

## 「みらい」 MR12-E03 北極航海において観測された大気ポテンシャル酸素の変動

石戸谷重之<sup>1</sup>、笹野大輔<sup>2</sup>、内田裕<sup>3</sup>、田口彰一<sup>1</sup>、遠嶋康徳<sup>4</sup>、松下隼士<sup>4,5</sup>、石井雅男<sup>2</sup>、小杉如央<sup>2</sup>、石島健太郎<sup>3</sup>、森本真司<sup>5,6</sup>、西野茂人<sup>3</sup>、村山昌平<sup>1</sup>、後藤大輔<sup>5,6</sup>、中澤高清<sup>6</sup>、青木周司<sup>6</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所、<sup>2</sup>気象研究所、<sup>3</sup>海洋研究開発機構、<sup>4</sup>国立環境研究所、<sup>5</sup>国立極地研究所、<sup>6</sup>東北大学

### Variations in the Atmospheric Potential Oxygen observed over the North Pacific and the Arctic Ocean during MR12-E03 cruise of the R/V Mirai

Shigeyuki Ishidoya<sup>1</sup>, Daisuke Sasano<sup>2</sup>, Hiroshi Uchida<sup>3</sup>, Shoichi Taguchi<sup>1</sup>, Yasunori Tohjima<sup>4</sup>, Junji Matsushita<sup>4,5</sup>, Masao Ishii<sup>2</sup>, Naohiro Kosugi<sup>2</sup>, Kentaro Ishijima<sup>3</sup>, Shinji Morimoto<sup>5,6</sup>, Shigeto Nishino<sup>3</sup>, Shohei Murayama<sup>1</sup>, Daisuke Goto<sup>5,6</sup>, Takakiyo Nakazawa<sup>6</sup>, Shuji Aoki<sup>6</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, <sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), <sup>4</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>5</sup>National Institute of Polar Research, <sup>6</sup>Tohoku University

To investigate the air-sea O<sub>2</sub> exchanges processes, the Atmospheric Potential Oxygen (APO = O<sub>2</sub> + 1.1xCO<sub>2</sub>) was analyzed for the air samples collected over the North Pacific and the Arctic Ocean for the period September 4 – October 16, 2012 on MR12-E03 cruise of the R/V Mirai. The observed APO was positively correlated with the partial pressure of O<sub>2</sub> in surface seawater (pO<sub>2\_sw</sub>), and the variations in the partial pressure of atmospheric O<sub>2</sub>, corresponding to the variations in the APO, was about two thousandth part of those in the pO<sub>2\_sw</sub>. The APO calculated by using an atmospheric transport model and the seasonal air-sea O<sub>2</sub> flux climatology reproduced the decreasing trend of the observed APO throughout the observation period, however, failed to reproduce the large day-to-day variations seen in the observed APO. On the other hand, the 5-days backward trajectories showed that the minimal values of the observed APO were affected by the air mass over the Bearing Sea, where the minimal pO<sub>2\_sw</sub> values were observed. These facts suggested that the shipboard observations of APO would provide useful information to evaluate the local air-sea O<sub>2</sub> fluxes, which were not reflected in the seasonal air-sea O<sub>2</sub> flux climatology.

#### はじめに

大気中 O<sub>2</sub> 濃度 (δ(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)) と CO<sub>2</sub> 濃度から求められる大気ポテンシャル酸素 (Atmospheric Potential Oxygen, APO = O<sub>2</sub> + 1.1 x CO<sub>2</sub>) は陸上植物活動に対する保存量であり、人為起源 CO<sub>2</sub> 収支推定や季節的な大気海洋間 O<sub>2</sub> フラックスの評価に用いられている (e.g. Manning and Keeling, 2006; Garcia and Keeling, 2001)。O<sub>2</sub> は CO<sub>2</sub> と比較して大気海洋間の交換速度が極めて速く、洋上で観測した APO の変動から近傍海域の大気海洋間 O<sub>2</sub> フラックス変動の情報が得られることも期待される。そこで本研究では、観測船「みらい」により 2012 年秋期に行なわれた北極海航路観測において得られた APO と、海水中 O<sub>2</sub> 分圧 (pO<sub>2\_sw</sub>) との関係を比較したので報告する。

#### 観測

観測船「みらい」は 2012 年 9 月 4 日に八戸港を出港し、ベーリング海峡を経て北限 76° N までの北極海において観測を行い、同様の航路によって 10 月 16 日に八戸港に帰還した。観測期間中、1 日に約 1 サンプルの大気採取を行い、得られた計 40 本の大気試料を研究室に持ち帰り、δ(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)を質量分析計 (ThermoScientific Delta-V) により (Ishidoya and Murayama, submitted to Tellus B)、CO<sub>2</sub> 濃度を非分散型赤外分析計 (Li-7000) によって分析した。δ(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>)および CO<sub>2</sub> 濃度の測定精度はそれぞれ約 ±4 per meg (±0.8 ppm) および ±0.1 ppm であった。また溶存 O<sub>2</sub> 濃度 (μmol kg<sup>-1</sup>) を、溶存 O<sub>2</sub> センサ (RINKO) によって連続的に観測した。

#### 結果

図 1 は APO 観測値の時系列プロットを示す。図には溶存 O<sub>2</sub> 濃度の観測値と、Garcia and Gordon (1992)による飽和 O<sub>2</sub> 濃度計算式から求めた pO<sub>2\_sw</sub> の値を併せて示した。APO は pO<sub>2\_sw</sub>=0.20946 (atm)の時の値をゼロとした偏差として ppm 相当量で表した。図から、APO の変動と pO<sub>2\_sw</sub> の変動には明瞭な正相関の関係が見られる。このことから、海水中の O<sub>2</sub> 分圧の増加 (減少) に伴う大気海洋間 O<sub>2</sub> フラックスの変動が直上大気中の APO の増加 (減少) として捉えられていることが示唆され、また海水中 : 大気中の O<sub>2</sub> 分圧の変動量比はおおよそ 2000 : 1 であることが示唆される。図 1 には、過去の研究による季節的な大気海洋間 O<sub>2</sub> フラックス気候値 (Garcia and Keeling, 2001) と大気輸送モデル (Taguchi et al. 2011) による APO 計算値も併せて示した。APO 計算値は APO 観測値の観

測期間を通じた減少傾向を比較的よく再現したが、日々の変動量は観測値と比較して過小評価になっており、特に10月4~11日における、観測期間の極小値を示す APO の減少とその後の期間の再増加は再現しなかった。10月4~11日の期間に採取された大気試料は、10月4-7日に pO<sub>2\_sw</sub> の観測期間における極小値が観測されたベーリング海の方から輸送されてきた空気塊であることが、後方流跡線解析 (NOAA, HYSPLIT) の結果から示されている。また、Keeling et al. (1998) の手法により溶存 O<sub>2</sub> 濃度と飽和 O<sub>2</sub> 濃度から求めた大気海洋間 O<sub>2</sub> フラックスからも、10月4-7日のベーリング海上において O<sub>2</sub> が大気から海洋に強く吸収されていたことが示された。これらの結果から、本研究で観測された洋上 APO の変動は、気候値的な O<sub>2</sub> フラックスには反映されていない、観測域の直下および近傍海域からの O<sub>2</sub> フラックスの情報を反映していることが示唆される。

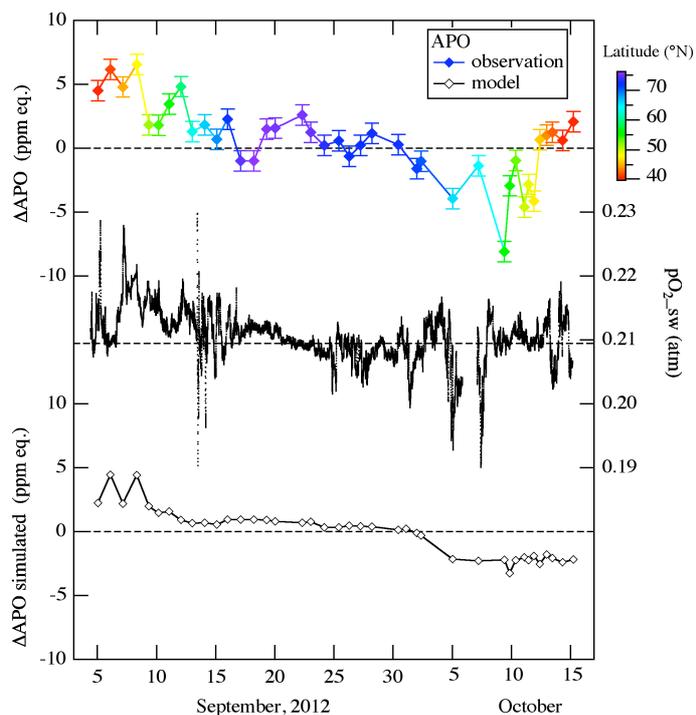


Figure 1. APO and pO<sub>2\_sw</sub> observed over the North Pacific and the Arctic Ocean during MR12-E03 cruise of the R/V Mirai. Dashed lines denote the values for pO<sub>2\_sw</sub> of 0.20946. The APO values, calculated using an atmospheric transport model and seasonal air-sea O<sub>2</sub> flux climatology (Garcia and Keeling, 2001), are also shown.

## References

- Garcia, H., and L. Gordon, Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations, *Limnol. Oceanogr.*, 37, 1307– 1312, 1992.
- Garcia, H. and Keeling, R. On the global oxygen anomaly and air-sea flux. *J. Geophys. Res.* 106(C12), 31155-31166, 2001.
- Ishidoya and Murayama Development of a new high precision continuous measuring system for atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> and Ar/N<sub>2</sub> and its application to the observation in Tsukuba, Japan, submitted to *Tellus B*.
- Keeling, R. F. et al., Seasonal variations in the atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio in relation to the kinetics of air-sea gas exchange. *Global Biogeochem. Cycles.* 12, 141-163, 1998.
- Manning, A. C. and Keeling, R. F., Global oceanic and land biotic carbon sinks from the Scripps atmospheric oxygen flask sampling network. *Tellus.* 58B, 95-116, 2006.
- Taguchi, S. et al., TransCom continuous experiment: comparison of <sup>222</sup>Rn transport at hourly time scales at three stations in Germany. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 10071-10084, 2011.