

空中写真を用いた地理教材研究

Teaching Materials used Aerial Photographs for Study of Geography

黒木 貴一

Takahito KUROKI

(福岡教育大学社会科教育講座)

要 約

GISにより空中写真をオルソ画像化し、最尤法による土地被覆分類を行った後に、両結果を用いた教材利用を探った。その結果は以下の4点にまとめられる。

1) オルソ画像を地形図と重ね合わせた画像では、地図記号と地形や地物との関係を視覚的に理解しやすい。2) オルソ画像を3D化した画像では、地物や植生と地形との位置関係、地形形態と等高線との関係をより深く理解できる。3) 空中写真による土地被覆分類と地形区分を重ね合わせると、植生分布の理由や分布の変化予測を行える。4) 2時期の空中写真による土地被覆分類結果を比較すると、空中写真そのものよりも被覆変化を明瞭に把握できる。

キーワード：空中写真，GIS，オルソ画像，土地被覆分類

I. はじめに

1858年にフランスのナダールがパリの町並みを気球から撮影し、その空中写真から地図作成を試みた¹⁾。日本では西南の役(明治10(1877)年)の際に、気球からの撮影が試みられたのが空中写真の始めである²⁾。現在、第二次世界大戦前の陸軍撮影のモノクロ空中写真から最近のカラー空中写真までが、日本地図センターから販売されており、地域の変化を学習するための貴重な資料となっている。空中写真は航空機により地表を斜めから撮影した斜め写真と垂直下を撮影した垂直(鉛直)写真に大別される。そのうち垂直写真は地上の情報を記号化した地図と異なり、そのままの姿で地物が記録され、道路と商業地の関係、学校と水田の関係、山地と住宅地の関係などの空間関係を景観とともに推定しやすいため、観察のみでも教育効果の得られる教材である。さらに2枚の空中写真を実体視(同時に観察)すると、地形が立体的に見え、いっそう教育効果が上がる。空中写真は学術的には地形区分による災害調査³⁾、土地被覆分類による環境解析^{4),5)}、視差測定棒による洪水流速調査⁶⁾などに利用される。

GISが普及し、空中写真、地図、人工衛星画像、GPSデータ、植生データなどの様々な空間データが、地球上の正しい位置で、縮尺の制約も無く表示・加工できる環境が多く大学の大学で普及し始めた⁷⁾。本学ではまだ共用パソコン室へのGIS導入ができず、卒論などで地理を志す学生にのみ実習機会は限定されている。そこで、空中写真をGISで調整した教材開発を行った。

II. 作業方法

1. 対象とした場所

福岡県宗像市、福岡県北九州市小倉南区の平尾台、大分県久住町の九重連山とした。

2. 使用した写真資料

宗像市の赤間地区に対し、宗像市が2002年8月21日に撮影した9千分の1カラー空中写真(C7の167-169)および国土地理院が1981年9月から10月に撮影したCKU-81-2のC9-16を、平尾台に対し国土地理院が1994年10月に撮影したCKU-94-1XのC8-11を、九重連山特に平治岳(ひいじだけ)や坊がつるに対し国土地理院が1976年10月から12月に撮影したCKU-76-2のC12-17を使用した。

3. 画像教材作成手法

(1) オルソ幾何補正画像

志村(2005)⁸⁾によれば、英国の地理教育では見下ろすという視点で空中写真と地図を重ね合わせ空間認識形成を行うことが重視されている。しかし空中写真は単純に地図に重ねられない。写真は中心1点から対象を見る画像なので、一般の写真では端にいる人物が歪んで写る。空中写真でも同様、高い建物や山地で撮影するとそれらが地図上の正確な位置からずれた写真画像が得られる。この歪をなくし、地図に正確に重ね合わせられるように画像形状を変化させることを幾何補正といい⁹⁾、その変化させた画像をオルソ幾何補正

画像（以後、オルソ画像と称す）という。

そこで空中写真はスキャナーで300dpiの解像度でスキャンし画像データとし、次にArcGISのエクステンションのImage Analysisを使用しオルソ画像を作成した。詳細な作業方法は添付資料1に示す。

(2) 3D画像

既存研究^{10), 11), 12), 13), 14)}にあるように空間認識力の養成には地図などを3D画像化すると効果的である。地形を3D表示するフリーソフトとして「カシミール3D」が良く知られている。その利用により本学でも3D画像作成による地形学習は可能⁷⁾だが、空中写真のオルソ画像を実際に3D表示することでより現実感が得られると思われる。

そこで3地域に対してArcGISのエクステンションの3D Analystを使用し、オルソ画像を3D化した。作業方法は添付資料2に示す。

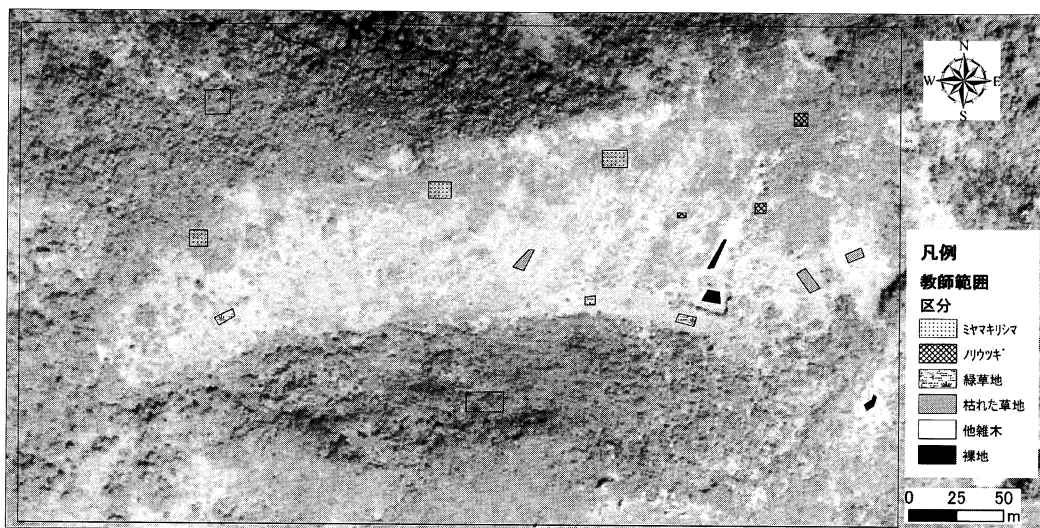


図1 教師データの設定イメージ
*写真中に置かれた四角の範囲が教師範囲

(3) 土地被覆分類画像

マルチバンドのデータを持つ人工衛星画像を解析し土地被覆分類を行うには、解析専用ソフトやPhotoshopなどの画像解析ソフトが必要である^{1), 15)}。土地被覆分類は後藤ほか(2003)¹⁶⁾のように長期間の観測データのある地球観測衛星LANDSATデータの利用が多く、近年では高解像度(1m程度)の衛星データも用いられる¹⁷⁾。空中写真も高解像度の画像である。この写真をスキャンしRGB(赤・緑・青)で記録されたデータを画像解析ソフトで見ると、3色各々の光の強さがデータ化されている。これらはLANDSATのバンド3, 2, 1にほぼ相当する。このため、板谷(1998)⁵⁾では、オルソ空中写真をデジタル化し、それより土地被覆分類から森林区分を実施した。また田(2002)⁴⁾は、コロナ衛星が取得した白黒写真の輝度を用い、画像解析ソフトの半自動での解析により土地被覆区分を行った。そこで既存研究を参考に対象の3地域に対し空中写真をスキャンしRGB(赤・緑・青)で記録さ

れたデータを用意した。

通常、画像解析ソフトでは分類する目的地对し、記録された複数バンド(波長帯)の反射率を同時に用い、その強弱の違いに着目して最尤法で分類する。最尤法とは、分類するグループの分布パターンを数学的に確率密度関数として仮定し、目的地がどのグループに属するかを統計確率的な意味を持たせて判別する手法である¹⁸⁾。また最尤法を実施する前に、分類するグループの典型的な場所(教師)を決定する現地調査(グラントゥールス)を行う。そこで3地域に対して現地調査で教師データを取得した。教師データはその範囲をポリゴンとしてデータ化したshape fileとした(図1)。次にImage Analysisを使用しオルソ画像から最尤法により土地被覆分類画像を作成した。作業方法は添付資料3に示す。

III. オルソ画像

九重連山のオルソ画像を示す(図2)。北東に平治岳、南東に大船山、西には坊がつるが写っている。画像の周囲は不規則に歪んでおり、中でも南東部のひずみが著しい。これは空中写真の標高によるひずみが消去されオルソ画像化されたことを示す。

図3は宗像市のオルソ画像に2万5千分の1地形図「筑前東郷」を重ねた。写真に等高線が正確に重なるため、谷では山に向かって等高線が凸形状になること、尾根では裾野に向かって等高線が凸形状になることが理解できる。また、傾斜地にあるキャンパスには多くの崖記号があるが、学生はその崖を毎日見ており、地形と記号との関係を容易に理解できる。宗像市はため池が多く、本学キャンパス内にもある。等高線の屈曲からため池が谷にあり、その出口を堤でせき止めたため池が形成されたことが理解できる。パソコン教室のある共通講義棟下が吹き抜けで、その南に宇土池がある

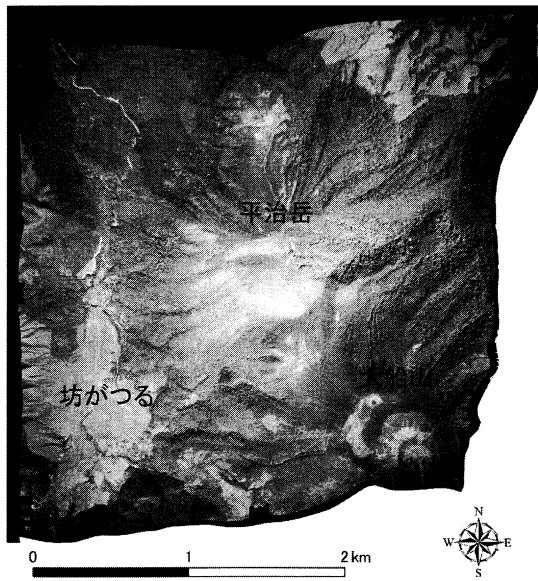


図2 九重連山のオルソ画像

地図記号がどのような地形や地物を意味するかを正しく視覚的に理解しやすくなる。なお、古い空中写真のオルソ画像は現在、「オルソ化空中写真ダウンロードシステム (<http://orthophoto.mlit.go.jp/>)」で提供されている。

IV. 3D画像作成

図4は平尾台の遠方からの3D画像である。この画

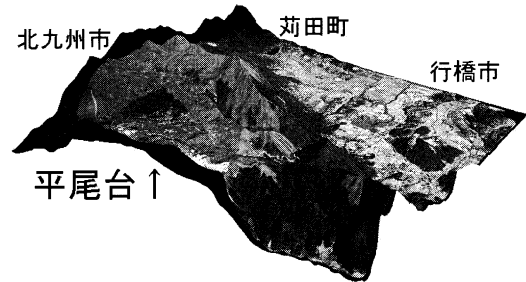


図4 平尾台遠方からの3D画像

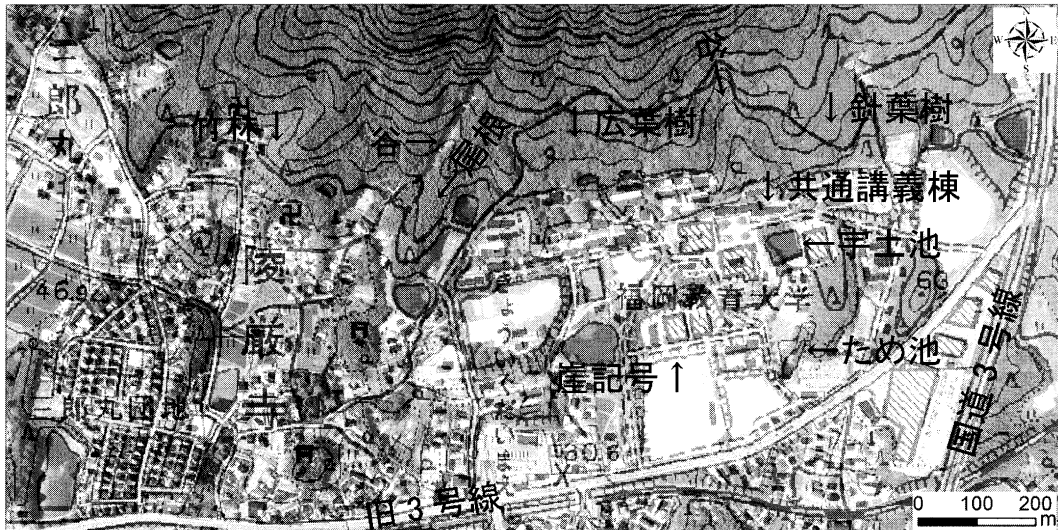


図3 宗像市のオルソ画像

理由も分かりやすい。

記号の水域は淡青単色だが、ため池は現実には濁りや水深により色調が相違することも理解できる。記号では建物(大)と建物(小)の区別があり、1棟、1軒がほぼ正確に記載されているため、キャンパス内で建物の具体的な大きさと地図記号との対比ができる。国道3号線や旧3号線の道路幅はほぼ正確だが、幅員5.5m未満の狭い道路は実際より広めに記載され記号が誇張されていることを理解できる。針葉樹記号の周囲では、規則正しく植林され樹冠が幾何学的な模様(テクスチャー)をつくること、広葉樹記号の周囲では、湧き上がるような丸い樹冠が不規則にあることが分かる。両者よりも樹冠が小さくかつ黄緑色の場所は竹林だが、分布が狭く、地図記号に表されていないことも理解できる。

したがってオルソ画像を地形図と重ね合わせると、

像では平尾台は緩傾斜の台地で台地上に集落、草地、森林が分布することが分かる。さらに接近した図5では、台地上にドリーネによる凹地が多数分布し、道路



図5 平尾台に接近した3D画像

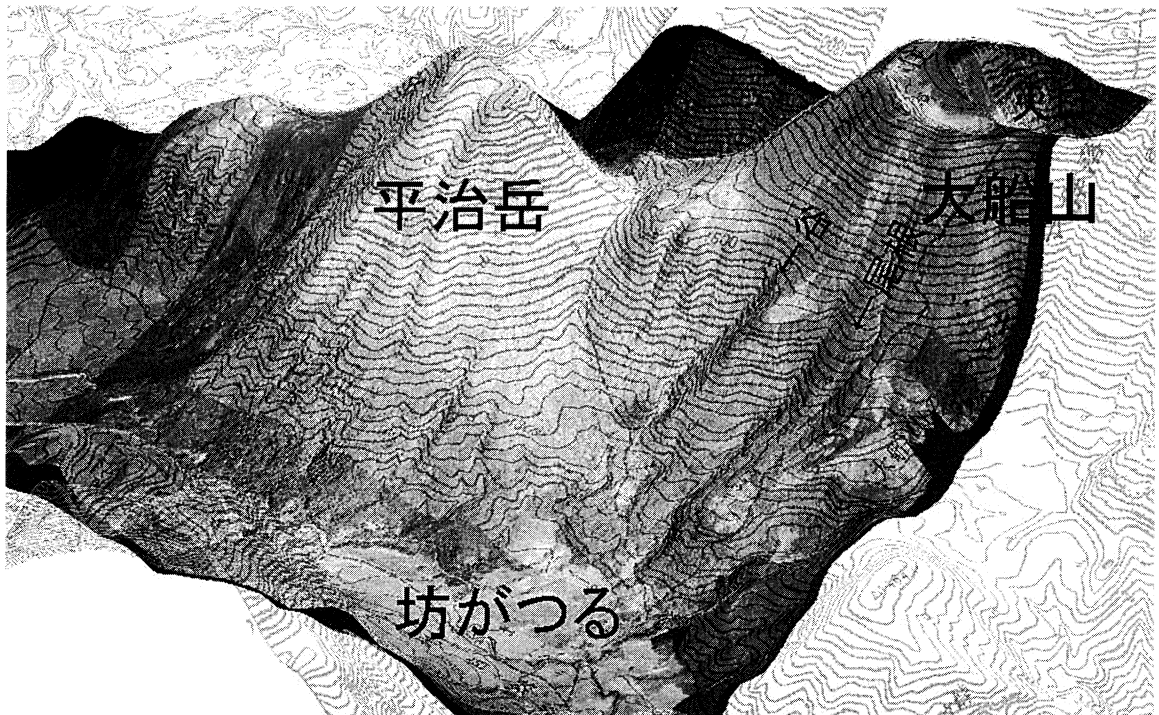


図6 九重連山の3D画像

はドリーネを避けるように草地を走ること、草地内には森林がパッチ状にあり、そこがドリーネ底に相当することが一目で理解できる。

図6は九重連山の3D画像である。半透明にした地形図も画像上に貼り付けて表示した。火口が凹地であること、谷では山に向かって等高線が凸形状になること、尾根では裾野に向かって等高線が凸形状になることが図3以上に理解しやすい。馬蹄形の平治岳山頂、すり鉢状の大船山山頂の形態も明瞭である。また2万5千分の1地形図の等高線が空中写真にあるガリなどの微細な地形を十分に表していないことも分かる。

したがってオルソ画像を3D化すると、地物と地形との位置関係、植生と地形との位置関係、地形形態と等高線との関係をより深く理解できる。

V. 土地被覆分類による空中写真利用の工夫

1. 地形と土地被覆分類との関係

平尾台では、分類項目に高い草地、低い草地、雑木、裸地・畑、石灰岩地、家屋、道路を設定した。2006年10月では、平尾台の草地には主にススキ、ネザサ、セイタカアワダチソウが見られたが、地形の違いでその高さや色合いが異なるため、ここでは高い草地（写真1）と低い草地（写真2）に分類した。なお地形区分はドリーネ底、斜面、丘陵とした。雑木には針葉樹の人工林も含めた。図7に平尾台の土地被覆分類結果を示す。

空中写真や現地状況と比較してみると道路、家屋、裸地・畑、雑木は比較的良く分類できた。石灰岩地は、

道路や裸地・畑とされた誤分類もあるが、地表に露出する石灰岩を正確に捉えた。またこの結果は、ピナクルの隙間に低い草地が分布し、写真画像上では全体に



写真1 高い草地の景観



写真2 低い草地の景観

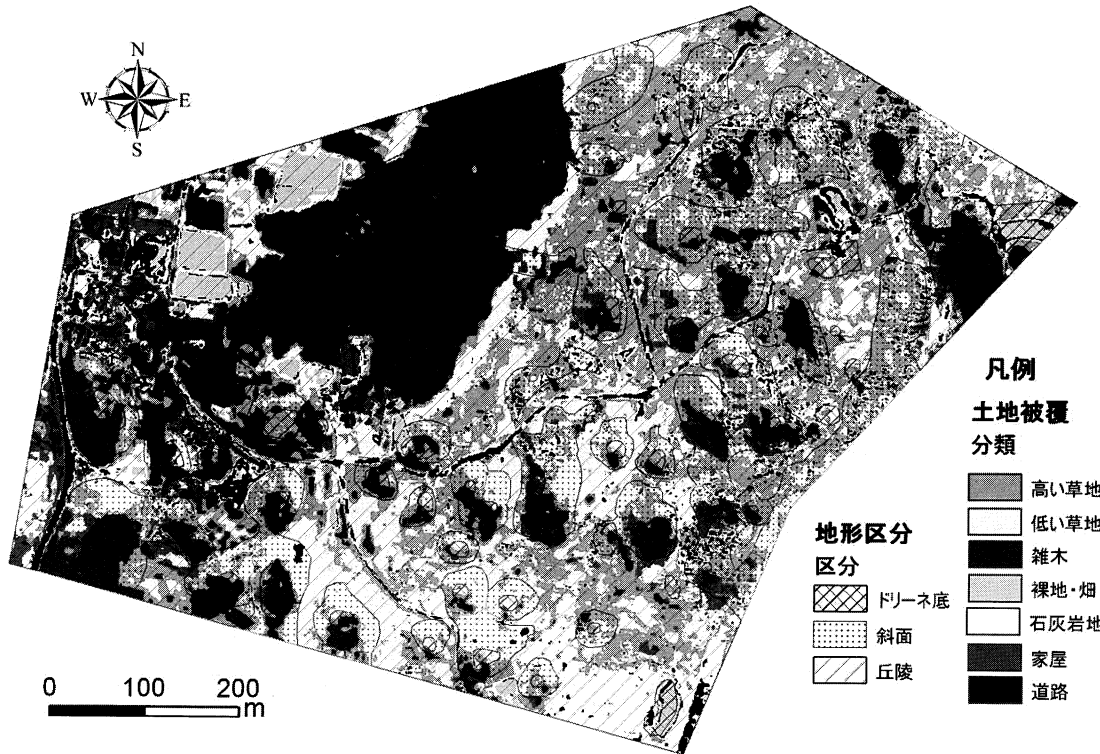


図7 平尾台の土地被覆分類結果

緑っぽく写る場所の石灰岩地もよく捉えている。また石灰岩地には低い草地の隣接することが多いが、結果はそれも良く示している。現地状況は、ドリーネ底は雑木か高い草地で、斜面は高い草地、丘陵地は高い草地か低い草地である。丘陵地の隣り合うドリーネ境界にある凸地形では低い草地のことが多い。結果を見ると、ドリーネ底と斜面の分類結果は実態とよく合う。しかし、隣り合うドリーネ境界の凸地形では低い草地にとどまらず高い草地も分類された。

平治岳では、分類項目にミヤマキリシマ (*Rhododendron kiusianum*)、ノリウツギ (*Hydrangea paniculata*)、裸地、緑草地、枯れた草地、他雑木を設定した。写真3および写真4は2006年5月のミヤマキリシマとノリウツギの状況である。地形区分は田村

(1996)¹⁹⁾を参考に頂稜、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面、谷壁凹斜面、崖錐、谷底、凹地、その他に区分した。図8に平治岳の土地被覆分類結果を示す。

地形区分の範囲では南側を除いてミヤマキリシマが多い。南側ではノリウツギと他雑木が多い。西側の下部谷壁斜面と谷底に緑草地が多い。東側の下部谷壁斜面では枯れた草地が多い。谷壁凹斜面に裸地があり、斜面崩壊の生じたことが推定される。上部谷壁斜面と下部谷壁斜面の境界と、ミヤマキリシマと緑草地・枯れた草地の境界とがほぼ一致する。2006年現在は、谷壁凹斜面にはノリウツギが完全に進入し、その被覆範囲は東側の下部谷壁斜面一帯に拡大しつつある。

したがって空中写真で土地被覆分類を実施し地形との関係を見ると、植生分布の理由や分布の変化予測を

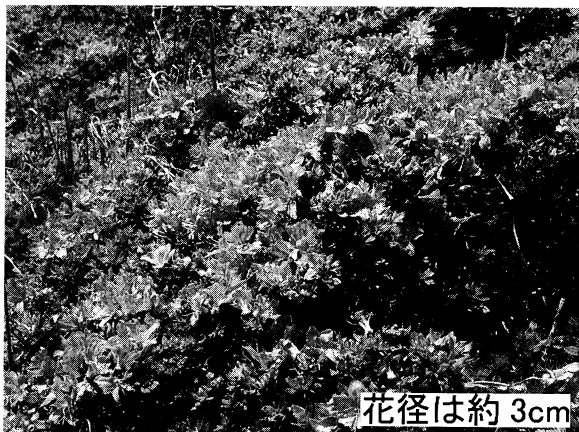


写真3 ミヤマキリシマ



写真4 ノリウツギ

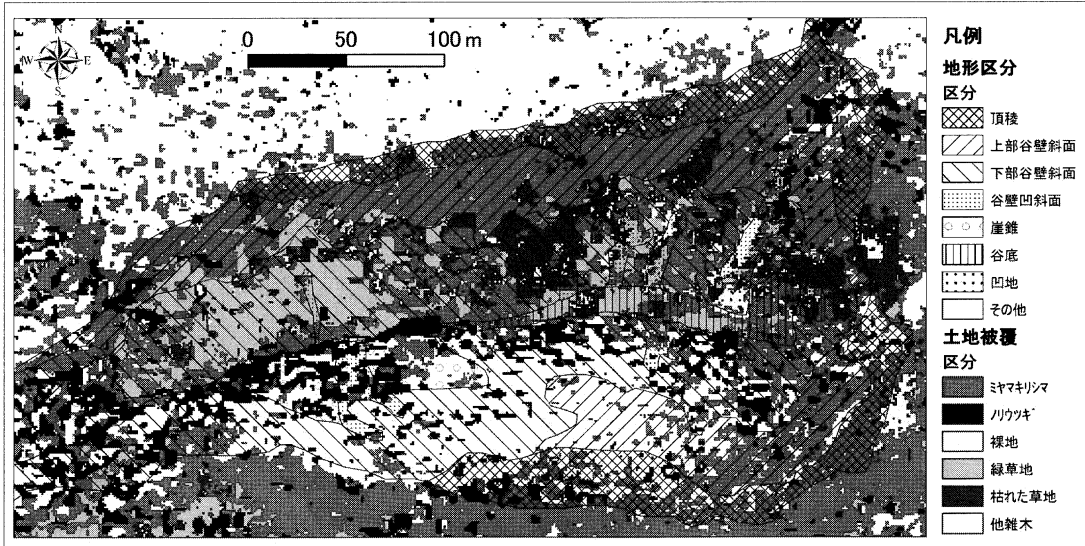


図8 平治岳の土地被覆分類結果

行うことができる。

2. 土地被覆状況の変化

図9と図10は宗像市の赤間周辺の1981年と2002年の土地被覆分類を示す。宗像市では分類項目として広葉樹、針葉樹、竹林、水田、草地、裸地、市街地（住宅、コンクリ建物、道路）、水域を設定した。住宅、コンクリ建物、道路は分類が不十分だったため市街地に統合した。

両結果を実際と比較する。北の山地側の樹林と水田に関しては実態に近い分離結果を得た。しかし南の低地側では水域と市街地と竹林に誤分類が見られ、例えば一部の草地在竹林に分類された。画像変化の傾向をまとめる。3号線付近で市街地が拡大し、草地が減少した。針葉樹と広葉樹の分布は減少した。また北部の広葉樹に囲まれた針葉樹の分布は、全体的に縮小した。山麓の竹林が拡大した。竹林は1981年には分散しているが、2002年では大きな集団が形成された。大学内の運動場の裸地とその他被覆との境界が不明瞭化した。敷地管理や利用が低頻度となったことが伺われる。

したがって空中写真で土地被覆分類を実施しその経年変化を見ると、写真そのものよりも変化が明瞭に把握できる。

次にGISで両画像間のクロス集計を実施し、面積集計を実施した(表1)。1981年の土地被覆の合計値は、多い順に市街地、広葉樹、草地、竹林、針葉樹、水域、水田、裸地である。2002年は、多い順に市街地、広葉

樹、竹林、草地、水域、裸地、針葉樹、水田である。20年間で増加したものは、市街地、水域、裸地で、減少したものは広葉樹、草地、竹林、針葉樹、水田となった。市街地、水田、草地、裸地の面積変化は現実的だが、水域の増加と竹林、針葉樹の減少は実感と異なる。その理由を以下に述べる。

水域は2002年の広葉樹林の場所での誤分類が影響を与えた。2002年の空中写真では、水域が1981年に比べて緑色が強かったことが原因と考えられる。竹林は草地と広葉樹の分布する場所での誤分類が影響を与えた。1981年の空中写真では、竹林の黄色味が2002年より弱く緑が強いため、1981年の竹林に誤分類が増えたことが原因と考えられる。針葉樹は広葉樹の分布する場所での誤分類が影響を与えた。1981年の空中写真では、針葉樹の黄色味が2002年より強く、1981年の分類は実感に近い。しかし、2002年の空中写真では、1981年の針葉樹の場所が、テクスチャーや色が広葉樹と似通ってきており、それが誤分類の原因になったと考えられる。これらの原因は、森林管理の変化、農業に関わるため池管理の変化が影響しているように思われるが、詳細は今後の課題である。

VI. まとめ

講義・実習では市販の空中写真と地図とを対比させる場面で学生がとまどうことが多い。そこで地図に空中写真が正確に重なるように加工し、両者を重ね合わせることを行って、その理解の容易さを確認した。その結果、以下のことが分かった。

- 1) オルソ画像と地形図とを重ね合わせると、地図記号と地形、地物との関係を視覚的に理解しやすい。
- 2) オルソ画像を3D化すると、地物配置と地形との関係、植生分布と地形との関係、地形形態と等高線との関係をより深く理解できる。

表1 宗像市(赤間地区)の土地被覆変化

	2002年土地被覆								単位(ha)
	竹林	針葉樹	広葉樹	水田	草地	裸地	市街地	水域	
1981年計	4.0	1.1	6.4	0.3	2.2	0.7	4.4	2.1	21.2
9	1.1	3.0	4.2	0.3	0.6	0.0	0.5	0.5	10.3
8	6.3	2.5	14.0	0.4	2.8	0.5	4.3	3.3	34.1
1	0.7	0.1	0.3	0.7	1.5	0.3	1.8	0.3	5.9
年	3.5	0.8	2.9	0.6	5.1	2.1	11.3	1.9	28.3
草地	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	2.9	1.0	0.1	4.8
裸地	3.7	0.1	1.8	0.2	6.4	4.7	28.2	2.9	47.7
市街地	1.1	0.1	1.2	0.1	1.2	0.4	3.5	1.4	9.0
水域									
2002年計	20.5	7.9	30.8	2.6	20.3	11.7	55.1	12.2	161.1



図9 宗像市の1981年の土地被覆分類結果

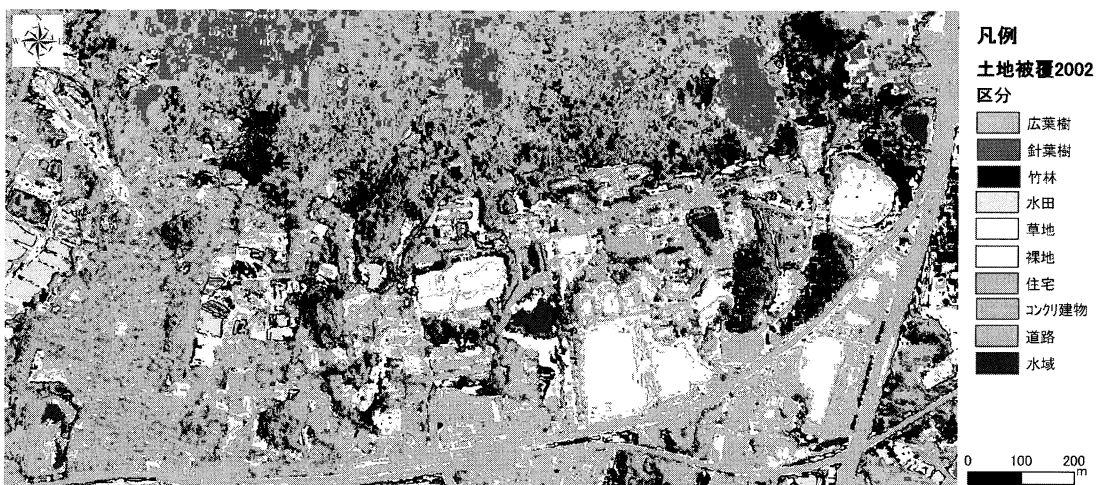


図10 宗像市の2002年の土地被覆分類結果

空中写真の色情報を用い、教師付の最尤法で土地被覆分類を実施した。その分類画像の使用法の工夫を行った結果、以下のことが分かった。

3) 空中写真による土地被覆分類と地形区分を重ね合わせると、植生分布の理由や分布の変化予測を行える。

4) 2時期の空中写真による土地被覆分類結果の比較から、被覆変化を空中写真よりも明瞭に把握できる。しかし人間活動の変化により誤分類が生じやすくなる可能性も指摘できる。

なお、これら空中写真から作成した画像は、平成18年度の本学の自然地理学実習B（VI期）と九州大学の地理学実習Ⅱ（本学のⅣ期相当）において地理情報解析実習の事前説明に使用した。

謝辞

九重と平尾台の現地調査では平成18年度4年生の久富君と村橋君の協力を得た。また本報告を作成するにあたり平成18年度教育研究活性化経費「空からの判読による宗像市の地理歴史教材研究Ⅰ」および平成18年

度科学研究費補助金（基盤研究(c)）；課題番号18500780「人工衛星データによる斜面特性の評価の詳細研究」（研究代表者 黒木貴一）の一部を利用した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口 靖・八木令子・小田島高之（2004）：はじめてのリモートセンシング 地球観測衛星ASTERで見る。古今書院，167p.
- 2) 測量・地図百年史編集委員会（1970）：測量・地図百年史。社団法人日本測量協会，673p.
- 3) 黒木貴一・長谷川裕之（2003）：1999年広島豪雨による斜面崩壊と斜面地形との関係。観音台地区を例として。応用地質，11(1)，11-24.
- 4) 田 然（2002）：CORONA衛星写真の判読による1967年北京市の土地利用・土地被覆に関する分類。2002年秋季学術大会日本地理学会発表要旨集，62，199p.
- 5) 板谷明美（1998）：航空写真のデジタル化による土地被覆情報の抽出。森林利用学会誌，13(2)，81-

- 88.
- 6) 黒木貴一・磯望・後藤健介・張麻衣子 (2006) : 2003年九州豪雨時の御笠川における実体鏡による流速推定. 地図, 44(4), 1-8.
 - 7) 黒木貴一 (2003) : 福岡教育大学でのGIS教育の実践-GISがない場合-. 教育実践研究, 11, 15-21.
 - 8) 志村 喬 (2005) : 初等地図学習教材Mapstartシリーズにおける系統性の分析的研究. 上越教育大学研究紀要, 25(1), 105-115.
 - 9) 日本地図調整業協会編(1990) : コンピュータ・マッピング用語辞典, 129p.
 - 10) 後藤秀昭・佐藤崇徳 (2003) : アナグリフ画像による地形実体像の共有と地理教育での利用. 福島地理論集, 46, 61-66.
 - 11) 橋本雄一 (2006) : バーチャル・リアリティおよびアニメーションによる3次元地理教材の開発と利用. 北海道地理, 81, 1-18.
 - 12) 黒木貴一 (2006) : 自然地理教育での等値線学習の問題と改善. ファカルティ・ディベロップメント研究報告書, 7, 27-34.
 - 13) 松居誠一郎・石井美代子 (1998) : デジタル化した地形図と地形画像の教育における利用 2 - 段丘地形の等高線図教材. 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, 21, 132-142.
 - 14) 佐藤 豊 (1998) : コンピュータを使った地形図学習 - 等高線を立体的なイメージに. 地理教育, 27(7), 30-35.
 - 15) 田中邦一・青島正和・山本哲司・磯部邦昭 (2004) : フォトショップによる衛星画像解析の基礎. 古今書院, 135p.
 - 16) 後藤健介・磯望・黒木貴一・宗建郎 (2003) : LANDSATデータを用いた詳細な土地被覆変遷調査の課題 - 福岡県太宰府市域における事例 -. 西南学院大学教育・福祉論集, 3(1), 99-119.
 - 17) 羽柴秀樹・亀田和昭・田中総太郎・杉村俊郎 (2000) : 高分解能衛星画像データを用いた都市域における小規模緑地の詳細分布図作成の可能性の検討. 地図, 38(4), 1-13, 図巻頭2.
 - 18) 長谷川均 (1998) : リモートセンシングデータ解析の基礎. 古今書院, 140p.
 - 19) 田村俊和 (1996) : 微地形分類と地形発達 - 谷頭部斜面を中心に -. 恩田裕一ほか編: 水文地形学 - 山地の水循環と地形変化の相互作用 -, 古今書院, 177-189.

添付資料 1

ArcMapに写真画像や幾何補正の目標を追加する。

Image Analysisのオプションで解析範囲や解析サイズの設置を行う。

レイヤの座標系を世界測地系, 平面直角座標系 2系にする。

Image AnalysisのモデルタイプをCameraにする。

Image Analysisの幾何補正プロパティで各種設定をする。カメラのキャリブレーションに相当する。

標高の設定では, 標高ソースとしてimgファイル形式の50m標高データを指定する。標高単位をmとし, 地球の曲率を考慮するにチェックする。適用をクリックする。

カメラの設定をする。主点ボックスはX: 0, Y: 0のままにする。写真に記載されている焦点距離を入力する。写真外枠中に指標a, b, c, dがある。指標が四隅にあるウィルド型と, 各辺中心にあるツァイス型がある。ウィルド型の場合, 四隅を結ぶ4辺長を計測しそれぞれ2で割る。ツァイス型の場合, 東西南北を結ぶ十字線の2辺長を計測し, それぞれ2で割る。そして主点をX: 0, Y: 0としたときの, 指標a, b, c, dの座標を用意する。指標の個数を4とし, フィルムX, フィルムYにその座標を, 北西, 北東, 南東, 南西の順に入力する。適用をクリックする。

指標の設定をする。写真の向きは一番左のモデルを選定する。4点の指標をクロスカーソルでクリックしながら座標上に配置する。このとき, RMSエラーが1.0以下になるように注意する。適用をクリックする。

写真と目標点 (既に幾何補正した2万5千分の1地図画像) とのリンクの配置を行う。3点目を設定するときに, 写真画像がおおよそその正しい位置に移動してくる。7点以上のリンクを配置し, トータルRMSエラーが10m以下 (山地部のみではうまくいかず30mが限界だった) になるように注意する。

Image Analysisメニューの名前を変えて保存をクリックする。

添付資料 2

ArcMapの3D AnalystのArcSceneにオルソ化した空中写真画像を追加する。

レイヤのプロパティでベース (標高) の設定を行う。

レイヤの標高をサーフェスから取得する時に, 標高データ (gridファイルかimg形式ファイル) を指定し, Z単位変換に目的倍数值 (2 - 3倍) を入れる。

添付資料 3

オルソ画像と現地状況を考慮して教師データ (shape file 1) を作成する。

土地被覆区分を実施する範囲のポリゴンデータ (shape file 2) を作成する。

ArcMapにオルソ画像, shape file 1, shape file 2を追加する。

Image Analysisのオプションで解析範囲は全ての領域に, マスクはshape file 2に, サイズは1 - 2mに設定する。

Image Analysisの分類で教師付き分類を選定し, 計算する。