

防災・インフラ・地球環境のためのリモートセンシング



技術解説

谷本親伯*, 小泉圭吾**

Satellite Remote Sensing Applied to Disaster Prevention,
Reinforcement of Infrastructure and Monitoring of Global Environment
Key Words : Remote Sensing, Disaster Prevention, Infrastructure, Global Environment

1. はじめに

人工衛星によるリモートセンシングは、宇宙開発とともに進展してきた。1960年初め、冷戦が激化する最中、米国がキューバでのミサイル基地建設を察知し、ケネディがフルシチョフに動かぬ証拠として突きつけたのがリモートセンシングによる画像であった。チェルノブイリ原子力発電事故も発生直後に、米国の人工衛星が発見している。軍事と密接に関係しており、インド、中国といった国々もこの技術に早期に取り組み、高い技術力を持っていると思われる。

大阪大学大学院工学研究科に地球総合工学専攻が新設(1998)されて以来、筆者らの研究室は地球環境の現状と変化を監視する上でリモートセンシングが不可欠と考え、防災・社会基盤整備・地球環境保全に役立つ利用法について研究を進めてきた。ここにその例を示す。

この研究において、当事者が強く意識していることは、

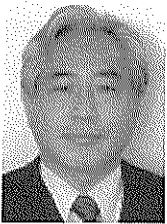
- (1) グラントoolsが伴っていること、
- (2) 身近な近畿地方を中心とすること、
- (3) 市民に理解しやすい成果を提示すること、
- (4) 常時、監視体制をとれること、
- (5) 取得した結果は、すみやかに公表し、多くの人に共有してもらうこと、
- (6) 行政に利用されること、

などである。すなわち、人工衛星画像は多くの人の興味を引くものであるが、一瞬の画像を直接提示するだけでなく、その前後の関係や画像の背面にある事実を解明することである。これにより、災害予知やインフラにおける維持・保守の在り方、そして地球レベルから見た地域環境の現状と変化について、リアルタイムで報告し、対応策の提言を行うことを主目的としている。

地球環境保全への取り組みは、公的には強く要求されているが、日本では一般市民の生活レベルの問題としては、まだまだ認識が薄いとわがざるを得ない。1992年6月、ブラジルのリオ・デジャネイロにおいて開催された国連環境開発会議(いわゆる地球サミット)は、人類の生存自体にも影響を及ぼす恐れのある環境問題の深刻化を背景に、持続可能な開発を中心テーマとして全世界が一丸となって取り組んだ歴史的な会議であった。取り組むべき課題を「アジェンダ21」としてまとめている。その後、依然として多くの問題が未解決のままの状態であり、1997年の国連環境開発特別総会において、「アジェンダ21の一層の実施のための計画」が決議されている。

その中で、緊急の課題を要する分野として、淡水・海洋・森林・エネルギー・交通・大気・有害化学物質・放射性廃棄物・土地及び持続可能な農業・砂漠と干ばつ・生物多様性・自然災害・人的災害などが

*Chikaosa TANIMOTO
1943年12月生
1970年京都大学大学院工学研究科修士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科・地球総合工学専攻、教授、工学博士(1981)、地球総合工学、岩盤力学、トンネル工学
TEL 06-6879-7622
FAX 06-6879-7617
E-Mail tanimoto@ga.eng.osaka-u.ac.jp



**Keigo KOIZUMI
1974年10月生
2003年大阪大学大学院工学研究科 博士後期課程単位取得退学
現在、大阪大学大学院工学研究科・地球総合工学専攻、助手、修士(工学)(2000)、地球総合工学
TEL 06-6879-7346
FAX 06-6879-7617
E-Mail koizumi@ga.eng.osaka-u.ac.jp



挙げられている。我々の所属する地球総合工学専攻は、これらの緊急の行動を要する分野に、直接取り組むことを責務とみなし、4領域(4教授・4助教授・4助手、計12名)における研究対象は、上記分野の70%~80%に及ぶ。

本文においては、衛星リモートセンシングの簡単な原理、防災のためのハザードマップ、都市の温度環境、地域環境における植生変化、世界遺産保存などの現在研究室として取り組んでいる幾つかの課題を紹介する。

2. リモートセンシングとは

2.1 リモートセンシングの原理

リモートセンシングとは、人工衛星や航空機に搭載されたセンサで、直接接触することなく、離れたところから対象物を電磁波によって計測し、その性質を明らかにする技術のことを言う。

全ての物体は、電磁波に対して固有の特性(反射特性や放射特性)を持っている。その、特性の違いを用いることによって、土地、水、植物などの種類やその状態を調べることができる。

図1は、水、土、植物の電磁波の反射と放射の強さを波長帯ごとに表したものである。

2.2 光学センサとマイクロ波センサの違い

地球観測衛星に搭載されているセンサには、大きく分けて次の2種類がある。一つは、太陽光を受けた地表からの反射や散乱、地表の放射を見る受動型センサであり、その代表的なものが、光学センサである。光学センサでは、太陽光の地表面反射または地表からの放射による地表からの電磁波で、可視領域から赤外領域までの波長帯のデータを取得することができる。ただし、一般に光学センサでは、雲が地表を覆っている場合には、目的とする対象物を観測することはできない。

もう一つは、センサ側からある波長の電磁波を出し、それに対する地表の反射や散乱を見る能動型センサである。能動型センサの中で、マイクロ波のレーダーを用いたものは、マイクロ波を地上に放射し、その反射波を受信して、観測対象に関するマイクロ波の散乱特性や位相などの情報を取得することができる。マイクロ波センサでは、地表に雲が覆っている場合や雨天時、夜間においても観測が可能のため、「昼夜全天候型」のセンサと呼ばれている。地上分

解能は、光学系センサ(可視近赤外域)に比べるとやや劣っている。高分解能化は進んでいるものの、現在運用されている衛星搭載マイクロ波センサの分解能は10~30m程度である。

2.3 使用する衛星

現在、我々の研究室では主にLANDSATに搭載されているセマティックマッパー(TM)と呼ばれるセンサを用いて取得したデータを利用している。LANDSAT 1号は1972年に、地球観測衛星として世界で初めて打ち上げられた衛星で、現在では7号が観測を行っている。TMは、可視域から熱赤外域までを7バンドにわけて、植生の活性度や土地利用、海洋など地球の表面に関する幅広い観測を行っている。以下にTMの特徴を挙げる。

- 1) 高高度からの撮影(高度約705km)のために、広域を同時に把握できる。1シーンの実面積は185km×185kmである。
- 2) 画像の分解能は、LANDSAT 5号・TMで30mである。ただし、TMの遠赤外部分は120mである。LANDSAT 7号では、この遠赤外部分の分解能が60mとなっている。
- 3) 16日周期で同一地点の情報が収集でき、季節変化や経年変化を把握できる。

2.4 高分解能衛星

近年、画像分解能が1m未満のIKONOSやQuick-Birdといった高分解能衛星が登場してきた。解像度が非常に高いために、従来の衛星画像では難しい地図未整備地区の詳細な骨格地図作成や既存地図更新のベース画像の作成、災害時の状況把握や現況変化等の監視業務、航空写真利用分野への代替などの用途での利用が期待されている。

3. 防災・ハザードマップ

わが国の国土はその約7割が山地からなり、急峻な山脈とこれに伴う急流河川が多数存在する。岩盤は古い時代から現在にいたるまで何度となく広域的な造山運動を受けてきたため、不連続面や風化が卓越する不良岩盤が広く分布している。このような環境に加え、わが国は地震や火山活動、集中豪雨などが多発する地域であり、そのため毎年各所で地すべり、斜面崩壊、土石流のような地盤災害が発生している。

近年自然地盤災害を回避するために、災害の発生

するおそれのある地域を予測し、マップとして表現したハザードマップの必要性が高まっている。しかし地盤災害は地質や地形、植生、天候など複数の要因が複雑に重なることから発生し、またそれに対するハザードマップは広域を一度に定量的に評価されたものでなければならず、作成には多くの課題が残される。そのため、瞬時に広域地域の情報を把握できる衛星リモートセンシングデータや空中写真と、地形データ、地質データなどを用い、GIS(地理情報システム)を活用することで対象地域と地盤災害の特徴をつかみハザードマップの作成を行った。図2に舞鶴自動車道周辺地域を対象に行った土石流の発生危険度を示したハザードマップを示す。この図は、地形図、地質図、衛星データ、現地踏査の結果を点数化することにより対象地域の各地点における土石流の発生危険度を7段階で示したものであり、豪雨時の道路防災管理の指標として用いることが出来る。

また、図3に衛星写真を、図4に地質図を3次元的に表した図を示す。図3から道路の通過する地形状況や周辺地域の起伏等を捉えることができる。また図3と地質の形成年代等の情報とあわせることで地質の形成過程が把握でき、地すべり、斜面崩壊などの災害危険箇所の判読に役立つものと考えられる。

他にも、衛星データを用いて植生活性指標等を作成することで、対象となる地域の植物活性度を把握したり、またより詳細に地形情報を得るために空中写真を利用することで、裸地や斜面崩壊の跡を抽出するなど、ハザードマップの作成のための情報をリモートセンシング技術によって得ることができる。このようにリモートセンシング技術は、地盤災害のハザードマップ作成のための一つのツールとして有効的な手段となっている。

4. 都市の熱環境

近年、地球温暖化による地球全体での温度上昇が100年間に0.6℃上昇しているのに対して都市域の温度上昇は、2℃と速い速度で進行している¹⁾。また熱環境の悪化は、単に熱汚染を引き起こすだけでなく、大気汚染、局所的な集中豪雨といった二次的被害を引き起こす。

衛星リモートセンシングは、広範囲の観測が可能なたため、都市域の環境の実態把握や環境の管理に有

益な情報を提供する。

また、都市の土地利用形態が熱環境に与える影響を把握することで地域ごとでの熱環境の特性を調査し、地域に適した改善策を講ずることを目的とする。

4.1 土地利用を考慮した温度分布の把握

大阪府における温度分布特性を把握するため、衛星リモートセンシングデータ(Landsat-5 TM:1990/08/06日中)を用い、温度分布の把握を行った。さらに、1991年における土地利用²⁾との関係から大阪府での熱環境特性の調査を行った。図5に温度分布を図6に土地利用の違いによる温度分布の傾向を示す。

その結果、夏の日中(1990/08/06日中)においては大阪の中心部(北区)で周辺域に比べ比較的低温域を形成していることが確認された。これは、この地域の土地利用に起因するものと考えられる。

この地域の主要な土地利用は、「商業用地」、「道路用地」、「公園・緑地等」、「河川・湖沼等」によって形成されている。「商業用地」では、郊外の同じ土地利用域に比べ温度が1.0～2.0℃低い傾向にあった。「道路用地」では、1.5～2.0℃温度が低い傾向にあった。これは、河川が「商業用地」、「道路用地」を取り囲むように分布しているため、他の河川沿いの地域に比べ熱環境緩和効果が働いているためと考えられる。また、大阪城公園といった大規模な緑地が周辺に分布しているため周囲と比較して低温域を形成するものと考えられる。

5. 植生 — 竹林の拡大 —

近年、里山、雑木林における竹林が山間部へ拡大している。生活スタイルの変化、あるいは外国からの安価な輸入材の影響を受け、これまで人の手によって管理されていた山は放置され、管理の行き届かない樹林地へ竹が生育を始め、拡大を続けている³⁾。

竹はその性質上、地下部に地下茎を張り巡らせて成長を続けることが知られている。また、地下茎から地上に出てくる稈は、2～3ヶ月で成竹になり、モウソウチクは、場合により高さ20mを超える⁴⁾。そのため、竹林に隣接し、竹稈より樹高の低い管理されなくなった樹林地に、竹が生育を始めたと考えられる。そこで、タケノコの産地で有名な京都府の山城地域を対象地とし、戦後(1948)から現在(2000)までの竹林の拡大状況を空中写真解析によって明らかにした。

使用データは、米軍撮影の空中写真1万分の1(1948年)、国土地理院撮影の空中写真1万分の1(1961年, 1974年, 1985年), 1万2,500分の1(2000年), 地形図(2万5千分の1)であり, それらをデジタルデータに変換し, 解析を行った。

図7(a)~(e)は土地利用の経年変化を示している。これによれば, 52年間で竹林面積が大きく拡大していることがわかる。また, 竹林の分布地域を見ると, 解析対象地域の北部では1948年当時から既に竹林が分布しており, 2000年までに徐々にそのエリアを拡大していった様子が判るが, 解析地の中央付近から南部にかけては, 1948年当時小規模な竹林がまばらに点在している程度であったが, 1985年の時点でほぼ竹林で埋め尽くされるような状態に変化している。また, これらの分析の結果, 樹林地と農地の消失した部分が竹林に変化していることがわかった。

次に, 図8に経年による土地利用の面積変化を示した。竹林は1948年から1974年までの26年間でおよそ2倍に増加し, その後2000年までの52年間でおよそ3倍に増加していることがわかった。樹林地の面積は1948年から1961年にかけてほぼ横ばいであったのに対し, 1961年以降は減少の一途を辿り, 1974年の時点で本解析地域における竹林と樹林地の面積が逆転した。農地の面積も1948年以降減少傾向にあり, 2000年にはおよそ半分に減少している。

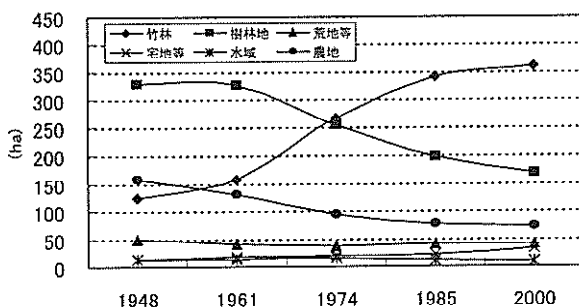


図8 土地利用の経年変化

以上の結果は, 戦後タケノコの需要が伸びたため, 農地に竹を植栽したという現地での聞き取り調査の結果と一致しており, 1948年から1960年代にかけて解析対象地域の農地には多くの竹が植栽されたものとみなされる。その後, 安価な輸入タケノコの影響から国内の竹林は放置されるようになり, 1960年代

以降樹林地へと拡大していったものと考えられる。

6. 遺跡保存

敦煌はシルクロードの要衝として栄えた。その莫高窟(図9)は, 4世紀から約1000年にわたって造営された世界最大の石窟寺院であり, 1987年にUNESCOにより世界遺産登録がなされている。シルクロードの東端は西安(長安)である。北京より西安まで約1200km。西安から河西回廊に沿って天水, 蘭州, 酒泉を経て1700kmの地点に敦煌がある。その名前は大きな盛んな街を意味する。後漢の明帝のころ, 仏教がこの地を經由して中原に伝えられ, 東晋のころ莫高窟が開かれたことにより, 敦煌は隆盛の時を迎える。約1000窟が掘られ, 現存する492窟の中には壁画や塑像で飾られている。

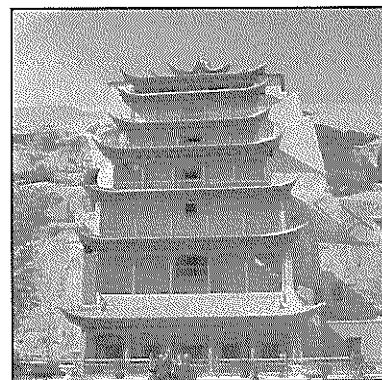


図9 莫高窟九層樓

また, 現在の敦煌市東方数キロの地点に, 月牙泉と呼ばれる池がある。鳴砂山中の砂丘に囲まれた幻想的な地に夕暮れ時に身を置き, 星の輝きを追う時が至福である。この神秘的な池の水源は地層を浸透してきた地下水である。数年前までは, 水面位は変わることがなかったが, 急速に低下し, 現在6.5m下がっている。「地球白書」による世界規模での地下水位低下と同調している感が強い。温暖化により祁連山脈に降る雪の量も近年減少しているのであろうか。

本研究室での学術的興味は, 石窟内の壁画の損傷に及ぼす水分の影響を定量的に把握し, 石窟とその周辺地盤の安定性を考慮して具体的な対策を提言することである。電気探査と呼ばれる方法を用い, 地盤の電気抵抗の分布をコンピュータートモグラフィー

により可視化し、水分の多寡を示した。この電気探査だけでなく、大阪大学校内に置いていた気象ステーションを莫高窟前に移動し、気象条件を継続的に測定すると共に、岩窟内の温・湿度変化や熱赤外線による壁画背面の変状調査を続けている。さらに人工衛星画像(図10)から三危山古生層にいくつかの花崗岩(青色)が貫入したことが確認できる。三危山北側では、この貫入岩が三危山断層によって切られることから、断層活動は花崗岩が貫入した後に起こったことがわかる。これを処理して、広域の地形や断層系の調査を行い、塩害につながる地中内の水分移動の実体も調査中である。なにせ、広大な土地であり、標高6000m近くに及ぶ山脈が三重四重と連なる土地柄である。計器を運搬し地表でのグラドツールを取得するだけでも時間と労力が足りない。

宇宙船から見える地球上唯一の人工物が万里の長城である。多くの人には、北京北方の八達嶺付近に見られる明代の石造ブロックを重ねたものが印象づけられているが、敦煌の北西に、前2世紀末、漢の武帝が築いた泥煉瓦製の古い長城が残されている。玉門関を経て、陽関が長城の最西端となっている。敦煌から西方には、すでにタクラマカン砂漠が始まっている。天地創造を思わせる大きな褶曲構造を突切れば、はるかに天山山脈が眺められ、この北側をとるか南側をとるか、いわゆる天山北路と南路の分岐点である。アイディン湖の湖上に立てば、360度すべて真っ白に輝く塩とその結晶に囲まれ、不思議な世界に引き込まれてしまう。降水量の多い日本では塩害が問題とならないが、世界の多くの場所で共通する重大な問題である。

7. あとがき

人工衛星を利用したリモートセンシングは多岐にわたる分野に応用できる。防災・インフラ・地球環境を中心に応用の仕方を研究しているが、現状では、解析の対象となる地区と時期を指定して、データを購入し、これを解析している。しかしながら、近畿地方に1箇所ですら十分であるが、毎日得られるデータをリアルタイムで保存し、データごとに時系列的な解析を実施する必要性を痛感している。地域環境の監視には、不可欠であり、特に、地方自治団体や研究機関がデータを共有することを前提とした「リモートセンシング・センター」の設立を強く望む。

過去、北朝鮮がテポドンを打上げた際、筆者の一人は、政府に対し、全国4~5カ所の地方毎にリモートセンシング・センターが設立されていれば、地球環境監視を常時行うとともに、その兆候を確かめられる可能性があったことを伝え、近畿地方にぜひ必要であると訴えた。前向きな反応があったが、大阪

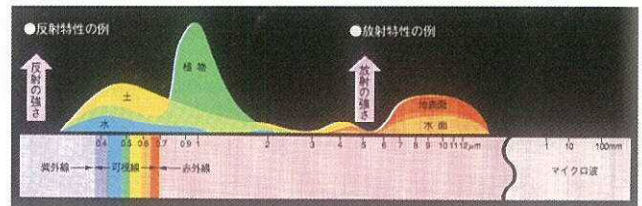
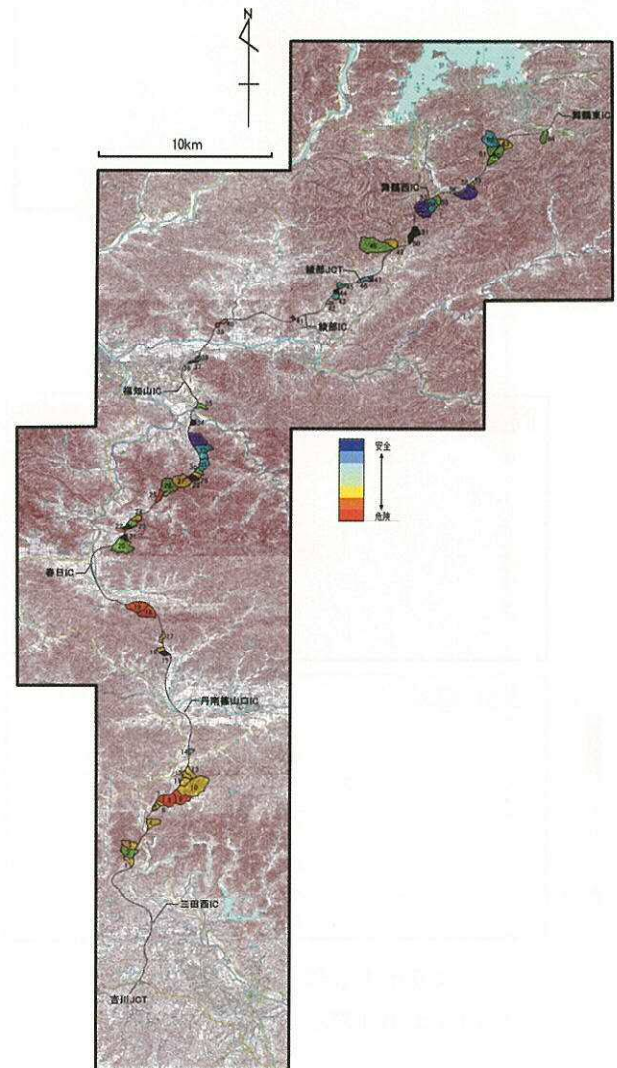


図1 波長帯ごとの反射・放射の特性 (RESTEC 提供)



土石流発生危険度図

図2 舞鶴自動車道における土石流ハザードマップ

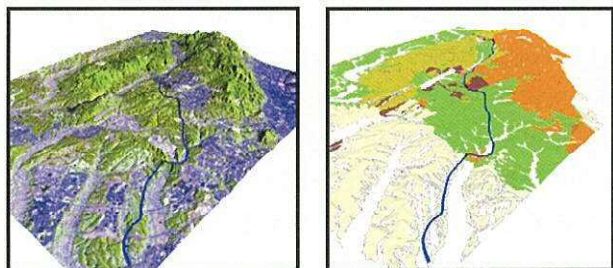


図3 衛星写真の3次元化 図4 地質図の3次元化

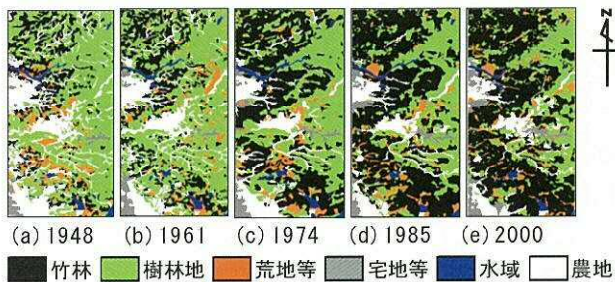
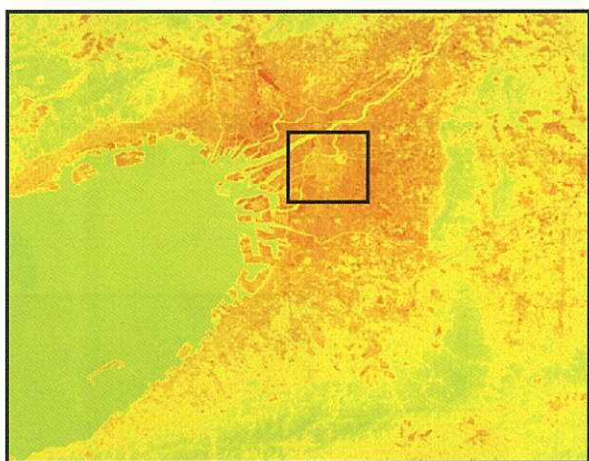
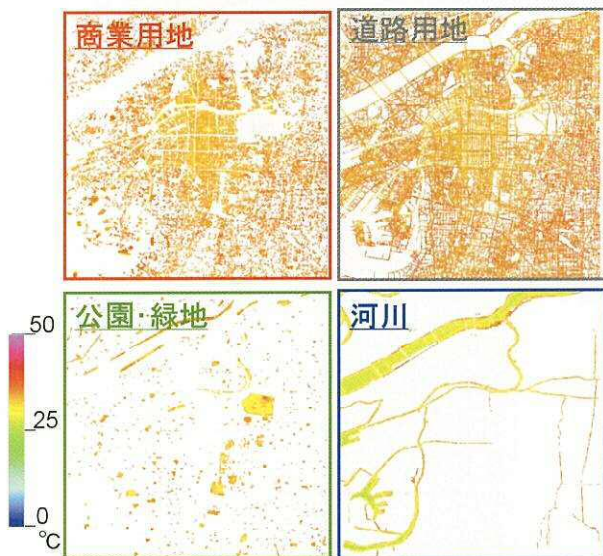


図7 山城地域の土地利用変化図 (1.7km×4.0km)



夏の日中 (1990/08/06)

図5 温度分布



大阪市中心部 (1990/08/06)

図6 土地利用と温度分布の傾向

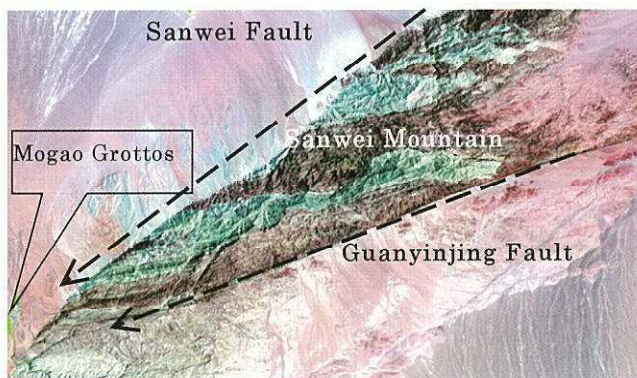


図10 Landsat5 TM Image (Band B:G:R=2:4:7)

大学側の受け入れ体制が整わなかったこともあり、結局、現在、内閣府主導で整備されつつある。平和利用の範囲を逸脱する可能性もあったが、若干残念な結果に終わった。

我々の研究が持続的発展のための都市の在り方や地方毎のインフラ再整備により具体的な提言を行えることを念じている。

参考文献

- 1) 尾島俊雄: ヒートアイランド, 東洋経済新報社, pp.5, 2002.8.1
- 2) 国土交通省国土地理院: 細密数値情報 (10m メッシュ土地利用) 近畿圏 1991年, 財団法人日本地図センター
- 3) 鳥居厚志・井鷲裕司: 京都府南部における竹林の分布拡大. 日本生態学会誌, Vol.47, No.1, 31-41, 1997.
- 4) 上田弘一郎: 竹のはなし. PHP 研究所, 202, 1985.