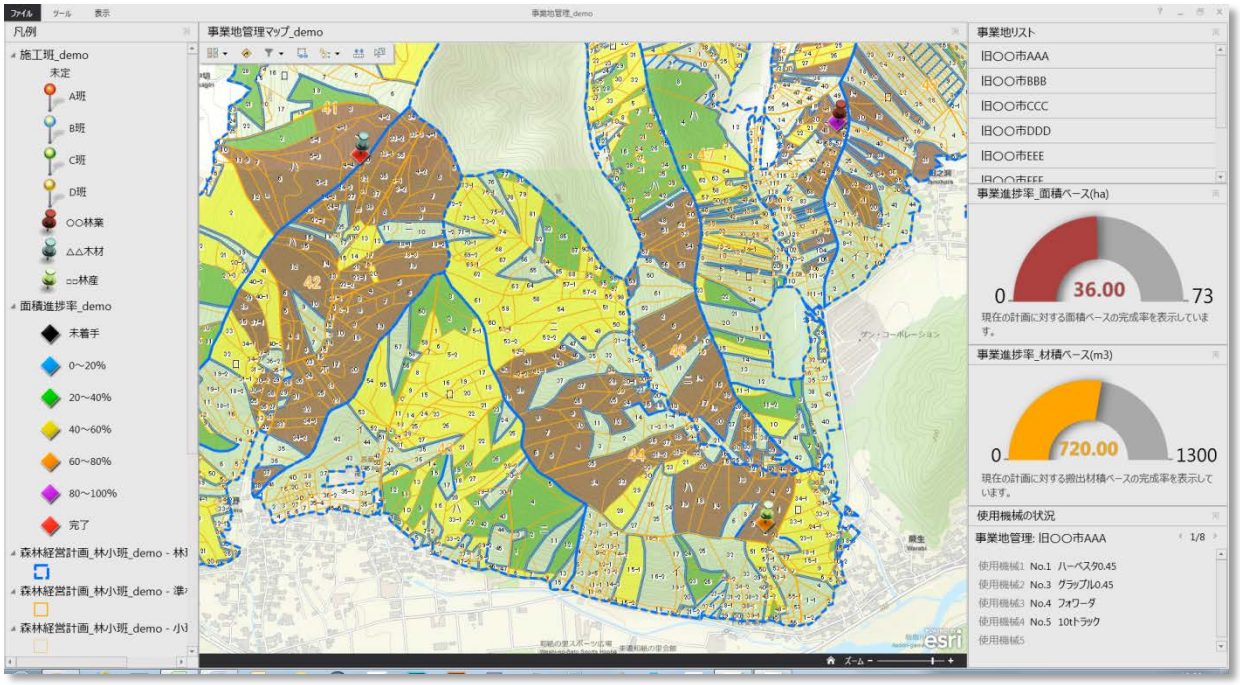
森林・林業のための情報・IT 技術２

（入門編）

平成２７年版



岐阜県立森林文化アカデミー

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、といっていたのですが、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、将来の ICT 技術の中核となるであろう地理情報システム（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ると思います。

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、解決に一歩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 → 見えなかった情報が見える → 解決に一歩近づく

A　　B

情報の取得、つまり情報の入力系でも ICT 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 ICT 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の世界も少しだけ体験してみましょう。

目　次

【前期】ICT や GIS を林業で利活用するための概要を知り、操作方法や解析手法に習熟する

第１講（５月１１日 月曜日）

１時限目　（座学）森林情報の活用、G 空間・ICT とは？
”地図力”が社会を変える！…地図力を森林・林業に活用する

２時限目　（座学）急増！バイオマス発電 ～資源争奪戦の行方～
グループ討議・討議結果の披露

３時限目　（座学）オリエンテーション、”地図力”の確認、地理院地図の使い方
GIS を利用する上で必要な概念の解説

４時限目　（座学）測量と GIS と GPS の関連性について
GIS の操作は簡単だ！…さらに進んだ GIS 操作とは

第２講（５月 13 日 水曜日）

１時限目　（演習）電子コンパスで測量…スマホでストーリーマップ作成

２時限目　（演習）野帳整理とコンパス to GIS を使いこなす

３時限目　（実習）演習林フィールドでの電子コンパス測量&写真

４時限目　（実習）野帳整理~データのシェープファイル化~GIS へ表示
GIS 上でのトポロジ化と修正、結果を WEB 上へアップ

第３講（５月 18 日 月曜日）

１時限目　（演習）スマホでデータ収集する方法の練習…WEB で結果確認

２時限目　（実習）演習林フィールドの標準地でデータ・写真の収集

３時限目　（実習）WEB 上に表示されたデータを GIS で編集

４時限目　（実習）収集データの整理~品質別生産割合の算出

第４講（５月２０日 水曜日）

３時限目　（実習）等樹高線データから林分蓄積量の推定

４時限目　（実習）品質別生産量の推定

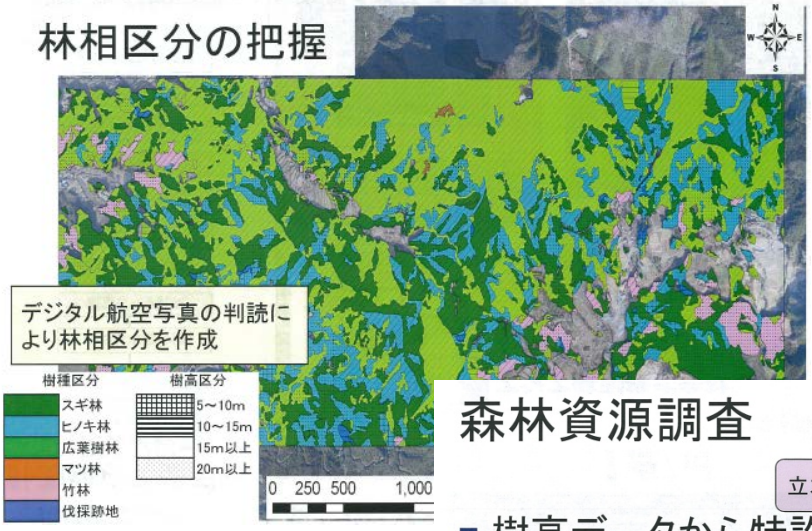
オリエンテーション

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

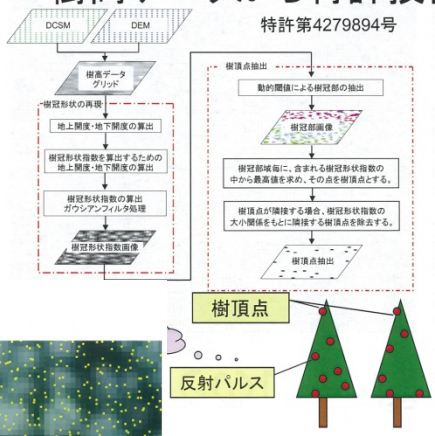


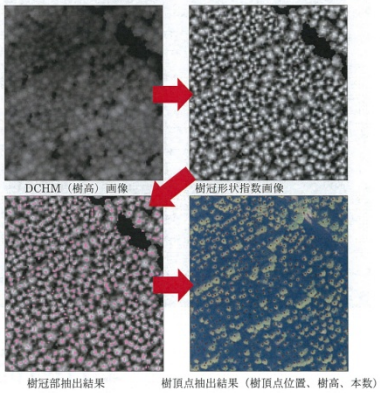
森林資源調査

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

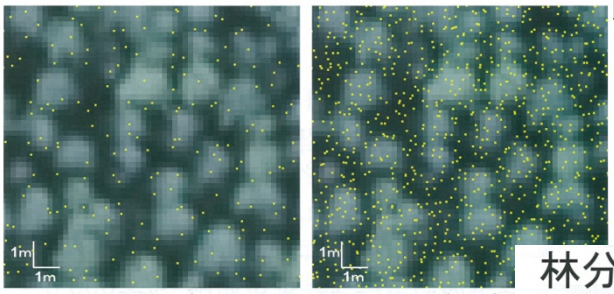
立木本数の計測には4点/m2の計測密度が必要

■ 樹高データから特許技術により樹頂点を抽出



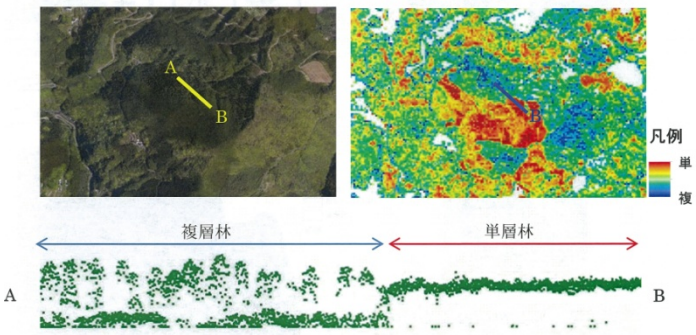


森林域でのレーザ計測密度



※1,800本/ha程度の林分

林分垂直構造の把握



■ パルスの垂直分布から林分構造を把握

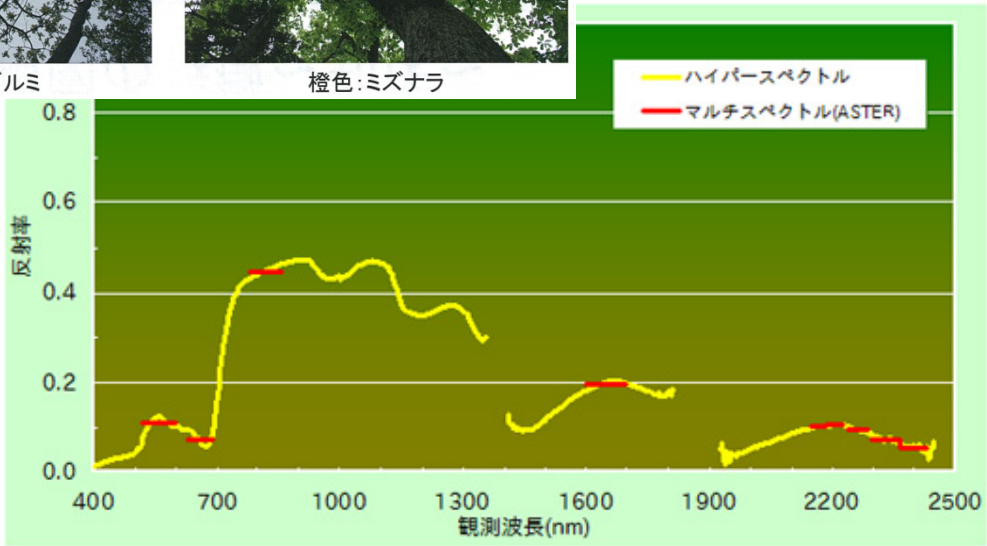
問い　この手法が確実なものになったら、森林分野では他にどんな可能性がありそうか？

ご紹介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）

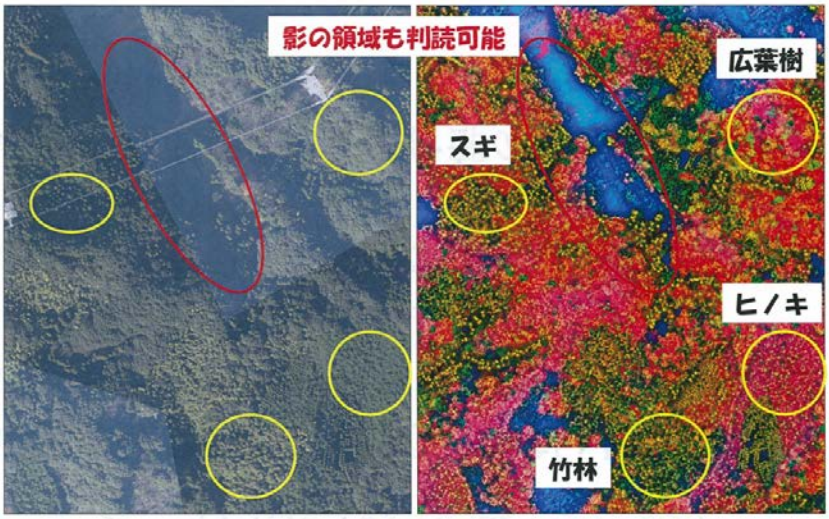
現地写真

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



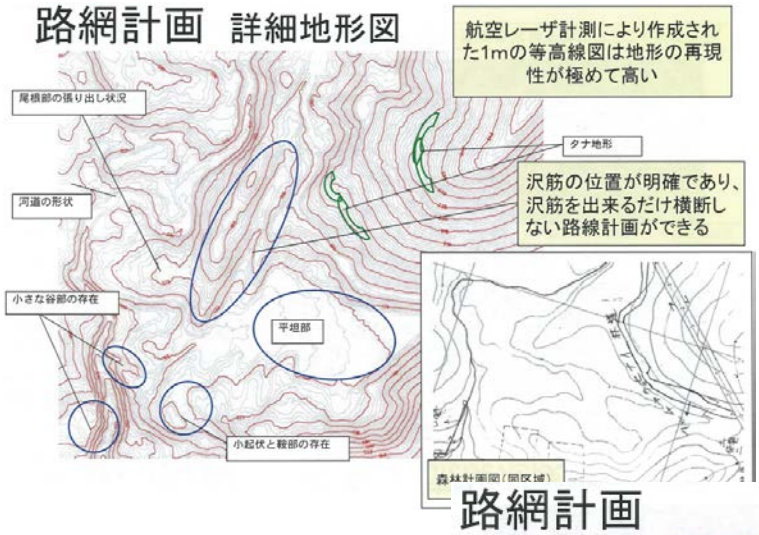
レーザー林相図の特徴

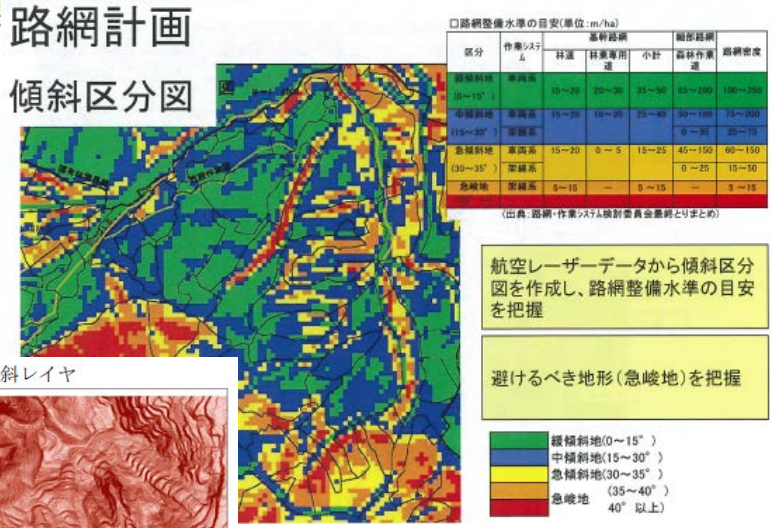


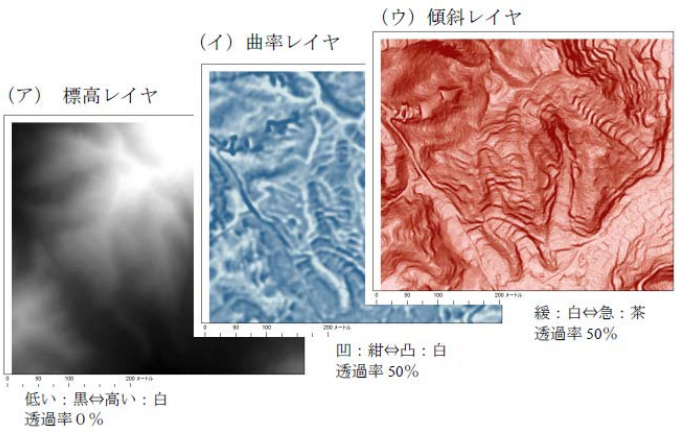
オルソ画像　　レーザー林相図

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

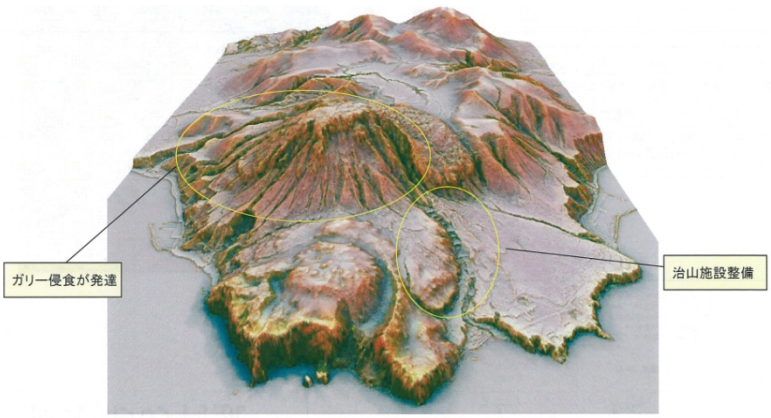






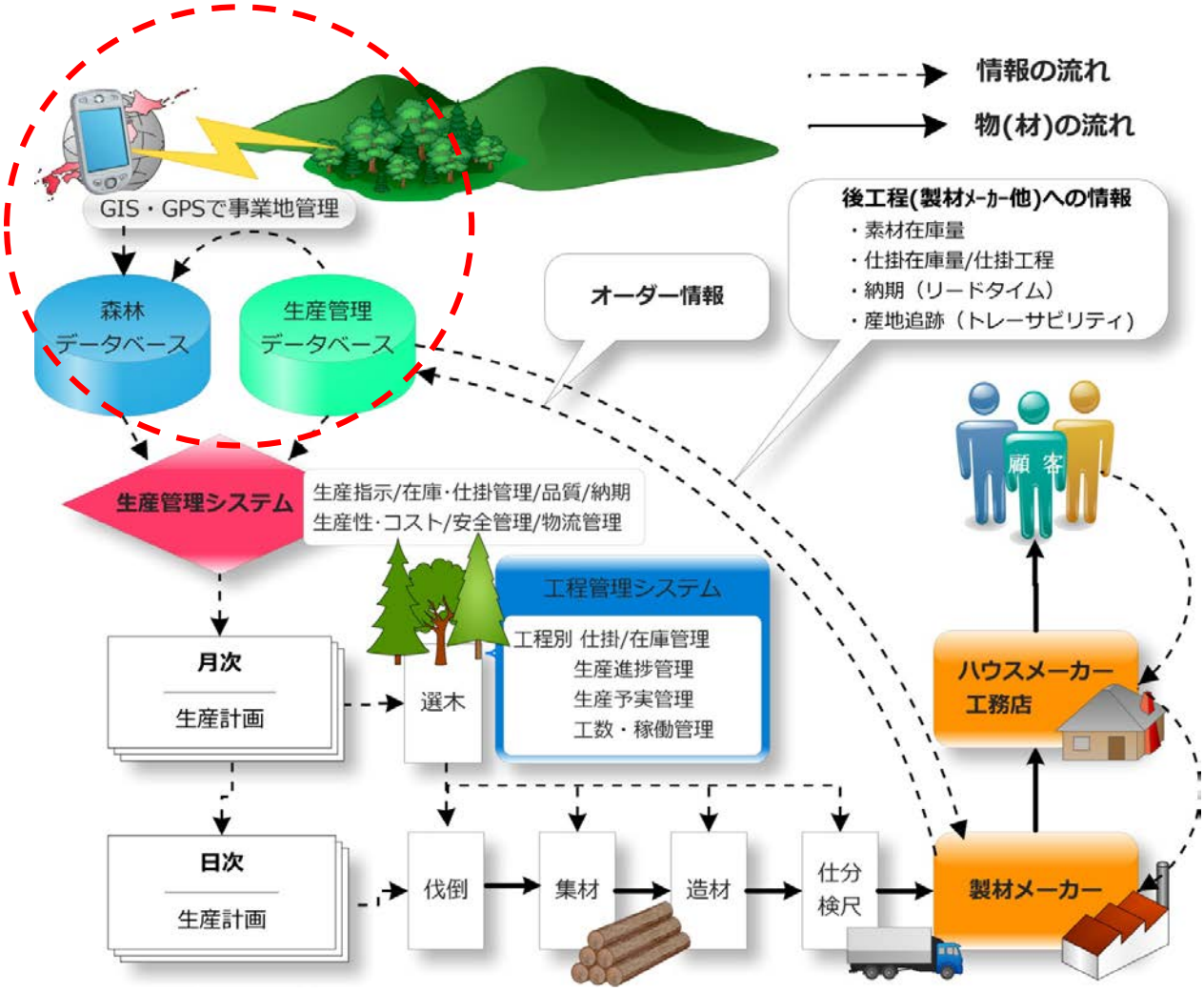
重ね合わせ

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？

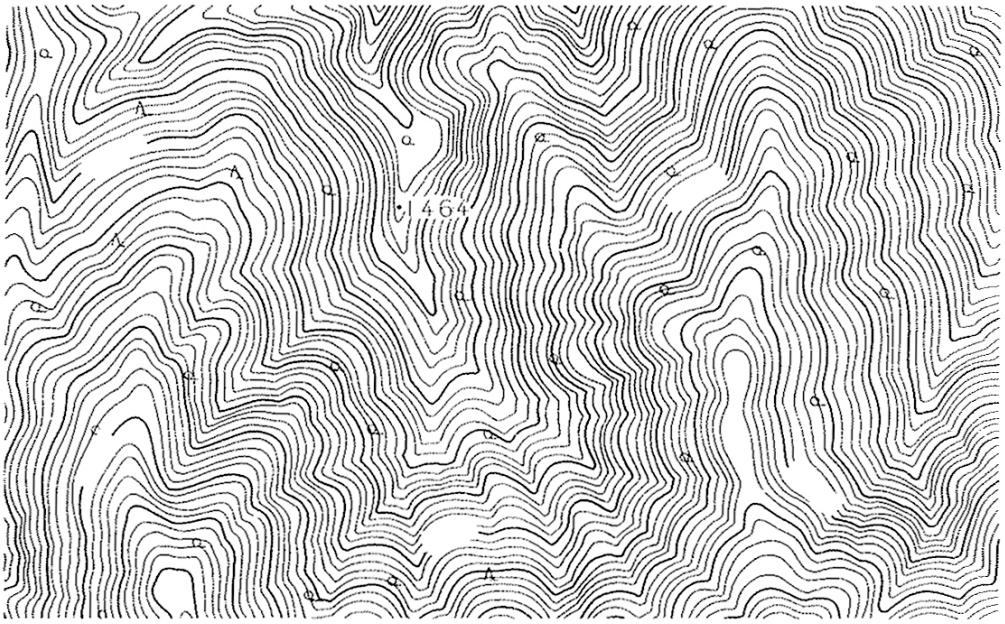
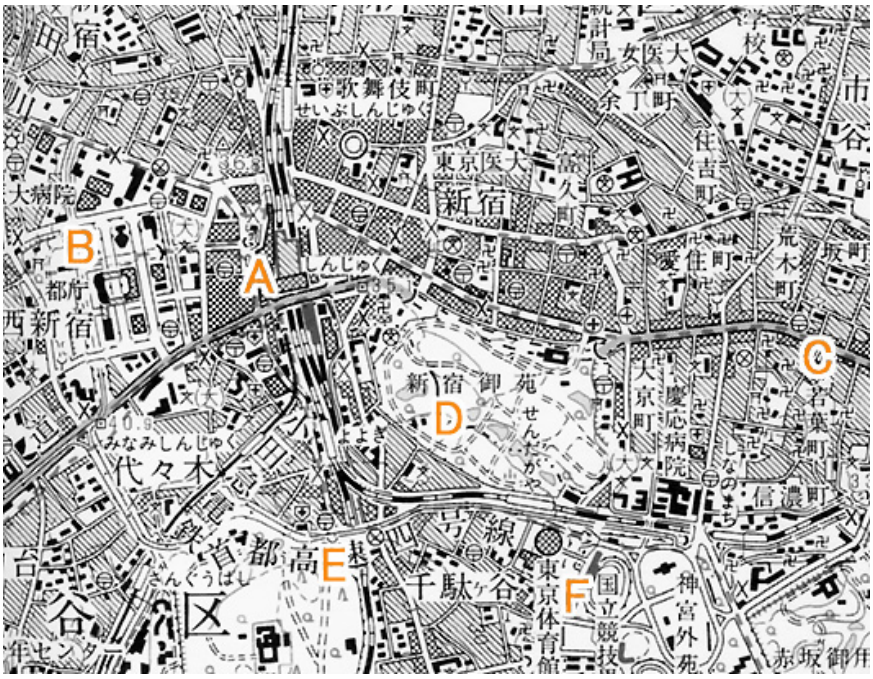


図 0.0.1　（等高線の高度数値を消去）

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。

※上記の各問いは地理院地図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。

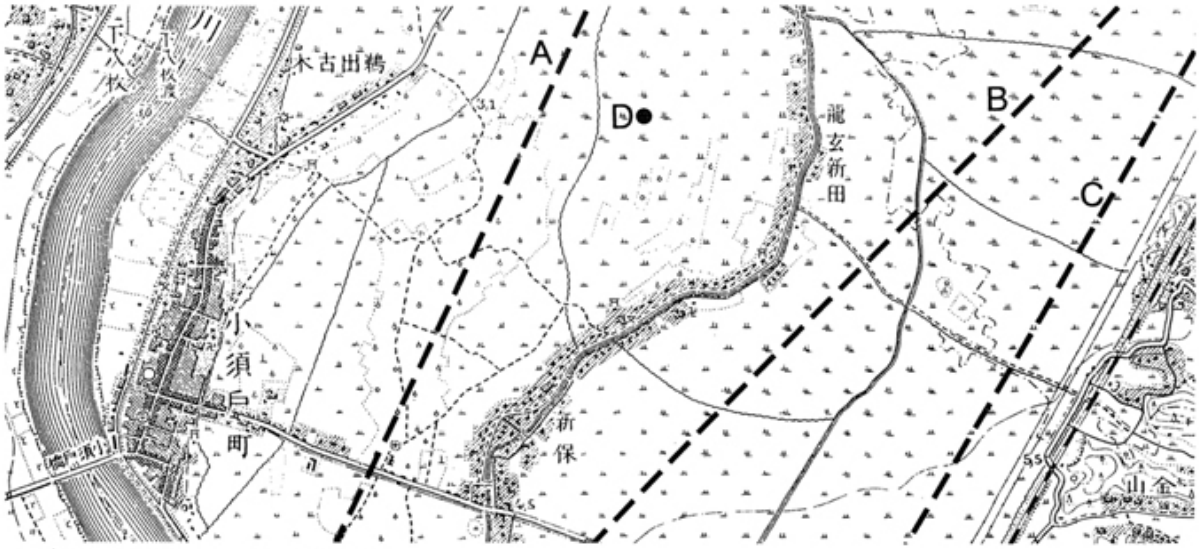


図 0.0.2　（太破線と A～D の文字を補記）

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

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
植生界				―― 地類（定）	―― 地類（定）	なし	なし	……	……	……	……	……	……	:しょくせいのさかい
植生界				---- （不定）	---- （不定）	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	:しょくせいのさかい
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（葉園）		（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）			独立樹木	独立樹木	独立樹木					（濶葉樹）		なし	なし	：めじるしになる木（こうようじゅ）
独立樹（常緑濶葉）											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			楢（なら）	楢（なら）	濶葉樹林	濶葉樹林	濶葉樹林	濶葉樹林	濶葉樹林	濶葉樹林				こうようじゅりん
広葉樹林			椚（くぬぎ）	椚（くぬぎ）	伐採林	伐採林	伐採林	通過困難	通過困難	常緑濶葉樹林	なし	なし	なし	こうようじゅりん
針葉樹林	松（まつ）		松（まつ）	松（まつ）	鍼葉樹林	鍼葉樹林	鍼葉樹林	鍼葉樹林	鍼葉樹林	鍼葉樹林				しんようじゅりん
針葉樹林（すぎ）	杉（すぎ）	杉（すぎ）	杉（すぎ）	杉（すぎ）	なし	なし	なし	通過困難	通過困難	落葉松林	なし	なし	なし	しんようじゅりん
針葉樹林（ひのき）	檜（ひのき	檜（ひのき	檜（ひのき	檜（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、空きビンを浮かべた。さて、そのビンはどうなるか。

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

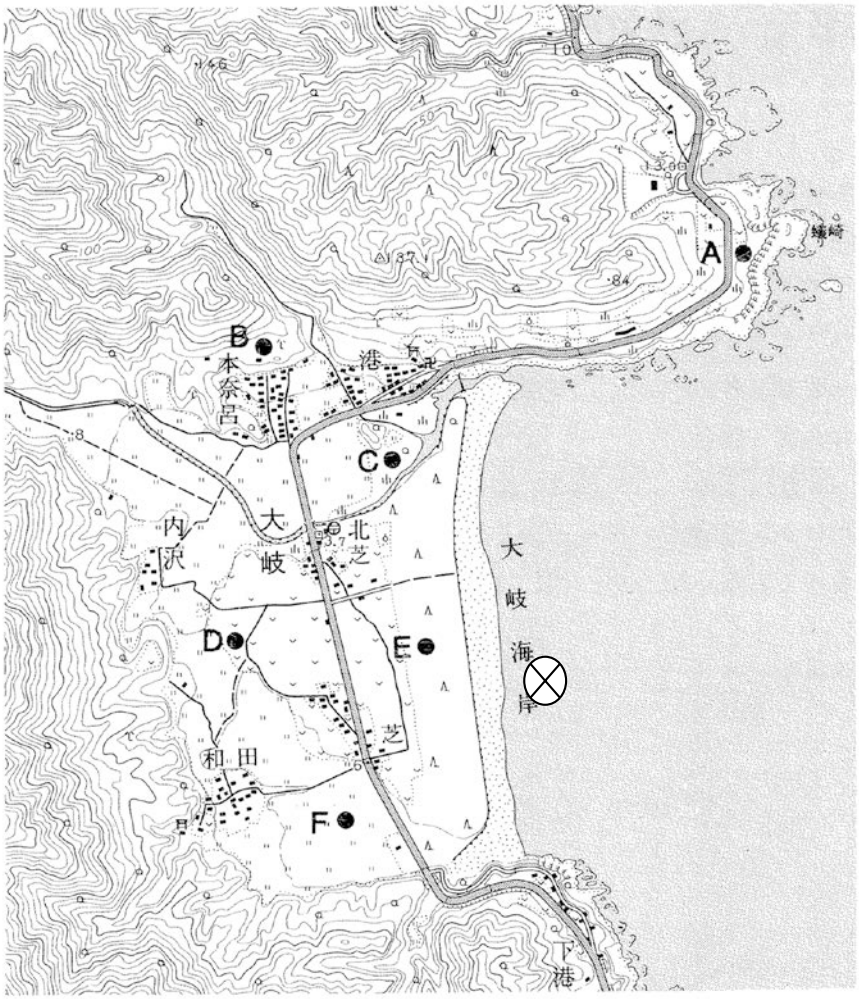


図 0.0.3　(A～F の文字と・印を補記)

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。

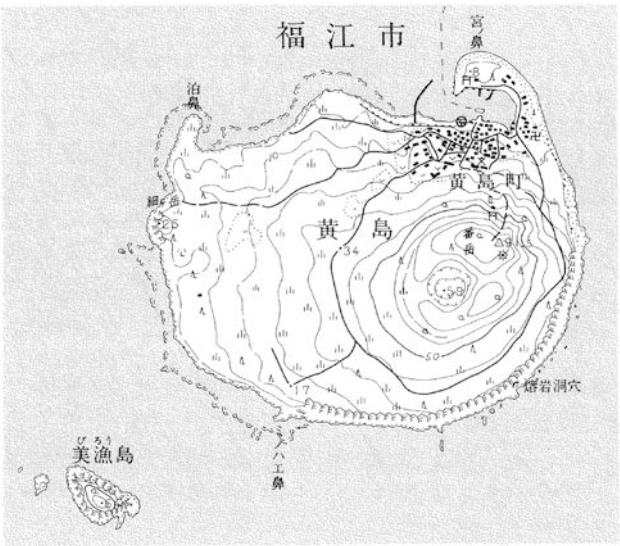


図 0.0.4

問６　下図はある地区の森林基本図である。

地理院地図　参考 URL：　http://maps.gsi.go.jp/#16/35.522884/136.752416

（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。

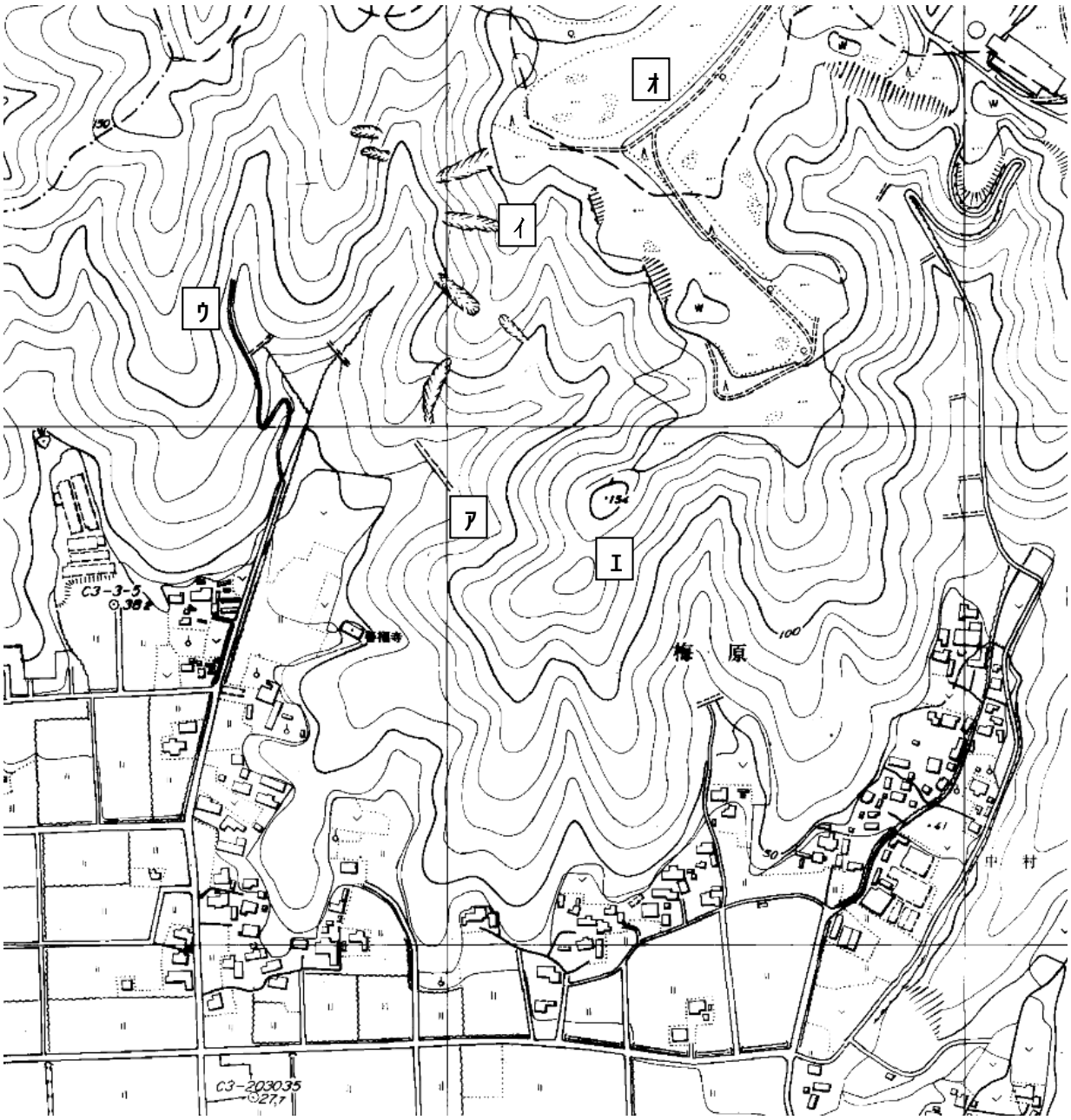
（５）林道をウ地点から工地点の鞍部まで延長したい。このとき、気をつけるべきことは何か。

（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。



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関係は（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（ラスタデータ），1/25,000 および1/2,500 の空間データ基盤（ベクタデータ），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。

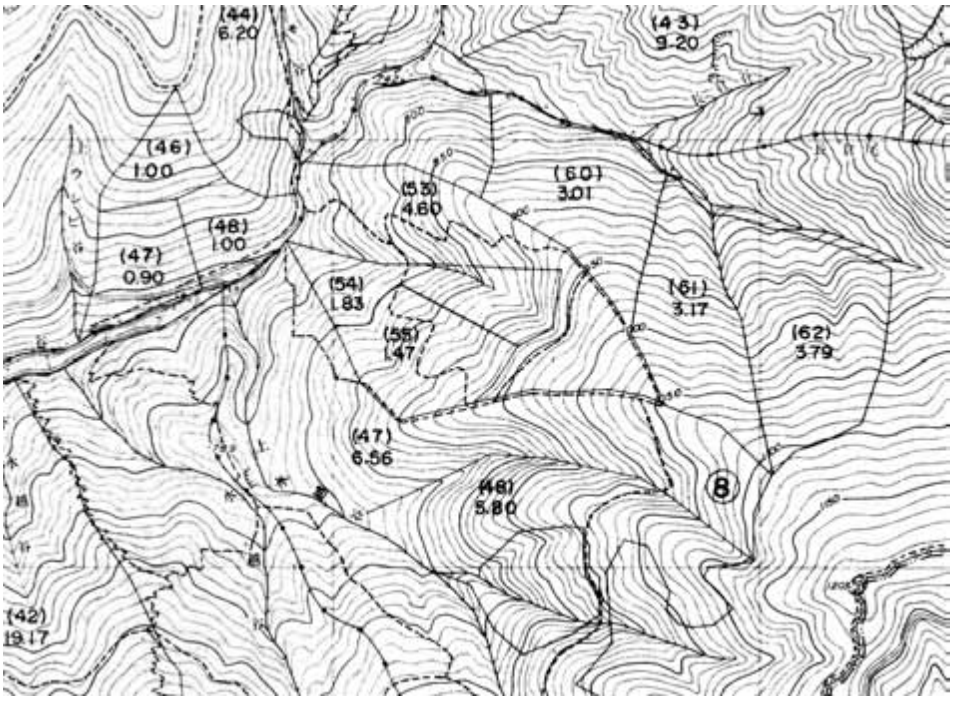


図1 森林基本図

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充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 の精度管理法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。

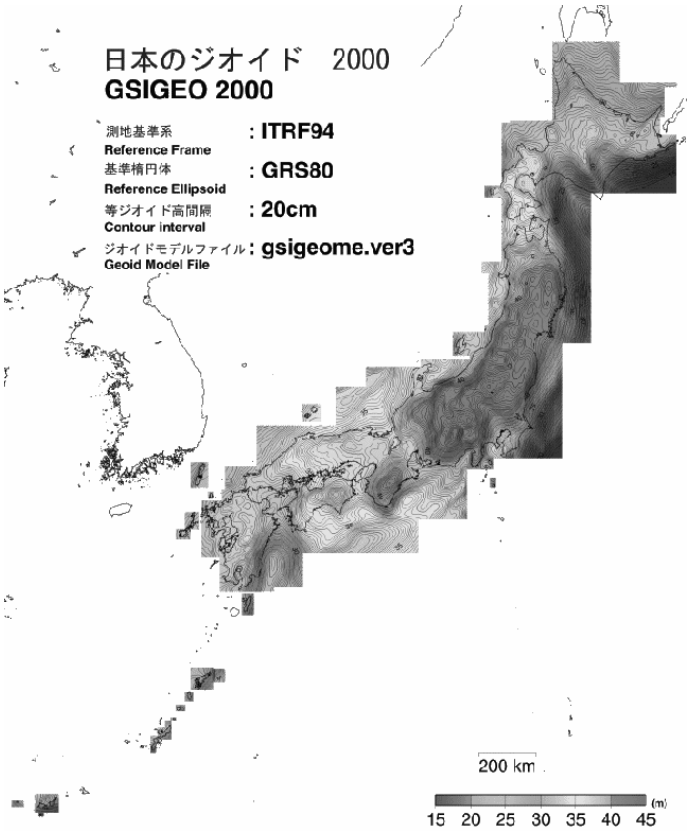


図２ 日本周辺のジオイド（国土地理院 HP より）

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を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なければならない。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。

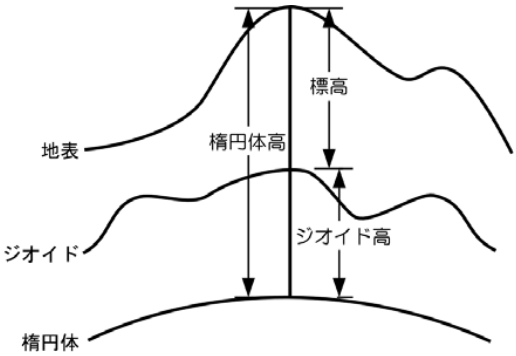


図３ 楕円体高・ジオイド高・標高の関係

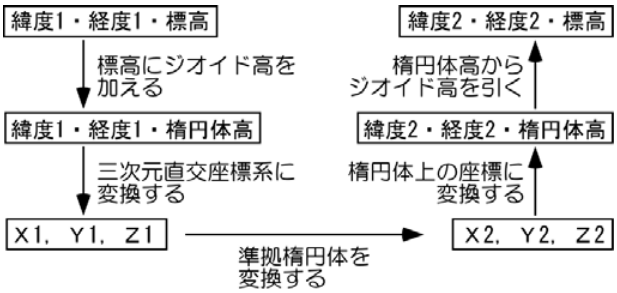


図４ 測地系の変換手順

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，⑴平面直角座標系（日本独自）と，⑵UTM 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）。

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

ただし，S：斜距離，ϕ：高低角，θ：観測方位角，D：西偏値

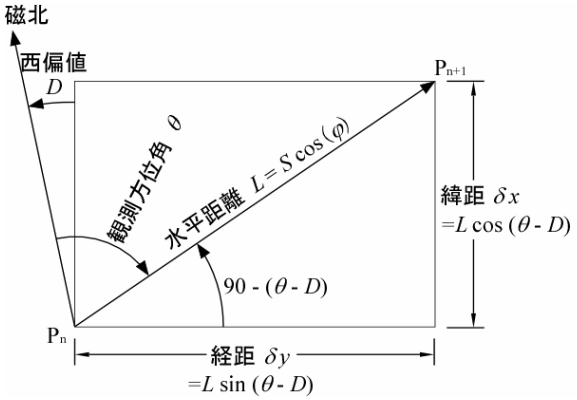


図５ 緯距および経距の算出

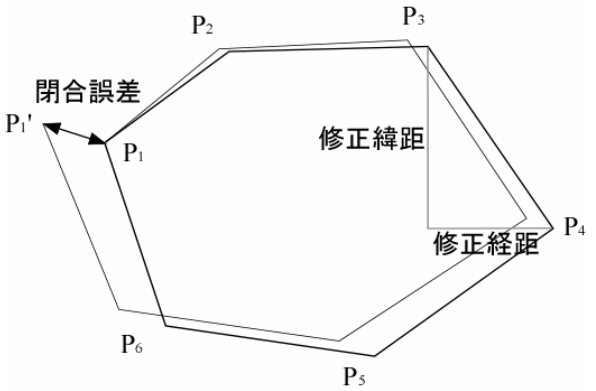


図６ 誤差の評価と修正

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。

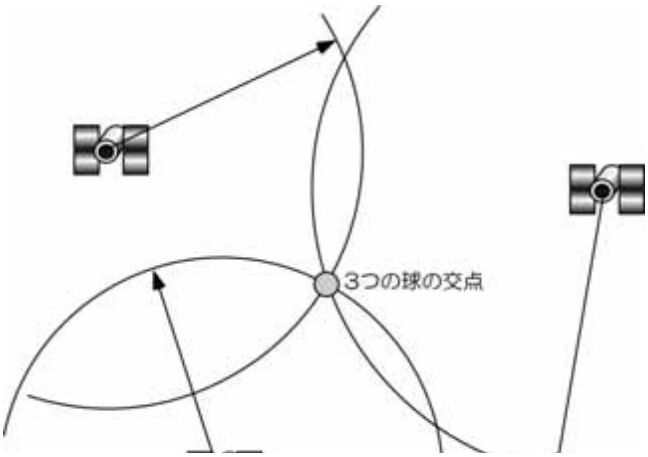


図７ GPS 測位の原理

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１μs 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 iPad 等）に入っているか

測地系・座標系・投影法の基礎知識

§１　理解する前の基本

●位置情報　　“空間上の位置を一意に決める情報” ⇒　GIS データにとって最重要！

●重ね合わせ　　GIS 上で複数のレイヤを正しく重ね合わせるためには、各 GIS データの座標系を正しく設定する必要がある。

場合によっては、収集した GIS データの座標系を変換する必要がある。

●高さの定義　　通常は「標高」が用いられる。

標高＝ジオイド面からの鉛直距離、と定義したが･･･

↳ 地球重力の等ポテンシャル面（重力加速度 980Gal の面）

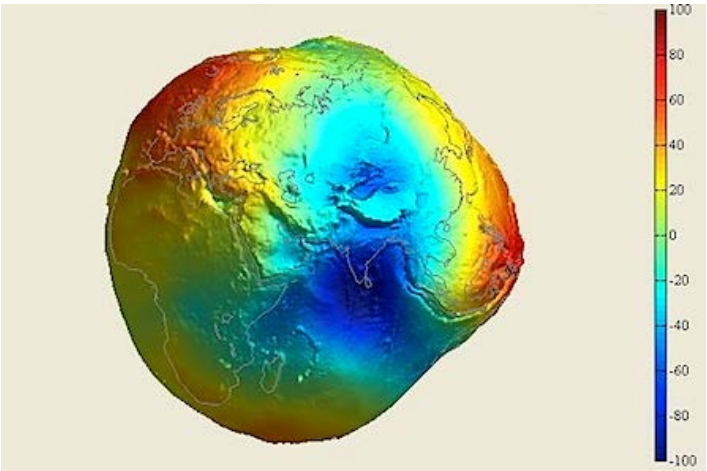
↳ 複雑すぎて、座標計算しにくい

⇩

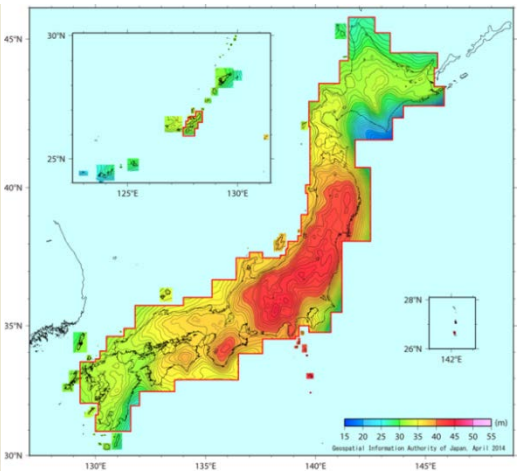
ジオイド面によく似た形をした回転楕円体（地球楕円体）に置き換える

⇩

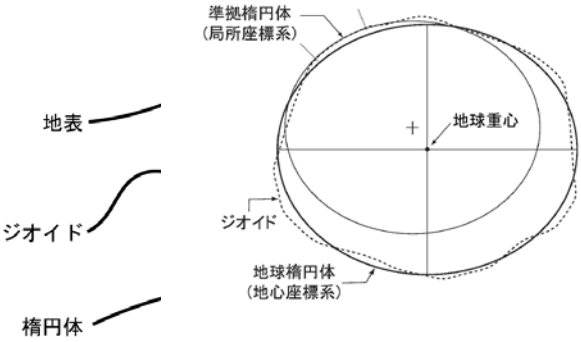
日本付近だけぴったりになるよう重心をズラしてみた（準拠楕円体）



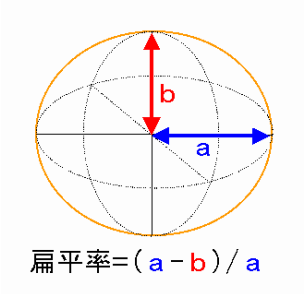
重力の等ポテンシャル面で表した地球のかたち



日本付近のジオイド面



標高の定義



回転楕円体と準拠楕円体

●GRS1980　　＝Geodetic Reference System 1980

現在採用されている測地系（測地基準系 1980）で、

実体は、回転楕円体の形状を決定する長半径、扁平率、座標原点の位置を表すパラメータのこと

・長半径＝赤道半径 6,378,137m

・扁平率 f ＝ a-b / a ≒1/298.2572221

・座標原点＝ITRF94 座標系を使用→東北震災以降、西日本は ITRF2008

International Terrestrial Reference Frame（国際地球基準座標系）1994 の略語。

・ITRF94 座標系＝「３次元直交座標系」⇒ 衛星から測位するから！

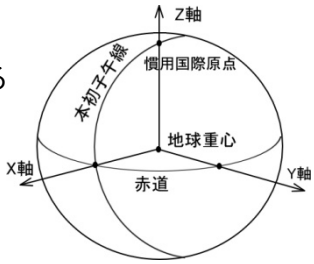
・地球の重心に原点を置く

・X 軸はグリニッジ子午線と赤道との交点方向にとる

・Y 軸を東経 90 度の方向にとる

・Z 軸を北極の方向にとる

・空間上の位置を X、Y、Z の数字の組で表現



ちなみに、WGS84(GPS 運用に使われる測地系)の扁平率≒1/298.2572236

これに対し、ベッセル楕円体（H14 まで使用）の扁平率 ≒ 1/299.1528128

ベッセル楕円体をもとにした測地系が、”日本測地系”＝Tokyo Datum である。

●世界測地系　以下がセットの時に世界測地系と称する（ざっくりとした概念）

□ 準拠楕円体は GRS80 楕円体

□ 測地座標系は ITRF 94 座標系

□ 基準ジオイド面は東京湾平均海面に一致

●日本測地系 2000　＝　Japanese Geodetic Datum 2000（JGD2000）＝世界測地系

世界測地系は、概念としてはただ一つのものであるが、日本測地系 2000 はそれを日本用にカスタマイズしたもの、なので、呼び名は「世界測地系」（ざっくりとした概念を詳細な仕様にするカスタマイズの意味）

・日本の事情や基準に合わせた手法及び精度で構築されている。

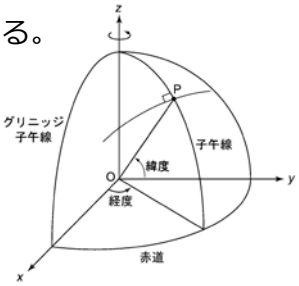
・より精度の高い測地基準系を構築する必要が生じる場合がある

・地殻変動が蓄積したら、測地基準系だけを再構築する。

●位置の定義　ITRF 座標系と経緯度座標系（球面座標系）の関係

ITRF 座標系⇒（変換計算）⇒ 緯度、経度、高さ

・地球上での位置把握は、地理学的経緯度の方が簡単！



§２　座標系の基礎知識

● ２つの座標系

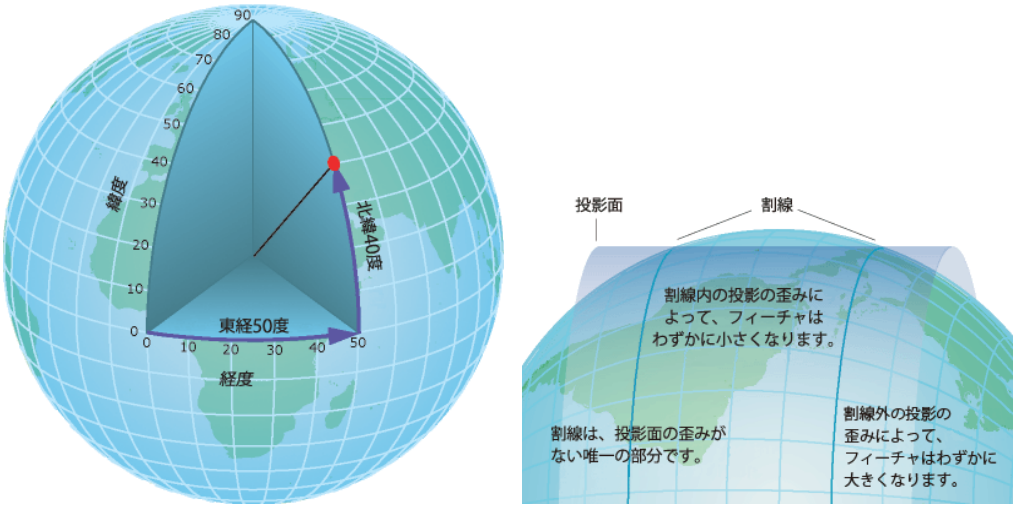
GISで扱う座標系には、地理座標系（GCS）と投影座標系（PCS）がある！（下図参照）

地理座標系 **GCS**	３次元座標系（つまり、球面座標系） Geographic Coordinate System	単位は、度
投影座標系 **PCS**	２次元座標系（つまり、平面座標系） Projected Coordinate System	単位は、メートル

注意すべき点：

・地理座標系（GCS）は地球儀のような球体でのみ、面積・距離・方位が正しい

・投影座標系（PCS）は、どんな投影法でも面積・方位・距離のいずれかが×だが、誤差を少なくする方法はある



地理座標系（左図）から平面座標系（右図）への投影

●GIS 上で、GIS データ（地物レイヤ）を扱う場合の注意

・どんな GIS データにも GCS は定義するべし

・しかし、PCS が定義されていない GIS データはあってもおかしくない

・GCS も PCS もない GIS データは表示できたとしてもダメ

・GCS が定義された GIS データは PCS に変換できる

・そもそも、GCS・PCS ともに測地系がきちんと定義されていないとダメ

・異なる測地系の GIS データを重ね合わせるなら、測地系変換して揃えよ

・重ねるすべての GIS データが同じ測地系・座標系になるようにせよ！

§３　投影座標系の基礎知識

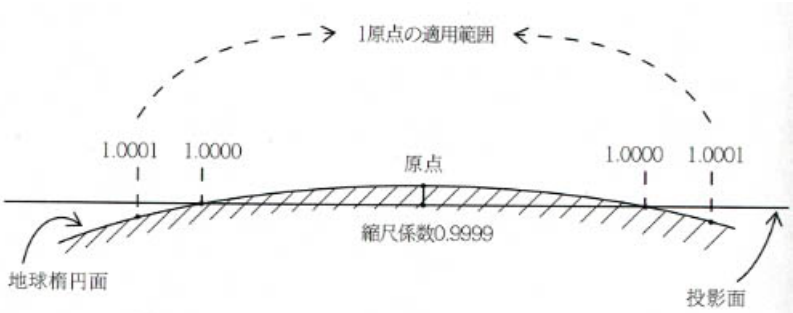
●平面直角座標系

国土調査法施行令

（地図及び簿冊の様式）

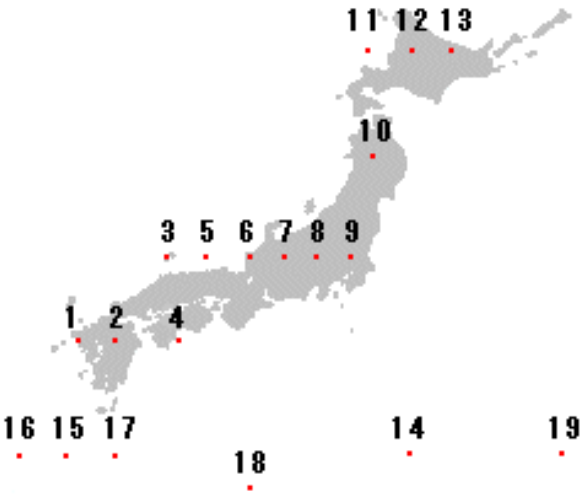
第２条　法第２条第６項の規定による地図及び簿冊の様式は、次に定めるところによらなければならない。

一　法第２条第　２項から第５項までに規定する地図及び簿冊に示す地点の位置は、地理学的経緯度、別表第１に掲げる平面直角座標系（以下「座標系」という。）による平面直角座標値（以下「座標値」という。）若しくは平均海面からの高さで、又はこれらを併用して、表示するものとする。



平面直角座標系の投影面と地球楕円面の関係

ガウス・クリューゲル図法（横メルカトル）



平面直角座標系の原点の位置

平面直角座標系における測地座標系の定義
平面直角座標系（平成十四年国土交通省告示第九号）の備考欄

座標系のＸ軸は、座標系原点において子午線に一致する軸とし、真北に向う値を正とし、座標系のＹ軸は、座標系原点において座標系のＸ軸に直交する軸とし、真東に向う値を正とする。
座標系のX軸における縮尺係数に0.9999を与え、東西ともに原点から130km以内を適用範囲としている（1.0000は90km）。座標系原点の座標値は、X=0.000m、Y=0.000mとする。

７系の原点は、岐阜県下呂市の川上岳付近

（７系でカバーできる範囲）

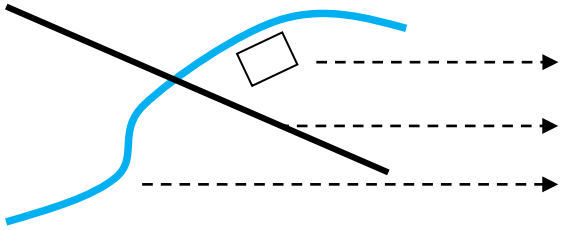
富山県、石川県、岐阜県、愛知県

§4　ArcGIS における座標系まわりの概念

●ArcGIS では、測地系、座標系、投影法をひとまとめにして「座標系」と表記している

①　各 GIS データの座標系を確認する

⇒　ArcToolBox―データ管理ツール―投影変換と座標変換―投影法の定義



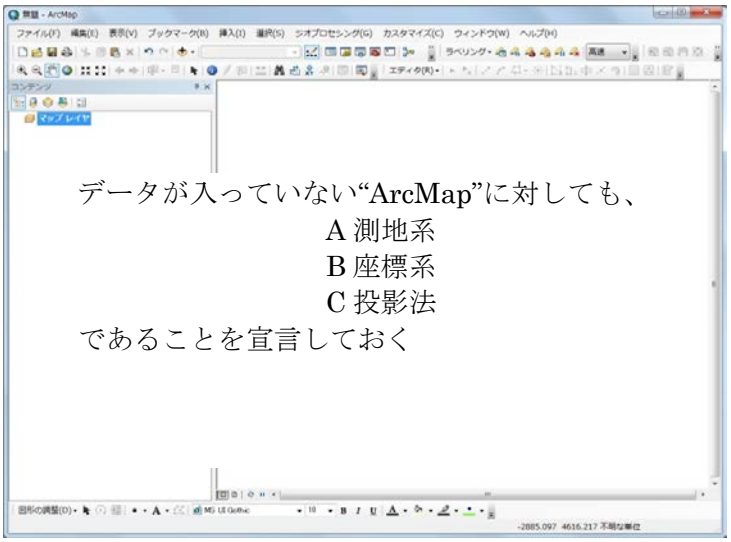
レイヤ	測地系	座標系	投影法
建物	A	B	C
道路	A	B	C
川	A	B	C

※測地系が異なる場合は、必ず事前に測地系を変換しておくこと

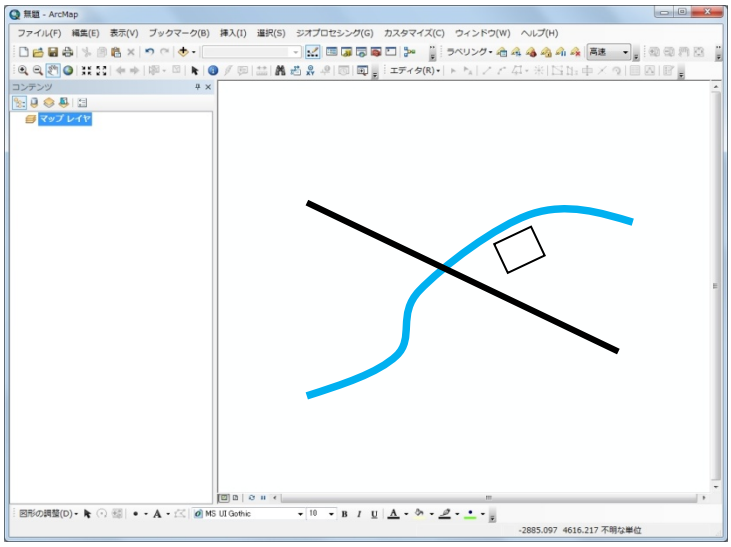
※座標系・投影法が異なる場合は、できるだけ座標変換しておくこと

※データの座標系が不明な場合は、座標系が確実なものと重ね合わせて判断すること

②　ArcMap の座標系を設定する

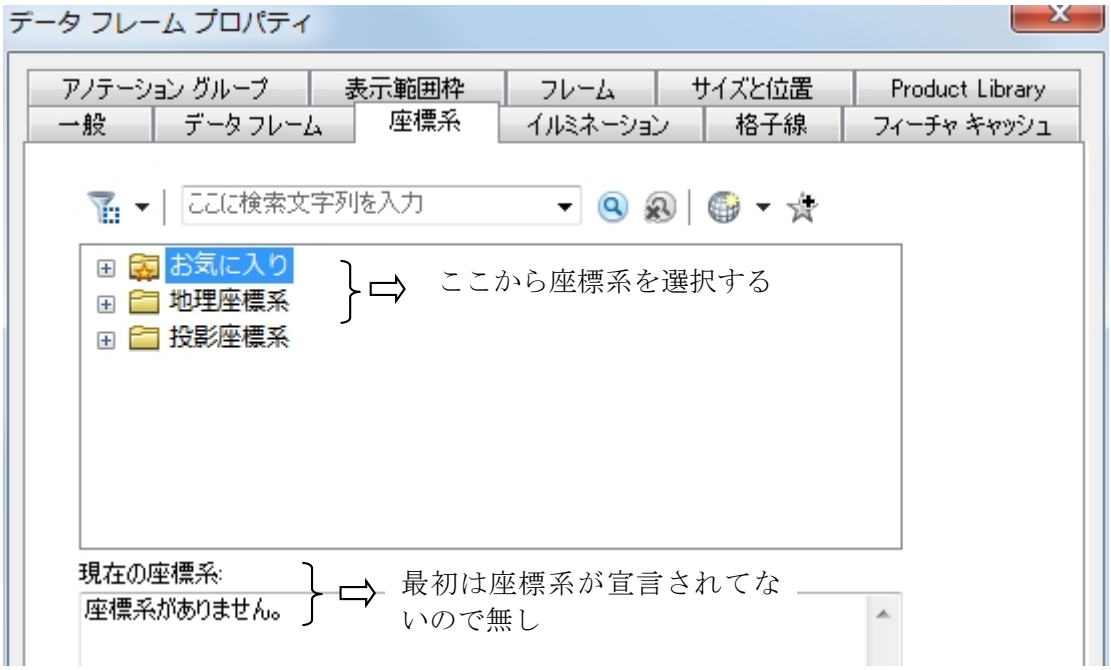


③　GIS データを ArcMap へ追加する



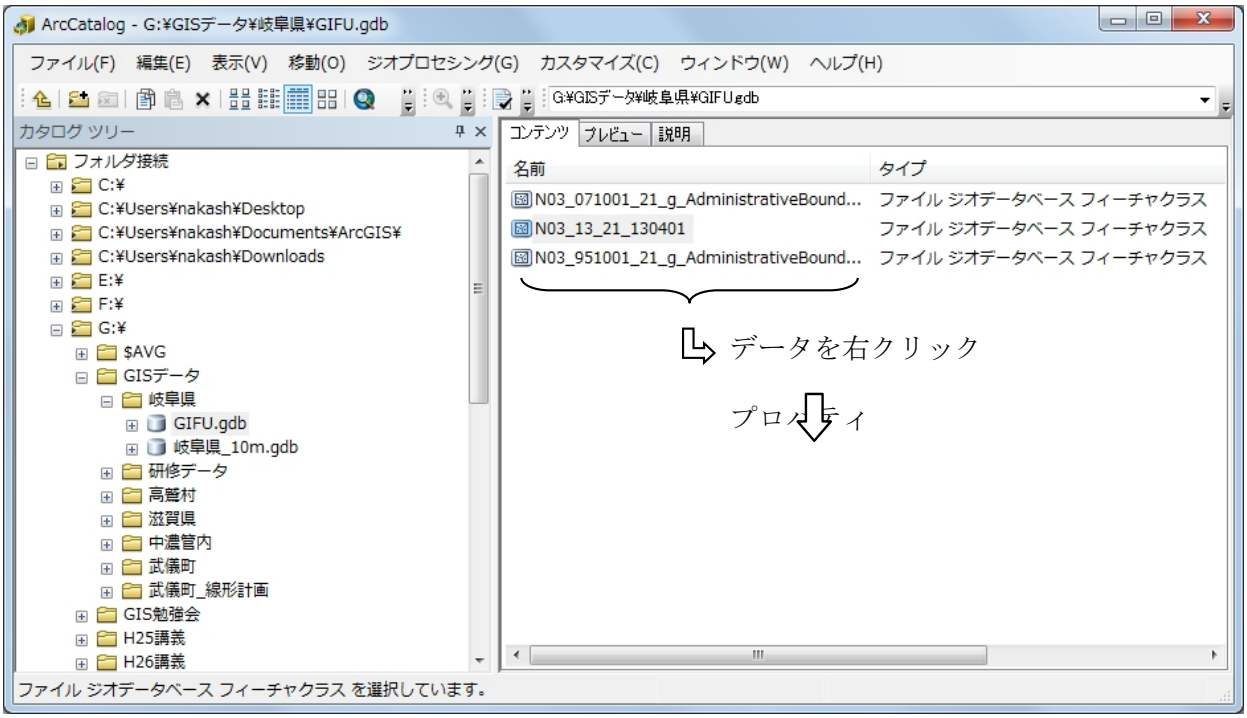
§５　ArcGIS の座標系設定

●ArcMap のデータフレーム

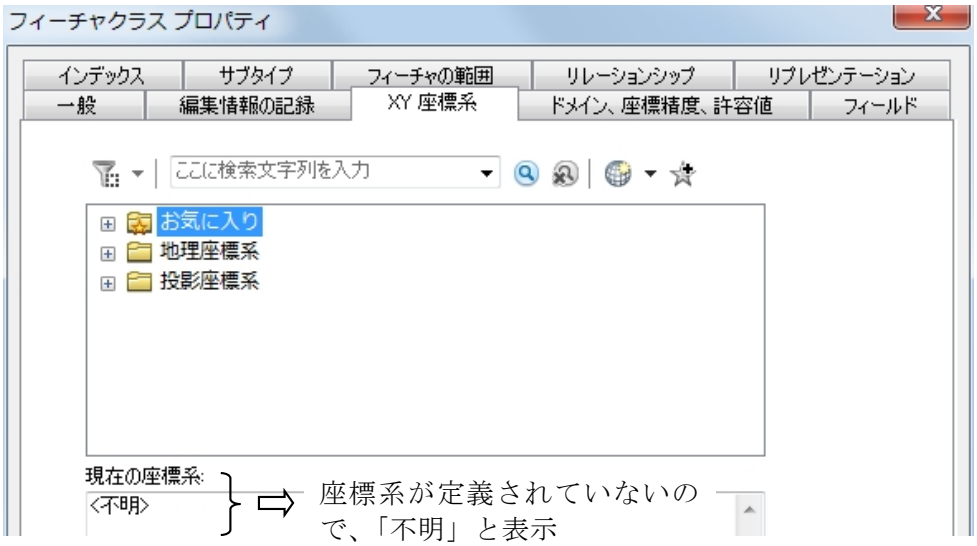


GCS　JGD2011 PCS　平面直角座標系７系 以上を翻訳すると、 ▽ 測地系は、世界測地系で日本測地成果 2011 を使用 座標系は、投影座標系で平面直角座標系の７系 投影法は横メルカトル	
GCS　JGD2011 以上を翻訳すると、 ▽ 測地系は、世界測地系で日本測地成果 2011 を使用 座標系は、地理座標系の緯度経度で表される、つまり、投影されていないので距離測定などは要注意！！	

●ArcCatalog で表示される各データ

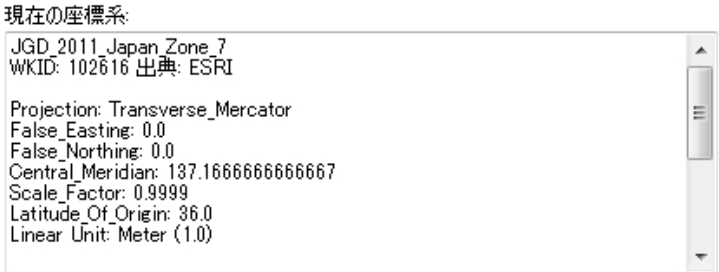


・データに座標系が定義されていない場合



・データに座標系が定義されている場合

ArcMap のデータフレームと同様に表示される



§6　ArcToolBox の投影変換と座標変換ツール

ArcToolBox―データ管理ツール―投影変換と座標変換―各ツールの役割は以下の図参照

ラスタデータ・ベクトルデータ共通

・GIS データに座標系が定義されているかどうか、をみる

・座標系が定義されていなければ、新たに定義する

ベクトルデータ専用

・測地系・座標系を変換する

ラスタデータ専用

・測地系・座標系を変換する

§7　作図と座標系の関係　予備演習

問題１　ArcMap を開いて、座標（０,０）に点を作図せよ。

問題２　北緯 35 度 0 分 0 秒、東経 136 度 0 分 0 秒に点を作図せよ。

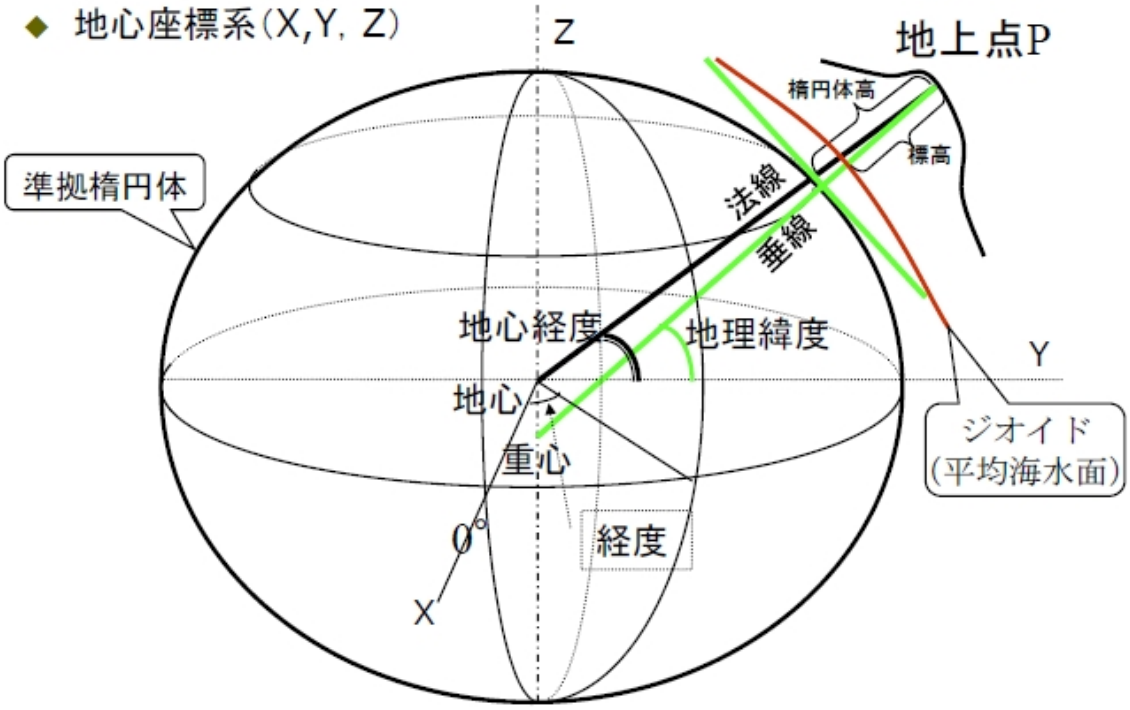
問題３　平面直角座標系 7 系の原点（０,０）を作図せよ。

問題４　平面直角座標系 7 系の原点座標を地理座標系で言い換えると（　　）である。

地理座標による位置参照

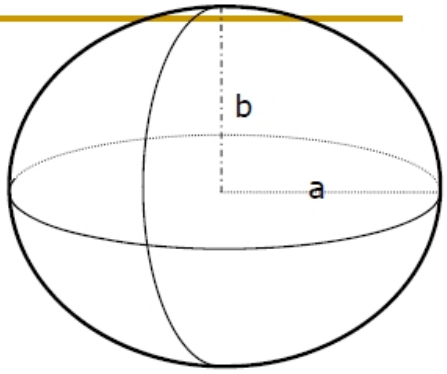
◆経度・緯度・標高の意味

- 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=6378.137km
  - f=298.257

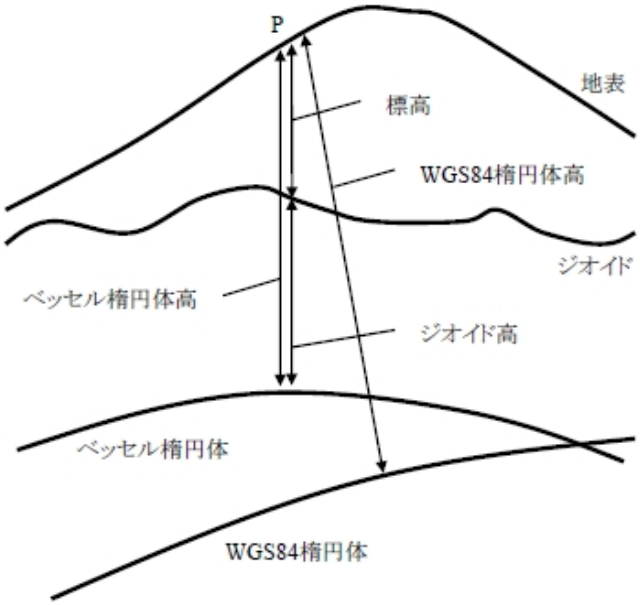


日本測地系

いろいろな地球楕円体

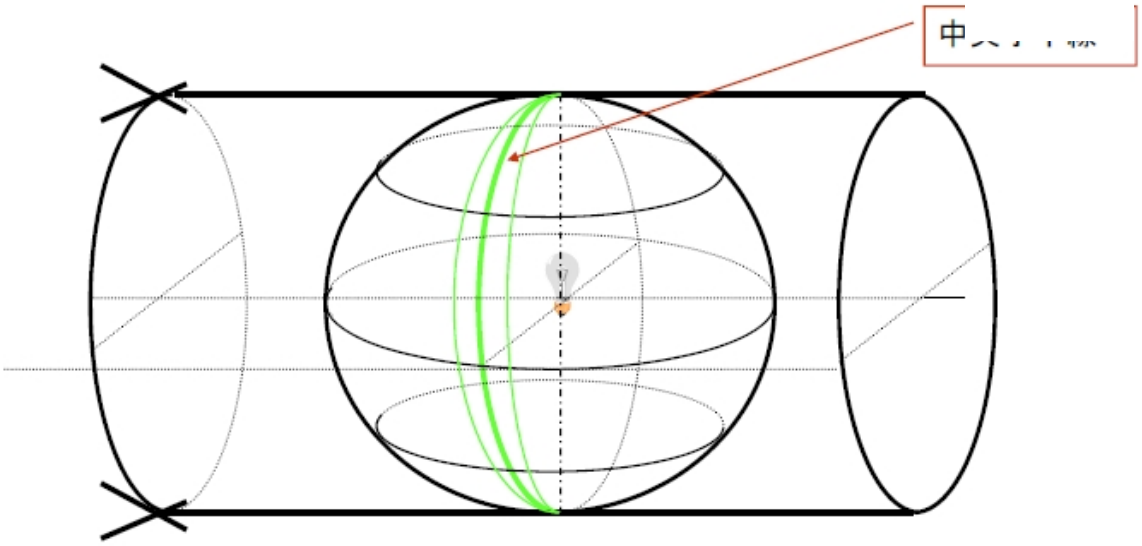
楕円体	年代	赤道半径（m）	扁平率の逆数（1/f）
ベッセル楕円体	1841	6,377,397.155	299.152813
クラーク楕円体	1880	6,378,249.145	293.4663
ヘルマート楕円体	1907	6,378,200	298.3
ヘイフォード楕円体	1909	6,378,388	297.0
クラソフスキー楕円体	1943	6,378,245	298.3
測地基準系1980（GRS80楕円体）	1980	6,378,137	298.257222101

標高・楕円体高・ジオイド高の関係



UTM投影（横円筒図法）

Universal Transverse Mecartor 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。