

2章 衛星リモートセンシングによる都市の土地 被覆変遷

後藤惠之輔、後藤 健介、藤田 徹

1節 都市環境とリモートセンシング

人間の文化の発展と共に急速に進んでいる都市化は、昔から我々の身近にある環境を少しずつ変えていっている。土の道はアスファルトに覆われた道路に変わり、農地だった田んぼなどの土地は宅地へと姿を変えていった。また、子供の頃遊び場だった川の護岸などは、コンクリートで囲まれたものとなった。我々の生活が自然的なものから人工的なものへと変わっていっていると言えるのかもしれない。さらに、都市化は人口の集中をもたらし、このことによって、土地利用の変化（植生の減少、コンクリート化）が進み、エネルギーの消費が増大する。そして、これらのことが、ヒートアイランド現象¹⁾や都市の砂漠化といった都市環境問題を引き起こしている。さらには、都市の機能が土地利用の変化に追いつかず、結果として土砂災害や水害などの災害が起ってしまう。

都市の土地被覆の変化は、前述したような都市環境の変化や都市で起る災害の原因を知る上で重要となってくる。しかし、広大な面積の土地被覆分類を行うのは困難である。航空写真測量によって分類を行うことはできるが、分類を行う人の主観性が含まれてしまい、定量的な分類を行うには熟練した技術が必要となってくる。

衛星リモートセンシングは、物体の反射特性を利用して種々の調査を行うことができる技術で、広域観測を一大利点とし、調査者の主観によらず普遍的に評価解析を行うことができる。この衛星リモートセンシング技術を用いれば、定量的、定性的な土地被覆分類が可能となるわけである。

この章では、衛星リモートセンシング技術を用いた都市の土地被覆分類を行

い、その変遷を時系列的に解析することによって、都市部での災害および都市環境変化との関連性を検討していくこととする。解析対象地は福岡市、佐賀市および長崎市とした。

2 節 都市の土地被覆分類

1. 解析方法

リモートセンシングによる解析を行う場合、分光反射特性が重要な要素となる。地上のあらゆる物質は太陽からの光を反射しており、各波長域において物質特有の反射率を示している。これを分光反射特性という^{2), 3)}。この分光反射特性を利用することによって、都市のように多種多様な物質が混在している場所でも、植物^{4), 5)}やアスファルトといった、それぞれの物質の混在率や幾何学的特徴によって、都市内を分類することが可能となる。

ここでは、解析地内において、地表状況が既知の地域（トレーニングエリア）のサンプルデータを抽出し、このトレーニングエリアの分光反射特性を基に全域を分類する、いわゆる教師あり分類を行った。衛星データは、1972年と1980年にLANDSAT/MSSデータを、1987年にLANDSAT/TMデータを用いた。MSSデータの一つの画素数に対する解像度は約80m、TMデータの解像度は約30mである。

まず、衛星データを地形図に投影し、地形図上でのランドサットデータの位置を決定する。これは、TMバンド5のデータより水域と陸域の分離を行い、水域の形（海岸線や池・湖など）を地形図と重ね合わせる方法をとった。

次に、土地被覆の分類項目を決定し、トレーニングエリアを抽出する。本解析では分類項目として、都市内の人工地表を市街地と宅地に、自然地表を樹林、農地、裸地、水域とした。

トレーニングエリアとして、これらの項目に適合する地区の選定を行うが、選定に当たって本解析では、福岡市の1/7000航空写真（1986年撮影）を入手できたため、これを参考とした。

さらに、各トレーニングエリア（福岡市、佐賀市、長崎市）のデータの分光反射特性から、各分類項目別に見られる反射特性の特徴を調べ、この分光反射

2章 衛星リモートセンシングによる都市の土地被覆変遷

特性を教師として、これを基に解析地全域を分類する。分類した結果は、土地被覆分類図と土地被覆別の面積の集計として表し、これらの経時変化や地域特性について考察する。

2. 土地被覆分類の結果

(1)福岡市

福岡市の土地被覆分類図を図1(a)～図1(c)に示す(原図はカラー)。

1972年、1980年、1987年を比較すれば、まず農地が急速に宅地化されていく様子が分かる。特に南区や城南区、多々良川河口付近で農地の減少が著しい。

さらに詳細に見れば、土地被覆が農地から順に裸地、宅地、市街地へと変化する場所が多く見受けられる。海岸線に注目すれば、埋立ての進行が把握できる。1972年は箱崎埠頭の埋立て工事が行われている。1980～1987年には地行・百道地区埋立地と小戸・姪浜地区埋立地が完成している。

(2)佐賀市

佐賀市の土地被覆分類図は紙面の都合上省略する。

佐賀市は、水田地帯の中に位置する田園都市だということが良く分かる。1980年と1987年の比較では、宅地が道路に沿って造られている様子が明らかである。1980年の画像では、宅地に囲まれて水田が残っている場所も、1987年には宅地化されている。

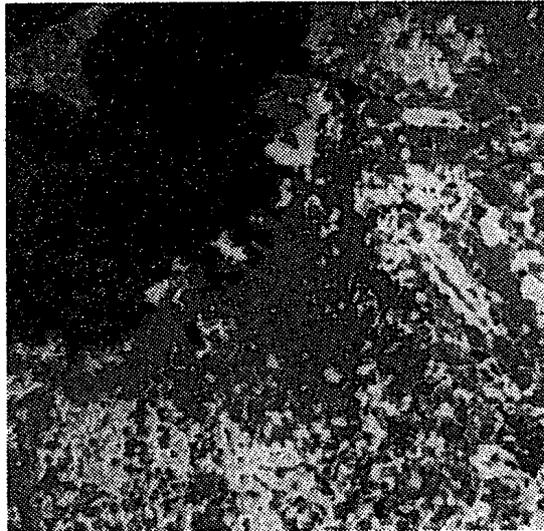
福岡市の画像と比較すれば、佐賀市は宅地に分類されている箇所が多い。これは、佐賀市の建築物が比較的低層でありあまり密集していないためであると思われる。

また、1987年では直線や直角の構造が目につく。佐賀平野は古くから碁盤目状の土地利用が発達しており、近年では農地区画整理も進んでいることから、地表には直角および直線のパターンが多いと考えられる。

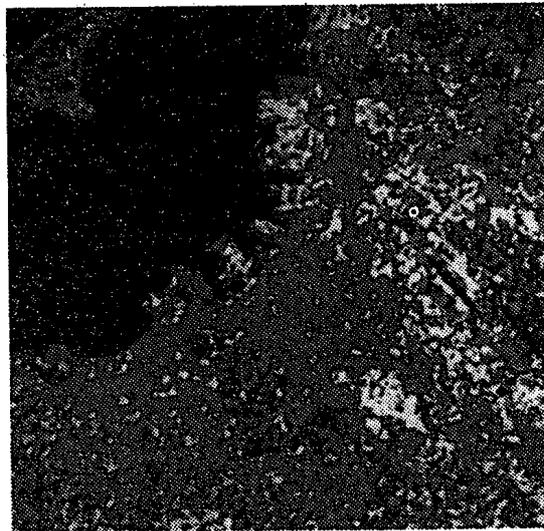
(3)長崎市

長崎市の土地被覆分類図も紙面の都合上省略する。

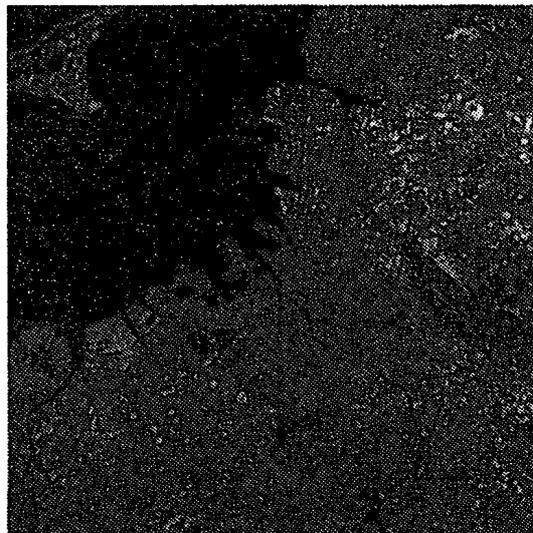
長崎市は、裸地と判別された場所が他の2都市に比べて少ないことが分かる。それだけ家屋が密集していることを表している。さらに、長崎は平地が少ないため、新しい宅地は山の谷部に沿って上流へ延びている様子が伺われる。



(a) 1972年 (人口91.2万人)



(b) 1980年 (人口108.8万人)



(c) 1987年 (人口119.3万人)

図1 福岡市の土地被覆分類図

2章 衛星リモートセンシングによる都市の土地被覆変遷

また、青葉台団地、長与ニュータウン、女の都団地、西山団地および南長崎ダイヤモンドなど、山中に住宅団地が造成され、発展していく様子も分かる。

長崎市の土地被覆分類では、山間部に農地と判別された場所がかなりあるが、これは明らかに誤判別によるものである。この分布は山の南～東斜面に集中しており、衛星の観測時に太陽に面していたと思われる箇所である。このため、日射を受ける南～東斜面の反射率は、陰となる斜面よりも高くなり、樹木よりも全体的に反射率の高い農地と判別されたようである。

3. 土地被覆面積

次に、土地被覆の変化を数量的に表した結果について考察する。

表1(a)～表1(c)は福岡市、佐賀市、長崎市の土地被覆を分類項目別に面積集計したものである。この表を見れば、1972年から1980年の土地被覆変化と比べて、1987年の土地被覆の割合は明らかに不自然である。これは1987年の土地被覆分類にTMデータを用いたためである。TMデータはMSSデータより解像度が高く、より詳細に分類されているためであるが、このままでは1987年の比較を行うことができない。

そこで、市街地と宅地を人工地表、農地と樹林を自然地表とし、それぞれの変化を調べることにした。多少の誤差は考えられるが、各分類項目別に集計したものよりも誤判別は少ないものと判断した。ただし、裸地は人工地表と自然地表の両方を含むため除外した。反射率が高い平坦な場所を裸地と判別しているためである。

図2(a)および図2(b)に各都市の人工地表と自然地表の変化を示す。樹林および農地の自然地表の著しい減少は明らかである。

3節 土地被覆変遷に見る都市災害と都市環境変化

今回は、衛星リモートセンシングを用いることで、定性的および定量的に都市の土地被覆変遷を調べることができた。最終的には土地被覆分類図を作成し、時系列的に解析対象地である各3都市の土地被覆変遷を知ることができた。この結果から、土地被覆変遷と都市災害および都市環境変化との関係を検討する。

表1 土地被覆面積

(a) 福岡市

	市街地	宅地	裸地	農用地	樹林	水域
1972年	23.76km ² 12.04%	38.74km ² 18.61%	36.75km ² 18.62%	32.83km ² 16.63%	13.20km ² 6.69%	54.13km ² 27.42%
1980年	33.89km ² 17.17%	44.23km ² 22.40%	29.54km ² 14.96%	22.49km ² 11.39%	13.20km ² 6.69%	54.06km ² 27.39%
1987年	15.70km ² 7.88%	73.64km ² 37.00%	27.81km ² 13.98%	13.89km ² 6.98%	15.51km ² 7.80%	52.47km ² 26.36%

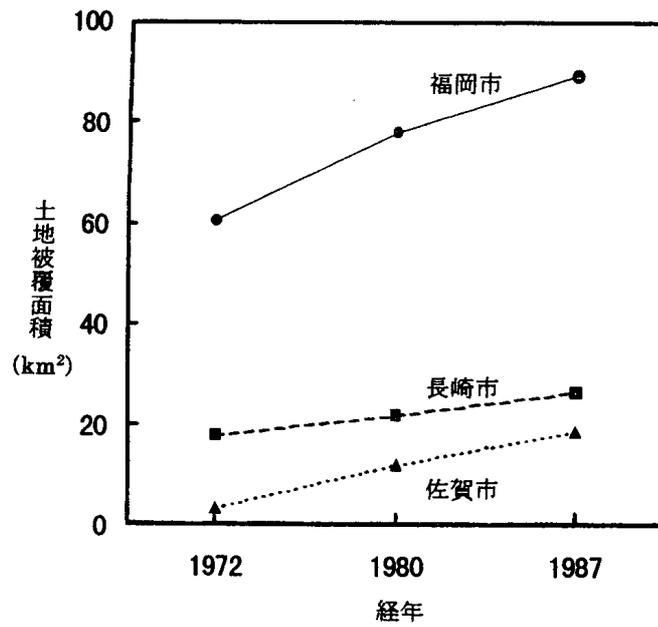
(b) 佐賀市

	市街地	宅地	裸地	農用地	樹林	水域
1972年	0.45km ² 0.75%	3.15km ² 5.26%	5.21km ² 8.69%	50.75km ² 84.70%	0.23km ² 0.39%	0.13km ² 0.22%
1980年	6.22km ² 10.38%	5.85km ² 9.76%	5.75km ² 9.59%	41.75km ² 69.66%	0.23km ² 0.39%	0.13km ² 0.22%
1987年	1.51km ² 2.55%	17.17km ² 28.98%	4.34km ² 7.33%	35.86km ² 60.53%	0.23km ² 0.39%	0.13km ² 0.22%

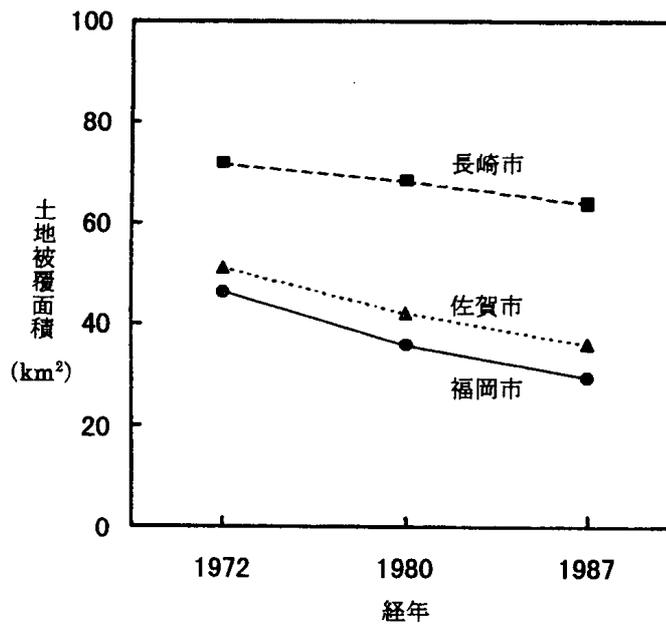
(c) 長崎市

	市街地	宅地	裸地	農用地	樹林	水域
1972年	6.34km ² 6.41%	11.48km ² 11.60%	3.38km ² 3.41%	17.54km ² 17.72%	54.16km ² 54.72%	6.08km ² 6.14%
1980年	9.87km ² 9.97%	12.14km ² 12.27%	2.72km ² 2.75%	17.54km ² 17.72%	50.63km ² 51.15%	6.08km ² 6.14%
1987年	8.70km ² 8.81%	17.79km ² 18.01%	2.38km ² 2.41%	16.39km ² 16.59%	47.46km ² 48.04%	6.08km ² 6.14%

2章 衛星リモートセンシングによる都市の土地被覆変遷



(a) 人工地表



(b) 自然地表

図2 人工地表と自然地表の土地被覆面積の変遷

福岡市では、土地被覆分類図（図1参照）から年々水域が減少してきていることが分かった。都市化につれて宅地化が進み、また下水道が普及したため、小河川や沼地、水田が次々に埋め立てられた。特に福岡市では水田が減少してきている。

水田は、本来の機能のほかに、水質を浄化する、土壌の流出を防ぐ、ゆっくりと水資源を育むなどの働きが知られているが、特に雨を受け止め水害を防ぐという、都市にとって重要な働きを持っている^{6),7)}。また、水田や沼地などは一つ一つの洪水調節効果は小さいものの、各所に分散されて多く存在すれば、かなりの効果が期待される。さらに、河川などへの流出に時間差を与え、豪雨時には流出量を調節する⁸⁾。これらの重要な働きを持っている水田や沼地などが減少すれば、都市の排水機能は下水道やコンクリート護岸などで固められた河川に頼らざるを得なくなる。

最近では、今年（1999年）の6月29日に、福岡市で1時間に77mmの豪雨による水害が起り、都市の中心部であるJR博多駅周辺が冠水し、天神地区においてもデパートの地下等が被害に遭った。最終的には死者1名を出す最悪の結果となってしまった。この水害の原因は、豪雨の時間と満潮の時間が重なったことが第一の原因と言われているが、著者らが現地調査やヒアリング調査を行った結果⁹⁾、排水機能が機能しなかったということも大きな原因となっていることが分かった。図1を見てみれば、博多駅周辺は年々、水田や沼地が減少していていることが分かる。

考えてみれば、一昔前では都市で冠水の被害があるのは年に一度あるかないかであった。しかし、近年、このような都市における水害が年々増加し、このことは、水田や沼地などの洪水調節効果が期待される土地の減少と比例しているようである。

長崎市においては、2節の2.（3）で述べているように、青葉台団地、長与ニュータウン、女の都団地、西山団地および南長崎ダイヤランドなど、山中の森林を切り開いて宅地造成が行われた。この長崎市では、1982年に大災害が起っており、長与町では時間雨量187mmという値が記録され、死者行方不明者299人を出した。

この災害は、特に新興住宅地の周辺で起っており、土地被覆面積に示される

2章 衛星リモートセンシングによる都市の土地被覆変遷

ような宅地の広がりに伴う、水の流量調節機能を持つ森林地の減少に関係していると考えられる。このため、今後、1982年の大災害当時と同じ量の雨が降れば、さらに大きな被害が出る災害が起る危険性があると思われる。

また、都市のヒートアイランド現象が年々ひどくなってきているが、これも土地被覆分類図（本文では掲載していないが）から分かるように、蒸発散による気温調整を行う、水田、沼地、森林などの自然地が減少し、コンクリートで囲まれた箇所が増加する都市化と深い関係があると考えられる。

佐賀市においても、福岡市および長崎市同様に都市化が進んでいることが分かるが、それに伴った都市の排水機能、都市環境への影響が出てくることが予想される。

4節 今後の都市化とリモートセンシング

以上のように、都市化による土地被覆変遷から、都市災害、都市環境の変化を考えてきたが、都市化は今後も人口の増加と共に進み、自然地が姿を消していくことが危惧される。自然は、人間にとって精神的な安らぎを与えてくれるだけではなく、洪水調節などによって都市の排水機能を助け、温度調節などで都市の気候をなるべく自然に近いものにしてくれる、大切な役割を持っている。

幸い、最近では地球規模での環境問題が取り上げられ、環境アセスメント¹⁰⁾などによって、生物生息空間、すなわちビオトープ¹¹⁾の重要性が叫ばれるようになった。自然をなるべく生かし、自然と共存できる工法が行われるようになってきている。まだこういった動きは始まったばかりであるが、少しずつでも我々の自然に対する考えが良い方向へと変わり、都市も自然と共存できていけばと願いたい。

今年（1999年）に入って、9月にアメリカのスペースイメーシング社がイコノスという、可視光域において分解能が約80cmの高解像度衛星を打ち上げた¹²⁾。今後も高解像度衛星の打ち上げが計画されており、このことによって、さらに詳細な解析を行うことが可能となり、今回のようなリモートセンシングによる土地被覆分類の正確性も上がる。

衛星リモートセンシングは、宇宙から我々が住んでいる地球を見ている目であり、環境の変化を刻一刻と見続けている。今後も都市化と共に、土地被覆変遷を衛星リモートセンシングによって解析していくことは重要で、今回の結果とは逆に、自然地が増加していく結果が見られるように、都市化や環境を考えていきたい。

参考文献

- 1) 山元龍三郎：気象異常、集英社、pp.32～35、1989.
- 2) 和達清夫、土屋 清、安田嘉純ほか：リモートセンシング、朝倉書店、pp.110～120、1976.
- 3) 日本リモートセンシング研究会編：図解リモートセンシング、日本測量協会、pp. 6～7、1992.
- 4) 後藤恵之輔、後藤健介、金 應南：衛星リモートセンシングを利用したサトウキビ塩害の調査解析と塩害対策の提言、自然災害科学、Vol.18、No. 1、pp.87～101、1999.
- 5) 後藤恵之輔、後藤健介、大田哲男：植物活性に着目した台風9119号による塩害停電のリモートセンシング解析、自然災害科学、Vol.18、No. 2、pp.241～252、1999.
- 6) 関矢信一郎：水田のはたらき、家の光協会、pp.35～58、1992.
- 7) 農政ジャーナリストの会編：日本にとって水田とは、日本農業の働き、No.68、農林統計協会、pp.41～58、1984.
- 8) 高橋 裕：都市と水、岩波新書、pp.147～149、1988.
- 9) 後藤恵之輔ほか：1999年6月福岡水害調査報告（その1）～（その5）、気象利用研究・講演論文集、気象利用研究会、第11号、pp.17～34、1999.
- 10) 桜井善雄：続・水辺の環境学、再生への道をさぐる、新日本出版社、pp.101～106、1994.
- 11) 後藤恵之輔：自然環境の復元と創造・ビオトープ、地盤環境読本、(社)地盤工学会、環境地盤工学と地球環境問題に関する研究委員会、pp. 19～23、1996.
- 12) 朝日新聞、1999. 11. 5付