

養殖クロマグロの品質の評価と改善に関する研究

塚正泰之, ロイ・ビモル・チャンドラ

(利用・安全グループ)

近畿大学大学院農学研究科

クロマグロはマグロ類の中でも好まれる魚種で、漁獲量が少ないことから高値で取引されている。現在の市場で多く流通しているのは短期蓄養を含めた養殖クロマグロで、近年の資源量低下により地中海、大西洋、太平洋のクロマグロの漁獲が大幅に制限されていることから、養殖魚の重要性はますます高まっている。養殖クロマグロは脂質含量が高く、トロが多くとれる点で優れているが、グリコーゲンも筋肉内に多く蓄積している。そのため、死後の pH 低下が大きく、メト化の進行も速いという特徴がある。21 世紀 COE プログラムで養殖クロマグロの短期絶食試験を実施し、絶食により筋肉内のグリコーゲンを減少させることで冷蔵中のメト化の進行を抑制できることを確認した。しかし、筋肉内のグリコーゲン量が少ない場合には絶食の効果は低く、絶食前のグリコーゲン含量に応じて絶食期間を設定する必要がある。そこで生体の表面から非破壊で脂質などの成分を測定できることがすでに報告されている近赤外分光分析法を用いて、肉中のグリコーゲン含量などの成分を測定する方法について検討した。また、養殖クロマグロは九州を中心に養殖されているが消費地は東京や大阪など遠隔地であり、輸送には長時間を要している。輸送中の温度はその後の品質に大きな影響を及ぼすと考えられるが、詳しく調べた例がないため、輸送中の魚体および輸送ケース内の温度変化について調査を行い、冷蔵中の色の变化について調べた。

1. 近赤外分光分析法による成分予測

養殖現場や卸売市場などでも使えるポータブル型近赤外分光分析装置(NIR-GUN)を利用し、肉中のグリコーゲン、乳酸含量、K 値など脂質や水分含量以外で品質に影響すると考えられる成分の非破壊測定法を検討した。

材料および方法

材料 近畿大学水産研究所大島実験場で養殖されたクロマグロのほか、鹿児島県奄美大島、山口県油谷、高知県柏島などで養殖された市販クロマグロ 24 検体を材料として用いた。尻鰭より尾側でシモ(腹側)10cm 以上の半身を皮付きで入手した。

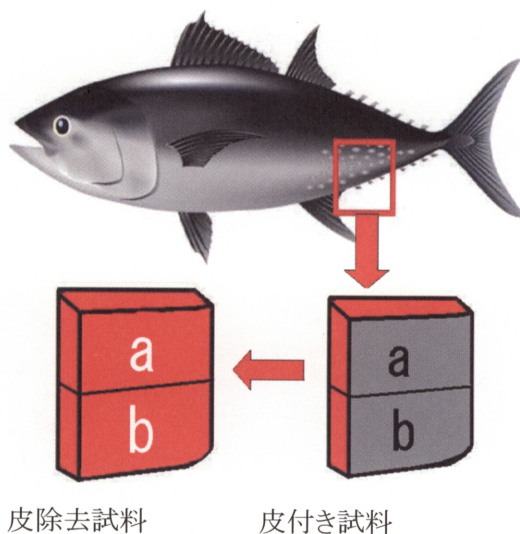


図1 クロマグロの試料採取部位

近赤外分光分析 まず試料の皮表面の水分を拭

き取った後、皮に垂直に NIR-GUN ((株) 果実非破壊研究所) を接触させて図1に示した部位a, b それぞれについて4回ずつ測定を行った。つぎに、皮を除去して同じ部位について再度4回ずつ測定を行った。

グリコーゲン測定 採取部位全体をフードプロセッサで細切した後、1g を採取してアンスロン硫酸法で測定した。

メト化率の測定 抽出液の540nmと503nmの吸光度の比から求める尾藤の方法で測定した。

K 値の測定 5% 過塩素酸で抽出後、KOH で中和した試料を用い、HPLC により ATP 関連化合物量を測定した後に K 値を計算で求めた。

L-乳酸、L-ヒスチジンの測定 大塚電子(株) 製キャピラリー電気泳動装置 CAPI-3300 に 50 μ m × 100cm のキャピラリー管を装着して分析を行った。泳動液として 20mM 2,6-ピリジンジカルボン酸、0.5mM 水酸化ヘキサデシルトリメチルアンモニウム水溶液(pH 12.1)を用い、-20kV で20 分間泳動を行った。検出波長は230nmと350nm の2波長を用いた。

多変量解析 Pattern Recognition Systems 社の多変量解析ソフト Sirius 6.5 を用いて PLS 解析を行った。

結果と考察

化学分析値 各分析値の結果を表1に示した。L-乳酸およびL-ヒスチジンはアミノ酸、有機酸、糖類が同時定量できる条件を検討しながら分析したた

めデータとして使えたのは4 検体だけであった。

表1. 各成分の分析値

	平均値	範囲	検体数
グリコーゲン (g/100g)	60.2	0.0~302.3	24
メト化率 (%)	11.4	1.82~18.6	13
K値(%)	5.0	1.82~8.9	21
L-乳酸 (g/100g)	1.67	0.45~4.29	4
L-His (g/100g)	3.24	1.30~7.49	4

近赤外分光分析 皮付きおよび皮なしの検体について化学分析値と近赤外分光分析で得られた全波長の吸光度の二次微分スペクトルを用いて PLS 解析により検量線を作成した結果を表2に示した。グリコーゲンについては皮付き、皮なしともに部位aが高い相関係数が得られた。特に、皮なしでは0.902という高い相関が確認された。実用的には皮付きで高い相関が得られる検量線が望まれるが、卸売市場のセリ場では尾部が切断された状態にあるため切断面の利用も検討する必要があると思われる。

表2. PLS 解析による検量線の相関係数

	皮付き a	皮付き b	皮なし a	皮なし b
グリコーゲン	0.741	0.639	0.902	0.800
メト化率	0.622	0.697	0.777	0.842
K値	0.886	0.756	0.765	0.834
L-乳酸	0.992	0.963	0.989	0.978
L-His	0.909	0.936	0.987	0.996

メト化率は、グリコーゲンとは逆に部位bの方が高い相関係数を示した。また、皮なしの方が0.842と高い値を示した。今回用いた測定波長域は600~1100 nm の範囲で一般的にメト化率測

定に使われる波長よりも高波長域を測定しているが、可視部が含まれているためメト化による色調変化が反映されている可能性もある。

K 値は、皮付き、皮なしで異なり、皮付きは部位aが、皮なしは部位bが高い相関係数を示し、皮付きの部位aが 0.886 と非常に高い相関係数を示した。K 値は鮮度指標として水産物ではよく利用されるため、皮付きで高精度に測定できることは近赤外分光分析用の用途を広げられると思われる。

L-乳酸、L-ヒスチジンは検体数が少ないため予測精度について評価できないが、いずれも 0.9 以上の高い相関係数が得られており、適用の可能性はあると思われる。

2. 養殖クロマグロ輸送中の温度変化と貯蔵中の色調変化

養殖クロマグロは一般に氷蔵で流通している。温度は鮮魚の品質に大きな影響を及ぼすことから流通過程における温度履歴と貯蔵中の品質変化を、近畿大学水産研究所の奄美実験場で養殖したクロマグロを用いて調べた。

材料および方法

材料 近畿大学水産研究所奄美大島実験場で養殖されたクロマグロを用いた。2009 年 2 月 19 日に水揚げされた体重 $30.4 \pm 3.7\text{kg}$ ($n=3$) と 2009 年 8 月 18 日に水揚げされた体重 $14.5 \pm 2.7\text{kg}$ ($n=3$) を試験に供した。解体後は刺身状にスライスして 4°C で貯蔵した。

搬送条件 奄美大島のクロマグロは午前中に水揚げ後、直ちに脱血し、内臓と鰓を除去した後、

水氷に入れて冷却した。午後、水氷に浸った状態で名瀬港に搬送し、夜間フェリー便でそのまま鹿児島港に送った。翌朝、鹿児島卸売市場内で航空使用に発砲スチロール容器に詰め替え、図 2 のように氷を入れて夕方の航空便で大阪空港まで送った。鹿児島では冷蔵庫に保管しないが、大阪空港では夏季は冷蔵庫内で保管される。2 月分は翌朝、8 月分は当日に奈良に輸送し、約 48 時間後の解体時まで 10°C で保管した。

温度記録装置 体内の温度記録用として小型防水データロガー TR-52S ((株)ティアンドデイ) に水中センサ RTR-71 をセットし、さらに水氷に TR-52S が水に浸らないよう密封式プラスチック容器に入れた。センサは体側の最も幅がある部分から背骨に向かって突き刺した。また、ボタン電池サイズの小型防水温度データロガーとしてサーモクロン G に防水キャップを装着し、左右のエラ蓋の体表側に設置した他、背びれ部分から背骨に向かって深さ 3cm の切れ目を入れ、体表付近の温度測定用に埋め込んだ。なお、小型防水データロガー TR-52S による測定は 2 月の搬送試験時にのみ実施した。

色調測定 日本電色(株)の簡易型分光色差計 NF-333 を用いて、 $\text{CIE } L^*, a^*, b^*$ を測定した。

結果および考察

搬送中の温度変化 気温が最も低い時期である 2 月に水揚げした時の輸送容器内の温度に相当するエラ蓋表面の温度変化を図 3 に、表面付近の肉温を図 4 に、中心部の肉温を図 5 に示した。鹿児島での容器入れ替え時にエラ蓋表面の温度が上昇しているが、入れ替え作業がほぼ 6 分以内に

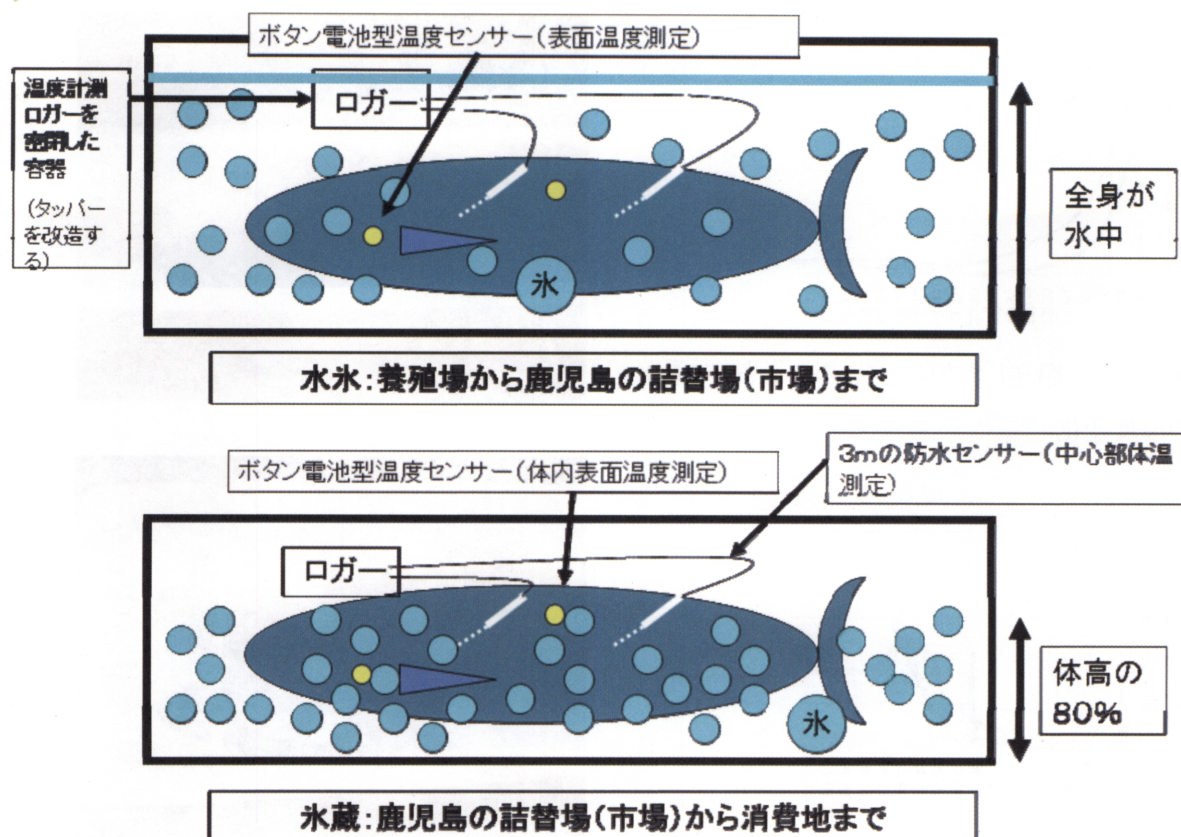


図2. 輸送形態と温度データロガーの設置状況

終了していることが確認されたが、3尾中の1尾は容器内の温度が5℃以下に下がるまでに2時間20分を要していたことが確認された。また、空港への輸送で再び5℃以上に上昇し、5℃以下に下がるのは大阪空港到着後で5時間40分を要していた。(図3)表面から2cmの深さの肉温が10℃以下に下がったのは、1時間42分後から3時間16分後で、5℃以下になるのは4時間30分後から10時間48分後であった。(図4)マグロの中心部の温度は水揚げ直後の数分間は上昇し、最高温度は31.1, 31.5, 31.9℃に達した。その後は低下していったが、10℃到達が3時間43分から7時間32分後、5℃到達は6時間8分から14時間後と大きな開きがあった。到達最低温度は-0.4℃で鹿児島での詰め替え以後は若干上昇したが2℃にまで上昇することはなかった。(図5)

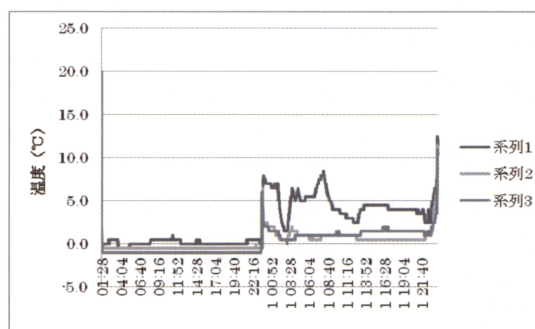


図3. 2月に搬送したクロマグロのエラ蓋表面(上面)の輸送中の温度変化

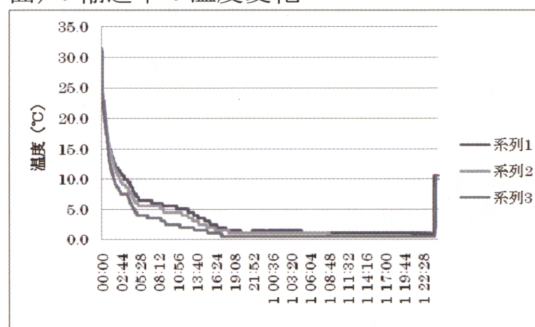


図4. 2月に搬送したクロマグロの表面から2cm内部の輸送中の温度変化

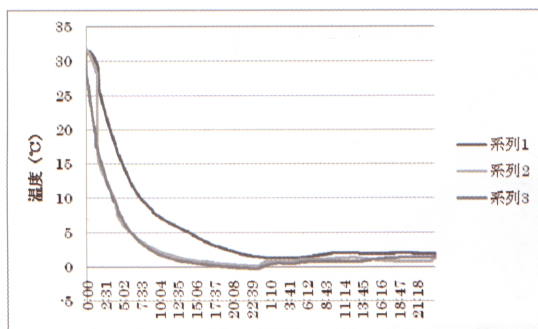


図5. 2月に搬送したクロマグロの中心部の輸送中の温度変化

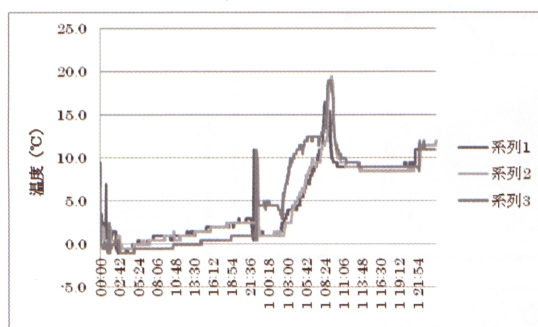


図6. 8月に搬送したクロマグロのエラ蓋表面(上面)の輸送中の温度変化

気温が高い 8 月は容器入れ替え後の温度が 2 月に比べて高い状態が長時間続くことが確認できた。(図6)温度が20℃付近に達したのは、大阪空港から奈良まで常温のトラックでの輸送した1時

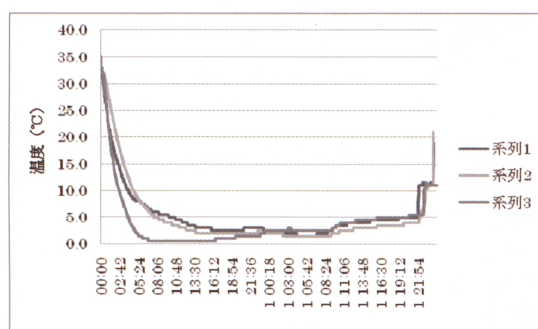


図7. 8月に搬送したクロマグロの表面から2cm内部の輸送中の温度変化



図8. 奈良到着時の状態
(上の写真;2月, 下の写真;8月)

間である。

表面から2cmの深さの肉温が10℃以下に下がったのは、2時間36分4時間38分で2月よりも最長で1時間22分遅くなっていた。5℃以下になるのは3時間52分から9時間48分であった。約20時間後までは水氷中での冷却であり季節による差はないと思われるが、初発の肉温が34℃前後あったことが影響していると考えられる。また、水揚げから約45時間経過した解体時の中心部の肉温5.2～7.5℃であった。奈良到着時の状態は図8に示した。

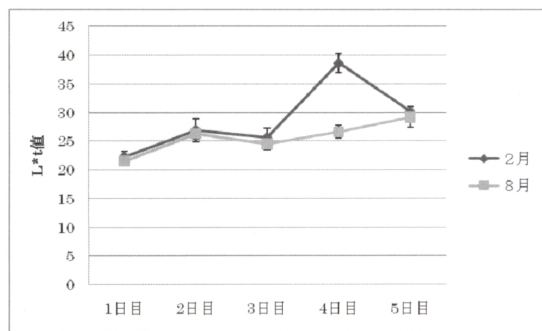


図9. 2月と8月のクロマグロのL*値の冷蔵中の変化

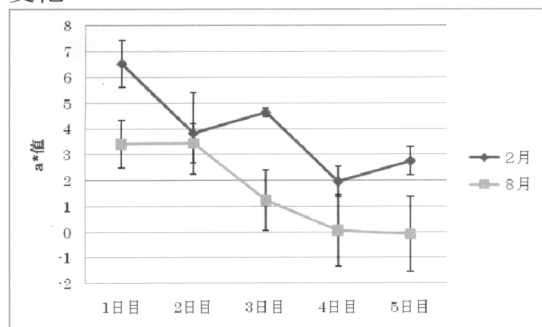


図10. 2月と8月のクロマグロのa*値の冷蔵中の変化

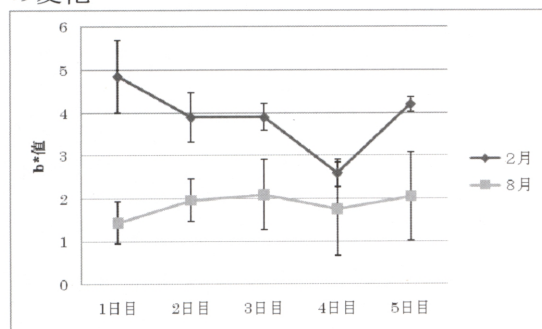


図11. 2月と8月のクロマグロのb*値の冷蔵中の変化

冷蔵(4℃)中の色調変化 2月と8月のクロマグロのスライス肉(背側の赤身部分)の4℃貯蔵中の色調変化をCIE表色系のL*, a*, b*値で表した。(図9～11)

肉色の明度を示すL*値は2月と8月は全く同じ挙動を示した。赤さを示すa*値は魚体サイズの違いがあったせいか2月の方が高い値であったが、

貯蔵中の低下はほぼ同じ傾きを示し、4日間でそれぞれ3.77と3.51の低下であった。黄色の変化を示すb*値は魚体が小さい8月の方が低い値であったが、貯蔵中の変化はそれほど大きなものではなかったが、2月は減少、8月は増加と逆向きの変化を示した。

肉温の低下速度は2月と8月で差が認められたが、最も温度低下が遅い背側赤身肉部分の冷蔵中の色調変化に違いはないと判断された。