

## 審査の結果の要旨

氏名 坂本 達也

本研究論文は、世界の温帯域に広く分布するマイワシ属 (*Sardinops* spp.) を対象とする。これらは水産上重要な多獲性の小型浮魚類で、北太平洋では本州東方に分布するマイワシ (*Sardinops sagax melanostictus*) とカリフォルニア沖に分布するカリフォルニアマイワシ (*Sardinops sagax sagax*) が有名である。マイワシ属の最大の特徴は、その資源量が大変動する点で、それには地球規模の環境変動が深く関わっているとされている。しかしながら、マイワシ属の資源変動をもたらすメカニズムの詳細は不明であり、また、マイワシ属は資源量に応じて生息域が縮小・拡大する特徴があるため、個体群構造の理解も容易ではない。これらの問題はマイワシ属の資源を適切に管理し、持続的に利用していく上で大きな障害となっている。本論文では、マイワシ属が移動・回遊過程で経験した海水温の指標となる耳石の酸素安定同位体比  $\delta^{18}\text{O}$  の高解像度分析手法を用いて、世界のマイワシ属資源におけるこれらの問題の解決を目指している。本論文に記載されている主要成果は以下の4点である。

第一に、マイワシ属が経験した水温と耳石の  $\delta^{18}\text{O}$  との関係を解明するため、国立研究開発法人水産研究・教育機構より、高知県宿毛湾で採集し3つの異なる水温区で1か月間飼育したマイワシ稚魚サンプルの提供を受け、これを以下の手順で分析した。各サンプル個体中の耳石から飼育期間中に生成した部分を高精度マイクロミル (Geomill326, Izumo-web, Japan) で削出し、この試料から国立茨城工業高等専門学校の微量炭酸塩分析システム MICAL3c を用いて  $\delta^{18}\text{O}$  を分析した。続いて、飼育海水の  $\delta^{18}\text{O}$  を東京大学大気海洋研究所の安定同位体比分析装置 (Picarro L2120-i) で分析し、マイワシの耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と経験水温との間の関係式として、次式を始めて提示した： $\delta^{18}\text{O}_{\text{耳石}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{海水}} = -0.18 \times \text{水温} + 2.69$  ( $r^2 = 0.91, p < 0.01$ )。なお、この関係式は、飼育実験から求めたものであるものの、野外で採集されたマイワシの耳石縁辺部の  $\delta^{18}\text{O}$  と採集時の水温との間の関係を説明できるため、野外採集個体に対しても十分適用可能であると判断できた。

第二に、マイワシ属の耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と経験水温の間の上記の関係式を南アフリカ沖の重要資源であるミナミアフリカマイワシ (*Sardinops sagax ocellatus*) に適用して、その資源構造の解明を試

みた。ミナミアフリカマイワシは、南アフリカの沿岸全域に広く分布するが、それらの資源構造については不明な点が多い。南アフリカ共和国の農林水産省から同国沿岸全域で採集されたミナミアフリカマイワシと海水サンプルの提供を受け、海域ごとに成長速度と経験水温の関係を調べた結果、南アフリカ西岸沖の個体群は低水温の環境を経験して成長率が比較的低い一方、南・東岸沖の個体群は高水温の環境を経験して成長率が比較的高いことが分かった。両群の特徴の違いは、前者が沿岸湧昇域、後者が暖流のアガラス海流域に分布していることに起因しているものと推察され、ミナミアフリカマイワシが複数の系群構造を有することを示唆するもので、ミナミアフリカマイワシの適切な資源管理に資する重要な知見である。

第三に、北太平洋の東西におけるマイワシ属の資源変動に対する水温環境変動の影響を解明するために、申請者が自ら北海道沖で採集したマイワシとアメリカ・スクリプス研究所より提供を受けたカリフォルニア沖で採集されたカリフォルニアマイワシの双方の耳石を分析、比較した。上記の関係式を適用し、両種の成長速度と経験水温の関係を調べたところ、両種とも仔魚期には高い水温環境を経験すれば成長率が高くなるが、稚魚期ではそのような関係は見られなかった。また、仔稚魚期の経験水温と加入成功率との間には年々変動において有意な相関関係はなく、むしろ、産卵親魚量との間で強い相関関係があることが分かった。このことから、初期成長段階での水温環境の変動が必ずしも資源量変動の主要因ではないことが示唆された。本論文で示された、南アフリカ沖と北太平洋東西に分布するマイワシ属に関する包括的な研究から、比較的低温の沿岸湧昇域(カリフォルニア沖および南アフリカ西岸沖)のマイワシ属は、比較的高温の暖流域(本州東方の黒潮域および南アフリカ南・東岸沖)に比べて初期成長率が有意に低いことが解明され、この違いが、全球規模の水温変動に対する両海域での応答の違いを引き起こす可能性が示された。

最後に、マイワシ属の回遊経路を推定するアルゴリズムを開発した。この手法は、本州東方沖のマイワシを対象とし、上記の耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と経験水温の関係式、並びに海水  $\delta^{18}\text{O}$  と塩分の関係式を海洋データ同化モデルで再現された表面水温と塩分に適用する。数値モデル上で実際の産卵場から疑似粒子を投入後、表面流に乗せて漂流させ、日齢から推定した体長に比例する速度で遊泳する効果を導入することで回遊経路を推定した。この手法は、個体群ごとのマイワシの回遊経路を現実の経験水温をベースとして実証的に推定する初めての試みであり、発生後約半年間の回遊経路を10日の時間解像度で推定することができる。この手法で回遊経路を高精度に推定することにより、今後、資源変動に影響を与える環境要因の解明に大きく貢献することが期待される。

これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。