

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 村田 浩太郎

細菌は地球上に普遍的に存在する微生物であり、その膨大な生物量と多様な代謝系は環境中物質循環において不可欠なはたらきを担う。大気中に浮遊する細菌は、エアロゾル粒子の一種として日射を散乱・吸収することにくわえ、雲の氷晶核や凝結核となることで雲形成を経て大気の放射や降水に影響を与えていることが指摘されている。細菌の大気中拡散・移動性は、細菌の普遍的生物地理分布形成の主要な成因であるといわれ、さらに大気中での代謝活動を行うことにより大気中物質動態に対して影響を与えることが予想されている。また一方で、病原細菌の越境伝播が大気中汚染物質の長距離輸送と同様に懸念されている。これらの観点から、大気中細菌のエアロゾル粒子としての挙動ならびに生物としての挙動について双方向から解明する必要があるが、そのための情報は非常に限られているのが現状である。

エアロゾル粒子としての細菌は空気の流れてに伴って変動し、異なる空気塊においては存在する細菌の発生源や輸送過程も様々である。空気の流れは様々な要因によって生じるが、広範囲のスケールでは総観気象の要因、すなわち、西から東への低気圧・高気圧の移動に伴って数日単位で変化する流れが卓越する。本研究では、春季・秋季の移動性低気圧および高気圧の通過に伴う大気中細菌濃度を明らかにし、空気の流れの変化による細菌の濃度変動を定量化することを目的とした。

本研究ではまず、細菌の総数（濃度）と生存状態の双方に対してアプローチできる方法の検証・確立を試みた。大気中細菌の濃度および生存状態を計測するため、LIVE/DEAD BacLight Bacterial Viability Kit（BacLight 染色）を用いた蛍光染色計数法の室内・野外試験を行った。BacLight 染色では細菌 DNA の蛍光標識により細菌総数を得られるとともに、細菌膜の損傷による生細菌・死細菌の判別が可能である。大気中細菌の捕集法および前処理法の検証実験も含め、BacLight 染色法と一般的方法である DAPI 染色法との比較を行った。大気中から分離された細菌株を用いた室内試験により、BacLight 染色法と DAPI 染色法との十分な整合性を確認した。また、1%グルタルアルデヒドによる固定処理が生細菌の検出率を向上させることを発見した。野外試験として BioSampler を用いて大気中細菌を 1 時間捕集し、固定処理を施した BacLight 染色法ならびに DAPI 染色法による結果の相互比較を行った。検証の結果として、(1) BacLight 染色法はグルタルアルデヒド固定によって DAPI 法による結果と整合性を有する、(2) 1 時間の時間分解能で大気中細菌の濃度および生存率の変動を追跡することができる、という 2 点が明らかになった。よって、本法が空気塊の移動に伴う大気中細菌の濃度変動の解明に適応することが示された。

検証した方法を用いて春季・秋季の熊本市における移動性低気圧・高気圧の通過に伴う大気中細菌濃度および生存状態の変動を観測し、低気圧・高気圧の通過に伴う大気中浮遊粒子数と大気中細菌との相関性も検証した。低気圧に伴う寒冷前線の通過後、大気中細菌濃度と粗大粒子数濃度が同時に増加し、両者には相関がみられた。寒冷前線後面に位置する空気塊は比較的移動速度が速く、アジア大陸起源の粒子を多く含む気塊を日本あるいは北西太平洋にまで輸送することが知られる。したがって、粒子とと

もに増加した細菌はアジア大陸より輸送されたものが多く含まれていたと考えられる。くわえて、この濃度増加時に細菌生存率が50%以下に低下したことから、大陸から輸送された細菌は死細菌が多く、大気中輸送時に損傷している可能性が示唆された。一方で、高気圧時の大気中細菌と粗大粒子は比較的低濃度で相関がみられなかった。高気圧時は地表付近の空気塊があまり移動せず、停滞した空気質が形成される。このような条件下では、局地起源のエアロゾル粒子の蓄積が生じることが知られている。このことから、局地起源に由来する細菌が大気中に存在していることが示唆された。このときの細菌生存率は常に80%以上であった。局地起源の細菌は発生源から放出されて間もないと考えられるため、大部分が生存率を保ったまま浮遊していたと考えられる。

春季の天草沿岸地域において観測を実施した。この地域は海岸に面しており、熊本市よりも産業や人間活動が少なく、人為的なエアロゾル発生源が少ない。結果は熊本市で得られたものと同様で、低気圧通過後における大気中死細菌と粗大粒子との相関と、高気圧条件下における高い細菌生存率が確認された。一方で熊本市の結果と異なる点として、高気圧条件下の海陸風により風向が変化する時間帯の前後に生細菌濃度の急増が見られた。このとき粒子数濃度は変動せず、周辺に細菌濃度上昇に関連するような人間活動および自然発生源がなかったことから、海陸風によって周辺で発生した生細菌の蓄積・輸送が短時間に生じていたことが考えられる。高気圧条件下の地表付近における空気塊の停滞は、このような局地規模での空気塊の移動を際立たせ、それに伴う局地由来細菌の濃度変動を駆動しているといえる。

以上の研究より、大気中の浮遊細菌の濃度及びその生死状態を定量的に評価するLIVE/DEAD染色による蛍光染色計数法を検証・確立された。偏西風帯における総観気象の変化(いわば高気圧と移動性低気圧)に伴う大気中細菌の濃度変動と、九州西岸の都市部と沿岸域の浮遊細菌数濃度は低気圧の寒冷前線後ろの寒気団中では粗大粒子濃度と比例し、前線前の暖気団及び高気圧下の気団中では関連しないことが初めて浮遊細菌の個数濃度の視点から明らかにされ、寒気団中の細菌の生菌率は暖気団及び高気圧気団中の生菌率より低いことと、沿岸域において浮遊細菌の濃度と生存率の変動は高気圧時に海陸風に大きく左右されていることが初めてとられた。細菌の濃度と生存率の変動は、総観気象の変化と強く依存し、変動トレンドは逆であることも初めて明らかになった。

これらの結果は、総観気象の変化に伴う浮遊細菌の変動と大気拡散に関わっている直接的な根拠であり、細菌の生息する微生物生態系の維持・拡大に深く関与しているメカニズムの定量的な評価に大きく貢献するものと考えられる。以上のように、村田君の研究は、博士(環境共生学)の学位に相応しいものと判定する。

主 査 熊本県立大学・教授 張代洲