サーフェスの概要

ArcGIS Desktop 10

学校法人 電波学園
東海工業専門学校金山校

サーフェスの概要

ArcGIS は、ラスタおよび TIN サーフェス モデルの作成・表示・解析ができます。そのサーフェスを作成し、解析、抽出するための解析ツールには、Spatial Analyst、3D Analyst などのエクステンションがあります。

サーフェスとは

サーフェスとは、ある範囲内にあるポイントごとに値を持つ現象を視覚化（見える化）したラスタなどのことです。一般にポイントの値は、その場所での限られた数のサンプリング値から作成されます。例えば標高や気温といった値は、直接計測した値は正確にその地点の値を表しますが、その地点のすぐ隣の値がどんな値であるかはわかりません。ほとんどの場合、直接計測できる地点は限られていますが、直接計測していない地点の値を推測することは全体の傾向を掴むうえで大変重要であり、それは「内挿」法によって推測された値がサーフェスに割り当てられます。標高サーフェスから作成された傾斜角サーフェスと傾斜方向サーフェスや、バスの停留所からの距離のサーフェス、犯罪活動の集中や落雷の確率など、サーフェスが他のデータから数学的に派生することもあります。

- **サーフェス**は、等高線や等値線、ポイントの配列、TIN、ラスタを使って表すことができますが、GIS でのほとんどのサーフェス解析はラスタまたは TIN データで行われます。
- **コンター**は、サーフェス上の等しい値を線で結んだものであり、マップ上でサーフェスを表すためによく作成されます。
- **ポイント**は、サーフェス上に規則的または不規則に分散します。通常は、ラスタまたは TIN サーフェスを作成するための内挿、クリギング、三角測量ツールへの入力として使用されますが、風向きを示すフラグや最小コスト方向を示す矢印といったサーフェスのカートグラフィックリプレゼンテーションに使用されることもあります。
- **TIN** は、サーフェスをカバーするノードとエッジによって定義された三角形の面からなるネットワークです。TIN は、三角形の最初のノードとして使用される、「独立標高」とも呼ばれる既知の値から構築されます。独立標高はサーフェスのばらつきの激しいエリアに合わせて不規則に分散させることができます。
- **ラスタ**は、四角形のセル（ピクセル）の配列であり、セルはそれぞれサーフェス上のカバーしている部分の値を格納します。セルに含まれる値は 1 つだけなので、サーフェスで表現できる情報の量は、ラスタ セルのサイズに制限されます。ラスタ データ構造は単純なので、ラスタでの計算（またはラスタ間の比較）は、他のサーフェス表現よりも高速です。ラスタはまた、イメージ、スキャンされた地図、多くの場合はイメージから取り出される土地利用クラスといったカテゴリ情報の格納にも使用されます。

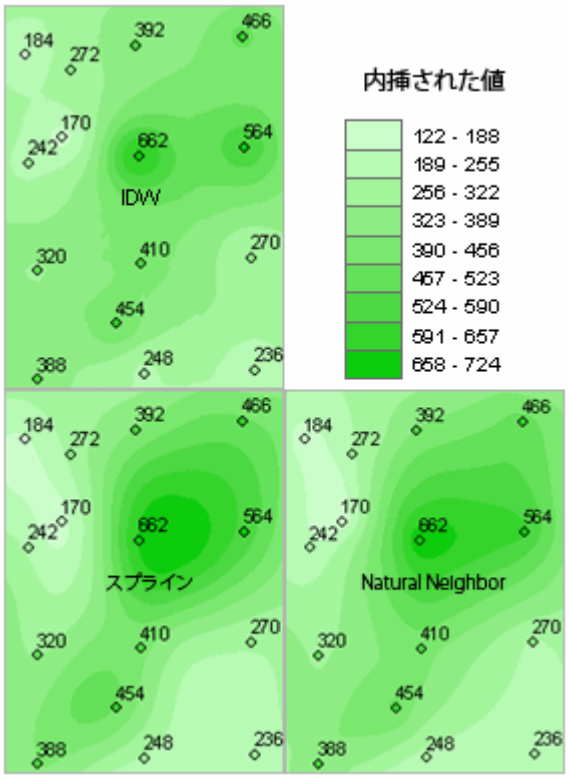
サーフェスの作成

ArcGIS には、ベクタ フィーチャまたは他のサーフェスからサーフェスを作成するためのツールがあります。サーフェスを作成する方法は、計測されたポイント位置に格納された値の内挿、あるエリアのフィーチャに対する特定の現象またはフィーチャタイプの密度からなるサーフェスの内容、1 つ以上のフィーチャからの距離（または方向）からなるサーフェスの派生、別のサーフェスからのサーフェスの派生（標高からの傾斜ラスタ）など、さまざまです。

内挿ツール

内挿ツールは、標高や化学的濃度といった計測値の個々のサンプリングから連続するサーフェスを作成します。いくつかの内挿ツールが用意されており、それぞれ結果として得られるサーフェスに影響を与えるパラメータを持ちます。

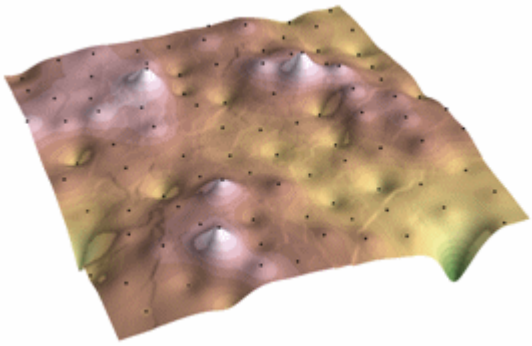
右図の例は、さまざまな内挿手法によって同じ入力データから異なる出力サーフェスが生成される様子を示しています。



最も単純な内挿ツールは、**[IDW]（逆距離加重）**と **[Natural Neighbor] 内挿法**です。これらは、隣接するポイントの値と距離に基づいて、各セルのサーフェス値を推定します。

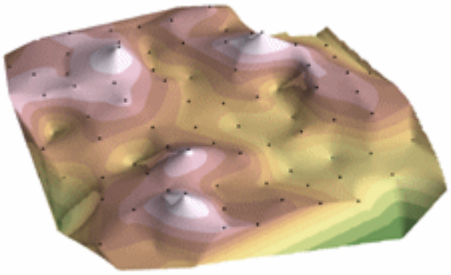
IDW サーフェスの内挿値は、隣接するポイントの値の加重平均値であり、近くにあるポイントの影響度は離れているポイントよりも大きくなります（つまり、距離に反比例します）。

次に示すのは、IDW 内挿を使ってポイント値から内挿されたサーフェスの例です。



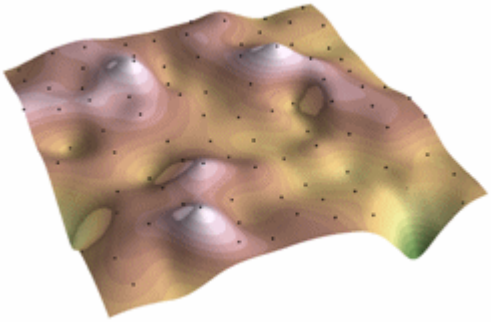
Natural Neighbor 内挿は、各セルへのサーフェス値の内挿に使用されるデータ ポイントが、TIN のようにドロネー三角形を使って識別され、加重されることを除けば、IDW 内挿と同様です。Natural Neighbor 内挿は、他の内挿法よりもはるかに大きいデータセットを確実に操作します。

次に示すのは Natural Neighbor 内挿を使ってポイント値から内挿されたサーフェスの例です。



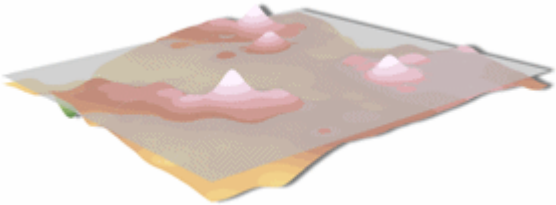
[スプライン（Spline）] 内挿と **[トレンド（Trend）] 内挿**はそれぞれ、多項式変換と最小自乗法を使用して、最も適合するサーフェスをサンプリング ポイントに内挿します。スプライン内挿は、鋭い曲がり角を最小限に抑えるポイントを通じて数学的なサーフェスを調整し、地下水面の水位といった滑らかさにばらつきがあるサーフェスに役立ちます。

次に示すのは、スプライン内挿を使ってポイント値から内挿されたサーフェスの例です。



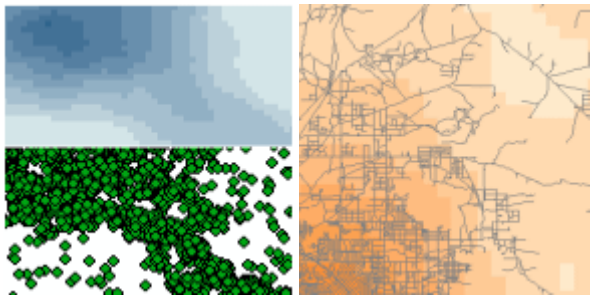
トレンド サーフェスは、データから縮尺の粗いパターンを識別するのに適しています。内挿されたサーフェスがサンプリング ポイントを通過することはまずありません。

次の例は、一連のポイントに対するトレンド サーフェス（透明なグレー）と、同じポイントに対する IDW 内挿によるサーフェスを示しています。



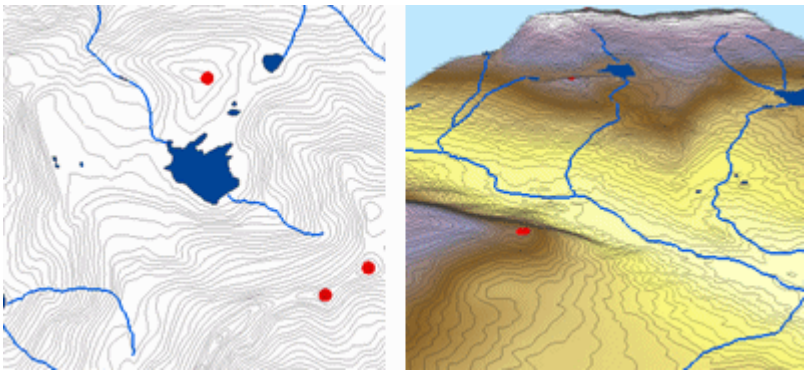
[密度] ツールは、単位面積あたりの何かの量または数を表すサーフェスを生成します。密度サーフェスを使用して、観察データから野生動物の生息数の分布を表したり、道路の密集度に基づいてあるエリアの都会化の度合いを表すことができます。密度ツールには、ポイント フィーチャに対応するものとライン フィーチャに対応するものがあります。

次に示すのは、ポイント フィーチャとライン フィーチャから内挿された密度サーフェスの例です。



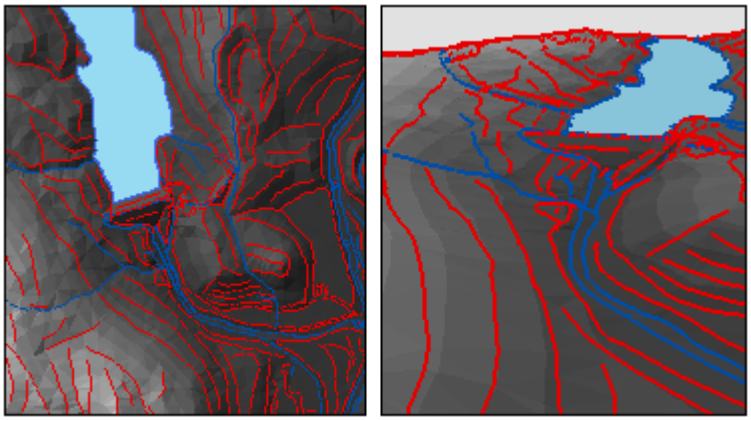
[トポ → ラスタ（Topo to Raster）] ツールは、標高ポイント、等高線、湖ポリゴン、シンク ポイント、調査地域の境界ポリゴンといった地形要素のベクタ データから、水文学的に正しいラスタ サーフェスを作成するための特殊なツールです。

次に示すのは、[トポ → ラスタ（Topo to Raster）] 内挿を使用して、標高ポイント、等高線、河川、湖ポリゴンから内挿されたサーフェスの例です。



TIN サーフェス作成ツールには、特定エリアの TIN を最初に作成し、それにベクタ フィーチャを追加するときに使用される [TIN の作成（Create TIN）] と [TIN の編集（Edit TIN）]、ラスタ サーフェス モデルを TIN サーフェス モデルに変換する [ラスタ → TIN（Raster to TIN）] があります。

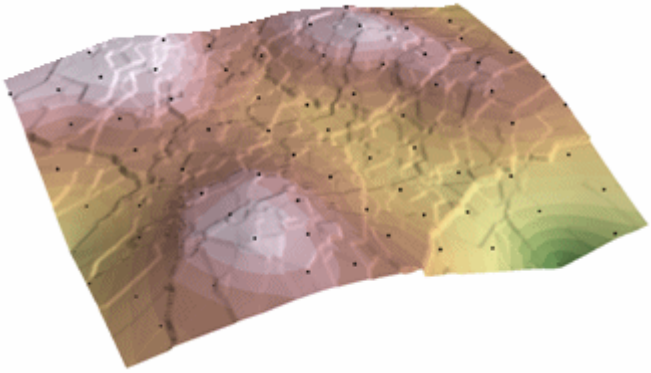
次に示すのは、ポイント フィーチャ、ライン フィーチャ、ポリゴン フィーチャから作成された TIN サーフェスの例です。テレインの高さは、三角形のファセットの多くの頂点にある独立標高から得られます。TIN サーフェスの形状は、これらの独立標高の三角形によって、ブレークライン（青の河川、赤の尾根線、斜面のブレーク）と青の貯水池塗りつぶしポリゴンで制御されます。



地球統計内挿法は、統計学から派生したものであり、予測値サーフェスの作成および予測に関する確実度の解釈を可能にします。**[クリギング（Kriging）]** は高度なサーフェス作成手法であり、データに空間的に相関した距離や方向バイアスが存在する場合に最適です。この手法は、土壌学や地学で最もよく使用されます。地球統計ジオプロセシング ツールと地球統計のためのウィザードは、Geostatistical Analyst エクステンションに用意されています。

Geostatistical Analyst ウィザードでは、クリギング内挿法、コクリギング内挿法、放射基底関数内挿法、IDW 内挿法、グローバル多項式内挿法、ローカル多項式内挿法によるサーフェスの作成が可能です。また、ヒストグラム、正規 Q-Q プロット、トレンド解析などのデータ探索ツールも含まれています。Geostatistical Analyst には、大きなデータセットのサブセットの作成、データ変換、データのトレンド除去などのデータ準備ツールも含まれています。

次に示すのは、クリギング内挿を使ってポイント値から内挿されたサーフェスの例です。



内挿ツールセットの概要

サーフェス内挿ツールは、サンプリングしたポイント値から連続（推定）サーフェスを作成します。

調査対象地域のすべての地点を訪問して、高さや現象の濃さ、大きさを計測することは、通常、困難であるか費用がかかります。かわりに、戦略的に分散させたサンプル地点で現象を計測して、他の地点の値は予測することができます。入力ポイントは、ランダム間隔または一定間隔にすることも、サンプリング方式に基づいて決めることもできます。

ラスタ データセットの連続サーフェス表現は、高さ、濃さ、または大きさなどの計測値（標高、酸性度、騒音など）を表現します。サーフェス内挿ツールでは、該当する地点で計測が実施済みかどうかを問わず、サンプルの計測結果から出力ラスタ データセット内のすべての地点に関して値を予測します。

各地点の予測値を導く方法はいろいろあり、予測方法はモデルと呼ばれます。モデルごとに、データに関する仮定が異なり、特定のデータに一層適したモデルもあります。たとえば、あるモデルが他のモデルよりも局地変動をうまく説明できることがあります。モデルはそれぞれ異なる計算方法を使用して予測を行います。

内挿ツールは、一般に、決定論的方法と地球統計学的方法に大別されます。

- **決定論的内挿法**は、周囲の計測値および指定された数式に基づいて各地点に値を代入します。この数式によって、得られるサーフェスのなめらかさが決まります。
  決定論的内挿法には、IDW（逆距離加重）、Natural Neighbor、トレンド、スプラインなどがあります。
- **地球統計学的内挿法**は、自己相関（計測点相互の統計的関係）を含む統計的モデルに基づいています。このため、地球統計学的手法は、予測サーフェスを作成する機能を持つだけでなく、予測の確実性または精度の尺度も提供します。クリギングは地球統計学的内挿法です。

残りの内挿ツール、[トポ → ラスタ（Topo to Raster）] と [トポ → ラスタ（ファイルによる定義）（Topo to Raster by File）] では、等高線から連続サーフェスを作成する専用の内挿法が使用され、水文解析用のサーフェスを作成するのに都合のよいプロパティも含みます。

ArcGIS で利用可能な内挿ツール

ツール	説明
IDW	IDW（Inverse Distance Weighted）内挿方法を使用してポイントからラスタ サーフェスを内挿します。IDW（逆距離加重法）は、処理する各セルの近傍にあるサンプル データ ポイントの値を平均することによりそのセルの値を推定する方法です。推定するセルの中心にポイントが近いほど、平均化処理への影響、つまり加重が大きくなります。
クリギング（Kriging）	クリギングによりポイントからラスタ サーフェスを内挿します。クリギング（Kriging）は、Z 値を持つ散らばったポイント セットから推定サーフェスを作成する高度な地球統計学的手法です。他の内挿法よりも高度であるため、出力サーフェスを作成する最適な推定方法を選択する前に、Z 値によって表される現象の空間的な振舞いを徹底的に調査する必要があります。
Natural Neighbor	Natural Neighbor 法によりポイントからラスタ サーフェスを内挿します。Natural Neighbor 内挿法は、検索ポイントに最も近い入力サンプルのサブセットを検出し、検出された入力サンプルに値を内挿するために比例エリアに基づいて重みを適用します。これは、Sibson または「area-stealing」内挿法とも呼ばれます。
スプライン（Spline）	2 次元の最小曲率のスプライン手法を使用して、ポイントからラスタ サーフェスを内挿します。結果の滑らかなサーフェスは、正確に入力ポイントを通過します。スプライン（Spline）] ツールでは、サーフェス全体の曲率を最小にする数学関数によって値を推定する内挿法を使用して、入力ポイントを正確に通過するスムーズなサーフェスが得られます。
入力バリア設定を含むスプライン（Spline with Barriers）	最小曲率のスプライン手法により、バリアを使用してポイントからラスタ サーフェスを内挿します。バリアは、ポリゴンまたはポリライン フィーチャとして入力します。[入力バリア設定を含むスプライン（Spline with Barriers）] ツールでは、[スプライン（Spline）] ツールと似た手法が使用されます。大きな違いは、このツールでは入力バリアと入力ポイント データの両方にエンコードされた不連続性を尊重するという点です。
トポ → ラスタ（Topo to Raster）	ポイント、ライン、およびポリゴン データから、水文学的に正しいラスタ サーフェスを内挿します。[トポ → ラスタ（Topo to Raster）] と [トポ → ラスタ（ファイルによる定義）（Topo to Raster by File）] ツールでは、自然排水サーフェスを適切に表し、入力コンター データの尾根線と河川のネットワーク

	の両方をうまく残すサーフェスを作成することを目的とした専用の内挿法が使用されます。 使用されているアルゴリズムは、オーストラリア国立大学の Hutchinson 他によって開発された ANUDEM に基づいています。
トポ → ラスタ（ファイルによる定義）（Topo to Raster by File）	ファイルに指定したパラメータを使用して、ポイント、ライン、およびポリゴンデータから水文学的に正しいラスタ サーフェスを内挿します。
トレンド（Trend）	トレンド解析の手法を使用してポイントからラスタ サーフェスを内挿します。トレンド（Trend）は、グローバルな多項式内挿法で、数学関数（多項式）で指定されたスムーズなサーフェスにより入力のサンプル ポイントを近似します。トレンド サーフェスは徐々に変化し、大まかにデータのパターンを捕捉します。

内挿解析について

内挿は、限られた数のサンプル データ ポイントからラスタ内のセルの値を予測します。標高、降雨、化学成分の濃度、騒音レベルなど、ある地点のデータについて未知の値を予測するときに使用できます。

ラスタを内挿する目的

内挿が可能なのは、空間に分布する複数のオブジェクトには空間的な相関があるという前提があるためです。言い換えると、近くにあるオブジェクト同士は類似の特性を持つ傾向があるということです。たとえば、街路の片側に雨が降っている場合、高い信頼度で、街路の反対側にも雨が降っていると予測できます。都市の広域で雨が降っているかどうかについては予測の信頼度は低くなり、また、隣国の天候についても信頼度が低くなります。

このたとえを使用すると、サンプル ポイントに近いポイントの値は、それよりも遠くにあるサンプル ポイントよりも似た値になりやすいことが簡単に分かります。これが内挿の基本です。ポイント内挿の一般的な使用法は、サンプル計測値のセットから標高サーフェスを作成することです。Geostatistical Analyst にも多種多様な内挿法が用意されています。

内挿の応用例

内挿ツールの典型的な応用例を以下に示します。図には、サンプル ポイントの値と分布、およびそれから生成されたラスタを示しています。

●降雨量サーフェスの内挿

ここでの入力は、左図に示したような既知の降雨レベル値のポイント データセットです。右図は、それらのポイントから内挿されたラスタです。未知の値は、近隣の既知のポイントの値を使用して、数式により予測されます。

入力ポイント データ

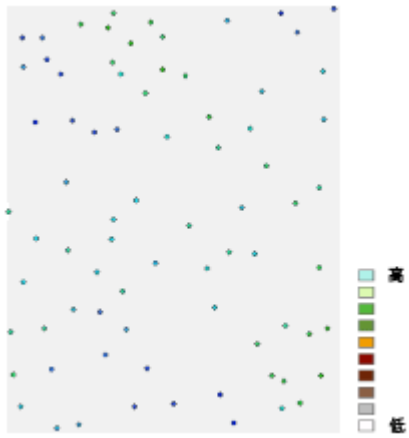
13	14	16	20	23
14	14	16	19	24
18	16	16	18	22
24	22	19	19	21
30	27	23	20	20

内挿された降雨量サーフェス

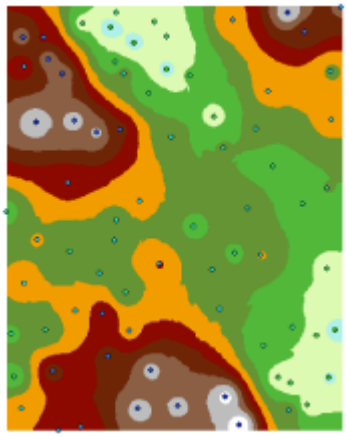
●標高サーフェスの内挿

ポイント内挿の一般的な使用法は、サンプル計測値のセットから標高サーフェスを作成することです。

以下の図のポイント レイヤの各シンボルは、標高の計測位置を示します。内挿により、それらの入力値の間にある各セルの値が予測されます。



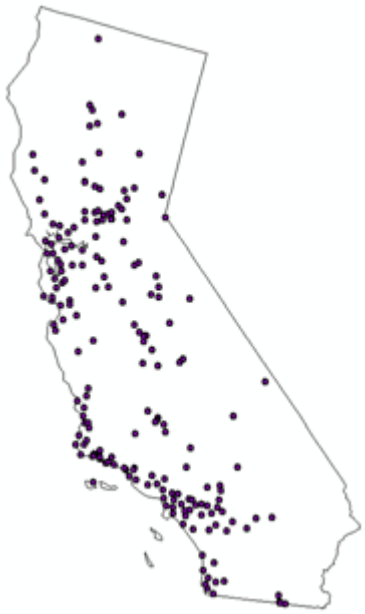
入力標高ポイント データ



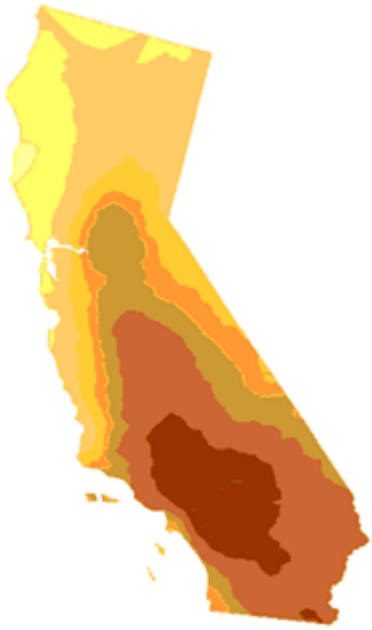
内挿された標高サーフェス

●濃度サーフェスの内挿

次の例では、カリフォルニア州の肺疾患とオゾン濃度の相関を調査するために内挿ツールが使用されています。左図は、オゾン観測所の位置を示します。右図は、カリフォルニア州の各位置の予測値を示す内挿後のサーフェスです。サーフェスはクリギングにより得られています。



オゾン観測所のポイント位置

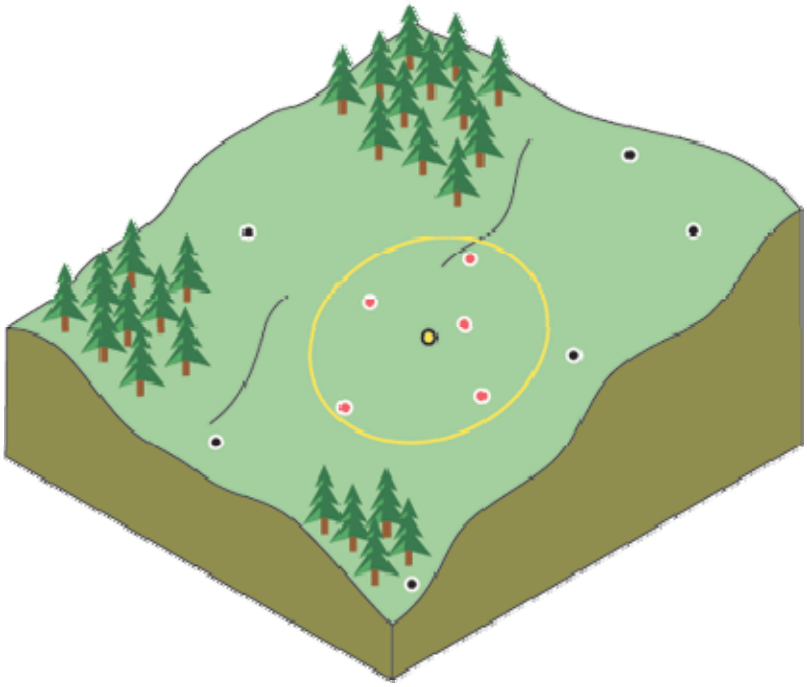


内挿された予測サーフェス

主な内挿法の仕組み

●IDW の仕組み

逆距離加重（Inverse Distance Weighted: IDW）内挿は、線形的に加重されたサンプル ポイント セットを組み合わせることによってセル値を求めます。この場合の重みは距離に反比例します。内挿されるサーフェスは位置的な従属変数です。



選択したポイントの IDW 近傍

この方法では、マップされる変数の影響は、サンプル位置からの距離が遠くなるにつれて小さくなると仮定されています。たとえば、小売サイトの解析で消費者の購買力のサーフェスを内挿する場合、消費者は家に近い店舗で購入する傾向が高いので、距離が遠いほど購買力の影響が小さくなります。

●クリギングの仕組み

クリギングは、Z 値を持つ散在ポイント セットから推定サーフェスを生成する高度な地球統計学的手法です。内挿ツールセットの他の内挿法と異なり、[クリギング（Kriging）] ツールでは、Z 値によって表される現象の空間的振舞い（空間的自己相関）を対話的に検証してから、出力サーフェスを生成するための最適な推定方法を選択する必要があります。空間的自己相関とは、近くにあるものは遠くにあるものよりも似ているという地理の原則を定量化することです。

クリギングとは

クリギングは、自己相関を含む、つまり相互に統計的な関係を持つ計測値を持つ統計モデルに基づく、地球統計学的な方法で構成されます。このため、地球統計学的手法は、予測サーフェスを作成できるだけでなく、予測の確実性または精度の尺度も提供します。

クリギングでは、**複数のサンプル ポイント間の距離または方向が、サーフェス上の変動の説明に使用できる空間的相関を反映していると仮定**しています。[クリギング（Kriging）] ツールは、指定数のポイント、または指定半径内のすべてのポイントに数学関数を当てはめ、各位置の出力値を決定します。

クリギングは複数のステップからなるプロセスを経て行われます。データの予備的統計解析、バリオグラムのモデル化、サーフェスの作成、およびオプションとして分散サーフェスの調査などです。データ内に空間的な相関を持つ距離または方向のバイアスがある場合、クリギングが最適です。多くの場合、土壌学や地質学で使用されます。

クリギングの式

クリギングは、周囲の計測値を加重して未計測の位置を予測する点で、IDW に似ています。両方の内挿法の一般的な式は、データの加重合計として構成されます。

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i)$$

$\boldsymbol{Z(s_i)}$ = i 番めの位置における計測値

$\boldsymbol{\lambda_i}$ = i 番めの位置における計測値の不明な加重

$\boldsymbol{s_0}$ = 予測位置

$\boldsymbol{N}$ = 計測値の数

IDW では、加重 $\boldsymbol{\lambda_i}$、は予測位置までの距離のみで決まります。ただし、クリギングの手法では、加重は計測ポイントと予測位置との距離だけでなく、計測ポイントの全体的な空間的配置によっても決まります。加重の空間的配置を使用するには、空間的自己相関を定量化する必要があります。したがって、通常クリギングでは、加重 $\boldsymbol{\lambda_i}$ は計測ポイントの近似モデル、予測位置までの距離、および予測位置周囲の計測値間の空間的関係によって決まります。

クリギングによる予測サーフェス マップの作成

クリギング内挿法で予測を行うには、次の 2 つの手順が必要です。

- 従属性のルールを発見する。
- 予測を行う。

これらの 2 つの手順を実現するために、クリギングは次の 2 つのステップを持つプロセスを実行します。

1. 自己相関モデル（近似モデル）に依存する統計的従属性（空間的自己相関と呼ばれる）の値を推定するための、バリオグラムと共分散関数を作成する。
2. 未知の値を予測する（予測を行う）。

このように個別手順が 2 つあるため、クリギングはデータを 2 回使用すると言われています。1 回目はデータの空間的自己相関を推定するため、2 回目は予測を行うためです。

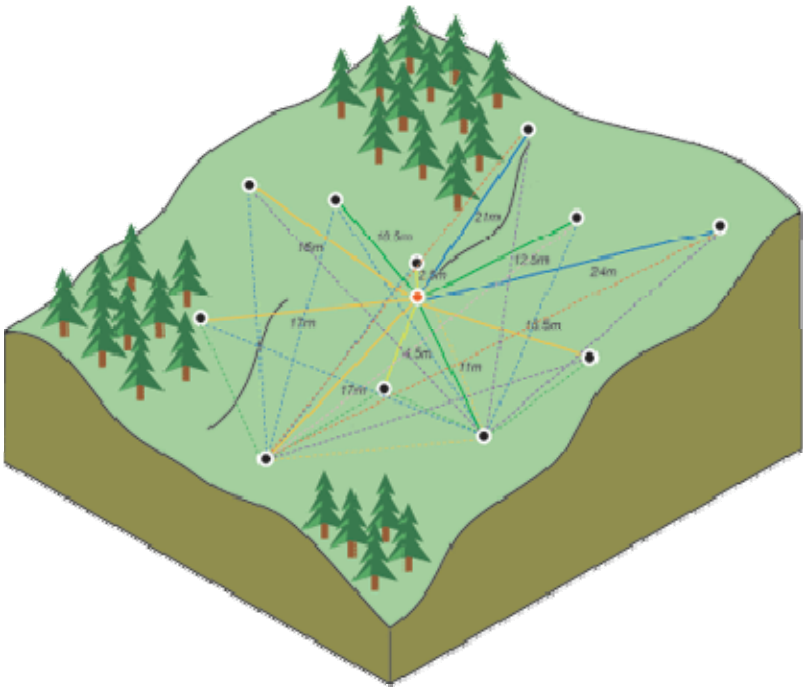
バリオグラフィ

モデル近似、または空間的モデル化は、構造解析やバリオグラフィとも呼ばれます。計測ポイントの構造の空間モデリングでは、経験的セミバリオグラムのグラフを使用します。距離 h 間隔で配置されたすべての位置ペアについて、次の数式を用いて計算します。

セミバリオグラム（距離 $_h$）= 0.5 * 平均（（値 $_i$ − 値 $_j$）^{2}）

式では、位置のペアの値の差の二乗が計算されます。

以下の図に、あるポイント（赤のポイント）とその他すべての計測位置とのペアを示します。各計測ポイントについて、このプロセスが継続されます。



ペアになっている位置間の差の二乗を計算