

高精度衛星測位システムの開発

田中 龍児

第一工科大学 〒899-4395 霧島市国分中央一丁目10番2号 E-mail:r-tanaka@daiichi-koudai.ac.jp

Development of a crustal deformation correction program

Ryoji TANAKA

Faculty of Engineering, Daiichi Institute of Technology, 1-10-2, Kokubuchuo, Kirishima-shi, Kagoshima, 899-4395, Japan.

Abstract

Semi-dynamic corrections are used in first-class reference point surveying, where only electronic reference points are used as known points, but the need for such corrections has come to the attention of CLAS, which also uses electronic reference point data and can provide accurate current positions with an error level of several centimeters. Of course, the CLAS data must be converted at the GSI's survey calculation site, but CLAS does not require a reference station and can be used even in locations without Internet access. Therefore, we decided to develop a desktop version of CLAS that has almost the same functions as SemiDynaEXE, with the addition of a program to calculate geoid heights.

Key words: CLAS, QZSS, SemiDynaEXE

1. はじめに

日本は地殻変動が大きく、測量の基準点となる三角点や水準点も日々動いている。しかし、すべての基準点の座標をリアルタイムに一斉に改定することは不可能であり、測量に混乱が生ずる。そのため、位置の基準日を定めており、ほとんどの地域の基準日は1997年としていた。その後、2011年の東北地方太平洋沖地震に伴い、大きな地殻変動が観測されたため、1都19県における三角点位置及び水準点標高を改定した。新しい測量成果の名称は、「測地成果2011」に改められている。したがって、25年あまり過ぎた現在では、数十センチメートルも移動している場所もあり、現在の座標（今期）と基準日（元期）の座標では大きなずれが生じている。これを補正する方法として、日本では約1,300点の電子基準点の地殻変動量から基準日の変動量を差し引き、内

挿によって求点の変動量を求め、1997年あるいは2011年の基準日の値とする方法をとっている。その補正を国土地理院は「セミ・ダイナミック補正」¹⁾と呼んでいる。補正計算のソフトウェアは国土地理院が開発し、計算の正確さを期するため国土地理院のサイトを利用することになっている。

セミ・ダイナミック補正は、電子基準点のみを既知点とする1級基準点測量に用いられているが、同じく電子基準点のデータを利用し、誤差数センチレベルの正確な現在位置が得られるCLAS (Centimeter Level Augmentation Service) に、その補正の必要性が注目されるようになった。CLASで観測される座標は今期座標であり、国家座標と整合させるには元期座標に変換する必要がある。もちろん、国土地理院の測量計算サイトのWEB版プログラムSemiDynaEXEで変換することになるが、CLASは基準局不要、インターネットが繋がらない場所でも使

えるのが特長である. そこで, SemiDynaEXE とほぼ
同じ機能を持ち, これに, ジオイド高を算出するブ

ログラムを追加したデスクトップ版プログラムを
開発することにした.

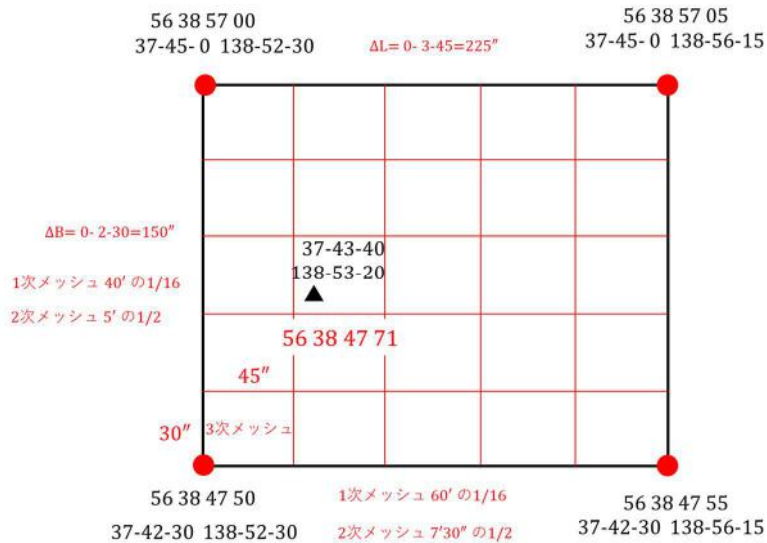


図1 任意点と4隅のメッシュコードの関係

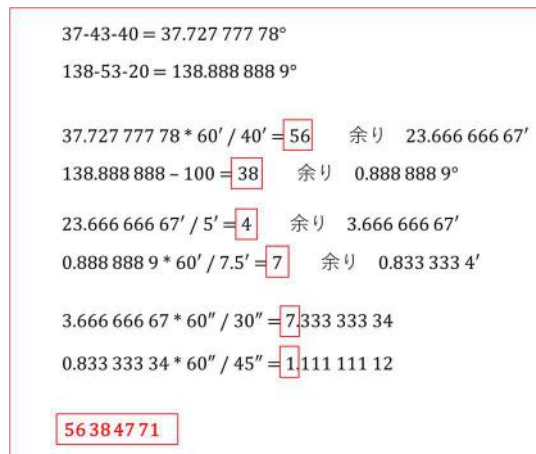


図2 メッシュコードの計算

2. セミ・ダイナミック補正のアルゴリズム

みちびき衛星から放送される補正情報パラメータファイルは, 図1のように, 1区画は1次メッシュの1/16, 2次メッシュの1/2の範囲に割り当てられている. したがって, 緯度150'', 経度225''の範囲になる. メッシュコードの計算は, 任意点(▲)の経緯度を B=37-43-40, L=138-53-20 とすると, 図2のようになる.

国土地理院が公表しているアルゴリズム²⁾のみでは詳細が不明な部分もあり, 手計算を行い逐

次チェックを行った. 例えば, 図3のように, 1つ北のメッシュコードを単純に950と5をプラス(青色数値)してみると, 当たり前に計算したコードと異なる. つまり, 任意点を囲む4隅のメッシュコードを単純に加算で求めるのではなく, 経緯度から順に計算しなければならない. 4隅のメッシュコードは, 緯度方向150'', 経度方向225''になっているので, この整数倍で求められるはずであり, アルゴリズムを考える上で, メッシュコードから経緯度への変換を行いながら計算結果をチェックした.

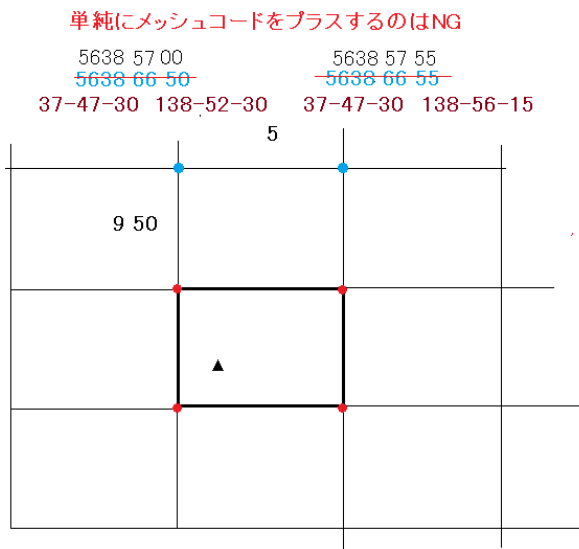


図3 メッシュコードを単純に加算した場合

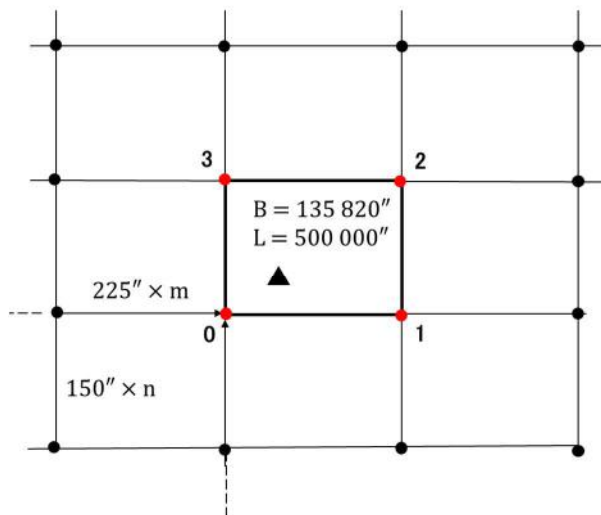
図4のように、 n, m を整数とすると、緯度方向は $150'' \times n$ 、経度方向 $225'' \times m$ で任意点の左下の点(点0)にたどり着く。したがって、点0の経緯度で表した座標は、次の順に求めることになる。

- (1) 任意点の経緯度を秒単位にする。
- (2) 緯度を $150''$ で除して小数以下を切り捨て、

再度 $150''$ を掛ける。

- (3) 経度を $225''$ で除して小数以下を切り捨て、再度 $225''$ を掛ける。

点0の座標が求めれば、緯度方向に $150''$ 、経度方向に $225''$ を加えると、残りの3点の経緯度が求められる。



0	$n = 135\,820 / 150 = 905.466\,6 = 905$ (切捨て)
	$B_0 = 150'' * 905 = 37-42-30$ ✓
	$m = 500\,000 / 225 = 2\,222.222\,2 = 2\,222$ (切捨て)
	$L_0 = 225'' * 2\,222 = 138-52-30$ ✓
1	$B_1 = B_0 = 37-42-30$ ✓
	$L_1 = 225'' * (2\,222 + 1) = 138-56-15$ ✓
2	$B_2 = B_0 + 150'' = 37-45-0$ ✓
	$L_2 = L_1 = 138-56-15$ ✓
3	$B_3 = B_2 = 37-45-0$ ✓
	$L_3 = L_0 = 138-52-30$ ✓

図4 手計算による4隅の座標

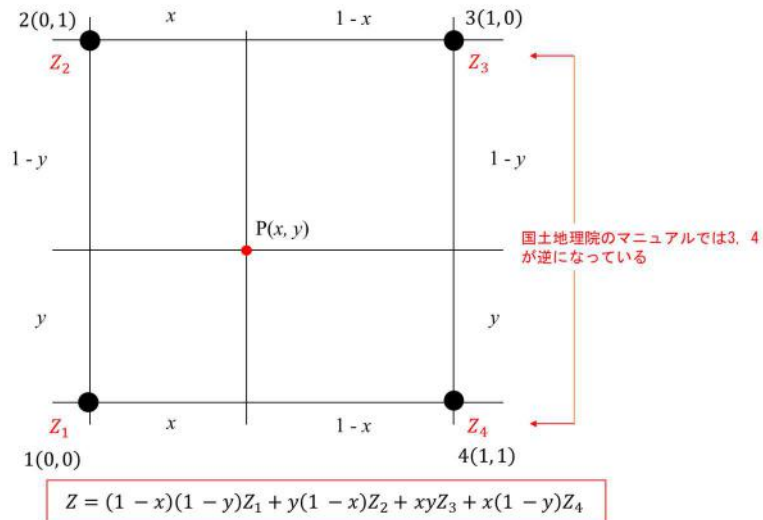


図5 任意点の補正パラメータの計算

4隅の座標が求められれば、任意点の補正パラメータは、国土地理院のマニュアル「公共測量におけるセミ・ダイナミック補正マニュアル」の通り、図5の文字を用いバイリニア補間計算式で求める。

$$Z = (1-x)(1-y)Z_1 + y(1-x)Z_2 + xyZ_3 + x(1-y)Z_4$$

例として、図6のように、任意点 P(135750, 499950) のグリッド化された4点の座標は緯度、経度の秒単位で、

0(135750, 499950), 1(135750, 500175),

2(135900, 500175), 3(135900, 499950),
となり、それぞれの補正パラメータをそれぞれ、 z_0, z_1, z_2, z_3 、任意点 P の座標を $P(x, y)$ とすると、補正パラメータ z は、

$$\alpha_B = (B_P - B_0)/(B_3 - B_0), \quad \alpha_L = (L_P - L_0)/(L_1 - L_0) \text{ より,}$$

$$z = (1 - \alpha_L)(1 - \alpha_B)z_0 + \alpha_L(1 - \alpha_B)z_1 + \alpha_L\alpha_B z_2 + (1 - \alpha_L)\alpha_B z_3$$

で計算できる。

以上の流れを図7にまとめる。

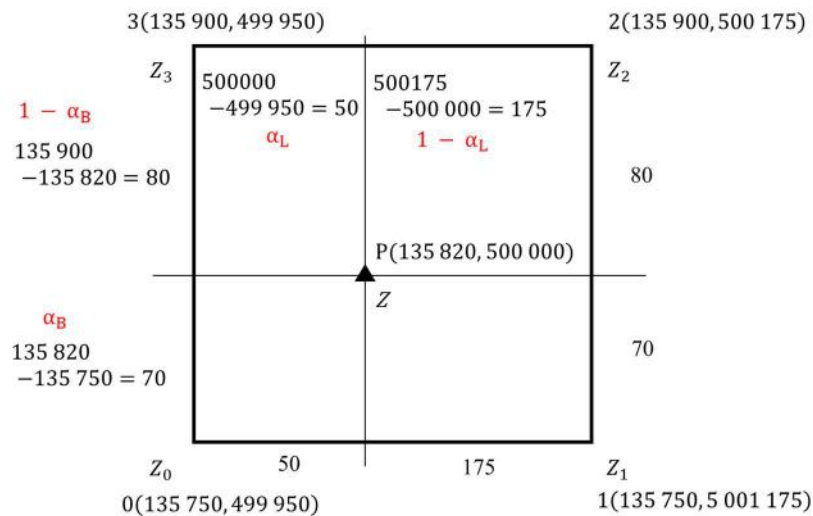


図6 計算例

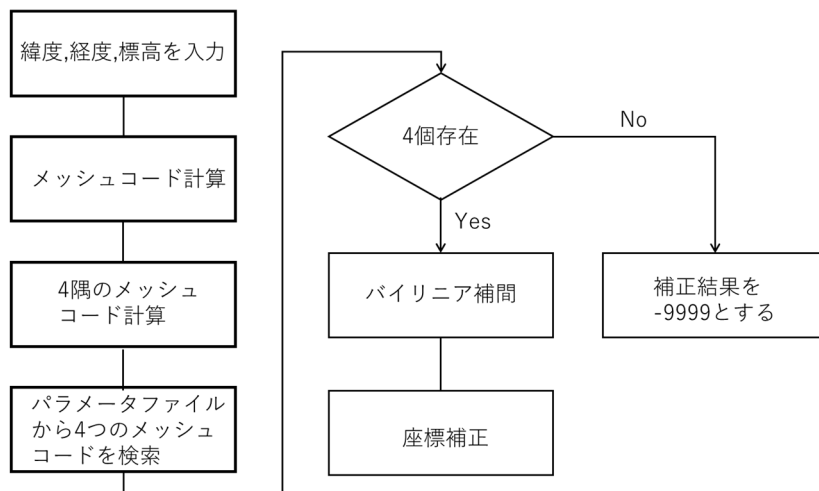


図7 補正計算の流れ

3. ジオイド補正のアルゴリズム

ジオイド補正のアルゴリズムもセミ・ダイナミック補正と基本的には同じであるが、パラメータファイルのフォーマットが異なっている。

図8の数値の並びは、「gsigeo2011_ver2_1.asc ジオイド・モデルファイル (ASCII形式)」のメッシュの緯度1行分の経度方向のジオイド高である。存在しない場所の値は、999.0000になっている。格子点でのジオイド高が格納されており、横(経度方向)に長いので、28個のデータが42行並び、最後の行は残り25個分のデータが並んでいる。ジオイド・モデルは、北緯20度から50度、東経120度から150度の範囲について、緯度間隔1分、経度間隔1.5分の格子

位置におけるジオイド高として与えられている。また、ジオイドファイルにはメッシュコードが記載されていないのでメッシュコードを各点に付加すると、データ量が単純に2倍になるので、「999.0000」以外の数値が入っているデータのみメッシュコードを付加した。図9は全データの構造図である。

```

999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000
999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000
999.0000 999.0000 999.0000 999.0000

(途中41行省略)

(最終行)
999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000
999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000 999.0000
999.0000
    
```

図8 gsigeo2011_ver2_1.asc のフォーマット

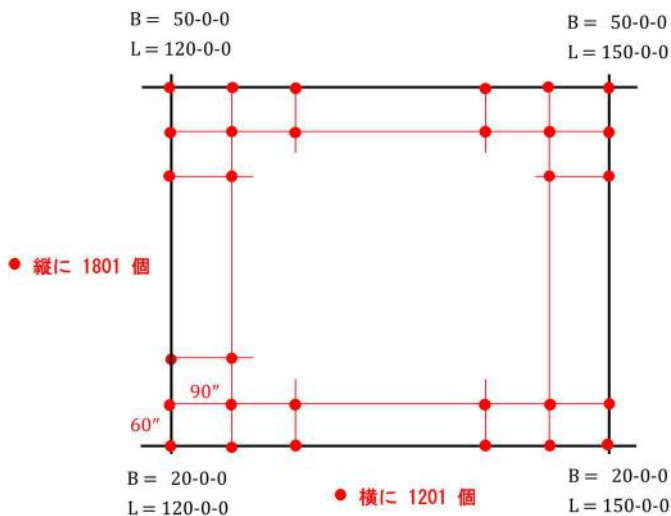


図9 ジオイド・モデルファイルのデータ構造

4. 今期元期変換結果

CLASはL1,L2およびL6バンドを受信できるアンテナと受信機が必要である。本研究で用いたアンテナに仕様ではL1,L2,L5バンド対応で、L6バンドの電波は受信できないが、Fixは約1分で、Fixに時間が掛かることもなく、受信に問題はなかった。図10はアンテナをポールに取り付け、歩行しながら観測し

たものである。途中、ネットワークRTKで観測した6点上で約10秒間静止観測し、元期に変換したデータを比較したが、水平位置で3cm以内、標高は10cm以内で一致している。また、図11は、同一点で約1時間の静止観測を行ったものであるが、細かなずれを含めても10cm以内、標高の標準偏差も約3cmであった。元期への変換を行うと、基準日の1997年から約90cmの地殻変動を確認できる。

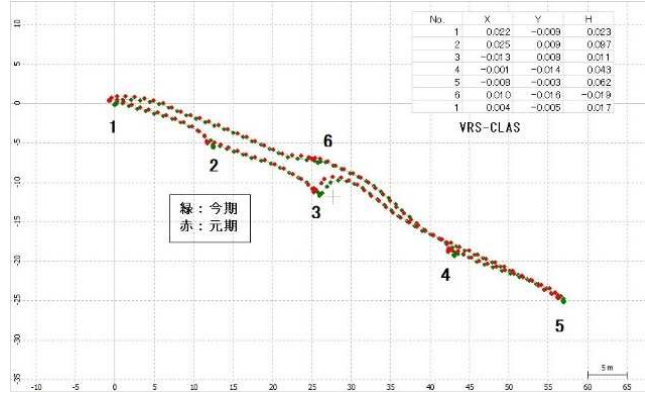


図10 元期への変換結果

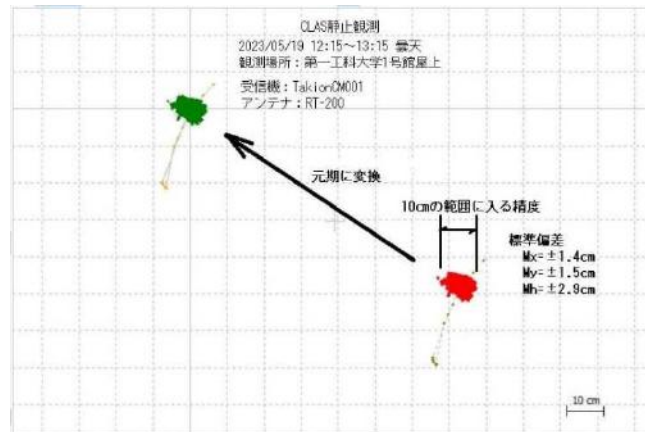


図11 霧島市における26年間の地殻変動

5. まとめ

本研究の目的は、デスクトップ版の今期元期変換プログラムを開発することにより、インターネットが繋がらない環境での基準点の設置や、点群データを用いた地形測量を可能にすることである。これにより、災害対策や土地利用計画の立案など、重要な課題に迅速かつ正確に取り組むことができる。計算結果の整合性は、国土地理院の公式サイトでチェックした。ただし、パラメータの存在しない場所での検証は未完了であり、今後の検証が必要である。

また、現段階では公共測量におけるCLASを用い

た測量は規定されていないが、内閣府を中心に精度向上の研究が進んでおり、将来的にはより広範な利用が期待される。

引用文献

- 1) 国土地理院, 2023, セミ・ダイナミック補正, 国土地理院ホームページ, (2023年2月23日取得, <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/semidyna.html#file>)
- 2) 国土地理院. 公共測量におけるセミ・ダイナミック補正マニュアル. 国土地理院技術資料 A1-No342. 2013, 国地企指第12号, p.7