

## 停止線付近の車両挙動に着目した単独信号制御の高度化

## The Advancement of Off Line Traffic Signal Control Based on the Vehicle Behavior on Stop Line

指導教授 安井 一彦

8006 小沼良裕

## 1. はじめに

日本における渋滞による経済損失は約 12 兆円<sup>1)</sup>であり、交通の円滑化が求められている。中でも信号交差点によるものが多くを占めており、信号の最適化が非常に重要になっている。

日本における信号制御方式は「集中制御」「単独制御」の 2 種類がある。集中制御は感知器の情報を基に、管制センターで最適なパラメータを計算し、信号機の運用を行っている。しかし単独制御では、時刻毎にあらかじめ設定された秒数しか表示できず、需要の変化には対応できない。またパラメータの見直しのための調査に莫大な時間や費用が必要であり、なかなか行われておらず、無駄青や渋滞の原因<sup>2)</sup>にもなっている。日本の信号交差点の約 65%が単独制御<sup>3)</sup>で運用されており、その対策が必要である。

そのため、単独制御から集中制御への切り替えが進められているが、費用と時間が必要であり、中には集中制御にする必要のない交差点も含まれている。そこで、需要の変化にある程度対応できる単独制御の高度化が必要である。

そこで本研究では、

- ・管制センターとは接続しない
- ・簡易的なセンサーで飽和・非飽和を判定する
- ・その判定方法に基づき、青時間を変化させる

以上の機能を有する制御方式を提案し、効果を分析することを目的とする。

## 2. 飽和・非飽和と停止線付近の車両挙動

需要に見合った制御を行うためには、方向別に飽和・非飽和を把握する必要がある。飽和・非飽和を判定する方法として、今現在は交差点の各流入部上流 150m 付近に感知器を設置する方法が取られている。

しかし過去の研究<sup>4)5)</sup>により、停止線付近の車両挙動により、飽和・非飽和を判定できることが明らかとなってきた。

黄表示・赤表示中に車両が停止線を通過するサイクルの発生率を図-1、図-2に示す。

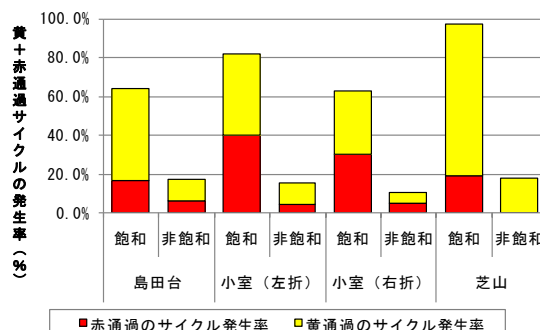


図-1 黄+赤通過のサイクル発生率①

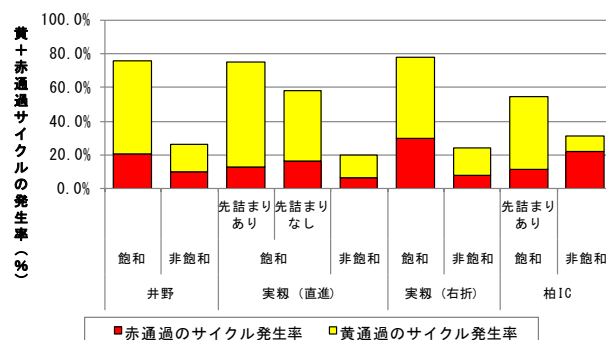


図-2 黄+赤通過のサイクル発生率②

図-1は先詰まりや右折車の車線閉塞が起こらない交差点、図-2は右折車の車線閉塞、青表示中の前半、後半に先詰まりが起きる交差点における黄表示・赤表示中に車両の停止線通過があったサイクルの割合を示している。

非飽和時における黄+赤通過サイクルの発生率は約 20%程度、飽和時は 60%~95%であり差が大きいことが分かる。このことから、黄+赤通過が起きたサイクルは飽和、起きなかったサイクルは非飽和と判定することが可能である。

青表示中の後半に先詰まりが起きる交差点(柏 IC)では、黄表示・赤表示中に停止線通過が起きにくく、この方法を用いて飽和・非飽和を判定することができない。

## 3. 単独制御の高度化の提案

本制御は各流入路の停止線付近にセンサーを設置し、毎サイクルの停止線通過情報をもとに、そのサイクルの飽和・非飽和を判定する。そうすることにより、交差点上流に感知器を設置する必要がなくなり、配線な

どのコストがかからなくなる。飽和であると判定した場合は青の秒数を増やし、非飽和であると判定した場合は青の秒数を減らす。このようにして需要の変化に対応するように信号を制御する。

次のサイクルの飽和・非飽和を判定するにあたり、過去何サイクルで判定を行うのが良いか、増減秒数を何秒で行うのが良いか、シミュレーションにより検証を行った。

本制御のアルゴリズムを図-3に示す。

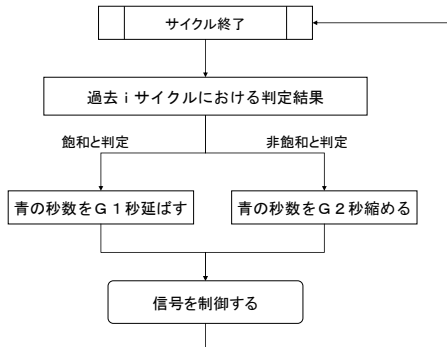


図-3 本制御のアルゴリズム

#### 4. シミュレーションの概要

##### (1) 道路形状

片側1車線往復2車線で幅員6mの十字交差点を設定した。

##### (2) 車両挙動

通常の指数分布から、最小車頭間隔である0.7秒をシフトした指数分布を用いて車頭時間を求め、車両を発生させた。赤現示中に待ち行列が形成される場合、車両の長さを考慮せず停止線上に車両を積み上げる、Vertical Queue方式を用いた。また発進損失を2秒とし、発進損失後は飽和交通流率で車両が停止線を通る。

##### (3) 停止線通過の再現性の確認

本研究で用いるシミュレーションモデルの黄表示、赤表示中の停止線通過確率は、調査交差点における飽和していたサイクル、非飽和だったサイクルのそれぞれの通過確率の平均値を用いた。停止線通過発生率を表-1に示す。

表-1 停止線通過発生率

	飽和	非飽和
実際の黄+赤通過発生率の平均値 (%)	73.8	19.2
シミュレーションの黄+赤通過発生率の平均値 (%)	75.8	18.7

平均値が近似していることから、停止線通過発生率の再現性が確認できた。

#### 5. 判定方法の検証

##### (1) 判定に用いるサイクル数

サイクル長を固定し、1現示のみ本制御を導入したとき、過去何サイクルの判定結果を利用すると、需要に見合った制御ができるか、シミュレーション結果をもとに、誤判定率、5台以上の捌け残りの起きたサイクル数、余裕青時間で比較を行った。シミュレーション条件を表-2に示す。

表-2 シミュレーション条件

	条件
交通量 (100台刻み) (台)	100~800
飽和交通流率 (pcu/有効青1時間)	1,800
シミュレート時間	1時間
現示	標準2現示
サイクル長 (秒)	70
黄時間 (秒)	3
赤時間 (秒)	2
1流入路の青時間 (秒)	6~48

1サイクル当たりの増減秒数は2秒、4秒、6秒、8秒とした。

本研究では2種類の需要変動パターンを用いた。交通量600台における交通変動のイメージを図-4に示す。

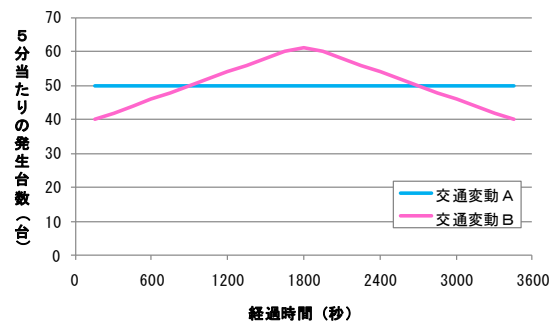


図-4 交通変動イメージ (600台のとき)

交通需要の変動が小さいものを交通変動 A、1時間の中で交通需要が変動するものを交通変動 Bとした。判定方法の検証は交通変動 A を用いてシミュレーションを行った。

##### 1) 誤判定率

誤判定率の結果を表-3に示す。誤判定率は実際の飽和・非飽和を誤って判定し、逆に信号を制御した割合である。

表-3 誤判定率

判定に用いるサイクル数	増減秒数 (秒)	誤判定率 (%)								平均値
		交通量 (台)								
		100	200	300	400	500	600	700	800	
1サイクル	2	18.4%	20.6%	18.4%	24.4%	20.2%	24.6%	22.6%	24.4%	21.8%
	4	24.2%	22.8%	20.0%	26.0%	22.4%	18.6%	20.8%	20.6%	
	6	20.8%	22.4%	20.8%	22.6%	26.8%	24.8%	18.4%	22.8%	
	8	20.6%	18.6%	20.8%	24.2%	22.0%	18.6%	18.8%	24.0%	
3サイクル	2	20.2%	30.8%	26.4%	26.6%	32.2%	30.2%	30.4%	22.6%	27.6%
	4	22.0%	26.6%	24.0%	22.8%	28.0%	20.6%	26.6%	24.4%	
	6	26.2%	30.6%	30.6%	32.6%	28.8%	26.6%	34.0%	30.4%	
	8	26.4%	30.4%	26.8%	22.6%	34.6%	32.8%	24.6%	30.6%	

誤判定率の平均値で比較を行うと、過去3サイクル

の判定結果を用いる場合、過去 1 サイクルの判定結果を用いたときに比べ、5.8%誤判定率が高くなるのがわかる。

### 2) 捌け残りサイクル数

同じ誤判定率でも、非飽和時に余裕を持って青を表示する場合と、飽和時に青時間を短くしてしまう場合がある。そのことから、どちらが捌け残りを少なく制御することができるか、5 台以上の捌け残りの起きたサイクル数で比較を行った。表-4 に結果を示す。

表-4 5 台以上捌け残りサイクル数

判定に用いる サイクル数	増減秒数 (秒)	5 台以上の捌け残りの起きたサイクル数 (サイクル)							
		交通量 (台)							
		100	200	300	400	500	600	700	800
1 サイクル	2	0.0	5.2	2.2	6.4	4.4	4.2	10.2	10.0
	4	0.0	9.4	5.4	10.2	14.2	9.4	17.4	12.4
	6	0.0	4.0	6.4	8.2	10.4	11.2	10.0	10.6
	8	0.0	3.2	8.2	8.2	14.4	11.6	16.2	16.4
3 サイクル	2	0.2	5.2	14.4	9.4	13.0	12.2	13.4	13.4
	4	0.0	6.4	11.4	10.4	17.2	14.0	9.4	14.2
	6	0.0	8.8	9.2	9.6	13.4	15.2	13.6	23.6
	8	0.0	4.8	15.6	17.2	16.0	17.2	20.0	17.0

過去 3 サイクルの判定結果を用いる場合、過去 1 サイクルを用いるときに比べ、捌け残りの起きるサイクル数が多いことが分かる。

以上のことから、過去 1 サイクルの判定結果を用いて制御を行う方が良いということがわかる。

### 3) 余裕青時間

次にサイクルごとの実際の需要よりも、どの程度余裕を持って青を表示できるか、余裕青時間で比較を行った。

シミュレーション 1 時間における余裕青時間を表-5 に示す。また最適青時間に近づいた後の余裕青時間を表-6 に示す。

表-5 余裕青時間

判定に用いる サイクル数	増減秒数 (秒)	余裕青時間(秒)							
		交通量 (台)							
		100	200	300	400	500	600	700	800
1 サイクル	±2	250.2	152.2	108.0	60.6	36.4	188.6	-14.2	-10.4
	±4	176.4	10.2	118.2	38.2	48.0	122.4	-230.6	120.6
	±6	212.2	142.6	54.6	62.6	60.2	70.2	-83.2	-68.8
	±8	144.0	120.2	146.2	42.4	-60.6	-10.0	-160.0	-248.6
3 サイクル	±2	256.4	72.4	-18.8	-28.2	-130.4	276.8	-204.4	-2.4
	±4	232.2	120.2	36.6	68.6	-348.6	264.6	128.2	-134.4
	±6	182.4	106.6	88.8	100.8	56.4	-126.4	-290.4	-674.8
	±8	234.6	272.2	70.4	100.4	-184.2	-232.8	-270.8	-360.2

表-6 最適後の余裕青時間

判定に用いる サイクル数	増減秒数 (秒)	最適青時間到達後の余裕青時間(秒)							
		交通量 (台)							
		100	200	300	400	500	600	700	800
1 サイクル	±2	68.2	-10.2	6.4	-28.6	0.6	180.0	-10.4	16.4
	±4	74.4	-82.6	40.4	-18.4	40.2	92.2	-302.6	92.2
	±6	136.2	48.2	28.6	38.2	26.6	54.8	-12.2	-62.6
	±8	84.4	68.4	82.0	10.6	-84.2	-24.2	-150.4	-288.8
3 サイクル	±2	56.4	-56.4	-150.2	-88.8	-198.8	252.4	-190.6	200.4
	±4	128.4	40.6	-112.6	28.4	-402.2	252.8	124.2	-112.2
	±6	106.2	46.4	40.4	66.6	22.6	-180.4	-290.6	-692.6
	±8	176.0	228.2	-14.6	-30.0	-206.6	-258.8	-270.8	-354.2

余裕青時間がマイナスの場合、需要あるのに青を打ち切ってしまうことを示す。しかしプラスであっても値が大きい場合、必要以上に青表示を行っていること

になる。

結果よりどの組み合わせにおいても、余裕をもって青を表示することができない交通量があることが分かる。その原因は以下のとおりである。

- ① 捌け残りが起きたとき増やす秒数が小さいと、その捌け残りを捌き切るために、余裕を持って青を表示できないため、渋滞が起きる。
- ② 減らす秒数が大きいと、青時間を減らしすぎてしまい、捌け残りが起き渋滞が起きる。

### (2) 増減秒数

(1) の結果より、青表示時間を増やすときは余裕を持って増やし、減らすときは徐々に減らすことが重要である。余裕を持って青を表示するため、増減秒数は増加 6 秒のとき、減少を 2 秒、4 秒、6 秒とし、増加 8 秒のとき、減少を 2 秒、4 秒、6 秒、8 秒とした。1 サイクル当たりの増減秒数はどの組み合わせのとき余裕を持って青を表示できるか、シミュレーション結果から余裕青時間で比較を行った。

シミュレーション 1 時間における余裕青時間を表-7 に示す。また最適青時間に近づいた後の余裕青時間を表-8 に示す。

表-7 余裕青時間

増減秒数	余裕青時間(秒)							
	交通量 (台)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
増 6 秒、減 2 秒	322.2	566.2	382.2	656.4	520.2	524.4	234.4	208.6
増 6 秒、減 4 秒	256.4	112.4	224.6	136.8	326.6	266.6	268.6	34.2
増 6 秒、減 6 秒	212.2	142.6	54.6	62.6	60.2	70.2	-83.2	-68.8
増 6 秒、減 8 秒	498.4	594.4	500.4	276.6	534.4	520.4	612.4	360.4
増 8 秒、減 4 秒	474.6	298.0	276.6	422.2	198.4	450.6	174.4	304.6
増 8 秒、減 6 秒	312.4	178.0	152.2	60.4	322.8	130.6	106.4	-138.6
増 8 秒、減 8 秒	144.0	120.2	146.2	42.4	-60.6	-10.0	-160.0	-248.6

表-8 最適後の余裕青時間

増減秒数	最適青時間到達後の余裕青時間(秒)							
	交通量 (台)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
増 6 秒、減 2 秒	138.2	418.6	186.4	182.6	584.6	462.2	230.4	198.0
増 6 秒、減 4 秒	162.2	32.2	22.6	36.0	294.0	246.2	262.8	278.4
増 6 秒、減 6 秒	136.2	48.2	28.6	38.2	26.6	54.8	-12.2	-62.6
増 6 秒、減 8 秒	204.2	392.4	390.6	410.0	334.2	592.4	616.4	412.2
増 8 秒、減 4 秒	172.4	136.4	140.4	382.8	158.4	418.2	156.6	336.2
増 8 秒、減 6 秒	140.2	132.4	112.2	30.4	310.4	120.4	110.8	-142.6
増 8 秒、減 8 秒	84.4	68.4	82.0	10.6	-84.2	-24.2	-150.4	-288.8

100 台から 400 台までは、どの組み合わせでも、余裕を持って青を表示できていることが分かる。それぞれの組み合わせ全体で見たときに、1 サイクル当たりの増減秒数は、増加 6 秒、減少 4 秒と増加 8 秒、減少 4 秒のときに余裕をもって青を表示できていることがわかる。減らす秒数が 2 秒のときも同様に余裕を持って青を表示できるが、値が大きいため無駄に青表示を行っていることがわかる。

### 6. 導入効果のシミュレーション

#### (1) 交通需要の変動が小さい場合

片方向の結果をもとに、サイクル長を固定せず、両

方向に同じ増減秒数の組み合わせの本制御を導入したとき、遅れ時間がどの程度減少するか、図-4の交通変動 A を用いたシミュレーション結果で比較を行った。増減秒数の組み合わせは表-8の7通りとした。また交通量は両流路とも同じ交通量とした。

交通変動 A における遅れ時間の結果を表-9に示す。

表-9 遅れ時間 (交通変動 A)

	1台当たりの平均遅れ時間 (秒)							
	交通量 (台)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
定周期 (サイクル長70秒)	15.3	15.4	15.5	17.4	18.5	24.5	31.6	80.9
最適サイクル長の秒数	24	26	30	36	46	60	90	166
定周期 (最適サイクル長)	9.9	10.5	11.3	13.0	17.4	20.5	28.5	60.9
増6秒、減2秒	11.4	11.7	17.1	15.4	20.2	25.6	37.1	42.7
増6秒、減4秒	11.8	12.0	12.4	15.1	18.2	22.3	30.9	46.2
増6秒、減6秒	11.3	9.8	12.3	12.8	19.4	23.4	31.1	55.6
増8秒、減2秒	10.1	12.6	13.7	18.1	24.0	25.5	35.7	44.0
増8秒、減4秒	11.0	11.6	15.1	14.0	17.3	22.0	34.6	42.4
増8秒、減6秒	9.5	11.2	13.5	14.9	18.1	22.5	35.1	50.4
増8秒、減8秒	9.2	11.0	14.3	15.0	19.1	19.7	35.9	54.8

結果より交通量 800 台のとき、定周期 (70 秒) では捌き切ることができず渋滞が起きるが、本制御を用いると、捌くことが可能であることがわかる。増減秒数の組み合わせ全体で見たとき、1 サイクル当たりの増減秒数が増加 6 秒、減少 4 秒のとき遅れが小さくなり、1 台当たりの平均遅れ時間が定周期 (70 秒) に比べ、平均 13.0%、最大 22.9%遅れが小さくなることがわかった。また 1 時間の交通量を扱う場合、交通量 800 台のときの最適サイクル長に比べ 24.1% 1 台当たりの平均遅れ時間が小さくなることがわかった。

## (2) 交通需要が時刻とともに変動する場合

交通需要の変動が小さいときに本制御の有効性を確認することができたが、実際の交差点では時間帯によって交通需要が異なる。そこで 1 時間の間に交通需要に変動がある場合でも、同様に本制御が有効であるか検証するため、図-4の交通変動 B を用いたシミュレーション結果で遅れ時間の比較を行った。

交通変動 B における遅れ時間の結果を表-10に示す。

表-10 平均遅れ時間 (交通変動 B)

	1台当たりの平均遅れ時間 (秒)							
	交通量 (台)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
定周期 (サイクル長70秒)	16.9	15.3	17.5	19.1	20.0	24.8	33.3	
最適サイクル長の秒数	22	26	32	40	54	80	160	
定周期 (最適サイクル長)	9.9	10.5	11.3	13.0	17.4	20.5	28.5	
増6秒、減2秒	10.6	12.1	15.6	17.1	18.1	32.6	32.4	
増6秒、減4秒	10.0	12.3	13.8	14.1	17.2	19.8	28.6	
増6秒、減6秒	9.5	11.7	12.8	15.3	18.5	23.6	35.8	
増8秒、減2秒	11.7	13.0	14.0	14.8	21.0	28.6	43.6	
増8秒、減4秒	11.3	11.6	13.6	15.2	18.5	27.5	30.8	
増8秒、減6秒	10.3	11.4	14.1	15.4	17.8	25.6	30.6	
増8秒、減8秒	9.6	13.5	14.4	15.7	18.6	26.0	36.8	

交通需要に変動がある場合でも、1 サイクル当たりの増減秒数が増加 6 秒、減少 4 秒のとき遅れが小さくなり、1 台当たりの平均遅れ時間は定周期 (70 秒) に比べ、平均 22.3%、最大 40.8%遅れが小さくなることが

わかった。また 1 時間の交通量を扱う場合、最適サイクル長に比べ最大 3.4%遅れが小さくなることがわかった。

## 7. 結論と今後の課題

飽和・非飽和を判定する方法として、黄表示・赤表示の停止線通過から、黄+赤通過のあったサイクルの発生率で飽和・非飽和を判定できることがわかった。しかし青表示の後半に先詰まりの起きる交差点では、黄・赤表示中に停止線通過が起きにくいいため、この方法では判定できない。

黄表示、赤表示中の停止線通過を用いて制御を行う場合、過去 1 サイクルの判定結果を用いるとき誤判定が少なく制御を行えることがわかった。

交通需要の変動が小さい場合、1 サイクル当たりの増減秒数が増加 6 秒、減少 4 秒のとき遅れが小さくなり、1 台当たりの平均遅れ時間が定周期 (70 秒) に比べ、平均 13.0%、最大 22.9%遅れが小さくなることがわかった。

交通量 800 台で需要に変動がないとき、定周期 (70 秒) では捌くことができず渋滞が起きるが、本制御では容量が増え、捌くことが可能であることがわかった。

交通需要に変動があるとき、1 サイクル当たりの増減秒数が増加 6 秒、減少 4 秒のとき遅れが小さくなり、1 台当たりの平均遅れ時間は定周期 (70 秒) に比べ、平均 22.3%、最大 40.8%遅れが小さくなることがわかった。

以上のことから、本制御の有効性を明らかにすることができた。

今後の課題は実際の交差点に導入し、導入効果を分析すること、導入後の問題点を改善することが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局HP : <http://www.mlit.go.jp/road/index.html>
- 2) (社)交通工学研究会:改訂 交通信号の手引、2006年7月
- 3) 交通事故総合分析センター:交通統計、2009年
- 4) 堀江康浩:交通状況と信号無視の発生に関する研究、日本大学卒業論文、2009年
- 5) 田部井一輝:停止線の付近の車両挙動に着目した飽和・非飽和の判定に関する研究、日本大学卒業論文、2010年