

マイクロ波による聴覚刺激*

望月 篤子・斎藤 正男**

(東京大学医学部医用電子研究施設)

1. はじめに

直流からサブミリ波に至るまで、電磁界が我々人体に作用する機会が多い。積極的に医療に利用しようとする立場、あるいは、その害を一定限度に抑えようとする環境問題の立場など、様々な面から電磁界の生体作用についての関心が高まっている。医療や特殊な環境だけでなく、放送・通信システムにおける高出力電波機器、宇宙空間での太陽発電における高レベルのエネルギー伝送システム、すでに実用化に近い高電圧送電などを考えるとこの種の問題は近代社会生活一般に関係する極めて重要な検討課題になりつつある。

マイクロ波の生体への作用については、主として米国で、第二次大戦後、超強力なレーダの出現に伴い、現場作業員や周辺住民に対する安全性の見地から、広範囲にわたる研究機関で、生体物性から動物実験に至るまで、様々な研究がなされた¹⁾。この成果は今日の研究の基礎となる重要なものであり、これを背景に安全基準も決定された。それによれば、マイクロ波の作用は大部分は熱によるものと考えられている。しかし、熱以外の作用があるという主張もある。その一つが聴覚刺激作用²⁾である。これはマイクロ波がブンブンといった可聴音として知覚されるものであり、平均電力密度数 mW/cm^2 という低レベルのパルス変調波により生じるという。この作用に関する研究は長い間、単なる現象の記述に止まっていた。作用機序としては一時、神経への直接刺激が考えられたり、また、電界の直接力が働くためとする仮説³⁾が提案されていた。最近、これら種々の仮説が理論的に検討され、作用機序の解明に新しい局面が開かれた。

本文ではまず広範囲にわたるマイクロ波の生体作用のごく概略を説明し、次にマイクロ波による聴覚刺激に関する最近の研究について解説する。

2. マイクロ波の生体作用

2.1 生体の電気的性質⁴⁾

生体組織の電気的特性は広い周波数帯にわたって測定

されている。生体組織は非磁性と考えるとよく、導電率と誘電率については周波数特性と組織別の差異がある。

導電率、誘電率の周波数特性は、各組織とも同様で、図-1のような傾向をもつ。低周波域での誘電率は非常に大きく、また、数 10 Hz, 数 MHz, 約 20 GHz の各周波数付近において、誘電率の減少、導電率の増大が同時に起こる現象がみられる。これは α , β , γ 分散と呼ばれる。

電気的特性から組織を分類すると、(1)血液など細胞密度の比較的低い液質。(2)筋など細胞密度が高く、含水量の多い組織。(3)骨、脂肪など含水量の少ない組織に大別される。表-1 に夫々の摘出組織を用いての実測データを示す。

以上の巨視的な電気的特性が定まる機構については、微視的には生体組織液の性質と細胞構造から説明される。

生体組織は、種々のイオンを含む電解液である細胞内外液の間を、薄い絶縁性の膜である細胞膜が隔てた状態で、これが多重の層構造を成していると考えられる。低周波域で誘電率が高いのは、薄い細胞膜の両側に電気的二重層がつくられるためである。 α 分散の領域に入るとイオンの集散が電界の変化に追従できず、この分極現象が起こらなくなり、見かけ上誘電率が減少する。しかし、 β 分散より低い周波数域では膜のインピーダンスが非常に大きいため電流は細胞間隙を流れる。このため、組織全体としては依然として誘電率は可成り大きい。 β 分散の領域より高い周波数では膜は電気的に短絡されてしまい、組織全体の性質は細胞内外液のものと同じになる。 γ 分散は細胞内外液中の水分子の分極の緩和現象によるものである。

2.2 熱的作用

2.1 節で説明したように、マイクロ波領域の電磁界では細胞膜に対する刺激作用はほとんどなく、ジュール熱による温度上昇が主な生体作用と考えられる。従って体内各部での熱発生の分布と温度上昇の許容度が問題とされる。生体に入射したマイクロ波は反射、屈折、散乱、共振など複雑なふるまいをしながら、そのエネルギーを熱に変換しつつ減衰していく。この様子は図-1, 表-1 のような電気的性質のデータを採用して理論的に計算する

* Microwave auditory effects.

** Atsuko Mochizuki and Masao Saito (Institute of Medical Electronics, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, 113)