

航空写真を用いた建物属性の自動判別

國分桂子¹・梅村幸一郎²・山崎文雄³

¹学生会員 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤工学専攻 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

²正会員 工修 国土交通省 (〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3中央合同庁舎3号館)

³正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

高層建築・低層建築、木造・非木造等の建物個々の詳細な建物属性は、都市計画の基礎資料として有用であるだけでなく、個々の建物のより適切な保険料算定の判断材料になるなど利用可能性は大きい。現在のところ、こうした情報は登記による情報、あるいは人の足に頼った調査によって得られており、大変な労力がかかるのみならず、これが利用可能なデータの形となったときにはすでに建て替え等の変更が生じている場合が多い。したがって個々の建物の属性抽出が自動化されれば、建物の現状把握、更新状況把握が容易になり、また、地図情報の構築が不十分な発展途上国での応用が実現する。上記の目標のために、本研究では航空写真を用い、大きさ、形、色情報、テクスチャー分析とあわせて、ステレオマッチングにより得られる3次元情報を利用した建物属性の自動抽出方法構築を試みた。抽出された建物属性は、GISデータ化された実際の建物属性データと比較することで検証される。

Key Words : Stereo matching, automatic detection, building property, aerial photograph, GIS

1. はじめに

阪神大震災以降、国の防災基本計画の見直しに伴って、全国的に地域防災計画の見直しが行われ、地域防災計画の前提条件となる地震被害想定の実施が徹底されるようになった。しかしながら、地震被害想定に入力される基礎的データの不備が指摘されている。対象地域の現状を正確に把握し分析する仕組みを備え、街単位での評価を行っている地方自治体はほとんど無い。個々の建物構造に関する情報は不動産登記簿等から得ることも可能であるが、そうした情報を得て、それを評価出来る形にするには大変な時間と労力と資金が必要となる。現状を早く正確に把握する技術が必要とされているのである。

商業ビル、集合住宅、戸建住宅、また木造・非木造等といった建物個々の属性を現在の情報として把握し、これを分析が容易なGISデータの形にまとめ上げることは、個々の建物と街単位に対するより適切な地震被害想定的基础資料になる。また、そうした情報は都市計画の基礎資料としても保険料率算定の判断材料としても有用であるのみならず、地図情報の構築・更新が不十分な発展途上国でも利用可能性は大きい。

したがって、本研究では、個々の建物の属性抽出を自動化し、これをGIS化する方法を構築する。

本報文では航空写真を自動解析する方法を提案し、地理情報データとして分析可能な形にまとめている。航空写真の解析には建物の高さ、色情報、

大きさ情報、テクスチャーを組み合わせる。抽出された建物属性は、GIS化された実際の建物属性データと比較することで検証される。

2. 既存の建物属性取得方法の問題点

既存の建物属性取得方法としては以下の2つの方法が挙げられ、いずれもいくつかの問題点がある。

(1) 既存地図と登記簿を用いる方法

国、地方公共団体といった公の機関では不動産登記簿等の情報を利用できるため、既存の地図をデジタル化したものに登記内容を書き込むことで建物属性情報をもつGISデータを製作できる。しかし、一棟ごとのデータ作成は時間と労力のかかる作業であり、しかも、既存の地図は最新ののもので3ヶ月以上前のものであるという事情のため、現状の把握という意味では不十分である。

(2) 航空写真判読と現地調査による方法

建物属性を地図化する方法として、一般には取得した航空写真を図化機で二次元の正射投影の地図に変換し、作業者が図化機で立体視された建物の属性を判断し、地図に記入していく方法が用いられている。この方法の場合、建物の影になった部分、見かけではその属性が判別できないものについては現地調査により調べることになる。熟練

の職人技であり、労力が大きく、時間も相当かかる上に、私有地といった現地調査でも立ち入れない場所に関しては不明のままであるという欠点がある。

3. 航空写真の自動解析

本研究では対象地域のカラー航空写真を用いる(図-1)。対象地域は東京都内のある一町丁目であり、その面積は約119.457²、約350件の戸建て住宅、集合住宅、商業ビルが混在している。

この航空写真に前処理を施し、レンズの歪やスキャナの誤差による影響を取り除いた^{1), 2)}。

(1) ステレオマッチングによる高さ分析の方法

ステレオマッチングにより 3 次元の建物モデルを構築した³⁾。ステレオマッチングによる 3 次元モデルは、2 枚以上の写真の投影中心を通る光束が互いに交わる前方交会の結果として求められる。三次元のモデルを作成する手順は次の 2 つのステップに分かれている。

a) 共面条件による相互評定

図-2 に示す光束の交会の条件は二つの撮影中心 $O_1(X_{01}, Y_{01}, Z_{01})$ 、 $O_2(X_{02}, Y_{02}, Z_{02})$ および $P(X, Y, Z)$ の像 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 、 $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$ が同一平面内に含まれるという共面条件によって与えられる。モデル座標系の原点を O_1 とし、 O_1 と O_2 を結ぶ線を X 軸にとり、基線長 $O_1 O_2$ を単位長さにとるモデルの縮尺とすると、評定要素は左側の回転角 2 つ、右の回転角 3 つの、あわせて 5 つの回転角のみになる。

このようなモデル座標系および評定要素を選ぶと共面条件式は式(1)のようになる。

$$F(\kappa_1, \varphi_1, \kappa_2, \varphi_2, \omega_2) = \begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 \\ Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0 \quad (1)$$

ここに、評定要素の近似値とその補正量を与え、その補正量の最大値が微小になるまで逐次近似計算を繰り返すことにより、標定座標の解が得られる。

b) モデル座標の計算

したがって、モデル座標 (X_m, Y_m, Z_m) は式(2a)、(2b)および(2c)から得られる。

$$\begin{aligned} X_m &= t_1(X_1 - X_{01}) + X_{01} \\ &= t_2(X_2 - X_{02}) + X_{02} \end{aligned} \quad (2a)$$

$$Y_m = \frac{1}{2} \{ t_1(Y_1 - Y_{01}) + Y_{01} + t_2(Y_2 - Y_{02}) + Y_{02} \}$$



図-1 対象地域の航空写真

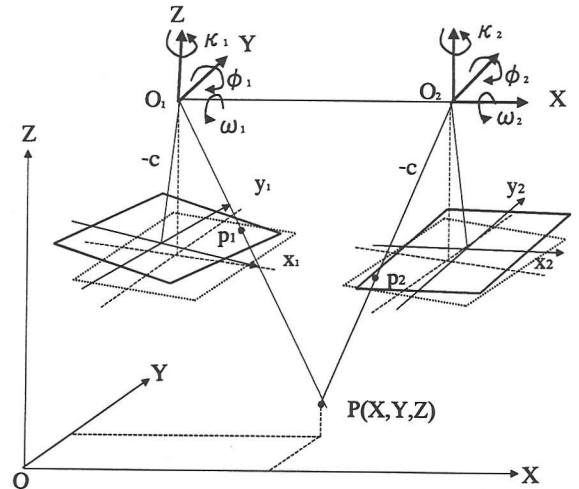


図-2 3次元モデルの共面条件

$$+ t_2(Y_2 - Y_{02}) + Y_{02} \} \quad (2b)$$

$$\begin{aligned} Z_m &= t_1(Z_1 - Z_{01}) + Z_{01} \\ &= t_2(Z_2 - Z_{02}) + Z_{02} \end{aligned} \quad (2c)$$

ここで、

$$t_1 = \frac{\begin{vmatrix} X_{02} - X_{01} & Z_{02} - Z_{01} \\ X_2 - X_{02} & Z_2 - Z_{02} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} X_1 - X_{01} & Z_1 - Z_{01} \\ X_2 - X_{02} & Z_2 - Z_{02} \end{vmatrix}} \quad (3a)$$

$$t_2 = \frac{\begin{vmatrix} X_{02} - X_{01} & Z_{02} - Z_{01} \\ X_1 - X_{01} & Z_1 - Z_{01} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} X_2 - X_{02} & Z_2 - Z_{02} \\ X_1 - X_{01} & Z_1 - Z_{01} \end{vmatrix}} \quad (3b)$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & 0 & \sin \phi_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_1 & 0 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_1 & -\sin \kappa_1 & 0 \\ \sin \kappa_1 & \cos \kappa_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -c \end{pmatrix} \quad (4a)$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_2 & -\sin \omega_2 \\ 0 & \sin \omega_2 & \cos \omega_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & 0 & \sin \varphi_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & 0 & \cos \varphi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4b)$$

である。

(2) 大きさ、色、テクスチャー分析

航空写真をオルソ写真に変換し、図-3のフローに従って、個々の建物の大きさ、色、テクスチャーを解析した。⁴⁾

建築面積は屋根の大きさとほぼ同じと仮定し、微分により抽出した屋根の輪郭の面積を求めた。色情報はRGBそれぞれの値と輝度に合成した値を用いる。テクスチャー分析として濃度ヒストグラムを求め、これをKolmogorov-Smirnov検定法より画素を分類する方法²⁾を用いた。

(3) 諸特性による建物属性の分類

以上の手順により得られた個々の建物の特徴をまとめ、戸建住宅、集合住宅、商業ビル、さらに、木造・非木造を分類した。判別指標は仮に決めた指標による判別結果を検証データと比較・考慮して最適な値になるように調節した。

まず、高さ情報により住宅の可能性がある建物とRC造・鉄骨造の建物は建物高さと建築面積から分類することができる。そのうち4つのサンプルの建物の相対高さを図-4に示す。

集合住宅、商業ビルは3階建て以上かつ建築面積200㎡以上のものと定義して分類した。戸建住宅の可能性がある建物のさらなる分類においては屋根の色、テクスチャー分析により木造・非木造の分類を行う。建築面積の大きさと輝度を例として4つの建物について図-5に示す。

4. 建物属性の分類結果の検証

対象地域の建物属性データとして、東京都都市計画局総合計画部の作成したデータベースおよびアンケート調査により得られた建物情報について地理情報データベースを構築した。用いたデータおよび、データ項目を表-1, 2に示す。東京都の建物データは1998年のものであったが、住宅地図および現地調査に基づき2000年現在のデータに修正している。データの一例として建物外観写真を図-6に

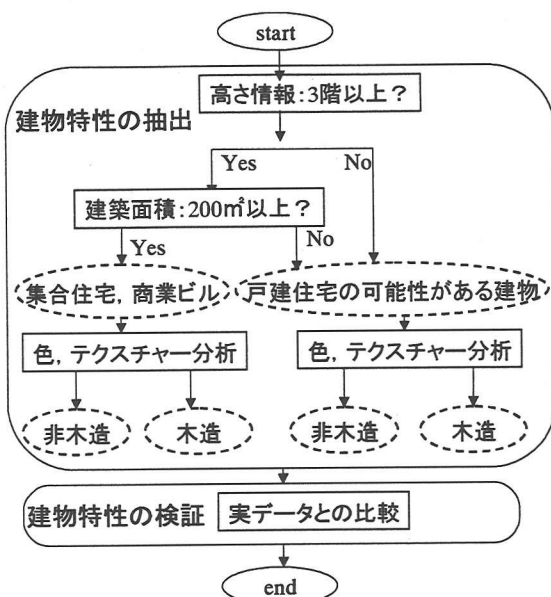


図-3 建物特性の自動抽出の検討フロー

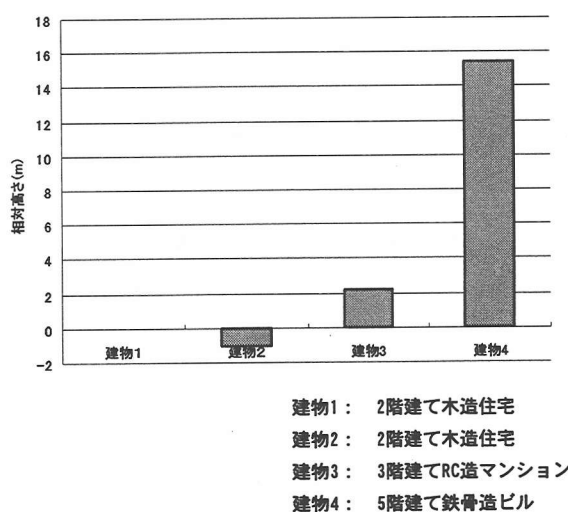


図-4 サンプル建物の相対高さの比較

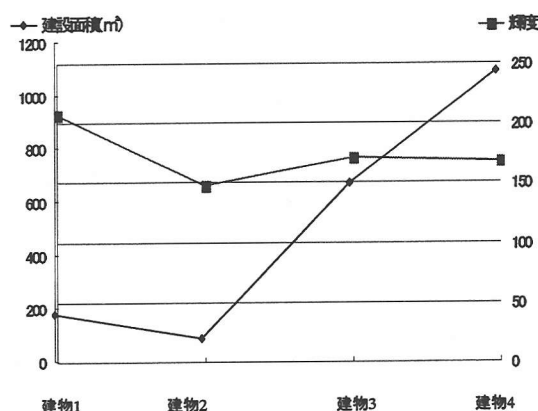


図-5 サンプル建物の建築面積、輝度の比較

挙げる。

表-1 東京都GISデータ

データ項目
一般道路
高速道路
舗装
河川
鉄道
地下鉄
一般道路中心線
高速道路中心線
河川中心線
地下鉄中心線
基準点
等高線
行政界
土地建物用途
建物(耐火造、準耐火造、防火造、木造)
建物(一般建物、堅牢建物、無壁建物、建築中)

表-2 アンケート調査項目

世帯	収入	構造
	職業	種類
	家族構成	用途
	耐震診断実施状況	地盤
	耐震補強工事実施状況	基礎
	家具の固定などの地震対策状況	外壁の種類
	許容耐震補強費用	外壁の配置
	許容年間地震保険料	筋かい
	火災保険加入状況	壁の割合
	地震保険加入状況	バランス
地震リスク	地震による被害の予想復旧費	屋根
	増改築もしくは建て替え等の予定の有無	老朽度
		所有形態
		所有期間
		建築年
		増改築年
		写真

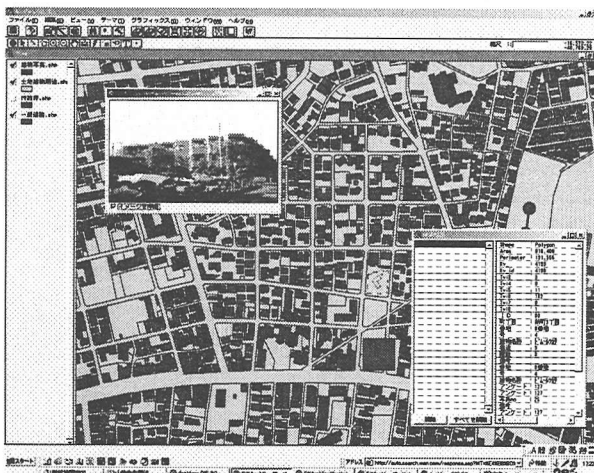


図-6 建物属性 GIS の建物外観表示

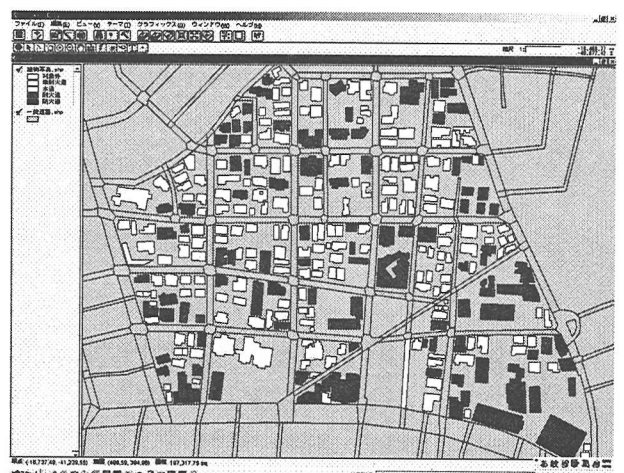


図-7 建物属性の分類結果

航空写真の自動解析から得られた建物属性データを地理情報化^{5), 6)}したものを図-7に示す。分類項目は戸建住宅、集合住宅、商業ビルおよび木造・非木造である。集合住宅と商業ビル、また非木造建物は完全に抽出できた。これらの多くは共同住宅、商業ビルであった。住宅の木造・非木造の判定においては、木造住宅はほぼ抽出可能であったが、木造・非木造の判断がつかないものもいくつかあった。

5. まとめ

建物の現状把握、更新状況把握を簡便に行う方法として、本報文では航空写真を地理情報データとして分析可能な形にまとめた自動解析の方法を提案した。

航空写真の解析により、大きさ、形、色情報、テクスチャー分析とあわせて、ステレオマッチングにより得られる3次元情報を利用し、建物属性抽出の自動化が可能であることが確認された。建物構造の判別では、特に建物高さテクスチャー情報がキーファクターになっていることが確認できた。

共同住宅、商業ビルに関しては比較的正確に建物構造の分類ができる事が明らかになった。戸建て住宅に関しては分類の精度がそれほど高くなく、

コンクリート、かわら等屋根の素材の違いから、非木造住宅については比較的容易に分類可能であった。屋根の形状・材質によりさらに細分類できるか今後検討を行う予定である。

住宅の形、屋根の材質には地域特性があるため、あらゆる地域に対応する航空写真による建物属性判別のパラメータ決定は難しいと思われる。この点も今後の課題である。

参考文献

- 1) 木本氏寿：写真測量の実践，山海堂，1971.
- 2) 高木幹雄，下田陽久：画像解析ハンドブック，東京大学出版社，1991.
- 3) (社)日本写真測量学会・解析写真測量委員会：解析写真測量，(社)日本写真測量学会，1983. .
- 4) 長谷川弘忠，小川直樹，青木久，松岡昌志，山崎文雄：空撮ハイビジョン映像および航空写真を用いた地震による被害建物の目視および自動判別，EDM Technical Report No.5, 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター，2000.
- 5) Kaushik Chakraborty: Accurate Data Creation and 3D Object Extraction for GIS Databases from Digital Imagery, GISdevelopment,2001.
- 6) 建設省国土地理院：デジタルマッピング，鹿島出版会，1989.