

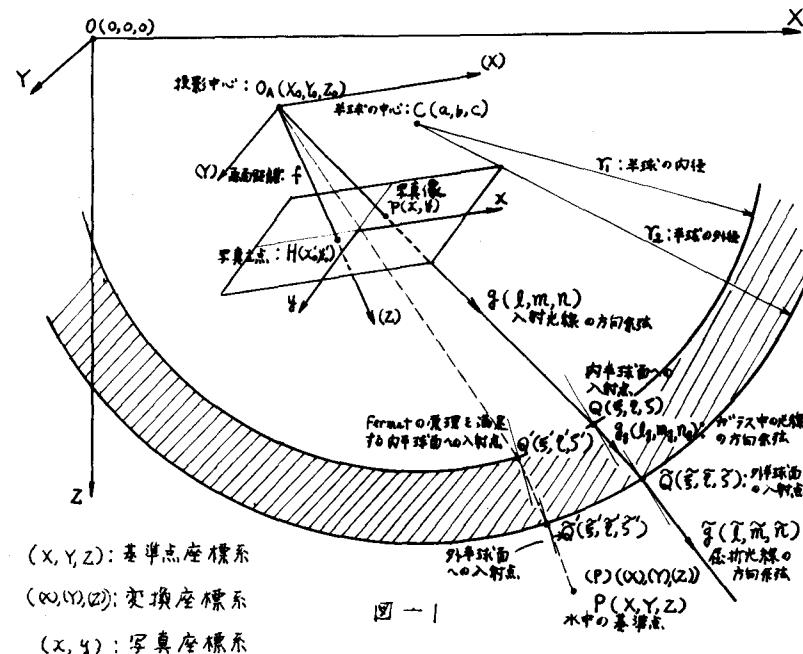
京都大学工学部 正員 森 忠次

京都大学工学部 正員 岡本 厚

1. 緒言 水中の被写体を撮影する方法には種々あるが、ここでは水中カメラシステムを使用して水中写真測量を行なう場合を考える。水中カメラシステムとしては、精密測量用小型カメラを半球形容器を持つ水中容器に設置して、屈折の影響を除去するものと想定する。つまり、半球形容器の中心とカメラレンズの前部節点とを一致させるようにカメラを水中容器に設置することができれば、水中容器の外側の媒質の屈折率とは無関係に被写体と得られた写真像は空中写真の場合と全く同じ關係にあるという原理を利用して水中カメラシステムである。

このような水中カメラシステムを設計製作する場合、使用する精密測量用カメラの内部標定要素に誤差がないものと考えると、主要な誤差原因は偏心の影響と球面の形とであり、製作上この2点に特に注意を要する。本研究では、これらの製作誤差の許容範囲を決定し、水中写真測量用に使用できる水中容器を設計製作することを主目的としているが、この種の水中撮影用アマチュア水中カメラシステムが米国その他で既に製作されていながら、それらの水中カメラシステムの諸要素を精密に求めた方法を提案し、その実例を示す。なお、実例として使用された半球形容器は米国製であり、使用カメラは Nikon F 1.4/50mm である。

2. 方法の叙述 半球形容器を持つ水中容器にアマチュアカメラを設置し、これを水中カメラシステムとして使用する。この水中カメラシステムの諸要素を計算する方法には種々あるが、ここではレンズ系とカメラレンズのみと考え、カメラレンズの歪曲収差曲線、 r_1, r_2 、およびガラス、水の屈折率が既知であるとし、水中容は完全な半球形であると仮定する。この仮定のもとで、求められるべき要素は写真の外部標定要素($\theta, \omega, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$)、写真主点位置(x_0^*, y_0^*)、画面距離 f 、および半球の



X 中心位置 $C(a, b, c)$ で合計 12 個である。計算過程を簡単にするために、基準点座標系 (X, Y, Z) を X, Y, Z 軸のまわりにそれぞれ w, φ, ψ だけ回転させ、X, Y, Z 軸方向に X_0, Y_0, Z_0 だけ移動させた変換座標系を考え、これで (x, y, z) で表わす。半球の中心位置 $C(a, b, c)$ はこの座標系において求められる。計算の原理としては、水中の屈折光線(入射光、反射光)上に水中の基準点 P が存

在しなければならぬといふ条件か、または $O_A, Q, \tilde{Q}, (P)$ の間に Fermat の原理が成立しなければならぬといふ条件を使用し、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

前述のようすを水中カメラシステムで水中に設置されたテストフレームと撮影し、水中カメラシステムの諸要素を計算した。テストフレームの寸法は約 $1.2 \times 1.4\text{m}$ であり、撮影軸方向の基準点座標の最大差は約 30cm であった。撮影はテストフレームの中心にはじめ垂直に行なわれ、撮影距離を約 3.5m 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

	α	w	X	X_0	Y_0	Z_0	a	b	c	X'_0	Y'_0	f	未知数の平均2乗誤差
α	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'
w	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 -0.03	0.01 0.09	0.01 0.01	0.06 0.01	2.4' 0.3'
X	1.00	0.31 0.34	-0.08 -0.20	0.01 -0.17	-0.05 -0.07	0.17 -0.01	0.06 -0.06	-0.06 -0.15	-0.14 -0.15	0.06 0.08	0.06 0.08	0.06 0.1'	0.3' 0.1'
X_0	1.00	-0.25 -0.22	-0.61 -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 1.17	2.27 1.17	2.27 1.17	2.27 1.17
Y_0	1.00	0.58 0.65	0.01 0.04	0.05 0.15	0.26 0.33	0.11 0.32	0.50 0.51	-0.16 -0.14	2.53 1.42	2.53 1.42	2.53 1.42	2.53 1.42	2.53 1.42
基準点数: 22 個													
撮影距離: 約 3.5m													
使用カメラ: Nikon F1/450 カメラ種類: オン													
M_{xy} : $2.6\mu\text{m}$ M_{xy} : $1.7\mu\text{m}$													
M_{xy} : 0.19mm M_{xy} : 0.12mm													
上段: 屈折光線を利用すり方法													
下段: Fermat の原理を利用すり方法													
未 知 数													
未 知 数	-4.20.5 -4.20.3	-4.30.4 -4.30.6	-4.16.3 -4.16.3	22.0 22.0	-3.92. -8.92.	6.6 -0.01 -0.50 -0.15 -0.87	3.60.7 -3.60.8 0.353 0.574 0.909	0.319 0.353 0.574 0.909	0.57 0.57 0.909	1.023 1.216 2.794	1.206 2.794	2.780 5.8 6.99 5.05	5.8 6.99 5.05

計算の結果をまとめたものが

表-1である。

表-1の結果をみると、未知数間に何よりも大きな相間が認められることが、得られた未知数の平均2乗誤差を検討してみると、 M_{xy} (得られた座標の誤差)、 M_y (得られた画面距離の誤差) が相当大きい。この原因はテストフレーム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 30cm 、平均約 10cm) と小さかたことにあらわされる。写真画面上の残存誤差は約 2.4mm で、これは精密ステレオエンバーラーによ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 54mm と小さいため、通常の測量用カメラでの値とは簡単に比較できない。屈折光線を利用する方法と Fermat の原理を利用する方法との相異は未知数の平均2乗誤差が Fermat の原理を利用する方法では屈折光線を利用する方法の場合に比べて、約半分になつてゐることから、結果のみり考へれば、Fermat の原理を利用する方法の方がすぐれていいといえるが、計算の簡便さ、機器を場合への適用やすさといふ点では屈折光線を利用する方法の方が便利であるといふ結果が出た。

参考文献

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