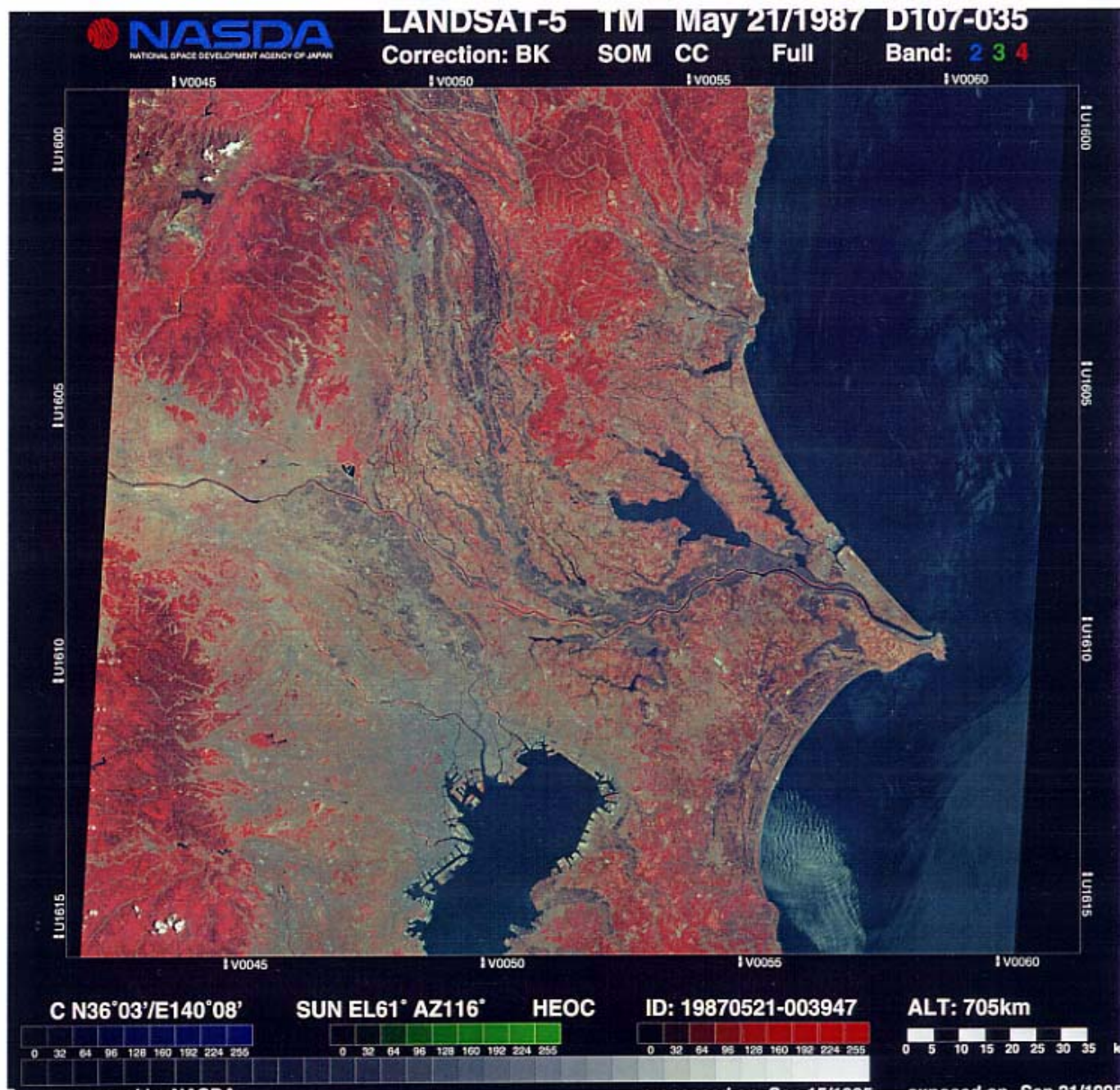


画像処理の基礎 —幾何補正—



・衛星画像を地図と重ね合わせる(緯度・経度に対応付ける)と、様々な情報と同時に解析が可能となる(→GIS)

・では、一般に入手できる画像はそのままでは地図と重ね合わせられないのか？

・左のTM画像で北はどちら？

1:25,000地形図と重ね合わせた画像



衛星画像を購入するときは以下の3つの選択をする

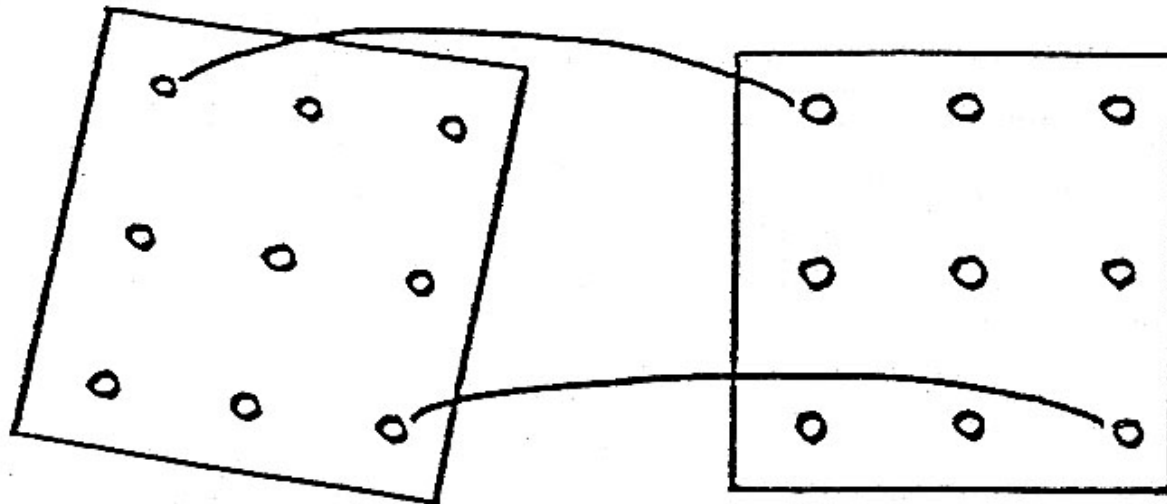
- ・未補正
- ・バルク補正
- ・精密補正

バルク補正: 衛星画像の幾何学的歪みをセンサーのプラットフォームである衛星の位置、姿勢、地球の幾何学的なモデル、およびセンサーの幾何学的特性データを用いて系統的に補正する方法

精密補正: GCP (Ground Control Point: 地上基準点) を用いて、その位置情報 (緯度・経度) と画素との対応付けによって地図と同じ座標系に変換する方法

リモートセンシング画像

対応点 (地上基準点、GCP) の座標を求める



地図あるいは画像

GCPは海岸線、交差点、ダム、橋、等の画像、地図双方で容易に認識可能な対象を選ぶ

多項式モデルによる幾何補正

- ・幾何補正には画像から地図、画像から画像への補正がある
- ・画像の座標はライン・ピクセル、地図の座標は緯度・経度（直交座標では原点からの距離）

手順

- 1) 地上基準点 (GCP) の選定
- 2) GCP の座標決定
- 3) 幾何補正式の選定
- 4) 最小自乗法による多項式の係数の決定
- 5) 多項式による画像の再配列

- 1) 地上基準点 (GCP) の選定
- 2) GCP の座標決定

- ・画像及び地図 (画像) の両方で明確に識別できる点を選ぶ
- ・なるべく人工的なものが良い
- ・補正画像を得る範囲内でできる限り均一に



GCP選択中

・右の画像では京葉工業地帯の栈橋を選択している

・画像から地図への変換なので、5, 6列目の画像座標は画像の左上を(0, 0)とする座標

・同じ地点の緯度、経度が7, 8列目

・10列目は変換誤差

*** UNCORRECTED GCP ZOOM ***

UNCORRECTED GCP (OVERVIEW ROAM geolink)

1) Start | 2) Polynomial Setup | 3) GCP Setup | 4) GCP Edit | 5) Rectify

ID	Status	Action	X (m)	Y (m)	Lat	Lon	U (m)	V (m)
13	On	Edit	3696.81	724.07	36:36:10.57N	140:22:36.28E	0.00	0.27
14	On	Edit	527.43	2692.32	36:14:49.9N	139:16:32.09E	0.00	0.48
15	On	Edit	1412.55	5930.31	35:23:19.3N	139:22:40.19E	0.00	0.45
16	On	Edit	2922.36	5899.47	35:19:46.27N	139:50:46.06E	0.00	0.39
17	On	Edit	1991.72	2903.17	36:7:45.73N	139:43:17.01E	0.00	0.51
18	On	Edit	4716.50	4772.86	35:31:55.38N	140:27:47.88E	0.00	0.68
19	On	Edit	3881.81	3909.22	35:47:20.95N	140:15:12.04E	0.00	0.53
20	On	Edit	3312.46	5267.69	35:28:17.9N	140:0:4.98E	0.00	0.05
21	On	Edit	3371.72	4598.78	35:38:16.79N	140:3:24.78E	0.00	0.50
22	On	Edit	1299.96	4482.37	35:45:37.38N	139:25:14.37E	0.00	0.40
23	On	Edit	2567.90	4329.61	35:44:33.54N	139:49:21.62E	0.00	0.39
24	On	Edit	3893.82	1851.11	36:18:32.04N	140:22:26.04E	0.00	0.27
25	On	Edit	4550.68	3326.53	35:54:19.18N	140:29:38.56E	0.00	0.37
26	On	Edit	1807.75	1547.17	36:28:50.39N	139:44:18.23E	0.00	0.56

Display

- ☐ Grid
- ☐ Errors
- ☒ x 10
- ☒ Auto zoom
- ☐ RMS order

Save Close Cancel

3) 幾何補正式の選定

画像 (x,y) → 地図座標 (X,Y) の変換には 1, 2, 3 次の多項式を用いる
一般式

$$x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} X_{i-1} Y_{j-1} \quad y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} X_{i-1} Y_{j-1}$$

1 次式の例 (アフィン変換)

$$\begin{aligned} x &= a_1 X + a_2 Y + a_3 \\ y &= b_1 X + b_2 Y + b_3 \end{aligned}$$



・アフィン変換 移動、拡大、縮小、反転、せん断、回転

・アフィン変換では直線は直線へ変換、直線上の点の比は保存される、線分の平行性は保存される

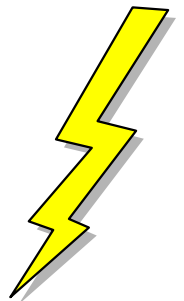
例えば、

$$\text{移動} \quad [x \ y \ 1] \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{vmatrix} = [X \ Y \ 1]$$

$$\text{回転} \quad [x \ y \ 1] \begin{vmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = [X \ Y \ 1]$$

その他の変換マトリクスを組み合わせ、アフィン変換マトリクスを決定する

- バルク補正画像に対しては1次式でも十分な補正ができる
- 未補正画像では一般に3次程度の多項式が必要
- (なるべく低次の多項式がよい)



4) 最小自乗法による多項式の係数の決定 (通常はアプリケーションに任せればよい)

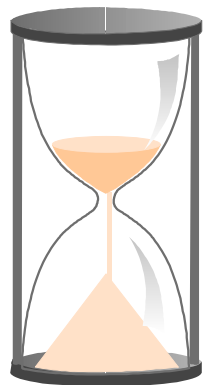
ランドサット(x,y)→地図座標(X,Y)の変換式を以下のように決める (アフィン変換)

$$\begin{aligned} X &= ax + cy + e \\ Y &= bx + dy + f \end{aligned}$$

複数のGCPの組を選択する

$$\begin{array}{ccc} (x_1, y_1) & : & (X_1, Y_1) \\ (x_2, y_2) & : & (X_2, Y_2) \\ | & & | \\ (x_n, y_n) & : & (X_n, Y_n) \end{array}$$

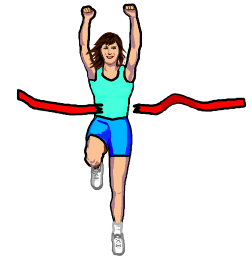
この組み合わせに最もフィットするa～fの値を求める



残差の二乗和をとる

$$\sum_{i=1}^n \{X_i - (ax_i + cy_i + e)\}^2$$

$$\sum_{i=1}^n \{Y_i - (bx_i + dy_i + f)\}^2$$



・係数a～fを変数として、それぞれ偏微分して0とおくと、係数を求める連立方程式ができあがる

・すなわち、”極値を求める問題”で、残差を最小化するa～fの値を求める問題となる

では、GCPの個数はいくつ必要か？

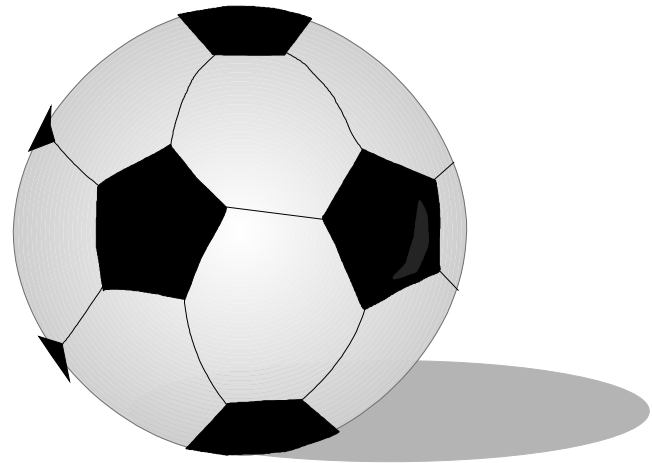
多項式モデルの係数の数は次数を n とすると $(n+1)^2$

1次式では4 (アフィン変換では3)

2次式では9

3次式では16

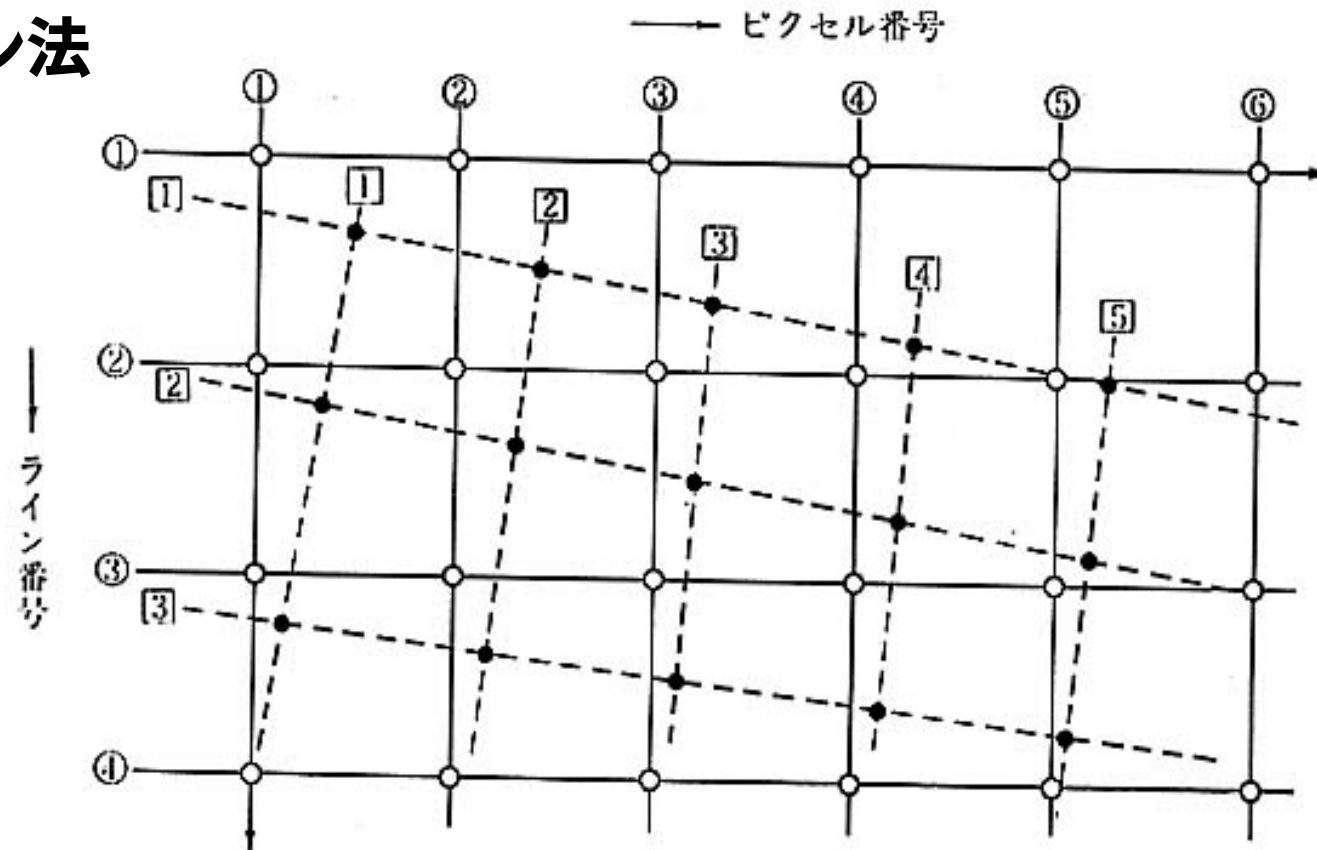
最小二乗法により係数を決定する場合には最低上記の2～3倍のGCPが必要である



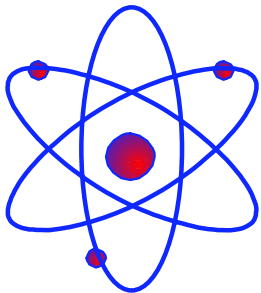
5) 多項式による画像の最配列 (リサンプリング)

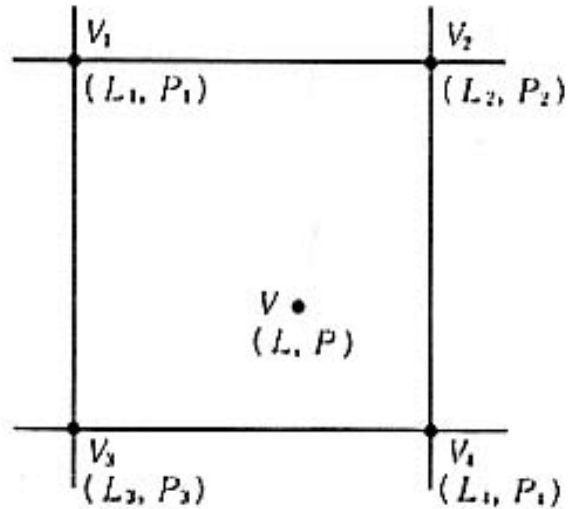
・ピクセル番号とライン番号という整数座標系で表される画素の並びが原画像と補正画像で一致しないので、最配列する必要がある

- i) ニアレストネイバー法
- ii) バイリニア法
- iii) キュービックコンボリューション法



①, ②……原画像のピクセル, ライン番号
[1], [2]……補正画像のピクセル, ライン番号





変換後の座標..... (L, P)
 変換後の座標での値..... V
 近傍4点の座標..... (L_n, P_n)
 近傍4点の座標での値..... V_n

〈ニアレストネイバー〉

$$V = V_i (D_i = \min)$$

D_i : (L, P) と (L_n, P_n) の距離

〈バイリニア〉

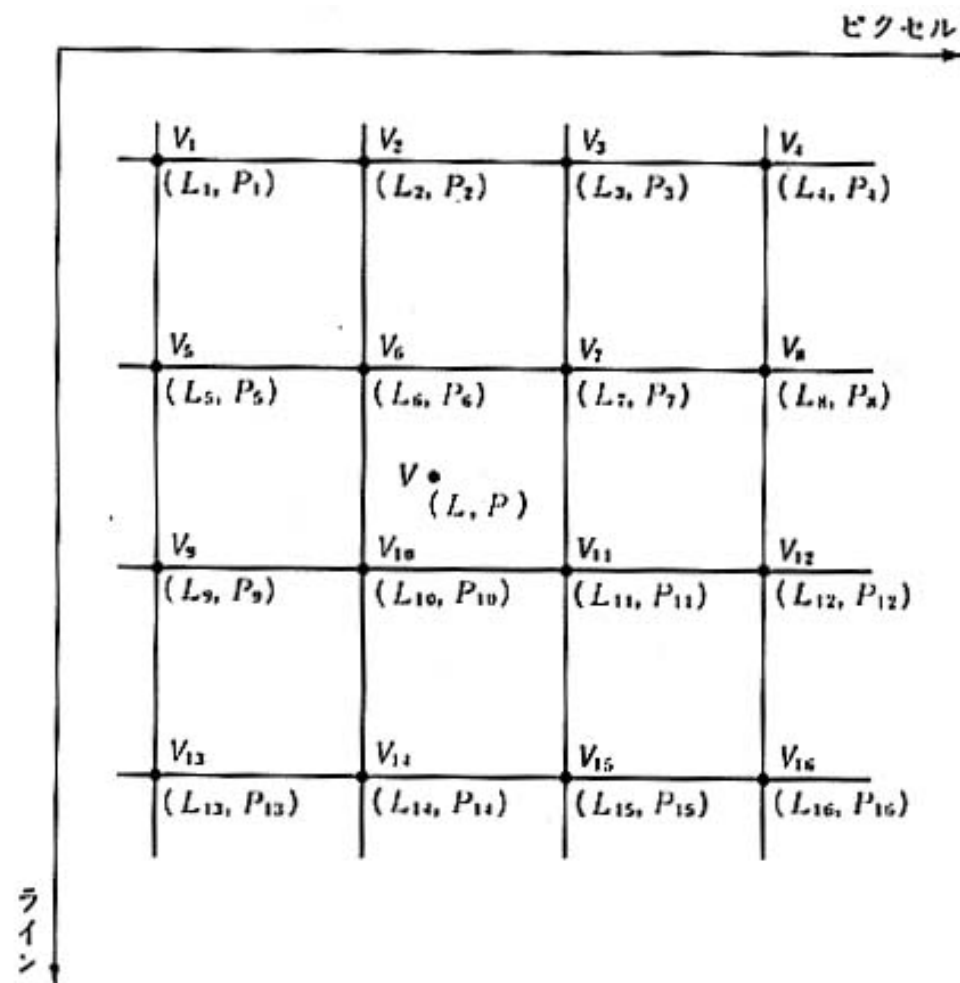
$$\begin{aligned} V = & V_1 \times |(L_1 - L) \times (P_1 - P)| \\ & + V_2 \times |(L_2 - L) \times (P_2 - P)| \\ & + V_3 \times |(L_3 - L) \times (P_3 - P)| \\ & + V_4 \times |(L_4 - L) \times (P_4 - P)| \end{aligned}$$

ニアレストネイバー法

- ・V点には一番近いV4点の値が入る
- ・観測反射輝度に対応するDNの値を壊さない
- ・DNを用いて分類を行う場合は不可

バイリニア法

- ・V点には近傍4点の値が距離に応じて重み付けされた値が入る
- ・元のDNを壊す
- ・地形のように、ほぼ連続的に変化する物理量の場合はこの方法で良い



キュービックコンボリューション法

- ・近傍16点の値に関数を当てはめてV点の値を内挿する
- ・鮮明な画像となるため、黙視判読用の画像作成に適する
- ・DNを壊す

リサンプリング方法の特徴を理解して、適切な方法を選択すべし

$$V = \sum_{n=1}^{16} \left\{ \frac{\sin \pi (L_n - L)}{\pi (L_n - L)} \times \frac{\sin \pi (P_n - P)}{\pi (P_n - P)} \times V_n \right\}$$

ただし、

$$\sum_{n=1}^{16} \left\{ \frac{\sin \pi (L_n - L)}{\pi (L_n - L)} \times \frac{\sin \pi (P_n - P)}{\pi (P_n - P)} \right\} = 1$$

(注) 上記の関数の代わりに下の3次関数もよく用いられる、

$$f(x) = \begin{cases} 1 - 2|x|^2 + |x|^3 & (0 \leq |x| < 1) \\ 4 - 8|x| + 5|x|^2 - |x|^3 & (1 \leq |x| < 2) \\ 0 & (|x| \geq 2) \end{cases}$$

$$x = L_n - L \text{ or } P_n - P (n = 1 \sim 16)$$

図法

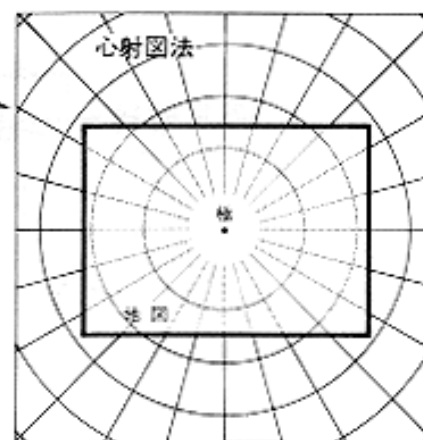
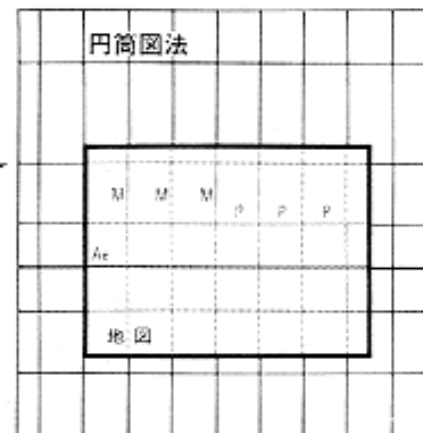
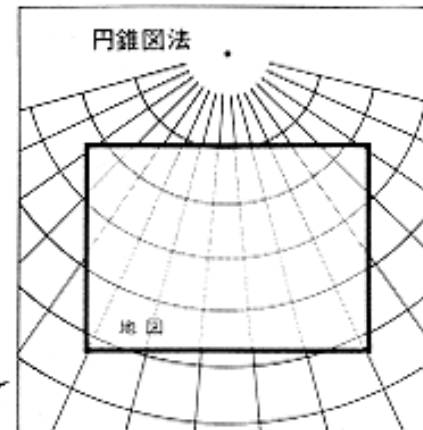
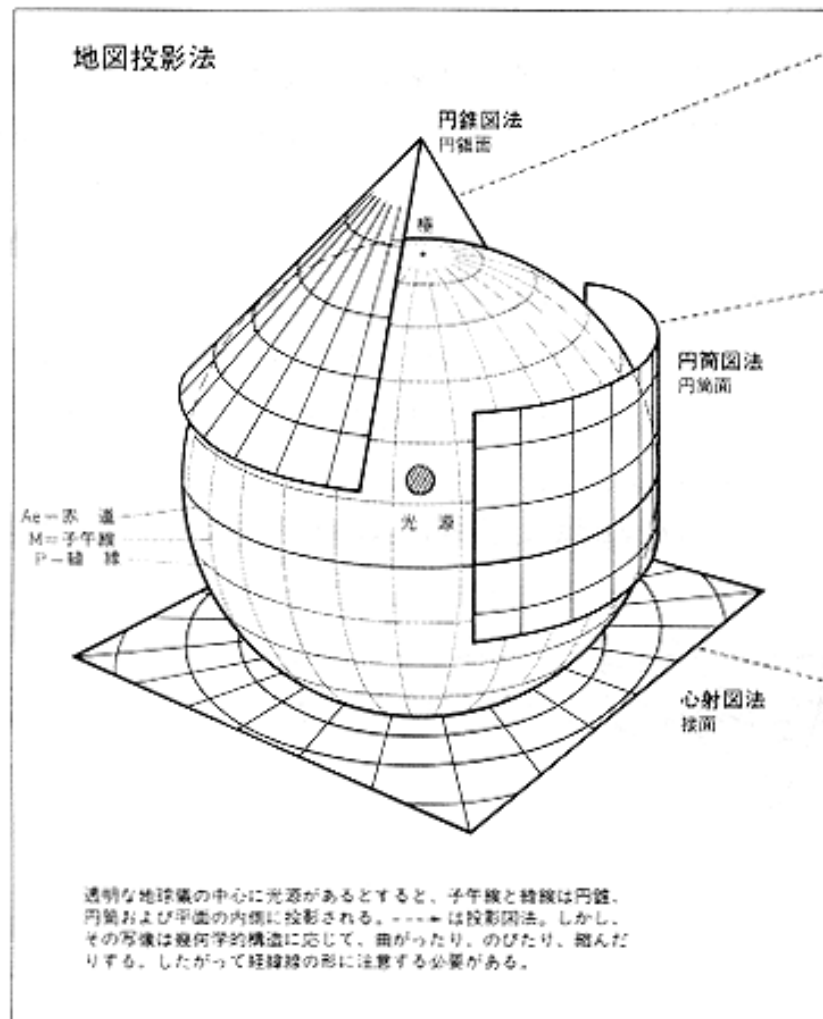
地図と重ね合わせるためには、使おうとしている地図と同じ図法に変換する必要がある

国土地理院発行の地形図はどの図法を使用しているか

地図の種類	図法
1/2,500国土基本図	平面直角座標系
1/5,000国土基本図	平面直角座標系
1/10,000地形図	UTM
1/25,000地形図	UTM
1/50,000地形図	UTM
1/200,000地勢図	UTM、北海道は多面体図法
1/500,000地方図	正角割円錐図法
1/1,000,000国際図	正角割円錐図法
1/3,000,000日本図	斜軸正角割円錐図法

いろいろな図法

【主な図法について、図例でその特徴を説明をします】



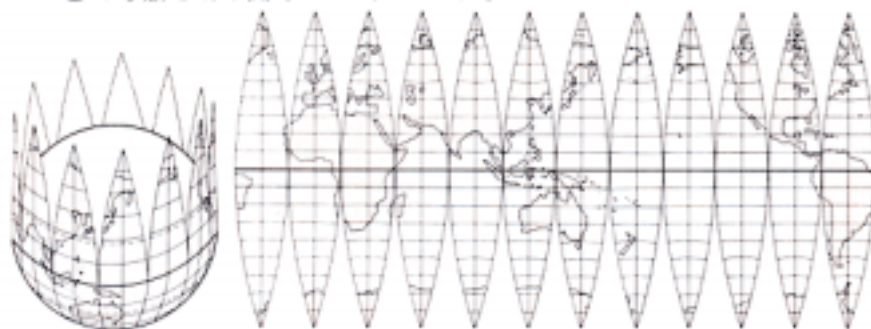
円錐図法

円筒図法

心射図法

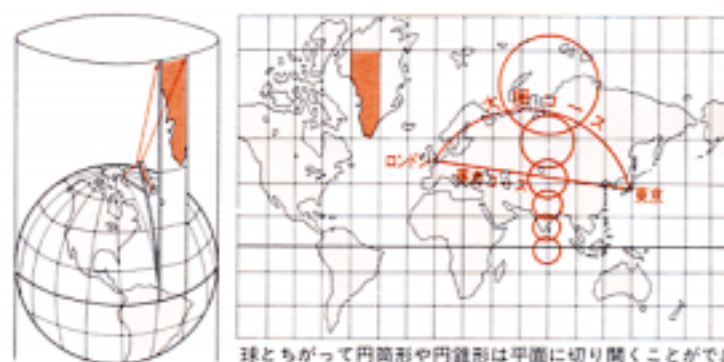
地図投影法

①地球儀を切り開く (多円錐図法)



地球儀を切り開いてみよう。まるい地球を平らな地図にしようとするとき切れ目ができてしまう。そのため、切れ目のない地図にしたときには、面積・形・距離・方位を同時に正しく表現することはできない。そこで、目的に応じて面積や距離などをなるべく正しく表せる地図が、いろいろな方法でくふうされている。

②円筒を使って平面にする(円筒図法) ⑧メルカトル図法



球とちがって円筒形や円錐形は平面に切り開くことができる。円筒を使って地球を切り開いたものにメルカトル図法がある。円筒図法は地球に1本の緯線で接するか、または2本の緯線で交わる円筒面に投影した図法。これらの緯線(標準緯線)を離れるにつれてひずみが大きくなる。

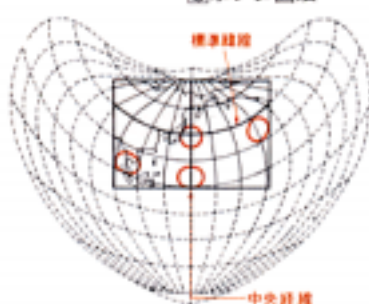
③円錐を使って平面にする(円錐図法)



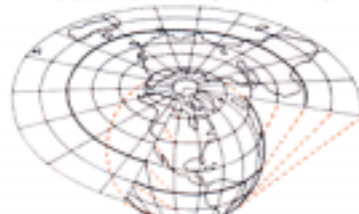
⑨正距円錐図法 (トレミー図法)



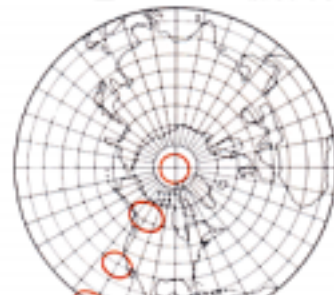
⑩ボンヌ図法



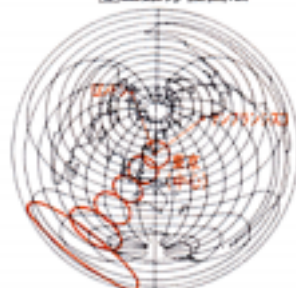
④平板を使って平面にする [方位図法] (平面図法)



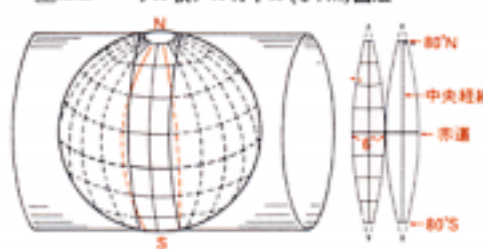
⑪ランベルト正積方位図法



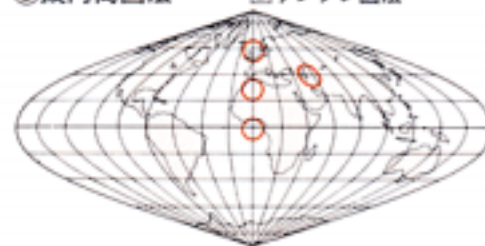
⑫正距方位図法



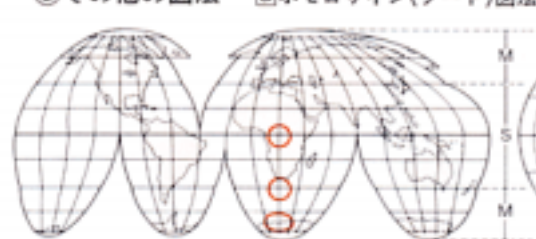
⑬ユニバーサル横メルカトル(UTM)図法



⑤擬円筒図法

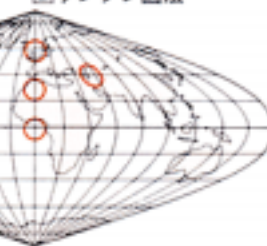


⑥その他の図法



* M: モルワイデ図法 S: サンソン図法

⑭サンソン図法



⑯ミラー図法



⑮モルワイデ図法



⑰グィンケル図法



円錐図法: 地球と1本の緯線で接するか、または2本の緯線で交わる円錐面に投影した図法。
方位図法: 図の中心から各地点への方位が正しく示される。平面図法とも呼ばれる。

UTM(Universal Transverse Mercator's)図法とは

- ・国土地理院の中縮尺地形図で採用(昭和35年以降)

大縮尺・小縮尺

- ・赤道と経線の交点を原点とした直行座標系

経度差 6° を単位として、全世界を60のゾーンに分けて表現

東京付近はUTM54帯



図 9.4.17 UTM 座標系⁷⁾

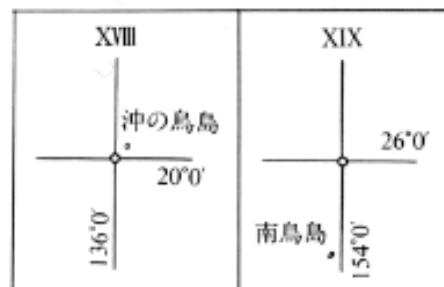
1. 投影はユニバーサル横メルカトル図法、座標帯は第54帯、中央子午線は東経 141°
2. 図郭に付した短線は経緯度差1分ごとの目盛
3. 高さの基準は東京湾の平均海面
4. 等高線の間隔は20メートル
5. 磁針方位は西偏約 $6^{\circ}30'$ (昭和58年)
6. 図式は昭和40年式(昭和44年加除訂正)1:50,000地形図図式

1:50000佐倉図幅からコピー

平面直角座標系とは

・UTMとほぼ同じだが、原点を日本国内の19カ所に設定した座標系

・国土基本図を始め、公共測量図のほとんどはこの座標系を基準としている



実線が経緯線
破線が直角座標

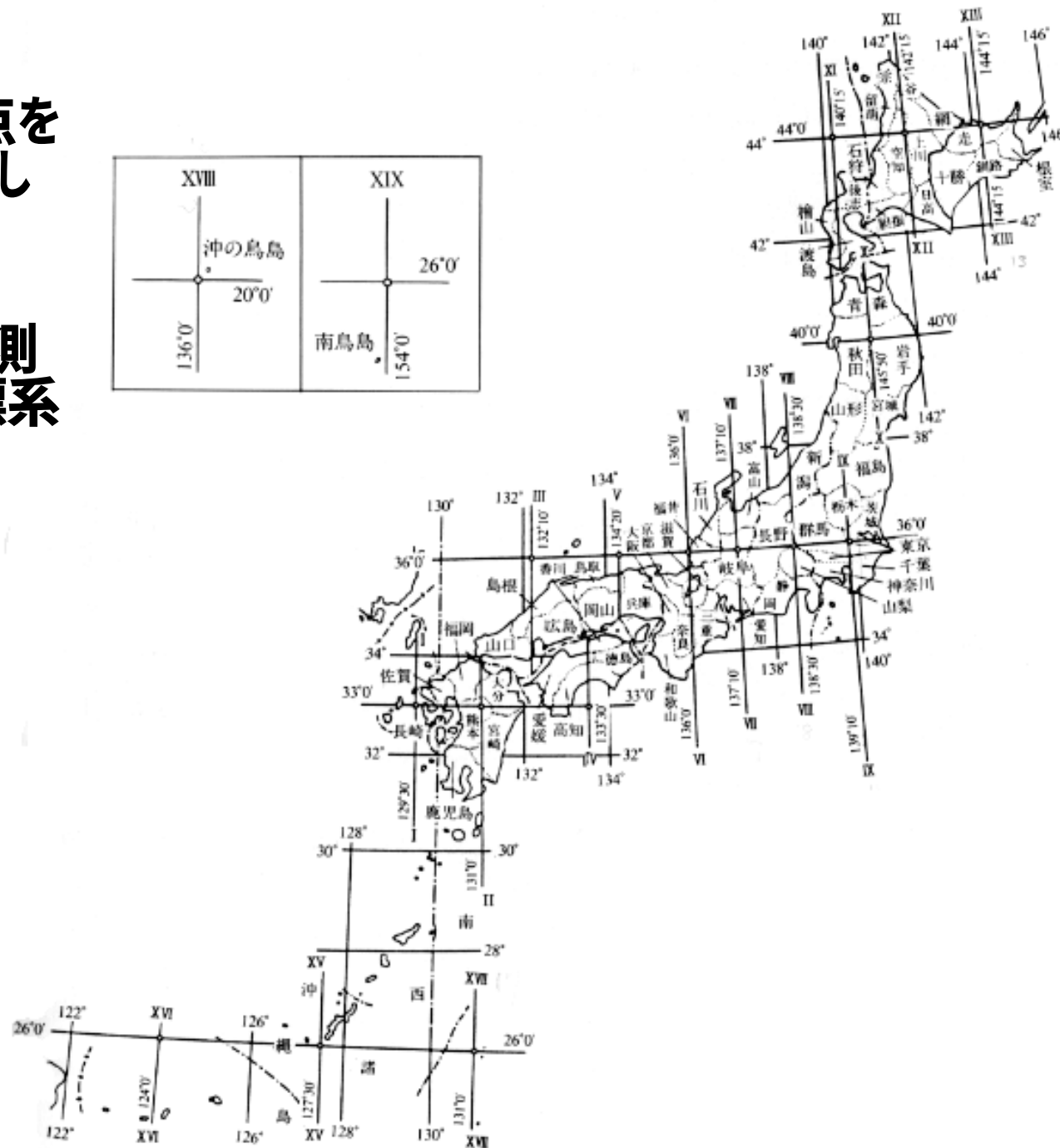
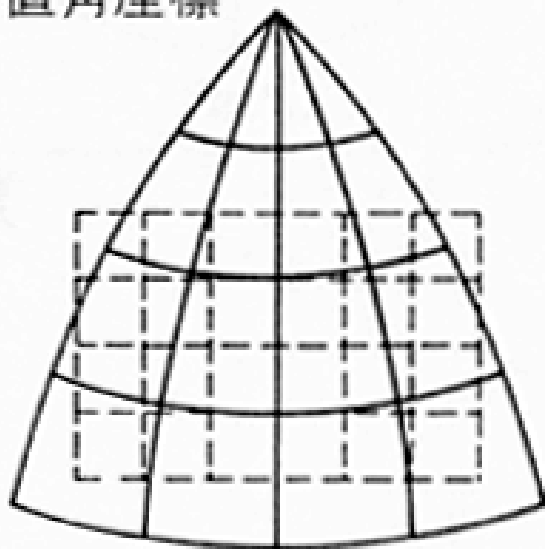
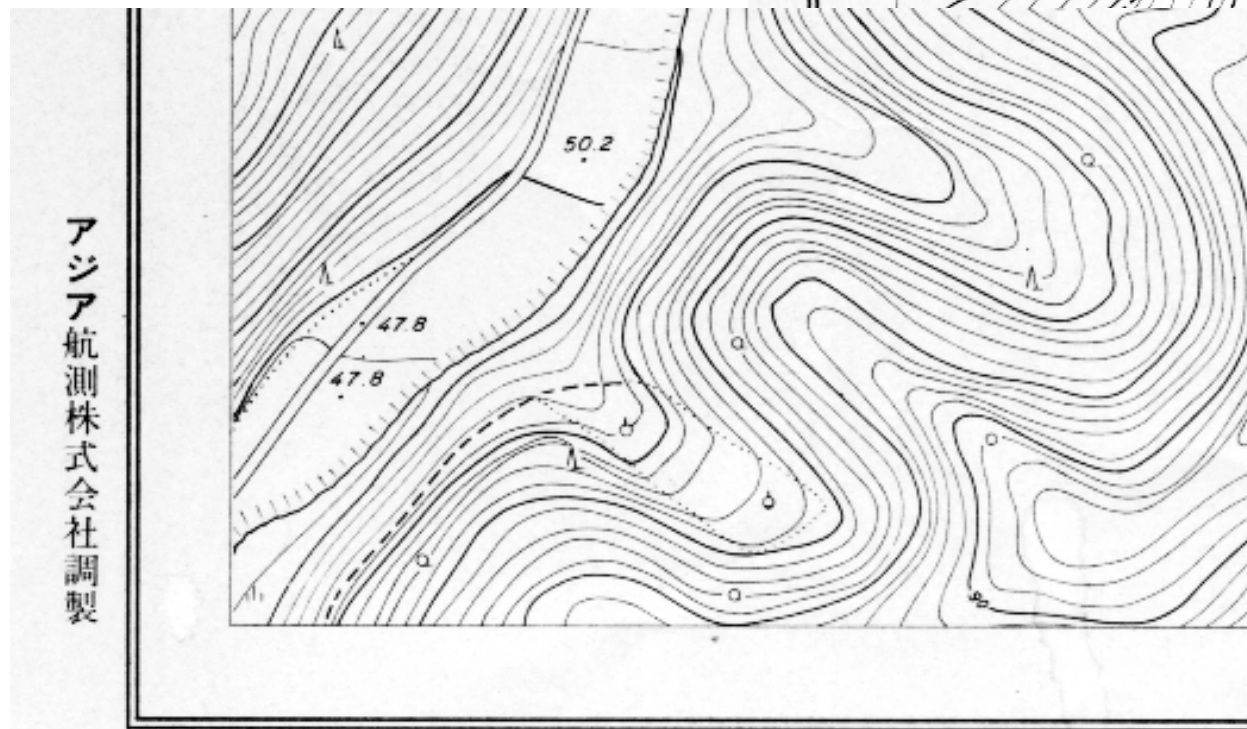
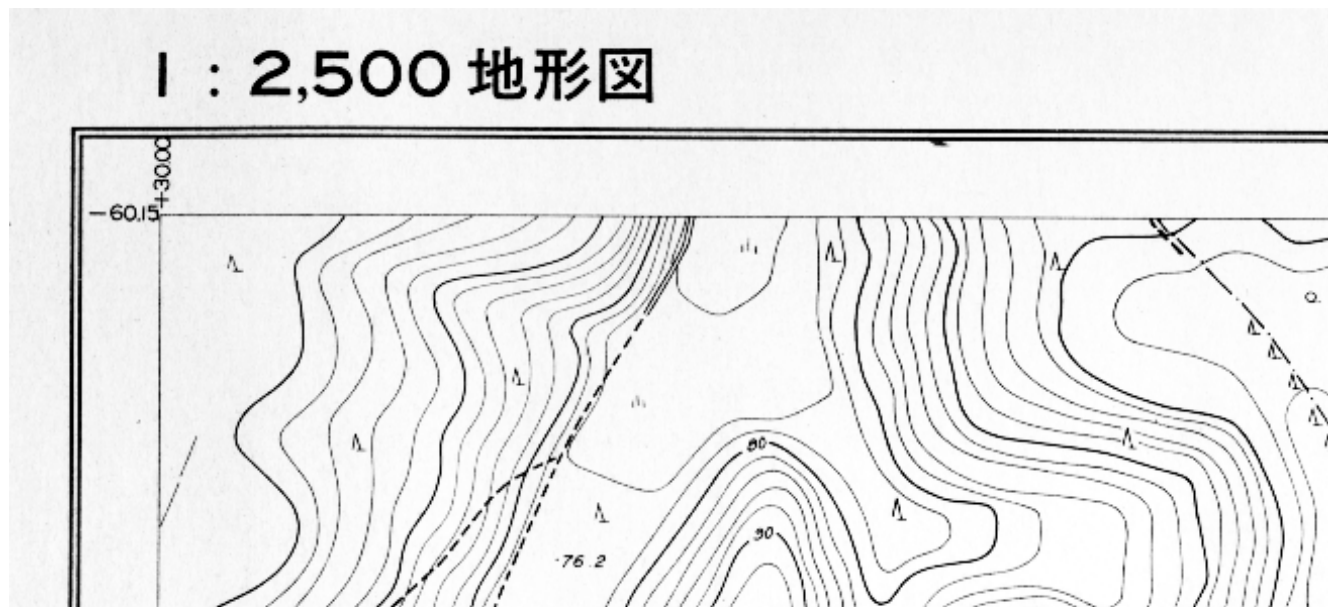


図 9.4.16 平面直角座標系⁷⁾

基本図

左上隅の座標は基準点からの距離を表す



第9系という表記から原点の位置がわかる

第9系の原点は取手付近

昭和60年 8月 1 : 2,500 既成図を使用

座標系 第9系
等高線 2m 間隔