

学 位 論 文 題 名

Geochemical study for dissolved methane  
in the high latitude ocean  
～ the Sea of Okhotsk and the Southern Ocean ～

（高緯度海域における溶存メタンの動態～オホーツク海・南大洋～）

学位論文内容の要旨

大気中メタン( $\text{CH}_4$ )は、二酸化炭素や亜酸化窒素と同様に温室効果気体であり、大気中濃度は産業革命以前の 700 ppbv から 1000 ppbv 以上増加したが、最近では増加速度が減少している。全球的なメタンの収支を理解するためには供給源の定量化が必要であるが、供給源や除去源の見積りには大きな不確実性が残されているのが現状である。

大気中メタンに対する海洋の供給源としての役割は小さいと考えられているが、その度合いは全自然供給源の 0.005～3%と見積値に大きな差異があり、より詳細に観測する必要がある。海洋からのメタンの逃散量は、外洋表面水のメタン濃度から主に見積もられてきたが、外洋表面水は大気中メタンに対してわずかに過飽和であるに過ぎない。一方大陸棚を含む沿岸域ではかなりの程度の過飽和が報告されている。たとえ沿岸域の面積が外洋の面積の 10 分の 1 しかなくても、過飽和の程度が 10 倍高ければ有意な量となり得る。しかしながら、メタンの逃散量を詳細に決定するほど沿岸域における観測は行われていない。

オホーツク海は広大な大陸棚を有する縁辺海の 1 つであり、メタンの過飽和度が高いことによって、大気中メタンに対する重要な供給源となる。熱分解起源のメタンが堆積物から多く染み出していると考えられているが、時空間的に詳細な観測はほとんど行われてこなかった。

そこで、夏季オホーツク海西部においてメタンの分布や変動、大気への逃散量を見積もるためにメタン濃度を測定した。サハリン東岸の大陸棚斜面底層(約 200 m)において極めて高い濃度のメタンを観測した。アムール川河川水流入による表層の成層化によって、陸棚上では亜表層における高濃度メタンは表層～大気へ運ばれていないことがわかった。しかしサハリン東岸の海底が 100 m 以下と浅く岸に近い海域では潮汐

による鉛直混合が活発で表層水のメタン濃度も高くなっていた。陸棚斜面で観測された極めて高濃度のメタンは、東サハリン海流の密度  $26.6 \sim 26.8 \sigma_\theta$  面に存在しており、岸に沿った南下流や岸からそれて東に向う流れをメタン濃度で追うことが可能であることが示唆された。サハリン北東岸におけるメタンフラックスは最大で  $8.6 \text{ mol CH}_4 \text{ km}^{-2} \text{ d}^{-1}$  と見積もられた。オホーツク海全体の約 55% に相当する夏季オホーツク海西部 ( $0.78 \times 10^6 \text{ km}^2$ ) からのメタンの逃散量は  $0.014 \text{ Tg CH}_4 \text{ y}^{-1}$  と見積もられた。

一方外洋では亜表層にメタンの極大が存在することが知られている。水柱でのメタン生成は還元環境下においてメタン生成バクテリアのみによる。ゆえに沈降する有機物粒子や動物プランクトンの消化管内の微小な還元環境でメタンが生成していることになる。そこで解氷時に生物生産が高くなることで知られている南大洋においてメタンの詳細な動態を把握するためにメタン濃度を測定した。

南大洋では表層約 200 m でメタン濃度が最も高く、深度を増すにしたがって急激に濃度が減少した。高緯度海域における表層 100 m で最も濃度が高く、飽和度も 106～139% と高かった。高濃度メタンが観測された高緯度海域においては、植物プランクトンの指標として知られているクロロフィル *a* とメタン濃度との相関が極めて高く ( $R^2 \geq 0.7$ )、植物プランクトン-動物プランクトンを介した生物起源メタンが水柱で生成されていると考えられる。また夏季南大洋におけるメタンの逃散量は  $1.2 \sim 4.0 \text{ mol CH}_4 \text{ km}^{-2} \text{ d}^{-1}$  と見積もられ、動物プランクトンが主な供給源となっている海域としては極めて高い値であることが観測された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 乗 木 新 一 郎

副 査 教 授 吉 川 久 幸

副 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 吉 田 尚 弘

(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

## 学 位 論 文 題 名

### Geochemical study for dissolved methane in the high latitude ocean ～ the Sea of Okhotsk and the Southern Ocean ～

(高緯度海域における溶存メタンの動態～オホーツク海・南大洋～)

大気中メタン( $\text{CH}_4$ )は、二酸化炭素や亜酸化窒素と同様に温室効果気体である。大気中メタンに対する海洋の供給源としての役割は小さいと考えられているが、その割合は全自然供給源の0.005～3%と見積値に大きな差異があり、より詳細に観測する必要がある。海洋からのメタンの逃散量は、外洋表面水のメタン濃度から主に見積もられてきたが、大気中メタンに対してわずかに過飽和であるに過ぎない。一方沿岸域ではかなりの程度の過飽和が報告されている。しかしながら、メタンの逃散量を詳細に決定するほど沿岸域における観測は行われていない。

そこで、夏季オホーツク海西部においてメタンの分布や変動、大気への逃散量を見積もるためにメタン濃度を測定した。サハリン東岸の大陸棚斜面底層(約200 m)において極めて高い濃度のメタンを観測した。アムール川河川水流入による表層の成層化によって、陸棚上では亜表層における高濃度メタンは表層～大気へ運ばれていないことがわかった。しかしサハリン東岸の海底が100 m以下と浅く岸に近い海域では潮汐による鉛直混合が活発で表層水のメタン濃度も高くなっていた。陸棚斜面で観測された極めて高濃度のメタンは、東サハリン海流の密度26.6～26.8 $\sigma_\theta$ 面に存在しており、岸に沿った南下流や岸からそれて東に向う流れをメタン濃度で追うことが可能であることが示唆された。サハリン北東岸におけるメタンフラックスは最大で8.6 mol  $\text{CH}_4 \text{ km}^{-2} \text{ d}^{-1}$ と見積もられた。オホーツク海全体の約55%に相当する夏季オホーツク海西部( $0.78 \times 10^6 \text{ km}^2$ )からのメタンの逃散量は0.014 Tg  $\text{CH}_4 \text{ y}^{-1}$ と見積もられた。

一方外洋では垂表層にメタンの極大が存在することが知られている。水柱でのメタン生成は還元環境下においてメタン生成バクテリアのみによる。ゆえに沈降する有機物粒子や動物プランクトンの消化管内の微小な還元環境でメタンが生成していることになる。そこで解氷時に生物生産が高くなることで知られている南大洋においてメタンの詳細な動態を把握するためにメタン濃度を測定した。

南大洋では表層約 200 m でメタン濃度が最も高く、深度を増すにしたがって急激に濃度が減少した。高緯度海域における表層 100 m で最も濃度が高く、飽和度も 106~139%と高かった。高濃度メタンが観測された高緯度海域においては、植物プランクトンの指標として知られているクロロフィル *a* とメタン濃度との相関が極めて高く ( $R^2 \geq 0.7$ )、植物プランクトン-動物プランクトンを介した生物起源メタンが水柱で生成されていると考えられる。また夏季南大洋におけるメタンの逃散量は  $1.2 \sim 4.0 \text{ mol CH}_4 \text{ km}^{-2} \text{ d}^{-1}$  と見積もられ、動物プランクトンが主な供給源となっている海域としては極めて高い値であることが観測された。

メタンは二酸化炭素に続いて2番目の温暖化気体であり、地球環境の将来予測にとっては、その分布や動態の研究は欠かせない。

申請者は海洋におけるメタンの供給源として2つあげた。1つは海底堆積物中で生成する熱分解メタンであり、もう1つは動物プランクトンが作る生物起源メタンである。前者はオホーツク海沿岸をフィールドとして詳細な実験を行った。また、後者については南大洋において数度の観測を行った。また詳細なデータを得た。得られた知見はオリジナリティが非常に高いものであり、重要な研究である。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位などもあわせ申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。