

養殖クロマグロの水銀濃度の変化と餌・水温との関係

安藤正史

(食品安全・利用グループ)

近畿大学大学院農学研究科

1. 餌料用小型魚水銀量の変動要因

【緒言】21世紀COEプロジェクトにおいて、水銀濃度の低いマアジ・イカナゴを用いてクロマグロを飼育することにより、その総水銀濃度を基準値の0.4ppm以下とすることに成功した。しかしこの餌では成長速度が従来の餌であるサバ類を与えた場合に比べてやや遅いため、成長速度の点においてはサバ類による飼育の方が優れている。また、アジ類の場合はマグロの喰いがサバよりも悪く、しかも価格が高い。よって水銀濃度が低いことを除けば短所が目立つ。一方、サバ類は水銀濃度が高いことを除けば利点が多い。そこで本研究では、主にサバ類について季節・産地による水銀量の違いを調べ、サバ類において水銀レベルの低い個体の選択基準を明らかにすることを目的とした。

【材料および方法】日本周辺海域を研究対象とした。日本海側として新潟・兵庫・島根、太平洋側として高知・和歌山を主な入手先とし、各漁港に水揚げされたマサバ・ゴマサバ・マアジ・ヒラメ等入手した。魚体重を測定後に背部普通筋を採取し、硫酸・硝酸・過塩素酸による分解後、還元気化法により総水銀量を測定した。

【結果】一般には体重が重くなるほど水銀濃度が上がるとされているが、本研究ではいずれの魚種においてもそのような相関関係は認められなかった。

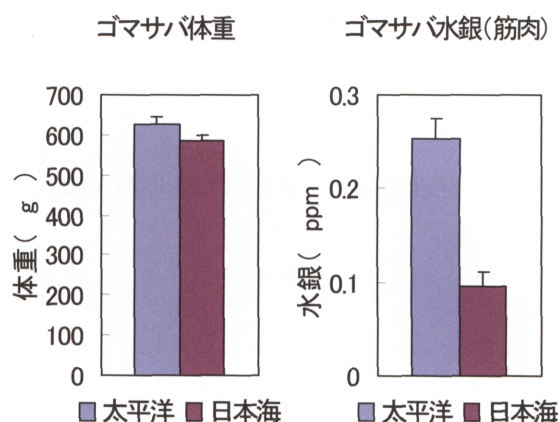


図 1. 海域別のゴマサバの体重と水銀濃度

次に季節間で比較した場合も、季節ごとの水銀濃度の顕著な差は認められなかった。ところが海域別で比較すると、ほぼ同じ魚体重であるにも関わらず、ゴマサバでは太平洋側の個体の水銀濃度が日本海側個体の約 2.5 倍となり、統計的な有意差が認められた(図 1)。同様に、マサバでも太平洋側が 3 倍以上となった。マアジ・マルアジでは魚体サイズが日本海側個体においてやや大きかったが、やはり水銀濃度は太平洋側において高くなった。

【考察】体重と水銀濃度との間に相関性が見られなかった原因としては、今回の測定に用いた魚体のサイズがかなり大きなものであり、養殖クロマグロの例に示されるように、水銀濃度が頭打ちに近い個体が多かったためではないかと思われた。

次に太平洋側の個体において水銀濃度が高かった原因を考える。気象庁のデータによれば、日本海・太平洋それぞれにおいて 10 年間に渡り

表層水の水銀濃度を測定したところ、日本海側が 2.2ppt であるのに対し、太平洋側では 2.7 から 3.7ppt となっており、日本海側の 1.5 倍前後の水銀濃度を示した。ただしこの濃度は環境海水としては十分に低い濃度であり、汚染として扱うような状況ではない。しかしながら、海中の食物連鎖により水銀の生物濃縮が起これ、この海水の水銀濃度の違いによる魚体中の濃度差が顕著となり、結果的に今回の測定値の差となって現れたと考えられた。

さらに、太平洋側で水銀濃度が高い要因を考えてみる。世界の火山の分布を見ると、太平洋側には多数の海底火山が存在する。海水中の水銀の多くは地殻からの噴出によって供給されると言われており、日本近海の太平洋側に存在する水銀は、これらの火山由来のものが海流によって運ばれ、日本周辺にたどり着いたものと思われる。この場合、世界的なスケールで日本列島を見ると、狭くなっている日本海側へは海流が比較的流れ込みにくく、その結果として両海域の間に水銀濃度の差が現れたと考えられる。

本研究の結果より、養殖クロマグロの餌料用小型魚を入手する場合、生物濃縮の影響を考慮して魚体サイズの小さな個体を選ぶことのほか、日本海側産の個体を選ぶことにより、餌料魚の水銀レベルをより低く抑えることができると考えられた。

また餌料魚を輸入する際には、従来の測定データを参考に、たとえ汚染の問題がないレベルであっても、水銀濃度のできるだけ低い海域で漁獲された個体を選ぶべきである。

2. 養殖クロマグロ水銀濃度における海水温の影響

【緒言】21 世紀 COE プロジェクトにおいて、和歌

山県串本産養殖クロマグロの尾部筋肉を利用した通年にわたる水銀濃度の測定を実施し、筋肉の水銀濃度が季節変動を起こしていることを見出した。この際、水温と水銀濃度との間には逆相関する傾向があったことから、高い水温は代謝を促進させて水銀の排出を促すことで、体内の水銀量を減少させ得るのではないかと考えられた。

そこで本研究では、海水温が本州地域よりも高い鹿児島県奄美大島において飼育されている養殖クロマグロを用い、その尾部筋肉について 1 年間に渡り水銀濃度の変化を調査した。

【方法】近畿大学奄美実験場において約 1000 尾を収容した生簀(直径 25m, 深さ 10m)においてマサバ(149.4±13.6g)を餌として飼育された完全養殖クロマグロ(26.2 から 89.4 kg)について毎月 8~10 尾の合計 100 尾をサンプルとした。給餌は一日二回、それぞれ飽食給餌とした。サンプリングにあたっては、即殺・脱血後、尾部を切断して冷凍保存(-30℃)した。測定時には尾部の普通筋・血合筋・皮をそれぞれミンチにしたのち、硝酸・硫酸を用いて加熱分解し、還元気化法により総水銀量を測定した。また血液についても水銀濃度を同様に測定した。

水温は、ロガーを生簀の水深 5m の部分に取り付け、毎日午前 10 時の温度を計測・記録した。

【結果】飼育期間中の水温は、和歌山県串本町において 15.5-26℃であったのに対し、奄美大島では 21-29℃であった。奄美大島の水温の方が高かったが、年間の水温の変動幅についてはほぼ同じであった(図 2)。

給餌量と餌の水銀濃度から計算した水銀の摂取量は 1 年間ほぼ一定となり、最後の 1 月のみ顕著に減少した(図 2)。水温が比較的高いためか、串本産個体に認められた水温変化と相関した摂

餌量の変動は見られなかった。

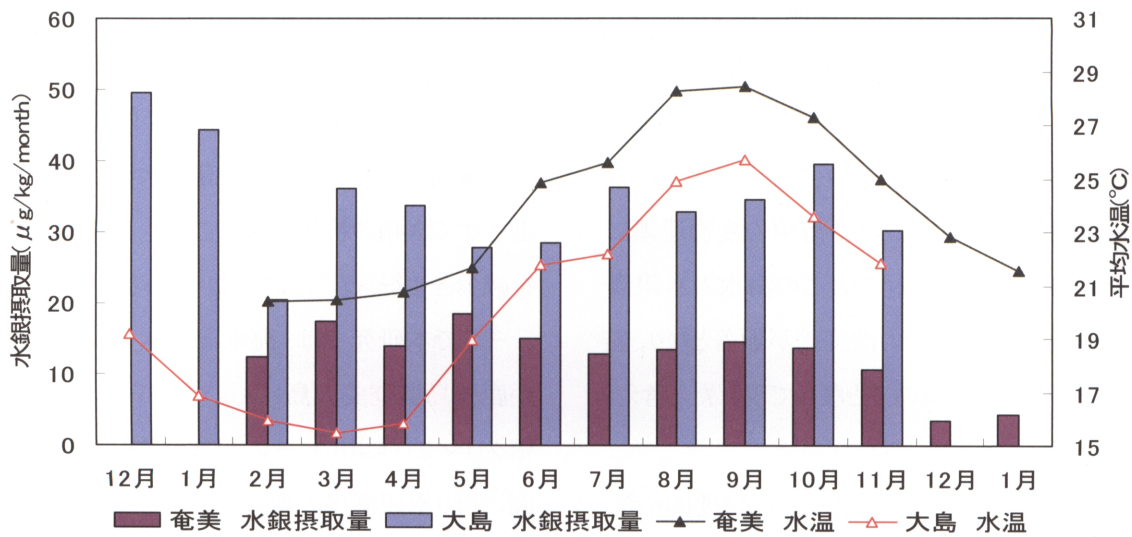


図2. 水温と摂取水銀量の変動

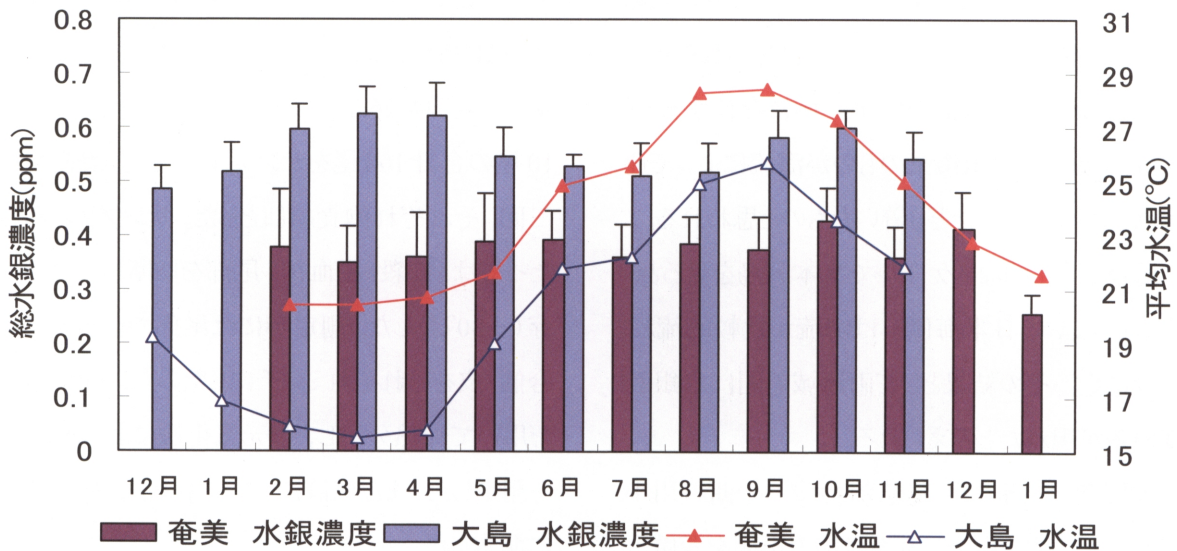


図3. 水温と筋肉水銀濃度の変動

普通筋の総水銀濃度は0.215～0.429ppmであった(図3)。これは串本産個体の総水銀濃度0.417～0.741ppmよりも明らかに低かった。年間を通じて見ると、季節変動は串本産個体ほど明確ではない反面、摂取水銀量の影響はより敏感に現れるようであった。また、これまでの報告と同様に総水銀濃度と魚体重との間に相関性は全く認められなかった。なお、血合筋についてもほぼ同様の結果が得られた。

【考察】摂取水銀量がほぼ一定であったことは、すなわち摂餌量に大きな変動がなかったことを意味する。串本産個体では摂餌量の大きな変動があったことから考えると、奄美大島における水温の高さがクロマグロにとって常に「快適」であり、そのため安定した摂餌行動をとったものと推察される。

また、摂取水銀量および魚体水銀濃度が一定であることは、同時に水銀の排出速度も一定であることを意味する。水銀の排出速度は代謝速度と

関連すると思われるが、これが一定であるということは、やはりクロマグロにとって快適な水温であることが影響した結果と思われた。

一方、皮、血液に含まれる水銀濃度においては、顕著な季節変動は見られなかった。また、普通筋と血合筋、および雄と雌の間においても有意な差は認められなかった。

以上の結果より、海水温の高さは摂餌量を安定化させるとともに、水銀の排出速度をも一定レベルにさせ、結果的に養殖クロマグロ水銀濃度の季節変動を抑制することが明らかとなった。

4. 運動飼育による水銀濃度低減化の試み

【緒言】養殖魚に強制運動を施すことにより、その肉質が強くなるとの報告がなされている。この際、肉質の変化のみならず、新陳代謝の活発化により体成分の入れ替わりが促進されることが予想される。

筋肉中の水銀は、筋原繊維の主成分であるミオシンに強く結合しているとされている。よって、強制運動により新陳代謝が活発化すれば、それにより筋原繊維タンパク質の入れ替わりが早くなり、ミオシンの分解が促進される。これにより、ミオシンに結合している水銀の排出速度が上がることで期待される。

そこで本研究では、マダイに強制運動を施し、その結果水銀濃度がどのように変化するかを調べた。

【方法】3つの円柱形水槽(直径 2.3m, 深さ 1.6m)においてマダイ(生後 15ヶ月)を4ヶ月にわたって飼育した。運動区は中央部の流速が 14cm/s になるように注水量を調節し、対照区では注水の方向を調整することで流速はほぼ 0cm/s とした。飼料は同種の配合飼料のみを与えた。開始時、2ヶ月

後、および4ヶ月後に各区5尾の背部筋肉と肝臓をサンプルとした。

測定時にはそれぞれミンチにしたのち、硝酸・硫酸を用いて加熱分解し、還元気化法により総水銀量を測定した。【結果】給餌量と環境水温の変化を図4に示した。水温が上昇するとともに給餌量も増加した。これは水温が上昇すると魚の代謝が改善され、より多くの餌を食べたためである。また対照区①が常に摂餌量が多くなり、運動区がこれを上回ることにはなかった。これは魚の中でも運動量の少ないマダイを運動飼育したことにより、マダイに過剰なストレスがかかったため摂餌量が増加しなかったためと考えられる。2ヶ月で対照区②の摂餌量が少なくなった明確な理由はわからないが、確認できる範囲を超えた病気に罹った可能性がある。この摂餌量の差が成長の変化に大きく影響したと考えられる。

飼育期間別に各区の筋肉総水銀濃度を図5に示した。1ヶ月で対照①区が最も高い濃度となり、最も低くなった運動区と有意差が見られた。この結果から1ヶ月では筋肉総水銀濃度において運動飼育の有効性を示すことが出来ると考えられる。しかし摂餌量から考えると、対照①区は1ヶ月から4ヶ月まで最も多く、運動区では常に対照①区を下回っている。この摂餌量の少なさのために運動区の濃度が低くなったとも考えられる。さらに2ヶ月、4ヶ月で対照①区と運動区との間に有意差が見られなかったのは、2ヶ月間で運動区マダイが水流のある環境に慣れたために運動量が上がらず、対照①区と運動量において差がなかった可能性も考えられる。また2ヶ月を除いて常に、運動区は対照②区と近い摂餌量であったが、対照

②区は他区に比べ成長が著しく悪かったため2つを比較することも難しいと思われる。

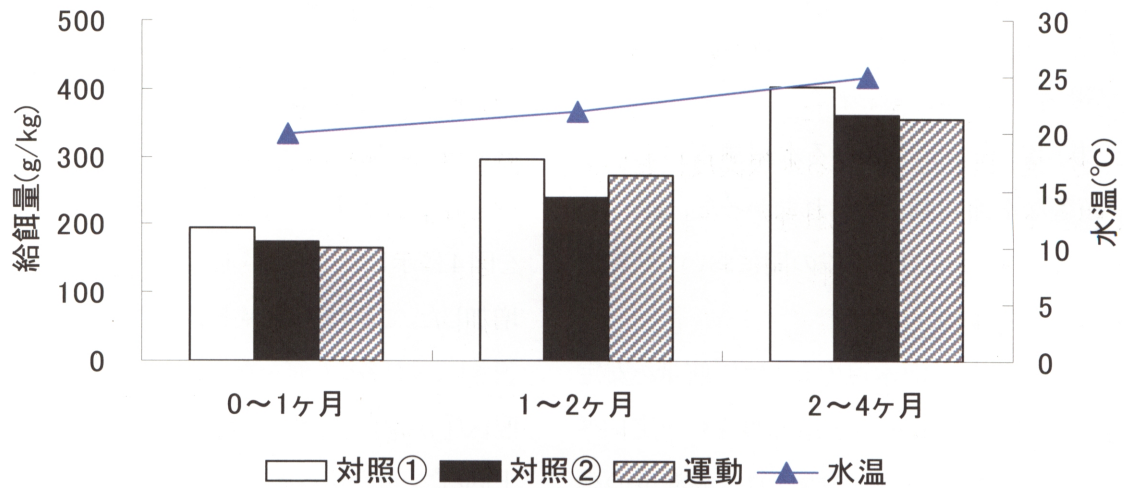


図4. 運動飼育による摂餌量への影響(マダイ)

飼育期間別の各区における肝臓総水銀濃度の変化を図6に示した。対照②区で1ヶ月から水銀濃度が高くなり、4ヶ月では0.3ppm近い値を示した。これは成長が悪く肝臓中の水銀が十分に排出されなかったからと思われる。対照①区と運動区でどの月でも有意差が見られなかった。よってこのことにより運動飼育の有効性を見ることは難しい。4ヶ月の対照①区で標準偏差が大きくなっているが、これは止水状態で飼育しているため運動量において個体差が生じ、よく排出している個体と蓄積している個体があるからだと考えられる。こ

れに比べ運動区では標準偏差が小さい。これは運動量に個体差がなく、どの個体もよく排出しているからだと考えられた。

【考察】本研究の結果をみるかぎり、マダイに強制運動を施すことによる水銀レベルの低減化は現実的には難しいと思われた。その最も大きな原因と考えられる点は、運動そのものがマダイにとってのストレスになっていると思われるところである。

摂餌量に見られたように、運動区ではエネルギー消費量の増大により摂餌量が増えるのではなく、むしろ少なくなる傾向にあった。これは運動という

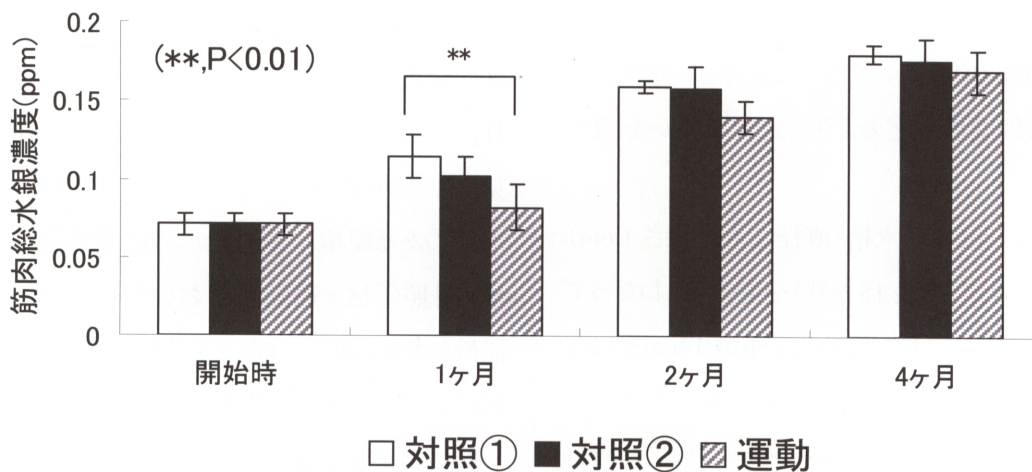


図5. 筋肉総水銀濃度におよぼす運動飼育の影響

行為がマダイにとってストレスとなり、体調不良による摂餌行動の不活発化につながったためと考えられる。

よって、運動飼育の水銀低減化効果を見るた

めには、マダイよりも遊泳する能力の高い魚種を選び、再度その効果について検証しなければならない。

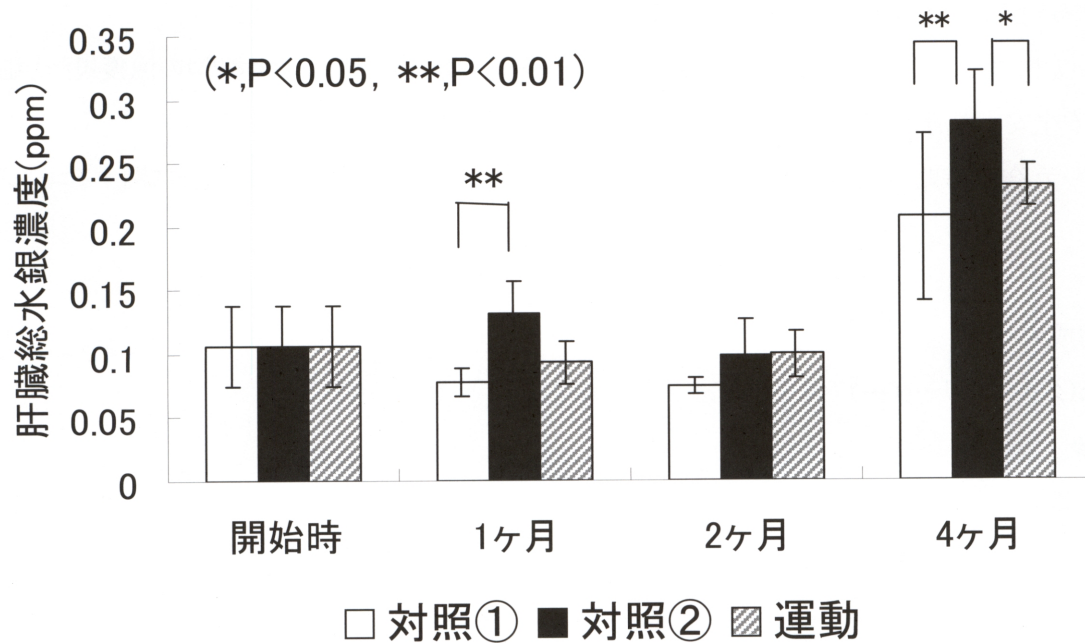


図 6. 肝臓総水銀濃度におよぼす運動飼育の影響