

高解像度数値気象モデルによる
山岳波と乱気流の数値シミュレーション
Numerical simulations of mountain waves and turbulences using
a high-resolution numerical weather prediction model

西 暁史
防衛大学校

1. 研究目的

山岳波は航空機の運航に悪影響を及ぼす晴天乱気流の原因となることが知られている。実際の山岳形状は複雑であるため、山岳波の形状は非常に複雑となる。複雑地形上では小さいスケールの尾根から山岳波が発生したり、複数の山脈から生じる山岳波が干渉したりする可能性がある。このような場合、局所的に上昇流や下降流が強くなると考えられるため、航空機の運航に悪影響を与える可能性がある。しかしながら、このような山岳波に伴う局所的な上昇流・下降流の調査は十分に行われていないため、その実態はよくわかっていない。また、複雑地形で発生する山岳波がどのように乱気流をもたらすのかもわかっていない。そこで、本プロジェクトでは、Wisteria/BDEC-01 のシミュレーションノード群 Odyssey (Wisteria-O) を用いて、領域気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF) を用いた高時空間解像度の数値実験および感度実験を実施し、空間スケールの小さい地形が山岳波に与える影響を明らかにする。複雑な地形によって発生した山岳波が共鳴・干渉によって、どのように強化・弱化されるかを明らかにする。

2. 研究成果の内容

2020 年 12 月 24 日の日中に防衛大学校上空に風下山岳波およびそれともなう波状雲が発生した。対象とする波状雲は、レンズ状のでこぼこした雲底を持つ特徴的な形状をしていた。こののでこぼこした波雲形状の形成のメカニズムを明らかにするために、空間解像度 1km、鉛直層数 78 層の WRF モデルを用いた再現実験及び地形改変実験を行った。地形改変実験では、4つの地域の以下の山岳を除去した：(1)伊豆半島 (図 1 のピンク)、(2)箱根山 (図 1 の橙)、(3)富士山 (図 1 の青)、(4)愛鷹山 (図 2b の緑) である。これらの (1) ~ (4) の地形を 1つだけ除去した実験 (4 種類)、2つだけ除去した実験 (6 種類)、3つだけ除去した実験 (4 種類)、4つすべて除去した実験

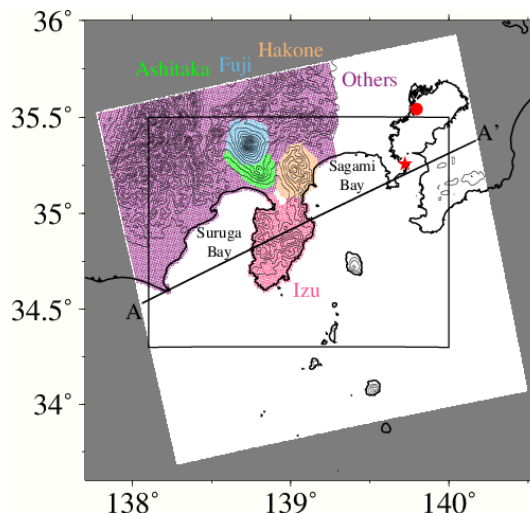


図 1 地形除去実験での除去した地形 (ピンク：伊豆半島，橙：箱根山，青：富士山，緑：愛鷹山) 丸，星は羽田空港，防衛大学校の位置を意味する。黒い四角の範囲は図 2 の範囲を示す。

(1 種類) および 1 つも山岳を除去しない実験 (1 種類, すなわち再現実験) の 16 種類の実験を行った。これらの 16 種類の数値実験の結果を用いて, 個々の山岳から発生した風下山岳波の影響と、風下山岳波同士の相互作用の影響を分離した。

その結果、各山脈で励起された個別の風下山岳波によって形成されたものではなく、複数の山岳の影響があることが示唆された。その中でも、箱根山と伊豆半島の風下山岳波の重ね合わせの影響が大きいことが分かった (図 2a,b)。一方で、伊豆半島と箱根山と比較して、富士山と愛鷹山の影響は小さいことが分かった (図 2c,d)。

さらに、個々の山岳に由来する風下山岳波の線形的な重ね合わせだけでは、数値モデルによって再現された風下山岳波の水平パターンは復元されないことが分かった (図 2e)。これらの結果は、でこぼこした風下山岳波および波状雲を形成する上で、風下山岳波の非線形相互作用が重要な役割を果たしていることを示唆している (図 2f)。相模湾北部では、個々の山から発生する風下山岳波の線形重ね合わせにより発生した鉛直風と、風下山岳波同士の非線形相互作用により発生した鉛直風が半波長の位相差を持つ。一方で、相模湾南部では、それらの間に 1/4 波長の位相差を持つ。その結果として、相模湾北部では鉛直風が弱くなりやすくなり、相模湾南部で鉛直風が強くなりやすくなり、相模湾南部のみに楕円上でこぼことした波状雲が発生したと考えられる。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本研究で実施した数値実験は大きな計算量を有するだけでなく、1 つの事例に対して複数の実験を行う必要がある。そのため、防衛大学地球海洋学科が保有する計算環境では実現できないものであり、学際共同利用で Wisteria-O を利用することで実現が可能になった。

4. 今後の展望

より風上で発生した波状雲が、風下の山の風下山岳波を変化させる可能性があるが、そのメカニズムはわかっていないため、今後の調査課題とする。

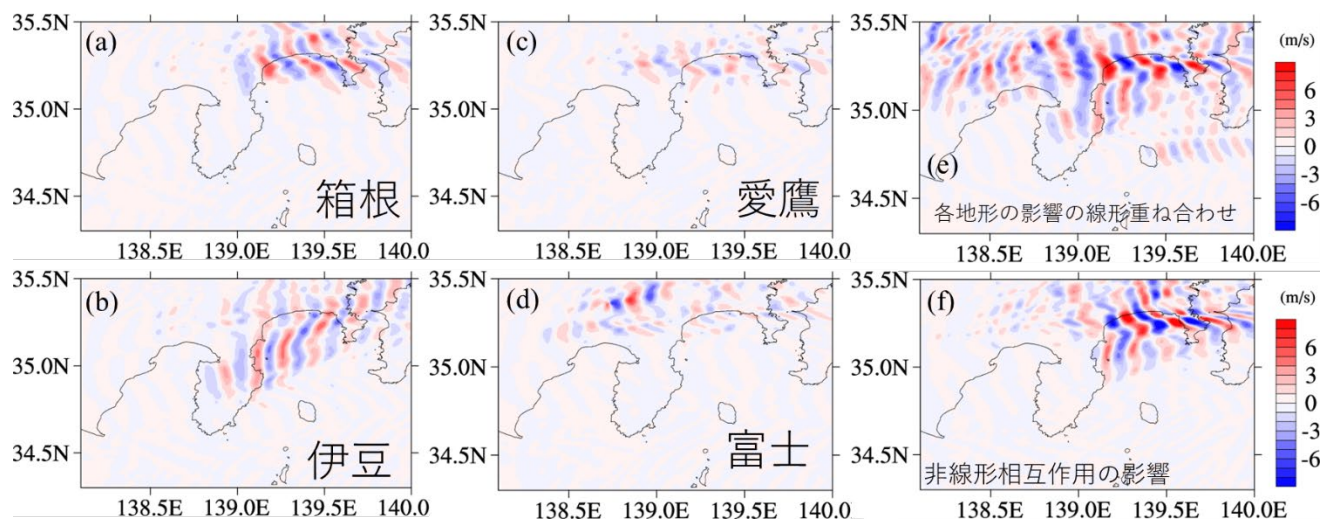


図 2 地形除去実験の結果を用いて算出した各山岳の高度 4000m の風下山岳波の鉛直風速に対する寄与の大きさ (m/s)。(a)箱根山, (b)伊豆半島, (c)愛鷹山, (d)富士山の寄与。(e)(a)~(d)の山岳, 及びその他の山岳による山岳波の寄与の重ね合わせ。(f) 各山岳から発生した山岳波の非線形相互の寄与

5. 成果発表

(1) 学術論文

なし

(2) 学会発表

なし

(3) その他

なし

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Wisteria/BDEC-01	○	30000	15000
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			