したが，実はその導出にはもう一つ座標系を設定します。

図-2.4は，カメラの投影中心を原点にして，地上座標系のX，Y，Z軸の方向と一致するように座標軸(それぞれx，y，z軸とします)をとった座標系です。この座標系の３軸のまわりの回転で，飛行機の揺れ，もっといえばカメラの傾きを再現するのです。それぞれの回転角は，κ(ｚ軸のまわり)，ϕ(ｙ軸のまわり)，ω(ｘ軸のまわり)で表します。今回は，この再現に必要な回転角はあらかじめ分かっているものとしましょう。

導出の下準備　その2　状況の設定

地上に“とがった山の頂”があり，空中写真に写っています。このとき，その山頂(の像)の写真座標を(x, y)とします。画面距離が$c(c>0)$であれば，このカメラ座標は$(x, y, -c)$となります。ここで，カメラ座標が$(x, y, -c)$である，この点(山頂の像)を，カメラ座標系での位置ベクトルと見て，これをベクトルAとしましょう(図-2.5)。また，山頂の地上座標を(X, Y, Z)とします。

目標は，山頂の写真座標(x, y)と，その地上座標(X, Y, Z)との間に成り立つ関係式(つまり共線条件式)を求めることです。

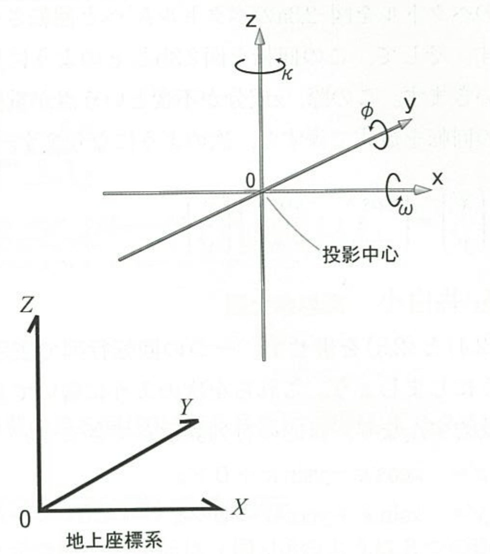

図-2.4　もう一つの座標系

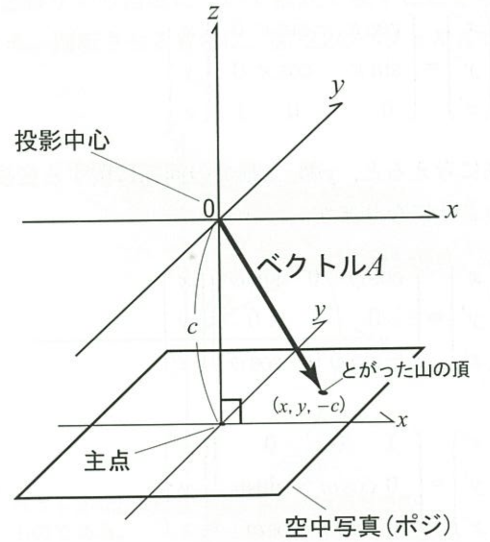

図-2.5　カメラ座標系での位置ベクトル

共線条件式の原形

まずは図-2.6に描いたＩの状態をご覧ください。これは，カメラの投影中心の位置が判明していること(つまりその地上座標が分かっていること)を前提にして，図-2.4の座標系に，図-2.5のカメラ座標系をそのまま重ねた状態です。

このＩの状態が出発点になります。この状態では，飛行機の揺れが考慮されていませんので，ベクトルAの延長に山の山頂はありませんね。つまり共線条件が成り立っていません。しかし今は，撮影時を再現する３軸の回転κ，ϕ，ωは分かっていますので，これらが使えます。

まずは，ｚ軸のまわりでベクトルAをκだけ回転させます(図-2.6の①)。ベクトルAは，ベクトル$A \to A'$のように変換されます。次に，ｙ軸のまわりでϕだけ回転させます(図-2.6の②)。ベクトルA'は，ベクトル$A' \to A''$となります。最後に，ｘ軸のまわりでωだけ回転させます(図-2.6の③)。ベクトルA''は，ベクトル$A'' \to A'''$となります。そして，図-2.6のⅡの状態のように，ベクトルA'''になった段階で，これは実際の山の山頂を向くベクトルになります。これで共線条件が成り立ちます。

以上のことを数式で表現します。先ほど紹介した回転行列(2.9)を使えば簡単です。この式を使えば，図-2.6の一連の回転による変換は，

$$A''' = R_\omega R_\phi R_\kappa A \qquad (2.10)$$

と書けます。

さて，このベクトルA'''を何倍かしてあげれば，とがった山の山頂にまで矢先がとどきます。すなわち，図-2.6の「Ⅱの状態」に描いたベクトルCが得られるのです。ここで例えば，ベクトルA'''をλ(ラムダ)倍したとき，ベクトルCになるとすれば，次式が成り立つでしょう。

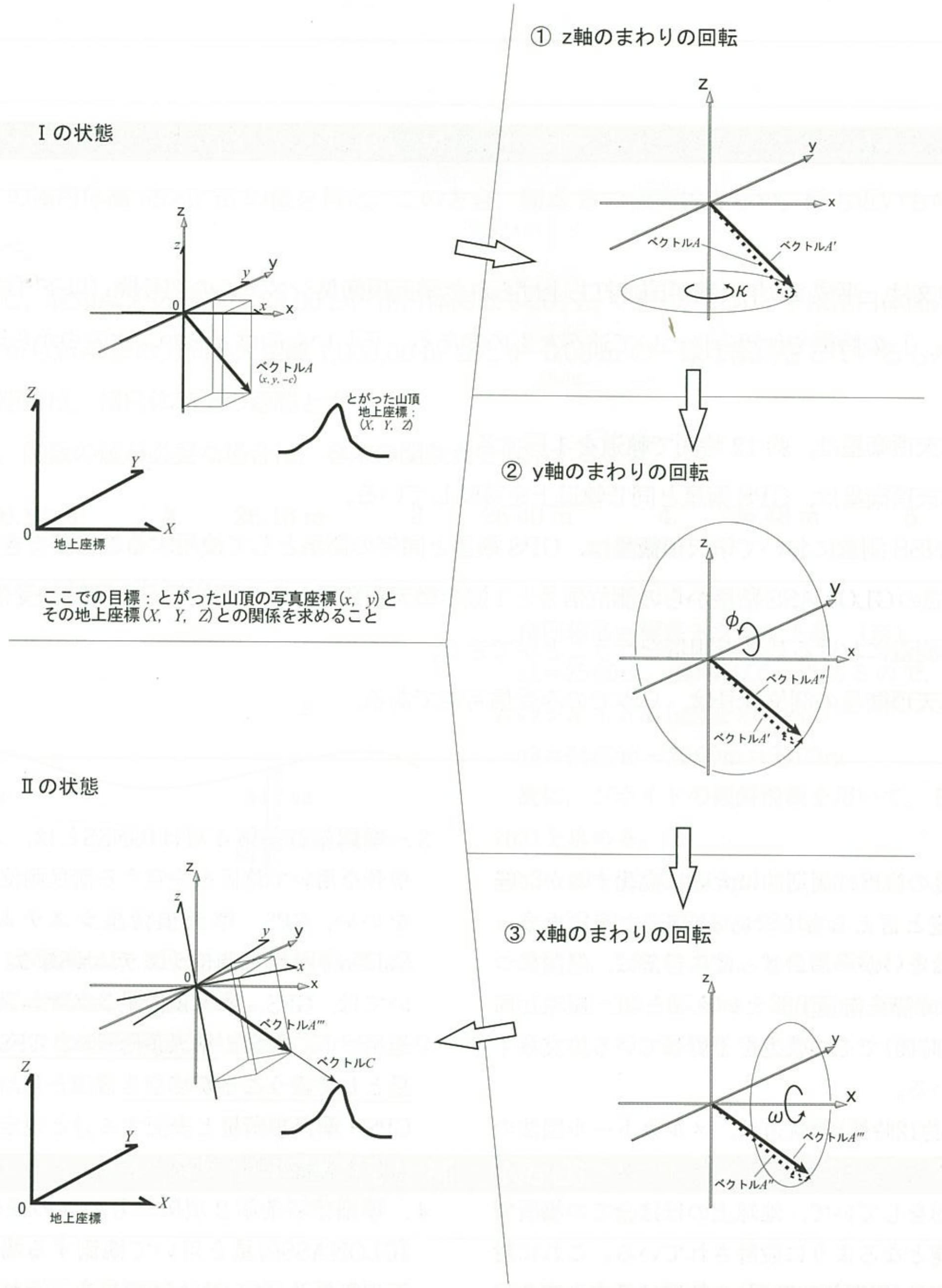

図-2.6　カメラ座標系の回転

$$C = \lambda R_\omega R_\phi R_\kappa A \qquad (2.11)$$

$R_\omega R_\phi R_\kappa$は，積を計算すれば，もちろん１つの回転行列です。その実態は(2.9)に示したとおりで，これに従えば(2.11)は，

$$C = \lambda R_{\omega\phi\kappa} A \qquad (2.12)$$

と書けます。

ベクトルCは，投影中心から空中写真上の山頂の像を通って，地上にある山頂を示すベクトルです。したがって，(2.12)こそが，共線条件によって，空中写真と地上との関係を表したものであり，共線条件式なのです。しかし，この式では，写真座標と地上座標の対応づけがよく分かりません。つまり，これは，ここで求めたい共線条件式ではないのです。強いていえば，“共線条件式の原形(ベクトル表示の共線条件式)”でしょうか。

次回は，写真測量において，最もよく知られている形式の共線条件式を求め，その意味するところや利用価値についてお話ししましょう。