

STRIPE法によるDEM作成方法

能美洋介(岡山理科大学)

2004/8/18

地形図の計算機での利用

地表面の形態を表した図面

国土地理院による地形図

都市計画図

その他

地質図
地質資料採取
環境解析
土木設計 etc.
基礎図面として
利用される

地形情報を計算機で扱うメリット

起伏の可視化(3次元表示など)

解析の高度化と客観化

情報検索の効率化



Digital Elevation Model

計算機を用いて地形を表示・解析するための地形データ

DEM 数値地形モデル

Burrough(1986)によるDEMの定義
空間的に連続変化する起伏をデジタルで表したもの

詳細なDEMの必要性

既存のDEM 国土地理院「50mメッシュ(標高)」

1/25000地形図を縦横200等分した格子
点の標高値からなるラスター型DEM.
格子間隔は、約50m。
(岡山付近では東西約57m、南北47m)



地形(地質構造)発達史
土木設計・防災計画
環境アセスメント・解析
地形表示のリアリティ追求

50mより小さい格子間隔のDEMが必要になることは多い。

利用者が地形図などを基にして目的に応じた格子間隔のDEMを作成する必要がある。

手作業によるDEMの作成例

縦 58 × 横57個の格子点の標高値を判読

- 膨大な単純作業(3306格子点)
- 標高値の読み取り精度を一定にできない

地形図に描かれた標高情報を利用した
補間計算によるDEM作成法が必要

島根県平田市三の谷のDEM
1/5000都市計画図をもとに
手作業により作成したもの

STRIPE法の開発

S for Surface analysis
T using Topographic maps
R generating high Resolution DEM
I using Inequality height data
PE using Exterior Penalty method

地形解析への適用
地形図の利用
高分解能のDEM
不等式標高情報の利用
外点ペナルティ法の利用

誰でも、手軽に、高精度なDEMを作成する方法

STRIPE法で用いる機器

○ パソコン

- ・ノート型でもデスクトップでもどちらでも良い。
- ・Windows95以降のOSがインストールされたもの。
[Windows95,98,NT,2000,Me, Xp]
- ・または、Linux(FORTRANが実行できる環境)

その他

○ イメージ・スキャナ

- ・600dpi程度の読み取り解像度のもので十分。
- ・ドライバソフトに、モノクロ読取りが選択できるもの→◎

STRIPE法で用いるソフト(Windows)

地形図の処理・DEM計算で使用するソフト

- ペイント(mspaint.exe) 等高線の補修、等高線間の色塗り
- メモ帳(notepad.exe) データ変換テーブルの作成
- bmp2dat.exe 不等式標高情報データ作成
- Terramod2001 DEMの計算と地形表示

その他のソフト

スキャナのドライバ、スキャニングソフト

STRIPE法で用いるソフト(Linux)

岡山理科大学能美研究室での環境

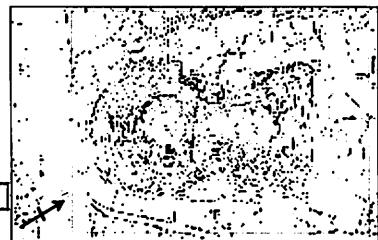
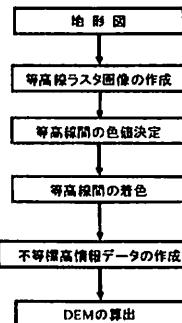
DEM計算で使用するソフト

- ps2xyz.exe 不等式標高情報データ作成(FORTRAN)
- Horizon2000 DEMの計算(FORTRAN)

他のソフト

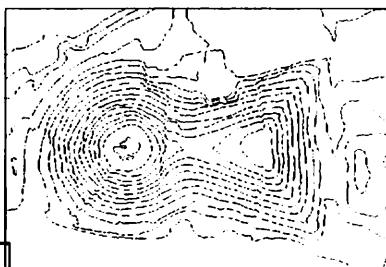
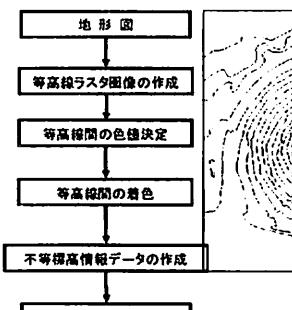
- Terramod2001 DEMの表示(Windows)
- GRASS GIS DEMの表示(Linux)
- Paintshop4.2J BMP→PostScript変換(Windows)
- J-Rh.exe 予察計算結果のグラフ表示(Windows)

STRIPE法によるDEM作成手順(Windows)



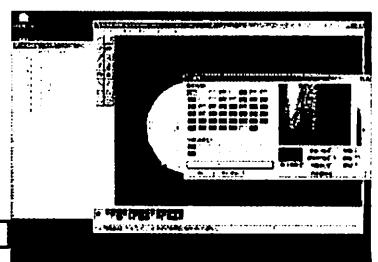
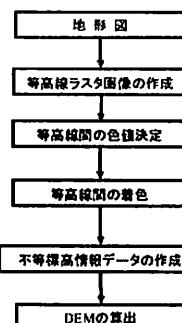
近藤義郎 編, 1992, 前方後円墳集成-近畿編-より
古室山古墳(栗塚古墳) 大阪府藤井寺市 古市古墳群

STRIPE法によるDEM作成手順

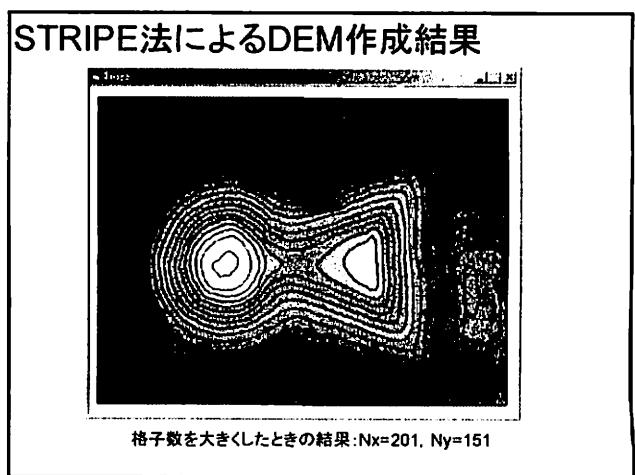
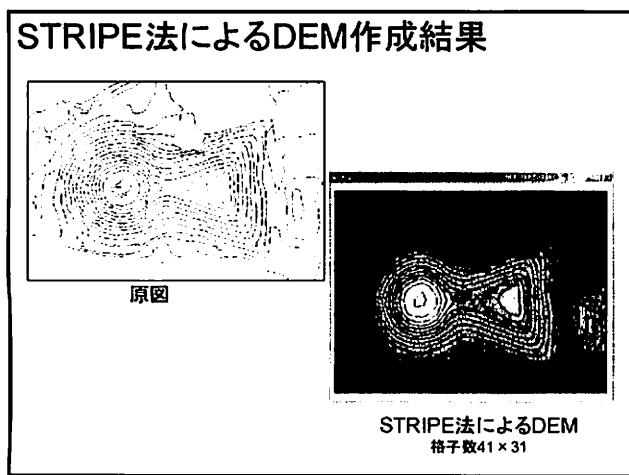
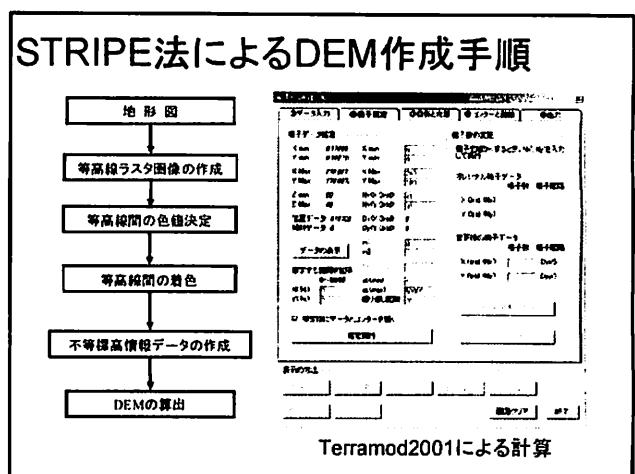
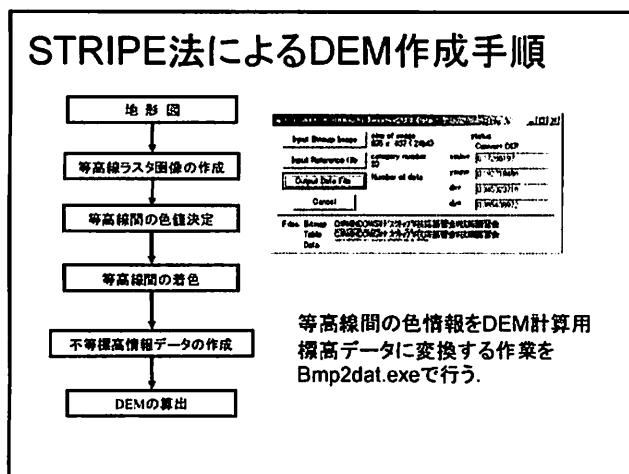
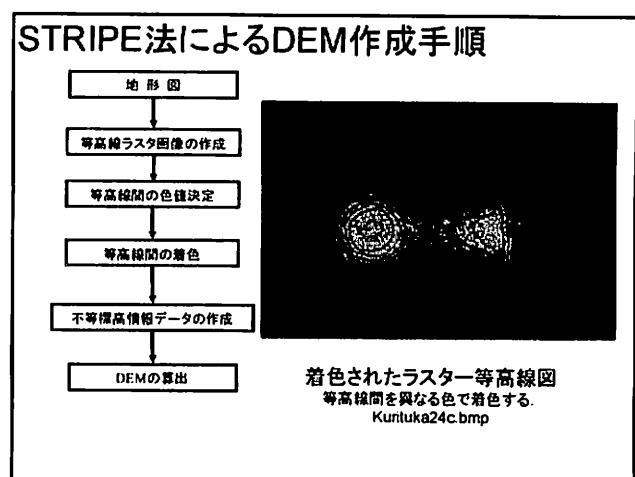
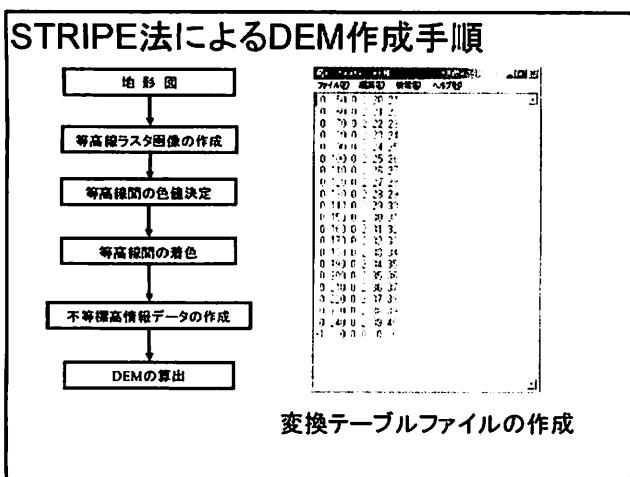


ラスター等高線図
原図より文字記号消去、等高線補修
Kunluka24.bmp

STRIPE法によるDEM作成手順



等高線間に塗る色値を決めながら、
同時に着色作業を行う



等高線を用いる補間計算法の問題点

地形図に表現された等高線の標高値を用いて、等高線間の任意の場所の標高値を推定する。この作業を補間という。DEM作成を目的として、これまで多くの補間法が提唱されているが、いずれも等高線もしくは標高点を使う方法である点に違いはない。Weibel&Heller(1998)は、「全てを満足する最良の補間法は存在しない」とレビューしたように、等高線を使う補間アルゴリズムの改良には限界がある。

地形図に描かれた標高情報

一般的な地形図における標高を示す情報には等高線がある。

等高線とは？

Davis(1986)による等高線の記述

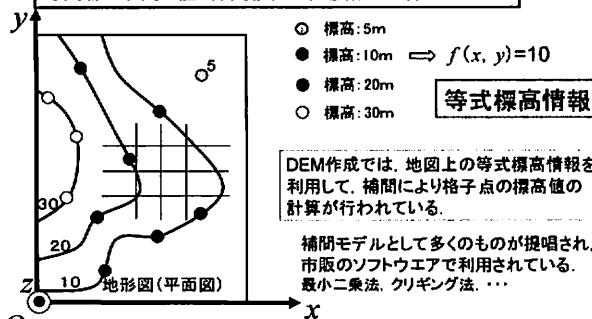
The contour lines on a map connect points of equal value, and the space between two successive contour lines contains only points whose values fall within the interval determined by the contour lines.

- ・等高線は、同じ標高値の点を結んだもの。
- ・等高線と等高線の間には、それらの等高線の値によって限られる値の間の標高値を持つ点だけが含まれる。

等式標高情報を利用した補間計算

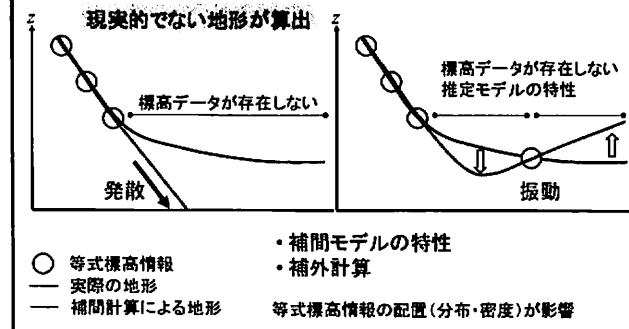
任意の地点 (x, y) における地形面が一価の関数 f で書くと、この地点の標高 z は、 $z = f(x, y)$

等高線は、同じ値(標高値)の点を結んだ線(Davis)。

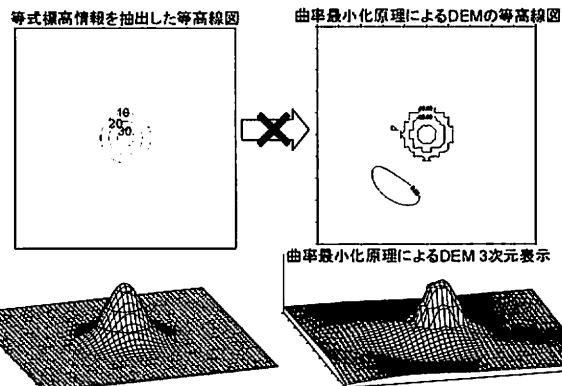


等式標高情報を利用する問題点

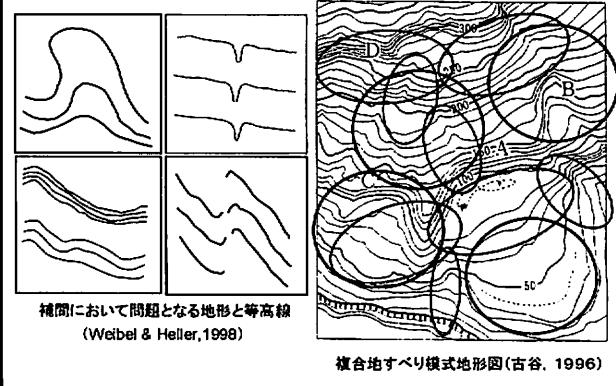
傾斜の急変地における、いわゆる「山麓問題」



等式標高情報を利用したDEMの問題事例



等式標高情報利用が問題となるケース



等高線間の標高情報

補間計算に利用できる標高情報は等高線と標高点だけか？
等高線と等高線の間には、不等式で示される標高情報がある。
この不等式で示される標高情報の性質と利用の利点について述べる。

標高情報は等高線だけか？

Davis(1986)による等高線の記述

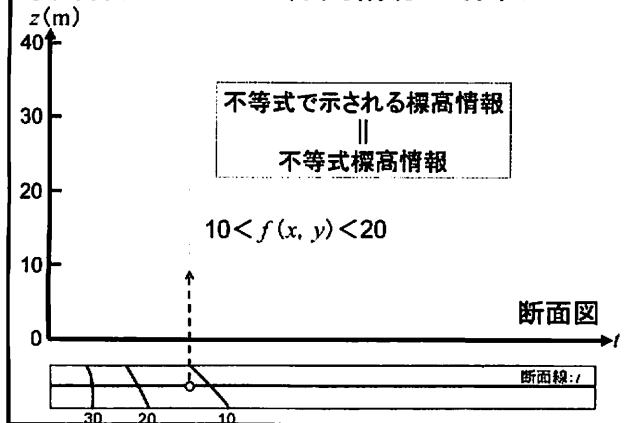
The contour lines on a map connect points of equal value, and the space between two successive contour lines contains only points whose values fall within the interval determined by the contour lines.

隣接する等高線と等高線の間の空間

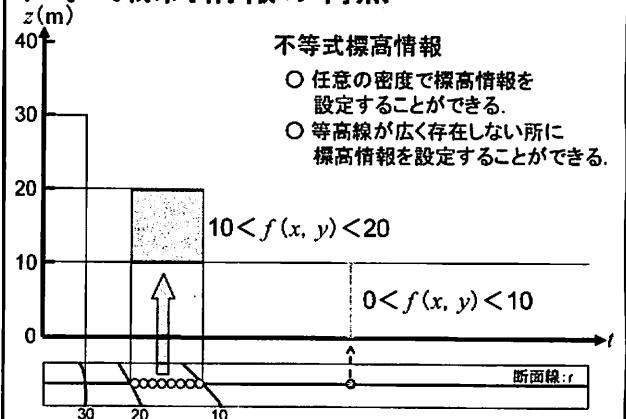


その2つの等高線により決定される間の
(標高)値を持つ地点だけが含まれる

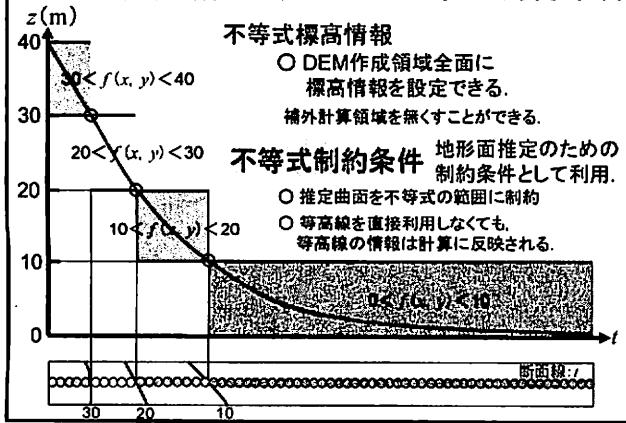
等高線間における標高情報の存在



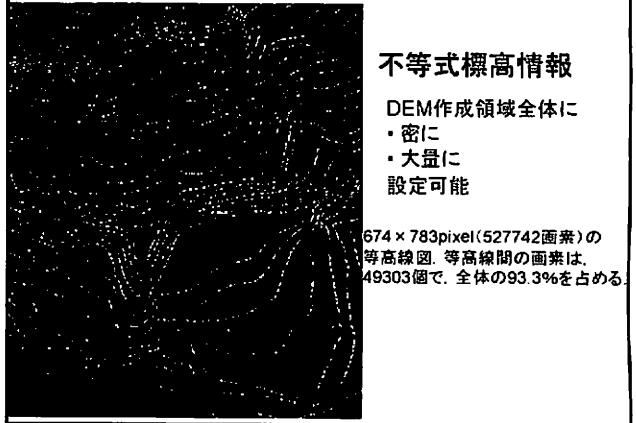
不等式標高情報の利点



不等式標高情報の利点と不等式制約条件



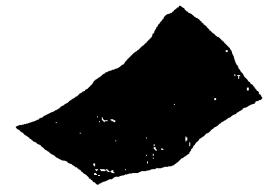
地形図上の不等式標高情報の分布



等高線間標高情報を利用したDEM作成法-STRYPE法-

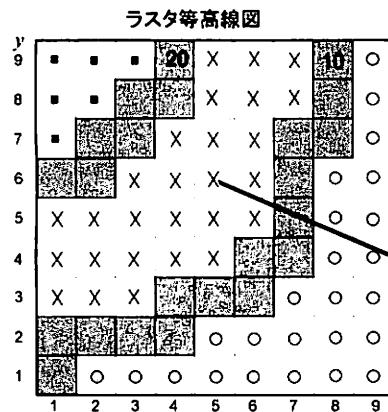
地形図の等高線間標高情報を曲面推定のための制約条件として利用したDEM作成法をSTRYPE法と命名した。STRYPE法のアルゴリズムの概略について述べる。

STRYPE法のアルゴリズム



STRYPE法によるDEM作成手順のうち、
・着色されたラスター画像から、補間計算に使用する不等式制約条件を抽出する方法
・DEM算出のアルゴリズムについて述べる。

不等式標高情報の抽出



等高線図をラスター化
(スキャナーによるデジタル化)

等高線と同時に、
等高線間もラスター化
読み取り解像度に応じた
不等式制約条件の分布密度の調整が可能。
等高線間の塗り分け
画素の座標値と色情報抽出
色値を標高値に変換
1個の画素
→1組の制約条件
 $0 < f(2, 1) < 10$
 $10 < f(5, 6) < 20$
 \vdots
 $20 > f(5, 6)$

不等式制約条件を含む最適曲面の解法

外点ペナルティ法

不等式制約条件付き最適化問題
の外点ペナルティ法による解法。
塙野ほか (1987) 開発

変数の数
一定
↓
計算上有利

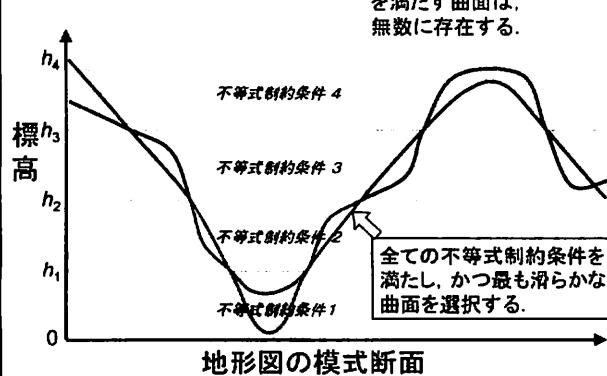
Horizon2000 (塙野・船井ほか, 2001)
パソコンで利用できる。

Lagrangeの未定係数決定法

Kriging法にLagrangeの未定係数
決定法を導入。
Kostov & Dubrule (1988) 開発

変数の数
増大
↓
計算上不利

最適化問題



滑らかさの評価

曲面選択の基準: 井上 (1985) 最も滑らかなものを選択

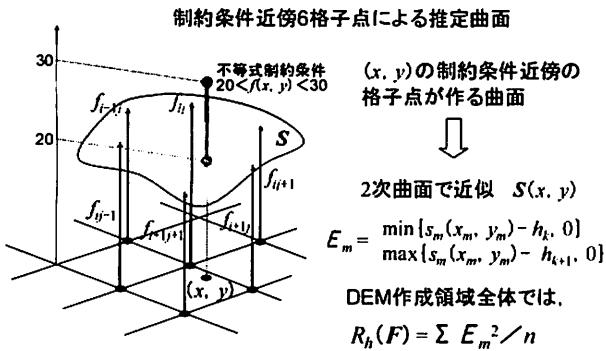
$$J(f) = \iint_D \left\{ \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} dx dy$$

曲面は、関数 f の形ではなく、標高行列形式 $F [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1r}, \dots, f_{N1}, f_{N2}, \dots, f_{Nr}]$ で求める

$$J(F) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-i} f_{ij} \left[\left(\frac{f_{i+1,j} - 2f_{ij} + f_{i-1,j}}{\Delta x^2} \right)^2 + \left(\frac{f_{i+1,j} - 2f_{ij} + f_{i+1,j+1}}{\Delta y^2} \right)^2 \right] dx dy + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-i} \left(\frac{f_{ij} - f_{i+1,j} - f_{ij+1} + f_{i+1,j+1}}{\Delta x \Delta y} \right)^2 dx dy$$

隣接する標高点の差の差を最も小さくするもの

不等式制約条件の充足度の評価



外点ペナルティ法

全ての不等式制約条件を満たし、かつ最も滑らかな曲面を選択する。

算出曲面の滑らかさ $J(F)$ 目的関数
不等式制約条件の充足度 $R_h(F)$ 制約条件

α をパラメーターとして、滑らかさ J と不等式制約条件の充足度 R_h を結合し、拡大目的関数 Q を定義する。

$$Q(F, \alpha) = J(F) + \alpha R_h(F)$$

DEMは、ペナルティ α のもとで、拡大目的関数 Q を最小にする F である。

ペナルティ α

拡大目的関数

$$Q(F, \alpha) = J(F) + \alpha R_h(F)$$

を最小にする解の組 F を求める。

制約条件が全て等式制約条件の場合

F の各項で偏微分して得られる連立1次方程式
 $AF=B$ を解く。

制約条件に不等式制約条件を含む場合(非線形問題)

α を $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots, \alpha_T$ まで少しづつ増加させながら解く。

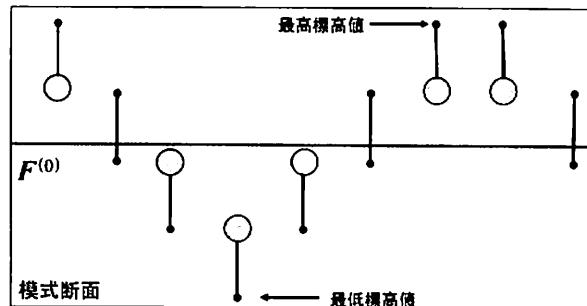
$$\alpha_T = \alpha_1 \cdot d^{T-1}$$

T: 反復計算回数
 α_1 : α の初期値
 α_T : α の終了値
 d : 公比

反復計算のアルゴリズム

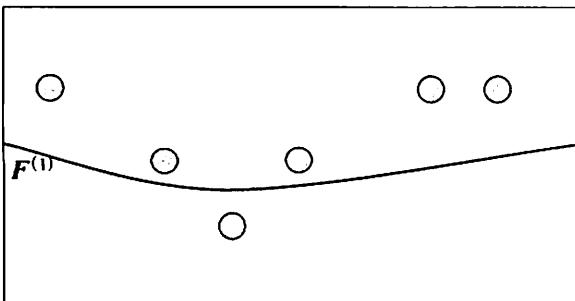
① 初期曲面の設定・評価

1個の要素から抽出された。
1組の不等式制約条件。
例 $\begin{cases} 10 < f(x, y) \\ 20 > f(x, y) \end{cases}$



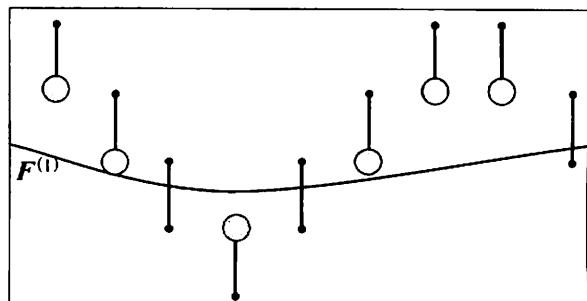
反復計算のアルゴリズム

② α_1 のもとで $F^{(1)}$ を計算



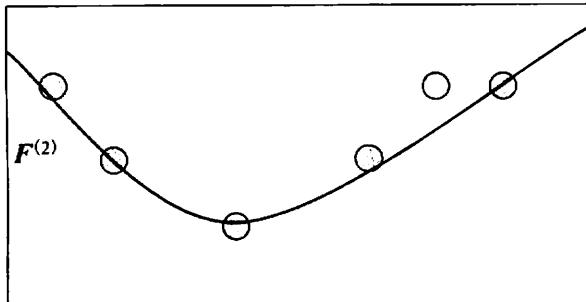
反復計算のアルゴリズム

③ $F^{(1)}$ を評価



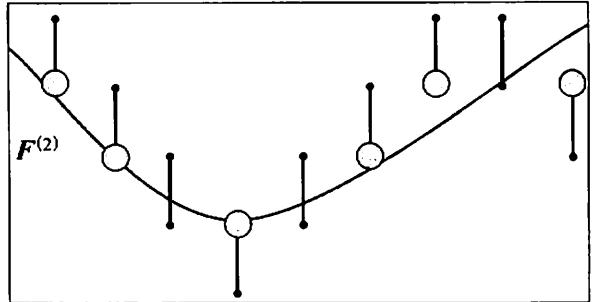
反復計算のアルゴリズム

④ α_2 のもとで $F^{(2)}$ を計算



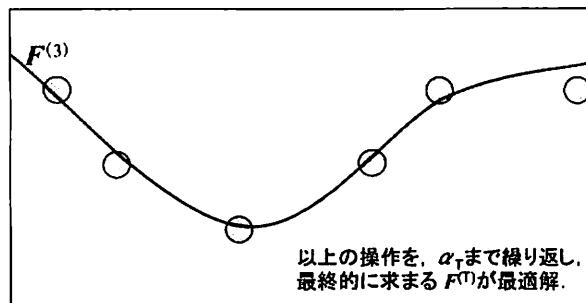
反復計算のアルゴリズム

⑤ $F^{(2)}$ を評価



反復計算のアルゴリズム

⑥ α_3 のもとで $F^{(3)}$ を計算



STRIPE法によるDEMの地形再現性の検証

STRIPE法で作成されたDEMの地形再現性について検証する。

関数による単純な地形モデルを用いて行う。

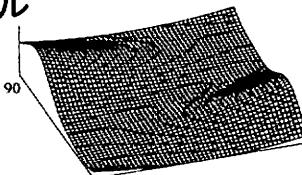
- ・丘陵地形モデル
- ・尖塔地形モデル
- ・階段地形モデル

関数による地形モデル

丘陵地形モデル

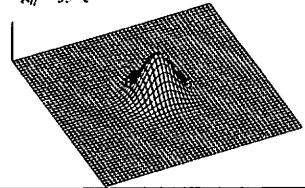
$$g_{ij} = 50 \left[i - \sin\left(\frac{j-50}{50}\pi\right)^2 + 100 \sin\left(\frac{j-50}{50}\pi\right) + 90 \right]$$

$$\begin{cases} i = 0, 1, 2, \dots, 50 & (dk: 50) \\ j = 0, 1, 2, \dots, 50 & (dv: 50) \end{cases}$$



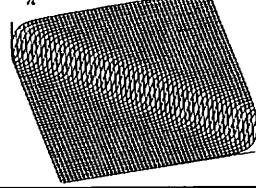
尖塔地形モデル

$$g_{ij} = 35 e^{-\frac{(i-25)^2 + (j-25)^2}{2}}$$

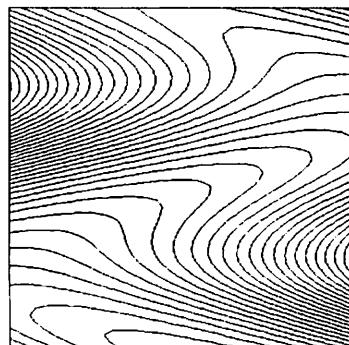


階段地形モデル

$$g_{ij} = \frac{50}{\pi} \tan^{-1} [(i-25) + (j-25)] + 25$$



丘陵地形モデルの等高線図(原図)



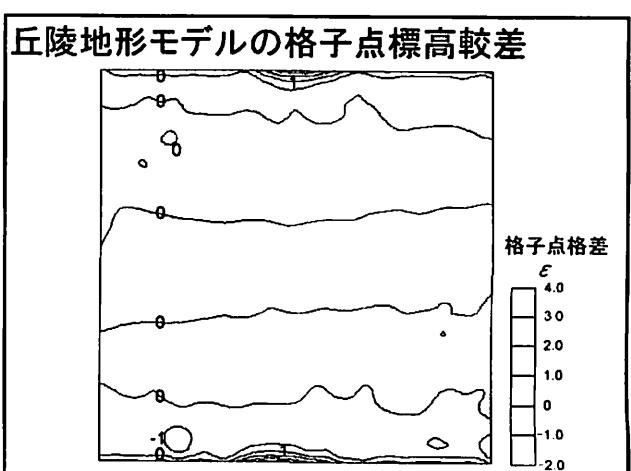
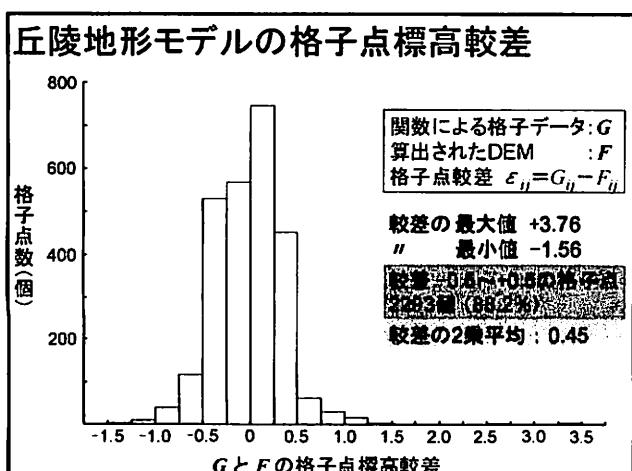
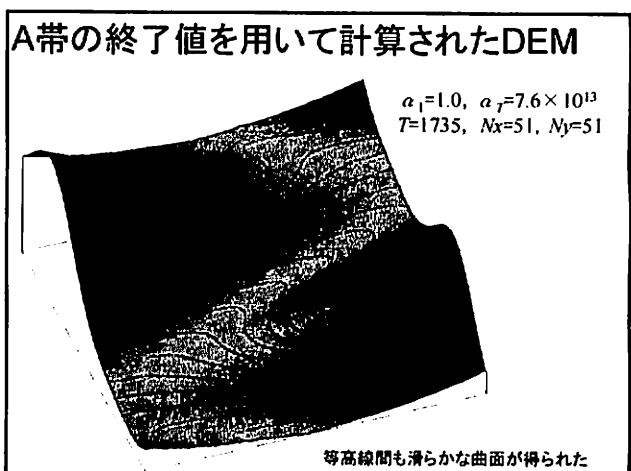
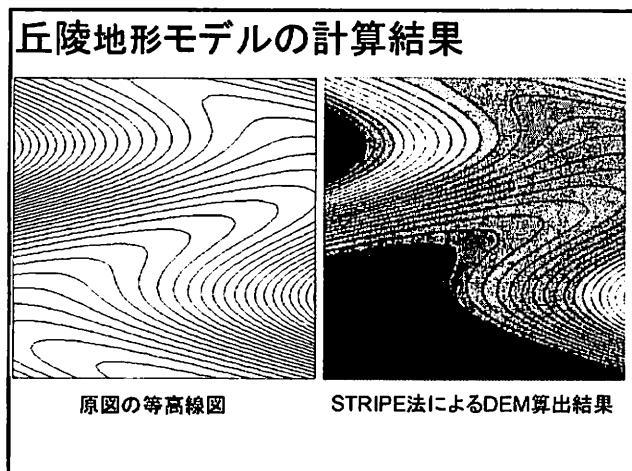
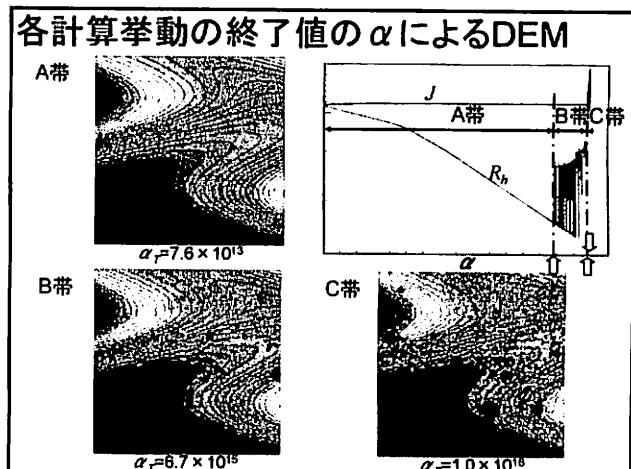
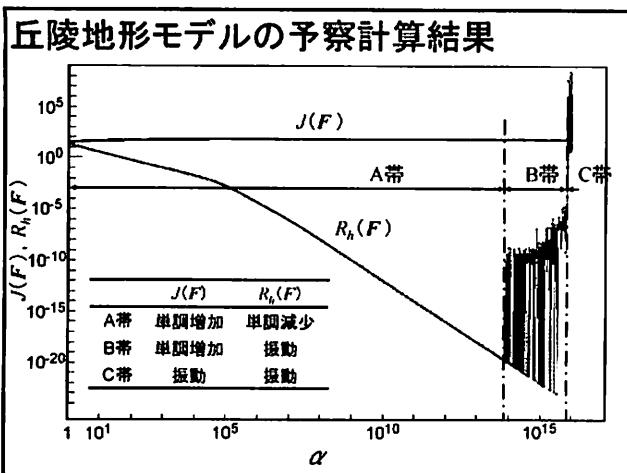
関数による格子データ作成
 $Nx \times Ny: 51 \times 51$

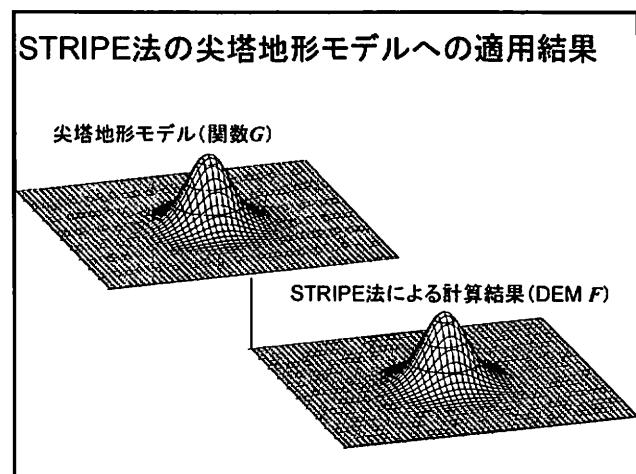
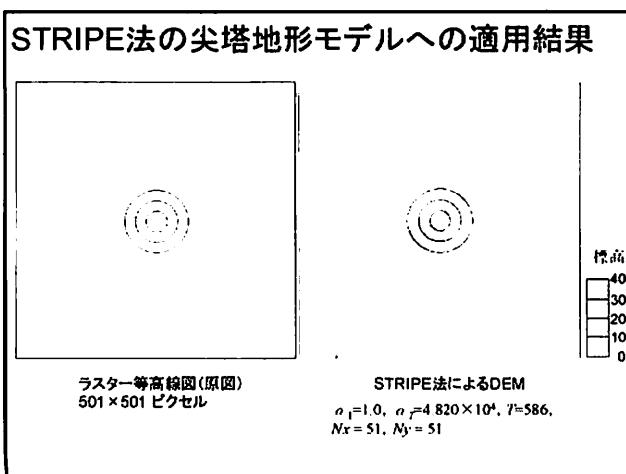
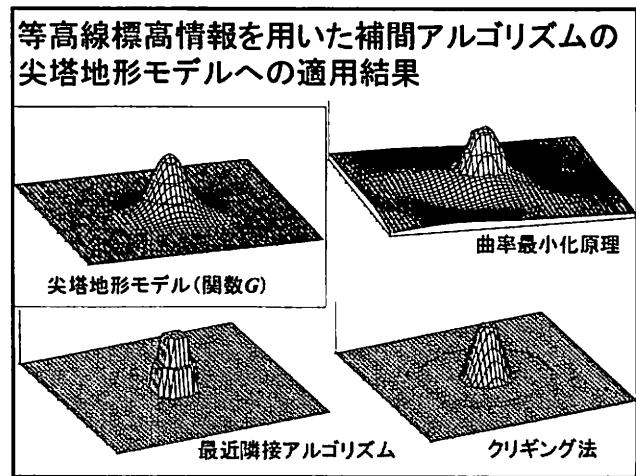
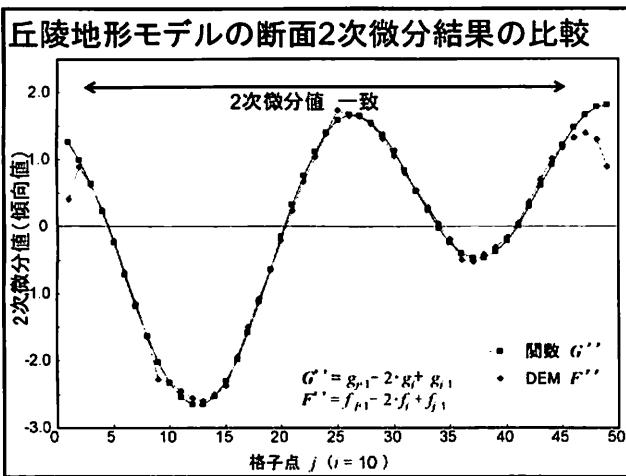
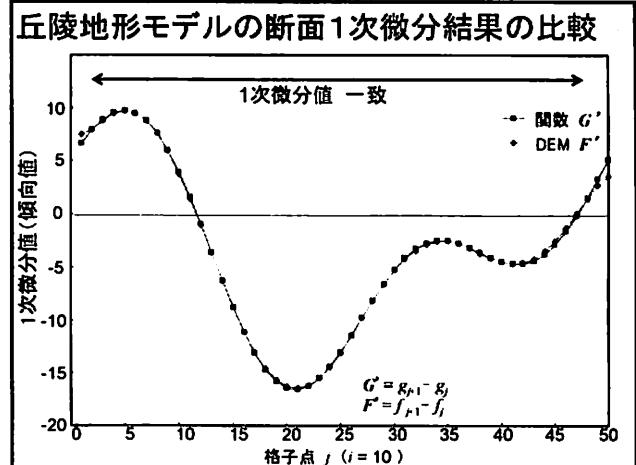
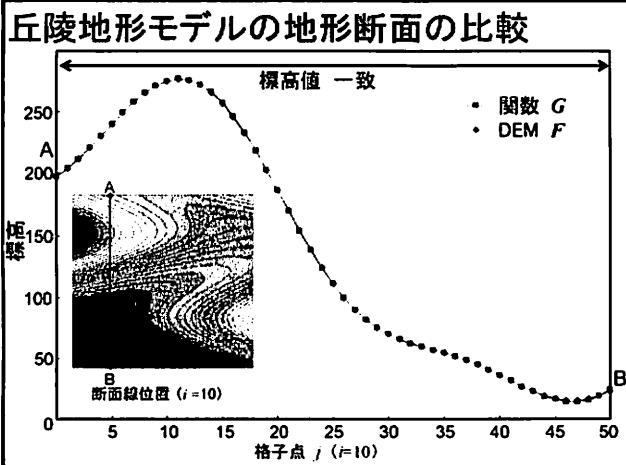
等高線作図ソフトによる等高線図作成(ベクトル形式)

ラスター画像処理ソフトへ等高線図をインポート

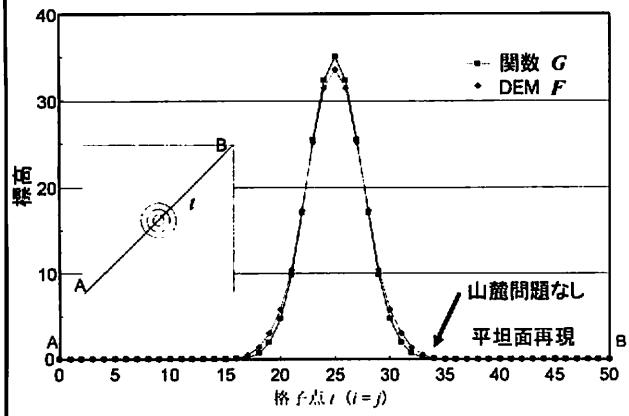
ラスター等高線図(原図)
等高線間隔: 10m

不等式制約条件抽出
176458組(全画素数の92%)

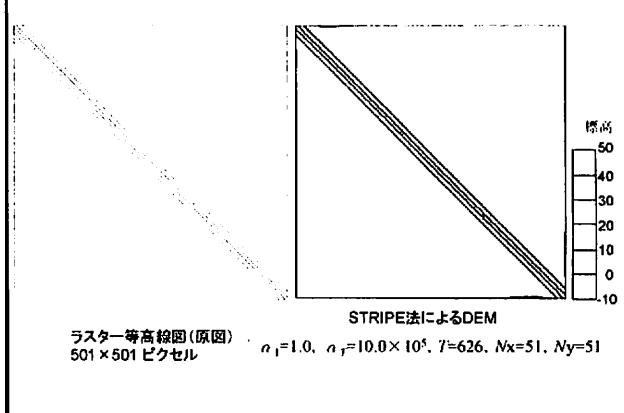




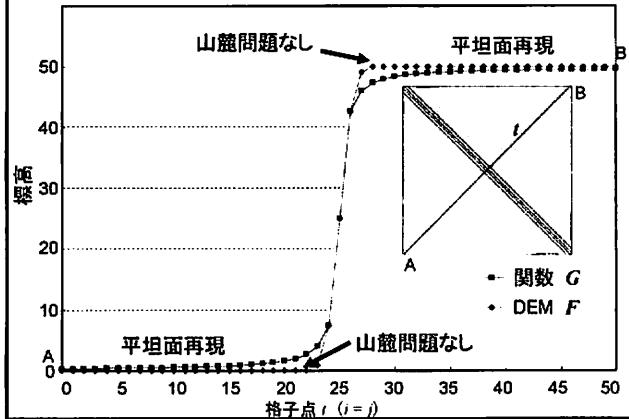
尖塔地形モデルの地形断面の比較



階段地形モデルへの適用結果



階段地形モデルの地形断面の比較

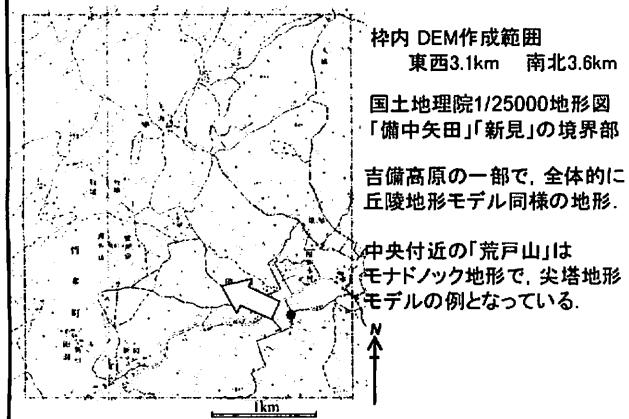


STRIPE法の実際の地形図への適用

国土地理院の地形図や都市計画図など、各種の地形図を用いてSTRIPE法でDEMを作成した例を示す。

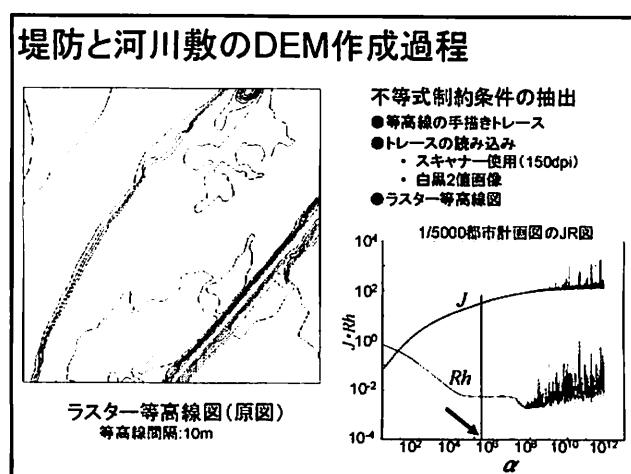
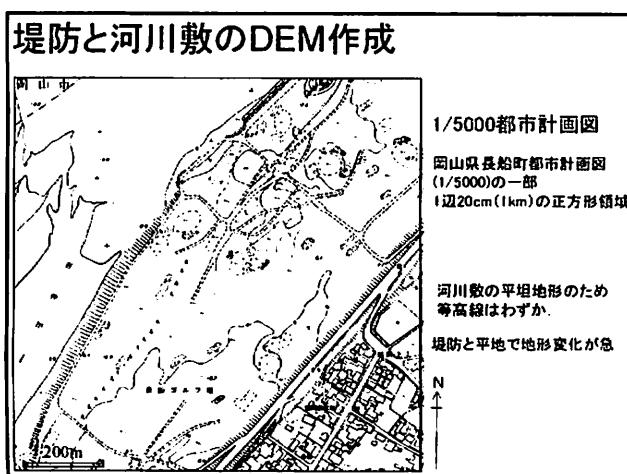
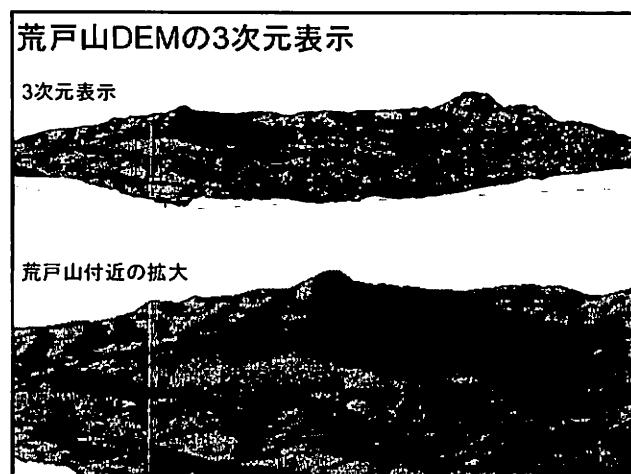
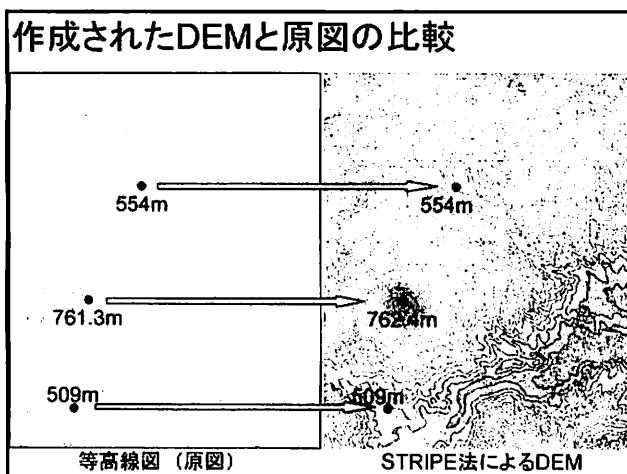
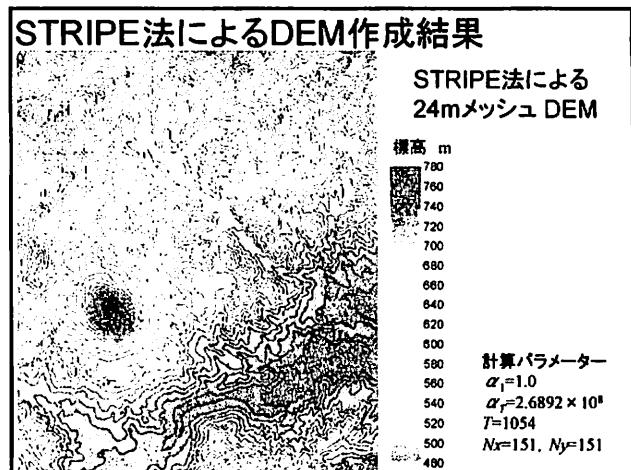
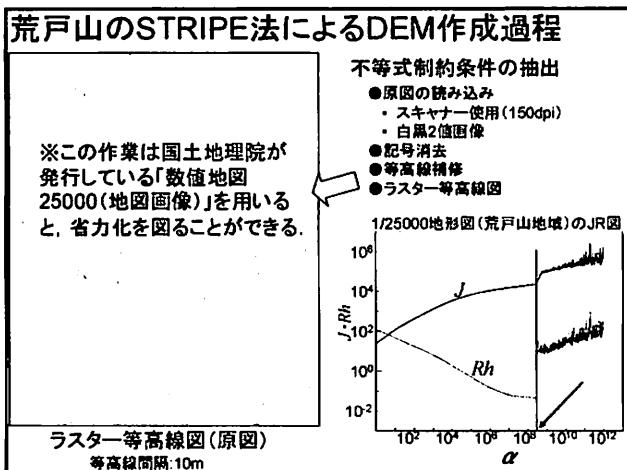
- ・モナドノック地形(岡山県荒戸山)
- ・堤防と河川敷(岡山県長船町 吉井川)
- ・地すべり地形
(島根県平田市 三之谷地すべり)
(岡山県川上町 白藤地すべり)
- ・花崗岩地域
(愛知県瀬戸市)
- ・変成岩地域
(愛媛県瀬戸町)

荒戸山のSTRIPE法によるDEM作成過程

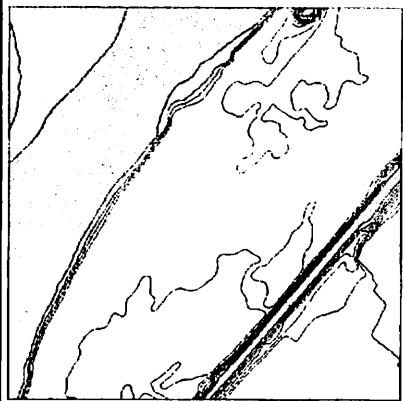


荒戸山遠景(吉備高原上のモナドノック地形)

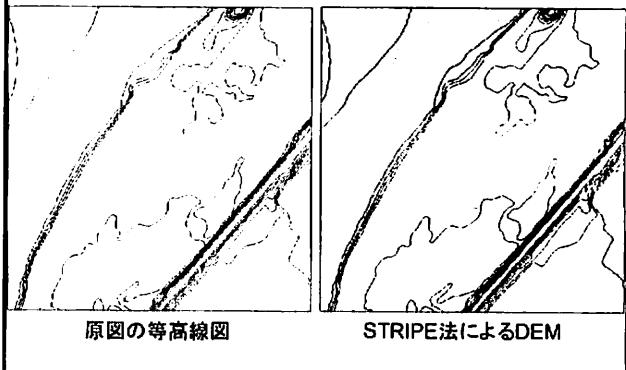




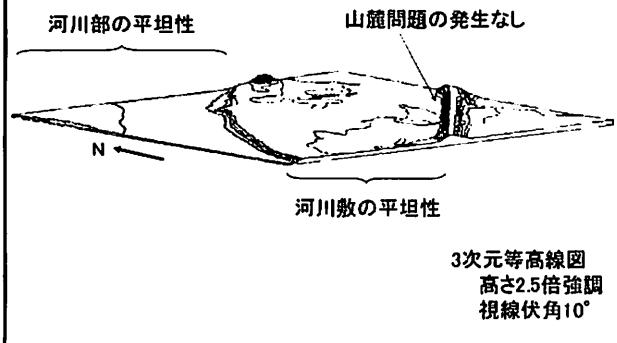
STRIPE法によるDEM作成結果



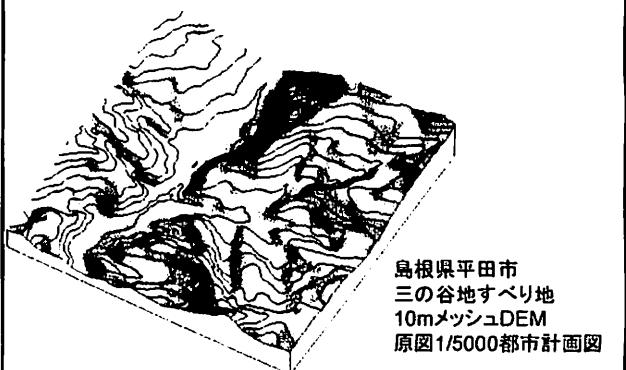
作成されたDEMと原図の比較



STRIPE法によるDEMの3次元表示



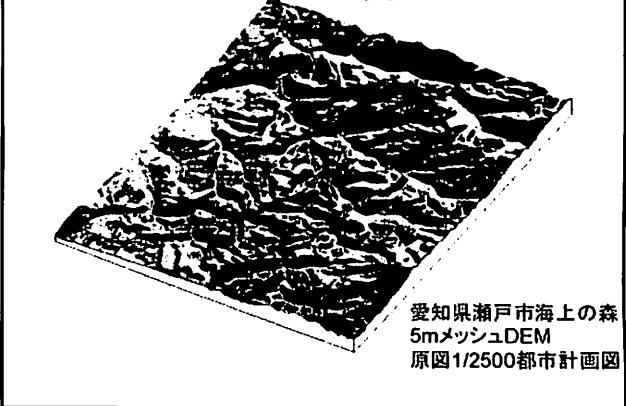
地すべり地域のDEMの例



地すべり地域のDEMの例



花崗岩地域のDEMの例



変成岩地域のDEMの例

愛媛県瀬戸町 10mDEM



STRIPE法で作成されたDEM(まとめ)

- ・原図の等高線を忠実に再現します。
- ・等高線から想像される地形面に近いイメージの地形モデルを再現します。
- ・1次・2次微分解析に適用可能です。