

実験水槽内の砕波周辺の空気イオン濃度分布の特徴

Characteristics of air-ion concentration around breaking waves in a laboratory flume

北海道大学工学部 ○学生員 八尾 斉拓

北海道大学大学院工学研究院 正会員 猿渡亜由未

1. はじめに

海面から絶えず発生している微細飛沫はその蒸発過程を通して周囲の気相と熱、湿度、運動量を交換することにより海面近傍の流れ場に熱力学的影響を与える。また飛沫の蒸発により生成される海塩粒子のうち上空に輸送されたものは海洋性エアロゾルとして日射量や雲量などを変化させる (e. g. Veron, 2015)⁵⁾。このように海上気象を決定するファクターの一つとなっている飛沫の発生量を予測する為に、これまで数々の海上現地観測による研究が行われてきたが、その殆どで海上飛沫粒子濃度は光学式パーティクルカウンターが用いられてきた (e. g. Katsaros et al., 1987;³⁾ de Leeuw et al., 2000²⁾) 光学式パーティクルカウンターは、空気流に光を照射したときの散乱光強度を測定することにより空気中に含まれる微細粒子の径と個数を測定するものである。即ち測定した粒子の組成を特定することはできず、特に海洋性エアロゾルと陸性エアロゾルが混在する沿岸域では飛沫由来のエアロゾルの濃度を正確に観測することは極めて困難である。

浜辺や滝の近くなど、飛沫の生成が活発に行われている場所では周囲の空気中のマイナスイオン濃度が高いことが知られている (e. g. Tammet et al., 2009⁴⁾)

これは、Ballo-electric effect 又は Lenard effect と呼ばれるもので、電気二重層が形成される水面の極表層が分裂することにより、負の電荷を帯びた飛沫が空气中に放出されることに起因する現象である (e. g. Bhattacharyya et al., 2010¹⁾) 空気中のマイナスイオン濃度は水面の分裂度、即ち微細飛沫の発生量を反映するものであり、新たに発生した飛沫の量を測定する一つの指標として利用できる可能性がある。本研究の最終的なゴールは海域における飛沫の発生と空気イオン濃度との関係を明らかにすることであり、そのために共著者ら⁶⁾は、周囲の電気的な環境に影響を受ける空気イオン濃度を測定可能な実験条件について調査すると共に、外洋における主な飛沫の発生原因となるバブルバースティングが生じた際の周囲の空気イオン濃度の上昇過程を測定することに成功している。

本研究の目的は、砕波帯周辺の空気イオン濃度の分布とその時間変化について明らかにすることである。

本研究ではまず、実海域の砕波帯周辺における空気イオン濃度の分布の現地観測を行い、砕波の影響によるマイナスイオンの発生とその内陸への移流の影響について考察する。更に次元造波水槽内で砕波を発生させたときの空気中のマイナスイオン濃度分布の遷移を種々の砕波条件下、調査した。

2. 現地観測

実際の波によるマイナスイオンの発生の有無、海岸からの距離による発生量の変化、またパーティクルカウンターを並行して使用することで陸性エアロゾルと海洋性エアロゾルについて解明するため現地観測を行った。

下図の8地点が観測点でありその地点とパーティクルカウンターの結果を示す

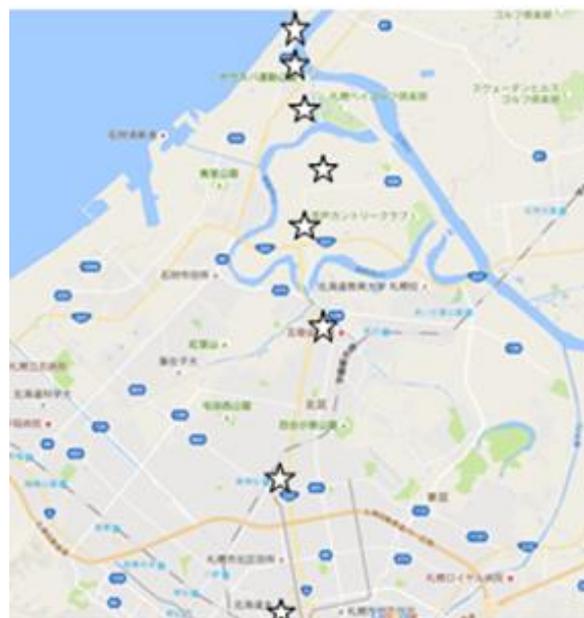


図-1 観測地点 (石狩地方)

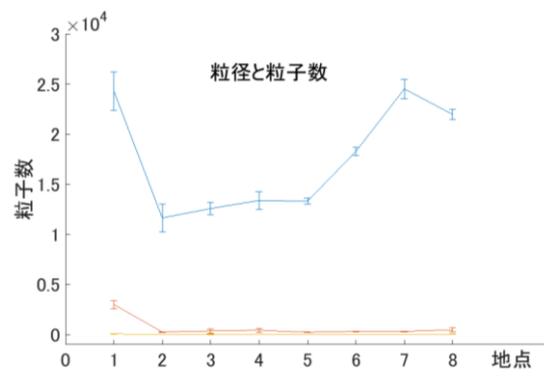


図-2 地点ごとの粒子数

0.3 μm, 1.0 μm, 5.0 μm の三粒径で観測を行ったが 1.0 μm では沿岸付近である地点1で大きな値を示している。これは海洋性エアロゾルが最も起因するのが 1.0 μm の領域であるからである。一方、0.3 μm の領域は陸生エアロゾルにも大きく作用されるため沿岸からの距離とは相関を持っていない。比較的小さいといわれている P.M2.5, SPM はそれぞれ 2.5 μm 以下, 10 μm 以下であり

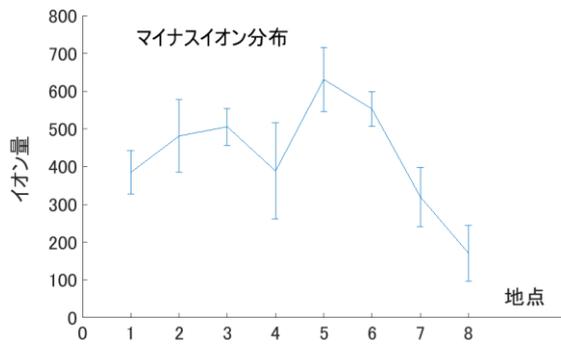


図-3 地点ごとのイオン量

今回は $5.0 \mu\text{m}$ の領域に分類される。
次に同じ各地点で得たマイナスイオンカウンターによる結果を以下に示す。

海洋や河川が近くにある地点6までは比較的大きな値を示しているが地点7,8ではイオン量は右肩下がりでである。このことから微小な物質であるイオンは数キロ程度なら容易に浮遊、拡散されるや水の影響を受けていることがわかる。

3. 室内実験

3.1 実験方法

全長 23m, 幅 60cm の二次元造波水槽内で実験を行った。側壁は全面ガラス製であり、造波板から 10m の距離から底面は 1/15 勾配となっている。水平部の水深を 18cm とし、周期 1.0s, 波高 5.0cm, 8.0cm の条件の波浪を造波した。底面勾配の変化地点から岸方向に x 軸を定義すると、それぞれの波浪条件における砕波点位置は $x = 180\text{cm}, 180\text{cm}$, 着水点位置は $x = 220\text{cm}, 200\text{cm}$ であった。砕波形態は巻波であった。

水槽上部から吸気口を鉛直下向きにしてマイナスイオンカウンターを設置した。設置位置は底面勾配の変化位置から $x = 200; 240; 280 \text{ cm}$ とした。各波浪条件、測定位置で造波開始と共に空気イオン濃度の測定を開始し、それぞれ少なくとも 5 分間の測定を行った。本研究では実験の再現性について確認するために、種々の気温、湿度条件の時間帯に 3 回の試行実験を行った。

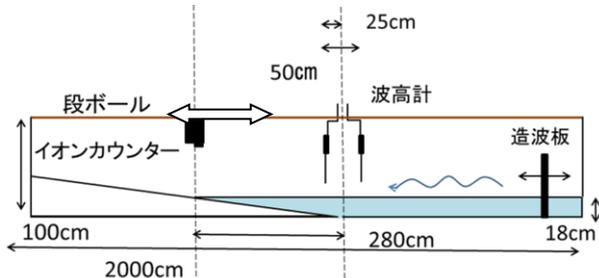


図-4 実験造波水槽概略図

実験では、始点からの距離を変化させそのイオン量の変化を見ている。その際、砕波点、着水点を観測しその値も記録している。また、造波波高、周期も変化させ様々な条件でデータをとっている。

3.2 実験結果

図5は地点1, 2, 3 (それぞれ $x = 200; 240; 280 \text{ cm}$) におけるマイナスイオン濃度の 5 分間の測定の、1~3 回目の試行実験の結果を表す。各試行における温度と湿度の条件は試行1で 8cm の時で $20.1^\circ\text{C}, 43.7\%$ と 5cm 時で $20.0^\circ\text{C}, 44.9\%$, 試行2で 8cm の時で $20.3^\circ\text{C}, 45.6\%$ と 5cm の時で $20.2^\circ\text{C}, 43.5\%$, 試行3で 8cm の時で $19.8^\circ\text{C}, 49.8\%$ と 5cm の時で $19.8^\circ\text{C}, 49.8\%$ である。気温と湿度の僅かな変化に依存してベースの空気イオン濃度が変化し、各試行における実験結果の再現性は極めて低くなっている。図中赤、青のラインはそれぞれ造波波高 $**\text{cm}$, $**\text{cm}$ のケースを表すが、波高の変化によるケース間のイオン濃度の変化は顕著に見られない。しかしながらいずれの試行、いずれのケースにおいても砕波点から汀線にかけてマイナスイオン濃度の増加傾向を示しており、砕波飛沫発生時の水面分裂に起因する空気中へのマイナスイオンの放出により砕波帯内のイオン濃度分布が変化したものと考えられる。

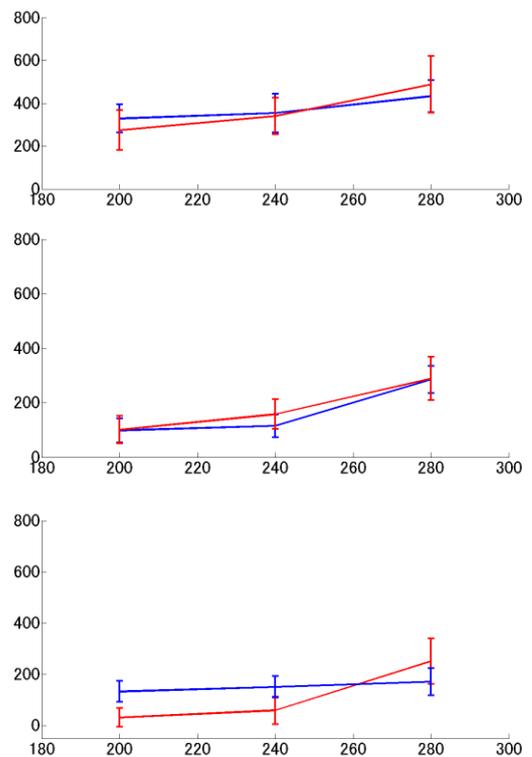


図-5 イオン量 (赤: 波高 8cm 青: 波高 5cm)

4. 結論

本研究では新たな飛沫発生量の推定指標として用いることができる可能性がある空気中のマイナスイオン濃度の、二次元造波水槽内の砕波帯周辺における空間分布を測定した。空気イオン濃度は周囲の電気的環境に敏感に反応するため注意が必要であるものの、条件を整えることにより砕波に伴う空気イオン濃度の変化を測定可能であることを確認した。空気イオン濃度は気温と湿度の環境にも依存するため、実験の再現性を確保する為にはこれらの条件をコントロールする必要がある事が確認された。

砕波帯内においては砕波点から汀線にかけて空気イオ

ン濃度の緩やかに増加していることが明らかとなった。
これは砕波飛沫発生時の水面分裂に起因した空気中への
空気イオンの放出に起因するものと考えられ、今後実験
条件を整えた上での更なる実験を行うことにより、より
詳細なイオン濃度の分布の特徴について明らかにする必
要がある。

謝辞 本研究の現地観測を行うに当たり北海道大学大
学院の本間翔希氏並びに瀬戸岳史氏にご協力頂いた。こ
ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) Indrani Bhattacharyya, Joshua T.Maze, George E.Ewing,
and Martin F.Jarrold. Charge separation from the bursting of
bubbles on water. The Journal of Physical Chemistry A,
Vol.115, No.23, pp.5723-5728, 2011.
- 2) Gerrit de Leeuw, Filip P. Neele, Martin Hill, Michael H.
Smith, and Elisabetta Vignati. Production of sea spray aerosol
in the surf zone. Journal of Geophysical Research:
Atmospheres, Vol. 105, No. D24, pp. 29397-29409, 2000.
- 3) Kristina B. Katsaros, Stuart D. Smith, and Wiebe A. Oost.
HEXOS-humidity exchange over the sea a program for
research on water-vapor and droplet fluxes from sea of air at
moderate to high wind speeds. Bulletin of the American
Meteorological Society, Vol. 68, No.5, pp. 466-476, 1987.
- 4) H. Tammet, U. Horrak, and M. Kuhmala. Negatively
charged nanoparticles produced by splashing of water.
Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 9, No.2, pp. 357-
367, 2009.
- 5) Fabrice Veron. Ocean spray. Annu. Rev. Fluid Mech., Vol.
47, No.1, pp. 507-538, 2015.
- 6) 竹下勝利, 猿渡亜由未. バブルバースティングによ
る飛沫と周囲の空気イオン濃度の計測. 土木学会北海道
支部論文報告書