

論文題目

# マイクロ波衛星観測データ解析システムの構築と それに基づく地震・火山噴火探知の研究

氏名 前田 崇

## 1. 本研究の目的

我々の研究室では、実験室環境で岩石を静圧破壊した際に、マイクロ波(300MHz, 2GHz, 22GHz) が放射されることを世界で初めて確認した。この実験結果は、岩石の破壊を伴う自然現象である火山噴火や地震の際にも同様の現象が起こっていることを示唆している。特に地震については、地震に関連して各種電磁放射が観測されたという報告は多数あるものの、その電磁放射の発生が実験的に示されているものは少ない。

このような状況の中、我々の研究室では岩石破壊実験の結果に基づいて、実際の地震に伴う岩石破壊でどの程度のマイクロ波が放射されるのかについてモデルを構築し、そのマイクロ波を衛星で検出可能という検討結果を得た。本研究では、実際に運用されている衛星に搭載されたマイクロ波受信機のデータを解析することによって、地震関連マイクロ波の抽出を試み、この検討結果の妥当性を検証することを第一の目的とする。

ところで、一般に衛星によって得られたデータは規模が非常に大きいためコンピュータによって解析される。従来であれば、システム構成は非常に複雑となり、時間的、経済的に高い開発コストを要した。しかしながら、昨今のコンピュータ技術の飛躍的な進歩を考慮すると、衛星データ解析システムをパーソナルコンピュータ上にオープンソース、ライセンスフリーのソフトウェアで構築しても高度なデータ処理を実現することは可能である。しかも、このシステムの開発コストは劇的に抑えられる。本研究では、この思想の実践を通して、低コストで高度なデータ処理を行う衛星データ解析システムを構築することを第二の目的とする。

## 2. 本研究の背景

論文ではまず初めに、本研究の背景となっている地震に関連する電磁放射(地震電磁気現象) 研究の現状を述べる。現在行われている地震電磁気現象の研究は、主に、地電位差観測、ULF(300Hz~3kHz) 帯における地磁気観測、VLF(3~30kHz)~HF(3~30MHz) 帯の自然電磁放射観測、電離圏擾乱観測の4つの系統に分類できる。いずれの系統においても、ケーススタディとして、観測結果と地震との因果関係を主張している研究は多くある。しかし、複数の研究で得られた結果を連携させて、地震電磁気現象を統一的に理解するには程遠い状況にある。その原因の一つとして、地震電磁気現象のメカニズム(電磁放射が発現するメカニズム、電磁放射が電離圏を擾乱させるメカニズム) にまだまだ不明点が多いことが挙げられる。このため、最近ではメカニズムを説明するための種々のモデルが提案されるようになってきているが、どれも仮説の域を越えず、確証を得るには至っていない。

また、地震は発生場所の予測が困難であるため、地震電磁気現象の観測には地球全体を観測領域とする人工衛星が用いられることも多い。ただ、従来の衛星観測では取り扱っている周波数が低い(VLF 帯以下) ため、地震に関連する電磁放射を直接観測するのではなく、その放射による電離圏の擾乱を観測しているという意味合いが強い。電離圏の擾乱もまた、まだ完全に理解された現象ではない。すなわち、全く理解できていない地震電磁気現象を、完全に理解できていない電離圏の擾乱を通して観測していることになってしまっているため、観測結果と地震との因果関係の不確実性は、地上観測よりも更に増大してしまうことになってしまっている。ただ、従来の地震電磁気現象の衛星観測で取り扱われてきた周波数帯が比較的低いということにも一応の理由はある。それは、地中で発現する地震関連の電磁放射が地表まで伝搬するには、表皮効果の問題から低い周波数帯の電磁波の方が有利だと考えられてきたからである。

一方、航空機や人工衛星などに搭載したセンサを用いて観測対象物から放射される微弱な電磁波を捉え、観測対象物に関する様々な情報を得るリモートセンシングなる技術がある。人工衛星でリモートセンシングを行う場合は、VHF(30~300MHz)~マイクロ波(300MHz~30GHz)~ミリ波(30~300GHz) 帯の電波(電波の窓)、あるいは可視・赤外域(光の窓) の電磁波を用いるため、電離圏よりも下の領域で起こった現象を直接観測できる。すなわち、地震電磁気現象の観測に人工衛星によるリモートセンシングが応用できれば、地球全体にわたって、地震に関連する電磁放射を直接観測することが可能になる。既に我々の研究室で行った実験で、岩石を静圧破壊した際に、マイクロ波が放射されることが確認され、実験結果を踏まえて構築したモデルによって地中で発現した地震関連マイクロ波が、衛星でも検出可能であるという結果が得られている。ここに、衛星観測で得られたマイクロ波のデータを用いて地震電磁気現象を捉える環境が整った。

## 3. 科学衛星Sバンド受信系データの解析

まず我々は、(独) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部(ISAS) が過去に打ち上げた複数の科学衛星に搭載されているS 帯(2GHz 帯) 受信機の受信レベルデータを解析するシステムを構築した。この受信機は本来、地上局との通信のために供されるが、受信機は衛星が打ち上げられてから運用が終了するまで稼動し続けているため、地上局との通信を行っていない間に地震関連マイクロ波が受信されている可能性がある。データ解析の結果、いくつかの地震に関

連するとして切り出された受信レベルデータの中に、地上局との通信時とは明らかに異なる変化を示すものが見出された。この変化の原因を追求するには更に深い解析を要するが、通信機器として求められる性能(狭帯域、広いビーム幅)が観測機器として求められる性能とは相反していることもあり、それも現時点では困難である。このため、現時点ではデータ解析結果から地震との直接的な因果関係を認めるには至っていない。

#### 4. マイクロ波放射計AMSR-E 観測データの解析

一方、リモートセンシング衛星Aqua に搭載のマイクロ波放射計AMSR-E が(独)宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター(EORC)によって運用されている。AMSR-E はれっきとした観測機器であり、AMSR-E によって観測される周波数帯には岩石破壊実験でマイクロ波が観測された周波数帯が含まれている。このことから我々は、解析の軸足を測定機器であるAMSR-E のデータ解析に移し、そのためのシステムを構築した。

AMSR-E データの解析にあたっては、より効率的に地震関連マイクロ波の検出を図るために、前出の解析よりも明確な方針の下で解析を進めた。その方針とは以下の3 つである。

1. マグニチュードがより大きく、より浅い陸地を震源とする地震を優先的に解析する。
2. 夜間(降交軌道時)に観測されたデータを選択的に抽出する。
3. 地震関連マイクロ波が検出される可能性が最も高い周波数帯(18.7GHz)を重点的に解析する。

地震関連マイクロ波を衛星で検出しようとする場合の最大の不確定要素は地中でのマイクロ波の減衰である。1 の解析方針によって、この不確定要素が観測データに及ぼす影響をできる限り抑える。また、昼間の観測データには地表面で反射した太陽光の影響が含まれてしまう可能性が高い。このため2 の解析方針によって、この影響を排除する。AMSR-E の観測周波数は6.9、10.65、18.7、23.8、36.5、89GHz である。一方、岩石破壊実験でマイクロ波が検出された周波数は0.3、2、22GHz である。従って両者を比較すると、6.9、10.65、18.7GHz の観測データに地震関連マイクロ波が検出される可能性があることになる。ところが、6.9、10.65GHz の周波数帯は、我々の社会活動によって様々な用途(通信、放送)に広く使用されていることから、これらの観測データには強い電波干渉が含まれる場合があり、18.7GHz の観測データが最も優位である。3 の解析方針はどの周波数の観測データを最初に解析するべきかを示す。

こうして明確な解析方針を打ち立てたものの、地表面から放射されたマイクロ波は、AMSR-E に届くまでの間に様々な自然現象(土壌水分、雲水、降水など)の影響を受けて観測データが揺らいでしまうため、実際にAMSR-E の観測データで地表面からのマイクロ波放射を推定するには、なお数々の困難があった。しかし、様々な試行錯誤の末に構築した観測データの処理方法によって、遂にいくつかの地震・火山噴火発生時にのみ、発生位置近傍で見られる観測データの特徴抽出に成功した。このデータ処理方法は、従来のリモートセンシングであまり取り扱われてこなかった陸域からの放射の局所的な変化を捉えることができ、リモートセンシング技術の更なる発展にも寄与するものだと考えている。