

JAMSTEC とブラックカーボン研究

■ブラックカーボンとは？

ブラックカーボン(BC)は、地球大気中に浮遊するエアロゾル微小粒子 (PM_{2.5}) のうち、およそ 1~5%の重量を占める微量物質で、「すす」としても知られています。その名のとおり色が「黒い」ために、空中で太陽光を吸収し大気を温める効果があること、高緯度地域では雪氷面に沈着すると反射率を低下させ、融解を促進する効果があることから注目が集まっています。工場やディーゼル排ガスに含まれる大気汚染物質でもあることから、排出を削減しうる物質であり、近未来 (およそ 30 年以内) の温暖化を和らげるために取り組み甲斐のある物質である (緩和策に結び付く) という点からも、その注目度が高まっています。

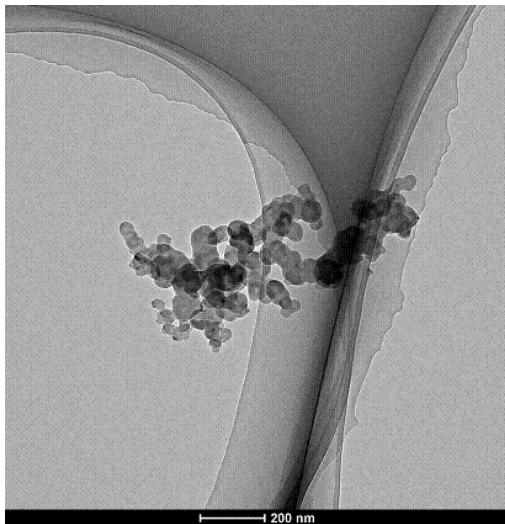


図 1. ブラックカーボン粒子の顕微鏡写真。

(提供：宮川拓真)



図 2. ブラックカーボンの重要性に関する

UNEP/WMO の報告書。

<http://www.unep.org/dewa/Assessments/Ecosystems/ClimateChange/tabid/7002/>

■巨大発生源から攻める

JAMSTEC では、環境省総合研究推進費なども得て、2005 年から BC の研究をスタートさせました。その際まず注目したのは、巨大発生源と目されていた中国です。社会経済的な統計資料からは、中国での人間活動による発生量は世界の 25%を占めるのではと推定されていましたが、観測データがなく、実際の発生量はその 4 倍かもしれない、あるいは 1/4 にすぎないかもしれない、と言われていました。そこで我々は中国の山 (泰山、黄山) において通年観測を実施し、広域の発生量の情報を押さえるための情報を得ました (Pan et al., 2011)。発生源としては、工場の排ガスだけでなく、大規模に行われ

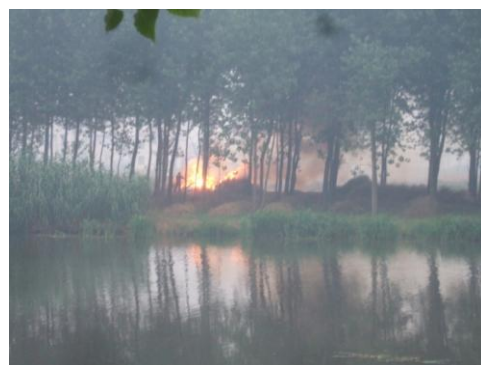


図 3. 収穫後の農業廃棄物の野外燃焼から放出されるブラックカーボン。

る農業廃棄物の野焼きも重要であることを掴みました(Kanaya et al., 2008, 2013b; Pan et al., 2012, 2013, Yamaji et al., 2010)。BC の測定法も統一されていないことも大きな課題でした。光学的な方法、熱で有機物と分離したのち CO₂ に変換して定量する方法などがあり、それらの比較を丹念に進め、信頼のおける方法の確立も進めました(Kanaya et al., 2013a, Miyakawa et al., 2015 など、東京大学と共同)。発生量と大気中濃度を結び付けるモデルシミュレーションも開発し、発生量見積の不確かさを従来の 4 倍から 5 割程度まで追いかむことに成功しています。モデルシミュレーションでは、温暖化に与える影響も見積もっており、その不確かさも軽減されつつあります(Sudo et al., in preparation)。

■より広域への拡がりからプロセスを探る

一旦大気中に飛び出した BC 粒子は 10 年も 100 年も大気中を漂うでしょうか。答えは No です。雲に取り込まれたのち雨に含まれて地表面へ沈着することなどが知られており、およそ数日で大気中から除かれてしまうと考えられています。しかしながらその過程や効率については未だよくわかっていません。そこで我々は、発生源からやや離れた福江島での観測、その何倍も離れた海上で研究船による観測を行い、広域への拡がり調べることによって、大気中での運ばれ方だけでなく、「大気中からの取り除かれ方」を探っています。海の上では、発生源近くと比べると濃度は何桁も低いため、非常に感度の高い計測装置が必要となります。我々はそのような装置の開発や改良、運用にも力を注いでおり(東京大学と共同)、最近では、船の上でも一粒一粒の BC 粒子の重さまで正確に測れるようになってきました。BC とは異なる粒子とどのように混ざり合っているかを調べることができれば、粒子の履歴がよくわかります。またその混ざり具合(混合状態)は、太陽の光を吸収する効率を左右するともいわれています。そのため、我々は 1 粒ごとの混合状態を調べることができる装置も東京大学・富士電機と共同で開発してきました(Miyakawa et al., 2014; Taketani et al., in preparation)。最近では、JAMSTEC の電子顕微鏡を用いて、10 ナノメートル程度の微粒子が鎖状に連なった形をしている粒子ごとの姿(図 1 参照)や、BC 以外の白色の成分(硫酸塩や有機物など)の粒子に覆われているかどうかまで、確実な証拠を掴むこともできるようになってきました。

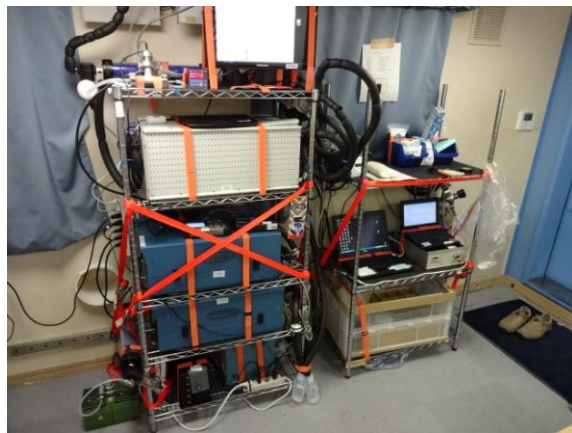


図 4. 海洋地球研究船「みらい」に搭載されたブラックカーボン計測装置などの機材。

観測事実からプロセスを見出すためにはモデルが必要です。発生過程、大気中で粒子同士が衝突する凝集過程や粒子毎のサイズ変化、水への溶け込みやすさの変化、雨などによる除去過程、のそれぞれについて、最先端の理解を表現できるモデルを構築し(Matsui et al., 2013, 2014a, b など)、解析に用いています。

■そして北極へ

北極域は気候変化に最も敏感な地域の1つとされていますが、温暖化の原因はまだ良く理解されていません。BCがどう作用しているのかも1つの鍵です。BCが北極域までどのように運ばれているのか、その起源は人間活動か、

自然の森林火災によるものなのか、発生地域は我々の住む中緯度なのか、高緯度のちょっとした発生源が重要なのか、海氷や積雪への沈着量がどの程度なのか、氷の融解だけでなく、太陽光の反射率低下を引き金とした、温暖化に拍車をかける効果があるのか、気候変動がさらに森林火災を起しやすいているかなど、理解されていない点が多く残されています。もちろんBCだけでなく、メタンや二

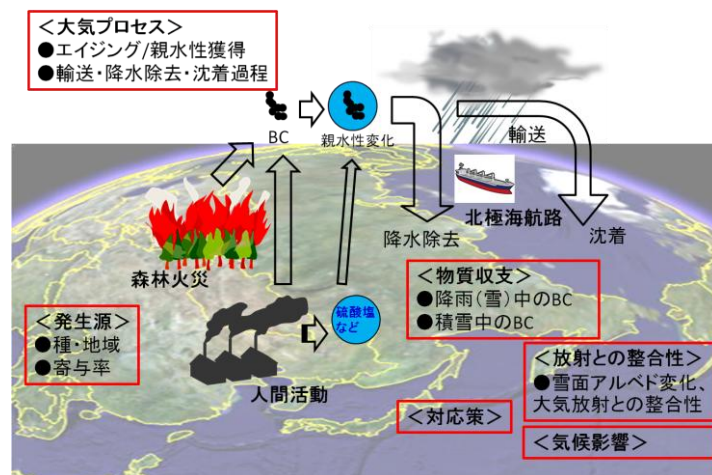


図 5. 中緯度から北極にかけてのブラックカーボン総合研究の課題。

酸化炭素の変化も同時に起こっており、どのような相乗効果があるのかも重要なポイントです。新たに拓かれる北極海航路において、船から排出されるBCに対し、どの程度の規制が必要となるかに関する答えを見つけることも重要になるでしょう。我々は、2013年から、北極海へと航行する海洋地球研究船「みらい」の航海でBCの計測をまず開始しました。これまで進めてきた中緯度における研究の成果に立脚し、北極を含む地球規模でのBC動態とその役割の解明を進めたいと考えています。

●JAMSTECが保有するブラックカーボン計測装置



左から順に、COSMOS(上)、MAAP(下)、ECOC計、SP2。

●研究成果

Kanaya, Y., F. Taketani, Y. Komazaki, X.Liu, Y. Kondo, L. K. Sahu, H. Irie, H. Takashima, Comparison of black carbon mass concentrations observed by multi-angle absorption photometer (MAAP) and continuous soot-monitoring system (COSMOS) on Fukue Island and in Tokyo, Japan, [Aerosol Sci. Technol. , 47, 1-10 \(2013a\)](#).

Kanaya, Y., Akimoto, H., Wang, Z.-F., Pochanart, P., Kawamura, K., Liu, Y., Li, J., Komazaki, Y., Irie, H., Pan, X.-L., Taketani, F., Yamaji, K., Tanimoto, H., Inomata, S., Kato, S., Suthawaree, J., Okuzawa, K., Wang, G., Aggarwal, S. G., Fu, P. Q., Wang, T., Gao, J., Wang, Y., and Zhuang, G.: Overview of the Mount Tai Experiment (MTX2006) in Central East China in June 2006: studies of significant regional air pollution, [Atmos. Chem. Phys., 13, 8265-8283 \(2013b\)](#).

Kanaya, Y., Y. Komazaki, P. Pochanart, Y. Liu, H. Akimoto, J. Gao, T. Wang, and Z. Wang, Mass concentrations of black carbon measured by four instruments in the middle of Central East China in June 2006, [Atmos. Chem. Phys., 8, 7637-7649 \(2008\)](#).

Pan, X. L., Kanaya, Y., Wang, Z. F., Liu, Y., Pochanart, P., Akimoto, H., Sun, Y. L., Dong, H. B., Li, J., Irie, H., and Takigawa, M.: Correlation of black carbon aerosol and carbon monoxide in the high-altitude environment of Mt. Huang in Eastern China, [Atmos. Chem. Phys., 11, 9735-9747, doi:10.5194/acp-11-9735-2011 \(2011\)](#)

Pan, X. L., Y. Kanaya, Z. F. Wang, F. Taketani, H. Tanimoto, H. Irie, H. Takashima, and S. Inomata, Emission ratio of carbonaceous aerosols observed near crop residual burning sources in a rural area of the Yangtze River Delta Region, China, [J. Geophys. Res., 117, D22304, doi:10.1029/2012JD018357 \(2012\)](#).

Pan, X., Y. Kanaya, Z. Wang, Y. Komazaki, F. Taketani, H. Akimoto, P. Pochanart, Variation of carbonaceous aerosols from open crop residue burning with transport and its implication to estimate their lifetimes, [Atmos. Environ., 74, 301-310 \(2013\)](#)

Miyakawa, T., N. Takeda, K. Koizumi, M. Tabaru, Y. Ozawa, N. Hirayama & N. Takegawa, A New Laser Induced Incandescence–Mass Spectrometric Analyzer (LII-MS) for Online Measurement of Aerosol Composition Classified by Black Carbon Mixing State, [Aerosol Science and Technology, 48, 853-863 2014](#).

Miyakawa, T. et al., Refractory Black Carbon and Elemental Carbon Aerosols in an Industrial Area, Japan: Implications for the Consistency of Soot Aerosol Mass Concentration Measurements, to be submitted, 2015.

Taketani, F. et al., Analysis of the Mixing State of Suspended Atmospheric Aerosol Particles using a Tandem Combination of Laser-induced Fluorescence and Incandescence Techniques, to be submitted, 2015.

Matsui, H., M. Koike, Y. Kondo, N. Oshima, N. Moteki, Y. Kanaya, A. Takami, and M. Irwin, Seasonal variations of Asian black carbon outflow to the Pacific: Contribution from anthropogenic sources in China and biomass burning sources in Siberia and Southeast Asia, [J. Geophys. Res., 118, 9948–9967, doi:10.1002/jgrd.50702 \(2013\)](#).

Matsui, H., Koike, M., Kondo, Y., Takami, A., Fast, J. D., Kanaya, Y., and Takigawa, M.: Volatility basis-set approach simulation of organic aerosol formation in East Asia: implications for anthropogenic–biogenic interaction and controllable amounts, [Atmos. Chem. Phys., 14, 9513-9535, doi:10.5194/acp-14-9513-2014, 2014a](#).

Matsui, H., Koike, M., Kondo, Y., Fast, J. D., and Takigawa, M.: Development of an aerosol microphysical module: Aerosol Two-dimensional bin module for foRmation and Aging Simulation (ATRAS), [Atmos. Chem. Phys., 14, 10315-10331, doi:10.5194/acp-14-10315-2014, 2014b](#).

Yamaji, K., Li, J., Uno, I., Kanaya, Y., Irie, H., Takigawa, M., Komazaki, Y., Pochanart, P., Liu, Y., Tanimoto, H., Ohara, T., Yan, X., Wang, Z., and Akimoto, H.: Impact of open crop residual burning on air quality over Central Eastern China during the Mount Tai Experiment 2006 (MTX2006), [Atmos. Chem. Phys., 10, 7353-7368, doi:10.5194/acp-10-7353-2010, 2010](#).

環境省地球環境研究総合推進費、B-051 [アジアにおけるオゾン・ブラックカーボンの空間的・時間的変動と気候影響に関する研究 \(H17-19\)](#)

環境省地球環境研究総合推進費、S-7-1 [数値モデルと観測を総合した東アジア・半球規模のオゾン・エアロゾル汚染に関する研究 \(H21-25\)](#)

金谷有剛、JAMSTEC 公開セミナー、「PM2.5 はどこまで分かったか—拡がる人間活動と地球環境への影響」2013年7月 (JAMSTEC 横浜研究所図書館にて DVD 収録が閲覧できます)