氏名・（本籍）	大　野　重　保（おおの　しげやす）
学位の種類	理　学　博　士
学位記番号	理第　５４２　号
学位授与年月日	昭和５３年１月２５日
学位授与の要件	学位規則第５条第２項該当
最終学歴	昭和２９年３月 東北大学理学部卒業
学位論文題目	天文重力水準測量
論文審査委員	（主査） 教　授　高木章雄　　教　授　鈴木次郎 教　授　平沢朋郎

論　文　目　次

1. 序　文

2. 電子計算機による天文重力水準の計算法

　２－1. 積分公式の評価

　２－2. 編集と計算

　２－3. エレメーエフ・オスタッチモデルでの試算

3. 限界誤差

　３－1. 天文重力水準計算のオスタッチ法

　３－2. 天文重力水準における限界誤差の評価

　３－3. 天文測地鉛直線偏差内挿における限界誤差の評価

　３－4. 結　論

4. 重力鉛直線偏差の精度と天文重力水準測量

　４－1. まえがき

4 － 2.　代表誤差

4 － 3.　重力鉛直線偏差の精度

4 － 4.　天文重力水準測量の誤差

4 － 5.　天文重力水準測量に要求される精度

4 － 6.　天文測地重力鉛直線偏差の誤差 $\delta\lambda$ の決定と天文重力水準路線の設定

4 － 7.　天文水準測量

4 － 8.　例（関東および東北地方を縦断する天文重力水準測量）

5.　結　論

論　文　内　容　要　旨

天文測地網を厳密に処理するためにも，それを空間的に構成するためにも，準拠楕円体面からの測地点の高さHを知る必要がある。この高さは精密水準測量あるいは三角水準測量から決定される標準高度hと，擬ジオイド高Nとの和に等しい。擬ジオイド高は，天文点を連ねる路線に沿って，天文測地鉛直線偏差を積分することによって決定される。この積分で，天文点間の鉛直線偏差の線形内挿を用いるのが天文水準測量であり，その非線形部分を考慮する改正を重力の資料から計算して付加するのが天文重力水準測量である。このために，天文点の周囲に，天文点間の平均距離の1.5～2.5倍の半径で重力測量がある必要がある。天文重力水準測量は，同一の擬ジオイド高決定精度に対し，天文水準測量に比べて，天文点間距離を本質的に大きくできるという利点を有する。

天文重力水準測量の精度を左右する第1の要因は，重力鉛直線偏差の誤差である。そこで筆者は，重力鉛直線偏差の誤差を評価する独自の方法を提案する。さらに，関東および東北地方の約1°×3.5°の面積の地域に対して決定された重力異常の代表誤差の値に，この方法を適用し，重力測量のプロジェクトで問題になる次の2つの問題を解決する。

(1) 重力点の相互の位置とその観測精度を知って，導出される鉛直線偏差の予期される誤差を定めること。

(2) ある要求される鉛直線偏差の精度と，重力測定のある決まった測定精度に対して，重力点の好都合な距離を決めること。

次に，天文点を連ねる路線が屈曲する一般の場合について，天文重力水準測量の偶然誤差の累積の式を導く。これも，独自の方法であり，エム・エス・モロジェンスキーは，その特殊の場合，すなわち，天文点間距離の等しい，直進する路線に対してのみ，同様の式を導いている。

天文重力水準測量の誤差は，天文点における，前述の重力鉛直偏差の誤差 $\delta\lambda^{g}$ と，同じく天文点における天文測地鉛直線偏差の誤差 $\delta\lambda^{a}$ の合成誤差

$$\delta\lambda = \pm\sqrt{\delta\lambda^{a2} + \delta\lambda^{g2}}$$

および，路線の幾何学的形状によって左右される。$\delta\lambda$ を「天文測地重力鉛直線偏差の誤差」と名付けた。

ここで，天文重力水準測量の偶然誤差の累積が，精密水準測量のそれに対応することが述べられる。すなわち，天文重力水準線長がLのときの誤差 δ Nは，

$$\delta N = \pm\,\delta\sqrt{L}$$

の形になり

$$\delta = \delta\lambda\sqrt{l}$$

の関係がある。l は天文点間距離である。

次に，日本において天文重力水準測量を実施する場合，それにいかなる精度を要求すべきかについて述べる。天文測地網を空間的に構成するという観点から，垂直の座標の精度が，位置のそれと比べて劣っていない。いいかえると，天文重力水準測量の路線の計画に際して，水準1kmあたりの誤差が，位置の座標の相当する誤差よりも大きくない条件を課するのが妥当と考えられる。このことから，高精度天文重力水準測量には，1,000kmあたり，少なくとも±1 m，すなわち，$\delta=\pm 3\,cm/\sqrt{\mathrm{km}}$ 以下を要求すべきことが述べられる。このとき，天文測地網を厳密に処理するために必要な高さの精度は，もちろん，保証されている。

次に，$\delta\lambda$ の決定方法と，決定された $\delta\lambda$ を用いて路線を設定することについて述べる。前述のごとく，代表誤差と重力点の配点が与えられると，$\delta\lambda^{g}$ の値は定まる。一方，$\delta\lambda^{a}=\pm 0.''3$ であることは，天文観測の結果からわかっているので，筆者の導いた式を用いれば，天文重力水準路線がどのような形の場合についても，δNの決定が一応可能である。しかし，われわれは，このことで満足できない。重力点の配点は，いつも同じ条件ではなく，むしろ，地球物理学上の目的で実施された重力測量の資料を収集して，それを利用する。そのような資料が，その周囲にないような天文点もある。あるいは，路線が海の近くをとおり，海の重力の資料が，その付近にない場合もある。このような不均一な重力点の配置から，すべての天文点について $\delta\lambda^{g}$ の値を評価するには，多大の労力を必要とする。また，重力異常の異常の程度は，場所によって異なり，われわれの知っている代表誤差の値は，それを計算した地域全体の平均値である。そこで，ここでは，全く独立な手段で，直接 $\delta\lambda$ の評価を行うのである。

いま，隣接天文点について，重力鉛直線偏差が，各天文点を中心とし，天文点間距離に比べて適当に大きなある大きさの半径の円の領域のベニング・マイネス積分によって，それぞれ計算されたとする。このとき，それぞれの天文点についての，天文測地鉛直線偏差と重力鉛直線偏差の差は，大体等しい値になる。すなわち，この差は，積分が行われなかった領域のベニング・マイネス積分に相当する量と，ベッセル楕円体と重力楕円体の傾斜角との和である。これらは両天文点について等しいと考えてよい。したがって，ある天文重力水準路線に関する $\delta\lambda$ の大きさを，次の隣接天文点での，この差の値の差の2乗平均値を用いて決定することができる。

次に，天文水準測量について述べる。これは，たとえば，海岸地方で，沿岸海域に重力測量が存在しないようなとき，重力の資料を用いないで，天文水準によって同等の精度を確保しようとするものである。

最後に，これらの理論を裏付ける資料として，関東および東北地方を縦断する2つの天文重力水準路線を例にとって説明する。これらの地域において，上述の決定法で計算された $\delta\lambda$ の大きさは $\pm 1.''0$ に近い。この値と，これらの路線の天文点間隔とから計算される σ の値は，$\pm 3\,cm/\sqrt{\mathrm{km}}$ と一致しており，したがって，われわれの要求とちょうど合致するものである。

一方，両路線にまたがる天文点で作られる三角形について，実際得られた閉合差と許容閉合差

(これは前述の筆者の評価式を用いて，$\delta\lambda=\pm 1.''0$ に対して計算される予期される閉合差の2倍にとった）の値を比較すると，実際得られた閉合差は，ただ1つの例外を除いて，許容閉合差よりも小さい。これは，われわれの期待したところである。

このようにして，われわれの天文重力水準測量が，精密水準測量に完全に対応するものであることがわかる。ベンチ・マークを天文点におきかえれば，路線，環，網の概念は全く同じで，平均計算も全く対等に実行される。このことから，天文重力水準測量を，国家事業としての作業形態に具体化することが可能であり，筆者の指導のもとに，国土地理院において，それがすでに実行に移されている。

論文審査の結果の要旨

地球の変動帯に位置する日本においては巨大地震発生に密接に関係する造構造運動の究明等のためには三角点の鉛直線偏差，高度異常を表わす擬ジオイドの高さを無視した現行の測地測量では系統的誤差の累積が大きく，我々が必要とする測地測量の精度を得ることは困難である。この問題を解決するためには準拠楕円体面からの測地点の高さを知る必要がある。この高さは標準高度と擬ジオイド高の和で表わされる。この擬ジオイド高は天文点を連ねる路線に沿って天文測地鉛直線偏差を積分することにより求められ，その線型内挿を行なうのが天文水準測量であり，その非線型部分については重力資料から計算され，これらの手続きを行なうのが天文重力水準測量である。

近年重力の測定技術の発達により，陸上，海上共に高精度，高密度の重力測定が実施され，その結果，従来の我国の二次元的な国家測地系を，天文重力水準測量を導入することにより厳密投影法による三次元測地系の形成を可能とした。大野はこの点に着目し天文重力水準測量に関する数理的解析を行ない，既設の測地網，重力の観測網を基にした計算法を提案し，その厳密なる誤差の評価を行ない，最適重力測量計画を見出し，我国の新しい測地測量について興味深い知見を得た。

著者は天文重力水準についてその複雑な計算過程の中で，新しい数値計算法を導き，天文点を中心に平均天文点間の距離の 1.5 ～ 2.5 倍の領域にわたり現在の精度で重力測量が行なわれれば，必要とする擬ジオイド高が充分求められることを示した。次に天文重力水準および天文測地鉛直線偏差内挿による限界誤差について解析し，その評価式を得た。特に重力異常の水平方向の導関数とその高次の導関数の値の分布が誤差の大きさに影響を与えることを見出した。

さらに重力鉛直線偏差の誤差は天文重力水準測量の精度に大きく影響を与えるので，その誤差の評価方法を提案した，一般に重力鉛直線偏差を決定するためには問題とする領域での重力異常の分布を知らねばならない。いまその領域を適当に分割し，その一区画の異常値の平均をその中の一点の重力異常値で代表させると区画全体の平均的異常値との間に差が生れ，それを代表誤差といい，著者は日本における重力異常の複雑な関東，東北地方の資料からブーゲ異常の代表誤差を求め，その結果から重力鉛直線偏差の精度評価方法を提案した。それによれば重力点の相互の位置とその観測精度の知識から導かれる鉛直線偏差の予想される誤差が決定されること。また要求される鉛直線偏差の精度と重力の一定観測精度が与えられれば重力点の最適相互距離を見積もることができるという結果を得たこと，および，天文点を連ねる路線が任意に屈曲する一般的な場合の天文重力水準測量の偶然誤差の累積について一般式を得たこと等は天文重力水準測量の実用化のために重要な知見を得たといえよう。

以上得られた成果に基づき，日本における天文重力水準測量の実施にあたっては，天文測地網を空間的に構成するという観点から垂直の座標精度を位置のそれと同じにするため 1,０００km当り少なくとも±１mの精度を必要とすることを強調し，その可能性について述べている。また天文測地重力鉛直線偏差の誤差の評価について述べ，実用的天文重力水準路線の設定を提案した。最後に著者の研究結果を検定するために関東および東北地方を縦断する２つの天文重力水準路線を例にあげ，天文測地重力鉛直線偏差の誤差とこの路線から得られた値が一致していること，また，実際に得られた閉合差は許容閉合差より小さく，著者の研究から期待されたものと見事に一致していることを示している。

以上のごとく本論文は天文重力測地測量に関する数理的解析，誤差の評価および最適重力測量の方法の提案等幾多の重要な新しい知見を与え，測地学の研究に多大の貢献をしたものといえる。よって大野重保提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。