

6. 都市緑地調査への適用性の検討

6.1 概要

本章では、都市緑地調査に対する IKONOS 画像の適用性の検討として、従来から実施されている航空写真判読による緑地抽出と、本調査で試みた IKONOS 画像による緑地抽出の比較検討結果について述べる。比較検討は、精度とコストの側面から行った。

検討項目を表-6.1 に示す。

表-6.1 都市緑地調査への適用性の検討内容

検討側面	検討項目	検討内容
精度	位置精度	緑被分布図作成時に生じる各手法の位置ずれ
	緑地抽出精度	緑地の抽出時に生じる各手法の誤差
コスト	データ取得コスト	航空写真/IKONOS データの入手に関するコスト
	データ解析コスト	データを解析し、緑被分布図の作成までに生じるコスト

6.2 精度からみた適用性の検討

6.2.1 位置精度の検討

(1) 航空写真判読

東京都の緑被率標準調査マニュアル(1988)⁵⁾によると、航空写真判読による手法では撮影された航空写真を縮尺1/2,500程度に拡大し、透明フィルム上に緑被地の区域を写し取り、1/2,500の地形図に移写して緑被分布図を作成している。この場合、考えられる誤差要因は移写時に使用したペンの太さのみである。同マニュアルでは、太さ0.2mm内外のペンの使用を推奨しており、太さ0.2mmは1/2,500スケールでは0.5mに相当する。したがって、位置精度はきわめて高く誤差は0.5m程度と考えられる。

一方、航空写真をあらかじめデジタルデータ化して幾何補正し、モニタ上で判読して緑被ポリゴンを作成する方法もある。本調査で作成したケーススタディエリアの検証用画像はこの手法を用いているが、幾何補正時に生じた誤差は表-6.2に示すように1m前後である。

以上より、航空写真判読手法の位置精度は良好で、誤差は1m以内におさえられると想定される。

表-6.2 航空写真の幾何補正時に生じた誤差

	GCP※1数	RMSE※2	ピクセルサイズ	推定誤差
航空写真(1992年2月撮影)	108	4.26	0.25m	1.1m
航空写真(1999年8月撮影)	59	4.29	0.25m	1.1m

※1 GCP: Ground Control Point (地上基準点)

※2 RMSE: Root Mean Square Error。平均2乗誤差の正の平方根に等しい。

$$RMSE = \sqrt{(1/N) \times \sum (x_i - x_0)^2}$$

N: 観測値数

x_i : N回の観測値 (i=1~N)

x_0 : 真値

(2) IKONOS

本調査では、日本スペースイメージング株式会社(以下JSI)から提供されているIKONOSプロダクトのうち、デジタルオルソ・ライト/マルチスペクトル画像とデジタルジオ/マルチスペクトル画像を使用した。

デジタルジオ画像は、2次元的な幾何補正のみ行われた画像で、水平誤差は平地で数m~数10m、山地で数10m~100m程度(参考値)と公表されている⁴⁾。高さ方向の補正を行っていないため、地表面の標高差により位置精度は大きく異なる。

デジタルオルソ・ライト画像は、デジタルジオ画像の幾何補正に加え、地上測量による地上基準点(GCP)と標高データによる正射投影補正を行っており、水平誤差は±3.5m(マルチスペクトルは理論上4m)と公

表されている⁴⁾。

また、本調査では使用していないが、デジタルオルソ・ライト画像の1ランク上にデジタルオルソ・エキスパート画像が提供されている。デジタルオルソ・エキスパート画像は、デジタルジオ画像の幾何補正に加え、地上測量による地上基準点(GCP)と精密な標高データによる正射投影補正を行っており、水平誤差は±1.75m(マルチスペクトルは理論上4m)と公表されている⁴⁾。

IKONOS プロダクトの比較表を表-6.3に示す。

表-6.3 IKONOS プロダクト比較表⁴⁾

製品名	デジタルジオ画像	デジタルオルソ・ライト画像	デジタルオルソ・エキスパート画像
位置精度 (水平誤差)	対象外 (数m~100m程度)	±3.5m (マルチスペクトル画像は理論上 4m)	±1.75m (マルチスペクトル画像は理論上 4m)
幾何補正	補正あり	補正あり	補正あり
標高データ(DTM)補正	補正なし	補正あり	補正あり
地上基準点(GCP)補正	補正なし	補正あり	補正あり
画像間接合	×	○ (位置精度の範囲内)	○ (位置精度の範囲内)
画像間色調整	×	○ (自動処理の範囲内)	○ (自動処理の範囲内)
提供可能エリア	国内・海外	国内	国内
主な用途	地表の状況を見る場合 など	ある程度正確な位置情報 を必要とする場合など (1/5,000 地形図レベル)	正確な位置情報を必要 とする場合など(1/2,500 地形図レベル)
納期(ライブラリーの場合)	通常注文から10日以内 (海外画像は40日以内)	通常注文から30日以内	通常注文から30日以内

出典：日本スペースイメージング株式会社HP(2001年時点)

デジタルオルソ・ライト/マルチスペクトル画像およびデジタルジオ/マルチスペクトル画像と1/2,500のDMデータとの整合性を確認した結果を表-6.4に示す。

表-6.4 IKONOS 画像と 1/2,500DM の整合性

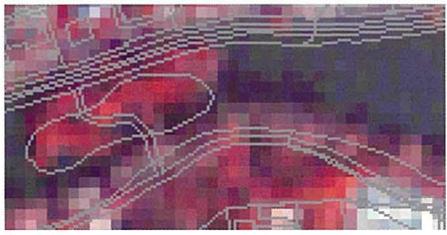
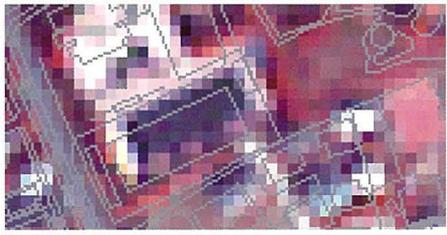
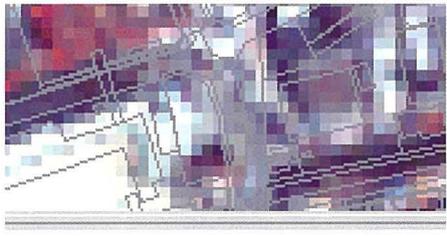
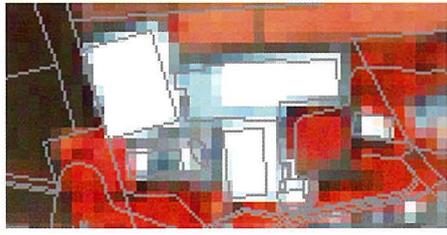
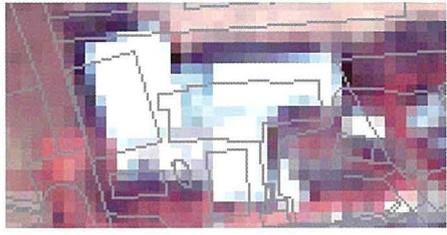
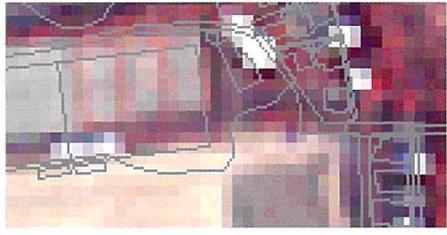
	デジタルオルソライト/マルチスペクトル画像	デジタルジオ/マルチスペクトル画像
水面		
	おおむね整合	1~2ピクセル程度のずれ
プール		
	おおむね整合	1~2ピクセル程度のずれ
道路		
	おおむね整合	おおむね整合
建物		
	おおむね整合	数ピクセルのずれ
グラウンド		
	おおむね整合	1~2ピクセル程度のずれ

表-6.3、表-6.4 より IKONOS 画像による都市緑地抽出では、デジタルオルソ・ライト画像を用いると航空写真に匹敵する位置精度を得られると思われる。

6.2.2 緑地抽出精度の検討

(1) 航空写真判読

東京都の緑被率標準調査マニュアル(1988)⁵⁾によると調査の水準は表-6.5のような3段階に分かれている。練馬区みどりの実態調査では、表-6.6のような仕様で調査が実施されており、水準Ⅰと水準Ⅱの中間の読み取り精度で判読が行われている。また、判読では同マニュアルの緑被地の考え方(図-6.1)が参照されている。

航空写真判読による手法では単木の街路樹や小面積の植栽地まで抽出が可能で、高い抽出精度を有しているといえる。

表-6.5 調査水準⁵⁾

調査水準	使用する写真のスケール	最小読み取り精度	作成する図面のスケール	想定する調査対象
水準Ⅰ	1/2,500	1m	1/10,000	街路樹、生垣などの小さな緑被地まで計測する調査水準 (小規模な緑被地の構成割合が大きい区部及び市部を想定)
水準Ⅱ	1/5,000	3m	1/10,000	大きな街路樹による緑被地程度までを計測できる調査水準 (小規模な緑被地の構成割合が小さい市及び町部を想定)
水準Ⅲ	資料図面を使用	—	1/50,000	山林など大規模な緑被地を中心として計測する調査水準 (ほとんどが山林などに占められている町及び村部を想定)

表-6.6 練馬区みどりの実態調査（H3、H8）の調査仕様^{6) 7)}

平成3年度（1991年）調査の手法⁶⁾

航空写真の諸元	縮尺	1/5,000
	撮影年月日	平成3年11月4日
	撮影コース数	10コース
	撮影枚数	189枚
	使用フィルム	赤外カラーフィルム
緑被抽出手法	図化手法	1/2,500 地形図に移写
	抽出最小単位	10m ²
	面積集計手法	スキャナ入力によるデジタル処理

平成8年度（1996年）調査の手法⁷⁾

航空写真の諸元	縮尺	1/5,000
	撮影年月日	平成8年6月5日・20日
	撮影コース数	10コース
	撮影枚数	234枚
	使用フィルム	天然カラーフィルム
緑被抽出手法	図化手法	1/2,500 地形図に移写
	抽出最小単位	10m ²
	面積集計手法	—

6.3 コストからみた適用性の検討

6.3.1 データ取得コストの検討

(1) 航空写真判読

平成3年度および平成8年度に実施された練馬区みどりの実態調査の調査仕様(表-6.6)を参考に、航空写真の撮影から焼き付けに係るコストを試算した。

【平成3年度】	
・ 運航費：300,000円×10コース=3,000,000円	
・ 赤外カラーフィルム代：50,000円	
・ 赤外カラー現像費：40,000円	
・ 赤外カラーネガ作成費：10,000円×189枚=1,890,000円	
	計. <u>4,980,000円</u>
【平成8年度】	
・ 運航費：300,000円×10コース=3,000,000円	
・ 天然カラー現像費：4,000円	
	計. <u>3,004,000円</u>

ただし、この試算結果は2001年段階の標準的なコストであり、過去の調査で要した費用、あるいは今後調査を実施する場合に要する費用とも異なる可能性がある。

(2) IKONOS

IKONOS画像を用いる場合、要求される位置精度、緑地抽出精度によってさまざまな組み合わせが考えられる。ここでは、表-6.7の組み合わせを想定して試算を行った。

表-6.7 想定される IKONOS 画像の組み合わせ

No.	プロダクト名	センサ	撮影方法	位置精度	緑地抽出精度	時期選択性
①	デジタルジオ	マルチスペクトル	ライブラリ	△	△	△
②			新規撮影	△	△	○
③		マルチハイパノクロ	ライブラリ	△	○	△
④			新規撮影	△	○	○
⑤	デジタルオルソ・ライト	マルチスペクトル	ライブラリ	○	△	△
⑥			新規撮影	○	△	○
⑦		マルチハイパノクロ	ライブラリ	○	○	△
⑧			新規撮影	○	○	○
⑨	デジタルオルソ・エキスパート	マルチスペクトル	ライブラリ	○	△	△
⑩			新規撮影	○	△	○
⑪		マルチハイパノクロ	ライブラリ	◎	○	△
⑫			新規撮影	◎	○	○

【CASE①】

- ・データ購入費：5,500 円/km²×48.16^{*1}=264,880 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 266,380 円

【CASE②】

- ・データ購入費：5,500 円/km²×121^{*2}=665,500 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 1,867,000 円

【CASE③】

- ・データ購入費：(5,500 円/km²×2) ×48.16=529,760 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 531,260 円

【CASE④】

- ・データ購入費：(5,500 円/km²×2) ×121=1,331,000 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 2,532,500 円

【CASE⑤】

- ・データ購入費：16,000 円/km²×48.16=770,560 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 1,172,060 円

【CASE⑥】

- ・データ購入費：16,000 円/km²×121=1,936,000 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 3,537,500 円

【CASE⑦】

- ・データ購入費：(16,000 円/km²×2) ×48.16=1,541,120 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 1,942,620 円

【CASE⑧】

- ・データ購入費：(16,000 円/km²×2) ×121=3,872,000 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 5,473,500 円

【CASE⑨】

- ・データ購入費：24,000 円/km²×48.16=1,155,840 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 1,557,340 円

【CASE⑩】

- ・データ購入費：24,000 円/km²×121=2,904,000 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 4,505,500 円

【CASE⑪】

- ・データ購入費：(24,000 円/km²×2) ×48.16=2,311,680 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 2,713,180 円

【CASE⑫】

- ・データ購入費：(24,000 円/km²×2) ×121=5,808,000 円
- ・新規撮影料：1,200,000 円
- ・GCP 設置料：400,000 円
- ・送料及びパッケージ料：1,500 円

計. 7,409,500 円

※1 48.16 km²は練馬区の面積

※2 121 km²は新規撮影時の最低注文面積

ただし、この試算結果は 2001 年段階の標準的なコストであり、今後調査を実施する場合に要する費用と異なる可能性がある。

(3) まとめ

(1) および (2) の試算結果を表-6.8 および図-6.2 にまとめた。位置精度と緑地抽出精度を満足させるためには、デジタルオルソ・ライトあるいはデジタルオルソ・エキスパート画像のマルチ+パンクロを使用するのが望ましい。ライブラリが使用可能であればデジタルオルソ・ライト、デジタルオルソ・エキスパートとも天然カラーの航空写真を下回り、IKONOS の利用価値が高まる。よりよい位置精度を考えると、デジタルオルソ・エキスパート画像を選択するのが望ましい。東京都区内などの都市部では、優先的にライブラリの整備が進んでおり、可能性は高いと思われる。仮に適当なライブラリがなく、新規撮影を必要とする場合には、デジタルオルソ・エキスパート画像にすると天然カラーの航空写真の 2 倍以上のコストがかかる。表-6.4 よりデジタルオルソ・ライト画像でも位置精度に大きな遜色は見られないため、新規撮影をする場合にはデジタルオルソ・ライト画像を選択するのが現実的であろう。

表-6.8 データ取得コストの検討結果

使用データ	データ種別	センサ	撮影方法	位置精度	緑地抽出精度	時期選択性	全費用
航空写真		天然カラー		◎	◎	◎	3,004,000 円
		赤外カラー		◎	◎	◎	4,980,000 円
IKONOS	デジタルパノ	マルチスペクトル	ライブラリ	△	△	△	266,380 円
			新規撮影	△	△	○	1,867,000 円
		マルチパノクロ	ライブラリ	△	○	△	531,260 円
			新規撮影	△	○	○	2,532,500 円
	デジタルマルチライト	マルチスペクトル	ライブラリ	○	△	△	1,172,060 円
			新規撮影	○	△	○	3,537,500 円
		マルチパノクロ	ライブラリ	○	○	△	1,942,620 円
			新規撮影	○	○	○	5,473,500 円
	デジタルマルチエキスパート	マルチスペクトル	ライブラリ	○	△	△	1,557,340 円
			新規撮影	○	△	○	4,505,500 円
		マルチパノクロ	ライブラリ	◎	○	△	2,713,180 円
			新規撮影	◎	○	○	7,409,500 円

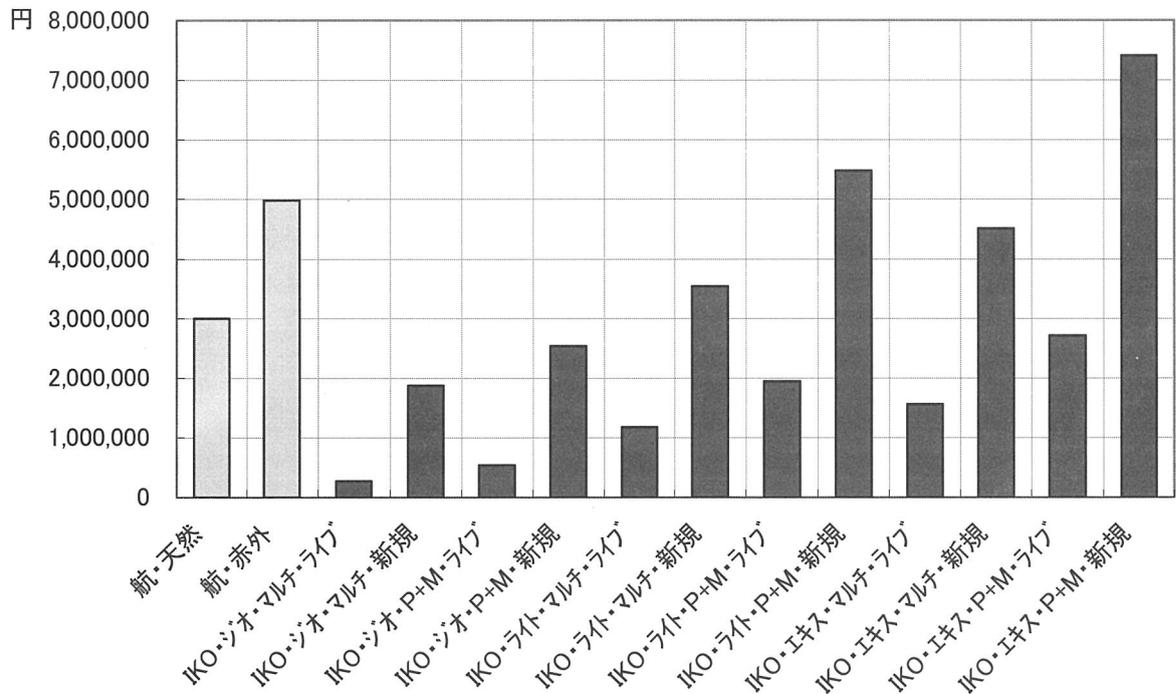


図-6.2 データ取得コストの比較

6.3.2 データ解析コストの検討

(1) 航空写真判読

東京都の緑被率標準調査マニュアル(1988)⁵⁾によると、航空写真判読による緑被分布図の作成は、写真判読(透明フィルム上)→緑被分布図作成(地形図上への移写)→緑被地の求積という流れで行われる。

- ・写真判読

… 表-6.6より、練馬区の場合200枚程度の航空写真を判読することになる。1日1枚としても200人日程度を要することになり、コストはおおむね数百万オーダーであると考えられる。

- ・緑被分布図作成

… 地形図への移写は写真判読と同じくらいの作業量があるため、コストはおおむね数百万オーダーであると考えられる。

- ・緑被地の求積

… 緑被地の求積は、判読した透明フィルムをスキャニングし、ピクセル数をカウントすることにより行われる。ピクセル数のカウントはほぼ自動処理で迅速に行われるが、スキャニングの作業量があるため、コストはおおむね数十万オーダーであると考えられる。

(2) IKONOS

IKONOS画像による緑被分布図の作成は、教師つき画像分類による緑地抽出→パンシャープン画像の判読による修正→緑被分布図作成(DMデータとの重ね合わせ)→緑被地の求積という流れで行われる。

- ・教師つき画像分類による緑地抽出

… 画像分類はシーン単位で行われるため、一度に練馬区全体を処理することができる。したがって解析コストはおおむね数十万オーダーであると考えられる。

- ・パンシャープン画像の判読による修正

… 画像分類による緑地抽出誤差を補正すべく、パンシャープン画像の判読によって修正を行うのが望ましい。作業イメージは、パンシャープン画像の上に画像分類により抽出された緑地画像を重ね、透過させながらモニタ上でデジタル化し、緑地画像を修正していくイメージである。この場合、作業量は航空写真判読の写真判読と類似しており、コストはおおむね数百万オーダーであると考えられる。

- ・緑被分布図作成

… IKONOSによる緑被分布図作成は、緑地画像データとDMデータの重ね合わせを想定する。両データはいずれも座標が付与されているため、図郭割りをして出力する程度の作業量である。したがって、コストはおおむね数十万オーダーであると考えられる。

- ・緑被地の求積

… 緑被地の求積は、緑地画像データのピクセル数のカウントで行われる。ピクセル数のカウントはほぼ自動処理で迅速に行われるため、コストはおおむね数万オーダーであると考えられる。

以上より、IKONOS画像を用いた場合、緑被分布図作成および緑被地の求積に大きな効果が認められる。全体的には航空写真判読に係るコストの半分程度で解析を行うことが可能であると考えられる。

7. まとめ

7.1 本調査のまとめ

(1) 従来型人工衛星 LANDSAT/TM 画像による緑地抽出

- ・従来型人工衛星 LANDSAT/TM による緑地分布抽出では、公園緑地等のまとまりのある緑地はおおむね抽出することができたが、街路樹や屋敷林等の小規模な緑地の抽出は分解能の限界により困難であった。(第2章)
- ・従来型人工衛星 LANDSAT/TM による緑地抽出面積は、樹林地、草地は比較的妥当な面積を算出することができたが、農地と緑の多い住宅地の区分が困難で農地面積を過大に算出する傾向があった。(第2章)
- ・従来型人工衛星 LANDSAT/TM による緑地抽出結果を航空写真判読結果で補正することにより、面積精度を大幅に向上することができた。(第2章)

(2) 高分解能衛星 IKONOS 画像による緑地抽出

- ・高分解能衛星 IKONOS による緑地分布抽出では、街路樹や屋敷林等の小規模な緑地の抽出も可能であったが、影の影響を強く受けることがわかった。(第2章)
- ・高分解能衛星 IKONOS による緑地抽出面積では、従来型人工衛星 LANDSAT/TM で困難だった農地の抽出精度が向上し、比較的妥当な農地面積を算出することができた。(第2章)
- ・IKONOS データによる教師付き分類の都市緑地の抽出では、みどりの実態調査で設定されている農地の細分が困難であったが、樹木、草地、農地といったレベルの区分では高い精度で抽出することができた。(第3章)
- ・都市緑地抽出の誤差要因は、影の影響、スペクトル特性の類似性、ミクセルの影響などが挙げられた。中でもミクセルの影響は大きく、異なる土地被覆の境界付近で誤分類が多くみられた。(LANDSAT/TM、IKONOS) (第2章、第3章)

(3) 緑被分布図、小樹林地分布図の作成 (IKONOS)

- ・緑被分布図、小樹林地分布図の作成では、既存の 1/2,500DM データを用いることで効率的に作図を行うことができた。(第4章)

(4) 常緑樹・落葉樹の区分と精度の検証

- ・IKONOS データによる常緑樹と落葉樹の区分では、おおむね類似した傾向に区分することができたが、誤判読も多かった。また、特に、単純林、単層林では精度が高かった。(第5章)
- ・常緑樹・落葉樹区分の誤差要因は、樹冠の影、複層林、ミクセルの影響などが挙げられた。中でも樹冠の影の影響が大きかった。(第5章)

(5) 都市緑地調査への適用性の検討

- ・ IKONOS の位置精度、緑地抽出精度を考慮すると、IKONOS データの画像分類のみでは、小樹林地の把握に対しては実用可能なレベルにあるが、緑地の把握に対してはパンシャープン画像の判読などで補完する必要があると考えられた。(第6章)
- ・ データ取得コスト分析の結果、航空写真の代替として IKONOS 画像を用いる場合、新規撮影であればデジタルオルソ・ライト画像のマルチ+パンクロ、ライブラリ使用であればデジタルオルソ・エキスパート画像のマルチ+パンクロを用いることが現実的であると考えられた。(第6章)
- ・ データ解析コストについては、航空写真の代替として IKONOS 画像を用いると、航空写真の半分程度の解析コストで調査を行うことができると示唆された。(第6章)

7.2 都市緑地調査における IKONOS 画像の実利用シナリオ

6章で分析した入手コストおよび解析コストをふまえ、都市緑地調査における IKONOS 画像の実利用シナリオを検討した。検討結果は従来の手法（航空写真判読）と対比する形でフローチャートにまとめた。

平成8年度の練馬区みどりの実態調査を参考にまとめた従来の手法（航空写真判読）の流れを図-7.1に、提案する IKONOS 画像の実利用シナリオの流れを図-7.2に示す。

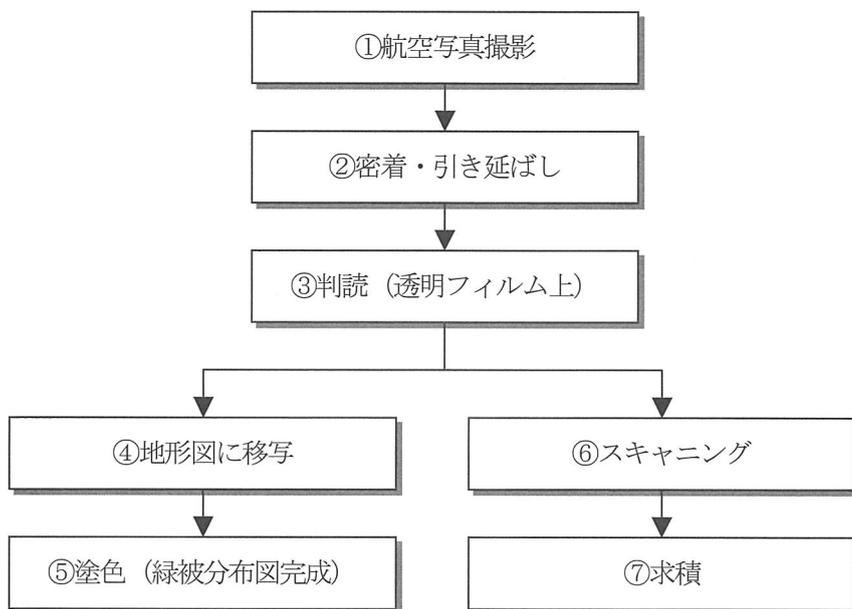


図-7.1 従来の手法（航空写真判読）の流れ

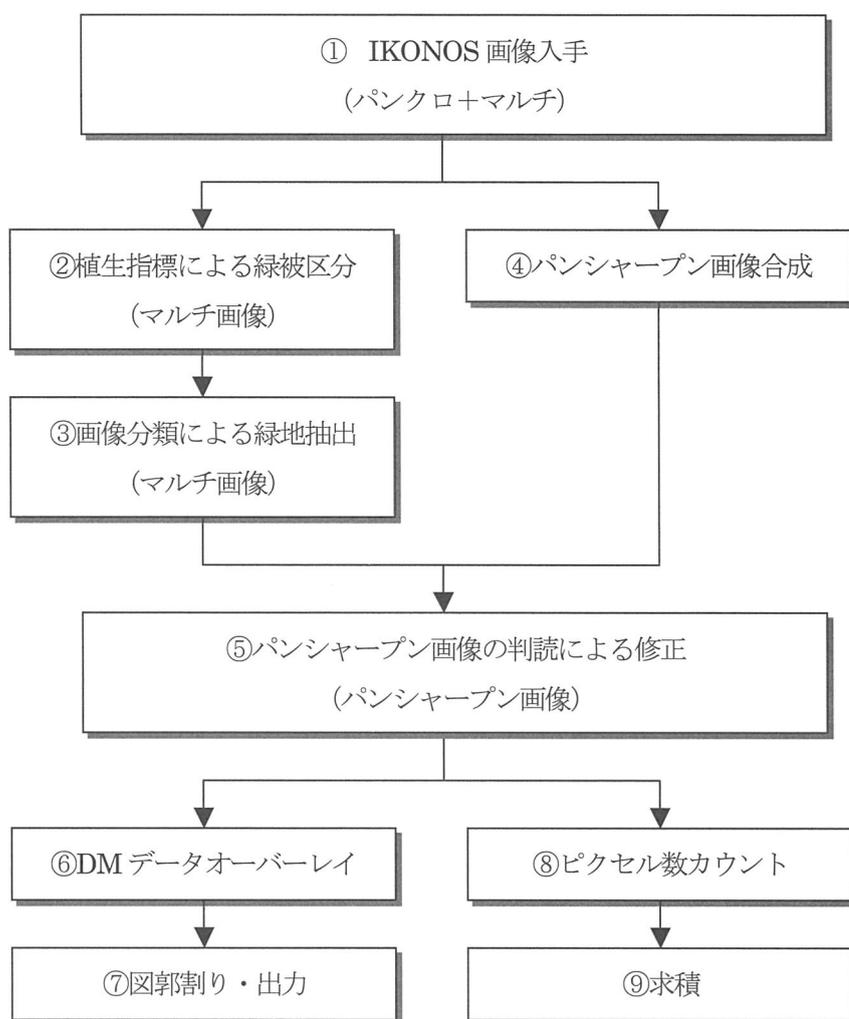


図-7.2 提案する IKONOS 画像実利用シナリオの流れ

7.3 今後の課題

(1) 都市緑地調査手法の開発

高分解能人工衛星という意味では、IKONOSより高分解能なQuickbirdの画像が提供され始めている。また、航空機搭載レーザープロファイラーを用いることにより都市緑地の立体形状を把握し、樹高、樹木本数の把握できる可能性がある。さらに、現在では、航空機搭載ではあるが数十～数百のバンド数を持つハイパースペクトルセンサーを用いた場合、スペクトル特性から得られる情報量が増加することによって、識別能力は飛躍的に向上し、樹種の判別の可能性がある。このような、多様なリモートセンシング手法を活用することにより、これまで航空写真判読や現地調査で行われてきた都市緑地調査の効率化を図ることが今後の課題である。

(2) 衛星データとGIS情報をリンクさせた緑地抽出手法の開発

本調査の第5章でも説明したが、パソコンを用いることにより、比較的簡単に、衛星データと土地情報等をGISを用いてリンクさせることができる。衛星データによる緑地情報としては、緑地分布、経年変化などが上げられ、GIS上で利用可能な土地情報(数値情報)としては、市販されているものでも、標高、傾斜、公有地、地価、人口密度、都市計画、土地利用規制などがある。これらをGISを用いて分析が可能で、緑地の増減傾向の把握、緑化可能地の推定(屋上緑化、校庭芝生化等)の分析が可能である。

(3) 人工衛星を利用した都市緑地のCO₂固定量算定モデルの開発

現在、地球温暖化防止対策としても重要視されている緑地によるCO₂固定であるが、緑地面積や樹木形状(高さ、胸高直径)等をCO₂固定量に変換する原単位を設定することにより、CO₂固定量を算定することが可能である。第6章で説明した常緑樹・落葉樹の区分は都市緑地のCO₂固定量算定の精度を上げる上で重要であった。CO₂固定量算定のためには、(1)の都市緑地調査手法の開発に加え、NDVI等の衛星画像データより直接CO₂固定量を直接算定する手法の検討を行うことが必要である。