

# 簡易感知器とプローブカーデータを用いた片側交互通行信号制御システムの構築

## Construction of the framework of Traffic Signal Control for Road Works with Movable Vehicle Detectors and Floating Vehicles

吉井 稔雄\*・片岡 源宗\*\*・西内 裕晶\*\*

By Toshio YOSHII\*・Motomune KATAOKA\*\*・Hiroaki NISHIUCHI\*\*

### 1. はじめに

本研究は、持ち運び可能かつ設置・除去が容易な簡易感知器と、プローブカーから獲得されるデータを有効に利用しながら、遅れ時間ならびに燃料消費量という二つの指標を最適化する「片側交互通行信号制御システム」の構築を目指す。本稿では、構築したシステムの概要を紹介する。さらに、実際の交互通行実施区間における調査を行い、獲得されるデータの精度を吟味した後、システムを適用する。

道路工事などによる片側交互通行区間における車両の誘導は、工事発注・施工者によって、交通管理者の指導の下で行われる。しかし、安全への配慮が最優先であるため、信号制御としては、必ずしも適切な対応がなされているとは言い難い状況にある。現在の車両誘導は信号機で行い、誘導員は安全確保に努めるという方向に移行しつつあるように思われ、今後は、信号機の効率的な運用方法を構築することが必要であると考えられる。信号の効率的な運用には、交通状況をモニターすることが必要となるが、工事は一時的に実施されるものであるため、固定式のセンサー等を設置することは合理的ではなく、どこにでも設置・撤去が容易なセンサーやプローブカーから獲得される走行軌跡データを利用した交通状況のモニターが有効であると考えられる。

提案するシステムは、待ち行列モデルを基本としたシミュレーションモデルを作成した後、モニターした交通状況から獲得される各種の入力値を入力し、異なる信号制御(サイクル長とスプリット)を採用した場合の、各制御での総旅行時間とCO<sub>2</sub>排出量の予測値を推計し、これらの推計結果に基づいて、最適な信号制御方法を決定する。

### 2. 既存の研究

片側交互通行区間における車両誘導方法に関して、吉田ら<sup>1)</sup>は、工事区間の交通容量に及ぼす影響要因を調査し、各要因が交通容量に与える影響を定量的に評価するとともに、交通誘導員による誘導方法のモデル化を行っている。一方、越ら<sup>2)</sup>も、誘導員による誘導方法をモデル化し、誘導員による誘導が車両感应式信号機によるものと同じく効率的なものであることを確認している。安井ら<sup>3)4)</sup>は、車両感应式工事用信号制御システムを開発し、定周期性の制御と比較して、遅れ時間を短縮できることを確認している。このシステムはすでに実用化されており、単一の工事区間を対象として、車両の遅れ時間の短縮に貢献している。対して、本研究では、工事区間の近辺に信号機が設置されている状況や、同一路線上に連続して工事区間が設定されている状況等を想定し、前後に位置する信号機や連続する工事区間での誘導と対象工事区間における誘導を系統的に実施することを目標としている。具体的には、設置および除去することが容易な車両感知器とプローブカーを用いて交通状況を把握した後、交通シミュレーションを用いた信号制御パラメータ決定ツールを用いて、工事区間における信号パラメータを決定するものである。

自動車交通による大気汚染に関して、小根山ら<sup>5)</sup>は、ディーゼル車を対象として加減速を考慮したNO<sub>x</sub>排出量推計モデルを構築し、走行パターンを仮定した上で信号交差点における信号制御とNO<sub>x</sub>排出量の関係を分析し、道路規格、交通量などが同一の道路交通条件の下では、信号制御の最適化による総遅れ時間の減少、平均旅行速度の向上によってNO<sub>x</sub>排出量もあわせて減少することを確認している。また、大口ら<sup>6)</sup>は、実走行実験から得られた燃費データの実証分析とエンジン熱機関と車両運動の理論モデル解析を通して、交通混雑状況下における車両挙動とCO<sub>2</sub>排出量との関係を定式化し、旅行時間、移動距離、車速変動特性を用いた定量的な評価方法を提案し

キーワード：交通制御，交通量計測，交通容量，CO<sub>2</sub>排出

\* 正員，博士（工学），高知工科大学工学部社会システム工学科  
E-Mail: yoshii.toshio@kochi-tech.ac.jp

\*\* 学生員，高知工科大学工学部社会システム工学科

ている．本研究では，交通状況を予測するシミュレーションモデルの出力内容を考慮し，大口らの提案するモデルを利用してCO<sub>2</sub>排出量を算出する．

### 3. システムの概要

#### (1) システムの概要

本研究で提案するシステムは，待ち行列モデルを基本としたシミュレーションモデルを採用する．シミュレーションモデルは，SOUND 街路版<sup>7)</sup>における車両移動方法を採用し，信号機が赤の場合にはリンクからの流出ができないという機能を追加したものである．このシミュレーションモデルに次のデータを用い，総走行時間，及び車両の停止回数を推計する．必要となる主なデータは，以下の4つと信号サイクル長・スプリットである．

- ・対象区間の需要交通量
- ・工事区間における飽和交通流率
- ・通過に要する時間(クリアランス時間に相当)
- ・車速変動特徴パターン

なお，対象区間の需要交通量，及び飽和交通流率は感知器，通過に要する時間，及び車速変動特徴パターンはプローブカーより獲得する．

複数の信号サイクル長，スプリットを用意し，それぞれの制御を実施した場合の総旅行時間とCO<sub>2</sub>排出量を，シミュレーションにより算出する．算出された結果を比較することにより，最適な車両誘導方法(信号サイクル・スプリット)を決定する．

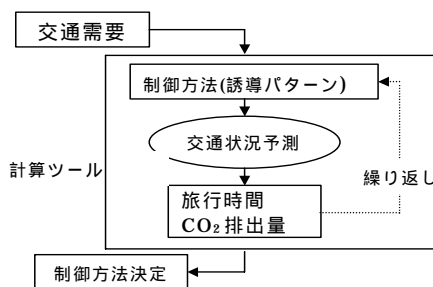


図1 車両誘導方法決定システムの概略

#### (2) CO<sub>2</sub>排出量の算出方法

CO<sub>2</sub>排出量の算出には大口らが提案する式(1)を用いる．

$$E = 0.3KcT + 0.028KcD + 0.058KcAEE \quad (1)$$

$$AEE = \sum_{k=1}^K \sigma_k (v_k^2 - v_{k-1}^2) \quad (2)$$

$E$  : CO<sub>2</sub>排出量に変換[cc]

$Kc$  : ガソリン燃料消費量をCO<sub>2</sub>排出量に変換する係数

$T$  : 旅行時間[s]

$D$  : 走行距離[m]

$AEE$  : 加速エネルギー当量[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]

$\sigma_k$  : 加速時  $\sigma_k = 1$  , その他の場合  $\sigma_k = 0$

$v_k$  : 各周期毎の瞬間速度[m/s]

式(1)の第一項は旅行時間に関する項である．各車の旅行時間は，前述の待ち行列モデルから計算結果として求められる．第二項は走行距離に関する項であり，この値は対象とする区間を決定すれば定数となる．第三項は車速変動特性に関する項である．この項は，プローブカーによる走行軌跡データに基づいて，走行パターン別に決定する．具体的には，停止回数によってその値が異なるものと考え，停止回数別にAEE(加速エネルギー当量)を計算する．

ある区間を走行するプローブカーの走行パターンを例として図2に速度の変化を示す．AEEの算出に際しては，対象区間を以下の走行状態別に4つの区間に分類し，各走行状態別の区間ごとにプローブカーデータから計算されるAEE値を算出する．

- 1) 最初の一定速走行から停止するまで(図中A)
- 2) 一旦停止した状態から再発進して工事区間に流入するまで(図中B)
- 3) 工事区間の通過後(図中C)
- 4) 2回以上停止した場合に待ち行列中で前進した状況(図中D)

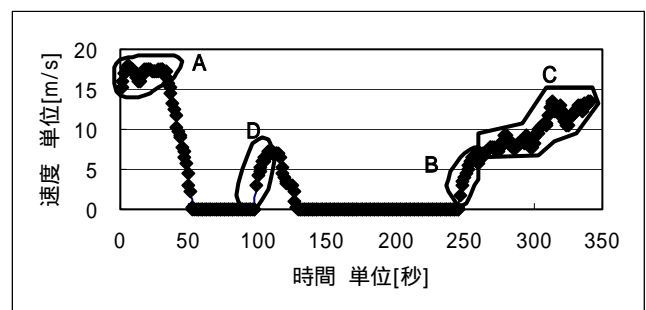


図2 プrobeカーの走行軌跡の例

### 4. 調査

#### (1) 調査概要

調査は，高知県幡多郡大月町馬路，国道321号における交互通行実施区間を対象とし，2001年12月7日金曜日，午前7:00~9:00の通勤時間帯に行った．

調査は，調査員による観測，感知器を用いた計測，ビデオ撮影，GPSを利用したプローブカーによる走行軌跡データの獲得という4種類の調査を同時に並行して実施した．調査項目の一覧を表1に示す．

地点U1，U2においては，交通量の観測，地点S1，S2では，誘導に用いられている信号のサイクル長とスプリット，青信号開始時の信号待ち台数並びに交通量，さら

に、地点 S1, S2 では飽和交通流率を測定するため、各車両の通過時刻を計測した。図 4 には、調査時間におけるサイクル長とスプリットを示す。最後にプローブカーによる調査では、走行軌跡を獲得する。

表 1 調査一覧

地点	感知器	ビデオ	観測員(各地点1名)	プローブカー
U1	○	○	交通量観測	調査時間中、対象区間を往復
S1	○	○	青開始時待ち台数観測	
			交通量観測	
S2	○	○	交通量観測	
			青開始時待ち台数観測	
U2	○	○	交通量観測	

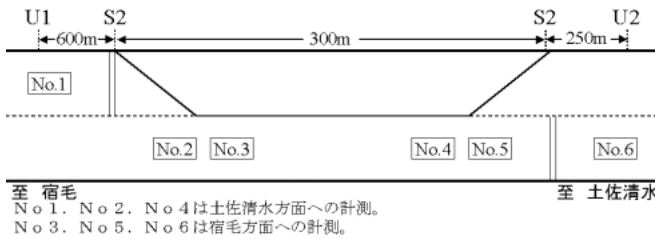


図 3 対象区間概略図

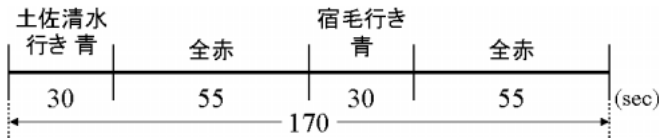


図 4 調査時のサイクル長とスプリット

## (2) 調査結果

調査員ならびに感知器によって観測された U1, U2 地点の 1 時間及び全時間の交通量と 5 分間交通量を表 2 に示す。この結果より、若干の相違はあるが、感知器による交通量観測は調査員による結果と大きな差が無いことを確認した。

観測された大型車混入率を表 3 に示す。感知器は車両の全長を計測することが可能で、計測した全長で、5, 7, 9m 以上の 3 つの定義で大型車を識別した。ビデオ撮影では、1, 2, 8 ナンバーの車両を大型車と定義した。大型車については、感知器とビデオではその結果に多少の相違が認められた。この結果より、感知器により大型車混入率を測定する際には、判別に用いる車長の閾値によって、大型車混入率の値は大きく異なるということに十分注意する必要があるといえる。

最後に、プローブカーが S1-S2 間の工事区間を通行するのに要した時間に基づいて、工事区間内の速度を算出した結果を表 4 に示す。

飽和交通流率は、感知器及びビデオ撮影調査より平均車頭間隔を算出することにより求める。S1 地点、土佐清水行きの 1 車群台数と通過時間の関係を図 5 に示す。

表 2 1 時間及び全時間交通量(単位:veh)

地点名	U1		U2	
進行方向	土佐清水		宿毛	
調査方法	調査員	感知器	調査員	感知器
6:00~7:00	69	68	89	90
7:00~8:00	278	274	313	312
8:00~9:00	270	267	288	308
全時間	617	609	690	710
誤差	平均(%)	0.15	0.17	
	最大(%)	0.65	0.86	
	最小(%)	0.00	0.00	

表 3 大型車混入率(単位:%)

調査方法	車両全長	土佐清水行き	宿毛行き
ビデオ	5m以上	9.8	5.6
	7m以上	22.2	4.3
	9m以上	6.6	2.1
感知器	5m以上	6.6	2.1
	7m以上	4.6	0.5
	9m以上	4.6	0.5

表 4 工事区間速度(単位: km/h)

進行方向	土佐清水	宿毛
平均	33.3	32.8
最大	45	39
最小	19	18

表 5 平均車頭時間

進行方向	地点	調査方法	車群数	通過台数 veh	平均車頭時間 sec	飽和交通流率 veh/h
土佐清水	S1	感知器	48	590	2.02	1783
		ビデオ	34	439	3.01	1196
	S2	感知器	50	628	1.93	1865
		ビデオ	34	438	2.97	1211
宿毛	S1	感知器	50	608	1.98	1820
		ビデオ	38	526	2.63	1370
	S2	感知器	49	603	2.02	1787
		ビデオ	44	614	2.56	1406

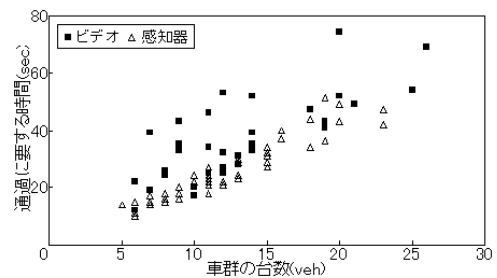


図 5 各車群の通過に要する時間 (S1 地点、土佐清水行き)

感知器は、前車との間隔が 5 秒以下の場合に車群とみなし、ビデオ撮影で、停止線における待ち行列台数を考慮し、車群を識別した。なお、両調査とも 5 台以上の車群を集計の対象とした。次に、車頭時間の合計を車頭間隔数で割ったものを平均車頭時間とした。算出した平均車頭時間、飽和交通流率を表 5 に示す。

プローブカーの軌跡の例を図 6 に示す。途中、信号待ち行列中で停止しているため、速度が 0 になっている。また、この例では、信号で 2 回停止したことが読み取れる。プローブカーデータを集計して、算出した走行

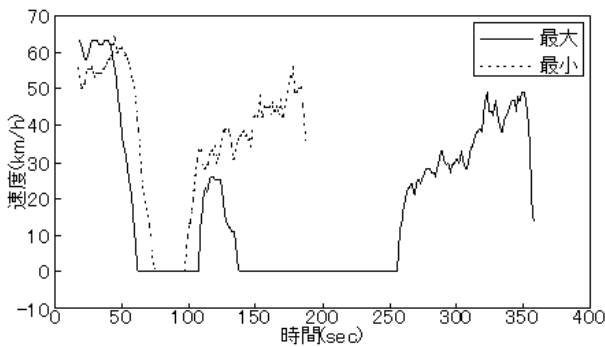


図6 プローブカーの軌跡の例

表6 各方向別の平均AEE値

方向	土佐清水行き				宿毛行き			
	A	B	C	D	A	B	C	D
走行状態								
データ数	9	9	9	1	10	10	10	0
平均	216	77	365	56	151	129	360	-
標準偏差	62	20	55	-	35	30	65	-

状態別のAEE値のデータ数ならびに平均値を表6に示す。この平均値を利用して、CO<sub>2</sub>排出量を算出する。

### 5. システムの適用

表7に各方向からの交通に通行権を与える時間(有効青時間)のスプリットを変えた場合の総遅れ時間、表8には、そのときのガソリン燃料消費量を示す。なお、ガソリン燃料消費量は、シミュレーション結果より求めた値から、対象区間を自由走行する際に必要となる最小限のガソリン燃料消費量を差し引いた値を示す。これらの結果より遅れ時間で評価した場合(スプリットは50秒、50秒)と、CO<sub>2</sub>排出量と比例の関係にあるガソリン燃料消費量で評価した場合(スプリットは40秒、50秒)とでは、最適なスプリットが異なることが読み取れる。

現地調査では、各方向のスプリットはともに30秒であった。しかし実際には、青開始直前ならびに青終了直後に信号を無視して片側交互区間に進入する車両が存在し、実質的には40秒程度の青が出ていたに等しい状態であった。この結果より、現状においてもまずまずの誘導を行っている事が伺える。

### 5. おわりに

本稿では、持ち運び可能かつ設置・除去が容易な簡易感知器と、プローブカーから獲得されるデータを有効に利用しながら、遅れ時間ならびに燃料消費量という二つの指標を最適化する「片側交互通行信号制御システム」の枠組みを構築し、構築したシステムを実際の片側交互通行区間に適用し、遅れ時間最小化と排出量最小化ではその制御方法が異なることを確認した。

今後は、1) 片側交互通行区間の近辺に信号交差点が

表7 サイクル長と平均遅れ時間の関係(単位:秒)

土佐清水市方面 スプリット	50	102	67	60	54	53
	45	103	70	62	57	55
	40	107	72	65	60	58
	35	121	85	77	74	71
	30	259	223	214	207	211
		30	35	40	45	50

宿毛市方面 スプリット長[s]

表8 サイクル長とガソリン燃料消費量の関係(単位:千cc)

土佐清水市方面 スプリット	50	28	18	16	21	20
	45	29	19	17	21	20
	40	30	20	17	21	20
	35	32	24	21	23	22
	30	66	63	58	57	58
		30	35	40	45	50

宿毛市方面 スプリット [s]

存在する場合や連続して片側交互通行区間が存在する場合へのシステムの適用、2) 繰り返し計算時における効率的な制御方法(スプリット)更新のアルゴリズムの確立に向けて研究を行う。

### 謝辞

本研究を進めるにあたっては、国土交通省四国地方整備局中村工事事務所、(財)計量計画研究所より多大なご支援を頂きました。さらに、朝倉康夫教授をはじめ高知中村プローブカーWGの委員の皆様より多くの貴重なご意見を頂戴しました。ここに、感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 吉田賢太郎, 石井宏幸他: 導管理設工事による交通流への影響評価に関する研究, 土木計画学研究・講演集 19(1), pp597-600, 1996.11
- 2) 越正毅, 安井一彦他: 片側交互通行区間における交通誘導員の行動把握とモデル化に関する研究, 第19回交通工学研究発表会論文報告集, pp37-40, 1999.12
- 3) 安井一彦, 池之上慶一郎, 佐藤彰: 工事用感応信号制御機の試作と適用試験結果について, 第14回交通工学研究発表会論文報告集, pp9-12, 1994.11
- 4) 越正毅, 安井一彦, 山本健一: 感応式工事用信号パラメータと車両感知器設置位置の最適化に関する研究, 第17回交通工学研究発表会論文報告集, pp33-36, 1997.11
- 5) 小根山裕之, 桑原雅夫: 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, 2001.10
- 6) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明: 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推計モデル, 土木学会論文集 No.695/ -54, pp125-136, 2002.1
- 7) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 森田紳之, 岡村寛明: 広域ネットワーク交通流シミュレーションモデルSOUNDの開発, 生産研究 Vol.48, NO.10, pp49-52, 1996.10
- 8) 吉井稔雄, 西内裕晶, 片岡源宗: CO<sub>2</sub>排出量を考慮した片側交互通行区間における車両誘導方法決定システム, 第22回交通工学研究発表会投稿中, 2002.11