

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25340014

研究課題名(和文) グローバルにおけるメタン放出異常地域の原因分析とメタン収支の推定

研究課題名(英文) cause analysis of methane emission abnormality area in global and estimation of methane balance

研究代表者

Park Jong Geol (Park, Jonggeol)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：40337770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：メタンは二酸化炭素の次に地球温暖化に寄与する温室効果ガスである。しかし、メタンの発生源の特定は実験レベルによる結果でありグローバルを対象とした研究は少ない。そこで、本研究はSCIAMACHYを用いてグローバルなメタン発源地の抽出について調べた。雲の影響を取り除き欠落したデータを補間するために3段階処理を行った。また、大気循環モデルを簡略化し海域のメタン濃度を陸域のバックグラウンド濃度として仮定した。陸域メタン濃度と同緯度のバックグラウンド濃度の差を陸域のCH<sub>4</sub>発生源濃度として用いた。その結果、北半球低緯度の水田域と赤道付近の熱帯常緑広葉樹林域がCH<sub>4</sub>ソースであることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Since the beginning of the industrial revolution, the atmospheric concentration of the Methane concentration has increased more than double. This high variability makes large-scale estimates difficult and means that average emissions levels include a large degree of estimated uncertainty. In this study, the CH<sub>4</sub> source area is extracted by estimating the emission as the difference between CH<sub>4</sub> concentration in time series observed by SCIAMACHY and the background concentrations of CH<sub>4</sub>.

It is assumed that CH<sub>4</sub> concentration is negligible over ocean and that the CH<sub>4</sub> concentration over the ocean is due to the advection of CH<sub>4</sub> from the land. The background concentration of CH<sub>4</sub> on the land was defined as CH<sub>4</sub> concentration over the ocean in the same latitude. The estimated CH<sub>4</sub> emissions from the land exhibited the source of CH<sub>4</sub> are not only in paddy fields but also in broadleaf evergreen area in South America and Central Africa.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：メタンソース 熱帯雨林 降水量 植生分布

## 1. 研究開始当初の背景

CH<sub>4</sub>の発生源(ソース)には、発生源によって自然的発生と人為的発生に区別できる。自然的発生には沼や湿地から発生するものが最も多く、シロアリや植物からも発生する(Lelieveld et al., 1998; IPCC, 2007)。人為的発生は主に水田や家畜、廃棄物処理過程や化石燃料の採掘や使用などがある(Houweling et al., 2000; Ruddiman, 2003)。CH<sub>4</sub>の消滅源(シンク)は土壌による吸収(5%)もあるが(IPCC, 2007、稲垣ら 2004)、主に大気中の化学反応による分解が87%以上を占める。化学反応による分解とは日光、酸素、オゾン、水蒸気等の化学反応の際に生ずる水酸ラジカル(OHラジカル)との反応である(Brasseur et al., 1999)。

多くの現地観測によって、湿地や水田などでCH<sub>4</sub>がどの程度発生するのかが明らかになった(Walter and Heimann, 2001a,b; Christensen et al., 2003; Wickland et al., 2006)。しかし、実験対象や環境の違いによってCH<sub>4</sub>発生量は異なる。また、狭い観測地域でのデータを用いてグローバルに適用することも困難である。そこで、広域性、周期性の特徴を持つ衛星リモートセンシング技術による研究が行われた。Frankenberg et al. (2005)の研究結果によって、熱帯雨林域でCH<sub>4</sub>濃度の高いことが分かった。しかし、バックグラウンドCH<sub>4</sub>濃度を除外していないため、正確なCH<sub>4</sub>ソースの抽出は困難であった。Bargamaschiら(2009)はSCIAMACHYデータをインバースモデルに適用した結果、アフリカ、南アメリカとアジアが主にCH<sub>4</sub>ソースであると指摘した。Alexeら(2015)は2010年から2011年までGOSATとSCIAMACHYのそれぞれのデータをインバースモデルに適用しCH<sub>4</sub>の発生に関して研究を行った。その結果、GOSATの方がSCIAMACHYより精度が高いことが分かった。

CH<sub>4</sub>収支における発生源と発生量を正確に

理解するのは現在不十分な点が多い。例えば、モデルや現地調査方法によってCH<sub>4</sub>の発生量が異なる。人為的CH<sub>4</sub>発生量の推定は、Scheehle et al(2002)らは264Tg(CH<sub>4</sub>)yr<sup>-1</sup>で最も少なく、Wuebbles and Hayhoe(2002)は358 Tg(CH<sub>4</sub>)yr<sup>-1</sup>、Global インバースモデルを用いたChen and Prinn(2006)らは428 Tg(CH<sub>4</sub>)yr<sup>-1</sup>と最も多く、研究方法によって大きな差が生じる。また、大気中のCH<sub>4</sub>濃度は1999年から2006年までほぼ一定であったが、2007年に再び増加し始めた(Rigby et al., 2008)。その原因として熱帯域及び北半球低緯度からのCH<sub>4</sub>排出が影響している一方で、北極圏からの排出量には変化が見られないと指摘(WMO 温室ガス年報、2014)したが、その正確な原因は現在まで分かっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では2003年から2011年までの時系列SCIAMACHYデータを用いてCH<sub>4</sub>発生濃度を推定し、CH<sub>4</sub>ソースを抽出する。既存の研究では困難であった大気中のバックグラウンドCH<sub>4</sub>濃度を、同緯度の海域の大気中のCH<sub>4</sub>濃度とみなし、地上のCH<sub>4</sub>発生濃度を推定する。また、CH<sub>4</sub>ソースの地理的特徴を植生図と比較する。

## 3. 研究の方法

海域ではほとんどCH<sub>4</sub>が発生しないにもかかわらず北半球低緯度の海域のCH<sub>4</sub>濃度は南半球の陸域より高い。北半球低緯度にはCH<sub>4</sub>のソースである水田などが多く分布しており、地上で発生したCH<sub>4</sub>が近くの海域へ移流したためである。図1は地上で発生したCH<sub>4</sub>が大気中に移流する様子を簡略化した概念図である。衛星で観測したCH<sub>4</sub>濃度は鉛直下の大気中に存在するCH<sub>4</sub>濃度であり、鉛直下の地上から発生したCH<sub>4</sub>濃度ではない。地上から発生するCH<sub>4</sub>濃度(ここではCH<sub>4</sub>発生濃度と定義する)を求めるには、すでに大気中に存在するCH<sub>4</sub>濃度(バックグラウンドCH<sub>4</sub>濃

度)を知る必要がある。しかし、バックグラウンド CH<sub>4</sub> 濃度は、場所や時期によって異なるため簡単に求めることができない。

海域の CH<sub>4</sub> 発生は陸域に比べ非常に少なく、海域で観測された CH<sub>4</sub> は主に陸域からの移流である。大気の流れは自転、太陽熱、地形や高度によって複雑に変化しているが、本研究では大気の流れを単純化した。大気の流れを単純化することで、特定緯度の海域の CH<sub>4</sub> 濃度は同じ緯度の陸域のバックグラウンド CH<sub>4</sub> 濃度になる。

陸域の CH<sub>4</sub> 濃度と同緯度のバックグラウンド CH<sub>4</sub> 濃度 (海域 CH<sub>4</sub> 濃度) の差を求めることでその場所の CH<sub>4</sub> 発生濃度が分かる (式 1)。バックグラウンド濃度を求める際、移流の影響が最も強いと思われる海岸域を 4 画素分 (240km) を取り除く。

CH<sub>4</sub> 発生濃度

$$= \text{陸域 CH}_4 \text{濃度} - \text{バックグラウンド CH}_4 \text{濃度} \quad \dots \quad (\text{式 1})$$

$$\approx \text{陸域 CH}_4 \text{濃度} - \text{海域 CH}_4 \text{濃度 (同緯度平均)}$$

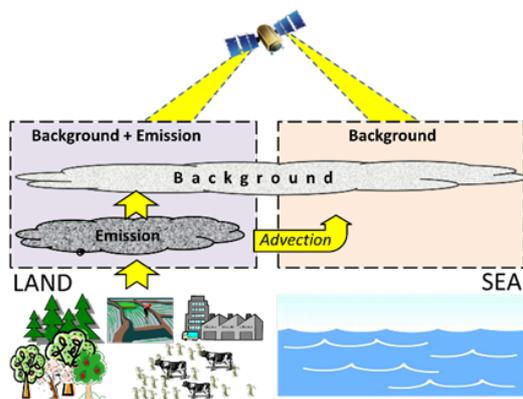


図 1 地上で発生した CH<sub>4</sub> の大気中への移流の概念図

#### 4. 研究成果

##### 4.1 CH<sub>4</sub> 発生濃度

図 2 は CH<sub>4</sub> 濃度から海域のバックグラウンド濃度を引いた CH<sub>4</sub> 発生濃度と緯度別バックグラウンド濃度の平均及び標準偏差である。1 月のバックグラウンド濃度は、北半球の

20° ~ 0° 域で高く (1735ppb)、南半球の極地に行くほど (1585ppb) 低くなる。標準偏差の平均は 20ppb であるが、赤道付近では 30ppb 以上を示した。CH<sub>4</sub> 発生濃度は南アメリカと中部アフリカで 50ppb/month 以上を示した。

4 月のバックグラウンド濃度において、北半球の低緯度 (1725ppb) は 1 月より 10ppb 低く、中緯度 (1725ppb) は 1 月より 20ppb 高い。標準偏差の平均は 19ppb である。赤道付近で 30ppb を超える高い標準偏差を示した。CH<sub>4</sub> 発生濃度は、南アメリカでのみ 50ppb/month 以上を示した。中部アフリカの多くの地域は 30ppb/month 以下である。

7 月のバックグラウンド濃度において、北半球の中緯度は 4 月より更に 15ppb 程高い 1740ppb である。南半球も全体的に 10ppb 高い。CH<sub>4</sub> 発生濃度はヨーロッパで 40ppb/month、西・中部アフリカで 50ppb/month、南・東南アジアで 80ppb/month を示した。朴と朴 (2013) は WDCGG データを用いてドイツ温帯林域である Neuglobsow の CH<sub>4</sub> 発生について調べた。Neuglobsow の 7 月 CH<sub>4</sub> 発生濃度は 45ppb であり本研究の結果との差は 5ppb である。

10 月のバックグラウンド濃度は、北半球の低緯度で 1 年中最大 (1755ppb) を示した。標準偏差の平均は 21ppb である。CH<sub>4</sub> 発生濃度もアジア (インド、バングラデジュ、ミャンマー、タイと中国の華中と華東) で最も高い値 (80ppb/month) を示した。Park et. al (2013) は韓国水田域の CH<sub>4</sub> 発生濃度について WDCGG データを用いて調べた。水田が広く分布している Anmyeon-do の 10 月 CH<sub>4</sub> 濃度は 1910ppb、バックグラウンド観測所である Sand Island (177.4° W, 28.2° N, 7.7m) の CH<sub>4</sub> 濃度は 1832ppb である。両観測所の差である 78ppb が水田からの CH<sub>4</sub> 発生濃度であると推定した。衛星データによる結果と地上観測との差は 2ppb である。

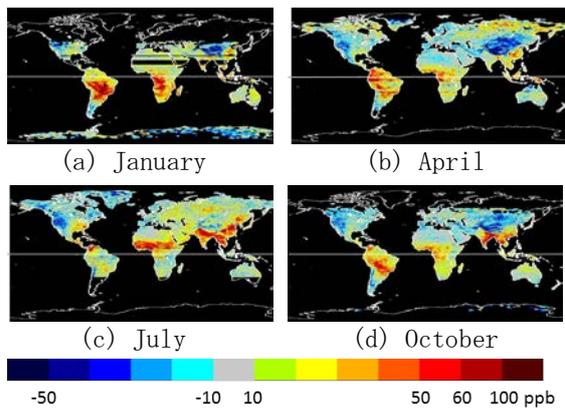


図2 2004年のCH<sub>4</sub>発生濃度

北半球のバックグラウンド CH<sub>4</sub> 濃度は秋から冬にかけて高く、春に低くなる季節変動が見られた。CH<sub>4</sub> がほとんど発生しない海域で時期や緯度によって CH<sub>4</sub> 濃度が変化する理由として陸域の CH<sub>4</sub> ソースからの移流の影響であると考えられる。そのため、陸域と海域の CH<sub>4</sub> 濃度の季節変動の時間のずれが生じる。

7月のサハラ砂漠の CH<sub>4</sub> 発生濃度はほぼ 0 ppb/month であるが、1月4月10月は数十 ppb/month になり CH<sub>4</sub> 発生濃度を過小評価した。海域の CH<sub>4</sub> 濃度が砂漠域より高いからである。その理由として2つの原因が考えられる。1つは OH ラジカル反応の影響で CH<sub>4</sub> の濃度が低くなった。2つは砂漠の雲除去が不十分であった可能性がある。また、海域である大西洋では CH<sub>4</sub> 発生濃度を数十 ppb 誤推定した。標準偏差値が高い緯度帯の原因を調べると、バックグラウンドの平均と比べ極端に低い値が含まれていることが分かった。本研究では表1の閾値を用いて雲除去処理を行ったがすべて除去できていないことが分かった。

標高が 1500m 以上のチベット高原とアメリカ西海岸のロッキー山脈などの地域では CH<sub>4</sub> 濃度が低く観測されるため CH<sub>4</sub> 発生濃度も過小評価になった。

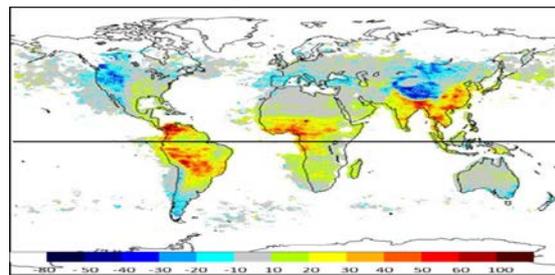


図3 2009年のCH<sub>4</sub>発生濃度の月平均

## 5. 考察とまとめ

本研究では、雲の影響によって欠落したデータを推定するために時系列補間と空間的補間を行った。検証によって推定値と真値との誤差の標準偏差は、時系列補間では 22.1ppb、空間補間では 11.9ppb であった。補間誤差が研究結果に大きく影響を及ぼす場合、地球全域に発生する雲によって研究結果は予測できない場所で CH<sub>4</sub> ソースが表示されるはずである。しかし、図 10 ではある特定の場所にまとまっており、その場所は他の CH<sub>4</sub> ソースの研究結果と一致する部分が多いため補間誤差が本研究の結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。

同緯度の海域データの数が十分ではない場合、または陸からの移流の影響が残っている場合はバックグラウンド濃度としての精度に問題が生じる。そのため、1月のサハラ砂漠域の CH<sub>4</sub> 発生濃度を数十 ppb 過小評価した。海域データが十分ではない場合陸域をマスク処理した方が有効であると考えられる。

衛星データを用いて CH<sub>4</sub> ソースの分布を調べるためにはすでに存在するバックグラウンド濃度を知る必要がある。海域では CH<sub>4</sub> がほとんど発生しないため、海域に存在する CH<sub>4</sub> は陸域からの移流による影響であると仮定した。そこで、図 1 のように複雑な大気循環モデルを簡略し、海域の CH<sub>4</sub> は同緯度の陸域からの移流として考え、海域の CH<sub>4</sub> 濃度を同緯度のバックグラウンド濃度として定義した。その結果、地上の CH<sub>4</sub> 発生濃度は、地上の CH<sub>4</sub> 濃度と同緯度の海域 CH<sub>4</sub> 濃度との差として求められた。

IPCC (2007)の発表では、人為起源のソースの中で反芻動物による CH<sub>4</sub> の発生が最も多く (23~44%) その次が水田 (12~26%) であった。図 3 に示した CH<sub>4</sub> 年間発生濃度の結果から、既存のソースとしてよく知られている北半球低緯度の水田域が、人為起源の最大の CH<sub>4</sub> ソースであることが確認できた。

しかし、今まであまり知られていない CH<sub>4</sub> ソースとして、南アメリカや中部・西部アフリカの熱帯常緑広葉樹林域が新たに分かった。以上の地域は畑などの割合が少ないため CH<sub>4</sub> の発生原因は人為起源より自然起源によるものであると考えられる。

中部・西部アフリカや南アメリカの CH<sub>4</sub> 発生濃度の季節変動は雨季と密接な関係がある。3 つの地域はケッペンの気候区分によると熱帯雨林気候、サバンナ気候や熱帯モンスーン気候になる。熱帯雨林気候は年中多雨であり、サバンナ気候や熱帯モンスーン気候は雨季(中部アフリカは5月から7月まで雨季)と乾季(ブラジルは5月から9月まで乾季)に分かれている。雨季になると十分な雨によって地面の状態は一時的に嫌氣的環境に変わり、その結果 CH<sub>4</sub> が生成しやすくなる。地下で発生した CH<sub>4</sub> は植物の蒸散活動によって植物の葉から地上に放出される。また、地面近くで生成された CH<sub>4</sub> はそのまま大気中に放散されたと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

朴鍾杰、朴壽永、SCIAMACHY による全球におけるメタン発生地の分布抽出、2016、写真測量とリモートセンシング、vol. 55, no. 2 pp104-116

[学会発表] (計 4 件)

① Jonggeol Park, SooYoung Park, Determination of Methane sources globally by SCIAMACHY, 2016, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing pp291-298, Prague (Czech)

② Jonggeol Park, Sooyoung Park, Youngjoo Kwak, Relationship between the geographical features of methane sources of SCIAMACHY and Vegetation index of MODIS,

2014, IEEE Internatioal Geoscience & Remote Sensing Symposium pp. 4986-4989, Quebec (Canada)

③ J. G. Park, S. Y. Park, Y. J. Kwak, E. Nunohiro, T. Yamaguchi, Analysis of seasonal variability of methane over global land area, 2014, Artificial Life and Robotics, Vol. 19, pp 40-46, Beppu (Japan)

④ Jonggeol Park, Eiji Nunohiro, and Sooyoung Park, Increase of methane emission globally and environmental education of Japan, The Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 pp. 504-507, Beppu (Japan)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

Park JongGeol (PARK JongGeol)  
東京情報大学・総合情報学部・准教授  
研究者番号：4 0 3 3 7 7 7 0

##### (2) 研究分担者

朴 壽永 (PARK SooYoung)  
東京農業大学・国際食料情報学部・助教  
研究者番号：1 0 5 7 3 1 6 5