

論文要旨

学位論文題目：Comparative Visualization with 3D and Virtual Reality Techniques for Observing Mode Water Regions

氏名：矢野 緑里

海洋環境は我々の生活に密接に関係している。例えば、地球温暖化や気候変動に伴う海水面や海水温の変化はさまざまな影響を及ぼしている。また、近年は海洋プラスチックゴミの漂流による海洋汚染の深刻さが大きな問題となっている。こうした海洋環境の変化を分析するには高精度な海洋データが必要である。これまでの船舶や衛星による海洋データの収集には取得できる空間分布や季節に偏りが見られたが、2000年から始まったアルゴ計画と呼ばれる国際的な取り組みによって正確な海洋の観測データが取得できるようになってきた。一方、スーパーコンピュータの性能向上によって、海洋大循環モデルを用いた高解像度な数値シミュレーションを全球レベルで行うことができるようになった。さらに、数値シミュレーションに観測値を取り入れるデータ同化と呼ばれる技術を用いたデータが開発されている。観測手法の改良と計算技術の進歩に伴って高精度な海洋データの作成が進む中で、海洋データの再現性に関する評価は非常に重要である。

海洋物理学分野では、海洋現象の再現性にもとづいて海洋データを評価する場合が多い。例えば、海面高度分布図を用いた海洋表面にあらわれる変化や鉛直断面図を用いた特定の位置で見られる海洋状態を確認する。こうした従来手法では海洋空間を考慮した評価は十分ではなく、再現性の違いを空間的・定量的に把握することは難しい。近年では海洋の海中に関するデータが充実してきていることから、海洋データの再現性には海洋空間を考慮できる3次元的な評価が必要である。そこで、本論文ではモード水領域の形状に着目し、その形状比較結果を可視化することで、海洋データの特徴を3次元空間で把握し、海洋データの精度向上につなげることを目指す。

海洋物理学分野では、海洋データの評価基準の1つとしてモード水が用いられる。モード水は海水特性が一様な性質をもつ表層水塊の1つであり、世界中の海洋にさまざまな種類のモード水が存在する。モード水は水温や塩分、密度などのパラメータで特徴づけられるが、抽出時に用いるパラメータの組み合わせは使用する海洋データの観測手法や計算方法によって異なり、そのパラメータの閾値も曖昧なものになっているため、同じモード水であっても形状に違いが見られる可能性が考えられる。したがって、モード水の定義パラメータの違いは形状全体にどのようにあらわれているかを調べるために、モード水領域の3次元形状を比較するための可視化手法と形状比較結果を仮想現実 (Virtual Reality; 以下 VR) 空間で観察するための視点選択手法を提案する。

形状比較には多視点レンダリング手法を適用し、モード水領域の形状を異なる視点から見た視点画像の特徴量をもとに計算した形状類似度 (非類似度) を用いる。形状ペアの非類似度を多次元時系列デー

タとして表示し、ユーザが選択した非類似度の形状ペアを等値面で確認し、形状ペア間の（非）類似部位を観察することができる。形状ペアを効果的に観察するための条件探索機能を搭載し、観測データ、シミュレーションデータ、同化データの3種類の比較的長期間の海洋データから生成したパラメータ閾値別のモード水領域の形状比較結果を可視化事例として紹介する。観測データから生成した形状と比較することで、海洋データの観測値の再現性の違いを3次元空間で観察することを実現した。

さらにモード水形状比較の詳細な分析を行うために、VR技術を用いた没入型空間での観察を行う。VR空間では、運動視野や頭部追跡（ヘッドトラッキング）による空間の奥行きや陰影といった視覚情報が提供されるので分析対象の正確な把握が可能であり、またユーザと分析対象が同じ空間にいることからユーザ主体の操作で分析対象を観察することができる。視点選択はモード水領域の形状ペアにおける各ペアの等値面を距離に応じた配色で色付けした状態で多視点レンダリング手法を適用し、視点画像の色相値をもとに行う。観測データから生成した形状とシミュレーションデータから生成した形状のペアの観察に適用し、特徴的な部位を見落とさずに効率良く探索することを実現した。

可視化技術を用いて複数のモード水領域の形状を3次元的に分析することで、海洋データごとの海洋空間の特徴を把握することができた。こうした結果を踏まえて、より再現度の高い海洋データの作成やモード水の形成過程の再現に特化した海洋データの作成に役立つことが見込まれる。