならば D は

500[m]よりも短く設置しなければ大きな改善は図られないこととなる。

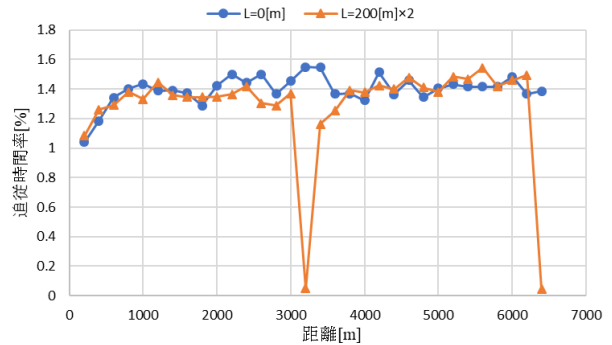


図7 空間の有無比較

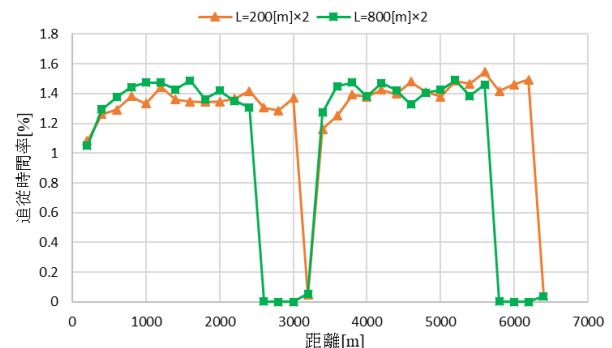


図8 空間長の比較

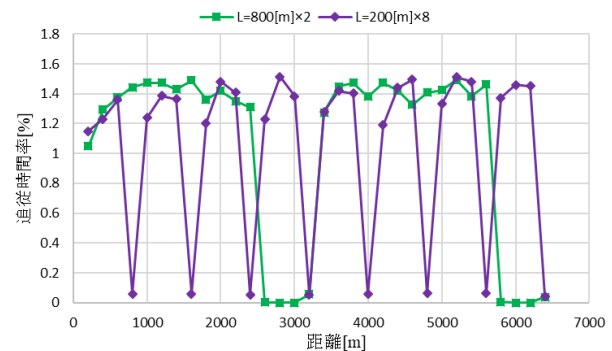


図9 空間設置数の比較

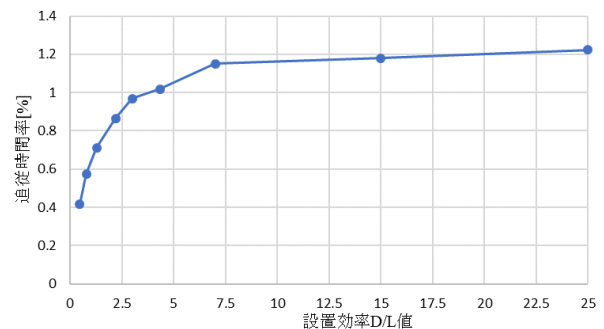


図10 設置効率 D/L に応じた追従時間率

5. おわりに

(1) 本研究の結果

本研究の結果より、1つの付加自転車通行空間の長さを長く設置しても空間下流のサービスレベルについて改善が図られないことから、空間の長さについては自転車追従状態から最低限解放される付加自転車通行空間長 L があればよいことが分かる。そして、設置効率 D/L が2.5程度より大きいと付加自転車通行空間が設置されていない場合と比較して大きな改善が見られないことから、設置効率 D/L は2.5以下になるように設定すべきであることも分かる。つまり、1つの空間を長くとりより短距離の空間であっても繰り返し設置する方が追従状態からの解放は見込めることが分かった。しかし、回数を重ねるごとに効果は薄くなるため過度に繰り返して設置する必要はなく、他の要素を考慮し設置することが望ましいと考えられる。

なお、本研究で得られた追従時間率は自転車への追従に起因する値である。そのため、本来であれば自動車の速度にばらつきが生じ、自動車同士の追従がさらに発生するため、自動車ドライバーの感じるサービスレベルは本研究より悪いことには注意が必要である。

(2) 今後の課題

本研究では、現在の自動車・自転車交通量を元にシミュレーションを作成し、自動車側のサービス水準の指標で分析を行った。そのため、今後は交通量が異なる場合など様々な条件で分析を行っていくことや、自転車側の

サービス水準を考慮していくことが重要であると考え。また、シミュレーションモデルにおいて自動車・自転車に希望速度分布を与えていないなど様々な数値を一定の値としているため改善していく必要がある。

謝辞：本研究の遂行にあたりまして、滋賀県庁道路課の方々にご多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省、警察庁：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2016.
- 2) 一般社団法人交通工学研究会：平成 24～26 年度基幹研究課題「道路の交通容量とサービスの質に関する研究」最終成果報告書, 2015.
- 3) 中村英樹, 小林正人, Jerome L. CATBAGAN：追従車密度を考慮した往復 2 車線道路における付加追越車線の設置水準に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, PP.270-282, 2011.
- 4) 宗広一徳, 高田哲哉, 石田樹, 松田武：北海道における「2+1 車線」型道路の性能評価, 土木学会論文集, Vol.72, No.5, I_1339-I_1347, 2016
- 5) 葛西誠, Jian XING, 成嶋晋一, 後藤秀典, 辻光弘：暫定 2 車線区間におけるトラフィック機能のサービス指標に関する研究, 交通工学論文集, Vol.3, No.2, PPA_135-A_144, 2017
- 6) 桐山孝晴：道路のサービス水準の考え方について, 交通工学, Vol.40, No.1, pp.21-26, 2005.
- 7) 国土交通省：平成 27 年度全国道路・街路交通情報調査（道路交通センサス）一般交通量調査箇所別基本表,
- 8) 大前学：自動車の車間距離制御システムの研究動向, 交通運輸情報プロジェクトレビュー, No.23, 2014

(2020.3.8受付)