

京都大学工学部 正会員 森 忠次

京都大学工学部 正会員 岡本 厚

1. 緒言 最近とみに重要になってきた海洋開発, また河川その他の水理現象の解明に写真測量学を利用することはさきわめて有意義であると考えられる。この場合写真の撮影方法には, 一般の測量用カメラを用いて空中から水中と撮影する方法と水中カメラを使用して直接水中における対象物の写真撮影を行なう方法とがあり, 前者を2層写真測量学, 後者を水中写真測量学と呼ぶことにする。前者の利点は1枚の写真で広範囲の地域が撮影できること, 水理実験の場合等には流れを乱すことなく遠隔撮影ができることなどであり, その欠点は水が濁っている場合, あるいは水深が大きい場合等に水底がうまく撮影できないこと, 撮影された写真は屈折の影響でひずんでいるため通常の図化機によって簡単には図化できないことなどである。後者の場合はおおむね上へ利点, 欠点が逆になるが, 水中測量用の精密水中カメラの開発が遅れているのが現状である。本研究では, 2層写真測量学について取り扱うことにし, その基礎理論である2層写真の解析的標定問題についてのこれまでの研究成果を総括的に報告し, かつ実証的研究を通じてそれらの比較検討を行なう。さらに, これらの基礎理論を使用して2層写真と使った水中の解析的航空三角測量が空中写真の場合と全く同じように容易に行なえることを示し, 誤差論的に見てこの場合有利であろうと思われる2種類の方法を紹介する。

2. 2層写真の解析的標定理論

1). 標定理論概説 2層写真の解析的標定法には, 一般の空中写真の場合と同様に, 単写真の標定理論に基づいて個々の2層写真の標定要素を計算する方法と実体写真の標定法に倣い1枚の2層写真の標定と相互標定とお地標定の2段階に分けて実施する方法とがある。前者の方法は一般に空中写真の場合には後者より精度

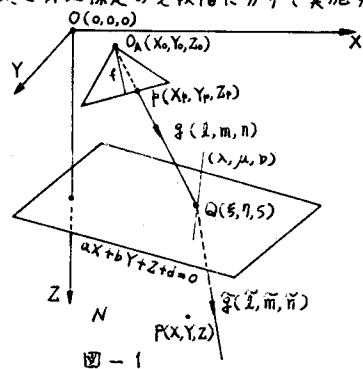


図-1

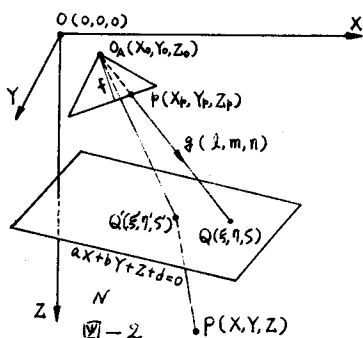
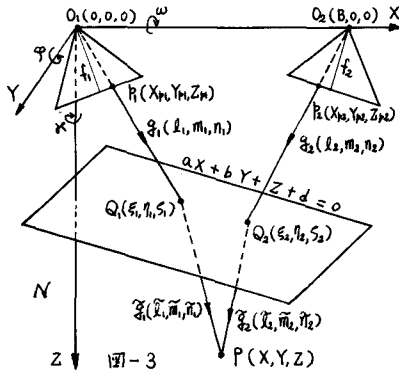


図-2

が悪いとされているが, 2層写真の場合はその撮影条件によ, てかなり異, った結果を生じるであろう。というのは, もし屈折面の位置および形状が既知である場合は, 標定を地上座標系を使って行なえば, 求めるべき標定要素が写真の外部標定要素(x_0, y_0, z_0)のみであり, 標定問題が非常に簡単になるからである。一方, 実体写真の標定理論に基づいて2層写真の標定を行なう場合には, 相互標定段階において定義されるモデル座標系は任意にとられるから, たとえ屈折面の位置および形状が地上座標系において既知である, ても, 相互標定段階では屈折面の位置および形状をモデル座標系において規定する要素と未知数として求めなければならない。つまり未知数の数が増加する。このことは2層写真測量学においては, 実体写真の標定理論を使って1枚の2層写真の標定を行なうことが, 空中写真の場合とは異なり, 有利とは限らないことを示している。

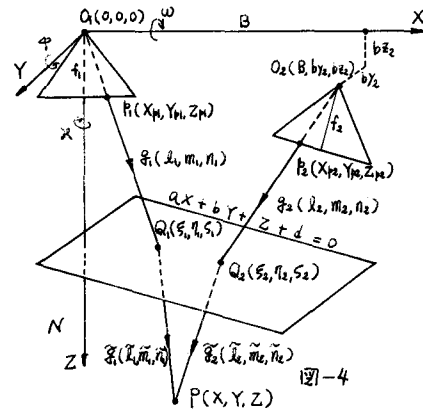
2). 単写真の標定理論に基づく2層写真の解析的標定法 単写真の標定法に基づく2層写真の解析的標定法のうちで, ここでは屈折光線と利用する方法(図-1参照), およびFermatの原理と利用する方法(図-2参照)を紹介する。屈折面については未知平面であると仮定する。この場合求めるべき標定要素は1枚の2層写真について, 写真の



外部標定要素6個と屈折面を規定する要素3個の合計9個である。屈折光線を利用する方法では上の9個の要素が『地上座標系(X,Y,Z)における写真像の空間位置P(Xp,Yp,Zp)より求められた屈折光線(交,屈折)とに写真像に対応する水中の基準点P(X,Y,Z)が存在しなければならない』という条件より計算され、またFermatの原理と利用する方法では『P(Xp,Yp,Zp)より求められた屈折点Q(ξ,η,ζ)がFermatの原理を満足する屈折点Q'(ξ',η',ζ')と一致しなければならない』という条件より求められる。

3). 実体写真の標定理論に基づく2層写真の解析的標定法

実体写真の標定理論に基づく1対の写真の標定は通常相互標定と対地標定の2段階に分けて行なわれる。ここではそのうち1対の2層写真の解析的相互標定法について述べる。この場合相互標定のやり方には2種類の方法がある。一つは独立モデル法による方法(図-3参照)であり、他の一つは接続標定法による方法(図-4参照)である。独立モデル法による1対の2層写真の相互標定法では未知数が5個の角度要素(φ,ψ,ω,ω2)と屈折面を規定する要素とであり、屈折面が平面なら3個の要素(a,b,d)であるが、合計8個である。接続標定法による場合には5個の右側写真要素(φ2,ω2,ψ2,b2,c2)と(a,b,d)とを、て、この場合も必要な要素の数は8個である。これら8個の未知数は『対応する2本の屈折光線(ξ,η,ζ)と(ξ',η',ζ')は交点しなければならない』という条件より求められる。



線(ξ,η,ζ)と(ξ',η',ζ')は交点しなければならない』という条件より求められる。

4). 2層写真を用いた無空三角測量に有利な方法

これは単写真の標定理論に基づく2層写真の解析的標定法とを併用した方法、およびTriangulation-Methodと利用した2層写真の解析的標定法等であるが、詳しい紹介は講演にゆずる。

3. 実験的検討により各種2層写真の解析的標定法の比較

単写真の標定理論に基づく2層写真の解析的標定法(2種類)と実体写真の標定理論に基づく2層写真の解析的標定法(2種類)が屈折面が高さ既知の静水面の場合の3種類の実験モデルを使用して検証された。この研究によ、て明らかになったことは、実体写真の標定理論に基づく方法ではその相互標定段階において未知数間に非常に大きな相関があり、その結果得られる精度は撮影条件、写真座標の誤差等によって極端に変化すること、単写真の標定理論に基づく方法ではほぼ空中写真の場合に相当する精度が得られること等である。またこの場合、単写真の標定理論に基づく方法のうち屈折光線を利用する方法とFermatの原理と利用する方法の間に差異が認められな。たが、実体写真の標定理論に基づく方法では接続標定法による方法が独立モデル法による方法よりわずかにすぐれていた。

4. 結言 この研究では、著者等の開発した2層写真の種々の解析的標定法が紹介されているが、これらの方法は非常に一般的なものであり、従来の方法と違、て、いわゆる屈折面が曲面の場合でも容易に適用できる。また、これらの方法は2層写真を使った航空三角測量による水中の基準点測量を行なうのに便利になっている。上で提案した方法のうち2),3)は3種類の実験モデルを使用して検証され、それぞれの特性が明らかにされたが、得られた精度はSMK-120(Zeiss)を使用した場合平面位置誤差で $m_{xy} = 7 \cdot 10^{-4} \text{mm}$ (写真画面上)、高さの誤差で $m_h = 0.5 \sim 0.7\% \text{ of Height}$ であり、MK2を使用した場合は、 $m_{xy} = 30 \sim 35 \mu\text{m}$ ($c = 172.68 \text{mm}$)、 $m_h = 0.6 \sim 0.9\%$ であった。したがって実体写真の標定原理を使用して標定を行なった場合には得られた結果の一部は近似補正法により修正されている。屈折面が未知平面および曲面の場合、また他に提案された2種類の方法の実証的研究は以後進める予定である。