

野焼き実験による粒子の排出特性と元素組成

伏見暁洋¹、齊藤勝美^{1,2}、林 健太郎³、須藤重人³、
小野圭介³、藤谷雄二¹、世良耕一郎⁴、田邊 潔¹

¹ 国立環境研究所
305-8506 つくば市小野川 16-2

² エヌエス環境(株)
020-0122 岩手県盛岡市みたけ 4-3-33
(現在：環境計測(株) 612-8429 京都市伏見区竹田北三ツ杭町 84)

³ 農業環境技術研究所
305-8604 つくば市観音台 3-1-3

⁴ 岩手医科大学サイクロトンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

1 はじめに

2009年9月に大気中の粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子($\text{PM}_{2.5}$)に対する環境基準が告示されたが、現時点では都市部などで基準値を超過しているところが多い。一方、工場や自動車への対策が年々進み、近年では農作物残渣の屋外焼却(野焼き)も無視できない寄与をもつと推定されている¹⁻³⁾。

野焼きの影響を定量的に把握するためには、現場の状況に近い条件での実験に基づく粒子の排出係数や組成の測定が欠かせないが、我が国での測定例は少なく⁴⁾、国内の排出量推計⁵⁻⁶⁾にも海外で測定された排出係数⁷⁾が用いられている。野焼きによる粒子の排出係数は残渣の種類や実験条件(水分含有量や着火位置等)によって変わるため⁷⁾、日本の実態にあった残渣や実験条件での値を用いることが望ましい。

そこで我々は、日本で生産された農作物の残渣を畑地の上で焼却し、発生する粒子の量と組成を明らかにすることを試みた。実験は、畑地などでよく焼却されるものの実験データが報告されていない稲籾殻についても行った。本稿では、第一回目の実験に関して、測定方法の概要とこれまでに得られた測定・解析結果を報告する。

2 方法

野焼き実験は、2011年1月24~25日に茨城県つくば市にある農業環境技術研究所の畑地で行った。対象とした農作物残渣は、大麦藁、稲藁、小麦藁、稲籾殻、小豆茎葉である。ステンレス製 0.3 m^3 チャンバーをかぶせた土壌表面に乾燥残渣200g(稲籾殻は100g)を敷き、チャンバー内に屋外空気を流量約 $6\text{ m}^3/\text{min}$ で供

給し、風下側に着火した。チャンバー上部から出たダクトに2台のインパクター(AN-200、吸引流量28.3 L/min、フィルターサイズ80 mmΦ、東京ダイレック)を、ほぼ等速吸引となるようステンレス管(15 mmΦ)で接続し、排気粒子を粒径別(>7.0 μm、2.1~7.0 μm、<2.1 μm)に採取した。このうちの1台の捕集材には石英繊維フィルター(Qz)を用い、秤量による粒子質量、光学補正・熱分離炭素分析計(IMPROVEプロトコル)による炭素成分(元素状炭素EC、有機炭素OC、全炭素TC)の測定を行った⁸⁾。もう1台の捕集材にはポリカーボネートフィルター(バックアップフィルターはテフロンフィルター;PC/T)を用い、秤量、PIXE(Particle Induced X-ray Emission)法による元素分析、イオンクロマトグラフィーによるイオン成分の測定を行った⁹⁾。

3 結果と考察

Fig.1に粒径別Qz試料の排気中粒子質量濃度を示す。藁や茎葉の場合、粒子総重量の90%以上を粒径2.1 μm以下の粒子(PM_{2.1})が占めていた。一方、稲籾殻では粒径2.1 μm以下と2.1~7.0 μmの粒子が各々47%を占め、7.0 μm以上の粒子が6%を占めた。藁・茎葉は火炎をあげて短時間(2~7分間)で燃えつき、排気中のPM_{2.1}濃度は25~94 mg/m³であった。稲籾殻は火炎を出さずゆっくり(30分間)燃え、排気中PM_{2.1}濃度は3.8 mg/m³であった。なお、PC/T試料は採取中にバックアップフィルターが目詰まりし流量が大幅に低下したため、排出係数を過小評価する可能性や分級特性が変わった可能性があり、結果の解釈には注意が必要である。

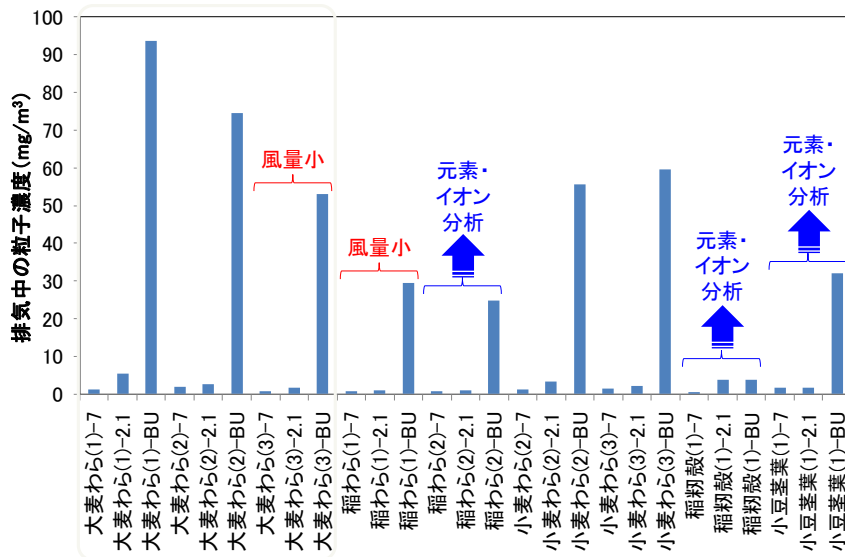


Fig. 1. Size-resolved PM concentrations of the Qz samples in the exhausts.

TCがPM重量に占める割合は、粒径が小さくなるほど増加し、藁・茎葉の焼却による粒径>7.0 μm、2.1~7.0 μm、<2.1 μmの粒子ではそれぞれ16±13、30±18、48±9%であり、稲籾殻では8、58、50%であった。PM_{2.1}試料のEC/OC各フラクションの構成比をFig.2に示す。EC/TC比は藁・茎葉が5.3~15% (平均12%)、稲籾殻が1.2%と低く、炭素の大半が有機炭素であった。藁・茎葉ではECのほとんど(78~100%、平均91%)がEC₁であった。炭化しやすい有機物(OC_{py})がTCの比較的大きな割合(11~14%、平均12%)を占めた。

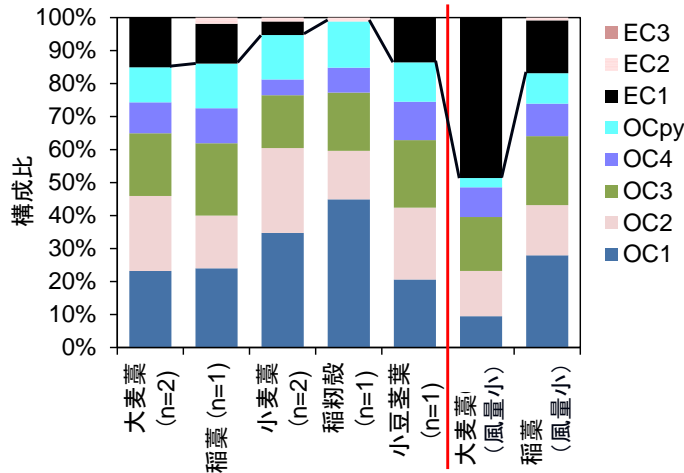


Fig. 2. Composition of EC/OC fractions in the PM_{2.1} samples. Results of the repeated experiments were averaged.

Fig. 3 に PM_{2.1} とその構成成分 (炭素、元素、イオン) の排出係数を示す。粒子質量に占める割合が高い元素・イオンは、稲藁では Cl⁻ (6.9%)、Mg²⁺ (3.5%)、NH₄⁺ (2.2%)、K (2.2%)、Si (1.3%) であり、小豆茎葉では K (7.8%)、Cl⁻ (5.9%)、SO₄²⁻ (5.5%) であった。稲籾殻は最も高い Cl⁻ と F⁻ でも各々 0.29% と極低濃度であった。なお、どの実験でも炭素成分、元素、イオンを全て合計しても粒子質量の 51~72% にしかならないが、仮に有機物がセルロースと同じ構造だとして有機炭素量を 2.2 倍して有機物量に変換すると、粒子質量の 111~126% を測定成分が占めることになる。

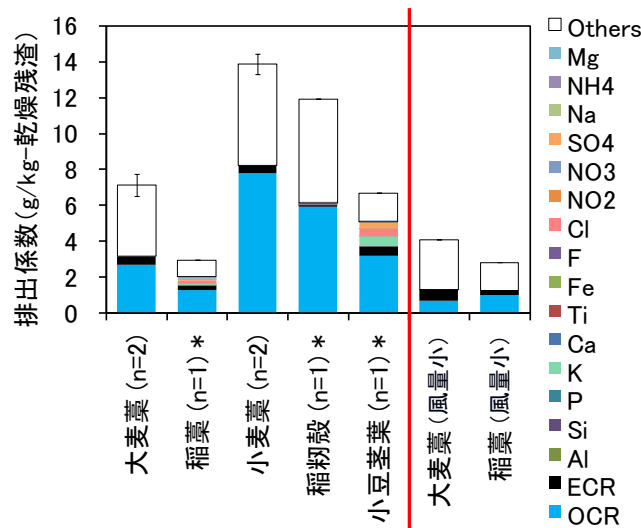


Fig. 3. Emission factors of PM_{2.1} components. * Samples whose components of element and ions were measured. Error bars are the range between minimum and maximum of PM_{2.1}. Components that were not detected were omitted. For the components that were measured as both element and ion, the higher values were shown.

PM_{2.1} 排出係数の繰り返し再現性は比較的良好であった (Fig. 3)。稲藁の PM_{2.1} 排出係数 (3.2 g/kg) は Hays et al.¹⁰⁾ の報告値 (13.0 ± 0.3 g/kg) よりは小さく、U.S. EPA の報告値⁷⁾ (4 g/kg) に近い。また、本研究による小麦藁と大麦藁の PM_{2.1} 排出係数 (13.9 ± 0.6, 7.1 ± 0.6 g/kg) は既報の値 (4.71 ± 0.04 g/kg (小麦藁)¹⁰⁾、6 g/kg (麦藁)⁷⁾ よりやや大きい程度であった。なお、残渣焼却時の送風量を半分程度に落とすと大麦藁と稲藁の PM_{2.1} 排出係数はそれぞれ 42、21% 減少した。また、EC/TC 比は稲藁では 14% から 17% にわずかに増加し、大麦藁では 15 ± 1% から 49% に大幅に増加した。

4 おわりに

残渣の種類によって粒子の排出係数が最大 5 倍程度異なることや、稲籾殻の粒子組成が藁・茎葉とはやや異なることなどがわかった。なお、採取位置での排気温度、希釈率などによって揮発性成分の重量や組成が変わる可能性がある。フィルターの目詰まりを防ぐとともに、より実態に近づけるためには希釈率をあげた実験が必要である。また、残渣の含水率や送風量などの燃焼条件についても今後検討することが重要である。

謝辞

本研究は農林水産省プロジェクト研究「農業分野における温暖化緩和技術の開発」の一環として実施した。

参考文献

- 1) 萩野浩之, 小瀧美里, 坂本和彦, さいたま市における初冬季の微小粒子中のレボグルコサンと炭素成分, エアロゾル研究, 21, 38–44 (2006).
- 2) Morino, Y., Takahashi, K., Fushimi, A., Tanabe, K., Ohara, T., Hasegawa, S., Uchida, M., Takami, A., Yokouchi, Y., Kobayashi, S., Contrasting diurnal variations in fossil and nonfossil secondary organic aerosol in urban outflow, Japan, Environ. Sci. Technol., 44, 8581–8586 (2010).
- 3) 高橋克行, 伏見暁洋, 森野悠, 飯島明宏, 米持真一, 速水洋, 長谷川就一, 田邊潔, 小林伸治, 北関東における微小粒子状物質のレセプターモデルと放射性炭素同位体比を組み合わせた発生源寄与率推定, 大気環境学会誌, 46, 3, 156–163 (2011).
- 4) Saitoh, K., Muto, H., Takizawa, Y., Kodama, M., Concentrations of various elements and inorganic ions in rice straw and ash, Toxicol. Environ. Chemistry, 41, 15–20 (1994).
- 5) JCAP&JATOP, JCAPII 大気モデル統合化システムの公開について, http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/airmodel/index_airmodel.html.
- 6) Kannari, A., Tonooka, Y., Baba, T., Murano, K., Development of multiple-species 1 km x 1 km resolution hourly basis emissions inventory for Japan, Atmos. Environ., 41, 3428–3439 (2007).
- 7) U. S. EPA, AP 42, Fifth edition, Compilation of air pollutant emission factors (1995).
- 8) Fushimi, A., Hasegawa, S., Takahashi, K., Fujitani, Y., Tanabe, K., Kobayashi, S., Atmospheric fate of nuclei-mode particles estimated from the number concentrations and chemical composition of particles measured at roadside and background sites, Atmos. Environ., 42, 948–958 (2008).
- 9) 齊藤勝美, 長谷川就一, 伏見暁洋, 藤谷雄二, 高橋克行, 小林伸司, 田邊潔, 若松伸司, 沿道大気中における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の化学成分特徴と経時的挙動, 大気環境学会誌, 46, 3, 164–171 (2011).
- 10) Hays, M. D., Fine, P. M., Geron, C. D., Kleeman, M. J., Gullett, B. K., Open burning of agricultural biomass: Physical and chemical properties of particle-phase emissions, Atmos. Environ., 39, 6747–6764 (2005).

Emission characteristics of particles and elemental composition of open burning experiment

Akihiro Fushimi¹, Katsumi Saitoh^{1,2}, Kentaro Hayashi³, Shigeto Sudo³, Keisuke Ono³, Yuji Fujitani¹, Koichiro Sera⁴ and Kiyoshi Tanabe¹

¹National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba 305-8506, Japan

²NS Environmental Science Consultant Corporation
4-3-33 Mitake, Morioka 020-0122, Japan
(Present affiliation: Eco Analysis Corporation,
84 Takeda-kitamitsugui-cho, Fushimi-ku, Kyoto 612-8429, Japan)

³National Institute for Agro-Environmental Sciences
3-1-3 Kannondai, Tsukuba 305-8604, Japan

⁴Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa 020-0173, Japan

Abstract

To understand the impact of open burning of crop residues to the atmospheric particles, we burned crop residues (rice straw, wheat straw, barley straw, stem and leaf of red bean, and rice hull produced in Japan) in an outdoor chamber, and measured the particle mass and their composition (elemental carbon, organic carbon, elements, and ions) in the exhausts by particle size. Particulate emission factors differed among these residues a factor of five. Particulate compositions were also different among residues, especially for the rice hull that was firstly experimented. It was suggested that the ventilation air volume affects the particulate composition. Our PM_{2.1} emission factors for rice straw and wheat straw were in the same order as the previously reported data, however, their compositions were somewhat different with them.