

## ワークショップ報告:北極陸域生態系のメタン収支の評価

原菌芳信<sup>1,4</sup>, Katey Walter Anthony<sup>1,2</sup>, 永野博彦<sup>1</sup>, 市井和仁<sup>3</sup>, 植山雅仁<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国際北極圏研究センター, アラスカ大学 Fairbanks,

<sup>2</sup> Water and Environmental Research Centers, University Alaska Fairbanks

<sup>3</sup> 福島大学共生システム理工学類, <sup>4</sup> 大阪府立大学生命環境科学研究科

### Workshop Report: Evaluation of Methane exchange in the Arctic and sub-Arctic Terrestrial Ecosystem

Yoshinobu Harazono<sup>1,4</sup>, Katey Walter Anthony<sup>1,2</sup>, Hirohiko Nagano<sup>1</sup>, Kazuhito Ichii<sup>3</sup>, and Masahito Ueyama<sup>4</sup>

<sup>1</sup>International Arctic Research Center, UAF

<sup>2</sup>University Alaska Fairbanks - IARC & INE/ Water and Environmental Research Centers

<sup>3</sup>Fukushima University, <sup>4</sup>Osaka Prefecture University

The hottest issue in high latitude terrestrial ecosystem is warming effects on permafrost in connection with methane (CH<sub>4</sub>) emission. However, details of CH<sub>4</sub> exchange is still unclear in the northern ecosystem. We held a meeting, CH<sub>4</sub> workshop 2013, to understand the current progress on CH<sub>4</sub> evaluation by synthesizing field survey, flux measuring, remote sensing, and modeling, and then discussed toward further challenges and collaborations. Presented topics covered wide range features of methane exchange between the atmosphere and land including vegetation, soil, and lake surface. Important topics, such as methane production/oxidation, controlling parameters of methane production and the processes, evaluation of flux strength, territorial distribution and seasonal changes of methane source and sink, and up-scaling using satellite remote sensing were discussed.

Chemical and physical processes of CH<sub>4</sub> fluxes still remains unknown. Soil condition, chemical material, microbe activity, sediment condition, and vegetation type are also important to reveal their interactive processes. Oxidation should be more focused in this field. Seasonal variation of CH<sub>4</sub>-emission from lake is still unknown. Up-scaling and oxidation processes in lake and wet vegetation have to be focused.

The estimated CH<sub>4</sub> fluxes by up-scaling from chamber to tower and direct observations at canopy scale provided consistent results by applying corrections related to each method including newly progressing techniques. However, year to year variation was large and the trends were unknown, resulting in requiring long term observations.

Satellite data are insufficient for high latitude area due to observation conditions, that restrict studies of arctic region. Up-scaling measurements to plant, canopy, regional and continent scales are being conducted, especially synthesis modeling technique could provide better evaluation of CH<sub>4</sub>-exchange by applying satisfying database. Also, limited utility of observed data prevents model improvement.

Community of CH<sub>4</sub> related researchers such as FLUXNET, LTER, is needed to promote information exchange and further collaborations.

陸域生態系における温室効果ガス収支の把握が求められている。CO<sub>2</sub> 収支は測器の改良と新技術の導入、解析技術の進歩により、かなりの精度で観測できるようになった。しかし、CH<sub>4</sub> は大気中濃度が低く陸域生態系では放出源や吸収源が不均一に分布し、酸化による消失と嫌気状態での生成が同時に同じ場所で生じることなどから、十分な収支把握がなされていない。本報告は、CH<sub>4</sub> 収支観測、その広域評価に関する研究現状をよりよく把握し、高精度で評価するためには、どのような問題を解決すべきかなどを検討した Workshop (9/4-6)の概要報告である。Alaska 大学 Fairbanks 校 (UAF)の国際北極圏研究センター (IARC)を会場として、初めの2日間は日本からの参加者と IARC 滞在研究者が、3日目には UAF の関連研究者が加わり、それぞれが実施中の CH<sub>4</sub>-flux の観測、CH<sub>4</sub> の発生や酸化などのプロセス、広域評価とモデリングなど成果報告と質疑討論がなされた。Agenda 等は IARC-Web 上に掲載されるが、以下に概要を示す。

#### 1. 陸域生態系での CH<sub>4</sub> 観測 :

日本の水田や林地、アラスカのクロトウヒ林やツンドラなどでの結果が報告され、日変化は小さいが季節変化は地温や気温と高い相関が示された。水田など放出強度の強い場所では、渦相関法によりかなり高精度で連続測定できること、open/closed path 型センサのいずれでも測定精度に甲乙付けがたい状況であることが示された。一方、CH<sub>4</sub> 発生強度の弱い場所や吸収が卓越する場所では、簡易渦集積法、または渦相関法に高周波補正を加えることで、妥当な観測精度が得られることが報告された。富士山麓のカラマツ林では弱いながらも冬季以外はほとんど吸収であることなど、現象理解も進みつつある。微気象学的な観測は、水田、林地、湿地、ツンドラなどへ適用され、測定精度の検証と flux の定量的評価が継続されている。

チャンバーによる flux 観測や積雪を通過する flux 観測の報告では、場所毎の特性に応じた結果を得られることから、プロセスやパラメータ解明研究が不可欠であるとの認識は共有された。チャンバーでは観測対象の土壌や植生の不均一性をどのように克服するかが問題点として指摘された。一つの対処法として、観測データの分布形を考慮した統計処理により不均一性や特異値がある場合も妥当な結果になることが示された。

## 2. Alaska の湖沼から放出される CH<sub>4</sub> :

UAF 参加者のほとんどの報告が湖沼からの CH<sub>4</sub> 放出に関するものであった。凍土地帯であることと、温暖化による融解が進むことで発生地が増えていることが背景にある。高緯度湿地帯には湖沼が多く分布し湖底には数 m に及ぶ泥土層が蓄積し、底で大量の CH<sub>4</sub> が発生する (Walter et al., 2006)。これらは気泡として大気に放出されるので、それをロートで捕集して発生量を評価するが、気泡発生場所を 3 段階 (Hot-spot, moderate, weak) に分けて評価している (Isaksen et al., 2011)。これらは、気圧や水温、風速などにも影響されるが、湖底で発生してから大気中に放出されるまでの過程で 50-80% が酸化されるとの結果であった。

凍結期には湖底からの CH<sub>4</sub> 気泡が氷に閉じ込められるため氷の裏面の反射や屈折が変化し、ALOS 衛星に搭載された PALSAR センサデータで気泡の存在、すなわち CH<sub>4</sub> の発生状況を把握できそうとの報告もあった。Hot-spot では冬季にも気泡が出続けるため湖面が凍結しない部分があり、hot-spot からの放出量が大いことが示された。他方、氷の融解時には氷や水中に溜まった CH<sub>4</sub> が一気に放出されることになるが、その定量的把握や年間を通じた季節変化の把握が課題として残されている。

## 3. プロセス研究 :

根圏や水中における CH<sub>4</sub> の発生や酸化消失のプロセス解明、根圏から土壌、植物の根や茎などを經由する輸送過程の酸化消失などの解明が不可欠であるが、土壌条件を始め植物種、根圏の構造など、多様性、不均一性をどのように把握し評価するかが問題として残されている。個別の培養実験などで発生/酸化強度や輸送過程の変動は解析されているが、実際の生態系での挙動を包括的に解明できるまでには到っていない。生態系での主要な制御因子として、地下水位、酸化還元電位、土壌中の基質、微生物種などがあげられたが、いずれも状況毎に影響度合いが異なり定量的把握や相互作用は未解明である。

発生/放出抑制技術として水田を対象とした報告があり、耕作前の土壌状態が CH<sub>4</sub> 生成の開始時期や発生量に影響すること、土壌中の酸化第二鉄の施用で CH<sub>4</sub> の発生を抑制できることなどが示された。

## 4. リモートセンシングの応用、モデルとの統合化 :

CO<sub>2</sub> 収支の広域評価は、様々な観測点のデータの集約が進み (Ueyama et al. 2013)、プロセスモデルや衛星データ組み込みの経験モデルなどが開発され、かなりの精度で評価できるようになった (Ueyama et al., 2013b)。しかし、CH<sub>4</sub> に関しては、観測データが少ないこと、対象植生の多様性や不均一性が大きいこと、発生や酸化のプロセスがまだ十分に解明されていないことなどのため、モデル化が限定され、その評価精度も低い。他方、計算機環境の進化や研究の進展に伴い、利用可能なデータがあればデータの補間と外挿処理により、かなりの信頼度で欠測値の再現ができ、低い観測密度であっても空間的な gap の補間ができるようになった。観測データの蓄積やプロセスの解明、支配的なパラメータの同定が望まれる。

衛星データに関しては、極域を周回する衛星が少なく情報が得られる地域が制限されること、得られても伏角が小さくなり遠方と近場とで精度に差異が生じやすいこと、雲や雪に遮られて良質のデータが得られないなどの問題が指摘された。

## 5. IARC を拠点とした研究統合化 :

極域での観測研究は、過酷な低温環境と遠隔地という困難さがつきまとう。幸いに著者らは日米共同設立の IARC をベースとする事ができ、フラックスや微気象の長期観測、衛星データ利用の広域評価、その間を繋ぐプロセスモデル研究等の統合化を進めている。基礎データの整備も進んでおり、多くの分野の方々との連携が進みつつある。研究対象現地に基盤を置くことを利点とし、世界レベルの研究環境の中で滞在研究者が成果を出しつつある。IARC を拠点とする研究を支援している関係者に感謝する。

なお、CH<sub>4</sub> 研究に関しては、FLUXNET, LTER などの多分野に比べて関連研究者間のネットワーク連携が不十分であり、関連研究者間の情報共有や今後の研究展開のために、早急なコミュニティ形成が望まれる。衛星データの利用可能性について、JAXA の堀雅浩博士からワークショップ用の資料を戴いた。本研究の一部は科研費 (基盤 B-23310009, 2011-2013) の支援を受けた。記してこれらに感謝する。

**References / Ueyama, M., et al., 2013: J. Geophys. Res., DOI: 10.1002/jgrg.20095. Ueyama M., et al., 2013b in press, Ecol. Appl. Walter K.A. et al., 2006, Nature, 443:71-75 [doi:10.1038/nature05040], Isaksen, ISA et al., 2011, Global Biogeochemical Cycles, 25-2,**