

IV—4 北海道の 2 車線道路の交通流について

北海道開発局 土木試験所 正員 阿部 幸 康
" " 高 森 衛

は じ め に

道路の交通現象は幅員、線形などの幾何構造と沿道条件、気象条件、運転者の心理状態、交通流が複雑に絡み合い様々に変化する。特に積雪寒冷地である北海道の冬期間は降雪、積雪、路面凍結、路側滞雪、吹雪などの影響を受ける。したがって、積雪寒冷地における道路の設計、計画、維持管理などは冬期と夏期の違いを考慮してなされなければならない。それゆえ、これらの基礎資料を得るべく当研究室では数多くの交通現象を観測してきた。

本文は、これら交通現象のうち道路の機能を定量的に表現する要素の一つである交通容量を夏期と冬期について調査し、比較検討したので報告する。

道路交通流¹⁾²⁾³⁾に関する研究は多くの研究者、機関でなされ、数々の成果が得られているが、その考え方は大きく 2 つに分けられる。その 1 つは交通密度が高くて対向車のため追越ができず、前車に追従せざるを得ないような交通流を、個々の車の速度と間隔を要素として組み立てた微視的理論で、追従理論とも呼ばれ、もう 1 つは交通量、密度、平均速度を要素として考慮している巨視的理論である。本研究はデータの信頼性、採取のし易さなどを考え、交通流を速度と密度でモデル化し説明する立場、すなわち巨視的理論に沿って進めるものである。

1. 調 査 の 概 要

交通流モデルに関する検証の成否は、その検証に利用され得るだけの高い信頼性と安定性を有している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、しかもかなりの数入手できるかどうかにかかっている。特に冬期における交通の観測には夏期に比べさまざまな障害が生じ、データの精度に影響を与える。本研究に用いた実測データは当研究室が開発したセンサーワイヤー方式³⁾⁴⁾で得られたもので降雪、積雪、厳寒時でも測定でき、しかも車種によるばらつきがなく測定誤差も小さいといった長所があり、夏期と比較検討するのに十分な精度を有しているものである。

次に調査地点、時期について述べる。

調査は地方部 2 車線道路 (3 種 1 級) の、平坦で十分側方余裕のある直線区間で、しかも調査地点の前後 2 ~ 3 Km 以内には信号がない場所を選定し、夏期については国道 12 号幌向、231 号石狩で 53 年 7 ~ 8 月に冬期については 275 号角山で 58 年 1 ~ 2 月にかけて行った。この調査時期としたのは夏期においてはお盆の帰省や海水浴に向かう交通流を測定することによって、大型車混入率の低い、ほとんど乗用車みのデータを得ようとしたためである。また、冬期については正月で帰省する交通流や、降雪、積雪といったさまざまな気象条件下の交通流を得ようとしたためである。現実には大型車の存在しない交通流が少ないので本研究では混入率が 10 % 以下のデータを用いることにし、乗用車換算係数を 1.0 として考察を進めた。なお、いずれの地点も制限速度は 50 Km/h である。

また、解析に用いる諸元を以下に示すが、交通密度、空間平均速度、平均車頭間隔はいずれも 5 分間の測定で得られた統計量である。

Q : 交通量 (台/h)	K : 交通密度 (台/Km)	Vs : 空間平均速度 (Km/h)
Qc : 交通容量 (台/h)	Kc : 臨界密度 (台/Km)	Vc : 臨界速度 (Km/h)
Vf : 自由走行速度 (Km/h)	Kj : 最大密度 (台/Km)	CVs : Vs の変動係数
HL : 平均車頭間隔 (m)	KHL : HL より計算される密度 (台/Km)	

2. 交通流データ

2-1 夏期の交通流データについて

幌向と石狩で得られたデータには密度 K と速度 V_s 、車頭間隔 HL と速度 V_s との間に顕著な違いがみられなかったため、両者を合わせて解析することにした。

巨視的理論により交通流を説明する際に、いくつかの仮定があるが、重要なことは $Q = K \cdot V_s$ 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ことである。それでは、 $Q = K \cdot V_s$ なる関係が保たれている定常状態とはどんな状態かという、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。そこで密度 K と速度の変動係数 CV_s の関係をみると、 K が大きくなるに従って CV_s も大きい値を示すことが図-1 よりわかる。次に CV_s を適当に定め、 K と KHL のカイ 2 乗値 $\chi^2 = \sum_i^n (K_i - KHL_i)^2 / K_i$

を計算すると図-2 に示すように CV_s が 0.6 を越えるとその違いが高密度において顕著に現われる。(この場合、 χ^2 値の比較にはデータ数が問題になるが、あてはまりの度合をみるだけにとどめる。) また、 K が 10 未満の場合にも χ^2 値は大きな値を示している。すなわち、 K が 10 未満の低密度における個々の車両は自由走行状態にあり、速度は制限速度に支配されそのばらつきも小さく、逆に車頭間隔は離散的な値をとるためばらつきが大きくなる。また、 K が 60 以上の高密度における個々の車両は臨界状態に近いので速度に大きなばらつきが生じ易く、その結果平均車頭間隔の逆数は密度と一致しないことが起こる。これらのことより $Q = K \cdot V_s$ なる定常状態を CV_s 0.6 以下、 K が 10 台/km 以上と仮定することにした。そのようなフィルターを通して得られた $K-V_s$ を図-3 に示す。

次に交通流には 2 つの交通流、すなわち自由流と拘束流が存在すると言われるが、本研究ではその定義を $HL-V_s$ の相関よりとらえた。

次に交通流には 2 つの交通流、すなわち自由流と拘束流が存在すると言われるが、本研究ではその定義を $HL-V_s$ の相関よりとらえた。

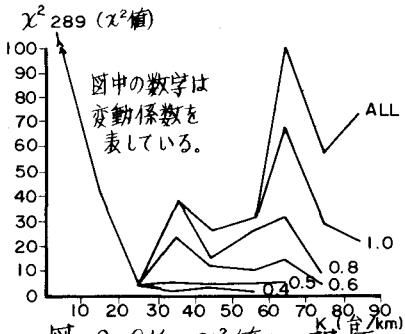


図-2 CV_s と χ^2 値との関係

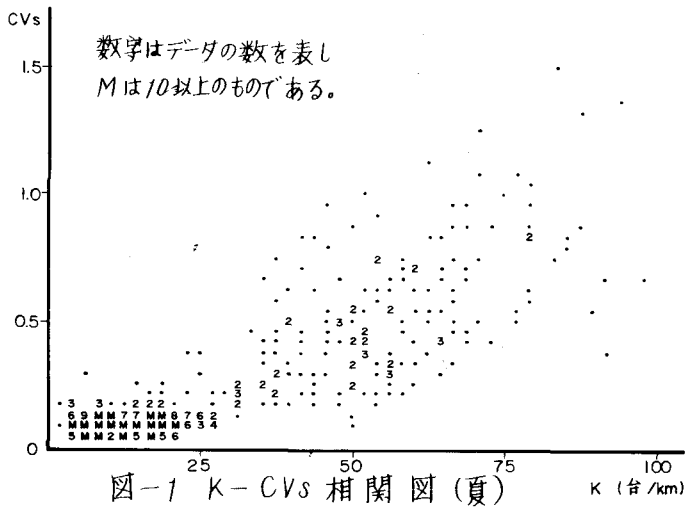


図-1 $K-CV_s$ 相関図 (夏)

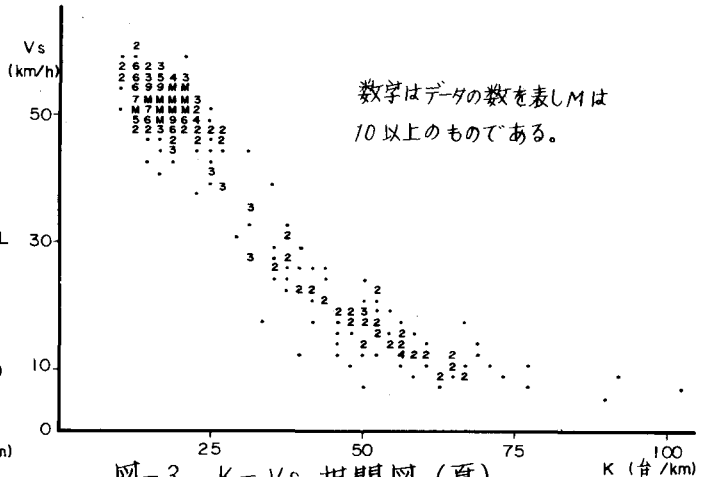


図-3 $K-V_s$ 相関図 (夏)

図-4よりHLが60mまではVsとHLの間に高い相関がみられる。それ以上ではVsが一定になりHLとの相関は低くなる。そこでHL=60m未満の部分拘束流($K > 17$)、HL=60m以上を自由流($17 \geq K \geq 10$)とした。

2-2 冬期の交通流データについて

冬期は夏期に比べ高密度のデータが少なかったため速度の変動係数もばらつかず0.6以下であった。そこでKが10台/Km以上のデータを用いて、HL-Vs、K-Vsの関係を図-5、6に示す。これらを夏期と比較すると、Kが25台/Km付近(HL=40m)でVsが大きくばらついていることがわかる。なお、HL=40m未満の部分には夏期のHL-Vsの関係があてはまっている。(寄与率、0.903)そこで冬期はHL=40m未満の部分夏期と区別する意味で冬期拘束流、HL=40m以上を冬期自由流とした。

冬期自由流をみると夏期と変わらない速度(夏期の下限値49.1Km/h)で走行している部分と、制限速度50Km/h未満で走行している部分があるが、これがまさしく冬期交通流の特徴であり、降雪、積雪、冬型路面といった現象が速度を低下させる原因の一つと考えられる。そこでこの交通流に対して制限速度50Km/h以上と未満に分け、数量化Ⅱ類を用いて表-1の結果を得た。これにより速度を低下させる大きな要因は圧雪、ワダチのある圧雪および氷結路面であり、凍結、湿潤といった路面は速度を低下させないこと、また、他の要因では、視程が40m以下、幅員が夏期に比べ減少し、車頭間隔が視程より小さい場合(先頭車が見える状態)に速度が下がる傾向にある。

この分析の相関比 η^2 は0.239と低く制限速度以上、未満の交通流を説明しきれているとは言えないが、冬期の気

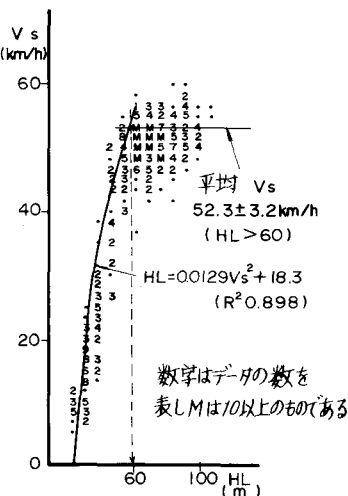


図-4 HL-Vs相関図(夏)

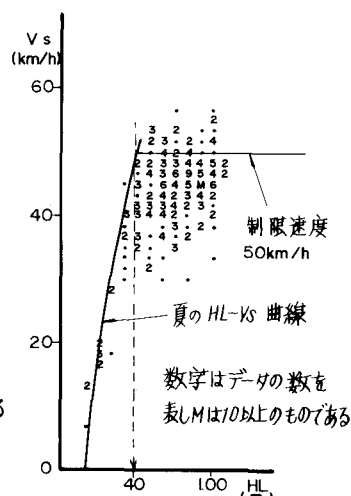


図-5 HL-Vs相関図(冬)

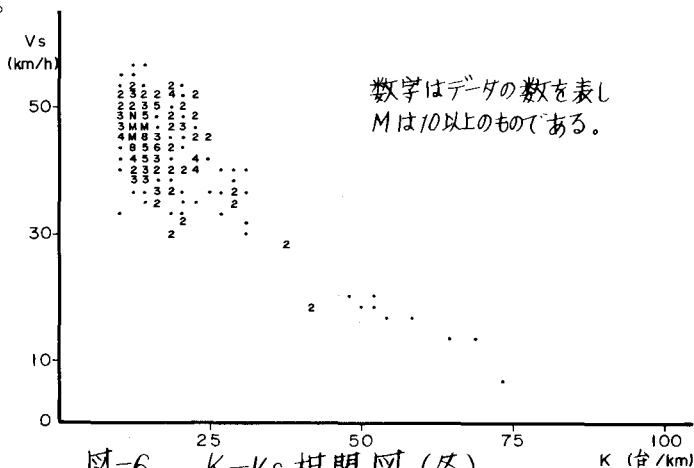


図-6 K-Vs相関図(冬)

表-1 数量化Ⅱ類による分析結果

アイテム	カテゴリー	サンプル数	スコア					レンジ (偏相関係数)
			Vs < 50 ← 0 → 50 ≦ Vs -0.10 -0.05 0.05 0.10					
路面	1. 圧雪	24	-0.060 ██████████ 0.080					0.137 (0.485)
	2. 凍結	65	██████████ ██████████ 0.094					
	3. 湿潤	15	██████████ ██████████					
	4. ワダチ(圧雪)	72	-0.071 ██████████					
	5. ヌ(氷結)	6	-0.021 ██████████					
平均車頭 間隔と視程	1. HL < 視程	144	0.00054					0.040 (0.177)
	2. HL > "	38	-0.0021 ██████████					
幅員	1. 3.75m	72	██████████ 0.011					0.031 (0.125)
	2. 3.75~3.25	60	-0.028 ██████████					
	3. 3.25m >	50	██████████ 0.018					
視程	1. 40m ≧	10	-0.030 ██████████					0.046 (0.100)
	2. 40m <	172	██████████ 0.0018					

相関比 η^2 0.239

的中率

P=72.0%

象条件、道路条件の影響を受け夏期と比べ低い速度（50 Km/h未満）で走らざるを得ない交通流という意味でこの部分を低速度自由流と呼び冬期自由流と区別する。

3 交通流モデルの回帰計算結果およびその考察

3-1 夏期について

KとVsとの回帰式を作成する際に問題となるのは、自由流、拘束流、全交通流のうちのどれで行うかである。そこで今これら3つの交通流に対し最小二乗法により回帰^{3) 5)}を行い、あてはまりの良さを比較したとすれば、拘束流、全交通流、自由流の順になるのはK-HLの相関からも容易に推察される。そこで本研究では拘束流と全交通流のそれぞれで回帰を行い、自由流が全交通流に対しどのようなパラメータの変化を与えるかをみることにした。それは、夏期と冬期の違いが自由流において顕著にみられ、全交通流の回帰に与える影響を考慮しなければ、モデルによる夏期と冬期の比較ができないと考えたからである。ここでは表-2に示す代表的なモデルを作成し、最小二乗法により回帰を行い表-3の結果を得た。全データに与える自由流の影響を調べた結果を表-4、5、6に示す。これらより次のことが考察される。

表-2 モデル式の構造

モデル名	回帰式
Greenshields	$V_s = V_f \cdot (1 - K/k_j)$
Drew	$V_s = V_f \cdot [1 - (K/k_j)^{1/2}]$
Greenberg	$V_s = V_c \cdot \ln(k_j/K)$
Underwood	$V_s = V_f \cdot e^{-(K/K_c)}$
May	$V_s = V_f \cdot e^{-\frac{1}{2}(K/K_c)^2}$

(1) 拘束流（K>17）と全交通流（K≥10）のパラメータの違いの大きさを各モデル毎に比べると、係数の相対誤差 $F\hat{\alpha}$ が最も大きいのは、

表-3 回帰計算結果

Greenbergの0.21、最も小さいのはMayの0.01である。定数項の相対誤差 $F\hat{\alpha}$ も同様の順位を示している。（表-4）

(2) 各モデルでパラメータの大きさに違いが生じるのは、各モデルが速度Vsと密度Kを適当に変換して得られるためで、Greenberg, Drewの変動が大きいのはVsに占める自由流の割合Piが対数に比べ、

モデル名	交通流	Kc (台/km)	Vc (km/h)	Qc (台/h)	Vf (km/h)	Kj (台/km)	R ² 寄与率	RSS 残差平方和
Greenshields	K>17	35.8	33.5	1198	66.9	71.6	0.889	10166 *
	K≥10	36.4	32.7	1189	65.4	72.7	0.900	10039
Drew	K>17	33.6	33.5	1124	100.4	75.6	0.924	11064 *
	K≥10	35.9	30.6	1099	91.9	80.7	0.905	9570
Greenberg	K>17	31.1	33.9	1055	—	84.6	0.941	18801 *
	K≥10	38.7	26.8	1037	—	105.3	0.874	12641
Underwood	K>17	29.1	35.2	1023	95.6	—	0.946	14176 *
	K≥10	31.5	31.2	982	84.8	—	0.893	10708
May	K>17	35.6	32.3	1150	53.3	—	0.896	9477 *
	K≥10	35.1	33.4	1171	55.0	—	0.916	8486

* K>17のRSSはK>17で作成したモデルをK≥10にあてはめた場合の値である

実数の方が大きく（表-5）、さらにはKを変換した対数や平方に占める自由流の割合も実数や二乗に比べ大きくなっているためと思われる。（表-6）

表-4 パラメータにみる自由流の影響

次にパラメータを便宜上自由流と拘束流との相関比ηと対応させると、Greenberg, Drew とい

モデル	変数 y	密度 x	平均 mx	偏差 sx	偏差比 sy/sx	相関係数 r	パラメータ		相対誤差	
							β (係数)	α (定数項)	Fβ	Fα
Green-shields	Vs	K	> 17	32.8	17.0	0.994	-0.935	66.9	0.037	0.022
		K	≥ 10	25.0	16.1	0.950	-0.949	65.4		
Green-berg	Vs	log K	> 17	3.37	0.483	35.0	-0.970	33.9	150.6	0.209
		log K	≥ 10	3.06	0.534	28.7	-0.935	26.8	124.8	0.172
Drew	Vs	√K	> 17	5.56	1.41	12.0	-0.961	11.6	100.4	0.112
		√K	≥ 10	4.80	1.42	10.8	-0.951	10.3	91.9	0.085
Under-wood	log Vs	K	> 17	32.8	17.0	0.0358	-0.961	-0.0343	4.56	0.076
		K	≥ 10	25.0	16.1	0.0331	-0.960	-0.0317	4.44	0.026
May	log Vs	K ²	> 17	1367.5	1416.8	0.000444	-0.918	-0.000407	3.98	0.005
		K ²	≥ 10	885.2	1230.3	0.000433	-0.934	-0.000405	4.01	0.008

ったモデルの η^2 が他のモデルと比べ大きく、全交通流の偏差に与える自由流の影響も、パラメータを動かす1つの要因と考えられる。(表-5、6)

(3) パラメータの安定しているGreenshields, Underwood, Mayの各モデルを比べると、最も残差平方和が小さいのはMayモデルである。(表-3)

次にパラメータの妥当性を自由走行速度 V_f でみると、Greenshields 65.4 Km/h、May 55.0 Km/h、Underwood 84.8 Km/hとなっており、地方部2車線道路の速度としてはGreenshields, Mayのモデルが現実的と思われる。

(4) 以上の考察より夏期の $K-V_s$ をよく説明していると判断されるのはGreenshieldsおよびMayモデルである。これらのモデルより得られる交通容量 Q_c は1200台/h程度、その時の臨界速度 V_c は33 Km/h前後で臨界密度 K_c が35~36台/Kmとなる。

3-2 冬期について

冬期の交通流は $K=25$ 台/Kmを越えると拘束流、それ以下では自由流に分かれ、自由流にはさらに冬期障害を受けて速度の低下する低速度自由流が存在する。そこで自由流を制限速度50 Km/h以上と低速度自由流に分け、拘束流をそれぞれ併合してGreenshields, Mayモデルを作成し、表-7の結果を得た。これらより次のことが考察される。

(1) 自由流が制限速度50 Km/h以上で走行している交通流($V_s \geq 50$)で作成したモデルのパラメータを夏期と比べると、Greenshieldsにおけるその違いは、 V_f で1.3低い64.1 Km/h、 K_j が2.1大きい74.8台/Km、Mayでは V_f が0.4低い54.6 Km/h、 K_c が1.1大きい36.2台/Kmとなっておりどのパラメータもほとんど差がない。

(2) 自由流が低速度で走行している交通流($V_s < 50$ 、以下冬期低速交通流)で作成したモデルのパラメータを夏期と比べると、Greenshieldsにおいては K_j が12.1大きい84.8台/Km、 V_f は逆に11.9低い53.5 Km/hとなっている。Mayにおいては K_c が3.7大きい38.8台/Km、 V_f は7.7低い47.3 Km/hで、いずれのモデルも夏に比べ密度が大きく速度が減少する傾向にある。また、両モデルのあてはまりは同じ程度とあるが、夏期に比べ寄与率が0.15低

表-5 全交通流($K \geq 10$)の平均速度に占める自由流($V_f \geq K \geq 10$)の割合

データ変換	i	密度 K_i	個数 n_i	重み w_i	平均 m_i	偏差 S_i	重み平均 $w_i x m_i$	重み平均 の割合 P_i	相関係 η^2
実数 V_s	1	10~17	177	0.412	52.3	3.22	21.5	0.503	0.268
	2	>17	253	0.588	36.2	16.9	21.3	0.497	
	3	≥ 10	430	1.0	42.8	15.3	42.8	1.0	
対数 $\log V_s$	1	10~17	177	0.412	3.95	0.0626	1.63	0.446	0.222
	2	>17	253	0.588	3.44	0.608	2.02	0.554	
	3	≥ 10	430	1.0	3.65	0.533	3.65	1.0	

i 1. 自由流 2. 拘束流 3. 全交通流

表-6 全交通流($K \geq 10$)の密度に占める自由流($V_f \geq K \geq 10$)の割合

データ変換	平均 m_i	偏差 S_i	重み平均 P_i	相関係 η^2
実数 K	13.8	2.08	0.228	0.338
二乗 K^2	195.7	56.7	0.091	0.220
平方根 $\sqrt{K}$	3.71	0.283	0.319	0.412
対数 $\log K$	2.62	0.155	0.353	0.480

表-7 回帰計算結果(冬)

モデル名	交通流	K_c (台/Km)	V_c (Km/h)	Q_c (台/h)	V_f (Km/h)	K_j (台/Km)	R^2 寄与率	RSS 残差平方和
Green-shields	$V_s \geq 50$	37.4	32.1	1201	64.1	74.8	0.918	940.8
	$V_s < 50$	42.4	26.8	1136	53.5	84.8	0.740	2869.9
May	$V_s \geq 50$	36.2	33.1	1198	54.6	—	0.925	853.8
	$V_s < 50$	38.8	28.7	1114	47.3	—	0.753	2723.7

$V_s \geq 50$ n 57

$V_s < 50$ n 169

表-8 全交通流に占める低速度自由流の割合

データ変換	平均 m_i	偏差 S_i	重み平均 P_i	相関係 η^2
V_s	44.0	4.40	0.918	0.533
K	15.2	4.30	0.707	0.654
$\log V_s$	3.78	0.106	0.888	0.520
K^2	250.4	149.1	0.462	0.568

$w_i = \text{低速度自由流} / \text{全交通流} = 0.870$

い0.75となっている。これは低速度自由流においてはHL- V_s にほとんど相関がなく、しかも回帰を行った全交通流に占めるKや V_s の割合が夏期と比べ高くなっているためである。

(表-8)

これらのモデルより算出される交通容量 Q_c は、1100台/h程度、その時の臨界速度 V_c は27~29Km/h、臨界密度 K_c が39~42台/Kmとなる。

(3) 冬期低速交通流と夏期の交通流の違いを V_f 、 K_c を含み、自由走行状態から臨界状態までをよく表現しているMayモデル(Greenshieldsは V_f 、 K_j を含み、臨界状態から強制渋滞走行状態を表現している)を用いて比較してみた。

図-7をみると夏期と冬期の速度差は、容量の生じる Q_c 点に近づくに従い小さくなる。夏期の臨界速度 V_c 33.4Km/hの走行状態が冬期に生じれば密度Kは32.5台/Kmでその時の交通量は、 $1086 \div 1100$ 台/hとなり、夏期の交通容量1200台/hと比べ約1割減少する。

また、仮に40Km/hの速度サービスを得る状態を想定すると、冬期の最大交通量は900台/hとなり、夏期に比べ約2割(200台/h)減少するものと試算される。

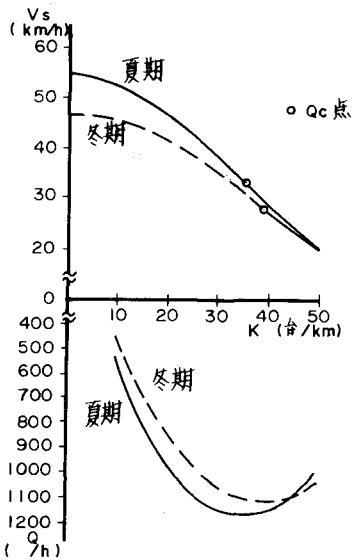


図-7 Mayモデルによる夏期と冬期の比較

おわりに

北海道の夏期と冬期における交通現象の違いを交通容量の面からとらえ、冬期における道路条件が交通量を低下させる大きな原因の1つであることが新ためて認識させられた。道路管理の面からはわたちの生じる路面状態を除去し、交通を安全に誘導する視線誘導といった対策が効率よく行なわれなければならない。

冬期においても安全で快適な交通を得るために道路維持管理、施設計画といった交通計画が必要であることは言うまでもないが、これらを考える上で道内の国道延長5800Kmのうち9割を占める地方部2車線道路の現状を把握し、評価することが必要である。本研究で得られた結果を用いて現在の夏と冬における「道路のサービスレベル」を量的、質的な面からとらえ、次の機会に報告したい。

最後に、本研究をとりまとめる上で適切な御助言を頂き、さらには本文のかかなりの部分で論文を引用させて頂いた北海道大学工学部土木工学科、佐藤馨一氏に心からお礼申し上げる。

参考文献

- (1) 佐々木綱：改訂交通流理論、技術書院、昭和48年改訂
- (2) 荻野治雄：道路交通流理論の概要、北海道開発局土木試験所月報191、昭和44年4月
- (3) 佐藤馨一、五十嵐日出夫：非線形交通流モデルに関する研究、土木学会論文集第258号、昭和52年2月
- (4) 高橋 毅、佐藤馨一、五十嵐日出夫：道路交通流の測定法に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、昭和51年2月
- (5) 佐和隆光：回帰分析、朝倉書店、昭和54年4月