

# 易しくない 設計・製図のお話し

科学書刊株式会社:電子版の原稿

「橋梁&都市 PROJECT: 2012」(ISSN 1344 - 7084)

島田 静雄

この冊子は、雑誌「橋梁&都市 PROJECT」に連載することを予定して作成した MS-Word 版の原稿から、PDF (Portable Document Format 形式に変換したもののコピーです。2010 年度から、出版関係は電子出版を模索した努力をする時代に入りました。科学書刊株式会社は、この動きに対応するため、ハードコピーとしての「橋梁&都市 PROJECT」の発行を休刊とし、電子化にどのように対応するかの研究を始めました。実を言うと、この傾向は 10 年前から予測されていました。筆者は、この先取りとして、三種類の発表形式を試してきました

一つ目は、雑誌の記事としての形式です。「橋梁&都市 PROJECT」のスタイルは B5 版二段組みです。こちらの方は、しばらく休刊になりました。この原稿は、MS-Word を使い A4 版一段組みで作成してきましたが、そのまま体裁のよいレポート形式になるように注意して編集してあります。この形式そのままにしたのが、この PDF 版です。

二つ目、この PDF 版をインターネットで公開することです。すこしページ数が多くなりますが、ユーザは、これをダウンロードして印刷して見ることができます。プリンタをお持ちでなければ、原稿ファイルを USB (universal serial bus) 接続のメモリに記録して持ち込めば、簡易製本までサービスしてくれる街中の印刷屋さんが見つかりようになりました。PDF 版の WEB サイトは、差し当たり下記にしています。

<http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/shimadatop.html>

三つ目は、パソコンの画面でランダムに項目がアクセスするようにリンクを張った WEB (World WideWeb) 版です。この利用方法を考えて、筆者の原稿は、約 600 字程度のパラグラフ単位に分けてあって、インターネットでのアクセス速度が速くなるように、一つのパラグラフがパソコンの一画面に入るようにし HTML (Hyper Text Markup Language) 版です。目次と索引とを参照すれば、かなり便利な検索が使えます。WEB サイトは上の PDF 版と同じ個所です。この冊子は、表紙と目次を含めて全 43 ページあります。電子出版を考えると、ページ番号で項目位置を探すことが実用的ではありません。したがって、目次と索引は、章・節・項のパラグラフ番号番号で検索するように使って下さい。

(この冊子は、全 **43** ページあります)

# 目 次

## 0. はじめに

設計は必ず製図を必要とすること：規格や基準は法律ではないこと：  
規則を文書にまとめるときの書式があること：常識として省略される知識を補っておくこと

## 1. 土木製図基準制定と改訂の経緯

### 1.1 公文書としての図面

複数の職種が関係する文書であること：図面は公文書の性格を持つこと：  
JIS 規格を尊重はしても従わなかったこと：  
戦後の復興期に基準見直しの要求が始まった：  
ISO との整合性を図るのにさらに 20 年を要したこと：  
JIS の規格構成は細則の集合になっていること

### 1.2 標準化の基本的な考え方

なるべく二つ以上の系列を併用しない：投影法は ISO でも統一規格の提案にならなかった：  
基本数列の ISO 流の決め方：建前としての規格と独自性の主張：尺度表示法に混乱があったこと：  
CAD が普及したことによる影響：画像のデジタル化による影響

### 1.3 日本語の問題

規格の文章の書き方にも規格がある：日本語には命令文の形がないこと：  
法律で制限される条項がある

## 2. 作図と製図

### 2.1 図を描く技術

技術としての三要素を考える：図面の作成は漫画の作成とは別技術である：  
図面は利用目的に合わせて作成する

### 2.2 印刷と複写

設計図は複写を考えて作成する：古典的な製図方法の理解も必要：  
製図には特別な用具が工夫されてきたこと：  
レーザプリンタの開発で青写真の時代が終わった：  
コンピュータに描いてもらう時代になった：再現性の機能が重要であること

### 2.3 投影原理と作図データ

製図は実物ではなく幾何モデルを描く：データを共有する CAD と CAM：  
投影法を適切に使い分けること

### 2.4 幾何学と座標系

幾何と代数とは別の学問体系であったこと：寸法は線座標系を使うこと：  
画法幾何学は座標系を使わない

### 2.5 幾何モデリング

模型を造らないと分からないことがある：模型とモデルとの使い分け：  
作図用のソフトウェアが必要であること

### 2.6 座標系の決め方

形状の表し方に使う言葉とデータ：世界を覗いて作図領域を決める座標系：  
図を描く面に決める装置座標系

### 2.7 投影図と透視図の区別

単純な線座標系を利用すること：誤解が起きないのは第三角法：  
絵画に見る平行投影と中心投影

### 2.8 陰影の付け方

陰と影とを区別する：光源・対象物・視点の位置関係：立体感を表す単純な段差表示

### 3. 寸法と尺度

#### 3.1 長さの計測と規格化

地図の作成は先ず測量から始める：寸法単位は人の体を基準に決めたこと：長い距離は歩測で測る：メートル法は人工単位であること：用紙寸法系列の規格化：寸法の大小標準は等比数列に決める：体積は別単位系もあること

#### 3.2 寸法単位利用の変遷

尺貫法からメートル法への移行：フィート系の寸法扱いに混乱がある：寸法数値は正の整数を使う

#### 3.3 実寸法と呼び寸法

物理的な長さは分からない：実数であっても実際は整数扱いをする：温度による長さの変化はかなり大きい：閾値と言う概念もある

#### 3.4 寸法の記入

寸法記入がないのは図面ではない：作図に使う定規は計測道具ではない：寸法数値の書き方が単純化されたこと：実測できるように寸法を記入する：寸法の重複記入をしない

#### 3.5 材料と寸法情報

鋼とコンクリートとが二大工業材料である：鋼材や木材は工業製品化して供給される：図面から材料を拾うことを考える

### 4. 製図教育の視点

#### 4.1 書類としての図面

図面は実用が目的で作成すること：文章作文もレトリックを避ける：図面にも書式と体裁に当たるものを考える：図形単位にも暗黙の輪郭を考える

#### 4.2 常識的な習慣と規格化

標準には私的なものと公的なものがある：使い易いマニュアルを工夫する：読図に必要なとなる教育過程

#### 4.3 線が指示する場所の問題

図としての線と幾何学での線：板の重なりを描く場合：薄板断面は特別な製図方法を使う

#### 4.4 文字寸法の知識

印刷活字と文字の高さ：製図で使う文字高さ：文字幅の寸法：印刷文字の字体：製図用文字の字体：CADで書かせるドットマトリックス文字

#### 4.5 デジタル化した図形データの知識

画像の精細度、解像度、画素数の理解：二つの表示装置を使うこと：編集を制限するファイル形式：ビットマップ形式のデータ保存：画像の拡大と縮小の問題

### 5. 錯覚と錯視を避ける作図技法

#### 5.1 三面図

見て分かる製図は必ずしも第三角法に忠実ではない：第三角法は展開図の配置で理解する：展開図は第三角法の配置として利用する：展開図を内側に折り込む：図柄の向きでデザインを考える場合

#### 5.2 隠れ線と隠れ面

線の交差で扱う隠れ線：面によって隠される線：モニターの機能を使う隠れ線隠れ面処理：幾何モデリングの作図

### 99. 終わりに

# 用語索引

## 英字

API	2. 5. 3
BASIC	99
CAD	1. 2. 6
CAD/CAM	2. 3. 2
CADD	2. 3. 2
CAD ソフト	4. 5. 1
CAM	2. 3. 2
CCD 素子	4. 5. 1
CD	4. 5. 4
DPI	4. 4. 6
Draw 系	2. 2. 5
GEOMAP	99
HTML ファイル形式	4. 5. 3
ISO	1. 1. 3
JIS	1. 1. 3
JIS の丸め	3. 3. 2
JIS 規格	1. 1. 6
paint 系	2. 2. 5
PDF 形式	4. 5. 3
Visual Basic	99
WYSIWYG	4. 5. 2
x ライン	4. 4. 1

## あ行

アーカイブ	1. 1. 2
アーキテクトスケール	3. 4. 2
アセンダライン	4. 4. 1
アンダースコア	4. 4. 4
アンダーライン	4. 4. 1
青写真	2. 2. 1
青焼き	2. 2. 1
網目構造	2. 5. 3
いじめ	4. 2. 3
イタリック体	4. 4. 4
イラスト	2. 1. 2
イラストレータ	2. 1. 3
インクジェットプリンタ	2. 2. 4
インタラクティブ	4. 5. 3
インチ	3. 1. 2
位相幾何学	2. 6. 1
意匠設計	2. 1. 3
一過性	2. 2. 6

印刷	2. 2. 1
陰影	2. 4. 1
陰影法	2. 8. 1
板の重なり	4. 3. 2
ウインドウ	2. 6. 3
ウインドウ - ビューポート	
変換	2. 6. 3
薄板断面	4. 3. 3
遠近法	2. 7. 4
オブジェクト	2. 5. 3
オブジェクト	4. 4. 4
オブジェクト指向プログラ	
ミング	2. 5. 3, 5. 2. 4

## か行

カーニング	4. 4. 3
カメラ座標系	2. 6. 2
隠れ線消去	5. 2. 1
隠れ面	5. 2. 3
烏口	2. 2. 2
影	2. 7. 4
画素	4. 5. 1
画素数	4. 5. 1
画法幾何学	2. 3. 3
解析幾何学	2. 4. 1
解像度	4. 4. 6
解像度	4. 5. 1
外郭線	3. 4. 5
角	2. 7. 1
角度	3. 4. 4
活字	4. 4. 1
紙細工	2. 4. 3
紙細工	2. 7. 3
キャップライン	4. 4. 1
基線	2. 4. 3
幾何モデリング	5. 2. 4、2. 5. 1 99
幾何モデル	2. 3. 1、2. 5. 1
幾何学	2. 4. 1
規格化	4. 2. 1
規格票の様式	1. 3. 1
記号	2. 3. 1
技術	2. 1. 1
技術移転	4. 2. 2
局所座標系	2. 6. 2

曲線設置法	2. 4. 2
曲線定規	2. 3. 1
グラフィックス言語	2. 2. 5
グラフィックス言語	2. 5. 3
区切り記号	3. 2. 3、3. 4. 6
ケント紙	2. 2. 2
契約	4. 2. 1
計量法	1. 3. 3
芸術家	2. 1. 3
検図	1. 1. 2
ゴシック体	4. 4. 4
コピー	2. 2. 1
コロソ	3. 4. 6
コントラスト	2. 8. 1
コンパクトディスク	4. 5. 4
コンパス	2. 3. 1
コンピュータグラフィック	
ス・メタファイル	4. 5. 3
公文書	1. 1. 2
公用文作成の要領	1. 3. 1
勾配	3. 4. 6
工業製図	2. 1. 3
国際標準化機構	1. 1. 3
石斗升合	3. 1. 7

## さ行

サイコロ	5. 1. 5
サーフェースモデル	2. 4. 3
サブルーチン	2. 5. 3
サムネイル	4. 5. 4
三面図	3. 1. 1
差物大工	2. 5. 1
座標幾何学	2. 4. 1
座標変換	2. 6. 2
再現性	2. 2. 6
材料を拾う	3. 5. 3
作図	2. 1. 2
作図領域	4. 1. 3
錯視	2. 3. 3、2. 8. 2
ジアゾ	2. 2. 1
シャープペンシル	2. 2. 3
シルエット	2. 7. 4
シングルスペーシング	4. 4. 1
仕様	4. 2. 1
視点座標系	2. 6. 2

字体 4.4.4、4.4.5  
 字面解析 1.3.2  
 自在画 2.1.1  
 自動製図 1.2.6、2.2.3、4.3.1  
 斜投影 2.7.4  
 尺 3.1.2  
 尺貫法 3.2.1  
 尺度 1.2.4、2.3.1、3.4.6  
 尺度 (現尺・縮尺・倍尺) 3.4.1  
 尺度表示法 1.2.5  
 定規 2.3.1、3.4.2  
 白焼き 2.2.1  
 撓り定規 2.3.1  
 閾値 3.3.4  
 習慣 4.2.1  
 縮尺・現尺・倍尺 1.2.4  
 初等幾何学 2.4.1  
 書式 1.1.2  
 詳細図 2.3.1  
 象限 2.7.1  
 常識 0.4、4.2.1  
 スプライン 2.3.1  
 スペース 4.4.1  
 スラッシュ 3.4.6  
 図学 2.2.2  
 図工 2.1.3  
 図法幾何学 2.3.3  
 図面 0.1、2.1.3  
 図面の様式 4.1.3  
 数の丸め 3.1.2  
 寸 3.1.2  
 寸法 2.3.1  
 寸法線 3.4.3、4.1.4  
 寸法補助線 3.4.3、4.1.4  
 寸法目盛 2.3.1  
 セリフ 4.4.4  
 ゼロックス社 2.2.4  
 世界座標系 2.6.2  
 整理法 4.2.2  
 精細度 4.5.1  
 製作図 2.3.1  
 製図 0.1  
 設計 0.1  
 設計・製図 0.1  
 設計図 2.3.1  
 線の太さ 1.2.3  
 線形代数 2.6.2  
 線座標系 2.4.1  
 線図 2.2.5、4.1.4  
 全角 4.4.1  
 ソフトコピー 2.2.4

素描 2.1.3  
 装置座標系 2.6.3  
 測地学 3.1.1  
 測量 3.1.1  
 測量学 2.4.1  
 属性 5.2.4

### た行

だまし絵 5.2.1、2.3.3  
 多角形 2.6.1  
 多面体 2.6.1  
 太閤検地尺 3.1.4  
 対話式 4.5.3  
 第一角法 1.2.2、2.7.2、5.1.4  
 第三角法 1.2.2、2.7.2、5.1.2  
 中心マーク 4.1.3  
 中心投影 2.3.3、2.7.4  
 忠節橋 4.1.4  
 町 3.1.2  
 頂点 2.6.1  
 直線 2.4.3  
 通過儀礼 3.2.1  
 テープ合わせ 3.3.1  
 デカルト 2.4.1  
 デカルト座標系 2.4.1  
 テキスト形式 4.5.2  
 テクニカルイラストレー  
   ション 2.3.2  
 デザイナ 2.1.3  
 デザイン 0.1  
 デジュール標準 4.2.1  
 デセンダーライン 4.4.1  
 デッサン 1.1.1  
 デッサン 2.1.3  
 デファクト標準 4.2.1  
 手暗がり 2.8.2  
 体裁 1.1.2  
 天文学 3.1.1  
 展開図 2.7.3、5.1.2  
 点光源 2.3.3  
 電子書籍 99  
 ドットマトリックス文字 4.4.6  
 トレーサ 2.2.3  
 トレーシングペーパー 2.2.3  
 トレース 2.2.3  
 トロイの木馬 3.5.1  
 虎の巻 4.2.2  
 投影 2.3.3  
 投影図 1.2.2、2.3.3、2.7.3  
 等幅フォント 4.4.3

透視図 2.3.3、2.7.2  
 透視投影面 2.3.3  
 透視投影面 2.7.4  
 道具 1.1.1  
 読書 4.1.3  
 読図 1.1.2、3.5.3、4.1.3

### な行

並び線 4.4.1  
 日本工業規格 1.1.3  
 ノアの箱船 3.5.1  
 濃淡図 2.2.5

### は行

パース 2.3.3  
 ハードコピー 2.2.4  
 パイカ 4.4.1  
 バイナリー形式 4.5.3  
 針金細工 5.2.1  
 ピクセル 4.5.1  
 ビットマップ形式 4.5.2  
 ビューポート 2.6.3、4.1.4  
 引き出し線 4.1.4  
 引き伸ばし 4.5.4  
 火の見櫓 3.5.2  
 比較目盛 4.1.3  
 標準数 3.1.2  
 表題欄 2.1.3、4.1.3  
 ファイルの拡張子 4.5.4  
 フィート 3.1.2  
 フォーム 2.6.3  
 プレビュー 4.5.2  
 プロッタ 2.3.2  
 プロパティ 2.5.3、5.24  
 プロポーショナルフォント 4.4.3  
 複写 2.2.1  
 複写機 2.2.4  
 分度器 3.4.4  
 文章 1.1.2  
 ベースライン 4.4.1  
 平行光線 2.3.3  
 平行投影 2.3.3  
 平面 2.4.3  
 平面座標系 2.4.1  
 辺 2.4.3、2.6.1  
 ボールド体 4.4.4  
 ボディーライン 4.4.1  
 骨組み構造 5.2.1  
 歩測 3.1.3  
 放物線勾配 3.4.4



## 0. はじめに

### 0.1 設計は必ず製図を必要とすること

**設計**とは、夢を持たせる言葉です。未だ実現していない何かを頭の中に思い浮かべ、それを創造する作業を意味するからです。英語のdesignをカタカナ語にした**デザイン**は、一般に使われ、小学生などを対象にして、自動車のデザインコンテストなどと使う例を見ます。しかし、ここでのデザインは、単純な、お絵描きの意味です。現実の設計作業は、専門ごとの具体的な勉強が必要です。設計者は、対象物の機能設計と共に、立体的な形状を**図面**に表します。一方、製作者は、その図面を見て、立体的な形状を設計者の意図通りに理解して作業に当たります。したがって、設計は必ず**製図**を伴いますので、用語として**設計・製図**と対に使います。製図は一つの技術分野を構成し、工業教育では必須の科目として扱います。この中身は多くの内容があります。細かな製図規則を解説することに先立って、全体概念の紹介から始めて、教育に利用することと、実務に役立つ説明を、この報文にまとめます。

### 0.2 規格や基準は法律ではないこと

製図だけに限らないのですが、工業で利用する規格や基準の文書は、一種の公用文です。用語の選択や文章の作成に標準的な決まりがあり、見掛け上、法律文のようにまとめます。法律は国が決め、強制力を持ち、それを守らない場合の罰則もあります。規格や基準は提案です。国が提案した場合であっても、強制力も罰則もありません。それらの条文は、守る方が便利のように決めるのですが、理由があれば守らなくてもよいのです。通常は、この選択を当事者間の契約で決めます。製図の約束のように、実務と関係する場面では、当事者間の習慣の違いが表面化することがあって、それを調整する提案が必要になります。合理的な理由があって、それに納得が得られれば、新しい提案を受け入れることもしますが、長年の習慣がある分野では、切り替えは単純には行きません。普及するまでに、長い場合には何年もかかります。完成文書となった製図基準を理解するときには、それが決まった経緯についても理解があるのが望まれます。これを製図教育としても取り上げたいところです。

### 0.3 規則を文書にまとめるときの書式があること

私的な場面では、文書にしない口頭での約束も行われますが、公的に決める規則は文書にまとめます。その標準的な中身の書式（スタイル）は、表題・目的・用語の定義・本文・参考事項です。目次と索引があると丁寧です。用語は専門ごとに多様ですので、用語の定義だけを別に決めることもあります。これには、学術団体などが学術用語として提案したものを採用するのが普通です。また、規格や基準そのものの原案の提案にも、学術団体が協力しています。土木製図基準は、土木学会がその専門分野での利用を考えて作成したものです。その基本的な部分に国家規格のJISを取り入れ、また土木の専門的な基準を反映するような調整が図られています。しかし、細かな点で、土木製図基準とJIS規格、また他の専門分野の規格とでは、整合しないことも起こります。これらは裏話的な知識ですが、基準成立の過程を知るときに役に立ちます。

### 0.4 常識として省略される知識を補っておくこと

科学技術は年々進歩しています。その活動の第一線に居る人々は、進歩の流れに乗って経験を積んできました。これらの人々は、基本的な知識、言わば段階的に進歩してきた経緯、を踏まえた上で、現在進行中の科学技術を理解しています。若い次世代の人を啓蒙するとき、現時点での最先端の知識を教材にすることは重要です。しかし、古い知識を理解させる教育が抜けることがあります。第一線に居る人が常識と考えている単純な知識は、実は、その人が若い時代に覚えた経験です。しかし、その知識獲得の過程を忘れて、常識だと本人が判断した事項を省くことが見られます。そうすると、一見、華やかに見える裏で、教育知識の空洞化が進み、結果として全体科学技術の進歩に支障が起こります。したがって、どこかで、初歩から段階的に積み上がった知識を説明する教育環境が必要です。製図基準の話題で言うと、この半世紀の間に、何度も改訂が行われてきました。或る基準が提案され、次の機会に省かれ、また次の機会に復活した項目もあります。これには、それなりの理由がありました。委員会が提案した項目に委員の合意が得られなかった過程には、常識的な知識の解釈違いに因ることもあります。幾らか本題から脱線するような話題も、教育的な配慮としては重要です。このような雑学的な話題を理解した上で、改めて規格や基準本文を読み直すことを薦めます。

# 1. 土木製図基準制定と改訂の経緯

## 1.1 公文書としての図面

### 1.1.1 複数の職種が関係する文書であること

工業で利用する図面は、芸術的な造形作業のときに使う下書きの図（デッサン：素描など）と較べると、かなり性格が異なっています。図面は、対象物の造形作業を目的とした多くの分野の分業で行われることを考えて、間違った理解がされないような注意が必要です。この分業は、複数の人または企業が関与すると言う意味に加えて、道具として、製図用具や機械装置の助けを含みます。この道具に、コンピュータが加わってきました。道具を使うとき、道具に擬似的な人格を考えます。この道具との対話を、最初は man-machine-interface と言い、それから user-interface の用語が一般化してきました。これらの道具は、数学的かつ幾何学的な原理で制御され、図面そのものも幾何学的図形で表示します。つまり、芸術感覚で自由な作図をすることが少ない図です。そうであっても、多くの図面を較べて見たとき、作図技能の上手・下手の区別もつきますので、節度のある図面作成の教育が必要です。それを系統的に計画して実行することを考えると、製図規則を決めることに繋がります。図面は、対象物の作図をする人、その製作に当たる人、それに、管理に当たる人が関わります。図面は、国際的な垣根、また言語の違いを越えて利用されます。文字表現が無くても理解できる、国際的に共通した基準が必要です。

### 1.1.2 図面は公文書の性格を持つこと

土木構造物の計画・設計・施工、さらに管理に利用することを目的とした図面の集合は、**公文書**（アーカイブ：archives）として扱うことが必要になります。一般的な文書は、**文章・書式・体裁**の三要素を持たせませす。その**文章**に代えて、互いに関連を持たせた複数の**図**を考え、その全体に一つの筋書きを通します。**書式**に当たるところが図の描き方の約束であり、これが製図法を構成します。図面は、大きな寸法の用紙を使うことが通常**の文書と異なる体裁の一つ**です。図面は、文章なしでも理解できるように描く約束を持たせませす。したがって、実用文の文章の書き方とは違った、図の描き方の文法に当たる規則と、図を理解する**読図**の知識が必要です。**検図**は、文書での校正に当たる重要な作業です。図面は、文書とは別に管理されることも多く、他の文書を廃棄しても、図面を残す場合があります。このような背景を持った図面は、土木構造物の管理者側の目線で作成しますので、実際の図面作成者側の所属や氏名などが表に出ないことがあります。さらに、最も基礎的なこととして、図面の作成について組織的に教育することの視点が、どこにも無いことに気が付いているのでしょうか？ 製図基準または製図規格の条文本体を理解させるための解説書は必要です。同時に、それらの条文の元になった理論的な背景と、どのような経過で決まったのかを説明を補えば、設計・製図の基礎教育に役立ちます。

### 1.1.3 JIS 規格を尊重はしても従わなかったこと

土木技術関係で、**日本工業規格 (JIS : Japanese Industrial Standard)**に製図規格を制定したのは昭和 29 年(1954)です。そのときの委員会の委員長は福田武雄でした。土木製図通則 JIS A101 を立てることは、土木の製図基準が法的な国家規格に準拠することの宣言に必要でした。しかし、その内容は、前年(昭和 28 年 : 1953)、土木学会が編集した土木製図基準の総則部分を、そのまま JIS に転用したものでした。そのときの土木製図基準は、「総則・鋼構造物・コンクリート構造物」の 3 部構成でした。その中身の大部分は、それまで鉄道構造物の設計に使われていた内部規格であって、歴史的にはアメリカ技術の影響が大きい製図基準でした。したがって、特に JIS に規格化して、それを遵守する態度に頓着しませんでした。このこともあって、JIS A0101 は爾来 40 年間、本質的な改訂が全く行われず、平成 6 年(1994)になって、ようやく全文の改訂が行われました。その理由は、JIS A101 土木製図通則が、当時の製図通則 JIS Z8302 に準拠する、と宣言してあったため、特に切実な改訂を急がなかったためでした。しかし、土木関係で行われていた製図法は、製図通則とは細かな点で整合しない個所がありました。その中でも典型的な問題は、投影法と、寸法線に対する寸法数字の記入法の 2 点でした。この相違を強く主張すると、JIS の製図法に二つ以上の準拠体系を立てることになりますので、あえて、JIS 規格の一部を無視していました。規格と実用とが一致していないことは、工業高校や大学での土木製図の教科書を編集する際に、大きな障害になっていました。特に工業高校の教科書は、文部省の検定を受け、内容は国家規格に準拠しなければならないからです。上に述べた二つの相違点は、30 年も後の 1984 年、JIS 規格の方を**国際標準化機構 (ISO : International Standardization Organization)**に整合させるように変わったことで、結果的に旧来の土木関係の製図法が整合するようになりました。



#### 1.1.4 戦後の復興期に基準見直しの要求が始まった

明治以降の日本の近代化は、欧米技術に学ぶことから始まりました。鉄道は、主に英米技術に学びましたので、例えば鋼橋の設計に利用する図面は、フィート・ポンド法の図面をそのまま理解して利用し、次いで、それを日本の製図法に取り入れることから基準を決めました。昭和 30 年(1955)代は、戦後の復興期を脱して、名神・東名高速道路・新幹線・東京オリンピック、などの大型の建設工事が始まった時代です。特に、名神高速道路の建設では、世界銀行からの融資を受けたこともあって、国際入札を考慮した書類が要求されました。同時に、ドイツからアウトバーン(Autobahn)の建設技術が学習されました。その際の製図法は、アメリカ式と対立するヨーロッパ方式でした。国内においても、官公庁や民間も含め、製図法に統一がないことが、種々の問題を起すことになってきました。図面は、工事の契約から完工後に至るまで、公文書の意義を持ちます。役所が異なると、そこで定める仕様に合わせて図面を描き直す無駄も多く見られました。このような事情がありましたので、土木学会で統一的な製図法を定めることについて、建設関係各界の支持がありました。そうは言っても、機械製図などを含めた工業全体では、各界ごとに従来の習慣も生かしたい要望もあって、JIS としての統一基準の提案には多くの混乱が残っていました。

#### 1.1.5 ISO との整合性を図るのにさらに 20 年を要したこと

昭和 42 年(1967)、菊池洋一委員長の下に土木製図基準の大改定が行われました。このとき、主として参考にしたのは DIN(ドイツ規格)と ANSI(アメリカ規格)です。日本においては、両方の製図法が混在して実用されていましたので、そのどちらの利用者にも納得できる解決方法が必要でした。これは、いみじくも、一種の国際整合化の作業でもありました。現実には ISO が製図の国際整合化の作業を始めたのは昭和 52 年(1977)からであり、JIS が ISO との整合化作業の一つの区切りを付けたのは昭和 59 年(1984)です。昭和 42 年(1967)の土木製図基準の改訂は、結果的に ISO が提案する規格をほとんど同じ思想でまとめた先駆的な基準でした。この基準は、土木技術関係で内部的な仕様作成のときに使う実務的な性格の文書です。国家規格としての性格に反映させるための、土木製図通則(JIS A0101)の全面的な改訂作業は、さらに遅れて、平成 6 年(1994)に行われました。

#### 1.1.6 JIS の規格構成は細則の集合になっていること

製図の約束は、専門ごとに固有の方式や習慣がありますので、すべてを網羅するように一つの規格を提案することは不可能です。そのため、全体についての趣旨と概要が JIS Z8310 製図総則にまとめられ、専門ごとに、例えば土木製図通則・建築製図通則などがあり、さらに多くの個別の項目、例えば、尺度、文字、線など、があります(表 1.1)。しかし、実務では、規格化されていない慣習的な規則も必要です。これらを集めて総合化すると、参考書としては見通しの悪い文書の集合になります。実用的には、規則の条文だけをまとめたものと、別冊として、マニュアル・手引き・ハンドブック・参考書・教科書などが必要です。出版物としての土木製図基準は、その全部を意識したものです。通常、規格は、法律文書と同じように、条文だけが意義を持ちます。それでは理解が難しいので、土木製図基準は、解説を加え、例図を添付し、また、目次と索引とを付けて、参考書、また、教科書としての利用ができる、欲張った編集です。官公庁などが計画する土木構造物の設計仕様書をまとめるときは、この土木製図基準の条文を利用することを謳えば、間接的ながら、JIS 規格を遵守することになる、と解釈させています。

表 1.1 製図に関する JIS 規格 (2011 年)

規格番号	規格名称の要旨	規格番号	規格名称の要旨
JISZ8310	製図総則	JISZ8315-1	投影法一通則
JISZ8311	製図用紙のサイズ及び図面の様式	JISZ8315-2	正投影法
JISZ8312	表示の一般原則—線の基本原則	JISZ8315-3	軸側投影
JISZ8313-0	文字一通則	JISZ8315-4	透視投影
JISZ8313-1	英数字	JISZ8316	図形の表し方
JISZ8313-10	仮名と漢字	JISZ8114	製図用語
JISZ8313-2	ギリシャ文字	JISA0101	土木製図通則
JISZ8313-5	CAD 用文字	JISA0150	建築製図通則
JISZ8314	尺度	JISB0001	機械製図

備考：製図に関連した規格には多くの種類があります。上の項目は参考として見て下さい

## 1.2 標準化の基本的な考え方

### 1.2.1 なるべく二つ以上の系列を併用しない

製図規格を決めるときに問題となった代表的なものの一つは、図面に使う用紙寸法系列の選択です。工業用として使う用紙はロール状のものもありますが、日常の文房具としての用紙は、或る大きさに裁断した寸法で利用します。その寸法系列は A 列、B 列の 2 種があって、大小の寸法選択に便利になるように決めてあります。ドイツの規格では、この大小順を更に補う C 列の規格もあります。種類が増えて、選択の範囲が広がるのは、使う側では便利と思うでしょうが、実用を考える場面では、その中の数種類の寸法で済ますことができます。また、商品の種類が増えることは、管理の立場からも無駄が多くなります。つまり、規格としては全体として統一のある寸法系列を提案しても、使う側は、その中の幾つかを選択します。図面に使う用紙寸法を、A, B, C, どの寸法規格を使っても良いと決めると、結果的には寸法規格を決めないことと同じです。土木製図基準では、用紙寸法を A0~A4 の 5 種類で使い分けを提案しています。規格は法律ではありませんので、これ以外の用紙寸法を使用することを禁止するものではありません。つまり、必要最小限の種類に抑えることが規格化の精神です。ただし、規格外寸法の選択する場合は、それなりの理由があるときと解釈します。なお、JIS 規格の B 列の用紙は、日本独自の寸法系列になっていて、ISO の B 列規格寸法と整合しません。したがって、B 列の用紙寸法を含めなければ、国際規格と整合させることができます。

### 1.2.2 投影法は ISO でも統一規格の提案にならなかった

工業製図は、立体的な対象物を表すとき、基本的には複数の方向から見た投影図を組みにします。投影は、三次元の立体図形を二次元の平面図形に変換することです。幾何学的には次元数が下がり、奥行き情報が失われます。円柱、円錐、直方体など、幾何学的に単純な立体形状は、一つの投影図を使うことができますが、この場合には高さや奥行き寸法などを言葉で補います。二つの投影図を組みにして使うとき、その相互の位置関係の決め方に、第一角法と第三角法の区別があります。投影の向きを言葉（平面図、正面図など）や記号と矢印を使って説明すれば、この区別にこだわる必要がありません。そうしないときの約束が、この区別です。前者はヨーロッパ圏で使われ、後者は日本とアメリカで使われています。第一角法は、モンジュ (G. Monge; 1746-1818) が始めた投影理論を踏まえていますので、歴史的にはヨーロッパで採用されています。この方法は、高さのある構造物（土木・建築・船舶など）の一般図では、正面図と平面図の配置の釣合が良く、誤って理解されることも少ないので実践的に利用されています。しかし、日本では第三角法を正規の規格としていますので、規則に違反するとして、しばしば論争になります。投影法は、それぞれに専門ごとの習慣の積み重ねがありますので、どちらか一方に決めることには、折り合いが付かないことも起こります。ISO で製図規格を決める会議の場でも、この生臭い論争が引き継がれていました。このため、どちらの投影法を主に使っているかが分かるように図面上で宣言することで妥協が図られ、結果として第一角法と第三角法との両方を認めることになりました。

### 1.2.3 基本数列の ISO 流の決め方

工業製品は、目的に合わせて大小の選択ができるように複数の寸法を使い分けます。二つ上の項で説明した用紙寸法もそうです。これと関連して、線の太さの選択が（JIS Z8312 製図に用いる線）、図面に書き込む文字や記号の高さ（JIS Z8313 製図に用いる文字）などが独立した規格になっています。図面は、工場や野外で広げて見る使い方もしますので、机の上（デスクトップ）で見る書類に比べて、やや大きめの文字と太めの線を使います。図面管理の目的で、大きな図面用紙を縮小して利用することもしますので、大体の感覚として、1/2 に縮小しても判読できる寸法を考えます。図面の用紙寸法は、A0~A4 の並びが辺の寸法比で  $1 : \sqrt{2}$  の比率で小さくなります。文字と線の太さの寸法系列も同じ比率の寸法系列を提案しています。ISO の考え方には、数列を決めるとき、1 を含めることを一つの原則としています。A0 の用紙寸法は、面積が  $1 \text{ m}^2$  です。線の太さの場合、1 mm を含めますので、残りの寸法系列は  $\sqrt{2}$  の比率で決まります。しかし、以前は、0.1 mm を基本の最小寸法としていました。この場合、寸法系列に 1 が含まれなくなります。この寸法規定は、文房具メーカーにとってはインクペンの寸法の商品規格に関係します。文字寸法は、文字高さの基準寸法を  $10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$  と考えることで、全体の寸法系列を決めています。この寸法系列も、製図用具の商品としての文字用テンプレートの寸法規格と関係します。なお実際の図面で線の太さの種類を撰ぶときは、見た目で区別の付く細線・太線・極太線の三種類に抑え、寸法比にして  $1:2:4$  にします。

#### 1.2.4 建前としての規格と独自性の主張

規格を決めるときは、理論的な裏付けを元に、合理化した理想が提案されます。しかし、必ずしも実践的な条件をすべて含むとは限りません。その典型的な例は、尺度（縮尺・現尺・倍尺）の選択に見られます。理想を言うと、1 : Nで表す分母Nは、1, 2, 5( $\times 10^N$ )とするのですが、実際には用紙寸法に投影図が適度に納まるように、Nとして 30, 40, 60 など使います。英米の図面では、1 フィートが 12 インチであることから、12 の倍数も見られます。日本では、尺貫法の 1 間が 6 尺であることを受けて、3 の倍数を尺度に使う頻度が多く見られます。製図が手書き主体であった時代は、尺度に合わせた寸法定規を必要としました。尺度の規定は、製図用具に使う物差しの製品種類に影響が及びます。そのため、製図基準の中に、尺度用物差しの製品化に配慮して、30, 40, 60 のような数値を含ませることが必要でした。これらの要求を満たすように気配りをすると、尺度の数値の種類が増えます。そうすると、規格として、必要最小限の種類に抑えると言う建前から外れます。したがって、専門ごとの実情を考えた独自の数を使うことを禁止することまではしません。

#### 1.2.5 尺度表示法に混乱があったこと

製図法は、企業ごとに、作図と、それを利用する現場の長年の習慣があります。この中で、尺度表示法は、二転三転しました。最初の土木製図基準(1954)では、分数表示が決められていて、行数を節約するときはスラッシュ (/) を使い、例えば 1/100 のようにも書きました。1967 年の改訂のとき、ドイツ風の尺度表示法である、コロン (:) を使う表記法、例えば 1:100 の書き方に変更しました。これは多くの企業現場には評判の悪いものでした。そのため、1976 年の改訂では、元の分数表示に戻りました。JIS の製図規格体系の大幅な改訂は 1984 年です。ISO との整合性を図るため、尺度表示はコロンを採用する表記法になりました。これを受けて、土木の製図基準も平成元年(1989 年)の改訂のときに再びコロンを使う表記法に戻されました。

#### 1.2.6 CAD が普及したことによる影響

土木・建築・船舶など、大きな対象物の製図方法は、相対的に寸法の小さな機械部品製図方法の習慣とは異なる点が幾つかあります。これが図面の管理では論争になっていて、国家全体として規格の一本化の妨げになっていました。主な論争点は二つあって、一つは、1.2.2 項で説明した投影法、もう一つが寸法線と寸法数字の記入法の習慣です（後の第 3 章、図 3.2 参照）。旧来の製図通則と、それを受けた機械製図関係での寸法数値の記入方法は、寸法線の途中を切断し、寸法文字の高さの中央を寸法線の位置に揃えます。手書きで製図をする場合には、この製図方法は寸法数値を際立たせて見栄えを良くします。しかし、長い寸法を表示しなければならないときは、全長が迎れるような長い連続した寸法線を描く場合と、長さの途中を省いて詰める描き方もします。寸法線の途中を切ることは、寸法が実際の図面上の長さとは比例しないときの、表し方の一つです。そのことを考えて、寸法文字並びを寸法線の上に書き、寸法線を連続した長い下線（アンダーライン）になるように描きます。コンピュータ制御の**自動製図**（CADの用語が一般化するまではこのように言いました）を利用するとき、旧製図通則を再現するような寸法記入のプログラミングは複雑になります。それは、文字並びの横幅を計算し、その幅分だけ線を引かないようにし、また文字の記入位置を文字高さの中央になるように制御しなければならないからです。このことを考慮して、ISO も、寸法線が寸法文字並びの下線扱いにすることが合意され、JIS もそれを取り入れることになりました。

#### 1.2.7 画像のデジタル化による影響

図面は、橋梁構造物で考えれば理解できるように、設計・製作に利用すると共に、管理の目的のためアーカイブとして保存する必要があります。元の図面で残すこともしますが、従来から**マイクロフィルム** (microfilm) に撮影して保存することが行われてきました。銀塩のマイクロフィルムは、ほぼ百年の歴史がありますので、現状では最も信頼性の高い保存媒体です。画像のデジタル化技術が進歩してきましたので、図面を高密度の記憶媒体に保存する方法が普及してきました。用紙寸法の大きな図面のデジタルデータは、ファイルの寸法が大きくなりますので、縮小撮影と同じように、データ量を圧縮する技術も研究されています。単純に縮小データにするときは、ピクセルデータの並びを間引くのですが、そうすると、細い線のデータが切れ切れになり、元の寸法に再現しても、図面として判読できなくなります。電子化ファイルは、記録装置と記録媒体の仕様が目まぐるしく変わりますので、歴史の評価に耐える信頼できる保存媒体は、未だありません。

## 1.3 日本語の問題

### 1.3.1 規格の文章の書き方にも規格がある

規格や基準は法律ではなく、提案です。この条文の文章は、誤解を避けるために注意深く作文します。そうすると、規格文書の文章と書式は、法律の条文のようになります。JIS は多くの規格を提案しますので、全体を通して統一のある文書に作成する規格を、「JISZ8301 規格票の様式」にまとめてあります。同じ趣旨の作文規則は、官公庁が作成する文章を分かり易く表現することを目的として、公用文作成の要領が、昭和 27 年 4 月 4 日付け内閣閣甲第 16 号内閣官房長官依命通知から始まりました。これは内容が複雑ですので法律にはなっていません。これらの提案文書は、文書作成側が理解しておく素養をまとめておく内部利用の手引きの性格があります。言い替えると、参考書の性格はありますが、教科書として利用する目的で編集されていません。社会全体で利用する実用文書の書き方を、英語では technical writing と言い、欧米の大学では必修科目に位置づけられています。この理由は、多くの言語環境から集まってくる学生が相互に理解する標準的な作文技法が必要になるからです。

(参照：実用文書のまとめ方 <http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/bunsyo/top.html>)

### 1.3.2 日本語には命令文の形がないこと

法律や規格は、海外の同種のものとの相互翻訳をして利用するとき、内容の整合性と相違性が分かる書き方の約束が必要です。英語と日本語との構文上の主な相違は、主語・動詞・目的語 (S.V.O) の語順違いと、動詞の使い方にあります。中でも深刻な問題は、日本語には明確な命令文の形がないことです。漢文調では命令と禁止とに「べし (可)・べからず (不可)」を使います。話し言葉で書く文章形式を文章口語体と言うのですが、可・不可の言い方に定形がありません。日本語の動詞の活用には命令形があります。しかし、規格では、動詞の終止形を使って、例えば「尺度は次のように表す」と書きます。意味は「表しなさい」と解釈させます。さらに、主語を表すように使う「尺度は」は、目的語の「尺度を」の意義です。「は」を主語に立てる意味を取ると、動詞の意義は「表している」になります。さらに言えば、「表す」で文を止めると、ぶっきら棒ですし、何となく頼りないと思うので、「…するものとする」「…することとする」の書き方が支持されることがあります。この言い方は、英語の関係代名詞を持つ文を翻訳するときに出てくる構文に原点があるようです。文章を文字の並びだけで意味を解析することを字面 (じずら) 解析と言います。これは、日本語を英語に翻訳するとき、特にコンピュータを介して自動翻訳を設計するときに重要です。コンピュータは感性がありません。人ならば判断できるレトリックは、間違っただけで翻訳されます。コンピュータは感覚 (五感) も感情 (喜怒哀楽) もありませんので、定量化して表せない副詞と形容詞を使う場面はありません。

### 1.3.3 法律で制限される条項がある

規格は法律ではないので、守らなければ罰則を伴うようにすることは、別に法律で定めます。代表的なものに計量法があります。この前身は度量衡法であって、日本旧来の尺貫法に代わってメートル法の採用が義務付けられました。したがって、製図では、メートル法を採用します。しかし、英米ではフィート・ポンド単位が日常的に使われていて、メートル法の採用を国家規格として推進していません。そうすると、元の長さの単位がインチやフィートである対象物の図面を、日本で利用するとき、また、その逆の対応も考えなければなりません。日本の単位である尺や寸を使うことは法律違反ですが、インチやフィートを使うのは法律には違反しません。そこで、メートル単位に換算した寸法を主な表示として使用し、フィート単位を参考として添えることで妥協を図ります。図面を含め、科学技術に関する日本語の文書をまとめるときに混乱することは、数値そのものと単位名とが、相互に関連することです。メートル表記以外、日本語の環境では単位名の表記方法は多様です。話し言葉では、一つ二つと言いますが、少し改まるときは個を使います。物に合わせた単位名、例えば、紙は枚、書籍は冊、車は台、テレビ画面寸法の 16型、コップの水一杯などと言いつけるのが素養とされます。面積を表す単位の坪は、尺貫法に基づくとして表記を避ける傾向がありますが、全く使わないのも滑稽なことがあります。日常用語に出てくる数値と単位名とは、呼び数です。縮尺や寸法の用語に尺と寸とが使われていますので、カタカナ語でスケール、サイズと言いつけるのも見ます。しかし、日本語を正確に使うと言う、保守的な態度から見れば、日本語を乱します。筆者の原稿では、カタカナ語はできるだけ元のスペルを併記するようにしています。漢字は、歴史的に見れば中国からの外来語ですが、いまでは日本語の重要な構成要素だからです。このような日常用語に出てくる漢字の単位名を覚えることは、外国人を悩ますようですが、a cup of water のような物質名詞の言い方であると割り切って覚えるようです。

## 2. 作図と製図

### 2.1 図を描く技術

#### 2.1.1 技術としての三要素を考える

工業製図は技術です。技術には、三つの要素があります。道具・技法・技能です。現代風に言えば、ハードウェア、ソフトウェア、ユーザインタフェースです。図書（としょ）とは、現在では書物の形体を主に指します。古くはズショと読み、図（絵画）と書とを区別しました。絵画は、書物よりも大きな寸法になるからです。工業製図は、製作したい対象物の形状と寸法とを正確に伝える必要がありますので、幾何の原理を応用して描き、対象物の製作も幾何学的な制御を応用した道具や装置を使います。製図は、製図用具を使うことから、手で描く自在画(free drawing)と区別して用器画(mechanical drawing, instrumental drawing)とも言います。便利な製図用具が使えると言っても、手を使って図を描く人の技能の上手下手が関係します。道具にコンピュータを応用したCADのソフトウェアが使えるようになりました。誰でも簡単に、綺麗な設計図が描けると誤解する人もいます。専門ごとの知識と製図の約束（技法）を踏まえ、また、全体図面を良い体裁にまとめるためには、基礎的な学習と、実践経験の蓄積を積み重ねなければなりません。

#### 2.1.2 図面の作成は漫画の作成とは別技術である

絵を描くことは、小学校の教科である図画工作の教科に始まって、中学校、高等学校では美術・芸術の科目と続きます。図画工作は、産業活動としての設計から製作までの過程をモデル化して、低学年の生徒に教えていると見ることができます。学年が進むと、受験技術の勉強が主流となり、手を使う作図や工作に関係する教科が遠のきます。絵画について言えば、一般には教養として一通りの名画鑑賞の素養は教育されます。しかし、或る程度の才能に恵まれていないと、絵を上手に描いて認められるまでにはなりません。日本の漫画は、いまや世界的に有名になってきて、一つの日本文化の見方をするようになりました。古くは12～13世紀の鳥獣人物戯画、近世では葛飾北斎の漫画のような文化的伝統があり、戦後は手塚治虫に代表される漫画家が多く漫画キャラクターを登場させた歴史の流れがあります。これらのキャラクターは、子供たちにはスター並みに扱われます。その流れを受けて、大して意味がない場面に漫画風のイラストを使った文書が氾濫するようになってきました。製図は、これらのイラストとは対照的な作図技術です。書物を編集するときは、説明用の図(figure)に写真も含めます。手作業で作る、線図を主としたものをイラスト：illustration)と言い、この作成を、単純に作図(drawing)と言います。

#### 2.1.3 図面は利用目的に合わせて作成する

製図、正確に言えば工業製図(technical drawingまたはengineering drawing)は、工業用の図面を作成する作業を言います。ここで言う図面は、図を主題に描いた用紙を指します。図面の特徴は、第一に、寸法の大きな用紙を使うことです。室内作業で他の書類と共に扱うときは、管理用に、縮小した版を別に使うこともします。第二に、現場に持ち出して広げて見る使い方もします。これに関連して、大版の図面用紙の折り方や綴じ方を、解説に含ませることもしていました。第三に、図面は、管理を目的として長期の保存を考えたアーカイブ扱いを考えます。その方法としてマイクロフィルムに撮影するための注意事項を、規則に謳っています。書物などに使う図の作成に当たる人を一般にイラストレーター(illustrator)と言います。工業製品では、個性的な美的形状のアイデアを描く人を、デザイナー(designer)と呼んで尊敬します。こちらは、色彩設計を含む意義もありますので、デザインの用語を使うのですが、日本語の熟語では意匠設計が当たります。現実の設計作業は、全体設計をエンジニア(engineer：技術者)が当たります。一つの理想的な体制は、エンジニアとデザイナーとの協力です。これに対して芸術家(アーティスト：artist)は、ほとんど独りで想像から制作までをこなし、ここで言う図面に当たるものを作成しません。それに代わる下書き的な図を、絵画や彫刻では素描と言い、フランス語に原義を持つデッサン(dessin)が日本語として定着しました。デッサンは黒の鉛筆などで描くのに対して、映画産業では色クレヨンを使う素描を絵コンテと言います。図をきれいに描く技術は、才能に恵まれることも助けになります。工業図面の作成者は、専門ごとに固有の製図法の知識を踏まえ、経験を積む必要があります。作図の専門家(specialist)を図工と言い、設計者は、立体的な形状の情報を図工に渡して製図してもらう分業体制も取ります。この事もあって、工業図面の表題欄には、設計者と共に作図者の署名欄を設け、著作権の主張に使います。しかし、絵画とは異なる性格がありますので、日本では管理者側の名前を表に出すことが多く見られます。

## 2.2 印刷と複写

### 2.2.1 設計図は複写を考えて作成する

図面は、関連を持つ複数の人・部局・企業で情報を共有するための媒体として利用しますので、複数の複写物（コピー：copy）を作成します。現在では文書や絵画のコピーが便利に利用できます。しかし、1920年代までは、複写装置がありませんでした。同じものを複数作成する方法として印刷（プリント：print）があります。こちらは、最初から大量の部数を作成することを考えて作業を計画します。複写は、既に原本があって、それから同じもの、または同じに扱えるものを小部数作成する意義があります。手書きで筆写するのでは一部しかコピーできませんので、コピーには印刷装置とは別の工夫が必要です。青写真（blue print：ブループリント）の日本での歴史は、理化学研究所が1927年に開発した方式に始まりました。原理は写真の焼き付けと同じです。一般写真が銀塩を使うのに対して、鉄塩の感光性を応用したものです。この他に、ジアゾ（diaz）化合物を利用する方式なども開発されました。青写真は、用紙の地が青、線が白の陰画で得られますので、通称で青焼きと言います。地が白の陽画で得られる方式もあって、こちらを白焼きと言います。これらを利用するには、最初から原稿をトレーシングペーパーに書くことから始めなければなりません。このことは、設計・製図作業に大きな影響がありました。青写真は、設計図の意味で一般にも使われる用語になりました。

### 2.2.2 古典的な製図方法の理解も必要

土木学会の初代会長の古市公威（1854-1934）は、モンジュの伝統を受け継いだフランスに留学し、多くの製図の実習もしました。それらの作品は、日本に持ち帰られ、東大の土木工学科図書室に残されていました。それらは、大版のケント紙に、墨入れだけでなく彩色もされ、芸術作品の趣があります。この時代の主な製図用筆記具は、烏口（からすぐち）と特殊なペンです。図2.1は、昭和30年（1955）に完成した西海橋の記念に作成した、縮小版図面集の表紙に書いてある文字を示したものです。文字を手書きで綺麗に書くことが、技能として未だ重要であった時代の一つの実例です。三種類の字体がありますが、特に中段の、装飾のある字体に注目して下さい。理工系大学の教養課程には図学（graphics science）の科目があります。そこではモンジュの画法幾何学を教え、このような字体を実習で書かせていました。以前、名古屋大学の田嶋太郎教授（故人）に、「CADの時代に合った便利な作図道具を使うことを教えないのか？」とお尋ねしたところ、「古い作図道具の使い方を教える場を残しておくのが教育として必要である」との見識をお持ちでした。一般に、設計図は、最初の原因を一つしか作図できません。これは、絵画と同じような創作活動ですので、作品としての仕上げの良さが意識されます。建築物の設計者がデザイナーとして尊敬されるときは、絵を描く素養も評価されました。世間一般でも絵を描くことを、設計そのものと誤解することがあります。工業製図には、絵画作成の素養も必要です。実は、字を上手に書く技能も重要です。このこともあって、理工系の専門分野に進学することを志望する人であっても、製図を必要とする専門学科を敬遠することもありました。また、橋梁設計会社に入社した新人は、図面が会社の顔を示すことになるので、改めて製図技能の徹底的な再教育を受けさせられます。



図 2.1 図面作成には文字を綺麗に書く技能も要求された



### 2.2.3 製図には特別な用具が工夫されてきたこと

複写機が便利に利用できなかつた 1920 年代までは、設計図は、厚手のケント紙に烏口と特別なペンを使って墨で清書しました。元の設計図が一つしか無くて、それを利用する分野が複数あると、閲覧を共有するか、何がしかの少数のコピーをしなければなりません。銅版などを使う印刷による複製は費用が高みますので、手書きでコピーをします。これをトレース(trace)すると言い、トレース専門の図工 (トレーサ) が当たりました。このとき、かなりの頻度で転写の誤りが起こります。青焼き または白焼き の複写機が利用できるようになって、作業に必要な文書や設計図をトレーシングペーパーに書くようになりまし。それに合わせて、細い線も引ける硬さと、複写が鮮明に得られるような、複写機の紫外線を通し難い材料の芯を持たせた鉛筆、またはシャープペンシル (商品名です) を使うようになりまし。鉛筆で書く線図は、線の太細を描き分けることが難しいので、濃淡が区別できるような硬さの芯 (B~H) で使い分けをします。清書を考えるときは、改めて墨入れて図面をトレーサに作図してもらうこともしました。欧米では、太さに合わせて文字や線が書ける製図用の特殊万年筆が製図用文房具として使われていました。ここまでの段階は、手書き作業で製図することを考えた製図用具です。コンピュータ制御のプロッタを製図道具として利用するようになった最初は、鉛筆またはインクペンを持ったキャリアを、作図用紙を載せた台の上を移動させる機構で、文字や線を描かせました。これがCADの始まりです。当時は自動製図と言いました。

### 2.2.4 レーザプリンタの開発で青写真の時代が終わった

1955 年は、普通紙にも複写ができるゼロックス社のコピー機械が使われるようになって、複写機は新しい時代に入りました。これに続いて、レーザプリンタとインクジェットプリンタが普及するようになりまし。ここでのプリンタの言い方は、作図原理が、上の項で説明したプロッタとは異なるからです。事務処理装置としての視点は、複写機 (コピー機) と括ります。青写真のコピー原理と大きく異なることは、画像を一旦電子化データ、さらにはデジタルデータに変換してから再現させることです。画像データの取り込み部分が、別装置としてのデジタルカメラやスキャナです。用紙にコピーを作成する装置部分を別に選択できるようになりました。コンピュータのモニタ画面で、閲覧または確認に利用することがその一つです。こちらをソフトコピー (soft copy)、用紙を使う場合はハードコピー (hard copy) と言いつけるようになりまし。事務用複写機は、使い勝手が良くなるように、スキャナとプリンタとを一体化した製品です。用紙寸法としては、A3 版までが普通です。A0 版のような大図面まで複写するには、特別仕様の広幅用紙用のスキャナ、またはデジタルカメラでデータを取り込み、広幅用紙が使えるプリンタにデータを送って作図させます。

### 2.2.5 コンピュータに描いてもらう時代になった

設計・製図は、高度な知的労働です。アイディアを図を表すとき、自分で作業をすることに代えて、別のの人に描いてもらうとします。その別のの人にコンピュータを考え、それを擬人化して語りかける方法を工夫します。これが、グラフィックス言語でプログラムを書くことです。そして、その言語を間接的に使って、対話的にコンピュータに理解させる作業としてユーザインタフェースが研究されます。初期のソフトウェア製品は二つの系列がありました。線図描画用 (draw系) と濃淡図用 (paint系) です。前者は線図主体のプロッタを制御することに応用され、後者はコンピュータのグラフィックスモニタに作図するツールです。特に、後者はコンピュータグラフィックスのブームに火を付け、ひいては、パソコンの大衆化へと発展させた原動力の一つです。

### 2.2.6 再現性の機能が重要であること

手を使う作図は、同じ図柄であっても、厳密に見れば、二つとして同じものの作図ができません。プログラミング言語を使ってコンピュータで作図装置に描かせる場合は、何度でも同じ図が得られます。コピーは一種の再現処理ですが、それとは違う概念ですので、再現性がある、とすることにします。図の修正が必要であるときは、言語の一部を書き換えることで対応できます。対話型 (インタラクティブ) の環境で、一過性のグラフィックスソフトを使うと、図の修正ができません。油絵を描く場合には、上から別の絵の具で描けば修正ができます。paint系のグラフィックスソフトは、その様な操作ができますが、draw系のソフトは、この修正が大変です。CADのソフトウェアは、線図を主に扱います。そのため、インタラクティブな製図作業の裏で、作図手順をグラフィックス言語に直してファイルに記録するようになっています。コピーを取るように、全体図面を再現して描かせることもできますし、修正が必要になる箇所は、手順の一部を書き換えることで対応できることが重要な機能になっています。

## 2.3 投影原理と作図データ

### 2.3.1 製図は実物ではなく幾何モデルを描く

形状を幾何学的に正確に表す基本図形は、定規を使って直線を組み合わせで描く多角形と、コンパスを使う円だけです。任意の曲線、例えば単純な放物線であっても、多角形で近似させて描きます。手書きの場合は、曲線定規や撓み定規(しない：スプライン：spline)を使い、作図者の技能で滑らかな曲線を描きます。コンピュータ制御で曲線を描かせるときは、多角形で近似させます。製図で描く図形は、完成させたい実物をそっくり写したように描くではありません。描く対象は、実物を想定しておいて、それを或る尺度で縮小または拡大した幾何モデル(geometric model)です。したがって、図面そのものを再度拡大または縮小して利用すると、尺度の意義が失われますので注意が必要です。地図を台にして構造物の平面図を描くことを考えれば分かるように、元の図の原寸が分かるように、図面の枠に寸法目盛を記入することが製図基準には決められています。幾何モデルは、これから作る実物の形状と寸法を、すべて正確に相似させるようにはしません。省略・簡略・誇張の技法も使います。これらを補うために寸法を記入します。言葉で説明するのも親切です。ただし、英語を使うのは国際的に使う図面では大切ですが、日本語の環境では、英語を知らない職人さんにも理解できるように、それに代わる、約束を決めた記号を使うようにします。製図では、文字も記号扱いです。実物を製作するときは、設計図を基に、改めて原形に忠実な詳細図や製作図に描き直すこともします。設計図までの図は、計画段階または管理段階で主に利用します。工場で使う製作図、さらには輸送・組立て、構造物の場合には建設など、専門的な場面で多くの図が作図されることも理解しておく必要があります。

### 2.3.2 データを共有する CAD と CAM

コンピュータを利用して、線図を主体とした設計図をプロッタ(plotter)に描かせるときのデータと、同じくコンピュータ制御の工作機械で、工具の移動に使うデータとは、共通に使うことが多くなります。独立には、前者の技術をCADD(computer-aided design and drawing)、後者をCAM(computer-aided manufacturing)と言います。小単位の器械成品などは、設計から製作までの作業を一続きで処理し、上に挙げた製作図を改めて描くことを省くこともできるようになりました。それを表す用語が、スラッシュで結んだCAD/CAMです。市販のCADのソフトウェアは、computer-aided drawingのツールであって、designの意義を持たない、言わば、お絵描きツールです。こちらの方は、計画や設計段階での需要が多く、何を作成するかが分かる管理目的の設計図や、一般的な理解に役立つイラストの作成に多く利用されています。特に、テクニカルイラストレーション(technical illustration)は、自動車の構造を説明する図などに良く見られるようになりました。この作成は、CADのツールが利用されますが、それにもまして、イラストレータの個性的な技能が作品としての評価を高めます。

### 2.3.3 投影法を適切に使い分けること

立体的な形状を平面的な図に表すときの幾何学的原理を投影(projection)と言い、それを応用して、人が見て理解できる図に作成したものが投影図です。幾何学的には、三次元図形から二次元図形への変換ですので、次元数が下がり、実際図形では奥行き情報が失われます。単純に丸や四角を描いてみると、そこが飛び出した柱状態であるのか、凹んだ穴であるかの区別ができなくて、場合によってはだまし絵になります。それを補う実践的な方法は、複数の向きから見た投影図をセットにして表すことと、寸法を記入して大きさを示し、また言葉を添えることもします。或る一つの方向から見たように図に描くときの、幾何学的な技法の学問を画法幾何学(または図法幾何学：descriptive geometry)と言い、モンジュが始めたとされています。この原理は、対象物に太陽光線のような平行光線を当て、対象物の後ろに在る投影面に写る影(shadow)を台にして、光の側から見た図形に作図する方法です。画法幾何学では平行投影(parallel projection)と言います。人の眼(片目)で見たように描くときの図を透視図(パース：perspective)と言います。作図の幾何学的原理は、平行光線ではなく、点光源を考えますので、中心投影(central projection)と言います。対象物の後ろに在る投影面上の影を考えることもできますが、分かり易いモデルは、向こうが透けて見える透視投影面を通して、そこに写る図形を台にして作図します(図 2.7 参照)。平行投影は、点光源を無限に遠い位置に移動させると平行光線になる原理ですので、中心投影の特別な場合と考えることができます。投影図単体の図形の性質は、対象物・投影面・光源の三つの要素の、相対的な位置に関係します。もう一つ、人が投影図を見るときは位置関係があって、正面に置いた用紙上のどちらか向きに図を置くかの選び方も関係し、場合によって錯視が起こります(図 2.9 参照)。これらを正確に表したいときには座標系の定義を使う必要があるのですが、モンジュの時代にはこの考え方が未熟でした。これが投影法の理解を難しいものにしてきた理由の一つです。



## 2.4 幾何学と座標系

### 2.4.1 幾何と代数とは別の学問体系であったこと

幾何学(geometry)の原義は、地形(geo)を測る(metry)です。この歴史は紀元前300年頃のユークリッド(Euclid)以前にまで遡ります。幾何学に代数的な解析方法を応用するようになったのは、デカルト(Des-Cartes, 1596-1650)に始まるとされています。代数学を応用するには、図形の幾何学的な性質を数で表すことが必要です。ここで考える数の代表が、長さです。長さは、或る基準点を決めて、そこからの寸法で言います。この手続きは、最も単純な線座標系(line coordinate system)使っています。二次元図形、さらには立体図形の寸法を表す場合には、平面座標系、立体座標系などを使い分けます。デカルト座標系の約束は、右手系の直交座標系です。英語は、right-handed Cartesian coordinate systemです。代数的には、座標軸の記号に(x, y, z)を当て、水平面を(x, y)と使い、高さ方向をz軸とします。座標軸の正の向きを、右手の親指・人差し指・中指の示す向きの順に合わせる約束ですので、右手系と言います。座標系を使って幾何の問題を扱うことを座標幾何学(coordinate geometry)と言います。解析的な手法も応用できますので、解析幾何学(analytical geometry)とも言い、幾何学も数学の大分野に含めるようになりました。戦前の中学校では、幾何と代数とは別教科の扱いをしていました。初等幾何学は、図形の性質の説明に、文章を主とした論理的な手法を利用します。そのこともあって、生徒の側では、好き嫌いがはっきり分かれる学科でした。幾何学は、構造物の設計で重要な実用的な学問です。土木・建築工学では測量学(land surveying)として必修学科の位置づけです。測量器材が便利になりましたので、幾何学や測量学の素養が無くても、不便を感じなくなりました。昔の大工さんは、建物の向きを正確に東西南北に揃え、また夏冬の太陽の高さを考えて、屋根の庇の長さや窓の高さなどを決めていました。測量の知識に疎いデザイナーが、構造物の見取り図に、太陽光による陰影を思い付きで描き加えると、南北を間違える失敗をする例があります。

### 2.4.2 寸法は線座標系を使うこと

設計図に相当する図は、古くから実用されていました。そこには、何がしかの寸法数字を、単位系と共に書きます。この表し方は、どこかを起点として累積するように表します。これは実践技術であって、明確に意識をしません、物差しを当てて長さを測る線座標系を使うことです。ここで使う物差しには、定規のような直線だけではなく、紐やテープを使って曲線に沿っても測ります。したがって、職人さんの使う物差しや測定器具は、起点となる端が必ず0の目盛になっています。一方、三角定規などの文房具に物差しが付いていても、0の目盛位置を端に合わせてないのが普通です。これらは、寸法を測ることが主目的ではないからです。図面に寸法を書く場合は、実物に物差しを当てて確認できるように記入します。理論的に参考にする数値であっても、物差しで測れない寸法があることを理解しておきます。例えば、円柱は外形としての直径を書き、半径数値を使いません。円の中心位置が分かるとは限らないからです。半径を書いてあれば、直径は2倍すればよいのが理屈ですが、作業現場で計算が必要になる数値を使いません。道路や鉄道の路線は、理論上、大きな半径の円弧を使います。曲線の半径は参考数値です。円の中心位置は分かりませんし、その位置も重要ではありません。円周に沿って、多角形状に座標位置を求める測量の技法を曲線設置法(curve setting method)と言います。この数値計算には二次元または三次元の座標幾何学が応用されます。

### 2.4.3 画法幾何学は座標系を使わない

幾何学が定義する平面は、平面的に広がった、「形を持たない・抽象的な・眼に見えない」場所の意味を表します。切り紙は、「具体的な・眼に見える」物(オブジェクト: object)として扱うことができますので、表と裏の区別を決めることができます。こちらを、単に面と言うことにします。実体のある立体的な形状では、多角形の面で表面を構成すると考える幾何モデルが、サーフェースモデル(surface model: 紙細工)です。こちらは、多角形の辺を図に描いて表すことができます。面または表面は、幾何学での平面の性質を持ちます。辺は幾何学の直線の性質を持つとします。直線も、定義としては直線状に並んでいる場所の意味を表しますので、眼に見える物ではありません。多角形の辺は、眼に見える実体として扱うことができます。これは、二つの平面の交差で定義される直線の性質を持ちます。モンジュが始めた画法幾何学は、面と辺とを図に表すときの描き方を扱います。このとき、座標系の約束を使いませんが、座標系らしき考え方は必要です。それは、後で説明する図2.5で示すような、直角に交わる二つの投影面が、言わば座標平面を示しています。ここでは投影面の交差直線を基線と言うのですが、座標軸とは言いません。座標原点の約束も、長さを測る尺度の約束もありません。

## 2.5 幾何モデリング

### 2.5.1 模型を造らないと分からないことがある

立体的な構造を頭の中だけで想像できて、それを図に描けるのは、単純な場合だけです。図 2.2 に示した差物大工（さしものだいく）の寄木細工は、表の寄木のデザインと同時に、複雑な動きをさせて蓋を開ける機構も見事です。真似て造ろうとすると、全体を分解して模型を別に造って組み立ての勉強しなければなりません。設計図を描くのはその後です。動く個所がない立体的な構造であっても、模型を造ってみなければ分からない場合も少なくないのです。この作業は、実物を造る程ではなくても、かなり面倒です。この模型を仮想世界の中に造るときに幾何モデルと言い、これをコンピュータグラフィックスの応用で観察する方法を工夫します。この全体が幾何モデリングです。



図 2.2 箱根のお土産にある寄木の細工箱

### 2.5.2 模型とモデルとの使い分け

寸法の大きな立体的な形状を、限られた寸法の用紙に図として表現したいとき、眼で見て不自然にならないようにする方法は、程度の大小はありますが、中心投影図が応用されます。しかし、幾何学的に正確な作図原理は、手書きの技術では難しいこともあって、平行投影を場面に応じて応用します。理論に忠実に平行投影原理で作図するならば、用紙の大きさを元の形状と同じにしなければなりません。したがって、寸法の大きな対象物は縮小図に作成するのですが、その考え方が二通りあります。一つは、原寸で描くことを考えておいて、それを写真に撮影するような縮小図に作り直すこと。二つ目は、元の図形の特徴が分かるような縮小寸法のモデルを別に考えておいて、それを平行投影して図にすることです。プラモデルのような、実体を持った縮小モデルは、用語として模型を当てるようです。英語のmodelをカタカナ語で使うモデルは、実体を持たない抽象化を言う場合にも使います。例えば数学モデルがそうです。これから製作する対象物は、未だ存在していないことの意義がありますので、幾何モデル (geometric model) で考えます。このモデルのデータを準備することを、幾何モデリング (geometric modeling) と言うようになりました。

### 2.5.3 作図用のソフトウェアが必要であること

幾何モデルのデータを準備することは、正直に取り組むと、かなり手の掛かる作業です。それは、頭の中でモデルの全体構造を想像しておいて、具体的な数値計算で寸法や座標の計算をしなければならぬからです。これを賢く実行することのプログラミングが種々工夫されています。幾何モデリングと似た処理が必要になる構造解析に有限要素法 (FEM: finite element method) があります。解析対象とする、既に作成済みの幾何モデルを、メッシュ (網目構造) に分割する前処理が必要です。これには、半自動的にメッシュを作成する方法が研究されています。幾何モデリングの場合には、単純な幾つかの幾何モデルを、擬似的に変形・切断・穴あけ・溶接などの加工 (processing) をして、複雑な形状に合成する方法をプログラミングします。これには、コンピュータに話しかけて実行してもらおうユーザインタフェースが工夫されています。線図形を描くだけのソフトウェアの基本的な処理は、ペンの種類を決めて、二点を結ぶ線を引くことです。プロッタは、コンピュータ側から見れば外部装置ですので、装置の準備と終了を含めて、全体としては 10 個未満のサブルーチンがあれば役に立ちます。これを応用して便利サブルーチン、例えば、円弧を描く、実線の他に点線や破線を使えるようにする、などが追加され、この全体をグラフィックス言語としてまとめます。用語としてはAPI (application programming interface) とも言います。このプログラミング技法は、プロッタを装置 (デバイス)、作図する線や単純な図形をオブジェクト (物) とみなして、オブジェクト指向プログラミング (object-oriented programming) と総称するようになりました。オブジェクトの、特徴に当たる性質をプロパティ (ptoprtyy: 属性) と言います。直線を引く、などの動作を表す動詞の意義をメソッド (method) と言うようになりました。これは、従来のプログラミングではサブルーチン (subroutine) に当たります。メソッド、オブジェクト、そのプロパティを表す全体の言語表現が、グラフィックス言語です。これらの知識は、プログラマレベルで必要です。一般ユーザは、商品としての、CADのソフトウェアの使い方 (ユーザインタフェース) に知識があれば充分です。

## 2.6 座標系の決め方

### 2.6.1 形状の表し方に使う言葉とデータ

単純な平面幾何学的な図形データを、相手に言葉で伝えるときは、例えば、半径 50 mmの円、1 辺が 10 cmの正方形、のように言うことができます。簡単な立体図形は、3 辺の長さが 30×40×50 cmの直方体、直径 15 cm、高さ 30 cmの円錐などと言います。単純な図形単位としての表現はこれでもよいのですが、複数の図形との相対的な位置関係を言いたいときには情報が不足します。例えば、図に書く用紙も矩形の性質を持つ図形です。用紙上に矩形を描くことを考えると、相対的な位置と向きとを知らせる情報が必要です。図に描けば一瞥で済む場合であっても、眼を持たないコンピュータにデータを渡して、用紙上に図を描かせるためのデータを準備するとなると、一工夫が要ります。一般的に、平面図形、さらには立体図形のデータをコンピュータに知らせるときの幾何モデルは、平面図形では多角形の集合を地図のように表し、立体図形では多角形の集合で表した面の集合の多面体(polyhedron)とします。多角形は、辺の集合で約束できます。辺は隣接する別の多角形との境界です。そして辺は頂点を直線で結んだ構造で約束します。頂点は、複数の辺が集まる場所です。これらの図形のデータは、仮の座標系を約束しておいて、頂点の座標数値が基本データです。凸多角形、凸多面体ならば、頂点の座標が分かれば、どの頂点と頂点をとを辺として結ぶかを定めることができます。一般的な定義方法は、あらかじめ頂点・辺・面(つまり、これらがオブジェクト)に番号または記号を割り当てておいて、辺がどの二つの頂点で与えられ、その辺で接する二つの面の接続情報を約束しておきます。こちらは、位相幾何学的(topological) データです。

### 2.6.2 世界を覗いて作図領域を決める座標系

幾何モデルは、実体がありません。それが存在していると仮想(virtual)した擬似的な空間を考えます。これを仮想世界、または単に世界(world)と言うことにして、そこに世界座標系(world coordinate system)を決めます。この世界を覗く仮想のカメラを考えておいて、それを通して世界座標系に在る幾何モデルを写し、その像を用紙に転写する仮想の処理を考えます。この想像は、我々の現実世界に当てはめて理解することができます。コンピュータを利用して投影図を作成するには、幾つかの座標系を使い分けします。まず、仮想のカメラも仮想世界に置くのですが、投影の処理を扱うため、カメラ本体に固有のカメラ座標系を考えます。カメラで見る像の性質は、カメラのレンズの位置に人の眼があって対象物を見るような像が得られますので、視点座標系とも言います(図 2.3)。幾何モデル本体にも固有の局所座標系を必要とします。このモデルが世界座標の中で、どの位置にあって、どの向きに置くかの情報が必要です。これは、モデルの座標系と世界座標系との関係を定めることであって、幾何学的には座標変換、代数学的にはマトリックスを使う線形代数が応用されます。

### 2.6.3 図を描く面に決める装置座標系

カメラはフィルム面上に像が得られるのですが、フィルムは任意の寸法に拡大して焼きつけることができますので、このフィルム面を透視投影面にモデル化して、レンズと対象物との間におきます。この像は、カメラのファインダが区切る矩形の枠を窓とみなして、ウインドウ(window)と言います。窓を通して見ている世界座標の範囲は、三次元的には四角錐の空間領域です。平面図形を見るときは、二次元的世界座標の矩形寸法を区切りますので、これをウインドウの寸法とします。フィルム上の像をプリンタの用紙上に転写するのですが、用紙を置く領域に座標系が必要です。これを装置座標系と言います。用紙全体をフィルム寸法と相似にしておいて全体を焼きつけることもありますが、用紙の一部に作図用の枠を決めることもします。これをビューポート(viewport)と言います。パソコンOSのWindowsで使うフォーム(form)は、グラフィックスではモニタ上のビューポートのことです。ビューポートに画像をはめ込むために座標変換をします。これをウインドウ-ビューポート変換と言います。

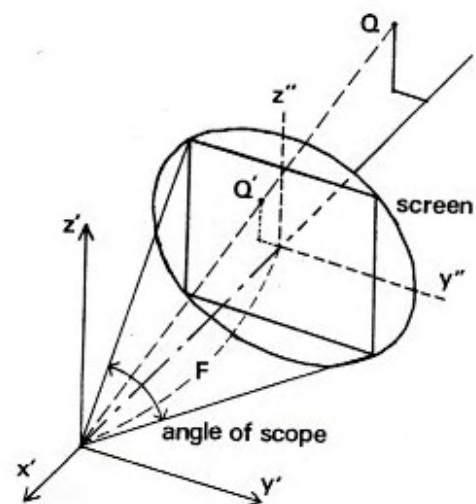


図 2.3 視点座標系とウインドウ枠



## 2.7 投影図と透視図の区別

### 2.7.1 単純な線座標系を利用すること

最初に、平面図形の形状と寸法を表す実践的な製図の約束を説明することから始めます。図 2.4 は、単純な平面図形を標準的な製図法の約束に沿って描いたものです。図を描く用紙そのものに二次元的な座標を考えることをしませんが、暗黙の習慣として、左下に原点のある平面座標系を考えます。そうすると、横書きの寸法数字は左から右方向に書き、縦方向の寸法数字は下から上に書きます。図 2.3 には、参考のため、座標軸らしき線を加えてあります。この座標軸は、用紙の平面領域を 4 つに分けます。この領域を**象限**(quadrant)と言い、左回りに第一象限～第四象限と番号をつけて区別します。ただし、象限は数学の用語であって、製図の方では**角**(angle)を当て、第一角～第四角と言います。

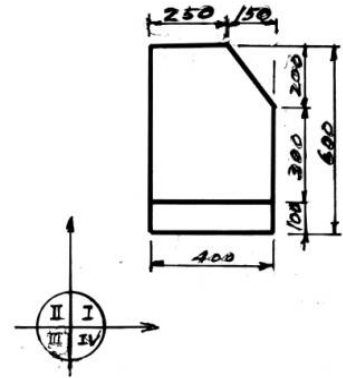


図 2.4 第一角法で描いた平面図形

### 2.7.2 二枚の投影面の対を基本に考える

立体的な図形を表すときの投影法は、直角に交差させた二つの投影面を基本に考えます。投影面は空間を 4 分割しますが、それを図 2.4 と同じ考え方を応用して、第一角～第四角に区分します。対象物を第一角において、投影面に垂直な方向から平行光線を当て、その影の位置に光源方向から見た図を描きます。垂直・水平の投影面が交わる線で投影面を展開して得られる二つの図の対で、立体的な形状を表します。これだけでは形状の情報が不足しますので、対象物の方を回転させて得られる幾つかの対の投影図を並べます。この投影図の並べ方の約束をまとめたものが、次の図 2.6 に示した**第一角法**と**第三角法**です。第三角法とは、図 2.5 において、対象物の位置を左下の第三角の位置に置いて投影図を求める原理からそう言います。ただし、投影図とは言いますが図の作成原理は、平行光線を考えた**透視図**です。

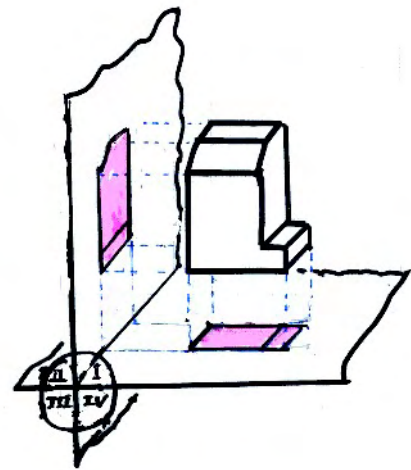
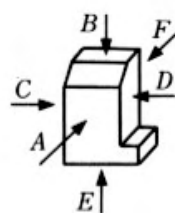
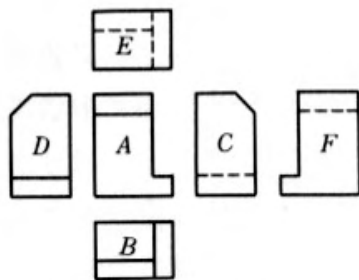


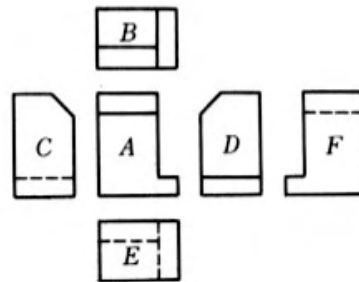
図 2.5 第一角法による投影原理



- A: 正面図
- B: 平面図
- C: 左側面図
- D: 右側面図
- E: 下面図
- F: 背面図



第一角法



第三角法

図 2.6 複数の投影図の配置の約束

### 2.7.3 誤解が起きないのは第三角法

ISOが提案する工業製図の国際規格は、合理的な面があると同時に、各国ごとに事情があつて、必ずしも国際的な合意が成立しているものではありません。その代表的な例が投影法です。ヨーロッパ諸国は、モンジュの始めた画法幾何学の理論を元にした第一角法を採用しています。一方、アメリカと日本は第三角法を規格に採用しています。ISOとしては、どちらかを推奨したいところですが、会議では合意に至らず、両方の規格を認め、どちらを利用するかは、各国ごとに裁量に任せることになりました。実践的な作図法としては、第三角法の図の配置が分かり易いでしょう。その理由は、対象物を紙細工で作成したとして、その展開図を作成すると考えたとき、個別の投影図が同じ位置関係になるからです(図 2.6 参照)。第一角法の欠点の代表的なものは、側面図の配置にあります。左から見た側面図を正面図の右に置きます。左右の幅の大きな対象物では、左の側面図が、遠い反対側の、正面図の右に置く約束だからです。上から見た平面図と正面図との位置関係も、第一角法と第三角法とでは配置の約束が上下逆です。こちらは、第三角法の場合であっても、例えば橋梁設計の一般図などでは、正面図を製図用紙の上に配置することが実用されています。このような、規則から外れる図の配置があるときは、図に正面図や平面図のような言葉で見出しを使うか、記号と見る方向の矢印記号を付ける、などの方法で、図の読み違えを防ぐようにします。第一角法のもう一つの欠点として指摘されることは、投影図が視点から見て対象物の向こう側に置く原理を使いますので、物理的には図が隠される作図モデルになっていることです。

### 2.7.4 絵画に見る平行投影と中心投影

対象物に太陽光のような平行光線を当てる(投光する)と、光源と反対側に面(投影面)があれば、輪郭のはっきりした影(shadow)ができます。この輪郭の作図に、幾何学の原理を応用します。実を言うと、光を通さない対象物では、原理的にはシルエット(silhouette; フランス語)、つまり外形の輪郭図です。そこで、光源側に視点が在って、対象物を人の眼で見たような図形に作図します。透視図は、面を通して向こう側が透けて見える透視投影面を考え、その面の向こう側に在る対象物をその面上で見た形状を図に作成したものを言います。絵画の方では、この作図技法を遠近法と言います。この図形は、作図原理的には中心投影です。日本語で透視図、中心投影図、遠近法に当たる三つの用語は、英語では、perspective一つです。日本では、省略したカタカナ語のパースも好んで使われます。手書きで対象物の形状を作図するのは技法的に難しいので、西洋の近代絵画では、正確な形状を作図するために、簡単な透視用の道具を使っていました(図 2.7)。日本では大和絵と言う画法で描いた絵画があります。これは、作図原理で言えば、平行投影の一種である斜投影を使っていて、視点からの遠近に関わらず、幾何学的に平行な図形は平行線で描きます(図 2.8)。



図 2.7 ゴッホが遠近法枠を使って製作したと想像して描いた図  
(三浦 篤)



図 2.8 郵便切手に採用された 土女遊楽図屏風・囲碁  
(斜投影で描かれた典型的な大和絵)

## 2.8 陰影の付け方

### 2.8.1 陰と影とを区別する

製図の描き方の規格では認めていませんが、平面的に描かれた図形を見て、立体的な形状に理解させる作図方法の一つに**陰影法**(shading)があります。日本語では一つの熟語として**陰影**と言います。しかし、和語の読みは、二つの漢字を共に(かげ)と言います。英語では陰をshade、影がshadowであって、物理的には原理が異なります。どちらも、光が当たることによってできる「明るさ・暗さ」の区別のうち、暗さの方を言う言葉です。陰の方は、見ている対象物本体の方の暗さを言います。影は、対象物に対して光源と反対側に在る、別の対象物の方の暗さを言います。作図の技法として、立体的な性質を分かり易く見せる**見取り図**(スケッチ)に、或るレベルの明るさ、または暗さの区別(明暗度:コントラスト)を付けます。これが陰影法です。光の当たる側も当たらない側も対象です。影の場合には、暗さのレベルを区別しません。投影法と言うときは、影の方の輪郭図形を指します。

### 2.8.2 光源・対象物・視点の位置関係

或る立体的な対象物の説明用の見取り図を作るとき、凹凸の具合が分かるように光源を考えて陰影を付けます。光源の位置は、大別して二通りあります。一つは写真撮影をするとき、逆光にならないようにする方法であって、光源は対象物から見れば眼と同じ側にあります。もう一つは、机の上で作業をするとき、**手暗がり**にならないような位置に光源を置く場合です。常識的な配置は、眼から見て、光源を対象物の左上、やや奥に考えます。この位置にある光源は、水平面を明るく照らします。立方体の場合には、手前の垂直面がやや暗く、右横の側面をより暗くします(図 2.9)。机の上に置いた立方体が机の上に落とす影は、眼から見て立方体の手前と右側にできますが、これは表示していません。図 2.9 の左右の図は、実は、同じ図であって、互いに 180 度回転させただけの関係になっています。左の図は立方体の手前の角が欠けて引っ込んでいるように見えます。右の図は、小さな立方体が、屏風のような後ろの壁と床に接しているように見えます。これが**錯視**です。用紙上の図の向きと視点の相対的な位置が関係します。なお、光源の位置を、視点と同じ側、左手前でやや上から照らすことを考えると、左の側面がハイライト、水平面に薄い陰を加える図になります。

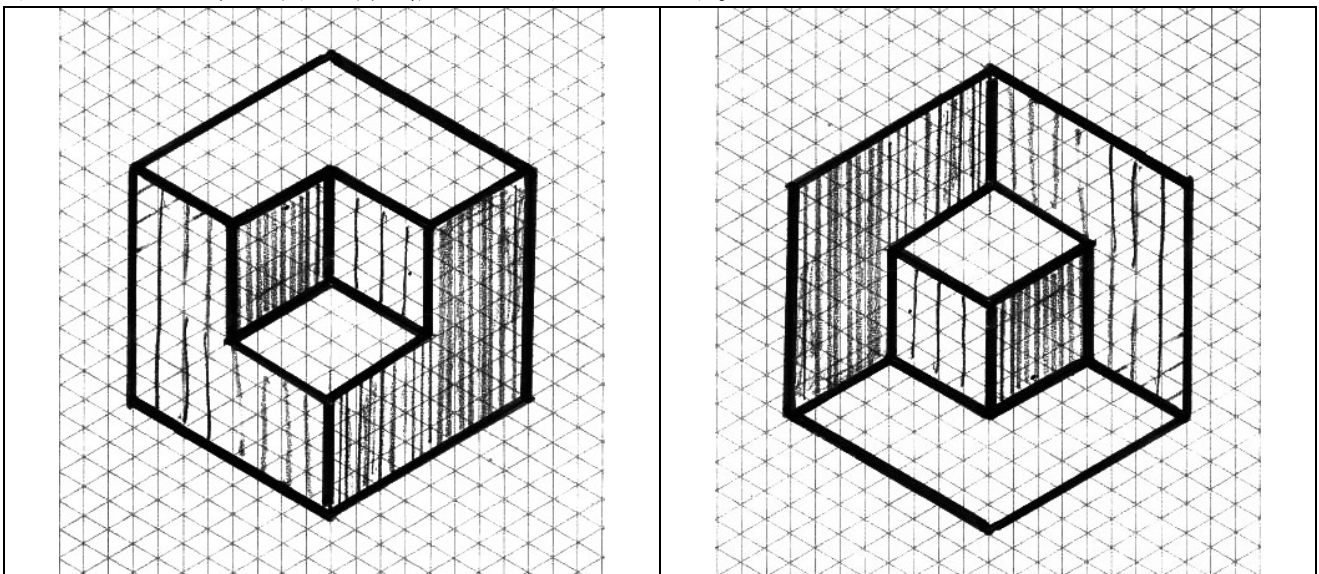


図 2.9 等角図に陰をつけた見取り図(光源が、左上に在るとしてコントラストを付けた)

### 2.8.3 立体感を表す単純な段差表示

パソコンのモニタに表示されるボタンの図柄は、矩形枠を図 2.10 左のように下と右とを太く描くことで、このボタンが飛び出した状態に見せています。このボタンをクリックして凹ませた状態に見せるときは、矩形枠の左と上を太くするのですが、枠図形としては 180 度回転させたものです。これも錯視の応用です。光源の考え方は図 2.9 と同じです。厚みの薄い立体を上から見たとして、影の付き方と考えることができます。

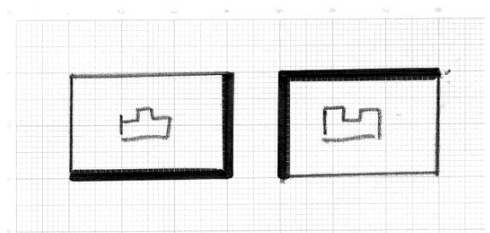


図 2.10 ボタンの凹凸表示



### 3. 寸法と尺度

#### 3.1 長さの計測と規格化

##### 3.1.1 地図の作成は先ず測量から始める

人類が文化らしいものを持つようになった歴史は、幾何学的な知識を生活環境応用するようになったことに、一つの起源を置くようです。古代遺跡の調査をして、幾何学的に整然と並んだ遺構や遺物が発見されれば、そこに文化があったと想像します。幾何学的に設計された都市計画、それを台にした建物や構造物の計画は、最初に幾何学的な区画の設計図を考えて、それを元に、何も手掛かりのない土地に、人工的な目印を作ることから始めます。これは、地面の上に大寸法の製図と製作の作業をすることと考えることができます。この準備作業には、何がしかの座標系を考えます。その座標軸の一つは、正確な南北方向です。これを決めることは天文学の知識の応用です。その決定過程には宗教的な儀式を踏まえるのが普通です。地球の形状とその上に座標系を設定することの学問は、測地学(geodesy)です。近代的な測量学は、測地学を踏まえます。世界地図を見ると、北米とアフリカ大陸では、州や国の国境を緯度・経度の線に合わせて幾何学的に決めているのを見ます。これは地形の特徴が少ない場所に目印を作る必要があるため、測地学の知識を元に、土木技術者が引いた人工的な境界です。その位置の緯度は比較的簡単に測定できますが、経度を正確に知ることは大変です。日本の地形は、山や川の自然を境界に利用しています。直角を利用した幾何学的な形状を都市計画に応用することは、奈良と京都では中国から、札幌市は欧米から学びました。函館の五稜郭も、近世の幾何を学んで応用した形状です。

##### 3.1.2 寸法単位は人の体を基準に決めたこと

長さは、古くから、人の体の寸法を基準にした単位で測ってきました。尺は、腕の長さが基準になっていて、折りたたみができる物差しの使い方をしていました。手の指幅は、並べて使う物差しに使いました。長い矢の長さを、古書では十三束(ゾク)三束(ツカ)のように言うのを見ます。前の束は、親指を除く手で握る幅、後ろの束は指幅を言います。英米では、足の長さを単位にしたフィートと、手の親指幅を言うインチを使う違いがありますが、尺と寸とに対応しています。日本では数の単位を十進で区切るのので1尺は10寸です。インチの場合には12インチで1フィートです。また、1インチ以下の寸法を表すとき、3/8インチのように、二進数(2, 4, 8, 16...)を分母に使った分数表示は、日本の習慣にはありませんでした。長い長さは、日本では尺の倍数単位に、一間=六尺、一町(丁とも書きます)=六十間ですので、6の倍数も使います。英米でも1ヤードは3フィート、さらに、倍の6フィートは日常的に使い易い長さを区切る単位に使います。日本の畳の呼び寸法は3尺×6尺です。これは、人ひとりが寝る広さの標準寸法です。長い距離を測る単位は、日本では1里(り)=36町≒4kmが使われていました。英米では、ラテン語の千を意味するマイル(mile: 哩の字を当てます)の単位を使います。これは、2歩の幅(複歩)で勘定した1000歩の距離の意義があって、約1.6kmです。正確には、1マイル=1760ヤード=5280フィートと定義されています。この数は中途半端です。先に1000歩の距離があって、それをヤードで計測して決めたようです。

##### 3.1.3 長い距離は歩測で測る

現代は自動車や鉄道の利用が便利になりましたので、歩いて距離を実感する機会が少なくなりました。歩幅は個人差がありますが、歩測で測る距離は、案外正確です。専門教育の測量学の実習をさせるとき、最初に100mの距離を区切って歩いて、歩いて距離感を体験させます。それから、歩測で距離を測って小範囲の地図を描かせると、非常に正確な作図が得られることを実感してくれます。また、目測でも距離感を間違えないようになります。精度は落ちますが、歩いた時間でも距離が分かります。平均して1分で100mです。したがって、一時間歩く距離は、約6kmです。前の項で説明した1マイルは約2000歩の距離です。健康維持のため、一日一万歩を歩くのが良いと言われていました。これは距離にして約5マイル=8km=2里、時間にして約1時間半弱の歩きです。ウォーキングクラブなどでは、コース設定の距離に、このことを踏まえています。万歩計に頼らなくても、運動量の見当がつかます。長さは、このように体感できますが、重さの方は、簡単に理解できなくて、知識で覚えなければなりません。設計作業は、寸法の提案と共に、材料の重量を積算して費用を計算します。このとき、人が重さを体感できるのは、せいぜい100kgまでだからです。蒸気機関車D51の設計重量が130tであると言われても、実感が湧きません。このこともあって、構造物の設計では、重さの見積もりを間違えるミスが、かなりの頻度で起こります。設計の検査では図面の長さの確認と体積積算と重量積算が重点検査の項目です。

### 3.1.4 メートル法は人工単位であること

商業活動には、長さや重さに共通の基準が必要です。これらの単位は、古代から慣用が定着した単位があると同時に、太閤検地尺のように、為政者側で恣意的に決める性格もありました。商業活動が国境を越えて広がるようになると、単位系の比較が必要です。科学技術においては、不変に利用できる長さの単位が要望されるようになりました。この長さの基準に、地球の寸法を使おうと言うアイデアがメートル法です。合理性の好きなフランス主導です。その当時の単位系を使って、子午線の長さの一部を正確に測量し、地球を完全な球体としたときの一周長さを4万キロに決めるとしました。この測量はフランス革命直後19世紀末に行われました。長さの基準にメートル法を提案することは、合理的な面があると同時に、これを日常の単位にまで応用することについては、問題も多く、法律を決めて強制することも必要になります。日本では、メートル法の導入は、欧米技術を学ぶための制度改革の一つとして組み込まれました。しかし、英米ではそれを進めなかったこともあって、日常生活ではフィート・ポンド法のままです。おまけに、英と米とでフィート・ポンドの大きさが少し違うなどで問題が起こることがあります。時代の流れとしては、メートル法に統一されるでしょうが、歴史的な経緯のある単位系についての常識を弁えていないと、古い文書や図面の理解ができません。

### 3.1.5 用紙寸法系列の規格化

図面は紙に描きます。紙の寸法は、紙を漉くときの最大寸法(全紙)を元にして、目的に合わせて種々の大きさに裁断した切り紙にします。日本の場合、お習字に使う半紙は、全紙の半分からそう言い、JISのB4版に当たります。用紙に限らず、寸法系列が多様に選択できるのは便利な面もあるのですが、管理の立場から言うと、少ない寸法系列に揃えることが理想です。現実には、それぞれの分野ごとに習慣と歴史を背負っていますので、統一規格の制定やその利用には痛みを伴うことがあり、問題も多く発生します。用紙寸法で言うと、JISには、A列とB列の二種類があります。しかし、JISのB列は、美濃紙の寸法を反映するように決めた日本独自の寸法系列であって、国際規格ISOのB列と整合していません。A0の用紙寸法は、面積が1平方メートル、縦横寸法比が $1:\sqrt{2}$ です。ISOのB0用紙寸法は面積が $\sqrt{2}$ 平方メートルです。これに対してJISのB0用紙寸法は面積が1.5平方メートルであって、長さにして約3%大きいのです。種々の寸法系列を規格化しておきたいのは人情でしょうが、そうすると、どんな寸法でも良いことになります。それでは規格の意義が失われます。規格は提案であって、法律のような遵守義務はありませんので、単位用語に注意すれば、必ずしも規格を遵守しなくても許されています。したがって、多少不便なように見えても、規格は、種類の数を制限する方針を採用します。日本の官公庁の文書は、1997以降、B列を止めて、A列を採用するようになりました。これは、文房具だけでなく、書棚、キャビネット、家具調度の寸法にまで影響が及ぶ一種の革命です。

### 3.1.6 寸法の大小標準は等比数列に決める

実用的に寸法の大小を言うとき、「一回り大きい・小さい」の表現を使いますが、数学的に決めるときは等差数列ではなく、等比数列を採用します。工学的に決めるときは、さらに数の丸めを加えます。用紙寸法の辺長で言うと、ISOのA列、B列を混合して扱っても、大小順は2の4乗根(1.19)、約2割の増減で並びます。JISのB列規格を使うと、この比率が整合しません。コピー器械で拡大または縮小の複写をするとき、A列B列間の倍率の数値は、日本用紙用と国際用紙用とは異なるのです。等比数列群の数値の決め方には、「JIS Z 8601 標準数」があります。製図では、尺度数値の選択、線の太・細の選択、また、文字寸法の大・小を決めるとき参考にしています。

### 3.1.7 体積は別単位系もあること

面積の単位系は、長さの単位系の2次元化で決めることができます。しかし、体積、又は容積の単位系は、古くは、長さとの関連無しに決められていた経緯があるようです。日本では、お米を測る容積単位に石斗升合が使われていました。1升は1.8リットルであって、メートル単位から見るとやや中途半端な容積単位ですが、日本では多くの場面で見られます。通称で言う1斗缶は、ブリキ製の角型の容器であって、英米単位の5ガロンの容量と対応しています。暖房用に使う石油などの入れ物には、これに代わってポリエチレン容器が普及してきましたが、旧来の容積単位を引き継いで18リットルの容量です。重量単位は、容積単位と関連を持ちます。お米1斗が4貫、水1斗が4.8貫です。製図は、寸法の表示が重要です。重量を記入することも少なくないのですが、設計作業では材料の寸法、つまり体積計算の元になる数値の記入が必須の項目になります。材料の積算表を、同一図面にまとめる場合と、別にすることもします。



## 3.2 寸法単位利用の変遷

### 3.2.1 尺貫法からメートル法への移行

日本の度量衡単位系は、中国での単位系の影響を受けた、独自の尺貫法が使われていました。国際標準のメートル法への加盟は明治18年(1885)年と古いのですが、その教育と普及に30年掛け、1921年にメートル法が法律で制定されました。しかし、尺貫法は日常生活と直接関係してしまっていたので、1959年に尺貫法が法律上廃止され、1966年に尺貫法を使うと罰則を伴うようになって、漸く一般生活にも普及した経緯がありました。土地の面積を測る単位用語に、**坪**(つぼ)を使わなくなりました。しかし、尺も坪も日常用語として広く利用することまで制限するのは行き過ぎです。例えば、地価の表し方を言うとき(3.3平方メートル当たり)の注釈付き表現が見られます。長さの1丁(町)=60間が約100m、面積の1町歩が1丁×1丁=1ヘクタールに相当しますので、長い長さや、広い面積を換算するときは、あまり混乱しません。街(町)を区切る道路間隔は1丁ですので、例えば、銀座8丁のブロック距離は、約800mです。単位の呼称としての坪は、住居程度の狭い広さを言うときに便利す。それは、1間×1間(6尺×6尺)の面積であって、畳2枚分の広さを言うからです。したがって、広い面積を言うときの単位に使うと大きな数値になりますので、感覚的な理解ができません。

(補遺：筆者が教育環境に居たとき、材料学の定期試験の中に「8畳の広さは何坪か？」の常識問題を入れました。これが正答(4坪)でないときは、他の問題で合格点になっていても、単位は不合格にしました。授業は2年生ですが、3年生の再試験では殆どが正答します。しかし、中には4年生でもダメ、卒業前になって、必修単位が足りなくなって泣きついてくることがあります。この学生は、授業には出てきませんし、クラス友達との付き合いが無いのが特徴です。この問題は、一度聞けば納得する常識に属することですが、その常識を埋める通過儀礼を済ます機会が無かったのです。)

### 3.2.2 フィート系の寸法扱いに混乱がある

英米では、日常生活の単位系にメートル法の適用を法律で義務化しませんでした。そのため、英米の製品と関連を持つ場合、そのままの単位表示も使いますが、日本では表立ってインチやフィートの表示を使うことをしないことで、混乱も起こります。とりわけ、アメリカ主導型になるコンピュータ関連で多く眼にします。フィートやインチの表示をメートル系に換算して表示することは、日本の法律を順守するとして、正義感で正当化を言う人もいます。しかし、一つの妥協の方法は、これを呼び寸法の単位として日常の用語として使います。例えば、テレビの画面の寸法を16型のように言うのがそうです。スポーツや芸術の分野にまで法律を当てはめると、行き過ぎや、滑稽に見えることがあります。例えば、ゴルフコースの長さを言うとき、一時期、ヤード表示に代えてメートル表示にしたことがありますが、評判が悪く、結局、元からのヤードで言うように戻りました。米英技術の導入の時代、フィート単位で描かれた図面は、フィートと尺とがほぼ同寸法ですので、職人さんレベルでは寸法を感覚的に容易に理解することができました。旧丸ビルの高さは100尺、のように言いました。

### 3.2.3 寸法数値は正の整数を使う

寸法を言うときの習慣は、小数点を含む実数ではなく、単位ごとに整数を使うか、補助的に比を表す分数を使います。負の数も、また引き算を含む表現も使いません。数学の教育が進みましましたので、小数点付きの、例えば、円周率を3.1416のように実数表示で言うのが正しいと主張する人もいます。しかし、実数表現の言い方は歴史が浅く、普通には、整数とそれに合わせた単位を使います。例えば、距離と長さを言い表すとき、昔風には漢数字を使い、五里十二丁二十五間、五尺二寸三分のように位取りごとに単位の呼び方を当てます。アラビア数字を使い、メートル法で言うときも、例えば小数点を使う1.35mと言うよりも、1m 35cmまたは135 cmのようにします。1より小さい小数を比で言う場合、10進数を使う日本では、例えば0.352には、3割5分2厘の言い方があります。英米では、1インチ未満では3/8インチのような分数表現を使います。ユークリッド時代、実数は、すべて整数比の分数で表現できると考えていました。例えば、円周率は無理数ですが、その近似値には22/7が実用されていました。工業設計では、寸法を正確に表す必要がありますので、実数表現を使うこともします。しかし、複数の単位記号を混用することを避けます。工業製図は、寸法はmm単位で表記するのが標準であって、この場合には単位記号の記入を省くことができます。大きな数に整数を使うと、文字数が増えて、直観的に理解することが難しくなります。3桁の数単位で区切ると見易くなります。その区切り記号(delimiter)にスペース(space:空白)を使うのが標準ですが、コンマ(,)も使います。しかし、コンマを小数点の意義で使う国もありますので注意が必要です。

### 3.3 実寸法と呼び寸法

#### 3.3.1 物理的な長さは分からない

長さを正確に測ることは、物理的にかなり難しい問題があります。実際面では、温度の影響で材料寸法の伸び縮みがあります。長さの測定器具は、伸び縮みの小さな材料で製作しますが、基本的には或る標準温度（通常は 20℃）で使います。日本では竹の物差しが温度変化で長さ変化をしないとして信用されています。布製またはスチール製のテープは、温度の影響も受けますが、引っ張って使うときの張力でも長さが変わります。工業製品は、幾つかの部品を別々の場所で製作して全体を組み立てることもしますので、同じ寸法仕様であっても、別の環境で測ると微妙に異なった結果になることがあります。これを含みにした寸法指定が精度です。大きな構造物では、温度変化や弾性変形などの累積が大きな寸法変化になることを計算して、対策を講じます。そうであっても、別々の場所で長さを測るテープなどは、同じ場所に持ちこんで条件を整えて長さの比較をします。これをテープ合わせと言います。この作業は、どちらかが物理的に正確であると言うのではなく、相対誤差があるときの解決方法を約束するものです。橋梁では、未だ架かる前の空間での支間距離は、テープを使って直接測ることができません。地上で、三角測量の基線長さの測定に使ったテープと、工場製作で使うテープとの比較が重要です。

#### 3.3.2 実数であっても実際は整数扱いをする

寸法数値を正確に表したいとき、小数点を含む実数表現を使うことになるのは避けられません。しかし、この数値を具体的に確かめる手段がなければ、参考数値であるか、仮説に過ぎません。寸法数値の場合、具体的な手段には、物差し、または計測器を使います。そうであると、目盛で読み取れる精度以上の寸法数値が書いてあっても、或る桁以降に並んだ数値は確認のしようがありません。確認できない数値を図面には書きません。また、書いてある場合は、参考数値である、と断るのが親切です。寸法数値を理解するときは、小数点を含む実数表現をしていても、現実には小数点の位置を、表示に使う便宜的なものと解釈していて、或る位取りの桁以下を表示に使いません。つまり整数扱いをします。これを数値の丸め(rounding off)と言います。この方法として、切り上げ、切り捨て、四捨五入の3種類を使い分けます。なお、工業的には、四捨五入にはJISの丸めもあります。5を切り上げて最終桁が奇数になるときは、切り捨て処理をします。このような事情がありますので、技術系の文書を見るとき、数値の扱い方を見れば、その技術レベルの判断ができることがあります。

#### 3.3.3 温度による長さの変化はかなり大きい

人の最小居住単位である部屋の家具調度の寸法は、ミリメートルを最小の長さ単位として寸法を言えば、実用面では充分の精度です。一つの住宅単位は、長さ 10m 単位、その集合としての大きなビルを考えるとときの積算寸法は、大体 100m 単位です。そうすると、これらの構造物を図面に表す寸法数値としては、ミリメートル表示で最大 5 桁の整数を扱います。人工の構造物としてのビルや橋梁では、夏冬の温度差、短期間では昼夜の温度差によって長さの変化が起きます。鋼やコンクリートの線膨張係数は約  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  です。そうすると、100m の長さについて、温度差が 40 度あると、長さの変化の積算は地面に対して約 50mm です。100m 程度の長さがある鉄筋コンクリート造りの学校やアパートでは、この長さ変化を弾性変形で取り切れなくて、構造的に弱い個所に亀裂を発生させることがあります。

#### 3.3.4 閾値と言う概念もある

図面に寸法が表示されていても、寸法数値には、物理的に言えば、0.05%の曖昧さを含みます。そのことを一つの常識として実用的に言う数値を呼び数と言います。数学的に言うと、数の丸め処理をするとき、最小桁数値は、幅にして  $\pm 0.5$  の曖昧さが入ります。これは、精度と言うよりは、閾値(しきい値: threshold)の概念が当たります。どちらも工業的な妥協の手段に使いますので、理論にこだわる人は使いたがりません。材料の寸法を言うとき、製造規格の基がインチ系列であるものをmm単位で表記することがあります。例えば、ボルト径の寸法では、呼び寸法として 19, 22, 25 mmなどと記入しますが、これは 3/4, 7/8, 1 インチが基になっています。しかも、実際寸法では、製造時の許容精度を含んでいません。ボルト径の系列には、英米のインチ単位に基づくものと、メートル単位とが混用されていることがあって、混乱が長い間続きました。材料寸法を検査するとき、呼び寸法との差があると、材料をごまかしている、と誤解することもあります。つまり、寸法表示は、設計図と製作図とでは、物理的に正確な長さとは異なる解釈や表示方法を使うことがあります。

### 3.4 寸法の記入

#### 3.4.1 寸法記入がないのは図面ではない

工業製図は、寸法記入が必須です。テクニカルイラストレーションや一般向けのデザイン画は、原則として寸法表示の有る設計図を元にして作図します。したがって、寸法表示を省くこともできます。芸術作品の名画や彫刻などは、実物を見る機会がなくても、各種の出版物の写真で紹介されていると、そこそこの知識が得られ、観賞もできます。写真による複製は、実寸法と違うのが普通ですので、丁寧な紹介では、参考にする実寸法が記入されています。そのこともあって、実物または実物大の複製（レプリカ）に接すると、改めて新たな感激を味わいます。テレビは種々の画面寸法の製品があります。人や建物などが写っている画面では、我々の日常生活との比較で、回りの物品寸法の大体が分かります。しかし、長さを比較できる参考対象が無い場面も少なくありません。寸法数値が記入されていれば、拡大または縮小の度合いを言う**尺度（現尺・縮尺・倍尺）**の記入が無くても間違った解釈を避けることができます。科学技術に利用する写真は、寸法が分かるように物差しを同時に写すこともします。それに加えて、構造物などでは、どの方向から撮影したかの情報が必要です。報道写真、特にアマチュア写真などは、それらの情報を含める、または意図してコメントを加えることには頓着しません。このような実践的な注意事項を教える技術教育の環境が欲しいところです。

#### 3.4.2 作図に使う定規は計測道具ではない

手描きで製図をするときは、図 3.1 のような、尺度に合わせた目盛を切った定規を使います。これは、尺度を決めて、或る長さの直線を引くことが目的です。物差しとは言いますが、長さを測る計測道具ではありません。縮尺に合わせて寸法目盛を切った三角スケールがあります。図面に物差しを当てて寸法を測ることは、図形の確認のときにはしますが、それで得られた寸法を実物の計測に利用することはしません。図 3.1 のアーキテクトスケールは、日本では馴染みがありませんが、インチを使う寸法を区切るときに使います。左端の 0 の目盛位置が 1 インチ分ずれていて、右は目盛が粗く、左向きに端数を測る分数表示の目盛が切っているのが特徴です。例えば 5 インチ  $\frac{3}{8}$  の長さを区切る時、左端の  $\frac{3}{8}$  インチの個所を起点に合わせ、右の 5 インチの所で終点を区切ります。

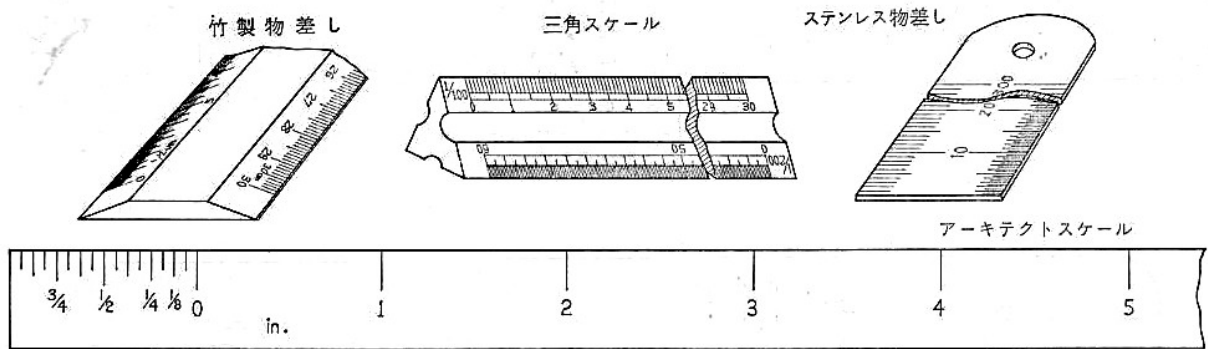


図 3.1 各種の作図用定規

#### 3.4.3 寸法数値の書き方が単純化されたこと

図面に寸法数字を書き込む方法には、図 3.2 に例示した 3 つがありました。(1)は、数学教科書などで見られます。**寸法線**は曲線です。寸法線の両端に矢印記号も使わず、手描きのイメージがあります。記号を書いて、曲線を描かないときは、辺の記号を示します。(2)と(3)とは、寸法を区切る個所に**寸法補助線**と矢印を使います。1970 年代までの JIS の機械製図では、(2)の方法が採用されていて、土木・建築の製図では(3)の方法が採用され、統一規格にはなっていませんでした。(2)の方法は、寸法数字の高さの中央を寸法線が通るようにし、文字並びの幅だけ寸法線を中断しなければなりません。この記入方法は、コンピュータを使う CAD 製図に応用するとき、少し面倒なプログラミングをしなければなりません。これを考慮して、ISO の国際規格で(3)の方法が正式に決まり、日本もこれを採用するようになりました。

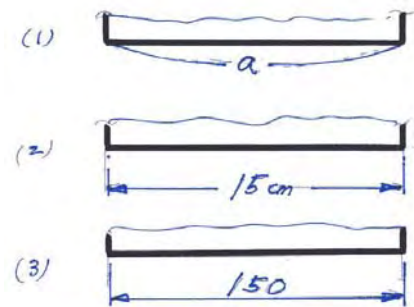


図 3.2 寸法線と寸法文字との相対的な位置

### 3.4.4 実測できるように寸法を記入する

図面に寸法を記入するときは、製作された実物で寸法が実測できることを考えます。最も基本的な計測道具は、単純な物差しを使うことです。小単位の器械製品などは、ノギスやマイクロメータなどの測定道具を使います。図面そのものに物差しを当てて得られた数値を元に、実物の寸法を計測することは、参考にはしても、正式な確認作業には使いません。細長い対象物は、途中を省略した長い寸法を記入することもするからです。例えばトラス橋では、骨組み寸法の尺度と、部材断面寸法の尺度とを変えることをします。図面上の骨組み全体は、ずんぐりとした形状に描きますので、完成した構造とはイメージが異なります。ここで問題になるのが**角度**です。図面に描くときは**分度器**を使い角度を度で記入することにしても、実物で角度を測る物差しはありません。角度は参考数値です。傾斜を表示する場合には、水平の奥行き寸法（分母）に対して、高さの寸法（分子）を示します。この分数は、比率を示す%表示か、コロン（:）を挟んで、例えば1：5のように表します。垂直に近い傾斜は1：0.2または5:1のように書きます。ここで使うコロンは、欧米の習慣では割り算記号と解釈し、スラッシュ（/）を使いません。因みに、尺度表示（縮尺など）を表示する記号も、スラッシュではなく、コロンを使うように決められました。円弧、放物線、または他の円弧状の形状を表すときは、両端を直線で結んだ線を基線とし、左右対称の屋根の傾斜を言うように、中央での最大高さに注目して、基線の半分長さについて勾配を言います。道路橋の縦断勾配や道路幅の横断勾配を言うとき、5%の**放物線勾配**は、端での立ち上がり勾配が2倍の10%になります。なお、一般的な曲線の形状を表すときは、多角形で近似させ、中間の座標値で寸法を測るようにします。

### 3.4.5 寸法の重複記入をしない

或る対象物の図面を作成するときは、全体または全景が分かるような尺度の小さな（縮尺）図面から始め、細部が分かるような、尺度の大きくなる順に複数の図面の組みで扱います。図の名称は、一般図から詳細図へ、管理目的では計画図・設計図・製作図の順になります。それぞれに目的を持たせて必要充分の情報を記入し、その目的に合わせた寸法が記入されます。製作図の段階では、製作場所で図面を見る使い方をしますので、製作単位ごとに独立した図面にします。混乱しないように、対象としている作業と関係のない図を描きません。どれが必要か、どれを省くかの選択ができるようになるには、経験が必要です。デスクワークだけで仕事をしていると、一寸した装飾的なイラストや漫画的な描き込みをするのも見掛けますが、かえって技術力の未熟さを表すことになります。実物の寸法検査をするとき、図面と較べて、検査済みの数値にチェックを書き込むことを考えて、寸法や図形の重複記入を省きます。別の図面の数値を参照しなければならないようにするのが原則です。図面を部分的に切り取るか、大きな図面を複数の用紙に分けて複写することもありますので、図面用紙全体の**外郭線**を省きません。

### 3.4.6 割算の言い方は一意ではないこと

**勾配**と**尺度**を表すときは、数学式ならば割り算を意味した分数で書きます。文章で割り算を表現するとき、2行にまたがる分数表記を一行にするため、分子単位と分母単位とを分かるようにして、その間に**区切り記号**(delimiter)を使います。例えば3／7のようにします。日本では、/（スラッシュ）を使うと、割り算の分数表示の横棒を詰めたもの、と普通は解釈します。ところが、欧米では、必ずしも/記号が割り算記号であると、一意には解釈されないことに注意します。場面に応じて、「3または7」、「3から7まで」「7つある内の3番目」のような意味を当てます。割り算を意味する分数表示（3／7）を声に出すときは、英語では「three over seven」のように言います。ところが、日本語では「7分の3」の言い方をしますので、分子・分母の並び順と逆です。英語で割り算（A割るB）を言う時は二通りあります。「divide A by B」と「divide B into A」です。後者の言い方は日本人には馴染みが薄いのですが、日本語では「BをAで区切る」に当たる言い方です。算術の割り算記号（÷）は、日本独自の数学の記号文字であって、JISにはありますがISOには定義がありません。加えて、欧米では、日付の書き順でスラッシュの使い方に混乱があります。例えば01/04/2011は、ヨーロッパでは2011年4月1日ですが、アメリカでは2011年1月4日と解釈されます。日本では、11/01/04と書くと年月日の順と解釈しますが、年について西暦と平成どちらであるかの区別ができません。コンピュータを利用する文書では、2001/04/11の書き順が時系列検索の大小順と整合します。区切り符号に/以外の使い方、例えば2001.04.11、2011-04-11、2011:04:11の書き方も実用されています。文章表現で割り算の積りで区切り符号にスラッシュを使うと、数学的な割り算の意義が薄れます。コロン（:）の方が文章表記では比率を表す記号として普通に使い、割り算の意味にも使います。このような事情がありますので、勾配と尺度の記号表記は、ISOではコロン（:）を当てます。日本のJIS基準もそれに合わせました。



### 3.5 材料と寸法情報

#### 3.5.1 鋼とコンクリートとが二大工業材料である

18世紀後半から始まった産業革命で、大量の鋼材が安価に供給されるようになり、巨大な建造物の建設競争が始まりました。それ以前、建造物に使う材料の殆どは、木材と石材でした。15世紀中ごろから17世紀中ごろまでの大航海時代、大型の帆船の製作に、大量の木材資源が消費されました。特にレバノン杉は、帆船のマストの材料に適していましたので、無制限に伐採され、今では輸送に不便な個所に残るのみとなり、それも世界遺産として保護の対象になってしまいました。人類の歴史から見ると、ノアの箱船、トロイの木馬の伝説があることは、豊富な森林資源があったことを示唆しています。中国北京の天安門、奈良の東大寺などは巨大な木材を贅沢に使った建造物です。良質の木材の成長には長い年月が掛かります。世界的に見れば、自然林があった地域が伐採によって消滅し、砂漠化した所もあります。イギリスのロンドン大火は1666年ですが、その当時の建築が殆ど木造であったからでした。大量の木材の供給が既に不便になっていたことと、防火のため、その後の建造物は石材が主体になったのでした。ヨーロッパ諸国は石造の文化と誤解している面がありますが、実は、木材資源の殆どを使い果たしていたのです。現在利用されているコンクリートに使われているポルトランドセメントの発明は19世紀の半ばです。それ以降は、自然の石材に代わるコンクリート建造物の建設はすさまじいものがあります。大きな建造物は、鋼とコンクリートとを主な材料と考えがちですが、自然の岩石や砂利・砂、人工的な石材としての煉瓦、さらに土も重要な構成材料であることを見落としがちです。これらは、全体の体積または重量が建設工事費の積算に使いますので、この計算に必要な寸法情報を設計図面に書く必要があります。立体的な対象物では、表面積の計算も重要です。これはペンキを塗る面積を積算するときに必要なです。長大橋梁になると、専属の塗装工が端から作業をして一通りの塗装が済むまで何年もかかりますので、結果として一年中作業を継続することになります。

#### 3.5.2 鋼材や木材は工業製品化して供給される

日本では木造建築が主体であったので、都市では材木屋さんが種々の寸法の柱材、板材を揃えています。同じように、鋼材でも、小寸法の型钢は、木材に代えて住宅程度の建造物の、柱や梁に使う需要が増えました。その材料を村の鍛冶屋さんが問屋さんから購入して使いました。今でも各地で大事に保存されている火の見櫓は、殆ど地元の鍛冶屋さんの作品です。少し大きな建造物は、村の鍛冶屋さんのような個人規模では鋼材の扱いが手に余り、近代設備の鉄工所へと進化してきました。このような歴史がありますので、建造物の設計図は、特別な専門の文書としてではなく、身近な対象物を図化したものとして理解できるように描きます。その一つの方法が、材料情報の記入です。その材料は、工業製品化されていますので、寸法や形状はカタログ化された情報で記入します。この名称に数量、寸法情報、材質とを含めます。例えば、「1-L 150×150×12×3380 (SS41)」のようです。材料は、工場で切断・穴あけ、曲げなどの加工がされますので、加工後の重量は元材料とは異なるのですが、設計時の積算重量は元材料の寸法情報を使います。航空機体などは、実際重量を改めて計算するか、完成重量を測定するなどをします。寸法が大きな部材は、小寸法のカタログ材料から溶接して対応させることもします。このときは、工場での事情も考えて製作図を別に作成しますので、選択する材料のカタログ寸法が変わることがあります。

#### 3.5.3 図面から材料を拾うことを考える

設計図の段階では、対称な図形は必ずしもすべてを描くことをしないで、誤解される恐れがなければ半分を省略することもします。材料寸法の記入は、実際に描いてある図形の個所に記入する約束ですので、全体の材料を積算するときは、同寸法の部材の個数を図面から読み取らなければなりません。これを、**材料を拾う**と言います。この作業をするときは、図面を見て、全体の立体的な構造を頭の中に想像できなければなりません。これを**読図**と言います。専門教育の場では、簡単な設計図を教材として、読図の習得と材料拾いを実習させると、設計図の理解が深まります。特に、鉄筋コンクリートの鉄筋の加工形状・数量を拾わせ、針金などで模型を作成させると、興味を持ち、また図面の理解が深まります。ただし図3.3の透視図は、鉄筋太さによる上下左右の位置関係を無視した図です。

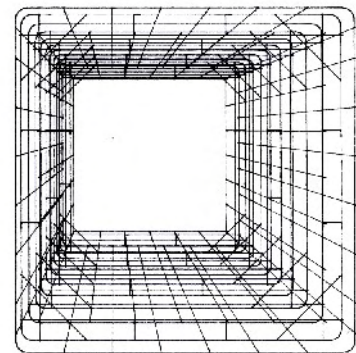


図 3.3 鉄筋組み立ての透視図

## 4. 製図教育の視点

### 4.1 書類としての図面

#### 4.1.1 図面は実用が目的で作成すること

図面は実用を目的とし、芸術作品としての鑑賞や評価をしないのですが、情緒的には、仕上げの良さを含めて作図の良否を判断します。図面は、眼で見て正しい形状の情報を素直に理解してもらう目的を持って作成します。判じ絵的なもの、情報が不足しているもの、また、余分な情報が有るものは、良い作図とは言えません。良否の判断は、経験によりますが、系統的な教育課程があるのが効率的であり、望ましい解決法です。その中に、錯視や錯覚を起こす描き方をしないような注意も含めます。それらを文書に要約することが規格化に繋がります。

#### 4.1.2 文章作文もレトリックを避ける

文章の方は、声に出し、耳で聞いても理解できることが、図面との違いです。日本語では同音異義語が多いので、例えば「しりつ (私立・市立)」の区別は、眼で判別するか、言い方を「わたくしりつ・いちりつ」と言いかえます。これが日本語に豊かな表現を工夫する原動力になります。しかし、欠点としてレトリックが増えます。従来は気にしなかったことが、コンピュータを擬人化して日本語を扱うようになって、これらが大きな問題になってきました。日本語のテキストファイルをコンピュータが音声に変換して読み上げるときに、読み間違えを起こします。自動翻訳を工夫して英語にしたいとき、含みを持たせた間接的な表現は、コンピュータに理解させることができません。文書は、眼で見て区別させる幾何学的な構造に当たる書式と、論理的な流れ、つまり、話の筋を持たせて情報を表します。文書の筋書きとは、幾何学的に言えば線状に並んだ情報です。図面は、明確な筋書きがありません。

#### 4.1.3 図面にも書式と体裁に当たるものを考える

図面を見るときは、視点の動きが二次元的です。図面が何を表しているかの情報を理解することが読図です。読書が文章理解であることと大きく異なります。図面の主要な情報は、形の性質と寸法です。図面を見るとき、大体の習慣として、書式と体裁を整えた横書きの文書を見るときと同じように、左上から右下に視点を移動させます。これは製図作業とも関係しています。大きな用紙に手描きで図を描くとき、既に描いた個所を汚さないようにすると、左上から右下の順の作業になるからです。複数の図面を書類の体裁にまとめるとき、文書の書式と体裁に相当するものを図面の様式と言います。これは、用紙単位の寸法と、用紙の作図領域の使い方を言います。この指示は、余白を考えて輪郭線で区別します。大きな図面用紙の集合を綴じるときは、綴じ代側の余白をやや広くします。常識的な寸法は、25 mmです。これは1 インチと対応しています。綴じない縁の余白は、少なくとも10 mmが必要です。20 mmが標準ですが、輪郭線の外側、10 mm幅を種々の管理用情報の記入場所に使います。例えば、中心マークは、マイクロフィルムに撮影するときに使います。地図の枠にあるような、比較目盛や格子座標の記入にも使います。図面用紙を折り畳んで保存するとき、表に出る個所に表題欄が来るようにします。こちらは主情報の一つですので輪郭線の内側に書きます (図 4.1 参照)。図 4.2 は、1947 年の作図です。

#### 4.1.4 図形単位にも暗黙の輪郭を考える

一枚の図面は、複数の図形単位の集合です。一つの図面単位に複数の図形単位を並べるとき、文字並び程ではないにしても、何がしかの筋書きを考えます。図面の枚数を節約するため、関連の薄い複数の情報単位を詰めることも避けます。第一角法または第三角法は、投影図単位の並べ方の規則です。この並べ方の順が大きく変ると、論理的な理解を妨げます。ここで言う図形単位は、形状の線図を中心とし、その周囲に説明用情報を配置した構造を持たせます。この情報は、寸法数字が主なものです。文字が、主題としての図形用の線を汚すようになることを避け、引き出し線、寸法補助線、寸法線を使います。これらの線も、図形用の線を汚すようになることを、なるべく避けます。また、個別の寸法の累積である合計寸法は、個別の寸法よりも外側に記入します。一つの論理単位としてまとめた図の集合を図形単位とし、それを区別したいとき、枠で囲うこともありますが、通常、図形単位には輪郭を描きません。しかし、枠線を描かなくても、矩形枠で囲う考え方は必要です。この、部分的な作図領域のことを、コンピュータグラフィックスではビューポートと言います。この単位で図形の移動や配置を考えます。図形単位に表題 (title) または見出し (caption) を付けるときは、最上段の位置に書きます。一般文書は、図や写真の説明を図形単位の下に書くので、表示位置の約束が異なります。



## 4.2 常識的な習慣と規格化

### 4.2.1 標準には私的なものと公的なものがある

何かの産業活動をする複数の企業体相互には、当事者同士で対象物の理解と管理に、共通の**仕様**（スペック：specification）を提案することが必要です。それを文書化して**契約**（contract）を交わします。図面はその文書の構成要素です。それを作成する製図法は、対象物の専門に関係します。専門が異なると、製図法にも固有の**習慣**が使われます。標準的な習慣があつて、それを相互に認めれば、改めて詳細契約文書に含めることをしません。**常識**としている習慣があるときは、言わば不文律の扱いをして、それを表に現しません。これが時として問題になります。とりわけ、言語や宗教など、国際間で習慣が異なるときです。企業体は、企業独自の基準を作成し、非公式ながら内部標準として利用することがあります。**デファクト標準**（de facto standard）とは、企業が私的に定めた標準が広く使われるものです。特許や登録などで囲いこんで、他の企業での利用に制限を加えると、戦略として他の企業体よりも優位に立つことができます。これに対して、公的な機関であるJISやISOで**規格化**を提案するものを、**デジュール標準**（de jure standard）と言い、独占による制限は無くなります。工業技術全体は、専門分化が多種類に渡りますので、JISに明文化されている規格の種類は、企業活動全体の中で見れば僅かです。土木学会が提案している土木製図基準は、性格としては、製図と言う狭い分野についてのデファクト標準です。この中に、デジュール標準のJIS規格を採用し、足りない部分、また土木技術固有の条件などを追加したものです。土木製図基準全部をJIS化することは、実践的には問題が多すぎて不可能です。したがって、例えば、鋼構造、コンクリート構造など、幾つかの個別の専門分野に分けて製図方法の標準を追加提案しています。

### 4.2.2 使い易いマニュアルを工夫する

標準や規格は、落ちが無いように注意深く作成されます。したがって、文書としては、取り済ました法律文のようにまとめられ、読者の理解を助けるような丁寧な説明や解説を省きます。その全体について理解した上で、部分的に参照して利用します。したがって、実務では、要点をまとめ、説明を補ったマニュアルやハンドブックの類に編集し直したものを参照します。これらは、書店で販売されることもありますが、専門性の高い協会や企業内で、私的な印刷物として作成することも多く見られます。さらに、個人単位では、自分専用のノートやファイルに、コピーなどで抜粋した資料を集め、自前の資料を編集することもあります。これらを他人に対して秘密にしておけば、自分の業績を上げる知的財産になります。これも悪くはないのですが、企業内では、年配者から後継者に**技術移転**（technology transfer）を考えて知識の共有を図れば、企業としての知的風土を育てます。これは、企業内の内部資料として秘密扱いをすることも見られ、私的に持ち出すことが制限されます。俗に言えば**虎の巻**です。印刷物に作成することに大きな経費を必要としていた時代は、結果的に秘密主義にならざるを得ない面がありました。しかし、情報化時代では、公開できる情報を発信する場を持つことと、外部からの情報を受け入れる窓口を持つこととの利点が、勝るようになってきました。そうすると、情報量が多くなり過ぎて、收拾が付かなくなることが起こります。そうすると、再び個人の個性的な判断で仕分けをすることが効率的になります。これが、俗に言う**整理法**です。

### 4.2.3 読図に必要な教育過程

上の項で云う技術移転は、教育過程に必要です。経験を積んだ集団内では常識となつていて、表だって文書になっていない知識を、初心者は知らないことが多く、どこかでそれらを埋めておく必要があります。それがどの場面が必要であるかは予測できませんので、系統立てた教育過程を考えます。この場は、従来は、専門ごとに分科された工業高校や工業専門学校で扱っていました。大学・大学院などの上級教育を指向することが多くなったので、紙の上だけの受験技術に重点を移した教養教育が普通になりました。一方、大学では、学問研究の方に視点を置く傾向があつて、実務に絡む教育過程の環境が抜けるようになってしまいました。製図で言えば、実際に手描きの作図をしないで、コンピュータを利用する間接的な作図に移りました。しかし、それも、教科に組み込まれることも少なくなりました。そうすると、既に作図された図を理解する知識をどこかで埋める必要があります。しかし、作図の細かなミスや、作図者の微妙な工夫までを図面から読み取る経験的視点が抜けます。図面検査の場面では、口うるさい先輩技術者が居ることが少なくなりました。この検査は、作図の当事者から見れば、重箱の隅をほじくるような些細なことで文句をつける**いじめ**になる危険もありますが、合理的な説明を心がけることで相互の納得が得られます。その幾つかの例を次節から解説します。



### 4.3 線が指示する場所の問題

#### 4.3.1 図としての線と幾何学での線

幾何学で言う点・直線・平面とは、場所を示す抽象的な概念であって実体を考えません。これに対して、紙の上に描いた点と線は、或る大きさを持った、具象的な（眼に見える）図形です。線の太さの規格は、1mm幅を基準とした $\sqrt{2}$ の系列であって、最小0.18mm (0.2mm)、最大2.0mmです。平行する線の最小間隔は、0.7mmです。そうすると、線で示された図形の、どの位置で幾何学的な場所を示しているかが問題になります。例えば、或る直径の円柱断面を表すとして、或る太さの線で円を描くとします。正確に外形の寸法を表すように手描きで作図をするとき、作図線の幅の中心を通る円の直径は、円柱直径よりも線幅分小さくします。逆に、パイプの内面を表示したい円は、線幅分大きい円を描きます。この作図を助けるテンプレートが売られていて、外形円作図用と内径円作図用の寸法区別があります(図4.3)。コンピュータを使う自動製図は、普通、線幅の調整をプログラミングしません。この場合の線は、対象物の幾何学的な形状表示に重点がありますので、寸法数値は参考として重要です。

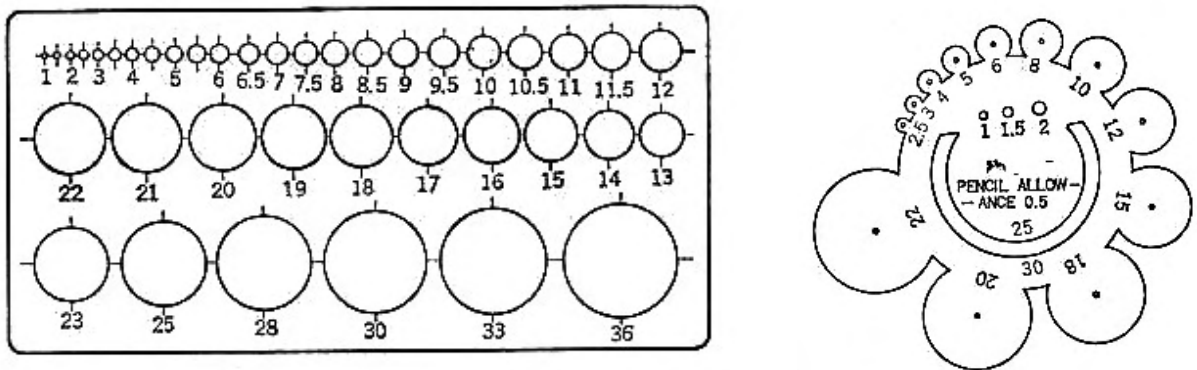


図 4.3 円柱外形作図用テンプレート (左) とパイプの内円作図用テンプレート (右)

#### 4.3.2 板の重なりを描く場合

図 4.4 の上段に示す階段状構造の二つの見取り図は、左が二枚の板を重ねている図を表し、右は厚板から部分的に削り取って段にした形を表しています。これを正投影法で断面方向から作図した図を、図 4.2 の下段に示してあります。形状を表す線は、「日」の字の図形です。ここで、全体の外形線を、対象物の形状を正確に表そうとして、線の太さを考えるとします。図 A は、二枚の板の組みであることを示すため、「日」の字の横棒を 2 本描き、その間に僅かの隙間を空けます。図 B では、下に来る断面図形だけを描いたものです。普通の作図は、作図線の太さの中央が構造線になるように描きます(c)。そうすると、正面図だけでは構造の詳細が分かりませんので、側面図で補い、さらに個別に材料寸法を書けば、紛れを避けることができます。

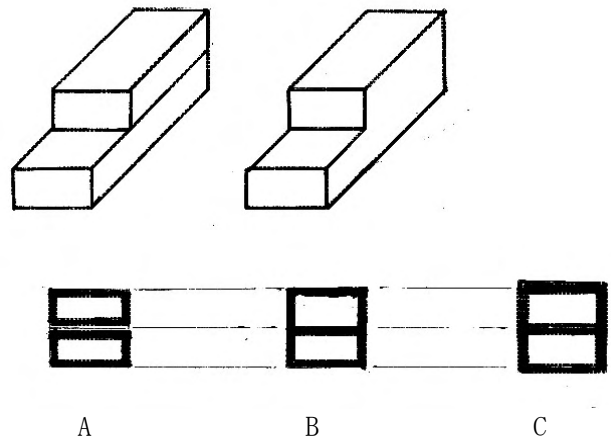


図 4.4 階段状の図形と、その正面図の種類

#### 4.3.3 薄板断面は特別な製図方法を使う

図形の形状を表す線図形で、全体図形の正確な作図を意図して、作図線の太さを考える方法は、図 4.4 で見えるように、実践的ではありません。したがって、作図線の太さの中心が形状の構造線を表す、とする約束が普通です。しかし、薄板の組み合わせで構成される鋼構造では、板厚が薄くなると、板幅を表すために 2 本の平行線を描いても、線の間隔が狭くなると重なってしまいます。そのため、見易さを優先して、板厚分を線一本で代用し、板同士の間隔も広げた図を描くことの約束を決めています(図 4.5)。

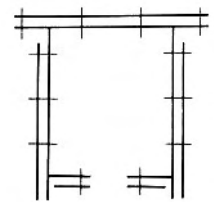


図 4.5 薄板断面

## 4.4 文字寸法の知識

### 4.4.1 印刷活字と文字の高さ

日本語の文書は、横書きも縦書きもできます。それに合わせるように、印刷に使う鉛の活字は、真四角です。これが**全角**です。字形寸法は、活字の寸法を枠として、それよりも僅かに小さくします。それによって、活字を詰めて並べても、字形間に適度な隙間ができて、読み易さを助けます。文字寸法を言うポイント数は、活字の高さの方で言います。製図では、寸法数値をアラビア数字で書き、英字と共に横書きです。日本語を混ぜて、全体を見栄えよく表すために、文字の高さと文字詰め寸法に約束が必要です。製図法は欧米技術に倣いましたので、文字また文字並びの書き方も、欧米の習慣についての知識を理解しておきます。まず、英字字形の寸法デザインです。アルファベット文字は、高さが揃いません。高さ方向に5種類の基準線があります(図4.6)。上から；

- アセンダライン(ascender line)
- キャップライン(capline)
- ミーンライン(mean line)：xライン(x-line)
- ベースライン(base line)：並び線：ボディーライン
- デセnderライン(descender line)



図 4.6 英字寸法の基準線

各ライン間の寸法比に種々の種類があります。欧文の文字並びで複数の行数を手で書くとき、図4.5の字形高さに、僅かの隙間を加えて行間を詰めます。印刷用の活字では、ベースラインから下側に出る字形を使いません。この部分は**アンダーライン**を引く余裕に残し、また行間を空けて見易さを助けます。したがって、実質的な文字高さは、活字高さのポイント数よりも小さくなります。英文タイプライターで作成する文書では、**パイカ**(pica)の活字を使います。パイカとは、縦横ともに、12ポイントの寸法を言う通称です。1インチが72ポイントですので、行数を詰めた英文は、1インチ高さに6行入ります。この行高さが、タイピングで言う**シングルスペーシング**(single spacing)です。**スペース**(space)は、文字の横方向の空白を言うことと区別します。字形の実質的な高さ寸法は、12ポイントの約90%です。文字高さを英字と揃えるように日本語の活字を選べると、10.5ポイント、約3.5mmです。日本語のワードプロセッサでは、この文字寸法を標準書式としています。図面に使う英数字は、この寸法でも読めますが、漢字を含む日本語の文字では5mm(約14ポイント)以上で書きます。

### 4.4.2 製図で使う文字高さ

図面に記入する文字は、手書きが常識です。欧米では小さな図面にはタイプライターも使いました。また、広幅の用紙が入る、特別仕様のプラテンを使うタイプライターもありました。この場合には、縦書きも斜書きもできません。手書き英数字は、タイプライターの文字寸法とほぼ同じにするのが標準です。ただし、ポイント数ではなく、ミリメートルで指示します。パイカ相当の文字高さは、約3.5mmです。製図規格では、10mmを基準として $\sqrt{2}$ の比で決まる寸法系列を提案しています。したがって、文字高さの寸法系列に、2.5, 3.5, 5, 7, 10, 14, 20mmを提案しています。漢字は作業現場で見ること考えれば、3.5mm以下の高さ寸法を使わないのですが、縮小して管理用にコピーすると、結果として小寸法の文字高さも使います。この場合でも、全体の図面寸法として1/2の縮小が一つの限界です。漢字、英大文字、数字は同じ高さに揃えます。英小文字の高さは、xを代表して言い、大文字高さの約70%です。

### 4.4.3 文字幅の寸法

英字は横幅寸法も揃いません。WとMが最大で、Iまたはiが最小です。文字並びを手で書くとき、字間にバランスの良い隙間を空けます。そうすると、単語の横幅寸法と文字数が比例しません。このような仕上がりにする活字の組みを、**プロポーションアルフォント**(proportional font)と言います。さらに、例えば、VAWの並びでは、物理的な字幅を幾らか重ねて、斜めの部分の隙間を詰めるようにすることもします。これを**カーニング**(kerning)と言います。この処理は、自動化、さらにはコンピュータ制御に組み込むと処理が重くなります。**DTP**(desk-top publishing)では、これに果敢に取り組みます。自動製図(またはCAD)では**等幅フォント**(single space font)を使います。理由は、複数行の文字並び、特に英数字並びでは文字列を縦に揃えることができるからです。日本語の文字は基本的に全角の等幅フォントですので、日本語のワードプロセッサでは英数字に全角フォントと半角フォントも使うことができます。英単語の文字並びと数字並びには半角フォントにデザインした文字を書きます。しかし、図面に使う英数字は、半角フォントでは字幅がやや狭く、全角では間伸びして見えますので、全角横幅の約70%、縦長の字形が好まれています。

#### 4.4.4 印刷文字の字体

日本語の印刷物に使われる漢字と仮名の字体は、デザインとしては種々ありますが、大別すると**明朝体**と**ゴシック体**の二つです。前者は横棒を細く、縦棒を相対的に太くした書体（スタイル）であり、線の端に装飾的なひげ（セリフ：serif）を付けることがあります。後者は線の太さが一定で、ひげのような余分を除き、全体として丸味を持たせた字体です。ローマ字またはラテン文字では、ペン書きの書体が明朝体に当たります。これを基本として、ワードプロセッサで扱うフォントは、同じデザインのフォント系列から、全体の線を太めにしたものを**ボールド体**(bold)、さらに手書きのスタイルにする**イタリック体**(italic：斜体)が選べるようになっていました。ただし、漢字や仮名では斜体を使うことをしません。これらの字体は、文字列の一部を目立たせることが主な目的です。その一種として、アンダーラインも使われます。機械式のタイプライタでは、アンダーライン用の活字（アンダースコア）が用意されていて、アンダーラインを引く時は、重ね打ちをしました。ワードプロセッサの場合、重ね打ちは前の文字を消して後からの文字の置き換えしかできません。そのため、グラフィックスソフトウェアとしてアンダーラインを引きます。ワードプロセッサでは、アンダーライン付きの文字は、書体違いの扱いをします。製図の場合には、アンダーラインは寸法線と同じように、別オブジェクト扱いです。

#### 4.4.5 製図用文字の字体

上の項で説明した予備知識を踏まえた上で、製図に使う文字の字体の規定を理解します。文字は線描きで書くのが基本ですので、線の太さの系列は、前節の考え方を踏襲します。英数字の場合、その太さは、文字高さの 1/10 です。これを基本（A形書体）として、ボールド体（B形書体）とイタリック体とが提案されています。B形書体の線の太さは、文字高さの 1/7 が推奨されています。しかし、画数の多い漢字を使う日本語の文字では、細めの線でない読み難くなります。例えば「構」の字は横棒の数が 6 ですので、線の太さを文字高さの 1/20 以下にしなければなりません。下に示した文字並びは、「構」を日本語ワードプロセッサで表示したものです。左から明朝体・そのボールド体・普通ゴシック体・そのボールド体です。参考のために英字 B と数字 2 とをこの順で示しました。その右は、Times New Roman 体です。肉厚の線を使うことができます。漢字を書くときは、相対的に細い線を使います。図 4.7 で、ゴシック体の「構」の字の、さらにボールド体にすると線間隔が狭くなり過ぎます。

**構構構構 BBBB2222**（漢字英字併用体）・**BB22**（ローマン体）

図 4.7 ワードプロで漢字と英数字とを混ぜて使うときの四通りの書体と、英数字専用書体

#### 4.4.6 CAD で書かせるドットマトリックス文字

図面に表示する文字や数字の高さの規格は、字形の高さを言います。手書きの場合には、この高さに合わせて書くことに何の疑問も持ちません。英数字の場合には、これを助ける文字用テンプレートがあって、それを使えば、線の太さ違いを気にすること無しに、高さを揃えた文字を書くことができます。コンピュータ制御で文字を書かせるプロッタやプリンタでは、決められた高さに揃えるように字形を描くことについて、ハードウェアの性質を考えたソフトウェアを工夫しなければなりません。デジタル化したプリンタやプロッタは、方眼状座標の升目単位に、四角な点（ドット：dot）を打つようにして、その集合（ドットマトリックス）で図を描きます。この升目の精度は、単位幅あたり何点まで位置を区別して描けるか、で言います。コンピュータはアメリカ主導で開発されてきた関係で、この精度を 1 インチ (25.4mm) 当たりの点数 (DPI: dots per inch) を使います。実用的な数値は、レーザプリンタの 600 DPI、インクジェットプリンタが 300 DPI、ドットインパクトプリンタ、およびコンピュータのモニタ画面で 150 DPI です。初期の高精度キャラクタディスプレイの解像度(resolution: レゾリューション)は 640×480 でした。これは画面寸法で言うと 75 DPI に当たります。なお、モニタ画面では、ドット数の代わりに解像度で言う約束です。ドット並びで文字を表すとき、電光掲示板のような表示になります。英数字は画数が小さいので、文字として読めるドット領域単位として最小高さで 7 ドットを使うことができます。横幅は変化しますが、数字などの並びでは 5 ドットで揃えます。漢字は画数が多いので、これよりも多いドット数になります。文字を詰めて並べると読み難くなりますので、平面領域に詰めるときは左右と上下に幾らか隙間用の空白ドット分を空けます。ここまでの説明で分かるように、決められた高さで文字を書こうとしても、ドット密度との関係で、近似的な高さでしか書けません。また、表示装置と文字高さ別に、個別の図形デザインを準備しなければなりません。この面倒さを、ユーザに代わって、ワードプロセッサや CAD のソフトウェアが吸収しています。

## 4.5 デジタル化した図形データの知識

### 4.5.1 画像の精細度、解像度、画素数の理解

用紙に手描きで作図することに代えて、**CADソフト**の利用が普通になりました。この処理は、モニタを前にして擬似的な作図作業をして、デジタル化したデータを作成してから、間接的に用紙に描き出します。このとき、既に作成済みの図形データの貼りつけもします。デジタル写真を利用することもできるようになりました。手描きで作成した図をスキャナで読み取って、それに修正を加えることもします。この段階の処理は、文書作成作業での、編集・割り付け・校正に当たります。図形データは、ドットを方眼状に並べた**ドットマトリックス**(dot matrix)の情報です。このドット単位を**ピクセル**(pixel: **画素**)と言います。用紙上では、単位幅当たり何本までの線(または点)を区別できるかを**精細度**と言い、例えば「ミリ 10 本」の言い方があります。モニタの場合には、画面寸法が種々ありますので、ドットの言い方ではなく、**解像度**で言う約束です。標準的な画面は、横位置で使うA4版の用紙寸法に相当します。この寸法を、初期のモニタの解像度(640×480)で表示させると、ドット密度は見掛け上、約75 DPIに相当し、全体のピクセル数は307200です。略した言い方として300 K、または30万です。デジタルカメラの性能を言うとき、**CCD素子**(Charge Coupled Device Image Sensor)の**画素数**を、例えば30万画素のように言います。これはモニタの解像度を言うときと同じ縦横画素数の積を言います。A4版の用紙寸法の画像データを300 DPIの精細度のカラープリンタで得ようとする、約(3500×2500)のドット数ですので、これを撮影するデジタルカメラの画素数は、875万である必要があります。

### 4.5.2 二つの表示装置を使うこと

コンピュータが利用できるようになって、最終目的の紙の文書(**ハードコピー**)を作成する前に、仕上がりの状態をグラフィックスモニタ上で観察する、一過性の**ソフトコピー**の作成が普通になりました。コンピュータ側から見れば、ハードコピーとソフトコピーとは、全く独立した装置(デバイス)にデータを出力して図形表示をさせます。ワードプロセッサもCADソフトも、印刷仕上がりはモニタ上で観察できるような編集作業ができます。これを**WYSIWYG**(What You See is What You Get)と言い、日本語に意識すると「見たままのイメージで印刷が得られる」です。この機能のソフトウェア内部処理は、相当に複雑です。その理由は、モニタに表示しているドットマトリックスのデータをそのままプリンタに送るのではないからです。特に、文字の表示に使うフォントは、別のファイルデータを使います。このこともあって、モニタで観察する仕上がり、紙の印刷仕上がりとは微妙に狂います。そのため、ワードプロセッサには**プレビュー**の機能が必要です。図面の場合には、プリンタに送るデータを元に、モニタ上の図形を拡大または縮小表示して編集作業できるように工夫されています。作図に使うCADのソフトウェアも、文字の記入があります。二種の表示画像は、正確に相似にはなりません。二つのデバイスで共通に利用できるデータをファイルとして保存し、表示の段階でデバイス向けの固有のデータに変換します。このファイル形式は、基本的には大別して2種類あります。最も直接的な**ビットマップ**形式と、編集を可能にした**テキスト**形式です。

### 4.5.3 編集を制限するファイル形式

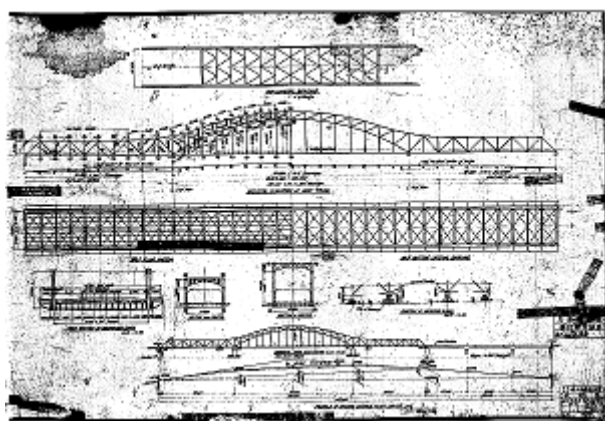
グラフィックスモニタを前にして**対話式**(インタラクティブ: interactive)に作業をするときは、データの修正のために、作業手順を戻して変更ができるような、編集機能を持ったソフトウェアが使われます。グラフィックスソフトウェアが利用できなかった時代は、グラフィックス言語を使って、テキスト形式で作図手順を作成(プログラミング)しました。これをコンピュータグラフィックス・メタファイル(CGM: computer graphics metafile)または単に**メタファイル**と言います。これをテキスト形式で記述する場合と、ファイル寸法を小さくできるバイナリー形式のファイルとがあります。CADのソフトウェアは、対話式の作業の裏で、メタファイルが作成されますので、作業手順の再現や修正ができます。しかし、完成図面は、修正のできないビットマップ形式にして管理用に保存します。文書の場合も同じ考え方が使われています。ワードプロセッサの原稿ファイルは、文字コードと共に編集指示コードを必要とします。**マークアップ言語**(ML: markup language)は編集記述言語と言い、これをテキスト形式で挿入するのと、バイナリー形式にしたものとがあります。前者の代表が**HTML**ファイル形式(hyper text markup language)、後者の代表がマイクロソフト社のソフトでしか読めないワープロファイル(\*.doc)です。これらのファイル形式は、別の人の中身を勝手に変更できますので、再編集の効かないグラフィックスファイルの形式で配布することも行われます。この代表はアドビー社が開発した**PDF**形式(portable document format)です。

#### 4.5.4 ビットマップ形式のデータ保存

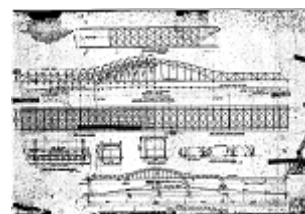
デジタルカメラの普及で、ネガに相当する画像データをファイルに保存し、適当な寸法に焼き付ける、いわゆる**引き伸ばし**が街中（まちなか）の写真屋さんで簡単にできるようになりました。従来のフィルムネガに代わって、**CDとサムネイル**(thumbnail)でサービスするようになりました。サムネイルとは、親指の爪の大きさを言います。ネガに相当するファイルは、ビットマップデータです。このファイル寸法は、デジタルの画素数と1ピクセル当たりのビット数で決まります。このビット数は、8, 16, 24, 32のような区別があって、ビット数の大きいデータほど高画質のカラー画像を再現できます。正直に計算すると、例えば、30万画素のデジタルカメラで撮影し、それを16ビット（2バイト）で取り込むと、ファイル寸法は約600KBです。高品質のカラー画像を、300DPIのインクジェットプリンタでA4版寸法に焼き付けたいとすると、ファイル寸法は875万画素×32ビット（4バイト）=3.5Mバイトにもなります。このこともあって、ビットマップ形式のデータ構造の圧縮技法が従来から研究されてきました。ファイルの拡張子の種類として、\*.jpg, \*.gif, \*.tiffなどがあります。そうは言っても、建設関係の図面ではA1版の用紙寸法が多く使われます。これは、面積にしてA4版の8倍です。ファイル寸法が大きいことはコンピュータ処理では問題です。直径10cmの**コンパクトディスク**(compact disk: CD)がパソコンの環境で利用できるようになったのは1990年以降です。それまでは30cmの**レーザーディスク**が大容量の記憶媒体でした。この問題は、デジタルカメラ用に高密度のデジタルメモリが2000年に開発されたことで、大寸法のファイルデータの一時記憶と保存の問題がほぼ解消されました。ただし、これらの記憶媒体の寿命については未知数です。

#### 4.5.5 画像の拡大と縮小の問題

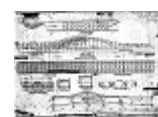
図面を利用するときは、図形が確認できると同時に、寸法数値が読めなければなりません。大きい用紙寸法を使い、文字をやや大きめに書くのは、作業現場の環境で必要です。管理を目的として室内で見える場合には、読める範囲で縮小した図面を使うことができます。この場合の縮小は1/2が限度です。A1版の図面は、A3版に縮小します。A3版ならば、事務用コピー機やレーザープリンタで扱うことができます。元になるA1版の図面が300DPIの精度で作成されていると、600DPIのレーザープリンタでA3版に縮小して印刷すれば、図としての精細度は落ちません。それよりも縮小が小さくなると、数字がつぶれて、ルーペで拡大しても読めなくなります。工業製図の図面をサムネイルの寸法に縮小すると、何が描いているのかも分からなくなります。特に、鉛筆書きの図面の保存をデジタル画像化すると、コントラストが低いので、図の汚れが画質を悪くします。図4.2および、下の縮小化した図では、画像ソフトを使ってコントラストを上げ、線図としての全体図が分かるように修正してあります。



(A) 名刺大に縮小(1/8)



(B) 35 mm フィルム大に縮小(1/16)



(C) サムネイル縮小(1/32)

図 4.8 種々の縮小図面

参考のために、図の寸法とファイルの大きさを示します。図4.2の図面原寸はA1です。これを正直にビットマップ化すると、約200MBです。図4.2は1/4です。もう数値は読めません。図4.8は、順に(A)1/8, (B)1/16, (C)1/32の縮小画像です。ファイル化したときの寸法を表4.1に示します。

表 4.1 図の寸法とファイルの寸法

図面寸法	BMP サイズ	JPG サイズ
A1(100%)	197,800 KB	13,008 KB
縮小(1/4)	774 KB	163 KB
縮小(1/8)	194 KB	43 KB
縮小(1/16)	49 KB	11 KB
縮小(1/32)	13 KB	4 KB

## 5. 錯覚と錯視を避ける作図技法

### 5.1 三面図

#### 5.1.1 見て分かる製図は必ずしも第三角法に忠実ではない

下の図 5.1 に示す自動車の三面図は、インターネットから検索して取り込んだものです。この作図は、現行の製図規格の約束から見ると、二つの違反事項があるのですが、一般の人が見る分には、特に錯覚する問題ではありません。教育的な見地から、製図規格の違反事項がどこにあるかを指摘しておきましょう。まず、この図の配置は、平面図と側面図の上下配置関係が第三角法に違反しています。なお、用語として、ここでの自動車の側面図は、図法と言うならば正面図です。他の幾つかの自動車カタログでは、自動車の方での正面図を省いた側面図と平面図との組みの第三角法の配置関係が多いようです。しかし、図 5.1 を第一角法と見れば、正面図と側面図の左右位置関係が反対になっています。二番目の違反事項は、寸法記入方法です。現行は、寸法線を中断しないで連続させ、その上に寸法数値を書くことになっています。

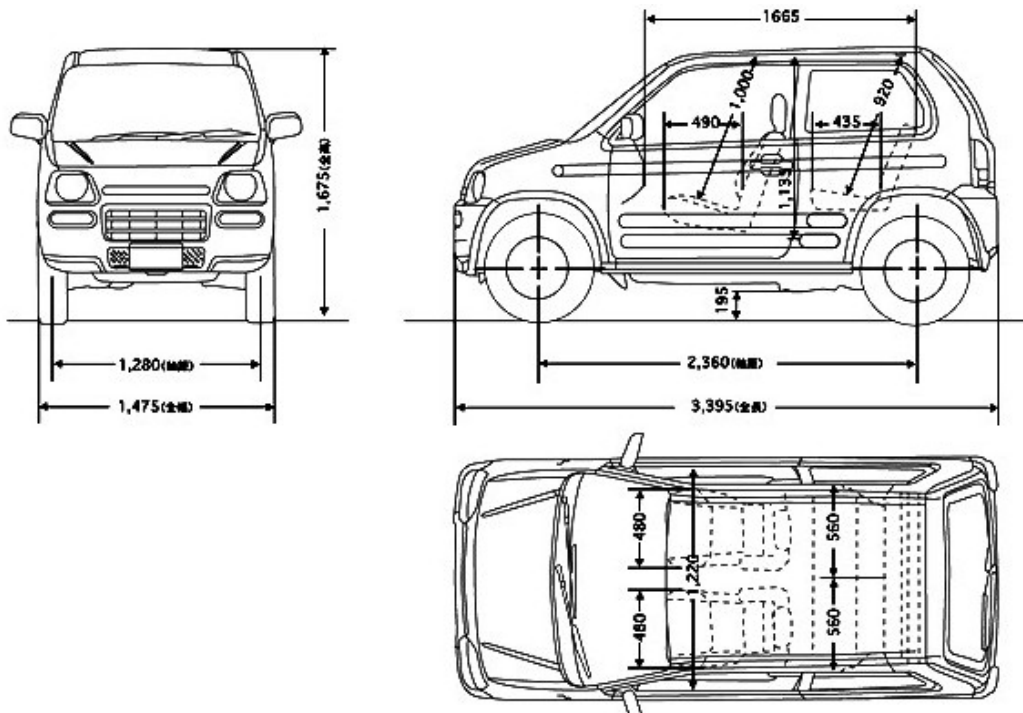


図 5.1 自動車カタログに見る三面図の例

#### 5.1.2 第三角法は展開図の配置で理解する

前項の図 5.1 で例示した自動車の投影図とは異なって、図 5.2 にあるような立方体では「文字 B を正面図にする」と決めることで、残りの面の名称と図の向きが決まります（第 2.7.2 項：図 2.6 参照）。しかし、幾何学的に言うと、六つある面の、どの面を正面図に選び、90 度ずつ回転する四通りの選択があります。これは、かなり恣意的な選択です。結果としてその種類は、24 通りもあるのです（図 5.4）。

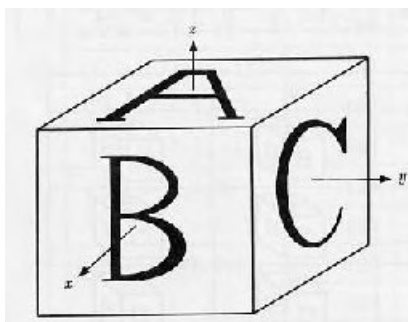


図 5.2 文字付きの立方体に見取り図

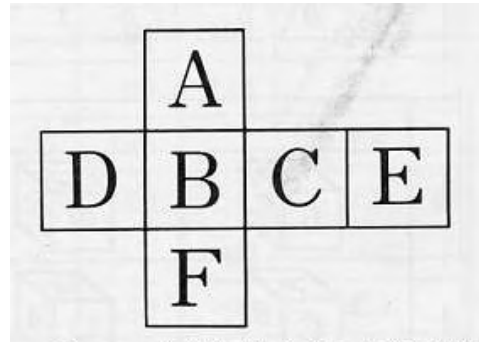


図 5.3 展開図の位置関係が第三角法であること



### 5.1.3 展開図は第三角法の配置として利用する

第三角方法で図 5.2 に示ような立法体を描くとき、六つ有る投影図の配置関係は、全体を紙の箱で作成して展開図に開く操作を考えるのが分かり易いでしょう。そうすると、正面図に、どの文字の面をどの向きにするかの選択に 24 通りありますので、それに合わせると図 5.3 の英字の向きが変わります。図 5.4 を見ながら英字の位置と向き求めるのは、頭の体操になるでしょう。三面図は、図 5.4 の展開図で、(A, D, B) または (A, B, C) の組みで構成します。図 5.1 の自動車の三面図は、底面図 F に当たる位置に平面図 A が使われています。身の回りにある普通の対象物では、習慣で決まる常識的な置き方があります。日常使っている小物の整理整頓をするときは、置き場所を決めて、標準的な置き方をします。小物を使った後で、こまめに元の場所に戻すことをしないと、探し物に多くの時間を取られるようになります。この混乱の一つの理由は、同じ小物であっても、見え方が 24 通りも変化するためです。これも錯視による混乱と言うことができるでしょう。

	1	2	3	4
B				
C				
D				
E				
A				
F				

図 5.4 見取り図の作成では正面図に置く文字の選択で 24 通りある

### 5.1.4 展開図を内側に折り込む

図 5.3 は、外側に図柄がある紙箱の展開図です。この展開図から逆に図を内側に折り込む箱を考えます。これは、居住空間の内面を展開図に描く操作の逆と考えることができます。第一角法の原理は、立体図形を居住空間の中に置き、居住空間の天井、床、四方の壁面を投影面として投影図を描きます。この投影図を展開図のように開いた図形の組みが、第一角法の図の配置原理です。

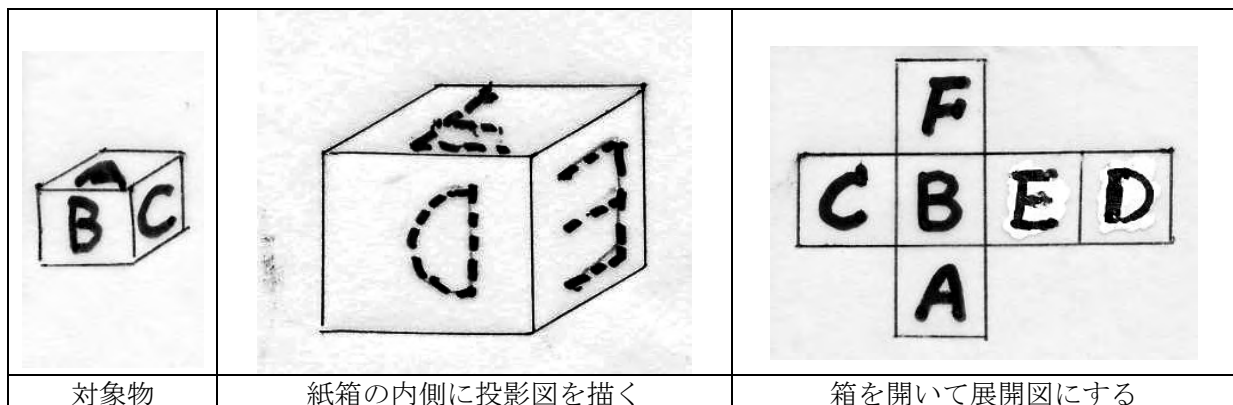


図 5.5 第一角法の投影原理は箱の内側面に投影した図から展開図を作成したものになる

### 5.1.5 図柄の向きでデザインを考える場合

図 5.4 の 24 通りの見取り図は、英字の向きが個別に異なりますが、対象物は一種であって、その見え方の違いを示したものです。ここで、表面の文字(A~F)の位置と向きとを変えた、デザイン違いの数を考えてみましょう。図 5.3 の展開図で、平面図の位置に文字 A を置いて、残りの五面に(B, C, D, E, F)を割り付けます。割り付けの組み合わせは  $5! = 120$  通りです。文字の字形は非対称ですので、4 通りの向きがあります。向きの組み合わせは、4 の 5 乗 = 1024 通りです。結果として 491520 通りのデザイン種類があります。理論的には大きな数になります。実際には英字に代えて、別の図柄を考え、さらに対称性も考えることもします。色違いだけで区別すれば 1 の 5 乗 = 1 通りしかありません。2 軸対称の図柄、例えば英字では (H, I, O, X) ならば 2 の 5 乗 = 32 通りです。

サイコロでは、数の (2, 3, 6) を表す点の図柄が 2 軸対称ですので 2 の 3 乗 = 8 通りの区別があります。さらに、サイコロでは、数 (1, 2, 3) の面の反対側の面は (6, 5, 4) とする約束がありますので、面の割り付けの組み合わせは 2 通りしか有りません。つまり、サイコロでは、眼数の向きのデザインを考えなければ、2 種類しかありません。これは、図 5.5 で見るように、3 面が見える見取り図で、数 1, 2, 3 の眼が左回りか右回りかの区別となります (図 5.6)。



図 5.7 ミロの抽象画 (多分この向きだろう?)

矩形の平面図形では、特に向きを考えないのですが、幾何学的には 4 通りの向きの区別があります。筆者はミロ (J. Miro' : 1893-1983) の抽象画の複製を持っています。向きが分からない絵ですので、適当に飾っています (図 5.7)。これは、ミロの企みでもあるのでしょうか。



## 5.2 隠れ線と隠れ面

### 5.2.1 線の交差で扱う隠れ線

立体的な（三次元）形状を平面的な（二次元）図形に描くと、次元数が下がることで正確な形状を理解できなくなるか、誤った構造を考えることが起こります。これを意図的に作成することが一つの芸術としてのだまし絵です。図学的に正確な投影法を使った図を描いても、誤って理解される例として、第2章の図2.9を示しました。見取り図、いわゆるスケッチ風の図では、遠近法（パース）を使うと、或る程度は誤解を避けることができます。これは、眼からの遠近が図の大小で判別できるからです。しかし、いつも成功するとは限りません。線描きの作図技法として、前後関係が分かるように隠れ線消去(hidden line removal)を利用することがあります。図5.8は、**骨組み構造**（**針金細工**：wire frame structure）に応用したものです。すべての骨組みの立体的な位置関係をデータとし、視点からの交差して見え、かつ向こう側にある位置の座標を求めます。その位置で、相対的に視点から遠い方の部材線を描くとき、交差個所に僅かの隙間を空けます。このような作図は、普通のCADソフトでは扱いませんので、自前で作図ソフトを工夫します。因みに、第3章：図3.3の鉄筋組み立て図は、この技法を使っていません。

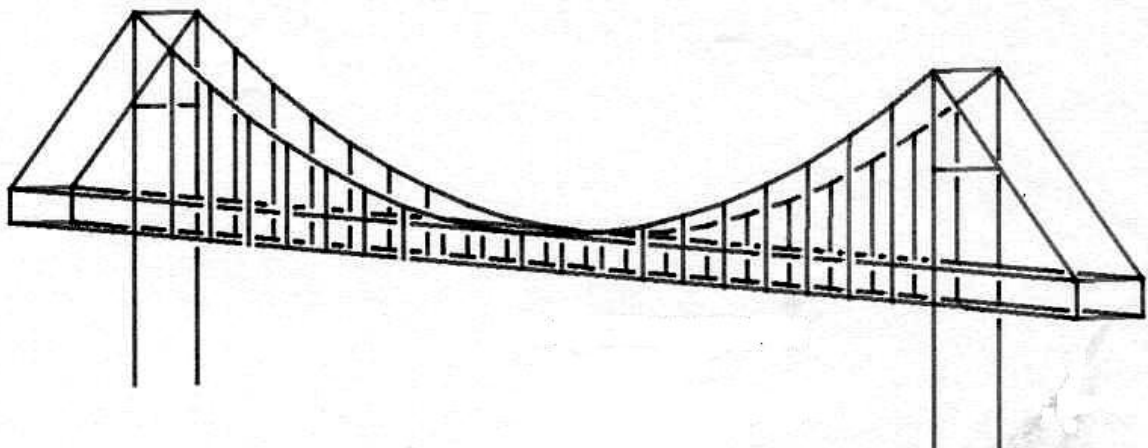


図 5.8 隠れ線の技法を使った骨組み構造の作図

### 5.2.2 面によって隠される線

代数式で  $z = f(x, y)$  の形で表す局面の作図例を、図5.9に示します。この図は、変数  $y$  を一定にした、 $z = f(x)$  の曲線の集合を立体的に描いたものです。この図形領域には、明示的には描きませんが、マスク曲線を使います。最初は作図領域の最下段の水平線です。曲線  $z$  は、手前の変数  $y = 0$  から増やすごとに向こう側に、図では上側に描きます。このとき、マスク曲線から下に入る線を描きません。そしてマスク線より上に出る曲線を新しいマスク線に更新します。これは隠れ線の作図ですが、意図しているのは帯状の曲面の隠れ面を作図して、立体的な全体曲面を表します。この図は曲線を  $x$  方向だけで描きましたが、複雑な地形図の見取り図では  $y$  方向の曲線も加えて、メッシュ状に分割した面要素の集合を構成することも行われます。図5.9では、面の裏側も見えるように描きましたが、地形図の場合には、裏面が隠れるように周囲にスカート状の覆いを付ける作図法を使うことがあります。

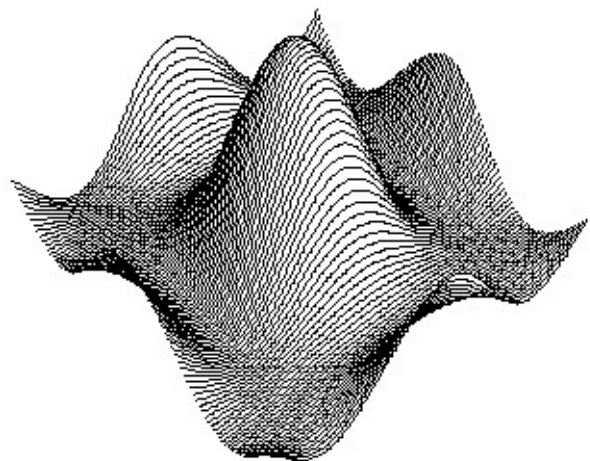


図 5.9 曲面の作図を線画で描いた例

### 5.2.3 モニターの機能を使う隠れ線隠れ面処理

図 5.10 の形状は、小単位の近似的な四角形図形の合成で表した立体的な曲面の表示です。この四角形の 4 点の空間での座標は、代数式で与えることができるのが特徴です。視点との相対的な位置関係から、見える側の四角形だけを対象として、視点からの距離順に番号を付けます。視点から遠い順に、この四角形の外形線を描き、四角形の面を或る色で塗りつぶす作図をすると、油絵の上描き操作になって、結果として隠れ線と隠れ面処理ができて、立体図形の作図ができます。

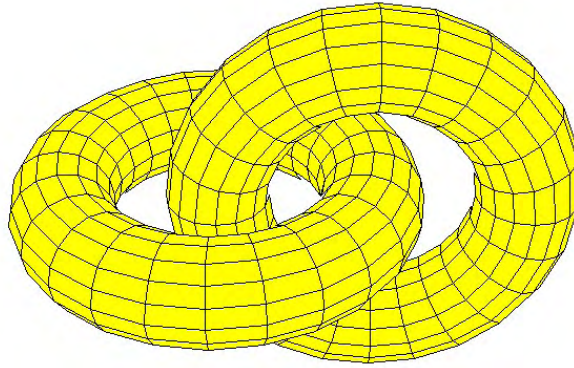


図 5.10 ダブルトーラスの隠れ面作図

### 5.2.4 幾何モデリングの作図

図 5.11 に示した形状は、パズルとして売られていました。全体は正六角柱が 12 本接するように重なった構造ですが、干渉する部分があります。切り込みを入れた六角柱を組み立てることがパズルの目的です。第 2 章 図 2.2 に示した寄木細工も動きを加えて完成させますが、それに比べると、角度のついた部材の組み合わせは相当に複雑です。この構造を頭の中で想像して図面に描こうとなると手を上げてしまうでしょう。これは、幾何モデリングの格好の題材であって、そのソフトウェアは **GEOMAP** として発表してあります (終りにを参照)。16 ビットのパソコンの時代には、メモリの制限がありましたので、この程度のモデルの作成が複雑さの限度でした。当時のパソコンでは、立体構造の幾何学的データの計算に 3 分程かかり、さらに隠れ線処理をした図 5.4 のグラフィックス線図を作成するのに 7 分ほどかかりました。この図では、隠れ線と隠れ面の処理に工夫を凝らしてあります。この立体図形は多面体で構成され、辺の図形が面の形状を表しています。この辺が、手前にある面の裏側に、接することなく入る個所では、その個所に僅かの隙間を空けてあります。この図では、或る面の一部分が、手前にある面で隠されることもありますので、隠れ面と接している面とを見分けるような作図法をしています。図 5.12 は、図 5.11 の一部を拡大して隙間が分かるように示したものです。

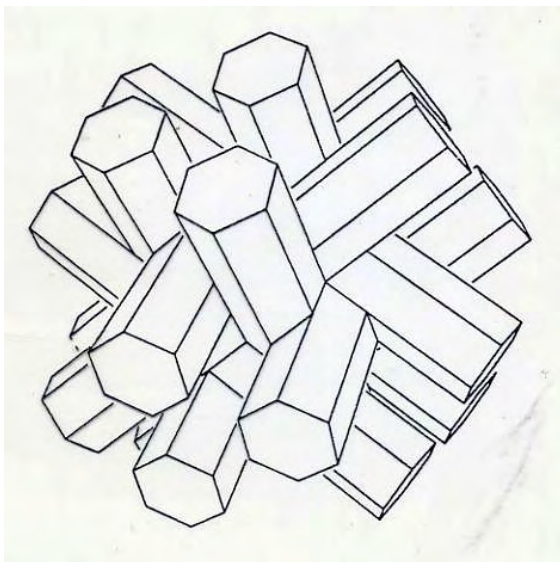


図 5.11 幾何モデルとして作成したパズル



図 5.12 隠れ線の処理をした辺の拡大図

この作図をするソフトウェアは、いわゆる オブジェクト指向プログラミング (object-oriented programming) で作成してあります。ここでのオブジェクト(物: object)は、立体図形のモデルと、その投影図に変換した平面的な地図状のモデルです。頂点・辺・面ごとに幾何学的また位相幾何学的なデータを持たせてあります。これらを、オブジェクトの プロパティ (属性: property) と言います。

## 99. 終わりに

設計・製図は、実践技術です。具体的な問題の場面に参画する機会が無いと、教養的な知識で終わります。若い技術者は、将来、管理者として図面に接することも想定されますので、興味を持たせるような教育過程があるのが望まれます。筆者はそのための教育ツールとして、コンピュータグラフィックスのソフトウェアを研究してきました。一般的なプログラミング言語である BASIC を使ったグラフィックスでは、市販のプログラミング言語を利用するようにしました。BASIC 言語は、ユーザインタフェースが分かりやすいからです。市販のツールでは、Microsoft 社の Visual Basic 6.0 が使い易かったこともあって、これによる例題をまとめて WEB 上で公開しています。URL は下記です。

「Visual Basic によるグラフィックス」

[http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/vb\\_graphic/Index.html](http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/vb_graphic/Index.html)

図 5.9 と図 5.10 は、上記の URL で紹介した例題から引用したものです。ただし、Microsoft 社では、Visual Basic のバージョンの改訂が頻繁に行われましたので、その後のバージョンでの実行確認は行っていません。

製図は投影法を踏まえます。この数学的な原理を解説した単行本としての参考書は、下記です。インターネット時代ですので WEB 上でも閲覧できるようにしたかったのですが、著作権や著作権が絡みますので、大学内のオフライン環境で利用する HTML-Help 形式のファイルを作成してあります。電子書籍の形で一般利用できるようにすることについては、現在研究中です。

島田静雄、CAD・CGのための基礎数学（インターネット時代の数学シリーズ（7））共立出版 2000 年]

図 5.11 のパズルの幾何モデリングとその作図には、CAD/CAM用ツールの草分け的なソフトウェア：GEOMAPを使いました。これは、「CAD・CGのための基礎数学」に紹介してあります。最初の開発にはプログラミング言語のFORTRANを使いましたが、汎用性を考えてC++言語の版も準備しました。もともとGEOMAPはFORTRANのサブルーチンライブラリであって、ユーザは目的に合わせて自前でモデリングのプログラムを書かなければなりません。これはユーザインタフェースには不便でした。それを便利にするアイデアとして、インタラクティブに動作する汎用に利用できるBASIC言語を、最初はFORTRANで、後にC++言語で作成し、GEOMAPのサブルーチンを追加のコマンドとして利用できるようにしました。このソフトウェア全体は、公表する準備はしてありますが、永続的な保守管理の方法については研究中です。GEOMAPの紹介は、WEBで公開しています。下記のURLを参照して下さい。

幾何モデリングの演習

[http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/GEOMAP\\_Primer\\_J/GEOMAP\\_Primer\\_J/GeomPrimerJ.htm](http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/GEOMAP_Primer_J/GEOMAP_Primer_J/GeomPrimerJ.htm)

---

(2012 年 1 月版)