

## 論文内容要旨

### 論文

無人探査機の映像解析による中層性ゼラチン質動物プランクトンの分布調査：  
カルデラを利用した比較研究

指導教員 Dhugal J Lindsay

### 要旨

#### 序章

海底資源開発が行われることによる生態系への影響は以前から強く懸念されており、その環境影響評価に対する総説も執筆されるほど研究が進んでいる。しかし、先行研究の殆どは、鉱物採掘によって直接影響を受けると考えられる底生生物に止まってきた。実際の鉱物採掘では、掘削点から 1000m 以上の水深帯を縦断し母船まで伸びる揚鉱管を伝って鉱物が運搬されるだけでなく、鉱石の船上加工も行われる予定であり、採掘泥の流出や不慮の事故によって周辺海域のどの水深帯で影響が生じるかは予測不可能である。従って、海底資源開発における環境影響評価は、表層から海底の全水柱に分布する微生物から大型生物に対して行うべきであるという見解が世界共通となっているが、現状では、有光層（200m 以浅）を除く中層以深の水深帯において圧倒的にベースラインデータが欠如しており、そこに生息する生物相の実態調査は急務である。

日本の排他的経済水域内では、沖縄トラフと伊豆・小笠原島弧に熱水鉱床が認められ、いずれの海域も表層の基礎生産が極めて低い貧栄養海域である。貧栄養海域では、一次生産者の体サイズが小さくなることにより高次捕食者の栄養段階が高くなると考えられているだけでなく、微細な一次生産者を効率的に利用する濾過食の浮遊性ホヤ類、さらにそれらを捕食するゼラチン質動物に有利な環境になると考えられている。その上、熱水生物群集は、光合成由来の生産性が乏しい貧栄養海域に局所的に豊かな餌資源（バクテリアフロックや底生生物の幼生類など）を供給しており、多様な捕食手法を駆使するゼラチン質動物プランクトンがその捕食者であることも考えられる。以上の背景から、本研究では熱水鉱床周辺海域における中層性ゼラチン質動物プランクトン類の分布実態を把握し、その分布と熱水生物群集との関連性について議論することを目的として研究を行った。

## 第一章 過去に記録された ROV 映像の解析プロトコル：海形海山における事例研究

浮遊生物の調査はプランクトンネットによる調査手法が主流である。しかし、プランクトンネットでは脆弱なゼラチン質動物プランクトンの標本の損傷が著しく、それらの正確な分布を把握することが不可能であった。一方、近年では様々な画像による調査手法の有効性が明らかになっており、高解像度カメラを搭載した無人探査機 (ROV) は特に大型ゼラチン質動物プランクトンの調査に有効な調査ツールの一つであると認識されるようになった。しかし、運用コストが高く、1 調査地点ごとの潜航実施回数が少ない ROV の調査潜航から、高度な統計解析に耐えるデータ量を提示することは困難であるため、活用されず保管されてきた記録映像は膨大である。本章ではこれらの未解析映像データをデータマイニングによって活用し、熱水鉱床周辺海域におけるゼラチン質動物プランクトン類のベースラインデータを提供するため、それらの映像データを科学データとして管理、解析するためのプロトコルを確立した。結果として、海形 (かいかた) 海山の周辺海域で ROV "Hyper Dolphin" の潜航によって得られた 2 潜航分の映像データから、81 のゼラチン質動物プランクトンの形態分類群を同定し、その出現深度を明らかにした。

## 第二章 非熱水カルデラ内外におけるゼラチン質動物プランクトン類の分布比較

カルデラは、大量の熱水鉱床を含むが、凹状地である故、カルデラ内部の環境は外界より閉鎖的かつ安定的な環境である、従って海底鉱物資源開発の様な人為的攪乱の影響が強いことが予想される。さらに、その内部の閉鎖性を利用し、熱水生物群集を有するカルデラと有さないカルデラ内部のゼラチン質動物相を比較することで、熱水生物群集の有無とゼラチン質動物プランクトンの分布の関連性についての議論が可能となるため、自然環境下における理想的な研究地といえる。本章では、第三章の熱水のあるカルデラでの研究に先立ち、熱水の無いカルデラで調査を行うことによって貧栄養海域におけるカルデラ内外のゼラチン質動物相について明らかにすることを目的とし、調査を行った。非熱水性の黒瀬海穴を対象海域とし、その内外で行われた ROV "Dolphin 3K" の 2 潜航分の解析を行った結果、カルデラ内は海底付近でも水温 11°C 程度と温かい水で満たされており、カルデラ外は海底付近で水温 4°C であった。カルデラ内においてはゼラチン質動物プランクトンの多様性が極めて低い結果となった。さらに、補足データとして同カルデラ内で行われた有人調査船 "しんかい 2000" の結果を加え、合計 3 潜航分のデータから 38 種の形態分類群の鉛直分布を明らかにした。カルデラ内では、太平洋においては初報告種の *Earleria bruuni* (軟クラゲ目の一種) が大量発生していることが明らかになり、その分布水深のピークは餌量が最大になると考えられる海底付近であった。

## 第三章 熱水カルデラ内外におけるゼラチン質動物プランクトン類の分布比較

本章では、ゼラチン質動物プランクトンと熱水生物群集との関わりについて論じることを目的とし、熱水生物群集を有する須美寿カルデラを対象海域として選定し、その内外におけるゼラチン質動物プランクトンの分布比較を行った。同カルデラ内外で行われ

た ROV "*Hyper Dolphin*" の二つの潜航を解析した結果、須美寿カルデラも二章で扱った黒瀬海穴と同様、カルデラ内は海底まで 10℃程度の高い水温を保っており、カルデラ外では 5℃まで水温の低下がみられた。出現した 61 形態分類群のゼラチン質動物プランクトンの鉛直分布を 4 カテゴリー（有櫛動物類、剛クラゲを除く類刺胞動物のクラゲ類、剛クラゲ類、浮遊性ホヤ類）ごとに示した結果、相対的にカルデラ内ではどのカテゴリーにおいても個体数が多い結果となった。特に、有櫛動物の *Lobata* sp. "*Boli*", *Lobata* "*No auricles*" と刺胞動物の *Earleria bruumi* の 3 形態分類群においては、カルデラ内で高密度分布が認められた。*Lobata* sp. "*Boli*" は、カルデラの内外の両方で観察され、出現深度はカルデラ外で水深 200 m から 350 m、カルデラ内では 300 m から 450 m の水深帯に出現したが、カルデラ内の方が圧倒的に個体数密度が高かった。一方、*Lobata* "*No auricles*" は、カルデラ内の海底付近の水深 800 m から 950 m の水深帯に高密度分布したが、カルデラ外では観察されなかった。*E. bruumi* もまたカルデラ内のみで高密度分布したが、その分布水深は 700 m から 800 m と *Lobata* "*No auricles*" よりやや浅かった。須美寿カルデラ内における、熱水生物群集の分布水深は約 700 m 付近であり、*Lobata* "*No auricles*" と *E. bruumi* は各々の出現深度から判断して熱水生物群集由来の餌資源に依存している可能性が極めて高い分類群であると考察した。*Lobata* sp. "*Boli*" の出現水深は浅く熱水由来の餌資源に依存しているかは現段階で判断できなかったが、カルデラ内ではカルデラの縁の水深よりやや深い水深帯で高密度分布していたことから、カルデラ地形によって表層種がトラップされたことにより高密度分布が起こったと考察した。

#### 総合考察

総合考察では、一章、二章、三章で行ったすべての調査結果から、相対的に見た対象海域における普通種及び海域に限定されて出現した種についての議論、二章と三章の比較から熱水生物群集を有すカルデラと有さないカルデラでのゼラチン質動物プランクトンの多様性の比較についての議論、無人探査機の映像による形態分類の重要性について議論した。一つ目の議論では、一章、二章、三章で得られたすべての結果から、調査海域においては、四種のゼラチン質動物プランクトンが普通種であり、二種が海域限定種（それぞれ、*Periphylla periphylla* (Péron & Lesueur, 1810) は冷水系、*Earleria bruumi* が暖水系）と結論づけた。二つ目の議論では、熱水を有するカルデラとそうでないカルデラの内外における多様性と個体数密度の比較をした上で、主にその多様性について議論した。本研究結果と Grossmann ら 2015 年の、スルー海とセレベス海におけるゼラチン質動物プランクトンの分布に関する研究結果を交えながら議論を進め、結果的にカルデラ内外の多様性は、水塊の多様性と、カルデラ内の閉鎖性、及び餌の多様性に依存しているのではないかと結論づけた。最後の議論では、本研究の発展性と将来展望的議論の場とし、画像によるゼラチン質動物プランクトンの種同定に関して述べ、Artificial Intelligence (AI) や Citizen Science (CS) などの手法を取り入れていくことを提案し、議論を結んだ。