HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大気汚染物質の海洋への輸送 (そのII) : 海上における降水洗浄の観測
Author(s)	村上, 正隆; 遠藤, 辰雄
Citation	環境科学 : 北海道大学大学院環境科学研究科紀要, 4(2), 185-190
Issue Date	1982-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/37115
Type	bulletin (article)
File Information	4(2)_185-190.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

環境科学（北海道大学）	4 (2)	185～190	1981・9月

大気汚染物質の海洋への輸送（その II）

―― 海上における降水洗浄の観測 ――

村上正隆・遠藤辰雄
北海道大学大学院環境科学研究科気象学研究室

Transport of Air Pollutant to the Ocean: Part II

— Observations of Precipitation Scavenging on the Sea —

Masataka Murakami and Tatsuo Endoh
Laboratory of Meteorology, Division of Environmental Structure,
Graduate School of Environmental Science, Hokkaido
University, Sapporo Japan, 060

はじめに

大気中のエーロゾルを除去する機構として降水洗浄が重要視されるようになり，これに関する研究もいくつかなされている。雨の wash-out 効果による大気中のエーロゾル濃度の変化に関しては，Davenport and Peters (1978), Graedel and Franey (1974) などの観測があり，雪の場合には，Magono *et al.* (1974), Graedel and Franey (1975) などの観測がある。しかし，これらはいずれも陸上で観測されたものである。

海洋上におけるエーロゾルの研究も Hogan (1968), Kojima and Sekikawa (1974) など，いくつかあるが降水洗浄を取り扱ったものはほとんどない。海洋上のエーロゾルと陸上のエーロゾルの最も大きな違いの1つは，海洋上では吸湿性に富んだ海塩粒子が多数含まれていることである。又，エーロゾル濃度が低いことも海洋上の特徴の1つである。このよたうに比較的濃度が低く，しかも海塩粒子を数多く含むようなエーロゾルが降水現象に伴って，どのように変化するかは興味ある問題である。

今回，定期カーフェリーを利用して海上での観測をしたなかで，降雨と海霧に遭遇した。これらの気象現象に伴う巨大海塩粒子と凝結核濃度の変化に関して，2, 3 の知見を得たので報告する。

観測方法

凝結核濃度と巨大海塩粒子濃度の測定は自船の排気の影響をさける為に，ブリッヂの上で行なった。この他に，気温，相対湿度，船に対する相対風向も同時に観測した。これらの測定は1時間毎に行ない，これは距離に換算すると，航路に沿って約 40 km 毎に相当する。

凝結核濃度の測定には photo-electric-counter 方式のガードナー社の Small-Particle-Detector を低濃度用に改良したもの (Hogan *et al.*, 1975) を使用した。測定の際には過飽和度を 525, 200, 50, 10, 1% の5段階に変えて過飽和度スペクトラムを求めた。更に Rich (1966) の考案した Diffusion-Denuder を併用して，

1981年7月17日受理
Received 17 Jul. 1981

凝結核を大 ($4\times10^{-6}\,\mu m<r<1\times10^{-5}\,\mu m$) 中 ($1.5\times10^{-6}\,\mu m<r<4\times10^{-6}\,\mu m$) 小 ($1\times10^{-7}\,\mu m<r<1.5\times10^{-6}\,\mu m$) の三段階の粒径に分けて，それぞれの濃度も測定した (遠藤・村上, 1981)。ただし，これは大体の目安であって正確にそれぞれの粒径範囲に存在する粒子の濃度を示すものではない。巨大海塩粒子濃度は Toba and Tanaka (1967) の手動式インパクター法により測定した。又，海霧の中では，霧粒をウォーターブルーを塗ったフィルム上に手動式インパクターで採集し，その数濃度を求めた (Okita, 1959)。

観測結果

観測は苫小牧・名古屋間の定期カーフェリー上で，1977年6月21日から23日までと，24日から26日までの一往復について行った。航路は遠藤・村上 (1981) の Fig. 1 に示されている。往路に関しては曇り，又は晴れの天気が続いたが，復路に関しては Fig. 1 に示すように太平洋岸を前線に沿って北東に進む低気圧の影響を受けて最初から強い雨が降り続いた。この雨が半日余り続いた後，一時止んだが，数時間後には，今度は時々霧雨を伴う海霧に遭遇し，半日余りその状態の中を測定した。

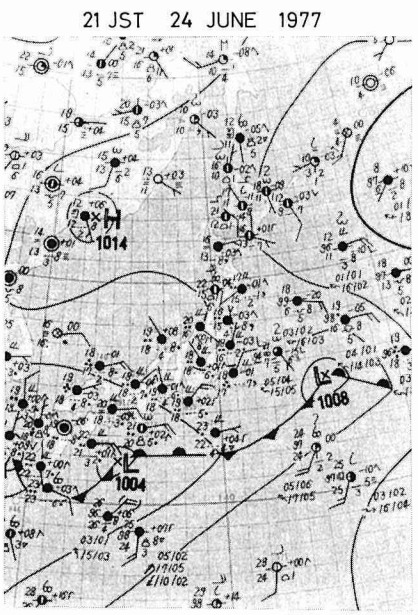

Fig. 1. Surface weather chart June 24, 2100 JST, 1977.

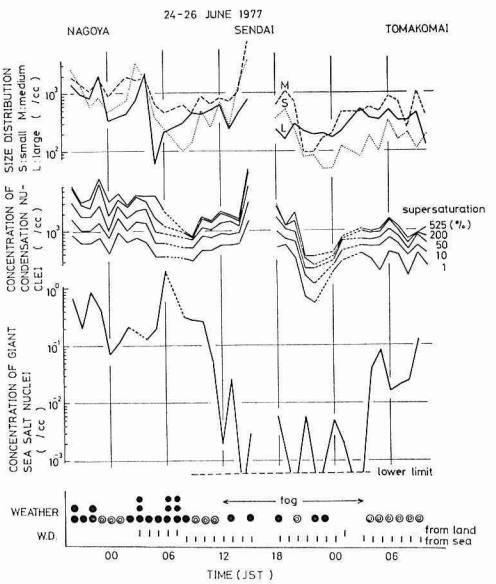

Fig. 2. Changes in the concentrations of condensation nuclei in three degrees of size and in five degrees of supersaturation and giant sea-salt particles measured along the course B.

航路 B (復路) に沿った凝結核の各過飽和度毎の濃度と，大・中・小の粒径別濃度，それと巨大海塩粒子濃度の変化を Fig. 2 に示す。●印は雨を示すが，●印一つの場合は弱い降雨，二つの場合は中程度の降雨，三つの場合は強い降雨を示す。復路は降雨・海霧と気象擾乱による変動が含まれているのに対して往路〔遠藤・村上 (1981) の Fig. 4 を参照〕は気象擾乱を伴わない場合の代表的状態を示しているものと考えられる。

(i) 海霧に伴う変化

6月25日12時から26日03時まで海霧に遭遇した。この時の霧粒の数濃度は 10^1～10^2 個/cc であった。海霧に伴う変化で最も顕著なものは，巨大海塩粒子濃度の急激な減少であった。通常，10^{-1} 個/cc と 10^0 個/cc の間で，平均 3×10^{-1} 個/cc 程度の巨大海塩粒子濃度が 10^{-3} 個/cc 以下と 2～3 桁も減少した。尚，Fig. 2 の下

方の lower limit とは，採集した最大 1600 cc の空気の中に 1 個の巨大海塩粒子も見出せなかったことを意味する。又，海霧の中では凝結核濃度も通常の 1,000 個/cc の半分以下に減少している。各過飽和度毎の凝結核濃度について見みると，1% の過飽和度で活性化する凝結核濃度が減少している。この時，凝結核の粒径別濃度では，仙台の影響の強いところを除くと，小又は中の粒径のものが大のものに較べて減少している。特に中粒子の減少が顕著である。海霧が濃かった 25 日 21 時から 22 時までの平均的粒径分布と，海霧の外へ出た 26 日 03 時から 05 時までの平均的粒径分布を示したのが Fig. 3 である。これから，海霧の外では小粒子だけが他の 2 つの粒径に較べて濃度が著しく低くいのに対して，海霧の中では小粒子だけではなく中粒子も低濃度になっていて，粒径分布が明らかに異なっていることがわかる。

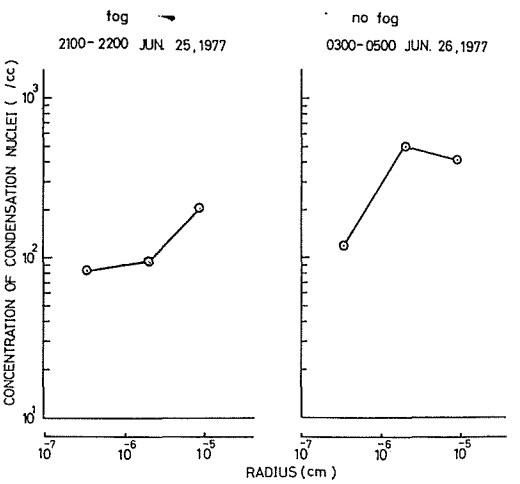

Fig. 3. Mean size distributions of condensation nuclei measured along the course B: in sea fog (left) and out of sea fog (right).

(ii) 降雨に伴う変化

6 月 24 日 17 時から 25 日 08 時にかけて低気圧に伴う激しい風雨の中を観測した。フェリーの航路のうち，この時間に相当する部分では大きな工業都市や付近を航行する多数の船舶などの影響が大きく，測定した項目の大半が，気象現象に伴う変化といった詳細な議論には不適当であると思われる。従って，ここでは，それらの影響を比較的受けてないと考えられる巨大海塩粒子の濃度変化だけを取り扱うことにする。

降雨時に巨大海塩粒子濃度は，通常の 3×10^{-1} 個/cc よりも高くなり，しばしば 10^{0} 個/cc を越える値となった。又，降雨強度と巨大海塩粒子濃度はほぼ対応し，強い降雨の時に巨大海塩粒子濃度も増加して，10^{0} 個/cc 程度の大きな値になっている。

考　　察

海霧の中では，凝結核の粒径分布で，小粒子と中粒子の減少が顕著であった。しかし，このような粒径分布の変化は，海霧によるのではなく，単に凝結核濃度が 400～500 個/cc の清浄な海からの風の中でも観測される可能性が考えられる。それを確かめる為に，ほぼ同じ場所の三陸沿岸で海霧を伴わない 22 日 04 時から 05 時までの平均値をとり，海霧の場合と比較したのが Fig. 4 である。Fig. 4 の上方の地図で矢印で示した部分は観測した地域を示す。いずれの場合も風は海から陸に向かって吹いていた。この図からも単に海から来た清浄な空気の中と，海霧の中とでは凝結核の粒径分布が異なることがわかる。今回の観測で得られたデータに関する限り，海からの清浄な風の場合は Fig. 4 の下方右側や Fig. 3 の右側に示したように，大・中粒子に較べて小粒子濃度が著しく低い分布となった。以上のことから，海霧の影響により Fig. 3 の左側に示したような粒径分布となったものと考えられる。

霧粒，粒径別の凝結核，巨大海塩粒子について海霧の外での値と，海霧の外と中での濃度差をまとめたのが Table 1 である。海霧の濃い所では，平均すると雲粒の数濃度は 70 個/cc であった。又，凝結核については大・中・小粒子の濃度の減少量は，それぞれ 200 個/cc，500 個/cc，100 個/cc であった。巨大海塩粒子濃度の減少量は 10^{-1} 個/cc であった。この巨大海塩粒子と，凝結核のうちの粒径が大きく吸湿性のものは霧粒の核として rain-out されたものと考えられる。これは過飽和度スペクトラムで，過飽和度 1% で活性化する凝結

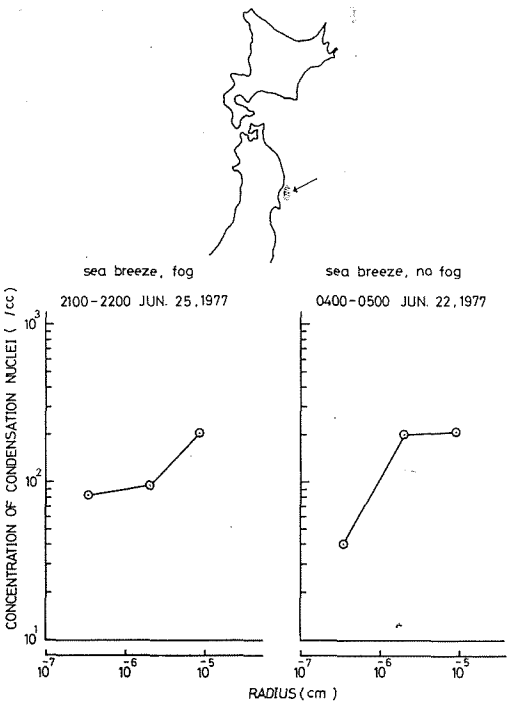

Fig. 4. Mean size distributions of condensation nuclei measured in the clean maritime air of several hundreds particles/cc: with sea fog (lower left) and without sea fog (lower right). Upper chart shows the observation area.

Table 1. Differences in the concentrations of sea fog droplets, condensation nuclei and giant sea-salt particles between in sea fog and out of sea fog

	N_{out}	$N_{in}-N_{out}$
fog droplets		+ 70/cc
C.N. large	400/cc	−200/cc
medium	600/cc	−500/cc
small	200/cc	−100/cc
G.S.S.P.	1×10^{-1}/cc	-1×10^{-1}/cc

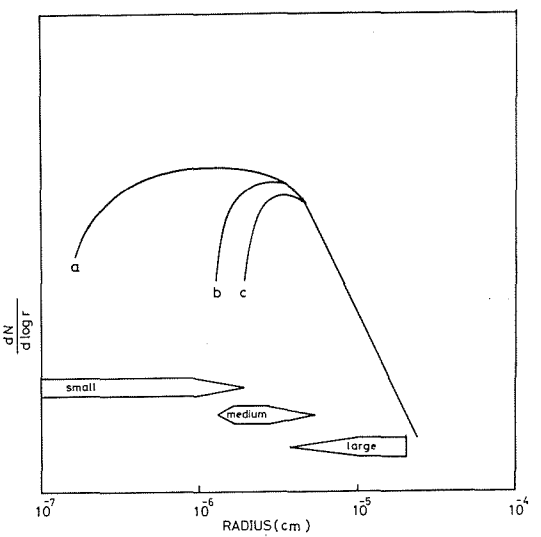

Fig. 5. Schematic diagram of change in size distribution of condensation nuclei. Size distributions of aerosols at the initial time a, after coagulation b and after coagulation and rain-out c.

核が海霧の中で著しく減少していることに符合する。一方，凝結核のうち小・中粒子はブラウン運動などによって霧粒の表面に付着したものと考えられる。

一般に，ブラウン運動などによる粒子の付着は粒径の小さいものほど効率が良いと考えられているが，中粒子の方が小粒子より著しい減少を示した理由は次のように考えられる。海霧が発生する前に凝結核の粒径分布が凝集作用によって Fig. 5 の a から b に変化しており，海霧による b から c への変化は小粒子領域よりも中粒子領域で顕著に現われる為と考えられる。

降雨の時に，巨大海塩粒子濃度の増加がみられた。これは雨滴が海面に衝突する際に，海水飛沫が多数発生する為と考えられる。このような降雨による巨大海塩粒子濃度の増加は，阿部・阿部 (1974) によっても観測されている。しかし，降雨時には風も強かったので波浪により白波が生じ，その白波を構成する多数の気泡が破裂する際に生成される微水滴によっても巨大海塩粒子濃度が増加することが考えられる。この2つの効果を区別するのは困難である。

これとは逆に，降雨による wash-out 効果で巨大海塩粒子濃度の減少も期待されるが，それ以上に，上で述べたような巨大海塩粒子の生成があったものと考えられる。このことから，巨大海塩粒子の除去に関する限り，降雨による wash-out 効果は，海上では顕著でないものと思われる。

ま と め

海上において，海霧と降雨に伴う巨大海塩粒子濃度と凝結核濃度の変化を観測し，次のような知見を得た。

海霧の中では巨大海塩粒子濃度が激減し，ほとんど皆無となった。凝結核に関しては，粒径の小さい方の粒子が減少した。これから，海霧は主に海塩粒子を核として，急速に成長し，更に，粒径の小さな粒子を霧粒表面に付着させ rain-out してしまうものと考えられ，海上における有効なエーロゾル除去機構の1つとみなされる。

降雨時には，巨大海塩粒子濃度の増加が見られた。従って，巨大海塩粒子に関する限り，降雨による wash-out 効果よりも，雨滴が海面に衝突するときの海塩粒子生成の効果の方が大きくなるものと考えられる。

謝 辞

観測の際には，太平洋沿海フェリー株式会社の方々より好意的な御協力を戴いた。また，研究費は文部省科学研究費補助金（特定研究「海洋環境保全の基礎的研究」課題番号 210504）によった。研究代表者の東京大学海洋研究所，浅井冨雄教授の御指導と御援助を戴いた。これらに対して，著者らは心からの感謝の意を表す。

文 献

阿部豊雄・阿部友三郎 (1974): 洋上下層大気中における海塩微粒子の挙動について. —流跡線解析— 天気, **21**, 89–96.

Davenport, H. M. and L. K. Peters (1978): Field studies of atmospheric particulate concentration changes during precipitation. Atmosheric Environment, **12**, 997–1008.

遠藤辰雄・村上正隆 (1981): 大気汚染物質の海洋への輸送 (その 1). —日本列島北東部太平洋沿岸海上の凝結核と巨大海塩粒子の測定— 環境科学, **4**, 173–183.

Graedel, T. E. and J. P. Franey (1974): Field measurements of submicron aerosol washout by rain. Precipitation Scavenging-1974 ERDA Symposium Series 41.

Graedel, T. E. and J. P. Franey (1975): Field measurements of submicron aerosol washout by snow. Geophys. Res. Lett., **2**, 325–328.

Hogan, A. W. (1968): Experiments with Aitken counters in maritime atmospheres. J. Rech. Atmos., **3**, 53–57.

Hogan, A. W., W. Winters and G. Gardner (1975): A portable aerosol detector of high sensitivity. J. Appl. Meteor., **14**, 39–45.

Kojima, H. and T. Sekikawa (1974): Some characteristics of background aerosols over the Pacific Ocean. J. Meteor. Soc. Japan, **52**, 449–505.

Magono, C., T. Endoh, T. Harimaya and S. Kubota (1974): A measurement of scavenging effect of falling snow crystals on the aerosol concentration. J. Meteor. Soc. Japan, **52**, 407–416.

Okita, T. (1959): Water-blue film method for measurement of cloud and fog droplets. J. Meteor. Soc. Japan, **37**, 42–43.

Rich, T. A. (1966): Apparatus and method for measuring the size of aerosols. J. Rech. Atmos., **2**, 79–86.

Toba, Y. and M. Tanaka (1967): Sample technique for the measurement of giant sea-salt particles by use of a hand-operated impactor and a chloride reagent film. Special Cont. Geoph. Inst. Kyoto Univ., **7**, 111–118.

Summary

The concentration and the size distribution of condensation nuclei and the concentration of the giant sea-salt particles were measured during a rainfall and sea fog on the sea. The varia-

tions of these parameters accompanied by such meteorological phenomena were studied and the following results were obtained.

In a sea fog, the concentration of the giant sea-salt particles decreased dramatically by two or three orders. As for the condensation nuclei, it was seen that the concentration of small size particles decreased. The former may be attributed to the consumption of sea fog nuclei and the latter may be attributed to the attachment to sea fog droplets by Brownian motion.

During the rainfall, the concentration of giant sea-salt particles increased and that of large size particles out of condensation nuclei decreased. The splashes, which are produced when the rain drops collide with the sea surface, may be considered to increase the concentration of giant sea-salt particles.