

## 岩石破壊によるマイクロ波発生のメカニズムについて

### On the Mechanism of Microwave Emission due to Rock Fracture

高野 忠<sup>1\*</sup>, 池田 博一<sup>2</sup>, 前田 崇<sup>2</sup>

tadasi takano<sup>1\*</sup>, Hirokazu Ikeda<sup>2</sup>, Takashi Maeda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本大学および宇宙航空研究開発機構, <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup>Nihon University and JAXA, <sup>2</sup>JAXA

岩石に圧縮力を加え破壊する際マイクロ波が発生することが、室内実験により世界で初めて発見された。周波数は、300MHzと2GHz、22GHzであった。観測された波形はパルス状で、各包絡線の中にその周波数成分を含んでいる。このような高い周波数においては、電磁波電力を放射界として測定できるので、発生エネルギーを精度良く校正できる。その結果、かなりの電力が発生していることが明らかになった。このマイクロ波は、超高速衝突においても観測されており、物質が破壊される時一般的に発生するようである。地震や火山噴火の自然現象においては、岩石が破壊されたり擦れあったりするので、このマイクロ波も発生していると予想される。このことを実証して見せるため、三宅島において火口岩壁の崩落によるマイクロ波で観測することにした。火山の観測は地震と異なり、場所と時間の不確実性を除くことができるので、実験の確実性あるいは費用対効果の点から望ましい。その結果、崩落と強い相関を持ってマイクロ波が観測された。さらに我々は、リモートセンシング衛星が取得した輝度温度データを解析した。すると大地震（四川地震やスマトラ地震）や大噴火（Reventador山やChaiten山）の際、上空を飛んでいた衛星のデータから、マイクロ波発生が裏付けられた。以上の現象論的な成果が多いのに対し、マイクロ波の発生原因については、まだ研究が進められていない。

以前から物質破壊実験に伴って、低周波での電磁気信号が報告されている。例えば、数100kHzの放射やパルスの電気雑音が検出されている。また30GHzまでの高い周波数の発生が示唆されているが、確認するには至っていない。信号発生の原因については、圧電現象、接触電位差、微小亀裂、エキソ電子等による電荷蓄積、荷電粒子の移動が提案されている。しかし、これらでは、nsec程度の変化が起こることは説明できておらず、マイクロ波発生は考えにくい。また地震予知に絡んで、種々の電磁気現象が検討されている。例えば、地電位の異常（VAN法）、数Hz～数kHzの伝搬異常・電波発生、FM波（数10MHz）の伝搬異常や発生、などが報告されている。これらは実験的裏付けが無いものも多いが、確かな現象として認められている事例は幾ばくかの真実を含んでいると思われる。しかしこれらもnsec程度の時定数を有するとは考えにくい。結局直流あるいは極低周波数の電位変化を、GHz程度の周波数に変換するメカニズムが必要である。似た現象としては、岩石破壊に際し光が発生すること、さらにはビニルテープを急激に剥がす際にも同じことが起こることが、古くから知られている。

本論文では、これまで得られたデータを見直し、かつ超高速衝突による物質破壊に関する研究と突き合わせて、マイクロ波発生のメカニズムについて検討する。解析に先立ち我々は予備実験として、金属通しをぶつけるだけで破壊に至らなくても、微弱ながらマイクロ波が発生することを確かめた。次に、我々が想定しているマイクロ波発生のメカニズムについて、述べる。簡単のために、単一の原子で構成された物質を考える。この原子に束縛されている電子は、急激な圧縮や引っ張りにより機械的エネルギーを供給されて、励起され飛び出した後、元のイオン化した原子と再結合し電磁波を発生する。この場合励起エネルギーは、物質の仕事関数より大きいことが必要である。例えば、Alの仕事関数は4.3 eVであり、赤外線に相当しマイクロ波にならない。また遷移する準位に対応して、発生波長は一定になるはずである。ただし、物質の表面準位や不純

物準位が、フェルミ準位より上にあれば、そこからの励起エネルギーは少なくてもよい。次に電子が励起された結果、上記のように電子が飛び出さないにしても、空間的に電圧分布が生じ放電に至ることが考えられる。例えば物質の破壊直前に、物質に微小亀裂が入ることを考える。亀裂に面した原子に束縛されている電子は、それまで結晶内部の原子周りで量子化されたエネルギー準位にあったのに、突然表面原子あるいは孤立原子のエネルギー準位に変わる。そのため、電子は電位が急に変化する。隣り合った原子通しはその半径以上離れた状態が亀裂とすれば、微小亀裂の間隔は0.1 nm程度となる。そのような極狭い亀裂を挟んで電圧が変化するので、放電するのである。次に、原子の集合体が上記のように機械的に励起された後、下のエネルギー準位に落ちるため、電磁波を放出することも考えられる。すなわち、分子量数万あるいはそれ以上の破片が、回転や併進運動を起こす。運動は量子化されるので、準位間のエネルギーを放出するが、分子量が大きいとエネルギー準位はほぼ連続的となる。以上のモデルに対し、圧縮や衝突により物質が破壊された時のマイクロ波発生状況を当てはめて、検討する。

キーワード:圧縮破壊,衝突破壊,地震探知,火山活動監視,電子励起,放電

Keywords: compression fracture, impact fracture, earthquake detection, volcanic activity monitoring, electron excitation, discharge