

JAERI-M
82-041

国土数值情報の変換・地図表示
ソフトウェア

1982年5月

田部井 誠・中村 康弘

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

国土数値情報の変換・地図表示ソフトウェア

日本原子力研究所東海研究所計算センター

田部井 誠・中村 康弘

(1982年3月31日受理)

国土数値情報の変換と地図表示を行うソフトウェアを開発した。このソフトウェアは緊急時環境放射能予測計算システムのような大型計算コードで地形データの作成と地図表示のために容易に利用できる。

本報告では、地図投影図法による国土数値情報の変換理論、変換・地図表示ソフトウェアの構成、及びその使用例について詳しく述べた。

JAERI-M 82-041

A Software for Transformation and Map Drawing
of Numerical Informations for Land

Makoto TABEL and Yasuhiro NAKAMURA
Computing Center, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received March 31, 1982)

A software for transformation and map drawing of numerical Informations for land has been developed. The software can be easily used to make topographical data and draw maps in large computing codes such as computing system for predicting environmental radioactivity in case of emergency.

In this report, theory of transformation of numerical Informations for land by map projection, structure of the software, and a few examples to which the software is applicable, are described in detail.

Keywords : Software, Computer Codes, Numerical Informations for Land,
Map Projection, Data Transformation, Map Drawing

目 次

1. はじめに	1
2. 変換の理論	2
2.1 地図投影図法を用いた変換の必要性	2
2.2 国土数値情報の種類とその変換	3
2.3 標高データ変換のための共有面積計算のアルゴリズム	9
3. データ変換ソフトウェアの構成	14
3.1 変換ソフトウェアの概要	14
3.2 変換図法と検索範囲の定義の仕方について	16
3.3 検索範囲を決定するための逆関数の計算法	17
3.4 ソフトウェアの構成	20
4. 変換例	21
4.1 変換図法について	21
4.2 変換例	22
5. 現在までに試作された地図表示ソフトウェア	25
5.1 標高データ等による領域の表示	25
5.2 標高データを用いた3次元表示	28
6. 今後の課題	30
6.1 現在のTSSによる表示システムの問題点	30
6.2 今後の表示対象	32
7. 結 論	33
謝 辞	33
参考文献	34

Contents

1. Introduction	1
2. Theory of Transformation of Numerical Informations for Land by Map Projection	2
2.1 Necessity of Transformation by Map Projection	2
2.2 Kinds of Numerical Informations for Land and Their Transformations	3
2.3 Algorithm for Calculating Common Area to Transform Terrain Height Data	9
3. Structure of Software for Data Transformation	14
3.1 Summary of the Software	14
3.2 Map Projection for Data Transformation and Method of Definition of Region to be Retrieved	16
3.3 Method for Calculating Inverse Function to Determine Region to be Retrieved	17
3.4 Structure of the Software	20
4. Examples of Transformation	21
4.1 On Map Projection for Transformation	21
4.2 Examples of Transformation	22
5. Current Map Drawing Software Made for Experimental Purposes	25
5.1 Drawing of Region by Rectangular Records	25
5.2 Three-Dimensional Drawing	28
6. Future Problem	30
6.1 Weak Points of Graphic Display System under Current TSS	30
6.2 Future Objects to be Displayed	32
7. Conclusions	33
Acknowledgements	33
References	34

1. はじめに

現在原研で開発を進めている緊急時環境放射能予測計算システム等の大型計算コードでは、汚染物質の移流、拡散の計算を行なう上で気象情報と共に地形に関連した情報が不可欠である。

地形に関連した情報の利用目的は大別して2つ考えることができる。1番目は計算を行なうための基礎データとして各地域に関連した標高や土地利用に関する情報を用いることである。2番目はその計算結果をグラフィック表示する際に理解を助けるための補助データとして、行政界や海岸線、および道路、鉄道、地域名などの情報が必要である。

これらの地形に関連した情報は計算対象となる各地の原子力サイト周辺地域に対して用意されなければならないので、手作業での作成は実際上困難であるが幸いにも国土地理院で数値化されたデータ、すなわち国土数値情報^(*)、⁽¹⁾、⁽²⁾を磁気テープの形で借用することができた。本報告の目的はこの国土数値情報を緊急時環境放射能予測システム等の大型計算コードで利用できる形に整備する方法について述べることである。

国土数値情報は日本全国を等緯度線、等経度線によって格子状に分割し、格子の中の各長方形を単位として作成されている。ところが計算で必要とされているのは距離座標を用いたデータであるため、緯度、経度座標から距離座標への変換が必要となる。

計算に用いる標高データに対して従来行なわれて来た様に、緯度、経度メッシュを距離に置きかえるだけの操作で変換をすませると、次の様な不都合を生じる。

- 格子点の間隔を任意にとれないこと。与えられたデータの間隔の整数倍しか選ぶことができない。(格子点の間隔は計算機資源の利用に大きな影響を与える。)
- 大きな範囲を与える場合、経線の間隔は高緯度の地域ほど狭くなるので、図が実際の状況と食い違い、不正確となる。

これらの不都合を避けるため、本報告では新しいデータの変換法を提案し、それを用いて実際に変換を行なった例を示す。

この変換法によれば、任意の地図投影図法⁽³⁾を用いて座標変換を行ない、任意の間隔で格子点を設定することが可能である。

(*) 本研究の実施にあたっては、国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された標高、土地利用、行政界、海岸線、道路、鉄道に関する国土数値情報を使用した。

2. 変換の理論

2.1 地図投影図法を用いた変換の必要性

国土地理院作成の国土数値情報は地球を球体とみなし、緯度、経度によって座標化されている。一方、数値計算において用いられるデータは地球の表面の一部を平面と考えて、距離(km)を単位とするx-y直交座標系として与えられていると都合が良い(Fig. 2.1.1参照)。

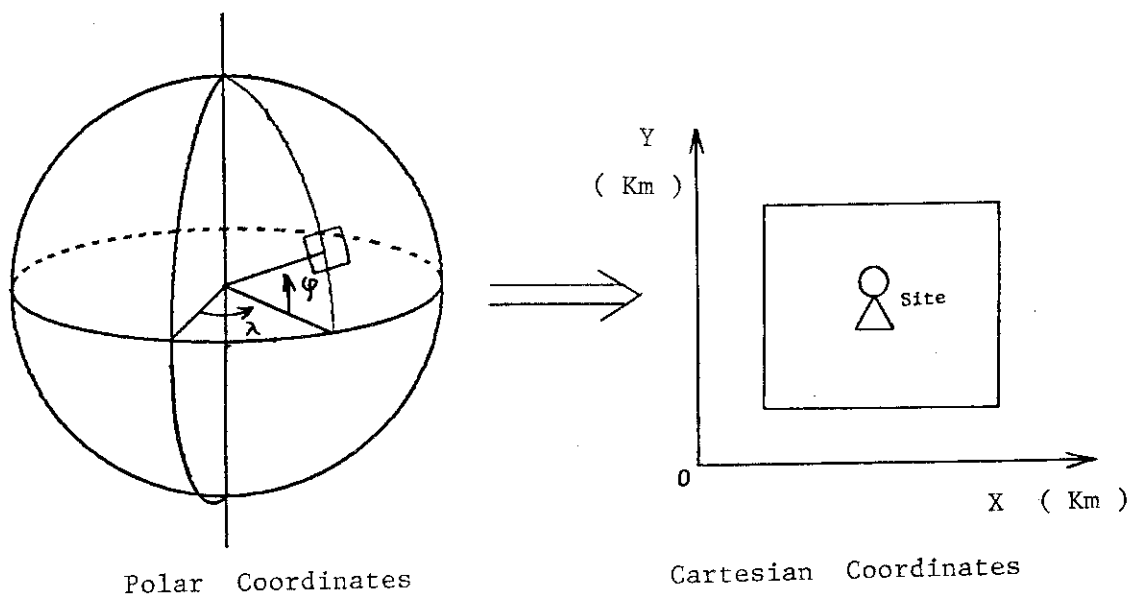


Fig. 2.1.1 2-types of Coordinates for the Original Data and Calculation

特に数値計算において重要な技法である差分に用いる格子状のデータの場合に、緯度、経度で区切られているメッシュでは、形状がいびつであり、メッシュ間隔に任意性がないため問題が多い。

そこで、球の表面(極座標系)から、平面(直交座標系)への変換が必要となる。地図投影図法⁽³⁾としては数多くのものが知られているが、数値計算に用いられるためには計算の対象となるサイト周辺地域を投影した場合に次の3つの性質を持っていることが望ましい。

- (i) 形(角度)が正しく表現されていること。
- (ii) 面積が正しく表わされていること。

(iii) 図上の距離が正しく表現されていること。

球面から平面への射影において上記の3条件を完全に満たすことは不可能である。多くの図法が提案されているが、それぞれ一長一短があり、どの図法が最良であると限定することは難しい。しかし各種の地図投影図法は古くから知られていてよく整理されており、極座標系から直交座標系への変換も各図法について数式として与えられている。(2.1)式で示すように、ユーザが各数値計算に適した投影図法を選択し、対応する関数 f 、 g を与えることによって任意の図法による変換を行なうことができる。

$$\begin{aligned} x &= f(\lambda, \varphi) & \lambda &: \text{経度}, & \varphi &: \text{緯度} \\ & & x &: x \text{方向の距離 (km)} \\ y &= g(\lambda, \varphi) & y &: y \text{方向の距離 (km)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

このようにして数値計算に適した図法を指定すれば、計算機処理によって簡単に変換することができる。

数値計算には次のような図法が比較的良好に用いられる。

- (i) 緯線、経線を直交格子と考えた円筒長方形図法
- (ii) 円錐図法
- (iii) U. T. M. 図法 (Universal Transverse Mercator projection)
- (iv) ステレオ投影図法

各投影図法の計算式は (λ, φ) 座標の点を (x, y) 座標の点に写像するが、国土数値情報はデータの種類によっては必ずしも点の座標を表わしているわけではないので、つぎの節で国土数値情報の種類とその変換方法について、考察することにする。

2.2 国土数値情報の種類とその変換

国土数値情報には多くの種類があるが、ここではその代表的なものとして海岸線、行政界データと標高データについて述べる。他のデータもほとんどこの2種類のデータ形式のいずれかに類似であると考えられる。

2.2.1 海岸線、行政界データの変換

海岸線データは「海」と「陸地」、行政界データは、2つの異なる行政区というように、各データは2つの異なる領域の「境界」を示す曲線である。曲線は適当な代表点をとることによって、「点の座標の並び」として表現される (Fig. 2.2.1 参照)。

行政界、海岸線のデータは日本全国を緯度 $5'$ 、経度 $7' 30''$ (約 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$) の2次メッシュで区切り、各メッシュの長方形領域の中での曲線として収められている。距離座標系のデータを作るためには、国土数値情報から2次メッシュを単位として必要な地域の情報を読み出し、各点の座標を前述の関数によって新しい座標に変換するだけでよい。ただし国土地理院のデータは非常に精緻に作成されているので、我々の目的とする計算結果の下面の表示のためには、適当な方法によって代表点の数を間引いてデータ量の調整を行なう必要がある⁽⁴⁾。

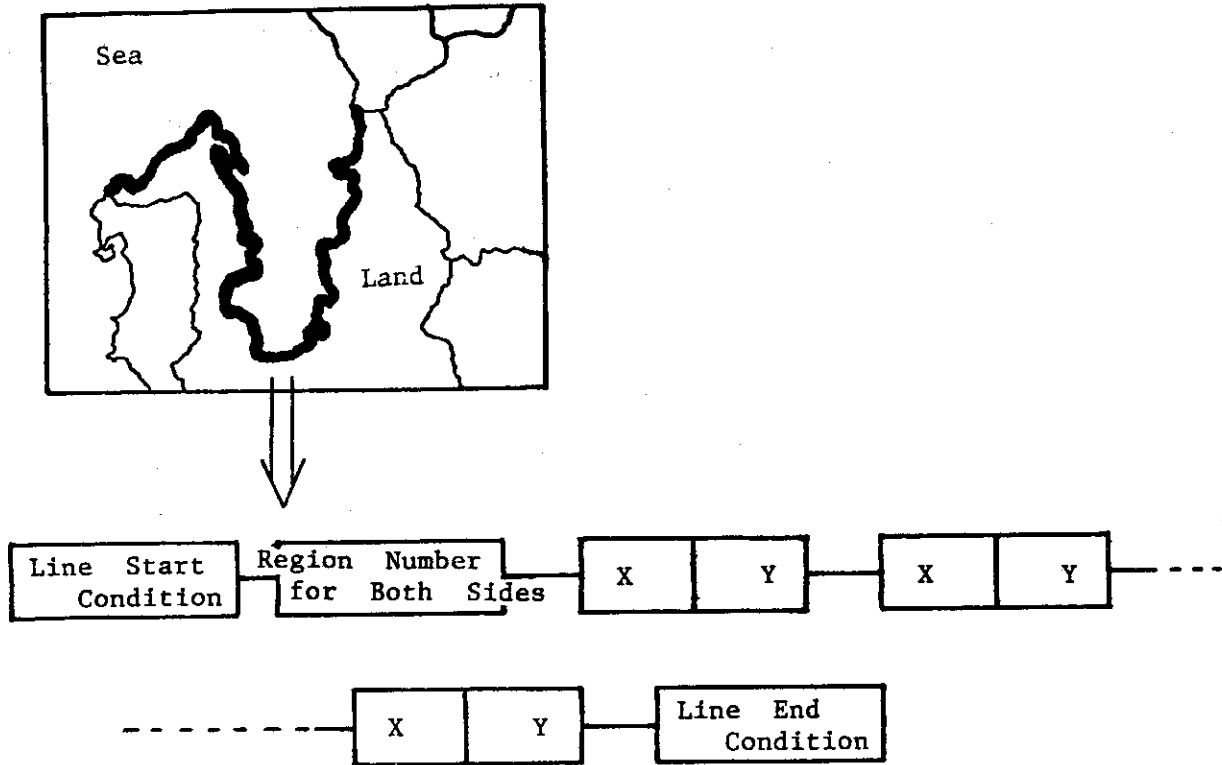


Fig. 2.2.1 Representation of Coast Line and Administrative Boundary on a Computer

2.2.2 標高データの変換

標高データは地域を長方形の格子に分割し、各小領域を代表する標高値の集まりとして表現されている (Fig. 2.2.2 参照)。 $1/4$ - 3次メッシュ標高データの場合は格子点上の標高値を、その加工情報である3次メッシュ平均標高データの場合は格子点の右上の約 1 km^2 の長方形領域の標高の平均値をデータとして持っている。

1150 m

140	190	×	150	160	440	460	400	210	410	190
360	×	210	310	280	125	180	270	360	370	300
×	120	460	470	430	320	520	260	550	520	390
74	150	190	460	440	470	440	600	370	470	550
80	150	340	260	290	440	250	290	390	350	540
×	270	110	270	450	440	270	460	450	500	590
70	110	280	320	260	380	350	420	280	370	400
200	150	300	160	170	280	540	510	480	370	540
×	160	110	230	140	300	630	360	×	320	380
64	59	140	110	210	530	340	310	280	350	350

924 m

Fig. 2.2.2 Example of Terrain Height Data (m)

海岸線や行政界のデータが点の座標自体に意味があったのとは異なり、代表点の位置はあらかじめ与えられていて、その代表点上の標高値がデータとして意味を持っている。

さて標高データを緯度経度座標から距離座標に座標変換することを考える。自然な考え方として代表点の位置そのものを関数によって写像する方法がある。いまこの方法によって変換した場合にどのようなことになるか考えて見よう。

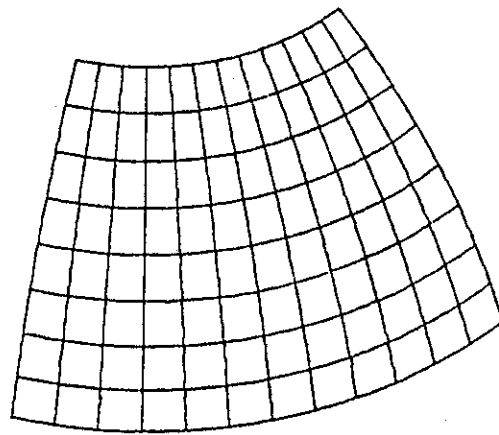


Fig. 2.2.3 Distortion of Grid Caused by the Projection

Fig. 2.2.3に示すように、もとの格子点の位置を単純に座標変換しただけだと、新しい格子点の配列は歪んだ形になる。単純な座標変換を行なうだけでは次のような理由によって数値計算には使えない。

- (i) 格子点が直交した直線上に規則的に並んでいない。数値計算を行なうためには規則的で等間隔の格子が必要である。
 - (ii) 格子点の間隔が原データによって決まってしまう。数値計算に用いる格子点の間隔はメモリ使用量と計算時間に大きな影響があり、できれば任意に設定できることが望ましい。
- 以上の考察から標高データの変換には特別な配慮の必要なことが明らかである。そこで座標変換によって得られた歪んだ格子に新しい座標系での正確な格子を重ね、標高データを写すことを考える。

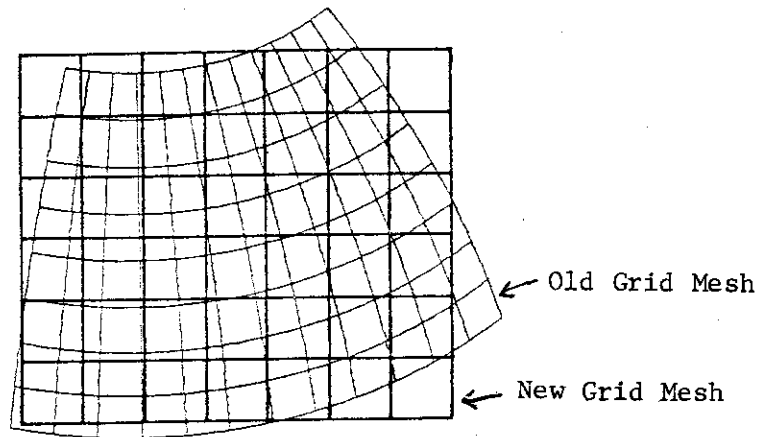


Fig. 2.2.4 Grid Mesh Transformation

格子点上の値を異なる格子へ写像するアルゴリズムとして、一般に良く知られたものとしては、新しい格子点に対してもとの格子点から最も近いものを選び出し、その値を採用する方法がある。

この方法は簡単ではあるが次の様な欠点をもっている。

- (i) 標高データが格子点間で大きく変化するような場合に、必ずしも正確な値が得られない。
- (ii) もとの格子点間の距離が新しく作成する格子点間の距離に比べて小さい場合には、もとのデータに対して平均化という前処理を行なう必要がある。
- (iii) 写像の逆関数を新しい格子点の各点について計算する必要があり、計算時間がかかる。

上記(i)の不正確であるという点は数値計算に用いる上で望ましくないし、(ii)の前処理はプログラムの構成を複雑にする。他のよりよい変換方法が望まれる。

ここで参考として国土地理院で $\frac{1}{4}$ -3次メッシュ標高データから3次メッシュ平均標高デー

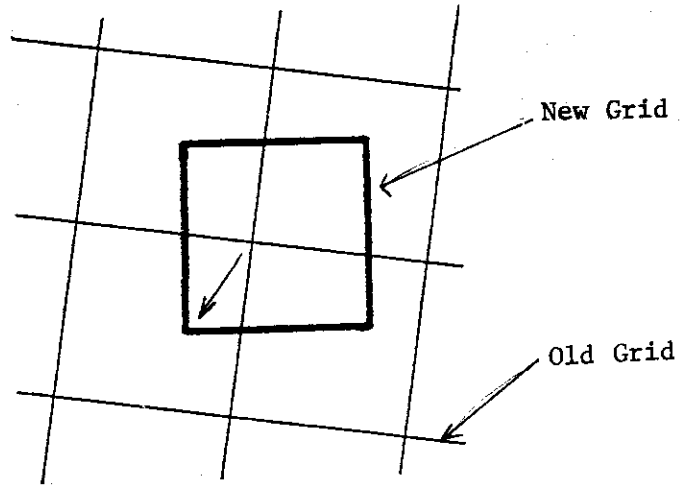


Fig. 2.2.5 Nearest Neighbor Method

タを作成している際の手順について考えてみる。これはもとの標高データに対して4倍大きいメッシュに平均化処理を行なっている。以下は国土地理院の国土数値情報利用の手引⁽¹⁾からの抜粋である。

平均標高はFig. 2.2.6において○、△または◎で示した25点の標高データの平均値として求めたものである。

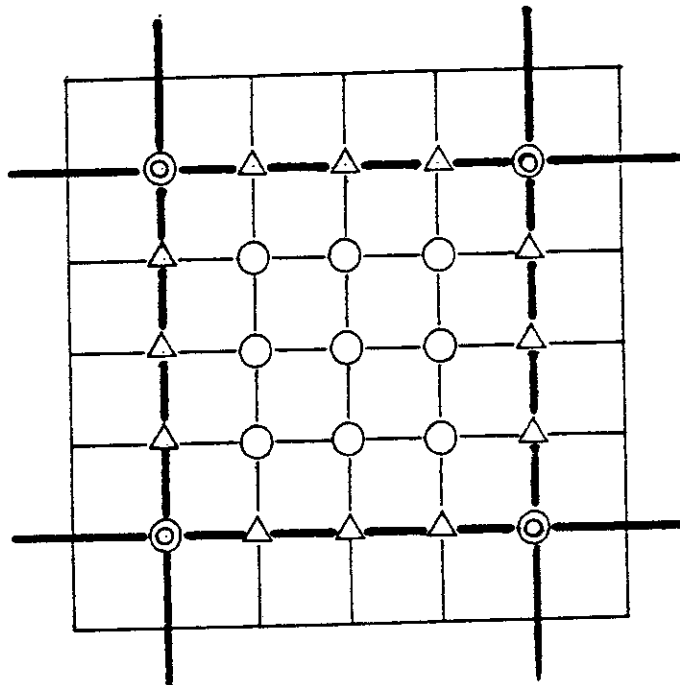


Fig. 2.2.6 (Cited from Reference No 1)

平均値の算出方法は、次のとおりである。

- ① 図中の◎印の標高値には $\frac{1}{4}$ のウェイトをかける。
- ② 図中の△印の標高値には $\frac{1}{2}$ のウェイトをかける。
- ③ 図中の○印の標高値には $\frac{1}{1}$ のウェイトをかける。

④ 平均標高 =
$$\frac{\sum W_i \cdot X_i}{\sum W_i} \quad (2.2)$$

W_i : ウェイト ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ または $\frac{1}{1}$), X_i : 標高

この方法の本質的な考え方は Fig. 2. 2. 7 に示すように、もとの格子点の影響を新しい格子との共有面積によって分類し、重みをかけて平均化することにある。

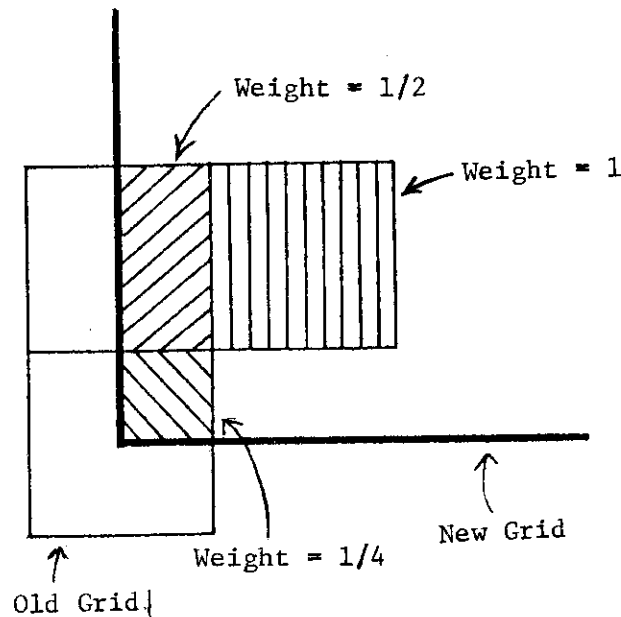


Fig. 2. 2. 7 Meaning of the Difference of the Weight at Fig. 2. 2. 6

この方法の場合はもとの各標高値が変換後の標高値に与える影響が均一という望ましい性質がある。そこでこの考え方を一般の場合に拡張し、格子点どおしが一致していない場合の変換について考える。

Fig. 2. 2. 8 に示すように原標高データの値に格子点を含む四角形の共有面積によって重みをかけて新しい標高値を作り出す。式で表わすと次の様になる。

$$H_i = \frac{\sum_j h_j \cdot S_{ij}}{\sum_j S_{ij}} \quad (2.3)$$

h_j : 原データの j 番目の格子点の標高値

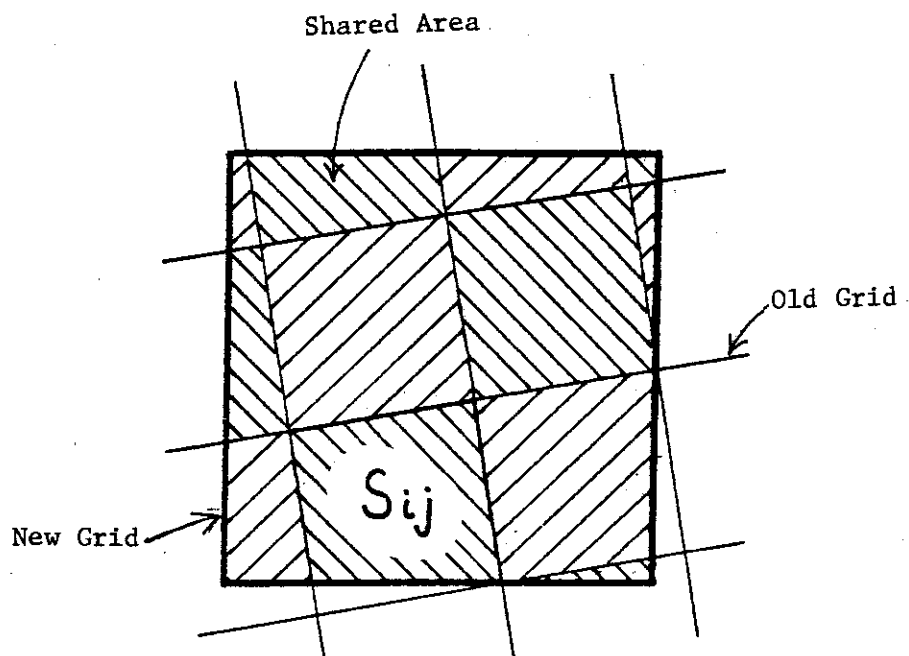


Fig. 2.2.8 Mesh Data Transformation Using the Concept 'Shared Area'

H_i : 新しい i 番目の格子点の標高値

S_{ij} : 原データの j 番目の格子点を含む四角形と新しい i 番目の格子点を含む四角形の共有する面積。

このようにして変換すれば、新しい格子点のとり方を原データから独立に任意に設定することが可能で、しかも高精度の変換を行なうことができる。

しかし、この場合2つの四角形の共有する面積を計算する必要があり、比較的複雑な手順を要するので、次の節で詳しく説明することにする。

2.3 標高データ変換のための共有面積計算のアルゴリズム

2.2で述べたような手順で標高データの変換を行なうためには2つの四角形の共有面積を計算する必要があった。

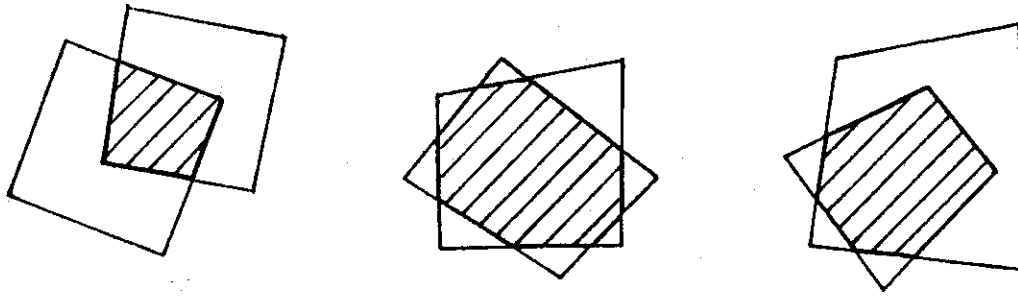


Fig. 2.3.1 Examples of Shared Area

Fig. 2.3.1 に示すように、2つの四角形の交わり方はいろいろな場合があり、共有面積を計算する公式はない。そのためプログラムの場合分けによって実現することになるが、なるべく簡明な論理となるよう、次のような手順で計算することにした。

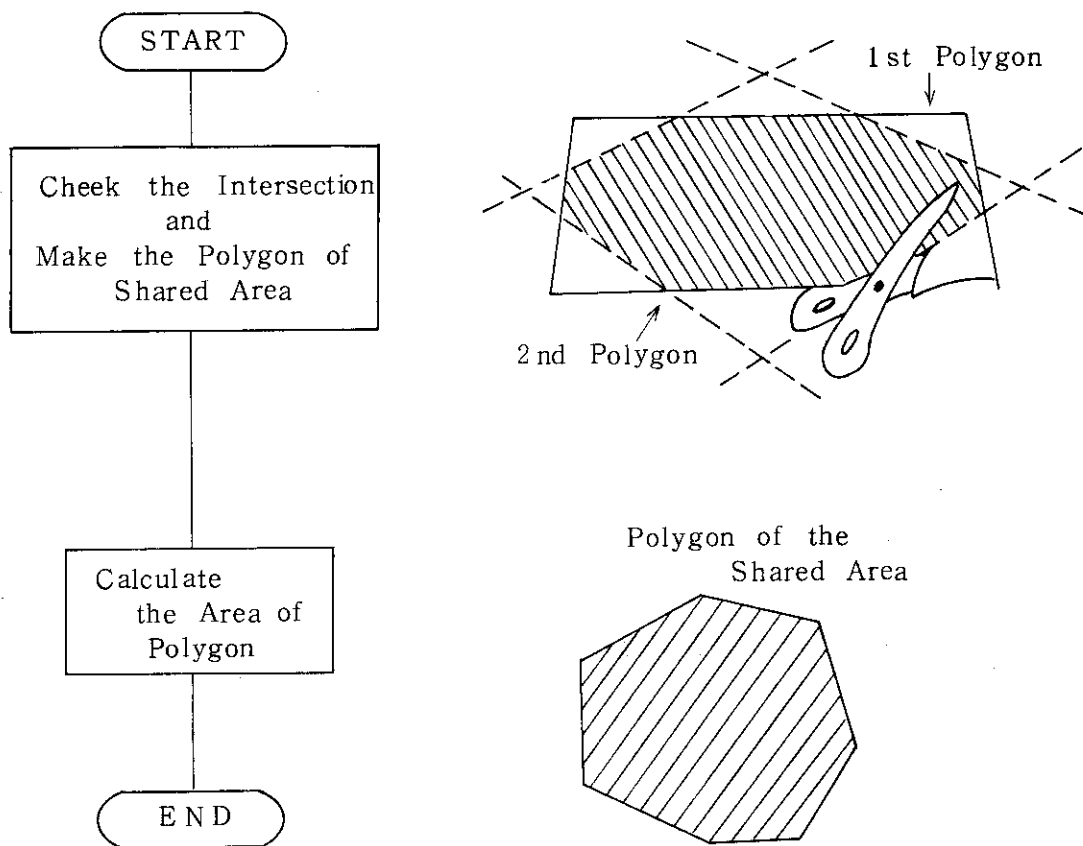


Fig. 2.3.2 Calculation of Shared Area

この手順を実行するためには平面での点や線の位置関係について考察する必要がある。

いまPとQを(2.4)式で示すように、 $x-y$ 平面上の点の座標を表わす2次元のベクトルとする。

$$\begin{aligned} P &= (P_x, P_y) \\ Q &= (Q_x, Q_y) \end{aligned} \quad (2.4)$$

PとQを用いてベクトルの外積と内積をそれぞれ次のように定義する。

$$\begin{aligned} P \times Q &= P_x \cdot Q_y - P_y \cdot Q_x \\ P \cdot Q &= P_x \cdot Q_x + P_y \cdot Q_y \end{aligned}$$

これを用いてFig. 2.3.3に示すように有向線分 \overrightarrow{AB} と点Cとの位置関係を調べることができる。

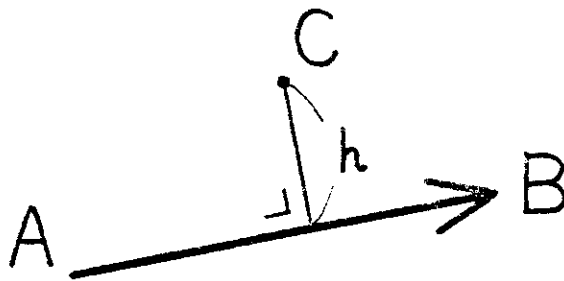


Fig. 2.3.3 Relative Position of 'C' to the Directed-Line 'AB'

A, B, CをP, Qと同じように $x-y$ 平面上の点の位置を表わすベクトルとすると点Cから有向線分 \overrightarrow{AB} へおろした垂線の長さhは次式で与えられる。

$$h = \frac{(B-A) \times (C-A)}{2 \cdot \sqrt{(B-A) \cdot (B-A)}} \quad (2.5)$$

$h > 0$: Cは有向線分ABの左側にある。

$h < 0$: Cは有向線分ABの右側にある。

(2.5)式を利用して、一方の四角形を基準としてもう一つの四角形の各辺がどのような位置関係にあるか調べることができる。

それぞれの四角形の辺が交わる場合には、Fig. 2.3.4に示すように辺の端点C, Dの座標を h_1, h_2 の比で内分すれば交点Xの座標を計算することができる。

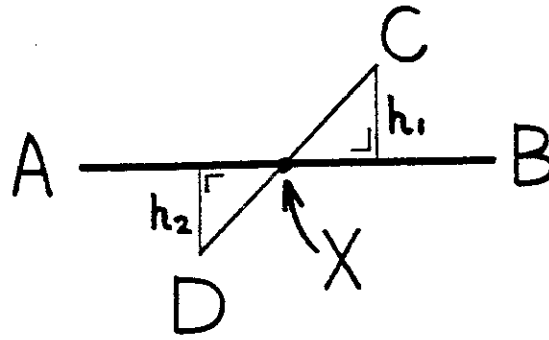


Fig. 2.3.4 Determination of the Intersected Point 'X'

$$X = \frac{h_1 D - h_2 \cdot C}{h_1 - h_2}$$

2つの四角形が凸であるという性質を利用して、1つの四角形を初期状態として、それをもう1つの四角形の各辺に沿ってはさみで切るように切断して行けば、目的とする共有部分の多角形ができて上がる。

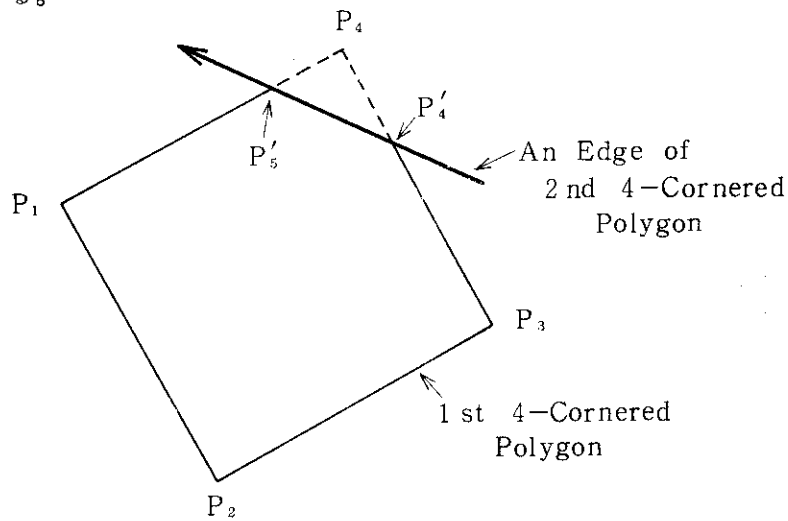
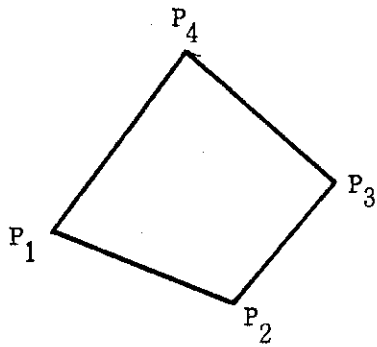


Fig. 2.3.5 Cut Out of 1st 4-Cornered Polygon by the 2nd

共有部分の多角形の計算

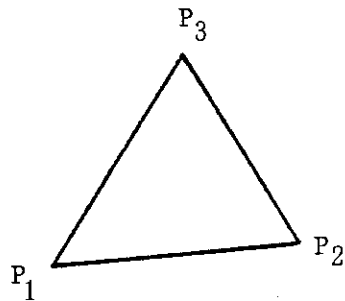
多角形の面積の計算は簡単である。先に定義した外積を用いれば、4角形、3角形の面積はそれぞれ次のようにして計算できる。

4 角形の面積



$$S = \frac{1}{2} (P_3 - P_1) \times (P_4 - P_2)$$

3 角形の面積



$$S = \frac{1}{2} (P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)$$

凸多角形は 4 角形と 3 角形に分解できるから、それぞれの面積を計算して和をとればよい。

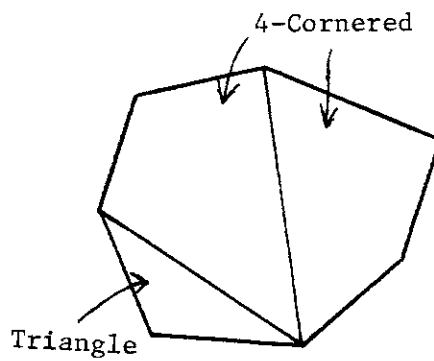


Fig. 2.3.6 Polygon Area Calculation

3. データ変換ソフトウェアの構成

前の章では、国土数値情報の緯度経度座標系から計算に好都合な距離座標系への座標変換の必要性について述べ、さらにデータの種別と変換法について論じた。本章では変換ソフトウェアの概要、図法と範囲の定義の仕方、変換ソフトウェアの機能について説明を行う。

3.1 変換ソフトウェアの概要

変換ソフトウェアは国土数値情報を計算に適合する形に検索、加工し、計算プログラムからの読出しが簡単に行なえるようにデータプール⁽⁵⁾の形式でディスク上に保存することを目的としている。

変換ソフトウェアに要求される項目を箇条書きにしてみよう。

- (1) 膨大な量を有する国土数値情報の原データのテープからサイト周辺地域のデータだけを検索する。
- (2) 原データの緯度、経度座標からキロメートル単位の距離座標に変換し、データの形をそれに合わせて整える。
- (3) 行政界、海外線のデータについて、曲線を表わす点の間隔が必要以上に細かくなならない様に間引く。
- (4) 標高データ、土地利用データについてユーザの指定したメッシュ間隔でデータを与える。
- (5) 欠測や特殊な形をしたデータを修正する。
- (6) 加工されたデータを冗長でなくかつ計算に便利な形でデータプールに収納する。

これらの要求を満たすためには、処理ごとにステップに分け、中間結果を一時ディスクファイル上に保存しながらデータの加工を行なうようにするとプログラムの構成が簡単になる。このような考え方によってプログラムを構成した場合の概略流れ図をFig. 3.1.1に示す。またその場合の各ステップにおけるデータ量の変化をFig. 3.1.2に示す。

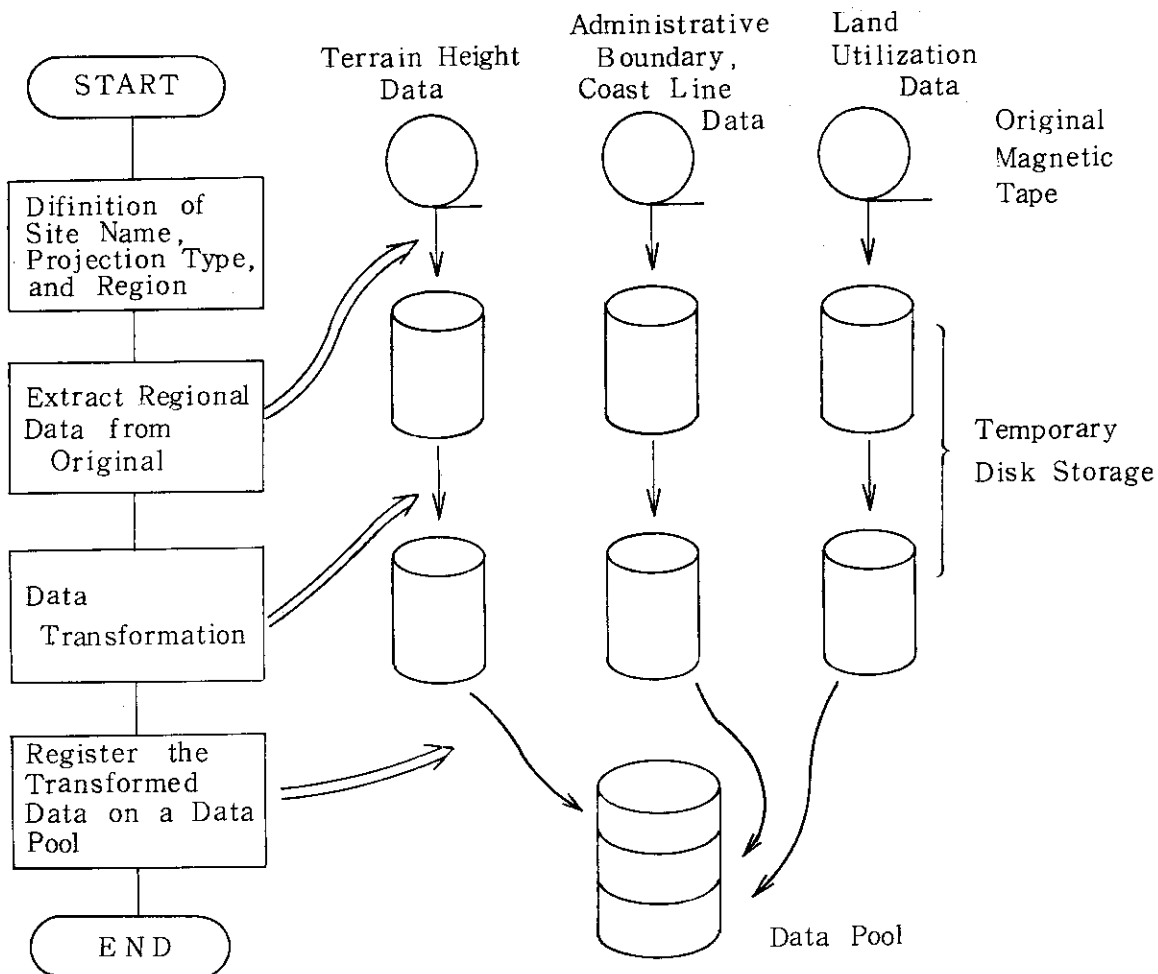


Fig. 3.1.1 Main Flow of the Program

Data Quantity	Terrain Height Data	Administrative Boundary, Coast Line Data	Land Utilization Data	Original Magnetic Tape
5 M ~ 100 M	10 K ~ 500 K	10 K ~ 500 K	10 K ~ 500 K (Byte)	
Number of Records	100 K ~ 1 M	100 ~ 10 K	100 ~ 10 K	100 ~ 10 K

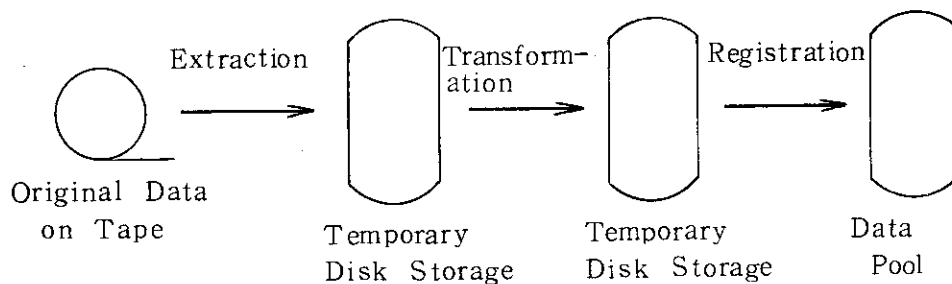


Fig. 3.1.2 Data Amount at Each Step

3.2 変換図法と検索範囲の定義の仕方について

プログラム中での図法の定義の仕方について考察する。例として単円錐図法（一基本円錐図法）をとり上げる。

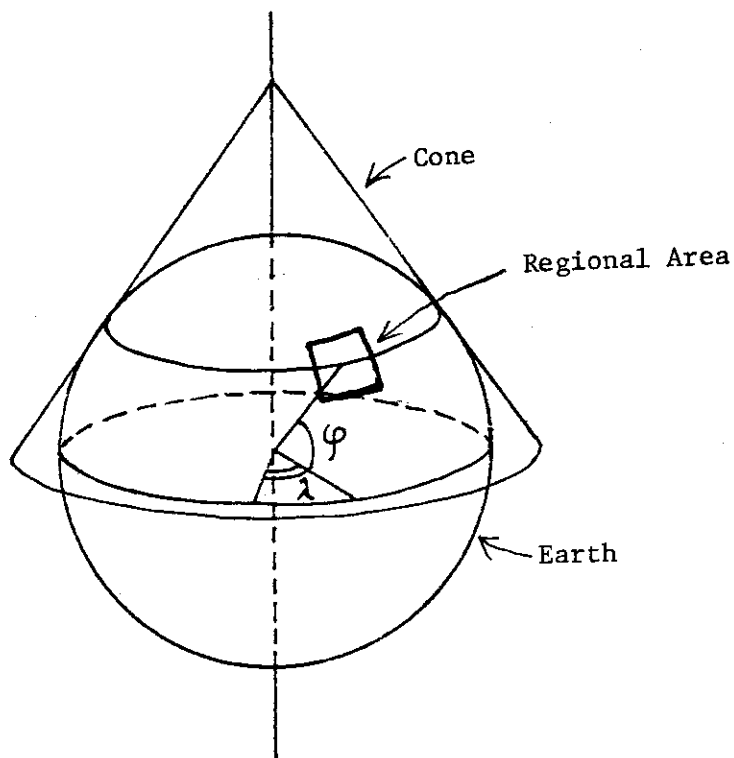


Fig. 3.2.1 Conic Projection

単円錐図法は Fig. 3.2.1 に示すように、地球にある緯度で接する円錐を考え、地球表面を地球の中心から円錐面へ投影したものを平面に広げたもので、変換式は次式で与えられる。

$$X = R \cdot \left\{ \frac{1}{\tan \varphi_0} - \tan(\varphi - \varphi_0) \right\} \cdot \sin((\lambda - \lambda_0) \cdot \sin \varphi_0)$$

$$Y = R \cdot \left\{ \frac{1}{\tan \varphi_0} - \left\{ \frac{1}{\tan \varphi_0} - \tan(\varphi - \varphi_0) \right\} \cdot \cos((\lambda - \lambda_0) \cdot \sin \varphi_0) \right\}$$

R : 地球の半径

φ_0 : (X, Y) 座標の原点の位置 (円錐の接する緯度)

λ_0 : (X, Y) 座標の原点の位置

(3.1)

この例で明らかなように緯度、経度座標 (λ , ϕ) から距離座標 (X , Y) への写像を定義するためには関数の式を与え、さらに数個の定数を決定する必要がある。

一般に定数として必要なものは地球の半径 R と新しい距離座標系の原点の緯度 ϕ_0 、経度 λ_0 の3つであるが、図法によってはさらに数個の定数が必要な場合もある。

次に原子炉サイト周辺地域データベースを作成する際の範囲の定義について考える。

前にも述べたとおり数値計算は距離座標上で行なわれるので、計算に必要な範囲は座標変換後の距離座標上の長方形領域として与える必要がある。

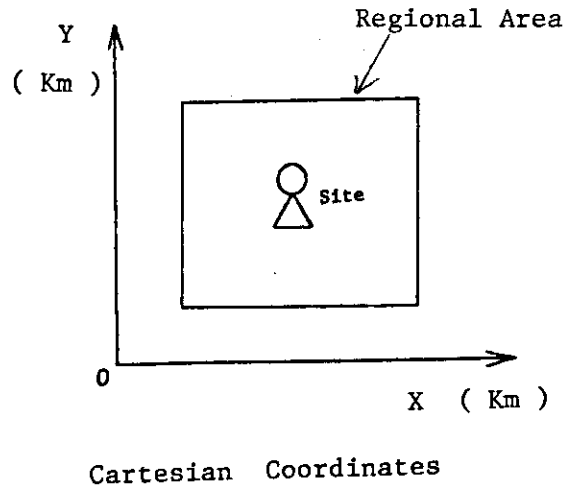


Fig. 3.2.2 Definition of Region on X-Y Plane

Fig. 3.2.2 に示したとおり、範囲は $x-y$ 平面上で x 座標、 y 座標についてそれぞれ最小値と最大値を指定することによって決定される。

3.3 検索範囲を決定するための逆関数の計算法

国土数値情報は緯度、経度メッシュの昇順に並べられている。これを検索するためには緯度、経度座標で長方形領域を指定すれば、緯度 ϕ 、経度 λ にそれぞれ独立に判定条件を与えることによって検索できる。

ところが前節で述べたとおり、必要とされるサイト周辺地域は (X , Y) 座標上の長方形として定義されているのでこのままでは検索を行なうことはできない。

そこで (X , Y) 座標で定義された領域を写像関数の逆関数を使って (λ , ϕ) 座標へ逆写像し、(λ , ϕ) 座標上でその領域を囲む長方形領域を改めて作成し、検索に用いる必要がある。

さて逆関数をいかにして求めたらよいであろう。逆関数を式で与えることができればあとの計算は簡単であるが、いろいろな写像関数を定義した場合にその逆関数を用意することを強要

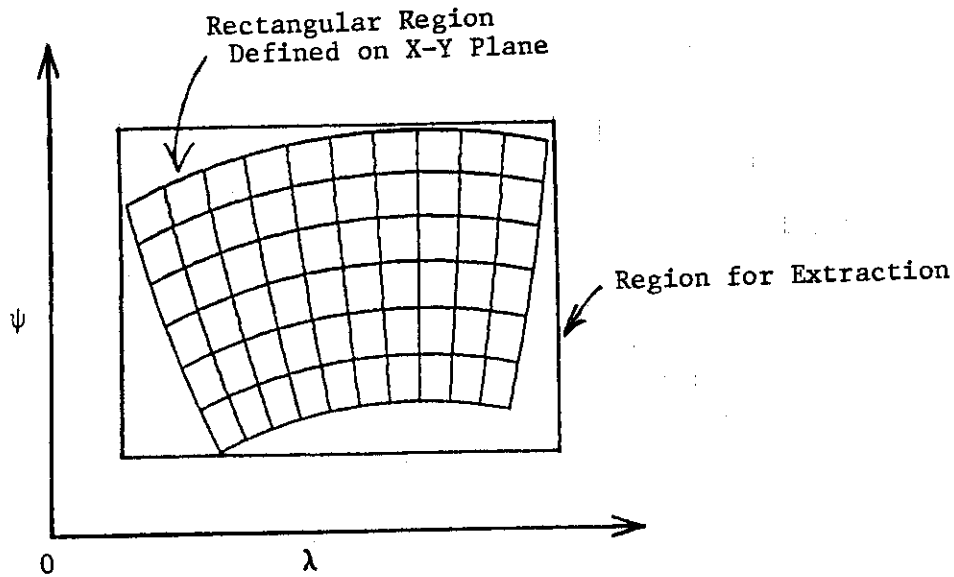


Fig. 3.3.1 Finding Region for Extraction on $\lambda-\varphi$ Plane

すると利用者に大きな不便をかける。そこで逆関数は数値解として計算することにした^[6]。

計算法はニュートン法の変形である。

★ 逆関数の数値解の計算法

距離座標 (x, y) の値から緯度経度座標 (λ, φ) の値を数値的に逆算する方法を考える。

$$\begin{cases} f(\lambda, \varphi) = x \\ g(\lambda, \varphi) = y \end{cases} \quad (3.2)$$

関数 f, g と座標 x, y が与えられたとき, (3.2) 式をみたす λ と φ を求める。

まず λ, φ の求めるべき値を α, β とする。 λ, φ と真の値 α, β の差を δ, ε として

$$\begin{cases} \delta = \lambda - \alpha \\ \varepsilon = \varphi - \beta \end{cases} \quad (3.3)$$

とおいて関数 f, g をテーラー展開して一次の項までとると

$$\begin{aligned} f(\alpha, \beta) &\doteq f(\lambda, \varphi) - \delta \cdot f_{\lambda}(\lambda, \varphi) - \varepsilon \cdot f_{\varphi}(\lambda, \varphi) \\ g(\alpha, \beta) &\doteq g(\lambda, \varphi) - \delta \cdot g_{\lambda}(\lambda, \varphi) - \varepsilon \cdot g_{\varphi}(\lambda, \varphi) \end{aligned} \quad (3.4)$$

これから修正量 δ と ε について次の連立一次方程式ができる。

$$\begin{cases} \delta \cdot f_{\lambda}(\lambda, \varphi) + \varepsilon \cdot f_{\varphi}(\lambda, \varphi) = f(\lambda, \varphi) - x \\ \delta \cdot g_{\lambda}(\lambda, \varphi) + \varepsilon \cdot g_{\varphi}(\lambda, \varphi) = g(\lambda, \varphi) - y \end{cases} \quad (3.5)$$

(3.5) 式を反復スキームとして新しい δ , ε を求め, λ , φ の値を更新して行けば解に収束する。

ただし実際には微係数 f_λ , f_φ , g_λ , g_φ を求めることはできないので次に示す差分で代用する。

$$\begin{aligned}
 f_\lambda(\lambda, \varphi) &\rightarrow \frac{f(\lambda + \Delta\lambda, \varphi) - f(\lambda, \varphi)}{\Delta\lambda} \\
 f_\varphi(\lambda, \varphi) &\rightarrow \frac{f(\lambda, \varphi + \Delta\varphi) - f(\lambda, \varphi)}{\Delta\varphi} \\
 g_\lambda(\lambda, \varphi) &\rightarrow \frac{g(\lambda + \Delta\lambda, \varphi) - g(\lambda, \varphi)}{\Delta\lambda} \\
 g_\varphi(\lambda, \varphi) &\rightarrow \frac{g(\lambda, \varphi + \Delta\varphi) - g(\lambda, \varphi)}{\Delta\varphi}
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

ここで $\Delta\lambda$, $\Delta\varphi$ は解析的には小さい程真の微係数に近づくが, あまり小さくとると桁落ちによる誤差が問題となるため, 写像関数が比較的単調な関数であることから, 1° 程度の値にとっておけば良いと思われる。

3.4 ソフトウェアの構成

ソフトウェアは機能別にFORTRAN サブルーチンの形で作成されている。現在のところ、標高データの変換に関連したところだけが完成している。Fig. 3.4.1 に各サブルーチンの接続と、機能の概略を示す。

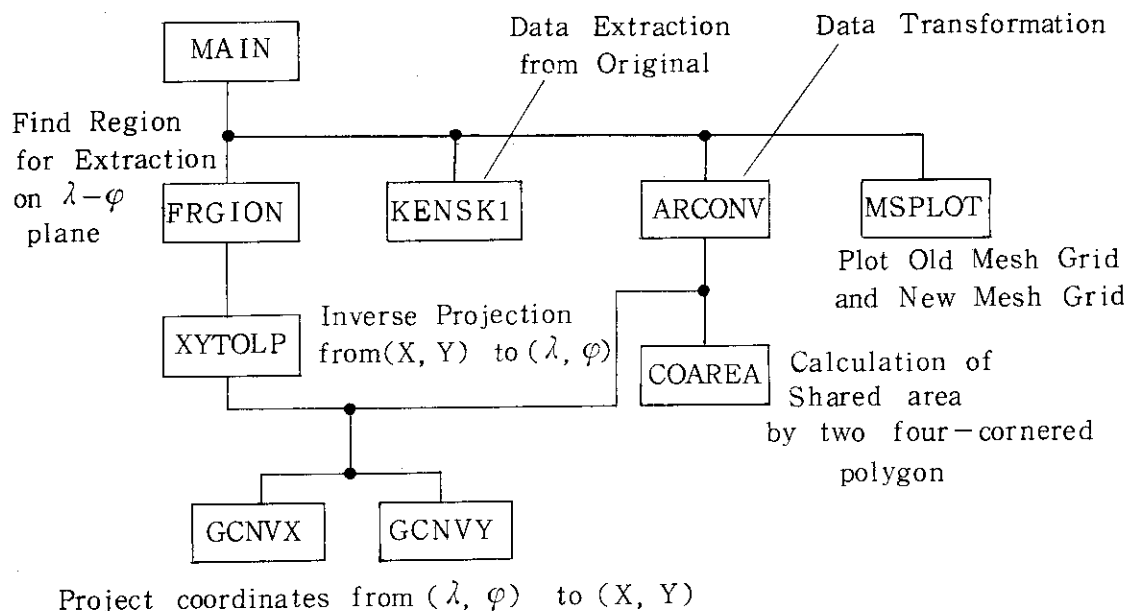


Fig. 3.4.1 Functions of Subroutines and Their Interconnections

小格子の面積が座標の差から求められることや、逆関数の計算に差分を用いていることから演算はすべて倍精度で行なっている。標高データは単精度の2次元配列に得られる。

計算時間は対象とする領域の広さに依存するが、原研のM200において、高々2~3分程度であり、問題にならないと考えられる。

4. 変換例

この章では標高データと行政界、海岸線データの変換例を示す。まず始めに2つの投影図法について説明し、その後で表示例を示す。

4.1 変換図法について

(i) 円筒長方形図法

この図法は、緯線と経線の間隔がどこでもある基準緯度のそれに等しいと考える図法で、等緯度線、等経度線が長方形の格子を形づくるところから名前が由来している。変換の様子をFig. 4.1.1に示す。

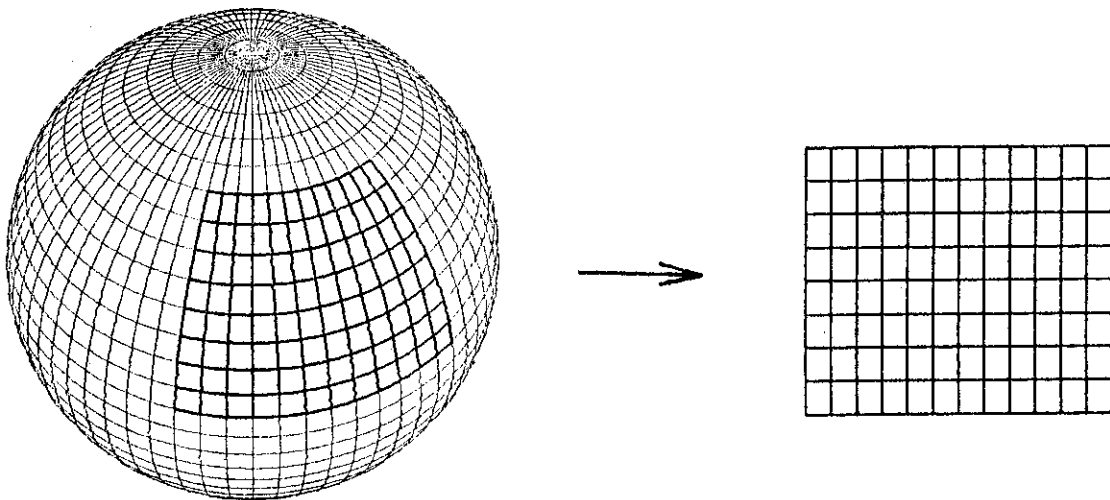


Fig. 4.1.1 Rectangular Projection

変換式は簡単で次式で与えられる。

$$x = R \cdot \cos \varphi_0 \cdot (\lambda - \lambda_0)$$

$$y = R \cdot (\varphi - \varphi_0)$$

R : 地球の半径

φ_0 : 基準緯度

λ_0 : 基準経度

(4.1)

(ii) 単円錐図法

この図法は、ある基準緯度で地球に接する円錐を考え地球の中心からその円錐面に投影したものを展開したものである。(Fig. 3.2.1 参照)

変換の様子を Fig. 4.1.2 に示す。

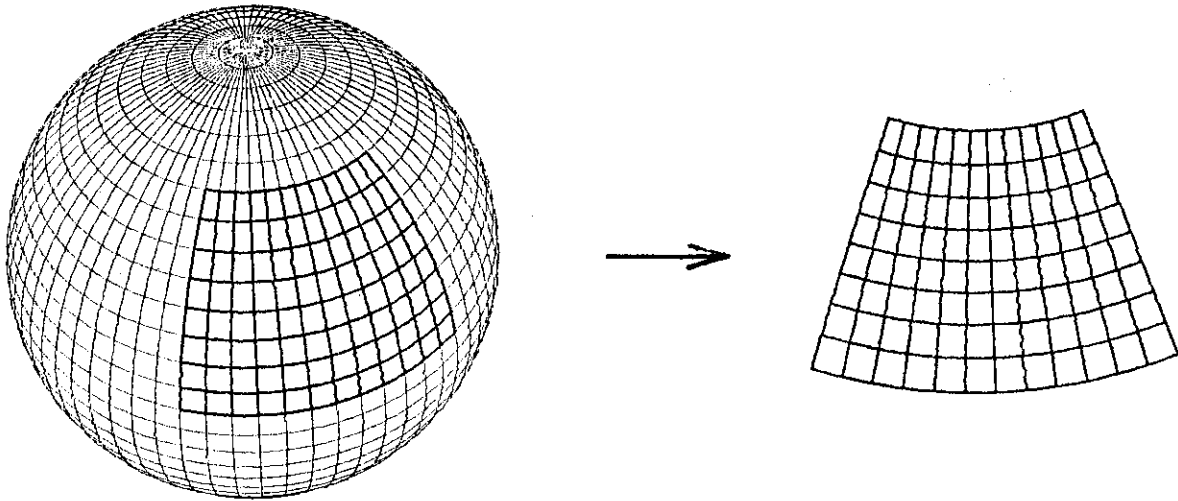


Fig. 4.1.2 Conic Projection

変換式は (3.1) 式で既に示した。

4.2 変換例

(i) 行政界、海岸線データ

行政界、海岸線のデータを福井県敦賀原発付近について抽出した後、円錐図法によって変換し、表示した例を Fig. 4.2.1 に示す。

実用システムではさらに次の2つの操作を行なう必要がある。

- ① 緯度、経度座標で抽出したものを距離座標で定義した範囲内だけに調整する (シザリング)
- ② 曲線を構成する点の数を必要な精度に適当なように間引く。

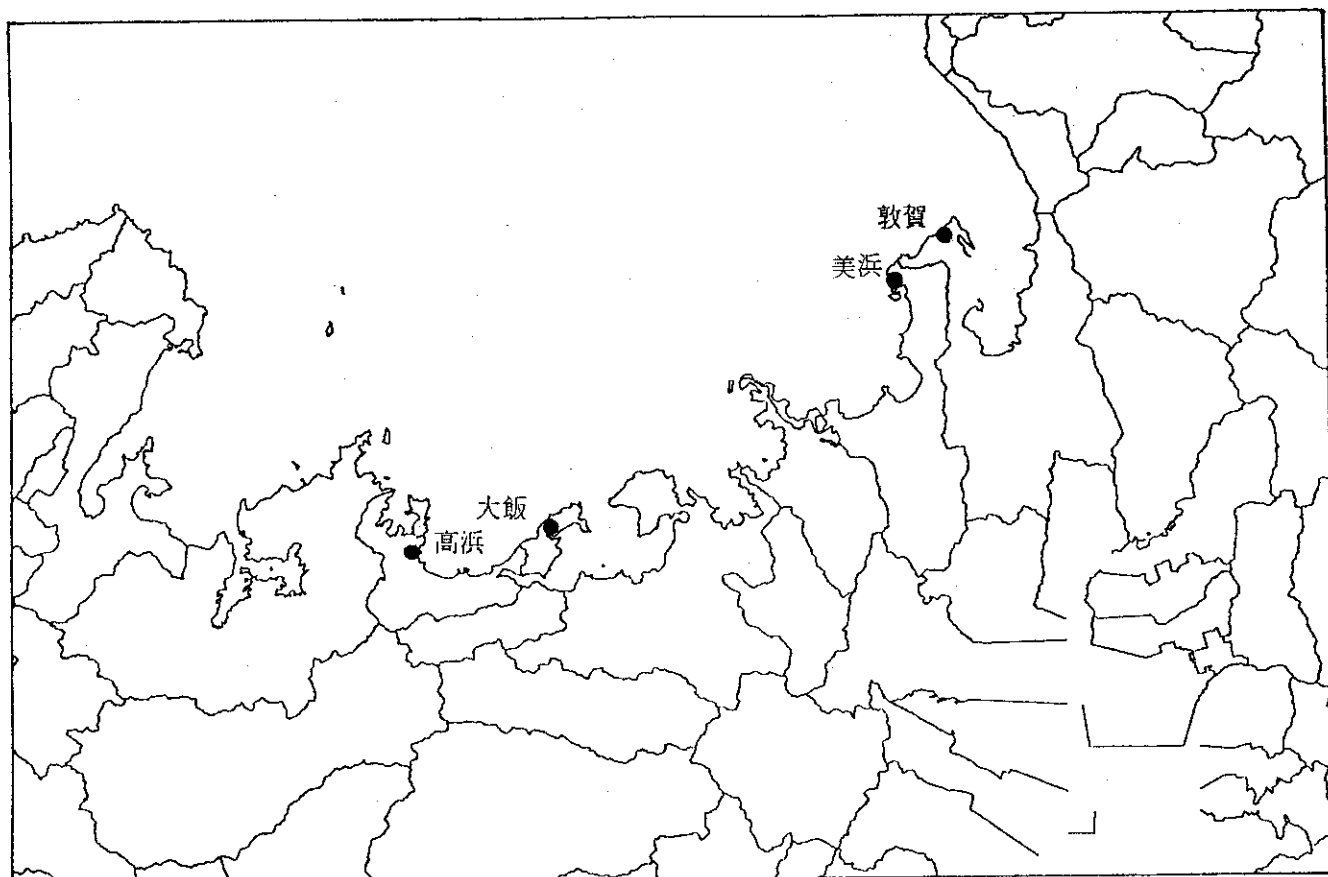
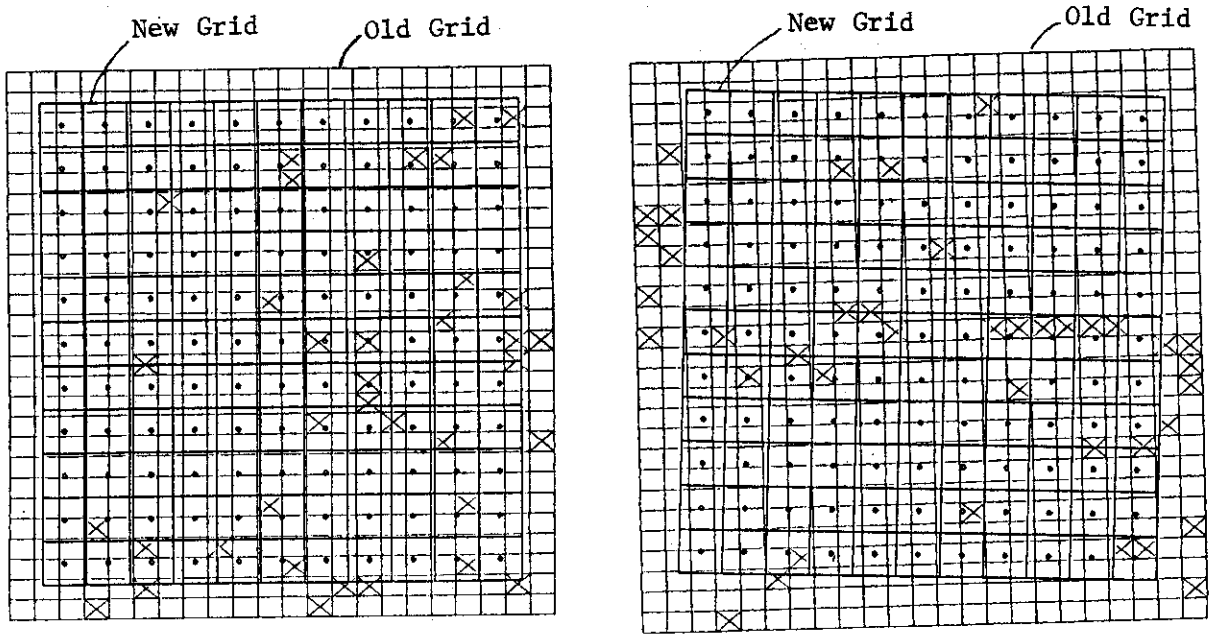


Fig. 4.2.1 Display of Coast Line and Administrative Boundary Near 'Tsuruga Site'

(ii) 標高データ

3次メッシュ平均標高データ (約1 km×1 km) を単円錐図法によって変換したものを距離メッシュ系の上に重ねて表示したものをFig. 4.2.2のA及びBに示す。Fig. 4.2.2のAは図法の基準点近く、Fig. 4.2.2のBは基準点の300 km東方の様子を示している。距離座標系のメッシュの大きさは2 km×2 kmで太線で示されている。細線の表示が平均標高データのメッシュであり、X印のところは、観測地点に標高点がないか、水域であるかというような何らかの理由によって欠測となっているところである。



A : At Near Origin

B : At Around 300km East from Origin

Fig. 4.2.2 Display of Old Grid Mesh and New Grid Mesh
(Conic Projection)

関東周辺について 3 km × 3 km, 101 点 × 101 点のメッシュ上でデータを作成し、汎用図形表示ソフトウェア ARGUS^[7] を使って等高線表示したものを Fig. 4.2.3 に示す。

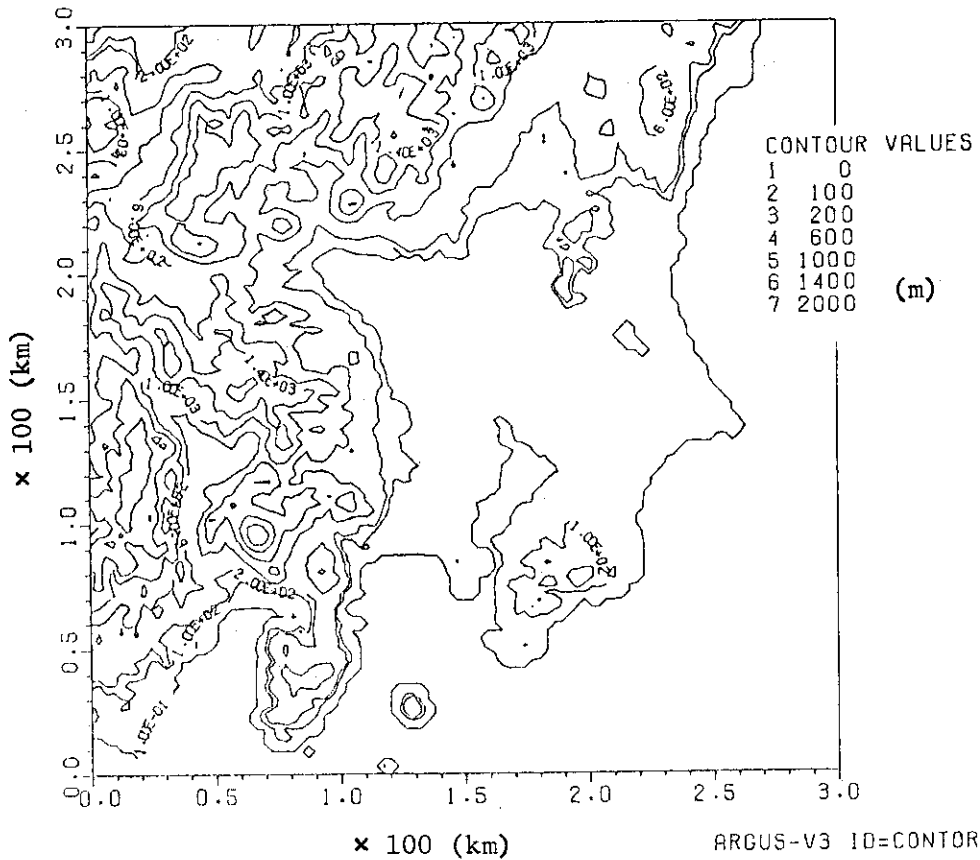


Fig. 4.2.3 Contour Map for the 'Kanto Area'

5. 現在までに試作された地図表示ソフトウェア

実用システムを目ざして考えられているものは上記の座標変換を用いて行政界、海岸線のデータを変換、表示するシステムである。しかしその設計を行う段階で他の種類のソフトウェアがいくつか試作された。それらは必ずしも統一的な思想のもとにまとまっていないが、参考になるところも多いと考えられるので引下で紹介してみたい。

5.1 標高データ等による領域の表示

標高データの1レコードは1つの小四角形を表わしていると考えられる。そこでFig. 5. 1. 1に示すように、標高データを検索した場合に、そのレコードの集合に対して輪郭線を抽出するソフトウェアがあると便利である。

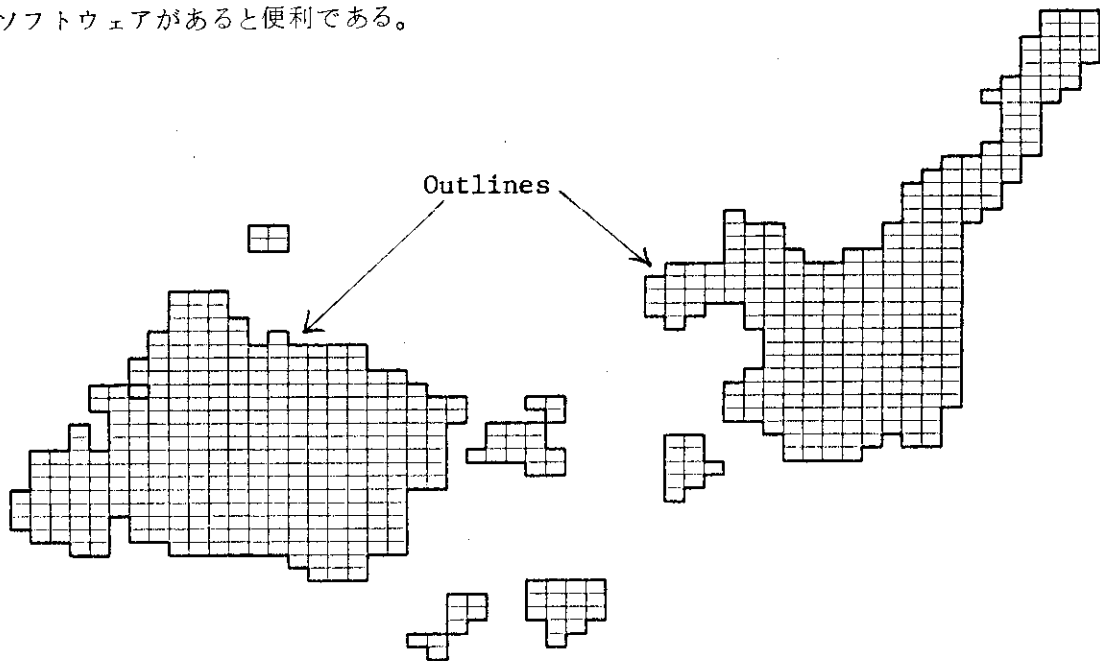


Fig. 5. 1. 1 Finding Outlines for the Sets of Rectangular Elements

以下にこの機能を利用して表示を行なった例を示す。

(i) 日本の原子力サイト分布図

標高データは海以外の部分について作成されているので日本全国の標高データの集合について、輪郭線を求めるとFig. 5. 1. 2に示すような日本全国の図を描くことができる。

日本の原子力サイト分布図

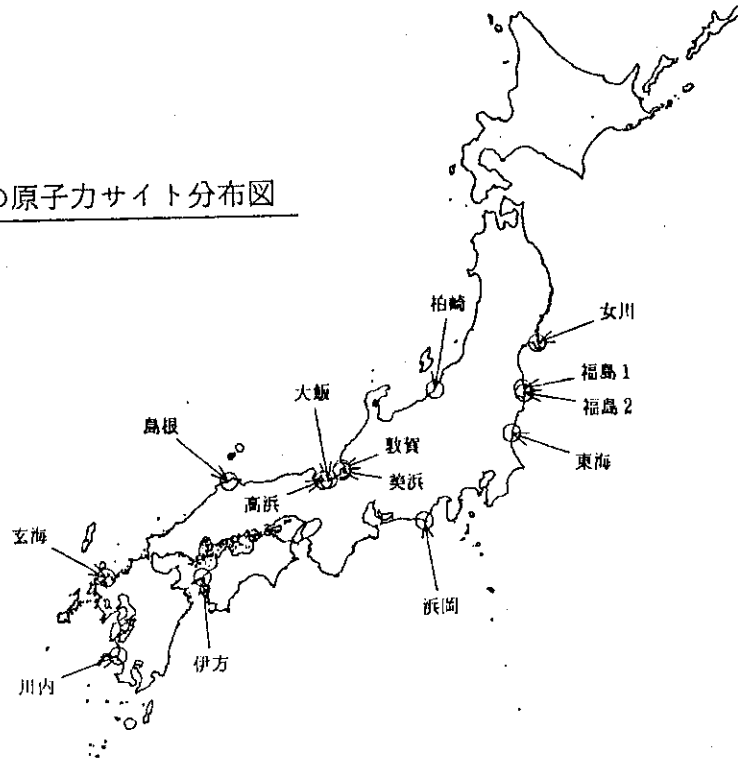


Fig. 5.1.2 Distribution of Nuclear Sites

原子炉サイトの位置表示については Fig. 5.1.3 に示すような機能をもつサブルーチンを作成し、サイト位置座標とサイト名文字例を与えて作図させた。

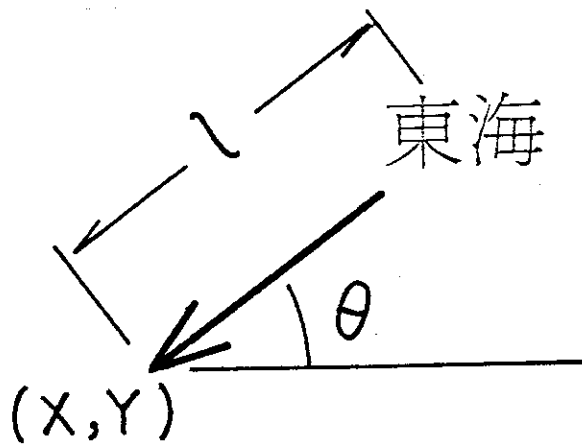


Fig. 5.1.3 A Subroutine for Display of Site Name

(ii) 行政区界の色わけ表示

標高データには1レコードごとに行政区別の番号が入っているので、これを利用して行政区ごとに検索し、重ねて表示すると、Fig. 5.1.4 に示すように色わけ表示を実現することができる。

異なる行政区は別の色でぬりわけられ、境界部分には白色の線が引かれている。

この表示の応用として、予測計算結果から避難の必要な地域だけ色を変えて表示することもできる。

領域の色ぬり表示としては Fig. 5.1.5 に示すように2つのデータ構造のもとに表示する方法が考えられる。本例の様に最小レコードが四角形で、その基本単位の集まりである場合 (A 図) は比較的簡単であるが、B 図の様に境界が曲線として与えられて、その内側をぬる場合は、閉曲線を決定するために多少高級なアルゴリズムが要求される。

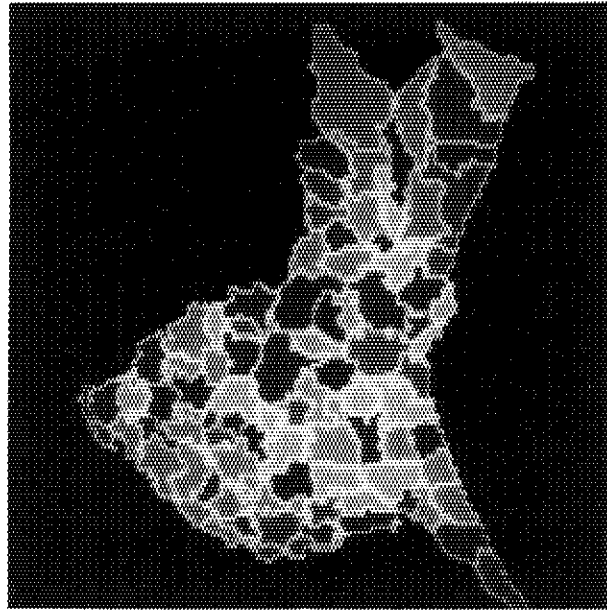
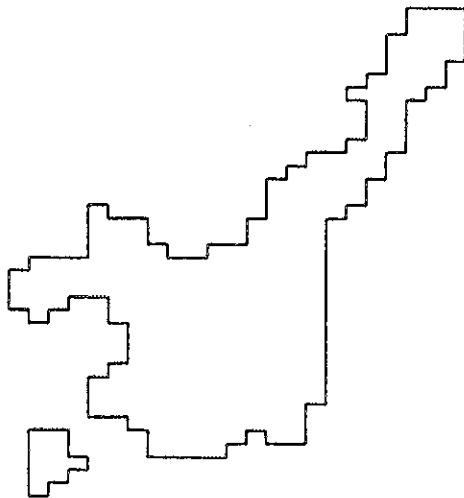
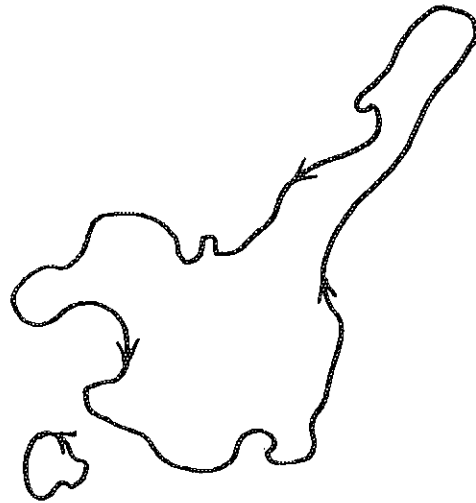


Fig. 5.1.4 Coloured Mosaic of Ibaraki Pref.



A : Regions Expressed as Rectangular Elements



B : Regions Expressed as Closed Lines

Fig. 5.1.5 2-Data-Types for Closed Region

5.2 標高データを用いた3次元表示

標高データは2次元メッシュ上の代表点上の値として与えられるので、これを用いて等高線図や俯瞰図を描くことができる。4.2で示したのと同様の方法によって標高データを変換し、表示した例をFig. 5.2.1に示す。



Fig. 5.2.1 An Example of Bird-Eye View
(Near Tsuruga Site)

6. 今後の課題

今回のシステム開発では、データ変換ソフトウェアと表示の基本機能の作成に主眼がおかれた。この章では今後の表示システムのあり方について考えてみたい。

6.1 現在のTSSによる表示システムの問題点

現在の原研、その他のTSSシステムのもとで使用可能な会話型表示システムは、おおむね、Fig. 6.1.1 に示すような構成となっている。

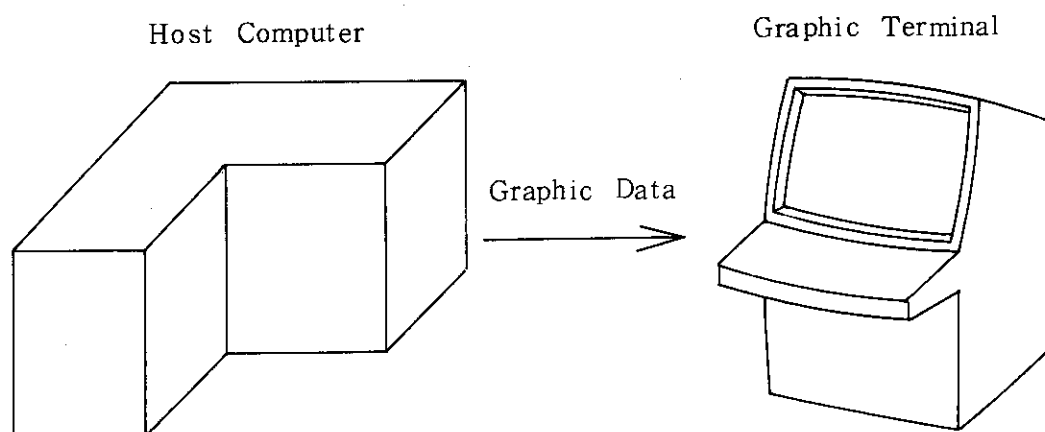


Fig. 6.1.1 Current Graphic Display System

この方式における最大の問題点は、ホスト端末を結ぶ回線の速度が不足することで、現在研究所内で主に使用されているT4014の2400 bpsの回線では、M200上でcpuがわずか1秒程度の図形処理に対して、表示のための待ち時間が数分かかることもあり、大きな不整合を生じている。

ここで数値計算と、それに続く図形処理でどのようにデータの絶対量が増えるかを調べてみよう。

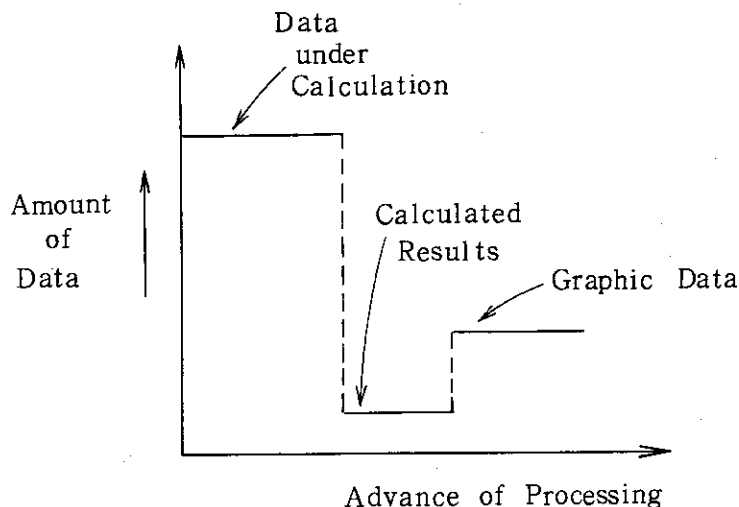


Fig. 6.1.2 Changes of Data Amount

Fig. 6.1.2 に示すようにデータ量は数値計算の終了時点で一番小さくなっており、図形処理を行なうことにより、再び増大することがわかる。

また図形処理においては異なる種類の図が同じデータから作成される場合も多い。例えば鳥瞰図と等高線図は共に2次元配列の値をデータとして作られる。

以上のことを考慮してFig. 6.1.3 に示すようなシステムを提案する。

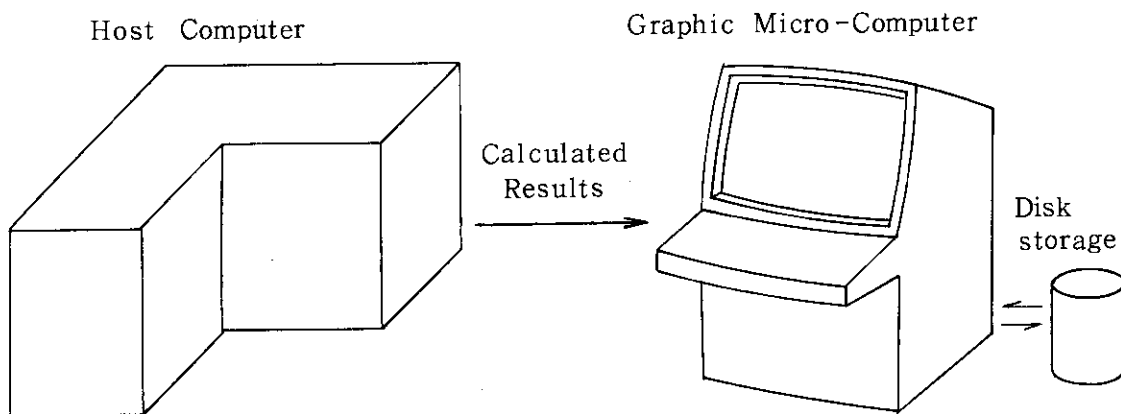


Fig. 6.1.3 Newly Planned Graphic Display System

Fig. 6.1.3 における Micro-Computer とは、ハード面では、命令長 16 bit 以上で、32 bit の浮動小数点演算機構を持ち、数百KB程度の主記憶とウィンチェスター型ハードディスクを備えている必要がある。ソフト面ではOSおよびFortran コンパイラを有している必要がある。

1982年初頭の市場において、この要求をほぼ満たすものとして、PERQが存在し^[8]、より低価格のものも1983年中ごろまでには出揃うと考えられるので、端末装置の面からだけ言えばごく近い将来には実現可能である。

この構成を用いた場合次のような利点がある。

- (i) データ転送に必要な時間を数分の1にできる。
- (ii) 1つの計算結果に対して、種々の表示をしたり、任意の画面を重ねたりする操作が瞬間に可能。
- (iii) 図形の拡大、縮小が可能。
- (iv) 時間の経過に関連した数値解が求まる問題の場合に、数値解を順にディスクに蓄えておけば、その間を線形補間することにより、滑らかなアニメーション表現が可能。

端的に言えば、図形の操作がReal Timeで感覚的に行なえるということが最大の特徴である。

また問題点として次のような点が考えられる。

- (i) 図形の表示に関連したソフトは汎用機のもものが、多小の変更で流用可能であるが、会話制御部は新しく作成しなければならない。
- (ii) 処理装置が2つ存在するため「通信」を意識しなければならず、ソフトの作成が複雑になる。

この構成は現在流行の分散処理の方向に沿ったものであるが、グラフィック表示においては特にその利点が大きいと考えられる。

6.2 今後の表示対象

今回の地域データの加工、表示は計算とその表示に最小限必要なものに限られた。この理由は、システム開発の初期においては、仕様を大きくすることは好ましくなく、基本機能を確定することが重要であるという、システム全体の設計方針を反映しているためである。

今後どのようなデータを計算で用い、表示していくかは、むしろシステム全体の第1次試作の結果を見て判断していくべきであろうと思われるが、強いて候補を上げるならば次のようなものが考えられる。

- (i) 交通網（道路、鉄道）に関するデータ。
- (ii) 河川等に関連したデータ。

7. 結 論

今回のソフトウェア開発においては表示よりもデータ変換に力点が置かれた。国土数値情報が緯度経度の極座標をもとにしており、数値計算が距離座標で行なわれる以上、両者の間の何らかの変換は避けられない問題で、地図投影図法と共有面積の概念を用いた変換を導入することによって明確な解決策を示したことは意味のあることだと思う。

データ変換に重点を置いたため、表示に関連した部分は基本的な機能の開発にとどまった。しかし、ソフトウェアの開発においてデータ構造のとり方は非常に重要であり、後から変更することはほとんど不可能であるので、そういう意味からも開発の初めの段階で変換後のデータ構造が簡単で原データ構造から独立となるように工夫した今回のアプローチは正しかったと考える。

今後の開発においては、表示方法を研究していく必要がある。その際には6章でも述べたが、表示装置に新しいインテリジェントな機能をもつものを導入して、計算プログラムと表示プログラムの独立性と高速な表示を実現する必要がある。今後数年の間、グラフィック表示の流れがそのような方向に進むことは間違いないので、細かな仕様を多く設定するよりも、新しい装置を導入して将来への拡張性を残す方が賢明であると思われる。

謝 辞

本ソフトウェアの作成にあたっては、標高データ等の国土数値情報を貸与いただいた国土庁・国土情報整備室に深く感謝致します。

本ソフトウェアは、日本原子力研究所環境放射能研究委員会（委員長 近藤次郎 国立公害研究所長）、緊急時モニタリング予測専門部会（部会長 浜田達二 理化学研究所・主任研究員）の緊急時環境放射能予測計算コード・システムの一部をなすソフトウェアとして作成されたものである。作成は今井和彦 環境安全研究部長を長とする原研の緊急時予測計算システム・ワーキング・グループの作業の一環として行われた。ワーキング・グループのメンバーの構成はつぎの通りである。

今 井 和 彦	(環境安全研究部長)
飯 嶋 敏 哲	(安全解析部環境調査解析室長)
本 間 俊 充	(安全解析部)
日 高 昭 秀	(同 上)
森 内 茂	(環境安全研究部環境第一研究室長)
茅 野 政 道	(環境安全研究部)
石 川 裕 彦	(同 上)
甲 斐 倫 明	(同 上)

7. 結 論

今回のソフトウェア開発においては表示よりもデータ変換に力点が置かれた。国土数値情報が緯度経度の極座標をもとにしており、数値計算が距離座標で行なわれる以上、両者の間の何らかの変換は避けられない問題で、地図投影図法と共有面積の概念を用いた変換を導入することによって明確な解決策を示したことは意味のあることだと思う。

データ変換に重点を置いたため、表示に関連した部分は基本的な機能の開発にとどまった。しかし、ソフトウェアの開発においてデータ構造のとり方は非常に重要であり、後から変更することはほとんど不可能であるので、そういう意味からも開発の初めの段階で変換後のデータ構造が簡単で原データ構造から独立となるように工夫した今回のアプローチは正しかったと考える。

今後の開発においては、表示方法を研究していく必要がある。その際には6章でも述べたが、表示装置に新しいインテリジェントな機能をもつものを導入して、計算プログラムと表示プログラムの独立性と高速な表示を実現する必要がある。今後数年の間、グラフィック表示の流れがそのような方向に進むことは間違いないので、細かな仕様を多く設定するよりも、新しい装置を導入して将来への拡張性を残す方が賢明であると思われる。

謝 辞

本ソフトウェアの作成にあたっては、標高データ等の国土数値情報を貸与いただいた国土庁・国土情報整備室に深く感謝致します。

本ソフトウェアは、日本原子力研究所環境放射能研究委員会（委員長 近藤次郎 国立公害研究所長）、緊急時モニタリング予測専門部会（部会長 浜田達二 理化学研究所・主任研究員）の緊急時環境放射能予測計算コード・システムの一部をなすソフトウェアとして作成されたものである。作成は今井和彦 環境安全研究部長を長とする原研の緊急時予測計算システム・ワーキング・グループの作業の一環として行われた。ワーキング・グループのメンバーの構成はつぎの通りである。

今井和彦	(環境安全研究部長)
飯嶋敏哲	(安全解析部環境調査解析室長)
本間俊充	(安全解析部)
日高昭秀	(同上)
森内茂	(環境安全研究部環境第一研究室長)
茅野政道	(環境安全研究部)
石川裕彦	(同上)
甲斐倫明	(同上)

浅井 清 (計算センター室長代理)
中村 康弘 (計算センター・システム・プログラム係長)
高橋 國夫 (計算センター)
田部井 誠 (同上)

なお、本ソフトウェア作成の一部は、東海研・原子力コード委員会(委員長 石川寛 東海研究所長)、総合化専門部会(部会長 桂木学 安全工学部長)の昭和56年度予算によって行われた。

お世話になった以上の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- [1] 国土数値情報利用の手引, 建設省国土地理院地図情報室, (1979)
- [2] メッシュデータの利用方法と事例研究, 国土庁計画・調整局編, (1979)
- [3] 種田守: 地図投影図法, オーム社, (1975)
- [4] D. H. Ballard: Strip Trees: A Hierarchical Representation for Curves, C. ACM Vol. , 23, PP. 466, (1980)
- [5] 富山, 滝川, 吉森, 荻津, 浅井: データプールの概念と機能, JAERI-M 8715, (1980)
- [6] 吉澤正: 数値解析II, 岩波講座基礎工学4, 岩波書店, (1968)
- [7] 竹田辰興: 図形入出力システム ARGUS, 所内資料, (1978)
- [8] 図形と画像 (1982 春), 図形処理情報センター

浅井 清 (計算センター室長代理)
中村 康弘 (計算センター・システム・プログラム係長)
高橋 國夫 (計算センター)
田部井 誠 (同上)

なお、本ソフトウェア作成の一部は、東海研・原子力コード委員会(委員長 石川寛 東海研究所長)、総合化専門部会(部会長 桂木学 安全工学部長)の昭和56年度予算によって行われた。

お世話になった以上の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- [1] 国土数值情報利用の手引, 建設省国土地理院地図情報室, (1979)
- [2] メッシュデータの利用方法と事例研究, 国土庁計画・調整局編, (1979)
- [3] 種田守: 地図投影図法, オーム社, (1975)
- [4] D. H. Ballard: Strip Trees: A Hierarchical Representation for Curves, C. ACM Vol., 23, PP. 466, (1980)
- [5] 富山, 滝川, 吉森, 荻津, 浅井: データプール概念と機能, JAERI-M 8715, (1980)
- [6] 吉澤正: 数値解析Ⅱ, 岩波講座基礎工学4, 岩波書店, (1968)
- [7] 竹田辰興: 図形入出力システム ARGUS, 所内資料, (1978)
- [8] 図形と画像 (1982 春), 図形処理情報センター