

期待される次世代信号制御ロジックの開発

(最新の交通信号制御技術 (安全性と円滑性を求めて))

東京大学生産技術研究所

桑原雅夫

1. はじめに

一般街路渋滞のほとんどは交差点で起こる。交通が錯綜する交差点で、これを円滑にかつ安全に通るさせるためには、何らかの制御が必要であり、信号機の設置は必要である。現在のところ、全国で約15.5万、警視庁管内でも約1.4万の交差点が信号制御されている。しかし、信号機はその制御ロジックが正しく組み込まれてこそ本来の機能を発揮するものであり、本稿では制御ロジックについて、課題と今後の展望を整理する。

2. 制御目標、制約条件の計量化

制御目標をどこに置くのか、その制御目標をどのように計量化して制御ロジックに組み込むのか、未解明の点は多い。従来から問題視されているところは、10秒の遅れ時間と100秒の遅れ時間は、運転者が認知する負荷として単純に10倍なのかという問題である。おそらく遅れ時間と負荷とは線形の関係にはないものと思われる。遅れ時間は信号制御だけでなく、多くの交通施策の評価関数として利用されており、交通に携わるもの全員に関係する問題である。

遅れ時間の中身、すなわち総遅れ時間ではなく、誰に対する遅れなのかといういわゆる公平性の問

題も議論されてきている。信号制御でこの問題が大きくクローズアップされるのは、過飽和交差点の制御である。過飽和の孤立交差点の総遅れ時間を最小にするためには、飽和交通流率の大きい流入路を優先する制御を採用すればよい。ところが、優先と非優先の流入路の遅れ時間が非常にアンバランスになると言う不公平が生じる。

これらの問題点は、これまでに指摘されてきたものであるが、計量化されて目的関数に反映される、あるいは制約条件に加味されるまでには至っていない。さらに近年では、車両だけでなく歩行者の遅れ時間の考慮、安全・環境への影響の考慮なども制御目標に組み込むことが要求されている。

3. 最適サイクル長

1950年代からの従来理論では、サイクル長を長くすればするほど単位時間あたりの損失時間の割合が小さくなるため、需要が大きくなればなるほどサイクル長を長くして、時間を有効に利用するというのが原則となってきた。サイクル長を長くしても飽和交通流率に変化がなければ、この理論は正しいのであるが、実際には長いサイクル長は飽和交通流率を低下させてしまうという弊害を生じさせる。典型的な例は、長いサイクル長のために右折専用ポケットがオーバーフローして直進車線に右折車両が

はみ出し、直進の飽和交通流率を低下させてしまう現象である。左折車と歩行者の交錯についても、サイクル長が長いと歩行者がバラバラと横断する間を左折車が縫うように左折するため、短いサイクル長で歩行者をまとめて横断させるよりも飽和交通流率は低下する。

安全面から言っても、長いサイクル長の場合には青から赤に変わるときに、車両が無理に交差点に進入することが問題視されている。長く待たされる運転者のいらいらなど、精神的な面も交通事故に少なからず影響を与えていよう。

世界的に見ると、様々なサイクル長が採用されていることが伺える。例えば、渋滞で有名なバンコクではサイクル長は非常に長く、時には10分以上のサイクル長も観察できる。一方、イギリス、ドイツでは、我が国よりもかなり短いサイクル長が採用されている。長くても100秒以下ではないだろうか。理由の一つは、我が国のように大きな需要がないために、比較的短いサイクル長でも需要を捌くことができることがあるだろう。しかし、それ以上に先に挙げたサイクル長が長いために起こる弊害を防止するためにサイクル長の上限を小さく設定しているものと思われる。最適サイクル長に関する研究の歴史は長いが、依然として十分に解明されているわけではなく、サイクルが長い場合の弊害を定量化することが、今後の研究に待たれるところである。

4. 交通需要の集合化

多段定時制御やプログラム選択制御では、交通需要にあわせて信号制御パラメータが変更できるように設計されており、かなり普及している制御方法である。これに関する問題は2つに分けて考えることができる。すなわち、設定可能なプログラム数(制御パラメータのセット数)を有効に活用するために、時間とともに変化する交通需要を、どのように

プログラム数と等しく集合化するのかという問題と、集合化された交通需要に最適な信号制御パラメータを決めるという2つである。前者については、方向別の需要変化が与えられた場合に、それらを決められた数に集合化するという組み合わせ問題となる。また、後者は1つの集合内で分布する(方向別)交通需要に対して最適な制御パラメータを1つ求めるという最適化問題となる。現在は、需要の流率やオキュパンシー等を用いた指標によって需要の集合化が行われ、それぞれの集合について経験的にパラメータセットが決められているが、客観性を持つ技術的方法の適用には至っていない。

5. 系統・ネットワーク制御におけるサブエリア分割と制御パラメータ

我が国における系統・ネットワーク制御では、対象地域をいくつかのサブエリアに分割し、各サブエリア内で制御パラメータを設定する方法が一般的である。1つのサブエリア内ではサイクル長を共通にし、隣接する交差点間のオフセットが調整されているのであるが、サブエリアの境目ではオフセットが設定されない。サブエリアを細かく設定すると、サブエリア内の制御パラメータ(特にサイクル長)はサブエリア内の交通状況を反映したものに設定できる代わりに、サブエリアの境目でオフセットの設定ができないことの短所がある。一方、1つのサブエリアを大きくすると、サブエリアの境目の数は減少するので、オフセットがうまく調整されないことによるデメリットは小さくなるが、大きなサブエリアにはいろいろな交通状況が含まれ、それらを共通のサイクル長で制御しなければならないという制約から、遅れ時間が増大するという短所がある。

サブエリアの設定と各サブエリア内の制御パラメータの最適化についても、前述の交通需要の集合化と同様にエリアを分割するという組み合わせ問題

となり、なかなか最適解を求めることは難しい。

6. 過飽和交差点の制御

ある交差点に大きな需要が押し寄せると、信号制御をどのように行ったとしても需要を捌ききれない過飽和の状況に陥る。都市内の渋滞交差点では、ピーク時に過飽和になることが多く、過飽和の遅れ時間は、非飽和時の遅れに比べてきわめて大きい。しかしながら従来の研究は、どちらかという非飽和における制御に関するものが多く、遅れのかなりの部分を発生させている過飽和制御の研究ニーズは非常に高い。

非飽和状態と違って、過飽和状態ではある時点の制御が、その後の交通状態に影響を与えるという性質を持っている。制御が時間的に独立ではないのである。従って、原理的には現在の需要を把握するだけではだめで、将来にわたる需要の時間変化全体を見ないと最適な制御パラメータが決定できない、というやっかいな性質をもっている。過飽和の孤立交差点の制御については、先に述べたように、総遅れ時間を最小にする答えはわかっているのであるが、流入路間の利用者の遅れ時間の公平性が問題になる。一方、過飽和のボトルネック交差点がネットワーク上に複数存在する場合の制御方法については、個々のボトルネック交差点を独立に切り離して考えられないので、答えはそう単純ではない。さらに、過飽和の遅れ時間は大きいので、利用者の経路選択行動にも影響を与えるであろうが、これまでを考慮すると問題は一層複雑になる。

このような過飽和制御へのアプローチとしては、過飽和においては確率的な遅れに比べて決定論的な遅れ時間が卓越するので、この性質を有効に生かした分析方法をとるべきである。その上で、仮に将来にわたって需要の時間変動がわかっているものと仮定した場合の最適制御方法を見つけること

が第1の課題であろう。とはいうものの、実際への適用を考えると将来の需要を正確に推し量ることは容易ではないので、過去および現在までの状況から次善の制御パラメータを決定すること、そして最適制御との乖離を考察することが第2の課題である。

7. ITS の活用

1990年代に入ってから ITS が話題になり、最新のセンシング技術、通信技術の開発がめざましい。これらの技術は、信号制御にも十分に応用可能である。たとえば、整備されつつある赤外線ビーコンのアップリンク情報や画像処理技術を用いれば、個別車両の位置特定が可能になるので、制御目標である遅れ時間の評価が、直接的に精度よく行えるようになる。また、駐車車両や細街路、沿道商店からの出入り車両などによって影響を受ける飽和交通流率の計測も、方向別に精度が向上するであろう。さらに、方向別交通需要、OD 交通量や経路交通量のリアルタイム計測も実現できるであろう。これらの情報は、車載器を搭載した車両や画像処理で認識できた車両というようにサンプル計測になるので、従来型の車両感知器の総量を把握する計測と上手に融合させて利用することになる。

ところが、このような要素技術の進展に対して、それを活用した信号制御ロジックの開発がおくれているのが現状である。ITS 技術を十分に生かした次世代制御ロジックの提案が、筆者も含めた交通工学研究者の責務となっている。ITS を考慮した場合には、前節までの課題に加えて予測がキーワードになる。予測というのは、ITS 技術を活用して交差点への近未来の交通需要を予測することができるので、それを信号制御に生かしたいという意味である。特に、過飽和制御においては、将来の需要変化は現在の制御方針を決めるために重要な情報となるだろう。一方、非飽和の制御では、必ずしも何サイ

クルも先の将来予測まで必要とするとは限らないと想像される。このように、制御によって要求される需要の予測先も変わってくるであろう。

新たなロジックの提案を実用化に結びつけるには、社会実験が必要であり、2004年の名古屋 ITS 世界会議や2005年の愛知万国博覧会は、そのよいチャンスとなろう。また、我が国の信号制御ロジックに関するこれまでの多くの研究 実用化の成果は、あまり海外に知られてこなかったという不幸な事実がある。言葉の問題（くわえて日本人気質）が大きな障壁になっていたものと思われるが、ITS 世界会議や万国博覧会は、海外への情報発信という点でも格好の機会である。

8. おわりに

今後の制御ロジック開発に関わる課題は、大きく2種類に分けられるのではないだろうか。1つは、制御目標 制約条件の計量化で述べたように、計量化しづらいもの（人間の負荷、環境 安全指標など）をどのように計量化するのかという種類の課題である。信号制御と交通事故の関係などは、まだ始まったばかりの課題であるし、NOx などの排出量評価についても単に平均旅行速度による評価では十分でないことが指摘されている。また、遅れ時間や公平性を運転者 歩行者の負荷として評価することは、人間自体の性質を解明するという終わりのなき課題かもしれない。

2つ目の種類は、解析的に解くことが困難な問題に如何にアプローチしていくのかという課題である。系統 広域制御のサブエリア分割、交通需要の集合化、過飽和制御など、時空間に広がりを持つなかなか解析的に答えを出すのは難しい問題ばかりが残されている。（もともと、サイクル、スプリット、オフセット、あるいはサブエリアという既成概念を持つがゆえに複雑な問題になってしまっているという見方

もある。おそらく、一筋縄ではいかない問題へのアプローチは、実証的方法と理論研究との併用策であろう。実証的には、かなり複雑な交通現象も考慮した分析が可能であるが、対象地域固有の結果しか得られない。逆に、理論研究では一般性のある結論を導き出すことはできても複雑な現象は考慮できないという、一長一短がある。最近の研究は、往々にして実証的な方向に走りがちであるが、そこに何らかの一般性のある論理を組み込んだアプローチが望まれる。

