

IV-15

冬期道路の安全走行支援システムに関する研究(第3報)  
 -各種障害検知センサーの性能とその活用-

北海道開発局 開発土木研究所 ○正員 千葉 隆広  
 同上 正員 加治屋彦彦  
 同上 正員 福澤 義文

まえがき

積雪寒冷地における冬期道路交通は、雪氷路面によるスリップや吹雪による視程障害が原因となる多重衝突事故発生の可能性があり、これらの事故を未然に防ぐための、走行支援システムの早期開発が期待されている。このような背景から、開発土木研究所では寒地型ITSの一環として、冬期道路における突発事象を自動検知するセンサーの研究開発を、1995年から公募型の官民共同研究で行っており、先進のセンサー技術と情報通信技術による冬期道路の安全走行支援システムの実現を目指している。

本報では、これらの研究で実施した性能試験結果について報告し、各種障害検知センサーの性能と活用方法について述べる。

1. 各種センサーの特徴

障害検知センサーは、主にマイクロ波、ミリ波、光波を利用したものに分類される(表-1)。一番周波数が低く(300MHz~30GHz)波長が長いマイクロ波は、無線電話などに使われる電磁波である。特徴として、夜間や霧、雪など外的要因の影響を受けにくく、探知距離も長い利点があるが、分解能が悪く、また装置そのものが大規模になってしまう短所がある。その点、30GHzから300GHz帯の電磁波であるミリ波は、マイクロ波に比べて波長が短いため装置の小型化・軽量化が可能であり、高分解能・高精度なセンシングが可能である。その上、雪や霧による減衰が光波に比べて小さい。ただ、現状と

表-1 各種センサーの比較表

項目	マイクロ波	ミリ波	光波			補足説明
			赤外線	レーザー	可視	
分解能	×	△	◎	○	◎	短波長が良好。
画像処理	×	○	◎	△	◎	ミリ波イメージャ、赤外線、可視カメラ
夜間	◎	◎	◎	◎	×	可視センサは光が必要。
霧、雪	◎	○	△	△	△	マイクロ波、ミリ波は影響を受けにくい。
探知距離	◎	○	○	○	○	
指向性	○	◎	◎	◎	◎	短波長が良好。
サイズ	△	◎	○	○	◎	マイクロ波は装置大。赤外線は冷却器必要。
コスト	○	△(◎)	◎	◎	◎	現状ミリ波は部品が高価。将来は低価格の可能性あり。

注1: ◎非常に優れる ○優れる △やや劣る ×劣る 2: ( )内は将来の可能性を示す。

Research on Advanced Drive Assistant Systems to Prevent Traffic Accidents on Winter Highways.(No.3) -The Performance of the Difficulty Detection Sensor and that use- by Takahiro CHIBA, Yasuhiko KAJIYA, Yoshifumi FUKUZAWA

しては、ミリ波の部品が高価でありコスト高の問題があるが、部品の多量生産が進めば今後、低廉化が期待できる。一方、光波と呼ばれる領域は、赤外線、レーザ、可視に分類される。可視の帯域は、監視カメラを利用した画像処理が可能であるが、光が必要不可欠なだけに、通常夜間は性能が劣る。また、霧、雪など気象条件に左右されやすい。光波の中で、最も波長が長い赤外線は夜間に強い上に画像処理が可能といった特徴がある。

## 2. 可視カメラを利用した突発事象検出

開発土木研究所では1995年から公募型共同研究として民間企業4社と、可視(I TV)カメラに画像処理機能を付加し、マルチセンサー化を図る研究開発を進めている。以下に、実際の供用道路上で行った可視カメラ・センサーの性能試験結果について述べる。

### 2.1 画像処理アルゴリズム

今回の性能試験に使用した画像処理アルゴリズムは、主に突発事象を自動検知するための「物体検出手法」と、検知した物体の状況を自動的に判断するための「判定手法」の2ステップから成る(図-2)。

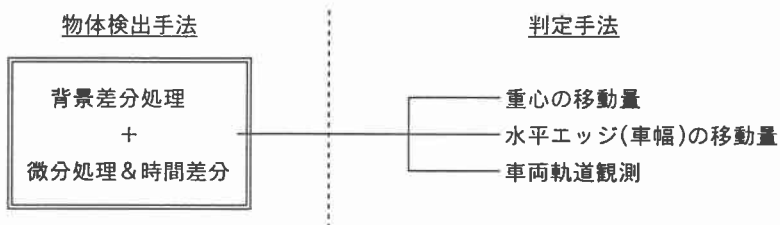


図-2 画像処理アルゴリズムの概要

第一処理としての「物体検出手法」は、通常、背景差分法を基本としている。背景差分法とは、マスターとなる車両が映っていない背景画像と入力画像を差分演算して輝度変化部分(車両部分)のみを抽出する画像処理である。この時、背景画像は複数画像の加算平均化処理を行うことで車両の写り込みを消去している。更に検出精度をより高めるための処理として、輪郭抽出によりエッジを強調させる微分処理や、フレーム間の差分を行う時間差分処理などを順次組み合わせて、物体の自動検出を行う。

また、第二処理の「判定手法」としては、以下の異なる3方式を用いた(図-2)。1)抽出画像を2値化処理して重心の座標を求め、その重心の座標履歴が一定時間不動の場合に停止車両として判定を行う手法、2)抽出画像を微分処理して水平エッジ成分(車幅)を抽出し、その水平エッジ移動量で停止車両を判定する手法、3)車両の軌道変化

そのものを観測して停止車両の判定を行う手法。このうち、車両の軌道そのものを観測する手法は、DTT(Directional-Temporal Plane Transform)方式と呼び、時間の流れに沿って移された道路の時空間立体を走行方向と時間方向とに並行な平面で眺めて、車両の”軌道”そのものを直接観測するものである。これにより処理された画像は、車両の軌道が帯として表され、帯の傾

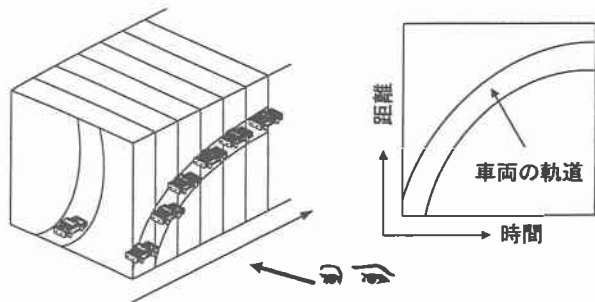


図-3 DTT方式

きから速度を算出できる。本試験では、この帯の傾きにより停止車両の判定を行った(図-3)。

## 2.2 供用道路におけるフィールド試験

### (1) 試験概要

本試験は、供用道路における画像処理システムの性能試験を目的として、共同研究4社と合同で1998年2月に一般国道230号中山峠において行った。使用したフィールドは、札幌市中心部から南方約4.5km離れた標高836mに位置し、冬期気象条件の厳しい北海道主要峠の一つである。今回は中山峠頂上付近に設置してある道路管理用のITVカメラの映像を分配し、ビデオデッキにより画像データの収録を行った。このITVカメラの視野内に、「道の駅」へ出入りするための取り付け道路があり、そこから本線へ右折合流するために一時停止する一般車両を突発事象(停止車両)と見なし解析を行うものである。なお、解析はオフラインで行い、予め4社共同で目視による発生事象のタイムチャートを作成し、そのタイムチャートによる目視事象と画像処理結果との突き合わせによる精度検証を実施した。

### (2) 試験結果

試験結果をまとめたのが表-2である。各3方式のアルゴリズム検証結果の平均値を一覧に示している。今回の実験では供用道路上での停止車両が突発事象のターゲットである。検証の際は走行車両が5秒間以上完全停止した事象を「停止車両」と定義付けした。

全体では停止車両事象が計139件あり、その内正検知したのは113.3件で全体の81.5%であった。特に正検知率の成績が良かったのは、降雪時を含む午前の2ケースである。晴天時が89.7%、降雪時が90.0%と約9割が正検知した。中でも降雪時の正検知率が最も高い結果となった。本ケースの降雪時の視程状況は、反射型視程計による10分平均視程値で約300~600mであった。今回の実験期間中においては比較的天候が穏やかで、吹雪などの悪条件でのデータ収録ができなかったものの、視程値が500m程度の小規模な降雪状況では、停止車両検出の画像処理にほとんど影響を及ぼさないことがこの結果から明らかになった。

一方、他ケースに比べて正検知率が低迷したのが午後(73.6%)と薄暮(81.5%)であった。未検知の要因のほとんどがコントラスト不足で、背景と車両がほぼ同輝度になってしまい車両を抽出処理できないためである。これは本実験で使用したITVカメラの視野が西方面を向いていたことが災いしたのと、今回の午後のケースが晴天時であったため逆光(西日)の影響を受けてコントラスト不足の頻度が多く発生したと思われる。特に今回のケースでは背景となる路面が乾燥状態だったため、ボディ一色が黒色系の車両を認識できなかった場合が多かった。また、逆光(西日)のハレーションによる輝度変化が停止車両と誤検知する現象もあった。こういった逆光(西日)の影響による現象は、カメラ

表-2 突発事象検出実験の結果

収録日時	天候	路面状況	停止事象数	正検知数 (3方式平均)	正検知率 (3方式平均)
1998/2/20 9:00~11:00(午前)	晴れ	乾燥	13	11.7	89.7%
1998/2/21 12:00~14:00(午後)	晴れ	乾燥	24	17.7	73.6%
1998/2/22 16:30~18:30(薄暮)	晴れ	乾燥	92	75.0	81.5%
1998/2/23 9:00~11:00(午前)	降雪	湿潤	10	9.0	90.0%
合計			139	113.3	81.5%

ハウジングに日除けのバイザーを装着したり、高性能なオートアイリス(逆光補正)機能付 I T Vカメラや、ダイナミックレンジの広い I T Vカメラを使用することである程度低減できると思われる。

### 3. ミリ波レーダと可視・赤外線カメラとの複合化

#### 3.1 ミリ波レーダの特徴とその活用に関するこれまでの取り組み

冒頭で述べたように、ミリ波レーダは光波とマイクロ波の中間の性質を持っており、以下の特徴を有する。

- (1) ミリ波はマイクロ波に比べて波長が短いため、装置の小型・軽量化が可能であり、高分解能・高精度なセンシングシステムの実現が可能。
- (2) ミリ波はマイクロ波に比べて大気や雨による減衰が大きいが、逆に同一周波数を用いても混信することが少ない。
- (3) ミリ波は雪や霧による減衰が光波に比べて小さい。

(1)および(2)の特徴から、ミリ波はマイクロ波と比べて比較的至近距離での高分解能・高精度センサーに適している。また、(3)の特徴から、降雪・霧等の視界不良下でのセンサーに適している。ミリ波のこのような特徴から、最近では車載型のミリ波レーダの研究開発が急速に進み、悪天候時や夜間時の視界が悪い状況下における衝突警報装置としての活用が注目されている。当研究所においても1993年から道路インフラ側にミリ波レーダを活用することで、視程障害時の追突事故防止装置を研究開発している。加治屋・福沢らの研究報告によると、ミリ波(59.5GHz、70mW)のFM-CWレーダを用いた95/96冬期におけるフィールド試験では、軽乗用車、小型車、R V車、バスの4車種とも、視程約20mの激しい吹雪の中でも約100m離れた地点から検知することができたとしている。

#### 3.2 ミリ波レーダと可視・赤外線カメラとの複合化に向けた取り組み

当研究所では1996年から公募型共同研究として民間企業8社と、冬期道路の安全走行支援システムの研究を実施しており、この中でミリ波レーダの研究開発を進めている。これらの研究で、ミリ波レーダ単体の車両検知性能はおおむね200~250mまで拡大しつつあるが、以下にミリ波レーダに可視・赤外線カメラを組み合わせて複合センサー化することに取り組んでいる社の事例を紹介する。

##### (1) ミリ波レーダの性能試験

ミリ波レーダの性能試験は、当研究所の実験施設である石狩吹雪実験場で行った。ここは、札幌市中心部から北方17kmの石狩市の、冬期間強い北西の風を受ける吹雪頻発地域に位置している。本試験に用いたミリ波レーダは、周波数59.5GHz、送信電力10mW以下のFM/CW方式で、実験場内の試験道路に設置されている門型情報板の手すりにアンテナ送受信部を据え付けた。設置高さは約6.3mである。試験方法としては、視程良好時と視程障害時の検知距離性能の評価を比較するため、乗用車をミリ波レーダ設置位置から20Km/hの速度で離反させて直線走行し、検知距離の限界を調べた。

試験の結果は図-4に示す通りであり、視程良好

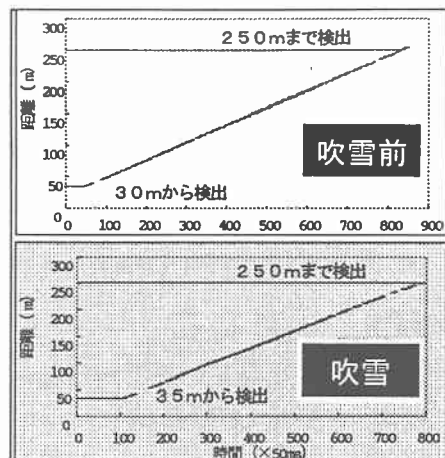


図-4 ミリ波レーダの最大検知性能

時で約30m～約250mの範囲で検知が可能であった。道路インフラ用としては、センサーの設置数を少なくするために、検知可能距離をできるだけ長くする必要がある。今回、約250mまで検知できたことは評価できる結果である。一方、視程値が約40m～約60mの吹雪時の場合の検知可能距離は、若干、未検知部分があるものの、検知可能距離が約35m～約250mで視程良好時のとほとんど同じであり、ミリ波レーダが吹雪に影響されることが少ないことが検証できた。

## (2) センサーの複合化と検証結果

複合センサーの開発は、各種センサーの長所・短所をそれぞれ補うことで、各種事象の検出及び識別をより確実にを行うことを目指すものである。現在開発しているのは、吹雪等の悪天候下における検知が可能なミリ波レーダと、障害物や突発事象の識別が可能な可視カメラ及び夜間や動物等の監視が可能な赤外線カメラを組み合わせた複合センサーである。安定した画像収集が可能な赤外線カメラを主体に構成することにより、昼夜間を問わず、全天候下において確実な検出を行うことを目指している(図-5)。

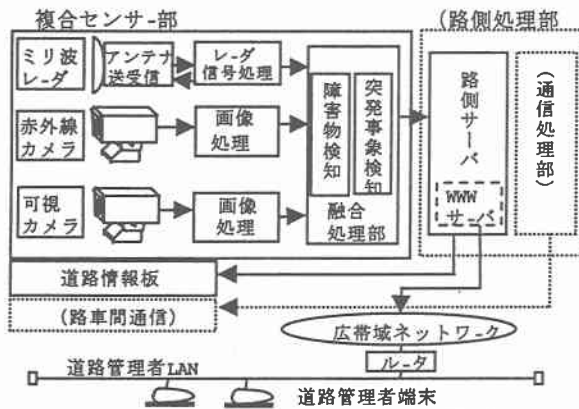


図-5 複合センサーシステムの構成概念図

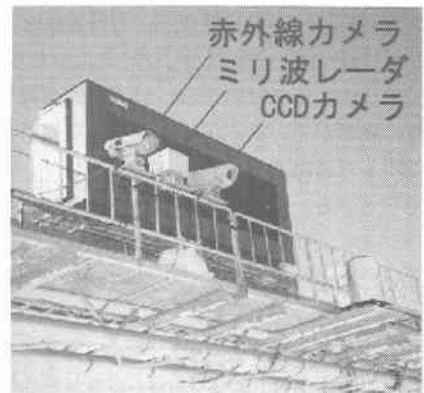


写真-1 設置状況(石狩吹雪実験場)



図-6 可視カメラ画像と赤外線カメラ画像の比較

97/98冬期に複合センサーの基本検討を行うために、石狩吹雪実験場において、各センサーを同一場所に設置して、車両、路上落下物、歩行者などの検出に関するデータの取得を行った(写真-1)。検証の結果、ミリ波レーダ(59.5GHz、10mW以下、FM-CW方式)は、昼夜間問わず、降雪や路面状況に影響されずに距離250m程度までの車両の走行、停止状態を検出できた。しかし、歩行者や落下物(ダンボ

ール)の検知距離は短くなった。また、図-6は、可視カメラ画像と赤外線カメラ画像を比較したものであるが、赤外線カメラが吹雪時や夜間時(照明無)の環境下でも車両を検出しており、更に、歩行者や落下物(ダンボール)も捕らえているのが分かる。可視カメラは、吹雪時、夜間や路面状況の変化時の検知距離が短く、特に、夜間においては車両のライトのハレーションを生じたり、路面の積雪や凍結により反射の影響などを受けてしまう結果となった。

#### 4. まとめ

今回試験を行った範囲で、各種障害検知センサーの性能について述べると以下ようになる。

- (1) 可視カメラによる停止車両検出において、視程値が500m程度の小規模な降雪状況では、画像処理にほとんど影響を及ぼさない。
- (2) 可視カメラによる未検知の要因のほとんどがコントラスト不足であり、特に逆光の影響を受けやすい時間帯に未検知が起きやすい。
- (3) 吹雪時(視程値が約40m～約60m)のミリ波レーダの車両検知可能距離は、約35m～約250mで視程良好時とほとんど同じであり、吹雪に影響されることは少ない。
- (4) ミリ波レーダは、昼夜間を問わず降雪や路面状況に影響されずに250m程度まで安定した車両の検知ができたが、歩行者や路上落下物(段ボール)の検知の検知距離は短くなった。
- (5) 赤外線カメラは、吹雪時及び夜間時(照明無)の車両や、歩行者、路上落下物などを安定して検出できた。また、形状を画像で確認できることが特徴的であった。

各種センサーにはそれぞれ特徴があり、障害検知の用途に見合ったセンサーを使い分けることで、より適切な障害検知を行うことができる。単純な車両の検知においては、降雪や霧などの気象条件に左右されないミリ波センサーが有効であり、また、車両や歩行者(動物)、路上落下物などの識別を要する検出には可視・赤外線カメラが有効である。特に、赤外線カメラは、夜間時や路面状況変化時などの環境下でも、車両や歩行者(動物)、落下物などを安定して検出できる。更に、検知の対象とする事象が広範で、求める精度も高い場合には各種センサーの複合化が必要となる。

あとがき

今回の報告では、主に可視カメラを利用した突発事象検出試験結果と、ミリ波レーダと可視・赤外線カメラとの複合化の試験結果について述べたが、今後さらに複合処理の自動化について取り組んでいく予定である。

なお、可視カメラのフィールド試験については、公募型共同研究「インテリジェントITVカメラの開発に関する研究」において行ったものであり、本報告の執筆にあたってオムロン(株)、松下電器産業(株)、日立電子(株)、三菱電機(株)の関係各位にご協力をいただいた。また、ミリ波レーダと可視・赤外線カメラの複合化の取り組みについては、公募型共同研究「冬期道路の安全走行支援システムの開発に関する研究」において行ったものであり、三菱電機(株)の関係各位の協力をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

-----  
<参考文献>

北海道開発局開発土木研究所 第1回寒地ITSワークショップ研究発表資料, 平成10年7月。

北海道開発局開発土木研究所 第2回寒地ITSワークショップ研究発表資料, 平成9年3月。

加治屋安彦, 福澤義文, 石本敬志, 石丸元: ミリ波を活用した冬期道路の安全走行支援システムの開発-インテリジェント・デリニエータ・システムのフィールド試験結果-, 土木計画学研究講演集19

(1) p475-478, 平成8年11月。