

農作物残渣の野焼きで排出される粒子の化学組成

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、梶浦雅子³、藤谷雄二¹、世良耕一郎⁴、高見昭憲¹、田邊 潔¹

¹ 国立環境研究所
305-8506 つくば市小野川 16-2

² 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

工場や自動車排ガス等への対策が進んだ結果、大気は年々きれいになってきた。しかし、大気中の微小粒子(粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子: $\text{PM}_{2.5}$)は、2009年に環境基準が設定されたものの、環境基準達成率は32%と低く(2010年度、一般局)¹⁾、その起源や環境動態の解明が急務である。 $\text{PM}_{2.5}$ は各種発生源から排出されるが、近年では稲わらなど農作物残渣の屋外焼却(野焼き)により排出される粒子が $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の2~55%を占めるなど、無視できない寄与をもつと推定されている²⁻⁴⁾。野焼きによる粒子の排出係数は残渣の種類や実験条件(含水率や着火位置等)によって変わるため⁵⁾、野焼きの影響を正確に把握するためには、日本の実態にあった残渣や実験条件での排出係数・組成の情報が必要である。しかし、我が国での測定例は少なく⁶⁾、国内の排出量推計⁷⁻⁸⁾にも海外で測定された排出係数(AP42)⁹⁾が用いられている。そこで我々は、国内産の農作物残渣を焼却し、発生する粒子の量と組成を明らかにすることを目的に以下の研究を行った。

2 方法

野焼き実験は2011年1月と11月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。対象とした農業残渣は、岡山県児島湾干拓地産の稲藁・籾殻・大麦藁と北海道芽室町産の小麦藁である。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自然乾燥させた残渣 200 g (籾殻は 100 g) を敷き、チャンバー内に屋外空気を流量 $2\sim 6\text{ m}^3/\text{min}$ 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ステンレス管 ($15\text{ mm } \Phi$) を接続し、2台のインパクター (AN-200、東京ダイレック、 $28.3\text{ L}/\text{min}$) で粒径別 ($>7.0\text{ }\mu\text{m}$ 、 $2.1\sim 7.0\text{ }\mu\text{m}$ 、 $<2.1\text{ }\mu\text{m}$) に燃焼で発生した粒子を採取した。ただし藁の場合には粒子濃度が高いため、希釈器 (DEKATI、DI-1000) を用いて、フィルターで粒子を除いた屋外大気により 9.0 ± 0.2 倍に希釈してサン

プリンングした。インパクターのうち、1 台の捕集材には石英繊維フィルターを用い、秤量による粒子質量、光学補正・熱分離炭素分析計による炭素成分（元素炭素 EC、有機炭素 OC、全炭素 TC）の測定を行った⁹⁾。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）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分析を行った¹⁰⁾。

3 結果と考察

石英フィルター試料において、藁の場合、粒子総質量の 90%以上を粒径 2.1 μ m 以下の粒子（PM_{2.1}）が占めた。籾殻では PM_{2.1}が 75%を占め、2.1~7.0 μ m の粒子が 24%を占めた。藁は火炎をあげて短時間（2~37 分間）で燃えつき、排気中 PM_{2.1}濃度は 25~94 mg/m³であった。籾殻は火炎を出さずゆっくり（30~85 分間）燃え、排気中 PM_{2.1}濃度は 1.7~3.8 mg/m³であった。

図 1 に PM_{2.1}の成分別排出係数を示す。測定した成分の総量は粒子質量の 63~92%であった。どの残渣の場合も炭素成分（主に OC）が最も高濃度であった。ただし、小麦藁と籾殻では炭素成分が支配的なのに対して、稲藁と大麦藁ではイオンの比率が相対的に高かった。EC/TC 比は藁が 5.3~32%、籾殻が 1.2~5.1%であり、炭化しやすい OC が TC の比較的大きな割合（6.1~16%）を占めた。野焼きの指標としてよく用いられる K⁺ の粒子中濃度は 0.54~19%（平均 6.3%）と残渣の種類によって大きく異なった。他のイオン・元素としては、Cl⁻、NH₄⁺、Si の排出係数が高かった。このように残渣の種類や産地によって粒子の組成が大きく異なることが明らかになった。

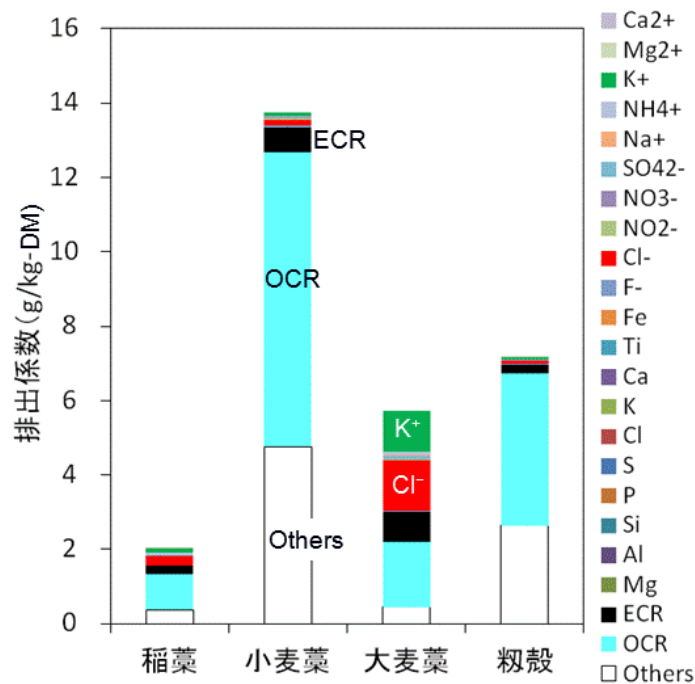


図 1. PM_{2.1}の成分別排出係数

含水率約 10%、風量 4 m³/min。DM: 乾燥させた農作物残渣。主要成分のみ表示。イオンと元素の両方で測定した成分はイオンとしての存在量を元素分析値から減算。

PM_{2.1}の排出係数は残渣の種類・産地によって最大7倍程度異なることがわかった(図1)。同じ残渣・実験条件であれば再現性は比較的良好であった。例えば稲藁のPM_{2.1}排出係数は風量を変えても2.66±0.49 g/kg (n=4)であり変動係数は18%であった。一方、残渣の含水率を約20%に高めると排出係数は増加し、稲藁では3.2倍になった。このように、PM_{2.1}排出係数は実験条件によって変わるが、稲藁と小麦藁に関するAP42の報告値は本実験値の範囲内であった。よって、これらの残渣についてAP42の値を日本で用いても大きな問題はないと思われる。一方、本実験による大麦藁の排出係数はAP42の値の半分程度であった。

以上のように、残渣の種類や産地、燃焼条件によって排出係数や組成が大きく変わり得ることは排出インベントリーにおいて考慮すべきと思われる。

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」、JSPS 科研費(24710017)の支援を受け実施した。

参考文献

- 1) 環境省報道発表資料, 平成22年度大気汚染状況について ~微小粒子状物質(PM_{2.5})~, 一般環境大気測定局, 自動車排出ガス測定局の測定結果報告(2012).
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14869>
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) 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).
- 5) U. S. EPA, AP 42, Fifth edition, Compilation of air pollutant emission factors (1995).
- 6) 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).
- 7) JCAP/JATOP, JCAPII 大気モデル統合化システムの公開について
http://pecj.webdrop.net/japanese/jcap/airmodel/index_airmodel.html
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) 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).

Chemical composition of particles emitted from open burning of crop residues

Akihiro Fushimi¹, Katsumi Saitoh^{1,2}, Kentaro Hayashi³, Shigeto Sudo³,
Keisuke Ono³, Masako Kajiura³, Yuji Fujitani¹, Koichiro Sera⁴,
Akinori Takami¹ and Kiyoshi Tanabe¹

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

² Eco Analysis Corporation
84 Takeda-kitamitsugui-cho, Fushimi-ku, Kyoto 612-8429, Japan

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

⁴ Cyclotron 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 experimentally burned crop residues (rice straw, wheat straw, barley straw, 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 seven. Particulate compositions were also different remarkably among residues or production areas. It was shown that higher moisture content in crop residue remarkably increases the particulate emission and also affects the particulate composition. The particulate emission factors reported in AP42, often used in the Japanese emission inventories, were in the range of our experimental values in various conditions for rice straw and wheat straw. However, the particulate emission factors reported in AP42 for barley straw were about twice our experimental values. Particulate emission factors and their chemical composition of rice hull were firstly shown.