

## 第五章 計測技術と誤差の調整

### 1. 長さ・角度の計測技術

- 長さの計測
- 角度の計測
- トータルステーション

### 2. 座標の計測技術

- GPS計測
- INS

### 3. 誤差調整

- 誤差分布
- 最小二乗法

#### 問題

2点の座標 $A(x_1, y_1)$ ,  $B(x_2, y_2)$ が与えられており, 自分の位置から点A, 点Bまでの距離がそれぞれ  $r_1$ ,  $r_2$ だったとする. 自分の位置Oは, どのように算出できるか式で表しなさい.

## 角度 / 長さの計測技術

### 1. 精密な角度の計測

- 角度は基本的に円形の分度器の上に望遠鏡を載せた装置で構成される。これをトランシットと呼んでいる。従来角度は分度器の目盛りをバーニヤを使って細かく読み取っていた。しかし最近ではロータリーエンコーダにより電氣的に回転角を取り出すことができる。

### 2. 精密な長さの計測

- 従来長さは、スチールテープ（鋼製巻き尺）で測っていたためトランシットによる角度計測に比べて精度が非常に悪かった。したがって三角測量やトラバース測量などの角度計測を基本とする測量が採用されていた。ところが、1980年代より光波測距儀が導入され、飛躍的に精密な長さの計測が可能となった。
- 光波を反射板に照射し、返ってくるまでの時間を計れば、距離を計算できる。時間だけでなく、光波が返って来た時の波の位相が測定できれば、さらに精度を向上させることができる。
- 角度よりも距離の計測精度の方が高くなり、三角測量は三辺測量へと変遷した。

### 3. 長さの定義

- 古い定義：1メートルは地球の子午線の北極から南極までの距離の $1/10,000,000$
- + 新しい定義：1メートルは、光が真空中で $1/299,792,458$ 秒間に進む距離
  - 時間の定義：1秒は、 $^{133}\text{Cs}$ 原子の基底状態の2つの微細準位間の遷移に対応する放射の $9,192,631,770$ 周期の継続時間

## GPSによる座標の計測技術

### 1. 単独測位

- 原理は3-5を参照のこと
- + C/Aコード：精度は100m以下
  - 民間利用（精度をわざと落してある）
- + Pコード：精度は10m以下
  - 軍事用

### 2. ディファレンシャル測位

- + 2機のGPSを用いて精度10m以下の測位をする
  - 1機は固定局として誤差を計測
  - その誤差情報を移動局に送信

### 3. 干渉測位

- 電波の干渉を利用し，1cm以下の測位が可能
- 精度を得るには，計測時間を長くする必要あり．

### 4. GPSの欠点

- 天空が開けている必要あり
- 構造物内や地下，樹冠に被われたところでは機能しない．

### 5. 測量以外のGPSの応用例

- カーナビ
- タイムサーバ
- 気象観測

## 次世代の測位システム

### 1. INS(Inertial Navigation System)

- 慣性航法装置
- 3軸ジャイロと加速度計を用いて位置を計測する
- 利点：天空の視界に左右されない
- 欠点：初期値を入力する必要あり

### 2. GPSとINSを組み合わせたハイブリッド型測位

## 計測誤差について

### 1. 誤差とは？

- 何度も同じ計測を行なった時，計測結果はそれぞれ異なる場合が多い．これは誤差が含まれているからである．誤差とは，真値から観測値を差し引いたものである．真値が求まっていれば誤差を取り除くのは簡単であるが，未知のものを計測して求めるときは，誤差を確率・統計的な手段によって調整しなければならない．

### 2. 誤差の種類

#### + 過失誤差

- 失敗による誤差．+ -を間違えたり，数字の読み間違いなどがこれに当たる．

#### + 系統誤差

- 誤差の発生機構が解っており，ある程度補正が可能な誤差．レンズの歪みや大気の影響などによる誤差がこれに当たる．

#### + 偶然誤差

- 過失誤差や系統誤差以外の誤差．確率・統計的な手段に誤差調整を頼れるもの．

### 3. 誤差の伝搬

- ある計測結果を用いて，次の計測を行う時や計算をする時，もとの誤差を引きずってしまう．これを誤差の伝搬という．
- 例えば四辺形の辺の距離を計測し面積を計算する時，距離に誤差が含まれていれば，面積には大きな影響を与える．
- このような誤差の伝搬は数学的なモデルを構築することができる．

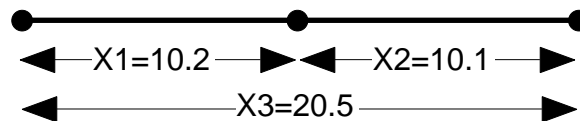
## 誤差の調整

### 1. 平均の計算による調整

- 1つのものを同じ測り方によって得た結果は，平均値を求めることによって調整出来る．
- この時，計測の精度は分散を計算すれば求められる．もちろん分散が小さいほど精度は高いといえる．

### 2. 最小二乗法による調整

- 2つ以上のものを同じ測り方によって測り，対象物同士に何等かの関係がある場合には，最小二乗法によって調整出来る．
- 例えば，下図のように距離の計測結果が得られたとする．



- + まず，上の結果に対して観測方程式をたてる．誤差をそれぞれ  $V_1, V_2, V_3$  とすると以下のようなになる．

$$V_1 = X_1 - 10.2$$

$$V_2 = X_2 - 10.1$$

$$V_3 = X_1 + X_2 - 20.5$$

- + 誤差の二乗和 が最小となる  $X_1, X_2$  を求めれば良い．

$$= V_1^2 + V_2^2 + V_3^2$$

$$= (X_1 - 10.2)^2 + (X_2 - 10.1)^2 + (X_1 + X_2 - 20.5)^2$$

- $X_1, X_2$  で偏微分した方程式が0となる  $X_1, X_2$  を求める．