

になければならないという条件か、または $O_A, Q, \bar{Q}, (P)$ の間に Fermat の原理が成立しなくてはならないという条件を使用し、最小 2 乗法を適用して 12 個の要素を計算する。

3. 計算例 および 結果

前述のような水中カメラシステムで水中に設置されたテストフィールドを撮影し、水中カメラシステムの諸要素を計算した。テストフィールドの寸法は約 $1.2 \times 1.4 \text{ m}$ であり、撮影軸方向の基準点座標の最大差は約 30 cm であった。撮影はテストフィールドの中心にほぼ垂直に行なわれ、撮影距離を約 3.5 m にした。基準点の個数は全部で 22 個であった。

カメラレンズの歪曲収差曲線と半球の内径、外径はそれぞれ別々に実験により求め、ガラス、および水の屈折率は 1.49, 1.33 とした。

表-1: 未知数間の相関係数と計算結果

	φ	ω	X	X_0	Y_0	Z_0	a	b	c	X'	Y'	f	未知数の平均 2 乗誤差
φ	1.00	-0.02 -0.03	-0.53 -0.54	-0.08 -0.08	0.16 0.15	0.05 0.05	0.31 0.31	0.02 0.03	-0.08 -0.08	0.18 0.17	0.06 0.06	-0.12 -0.13	2.1' 1.1'
ω		1.00	-0.16 0.18	0.10 0.04	-0.30 -0.48	-0.57 -0.61	-0.01 -0.11	-0.56 -0.55	-0.29 -0.41	-0.08 -0.53	0.01 -0.09	0.06 0.01	2.4' 1.3'
X			1.00	0.31 0.34	-0.08 -0.20	0.01 -0.19	-0.05 -0.07	0.17 -0.01	0.06 -0.06	-0.04 -0.15	-0.14 -0.15	0.06 0.08	0.3' 0.1'
X_0				1.00	-0.25 -0.22	-0.41 -0.36	0.00 -0.01	0.08 0.12	-0.22 -0.20	0.35 0.29	-0.16 -0.17	0.06 0.06	2.27 mm 1.17 mm
Y_0					1.00	0.58 0.65	-0.01 0.04	0.05 0.15	0.24 0.33	0.11 0.32	0.50 0.51	-0.16 -0.14	2.53 mm 1.42 mm
Z_0						1.00	-0.02 0.04	0.07 0.13	0.47 0.53	0.10 0.37	0.26 0.30	-0.22 -0.19	15.55 mm 8.70 mm
a							1.00	0.02 0.07	0.05 0.09	-0.78 -0.60	-0.01 0.00	0.07 0.07	0.480 mm 0.250 mm
b								1.00	0.06 0.13	0.05 0.29	-0.75 -0.70	0.02 0.05	0.573 mm 0.294 mm
c									1.00	-0.07 0.13	0.10 0.14	0.96 0.94	2.665 mm 1.443 mm
X'										1.00	-0.03 0.07	-0.15 -0.14	0.070 mm 0.043 mm
Y'											1.00	-0.08 -0.08	0.092 mm 0.037 mm
f												1.00	0.325 mm 0.168 mm
未知数	$\pm 20.0'$ $\pm 20.3'$	$\pm 30.6'$ $\pm 30.6'$	$\pm 4.3'$ $\pm 4.3'$	$\pm 22.0'$ $\pm 22.0'$	$\pm 32.0'$ $\pm 32.0'$	$\pm 34.0'$ $\pm 34.0'$	± 0.319 ± 0.319	± 0.151 ± 0.151	± 1.023 ± 1.023	$\pm 4.26'$ $\pm 4.26'$	± 2.780 ± 2.780	$\pm 5\%$ $\pm 5\%$	5% 5%

基準点数: 22 個

撮影距離: 約 3.5 m

使用カメラ: Nikon FL450

カメラ部のみ

写真上の残存誤差: $M_{xy} = 2.6 \mu\text{m}$
 $M_{zy} = 1.9 \mu\text{m}$

実測上の残存誤差: $M_{xy} = 0.19 \text{ mm}$
 $M_{zy} = 0.12 \text{ mm}$

上段: 屈折光線と利用する方法

下段: Fermat の原理と利用する方法

計算の結果をまとめたとものが

表-1 である。

表-1 の結果をみると、未知数間にはそれほど大きな相関が認められないが、得られた未知数の平均 2 乗誤差を検討してみると、 M_{Z_0} (得られた Z_0 座標の誤差)、 M_f (得られた画面距離の誤差) が相対的に大きい。この原因はテストフィールドの基準点配置があまり均等でなく、また撮影方向の距離差 (最大 30 cm , 平均約 10 cm) と小さかったことにあると思われる。写真画面上の残存誤差は約 $2 \mu\text{m}$ で、これは精密ステレオコンパレータにおける座標測定誤差に対応するから、非常によい値であるが、カメラレンズの画面

距離が約 5 cm と小さいので、通常の測量用カメラでの値とは簡単に比較できない。屈折光線と利用する方法と Fermat の原理と利用する方法との相違は未知数の平均 2 乗誤差が Fermat の原理と利用する方法では屈折光線と利用する方法の場合に比べて、約半分になっていることから、結果のみより考えれば、Fermat の原理と利用する方法の方がすぐれているといえるが、計算の簡便さ、種々の場合への適用しやすさという点では屈折光線と利用する方法の方が便利であるという結果が出た。

参考文献

- 1) Comer T. McNeil: Underwater Photography, Photogrammetric Engineering, Vol. 35, 1969 PP. 1135—1152
- 2) J. Höhle: Methoden und Instrumente der Mehrmedien-Photogrammetrie, Presented paper für XII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie, Ottawa-23. Juli bis 5. Aug. 1972