

学位審査報告書

新制

I

1459

(ふりがな)	おおつぼ しゅうへい		1459
氏 名	大坪 周平		
学 位 (専攻分野)	博士 (工学)		
学 位 記 番 号	工博 第 3085 号		
学 位 授 与 の 日 付	平成21年3月23日		
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当		
研 究 科 ・ 専 攻	工学研究科 機械理工学専攻		
(学位論文題目)			
風波乱流場における熱輸送と物質輸送に関する研究			
論 文 調 査 委 員	主査 教授	小森 悟	
	副査 教授	中部 主敬	
	副査 教授	吉田 英生	

工学研究科

(論文内容の要旨)

本論文は、風波乱流水槽を用いた室内実験を行うことにより風波気液界面を通しての熱および物質の輸送機構、ならびにそれらの関連性について解明するとともに、室内実験により得られた結果から海洋での海表面を通しての熱および物質の輸送量を評価する際に如何なるパラメータを用いるのが適切であることを明らかにすることを目的として行った研究の成果をまとめたものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の目的およびその重要性について述べ、既往研究との関連性についても説明している。

第2章では、風波気液界面を通しての液側での熱の輸送機構を解明することを目的とし、風波乱流水槽に温水循環装置を設置することにより高温の液流側から常温の気流側へ熱が放散される伝熱実験を行っている。その結果、液側熱移動係数は風速に対して単調な増加傾向を持たないこと、つまり、低風速域では風速に比例して増加するが中風速域では一旦横ばいの傾向を示した後、高風速域において再度増加することを明らかにしている。また、液側熱移動係数の低風速域における増加は、平板境界層の場合と同様に液側界面近傍に発達したストリーク状の縦渦に起因するものであり、中風速域における横ばい傾向は、縦渦がスパン方向の横渦へと遷移するが、これらの渦から構成される液側界面近傍の表面更新渦の発達が風速が増加しても促進されないことに起因することを明らかにしている。これらの結果から、風波気液界面を通しての液側での熱輸送は界面近傍の乱流構造、つまり表面更新渦に強く支配されることを指摘している。さらに、真水に対する熱輸送に関する室内実験の結果を海水の場合に適用するため、3.5wt%の食塩水を用いて同様の伝熱実験を行い、液中の3.5wt%の塩分は風波気液界面を通しての液側での熱輸送機構には影響を及ぼさないことを明らかにしている。

第3章では、風波気液界面を通しての気側での顕熱輸送量および潜熱輸送量を最も正確に評価するためのパラメータを決定することを目的とし、顕熱、潜熱および放射熱の各熱輸送量をそれぞれ実測している。その結果、顕熱に対するバルク交換係数は風速によらずほぼ一定値をとるいっぽう、潜熱に対するバルク交換係数は風速に対して依存性を示さないことを明らかにしている。これらのことから、熱交換量と風速の比例関係を仮定した既往のバルク法に基づくモデルが潜熱輸送に関しては成立しないという結論を得るに至っている。これらの室内実験値と海洋観測値とを比較した結果、顕熱および潜熱に対するバルク交換係数はともに海洋観測の場合の方が室内実験の場合よりも小さな値を示し、特に潜熱に対するバルク交換係数の海洋観測値は室内実験値と比較して約50%小さいことを明らかにしている。

以上の結果を基にして、大気海洋間での熱輸送量をより正確に推定する方法として、風波気液界面を通しての顕熱および潜熱の輸送速度を表す顕熱係数および潜熱係数を提案し、それらの係数の風速に対する依存性を調べている。その結果、顕熱係数は風速に対して全風速域において単調増加するのに対して、潜熱係数は液側熱移動係数と同様に低風速域と高風速域においては風速の増加とともに増大するものの、中風速域においては風速に対する増加率が弱まることを明らかにしている。これらのことから、顕熱と潜熱では気液界面を通しての輸送機構が異なることを示すに至っている。

第4章では、風波気液界面を通しての物質輸送機構を解明することを目的とし、風波乱流水槽を用いて風波気液界面を通しての二酸化炭素の放散実験を行っている。その結果、液側物質移動係数は液側熱移動係数と同様に低風速域および高風速域では風速の増加に伴い増大するのに対して中風速域では風速に対する増加率が一旦弱まること、つまり、風波気液界面を通しての物質輸送もまた液側界面近傍の乱流構造に強く支配されることを明らかにしている。また、低風速域においては3.5wt%の食塩水を用いた場合の液側物質移動係数は真水を用いた場合と比較して小さくなり、最大で50%程度減少することを明らかにしている。さらに、風波気液界面を通しての物質輸送に及ぼす吹送距離の影響を明らかにするために、大型の風波乱流水槽を用いて同様の放散実験を行い、吹送距離が異なる位置において局所的な液側物質移動係数を測定した結果、液側物質移動係数は気側一様流速で整理した場合には、吹送距離によらずほぼ同じ分布を示すことを明らかにしている。以上により得られた液側物質移動係数の室内実験値を海洋観測値と比較することにより、液側物質移動係数を表すのに適切なパラメータについて検討を行い、既往研究で一般的に用いられてきた界面での気側摩擦速度や界面上10mの高度での風速ではなく、境界層外縁の位置における気側一様流速がパラメータとして適切であることを明らかにしている。

第5章では、同一の風波乱流水槽において測定された液側熱移動係数と液側物質移動係数とを比較することにより、風波気液界面を通しての熱輸送と物質輸送との相似性について検討を行っている。その結果、真水を用いた場合も3.5wt%の食塩水を用いた場合も、高風速域では熱輸送と物質輸送の間に相似性が成立するが低風速域になるほど相似性が成立しなくなることを明らかにしている。

第6章は総括的な結論であり、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の研究課題についても言及している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、風波気液界面を通しての熱と物質の輸送機構、および気液界面近傍の乱流構造に関する研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 風波乱流水槽を用いた伝熱実験により、風波気液界面を通しての熱輸送機構について検討した。その結果、液側の熱移動係数は低風速域と高風速域では風速の増加とともに増大するが、中風速域では風速に対する増加率が一旦弱まること、および低風速域において液側界面近傍に発達したストリーク状の縦渦は中風速域でスパン方向の渦へと遷移することを明らかにした。また、これらの結果から、風波気液界面を通しての熱輸送は液側界面近傍の乱流渦（表面更新渦）に強く支配されることを明らかにするに至った。さらに、熱輸送量と風速との単純な比例関係を仮定した従来の気側での熱輸送量評価モデルが、潜熱輸送に関しては成立しないことを明らかにした。
2. 風波乱流水槽を用いた二酸化炭素の放散実験により、風波気液界面を通しての物質輸送機構について検討した。その結果、風波気液界面を通しての物質輸送も熱輸送と同様に液側界面近傍の乱流渦により支配されることを明らかにした。また、液側物質移動係数は、境界層外縁での気側一様流速を用いた場合には吹送距離には依存しないこと、および海水と同じ濃度の食塩水の場合には真水の場合と比べて低風速域ほど小さな値をとることを明らかにした。さらに液側物質移動係数の室内実験値と海洋観測値とを比較する際には、既往研究で用いられてきた気側での摩擦速度や 10m 高度での風速ではなく、気側一様流速を用いるのが適切であることを明らかにした。
3. 同一の風波乱流場において測定された液側の熱移動係数と液側の物質移動係数とを比較することにより、高風速側では熱と物質の輸送に関する相似性が成立するが、低風速域になるほど相似性が成立しなくなることを明らかにした。

以上、本論文は、風波気液界面を通しての熱および物質の輸送機構を気液界面近傍の液側の乱流構造と関連付けて詳細に解明し、気候変動予測において重要となる大気海洋間での熱輸送および物質輸送に関するモデルの精度向上に進展をもたらすものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。