

# アラスカ北極圏の湖沼におけるメタンフラックスと永久凍土融解の影響

佐々木正史<sup>1</sup>、内田昌男<sup>2</sup>、内海真生<sup>2</sup>、中山恵介<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北見工業大学

<sup>2</sup> 国立環境研究所

<sup>3</sup> 筑波大学

## Influence of the thawing permafrost on methane flux from lakes in the Alaskan Arctic Zone

Masafumi Sasaki<sup>1</sup>, Masao Uchida<sup>2</sup>, Motoo Utsumi and Keisuke Nakayama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kitami Institute of Technology

<sup>2</sup> National Institute for Environmental Studies

<sup>3</sup> University of Tsukuba, Tsukuba

Dissolved methane concentrations (*DM*) at lakes along Dalton Highway were observed in the open water season in 2008 and in 2012 to estimate diffusive methane flux from lake surfaces and to verify an enhance effect of thawing permafrost on the flux in the Alaskan arctic zone. There was no short-term (4 years between 2008 and 2012) change in *DM* at the surface of lake. An inverse relationship between lake size and *DM* was obtained in lakes in the tundra and the mountain regions as was found for the European boreal lakes. *DM* in lakes in the taiga region, however, were higher than those in the tundra region. Average diffusive flux density (per lake area) is also similar value to those in European boreal lakes on no-permafrost inland regions. No evidence indicating an effect of thawing permafrost on *DM* was found in these lakes at this moment.

### 1. はじめに

地球温暖化の主な原因は温暖化物質であると考えられており、メタンの温暖化への寄与率は15%と言われている。IPCC 第3次報告書においてメタンの自然起源(約40%)の中に含まれていたミッシングソース(8.5%)(Etiope, 2004)は、第4次報告書では陸上植生起源に帰着されているが、不明な点も多い。本研究では、アラスカ北極圏において湖沼と大気間のメタン交換に及ぼす永久凍土融解の影響を明らかにするために、2008年夏期と2012年夏期にアラスカの北極圏の湖沼の採水を行い、表層の溶存メタン濃度(以下 *DM* と略記)の測定を行った。表層 *DM* 測定結果と湖沼面積の関係を特性付けると共に、各地の気象データを用いてアラスカ北極圏全域の湖沼のメタンフラックスの推計を行って永久凍土融解の影響を調べた。

### 2. 観測サイトおよび観測結果

アラスカ Dalton Highway 沿線で2008年夏期に29湖沼の採水を、2012年夏期は2008年と重複する25湖沼の採水を行った。採水ステーションと解析対象エリアを Fig.1 に示す。図中の○印は採水した湖沼の位置を示す。観測エリアは北からツンドラ地帯、山岳地帯およびタイガ地帯の3つの特徴的な地帯から成る。採取した湖水中の *DM* をガスクロマトグラフィー素素炎イオン検出器(GC-FID)により測定した。

表層 *DM* (nmol L<sup>-1</sup>)を湖沼面積 *A*(km<sup>2</sup>)との関係として Fig. 2 に示す。2008年夏と2012年夏の *DM* の間には有意の差は認められなかった。アラスカ北極圏のツンドラおよび山岳地帯の *DM*-*A* のトレンドは、スウェーデン及び北米北部の湖沼に対して Bastiviken et al. (2004)によって提案された式(1)によってよく記述される。アラスカのツンド

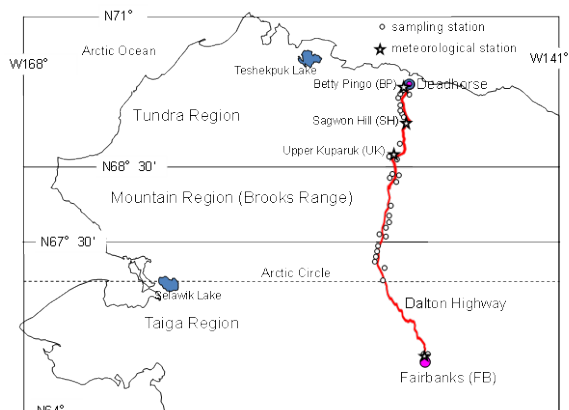


Fig.1 Observation stations and study regions

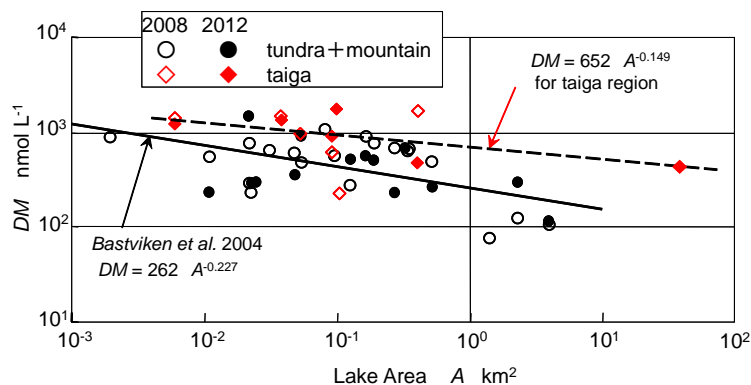


Fig.2 Relationships between lake area and dissolved methane concentrations (*DM*)

ラ地帯は連続した永久凍土に覆われているのに対し、式(1)は永久凍土の存在しないスウェーデン及び北米北部の湖沼に対して求められたものであり、アラスカ北極圏のツンドラでは明確な永久凍土の融解の影響 (*DM* 強調) は認められない。一方タイガ地帯はツンドラ地帯より表層 *DM* が有意に高い傾向が認められ、これに対しては式(2)の近似式を与えた。

$$DM = 262.4 A^{-0.227} \quad \text{for tundra and mountain region.} \quad (1)$$

$$DM = 652.5 A^{-0.149} \quad \text{for taiga region} \quad (2)$$

### 3. アラスカ北部湖沼から大気に拡散するメタンフラックスの推計結果

CO<sub>2</sub> に対する大気-湖沼表層の交換係数  $k_{600}$  (淡水の 20℃の時のシュミット数  $Sc=600$  に対する値) を決定するために、*Cole and Caraco* (1998)の経験式(3)を採用した。

$$k_{600} = 5.75 \times 10^{-6} + 0.597 \times 10^{-6} U_{10}^{1.7}. \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (U_{10} = 0.5 \sim 9.5 \text{ m s}^{-1}) \quad (3)$$

$U_{10}$  は地上 10 m の相当風速で、本計算では時間平均値を用いた。メタンの交換係数  $k_{CH_4}$  は、メタンのシュミット数  $Sc_{CH_4}$  から、以下の式(4)および(5)によって求まる。

$$k_{CH_4} = k_{600} (Sc_{CH_4} / 600)^{-0.5}. \quad (4)$$

$$Sc_{CH_4} = v_w / D_{DM}. \quad (5)$$

湖沼表層から大気への時間平均マスフラックス  $dm/dt$  は、

$$dm/dt = M_{CH_4} k_{CH_4} (DM - DM_0) A \times 3600. \quad (\text{g CH}_4 \text{ hr}^{-1}) \quad (6)$$

大気との平衡  $DM (=DM_0)$  は淡水の水温を 0~25 °C とした場合、約 4.7~2.5 nmol/L (塩分濃度=0 psu, 大気中メタン濃度=1.85 ppm, 大気圧=1 atm の時) であり、アラスカ北極圏の湖沼では  $DM$  は平衡濃度  $DM_0$  を大きく上回っているため、大気へのメタンソースとなっている。式(6)を北緯 64°以北の全ての湖沼面積および開水期間 (region により異なる) に対して積分するとアラスカ北部の湖沼のメタンフラックスを推計できる。

式(3)で必要な  $U_{10}$ , 式(5)のシュミット数  $Sc_{CH_4}$  を決めるのに必要な水温および開水期間 (気温から推計) など、気象データは 4 ヶ所の代表的な気象観測地点のデータを用いた。すなわち、Betty Pingo (BP), Sagwon Hill (SH), Upper Kupa-ruk (UK) および Fairbanks (FB) で、Fig. 1 中☆印で示した。

式(6)中の湖沼面積  $A$  については、地図サイト (<http://maps.google.co.jp>) から入手した地図画像を、二階調化などの画像処理を施した後に、粒子解析ソフト (旭化成エンジニアリング「A 像くん」®) を用いて、湖沼面積  $A$  が 0.001 km<sup>2</sup> 以上の全ての湖沼について、その数と面積の頻度分布を解析した。アラスカ北極圏全体の合計湖沼面積は 25, 448 km<sup>2</sup> (対象湖沼数約 34 万) となり、そのうちツンドラ地帯は約 54%, 山岳地帯は約 4%, タイガ地帯は約 42% であった。

メタンフラックスの月変化の推計結果 (2008 年と 2012 年の平均) を Fig. 3 に示す。UK の 5 月と FB の 10 月は開水が半月と仮定しているため、バーの幅を半分に表記している。アラスカ北部全体のフラックスは 20.3 Gg CH<sub>4</sub> yr<sup>-1</sup> となり、その内 57% をタイガ地帯が占める。アラスカ北極圏全体の平均マスフラックス密度 (m<sup>2</sup> 当り) は約 0.80 g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> となった。このレベルはスウェーデン、フィンランドなど北欧の永久凍土が存在しない地域と同等であり、やはりアラスカ北極圏において永久凍土融解がメタンフラックスに及ぼす影響は認められなかった。

### 謝辞

本研究の一部は、GRENE 北極気候変動研究事業の一貫として実施したものである。

### References

- Etiope, G. (2004). New Directions: GEM-Geologic Emissions of Methane, the missing source in the atmospheric methane budget, *Atmospheric Environment* 38 (2004) 3099-3100.
- Bastviken, D., J. Cole, M. Pace and L. Tranvik (2004), Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 18, GB4009, doi:10.1029/2004GB002238.
- Cole J. J. and N. F. Caraco, 1998, Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured 10 by the addition of SF<sub>6</sub>, *Limnology and Oceanography*, 43(4), 647-656.

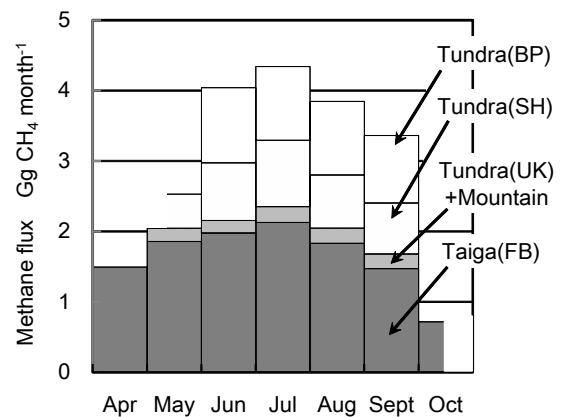


Fig. 3 Seasonal change in methane flux