降雨着水時の界面遷移に関する研究

Interfacial transition for taking water of rain

北海道大学工学部環境社会工学科 〇学生員 但木慎治 (Shinji Tadaki) 北海道大学大学院工学研究院准教授 正 員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

発生あるいは継続原因の不明な異常豪雨が近年、多数 報告されている。低気圧の発達は海洋からの熱輸送が直 接的な原因となる一方、降雨が与える海洋熱環境への影 響さらにそれに伴う大気への局所的熱放出については不 明な点が多い。将来的な局所的気候予測を実現するため には豪雨下の大気海洋熱交換過程の解明が不可欠である。

降雨が海面に着水すると、cavity と呼ばれる空洞から 微細な気泡群が海中へ放出される一方、大気中には大量 に飛沫が散乱する。太陽放射によって熱せられた海水面 は、これらの過程を経て熱の交換が行われる。即ち、水 面がちぎれて形成された気泡はその径が小さいほど相対 的な混入表面積が増大し海中への熱輸送を促進する。ま た同時に放出された微細な飛沫も蒸発過程を経て大気と の熱交換を活発にする。さらに通常海水温より低い水温 を持つ雨滴は、着水後に海水との密度差により水表面を 長期間にわたり低水温層が停滞し熱フラックスの輸送に 大きな影響を与える(Flament and Sawyer 1995; Anderson et al. 1998)。この降水と海水との密度差は、さらに降雨 の着水及び海水混合にも影響すると考えられるが、これ らは殆ど明らかにされていない。

本研究は、降雨の熱輸送への定量的寄与を明らかにす るための基礎研究として、液滴の着水に伴うエアレーシ ョン並びにエアロゾル生成機構について雨滴径、速度を パラメータとしてバックライト画像計測を行い、界面遷 移を特徴化し、スケール変化を統計的に定量化しようと するものである。

2. 実験方法

本実験では、雨滴を模した水滴を水面上部から滴下し、 水面で衝突する際の気液両相における界面の写影を、バ ックライト法を用いることによりハイスピードカメラで 撮影し、その撮影画像を解析する。実験装置は図-1 に 示している通りで、精製水を張った水槽の上部に水滴を 生成するための注射器を設置している。注射器は針が交 換できるものを使用し、針の太さを変えることによって、 生成する水滴の径を変えることができるようにした。 水滴が水面に衝突する様子を真横から撮影すると、水槽 の壁面に生じている表面張力の影響によって、水面近く の様子はうまく撮影することができない(図-2)。そこ で、気液両相の界面近傍の様子を、鏡の使用により分割 して撮影する方法を考案した(図-3)。鏡は片側2枚ず つ使用しており、45°に傾けた鏡の端を界面に付けるこ とにより滴下地点近くで起こる現象の写影をそれぞれ上 下に映し、それをもう1枚の鏡(カメラ側に45°傾けた 状態)でカメラに向けて反射させている。

撮影はマクロズームレンズ(18mm~108mm)を装着し たハイスピードカメラを使用し、フレームレートは 500fps で行った。シャッタースピードは LED ライトの色 に合わせて出来るだけ速く設定したため、気体側 1/8000、 液体側 1/1000 となった。また今回は、18G(内径 1.20mm)、 21G(0.80mm)、27G(0.40mm)の3種類の注射針で、高さ 40cm と 20cm で水滴を滴下させ、ひとつの組み合わせで 5回撮影を行った。





図-2 真横から見た界面近傍の様子



図-3 カメラ側から見た実験装置図

3. 界面の様子

水滴が水面に衝突すると気体側に spray、crown、jet、 液体側に cavity、bubble の大きく分けて 5 つの現象が見 られる。水面に衝突してすぐに見られるのが王冠状の crown とその上端から勢いよく散乱する spray である(図 -4.4ms)。その後水滴が衝突した力で水面が窪むことに よって液体側に cavity ができ、その cavity が再び気体側 に戻る時に勢いよく上がり円錐状になる現象を jet と言 う (図-4, 8ms-48ms)。jet の先端がちぎれることによっ て水滴が生成され、もう一度水面に衝突すると小さい cavity が発生する (図-4,72ms-126ms)。この時に cavity の先から bubble が発生することがあるが、水面の動きが 小さいと発生しない。bubbleはこの時以外にも水面やjet、 cavity の動き方によって発生することもある。以上のよ うに水滴が水面に衝突した時は、単にしぶきを上げてい るのではなくこのような細かい現象を見ることができる ので、これらを画像計測しスケール変化を調べていく。 なお、図-4の画像は気体側、液体側それぞれで撮影し た画像を経過時間・位置とともに合わせたものである

今回は手動での計測ということもあり、crown の最大 径及び高さ、jet の最大時の径、そして cavity の最大径及 び深さの5つに絞って計測を行った。



0 ms



 $8\,\mathrm{ms}$



 $28\,\mathrm{ms}$



48 ms



 $72\,\mathrm{ms}$

 $106 \,\mathrm{ms}$



126 ms 1.17 ms 図-4 撮影現象 (ms: ミリ秒)

画像計測 4.

4.1 計測方法

画像計測は撮影画像上で径や高さなどの画素数を画面 上で数え、その値に1 pixel あたりの長さ(mm)をかけるこ とにより行った。1 pixel あたりの長さは界面現象の撮影 時と同じ条件でキャリブレーションボード(等間隔に点 が打ってあるなどして長さが把握しやすいもの)を撮影 し、その撮影画像の画素数と実際の長さを対応させるこ とによって取得した。また、パラメータである水滴径も 同様の方法で計測し、落下速度は気体側撮影時に写る水 面衝突直前の水滴の移動距離から求めた。

4.2 計測結果

前章でも述べた5つのスケール変化を水滴径と落下速 度をパラメータとしてグラフに表したのが図-5 である。 まず crown について、径・高さはともに水滴径に比例す ると思われ、落下速度は速い方のみでしか crown が発生 しなかったため相対関係はわからない。jet は水滴径・速 度のどちらとも比例関係があるように見えないことはな いが、ばらつきがかなり大きい。原因のひとつに jet の 径と言っても計測する状態を決めにくく、ケースごとに 測るタイミングを一致させることができなかったという 事が考えられる。そして cavity も crown 同様に比例関係 があるように思える。jet とは異なり cavity の最大径はわ かりやすく同じタイミングで測ることができたため、ば らつきは少ないように思う。





しかし、実際の降雨の雨滴径はもっと小さいものが多く 落下速度は終端速度になるためもっと速いので、実験で 再現するのは極めて難しい。そこで実験結果を実現象に 対応させるために使われるフルード数 Fr を使って結果 を整理したのが図-6 である。フルード数は水滴の落下 速度を重力加速度と水滴径をかけたものの平方根で割っ たものである。今の段階では関連性についてはわからな いが、jet や cavity は特徴的な分布を示しているようにも 見えるので、幅広いケースの測定を行うことで明らかに できるかもしれない。

5. まとめ

今回の実験ではバックライト画像計測法により水滴着 水時の気液両相の界面現象を測定することができた。フ ルード数での整理からjetやcavityは何か関連性がありそ うであることもわかった。

今後は精製水だけでなく人工海水の場合あるいは人工 海水の上に薄い精製水の層がある場合など条件を変えな がら、さらにより多くの種類・ケースで実験を行うこと により降雨着水時の界面遷移について明らかにすること ができるだろう。

参考文献

- 1) Flament, P., and M. Sawyer, 1995: Observations of the effect of rain temperature on the surface heat flux in the intertropical convergence zone. *J. Phys. Oceanogr.*, **25**, 413-419.
- 2) Anderson, S. P., A. Hinton, and R. A. Weller, 1998: Moored observations of precipitation temperature. *J. Atomos. Oceanic Technol.*, **15**, 979-986.

