

IV—3 航空写真を用いた幹線街路における交通流現象の観測について

北大工学部	正 員	萩 原 亨
同	学生員	沼 崎 正 徳
同	正 員	加 来 照 俊

1. まえがき

幹線街路における交通現象の基礎的データを収集しその特性を知ることは、道路交通流の制御、施設設計、計画、あるいは道路管理にとって不可欠である。加えて、北海道に代表される積雪寒冷地では、それらに関して冬期と夏期の季節による相違を考慮しなければならない。

しかし、市街地における幹線の交通流は、信号をはじめ、数量的に把握することの難しい多次元的な要因に支配され、非定常であり、しかも市街地における道路交通は互いに交差する路線の相互関係から成立している。そのため密度・容量・空間速度・旅行時間等の交通流を解析する上で重要な基礎データを地上における単地点での観測、又はスクリーン的な手法により把握することは難しい。そこで交通流を航空写真の利用等により空間的に捕らえ、地上観測では得れない交通流の連続的かつ広域的な特性を測定し、路線としての交通容量を求めることが、近年なされてきている。

本報告は、ヘリコプターに搭載した8ミリカメラにより連続的な写真撮影を行い、次ぎに示すような研究項目について、検討を行った結果である。

- (1) 航空写真における、簡易かつ高精度な交通流判読、すなわち走行、停、駐車各車両の識別、右左折直進各車両の識別、車両の平面位置の決定及び測定、
- (2) 交通量、速度、密度への変換作業の詳細、及び問題点
- (3) 2)の結果を用いた都市内幹線街路(石狩街道での測定結果)における交通流の把握、及び季節による交通現象の比較検討

2. 写真解析とその手順

空間的に交通流を把握しようとする時、交通流の観測データに関する手法の評価は、走行速度及び交通密度の実測データを広い範囲にわたって、しかも多数のデータを十分な精度で入手できるかにかかっていると言っても過言ではない。はじめに、偏位修正法についてまとめ、後半で写真解析の手順を示す

等高度水平飛行ということは実際には不可能なので、空中写真はいくらかの傾きを常に持ちしており、その縮尺も1枚1枚で異なっている。これらの写真を鉛直写真に引き直し、その縮尺を一定に統一するため偏位修正を行う。すなわち、射影幾何学による写真面と地面との射影関係を与える一般式を解く必要がある。この式には8個

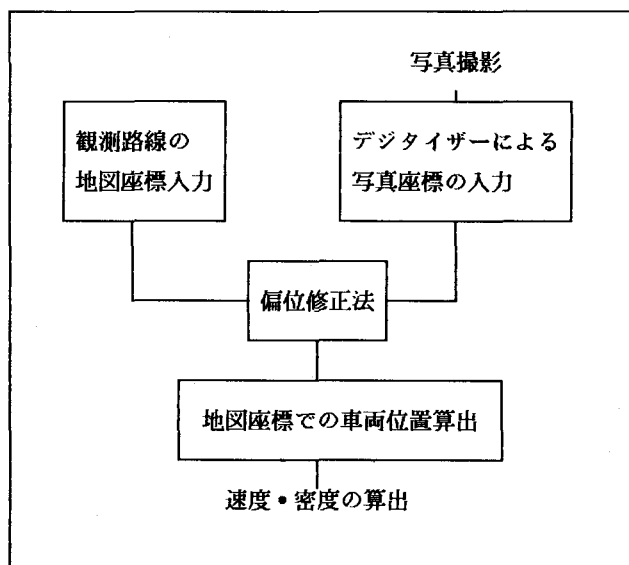


図-1 写真解析の手順

の未知数があり、8元の連立一次方程式を解かなければならない。地図上に4点を所定の縮尺で展開しておき、写真上の4点と対応させ、方程式に代入すれば係数が求まり、地図上に車両の位置を投影することができる。このとき、4つの基準点のうち3点が一直線上にあってはならない、また投影する車両の地点は基準点に囲まれた四角形の範囲に存在しなければならないことに注意する必要がある。

図-1のフローチャートに解析の手順を示す。8mmフィルムの任意の画面をB4の白紙に映写し、車頭の位置及び車両番号(速度を求める場合必要)、基準点、道路線形、センターライン、交差点の形状などを描く。写真上の基準点、車両位置等を

デジタイザーを使い入力し、それらの写真上の座標値を求める。一方、地図上には多数の基準点を設定しておき、地図上の座標を前もって求める。写真上と地図上の基準点を対応させ、相互の座標値を式に代入し8元一次方程式を解きその係数を決定し、車両位置の地図上への射影を行う。このようにして、写真一枚一枚それぞれ変換を行い一台一台の車両位置を決定し、各車両の一秒間の移動距離を計算した。測定を行った石狩街道を網羅するために設定した基準点は162点、処理した車両数は延べ約6000台である。

上記のような解析方法によりかなり精度は上昇した反面、解析に要する時間が増大した。

写真解析における問題点として 1) データの解析に非常に多くの時間を必要とする、2) 高高度からの写真であるため車両の判別が難しく、特に暗い色彩の車両を見落としやすい、3) 街路であるため建物やその影に車が隠れる、4) 基準点の配置や、測定点の位置により射影変換の精度が変化し、速度の誤差の原因となる、5) 冬期においては車線の決定が難しく、車線数の取り扱いが複雑になる、6) ヘリの方が走行速度より高いため、加速から減速までの密度変化や、路線の旅行時間を測定できない等が上げられる。

3. ヘリコプターによる写真撮影と解析

測定は、図-2に示した通称石狩街道(国道5号線)で行なった。測定年月日は1984.12.7, 1985.2.5の午前7-9時である。測定した区間での駐停車車両はほとんどなく、平常と異なる交通障害、渋滞はなかった。解析に用いた南進車線は午前7:30から9:00まで外側1車線がバス専用レーンとなる。解析には、南進の中央レーンと内側レーンの2車線を用いた。写真撮影はヘリコプターに搭載した8mmカメラ(1秒1コマのコマ落としによる撮影)により行なった。ヘリコプターの高度は約600m、速度60km/hで、路線を出来るかぎり平行かつ鉛直に撮影できるよう飛行した。

各写真における車両の位置は、[2]に記述した手法により決定し、車両の1秒間の移動距離を求め、その結果から各車両の速度(1秒間)を決定した。区間密度は、4つの基準点により任意区間を定めその区間長を決定し各レーンごとに求めた。しかし、冬期の場合車線が明確でなく、2つの車線を走行している車両が相互に影響しあうケースがしばしば発生した。このため冬期においては中央と内側の車線を併せて密度を求め、それを車線数2で除して区間密度とした。

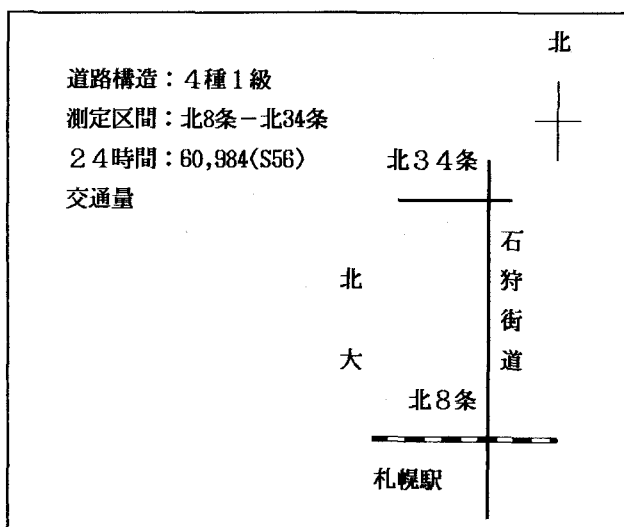


図-2 密度・速度測定路線概略

4. 解析結果とその応用

これらの測定及び計算の結果得られた全区間における〔1車線あたりの区間密度－区間における平均空間速度〕の関係を図－4、5に示す。ある範囲内に測定した各点が分散する結果となった。実際にHCM(1965)で示された交通容量と思える状態を再現するケースは、信号で制御されている市街地における街路では希であり、多くの場合いろいろな状態をランダムに繰り返す非定常的な状態が多く発生しているのではないかと理解できる。

観測した冬期と夏期の交通現象を比較すると、図－4－1は路面、路肩とも雪のない場合、5－1は幅員が積雪により狭まり路面上にいくらか雪がある場合である（本報告では便宜上前者を夏期、後者を冬期と表す）。夏期においては速度の範囲は約0－75(km/h)であり、密度は約10－150(台/km/lane)である。一方、冬期において速度は約0－60(km/h)であり、密度は約20－110(台/km/lane)である。

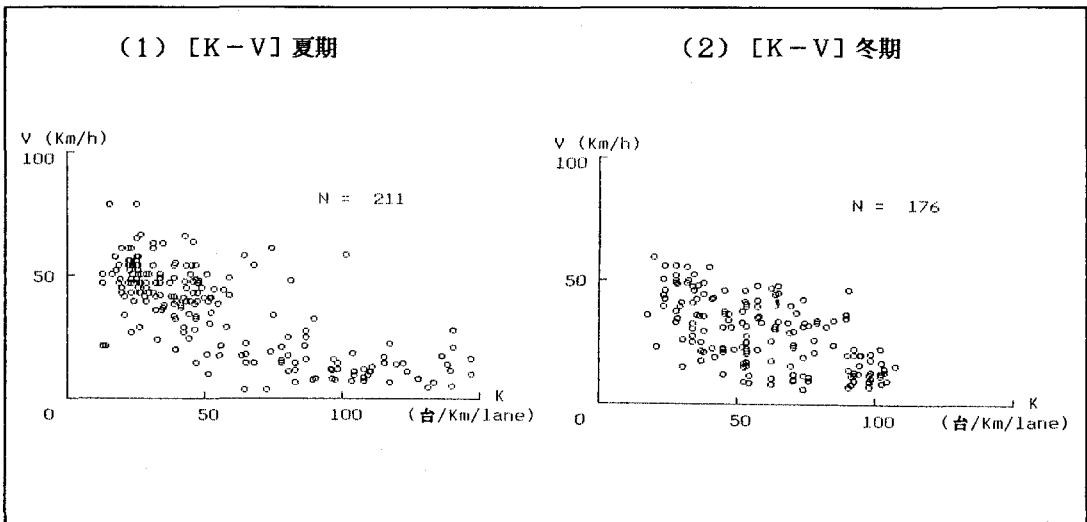
特に、高密度－低速度となる領域の分布に大きな差異が見られた。路面の摩擦係数の違いによる低速時における加減速度の相違が原因かと思えるが、今後の研究を待つ必要があろう。夏期はデータの分布形が三角型に近く、その範囲も広い。冬期の結果を見ると、全体の形が楕円形であり、データの分布範囲が狭いことがわかり、速度、及び密度が全体的に低くなっている。すなわち、当然の結果ではあるが、冬期は夏期と比較すると速度、密度とも低下し、容量の減少となっていることがわかる。

更に、これらの結果に巨視的理論を適用し交通量を算定し、交通容量を推計した。本報告では巨視的モデルとして過去比較的良好な結果を得ている Greenshield's Linear Speed - Concentration Model を用いた。巨視的理論により交通流を説明する場合、いくつかの仮定があるが、重要なことは、 $Q = K \cdot V$ なる定常状態の存在するフィールドでモデルが構築されなければならない点である。 $Q = K \cdot V$ なる関係が保たれている定常状態とは、それは個々の車の速度が交通流の速度に等しくなり、しかも平均車頭間隔の逆数が交通密度を与える場合である。

そこで、多数のデータから〔速度－密度〕の定常状態を選択するために以下の条件を設定した。

- (1) 密度を測定する任意区間における車速は、その区間平均速度から $\pm 5 \text{ km/h}$ 以内とする。
- (2) 区間の車線長は、先頭車の車頭位置と最後尾車両の車頭位置の差とする。

これらの選択により、夏期のデータ数が211点から109点に、冬期のデータ数が176点から34点に減少した。



図－3 速度－密度相関図

この結果得られたデータをGreenshield's Linear Speed - Concentration Model ($V = V(1 - K/K)$)により密度と空間速度の関係を表わしたのが次式である。

(A) 夏期 $V = 64.5 - 0.514K$
 $r = -0.835$

(B) 冬期 $V = 59.5 - 0.489K$
 $r = -0.875$

広域的な測定にもかかわらずかなり高い相関をうることができたと言えよう。K-Vの関係を図-4-1, 5-1に示す。

交通量(Q)が速度(V)と密度(K)の積であることから, (A), (B)式を用い $Q = K \cdot V$, $Q = V \cdot V$ の関係を図-4-2, 3, 5-2, 3に示す。それぞれの関係式を図中に示し, 交通容量を推計した。

その結果, 交通容量, およびそのときの速度, 密度は

	夏期	冬期
交通容量(台/時)	2021	1811
速度(Km/時)	32.2	29.8
密度(台/Km)	62.7	60.8

となった。交通容量マニュアルによる石狩街道の1車線当りの基本交通容量は, 2200 (veh/hour/lane) である。

これらの図4から得た結果をまとめると,
 1) 交通容量付近で夏期, 冬期とも[Q-K]の関係が放物線を描かずリニアになる傾向が見受けられる。また, モデルから算出された容量の発生する密度を境に, 密度が大きい場合と小さい場合に測定点の分布傾向が2分されている。先にも述べたように容量付近での交通流は複雑であり, 加えて自由流と拘束流の状態変移が見られる。

2) [Q-V]において, モデルによる二次放物線の形状は冬期と夏期で差はあまり見られないが, 高容量-高速度領域に夏期の測定点がかかなり多く分布するのに対

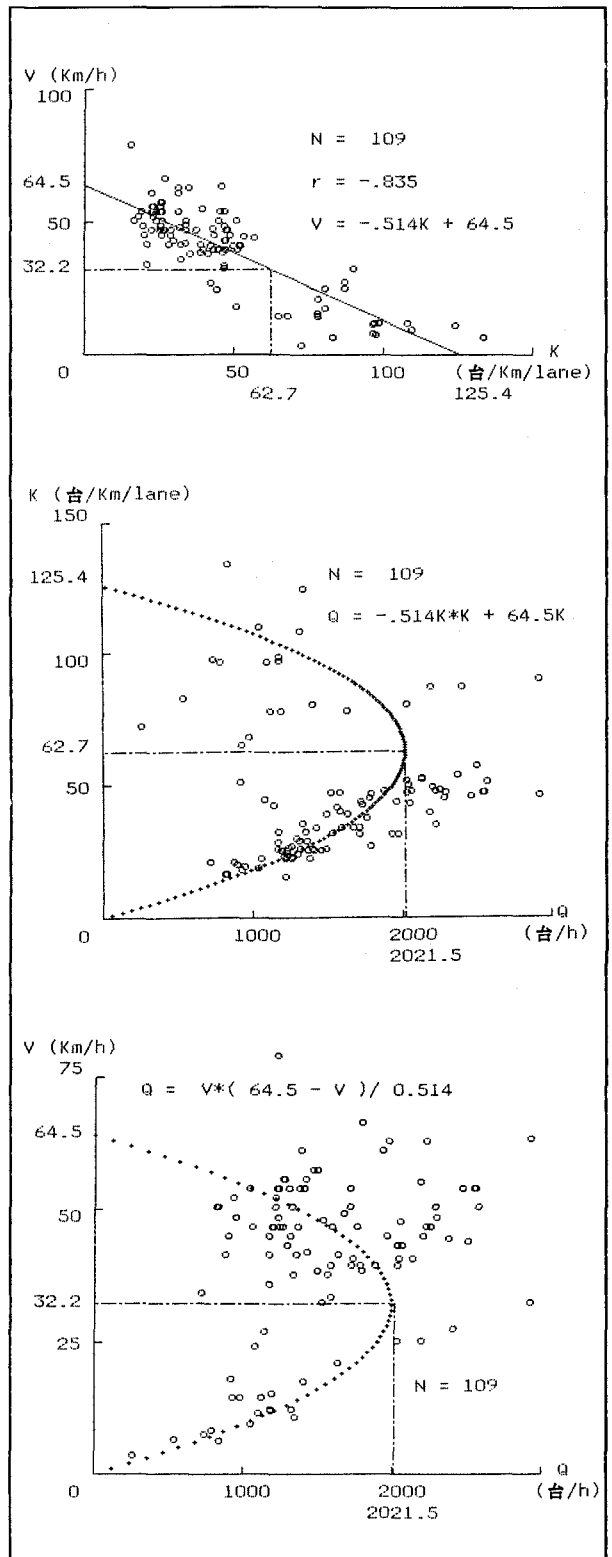


図-4 Q/K/Vの関係(夏期)

して、冬期は少ない。 定常的な状態を取り扱う線形モデルでは冬期と夏期の差を端的に表現しえないのかもしれない。

3) 夏期の [K-V] において $K=60-80$ 台/Km/車線 付近のデータが少ない。 $K<60$ 台は自由流, $k>80$ 台は拘束流であることが図-4-2からみてもわかる。 従って, 自由流から拘束流に変化する過程のデータが特に少ないことは, 自由流から拘束流あるいはその逆の変化は, ここに示した回帰直線や二次放物線上を連続的に変化するのではなく, 例えば自由流のある状態から急激かつ不連続に拘束流の状態に推移している可能性がある。 また, 冬期における [K-V] と比較すると, 図-5-1を見ても自由流と拘束流の区別が夏期ほど明らかなではない。

4) 二次放物線による最大交通量, すなわちモデルによる求めた交通容量を実現するよりも速い速度と高い交通量が観測されている。 この速度と密度は, 1秒間データであり, このような過大と思える状況は渋滞発生直前の過渡的なものである可能性が強く, その出現時間は短い。

5) 巨視的なモデルを適用し推計した交通容量から夏期と冬期の交通流の差を比較するならば, 今回利用したデータにおいてその差が少なかったと受け取れる。 この理由として, イ) 路面が比較的平坦であり路肩の積雪が少なく夏期と冬期の路面条件が近い ロ) 冬期は車線が守られておらず, バスレーンを走行あるいは利用する車両が多く走行速度が夏期に比較して低下しない等の理由が上げられよう。

6) 過去同様な手法により解析した札幌新道 (1983/11/7, 4種1級, 片側2車線, 路面乾燥) における K-V 式 (下記に示す) と, 石狩街道の K-V 式 (夏期, 冬期) を重ねたグラフを図-6に示す。

$$\begin{cases} V=56.9-0.466K \\ Q=-0.466(K-61.1)^2+1739.4 \end{cases}$$

これら3本の K-V 式を比較すると, 異な

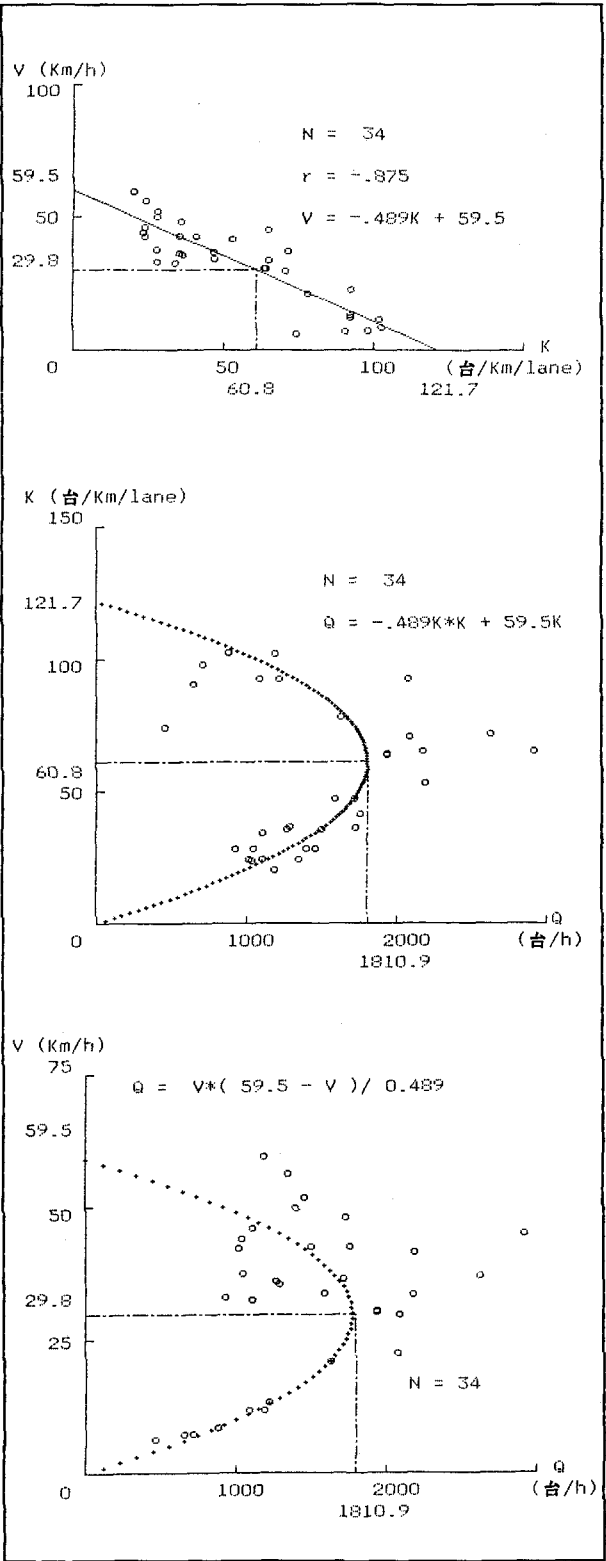


図-5 Q/K/Vの関係 (冬期)

る路線であってもその道路交通条件が近似している場合、 $K-V$ 直線の傾き及び切片の値は、ほぼ類似した値となると言えよう。

しかし、その逆に比較した路線の $K-V$ 直線が近似しているならば、同じ交通状況であると判断するためには交通条件の異なる多くの路線に関して同様な測定を積み重ねる必要がある。

5. まとめ

ヘリコプターから撮影した航空写真を比較的簡易な手法により解析し、信号交差点を多数含む幹線街路の密度と空間速度の関係を求めた。広域及び高い高度からの測定にも関わらず十分利用できる精度を持った密度と速度を測定し得たのではなかろうか。航空写真を用いることにより街路に

においても比較的短い観測時間で道路交通の特性を広域的に把握することは可能であることが明らかとなった言えよう。加えて、道路構造・交通規制・気象条件等の交通流に与える影響を分析する際の基礎データの収集に、また区間平均密度を求めることは容易でありこれをサービス水準と結び付ける場合において極めて有用な観測手段となると言えよう。

今後の課題として、1) 写真解析には大変な労力を要し大半の時間をそれに費やす結果となり、今後交通流に与える数多くの要因分析を行う上で、より効率的な解析手法及び撮影方法の開発。2) 4. 5の考察からも理解出来るよう冬期における的確な密度を得るために、車線に合わせて車両が走行しないとき(例：冬期において車線数が減少している、駐車車両で交通流が乱れる場合等)の車線数の取り扱い方法の確立。

3) 航空写真からは測定できない諸量を他の観測と組み合わせて行ない、より的確かつ多次元的な交通現象の把握。4) 路面状態等の原因による車両の加減速度の変化が、交通容量・密度・速度の相互関係に与える影響の評価。などが考えられる。

なお本報告における資料の多くを提供していただいた北海道警察の関係各位に厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) HCM, TRB, 1965
- 2) 越, 岩崎：渋滞時の交通現象に関する研究, 土木学会論文報告集, 1981.2
- 3) 巻上, 坂本, 林：航空写真に基づいた交通流解析の一手法について, 土木学会論文集, 1984.7
- 4) OECD：幹線道路の交通容量, 1983.7
- 5) 萩原, 山上, 加来：ヘリコプターによる航空写真を利用した幹線街路における交通流現象の観測について, 年次学術講演概要集, 1985.9
- 6) 和田, 増田, 奥住：冬期の道路管理水準に関する一考察, 交通工学, 1986.1

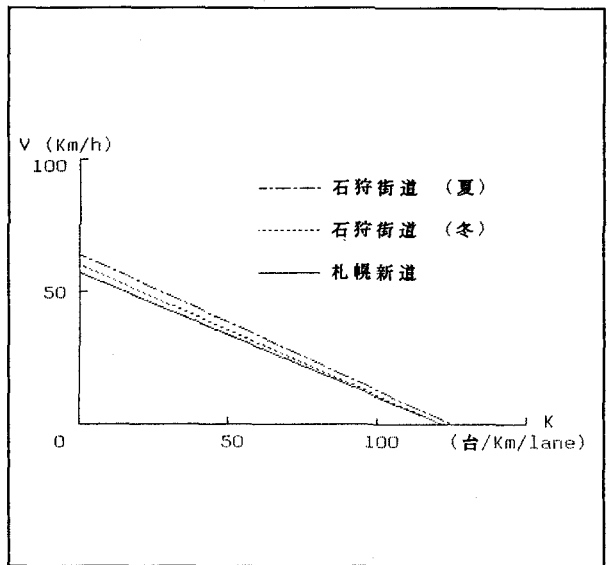


図-6 $[K-V]$ の比較