

住宅市街地の環境情報の監視技術に関する研究

(独立行政法人建築研究所 環境研究グループ)

1 研究目的及び経過

自治体では定期的に緑被調査を実施しているが、航空写真から緑を目視で判読し、手作業で図化を行っているものが大部分である¹⁾。最近では都市内の身近な緑の創出が重要なテーマとされており、環境情報の都市内整備の必要性が指摘されている²⁾が、GIS等を活用して効率的なシステム化を施したものはほとんど見られない。航空機MSS(マルチスペクトルスキャナ)は波長分析により緑の自動抽出が可能であるが特殊なセンサの搭載を前提とするため価格面で普及が遅れている。本研究は住宅市街地の緑、熱などの環境情報を都市計画基本図上に整備して自治体の環境計画への反映を目的とする。解析対象を逗子市とし、市街地とその周辺の里山を含む市全体を対象にして航空機MSS観測を行い、建物、道路配置に即した形で熱や緑、土地被覆等の情報についてレジストレーションを実施し環境情報データベースを作成した。そして、自治体が各種の計画策定に活用するための支援システムのプロトタイプを構築したものである。図-1に本研究の概要を示す。本研究の経過は以下の通りである。

(平成11年度)冬期の航空機MSS調査と自治体関連資料の収集を実施した。

(平成12年度)夏期の航空機MSS調査を実施し、都市計画基本図レベルの環境情報データベースを作成した。

(平成13年度)初年度、次年度の調査データをGISに移植し、地理・環境情報Viewerを構築した。

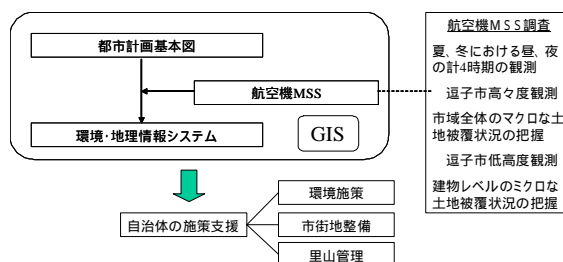


図-1 住宅市街地の環境情報の監視技術の概要

2 研究内容

2.1 観測の概要

解析対象都市として逗子市を選定し、航空機MSSによる冬期、夏期における昼、夜の計4時期の環境情報調査を実施した。なお、冬期観測は平成12年2月、夏期観測は平成12年8月に行った。高高度観測1コース・E(飛行高度5000m、5km×7km逗子全域、瞬時視野6.25m)と低高度観測4コース・A~D(飛行高度500m、500m幅、瞬時視野63cm)の2種類を実施した。A~Eの飛行コースを逗子市の境界上に示したのが図-2である。

2.2 航空機MSS観測の適用について

今回の調査では航空機MSSによる観測を行った。その理由として、本研究で目的とする熱、緑の情報を建物レベル(数10cm解像度)の高解像度で取得する方法は航空機MSSしか現存しないということがあげられる。観測時刻を任意に選べるという点も特に熱の観測では必要であり、そういった意味からも航空機観測が推奨される。しかし、例えば冬期観測では準備や待機を含めて10日の観測日数を要しており、都心に雲影が発生した全景のEコースのみ別の日に実施するなど、観測日のコンディションは一般に不安定であることを覚悟しておかなくてはならない。

2.3 センサのバンド選択と機体の姿勢の補正

観測に使用した航空機MSS装置は、可視光から近赤外、中間赤外、熱赤外に至る広い波長域に割り当てられた43chの検出器から12または24チャネルを選択可能である。選択バンドを表-1に一覧する。瞬時視野角は2.5mradと1.25mradで、1.25mradの場合は、対地高度800mで1mの空間分解能である。ピッチング及びヨーイング方向に対して稼働可能なマウン

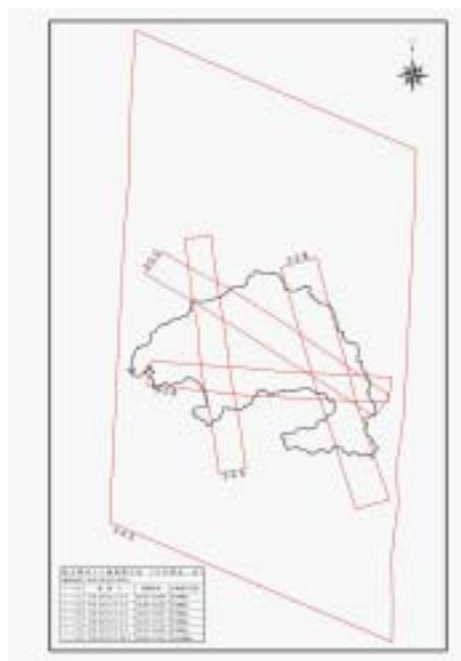


図-2 飛行コース(冬昼)

トに装備されており、装置に備え付けられた光ファイバージャイロにより航空機の姿勢変動を検出し、航空機の動揺をうち消す様にマウントを制御して、姿勢変化による歪みを取り除く。また、ローリングについては、走査方式であるため、光ファイバージャイロの信号を利用して、各走査データ毎に補正を行う。これらの機能により機体の姿勢変動の影響はほぼ打ち消される。

2.4 関連情報の取得

以下の関連情報を入手した。(1)は都市計画基本図として後の作業の土台として活用する。(2)は地形の起伏による画像の歪みを抑制するため活用する。(3)は緑の抽出結果との対比データであり。元々は紙媒体であるものを今回新たにデジタル化したものである。このほか、アメダスデータや自治体の関連報告書等を収集した。

- (1) 都市計画基礎調査データ 逗子市所有
- (2) 詳細 DEM 北海道地図(株)10m メッシュ
- (3) 植生図 逗子市所有

2.5 レジストレーションについて

(1) 高々度の場合

高々度での飛行は低高度飛行の場合と比較すると、航空機の姿勢は非常に安定している。また、中心投影による画像歪みも飛行高度 5000m では 500m で飛行した場合の 1/10 になるため、地形起伏による歪みは少ない。しかし、コースが 8km と長いので予定コースからのずれが生じ、これ起因する歪みが大きくなる。操縦士は GPS によるナビゲーションで飛行するが、上空の風の変化などでコースの変動は避けられない。操縦士はこれを修正しながら飛行するため、コースずれが不規則になり、単純な変換式では補正できないと推定される。したがって、1画素の精度を得るために全体を 5 から 9 のブロックに分けて補正する必要があった。

(2) 低高度の場合

低高度で観測されたデータは、飛行高度に対して地形の変化が相対的に大きくなるため、中心投影による画像歪みがかなり大きくなる。また、空間分解能が高くなるため、補正に用いる地形モデルは、精度が高い事が望ましい。今回は、北海道地図(株)が、国土地理院発行の 1/25,000 地形図の等高線をトレースしたデータから 10mメッシュに変換した DEM を用いて、航空機 MSS の像度に補間した DEM を作成して、地形の起伏に起因する画像の歪み補正を施した。なお、10mメッシュデータは、逗子市を含む 1/25,000 地形図の 2 面分の範囲しか入手できなかったため、これ以外の範囲については、国土地理院発行の「数値地図 50m メッシュ標高」を用いたが、両者の接合部に関して特に異常は無かった。正射投影を実施するためには、MSS 観測地域での各点の標高を正確に求める必要がある。このため観測範囲と DEM を正確に一致させる必要がある。航空写真で正射投影を行う場合には、写真は瞬時に一つの画像を撮影しているため、対空標識等により撮影位置とカメラの角度を求め撮影範囲を求めることが可能であるが、航空機 MSS はライン毎にデータを収集しており、しかも航空機が移動しているため、同様な方法を用いることが困難である。そこで、今回は次の方法で、DEM と MSS 画像を一致させた。

ターゲット補正済み MSS 画像と 1/25,000 地形図の対応点を求める。

1/25,000 地形図と DEM の座標系は完全に一致しているため、この関係式を用いて、DEM を MSS 画像に一致させる幾何補正を行う。

この DEM を用いて正射投影を行う。ただし、MSS 画像は正射投影前であるため、標高差による歪みを含んでおり、で作成した DEM は正確な基準面での画像範囲には一致していない。そのため、正確な正射投影はできていないが、大きな起伏については補正されたと推定する。

そこで、この疑似正射投影 MSS 画像を用いて、この手順を実施する。ただし、補正する MSS 画像は疑似正射投影データでなく元のデータである。

この、2 次疑似正射投影画像は、最初の疑似正射投影画像より精度が高くなっている。これを繰り返すことで、最終的な正射投影画像を得る。通常 3 回 ~ 4 回でほぼ収束する。

また、GCP の取得に関しては、以下の基準に従った。

表-1 選択バンド

チャンネル	ディテクタ CH	波長帯 (nm)	検出器
1	4	458.9 - 483.6	MA-PMT
2	10	550.0 - 575.1	MA-PMT
3	14	657.3 - 675.2	MA-PMT
4	15	663.3 - 680.4	GaAs-PMT
5	16	682.9 - 707.3	GaAs-PMT
6	17	737.7 - 762.5	GaAs-PMT
7	19	836.6 - 859.4	InGaAs-PD Array
8	22	987.0 - 1091.0	InGaAs-PD Array
9	31	1444.0 - 1547.0	InGaAs-PD Array
10	33	1542.0 - 1635.0	InGaAs-PD Array
11	42	7960 - 10530	HgCdTe
12	43	10960 - 12670	HgCdTe

都市計画基礎調査のベクトルデータとMSS画像を比較し、交差点の中心をGCPとする。

上記の方法でGCPの取得が困難である場合には、家屋の画像中央側角をGCPとする。

逗子市以外の地域については、国土地理院の数値地図2500をもちいて、街区から道路を推定し、交差点中央をGCPとする。また、航空機の姿勢変化のうち、3軸の回転は装置とマウアウトによる自動方正でほぼ補正できているが、飛行コースのずれに関しては除去できていない。このため、今回は、各画像を小領域に分割し、それぞれに関して幾何補正を実施したのち接合を行った。小領域内では航空機のコースずれは小さくなるため、幾何補正精度を向上させることができる。このようにして、精密な幾何補正を実施したが、今回使用したDEMは、1/25,000地形図の等高線から発生させたものであるため、詳細な地形表現はされておらず、例えば、谷筋の住宅地などは斜面として表現されている。このため、こうした地域では正確な正射投影がなされていない。そこで、この地域の幾何補正については、歪みの大きい地域を抜き出して、正射投影前の画像をGCPで幾何補正し正斜投影済みのデータにモザイクした。この地域は非常に狭い地域であるため、ほぼ平面と考えることができ、正射投影を行わないことによる幾何補正精度の低下はほとんどないと考えられる。

2.6 MSSデータの分析

(1) 解析対象地域の特徴

JR逗子駅北に位置する、東西約420m×南北約1,750m、面積約73haのエリアを解析地区に選定した。池子地区の大規模な自然林から連なる里山に囲まれ、横浜市、横須賀市という大都市に隣接しながら緑豊かな地域である。ここに含まれる大規模な戸建住宅団地は街路樹や庭木が豊富な緑豊かな地区である。また、里山に隣接する旧来の住宅地等に樹種や分布形態の多様な緑が分布している。里山はコナラを中心とする二次林が広く分布し、一部にスダジイ等の自然林、スギ植林を含んでいる。また、樹木の伐採や耕作地の放棄等による草地も多く分布しており市街地と里地が混在して構成されている地域である。

(2) 利用する波長帯の選択

この地域には、現存植生図における植生群落9種類、植林2種類、竹林、植栽樹群の合計13種類が存在する。樹種等の区分が詳細である一方で、緑被分布としてみたときの分布領域の線引きはだまかにしか行われていない。このため、緑被分布詳細図で分類対象とした樹木と草地の混在が多く見られる。これは、地上踏査による分布領域の把握の困難さに加えて、最終的な調査成果が1万分の1から5万分の1といった小縮尺の地図に表現されるか、10m以上のメッシュにまとめて利用されるためと考えられる。また、一部には調査時点以後の改変等により市街地に分類した土地被覆となった箇所もみられる。これらを修正することで、市街地とバランスのとれた緑被分布詳細図を作成する。緑と緑以外の判別は一般的に近赤外域の反射率の差を利用して行われる。しかし、里山は起伏が大きいために影の部分が広く分布する。日向と日影では観測値が大きく異なり、緑であっても近赤外域の観測値は小さい。このため、緑以外と緑の影は近赤外域の観測値が近似してしまう。こうした日射環境の差異を簡易に補正すると共に、緑と緑以外の差異を強調できるように考えられた指標がNDVI(Normalized Difference Vegetation Index)である。近赤外域と可視赤の差を和で除して求めるため、日射量の影響が緩和される。ここでも、近赤外域に代えてNDVIを用いる。また、合成画像や空中カラー写真を観察したところ、里地に分布する緑以外の被覆は、造成裸地、建物屋根、道路等である。これらの土地被覆は、NDVIが小さく、熱赤外域の観測値が高いものが多い。この特性を利用することにより、緑と緑以外は高精度に判別できる。さらに、夜間の熱赤外データでは、昼の熱赤外域データに比して短時間のみ日影になっていた部分の影響が小さいため、これを併用することでさらに影の影響を小さくできると考えられる。以上より、NDVI、昼と夜の熱赤外域の3データを用いて緑被分布の修正を進める。

(3) 現存植生図の修正による緑被分布図の作成

修正のための分類は、3データのクラスター解析による教師なし分類を行った後、最尤法による教師付き分類を実施する方法を用いた。この方法は教師なし分類で判別効率を確認できるというメリットがある。クラスター解析はISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)法を用いた。ISODATAは非階層的クラスタリングであり、繰り返し毎に統計値を計算し、最短距離法で自己組織化していく方法である。次に、各クラスターの分布を合成画像上で確認し、樹木、草地、緑以外のクラスターを判定した。最後に、各クラスターの統計値を教師として最尤法による分類を行った。

(4) 里山、市街地の緑被分布

樹木・草地・緑以外の3クラスターのNDVI・熱赤外域(昼)・熱赤外域(夜)の3データにおける統計値を利用して、最尤法による分類を行った。現存植生図の凡例を参考とし、樹木は11のカテゴリー、草地は5つのカテゴリーとした。

市街地では緑の分布が示されていないため、都市環境計画を進める上では土地利用図と同様の利用しかできない。また、戸建住宅地では街路樹や庭木の様に小規模の緑が多いことから、航空機観測をもってしても解像度より小さいスケールの緑は存

在する。そこで、ミクセルの画素内緑被率を推定する指標としてMRVI(Modified Ratio Vegetation Index)を適用した。実測データを用いて画素内緑被率100%と0%に設定するMRVIの閾値を求めた。図-4は解析データに基づく緑と緑以外のピュアピクセルの分布である。正規分布を仮定しており、緑を含むミクセルの分布の平均値は緑と緑以外の推定分布の中央にあり、分散の正規分布と仮定する。分散は緑及び緑以外の推定分布の平均値間の距離の1/8を仮定する。すなわち各平均値の位置が±4となるように配置する。MRVIと画素内緑被率は線形回帰できる。画素内緑被率100%と0%の閾値が決まると、その間に均等に画素内緑被率を割り振ることができる。また、画素内緑被配置の推定についてはニューラルネットを利用したミクセルを9分割する方法を用いた。

2.7 環境・地理情報VIEWERの開発

逗子市の環境・地理情報Viewerを構築した。これは、都市計画情報、航空機MSSデータ等をパソコンに収録し、これらを画面表示するソフトウェアである。収録項目を図-3に示す。これらは任意の縮尺、組み合わせ表示が可能であり、トポロジ演算機能、印刷機能を装備している。なお、エンジンはGiobaseを活用している。

3. 研究結果

本研究で得られた成果を以下に述べる。

(1)都市計画基本図レベルの環境情報データベース

高々度観測について述べる。観測エリア全体における残差は最小0.94画素、最大1.54画素、平均で1.24画素となった。GPSなどによる飛行情報を用いて、コースずれの補正を行えば、レジストレーションはもっと容易になると期待される。幾何補正後の逗子市全域のMSSフォルスカラー画像を図-5に示す。里山の緑分布を明瞭にとらえており、風光明媚な逗子市であっても市街地が里山を浸食している様子を見ることが出来る。なお、逗子市は環境情報システムを所有しており、市域の環境保全度を4つにランク分けして建築確認時に緑化面積の確保など環境施策を講じている。

次に低高度観測について述べる。実際にレジストレーションを実施したのは13の地域であり、これらのエリア全体における残差は最小0.52画素、最大1.95画素、平均で1.4画素となった。つまり、0.88mの分解能に相当し、基準とした地図の図化精度(水平精度図上0.3mm=実寸0.75m)にほぼ匹敵することから都市計画基本図レベルの環境情報を得ることが出来たと考えられる。街路樹並木の配列状況や宅地の庭木の配置などリアリティの高い緑情報が得られ、また熱としても地表面被覆による多彩な分布性状を知ることが出来た。図-6は解析結果の一例である。左図は夏期昼間観測データの合成画像(R:熱赤外,G:近赤外,B:可視青)である。右図の現存植生図では扱われていない市街地の詳細な緑が左図では表れている。また、日中の高温化の状況も分かる。中図は夏期夜間の熱赤外分布である。道路舗装面が白く明瞭に浮かび上がり周囲よ

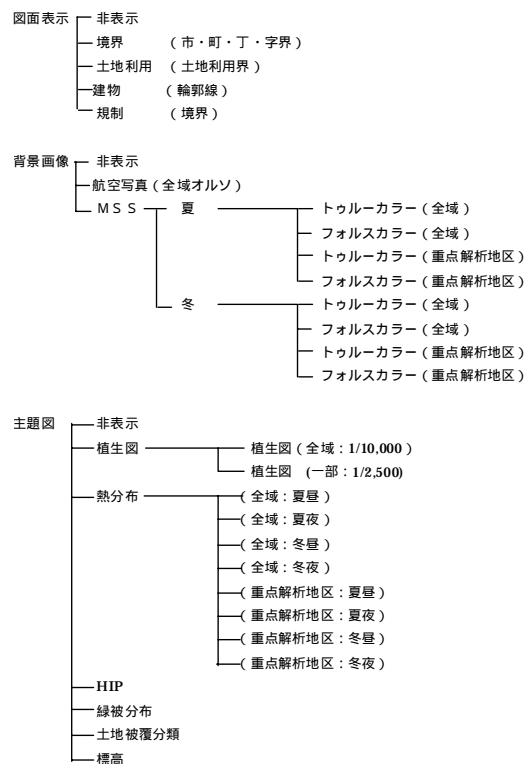


図-3 環境・地理情報 Viewer の収録項目

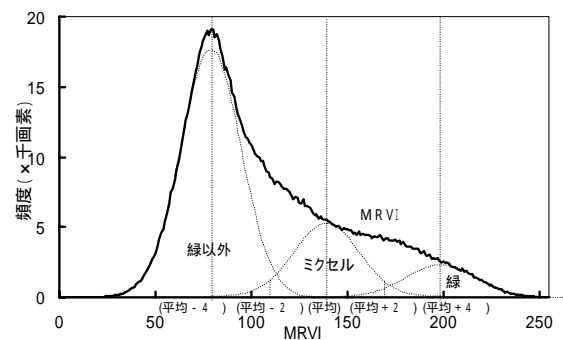


図-4 緑・緑以外の推定分布とミクセルの分布



図-5 逗子市全域MSS フォルスカラー画像 (RGB/熱・可視・近赤: 冬季)

り相対的に高い温度になっている。

(2) 里山、市街地の植生図の作成結果

分類された画素数を現存植生図と比較した緑被分布の修正結果として表-2 に示す。里地全域では 6.4%造成等によって緑被がない地域がある。このような造成地域では草地の改変が大きく、現存植生図の樹木の構成比率と修正結果の樹木の比率はほぼ一致しているのに対して現存植生図における草地の半分近くは樹木として分類されている。

これらから、現地踏査による現存植生図では草地と樹木の線引きが詳細に行われていないことが考えられる。

市街地の緑の評価について表-3 の結果が得られた。樹木が 66%、草地が 31%であり、里山とは異なる構成比である。市街地の中で緑だけを抜き出すと例えば図-7 のようである。この場合は市街地の豊かな緑の存在を明瞭に示しており、このような住戸レベルの緑の保護育成のための助成措置など行政的課題であると考えられる。

MRVI の閾値の設定についてふれる。検証のため緑と緑以外の分布が既知である 4 街区を設定した。緑以外としては都市計画基礎調査のデジタルデータから建物を利用する。道路も利用できそうであるが、街路樹に覆われた部分があるため設定からはずした。画素内緑被率は、検証地区の MRVI に対して、平均値からの距離を指標にして閾値設定を行い画素内緑被率を 10%間隔で割り当てる。このとき、最適値を持つ評価指標を提案することにより、閾値設定の最適位置を決定する。緑と建物の緑被率及び非緑被率の和や差を求めただけでは最適値は存在しないため、緑が緑 0%、建物が緑 100%と推定された比率を用いて、以下のような評価指標を設定した。

評価指標 1：緑の緑被率 - 建物が緑 100%と推定された比率

評価指標 2：建物の非緑被率 - 緑が緑 0%と推定された比率

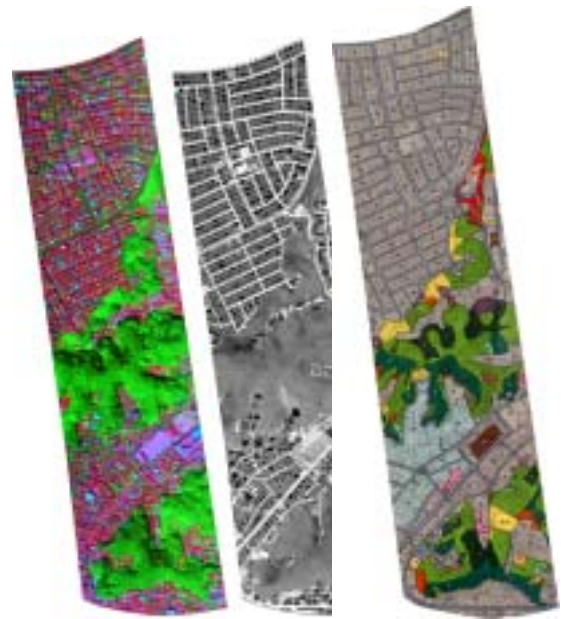
これらの指標と MRVI の閾値とミクセルの平均値の距離との関係を図-8 に示す。両指標とも最適値を持っており、評価指標として利用できることが分かる。また、両指標の最適値が平均値から同じ距離に出現していることから、ミクセル分布の平均値の設定位置が妥当であることも推定できる。以上より、ここでの MRVI の閾値は平均値から ±19.5 の位置に設定すればよいことを導いた。

(3) 環境・地理情報 Viewer の構築

都市計画基本図上に任意の縮尺で環境情報を表示可能な環境・地理情報 Viewer を開発した。Viewer の概要を図-9 に

表-2 緑の分修正結果

	現存植生図	修正分類結果		
		樹木	草地	合計
樹木	84.2%	91.6%	45.5%	84.3%
草地	15.8%	5.3%	30.7%	9.3%
緑以外	-	3.2%	23.8%	6.4%



左) 夏季昼間観測データの合成画像 (R:熱赤外,G:近赤外,B:可視青)
 中) 夏季夜間画像 (熱赤外)
 右) 現存植生図・アナログ

図-6 解析例



図-7 市街地緑の抽出例

表-3 樹木と草地の分類結果

	樹木	草地	緑以外	合計
画素数	1,699,539	797,930	70,004	2,567,473
構成比率	66.2%	31.1%	2.7%	

示す。メニューバーには印刷、拡大、計測（面積、距離）を行うメニューを装備している。操作バーで図面の移動、拡大縮小等の操作を行う。マップリストで都市計画図等のグループを設定したり、その下部レイヤーの設定を行うことができる。DEM を収録しているので 3D 表示も一部可能である。詳細スケールの表示例を図-3 に示す。都市計画基本図の上にリモセンで得られた環境情報が位置的に正確に表現されている。

リモートセンシングは科学技術としては一定の成熟度に達しているが、自治体に活用されることはほとんどなく、実務的に見ると先端技術となる。実際、市街地の詳細な緑、熱の情報は専門の研究機関でしか取り扱うことができず、実務上必要とされる都市計画基本図との位置関係を保証・言及した事例は見られない。本研究で作成した環境・地理情報 Viewer は、リモートセンシング研究と地方行政の橋渡しを担うものであり、質の高い都市空間の創出に役立つと期待される。

現 Viewer をより良く実務に活用するための今後の検討課題を以下に述べる。まず、情報量とパソコンの処理速度のバランスの適正化、効率的なメニュー構成の検討が必要である。また、地区の緑、熱の分布を表示するだけでなく、環境情報の指標化を行い行政上の目安の値を提供することが望ましい。

参考文献 1) たとえば、緑の現況調査報告書（デジタルマッピング手法による緑被率調査）平成7年度、名古屋市、2) 足永靖信他4名：GIS とリモートセンシングを利用した都市環境計画支援（その1：自治体の環境計画支援）日本建築学会大会学術講演梗概集、2001.9、pp.581-582、3) 小松義典他4名：GIS とリモートセンシングを利用した都市環境計画支援（その3：細密植生図の提案）日本建築学会大会学術講演梗概集、2001.9、pp.585-586、4) 宮坂聡他4名：GIS とリモートセンシングを利用した都市環境計画支援（その2：多時期航空機 MSS データの利用）日本建築学会大会学術講演梗概集、2001.9、pp.583-584

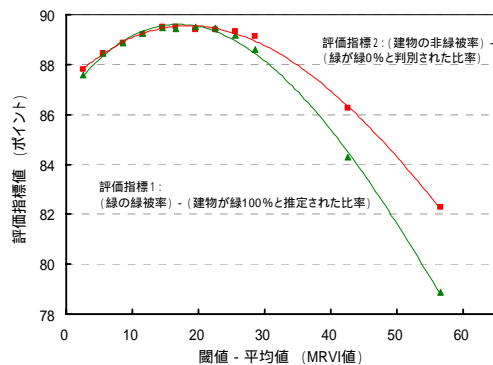


図-8 閾値設定のための評価指標値と閾値



図-9 環境・地理情報 Viewer の操作画面



図-10 環境・地理情報 Viewer の画面表示