

# RTK-GPS 測量の誤差

02A3715 川野 優哉

02A3716 吉祥 大輔

指導教員 田中 邦博

## 1. はじめに

GPS(Global Positioning System ; 汎地球測位システム)は、人工衛星を利用した測位システムであり、24個の衛星から信号を受信して観測点間の相対的な位置関係を求めるため、天候や地形的な影響を受けることが少なく、長距離でも効率良く測量作業が可能となる。GPSには即時性や測位精度が異なる幾つかの測位法があり、その中には実時間に数 cm の精度で測位できる測位法としてリアルタイム・キネマティック GPS (RTK-GPS 測位)がある。

本報告では、RTK-GPS による測位誤差の評価、及び実測例を示している。

## 2. 導入機器とその性能

機種名	GR-2100GD/GGD (固定局)	GR-2100GGD/GGDM (移動局)
写真		

RTK-GPS 測量器機として、トプコン製アンテナ・モデム一体型 GNSS 受信機 GR-2100 シリーズを導入した。機器類の概要を次に示す。

・固定局 (上図左参照)

GR-2100GD/GGD(寸法-159×176.5×97mm・質量-1.65kg)

・移動局 (上図右参照)

GR-2100GGD/GGDM(寸法-159×176.5×111mm・質量-1.75kg、モデムアンテナを含まず)

・データコレクタ

FC-100(寸法-182×102.8×58.3mm・質量-0.5kg、動作時間 19 時間)

<精度>

スタティック 水平 2 周波±(3mm+0.5ppm×D)

垂直 2 周波±(5mm+0.5ppm×D)

キネマティック 水平 2 周波±(10mm+1.0ppm×D)

垂直 2 周波±(15mm×1.0ppm×D)

なお、上記の誤差は、衛星数・衛星の配置・マルチパス・電離層・大気状態などの影響により、満たされない場合がある。

## 3. RTK-GPS の測位誤差

### 3-1. 誤差の概要

GPS 計測のデータは、様々な誤差要因によりバラツキが見られる。特に、建物の傍や傾斜地での GPS 計測では上空視通状態が悪く計測精度が悪化することがある。誤差要因を列挙すると以下のようなものがある。

#### (1) 衛星の位置誤差

GPS 衛星の位置は測位点での位置決めの基準であるから、できるだけ正確に決定されなければならない。刻々の衛星位置は衛星から放送される 16 個の軌道係数を用いて計算により決定される。これらの値は世界の 5ヶ所に配置された地上の監視局でモニターすることにより修正されるが、更新までの間に、太陽や月の引力、太陽光のふく射圧等の外乱によりドリフトし、誤差を生じる。

#### (2) 衛星時計の誤差

衛星時計の誤差には原子時計のドリフトによるものと、意図的な精度劣化操作 SA(Selective Availability)によるものがある。前者は 5ヶ所の監視局でモニターして、時計の補正量を航法データとして衛星からコード信号に載せて送信しているが、それによる補正の残差である。後者は、GPS を民間用途に開放するにあたり、その測位精度を意図的に落とす措置が加えられた。これが SA と呼ばれる操作で、SA により民間用 GPS 受信機の測位精度は 100 メートル程度に抑えられていた。従来、カーナビの精度が 100 メートル程度と言われていたのはこのためである。

SA は民間用受信機にのみ効力があり、米国の軍用受信機は SA による影響を受けない。

### (3) 伝搬遅延による誤差

- ・電離層の影響（電子密度は昼前後が極大で、深夜が極小、夏至に高く冬至に低い）
- ・水蒸気の影響（夏と冬、昼と夜で水蒸気量が周期的に変化）
- ・気圧の影響（気圧変化 5mb で伝搬遅延 1cm）
- ・衛星配置（低角度の場合）

などである。

### (4) 受信機誤差（ノイズ）

- ・上空視通の問題（データ数が少なくなる）
- ・基線長が長くなる
- ・多重反射（マルチパス）
- ・超高压送電線や雷
- ・アンテナケーブルのくびれやくぼみ
- ・ケーブルとコネクタの接続不良

などである。

## 3 - 2.測定時の誤差

### (1)固定点座標の確定

表-1 「計測の時間の乱れによる座標変化」

測定日時	9月22日(木曜日)		12月7日(水曜日)		12月12日(月曜日)	
温度	26.6		6.4		4.6	
風速	1.7m/s		2.7m/s		4.7m/s	
観測時間	120分		120分		60分	
アンテナ高	1.755		1.745		1.785	
座標	X	96573.109	X	96573.110	X	96573.100
	Y	-27256.128	Y	-27256.128	Y	-27256.123
	Z	28.623	Z	28.628	Z	28.617
ジオイド高	32.434		32.434		32.434	

スタティック観測（静止測量）は、他の測位法とは違って静止した状態で長時間観測を行い、時間を掛けることで精度が高くなる。これは、時間に比例してデータの取得量が増える分、より正確な値へと平均化されるからである。今回固定局の設定は、最小衛星数 5 個、最低高度角 15 度、記録間隔 15 秒、観測時間 120 分として行った結果、十分納得のいく精度を得ることができた。また、固定局の精度を比較するものとして、表-1 のように、観測時間が 1 時間のものに対して 2 時間の場合によるものの方が、差が小さいことが分かる GPS の測位法の中で最も高精度な測量方法であるスタティック観測の二次元において、2 時間観測の場合は最大 1mm、1 時間観

測の場合は最大 10mm といった差が生じている。これは、長時間観測がいかに精度を高めているかが理解できる。また、この基準点測量の誤差として考えられるのは、見通しの良い場所から建物等のマルチパスの影響はないとして、衛星の取得数や配置による DOP が原因として挙げられる。

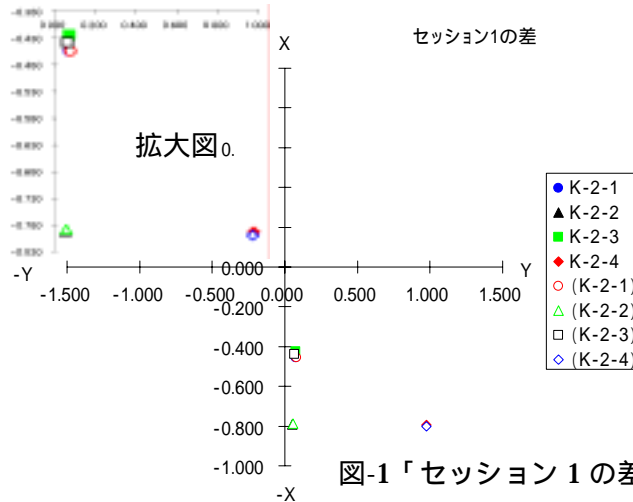


図-1 「セッション 1 の差」

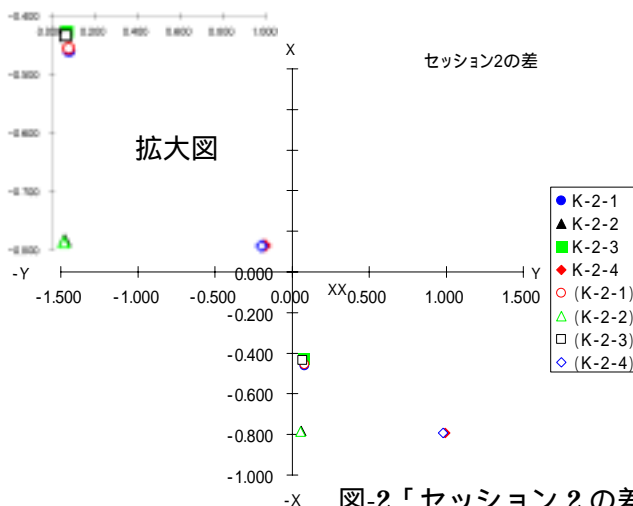


図-2 「セッション 2 の差」

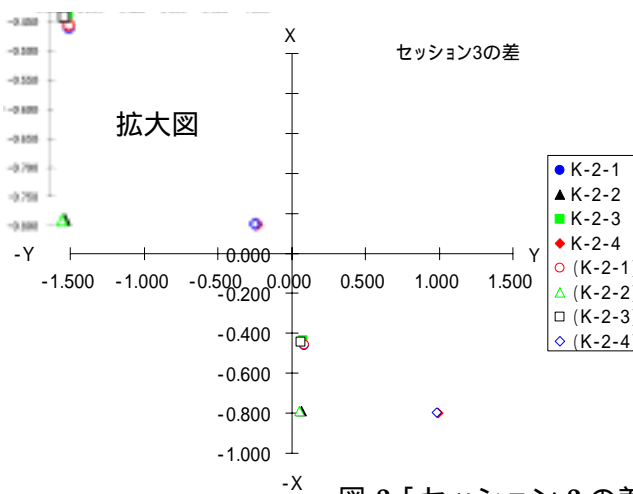


図-3 「セッション 3 の差」

セッション 1~3 までを用いて、RTK-GPS 測量を行うことで、セッション 0 との精度の違いを比較してみた。図 1~3 によるグラフを見ると、それぞれがややずれていて全く同じ様なものがないことが拡大図から分かる。その中でも特に、セッション 1 のずれが他のセッションより大きく、3 次元の最大最小値としては、X=20mm、Y=18mm、Z=26mm の差が見られ、セッション 0 より精度が落ちていることが明らかであった。これらから考えられることは、電子基準点データが不完全であるセッション 1~3 については、ほんの少しではあるが精度が低下するので、急を要する場合以外には用いらない方が良さだろう。

固定点取得日 9 月 22 日

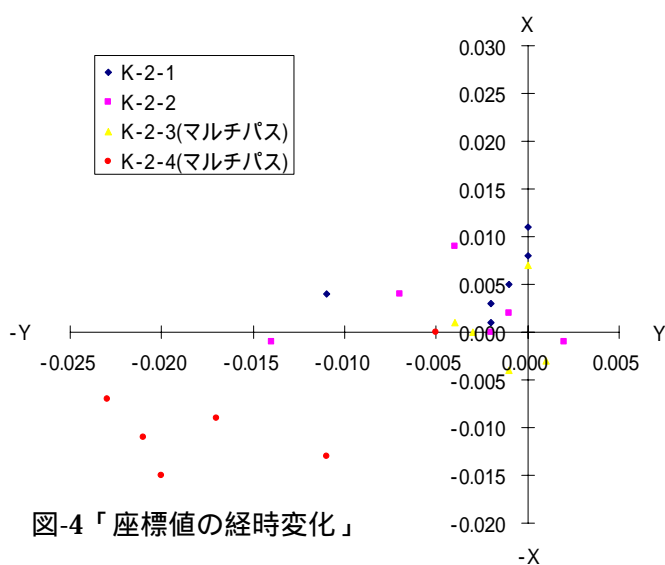


図-4 「座標値の経時変化」

固定点取得日 12 月 7 日

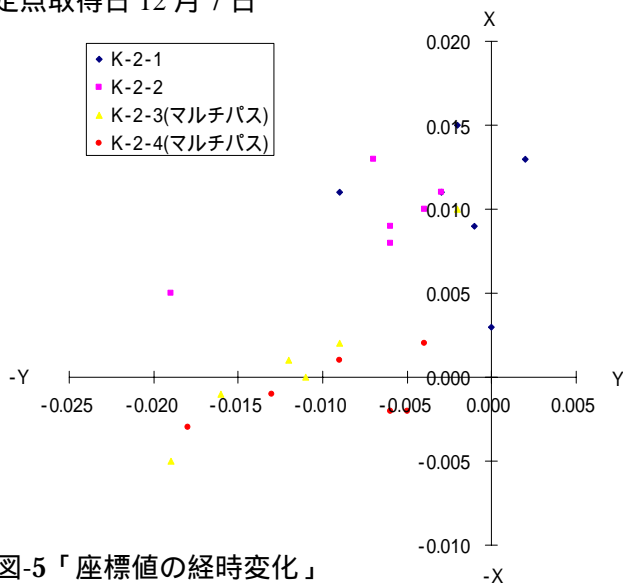


図-5 「座標値の経時変化」

### (2) 衛星数と PDOP (位置精度低下率)

RTK-GPS で測定を行う場合、一般には最低高度角 (仰角) が 15 度以上の衛星を使うように設定され

ている。実際、この仰角が確保されないと、衛星数が 5 個以下となり、電離層の影響も出てくる。それに伴って、PDOP も 3 以上となり、データが安定しないことになり、場合によっては計測不能になる。言い換えれば、仰角として 15 度以上が確保できる環境であれば、衛星数は 5 個以上が確保でき、PDOP も概ね 3 以下となり、データも安定する。そのため、測位区域を設ける場合、最低高度角 (仰角) の確保、建物や周辺の傾斜地による支障を考慮に入れる必要がある。

### (3) 建物 (障害物) の影響

GPS 衛星からの電波は極めて微弱であり、さらに光に似た性質を持っているため、遮断物の影や屋内では受信することができない。受信できたとしても、建物などに反射した電波 (マルチパス「図-6」) を受信している可能性があるため、精度が極めて低くなる。また、水平線に近い低高度角衛星の電波 (マルチパス) は、地球の大気の中を長距離的に通過するので、伝播誤差が多くなりがちである。

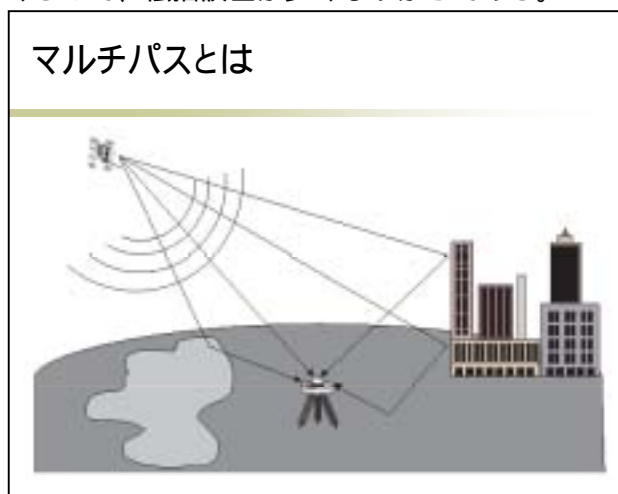


図-6 「マルチパス」

### (4) 座標値の経時変化 (図-4、図-5 参照)

RTK 観測では、リアルタイムに測定できるが数センチの精度のため、固定局側の精度よりはどうしても落ちてしまうことが比較してもらえると分かる。また、移動局同士を比較すると、数 cm 単位でずれていることは一目瞭然だが、これは RTK 観測の場合は、許容範囲と言えるだろう。また、測点 K-2-3 と K-2-4 の場所では、DOP が 5~13 までの変化が日によって見られていて、よく電波が届かないことが多かった。この 7 日間全体で、3 次元座標の最大の差は、それぞれ X=2.3cm、Y=3.0cm、Z=5.3cm であった。これ

は、測点の近くに建物があつたためである。

#### 4. 実測例 ピオトープ場の地形測量

##### (1)概要

今回、ピオトープ場を用いて RTK-GPS 測位を行い、ピオトープ場が再現できる程の膨大な三次元座標データを取得することで、GIS と連用して地形を表示することにした。地理情報システムとは、地表上の位置に関して得られた地理情報データを管理、処理、表示するシステムを言い、地理情報の入手方法としては、既存の地図や国勢調査などの調査や統計データに加えて、デジタルマッピングとリモートセンシングなどがあるが、今回は実測のデジタルデータを用いた。デジタルデータの点は全部で 216 個である。

##### (2)二次元表示

ピオトープ場を RTK-GPS により実測したデータの内、二次元座標のみを使用して平面図を作り上げたのが、図-7 である。現場では、おおよその地形しか把握できなかったが、改めて正確な地形の再認識をするには、実測データをパソコンに取り組みだけなので扱いやすい。



図-7「平面図」

##### (3)GIS による二次元表示

図-7 の二次元の平面図を GIS で再表示したものが図-8 であり、二次元の平面図と比較して、等高線などが表示され、より完成度の高いものとなっているのが分かる。また、三次元表示も可能であり、現場の地形を立体的に再現できる。こういった、草木の

多い地形測量では GPS 測位の効率がよく、効果が大いといえるであろう。

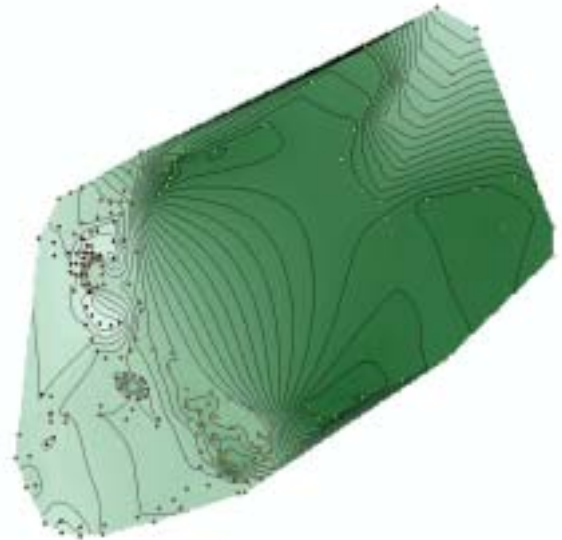


図-8「GIS による平面図」

#### 5. まとめ

RTK-GPS 測位の誤差要因のうち、マルチパス・衛星の配置・伝搬遅延による誤差は、はんざつさを伴うが、日々の時間帯において、最適な日時をキャッチすることで防ぐことが可能ではある。ただ、時間をあまりにも浪費してしまうため、必ずしも万能とは言えない。DOP の低下を避けることが出来ない場所が、ピオトープ場においても多くあつたが、それが現在の GPS 測量の限界として、DOP による誤差の拡大を認識した上で実測を行う必要がある。

また、様々な誤差を調べてきた中で、大きな誤差変動は、主にマルチパスにより引き起こされることが明らかになった。マルチパスは日々刻々と変化する衛星の配置によって複雑に変化するため、測位誤差を事前に予測することは非常に難しい。このことも、RTK-GPS 測量システムを使用する上での問題となっている。従って、測量実習などでこのシステムを利用する場合、建物の位置などが障害となる為実習項目の制約につながると考えられる。

##### <参考文献>

株式会社トプコン：「取扱説明書 GNSS 総合観測 (FC-100)」

基準点・測地観測データ：国土地理院ホームページ

「GPS 測量技術」(著者：佐田達典 発行者：佐藤政次 発行所：株式会社オーム社)

