

吹送流に及ぼす短周期海面熱フラックスの影響に関する研究

井手, 喜彦

<https://doi.org/10.15017/1654916>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（理学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏名：井手 喜彦

Name

論文名：吹送流に及ぼす短周期海面熱フラックスの影響に関する研究

Title

区分：甲

Category

論文内容の要旨

Thesis Summary

風の摩擦により海洋表層に生じる流れを吹送流と呼ぶ。吹送流の構造や応答特性を定量的に理解することは海洋上層の様々な物理現象を考える上で極めて重要である。これまで海洋表層の流速を高精度で計測することは困難であったため、吹送流構造の詳細はほとんど不明であった。しかし、近年の海洋レーダの発展によってその変動特性が明らかになってきた。その結果、対馬海峡での海洋レーダを用いた流況観測では、表層吹送流の摩擦速度で規格化された流速（風力係数）と風向に対する流向（偏角）はともに夏季に比べ冬季が小さいといった季節変化の存在が明かにされた。この結果は当海域における海面熱フラックスの季節変化（冬季に強い海面冷却、夏季に海面加熱）の影響と考えられていた。しかし、本論文で示すように、季節毎の海面熱フラックスを課した数値実験は観測結果を定量的には再現しない。特に、冬季の風力係数は観測の半分に過ぎない。このことは月平均海面冷却から期待されるほど実際の吹送流が鉛直混合されていないことを示しており、先行研究では考慮されていない何らかの機構によって吹送流の鉛直混合が抑制されていることを意味する。

本論文では、その混合抑制機構として海面熱フラックスの短周期変動、すなわち日変化が吹送流に及ぼす影響に着目した。海面熱フラックスの日変化が吹送流に及ぼす影響については、他の海域を対象としたいくつかの先行研究で既にその重要性が指摘されていたが、それらの研究はいずれも夏季の低・中緯度を対象としており、日変化する海面熱フラックスは1日の総加熱量と総冷却量が等しく、海面加熱時間が12時間のときという非常に限定された状況下のみを想定していた。対馬海峡では1日の総加熱量と総冷却量、さらに加熱時間は季節によって大きく異なるため、様々な日変化パターンについて吹送流の応答を調べる必要がある。そこで本研究では、様々な加熱時間、加熱・冷却率、さらには風応力のもと生じる吹送流についてパラメータ依存性や応答メカニズムを明らかにすることを目的とした。また、緯度に対する依存性も明らかにし、北太平洋全域での物質の漂流に対しても海面熱フラックスの日変化の影響を調べた。まず、ラージ・エディ・シミュレーション（LES）を用いた数値実験を行い吹送流に対する熱フラックスの影響を調べた。対馬海峡での1時間毎（短周期変動）の海面熱フラックスと風応力を与えた数値実験から得られた表層吹送流は冬季、夏季ともに観測と良い一致を示した。一方、月平均値の熱フラックスを課した実験では観測結果を再現しなかった。これは冬季対馬海峡において海面熱フラックスの短周期変動が吹送流の構造に大きく寄与していることを示唆する

結果である。平均的には海面が著しく冷却される冬季対馬海峡においても、日中は短時間だが日射により海面が加熱されることがしばしばある。その海面加熱時に海洋上層は安定成層し乱流混合が抑制された結果、表層流速が僅かな時間だが発達（流速が増加）する。その増加した流速が日（月）平均流速を増大させる。このようにして熱フラックスの短周期変動は吹送流の平均構造に影響を与える。実際、海洋レーダの計測結果を詳細に解析した結果、表層吹送流の日変化が冬季対馬海峡で生じていることも明らかになった。さらに他の海域における熱フラックスの短周期変動の影響を明らかにするため、様々な加熱時間 (T_h)、加熱率 (h)、冷却率 (c) について表層吹送流の応答を調べた結果、風力係数と偏角は T_h 、 h/c とともに増加し、夏季に大きいことが分かった。また、数値実験から風力係数の加熱時平均及び日平均値は風応力に依らず一定であることも分かった。

続いて、日変化する海面熱フラックスのもとで生じる吹送流の力学をより詳細に明らかにするため近似解析解を導出した。解はエクマン螺旋成分と慣性振動成分の和で構成される。解析解によって、日変化する海面熱フラックスのもとで生じる吹送流構造の決定には T_h 及び h/c が重要なパラメータであることが示されたため、 T_h と h/c に対する日平均表層吹送流の風力係数及び偏角依存性を調べた。その結果、風力係数は T_h 、 h/c とともに増加すること、及び風力係数はエクマン螺旋成分でほぼ決まり慣性振動成分は風力係数にほとんど影響を及ぼさないことが分かった。一方、偏角も T_h 、 h/c が大きい（小さい）ときに大きい（小さい）傾向を示した。これは T_h 、 h/c が大きいときは偏角を増加させる効果を持ったエクマン螺旋成分が支配的であり、逆に T_h 、 h/c が小さいときは偏角を減少させる効果を持った慣性振動成分の影響を強く受けることが要因である。この両成分の日平均吹送流に対する効果は風応力や緯度が変化しても失われることはない。また、全ての T_h 及び h/c のもとで、風力係数及び偏角は緯度、風応力への依存性が T_h 、 h/c 依存性に比べて小さいことが分かった。

最後に、北太平洋を対象とした粒子追跡実験を行い、海面熱フラックスの季節変化及び日変化の影響が物質の漂流に及ぼす影響を調べた。海面熱フラックスの影響を考慮しない場合、その季節変化を考慮する場合、その日変化まで考慮する場合の3つの場合について、北太平洋へ一様に分布させた粒子の全体的な収束メカニズムや、数年後に見られる粒子の最終的な集積位置を調べたところ、各実験間で大きな違いは見られなかった。しかし、1年間という短期間で粒子の動きに注目すると、各実験間でその違いは顕著であった。粒子は黒潮及び黒潮続流域のような強流域に達すると高速輸送され長距離を短期間で移動する。粒子が強流域に達するか否か、また達するとしてその時期は吹送流の流速によって決まるため、各実験間で1年後の粒子位置に大きな違いが生じた。このように、吹送流自体による輸送距離の差は各実験間で小さくても黒潮域付近などの強い水平シアが存在する領域では、その小さな違いが粒子の動きに大きな差を生じさせる。このことは漂流問題を考える上で吹送流を高精度で予測することの重要性を示しており、そのためにも海面熱フラックスの短周期変動（日変化）の効果は無視できないという重要な結果を示すものであった。

以上の結果を総括して本論文のまとめとし、研究の今後の展望と課題を述べた。