

2006年度山本・正野論文賞の受賞者決まる

受賞者：竹川暢之（東京大学先端科学技術研究センター）

対象論文：Takegawa, N., Y. Kondo, M. Koike, T. Machida, T. Watai, D. R. Blake, D. G. Streets, J.-H. Woo, G. R. Carmichael, G. Chen, K. Kita, Y. Miyazaki, T. Shirai, J. B. Liley and T. Ogawa: Removal of NO_x and NO_y in Asian outflow plumes: Aircraft measurements over the western Pacific in January 2002, Journal of Geophysical Research, 109, D23S04, doi: 10.1029/2004JD004866, 2004.

選定理由：近年著しい経済成長を遂げてきた東アジア諸国（中国や韓国等）では、広域大気環境に大きな負荷を与える反応性気体・温室効果気体・エアロゾルの排出量が急激に増加している。なかでも、化石燃料やバイオマス燃料の燃焼から多量に放出される窒素酸化物（ NO_x ）は、対流圏オゾン（ O_3 ）の前駆物質として作用することが知られている。オゾンは重要な温室効果気体であり、健康・植生に悪影響を与えるため、 NO_x の分布やその変動要因を理解することは緊急かつ重要な課題となっている。

NO_x が広域的なオゾン分布に与える影響を評価するためには、 NO_x およびその酸化生成物の総和である NO_y （= NO_x +硝酸（ HNO_3 ）+硝酸ペルオキシアセチル（光化学スモッグ発生時の目への刺激原因物質：PAN）+…）の大気中における消失寿命を定量化することが必要不可欠である。そのような推定はこれまで光化学輸送モデルにより行われてきたが、観測結果から直接的に示した例はほとんどない。本論文において竹川暢之氏は、航空機観測で得られた一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（ CO_2 ）、非メタン炭化水素（NHHCs）のデータを組み合わせた独創的な解析方法により、冬季東アジア域の境界層（<3 km）における NO_x 、 NO_y の消失寿命を、高い信頼度で導出することに成功した。

この研究を遂行するにあたって、まず、航空機観測に必要な高時間分解・高精度の測定器装置を自ら開発した。この装置の説明と性能評価の詳細は、別の論文として出版されている。この装置によって得られた高精度のCOデータは本論文の解析を強く支えている。

次に、観測された空気塊の起源特定に CO/CO_2 比を用いることを新たに着想した。従来用いられてきた後方流跡線解析だけから、空気塊の起源・寿命を正確に推定することは極めて困難である。竹川氏は CO 、 CO_2 の放出比が日本、韓国、中国北部、中国南部など発生源により大きく異なることに着目して、空気塊の $\text{CO}-\text{CO}_2$ 相関の傾き（ $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ 比）からその発生源を同定した。この $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ 比を用いる考え方・方法は、 NO_x 、 NO_y の解析にとどまらず、エアロゾルなど多くの化学成分の輸送・化学過程の解析に広く応用されつつある。

このように空気塊の起源を同定した上で、寿命の異なった非メタン炭化水素の濃度比から空気塊の寿命を正確に推定した。具体的には、東アジア域のように多様な発生源が混在する場合はエチレン（ C_2H_4 ）とアセチレン（ C_2H_2 ）が最も適切であることを初めて示した。このために、多くの種類の非メタン炭化水素の組み合わせを解析した上で、最良の組み合わせを抽出するという、系統的で精緻な手法をとっている。

$\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ 比と非メタン炭化水素比による空気塊の起源・寿命の正確な推定と、観測された $\Delta\text{NO}_x/\Delta\text{CO}_2$ 比の時間的減少から NO_x の光化学寿命（約1日）を導出した。この短い NO_x の寿命は気相の酸化反応だけでは説明できず、エアロゾル上の不均一反応が重要であることが示された。多くの仮定を含むモデル計算ではなく、観測から直接導出された NO_x の消失寿命から初めてこの結論が得られた点が特筆される。

本論文で得られた NO_x 消失速度に対する各反応の寄与率に関する知見は、3次元光化学輸送モデルによる NO_x およびオゾンの再現・予測を高精度化する上で鍵となる。さらに、 NO_y についても同様の解析を行い、発生源近傍における硝酸の沈着など、物理化学過程が NO_y の広域分布を決める上で極めて重要であることを提唱している。現状の3次元光化学輸送モデルでは NO_y 消失速度の不確定性のためにその分布や沈着量を正しく再現できていない。上記の結果は、東アジア域における酸性物質の沈着量の見積もりを高精度化する上で有用な情報を与える。

以上のように、本論文で竹川氏は航空機観測データを解析するための独創的な方法を示すと共に、冬季の東アジア域における窒素酸化物の消失過程に関する鍵となる知見、またこれらの議論の基礎となるこれまでの定説を覆す可能性のあるいくつかの重要な知見を得た。これらの成果は今後の研究に対する波及効果も大きい。尚、本論文は多数の研究者による共同研究の成果であるが、竹川氏は高度な技術を駆使した観測の実行、独創的な解析方法の考案、論文の取りまとめに至るまで中心的な役割を果たした。

以上の理由から、日本気象学会は竹川暢之氏に2006年度山本・正野論文賞を贈るものである。

受賞者：猪上 淳（海洋研究開発機構地球環境観測研究センター）

対象論文：Aircraft observations of air-mass modification over the Sea of Okhotsk during sea-ice growth, *Bound.-Layer Meteor.*, 117(1), 111-129, 2005. (J. Inoue, M. Kawashima, Y. Fujiyoshi and M. Wakatsuchi)

選定理由：海氷は、日射への高い反射能を持ち気候を寒冷化するよう働くほか、生成の際には塩分濃度の高い水を排出し、寒冷域の海洋の密度構造に大きな影響を及ぼす。同時に、大陸からの低温で乾いた風により海洋から奪われた大量の熱が大気へと放出され、顕著な気団変質が起こる。一方、成長した海氷は海洋から大気への熱供給を遮断し、下層大気の寒冷化を助長する。よって、海氷被覆面積の変動は大気冷熱源の変動を伴う。このように海氷は気候系の重要な構成要素であり、その特性を把握し数値モデル内できちんと表現することが気候研究において重要なことは広く認識されている。

しかし、過酷な自然条件が現場観測に与える制約のため、海氷が大気に及ぼす熱的影響についての観測的知見は十分ではない。しかも、その影響評価には、氷板の隙間に無数に存在する狭い開水域（リード）から大気への局所的熱放出を定量的に評価するという困難な作業が要求される。実際、猪上氏は2003年に論文発表した数値実験の結果に基づき、海水生成域での地表乱流熱フラックスの評価には、リード面積（もしくは海水密接度）の正確な把握こそが最重要要因だと指摘している。だが、この評価に不可欠な航空機観測は、海水変動が大気循環に影

響する可能性が指摘されてきたオホーツク海においては殆ど実施されなかった。

そこで猪上氏は、2000年2月中旬に2回実施されたロシア航空機によるオホーツク海での特別観測のデータを詳細に解析し、上記の評価に真正面から取り組んだ。まず、各々の飛行で得られた海水上の大気境界層内の気温・湿度・風速の鉛直分布を基に、サハリン東岸から沖合まで季節風に沿って混合層の構造がどのように変化するかを明らかにした。その際、高度200 m から毎秒撮影されたビデオカメラの映像について、太陽高度の違いや雲の影響などで撮影条件が逐一異なることへの配慮から、各映像で120 m×80 m の領域内のリードを肉眼で識別し、その占有率を評価していった。こうして計6000枚の映像の眼識という極度の注意力和忍耐力を要する作業を単独で貫徹し、沿岸から沖合約300 km までの海水密接度分布を100 m という高分解能で数値化した。そして、この密接度分布と毎秒得られた大気データと飛行姿勢データから、境界層内の乱流熱フラックスを評価した。その際、鉛直運動と温度擾乱の各々の符号に基づきフラックス値を分別することで、鉛直運動をもたらす物理過程を考察した。

その結果、海水密接度と上向き顕熱フラックスとの間に局所的な強い負相関があることや、季節風の移流効果でフラックスの極大が個々のリード域から数 km 下流側に現れる傾向を見出した。このとき、沖合150~200 km 以内では混合層が未発達で、リードからの暖かい上昇流（サーマル）の寄与が顕熱フラックスの局所的増大の大半を占めるのに対し、さらに沖合では混合層の発達に伴って上昇流・下降流両者の寄与が拮抗する傾向を明らかにした。また、リードからの熱供給の累積効果を反映し、リードでの局所的な大気海洋間の温度差が沿岸からのリード累積幅にほぼ比例して減少するものの、累積幅が40 km を超えるとほぼ一定となること、同様に顕熱フラックスも、リード累積幅が数 km 以内で約400 W/m²から100 W/m²程度へと急減した後は、ほぼ一定となることを示した。

このように、猪上氏は稀少な航空機観測で得たデータを独自の方法で丹念に精査し、含蓄する貴重な情報を最大限に抽出することで、海水域に無数に存在するリードからの熱供給とそれに伴う大気境界層内の気団変質過程の様相の定量的評価に成功した。この成果は、大気海洋相互作用におけるリード

からの熱供給の累積効果の重要性を顕示するとともに、大気—海洋—海水結合系の理解とモデリングにおいて海水密接度の正確な把握が不可欠なことを観測事実から明確にするものである。さらに、冬季季節風下のオホーツク海では、南西部の海水域においても無数のリードから大量の熱が奪われ海水が生成されつつ、気団変質も起きていることを示唆し、オホーツク海の海水生成が主に北西部沿岸で起こるという定説に再検討を迫るものである。

なお、本論文の内容は猪上氏の北海道大学におけ

る学位論文の重要部分を成すものである。他3名との共著論文ではあるものの、ロシアとの共同観測の立案準備を除き、観測データの解析やその結果の考察、論文執筆と、研究の主要部分を猪上氏がほぼ単独で行なった。猪上氏は、北極海やオホーツク海などで大気境界層内の雲・降水系や大気—海洋—海水相互作用の研究を活発に行ない、過去2年間に7編の査読論文を筆頭著者として著している。

以上の理由により、日本気象学会は猪上 淳氏に2006年度山本・正野論文賞を贈るものである。