

# 種々の水溶液のバブリングによる空気負イオン濃度及び エアロゾル数密度変化

Change in air negative ion concentration and aerosol number density  
by bubbling of various aqueous solutions

北海道大学大学院工学院 ○学生員 石見翔汰 (Shota Ishimi)  
北海道大学大学院工学研究院 正会員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

## 1. はじめに

砕波に伴い海中に混入した気泡が再浮上して水面でバーストする際に大気中に放出される film droplets と呼ばれる微細飛沫は、急速に蒸発することで大気-海洋間の熱、湿度輸送を促進すると共に、蒸発後の海塩粒子は海洋性エアロゾルとして大気中に留まるなど、海上気象に影響を与える重要な要素のひとつとなっている<sup>1)</sup>。しかしながら海面からの飛沫発生量の予測モデルとして提案されてきた SeaSpray Generation Function (SSGF) は現状ではモデル間の違いにより飛沫発生量の予測が数オーダー異なる場合があり、その高精度化が求められている。海上飛沫観測はこれまで、レーザー散乱光強度からエアロゾル粒子サイズと個数をカウントする測定装置であるパーティクルカウンタを用いて行われてきた<sup>2)</sup>。本機器は概ね  $0(0.1-1.0 \mu\text{m})$  のサイズのエアロゾルの濃度を精度良く測定することができる一方、測定した粒子群の組成を判別することはできず、陸性エアロゾルなど海塩粒子以外の影響を測定結果から除外することは困難であり、特に陸域の影響が無視できない程大きくなる沿岸域では、それによる観測誤差が測定結果を大きくばらつかせる要因となる。測定誤差を低減させる為に空気サンプルの捕集と組み合わせる大気エアロゾルの組成を推定することもできるが、連続現地観測を行う為の方法は限られているのが現状である。水面の極表層は負に帯電している為、水面に浮上した混入気泡と大気との間の水膜が弾けることにより形成される微細飛沫は負の電荷を帯びていることが知られている<sup>3)</sup>。一般に砕波帯や滝の周辺等で負の空気イオン濃度が高いと言われるのは、負に帯電した微細飛沫が放出されることに起因する。即ち海上の負の空気イオン濃度の変化は微細飛沫の発生に応答するものである為、エアロゾル観測の際に空気イオン濃度を同時に測定することにより、陸性エアロゾルの影響の大きい沿岸域であってもエアロゾル観測値に対する海洋性成分の寄与率を推定することができる可能性がある。本研究は、空気イオン濃度を新たな指標として加えることにより海面からの飛沫発生量の推定精度を向上させる為の基礎的な研究として、室内実験を通して飛沫の生成に応答した空気イオン濃度の変化の特徴を明らかにすることを目的としたものである。室内実験では小型水槽内のバブリングによる微細飛沫生成時の周囲の空気中のイオン濃度の変化について基本的な性質を明らかにする。

## 2. 室内実験方法

室内実験では、内寸  $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$  のガラス製水槽中に水深  $10\text{cm}$  となるよう種々の水溶液を張り、水槽底面に円形に配置した直径  $1\text{cm}$ 、全長  $60\text{cm}$  の2本のエアストーンから発生させた気泡群を水面でバースティングさせることにより微細飛沫を発生させた(図-1 参照)。用いた水溶液は4種類で、人工海水(日本海水社製)は自然界の標準的な海水を模したものである。NaCl 水溶液、MgCl<sub>2</sub> 水溶液  $\alpha$  は村上(1984)<sup>4)</sup>を参考にし、質量パーセント濃度ベースで自然界の標準的な海水に含まれる NaCl 及び MgCl<sub>2</sub> と同量のものをそれぞれ純水に溶かしたものである。MgCl<sub>2</sub> 水溶液  $\beta$  はモル濃度ベースで NaCl 水溶液に含まれる NaCl と同量の MgCl<sub>2</sub> を純水に溶かしたものである(表-1 参照)。エアポンプからエアストーンへと送気される空気の流れはフロート式流量計によりコントロールした。バブリング開始以降の水槽周囲の空気負イオン濃度は高さ  $47\text{cm}$  に設置された空気イオンカウンタ(COM-3600F,コムシステム社製)により測定し、空気イオンカウンタに吸引される空気の流れ及び相対湿度も同時に測定された。負に帯電した微細飛沫への電気的な影響を低減する為に、測定系を難帯電性素材の紙製ハウジング( $35.5\text{cm} \times 53\text{cm} \times 47\text{cm}$ )内に密閉して実験を行った。またパーティクルカウンタ(APC ErgoTouch, Biotest 社製)によるエアロゾル粒子数密度測定も同一のセットアップにより行い、測定粒径は  $0.3, 1.0, 5.0 \mu\text{m}$  の3粒径とした。バブリングは  $5.0-40 \text{Lmin}^{-1}$  のエア流量条件で行い、負イオン濃度及びエアロゾル数密度の測定周波数はそれぞれ  $1.0\text{Hz}, 0.1\text{Hz}$  とした。バブリング開始時刻を  $t = 0$  とし、 $t \leq 4500 \text{sec}$  の間測定を継続し、各実験ケースにつき1-2回の試行実験を行った。初期水温は実験室の常温であった。

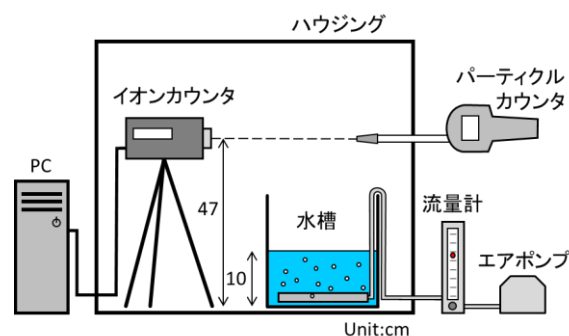


図-1 室内実験セットアップの模式図。

表-1 実験に用いた水溶液の詳細.

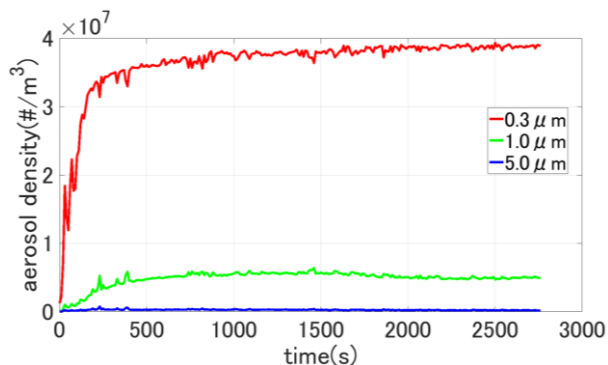
|                         | 質量パーセント濃度(%) | mol 濃度 (mol L <sup>-1</sup> ) | 総試行回数 |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|-------|
| 人工海水                    | 不明(*)        | 不明(*)                         | 11    |
| NaCl 水溶液                | 2.67         | 1.82                          | 6     |
| MgCl <sub>2</sub> 水溶液 α | 0.328        | 0.0161                        | 5     |
| MgCl <sub>2</sub> 水溶液 β | 9.28         | 1.82                          | 10    |

\*社外秘であるため

### 3. 実験結果

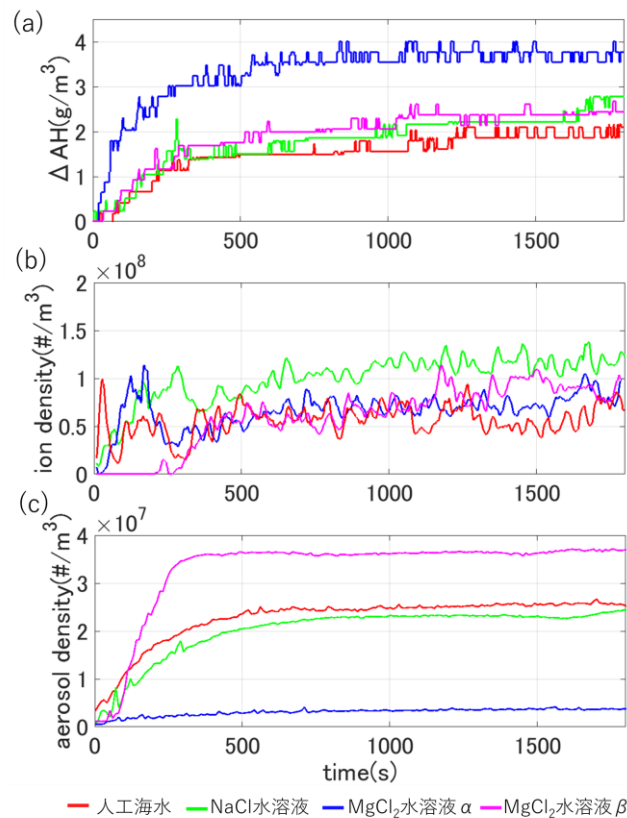
#### 3.1 粒径ごとのエアロゾル数密度の時間変化

図-2 はエア流量 35Lmin<sup>-1</sup>, 人工海水を用いた場合の粒径ごとのエアロゾル数密度の時間変化を表す. いずれの粒径のエアロゾル数密度も時間の経過に伴い上昇する傾向が得られ, エア流量や水溶液が異なるケースでもその傾向は変わらなかった. また粒径の小さいエアロゾルほど発生量は大きく, 特に粒径が 0.3 μm のエアロゾル数密度は他の粒径のエアロゾル数密度より数オーダー大きいことから, 本実験に大きな影響を与えていたものと考えられる. したがって, 以降 0.3 μm のエアロゾル数密度に注目し, 他のパラメータとの関係について議論していく.

図-2 エア流量 35Lmin<sup>-1</sup>, 人工海水ケースのエアロゾル数密度時間変化.

#### 3.2 空気負イオン濃度及びエアロゾル数密度の時間変化

図-3 はエア流量 16Lmin<sup>-1</sup> ケースにおける初期条件からの絶対湿度の増加量と空気負イオン濃度, エアロゾル数密度 (0.3 μm) の時間変化を表す. バブリング開始以降, 発生した飛沫が蒸発し周囲の空気中に水分を供給することで, ハウジング内の絶対湿度は徐々に上昇していく. その後周囲の湿度の上昇と共に蒸発速度は低下していくことから, 湿度の上昇率は時間と共に低下し一定の値に漸近した (図-3 a). またエアロゾル数密度は時間の経過に伴い上昇し, ある一定の値に漸近する傾向が得られた (図-3 c). ここで測定されているのは飛沫蒸発後に残存した海塩粒子が空気中に滞留してエアロゾル化したものであり, 海塩粒子の発生フラックスと沈降フラックスが釣り合った時に平衡状態に達するものと考えられる.

図-3 エア流量 16Lmin<sup>-1</sup> ケースにおける (a) 初期条件からの絶対湿度増加量, (b) 空気負イオン濃度の時間変化, (c) エアロゾル数密度 (0.3 μm) の時間変化.

一方空気負イオン濃度は, 飛沫の発生と共に上昇し, 一定時間経過後に平衡状態に達するというエアロゾル数密度と同様な特徴の時間変化を示した (図-3 b). このことから空気負イオン濃度を測定することで飛沫の発生量を推定しうることが明らかとなった.

#### 3.3 平衡空気負イオン濃度及び平衡エアロゾル数密度と気温との関係

図-4 は平衡空気負イオン濃度, 平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm) と気温との関係を表す. ここで平衡空気負イオン濃度, 平衡エアロゾル数密度, 気温はバブリング開始時刻を  $t = 0$  としたときの  $t \geq 600$  sec の平均値である. いずれの水溶液を用いた場合も気温に対する傾向は得られなかった.

#### 3.4 平衡空気負イオン濃度及び平衡エアロゾル数密度とエア流量との関係

図-5 は平衡空気負イオン濃度, 平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm), 初期条件からの絶対湿度の増加量とエア流量との関係を表す. 平衡空気負イオン濃度, 平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm), 初期条件からの絶対湿度の増加量はいずれもエア流量の増加と共に増加する傾向が得られた. エア流量は水面のバースティング強度を反映したものであるため, このような結果が得られたと考えられる. また平衡空気負イオン濃度, 初期条件からの絶対湿度の増加量は溶質による違いが見られなかった一方で平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm) は MgCl<sub>2</sub> 水溶液 α のみ他の水溶液

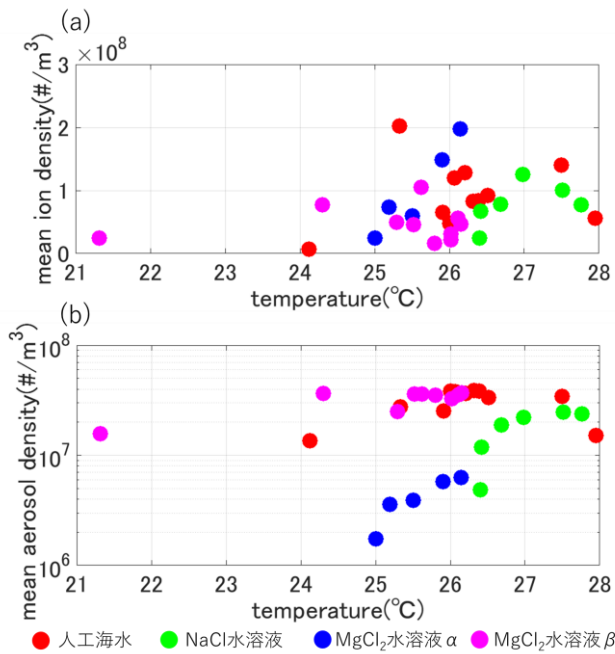


図-4 気温と (a) 平衡空気負イオン濃度との関係, (b) 平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm) との関係.

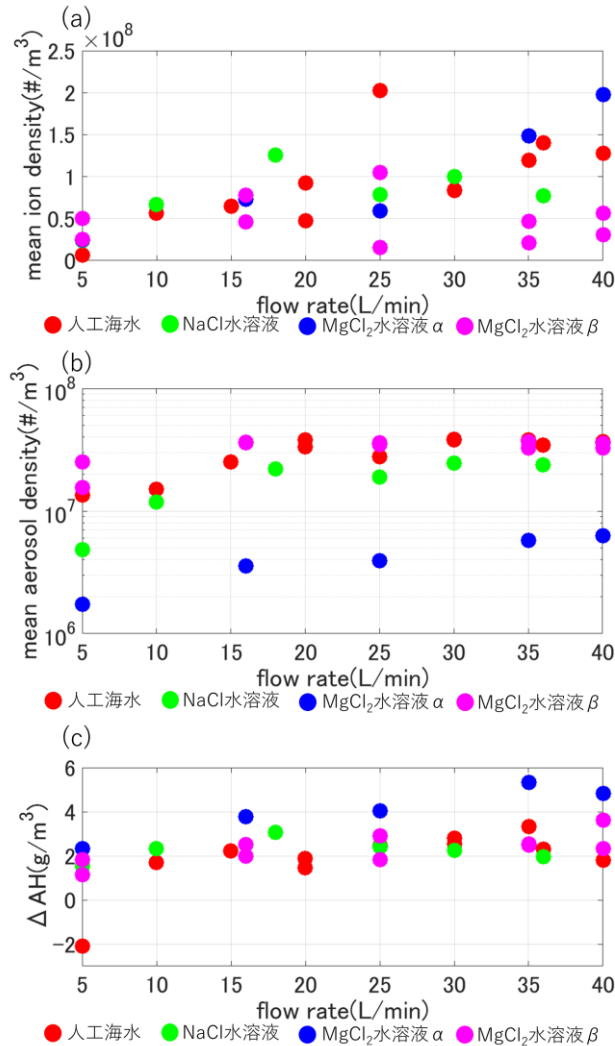


図-5 エア流量と (a) 平衡空気負イオン濃度との関係, (b) 平衡エアロゾル数密度 (0.3 μm) との関係, (c) 初期条件からの絶対湿度の増加量との関係.

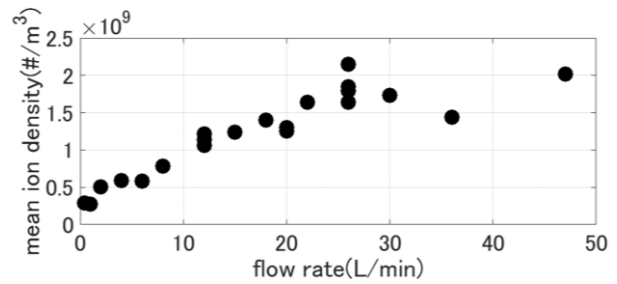


図-6 エア流量と平衡空気負イオン濃度 (淡水ケース) との関係.

に比べて 1 オーダー低い結果が得られた。これは  $\text{MgCl}_2$  水溶液 α に含まれる溶質の mol 濃度は他の水溶液よりも低いため、発生する飛沫内に海塩粒子が含まれる確率も低いからであると考えられる。図-6 はエア流量と平衡空気負イオン濃度 (淡水ケース) との関係を表す。図-5(a) と同様に平衡空気負イオン濃度 (淡水ケース) はエア流量の増加と共に増加する傾向がある一方で、その全体的な値は図-5(a) に比べて 1 オーダー高い。バブリング後に水面で観測される気泡径は海水よりも淡水の方が大きいことが知られている。したがって本実験のセットアップでは同エア流量で実験した場合であっても淡水ケースの方が種々の水溶液を用いたケースよりもバースティング強度が大きかった可能性がある。

#### 4. 結論

- ・空気負イオン濃度は飛沫の発生量を反映したものであった。
- ・溶質の種類や濃度の違いによる空気負イオン濃度及び絶対湿度増加量への影響は見られなかった。
- ・エアロゾル数密度は飛沫が蒸発した後の海塩粒子の量を反映しているため、溶質の mol 濃度の影響を強く受けることが明らかとなった。
- ・淡水ケースの空気負イオン濃度は種々の水溶液を用いたケースの空気負イオン濃度よりも全体として 1 オーダー大きかった。
- ・気泡径の違いによる水面でのバースティング強度への影響を今後調べる必要がある。

#### 参考文献

- 1) O' Dowd, C. D. and de Leeuw, G.: Marine aerosol production : a review of the current knowledge, *Philosophical Transactionsof the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol.365, No.1856, pp.1753-1774, 2007.
- 2) 猿渡亜由未, 渡部靖憲, 山田朋人, 大塚淳一, 馬場康之, 水谷英朗, 久保輝広, 内山雄介, 森信人, and 二宮順一: 大気エアロゾルの海上現地観測, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.72, No.2, pp.I 537-I 547, 2016.
- 3) Chaplin, M.: Theory vs experiment: What is the charge at the surface of water?, *Water*, Vol.1, pp.1-28, 2009.
- 4) 村上正祥 塩の組成と品質, 日本海水学会誌, 38 巻 4 号 p. 236-251, 1984.