

第八章 ステレオ画像による 3 次元計測

1. 立体視
2. ステレオ幾何モデル
3. ステレオマッチング
4. 新しい高さの計測手法
 - レーザーレンジファインダー
 - マイクロ波レーダ
5. 写真・画像を用いた標高計測の利点と問題点

問題

1. 富士山の山頂は東経 $138^{\circ} 44'$ 北緯 $35^{\circ} 22'$ 標高 3776m に位置し，高知工科大学は，東経 $133^{\circ} 43'$ 北緯 $33^{\circ} 37'$ 標高 60m である．富士山と高知工科大学の間に全く障害物が無ければ，高知工科大学から富士山の山頂を見ることができるか，計算によって判定しなさい．なお地球は，半径 $6,378,140\text{m}$ の球形とし大気の影響は無視できるものとする．

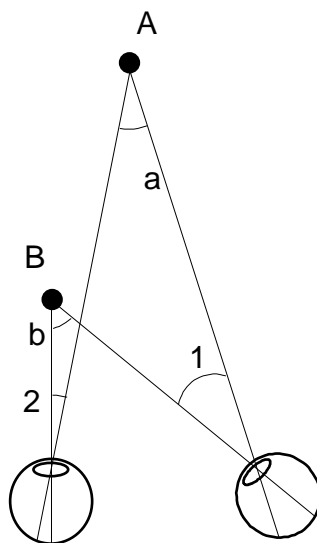
立体視

1. 立体視鏡

- 人間の目が2つあるのは、奥行き感覚を得るためである。したがって、右目用の写真、左目用の写真を用意し（ステレオペア写真と呼ぶ）、右目で右写真、左目で左写真を見れば奥行き感のあるものとなる。これを立体視という。何の装置も使わず立体視するには訓練が必要だが、立体視鏡を利用すれば簡単に立体視ができる。
- ところで、対象物までの距離と右目写真・左目写真を撮影する間隔は奥行き感に影響を与える。当然、左右の間隔が大きいほど奥行き感を得ることができるが、立体視するのが難しくなる。

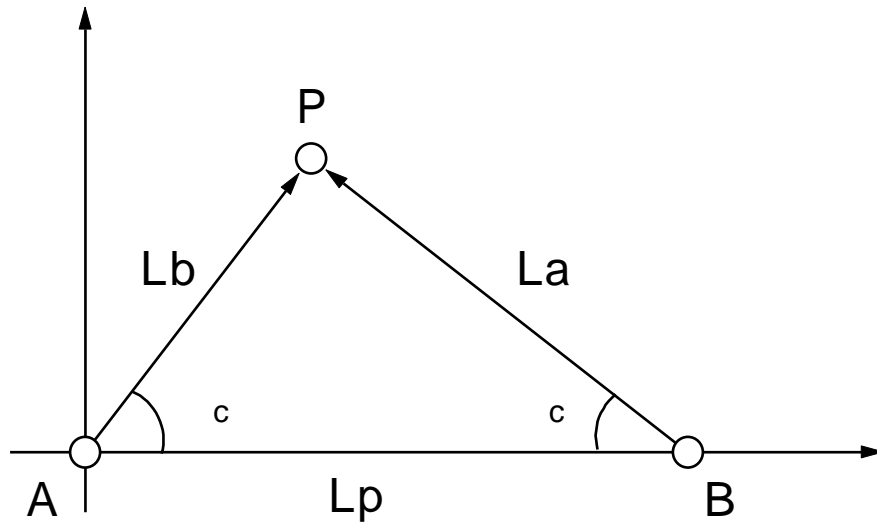
2. 両眼視差

- 左右の間隔が大きいと立体視するのが難しいと述べたが、これは両眼視差によるものである。
- 下図において点Bを見る時、左右の目とも網膜の中心に投影されるように目が動く。この時点Aは、右目と左目で投影される場所が大きくずれてしまう。これを両眼視差といい $a - b$ で表される。これが大きすぎると、心地よく立体視することができない。



両眼視差

2次元でのステレオ幾何モデル1

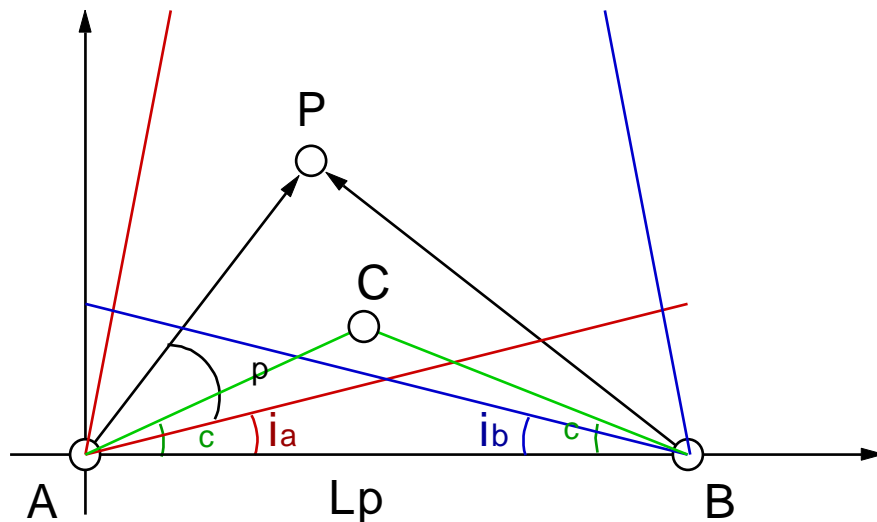


1. 幾何モデルの原理

- 点A, BよりPを観測し, Pの位置を求めることを考える.
- + 画像からは角度が計測できるので, α, β が求まる. さらに AB間の距離 L_p が求めればPの位置を導くことができる.

$$\sin \alpha / L_a = \sin \beta / L_b = \sin(\pi - \alpha - \beta) / L_p$$

- 上式を利用すると簡単に解ける.
- ところで, 実際に画像から角度 α, β を求めるにはどのようにすれば良いのだろうか?
- 下の図は, 点Aにおいたカメラの画角を赤で, 点Bにおいたカメラの画角を青で表している. この状態だと, 点 P を直接測ることは出来ない. 画像の端から撮影されたPまでの角度を求めたとしても α, β の角度しか求まらないのである



2次元でのステレオモデル2

1. 標定の重要性

- + この問題を解決するにはカメラの傾き i_a を求めておく必要がある。しかし、カメラの傾きを事前に測るのは容易でない。そこで通常は、あらかじめ座標が求められている点Cが画像上のどこに投影されているかを確認することによって求めている。例えば、点A、点Bどちらの画像でも捉えられている既知点Cの画像座標が解れば i_a を求めることができる。
 - ・ 点Cの地上座標が解っているので、角C-A-Bが求まる。
 - ・ 点Cの画像座標より、角C-A-Ar
 - ・ 上の値より、カメラの傾き i_a が求まる
- このように、既知点を利用してカメラの傾きを逆算することができる。この既知点は、測量用語で基準点と呼ばれている。この例では、カメラの位置が求まっており、カメラの傾きだけが未知数なため、一つの基準点だけで計算できた。もし、カメラの位置も解らないような場合は未知数が増えるため、3つ以上の基準点が画像に写っている必要がある。さらにカメラの傾きも、水平方向のみでなく、垂直方向、光軸方向の傾きも考慮に入れなければならない。したがって、画像によって計測を行うためには、カメラの位置 (X, Y, Z) と傾き (, ,) を求める必要がある。これらパラメータを基準点を使うことによって計算するが、このことを特に標定と呼んでいる。

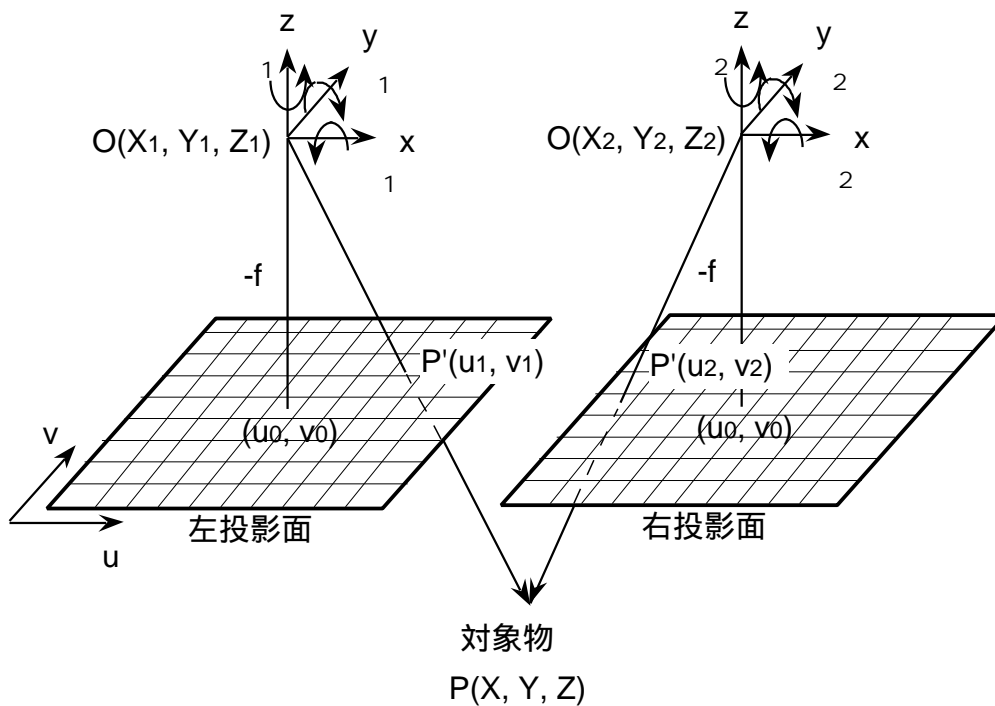
3次元でのステレオ幾何モデル

1. 共線条件

- 下図は、ステレオで写真・デジタル画像が得られた時の幾何モデルを表したものである。基本的に1枚だけ写真・画像を用いて位置計測を行う時のモデルと同じで、単にそれが2枚になっただけにすぎない。もちろん対象物が両方の写真・画像に投影されていなければステレオにはならない。

2. 写真による標高の計測

- ステレオペア写真（フィルム）は標定後、図化機にかけられる。図化機では撮影条件（ X, Y, Z, \dots ）をそれぞれ再現し、図面に投影する。これを図化機の接眼部から覗くと、メスマークと呼ばれるカーソルと共に地形が浮き上がって見える。メスマークは高さを変えることができるので、設定した標高にメスマークを合わせて地形の斜面をなぞっていけば等高線を描くことができる。



ステレオマッチングとは？

1. ステレオマッチングとは？

- 写真の場合，図化機にかけて手作業で等高線を描いてゆくが，デジタル画像の場合は，解析的に画素ごとに標高を計算していく．対象物の標高を求める時，その対象物が左右の画像の中でどこに位置しているかが問題である．
- 標高を求めたいところが数点程度であれば，手作業で左画像と右画像から対象物の画像座標を読み取ることでもできるが，画像全体（全画素）の標高を求める時は手間がかかりすぎる．その作業における計算機での自動化をステレオマッチングと呼んでいる．つまり，対応点の自動検索といえる．

2. ステレオマッチングの概略

- ステレオマッチングは，いわゆる画像処理である．画像については第5章にて少し取り上げた．基本的には大きな行列として扱うことができる
- ステレオマッチングにおいては，左右の画像全体の行列から部分的な行列（例えば3X3行列）をそれぞれ取り出し，それら行列が同じか否かを判定し，その時の座標が得られれば良い．ただし，観測条件の違う画像同士を取り扱うため，個々の行列が全く同じ値を示すことはない．したがって，どの程度にているかを判断し，全画像中どの部分が最も似ているのかという手法を用いるのが一般的である．次に挙げる2つの手法は，代表的な類似度の尺度である．

ステレオマッチングの実際と標高計算

1. ステレオマッチング手法

+ SSDA法 (逐次残差法)

- 残差を用いて類似度を決定する．部分的な行列の残差が最小となる位置が対応点となる．

$$S_{ij} = \sum_{u=1}^m \sum_{v=1}^l |f(u, v) - t(u, v)|$$

S_{ij} : 残差, (i, j) : 部分画像中心の座標
 $f(u, v)$: 左画像の値, $t(u, v)$: 右画像の値,

+ 面積相関法

- 相関値を用いて類似度とする．部分的な行列の相関が最大となる位置が対応点となる．

$$C_{ij} = \sum_{u=1}^m \sum_{v=1}^l \frac{(f(u, v) - f_{ave})(t(u, v) - t_{ave})}{\sqrt{f_s t_s}}$$

C_{ij} : 相関, (i, j) : 部分画像中心の座標
 f_{ave}, t_{ave} : 部分行列内の平均値
 f_s, t_s : 部分行列内の分散値

2. 標高計算

- ステレオマッチングによって対応点が得られれば, あとは共線条件に従って2つの視線ベクトル (投影中心とステレオマッチングによって得られた点を通るベクトル) を計算することができる．そして, それら2つの視線ベクトルの交点の座標が求められ, 標高を求めることができる．なお, 通常様々な誤差により, ベクトル間に交点が存在することはほとんどない．したがって, このような場合はそれぞれのベクトルにおいて最も近い点間の中点を計算することでそれを補う．
- ベクトル間の中点の求め方は, 左右の視線ベクトルの距離のうち最も短い距離となる点を探し, その中点の座標を求めれば良い．なお, 視線ベクトルを求める時は, 全て地上座標系で求めると簡単に標高が求められる．

新しい標高の計測1

1. レーザーレンジファインダ

- レーザは直進性・指向性にすぐれ、パルス光として送信できることから、レーザを対象物に当て往復時間を計測すると対象物までの距離を求めることができる。光波測距儀と全く同じ理屈である。このレーザを航空機などに積んで航空機から地上までの距離を測り、航空機の位置と姿勢、レーザ照射した向きが判れば標高を求めることができる。これは、平板測量で基準点から対象物までの距離と方向が判れば位置が決まるのと同じ原理である。ただ、3次元に拡張したに過ぎない。
- この計測は、最近実験が始まったばかりで実務での運用は未だされていない。しかしレーザによってスキャンさせば、リアルタイムに綿密的な標高のデータを取得できるため、期待は大きい。

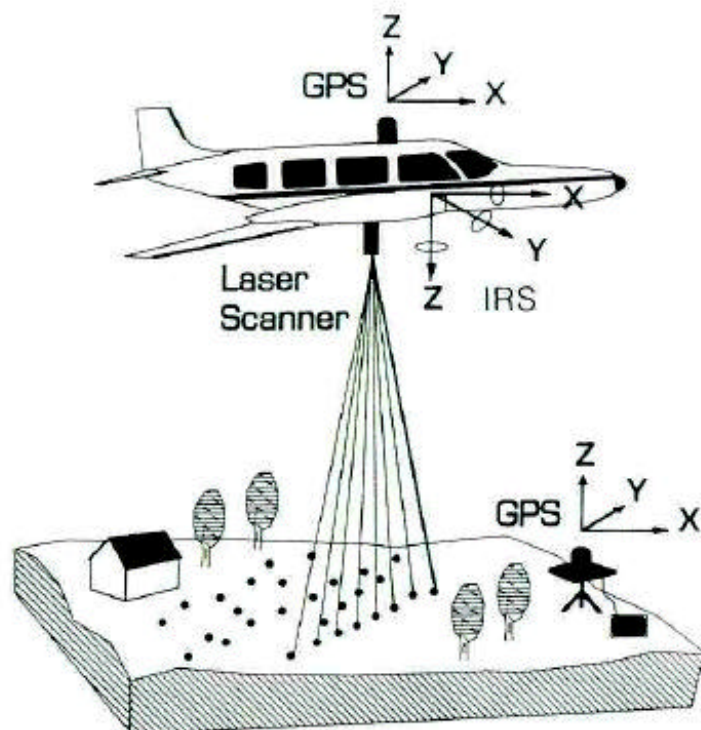


Figure 1. Depiction of scanning airborne laser terrain mapper in operation.

新しい標高の計測2

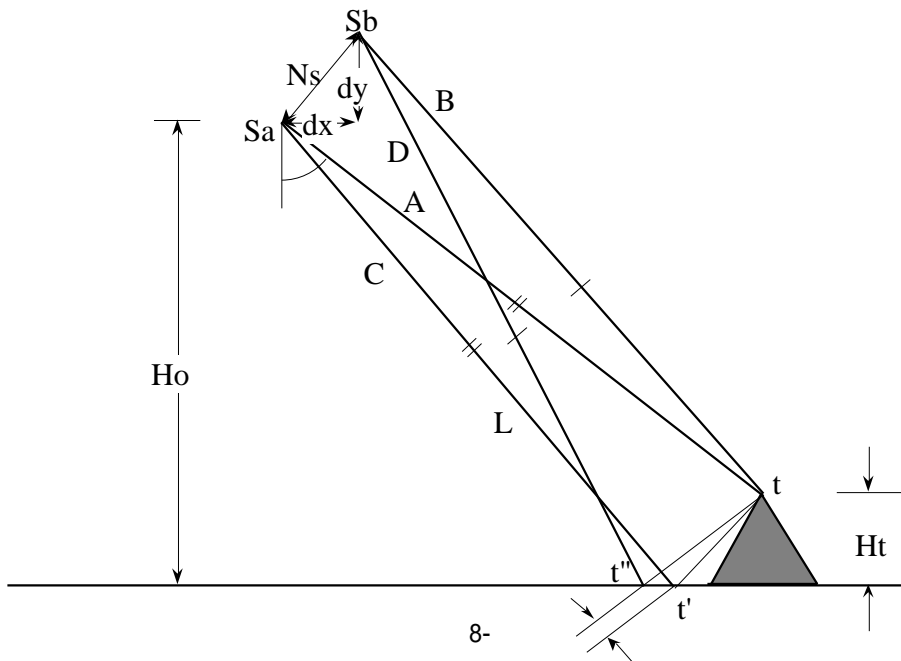
+ マイクロ波インターフェロメトリ

+ マイクロ波合成開口レーダ (SAR) を用いた標高測定は最近話題を呼んでいる。この手法の原理は2機のSARを用い、インターフェロメトリ (干渉作用) を利用することによって標高を算出するものである。航空機に2機のSARを搭載したり、衛星で2時期のSARを用いて計測している。図にインターフェロメトリによる標高データ計測の幾何学を示す。Sa, Sbは衛星の位置, Nsは衛星間の距離を表わし, tにおける標高を測定するとき, Htを求める標高, Hoを衛星の高度とする。Saで取得したtにおけるデータはスラントレンジAにあたり, 標高が0のときはt', スラントレンジCに相当する。一方Sbで取得したtにおけるデータはスラントレンジBにあたり, 標高が0のときはt'', スラントレンジDに相当する。したがってt'とt''との距離差 による位相の変動が地形による変動とみなすことが出来る。 による位相変動を とすると, は次式で表わされる。なお は, SARデータより求まる。

$$= \frac{2}{\lambda} (dx \sin(\theta) - dy \cos(\theta))$$

$$H_t = H_o - L \cos(\theta)$$

θ : オフナディア角, L : スラントレンジ, λ : 波長



写真・画像を用いた標高計測の利点と問題点

1. 面的な情報の取得

- 測量などでは一度に1区間の標高差しか測ることはできず，地図の中の等高線を描くのは到底不可能である．ところが，写真や画像を用いれば面的に標高を計測できるため，地図などを製作する現場においては，航空写真が必須である．

2. 地面の標高が計測されるのか？

- 写真や画像による標高の計測は非常に効率的であるが，一つだけ大きな欠点を有している．それは，日本の山岳地のほとんどは植生に覆われており，写真や画像で測る標高は植生のおよその標高を測ってしまう．
- 写真による手作業での図化においては，植生のおよその高さをあらかじめ調査しておき，その高さを目分量によって補正しながら図化していく．職人でなければできない芸当である．
- ステレオペア画像のステレオマッチングによる図化においては，植生の高さの分布が面的に把握されてない限り補正ができない．これは，今後大きな問題となっていくであろう．