

1/2500 地形図標準データファイルを用いた 高度な地物データ GIS の自動構築に関する研究

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONSTRUCTION ALGORITHM OF
ADVANCED DELINEATION GIS DATA USING 1:2500 TOPOLOGICAL MAP

田内 裕人¹・天口 英雄²・河村 明³・中川 直子⁴
Hiroto TANOUCHI, Hideo AMAGUCHI,
Akira KAWAMURA and Naoko NAKAGAWA

¹ 学生会員 修 (環境) 首都大学東京 都市環境科学研究科 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

² 正会員 博 (工) 首都大学東京助教 都市環境科学研究科 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

³ 正会員 工博 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

⁴ 正会員 博 (理) 首都大学東京特任准教授 都市環境科学研究科 (〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

In recent years, the use of advanced delineation GIS data (ADGD) has become invaluable in studies that require accurate spatial distribution of land use. However, the preparation of ADGD, especially for urban catchment areas, is often tedious, time consuming and prone to errors, since these are mostly constructed manually using a digitized map. In this study, a computer algorithm (automated construction algorithm) was developed to automatically construct ADGD from a digitized 1:2500 topological map, using only geographical point features and geographic object boundaries that have land use attributes. A portion of the digitized map of the Kanda River basin was used to examine the accuracy of the newly developed algorithm. Evidences show that this algorithm can generate similar to more accurate geographical features when compared with the manual approach. The automated construction algorithm, thus, provide an accurate and efficient alternative in constructing ADGD, which can benefit future GIS-related studies.

Key Words: *Advanced delineation GIS data, Digital mapping datafile, Land use classification, Urban hydrology, GIS automated construction*

1. はじめに

都市流域では、建物や道路などの不浸透域と公園やグラウンドなどの浸透域が複雑に分布している。このような都市流域の水循環過程を解明するには、対象とする流域の浸透特性、すなわち浸透域・不浸透域の分布状況を正確に表現した土地利用データを作成し、これを入力データとして利用できる分布型水循環モデルを構築することが必要となる。これまでに提案されている分布型水循環モデルでは、入力可能なデータの制約上の理由やモデル構築の容易さから、グリッド型のモデルが多用されている^{1)~4)}。特に都市流域で多用される細密数値情報では最小単位である 10m のグリッド内においても複数の土地利用が混在しているのが実態であり、都市流域の正確な浸透面積率が反映されず、解析結果に大きな影響を与える可能性が示唆⁵⁾されている。以上の背景の下、著者らはグリッド型の土地利用区分と比較し流域の土地利用を正確に表現可能なポリゴン型の GIS (Geographic Information System; 地理情報システム) データを用いて、道路、河道、建物、駐車場、畑などの細かな土地利用種別を表現することが可能な

高度な地物データ GIS を考案し、これらを用いた都市洪水流出解析モデル^{6)~8)}、および都市地下水涵養モデル^{9),10)}の開発を行っている。なお、海外における都市流域の流出解析に用いられているベクトル型 GIS データは著者らの地物データ GIS と比べて土地利用区分が粗いものとなっている。例えば、Sample ら¹¹⁾は商業地、低層住宅地および中層住宅地など都市計画上の用途区分を用い、Rodriguez ら¹²⁾は地籍境界、建物、道路などを用いている程度である。

さらに著者らは高度な地物データ GIS を活用し、神田川上流域の 10m メッシュ土地利用区分について、土地利用区分ごとの正確な浸透面積率の推定を試みている⁵⁾。このように高度な地物データ GIS として作成されたデータは都市流域の水循環を解明するうえで必要不可欠な土地利用データであるといえる。

しかし現在一般に入手可能なベクトル型の GIS データには、直接流出量等の算定に必要な浸透・不浸透を考慮した土地利用種別の情報が含まれていない。このため高度な地物データ GIS の構築には、1/2500 地形図や航空写真を基に個々の土地利用種別の判別を行い、手作業により各地物の浸透特性を一つ一つ設定しなけれ

ばならず、この作業には膨大な時間と労力が必要となる。高度な地物データ GIS の構築を自動化することにより正確な土地利用情報の入手が容易になれば、都市域の高精度水循環モデル普及の一助となることが期待される。

著者らはこれまで、既存の GIS データを用いて高度な地物データ GIS が構築可能かどうかを検討¹³⁾してきた。まず、最も基礎的な GIS データである衛星画像や航空写真について検討した。画像データから建物などの地物を抽出する手法が数多く開発されている^{14),15)}ものの、衛星写真については植生や建物の陰に隠れた地物の境界線を正確に抽出することは非常に困難であり、また航空写真から地物の抽出を行う場合には、地物の境界線を正確に抽出することが困難であるという問題があった。次いで、ベクトルデータである数値地図 2500¹⁶⁾の検討を行った。本データはさまざまな分野で利用が進んでおり、GIS システムを構築する際の最も基本的なデータが収められている。本データの街区界を用いることにより詳細な道路要素を作成することは可能であるが、街区土地利用についての情報は公共建物のみで、その他の建物、緑地および畑などの細かな土地利用種別に関する情報は無く、高度な地物データ GIS の自動構築には不適切であると判断した。次いで、近年各自治体で配備が進みつつある 1/2500 地形図標準データファイル（以下これを「地形図データ」と呼ぶ）¹⁷⁾を用いることを検討した。本データは国土交通省公共測量作業規定にて規定された Digital Mapping フォーマット¹⁷⁾に準拠し作成された電子地形図データであり、高度な地物データ GIS の構築に必要となる街区、道路および河道の境界データに加え、街区土地利用情報として公園、駐車場、畑および芝地などの土地利用情報が収められている。本データは、都市流域の雨水流出機構に影響を与える土地利用構造が詳細に記述された貴重なデータであると考えられるが、本データから雨水流出解析を目的として土地利用情報を抽出・活用した事例は著者らの知る限り見当たらない。

そこで、本研究では地形図データを用いて高度な地物データ GIS の構築を自動化する手法を開発・検討する。また同手法を用い神田川上流域の高度な地物データ GIS を構築し、既存の手作業で構築した高度な地物データ GIS および航空写真との比較を行い本手法の評価を行う。

2. 高度な地物データ GIS の自動構築

表-1 は、地形図データのデータタイプ、レイヤ名および高度な地物データ GIS での利用目的を示す。図-1 は地形図データから高度な地物データ GIS の構築手順を示したもので、その流れは、a) 地形図データを GIS 用ファイル（シェープファイル）に変換¹⁸⁾、b) 基礎的な地物データ GIS の準備、c) 街区内土地利用要素の構築、d) 道路・河道要素の分割である。本研究では、高度な地

表-1 地形図データの内容とその用途

データタイプ	レイヤ名	おもな用途
ポリライン	道路境界線	道路・街区要素の分離
	線路	鉄道の抽出
	建物外周線	建物の抽出
	プール外周線	プールの抽出
	水涯線	河道要素・池の抽出
ポイント (地図記号)	柵、塀	街区要素の分割
	区域界、植生界	街区要素の分割
	公園	公園の抽出
ポイント (地図記号)	駐車場	駐車場の抽出
	テニスコート	テニスコートの抽出
	グラウンド	グラウンドの抽出
	畑、果樹園	畑の抽出
	芝地、庭園	芝地の抽出
	広葉樹林、針葉樹林等	緑地の抽出
	砂礫地、荒地	裸地の抽出

物データ GIS の構築において、これまで多大な時間と労力が必要であった c) および d) に対するデータ処理の自動化を行う。ここで、GIS データの処理には ESRI 社の ArcGIS¹⁹⁾ を使用し、自動化プログラムは ArcGIS のマクロとしてプログラミング言語である Visual Basic for Applications (VBA) を用い記述した。GIS データフォーマットとしては shape ファイルを用いている。

(1) 基礎的な地物データ GIS の準備

基礎的な地物データ GIS は、高度な地物データ GIS を自動構築するための入力データとして用いられる河道、池、街区、建物および道路の 5 つの土地利用種別により構成される。ここでは表-1 のポリライン型である水涯線、道路境界線および建物外周線を用いることにより、ポリゴン型の河道（池）要素、街区要素および建物要素をそれぞれ作成する。

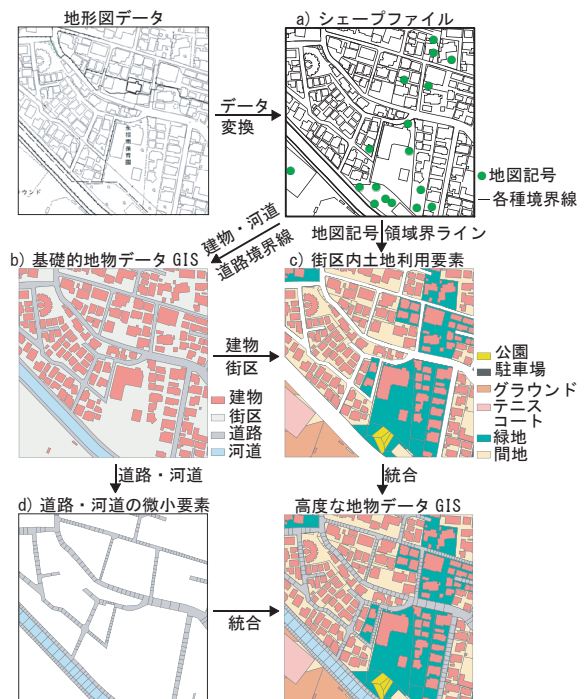


図-1 高度な地物データ GIS の構築手順

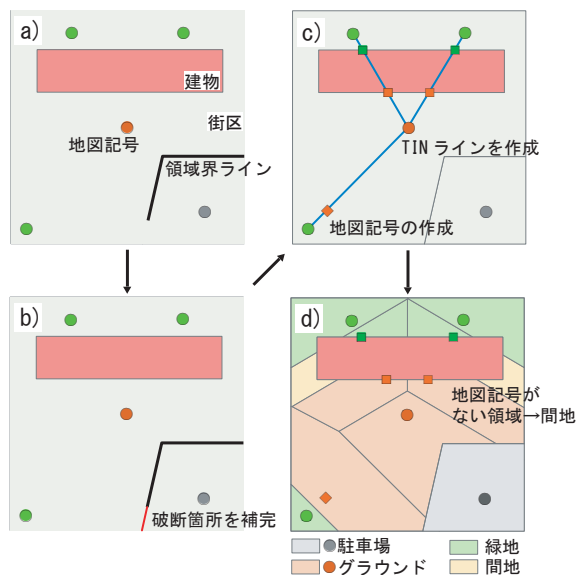


図-2 街区内土地利用要素の構築手順

ポリライン型の境界線をポリゴン型の要素に変換するには、境界線が閉じていることが前提である。地形図データの水涯線および道路境界線は地形図上でその境界を示すのみで不連続となっており、そのままではポリゴン型に変換することはできない。そこで、境界線の特徴に応じて次のような処理を行うこととする。

水涯線は河道や池などの水際を視覚的に表現したもので、これと道路境界線が重なる場合には水涯線が明示されていない。このような水涯線の不連続箇所は少ないため、手作業で新たな境界線の追加を行うものとする。なお、後述する神田川上流域においては30分程度で線の補完を完了した。こうして修正した水涯線を用いて河道要素の作成を行う。

また道路については、地形図データでは袋小路などにおいて道路境界線が存在しないため閉じた街区を構築できない。すなわちポリラインの始点と終点が一致せずポリゴンが作成できない。そのため始点と終点が一致しない不連続箇所を抽出し、そこを直線で結びポリゴン(街区要素)とする。

建物外周線には不連続箇所は存在しないため、そのままポリゴン化を行い建物要素とする。なお、道路要素は構築した河道・池・建物・街区要素を対象領域から除くことで簡単に抽出可能である。

(2) 街区内土地利用要素の構築

a) 手順の概要

図-2は、街区内の土地利用要素を構築していく手順の概要を示したものである。まず、表-1に示すポリライン型の柵、区域界および植生界(以下これを総称し「領域界ライン」と呼ぶ)が要素内に存在する場合は、そのラインを用い街区要素を分割する。次いで、要素内に含まれる公園、駐車場、テニスコート、その他植生状況などの土地利用状況を表すポイント型の地図記号を母点とするティーセン分割を行うとともに、その土地利用情報を割り当てる。

b) 領域界ラインによる街区要素の分割

まず、街区要素と領域界ラインを重ね合わせ(図-2 a)、街区内に領域界ラインが存在し、かつそれが不連続となっている場合、領域界ラインを延長して連続化を行う(図-2 b)。次いで、連続化した領域界ラインを用い街区要素を分割し、各要素内に含まれる地図記号を用い土地利用種別の設定を行う。ここで、要素内に含まれる地図記号が1つの場合には、その地図記号により土地利用種別を設定するが、地図記号が複数の場合には以下の手順により要素をさらに分割する。

c) 地図記号による街区要素の分割と属性設定

複数の地図記号を含む領域に対し、地図記号の影響範囲を設定する手法として、ティーセン法を用いることが考えられる。しかしながら、街区内には建物が存在しており、建物は街区内の土地利用の明確な境界となるため、これを優先した領域の分割および属性の付加を行う必要がある。また、土地利用の情報をもつ地図記号はグラウンドなどのように街区の土地利用を代表するものと、広葉樹林などの植生を示すものとが混在している。たとえばグラウンド内の樹林などはライン状に立地することが多く、こうした場合植生を示す地図記号もライン状に複数与えられている。これにティーセン法を適用すると、地図記号の少ないグラウンドなどの面積が過小評価されてしまう。そこで、以上の問題を解決するために、街区要素内に複数の地図記号が存在する場合の要素の分割は、地図記号が持つ特性を考慮した新たな補助データを作成することにより行うこととする。なお、ここでは図-2に従い緑地以外の土地利用種別としてグラウンドを取り上げる。

まず図-2 c)に示すように、地図記号を頂点とするポリライン型の不整形三角網(以下 TIN ライン)を発生させる。建物要素の境界と TIN ラインが交差する箇所にポイントが発生させ、これに対し近傍の地図記号と同じ土地利用属性として、建物要素の上側には緑地を、下側にはグラウンドを設定する(図-2 c)の□印)。

ライン状に植樹されているグラウンドや校庭などの隅にある樹木群に対して、以下の処理を行う。航空写真などの目視から緑地の地図記号の影響半径は概ね5m程度と判断し、TIN ライン上には緑地の地図記号から影響半径の2倍である10mの位置にグラウンドの属性値を持つポイントが発生させる。なお、TIN ラインが20mよりも短い場合はTIN ラインの中点にポイントが発生させる(図-2 c)の◇印)。

最後に、地図記号および TIN ライン上に発生させた新たなポイントを用いてティーセン法により街区要素を分割するとともに、土地利用属性の設定を行う(図-2 d)。なお、地図記号が存在しない要素は間地と設定する。

(3) 道路および河道の微小要素作成

道路・河道は、著者らが開発した洪水流出解析モデル⁸⁾では水路と見なして計算するので、道路・河道の

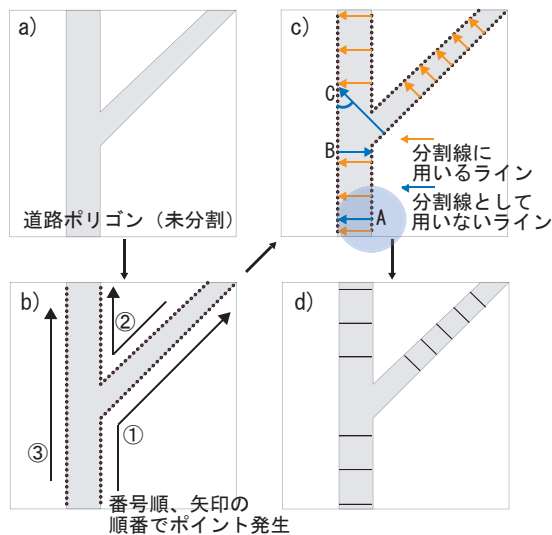


図-3 道路・河道の微小要素の構築

微小要素はその幅と同程度の間隔で流路に直交して分割・構築されることが望ましい。このような条件を満たすよう、図-3に示す手順で道路・河道要素を分割する。

まず、道路・河道要素（図-3 a））に対し、要素の外周線上に、時計回りに1mおきに始点から終点までポイントを発生させ、外周線内での発生順序番号と外周線の要素番号を属性として設定する（図-3 b））。なお、1mおきにポイントを発生させるのは、道路の最小幅員が3m程度であり1m単位で道路要素の分割を検討すれば目的の長さでの分割が十分可能となるためである。

次いで、発生させたポイントを始点とし、ポリゴンの内側に向かって鉛直に伸ばした線がポリゴンの外周線と交差するポイントを終点として、以下の条件を満たす場合にはその長さを道路の要素幅として記録するとともに分割線として保存する（図-3 c））。

- A 始点ポイントを中心とする道路要素幅を半径の円に、既に作成した要素分割線が存在しないこと
- B 始点の要素番号が終点のそれより大きい、または始点と終点の要素番号が同じ場合、始点の発生順序番号が終点付近にあるポイントの発生順序番号よりも小さいこと
- C 道路境界線が完全に平行ではないため、終点における分割線と外周線のなす角度が 90 ± 15 度の範囲に入ること

なお、図-3c)にA, B, Cの条件を満たさない場合について青矢印で示す。条件Aでは正方形に近い単純な形状の微小要素の作成が、条件Bでは道路の片側からのみ分割線を発生させる処理および道路要素における袋小路部分の処理が、また条件Cでは道路要素の延長方向に対して概ね直行方向への分割がそれぞれ可能となる。さらに幅の広い片側2車線以上の道路では中央分離帯が設けられていることが多く車線ごとに異なる要素とするほうが妥当と考えられるので、道路分割線の中心点を結ぶことで道路中心線を発生させ、それにより分割する。最後に建物要素、街区内土地利用要素

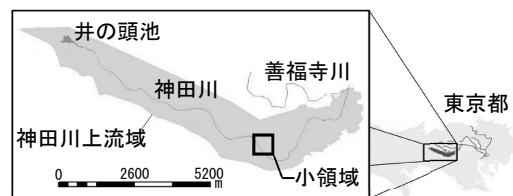


図-4 神田川上流域と小領域

および分割した道路・河道要素を統合し、高度な地物データ GIS として構築する。

3. 実流域への適用

図-4は本研究で高度な地物データ GIS の構築対象領域とした神田川上流域の概要を示したものである。神田川は東京都三鷹市井の頭恩賜公園内にある井の頭池にその源を発し、杉並区南部を東に流れ、中野区の区境付近で善福寺池を水源とする善福寺川と合流し、新宿区に流入する一級河川である。また本流域では、著者らが1/2500地形図や航空写真から手作業により高度な地物データ GIS（以下これを「M-GIS」と呼ぶ）の構築を行っている^{6),10),21)}。本論文では、図-4に示す井の頭池から善福寺川合流点までの上流域約11.5km²、流路延長9kmを対象流域に設定し、15葉の地形図データを用いて高度な地物データ GIS の構築を行った。基礎的地物データ GIS から高度な地物データ GIS の自動構築を行う際に要した時間は、CPUにIntel (R) XEON (R) CPU 5520 (2.27GHz)を用いたPCで概ね3日程度であり、手作業による構築に6ヶ月程度要したことから大幅な構築時間の短縮に成功したといえる。

図-5は神田川上流域を対象に、本研究で開発した手法により高度な地物データ GIS（以下これを「A-GIS」と呼ぶ）の構築を行った結果、およびM-GISを示したものである。この図よりたとえば井の頭池周辺の緑地の位置など、A-GISとM-GIS間で大まかに一致していることが見て取れる。以下ではA-GISとM-GISについて

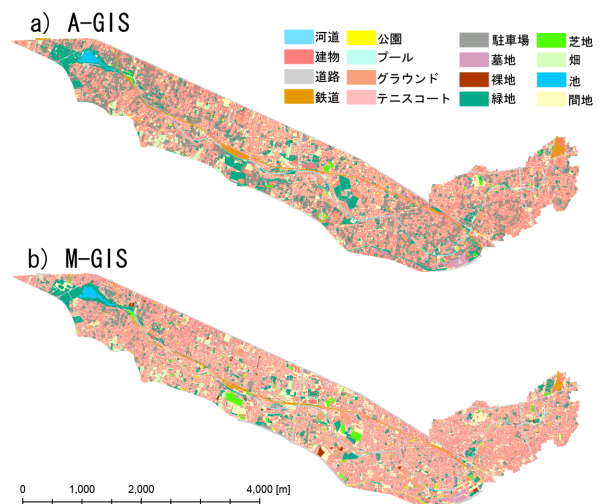


図-5 神田川上流域の高度な地物データ GIS の比較

表-2 A-GIS・M-GISの土地利用面積および面積率

	A-GIS		M-GIS	
	面積 [m ²]	面積率 [%]	面積 [m ²]	面積率 [%]
河道	99,759	0.9	99,704	0.9
建物	3,402,053	29.6	3,382,236	29.4
道路	1,726,076	15.0	1,785,662	15.5
鉄道	177,125	1.5	149,388	1.3
公園	50,791	0.4	90,538	0.8
プール	5,412	0.1	11,750	0.1
グラウンド	258,868	2.3	248,945	2.2
テニスコート	115,947	1.0	84,997	0.7
駐車場	321,241	2.8	647,085	5.6
墓地	86,163	0.8	70,392	0.6
裸地	1,796	0.0	52,714	0.5
緑地	2,006,551	17.4	1,041,020	9.1
芝地	52,454	0.5	171,526	1.5
畑	263,541	2.3	188,587	1.6
池	51,421	0.5	50,402	0.4
間地	2,885,047	25.1	3,429,321	29.8
浸透域	4,278,634	37.2	3,663,379	31.8
合計	11,504,244	-	11,504,265	-

て各土地利用種別の合計面積から計算された面積率を比較するとともに、神田川上流域内の小領域 500m × 500m について A-GIS, M-GIS および航空写真を比較することにより本手法の妥当性を検証する。

(1) 土地利用種別ごとの面積率を用いた考察

表-2 は A-GIS および M-GIS の土地利用種別ごとの面積および面積率を示したものである。ここで、A-GIS と M-GIS 間で合計要素面積が若干異なるのは、A-GIS の自動構築に伴う座標値の桁落ちによるものである。

本節では、流域の浸透特性を把握するうえで重要なパラメータである、各土地利用種別が流域全体に占める面積率を用い、基礎的地物データ GIS から直接構築した河道、建物、道路、池および M-GIS と A-GIS の面積率の差が 1% より大きい間地、緑地、駐車場に着目して考察を行う。

まず河道、建物、道路、池の面積率の差が他の土地利用種別と比較し小さいことがわかる。これはこれら要素がほぼ地形図データにより明示された境界線データのみから構築されているためと考えられる。

次いで間地については、A-GIS は 25%、M-GIS は 30% で A-GIS の面積率が 5% 程度小さい。ここで間地とは、情報がなく属性が不明な地物のことであり、主として個々の宅地内の家屋以外の部分で占められる。よってこの結果は自動化によってより多くの土地利用情報が対象領域に与えられていることを示している。

また緑地は A-GIS が 8% 程度大きく、最も大きな差を生じている要素である。浸透域である緑地の面積差が流域全体の浸透特性に及ぼす影響を調べるため、公園、グラウンド、テニスコート、墓地、裸地、緑地、芝地、畑および間地の 50% を浸透域とし、流域の浸透特性の指標である浸透面積および面積率をそれぞれ計算した。その結果、A-GIS の浸透域が面積率で 5% 程度大きいことがわかった。これについては次の小領域にお

ける検証でより詳しい解析と考察を行うものとする。

さらに駐車場では A-GIS の面積率が 2.8% 小さい。これは駐車場要素を構築する際、A-GIS では駐車場の地図記号のみを用いるのに対し、M-GIS では駐車場と街区内の舗装地を加えた領域を駐車場としたためと考えられる。このように自動構築アルゴリズムで考慮されなかった M-GIS 作成時の考え方について取り入れることにより、自動構築の精度向上が期待できる。これについては今後の課題としたい。

(2) 小領域における検証

図-6 は小領域における A-GIS, M-GIS および航空写真を示す。まず、表-2 において A-GIS の要素面積が M-GIS と比較して小さかった公園に着目する。領域 A を見ると、A-GIS での公園範囲が M-GIS のそれよりも狭いことがわかる。同領域を航空写真により精査すると、公園外周部に樹木が植えられていることが読み取れる。このように A-GIS では公園などの樹木の部分を緑地と設定し、より細かく地物を設定する特性がみられ、これが A-GIS において緑地の面積が大きくなる理由であると考えられる。

また、A-GIS の要素面積が小さかったプールに着目する。たとえば領域 B に注目すると、A-GIS ではプールを水面とし、プールサイドについては間地と設定しているのに対し、M-GIS では水面およびプールサイドを含む領域にプールの属性を与えている。このため、A-GIS のプール面積は小さくなっていると考えられる。

次いで、表-2 では両者の面積の差が比較的小さいグラウンドと A-GIS の面積が過大となったテニスコートに着目する。領域 C のグラウンドは、A-GIS と M-GIS で形状が大きく異なっている。また同領域の航空写真を見ると、M-GIS のグラウンドの境界と実際のグラウンドの境界は一致していることがわかる。ここで A-GIS に用いた地形図データを確認すると、同領域にグラウンドとして柵があるものの、ごく一部のみしか示されていないため境界として用いられていないことがわかった。

また領域 D のテニスコートに注目すると、航空写真から判断して A-GIS ではテニスコート形状をうまく再現できていないことがわかる。この要素は地形図データによって境界線が明記されておらず、ティーセン分割によって要素の形状が決定されている。これがグラウンドや他の街区内土地利用種別について、形状が実際と異なる一つの要因であると考えられる。

4. むすび

本研究では、洪水流出解析に用いる土地利用データとして、1/2500 地形図標準データファイルに着目し、本データから都市の複雑な土地利用形態を表現することができる高度な地物データ GIS の構築を自動化する手法について開発を行うとともに、本手法を神田川上流域に適用してその妥当性について評価・検討を行った。

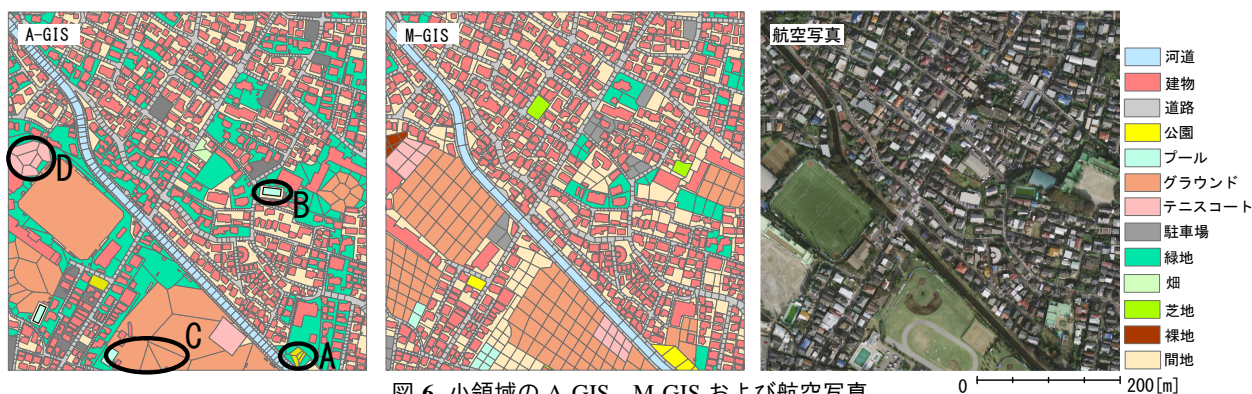


図-6 小領域の A-GIS, M-GIS および航空写真

この中で地図記号を入力データとし、ティーセン分割の概念を用いた領域の分割手法を新たに開発し、地物要素の土地利用情報を取得する手法として用いた。この結果、地形図データが取得できる任意の流域で高度な地物データ GIS を短時間で構築することが可能となった。また神田川上流域を対象とし、本手法を用い高度な地物データ GIS の自動構築を行い、アルゴリズムの検証を行った。その結果、自動化により特に対象流域の植生について手作業と比較しより詳しく設定できることを確認した。一方で手作業と自動構築アルゴリズムでの考え方の違いが構築結果に影響することがわかった。また地形図により境界が明示されていない場合、自動構築した地物の形状が実際と異なることを確認した。

今後はこれら問題を踏まえ、より實際を再現できる分割手法について考案・実装する予定である。また水循環モデルへの適用に向けて、各要素を適切な大きさとし形に分割する手法について開発する予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策に関する研究」(代表：河村明)の補助を受けました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 忌部正博, 屋井裕幸, 高祖成一: 都市域の健全な水循環系構築のための雨水浸透施設の効果と評価について, 日本水文学会誌, 第 38 巻, 第 2 号, pp.3-54,2008.
- 2) 賈仰文, 倪广恒, 河原能久, 末次忠司: 都市河川流域の水循環解析と雨水浸透施設の効果の評価, 水工学論文集, 第 44 巻, pp.151-156,2000.
- 3) 天口英雄, 安藤義久: SMPT モデルを用いた分布型水循環モデルの改良について, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.265-270,2002.
- 4) 中村茂: グリッド型水循環系解析モデルの開発～海老川流域を対象として～, 水工学論文集, 第 45 巻, pp.103-108,2001.
- 5) 古賀達也, 河村明, 天口英雄: 神田川上流域における高度な地物データ GIS を用いた 10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.L505-L510,2012.
- 6) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝: 地物データ GIS を用いた新たな地物指向型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.63, No3, pp.206-223,2007.
- 7) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝, 中川直子: 個別の地物情報を

考慮した密集市街地における Tokyo Storm Runoff Model の提案, 水工学論文集, 第 55 巻, pp.S.517-S.522,2011.

- 8) Amaguchi, H., Kawamura, A., Olsson, J. and Takasaki, T. : Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation. *Journal of Hydrology*, No.420-421, pp.205-215, 2012.
- 9) 荒木千博, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 土屋大: 個別の浸透施設の効果を組み込んだ地下水涵養モデルの構築 水工学論文集, 第 54 巻, pp.559-564,2010.
- 10) 荒木千博, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝: 地物データ GIS を用いた都市流域地下水涵養モデルの構築および実流域シミュレーション, 土木学会論文集 B (水工学), Vol.68, No.2, pp.109-124,2012.
- 11) Sample, D.J., Heaney J.P., Write, L.T., Koustas, R., : Geographic information systems, decision support systems, and urban storm-water management. *J. Water Resour. Plan. Manage.* ASCE 127 (3), 155-161, 2001.
- 12) Rodriguez, F., Andrieu, H., Morena, F. : A distributed hydrological model for urbanized areas - model development and application to case studies. *Journal of Hydrology*, No.351, pp.268-287, 2008.
- 13) 田内裕人, 天口英雄, 河村明, 中川直子: 1/2500 地形図標準データファイルを用いた高度な地物データ GIS 自動構築手法の第一歩, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2012.
- 14) 津留宏介: 小特集 ALOS/PRISM による地図作製に関する検証, 写真測量とリモートセンシング, Vol.48, No.2, pp58-81, 2009.
- 15) 村山健二, 正司哲郎, 平林哲, 岡田至弘: 分割 K-平均法による領域分割結果を用いた航空写真からの道路抽出, 写真測量とリモートセンシング, Vol.42, No.2, pp.4-11, 2003.
- 16) 国土交通省 国土地理院: 数値地図 2500, <http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dm2500sdf/index.html>, 2011.10.15
- 17) 東京都都市整備局: 東京都縮尺 1/2500 地形図標準データファイル, http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/kiban/map_user/index.html, 2011.9.13
- 18) 国土地理院: 公共測量ビューア・コンバータ, <http://psgsv.gsi.go.jp/koukyou/public/sien/pindex.html>, 2011.9.8
- 19) Esri Japan : ArcGIS <http://www.esri.com/products/arcgis/>, 2011.9.12
- 20) 国土交通省道路局: 道路構造令・標識令 <http://www.mlit.go.jp/road/sign/hyoshikitop.html>, 2012.8.9
- 21) 村松健司, 天口英雄, 河村明: 神田川上流域を対象とした都市洪水流出モデルに対する地物データ GIS の構築, 第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2008.

(2012.9.30 受付)