

## 地上測量ゼロを可能にする航空測量機器およびソフトの研究開発

柴崎 亮介（東京大学・空間情報科学研究センター 教授）

高木 幹雄（㈱宇宙情報技術研究所 代表取締役社長）

高橋 弘隆（㈱宇宙情報技術研究所 取締役）

津野 浩一（㈱宇宙情報技術研究所 技術部長）

森田 一哉（㈱宇宙情報技術研究所 主任研究員）

三宅 和公（㈱宇宙情報技術研究所 主任研究員）

陳 天恩（㈱宇宙情報技術研究所 主任研究員）

### 1.研究開発の背景

分解能と絶対的位置精度が優れた三次元デジタル地理画像をパソコンやインターネットを通じて保存・検索・流通できる GIS(Geographic Information System)は、地図的な利用はもとより、洪水シミュレーション、地震対策などの防災、ITS(Intelligent Transportation System)などの環境・エネルギー、道案内・名所案内・地域マーケティングなどブロードバンド化するインターネットの情報基本コンテンツとしてとして今後の情報化社会に必須である。

このため、より高分解能と絶対位置精度向上を目指して低軌道衛星が開発され打ち上げられているが、分解能は 60cm 程度、絶対位置精度も 10m 程度で 1/5000 の地図作成も困難なレベルにある。一方、洪水シミュレーションや ITS は 5cm 程度の分解能、誤差 10cm 程度の絶対位置精度で 1/300 の地図作成を要求している。このためには従来のアナログ航空写真を高解像度のスキャナーで読み込みデジタル化する方法が考えられる。しかし、従来の航空写真は 2 次元的に撮影することに生じる建物の影で見えない部分があることや、アナログ撮影のためダイナミックレンジが低く太陽による影の部分の照度を向上させることが難しいという本質的問題点がある。また、デジタル化のためスキャナーで読み込む際の誤差の発生、高さのある建物や山の倒れこみ補正（オルソ化）の困難さ、などの問題点もある。

このため従来は現地での測量が必須であり、1/1000 以上の解像度の地図を作成する際の費用の 50%から 70%は現地調査と測量の費用と言われている。

したがって現地測量の限りなくゼロに近づくことができる高分解能・高位置精度のデジタル航空撮影装置が実用化されれば高精細の GIS 市場が急激に普及するとともに、土木・建築分野にも革新が起これと考えられ、その実用化が世界的に要請されている。

### 2.研究開発の目標

- 1) 高解像度でダイナミックレンジの広い3次元カラーデジタル航空撮影機器を開発する。それを使用した計測、オルソ化、図化などのソフトを開発し地上測量を限りなくゼロに近づける。
- 2) 航空撮影機器の目標性能は高度 300m から撮影で解像度 2.3cm、水平誤差 6cm、高さ誤差 10cm、ダイナミックレンジは 10bit 以上を目標とする。具体的には、ヘリコプターが揺れてもカメラを常に真下に向けておく高精度のスタビライザーに装着された、3列の CCD を持ち、前方、真下、後方の3方向から地上をスキャンし撮影する装置 (Three Line Scanner、以下 TLS と略す) を開発する。同時に GPS とジャイロ信号を利用した TLS の撮影時の位置・姿勢の高精度計測手法 (標定手法) 、TLS 画像からの3次元自動マッピング手法、オルソ化手法などを開発し、ソフトウェアとして実装する。また、精度の検証を実データを利用して行う。

### 3. 研究開発の成果

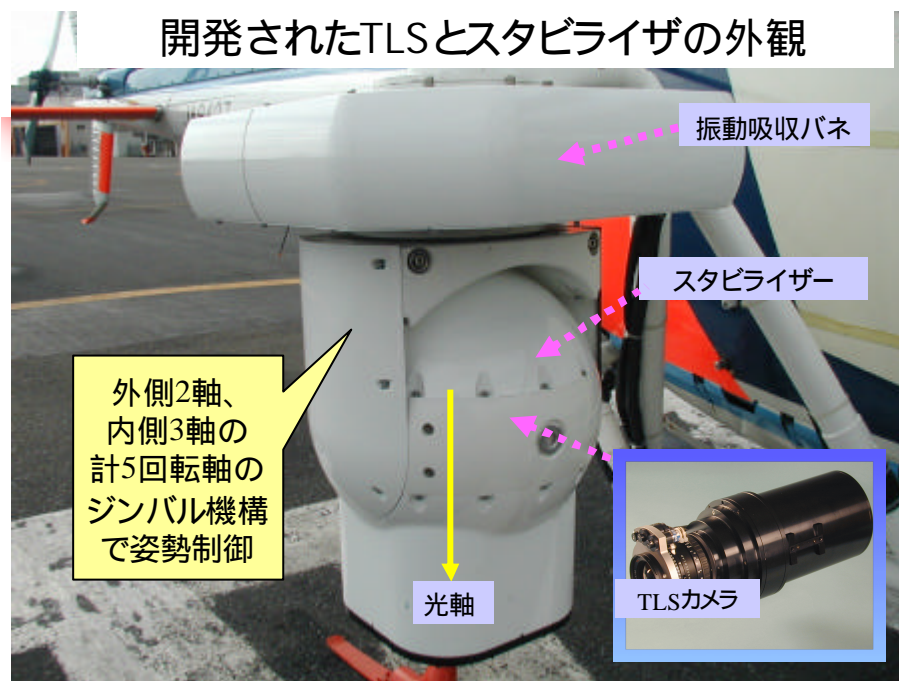
#### 1) 航空撮影機器 (TLS:スリーラインスキャナ) の開発

2次元デジタルカメラでは周辺部分の建物の倒れこみが激しくオルソ化が困難であること、および2次元の CCDカメラの画素数は精々数千万画素にすぎず、高解像度にならないことからラインの CCD を選択した。ラインの CCD は 10,000 画素以上の製品が販売されており、2次元に直すと 1億画素以上になり高解像度が期待できる。またラインの CCD で進行方向に地上をスキャンしていく方式は進行方向の各地点で連続に撮影していくため進行方向に沿って常に真上から撮影できるという利点があり、半オルソ化ができています。このためオルソ化がしやすく、また進行方向では繋ぎ合わせる必要がなくモザイク化が直角方向だけで良い。また3次元で撮影するためには少なくとも前方、直下、後方の方向の内、2方向で立体視する必要があるが、冗長性を考え衛星撮影と同様に CCD を 3列並べ Three Line で スキャンする TLS 方式を選択した。そして 14,400 画素のライン CCD を 3組、合計 9列並べ、1組毎に赤・青・緑のフィルタをもち、高度 300m から撮影した場合、地上解像度が 2.3cm でカラーの立体画像を撮影できる TLS を開発した。

しかしながら、高密度化した CCD はある程度の露出時間が必要なためスピードが速い固定翼航空機に搭載した場合、低空になると CCD より得られる画像が進行方向に長くなり、進行方向の絶対位置精度と分解能が上がらない傾向がある。これを避けるためには低速でも飛行可能なヘリコプターによる撮影が望ましいが、風による揺れが固定翼航空機より激しい欠点がある。機体の揺れが画像の歪みを引き起こすことを防ぐためには、ヘリコプターの風による揺れがカメラに伝わらないようにし、カメラのラインセンサーの方向を常に所望の位置に向

けるフィードバック機構を持ち 1000m 先でも光軸が 10cm 以内に収まる高精度のスタビライザーを研究開発し、この中にカメラを収納する。

開発された TLS とスタビライザーの外観を図・1 に示す。

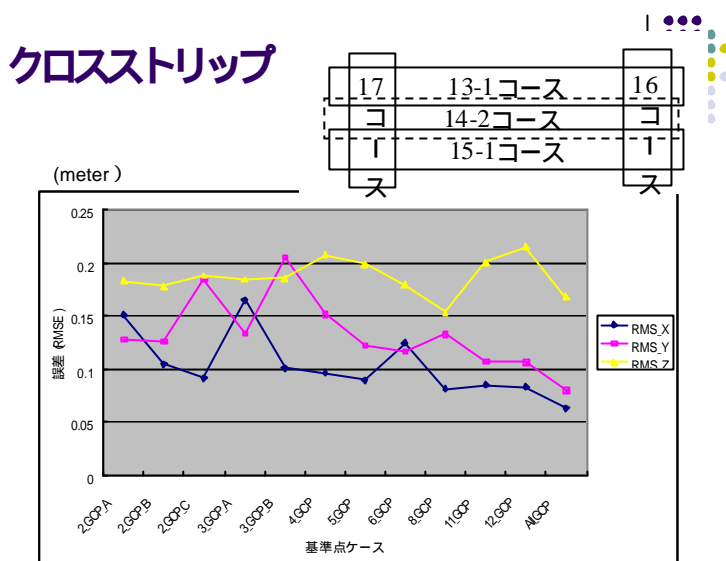


図・1 開発された TLS (スリーラインスキャナ) とスタビライザー

## 2) TLS の撮影時の位置・姿勢の高精度推定手法 (標定手法) の開発と検証

撮影時の TLS の位置・姿勢を正確に求めることではじめて精密な 3 次元計測が可能となる。従来の航空写真測量では地上基準点をあらかじめ設置しておくことで撮影時のカメラの位置・姿勢を高精度推定していたが、地上基準点の設置そのものに非常な労力を必要とする。そこで、本研究開発ではスタビライザに装着された高精度ジャイロと RTK-GPS 装置によりそれぞれ姿勢と位置を高精度に計測しそれを複数の画像上で共通に映っている点 (タイポイント、パスポイントと呼ばれる) を利用することで補正し、TLS の位置・姿勢の補正值とする方法を開発した。タイポイント、パスポイントの取得は簡単なものは自動化し、取りにくいものは計算機による自動取得結果を人が修正する方式を開発した。図・2 は TLS の位置・姿勢の推定精度を検証するために、推定された位置・姿勢の値から地上の検証点の 3 次元座標を計測し、その点での座標計測誤差を利用して、そもそも TLS の位置・姿勢の推定精度を評価した結果である。図・2 ではさらに利用した地上基準点の数で計測精度がどのように変動するかを比較している。その結果、クロスストリップと呼ばれるように、画像が互いに縦横

に重なるように撮影することで、地上基準点が2点程度でも十分な精度を確保できることを確認した。



図・2 TLSによる地上検証点の3次元計測誤差と地上基準点の個数による誤差の変化

### 3) 3次元マッピングの自動化手法の開発と検証結果

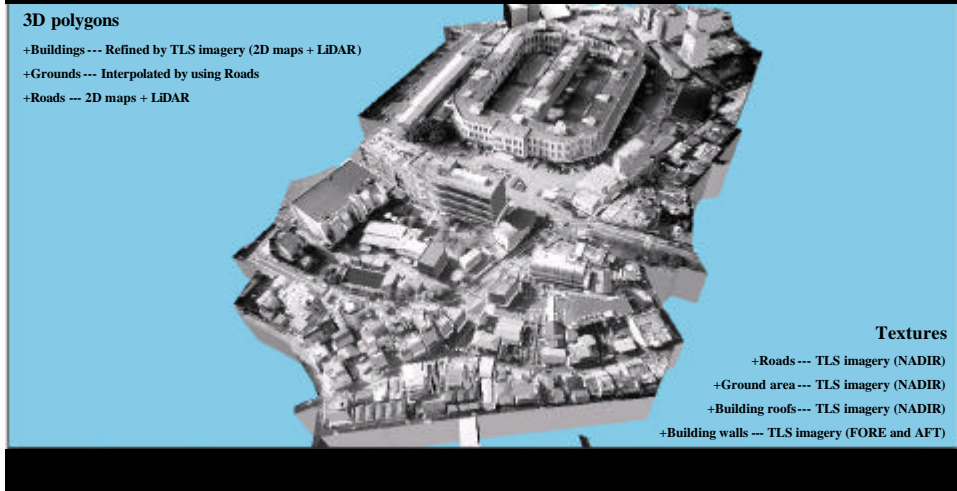
従来の航空写真測量では、オペレータが1対のステレオ写真を立体視することで3次元計測や地物の認識を行ってきた。しかし、この過程も労力と人件費を膨大に必要とする作業である。またオペレータは一度に2枚の画像しか扱うことができないため、一度に3方向から撮影するTLSのメリットを生かすことは困難である。すなわちTLSのデジタル画像データから自動的に3次元データを生成することができれば、非常な強みとなる。しかし、これまでの研究開発事例によれば、自然地形を対象とした3次元マッピングは相当程度自動化可能であるが、都市部のように表面形状が建物や構造物により複雑になっている地域では完全自動化は非常に困難であることが示されている。そこで、本研究開発では以下のような視点から3次元マッピングの自動化手法を開発、検証した。

(1) TLS画像だけでなく他のデータ、たとえば既存の2次元地図データやレーザーデータなどと組み合わせることで、一層高い自動化率を達成する。特に2次元地図データは都市部では既に整備されていることが多く、期待できる。

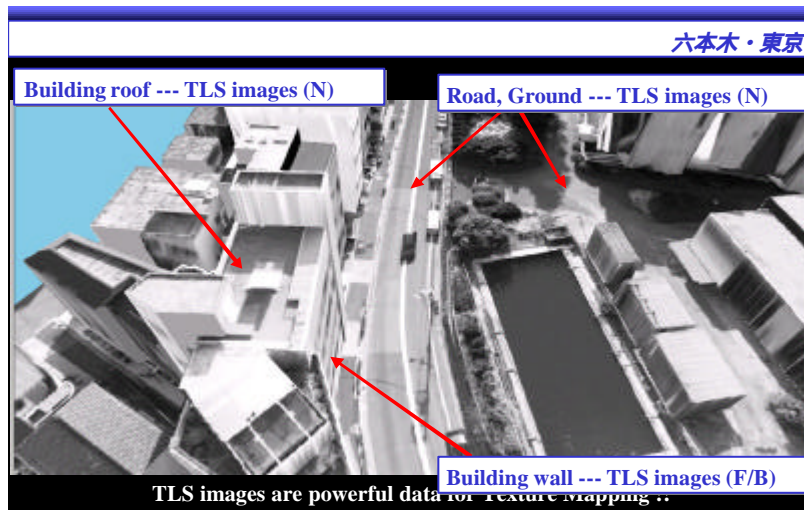
(2) ごく簡単な一部作業を人間が行うことで、一層高い自動化比率を向上させる。

(1)と(2)は別々にシステム化される手法ではなく、両方を組み合わせることで、全体としてデータの生産効率を大きく引き上げることができると期待される。

図・3は以上のような方法により作成された3次元地図データを示している。



図・3 TLSから作成された3次元データの例



図・4 TLSから作成された3次元データの例



図・5 TLSから作成された3次元データの例

#### 4.まとめ

研究開発時に立てた目標と現時点で比較すると、以下のような達成状況である。おおむね達成されているが、測定精度に関しては目標をやや下回った。これは、CCDの歪みが予想より大きく、十分歪みを補正しきれなかったことが主な要因であると考えられる。

- 1) 水平 6cm、垂直 10cmの測定精度 ㊦ 水平 5~15m、垂直 15~20cm。安定性にはまだ課題が残る。
- 2) 3次元自動計測を達成する。㊦ 自然地形は90%以上自動計測できることを確認したが、都市建物は補助情報を利用することで90%程度を達成できる。
- 3) 基準点をほぼゼロ。現地での地上作業をゼロとする。㊦ 10km四方に2~3点の基準点があれば、上記の精度を実現できる。)
- 4) 2.3cm解像度・位置合わせ精度6cmのデジタル画像を得る。㊦ ほぼ達成
- 5) ヘリを使った柔軟なデータ取得 ㊦ 達成

今後は、以下のような課題に取り組む計画である。

- 1) 「高精度」、「柔軟な撮影範囲」を活かしたデータ活用分野を開拓する。
- 2) さらに基準点を減らすための技術開発を進める。具体的には、スタビライザの精度向上(特に姿勢精度)を目指す。
- 3) 自動化比率をより向上させるためのマッピング自動化技術の開発。従来からのゼロからスタートして3次元数値地図を作製するイメージではなく、既に完成している2次元数値地図や3次元版をきわめて安価に更新できるようなシステムとする。