

発災後の緊急交通監視体制の構築



道路政策グループ
研究主幹 総括
前田 陽一



道路政策グループ
主席研究員
青木 賢司

はじめに

近年気候変動の影響を受けて激甚な豪雨災害が多発するようになり、幹線道路においても土砂流出などによる大きな被災が生じている。一方、経済活動は、整備が進んできた道路ネットワークを活用した広域的な分業体制の拡大、多頻度(=小口)輸送を前提とした在庫圧縮や、消費者への迅速な配達など、平時においては便利で効率的であるが、ひとたびサプライチェーンが滞ると大きな損失が生じやすい構造となってきた。

また、コンビニやスーパーにおいて販売管理・在庫管理の電子化と多頻度仕入れが進み、消費者にとって「いつでも必要なものが手に入る」状況が全国に普及しているが、これにより家庭内の食料備蓄がなされないようになってきており、店舗へのサプライチェーンが滞るとたちまち日常生活に支障が生じる状況となってきた。

このため、道路管理者においては日頃の防災対策の推進と併せて、被災時には早期に復旧を行うことと、復旧に時間がかかる場合には、迂回路設定や的確な渋滞対策等により交通への支障が最小限で済むよう努めることが求められている。



写真 坂町水尻地区における広島呉道路、国道31号、JR呉線被災
(国土交通省中国地方整備局 提供)

こうした中、2018年7月に西日本豪雨が発生、各地で大きな被害が生じた。広島・呉間の坂町水尻地区においては7月6日大規模な土砂崩れにより広島呉道路・国道31号・JR呉線が不通となった。応急復旧により7月11日には国道31号が復旧したが、広島呉道路・JR線利用者が国道31号に交通集中することになり、国道31号の監視・計測が喫緊の課題となった。

このためカメラによる緊急交通監視体制の構築をJICEが担ったので紹介する。

1 道路状況把握の為の各種観測手段

的確な対策の実施には交通状況の把握が重要であるが、道路管理の現場の人員削減が進む中、設備によって監視の省力化・自動化を図ることが重要であり、これまでも各種の観測手段(表1-1)が利用されてきた。また、道路上で発生している事象を視覚的に捉えるためにCCTVカメラ^{*1}の設置も進められてきたところである。

これらの手段の殆どは常設を前提としたものであり、渋滞多発地点等予め監視箇所が決まっている箇所に適用するのには向いているが、災害時のような不測の事態に起因する想定外の交通流を観測をする場合には向いていない。

こうした中、ICT技術の進展によりCCTVカメラほどの耐久性の保証は無いものの比較的高性能なWebカメラが経済的に利用可能となり、またクラウドサーバーの普及に伴って専用回線を必要としない接続も容易となってきた。さらに、ディープラーニングを活用した画像処理技術の進展によって、カメラ画像から交通量や車種、速度の計測が可能となってきたところである(表1-1⑦)。

表 1-1 道路状況把握のための各種観測手段

| 観測方式 | 観測原理 | センサの設置位置 | 特徴 | 機器イメージ |
|---------------|--|-------------------|---|---|
| ① ループコイル式 | 車両通過時の電磁誘導により車両を検知 複数設置により車長・車速等を計測可能 | 路面下 | 他方式と比較して精度が高く、計測データが安定。 一方、コイルを路面内に敷設する必要 |  |
| ② 超音波式 | パルス音反射波の帰着時間の差の検出 車長・車速等の同時計測可能な機器もあり | 車線直上 又は 路側方 | 常時観測導入機種では120km/hまで計測可能車線に設置する簡易な機種も存在 |  |
| ③ 光学式 | 光線の遮断、反射の検出主に近赤外線を使用センサにより車長・車速等も同時計測可能 | 車線直上 | 同上 |  |
| ④ 遠赤外線式 | 遠赤外線により路面温度と車両温度の差を検出し車両を検知 | 車線直上 又は 路側方 | パッシブ型のため消費電力が小さく、ソーラー電力での稼働が可能 |  |
| ⑤ マイクロ波式 | 走行する車両へマイクロ波を照射、車両を検知 | 車線直上 又は 路側方 | 汎用性を有するが電波法の規制があり、国内の導入事例は少ない |  |
| ⑥ 地磁気式 | 車両通過による磁場の変化より車両を検知 | 路面上 又は 路面下 | 微弱な地磁気を扱う為、電線・マンホール・橋梁構造等の影響を受けない環境であることが必要 |  |
| ⑦ 画像処理方式 | 道路上空または側方のテレビカメラで車線を撮影、画像処理により、車両を計測 | 車線直上 又は 路側方 | 管理用画像の活用が可能車間が短い場合、車両の重なりにより台数・車種判別精度が低下。 また夜間は照度低下により、精度が低下 |  |
| ⑧ 超音波ループコイル併用 | 超音波式+ループコイルの組合せにより台数、車長、車速を計測 | 路面上 又は 路面下 | 他方式と比べて精度が高い 160km/hまで計測可能 |  |

2 災害時の監視・計測システムとしての比較

気候変動にともなう線状降水帯のような非常に強い降雨が増加すると予測があるが、このような降雨による災害はいつ、どこで起きるか予測が出来ない。このため、こうした降雨による道路の被災も予測困難なものとなるため、災害時の監視・計測システムには、迅速に、様々な現場条件に柔軟に対応して設置できることが求められる。

また、道路管理の現場においては災害時には状況把握、関係機関連絡調整、応急対策、利用者対応等の関連事務が集中し、人手は逼迫することになる。

このため、設置・調整作業が容易で運用に当たって手間がかからないシステムであることが必要であり、これらをクリアした上で、一定の精度が求められることとなる。これらの観点から各種観測システムの特性を比較したのが表2-1である。

画像処理方式以外の観測システムは現場工事が生じるため、設置作業に時間がかかる。一方、画像処理方式は既設の道路付属物への懸架も可能であり設置作業は容易である。しかしながら、他方式に比べて先行車両や建物による遮蔽が生じることや

夜間の観測精度が低下すること、カメラの設置にノウハウが必要であること、が課題として判明している。

こうした課題に対し、ディープラーニングを活用した画像処理技術を適応することで、移動体（車両・人）の検出・追従率が向上し、夜間や降雨時などの劣化した画像や、設置条件によるカメラ画角の違いに対しても一定の精度を確保できるようになってきている。今後は交通量計測に加え、事故や渋滞など道路路上で発生する様々な事象の検出も期待される。

表 2-1 各種の観測システムの特性比較

| 観測方式 | 評価カテゴリ：設置 | | | 評価カテゴリ：運用 | | | |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|----|-----------------------------|--------------------------|------|----|
| | 機器設置箇所 | 交通流への影響 | 費用 | 路側設備の構造 | 計測不可のケース | 計測箇所 | 費用 |
| ① ループコイル式 | 路面内（埋込み） | 最大 路上工事（切削オーバーレイ時の実施が適切） | 高 | 路面下部のコイルの電圧変化を受信 | 路面のひび割れ等でコイルが切断の恐れ | 路側 | 高 |
| ② 超音波式 | 路側 又は ガントリー | 中 （通行規制が発生） | 高 | 音波の送受信の断時間を測定 | 音波の発射角度ずれ 積雪時 | 路側 | 高 |
| ③ 光学式 | 路側 又は ガントリー | 中 （通行規制が発生） | 高 | 光の送受信の断時間を測定 | 光の放射角度ずれ 積雪時 | 路側 | 高 |
| ④ 遠赤外線式 | 路側 又は ガントリー | 中 （通行規制が発生） | 高 | 赤外線の断時間を測定 | 光の放射角度ずれ 積雪時 | 路側 | 高 |
| ⑤ マイクロ波式 | 路側 又は ガントリー | 中 （通行規制が発生） | 高 | マイクロ波の断時間を測定 | 音波の発射角度ずれ 積雪時 | 路側 | 高 |
| ⑥ 地磁気式 | 路面内（埋込み） | 最大 路上工事（切削オーバーレイ時の実施が適切） | 高 | 路面下の磁気変動量を測定 | 車両の大幅な重量変動で誤差が発生 | 路側 | 高 |
| ⑦ 画像処理方式 | 既存カメラ 又は Webカメラの既存設備への懸架 | なし 又は 通行規制による既存施設への懸架 | 低 | 移動体を検出し、計測点を通過した段階で測定 | 夜間（照度低下） 大型車両の影に小型が隠蔽 | 事務所 | 低 |
| ⑧ 超音波ループコイル併用 | 路面内（埋込み） | 最大 路上工事（切削オーバーレイ時の実施が適切） | 高 | 路面下部のコイルの電圧変化と音波の送受信の断時間を併用 | 計測の安定性は高い | 路側 | 高 |

3 カメラによる監視・計測システム

カメラによる監視・計測システムには、既設のCCTVカメラ画像を利用する方式と、別途Webカメラを設置・利用する方式の2つがある。それぞれの特徴を述べる。

3.1 CCTV カメラ画像を利用する方式

通過交通量を計測すれば良い場合など、既存のCCTVカメラ設置箇所での計測で間に合う場合は、この画像を処理して計測するのが最も迅速かつ経済的である。

路側のCCTVカメラからの画像は、カメラ側で国土交通省規格に則って圧縮されて事務所へ配信されている。この画像を国道事務所のCCTV画像受信設備から分岐、デコード（圧縮された画像を復元すること）し、画像信号がアナログの場合はデジタル化をしてA I計測サーバーに送り、計測を行うものである（図3-1）。

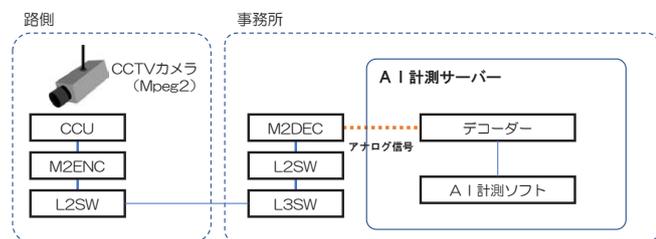


図 3-1 CCTV 監視画像における交通量計測に向けた構成図

3.2 Web カメラを設置する方式

災害時には、被災状況や通行規制によって往々にして想定外の箇所での渋滞等が発生するため、既設のCCTVカメラでは十分な監視・計測ができず、迂回路など交通集中が予想される箇所へ新たなカメラを設置する必要性が生じる場合がある。長期使用が前提のCCTVカメラに比べ、災害時の交通監視・計測は比較的短期間で終了する。そこで高価かつ大型のCCTVカメラに代わり、近年低価格化と性能向上の著しいWebカメラを利用するものである（図3-2）。

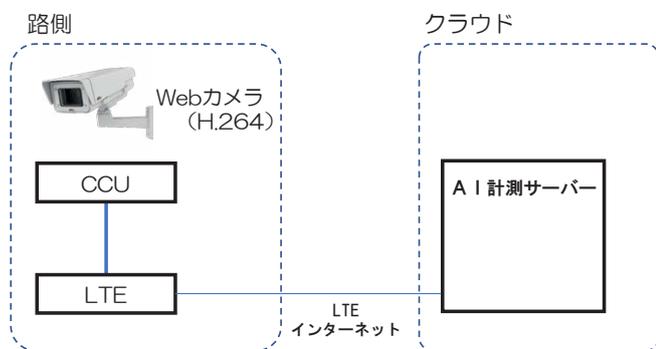


図 3-2 Web カメラにおける交通量計測に向けた構成図

Webカメラであれば専用回線確保や配線工事をすることなくカメラ～A I計測サーバ（クラウド）間を4G/LTE^{*2}回線で接続することができ、その分カメラ設置の自由度は高まる。更に、カメラと関連機器をバッテリーで一日程度駆動することも可能であり、バッテリー交換の手間にかかるものの設置の自由度は高い。一方、利用可能なカメラ画質は4G/LTE回線の通信速度に制約されるため、現状の4G/LTE回線では精度に限界があることが分かってきた。今後5G回線が普及してくると、この制約が緩和されることが期待される。

これらを活用すれば、現地状況のカメラ画像による監視と並行して交通量等を観測できるシステムを、フレキシブルかつ経済的に設置できる可能性が出てきた。JICEはこうした状況を

踏まえて、災害時に対応が容易なカメラ監視・画像処理による交通計測システムを提案、国土交通省からの受託業務の中で試行してきたので紹介する。

4 カメラによる監視・計測システムの試行導入

上述の通り、西日本豪雨発災後の国道31号の監視・計測が喫緊の課題となった。このため、カメラによる監視・計測システムを試行導入することが決定され、事務所発注業務の中でJICEがその導入を担うこととなった。その際、既存のCCTVカメラに加え、交通集中が予想される箇所へ新規にWebカメラを設置し、監視・計測システムの試行導入を行った。導入の結果は以下の通りである。

4.1 CCTV カメラを活用した監視・計測

国道31号の被災箇所近傍に既設のCCTVカメラがあったため、この画像を活用することとし、国道事務所災害対策室まで引き込まれているCCTV画像受信設備から画像を分岐して、監視・計測システムへ画像を取込んで計測を行った。これによる計測結果を表4-1に示す。

表 4-1 CCTV カメラによる計測結果（2018年11月21日）

| 時間帯 (1時間) | 計測手法 | 上り交通量 | | | 下り交通量 | | |
|--------------|------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | | 小型 | 大型 | 全車 | 小型 | 大型 | 全車 |
| 昼間 13時台 | CCTV | 382 | 31 | 413 | 429 | 17 | 446 |
| | 人的 | 466 | 73 | 539 | 438 | 143 | 581 |
| | 検出率 | 82% | 42% | 77% | 98% | 12% | 77% |
| 昼間 14時台 | CCTV | 411 | 44 | 455 | 450 | 8 | 458 |
| | 人的 | 496 | 84 | 580 | 461 | 61 | 522 |
| | 検出率 | 83% | 52% | 78% | 98% | 13% | 88% |

得られた知見は以下の通りである。

- ・ CCTVカメラ画像はアナログ（SD画像^{*3}）であり、十分な画質が得られず、特に夜間映像は光がハレーションを起こしてしまい、車として検出することが困難な状態となり計測精度が低下する（写真4-1）。
- ・ CCTVカメラは道路監視を目的に設置されているためカメラ設置位置が高く、計測に適さない画角・設置条件であることが多い。

交通量計測のために必要な画像を得るためには、カメラの画質が一定以上の水準にあること、交通状況の監視を目的とした設置方法とは異なる設置ノウハウが必要なことが判明した。

4.2 Web カメラを活用した監視・計測システム

迂回路に設定される等により交通集中が予想される箇所にはCCTVカメラが設置されていないため、新規にWebカメラを設置して計測を試行することとした。その結果を表4-2に示す。

表 4-2 Web カメラによる計測結果 (2018 年 12 月 25 日)

| 時間帯 (1時間) | 計測手法 | 上り交通量 | | | 下り交通量 | | |
|--------------|------|-------|-----|-----|-------|------|------|
| | | 小型 | 大型 | 全車 | 小型 | 大型 | 全車 |
| 昼間 14時台 | AI | 552 | 65 | 617 | 496 | 73 | 569 |
| | 人的 | 560 | 66 | 626 | 501 | 70 | 571 |
| | 検出率 | 99% | 98% | 99% | 99% | 104% | 100% |
| 昼間 15時台 | AI | 525 | 74 | 599 | 471 | 60 | 531 |
| | 人的 | 553 | 79 | 632 | 502 | 65 | 567 |
| | 検出率 | 95% | 94% | 95% | 94% | 92% | 94% |

得られた知見は以下の通りである。

- ・ Webカメラ画像はデジタル (HD画像^{*4}) であり、CCTVカメラ画像に比べ解像度が高く、夜間でも光のハレーションが抑えられている (写真4-2)。このため安価で汎用的なWebカメラによっても一定の精度で交通量計測が可能である。
- ・ Webカメラはネットワーク回線を必要とせず、電源ケーブルのみで稼働可能であるため、特に災害時等における迅速な設置には有効である。
- ・ カメラは短期間の設置でも道路占用物件となるため、カメラ設置の際は道路管理者や警察署へ道路占用許可及び道路使用許可等の申請が必要となる。
- ・ 災害時など急を要する場合には、関係機関調整が容易な照明柱や道路標識への設置が効果的である。



写真 4-1 CCTVカメラ夜間映像 (広島県：小屋浦地先)

写真 4-2 Webカメラ夜間映像 (広島県：大屋橋地先)

許可申請については、前述の通り災害時には道路管理者は人手不足の状況となり、手続きは滞り易い。当該事例では、許可手続きに時間を要し、迅速な活用につながらなかった。

しかしながら、令和元年台風19号による中央自動車道、国道20号同時被災に際しては許可手続きが迅速に行われ、道路管理者から打診があつてから2日後までに設置、画像配信に漕ぎ着けている。この場合、迂回路が県管理道路であり、カメラ設置箇所も県管理道路上の照明柱となったが、国道事務所が中心となって関係者調整を図った結果迅速な許可取得、設置につながった。関係者間の連絡・連携体制の確保が望まれる。

また設置場所については、今後電線類の地中化が進むことを考えると、照明柱懸架で済む設備であることが望ましい。システムの小型軽量化、省電力化が重要である。

5 カメラによる監視・計測システムの今後

画像認識技術開発が進んできたことを受けて、道路行政・道路管理業務における活用が広がっている。新宿バスターミナルにおいては利用者数が計画時の想定を上回る状況となり、混雑状況等の把握のため、AI画像認識による渋滞状況のモニターとバス乗降客数の把握を行っている。

一方、当該分野の技術開発の進展は早く、最近になってAI画像認識技術の製品化・本格的導入も見られるようになってきた。

本年3月には国土交通省によるテーマ設定型技術公募に応じてNEXCO西日本エンジニアリング(株)がカメラを用いた夏冬タイヤ判別技術を新技術として登録、市販している。また、本年7月には国内大手電機メーカーよりAI画像認識による交通障害検知システムが市販された。さらに、令和元年8月に国土交通省は既存のCCTVカメラ画像を基にAI画像認識により交通量を観測する「画像認識型交通量観測装置」を全国的に本格導入することとし、一般競争入札、すなわち既に汎用となった技術として調達に乗り出している。平常時のカメラ画像による交通量観測は既に実用化の段階に入ったといえる。

ICT技術の発展は急激な速度で進んでいる。JICEとしてはこれら技術動向の把握に努めつつ、新たなICT技術の道路行政・管理への適用、試行にこれからも取り組んで参りたい。

*1 CCTVカメラ：有線接続 (Closed-Circuit Television) 監視カメラ。ここでは国土交通省の仕様書に基づいて設置される監視カメラ。

*2 4G/LTE回線：現行の携帯電話回線 (2019年)。

*3 SD画像：約35万画素、解像度720×480

*4 HD画像：約210万画素、解像度1920×1080