

論文審査の結果の要旨

氏名 西 田 智 哉

本論文は7章からなる。第1章が「序論」、第2章で「使用データ」、第3章で研究「手法」について記載している。主たる研究成果は、第4章「突風率及び乱流強度に関する統計解析」、第5章「冬季モンスーンによる突風率の変化に関する気象学的解析」、第6章「工学的な応用に向けた海上風特性の把握」に記載し、第7章で「結論」を述べる。

研究の目的は、日本周辺海上で観測された貴重なデータから、海上の突風率と乱流強度の統計学的・気象学的特徴を定量化し、得られた海上風に関する知見を洋上風車など海上構造物の設計ガイドラインに反映させることである。そのために、沖合および沿岸における風速観測データを解析し、突風率と乱流強度の特徴と乱流形成のメカニズムを明らかにした。そして、気象モデルを用いて、海上の風況と乱流強度（突風率と等価）の空間分布を本州北東海域について推定した。

使用した観測データは、K-TRITON ブイ (JKEO サイトにおける大水深係留観測ブイ) での風速及び波浪、気象庁南鳥島気象観測所風速、実船観測風速、平塚観測塔および係留ブイ風速、そして、国土交通省ナウファス GPS 波浪計に搭載された風速計の風速である。気象庁風速を除き、いずれも、本研究のために独自に入手した、貴重な観測データである。一方、使用した気象モデルプロダクトは、JRA25、MSM 解析値、GSM 予報値、週間アンサンブル予報など、いずれも気象庁及び気象コンソーシアムで配布されているモデルプロダクトである。データ期間はそれぞれ異なるが、モデルと観測が重なる期間において、相互比較により検証を行った。また、MSM からのダウンスケール (5 km⇒2 km 格子) 領域モデルを新たに構築した。これら、観測データ、気象モデルデータ、そして、独自の気象モデルデータを用いて、新たな知見を得ている。

JKEO サイト (東北太平洋沖約 500 km, 2009 年 8 月末~2010 年 4 月 19 日) の観測結果から、非常に大きな突風率 (風速 10 m/s 以上, 突風率 1.5 以上) が起こる気象条件は、低気圧・前線の通過と、冬季モンスーンに伴う寒気の吹き出しの 2 条件に分類できることを示した。冬季 (12~2 月) においては、突風率増大の主要因は、北西風に代表されるモンスーンであるが、その際に、突風率の確率密度関数のテール部が、その他の条件下の確率密度関数に比べ、有意な上昇を示すことを明らかにした。そのメカニズムとして、波浪による海面粗度の増加と顕熱フラックスの増加について検討した。

はじめに、波浪による海面粗度の増加が乱流を活発化した可能性を検討したが、観測された突風率の上昇を十分には説明することは出来なかった。しかしながら、強い突風が発生したときに、波浪スペクトルの狭帯化も同時に起こっており、フリーク波の発生確率が上昇するケースが幾つか観測された。これは、前線の通過後や台風の通過前後など、突風が起きやすい気象現象と、フリーク波の発生確率を上げる気象現象が、共通している可能性を示唆しており、新たな知見である。

次に、顕熱フラックス（気温・海面水温の温度差と風速の積に比例）の影響を検討した。乱流運動エネルギー収支（TKE budget）から、冬季モンスーンが卓越した際には、浮力生成が、シアー生成より相対的に重要となることを示した。浮力生成により境界層内の乱流が活性化し、上空の運動量が下降気流によって下層に運ばれ、突風率が上昇すると考えられる。冬季日本周辺海域は、黒潮とシベリアからの寒気の移流に伴い、大気と海面の温度差が拡大し、上向きの顕熱フラックスが、世界的にも顕著に増大する海域である。大気モデルを用いた感度実験により、東北太平洋沖における大気と海面の温度差を抑制すると、確かに突風率と等価である乱流強度が減少することが判った。すなわち、顕熱フラックスの増大が、乱流の活発化を引き起こすトリガーであることを確かめた。そして、JKEO サイトでの観測結果および大気モデルによるハインドキャスト計算結果の双方から、浮力生成とシアー生成の相対的な重要性を示すリチャードソン数と、突風率もしくは乱流強度とは、負の相関があることが分かった。このように、寒気の吹き出しに伴う顕熱フラックスの増加とそれによる浮力生成の効果により、東北太平洋沖合の突風率と乱流強度が上昇する。

本研究では、気象庁非静力学モデル（JMA-NHM）を使用し、境界条件として MSM 解析値を用いたハインドキャスト計算を行った。計算結果は、外洋（JKEO サイト）と沿岸（ナウファス GPS 波浪計）の観測データを用いて検証したが、平均風速だけではなく、風速の標準偏差、運動量・顕熱・潜熱フラックスも高い精度で再現できていることが確認された。風速やフラックスの精度は、境界条件である MSM の精度に依存しているが、境界条件として与えていない風速の標準偏差（乱流運動エネルギー）が観測と良い一致を示したことは、大気モデル（JMA-NHM）内で乱流が正しく生成されていることを示している。このようなモデルの検証を行ったうえで、年間平均風速と乱流強度の空間分布を作成した。既存の NEDO 風況 MAP に比べ、三陸沿岸など海岸線付近の気象官署との大きなバイアスが解消され、海岸線付近の風況の再現性が向上した。大気モデル（JMA-NHM）から求めた、三陸沿岸の乱流強度 MAP（高度 60 m における風速 15 m/s の乱流強度期待値の分布）は、これまでに推定されたことの無い、新しい情報である。

冬季モンスーンによる突風率と乱流強度の上昇のメカニズムを解明したこと、大気モデルを用いて東北太平洋沿岸域の風況マップと乱流強度マップを作製したことで、本研究の目的は達成されたと判断する。

なお、本論文第 2 章で説明している使用データは、気象コンソーシアム、国土交通省、株式会社 MTI、JAMSTEC などとの共同研究もしくはそれに準ずる貢献ということで提供されているが、データ解析及び検証は、論文提出者が独自に行ったもので、論文提出者固有の新しい見解であると判断する。

以上により、博士（環境学）の学位を授与できると認める。