

# 日立市域の細密DTMの作成とその応用

茨城大学大学院 学生会員○石田 克紀  
茨城大学工学部 正会員 小柳 武和  
茨城大学工学部 正会員 山形 耕一  
茨城大学工学部 正会員 志摩 邦雄

## 1. はじめに

今日、土木技術の進歩や生活スタイルの変化により地形の改変を伴う道路や宅地の造成、ゴルフ場やスキー場などリゾートに関する大規模な開発が盛んに行われている。このような開発では、計画・設計の過程で地形や景観などの変更が周囲の状態に対してどのような影響を与えるかを予測しなくてはならない。そのための一つの手段として、コンピュータによる透視図表現法がある。これは、対象地域の地形的特性をDTM(Digital Terrain Model)いわゆる、標高データの数値群を基にして視覚的に表現できるという点で最も有効な手段と言える。

通常、住宅地やゴルフ場、スキー場の開発あるいは、道路建設等土地造成に関する計画設計では10m~25m程度のメッシュスケールで土工量算定やメッシュ透視図作成が行われている。<sup>1)2)3)</sup>しかし、現在、全国レベルで整備されている地形メッシュデータは、国土数値情報で約250mの間隔であり、これでは地形のおおよそ外観は描けても微地形までを表現することは不可能である。

特に都市部では宅地造成等の比較的小規模の開発が頻繁に行われており、それに伴う微地形の改変を視覚的に予測・表現するための細密なデータ整備が重要となっているが、地方都市では10m~20mレベルのデータ整備がほとんど行われていないのが現状である。

また、都市部ではDTMデータ以外に土地利用等のデータを導入することによ

り、メッシュ型データベースを形成することで、都市計画の分野においての利用も可能となるため、市町村レベルでの密度の高いデータシステムの整備が要請されている。

さらに、CG等による景観予測では大量のデータを一度に扱うことが多いため、大型コンピュータが使われる場合が多い。このため、利用者が限定されてしまう、コストが高い、開発環境が限定される、といった問題があり、パソコンレベルでのシステム作りが要請されている。

そこで本研究では、日立市をケーススタディとして細密(25mおよび10m)地形メッシュデータおよび土地利用のメッシュデータを作成し、それを基に地形透視図と地形解析指標による日立市の地形的特徴の分析と、土地利用現況の分析を通してそのメッシュデータシステムの有用性を検討する。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は、次のとおりである。

- ① 日立市全域の細密(25m)地形メッシュデータの整備
- ② 地形透視図と景観解析指標による日立市の地形的特徴の分析
- ③ 細密地形メッシュデータの表現力と10mサブメッシュデータの導入による表現力の検討
- ④ 細密地形メッシュデータの活用および土地利用メッシュデータの導入
- ⑤ パソコンレベルでのデータの解析及びプログラムの開発

### 3. 地形メッシュデータの作成方法

従来より用いられているメッシュデータの作成方法を大別すると、

- ①地形図上にメッシュをかけ、格子点の標高を直接読み取る方法<sup>4)</sup>
- ②等高線データをコンピュータに記憶させ、任意のメッシュデータを自動作成する方法<sup>5)</sup>

の2つになる。

②の方法は、任意のサイズのメッシュデータを能率的に作成できる点で有効であるが、都市部のように地図上の等高線の表記が不十分な地域では①より精度面で劣る可能性がある。

そこで、本システムでは①の方法を採用することとし、昭和54年に発行された1/2500地形図を用いて25m×25mの地形メッシュデータと一部地域の10m×10mのサブメッシュデータを作成した。作業は、全て手作業で行った。

作成の手順は、以下のとおりである。

- ① 地形図にコーナーより1cm間隔で格子線を引く。サブメッシュの場合は作成地域のコーナーより4mm間隔で引く。
- ② メッシュの交点の標高を1m単位で読み取る。1/2500地形図の等高線間隔は、2mなのでその中間点は直線補間し、端数は四捨五入する。

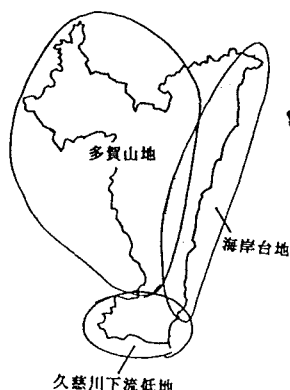


図-1. 日立市の地形的特徴



図-2. (a)非平坦地

(b)急傾斜地

1/2500地形図は、距離方眼(2000m×1500m)が図郭線となっており、地形図1枚において80×60=4800ポイントのデータが読まれる。本研究では日立市全域の地形図85枚について約40万のデータを作成した。

### 4. 細密地形メッシュデータによる

地形解析と土地利用データの導入

#### 4-1. 日立市の地形的特徴

日立市は、茨城県の北東部に位置し、東は太平洋に面し東西約16km、南北約24kmあり、面積は15303haである。

図-1のように、日立市域は大きく3地域に分類され、変化に富んだ地形を有している。

#### (1)多賀山地

阿武隈高地南部に位置する山地部であり、日立市の約2/3の面積を占める。平均高度300mほどの高原状の山地である。また、この高原状の山地は、一様に浸食された準平原がそのまま隆起したものである。

#### (2)海岸台地

多賀山地と太平洋の間に位置し、海岸線に沿って細長い帯状をしており、面積は約5000haで日立市の約1/3を占めている。東端は約20mで崖となり太平洋に面し、西端は約120mで

多賀山地と接している。

(3)久慈川下流低地

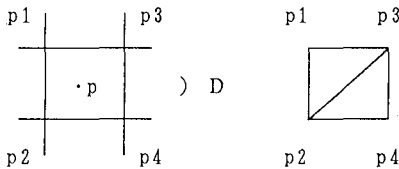
関東平野の最北端の一郭を担う地域である。面積は約900haであり、海拔5m前後の極めて平坦な低地である。そこで、その地形的特徴を25mメッシュデータにより解析し、メッシュデータの有用性を検討してみた。

4-2.地形勾配解析

開発適合地、急傾斜危険地区等の検索においては、地形勾配の分布図が有力な情報となる。そこで地形メッシュデータから最急勾配を算定しその勾配分布図を作成する手法を開発した。

最急勾配およびその方向は、次のアルゴリズムにより求められる。

- ①まず、解析したい地点を囲むメッシュの4点のDTMデータを抽出する。



- ②抽出した4点によって作られる四角形を、任意の対角線によって2つの三角形に分割する。

ex.  $\triangle P_1P_2P_3$ ,  $\triangle P_2P_3P_4$

- ③平面の法線ベクトルをN、鉛直上向きの単位ベクトルをZとすると

$$Z = (0, 0, 1)$$

( $\triangle P_1P_2P_3$ について)

$$N_1 = (H_1 - H_2, H_1 - H_3, D)$$

( $\triangle P_2P_3P_4$ について)

$$N_2 = (H_3 - H_4, H_2 - H_4, D)$$

$N_1$ ,  $N_2$ の合成ベクトルをNとする。

$$N = N_1 + N_2$$

( $H_i$ :  $P_i$ の地点の標高データ)

( $D$ : メッシュ間の距離)

- ⑤2つのベクトルがなす角を $\theta$ とすると

$$\cos \theta = \frac{(N, Z)}{|N| |Z|}$$

よって

$$\theta = \arccos \frac{(N, Z)}{|N| |Z|}$$

よって $\theta$ がその地点における傾斜となる。

なお、この計算結果は4点を2次双曲放物面近似したものの法線の傾斜を計算したものと同じになる。<sup>6)</sup>

傾斜の方向は、NをXY座標平面に投影したベクトルnとX軸方向の単位ベクトルXのなす角 $\phi$ を計算することにより求まる。

( $\triangle P_1P_2P_3$ について)

$$n_1 = (H_1 - H_2, H_1 - H_3)$$

( $\triangle P_2P_3P_4$ について)

$$n_2 = (H_3 - H_4, H_2 - H_4)$$

$n_1$ ,  $n_2$ の合成ベクトルをnとする。

$$n = n_1 + n_2$$

$$X = (1, 0)$$

$$\cos \phi = \frac{(n, X)}{|n| |X|}$$

よって

$$\phi = \arccos \frac{(n, X)}{|n| |X|}$$

$\phi$ がこの地点における傾斜の方位角となる。

このアルゴリズムに基づいてパソコン上で勾配解析システムを構築した。それにより、日立市全域の25m地形メッシュにおいて最急勾配及び最急勾配方向を解析した結果、表-1および表-2に示す数値が得られた。

表-1.日立市の全容

日立市全面積	= 15162ha
(実測値15303ha)誤差約	1%
平坦地面積	= 7154ha
非平坦地面積	= 8008ha
平均勾配	= 16.59°
(茨城県における平坦地の定義 勾配が12°以下の地域)	

12°以上の非平坦地面積は約8000ha(全域の50%強)、30°以上の急傾斜地は約3500ha(全域の20%強)であり、平均地形勾配が約16.6°と、日立市の地形はかなり起伏

に富むことがその値にも表れている。

また、非平坦地及び急傾斜地の分布図をCRT上に作成したものを図-2に示す。

これを見ても、山地が多く、起伏に富む日立市の地形が理解できる。さらに、急傾斜地が、海岸線や住宅開発が進む山側台地に広く分布していることも再現されている。

#### 4-3. 標高分布

図-3は、白→黒への16階調のグラデーションによって標高分布を示したものである。具体的には、10m毎に明度を1階調落としたものであり、よって、1サイクルのグラデーションで160mを表している。

図-4は、標高ランク別における面積分布図である。この図において標高0~10mの面積約1400haのうち、約900haは久慈川下流低地であることを考慮すると、日立市の海岸線は大部分が20mほどの崖になっていることを裏付けている。

表-2. 勾配ランク別面積

勾配	0°~5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	25°~30°	30°~35°
面積(ha)	4960.0	943.3	1487.4	1140.3	1478.7	1652.1	1395.8
割合(%)	32.71	6.22	9.81	7.52	9.75	10.90	9.21
勾配	35°~40°	40°~45°	45°~50°	50°~55°	55°~60°	60°~70°	70°~75°
面積(ha)	880.9	471.7	146.5	35.5	8.1	2.4	0.7
割合(%)	5.81	3.11	0.97	0.23	0.05	0.02	0.01

表-3. 標高ランク別平均勾配

標高	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0+	03.04	06.21	05.58	05.14	05.55	06.24	09.99	14.62	16.25	16.31
100+	16.44	14.60	15.16	17.47	20.03	23.52	25.36	26.33	26.79	26.85
200+	26.61	26.28	26.97	26.70	26.88	26.27	26.56	26.47	26.07	25.73
300+	24.92	24.09	24.19	23.28	23.27	23.21	23.81	24.08	24.32	24.14
400+	25.22	25.74	27.00	26.51	27.83	28.65	28.13	27.04	25.40	26.70
500+	27.12	27.18	27.44	28.07	29.58	31.00	29.60	28.82	27.00	23.73
600+	26.83	33.11	23.07	---	---	---	---	---	---	---

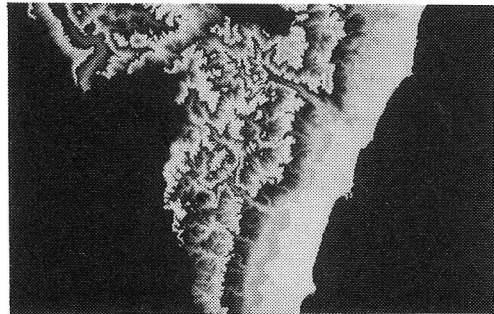


図-3. 標高分布図(日立市中部)  
(NEC-PC9801にて作成(要16色ボード))

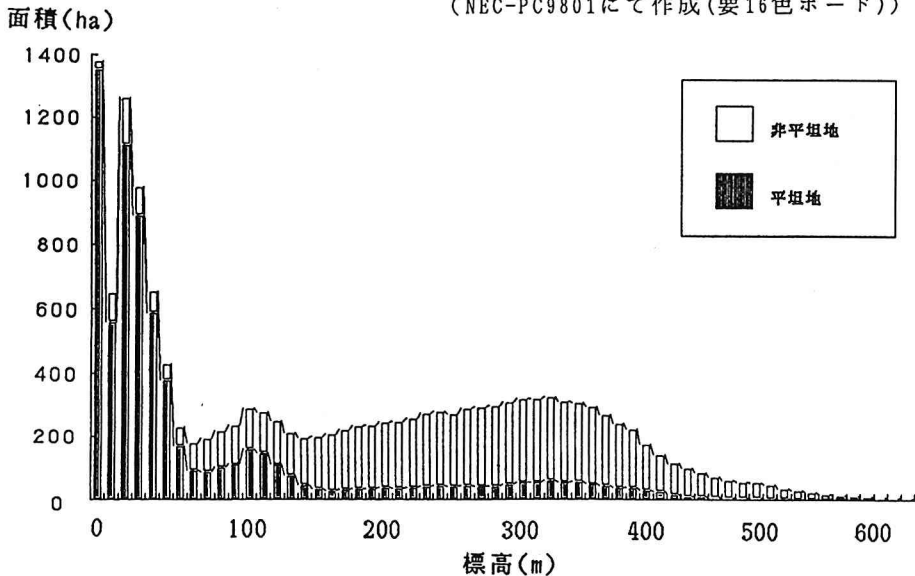


図-4. 標高ランク別における面積分布図

また、表-3は標高ランク別平均勾配である。この表を見ると、海岸台地上の棚の部分(約20~70m)は約5~6°の緩やかな傾斜をしており、山側住宅地が多く開発されている地域(90~140m)は15°前後の比較的緩やかな傾斜地であることがわかる。また、多賀山地(約150m~)は平均約25°(23~30°)であり、山地としてはそれほど険しくはなく、小さい峰や尾根・谷が連続している状況も表されている。

4-4. 土地利用と地形との関係  
DTMデータと25m単位の土地利用データを用い、地形からみた土地利用の特性を見る。

なお、土地利用データは昭和60年度土地利用現況図(日立市役所都市計画課作

成1/10000)より作成し、自作の入力ツールを用いて手作業により入力を行なった。

表-4の土地利用別面積の集計は都市計画区域域内における常陸多賀駅以北の地域について行なった。その結果、実測値との誤差は約1~5%で再現性のよいことがわかった。

標高ランク別土地利用構成は、図-5の様になる。この図から標高ランク別における土地利用構成の推移がみとれる。

約100m~150m近辺における「住宅地」の増加は、山側住宅地によるものである。また、農地は主に0~20mの地域に多く分布しており、工場は20m前後(海の近く)に多く分布している。約150m以上における「その他」の増加は、日立ゴルフ場がこ

表-4. 土地利用別面積

土地利用	土地利用データによる集計	実測値	土地利用	土地利用データによる集計	実測値
住宅	1198(ha)	1137(ha)	農地	424(ha)	415(ha)
商業	191(ha)	190(ha)	緑地	1055(ha)	---
工業	446(ha)	460(ha)	その他	525(ha)	---
都市計画区域	3839(ha)				

( 誤差 約 1~5% )

標高(m)

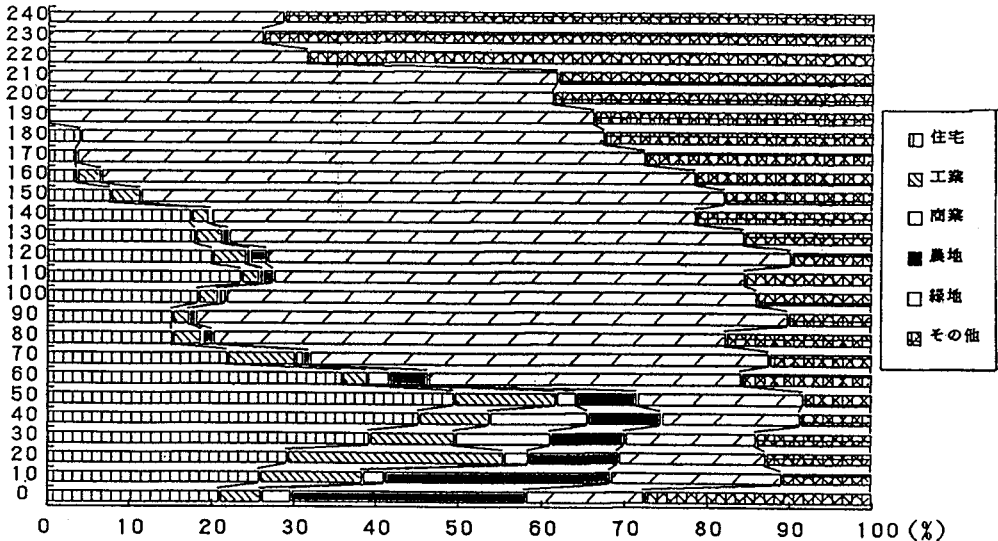


図-5. 標高ランク別土地利用構成図

の地域の多くを占めていることによる。

このように土地利用と地形との関係がこのデータシステムによって分析できた。

## 5. 細密地形メッシュ透視図の表現力の検討

### 5-1. 細密(25m)地形メッシュの表現力

本研究で作成した細密(25m)地形メッシュデータによる地形透視図と25m地形メッシュデータを1個置きにとばし読みした50mメッシュデータによる透視図を作成し、メッシュ間隔による表現力を比較すると、次の図-6のようになる。25mメッシュデータでは、特に尾根線に原地形の滑らかさ(丸み)が表現されており、細かくみると、谷あい(○印)の部分の広がりや、尾根線の細やかなひだ(△印)がよく再現されていることがわかる。

### 5-2. 10mサブメッシュの導入による表現力の向上

日立市の海岸の大部分には20m前後の海崖が形成されている。その急斜面を表現するためには、より細かいメッシュデータが必要とされる。

一般に、メッシュによる地形透視図は近景や微地形に対して表現力が落ちると言われており、これを補う方法の一つとしてサブメッシュの導入という手段がある。そこで、25mメッシュデータに対して10mのメッシュを導入した場合の表現力について検討を行った。対象地域として海に突出した地形で知られる古房地鼻の付近(500m四方)を選んだ。

まず、メッシュデータ間隔による表現力の差を透視図により比較してみた(図-7)。これを見ても、10mメッシュの方が崖の急傾斜地形や砂浜(図中○印)の微地形の表現力において再現性が高いことがわかる。

しかし、メッシュの線画透視図では、メッシュ間隔が密な場合、遠景部で線が込み合って表現力が落ちるといった欠点がある。そこで、近景では10mのメッシュを用い、遠景では25mメッシュを用いた

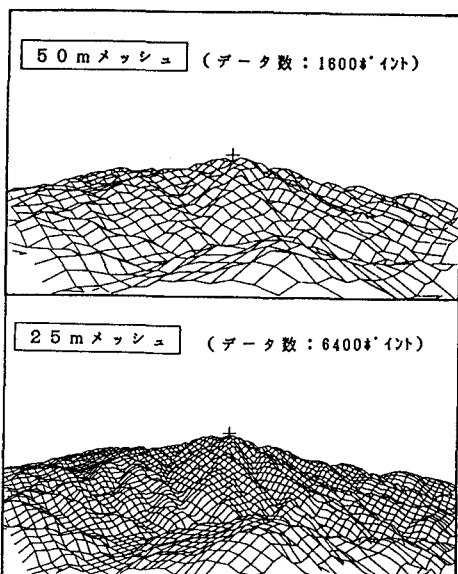


図-6.メッシュ間隔による表現力の比較  
(汎用計算機およびプロッターにて作成)

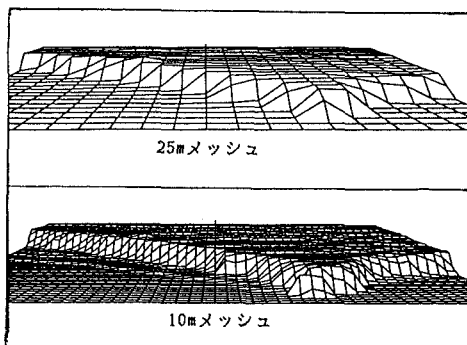


図-7.メッシュ間隔による表現力の比較  
(汎用計算機およびプロッターにて作成)

合成透視図を作成してみた(図-8)。

サブメッシュメッシュの導入により近景の表現がよくなったことがわかる。

その再現性をデータレベルで検討するために、この地域のC-D断面図(図-9)を作成した。図は、縦軸を5倍に強調してある。

この地点の海崖の勾配は実際2段になっており、上部の勾配の実測値が約48°、下部の勾配が約70°、平均勾配約65°である。図をみると10mメッシュデータでは

2段の勾配が断面のD側で再現され、かつ、上部の勾配も実測値に比較的近い値となっており10mメッシュの再現性がよいことがわかる。

5-3. 陰影地形透視図による表現力の向上

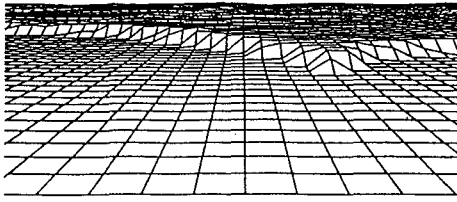
線画による透視図では、密なメッシュデータによる場合、線が込み合ってしまうのでかえって表現力が落ちてしまう場合がある。そこで、地形勾配解析を応用し、任意の方向から光を当てた陰影図（シェーディングのみでシャドーイングは行っていない）の透視図をもちいることによりこの問題を解決する。

線画による透視図は4つの辺によってその地域の傾斜の大きさおよび方向を表すのに対し、陰影図の透視図は色（明度）によって傾斜の大きさおよび方向を表すので単位画素当たりの情報量が多い。

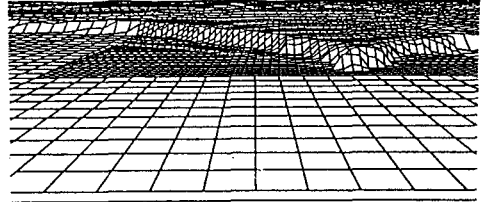
よって陰影地形透視図は、線画による透視図より密度の濃い表現ができる。

陰影図、陰影透視図の例を図-10, 11にあげる。図-10は、太陽高度45°, 方位角135°における多賀山地の陰影図である。この図から尾根や谷の走っている方向がよくわかる。図-11は、上空10kmから45°に見おろした日立市の全景である。山際に住宅地造成の跡を確認することができる。

陰影図の作成にかかる時間についてであるが、図-11の図を描くのに要した時間は、傾斜解析を終了して中間ファイルを作成するのに約45分、透視変換を行い描画するのに約50分、計95分要した。なお、日立市のデータは85枚のファイルから成っており、1枚のファイルが1/2500地形図の図郭の範囲に相当しているので、フ

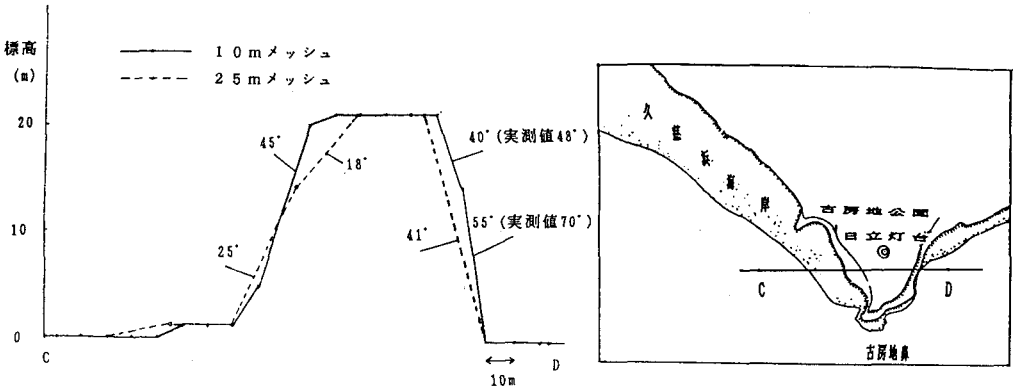


25mメッシュのみ



25mメッシュ+10mメッシュ

図-8. 合成透視図  
(汎用計算機およびプロッターにて作成)



図中の数値はメッシュデータによる斜面勾配算定値

図-9. C-D断面図

ファイル1枚文の処理にそれぞれ約30秒、40秒ほどかかっている。今回の測定では、NEC-PC9801ES (CPU 386sx (クロック数16MHz)) を使用した。

#### 6. おわりに

本研究の最大の成果は日立市全域の細密(25m)地形メッシュデータが完成したことである。地形情報というものは、短期間に大きく変化するものではないので、今後長期にわたって利用し得るデータシステムとなる。また、一部10mメッシュデータが整備されたのも成果であり、今後その整備と活用が期待できる。

本研究では、作成した細密地形メッシュデータを基に地形透視図や景観解析指標を用い、日立市の地形的特徴をある程度の再現性をもって視覚的に表現できた。特に、近景の微細な地形(崖など)やより詳しく知りたい海と陸の縁辺(エッジ)部などの部分には10m程度のサブメッシュの導入が有効であることも示し得た。

また、細密メッシュデータのデータベース的活用の一環として25mメッシュ土地利用データを導入したことにより、その都市計画支援データシステムへの発展性も期待し得るものであることがわかった。

さらに、パソコンレベルでのDTMデータ解析が可能となったので、安価で身近なシステムを構築することが可能となった。

今後の課題としては、地形およびその他のメッシュデータの活用方法、データベースとしての機能の強化、日立市沿岸域の海底地形データの作成、メッシュデータ作成の省力化などがあげられる。

最後に、本研究を進めるに当たって、データ収集等に協力していただいた日立市企画調整課の佐藤氏、日立市都市計画課の稲田氏および郷土資料館の森山氏に心からの謝意を表します。

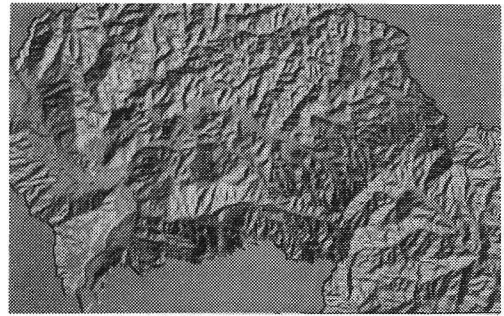


図-10.陰影図(多賀山地)  
(NEC-PC9801にて作成(要16色\*'-ト'))

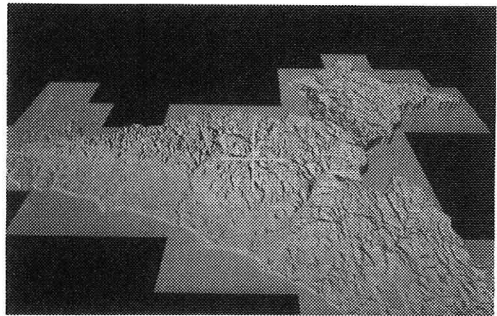


図-11.陰影透視図(日立市全景)  
(NEC-PC9801にて作成(要16色\*'-ト'))

#### 参考文献

- 1) 浜嶋, 大野: パソコンによる土地造成計画システムの開発, 第12回電算機利用に関するシンポジウム講演集, 1986
- 2) 松岡, 浜嶋: 景観評価のための動的表現および詳細な景観図の作成手法について, 第11回電算機利用に関するシンポジウム講演集, 1985
- 3) 間瀬, 瀬口: 等高線塗り分けによる地形データ入力支援システムの研究, 都市計画論文集, 1988
- 4) 矢部 昇一: 細密DTMを用いた日立市の地形的特徴の研究, 平成二年度茨城大学卒業論文
- 5) 浜嶋, 蘭: 地形メッシュデータの一作成方法, 土木学会論文報告集 第343号 1984-3
- 6) 大倉, 田中: 地震による斜面崩壊の発生予測システムの開発, 第10回電算機利用に関するシンポジウム講演集, 1984
- 7) 日立市役所: 日立市史, 常陸書房, 昭和54年 9月