

## 南極沿岸域での新粒子生成：どこで生成が起きているのか？

原圭一郎<sup>1 now at 2</sup>、長田和雄<sup>3</sup>、西田千春<sup>2</sup>、矢吹正教<sup>4</sup>、三浦和彦<sup>5</sup>、山内 恭<sup>1</sup>

1: 極地研, 2: 福岡大・理, 3: 名大院・環境学, 4: 京都大, 5: 東京理大

### New particle formation in Antarctic coasts: Where does new particle formation occur?

K. Hara<sup>1 now at 2</sup>, K. Osada<sup>3</sup>, C. Nishita-Hara<sup>2</sup>, M. Yabuki<sup>4</sup>, K. Miura<sup>5</sup>, T. Yamanouchi<sup>1</sup>

1: NIPR, 2: Fukuoka Univ., 3 Nagoya Univ., 4: Kyoto Univ. 5: Tokyo University of Science

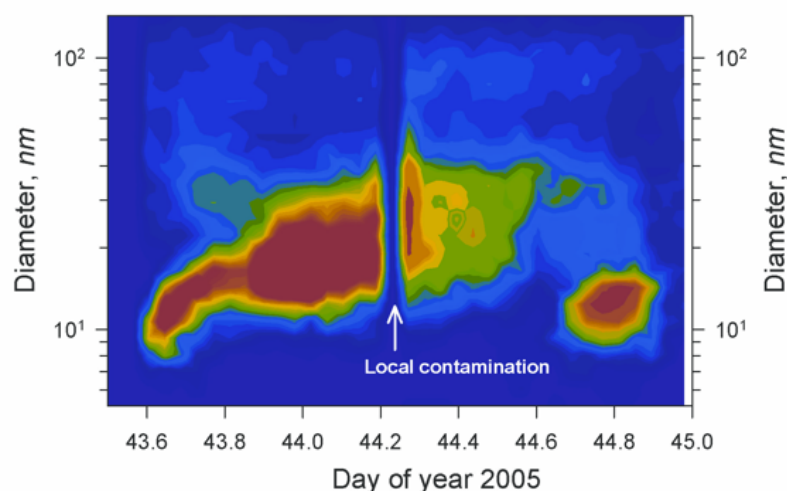
Atmospheric aerosol particles can affect on climate change through the direct and indirect processes. Numerous studies have been made to understand climate impact by interaction of oceanic bioactivity – aerosols – cloud processes since CLAW hypothesis [Charlson et al., 1987]. We measured size distribution of ultrafine particles in the Antarctic coasts (at Syowa station and using vessels, R/V Tangaroa, Hakuho-maru, and Umitaka-maru) to understand new particle formation processes in the Antarctica. Here, we report new knowledge about new particle formation processes in the Antarctic coasts during the summer.

**【はじめに】** 大気エアロゾル粒子は、直接効果、間接効果により気候変動へ影響を与える可能性が指摘されている。清浄な南極域ではエアロゾル数濃度が低いため、直接効果の影響は極めて少なく、間接効果（雲を介した放射収支変化）の寄与が大きいと考えられている。CLAW 仮説[Charlson et al., 1987]が提案されて以降、海洋生物活動-エアロゾル-雲の関係について様々な研究がなされてきたが、いまだに気候影響への寄与を正確に推定するまでには至っていない。その原因の一つとして、「海洋生物活動起源の物質からどこでどの程度のエアロゾル粒子（あるいは雲核）が生成しているのか？」を正確に理解できていないことが挙げられる。我々は南極沿岸域の新粒子生成過程に関する知見を得るために、JARE43 以降、南極沿岸海洋上、Syowa 基地で超微小粒子の粒径分布や数濃度の連続観測を実施してきた。ここでは、これまでの観測で得られた結果と今後の課題について報告する。

**【観測】** 南極沿岸域のエアロゾルの粒径分布・数濃度を観測するため、JARE43 の夏時期に Tangaroa・白鳳丸船上で、JARE46 夏時期には海鷹丸船上で、JARE45-47 では Syowa 基地でエアロゾル集中観測を実施した。微小～粗大粒子の粒径分布の観測には OPC (Optical particle counter)を、超微小粒子の粒径分布の観測には SMPS(Scanning mobility particle sizer)を使用した。また、JARE46 ではエアロゾル粒子数濃度・粒径分布の鉛直分布を観測するために、係留気球を用いたエアロゾル観測も Syowa 基地で実施した。

**【結果と考察】** Fig.1 に Syowa 基地で観測された新粒子生成のイベントの一例を示す。生データ（5 分値）では DOY=43.5 頃から数 nm 付近に Nucleation mode ( $D_p < 30\text{nm}$ ) が出現しはじめ、徐々に粒径が大きくなる（粒子成長が進行する）変化が明瞭に観測された。約 1 日かけて <5 nm 程度から 20 nm 程度まで成長しており、粒子の成長速度は約 1 nm/h と推定される。南極大陸上沿岸部に位置する Aboa 基地のエアロゾル観測でも 1~4 nm/h の粒子成長速度が観測されており、Syowa 基地で観測された成長速度と似た値を示していた[Koponen et al., 2003; Virkkula et al., 2007]。Syowa 基地では Fig.1 中の DOY=44.8 前後の様な Nucleation mode がたびたび出現していたが、Fig.1 の様な明瞭な新粒子生成イベントの出現頻度は、観測期間中では 1-2 例/年程度だった。南極沿岸域のエアロゾル前駆物質濃度レベルでは、新粒子 ( $D_p=1\text{nm}$ ) が  $D_p>10\text{nm}$  までに成長するには数時間～数日程度はかかるため[Hara et al., 2010]、DOY=44.8 あたり (Fig.1) に出現するような Nucleation mode は、観測地近傍での新粒子生成ではなく、比較的遠方で粒子生成が起き、ある程度、粒子成長を経た粒子が輸送された結果で出現したと考えられる。大陸上に位置する Aboa 基地で、夏季(1 月のみ)に実施された観測では、新粒子生成イベントの発生率は~10%程度だった[Koponen et al., 2003]。

これまでの南極域でのエアロゾル観



**Figure 1** Short-term variation of size distributions of ultrafine particles in new particle formation event observed at Syowa station, Antarctica. Hourly-mean data was plotted.

測から、エアロゾル前駆物質は海洋生物活動により大気へ放出される DMS とその酸化生成物 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  ガスなど) と考えられている [e.g., Ito et al., 1993]。夏季の南極沿岸海洋上での新粒子生成過程を捉えることを目的として、船上で超微小粒子の粒径分布を行った。Fig.1 の DOY=44.8 あたりの様な  $D_p$ : 10~30 nm の Nucleation mode の出現は確認されたものの、Fig.1 で確認されたような新粒子生成・粒子成長が連続して起こるような事例は確認されなかった。Koponen et al., [2002] による南極周辺海域での船上エアロゾル観測でも、粒子生成イベントは確認されず、ある程度成長した Nucleation mode が出現するのみだった。海洋境界層内は海塩粒子などの既存粒子の数濃度が高い環境であるため、エアロゾル前駆物質が既存粒子に取り込まれやすく、エアロゾル前駆ガス濃度が新粒子生成を起こし得るレベルに達していないことが予想される。Ito [1993] や Pirjora et al. [2000] も、モデル計算から清浄な南極沿岸域では境界層内よりも既存粒子数濃度の低い自由対流圏で新粒子生成が起きている可能性を指摘していた。

Fig.2 に Syowa 基地上空で得られたエアロゾル鉛直分布の一例を示す。地上近傍や境界層内では CN (Condensation nuclei) 濃度 ( $D_p > 10$  nm) が 600-1000  $\text{cm}^{-3}$  だったが、約 1800 m 以上の高度で CN 濃度が 7000  $\text{cm}^{-3}$  以上に達していた。当日は Syowa 周辺で航空機やヘリコプターの運用はなされてはおらず、上空での局所汚染による粒子濃度増加は考えにくい。地上での CN 濃度の連続観測でも、7000  $\text{cm}^{-3}$  のような高 CN 濃度は確認されていない。1800m 以上の高度では既存粒子 (微小~粗大粒子) の数濃度が大きく減少していた。また、他の日に観測された高 CN 濃度層でも既存粒子数濃度は減少していた。既存粒子数濃度が低いほど新粒子生成するために必要なエアロゾル前駆ガス濃度が低くなるため、自由対流圏下部での高 CN 濃度層は新粒子生成により形成されていると考えられる。JARE46 の観測期間中では、新粒子生成によるとみられる高 CN 濃度層は 1 月~3 月中旬までの観測中 (7 回) に 4 例確認された。地上観測や船上観測で得られていた新粒子生成の頻度と比べると、上空での新粒子生成の頻度は極めて高いため、南極沿岸域では主に自由対流圏下部で新粒子生起していることが示唆される。

トラジェクトリー解析と比較すると、高 CN 濃度層が確認された時には海洋域から空気塊が輸送されていたため、これまでの研究から指摘されているように海洋生物活動起源物質が新粒子生成に大きく寄与していることが期待される。しかしながら、海洋境界層内の空気塊が自由対流圏に輸送されるだけでは、粒子数濃度も増加するため、Fig.2 の高 CN 濃度層内の様に既存粒子数濃度が低くなるためには、エアロゾル前駆ガス物質のみを選択的に自由対流圏へ混合・拡散させる過程がなければならない。海水縁付近の開水域上空 (境界層上端付近) には、雲が出ていることが多いため、雲・降水過程により上空では既存のエアロゾル粒子が効率よく除去されている可能性がある。しかしながら、雲過程では  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{SO}_4$  などのエアロゾル前駆ガスも効率よく除去されてしまう。自由対流圏内での新粒子生成過程を理解するためには、海洋表面から放出されたガス成分が自由対流圏へ拡散する過程を理解する事も重要となる。自由対流圏での粒子生成の重要性が示唆されたものの、より定量的に議論を進めるためには、(1)夏季南極沿岸上空での新粒子生成の頻度、(2)沿岸海洋上のエアロゾル分布と新粒子生成、(3)エアロゾル前駆物質の自由対流圏への混合・拡散過程を理解することが重要となっていくだろう。

#### References

- Charlson et al., Nature, 1987, 326, 655. doi:10.1038/326655A0.  
 Hara et al., 南極資料, in press (2010).  
 Ito, Tellus, 45B, 145-159, 1993.  
 Koponen et al., JGR, 107, 4753, doi:10.1029/2002JD002533, 2002.  
 Koponen et al., JGR, 108, 4587, doi:10.1029/2003JD003614, 2003.  
 Pirjora et al., JGR, 105, 26531-26546, 2000.  
 Virkkula et al., Boreal Environ. Res., 12, 397-408, 2007.

謝辞：事前の国内訓練のための協力・貴重な助言をいただいた南極観測事務室室長の方藤氏(当時)、つくば高層気象台観測第一課木村氏(当時)に感謝する。また、係留気球観測を行うに当たり、多くの観測隊員の支援を受けて 1 年間の観測を成し遂げることができた。係留気球観測に関し、平沢氏(極地研)からも貴重な助言をいただいた。この場を借りて深謝する。

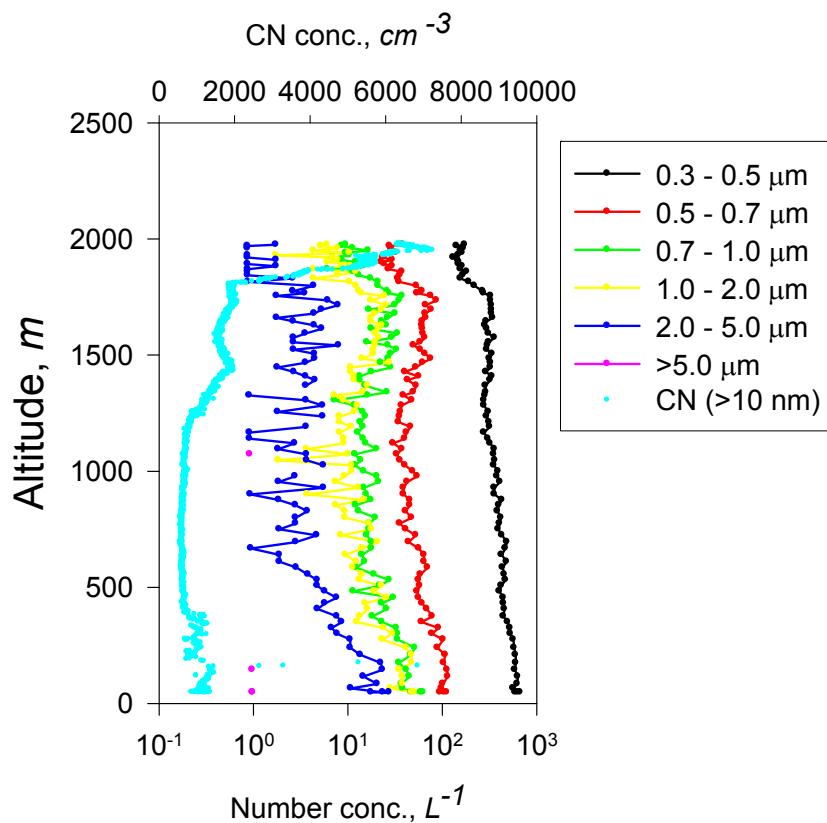


Figure 2 Vertical features of the number concentrations of CN ( $D_p > 10$  nm), fine and coarse particles in ascent flight over Syowa station on 12 February, 2005.