

発表論文 2 :

大気観測から推定された東アジアにおけるパーフルオロカーボンの大量放出 (Large Emissions of Perfluorocarbons in East Asia Deduced from Continuous Atmospheric Measurements)

Saito, T.; Yokouchi, Y.; Stohl, A.; Taguchi, S.; Mukai, H., *Environmental Science & Technology*, 2010, 10.1021/es1001488.

1. 背景

大気中で極めて安定に存在するパーフルオロカーボン類 (PFC、大気寿命：数千年～数万年) は、単位重量辺りで二酸化炭素の約 1 万倍という非常に強い温室効果を持つ⁽¹⁾。ほとんどのPFC類 (PFC-14 を除く) は、人為的に作り出されたものであり、半導体部品の製造工程で使用される他に、アルミニウムの精錬過程における副産物として発生する。これまで、こうした関連産業などから排出されたPFC類は、分解されることなく大気中に蓄積され続けてきたが、それらによる気候への影響が懸念されたことを受け、地球温暖化防止のための京都議定書による削減対象となった。これにより、PFC類の国別排出量が報告され国際的に集計されることになったが、この報告義務は京都議定書の締約国に限られており、日本以外の東アジア各国には適用されない。東アジアは、アルミニウムや半導体部品の世界最大の生産拠点であり、PFC類の重要な排出域となっている可能性があるにも関わらず、その排出実態は全く把握されていないのが現状である。そこで本研究では、沖縄県波照間島と北海道落石岬において実施した大気中PFC類 (PFC-116, PFC-218, PFC-318) の高頻度・高精度観測を基に、大気輸送モデルを使った解析を行い、東アジアにおけるPFC類の地域別排出量を推定した。

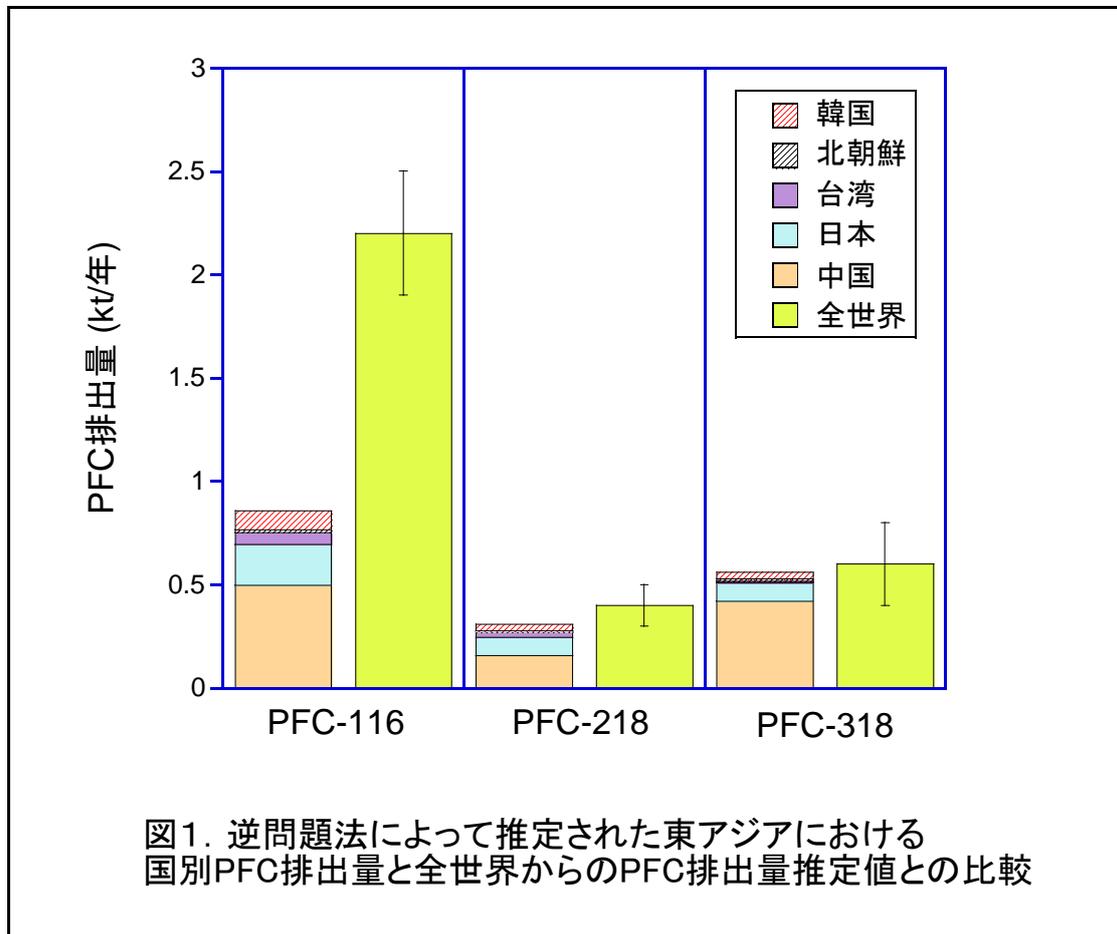
2. 方法

沖縄県波照間島及び北海道落石岬の国立環境研究所モニタリングステーションにおいて、大気中PFC類の高頻度・高精度観測を実施した。観測データは二つの手法 (トレーサー比法及び逆問題法) を用いて解析し、東アジア (中国、日本、北朝鮮、韓国、台湾) におけるPFC類の国別排出量の推定を行った (トレーサー比法については中国、日本、台湾のみ)。トレーサー比法は、特定の国のみによる汚染を受けた空気塊を大気輸送モデルSTAG⁽²⁾によって抽出し、それら汚染空気塊におけるPFC濃度の増分、あらかじめ排出量が推定されている成分 (ここではHCFC-22) の濃度増分、更にHCFC-22 の国別排出量を使って、PFC類の国別排出量を推定するものである。逆問題法では、まず、各成分について、現時点で最良と考え

られる排出源分布を仮定する。次に、この排出源分布を基に大気輸送モデルFLEXPART⁽³⁾によって各ステーションにおける各成分の時系列データを計算する。この計算結果が、実際に観測された濃度変化に近づくように排出源の分布を変化させながら繰り返し計算を行い、最終的に実測値と最もよく合う排出源分布を導き出す。

3. 結果と考察

大気観測の結果、PFC類のベースライン濃度は、数ppt（1pptは体積混合比で一兆分の一）以下と非常に低いが、年 1~3%程度で増加していることが明らかとなった。また、それらの濃度は、上海など東アジアの都市域上空を通過して輸送されてきた空気塊において増加していたことから、東アジア域から大量のPFC類が排出されていると考えられた。2つの手法によって推定された国別のPFC排出量は、誤差範囲内で概ね一致していた（ただし、トレーサー比法による推定値は比較的大きな誤差を伴っていた。また、中国からのPFC-318 排出量についてはトレーサー比法による過大見積りが示唆された）。逆問題法によって推定された東アジア全域におけるPFC排出量は、PFC-116 : 0.859 kt/年、PFC-218 : 0.310 kt/年、PFC-318 : 0.562 kt/年であった。これらは、全世界からのPFC排出量（ベースライン濃度の経年増加率から推定）の 40%（PFC-116）から 75%以上（PFC-218、PFC-318）にも相当したことから、東アジアはPFC類の非常に大きな排出域となっていることが初めて示された（図 1）。中でも中国は東アジア全体のPFC排出量の半分以上を占める最大の排出国であった。中国は世界最大のアルミニウム生産国であるが、これに由来するPFC類の排出（アルミニウム生産量の統計値と生産量当りのPFC排出量から推定）は、PFC-116 排出量の約 3 割に過ぎず、中国からのPFC類の排出には半導体産業などアルミニウム産業以外の寄与が大きいと考えられた。中国に次いで排出量の多かった日本については、アルミニウム産業による排出⁽⁴⁾は無視できるほど小さく、PFC排出量の大部分が半導体産業などに由来すると考えられた。一方、世界の半導体市場におけるリーダー国である日本、韓国、台湾によるPFC排出量は、全世界の 16%（PFC-116）から 35%（PFC-218）と比較的小さいことがわかった。この結果は、これらの国の半導体産業による自主的なPFC削減プログラムが奏功していることを示唆した。



4. 今後の課題

本研究によって、東アジアから大量の PFC 類が大気に排出されていることが初めて明らかとなった。しかし、推定された PFC の排出量は、観測やモデルに起因する不確実性を伴っている。特に、観測データには PFC 類の大気中濃度が極めて低いことなどによる測定誤差があるため、今後は測定法の更なる精緻化などを通して、推定値の不確実性を低減していく必要がある。

参考文献

(1) IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007; p 996.

- (2) Taguchi, S., A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on analyzed winds: Model description and simulation results for TRANSCOM. *J. Geophys. Res.* **1996**, *101* (D10), 15099-15109.
- (3) Stohl, A.; Seibert, P.; Arduini, J.; Eckhardt, S.; Fraser, P.; Grealley, B. R.; Lunder, C.; Maione, M.; Mühle, J.; O'Doherty, S.; Prinn, R. G.; Reimann, S.; Saito, T.; Schmidbauer, N.; Simmonds, P. G.; Vollmer, M. K.; Weiss, R. F.; Yokouchi, Y., An analytical inversion method for determining regional and global emissions of greenhouse gases: Sensitivity studies and application to halocarbons. *Atmos. Chem. Phys.* **2009**, *9*(5), 1597-1620.
- (4) Greenhouse Gas Inventory Office of Japan (GIO): *National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN*; Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies: Tsukuba, **2009**; <http://www-gio.nies.go.jp/index.html>.