

12. サケラート（タイ）における黒色純炭素濃度変動の観測による評価

大野 翔吾¹・村尾 直人^{1*}

¹北海道大学大学院工学研究院（〒060-0812札幌市北区北13条西8丁目）

* E-mail: murao@eng.hokudai.ac.jp

東アジアにおいて、エアロゾルが植物や人間の健康に与える影響を解明するという全体構想の中で、本研究は、サケラート（タイ）における黒色炭素エアロゾルの季節変動や日変動を観測によって評価することを目的とする。サケラートの森林において黒色炭素エアロゾル濃度を月ごとに測定し、乾季（1、2、3月）は二週間ごとに測定を行った。また、同時にテープ式吸収率計による吸収係数の長期連続測定を行い、その測定結果から黒色炭素エアロゾル濃度の一時間値を推計した。2010年12月から2012年2月までの期間における黒色炭素エアロゾル濃度の変動を示し、乾季を中心に季節変動や日変動についての考察を行う。

Key Words : air pollution, southeast asia, anthropogenic pollution, long transport, biomass source

1. はじめに

20世紀後半から中国、インドや東南アジアは急速な経済発展を続け、各種産業から多くの大気汚染物質を排出してきている。また東南アジアでは乾季の焼畑や森林火災といったバイオマス燃焼からも大気汚染物質の排出がある。地理的に東南アジアの中央に位置し、北東貿易風により中国からの風もみられるタイでは、人為汚染とバイオマス燃焼の両者からの大気汚染が懸念されてきた。

そこで東アジアにおいて、エアロゾルが植物や人間に与える影響を解明するという全体構想の中で、本研究では特に、産業活動とバイオマス燃焼の両者から多量に排出され気候影響・人体影響の強い黒色炭素エアロゾルに着目し、タイでの観測からその発生源や季節変動・日変動を評価することを目的とした。

2. 方法

調査は、東アジアの熱帯に属するタイ東北部ナコン・ラチャシマ県サケラート試験林の平坦で一様な乾燥落葉林で行った。サケラートはバンコクから北東約100kmの距離に位置する。サケラート試験林内に高さ35mの観測

用鉄塔（図1）を建設、最上部に観測機器を設置し、2009年12月から気象および粒子成分の長期観測を開始した。分析項目、サンプリング条件、分析方法を表1に示す。

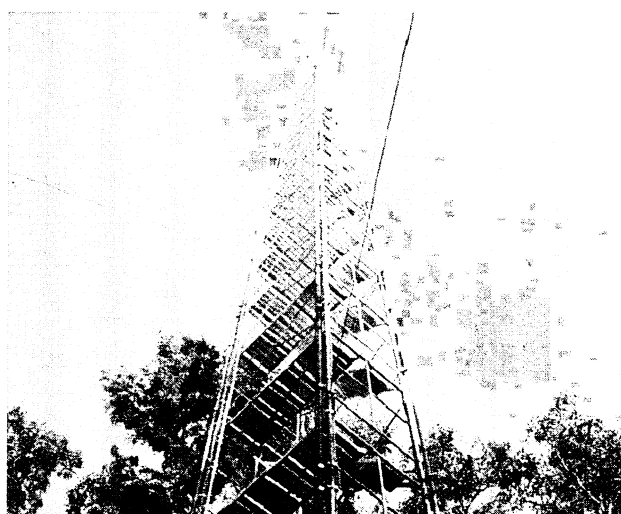


図1 サケラート試験林内の観測用鉄塔

表1 サケラート観測施設における分析項目、サンプリング条件、分析方法

分析項目	大気中炭素成分（黒色炭素、有機炭素）
サンプリング条件	期間：2009年12月～2011年6月（月ごとに観測、乾季（1,2,3月）は二週間ごとに観測） 流量：2.5 L min ⁻¹ PM2.5成分(粒径2.5μmを50%カット)を分析
分析方法	TOR（Thermal Optical Reflectance）法

また2010年12月からは、観測用鉄塔最上部にテープ式吸収率計を設置し、上記の観測と同時にエアロゾルの吸収係数の長期連続測定を開始した。テープ式吸収率計は、サンプリング中のフィルター上に堆積していく光吸収性エアロゾル（黒色炭素エアロゾルなどの着色エアロゾル）の光学的反射率を連続測定する装置である。黒色炭素エアロゾル濃度の観測結果をもとに、テープ式吸収率計で測定した吸収係数から黒色炭素エアロゾル濃度の一時間値を推計した。

3. 観測結果

(1) 大気中炭素成分の月別変動

図2にサケラート試験林内の観測塔で観測された2009

年12月から2011年6月までの黒色炭素濃度（BC（Black Carbon）：●実線）、有機炭素濃度（OC（Organic Carbon）：○破線）、OC/BC比（*点線）の月変動を示す。

黒色炭素濃度（BC）は、最大でも2011年1月後半に示した4.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ と、観測期間を通じて中国大都市の濃度（4.6～15.2 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）¹⁾を下回っている。また、12月から3月の乾季にかけて濃度が高くなり、雨季の5月から10月に低くなるという傾向を示している。2009年～2010年は乾季前半（12月）から乾季後半（3月）にかけて濃度が減少しているが、一方で2010年～2011年の乾季は季節が進むにつれて濃度が増加している。有機炭素濃度（OC）の観測結果を見ると、黒色炭素濃度の傾向と同様に乾季にかけて濃度が高くなり、雨季に低くなっている。しかし、年や月によってその値は大きく異なり、2011年3月前半に最大の11.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ を示しているが、同じ乾季でも5 $\mu\text{g m}^{-3}$ 以上の差がある。またOC/BC比を見ると、2010年の1～3月、1月後半を除く2010年12月～2011年3月の値は2.5を超えている。一般にバイオマス燃焼の影響が強いと大気中のOC/BC比は高くなる。

この観測結果に加え、モデリングによる評価を行った研究²⁾では、タイ北東部の黒色炭素エアロゾルに関して以下のような季節性が明らかとなっている。すなわち、乾季において黒色炭素エアロゾルは、中国からの人為起源排出による越境汚染と東南アジアでのバイオマス燃焼の両者の影響が強く高濃度となり、一方、雨季において黒色炭素エアロゾルは、タイ周辺が無風で、周辺地域を含め雨による沈着量が大きいため常に低濃度となることである。

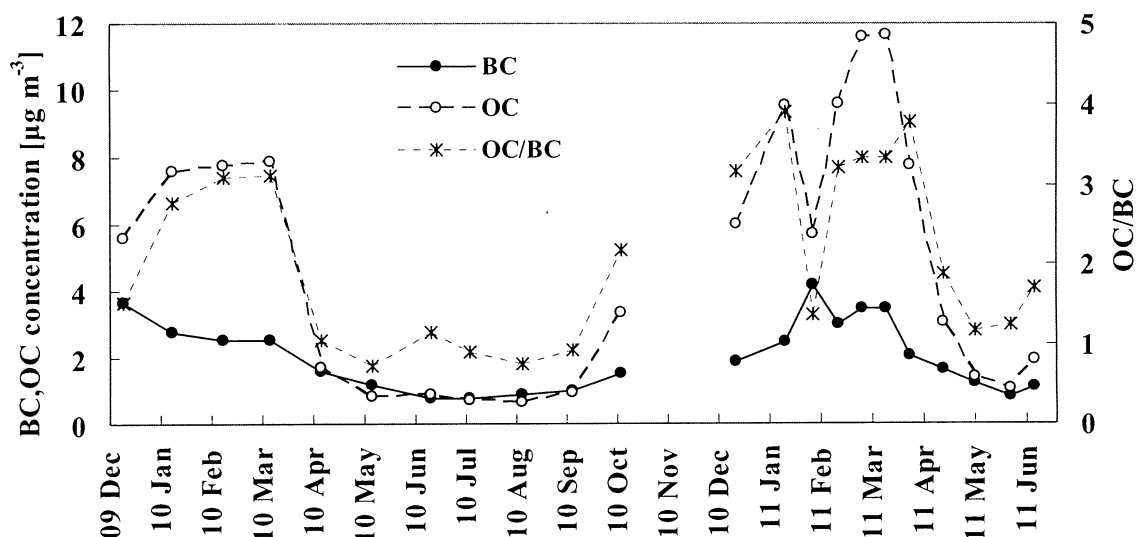


図2 黒色炭素濃度（BC）、有機炭素濃度（OC）、OC/BC比の月別変動

(2) テープ式吸収率計から得られた黒色炭素濃度の変動

a) 乾季

図2に、2012年の1,2月（乾季）にテープ式吸収率計により観測された黒色炭素エアロゾルの吸収係数から推計した黒色炭素濃度の変動を示す。1月の黒色炭素濃度は最大で $8.38\mu\text{g m}^{-3}$ 、最低で $0.60\mu\text{g m}^{-3}$ を示し、月平均濃度は $2.60\mu\text{g m}^{-3}$ であった。また2月においては、最大で $7.82\mu\text{g m}^{-3}$ 、最低で $0.23\mu\text{g m}^{-3}$ を示し、月平均濃度は $3.70\mu\text{g m}^{-3}$ であった。濃度変動の時間規模は様々で、1/28付近に最大濃度を示す変動のように5日間ほどで推移するものもあれば、2/15付近に最大濃度を示す変動のように10日間ほどで推移するものもある。このような一週間程度のスケール

で推移する濃度変動は、汚染物質の長距離輸送の特徴と考えられ、中国での人為起源排出による汚染物質が輸送されタイ北東部に流入していることが示唆された。

図3に、黒色炭素濃度の日変動例として2012年2/12～2/17の期間における黒色炭素濃度の推移を示す。テープ式吸収率計を用いることで長期の連続測定が可能となり、このような黒色炭素エアロゾルの日変動を得ることができる。一日の推移として、黒色炭素濃度は日中（12時付近）に低くなり、夜間（0時付近）に高くなる傾向を示した。この傾向は1,2月を通じて言えることであり、図3に示すように変動が大きいときには、一日の中で $5\mu\text{g m}^{-3}$ ほどの濃度の変動が見られた。

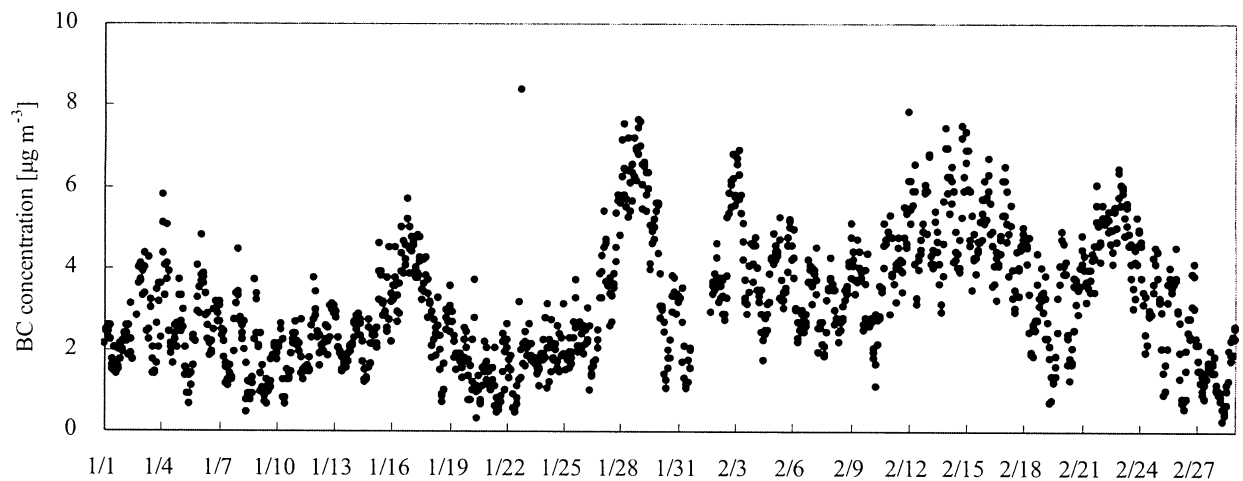


図2 乾季における黒色炭素濃度変動

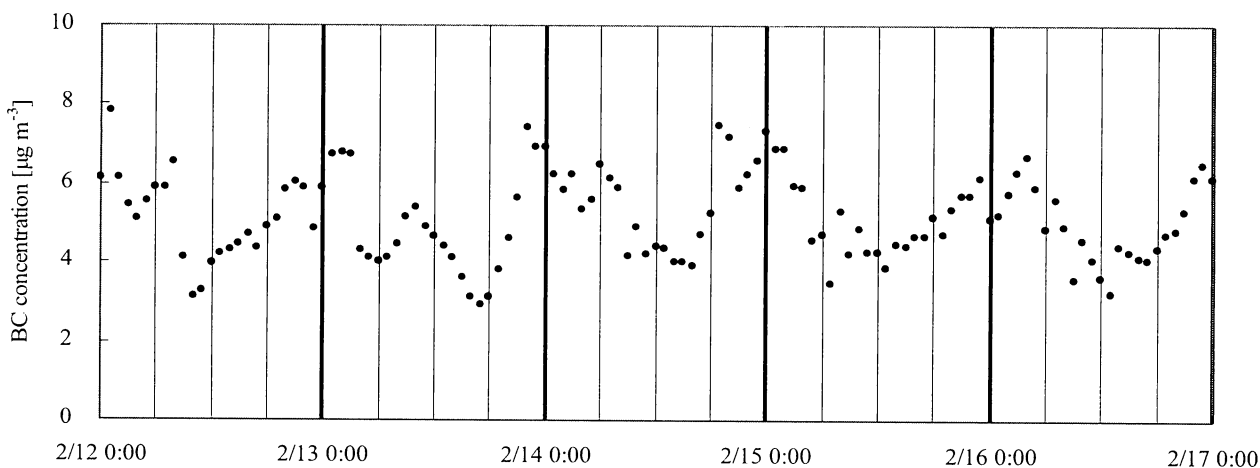


図3 黒色炭素濃度日変動例

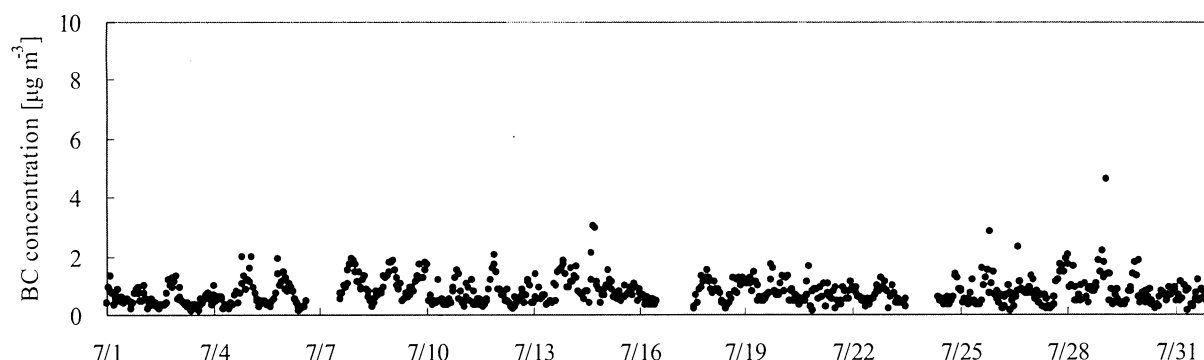


図4 雨季における黒色炭素濃度変動

b) 雨季

図4に、雨季の変動の例としてテープ式吸収率計から得られた黒色炭素濃度の7月における変動を示す。黒色炭素濃度は低濃度で推移し7月の平均濃度は $0.78\mu\text{g m}^{-3}$ であり、概ね $0\sim 2\mu\text{g m}^{-3}$ の間で変動していた。乾季に見られたような一週間程度のスケールの変動は見られなかった。しかし日変動については、乾季と同様に、日中に濃度が下がり、夜間に高くなるという傾向を示していた。

4. まとめ

本研究では、サケラート（タイ）での観測から黒色炭素エアロゾルの季節変動、日変動を得た。黒色炭素濃度を月ごとに分析、特に乾季は二週間ごとに分析を行った。また同時に、テープ式吸収率計によるエアロゾルの吸収係数の連続測定を行った。観測から得られた濃度を考慮し、吸収係数から黒色炭素濃度を推計した。

黒色炭素濃度は、乾季に高く、雨季に低いという季節変動を示した。乾季は中国からの汚染物質の人為起源排出や東南アジアのバイオマス燃焼が原因であることが示唆された。一方、雨季は降水による沈着が多いため濃度が低くなっていると考えられる。

テープ式吸収率計から得られた黒色炭素濃度の連続測定結果を見ると、乾季において、一週間ほどのスケールで濃度が変動する場合があります、長距離輸送の特徴が確認され中国からの越境汚染が示唆された。一方、雨季の黒色炭素濃度は、低濃度で推移し、乾季に見られるような一週間ほどのスケールでの変動は確認されなかった。また黒色炭素濃度の日変動を見たところ、年間を通じて日中に濃度が低く、夜間に高いという傾向を示した。

謝辞：

本研究を進めるにあたり協力いただいたキングモンクット大学 Pojanie Khummongkol先生、東京農工大学 松田和秀先生、北海道大学 深澤達矢先生、山形定先生に心から感謝いたします。本研究は、科研費新学術領域研究（20120012）の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) T. Novakov et al., Aerosol organic carbon to black carbon ratios: Analysis of published data and implications for climate forcing, Journal of Geophysical Research, Vol.110, 2005
- 2) 石崎匡晃：タイにおける黒色炭素エアロゾルの観測とモデリングによる評価，2010年度北海道大学工学部修士論文，2010