

図-3 (a) リンク 7 の推定交通量と計測交通量

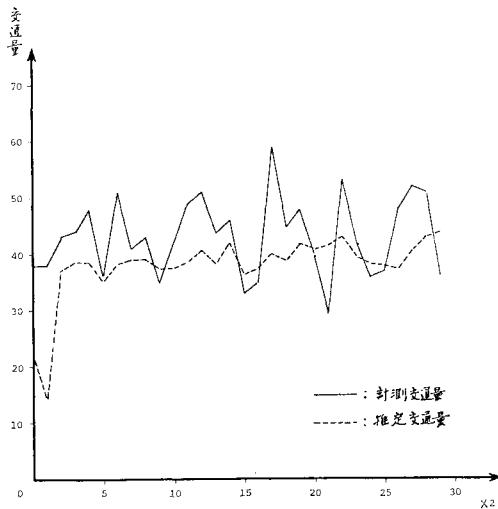


図-3 (c) リンク 17 の推定交通量と計測交通量

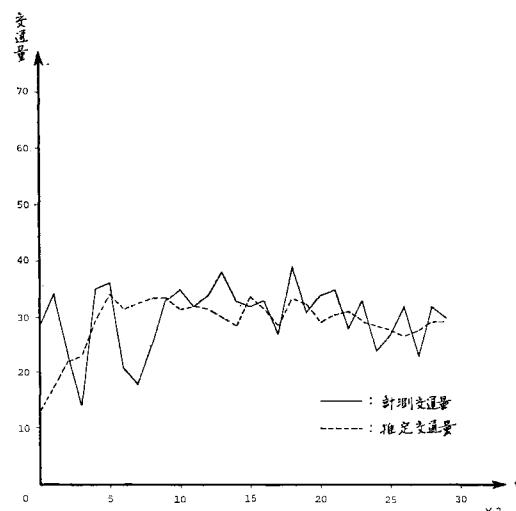


図-3 (b) リンク 12 の推定交通量と計測交通量

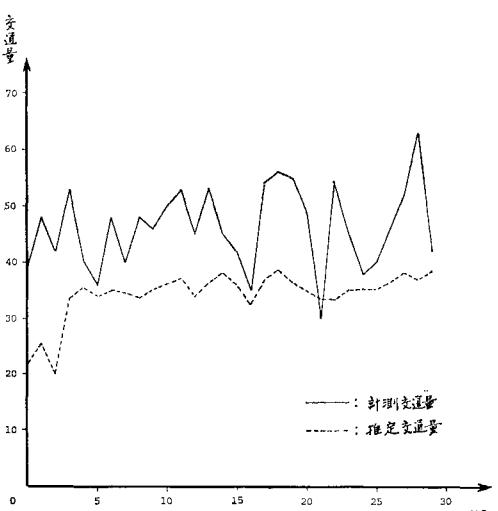


図-3 (d) リンク 20 の推定交通量と計測交通量

をあげているといえる。

一般に、推定誤差の分散が十分に小さくならない $t=0$ からしばらくの間は、精度が悪くなることがわかっているので、ここでは $t=0$ から 5 周期 (700 秒) の間の結果を除いて、次のような 2 つの指標 ε_i , δ_i による誤差率を各リンクごとに計算してみた。

$$\varepsilon_i = \frac{1}{N} \sum_t \frac{|x_i(t) - \hat{x}_i(t)|}{x_i(t)} \quad N: \text{サンプル数} \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{\sum_t x_i(t)} \cdot \sum_t \left\{ \frac{x_i(t) - \hat{x}_i(t)}{x_i(t)} \right\}^2} \cdot x_i(t) \quad \dots \dots \dots (14)$$

なお、ここではこの ε_i と δ_i を便宜的にそれぞれ単純平均誤差率、加重平均誤差率とよぶことにする。

表-1 長野市内国道の交通量推定誤差率

リンク名	単純平均誤差率		加重平均誤差率	
	パラメーター同定前	パラメーター同定後	パラメーター同定前	パラメーター同定後
7	0.151	0.123	0.200	0.159
12	0.163	0.143	0.207	0.165
17	0.144	0.129	0.160	0.154
20	0.257	0.123	0.272	0.146

結果は表-1 の「パラメーター同定前」の欄に示したとおりである。リンク 7, リンク 12 およびリンク 17 では単純平均誤差率が 0.15 前後であり、不規則変動の激しい 140 秒間交通量の推定としては一応の精度が得られているが、リンク 20 については精度は若干悪くなっている。加重平均誤差率は、いずれのリンクも単純平均誤

差率より 0.02~0.05 程度上回っている。

b) ケース 2

ケース 1 では、 $\phi(t)$ を分岐率に取りかつリンク間の交通の移動時間を半周期と仮定するなど、システム方程式に実際的な意味をもたせたが、リンク間の交通の移動時間などはそれぞれの隣接リンク相互間の位置関係あるいは交通状態等によって変わるもので、これを一律に与えるのは本来的に無理な要素があると思われる。

したがって、ケース 2 では $\phi(t)$, $\Gamma(t)$ を単なる重み係数と考え、これを現実のリンク相互の交通量の変動を最もよく表現するように決定して、かかる後にその $\phi(t)$, $\Gamma(t)$ を用いて交通量推定を行うことを考えた。すなわち、午前 9 時から午前 10 時 10 分までのリンク交通量

のデータを用いて、2. の (2) で述べた方法により、システムパラメーターの同定をまず行い（ただし、システムパラメーターの定常性を仮定）、そのようにして与えられた $\phi(t)$, $\Gamma(t)$ を使ってケース 1 と同じように、午前 10 時 10 分から午前 11 時 20 分までの各リンクの交通量を推定してみたのである。

なお、このように考えると単位時間の取り方は必ずしもリンク間の交通の移動時間に対応する必要性がないので、ここでは 1 周期である 140 秒を単位時間として考えた。

計算結果を、図-3 に示したものと同じリンクについてグラフに描くと図-4 のようになる。

ケース 1 に比べて、リンク 20 では明らかに推定精度

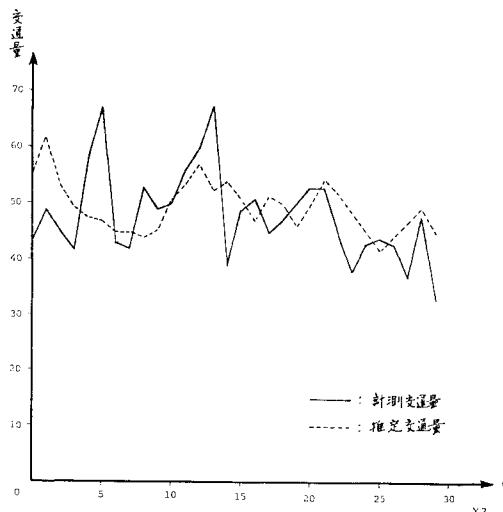


図-4 (a) 同定パラメーターを用いたリンク 7 の推定交通量と計測交通量

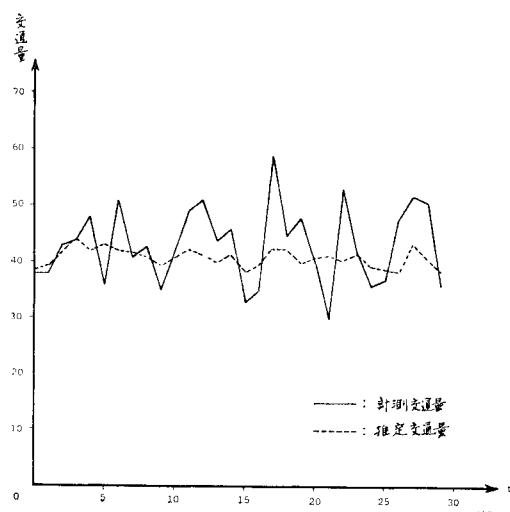


図-4 (c) 同定パラメーターを用いたリンク 17 の推定交通量と計測交通量

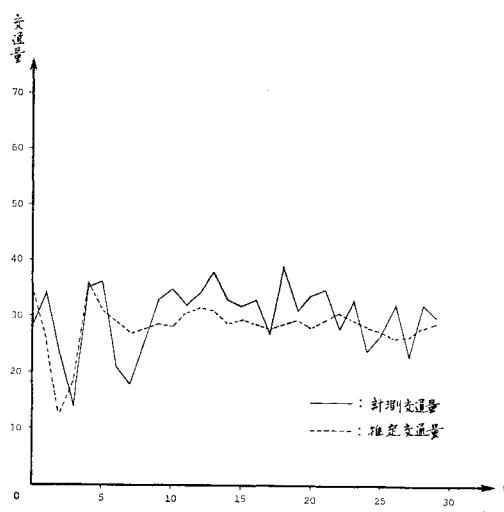


図-4 (b) 同定パラメーターを用いたリンク 12 の推定交通量と計測交通量

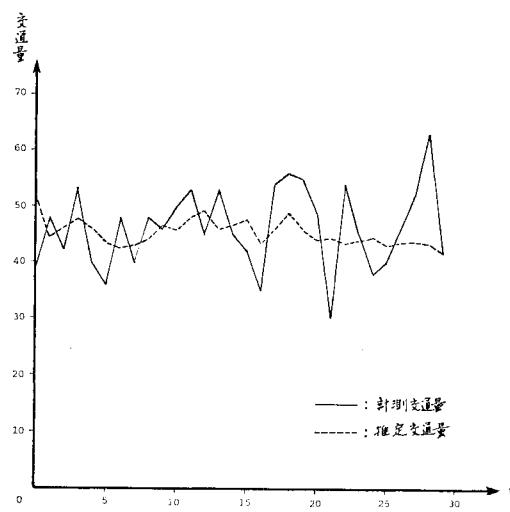


図-4 (d) 同定パラメーターを用いたリンク 20 の推定交通量と計測交通量

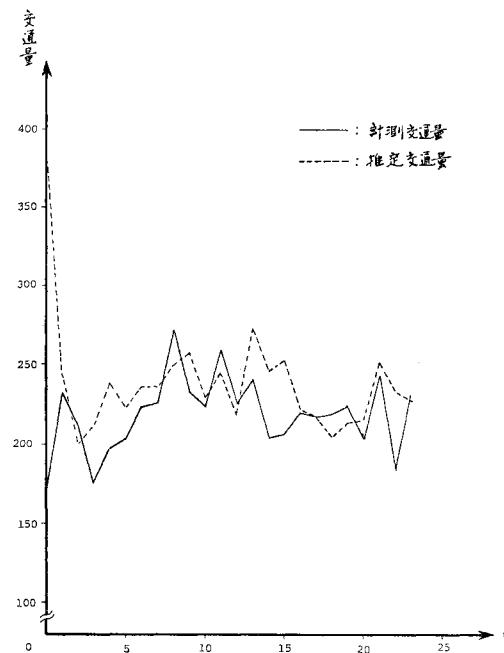


図-6 (c) リンク 15 の推定交通量と計測交通量

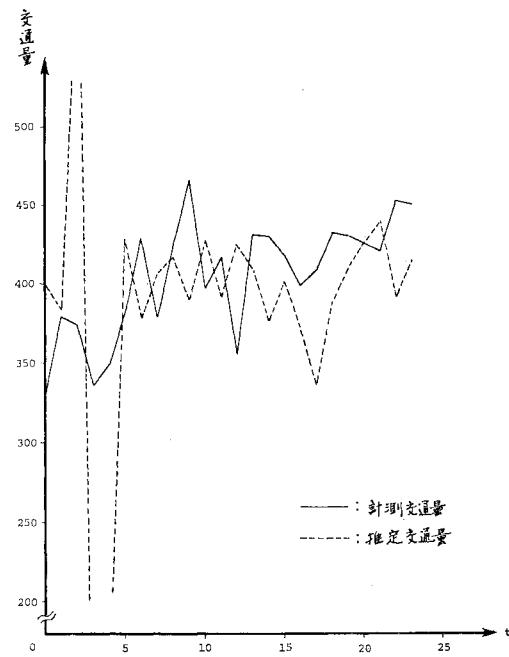


図-6 (e) リンク 24 の推定交通量と計測交通量

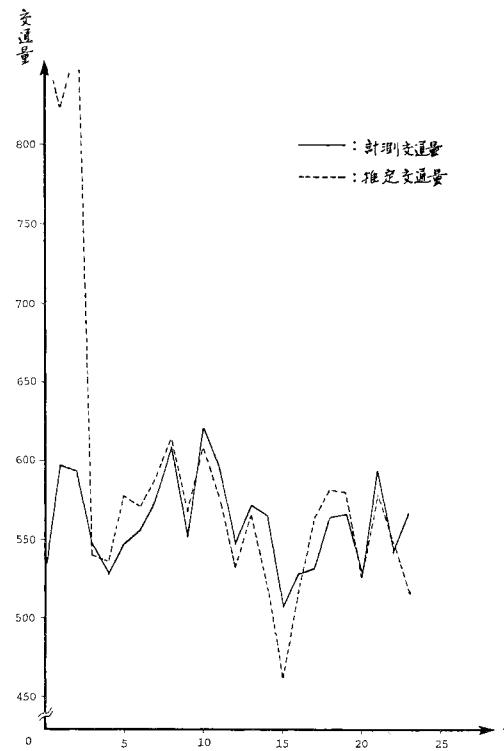


図-6 (d) リンク 21 の推定交通量と計測交通量

の交通量を推定するという手順をとった。なお、この場合観測量 $y(t)$ としては、リンク 2, リンク 6, リンク 13 およびリンク 23 の流出ランプに対応する 4 つのリンクにおける交通量を考えた。

表-3 阪神高速道路の交通量推定誤差率

リンク名	単純平均誤差率	加重平均誤差率
1	0.034	0.043
4	0.065	0.074
15	0.080	0.104
21	0.057	0.045
24	0.090	0.103

すなわち、ここでは各流入ランプと上記 4 流出ランプ（仮想的な流入出ランプを含む）の交通量は感知器で自動的に計測しておき、それらの情報をもとに他のすべてのリンクの 5 分間交通量を推定しようとしているわけである。

リンク 1, リンク 4, リンク 15, リンク 21 およびリンク 24 を代表的なリンクとして取り上げ、計算の結果得られた推定交通量を実際の計測交通量とともにグラフにして示すと図-6 のようになる。

(1) の場合と同じように、最初の 5 単位時間程度ぐらいの間は精度はよくないが、それ以降は推定交通量が計測交通量にかなり近い動きをしている。特に、リンク 1 とリンク 21 についてはそのことがいえようである。

$t=5$ から $t=23$ の間の推定交通量と計測交通量に関して、式 (13) および式 (14) により単純平均誤差率と加重平均誤差率を計算してみると表-3 のようになる。いずれの誤差率も (1) の長野市内国道の場合に比較するとかなり小さくなっている。特にリンク 1 の単純平均誤差率は 3% 台で、ほぼ完全ともいえる推定となっている。

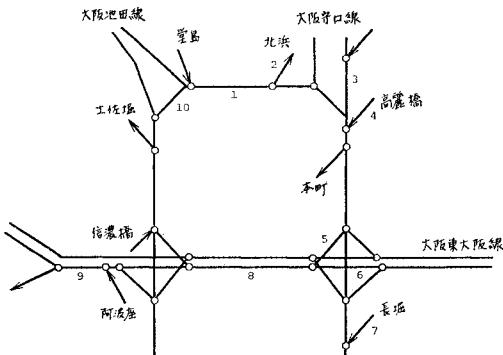


図-7 予測対象とした阪神高速道路

これは、本例では $\mu(t)$ を(1)のように回帰直線で外挿した値として与えるのではなく、直接計測交通量として与えていることが大きく寄与していると思われるし、また高速道路では各リンク途中における交通の発生吸収がなく、信号で停止させされることもないということもある程度関係しているものと思われる。

観測量をここではすべて流出ランプの交通量としたが、環状線のいくつかの本線リンクの交通量をとることもさらに精度を高めることにつながるかもしれない、今後とも検討を進めてゆく必要がある。

(3) 阪神高速道路における交通量の予測

対象とした道路網は、図-7に示したような阪神高速道路の一部で、後に示す計算に利用したリンクのみに番号を付してある。

用いた交通量データは、昭和53年7月12日午前7時40分から午後7時35分までの12時間にわたる5分間交通量である。

単位時間は、交通量計測単位時間の5分をそのまま採用し、15分先(3時点先)、30分先(6時点先)および60分先(12時点先)の5分間交通量を推定するようにした。また、式(10)の r は3を採用した。

予測計算は、リンク5の交通量

をリンク4(流入ランプ)、リンク5およびリンク7(流入ランプ)の交通量から予測する場合、同じくリンク5の交通量をリンク2(流入ランプ)、リンク3、リンク4、リンク5およびリンク10の交通量から予測する場合、さらにリンク8の交通量をリンク5、リンク6、リンク8およびリンク9の交通量から予測する場合について行った。以下の便宜のために、それらをそれぞれケース1、ケース2およびケース3と名前をつけておく。

予測はまず5分間交通量をそのまま(以下、これを生データとよぶ) $x(t)$ に対応させたものについて行ったが、結果はいずれもあまり満足のゆくものではなかった。すなわち、さきに式(13)で定義した単純平均誤差率が、15分先の予測で14~15%，30分先の予測で、14~16%，60分先の予測で19~24%となっている。5分

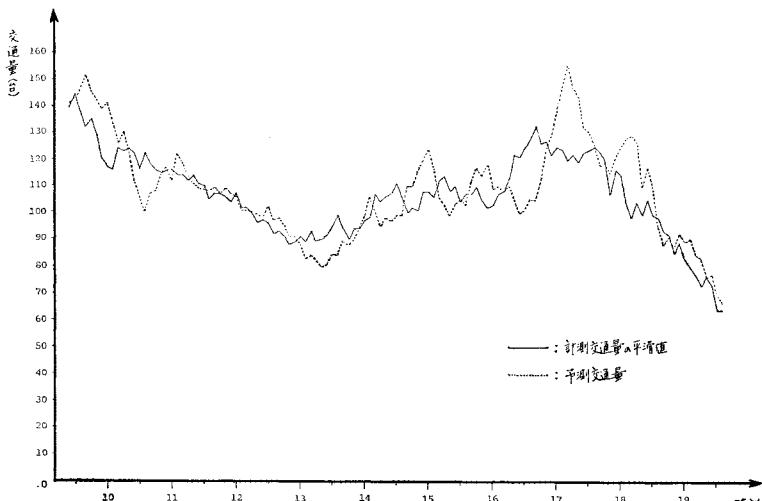


図-8 (a) リンク 5 の予測交通量と計測交通量の平滑値(ケース1)

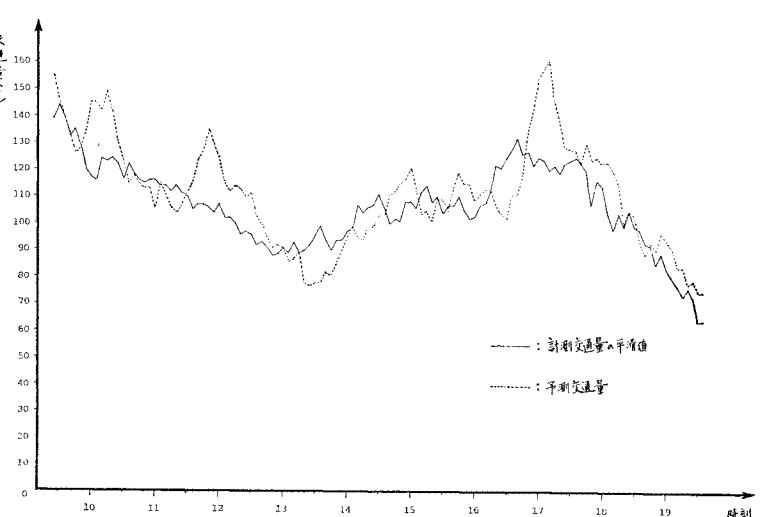


図-8 (b) リンク 5 の予測交通量と計測交通量の平滑値(ケース2)

く必要がある。

この方法に関する実際問題への適用例として、長野市内の国道と阪神高速道路環状線の交通量推定を行ってみたが、前者の場合はそれほどよい精度を得ることはできなかった。これは、交通量の計測時間単位を140秒という短い時間にとったために、本研究で述べた方法によつても、不規則な変動を十分に追うことができなかつたこと、入力リンクからの交通量を直線で外挿して与えたことおよび観測量として2リンクの交通量だけしか考えなかつたこと等に起因すると思われる。

特に、入力リンクからの交通量を直線で与えたことによる影響は大きいと考えられるが、ここでは、それら入力リンクにおいても感知器によって交通量を自動計測しないことを前提としたときにはどうなるかをみるという目的もあってそのようにしたものである。

しかしながら、やはり推定精度を高めるためには、入力リンクの交通量はすべて感知器で計測すべきであつて、既知入力項としてはその計測値をそのまま与えるようにした方がよいと思われる。

システム方程式の変換行列 $\phi(t)$, $\Gamma(t)$ は、たとえば分岐率といった量をとるよりも、パラメーター同定の理論で与える方が推定精度はよくなるようである。これは前者のような場合、単位時間内にある1つのリンクの交通が上流の隣接リンクへ移るという前提が、現実と必ずしもうまく対応しないことによつているからであろう。

本研究では、上述の交通量推定問題のほかに、同様の考え方がリンク交通密度の推定にも適用できることおよ

びたとえば数10分先の交通量あるいは交通密度の予測もカルマン・フィルター理論を用いて行えることを理論的に示した。このうち、交通量の予測については、阪神高速道路における12時間にわたる5分間交通量のデータを用いた適用例を示した。生データを平滑化した値を用いた例では、30分先の予測でその平滑化交通量に対する単純平均誤差率が8~10%となり、一応の成果をみることができたが、時刻によって誤差率が数10%に及ぶことがあり、今後さらにモデルを改良してゆくことが必要であると思われる。

最後に、本研究を遂行するにあたりご協力をいただいた大学院学生 高林 騒氏ならびにデータを提供していたいたいた阪神高速道路公団 松尾 武氏に対し、深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 日野幹雄：水文流出系へのカルマン・フィルター理論の適用、土木学会論文報告集 第221号、pp. 39~47、1974.
- 2) 上野信行・田村坦之：河川水質の状態推定における分割手法、第16回自動制御連合講演会。
- 3) 宮武信春・茅 陽一：マクロ経済システムの同定と予測、計測制御学会論文集、11-6、1975.
- 4) 相良節夫：同定問題、計測と制御 Vol. 8, No. 4, p. 46, 昭和44年4月.
- 5) 上掲4)に同じ、pp. 46~50.
- 6) 石谷 久：カルマン・フィルター適用上の問題点、オペレーションズ・リサーチ、Vol. 22, No. 11, pp. 634~639, 1977.11.
- 7) 上掲4)に同じ、p. 48.
- 8) 高速道路調査会：阪神高速道路の交通管制に関する研究報告書、pp. 229~230、昭和44年3月。

(1978.7.4・受付)