

氏名	茂手木 千 晶
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第3303号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科生物科学専攻
学位論文題目	Role of viruses in controlling patterns in carbon cycling and bacterial community dynamics in marine environments (海洋環境における炭素循環様式と細菌群集動態の支配要因としてのウイルスの役割)
論文調査委員	(主査) 教授 永田 俊 教授 山内 淳 准教授 永益 英 敏

論文内容の要旨

近年、広範な海洋環境において、細菌感染性のウイルスが高密度で分布していることが明らかにされたが、海洋におけるウイルスの生態学的な役割に関する知見はきわめて乏しい。本研究では、ウイルスの生産と、宿主である細菌群集の増殖活性の関係を定量的に調べることで、海洋環境におけるウイルス生産の制限要因を解析するとともに、ウイルスによる宿主細胞の破壊が、海洋炭素循環に与える影響を評価した。また、細菌群集の組成と多様性の支配要因としてのウイルス感染の役割を実験的に解析した。その結果、以下のことが明らかになった。

南太平洋の亜熱帯貧栄養海域において、栄養添加実験を行い、異なる栄養元素の添加に対するウイルスの応答を調べた。その結果、調査海域におけるウイルスの生産は、窒素による制限、または、窒素と炭素による共制限を受けていることが示された。さらに、栄養添加に対するウイルスの応答と、細菌の増殖活性の関係を調べた結果、両者が共役する場合と、非共役な場合があることが明らかになった。以上の結果をもとに、外洋域におけるウイルスの動態の支配要因に関する考察を加え、貧栄養海域の物質循環の制御要因として、ウイルスが重要な役割を果たしている可能性を指摘した。

地中海沿岸域において、リンの添加が、ウイルスの動態と炭素循環に与える影響を調べた。実験は、異なる季節に3回(8月, 12月, 2月)行った。その結果、3回の実験とも、リンの添加によってウイルスの生産が有意に増加した。細菌生産と細菌呼吸から細菌総増殖効率を求め、ウイルスの生産との関係を解析したところ、ウイルス生産が活発なときは、細菌総増殖効率が著しく低下することが明らかになった。これは、ウイルスによる細胞破壊と、それに伴う溶存有機物の放出が、ウイルス分流とよばれる炭素フラックスを駆動したことにより、炭素流パターンの変更が起きたためであると推察された。以上の結果から、調査海域では、リン添加によるウイルス分流の加速が、呼吸活性を高め、食物連鎖を通じての上位捕食者への炭素伝達を強く阻害する可能性がある結論付けた。

地中海沿岸域の表層水を用いて、ウイルス感染による細菌死亡率の大きさが、細菌群集組成と多様性に対してどのような影響を及ぼすのかを解析した。12月に実施した実験では、リンの添加によって、細菌の多様性が有意に減少することが示された。すなわち、単一の分類群(OTU 57bp)がリン添加区において全体の75%を占めた。しかし、この実験区にウイルスを添加すると、その優占率は23%まで低下し、細菌の多様性は増加した。一方、2月の実験では、高いウイルス溶菌圧のもとでも、OTU 57bpの優占が維持された。これらの実験結果から、ウイルス感染に起因する、宿主特異的かつ密度依存的な死亡が、細菌群集構造の支配要因として重要な役割を果たしている可能性を指摘した。

以上の結果を総合することで、海洋生態系においては、ウイルス感染性の溶菌が、次のふたつの側面で生態学的に重要な役割を果たしていることを指摘した。第一に、従属栄養性細菌群集によって媒介される炭素流のパターンの制御要因として、また、第二に、細菌群集の組成と多様性の支配要因として、である。本研究の結果は、海洋食物網の構造や生態系の機能を明らかにするうえで、ウイルスの動態やその支配要因を考慮することが重要であることを示唆している。

論文審査の結果の要旨

1990年代に、広範な海洋環境においてウイルス様粒子が分布することが報告され、海洋生態系におけるウイルスの役割に関する様々な仮説が提案された。そのひとつは、ウイルス感染にともなう宿主細菌細胞の破壊が、溶存有機物の生成につながり、その結果として、細菌→溶存有機物→細菌という循環的な炭素フラックスが生ずるというものである。この炭素フラックスはウイルス分流と名づけられた。理論的な解析からは、ウイルス分流は、細菌による有機炭素の無機化を加速し、食物連鎖を通しての栄養伝達を阻害することが予測されている。しかし、この仮説を実験的に検証した例は無く、ウイルス溶菌圧と、炭素循環パターン間の関係については不明の点が多く残されている。ウイルスの生態学的な役割に関するもうひとつの仮説は、ウイルスが宿主である細菌群集の組成や多様性に影響を及ぼすというものであるが、これについても、実証的なデータがきわめて乏しいというのが現状である。本論文は、栄養添加に対するウイルスと細菌の応答を、放射トレーサー法やフローサイトメトリー法などを用いて定量的に調べることで、海洋環境における細菌—ウイルス系の動態と物質循環における役割の解析を試みたものである。まず、第一章において海洋環境におけるウイルスの生態学に関する現状と問題点を整理したのち、第二章においては、南太平洋亜熱帯海域で実施した栄養添加実験の結果が報告されている。この研究では、ウイルスの生産の制限要因が窒素または窒素と炭素であることが明らかにされた。また、栄養添加に対するウイルスと細菌の応答パターンの比較から、ウイルス分流の駆動を示唆する結果を得た。これは、放射トレーサー法に改良を加えるなどの工夫をすることで、生物活性の低い外洋域において、栄養添加に対するウイルスの応答を検出することに成功した初めての研究例であり、その先駆性は高く評価できる。第三章の、地中海沿岸域における研究では、細菌の駆動する炭素循環とそのパターンを表す変数（細菌生産、細菌呼吸、細菌総増殖効率）を詳細に調べることで、栄養添加に対する、細菌—ウイルス系の応答を解析した。その結果、ウイルス分流の加速にともない、細菌総増殖効率が低下するということが明らかになった。これによって、ウイルス分流が、海洋生態系の炭素循環パターンの支配過程のひとつであることが示された。第四章では、ウイルス感染による細菌の死亡が、細菌群集の組成と多様性に及ぼす影響を解析した結果が報告されている。実験は地中海沿岸域で行われた。リンやウイルスの添加に対する細菌群集（組成・多様性）の応答は季節によって異なった。12月の結果では、リンの添加によって細菌群集の多様性は減少したが、ここにウイルスを添加すると多様性が高まることが示された。これは、ウイルス感染による競争優位者の選択的除去が、多様性の維持に貢献したためであると推察されている。一方、2月の結果では、ウイルスの添加効果は有意ではなかった。その理由として、ウイルス感染に対して抵抗性を有する細菌種が優占した可能性が指摘されている。以上の結果を総合し、第五章では、海洋生態系の炭素循環と細菌群集の多様性の支配要因としてのウイルスの多面的な機能についての考察がなされている。

上記の研究成果は、海洋生態系におけるウイルスの役割に関する理解の深化に大きく貢献するものであると判断された。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。