

## E-0809 中国における気候変動対策シナリオ分析と国際比較による政策立案研究

## (2) エアロゾル排出係数実測に関する研究

埼玉大学大学院理工学研究科 坂本 和彦

## &lt;研究協力者&gt;

埼玉大学大学院理工学研究科	王 青躍・岡本敬義・伊藤恒一・佐藤慎平
埼玉大学環境科学研究センター	姜 兆武
中日環境保護中心	薰 旭輝
大同市環境監測中心	白 文濤
中国環境科学研究院	王 偉

平成20～22年度累計予算額：10,940千円（うち22年度予算額：2,500千円）

予算額には、間接経費を含む。

[要旨] 中国における温室効果ガス排出の現況と2030年の将来排出量推計に当たり、重要でありながらデータが得られていない家庭厨房かまどでのバイオマス燃料排出係数を推定するために、中国大同市の農家のかまど「カン」において、くすぶり燃焼、火炎燃焼時に排出される排ガス中の微小粒子（2.5 μm以下）の希釈採取を行った。炭素分析中の炭化を補正できる熱光学式炭素分析装置によりそれらの試料を分析した結果、排出される炭素粒子の大部分は有機炭素粒子（OC）であり、ブラックカーボン（BCまたは元素状炭素（EC））粒子は非常に少なかった。また、ここで排出されるBCは燃料の不完全燃焼により炭化されたChar-ECであり、高温燃焼によるガスから粒子化されるスス、Soot-ECとは異なるものであることが分かった。さらに、ここで得られた結果は、従来のバイオマス燃焼からのOC/BCの排出比とBC排出による温暖化への寄与の見直しが必要であることを示唆していた。

[キーワード] 温室効果物質、ブラックカーボン、バイオマス、炭素分析、中国

## 1. はじめに

地球温暖化の進展とともに、カーボンニュートラルなバイオマス利用による温暖化ガス排出抑制が注目されている。しかし、バイオマス燃焼であっても、排出される燃焼排ガス組成により、地球温暖化への影響の仕方は大きく異なる。例えば、燃焼時に大量のブラックカーボン（炭素として考えた場合は元素状炭素EC）が排出されれば、太陽光を吸収し対流圏大気を暖めるため、温暖化を助長することになる<sup>1)</sup>。一方、吸湿性の極性有機粒子（炭素として考えた場合は有機炭素OC）が排出されれば、それらは雲粒の核ともなり<sup>2)</sup>、太陽光の散乱により地球冷却化に寄与する恐れがある。

中国農村部では、寒冷な大陸性気候に対応したカンと呼ばれる特有の暖房方式が依然として用いられており（図1、図2<sup>3)</sup>）、この際に燃料として稲わら、トウモロコシの芯などといったバイオマス成分が用いられている。このカンは暖房用の用途以外にも、その熱を利用して調理用とし

でも用いられており、農村部における生活にとってなくてはならないものとして位置づけられている。このように、中国農村部でまだ多くのバイオマス（農業廃棄物等）が民生用燃料として利用されており、それらの燃焼時に排出される粒子状物質の特性把握は、今後の地球環境変化の予測に不可欠となっている。

そこで、本研究では、中国におけるトウモロコシの茎、芯や稲わらなどの農業廃棄物であるバイオマス燃焼のカーボンニュートラル性に関する基礎情報を収集するため、大同市近郊の農村地帯の一般農家でカンを用いて、それらの農業廃棄物を湿潤状態、乾燥状態で燃焼させ、排出される微小粒子（ $2.5\ \mu\text{m}$ 以下）を希釈捕集し、炭素分析中の炭化を補正できる熱光学式炭素分析装置により炭素分析を行い、バイオマス燃焼による元素状炭素（EC）ならびに有機炭素（OC）といった成分の排出挙動を把握した。



図1 一般的なカンの全体像



図2 カンの構造

## 2. 研究目的

このサブテーマの研究目的は、中国におけるトウモロコシの茎や芯等の農業廃棄物であるバイオマスの利用による温暖化ガス排出抑制効果の正確な予測に不可欠な、それらの燃焼排気粒子組成、排出量に関する基礎情報を得ることである。具体的には、中国東北部における主要バイオマス燃料について、燃焼条件別に排気中粒子を採取し、人為的操作に伴う誤差（アーティファクト）を避けた炭素成分（EC、OC）分析を行い、そのデータ解析により温室効果に大きく影響する排出BC（ブラックカーボン）組成をもとめ、それらの排出係数整備につながる情報を整理することである。

## 3. 研究方法

### （1）微小粒子の捕集方法

中国大同市郊外農村部のカンが用いられている一般家庭で、バイオマスを燃焼させ、微小粒子の希釈捕集を行った。図2に示したカンの概念図から分かるように、カマドで燃焼させた排煙はカン内部を通り、煙突を通過して屋外へと排出される。このため、実際に大気中へ排出される成分を捕集するには、屋根に上り煙突近くで大気捕集を行う必要がある。



図3 NWPS-35HS

そこで、サンプリングに際しては、人への微小粒子曝露量測定用に開発されたミニポンプ（MP- $\Sigma$ 500N（SHIBATA））と図3に示す個人用サンプラー（NWPS-35HS、対応吸引流量： $2.5\ \text{L}/\text{min}$ ）を用いて、 $\text{PM}_{2.5}$ （ $2.5\ \mu\text{m}$ における粒子透過率が50%である分粒装置を用いて捕集された $2.5\ \mu\text{m}$ 以下の微小粒子）を $35\ \text{mm}\phi$ 石英フィルターにより捕集した。屋外では煙突近く、屋内ではカン燃焼部から1mほど離して捕集を行った。

### （2）バイオマス燃料

中国東北部にてカンに用いる一般的な燃料として、トウモロコシの芯（図4）ならびに茎、稲

わら、コウリャンが挙げられるが、ここではそれらのバイオマス燃料を用いた。



図4 トウモロコシの収穫風景(左: 農家の全景; 中央: 奥から芯、脱穀後、脱穀前; 右: 脱穀後の芯(燃料))

### (3) 燃焼条件

各燃料を使用する場合、乾燥した状態で用いるのが燃焼効率も高く一般的だが、本研究では燃焼条件による排出成分の相違を観察するため、以下のように各燃料に対して条件を設定した。

- ・乾燥状態→乾燥させた燃料を燃焼させる方法。燃焼効率が高く、燃焼スピードが速い。また、煙の発生が少ない燃焼。
- ・湿潤状態→乾燥した燃料にあらかじめ水を掛けて、一晚放置しておく。乾燥状態とは異なり、燻り燃焼となる。

さらに、それぞれの燃料状態に対して、燃焼を制御することにより燃焼状態別による捕集の分類も行った(図5参照)。

- ・燃焼始めまたは燻り燃焼→燃料から燃料へと火が燃え移っている状態で、燃焼温度が低く、水蒸気を伴った排煙が多く発生する燃焼状態。
- ・火炎燃焼→燃料が炎を上げて燃焼している状態。燃焼温度が高く、排煙が少ない燃焼状態。
- ・燃焼終わり→火炎燃焼が納まり、鎮火するまでの状態。

なお、燃焼状態は $[CO_2] / ([CO_2] + [CO])$ の濃度比が0.9以上を火炎状態、それ以下を燻り燃焼状態と分類した。

### (4) サンプルング

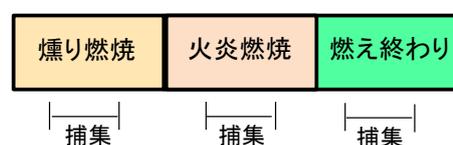
- ・カン(燃料を燃焼口から入れるタイプ)

燃料の投入口が設けられていないため、燃焼中は送風機もしくは、煙突に取り付けられた換気扇により空気が送り込まれ燃焼を促進させる。特に送風を行わない場合は、空気が不足気味になり燃焼はくすぶり状態が維持される傾向にある。従って、燃料の消費が抑えられる。

- ・平成21年度

微小粒子のサンプルングは、煙突部に3台の捕集装置をセットして、直接捕集を実施した。なお、サンプルングに先だって、適切なサンプルング時間を決定するために、1分毎に3台のうち1

#### (a) 直接捕集



#### (b) 希釈捕集

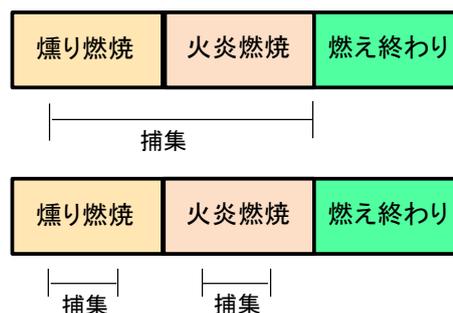


図5 各燃料状態の燃焼プロセス捕集方法  
(a) 平成21年度実施方法、(b) 平成22年度実施方法

台のポンプのフィルターの色を観察し、捕集時間を調べた。検討の結果、5分以上を経過するとポンプ吸引力の低下が見出されたので、正確な捕集流量が決められるようにするため、捕集時間を5分とした。

また、バックグラウンド大気の捕集として煙突からの排煙の影響を直に受けないポイントで、排煙のサンプリングと同様の装置を用いて、6時間連続捕集を行った(図6の後方)。

・平成22年度

図7に試料捕集時の様子を示す。煙突から排出されたサンプル大気と希釈大気とをそれぞれ吸引速度の異なるミニポンプにより吸入し、マニホールド内で希釈した大気をPM<sub>2.5</sub>サンプラーによりサンプリングした。



図6 煙突からの排気粒子(手前)ならびにバックグラウンド大気の捕集(後方の赤丸部分)



図7 煙突からの排気粒子の採取状況ならびに各種燃焼条件の測定装置の設置状況

試料採取中は、K熱電対(RX-450K(OMEGA))をカンの通気口の中心部に設置し、燃焼ガス温度をモニターした。また煙突出口に、排ガス測定装置(HT-1300N(ホダカテスト))を設置し、燃焼排ガス(O<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>)濃度をモニターした。熱線風速風量計(DT-8800(MK-scientific))の設置位置が風速に与える影響について調査を行った。設置位置については、図7に示したように煙突出口から深さ30cm、50cmの位置に設置した。熱線風速風量計を煙突内部の位置を変化させたが、どの地点においても風速に大きな違いは見られなかった。そのため、今回のサンプリングでは煙突の中心、深さ30cmの位置で測定を行った。

燃料量の調整および希釈捕集を行うことにより、燃え始めから燃え終わりまで一貫して捕集を行った場合でも、ポンプの吸引力が低下することなく捕集することができた。ここでは、2台の希釈捕集装置をセットして、同時に捕集を行った。

また、燃料状態別(乾燥状態、湿潤状態)、燃焼状態別(燃え始め、火炎状態、燃え終わり)においては、2台は希釈捕集、1台は無希釈捕集で同時に60s(コウリャン乾燥状態、燻り燃焼を

除く) 捕集を行った。

#### (5) 炭素成分分析

炭素成分の分析は、フィルターの一部を8 mmφのポンチを用いてくり抜き、Carbon analyzer (DRI Model 2001 OC/EC Carbon Analyzer) を用いて行った。昇温プログラムはIMPROVE TOR プロトコル<sup>4)</sup> (He中OC1: ~120°C, OC2: 120~250°C, OC3: 250~450°C, OC4: 450~550°C, He-O<sub>2</sub> (98:2) 中EC1: ~550°C, EC2: 550~700°C, EC3: 700~800°C) を用いた。

### 4. 結果と考察

#### (1) 炭素分析における分析誤差の回避

大気エアロゾル中の主要成分である炭素は、OC、EC、及び炭酸塩炭素 CC (Carbonate Carbon) の3種類に区別して分析される。ECには標準となる物質が存在しないので、OCとECとの区別は分析法によって定義されているため、分析方法の異なる測定結果の相互比較が困難である。また、分析方法によっては、OCとECの分離が不活性ガス中で温度のみにより行われているため、測定中におけるOCのECへの炭化が生じてしまい、OCの過小評価、ECの過剰評価が問題となっていた。

温室効果に関わるエアロゾル粒子の測定においては、黒色炭素粒子 (BC) または元素状炭素粒子 (EC) 分析においてHeなど不活性気体雰囲気中で試料からOCを熱分離し、残存炭素をBC/ECとし、熱分離を施さない試料から全炭素TCを測定し、TCとECの濃度差をOCとすることが多かった。しかし、この方法では熱分離される過程でOCの炭化が引き起こされ、BC/ECが過大に評価されるため、BC/ECの光学的性質に着目して、図8に示すように不活性気体雰囲気中で試料からOCを揮発分離する過程で熱分解・炭化された量を、試料のレーザー透過光強度 (Laser Transmission) / 反射光強度 (Laser Reflection) の変化をモニターして補正する方法がとられるようになった。図8にIMPROVE (Interagency Monitoring of PROtected Visual Environments) 法による測定例<sup>5)</sup>を示す。

この例では、He雰囲気中で昇温し、120°C、250°C、450°C、550°Cまでに揮散してくるフラクションをそれぞれOC1、OC2、OC3、OC4とし、酸素を加えて98%He + 2%O<sub>2</sub>とした時に酸化燃焼する炭素をEC1、さらに700°C、800°Cに昇温した時に燃焼するものをEC2、EC3としている。He雰囲気中での炭化をレーザー光による反射光強度と透過光強度でモニターし続け、98%He + 2%O<sub>2</sub>雰囲気550°Cで測定開始時の反射光強度の値に戻るまでに燃焼した炭素を熱分解有機炭素POCとして補正している。この補正方法が成立するためには、次の条件のいずれかを満たす必要がある：1) 測定中の熱分解により新たに生成するEC (POC) は、元々測定試料中に含まれているネイティブEC (NEC) よりは先に燃焼する、2) POCとNECのレーザー光に対する特性が等しい、言い換えればPOCとNECはすべて炭素換算で等しい透過係数 (吸光係数)、反射係数を持っている。しかし、水

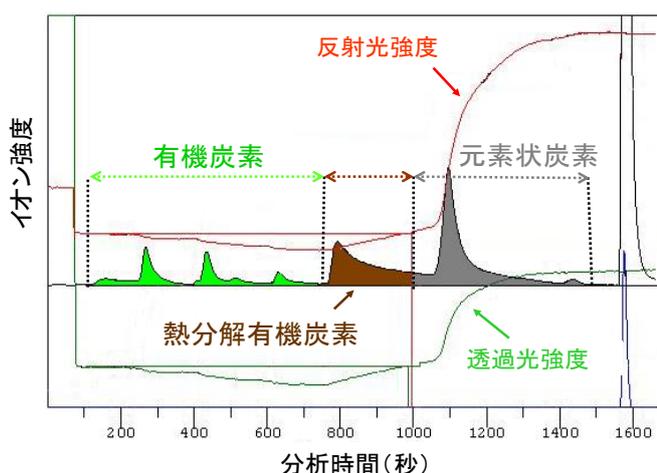


図8 IMPROVE法による炭素成分の分析例

溶性有機炭素 (WSOC) から生成したPOCはNECの燃焼開始後も残存すること等から1)の条件は成立しない (Yang and Yu, 2002)<sup>6)</sup> し、POCとNECの吸光係数は異なっている (Birch, 1998)<sup>7)</sup> ことから2)の条件も成立しない。したがって、厳密な意味では、IMPROVE法を用いても、分析に伴う誤差の補正は完全ではない。しかし炭素分析中の炭化によるBC/ECの過剰見積もりはOCとBC/ECの単なる熱分離による分析に比べればかなり回避できると考えられ、以下ではIMPROVE法による分析結果を議論する。

## (2) Char-ECとSoot-EC

大気粒子中のいわゆる黒色の炭素粒子はその発生経路で光学特性も大きく異なり、熱光学式炭素分析計で、有機炭素 (OC)、元素状炭素 (EC) の詳細分析を行えば、図9に示したようにバイオマス燃焼から発生する黒色炭素Char-ECはEC1として、*n*-ヘキサンの高温燃焼により発生させたSoot-ECは、主にEC2として、carbon black はEC2とEC3として検出されることが報告されている (Han et al., 2007)<sup>8)</sup>。このchar-ECは炭素分析データのEC1から熱分解OC (POC) を減じたものであり、低温における燃料の不完全燃焼により排出され、粒子径がマイクロメートルレベルの大きいものである。もう一方のSoot-ECは高温で燃焼し、一度気化したガスから粒子を生成するものであり、ナノメートルサイズの一次粒子ができ、それがさらに鎖状会合してサブミクロン程度の粒子になったものと考えられている。

これらのChar-ECとSoot-ECは光学特性、粒径分布、親水性も異なり、大気中における寿命や高度分布も異なる<sup>9)</sup>のでその分別分析は重要である。しかし、これまではこれらの分別測定がなされておらず、バイオマス燃焼時の炭素粒子の排出特性についてもBCとしてまとめて扱われているものが多い。そこで、本研究では炭素成分分析中のOCの熱分解による炭化誤差の回避低減、ならびにChar-ECとSoot-EC分別に留意して、中国山西省大同市郊外農村部におけるカンを用いて、バイオマスを燃焼させてPM<sub>2.5</sub>を捕集し、その炭素成分分析を行った。

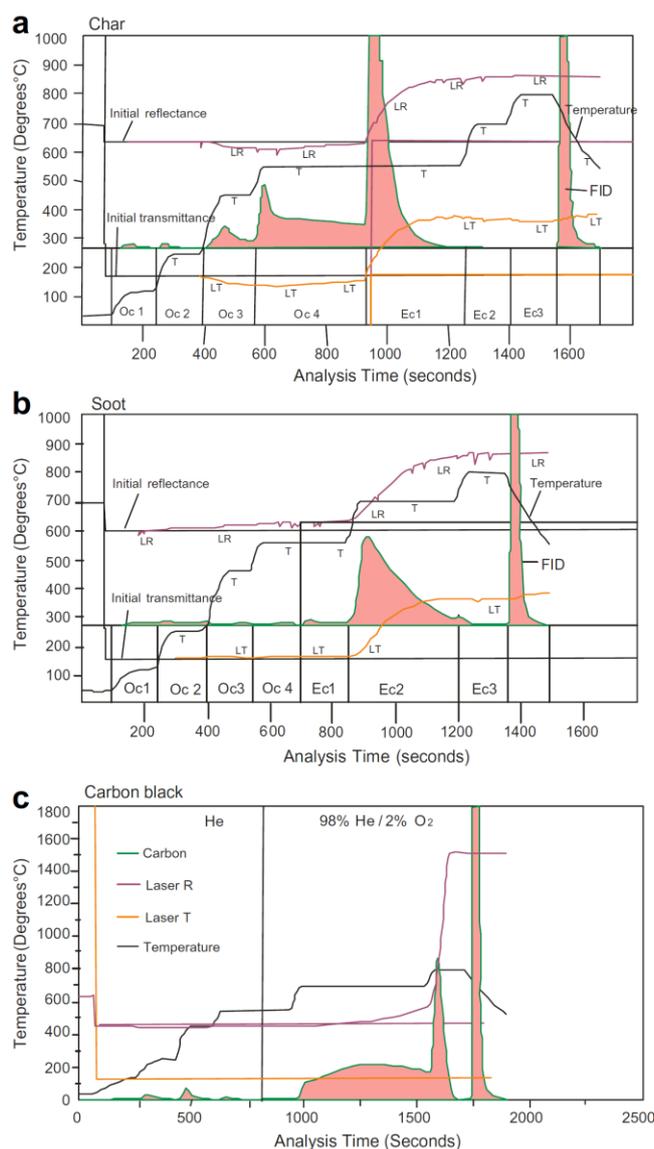


図9 IMPROVE TOR プロトコルによる Char と Soot 試料のサーモグラム: (a) Char (Lab wood char 400)、(b) Soot (*n*-hexane Soot)、(c) carbon black<sup>8)</sup>

## (3) バイオマス燃焼時の排出微粒子中の炭素組成

## 1) 直接捕集における炭素成分組成

稲わら、トウモロコシの茎、芯について、燃料の乾湿状態と燃焼状態を変化させて条件別に排気粒子を直接捕集し、炭素組成の変化を調べた。捕集試料に対する炭素成分排出濃度の測定結果を図10に、炭素成分の組成を100分率で図11に示す。

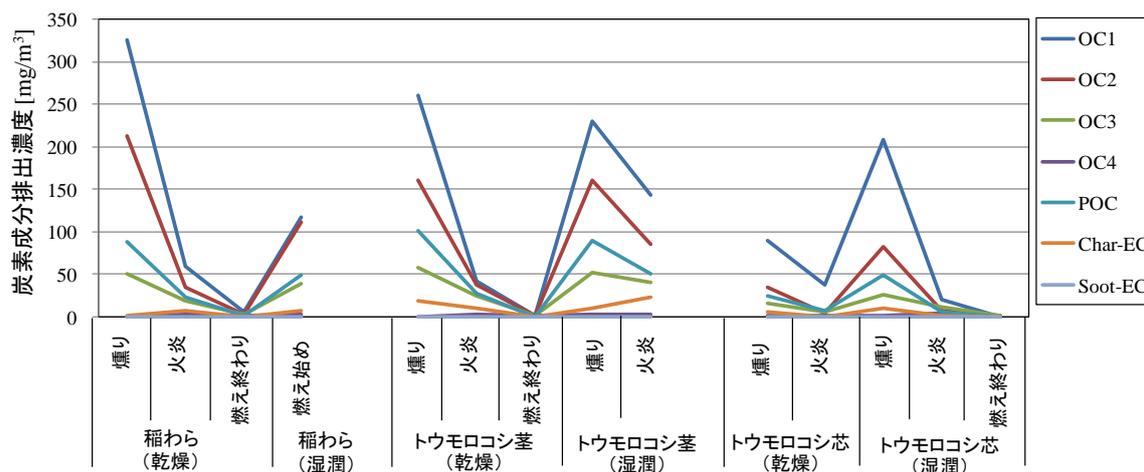


図10 直接捕集による燃料種別の炭素成分排出濃度の変化

これらの結果より、各燃料ともに燃え始め状態にてOC1とOC2が高濃度に排出されていることが確認できる。火炎燃焼に移行すると、その発生量は格段に落ちるといった傾向がどの燃料においても明瞭に観察された。さらに、湿潤燃料を燃焼させた場合、いわゆるくすぶり燃焼が継続し、乾燥燃料を燃焼させた場合の燃え始めと比較して、より高濃度のOCが排出された。湿潤、

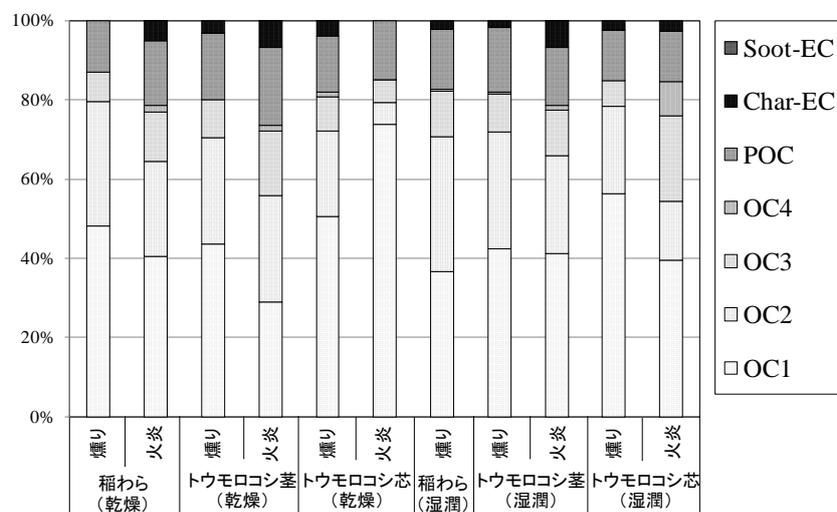


図11 直接捕集による燃料種別排気粒子の炭素成分組成

乾燥燃料いずれの場合も、炎をあげて燃焼する火炎燃焼に至ってからは、OC排出濃度にはほとんど差が見られなかった。トウモロコシの芯を燃焼させた場合に排出される微小粒子中の炭素成分分析結果を表1に示したが、ECの排出濃度は、OCの排出濃度と比較して1/30~1/400であり、全体の排出粒子に占めるECの割合は著しく低かった。これは希釈なしでの直接捕集であるため燃焼時に排出された極性のガス状有機成分のフィルターへの吸着も否定できず、希釈捕集した試料についての確認が必要である。さらに、Char-EC、Soot-EC成分に着目すると、希釈捕集したサンプル

において、バイオマス燃焼成分により排出された黒色炭素はほとんどがChar-ECであった。

Char-ECとSoot-ECは、粒径分布、親水性や可視光の吸収特性が異なると推定されるため、バイオマス燃焼により排出される黒色粒子が、Char-ECであるかSoot-ECであるかにより地球温暖化に与える影響は変化する。バイオマス燃焼によって排出されるBCは少なく、炭素粒子の大部分が有機粒子であれば、温暖化よりもむしろ冷却化に寄与する可能性すらある。よって、バイオマス燃焼により排出される炭素成分を測定する際には、OCとECとし、ブラックカーボンを単にECとして分類測定するのではなく、ここで示したように、Char-ECとSoot-ECを明確に区別して分析する必

表1 トウモロコシの燃焼状態別排出粒子の炭素成分分析結果 (mg/filter)

	トウモロコシの芯 (乾燥)		トウモロコシの芯 (湿潤)		
	燃え始め	火炎燃焼	燃え始め	火炎燃焼	燃え終わり
OC	166	57	368	49	4.3
EC	6.3	0.6	9.5	1.4	0.0

要がある。

## 2) 希釈捕集による炭素成分組成

図7に示したように、粒子を除去した環境大気で排気ガスを5倍希釈してPM<sub>2.5</sub>を採取した際の排気ガス組成の測定例を表2に示す。多くの例において、炎をあげて燃焼している場合であれば、COとCO<sub>2</sub>濃度の測定値からは、 $[\text{CO}_2] / ([\text{CO}_2] + [\text{CO}])$ の濃度比が0.9以上になっており、十分な火炎燃焼状態に至っていたと考えられる。

表2 希釈捕集時の排ガス成分のデータ

燃料	燃焼状態	測定時間(S)	O <sub>2</sub> (%)	CO(ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> /(CO+CO <sub>2</sub> )
稲わら(乾燥)	燻り	0	20.3	1001	0.4	0.80
		30	19.7	2652	0.7	0.73
		60	19.2	3814	1	0.72
	火炎	0	18.1	1650	1.8	0.92
		30	18.1	1840	1.6	0.90
		60	18	6250	1.8	0.74
トウモロコシ茎(乾燥)	燻り	0	20.2	1100	0.4	0.78
		30	20	1460	0.5	0.77
		60	19.8	1810	0.6	0.77
	火炎	0	18.4	1411	1.5	0.91
		30	18.2	1361	1.6	0.92
		60	18.1	1289	1.6	0.93
トウモロコシ芯(乾燥)	燻り	0	18.6	2007	1.3	0.87
		30	18.3	3142	1.5	0.83
		60	17.6	3573	2	0.85
	火炎	0	16.3	4029	3.8	0.90
		30	16.7	3537	3.4	0.91
		60	14.4	4046	4.1	0.91
コウリヤン(乾燥)	燻り	0	18.1	3238	1.6	0.83
		30	17.7	2913	1.9	0.87
		60	16.3	4029	3.8	0.90
	火炎	0	13.8	3924	4.1	0.91
		30	13.7	3325	4.3	0.93
		60	13.8	3162	4.1	0.93

図12に希釈捕集時のPM<sub>2.5</sub>中の炭素成分組成を示す。図11の直接捕集と図12の希釈捕集とを比較した場合、OC1の割合が著しく低下し、OC3とOC4の占める割合が大きくなっていることが分かる。直接捕集の場合にはフィルターに吸着していたガス状成分がOC1として検出されたが、希釈捕集ではその影響が効果的に低減したものと推定される。また、この結果より、中国北部における家庭暖房のカンによりバイオマス燃焼中に排出される微小粒子PM<sub>2.5</sub>中のBCはそのほとんどがchar-ECであることが分かった。

炭素成分分析中のOCのEC (BC) への炭化を補正可能なIMPROVE法(図8)により求めた表3の希釈捕集時のPM<sub>2.5</sub>中の炭素成分分析値から計算されるOC/EC (OC/BC)比は、およそ3:1~15:1であった。しかし、この炭化が補正されていない場合はEC (BC)はPOCとChar-EC濃度の和となるため、見掛けのOC:EC (OC/BC)はおよそ3:1から5:1となる。これまで報告されているバイオマス燃焼からのOC/BC比は3:1~6:1程度とされており<sup>10,11,12)</sup>、この範囲に含まれることが分かる。このことは、これまでのバイオマス燃焼から排出される粒子中の炭素組成においては、BC排出量をかなり過剰に、OC排出量を過小評価している可能性が高い。さらに前述の通りChar-ECとSoot-ECの光学特性、粒径分布、親水性などが異なるため、ここで得られたOC/EC (OC/BC)比ならびにChar-EC/Soot-EC比などの測定結果を踏まえて、バイオマス燃焼からの温暖化への影響の程度を見直す必要がある。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

中国大同市農村部の一般農家において、トウモロコシ等を燃料とするカンから排気粒子を希釈捕集し、バイオマス燃焼時の排気粒子捕集中におけるOCのフィルターへの吸着に伴うアーティファクトの影響を低減した。また、捕集粒子の炭素成分分析中のOCのEC (BC) への炭化を光学的に補正可能なIMPROVE法により分析し、バイオマス燃焼により排出されるBCの多くは、Soot-ECではなくChar-ECであることを明らかにした。これにより、分析誤差の影響を避けて、バイオマス燃焼時の炭素成分の排出係数測定のための炭素成分測定手法を確立できた。

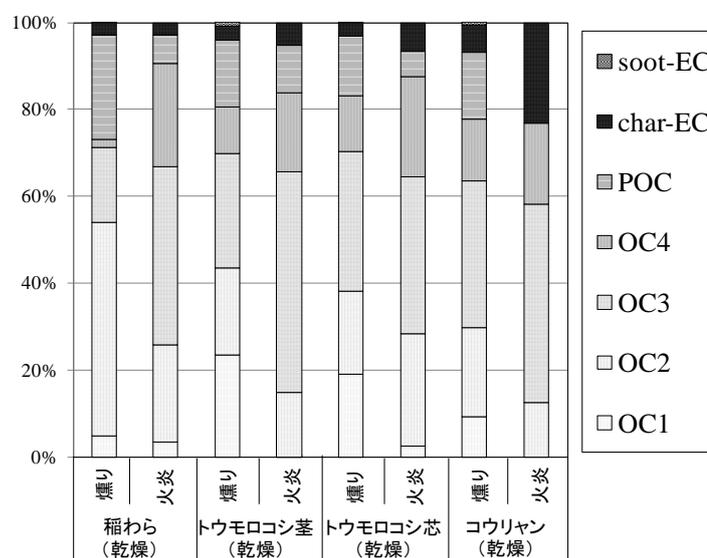


図12 希釈捕集時の排出粒子PM<sub>2.5</sub>中の炭素成

表3 希釈捕集時のOC成分、EC成分排出係数 (mg/g)

	稲わら(乾燥)	トウモロコシ茎(乾燥)	トウモロコシ芯(乾燥)	コウリヤン(乾燥)
OC1	49.5	0.7	5.1	0.3
OC2	75.1	8.2	6.2	3.9
OC3	37.0	10.1	7.4	6.5
OC4	5.2	5.4	5.1	4.7
POC	45.5	3.3	6.0	1.2
Char-EC	13.5	1.9	2.5	6.7
Soot-EC	0.5	0.0	0.0	0.1

さらに、これまでバイオマス燃焼時の排気粒子中の炭素成分比、OC/BC比、はおよそ3:1~6:1程度と報告されていたが、炭素分析中のOCの炭化による分析誤差を低減して測定された今回のOC/EC (OC/BC) 比はおよそ3:1~15:1であり、これまでの報告ではバイオマス燃焼から排出される粒子中の炭素組成において、BC排出量をかなり過剰に、OC排出量を過小評価している可能性が示唆された。

## (2) 環境政策への貢献

排気粒子中のブラックカーボンには、光学特性、粒径分布、親水性などが異なるSoot-ECとChar-ECとして排出され、後者が主であることを明らかにした。また、これまでに報告されているバイオマス燃焼由来大気粒子中のOC/BCの見積もりに対して、OCの過小評価ならびにBCの過剰評価の可能性を指摘し、地球温暖化への寄与の予測精度向上に寄与する情報を提供できた。

## 6. 引用文献

- 1) Jacobson, M.Z. (2001) Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols, *Nature*, 409, 695-697.
- 2) Novakov, T., Penner, J.E. (1993) Large contribution of organic aerosols to cloud-condensation-nuclei concentrations, *Nature*, 365, 823-826.
- 3) 計文浩, 野口孝博, 西村伸也, 月館敏栄, 陸偉, 羅玲玲, 森下満, 池上重康, 岡本浩一 (2003) 瀋陽市近郊農村住宅におけるカンの生活様式と空間構成, *日本建築学会技術報告集*, 18, 245-249.
- 4) Chow, J.C., Watson, J.G. (1993) The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U.S. air quality studies, *Atmospheric Environment* 27A, 1185-1201.
- 5) DRI: DRI Standard Operating Procedure, DRI Model 2001 Thermal/Optical Carbon Analysis (TOR/TOT) of Aerosol Filter Samples – Method IMPROVE\_A, DRI SOP #2-216 (2005)
- 6) Yang, H., Yu, J. Z. (2002) Uncertainties in charring correction in the analysis of elemental carbon and organic carbon in atmospheric particles by thermal/optical methods, *Environ. Sci. Technol.*, **36**, 5199-5204.
- 7) Birch, M.E. (1998) Analysis of carbonaceous aerosols: interlaboratory comparison, *Analyst*, **123**, 851-877.
- 8) Han, Y., Cao, J., Chow, J.C., Watson, J.G., An, Z., Jin, Z., Fung, K., Liu, S. (2007) Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC, *Chemosphere*, 69, 569-574.
- 9) Park, R.J., Kim, M.J., Jeong, J.I., Youn, D., Kim, S. (2010) A contribution of brown carbon aerosol to the aerosol light absorption and its radiative forcing in East Asia, *Atmospheric Environment*, 44, 1414-1121.
- 10) Streets, D.G., Yarber, K.F. (2003) Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emission, *Global Biogeochemical Cycles*, 17, doi:10.1029/2003GB002040.
- 11) Bond, T.C., Streets, D.G., Yarber, K.F., Nelson, S.M., Woo, J.-H., Klimon, Z. (2004) A technology-based global inventory of black carbon and organic carbon emissions from combustion, *J. Geophys Res.*, 109, doi:10.1029/2003JD003697.

- 12) 外岡豊 (2007) 東アジア地域におけるエアロゾル成因物質の排出量推計, エアロゾルの大気環境影響 (笠原三紀夫, 東野達編), pp.262-276, 京都大学出版会.

#### 7. 国際共同研究等の状況

中日環境保護中心の薫旭輝博士、中国環境科学研究院王偉博士、大同市環境監測中心白文濤氏らと大同の民家におけるカンを用いて、バイオマス燃焼時の排気粒子の捕集を行った。

#### 8. 研究成果の発表状況

##### (1) 誌上発表

なし

##### (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 岡本敬義, Jiang, Z., 佐藤慎平, 関口和彦, Wang, Q., 坂本和彦: 中国農村部のカンによるバイオマス燃焼時に排出される微小粒子中の炭素成分の測定, 第27回エアロゾル科学・技術研究討論会, pp. 87-88, 2010年8月.
- 2) 伊藤恒一, 岡本敬義, Jiang Z., 関口和彦, Wang, Q., 坂本和彦: 中国農村部のカンによるバイオマス燃焼時に排出される微小粒子中の炭素成分の測定 (2), 第51回大気環境学会年会, p. 334, 2010年9月.

##### (3) 出願特許

なし

##### (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

##### (5) マスコミ等への公表・報道等

なし

##### (6) その他

なし