

視程障害移動観測車の観測システムの概要と改良

國分徹哉・金子学・武知洋太

積雪寒冷地の冬期道路は、吹雪による視程障害や滑りやすい雪氷路面のため、非常に厳しい運転環境にある。効果的な吹雪対策施設の整備には、ドライバーから見て刻々と変化する路線上の気象状況を、評価することが重要となる。しかし、路線上の気象状況を同時に把握するには多数の観測機器や人員が必要となるため、従来は実施が困難であった。

そこで、寒地土木研究所では、走行中に道路気象状況の観測が可能な視程障害移動観測車を開発し、吹雪に関する調査・研究を行ってきた。視程障害移動観測車は、道路気象のほか、ドライバーの運転挙動の観測も同時に実施できるユニークなものとなっている。本観測車は、開発から長い年月を経たため、故障の際の代替部品の入手が困難となる恐れがあり、観測システムの改修を行った。改修の際に、可能な限り汎用品を用いることにより、低コストと利便性の向上を実現した。

キーワード：吹雪、視程障害、移動観測、観測システム、運転挙動

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路は、吹雪による視程障害や滑りやすい雪氷路面のため、非常に厳しい運転環境にある。このため、防雪林や防雪柵等、各種の吹雪対策施設の整備が進められてきているが、効果的な吹雪対策の実施には、ドライバーから見て刻々と変化する路線上の気象状況を、正しく評価することが重要となる。しかし、路線上の気象状況を同時に把握するには多数の観測機器や人員が必要となるため、従来は実施が困難であった。そこで、寒地土木研究所では、走行中に道路気象状況の観測が可能な視程障害移動観測車(RV車型)を開発し、平成六年度から路線上の気象変化や、吹雪危険度評価に関する調査・研究に活用してきている。

近年、急激に発達した低気圧により、従来は吹雪の発生が少なかった地域でも暴風雪に伴う視程障害が発生するようになったため、平成十七年度に観測車(ミニバン型、写真-1)を一台追加導入した。

寒地土木研究所が所有する2台の観測車は、視程計や風向風速計、温度計等による気象観測のほか、ハンドル操舵角やアクセル踏量、ブレーキ踏力等の運転挙動の観測も可能となっており、視程障害がドライバーの運転操作に与える影響についても評価することができる。RV型の車両は大型で運転席位置が高いことから、一般的な乗用車の運転挙動と異なることが懸念さ



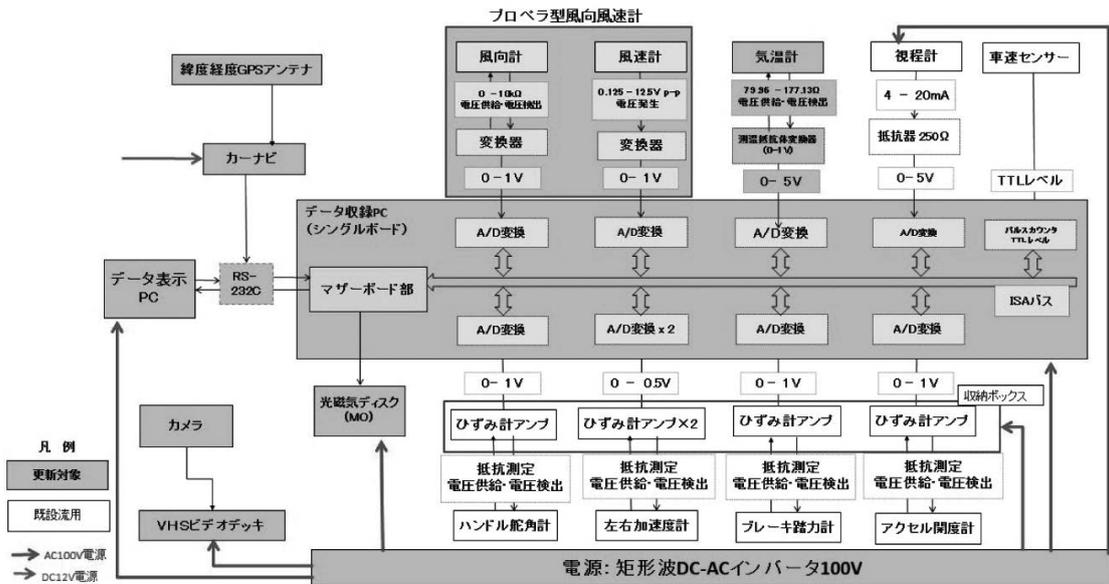
写真-1 視程障害移動観測車

れるため、平成十七年度に追加導入した観測車は乗用車に近い大きさのミニバン型とした。

これらの観測車の観測システムは、平成六年度に開発した機器構成となっており、開発から長い年月を経たため、故障の際の代替部品の入手が困難となる恐れがあった。このため平成二十四年度にミニバン型の観測車の観測システムの改修を行うこととした。本稿では、視程障害移動観測車の観測システムの概要と改修の経緯、精度確認の結果等について紹介する。

2. 観測システムの概要(導入当初)

視程障害移動観測車の観測システム(ミニバン型、導入当初)の構成を図-1に、設置状況を写真-2



図一 1 視程障害移動観測システム構成図 (改良前)



に示す。観測システムは、各種のセンサー、観測データの演算・制御を行うデータ収録PC、演算結果をグラフ化表示するデータ表示PC、機器に商用電源に相当するAC100Vを供給するインバーターにより構成されている。

主な観測項目は、道路気象等（視程、風向風速、気温、映像（ビデオカメラ）、緯度経度（GPSセンサー））に加えて、運転挙動（車両加速度（水平2軸）、アクセル踏量、ブレーキ踏力、ハンドル操舵角、視線挙動（アイマークカメラ））となっており、道路気象の変化

に応じた運転挙動を観測可能なことが寒地土木研究所所有の移動観測車の特徴的な機能となっている。さらに、アイマークカメラを用いることで、視界不良がドライバーの視線挙動に及ぼす影響の観測も可能である。

本観測システムは、一般道路の走行中を想定し、60 km/hで走行した際に取付道路等周辺の防雪柵の切れ目における視程変動についても観測できるよう、0.1秒と短いデータ収録周期に設定可能としている。これに関連して、一般的な気象観測施設では視程計の時定

数は1分程度であるが、本観測システムでは、時定数を1秒以内に設定できる車両搭載用に開発した前方散乱型視程計を採用し、走行中の視程変動をきめ細かく観測できるものとなっている。風向風速計には、一般的な気象観測用プロベラ式風向風速計を採用し、走行中の車体の影響による風速変動の影響を受けないよう、車体上面から1.3m高い位置に設置している。GPSと車速パルスを用いて車両の進行方向と速度を演算し、観測された風向風速をベクトル分解して、走行地点の真の風向風速を算出する。

ハンドル操舵角(写真—2e)とアクセル踏量の観測には、汎用のワイヤー式(ポテンションメーター)変位計を用いている。ハンドル操舵角に関しては、専用のセンサーが市販されているが、車検に対応しておらず公道を走行することができないため、ステアリングシャフトに巻き付けたセンサーワイヤーの伸縮により測定することとした。アクセル踏量は、アクセルペダルのアームに取り付けたセンサーワイヤーの伸縮により、また、ブレーキ踏力は、ブレーキペダル表面に薄型のロードセルを取り付けてそれぞれ測定する。

開発当時(平成六年度)の一般的なパソコンでは、データ収録に十分な処理能力が無かったことから、OSがMS-DOSのシングルボードPCを用い、プログラムをICチップに書き込むこと等により、所要の耐久性や処理速度の確保を図っている。

3. システム改修に向けた課題

2台の移動観測車の観測システムは、いずれも平成六年度当時の機器により構成されており、長期間の使用により故障頻度が増加しつつあったことから、システムの改修検討を行った。研究に支障が出ないように、改修の実施は1年度に1台ずつ行うこととし、故障が多く発生していたミニバン型の移動観測車から行うこととした。

観測システムの改修に向けて、運用上の課題を以下に示す。

- ①データ収録に、専用プログラムを組み込んだMS-DOS対応のボードPCを用いており、故障の際の修理や交換ができない。
- ②データ収録PCは、モニタの接続ができない仕様となっており、不具合の発見が難しく、また、不具合箇所(データ収集PCかデータ表示PCのどちらか)の特定が困難である。また観測データの保存にMOディスクを用いており、MOディスク自体が入手が困難となりつつある。

- ③データ収録PCの時刻の確認・補正ができないため、観測開始・終了時に正確な時刻を調べ、記録されたデータの時刻を補正する必要があり、解析作業が複雑となっていた。
- ④吹雪状況を撮影するビデオカメラと観測システムが、それぞれ独立していたため、時刻の同期をとることができず、観測データと道路画像の照合に時間を要する。
- ⑤データの保存がバイナリ形式で行われるため、データの閲覧に専用ソフトが必要となる。
- ⑥映像の保存がVHSテープであり、テープの入手が困難となっている。
- ⑦視程計は、ドライバーの前方視界を妨げないように地上高75cmの位置に取り付けられており、吹雪の状況により、ドライバーの視線位置の視程と大きく異なる恐れがある。

4. 観測システムの構築の条件

これまでに述べてきたように、本観測システムには多くの課題があり、また、老朽化が著しいことから、部分的な改修では不十分と考え、新たに観測システムを構築することとした。システム構築にあたっては、観測上必要な条件のほかに、操作性やデータの取り扱いを考慮して、以下の要求を満たすこととした。

- ①可能な限り汎用品を使用し、特注部品やソフトウェアに依存しないこと
- ②視程の演算に必要な対数・指数演算が可能であること
- ③走行中の振動に耐えること
- ④観測データと映像の時刻の同期がとれること
- ⑤改良前と同等以上の観測が可能であること
- ⑥観測に支障のない範囲で従来の機器を活用すること
- ⑦GPSデータの取込が可能なこと
- ⑧従来と同じ周期0.1秒でデータ取得できること
- ⑨計測データ及び撮影映像をリアルタイムで確認できること
- ⑩観測データと画像データが汎用的なファイル形式で保存できること
- ⑪観測と画像の収録開始・停止を一度の操作で同時に可能なこと
- ⑫映像を保存するメディアが、現在一般的に使用されているものであること
- ⑬視程計の高さは、ドライバーの視線に近い位置であること

5. 新しい移動観測システムの構築

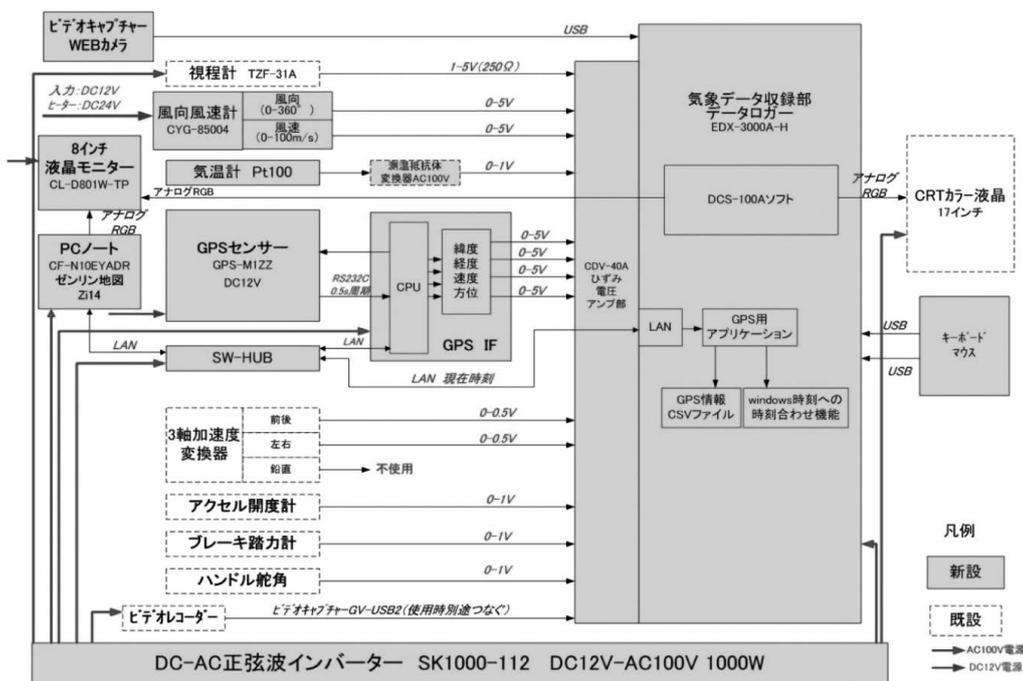
上記の要求に基づき、システム改修の検討を行った。改良後のシステム構成を図一2に、設置状況を写真一3に示す。

(1) データ収録装置の選定

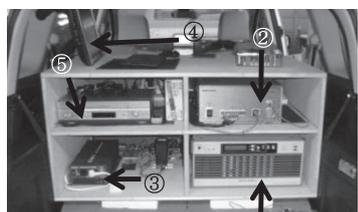
市販の気象観測用のデータ計測装置(ロガー)には、前項の要求をすべて満たすものは見つからなかったが、岩盤ひずみ計測や自動車の特性試験に用いられる高速ロガーに要求を満たすものがあり、これを採用することとした。このロガーは0.1秒周期でCSV形式のデータが収録でき、また、吹雪の視程値演算の対数

演算及び指数演算が可能(気象観測用ロガーでは不可能)となっている。また、自動車への搭載を想定した機器であるため、振動に強く雪道の移動観測に適していると考えられた。

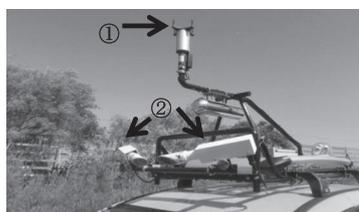
運転挙動の観測にはひずみゲージ式のセンサーが用いられており、従来は動ひずみアンプが必要であったが、選定したロガーにひずみ計用アンプが含まれていたことから、センサーとロガーを直接接続するシンプルな構成とすることができた。また、本ロガーはOSにWindowsを採用しており通常のパソコンと同様に違和感なく操作できるほか、電圧入力に加えて、LAN、USBインターフェースを備えており、今後の拡張にも十分対応可能なものとなっている。本ロガー



図一2 視程障害移動観測システム構成図(改良後)



a) 車内機器設置状況(後部)
①気象データ収録部、②GPSインターフェース、③DC-ACインバーター、④メインモニター、⑤ビデオデッキ



b) 超音波風向風速計及び視程計設置状況
①超音波風速計、②移設した車載型視程計



c) 車内機器設置状況(後部)
表示用モニター及び、ワイヤレスキーボード



d) 観測データ表示状況

写真一3 観測機器設置状況(改良後)

では、データ収録用のハードディスクに、映像データと観測データを同時に収録可能な仕様であるため、従来は困難であった観測データと映像の同期を自動的にとることができ、解析作業が容易となった。

(2) 風向風速計の変更

既設のプロベラ型風向風速計の場合、応答速度が1秒となっており、時速60kmで走行中に観測をした場合には毎秒17m進むこととなるため、局地的な地形の変化や防雪施設端部等の風の変化を十分に捕らえない恐れがあった。このため、新しい観測システムでは、応答速度の速い超音波式（応答速度0.25秒）に変更した。これに伴い、許容誤差も0.5m/sから0.1m/sに向上した。

(3) 気温計の変更

従来の温度計は感部の外径が6mmと大きく、気温変化への応答に数秒かかると考えられる。応答速度の向上を図るため、感部外形の小さい（1mm）ものと交換した。

(4) 視程計の移設

視程については、ドライバーの視線に近い高さで計測することが重要であるが、自動車の走行に伴う気流の変化や運転上の視界の確保、関係法令への準拠を考慮した位置決定が必要となる。従来の設置位置は、ボンネットフード前方で、ドライバーの視線高さより低かったため、より視線位置に近いルーフ前方に変更した。視程計は赤外線により雪粒子の反射強度を計測するものであるため、自動車のフロントガラスによる光線の反射の影響を受けないように位置を調整した。

(5) インバーターの変更

システムの構成機器の多くは、AC100Vの電源を必要とするため、観測車にはDC-ACインバーターを搭載している。従来のインバーターは、交流電源の波形が矩形波でありノイズ発生の原因となる恐れがあったため、一般商用電力に近い波形を発生させる正弦波インバーターに変更した。

(6) GPSセンサーの変更

従来、GPSセンサーには、業務用カーナビゲーションシステムを用いており、インターフェースはRS-232C、時定数は1秒、最大8個の衛星から緯度経度を割り出すものとなっていた。GPS装置は、観測場所の特定や、風向風速の演算のために、高い精度が要

求される。従来のセンサーの精度は、およそ10m以内と高いものの、ジャイロセンサーが無いことから、市街地や山間部、トンネル内等では位置が特定できないため、風向風速の計算で誤差を生じる恐れがあった。

今回選定したGPSセンサーは、ジャイロセンサーを内蔵しており、時定数が最小0.25秒と短く、また、GPSの時刻データによりロガーの時刻を自動補正することも可能となった。従来は、距離の計測に車速センサーを用いていたが、GPSセンサーの精度向上に伴い、車速センサーなしで精度の高い計測が可能となった。

(7) 操作性・視認性の改良

ロガーの操作に用いるキーボード及びマウスにはワイヤレス式を採用した。従来はパソコンやビデオカメラの設置位置で各々の操作が必要であったが、これにより、車内の任意の位置で計測開始・停止操作が可能となり、取り扱いが容易となった（写真—3c）。また、一台のロガーにデータとビデオカメラ映像を収録できるため、リアルタイムの観測データと映像との同時表示により、データの異常等についても早期に発見できるようになった。このほか、観測データの数値表示とグラフ表示を、観測中に容易に変更可能となり、データ確認の利便性が向上した。

6. 観測システムの精度確認

今回行った観測システム改修では、ロガーの交換や視程計の設置位置変更、風向風速計の変更等、大がかりな変更を行ったため、観測値の精度について確認することが必要となった。精度確認は、石狩吹雪実験場内の試験道路の中央分離帯に設置された高さ1.5mの透過型視程計付近に移動観測車を停車させ、吹雪時における両観測器の視程の観測値を比較することにより行った（写真—4、図—3）。

（図—3a）は視程悪化時、（図—3b）は視程がやや



写真—4 視程計の比較計測状況

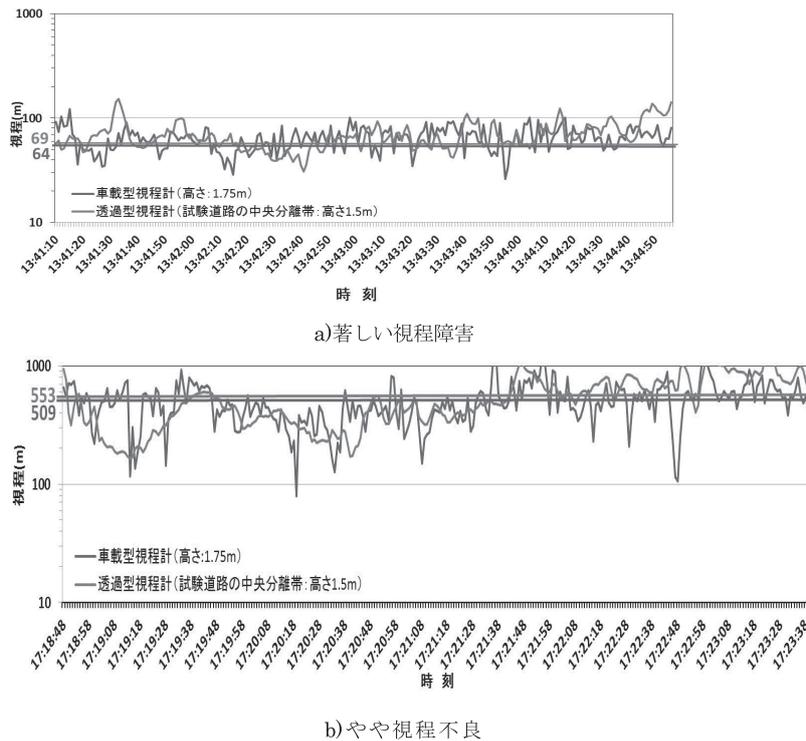


図-3 視程計移設後の比較観測グラフ (平成 24 年 4 月 4 日)

良好な時の観測結果である。(図-3a)の4分間の平均視程は、69 m (透過型)、63 m (車載型)、(図-3b)では5分間の平均視程が553 m (透過型)、509 m (車載型)となった。ここで、透過型視程計の計測値 (V_0) に対する移動観測車の視程計計測値 (V_i) の相対誤差は次の式により求められる。

$$\text{相対誤差} = \frac{|\log(V_0) - \log(V_i)|}{\log(V_0)} \times 100 [\%]$$

相対誤差は(図-3a)では1.7%、(図-3b)では1.3%と求められ、視程の観測値の誤差が小さい事が確認された。また、車載型視程計の方が、中央分離帯に設置した透過型視程計に比べて、サンプリング周期が短いため応答が早いことが確認できた。これらのことから、観測システム改修による、精度への影響が無いことが確認できた。

7. おわりに

視程障害移動観測車の観測システムについて、観測実施やデータ解析の作業の効率化や、観測精度の向上に配慮して、老朽化した機器の更新を行った。機器の選定にあたっては、従来の観測システムで用いていた専用の機器やソフトウェアを可能な限り汎用品に置き換えることにより、維持管理上の課題を解消した。なお、汎用品を用いたことにより、システム改修費用が

センサーを含めて既存システムのおよそ二分の一と低く抑えられ、十分なコスト削減を図ることができた。また、平成二十四年度冬期に行った改良後の移動観測車による観測では、操作性や信頼性、データ解析の利便性の向上が実感できた。

平成二十五年度は、RV車型の観測車の観測システムの改修を実施しており、多くの観測データを取得することにより、吹雪危険度評価の精度向上や吹雪災害対策の一助として行きたい。

JICMA

【筆者紹介】



國分 徹哉 (こくぶ てつや)
 (株)土木研究所寒地土木研究所
 寒地道路研究グループ 雪氷チーム
 研究員



金子 学 (かねこ まなぶ)
 (株)土木研究所寒地土木研究所
 寒地道路研究グループ 雪氷チーム
 主任研究員



武知 洋太 (たけち ひろたか)
 (株)土木研究所寒地土木研究所
 寒地道路研究グループ 雪氷チーム
 研究員