

氏 名	すぎ 杉 おか 岡 けん 健 いち 一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2650 号
学位授与の日付	平 成 18 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	砕波を伴う風波乱流場での飛散液滴および巻き込み気泡による物質輸送に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 小 森 悟 教 授 木 田 重 雄 教 授 吉 田 英 生
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高風速時の海洋等で見られる砕波を伴う風波乱流場において、気流側に飛散する液滴および砕波により液流側に巻き込まれる気泡が気液界面を通しての物質輸送に及ぼす影響を解明することを目的とした研究の結果をまとめたものであり、7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、風波の崩壊により気側に飛散する液滴に関する諸特性を評価することを目的とし、海洋のシミュレーション装置である風波乱流水槽を用いて、界面に働くせん断力のみで風波乱流場を形成し、液滴の数密度および相対速度を算出するうえで必要となる液滴の飛散量、液滴の速度および液滴の直径を実測している。その結果、任意の気流流速および気液界面からのある高さにおける飛散液滴の速度および気流と液滴との間の相対速度は、その高さでの風速と液滴径を用いて、真水、塩水(海水と同じ塩分濃度を有する食塩水)に依存せず同じ分布形をとること、任意の気流流速およびある高さにおける液滴の飛散量は、液滴径、摩擦速度および鉛直方向距離を用いて、真水、塩水によらず同じ分布形をとることを示している。

第3章では、風波の崩壊により液側に巻き込まれる気泡に関する諸特性を評価することを目的とし、海洋のシミュレーション装置である風波乱流水槽において、位相ドップラ粒子計測計とレーザドップラ流速計による同時測定法を用いて、気泡の数密度および相対速度を実測している。その結果、気泡径の分布スペクトルは、真水および塩水のいずれの場合も風速および鉛直方向位置に依存しないこと、気泡の数密度は、塩水の場合には真水の場合に比べて2～5倍程度大きくなることを示している。また、気泡と周囲流との相対速度の平均値に及ぼす周囲の乱流の影響は小さいことを明らかにしている。

第4章では、広い液滴径範囲を持つ単一液滴に対する物質移動量を評価することを目的として、単一球形液滴周りおよび内部の流動場、濃度場を直接数値計算により解析している。その結果、一様流中の球形液滴による物質移動量は時間の経過とともに減少し、それに伴い、液滴のシャーウッド数は物質移動の開始直後には粒子レイノルズ数の0.5乗に従うが、時間が経過するに従い、シャーウッド数と粒子レイノルズ数の関係は不規則に変化することを示している。

第5章では、広い気泡径範囲を持つ単一気泡に対する物質移動量を評価することを目的として、単一球形気泡周りおよび内部の流動場、濃度場を直接数値計算により解析している。その結果、一様流中の球形気泡に対するシャーウッド数は粒子レイノルズ数の0.5乗に従って変化すること、周囲流の速度勾配はシャーウッド数に影響を及ぼさないことを明らかにしている。

第6章では、本研究で行った室内実験、数値シミュレーションを通して得られた知見をもとに、砕波状態にある風波気液界面を通しての物質の輸送に及ぼす飛散液滴および巻き込み気泡の効果を定量的に評価している。その結果、物質移動に対する飛散液滴の寄与率は、風波気液界面全体の物質移動量に対して真水、塩水の場合ともに最大でも0.3%程度に過ぎないことを明らかにしている。この結果は、従来から高風速域での物質移動係数の急激な上昇の原因の一つが飛散液滴であるとする通説を否定するものである。一方、気泡の寄与率は、風波気液界面全体の物質移動量に対して真水の場合は6～12%、

塩水の場合は23~40%に達することを明らかにしている。これらの結果は、砕波を伴う大気海洋間の物質移動量を正確に予測するためには大気海洋間の物質移動の促進要因である液側に巻き込まれる気泡の生成機構を考慮したモデルを新たに構築することが必要であることを示唆するものである。

第7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述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高風速時の海洋等で見られる砕波を伴う風波乱流場において、気流側に飛散する液滴および砕波により液流側に巻き込まれる気泡が気液界面を通しての物質輸送に及ぼす影響を解明することを目的とした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室内実験により、液滴径に対する液滴速度と液滴数の関係、および気泡径に対する気泡速度と気泡数の関係を明らかにするとともに、それらの関係式を提出した。また、液側に真水を用いた場合と、海水と同じ塩分濃度を有する食塩水を用いた場合とでは、液滴の飛散に関してはこの関係式に違いが見られないが、気泡の巻き込みに関しては食塩水の場合の気泡の数密度が真水の場合に比べて2~5倍大きくなることを示した。
2. 単一の球形液滴および気泡を対象として、それぞれの周りおよび内部の流動場と濃度場に対して三次元直接数値シミュレーションを適用し、既往研究では明らかにされていなかった液滴および気泡の内外の流動場と濃度場を明らかにした。また、その数値計算結果を基にして、砕波時に発生する広範囲の径をもつ液滴および気泡に対して適用可能な物質移動係数の評価式をそれぞれ確立した。これにより、液滴および気泡による物質移動量をそれぞれ評価することを可能にした。
3. 上記の実験結果と数値計算の結果を併用することにより、従来から高風速時での風波気液界面を通しての物質移動促進の一要因であると推論されてきた液滴の効果は非常に小さく、風波気液界面を通しての全体の物質移動量にほとんど影響を及ぼさないことを明らかにした。これに対して、気泡の物質移動への寄与は15m/s以上の高風速時には全体の物質移動量の23~40%にも達することを示した。

以上、本論文は、高風速時の砕波域における物質移動のメカニズムの解明および物質移動量の評価、ひいては地球温暖化予測において重要となる炭素循環予測モデルの精度向上に進歩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18年1月24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。