第 II 部門　　非計測用カメラを用いたステレオ画像法におけるキャリブレーションに関する研究

大阪大学大学院工学研究科　学生員　○小松　太
大阪大学大学院工学研究科　学生員　金田　直之
金沢工業大学大学院工学研究科　正会員　有田　守
大阪大学大学院工学研究科　正会員　青木　伸一

## 1. はじめに

現在，沿岸域では圧力式波高計などを用いた波浪計測が行われているが，これらに代わる計測手法としてステレオ画像法による波面計測が注目されている．近年では，カメラの高性能化や比較的簡便なキャリブレーション手法の開発により，監視カメラのような計測用ではないカメラを利用した波面計測が，災害情報のモニタリングの観点から期待されている．しかし，著者らが非計測用カメラを用いた波面計測システムの開発を試みたところ，キャリブレーションがうまくいかない場合があるという問題が発生した．そこで，様々な条件でのキャリブレーション実験を行い，その精度に影響を与える要因を明らかにした．

## 2. キャリブレーション手法

まず，基準点となるターゲットを 2 か所から撮影して写真座標を読み取り，同時にトータルステーションによってその点の三次元座標を測定する．得られた基準点の三次元座標及び写真座標を用いて内部パラメータを算定し，写真座標を補正する．その後，三次元座標及び補正された写真座標から外部パラメータを算定する．なお，本研究で使用したカメラは Mobitix 社製の M24M Allround（レンズ：MX-OPT14-L32）である．

## 3. キャリブレーション実験

### 3.1　基準点の三次元的な配置に関する検討

基準点であるターゲットが**写真-1(a)**に示すように同一平面内に配置されているよりも，**写真-1(b)**に示すように立体的に配置されている方がキャリブレーションの精度が向上すると考え，それぞれの条件でキャリブレーションを行った．ターゲットの数はいずれも 20 点とし，それぞれの条件でスケールを 50m, 75m, 100m と変化させて計 6 ケースの実験を行った．キャリブレーションによって得られたパラメータを各基準点の写真座標に与えて算定した三次元座標とトータルステーションで測定した三次元座標の誤差を平均したものを**表-1** に示す．

**表-1　各ケースの三次元座標の算定結果（配置方法を変化させた場合）**

| 配置方法 | | 平面配置 | | | 立体配置 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| スケール(m) | | 50 | 75 | 100 | 50 | 75 | 100 |
| 三次元座標の誤差 | x 軸(m) | 0.040 | 0.070 | 0.195 | 0.203 | 0.272 | 0.045 |
| | y 軸(m) | 0.051 | 0.257 | 0.385 | 8.910 | 4.048 | 2.479 |
| | z 軸(m) | 0.016 | 0.027 | 0.045 | 0.837 | 1.356 | 0.231 |

立体的に配置したケースにおける誤差の方が平面に配置したケースよりも小さくなっていることから，精度良くキャリブレーションを行うためには基準点を立体的に配置する必要があることが分かった．

(a)　平面配置

(b)　立体配置

**写真-1　配置方法**
**(50m スケール，左画像)**

### 3.2　画面内における基準点の設置範囲に関する検討

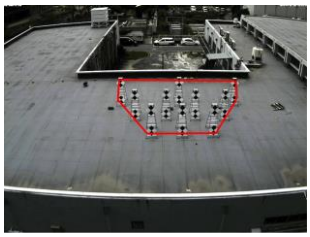
基準点は**写真-2(a)**に示すように画面内の一部に集中させるよりも，**写真-2(c)**に示すように広く分布させた方が，画面内の広い範囲の歪みを考慮できる

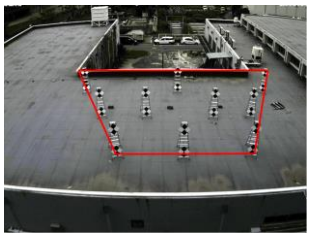
Futoshi KOMATSU，Naoyuki KINDA，Mamoru ARITA and Shin-ichi AOKI
komatsu_f@civil.eng.osaka-u.ac.jp

ため,キャリブレーションの精度は向上すると考えられる．そこで，**写真-2** に示す 3 ケースでのキャリブレーション実験を行った．各ケースの画面内に占める設置範囲の面積の割合はそれぞれおおよそ 6%，18%，31%であった．**表-2** に各ケースのパラメータから求めた三次元座標の平均誤差を示す．Case1 は誤差が非常に大きくなっており，明らかにキャリブレーションがうまくいっていないことが分かる．一方，Case2，Case3 の誤差はいずれも充分小さくなった．以上のことから，画面内における基準点の設置範囲がある一定よりも狭いとキャリブレーションの精度が急激に悪くなるということが分かった．

**表-2　各ケースの三次元座標の算定結果**
**（設置範囲を変化させた場合）**

| ケース | | Case1 | Case2 | Case3 |
|---|---|---|---|---|
| 三次元座標の誤差 | x 軸(m) | 380.348 | 0.010 | 0.009 |
| | y 軸(m) | 131.329 | 0.016 | 0.016 |
| | z 軸(m) | 11.277 | 0.006 | 0.009 |


(a)　Case1


(b)　Case2

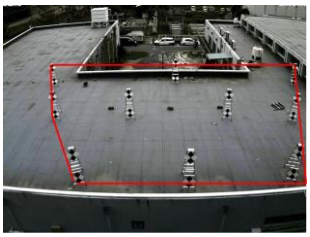

(c)　Case3

**写真-2　設置範囲　（左画像）**

**写真-3　CaseD 左画像**

### 3.3　外部パラメータ算定の妥当性に関する検討

内部パラメータの算定の精度がキャリブレーションの成否を左右すると考え，正確な内部パラメータを用いれば外部パラメータの算定を精度よく行うことができるか検討した．正確な内部パラメータは日本測量協会に委託して得られたものを用いた．まず，ピントなどのカメラの状態を委託時から変えずに保ったまま，ターゲットの撮影及び測量を行う．その後，その写真座標及び三次元座標に正確な内部パラメータを与えて外部パラメータを算定した．その一方で従来の方法でのキャリブレーションも行い，それらの精度を比較した．ターゲットの数は 27 点で，実験場所の都合により 7m 程度のスケールとなった．ターゲットの配置は**写真-3** に示すようにこれまでの実験に倣い，画面内の広い範囲に立体的にした．同様の条件で 4 ケースの実験を行った．従来の方法によるキャリブレーション結果と正確な内部パラメータを与えた結果のそれぞれから求めた三次元座標の平均誤差を**表-3** に示す．

CaseD を除けば，従来のキャリブレーションの精度が悪いケースも正確な内部パラメータを用いることによって，外部パラメータの算定を精度良く行うことができている．この結果から，キャリブレーションを精度よく行うためには，まず内部パラメータを正確に求めることが重要であることが分かった．

**表-3　各ケースの三次元座標の算定結果**
**（内部パラメータを変化させた場合）**

| ケース | | CaseA | CaseB | CaseC | CaseD |
|---|---|---|---|---|---|
| 従来のキャリブレーション | x 軸(m) | 0.1206 | 0.9146 | 0.0307 | 0.0069 |
| | y 軸(m) | 0.1417 | 4.5602 | 0.0142 | 0.0079 |
| | z 軸(m) | 0.0904 | 0.8135 | 0.0014 | 0.0010 |
| 正確な内部パラメータ | x 軸(m) | 0.0021 | 0.0867 | 0.0396 | 0.1188 |
| | y 軸(m) | 0.0076 | 0.0335 | 0.0194 | 0.0766 |
| | z 軸(m) | 0.0011 | 0.0044 | 0.0018 | 0.0426 |

## 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に要約する．

(1) キャリブレーションを行う際の座標既知の基準点は同一平面内に配置すると，精度よくパラメータを求めることができないため，基準点の三次元的な配置は立体的にする必要がある．

(2) 画面内に占める基準点の設置範囲がある一定よりも狭いと，正確にキャリブレーションを行うことができないため，画面内に対して基準点の設置範囲を充分広げる必要がある．

(3) 正確な内部パラメータを用いれば，外部パラメータの算定は概ね精度良く行える．そのため，キャリブレーションにおいては，内部パラメータをより正確に求めることが重要である．