

## GRENE 北極気候変動研究プロジェクト課題5グループにより得られた研究成果の概要 -北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明-

青木周司<sup>1</sup>、GRENE 課題5メンバー

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

## Outline of study results obtained by the group #5 of the GRENE Arctic Climate Research Project -Studies on greenhouse gas cycles in the Arctic and their responses to climate change-

Shuji Aoki<sup>1</sup> and GRENE #5 members

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

To elucidate temporal and spatial variations of the concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and other greenhouse gases as well as their isotopes and oxygen concentration in the higher latitudes of the Northern Hemisphere, we have established comprehensive observations by using land stations and aircraft. Although it was believed that the Arctic Ocean also plays an important role in the variations of greenhouse gases and their related constituents, it was not well known about the role of the Arctic Ocean. Therefore, we also have made oceanographic observations by the research vessel 'Mirai' once per year since 2011.

These observational data have been utilized to quantify the distributions and variations of sources and sinks of the greenhouse gases in the Arctic region using almost all of the high-resolution atmospheric chemistry transport models developed in Japan. We are trying to combine the high-resolution atmospheric chemistry transport models with a terrestrial ecosystem model to gain a clearer understanding of complicated process of the greenhouse gas cycles in the Arctic, and how the greenhouse gas cycles respond to climate change.

By analyzing ice cores and firn air sampled from Greenland and other locations, we reconstructed the changes of the concentrations and isotopes of the greenhouse gases for the last hundreds years. By using these data, we are investigating the changes of sources and sinks of the greenhouse gases in the past, as well as how each type of the sources has responded to climate change.

The major results obtained so far by our research group are as follows;

- (1) Simultaneous measurements of the atmospheric O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio and CO<sub>2</sub> concentration have been continued at Ny-Ålesund and Syowa Station. By using these data, the average CO<sub>2</sub> uptake during the period 2001-2009 was estimated to be 2.9±0.7 and 0.8±0.9 GtC yr<sup>-1</sup> for the ocean and terrestrial biosphere, respectively.<sup>1)</sup>
- (2) Our inversion models indicate that land biosphere in the northern high and mid latitudes acts as CO<sub>2</sub> sink for the last 22 years at least. The CO<sub>2</sub> sink has strengthened during these years. The result is consistent with the fact that amplitude of the seasonal CO<sub>2</sub> cycles have increased more than 50% in the northern high latitudes for the last 50 years.<sup>2)</sup>
- (3) We found that the Arctic Ocean acts as CO<sub>2</sub> sink for the last 18 years. The mean annual CO<sub>2</sub> uptake by the ocean shows weak positive trend. Several hot spots of CH<sub>4</sub> with the highest value exceeded 4 μatm were also found in the Chukchi Sea.
- (4) Atmospheric CH<sub>4</sub> concentration had been almost stable between 1999 and 2006, then it started to increase again afterward. By analysing CH<sub>4</sub> isotopes for air samples collected at Ny-Ålesund, Svalbard and Charchill, Canada, we concluded that the recovery of the CH<sub>4</sub> increase was explained by strengthening of CH<sub>4</sub> release from microbial sources such as wetlands.
- (5) The northern hemisphere and southern hemisphere (NH/SO) OH ratio estimated from CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> interhemispheric gradients was 0.99. The result of an NH/SO OH ratio of close to 1 was in strong contrast to the other ratios of high in the NH employed in the previous studies. To match the observed interhemispheric gradient in atmospheric CH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub> emissions in the NH and SO have to be 398 and 151 Tg of CH<sub>4</sub> per year, respectively.<sup>3)</sup>
- (6) The CH<sub>4</sub> concentration records reconstructed from ice cores and firn air samples, and from direct measurements since the 1980s at multiple sites around the globe are compared with simulation of an atmospheric general circulation model-based chemistry-transport model. During 1910–2010, the global total CH<sub>4</sub> emission doubled from ~290 to ~580 Tg yr<sup>-1</sup>. Compare to optimized emission, the bottom-up emission data set underestimates the rate of change of global total CH<sub>4</sub> emissions by ~30% during the high growth period of 1940–1990, while it overestimates by ~380% during the low growth period of 1990–2010. Using δ<sup>13</sup>C data, we attribute the emission increase during 1940–1990 primarily to enhancement of biomass burning.<sup>4)</sup>

These researches greatly contribute to the second Strategic Research Target of “Understanding the Arctic system for global climate and future change”.

我々のグループは、大気中の CO<sub>2</sub> や CH<sub>4</sub> などの温室効果気体濃度およびそれらの同位体や関連する酸素濃度等の北半球高緯度域における分布や変動を明らかにするために、地上基地や航空機を用いた総合的な観測体制を確立した。また、温室効果気体および関連物質の変動には北極海も重要な役割を果たしていると考えられているが、その実態はこれまでほとんど知られていなかったため、我々は海洋地球研究船「みらい」による北極海の海洋観測も 2011 年から毎年 1 回ずつ実施してきた。

我々は、北極域における温室効果気体の放出源・吸収源の分布とその変動を定量化するために、日本で開発されたほぼすべての高解像度大気化学輸送モデルを用いてそれらの観測データを解析している。さらに、高解像度大気化学輸送モデルを陸上生態系モデルと結合し、気候変動による温室効果気体の循環の応答に関する研究も進めている。

また、グリーンランドなどで採取された氷床コアやフィルン空気を分析することにより、過去数百年にわたる温室効果気体の濃度と同位体の変動を再現する研究も進めている。これらから得られたデータを解析することにより、温室効果気体の発生源・消滅源の時間変化や発生源の種類別強度の気候変化に対する応答の実態を明らかにし、北極域での温室効果気体の変動への各プロセスの寄与についての研究も進めている。

我々の研究グループによってこれまでに得られた主要な成果を以下にまとめる。

- (1) ニーオルスンおよび昭和基地における大気中の O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 比と CO<sub>2</sub> 濃度の同時観測を継続している。これらのデータを解析することにより、2001 年から 2009 年の間に海洋と陸上植生による CO<sub>2</sub> の年平均吸収量は、それぞれ  $2.9 \pm 0.7$  および  $0.8 \pm 0.9 \text{ GtC yr}^{-1}$  と評価された。<sup>1)</sup>
- (2) モデルの逆解析によって得られた北半球中・高緯度の陸上生物圏は少なくとも過去 22 年間は CO<sub>2</sub> の吸収源として働いていたことが明らかになった。CO<sub>2</sub> の吸収源はこの間徐々に強まっていた。このことは、北半球高緯度域の CO<sub>2</sub> 季節変化振幅が過去 50 年で 50% 以上も増大してきたことと調和的である。<sup>2)</sup>
- (3) 北極海は過去 18 年にわたり CO<sub>2</sub> の吸収源となっていたことが明らかになった。この間の CO<sub>2</sub> 吸収量は弱い正のトレンドを示した。また、チャクチ海には  $4 \mu\text{atm}$  を超えるような CH<sub>4</sub> のホットスポットがいくつもあることを見出した。
- (4) 大気中の CH<sub>4</sub> 濃度は 1999 年から 2006 年の間増加が停止していたが、その後再増加が起こった。我々はニーオルスンやチャーチルで得られた大気サンプルの CH<sub>4</sub> 同位体を分析することにより、濃度増加の原因が湿地などの微生物起源の放出の強化によるものであることが明らかになった。
- (5) CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> の北半球と南半球の濃度差から推定した両半球間の OH 比は 0.99 と評価された。この研究で得られた 1 に近い OH 比は従来の研究で用いられてきた北半球が高い比と大きく異なっている。この結果を用いて、大気中の CH<sub>4</sub> 濃度の南北半球の濃度比に合うように決めた南北両半球の放出源強度は、それぞれ 151 および 398  $\text{Tg of CH}_4 \text{ yr}^{-1}$  と評価された。<sup>3)</sup>
- (6) 氷床コアやフィルン空気および 1980 年代以来の大気直接観測によって得られた CH<sub>4</sub> 濃度変化を大気化学輸送モデルによるシミュレーション結果と比較した。1910 年から 2010 年にかけて地球規模の CH<sub>4</sub> 放出は 290 から 580  $\text{Tg yr}^{-1}$  に倍増した。最適化された CH<sub>4</sub> 放出源強度と従来のボトムアップ法によって求められた CH<sub>4</sub> 放出源強度を比較すると、1940-1990 年の CH<sub>4</sub> 放出源強度はボトムアップ法のものが ~30% 過小評価しており、1990-2010 年は ~380% も過大評価していることが明らかになった。さらに  $\delta^{13}\text{C}$  データを用いることにより、1940-1990 年の CH<sub>4</sub> 放出源強度の増大は主にバイオマス燃焼によるものであることが明らかになった。<sup>4)</sup>

これらの研究は戦略目標 2 の「全球の気候変動および将来予測における北極域の役割の解明」に大いに貢献するものである。

## References

- 1) Ishidoya S., et al., Oceanic and terrestrial biospheric CO<sub>2</sub> uptake estimated from atmospheric potential oxygen observed at Ny-Ålesund, Svalbard, and Syowa, Antarctica, *Tellus B*, 64, 18924, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.18924>, 2012.
- 2) Graven H. D., et al., Enhanced seasonal exchange of CO<sub>2</sub> by northern ecosystems since 1960, *Science* 341, doi: 10.1126/science.1239207, 2013.
- 3) Patra, P. K., et al., Observational evidence for interhemispheric hydroxyl-radical party, *Nature* 513, 219-223, doi: 10.1038/nature13721, 2014.
- 4) Ghosh, A., et al., Variations in global methane sources and sinks during 1910-2010, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2595-2612, doi: 10.5194/acp-15-2595-2015, 2015.