

ArcGIS

ArcGIS ユーザーのための内挿法ガイド

内挿の基礎から各ツールのパラメーター設定まで

目次

アイコンの説明	3
はじめに	4
第 1 章 内挿ってなんだろう？	5
内挿とは？	6
アメダスを例に内挿を理解しよう！	6
どうして必要なの？ どう表現するの？	9
面的に広がる現象の情報をすべて計測するのは現実的でない	9
空間的な相関があるという前提	10
現象の空間的な連続性はラスター データで表現する	11
内挿の方法	12
決定論的方法	12
地球統計学的方法	13
第 2 章 ArcGIS で利用できる主要な内挿法	14
ArcGIS の主要な内挿手法の解説	15
IDW (Inverse Distance Weighted、逆距離加重法)	16
Natural Neighbor	20
クリギング (Kriging)	23
スプライン (Spline)	30
トレンド (Trend)	33
トポ → ラスター	36
フローチャートで最適な内挿法を見つけよう！	41
第 3 章 内挿を使えるエクステンション製品の違いを理解しよう！ (Spatial Analyst / 3D Analyst / Geostatistical Analyst)	42
エクステンション製品	43
Spatial Analyst	43
3D Analyst	44
Geostatistical Analyst	44
フローチャートで最適なエクステンション製品を見つけよう！	45
第 4 章 用語集	46
用語	47
おわりに	50



第 1 章 内挿ってなんだろう？

内挿とは？

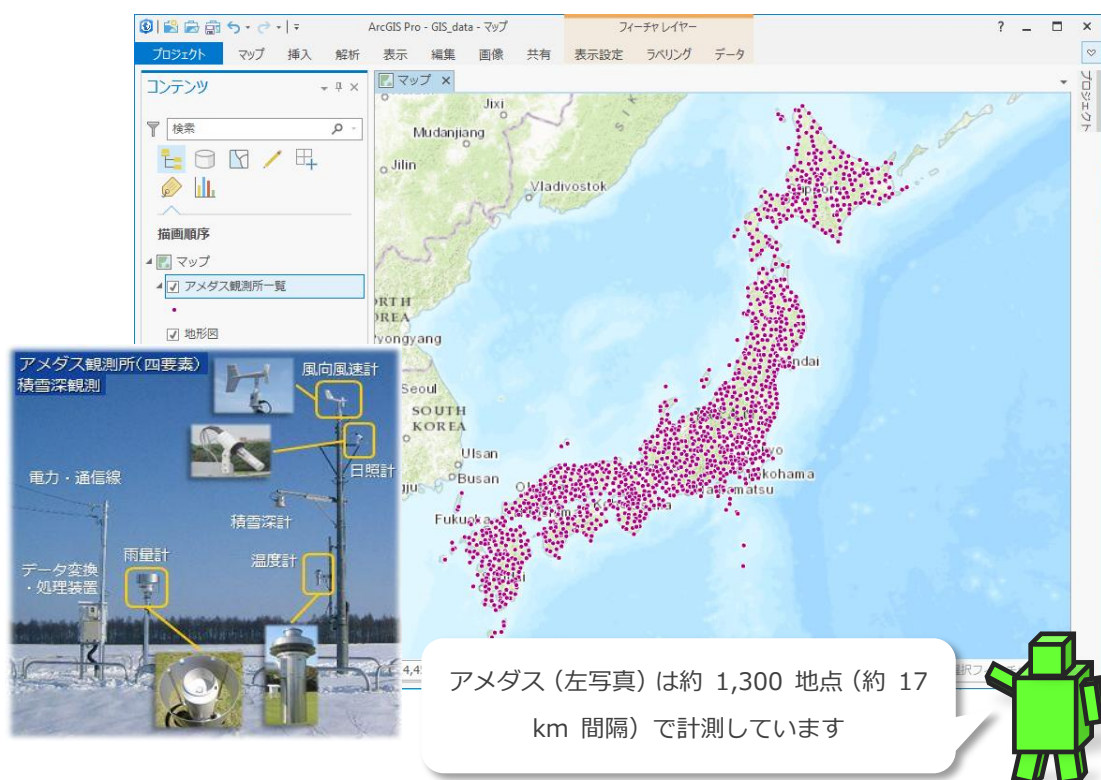
アメダスを例に内挿を理解しよう！

内挿（補間）とは、どのようなものでしょうか。ことばの意味だけ紹介すると、**周囲の地点で計測した値に基づいて、計測していない地点の値を推定すること**です。

文章だけだと、ちょっと分かりにくいですね。アメダス（地域気象観測システム）例に説明していきます。

アメダスは、日本全国の気象に関するデータ（降水量、風向・風速、気温、日照時間、積雪等）を自動で観測して収集するシステムで、気象災害の防止・軽減に重要な役割を果たしており、現在、全国で約 1,300 か所（スターバックス コーヒーの全国店舗数とほぼ同じ）に観測所（降水量）が設置されています。

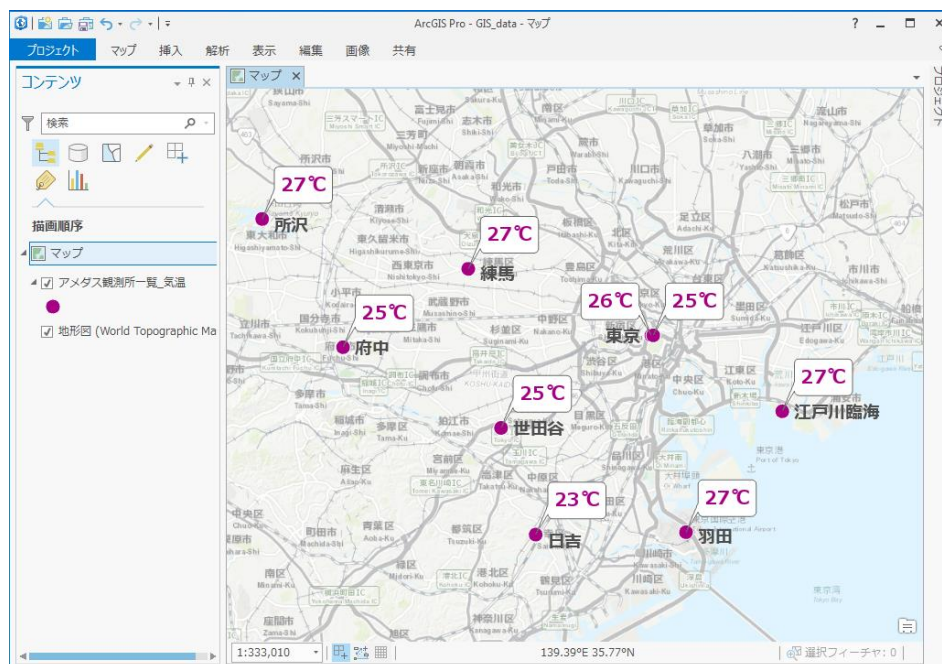
以下の図は、[気象庁のホームページ](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html)からダウンロードした日本全国のアメダス観測所一覧のデータをマップに表示したものです。



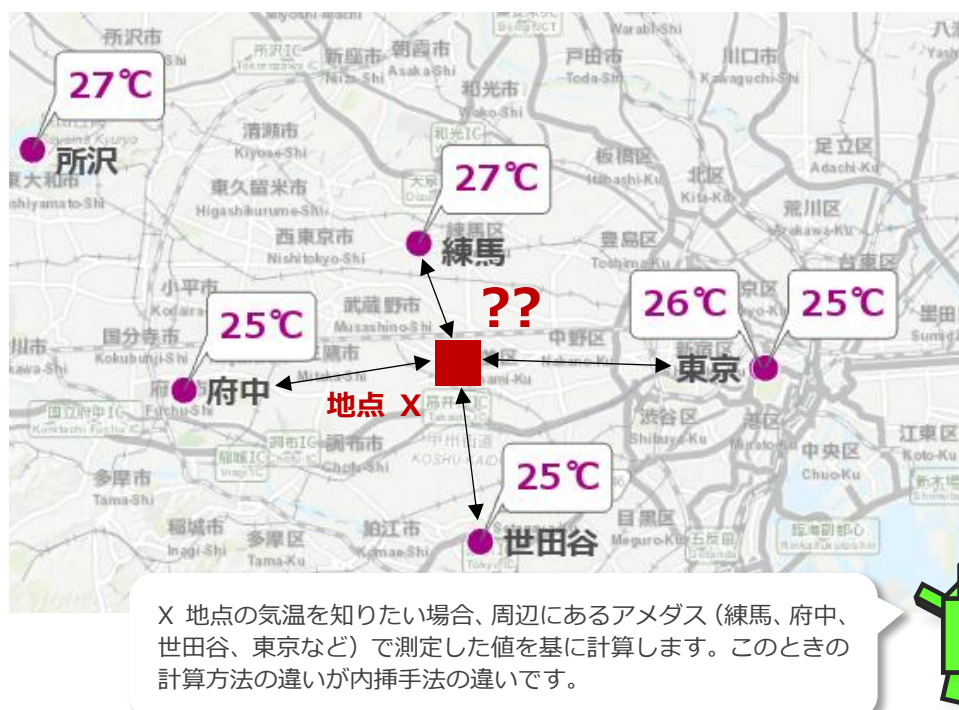
（写真出典：気象庁ホームページ 地域気象観測システム（アメダス）

URL「<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>」より）

東京都周辺のマップを拡大してみると、練馬や府中、世田谷など各地に観測所があり、それぞれの地点で観測された気温の情報（データ）を持っていることが分かります。



ただ、これらの観測所以外の場所の気温は測定していないため分かりません。観測していない地点 X の気温を知りたい場合、どうすればよいでしょうか。下の図をみてみましょう。



赤い四角で示した地点 X は、アメダスの観測所でないため気温を測定していませんが、この場合、地点 X の**周囲にある観測所（気温が分かっている地点）**の値を利用して**算出**することができます。すでに分かっている周りの値から、値が分かっている地点の値を導き出すことを内

挿（補間）といいます。単純に周囲の計測値の平均値を算出する方法や、地点までの距離によって値の影響に重みをつける方法、標高など他の条件を考慮して算出する方法など、多くの計算方法が考案されています。※ ArcGIS で利用できる計算方法については後ほど解説します。

27°C

所沢

27°C

練馬

25°C

府中

26°C

東京

25°C

世田谷

地点 X

X 地点の推定気温 (°C)

- ≤ 22.5
- ≤ 23
- ≤ 23.5
- ≤ 24
- ≤ 24.5
- ≤ 25
- ≤ 25.5
- ≤ 26
- ≤ 26.5
- ≤ 27

凡例から地点 X の気温を把握しよう

ここでは例としてアメダスの気温データを使いましたが、他にも、降雨量、気温、標高値、化学成分の濃度、騒音レベルなど、空間的に連続した広がりをもつ現象の場合、内挿して未計測地点の値を求めることで、面的なデータを取得することができます。

どうして必要なの？ どう表現するの？

さて、内挿について、「周囲の地点で計測した値に基づいて、計測していない地点の値を推定すること」と説明しましたが、ここでは、「そもそもなぜ内挿が必要なのか？」について述べていきたいと思います。

面的に広がる現象の情報をすべて計測するのは現実的でない

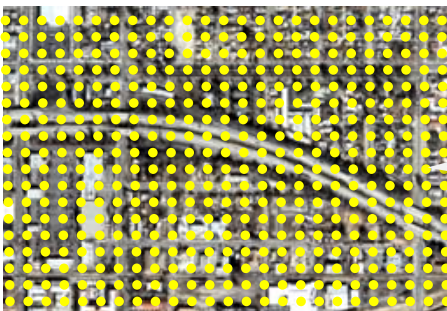
ある範囲で面的な広がりをもつ現象（気温や降水量、標高値など）を把握したい場合、対象とする範囲全体を隙間なく全て調査すれば、「実測した正しい値」を知ることができます。これが理想的で正しいように思います。

ただ、隙間無く調査するには、たいへんな時間と手間がかかります。人員や機器を確保しても、時間をかけて調査している間にデータの鮮度が落ちてしまうこともありますし、途中で資金が足りなくなってしまうこともあるかもしれません。さらに、どのくらい細かく調査点を設定すれば隙間無く計測したことになるのかも、場合によって異なります。

そこで必要なのが内挿です。すべての地点を網羅的に調査するのは現実的ではないので、代表的なサンプル データを取得して他の場所の値を計算します。限られた数のデータで予測するため、得られる値はあくまで推定値ですが、本当の値とのズレが極力少なくなるように計算します。

例：高速道路周辺での騒音レベル調査

△ 全部調べるぞ！



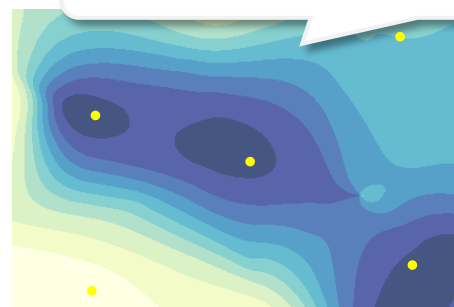
全部調べるにはコストがかかる

早くデータが必要なのに、全部調べるには時間がかかる・・・

◎ 代表点を調査 → 内挿して推定



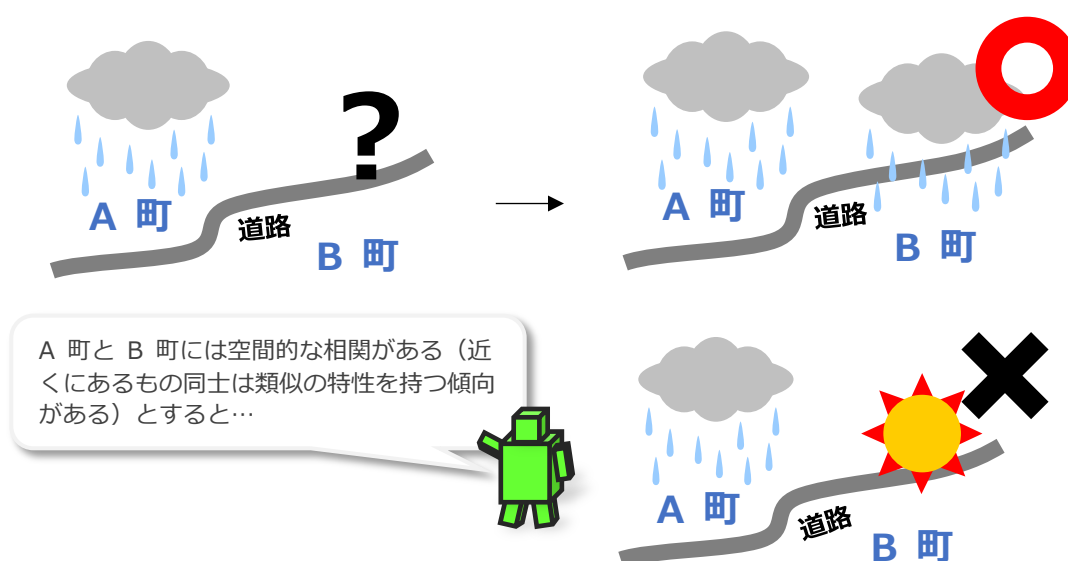
最小限のコストで面的なデータ（推定）を取得できる！



空間的な相関があるという前提

上の項目で、内挿の必要性を理解しました。次に、なぜ内挿することが可能なのか、考え方の前提を簡単に説明します。

内挿が可能なのは、**空間に分布する複数のもの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、**近くにあるもの同士は類似の特性を持つ傾向がある**ということです。サンプル データの値から周囲の地点の値を推定するには、この前提が不可欠です。言葉で説明すると小難しく感じますが、たとえば、道路を挟んで A 町と B 町が存在するとします。A 町で雨が降っている場合、道路の向かいに位置する B 町でも雨が降っていると高い確率で予測できますね。道路を境に急に晴れている確率は高くありません。



この場合、空間に分布している複数のものは「雨」で、空間は「近接する A 町と B 町」の範囲、相関があるということは「A 町で雨が降っていれば、B 町でも雨が降っている」ということです。

距離が近くない場合、たとえば A 町と B 町を含む市の隣の市の E 町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、となりの県の Z 町の天候については予測の信頼度はさらに低くなります。つまり、サンプル ポイントに近いポイントの値は、遠くのポイントよりも似た値になりやすいことが分かりますね。この前提があるために、サンプル データを内挿して値を推定することができます。考え方を理解しておきましょう。



【相関】… 2つのものが密接にかかわり合っていること

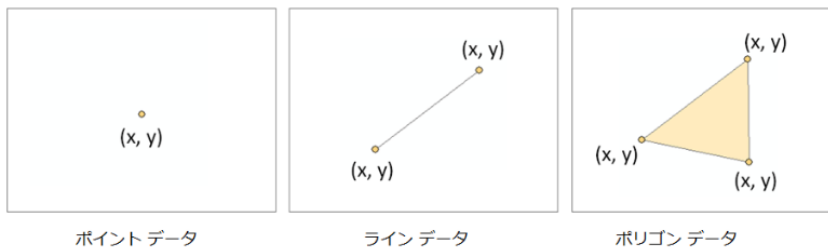
【相関関係】… 2つのものが密接にかかわり合い、一方が変化すれば他方もそれに連れて変化するような関係のこと

現象の空間的な連続性はラスター データで表現する

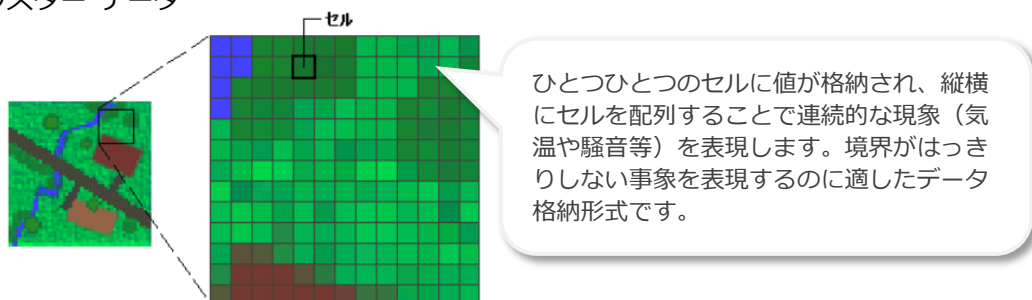
GIS で扱うデータ形式には、[ベクター データ](#)と[ラスター データ](#)があります。

内挿することで、サンプルとなる地点のポイント データ（ベクター データ）を補間してラスター化されたデータ（画像ファイル）が出力されます。どこが境界なのか不明瞭な、空間的な連続性をもつ現象（標高や気温など）を表す場合、一般にラスター データを利用します。こういった表現にベクター形式はあまり適していません。ベクター データが適しているのは、建物の形状や行政区界、道路など、はっきりと地物の境界を認識できるものです。

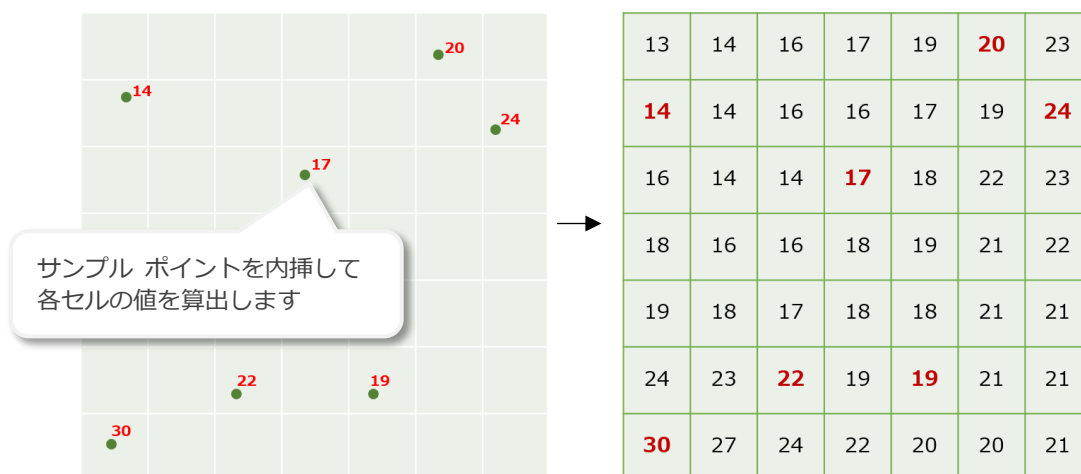
ベクター データ



ラスター データ



サンプル ポイント（ベクター）を内挿してラスター化するイメージ



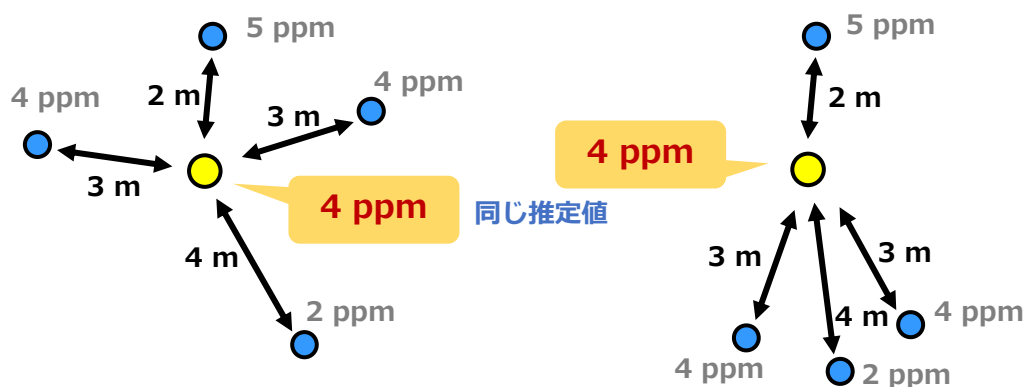
内挿の方法

サンプル データから各地点の予測値を算出する方法はさまざまです。この予測方法のことをモデルといい、モデルごとにデータについての仮定が異なります。汎用性のあるモデルも、特定のデータに特化したモデルもあります。モデルごとに異なる計算方法で予測を行いますが、内挿の手法は一般に、決定論的方法と地球統計学的方法に大別されます。

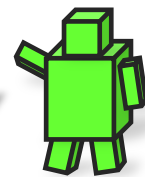
決定論的方法

サンプルの周囲の計測値と、指定された数式に基づいて各地点に値を代入します。このときの数式によって、作成したサーフェスの滑らかさが決まります。計算にはポイント間の距離のみを考慮するため、サンプル データの空間的な配置については考慮しません。

例：大気汚染物質のサンプルの決定論的内挿の例（IDW）



サンプル ポイントとの距離のみを考慮して値を推定します。空間的な配置は考慮しないため、上の図のようにサンプル ポイントの配置に偏りがあっても、距離が同じ場合同じ値が推定されます。

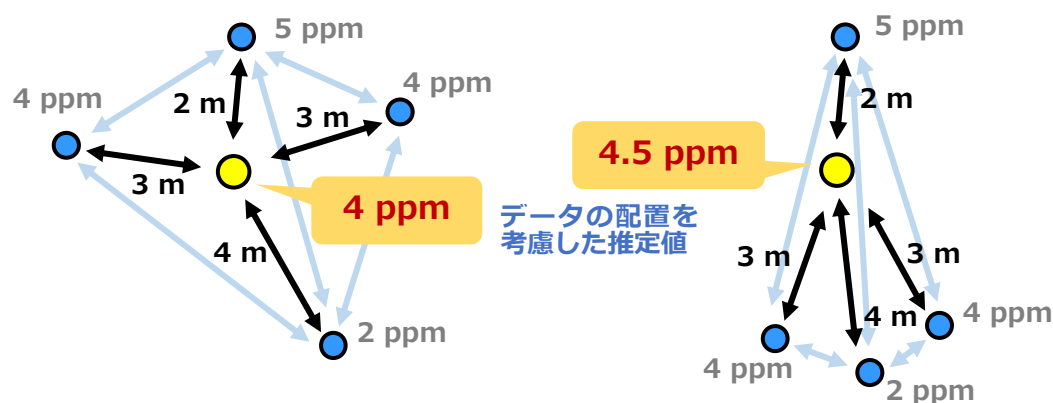


決定論的方法に該当する ArcGIS の主要な内挿法

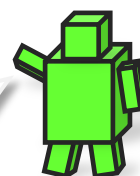
- [IDW](#) (Inverse Distance Weighted 逆距離加重法)
- [Natural Neighbor](#)
- [スプライン](#) (Spline)
- [トレンド](#) (Trend)

地球統計学的方法

サンプル ポイントの空間的自己相関を考慮した統計的モデルに基づく手法です。空間座標を組み込んだモデルを使用して、測定していない地点の空間的に連続する値を推定します。予測サーフェスを作成できるだけでなく、予測の確実性や精度の尺度も提供します。



サンプル ポイントの空間的な配置も考慮して空間的相関関係をモデリングします。上の図のように、サンプル ポイントとの距離は同じでも、データの配置によって推定値が異なる可能性があります。



【地球統計学】…ある分布事象を確率場として捉え、ある地点における値を推定する学問
 【空間的自己相関】…事物間の距離が近いほど強く関係し合うということ



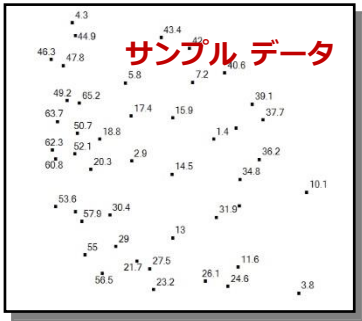
地球統計学的方法に該当する ArcGIS の主要な内挿法
[クリギング](#) (Kriging)



第 2 章 ArcGIS で利用できる 主要な内挿法

ArcGIS の主要な内挿手法の解説

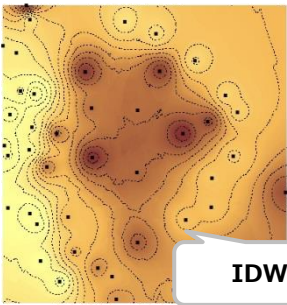
前章では、内挿の基本的な仕組みや考え方を理解しました。この章では、ArcGIS で利用できる主要な内挿手法の概要と、ArcGIS でのツールのパラメーター設定について解説します。下の図のように、同じサンプル データであっても、選択する内挿手法によって結果が大きく異なります。ご自身のデータに適した内挿手法を選択することが重要です。



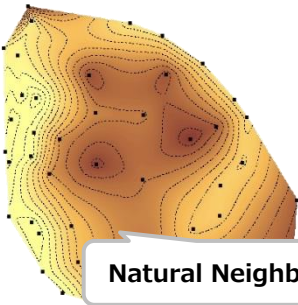
同じサンプル データを利用して、手法によって処理結果が大きく異なります。データに適した手法を選択しましょう。



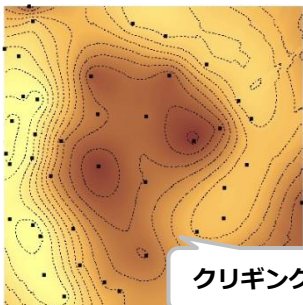
内挿すると…



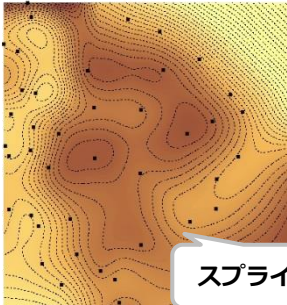
IDW



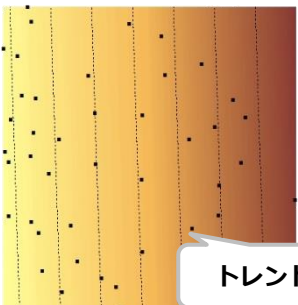
Natural Neighbor



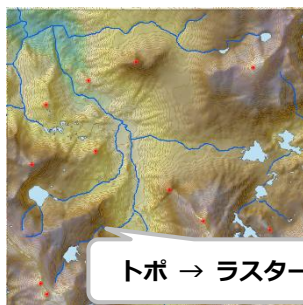
クリギング



スプライン



トレンド



トポ → ラスター

内挿手法	適用データ	例
IDW	高密度で均等間隔のデータ	標高データ（5m、10mメッシュ）
Natural Neighbor	高密度データ	LiDAR データ
クリギング	サンプル数が少ない / 精度が低いデータ	地質、大気中の物質濃度
スプライン	サンプルの信頼性が高いデータ	標高、気温
トレンド	広範囲に変化する事象のデータ	広範囲の汚染
トポ → ラスター	地形に関するデータ（等高線や湖等）	地形

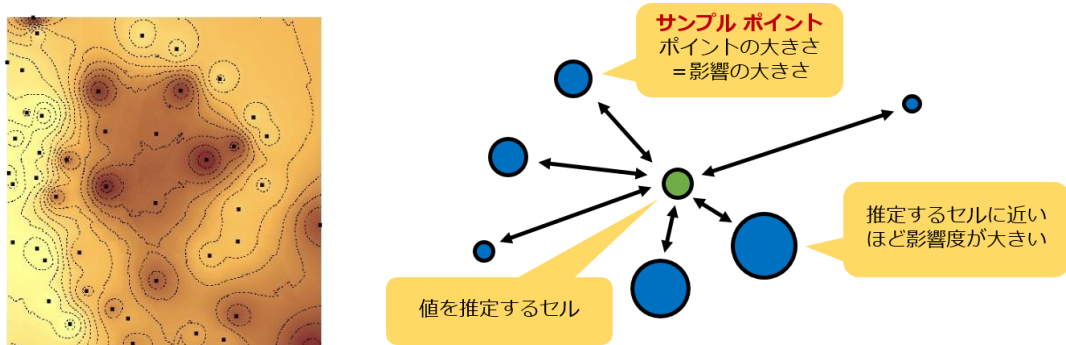
※紹介する内挿法は、ArcGIS Spatial Analyst、3D Analyst エクステンションで利用できます。

IDW (Inverse Distance Weighted、逆距離加重法)

概要

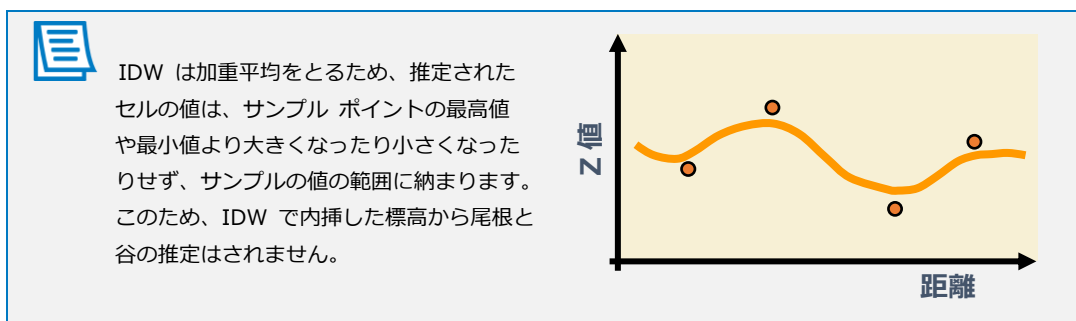
推定する各セルの近く（近傍）にあるサンプル ポイントの値を平均することで、そのセルの値を推定する内挿手法です。距離が近いサンプル ポイントほど相関が強いと考えるため、推定するセルの中心に近いポイントほど、値を平均する際の影響（加重）が大きくなります。

たとえば、ある小売店舗の周辺に居住する消費者の購買力を内挿するとします。消費者は自宅に近い店舗を利用して購入する傾向が強いため、店舗から距離が遠い消費者ほど購買力の影響が小さくなりますね。このように、サンプル ポイントとの距離に応じて加重平均計算を行う方法が IDW です。重みは距離に反比例します。また、内挿結果のラスター サーフェスは下図のようにサンプル ポイントを中心に同心円状となる傾向があります。

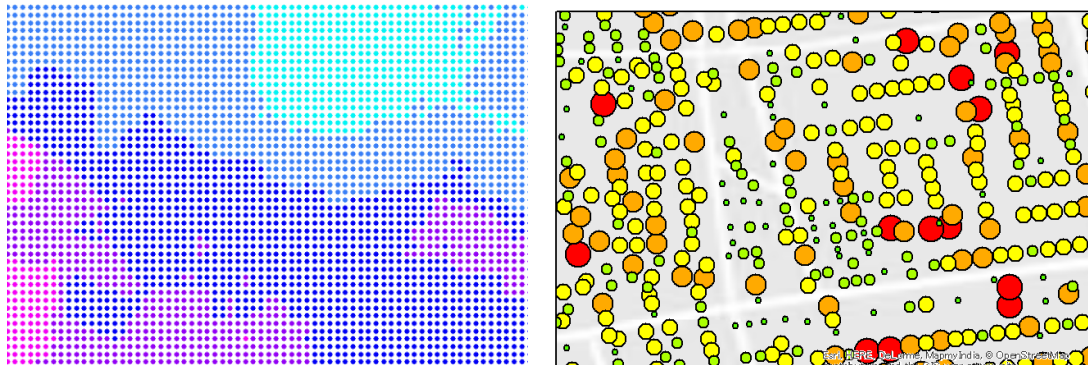


重要ポイント

- サンプル ポイントとの距離に応じて重み付け
- サンプル ポイントを中心に同心円状の等値線
- 推定値はサンプル ポイントの範囲内に納まる（標高データから尾根 / 谷を推定する能力はあまりない）



高密度で均等な間隔で取得されたサンプルに向いています。(まばらで偏ったサンプルにはあまり向いていません) たとえば、標高データや国勢調査の基本単位区データなどがあります。



ArcGIS の IDW ツールの各パラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションの設定です。

ジオプロセッシング

▼ □ ×

⬅

IDW

≡

パラメーター | 環境

?

* 入力ポイントフィーチャ

1

+

* Z 値フィールド

2

▼

* 出カクラスター

3

+

出力セル サイズ

4

+

乗乗

5

2

検索範囲

6

可変

▼

ポイント数

12

最大距離

入力バリア ポリライン フィーチャ

7

+

実行

▶

可変

可変

固定

① 入力ポイント フィーチャ

内挿したい値を持つサンプル ポイント データ。ただし、ポイント数は 4500 万点までの制限があります。

② Z 値フィールド

内挿したいデータが格納されたフィールド（数値型）

③ 出力ラスタ

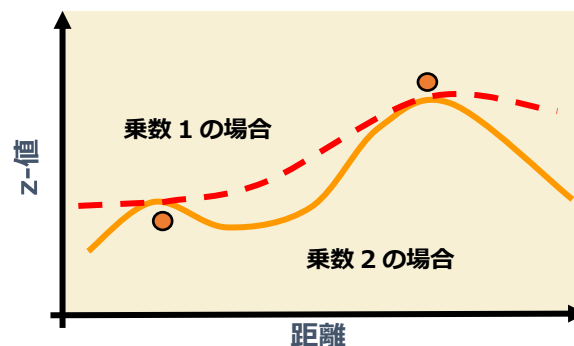
内挿結果のラスタ データの出力先

④ 出力セル サイズ

出力するラスタ データのセルのサイズ

⑤ 累乗

距離の重み付けの度合いの設定です。距離の逆数を累乗して影響力を求めます。値が大きいほど、近いポイントに重点が置かれます。つまり、近傍データの影響力が大きく、サーフェスの詳細度が高くなります（滑らかさは低下します）。小さい値を指定すると、より遠くにあるポイントまで影響が及び、滑らかなサーフェスが得られます。0.5 ～ 3 が最適な結果を得られます。デフォルトの値は 2 です。

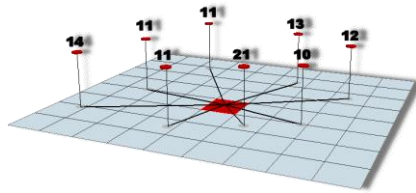


【逆数】…その数に掛け合わせると 1 になる数。例) 3 の逆数は $1/3$ 、 b/a の逆数は a/b

⑥ 検索範囲

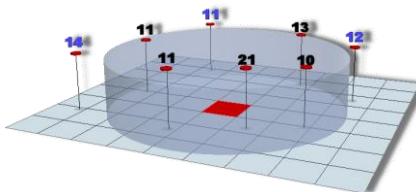
内挿に使用するポイントの範囲を定義する項目です。「可変」と「固定」の 2 つのオプションがあり、デフォルトの設定は「可変」です。

・**可変** … 使用する最近隣のサンプル ポイント数を指定する方法です。指定したサンプル数を取得するまで検索半径を広げます。デフォルトは 12 ポイントです。この際、最大距離を指定して検索を制限することもできます。



サンプル数 = 8 と指定
半径 = ? (サンプルを 8 取得するまでの範囲)

・**固定** … 検索範囲の半径を指定して、その中に含まれるサンプルを内挿に使用する設定です。デフォルトは出力セル サイズの 5 倍です。

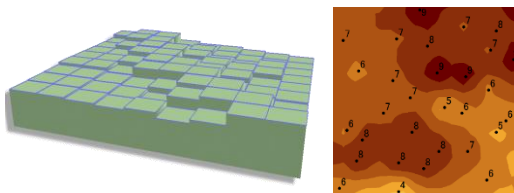


サンプル数 = ? (半径内で検索)
半径 = 1000

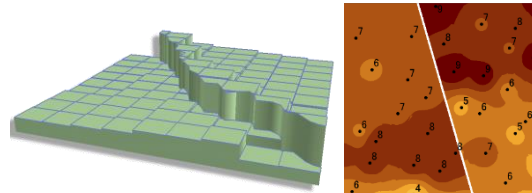
⑦ 入力バリア ポリライン フィーチャ

内挿に使用するサンプル ポイントの検索を制限するための閾値としてライン フィーチャを設定できます。たとえば、急な崖や、堤防など、内挿するエリア内の値の推定を中断させる地物や自然物がある場合、急激に変化する部分にラインを設定して線引きすることで、別々に値を推測することができます。

バリアを設定しない場合



バリアを設定する場合



参考文献

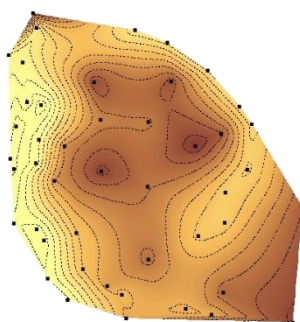
Philip, G. M., and D. F. Watson. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces." Australian Petroleum Exploration Association Journal 22: 205–212. 1982.
Watson, D. F., and G. M. Philip. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2: 315 – 327. 1985.

Natural Neighbor

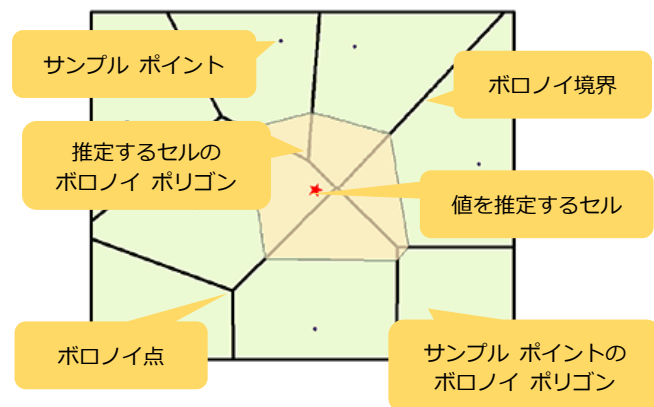
概要

Natural Neighbor 法は、近隣・周辺のサンプル ポイントの加重平均をとります。近隣のサンプル ポイントとの距離によって重み付けする IDW 法と似ていますが、IDW と Natural Neighbor 法では、重みの算出方法が異なります。

Natural Neighbor では、内挿に利用するサンプル ポイントからボロノイ図（ボロノイ ポリゴン）を作成します（下図の緑色のポリゴン）。さらに、値を推定する各セル（下図の赤い星）において近隣のボロノイ ポリゴンとの位置関係によりボロノイ ポリゴンを構築します（下図のベージュ色のポリゴン）。この緑色とベージュのボロノイ ポリゴン同士の重複する面積の割合によってサンプル ポイントの値が影響する重みを決定します。

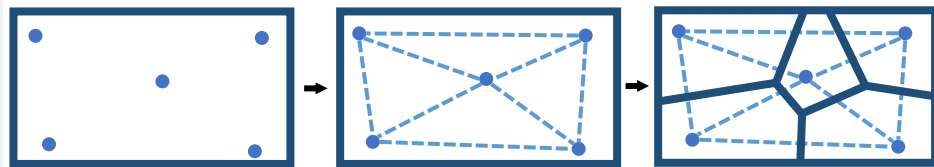


サンプル ポイントの
内側の範囲のみ補間



【ボロノイ図】…ある平面上に配置された複数の点（サンプル ポイント）に対して、同じ平面上の他の点がどのサンプル ポイントに近いかにによって領域分け（ボロノイ分割）された図

【ボロノイ分割】…隣り合うサンプル ポイント同士を結ぶ直線を引き（下図の点線）、その線の垂直二等分線を引いて（下図の実線）、それぞれの点の最近隣領域を分割する手法



また、最も外側に位置するサンプル ポイント同士をつないだ範囲がサンプル データから作成されるポリゴンの境界となります（この境界を Convex hull（凸包）といいます）。Natural

Neighbor 法は、Convex hull の範囲内のセル値のみを返し、サンプル データの外側のセルにおいて値を補間しません。そのため、必要なサーフェスの対象範囲よりも広い範囲のサンプル データを必要とします。

重要ポイント

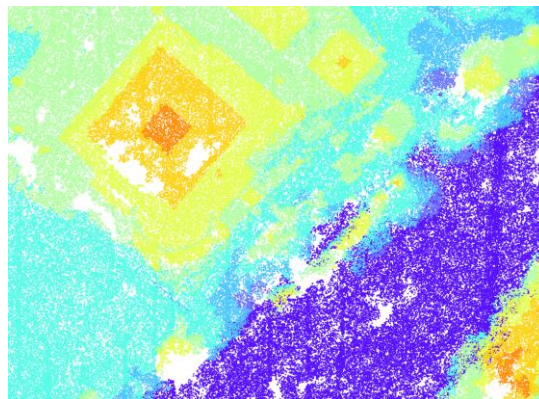
- ボロノイ図を作成し、その面積割合によって重みをつけて値を推定
- 偏ったサンプル データでも良好なサーフェスを作成
- 外挿は行われない（対象範囲よりも広い範囲のサンプル データが必要）



【外挿】… 既知のサンプル データを基に、データ範囲の外側の地点の予想値を求めること

Natural Neighbor に適したサンプル データ

高密度で大容量のサンプル データの内挿に向いています。たとえば、LiDAR データセットなど、大量に取得されたポイント データなどです。また、Natural Neighbor 以外の内挿法は大容量データセットの処理にはあまり向いていません。



参考文献

Sibson, R. "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation," chapter 2 in *Interpolating Multivariate Data*. New York: John Wiley & Sons, 1981. 21–36.
Watson, D. *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. London: Pergamon Press, 1992.

[Natural Neighbor] ツールのパラメーター設定の解説

ArcGIS の Natural Neighbor ツールの各パラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションです。

ジオプロセシング

Natural Neighbor

パラメーター | 環境

* 入力ポイントフィーチャ ①

* Z 値フィールド ②

* 出力ラスター ③

出力セル サイズ ④

実行

① 入力ポイント フィーチャ

内挿したい値を持つサンプル ポイント データ。ただし、入力データに含まれるポイント数が膨大 (約 1500 万以上) になると、ツールが結果を作成できなくなる可能性があります。

② Z 値フィールド

内挿したいデータが格納されたフィールド (数値型)

③ 出力ラスター

内挿結果のラスター データの出力先

④ 出力セル サイズ

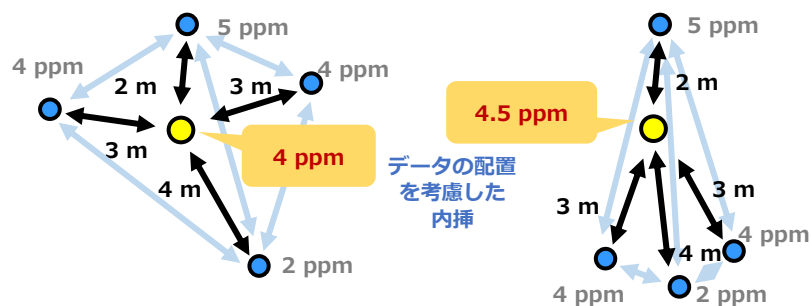
出力するラスター データのセルのサイズ

クリギング (Kriging)

概要

クリギングは、地質学の分野で発達してきた高度な地球統計学的手法で、データの空間的自己相関を考慮した統計的モデルに基づいて内挿を行います。サンプル ポイント同士の空間的な配置（ばらつき）を考慮することができるため、サンプル ポイントが空間的な自己相関をもち、距離または方向の偏りがある場合、クリギングが適しています。ちなみに、前出の IDW とはポイント同士の距離で重み付けする点で共通していますが、サンプル ポイント同士の空間的な位置関係を考慮する点で異なります。

地球統計学的手法（クリギング）



サンプル ポイントの空間的な配置も考慮するため、サンプル ポイントとの距離は同じでも、データの配置によって推定値が異なる可能性があります。



【地球統計学的手法】…サンプル ポイントの空間的自己相関を考慮した統計的モデルに基づく手法。

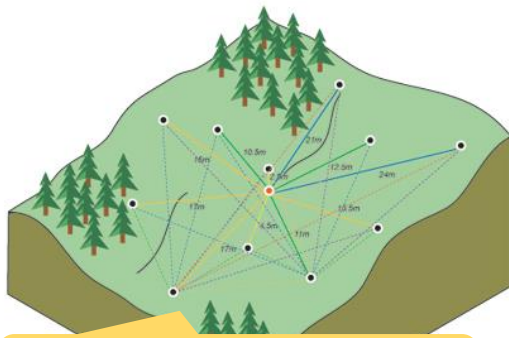
「[1 章—内挿の方法—地球統計学的手法](#)」で解説しています。

【空間的自己相関】…事物間の距離が近いほど強く関係し合うということ

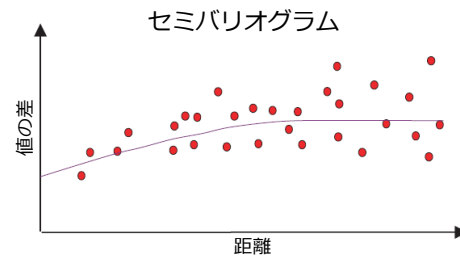
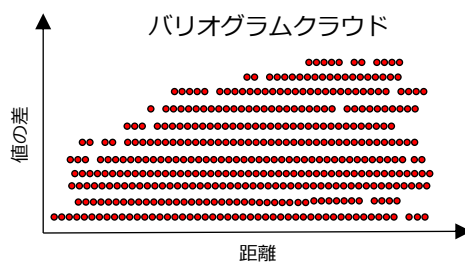
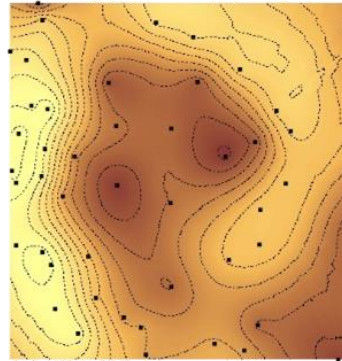
「[1 章—どうしても必要なの？ どう表現するの？—空間的な相関があるという前提](#)」で解説しています。

クリギングでは、最初にサンプル ポイントの空間的な自己相関をセミバリオグラムから推定し、次にサーフェスの値の推定を行います。この際の仕組みについて以下で説明します。

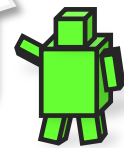
まず、サンプル ポイントの空間的な自己相関の推定をするために、サンプル ポイントからランダムに 2 つのポイントを選び、そのペアの値の差の二乗を計算してグラフにプロットし、バリオグラムを作成します。そして、距離の範囲を指定してポイントをグループ分けし、定義式（セミバリオグラム（距離 h ） = $0.5 * \text{平均}((\text{値}_i - \text{値}_j)^2)$ ）に基づいてセミバリオグラムを求めます。



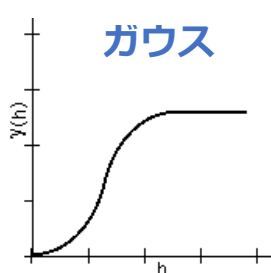
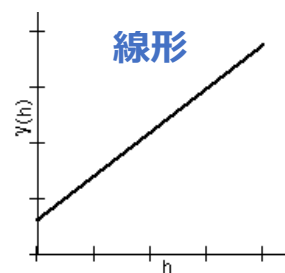
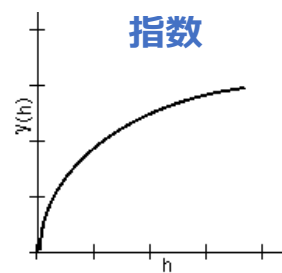
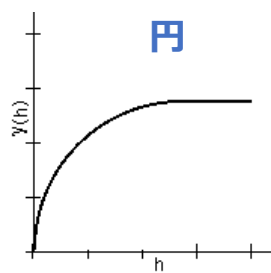
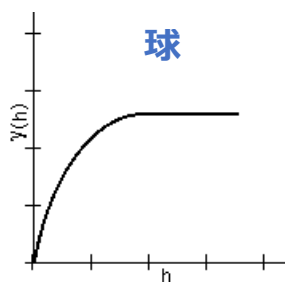
ランダムに2ポイント選び、ペアの値の差の二乗を計算してセミバリオグラムを作成

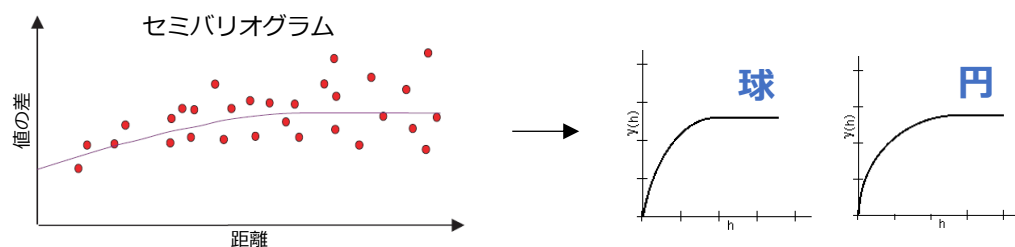


セミバリオグラムは、近くのものより遠くのものより似ているという地理の原則（空間的自己相関）を定量化します。ポイントのペアの距離が小さい（X 軸の左側）程、値は類似します（Y 軸の下側）。ペアの距離が大きい（X 軸の右側）ほど、値の類似性は低くなり、差の二乗の値が大きくなります（Y 軸の上側）。



次に、セミバリオグラムを構成するポイントをモデルで近似します。利用できるセミバリエーション モデルは以下の 5 つ（球、円、指数、線形、ガウス）です。この中から、どのモデルがデータに合うか検討します。





たとえば、上のセミバリオグラムの場合、ペア間の距離が大きくなるにつれて値の差も大きくなりますが、ある程度距離が離れると直線になり相関がなくなっていきます。球や円のモデルが適していると判断できます。



各モデルの数式は、以下のヘルプ ページで説明されています。

<https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

近似モデルを決定したら、データとモデル式を利用して推定したいポイントの値を求めることができます。クリギングでは、未計測地点の値を予測するために周囲のサンプル ポイントから加重を作成します。このとき、最も重みをつけるのは、最も近いところにあるサンプル ポイントです。この点は前出の IDW 法と同様です。

ただし、IDW では距離に基づいた単純なアルゴリズムを使用しますが、クリギングの加重は、データの空間的性質に着目して作成されたセミバリオグラムによって算出するため、セミバリオグラム、および近傍の計測値の空間的配置に基づいてセルの値の予測が行われます。



クリギングは、このトピックで説明した以上に空間的な統計の知識を必要とする複雑な処理です。使用する場合は、その原理を十分に理解し、入手したデータがこの手法でのモデリングに適しているかどうかを判断する必要がありますのでご注意ください。

重要ポイント

- サンプル データの外側の推定（外挿）にも強い
- パラメーターの設定等、ユーザーのハンドリングと統計の知識が必要
- 尾根・谷を生成可能



【外挿】… 既知のサンプル データを基に、データ範囲の外側の地点の予想値を求めること

クリギングに適したサンプル データ

サンプル データが少ない、測定値の精度が低いデータに向いています。たとえば、地質や大気データなどがあります。ただし、複雑な処理が必要のため、大量のデータを処理する場合は注意が必要です。



【クリギング】 ツールのパラメーター設定の解説

クリギングツールの各パラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションです。

ジオプロセッシング

クリギング (Kriging)

パラメーター | 環境

* 入力ポイントフィーチャ ①

* Z 値フィールド ②

* 出力サーフェスラスタ ③

セミバリオグラム プロパティ ④

クリギング手法 Ordinary

セミバリオグラムモデル Spherical

ラグサイズ

メジャー レンジ

部分シル

ナゲット

出力セルサイズ ⑤

検索範囲 ⑥ 可変

ポイント数 12

最大距離

出力 予測分散ラスタ ⑦

実行

Ordinary

Ordinary

Universal

Spherical

Spherical

Circular

Exponential

Gaussian

Linear

可変

可変

固定

① 入力ポイント フィーチャ

内挿したい値を持つサンプル ポイント データ。ただし、クリギングはコンピューターに負荷がかかります。ポイント数が膨大になるとその分負荷が増します。

② Z 値フィールド

内挿したいデータが格納されたフィールド（数値型）

③ 出力サーフェス ラスター

内挿結果のラスター データの出力先

④ セミバリオグラム プロパティ

★クリギング手法

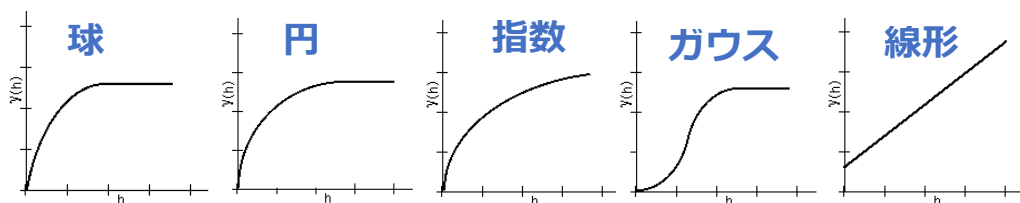
使用するセミバリオグラム モデルを選択します。通常型 (Ordinary) と普遍型 (Universal) があります。デフォルトは通常型で、5 種類のセミバリオグラム モデル（球、円、指数、線形、ガウス）から選択できます。一般的にはこちらを使用します。

普遍型は、データにトレンドがあることが判明しており、科学的根拠に基づいてそれを規定できる場合（卓越風など）にだけ使用します。利用できるモデルは 2 種類です。

★セミバリオグラム モデル（前出）

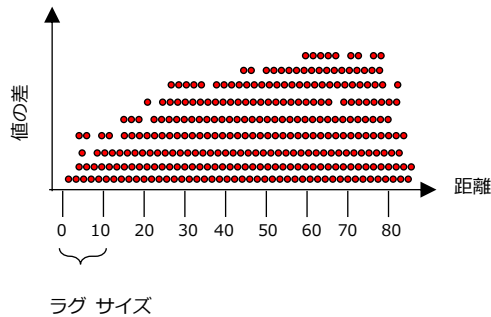
通常型 (Ordinary) モデルでは以下のセミバリオグラム モデルを使用できます。

- ・ Spherical— 球セミバリオグラム モデル（デフォルト）
- ・ Circular— 円セミバリオグラム モデル
- ・ Exponential— 指数セミバリオグラム モデル
- ・ Gaussian— ガウス分布（正規分布）セミバリオグラム モデル
- ・ Linear— 線形セミバリオグラム モデル



★ラグ サイズ

バリオグラム クラウドを特定の間隔で距離方向に平均化するときの間隔です。デフォルトは出力ラスタのセル サイズの半分です。



バリオグラムのポイントをラグ ビンにグループ化して（たとえばポイント間の距離が 40 より大きく 50 未満など）、平均化してセミバリオグラムを作成します。このときの距離の間隔をラグ サイズといいます。

★メジャー レンジ（レンジ）

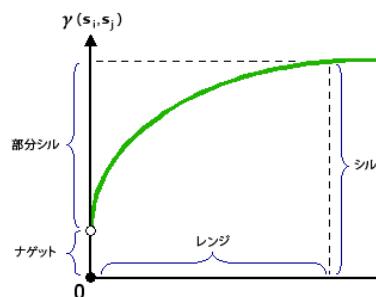
セミバリオグラム モデルが最初に横ばいになる（相関がなくなっていく）までの距離の閾値です。

★部分シル

セミバリオグラム モデルの距離がレンジに達したときの値（シル）からナゲットを引いた部分です。

★ナゲット

空間縮尺で検出できない誤差とばらつきを表します。理論的には距離が 0 のとき、セミバリオグラムの値は 0 ですが、差と呼べないほどの個別エラー、測定エラーなどの誤差により値を示す場合があります。



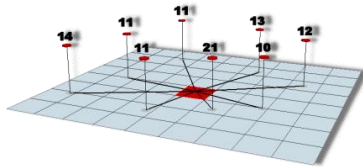
⑤ 出力セル サイズ

出力するラスタ データのセルのサイズ

⑥ 検索範囲

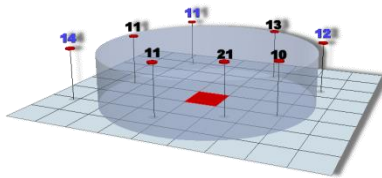
内挿に使用するポイントの範囲を定義する項目です。「可変」と「固定」の 2 つのオプションがあり、デフォルトの設定は「可変」です。

・**可変** … 使用する最近隣のサンプル ポイント数を指定する方法です。指定したサンプル数を取得するまで検索半径を広げます。デフォルトは 12 ポイントです。この際、最大距離を指定して検索を制限することもできます。



サンプル数 = 8 と指定
半径 = ? (サンプルを 8 取得するまでの範囲)

・**固定** … 検索範囲の半径を指定して、その中に含まれるサンプルを内挿に使用する設定です。デフォルトは出力セル サイズの 5 倍です。



サンプル数 = ? (半径内で検索)
半径 = 1000

⑦ 出力 予測分散ラスター

出力ラスターの各セルのクリギング分散が格納されます。予測分散ラスターの値が小さい = 予測値の信頼度が高いことを示します。値が大きい場合、信頼度が低くなります。より多くのデータが必要となる可能性があります。



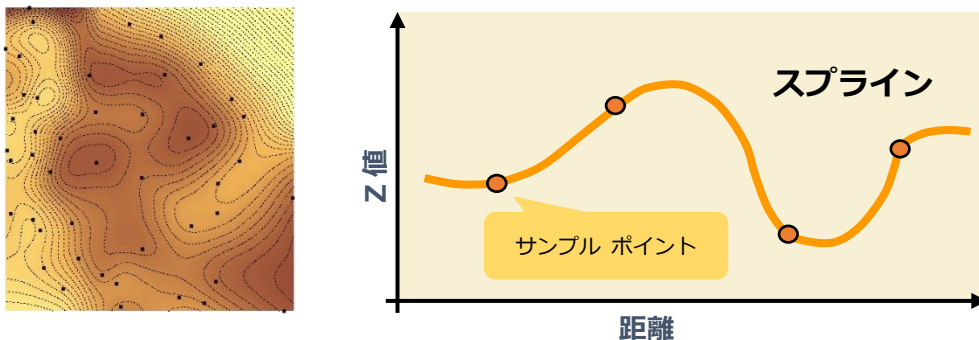
参考文献


- Burrough, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. New York: Oxford University Press. 1986.
- Heine, G. W. "A Controlled Study of Some Two-Dimensional Interpolation Methods." COGS Computer Contributions 3 (no. 2): 60 – 72. 1986. 60–72. 1986.
- McBratney, A. B., and R. Webster. "Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates." Journal of Soil Science 37: 617 – 639. 1986. 617–639. 1986.
- Oliver, M. A. "Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems." International Journal of Geographic Information Systems 4: 313 – 332. 1990. 313–332. 1990.
- Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. New York: Cambridge University Press. 1988.
- Royle, A. G., F. L. Clausen, and P. Frederiksen. "Practical Universal Kriging and Automatic Contouring." Geoprocessing 1: 377 – 394. 1981. 377–394. 1981.

スプライン (Spline)

概要

サンプル ポイントを必ず通り、サーフェス全体の曲率を最小化する数学関数を使用してセル値を推定する内挿手法です。入力ポイントを正確に通過する滑らかなサーフェスを生成できます。ゴムバンドのようにサンプルとサンプルの間をつないでいくため、滑らかなサーフェスとなります。標高、地下水面の高さ、汚染濃度など、変化が小さいサーフェスの生成に最適な手法です。ただし、外挿には向きません。

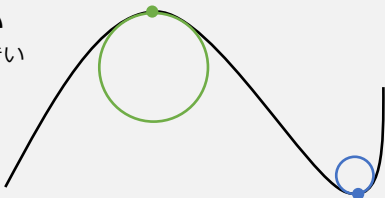




【曲率】…曲線や曲面のまがり具合のこと。曲線を局地的に円弧とみなしたときの円の半径を曲率半径といい、曲率半径の逆数が曲率です。

【逆数】…その数に掛け合わせると 1 になる数。例) 3 の逆数は $1/3$ 、 b/a の逆数は a/b

緩やかな曲線
 曲率：小さい
 曲率半径：大きい
 ↓
滑らかなサーフェス



急カーブ
 曲率：大きい
 曲率半径：小さい

重要ポイント

- サーフェス全体の曲率を最小化し、滑らかなサーフェスを作成
- サーフェスはサンプル ポイントを正確に通過する
- 外挿には向かない

スプラインに適したサンプル データ

緩やかに変化する事象を表現するのに適しているため、標高や地下水の水位、汚染の濃度などのデータを表現するのに向いています。また、サンプル値の信頼性が高いデータに向いています。

[スプライン] ツールのパラメーター設定の解説

ArcGIS の スプラインツールの各パラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションです。

① 入力ポイント フィーチャ

内挿したい値を持つサンプル ポイント データ。

② Z 値フィールド

内挿したいデータが格納されたフィールド（数値型）

③ 出力 ラスター

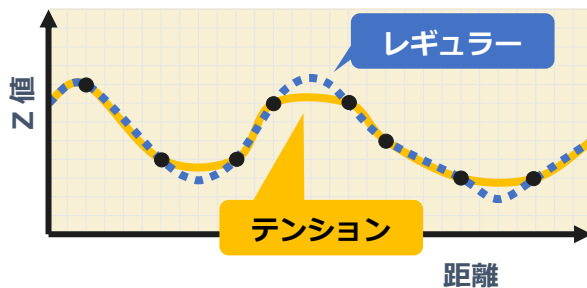
内挿結果のラスター データの出力先

④ 出力セル サイズ

出力するラスター データのセルのサイズ

⑤ スプラインの種類

「レギュラー」と「テンション」の 2 つがあります。レギュラーは尾根や谷を明確にし、滑らかなサーフェスを高速に作成しますが、サンプル データの範囲の外に値がある場合があります。一方、テンションは、モデル事象の特徴に基づいて内挿の堅さを調節します。サンプル データ範囲への制約が強く、レギュラーに比べて滑らかさは落ちます。



★加重

レギュラーの場合、最適な加重は 0 ～ 50 です。通常、0.001、0.01、0.1、0.5 が使用され、加重が大きいほど滑らかになります。テンションの場合、通常、0、1、5、10 が使用されます。加重が大きいほど粗いサーフェスができます。

★ポイント数

曲線の局所の近似の際に使用されるポイント数です。デフォルトは 12 です。ポイント数が大きいほど離れたポイントからも影響を受けることになるので、局所的な偏りが均され、よりスムーズなサーフェスが作成されます。



参考文献

Franke, R. 1982. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. Computer and Mathematics with Applications. Vol. 8. No. 4. pp.273–281. Great Britain.

Mitas, L., and H. Mitasova. 1988. General Variational Approach to the Interpolation Problem. Computer and Mathematics with Applications. Vol. 16. No. 12. pp.983–992. Great Britain.

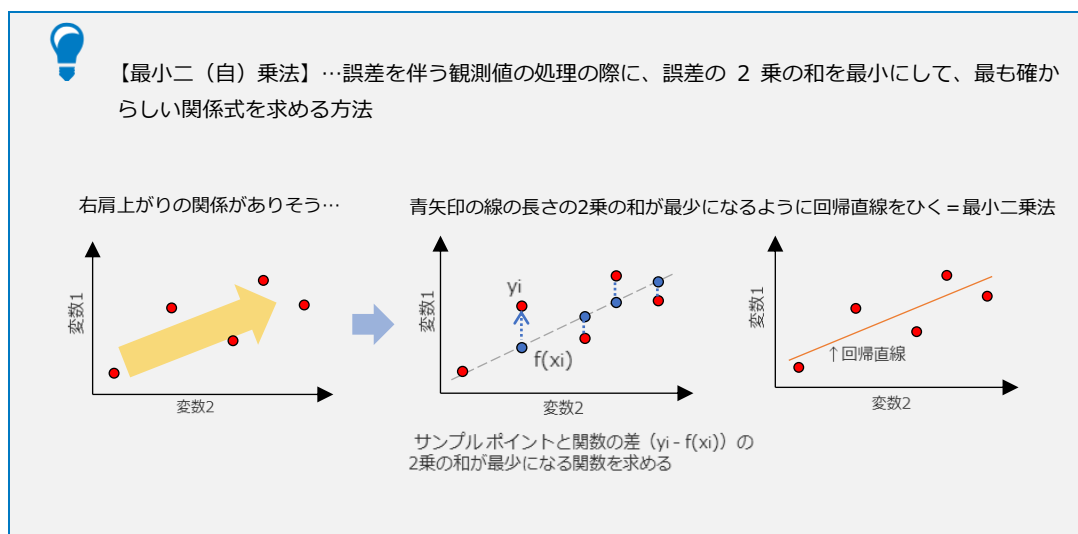
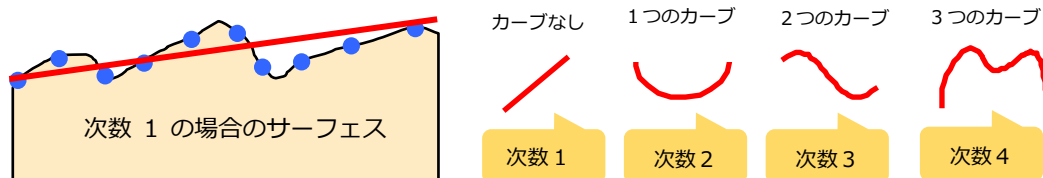
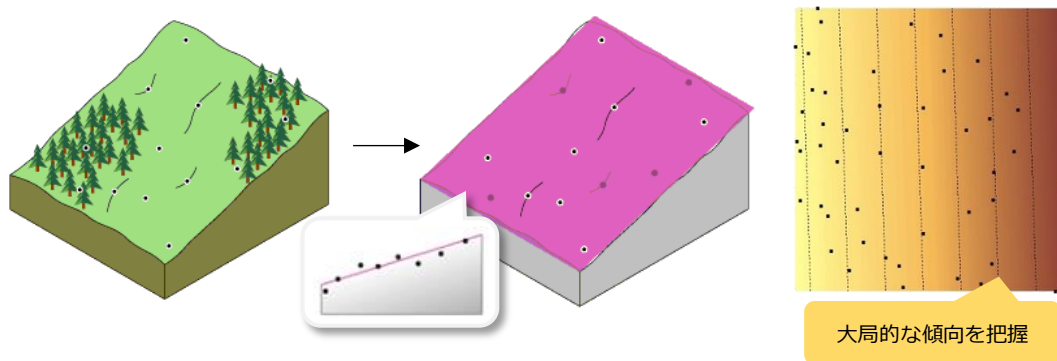
トレンド (Trend)

概要

トレンドは、最小二（自）乗回帰の近似を使用して、すべてのサンプル ポイントをひとつの多項式にフィットさせます。サンプル データの値に沿うように一枚の紙をかぶせるイメージです。多項式の次数の設定によって、サーフェスのカーブの数を制御することができます。

内挿したサーフェスの推定値とサンプルの実測値の差は可能な限り小さくなりますが、一致することはほとんどありません。このため、データの全体的な傾向を把握したいときに適しています。

すべてのデータの値にフィットするように一枚の紙（下図ピンクの面）をかぶせるイメージ



重要ポイント

- 全サンプルを1つの多項式サーフェスにフィット
- 大局的な傾向を把握

トレンドに適したサンプル データ

地域間でサーフェスが緩やかに（徐々に）変化する事象を内挿するのに適しています。工業地帯での大気汚染などです。また、長期間にわたる効果の検証にも利用できます。

[トレンド] ツールのパラメーター設定の解説

ArcGIS のトレンド ツールの各パラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションです。

The screenshot shows the 'ジオプロセッシング' (Geoprocessing) window with the 'トレンド (Trend)' tool selected. The 'パラメーター' (Parameters) tab is active. The parameters are as follows:

- * 入力ポイントフィーチャ (Input point feature): [Empty dropdown]
- * Z 値フィールド (Z-value field): ① [Empty text box]
- * 出力ラスター (Output raster): ② [Empty text box]
- 出力セルサイズ (Output cell size): ③ [Empty text box]
- 多項式の次数 (Polynomial degree): ④ [Text box containing '1']
- 回帰分析の手法 (Regression method): ⑤ [Dropdown menu showing 'リニア' (Linear)]
- 出力 RMS ファイル (Output RMS file): ⑥ [Empty text box]

A callout box for the '回帰分析の手法' (Regression method) dropdown shows the following options:

- リニア (Linear)
- リニア (Linear)
- ロジスティック (Logistic)

The '実行' (Execute) button is at the bottom right.

① 入力ポイント フィーチャ

内挿したい値を持つサンプル ポイント データ。

② Z 値フィールド

内挿したいデータが格納されたフィールド（数値型）

③ 出力 ラスター

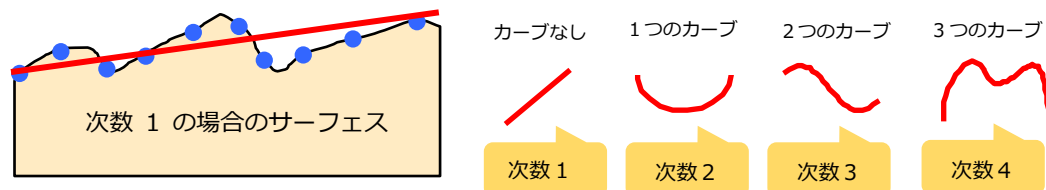
内挿結果のラスター データの出力先

④ 出力セル サイズ

出力するラスター データのセルのサイズ

⑤ 多項式の次数

次数の設定によって、データにフィットさせる多項式の複雑さを制御できます。デフォルトは「1」で、よく使用される次数は1～3です。次数が大きくなるにつれ、より複雑なサーフェスを生成しますが、高次多項式が最も正確なサーフェスを生成するわけではないことに注意しましょう。⑦で出力される RMS エラーが低いほど、最も誤差が少ないことを表します。



⑥ 回帰分析の手法

★リニア

多項式回帰分析を実行して、最小二乗サーフェスで入力ポイントを近似します。この方法は連続したデータ タイプに適用できます。

★ロジスティック

サンプル データが特定の現象の有無を確率として予測する場合に適しています（たとえば、絶滅危惧種が生存している/生存していないなど）。サンプル データは 1 か 0 の Z 値を持ちます。ロジスティック タイプでは、セル値に基づいて 1 ～ 0 までの連続した確率グリッドを作成します。

⑦ 出力 RMS ファイル

サンプル データ内の位置の値と、内挿したラスター サーフェスの同じ位置の値とを比較して得られた誤差が RMS エラー ファイルに保存されます。この RMS 誤差が最小になるように次数の値を設定することで、誤差の少ない結果を得ることができます。

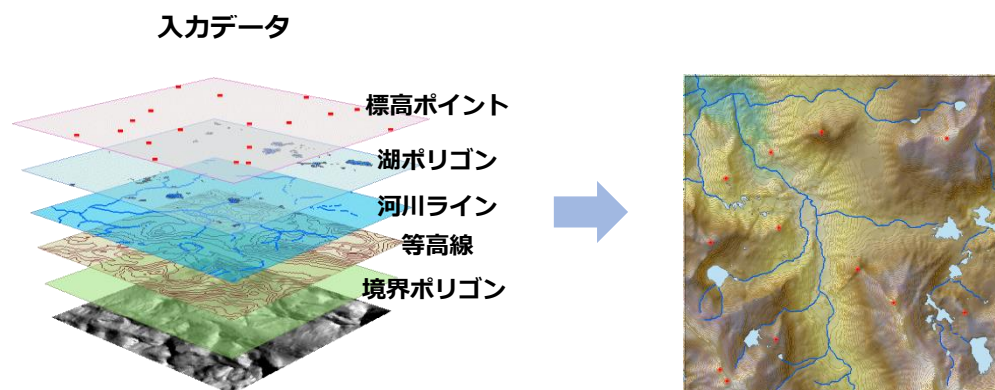
トポ → ラスター

概要

地形に関する情報（標高、等高線、河川、窪地など）を利用して、水文学的に正しい標高データを内挿する方法です。

多くの場合、地形は水の浸食作用によって形作られるため、高地が数多く存在し、逆に窪地はほとんどありません。そのため、連続する排水パターンを得ることができます。トポ → ラスターでは、この情報を内挿処理のプロセスに使用して、連続する流路構造、および尾根と河川を正確に表します。排水条件を加えることで、少ない入力データで精度の高いサーフェスを得ることができます。

入力データとして利用できるのは、「標高（ポイント）」「コンター（ライン）」「河川（ライン）」「シンク（ポリゴン）」「境界（ポリゴン）」「湖（ポリゴン）」「崖（ライン）」「海岸（ライン）」「除外（ポリゴン）」の 9 タイプです。トポ → ラスターは、ArcGIS の内挿手法の中で、唯一等高線（コンター）の入力が可能な内挿手法です。



地形に関するさまざまな情報から、水文学的に正しい標高データを作成するように設計されています。



重要ポイント

- 水文学的に正しい標高サーフェスを作成
- さまざまなデータ ソースの用意が必要

[トポ → ラスター] ツールのパラメーター設定の解説

ArcGIS の トポ → ラスターツールの主要なパラメーターについて説明します。赤い * 印は必須項目、それ以外はオプションです。

The screenshot shows the 'ジオプロセッシング' (Geoprocessing) window with the 'トポ → ラスター (Topo to Raster)' tool selected. The 'パラメーター | 環境' (Parameters | Environment) tab is active. The dialog is divided into several sections with callouts explaining key parameters:

- ① 入力フィーチャデータ (Input Feature Data):** This section is marked with a red asterisk (*). It includes a 'フィーチャレイヤー' (Feature Layer) dropdown, a 'フィールド' (Field) text box, and a 'タイプ' (Type) dropdown. A callout box lists the available types: ポイントの標高 (Point Elevation), コンター (Contour), 河川 (River), シンク (Sink), 境界 (Boundary), 湖 (Lake), 崖 (Cliff), 除外 (Exclude), and 海岸 (Coastline).
- ② 排水方法 (Flow Direction):** This dropdown menu is set to '強制' (Forced). A callout box shows the options: 強制 (Forced), 強制しない (Do not force), and シンクで強制 (Force at sink).
- ③ 入力データの主要タイプ (Input Data Main Type):** This dropdown menu is set to 'コンター' (Contour). A callout box shows the options: コンター (Contour) and スポット (Spot).

Other parameters visible in the dialog include:

- 出力サーフェス ラスター (Output Surface Raster):** A text box for the output raster name.
- 出力セル サイズ (Output Cell Size):** A text box for the output cell size.
- 出力範囲 (Output Extent):** A dropdown set to 'デフォルト' (Default), with input fields for X and Y coordinates (all set to 0).
- セルの余白 (Cell Padding):** A text box set to 20.
- 内挿に使用する最小 Z 値 (Minimum Z Value for Interpolation):** A text box.
- 内挿に使用する最大 Z 値 (Maximum Z Value for Interpolation):** A text box.
- 処理の最大反復回数 (Maximum Number of Iterations):** A text box set to 20.
- 粗さのパナルティ (Roughness Penalty):** A text box.
- 断面曲率粗さのパナルティ (Cross-section Curvature Roughness Penalty):** A text box.
- 離散化誤差ファクター (Discretization Error Factor):** A text box set to 1.
- 垂直方向標準誤差 (Vertical Direction Standard Error):** A text box set to 0.
- 許容値 1 (Tolerance 1):** A text box set to 2.5.
- 許容値 2 (Tolerance 2):** A text box set to 100.

The '実行' (Execute) button is at the bottom right.

① 入力フィーチャ データ

内挿の際に利用する地形に関連するデータを追加します。コンター、標高ポイント、シンク、河川、湖、境界、崖、除外、および海岸ポリゴンの 9 つのタイプを指定できます。妥当な数の入力を、必要なだけ使用できます。入力の順序は結果に影響しません。

データ タイプ	定義
コンター	高さの値が格納されたフィールドを持つライン データ
標高ポイント	高さの値が格納されたフィールドを持つポイント データ
窪地	窪地の位置を表すポイント データ。データセットに窪地の標高値が含まれている場合はフィールド名を [アイテム]、窪地の位置だけ使用する場合は [NONE] を指定します。
河川	流れの方向を持つライン データ。高さの値は必要ありません。
湖	湖の位置を指定するポリゴン データ。高さの値は必要ありません。
境界線	境界ポリゴン データ。高さの値は必要ありません。
崖	崖のライン データ
除外	入力データを無視するエリアの除外ポリゴン データ
海岸	海岸エリアのアウトラインを含む海岸ポリゴン データ

② 排水方法

強制的な排水を行うかどうかを設定します。設定すると、すべてのシンクを除去して、水文学的に正しい DEM を作成できます。

★強制

窪地が実在するかどうかにかかわらず、見つかったものをすべて除去しようとします。これがデフォルトです。

★強制しない

窪地は平滑化されません。

★シンクで強制

入力フィーチャ データで窪地として指定されたポイントは既知の窪地を表します。①で指定されていない窪地は偽の窪地とみなされ、平滑化しようとします。

③ 入力データの主要タイプ

①の入力フィーチャ データでの主な標高データ タイプです。関連するタイプを選択することで、河川と尾根の生成中に使用される検索方法が最適化されます。

★コンター

入力データの主なタイプが標高コンターの場合

★スポット

入力の主なタイプがポイントの場合



[トポ → ラスター] ツールのオプション設定でパラメーター ファイルを出力しておくことで、ツールの実行時に使用されたすべての入力とパラメーターの一覧を [トポ → ラスター (ファイルによる定義)] ツールでを使用して、内挿を再度実行することができます。

フローチャートで最適な内挿法を見つけよう！

ご自身のデータに合う内挿手法は見つかりましたか？「手法は理解できたけど、結局どれがいいの？」という方のために、IDW、Natural Neighbor、クリギング、スプラインからデータに適した手法を選べるフローチャートを用意しました。サンプル データの特徴をもとに、フローチャートの質問に「はい」か「いいえ」で答えて最適な内挿法を見つけましょう。

はい → いいえ

START!!

Q. サンプル データに空間的なばらつきはありますか？

はい

いいえ

IDW
— 標高など

Q. データ量が多いですか？

はい

いいえ

Natural Neighbor
— LiDAR など

Q. データの測定値の信頼性は高いですか？

はい

いいえ

スプライン
— 標高、気温など

クリギング
— 地質、大気など

その他

水文学的に正確な地形データが必要なときは**トポ → ラスター**
データの大局的な傾向を把握したいときは**トレンド**



内挿法の決定には、データの特徴だけでなく、適用分野や解析内容などを総合的に判断する必要があります。フローチャートの結果が必ずしも適しているとは限らないことに注意してください。



第 4 章 用語集

用語

ここでは、本資料中で使用した用語や、関連する用語をまとめています。弊社ホームページに掲載している「[GIS 基礎解説](#)」やサポート サイト（要ログイン）の「[ArcGIS 関連用語集](#)」などでも用語を分かりやすく解説していますので、ご参考ください。

英数字

ArcGIS 3D Analyst

ArcGIS の機能を拡張するエクステンション製品。複数のサンプル データからの地形の作成、3D 解析の実行、複数のデータを使用したリアルな景観の作成、3D のナビゲーション操作とアニメーション作成などの機能を提供する。

ArcGIS Spatial Analyst

ArcGIS の機能を拡張するエクステンション製品。空間モデリングおよび解析機能を備え、セル ベースのラスター データの作成、検索、マッピング、解析と、ベクターとラスターを統合した解析を実行することが可能。

DSM

Digital Surface Model の略。数値表層モデルとも呼ばれ、地表面に加えて地表面上の地物（植物や建物など）も含んだ高さを表現したデータモデル。

DTM

Digital Terrain Model の略。数値地形モデルとも呼ばれ、地表面の高さを表現したデータモデル。DEM と同義で使用されることもある

IDW

Inverse Distance Weighted の略。重み付けされた一連の測定点からラスターのセル値を推定する内挿手法の 1 つ。セルから離れた測定点ほど、セル値の計算に影響を与えないように重み付けされる。

LIDAR

Light Detection And Ranging の略。レーザーを照射し反射する地表面までの距離を計測するリモートセンシング技術

Natural Neighbor

ドローネ三角形分割法を使用した多変量データの内挿法。内挿ポイントの値は、三角形の最も近い周辺ポイントのウェイト値に基づいて推定される。

RMS エラー

Root Mean Square（二乗平均平方根）の略。既知の位置と補間された位置との間における誤差の測定値。

TIN

地理空間を隙間なく且つ重ならない三角形に分割するベクター データ構造。各三角形の頂点は、X 値、Y 値、Z値を持ち、ドローネ三角形を形成するラインによって接続される。TINは、サーフェス モデルの格納と表示に使用される。

X、Y 座標

原点 (0,0) からの水平軸 (X) と垂直軸 (Y) の2つの軸に沿った距離を表す値の組み。地図上では、X、Y 座標は地球の球面上の地物を表すために使用される。

Z 値

1. ジオメトリの頂点の高さを表す値
2. ラスター、TIN、テレイン、LAS データセットなどのサーフェスにおいて、特定の属性の量や密度（例：標高、大気汚染物質の濃度）を Z 軸に表した値。

かな

ウェイト

特定の演算における変数の重要度を示す数値。重みとも言う。変数に割り当てられているウェイトが大きいほど、その変数の計算結果への影響が大きくなる。

エクステンション

ArcGIS において、専門的なツールと機能を追加するオプションのソフトウェア。ArcGIS Spatial Analyst、ArcGIS Network Analyst、ArcGIS 3D Analyst などがある。

オーバーレイ

複数の空間データ（レイヤー）を重ね合わせ、重なり合う部分において結合、削除、変更、または更新して、新しいデータを生成すること。

空間的自己相関

一連の空間フィーチャとそれらの関連デー

タ値が空間内に密集（正の空間的自己相関）または分散（負の空間的自己相関）する度合いを示す尺度。

クリギング

重み付けされた一連の測定点からラスターのセル値を推定する内挿手法の 1 つ。クリギングはデータの空間的なばらつきがサーフェスにわたって均等であると仮定するように重み付けされる。

サーフェス

標高や気象、地質など、地上にある何らかの属性の分布を表すもの。通常は、連続する属性に関連付けられる。

最近隣内挿法

最も近くにあるセルの値に基づいて、新しいセル値を計算するラスター データのリサンプリング手法。入力ラスター データセットのセルの値をそのまま使用するため、分類データや整数データ（土地利用、土壌、森林タイプなど）、あるいは（リモート センシング画像などの）放射量のリサンプリングによく使用される。

スプライン内挿

サーフェス全体の曲率を最小化する数学関数を使用してセル値を推定し、入力ポイントを正確に通過する滑らかなサーフェスを生成する内挿手法の 1 つ。

セミバリオグラム

バリオグラムを2分割したもの。

セル

1. ラスター データの情報の最小単位（通常

は正方形)。GIS データでは、セルはそれぞれ平方メートルや平方マイルなどの単位で地表の一部分を表し、値（例：標高値、土壌タイプ、植生クラスなど）を持つ。

2. ピクセル。

外挿

ある特定の範囲内の既存データから、範囲外の値を予測すること。

ティーセン ポリゴン

隣り合うポイント間を結ぶ直線に垂直二等分線を引き、各ポイントの最近隣領域を分割した図。一般的には、ボロノイ図と呼ばれるが、地球物理学や気象学で（降雨量測定のような）空間分布データの解析に用いられるボロノイ図のことをティーセン ポリゴンと呼ぶ。

ドローネ三角形分割法

ポイント データから隙間が無く且つ重複しない三角形群を作成する手法のことで、各三角形の外接円の内側には、ポイント データは含まれない。

内挿

周囲のポイントの既知の値に基づいて、未知のポイントの値を推定すること。標高値、降雨量、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される。

バリオグラム

空間データにおいて「近接している地点の値は近い」という性質を表しているグラフ。分散グラフとも呼ばれる。バリオグラム モデルのパラメーター推定は、クリギングに用い

られる。

ボロノイ図

隣り合う母点間を結ぶ直線に垂直二等分線を引き、各母点の最近隣領域を分割する手法。たとえば、すべての店舗の位置に基づいて、各店舗に最も近い商圈を定義できる。ウクライナの数学者の名前から付けられた。

ラスター

行列形式で配置され、シングル バンドまたはマルチ バンドで構成された同一サイズのセルの配列として空間を定義する空間データモデル。各セルには属性値が格納される。座標を明示的に格納するベクター構造とは異なり、ラスターの座標は行列の順序で構成される。同じ値を有するセルのグループによって、同じ種類の地物や事象が表現される。サーフェスのデータ ソースにもなる。

リサンプリング

ラスターを新しい座標空間またはセル サイズに変換するときに新しいセル値に補間する処理。