

令和 6 年度大学院地球環境科学研究科 課程博士学位請求論文審査報告書

学位請求者氏名	藤田 友香
学位の種類	博士（理学）
論文題目	トランスバースバンドに伴う乱気流の要因について

審査結果の要旨

本論文は、乱気流の要因の一つであるトランスバースバンド (TVB) について、日本付近における統計調査と、ラジオゾンデデータの解析や数値シミュレーションを行い、TVBの出現特性やそれに伴う乱気流の成因の解明を目指したものである。論文は全6章で構成されており、1章は序論、2章は気象衛星画像を元に抽出したTVBの統計解析、3章は操縦士報告 (PIREP) より判定された乱気流強度とTVBとの関係、4章はラジオゾンデや数値シミュレーションに基づくTVBに伴う乱気流の要因の解析、5章は議論、6章は結論である。

2章では、ひまわり8号赤外画像を元に目視判別し、6年分の日本付近におけるTVBの出現特性を調査した。その結果、調査領域で発生した全事例中70%が西日本～東日本上空の北緯30～40度、東経120～150度の領域内で発生することが示された。そして、日本付近で発生するTVBの68%はジェット気流に伴っており、さらにその約2/3がトラフ東側の北東方向に延びるジェット上であることが明らかとなった。そのため、日本周辺におけるTVBの出現場所や頻度は、ジェット気流の季節変化や年々変動によって変化することも示された。そのほか、TVBの継続時間は2～4時間が多く、夜間より昼間の方が有意に発生頻度が高いことも示された。

2章の内容は、「気象衛星ひまわり8号データからみた日本付近で発生するトランスバースバンドの時空間的特徴」の題目で2023年に「地球環境研究」に掲載されている。日本付近におけるTVBの詳しい統計調査はこれまでほとんど行われておらず、本論文の成果は気候学的価値だけでなく、安全な航空機運航に資する基礎データとしても重要な価値があるものと評価する。

3章では、PIREPから乱気流の有無が判別できる事例を調査したところ、日本付近で発生するTVBの95%が乱気流を伴うことを明らかにした。また、衛星画像の高解像度化により最近解析されるようになり、現業予報で強い乱気流の目安とされていた浪雲については、浪雲を伴うTVBの方が有意に強い乱気流が発生しやすいことを示した。さらに、強い乱気流の発生域はTVB雲内だけでなく、その上下4000ft（約1.2km）まで広がっていることを示した。

3章の内容は、“Levels of turbulence intensity associated with transverse bands in the upper troposphere near Japan: Comparison with and without wave-like patterns on cloud tops” の題目で2024年に学術誌“SOLA”に掲載されている。これまで現業予報官に経験的に知られていた浪雲と乱気流の関係について、浪雲を伴うTVBの方が乱気流が起こりやすいことを統計的に明確に示したこと、そしてTVBに伴う強い乱気流が発生しやすい高度範囲を明確に示したことは、安全かつ適切な運航航路を予測・設定する際に応用できる大変実用性のある重要な成果である。

4章では、TVBに伴う乱気流の成因解明のため、ラジオゾンデと数値シミュレーションによる解析を行なった。ラジオゾンデの解析結果から、強い乱気流を伴うTVBではケルビン・ヘルムホルツ不安定あるいは静的不安定のどちらかの条件を満たしていることを示した。この特徴は、浪雲を伴うTVBの数値シミュレーション結果からも同様に示された。さらに、TVB発生に伴い励起された内部重力波が上下の安定層内を伝播して鉛直流を強めること、浪雲形成時はケルビン・ヘルムホルツ不安定で励起された波の砕破が乱気流を強めることなどを示した。

4章の内容は、「雲頂に波状の模様が現れるトランスバースバンドに関連する乱気流の要因」の題目で2025年の「地球環境研究」に投稿し受理されている。TVBに伴う乱気流の成因については、既存研究で挙げられている2種の不安定のいずれかが満たされれば強い乱気流が発生することを示唆した。また、3章で明らかにした浪雲と乱気流の関係や、乱気流の発生域がTVBの上下に広がることについて、それらの明確な物理的解釈を与えたことは、本研究における重要な成果の一つと言える。数値シミュレーションが1事例に限られたこともあり、現象の再現性や解析結果の一般性に課題は残るが、今後の研究の進展に期待したい。

本論文は、日本付近で発生するTVBについて、その統計的特徴、乱気流との関係、そして乱気流の要因について網羅的かつ詳細に調査しており、また十分なオリジナリティを有する研究であると評価する。さらに、得られた成果は航空機の安全運航に関して極めて実用的な知見を与えるものであり、その貢献度は高いものと評価する。

なお、本論文の研究は気象庁数値予報課との共同研究の形で進められた。しかし、本論文で示された成果はすべて学位請求者が主体的に行なったものであり、学位請求者は高度な専門性と研究能力を有しているものと評価できる。

このように、藤田友香氏提出の学位請求論文は、気象学に関する研究の進展に資すると認められる。口頭試問・最終試験（公聴会）での発表・応答も適切であった。したがってこの論文は博士（理学）の学位論文として合格と判定される。

付記：口頭試問は令和7年1月16日に実施され、合格と判定された。最終試験は同年1月22日に公開で実施された。

令和 7年 2月 12日

主 査 環境システム学専攻
副 査 環境システム学専攻
副 査 環境システム学専攻

教授 増田 耕一
教授 渡来 靖
教授 児島 正一郎

