

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420534

研究課題名(和文)陸上・海底地形のシームレス化手法の開発とその応用

研究課題名(英文)Development of integration method of elevation and water depth data

## 研究代表者

布施 孝志 (FUSE, TAKASHI)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80361525

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、標高や水深により表現される陸上・海底地形データをシームレス化する手法の開発を目指すものである。まず、陸上・海底地形データの計測・作成・管理方法の現状を技術的・法的観点から整理し、標高・水深の基準決定の明治時代からの歴史的経緯を整理し、共通点・相違点を横断的にまとめた。また、陸上・海底地形接合部の特性を分析し、データ統合・調整手法の開発を行った。補助データを用いた内挿手法も検討し、手法の改良を行った。提案手法を、複数パターンの適用を通して比較分析し、最新計測技術データとの比較も行った。

研究成果の概要(英文)：This research proposes a method to render seamless between terrestrial and bathymetric topography. The current situation of measurement, modeling, and management of both data is reviewed from the viewpoints of technical and legal aspects. The research surveys history of the datum levels of elevation and water depth from Meiji Era. Both histories are contrasted to detect common and different points. The characteristics of boundary part between elevation and water depth are analyzed. According to the characteristics, integration and adjustment method of both data is developed. Methods with auxiliary data are also examined, and the proposed method is modified. The proposed method is applied to multiple patterns, and the results are analyzed comparatively.

研究分野：空間情報学

キーワード：地理情報システム(GIS) 地形 国土保全 交通工学・国土計画 減災

### 1. 研究開始当初の背景

島国であるわが国にとって、その国土の姿を把握するためには、陸上および海底の地形を連続的に表現することが重要である。一般には、陸上の地形に関しては標高により表現され、海底の地形に関しては水深により表現される。しかし、この標高と水深の0mの基準は異なるものであり、陸上・海底の地形を統一して表現するために、単純に両者をつなぎ合わせて同時に表現することは適切ではない。具体的には、標高の基準は平均海面(東京湾平均海面)として定められている一方で、水深の基準は最低水面(略最低低潮面)により定められている。これらは、標高の基準を定める測量法と水深の基準を定める水路業務法施行令において、相違した基準が用いられていることに依存し、そのため、陸上・海底地形データを公的には統一して公開する術がなかった。また、陸上・海底の地形データは、別々に作成されているため、境界部分の海岸線付近での接合も困難であった。

従来から100万分の1地図などの小縮尺地図には、等高線と水深線がそのまま併記されてきた。平均水面と最低水面の差は、大きくとも3m程度、大半は2m以下であり、小縮尺地図であれば、そのまま表現しても実用上問題は生じず、概形を把握するだけならこれで事足りた。近年においては、計測技術の発達や計算機の普及により、地形情報も紙上のみならず、詳細なデジタルデータとして扱うことが可能になった。陸上地形に対しては、航空レーザ測量による数mメッシュレベルでの標高取得が主流となっている。また、海底地形に対しては、時々刻々と変化する海面からの相対的な位置関係での計測に代わって、RTK-GPSやマルチビーム音響測深機により、絶対的な位置に基づく面的かつ詳細な水深の計測が可能となっている。このように、紙上での情報に比べて遥かに詳細なデジタルデータを、取得、操作、表現できるようになり、全国において、大縮尺での陸上・海底地形をシームレスに表現・利用することへの要請が益々高まっている。大縮尺における精細な地形データに対して、陸上・海底地形をシームレス化するには、上記の標高・水深基準の差異の影響が無視できない。

これまででも、局地的には、陸上・海底地形のシームレス化のために、わが国に多数存在する基準港における平均水面と最低水面との差( $Z_0$ と表記)により補正を行ってきた。この値は、海上保安庁のHPから閲覧することができるようになってきている。しかし、標高の基準となっている平均海面は東京湾平均海面に全国で統一されている一方で、水深の基準は潮汐によっているため地域ごとに異なっており、基準が不連続に変化する場所が存在する。全国を対象とした場合には、この不連続域の補正が必要となる。さらに、陸上地形データと海底地形データは、精度が異なる。そのため、単純に海岸線付近で接合する

のみでは十分ではない。これらの問題に対し、詳細データを用いて、全国規模でシームレス化を行う手法は、未だ存在しない。地形情報を管理する観点から言えば、統合された基準を元にデータベースを作成することが望ましい。その上で、目的に応じ補正を行い、海図などの主題図を作成することが合理的である。

### 2. 研究の目的

本研究では、標高および水深により表現されている詳細な陸上・海底地形データをシームレス化する手法の開発を目的とする。

具体的には、精度が異なる陸上と海底の地形データに対し、データ統合手法の開発を行う。対象は、公的に発行されている陸上・海底の地形データのうち、最も詳細なデータとする。さらに、標高・水深の基準の相違、場所に依存する水深基準の相違に対して、齟齬が生じないように、統計的な整合性を保証する調整手法を開発する。

ここでは、管理上の観点からの提案も重要になるため、これまでの標高・水深の基準決定に対する歴史的経緯を整理することが必要になる。わが国で近代的な測量が始められたのは、明治4年の陸軍参謀局(陸軍陸地測量部の前身)と海軍水路局(海軍水路部の前身)の設置まで遡る。本研究では、まず、歴史的経緯として、陸軍陸地測量部と海軍水路部により発行された一次史料により、標高・水深の基準の変遷、決定経緯、および両者の関係性を調査・整理する。

陸上・海底地形のシームレス化が実現すれば、例えば、海部のみでなく河川や陸上までのシームレスな津波のシミュレーション、海面上昇のみでなく海面下降による国土変化のシミュレーションなどへの応用が考えられる。

### 3. 研究の方法

統合地形データベースの構築にあたっては、地形表現の定義にあたる、標高・水深の基準に関する制度的な課題と公開データに対する統合手法の開発に大きく分類される。

まず、標高・水深基準の決定経緯と現状の整理を行う。その整理結果を参照しながら、同時に、現データにおける接合部分の特性分析を行い、統合手法に対する要件を整理する。適用可能性を向上させるため、精度が異なる多様なデータ統合手法となるよう、先に示した陸上・海底地形に特有の要件も考慮し、その統合手法の開発を行う。具体的には、以下の通りである。

#### (1) 標高・水深の基準決定経緯の整理

近代測量が開始された明治4年までさかのぼり、標高および水深の基準決定の歴史的経緯の調査・整理を行う。調査においては、陸

軍陸地測量部と海軍水路部により発行された一次史料の調査から始め、さらに、それ以降の継承機関による一次史料をあたり、それぞれの決定経緯の整理を行う。現在でも、水深の決定については、標高の決定に対して複雑なため、験潮所の整備および調和分解法と最低水面の定義に対して、詳細な調査を行う。さらに、両者の経緯を比較し、共通点・相違点を横断的にまとめる。

#### (2) 陸上・海底地形の管理方法の現状整理

主に、公的機関を対象として、現状の陸上・海底地形の計測方法、データ作成方法、データ管理方法の整理を行う。ここでは、技術的内容のみでなく、法制度の整理も行うものとする。これらを踏まえ、陸上・海底地形の統合データベース公開に対する課題を整理する。なお、前項の基準決定の歴史的経緯の整理結果も、適宜参照するものとする。また、次項の陸上・海底地形接合部にあたる分析に対して、基準港や現状での補正方法の整理も行う。

#### (3) 陸上・海底地形接合部の特性分析

公的に公開されている地形データのうち、最も詳細なデータを対象とし、前項における基準港や補正方法を陸上・海底地形に適用する。対象データは、陸上地形はメッシュデータ（ラスタデータ）で、海底地形データは等深線データ（ベクタデータ）で公表されている。それぞれ、ラスタデータでの統合、ベクタデータでの統合について検討する。適用結果から、その不連続性に対する傾向を検証する。特に、海底地形データの基準は、地域により異なるため、地域ごとの特性も分析するものとする。

#### (4) 異精度データ統合手法の開発

まず、前項の各データの精度が異なった場合に対する連続性の特性の整理を行う。その上で、データ統合手法に対する要件をまとめる。本要件に対して、特に異精度のデータを統合する手法を開発する。具体的には、精度の相違に対する要件に対して手法を検討する。適宜、前項でのデータに対して適用可能性を評価することにより、異なる精度を考慮した手法のプロトタイプを開発する。なお、局所的に統合する手法を主に検討する。また、潮位表などの他の観測データを補助データとして統合する手法の検討も行う。

#### (5) データ調整手法の開発

陸上・海底地形の接合部、および水深基準が異なる地域の接合部に着目し、その不整合性を統計的に検証する。検証結果から、不整合を残差と考え、この残差を最小とする統計的な調整手法の開発を行う。ここでは、調整後の精度評価を行うとともに、データ容量が膨大になるため、その計算効率にも注意するものとする。

#### (6) 異精度データ統合手法の改良

データ統合手法のプロトタイプに対して、前項での調整手法の適用による手法の不整合性、冗長性の分析を行う。分析結果に基づき、同時調整を可能とするよう、プロトタイプ手法の改良を行う。

#### (7) 応用可能性の検証

前項で構築したデータベースを対象に、その応用可能性を検証する。具体的には、これまで行うことができなかった海面降下に対する国土変化のシミュレーションなどが考えられる。また、地図投影法とデータベース表現との関係も検討する。さらに、今後の国の地形データベース管理に対するあり方についても議論を行う。

### 4. 研究成果

本研究では、標高および水深により表現される陸上・海底地形に対し、その基準の歴史的経緯を明らかにするとともに、両地形データをシームレス表現するための統合手法の開発を行った。

まず、陸上・海底地形データの計測・作成・管理方法の現状整理を行った。公的機関を対象として、現状の陸上・海底地形の計測方法、データ作成方法、データ管理方法、さらに基準港や補正方法などの整理を行った。ここでは、技術的内容のみでなく、法制度も確認している。

また、標高・水深の基準に関して、現状に至る、その歴史的経緯の整理も行った。これらの基準に関係する事績は、明治4年の近代測量開始時まで遡ることができる。その後、それぞれ個別に変遷を遂げるが、その関係については十分に明らかにされていない。そこで、担当機関の一次史料にもあたり、それぞれの決定経緯を整理した。水深の決定については、単純な低潮面平均から始まり、調和分解法による最低水面の導入、呼称の矛盾期間の存在と解消、調和分解法に必要な常設験潮所の設置という経緯を確認できた。また、標高の基準に関する統一化の流れを示した。さらに、両者の経緯を比較し、共通点・相違点を横断的にまとめた。

基準決定の歴史的経緯も念頭に置き、陸上・海底地形接合部の特性分析、データ統合手法の要件整理を行った。陸上・海底地形の連続表現のためには、水深で示される海底地形データを標高の基準である T.P. を基準とした値に補正するのが一般的である。最低水面を基準とする水深値を T.P. 値に変換するには、最低水面と現地平均海面の関係である  $Z_0$ 、そして現地平均海面と T.P. の関係の二段階を経る必要がある。公的に公開されている地形データのうち、最も詳細なデータを対象とし、基準港に関するデータなども用い、一般的な T.P. への補正方法を陸上・海底地形の接合に適用し、その不連続性に対する傾向を

検証した。検証結果から、接合部における要件をまとめた。あわせて、海岸線、低潮線などの定義の確認とともに、そのデータの利用可能性も検証した。

地形の不連続性の傾向分析の結果、およびデータ統合手法に対する要件を踏まえ、データ統合手法の開発、データ調整手法の開発を行った。まず、異精度データの両者を統合するための内挿手法の検討を行った。この手法は、標高・水深データのみを用い、元データを重視する方針のもと、空間統計学に基づく内挿手法を開発した。ここでは、等深線の内挿前に T.P. 補正を行うことによって内挿過程で平滑化を行い、 $Z_0$  や現地平均海面と T.P. の関係といった補正值区分線上での不自然なずれを除去している。あわせて、海岸線や低潮線の補助データを用いた内挿手法の検討も行った。その結果、補助データを用いた方が、精度が向上することが確認された。

これまでに開発した統合・調整手法の改良を行い、9 パターンの適用を通して、統合手法の比較分析を行った。特に、内挿手法と統合データ選択についての改良を行った。また、全国展開も考慮し、複数地点での分析を行った。検証においては、別途取得した、浅海部の航空レーザデータも用い、精度評価を行った。その結果、最も適用可能性の高い手法を提案した。しかしながら、データ統合後の海底地形データの再現性においては、その限界も確認された。この理由としては、特に砂浜部において、地形図由来の海岸線データに比して、航空レーザデータが示す海岸線位置の偏り、また低潮線の深度位置に関する偏りなどが考えられる。

さらに、統合データベースの可能性についての提案を行い、応用可能性を示唆した。今後の提案に関しては、陸上・海底を連続して測量可能である航空レーザ測量の適用範囲の拡大やデータ公開が重要であることを示した。また、基準の差異を廃し、GNSS などの活用によって楕円体高を基準とするデータベース整備の提案を行った。現在では、水路測量においても、GNSS 利用は広まってきている。また、楕円体高から標高に変換する際に必要となるジオイドモデルの高精度化も進められてきている。これらの機運を勘案すれば、楕円体高によるデータベース構築は現実的であると結論づけた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

布施孝志、大矢紀之、陸上・海底地形の高さの基準に関する歴史的経緯、土木学会論文集 D2、査読有、Vol.70、No.1、2014、1-8.

布施孝志、永良慶太、連続距離画像の統

合・調整手法に関する研究、写真測量とリモートセンシング、査読有、Vol.53、No.5、2014、205-212.

布施孝志、神谷啓太、ベクターデータの直線形状を利用した制約条件付きバンドル調整に関する研究、写真測量とリモートセンシング、査読有、Vol.53、No.4、2014、173-182.

布施孝志、「空間情報サービス」の展開、測量、査読無し、Vol.65、No.9、2015、6-11.

布施孝志、変貌する東京 - 空間情報でみる地形の変遷、都市計画、査読無し、Vol.63、No.2、2014、1.

[学会発表](計3件)

Takashi Fuse、Keita Kamiya、Development of orientation method with constraint conditions using vector data、2015 Optical Metrology; Videometrics, Range Imaging, and Applications XIII、2015年6月22日-2015年6月23日、Munich、Germany

Keita Nagara、Takashi Fuse、Development of integration and adjustment method for sequential range images、ISPRS Joint Workshop with WG IV/7 and V/4、2015年5月21日-2015年5月22日、東京大学生産技術研究所、東京都、目黒区

永良慶太、布施孝志、連続距離画像の統合・調整手法に関する研究、日本写真測量学会平成26年度秋季学術講演会、2014年11月20日-2014年11月21日、サンポートホール高松、香川県、高松市

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

布施 孝志 (FUSE TAKASHI)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：80361525