風波の発達が風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす影響

Effects of Development of Wind-Wave on Mass Transfer across the Wind-Driven Air-Water Interface

○ 正 丹野 賢二 (京大院) 久保田 英仁 (京大院)
大坪 周平 (京大院) 正 小森 悟 (京大工)

Kenji Tanno, Kyoto University Graduate School, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 606-8501
Hidehito KUBOTA, Kyoto University Graduate School
Shuhei OTSUBO, Kyoto University Graduate School
Satoru KOMORI, Kyoto University

Key Words: Mass Transfer, Shear Flow, Free Surface Flow, Turbulent Mixing, Air-Water Interface, Wind-Wave, Fetch

1 緒言 化石燃料の大量消費による地球温暖化現象は深刻な環境問題の一つであり、その対策を講じる上でも温暖化予測を精度良く行う必要がある。地球温暖化を正確に予測するためには、地球表面の約7割を占める海洋と大気との間での物質移動機構を明らかにすることが重要である。

これまで、風波気液界面における液側物質移動係数 k_L は海洋⁽¹⁾ および実験室⁽²⁾ において数多く測定されてきたが、それらの k_L を風速に対して整理した場合、その分布には研究者によって大きなばらつきが見られる。このような k_L のばらつきが存在する原因の一つとして、風速が同じであっても風の吹送距離の違いによる風波の発達が k_L に影響を及ぼす可能性が指摘されている。そこで本研究では、風波の発達の違いが風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2 実験および実験方法 風波乱流水槽の概略を図1に示す。風波水槽の全長は26.7m、テストセクション部分は長さ20m、幅0.6m、高さ1.3mであり、槽底における壁乱流が界面に及ぼす影響を防ぐために水深を0.7mと十分深くした。テストセクション内に活性炭濾過装置を通した水道水を貯め、テストセクション上部に整流した気流を流すことにより気液界面上に風波を発生させた。テストセクション末端部には、風波の反射を防ぐために消波装置を設置した。測定を $x=3.0, 5.0, 11.5, 15.5\text{m}$ において、基準風速（気流流入部中心における主流方向平均流速） U_r を $2.22\sim 12.3\text{m/s}$ の範囲で行った。

液側物質移動係数 k_L の測定には Komori *et al.*⁽²⁾ が行った方法と同様に、 CO_2 を溶解させた水を風波水槽内に貯め、気液界面上に風を吹かすことで気側へと放散する CO_2 量を測定することで k_L を測定した。

Fig. 1: Schematic diagram of the wind-wave tank.

3 実験および実験方法 上流域と下流域で評価した k_L を気側一様流速 U_∞ で整理したものを図2に示す。図より、上流域と下流域において評価した k_L の分布が異なることがわかる。 $U_\infty < 8.7\text{m/s}$ となる風速域においては、上流域での液側物質移動係数 $k_{L,U}$ に比べて下流域での液側物質移動係数 $k_{L,D}$ は小さくなっているが、 $U_\infty > 8.7\text{m/s}$ となる風速域においては $k_{L,U}$ に比べて $k_{L,D}$ は大きくなっている。また、 $k_{L,U}$ は U_∞ の増加に対して、一旦急激に増加した後、その増加率は弱まり、 $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$ となる領域で一定値を取り、その後再び急激に増加するという複雑な挙動をとっているのに対し、 $k_{L,D}$ は U_∞ の増加に対して比較的単調に増加している。このように、 k_L を風速に対して整理した場合、上流域と下流域でその値や風速に対する挙動が異なることがわかった。この結果は、 k_L を風速のみの関数として表してきた既存の物質移動モデルは信頼性に欠けることを示唆している。

Fig. 2: CO_2 transfer velocity, k_L , versus wind speed, U_∞ .

4 結言 風波水槽を用いて、風波の発達が風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす影響を明らかにした。その結果、物質移動係数を風速で整理した場合、上流域における物質移動係数と下流域における物質移動係数は異なる分布をとることがわかった。よって今後は、風波の諸特性も考慮に入れた物質移動パラメータを新たに構築する必要がある。

参考文献

- (1) McGills, W.R., Edson, J.B., Hare, J.E. and Fairall, C.W. 2001 Direct covariance air-sea CO_2 fluxes. *J. Geophys. Res.* **106**, 16729-16745.
- (2) Komori, S., R. Nagaosa & Y. Murakami, Turbulence structure and mass transfer across a sheared air-water interface in wind-driven turbulence, *J. Fluid Mech.*, **249** (1993), 161-183.