デジタル植生図の技術的課題

長澤 良太*

鳥取大学農学部 680-8553 鳥取市湖山町南4丁目101

Technical Discussions on the GIS-based Vegetation Mapping

Ryota Nagasawa*

Faculty of Agriculture, Tottori University, 4-101, Koyama Minami, Tottori, 680-8553

Abstract: This paper discusses about the technical issues on the production and utilization of digital vegetation maps using GIS. The vegetation map is one of the important spatial information in the field of natural environmental studies, and is frequently used for wildlife habitats conservation, monitoring works as well as environmental assessment. GIS plays an important role on the above analysis, and it becomes a common tool not only for the GIS specialists but also the common end-users who analyze the environmental phenomena with various maps.

As methodological discussions on the vegetation mapping with GIS, it is firstly emphasized that the digital ortho-rectified aerial photos and high resolution satellite images can contribute to classify and map the vegetation at a scale of 1:25,000 effectively and efficiently. The ortho photos are very effective, and they can be easily used as background images for the visual interpretation on the PC-displays. The advantages of digital ortho include that ; the interpreters are free to select the scale of presentation according to the minimum mapping unit of vegetation. The alternative is to apply the high resolution satellite images such as QuickBird or IKONOS. They can provide the images having almost same spatial resolution with ortho photos. The superior of these images is that the multi-spectral analysis can be performed for both manual interpretation and automated classification. More recently, it becomes clear that the object oriented image classification method is more effective than the pixel based procedure for the high resolution satellite images.

The final discussion is regarding the contents of attribute in conjunction with vegetation map. The detail records of vegetation survey in the field have been stored in the database with their geographical locations, so that various levels of users can select the necessary information according to their requirements. The multi-layer structure database of GIS makes it possible with much flexibility. For the appropriate utilization and diffusion of vegetation maps, the metadata which describe the mapping process and methodology of each vegetation map are highly recommended.

Key Words: Vegetation mapping, GIS, Remote sensing, Digital ortho-rectified aerial photos, High resolution satellite images

はじめに

10年をひと昔ととらえるならば、GISを取りまく環境はひと昔前とは比べものにならぬ程大きく変化した。ハードウェア、ソフトウェアの高機能化、多様化の一方で低価格化は進み、GISの利用環境は著しく向上したが、なかでも最大の進展はデータ（コンテンツ）の充実であろう。この背景には、インターネットなどの情報インフラが改善、整備されたことも大きく貢献し、官民さまざまな機関からGISデー

タが提供されるようになった（高坂・岡部 1996；国土空間データ基盤推進協議会 1999；野上ほか 2001）。

ひと昔前、日本全国を統一の仕様でカバーするGISデータの種類の数はさほど多くなかった。わが国で始めて全国をカバーした地図情報は国土数値情報であるが、その多くはメッシュ化された数値情報であり、国土計画策定のためのデータであるので詳細な地域の解析には適さなかった。その後、国土地理院が地形図等のデジタル化を開始し、国土の骨格となる数値地図情報が提供されるようになった（日本地図センター 1998）。飛躍的な進展は、1996年の阪神・淡路大震災の教訓がきっかけとなり、関係省庁間で

* 連絡先：nagasawa@muses.tottori-u.ac.jp

受付：2005年11月15日／受理2006年7月30日

緊密な連携のもと GIS の整備及び相互利用の推進を図っていくことを目的に「地理情報システム関係省庁連絡会議」が組織されたことである。こうして、国土空間データ基盤の整備や地理情報の標準化等、GIS の普及のための施策が議論されるようになった（地理情報システム関係省庁連絡会議 1999, 2002）。

本論では、こうした流れのなかで、わが国における植生情報のデジタル化、GIS 化の流れは如何なるものであったか、まずその問題点を抽出する。その後、主に GIS の視点から GIS での利用を前提とした植生図作成手法の課題について、従来手法と比較しながら議論を展開したい。同時に、GIS 技術を土台として植生図化を行う際に有効なリモートセンシングやデジタル写真測量技術等の利用方法などについて、最新の技術動向をまじえながら紹介する。

論点—植生図のデジタル化とデジタル植生図

最近 10 年間に於いて空間データ基盤の整備が進むなか、自然環境に係わる全国的な地図情報として自然環境情報 GIS が環境省自然環境局生物多様性センターより公表された（笹岡 2003）。自然環境情報 GIS は、自然環境保全基礎調査の成果のうち現存植生図等の地図情報を中心にデジタル化し、生物多様性保全に係わる解析、計画策定等への活用を促進するために整備されたものである（環境省生物多様性センター 2005）。地方自治体や地区レベルで植生図が GIS 化されたという例はそれ以前にもあるが、全国レベルで植生情報がデータベース化されたのは自然環境情報 GIS が初めてである。そこで、本論ではこの自然環境情報 GIS の現存植生図を例として、植生図をデジタル化するとはどういうことなのか、という点から議論を進めることにする。

まず、植生図に限らず地図をデジタル化することの定義を明確にしておこう。アナログな紙地図を電子化する場合、その成果品からみて 3 つのレベルが考えられる。一つめは、単純に地図をスキャンニングしてラスタ化すること（数値地図 25000 などがこれに相当する）で、このレベルでは実際の GIS データであるとは言えない。次に、これを幾何補正して位置（座標）情報を与えたものが二つめのレベルで、背景情報として GIS で利用できる。三つめのレベルは、地図上の図形に属性情報が付加されたもので、GIS 的な解析ができる地図（空間）情報である。本論で植生図をデジタル化と言うことは、最

後のレベルの GIS データ、すなわち GIS を用いてさまざまな空間解析やモデル解析ができるようなデジタルデータを作成することを意味する。

自然環境情報 GIS の現存植生図データは、先述のように第 3～5 回自然環境保全基礎調査の成果である全国を網羅する現存植生図をデジタル（シェープファイル）化し、GIS で使えるようにしたもので、データは都道府県単位で CD-ROM に納められている。これまでに、多くの研究（例えば、三橋 2002；日置 2003；金子 2004；広永・深見 2004；平田ほか 2004 など）で自然環境情報 GIS は利用されてきたが、2005 年からは生物多様性センターの Web サイトでダウンロードも可能となり（http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl_f.html）、植生を専門とする研究者や調査担当者のみならず、環境アセスメントや地域環境計画に係わる業務関係者の間でも広く使われるようになった。ところが、植生そのものを直接専門としないユーザー（むしろ GIS を専門とするユーザー）がこの現存植生図を利用し始めると、さまざまな問題、不都合が生じてくることになった。それらは、植生区分の凡例が専門的かつ複雑すぎて扱いが困難であること、地域間で凡例が統一されていないこと、図面間での接合がとられていない点などの指摘であった。すなわち、既往のアナログな植生図を適切な配慮なくそのままデジタル化しただけでは、植生情報の GIS 化が出来上がったとは言い難い。また、従前の植生図の作成手法、過程もより GIS データあるいは g コンテンツ（福井 2003）に即したかたちでの技術革新が必要であろう。実際、1999 年からの第 6 回自然環境保全基礎調査では、一部の地区においてデジタルオルソ空中写真を用いた GIS による植生図化手法が作成要領のなかで仕様化されるようになった（環境省生物多様性センター 2004）。もちろん、こうした流れのなかには、かつて 1:50,000 の縮尺で図化されてきた植生図が 1999 年の第 6 回調査より 1:25,000 にスケールアップされて全面更新されることになり、凡例体系が大区分（概観的な区分）、中区分（優先種的な区分）、小区分（種組成による区分）と階層構造化されたこと、このうち大区分においては最新の空中写真の利用が仕様化され、より現況を反映した植生図の作成が強調されるようになったことも影響している。

そこで、これからの GIS で使える植生図は GIS で作るという点を主題として、植生図をデジタル化することとデジタル植生図を作ることの違いに留

意しながら、デジタル植生図作成の技術的課題、方法論について、以下に議論を進める。

デジタルオルソ空中写真の貢献と作成上の問題点

オルソ空中写真とは、空中写真が撮影された際のカメラの傾きや地形等に起因する歪みを補正し、中心投影である写真を地形図と同じような正射投影に変換した写真のことである（日本写真測量学会 2004）。つまり、地形図にぴったり合致する空中写真で、かつては図化コストの高い大縮尺地形図の代わりにオルソ写真地図がよく作成されていた。1990年代に入ってデジタル写真測量ツールが登場し、高解像度で写真（画像）のスキャンニングができるようになると、デジタル画像ベースのオルソ写真であるデジタルオルソが作成されるようになった（図1）。さらに、近年ではPC上で稼働するリモートセンシング画像処理システムで比較的簡単にオルソ変換処理ができるようになり、それまで写真測量の専門家に依存していたオルソ写真の作成はGISユーザー自らがデスクトップ感覚で作ることができる時代になった。

植生図の作成には空中写真が不可欠であり、現地踏査による植生調査に先立ち空中写真による綿密な植生判読作業が必要であることは今も昔も変わらない。空中写真を用いて植生の相観の特徴を判読キーとして分類する作業が相観判読であり、判読結果を地形図上に移写して出来上がった図面が相観植生図（判読素図）である。この作業は一見簡単そうに思えるが、植生に関する知識を持ちつつ、空中写真の取り扱いにも精通した技術が要求される。特に、空中写真上に描かれた判読界線を正確に地形図上へ移写する作業は、ステレオペアー写真の立体観察で得られる三次元情報を地形図の等高線情報にアナログで置き換える作業が必要であり、その技能は伝統的に熟練技術者によって支えられてきた領域であった。しかしながら、技術者の高齢化が進み、若い世代にその技術が十分に継承されていない現状では、何らかの代替技法の導入を考えなければならない。そこで、GISの支援を受けて植生判読者が比較的容易に図化作業を進めることのできるシステムが求められる。

今日、デジタルオルソ写真はGISの背景データとして頻繁に用いられるようになった（小山・門脇 2000）。空中写真と地形図などの空間情報とが統合

化されることによって、判読による地理情報の抽出、収集からさまざまな空間情報処理、地図化までの過程をGISのなかで一貫して行うことができる。さらに、植生の立地に係わるさまざまな主題情報（例えば、地形標高データや土壌図など）を統合し、GISの支援を受けながら総合的な判断が行える空中写真判読が可能になってきたのである（長澤ほか 2002；長澤 2003）。

それでは、実際にデジタルオルソ写真を作成し、それをGISで利用していくうえでの技術的、操作上の問題点について述べる。本研究におけるデジタルオルソ変換処理には、Leica Geosystems社のLPS ver.8.7とERDAS Imagine ver.8.7を利用した。デジタルオルソ写真の作成過程は、①空中写真のデジタル画像化（スキャンニング）、②標定作業、③空中三角測量、④オルソ変換とその精度評価、に分けられるが、必要に応じてこの後にモザイク処理などが行われる場合もある（ESRI ジャパン 2004a）。さらに、出来上がった空三モデルを利用した三次元判読システムには、Stereo Analyst for ArcGIS ver.9.0を用いた（ESRI ジャパン 2004b）。

1. 空中写真のデジタル画像化

アナログ情報である空中写真をデジタル画像化するためには、まずスキャンニング作業が必要である。厳密な意味での写真測量を実施するのであれば、プロフェッショナルな高解像度スキャナーを用いることになるが、ここでは1:25,000スケールでの判読作業が行える精度、解像度が得られれば良いのであるから、通常の市販スキャナーで十分である。ただし、23 cm画の密着空中写真をスキャンニングするためには最も普及しているA4版のスキャナーで

図1. デジタルオルソ空中写真の一例(兵庫県氷ノ山地域)

は不可能で、A3 サイズが扱える大型スキャナーが必要である。空中写真の四隅にある指標マーク (Fiducial marks) が必ず含まれるようにスキャンされる必要があり、それらはオルソ変換作業で写真の内部標定を行う際に用いられる重要な情報である。

スキャンニング解像度の決定は、後の判読作業に大きな影響を及ぼす重要な問題である。基本的には空中写真の原縮尺を考慮して解像度は決められるが、解像度を2倍にあげれば画像のデータ容量は4倍になる。例えば、縮尺 1 : 20,000 の空中写真を 600 dpi (dot per inch) でスキャンすると 1 ピクセルの実空間サイズ (分解能) は約 1 m となり、写真 1 枚分の画像データ容量は約 80 Mbyte (RGB に 8 bit でカラー分解した場合) となる。これを 1200 dpi でスキャンした場合は、0.5 m の分解能が得られるが、約 320 Mbyte の巨大な画像データになる。どちらが適切な選択かはもちろん利用目的によって異なるが、後者の画像では通常のパーソナルコンピュータにはかなりの負担がかかり、判読作業に際し表示速度などの操作性が大きく低下することを覚悟しなければならない。筆者のこれまでの経験では、植生判読に頻繁に使う国土地理院撮影の縮尺 1 : 20,000 空中写真の場合、600 dpi でのスキャン画像が判読精度、操作性、作業時間など総合的に判断して最適であると考ええる。

2. 標定作業

標定作業は、大きく内部標定と基準点取得の2つのデータ処理手順からなる。内部標定は画像を取得した際のカメラ内部の幾何学的位置関係を定義するもので、写真中心と主点とのずれ、レンズの歪曲による屈折、フィルムの伸縮などの要因に対する補正を行う。測量学的精度を追求するならば厳密な数値が要求されるが、相観植生のような定性的情報のみを空中写真から得ようとする今回の目的からすれば、あまり神経質になる必要はない。ここで使用するパラメータは主点、カメラの焦点距離、指標、レンズ歪などの変数であるが、焦点距離だけでも構わない。国土地理院が撮影する空中写真の場合は広角レンズであるので 154 mm、林野庁の場合は普通角レンズで 213 mm の値を使用する。

実際、オルソ空中写真の作成で内部標定よりも重要な処理過程は基準点の取得である。既知の地上基準点 (Ground Control Points : 以下 GCP と略称する) に基づいて 1 枚以上の画像の未知である外部標定パ

ラメータ ($x, y, z, \omega, \phi, \kappa$) を決定するもので、一般に空間後方交会といった測量計算手法や空中三角測量手法が用いられる。内部標定はカメラと画像との幾何学的関係を定義するものに対し、GCP を取得することによって画像と地上空間との幾何学的関係を構築する。

さて、実際の基準点取得作業のなかでは、どれだけの GCP をどこで、どのように取得すればよいかといった問題に遭遇することになる。これこそがまさにオルソ作成のノウハウに係わる部分で、後の空中三角測量の精度に大きく関与してくることになる。GCP の理論的な最小点数は、隣り合う画像間で 3 点 (x, y, z の座標値) であるが、実際にはもっと多くの GCP が必要である。GCP の配置も重要な問題で、連続する撮影コースでは隣接する 3 枚の画像のオーバーラップ部分で GCP を取得するようにする。また、地形的には平野部や谷底などの同定可能な人工構造物 (道路の交差点や橋梁など) が適当で、山地部や斜面あるいは変化しやすい河道内などの対象物は避けなければならない。Landsat や SPOT などの中分解能衛星画像の幾何補正とは異なり、1 ピクセルが 1 m 前後の解像度を持つ空中写真では、画像空間と地上空間とで対照可能なポイントを可能な限り正確に抽出しなければならない。先の空中写真のスキャンニングの段階では、この点に留意して解像度を決定しておくことが重要である。また、GCP を取得する情報源 (リファレンス) にも留意が必要である。空中写真の縮尺が 1 : 20,000 だからといってほぼ同縮尺の地形図、例えば地図画像 25000 などから GCP を得ていたのでは空中三角測量を実施する際に十分な精度が得られない。空間データ基盤 (数値地図 2500) や民間の大縮尺地図データ (例えば NTT GEOSPACE など) のように、地上地物の形状を縮尺 1 : 2,500 ~ 5,000 で図化したリファレンスマップデータが必要である。一方、Z 値 (標高) のリファレンスについては、オルソ写真作成という目的に限定すれば平面位置 (X, Y 値) ほど精度に気遣うことなく、数値地図 50 m メッシュ (標高) 程度でも十分に目的 (植生判読) に適った精度のデータを作成することができる。

3. 空中三角測量

空中三角測量 (以下、空三と略称する) は、GCP とタイ・ポイント (結合点) を用いて、標定したすべての空中写真について絶対標定、外部標定を行う

ものである。タイ・ポイントとは2つ以上の画像で確認できる同一地点を抽出したもので、画像間の相対的な位置をつなぎ合わせる目的で用いられる指標点である。空三では、バンドル法とよばれる各写真の外部標定要素を最小二乗法により未知数を調整し、統計的手法によって自動的に誤差を検出、配分、除去して同時解を算出する。

オルソ空中写真を作成する場合、必ずしも空三が必要というわけではない。デジタル空中写真をそれぞれ単独に処理する単画像オルソ補正という方法もある。しかしながら、対象が広範囲で写真枚数が多くなると単画像での補正処理は大変な作業となり、複数枚数の写真でブロックを構築し空三モデルを適用するほうが効率的である。空三の精度は、スキニングの方法から内部標定、基準点取得の精度などに複雑に影響されて難解であるが、一般的には空三モデルを構築した際のRMSエラー（平均二乗誤差）によって解釈するのが容易である（丹羽2003）。実際の精度評価は、空三処理を実行する際にGCPとは別に精度のみを評価する複数のチェックポイントを設定しておき、各点におけるx, y, zのRMSエラーを吟味する。ここで注意したいのは、計算結果が1回で期待する精度に収まるようなことはまずないと言ってよく、通常はGCPやタイ・ポイントを取り直すなど試行錯誤の結果、全体のRMSEが可能な限り小さくなるようなモデルが出来上がるまで計算を繰り返して行う。ここで得られた空三モデルは、オルソ写真やDEM（Digital Elevation Model：地形標高モデル）の抽出など、空中写真測量の成果として用いられることになる。単にオルソ写真を作成する目的のみから空三精度を考えた場合、経験的に全体のRMSEが10以下の値に収まっていれば、植生判読の精度に十分耐え得る精度のオルソ空中写真が作成可能である。

4. オルソ変換とその精度評価

ここでは、縮尺1:25,000の植生図化を行うという観点から精度を考えてみたい。通常、公共測量規定における1:25,000地形図の平面位置精度は0.7mm以内とされており（国土交通省2003）、仮に1:20,000のオルソ空中写真では実距離で14mとなる。600dpiでデジタル化した画像の1ピクセルあたりの空間分解能（解像度）は1mであるから、ずれの許容範囲は14ピクセル以内ということになる。オルソ補正の精度検証を行うために、単画像オルソ変

換と空三の両手法を用いてオルソ補正した場合の結果を比較してみた（長澤ほか2002）。ステレオモデルを構成する一対のオーバーラップ領域に500m間隔の格子を設定し、その交点（80点）で左右の写真上における座標値を読み取った。両者の差を水平ずれの大きさと考えて精度を比較した結果、単画像オルソのずれの標準偏差値は8.1mであったのに対し、空三では4.5mであった。平均値は単画像オルソで12.7m、空三では7.8mとなりより高い精度で補正されていることがわかった。ずれの最大箇所はやはり写真周辺部の起伏の大きな山地斜面に見られたが、その最大値は単画像オルソでも36m、空三では26mに収まっていた。こうした誤差は縮尺1:25,000における植生界線の抽出精度に十分許容できるものであり、判読のための基盤情報として使用できることがわかった。

最後に、デジタルオルソ空中写真を用いた植生判読の方法と特徴について述べる。GISを用いた判読手法の特徴は、PCのディスプレイ上でオルソ写真を自由自在に拡大、縮小しながらスケールフリーな判読が行えるという点にある。仮に1:8,000の空中写真を用いると、原縮尺から約10倍拡大して1:800~1,000の縮尺で単木レベルでの樹冠観察も可能である。しかしながら、一般に相観レベルで植生や土地利用を観察、判読していくには、1:2,500~5,000程度の縮尺での判読作業が効果的、効率的で、原縮尺1:25,000の空中写真がこの目的に適している。1:20,000の空中写真は国土地理院が全国にわたって広く撮影しているので、容易に活用することができる。この判読手法では、オルソ空中写真を背景データとしてそのうえにマウスで判読界線を描いていくことになるが、通常のモニター判読では従来のような立体視観察が行えなかった。しかしながら、オルソの作成過程で空三モデルが構築されているので、GIS用の3次元表示エクステンションを用いればディスプレイ上で立体視観察も実際に可能になる。これはGISのディスプレイ上にステレオウィンドウを開き、ステレオモデルをつくる一対の左右の空中写真に赤、青の余色をかけ、オペレータ（判読者）はアナグリグ（余色立体視）眼鏡を用いて3次元画像を構築するものである（図2）。

GISをベースとして2次元の平面判読と3次元の立体視判読の両方で同一地域を対象に実験的作業を行った結果、判読精度、判読効率ともに3次元で表示した立体視観察のほうがはるかに高いものが得る

図 2. PC 上での 3 次元（立体視）画像判読作業

ことができた。

高分解能衛星画像の活用方法

GIS で利用できる空間情報源として、デジタルオルソ写真のほかに人工衛星画像の活用が期待される。1 : 25,000 の縮尺で図化する植生単位の精度を得るためには、QuickBird や IKONOS などの高分解能衛星以外は考えられないので、ここではこれらの画像の利用を前提としたリモートセンシングの活用手法について議論する。

1 m 前後の空間分解能を有する高分解能衛星はほぼ空中写真と同様な利用の仕方ができるので、しばしば空中写真の代替ツールとして評価され、議論されることが多かった（例えば、松林ほか 2002）。しかしながら、空間分解能のみ期待した利用手法では、空中写真が容易かつ安価に利用できるのに対し、高価な衛星画像はコストパフォーマンス的に劣勢である。そこで、高分解能衛星画像の利用を考えるには、空間分解能のみならずスペクトル特性を活かした利用手法の検討が不可欠である。QuickBird や IKONOS は、その他の地球観測衛星と同じようにマルチスペクトルで地表観測を行っており、可視光領域から近赤外領域で 4 バンドの画像データを提供する。これとは別にパンクロマティックのモードでも観測を行っており、0.7 ~ 1 m の高空間分解能でデータ取得する。マルチスペクトルでは 2.8 ~ 4 m の解像度であるが、パンシャープ処理を施すことによってカラー画像でも見かけ上 1 m 程度の解像度を得ることができる。いずれにしても、高分解能データのスペクトル特性を最大限に活用した手法を採用することによって、デジタルオルソ空中写真とは異なる高分解能衛星の有用性が評価できるようになる。

さて、従来からよく用いられてきた Landsat や

SPOT などの衛星画像は空間分解能が 20 ~ 30 m であり、わが国のように土地利用が集約的で複雑に入り組んでいるような地域では、衛星画像のひとつのピクセル内に複数の被覆物が混在するミクセルをなし、スペクトル解析によって異なる被覆物間の境界線を的確に抽出することは困難であった。これに対し、高分解能衛星画像では 1 ピクセルがひとつひとつの土地被覆や植生タイプに対応するものと考えられる。そこで、隣接するピクセルの均質性 (homogeneity) をひとかたまりのポリゴンにグループ化 (セグメンテーション) することによって、高分解能衛星画像の特性を最大限に活かした分類アルゴリズムが有効になると考えられる (原 2005 ; Blaschke et al 2005 ; Crase and Hempel 2005 ; Hajek 2005 ; 鎌形ほか 2006)。この分類方法では、画像分類に先立ち、まず空間的に隣接する比較的均質なピクセルのかたまりをセグメント化 (Segmentation) してオブジェクトを生成する。次いで、各オブジェクトに対して知識ベースによるクラスルールに基づいて分類を実行するというものである。人間の目で見たと近い分類ができるため、植生や土地利用の判読図にかなり近い分類画像を作成できるのが大きな特徴であると言える。

実際に、IKONOS のパンシャープン画像 (2003 年 5 月 19 日撮影) を用いて目視判読、オブジェクト指向分類を行った結果を第 6 回の植生調査で作成された縮尺 1 : 25,000 の現存植生図と比較しながら検討してみよう。テストエリアは、鳥取県大山町で、1 : 25,000 地形図「淀江」図幅の一部である (図 3)。分類の凡例項目は、環境省統一凡例の大区分よりもさらにもうひとつ上位の相観区分で、森林と草地、針葉樹と広葉樹、落葉性と常緑性等の区分に相当する。対象地域の標高は 100 ~ 350 m で、丘陵性の山地はアカマツ群落やコナラ群落などの二次林から構成される典型的な里山地域で、果樹園として利用されている部分も広い。一方、低地部はほとんどが水田に利用されており、画像の東北端の河川沿いには湿性草本植生が分布している。

まず、IKONOS 画像の判読図 (中段 : 右) と現存植生図 (上段 : 右) を比較してみると、前者のほうがはるかに詳細な植生パッチを抽出しているのがわかる。特に、対象地域で広範を占めるアカマツ群落内には、至る箇所落葉広葉樹 (コナラ、イタヤカエデなど) が侵入し、林冠部はコナラが優占して相観をつくっている様子が容易に判読できる (図

オルソ空中写真モザイク画像
(2001年6月3日撮影)

第6回自然環境保全基礎調査
現存植生図

- 凡例
- ヤナギ属木群落(VI)
 - コナラ群落(IV)
 - アカマツ群落(III)
 - 低木群落
 - 伏倒跡地群落(II)
 - ツルハシ群落
 - ヨシクラス
 - スギ・ヒノキ・サワラ植林
 - 竹林
 - 畑地雑草群落
 - 水田雑草群落
 - 果樹園
 - 路傍・空地雑草群落
 - ゴルフ場・空地
 - 雑の多い住宅地
 - 開成水域

IKONOSパンシャープン画像
(2003年5月19日撮影)

IKONOS判読による相観植生図

- 凡例
- 広葉樹
 - アカマツ
 - 低木林
 - 伏倒跡地
 - スギ・ヒノキ植林
 - 竹林
 - 草地
 - 水田
 - 果樹園
 - 集落・人工改変地
 - 内水面

eCognitionによるオブジェクト抽出
(7,522オブジェクト)

オブジェクト指向画像分類による
相観植生図

- 凡例
- 広葉樹
 - アカマツ
 - 低木林
 - 伏倒跡地
 - スギ・ヒノキ植林
 - 竹林
 - 草地
 - 水田
 - 果樹園
 - 集落・人工改変地
 - 内水面

メートル
0 250 500 1,000

図3. 高分解能衛星画像を用いた植生図の作成(鳥取県大山町長田地区)

4). おそらく松枯れ等によって林相が近年急速に変化した結果であろう。さらに、スギ・ヒノキ植林地の位置精度、パッチ形状のとらえ方等にも両者の間に少なからぬ差が認められる。植生調査には縮尺1:30,000～40,000のパンクロ写真を用いることが

環境省の植生図作成要領に記されているが(環境省生物多様性センター 2004), この程度の縮尺の空中写真をオルソ化した場合, 高分解能衛星画像に相当する解像度を得ることができない。そこで, 本研究でも写真縮尺を1:40,000(2 m空間分解能)と1:

図 4. 高分解能衛星から判読される植生相観の一例（鳥取県大山町長田地区）

16,000（80 cm 空間分解能）の 2 種類のオルソ写真を用いて同地域で実験的な判読作業を行った。その結果、後で植生パッチの抽出精度は著しく上昇し、IKONOS 画像を判読する際とほぼ同程度の判読図を作成することができた。すなわち、空中写真であっても空間分解能の違いによって判読精度にかなりの差が出ることは明らかで、植生判読のためには縮尺 1 : 20,000 より大縮尺の空中写真の利用が望ましい。

次に、オブジェクト指向分類による植生分類を行った。使用したソフトウェアは、独国 DEFINIENS 社の eCognition Professional ver.4 である。このソフトウェアは、画像を自動分割するセグメンテーション機能を有しており、生成されるポリゴンは写真（画像）判読によって得られる相観ユニットにかなり近いものと考えられる。すなわち、画像中の植生相の違いをそれぞれの色調と形状をもとに自動抽出し、その境界線を自動的に描いてポリゴンを生成する機能である。その際、抽出するポリゴンの大きさや形状特性に関わるパラメータの設定が求められる。これらは eCognition 独自の設定指標であり、試行錯誤のうえ得られるかなり経験的なパラメータである。今回は、Scale parameter を 50, Compactness/Smoothness parameter をそれぞれ 0.7, 0.3 に設定した。結果として 7,522 のオブジェクトを抽出し（図 3 の下段：左参照）、目視判読で得た 11 項目の凡例をもとにトレーニングサンプルを採集して自動分類を実施した。結果は図 3 の下段：右に示すように、目視判読とかなり類似した分類図を作成することができた。この作業に費やした時間は、目視判読の 10 分の 1 以下であり、本手法を用いることによって相観植生図の効率的な作成に大きく貢献できることが明らかになった。

GIS の利用を前提とした植生図

デジタルオルソ写真や高分解能衛星を活用することによって、GIS を用いて効率的で効果的な相観植生図化が行えることが明らかになった。図 5 は、デジタルオルソ空中写真をベースに GIS の支援を受けた植生図作成の流れを示したものである。このような植生図はデジタルデータをベースとして作成される地図情報であるから、GIS データベースを前提とした植生情報の内容、構造について検討が必要になってくる。GIS を用いた空間解析では、地図上に表示される位置情報のみならず、その主題性を説明する属性情報がいかに整備され、どれほど詳細なコンテンツを持つかが重要である。ここでは、GIS によって作成されるデジタル植生図が植生という自然環境情報のいかなる側面を表現し、いかなる利用の仕方が適切であるか、などについて考えてみたい。

まず、この問題を議論する際に、避けて通れぬ論点として植生の分類体系に関する問題がある。従来の環境省による植生図では、植物社会学的な観点から群落・群集を設定して各地域、図面ごとに特有な凡例が設定されていた。第 6 回の自然環境保全基礎調査からは全国共通の凡例（統一凡例）を採用し、特定の種組成・生育条件および相観をもつ「群集」を基本単位とし、これを細区分としてその上位に中区分（優占種的な区分）、大区分（相観的な区分）の階層構造を設定した（環境省生物多様性センター、<http://www.vegetation.jp/chosa/index.html>, 2006.6 参照）。第 6 回の植生調査結果は、国土地理院発行の縮尺 1 : 25,000 地形図を基図として図化される植生原図の作成のみならず、植生調査情報を管理するためのデー

図 5. GIS を基軸とした植生図作成フロー

データベースの構築とその更新・管理に関するシステムが検討の課題になっている（環境省生物多様性センター 2001）。データベースには、調査地点位置情報（緯経度及び二次メッシュコード）、群落の概況情報（最高階層優占種やそのデジタル写真）、群落の詳細情報（階層別の出現種、被度・群度、また群落の構造を示す階層別の優占種や立地環境に関する情報）を記録したデジタルデータが記録される。これらの情報は、図化した植生ユニット（ポリゴン）ひとつひとつの属性としてあるのではなく、別のデータベースファイル（CSV ファイルに変換可能）に記録されている。しかしながら、項目の中に位置情報（緯経度）が示されているため、これを通じて地図情報（植生図）とリンケージを取ることによって詳細な植生情報を 2 次元、3 次元の広がりの中で解析できるようになっている。これらの操作は、GIS による図形 - 属性間検索機能によって可能になるもので、GIS を指向した植生情報ユーザーには馴染み易いかたちになっている。これによって、従来のような紙ベースの植生図では対応しきれなかったさまざまなレベルのユーザーの要求を満たすことができる。例えば、単に植物の群集・群落分類の結果だけでなく、詳細な現地情報を必要とする植生を専門とするユーザーには、実際に現場を訪れた植生調査者によるなまの観察データや現地の植生景観を写したデジタルカメラ画像などを位置情報とともに提供されることになる。一方、植生を直接専門とはしないが、植生情報を地域の環境指標や生態系評価、アセスのための環境類型区分の基盤データとして用いるユーザーにとっては、従前の縮尺 1 : 50,000 現存植生図よりも正確な位置精度を有するデジタル植生図は大変都合良いはずである。また、属性情報も植生に対する専門の程度に応じて階層的な分類システム（相観、優占種、種組成）を選択的に採用する

ことができる。例えば、野生動物の生息の場を評価する目的からすれば、相観的区分による植生図で十分に対応可能である。このように、マルチユーザーに対して多目的に活用ができる情報こそデータベース化に値する GIS データ（g コンテンツ）であると言える。

以上は環境省による第 6 回以降の植生調査に見られる GIS 化の動向をもとにデジタル植生図の利用可能性を考えてみたが、こうした流れとはまったく別の次元から新たな植生図あるいは植生情報データベースに対する幾つかの提言が近年行われるようになった。これらは主にリモートセンシングを専門とする人達から提案で、従来の植物社会学的な群落・群集に基づく階層的な分類体系とは異なり、植物の電磁波反射特性を物理的に図化した「スペクトルの植生図」である（上林 2005）。リモートセンシングの長所である情報の広域性、瞬時性、経時性を最大限に活かして、地表被覆物の空間的分布に関する必要にして最小限の情報（例えば、植生域と非植生域あるいは林地、草地、農地などの区分）を広範囲であっても短時間かつ安価に図化できる。また、何らかの画像分類アルゴリズムを駆使すれば、針葉樹と広葉樹、常緑樹と落葉樹といった相観的区分を実行することも十分に可能で、さらに現地調査を並行して行えば分類精度はかなり高いものを目指すこともできる。こうして作られた地図情報を「植生図」と呼ぶか呼ばないかについては、専門家の間で意見が分かれるところであろうが、この程度の（粗い）植生情報でも十分に事足りるユーザーが多くいることも事実である。それならば、従来の植生図とは別にこのような「植生情報図」を比較的短い期間で高頻度で作成し、これを GIS データベース化していくことは、地域の環境、生態系解析にとって極めて貴重な情報を提供することになるのは間違いない。

一方、リモートセンシングから得られる植生の相観的な情報を基本としながらも、これに立地に係わる環境要因情報（例えば、地形、土壌、気象条件など）を多層構造（マルチレイヤー）型のデータベースで新たな植生情報を提供しようとする提言も行われている（松林ほか 2005a, 2005b）。そこでは、従来の植物社会学的な階層的な分類体系に拘らない方法で、植生をベースとして自然環境を包括的に扱えるデータベースの有効性を提案している。こうした手法は、まさに GIS を用いることによってなし得る新たな発想であり、その図化の過程が標準化され、一定の精

度が保証されるようになればわが国の自然環境情報に係わる GIS データベースとして有意義な情報源になると考えられる。しかしながら、ここで注意しておきたいことは、こうした新たな植生図化の手法あるいは植生情報の内容が従来の植生図とは決して競合するものではないという点である。植生、自然環境情報のユーザーが各々の目的のために適した植生図はどちらかという選択の余地とその判断材料を提供できるようにしておかねばならない。この意味において、それぞれの植生図作成のプロセスやその方法を完全にオープンにし、適切な選択が行えるようなメタデータの整備が求められることになろう。

おわりに

再度ことわっておくことになるが、ここでの議論は縮尺 1 : 25,000 の植生図を作成する際における GIS やその情報源としてのオルソ写真や高分解能衛星の利用可能性を評価したものである。GIS は空間的な情報を効率的にデータベース化し、その応用への可能性を広げるツールであり、オルソ写真や高分解能衛星はそうした空間情報を取得するツールである。だからといって、どんな植生図へも GIS やリモートセンシングが万能的効力を発揮するわけではなく、例えば大縮尺で種組成を植生単位とする植生図には依然としてその適用は難しい。また、植生の群落、群集と相観的特徴との関係が十分に説明されなければ、植生図化へのオルソ写真や高分解能衛星の適用も適正な評価ができなくなろう。大切なことは、植物社会学者と GIS、リモートセンシングの専門家が席を交えて、これからの最も使い易い植生図とはいかなるものかを議論し、目的に応じて複数のバリエーションのある植生図を作ることなど検討することが重要でと考える。

謝辞

本論を作成するにあたり、株式会社プラトー研究所の江田敏正氏、丸山芳史氏からは、実際の植生図 GIS 化作業の実務経験に基づく貴重な助言をいただいた。また、デジタルオルソ補正処理や衛星画像の補正に際しては、鳥取大学大学院農学研究科の喜多晃平氏の手を煩わせた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- Blaschke, T., S. Lang and M. S. Moller. 2005. Object-based analysis of remote sensing data for landscape monitoring. Recent developments. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento.
- 地理情報システム関係省庁連絡会議. 1999. 国土空間データ基盤標準及び整備計画. 内閣官房, <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gis/h11seibi-honbun.html>
- 地理情報システム関係省庁連絡会議. 2002. GIS アクションプログラム 2002-2005. 内閣官房, <http://www.gsi.go.jp/GIS/icma/icmapdf/2004actionpro.pdf>
- Crase, B. and C. Hempel. 2005. Object based land cover mapping for Groote Eylandt: a tool for reconnaissance and land based surveys. In: Proceedings of NARGIS 2005 - Applications in Tropical Spatial Science. 4th - 7th July 2005 Charles Darwin University, Darwin, NT, Australia.
- ESRI ジャパン. 2004a. LPS ユーザーズガイド (日本語版). 496pp. (株) ESRI ジャパン, 東京.
- ESRI ジャパン. 2004b. ステレオアナリストユーザーズガイド (日本語版). 274pp. (株) ESRI ジャパン, 東京.
- 福井弘道. 2003. g コンテンツビジネスの展望. g コンテンツ流通推進協議会, http://www.g-contents.jp/general/5_1_0.shtml
- Hajek, F. 2005. Object-oriented classification of remote sensing data for the identification of tree species composition. Proceedings of ForestSat 2005 conference, May 31 - June 3, 2005, Boras, Sweden.
- 原慶太郎. 2005. リモートセンシングによる植生構造の解析—植生図化における現状と課題—. 植生学会第 10 会大会講演要旨集. 広島.
- 日置佳之. 2003. 植生調査データを用いた動物の生息環境評価. 植生情報 7: 15-21.
- 平田更一・高岸且・盛田彰宏. 2004. 戦略的環境アセスメントのための GIS 活用事例. 緑の読本 68: 74-78.
- 広永茂雄・深見幹朗. 2004. 自然環境保全のための GIS の活用. 緑の読本 68: 79-81.
- 鎌形哲稔・原慶太郎・森大・赤松幸生・李雲慶・星野義延. 2006. 高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案. 写真測量とリモートセンシング 45(1): 43-49.
- 上林徳久. 2005. 植生調査における衛星データ利活用

- に関する提言．植生学会第10回大会講演要旨集．
広島．
- 金子正美．2004．自然環境分野におけるGISの動向と
地方自治体における取組み．緑の読本 68: 15-20．
- 環境省生物多様性センター．2001．第6回自然環境保
全基礎調査，平成12年度調査結果電子化データ集
CD（全国統一凡例・現地調査結果データベース）
- 環境省生物多様性センター．2004．第6回自然環
境保全基礎調査植生調査植生原図作成要領．環
境省生物多様性センター，[http://www.vegetation.
jp/6thgaiyou/sakusei_youryou.pdf](http://www.vegetation.jp/6thgaiyou/sakusei_youryou.pdf)
- 環境省生物多様性センター．2005．生物多様性情報シ
ステム，植生調査分布図．環境省生物多様性セン
ター，http://www.biodic.go.jp/kiso/map/sy_map_f.html
- 高坂宏行・岡部篤行編．1996．GIS ソースブッカーデー
タ・ソフトウェア・応用事例一．365pp．古今書院，
東京．
- 国土交通省．2003．国土交通省公共測量作業規定解説
と運用．478pp．（社）日本測量協会，東京．
- 国土空間データ基盤推進協議会．1999．空間情報技術
入門ー新しい生活情報基盤の創造ー．221pp．国土
空間データ基盤推進協議会，東京．
- 小山寛三・門脇利広．2000．デジタル空中写真画像
情報のGISでの利用に関する研究ーデジタルオル
ソソ画像の利用に関する検討ー．APA 75(6): 46-55．
- 松林健一・根本淳・百瀬浩・藤原宣夫・日置佳之．
2002．高解像度衛星データを用いた植生図化手法
の開発と図化精度評価．日本緑化工学学会誌 28(1):
127-131．
- 松林健一・日置佳之・長澤良太・日置和之・原誠一・
平城尚史．2005a, GIS とリモートセンシングを活
用したマルチレイヤ型植生図の試作．平成17年度
日本景観生態学会ポスターセッション．
- 松林健一・日置佳之・長澤良太・日置和之・原誠一・
平城尚史．2005b, 自然環境の階層別分類基準を取
り入れた植生図の作成．植生学会第10回大会講演
要旨集．広島．
- 三橋弘宗．2002．生息環境を地図化して隣接環境を評
価する．遺伝 56(5): 75-79．
- 長澤良太・江田俊幸・丸山芳史．2002．GIS を用い
た植生調査手法に関する検討ー兵庫県氷ノ山地
域における事例研究ー．環境情報科学論文集 16:
171-176．
- 長澤良太．2003．時系列景観復原ツールとしてのディ
ジタルオルソ空中写真の活用ー岡山県蒜山高原の
景観変遷を事例としてー．国際景観生態学会日本
支部会報 8(2): 33-38．
- 日本写真測量学会編．2004．デジタル写真測量の理
論と実践．343pp．（社）日本測量協会，東京．
- 日本地図センター．1998．数値地図ユーザズガイド
（補訂第2版）．494pp．（財）日本地図センター，東
京．
- 丹羽雄輔．2003．ERDAS IMAGINE オルソ幾何補正の
処理時間と品質の検証．（株）ESRI ジャパン，[http://
www.esri.com/support/erdas/document/kensho_ob1.
pdf](http://www.esri.com/support/erdas/document/kensho_ob1.pdf)
- 野上道男ほか．2001．地理情報学入門．162pp．古今書
院，東京．
- 笹岡達男．2003．自然環境保全基礎調査における植生
データ整備の経緯と現状．植生情報 7: 3-6．