

学 位 論 文 題 名

Late Quaternary Radiolaria in the Japan Sea and
their paleoceanographic implications

（後期第四紀日本海の放散虫群集と古海洋学的意義）

学位論文内容の要旨

浅い海峡で外海と隔てられた日本海は、独立した深層循環を有する縁海である。冬の冷却によって北部または北西部で沈降した水塊は、日本海固有水と呼ばれる冷たく溶存酸素に富む均質な水塊として 300m 以深を満たしている。一方、氷期には海水準が低下して外洋との連絡がほとんどなくなり、深層循環が停滞して酸素に乏しい海底環境が形成されたと考えられている。このような最終氷期以降の日本海における鉛直水塊構造の著しい変化は、そこに生息した様々な生物の群集組成やその深度分布にも影響を及ぼしていたと考えられる。

海生プランクトンのひとつである放散虫は、その骨格が珪酸塩からなり、海洋堆積物の主要な構成成分のひとつとなっている。堆積物中に保存された放散虫の化石群集は、古海洋学環境の指標として期待され、特に種により生息水深が異なることから、堆積物中の群集は表層のみでなく中深層の水塊環境も同時に記録している可能性がある。本研究では、海底コアから産出した放散虫群集に基づき、日本海における最終氷期以降の海洋循環をより詳細に明らかにすることを目的とした。また、放散虫が適応している海洋環境などの生態情報を得るためにプランクトン・ネットや表層堆積物中の群集などについての検討も行った。

日本海、オホーツク海、親潮域において採取された各層プランクトン・ネット試料から放散虫の生息深度を調べた。日本海の表層、亜表層、中層、深層、オホーツク海および親潮域の表層、中層、深層に特徴的な群集が認められた。これらは各水塊の特徴と鉛直構造とに密接な関連がある。

日本海北東部の水深約 60m～3,650m で採取された表層堆積物 28 試料について放散虫群集を検討した結果、明瞭な深度分布が認められた。たとえば、*Cycladophora davisiana* と *Actinomma boreale* は、それぞれ 1,000m 以深と 2,000m 以深で急激に増加する。このような水深によって変化する表層堆積物中の群集組成をプランクトン・ネットの結果と比較した結果、それぞれの種の生息深度が堆積物中の群集の深度分布に反映していることが明らかとなった。日本海固有水は水温や塩分、溶存酸素の不連続性により 1,000m および 2,000m 付近を境界として上位から上部固有水、深層水、底層水に細分されており、*C. davisiana* と *A. boreale* が多産する水深はそれぞれ深層水と底層水の深

度に相当する。

これらの情報をもとに、海底コアに含まれる放散虫群集から過去の海洋循環について考察した。研究に用いた海底コアは、日本海の水深 807m~3,613m より採取された 8 本である。これらのコアに含まれる優占種の変化を見ると、各コアに共通する著しい層位変化が認められる。また、同時代の堆積物でも、採取された水深によって異なった群集組成を示すことが明らかになった。これらの群集変化や深度分布などをもとに最終氷期以降の環境変化を推定した。

約 30,000~16,000 年前に優占していた *Stylochlamydidium venustum* と *Ceratospyris borealis* のうち、約 16,000~14,000 年前には前者の *S. venustum* が著しく減少した。この時代は、日本海の表層水が最終氷期を通して最も低塩分化したとされる時代に相当し、これに伴う成層化は深層への酸素の供給を停滞させ、水深 400m 以深には生物が生息できなかったと考えられている。これらは、当時の日本海の少なくとも表層および 400m 以深に放散虫が生息できなかったことを意味している。*S. venustum* の減少は、この時代の表層の低塩分化を反映していると考えられる。また、この時期に多産する *C. borealis* は、表層の低塩分水と 400m 以深の無酸素環境の間、すなわち 100~400m に生息していたものと考えられる。

約 14,000~11,000 年前には、1,000m 以浅の *S. venustum* が、3,000m 以深には *A. boreale* が優占した。このような顕著な深度分布は、当時の水塊の鉛直分布を反映していると考えられる。*A. boreale* は、現在の日本海では底層水に主に産出しており、当時の底層にもまた酸素に富んだ寒冷な水塊が供給されていたことを示唆している。

約 11,000~10,000 年前には、*C. davisiana* の相対頻度が著しく増加した。この種の優占する群集は、現在のオホーツク海でも認められ、海水形成の際に排出される高塩分水（ブライン）を起源とした水塊に適応していると考えられる。日本海に認められる *C. davisiana* の優占した時期は Younger Dryas event と呼ばれる汎世界的な寒冷化に対応しており、それに伴う海氷の発達が生層水の形成を活性化したと考えられる。

約 10,000 年前以降、全てのコアで日本海固有水の特徴付ける *L. butschlii* が優占種となった。本種の多産と共に僅かながら温暖種の産出も認められる。これは、対馬海流が最初に流入開始すると同時に日本海固有水の形成が始まったことを示している。また、底層水を指標する *A. boreale* は、2,000m 以深のコアにおいて約 7,500 年前以降に多産し始める。この時期は海水準が現在と同様になり、温暖種が多産し始める時期と一致している。これは対馬海流の本格的流入として、より多くの高塩分水が日本海に供給され、現在と同様に冬期の冷却で沈降し、底層水が形成され始めたことを示している。

本研究ではこのように、放散虫の深度分布が種によって異なることを用いて、過去の海洋における鉛直水塊構造の変遷を理解することの可能性を示した。今後、同様の手法を外洋域に適用することによって、大規模な海洋循環の変遷を明らかにすることができる。また、放散虫骨格は炭酸塩補償深度(CCD)の影響を受けないことから、とくに北太平洋などの CCD の浅い海域における古海洋環境の復元にも期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 場 忠 道

副 査 教 授 南 川 雅 男

副 査 助 教 授 長 谷 川 四 郎

副 査 教 授 高 橋 孝 三 (九州大学理学部地球惑星科学科)

学 位 論 文 題 名

Late Quaternary Radiolaria in the Japan Sea and their paleoceanographic implications

(後期第四紀日本海の放散虫群集と古海洋学的意義)

浅い海峡で外海と隔てられた日本海は、独立した深層循環を有する縁海である。冬期の冷却によって北部または北西部で沈降した水塊は、日本海固有水と呼ばれる冷たく溶存酸素に富む均質な水塊として 300m 以深を満たしている。一方、氷期には海水準が低下して外洋との連絡がほとんどなくなり、深層循環が停滞して酸素に乏しい海底環境が形成されたと考えられている。このような最終氷期以降の日本海における鉛直水塊構造の著しい変化は、そこに生息した様々な生物の群集組成やその深度分布にも影響を及ぼしていたと考えられる。

海生プランクトンのひとつである放散虫は、その骨格が珪酸塩からなり、海洋堆積物の主要な構成成分のひとつとなっている。堆積物中に保存された放散虫の化石群集は、古海洋学環境の指標として期待され、特に種により生息水深が異なることから、堆積物中の群集は表層のみでなく中深層の水塊環境も同時に記録している可能性がある。本研究では、日本海における最終氷期以降の環境変化をより詳細に明らかにするため、海底コアから産出した放散虫群集の層位変化を調べた。また、放散虫の生態情報を得るためにプランクトン・ネットや表層堆積物中の群集についての検討も行った。

日本海、オホーツク海、親潮域において採取された各層曳きプランクトン・ネット試料中の放散虫群集を調べた結果、各種の生息深度が水塊の鉛直構造と密接に関連していることが判明した。

日本海北東部の水深約 60m～3,650m で採取された表層堆積物 28 試料について放散虫群集を検討した結果、明瞭な深度分布が認められた。たとえば、*Cycladophora davisiana* と *Actinomma boreale* は、それぞれ 1,000m 以深と 2,000m 以深で急激に増加する。このような水深によって変化する表層堆積物中の群集組成は、それぞれの種の生息深度が異なることを反映している。日本海固有水は水温や塩分、溶存酸素の不連続性により 1,000m および 2,000m 付近を境界として上位から上部固有水、深層水、底層水に細分されており、*C. davisiana* と *A. boreale* が多産する水深はそれぞれ深層水と底層水の深

度に相当する。

研究に用いた海底コアは、日本海の水深 807m~3,613m より採取された 8 本である。これらのコアに含まれる放散虫群集を調べた結果、各コアに共通する優占種の著しい層位変化が明らかになった。また、同時代の堆積物でも、採取された水深によって異なった群集組成を示す層準が認められた。これらの群集変化や分布などをもとに最終氷期以降の環境変化を推定した。

約 30,000~16,000 年前に優占していた *Styloclamydium venustum* と *Ceratospyris borealis* のうち、約 16,000~14,000 年前には前者の *S. venustum* が著しく減少した。この時代は、日本海の表層水が最終氷期を通して最も低塩分化したとされる時代に相当し、これに伴う成層化は深層への酸素の供給を停滞させ、水深 400m 以深には生物が生息できなかったと考えられている。これらは、当時の日本海の少なくとも表層および 400m 以深に放散虫が生息できなかったことを意味している。*S. venustum* の減少は、この時代の表層の低塩分化を反映していると考えられる。また、この時期に多産する *C. borealis* は、表層の低塩分水と 400m 以深の無酸素環境の間、すなわち 100~400m に生息していたものと考えられる。

約 14,000~11,000 年前には、1,000m 以浅の *S. venustum* が、3,000m 以深には *A. boreale* が優占した。このような顕著な深度分布は、当時の水塊の鉛直分布を反映していると考えられる。*A. boreale* は、現在の日本海では底層水に主に産出しており、当時の底層にもまた酸素に富んだ寒冷な水塊が供給されていたことを示唆している。

約 11,000~10,000 年前には、*C. davisiana* の相対頻度が著しく増加した。この種の優占する群集は、現在のオホーツク海でも認められ、海水形成の際に排出される高塩分水（ブライン）を起源とした水塊に適応していると考えられる。日本海に認められる *C. davisiana* の優占した時期は Younger Dryas event と呼ばれる汎世界的な寒冷化に対応しており、それに伴う海水の発達が生層水の形成を活性化したと考えられる。

約 10,000 年前以降、全てのコアで日本海固有水の特徴付ける *L. butschlii* が優占種となった。本種の多産と共に僅かながら温暖種の産出も認められる。これは、対馬海流が最初に流入開始すると同時に日本海固有水の形成が始まったことを示している。また、底層水を指標する *A. boreale* は、2,000m 以深のコアにおいて約 7,500 年前以降に多産し始める。この時期は海水準が現在と同様になり、温暖種が多産し始める時期と一致している。これは対馬海流の本格的流入として、より多くの高塩分水が日本海に供給され、現在と同様に冬期の冷却で沈降し、底層水が形成され始めたことを示している。

本研究ではこのように、放散虫の深度分布が種によって異なることを用いて、過去の海洋における鉛直水塊構造の変遷を理解することの可能性を示した。今後、同様の手法を外洋域に適用することによって、大規模な海洋循環の変遷を明らかにすることができると期待される。また、放散虫骨格は炭酸塩補償深度(CCD)の影響を受けないことから、とくに北太平洋などの CCD の浅い海域における古海洋環境の復元にも期待される。

審査員は、申請者の創造的な研究姿勢と、その結果生み出された新しい知見を高く評価し、大学院過程における研鑽や取得単位なども併せ、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。