

宇宙からの地震予知

Earthquake Prediction from Space

後 藤 恵之輔 (ごとう けいのすけ)

長崎大学教授 工学部社会開発工学科

1. はじめに

昨年(1995年)1月17日発生の阪神・淡路大震災の惨状が、眼に焼き付いて離れない。著者は、この被災現地を昨年1月23日～24日、2月10日～12日、7月13日～14日の3度にわたって、陸海両面から調査した¹⁾。死者5500名余り、避難民30万名を出す大惨事の現状に接し、地震予知の重要性を今回ほど痛感したことはない。

しかし、地震の発生予知は難しい。我が国の現在の技術では、マグニチュード(M)8クラスの巨大地震しか予知できないと言われている。関東大震災以降の地震を眺めてみれば、M8クラスの地震は南海地震(1945年, M8.0)と十勝沖地震(1952年, M8.2)の二つを数えるのみで、被害地震の多くはM7クラス～M6クラス後半である²⁾。加うるに、M7クラス以下の地震でも、今回の地震のように都市直下型地震であれば、与える被害は極めて大きい。このため、従来の予知技術の見直し、あるいはこれに代わる予知、手法の開発を行わなければならない時期に来ている、と言っても過言ではない。

本論は、新しい地震予知技術を求めて、人工衛星を用いた宇宙からの地震予知について述べるものである。宇宙からの地震予知にはGPS(汎地球測位システム)を用いる方法があるが、ここでは人工衛星画像からの地震雲抽出による地震予知³⁾および人工衛星からの地表温度観測による地震予知について、実例を示しながら提言する。前者は従来、邪魔者扱いされることが多かった人工衛星画像上の雲の存在から「地震雲」を抽出するもの、後者は阪神・淡路大震災のリモートセンシング調査から発想したもので、人工衛星による観測の広域性と反復性を活用している。

2. 人工衛星画像からの地震雲抽出による地震予知

2.1 地震雲の概説

地震雲とは、地震の発生につながる地殻変動の活発化に起因して生ずると考えられる雲で、著者自身も観測の経験を持つ。地震雲に関しては、真鍋⁴⁾、鍵田^{5),6)}、佐々木^{7)~9)}および呂¹⁰⁾の成書がある。ここでは、地震雲の生成と現れ方について、真鍋の研究⁴⁾に依拠して簡単に述べる。地震雲の生成機構を始め、地震の前兆を空にある雲に求めることまで含めて、鳥山の批判¹¹⁾があることを付記しておく。

(1) 地震雲の生成¹²⁾

大地の第四紀沖積層を形成する粘土鉱物のうち、ハロ

イサイト($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)は結晶水の解離を、50℃の常温あたりから開始する。地下30m深くなるにつれて、地中温度は約1℃ずつ上昇する。したがって、50℃の地層は地表面から約1.5kmの下にあることになる。地震が起ころうとするとき、あるいは起こったときには、地殻変動が大きくなり地温が上昇するため、50℃の位置は次第に地表面に接近して結晶水を解離するとともに、加熱してその蒸気を地上に押し上げる。

この水蒸気によって地震雲が生成される。結晶水解離の範囲は広く、特に火山脈や断層線に沿って、震央から予想外に遠い所でもこの現象が起こるため、地震雲の発見は容易である。著者は1980年12月11日、トカラ列島上空、沖縄への飛行機上から地震雲を観測した経験を持つ。帯状の雲であったが、その翌日、雲の延長線上の大分県沖で地震(M6.1)が発生した。この例のように、地震雲は帯状の雲として出ることが多い。

(2) 地震雲の現れ方¹³⁾

地震雲は、地殻変動の活発化に起因するため、地震発生の前後あるいは最中に出現する。地震雲には、震央を中心とする同心円と放射線の2系統がある。

いま、 (r, θ, z) を円筒座標、 t を時間とし、波動ポテンシャルを $\phi(r, \theta, z, t)$ とすれば、大気の流れの方程式は次式で与えられる。

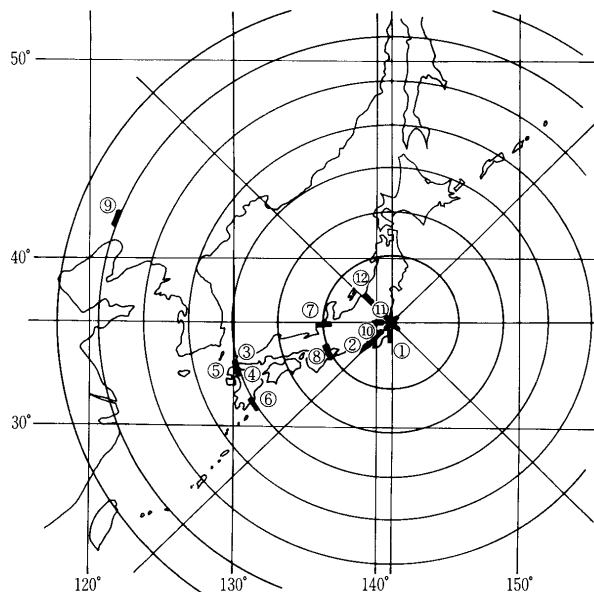
$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \phi}{r \partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{r^2 \partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

この微分方程式と境界条件を満足する解は、ベッセル関数 $J_m(kr)$ および三角関数 $\cos m\theta$ を含んだ変数分離形で求められる。地震雲の発生位置は波動が最も発達する位置であるから、 $\partial \phi / \partial r = 0$, $\partial \phi / \partial \theta = 0$ となる r, θ を求めればよい。すなわち、

$$\frac{\partial}{\partial r} J_m(kr) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \cos m\theta = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

前者は同心円群の節円の位置を示し、後者は放射線群の節径の方位を示す。前者の条件から、 $J_{m-1}(kr) = J_{m+1}(kr)$ を満足する r の位置が求められ、後者の条件から $\sin m\theta = 0$ 、すなわち $\theta = \pi/m$ が得られる。同心円の曲率中心が震央の位置を示し、また2本以上の放射線群の交点も震央の位置を示す。したがって、広い範囲で両者の分布図を描くことにより、震央の位置を推定することができる。

図一1にその1例として、1980年10月9日発生の地震(M5.1)について、発生の4日前から当日にかけて観測された地震雲分布の解析結果を示す。



図—1 地震雲分布の例（図中の丸数字は観測者の位置を示す。地震は1980年10月9日発生，文献⁴⁾より引用）

2.2 人工衛星画像からの地震雲の抽出

本節では，過去の地震について衛星画像から地震雲を抽出するものである。日本全土を対象エリアとし，人工衛星画像として地球観測衛星 LANDSAT の MSS 白黒プリントを用いた。バンドは雲を最も良く視認できる波長帯で，これまでの経験からバンド4か5である。この画像を目視判読して異常な雲（宇宙から見るため当然，面的形状を主とする）を見出し，気象要覧などによる地震情報と照合して，この雲が地震雲か否かを判定した。

画像の選定に当たっては，（鋤りモート・センシング技術センターにおいて，我が国での LANDSAT 観測開始の1979年からのデータを検索し，異常な雲が認められる画像を選んだ（この研究は，宇宙開発事業団による1985年度 LANDSAT データ無償提供の研究として行ったもの¹⁴⁾である）。

検討した画像のうち，地震雲を特定し得たのは下記の画像である。

シーン：パス115，ロウ35（東京）

観測日時：1979年5月21日9時28分30秒

衛星：LANDSAT 2号

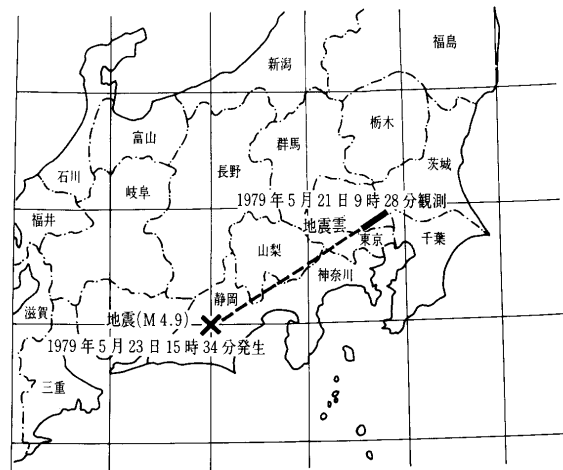
口絵写真—16にこの画像を示す。浦和上空にある1本の帯状の雲は，房総半島や画面左上および左下にある積雲とは明らかに形状を異にしている。この雲は，著者自身観測した地震雲や文献^{4)～6)}に掲載されている地震雲と酷似しており，地震雲と推定される。

画像の観測日が5月21日であることから，この年5月に発生した地震の震央図を，気象要覧（No.957，1979年）から求めた。前節を考慮して，これら地震のうち**口絵写真—16**の雲と関係するものを調べれば，**図—2**に示すように，雲が観測された5月21日の2日後，23日に発生した次の地震であることが判明した。

震源時：1979年5月23日15時34分

震央：N35.0°，E138.0°

規模：マグニチュード4.9



図—2 **口絵写真—16**の地震雲を発生させた1979年5月23日の静岡県地方の地震

なお，人工衛星画像中の雲の高さは，雲とその雲の陰との位置関係から三角法により容易に計算できる。上述の地震雲の高度は約2.4km，同画像中の積雲のそれは約0.8kmと求められ，雲高の点からも両者に差異のあることが分かる。

2.3 地震雲による地震予知の方法

地震雲は地震発生の数日前から（文献⁴⁾には13日前の観測例がある）観測される。このため，2.1で述べたように，複数の観測地点において地震雲が描く同心円群の曲率中心，あるいは（および）放射線群の交点を求めれば，震央が分かり，その地点での地震発生を予知することができる。

この方法では，地震雲の発見を広域で行うことが必要である。この点において，人工衛星による宇宙からの広域観測に優るものはなく，例えば LANDSAT 衛星では一時に185 km 幅をカバーする。前節で示したように，人工衛星画像からの地震雲抽出ができれば，それを複数枚用意することにより，宇宙からの地震予知が可能なこととなる。

3. 人工衛星からの地表温度観測による地震予知

3.1 阪神大震災における人工衛星熱画像

口絵写真—17, 18は，それぞれ阪神・淡路大震災の前における人工衛星熱画像である。温度表示色を写真左のカラーコードに示すが，下から上へいくに従い温度が高いことを意味する。いずれの写真も LANDSAT の夜間熱赤外データを解析したもので，**口絵写真—17**が1990年2月9日午後9時10分頃，**口絵写真—18**が1995年2月7日午後9時00分頃それぞれ観測されたデータである。データは地図に合うように幾何補正を行った後，大震災によりさほどダメージを受けなかった大阪市中心市街地の温度が地震前後で同じになるように，地震前のデータを地震後のデータに対して大気補正している。

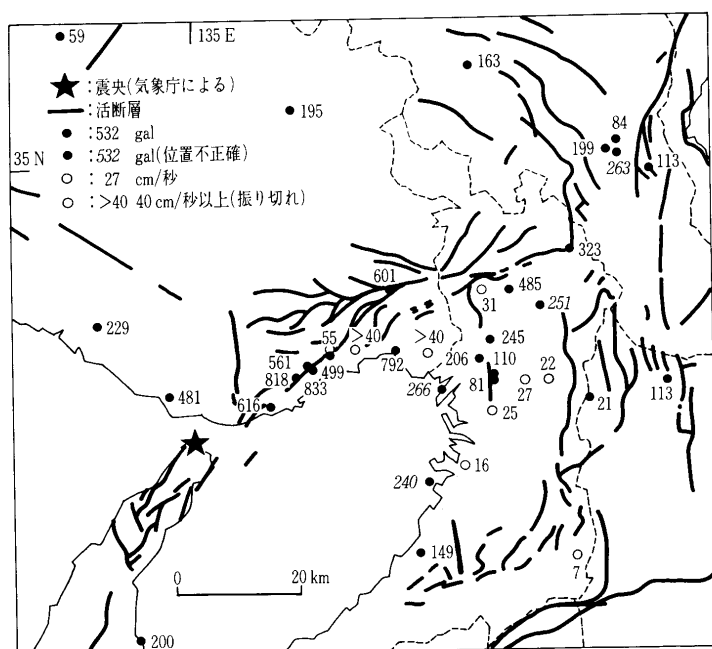
両写真を比較すれば，特に神戸市の中心市街地とポートアイランド，および神戸市から西宮市にかけての沿岸部において，温度が低下していることが分かる。いずれも震災の影響によるもので，神戸市の中心市街地では人

間活動の停止もしくは低下に、ポートアイランドと沿岸部では液状化の発生に、主として起因している。

3.2 熱画像の検証

図—3に今回の震災をもたらした兵庫県南部地震による最大加速度、最大速度の分布を示す。これを口絵写真—18と比較すれば、活断層沿いや最大加速度、最大速度が大きい所で温度が高くなっており、特に淡路島北端の野島断層において高温であることに気付く。この結果は、活断層が地震発生時にずれることによる摩擦熱によるものと推定され、最初に動いた野島断層の移動速度が2～3 km/s という大きな速度であったことから考えても首肯し得る結果である。震災後3週間が経過した時点でも高温が持続しているのは、1月17日の本震だけでなくその後間断なく続いた余震（1月30日15時現在で1307回発生）のためと考えられる。

第2の検証を行う。著者への私信¹⁶⁾によれば、神戸



図—3 兵庫県南部地震による最大加速度、最大速度の分布¹⁵⁾

市灘区在住の一市民は阪神大震災の前夜9時に三宮駅から北へ300mの所を乗用車で通りかかった時、車体下に取り付けている温度センサーがその頃いつもは0℃近くであったのに10℃を記録したのに驚いたという。この高温は間もなく平常時の温度に戻ったが、センサーは正常に作動していること、ならびに異常高温を示した場所が活断層近くであったことから、口絵写真—17, 18の温度上昇の貴重な証左と認められる。

3.3 地表面温度観測による地震予知の方法

活断層が動くこうするとき、断層のずれによる摩擦熱が発生することは十分に考えられる。この摩擦熱の発生からくる温度上昇を経時的に観測していけば、地震の発生を予知することが可能である。例えば文献¹⁷⁾のように活断層の存在を調べ、要注意の活断層において地中に埋設した温度計や宇宙からの人工衛星により温度を観測する。

温度計による方法は連続して測定ができるものの、あ

くまでも点の観測であるため長く続く活断層の温度観測には不向きである。これに対して、人工衛星による地表温度観測は、衛星観測の広域性、反復性を活用するものである。人工衛星を用いれば、広範に広がる活断層をその衛星の観測周期ごとに観測することができ、継続的な活断層の温度観測にはよく適している。ちなみにLANDSATは、2.3で述べたように185 km幅をカバーすることができ、同一地点を16日ごとに観測する。ただし、人工衛星による場合、対象とする地点が雲で覆われていれば、雲の温度をキャッチしてしまうため地表面の温度観測は不可能である。

4. WEDOS への期待

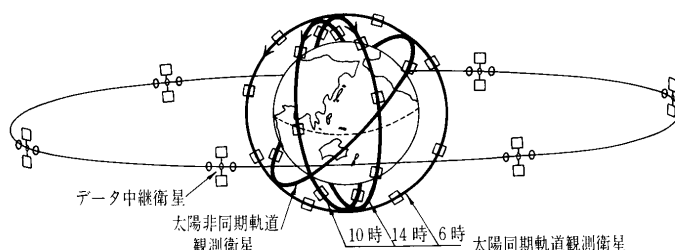
4.1 WEDOS の概説

人工衛星画像からの地震雲抽出による地震予知、そしてそれ以上に人工衛星からの地表面温度観測による地震予知は、可能のようである。しかし、利用できる現行の人工衛星は少なく、前者の方法に対してLANDSAT(米国)、SPOT(フランス)、MOS(日本)、JERS(日本)など、後者の方法に対してLANDSATを数えるにすぎない。更に、その観測周期もそれぞれ16日、20日、17日、44日というように長く、いつ発生するか分からない地震には対処しきれそうにない。近い将来打上げが計画されているADEOS(日本)などの人工衛星についても、この事情は変わらない。

これに対して、21世紀を目標に日本、米国、欧州などで国際的な合意のもとに構築、運用されようとしているWEDOSに期待してよい。WEDOS¹⁸⁾はWorld Environment and Disaster Observation Systemの略で、衛星利用による国際地球環境・災害監視システムのことである。このWEDOSでは、図—4に示すように26個の地球観測衛星と12個のデータ中継衛星による衛星システムと、データ伝送・処理・配布のための地上システムによってシステムが構成される。これにより、地球上の任意の地域を少なくとも1日1回監視できる高頻度観測、全地球上の同時観測、2mの大きさまで識別できる高精度観測、および天候、昼夜の関係なく5mの大きさまで識別できる全天候性観測が可能となる。

4.2 WEDOS を利用した地震予知

WEDOSの四大特徴のうち、高頻度観測、同時観測および高精度観測を活用することにより、人工衛星からの地震雲および地表面温度観測による地震予知は、現行



図—4 WEDOS の衛星システム構成¹⁸⁾

よりはるかに可能となってくる。すなわち、人工衛星画像からの地震雲抽出については、高精度観測以上に高頻度観測と同時観測が効果的である。地表面温度観測については、高頻度観測と同時観測は勿論有用であるが、温度を観測する熱赤外センサーの解像度が500mである¹⁹⁾ため、活断層の温度上昇をキャッチするには少し大きすぎる。現行のLANDSATではこの解像度が120mであることから、せめて200m~250mは欲しい所である。なお、WEDOSの残る特徴、全天候性観測は、雲を透過し地上の凹凸などを調べることが目的であるため、本論で提言しているいずれの方法にも関係しない。

先行している宇宙からの地震予知法として、GPSを用いる方法がある。このGPSを用いた地殻変動調査による方法と、WEDOSを用いた地震雲および地表面温度観測による方法を組み合わせれば、地震予知のためのネットワークづくりができ、宇宙からの地震予知はより精度を増すことが期待される。

5. む す び

地震雲については、阪神大震災の際にも観測されている。文献20)によれば、地震前日の1月16日、三重県鈴鹿市上空を北から南西方向へ延びる帯状の雲が、そして文献21)でも場所、方角は定かでないが同様に帯状の雲が見られたという。中国では、このような地震雲を始め、特別な機器を用いなくても目で見たり耳で聞いたりして分かる、いわゆる宏観異常観測²²⁾が行われている。宏観異常には、地震先行現象としての動植物、地下水、音、光、気象、地割れなどがあり、著者は地震予知の補助手段として、これら宏観異常にも積極的に目を向けるべきと考えている。

阪神大震災における人工衛星熱画像を解析し、地震後に、活断層で温度上昇があったことを結論するには、一抹の不安があった。この温度上昇は本当に活断層の動きを反映しているのだろうか、衛星のセンサーの劣化によるのではないか、また大気補正の方法が良くなかったのではないか、の疑問が頭をよぎった。しかし、3.1で述べたように神戸市の中心市街地、ポートアイランドおよび神戸市から西宮市にかけての沿岸部で、主として人間活動の停止や低下、液状化の発生により温度が低下していることを適確にとらえており、そして3.2で述べた神戸市民による活断層近くでの温度上昇の実体験から、上記結論に誤りはなかったと安堵の胸をなで下ろしたものである。

現行の地震予知技術²³⁾には、測地測量や地震・潮位・地磁気の連続観測、地殻活構造の調査などがある。また、今回の阪神大震災においても、動物の異常行動や例年になく大漁など宏観異常のデータが収果されている²⁴⁾。これらと並んで、本論で提言した地震予知の方法が少しでも検討され、将来採用されるようになれば至上の喜びである。更に、この方法により人々の生命や財産、生活を地震から守ることができるようになることを著者の夢としたい。

最後に、神戸から貴重な証言の電話を下さった石村覚氏、WEDOS報告書を恵送いただいた㈱日本航空宇宙工業会・石崎政幸氏、およびLANDSATデータ解析の労をとってくれた当学科・全炳徳氏に、記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 緊急集会「阪神大震災に学ぶ」および公開講座「水・地震と市民」開催される、土木学会誌、平成7年10月号、p. 30, 1995.
- 2) 朝日新聞社：報道写真全記録・阪神大震災、p. 72, 1995. 3.
- 3) 後藤恵之輔：人工衛星画像からの地震雲の抽出～宇宙からの地震予知の可能性を求めて～、「宇宙からの地球環境モニタリング」第2回論文集、pp. 1~4, 1994. 3.
- 4) 真鍋大覚：大地の雲映―地震は雲・霞の形や色で予知できる―、中日新聞本社、304 p. 1981.
- 5) 鍵田忠三郎：これが地震雲だ―雲はウソをつかない―、中日新聞本社、210 p., 1980.
- 6) 鍵田忠三郎：決定版 これが地震雲だ、NGS, 184 p., 1983.
- 7) 佐々木洋治：雲のメッセージ、現代出版、281 p., 1982.
- 8) 佐々木洋治：雲に聞こう―地震は予知できている―、現代出版、71 p., 1982.
- 9) 佐々木洋治：地震雲で予知できるハレーすい星大地震、恒友出版、204 p., 1986.
- 10) 呂 大炯（鳥山英雄監修）：雲と地震予知の話、凱風社、149 p., 1990.
- 11) 鳥山英雄：ネムの木は地震を予知する、ごま書房、pp. 154~156, 1992.
- 12) 前出4), pp. 106~110.
- 13) 前出4), pp. 171~192.
- 14) 後藤恵之輔：ランドサット画像を用いた地震雲の研究、ランドサットデータ研究解析成果論文集（その2）、宇宙開発事業団地球観測センター、pp. 228~231, 1986. 3.
- 15) 科学朝日臨時増刊、地震科学最前線、p. 11, 1995. 3.
- 16) 神戸市灘区 石村 覚氏からの私信、1995. 8. 22 付.
- 17) 活断層研究会：新編日本の活断層、東京大学出版会、1991.
- 18) ㈱日本航空宇宙工業会：WEDOS パンフレット.
- 19) ㈱日本航空宇宙工業会：平成5年度衛星利用による国際地球環境・災害監視システムの調査（第V次）報告書、p. 14, 1994. 6.
- 20) FLASH, 1995年2月7日号、光文社、p. 12.
- 21) 安本 直：兵庫県南部地震の際、動物はどのように行動したか、兵庫県高等学校教育研究会生物部会誌、Vol. 19, pp. 15~18, 1995. 6.
- 22) 安徽省地震局：宏観異常と地震―中国の予知成功例にみる―、共立出版、213 p., 1979.
- 23) 尾池和夫：地震発生のしくみと予知、古今書院、pp. 147~149, 1989.
- 24) 力武常次：地震予知がわかる本、オーム社、pp. 122~125, 1995. 5.

（原稿受理 1995.9.5）