



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	本州北東部の太平洋側沿岸海上におけるエイトケン核と巨大海塩粒子の測定
Author(s)	遠藤, 辰雄; ENDOH, Tatsuo; 菊地, 勝弘 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 37, 9-18
Issue Date	1978-03-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.37.9
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14073
Type	departmental bulletin paper
File Information	37_p9-18.pdf



本州北東部の大平洋側沿岸海上における エイトケン核と巨大海塩粒子の測定

遠藤 辰雄・菊地 勝弘
北海道大学理学部地球物理学教室
(昭和52年9月26日受理)

Measurements of Aitken Nuclei and Giant Sea Salt Particles Collected along the North-eastern Pacific Sea Coast of Honshu

By TATSUO ENDOH and KATSUHIRO KIKUCHI
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University
(Received September 26, 1977)

Measurements of Aitken nuclei concentration were made using Gardner counter in several degrees of supersaturation and giant sea salt particles were collected by impactor method from a car ferry running between Tomakomai and Sendai on Dec. 14, 15 and 18, 19 in 1975.

Under a moderate monsoon wind a negative correlation was seen between the concentration of Aitken nuclei and giant sea salt particles. However under a strong wind, such a correlation was not observed.

It may be noted that the ratio of hygroscopic nuclei to nonhygroscopic nuclei which was determined by the supersaturation spectrum of Aitken nuclei showed a positive correlation with the concentration of giant sea salt particles.

These results seem to show that a considerable part of sea salt particles are of a smaller size than the giant sea salt particles and are found in the size range of Aitken nuclei.

Further, it was observed that under a cloud band and during snowfall, respectively, the concentration of Aitken nuclei was smaller than those observed on different point.

I. ま え が き

大気中に放出された汚染物質は、結局その多くが海洋へ降下すると考えられる。海洋を保全するためにも、これらの過程を調べる必要がある。

海上へ流出したエアロゾルが減少消滅する過程として一般に次のように考えられている。それらはまず、混合又は三次元的渦動拡散により稀釈されること、また粒子間の拡散吸着又は併合による数密度の減少、さらにその結果生ずる粒径の粗大化がもたらす粒子の沈澱又は降下が挙げら

れる。また降水現象によって rain out 及び wash out され、その数密度が著しく減少すると考えられている。この効果は特に海上に限られたことではなく陸上においても考えられることであるが、これに対して、海上において特に期待される効果として海塩粒子との相互作用が挙げられる。海上へ流出したエアロゾルは海面附近に常に浮遊している海塩粒子と遭遇する。そこで海塩粒子の数密度は粒径の極小さいものまで含めるとエイトケン核の数密度と同じオーダーと推定されるので、それらの相互作用は充分有意に起ると期待される。

従って相互の拡散吸着及び併合により、陸起源のエアロゾルはその数が減少していき、やがて消失する。さらに海塩粒子は周囲の水蒸気の多少によって成長又は蒸発するため、その際に降水粒子と同様に周囲のエアロゾルを wash out することが考えられる。

結局、いったん海塩粒子に附着したものは、その後は海塩粒子として挙動するため、海面からの水蒸気の供給の多いときには粒径が大きくなって沈降が進み海面へと消失してしまうと考えられる。

本研究は上述の徴候を探索するために予備的な観測を行ったものである。その結果二三の知見を得たので報告する。

II. 測定方法

エイトケン核の測定には先に Endow and Magono (1971) が使用した photo-electric counter 型式で携帯できる Gardner 社の small particle detector (Type-CN) を用いた。これを detent, 5 の位置 (測定粒径範囲 10^{-7} cm から 10^{-5} cm まで) に固定し、さらに毎回水銀柱 26 インチ、と 20 インチ、10 インチ、5 インチ、2 インチ、1 インチの 5 段階の減圧にして断熱膨張させた。これらは夫々過飽和度で 525%、200%、50%、10%、1% に相当すると算出され、これに対するエイトケン核の濃度のスペクトラムを求めた。海塩粒子は Toba and Tanaka (1968) によるインパクト法を用いた。これによると浮遊しているときの粒径が $0.5\mu\text{m}$ 以上の粒子に限られるので、いわゆる巨大海塩粒子を測定していることに相当する。その他にアスマン式通風乾湿計にて相対湿度を測定した。

観測は苫小牧から三陸沿岸を経て仙台に至る定期カーフェリーの上で、1975 年 12 月 14, 15 日及び 18, 19 日の一往復で行った。測定は 1 時間毎に行い、それらは海上に於ける約 40 km 毎の観測に相当する。

III. 測定結果

各一時間毎に観測した位置とコースは Fig. 1. に示すとうりである。図の×印と●印は夫々 1975 年 12 月 14, 15 日のものと 18, 19 日のコースに沿った観測点である。いずれの場合も海岸から約 10 km 程離れていることが大部分で最大で 50 km までであった。

観測期間中は冬型の季節風が卓越し、西ないし北西の風向で観測コースに対しては海岸から沖へ流れるものであった。

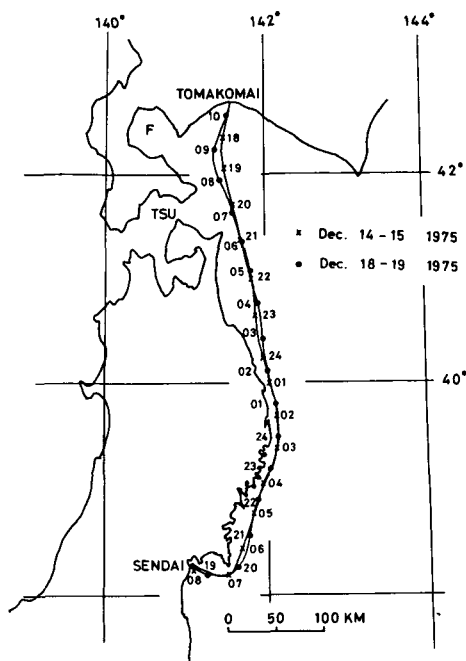


Fig. 1 Observation point and time (LST).
 cross; Dec. 14-15, 1975.
 solid circle; Dec. 18-19, 1975.

測定した結果は Fig. 2., Fig. 3. に示す通りである。図の横軸は測定時刻を示すが、コースに沿った水平位置に相当するとみることができる。図の最上段の○印に破線は巨大海塩粒子の数密度であり、その値は右の縦軸に従う。中段の●印に実線はエイトケン核の濃度で5種類の折線は上から順に凝結させるときの過飽和度を夫々525%, 200%, 50%, 10%, 1%にして得た値で、それらは左の縦軸に従う。下段は相対湿度を示す。

Fig. 2. の1975年12月14日17時に苫小牧を出発してからの変化をみると、港を離れるにつれてエイトケン核が急速に減少するのがみられる。しかし18時には再び増加していた。それは、この位置の風上約40 kmにある工業地帯(室蘭市)の影響と思われる。19時には再び下り、この観測期間中で最も低い値を記録した。その値はエイトケン核(過飽和度525%の曲線)の数密度が170個/ccであ

り、更に低い過飽和度による値は読みとりの限界を下まわった。このときの観測点の風上には津軽海峡があり海がひらけている。20時30分には降雪がみられた。その後は仙台へ進むにつれてエイトケン核は増加していく傾向がみられた。一方、巨大海塩粒子はこれらエイトケン核の変化と逆の傾向がみられた。

Fig. 3. の場合は19日08時30分のサテライトの写真から7時と9時の位置に cloud band が対応していることがみとめられた。そのときのエイトケン核の数密度の値は、共にその前後に比べて低くなっているのがみとめられた。この二点は、その前後の観測点に比べると海岸からの距離がより離れていることが共通している。

また03時30分にも降雪がみられた。そのときのエイトケン核の値も周囲に比べ低くなっているのが注目される。

Fig. 2. 及び Fig. 3. では、どちらも港から出るとき又は入るときのエイトケン核の変化が2~3ケタに及ぶのがみられるが、Fig. 3. の18時からほぼ19時の間の変化を詳細に測定したのが Fig. 4. である。図の横軸は時刻であるが、船速がほぼ一定であるので、仙台港からの航跡に沿った距離に相当する。縦軸はエイトケン核の数密度である。図によると、港から5~6 kmまでは一定で港での値が維持されているが、その後10 kmほど進むと、海上における値の $3 \sim 7 \times 10^2$ コ/cm³ に達しているのがみられる。

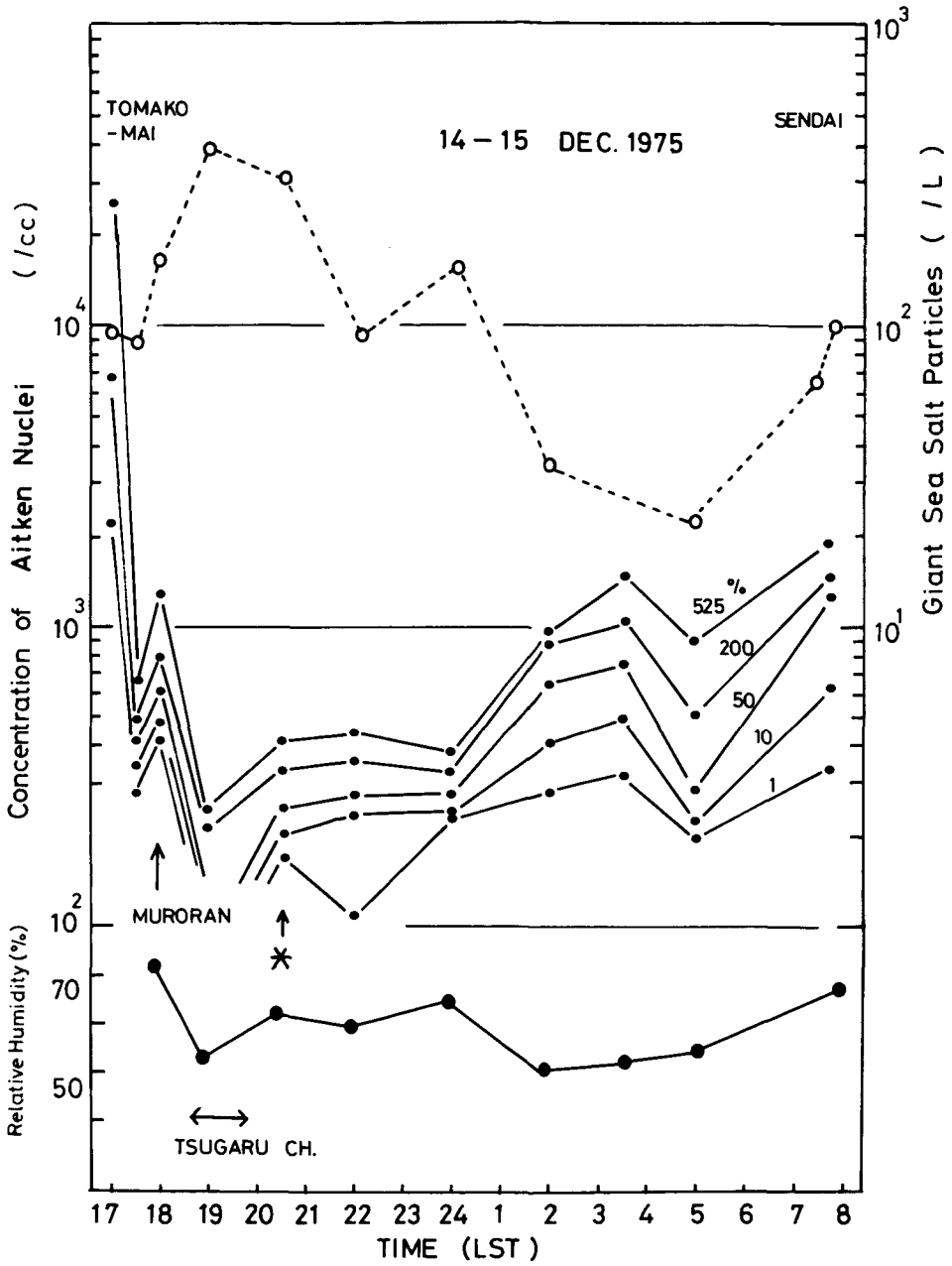


Fig. 2 Observed values of concentrations of giant sea salt particles (upper), concentrations of Aitken nuclei in a series of five degrees (%) of supersaturation (middle) and relative humidity (lower). abscissa; observation point and time (cf. Fig. 1.).

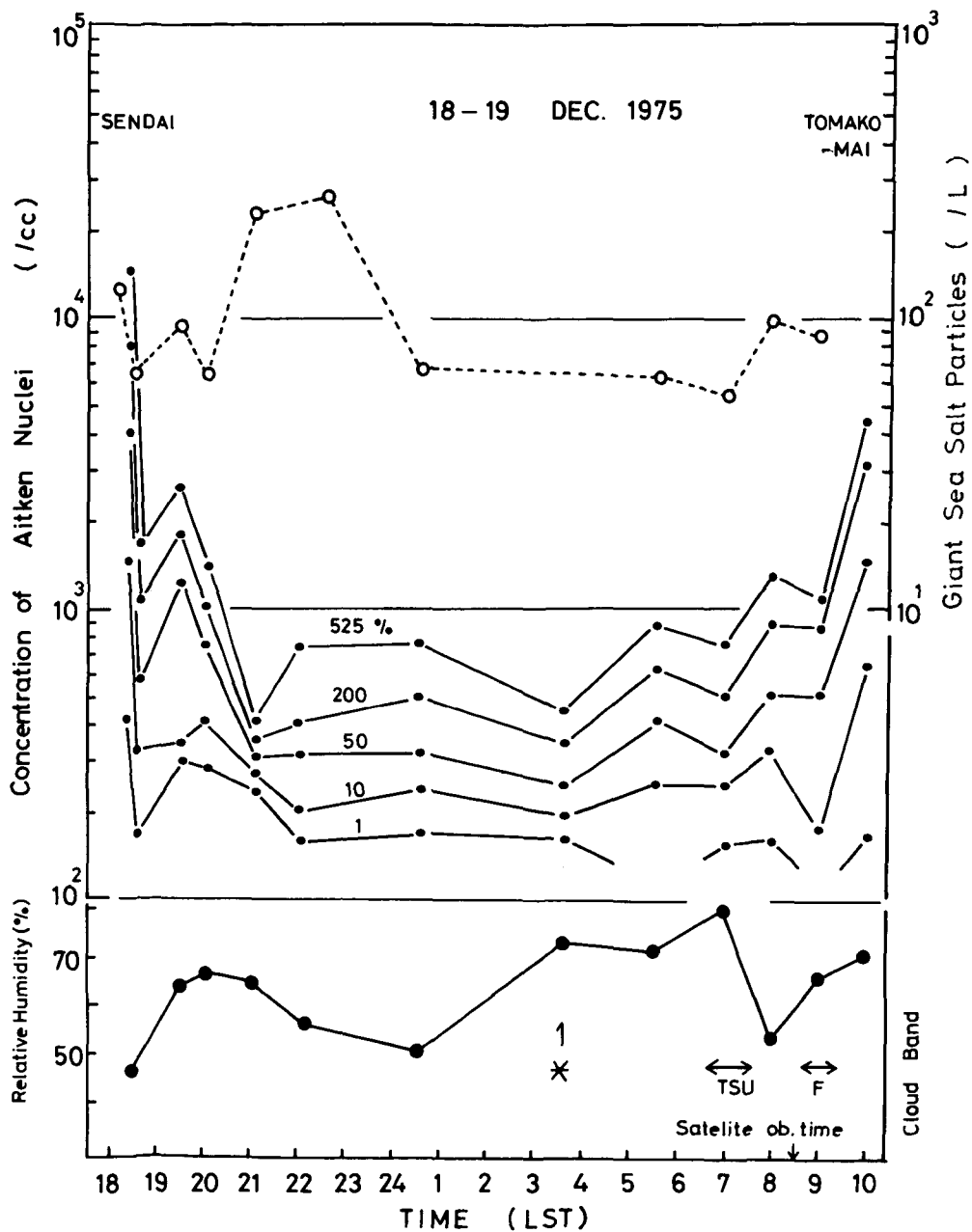


Fig. 3 Observed values of concentrations of giant sea salt particles (upper), concentrations of Aitken nuclei in a series of five degrees (%) of supersaturation (middle) and relative humidity (lower). abscissa; observation point and time (cf. Fig. 1.)

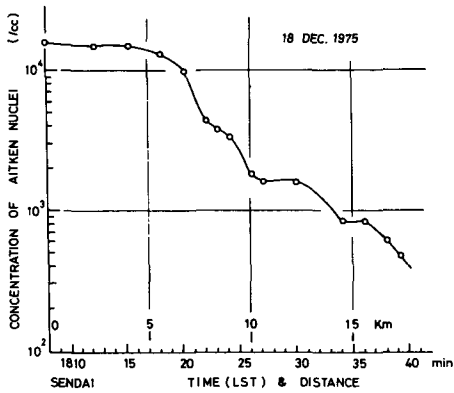


Fig. 4 Time and distance variations of concentrations of Aitken nuclei just after the departure from Sendai.

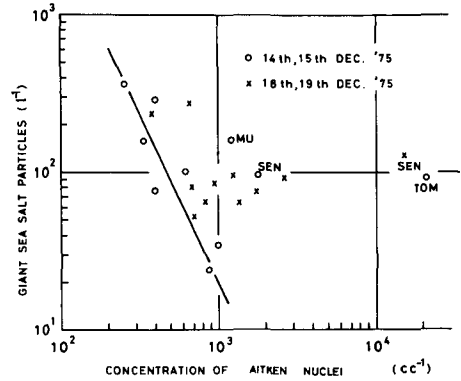


Fig. 5 Correlation of concentrations between giant sea salt particles and Aitken nuclei.

IV. 解析と考察

巨大海塩粒子とエイトケン核の濃度の相関を Fig. 5. に示す。図の○印と×印は夫々 Fig. 2. と Fig. 3. のものである。これらの点群はかなり分散している。特に図中の座標 (1.5×10^4 個/cc, 1.4×10^2 個/l) の×印と (2×10^4 個/cc, 0.9×10^2 個/l) の○印の2点は夫々仙台及び苫小牧の港に近く、エイトケン核のみが独立に高い濃度であるために他の傾向からずれていると考えられる。そこでこれらに夫々 SEN, と TOM と添記し、さらに室蘭によるものに MU と記して、これらを除外してみると○印の集まりに対しては図の実線で代表することができる。これは双方の間に逆相関があることを示す。×印についてはかなり分散しており相関はみとめがたい。先の逆相関に対しては次のように考えることができる。陸からの大気は高濃度の人工的なエイトケン核を含み巨大海塩粒子はほとんど含んでいない。一方、海上の大気はほぼ一様に海塩粒子を含むが逆にエイトケン核については、その濃度は陸に比べて低い。そこで陸の大気が海上へ流出すると、海上の大気と混合がおこる。この混合距離が増加するにつれてエイトケン核濃度は稀釈される。また発生後まもない高濃度のエイトケン核は一般に粒径が $10^{-7} \sim 10^{-6}$ cm と小さく、そのため急速に併合、粗大化が進みその数密度は時間とともに減少する。このことがエイトケン核が海岸から離れるにつれて減少する主な原因と考えられている。

一方、巨大海塩粒子は陸からの大気で稀釈されるが、海岸からの距離が短い程稀釈の効果が大きい。従って、巨大海塩粒子は海岸からの距離が離れるにつれて増加し、エイトケン核は、これとは独立に減少する性質があるため、見かけの上で双方には逆相関があると考えることができる。しかし一方では、次のようにみることもできる。巨大海塩粒子が陸からの空気で稀釈されているのがみられる領域は陸起源空気と海洋起源空気が接触及び混在しているところであり、その

ところでエイトケン核の大部分が有意に減少していることは事実である。しかし、そこでエイトケン核が巨大海塩核にとられるためということは決められないが、その可能性は期待できる。

18, 19日の例には、このような逆相関はみられない。それは人工衛星からの写真による両方の観測期間について共に北西季節風の寒気の吹き出しのパターンである。しかしその海域の雲列を比べると14, 15日の方が列が多少淀んでいるのに対し、18, 19日の方は極めて整った帯状となっていることがわかる。このことから18, 19日の方が気流が速いことがわかり、そのため風が強し海岸の波打ち際での海塩粒子の発生が盛んであったとみることができ、そのためFig. 5. では18, 19日の×印の方は 5×10^1 個/1を下まわるものではなく一様に高くなっているのがみられる。その上(10^3 個/cc, 3×10^1 個/1)の点の近くのもの(10^3 個/cc, 9×10^1 個/1)へ縦軸にそって持ち上げられたため、×印の群は逆相関からはづれたと説明することができる。

Blanchard and Syzdek (1972) にも、同様な比較をしているが、彼らの結果では相関はみられていなかった。そこでこの逆相関は主に一様な陸からの吹き出しがあって、その風速が適当に弱いときにのみ現れるものと考えられる。

また双方の共存する数密度を比較するため、これらの点群のほゞ重心をみると、巨大海塩粒子とエイトケン核の値は夫々 10^{-1} 個/ccと 10^3 個/ccで、約4ケタの差がある。この巨大海塩粒子はインパクターにより採集しているので浮遊中の粒径は約 $0.5\mu\text{m}$ 以上のものに限られている。これより小さいものについても、海塩粒子の生成過程を考えると相当の数の存在が期待される。そしてそれらは粒径が小さいことからエイトケン核として測定されるものに含まれているはずである。エイトケン核は5段階の過飽和度で測定しスペクトラムをとってあるので、その効果を調べることができる。それによると過飽和度の低い方で出てくるものは、それより高い過飽和度で出てくるものに比べ、核になりやすい性質がより強いといえる。一方、過飽和度の高い方で出てくるものは、先に比べ核になりにくい性質のものである。この核になりやすい性質とは含まれる粒子が吸湿性が高いこと又は粒径が大きいことに対応し、核になりにくい性質は粒子が非吸湿性であるかあるいはその粒径が小さいものに夫々対応する。実際にはそれらの性質をもつ粒子の含まれる程度が反映されると考えられる。この後者に対する前者の比は、測定されたエイトケン核の中で吸湿性粒子又は比較的粒径の大きいものの占る程度を示すと考えられる。そこでこの比と巨大海塩粒子の数密度との間の相関を調べてみた。その結果はFig. 6. に示す。図の横軸は凝結しにくいものに対する凝結しやすいものの比を示す。つまり吸湿性のもの又は粒径の大きいものが含まれる程度に対応する。実際には、過飽和度50%以上525%までの間で凝結するエイトケン核に対して過飽和度1%までで凝結するものの比を用いた。縦軸は巨大海塩粒子の濃度である。また夫々の○印に添えた2ケタの数値は、そのときの相対湿度を百分率で示したものである。全体的には実線で示すような弱い正相関がみられる。このことから巨大海塩粒子は吸湿性粒子であることを考えると、横軸に示した比の意味は粒径の大小よりは吸湿性の程度の方により直接的に関係すると考えることが出来る。したがって巨大海塩粒子の多少はエイトケン核として測定されるような粒径の小さいものの中での吸湿性の粒子の多少とその方向が一致することを示している。この

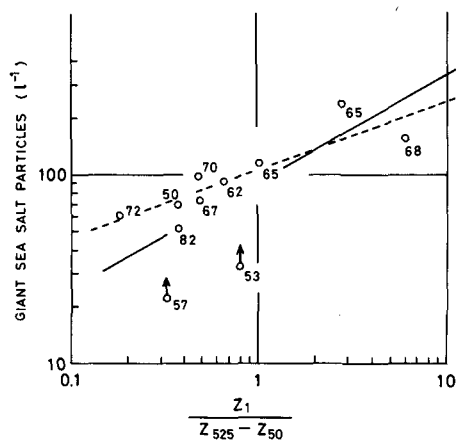


Fig. 6 Correlation between concentrations of giant sea salt particles and $Z_1/(Z_{525}-Z_{50})$; ratio of hygroscopic particles to non-hygroscopic particles in Aitken nuclei or ratio of larger size particles to smaller size particles in Aitken nuclei, where Z_1 , Z_{50} and Z_{525} show concentrations of Aitken nuclei measured in supersaturation of 1 %, 50 % and 525 % respectively.

件がそろえば、この破線に近づく向きにある。この図の横軸の意味は上記のような吸湿性の程度他に、もう一方では粒径の大小の程度をあらわすと考えることができる。それによると、この結果は、巨大海塩粒子として測定されたものが多いときには、エイトケン核として測定されたものの粒径が比較的大きいものばかりであったといえる。ここで測定されたエイトケン核が比較的凝結しやすいものから成っているという原因が吸湿性であるためか又は粒径が大ききことによるかは、この測定だけでは区別することはできない。しかし、このエイトケン核の粒径分布の上の方に隣接して存在する巨大海塩粒子が、その数が多いこと、及びその性質が吸湿性であることを考えると、上述の二つの性質のいずれか一方のみの原因によることはエイトケン核と巨大海塩粒子の存在の接続において、その粒径分布や性質に関して極端な不連続なものを考えなければならなくなる。そのような場合はあまり現実的とは思われない。したがって結果的には、巨大海塩粒子が多く存在するときには、エイトケン核に含まれる粒子は吸湿性のものが多くなり、その粒径はそれらの中で比較的大きい方に偏って存在すると考えることができる。このことは他の方法で実測されているがエイトケン核数密度の過飽和度に対するスペクトラムから推定した例は外にみないので報告する。Radke, Hobbs and Pinnos (1976) らは flame photometer で Na を含む粒子を相当粒径で $0.06\mu\text{m}$ まで測定しその粒径分布を求めた。

その結果この粒径範囲で小さいもの程多くなることを示している。小野 (1976) は南鳥島にお

ことから実際的大海塩粒子(巨大のみでない)の粒径分布はインパクターで採集される粒径の下限よりもさらに小さい、エイトケン核として測られる粒径にまで及んでいると考えることができる。この考に従うとさらに次のことがいえる。これらの粒子の粒径は湿度に敏感にその粒径分布が移動すると考えられる。図の↑印のついた二例は相対湿度が53%と57%で、他の例に比べ乾いた状態のときの値であるが、そのときの巨大海塩粒子の濃度は他に比べ低い値であることが注目される。これは乾いているため粒径分布が小さい方へ寄っていて、巨大海塩粒子としてインパクターで測られる程大きな粒径のものが少く現れてくる結果と考えられる。若しこれらが他の例と同じように相対湿度が70%台であれば、図の中で↑印のように上向きの方向へ移動するはづのものであるといえる。そこでこの二つの例を除いて残りの点群についてみると図の破線で代表できるように、より直線的に収束してくる。しかも除いた二例も、湿度の条

いて海洋気団の大気を静電サンプラーで採集して試薬薄膜・蒸気法にて処理し電子顕微鏡で調べた結果、サブミクロンサイズで海洋起源と陸起源のものが夫々27%と73%の割合で存在していることを報告している。

このことから海上で測定されるエイトケン核の中に相当の割合の海塩粒子が含まれており、その数密度は陸起源のエアロゾルとほぼ同じオーダで共存しているとみられる。したがって陸起源のエアロゾルが海塩粒子と相互作用を起こすことは十分に期待され、さらにその過程が陸起源のエアロゾルが海洋上で消失していく上で重要な役割を演ずるものと考えられる。

人工衛星からの写真によって雲列がみとめられるところで、降雪がないにもかかわらず、エイトケン核の減少がみられる例があった。この原因として次のことが考えられる。これらの雲列は、大陸からの寒気の吹き出しによる北西からの季節風によって生ずる収束雲に対応しているとみなされる。Fig. 3. に TS と F と示したものは夫々津軽海峡と噴火湾を通して大平洋へ流れ出る気流と観測点が交差した時点を示す。またその位置は Fig. 1. にも略記号で TS と F で示してある。山崎、孫野 (1968) のモデル実験から考えると、この雲列はいずれも地形性の収束気流にあたり、その軸に沿って上昇流又は対流が起こる結果、帯状の雲列になると考えられる。それによるとこれらの雲列の直下では大気は対流的でエアロゾルの垂直拡散が大きいと考えられる。その結果これらの海上でのエアロゾルの濃度は低くなっていると考えられる。さらにこれらの観測点ではいずれの場合もその風上側に広い海面が開放しており海岸からの距離が離れているため他の点に比べエイトケン核の濃度が低くなることも考えられる。

IV. 結 語

沿岸海上で測定したエイトケン核と巨大海塩粒子の数密度の間には比較的弱い陸からの風のとき逆の相関がみられた。しかし風の強いときはその相関はくずれて分散していた。この逆相関は双方の独立性により、必然的にみられたともいえるが、エイトケン核が陸から流れて来て、その空気により巨大海塩粒子が顕著に稀釈される領域でそれ自身の濃度が減少していることは事実であり、そこで双方の間に相互作用がある可能性を暗示している。

また過飽和度のスペクトラムからエイトケン核に含まれる吸湿性核の程度と巨大海塩粒子の濃度の間の相関をとったところ、それらの間には正の相関がみられた。このことは巨大海塩粒子として検出されないような粒径の小さい海塩粒子が相当共存し、それらはエイトケン核の粒径の大の方に及んでいることを示し、しかもその量はエイトケン核全体の数割を占めると推定された。

このようにエイトケン核の粒径分布の範囲内に属する海塩粒子が通常のエイトケン核とほぼ同じオーダで存在することを考慮すると、陸から流出する人工的な汚染大気に含まれるエイトケン核が海上で海塩粒子と相互作用していく過程の存在を期待することは有望と思われる。

また、この観測中にみられた降雪中にエイトケン核の数密度が減少しているのがみられた。さらに降雪がなくても、雲列のみられる直下の海上でもこれが減少してみられた。

謝辞：この研究の観測に際し大平洋沿海フェリー株式会社より好意的な御協力を誼った。また解析においては当時大学院学生であった、足立俊三、長利富勝の両君の援助を誼った。あわせて感謝の意を表す。研究費の一部は、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。

文 献

- Blanckard, D. C. and L. Syzdek, 1972. Variations in Aitken and Giant Nuclei in Marine Air, *Jour. Phys. Ocea.*, **2**, 255-262.
- Endow, T. and C. Magono, 1971. Distributions of aerosols in Sapporo in the winter season, *Jour. Met. Soc. Japan*, **49**, 48-55.
- 小野 晃. 1976. 南鳥島におけるサブミクロンエアロゾルの性状について, 日本気象学会講演予稿集 **30** p. 154.
- Radke, L. F., P. V. Hobbs and J. E. Pinnons, 1976. Observations of Cloud Condensation Nuclei, Sodium-Containing Particles, Ice Nuclei and Light-Scattering Coefficient Near Barrow, Alaska, *Jour. Appl. Met.*, **15**, 982-995.
- Toba, Y. and M. Tanaka, 1968. Simple technique for the measurement of giant sea-salt particles by use of a hand-operated impactor and a chloride reagent film, *Special Confer. Geoph. Inst., Kyoto Univ.*, **7**, 111-181.
- 山崎 武, 孫野長治. 1968. 列状雲のモデル実験 その3, 日本気象学会講演予稿集 **14** p. 136.