

[B18] 生体成分の光による非侵襲測定に関する研究

知能機械工学科 山田研究室
0114025 北野正典

1. 緒言

腎不全の患者に対しては人工透析によって血液中の老廃物や水分を除去される必要がある。人工透析は血液中の赤血球やたんぱく質に対して非透過である半透膜を挟んで、一方に血液、他方に透析液を流すことで行われる。透析液は浸透圧の原理を利用して体中の成分を選択的に取り出せるようにその濃度が調節されている。しかし、透析の際に過剰に水分を除去すると脱水症状を引き起こす危険性がある。現在の水分量の測定は随時の体重測定や採血による血中水分濃度測定に依存しており、リアルタイムのモニタリングは難しい。

これらの背景を踏まえ、本研究では生体中の水分量を水に特有な吸収スペクトルを持つ近赤外光を用いてリアルタイムモニタリングする技術の開発を目指す。

2. 水分量の予測原理

水分量既知の試料に波長 900-1600nm の光を拡散反射することによって得られた吸光度スペクトルを多変量解析することによって、吸光度と水分量の関係を表す検量関数を求める。この検量関数に水分量未知の試料の吸光度スペクトルを代入することによって水分量を予測する。解析には多変量解析の一つである Partial Least Squares (PLS) 回帰分析を用いた。ここで、吸光度 A は入射光の強度を I_0 、反射光の強度を I_t とすると

$$A = \log(I_0 / I_t) \quad (1)$$

で表される。予測精度の評価は、水分量既知の試料に対して前述の方法で予測値を算出し、それを実測値と比較することによって行う。評価の指標には予測のランダム誤差を表す Standard Error of Prediction (SEP) を用いた。

3. 実験方法

3.1. 予測結果の評価のための水分量の実測

上述の水分量予測方法の生体への適用可能性を検証するために以下の実験を行った。試料として市販の鶏ささみ肉(以下、鶏肉)および牛ロース肉(以下、牛肉)を用いた。試料のうち一部は水分量を変化させるために試料表面を露出させた状態で冷蔵庫内にて乾燥させた。

鶏肉および牛肉にサンプリングチューブ(内径 4mm、肉厚 0.1mm、プラスチック製)を刺入することで一部分を採

取し、その部分を深さ方向に 5mm まで、1mm 間隔で切り分けて試料とし、それぞれの試料を電子天秤を用いて各試料の質量を測定した(図 1)。その後、カールフィッシャー水分計(Titrino787, Metrohm)を用いて水分量を測定し、試料の質量と水分量から水質量分率を求めた。カールフィッシャー水分計とは、水と選択的に反応を起こす試薬を用いて試薬の反応量から水分量を求める装置である。各部分のデータをもとに表面から深さ 5mm までの水質量分率の分布を作成した。1 つの試料内における水質量分率は一律であると仮定した。

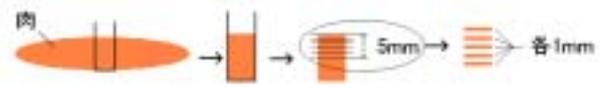


図 1 試料の採取方法

3.2. 光による水分量予測

鶏肉および牛肉の表面にファイバマルチチャンネル分光計(S-2750, 相馬光学)のファイバ部分をあて、波長 900-1600nm の範囲でスペクトルの測定を行った。吸光度を求めるためのリファレンスの測定は標準白色板を用いて行った。得られた吸光度スペクトルを図 2 に示す。

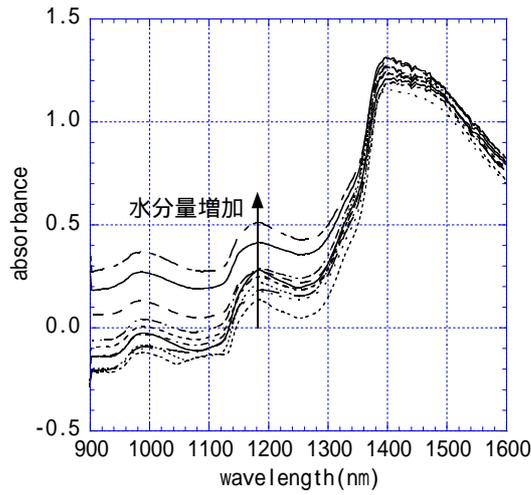
測定により得られた吸光度のデータを多変量解析ソフトウェア The Unscrambler (CAMO, Norway)を用いて、それぞれの試料における水質量分率に対して PLS 回帰分析を行った。波長 900-1600nm 間の 256 点の吸光度を説明変数、各試料の水質量分率を目的変数とした。試料数は鶏肉、牛肉各 11 個である。予測精度の評価には Cross Validation 法を用いた。各試料における水質量分率に対する予測精度を求め、光による水分量の予測がどの深さの水分量を反映しているかを調べた。

4. 結果と考察

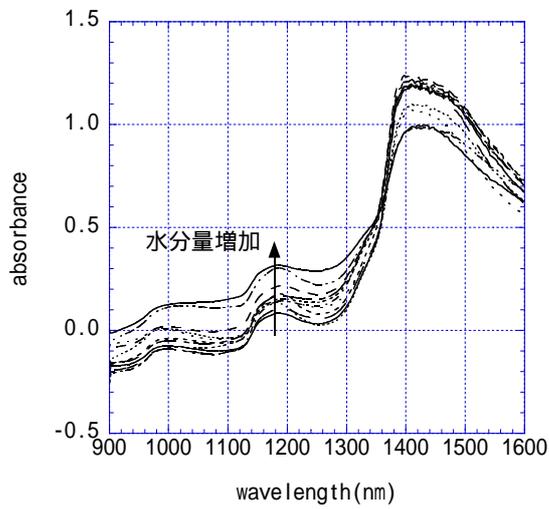
水質量分率の実測値と予測値を比較したグラフを図 3 に示す。解析の際はスペクトルに対しては特に前処理を施さなかった。

鶏肉の水質量予測は深さ 3-4mm の試料で SEP=1.84% と最も精度が良い結果が得られた。

一方、牛肉は深さと水分量の予測精度の間に明確な相関は得られず、また全体的な精度も良くなかった。深さ 1-2mm から 4-5mm までの各試料の SEP は 4.34% から 6.80% と比較的狭い範囲に散らばっており、水分計の測定



(a) 鶏肉



(b) 牛肉

図2 吸光度スペクトル

誤差も考慮すると精度が良い部分を特定できなかった。牛肉は水分、たんぱく質および脂肪を主成分としているため、水分とたんぱく質を主成分とする鶏肉より多くの成分を持っており、吸光度スペクトルに水分以外の成分がより大きく影響すると思われる。また本研究では水分量は深さごとの変化を考慮したが、他の成分は深さにかかわらず一定とした。しかし、実際の成分は一様分布ではなく、これが測定結果に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

5. 結言

生体中の水分量を近赤外光によって得られたスペクトルを用いて予測することが可能であることが分かった。しかし、生体中の試料成分の種類が多くなった場合や成分分布が一様でない場合の測定誤差を改善する必要がある。

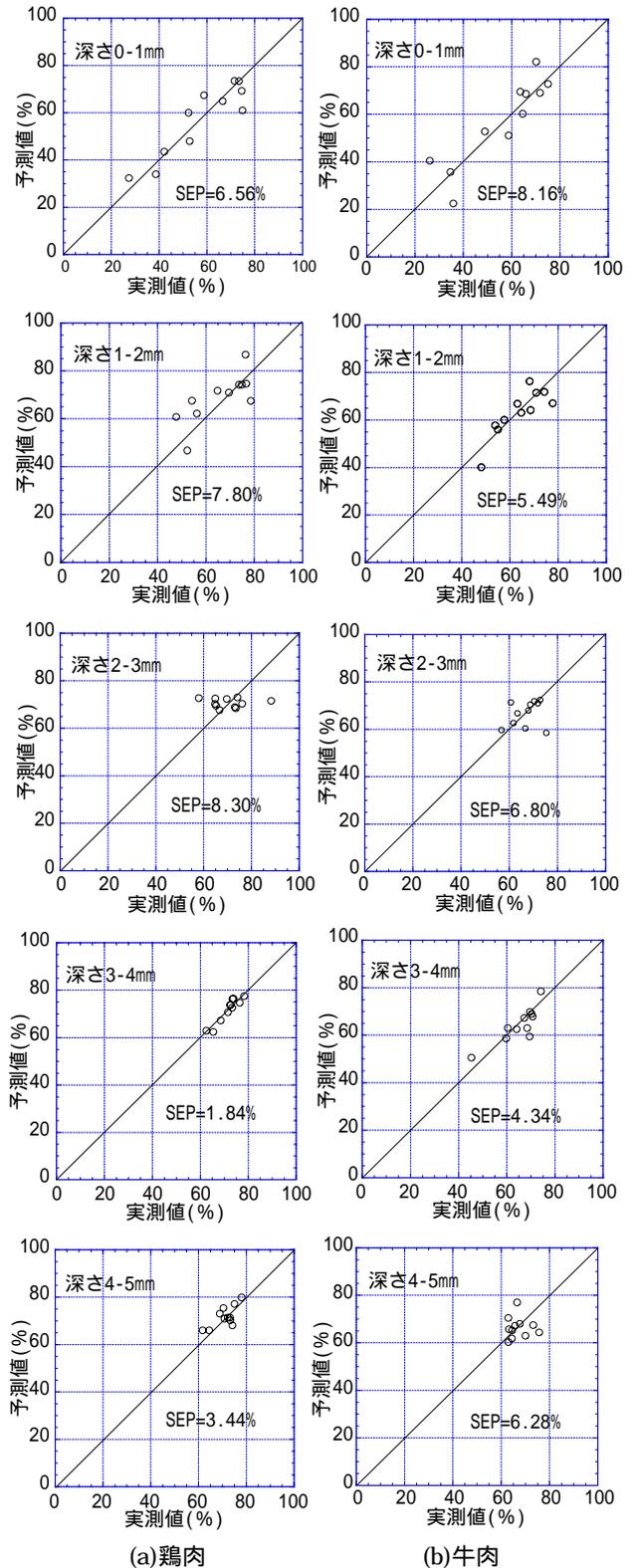


図3 水分量の実測値と予測値の比較

参考文献

- [1] 中村優一:「血液中水分濃度のリアルタイムモニタリング」(電気通信大学卒業論文、2002)
- [2] 尾崎幸洋、河田聡:「近赤外分光法」(学会出版センター、1996)
- [3] 宮下芳勝、佐々木慎一:「ケモメトリックス、化学パターン認識と多変量解析」(共立出版、1995)