

信州大学工学部 正員 興谷 巖

1. まえがき

信号機の系統制御をはじめとする交通管制において、制御対象となる個々の道路区間(リンク)における刻々の交通状態を正確に把握することは不可欠であって、そのために一般的には交通量と時間オキュパンシーを代表とする交通状態量が車両感知器により自動的に検知されているが、実は交通管制を行う上でより必要とされる情報は、これから30分先の交通状態がどうなるかという情報なのである。なぜならば、ある1つの交通管制政策(具体的には、たとえば交通信号パラメータの設定など)が選択されるとき、現時点から30分先までの交通状態に対して、それが有効であることが前提となるからである。こうした要請に対処するためには、上に記したような交通状態量の現時点あるいは過去の値を利用して、30分先の交通状態量の値を予測することが必要となってくるわけであり、現在までにいくつかの方法が提案されている。本研究では、それらの中で現実の管制システムに採用されている、かつ最も有効であるといわれているUTC Sモデルと、筆者らが提案したモデルの中で構造が単純で、適用性もある重回帰モデルとを、実際のデータ分析をとおして実証的に比較検討する。

2. UTC Sモデル

UTC Sモデルには、次の制御時間あるいは1時点先の交通状態量を予測するために開発されたUTC S-2モデルと次の次の制御時間あるいは2時点先の交通状態量を予測するために開発されたUTC S-3モデルがあり、前者は予測対象日およびそれ以前の日の交通データを用いるのに対し、後者は原則として予測対象日のみの交通データを用いる点が特徴となっている。

(1) UTC S-2モデル

本モデルは連立差分方程式によって完全に記述されるが、それらを解くとけきよく次のような予測式を得る。

$$\hat{x}_1(t+1) = \mu_1(t+1) - \gamma(x_1(t) - \mu_1(t)) + (1-\alpha) \sum_{s=0}^t \alpha^s (x_1(t-s) - \mu_1(t-s)) \\ + \gamma(1-\alpha) \sum_{s=0}^{t-1} \alpha^s (x_1(t-s-1) - \mu_1(t-s-1)) \quad (1)$$

ここに、 t : 時刻、 $t=1, 2, \dots, N$ の自然数と取るものとする。

$x_1(t)$: 予測対象リンクをリンク1としたとき、予測対象日における当該リンクの時刻 t における交通状態量
 $\hat{x}_1(t)$: $x_1(t)$ の予測値
 $\mu_1(t)$: 予測対象日の前日あるいはそれ以前のデータによって

求められる時刻 t の交通状態量の期待値で、 $\mu_1(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M \{a_i \cos \frac{2\pi i t}{N} + b_i \sin \frac{2\pi i t}{N}\}$ (2)

ただし、いま $x'_1(t)$ を前日の時刻 t の交通状態量(前日以前のデータも用いる場合であれば、時刻 t の交通状態量の平均値)としたとき、 $a_0 = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x'_1(t)$ (3), $a_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x'_1(t) \cos \frac{2\pi i t}{N}$ (4)

$b_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x'_1(t) \sin \frac{2\pi i t}{N}$ (5) M : フーリエ級数 $\mu_1(t)$ を近似するとき必要な項数

$\gamma = (m-1) \frac{\sum_{s=1}^{m-1} X(s)X(s-1)}{\sum_{s=1}^{m-1} \{X(s)\}^2}$ (6) $X(s) = x'_1(s) - \mu_1(s) - (1-\alpha) \sum_{p=0}^{s-1} \{x'_1(s-p-1) - \mu_1(s-p-1)\}$ (7)

m : 前日(あるいはそれ以前)の利用データ数 α : 平滑化定数で、普通0.9が用いられる。

式(1)で与えられる予測式は、右辺第1項が時刻 $t+1$ の交通状態量の期待値の推定値であるから、第2項以下の推定誤差をそれを補正している形になっている。ところで、本研究では後述の適用例において、1時点先の予測値のみでなく、30時点先の予測値についてもモデル間の比較を行おうとしているので、UTC S-2の1つの変形として、任意時点先の予測も行いうる式を与えておくことにする。すなわち、 $k \geq 2$ としたとき

$$\hat{x}_1(t+k) = \mu_1(t+k) - \gamma(\hat{x}_1(t+k-1) - \mu_1(t+k-1)) + (1-\alpha) \sum_{s=0}^{t+k-1} \alpha^s (\hat{x}_1(t+k-s) - \mu_1(t+k-s)) \\ + \gamma(1-\alpha) \sum_{s=0}^{t+k-2} \alpha^s (\hat{x}_1(t+k-s-1) - \mu_1(t+k-s-1)) \quad (8)$$

ここに、 $\hat{x}_1(t)$ は、 $t \leq t$ のとき $x_1(t)$ 、 $t > t$ のとき $\hat{x}_1(t)$ である。式(8)は、元の予測式の構造をその

よき採り入れ、現時点より先の x の値として、その予測値 $\hat{x}$ を代入しただけの形になっている。

(2) UTC S-3モデル

UTC S-3モデルは、UTC S-2モデルが前日以前のデータにかなり大きく依存している、予測対象日の気象条件をはじめとするいろいろな外的要因によって、その日の交通状態が変わってくるということをも十分に把握しきれないという短所を改善するために、前日以前のデータは直接的に用いずに、予測当日の交通状態量のみで、予測値を求めようとしており、それが1つの特徴となっている。基本式は、UTC S-2モデルと同じように差分方程式で、それを解くと次式のような予測式が得られる。

$$\hat{x}_t(t+r) = \alpha_t x_t(t) + (1-\alpha_t) \left\{ \gamma(t) \alpha^t + (1-\alpha) \sum_{s=0}^{t-1} \alpha^s x_t(t-s-1) \right\} \quad (9)$$

$$\text{ここに、} \alpha_t = (m-1) \sum_{s=1}^{m-t} Y(s) Y(s+t) \quad (10) \quad Y(s) = x'_t(s) - \gamma(t) \alpha^s - (1-\alpha) \sum_{p=1}^{s-1} x'_t(s-p-1) \quad (11)$$

ただし、 $\gamma(t)$ は予測対象日における時刻 t の交通状態量の指数平滑値、 $\gamma(t)$ は前日（あるいはそれ以前）のデータを用いて求められる時刻 t の交通状態量の指数平滑値、 α は平滑化定数（普通の α が用いられる）である。

式(9)の予測式に含まれるパラメータ α_t は、その定義式である式(10)を見ればわかるように、予測対象日の前日以前の交通状態量によって計算されるわけであり、その意味ではUTC S-3が本来めざす“過去のデータを用いないで予測する”という方向に抵触するが、式(1)で与えられるUTC S-2モデルの予測式中の $\hat{x}_t(t+1)$ のように、予測値の大きな部分を占める1項ではなく、単なる係数を決定するときに過去のデータが必要とするという構造になっているだけである。

3. 重回帰モデル

上に述べたUTC S-2モデルもUTC S-3モデルも、前日以前のデータを用いるか否かの相違はあっても、予測対象リンクのみの交通状態量のデータを使うという点においては共通している。これに対して、ここで述べる重回帰モデルは予測対象リンクのデータ以外に、他の関連リンクのデータも予測式の中に組み入れることが可能で、この点でUTC Sモデルとの最も大きな相違点である。さて、いまリンク1における現時点より r 時点先の交通状態量を予測するとしたとき、リンク1、リンク2、 $\dots$ 、リンク n の n 個のリンクの交通状態量の現時点もおよびそれから r 時点前までのデータを用いて予測するという重回帰モデルを考える。すなわち

$$\hat{x}_1(t+r) = \alpha_1^r x_1(t) + \alpha_1^{r-1} x_1(t-1) + \dots + \alpha_1^1 x_1(t-r) + \alpha_2^r x_2(t) + \alpha_2^{r-1} x_2(t-1) + \dots + \alpha_2^1 x_2(t-r) + \dots + \alpha_n^r x_n(t) + \alpha_n^{r-1} x_n(t-1) + \dots + \alpha_n^1 x_n(t-r) + b \quad (12)$$

式(12)において、 α_i^r, b は前日以前のデータを用いて最小2乗法によって決定されるパラメータである。

4. 実証的検討

表-3 重回帰モデル

k	単純平均誤差率	加重平均誤差率	最大誤差率
1	0.115	0.132	0.432
	0.101	0.126	0.318
3	0.125	0.153	0.640
	0.115	0.140	0.354
6	0.132	0.162	0.609
	0.116	0.147	0.485
9	0.137	0.168	0.615
	0.129	0.148	0.428

長野の国道18号線と19号線の交差点で収集した5分間交通量について上記3モデルを適用した結果が表-1～表-3である。表中、上段は普通の週日に対する誤差率 ϵ 、下段は交通変動パターンがかなり変化した翌日に対する誤差率 ϵ をそれぞれ示している。UTC S-2モデルは、第1日目については、UTC S-3と同程度あるいはそれ以上の予測精度を示すが、次の日については、最大誤差率を中心にUTC S-3より精度を落している。重回帰モデルはいずれの日もUTC Sモデルを凌駕している。

(参考文献) ① Y.J. Stephanedes: Improved Estimation of Traffic Flow, 1980
② 奥谷、土屋: 交通状態量の各種予測手法の適用性に関する研究、土木学会中部支部、1981

表-1 UTC S-2 モデル

k	単純平均誤差率	加重平均誤差率	最大誤差率
1	0.152	0.198	0.677
	0.238	0.291	1.841
3	0.148	0.191	0.675
	0.215	0.210	1.898
6	0.164	0.199	0.690
	0.211	0.299	1.247
9	0.184	0.220	0.647
	0.216	0.308	1.388

表-2 UTC S-3 モデル

k	単純平均誤差率	加重平均誤差率	最大誤差率
1	0.146	0.178	0.522
	0.125	0.158	0.417
3	0.160	0.190	0.666
	0.150	0.184	0.588
6	0.186	0.226	0.656
	0.167	0.199	0.593
9	0.193	0.248	0.890
	0.192	0.218	0.469