

炎中での煤の生成過程と粒径決定の要因

—「古梅園」の伝統的製墨手法を用いて—

奈良県立奈良高等学校
廉明德 久米祥子 筒水雅記

【キーワード】 煤生成, 燃焼, 伝統産業, SEM

1. はじめに

Lohmann らの研究では、普遍的なエアロゾルとして大気中に存在する煤粒子が雲の形成に影響を及ぼし、その構造を変化させることで、地球温暖化の進行を助長するという可能性が挙げられている⁽¹⁾。また、煤の温暖化への影響を推定する際には、排出直後の煤の粒径を正確に把握することが非常に重要であるとされている⁽²⁾。そのためには煤の生成過程を理解することが不可欠であり、急務となっている。

これまで、Bockhorn による煤生成モデルの提唱⁽³⁾を始め、煤の生成過程を明らかにしようとする研究は広く展開されてきた。一般に、多環芳香族炭化水素(PAHs)やグラフェンなどの前駆体を経て成長し⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾、それらの凝集により鎖状のフラクタル構造を持つ煤が形成される⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾とされている。また、計算機の発展に伴いシミュレーションによる研究例も増加している⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。しかし、これらは理論的な考察を中心に組み立てられており、実測による研究はなされてこず、煤の生成過程は依然として不明な点も多い。

本研究では、炎中での煤の変化を追跡し、その変化を追跡することで、実測により煤の生成過程を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

炎中での煤の生成過程を追跡するため、炎中の異なる高さから煤を採取し、走査電子顕微鏡(SEM)を用いて観察した。実験にあたり、炎と煤発生の安定化が課題であるが、我々は煤作りに関わる知見を有する奈良県にある伝統的な製墨会社「古梅園」で行われている採煙の手法を参考に、灯心には藁草を、燃料には菜種油を用いることで、安定化に成功した。観察用のサンプル作成の手順と方法は以下の通りである。灯心には菜種油に一晩浸漬した古梅園提供

の藁草芯(80 刈用)を用いた。燃焼中に芯が燃え尽きないように、菜種油を入れた燃焼皿に芯の根本を浸して点火し、継続して燃料を吸い上げることを可能にした。

次に、炎中に煤を付着させるための基材を差し込み、煤を採取した。このとき基材には SEM 観察のため、導電性の高い 2cm 四方の銅板を用いた。差し込む高さは炎内部に触れる位置から 2 つ、炎外周部に触れる位置から 2 つ、炎に触れない位置から 1 つの、計 5 サンプルとなるよう決定した(図 1)。

その後、煤の付着した銅板を SEM を用いて観察した。








図 1 煤の採取箇所と実験中の炎の様子

3. 結果と考察

炎中に差し込んだ銅板には、炎の外周部にあたる位置にのみ、煤の付着が確認できたため、その部分を、SEM を用いて観察した(表 1)。その結果、全ての高さにおいて外観形状に有意な差は見られなかった(図 2)。最も採取した位置の低い No.1 でも形成が完了していたことから、煤形成は炎の外周部の初期段階で完了する可能性が考えられる。しかし、本実験で外観形状に差は見られなかったものの、化学的な変化は確認できておらず、追加の化学的分析が必要であると考えられる。

表 1 各サンプルの銅板上での煤外観

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
根元からの高さ(cm)	約1.0	約1.5	約3.0	約5.0	約8.0
画像					

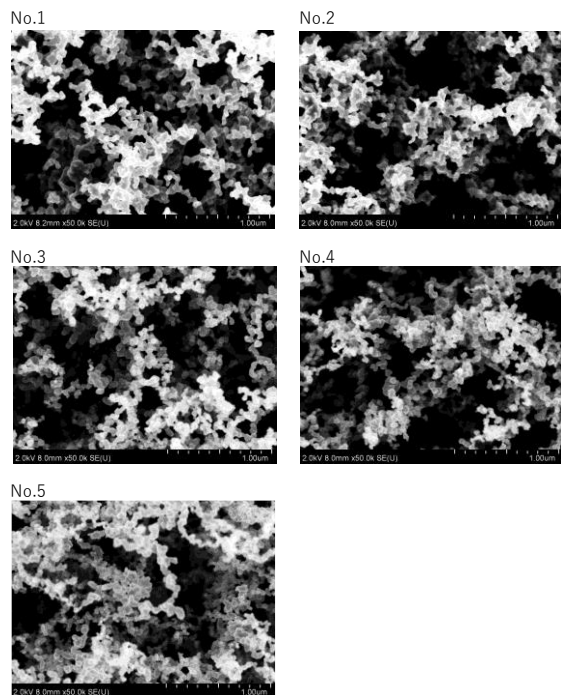


図 2 各サンプルの SEM による煤外観画像

4. まとめ

炎の外周部では煤の成長が確認できなかったことから、煤の生成過程を明らかにするには炎の根元に着目して考察する必要があると考える。今回は SEM による外観形状のみで議論を行ったが、煤の酸化など外観のみでは確認できない反応が起きている可能性もあるため、今後は化学的な分析も行い、考察を深めていく予定である。

今回の実験では着目しなかった炎の内部の様子についても、煤生成に関与する何らかの反応が進行している可能性があるため、今後の研究対象としたい。

また、今回の実験にあたり古来より伝統的製墨を継承する古梅園の手法を取り入れたが、古梅園では経験則にて生産管理を行っていた。煤と製墨の関係は深く、墨の品質は煤の形態に大きく左右される⁽¹²⁾。煤生成過程の解明はこうした伝統技能の伝承や保存という面でも、また伝統を生かした新たな事業の創出・拡大という面でも非常に重要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なご指導を賜った指導教員の先生方、煤作りに関わる貴重な知見とサンプルをご提供くださった株式会社古梅園様に深く感謝申し上げます。

また本研究の一部は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(京都大学微細加工プラットフォーム)の支援を受けて実施されました。ここに感謝を表します。

引用文献

- Ulrike Lohmann et al. Future warming exacerbated by aged-soot effect on cloud formation, *Nature Geoscience*, 13, 674-680 (2020).
- Hitoshi Matsui. Black carbon radiative effects highly sensitive to emitted particle size when resolving mixing-state diversity, *Nature Communications*, 9, Article number: 3446 (2018).
- Henning Bockhorn. A Short Introduction to the Problem — Structure of the Following Parts, *Soot Formation in Combustion*, 3-7 (2000).
- Murray Thomson and Tirthankar Mitra. A radical approach to soot formation, *SCIENCE*, Vol 361, Issue 6406, 978-979 (2018).
- H Richter and J.B Howard. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their growth to soot—a review of chemical reaction pathways, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 26, Issues 4-6, 565-608 (2000).
- 戸野倉 賢一「燃焼場における多環芳香族炭化水素とスス粒子の生成過程」『エアロゾル研究』29 巻, 1 号, 5-9 (2014) .
- 三好 明「燃焼からの PAH とすす粒子生成の化学反応 (1)」『日本燃焼学会誌』59 巻, 187 号, 55-60 (2017) .
- B.S.Haynes and H.Gg.Wagner. Soot formation, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 7, Issue 4, 229-273 (1981).
- 足立 光司「ナノスケールで見るすす粒子」『エアロゾル研究』29 巻, 1 号, 10-14 (2014) .
- 渡邊 裕章, 黒瀬 良一, 牧野 尚夫, 小森 悟「燃焼により発生するすすの生成モデルと数値シミュレーション」『エアロゾル研究』23 巻, 2 号, 79-85 (2008) .
- 由井 寛久, 生井 裕樹, 岩田 和也, 今村 宰, 橋本 淳, 秋濱 一弘「すす粒子生成モデルにおける表面反応および核形成反応がすす生成特性に及ぼす影響」『自動車技術会論文集』48 巻, 6 号, 1207-1212 (2017) .
- Rodney L. Taylor, 小野寺 伸「黒色度および底色に関するカーボンブラックの特性と分散効果」『色材協会誌』69 巻, 6 号, 389-395 (1996)