

[B26] 近赤外光を用いた生体内部温度の測定

知能機械工学科 山田研究室
9914094 桃木 秀幸

1. 緒言

生体内部の情報を無侵襲かつ連続的に計測する手法として、近赤外光が注目されている。我々は、近赤外光領域における吸光度スペクトルが有する温度依存変化に着目し、無侵襲温度測定への応用を試みた。生体内部の温度を無侵襲に測定する技術としては、NMR（核磁気共鳴）やマイクロ波を用いた手法が研究されている。これらは主にハイパーサーミア（癌の温熱療法）や脳温度計測などへの適用が考えられている。これらの技術と比較すると、近赤外光を用いた手法は空間分解能や測定可能深度などで劣るものの、小型・安価なシステムが構築でき、体動を拘束しないために自由度の高い測定が行えると考えられる。

本研究は、単一成分の媒体に対し、近赤外光の透過または拡散反射により得られる吸光度スペクトルの温度による変化を測定し、多変量解析の一種である主成分回帰分析により温度推定のための検量線の作成・評価を行い、温度測定の可能性を調べることを目的とする。

2. 透過スペクトルからの温度推定

2.1 透過スペクトルの測定

透過スペクトルの測定は、UV-VIS-NIR 分光光度計 UV-3150(島津製作所)を用いて行った。試料としては生体の70%程度を占める水を用い、合成石英セル(光路長1mm)に入れて測定した。測定の基準となる参照側は空気とした。温度変化は循環水によって温度制御を行う恒温セルホルダを通して行われた。測定温度は20~45の範囲で1刻みに設定し、指定温度に到達後は5分間その状態を保ってから測定を行った。測定を行う波長域は比較的吸収が大きい800~1900nmとし、波長刻みは1nmとした。測定されたスペクトル例を図1に示す。

2.2 温度推定

温度変化が最大となる波長で単回帰分析を行ったところ、SEP（予測標準誤差）は0.13 となった。これに対し全ての波長を対象に主成分回帰分析を行ったところ、SEPは0.77 と悪化した。主成分得点(図2(a))をみると、温度変化情報の大部分は第1主成分に集中しているものの、第2主成分との相関が見られた。そのため、第2主成分に誤差要因が含まれているものと考えられた。そこで、ローディング(図3)を見てみると、第1主成分のローディングが差スペクトルに対応しているのに対し、第2主成分のローディングは1900nm付近に集中していることがわかる。この部分を除外して主成分回帰分析を行ったところ、SEPは0.13 に改善した。この影響は図2(b)のように主成分得点

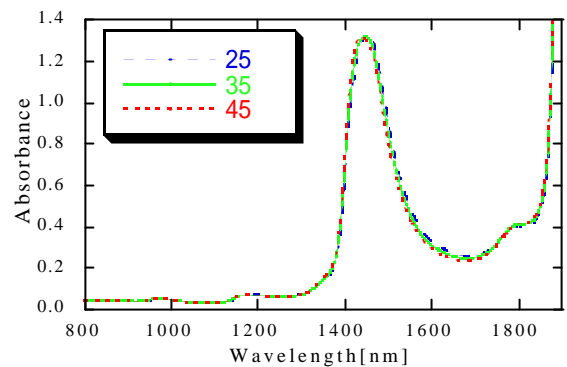
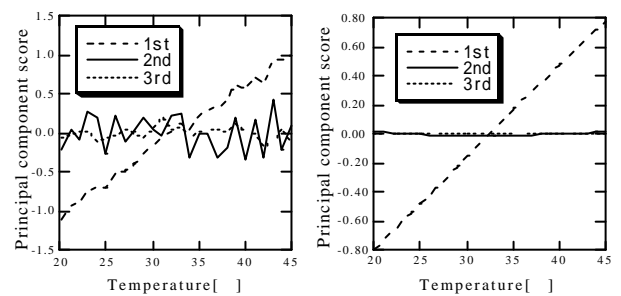


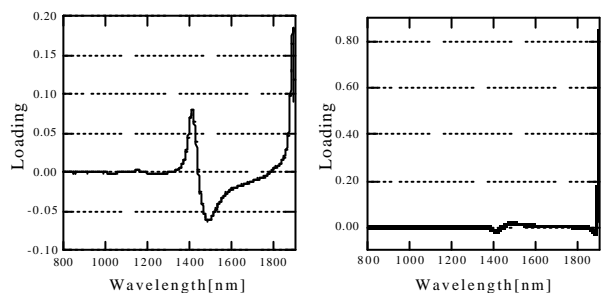
図1 測定された水の透過スペクトル



(a)波長選択前

(b)波長選択後

図2 主成分得点の変化



(a)第1主成分のローディング

(b)第2主成分のローディング

図3 透過スペクトルの主成分分析におけるローディング

にも現れた。

水の吸収バンドは波長幅の近い小さい吸収バンドが重畳している。それぞれのバンドを分解するために2次微分スペクトルをとり、そのピーク波長（2点）に対して主成分回帰分析を行ったところ、SEPは0.10まで改善した。

3. 拡散反射スペクトルからの温度推定

3.1 拡散反射スペクトルの測定

拡散反射スペクトルの測定は、光ファイバマルチチャネ

ル分光光度計 FiberSpec S2750 (相馬光学) を用いて行った。試料としては、生体模擬試料としてよく用いられるイントラリピッド溶液(Fresenius Kabi)の濃度 2、5、10、20% の溶液をそれぞれ作成し用いた。試料をピーカーに入れ、恒温槽に浸して温度を変化させた。測定温度は 20~45 の範囲で 5 刻みに設定した。測定波長は 900~1600nm とし、波長刻みは約 3nm とした。測定されたスペクトル例を図 4 に示す。2% イントラリピッド溶液の測定結果は、波長 1400~1500nm にて測定限界を超えてしまったため、後の分析対象からは除外した。

3.2 濃度毎の温度推定

表 1 に示すように、水の透過スペクトルからの結果と比べて SEP は全般的に大きくなった。また、試料毎のばらつきも目立った。これは、複雑な成分を分離するには試料数がイントラリピッド溶液の濃度あたり 6 個ずつと少なく、また単一濃度では散乱特性にあまり変化が現れないために、上手く主成分に分解できなかったと推測される。

表 1 濃度毎の温度推定結果

濃度	SEP[]	Bias[]
5%	0.32	6.49×10^{-2}
10%	0.73	7.73×10^{-2}
20%	0.56	3.54×10^{-2}

3.3 全ての試料を用いた温度推定

全ての試料を対象とした主成分回帰分析の結果、SEP は 1.05 となった。このときのローディング(図 5)を見ると、スペクトルがおおまかに散乱と吸収とに分解されているものの、主成分得点(図 6)があまり優れていないことが伺えた。そのため散乱による影響を示していると考えられた第 1 主成分と第 2 主成分を両軸にプロットしたところ、明らかに外れ値と考えられる試料が見られた。それらを除いて再び主成分回帰分析を行ったところ、SEP は 0.56 まで改善した。このとき主成分得点(図 7)には温度と濃度への依存性が見られた。

4. 結言

本研究では、水の透過スペクトル及びイントラリピッド溶液の拡散反射スペクトルから主成分回帰分析を用いた温度推定を行った。主成分分析により、複雑なスペクトルの変動を吸収や散乱、測定誤差といった異なる変動要因に

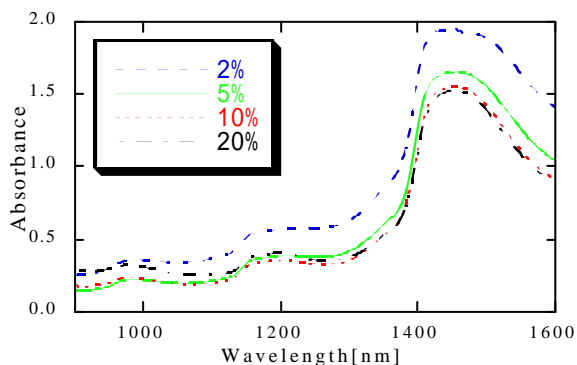
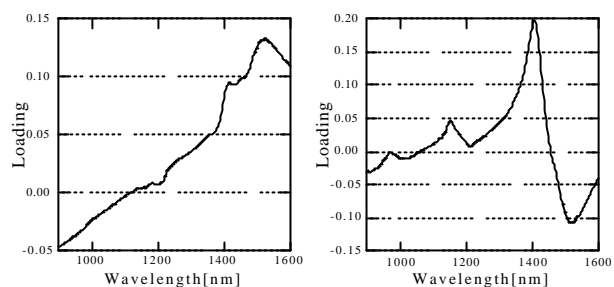
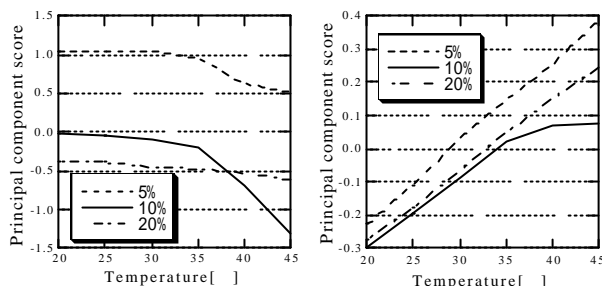


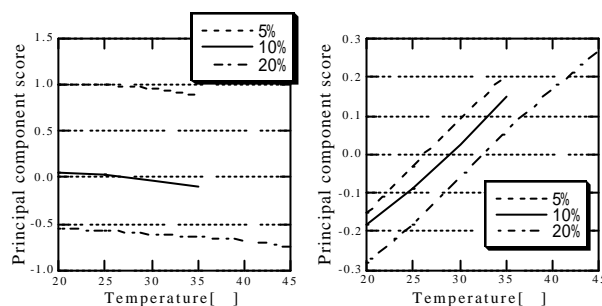
図 4 30 における各濃度の拡散反射スペクトル



(a) 第 1 主成分のローディング (b) 第 3 主成分のローディング
図 5 拡散反射スペクトルの主成分分析におけるローディング



(a) 第 1 主成分 (b) 第 3 主成分
図 6 拡散反射スペクトルの主成分分析における主成分得点



(a) 第 1 主成分得点 (b) 第 3 主成分得点
図 7 試料選択後の主成分得点

分解することが可能であった。水の透過スペクトルからは、2 次微分スペクトルと主成分回帰分析を併用することで測定精度と同等の温度推定が可能であった。しかし、散乱を含む拡散反射スペクトルからの温度推定では十分な精度を得ることができなかった。今後更なる精度を得るためには、条件が異なる多くの試料による測定結果が必要である。

参考文献

- (1) 山田幸生, 高橋ゆかり: 「医学・生物学における光と生体組織の相互作用および光によるイメージング」, 機械技術研究所所内報 Vol.49 No.1, 1-31 (1995)
- (2) Veroniva S. Hollis, Tiziano Binzoni, David T. Delpy: " Non-invasive monitoring of brain tissue temperature by near-infrared spectroscopy ", Proceeding of SPIE Vol.4250, 470-481 (2001)
- (3) 岩元睦夫, 河野澄夫, 魚住純: 「近赤外分光法入門」, 幸書房 (1994)
- (4) 尾崎幸弘, 川田聡 編: 「近赤外分光法」, 学会出版センター (1996)
- (5) 川口至商: 「多変量解析入門」, 森北出版 (1973)
- (6) Tamara L. Troy, Suresh N. Thenradil: " Optical properties of human skin in the near infrared wavelength range of 1000 to 2200 nm ", Journal of Biomedical Optics Vol.6, No.2, 167-176 (2002)
- (7) Hugo J. van Staveren, Christian J. M. Moes, Jan van Marle, Scott A. Prahl, and Martin J. C. van Gemert: " Light scattering in Intralipid-10% in the wavelength range of 400-1100 nm ", Applied Optics Vol.30, No.31, 4507-4514 (1991)