



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	LABORATORY STUDIES ON THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE EARLY LIFE STAGES OF JAPANESE FLYING SQUID AND WALLEYE POLLOCK [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	柳, 海均
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第11778号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58625
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	HaeKyun_Yoo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

海洋生物資源科学専攻：博士（水産科学）

氏名：柳 海均

学 位 論 文 題 目

LABORATORY STUDIES ON THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE EARLY LIFE STAGES OF JAPANESE FLYING SQUID AND WALLEYE POLLOCK

（スルメイカおよびスケトウダラの初期生活期に対する水温の影響に関する飼育実験研究）

数十年周期の寒冷・温暖期のレジームシフトに加えて、地球温暖化に伴う地球規模での気候変化は、地球表面の7割を覆う海洋にも大きな影響を与えることが懸念されている。すでに、世界の平均海面水温は、1950年代から約0.4℃上昇し、21世紀末までには2℃から4℃上昇すると予測されている。このような海面水温の変化は、生活史初期に浮遊卵やふ化仔魚・幼生として海面近くに分布する多くの海洋生物に大きな影響を与える可能性がある。特に、海面水温変化に受動的にさらされる卵や仔魚・幼生への影響、さらに成長して能動的に不適な水温環境から逃避できるかどうかは、生活史初期に海面で生活する海洋生物の個体群変動や種自体の存続にも関わっている。しかし、これらの事象の解明には、海洋の再生産環境での検証は極めて困難であり、そうした環境を飼育実験下で再現し、浮遊生活期の卵や仔魚・幼生の発生、成長、生残、あるいは行動に対する水温変化の影響を、詳細に検証して行く必要がある。

そこで本研究では、ふ化幼生として海面表層に出現するスルメイカ、および卵・稚仔魚期に浮遊生活期を持つスケトウダラを対象種として、浮遊生活期の卵や仔魚・幼生の発生、成長、生残、および行動に対する水温変化の影響を、飼育実験により明らかにすることを目的とした。さらに、得られた成果をもとに、スルメイカでは再生産海域の海面水温の高水温化の影響、スケトウダラでは季節海氷の融解に伴う異常低水温の影響などについて考察した。

【材料と方法】

実験水槽の製作：本研究では、スルメイカとスケトウダラの初期生活期への水温の影響を調べるために、水温躍層が再現できる実験水槽システムを新たに製作した。このシステムは、内部水槽が直径10cm、高さ85cmの亚克力樹脂製円柱形的水槽で、外部水槽は35×17.5×80cmの亚克力樹脂製（厚さ1cm）の角型水槽の二重構造となっている。外部水槽は、上層と下層を40cmの高さで厚さ1cmの亚克力樹脂板で仕切り、独立した水槽となっている。この上層・下層水槽は、独立に加温または冷却水を循環させ、それぞれ任意の水温設定が可能になっている。例えば、通常は上層が高水温、下層が低水温であるが、その逆の上層が低水温、下層が高水温のように逆転した水温躍層を作ることにも可能である。これにより、内側の実験水槽に海水を入れ、スルメイカのふ化幼生、スケトウダラの卵・稚仔魚をその中に収容し、躍層上下の水温選択性などを実験的に検証した。スルメイカでは、水温範囲は20.5–30.0℃、スケトウダラでは、実際の再生産海域の水温を想定して1.5–5.0℃の範囲で実験を行った。

スルメイカ：産卵場の水温を再現するために、最初に実験水槽の水温を 20.5℃または 21.5℃に設定して、実験水槽の上・下層の水温を同じ水温とした。次に、上層の水温を目標とする水温（24℃から 30℃まで）に設定して、上層の水温を上げて水温躍層を作成した。その後、ふ化幼生（10 個体）を実験水槽の底に入れ、経時的に幼生の分布位置を調べた。それぞれの実験には、人工授精で得られた卵を 20.5℃と 21.5℃でふ化させ、遊泳が活発になるステージ 31 の幼生を用いた。実験区として、上層・下層水温を、それぞれ 24.4℃、20.7℃で計 2 回、26.0℃と 21.6℃で計 2 回、30℃と 20.8℃で計 4 回、29.7℃と 21.6℃で計 4 回実施した。また、上層の高水温の幼生の生残への影響を調べるため、その死亡率を求めた。

スケトウダラ：この実験では、日本の太平洋系群の産卵場である噴火湾において、沿岸親潮（<1.5℃、塩分<33）が海表面を覆った場合を想定して水温躍層を再現した。水温は、上層を 1.5℃、下層を 5℃にした。また、水温選択性を検証するために、上層 5℃、下層 1.5℃の設定でも実験を行った。実験には飼育水槽で自然産卵させた卵を用い、6 つの水温（0.0、1.5、3.0、5.0、7.5、10.0℃）に分けて飼育した。まず、沿岸親潮に対して卵とふ化仔魚の密度を調べた（4 実験区）。続いて、実験水槽を用いて低温に対する無給餌の仔魚の遊泳行動を調べた。実験水槽の上層と下層の水温を 5℃で安定させた後、仔魚を実験水槽の上から入れて馴致させ、1 時間後に水温を 1.5℃に変化させて仔魚の分布位置を記録した。本実験は、ふ化直後、開口期、卵黄吸収後の仔魚期に分け、それぞれ 6 回行った。また、各水温でふ化させた仔魚の死亡率と生存日数も調べた。

【結果と考察】

実験水槽の製作：今回新たに製作した実験水槽システムによって、1.5℃から 30℃までの広い水温範囲で水温躍層が設定可能となった。実験水槽の水温はスムーズに目標水温と躍層を再現し、その水温は安定して維持することができた。これにより、スルメイカとスケトウダラで、以下の実験結果を得ることができた。

スルメイカ：スルメイカ幼生の各水温に対する死亡率 50%までの生存日数は、20.9℃で最も長かった（5.7 日）。次いで、生存日数は 22.5℃で 5.1 日、24.2℃で 5.1 日、26.3℃で 4.0 日、27.9℃で 3.4 日と徐々に減り、30.4℃では 1.2 日と生存率は顕著に減少した。上昇遊泳をする幼生の高水温に対する実験では、上層が 24.4–26.0℃の場合には、多くのふ化幼生は水温躍層を通過して表層に分布した（ $p<0.01$, χ^2 -test, Ryan's method）。一方、上層水温が 29.7–29.8℃の場合は、ふ化多くの幼生は水温躍層付近に分布した（ $p<0.01$, χ^2 -test, Ryan's method）。既往の知見では、スルメイカのふ化幼生の最適生存水温は 18–23℃とされている。本実験から、30℃近い高水温域を避けるものの、26℃までの高水温が海面を覆う場合には、生存に不適な水温域に浮上してしまうと判断された。

スケトウダラ：スケトウダラの卵と仔魚の密度変化は、受精直後の卵の平均密度（ σ_t ）は 22.55 から 23.06 であった。卵の発生に伴う平均密度の変化は、4 回の実験区とも同じ傾向を示し、約 7 日目までわずかに増加し（ σ_t 23.32–24.13）、10 日目には減少した（ σ_t 20.72–21.68）。ただし、卵密度は発生段階に伴って変化したが、沿岸親潮（ σ_t 26.37、2℃、塩分 33）よりは軽く、発生卵は海表面まで浮上し、沿岸親潮の中でふ化していると判断された。また、ふ化から卵黄吸収後の死亡までのふ化仔魚の密度は σ_t 22.35–24.80 であり、沿岸親潮より軽いために、その表層水内に滞留すると判断された。ふ化仔魚の水温別の死亡率 50%までの生存日数は、3.1℃で 20.3 日と最も長かった。また、0.3℃で 17.7 日、1.6℃で 18.3 日、4.9℃で 16.7 日と、この水温範囲では生存日数に差は見られなかった。これらのことから、海表面を生存に不適な低水温が覆う場合、能動的回避ができないふ化仔魚は生存できない可能性が高い。

ただし、低温に対する仔魚の遊泳行動は、経験水温と発育段階で異なっていた。1.5℃と5.0℃では、ふ化直後の仔魚は表層に多く分布した($p < 0.01$ 、 χ^2 -test、Ryan`s method)。開口期には、1.5℃でふ化した仔魚の多くは表層に滞留したが、5.0℃で飼育した仔魚は1.5℃の上層から5.0℃の下層に分布位置を変化させた( $p < 0.01$ 、 $\chi^2$ -test、Ryan`s method)。その後の、卵黄吸収後の仔魚も同様な分布を示した($p < 0.01$ 、 χ^2 -test、Ryan`s method)。これらの結果から、低温(1.5℃)でふ化した仔魚は、5.0℃でふ化した仔魚より不適切な環境からの能動的な逃避能力が低く、結果として生存率が低下すると推定された。

【結論】

本研究では、気候変化に伴う水温変化や生存に適さない極端な水温環境が、スルメイカとスケトウダラ的生活史初期の卵や仔魚・幼生の生存に影響を与えるメカニズムの一部を明らかにすることができた。本研究で製作した実験水槽システムは、異なる水温域と水温躍層を再現し、再生産環境下での海水面の水温変化が浮遊生活期の海洋生物にどのような影響を及ぼすのかを実験的に検証できる。また、スルメイカとスケトウダラ的生活史初期に対する水温の影響の実験結果は、両種の再生産海域における多様な海洋環境変化に対して、個々の生物がその発育過程においてどのように応答しているかを明らかにしており、今後の物理環境変化に応答する再生産—加入モデルへの適用が可能と判断された。