

道路環境ファクターを考慮したカーブ発見時の認知特性に関する研究

Cognitive Characteristic of Driver's Curve Detection in terms of Road Scene Factors

鈴木 健太* 萩原 亨** 加賀屋 誠一** 大沼 秀次***

Authors: K. Suzuki*, T. Hagiwara**, S. Kagaya** and H. Onuma***

1. はじめに

北海道における交通事故の課題の一つは、非市街地の2車線道路における高い重大事故発生率にある。林ら¹⁾は、北海道内の国道において発生した事故の特徴についてまとめた。北海道の国道において他府県と比べて事故率は低い、非市街地における2車線道路における正面衝突、工作物衝突事故の発生が多くなっていた。カーブ区間の発生件数は直線区間より少ないが、特にカーブ区間では夜間及び冬期における事故が多く、事故件数そのものを減らす対策と被害を軽減する対策が必要と言えた。

カーブ区間における事故減少策を考えると、運転者のカーブにおける情報獲得プロセスの解明が一つの鍵となる。萩原ら²⁾は、カーブ手前からカーブ区間内における運転者の情報収集挙動についてアイカメラを用いて調査した。調査において、道路上の注視点位置及び単位時間当たりの注視点数が走行位置によってどう変化するかを調べた。この中で、カーブ進入前の区間においてカーブの曲折方向あるいは大きさを読み取る挙動が多く、カーブ進入後の区間ではカーブ形状を追いかける視線挙動が多くなっていたことから、カーブ事故への対策として、カーブ進入前の数秒前までにおいてカーブの方向と大きさについての情報提供が重要であり、カーブ進入後は区画線等による視線誘導整備に重点を置くべきであることが明らかとなった。しかし、アイカメラによる調査では、カーブの曲折方向認知あるいはカーブの大きさの適切な認知について分析することができず今後の課題となった。

一方、供用中の道路において、カーブ区間の標識・標示による情報提供は、非常に混乱しているように見受けられる。例えば、過度な情報提供施設が整備されているカーブ区間がある一方、ほとんど情報提供がないカーブ区間もある。カーブを示す道路交通施設としてどのような情報提供がどのような運転場面において必要であり、どのようなタイミングで提示すべきかを詳細に検討し、道路情報と運転者のインターフェイスの改良に努める必要がある。情報提供の場面・内容・表示方法についての整理は、道路交通施設の高度化を今後進める上で大切であろう。

Key Words: 交通情報、交通安全、ITS

*学生員 **正会員、北海道大学 大学院 工学研究科

(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目、Tel: 011-706-6214、

Fax: 011-726-2296、E-mail: roberto@eng.hokudai.ac.jp)

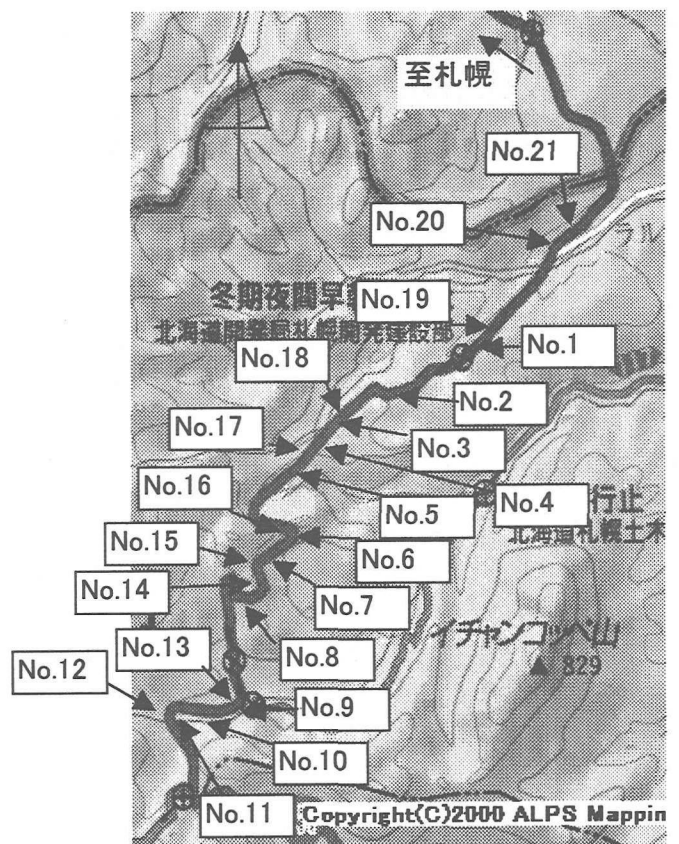
***正会員、北海道開発局開発土木研究所

そこで、本研究では山間部のカーブが連続する2車線道路として国道 453 号線を取り上げた。図1に示す 11km 区間にて、被験者による実車実験を行い、道路前方の曲折方向認知に関する道路環境ファクターを認知材料と表現し次のような項目について検討した。

・運転者がカーブの方向を認知するとき、その認知材料は前方の道路空間の何であるのか？

・昼間と夜間における認知材料の違いとは何か？

実車実験の結果から、カーブの曲折方向を示す認知材料の特徴からカーブを分類する一方、どのような認知材料がカーブの曲折方向認知にどう影響するのかについて検討を試みた結果について報告する。



図中の番号は、調査対象カーブ
往路: 札幌→支笏湖、No.1→No.11
復路: 支笏湖→札幌、No.12→No.21

図1 実車実験区間と調査対象カーブ

2. 調査方法

(1) 被験者

表1に示す 23 名の被験者が実験に参加した。グループ 1は、昼間の実験に参加した 11 名の被験者である。グループ2は、夜間の実験に参加した 12 名の被験者である。グループ2は、グループ1に比べて運転歴や年間走行距離が長く、若干であるが運転に慣れているグループと言えた。表1の反応時間は、ダッシュボードに設置した LED の点灯に反応するのに要した時間を運転中に各々の被験者について測定した値である。ボタン操作への慣れと曲折方向の発見からボタンを押すまでの遅れが被験者によってどの程度異なるかを知るために調査した。表1に示した数値は、被験者毎に実験区間以外で実施した3回の反応時間測定結果の全平均である。

(2) 実験区間(国道 453 号線)

図2に示すように、カーブの方向を示す標識と標示が国道 453 号線では氾濫している。調査対象区間とした 11km 区間には 147 の警戒標識、143 の規制標識、64 の案内標識、251 のその他の標識が設置されていた。多過ぎる標識は、道路景観を悪化させるのみならず、ドライバーへの情報伝達にとって見慣れることによる逆効果が予想され、更に刺激的な標識・標示の設置を促す要因にもなる。確かに、事故の予防として多くの標識と標示が必要であることは理解できるが、どのような標識がどのような場所で必要となるのかについて再検討の必要があろう。

(3) カーブ 認知地点測定車

実験には、4ドアセダンの AT 車を用いた。実験車は、後部座席を取り外し、そこに A/D コンバーター・カウンターディスプレイ・コンピュータ・ビデオカメラを登載した。被験者がカーブ発見時に押すボタンは、タイムロスを最小とするため、図3に示すようにハンドルを握っている状態でボタンが押せるように工夫した。カウンターディスプレイは、タイヤの回転数をピックアップしているセンサと接続され、走行距離を示している。図4に示すビデオ映像は、LEDとカウンターディスプレイを撮影している。被験者がボタンを押すと LED が点灯し、そのときの位置がカウンターディスプレイから走行地点を読み取れる。

(4) 調査対象カーブ

表2は、認知距離の測定対象とした 21 箇所のカーブにおける形状景観・構造物景観を示している。また、表2は対象カーブの曲線半径・曲線長・カーブ直前の勾配・曲折方向・警戒標識の有無を示している。

道路景観自体が前方の線形を運転者に示す認知材料を表したのが、形状景観である。形状景観は、道路が遠方に消失するまでの曲折方向の見通しと道路の背景景観の2種類として定義した。曲折方向を見通せれば、前方の道

表 1 被験者グループ

	昼間実験、 グループ1 (女性3名、 男性8名)	夜間実験、 グループ2 (男性12 名)
年齢(才)	32.6	38.1
視力(右)	0.9	1.1
視力(左)	1.05	1.1
運転歴(年)	11.9	16.1
年間走行距離(km)	10436	17583
反応時間(秒)	0.41	0.45

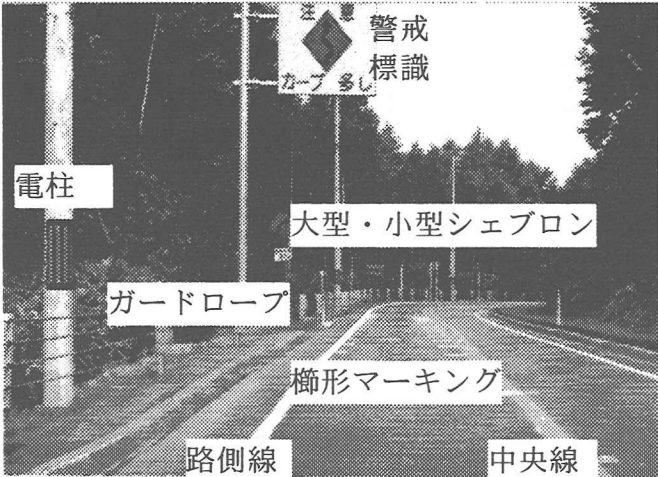


図 2 カーブ 1 8 に設置されている道路交通施設

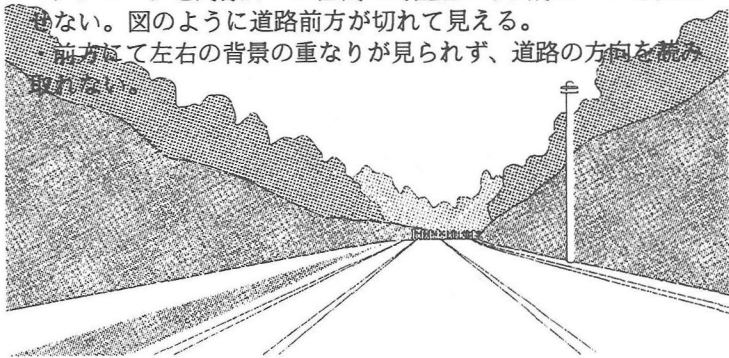


図 3 発見時に押すハンドルのボタン
実験時の視野映像、音声、タイムコード(30 Hz)

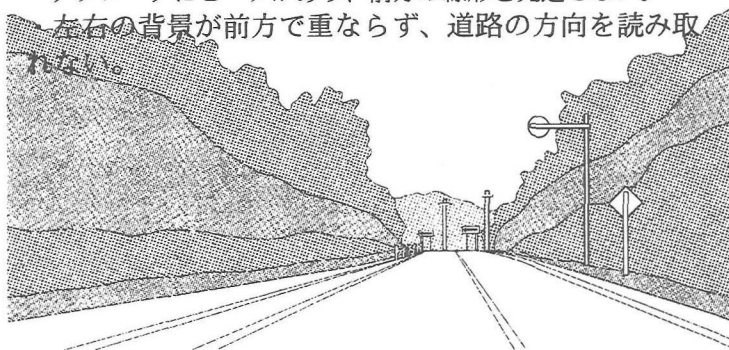


図 4 走行映像と走行距離カウンタ

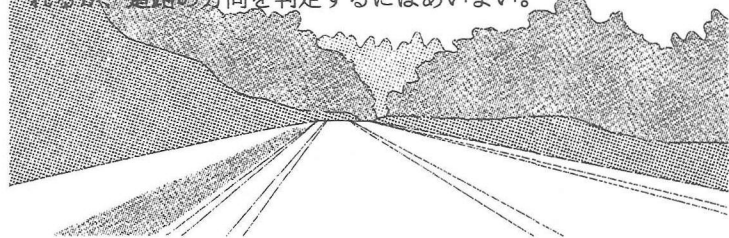
- カーブ1（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
- ・対象カーブは、上り右カーブ（曲線半径 500m）である。
 - ・アプローチと対象カーブ区間の勾配差から対象カーブを見通せない。図のように道路前方が切れて見える。
 - ・前方にて左右の背景の重なりが見られず、道路の方向を読み取れない。



- カーブ2（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
- ・対象カーブは、左カーブ（曲線半径 80m）である。
 - ・アプローチにピークがあり、前方の線形を見通せない。
 - ・左右の背景が前方で重ならず、道路の方向を読み取れない。



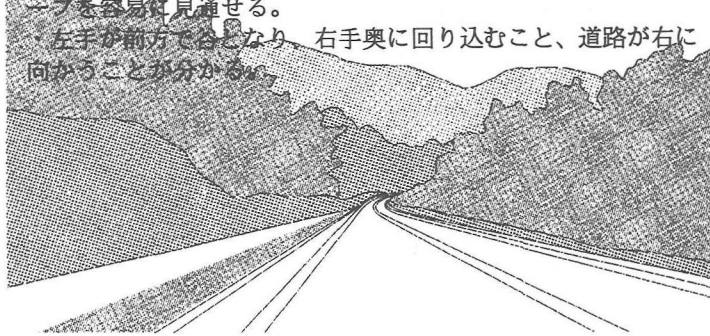
- カーブ3（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
- ・対象カーブは、上り右カーブ（曲線半径 500m）である。
 - ・アプローチからカーブに至る勾配の関係から、前方の線形を見通せない。
 - ・若干左の背景が前方にて右に伸びていることが図から読み取れるが、道路の方向を判定するにはあいまい。



- カーブ4（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：容易）
- ・対象カーブは平坦な右カーブ（曲線半径 200m）である。
 - ・アプローチからカーブに至る勾配の関係から、前方の線形を見通せない。
 - ・左手の背景が前方にて大きく右手奥に伸びており、道路が右に向かうことが分かる。



- カーブ5（曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易）
- ・対象カーブは上り右カーブ（曲線半径 450m）である。
 - ・見通し距離は長いが、図に示すようにアプローチから対象カーブを容易に見通せる。
 - ・左手が前方で谷となり、右手奥に回り込むこと、道路が右に向かうことが分かる。



- カーブ6（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
- ・対象カーブは、平坦な右カーブ（曲線半径 83m）である。
 - ・アプローチは長い上りとなっており、上り坂の頂上にある対象カーブを見通せない。
 - ・左側は谷、右側が山となる地形となっている。前方での両者の重なりがなく、先を読み取れない。



- カーブ7（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：容易）
- ・対象カーブは、下り左カーブ（曲線半径 100m）である。
 - ・アプローチよりも対象カーブの下り勾配が大きく、前方の線形を見通せない。
 - ・左手が谷、右手が山となっている。前方にて右手の背景が左手奥に回り込むことから、道路が左に向かうことが読み取れる。

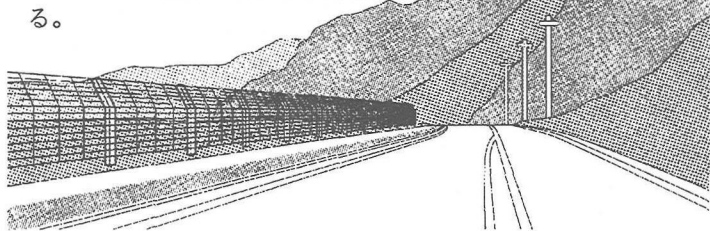
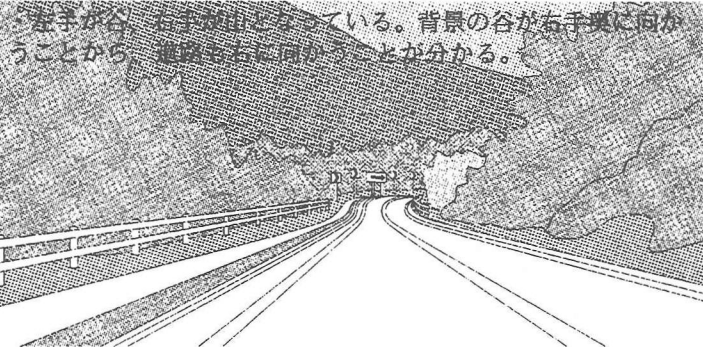
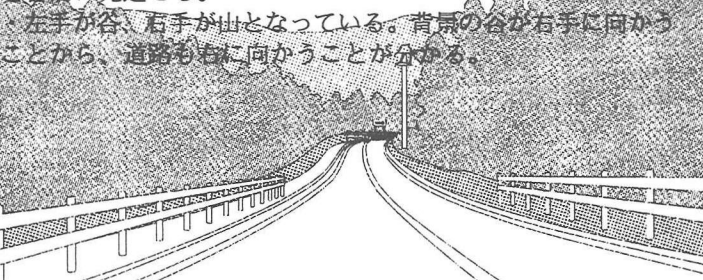


図5-1 カーブ1からカーブ7（往路、札幌→支笏湖方向）

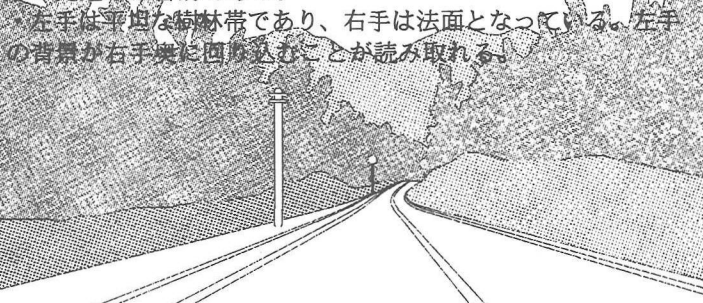
カーブ 8 (曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易)
 ・対象カーブは、下り右カーブ (曲線半径 47m) である。
 ・アプローチから対象カーブよりも高い位置にあり、前方の線形を容易に見通せる。



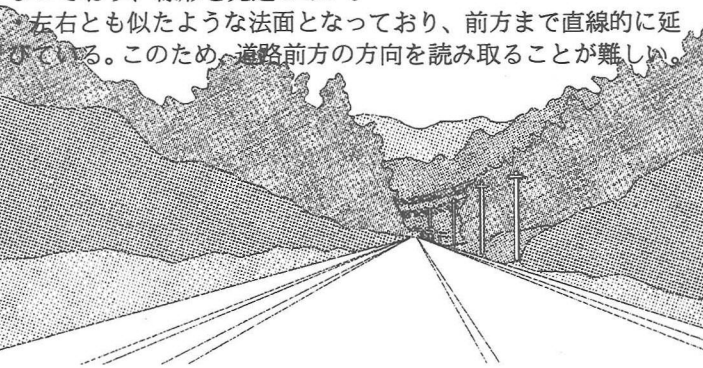
カーブ 9 (曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易)
 ・対象カーブは、下り右カーブ (曲線半径 150m) である。
 ・アプローチが対象カーブよりも高い位置にあり、前方の線形を容易に見通せる。



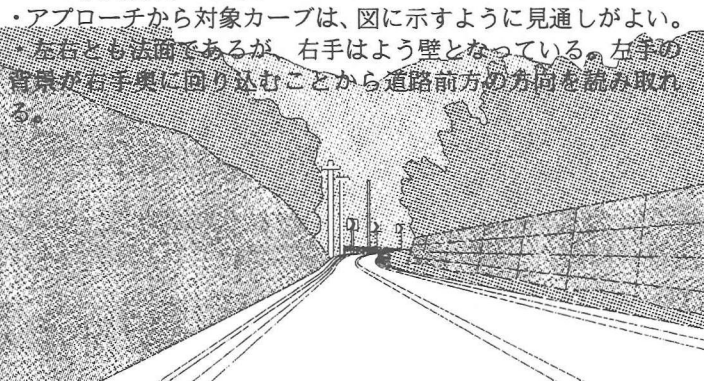
カーブ 10 (曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易)
 ・対象カーブは上り右カーブ (曲線半径 300m) である。
 ・アプローチは下り勾配、対象カーブは上りとなっており、線形の見通しは容易である。



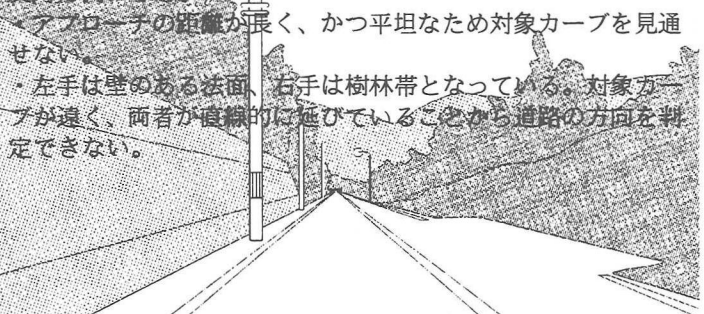
カーブ 11 (曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難)
 ・対象カーブは左カーブ (曲線半径 70m) である。
 ・対象カーブが平坦なのにに対し、アプローチは長い上り勾配となっており、線形を見通せない。



カーブ 12 (曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易)
 ・対象カーブは下り右カーブ (曲線半径 70m) である。カーブ 11 の反対方向になる。



カーブ 13 (曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難)
 ・対象カーブは左カーブ (曲線半径 150m) である。カーブ 9 の反対方向になる。



カーブ 14 (曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：容易)
 ・対象カーブは上り左カーブ (曲線半径 80m) である。

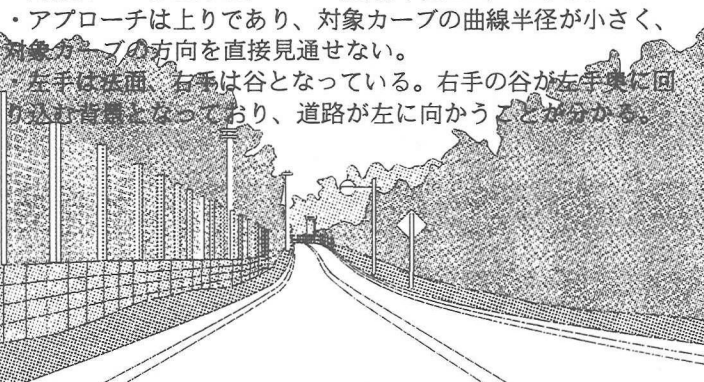


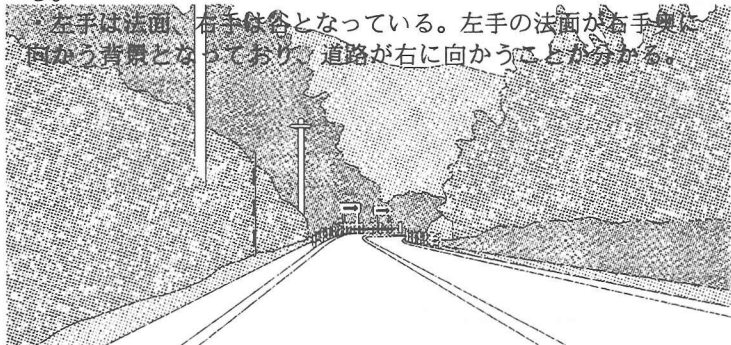
図 5-2 カーブ 8 からカーブ 14

(カーブ 8 から 11：往路、札幌→支笏湖方向)

(カーブ 12 から 14：復路、支笏湖→札幌方向)

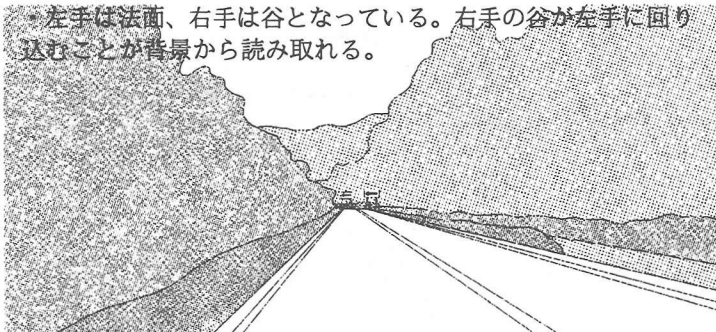
カーブ15（曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易）
 ・対象カーブは、上り右カーブ（曲線半径 35m）である。
 ・アプローチは上りであり、対象カーブも近く、容易に見通せる。

左手は法面、右手は谷となっている。左手の法面が右手奥に向かう背景となっており、道路が右に向かうことが分かる。



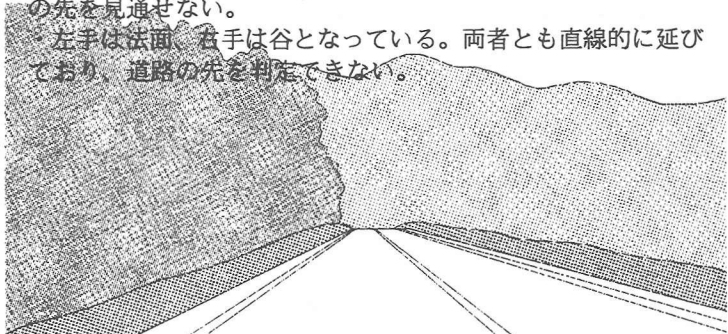
カーブ19（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：容易）
 ・対象カーブは、下り左カーブ（曲線半径 250m）である。
 ・アプローチ部より対象カーブの下り勾配が大きいため、道路の先端を見通せない。

左手は法面、右手は谷となっている。右手の谷が左手に回り込むことが背景から読み取れる。



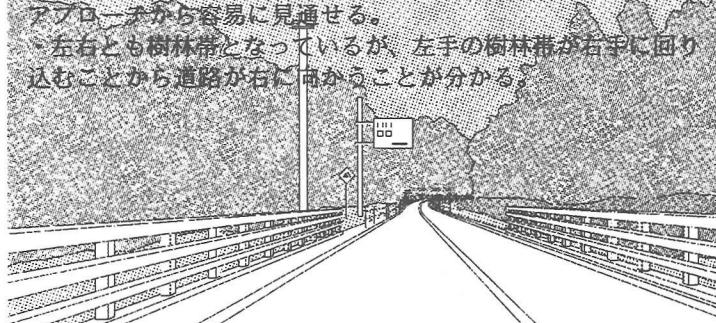
カーブ16（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
 ・対象カーブは、下り左カーブ（曲線半径 200m）である。
 ・対象カーブ区間の下り勾配がアプローチ部より大きく、道路の先を見通せない。

左手は法面、右手は谷となっている。両者とも直線的に延びており、道路の先を判定できない。

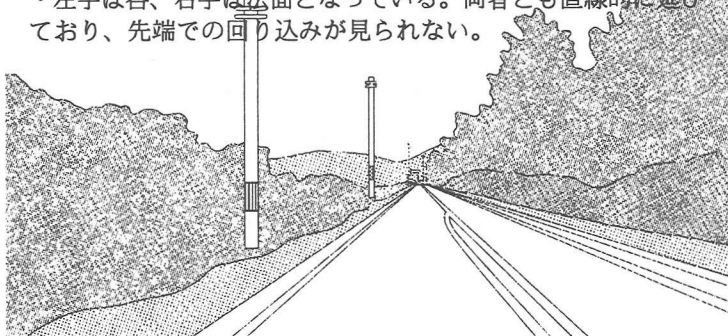


カーブ20（曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易）
 ・対象カーブは、上り右カーブ（曲線半径 250m）である。
 ・アプローチが平坦に対し、対象カーブは上りとなっており、アプローチから容易に見通せる。

左右とも樹林帯となっているが、左手の樹林帯が右手に回り込むことから道路が右に向かうことが分かる。



カーブ17（曲折方向の見通し：困難、道路前方の背景：困難）
 ・対象カーブは下り右カーブ（曲線半径 300m）である。
 ・対象カーブまで遠く、道路の先を直接見通せない。
 ・左手は谷、右手は法面となっている。両者とも直線的に延びており、先端での回り込みが見られない。



カーブ21（曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易）
 ・対象カーブは上り左カーブ（曲線半径 200m）である。
 ・対象カーブがアプローチよりも急な上りとなっており、アプローチから容易に見通せる。

左手は法面、右手は谷となっている。右手の谷が左手に回り込むことから、道路が左に向かうことが分かる。



カーブ18（曲折方向の見通し：容易、道路前方の背景：容易）
 ・対象カーブは、下り右カーブ（曲線半径 90m）である。
 ・右手の法面と道路間の路肩があるため、道路の先を見通せる。
 ・左手は谷、右手は法面となっている。左手の谷が右手に回り込む景観となっており、道路が右に向かうことが読み取れる。

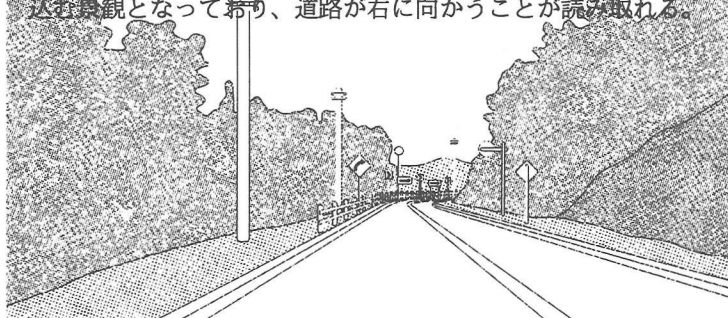


図5-3 カーブ15からカーブ21（復路、支笏湖→札幌方向）

表2 調査対象カーブの形状景観、構造物景観、幾何線形、最大曲折方向認知距離

カーブ番号	形状景観		構造物景観			道路の幾何線形					目的カーブの曲線開始地点 (BC 点) (km)	最大曲折方向認知地点 (A点) (km)	最大曲折方向認知距離 (m)
	曲折方向	道路前方の見方	ガードロープ	電柱	シェブロン	曲線半径(m)	曲線長さ(m)	曲線開始地点の勾配	曲折方向	警戒標識の有無			
1	困難	困難	あり	1本	なし	500	119	6.1	右	有り	24.608	24.423	185
2	困難	困難	あり	多数本	大…2	80	26	5.1	左	有り	25.498	25.321	177
3	困難	困難	なし	なし	なし	500	83	3.0	右	有り	26.686	26.476	210
4	困難	容易	なし	なし	なし	200	80	3.8	右	無し	27.073	26.86	213
5	容易	容易	なし	なし	なし	450	139	3.1	右	有り	27.645	27.244	401
6	困難	困難	あり	多数本	小…2、大…2	63	230	0.9	右	有り	29.325	28.957	368
7	困難	容易	なし	多数本	なし	100	40	-2.1	左	有り	29.621	29.438	183
8	容易	容易	あり	多数本	小…4、大…1	47	92	-4.0	右	有り	30.708	30.438	270
9	容易	容易	あり	2本	大…1	150	278	2.5	右	有り	32.18	31.924	256
10	容易	容易	なし	1本	なし	300	73	1.3	右	有り	32.802	32.399	403
11	困難	困難	あり	多数本	大…4	70	173	4.2	左	有り	33.225	32.805	420
12	容易	容易	あり	多数本	大…3	70	173	-2.6	右	有り	33.398	33.701	303
13	困難	困難	あり	多数本	なし	150	278	-0.3	左	無し	32.458	32.853	395
14	困難	容易	あり	多数本	大…1	80	134	7.4	左	有り	30.474	30.731	257
15	容易	容易	あり	多数本	大…2	35	60	2.0	右	有り	30.059	30.223	164
16	困難	困難	なし	なし	なし	200	42	-3.5	左	無し	29.031	29.313	282
17	困難	困難	あり	多数本	大…1	300	60	-2.9	右	無し	27.319	27.722	403
18	容易	容易	あり	多数本	大…2、小…3	90	87	-2.5	右	有り	26.518	26.788	270
19	困難	容易	あり	なし	大…2	250	86	-7.4	左	有り	24.497	24.706	209
20	容易	容易	あり	多数本	大…4	150	145	0.8	右	有り	23.282	23.56	278
21	容易	容易	あり	多数本	なし	200	75	4.3	右	有り	22.767	23.215	448

の方向が分かることは自明であろう。道路の背景も進行方向の曲折方向を知るための重要な認知材料となる。図5は、各々のカーブにおける手前のカーブを通過後から対象カーブ直前までの区間をポンチ絵によって表現したものである。図5のカーブ4を例として形状景観を説明する。図5-1カーブ4において勾配の関係から道路前方の対象カーブを直接見通せない。しかし、左手の法面が道路の消失点の背景を回り込むことから、右に道路が曲がるのが分かる。街路樹や家屋の連続と重なりから同様な情報を運転者は知ることができる。

一方、形状景観に対して人工的な曲折方向を示す認知材料を構造物景観としてまとめた。構造物景観は、カーブに設置されている道路交通施設による認知材料を指している。本研究では、ガードロープの有無・電柱の有無・シェブロンサインの有無とした。

(5) 被験者への説明

本調査におけるカーブ発見とは、ドライバーが実際のカーブの曲折方向を自身の目で形状景観および構造物景観から判定できた時点とした。警戒標識によるカーブ発見は除くものとした。警戒標識によるカーブ発見は予測であり、実際に現れるカーブの曲折方向の視覚による情報認知ではない。実験時における被験者への説明をまとめた。

①被験者は実験車に乗車後、シート位置調整・シートベルトの着用・その他の安全確認を行った。

②次に、同乗の実験者が、被験者に本実験の内容、目的、方法、注意事項を説明した。特にカーブ発見時の作業については、本研究の柱となる部分であるので、前述したカーブ認知の定義を誤解のないよう丁寧に説明した。

③さらに、ボタン操作と反応テストについて説明した。反応テストは、カーブ認知からボタンが押されるまでのタイムラグを考慮するため測定した。反応時間は、0.27～0.73 秒となり、各被験者の反応時間の違いは、走行速度から5m以内と推定できた。よって、反応時間の違いが曲折方向発見地点の距離に影響を与えるほど大きくはないと判断し、カーブ発見地点は反応時間の遅れを無視し、被験者がボタンを押した地点とした。

④被験者への説明を終えた後、実験のための機器の準備(計測機器、ビデオカメラ等の確認)を行った。

⑤路線距離との関係を求めるため、実験走行開始地点・国道453号線31キロポスト付近の中間地点・35キロポスト付近の折り返し地点で停止し、走行距離と路線距離の関係を同期させた。また、走行距離データは往路と復路に分けてファイルに記録した。

⑥実験終了後、被験者に個人属性と実験内容についてアンケート用紙を配布し、記入をお願いした。

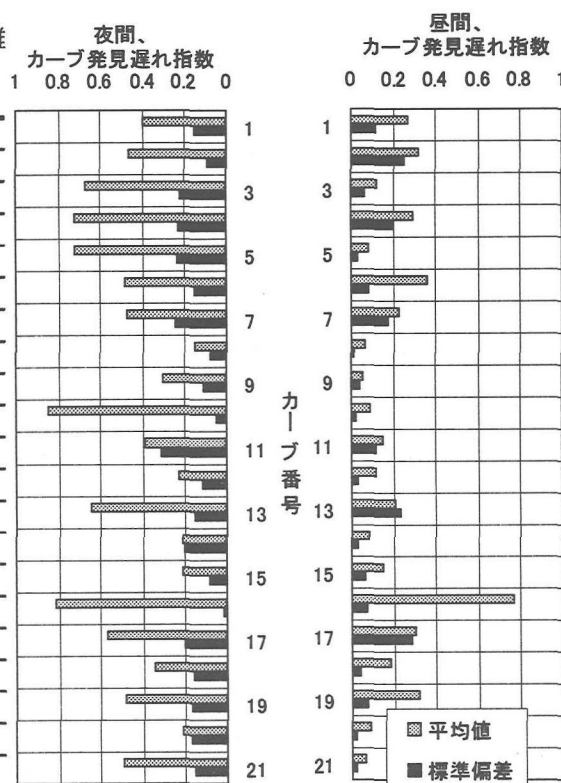
3. 調査結果

(1) 最大曲折方向認知地点(A地点)

カーブの認知が可能な地点を示す指標として最大曲折方向認知地点(A地点と呼ぶ)を本研究では定義した。表2は、調査対象としたカーブのA地点と道路線形における曲線開始地点(BC地点と呼ぶ)のキロポスト及び两点間の距離を示している。一般にカーブの認知が可能な地点は、視距として表される。しかし、カーブの曲折方向認知は直接対象カーブが見えなくても前方景観から判断可能な場合があり、最大曲折方向認知地点(A地点)を用いた。

表3 昼間と夜間の発見距離の平均と標準偏差

カーブ 番号	昼間、被験者グループ 1			夜間、被験者グループ 2			警戒標識
	発見距離			発見距離			BC間の距離 (m)
	平均 (m)	標準偏差 (m)	個	平均 (m)	標準偏差 (m)	個数	
1	135	22	10	111	28	10	38
2	121	45	11	95	16	10	68
3	183	14	11	70	46	10	56
4	150	43	10	60	48	11	N/A
5	366	13	10	111	96	7	185
6	232	30	11	189	58	8	135
7	142	32	9	96	45	9	101
8	251	5	11	228	21	8	38
9	241	12	11	177	29	8	80
10	364	11	10	63	22	7	82
11	355	51	10	255	131	6	65
12	268	11	8	234	37	8	62
13	310	94	10	140	61	11	N/A
14	236	9	9	203	53	11	96
15	139	11	10	129	14	10	51
16	64	22	9	53	6	10	N/A
17	280	116	8	174	82	6	N/A
18	220	12	5	176	43	11	32
19	142	16	9	108	36	9	43
20	253	7	8	218	46	12	38
21	417	10	8	228	67	12	83



N/A:

警戒標識がないカーブ

図6 カーブ発見遅れ指数

A 地点は、あいまいな表現となるが、対象カーブの直前のカーブを抜け、視界が開けたタイミングを指している。図5のポンチ絵は、A 地点から対象カーブを見た状況を正確ではないが、示している。これらのポンチ絵にあるように、手前のカーブを抜けた直後に道路の先端が途切れて見えた地点を最大曲折方向認知地点とした。

調査では厳密に A 地点を求めるため、次のような定義を用いた。直前カーブを走行中、前方の区画線の先端が、先へ先へ伸びるように運転者から見える。ところが、カーブ区間を抜けるとき、区画線が途切れて、先端が一定のところに見えるときがある。先端が途切れて見える要因は、遠方のカーブや上り坂である。A地点は、このように対象カーブ手前のカーブを抜けたときに区画線の先端が途切れて見えたときとして定義した。A 地点は、カーブ認知と並行して調査した数回のアイカメラの映像から、実験者が主観的に求めた。調査対象路線が山間部を抜ける道路であることから、A地点とBC地点間の平均距離は約300mであり最大448m、最小は164mであった。

(2)カーブ発見距離

表3は、カーブ発見距離の平均と標準偏差を示している。カーブ発見距離は、図4の LED 点灯時の地点と表2の右側に示す BC 地点との距離である。調査個数のバラツキは、被験者による見落としとデータ計測のミスがあるためである。LED 点灯地点は、図4に示すようなデジタルビデオ映像から解析した。LED 点灯時の車軸回転数のカウンタ値を読み取り、距離に換算した。デジタルビデオ映像を用いた理

由は、映像から観測時の状況を実験後においても確認可能なこと、また音声情報を利用できることなどからである。

昼間の最長発見距離は約400m、最短は約60mであった。一方、夜間の最小平均発見距離は約250m、最短は約50mであった。全てのカーブにおいて昼間の発見距離は夜間より長くなっていた。昼夜の差が最小だったのはカーブ8であり、その差は23mであった。また、差が最大だったのはカーブ10で304mであった。カーブ8のアプローチは急な下り坂のため見通しがよく、かつ交通施設が数多く設置されている。このため、夜間でも発見距離が長くなった。一方、カーブ10は交通施設がなく夜間において反射するものがなかった。また、アプローチと対象カーブの勾配の関係から、対象カーブに接近しなければヘッドライトが対象カーブに届かず、発見距離が短くなった。

発見距離の標準偏差は、昼間において10mから100mであり、カーブによって被験者の判定にバラツキがあるカーブと少ないカーブに別れた。全てのカーブではないが、形状景観による認知材料が少ないときバラツキが多くなっていた。夜間の標準偏差は、例外はあるが昼間より大きくなる傾向がみられた。その理由として、カーブ発見として警戒標識によるカーブ発見を除くように指示したことが影響した要因の一つと思われる。表3にカーブの BC 点と警戒標識間の距離を示す。昼間の発見地点は、警戒標識を判読できる地点より遠い場合が多かった。一方、夜間は警戒標識が判読できるあるいは、判読後に発見する場合があった。

また、ビデオに記録されたカウンタ値から、曲折方向判定時の走行速度を求めた。全てのカーブにおける判定時の平均走行速度は約 55km/h であり、昼間と夜間の差はほとんどなかった。昼間と夜間の速度差は小さかったが、カーブ間において最低 40km/h 強から 60km/h 強の速度となり、カーブ間には速度差が見られた。

(3)カーブ発見遅れ指数

本研究では、国道 453 号線のように直線区間が短くカーブが連続するとき、次の曲折方向に関する認知材料の評価が最大曲折認知距離に依存すると考えられ、以下に示すカーブ発見遅れ指数からカーブの認知度を評価した。

カーブ発見遅れ指数 = (最大曲折方向認知距離 - 発見距離) / 最大曲折方向認知距離
最大曲折方向認知距離: A 地点と B.C. 地点間の距離

カーブ発見遅れ指数が 0 に近づけば近づくほど発見の早いカーブ、1 に近づけば近づくほど発見の遅いカーブとなる。山間部の路線において、対象カーブ直前の直線距離そのものが短く、発見距離の長短が、カーブの曲折方向を示す認知材料の評価指標となっていない。評価対象カーブ直前の直線距離の長短に影響を受けない指標によって、各カーブの曲折方向認知特性を比較検討すべきである。もちろん、最大曲折認知距離が無限大となるような平地での路線においてカーブ発見遅れ指数は、限りなく1に近くなり、評価指標として意味をなさない。また、このような平地での評価は絶対的な発見距離が重要な評価指標となる。図6は、21 箇所のカーブにおける昼間と夜間のカーブ発見遅れ指数(平均値と標準偏差値)を示している。

4. カーブ発見遅れ指数による調査対象カーブの分析

(1)クラスタ分析を用いたカーブ発見遅れ指数とその標準偏差によるカーブの分類

カーブ発見遅れ指数とその標準偏差を説明変数とし 21 箇所のカーブをクラスタ分析から分類した。カーブ発見遅れ指数の大小とその標準偏差の大小の組み合わせから、6つのクラスタに分類できた。図7にデンドログラムを示す。6つのグループを(a)～(f)とし、各々のグループにおけるカーブ発見遅れ指数とその標準偏差の特徴を以下にまとめた。

①グループa:カーブ 9,12,8,15,14,20,18,21
カーブ発見遅れ指数とその標準偏差が昼間と夜間の何れにおいても小さい。最大曲折方向認知地点に近いところでカーブの曲折方向を認知でき、かつ個人的な認知判断の差も小さいカーブといえる。カーブ 14,20,18,21 は、他の4カーブと比べて夜間におけるカーブ発見遅れ指数の標

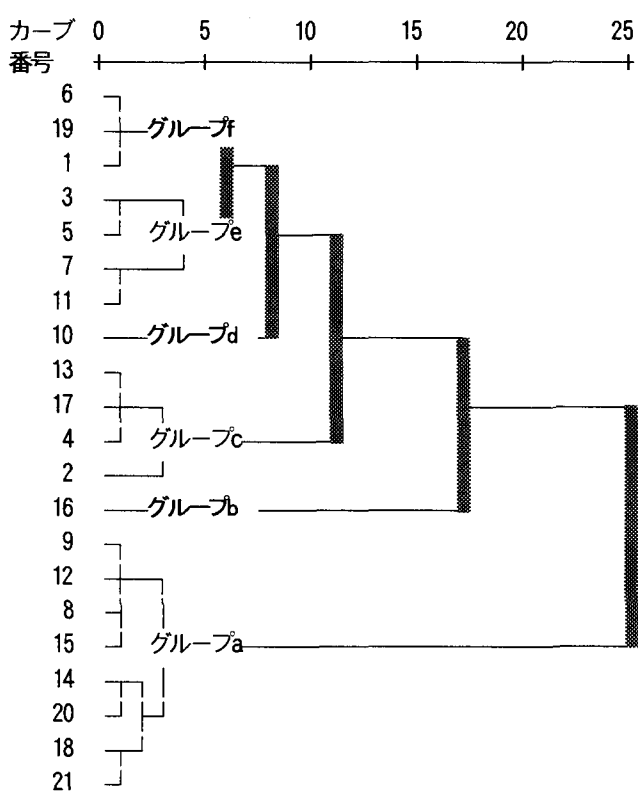


図7 21箇所の調査対象カーブのクラスタ分析による分類

準偏差が若干大きい。
②グループb:カーブ 16
カーブ発見遅れ指数が、昼間と夜間に大きく、その標準偏差の小さいカーブである。カーブ 16 とその直前カーブ間の縦断線形が凸型形状のためカーブ発見遅れ指数が大きくなったと思われる。
③グループc:カーブ 13,17,4,2
夜間のカーブ発見遅れ指数が昼間に比べて大きく、その標準偏差も同様な傾向を示したカーブといえる。昼間はグループ(a)のカーブと同じであるが、夜間はカーブ曲折方向の認知に遅れがあり、個人によって認知地点が異なるカーブである。
④グループd:カーブ 10
夜間のカーブ発見遅れ指数が調査対象の21カーブの中では大きいカーブである。一方、昼間のカーブ発見遅れ指数は小さく両者の標準偏差も小さいカーブである。
⑤グループe:カーブ 3,5,7,11
グループ(d)と同様に夜間のカーブ発見遅れ指数が調査対象の21カーブの中では大きく、その標準偏差も大きいカーブである。昼間は、カーブ発見遅れ指数及びその標準偏差とも小さい。
⑥グループf:カーブ 6,19,1
昼間と夜間のカーブ発見遅れ指数および両者の標準偏差が調査対象の21カーブの中では大きいカーブといえる。カーブの曲折方向の認知が1日を通じて遅れる傾向にあり、しかも認知地点に個人差がある。

表4 昼夜におけるカーブ発見遅れ指数の数量化Ⅰ類による回帰結果

				昼間		夜間	
説明変数		カテゴリー		偏回帰係数	偏相関係数	偏回帰係数	偏相関係数
形状景観	曲折方向 の見通し	容易	A1	-0.048	0.24	0.0217	0.098
		困難	A2	0.036		-0.0624	
	道路前方 の背景	容易	B1	-0.0447	0.32	-0.0826	0.48
		困難	B2	0.0727		0.134	
構造物景観	ガード ロープ	有り	C1	-0.014	0.111	-0.0955	0.556
		無し	C2	0.0154		0.105	
	電柱	有り	D1	0.0858	0.438	0.0473	0.229
		無し	D2	0.0429		-0.0237	
	シェブロン	有り	E1	-0.0491	0.034	-0.111	0.564
		無し	E2	0.00368		-0.0834	
定数				0.159		0.204	
重相関係数				0.703		0.775	

(2)カーブ発見遅れ指数の要因分析

表2に示した形状景観と構造物景観の認知材料がカーブ発見遅れ指数に与える定量的影響度を決定するために数量化Ⅰ類を適用した。目的変数はカーブ発見遅れ指数とし、説明変数は表2の形状景観と構造物景観の有無とした。説明変数として対象カーブの曲線半径と勾配を用いなかった。形状景観は、曲線半径・勾配を組み合わせた景観を説明する変数であり、曲線半径を加えると説明変数間が従属となることが危惧される。また、測定対象カーブ数が21箇所であり説明変数を増やすことはデメリットとなると考えた。

表4は、5種類の説明変数と各々のカテゴリー及び昼間と夜間の偏回帰係数・重相関係数・偏相関係数を示している。偏回帰係数が負であることはカーブ発見遅れ指数を小さくすることになり、カーブの発見が早まることを意味する。昼間と夜間の偏回帰係数を比較すると、曲折方向の見通し・電柱においてカーブの発見に対して逆転することが分かる。偏相関係数はその要因の影響の大きさを説明するものである。昼夜の偏相関係数を比較すると、形状景観は夜間において小さくなり、シェブロンとガードロープが大きくなることから分かる。一方、昼間の重相関係数は0.703、夜間の重相関係数は0.775となり、カーブ発見遅れ指数は、5つの認知材料の有無によって推定しようと言えよう。

昼間において、形状景観がカーブ発見遅れ指数を小さくする要因として大きな役割を担っており、構造物景観の影響は小さいといえた。ただし、電柱の存在はカーブ発見遅れ指数を大きくする要因として働いた。電柱の位置が進行方向に向かって左側にあったり右側にあったりすることによる不統一感から、曲折方向の認知に負の影響を認知に与えたのではないかと。さらに、曲折方向や道路背景の影響が大きく、電柱の影響が実際の認知に与える影響は小さいためモデル内の相対的なバランスとしてカーブ発見遅れ指数を高める因子となった等が考えられる。

一方、夜間は、説明変数の構造物景観(ガードロープ、

シェブロン)がカーブ発見遅れ指数を小さくする要因となっていた。曲折方向の影響は昼間と比べて小さくなったが、道路景観の影響は大きくなっていた。この理由として背景が、ヘッドライトによって映し出されたためと思える。

5. 21箇所のカーブにおける曲折方向認知特性の把握と対策の立案

国道453号線におけるカーブの曲折方向認知の認知材料を知ることとを目的として実験を実施し、6つのグループに分類可能であること、表2に示した5種類の認知材料からカーブ発見遅れ指数を推定できることを示してきた。本章では、4章(1)節で示したグループ別に形状景観(表2)・構造物景観(表2)・幾何線形(表2)・最大曲折方向認知距離(表2)・発見距離(表3)・カーブ発見遅れ指数(図6)から、各々のカーブにおける道路交通施設の役割と必要性について考察する。

①グループa:カーブ8,9,12,14,15,18,20,21

グループaは、認知材料は多いが絶対的な見通し距離が短いカーブのグループとなった。カーブの大きさを運転者に的確に伝え、減速を促す標識標示が必要と言えよう。ただし、カーブ15は、他のカーブと比較して絶対的な発見距離が昼間及び夜間において不足気味と言え、カーブが続くことを手前カーブのさらに前から予告する標識の設置が必要であろう。

②グループb:カーブ16

カーブ16は、対象カーブと手前のカーブの間に凸型線形があり、背景から曲折方向を読み取ることも難しい状況となっていた。曲折方向の認知特性からの対策として、カーブを示す標識・標示を凸型線形の頂上手前に設置が挙げられる。ただし、カーブ16は下り勾配が若干厳しいが平面曲線は緩やかであり、例え認知が遅れたとしても危険度は小さい。視線誘導効果が出ないよう標識設置を工夫し、速度上昇に配慮すべきであろう。

③グループc:カーブ 2,4,13,17

最大曲折方向認知距離は長く、昼間のカーブ発見遅れ指数が大きいグループである。一方、構造物景観の認知材料の不足から、夜間のカーブ発見遅れ指数が大きくなる傾向があった。カーブ2を除いて、夜間における曲折方向判定が運転者によってバラバラにならない施設が望まれる。ただし、カーブ2は幾何線形が厳しく、昼間と夜間の発見距離が短いことから、曲折方向の情報に加えてその大きさを的確に伝えるシェブロンなどの設置が必要と言える。

④グループd:カーブ 10

夜間における曲折方向の認知が調査対象の21カーブの中で最も遅いカーブである。昼間は形状景観から容易に曲折方向を認知できるカーブである。幾何線形は、山間部としては緩やかとなっている。夜間におけるカーブの曲折方向を示す対策を用いると同時に、減速対策の実施が必要と言える。

⑤グループe:カーブ 3,5,7,11

夜間における曲折方向の認知が遅れ気味になると同時に運転者による認知距離にバラツキが見られるカーブである。カーブ 3,7 は、最大曲折方向認知距離が短いのにに対しカーブ 5,11 は最大曲折方向認知距離が比較的長い。カーブ 7,11 は曲線半径が小さく、夜間の曲折方向を示す構造景観の改善と新設が必要である。一方、カーブ 3,5 の線形は余裕があり構造景観の増設の必要性は低いと判断できる。もし、新設する場合にはグループdと同様に減速対策の併設が必要であろう。

⑥グループf:1,6,19

カーブ発見遅れ指数が比較的昼間も夜間も大きく、判断のバラツキも大きいカーブの集合である。形状景観、構造物景観の認知材料が少なく、構造物景観の新設あるいは改良が必要と言える。特にカーブ6は幾何構造が厳しく改善が望まれる。

6. まとめ

道路前方の認知材料がカーブの曲折方向認知に関してどのように影響を与えているのかを調べるため、カーブ発見地点測定実験を行った。本研究では、認知材料を形状景観と構造物景観に分類し、山間部におけるカーブ認知性能を相対的に表す指標として、カーブ発見遅れ指数を提案した。クラスター分析により、これらの指標を用いてカーブ発見遅れ指数及びその標準偏差から類似性の高い6つのグループに21箇所のカーブを分類できた。また、数量化Ⅰ類により、定量的に形状景観及び構造物景観とカーブ発見遅れ指数の関係について示し、両者の強い相関関係から、昼間は形状景観をカーブ発見の主な認知材料にし、夜間は背景と構造物景観を主なカーブ認知の認知材料として取り入れてカーブの方向を認知する傾向があることを示した。最後に、カーブに関する情報を集約し6つのカーブ分類毎に対策の必要性についてカーブの曲

折方向認知から検討を加えた。カーブの大きさを的確に伝える対策が必要と同時に、認知のみの改良は不適切であり、認知改善による速度上昇対策を考慮すべき点を指摘した。

本実験では、「カーブ発見として警戒標識によるカーブ発見を除く」としている。昼間において警戒標識を除くとした指示は測定結果に大きく影響していないものと考えられたが、夜間における影響、特に判定のバラツキに与えた影響はあった。加えて、実験後の感想において設置してある標識を除いて考えることの難しさについて指摘があった。今後、一時的に標識を隠す装置を開発し、発見データの客観性を強化する必要がある。また、本調査で初めてカーブ発見遅れ指数というカーブに関する評価指標を提案した。他の路線においても適用可能であるのか、路外逸脱事故との関係はどうであるのか等について検討し、カーブ発見遅れ指数の意味付けを明確化する必要がある。さらに、被験者による調査を全てのカーブで実施することは不可能である。簡易な調査手法としてビデオ映像から形状景観及び構造物景観を読み取り、曲折方向の認知特性を明確する手法を開発していきたい。

参考文献

- 1) 林華奈子、高木秀貴、傳章則:北海道の国道における交通事故の特徴について、土木学会北海道支部論文報告集第54号(B)、pp.372-377、1998.2。
- 2) 萩原亨、小野寺雄輝、林華奈子、高木秀貴:カーブ区間走行時の運転者の注視点分布に関する研究、(社)自動車技術会・学術講演会前刷集、No.106-98、pp.21-24、1998.10。

本研究では、カーブの曲折方向認知材料である道路景観と交通施設が運転者の曲折方向認知度に与える影響について検討した。調査は、札幌市と支笏湖を結ぶ国道 453 号線の洞爺支笏国立公園内を通過する 11km 区間にて実施した。運転者は道路前方の景観と交通施設から次のカーブの方向を認知している。道路前方の景観として 2 つの基準を設け、その内容を主観的に著者らが判定した。基準として、次のカーブを直接見通せるかどうか、背景によって次のカーブの方向が分かるかどうかを考えた。交通施設の内容と配置は、施設管理台帳と現場調査から求めた。23 名の被験者が、実験に参加した。各々の運転者は、カーブの曲折方向が分かったら可能な限り早くハンドルに付いているボタンを押すよう指示された。最大曲折方向認知地点は、実験者によって測定された。カーブ発見遅れ指数は、最大曲折方向認知距離から発見距離を差し引いた距離を最大曲折方向認知距離にて除した値と定義し、カーブ間の曲折方向認知度の比較に用いた。21 箇所のカーブで測定した発見遅れ指数は、クラスタ分析と数量化 I 類によって分析した。説明変数をカーブ発見遅れ指数とその標準偏差としたクラスタ分析によって、6 つの種類にカーブは分類された。数量化 I 類から、運転者は認知材料として昼間は景観を夜間は交通施設を主に用いていることが明らかとなった。以上から、実験方法の問題から特に夜間・発見距離の被験者間のバラツキが大きくなったことに配慮すべき結果となったが、カーブの曲折方向認知を考えたとき、道路景観と交通施設とを組み合わせるべきことを見出した。

Cognitive Characteristic of Driver's Curve Detection in terms of Road Scene Factors

By K. Suzuki, T. Hagiwara, S. Kagaya and H. Onuma

In this study, the effects of road scenes and traffic control devices on a driver's curve detection performance were investigated. The field experiments were conducted on an 11-km section of highway running through Shikotsu-Toya National Park in Hokkaido. The driver obtains directional information from the road scene ahead and from traffic control devices on the corner of the target curve. The characteristics of the road scene were determined subjectively. The configurations of traffic control devices at 21 curves were obtained from the road maintenance database and measured at site for each curve. Twenty-three subjects participated in the experiment. Each of the subjects drove an instrumented vehicle and pressed a button as soon as she/he recognized the direction of the target curve. The detection distance of each curve was measured. The maximum detection distance (MDD) of each target curve was determined by the experimenter. A curve detection index (CDI), defined as (MDD - detection distance) divided by MDD, was employed in order to compare detection performance for each of 21 curves. The characteristics of detection performance for all of the 21 curves were determined by the cluster analysis and multiple regression analysis. The 21 curves were classified into 4 groups according to the results of cluster analysis. The results of multiple regression analysis revealed that the subject's driving in the daytime obtained directional information about the curve from the road scene, while their driving at night obtained directional information from traffic control devices such as guardrails, utility poles and chevron signs. The results of this study indicate that viewing cues should be considered when traffic control devices set up at the side of curve, and appropriate traffic control devices should be selected to enable safe detection of a curve. It should be noted, however, that further investigations in terms of cues and CDI are required for various curves and conditions.
