

仙台市の衛星画像の赤外放射分光による環境評価に関する基礎的検討 Basic Study on Environmental Evaluation of Sendai City Satellite Image by Using Infrared Radiation Spectrum

○平野 知晃*、谷口 正成*、竹田 厚*、高木 相*、曾根 秀昭**
○Tomoaki HIRANO*, Masanari TANIGUCHI*, Astushi TAKEDA*, Tasuku TAKAGI**, Hideaki SONE***

* 東北文化学園大学大学院健康社会システム研究科
** 東北文化学園大学科学技術学部、*** 東北大学情報シナジーセンター
* Graduate School of Health and Environment Science, Tohoku Bunka Gakuen Univ.
** Faculty of Science and Technology, Tohoku Bunka Gakuen Univ.
*** Information Synergy Center, Tohoku Univ.

キーワード：環境評価(Environmental evaluation)、リモートセンシング(Remote sensing)、
衛星画像(Satellite image)、赤外放射分光(Infrared Radiation Spectrum)、仙台市(Sendai City)

連絡先：〒981-8551 仙台市青葉区国見 6-45-1 東北文化学園大学大学院
健康社会システム研究科 生活環境情報専攻 谷口研究室 平野知晃
Tel : 022-233-3797、Fax : 022-233-3797、E-mail : victriabule@ybb.ne.jp

1. はじめに

戦後、我国は産業、ならびに、経済の発展に伴って都市は大きく変化してきた。一方、近年、地球の環境変化による温暖化は人類の社会問題までなっている。その要因として、人工構造物の増加にともない緑地・水域が減少し、地表面発散の減少や人工廃熱の滞留によるヒートアイランドの現象と云われている。^[1]

これに伴い、都市の環境変化の実態把握が不可欠となってきた。とくに、地球環境の調査には人工衛星によるリモートセンシング技術の応用は有効であると云われている。^[2] 筆者らは、仙台市の環境調査へのリモートセンシングの応用に関する検討を進めてきた。^[3]

本研究では、さらに、仙台市泉区の過去 15 年間の土地被覆変化の解析を行い、その環境変化を赤外分光放射による定量評価について基礎的な検討を行った。今般、その結果の一部を報告する。

2. リモートセンシングの概要

リモートセンシング(Remote Sensing)は、人工衛星や航空機等のプラットフォームに搭載されたセンサーによって地表にある物体や空間・流体などのさまざまな現象を電磁波の特性を利用して広範囲にわたって非接触で調査する手法である。^[4]

人間の眼は物体が太陽光などを受けて、その表面から反射した光を捉えてその物体を識別している。とくに、人間に見える光（可視光）は青、緑、赤の色の集まりであるが、物体の表面からは、この他にも人間の眼では捉えることのできない赤外線や紫外線、マイクロ波等が反射あるいは放射されている。これらを総称して電磁波と云われている。^[5]

したがって、地球上の諸物体から反射あるいは放射されるこの電磁波の強さを、人工衛星などに搭載されたセンサーでいくつかの波長帯に分けて測定すれば、地球上の森林、農地、市街地、海等の分類識別が可能となり、さらに、地球上の物体の温度を推定したり、海水、海氷や大気の状態を調査することができる。観測結果は、これらの特性を生かして地球環境や人類の日常生活と係わりの深い様々な分野で利用されている。^[6]

現在、利用可能な地球観測衛星は LANDSAT-7 (米国)、SPOT-4(フランス)、RADARSAT(カナダ)、IRS-IC/ID(米国 SI 社)、IKONOS(米国 SI 社)、Quick Bird(米国 Digital Globe 社)、Terra ASTER(日本 RESDAC)等があり、その衛星画像データは多くの代理店を通じて入手が可能である。

3. 地球観測衛星ランドサットについて

アメリカの地球観測衛星ランドサット 1 号(LANDSAT-1)は、1972 年(昭和 47 年)にアメリカが打ち上げた世界最初の地球観測衛星である。はるか宇宙から地球を観測することの有用性が認識されるようになった記念すべき衛星で、その優れた観測能力から、一躍リモートセンシングという技術が重要視されるようになった。その後、2 号と 3 号、更に発展した 4 号、5 号と引き続き打ち上げられ、現在は 7 号が主力として運用されている。^[7]

地球観測衛星ランドサットは、高度 705 km の上空を 99 分で地球を縦に一周しており、地球を一周するあいだに地球が自転するので地球との相対的軌道は少しずつ西へ移動していく。このように、南北両極上空を通る軌道をもつ人工衛星を極軌道衛星という。表 1 に、その詳細を示す。

LANDSAT-5 号の観測機器は、多重スペクトル走査計(MSS)とセマティックマップパー(TM)の 2 つのセンサーを搭載している。MSS は、光学系と検出器を組み合わせ、地表面からの太陽反射光を 4 つの波長帯に分けて観測する光学センサーです。TM は、MSS をより高度化した観測装置で、地表面を可視光域から熱赤外域まで 7 つの波長帯で観測している。

LANDSAT-7 号の観測機器は、表 2 に示すように、TM の後継機器となる ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) を搭載している。ETM+ では、TM と同じバンド 1 からバンド 7 に加えて、地表分解能 15m の高解像度を持つバンド 8 が新たに付加された。^[7]

ランドサット衛星からの映像を分析することによって、植生、地形、海流の動き、火山の爆発、砂漠の変化、農業地帯の変化、汚染、都市の変化などいままでの観測手段ではできなかった調査が可能になり、社会的に多く貢献されている。

表1. ランドサット衛星の軌道と諸元

衛星高度	915km(Landsat-1~3)
	705km(Landsat-4, 5, 7)
軌道	太陽同期準回軌道
回帰日数	18日(Landsat-1~3)
	16日(Landsat-4, 5, 7)
周期	約103分/1周回(Landsat-1~3)
	約99分/1周回(Landsat-4, 5, 7)
打ち上げ年	1972年(Landsat-1)
	1975年(Landsat-2)
	1978年(Landsat-3)
	1982年(Landsat-4)
	1984年(Landsat-5)
	1993年(Landsat-6)
	1999年(Landsat-7)
受信終了	Landsat-1: 1978年1月
	Landsat-2: 1982年2月
	Landsat-3: 1983年3月
	Landsat-4: 1987年10月
	Landsat-5/MSS: 1999年2月
	Landsat-6: 打ち上げ失敗

表2. 地球観測衛星とセンサーの諸元

センサ名	バンド	波長	種類	分解機能
MSS: MultiSpectral Scanner 多重 スペクトル走査 放射計(Land sat1~5)	Band4	0.5~0.6 μm	緑	80m
	Band5	0.6~0.7 μm	赤	80m
	Band6	0.7~0.8 μm	近赤外	80m
	Band7	0.8~1.1 μm	近赤外	80m
TM: Thematic Mapper セ マティックマッ パー(Landsat4 ~5)	Band1	0.45~0.52 μm	青	30m
	Band2	0.52~0.60 μm	緑	30m
	Band3	0.63~0.69 μm	赤	30m
	Band4	0.76~0.90 μm	近赤外	30m
	Band5	1.55~1.75 μm	中間赤外	30m
	Band6	10.4~12.5 μm	熱赤外	120m
	Band7	2.08~2.35 μm	中間赤外	30m
ETM+: Enhanced Thematic Mapper.Plusエ ンハンスドセマ ティックマッ パープラス (Landsat7)	Band1	0.45~0.52 μm	青	30m
	Band2	0.53~0.61 μm	緑	30m
	Band3	0.63~0.69 μm	赤	30m
	Band4	0.75~0.90 μm	近赤外	30m
	Band5	1.55~1.75 μm	中間赤外	30m
	Band6	10.4~12.5 μm	熱赤外	60m
	Band7	2.09~2.35 μm	中間赤外	30m
	Band8	0.52~0.90 μm	緑から近赤外	15m

4. リモートセンシング用画像処理ソフト

リモートセンシングで得たデータから必要な情報を抽出するには、リモートセンシング画像処理ソフトの利用が不可欠である。本研究では、オーストリアのERM(Earth Resource Mapping)社が開発したリモートセンシング画像処理ソフト(ER Mapper)を用いた。

ER Mapper は衛星データ、航空写真などのリモートセンシングデータや地震探査データ、重磁力探査データ等を様々な機能で処理・加工し、必要な情報の可視化表示が可能である。また、GIS等のベクトルデータと組み合わせたマップ画像の作成が可能である。

本研究では、2時期の環境変化を抽出するための差画像作成に使用した。

5. 地球表面の分光反射特性

図1に示すように、地球上の植物などの緑の様子は、緑色の波長や近赤外線（赤外域でも短いほうの波長）でよくとらえることもできる。また、物質の温度（放射熱をとらえる）は、種類にかかわらず、熱赤外（赤外域でも長いほうの波長）でよくとらえることもできる。なお、水は、可視光をあまり強く反射しないが、人間の目に近い形でカラー化すると、青色でよくとらえることができる。^[7]

その特性を利用してこの画像では、近赤外を分かりやすくするような加工を行った。

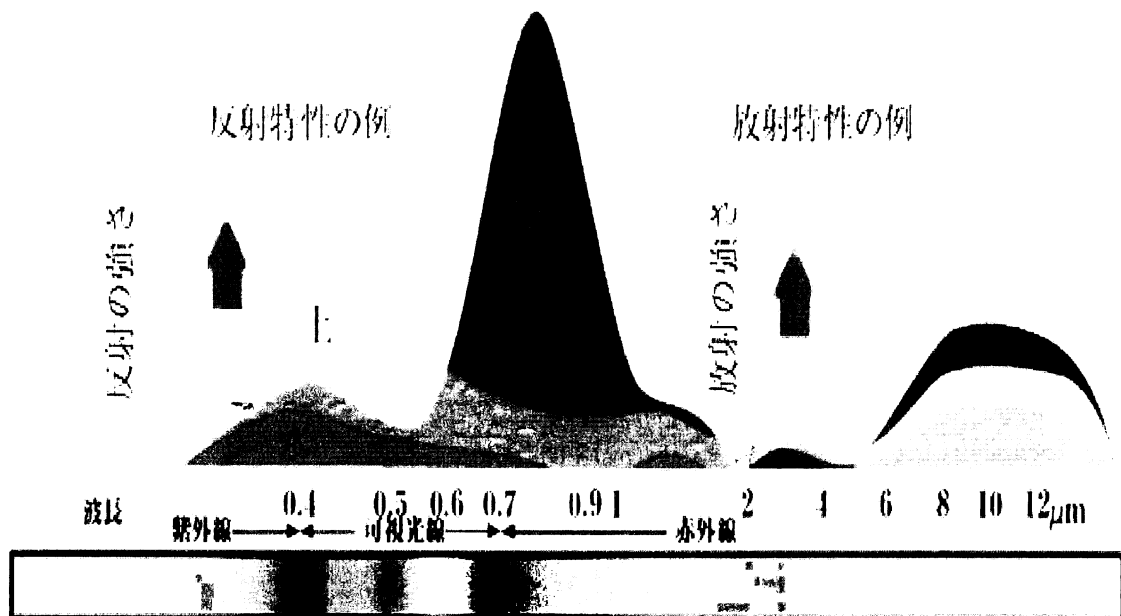


図1 分光反射特性の例

6. 被測定地域の選定

仙台市は平成元年(1989年)、東北地方ではただひとつの制令指定都市に指定され、人口は100万人を越え大きく発展をとげたといえる大都市である。とくに、90年代、制令指定都市に昇格しバブル期をはさんで大きく発展してきた。^[8]

とくに、泉市は仙台市と合併し、泉区と改名し、仙台市北部の生活・文化・業務拠点の副都心として整備が進められてきた。また、泉区は仙台市に合併後都市計画道路が開通、1992年には地下鉄の延伸、土地区画整備により、急激に変化した地域である。

したがって、本研究を進めるに際して、仙台市内で都市化の発展の大きな場所として仙台市泉区を被測定地域をとした。図2に、被測定泉周辺の地図を示す。

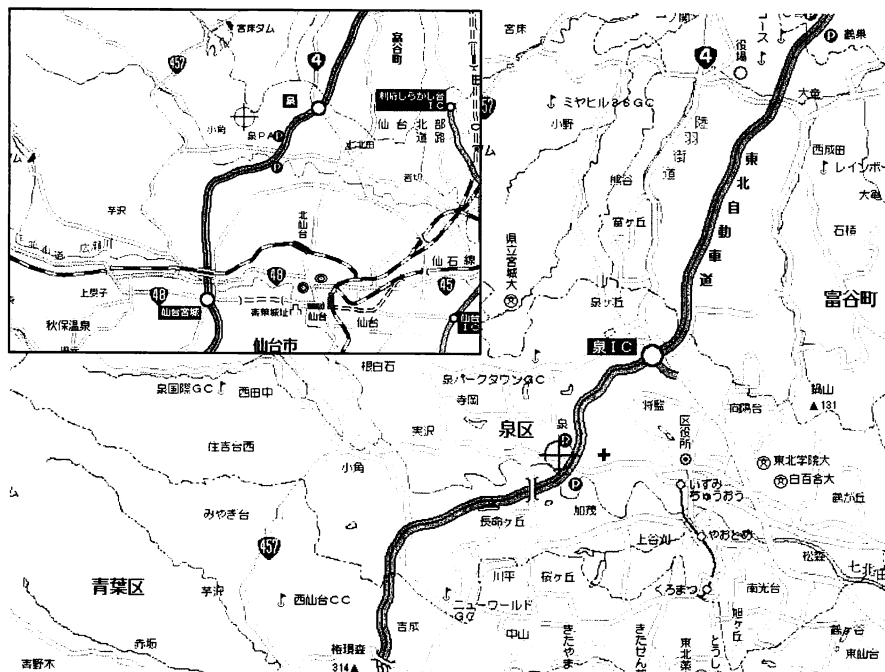


図2 泉区周辺地図

7. 画像データの作成と画像処理結果

仙台市泉区の1987年5月21日(合併前)と1999年5月22日(合併後)のランドサットTM衛星画像のデータを入手した。また、ER Mapperを応用して被測定地域の画像処理を幾何補正、バンド合成、ならびに、フォーミュラ計算を実行後、引き算で差画像を作成した。

地球観測衛星ランドサットで被測定地域を撮影した画像の一例を図3と図4に示す。図3は可視画像、図4は遠赤外画像を示し、各図の(a)は1987年、(b)は1999年に撮影した画像を示す。また、各図の(a)と(b)の画像から差画像を算出した結果の一例を図5に示す。

7-1. 可視画像による比較

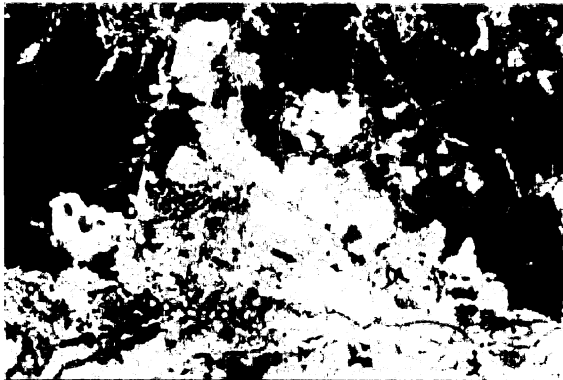
図3はLandsat/TMのバンド1を青、バンド2を緑、さらに、バンド3を赤にわりあてて表示した。いわゆるトゥルーカラー合成画像と云われ、人間の目に近い色の割り当てになっている。したがって、緑の濃い地域や、海や街などの様子や、川の流れの様子を解明することが可能である。

図5の(a)に示すように、1987年と1999年の可視画像の差画像から地下鉄泉中央駅と泉ICとその周辺、ならびに、その周辺で変化の様子が観測された。また、住宅地の開発に伴う、変化も観測された。

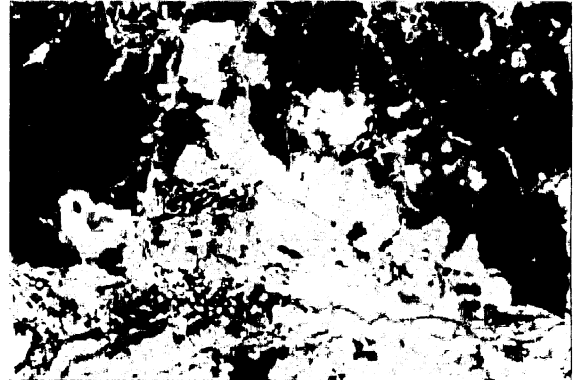
7-2. 遠赤外画像による比較

図4はTM Landsat/TM のバンド2を青、バンド3を緑、さらに、バンド4を赤に割り当てて表示し、フォーンスカラーとして植物領域と高温領域の変化を明確に加工した画像である。

図5の(b)に示すように、12年間の植物領域と高温域領域から、七北田、桂、大沢、明石南で温度上昇の変化が激しいことが観測される。



(a) 1987年の可視画像



(b) 1999年の可視画像

図3 可視画像

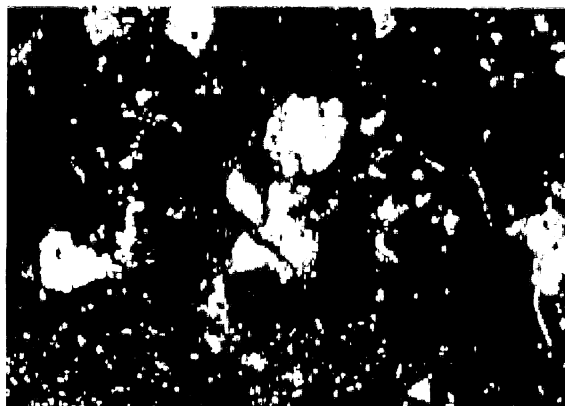


(a) 1987年の遠赤外画像



(b) 1999年の遠赤外画像

図4 遠赤外画像



(a) 可視画像



(d) 遠赤外画像

図5 1987年と1999年の差画像

8. 画像処理結果の考察

今回、仙台市の環境変化の調査にリモートセンシング技術を応用した。とくに、1987年と1999年に観測された衛星画像を元に視覚画像と遠赤外画像を作成し、赤外分光特性による比較、検討した。

その結果、視覚画像ではその変化を明らかにすることは困難であったが、遠赤外を使用した地表温度の画像の差画像から明確に12年間の影響が観測された。

また、現地調査の結果から泉中央地区では商業・行政の集積に伴う開発が行われた。とくに、七北田地区では、住宅・交通網の整備等による開発の影響であることを明らかにした。

さらに、植物減少し住宅地など都市化が進んだ為、都市熱変化を明らかにすることができた。

9. 分類および解析方法

変化のある場所は、表示させることが可能ではあるが都市・植物などの増加・減少量などは表示できずこのままでは、明確性にかける。そのため今回の研究では、定量化を行うため次の解析法を用いて都市・植物域の割合を出すこととした。教師付き最短距離法分類法を用いて、仙台市泉区の土地被覆分類を行った。初期の分類クラスを4（都市域・植物域・田畑・その他）として、分類計算を行い都市・植物域の割合を出した。その分類結果の一部を以下に述べる。

9-1. 被測定画像データの作成と分類結果

(1) 被測定画像データ

被測定画像データは、1987年5月22日、1999年5月22日、2002年5月22日LANDSATのデータある。全データとも、可視域の分解能30mにあわせてリサンプリングした。

(2) 分類画像解析結果

図5は、Landsat/TMの都市域を赤、植物域を緑、田畑を黄土色、裸地などを白で割り当てて表示させた。これによって、都市域・植物域の区別が付くようになった。

図6の(a,c)を見てみると、1987年と2002年の分類画像から15年間にどのように都市域が広がっていったかが、確認できる。また、住宅地の開発に伴う、都市域の拡大、植物域の現象も観測することができた。

10. 分類結果および考察

10-1. 全体的な傾向

(1) 泉区について、表3から2002年のデータを見てみると都市域33%に対して、植物域が46%と緑が豊かであると裏付けられる。

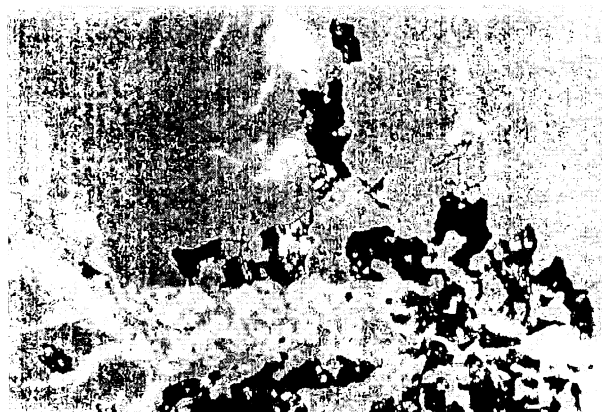
(2) 植物域は、山岳部が大半を占めており、泉駅を中心とした駅周辺には都市域が多く、植物域は少なくなっていた。

10-2. 裸地の減少

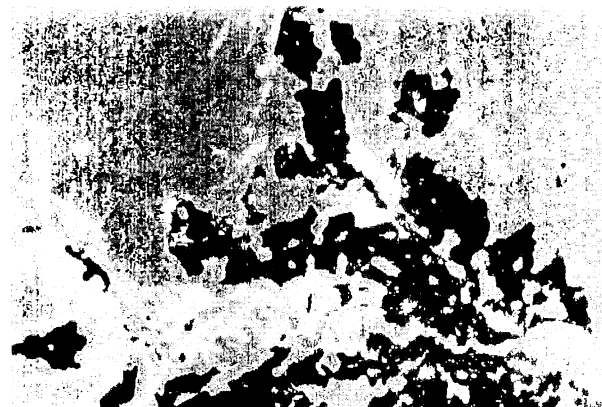
(1) 1987年では、裸地は多く見られるが1999年では都市域として判別されて箇所が多く見受けられた。

(2) 1999年には、裸地であった場所は2002年には少なからず開発が進んでおり若干ではあるが減少している。

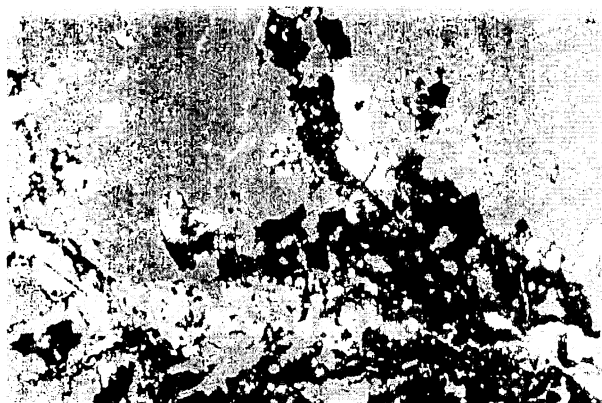
(3) これは、15年の間に開発が進んでおり、住宅地などに変わっていると確認できる。



(a) 1987年分類画像



(a) 1999年分類画像



(c) 2002年分類画像

図6 1987年、1999年、2002年分類結果

表3 年代別分類結果

	1987	1999	2002	
ALL	156555	156555	154119	(pix数)
forest	91234	76272	70887	
city	25335	40474	50623	
plant	36090	31734	23002	
rati	3896	8075	8939	
雲			3104	
forest	59	49	46	(%)
city	16	26	33	
plant	23	20	15	
rati	2	5	6	

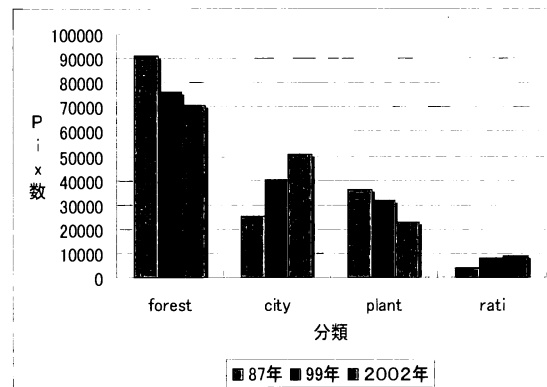


図7 3時期の分類Pix数の割合比較

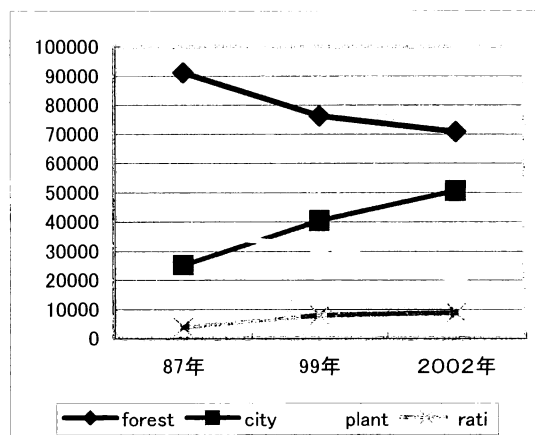


図8 3時期の分類変化の割合比較

10-3. 都市域の増加

泉区のデータを見てみると、都市域が16%から33%に増えており、植物域・その他は減少している事が確認できた。これは、都市開発により植物域・裸地などが減ったことを示していると思われる。

11. 結論と今後の課題

今回、泉区の15年間の環境変化と地域の分布状況の調査を行った。その結果、泉区の15年間の都市域・植物域の分布、ならびに、その変化を詳細に評価が可能となった。

今後、これらの評価が妥当なものであるか、画像分解能の高いASTER(15m)、IKONOS(1m)などを用いて分類精度の検証を行う計画である。

文 献

- [1]梅干野晃,浅野耕一：“全球熱画像による都市の暑さの評価”,日本赤外線学会誌,9(2),pp.35-41,(1998)
- [2]五十嵐保：“地球環境リモートセンシングの展望—人工衛星からの地球環境計測の現状と展望—”光学,9(9),pp.548-555,(2000)
- [3]平野知晃,谷口正成,竹田 厚,高木 相：“仙台市(泉区)の環境調査へのリモートセンシングの応用に関する基礎的検討”,計測自動制御学会東北支部学術講演会講演論文集,A03,pp.9-13,(2004)
- [4]安岡善文：“リモートセンシング技術の新たな展開”,土木学会誌,89(1),pp.6-7,(2002)
- [5]杉田幹夫,宮崎忠國：“分光放射計の開発と利用”,計測と制御,43(11),pp.825-831,(2004)
- [6]梅干野晃：“都市環境計測におけるリモートセンシング”,計測と制御,43(11),pp.872-875,(2004)
- [7]在阪法人リモートセンシング技術センター：
- [8]仙台市企画局情報統計課：“仙台市統計書,S62~H10”