

## 地球温暖化に関わる北極ブラックカーボンと ダスト粒子の動態と放射効果

課題番号	2-1703
研究実施期間	平成29～令和元年度
研究経費(累計額)	139,869千円

研究代表者：小池 真（東京大学）

随行者：高見 昭憲（国立環境研究所）

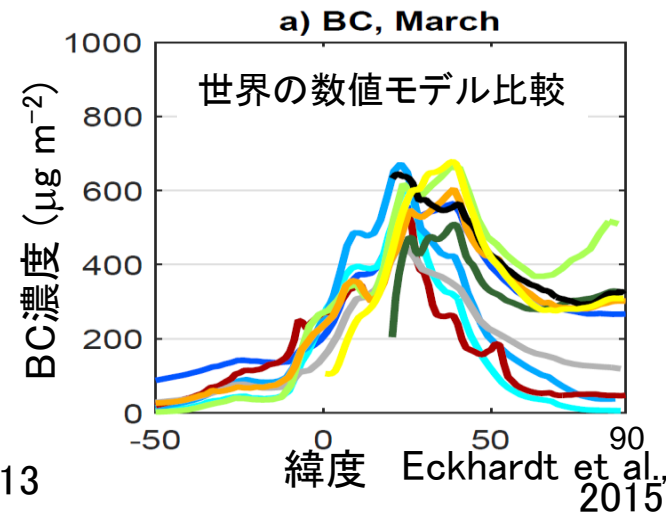
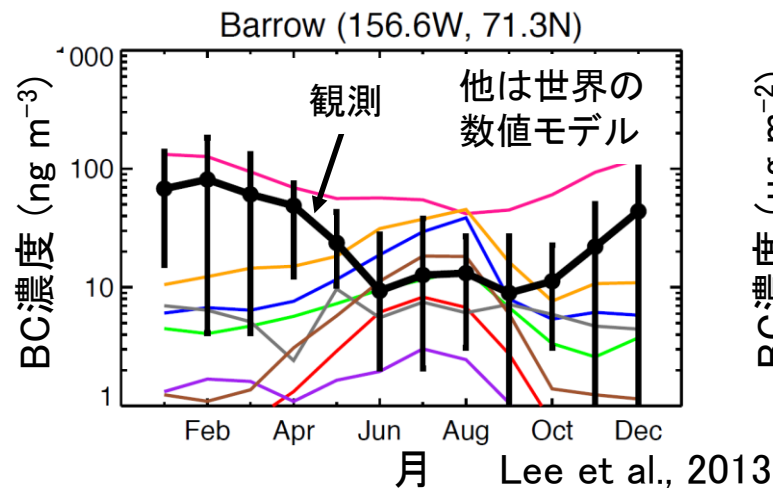
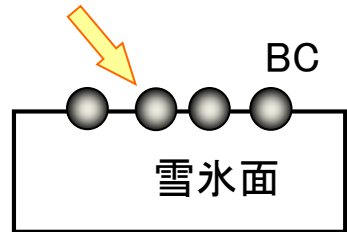
松井 仁志（名古屋大学）

# 研究の背景

## (1) 北極ブラックカーボン(BC)

- BCは強い光吸収により、3番目に大きい正の放射強制力 (IPCC AR5)
- 北極温暖化にBCが大きく寄与している可能性 (北極評議会のBCアセスメント)
- 観測とモデルに大きな不確定性

アイス・アルベド・  
フィードバックの促進



グローバル

北極

北極

グローバル

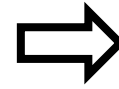
## (2) 人為的な酸化鉄

- 個々のダスト粒子中の光吸収成分である酸化鉄の質量を測定する手法を開発
- 土壌粒子(黄砂など)とは別に、人為起源の酸化鉄が多く存在することを発見
- IPCCでも見過ごされてきた温暖化物質。北極を含むグローバルに重要

# 研究目的と体制

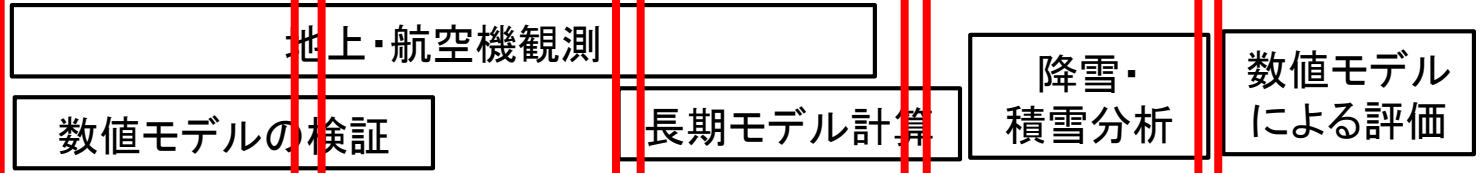
## 研究目的

日本が強みとする観測と数値モデル計算により、北極とそれを含むグローバルなBCとダスト(酸化鉄)粒子の動態とその放射効果を定量化

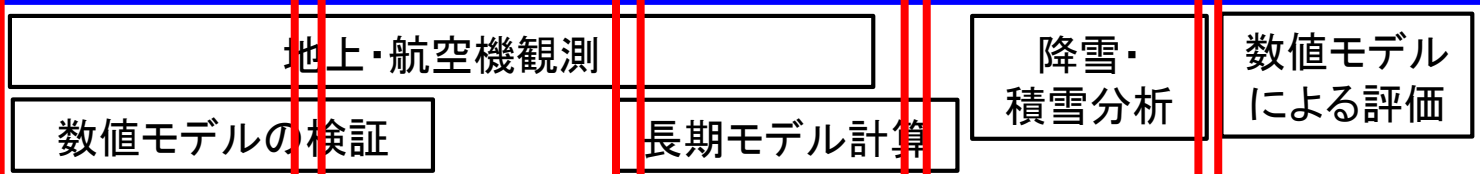


IPCC AR6  
北極評議会  
環境政策

(1) 北極圏のBCの動態と世界の発生源の寄与



(2) 酸化鉄の動態と放射効果



(3) 産業革命以前から現在までの歴史的变化



(4) アジアの開発途上国へのアウトリーチ



BC・ダスト粒子観測と総合評価

東京大学  
小池真  
茂木信宏  
大畑祥

エアロゾル化学組成と動態評価

国立環境研究所  
高見昭憲

電子顕微鏡分析と気候モデル評価

気象研究所  
大島長  
足立光司

アイスコア積雪分析

国立極地研究所  
東久美子  
當房豊  
近藤豊

数値モデルによる発生源寄与評価

名古屋  
松井仁志

5つのサブテーマ

# (1) 北極圏のBCの動態と世界の発生源の寄与: 観測

東京大学・極地研究研・気象研究所・国立環境研究所

## 大気観測

我々が開発した高精度BC測定器(COSMOS)により、北極の代表的観測地点でのBC観測を実施。

既存の観測は1.2-3倍過大評価であることを提示



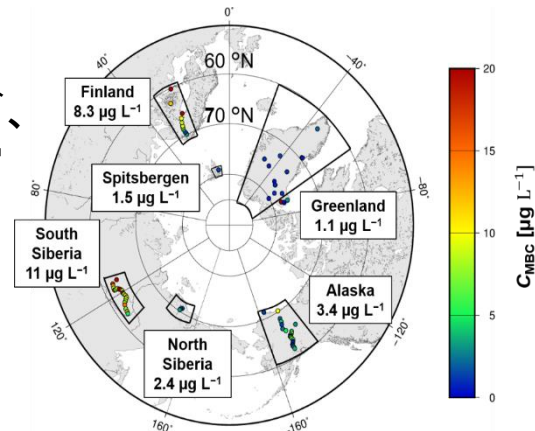
Sinha et al., 2017

## 積雪分析

ロシアやアラスカなど、北極の広域での積雪分析。

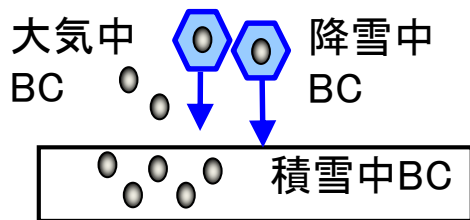
先行研究の積雪中BC濃度は10倍以上過大評価の可能性

Mori et al., 2020

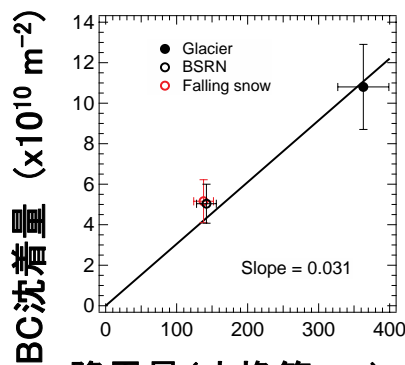


積雪中BC濃度 ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

## 降雪分析



大気から雪氷へのBC沈着過程を定量化。

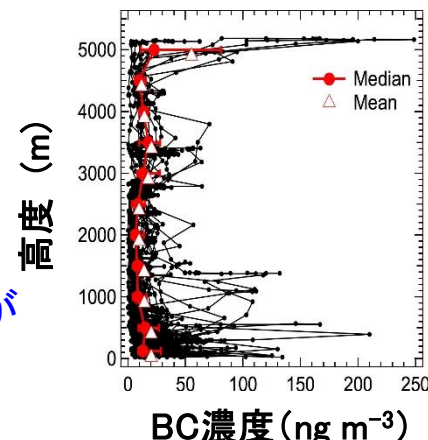


Sinha et al., 2018

## 航空機観測

ドイツが中心となったグリーンランドでの国際観測でBC観測を実施

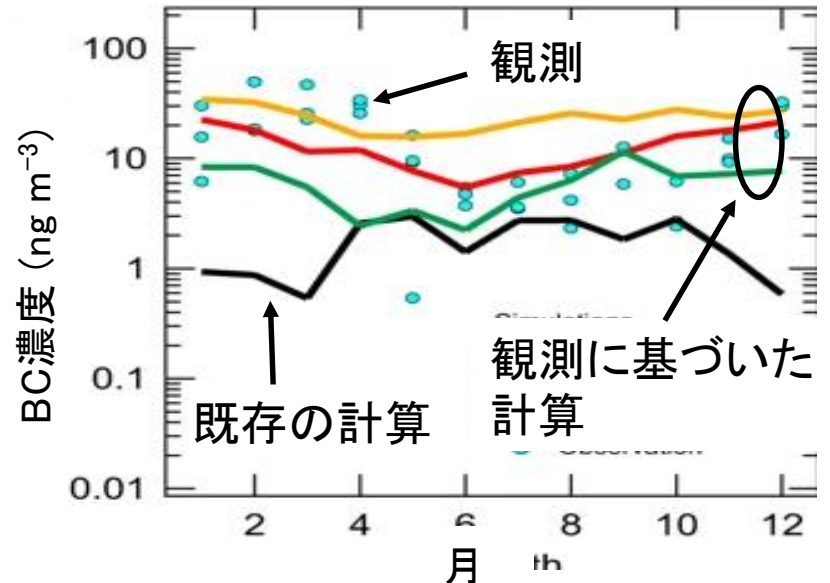
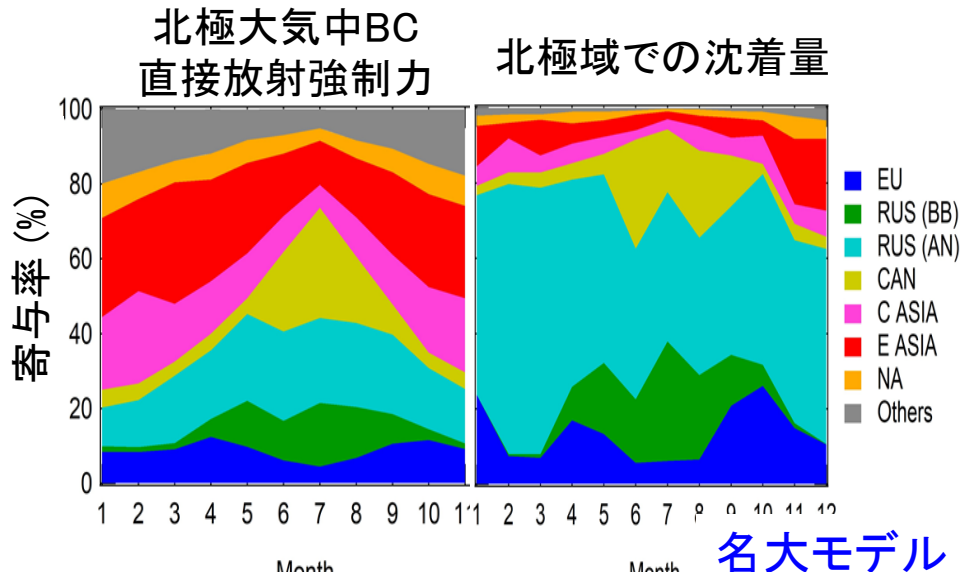
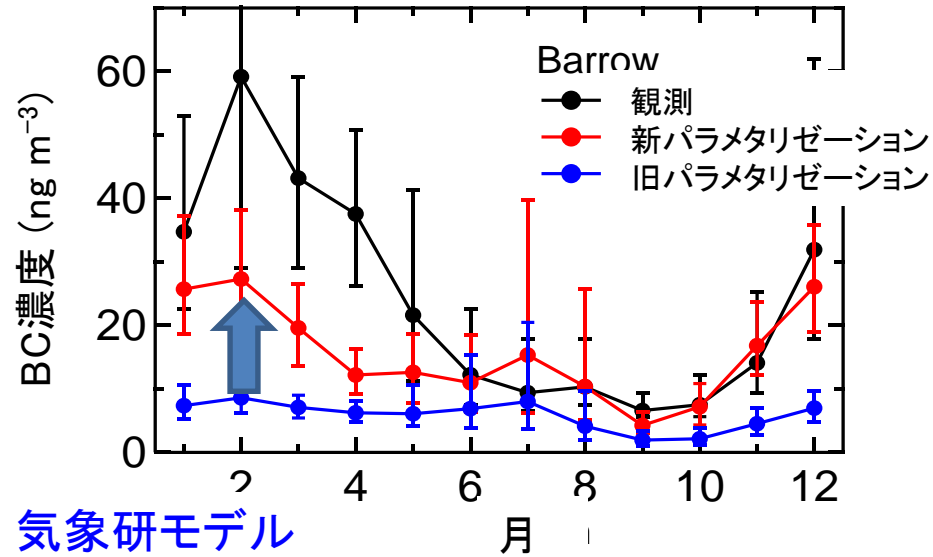
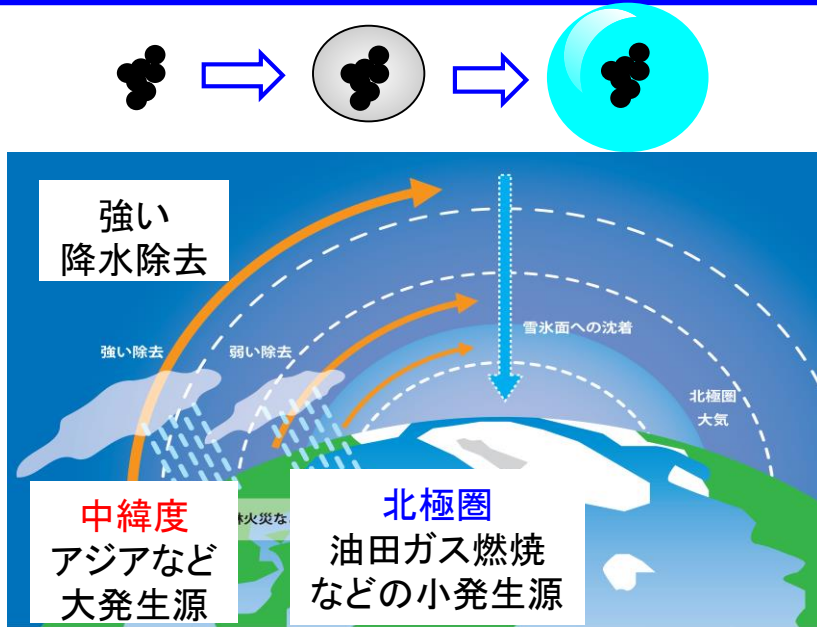
高度 3-5 km でBC濃度が高い層を確認



北極評議会への貢献。正確な測定が、すべてのアセスメント・行政の基礎。BC観測の標準化へ向けた活動。

# (1) 北極圏のBCの動態と世界の発生源の寄与: 数値モデル

気象研究所・名古屋大学・東京大学



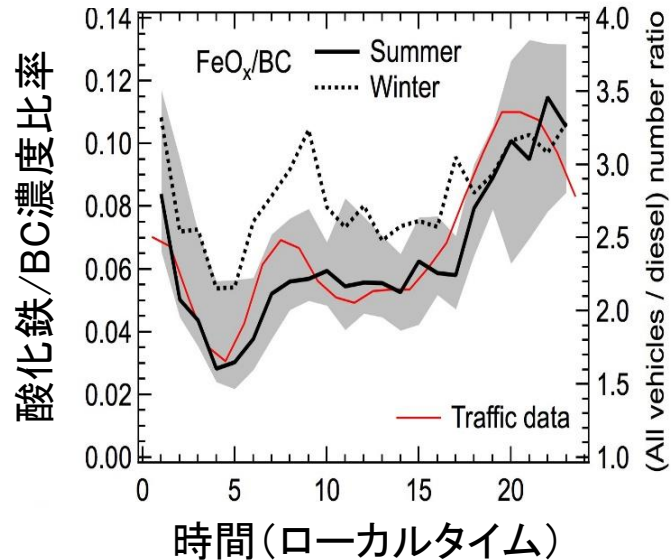
名大モデル

Moteki et al., 2019

# (2) ダスト粒子(酸化鉄)の動態と放射効果: 観測

東京大学・国立環境研究所・気象研究所

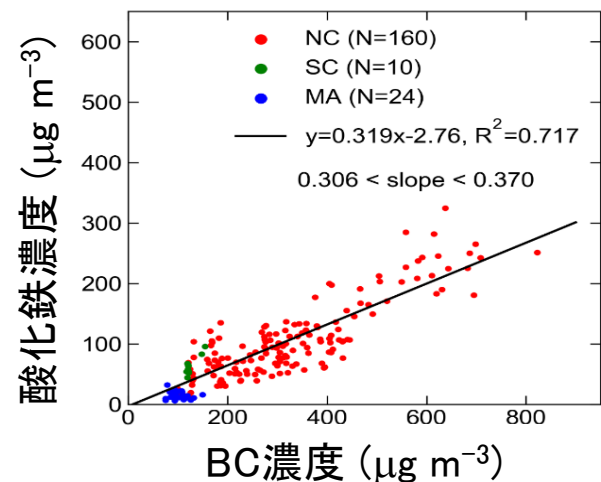
東京・千葉



製鉄所近くでの観測を実施。人為的酸化鉄の起源として、製鉄所は重要ではなく、自動車などが、重要である可能性を示唆

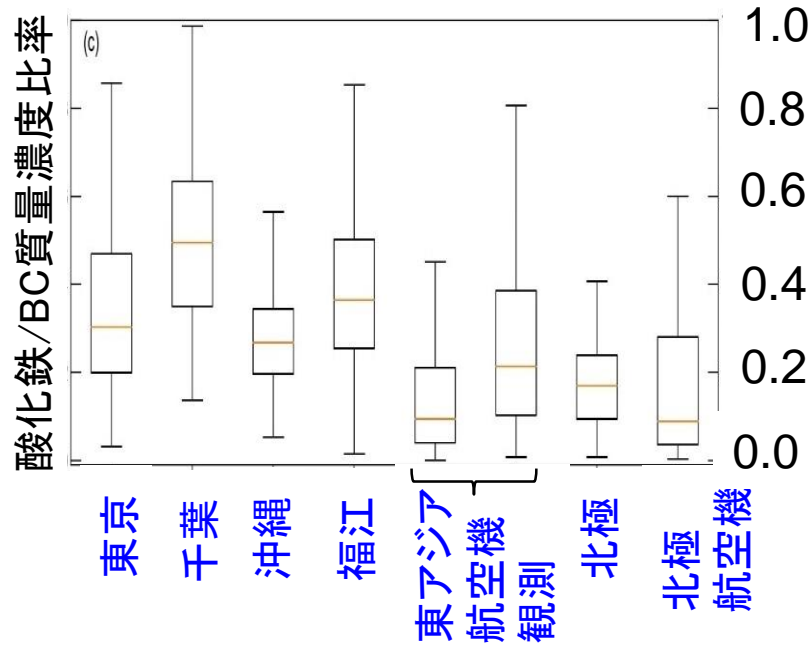
Ohata et al., 2018

沖縄(アジア大陸下流)



検出された酸化鉄のほとんどが人為起源。BCやCOとの相関から、全球排出量を推定。

Yoshida et al., 2018



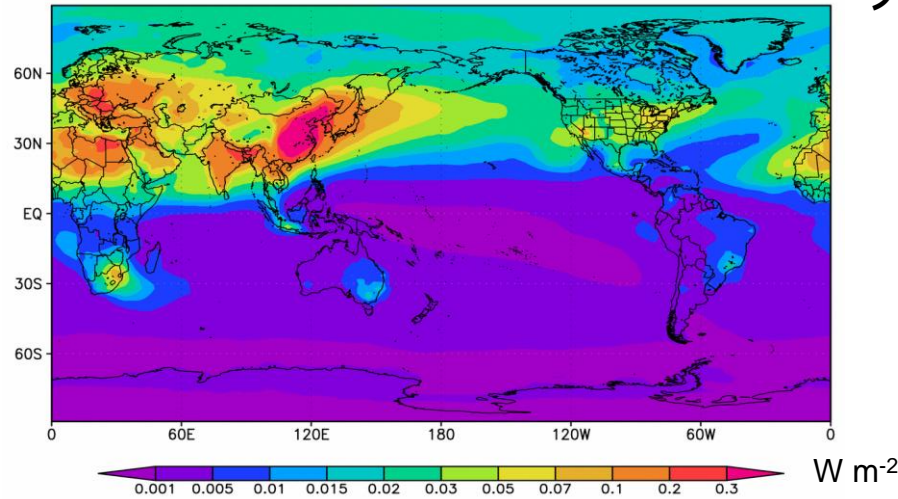
Yoshida et al., submitted

これまでの地上・航空機観測データを再解析。検出された酸化鉄の8割以上が人為起源。人為起源酸化鉄が大気中に普遍的に存在することを提示。

## (2) ダスト粒子(酸化鉄)の動態と放射効果: 数値モデル

名古屋大学・東京大学

人為的酸化鉄の放射強制力



大気中の人為起源の酸化鉄濃度は従来の8倍

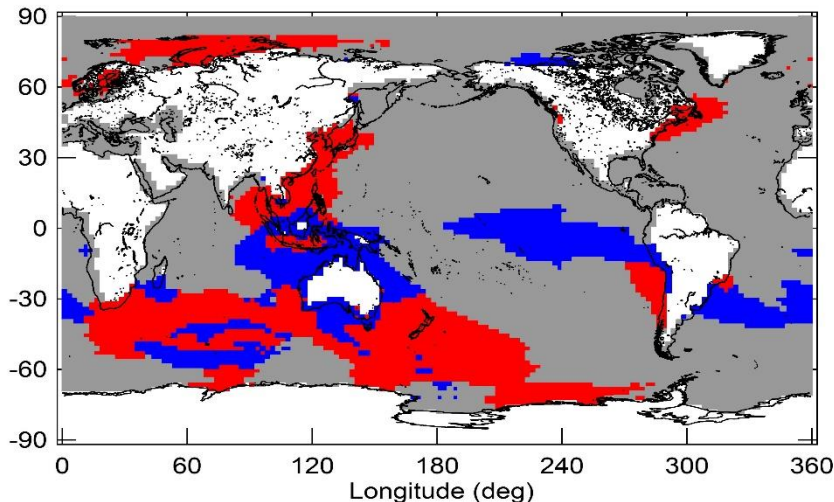
人為的酸化鉄の放射強制力は、**ブラウンカーボンと同程度**

(全球平均でBCの4%。発生源付近で5-30%)



世界初の人為起源酸化鉄の放射強制力推定

溶存鉄の沈着量に対して最大寄与を持つ発生源  
(灰:ダスト、青:森林火災、赤:人為起源)



従来: ダスト起源・森林火災起源が支配的  
本研究: 全海洋の2割、南大洋の4割で、人為起源が溶存鉄沈着の最大発生源



海洋へのCO<sub>2</sub>吸収に重要な、海洋への溶存鉄の供給に対して、少なからぬ人為的影響があることを示唆。

Matsui et al., Nature Communications 2018

## (4) アジアの開発途上国へのアウトリーチ 極地研究所・東京大学

IPCCにおいて、国際的なBCの排出量推計・規制へ向けた検討を開始。

諸外国のコンセンサスを得るために、グローバルに見ても大きなBC排出源となっているアジア諸国へのアウトリーチを実施。

- (1) アジアにおける温室効果ガス・インベントリ整備に関するワークショップ  
(WGIA, 毎年開催) 2018年7月10日-12日 ニューデリー

アジア各国の国別温室効果ガス・インベントリ(吸排出量目録)作成担当者  
(日本:国立環境研究所:温室効果ガス・インベントリ・オフィス(GIO))

- 温暖化対策としてのBCの重要性
- BC削減時の効果を定量化するための大気中BC測定法

- (2) インド国立物理学研究所(NPL) :エアロゾル測定基準に関わる機関

- インドでのBCモニタリングの具体的方法



# 国民との科学・技術対話など

## 国民との科学・技術対話 全26件

- 高見昭憲、国立環境研究所 夏の一般公開（主催：国立研究開発法人国立環境研究所、2017年と2018年、研究所内、来場した約100人）にて研究紹介と対話
- 近藤豊、當房豊、小池真 国立極地研究所一般公開等 サイエンスカフェ 2017-2018年に計4回「北極温暖化と大気汚染物質」などの講演と対話
- 足立光司、市民公開講座：大気エアロゾルの環境管理・改善に関する研究最前線（2018年8月2日）「空に浮かぶ小さな金属粒子」講演と対話

## マスコミなどへの公表・報道等 全40件



太陽光を吸収し、大気を加熱

黒色酸化鉄の微粒子

排出

鉄製の部品が高温で擦れ合う車のエンジンやブレーキでは「黒色酸化鉄」という直径二マイクロメートル（千分の一ミリ）ほどの微粒子が、空気に排出される。この微粒子は太陽光線を吸収して熱を帯び、周囲の空気を暖め、大気中の水蒸気を凝結させて雲や霧を形成し、さらには降水をもたらす。また、黒色酸化鉄の微粒子は、人間の健康にも悪影響を及ぼすことが知られている。

自動車などから排出される鉄化合物の微粒子が、太陽光線を吸収して気温を上昇させ、温暖化を加速させている可能性があることを、名古屋大学大学院環境学研究科の松井仁志助教らの研究チームが明らかにした。研究成果は、二十三回付の英科学誌に掲載された。

「黒色酸化鉄の微粒子は、太陽光線を吸収して大気を加熱し、温暖化を加速させている可能性がある」という研究結果は、英科学誌に掲載された。

「黒色酸化鉄の微粒子は、太陽光線を吸収して大気を加熱し、温暖化を加速させている可能性がある」という研究結果は、英科学誌に掲載された。

### 車排出の鉄粒子 温暖化加速か

鉄製の部品が高温で擦れ合う車のエンジンやブレーキでは「黒色酸化鉄」という直径二マイクロメートル（千分の一ミリ）ほどの微粒子が、空気に排出される。この微粒子は太陽光線を吸収して熱を帯び、周囲の空気を暖め、大気中の水蒸気を凝結させて雲や霧を形成し、さらには降水をもたらす。また、黒色酸化鉄の微粒子は、人間の健康にも悪影響を及ぼすことが知られている。

名大が発表



朝日新聞

中日新聞

# 本研究の科学的意義

- 北極およびグローバルなBCの動態と放射影響

日本で開発された測定器COSMOSなどで、アセスメントの基礎となる高精度データを取得。

従来の測定の不確定性を提示。

- 酸化鉄粒子の動態と人為的発生源の評価

放射強制力を初めて評価すると共に、海洋への鉄供給としての重要性も提示。

- 過去150年の歴史的変化

産業革命以前のBCの季節変化を示すとともに、CMIP6インベントリの不確定性を提示。



総合的に、当初計画以上の研究成果

# 環境政策への貢献

- 本研究の北極域でのBC測定は、各種アセスメントの基礎。今後は本研究で得られた値が基準となることを期待。  
COSMOSの標準器化は、日本の政府目標（総合海洋政策本部参与会議意見書）においても掲げられた。

このような動きは、政府が進めている Evidence-Based Policy Making (EBPM) に資する「科学と政策の連携の実現」へと発展することが期待。

- 現在取りまとめが進行している北極評議会の関連作業部会の報告書に執筆者として貢献。本研究の成果の一部も記載される予定。
- 人為起源の酸化鉄 ( $\text{FeO}_x$ ) 研究は日本が世界をリード。次期のIPCCレポートでは、放射強制力として $\text{FeO}_x$ が追加されることが期待。
- 気象研究所地球システムモデルによる計算結果は、第6期結合モデル相互比較計画 (CMIP6) を通じて次期IPCCレポートに貢献。