

氏名	笠松 伸江
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	総研大甲第 857 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 24 日
学位授与の要件	複合科学研究科 極域科学専攻 学位規則第 6 条第 1 項該当
学位論文題目	Biological control of dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide production in the Southern Ocean
論文審査員	主査 教授 福地 光男 教授 神田 啓史 教授 小達 恒夫 グループリーダー 渡邊 修一（海洋研究開発機構） 主任研究員 川口 創（オーストラリア南極局）

論文内容の要旨

近年、北極海や南極半島沿岸域など高緯度海域において地球温暖化の兆しが報告されている。地球規模の気候変化の予測には、生物圏と気候変動との関わりを理解が必要である。特に、海洋における生物生産過程と気候変動との関わりが注目されており、中でも硫化ジメチル（以降、DMS と記す）は、海洋の生物活動が媒介する気候変動要因として注目されている。DMS は海洋から大気に放出される生物起源の揮発性硫黄化合物のひとつで、磯の香りの主成分として知られる。DMS が大気中で酸化されると、二酸化硫黄やメタンスルホン酸になる。これらの酸化物は、さらに酸化され、エアロゾルや雲の凝結核を生成し、そこからできた雲が、地表面に届く太陽放射を妨げる。そのため、DMS は、地球温暖化に負の影響を与える物質の源であるという点で重要視されている。

海藻や植物プランクトン細胞内で生成するジメチルスルフォニオプロピオネート（以降、粒状態 DMSP と記す）が、海水中に溶存し（以降、溶存態 DMSP と記す）、DMSP 分解酵素によって分解されることにより、DMS が生成する。これまで、海洋基礎生産が比較的高い高緯度海域において DMS 濃度が高いことが報告されてきた。しかしながら、植物プランクトン細胞内で DMSP が生成され、その細胞内 DMSP から DMS が生成するまでの複雑な生物・化学的プロセスや、生成された DMS が海水中で分解されるプロセスが、特に高緯度海域で定量化されていないため、これらの高濃度をもたらす原因の解明には未だ至っていない。そこで、DMS の生成経路に注目しながら、南極海における生物活動がどのように DMS 濃度を制御しているのかを明らかにすることを目的に研究を行った。

南大洋インド洋区で実施された、夏期シーズンをカバーする観測（1-2月）から、1) 粒状態 DMSP 濃度の空間分布のパターンと植物プランクトン現存量の指標となる色素量（Chl. *a* 濃度）の空間分布のパターンが異なっていた、2) 2002 年 1 月、非常に高濃度の DMS ($49 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$) が氷縁域に存在した、という現象が見られた。これらの原因を明らかにするため、植物プランクトン種および生理活性の影響、動物プランクトンの影響について考察した。

これまで、室内培養実験の結果から、植物プランクトン種によって単位 Chl. *a* あたりの細胞内 DMSP 量が異なることが報告されている。しかしながら、観測中、細胞内 DMSP 量が多いと報告されている植物プランクトンが多く存在していた海域において粒状態 DMSP 濃度が高いとは限らなかった。植物プランクトンの室内培養実験を行ったところ、植物プランクトンが増殖を停止している減衰期における粒状態 DMSP/Chl. *a* 比（細胞内 DMSP 量の指標）は、植物プランクトンが活発に増殖している対数増殖期の約 5-10 倍に増加した。植物プランクトンは、生長を停止している減衰期にも細胞内に DMSP を生成し続けることが明らかになった。このことから、植物プランクトン種のみならず、植物プランクトンの生理活性状態（生長段階）も海水中における粒状態 DMSP 濃度を決定する要因となることが示唆された。

植物プランクトンを摂餌する動物プランクトンの一種であるカイアシ類を用いた実験の結果から、動物プランクトンは、植物プランクトン細胞内の DMSP を海水中に溶存させ、溶存態 DMSP を生成することが報告されている。南極海の大動物プランクトン優占種であるナンキョクオキアミおよびサルパを用いて船上培養実験したところ、ナンキョクオキアミの摂餌は溶存態 DMSP および DMS を生成するのに対し、サルパの摂餌は溶存態 DMSP

および DMS を生成しないことが明らかになった。オキアミは植物プランクトン細胞を破碎しながら摂餌する。一方、サルパは植物プランクトン細胞を丸呑みして消化管内で栄養分を吸収する。このような動物プランクトンの摂餌形態の差が溶存態 DMSP および DMS 生成量の差につながったと考えられた。オキアミの溶存態 DMSP+DMS 生成速度は、一個体あたり、 $3 \text{ nmol-溶存態 DMSP+DMS}\cdot\text{h}^{-1}$ であり、オキアミの摂餌によって粒状態 DMSP からのすみやかな溶存態 DMSP および DMS 生成が行われると考えられる。これにより、オキアミの生物量の増減が海洋における溶存態 DMSP 濃度および DMS 濃度に大きく影響することが示唆された。

2002 年 1 月-2 月に人工衛星で得られた表面海水中の Chl. *a* 濃度分布から、1 月における植物プランクトンブルーム全体の生理活性状態は対数増殖期に相当することが推測された。そのため、1 月の植物プランクトン一細胞における単位 Chl. *a* あたりの粒状態 DMSP 量は小さかったと考えられた。しかし、この時、氷縁域でナンキョクオキアミが大型動物プランクトンの優占種であり、このオキアミが植物プランクトンを摂餌した結果、1 月に非常に高濃度の DMS 濃度が観測されたと考えられる。植物プランクトンの増殖や、植物プランクトンの生理活性の減衰により水中の粒状態 DMSP 存在量が増加した時に、それらの植物プランクトンをナンキョクオキアミが摂餌することにより、DMS が非常に速やかに生成することが示唆された。本研究から、南極海における DMS 分布に生物間相互作用が非常に重要な役割を果たしていることが明らかになった。

論文の審査結果の要旨

博士論文の審査申請のあった笠松伸江君の論文は、南極海における硫化ジメチル (DMS) の時空間分布の変動を観測し、その変動を理解する上で海洋生物生産のプロセスが大きく関与していることを、南極研究航海における現場観測データと船上並びに室内での動物・植物プランクトンの飼育・培養実験から明らかにした画期的な内容である。DMS は、海洋から大気に放出される生物起源の還元性硫黄気体のひとつで、磯の香りの主成分として知られる。1980 年代後半に、DMS を介する地球の生物圏と気候とのフィードバックメカニズムが提唱された。しかし、このフィードバックメカニズムは不確定要素を多く含み、未だ十分に証明されていない。

本論文の特色は、南大洋インド洋区で 12 月から 3 月の夏期間をカバーした複数船による時系列観測航海に参加し、海氷の後退に伴う、植物プランクトン及び動物プランクトンの分布の変化と DMS および DMSP (DMS の前駆体) の分布の変化を観測した点である。その結果、1) 粒状態 DMSP 濃度と植物プランクトン量の指標となるクロロフィル *a* (Chl. *a*) 濃度の分布形態が異なる、2) 氷縁域付近では植物プランクトンの DMSP がすみやかに DMS になっているという現象を捉えることが出来た。これらの原因として、植物プランクトン種および活性の影響、動物プランクトンの影響について考察した。これまでに、植物プランクトン種によって単位 Chl. *a* あたりの細胞内 DMSP 量が異なることが報告されている。しかしながら、観測期間中、細胞内 DMSP 量が多いと報告されている植物プランクトンが多く存在していた海域において海洋中粒状態 DMSP 濃度が高いとは限らないことを見出した。植物プランクトンの室内培養実験を行ったところ、植物プランクトンが生長を停止し、Chl. *a* 濃度の増加しない減衰期 (植物プランクトンの生理状態が低い) に細胞内 DMSP 量が増加することを始めて明らかにした。このことから、植物プランクトン種のみならず、植物プランクトンの生理状態も海水中粒状態 DMSP 量を決定する要因となることを示唆した。更に、南大洋における大型動物プランクトン優占種であるナンキョクオキアミおよびサルパを用いて船上培養実験したところ、ナンキョクオキアミの摂餌は溶存態 DMSP および DMS を生成するのに対し、サルパの摂餌はそれらを生成しないことを実験的に明らかにした。この違いは、ナンキョクオキアミとサルパの摂餌形態の差によるものを示した。すなわち、サルパは植物プランクトンを丸呑みするが、ナンキョクオキアミは植物プランクトン細胞を破碎しながら摂食することにより、壊れた植物プランクトン細胞内の DMSP が海水中へ溶出すると考えられた。これにより、ナンキョクオキアミの生物量の増減が海洋における DMS 濃度に大きく影響することを示唆した。観測中、植物プランクトンは氷縁域で大增殖を起こしており、この時、氷縁域でナンキョクオキアミが大型動物プランクトンの優占種であった。このナンキョクオキアミが植物プランクトンを摂餌した結果、氷縁域で非常に高濃度の DMS 濃度が観測されたと結論づけた。植物プランクトンの増殖や、植物プランクトンの生理状態の減衰により粒状態 DMSP 濃度が増加した時に、それらの植物プランクトンをナンキョクオキアミ が摂餌することにより、DMS が非常に速やかに生成されるという新たなモデルを示した。本研究から、南極海における DMS 分布に生物間相互作用が非常に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

以上のように、植物プランクトンが増殖すると DMS が生成されるとこれまでは単純に

考えられていたが、植物プランクトンの生理活性状態が DMSP 生成に大きな影響を及ぼすことや、植物プランクトンがどの動物群により捕食されるかにより更に海水中への DMSP 放出が左右されることを、初めて明らかにした。また、その成果をもとに現場海洋中の DMS 時空間分布の変動を解釈するモデルを構築した。現場観測方法、データの解析方法を含め、論旨の展開が適切であり、本審査委員会は全員一致で笠松伸江君の申請した論文は学位(理学)に値すると判断した。平成16年12月22日申請者による申請論文に関する論文の公開発表会を開催した。申請者は、工夫を凝らしたスライドを用い、申請論文の内容を的確に発表した。発表後の質疑応答においても明解に受け応えた。公開発表会の後、引き続き申請者に対し、学位論文に関連がある研究分野及びその基礎となる分野に関する学識について、口述諮問の形式で試験を実施した。申請者が退席の後、審査委員のみによる審査を実施し、申請者が基礎学力、専門知識ともに十分に学識を有していると全員一致で判断した。同時に申請者が専門の研究者として活動を行うのに必要な英語力についても検討した。申請者は既に査読者制度のある国際的な英文学術研究雑誌に研究論文を印刷公表している。また、複数の国際研究シンポジウムにおいて英語による招待口頭講演を引き受け、高い評価を得ていることで、十分に英語力を有していると全員一致で判断した。なお、申請論文は英文でまとめられている。