

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19510016  
 研究課題名（和文） 東シナ海上でブラウン雲が雲粒核作用を通して下層雲の微物理学的性質に与える影響  
 研究課題名（英文） Effects of Brown Cloud on Microphysical Properties of Lower Clouds by the activation of Cloud Condensation Nuclei over the East China Sea  
 研究代表者  
 石坂 隆（ISHIZAKA YUTAKA）  
 愛知学院大学・教養部・教授  
 研究者番号：50022710

研究成果の概要：雲粒核に関する集中観測を 2008 年 2 月 18 日から 4 月 5 日までの期間、国立環境研究所沖縄辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーションで実施した。ブラウン雲としては、中国華南地方などを起源とし、硫酸イオン、黒色炭素（ブラックカーボン）、有機物質、アンモニウムイオンなどを主成分とするエアロゾルがしばしば観測された。これらの粒径分布は長時間海上浮遊に伴って成長したミクロンサイズのエアロゾル粒子を多数含んでいた。雲粒核数濃度は主に北北西風下でエアロゾル数濃度、ブラックカーボン濃度、硫酸イオン濃度などと良い相関関係を示した。また、雲粒核数濃度はしばしば中国華南地方などを起源とする大気汚染物質によって急増することが見出された。さらに、観測地点における雲粒核数濃度の変動を人工衛星 MODIS 資料解析による高度 - 雲の光学的厚さと高度 - 雲粒の光学的有効半径との関係を調べ、ブラウン雲に起因する雲粒核が下層雲の微物理学的性質に及ぼす影響を研究した。その結果、下層雲の形成段階で高濃度の雲粒核数濃度は雲粒数濃度の増加さらに有効半径の減少に大きな影響を及ぼすが、発達期または衰退期への変質段階では、その影響が次第に弱まる可能性が推定された。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：大気汚染物質、エアロゾル、雲粒核、雲粒、雲の微物理学的性質、下層雲雲粒の光学的有効半径

## 1. 研究開始当初の背景

アジア域で大気汚染物質や黄砂などのブラウン雲が気候・降雨量・人間の健康及び農業

に及ぼす影響を究明する Asian Brown Cloud(ABC) Project の一環として、国内外でブラウン雲の輸送過程や時間的・空間的分布、

大気エアロゾルの放射特性や放射強制力に関する研究が精力的に行われている。しかし、放射影響に関してはエアロゾルそのものの直接効果についての研究が中心である。ブラウン雲の挙動を考えると、エアロゾル中の吸湿性粒子は雲粒核として働き、雲粒数濃度の増加や粒度の減少、さらに雲の寿命に影響を及ぼし、大気熱収支や気候変動に大きな影響を及ぼす。このため、これらのエアロゾルの間接効果に関する研究が強く求められている。

## 2. 研究の目的

雲粒核特性とブラウン雲（大気汚染物質や黄砂など）の性状に関する集中観測を沖縄辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーションで国内の研究者と共同で行うと共に、人工衛星資料によって下層雲の雲物理学的性質を調べ、ブラウン雲が下層雲の微物理学的性質に与える影響を究明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 沖縄・辺戸岬における雲粒核特性の観測

東シナ海に面する沖縄辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーションに雲粒核計2台を設置し、雲粒核の数濃度と過飽和スペクトル（過飽和度：0.15%～1.0%）の観測を行った。

上記の雲粒核観測では、エアロゾル粒径分布を Wide Range Particle Sizer (WPS, MSP 社、東京大学先端科学技術研究センター観測) で、ブラックカーボン濃度を Aethalometer (Magee 社) さらに粒子状物質の粒径別化学組成をエアロゾル質量分析計（国立環境研究所観測）で測定し、大気汚染物質や黄砂などのブラウン雲の粒径分布と化学組成を観測した。

### (2) 大気汚染物質と雲粒核特性の関係に関する資料解析

雲粒核特性と気象場との関係についての解析：東シナ海近辺における気象場を地上気象資料・高層気象資料、大気汚染物質分布状態の化学天気図 (CFORS) などを解析し、雲粒核数濃度と気象場との関係を調べた。

雲粒核特性とブラウン雲との関係についての解析：黒状炭素と  $\text{nssSO}_4^{2-}$  を人為源大気汚染物質の指標として捉え、これらの濃度とエアロゾル粒径分布、雲粒核数濃度との関係を調べた。

雲粒核の主要な発生源の推定：雲粒核数濃度の変動を空気塊の流跡線 (NOAA HYSPLIT MODEL による) と比較し、雲粒核の主要な発生源を推定した。

### (3) ブラウン雲が雲粒核の下層雲の微細構造に与える影響についての資料解析

下層雲の微細構造の解析：MODIS 解析資料から雲の光学的厚さや雲粒の光学的有効半径

を調べた。

ブラウン雲が下層雲の微細構造に与える影響：雲粒核数濃度の変動を、人工衛星画像、下層雲の光学的厚さ・雲粒の光学的有効半径の鉛直分布と比較し、ブラウン雲が下層雲の微物理学的性質に与える影響を調べた。

## 4. 研究成果

雲粒核に関する集中観測を2008年2月18日から4月5日までの期間、国立環境研究所沖縄辺戸岬大気・エアロゾル観測ステーションで実施した。本研究によって得られた主な結果は下記のとおりである：

### (1) ブラウン雲の性状と起源

図1は、雲粒核数濃度が高かった2008年2月23日12時06分におけるエアロゾル（直径：10～500nm）粒径分布である。エアロゾルの発生源に近い場所では、1000nmから10nmの粒径範囲では一般に粒度が小さい程エアロゾル数濃度は高い。しかし、辺戸岬では北西風下でエアロゾル濃度が高い時間帯で、図1に示すように主にサブミクロンから成る粒径分布が

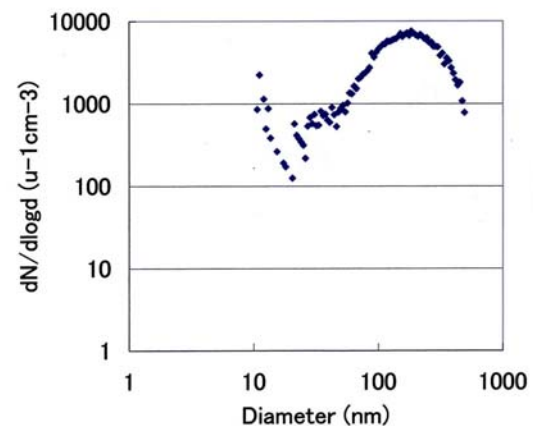


図1 2008年2月23日12時06分におけるエアロゾル（直径：10～500nm）粒径分布。

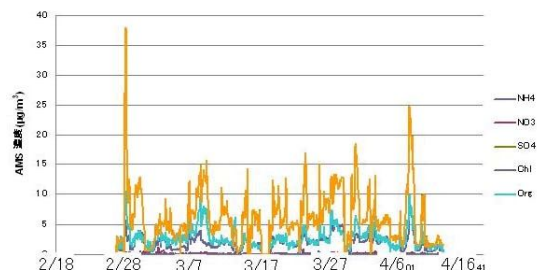


図2 2月28日から4月13日までの期間エアロゾル質量分析計によって観測された硫酸イオン（オレンジ）、硝酸イオン（赤色）、アンモニウムイオン（青色）、塩素イオン（濃紺色）と有機性物質濃度（青緑色）の時間変化。

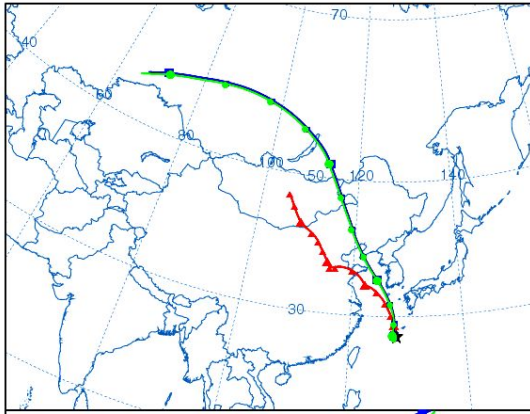


図3 . 2月28日21時に辺戸岬上空1000m(赤線)と100m(緑線)に到達した空気塊の流跡線 .

しばしば観測された。このような粒径分布が観測された理由は辺戸岬がエアロゾルの発生源から遠方にあり、海上を長い時間運ばれたためであると考えられる。一方、図2は2月28日から4月6日までの期間エアロゾル質量分析計によって観測されたエアロゾル中の硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオン、塩素イオンと有機物質濃度の時間変化である。Aethalometerによる観測結果も考慮すると、北北西風下のエアロゾル濃度が高い時間帯には、エアロゾルは主に硫酸イオン、有機物質、ブラックカーボンなどから成ることが見出された。図3は2月28日21時に辺戸岬上空1000m(赤線)と100m(緑線)に到達した空気塊の流跡線である。北北西風下でエアロゾル濃度が高く、また硫酸イオン、有機物質、ブラックカーボン濃度が高い時、空気塊はしばしば中国華南地方などの上空を経て来たものであった。今回の観測では黄砂などの土壌成分濃度を観測しなかったが、ブラウン雲はその多くが人為起源の硫酸イオン、有機物質、ブラックカーボンなどから成るものと考えられる。

#### (2) 雲粒核とブラウン雲の関係

図4は2月18日から3月2日の期間における雲粒核(CCNと略称、過飽和度:0.3%)数濃度と $nssSO_4^{2-}$ の関係である。また、図5は同じ期間における雲粒核(過飽和度:0.3%)数濃度と有機物質濃度の関係である。雲粒核と $nssSO_4^{2-}$ 濃度および有機物質濃度との関係は大気状態によって異なるようであるが、多くの場合良い相関があることが見出された。

一方、図6は2月18日から3月2日の期間における風向とブラックカーボン濃度の関係である。また、図7は同じ期間における風

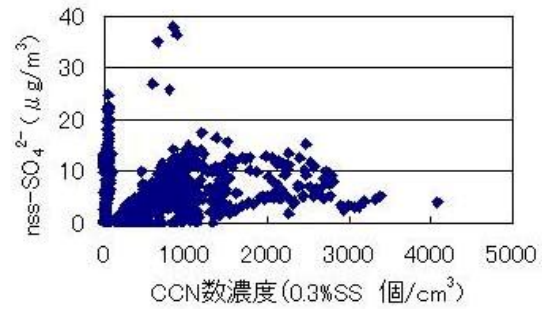


図4 . 2月18日から3月2日の期間における雲粒核(過飽和度:0.3%)数濃度と $nssSO_4^{2-}$ 濃度の関係。 $nssSO_4^{2-}$ 濃度は海水の化学組成の指標としてCIを用いて導出。

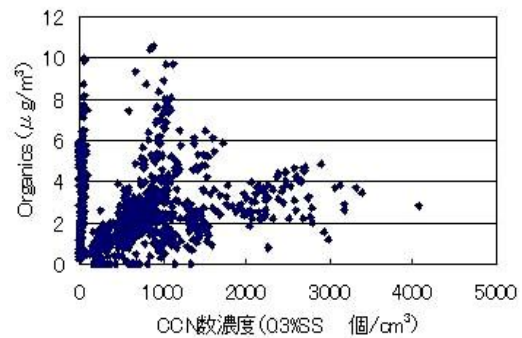


図5 . 2月18日から3月2日の期間における雲粒核(過飽和度:0.3%)数濃度と有機性物質濃度の関係。

向と雲粒核(過飽和度:0.3%)数濃度の関係である。雲粒核数濃度さらにブラウン雲の主成分である硫酸イオン、有機物質、ブラックカーボン濃度などは風向と密接な関係を示し、北北西風下で高い濃度が観測された。

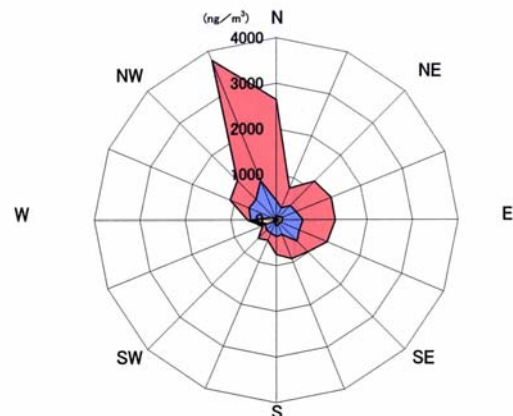


図6 . 2月18日から3月2日の期間における風向とブラックカーボン濃度の関係。赤色は最大値、青色は平均値、黄色は最小値について示したものである。



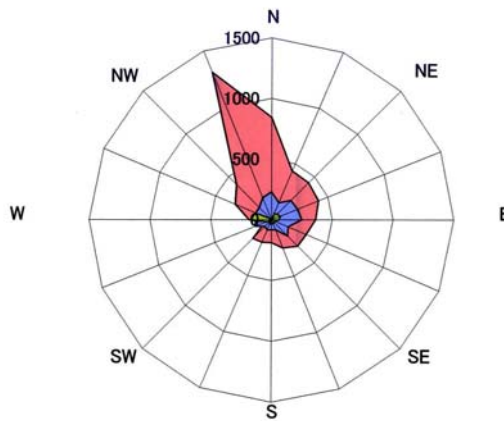


図7 . 2月18日から3月2日の期間における風向と雲粒核（過飽和度：0.3%）数濃度の関係．赤色は最大値、青色は平均値、黄色は最小値について示したものである．

（3）雲粒核が下層雲の微物理学的性質に与える影響

図8は2月28日10時におけるMTSATの可視画像である。この図からも分かるように、冬季や初春では北北西風によるアジア大陸からの寒気の吹き出しによって日本付近ではしばしば筋状雲が出現する。この筋状雲はその発生初期段階（大陸に近い海上に発生する雲）では個々の孤立した積雲の集合体であるが、大陸から離れるに伴ってこれらの積雲群は水平方向に拡がり層積雲などに変質する。2月28日5時から3月1日12時の期間、辺戸岬では高濃度の雲粒核数濃度が観測された。これらの雲粒核が下層雲の微物理学的性質に与える影響を調べるため、人工衛星MODIS資料を解析し、雲粒の光

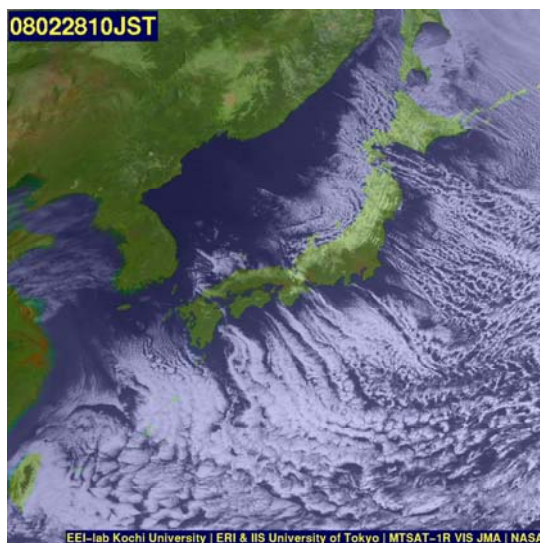


図8は2月28日10時におけるMTSATの可視画像（高知大学気象情報頁より）。

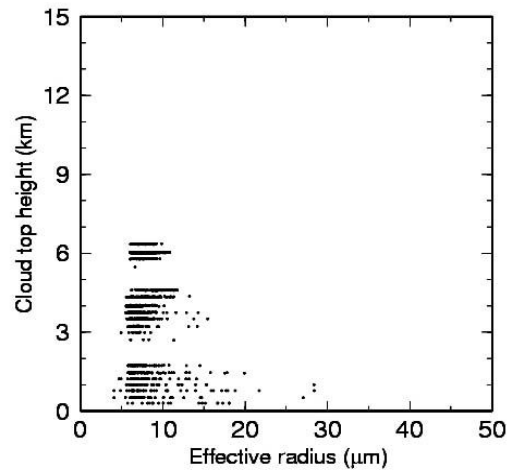


図9 . 2008年2月28日10時55分、奄美大島近辺上空（東経128～131度、北緯27～30度の範囲）における雲粒の有効半径の鉛直分布．

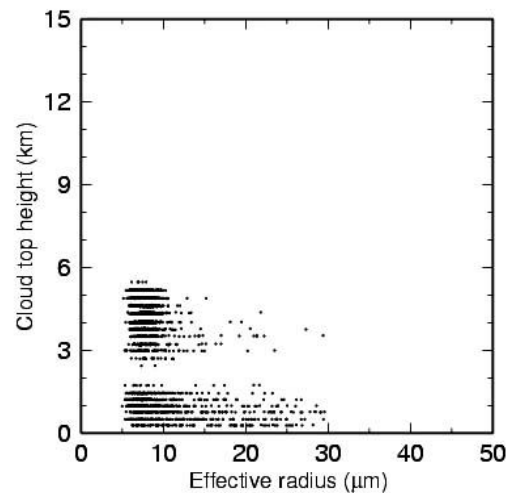


図10 . 2008年2月28日14時10分、沖縄辺戸岬近辺上空（東経126.5～129.5度、北緯25.5～28.5度の範囲）における雲粒の有効半径の鉛直分布．

学的有効半径の鉛直分布を奄美大島上空と辺戸岬上空で比較した。図9は2008年2月28日10時55分、奄美大島近辺上空（東経128～131度、北緯27～30度の範囲）における雲粒の有効半径の鉛直分布である。一方、図10は2008年2月28日14時10分、沖縄辺戸岬近辺上空（東経126.5～129.5度、北緯25.5～28.5度の範囲）における雲粒の有効半径の鉛直分布である。従って観測地点における雲粒核数濃度の変動を人工衛星MODIS資料解析による高度 - 雲の光学的厚さと高度 - 雲粒の光学的有効半径との関係を調べ、ブラウン雲に起因する雲粒核が下層雲の

微物理学的性質に及ぼす影響を調べた。その結果、下層雲の形成段階に近い奄美大島近辺上空では雲粒の光学的有効半径は下層で比較的小さかったが、発達期或いは衰退期への変質段階に近い辺戸岬近辺上空では大きな有効半径も含むように変化することが見出された。

筋状雲における雲粒の光学的有効半径の鉛直分布についての図9と図10を比較することにより、下層雲における雲粒の光学的有効半径は筋状雲が積雲群から層積雲群に変質する過程で有効半径が次第に増加する可能性が考えられる。これまでの研究では、雲粒核数濃度が高くなると、下層雲における雲粒数濃度を増加させ、さらに雲粒の光学的有効半径を減少させる影響が強く示唆されて来た。しかし、本研究の結果からこれらの影響は下層雲の形成段階(図9の積雲群)ではかなり大きい、発達期或いは衰退期における雲の変質段階(図10の層積雲群)では次第に弱まる可能性が推定された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

1. Khatri, P., Y. Ishizaka and T. Takamura, A study of aerosol optical properties in an urban atmosphere of Nagoya. Jour. Meteor. Soc. Japan, 87, 19-38, 2009. 査読有
2. Ishizaka, Y., M. Adhikari, R. Kazaoka, P. Khatri, T. Takahashi, M. Kagawa and J. E. Jensen, The effect of air pollutants on the microphysical properties of clouds over the East China Sea. Proc. 15<sup>th</sup> Seminar of JSPS-MOE Core Univ. Program on Urban Environment, Sep. 2-3, Toyohashi, Japan,, 147-156, 2008, 査読無
3. Khatri, P. and Y. Ishizaka,: Effects of continentally polluted air mass on aerosol optical properties over the East China Sea. Jour. Meteor. Soc. Japan, 85. 47-68, 2007, 査読有

[学会発表](計 0件)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

石坂 隆 (ISHIZAKA YUTAKA)  
愛知学院大学・教養部・教授  
研究者番号: 50022710

##### (2)研究分担者

##### (3)連携研究者

永尾 一平 (NAGAO IPPEI)  
名古屋大学・環境学研究科・助教  
研究者番号: 00252297