

# CCTV カメラの機能を利用しパノラマ画像を生成する最適な巡回時間の検証

今野 新<sup>1</sup>・前田 安信<sup>2</sup>・寺口 敏生<sup>3</sup>・関谷 浩孝<sup>4</sup>・小林 亘<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター  
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: konno-a85aa@mlit.go.jp

<sup>2</sup>非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: maeda-y2ki@mlit.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター  
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: teraguchi-t92vs@mlit.go.jp

<sup>4</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター  
社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

<sup>5</sup>正会員 東京電機大学 研究推進社会連携センター  
(〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5)

E-mail: wkoba@mail.dendai.ac.jp

行政機関等は地震の被害状況を迅速に把握する必要がある。状況を把握するツールである大量の CCTV カメラを 1 台ずつ巡回し、周囲の状況までの画像確認が完了するまでには時間を要する。

そこで国土技術政策総合研究所では、国土交通省が所管する河川や道路の被害状況を俯瞰的に把握するための技術開発を行っている。設定震度以上の地域にある CCTV カメラを自動巡回し、周囲の状況を一目で把握するパノラマ画像を地震発生の直後に生成するためには、CCTV カメラを可能な限り短時間で巡回させる必要がある。筆者らは一部の CCTV カメラを対象に巡回時間をどの程度まで短縮可能か検証する実験を行った。

鶴見川堤防上に設置された 10 台の CCTV カメラを対象に 180° 巡回する時間をそれぞれ 3 段階変化させた場合、8 秒以下ではパノラマ画像の生成に失敗する、という知見を得た。

**Key Words:** support of the early stage after earthquake, camera image, CCTV, image processing, panoramic image

## 1. はじめに

### (1) 背景

日本では地震や風水害等の自然災害が頻発しており、中でも地震は予兆がなく休日及び夜間にも発生し得る。発災時には、行政機関等は被害状況を迅速に把握し、安全を確保するための適切な対応策を判断する必要がある。特に地震発生時刻が勤務時間外である場合、防災担当職員が登庁するまでに時間を要することが想定され、大規模災害時にはそもそも登庁することが困難となる場合も

想定される。この場合、地震発生直後に状況を把握するツールである大量の CCTV (Closed Circuit Television) カメラを 1 台ずつ巡回し、周囲の状況までの画像確認が完了するまでの時間は長くなる。

このため国土技術政策総合研究所では、国土交通省が所管する河川や道路の被害状況を地震発生直後に俯瞰的に把握するための技術開発に取り組んでいる。具体的には、設定震度以上の地域にある CCTV カメラを自動で抽出し、抽出した CCTV カメラを遠隔から自動的に水平巡回 (パン巡回) して得られる画像を繋ぎ合わせる処

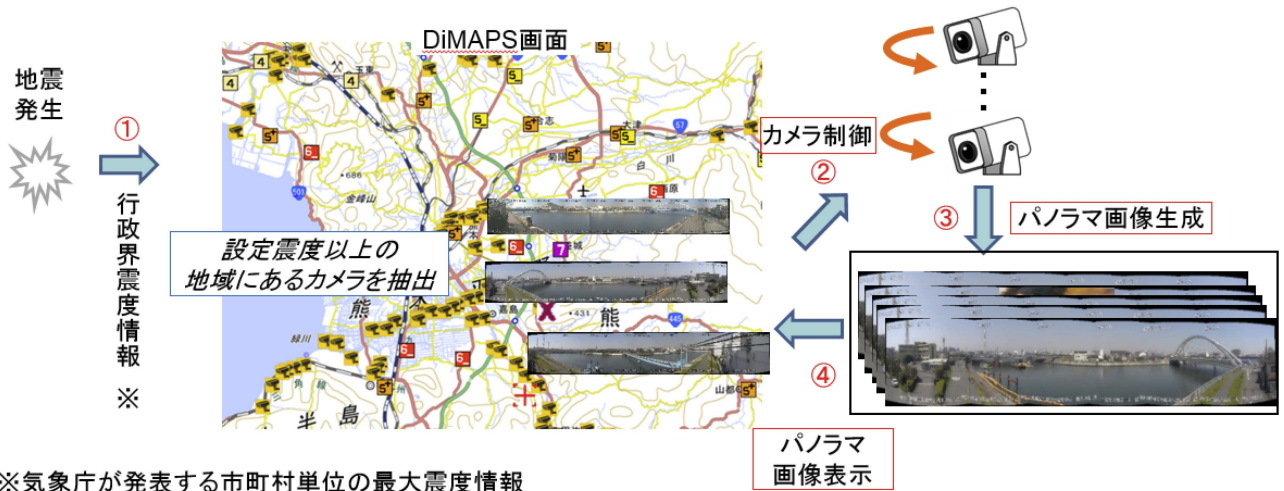


図-1 CCTVパノラマ画像生成プログラムにおけるデータの流れ。

理 (イメージモザイク) を行うことでパノラマ画像を生成する「CCTVパノラマ画像生成プログラム」を開発している (図-1) . 生成したパノラマ画像は、将来的に災害情報を集約し地図上に公表する DiMAPS<sup>1)</sup> へ情報提供する。初動対応を迅速に支援するためには、CCTVカメラを可能な限り短時間にパン旋回し、地震発生の直後にパノラマ画像を生成する必要がある。

## (2) 既往研究

イメージモザイクは、従来から航空写真やリモートセンシング画像の繋ぎ合わせに用いられており、幾つかの手法が提案されている<sup>2),3)</sup>。しかし、3枚以上の静止画を元にし広範囲のパノラマ画像を自動生成する手法は限られる。例えば、谷口ら<sup>4)</sup>による手法は、特徴点が少ない静止画を取り除き、代表的な静止画を写す「安定カメラ操作区間」を推定する処理を含めているため、パノラマ画像は限られた範囲でしか生成されない。また、磯貝ら<sup>5)</sup>による手法は、屋内監視を目的としており、隣り合う2枚の画像のみからパノラマ画像を生成する手法である。本研究では、CCTVカメラを広範囲に旋回させることから、少なくとも3枚以上を繋ぎ合わせてパノラマ画像を生成する。このように、広範囲の静止画を元にしてパノラマ画像を自動生成する手法は限られている。

また、イメージモザイクには隣り合う静止画に共通する特徴点が4点以上必要であることが知られている<sup>[補註]</sup>。このため、CCTVカメラの撮影範囲に多くの特徴点を含むこと、特徴点を明確に識別するために良好な照明条件等、運用されている現場での適用条件があると考えられる。

実際、隣り合う静止画に共通する特徴点が少ない場合、特徴点をマッチさせる処理が不安定となる、という課題が指摘されている<sup>6),7)</sup>。この課題に対して星野ら

<sup>6)</sup>は、撮影環境の大まかな3次元モデルを隣り合う静止画と重ね合わせる手法を提案している。金澤ら<sup>7)</sup>は、マッチさせる射影変換の計算精度向上のために、変換誤差を含む「幾何学的 AIC」という値を用いる手法を提案している。

また、夜間に撮影した画像から特徴点を抽出する手法も提案されている。清水ら<sup>8)</sup>は夜間に撮影した遠方の画像を昼間に撮影した画像と幾何学的に重ね合わせる手法を提案している。安倍ら<sup>9)</sup>は、夜間でも安定的に抽出可能な特徴量に着目した車両追跡方法を提案している。

このように、運用されている現場での課題に対応した研究は幾つかなされている。しかし、パノラマ画像生成の元となる静止画を、短時間でパン旋回する条件下で取得する場合の安定性は明らかにされていない。本研究の目的は、地震発生直後にパノラマ画像を生成することであるため、CCTVカメラを可能な限り短時間で旋回する必要がある。本稿では、一定の実験条件下で一部の既設 CCTVカメラをパン旋回し、パノラマ画像の生成に失敗しない最短の旋回時間を検証する。

## (3) 研究目的

河川や道路の監視は、路線や流域の区間別に事務所単位で担当しており、各事務所が整備した CCTVカメラの種類は多様である。河川を管理する事務所の場合は、上流部から下流部までの状況を把握するため、CCTVカメラを180°の範囲でパン旋回する必要がある。

本稿では、河川堤防上に設置された一定数の CCTVカメラを対象とし、180°パン旋回することにより、河川を上流から下流まで俯瞰するパノラマ画像の生成に失敗しない最短の旋回時間 (以下、特に断りがない限り180°の旋回に費やす時間を示す。) を検証することを目的とする。

## 2. CCTV パノラマ画像生成プログラムの作成方法

### (1) パノラマ画像を生成するアルゴリズム

本稿では、パノラマ画像を生成する方法として、広範囲の静止画を元にパノラマ画像を生成可能な *autostitch*<sup>2)</sup> のアルゴリズムを用いる。このアルゴリズムでは、入力画像を与えると、人がパラメータを手入力することなくパノラマ画像を生成する。以下では、*autostitch* の処理内容を示す。

抽出する特徴点としては、画像のスケール (CCTV カメラのズーム操作) 及び回転に不変な特徴量である SIFT (Scale Invariant Feature Transform)<sup>10)</sup> とし、1 台の CCTV カメラを旋回して得られた特徴点と残りの画像で得られた特徴点との関係を求める。

残りの画像間との関係を求める方法は、一般に NN 法 (nearest neighbor method) と kd-tree 法 (k-dimensional tree method) が考えられる。*autostitch* では、前者は入力データ数が多ければ精度が高いが処理時間を要することを考慮し、kd-tree 法<sup>11)</sup> を用いている。また、対応する点を求める際には誤った対応 (アウトライヤ) が多数含まれることが知られている<sup>12)</sup>。そこで、アウトライヤを含むデータから、正しく変換された対応点 (インライヤ) に基づいて射影変換のパラメータ  $h$  を求める RANSAC<sup>13)</sup> と呼ばれる方法を用いる。次に、インライヤとアウトライヤを 2 値変数  $m \in \{0, 1\}$  で表現し、ベイズの定理を用いた確率モデルにより対応点を検証する。

次に、幾何学的に整合のとれた静止画を用いて、カメラパラメータを連結するバンドル調整<sup>14)</sup> を行う。この際、画像中央から四隅に向かうにつれ輝度が小さくなるビネット効果や、膨らんだように見える歪曲収差等のモデル化されない要因を取り除くため、Multi-band Blending<sup>15)</sup> の手法を用いてパノラマ画像を生成する。

### (2) CCTV パノラマ画像生成プログラムの作成

(1) のアルゴリズムに基づき、複数枚の静止画からパノラマ画像を生成するプログラムを作成する。CCTV カメラをパン旋回して得られる動画から一定の間隔で静止画を切り出す際には、画像の移動量を計算する必要がある。本項では、この移動量を位相限定相関<sup>16)</sup> (これに基づき画像マッチングへ応用する研究も幾つか<sup>17), 18)</sup> を用いて、隣り合う静止画に共通する領域をおよそ 3 割確保するように切り出した。切り出した静止画を入力し、パノラマ画像として出力する「CCTV パノラマ画像生成プログラム」は以下の三点の条件を満たすように作成した。

第一に、インプットである地震発生時のトリガー信

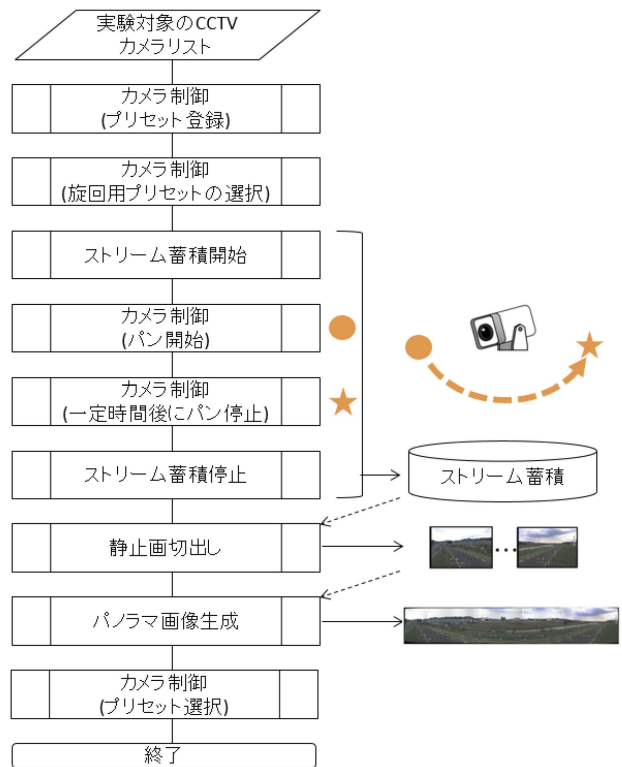


図-2 CCTV パノラマ画像生成プログラムの処理フローと入力するデータ

号は、将来的に「設定震度以上の揺れを受けた市区町村の CCTV カメラリスト」であり、アウトプットであるパノラマ画像を DiMAPS へ情報提供する計画である。本研究においては、インプットであるトリガー信号は「実験対象の CCTV カメラリスト」とし、アウトプットであるパノラマ画像は実験で使用した環境に保存する。

第二に、CCTV カメラの管理主体である事務所の運用を妨げないため、自動でパン旋回する前の CCTV カメラの位置を予め登録 (プリセット登録) し、パン旋回後にプリセット登録した位置を選択することで元に戻す (プリセット選択)。

第三に、パン旋回の開始位置は、実験前に予め登録した位置を選択 (旋回用プリセットの選択) し、一定時間後にパン旋回を終了する。この旋回時間が本稿のパラメータである。

以上の条件に基づき、CCTV パノラマ画像生成プログラムの処理フローは図-2 のようにした。実線は出力するデータ、破線は入力するデータを表す。CCTV カメラを●から★までの 180° の範囲をパン旋回させる。パン旋回は一定時間が経過するまでに、連続する処理とする。

### (3) 旋回時間の設定方法

路線や流域の区間別に各事務所が管理する CCTV カ

メラを全国共通の方法で制御するための「CCTV 設備制御インタフェース仕様書(案)<sup>19)</sup>(以下「仕様書」という。)」に従い巡回する。CCTVカメラのパン旋回速度は、目的に応じて選択可能とするため「低速」, 「中速」, 「高速」の3段階を定めることとしているが、具体的な速度までは規定していない。

また、CCTVカメラの機器仕様は、全国一律の品質を保つため「CCTVカメラ設備機器仕様書(案)<sup>20)</sup>」に定めており、仕様書を満たす品質であれば種類は問わない。このため、各事務所が調達してきたCCTVカメラの種類は多様である。

以上2点から、各事務所が管理するCCTVカメラを180°旋回する時間は種類により異なり、3段階だけ設定可能である。このため本稿では、実験対象であるCCTVカメラ毎に旋回時間を3段階に変化させた。

### 3. 実験

#### (1) 概要

地震後の初動対応を支援するためには、CCTVカメラを短時間で旋回する必要がある。

CCTVパノラマ画像生成プログラムを用い、パノラマ画像の生成に失敗しない最短時間を検証する実験の概要は表-1のとおりである(実験対象のCCTVカメラの位置図は図-3のとおり)。CCTVパノラマ画像生成プログラムの処理(全体フローは図-2のとおり)における「パノラマ画像生成」の結果を出力するフォルダにパノラマ画像が保存されれば成功、保存されなければ失敗と定義する。また、CCTVパノラマ画像生成プログラムをインストールしたサーバスペックを表-2に示す。

既設のCCTVカメラ装置は、2章(3)に示した「CCTVカメラ設備機器仕様書(案)<sup>20)</sup>」で巡回式三板カメラ装置(以下「SDカメラ」という。)または巡回式三板(HD)カメラ装置(以下「HDカメラ」という。)として位置づけられており、それぞれのカメラ装置を構成するカメラ本体の仕様を表-3と表-4に示す。SDカメラの出力信号はNTSC(National Television Standards Committee)であることから、インタレース方式で撮影する<sup>21)</sup>。HDカメラの出力方式はHD-SDI(High Definition Serial Digital Interface)であり、撮影方式は同仕様書の「巡回式IP型機側装置」を構成するIP映像装置(各種エンコーダ)の仕様に従う。H.264HDエンコーダのビデオプロファイル設定は表-5のとおり定められている<sup>22)</sup>ことから、インタレース方式で撮影する。

CCTVカメラの巡回範囲は、上流部から下流部まで把握可能な180°とした。

CCTVカメラの種類は多様であることから、1台ずつパン旋回し、巡回時間は2(3)に示したとおり、仕様書

表-1 実験の概要

日時	2016年3月17日(木)晴
場所	神奈川県横浜市鶴見区 (京浜河川事務所管内)
対象	鶴見川堤防に設置されたCCTVカメラ10台

表-2 サーバスペック

OS	Windows Server 2012R2
CPU	Intel Xeon E3-1226v3 (3.30 GHz / 4コア)
メモリ	16GB



図-3 実験対象のCCTVカメラの位置図

表-3 SDカメラ本体の仕様

撮影素子	3板 CCD(カラー)
有効画素数	約38万画素以上
解像度	水平: 850本以上
S/N	63dB以上
最低被写体照度	電子感度 OFF 0.009ルクス以下 電子感度 ON 0.00007ルクス以下
出力信号形式	NTSC

表-4 HDカメラ本体の仕様

撮影素子	3板 CCD(カラー), 3板 MOS, 3板 CMOSのうちいずれか
有効画素数	約200万画素以上
解像度	1920×1080
最低被写体照度	電子感度 OFF 0.009ルクス以下 電子感度 ON 0.0003ルクス以下
映像出力形式	59.94i
出力信号形式	HD-SDI

表-5 H.264HDエンコーダのビデオプロファイル設定

解像度	~1920×1080i
インタレース/プログレッシブ	インタレース
GOP	IPPP 15フレーム

で規定された3段階で変化させた。

以上により, CCTVカメラ毎に固有の3段階の巡回時間を計測し, 短時間でもパノラマ画像が生成されるかどうか, CCTVパノラマ画像生成プログラムの出力結果を確認した。

(2) 結果

CCTVカメラ毎に3段階の巡回時間で計測した結果を表-6に示す。カメラNo.1が最も下流側に位置しており, 番号順に上流側へ位置している(カメラNo.10が最も上流側)。また, パノラマ画像が生成された場合を「○」, 生成されなかった場合を「×」と整理した結果を表-7に示す。巡回時間が8秒, 7秒, 4秒つまり8秒以下の場合, パノラマ画像は生成されなかった。図-6に, カメラNo.1を12秒, 4秒で巡回した場合に切り出した静止画の一部を示しており, (b)ではインタレース縞が顕著に表れていることがわかる。図-7は8秒, 7秒で巡回した場合に切り出した静止画の一部であるが, インタレース縞が同様に表れている。パノラマ画像の生成に失敗した場合は, いずれも静止画にインタレース縞が発生していたことがわかる。

また図-8に, 最短時間以上に時間を費やした場合(例えば, カメラNo.3の場合, 最短で14秒費やせばパノラマ画像を生成可能であるが, これより長い30秒や180秒の時間を費やした場合)に生成したパノラマ画像の例を示す。いずれの場合も, 隣り合う静止画に共通する特徴点のスムーズにマッチしており, パノラマ画像の接合部分の品質に大きな差異は見られない。つまり, 品質は特段向上しないため, 最短時間以上に時間を費やす必要はない。

以上より, 防災担当職員が短時間でパノラマ画像を生成するための, それぞれのCCTVカメラに対する巡回時間の適否を整理した結果を表-8に示す。「○」はパノラマ画像を最短で生成可能な場合, 「△」は最短ではないもののパノラマ画像を生成可能な場合, 「×」はパノラマ画像の生成に失敗する場合を示す。パノラマ画像生成プログラムを運用する際には, 防災担当職員は「△」または「○」に該当する巡回時間を選択可能であるが, 推奨する巡回時間は最短でパノラマ画像を生成可能な「○」となる。

表-8より本実験環境下では, パノラマ画像を短時間で生成するためには, CCTVカメラの種類に応じて「180°のパン巡回」に少なくとも8秒より長く時間を費やす必要があることを明らかにした。ただし今回の実験環境下では, 巡回時間が9秒から11秒の範囲に該当するCCTVカメラは無く, 12秒以上時間を費やせばパノラマ画像が生成可能であることを確認した。

表-6 10台のCCTVカメラに対する3段階の巡回時間

カメラ No.	180°のパン 巡回時間 [秒]			SDカメラ/ HDカメラ
	低速	中速	高速	
1	12	8	4	SDカメラ
2	12	8	4	SDカメラ
3	180	30	14	HDカメラ
4	180	45	12	SDカメラ
5	180	30	15	HDカメラ
6	170	30	15	HDカメラ
7	180	30	15	HDカメラ
8	12	8	4	SDカメラ
9	180	45	12	SDカメラ
10	13	7	4	SDカメラ

表-7 10台のCCTVカメラに対する3段階の巡回時間別のパノラマ画像生成の可否

カメラ No.	パノラマ画像 生成の可否		
	低速	中速	高速
1	○	×	×
2	○	×	×
3	○	○	○
4	○	○	○
5	○	○	○
6	○	○	○
7	○	○	○
8	○	×	×
9	○	○	○
10	○	×	×

表-8 10台のCCTVカメラに対する3段階の巡回時間別のパノラマ画像生成の適否

カメラ No.	パノラマ画像 生成の適否		
	低速	中速	高速
1	○	×	×
2	○	×	×
3	△	△	○
4	△	△	○
5	△	△	○
6	△	△	○
7	△	△	○
8	○	×	×
9	△	△	○
10	○	×	×

(3) 考察

実施日時やCCTVパノラマ画像生成プログラムをインストールしたサーバ等の実験条件を変えずに, 鶴見川



(a)



(b)

図4 回転時間が (a) 12秒と (b) 4秒の場合に切り出した静止画の一部 [カメラ No.1] .



(a-1)



(a-2)



(b-1)



(b-2)

図5 (a-1), (a-2) 回転時間が8秒 [カメラ No.1] と (b-1), (b-2) 回転時間が7秒 [カメラ No.10] の場合に切り出した静止画の一部.



図6 カメラ No.3 に対する (上) 回転時間が30秒の場合と (下) 回転時間が180秒の場合のパノラマ画像.

堤防上に設置された 10 台の CCTV カメラを対象に 180° 旋回する時間を 3 段階に変化させた結果, 旋回時間を 8 秒以下の時間しか費やさない場合にパノラマ画像の生成に失敗した. 失敗の原因としてカメラ画像の品質や CCTV パノラマ画像生成プログラムの精度が考えられるが, 今回の実験では静止画に発生したインタレース縞 (図-4(b)や図-5) が支配的だと考えられる.

SD カメラは出力信号が NTSC 方式であることから, また HD カメラは H.264HD エンコーダのビデオプロファイルの規定から, いずれの場合もインタレース方式で撮影した.

撮影方式は, 一般的にプログレッシブ方式またはインタレース方式である. 2 つの方式では, カメラ画像を伝送する際, 読み取る画像上の点を水平方向に移動するラスタ走査の方法が異なる. インタレース方式は図-7(a)のように奇数番目の走査線と偶数番目の走査線の 2 回に分けて走査する方式であるのに対し, プログレッシブ方式は図-7(b)のようにカメラ画像の上から下まで全ての走査線を順次走査する方式である. このため, インタレース方式の伝送時間 (1/59.94 秒) は, プログレッシブ方式 (1/29.97 秒) に対して半減するメリットがあるものの, 1 回あたりに伝送する画像は部分的である. つまりインタレース方式の場合, 伝送時間よりも短い時間で CCTV カメラの画像が変化する場合, 奇数番目と偶数番目の走査線が重ならず, 部分的な伝送映像として送られ図-4(b)や図-5 に示すようなインタレース縞が発生する.

今回の実験で対象とした CCTV カメラでは, 180° の旋回時間が 8 秒を下回った場合に, 2 回に分けた部分的な伝送画像が重なり, 結果としてインタレース縞 (画像のぶれ) が発生した. このインタレース縞が原因となり, パノラマ画像生成プログラムが切出す静止画に共通する特徴点が正確に抽出されなかった. 180° の旋回時間が 8 秒を下回るカメラは SD カメラのみであった.

なお, インタレース縞が発生しないプログレッシブ方式のカメラ製品も一般に開発されている (例えば, IP ネットワーク映像監視システム<sup>28)</sup>) が, 本研究では“既設の” CCTV カメラをパン旋回することでパノラマ画像を生成することが目的であることから, CCTV カメラ設備機器仕様書 (案) に従いインタレース方式で撮影した.

仮に CCTV カメラ設備機器仕様書 (案) が改訂され, プログレッシブ方式で撮影する CCTV カメラを対象とする場合, 新たに最適な旋回時間を検証するための実験を行う必要がある.

次に, 遠方の被害状況を確認するために望遠レンズを用いた CCTV カメラを対象とする場合について考察する. 隣り合う静止画に共通する領域は 2 章(2)に示し

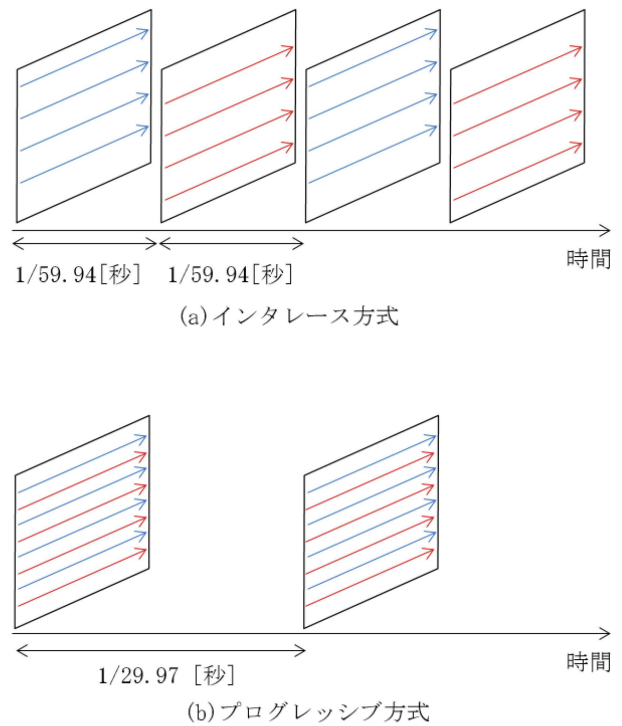


図-7 インタレース方式とプログレッシブ方式の違い

たとおり, 1 つの静止画における約 3 割の面積を, 隣り合う静止画と重複するよう設定している. この重複率を一定として焦点距離の長い望遠レンズを用いた CCTV カメラの場合, 焦点距離の短い広角レンズを用いた CCTV カメラより時間を費やす必要がある. 望遠レンズを用いる場合, 1 秒あたりの画像の移動量が広角レンズよりも大きいため, 隣り合う静止画に共通する面積が小さくなり, 抽出可能な特徴点の数が減少するからである. 仮に広角レンズと同様の旋回時間でパノラマ画像を生成しようとする場合, 設定する重複率を大きくし, 隣り合う静止画に共通する面積を十分確保する必要がある. 今回の実験では堤防上に設置された CCTV カメラに限定されていたことから, 今後は事務所の鉄塔など高い位置に設置している CCTV カメラを対象とした実験を行いたい.

#### 4. おわりに

地震発生直後の初動対応を支援するため, 筆者らは一部の CCTV カメラを対象に旋回時間をどの程度まで短縮可能か検証する実験を行った. 対象とした CCTV カメラは, 京浜河川事務所管内の鶴見川の堤防に設置された 10 台であり, CCTV パノラマ画像生成プログラムは表-2 に示すスペックを持つサーバにインストールした.

このような条件下で行った実験を通じて, 次の知見を得た:

- ・ 鶴見川堤防上に設置された 10 台の CCTV カメラを対象に 180° 旋回する時間をそれぞれ 3 段階変化させた場合、8 秒以下ではパノラマ画像の生成に失敗する。
- ・ 失敗の原因としてカメラ画像の品質や CCTV パノラマ画像生成プログラムの精度が考えられるが、今回の実験では静止面に発生したインタレース縞が支配的だと考えられる。

今回の実験環境下では、旋回時間が 9 秒から 11 秒の範囲に該当する CCTV カメラは無かったため、12 秒以上時間を費やせばパノラマ画像が生成可能であることを確認した。また、パノラマ画像の生成に失敗する原因は、短時間で CCTV カメラを旋回した際に、静止面に発生するインタレース縞により、隣り合う画像に共通する特徴点のマッチが出来ないからだと考えられる。

今後は、CCTV パノラマ画像生成プログラムを拡張し、より広域の状況を監視する「広域監視カメラ」を 360° 旋回する際の最適速度を明らかにする予定である。

また、地震の規模が大きくなるほど CCTV パノラマ画像は大量に生成され、防災担当職員の確認に時間を要する。そこで、差分画像を生成することで異常を示す画像を抽出するプログラムと組み合わせていきたい。

**謝辞：**本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法 人：JST) によって実施されました。

**補注 イメージモザイクの原理**

現場状況を俯瞰した画像 (パノラマ画像) を得るため、CCTV カメラを旋回させて複数枚の画像を取得し、これらを画像処理により繋ぎ合わせる処理を考える。

以下では、2 枚の画像を繋ぎ合わせる処理 (イメージモザイク) を示すが、入力画像が 3 枚以上のイメージモザイクに対しては、2 枚に対する処理を繰り返す。

1 枚目の画像における座標  $(x, y)$  に対して、その要素の数を 1 つ増やした同次座標  $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$  を次の式を満たすように定義する。

$$\begin{aligned} x &= \frac{\xi_1}{\xi_3} \\ y &= \frac{\xi_2}{\xi_3} \end{aligned} \tag{1}$$

同次座標を利用することにより、幾何学的変換を一般化して次の射影変換で表現する。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

ここで、記号「 $\sim$ 」は同値関係を表し、定数倍の違いを許容して等しいことを示す。式(1)の関係を用いて、式(2)から座標  $(x', y')$  を求めると式(3)と表せる。

$$\begin{aligned} x' &= \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \\ y' &= \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \end{aligned} \tag{3}$$

イメージモザイクでは、式(2)における最後の行列要素  $h_{33}$  を  $h_{33} = 1$  とする。すると、式(3)は  $h$  に関する線形和として次のように整理できる。

$$\begin{aligned} xh_{11} + yh_{12} + h_{13} - xx'h_{31} - x'y'h_{32} &= x' \\ xh_{21} + yh_{22} + h_{23} - xy'h_{31} - yy'h_{32} &= y' \end{aligned} \tag{4}$$

式(4)は、1 枚目における特徴点の座標  $(x, y)$  と、2 枚目における特徴点の座標  $(x', y')$  との関係が与えられた場合の  $h$  を未知量とする一次方程式とみなせられる。未知量の数が  $h = (h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{21}, h_{22}, h_{23}, h_{31}, h_{32})^T$  の 8 つであることから、1 枚目における特徴点  $(x_i, y_i)$  と 2 枚目における特徴点  $(x'_i, y'_i)$  の関係が 4 組以上  $i = (1, 2, 3, 4)$  見い出されれば、方程式の数が未知量の数以上となり、解を得られる。具体的には、各対応点から得られる方程式を以下のように行列表現する。

$$Ah = b \tag{5}$$

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x'_1 & -x'_1y'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y'_1 & -y_1y'_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x'_2 & -x'_2y'_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2y'_2 & -y_2y'_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x'_3 & -x'_3y'_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y'_3 & -y_3y'_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x'_4 & -x'_4y'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y'_4 & -y_4y'_4 \end{pmatrix}$$

$$h = \begin{pmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{pmatrix} \tag{6}$$



式(6)の最小二乗解は, 次の式で得られる.

$$\mathbf{h} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (7)$$

以上により, 2枚の画像の対応する特徴点の座標から, 画像を繋ぎ合わせるための射影変換を求められる.

#### 参考文献

- 1) 国土交通省: 統合災害情報システム Dimaps, <<http://www.mlit.go.jp/saigai/dimaps/>>, (入手 2017.10.22.)
- 2) M. Brown and D. Lowe: Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 74, No. 1, pp.59-73, 2007.
- 3) 東海彰吾, 弓場竜, ウ小軍, 松山隆司: アクティブカメラを用いた動的広域シーンの映像提示法, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J84-D-II, No.8, pp.1910-1920, 2001.
- 4) 谷口行信, 阿久津明人, 外村佳伸: Panorama Excerpts: パノラマ画像の自動生成・レイアウトによる映像一覧, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J82-D-II, No.3, pp.390-398, 1998.
- 5) 磯貝愛, 船曳信生, 甲本卓也, 杉山祐二, 尾崎亮, 岡本卓爾: 最適化手法によるパノラマ画像合成法の提案, スマートインフォメディアシステム研究会技術研究報告, 電子情報通信学会, Vol. 104, No. 512, pp.17-24, 2004.
- 6) 星野准一, 増田功: 局所的な輝度変動にロバストなパノラマ画像生成法, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J82-D-II, No.2, pp.222-229, 1999.
- 7) 金澤靖, 金谷健一: 幾何学的 AIC によるモザイク生成の安定化, コンピュータビジョンとイメージメディア研究会研究報告, 情報処理学会, Vol. 1999, No. 55, pp.31-38, 1999.
- 8) 清水諒, 北原格, 亀田能成, 大田友一: 夜間における景観の複合現実感型表示, ヒューマンコミュニケーションングループシンポジウム, 電子情報通信学会, Vol. 2005, No. 89, pp.241-248, 2014.
- 9) 安部満, 小沢慎治: 特徴点群抽出とグラフ分割を用いた車両追跡法, 情報処理学会技術研究報告, 情報処理学会, Vol. 105, No. 259, pp.7-12, 2005.
- 10) D. Lowe: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- 11) J. Beis and D. Lowe: Shape indexing using approximate nearest-neighbor search in high-dimensional spaces, *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR97)*, pp.1000-1006, 1997.
- 12) CG-ARTS 協会: デジタル画像処理, CG-ARTS 協会, pp.172-178, 2008.
- 13) M. Fischler and R. Bolles: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp.381-395, 1981.
- 14) W. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley and A. Fitzgibbon: Bundle Adjustment: A modern synthesis, *Vision Algorithms: Theory and Practice*, No.1883, pp.298-373, 1999.
- 15) P. Burt and E. Adelson: A multiresolution spline with application to image mosaics, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.2, No.4, pp.217-236, 1983.
- 16) C. D. Kuglin and D.C. Hines: The Phase Correlation Image Alignment Method, *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society*, pp.163-165, 1975.
- 17) 萩原瑞木, 川又政征: 位相限定相関を用いた画像のサブピクセル精度の位置ずれ検出, 回路とシステム研究会研究報告, 電子情報通信学会, Vol.101, No.141, pp.79-86, 2004.
- 18) 小林孝次, 中島寛, 青木孝文, 川又政征, 樋口龍雄: 位相限定相関法の原理とその応用, テレビジョン学会技術報告, 映像情報メディア学会, Vol. 20, No. 41, pp.1-6, 2004.
- 19) 国土交通省: 設備制御インタフェース仕様書(案), <[http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou\\_01cctvH2901.pdf](http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou_01cctvH2901.pdf)>, pp.別-22-別-24, (入手 2017.6.23.)
- 20) 国土交通省: CCTVカメラ設備機器仕様書(案), <[http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou\\_01cctvH2901.pdf](http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou_01cctvH2901.pdf)>, (入手 2017.6.23.)
- 21) CG-ARTS 協会, 前掲書, p.363.
- 22) 国土交通省: IP 映像装置機器仕様書(案), <[http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou\\_07ipeizouH2901.pdf](http://www.mlit.go.jp/tec/it/denki/kikisiyou/toutusiyou_07ipeizouH2901.pdf)>, (入手 2017.12.21.)
- 23) パナソニック: IP ネットワーク映像監視システムカタログ, <<https://solcms.panasonic.biz/catalog/s/f67e6ce4526e00b4f1fbdc3be3436cb2.pdf>>, (入手 2017.12.21.)

(2017. 10. 26 受付)

## VALIDATION OF THE OPTIMAL PAN TIME TO RENDER PANORAMIC IMAGES USING THE FUNCTION OF DEVICES EQUIPPED WITH CCTV CAMERA

Arata KONNO, Yasunobu MAEDA, Toshio TERAGUCHI, Hirotaka SEKIYA  
and Wataru KOBAYASHI

Many natural disasters such as earthquakes and floods occur in Japan. In the case of earthquakes outside working hours, at night or on holidays for example, officials of disaster management bureaus of government agencies need time to return to their offices. It is, therefore, necessary to construct an automatic system which rapidly shares disaster information among such officials.

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has developed and been utilizing CCTV (Closed Circuit Television) cameras to survey infrastructure on roads and rivers and to support disaster management. Officials of disaster management bureaus of the MLIT attempt to check as many CCTV cameras as possible to clarify damage to infrastructure. Under such circumstances, they have no time to rotate the CCTV cameras to obtain a broad panoramic view of their surroundings. To support early-stage governmental decision-making after an earthquake, the National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM) has been studying the construction of a system that will automatically select the CCTV cameras in areas where the measured seismic intensity exceeded a preset level based on municipal unit seismic intensities and rotate the corresponding CCTV cameras to render panoramic images of their surroundings.

To introduce the system, we have to clarify the time officials of MLIT disaster management bureaus need to check panoramic images. CCTV cameras satisfy a common specification set by the MLIT to maintain their quality throughout Japan. Therefore, we must also clarify the method of rotating each kind of CCTV camera to completely pan its surroundings.

We confirmed the behavior of the system and performed trials to measure the time it takes for 10 CCTV cameras along Tsurumi-River to completely pan 180 degrees. Under this condition, we clarified that rendering panoramic images is failing when we spend no more than 8 seconds.