

氏 名 嶋 田 隆 司
学位(専攻分野) 博 士 (工 学)
学位記番号 工 博 第 1789 号
学位授与の日付 平 成 11 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 工 学 専 攻
学位論文題目 気液界面を通しての物質と熱の移動機構に関する研究

(主査)

論文調査委員 教授 小 森 悟 教授 鈴木健二郎 教授 牧野俊郎

論 文 内 容 の 要 旨

気液界面を通しての物質と熱の移動機構を明らかにすることは、気液接触型の工業装置を設計するうえで、また環境中の流動場では大気と海洋間での物質と熱の交換速度を精度良く評価するうえで重要である。本論文は、乱流状態で流れる液体と気体との間の気液界面を通しての物質と熱の移動機構について、室内実験により詳細に検討した結果をまとめたものであり、6章からなっている。

序論である第1章では、本研究の目的及びその必要性について述べるとともに、既往研究との関連性について概説している。

第2章では、風波乱流水槽を用いて小波から碎波領域までの広範囲に至る風速域でせん断力の働く風波気液界面を通しての物質移動実験を行うことにより、せん断力による物質移動の促進機構について検討を行っている。物質移動係数は、風速の増加、すなわち摩擦速度の上昇に伴い指数関数的に増加するが、風波が成長波となる風速域では飽和傾向を示し、さらに、強いせん断力により界面が激しく崩壊する高風速域では再び著しく増加することを明らかにするとともに、既往の環境工学分野の研究で考えられてきた物質移動係数と風速との間の単純な比例関係が信頼性に欠けるものであることを指摘している。また、気流側の風波界面近傍の波頂より風上側斜面で発生するバースト渦により液流側に誘起される表面更新渦が物質移動を促進することを明らかにしている。

第3章では、振動格子乱流水槽を用いて自然海水を含む種々の液体に対する物質移動係数を測定することにより、液体中に含まれる電解質や表面汚れ等が物質移動に及ぼす影響を検討している。海水および海水と同じ塩分濃度を有する食塩水に対する物質移動係数は、真水に対する物質移動係数の50%の値になることを見出している。この物質移動係数の減少は、プランクトン等の自然海水特有の汚れの影響により生じるものではなく、真水および海水の気液界面上に共通して存在する極微量の不純物質による気液界面での分子拡散の抑制効果と海水のもつ電解質の影響によって生じるものであることを示している。また、物質移動に及ぼす界面の崩壊現象の影響について検討を行い、気液界面が崩壊する場合には、液内部のフレッシュな流体の出現により界面に存在する不純物質の効果が弱まるため、海水と真水との間の物質移動係数の差が小さくなることを明らかにしている。さらに、不純物質による物質移動の抑制効果と液流側に発生する表面更新渦による物質移動の促進効果とを統合することにより物質移動機構を明らかにするとともに、風波乱流場における界面の崩壊現象を伴う高風速域での物質移動係数の急激な増加の主な原因が、界面の崩壊によって生じる気泡や飛沫による物質移動の促進効果のみにあるのではなく、界面の激しい崩壊による不純物質の影響の低下にあることを指摘している。

第4章では、風波気液界面を通しての熱移動実験を行うことにより、風波気液界面を通しての熱と物質の移動の相似性について検討を行っている。風速に対する熱伝達係数の挙動は、物質移動係数と同様であるが、従来の熱移動量の評価法であるバルク法の中で用いられている熱フラックスと風速との間の単純な比例関係は成立しないことを示している。さらに、強いせん断力の作用により界面が激しく崩壊する風速域では熱と物質の移動の間に相似性が成立するが、崩れの小さい、あるいは、崩れない気液界面に対しては両者の間に相似性が成立しないことを明らかにしている。この結果から、相似性の仮定に基づいて熱伝達係数もしくはある物質に対する物質移動係数の実測値から別の物質に対する移動係数を推定する既往の方法が多量の誤差を生む可能性を指摘している。

第5章では、風波乱流水槽流れと現実の海洋流れとの間に見られる風波スケールの違いが物質移動係数に及ぼす影響について検討を行っている。風波の相似パラメータを用いて海洋や湖沼等のフィールドで観測された物質移動係数と風波乱流水槽内での実測値とを比較することにより、風波乱流水槽を用いた室内実験により得られる物質移動係数から風波スケールが大きく異なるフィールドでの物質移動係数を予測する方法を提案している。

第6章では、本研究を通して得られた知見を総括し、本研究の今後の進展と将来の研究課題について言及している。

論文審査の結果の要旨

気液界面を通しての物質と熱の移動機構を明らかにすることは、気液接触型工業装置の設計、大気・海洋間での物質と熱の循環量の予測と関連して流体力学および環境工学の分野において重要である。本論文は、空気乱流と液乱流の気液界面を通しての物質と熱の移動機構について、室内実験により検討した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 気流によるせん断力が働く気液界面を通しての物質移動が、液側に誘起される表面更新乱流渦によって支配されることを示すとともに、物質移動係数と風速およびせん断力との関係を明らかにした。
- 2) 海水および同じ塩分濃度を有する食塩水に対する物質移動係数は、真水の場合の物質移動係数の50%の値になることを見出した。この物質移動係数の半減理由を、海水のもつ電解質が分子拡散に及ぼす影響と気液界面上に存在する不純物質による分子拡散の抑制効果を考えることにより説明した。さらに、この不純物質の効果は、気液界面の崩壊挙動に強く依存し、激しく崩壊する気液界面の場合には、激減することを明らかにした。
- 3) 強いせん断力の作用により気液界面が激しく崩壊する場合には、物質と熱の移動の間に相似性が存在するが、崩壊が強い弱いせん断力の働く気液界面、あるいは、せん断力の働かない気液界面に対しては、相似性が成立しないことを見出した。
- 4) 上記の室内実験結果をもとにして、海洋および湖沼における大気との気液界面に対する物質移動係数の評価方法を提案した。

以上要するに、本論文は気液界面を通しての物質と熱の移動機構に関する新たな知見を提示したものであり、学術上、実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11年1月25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。