

リモートセンシング技術による大規模ゴミ処分場の 維持・管理について

楊 寅 台*・後 藤 恵之輔**・全 炳 徳**

A Study on Maintenance and Management of Large Landfill Using Remote Sensing Technique

by

In-Tae Yang*, Keinosuke Gotoh** and Byungdug JUN**

Recently, due to the rapid progress of industry, pollution problems related to industrial and domestic wastes had become a serious issue to be taken in consideration. In the past, domestic and industrial wastes were used to be thrown into the sea for the purpose of land reclamation. Nowadays, there are some procedures used in dealing with reducing the size of these wastes such as recycling and fill material in earth works. In Japan, the weight of domestic and industrial wastes collected in 1990 was about 200 million tons. This huge amount was just much enough to construct the KANSAI International Airport. One can imagine how wide is the surface area needed for that purpose.

This paper presents an investigation about Tsurumi Ryokuchi Park in Osaka City and the main wastes dumping site of Seoul City, Korea now. Satellite data were used here to study the changes of temperature in landfill site with the passage of time. Using satellite data is believed to be a suitable method in monitoring the settlement and consolidation of the waste materials.

1. はじめに

近年、産業の発達と社会構造や環境の変遷に伴って、廃棄物の処理及びゴミ処分の必要性が飛躍的に増大している。一時期、多くの国々では廃棄物の一部を海洋投棄していたが、最近では海洋の汚染を止めるために、廃棄物の多くは地盤中に埋める方針で廃棄物処理を進めている。また、ゴミについてはリサイクルを考えた、ゴミの分別・収集などにより、ゴミの量を減らし、再利用の方法を探っている。

しかし、地盤中に埋める方針においては、地盤及び地下の水汚染などを考慮すべきであり、増えつつあるゴミの量を考えれば、ゴミ処理場の将来像を予測すべきである。毎年、排出される廃棄物量（埋立処分され

る毎年の廃棄物量は、約2億トン：1990年度、日本の統計による）が、1994年9月に開港した関西国際空港に使われた土砂の量に相当することは、驚くべき数量である¹⁾。これは、廃棄物を地中に埋め込むとしても、廃棄物の処理のための地盤の広さが膨大なものであることを意味する。

本研究では、ゴミや廃棄物の埋立により造成された、大阪市の鶴見緑地公園と韓国の首都圏埋立地の現地調査の結果を報告するとともに、大規模化しつつあるゴミ処分場の維持管理について、広域性をはじめ、様々な優れた特徴を持っているリモートセンシング技術が、どのように利活用できるかなどを探ってみた。

平成8年4月26日受理

*韓国江原大学校土木工学科 (Department of Civil Engineering, Kangweon National Univ., Korea)

**社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

2. リモートセンシング技術の概要

2.1 リモートセンシングとゴミ処分場

リモートセンシングとは、離れたところから物に直接触れないでその存在を感じとって計測したり、どんな現象が起こっているかを知ることである²⁾。これは大きく、宇宙リモートセンシング、高空リモートセンシング、低空リモートセンシング、地上リモートセンシング等で区別される。宇宙リモートセンシングとは人工衛星などによる宇宙からの観測を意味しており、高空・低空リモートセンシングは航空機や飛行船等によるもので、大気圏内の比較的低いところからの観測を意味している。また、地上リモートセンシングは、センサーを地上に設置し観測するもので、主に熱赤外線映像装置や赤外線カメラ等による地上観測とその解析を意味している。

リモートセンシング技術が適用可能なゴミ処分場の特徴の一つは、その膨大な広さである。この場合、地上からの現地の観測だけでは困難な場合が多いため、飛行機や人工衛星によるものに頼る必要がある。他の特徴は、リモートセンシング技術でキャッチできる発熱現象が激しいことである。東京湾のゴミ埋立地の測定例によれば、埋立後数年で80℃程度まで上昇し、約20年経てようやく一般の土中温度の15℃程度に低下していることが報告されている¹⁾。これは人工衛星観測による状況の把握が可能であることを意味する。

2.2 活用できるリモートセンシングの技術

リモートセンシングの代表的な特徴の一つは、波長によって、光波、マイクロ波などと呼ばれる電磁波の強弱や組み合わせ、その分布などをコンピュータにより解析するところにある²⁾。このため、宇宙リモートセンシングが迅速に行われ、その結果を生かすことができるのである。また、必要な波長の有効な範囲を利

用することで、分析しようとする地域の情報を的確にとらえることができる。

これらの中でも、リモートセンシングデータの広域性及び熱赤外線の利活用は、ゴミ処分場の維持・管理において重要な割合を占めていると言える^{3), 4)}。リモートセンシングの広域性は、適地選定及び環境の監視に有効である。また、熱赤外線バンドによる熱収支の把握は、画像データとしてとらえられ、面的な解析が可能である。これはある一点の観測によるものとは異なり、新しい見地からの解析方法を提供している。

利活用可能な他の特徴として、定期的に同じ場所のデータがとらえる周期性及びデータの数値化などが挙げられる。人工衛星のデータが地上をカバーする範囲は、一般に広く用いられているランドサットのMSSやTMセンサーの場合で、一つのシーン情報に約185×170 kmの面積を占めている。また、16日ごとに同じ範囲の解析場所を同一精度のセンサーで観測している。これらのデータは数値化され、単独あるいは他の数値化されている画像データと組み合わせることにより、種々の画像解析に適用できる。

3. ゴミ処分場の現地調査

3.1 大阪市の鶴見緑地公園

1990年、花の万博が開かれた大阪市の鶴見緑地公園は、今もまだ人工的に育てている樹木が見られる(写真-1(a)参照)ものの、新山としての美しさを作り上げている。1995年10月31日に現地調査を行った時には、ちょうど「大阪城の菊の祭典」が行われていた。作品はそれぞれ、将来の鶴見緑地公園の様子(写真-1(b)参照)で、公園の将来像のような祭典であった。現地調査の時の感想としては、鶴見緑地公園は大阪市におけるレジャー空間として十分な役割を果たしていると感じとられた。



(a)



(b)

写真-1 鶴見緑地公園の現在像(a)と盆栽により再現したと見られる公園の将来像(b)

もともと、この鶴見緑地公園は、湿地の上にゴミと土とで山を造ってできた公園である。公園の広さは甲子園球場の約40倍で、この公園は阿部緑地、久宝寺緑地、大泉緑地とともに大阪の四大緑地公園の一つである。公園があるところは、もともとレンコン畑として利用されていたところで、腰までつかるような湿地や沼地であった。標高は0 mに近く、水路が網の目のように広がり、大小の池や沼には蓮の花が咲き乱れていたところである¹⁾。

大阪市は公園整備のために1941年から土地を買収し始め、建設工事に伴って出てくる多量の土砂と家庭からのゴミ、および表土として使った生駒山地の 마사土で覆い、標高45mの鶴見新山を1973年に誕生させた。鶴見緑地公園を埋め立てる時の様子(写真-2(a))と現在の姿(写真-2(b))は、比較できないほど異なっている。しかし、ところどころ樹木を補強している設備が見られ(写真-1(a))、鶴見新山が出来上がってから23年になる今も尚、公園緑地化が進められている様子が見受けられる。現在も地盤沈下が進んでおり、生ゴミなどによるゴミの腐食のため、一カ所のガス抜き施設が稼働中である。

設が稼働中である。

大阪市の鶴見緑地公園は、一般の森林地帯とは異なり、ゴミと廃棄物によりできたところの上に、樹木が立ち並んでいる。このため、維持・管理が難しく、定期的な状況把握が必要である。リモートセンシング技術の広域性や近赤外線情報による植物活性調査⁵⁾などは、これらの維持・管理に有効な手段である。

3.2 韓国の首都圏埋立地

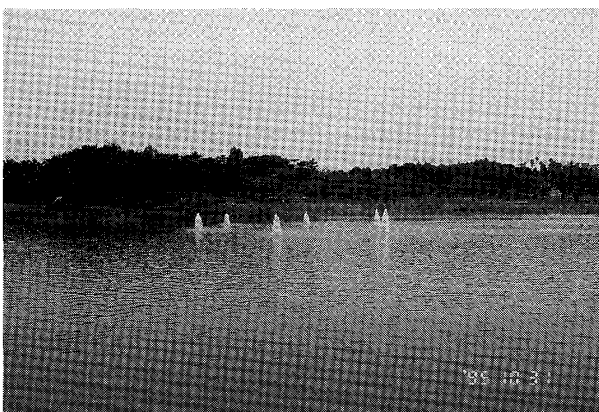
最近、ゴミと廃棄物により埋立が始まった韓国の大規模ゴミ処分場(首都圏埋立地)は、仁川市及び京畿道金浦郡に属する位置にある(図-1の矢印)。1991年11月7日に組合が設立され、ソウルと仁川市及び京畿道の22の市が構成団体となっている。

海水により湿地となっているこの地域は、1992年から本格的にゴミ搬入を始め、干拓事業とともに、埋立て工事を行っている。総面積としては630万坪で、事業期間としては1989年9月から2015年12月までの26年間の予定である。事業総面積としては、計5つの区域に分けられており、その第1区域の事業がスタートしている。

第1区域の面積は123万坪で、1989年9月から基盤施設を設置し始め、1992年2月からゴミによる埋め立て工事が始まっている。埋立ての予定は、1997年12月ま



(a)



(b)

写真-2 鶴見緑地公園の埋立当時(a)¹⁾と現在(b)

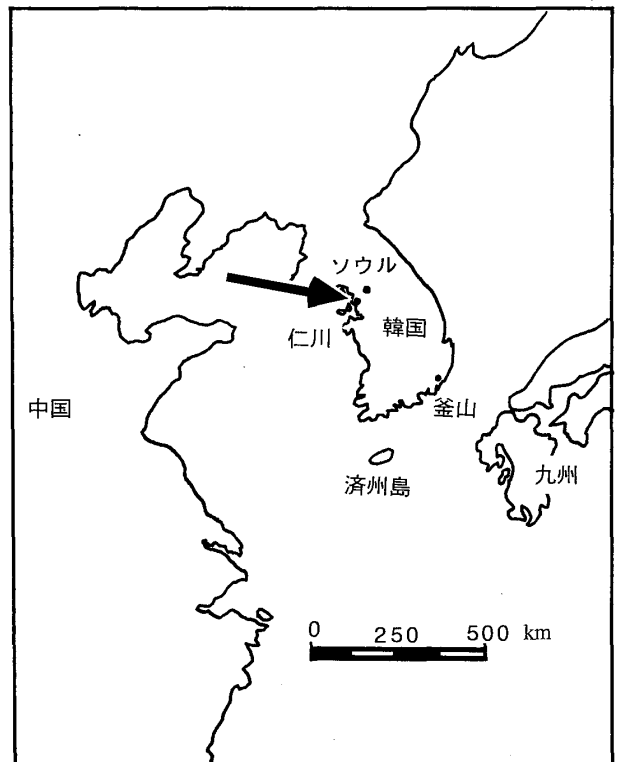


図-1 韓国の首都圏埋立地の位置

表-1 首都圏埋立て地の第1区域における一般廃棄物の搬入状況

区分	1992		1993		1994		総計	
	車台数	量 (ト)	車台数	量 (ト)	車台数	量 (ト)	車台数	量 (ト)
生活廃棄物	114,690	1,086,096	682,203	6,430,844	668,103	6,579,646	1,465,996	14,089,586
産業廃棄物	7,728	133,088	15,208	262,336	12,609	209,336	35,545	604,760
多量廃棄物	3,291	63,994	10,096	194,377	8,635	153,816	22,022	412,187
上下水道廃棄物	9,352	157,044	31,419	525,634	37,286	634,757	78,057	1,317,435
下水浚渫土	3,291	63,994	2,817	55,975	6,935	133,552	9,770	189,527
建設廃棄物	3,291	63,994	33,820	474,574	262,850	3,880,532	296,670	4,335,106
石炭灰	2,364	22,031	15,418	145,170	8,862	80,217	26,644	247,418
総計	137,425	1,462,253	791,981	8,088,910	1,005,298	11,664,856	1,934,704	21,216,019

での計5年間となっており、埋立て予定容量としては57百万トンである。第1区域における1992年から1994年までの一般廃棄物の搬入状況を表-1に示す。

表-1から伺えるように、首都圏埋立て地に埋まる廃棄物のほとんどは生活廃棄物であることが理解できる。その次の割合を占めているのが上下水道廃棄物である。この2つは、ほとんど生ゴミを含む廃棄物として、東京湾のゴミ埋立て地のように、埋立て地における地盤の温度上昇が予想される。しかし、予想される問題は温度の上昇だけではない。

先ず、地下水の汚染がその一つである。他の一つは、海岸の干拓事業を兼ねて行われている首都圏埋立て工事が、韓国の西海岸に沿って行われているため、仁川市を中心とした西海岸の汚染が懸念されている。韓国の西海岸の場合、大きく見れば中国大陸との間に囲まれている閉鎖性水域として、海流の流れがよくないため、韓国の東海岸に比べて汚れ具合が激しい。埋立て地の計画総面積が630万坪にも上っており、埋め込まれる廃棄物の73パーセント（94年までの統計による）が、生ゴミを含んでいる実情を考えれば、西海岸の汚染に影響がないとは言い切れない。

立入禁止となっている埋立て地の状況を詳しく調べることは現実的に難しい。しかし、リモートセンシング技術による温度上昇の状況把握⁶⁾や西海岸の汚れ具合を調べることは可能である。ここで、埋立て地の温度上昇を調べた結果を報告し、リモートセンシング技術の今後の利活用を探るとともに、利用可能な方法を述べておく。

4. ゴミ処分場におけるリモートセンシング技術の適用と利用可能性

4.1 調査方法

韓国では、現在埋立て工事が行われている首都圏埋立て地以外に、1979年から埋立てが始まり工事が終わっているナンジ島がある。ゴミ処分場へのリモートセンシング技術の利活用を試みるために、調査地域としてこのナンジ島を選択し、熱収支の分布を把握した。ここで、ランドサットのTMセンサーがとらえたナンジ島周辺の首都圏地域を、ナチュラルカラー画像として図-2に示す。

本研究の熱分布を調べるのに用いた人工衛星データは、ランドサットのTMデータで、雲の影響のない使用可能なものとして、表-2の7つのデータがある。この中で、時期が同じであるデータ（4つ）を選び、熱

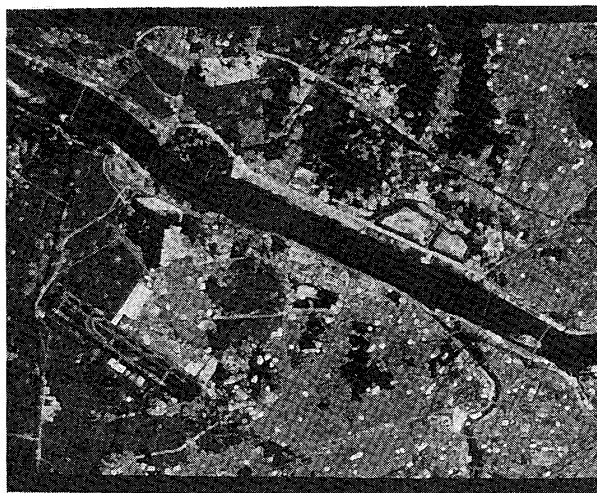


図-2 人工衛星から見た1992年9月22日のナンジ島を含む周辺画像

表-2 本研究で用いたランドサットデータ

人工衛星	センサー	パスロー	観測日	フォーマット	備考
ランドサット	TM	116-34	1986年04月15日	B S Q	画像解析に使用
ランドサット	TM	116-34	1987年05月20日	B S Q	画像解析に使用
ランドサット	TM	116-34	1988年11月14日	B S Q	—
ランドサット	TM	116-34	1989年11月01日	B S Q	—
ランドサット	TM	116-34	1990年04月10日	B S Q	画像解析に使用
ランドサット	TM	116-34	1991年05月31日	B S Q	画像解析に使用
ランドサット	TM	116-34	1992年09月22日	B S Q	輪郭抽出に使用

収支の分析に用いた。

廃棄物による埋立て地の内部状態を推測するには、表面に出てくる水を採集し分析する方法と、工事の前に計画的にセンサーを埋立て地の内部に設置し、データを取得する方法とに分けられる。しかし、後者のような配慮がなされていないところにおいては、細かい分析が不可能である。それに、埋め込まれた廃棄物の情報までも公開されていない場合は、分析が困難である。細かくかつ正確な情報が取れないのは、ゴミ処分場の現状であろう。

しかし、リモートセンシングデータの場合、同じ場所を定期的に記録しておき、間接的な分析の情報を提供してくれる。特に、廃棄物における熱の発生情報を、熱赤外線バンドにより取得可能である。また、最終的に公園化を目指しているほとんどの埋立て地において、植えられる樹木や芝生の植物活性度が調べられ、間接的に地下の状態を把握することもできる。本研究では、熱赤外線バンド（TMバンド6）を用いて、韓国のナンジ島表面の熱の収支がどのように変化しているのか、その中からどのような情報が得られたのかを報告する。

4.2 画像解析

解析の手順としてはまず、ナンジ島において、ある程度のゴミ埋立て地の作業が終わった、1992年9月22日のデータを基準として、埋立て地の輪郭範囲を抽出するとともに、幾何補正と重ね合わせ処理により、1992年9月22日以前のデータの埋立て地における熱の変遷を推察することにした。

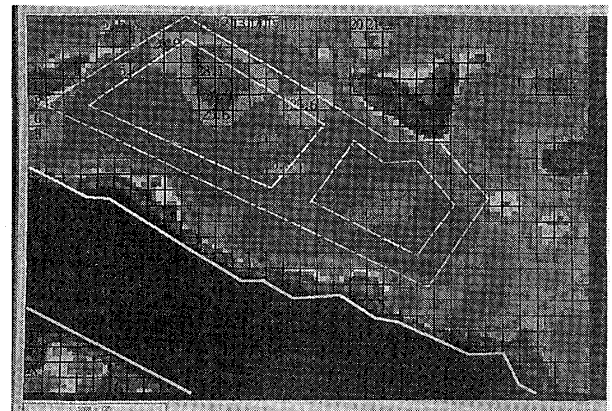
データ検索を行った結果は表-2のとおりであり、埋立て地における発熱分布の解析に用いたのは、季節的な影響を避けるために4月と5月のデータにより行った。解析結果を図-3(a)から図-3(d)までに示す。画像の中には地点別温度を数字で表しており、左側にはアル

ファベットのA-Yまで、上端部には1-33までの区域に分けて、本研究の分析に用いた。

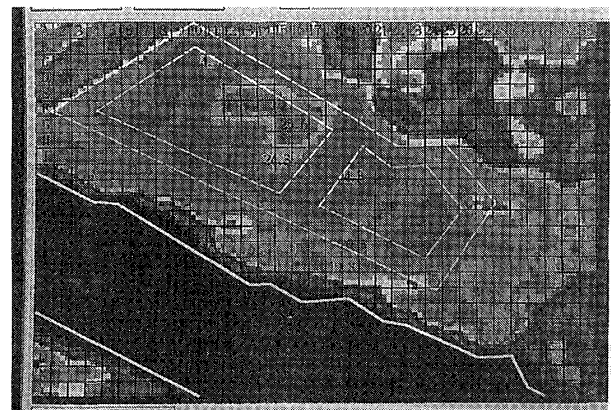
本研究で用いた温度抽出モデルは、NASAが開発したもので、詳しいことは参考文献^{7), 8)}を参照されたい。

4.3 ナンジ島の発生熱の観測結果

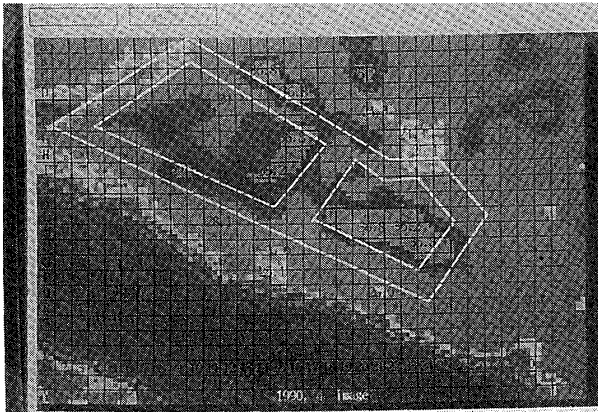
ナンジ島の発生熱観測結果である4つの画像において（図-3参照）、白線で表しているように埋立て地が2分割されているが、左側のやや大きく見えるところ



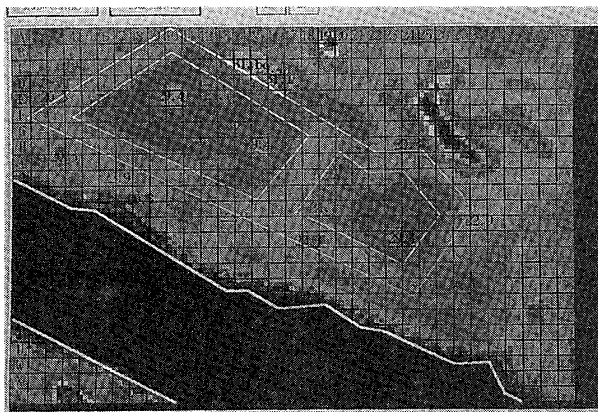
(a) 86年4月15日



(b) 87年5月20日



(c) 90年4月10日



(d) 91年5月31日

図-3 TMバンド6によるナンジ島の熱分布画像

が第1埋立て地、右側のやや小さいのが第2埋立て地である。第1埋立て地においては、1983年からゴミが搬入されゴミの埋立てが始まったところであり、第2埋立て地は、1988年からゴミの埋立てがスタートしている。これらの情報を念頭に置いて、分析に用いた、図-3の4つの画像を詳しく調べれば、次のような結果となる。

(1) 1986年4月15日の画像解析結果 (図-3(a))

1986年度においては、第1埋立て地の左側上端部分(D11)で、28.1℃の高い温度を示している。そして、その回りを円形で囲む形で、赤色(25.6℃)の温度分布が現れている。その周囲は青色(20.7℃)の温度となっており、ゴミの埋立てのために掘られた部分を表している。

画像から伺えるように、第1埋立て地においては、画像の左上端部からゴミの搬入が始まっており、ゴミによる温度の上昇が見られている。第2埋立て地においては、第1の埋立て地で見られる温度の激しい変化は見られない。しかし、埋立て地の中央部分において

は少しの温度差が見られている。これは土の含水比の違いか、凸凹の差によるものと考えられる。

全体的に、この画像からは、埋立て地の用意ができていない現場の様子や、第1埋立て地においてゴミの埋立てが始まりゴミによる熱の発生のあることが、人工衛星の熱赤外線センサーにキャッチされていることが理解できる。

(2) 1987年5月20日の画像解析結果 (図-3(b))

1987年の画像からは、第1埋立て地における温度の上昇部分が右側に移っていることが見て取れる。これは左側の埋立てが終わり覆土をしている様子を表していると考えられる。ゴミの搬入による温度上昇が見られる右側の温度分布は25.6℃で、1986年度のゴミによる温度(28.1℃)よりやや低い結果となっている。

また、1986年度の低地帯と思われる温度分布(H14の20.7℃)地域が、1987年に埋立てられ、ゴミによる温度の上昇現象が出始めている。そして、1986年度のデータでは見られなかった第2埋立て地の温度上昇が、埋立て地の左側から始まっていることが伺える。1988年度から本格化された第2埋立て地のゴミ搬入が、1987年5月からスタートしていると見られる。

(3) 1990年4月10日の画像解析結果 (図-3(c))

1986年と1987年の両画像からゴミの搬入が見られた第1埋立て地における表面熱は、1990年度の画像においては、ほとんど30℃を越えている。これは埋立てられたゴミの熱発生によるものと考えられる。これらの現象は第2埋立て地においても同じである。

1990年の画像の中で、ナンジ島埋立て地の一番低い温度を示しているのは31.1℃で、一番高い温度を示しているのは36.8℃である。これは同じく4月のデータである1986年度の20.7℃～28.1℃の温度分布に比べて、平均値としても約10℃の温度上昇である。これらの結果からも、覆土により表面まで出てこない埋立て地内部の温度の上昇が、どれほど高いものであるのかが伺える。

全体的にこの画像からは、覆土が進んでいるところと、覆土工事ができていないところとの位置が把握できる。第1埋立て地においては、左側の部分で覆土工事が進んでおり、第1埋立て地の右側と第2埋立て地においては、まだ覆土工事の段階ではないことが、高い表面温度から伺える。

(4) 1991年5月31日の画像解析結果 (図-3(d))

埋立工事及びその施設工事が1994年1月には終わる



(a)



(b)

写真-3 埋立進行中の韓国首都圏埋立地(a)と鶴見緑地公園内の「韓国庭園」(b)

が、1991年5月の画像に見られるように、第1及び第2埋立て地において覆土工事が進んでいることが伺える。これは、1990年に見られた高温の表面温度が、この画像では見られないことから見て取れる。また、1991年の画像において熱分布が安定していることから理解できる。しかし、ところどころ温度上昇の部分が見られ、地域ごとに活発な熱を発生しているところがキャッチされている。

5. むすび

大阪市と韓国の首都圏ゴミ処分場の調査結果から、ゴミ処分場の選定及び維持・管理において、リモートセンシング技術は大いに利活用できることが分かった。その一つとしては、地理情報を重ね合わせた人工衛星データの活用である。ゴミ処分場の適地選定は、様々な要因が重なっている。特に、ゴミの量が多い都市圏などの地理的情報においては、広域的な視野を持っている人工衛星データの活用が望ましく、数値化された地理情報の活用などにより、精度よい適地選定が可能であると言える。

熱赤外線バンドによるゴミ処分場の調査結果から、ゴミ処分場の形をはじめ、熱発生の原因となるゴミの位置把握、現在の内部熱推測など、リモートセンシングを大いに利活用できる情報が得られた。人工衛星の熱バンドは、過去の情報を把握すると同時に、未来の予測の一情報としても有効に使えるであろう。また、大阪市の鶴見緑地公園内の樹木の状態から推察して、リモートセンシングで定期的に植物活性度を調査することにより、ゴミ処分場の維持・管理の対策をとる情報が得られるものと考えられる。

最後に、韓国の首都圏埋立地の場合においては、大阪市の鶴見緑地公園の試行錯誤が、大いにその将来像を作り上げるのに役立つ情報となるのではと思われる。

る。1991年から埋立地のための組合が設立され、ゴミ・廃棄物の埋立作業がスタートした韓国首都圏埋立地の様子(写真-3(a))と、1941年のゴミ処分場のための土地の買収から55年が過ぎた、大阪市の鶴見緑地公園内にある「韓国庭園」の様子(写真-3(b))を比較しながら、新名所としての韓国の緑地公園が出来上がることを切に願っておく。

参考文献

- 1) 足立紀尚他：地盤の科学，講談社，pp.93-98，1995-9.
- 2) 中島巖：宇宙から地球を探る，同文書院，pp. 16-25，1982-1.
- 3) 三星建設(株)：遠隔探査による埋立地おける発生熱の分布解析，報告書(韓国語による)，1994-7.
- 4) T. M. Lillesand and R. W. Kiefer : Remote Sensing and Image Interpretation, 2nd Edtn., pp. 1-11, John Willey & Sons, 1987.
- 5) 後藤恵之輔，崔 勝弼，全 炳徳：人工衛星(MOS)データによる9119号台風被害の追跡調査，自然災害科学研究西部地区部会報・論文集，第19号，pp. 32-41，1995-3.
- 6) 楊 寅台他：遠隔探査による埋立地の発生熱分布解析，大韓土木学会94年度学術発表会概要集(II)(韓国語による)，pp. 505-508，1994-10.
- 7) L. A. Bartolucci, M. Chang, P. E. Anuta, and M. R. Graves : Atmospheric effects on Landsat TM thermal IR data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 26, pp. 171-176, 1988.
- 8) Brian L. Markham and John L. Barker : Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperature, NASA/Goddard Space Center, 1986.