

## 論文の内容の要旨

論文題目 **Community structure, faunal zonation and biogeography of the deep-sea demersal fishes around Japan, and their relationships with environmental parameters**

(日本周辺海域における深海性底生魚類の群集構造、深度分帯および生物地理と環境要因との関連)

氏名 葉 信明

地球の表面には4つの大きな環境勾配が存在する。1番大きな環境勾配は赤道地域の熱帯から極地の寒帯までの気候帯による勾配、2番目は潮間帯から海溝や大洋底までの深度による環境勾配、3番目は河口での淡水と海水混合域の塩分の変化による環境勾配、4番目は山岳の高度の上昇に伴う環境勾配である。地球表面の3分の2は大陸棚より深い地球上最大の深海生態系で、主に深度の変化に伴う環境勾配がある。水深の変化に伴う生物の傾向として種構成、種の多様性および現存量の変化がある。種の多様性は分類群によって2000 mあるいは3000 mでピークに達し、現存量は水深と共に指数関数的に減少する事が知られている。水深に伴う種構成の変化は深度分帯と呼ばれ、この要因を明らかにすることは深海生態学上最も困難で理解しにくいテーマのひとつである。また、このような環境勾配に伴う生物の種構成の変化を明らかにするのは群集生態学の主なテーマのひとつである。群集生態学のアプローチ方法として **observational approach** があり、本研究では、深度に伴う群集構成の変化の記述以外に、群集構成の変化と環境要因との関連を検討して **experimental approach** に利用できる仮説や予測を立てることを最終目標とした。

対象生物として深海性底生魚類を選択した。深海性底生魚類は生物量、食物連鎖での地位およびほかの生物の群集構造に与える影響の3つの点で深海生態系において重要な役割を担う。生物量に関しては、地球上の多くの生物起源の炭素は海食物連鎖系に含まれている。そのなかで、深海は地球最大の生態系である。深海生態系は主に底生と中層の2つ

の生態系に分けられ、生物量に関しては底生生物の生物量が中層生物の生物量よりも高い事が知られている。また、底生メガベントスの 25~70%が底生魚類の生物量であり、底生魚類以外の無脊椎メガベントスの生物量はマクロベントスやメイオベントスの生物量と同じレベルであり、ほとんどの生物量は底生魚類にある。次に食物網の中で底生魚類は高次捕食者として、中層生物を捕食したり、あるいは水平方向に移動したりしてエネルギーをほかの場所へ運ぶ役割をする。最後の重要な役割として底生魚類は捕食活動によって深海生物群集に攪乱を起こし、生物多様性を高める役割がある。

本論文は 2 部の構成である。第 1 部は、本研究の最も基礎となる部分で群集構造の研究に必要な 4 つのサンプル性質 — 均一性、適切性、客観性と標準化および効率性についてトロールの深海性底生魚類と十脚甲殻類サンプルで検討した。また、最後に深海カメラとの採集の効率性を比較した。第 2 部は本研究の主なテーマで、第 1 部で得られたサンプルの信頼度を基準として、1) 日本周辺にある北西太平洋海盆、四国海盆および日本海の大陸棚から大洋底、海溝に至るまでの深海性底生魚類の深度分帯を明らかにすること。2) 深海性底生魚類群集の水平的関係、つまり生物地理区を明らかにすること。3) 深海性底生魚類の群集構造を決定する環境要因を示唆することを目的とした。

第 1 部第 1 章ではまず深海生物調査によく利用されてきたいくつかのデザインのビームトロール、およびその曳網方法による採集効率とサンプルの代表性を検定した。遠州灘沖の上部大陸斜面上の水深 480 m に定点を設け、2 m のアガシー型ビームトロールと 3 m ORE 型ビームトロールを異なる曳網速度で作業した時の深海性底生魚類および十脚甲殻類の採集効率を比較した。3 m ORE 型ビームトロールを 1.5 ノット、0.8 ノットおよび 2 m アガシー型ビームトロールを 1.5 ノットで曳網し、分散分析、多重比較、クラスター解析および序列化で採集されたサンプル間の違いを比較した。最小有効サンプルサイズはランダムマイゼーションで決定した。深海性底生魚類では、曳網速度よりも異なるタイプのビームトロールのほうがサンプルに与える影響が大きい。十脚甲殻類では、異なる曳網速度及び 2 種類のトロールで採集されたサンプル間に有意差は見られなかった。3 m ORE 型ビームトロールは曳網速度を 1 ノット以上にすると深海性底生魚類および十脚甲殻類も適切に採集できることが明らかになった。3 m ORE 型ビームトロールを 1.5 ノットで曳網して得られたサンプルは分散がもっとも少なく、群集構造の研究にもっとも適していた。深海性底生魚類では 1 回の曳網あるいは 52 個体以上のサンプルで群集の研究に適するサンプルが得られる。十脚甲殻類では、2 回の曳網あるいは 54 個体以上のサンプルが必要であるが 7 回以上の曳網あるいは 189 個体以上のサンプルが望ましいことが明らかになった。

第 1 部第 2 章では、過去 20 年間論議されてきたトロールと映像装置による比較調査で見られる深海性底生魚類の個体数密度（あるいは単位面積あたりの重量）の矛盾について検

討した。映像装置による個体数密度（あるいは単位面積あたりの重量）の推定値はトロールによる推定値の3から10倍高い。この矛盾点は主に遊泳能力の高い深海性底生魚類あるいはエビ類のトロールによる採集効率が低いことが原因だと考えられていた。そのためトロールによる推定値は過小評価であると思われていた。近年 Priede *et al.* (1991)によるベイトトラップを使った深海性底生魚類の個体数密度の推定値は北東大西洋および北東太平洋でおこなったトロールの推定値とよく一致し、個体数密度の推定値に新たな矛盾が生まれた。この章では映像装置とトロールの個体数密度の推定値が異なることを今までとは異なる観点で解釈した。2タイプのビームトロールから得られたデータと Ohta (1983)の映像装置のデータを使いこの概念を説明した。この矛盾は映像装置が個体数密度を過大評価することに起因し、特に深海生物のように個体数密度が低いところでは調査面積が小さいほうの装置によって過大評価することがわかった。結論として、個体数密度あるいは単位面積あたりの重量を推定するときには調査対象群集内の各種の密度および異なるギアによる調査面積の差を考慮に入れる必要がある。そうでなければ同じ調査面積の装置同士で比較する必要があり、標準化を得ても解消されない。

第2部の第3、4、5章では異なる海域における深海性底生魚類の群集構造が深度ともいかに変化するか、また群集構造の変化と環境要因の関連性を多変量解析で分析した。生物データは、主に今まで海洋研究所で蓄積されたサンプルを用い、不足した海域や水深のサンプルを追加した。水温や塩分などの海洋観測データは日本海洋データセンターから得た。深度分帯や生物地理区はクラスター解析で類似度指数 0.15 を基準として各群集を分けた。類似度指数はサンプルサイズや多様性に影響されにくい **Morisita-Horn index** で **non-combinatorial method** を使って連結した。群集組成が環境勾配に沿って変化する様子を **detrended correspondence analysis** で解析し、どの環境要因が群集の変動パターンと一致するかは **randomization type** の **spearman rho** の相関係数で関連付けた。

三陸沖の大陸棚縁から海溝底まで深海性底生魚類のクラスター解析から、6 深度分帯があることを示した。群集構造変化は深度のほかに温度や塩分と相関が高く、温度と塩分で異なる群集を分けることができた。温度と塩分は水塊分類の重要な指標である。すなわち、深海性底生魚類の群集構造は水塊と高い相関を示すことがわかった。また、深度分帯の境界は、三陸沖の水塊構造の境界ともよく一致する。三陸沖の深度分帯は 1000 m 以浅では、北米東海岸の深度分帯とよく一致し、1000 m 以深では、北米西海岸とよく一致することがわかった。これは 1000 m 以浅では北米東海岸に黒潮と同じく西岸海流のフロリダ海流が似たような水塊構造を形成し、北米西海岸では同じ起源の深海底層流があるため三陸沖の深度分帯とよく一致するためであり、水塊が深海底生魚類の群集構造を決定する重要な要素であることが示唆された。

東海沖の大陸棚斜面における深海性底生魚類の群集構造の深度に伴う変化と環境要因との関連性を多変量解析で分析した。東海沖の大陸棚斜面では4深度分帯があった。この4深度分帯は三陸沖とは類似性がほとんどないが、同海盆内では高い類似性があった。また、分類群が異なると深度分帯がことなることを示した。

日本海では深度に伴う深海性底生魚類の群集構造変化はなかった。日本海において深海性底生魚類の個体数密度は500 m以深ではほとんど変化がなく、東海沖と同じであった。ところが多様性指数は東海沖より低く、深度に伴って急激に減少した。この減少はサンプルサイズの減少によるのではなく、日本海で種数が急激に減少することが原因であった。日本海の水深200 mでの種多様性は東海沖の水深3000 mでの種多様性より低い。多変量解析結果および近接海域との比較から日本海は非常に均一な群集構造を持っていた。また、日本海では1775 m以深で深海性底生魚類が存在する証拠はなかった。

深海性底生魚類の深度分帯を扱った研究は多いが深度分帯の水平的変化を扱った研究はまだ少ない。**Menzies et al. (1973)** 以来の概念として、深度分帯は大陸棚斜面に沿ったりボン状の構造であると思われていた。第6章では日本周辺海域の深海性底生魚類の深度分帯および水平的変化を総合して考察した。その結果から、1) 深海性底生魚類の群集は水塊構造と相関が高い、2) 場所によって深度分帯の深さは変化した、3) 大陸棚に近い深度分帯では季節ごとに境界が変化したことが提示された。すなわち、深度分帯の境界は線や面的概念ではなく、水塊構造のように動的な境界であり、深度分帯の幅も場所によって変化するという深度分帯概念の改良を提案した。

以上の研究を通し、日本周辺海域の深海性底生魚類の群集構成と分布パターンを統計的に明示し、群集構成の変化に関連する環境要因として水塊構造との相関が予想以上に高いことも見つけた。この基礎的成果をふまえ、今後の深海性底生魚類の生態学的研究は底生魚類が深海生態系にいかなる役割を果たすかという実験検証的な問題に集中できるようになる。