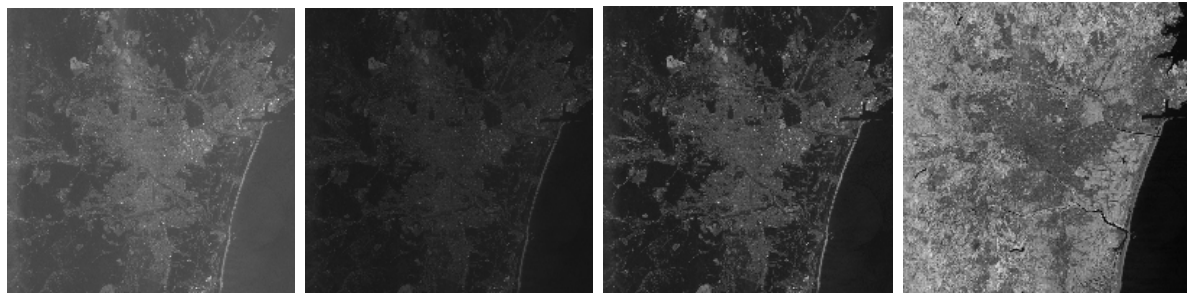


簡単な地球環境観測

A 7 T B 1 0 5 3 鎌田 大輝

1. バンド、波長、ピクセル、輝度値

この学習では仙台市周辺の衛星画像を使って、土地の利用を調べた。利用した衛星画像はバンド1～7までの7枚。それぞれの波長帯と特徴は下の表を参照。

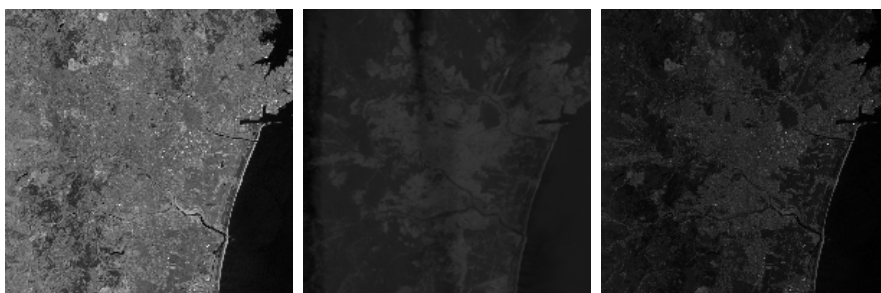


バンド1

バンド2

バンド3

バンド4



バンド5

バンド6

バンド7

(LANDSAT-TM)

バンド	1	2	3	4	5	6	7
波長(μm)	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.08-2.35
波長特徴	青(B)	緑(G)	赤(R)	近赤外	短赤外	熱赤外	短赤外

衛星画像では0-255の256段階の輝度値でそのバンドにあたる波長帯の強さを示している。256段階は2⁸に由来するもので、1つのピクセル(画素)に1byteが割り当てられている。画像はR,G,B(赤,緑,青)の要素からなっている。使用した画像はモノクロで表現されているため、この画像のR,G,Bのそれぞれの値は同一値となっており、その値がそれぞれのバンドの輝度値となる。輝度値が低いと黒、高いと白に近づく。バンド1,2,3をR,G,Bに割り当てればカラーの画像が得られる。これをトゥルーカラー画像といい、人が見た時に近い配色の画像になる。またバンド3,4,1をR,G,Bに割り当て植生の緑を強調するナチュラルカラー画像や、バンド4,3,2をR,G,Bに割り当て植生を赤く強調するフォールスカラー画像などもある。

上の表の特徴にもあるようにバンド1,2,3はそれぞれ青,緑,赤の領域の波長の強さを示す。輝度値が高いほどより多く反射されていることを示している。バンド4の波長帯は近赤外線領域にあたり、植物の葉緑素でよく反射される。このためバンド4は植物に関する情報を得たい場合に有効な波長帯である。クロロフィルは0.45 μm付近と0.65 μm付近の波長をよく吸収するため、可視光では緑の波長領域だけが反射されて葉っぱは緑色に見える。バンド3の赤の波長領域はクロロフィルによく吸収されるため輝度

値が低い(暗い)ところに植生がある可能性が高い。バンド4の波長帯は反射されるから、植生があるところは輝度値が高く(明るく)なる。これは、衛星画像のバンド3,4の明暗が反転しているように見えることからわかる。バンド5は短波長赤外線領域に当たり、主に陸水域の判定や植物や土壌の含水量の指標に用いられる。陸域は明るく、水域は暗く見える。バンド6は熱赤外線領域であるため、温度の様子が分かる。温度が高いほど明るく、低いほど暗く見える。バンド7は地質の識別に用いられ、月探査衛星かぐやではこの波長帯を含む広範囲の波長帯を観測して月面の鉱物分布についても調査している。

実際に仙台市周辺の衛星画像の輝度値に条件をつけて、条件を満たすピクセルを判定して赤で強調してそれぞれのバンドと輝度値について調べた。結果は次の表。

バンド	輝度値域	特徴	バンド	輝度値域	特徴
1	0-100	市街地でない	4	150-200	山や森林
1	0-70	森林かも...	5	0-50	水と一部の山地
1	70-90	市街地でない	5	0-30	水辺
2	50-60	都市部	5	30-80	森林
3	0-30	陸より海. 山地	6	35-40	自然なもの
3	80-100	市街地や道路	6	50-60	市街地
4	20-50	水辺	-	-	-



バンド2での例

左は輝度値が 60-70

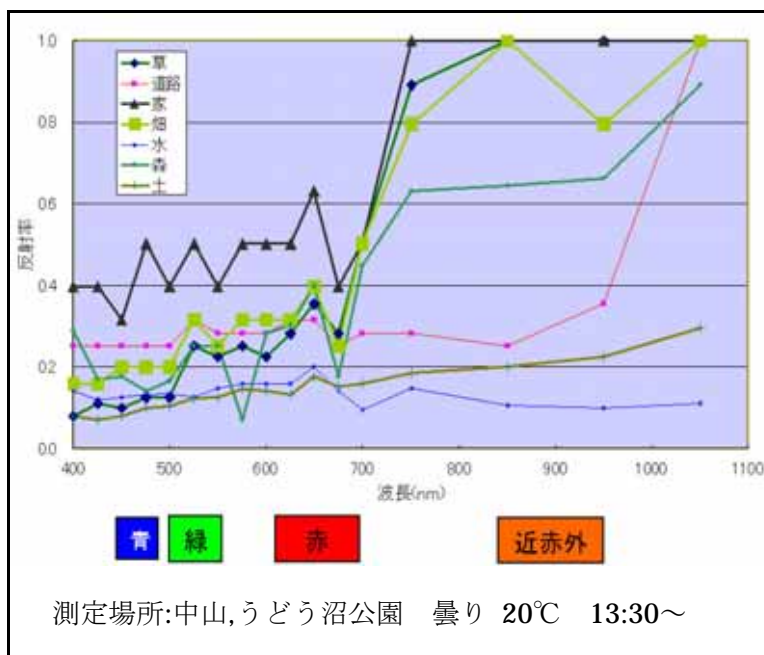
右は輝度値が 45-70

ここでは都市部と思われる場所が赤くなっている。バンド2は緑の波長領域であるから、緑の反射が強くない場所が赤くなっている。

2. 屋外での反射率測定

次は実際に屋外でさまざまな対象物の反射率を測定した。白板との比較で反射率を求める。調べた対象物は草,道路,家,畑,水,森,土の7つ。測定した反射率の結果は右のグラフを参照。

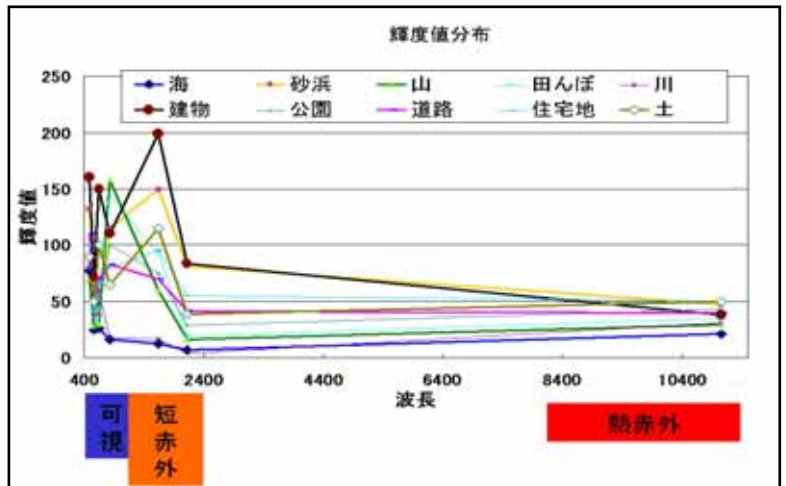
グラフからは波長の違いによる各対象物の反射率の傾向がわかる。たとえば、波長が700nm以上の赤外線の領域では反射率が2つのグループに分かれる。反射率が高い草,家,畑,森のグループと反射率の低い道路,水,土のグループである。上で行ったように、この領域のバンドの衛星画像で適当な輝度値の条件を満たすかど



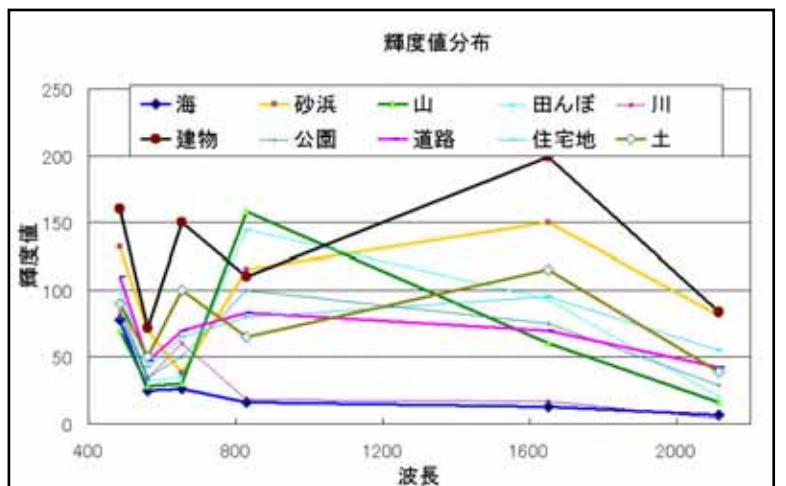
うか判定することで条件を満たす(満たさない)ピクセルに色(上では赤)をつけて表示することができる。これを繰り返し行くと結果的には7つの土地利用を衛星画像上で区別することができ、土地利用区分図が作成できる。そのためには、条件として用いる輝度値(閾値)をいくりにするかが重要である。次の作業では様々な土地利用の衛星画像上での輝度値を調べる。

3. 衛星画像上での輝度値

屋外での反射率の測定に続き、各バンドの衛星画像上での輝度値を調べた。調べた土地利用は海,砂浜,山,田んぼ,川,建物,公園,道路,住宅地,土の10種類。調べた結果は右の2つのグラフ。下のグラフは上のグラフの可視領域から短赤外線領域の部分抜き出したものである。



屋外での反射率測定とは調べた土地利用の名称が違っているものもあるが、対応するものを考えて考察していく。まずは、前にもでた波長が 700 nm 以上の部分について、反射率では草,家,畑,森が高かった。衛星画像から読み取った輝度値では、砂浜,山,田んぼ,建物,公園,道路,住宅地,土などが比較的高い値を示す傾向がみられた。草,森は植生という点で山や田んぼと対応し、家は建物,住宅地に対応すると考えてよいと思われる。また畑も土の要素を含む。この他にも 700 nm 以下の領域でのグラフの折れる位置やそれぞれのグラフの相対的な高さの順番などからも、屋外での測定と衛星画像を用いた調査では対応する土地利用ごとの傾向が似ている結果が得られたと思われる。



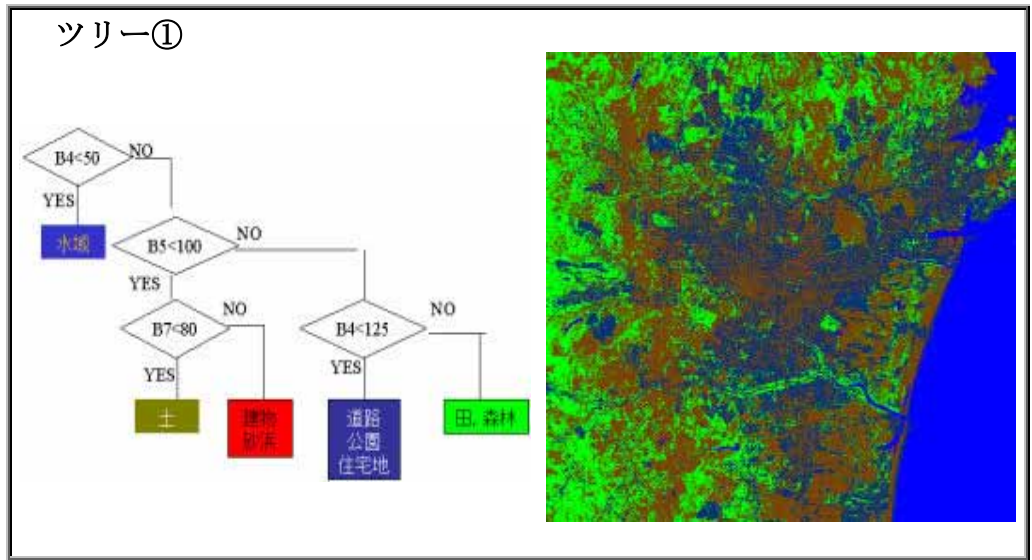
それぞれの土地利用の傾向がつかめれば、傾向が異なる箇所について適当な条件での判定を行うことでそれらを判別することができる。次の作業は、判別するためにどのバンドの衛星画像でいくらの閾値の条件を設けるか探ることをする。

4. バイナリーツリー法

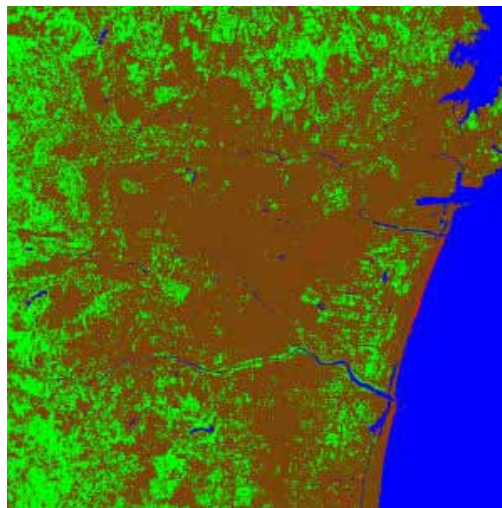
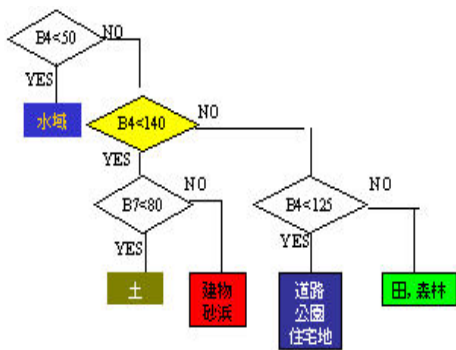
屋外での測定、衛星画像での輝度値の調査で土地利用ごとにどの波長帯をどれだけ反射(吸収)するのかの傾向をつかんだ。これを使って仙台市周辺の土地利用区分図を作ることを目指す。バイナリーツリー法という方法で土地利用を判定していく。上に示した輝度値分布と反射率のグラフとにらめっこしながら、傾向の違いがはっきりしている部分から条件を設けて判別していく。例えば、800~1600 nm (バンド4,5)の波長帯で適当な閾値をとることで海,川のグループとそれ以外のグループに分けることが出来ると思われる。こうした作業を繰り返し、バンドの再選択、閾値の見直しなどの改良を施してより良

く区分できている土地利用区分図にしていく。作成したツリーとそれにしたがって判定を行った図は下のようになった。

ツリー①では水域とその他の区分に成功しました。湖や沼もしっかりと区別されています。しかし、水域以外の土地利用はうまくできていませんでした。特に土とされたところが多く、市の中心にも土とされたところがかかりあります。



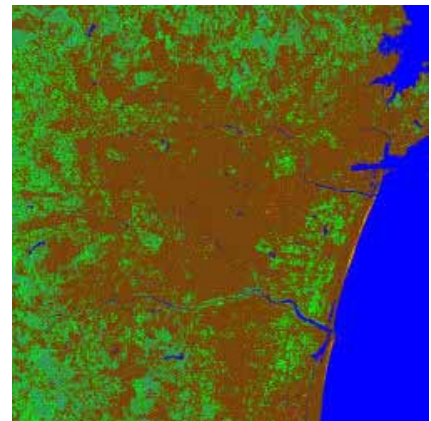
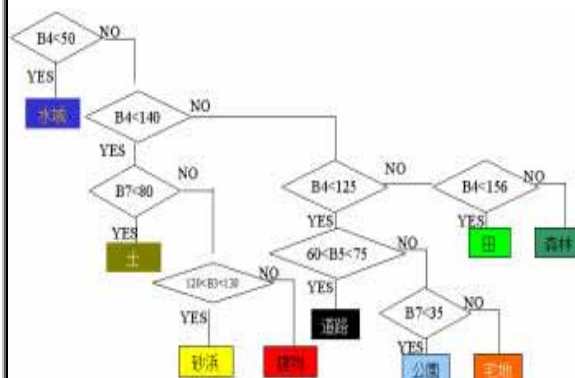
ツリー①-2



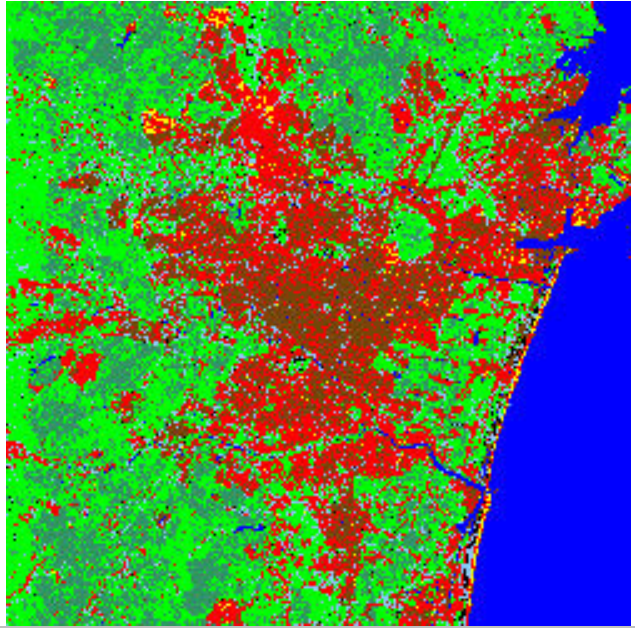
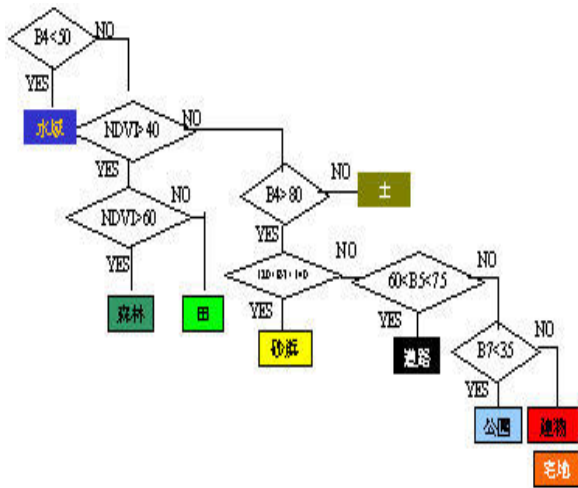
ツリー①-2は水域以外のグループの最初の区分条件に使うバンドを5ではなく4で行ったものです。砂浜が新たに区別できています。しかし、見ての通り仙台が土の都になってしまっています。改善の余地はまだあります。

ツリー②では土地利用のそれぞれが区別できるだけの条件をつけてみました。考えて条件をつけたのですが、うまくいってないみたいです。またしても土の都です。

ツリー②



ツリー③



ツリー③では土の都がだいぶ改善されています。建物と宅地を一まとめにして区分することになっています。うまくいっていないのは市の中心部の土と、田んぼと森林の区別、それに道路が改善の余地あります。しかしながら部分的に見ていくと結構うまくいっているところもあります。例えば、泉中央駅周辺がしっかりと建物・宅地の区分になっています。また、愛子・錦ヶ丘や荒浜・荒浜新などでは実際の住宅地の形とそっくりに区分できています。

ツリー③では判定の順番が改善されているだけでなく、植生指標(NDVI)と呼ばれるものが使われている。これは植生の存在の判定に有効であり、次の式で算出される。

$$NDVI = \frac{\text{近赤外} - \text{赤色}}{\text{近赤外} + \text{赤色}} = \frac{\text{バンド4} - \text{バンド3}}{\text{バンド4} + \text{バンド3}}$$

この NDVI を用いて効果的に区別できる田んぼと森林を 2 回目の判定で区別している。市の中心部は建物・宅地の区分に当てはまるため $B4 > 80$ の判定の条件を変える必要があると思われる。また、田んぼと森林の判定条件の $NDVI > 60$ を改善すれば田んぼと森林の判定がより精度よくできると思われる。道路は建物・宅地か土となっているからやはり $B4 > 80$ の条件および $60 < B5 < 75$ の判定条件の見直しが必要と思われる。今回は仙台市周辺の衛星画像ということもあり、森林や田んぼ、住宅地などの位置がわかっている。このようにあらかじめある程度の土地利用区分はわかっている状況での判別を「教師つき判別」という。逆に画像の地域の土地利用がまったくわからない状態からヒストグラムから情報を得て判別を行うのを「教師なし判別」という。ヒストグラムは度数分布図などとも呼ばれ、横軸に輝度値、縦軸にその輝度値を持つピクセルの数を示したものである。

5. 環境物理量の推定

今回は仙台市周辺の土地利用区分図を作成し、まずまずの精度で区分が出来た。今回作ったツリーを仙台市以外の地域の衛星画像に適用してもそれなりの区分が出来るはずである。このように衛星画像を解析することで様々な情報が得られる。次に衛星画像からどのような環境物理量を推定できるのかを議論した。提案された環境物理量は植生活性度,耕地面積,紅葉,交通量,温度分布,建物の建蔽率,人間の屋外

活動密度の7つ。

植物活性度については前述した **NDVI** を用いることで推定することが出来る。活力のある植物は青々としていて、光合成が活発なためクロロフィルの吸収する波長の輝度値が低くなる。活力がなく葉が茶色や黄色などになっている植物ではその波長の輝度値が高くなると予想される。

耕地面積については今回行った土地利用区分と同じように解析を行って田んぼや畑などの区分が精度よく出来れば、あとはそれに該当するピクセルの数を数えることで出来る。衛星画像の1つのピクセルがどれくらいの面積にあたるのかは衛星の分解能による。画像の1ピクセルが示す実際の面積に耕地と判定されたピクセルの数の積が耕地面積となる。ランドサットの分解能は **30m**。この耕地面積の推定には **1** つのピクセルの中に複数の土地利用が捉えられた場合(ミクスドピクセル)の不正確さが付きまとう。しかし、おおよその推定ならば可能であると思う。

紅葉についても **NDVI** を用いるのが有効と思われる。また、紅葉するのは広葉樹であるから、針葉樹と広葉樹の判定に使われるバンド1も判定に使うとよいと思われる。具体的には、夏季の衛星画像で広葉樹と判定された部分に対して秋季の衛星画像で赤色の波長の反射が増加しているところが紅葉していると思われる。また、紅葉は落葉広葉樹に起こるので、冬季の衛星画像で葉の要素がなくなった部分を探せば、針葉樹と広葉樹の判定の精度が上がると思われる。ここでは **NDVI** の値が低下する。この方法では葉っぱの色の変化を捉えるので、病気など理由から葉の色が変化した植物の判定にも有効ではないかと思う。

交通量は自動車が発する熱の情報をうまく捉えられれば推定が可能かと思った。熱情報はバンド6で得る。しかし、エンジンの大きさによって排出する熱量に差が出るため、正確な交通量の推定にはその道路を通る車種の割合などの情報が必要ではないかと思った。衛星の分解能がよければ道路と車体の反射する波長の傾向の違いから推定することが出来ると思う。温度分布はバンド6の熱赤外線の領域での判定で推定できる。建物の建蔽率は工学センサーではなくマイクロ波レーダーを用いるということでした。マイクロ波レーダーを使うと、立体方向の観測が可能となります。波の高さを観測することもできるようです。人間の屋外活動密度は対象物の人間が小さく、高い分解能が必要になると思われる。熱で人を捉えるとしても、冬季などは熱を逃さない対策をするので識別が困難になると思った。

6. 考察と感想

今回はリモートセンシングの基礎を学んだ。今回作成したツリーでは完全な土地利用区分図の作成には至らなかった。しかし、水域はきれいに区分できていたし、住宅地についてもかなりうまくいっている部分もある。7枚のモノクロ画像からそれなりの土地利用区分図ができた時には感動した。同時に、ある土地利用を完全に網羅する条件を見つけるのはとても大変なことだと思った。建物の判定の条件も、現在うまくいっている条件が屋根へのソーラーパネルの設置やビル屋上の緑化などにより、うまくいなくなる可能性があると思った。そういった場合はマイクロ波も用いた立体方向の観測と複合的に考えるなどの工夫の必要性が出てくると思った。また、衛星の性能の向上や新たなアルゴリズムの開発で衛星画像から様々な情報が得られる時代が来るのも近いと思った。