

2-1505 (2015-2017) 95,930千円/3年

アジア起源の短寿命気候汚染物質 (SLCP) が
北極域の環境・気候に及ぼす影響に関する研究

代表・サブ1：国立環境研究所 谷本 浩志

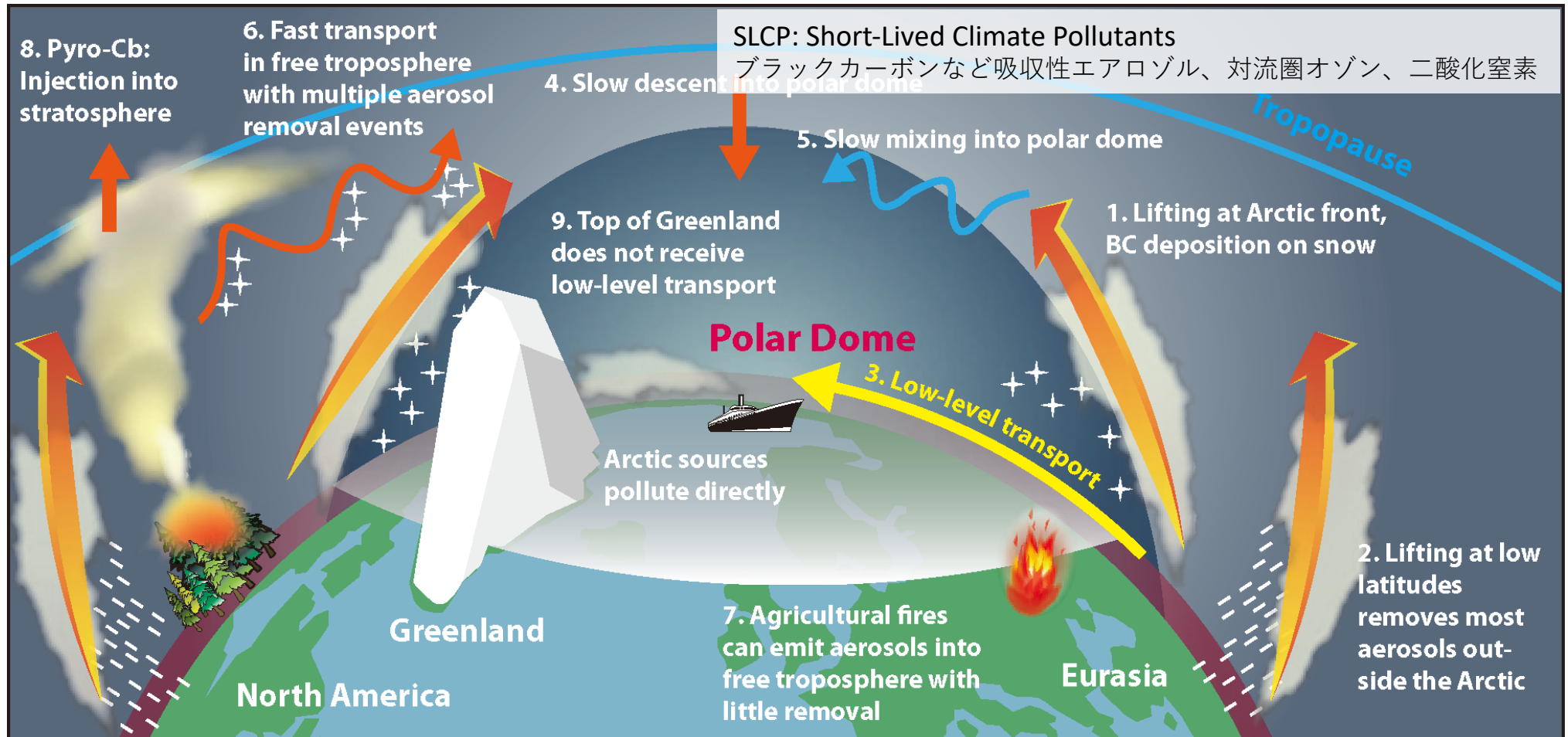
サブ2分担： 海洋研究開発機構 金谷 有剛

国際的な研究動向

Arctic Council

AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme

Quinn et al., AMAP BC Technical Report, 2011



- 北極の気候・環境変化に関する学際的国際研究が欧米主導で提案され、実施
- 北極評議会のAMAP（北極監視評価プログラム）傘下ブラックカーボン・メタンタスクフォース
- SLCPに関するアジアからの研究提案は何もなされておらず、早急なアクションが必要

目的および年度別計画、役割分担

衛星データなどを用いて、**アジアの人為起源汚染**や**シベリアの森林火災**の実態や、大気中に放出されるSLCPの特性を把握し、変動の傾向や要因を解析する。放出されたSLCPの**北極への長距離輸送**に関し、**大気化学輸送モデル**を用いて実態とメカニズムの理解を高め、**人為起源・自然起源発生源の相対的な重要性**を検証する

	H27	H28	H29
サブ1	大気汚染物質の衛星観測データや排出インベントリを収集し、 東アジア における人間活動による大気汚染の実態や大気への汚染物質放出量を検証し、 変動の傾向 や 要因 を解析する	東アジアから放出された汚染物質の北極への 長距離輸送の実態 と メカニズムの理解 を高めるため、衛星データや大気輸送モデルを用いた解析を行う	アジアが北極の環境・気候に及ぼす影響について、 人為起源・自然起源発生源の相対的な重要性 を検証し、北極に関する 環境面での国際貢献に資する 情報を提供する
サブ2	大気組成と陸域植生の衛星データを収集し、 シベリア 森林火災の実態や大気への汚染物質放出、 変動の傾向 や 要因 を解析する	森林火災から放出された汚染物質の北極への 長距離輸送の実態 と メカニズムの理解 を高めるため、衛星データや大気輸送モデルを用いた解析を行う	

SLCP ≡ BCを想定、CO等の指標・関連物質も

目標達成に向けた研究体制・テーマ構成

国内・国際的な政策貢献

政策立案者・政治家へのインプット、政府における「見える化」

- 我が国の北極圏に関する環境面での国際貢献（北極外交）に資する
- 環境省、北極議連、北極大使、北極評議会、AMAP-BCMEG

科学的な成果

- アジアから北極へのSLCPの輸送実態の把握と、そのメカニズムの解明
- アジアが北極の環境・気候に及ぼす影響の定量的評価
- 人為起源と自然起源の相対的な寄与率の導出、アジアと欧米の寄与の比較

サブ1

人為起源発生源からの
北極へのSLCP輸送経路
と影響の解析

国立環境研究所
谷本浩志、猪俣敏、秋吉英治、杉田考史

サブ2

自然起源発生源からの
北極へのSLCP輸送経路と
影響の解析

海洋研究開発機構
金谷有剛、小林秀樹

連携、最新の知見の共有

他の国内・国際科学プロジェクト

IGAC, Future Earth, 政策研究大学院大学、文部科学省

主要な成果

- **BCに関する**最新の科学的知見を積み重ね、世界的な評価を得るとともに、我が国がオブザーバーを務める**北極評議会**での発言・議論に資する政策貢献をしてきた
 - 重要論文4本、記者発表3件（新聞報道3件）、アウトリーチ5件
 - 政策研究大学院大学「北極圏問題についての我が国の総合戦略研究会」
 - 北極議員連盟、北極担当大使、フィンランド大使
 - AMAP BCM Expert Group会合に招待（谷本）
- 具体的には、
 1. **BCを高精度に扱う2種のモデルを独自開発**し、**BCのソース・レセプター関係**（どこから出たBCがどこに運ばれてどこに落ちるか）を明らかにした
 2. 大気観測から**日本・中国・韓国**の**国別BC排出量**をトップダウン的に算出した

主要な成果 & 環境政策への貢献

重点課題：地球温暖化現象の解明と適応策

行政ニーズ：北極圏域における適応策と今後の国際的枠組みづくりへの貢献の方策に関する研究

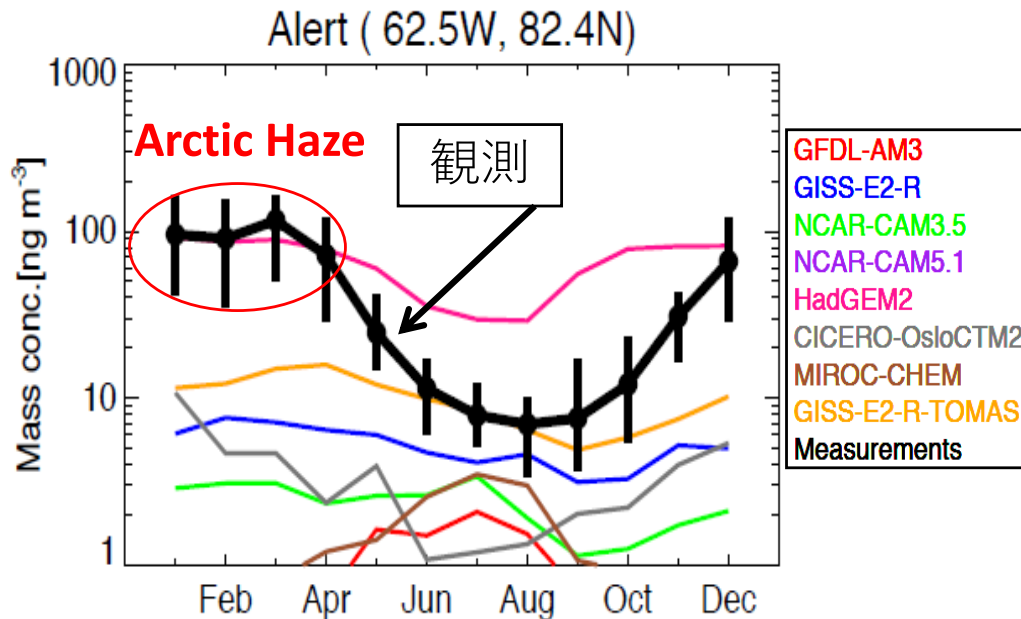
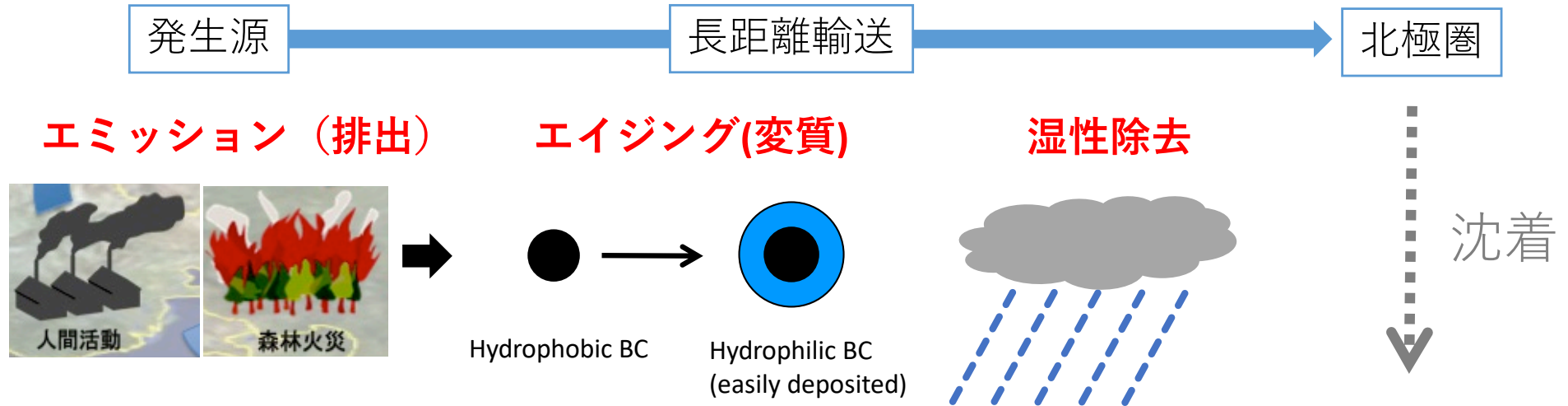
• 北極評議会への報告に資する、我が国のブラックカーボン(BC)排出量推計

- 2015年5月に「[BC&メタンに関するFramework for Action](#)」が採択され、我が国もオブザーバー国として2015年9月に報告書を提出し、メタンについてはUNFCCC報告値を掲載できたが、[BC排出量は報告できなかった](#)。2017年は、[CCAC報告のインベントリ推計値を報告](#)
- 日本からのBC排出量を観測データから0.027Tg/yと推計、インベントリと整合的な結果
- [排出量を報告したオブザーバー国は北極圏国と対等な地位でExpert Groupに参加し、対策の議論に参加することができるため、本手法の今後の精度向上が重要](#)
- 「[北極に関する日中韓ハイレベル対話](#)」で協調・リーダーシップにより国際的プレゼンスの向上

• 北極圏のBC濃度に及ぼす地域・国別の寄与率

- 北極圏の地表面付近では、東アジア（日本と韓国、中国北部・南部）の人為起源排出がトータルBC濃度の約20%を占めるが、[ロシアからのBCが30%以上の寄与を占め、最も重要な発生源](#)
- 一方、[自由対流圏では東アジア起源が30-70%の寄与を占め、最も大きな影響を及ぼす](#)
- [自由対流圏：放射強制力（温暖化）と、地表：沈着（氷の溶解）で、影響の大きい地域が異なる](#)
- 北極圏全域における[沈着量](#)としての寄与は、アジア20%（中国19%）、北米6%、欧州30%、ロシア35%と主要地域がそれぞれ同程度であったが、[アジア側北極圏ではアジアからの寄与が卓越しており、今後の環境管理の上で地域性を考慮する必要性が示唆された](#)

全球化学輸送モデルによるBCシミュレーション



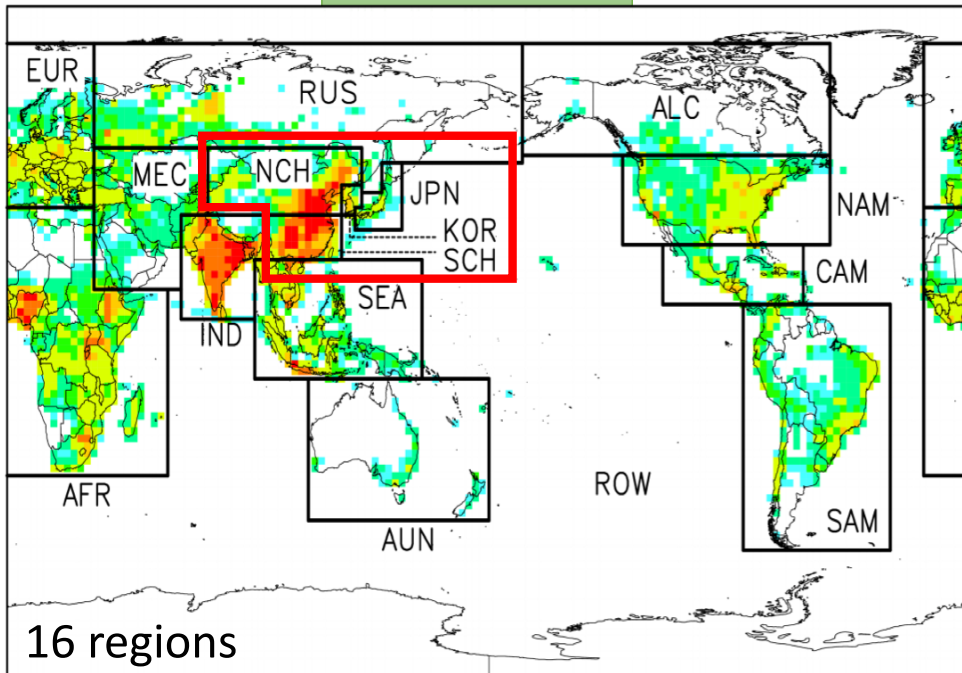
Lee et al. (2013), IPCC AR5 Model

BCモデル計算の不確実性

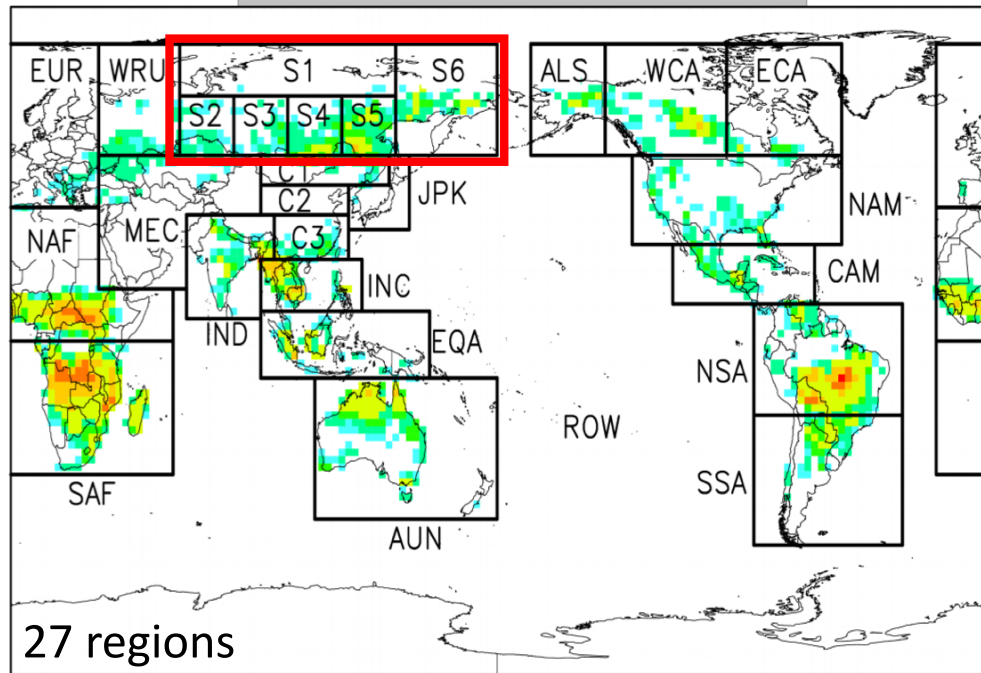
- 全球化学輸送モデルは北極圏のBCを大幅に過小評価(特に冬～春). モデル間のばらつき大 (Shindell et al., 2008; Koch et al., 2009; Lee et al., 2013)
- BCシミュレーションに重要な過程
 - ① エミッション
 - ② エイジング(変質)
 - ③ 湿性除去
 } モデルプロセスの検討・改良

GEOS-Chem タグBC計算法の導入

人為起源



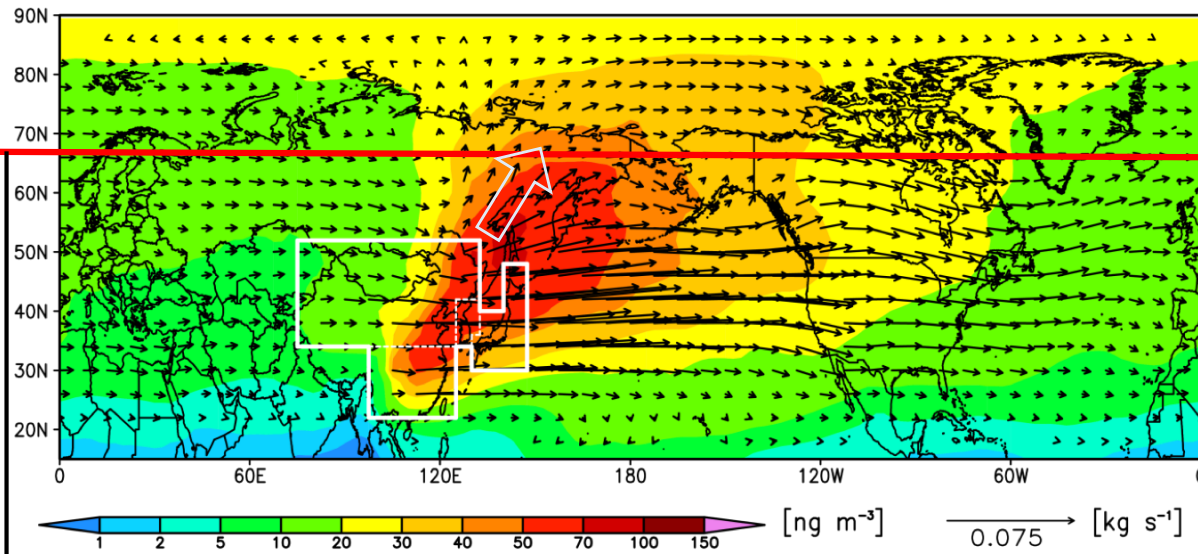
バイオマス燃焼起源



- 発生源の「**領域**」と「**種類**」で区別し、個別「タグトレーサー」として計算
→ 寄与の定量的評価が可能 (**アジアvs欧米、人為起源vs自然起源**)
- アジア (日本・朝鮮半島・南北中国) とシベリア (計7領域: サブ2 と共通の境界) を詳細に区分

→ 2010年を対象に改良版モデル + タグ法で計算

東アジアから北極圏への長距離輸送：春季

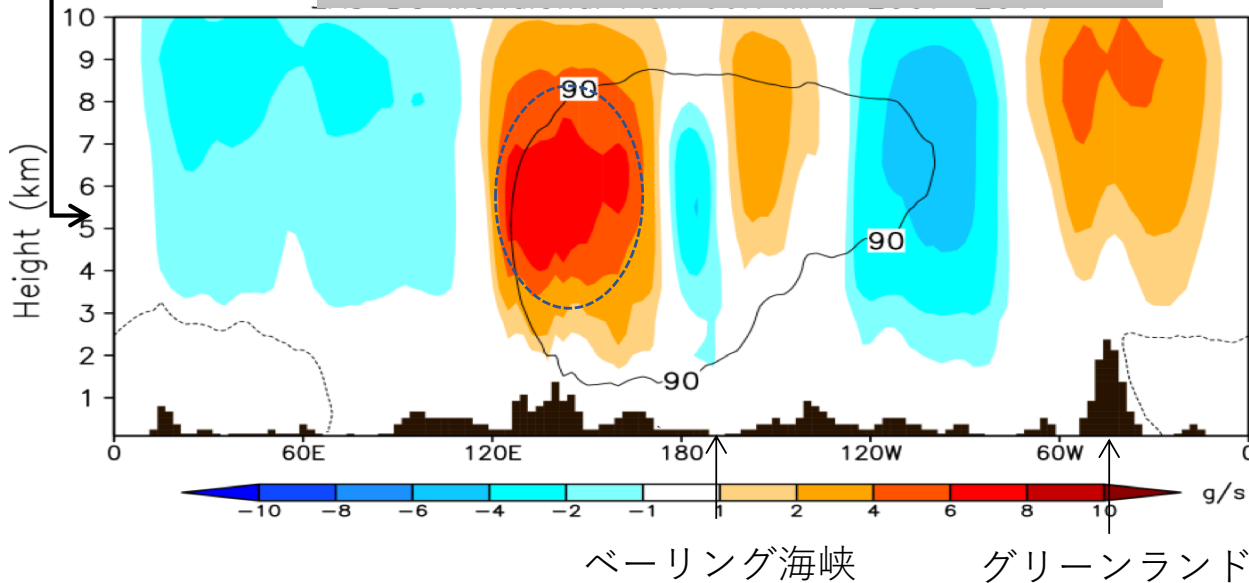


東アジアBC濃度 (シェード)
 水平フラックス (ベクトル)
 高度5km, 春季 (2007-2011年)

66°N

全球CTM(GEOS-Chem)による
 BCのタグトレーサー計算
 Ikeda et al., ACP, 2017

北緯66度での南北フラックスの経度-高度断面



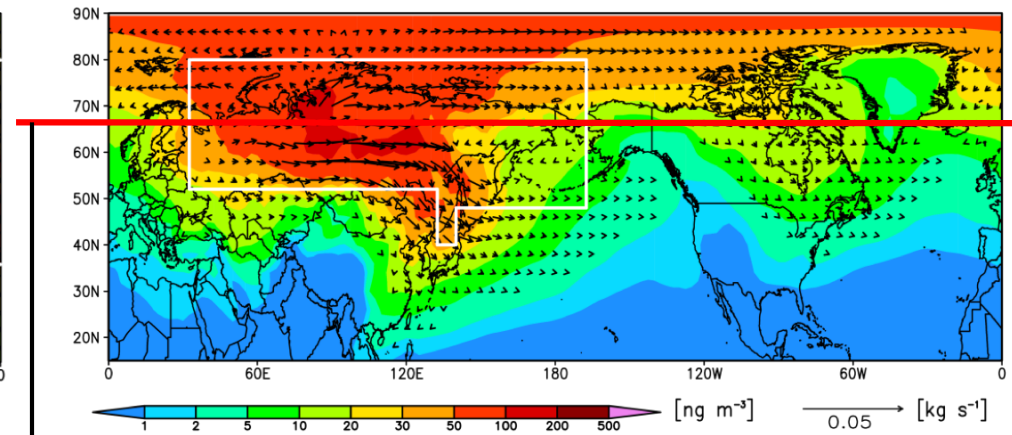
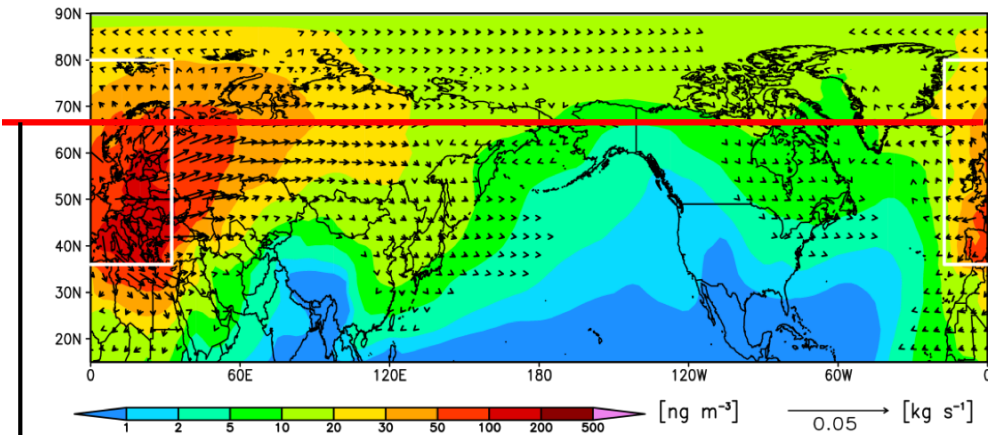
- 中国北部 → 東シベリア・オホーツク海 → 北極圏
- 北極圏への流入が起こる領域: 130–180°E, 高度3–8 km
- 中部対流圏で起こり、下部対流圏からの輸送は弱い

欧州とロシアから北極圏への輸送

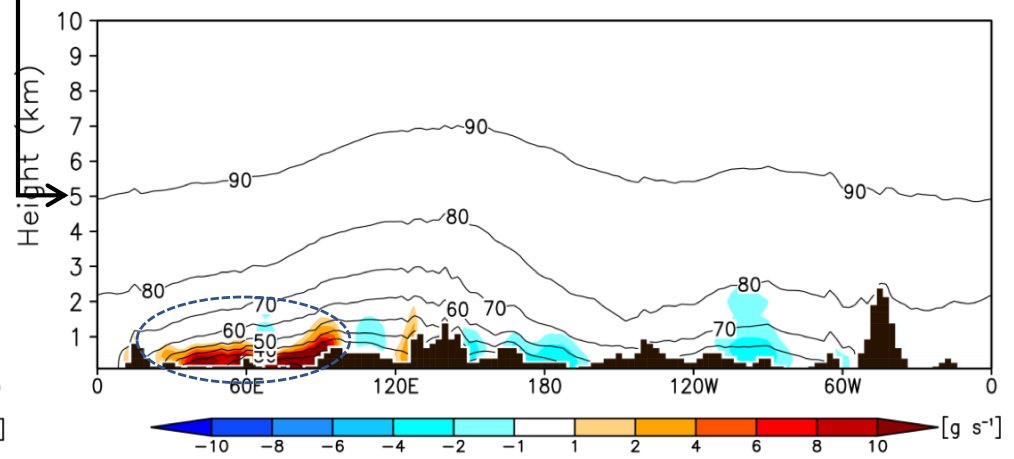
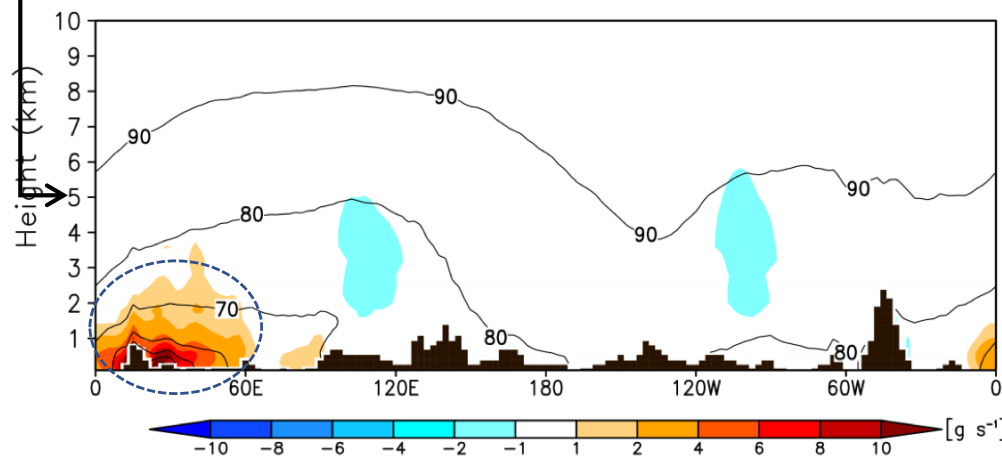
Europe

BC (color), Horizontal flux (arrows) at 1km, DJF 2007-2011

Russia



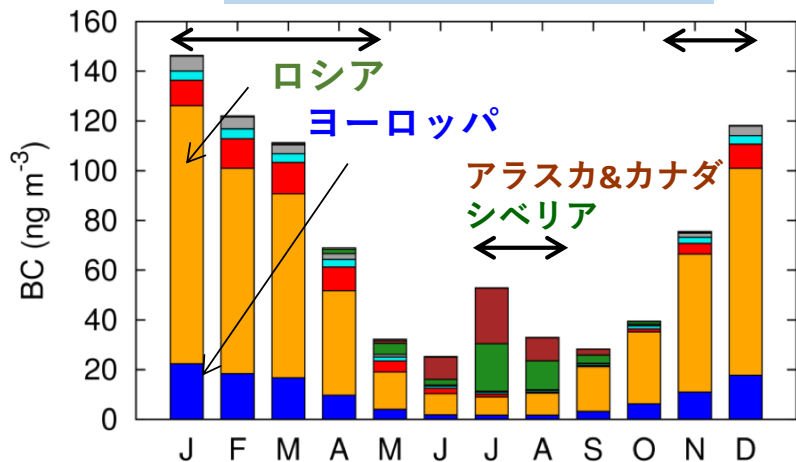
Net meridional flux at 66N, DJF 2007-2011



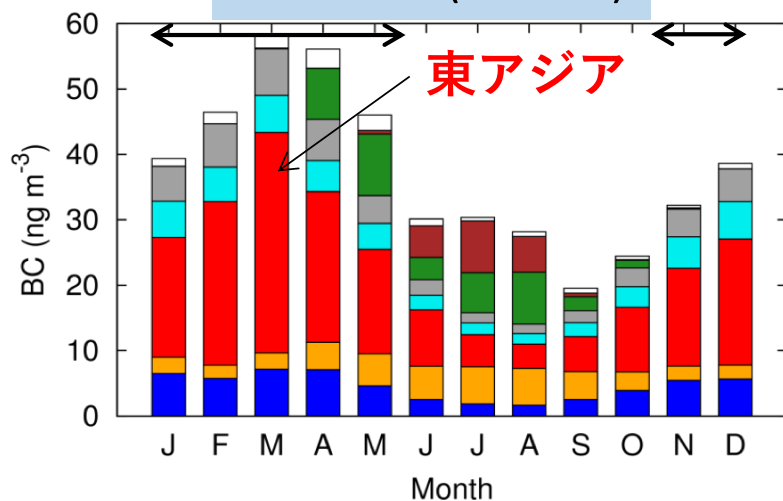
- 欧州とロシアからは低高度を輸送される（アジアからの輸送と異なる）

北極圏のBCに対する発生源寄与

地表面付近 (66-90N)



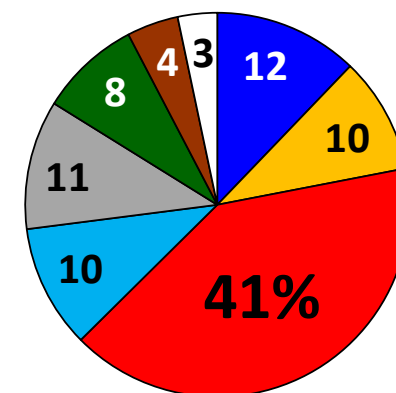
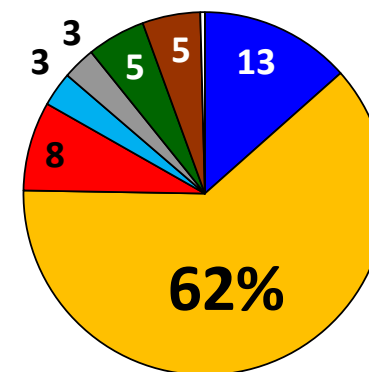
高度5 km (66-90N)



年平均寄与率(%)

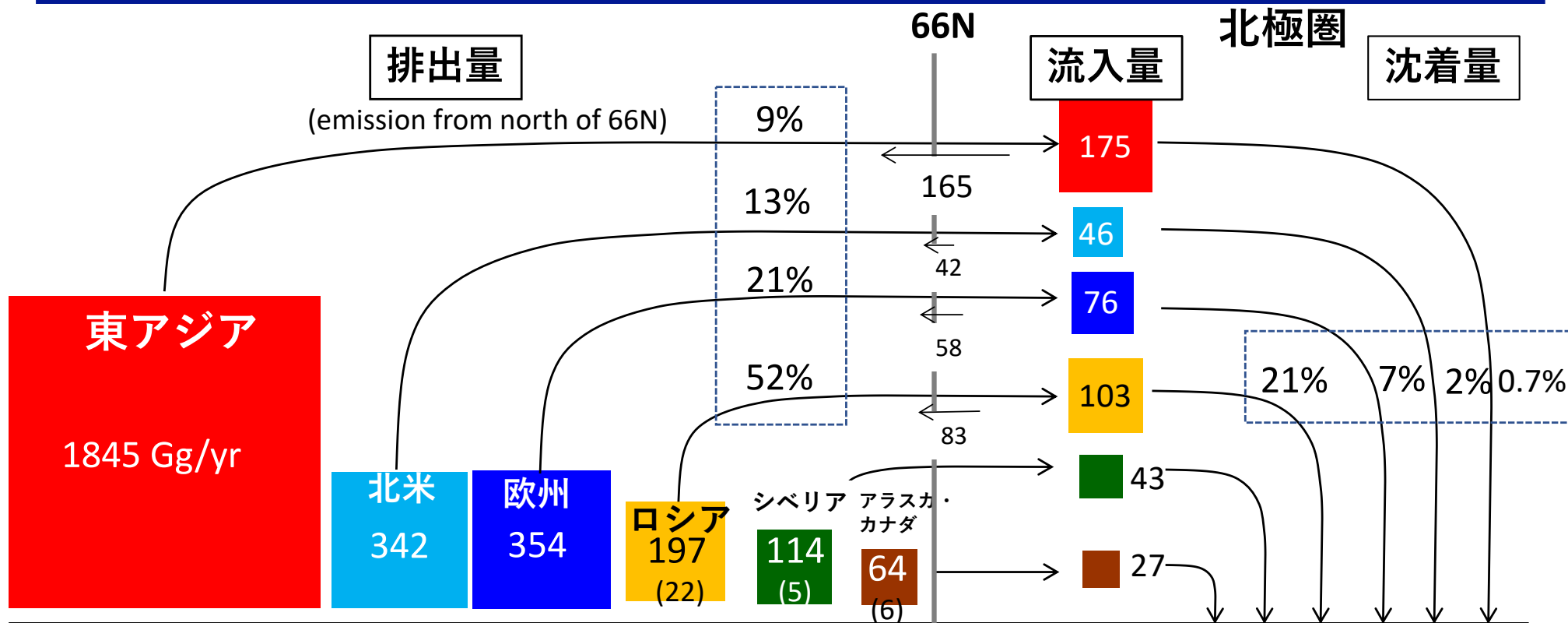
人為起源:
 ヨーロッパ
 ロシア
 東アジア
 北米
 その他

バイオマス燃焼起源:
 シベリア
 アラスカ&カナダ
 その他

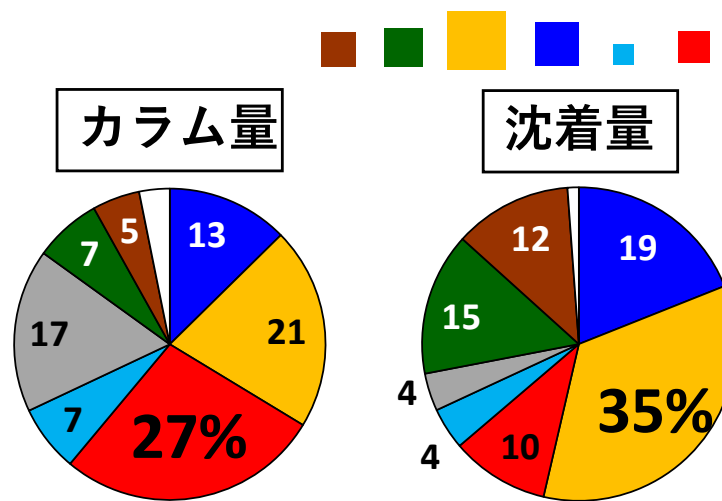


- **東アジア**からの北極圏の中部～上部対流圏で主要な寄与(5kmで41%)
- 下層では**東アジア**の寄与は小さい (**ロシア**が主要な寄与を占める)

北極圏におけるBCの収支

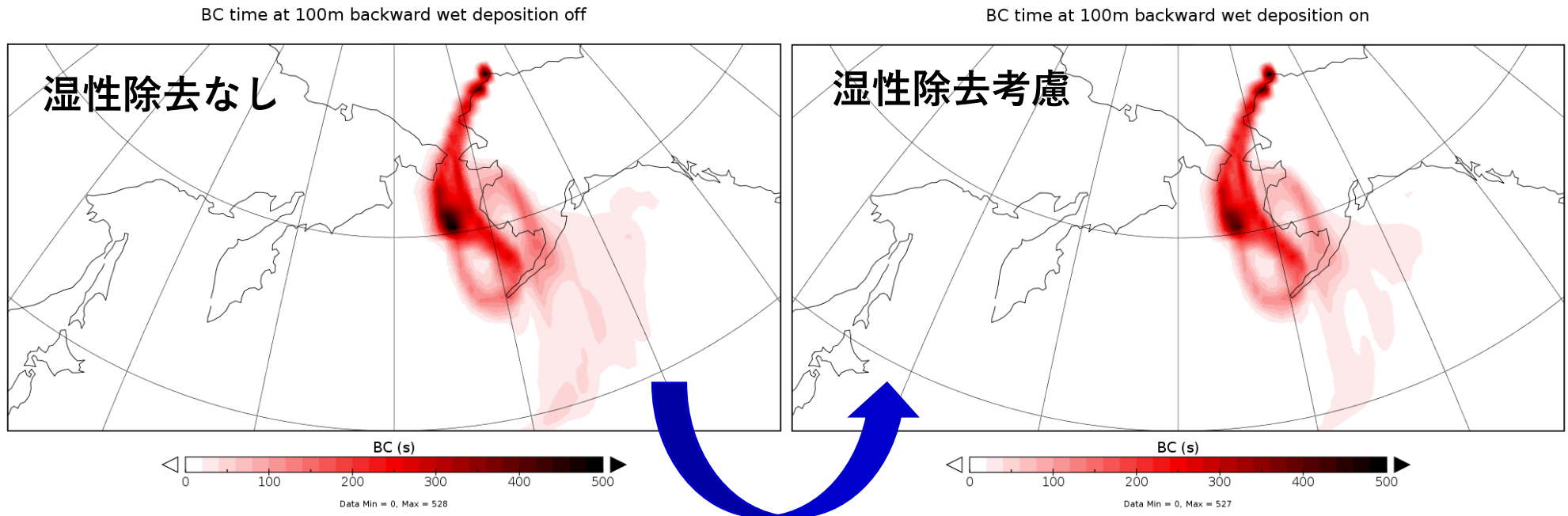


- カラム量に対しては**東アジア**の寄与が最も大きい
- 沈着量に対する**東アジア**の寄与は小さい
- **東アジア**起源のBCは、他の主要な発生源より北極圏に到達するまでに除去される割合は大きい



大気輸送モデルFlexpartによるBC寄与率の推定

- 最新のFlexpart version 10.1を利用
 - 湿性除去過程の表現向上： 雲内洗浄、雲底下洗浄の区別
 - 雲内洗浄では水雲・氷雲を区別(Grythe et al., GMD, 2017)
 - 逆(backward)方向計算への湿性除去過程の組み込みに成功（コード開発修正）



アラスカ・バローに到達する空気のフットプリント：
湿性除去により粒子の拡がる範囲（フットプリント）が狭くなっている

日本からのBC排出量の独自推計・検証

$$\text{BC 排出量} = (\Delta\text{BC}/\Delta\text{CO}) \times \text{CO 排出量}$$

例：日本

$$5.0 \text{ Tg y}^{-1} \text{CO} \times 6.7 \text{ ng/m}^3/\text{ppb} (0.0054 \text{ g g}^{-1}) = 0.027 \text{ Tg BC}$$

cf. 0.026 Tg BC y⁻¹, REAS2 . . . 国家インベントリ (PM_{2.5}関係) 整備計画で核となっているJEI-DBとも整合 (外務省で「National Report」準備へ)

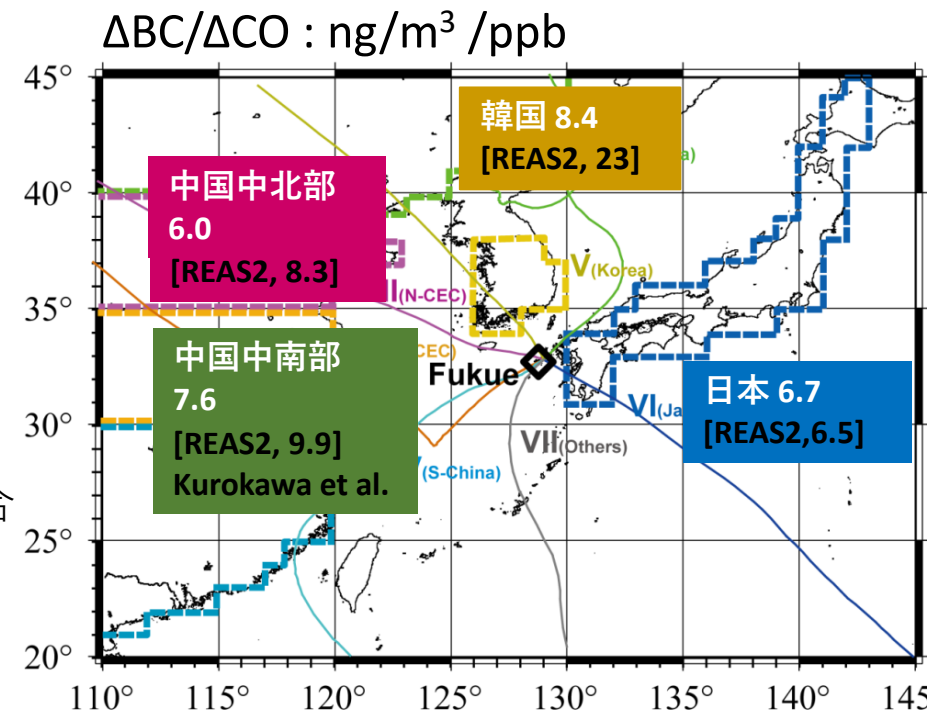


表 1. (A) 福江島で計測された大気の起源別 BC/CO 比と (C) 推計された BC 排出量

起源	(A) BC/CO 比 の観測値 (ng m ⁻³ ppb ⁻¹)	(B) 仮定した CO 排出量 (Tg y ⁻¹)	(C)=(A)×(B) 推計 された BC 排出 量 (Tg y ⁻¹)	比較対象: BC 排出 量 統計 値 (REASv2, Tg y ⁻¹)
日本	6.7	5.0	0.027	0.026
韓国	8.4	0.69	0.0046	0.013
中国中東部	6.0~7.6	160-202	0.90-1.1	1.59
		< ± 131%		± 257%

Tagged tracer simulations of black carbon in the Arctic: transport, source contributions, and budget

Kohei Ikeda¹, Hiroshi Tanimoto¹, Takafumi Sugita¹, Hideharu Akiyoshi¹, Yugo Kanaya², Chunmao Zhu², and Fumikazu Taketani²

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

²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, 236-0001, Japan



国立研究開発法人 海洋研究開発機構

2017年9月25日

北極に運ばれるブラックカーボンはどこからくる？～地上ではロシアから、上空ではアジアからが多いことが判明～

(お知らせ)

(筑波研究学園都市記者会、環境省記者クラブ、文部科学記



サイエンスクリップ

温暖化の原因物質「ブラックカーボン」の起源を独自のシステムで調査

掲載日：2017年11月21日

一向に解決の兆しが見えない地球温暖化。中でも北極は、温暖化による気温の上昇率が非常に高く、最近数上昇していると言われている。その原因の一つとして重要視されているのが「ブラックカーボン」。ディーゼル燃料の燃焼など、炭素を主成分とする燃料が燃える際に主に発生する黒い煤(すす)だ。国立環境研究所の池ひろし(地球環境研究センター地球大気化学研究室長)らは、海洋研究開発機構と共同で、気流に乗って世界各地を、発生源別に算出する独自の解析システムで明らかにした。ブラックカーボンを研究することの意義と

2017.7.6 日刊工業新聞

地球温暖化への影響深刻

ロシア・カザフ 林野火災

燃失面積 汚染物質 大幅な上方修正必要

海洋研究開発機構・火災に関して、気候や地球環境観測研究開発センターの朱春茂博士とトクトラル研究員らは、地球温暖化の原因の一つであるロシアやカザフスタンの林野火災に起因して、環境に影響する燃失面積や汚染物質の排出量を大幅に上方修正する必要があることを示している。高解像度の衛星画像を利用して、今までの燃失面積を分析(海洋機構提供)

高解像度の衛星画像から火災による燃失面積を分析(海洋機構提供)

LandSatが検出した燃失地域
MODISが検出した燃失地域

燃料の不完全燃焼で発生する黒色のエアロゾル粒子「ブラックカーボン粒子」は地球温暖化に影響を及ぼしている。同粒子の発生源である北方ユーラシアの林野火災により、日本でも粒子状物質(PM_{2.5})の濃度の上昇など悪影響を受けている。

北極海の夏の海水面積が歴史的に最小となった2012年について

手法では実際の燃失面積の13%しか評価できていないことを明らかにした。地球温暖化モデルのシミュレーションに反映し正確な気候変動予測が期待される。

海洋機構 高解像度の衛星画像 利用

温暖化物質 東アジア発

北極圏上空に4割飛来

国立環境研究所と海洋研究開発機構の調査チームは、北極圏上空を飛来するブラックカーボンの約4割が、中国や東アジアから飛来していることが判明した。北極圏上空を飛来するブラックカーボンの約4割が、中国や東アジアから飛来していることが判明した。北極圏上空を飛来するブラックカーボンの約4割が、中国や東アジアから飛来していることが判明した。

その結果、北極圏の上空50%以上を占めるブラックカーボンの発生源は、東アジアが41%を占め、地域別で最大だった。国立環境研究所の谷本浩志(地球大気化学研究室長)は「他地域に比べて東アジアの排出量は非常に多い。その削減が北極の温暖化対策として重要だと指摘している。一方、北極圏の地表付近のブラックカーボンの排出量は最も多かった。水に付着すると風が吹くと融解を促進する。国立極地研究所・近藤豊特任教授(地球大気環境科学)の話「ブラックカーボンの科学的に突き止めることは、北極評議会がBCの排出規制を進めるうえで非常に意味がある。日本も排出量の公開など積極的に取り組むべきだ」

国民との科学・技術対話

- 国立環境研究所公開シンポジウム、「北極域のブラックカーボンはどこから運ばれるのか？」ポスター発表（2017年6月16日、2017年6月23日）
- JAMSTEC横須賀本部一般公開、「PM2.5を測ってみよう」成果紹介展示（2016年5月21日、参加者約150名）（2017年5月13日、参加者約100名）
- 福井県衛生環境研究センター研修会、「観測とモデルからPM2.5越境大気汚染の実像に迫る」講演（福井県衛生環境研究センター、2017年2月27日、参加者約50名）
- JAMSTEC横浜研究所一般公開「PM2.5ってなに？」成果紹介展示（2017年11月11日、参加者約100名）