歴史からひもとく、GISのデータモデルと地図表現

ESRIジャパン株式会社
羽田 康祐 (@kohsuke_hada)

© 2024 Esri Japan Corporation

アジェンダ

- 今やGISは「デジタル地図」や「地図情報」と名前は異なるものの当たり前のようにICTで利活用される時代となりました。一概に「地図」といってもさまざまな種類がありますが、地図を最適な形で表現するためには、一定のセオリーがあり、それは先人たちによって考えられてきました。本セッションでは、地図とGISの歴史を振り返りながら、GISで利用されているデータ形式や地図表現についてお話します。

© 2024 Esri Japan Corporation

「GIS」を扱うさまざまなソフトウェア／サービス

- 商用／非商用を問わずさまざまなソフトウェア／サービスが登場

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史：【SAGE（セージ）】

- “半自動式防空完成組織” の頭文字
- 1953年米国空軍によって開発
- レーダー上の飛行物体を識別する対話型コンピューター グラフィックス
- GIS の起源にあたる

https://ja.wikipedia.org/wiki/Sage

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史： 地図の自動図化

- 世界で初めて「地図の自動図化」論文提出（1959年）
  - 地理学者 ワルド・トブラー (1930-2018)
  - 1990年代まで、コンピューターで描くことを「自動図化」と呼んでいた

- 【XYプロッター】
  - 機械にペンを取り付けて作図
  - 図は XY座標で管理
    →ベクター モデル

https://ja.wikipedia.org/wiki/プロッター

Waldo R. Tobler
(1930 - 2018)

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史：”GIS” の誕生

- カナダ地理情報システム(CGIS)（1962年）
  - 地理学者 ロジャー・F・トムリンソン (1932-2014) が主導して開発
  - カナダの森林資源を管理するシステム
  - 1962年に提案、1964年に開発承認
    1960年代後半に完成

- 「GIS」という言葉が誕生
  - ジオグラファーがGISの名付け親
  - 【GISの父】

Roger F. Tomlinson
(1933 - 2014)

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史：Esri

- 1969年にジャック・デンジャモンドがローラ夫人とともに設立
  - 後述のハーバード大学コンピューターグラフィックス空間解析研究所で修士号を取得（ミネソタ大学とのダブルマスター）
- 1981年に<u>世界初の商用GIS</u>【 ARC/INFO 】を開発

Jack Dangermond
（1945 - ）

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史：日本の GIS 発展の契機となった主な事件

- 天六ガス爆発事故 (1970)
  - 地下鉄工事でガス管敷設が未考慮

https://www.47news.jp/7632400.html

- 阪神・淡路大震災 (1995)
  - 初動対応で GIS が活用できず

https://weathernews.jp/s/topics/202001/150185/

© 2024 Esri Japan Corporation

GISの歴史：【地理空間情報活用推進基本法】

- 震災の反省から、「地理情報システム関係省庁連絡会議」が発足（1995）
- 「基盤形成期」（1996-1998）
- 「普及期」（1999-2002）
- 「発展期」（2002-）
- 「GISアクションプログラム2002-2005」（2002-2005）
- 「GISアクションプログラム2010」（2006-2010）
- 2007年に「地理空間情報活用推進基本法（通称 NSDI法）」が施行（唯一“地理”を冠した法律）
  - 行政から無償・安価な GISサービスの提供
  - 準天頂衛星システム（みちびき）の稼働　などの根拠法
- 2022年3月、新たな「地理空間情報活用推進基本計画」が閣議決定

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS データ モデル

© 2024 Esri Japan Corporation

“GIS”ソフトウェアで地図を描く

© 2024 Esri Japan Corporation

拡大（編集モードによる頂点の表示）

© 2024 Esri Japan Corporation

地図“画像”

© 2024 Esri Japan Corporation

拡大（ピクセル）

© 2024 Esri Japan Corporation

【属性（テーブル）】

My Project
プロジェクト
マップ
挿入
解析
表示
編集
画像
共有
国内データ
ヘルプ
フィーチャ レイヤー
ラベリング
データ
コンテンツ
描画順序
マップ5
都道府県
地形図 (World Topographic Map)
陰影起伏図 (World Hillshade)
ポップアップ
Explore ツールでビュー内のアイテムを選択します。
ウラジオストク
日本海
黄海
1:17,121,488
161.5156985°E 41.7189925°N
都道府県
フィールド: 追加 計算
選択セット: 属性条件で選択 ズーム 切り替え 解除 削除 コピー
OBJECTID * | Shape * | 都道府県 | 都道府県番号(文字) | Shape_Length | Shape_Area | 都道府県番号(数値)
1 | 1 | ポリゴン | 北海道 | 01 | 42.194553 | 9.281541 | 1
2 | 2 | ポリゴン | 青森県 | 02 | 9.408546 | 1.027645 | 2
3 | 3 | ポリゴン | 岩手県 | 03 | 9.409732 | 1.601904 | 3
4 | 4 | ポリゴン | 宮城県 | 04 | 9.956494 | 0.751688 | 4
5 | 5 | ポリゴン | 秋田県 | 05 | 7.533571 | 1.223167 | 5
6 | 6 | ポリゴン | 山形県 | 06 | 5.788818 | 0.962463 | 6
7 | 7 | ポリゴン | 福島県 | 07 | 7.628956 | 1.401462 | 7
0/47 が選択されました
カタログ
プロジェクト ポータル コンピューター お気に入り
マップ
ツールボックス
Notebook
データベース
レイアウト
スタイル
サーバー
タスク
フォルダー
My Project
raster-sample
SpatialData
Basic
BasicBasemap.gdb
Japan
Background_Japan
City
Japan
PrefecturalCapital
Prefecture
Prefecture_SinglePart
Sea_ContiguousZone
Sea_EEZ
Sea_EEZ_Line
Sea_Territorial
World
Earth5km
Geoid
GTOPO30
Statistics_Japan_ver821
BasicBasemap.geodatabase
Temp.gdb

【地理行列（geographic matrix）】

- ブライアン・J・L・ベリーが 1964年に発表
- リレーショナルデータベース構築のヒントにもなった

Brian Joe Lobley Berry
（1934 - ）

© 2024 Esri Japan Corporation

ベクターとラスターはどちらが先か？

© 2024 Esri Japan Corporation

ベクター形式とラスター形式の構造

拡大してもなめらか

拡大するとギザギザ※

※リサンプリング方法による

図：羽田康祐 (2021)『地図リテラシー入門－地図の正しい読み方・描き方がわかる』ベレ出版 より引用

© 2024 Esri Japan Corporation

ベクター形式とラスター形式の起源

- 【ベクター】
  - ヴァルカモニカの岩絵群
    - 現存する世界最古の地図 (B.C.1500年頃)
  - ユークリッド幾何学『原論』
    - B.C.3世紀頃
- 【ラスター】
  - ラスタースキャン（走査）
  - ニプコー円板 (1884年)
  - ブラウン管（1897年）
  - 熊手 (rastum) が語源

ブラウン管

https://ja.wikipedia.org/wiki/ヴァルカモニカの岩絵群

© 2024 Esri Japan Corporation

ベクターが先

- 【スパゲティー モデル】
  - スパゲティーのように単純なベクター モデル
  - データ構造が単純
  - データ構造が重複（境界線）
  - 通常は属性を持たない

第１図　ペーキットの空間データモデル

（Cartographica 21 p. 65より）

確井照子 (1995)「GIS研究の系譜と位相空間概念」人文地理第47合6号 p.57 より引用

© 2024 Esri Japan Corporation

【トポロジー（位相）】 モデル

- 境界線を共有している線分をデータ構造で管理
- 接する・重なるなどの【空間分析】が可能
- データ容量が軽減
- データ構造が複雑

https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-39940-9_431

© 2024 Esri Japan Corporation

トポロジ データ モデル

- 1967年 米国国勢調査局
  - DIME (Dual Independent Map Encoding)
- 米国国勢調査局
  - TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing)

© 2024 Esri Japan Corporation

【カバレッジ】

すごいフォーマットだが
当初は対応するハードウェアが高価

- 位相構造が明示的に管理された、ベクター GIS フォーマット
- “ARC/INFO” で使用されていたが、”ArcInfo” 8 (ArcMap) の登場でジオデータベースに役目を引き継いだ
  - トポロジ明示型から暗示型へ
  - カバレッジの編集機能は ArcMap 8.2 が最後

道路番号	X,Y 座標
1	2,12 6,12
2	6,12 10,10 14,10
3	6,6 6,12
4	3,2 6,4 6,6
5	6,6 10,6
6	10,6 14,6
7	10,2 10,6

道路番号	道路タイプ	サーフェス	幅	車線	名前
1	1	コンクリート	60	4	高速 42 号
2	1	コンクリート	60	4	高速 42 号
3	2	アスファルト	48	4	北本通り
4	2	アスファルト	48	4	北本通り
5	3	アスファルト	32	2	杉並通り
6	3	アスファルト	32	2	杉並通り
7	4	アスファルト	32	2	桜街道

© 2024 Esri Japan Corporation

【シェープファイル (Shapefile)】

“ファイル” も含めて固有名詞

「シェープファイルを添付してください」

- 1994?年に Esri社が開発した GIS データ フォーマット
  - ベクター形式
  - 複数のファイル (.shp/.shx/.dbf) で 1 つのデータを構成
  - バイナリー形式だが仕様が公開されているので多くのソフトウェアに採用された
  - いまだにデファクト スタンダードだが開発時期が古い
- よく「シェープ形式 (Shape format)」とか言われるが正しくは「シェープファイル」

https://bit.ly/3Vcsb1L

複数ファイルで1つのシェープファイルとして認識

参考
https://arcg.is/3wMUZ7
J

© 2024 Esri Japan Corporation

【ジオデータベース】

「ジグラフィック」＋「データベース」

- 1999年にEsri社がシェープファイルに代わる新しいフォーマットとして策定
  - リレーショナル データベースの構造を持つ
    - 汎用的なデータベース上にも実装できた
  - ベクター形式、ラスター形式の両方が扱える
  - パーソナルからエンタープライズまで幅広い用途に対応
  - 当時は Esri社のソフトウェアでしか扱えなかったが、2011年からファイル フォーマットにアクセスするための API を公開
    https://github.com/Esri/file-geodatabase-api
- 一部では「ハイブリッド トポロジ データ モデル」とも呼ばれる

© 2024 Esri Japan Corporation

【 GeoJSON 】と【TopoJSON】

テキスト形式で利用可能

- JSON 形式で空間データを描くためのGIS データ フォーマット
- 【GeoJSON】
  - 2007年にユーザーグループで考案され2008年に仕様が決定
  - 2016年に規約化 (RFC 7946)
- 【TopoJSON】
  - 2013年にd3.js 作者の
    マイク・ボストックが考案 (v.1)
  - GeoJSON の冗長な構造を整理

```
Origine_Point
   "coordinates": [0,0]

Under_Point
   "coordinates": [0,-1]

Under_LineString
   "arcs": [3]

Left_Polygon
   "arcs": [[0,1]]

Right_Polygon
   "arcs": [[2,-1]]

"arcs":[
   [[1,2],[0,-2]],
   [[1,0],[-1,0],[0,2][1,0]],
   [[1,2],[1,0],[0,-2],[-1,0]],
   [[0,-1],[2,0]]
   ]
```

© 2024 Esri Japan Corporation

ラスター モデルの登場

- ベクター モデルの課題
  - データ構造が複雑で操作できる人材育成が大変だった
  - 当時のマシン スペックでは大容量処理ができなかった

- 「SYMAP」(1964年)
  - ハワード・T・フィッシャー を中心に開発
    - ハーバード大学コンピューターグラフィックス空間解析研究所 所長

Howard T. Fisher
(1903 - 1979)

Proximal SYMAP

Trend Surface SYMAP

© 2024 Esri Japan Corporation

ラスター モデルの欠点

- ラスター モデルはシンプルなデータ構造だが、グリッド セルの大きさによって地物が正確に捉えられなかった

図：羽田康祐 (2021)『地図リテラシー入門－地図の正しい読み方・描き方がわかる』ベレ出版 より引用

© 2024 Esri Japan Corporation

非位相構造
（シェープファイルなど）

【シンプル フィーチャ】

マップ編集

© 2024 Esri Japan Corporation

【位相】
（マップ トポロジ、ジオデータベース トポロジ）

【トポロジ データ モデル】

- 位相構造が定義されているため、境界線が判定できる
- 当初のフォーマットは位相構造を明示的に保持していた
  - カバレッジ
  - DIME、TIGER、など
- 最近は論理演算
  - ジオデータベースのフィーチャクラス（ハイブリッド）
  - STIMS、など

＜トポロジ編集＞

© 2024 Esri Japan Corporation

【ArcIMS】

- ArcGIS Enterprise (ArcGIS Server) の先駆け
  - ArcIMS: 2000/05 (3.0)~ 2012/12 (9.3.1)
- ラスター 配信
  - サーバー側で地図画像を生成して配信
- ベクター 配信
  - ベクターデータを配信して
    クライアントで描画
  - Javaアプレット
- マップ キャッシュの機能がなかった

Geography Network Japan (2005～2012)

© 2024 Esri Japan Corporation

【マップ タイル】

- あらかじめ地図をタイル状にした画像ファイルに分割してサーバーに配置し、リクエストに応じて配布する画像ファイル
  - これまではリクエストに応じてサーバー側で都度地図を描画していた
  - 2005年に Google が公開した Google Maps で知名度を増す
  - AJAX（非同期通信）の先駆的な例
  - 2000年代のマシン スペック／ネットワーク環境では
- 2010年代後半になり、ベクター形式での タイル配信が実現
- 【Webメルカトル】
  - いろいろな問題があったが Esri がなんとかした

参考
https://arcg.is/43GDNfB / https://arcg.is/41AoN0I

© 2024 Esri Japan Corporation

【ベクター タイル】

- ラスター タイルのベクター版
- データ サイズが軽量
- クライアント側での描画処理が高負荷

	ラスター形式の タイル キャッシュ	ベクター形式の タイル キャッシュ
マップの 拡大	 タイルがない縮尺ではぼやけることがある	 縮尺や画面の解像度に関わらず、 きれいに表示される
マップの 回転	 マップの回転にあわせて ラベルも回転してしまう	 マップを回転させても ラベルは回転しない

© 2024 Esri Japan Corporation

地図表現

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS 前史：地図の歴史

- 現存する最古の地図（B.C.1500年頃）
  - 北イタリア ヴァル・カモニカの岩絵図
- バビロアニアの世界図（B.C.600年頃）
  - 現存する最古の世界地図
- エラトステネス（B.C.300年頃）
  - 最初期の地球の計測
- TOマップ（8世紀頃～）
  - 西洊中世のキリスト教における世界観

バビロニアの世界図
（B.C. 600年頃）

ギュンター・ツァイナーによるTO図
（1472）

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS 前史：世界初の主題図

- 1701年
- エドモンド・ハレー
- 【磁気偏角図】
  - 【真北】と【磁北】の違いを示した図

ハレーの磁気偏角図

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS 前史：データ ビジュアライゼーション

- 19世紀
  - シャルル・ジョセフ・ミナール
    - ロシア戦没地図
    - 円グラフ主題図
  - フローレンス・ナイチンゲール
    - 鶏冠図（薔薇図）
- 20世紀
  - ジャック・ベルタン
    - 視覚変数

ミナールのロシア戦没地図 (1812)

ベルタンの視覚変数

ナイチンゲールの鶏冠図 (1855)

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS 前史：【コレラマップ】

- ジョン・スノー（医師）
  - 世界初の空間分析
  - 1854年にロンドンで発生したコレラパンデミックの感染源を地図から特定

John Snow Pub (London)

© 2024 Esri Japan Corporation

【レイヤー モデル】

- 同じ種類のテーマ（主題）ごとに情報を分類し、重ね合わせて地図を作成する方法

© 2024 Esri Japan Corporation

【レイヤー】の起源

- 【フォトジンコグラフィー（Photozincography）】（1850年代）
  - イギリス陸地測量部のジェームス・ヘンリー卿が開発
  - 亜鉛板を使って写真から個々の主題を分離して複製
  - コピー機の起源にもあたる

https://www.geographyrealm.com/photozincography-advances-cartography/

© 2024 Esri Japan Corporation

【レイヤー】の起源

紙地図だけの時代は「データ＝表現」だった

- 【オーバーレイ システム】
- “Design With Nature”（1969年）
  - 『デザイン・ウィズ・ネーチャー』（1994年）翻訳本

マクハーグによるオーバーレイ手法のオリジナル概念図

Ian L. McHarg
（1920 – 2001）

https://www.flickr.com/photos/caseorganic/13903928203

© 2024 Esri Japan Corporation

GIS における地図表現

GISは「データ≠表現」

- GISではデータと表現は分けて考える
- （従来の）CADデータとは異なる
  - DWG や DXF は図形・属性と色・太さなどの表現が含まれているが、シェープファイルやフィーチャクラスは図形・属性しか持たない（ソフトウェアによって色が異なる）

アナログ地図

デジタル地図

© 2024 Esri Japan Corporation

まとめ：年表

2024	ArcGIS Pro 3.3
2013	TopoJSON
2011	東日本大震災
2007	GeoJSON
2007	地理空間情報活用推進基本法
2005	Google Earth
2005	Google Maps
2001	ArcGIS 8.1
2000	ArcIMS
1999	ArcInfo 8
1995	阪神・淡路大震災
1994	シェープファイル
1990s	TIGER（米国）
1981	ARC／INFO
1970	天六ガス爆発事故
1969	Esri（デンジャモンド夫妻）
1967	DIME（米国）
1964	SYMAP（フィッシャー）
1962	CGIS（トムリンソン）
1950s	SAGE（米軍）
1854	コレラマップ（スノウ）
1850s	フォトジンコグラフィー
1855	鶏冠図（ナイチンゲール）
1812	戦没地図（ミナール）
1701	磁気偏角図（ハレー）
300 B.C.	エラトステネスの計測
600 B.C.	バビロニアの世界図
1500 B.C.	ヴァルカモニカの岩絵群

© 2024 Esri Japan Corporation

まとめ

位置（関係）を図で示したいことから「地図」が生まれた

「地図」作成を効率化したいことから「GIS」が誕生

GIS のデータ モデルは輪廻転生している

「車輪の再発明」「焼き直し」も見られる

歴史を振り返ることで、新しい考え方のヒントが生まれる

© 2024 Esri Japan Corporation

アンケートへのご協力をお願いします

「#GISの歴史」で検索

GISの歴史がまた1ページ、、、

https://arcg.is/WGCfj

© 2024 Esri Japan Corporation