

| | | | |
|---------|----------------------------------|-------------|--|
| 氏名・(本籍) | 濱 村 良 紀 (大阪府) | | |
| 学位の種類 | 工 学 博 士 | | |
| 学位記番号 | 工博甲第 45 号 | | |
| 学位授与の日付 | 平成元年3月22日 | | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第1項該当 電子科学研究科 電子応用工学専攻 | | |
| 学位論文題目 | 体内温度無侵襲計測用多周波ラジオメトリに関する研究 | | |
| 論文審査委員 | (委員長) 教授 池 田 弘 明 | | |
| | 教授 水 品 静 夫 | 教授 柿 元 章 | |
| | 教授 助 川 徳 三 | 教授 岡 本 尚 道 | |
| | 助教授 篠 原 茂 信 | 助教授 杉 浦 敏 文 | |

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、人体内部の温度分布を無侵襲測定する技術を開発することを目的としている。無侵襲体内温度計測法はハイパーサーミア（癌温熱療法）の分野で渴望されている技術で、ハイパーサーミアだけでなく広く医療全体に有益な情報を提供できる。ハイパーサーミアでは、正常組織の温度上昇を極力抑えながら、腫瘍部分を42.5～45℃に加温して治療を行なう。このために、治療中に体内温度分布を計測しなければならない。現在は、熱電対やサーミスタ、光ファイバなどの温度計プローブを体内に刺入して計測しているが、細菌感染や転移誘発の危険があり、また、センサを体内に刺入することは、患者にとって大きな負担となるので測定点の数が限られ、十分な測定ができない。

無侵襲温度計測法はマイクロ波、超音波、NMRなどを使用する方法が提案され、いくつかの具体的な方法が研究されているが、生体組織の物理的特性やその構造の複雑さのために非常に困難な問題が多く、いまだ実用技術開発の見通しがほとんどたっていないのが現状である。これまでに提案された方法の中では、多周波マイクロ波ラジオメトリの研究が最も進んでいる。

多周波マイクロ波ラジオメトリでは、生体の発する熱輻射電波を、マイクロ波領域の複数の周波数帯で受信して生体の輝度温度を測定する。輝度温度は体内の温度分布に関する情報を含んでいるので、適切に解析を行えば、生体中の温度分布を推定することが原理的に可能である。ラジオメトリによって体内の3次元温度分布を推定する過程では、体表からの深さ方向の温度分布を推定することが原理

的に最も難しい。そこで、本研究は体内の深さ方向の温度分布を無侵襲計測する技術を開発することを目的とした。

本研究では、まず、生体組織モデルに基づいて生体中の電波の伝搬を解析し、温度分布を輝度温度に結びつける関係式を導出する。多周波ラジオメータの輝度温度から体内温度分布を推定することは逆問題である。ラジオメータの観測周波数は空間分解能と体内の電波浸透距離とのかねあいから0.5～5 GHz 程度に限られ、各々の周波数帯は輝度温度分解能を確保するために帯域幅を広くとるので独立な測定は3～6個となる。更に、体内での電磁波の伝達関数は指数関係であることから、この逆問題はill-conditioned inverse problem であり、通常の方法で安定して解を得ることは難しい。本研究では未知の体内温度分布に温度分布モデル関数をあてはめる方法を採用する。この方法は解の一般性は犠牲になるが、安定した解を得ることができる。温度分布モデル関数を用いた場合、体表から奥に行くにしたがって単調増加していく温度分布は3周波による測定をもとに推定できる。5周波で測定を行えば、加温の結果体表付近になだらかなピークが生じている温度分布を推定できる。

ラジオメータによる測定結果は測定器の発するランダムな雑音を含んでいて、その標準偏差は輝度温度分解能によって与えられる。この雑音による輝度温度測定誤差は体内温度分布推定に影響し推定結果に大きな誤差を生む可能性を持つ。そこで、輝度温度測定誤差と体内温度分布推定結果の関係を統計的に検討し、体内温度分布推定結果の確からしさを、与えられた信頼度の信頼区間として得るデータ解析法を開発した。また、温度分布関数のあてはめ誤差についても検討しフィットネスパラメータを導入することにより、温度分布関数と未知温度分布とのあてはめの良さについて知ることができる。

多周波ラジオメトリにより体内温度分布を無侵襲計測できることを実証するために、3周波または5周波で観測を行なう1～4 GHz 多周波ラジオメータシステムを開発した。システムはパーソナルコンピュータで制御され、測定及びデータ解析は自動的に行なわれる。筆者はラジオメータシステムの開発にあたってパーソナルコンピュータによる計測の自動化を主に担当した。ラジオメータシステムの輝度温度分解能は実測値で0.05～0.1Kを得た。

ラジオメータの輝度温度分解能をもとに計算機シミュレーションを行ない、多周波ラジオメトリによる体内温度分布推定の精度について検討した。シミュレーションの結果、1～4 GHz における5周波計測により生体内部温度分布を深さ5 cmまで±2 Kの精度で推定できることがわかった。また、ラジオメータシステムの輝度温度分解能はシステムの改良によって0.03Kに向上させることが可能であると考えられる。このときには、深さ5 cmまで±1 Kで、深さ7 cmまで±2 Kで推定できるようになることがわかった。

1～4 GHz ラジオメータシステムと体内温度分布推定のためのデータ解析法を用いてファントム（疑似生体）と動物に対して温度分布測定実験を行なった。厚い脂肪層をもつ豚肉ファントムと、うさぎの腹部を3周波で測定した。また、寒天ファントムに2450MHz 電磁波を照射した結果、内部に高温部分が生じている寒天ファントムの温度分布を5周波で測定した。いずれの測定結果においても、多周波ラジオメトリによる温度分布推定は、比較のための熱電対や光ファイバプローブによる測定との良い一致を示した。

実験とシミュレーションの結果から、多周波ラジオメトリを用いて生体内の深さ方向の温度分布を±1 Kの精度で約5 cmの深さまで計測する技術を実用化する見通しを得た。今後、加温器との相互作用について検討を行い加温しながら体内の温度分布を測定できるようにすれば、多周波ラジオメトリによる無侵襲体内温度計測はハイパーサーミアの臨床において十分に実用になると考えられる。