

## 人工衛星画像による敦煌莫高窟周辺地質および水系調査

大阪大学大学院 学生員 朴 春澤  
 大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯  
 大阪大学大学院 正会員 川崎 了  
 ハイテック(株) 舩屋 直

### 1. 研究背景

中国敦煌莫高窟は1987年世界遺産として登録され、第四紀の扇状地堆積物の崖に作られており、人類の貴重な文化遺産として世界的に広く知られている。しかしながら、約1,700年の間に自然及び人為的な劣化をうけて、その保存対策が緊急の課題となっている。世界遺産の保存は単なる技術面の経験と蓄積のみならず、関連する土木工学や岩石学、生物化学など自然科学までを含めて広範な学問領域も集約することである。地球観測衛星の画像データを用いた結果、地形と地質構造の関係を容易に把握できることが明らかになった。他の探査法よりも安く、その広域観測能力と相まって概査に適した探査法である。本報告では、敦煌盆地の地質、水文状況を把握するため、岩石の反射特性を利用し、敦煌盆地の地層分布と岩質変化について調査した結果を述べる。

### 2. 研究方法と使用データ

本研究で使用したデータは表1に示すように、1993年、1996年に観測された莫高窟周辺のJERS-1OPSデータである。JERS-1OPSの大きな特徴の一つは、短波長赤外領域においては、 $2.2\mu\text{m}$ を中心とする三つのバンドを有する。OH<sup>-</sup>イオンをもつ粘土鉱物とCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>イオンをもつ

表1 使用データの詳細

衛星データ	センサー	パス-ロウ	レベル	撮影日
JERS-1	VNIR	148-233	2	1996.05.31
JERS-1	OPS	151-232	2	1993.11.22
JERS-1	OPS	151-233	2	1993.11.22
JERS-1	OPS	151-234	2	1993.11.22
JERS-1	OPS	151-235	2	1993.11.22

炭酸塩鉱物がそれぞれ $2.2\mu\text{m}$ と $2.35\mu\text{m}$ の付近で特有の強い吸収を示す。この特性を利用し、資源探査に有効な粘土鉱物と炭酸塩鉱物を抽出することができる。そして、この利点を最大に活かせるのは、乾燥から半

乾燥地域の植生の少ない裸岩地域である。中国の敦煌盆地は乾燥地域で植生が極めて少ない状況にあるため、リモートセンシングによる岩質分布、地層分布の把握に有利な地域である。

### 3. 対象地域

敦煌はタクラマカン砂漠の東端に位置し、中国西北部(図1)に発達する堆積盆地である。敦煌盆地は主に衝上断層群の活動に起因して形成された西南



図2 衛星画像による地質概要

扇状地・堆積平原からなる。莫高窟の南方向に1km離れている三危山前に北截山断層は通っており、逆断層である。北截山断層は中国の西部で最大のせん断圧縮型断層帯であるアル金山断層にコントロールされ、盆地



図1 敦煌位置図

は全体的に西南-東北方面に延びる<sup>1)</sup>。盆地内には断層、褶曲が非常に発達している。第四紀以来、盆地南部の山脈が徐々に上昇したため、盆地内部は河川からの堆積物を受け、百メートル以上の第四紀堆積層が形成された。JERS-1バンド1,2,3のフォールスカラー画像図2(Path148-Row233)が示すように、上部青色部分はゴビ砂漠であり、左下の黄色部分は砂漠であり、赤色は植生である。莫高窟は植生の両側にある崖に位置する。その右側の黒い部分は北截山衝上断層であり、

キーワード：JERS-1, 反射スペクトル, 比演算

連絡先：〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1大阪大学共同実験棟2F (TEL:06-6879-7558 FAX:06-6879-7558)

先カンブリアの変成岩が分布している．本地域の地質については，基盤は古期の変成岩からなり，三疊系，ジュラ系，先カンブリア系から構成される．莫高窟の地層は，主に更新世に堆積した礫岩からなる．

#### 4. 画像処理

図3はB:G:R=6:7:8のフォールスカラー画像である．ドロマイトはバンド8に変成岩特有の再結晶による非常に強い炭酸塩の吸収を示し，吸収の強さは石灰岩により強く，バンド7にも弱い吸収がある．バンド6がより高い反射率を持つため，ドロマイト質岩が青色系として確認された．図4のバンド組み合わせB:G:R=3:5:8では炭酸塩岩が青色に発色するために容易に抽出可能であった．画像右下の青い部分は地質活動による炭酸塩岩から形成された変成岩(大理石)である．硅化変質帯の抽出には，短波長赤外域のバンドを使用した比演算処理(4/7:5/8)が有効であるが，今回図4の一部周辺を切出し，フォールスカラー画像図5(B:G:R=1:2:8)を作成した．その結果，敦煌地域の硅化帯が，特徴的な明るい赤褐色として抽出された．このスペクトル異常により同変質帯の表面には酸化鉄などのOPSバンド1から

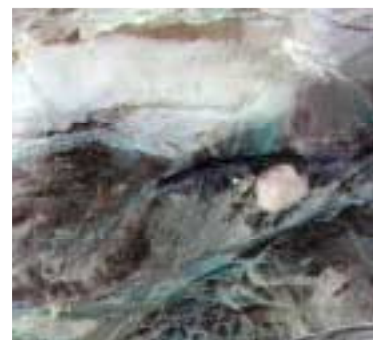


図3 Path151-Row232

2にかけて吸収パターンを示す鉱物が分布することが推定できる．また，写真地質学的に判読され，周囲の岩石と比較すると侵食抵抗が極めて高いものと推定される．これらの判読結果は現地に含鉄硅化岩が分布するという既存資料と一致した．図6はB:G:R=1/2:3/2:5/8で比演算処理実施し，それぞれ青，緑，赤を割り当て，画像化することを試みた．JERS-1VNIRバンドに相当するスペクトル帯に吸収域をもつ鉱物としては，2価鉄イオンと3価鉄イオンが存在するため，酸化鉄鉱物が挙げられる．酸化鉄鉱物はバンド1とバンド3に相当する波長 $0.4\mu\text{m}$ ～ $0.6\mu\text{m}$ と $0.8\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ 付近に吸収を示す．従って，酸化鉄鉱物に着目する場合，一般的に，JERS-1 OPSのバンド1/2と3/2の比演算によりその分布域を抽出することが可能である．バンド比5/8の値が大きく，バンド比1/2とバンド比3/2の値が小さくなり，黄緑色系に発色した．従って，酸化鉄鉱物の反射率パターンに近いことが示された．シアン色に発色するのは，5/8の値は小さく意味するので，炭酸塩岩が主になると推測される．しかも，水系が分布していることから考えでも，炭酸塩岩である． $1.6\mu\text{m}$ 付近，酸化鉄鉱物は他の鉱物より高い反射率を持ち，高いDN値を示し，そのため，単一バンド5(波長 $1.60\mu\text{m}$ ～ $1.71\mu\text{m}$ )の画像における酸化鉄鉱物は強く反射を示し，白色を発色している(図7)．

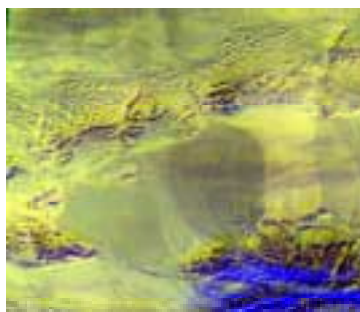


図4 Path151-Row234

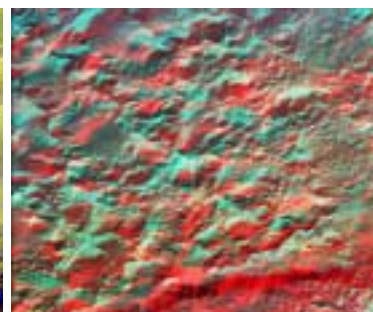


図5 硅化帯

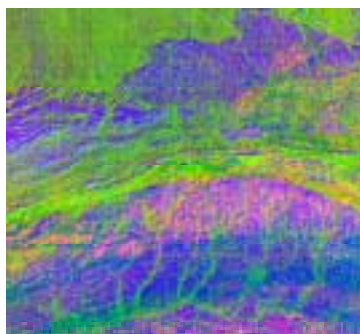


図6 比演算図

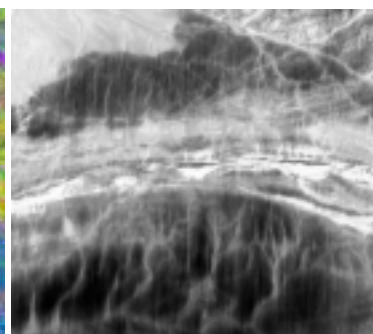


図7 バンド5画像

#### 5. 結論と今後の課題

今回用いたフォールスカラー画像と比演算処理による解析結果と広域の地史を併用して考察することにより敦煌盆地を構成する地層分布と地質構造の推定が可能であることが分かった．また，GISの導入は今後の課題の一つであり，将来的に立体視やSAR画像を併用することでより高精度のリニアメントを抽出し，地形に関連する断裂系の追跡や地形の抽出などを行なって地質構造の解明を行なう必要がある．

衛星データ所有:日本国政府，衛星データ提供:資源・環境観測解析センターによる．ここに感謝の意を表します．

参考文献:1)中国の地質構造とその発達史．築地書館，61pp，1985．