

# 空撮画像認識による広域監視に関する研究

寺原 慶<sup>†</sup> 鹿嶋 雅之<sup>‡</sup> 佐藤 公則<sup>‡</sup> 渡邊 睦<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科

〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40

E-mail: <sup>†</sup> {sc106036,kashima,kimi,mutty}@ibe.kagoshima-u.ac.jp

**あらまし** 近年、空撮画像認識を用いた研究が盛んに行われており、大規模な自然災害などの被災地区の状況把握や植生形態の解析・監視などの様々な分野に応用されている。しかし、従来の研究では、アクティブカメラを用いた人物追跡法などを除き、適切な視野を得るよう人為的にカメラを選択・設置するものが大半であり、広域空間を対象に十分な有効視野を得るようカメラの位置・高度を制御しつつ認識を行う研究はこれまで実施されてこなかった。本稿では、バルーンに小型軽量カメラを装着することによって空中映像を取得する手法を提案する。この空中映像撮影システムを用いて視点を上方に移動することにより、障害物に遮られることなく広い視野が確保できるため、屋内外の様々な状況を適宜認識・提示することが可能となる。本稿では、簡易型の空中映像撮影システムを開発し、屋内環境における評価実験によって、有効性を確認した結果について述べる。

**キーワード** 動画像処理、状況認識、監視システム、SURF、空撮画像認識

## 1. はじめに

生活空間には多くの危険が存在し、その全てを認識することは人の視野範囲のみでは困難である。例えば、台風などの自然災害による農作物被害や車両の飛び出しなどによる事故被害などが挙げられる。

近年では、このような被害を軽減することを目的とした研究が多く行われている[1],[2]。しかし、従来の危険検出のシステムでは、視点位置が固定かつ低高で、検知できる領域が狭いという問題点がある。

そこで我々は、障害物に遮られることなく広い視野が確保でき、屋内外の様々な状況を路面状況に影響されることなく適宜認識・提示することが可能な空撮映像に着目した。本研究では、簡便に構築できる浮遊物にカメラを搭載することで空中映像撮影システムを構築し、それを用いて上空映像を撮影・動画像解析を行い、広域空間の状況認識を目的としている。本稿では、空中映像撮影の新システムと空撮画像取得時に生じる動画のブレの補正を行う手法を提案する。

以下、空撮映像の分類、提案手法、実験、まとめの順に述べる。

## 2. 空撮映像の分類と比較

近年、空撮映像は、工場、学校施設、分譲地、マンション眺望などの様々な場所の状況把握に多く取り扱われている。例えば、長崎の女神大橋工事の進捗状況確認などの事例が挙げられる。

このような空撮方式は表1に示される能動的な飛行体方式と受動的なバルーン方式の2パターンに大別される。

飛行体方式では移動の柔軟性や自律的な制御が可能である。また、ホバリングが可能なので、上空で撮影ポイ

ントを決定しやすいという利点を有するが、人為的な操作が必要であり、高コスト、安全性の低下などの問題も生じる。[3]

一方、バルーン方式では、ヘリやセスナの弱点である騒音が無いという特徴を持つ。また、安全なヘリウムガスを用いているため、爆発の危険も無いといった安全性やロープの長さで指定高度を保つことが出来るといった利点を有する。しかし、飛行体方式よりも風などの外乱の影響を受けやすいという問題が生じる。[4]

表1.空撮方式の分類と比較

Table1. Classification of Aerial photography method.

	飛行体方式	バルーン方式
<b>利点</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外乱の影響を受けにくい</li> <li>移動の柔軟性</li> <li>自律制御が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長時間稼働可能</li> <li>低空で静音撮影</li> <li>安全に指定高度を保った撮影</li> <li>低コスト</li> </ul>
<b>欠点</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バッテリー問題</li> <li>騒音問題</li> <li>安全性の問題</li> <li>人為的な操作が必要</li> <li>高コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外乱の影響を受けやすい</li> </ul>

本研究では、高安全性かつ低コストであり、また、監視システムには必須となる長時間稼働が可能であるバルーン方式を採用した。これにより、障害物に遮られることなく広い視野が確保できるため、屋内外の様々な状況を適宜認識・提示することが可能となる。

### 3. 提案システムと手法

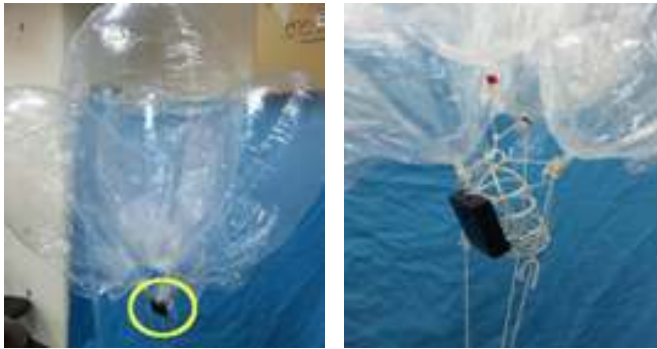
本研究では、独自で開発した空中映像撮影システムを用いた監視システムを提案する。具体的には、田畑区域などの広領域に対して、台風などの自然災害や害獣などによる被害を軽減することを目的とした監視システムである。

本章では、開発した簡易型空中映像撮影システム、風などの外乱の影響によって解析が困難になった空中映像の再構成処理の概要を順に示していく。

#### 3.1. 空撮システム

本空中映像撮影システムでは、ビニール製の風船にヘリウムガスを注入した簡易アドバルーンに小型軽量カメラを装着し、これを用いて上空からの映像を撮影する。従来のバルーンを用いた空中撮影システムに比べて大幅にコストが低く、ヘリウムという不活性ガスを用いて浮遊させるので安全であるという利点を有する。

具体的なシステムの概要を以下に示す。



バルーン	浮力	約 240g (60g×4)
小型カメラ	画質	640×480、30fps
	視野角	105 度

図 1.システム外観 (左：全体像 右：カメラ)

Fig1. The system appearance  
(Left: Whole image Right: Camera)

バルーン 4つを結び合わせにし、カメラをバルーンの下に付加させたものが図 1 である。バルーン破損による安全性の向上や風の影響の軽減を考慮し、バルーン 4つを組み合わせた構成とした。

図 1 の左の丸で囲まれた部分が小型カメラの位置になる。性能は、浮力が約 240 グラム、カメラの画質が 640×480、30fps、視野角が 105 度である。

本システムを用いることにより、屋外においてカメラの固定的な設置が不要であり、建物や街路樹などによる遮蔽が回避できるため、広域監視システムが実現できる。具体的な例として、木造家屋の密集区域における火災発生早期検出や、田畑における食物生育のモニタリング、鳥類や人間による被害感知などといった様々な分野への

応用も考えられる。

しかし、上記小型カメラ画像自体は歪が大きく画像計測・認識に適さない。また屋内静止環境であっても、エアコンファンなどによる微風により簡易バルーンが揺れ動き、画像にブレが生ずる。[5]本研究では、これを自動的に補正するために、得られる動画像系列にまず歪曲歪補正処理を行った後、特徴点を求め、この対応付け結果を用いて各撮影時点間のブレを表す 2 次元アフィン変換行列を推定し補正する手法を考案した。[6]

#### 3.2. 処理の流れ

本研究では、独自で開発した空中映像撮影システムによる広域監視を目標としている。全体の処理の流れを以下の図 2 に示す。今回はまず、風などの外乱の影響を補正するための動画像のブレ補正処理部分を開発した。ブレ補正処理の流れを図 3 に示す。

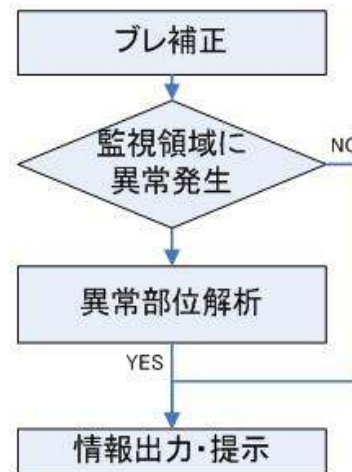


図 2.全体の処理の流れ

Fig2.Flowchart of entire proposed method.

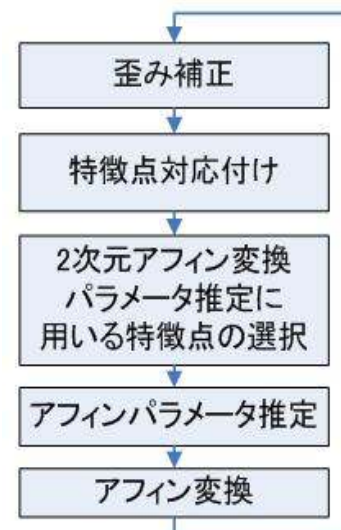


図 3.ブレ補正処理の流れ

Fig3.Flowchart of Blurring revision processing.

全体の流れとしては、まず、風などの影響によるブレの補正を行う。その後、その画像を用いて領域内に異常が発生していないかの解析を行う。例えば、田んぼなどの領域であれば、イノシシなどの害獣の侵入や台風などによる浸水状況などの状況を利用者に提示するといったものである。この処理を繰り返し行うことによって、区域監視を行う。

ブレ補正処理では初めに、魚眼レンズなどによる歪みの補正処理を行うことで、移動物体や危険箇所の検知精度向上のための下準備を行う。続いて特徴点を検出し、前フレームと現フレームとの対応を取る。その特徴点群を用いてアフィン変換パラメータを推定し画像の補正を行う。このとき、椅子や机などの剛体と映像内を移動する移動物体（人や車など）の非剛体の特徴を分離することでカメラのアフィン変換パラメータのみを取得するようにする。

その後、ブレ補正画像を前フレームの画像として保存し、同様の処理を繰り返すことによって動画像全体のブレ補正を行う。

具体的な処理内容は、3.2.1~3.2.3 に示す。

### 3.2.1. 特徴点对応付け

特徴点の対応付けによって得られる特徴量は以下の3点が挙げられる。

- 特徴点の位置
- 特徴点の輝度勾配の方向
- スケール

これらの特徴量を用いて、前フレームと現フレーム画像の特徴点に対して対応付けを行っている。前フレーム画像のそれぞれの特徴点について現フレーム画像から最近傍点検索を行うことで特徴点の対応付けを行う。検索の方法は線形探索である。

### 3.2.2. 特徴点の選択

対応付けした特徴点は、以下の4つに分けられる。

表 2.特徴点の分類

Table2. Classification of characteristic

特徴点の種類	具体例
環境静止物体 (剛体)	机、椅子
可動/変形物体	カーテン
移動物体	人物、車
ノイズ	光反射点

取得した対応点群内には、机や椅子などの環境内に静止している物体（剛体）とその他3つ（可動/変形物体、移動物体、ノイズ）の変化を生じる特徴点の2つが存在している。今回は、カメラのブレを補正することを目的としているため、この2つの特徴点を分類する必要がある。

そこで本研究では、アフィンパラメータの時系列的推移に着目した。人物はカメラに反した動きを行うので、剛体と非剛体の特徴点の動きや大きさ、方向に違いが生じることが予想される。この特徴点ごとの時系的変異量の違いを用いて特徴点の分類を行うことにした。例えば、移動物体や光の差し込む窓が存在している領域は、環境静止物体のみしか存在していない領域と比較しアフィンパラメータの変異量に違いが生じると予想される。そこで、領域ごとのアフィンパラメータ変異量が一定の閾値以下なら剛体（カメラ）の特徴点、それ以外なら非剛体（人物、光、単色領域）の特徴点として分類する。本研究では、特徴点ごとに変異量の違いを見てしまうと処理時間が膨大に掛かってしまうことを考慮し、画面を等間隔に分割し、その内部の特徴点群ごとの変異量をみている。

特徴点選択処理の流れを図4に示す。

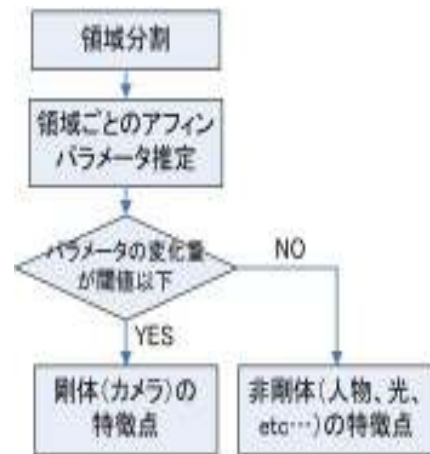


図 4.特徴点選択の流れ

Fig4.Flowchart of characteristic selection.

### 3.2.3. 2次元アフィンパラメータ推定

連続フレームの特徴点对応結果から2次元アフィン変換行列を推定することによって現フレーム画像を前フレーム画像に近似している。このときの変換行列を推定する方程式(1)を以下に示す。

$$X' = SAX = S \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & \alpha \\ \sin \theta & \cos \theta & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} X \quad (1)$$

このとき、Aはアフィン変換行列、Xは前フレーム特徴点行列、X'は現フレーム特徴点行列、 $(\alpha, \beta)$ は平行移動量、 $\theta$ は回転角度を表している。

この(1)式を用いてアフィン変換行列を(2)式によって算出する。

$$A = S^{-1}(X^T X)^{-1}(X^T X') \quad (2)$$

このとき、 $S$  はスケール変換行列を表している。スケール変換行列  $S$  を(3)に示す。

$$S = \begin{pmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & S_z \end{pmatrix} \quad (3)$$

こちら、 $Z$  軸方向（前進方向）の動きは考慮しない2次元アフィン変換パラメータを算出することが目的であるので、 $S_z$  は 1 とする。以後、これらの行列式は  $A$ 、 $S$

と略して表記することにする。ここで算出したアフィン変換行列を現フレーム画像に適応させることによって、前フレーム画像に近い画像へと変換している。更に、この処理を繰り返すことによって動画の再構成を行う。

#### 4. 実験

これまで述べた動画の再構成処理における提案手法の有効性を検証する実験を行った。今回の実験では、完全静止環境と本システム前方に人などの移動物体が存在している環境の2パターンで行った。

以下、移動物体の存在している環境、存在していない環境の実験結果について順に示す。

##### 4.1. 実験環境

提案手法の有効性を確認するため、外乱の影響の少ない実験室での実験を行った。用いたパソコンのスペックを表3に示す。

表 3.PC スペック  
Table3. Specifications of PC.

OS	Microsoft Windows XP professional
CPU	Intel(R) Xeon(TM)
ライブラリ	OpenCV 2.1
開発環境	Microsoft Visual Studio 2010

##### 4.1.1. 歪み補正

カメラには、広角レンズや魚眼レンズ、望遠レンズなどある。本システムでは、どのカメラに対しても適応させるためにキャリブレーションを用いたレンズの歪み補正を行っている。キャリブレーションには Zhang の手法を用いている。[7]

##### 4.1.2. 特徴点検出アルゴリズムの比較

私たちの生活環境はコントラストの変化が激しいところが多く、その場所固有の情報が多いと考えられる。そこで本研究では、動画の再構成に特徴点の時系列変化を用いて行うことにした。

代表的な特徴点検出アルゴリズムには、Haar-like、HOG、SIFT、SURF などがある。それぞれの特徴についてまとめたものを表4に示す。[8]

表 4.特徴点検出アルゴリズムの比較  
Table4. Comparison of characteristic detection algorithm.

	Haar-like	HOG	SIFT	SURF
照明影響不変	○	○	○	○
回転不変	×	×	○	○
拡大縮小不変	○	×	○	○
処理速度	低速		低速	高速
特徴次元	短形種類数	3240	128	128

Haar-like、HOG と SIFT[9]、SURF[10]を比較すると回転に対して不変であるという点に後者は利点を有する。更に SIFT と SURF を比較すると、処理速度が数倍 SURFの方が高速である。そこで今回は、環境変化にロバストでありかつ、リアルタイム処理を目標としたシステム構築を目指しているため、SURF を採用した。

##### 4.2. 完全静止環境での結果

まず、人などの移動物体が存在していない環境（シーン1）で実験を行った。今回の結果は処理を 60 フレーム間行ったものである。キャリブレーションによる魚眼レンズのゆがみ補正を行った結果を図5に示す。以降の処理はこの結果画像を用いて行っている。



図5.キャリブレーションによる歪み補正  
(左：元画像 右：補正画像)

Fig5. Distortion correction by calibration.  
(Left: Former image Right: Correction image)

次に SURF による対応付けを行い、それぞれの特徴点対応を行った結果の一例を図6に示す。

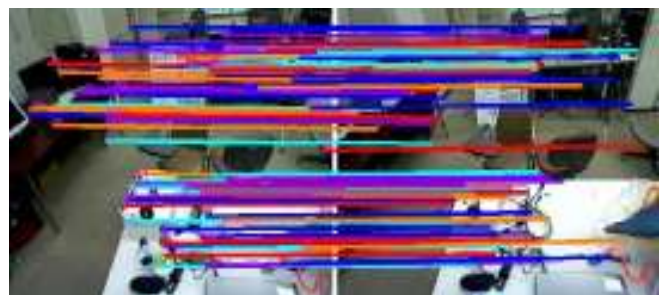


図 6.SURF による対応付け  
Fig6. Associating by SURF.

図 5、6 に関しては歪み補正、特徴点の対応付けの基本的な有効性を、目視によって確認した。

最後に 2 次元アフィン変換によるブレ補正を行った結果を図 7 に示す。



図 7.シーン 1 に対するブレ補正  
(左：前フレーム画像 右：補正画像)

Fig7. Blur correction to Scene1.

(Left: The former frame image Right: Correction image)

### 4.3. 差分による評価

図 7 に示したブレ補正の有効性を定量的に評価するため、現フレーム画像とブレ補正処理を行った画像それぞれに対して、前フレーム画像との差分を行った。この処理を 60 フレーム間 (約 2 秒間) 行った結果の一例を以下の図 8 に示す。

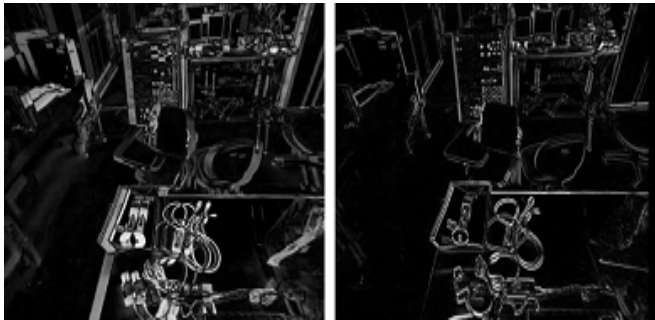


図 8.差分による評価の一例 (左：無処理右：補正処理)

Fig8. One example of evaluation by difference.

(Left: The former frame image Right: Correction image)

図 8 の差分物の画素数を比較すると、無処理が 14808、補正処理が 6818 と補正処理の差分結果の方が、ズレが少なくなっていることが分かる。そこで、この差分結果画像の画素値の合計が 0 に近いほどアフィンパラメータ推定精度 (動画の再構成精度) が高いと評価することにした。

次に、無処理画像、S 非適応アフィン変換、S 適応アフィン変換に対して差分を行い、それぞれの 1 ピクセルのズレの平均をグラフ化した。シーン 1 に対して、1 ピクセルの差分平均推移を図 9 に示す。この処理では、1200 フレーム (約 1 分 30 秒) の推移結果を示す。

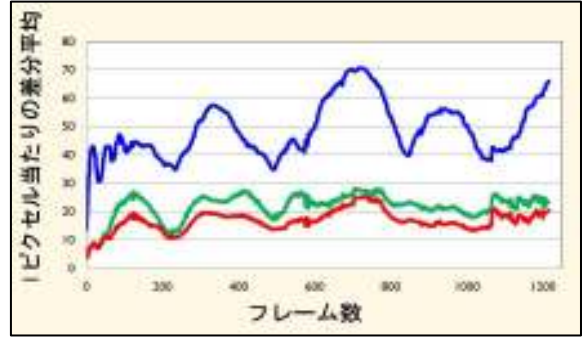


図 9.フレーム間における差分結果推移

Fig9. Change of the result for the difference between frames.

青が補正を行っていない場合、緑が S 非適応アフィン変換の場合、赤が S を適応アフィン変換の場合を表したものである。図 9 より、全フレームに対して、S 適用アフィン変換結果が最も動画の再構成精度が向上していることを確認した。また、最もブレが生じている場面 (720 フレーム) では、補正なしで 70、S ありアフィン変換で 22 と約 3 分の 1 にまで、動画のブレを補正することを可能とした。

次に、同様の実験を暗所、平行移動量が微小、他視点の別パターン 3 つに対しても行った。それぞれの結果を図 10~15 に示す。



図 10.シーン 2 の状況

Fig10.Situation of scene2.

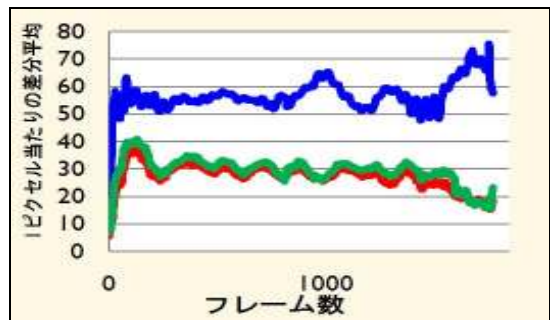


図 11. シーン 2 における差分結果推移

Fig11. Change of the result for the difference in scene2.

シーン2は、シーン1の照明を暗くした環境である。図11より、ほぼ全フレームにおいてS適用アフィン変換結果が最も動画の再構成精度がより良くなることを確認した。シーン1よりも精度が低くなったのは、暗所になったことで特徴点検出精度が低くなったことが原因であると考えられる。



図12. シーン3の状況  
Fig12. Situation of scene3.

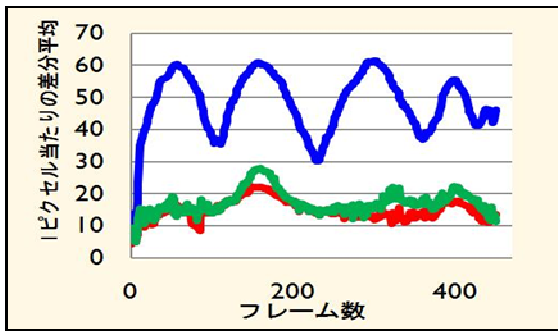


図13. シーン3における差分結果推移  
Fig13. Change of the result for the difference in scene3.

シーン3は、上下左右の動きを微小に抑え、回転方向のみのブレが生じている環境である。図13よりS適用、非適用アフィン変換結果がほぼ同精度の結果を得ることを確認した。これは、上下左右の動きが微小のため、スケール変化を行う必要がなかったことが原因であると考えられる。



図14. シーン4  
Fig14. Situation of scene4.

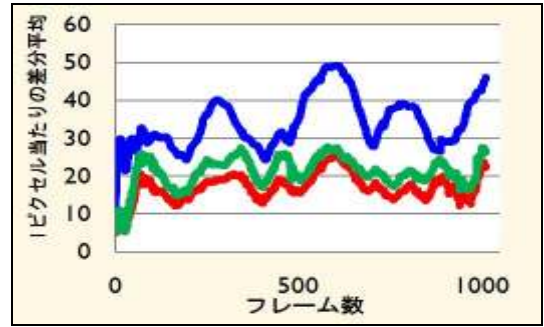


図15. シーン4における差分結果推移  
Fig15. Change of the result for the difference in scene4.

シーン4はシーン1を別視点から見た環境である。こちらの環境においても、ほぼ全フレームにおいてS適用アフィン変換結果が最も動画の再構成精度がより良くなることを確認した。

また、最もブレが生じている場面(583フレーム)では、補正なしで50、Sありアフィン変換で26と約半分までに、動画のブレを補正することが出来た。しかし、シーン1の結果と比較すると精度が低くなっていることが分かる。これは、シーン1よりも、窓などの光の入る場所の範囲が広いために、アフィン変換パラメータの推定精度が低下したことが原因であると考えられる。

#### 4.4. 特徴点選択における有効性評価実験

次に、本システム前方に移動物体が存在した場合の結果を示す。今回は、本システムの有効性を確認するために、画面の分割領域内のアフィンパラメータに違いが出るのかを調査する実験を行った。実験環境としては、剛体のみ環境と同じ実験室で行っている。

今回はまず、画面全体を等間隔に分割し、それぞれの領域に番号を付けることによって分類している。分割数は移動物体の動きの範囲を手動で計測し、その移動量を分割領域内に合わせるように36分割に設定した。また、領域番号は左上から下に向かって順に付けている。

分割した例を図16に示す。



図16. 画面の分割例  
Fig16. Example of dividing screen.

図 17 は図 16 で示した分割した領域ごとの平行移動量ごとのパラメータの推移を表したものである。これから赤丸で囲んだ部分に他領域との違いが生じていることが分かる。この違いが生じている領域を赤枠で囲ったものが図 18 である。

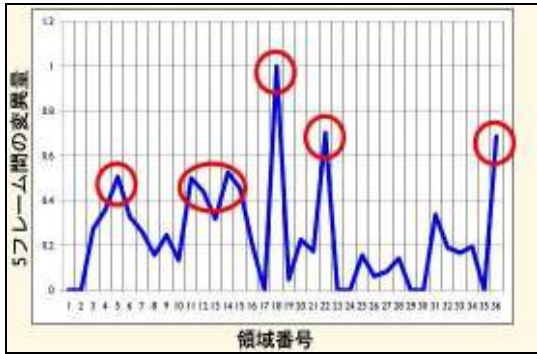


図 17. 領域ごとのアフィン変換パラメータ推移  
Fig17. Transition of affine-transformation parameter of each area



図 18. 異質特徴点推定箇所  
Fig18. Estimated point of the heterogeneous characteristic point

図 18 に示すように、赤枠内部は人、光の入る窓、机などの単色領域に相当する。枠 16 は、人物が入っているのにも関わらずアフィン変換パラメータに特徴が出ていないが、これは歩行時の軸足となっていることで静止していることが原因であると考えられる。

これより、赤領域で囲まれた部分とそうでない部分の特徴点を分離することによって 2 次元アフィン変換パラメータに用いる特徴点選択手法の有効性を示唆することが出来た。

#### 4.5. 実験結果の総括

提案手法に基づく有効性評価実験の結果、シーンによるばらつきはあるが、ほぼ全フレームに対して動画の再構成を行えることが分かった。また、特徴点選択手法においても、提案手法の有効性を示唆した。

今後は、特徴点選択処理の実装することにより、更なる

高精度のシステム構築を行っていくことが課題として挙げられる。また、暗所における実験では、動画の再構成精度が低下することがあった。しかし、本システムでは曇りなどの照度条件までを監視対象条件と定めているため、特徴点検出アルゴリズムの改善や再設定などによって対策可能であると考えられる。

#### 5. まとめ

バルーンカメラシステムを試作し、屋内環境において提案手法の確認実験を行った結果、ほぼ全フレームで自然な動画像が得られることを確認し、提案手法の基本的な有効性を確認した。これにより、バルーンカメラシステムによる広域監視システムの基盤を構築できたと考える。

今後は、特徴点の選択処理の実装を行うことで、更なる高精度のシステム構築を行っていく予定である。その中で、処理速度の向上なども考慮に入れたシステム構築を行っていく。具体的には、SURF 以外の特徴点検出アルゴリズムの使用や高速化[11]特徴点群の再利用などを考えている。また、現在は付加したカメラで録画した映像に対して処理を行っているが、将来的には、無線カメラを搭載することにより、リアルタイム処理を行っていく予定である。

#### 文 献

- [1] 長友暁, 堀家久寿, 秦清治, “気球を用いた災害現場での空撮システムの提案” 映像情報メディア学会技術報告 33(34), 87-88, 2009.
- [2] 板倉篤志, 牧野秀夫, 日置涉, 石井郁夫, 駒形英樹, 若月大輔 “魚眼カメラを用いた災害時空撮画像監視システムの開発” 映像情報メディア学会技術報告 33(6), 81-86, 2009.
- [3] 小村良太郎, 久保守, 村本健一郎 “空撮画像を用いた植生形態の定量的解析” 映像情報メディア学会技術報告 25(59), 23-28, 2001
- [4] 兼石篤志, 岩谷潔, 山本晴彦 “気球空撮システムを用いた小麦の枯れ熟れ様障害の診断” 日本作物学会中国支部研究集録(48), 6-7, 2007.
- [5] 山田整, 木村雅之, 大宮淳, 田川潤一, チュンタンゴ, 向川康博, 八木康史 “ビデオカメラ向けブレ補正技術” ITE Technical Report 33(8), pp21-23, 2009.
- [6] 寺原慶, 鹿嶋雅之, 佐藤公則, 渡邊睦 “空撮画像認識による広域監視に関する研究” 平成 22 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 09-2P-01, 2010.
- [7] Z.Zhang “A flexible new technique for camera calibration.” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11), 1330-1334, 2000.
- [8] 藤吉弘亘 “画像局所特徴量 SIFT と最近のアプローチ” 人工知能学会誌, 25(6), 753-760, 2010.
- [9] David GLowe “Distinctive image features from scale-invariant keypoints” Int.Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- [10] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, “SURF: Speeded Up Robust Features” Computer Vision and Image Understanding, vol.110, no.3, pp.346-359, 2008.
- [11] V.Lepetit and P.Fua, “Keypoint Recognition using Randomized Trees” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.28, No.9, pp.1465-1479, 2006.