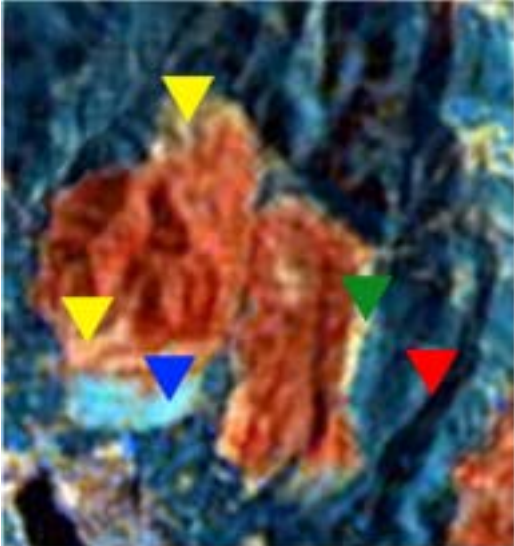


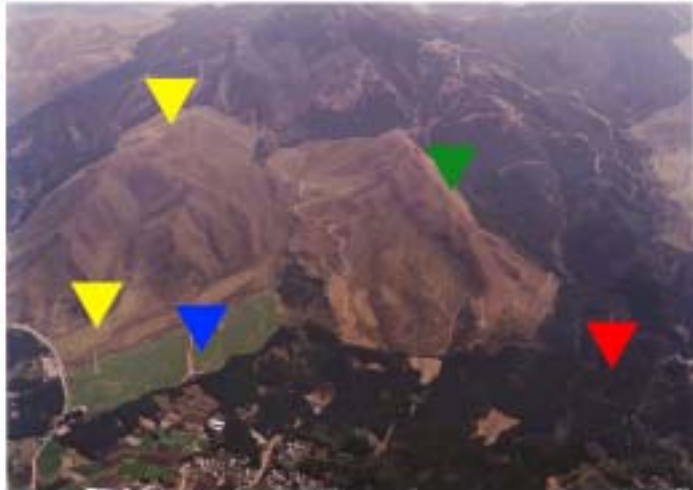
阿蘇原野の植生を宇宙から診る

宇宙地球情報工学科 猪股英行・応用動物科学科 岡本智伸

阿蘇には推定約4万6千 ha、東京ドーム約1万個分に及ぶ広大な原野があり、牧畜業や林業のための資源として広く活用されています。この原野は牧畜のために利用されている草原や雑木林、木材生産のためのスギやヒノキの林など複数の植生から構成され、複雑で多様な生態系の基盤となっています。特に草原は、ヒトの利用や自然環境などの影響を強く受け、その植生や景観は非常に多様です。逆に言えば、阿蘇の多様な草原植生により、そこに生育する植物や生息する動物も多様化しています。つまり、阿蘇の草原はヒトの生活の糧となっているばかりではなく、多様な生物を育む母体ともなっているのです。



ランドサット TM センサの目で見た画像
(R: B6, G: B5, B: B4)



ヒトの目で見た画像(航空写真)

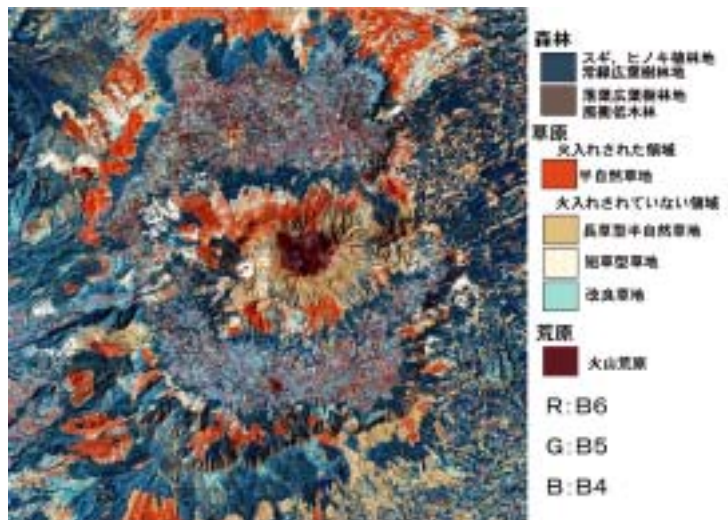
地球観測衛星によるデータを解析した画像と航空写真との比較

私たちは、阿蘇の草原植生の現状を把握する研究を行っています。従来の方法では、草原の中を歩き回り、そこに生育する植物の種類や生育状況を調査することになるのですが、東京ドーム1個分の草原を調査するだけでも1週間程度かかります。また、季節ごとにそこに生育する植物の種類や生育状況も刻々と変わるので、1年間の状況変化を阿蘇全体つまり東京ドーム約1万個分について調査することは、事実上、不可能と言えます。

そこで、宇宙から阿蘇の草原全体を見渡す技術が期待されます。例えば、ランドサットが搭載している七つの目で見た草原の姿(太陽光の七つの波長帯で見た、草原の各対象物による反射強度の分布図)と、ヒトの目で見た草原の姿(現地調査結果)を、代表的な草原について目合わせ(人工衛星が捉えたデータをヒトが解かり易いように画像化し、実際にヒトの目で見た現地調査結果と比較して、人工衛星からのデータを理解する作業)し、その結果から、ランドサットの目で広大な阿蘇の原野全体を診断できるようになるのです。

上の例では、衛星画像上で赤茶色く見えているのが火入れ(野焼き)された自然草地、黄矢印で示した場所が火入れされていない自然草地、緑矢印が火入れのために草を刈って作られた防火帯(輪地)、青矢印が冬も緑の葉が茂る改良草地、赤矢印がスギ林を表しています。他の観測値における分類結果も合わせ、阿蘇全体について解析した結果が右の画像です。

以上のような農学、生態学と先端の宇宙観測技術の結合により、阿蘇の原野の生態系をひも解き、阿蘇の農林業の発展、多様な生態系の保全、さらには世界的な財産である阿蘇の草原景観の保全等に役立つよう、本学工学部宇宙地球情報工学科と農学部応用動物科学科が熊本県と協力しながら草原植生の調査解析を行っています。



ランドサットの画像(1997/4/1)で診た阿蘇の植生

植生指標で診る阿蘇の四季

植物の活性度を示す指標として植生指標が考えられています。ここでは、その一つである正規化植生指標とその特徴について考察するとともに、応用例として、LANDSATが取得した阿蘇の四季のデータに適用し、その意味を探ります。

1 正規化植生指標

観測の対象となる各種の物体が示す反射スペクトルの特徴(電磁波の波長に対する反射率の特性)を強調する方法として、複数バンドのデータを用いて演算を行なうことが考えられ、植物については、“正規化植生指標(Normalized Vegetation Index: NVI)”と呼ばれる方法があります。これは植物が、一般に近赤外域で高い反射率を示す一方で、可視域ではクロロフィルの吸収により低い反射率を示すことに着目し、可視域と近赤外域のバンド間の反射強度コントラストを強調することにより、植物の被覆やその活力に関する情報を効果的に取り出す目的で使用されます。NVIの計算は、各画素について、以下の式を用いて行なわれます。

$$NVI = (X_{nir} - X_{vs}) / (X_{nir} + X_{vs}) \quad (1)$$

ここで、 X_{nir} は近赤外バンドの輝度値、 X_{vs} は可視バンドの輝度値を表します。

ランドサットのTMについては、通常、 X_{nir} としてバンド4(B4)のデータが、また、 X_{vs} としてバンド3(B3)が使われます。上記の式による植生指標の値は、原理的に-1と+1の間しか取り得ないため、画素毎に計算して求めた植生指標を効果的な画像として表現するために、通常、以下のような変換が施されます。

$$NVI' = G_n \times NVI + O_f \quad (2)$$

ここで、 G_n と O_f はゲインとオフセットを表し、仮に128とすれば、植生指標の値は、0から255までの間に分布することになり、8ビット整数値による画像データとして植生指標の空間分布を表現することができます。

例として、図1に生きている楠の葉の反射スペクトルを、また、図2に枯れている楠の葉の反射スペクトルを示します。両者におけるB4とB3の値を(1)式に代入して解るように、植生指標は、生きている植物(活性度が高い)については大きい値に、枯れている植物(活性度が低い)については小さい値になります。そのため、NVI画像は、植物の被覆の程度(植被率)や活性度の変化等を調べるのに適しているのです。

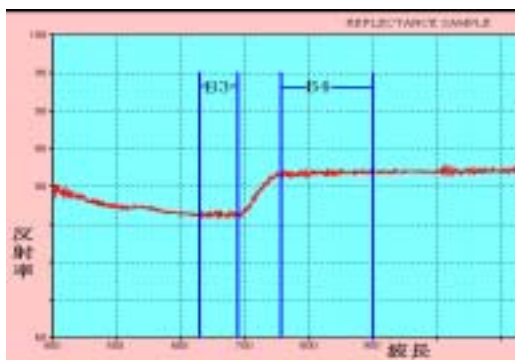


図1 生きている葉の反射スペクトル

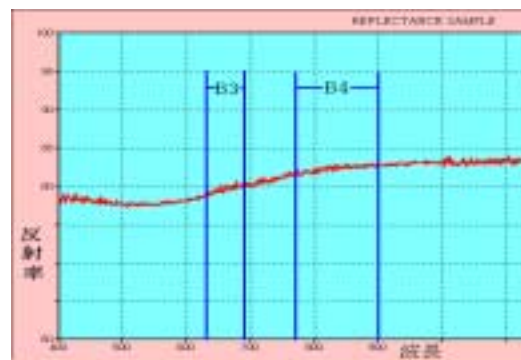


図2 枯れている葉の反射スペクトル

2 NVIが有する特徴

(1) 地形又は観測時期による、観測地点への太陽光の当り方の違いを弱めることができます。

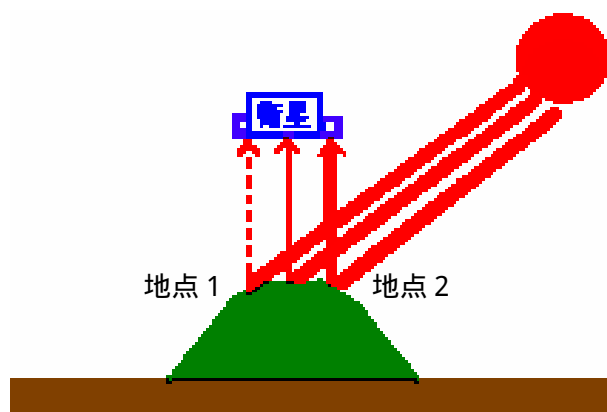


図3 地形による太陽光の当り方の相違

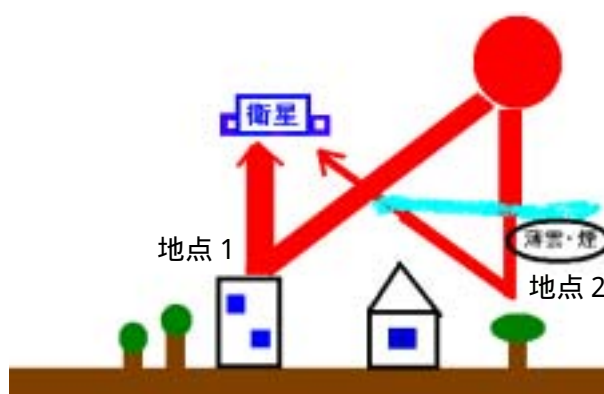


図4 大気による太陽光の強さの相違

衛星に搭載されたりモ - トセンサは、地表対象物によって反射される太陽光の強度を観測しています。従って、仮に二地点 (1と2) が同一の物質でできていても、二地点の地形が異なれば (図3から解るように、太陽光があたる角度が異なる)、二地点からの反射強度の値は異なります。そこで、地点2からの反射強度が、地形の相違によって、地点1からの反射強度と異なる効果を (B4とB3で共通と考える) とすれば、式(1)から、その地点のNVI値: NVI_2 は以下ようになります。

$$NVI_2 = \{ (B4 - B3) / (B4 + B3) \} = \{ (B4 - B3) / (B4 + B3) \}$$

即ち、バンド毎の画像上 (ここでは、B4又はB3) には、二地点における太陽光のあたり方が地形によって異なる効果が現れますが、NVIの画像では、その演算の過程で分母と分子に共通に現れることから、自動的にその効果を消去でき、二地点における対象物の状態が異なることによる効果のみを取り出せることとなります。

また、上記と全く同一の考え方によって、NVI画像には、二地点における薄雲等の大気状態の相違による入射太陽光強度が異なる効果 (図4)、さらには、同一地点の二時期の変化を考える場合に考慮すべき、二時期における太陽光のあたり方の相違による効果も除去され、対象物の二時期における状態変化による効果のみが反映されるという、大変優れた特徴が備わっています。

3 NVIで見る阿蘇の四季

TM/LANDSATのデータについて正規化植生指標: NVIを求めて画像化し、以下に示します。ここでは、(2)式のGnとOfの値として、ともに50を用いました。その結果、四季を通じてのNVI値が30から95程度に分布し、図5に示したように、その間の数値をステップ3でレベルスライスし、カラー表示を行ったものです。

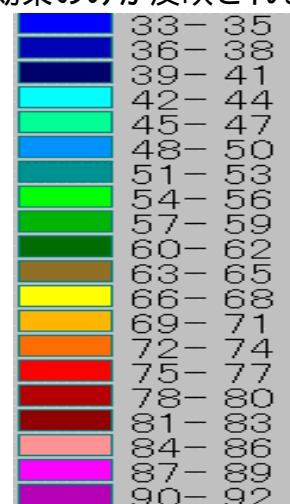
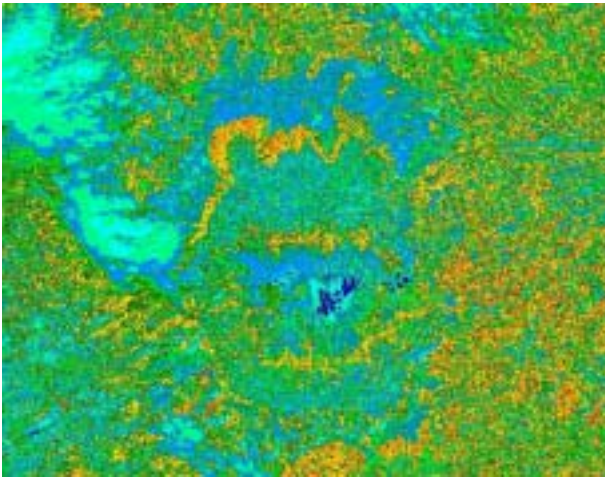
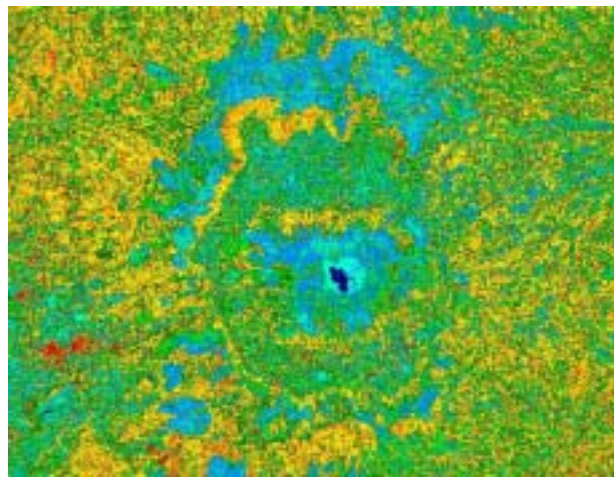


図5 NVI画像におけるカラー表示

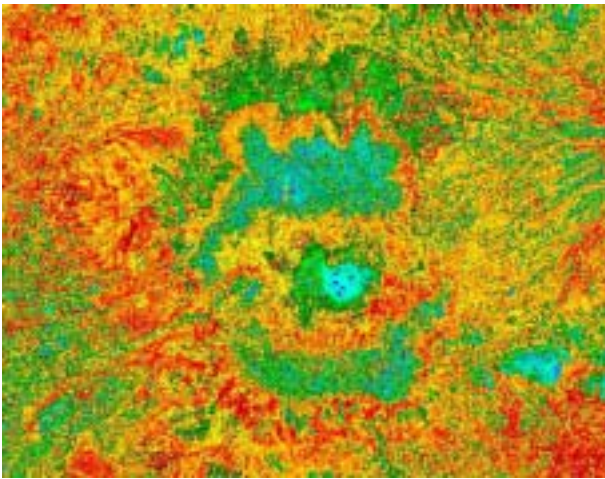
NVI 画像で見た阿蘇の四季



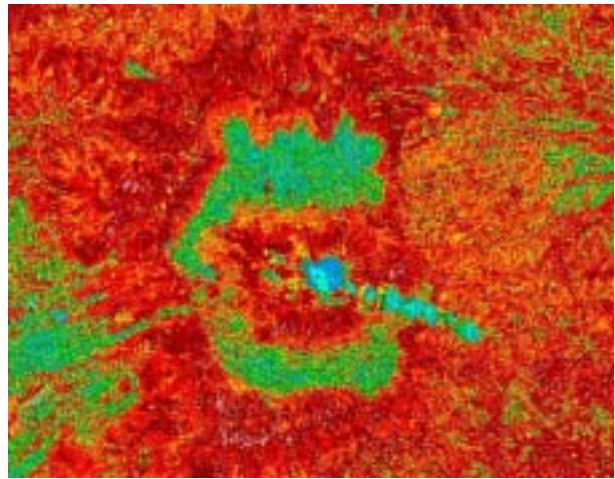
2000 - 02 - 05 [冬]



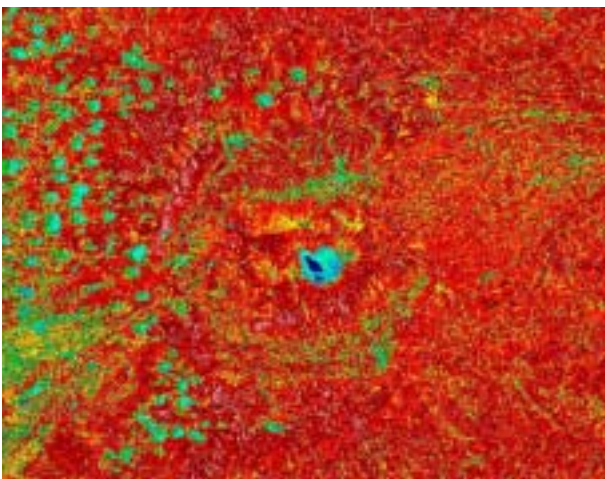
1997 - 04 - 01 [春]



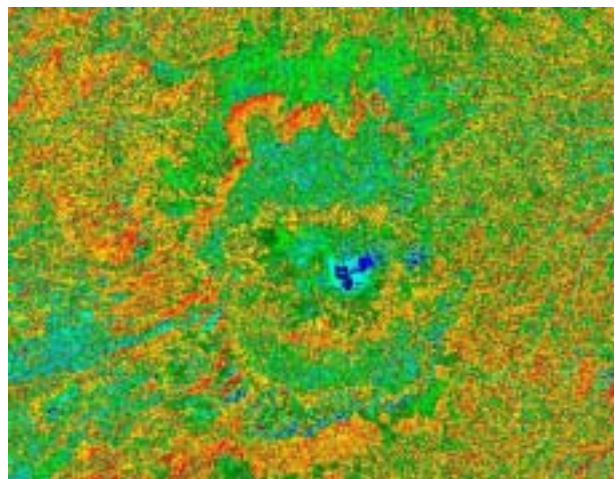
1987 - 05 - 08 [春]



1998 - 05 - 22 [春]



1994 - 07 - 14 [夏]



1996 - 11 - 24 [晩秋]

常緑樹のみが僅かな活性を示しています。常緑樹の活性度がやや増し、春の訪れを感じさせます。外輪山の半自然草地が芽を吹き始めました。常緑樹、夏緑樹、半自然草地等の活力が増大しています。しかし、カルデラ内の多くの水田は、未だ水が主です。全ての植生が活力のピークを迎えました。外輪山等の半自然草地は、未だ完全には枯れていません。[の北西部、 の中央から南東にかけて、 の西側半分には、それぞれ雲がかかっています。]

阿蘇草原の野焼きの変化

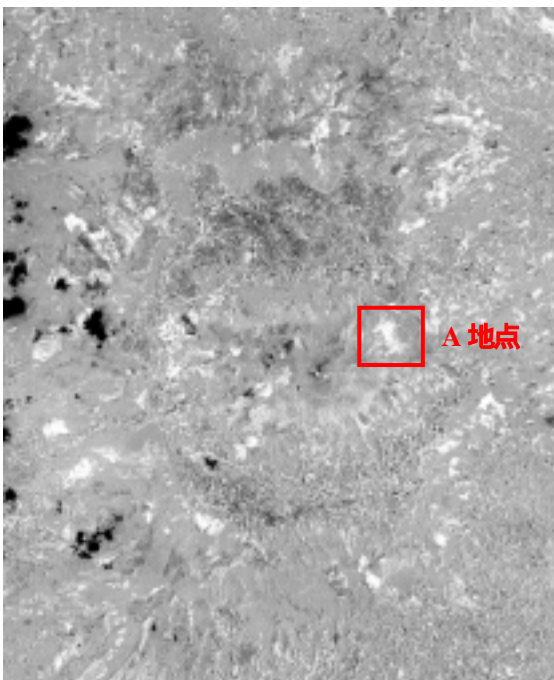
阿蘇の草原は、その気候特性からすれば、森林に移り変わるのが自然本来の形なのです。しかし、阿蘇の草原では、記録に残っているだけでも約1千年も前から、「草を刈る」、「家畜を放牧する」、「火を入れる」などのヒトの営みによって、草原から森林に移り変わることがコントロールされてきました。阿蘇の草原は、言わば、ヒトが生態系の歯車の一部となって成立させてきた大規模な里山の自然なのです。最近、牧畜業の衰退、牧畜従事者の高齢化などにより、ヒトの手が行き届き難くなった草原が出てきました。ランドサットによる二時期の画像から、そのようなヒトの側の都合を読み取ることができます。



'97年4月1日 (R : B5, G : B4, B : B3)
野焼き(春の彼岸の前後)直後の画像で、濃いあずき色の部分が野焼きされた領域です。



'89年4月27日 (R : B5, G : B4, B : B3)
'97年と比べて約1ヶ月遅く、その間に生育した植物の影響で、野焼き領域の鮮明さがやや失われています。



'89年と'97年の差の画像
幾何補正した上記二時期の画像について、画素毎に明るさの差を計算し、表示した画像です。白く浮き出た領域は、二時期で大きく変化した領域を示しています。



'97年のA地点 '89年のA地点 A地点の差の画像



牧野組合位置図

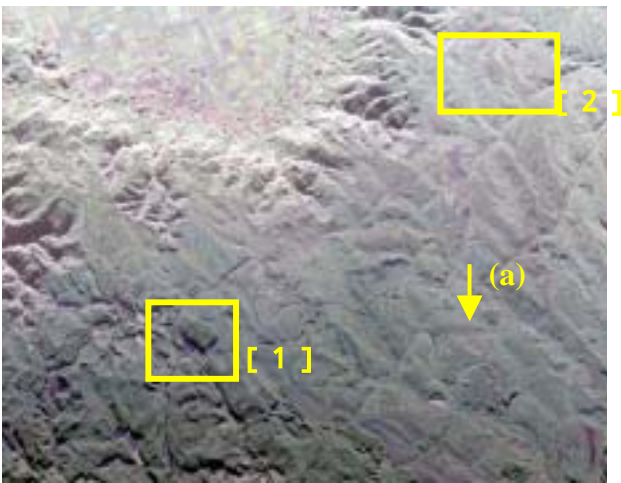
二時期の差の画像に示したA地点に注目し、'97年と'89年のランドサット画像及び両者の差の画像をそれぞれ拡大したものです。また、左の図は、該当地付近を管理する各牧野組合の位置を示しています。

差の画像におけるA地点の形状と「日の尾牧野組合(位置図の中央部分)」の形状が良く一致しています。阿蘇地域振興局の調査データに依れば、日の尾牧野組合では、1995年以降、115 haの草地における野焼きが中止されており、上記の一致は、この事実に対応するものと考えられます。該当地は、根子岳山麓の急勾配地であり、等高線データを用いて面積を計算するプログラムを開発し、初期の値として175 haが得られました。詳細について検討中です。

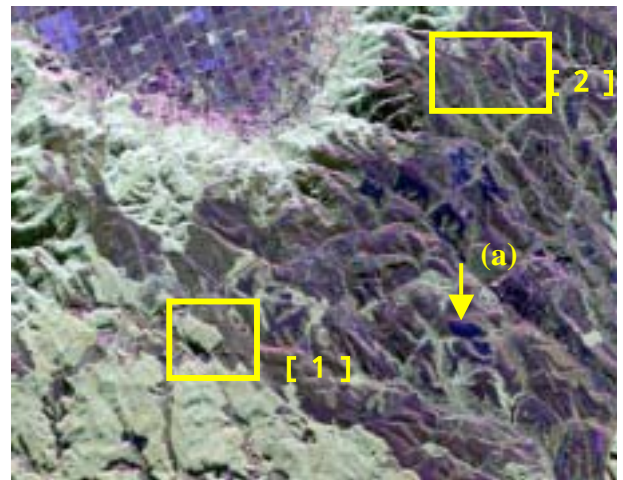
マイクロ波による阿蘇牧野の観測

ランドサットに代表される、光（可視・近赤外）による地表面の観測技術は非常に有用ですが、その利用は昼間の晴天時に限定される宿命にあります。他方、マイクロ波を用いるリモートセンシングは、マイクロ波が雲や雨を透過することから、昼夜を問わず、天候に左右されない観測が期待できます。そのため、“地上の様々な特徴が、マイクロ波で取得した画像上にどのように現れるのか”を明らかにする研究が世界中で盛んです。私たちは、2000年10月に、航空機搭載マイクロ波映像レーダ（CRL & NASDAの共同開発）による阿蘇牧野の共同観測実験を行い、マイクロ波の二波長（3.1cm：Xバンド、及び、23.6cm：Lバンド）について、各偏波成分のデータを取得しました。ここで、電波が伝わる際に、水平面と平行に振動する電波を水平（H）偏波、水平面と直角に振動する電波を垂直（V）偏波と呼びます。水平偏波に対する反射と垂直偏波に対する反射の様子は、対象物によって異なります。HV偏波成分とは、H偏波を送信し、物体による反射のV偏波成分を受信して得られる強度のことです（右側最下の図参照）。

以下に示すマイクロ波カラー画像は、HH成分を赤色（R）、HV成分を緑色（G）、VV成分を青色（B）に割り当てたものです。マイクロ波の波長が違くと、画像上の見え方が大きく異なることが解ります。



阿蘇牧野のXバンドマイクロ波画像



阿蘇牧野のLバンドマイクロ波画像



航空機搭載マイクロ波映像レーダアンテナ部



牧野に設置したコーナーリフレクタ

[2] 刈り取られた野草地の識別



Xバンドマイクロ波画像



Lバンドマイクロ波画像

[1] 森林、野草地、牧草地の識別



Xバンドマイクロ波画像



Lバンドマイクロ波画像



(b)方向から見た現地画像上の高さは森林の高さと関係している



(c)方向から見た現地画像上の色合いは牧草の高さと関係している



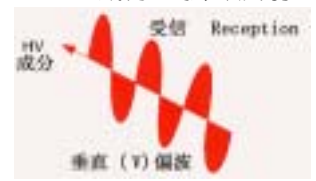
(d)方向から見た現地刈り取られた野草地の向こうはそのまま放置



(a)方向から見た現地境界の盛土がLバンドのHH成分を強く反射



水平面内で振動する電波



垂直面内で振動する電波