精密重力ジオイド・モデル整備手法の調査・検討

実施期間	令和 3 年度					
測地部物理測地課	深谷	俊太朗	中島	正寛	飯塚	康裕
	豊福	隆史	越智	久巳一	大森	秀一
	加藤	知瑛	畔柳	将人	半田	優実
測地部	山本	宏章				

1. はじめに

国土地理院は日本の新たな精密重力ジオイド・モデル構築に向け，2019 年から航空重力測量を実施している．精密重力ジオイド・モデルの精度評価は，実測ジオイド高データとジオイド・モデルとをジオイド勾配で比較することで行い，その較差の標準偏差が 3cm 以内となることを目標としている．現段階の計画としては 2022 年度までに全国の航空重力データを取得し，2023 年度に航空重力データと既存の重力データを組み合わせて精密重力ジオイド・モデルを構築する予定である．

重力ジオイド・モデルの精度は構築に用いた重力データの量と品質に依存するため，精度の高いモデルの構築には良質な航空重力データが必要である．しかしながら，航空重力データは航空機の揺れによって生じたノイズの影響を受け，誤った重力値を含んでいることがある．そのため，取得した航空重力データの品質評価は目標精度の精密重力ジオイド・モデルの構築に欠かすことの出来ない工程である．本稿では航空重力測量における航空重力データの品質評価手法について報告する．

2. 研究内容

品質評価の手法は米国測地測量局の航空重力プロジェクト（GRAV-D）を参考に構築した．GRAV-D では「航空重力データと EGM2008 との重力差」及び「オフレベル補正値」を品質評価の指標としている．オフレベル補正は航空機の揺れで生じた重力計の傾きの影響を補正するものであり，揺れが強く補正量が大きいほど誤差が大きくなる．よって，オフレベル補正値が大きく，EMG2008 との重力差が大きい場合には，適切なオフレベル補正値を算出できていない可能性が高いため，モデル構築に使用すべきでない品質と判断する．

GRAV-D の評価手法では，EGM2008 の精度が航空重力データの精度よりも高い場合に適切な評価が可能となるが，日本域の EGM2008 の精度（3~8mGal）は航空重力データの精度（約 1.5mGal（松尾, 2021））より低いため，日本域では航空重力データの評価に EGM2008 を用いることが適さない．そこで我々は，「航空重力データと EGM2008 との重力差」の代わりに，「航空重力データと推定重力値との重力差」を品質評価の指標とした．推定重力値は，Matsuo & Forsberg（2021）の手法に基づいて，既存の重力データ（地上重力データ，船上重力データ，衛星アルティメトリ海上重力場モデル，EGM2008 モデル）と数値標高モデルから 3 次元最小二乗コロケーション法（図 1）により算出し，差を比較する航空重力データと同高度に上空化成した重力値である．その精度は既存の重力データの品質が高い陸域で約 1mGal と見積もられる（松尾, 2021）．本研究では「航空重力データと推定重力値との重力差が 5mGal 以上」かつ「オフレベル補正値が 15mGal 以上」であった場合，航空重力データの品質が不良と判断する（図 2）．

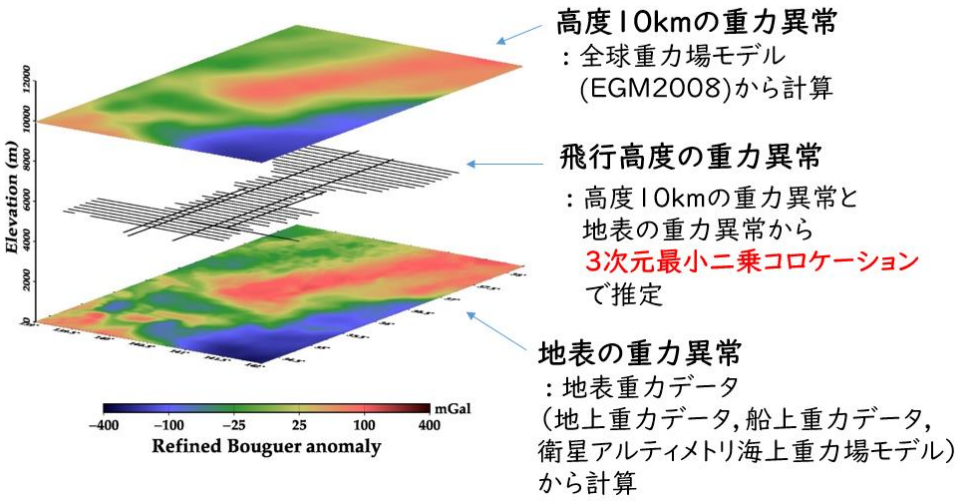

図-1　3 次元最小二乗コロケーション法の概念図（松尾，2021 より引用）

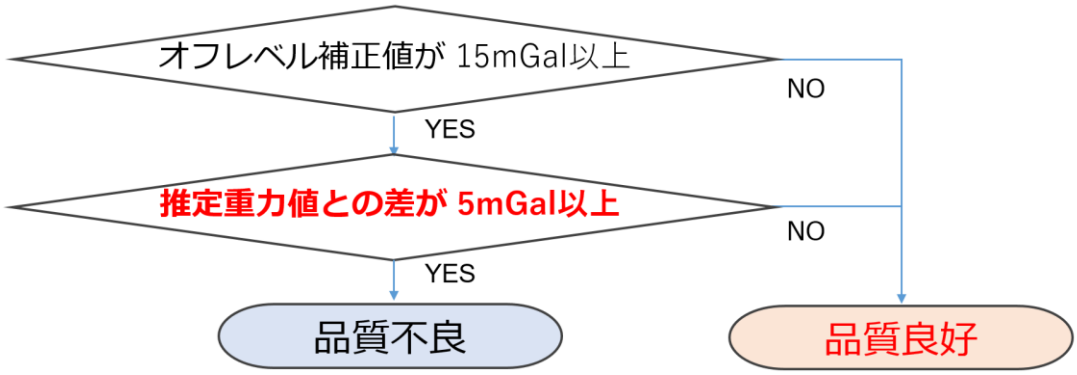

図-2　データ品質評価のフローチャート

3. 得られた成果

品質評価の例として，品質良好と判定された測線と品質不良と判定された測線の位置図と品質評価結果を図 3，図 4 に示す．図 3，4 中の「品質」は航空重力データの品質評価を「良好」又は「不良」で示す指標であり，「航空重力データと推定重力値の重力差が 5mGal 以上」かつ「オフレベル補正値が 15mGal 以上」であれば不良，それ以外は良好としている．図 3 を見ると，測線の終盤部に推定重力値との差が 10mGal 以上ある箇所がある．しかしここでは，オフレベル補正値が小さいため，「品質」の指標は良好となっている．このような箇所は，既存の重力データが捉えていない重力分布を，航空重力データが捉えていると考えられる．一方で，図 4 の測線の中間部を見ると，航空機の強い揺れにより，オフレベル補正値が 15mGal 以上あるため，「品質」の指標は不良となっている．不良の区間は約 8km あり，航空重力測量で捉えたい重力分布の半波長（5km）より不良の区間が長いため，この航空重力データの品質は低いと考えられる．このような品質評価を行い，品質が低い測線は再測を行うことで，高品質な航空重力データの収集を行える．2022 年 2 月 22 日時点で取得している全データのうち，約 98.9%が「品質」の指標で良好と判定されている．

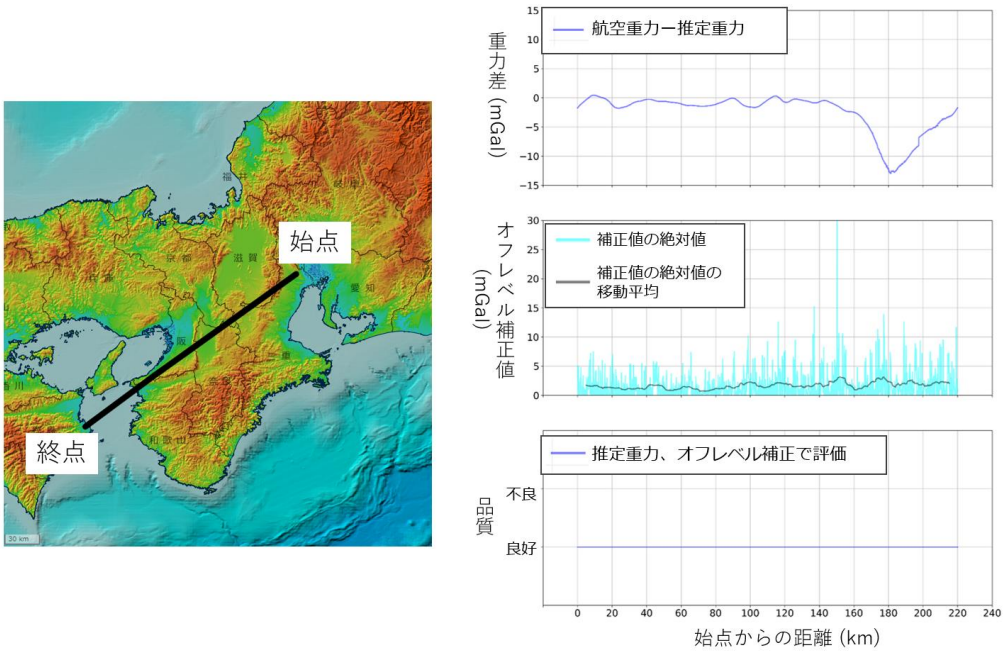

図-3　品質評価で良好と判定された測線の例

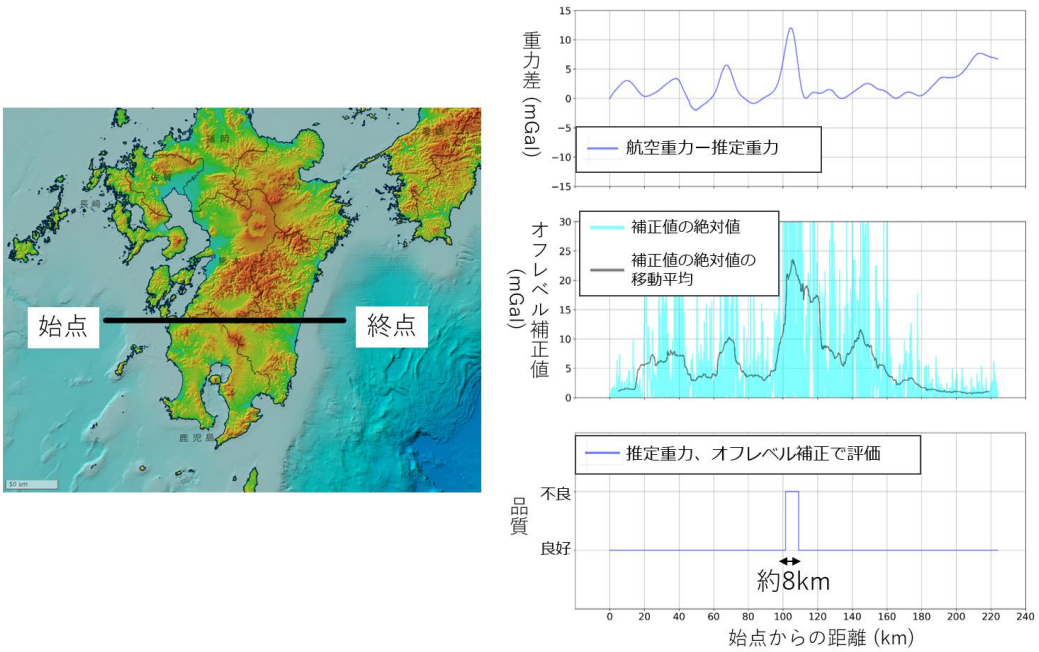

図-4　品質評価で不良と判定された測線の例

次に「品質」の指標で不良が含まれる測線を除いた上で，クロスオーバー残差によるデータの評価を行った．クロスオーバー残差とは主測線と副測線の交差点において同一の高度に化成した重力値の重力差で，航空重力データの再現性を評価することができる．図 5 は東北から九州北部にかけてのクロスオーバー残差の値を示している．このクロスオーバー残差の RMS から 1.9mGal の再現性のあるデータを取得できていることが分かった（図 6）．精度 3cm のジオイド・モデル構築に必要とされる航空重力データの精度は 1~2mGal と考えられているため（松尾，2021），これは目的達成に十分な精度である．今後は，このクロスオーバー残差による評価で 5mGal 以上の値が出た測線についても再

測定を行うことでさらにデータの品質を高めていく．

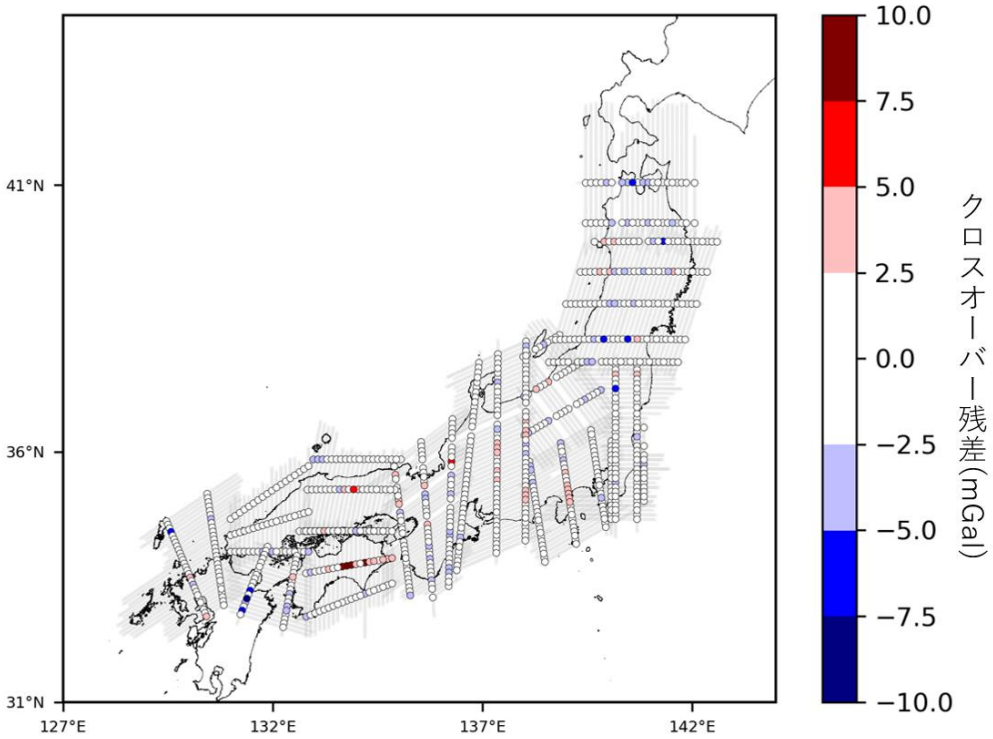

図-5　各測線のクロスオーバー残差

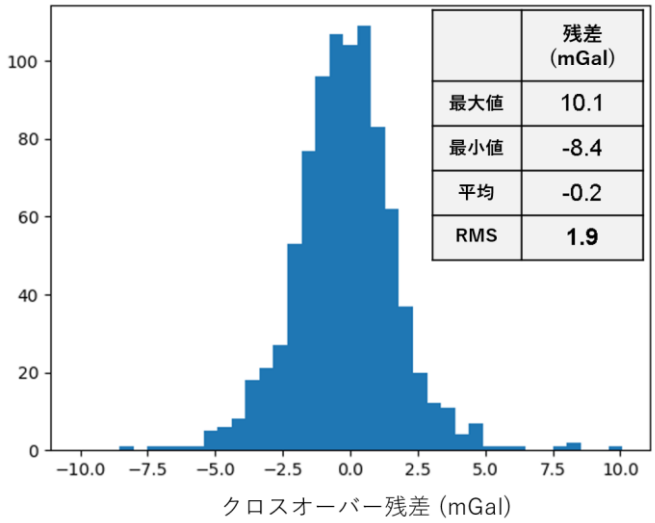

図-6　クロスオーバー残差のヒストグラム

4．結論

オフレベル補正値と推定重力値を用いた手法により航空重力値のデータ品質評価を行うことでEGM2008 による評価よりも高い精度で品質の管理を行うことが可能となった．この手法により品質が良好とされた測線について，クロスオーバー残差により再現性を評価すると 1.9mGal と目的達成に足る精度が保たれていることが分かった．今後も良質な航空重力データの取得を進め，精度の高い精密重力ジオイド・モデルの構築を進めていく．

参考文献

松尾功二 （2021）：ジオイドと重力場の時間変動抽出と機構解明に関する研究（第 5 年次），令和 2 年度調査研究年報，152-156.

松尾功二 （2021）：3 次元最小二乗コロケーション法による航空重力データの精度評価，日本地球惑星科学連合 2021 年大会.

Matsuo K, Forsberg R （2021） : Gravimetric geoid and quasigeoid computation over Colorado based on the Remove–Compute–Restore Stokes–Helmert scheme. Journal of Geodesy, Special Issue on Reference Systems in Physical Geodesy.