# 研究課題名:風波乱流中の気液界面を通しての運動量とスカラ輸送に及ぼす砕波と降雨の影響

課題代表者:京都大学大学院工学研究科 小森 悟 共同研究者:京都大学大学院工学研究科 黒瀬良一・高垣直尚 国立環境研究所地域環境研究センター 大原利眞

実施年度:平成25年度~平成25年度

## 1. 研究目的

風波乱流中の気液界面を通しての運動量およびスカラ の交換機構を解明することは、地球温暖化等の気候変動予 測において重要となる大気・海洋間の炭素収支や熱収支を 見積もるうえで、また、近年問題とされる地域的に甚大な 被害を及ぼすハリケーン、台風、集中豪雨等の異常気象の 発生成長過程および進路等を正確に予測するうえで、極め て重要である。しかし、運動量およびスカラの交換速度に 及ぼす風波(砕波やうねり等を含む)や降雨の効果は未だ 解明されていない。本研究では、気液ニ相乱流である風波 乱流場に対して直接数値計算(DNS)を適用することによ り、風波、砕波および降雨が気液界面を通しての運動量お よびスカラ(物質および熱)輸送に及ぼす影響を明らかに し、それらの影響をモデル化することを目的とする。

#### 2. 研究計画

昨年度までに物質輸送に関する評価を行ったため、今年 度は熱輸送に関する調査を行う。具体的には、まず気液界 面を通しての潜熱と顕熱の輸送を考慮可能なプログラム の開発を行い、その後、風波、砕波および降雨が潜熱と顕 熱の輸送に及ぼす影響を調査する。

## 3. 進捗状況

液側流体の蒸発を考慮した気液界面温度は

$$T_{l} = \tilde{T}_{l} - \frac{L\Delta M_{VQP}}{\sigma_{p}M_{warer}}$$

で与えた。ここで、 $T_i$  [K]は気側の界面温度、 $T_i$  [K]は液側の界面温度、L[KJ/Kg]は水の蒸発潜熱、 $\Delta M_{avp}$ [Kg]は界面を通して蒸発した水の質量、 $c_p$ [KJ/(K・Kg)]は水の定圧比熱、 $M_{water}$ [Kg]は蒸発潜熱の影響を受ける界面付近の水の質量である。

図1に気液各側の初期温度を300K、320Kに設定して開始した DNS の途中経過を示す。液側流体の蒸発に伴う潜熱輸送と対流伝熱に起因する顕熱輸送により、気側流体の 温度および比湿が上昇することが分かる。また、その特性 は気側の乱流の影響を受けていることも確認できる。

## 4. 今後の計画

風波が発達するまで本計算を継続し、十分に発達した後、 潜熱および顕熱の輸送メカニズムを詳しく調べる。また、 潜熱係数、顕熱係数、およびそれらの比を評価する。



## 5. 計算機資源の利用状況(2013 年 6 月~11 月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 v\_deb: 1,607.125 hours, v\_cpu: 0 hours, v\_8cpu: 715.059 hours, v\_16cpu: 14,175.13 hours, 計: 16,497.316 hours

#### 6. 昨年度研究課題のまとめ

#### 6.1. 昨年度研究課題名

風波乱流中の気液界面を通しての運動量とスカラの輸送 に及ぼす風波と降雨の影響

## 6.2. 昨年度研究課題の目的

風波乱流場および単一液滴の気液界面衝突現象に対し て高精度の数値シミュレーションを適用することにより、 砕波および降雨が気液界面を通しての運動量およびスカ ラの輸送に及ぼす影響について検討する。

#### 6.3. 昨年度研究課題の成果概要

#### 6.3.1 風波乱流場の砕波の数値シミュレーション

本計算では複雑な移動、変形を伴う気液界面を扱う手法 として、Volume of Fluid (VOF) 法と Adaptive Mesh Refinement (AMR) 法のカップリング法を採用した。

図2に気液界面形状の一例を示す。波頭において波の先端が微粒化し、液滴が飛散する様子が確認できる。図3に 飛散液滴が発生する波頭付近におけるスカラ濃度の瞬間 分布を示す。白線は界面の位置を表す。飛散液滴内のスカ ラ濃度はほぼ1と高いことが分かる。既往研究では、スカ ラ濃度が低い液滴が飛散し、気側においてスカラを十分に 取り込んだ後に再び液側へ付着することで、スカラ輸送に 影響を及ぼす可能性が指摘されていた。しかしこの結果は、 液の微粒化によるスカラ輸送への影響は軽微であること を示唆している。



#### 6.3.2 単一液滴界面衝突現象の数値シミュレーション

本計算手法は前節と同様である。計算領域を一辺が30.0 mmの直方体とし、計算領域内の下端から20.0 mmを液体で満たした。初期条件として、液滴は静止水面直上の計算領域中心に配置し、気側にスカラ濃度*C*=1を満たした。

図3 飛散液滴によるスカラ輸送。

表1に計算条件をそれぞれ示す。計算は、水平方向に速度 をもたない4ケース(鉛直衝突)と速度をもつ2ケース(斜 め衝突)の計6ケース実施した。

鉛直衝突および斜め衝突のスカラ濃度の瞬間分布の一 例を図4および図5にそれぞれ示す。液滴の界面衝突によ り生成される液側の渦によってスカラが液側下方へと巻 き込まれていく様子が確認できる。また、斜め衝突の場合 には下方へ向かう渦と同時に液側の界面近傍を滑るよう に水平方向に進む渦も生成され、これらの渦がスカラの輸 送に影響を及ぼすことも分かる。

表1計算条件。

Run	$d_p \; [\mathrm{mm}]$	$v_p [{\rm m \ s^{-1}}]$	$u_p [{\rm m \ s^{-1}}]$
A-1	1.2	1.5	0.0
A-2	1.6	1.5	0.0
A-3	1.6	2.0	0.0
A-4	2.2	1.5	0.0
B-1	1.2	1.5	1.3
B-2	1.2	1.5	2.7



図4 スカラ濃度の瞬間分布(鉛直衝突, A-4)。



#### 6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 3 CPU時間 1ノード未満:14.992 hours, 1ノード:12,570.109 hours, 2ノード:46,098.222 hours, 計:58,683.323 hours