

森林・林業のための情報・IT技術2

平成26年版



はじめに

森林・林業の分野は、あらゆる点で旧来のやり方から新しい方法へ転換、移行しつつあります。それは、現場の調査や労務作業であっても、デスクワークであっても、様々な情報の扱い方が IT（または ICT）技術を介して行われることが多くなってきたからです。

たとえば、昔なら現場作業は超ベテランの親方のやり方を見て覚えよ、といていたのですが、今ではそれらを数値化したりデータベースに登録したりして、全くの初心者でさえそのノウハウを簡単に引き出すことができるようになってきました。現状はまだまだ細かい点まで IT 技術に頼ることはできませんが、いずれ技術の進歩とともに「こういうことができたらいいのにね」ということも実現されていくことでしょう。

この講座を受講するみなさんには、主に地理情報システム (Geographic Information System) を使って森林・林業における課題解決が自分でできるようにするプログラムを提供します。社会に出て森林・林業関係の仕事に就いた時、おそらくいろいろな解決すべき課題がでてくるでしょう。その課題解決に際して、どんな材料を用意してどう料理していけばよいか、この講座を受講した方なら「ああ、その答えなら GIS をこう使えば簡単にでてくるんじゃない?」と言えるようになっていただけたと思います。

森林・林業の現場実務では、課題があればまずその課題についての情報を集め、それらについて足したり引いたり、とことん検討します。それを繰り返すことによって、何らかの手がかりを得られれば、解決に一步近づいたと考えます。この作業を各方面から納得いくまで繰り返していけば、課題解決に至るものと確信しています。

必要な情報取得 → 加工・分析 → **今まで見えなかった情報が見える** → **解決に一步近づく**
A B

情報の取得、つまり情報の入力系でも IT 技術は進歩しています。この講座では簡易 GPS を使用しますし、情報の加工系では前述した GIS やコンピュータを使用します。みなさんには、これら IT 機器を上手に使いこなしていただけるようになることが本講の目的です。さらに最新のクラウド環境を利用した森林管理やリモートセンシングの世界も少しだけ覗いてみましょう。

- ☆ 「GIS を使えるようになる」ということは、「コンピュータを使いこなす」ことが必須
- ☆ 「GIS を使って目的とする仕事をする」ということは、「コンピュータが有する演算能力を活かし、それを道具として作業する」ということ
- ☆ 講義は、コンピュータの実技 (GPS・GIS ソフトの操作) を通じて地図作成理論や知識を学ぶ方式で行う

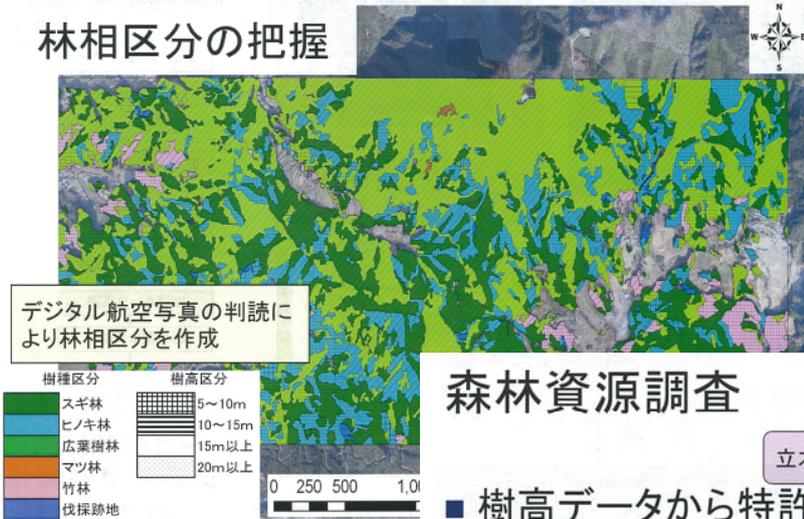
オリエンテーション

森林・林業のICT 利用について [ICT (Information and Communication Technology)]

ご紹介1 森林の蓄積量を測る

①森林資源調査

林相区分の把握

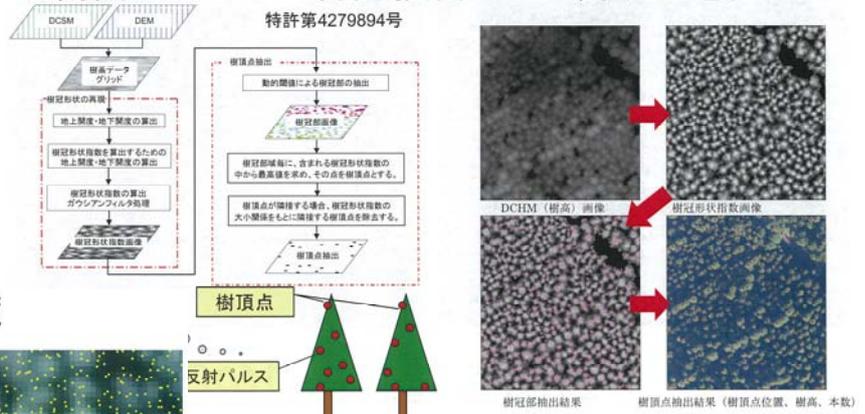


森林資源調査

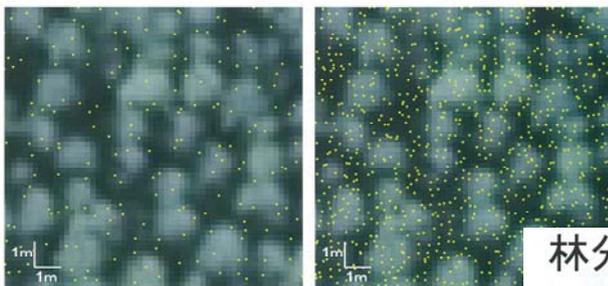
樹頂点を抽出して、樹頂点の高さから樹高、樹頂点の個数から立木本数を計測

立木本数の計測には4点/m²の計測密度が必要

■ 樹高データから特許技術により樹頂点を抽出

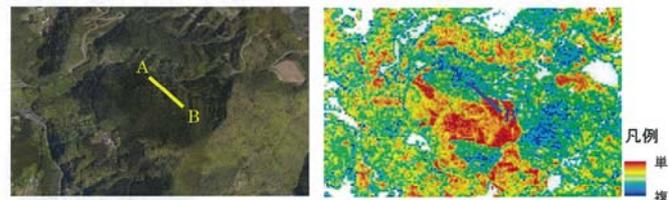


森林域でのレーザ計測密度



※1,800本/ha程度の林分

林分垂直構造の把握



問い この手法が確実なものになったら、森林分野では他にどんな可能性がありそうか？

■ パルスの垂直分布から林分構造を把握

【紹介2】 森林の種・質を測る（ハイパースペクトルセンサ利用、レーザー利用）

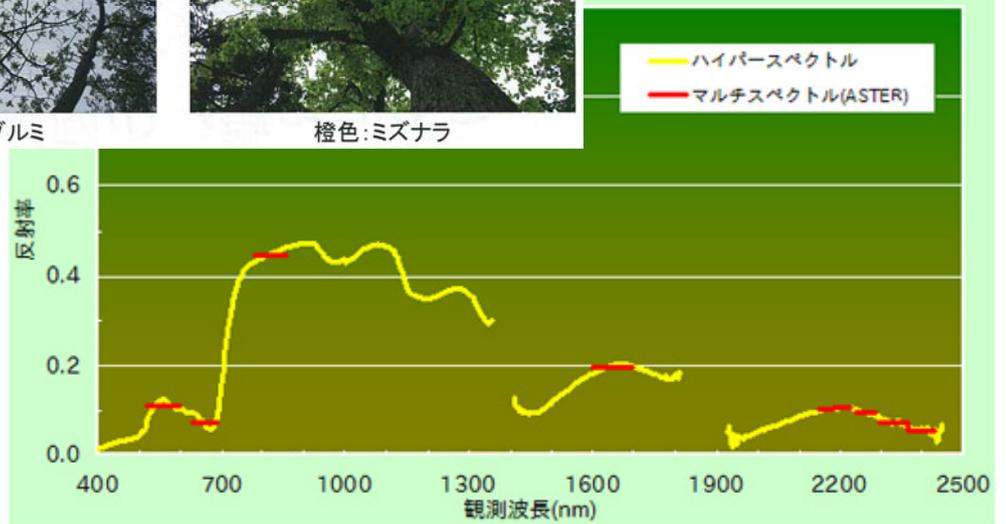
現地写真



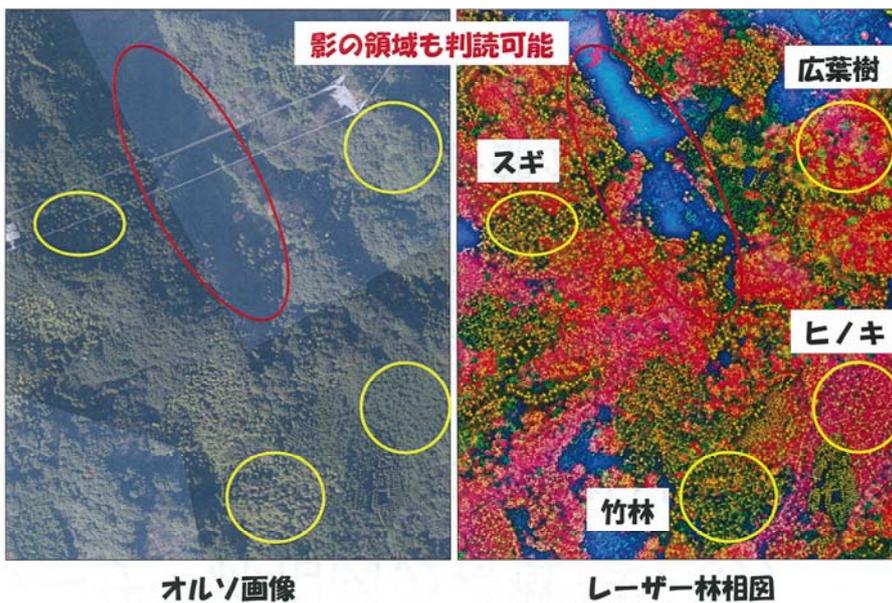
緑色: サワグルミ

橙色: ミズナラ

マルチスペクトルセンサとハイパースペクトルセンサによって得られる反射スペクトルの比較



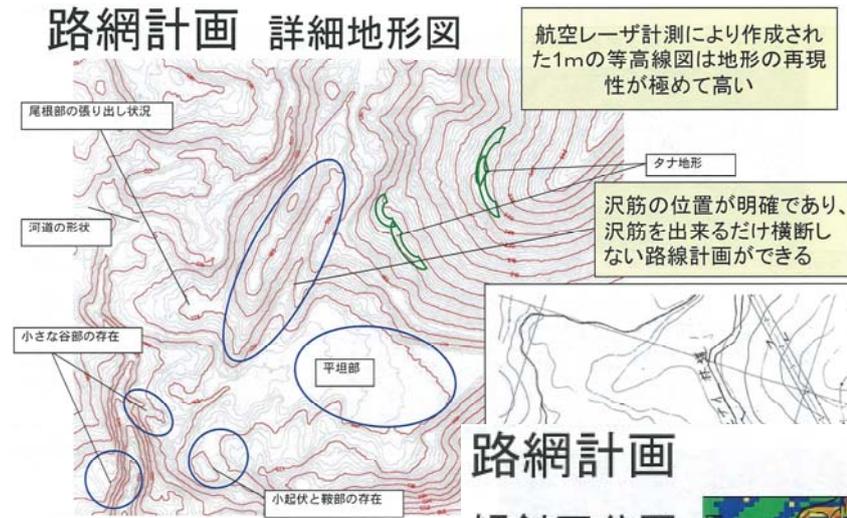
レーザー林相図の特徴



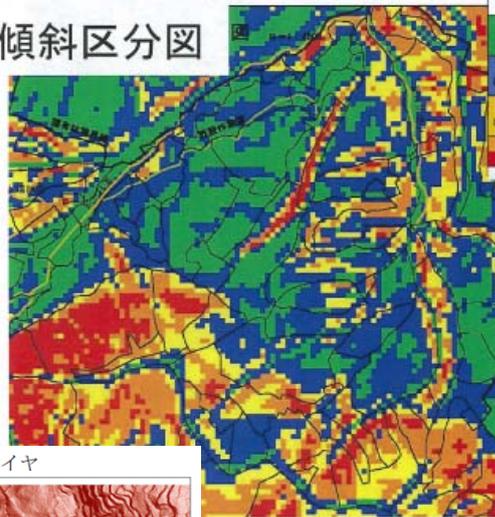
問い ハイパースペクトルセンサを森林関係に応用するとしたら、どんなことに使えそうか？

ご紹介3 森林の微地形を測る

路網計画 詳細地形図



路網計画 傾斜区分図



□路網整備水準の目安(単位:m/ha)

区分	作業システム	基礎路網		補修路網		路網密度
		林道	林道専用道	小計	森林作業道	
緩傾斜地 (0~15°)	単路高	10~20	20~30	20~30	30~100	100~200
中傾斜地 (15~30°)	単路高	10~20	10~20	20~40	30~100	70~200
急傾斜地 (30~35°)	単路高	15~20	0~5	15~25	0~35	20~75
急峻地 (35~40°)	単路高	15~20	0~5	15~25	0~25	60~150
急峻地 (40°以上)	単路高	5~10	—	5~15	—	5~15

(出典:路網・作業システム検討委員会最終とりまとめ)

航空レーザーデータから傾斜区分図を作成し、路網整備水準の目安を把握

避けるべき地形(急峻地)を把握

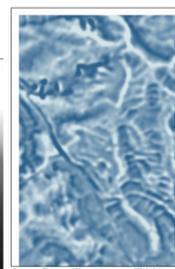
- 緩傾斜地(0~15°)
- 中傾斜地(15~30°)
- 急傾斜地(30~35°)
- 急峻地 (35~40°)
- 40°以上

(ア) 標高レイヤ

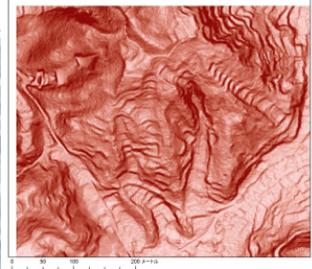


低い:黒⇨高い:白
透過率0%

(イ) 曲率レイヤ



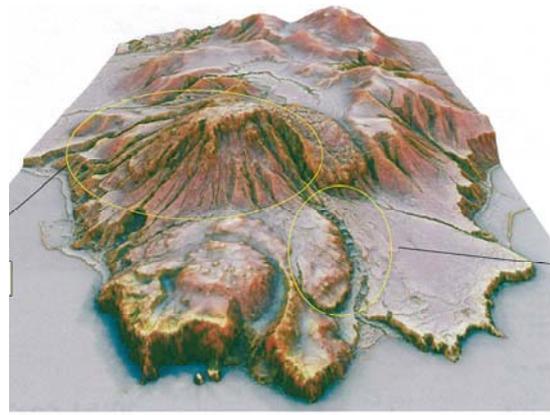
(ウ) 傾斜レイヤ



緩:白⇨急:茶
透過率50%

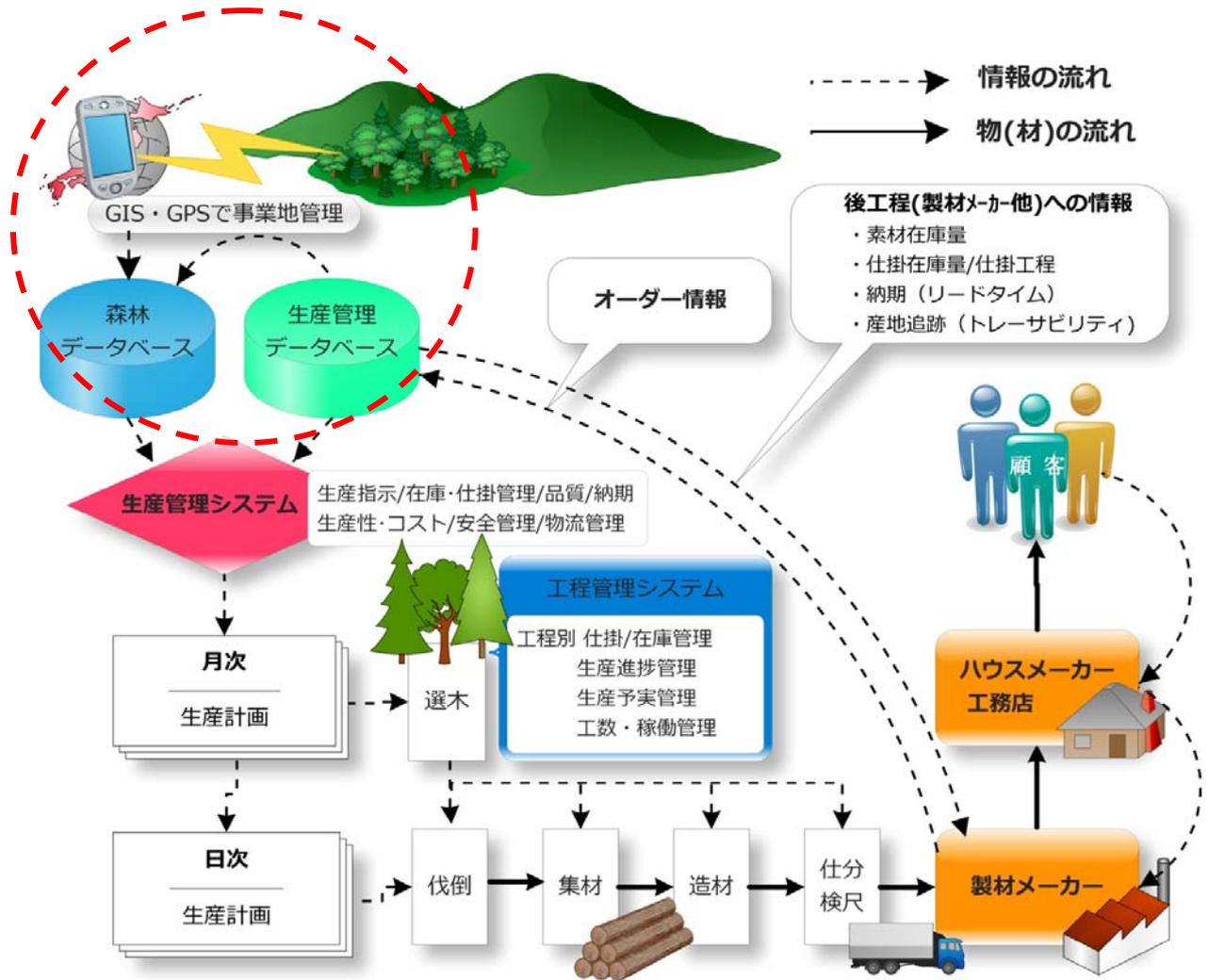
重ね合わせ

立体図



ご紹介4 林産材の流通革命

いつ、どこに、どれだけ、必要とするものがあるのか？



問い 上記のシステムが実用化したら、森林・林業分野において他にどんなメリットがありそうか？

- ・ 1次産業の新たな生産～物流の流れを構築し、Q 品質 C 価格 D 納期 S 安全を向上
- ・ 1次産業の生産現場と市場間の ICT 化を推進
- ・ 生産現場と市場とをリアルタイムに結び付ける仕組み

地図情報の見方

問1 図0.0.1の標高点1464は、尾根の稜線か、または谷底のどちらに位置しているか？

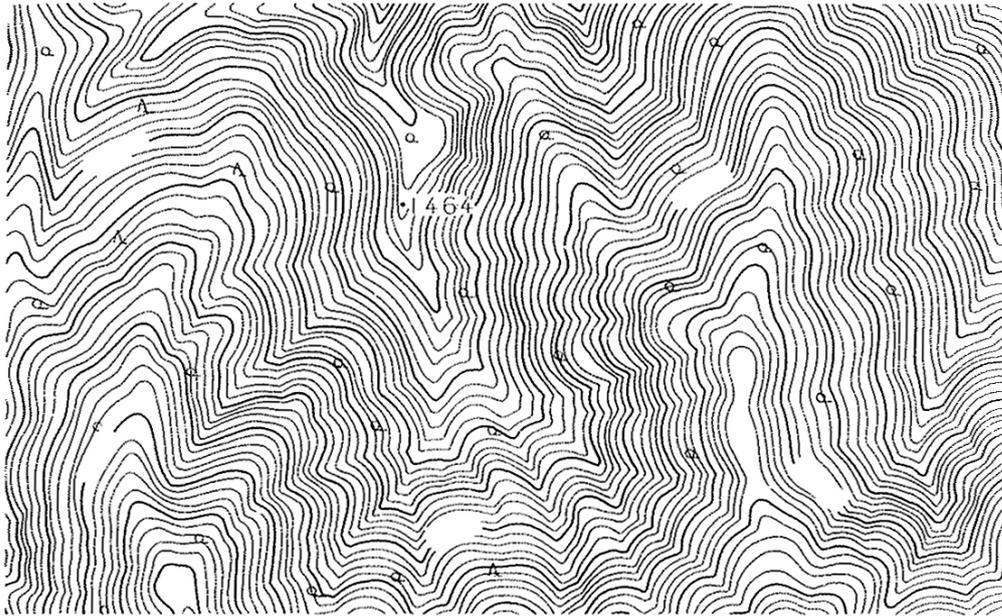


図0.0.1 (等高線の高度数値を消去)

問2 次の5万分の1地形図をみて、次の問いに答えなさい。



出典：国土地理院発行の5万分の1地形図（東京西北部）

(1) 「しんじゅく」駅のA地点から「都庁」のB地点まで、地図上の距離にして約1.6cmある。実際の距離はどれくらいになるか。次のア～エから選べ。

- ア.80m イ.400m ウ.800m エ.4000m

- (2) 地形図中の C~F の地点についての説明として正しいものを、次のア~エから 1 つ選べ。
- ア. C の「若葉町」の周辺には神社が多い。
 - イ. D の「新宿御苑」には、針葉樹が生えている。
 - ウ. E の道路の部分は、鉄道と交差し、鉄道の上を通っている。
 - エ. F の「国立競技場」からみて、「せいぶしんじゅく」駅は北東の方向にある。
- (3) 地形図中の A~F の地点で最も標高の高い場所はどれか。

※上記の各問いは電子国土ポータルを見ながら答えてもよい。

問3 図 0.0.2 に記入された A,B,C の3本の太破線は高速道路計画の比較路線である。最も難工事（つまり高い工事費になると予想される）と考えられる路線はどれか。

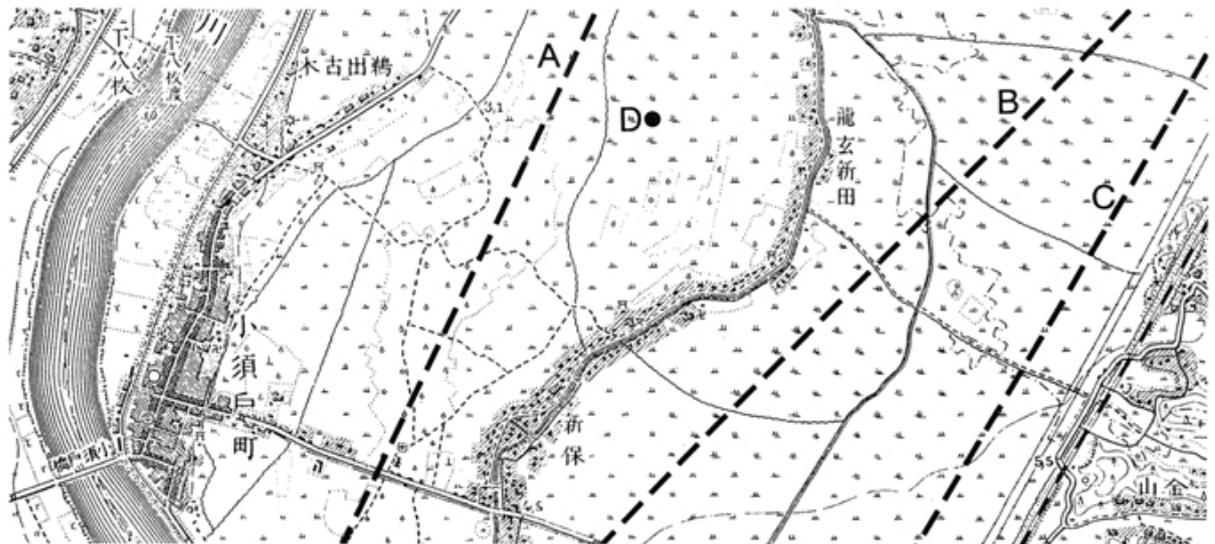


図 0.0.2 (太破線と A~D の文字を補記)

ヒントは下表を見よ↓

むかしの地図記号と地図記号のうつりかわり														メモなど
種類/図式	明治 11 年 (1878) 測絵図譜	明治 16 年 (1883) ~ 迅速	明治 17 年 (1884) ~ 仮製	明治 18 年 (1885) 図式集から	明治 23 年 (1890) 図式集から	明治 27 年 (1894) 図式集から	明治 33 年 (1900) 図式集から	明治 42 年 (1909) 図式集から	大正 6 年 (1917)	昭和 17 年 (1942)	昭和 30 年 (1955)	昭和 40 年 (1965)	平成 14 年 (2002)	
植生界				——	——	なし	なし	:しよくせい のさかい
植生界				----	----	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	:しよくせい のさかい
田		 田	 陸田	 陸田	 田	 田	 田	 田	 乾田	 二毛作田	 乾田	 田	 田	た
水田	 水田	 水田	 水田	 湿田	なし	なし	なし	なし	 水田	 田	 湿田	なし	なし	すいでん
沼田			 深田							なし		なし	なし	ぬまた
畑 (菜園)	◎◎◎	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	(空白)	∨	∨	はたけ

コラム ちょっと昔までは、樹種別の地図記号があった！

地図記号でその地図の作成年代がわかる…あまり古い地図だとその情報そのものが正確でない場合もある。

むかしの地図記号と地図記号のうつりかわり 23														
種類/図式	明治11年 (1878) 測 絵図譜	明治16年 (1883)～ 迅速	明治17年 (1884)～ 仮製	明治18年 (1885) 図 式集から	明治23年 (1890) 図 式集から	明治27年 (1894) 図 式集から	明治33年 (1900) 図 式集から	明治42年 (1909) 図 式集から	大正6年 (1917)	昭和17年 (1942)	昭和30年 (1955)	昭和40年 (1965)	平成14年 (2002)	メモなど
独立樹 (広葉)												なし	なし	:めじるし になる木 (こうよう じゅ)
独立樹 (常緑 潤葉)											なし	なし	なし	:めじるし になる木 (こうよう じゅ)
独立樹 (針葉)												なし	なし	:めじるし になる木 (しんよう じゅ)
独立樹 (竹)									なし	なし	なし	なし	なし	:めじるし になる木 (たけ)
独立樹 (枯木 など)									なし	なし	なし	なし	なし	:めじるし になる木 (かれき)
抽出樹									なし	なし	なし	なし	なし	:ぬきんで た木
抽出樹 (針葉)									なし	なし	なし	なし	なし	:ぬきんで た木

むかしの地図記号と地図記号のうつりかわり 24														
種類/図式	明治11年 (1878) 測 絵図譜	明治16年 (1883)～ 迅速	明治17年 (1884)～ 仮製	明治18年 (1885) 図 式集から	明治23年 (1890) 図 式集から	明治27年 (1894) 図 式集から	明治33年 (1900) 図 式集から	明治42年 (1909) 図 式集から	大正6年 (1917)	昭和17年 (1942)	昭和30年 (1955)	昭和40年 (1965)	平成14年 (2002)	メモなど
広葉樹 林														こうよう じゅりん
広葉樹 林											なし	なし	なし	こうよう じゅりん
針葉樹 林														しんよう じゅりん
針葉樹 林(すぎ)					なし	なし	なし				なし	なし	なし	しんよう じゅりん
針葉樹 林(ひの き)					なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	しんよう じゅりん
雑樹林					なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	ざつじゅ りん

問4 図0.0.3の大岐海岸の⊗地点で、空きピンを浮かべた。さて、そのピンはどうなるか。

- ①東向きに流れる ②南向きに流れる ③西向きに流れる ④北向きに流れる

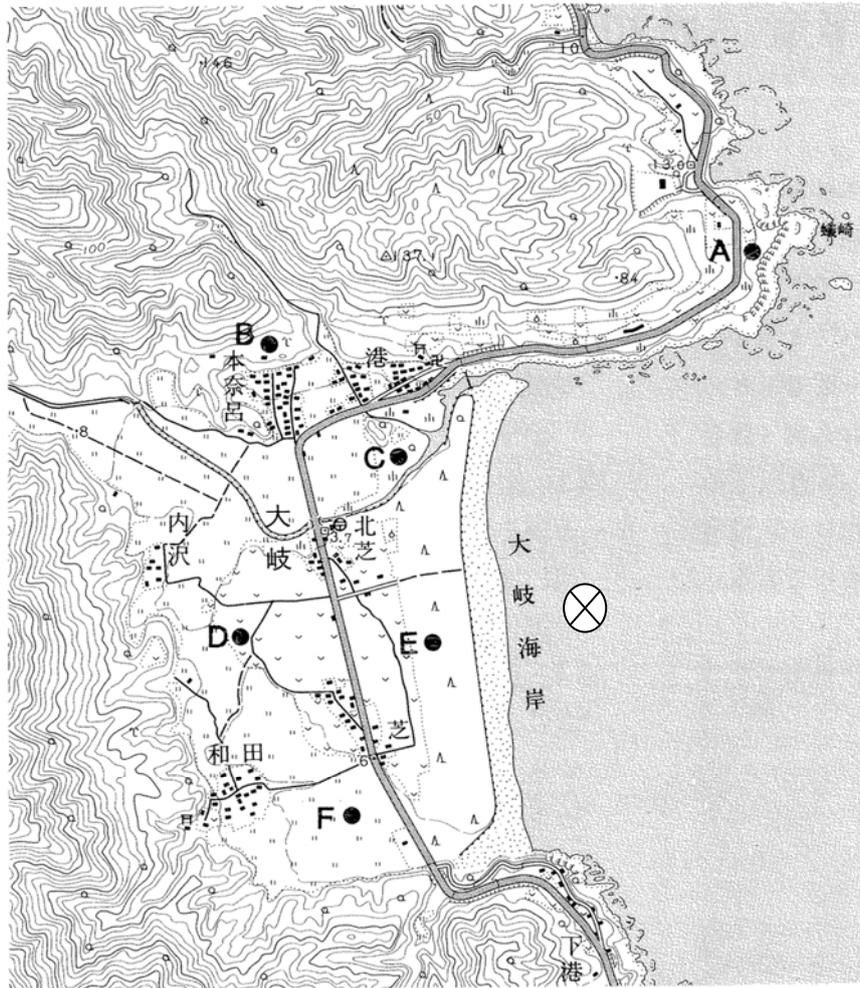


図0.0.3 (A~Fの文字と・印を補記)

問5 地理院地図(電子国土WEB)で下図の島を探し、この島の人々の暮らしを地図情報から推測せよ。

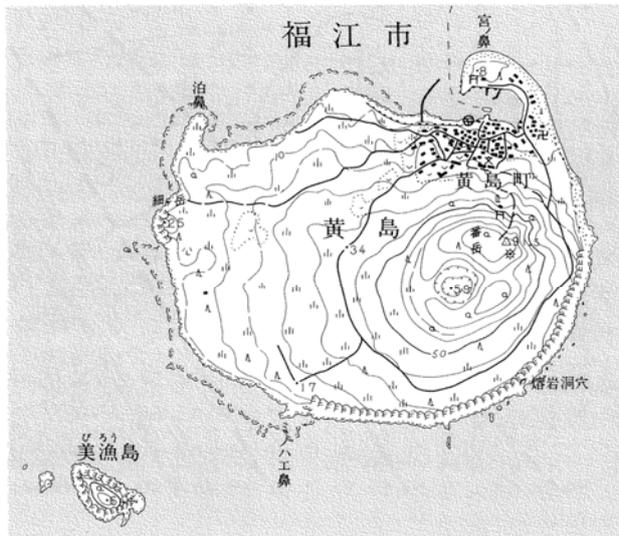
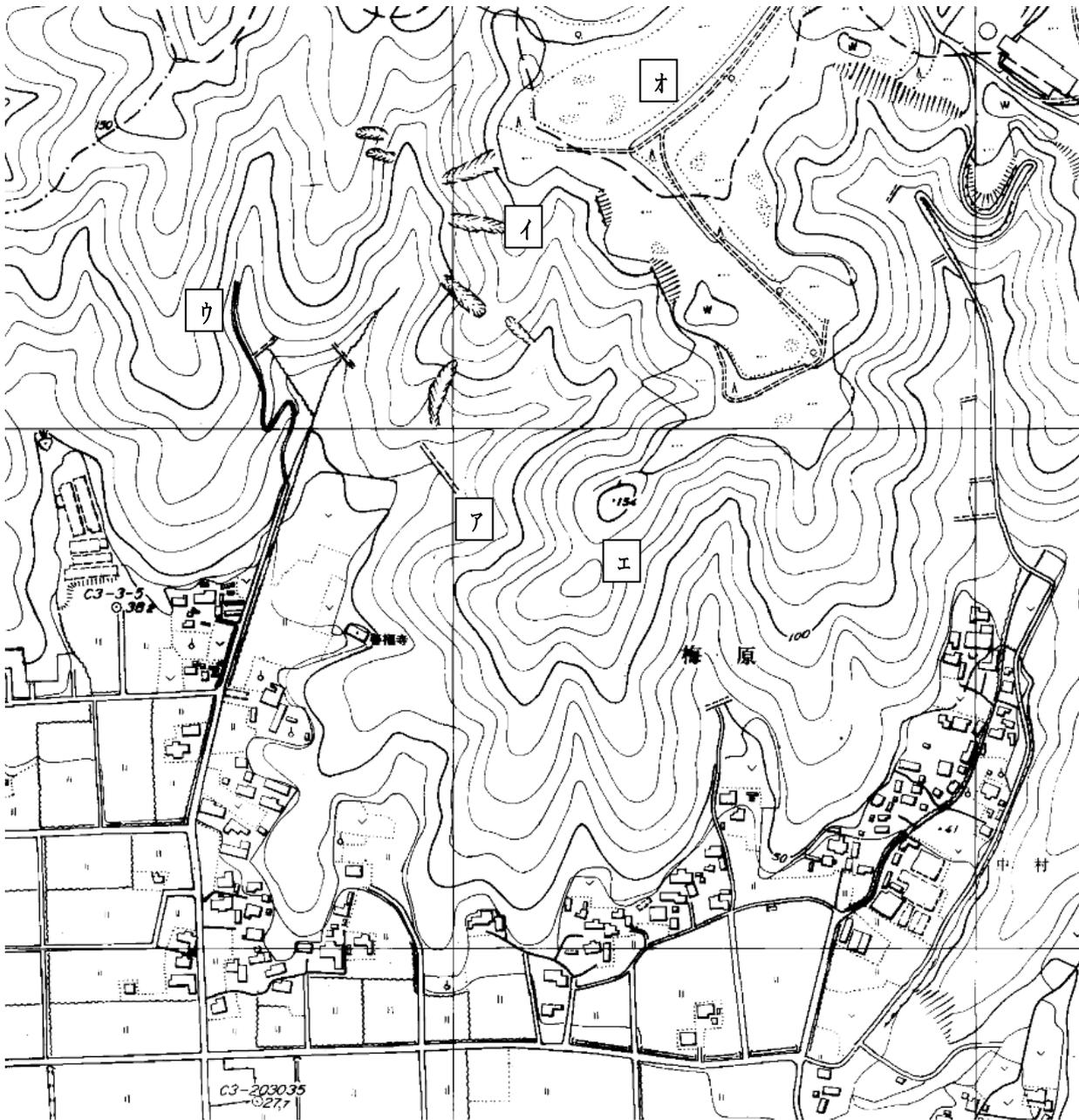


図0.0.4

問6 下図はある地区の森林基本図である。

- (1) 集落とこの地区の最高地点との標高差はいくらか。
- (2) アおよびイの記号は何か。
- (3) オ地点の施設は何か。
- (4) 林道の終点であるウ地点の標高は約何mか。
- (5) 林道をウ地点からエ地点の鞍部まで延長したい。このとき、気をつけるべきことは何か。
- (6) (4) の林道の延長は約何mになりそうか。また、その勾配は何%か。
- (7) この林道が完成したとき、これを利用してできる林業地の範囲はどれくらいか。
- (8) 梅原から東方面も成熟した林分があるとき、どのようにしてこれらを利用すべきか。
- (9) この地図の範囲内で林産業を開始しようとするとき、この地図に不足している情報は何か。



簡単な Excel トレーニング

GIS ソフトは、データベースを扱うソフトであると言っても過言ではありません。データベースを扱うときに専用のデータベースソフトを使用する場合がありますが、データ加工の手軽さから講義では普段使い慣れた Excel を使うことが多くなります。そこで、GIS データベースを扱うために必要な Excel の操作方法を練習します。

イントロダクション

<四捨五入の操作でよく使う関数>

=INT(数値)	その数値を超えない最大の整数を返す
=TRUNC(数値,桁数)	数値の小数部を切り捨てて、整数または指定した桁数に変換する
=ROUND(数値,桁数)	指定した桁数で四捨五入する
=ROUNDUP(数値,桁数)	指定した桁数で切り上げる
=ROUNDDOWN(数値,桁数)	指定した桁数で切り捨てる

練習

	B	C	D	E	F
2					
3	品名	購入数	単価	消費税	支払金額
4	鉛筆	50	50		
5	ノート	40	100		

講師の操作をまねながら、上記表を完成させていきましょう。

課題1 カレンダーの作成（オートフィル機能）

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
	睦月	如月	弥生	卯月	皐月	水無月	文月	葉月
日	1							
月	2		1					
火	3	1	2					
水	4	2	3		1			
木	5	3	4		2			
金	6	4	5	1	3			
土	7	5	6	2	4			
日	8	6	7	3	5			
月	9	7	8	4	6			
火	10	8	9	5	7			
水	11	9	10	6	8			
木	12	10	11	7	9			
金	13	11	12	8	10			

課題2 これまで生きてきた日にちの計算（計算式の入力方法、関数の使い方）

自分の誕生日は、	1990/1/25
今日の日付は、	2010/4/26
これまで生きてきた日は、	10,529 日です。
生まれてから、	20年と 37日が経過しました。

	A	B	C	D	E
1	自分の誕生日は	22306			
2	今日の日付は	38835			
3	これまで生きてきた日数は	=B2-B1	日です。		
4	生まれてから	=INT(B3/365年と	=365*(B3/365-B4)	日が経過しました。	

課題3 つぎの計算を自動的にする表を完成させてください。

(1) 「137度 35分 45秒」を10進表記にしてください。

60進法を10進法に変換するプログラム

	度	分	秒	備考
60進法の表記	137	35	45	
		↓	↓	
分を度に変換		0.583333	↓	60で割る
			↓	
秒を度に変換			0.0125	3600で割る
結果	137	0.583333	0.0125	→ 137.5958333

(2) 「36.57469」を $00^{\circ} 00' 00''$ の表記にしてください。ただし、秒に小数点がつく場合には小数点以下第1位を四捨五入すること。

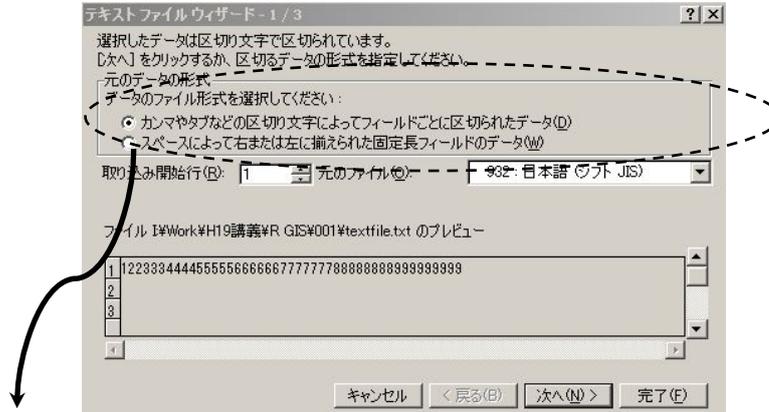
10進法を60進法に変換するプログラム

	度	分	秒	備考
10進法の表記	137.5958333			
	↓			
整数部を取り出す(度)	137	0.5958333		TRUNC関数
		↓		
小数から(分)部分を取り出す		35.749998		60を掛ける
		↓		
さらに(秒)部分を取り出す		35	0.749998	TRUNC関数
			↓	
			44.99988	60を掛ける
結果	137	35	44.99988	

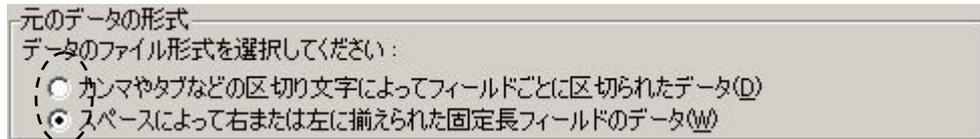
課題4 テキストファイルをエクセルで読み込む、CSVファイル形式で保存する

(1) textfile.txt ファイルをエクセルで開く…

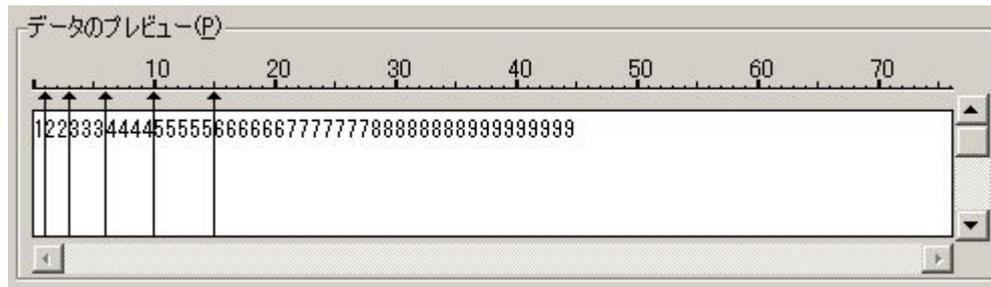
そもそも textfile.txt が見当たらない場合は、ファイル種類を「すべてのファイル」にする！



(2) 区切り方を選択する



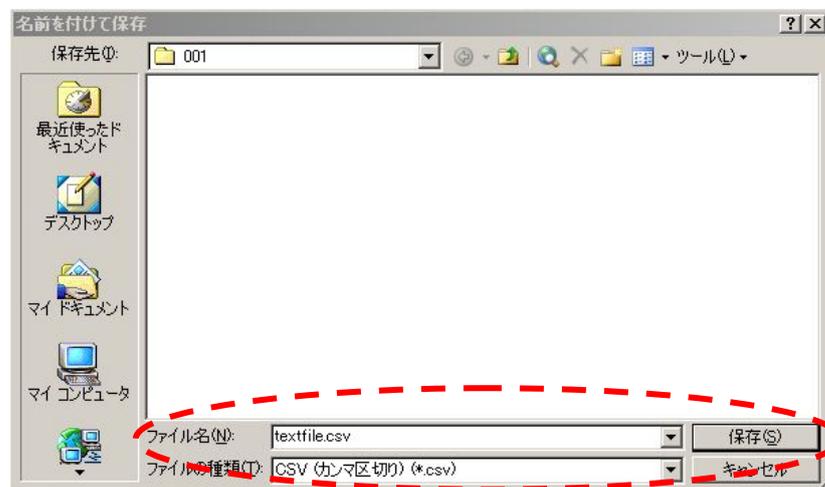
(3) マウスを操作して区切る



区切ったデータのイメージ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	22	333	4444	55555	666666	7777777	88888888	1E+09
2									

(4) CSV形式で保存する



課題5 ネットからダウンロードした実際のデータをCSVファイルとして保存する。

☆ 岐阜県の公共施設データベースを作成しましょう。

- (1) インターネットブラウザで「国土数値情報ダウンロードサービス」サイトを表示する。
- (2) 講師の指示に従って、「P02-02P-21-01.0.zip」データをデスクトップへダウンロードする。
- (3) ZIP ファイルを解凍する。
- (4) 解凍してできた2つのファイル「P02-02P.htm」「P02_02p_21.txt」について理解する。
- (5) 「P02_02p_21.txt」を Excel で読み込み、「P02-02P.htm」の記述に従って、適切な位置でデータを区切る。
- (6) できたファイルを CSV 形式で保存する。
- (7) あらためて Excel から作成した CSV ファイルを開いて確認する。

レイヤコード	メッシュコード	X座標	Y座標	種別（漢字）	名称（漢字）
P	513760	4932956	1244958	地方卸売市場	地方卸売市場岐阜市場
P	513760	4933477	1244742	その他	日出園地
P	513760	4933565	1244997	保育所	岐阜保育園
P	513760	4933579	1244974	小学校	町立揖斐川小学校
P	513760	4933866	1244883	公民館	日出分館

【Excel の操作で知っておきたいこと】

参考1 セル番号固定の\$の使い方（F4 キーを押す回数で計算方法が変わります）

絶対参照と相対参照

参考2 セルをコピーするときの注意

Shiftキー を押しながら・・・

Ctrlキー を押しながら・・・

ドラッグする・・・

右クリック・・・

参考3 並べ替える

対象とするデータを選択してから、**データ** — **並べ替え** — 最優先される
キー／昇順・降順

参考4 置き換える、

編集 — **置換** —



参考5 便利な操作

下図の点線部分をクリックすると、表全体を選択できる・・・フォントの大きさや種類の変更時に便利



森林・林業の情報について

- 1 どんな情報があるか

- 2 どのような目的に使うか

- 3 どのぐらいの精度が必要か

- 4 どのように料理（加工、分析など）するか

- 5 県域統合型 GIS をどう使うか

- 6 その他の WEBGIS は使えるか

- 7 フリーの GIS は使えるか

- 8 ArcGIS とはなにか

森林 GIS の用語

アドレスマッチング

オルソ

空間（解析、検索、データ、…）

クリアリングハウス

森林基本図、国土空間データ基盤

メタデータ

航空写真

属性

レイヤ

フィーチャー、ベクタ、ラスタ

ラベル

テーブル

フィールド、レコード

直接位置参照、間接位置参照

測地系

ジオイド（水準面）

投影法

座標系（特に平面直角座標系）

大縮尺、小縮尺

森林 GIS データの構築 (1)

GIS (地理情報システム: Geographic Information System) は、国や地方自治体での行政に関する業務のほか、民間企業の経営支援、電子地図・カーナビをはじめとする個人的用途などの幅広い分野に広く普及し、もはや現代社会に欠かせない重要なツールとなっている。

森林行政や森林研究にもGISの導入・活用が進められているが、森林は都市に比べて多様かつ複雑な構造を有しているため、その情報化は容易ではなく、また公開されている情報も少ない。そのため森林GIS で扱う森林情報は、自分で収集、調整しなければならないことが多く、それぞれの目的に合わせて、適切なデータ構築手法を選択する必要がある。

そこで本講では、森林GISデータの構築手法について解説する。それに先立ち、GISの構造とその機能について概観し、森林におけるGIS データの構築手法を整理、解説する。

また実際にArcGISのエディタ機能を用いてオルソフォトマップからの情報抽出を実感してみる。

1. GIS のデータ構造

GIS を一言で言うと「空間情報をもったデータベース」であり、1980 年代に試験的利用が始まった比較的新しい技術である。データベースを空間情報 (一般的には地図) と関連付けることにより、その活用範囲が格段に広がることとなり、GIS はコンピュータの処理能力向上にともなって1990 年代に急速に一般化した。

GIS は下記の質問に答えられるものとされている。

- ・ どこに何があるか (属性検索)
- ・ ある条件を満たす場所はどこか (条件検索)
- ・ 変化はどの程度か (時系列分析)
- ・ あるデータと他のデータの空間的關係は (空間分析)
- ・ あるモデルに従えばどうなるか (モデル分析)

これらを実現するために、GIS の空間情報はレイヤ構造 (階層構造) で管理される。GISデータは異なる主題を持ったいくつかのレイヤから構成され、それぞれのレイヤは道路や行政界など、単一の主題を表現する。それぞれのレイヤを重ね合わせたり (インターセクト)、対象物からの距離を区切ったりする (バッファリング) ことにより、新たなレイヤを作ることができるのである。例えば、森林GIS 上で林相レイヤと所有者レイヤの2つのレイヤを用いたインターセクトによって、所有者ごとの所有林相面積が算出できる。

空間情報の格納形式には、いくつかの種類がある。まず、レイヤ上の任意の図形、すなわち点 (ポイントデータ; 杭など)、線 (ラインデータ; 林道など)、多角形 (ポリゴンデータ; 小班など) に属性を付加する形式であり、これはベクタ形式と呼ばれる。一方、対象区域をあらかじめ任意の間隔の格子で区切り、その各メッシュに属性を付加した形式をラスタ形式といい、標高値や画像に用いられる。例えばカラー空中写真を正射化した“オルソフォトマップ”は、それぞれの輝度値が保存された青、緑、青の3つのラスタ形式のレイヤを重ね合わせたもの (オーバーレイ) である。また、任意の点で取得された標高値などの場合、正方形の格子ではなく三角形に区切ったTIN (不整三角網: Triangulated Irregular Network) 形式が用いられることもある。GIS ソフトの種類によって、ラスタデータ処理専用のもの、ベクタデータとラスタデータの連携処理に優れているも

の、高度なデータベース機能、解析機能を搭載しているものなど、それぞれ特徴がある。

2. 森林におけるGIS データの特徴と収集

GIS はあくまでデータ解析ソフトであり、GIS データは別に用意しなければならない。都市域は土地や道路の境界が明確であり、比較的データ化しやすいのに対し、森林域は植林界や路網などを除いて林分の境界が明確でなく、GIS データとして加工、解析しにくい。例えば森林簿には林小班（以下、小班）を管理単位として樹種や直径などがデータベース化されているが、その値はあくまで各小班における“推定された代表値”であり、小班内部の地形条件によって林相や成長が異なるのが普通である。さらに時にはスギ林分とヒノキ林分が一つの小班として扱われていたり、林道沿いなど小班内の一部だけが他の部分とは異なった施業が行われていたりすることもある。GIS での解析目的とこれらデータが有する精度とをよく勘案し、必要に応じてデータ管理単位の分割やリモートセンシングデータ、現地調査データの補助的利用を計画する必要がある。

森林においてGIS データを収集する方法として、下記の4 種類が挙げられる。

2.1 公開されているデータの利用

各種の統計データ、地図データ、リモートセンシングデータが、無料あるいは有料で公開されている。ウェブサイトからダウンロードできる日本国内の省庁発行の公開データをいくつか紹介すると、国土地理院のサイトでは地図データとして1/25,000 などの地図画像（ラスターデータ）、1/25,000 および1/2,500 の空間データ基盤（ベクターデータ）、50m メッシュの標高データなどが利用できるほか、総務省は自治体ごとおよび約500m メッシュの国勢調査等の集計結果、環境省は自然環境保全基礎調査（いわゆる緑の国勢調査）、国土交通省は土地利用等に関する統計データなど、各省庁がそれぞれ集計したデータをダウンロードすることができる。

これらの公開データは比較的広域にわたるものが多いが、都市域でしか整備されていない場合もある。データの精度や解像度は比較的低いが、日本全土や都道府県、市町村レベルなどの大面積の解析には有効なデータである。なお、都道府県などの協力が得られれば、小班単位の詳細な森林GIS データが使用できることもある（個人情報の漏洩には注意が必要）。

2.2 リモートセンシングデータからのデータ抽出

リモートセンシングデータを分析することによって必要なデータを抽出する方法としては、古くから空中写真の判読や濃度解析、写真測量が行われてきた。また大面積の解析には、ランドサットをはじめとする衛星リモートセンシングデータも利用されてきたが、いずれの方法も多大な労力および費用が必要であった。しかし近年ではIKONOS などの高解像度衛星データや高精度なLIDAR データ（Light Detection And Ranging：上空から地表面にレーザーパルスを照射することにより表層面と地表面の両方の標高データ得るもの）が比較的安価で手に入るようになってきており、気軽に小面積での解析に用いることが可能になってきている。近年では空中写真でも赤外線センサを搭載したデジタルカメラへの移行が進められており、さらに詳細なデータ取得が可能になりつつある。ただし、リモートセンシングデータは中心投影図として公開されることが多く、GIS で用いるには画像解析ソフトを用いるか、または幾何補正済みのデータを購入する必要がある。

リモートセンシングデータは過去に取得されたものにさかのぼって購入、利用することができ非

常に便利であるが、データの取得は天候に左右され、また急傾斜地では斜面の向きと太陽位置の関係から陰が生じ、解析に工夫が必要となることも多い。

2.3 既存の図面のデジタイジング

既存の図面のデジタイジングによるデータを抽出は、GIS が普及する以前から、地形図の等高線から地形モデルを生成するためによく利用されてきた方法である。民有林では、1/5,000 の森林基本図（図1）が各都道府県から公開されており、簡単に手に入る、もっとも詳細な森林情報の一つである。しかし森林基本図はあくまで紙に書かれた図面である。

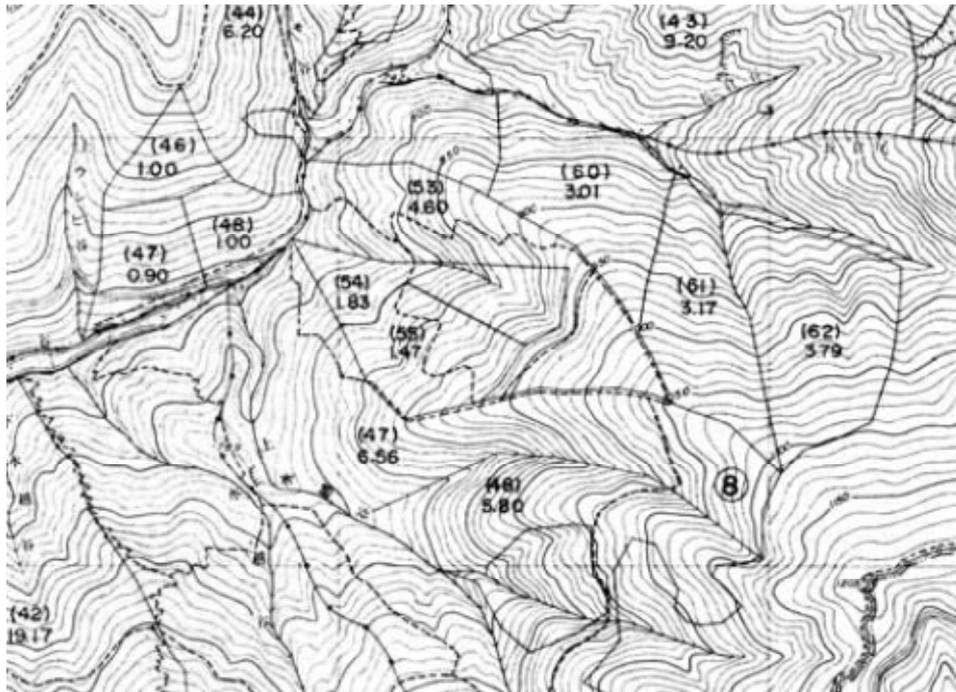


図1 森林基本図

土壌図や地質図など、各機関が公開している地図データは、たとえデジタルデータとして提供されていても、ほとんどの場合、紙図面を単にイメージスキャナで読み込んで画像ファイル化されているだけであり、GIS で用いるためにはこれらの区分境界を電子化しなければならない。

ここで用いられるのがデジタイザと呼ばれる装置（写真1）で、図面をデジタイザ上に貼り付け、座標系を設定した上で、図面上の任意の点の座標を読み取る。手間はかかるが、コンピュータと接続することにより、図面を直接、GIS 上にベクタデータとして取り込むことができる。図面サイズに合わせたイメージスキャナと十分な画像処理能力をもったパソコンがある場合には、デジタイザではなくイメージスキャナを用いて図面を画像化し、自動認識処理を行って境界を座標化する方法もある。ただし図面には不必要な情報も多く記載されているので、前処理・後処理が必要になる。また電子化した図面をGIS 上にラスタデータとして読み込み、別レイヤで必要な情報をベクタ情報として作成する方法もある。



写真1 デジタイザ

既存の図面を用いる場合に注意すべき点は、作成したGIS データの位置情報の精度である。デジタイザで作成したデータは、図面をいくら正確にトレースしたとしても元の図面の精度よりも高くなることはない。元の図面の位置情報が不正確であれば、GIS データも不正確になる。常に元の図面のデータがどのような方法で作成されたか、その精度はどの程度か、を意識しながらデータを使用する必要がある。例えば森林基本図の小班の境界や等高線の精度は、その図面が作成された時点の林相に関係する。これは森林基本図が空中写真を元に作成されているからであり、空中写真を撮影した時期に新植地であった林分では精度が高く、逆に密な林分であった場合には小さな谷が抜けていることもある。

2.4 現地調査

上記の3つの方法は、すべて実際の森林に出向かなくても可能なデータ作成法である。しかし調査、研究の場合にはより細かいオリジナルデータの取得が必要になるのが普通である。対象地域の一部で標本調査を行い、リモートセンシングなどの他の情報との相関を元に全域のデータを推定することも多い。いずれにしてもGIS データとするには、調査を行った地点の位置情報が必要になる。位置情報の取得には、従来、既存の基準点からコンパス測量またはトランシット測量を行うことによって座標の算出が行われてきたが、そもそも森林域では基準点密度が低いことが多いため、この作業には多大な労力が必要となる。近年では、GPS（汎地球測位システム：Global Positioning System）を用いて直接座標の取得を行うことが多くなってきた。しかし森林内におけるGPSの精度管理ははまだ研究段階にあり、信頼できる座標を取得するためには、高精度なGPSを用いて林道上など上空が開けた場所に基準点を新設し（写真2）、その基準点から地上測量を行う必要がある。基準点にTS（トータルステーション：Total Station レーザー距離計とコンピュータを内蔵したトランシット）を設置し、立木位置などの測定を高精度に行う方法もある。これらの詳細は、

後述する。



写真2 GPS 測量による基準点の設置

3. マウスを使ったデジタイズによる GIS データの作成

それでは実際に、ArcGIS を用いて GIS データを作成してみよう。

- (1) ArcGIS を起動する。
- (2) エディタの使い方を練習する。

この間、講師の指示を良く聞いて、作業が遅れないようにすること！

- (3) 講師が指示する場所から航空写真をダウンロードする。
- (4) 以下をデジタイズしてベクトルデータを作成する。

道路

同種と思われる林相をひと固まりにした面（林相界…人工林、天然林、樹種別など）

森林内の森林ではない部分（崩壊地など）

- (5) 完成したデータの検査
- (6) 延長、面積の集計（Excel で行う）

森林 GIS データの構築 (2)

本講では、現地調査によって GIS データを収集する上で最低限必要な基本情報である位置情報の収集法について扱う。ここでは座標に関する測量学について復習し、コンパスおよび GPS を用いた座標取得法について演習する。

4. 座標の基礎

GIS データにとって最重要である位置情報とは、“空間上の位置を一意に決める情報”である。位置情報は座標として伝達されるが、座標は座標系の設定の仕方によって無数の表現が可能であり、実際に用途ごとに異なった座標系が用いられている。GIS 上で複数のレイヤを正しく重ね合わせるためには、GIS の座標系を正しく設定し、また時には収集した GIS データの座標系を変換する必要がある。

ここではまず、平面位置と高さの位置の定義を確認しておこう。通常、“高さ”を表す指標として“標高”が用いられる。標高は“ジオイド面からの鉛直距離”であるが、このジオイド面の起伏が座標変換の手順を複雑にしている。ジオイド (Geoid) とは“地球重力の等ポテンシャル面のうち平均海水面に一致するもの”で、簡単に言えば世界中が海であった場合の水面の形である。地球上の等重力面は、地中の物質密度の不均一性により、凹凸をもっている。例えば日本周辺のジオイド面は図 2 のように激しい凹凸がある。水準測量 (レベル測量) において水準器を利用して求めた水平面は、その地点におけるジオイド面に平行な面に相当することになる。結果として水準測量では“ジオイド面からの鉛直線の高さの差”を計測していることになる。

ジオイドを利用した高さの表現方法である標高は、“海面に対する比高”として直感的に理解しやすく、また精密な測量も容易である。

しかし一方で、空間上の位置を一意に決める情報としては不完全である。すなわち、空間上での位置を定めるためにはジオイドの形状に関する情報を必要とするのである。しかしジオイド面は複雑な形状をしており、正確な計測が困難である。

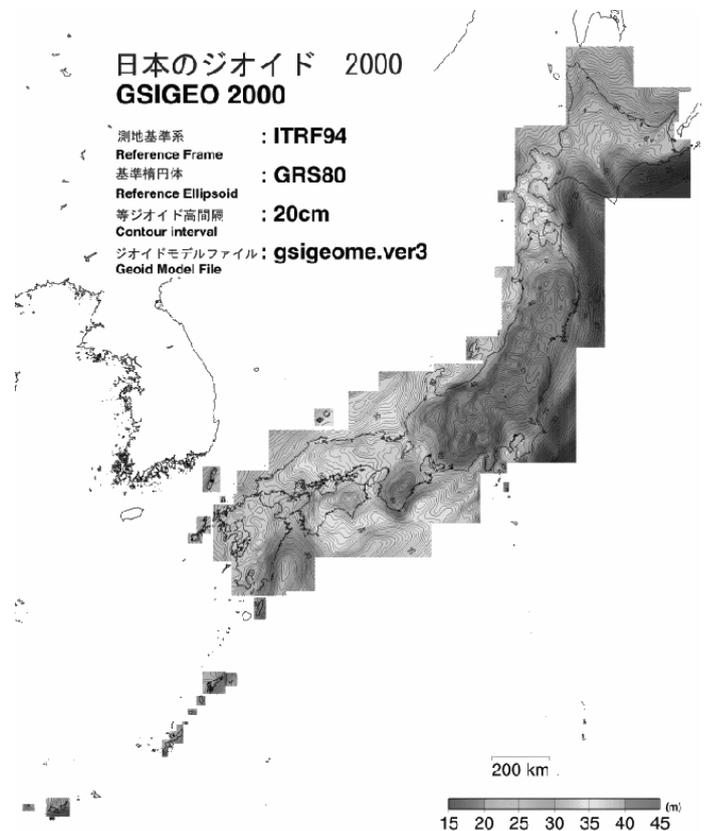


図2 日本周辺のジオイド (国土地理院 HP より)

一方、平面上の位置は通常、緯度と経度で表される。これは地球を楕円体と見なした場合の位置であるから、単純な幾何学的計算から算出することが可能である。ただし、地球をどのような楕円体と見なすかによって数値が変化する。この楕円体のことを準拠楕円体という。平成 14 年 4 月から、日本で使用される緯度、経度の座標値が変更されたが、これは日本で明治以来使用されてきた「ベッセル楕円体準拠の日本測地系」が「GRS80 楕円体準拠の世界座標系 (JGD2000)」に変更されたのである。このため、旧表記の緯度経度を現在の地図上で表すと、北西方向に 400~450m 程度ずれて表記される。注意したいのは、日本測位系が間違っていたというわけではないことである。あくまで日本測位系はベッセル楕円体のある原点をもって配置させたときに算出される座標値を示すものであって、正しい座標表現の一つである。単に、地球全体により適合した楕円体に準拠する測地系に置き換えられたというだけである。

地球上のある地点の座標値を確定するためには、その地点の正確なジオイド高が分かっている必要はない。図 3 のように空間上の任意の点は、緯度、経度とともに楕円体高 (エリプソイド高) で表されるため、ある測地系の緯度、経度、標高を別の測地系の緯度、経度、標高に変換するためには、ジオイド面の形状に関する精密なモデルが必要となる。図 4 に、この変換に必要なプロセスを示す。

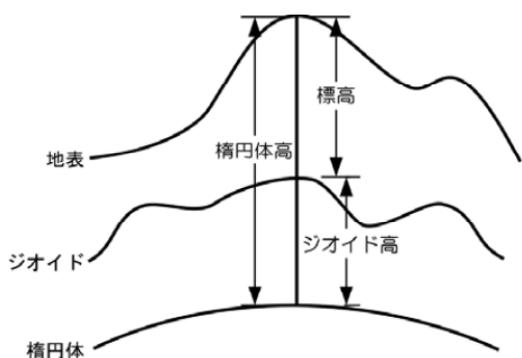


図3 楕円体高・ジオイド高・標高の関係

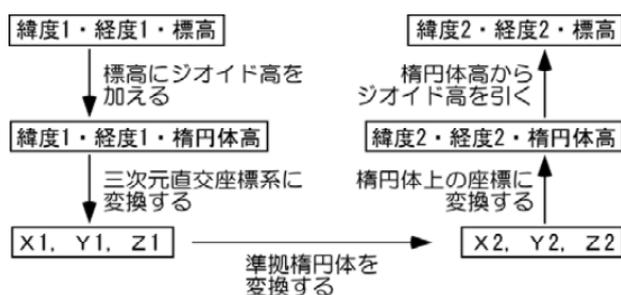


図4 測地系の変換手順

さて、緯度と経度は直接計測することが困難である。例えば二点間の距離や方角を求めるのでさえも、複雑な計算が必要になってしまう。そこで楕円体表面の曲面を平面に投影し、その(x, y)座標で位置を表す平面座標が用いられる。曲面を平面に投影するため厳密には正確でないが、図面全体の歪みをある範囲以下で押さえるように設計されており、日本では、(1)平面直角座標系 (日本独自) と、(2)UTM 座標系 (世界共通)、の二種類が用いられる。平面直角座標系は、日本の領域に 19 の座標系が設定されており、測量法によって都府県界 (北海道では支庁界) ごとに使用すべき座標系原点が指定されている (岐阜県は荘川村の北緯 36 度、東経 137 度 10 分を原点とする第Ⅶ系)。一方、UTM (ユニバーサル横メルカトル) 座標系は作成法が国際的に統一されており、南緯 80 度から北緯 84 度までの範囲が経度 6 度ごとに 60 の範囲に区切られている。日本では先島諸島の Zone51 から南鳥島の Zone56 までの 6 つの座標系が該当する (岐阜県は Zone53)。

平面直角座標系は、公共測量や国土地理院発行の 1/2,500, 1/5,000, 1/10,000 国土基本図・地形図など、比較的狭い地域の大縮尺図面に適用され、UTM 座標系は、国土地理院発行の 1/25,000, 1/50,000, 1/200,000 地形図・地勢図や人工衛星画像など、より広い範囲の図

化に用いられる。どちらも原点が緯度経度で定められているので、任意の地点の緯度経度と平面座標の相互変換は、単純な幾何学モデルで可能である。すなわち、通常は図化に便利な平面座標を用いて現地測量を行い、必要に応じて緯度経度に変換すればよい。

これらの平面座標系を利用する上で注意する必要があるのが、座標原点の異なる図面は単純に繋ぐことができない（割れ目ができる）ことである。GIS 上に複数の図面を取り込むときには、各図面と GIS 上の表示について、正しく座標系と投影法を設定しなければならない。またいずれの平面座標系においても、原点を通る子午線を除いて経度線は曲線となる。そのため平面座標での x 軸（図面の世界では南北方向の軸を x 軸、東西方向の軸を y 軸と呼ぶ）方向は真北（真南）に一致せず、方眼北と呼ばれる。例えば原点の子午線上にない点 $(0,100)$ から点 $(100,100)$ へのベクトルは厳密には真北方向ではない。

5. コンパス測量の原理

森林での現地調査でもっともよく用いられる測量手法はコンパス測量である。コンパス測量では、方位磁針が常に磁北を指すことを利用して既知点から未知点の方向を観測し、同時にその斜距離および高低角を計測することによって、未知点の座標を決定していく方法である。トランシットなど内角を精密に計測する測量機器よりも精度は劣るが、構造が簡単で、急傾斜地でも持ち運びや設置が容易であることが大きな利点である。地点間の距離の計測には巻き尺や検縄、レーザー距離計などが用いられる。

ただし日本付近の磁北は、真北に対して 2~10 度、西偏しており（南鳥島では東偏）、コンパス測量の際には方位角から西偏値を減じる補正が必要となる。厳密には方眼北も考慮しなければならないが、コンパス測量で通常用いる平面直角座標系での真北と方眼北とのずれは、コンパス測量の精度に比べて小さく無視できる。西偏値は地域によって異なるだけでなく年々変化しており、例えば関東近辺では 350 年前には 8 度東偏していたことが分かっている。正確な西偏値は方位角が既知である地点間を測量、視準して得ることができるほか、国土地理院の Web サイトで 2000 年時点での近似値が得られる。

コンパス測量における計算では、連続する 2 点間の x 軸方向の移動距離（緯距 δx ）と y 軸方向の移動距離（経距 δy ）とに分けて集計を行う。それぞれ以下の式で表される（図 5）。

$$\delta x = S \cos(\phi) \cos(\theta - D) ; \delta y = S \cos(\phi) \sin(\theta - D)$$

ただし、 S : 斜距離、 ϕ : 高低角、 θ : 観測方位角、 D : 西偏値

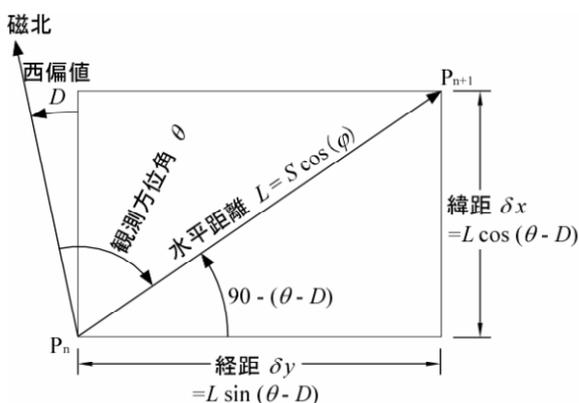


図 5 緯距および経距の算出

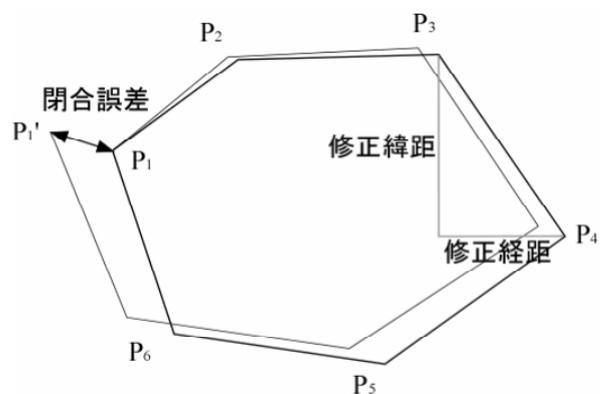


図 6 誤差の評価と修正

誤差を正しく評価、配分するために、測量開始点および測量終了点の座標は既知であることが望ましい。仮に完全に正確な測量が実行できたとすると、緯距および経距の合計は 2 点の既知座標の緯距および経距に等しくなるが、実際には誤差が生じる。これを閉合誤差といい、各測点で区間距離に比例して生じたと見なして比例配分を行う（図 4.5）。再計算の際の緯距および経距を、それぞれ修正緯距（ $\delta x'$ ）、修正経距（ $\delta y'$ ）といい、以下の式で表される。

$$\delta x' = \delta x - \omega L / \sum L ; \delta y' = \delta y - \omega L / \sum L$$

ただし、 ω ：閉合誤差、 L ：区間距離、 $\sum L$ ：測線長の総和

この誤差配分による補正により、 $\delta x'$ と $\delta y'$ の合計はそれぞれ 0 となる。また測量精度は、閉合誤差と測線長の総和の比で評価することができる。これを閉合比（ R ）といい、普通は分子を 1 とした分数で表す。

$$R = \omega / \sum L = 1 / (\sum L / \omega)$$

コンパス測量の場合、1/300 で可、1/500 で良といわれる。すなわち、300m の測線長に対して 1m 以内の誤差に抑えることが求められ、これよりも測量精度が悪い場合には、再測量が必要となる。

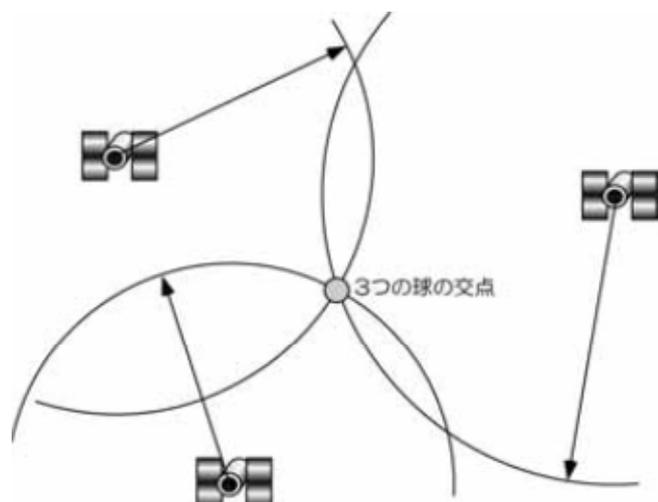
6. GPS 測位の原理

近年では、森林でも GPS（Global Positioning System：汎地球測位システム）を用いることが多くなっている。GPS では小さな箱に自動的に座標値を表示してくれるため、上記のコンパス測量のような計算が必要なく、人手もかからないことから、急速に普及しつつある。しかし GPS は一種のブラックボックスであり、その仕組みと特徴についてある程度の知識が必要である。特に、研究や業務として森林で GPS を扱ったり、GPS で取得した座標値を測量データとして使用したりする場合には、誤差についての正しい知識が必要になる。

GPS は簡単に言うと、衛星を使った壮大な三角測量システムである。つまり、高度 2 万 km の 6 つの円軌道に配置された 24~30 個の衛星から、測位地点までの距離をそれぞれ計測し、その距離を用いて測位地点の位置を算出する（図 7）。

原理上は 3 衛星からの距離によって一つの交点が決まるが、GPS 受信機の時計誤差も未知数であるため、通常は 4 個以上の衛星から信号を受信する必要がある。

GPS はアメリカ合衆国の軍事目的に構築されたシステムであり、一般の利用に対しては制限が掛けられている。しかし、もっとも大きな利用制限であった S/A（Selective Availability：意図的に精度を落とす操作）が解除された 2000 年 5 月以降、数万円の安価な GPS 受信機でも、開放地で数 m の精度で座標値を取得できるようになり、急速に普及が進んでいる。



GPS の測位方法には 1) 単独測位, 2) コードディファレンシャル測位 (DGPS), 3) 干渉測位, の 3 種類がある。測位方法が 3 種類あるのは, 衛星と測位点との距離の計測方法および誤差の解消方法に関連するので, GPS の仕組みについて, もう少し詳しく解説しておく。

6.1 受信機, 衛星間の距離計測

GPS では受信機と各衛星との距離を計測するが, 一般に 2 種類の距離計測法がある。なお, ここでいう“距離”には, 受信機と各衛星の時計の誤差が含まれているので, 正確な距離ではなく, “疑似距離” とよばれるものである。

GPS 衛星からは, L1 帯と L2 帯, 二種類の波長の電波が発信されており, それぞれの波長帯に測位のための情報がいくつか載せられている。通常の安価な GPS 受信機では, L1 帯の航法メッセージ (全ての衛星の軌道および健康状態に関する情報) と C/A コードを利用して測位を行っている。一方, 測量用など高価な受信機には, L1 帯の情報に加えて L2 帯の情報を利用するものが多い。

C/A コードは 1ms ごとに 1023 個の信号が繰り返し送信されている。すなわち, 1 サイクルの信号は約 300km (光が 1ms の間に進む距離), 一つのデータは約 293m (光が $1\mu\text{s}$ に進む距離) の長さがあり, これを物差しに見立てて, 距離を計測するのである。衛星から測地点までのサイクル数は分からないが, 300km 以下の端数分は比較的正確に計測することができる。サイクル数が一つでも異なると, 測地点が宇宙空間か地中になってしまうので, サイクル数は簡単に推定できるのである。C/A コードを用いた距離計測を行うのが, “単独測位 (Autonomous GPS)” と “DGPS 測位 (コードディファレンシャル: Code Differential GPS)” である。

一方, C/A コードの“目盛り”は約 293m で, 距離測定としてはあまり精度が高くない。そこでより精度の高い“目盛り”として, 電波の波長を用いる方法が“干渉測位 (Carrier Phase GPS)”である。L1 帯の波長は約 19cm, L2 帯の波長は約 24cm であり, その波の中での位置 (搬送波位相: Carrier Phase) を知ることで, より高精度な距離計測が可能となる。ただしこの方法には 2 つの制約がある。第一点は, 搬送波位相を途切れることなく積算する必要があるため, 電波受信が途切れやすい環境での利用に向かないことである。すなわち樹冠下で安定した干渉測位を行うことは困難である。第二点は解の多重性である。あまりにも解像度が高すぎるので, もっともらしい位置が数多く現れる。この解決法を AR (Ambiguity Resolution) といい, AR の種類によって様々な干渉測位法が存在する。干渉測位は L1 帯のみで可能であるが, L2 帯を併用することで効率の良い AR が可能となる。

6.2 ディファレンシャル補正

受信機・衛星間の距離測定には様々な誤差が含まれる。各衛星の正確な位置を知るために航法メッセージ中の衛星の軌道情報を用いるが, これは事前に予測された計算値であり, 誤差が含まれている。また電波の伝搬経路のうち, 電離層および対流圏では遅延が生じ, これも誤差要因となる。これらの誤差を軽減して測位精度を向上させるために用いられるのが, ディファレンシャル補正である。

ディファレンシャル補正の基本的原理は, 座標を決定したい地点 (移動局) での GPS 測位と同時に, 座標がすでに分かっている地点 (基地局) においても GPS 測位を行うことによって, 各衛

星までの疑似距離の測定誤差を評価し、移動局で観測された疑似距離を補正する、というものである。ただし、基地局と移動局の距離（基線長）が長くなると GPS 信号が通過してくる大気の状態が異なるため、補正効果が小さくなる（DGPS で約 200km, 干渉測位で 10~30km）。また、移動局で観測した衛星を基地局でも観測していなければ補正できない。

日本では海上保安庁が DGPS 用の基地局情報を放送しており、ビーコン受信機を用いてリアルタイムにディファレンシャル補正を行うことができる。ただし、海から離れた山の中では受信できないことも多い。また国土地理院では、全国各地の電子基準点で観測された補正情報を公開しており、こちらは干渉測位にも利用できる。米国では WAAS と呼ばれる衛星からの補正情報放送が行われており、日本でもひまわり 6 号を用いて同様の放送（MSAS）が開始され、安価な GPS 受信機でもリアルタイムにディファレンシャル補正が可能になる。その他、携帯電話を用いた補正情報の送信など、有料の民間サービスもある。

6.3 その他の誤差

ディファレンシャル補正により改善されない誤差として、衛星配置による誤差と、疑似距離測定に関する誤差とがある。通常、前者は PDOP マスク、後者は SNR マスクおよび仰角マスクにより制御される。PDOP（位置精度劣化度：Position Dilution Of Precision）とは測量用語で言う“図形の強さ”を示すものであり、例えば上空の一点に集まった 4 つの衛星から得られた測位座標値は、上空に散らばった 4 衛星から導かれた測位座標値よりも精度が劣る。この違いを数値で表したものが PDOP で、数値が小さいほど良い衛星配置となる。PDOP マスクは、設定値以上の PDOP 値となる衛星配置から算出された測位座標値を結果として使用しないとする、一種のフィルタリング処理である。なお、GPS 衛星は約 11 時間 58 分で地球を一周しており、衛星配置は刻一刻と変化する。つまり次の日にはほぼ同じ衛星配置が 4 分早く再現されることになる。飛来衛星数予測ソフトを用いれば、数週間先までの大まかな衛星配置が予測できる。

疑似距離の測定誤差は、受信機本体のハードウェア的な精度による部分も大きいですが、GPS 信号の質にも左右される。樹木等を透過した信号は多くのノイズを含むため、“物差しの目盛り”である信号の立ち上がり箇所が不鮮明になる。これにより疑似距離の観測精度が劣化するのである。信号本体とノイズとの比を SNR（Signal to Noise Ratio）と呼び、設定値以下の SNR の衛星を測位に用いないとするフィルタリング処理を SNR マスクという。

疑似距離の測定誤差のもう一つの要因はマルチパスである。これは GPS 信号が地物に反射して観測されたもので、場合によっては数百 m もの誤差を生じさせる。低仰角の衛星からの電波は地物に反射されやすく、また電離層や大気圏の通過距離が長いことから、例えば仰角 15 度以下の衛星は測位に用いない、などのフィルタリングが行われる。これを仰角マスクという。ただし仰角マスクを大きくすると衛星配置の偏りを招くことがある。

6.4 森林での GPS 利用

森林は特殊な GPS 測位環境である。地形によって GPS 信号が遮断される状況は、都市部でのビルによる信号遮断の状況に似るが、樹幹により GPS 信号の受信が断続的になる、あるいは枝や葉により信号の SNR が低下するという状況は他ではあまり例がなく、受信予測や精度管理において、特殊な配慮が必要となる。

地形や樹木による GPS 信号の遮断により、開放地に比べて捕捉衛星数が減少する。上空がある程度開けていたとしても、衛星配置の偏った状況になることが多く、また葉や枝による SNR の低下によって疑似距離測定精度が低下し、干渉測位における安定した AR が困難になる。さらに林道の法面下や岩石地では、マルチパスが生じやすい。これらの影響のため、森林内では開放地と比べて精度が著しく劣り、また移動しながらの干渉測位（キネマティック測位）は困難である。樹冠下での単独測位の誤差は 50m 程度と考えた方がよい。森林での測位精度は胸高断面積合計と深い関係があるといわれている。

このような劣悪ともいえる測位環境では、飛来衛星数の多い時間帯に測位を行う、測位地点で数分間静止して測位座標を平均化する、低価格受信機でも外部アンテナを利用する、などの対策が有効である。また数分間静止して L1 と L2 の 2 周波を観測する二周波干渉測位（静止測位）では、樹冠下でも数 mm の精度で測位が可能となる場合がある。

受信機によってはマスク設定が固定されているものがあるが、これは原則として開放地で用いる際に最適化された設定であり、森林内でも同様の設定が適しているとは限らず、逆に精度を低下させる可能性がある。森林において GPS を利用して GIS データを取得する際には、現地ではマスク設定を行わずにできるだけ多くのデータを取得しておき、事務所等に帰ってから後処理としてマスク処理を行った方がよい。

以上のように、森林で GPS を用いる際には、現場において障害物となる樹木や地形、その時の衛星配置、受信機の性能（それぞれの測位方式の限界）などを念頭においた上で、常に得られた座標値の精度と信頼性について注意を払っておくことが必要である。

6.5 衛星測位システムの今後

現在、GPS の近代化計画が進められており、L2 帯への民生用コードの追加、L5 帯の追加などが予定されている。また GPS と同様の衛星測位システムとしてロシアの GLONASS (GLObal NAvigation SyStem) が稼働しており、これも近代化計画が進行中である。さらに EU では GPS、GLONASS に続く新しい衛星測位システムである Galileo の構築計画がある。日本では GPS を補完する準天頂衛星の打ち上げが計画されている。準天頂衛星は日本からオーストラリア上空にかけて 8 の字型に飛行する数個の GPS 互換の通信衛星を打ち上げ、高度の高い場所に常に衛星が存在するよう意図したシステムである。

これらの衛星測位システムを相互利用することにより、数年のうちには森林でも高精度の位置情報の取得が容易になる可能性がある。実際に GPS 衛星と GLONASS 衛星を併用できる受信機が市販されており、森林での利用に関する調査が進められている。

7 コンパス測量、GPS 測量の実習と計算

機器操作も含めて後期に行う予定である。

測量に行く前に確認しておくこと

- 測量地付近に既地点があるかないか

例 街区基準点ダウンロードサービス

街区三角点

- あらかたの境界が頭の中（又は PDA 等）に入っているか

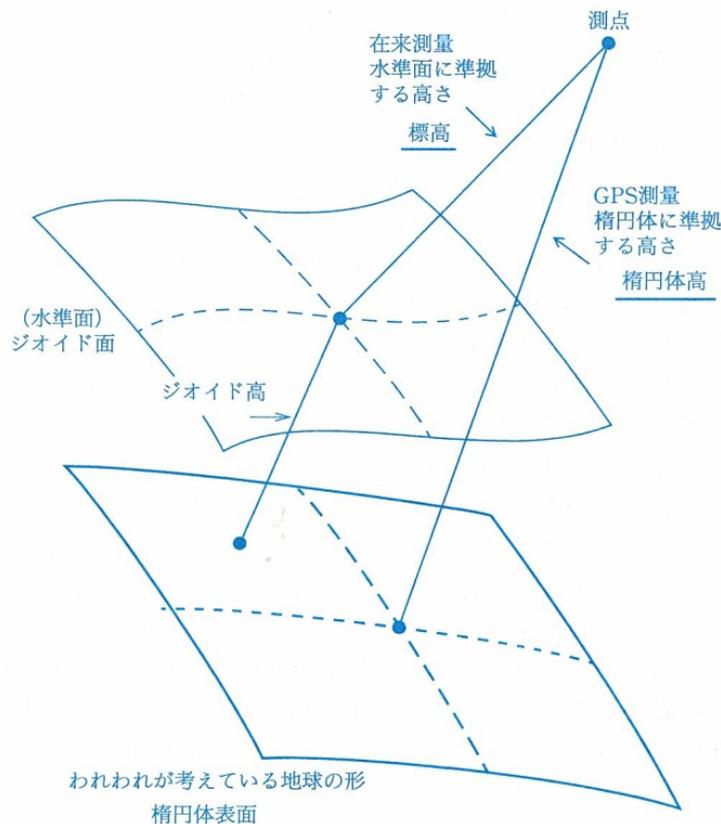
測量と GIS と GPS の関連性について

従来の測量と GPS 測量 GPS の長所：高精度、視通性、天候性
GPS の短所：場所を選ぶ（水中×、地下×）、電波妨害
高さ：従来測量と GPS 測量では質的に違う（ジオイド）

従来の測量技術 … 水準面に準拠して測定
測定開始前に気泡管を使って機械を水平に調整する
機械：トランシット、レベル、平板
… 水準面とは無関係な測定
斜距離を測る
機械：トータルステーション、光波測距、巻尺
※ただし、機械の中心を測点の鉛直線上に設定することはいずれも重要

水準面 仮想的に地球全体に水を張ったときの面（重力が同じ面）
重力は一律でないため、仮想的な面には凹凸ができる（±80m）
ので、滑らかで平らな表面にはならない

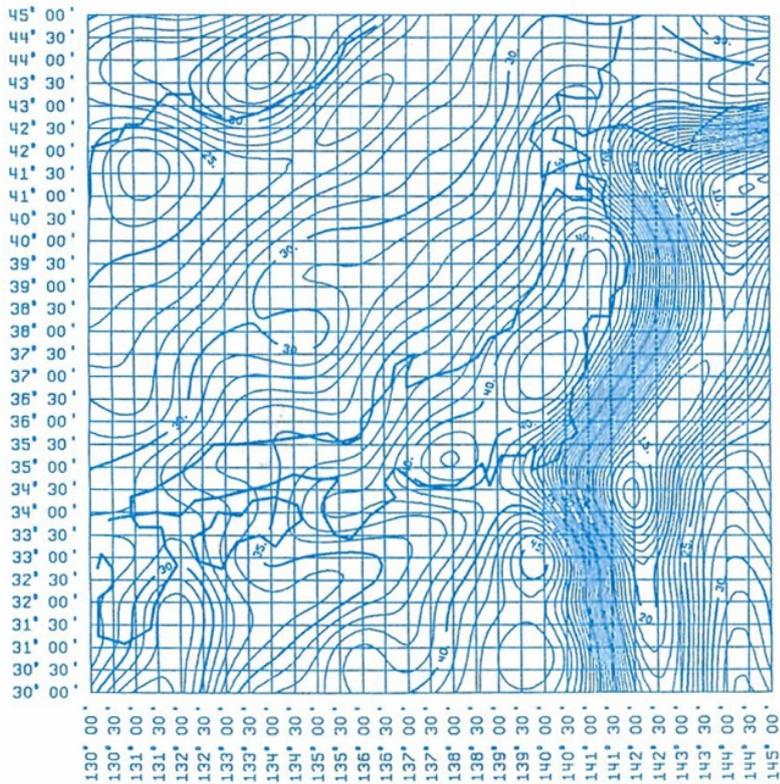
水準測量に基づいた標高や水準面に準拠した水平角、高度角は回転楕円体に準拠したものとは違ってくる



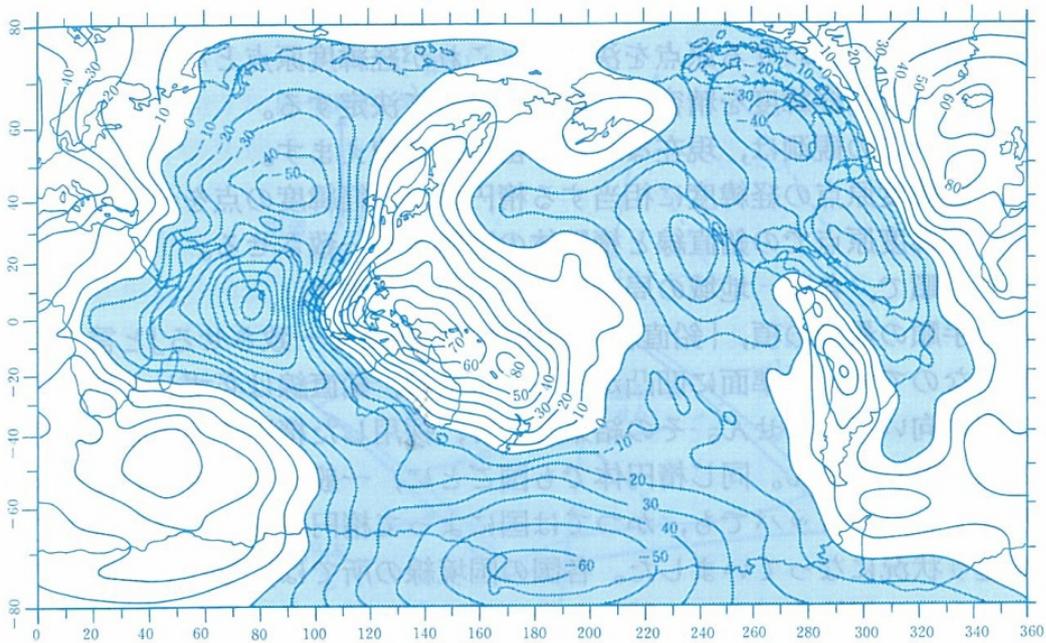
従来の測量	地形を幾何学的に測っていない＝地球の形を無視 すべての測定は、水準面（＝海水面）を基準にした 幾何学的には正しくないが、実用的には妥当で実生活に即している（＝ 水は高いところから低いところへ流れる）
GPS 測量	水準面に全く無関係、地球の中心を原点とする幾何学的な測量 （＝水が低いところから高いところへ流れることになる）
従来の測量と GPS 測量	ごく短距離で仕様精度が緩い場合は OK 数 km の距離で 1cm の精度を求める場合は、高さに違いが出る
GPS 測量	人工衛星は地球の重心（中心）を運動する → 地球中心を原点とする座標系（地球中心座標系）
日本測地系 (Tokyo Datum)	今までの地図作製の基準だった（精度が悪いわけではない） ベッセル座標系 ≠ 地球中心座標系 ベッセル楕円体の中心 ≠ 地球中心
従来の測量と GPS 測量	どうやって測量成果を一致させるか？ 中心を一致させるよう座標変換する ↓ これだけでは従来の測量と同等の成果にならない
問題点	楕円体に準拠するか、水準面に準拠するか、で座標値が違う 特に、水準測量による高さ ≠ GPS 測量による高さ 楕円体の表面と水準面の間には無視できない距離（ジオイド高）がある
回転楕円体	赤道方向が 21km 強ふくらんでいる 問題点 ①最近まで正確な扁平率がわからなかった ②地球重力が場所によって異なるので水準面が複雑 楕円体の定数改定ごとに経緯度が変わってくる ただし、山の高さ（標高）は水準面から測るので関係ない つまり、地図では、経緯度の水平位置と高さは別系統である

ジオイド

等重力ポテンシャル面のうち、平均海面に一致するもの
地球自転の遠心力による海水面のふくらみを含む
太陽や月の潮汐は時間的に変化するので含まない



日本付近のジオイド図



世界全体のジオイド図

ジオイドの形

実は、ほんの少しずつ変化している
 なぜなら、地球の自転が変化 ⇒ 赤道付近のふくらみも変化
 ただし、測定限界以下なので無視

測地座標系(局所座標系)

ジオイド(細かい起伏あり)
 回転楕円体表面(単純な曲面)

完全に一致させることは
 もちろん無理

国ごとに一致させる工夫

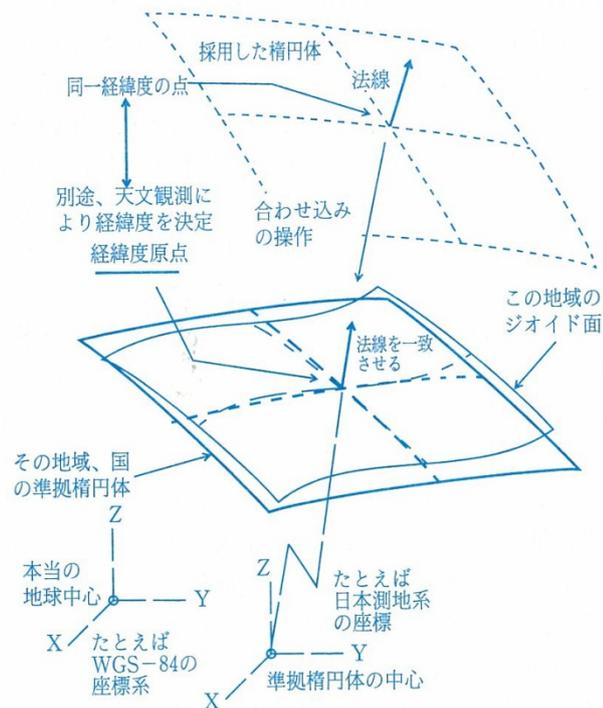
回転楕円体をその付近のジオイドに最も合うように移動させる

局所座標系の決定手順

- ①採用する楕円体を決める
- ②楕円体を合わせる原点(経緯度原点)を決める
- ③経緯度原点の精密測量を(衛星から)する
- ④経緯度原点の経緯度に相当する楕円体上の経緯度の点を合わせる
- ⑤経緯度原点での鉛直線と楕円体の法線とを一致させる

決定手順⑤の問題点

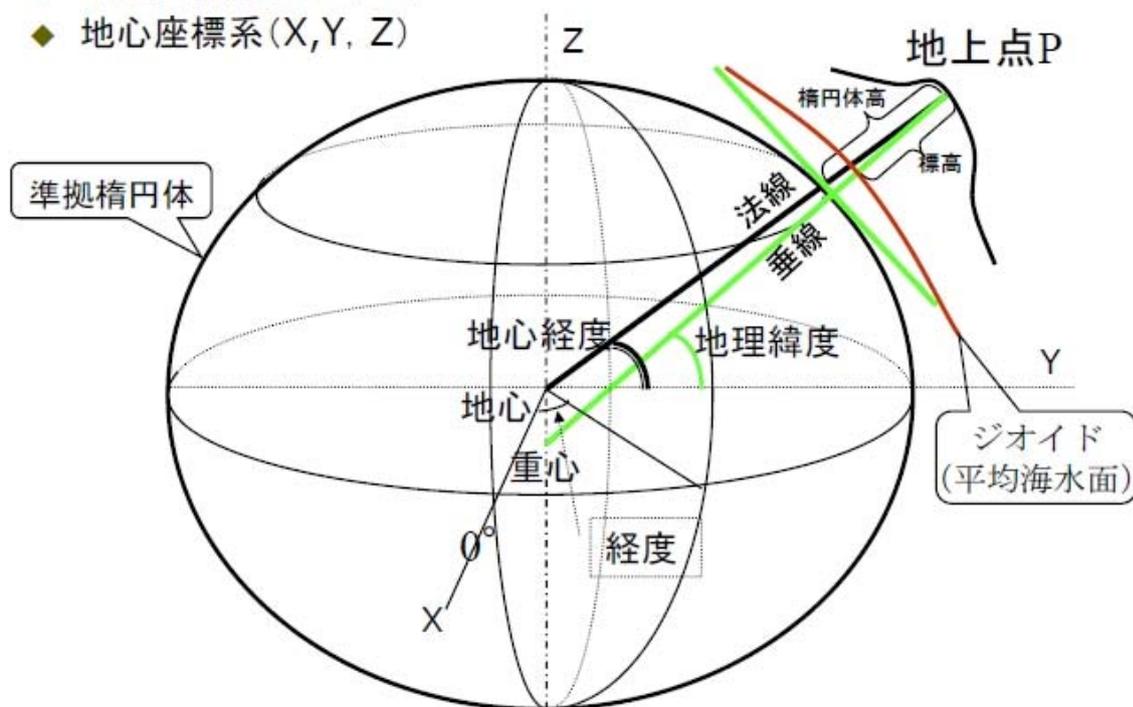
水準面に凹凸ある ⇒ 鉛直線は必ずしも地球中心を向いてない
 ↓
 その結果、採用した楕円体の中心は地球中心と一致しない
 ↓
 同じ楕円体を採用しても国ごとに中心位置が異なる
 ↓
 同じ経緯線のはずが、隣の国と数秒異なってくる



地理座標による位置参照

◆ 経度・緯度・標高の意味

- ◆ 地理座標系 (L, B, H)
- ◆ 地心座標系 (X, Y, Z)



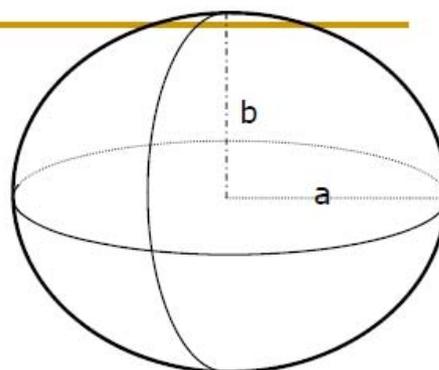
準拠楕円体の決め方

◆ 準拠楕円体の3つのパラメーター:

- 赤道半径 a
- 極半径 b
- 偏曲率 f
- $f = (a - b) / a$

◆ 世界の準拠楕円体 (GRS80)

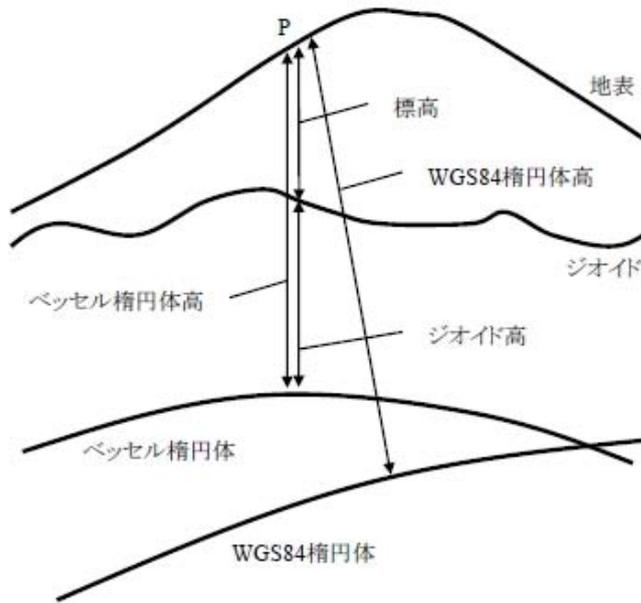
- ◆ 世界測地系: WGS84
- ◆ $a = 6378.137 \text{ km}$
- ◆ $f = 298.257$



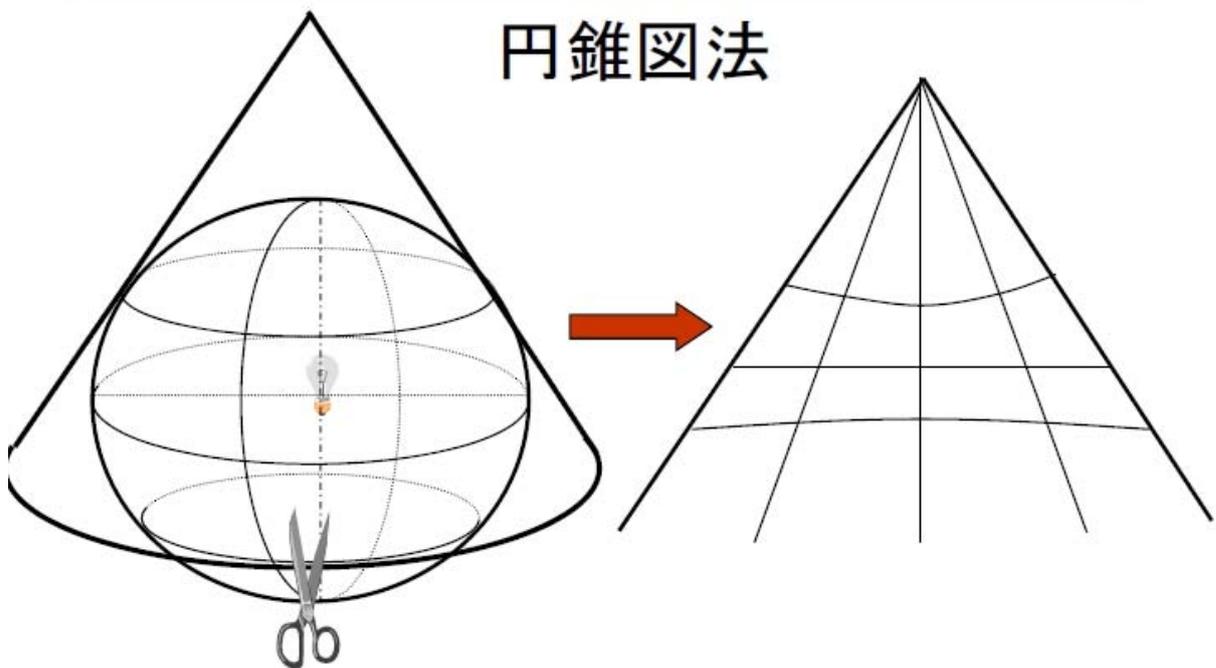
日本測地系

楕円体	年代	赤道半径 (m)	扁平率の逆数 (1/f)
ベッセル楕円体	1841	6,377,397.155	299.152813
クラーク楕円体	1880	6,378,249.145	293.4663
ヘルマート楕円体	1907	6,378,200	298.3
ハイノード楕円体	1909	6,378,388	297.0
クラソフスキー楕円体	1943	6,378,245	298.3
測地基準系1980 (GRS80楕円体)	1980	6,378,137	298.257222101

標高・楕円体高・ジオイド高の関係

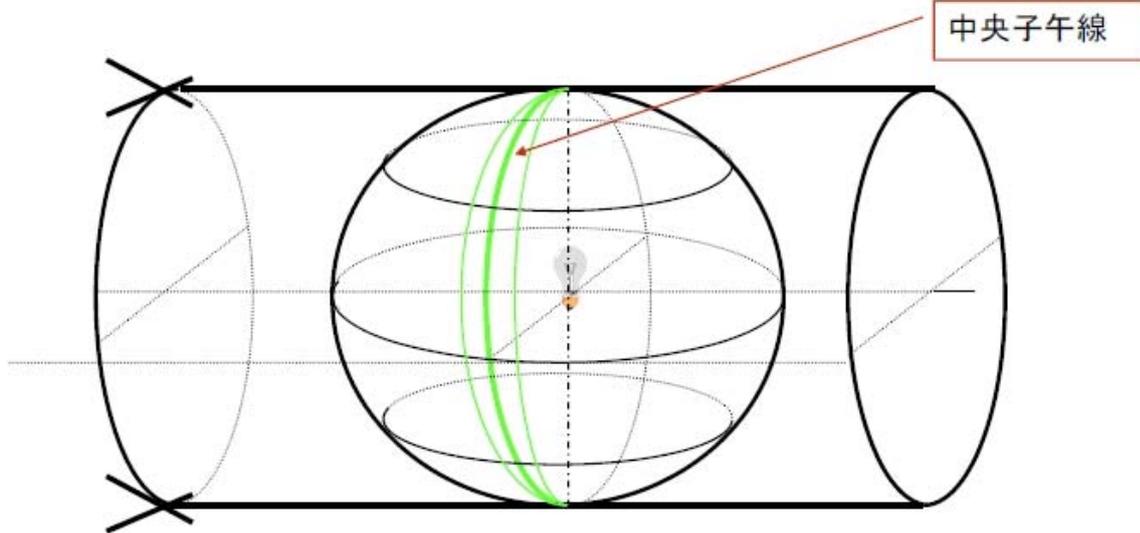


平面での位置の決め方: 投影

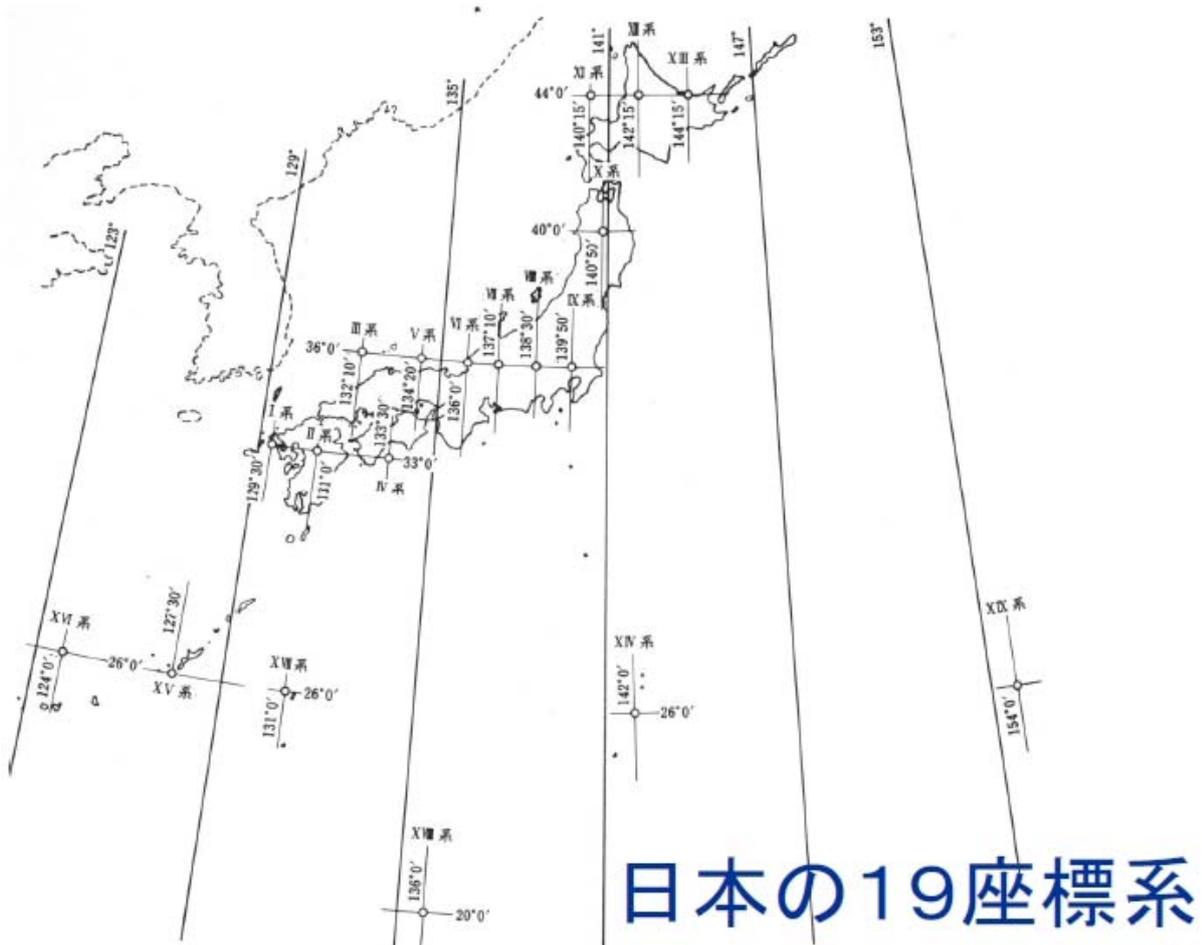


UTM投影(横円筒図法)

Universal Transverse Mercator Projection



横円柱で地球を包み、地心にある光源で地球表面を円柱面へ投影。歪みを少なくするため、1回は 6° に限定。



GIS ファーストインプレッション

ArcGIS で使用されるいくつかの用語がありますので、ここで確認してください。

■ArcGIS Desktop 製品について

ArcGIS Desktop は、ArcMap、ArcCatalog、ArcToolbox という3つのアプリケーションで構成されています。

ArcMap ・ ・ GIS データの編集、解析、マップの表示方法の設定等を行います。

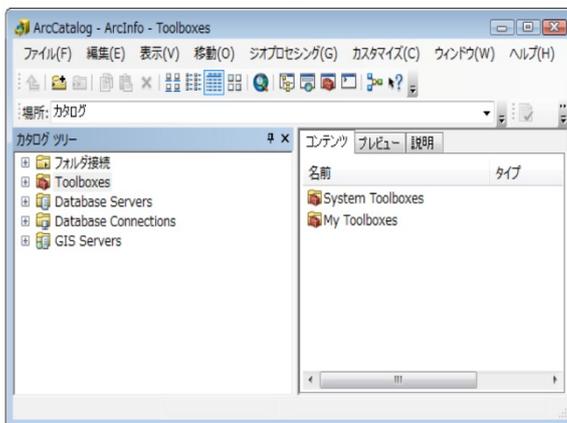
ArcCatalog ・ ・ GIS データの効率のよい管理、検索を行います。

ArcToolbox ・ ・ GIS データのフォーマットの変換や座標系の定義・変更を行います。

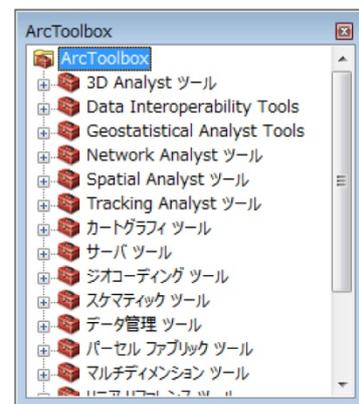
本ワークブックでは、主に ArcMap を使用します。

ArcMap で行った表示方法の設定などは“ファイル名.mxd”というファイルに保存できます。

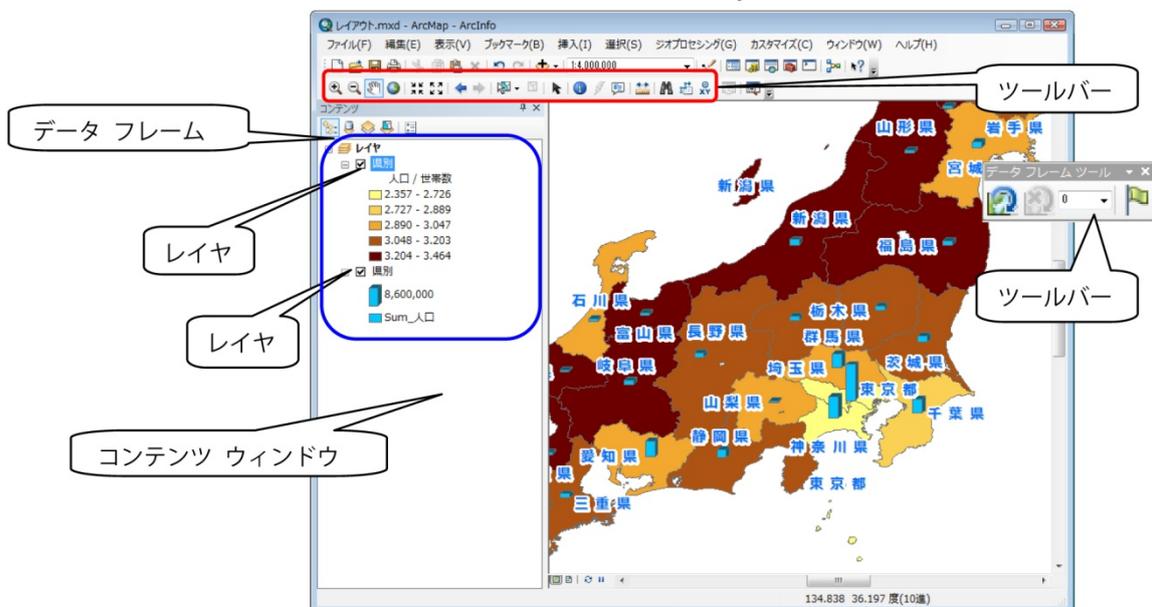
ArcCatalog



ArcToolbox



ArcMap



ArcGIS Desktopは、Windows の標準に準拠する GUI（メニュー、ボタン等）で構築されています。

■ マウス操作

マウス操作に関しては以下のように記述します。

操作内容	当ワークブックでの記述法
左クリック	クリック
右クリック	右クリック
マウスカursorをある場所へ移動させること	ポイント

■ GUI に関する操作の記述例

[表示] メニューをクリック

[グラフ] をポイント

[管理] をクリック

[表示] タブをクリック

[条件式] をクリック

[ドキュメント] をクリック

[標準] ツールバーの [データの追加] ボタンをクリック

[基準縮尺設定時にシンボルをスケールリング] のチェック ボックスをオフにする

[フィールドを使用してハイパーリンクを設定] をチェック ボックスをオンにする

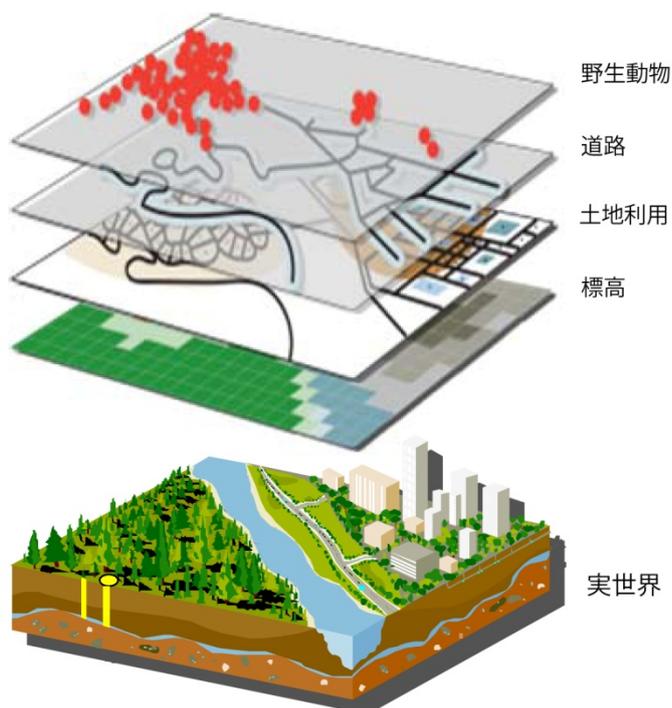
[OK] をクリック

データ モデル

実世界の地物を表現するために GIS では一般的にベクトル、ラスタ、TIN の 3 つのデータモデルを利用します。

■解説

GIS は現実世界の問題を解く問題解決ツールです。そのために実世界に存在するさまざまな地物をデータ化する必要があります。GIS では様々な主題をレイヤとしてデータ化しますが、GIS ではいくつかのデータ モデルが考案されています。



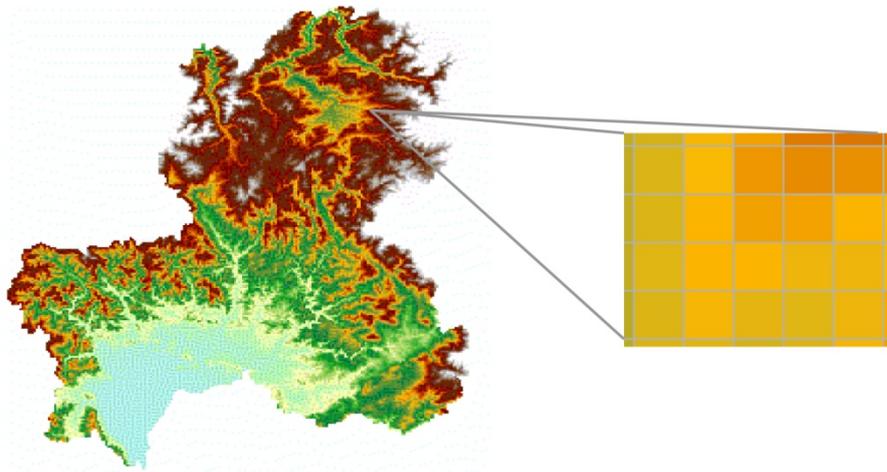
種類	適する地物	表現方法	例
ベクトル データ	形状が明確で境界がある地物	図形 (点・線・面)	家屋形状、土地区画
ラスタ データ	連続的に変化する地物	セル	標高、汚染濃度、騒音レベル
TIN	連続的なサーフェス	不規則三角網	標高

■データの例

ベクトル



ラスタ



TIN

