

氏 名	尾 鼻 浩 一 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2043 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Development of Seafloor Positioning System With GPS-acoustic Link for Crustal Dynamics Observation (地殻変動観測を目的とした GPS 音響結合による海底測位システムの開発) (主査)
論 文 調 査 委 員	教 授 安 藤 雅 孝 教 授 田 中 寅 夫 教 授 竹 本 修 三

論 文 内 容 の 要 旨

1960年代のプレートテクトニクスの成立により、様々な地球物理学的、地質学的現象を統一的に解釈する事が可能となった。プレートテクトニクスの概念に於いて、地球表面の変形の大部分はプレート境界で発生すると考えられる。1980年代以降の宇宙測地技術(VLBI, SLR等)の進歩により、プレート運動を直接計測することが可能となった。また1990年代には、汎地球測位システム(GPS)による観測により、日本列島全体といった広域の変形が観測されるようになっていく。しかしながら、これらの観測は陸上だけで行われているものである。一方、活動的なプレート境界の大部分は海嶺、海溝の様に海底に存在するものである。海底において地殻変動観測を行う事は、プレート境界域での地球科学的現象を理解する上で大きく貢献することが期待できる。

本研究では、海底での地殻変動観測を行うための海底測位システムの開発を行った。このシステムは、海底に設置した基準点の位置を陸上のGPS観測網と同じ座標系で決定できるように設計されている。この観測システムは、GPSによる移動体のキネマティック測位と、音波を用いた音響測距を組み合わせたものである。実際の海底測位に於いては、海上のGPS—音響結合装置の位置及び姿勢をGPS干渉測位の技術を用いて陸上の基準点に対して決定する。この海上装置は音響送受波装置を装備しており、GPSの観測から、送受波装置の位置を求めることが出来る。次に、海上装置と海底に設置した基準点との間で、M系列という疑似雑音性を持った信号を用いて音響測距を行う。音響測距に於いては、海上一海底装置間の音波の往復送時が計測される。最終的には海上の複数の点から音響測距を行い、水中音速構造と組み合わせて海底基準点の位置を地震の震源決定の様にすることが出来る。

第2章において、基線長を変えながら移動体測位の精度の見積もりを行った。実際に移動している物の測位精度を見積もることは難しいため、先ず固定されているGPSアンテナを移動している物体とみなして解析を行い、得られた解とスタティックな解との比較を行った。その結果、基線長が160kmの場合でも水平方向の測位誤差は10cm程度と見積もられた。測位精度は観測出来る衛星の数などによって変化するが、推定誤差などの情報を指標として測位精度が低下しているかどうかは判断できる。また、固定した状態での姿勢測定の実験も行った。このデータから、海上装置の音響送受波装置の位置決定精度を見積もった場合、GPSキネマティック測位とあわせて基線長100km程度で水平及び鉛直方向の誤差約10~20cmである。又、船を用いて移動体測位を行った。この実験では、GPS基準点として陸上の3点を用いて基線長を4~180kmの間で変化させて解析を行った。基線長を変えた場合に推定される位置のずれは、観測条件良い場合は概ね10cm以下であった。以上のことから基線長100km程度の場合、海上装置の位置を誤差約10~20cm程度で測位出来る事が示された。Ambiguityを固定した解析を行うことで、測位精度の向上は可能である。

第3章では、開発している海底測位システムを用いて浅海及び深海底での測位実験を行った。水深約65mの浅海底での実験では、海底に設置した2台の基準点となる海底装置に対して、各々約100回の音響測距を行った。水中の音速構造は、海

底及び周辺海域での水温、塩分濃度観測を基に2種類の1次元モデルを仮定した。海底基準点の位置は、音響測距で測定された音波の往復送時の残差が最小になるようにして求めた。どちらの音速モデルを用いた場合でも、海底基準点の位置は水平方向の誤差約15cm、鉛直方向に約25cmで決定された。この時、音波の往復送時の残差二乗平均は約1 msecである。相模湾西部の水深約1350mの深海底に於いても、海底測位実験を行った。この実験では、海底装置一台当たり160~190回の音響測距を行った。水中音速構造は、CTDによる水温、塩分濃度観測を基に1次元モデルを仮定した。浅海実験と同様に海底基準点の位置を決定した場合、その誤差は水平方向約15cm、鉛直方向約10cmであった。残差の分布には系統的な変化とともに、反射波等の誤認に因るもの考えられる物があつた。これらのデータを除去して再計算を行うと、水平方向の誤差約10cm、鉛直方向約6 cmとなった。この時、残差の二乗平均は約0.5msecである。残差の系統的変化については、測位を行った海底基準点2台の両方に対して同じ傾向が見られ、海水表層部分の実際の音速構造がモデルに対して系統的に変化している事を示唆している。表層部分の音速構造の不確定性を減らすことが、より高精度な海底測位の為には必要となる。それには、海底に複数の装置を設置し、それらに対して同時に音響測距を行って表層部分のモデル化を行う事が有効である。

第4章では、複数の海底基準点に対して音響測距を多重化して同時に行う方法を示している。この手法は符号分割多重と呼ばれるものであり、高い疑似雑音性を持つ信号を用いて、時間及び周波数が同じ領域上で複数の通信（測定）を可能にする物である。

申請者は、この手法の音響測距に対して適用した。先ず、数値実験によってこの手法の妥当性を確認した後、実際に海底に設置した装置3台に対して多重音響測距の実験を行った。観測された音響波形には、3台の海底装置からの応答がきれいに見えており、この手法を海底測位システムに組み込むこと可能であることが示された。これにより、海底に複数の装置を設置し、同時に測定することが可能となる。

以上の研究によって、現状のシステムを用いて、陸上から100km程度の範囲の海底で、位置を10~20cmの誤差で測定可能であることが示された。すなわち、沈み込み帯の巨大地震に伴うような地殻変動は観測可能となった。さらに高精度な測位の為には、これらの新しいシステムより地震間の定常的すべり、地震前のすべりなどが検出することが可能となろう。多重音響測距を用いて、より高度な測位システムを構築する事が必要であろう。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、海底において地殻変動観測を行うための海底測位システムの開発に関する研究成果である。主論文は主としてGPSを利用した移動体測位実験、浅海及び深海底での海底測位実験、そして符号分割を利用した多重音響測距法の3つの研究成果から構成されている。申請者の開発した海底測位システムは、GPSを利用した海上測位と音波による海中音響測距を組み合わせたものであり、先ず海上測位の精度を模擬的な実験から見積もっている。実際に移動している物についての測位精度を見積もる事は困難なため、固定した点に対して、基線長を変えながらキネマティック解析を行っている。その結果、160kmの基線長の場合でも、観測条件が整えば約10cmの誤差で測位可能であることが示されている。また、GPS干渉測位を利用した姿勢測定装置と組み合わせることによって、海上装置の位置を陸上の基準点に対して、10~20cmの誤差で決定出来る事が実験データから示されている。実際に観測船を用いた移動体測位の場合においても、基線長の変化による測位結果の違いは概ね10cm以下であり、申請者の見積もりは妥当なものと考えられる。次に、申請者が実際に開発した海底測位システムを用いて、水深約65mと1350mの海域で2回の海底測位実験を行っている。両方の実験に於いて、水中の音速構造として1次元のモデルを用いて、海底の位置決定を行っている。海底の決定された位置に対する誤差は水平方向約15cmで、どの実験についても同様であった。ただし、深海底での実験では反射波の誤認と思われる誤ったデータを除去することにより、誤差が約10cmまで減少することが確認されている。申請者は、各々の測位結果に対して音響測距の残差分布に系統的な変化が存在していることを示している。申請者は、この系統的変化が複数の海底基準点に対して同じ傾向を示していることから、海水表層部分の音速構造の1次元モデルからのずれが原因と考え、複数の海底基準点に対して同時測定を行うことで、音速構造の不確定性を減らすことが可能であるとしている。そのためには、測定の多重化を行うことが必要である。申請者は符号分割による多重音響測距の実験を行っている。これは、雑音性の高い信号を用いることで、時間・周波数が同じ領域で複数の測定を同時に行うことを可能とする手法である。申請者は、数値実験ならびに、海洋での実験からその手法の妥当

性を確認し、実際の測定に適用できる事を示している。この手法を用いることによって、高度の測位システムの構築が可能となる。申請者の研究は、海底という地球に残された大きな窓から地球内部を観察しようという、きわめて意欲的なものである。海底に於ける地殻変動観測は、地球物理学にとって大きな課題である。申請者の開発したシステムはこの課題に対する一つの回答であり、この海底測位システムの使用によって、沈み込み帯の巨大地震に伴う海底の地殻変動を観測可能にした事は高く評価できる点である。ただし、現在のシステムの測位精度では、定常的な地殻変動観測の為には不十分であることから、申請者は、次世代の海底測位システムの開発に向けて多重音響測距の実験を行い、その測定精度やシステムへの適用可能性を明らかにしている。この様に、現状からのさらなる発展をめざした実験的研究を行っている点も大いに評価出来る。

上記の評価によって、本論文は、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認め、平成11年2月2日に論文内容に関する口頭試問を行った結果合格と認めた。