

# 異なる温度のお湯を淹れた紅茶内の酸素濃度変化について

小栗一将

独立行政法人海洋研究開発機構

海洋・極限環境生物圏領域

海洋工学センター

## はじめに

酸素消光性色素を用いた酸素濃度や圧カイメージングは、近年めざましい発展を遂げ、様々な分野に適用されはじめている。本研究では、酸素イメージングの手法を食品に適用し、食品成分の評価に応用するという位置づけで、紅茶を対象にした酸素イメージングを試みた。紅茶は淹れるお湯の温度で味が変わり、そこに酸素が関与するという指摘があるが、化学的には確認されていない。そこで、まずは温度の異なるお湯で淹れた紅茶の溶存酸素濃度を測定した。本実験ではポット内の酸素濃度分布と、その時間変動を可視化した。また、95℃のお湯で淹れた場合に見られた、ポット内の茶葉がお湯の対流に乗って移動する現象の原因についても解明を試みた。本研究は、食品科学分野ではおそらく初めての酸素イメージング適用例である。

## 方法

紅茶の溶存酸素濃度を可視化するためには、センサの温度特性を知っておく必要がある。このため、まず高温での測定ができる電極(OX-50 改良品, Unisense)を使い、水が沸騰するまでの溶存酸素濃度を調べた。その結果、酸素濃度は水温の上昇とともに減少、沸騰前には 60 $\mu$ M 付近まで減少することが分かった。さらに、沸騰が始まると濃度は急激に減少し、10 $\mu$ M 以下となった。

次に、センサホイルの温度特性を測定するため、内壁にセンサホイルを貼った三角フラスコに水を入れ、窒素ガスをバブリングしながら加熱、センサを光励起し、燐光の発光寿命を測定した。センサホイルは、100 $\mu$ m 厚の PET フィルムに、白金オクタエチルポルフィリン(PtOEP)を含むポリスチレン(PS)をコーティングしたものである。結果は図 2 に示す。

紅茶内の酸素濃度を測定するための実験装置を図 3 に示す。ガラス製ポットの内壁に PtOEP-PS センサホイルをポリイミドテープで貼り付けた。ポットの注ぎ口に熱電対を入れ、実験中の水温を常時モニタした。ポットは校正やお湯を注ぐ時などの作業中に動かないよう、固定ガイドを用いて定位置に設置した。これによってカメラには Sensicam Sensimod (PCO)を用い、LED による励起光源や励起・撮影タイミングはパルス発生装置(自作)を用いた。実験では、ポットに茶葉(ウバ, 2グラム)を入れ、お湯を 700ml 注いだ。実験では 90, 95℃、そして 5 分間沸騰させたお湯をそれぞれ用いた。溶存酸素濃度の可視化には、燐光の酸素消光を利用した発光寿命計測法を適用した。また、センサの温度依存性を補正するため、温度変化に対する発光寿命の変化の測定によって得られた関係式を適用した。

## 結果

図 4 に、ポット内の紅茶の酸素濃度分布を示す。初期温度 90℃では、茶葉に気泡が付き、水面に移動した。紅茶の溶存酸素は減少したが、4.5 分経っても酸素は残った。溶存酸素の減少は、茶葉から抽出されるポリフェノール類の酸化によるためである。95℃では気泡のついた茶葉は一旦浮上するが、その後一部が沈降し、

対流に乗って水面とポット底面を往復した。茶葉のある部分で酸素濃度が減少し無酸素になったが、茶葉のない水中では、わずかに酸素が残った。5 分間沸騰させたお湯では、茶葉に気泡はつかず、すべてポット底面に移動した。溶存酸素量は初めから少ないが、酸素濃度の減少は紅茶の中で均質に生じ、2.5~3.0 分でほぼ無酸素になった。以上の結果から、淹れるお湯の温度と時間によって、紅茶の溶存酸素濃度とその分布は全く異なることが明らかになった。

また、95°Cのお湯を使った時のみ茶葉の移動が見られた理由として、温度に対して空気の溶解度が異なることが考えられる。沸騰～冷却時には溶解度が急上昇するため、茶葉に気泡がつかず浮力を失うが、95°Cでは、抽出されたポリフェノール類が酸素を消費するため酸素分圧が減少、茶葉に付く気泡の体積は縮小し、気泡の付いた茶葉とお湯の密度が近くなる。90°Cでは、95°Cに比べてポリフェノール類の溶出が少ないこと、空気の溶解度も高いことから、気泡は茶葉を沈めるほど小さくならなかったと予想される。

温度、酸素濃度と味については、本研究からは明白な関係を得ることはできない。しかしながら、紅茶の成分、その酸化物の量や比率が異なれば、温度の異なるお湯で入れた紅茶の味がそれぞれ異なることは十分に考えられる。今後、紅茶の成分やその酸化物、その他の物質の濃度などを測定することで、本研究で示された仮説を検証することが望まれる。

#### まとめ

酸素消光を利用した酸素イメージングによって、ポット内の紅茶の酸素濃度は、淹れるお湯の温度によって全く異なることが示された。

#### 謝辞

本実験は NHK-BS プレミアムで放送された科学番組「アインシュタインの眼 紅茶～“心地良い飲み”を味わう～」制作の一環として行われた。株式会社 T. イソブチカンパニーの磯淵猛氏には、実験のための茶葉を提供頂いた。株式会社グループ現代の荒木真澄、寺崎みずほ両氏には、実験に関するコメントを頂いた。ここに謝意を表します。

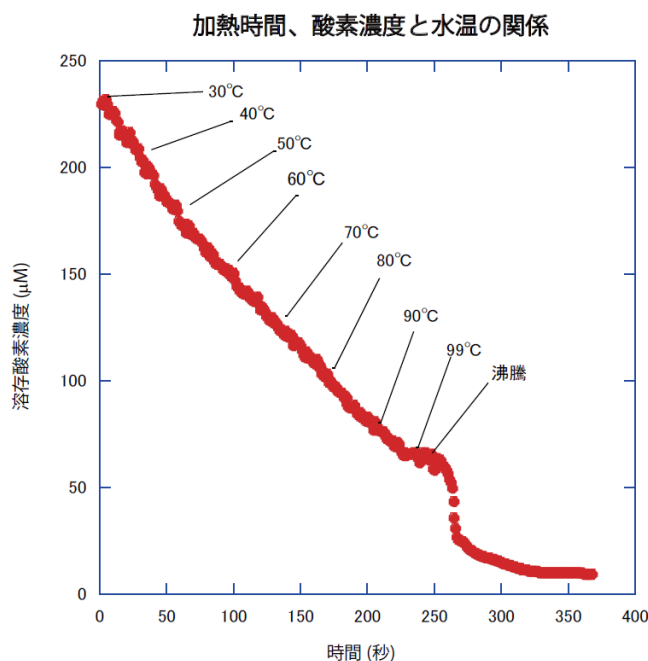


図 1: 水温を上げ始めてからの経過時間と溶存酸素濃度の関係。

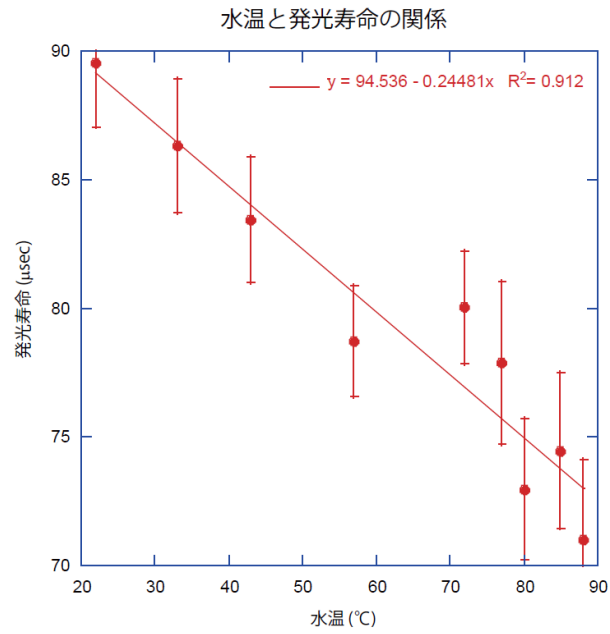


図 2: 水温と発光寿命の関係.



図 3: 実験装置. ポット内壁に貼りつけた PtOEP-PS センサホイルを緑色 LED で励起, センサホイルの燐光をカメラで記録する.

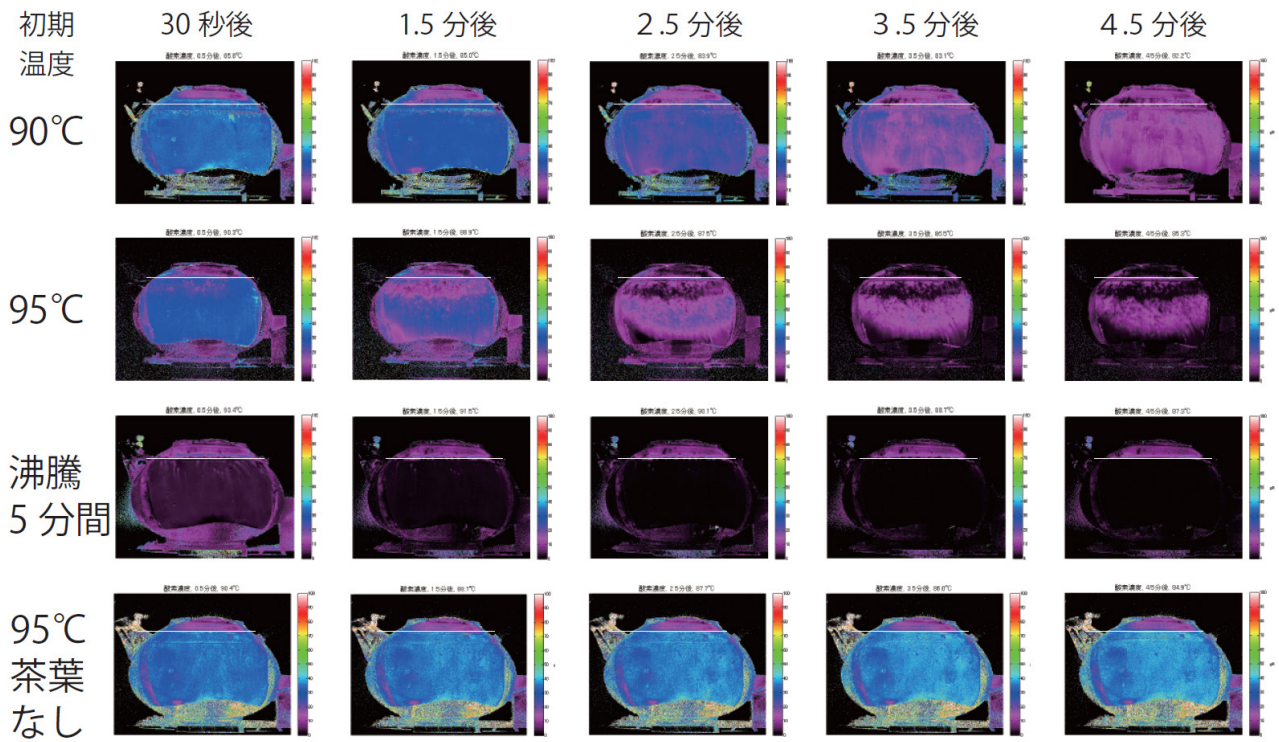


図 4: ポット内における紅茶の溶存酸素濃度とその時間変化. 一列目: 初期温度 90°C, 二列目: 初期温度 95°C, 三列目: 5 分間沸騰させたお湯, そして四列目: 初期温度 95°Cで, 茶葉なし(対照実験). 濃度を表す画像右側のカラーバーは%表記であり, 100%は水温 20°Cにおける水の飽和濃度(284 $\mu$ M)を示す.