

高分解能衛星画像を利用した河川地図作成方式の検証

株式会社 日立製作所

中央研究所 知能システム研究部 岩村一昭、石丸伸裕、金 浩民

社会システム事業部 安達 弘、早稲田邦夫

1. はじめに

電子地図データや高分解能衛星画像、電子基準点など新しい空間情報が利用可能になってきており、利用も進みつつある。日立製作所でもこのような状況に対応するため、従来より新しい地理情報システム (GIS) である 4 次元地理情報システム (4D-GIS: 4-Dimensional Geographic Information System) を開発してきた。共同研究では、既開発してきた 4D-GIS が有する画像からの地図変換機能を用いて、高分解能衛星画像を用いた河川地図作成への適用可能性を検証することを目的とした。

本報告ではまず、4-GIS における地物表現と河川管理の手法について示し、河川地図作成の基本手法を提示する。そして、実際に高分解能衛星によるカラー画像を用いた河道地図作成に適用した結果について示す。今回、河道データを抽出するための方式として次の 2 通りの方式を検証した。

① 図形入力半自動抽出方式: 河道境界近傍に河道図形を描画して画像上の河道境界に引き込みを行う方式。

② 既存図形利用自動抽出方式: 画像の状態をエネルギー関数で表しエネルギー最小化法により過去に作成した河道図形を新たな河道境界に適合させる方式。

これにより、あらかじめ地図がない場合、さらに既存の河道の地図がある場合で河道地図データを作成する見通しを得た。

2. 4次元GISの概要

本章では、日立が独自に開発してきた 4D-GIS[1] [2] について、その特徴について示す。

(1) 4次元GISとその特徴

日立では以下の特徴を持つ 4D-GIS を開発してきた。

① 空間データの統合

これまで個別に管理されていた地図などの空間データの統合管理を行うことにより、地理データの共有利用が可能とした。とくに、地球表面でのデータ管理により、画像・地図や位置情報を検索し重畳・解析できるようにした。

② 表現次元の拡張 (4次元表現)

これまでの GIS は、平面地図の利用に基づいて開発されていた。そのため、地図表示や属性を地図データへの対応づけに基づく検索が中心であった。しかし、平面地図データでは利用に制約がある。このため、平面地図の制約を越えて立体(3D)や時間変化を扱える時空間(4次元)データ構造を導入した。

(2) 地物表現と河川情報管理の方式 [1] [2]

4D-GIS における地物データの管理および河川データ管理への適用を以下に示す。4D-GIS では平面図形、立体図形、時間も含む時空間図形を、統一的に表現する形式を有している。そして、平面図形表現を基本型とし、格納構造の生成拡張によって、地物形状に応じた表現を実現できる空間データ構造を実現している。このデータ構造の全体構造は(1)のようになっている。

$$\Sigma_{ord} (\langle \Sigma_{ord} T, \rangle \langle Z, \rangle \Sigma_{ord} (X, Y, \langle Z \rangle, \ll \Sigma_{ord} T \gg)) \dots (1)$$

Σ_{ord} は座標または時間の順序付き列を示し、座標群や時間群の間の順序交換は許されない。(1)において、 $\langle * \rangle$ は表現次元に対応した拡張、 $\ll * \gg$ は座標ごとの拡張を示す。基本構造は(2)に示す平面図形表現であり、ここから順次次元を拡張する。

$$\Sigma_{ord} (X, Y) \dots (2)$$

(2) に対し座標共通の高さ/深さを格納する領域を拡張することにより、立体表現の一つである 2.5次元(3)になる。等高線、建物などは 2.5次元表現となる。一方、個別座標へ高さ/深さの格納領域を拡張することにより、下水道管渠などの 3次元(4)を表現することになる。

$$(Z, \Sigma_{ord} (X, Y)) \dots (3)$$

$$\Sigma_{ord} (X, Y, Z) \dots (4)$$

(3) (4) 式の構造に時間データを格納する領域を拡張することによって、時間変化が表現される。(3)に時間項を付加することによって立体全体の 4次元表現 (立体+時間) が可能になる。また、立体図形(4)を構成する部分図形にも差分型で時間変化を付加できるようになっており、その時間表現は(6)のようになる。

$$(\Sigma_{ord} T, Z, \Sigma_{ord} (X, Y)) \dots (5)$$

$$\Sigma_{ord} (X, Y, Z, \ll \Sigma_{ord} T \gg) \dots (6)$$

さらに、(5) (6) の Z 値を使わなければ平面図形の時間表現を行える。

このような図形座標表現を用いて面である河川の河道領域を表現する。河道領域は面領域となる。面の表現方法として、境界線を構成する座標をすべて管理する方法、境界線図形に固有の識別番号を付加して、識別番号群を管理する方法が従来取られているが、4D-GIS では、代表点と代表線属性の組み合わせで管理する。これを表現すると、

$$\text{面} = (\text{X}, \text{Y}), \text{面境界線 Att}, \text{図葉境界} \quad \dots (7)$$

(X,Y) は代表点の座標である。また、境界は座標を持つのではなく、層番号のような属性をもつ。従って河道面は、代表点を含み河道境界線の層番号を持つ図形と図葉の境界によって囲まれる最小領域となる。これにより、境界線の座標は代表点を包含する面を計算によって求めることにより取得することとなる。このように計算のオーバーヘッドはかかるが、管理データ自体の大きさは小さくなり効率化される。(7)式を図1に示すような河道表現に適用すると

$$\text{河道} = (\text{X}, \text{Y}), \text{河道境界線 Att}, \text{図葉境界} \quad \dots (8)$$

となる。

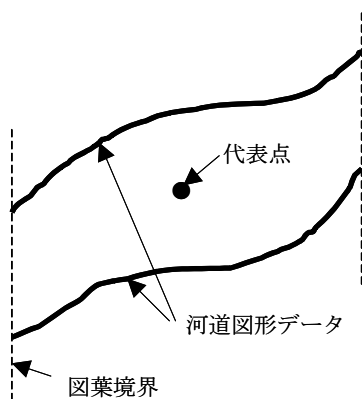


図1 河道の表現

3. 実験内容と使用したデータ

(1) 実験の内容

今回、最新の高分解能画像データから河道地図データを作成するための地図作成を検証した。河道の抽出は異物移動の監視や汚染物拡散の状況把握に利用することができる。河道は季節や天候、ダムの放流などによって変化するため、最新の河道データを取得しておくことは重要であると考えられる。今回、次の2通りの状況を想定した検証を行った。

①河道データが電子化されていない場合

新規に河川データを作成する必要がある。

②河道データが存在し利用できる場合

既存の河道データから新しい河道データを作成する。

この2通りの方式を検証するため、4D-GIS の機能として既開発していた、画像境界に河道図形を適合させる地図作成プログラムを適用した。

①図形入力半自動抽出プログラム

画像データ上に図形を入力し、画像境界上に引き込みを行うプログラム

②既存図形利用自動抽出プログラム

既存の地図データがあるという前提で画像上に重畳し既存図形の変形により画像境界上に引き込みを行うプログラム

(2) 使用したデータ

今回、国土地理院より使用したオリジナル画像データの諸元を以下に示す。

表1 使用した画像の諸元

項目	仕様
衛星	IKONOS
ファイル名	019301t_8bit_4.tif
サイズ	9981×9981 Pixel
画像タイプ	パンシャープン RGB 各バンド 8 bit トウルーカラー画像、輝度調整済
解像度	81 c m/pixel
画像借用先	国土地理院

さらに画像の内容を以下に示す。

表2 画像の内容

項目	仕様
地域名	岐阜県大垣市馬瀬町、川並小学校付近 揖斐川
画像座標系	平面直角座標系 19 座標第 7 系
緯経度	左下 : (-48144.500, -69023.500) 左上 : (-48144.500, -79004.500) 右上 : (-46953.500, -69023.500) 右下 : (-45766.500, -79004.500)
広さ	10km×10km

なお、19 座標第 7 系の原点は北緯 36 度、東経 137 度 10 分で適用区域は、石川県、富山県、岐阜県、愛知県である。

4. 内容の詳細

(1) 準備作業

実験を行うため、以下の準備を行った。

ステップ1：画像切り出し

市販の画像変種ソフトを用いて、入手画像から実験用の画像を切り出した。切り出し画像の仕様を表3に示す。

表3 切り出し画像の仕様

項目	仕様
緯経度	左下：(-48144.500, -69023.500) 左上：(-48144.500, -79004.500) 右上：(-46953.500, -69023.500) 右下：(-45766.500, -79004.500)
画像サイズ	1192×908pixel
広さ	1km×1km

図2に使用した切り出し画像を示す。



図2 実証実験用に使用した切り出し画像

ステップ2：フォーマット変換

TIFF形式による画像データを4D-GISに入力した。このときフォーマットは独自形式に変換した。

ステップ3：切り出し画像の格納

切り出した画像をハードディスクに格納した。そして、実験ではこの切り出し画像を利用した。

(2) 処理手順

処理手順を、図形入力半自動抽出および、既存図形利用自動抽出それぞれについて示す。

1) 図形入力半自動抽出

画像に対して、大まかな河道形状を指定し、画像に現れる河道に当てはめる方式である。

ステップ1：図形描画により河川内を指定する。指定した画像の中の河道範囲を抽出する。

ステップ2：河道画像の境界画像を抽出する。

ステップ3：図形を境界画像近くに描画する。

ステップ4：描画した図形を河道境界に引き込むことにより、河道図形を生成する。

ステップ5：ステップ1で指定した点を代表点とすることにより河道データを格納する。

2) 既存図形利用自動抽出

過去に作成した図形があれば、この図形を利用して河道に適合させる方式が考えられる。このため、Snakesと呼ばれる動的輪郭モデル(Active Contour Model)が知られている[5]。Snakeはエネルギー関数を最小化させることにより図形を境界に適合させる手法である。この方式により画像境界を自動抽出することが可能となるため、河道抽出に直接適用することを試みた。Snake方式によるエネルギー関数は次のようになる。

$$E^*_{snake} = \int_0^1 E_{snake}(v(s))ds = \int_0^1 [E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s))]ds \dots (9)$$

ここで、 E_{int} は、河道形状を収縮させ、形状を滑らかに保たせるためエネルギーである。 E_{image} は画像と図形とを適合させるエネルギーである。

実験の手順は以下の通りである。

ステップ1：既存の河道形状データを画像上に重畳する。

位置合せは、地図上と画像上の対応点を4点以上選択することによりアフィン変換を行って行う。

ステップ2：エネルギー最小化を行うことによって図形と画像とのフィットを実行する。

ステップ3：河道内を示す代表点が河道の中に含まれる場合は引き続き代表点とする。代表点が中洲などの上に存在したり河道から離れた場合は、河道内に新たな代表点を指定する。

4. 結果と考察、今後の課題と計画

2通りの実験を行った結果と考察、今後の課題と計画について以下に示す。

(1) 結果と考察

3章に示した2通りの検証実験に対する結果と考察を以下に示す。

1) 図形入力半自動抽出方式

図3に河道画像を抽出した結果を示す。さらにこれより河道図形を抽出した結果を図4に示す。

この結果より、ラフに河道図形を描画入力しても画像に適合していることがわかる。紙地図による河川データに入力はコストがかかると考えられる。これにより、今後の普及が期待できる衛星画像により河川データを作成

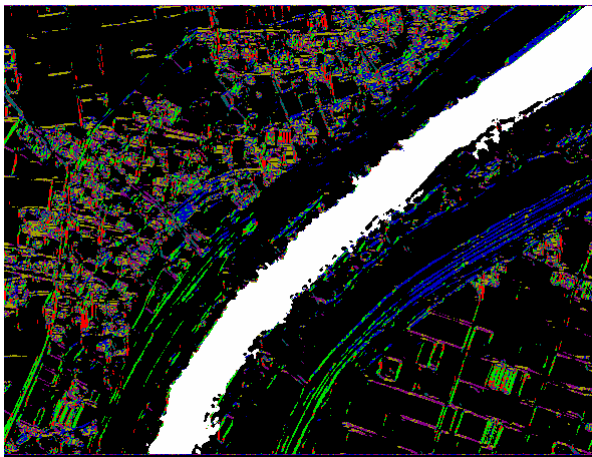


図3 河道画像の抽出

する方法が有効になると考えられる。



図4 河道図形の抽出結果

2) 既存図形利用画像フィットプログラム

図5に、あらかじめ準備した河道図形と画像との重畳結果を示す。



図5 河道図形と画像との重畳結果

エネルギー最小化アルゴリズムを適用し、河道図形を画像河道境界にフィットさせた結果を図6に示す。



図6 河道図形フィット結果

この結果より、既存の河道図形がある場合には、それを活用して新しい河道にフィットさせることが可能である。このとき、図6に(9)式に示すエネルギー関数の持つ値の変化を示す。

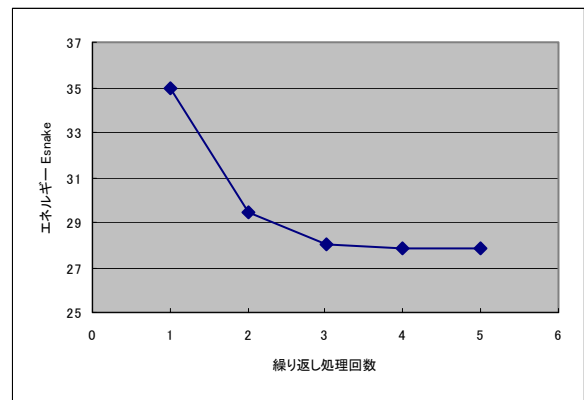


図6 河道画像におけるエネルギー値の最小化

以上をまとめると今回の実験において、以下のことが言える。

- ①4D-GIS を用いた画像・地図統合実験において、画像からの地図形状抽出は可能である。
- ②河川地図データがない場合には画像に直接描画して河道データを生成することができる。
- ③既存の河道データがある場合には、既存図形を変形することにより新しい河道図形を生成することができる。

(2) 今後の課題と計画

今回開発した河道データ生成方式の課題と今後の進め方について以下に示す。

1) 課題

- ①河川には中洲や支流流入によるしぶきなどがあり、全

てのエッジの組み合わせについて複雑な条件を考慮しつつ総合的な解を得る必要がある。

②画像は必ずしも、今回使用した画像のように境界が明確なシャープな状態で得られるとは限らない。大気の状態によってS/N比が小さくなることも考えられる。そのため様々な画像の状態に対する河川地図作成の可能性を調べる必要がある。

2) 今後の進め方

地図や衛星写真の電子化と融合により付加価値的なデータの利用が期待できる。今後は、河川・河道データを用いさらに河川工学の知見[6]を導入することにより以下の内容への適用を進めていきたいと考えている。

①対象河川全域のデータベースの構築

地図データや画像データの融合により、河川現況DBを構築する。とくに、紙媒体や電子媒体による地図データは整備されていても河道については時々刻々変化するため、最新の河道を抽出することが必要となる。

②河川3D化と流れシミュレーション

3次元化を行うことによって、流れのシミュレーションを行う。例えば、河川内に異物が流出したときの拡散の予測を行うことができると考えられる。

③危機管理シナリオの実装

構築した地図DBと解析・予測シミュレーション機能を用いることにより、河川管理における危機管理シミュレーションにつなげる。

5. 参考文献等

- [1]岩村、依田、早稲田：4次元GISを用いた公共施設・地域管理の新展開、電気学会研究会資料「公共施設におけるマッピング技術」(社)電気学会 公共施設研究会 平成11年2月
- [2](社)電気学会 空間情報統合化技術調査専門委員会編 GISの基礎と応用 16章4次元地理情報処理システム オーム社 平成13年3月
- [3]岩村、山本、野本 他2；GISを用いた施設管理 日立評論 Vol.85, No.2, 2003-2
- [4]Ogawa.Y., Iwamura K., Nomoto Y., ; A Map-Based Approach for Extracting Object Information from Aerial Images MVA' 98 IAPR Workshop on Machine Vision Application 1998-11
- [5]Kass M, Witkin A., Terzopoulos D., ; SNAKES: Active Contour Models, Int., Jour. Of Computer Vision,

Vol.1, No.4, pp321-331, 1988

[6]宝田；河川工学 技報堂出版 1991-2

問い合わせ先

株式会社 日立製作所 電力・電機グループ

社会システム事業部情報システム部主任技師 安達 弘

〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

TEL 03-5295-5148

MAIL hiromu_adachi@pis.hitachi.co.jp

Web <http://www.hitachi.co.jp/Div/omika/prdcts/terravision/index.html>