

大容量航空写真を用いた三次元景観表示手法

大津 順也¹, 佐々木 大², 越 雄一², 荒木 俊輔³, 碓崎 賢一¹

¹九州工業大学大学院 情報工学研究科

²株式会社ピープルメディア

³九州工業大学 情報工学部

概要 : 航空写真と Digital Elevation Model(DEM)を用いて, 市町村単位の広範囲にわたる景観を三次元的に表示する手法を提案する. 約 100km² の範囲を包含し 1m² あたり 10×10 ピクセル相当の精度を持つ航空写真は, 地表面の様子を詳細に表現することができる. しかしながら, そのデータ容量は約 30GB にもなり, 1GB 程度の主メモリを搭載した計算機で精度の高い景観を滑らかに表示することは困難である. 本手法では, 景観表示における航空写真の利用形態に局所性があることから, 仮想記憶の概念を利用して航空写真を管理し景観表示を行う.

A Three-Dimensional Landscape Rendering Method with A Large Volume of Aerial Photo Images

Jun'ya OTSU¹, Hajime SASAKI², Yuichi ETSU², Shunsuke ARAKI³, and Ken'ichi KAKIZAKI¹

¹Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

²PeopleMedia, Inc

³Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract : We propose a three-dimensional landscape rendering method with a large volume of aerial photo images. The amount of the images is much more than capacity of main memory in a standard personal computer. Therefore, we present a memory management method for a large volume of aerial photo images using a virtual memory technique. In order to draw precise images, our method provides required images constantly. We have implemented a prototype system and have evaluated about the performance and the visual quality of the system.

1. はじめに

近年, 地理情報システム(Geographic Information Systems : GIS)は, 自治体や企業などで広く活用されてきている. 中でも, 地図を三次元的に表示し, 高い表現力を持った三次元 GIS は, 主に自治体によって行われる防災・災害対策, 景観アセスメント, 土地利用用途の調査, 観光案内などの様々な分野での活用が期待されている. このような分野において三次

元 GIS の利用価値を高めるためには, 景観や土地利用の様子を現実に近い形で表示することが望まれている. また, 各地方自治体では地域の現況を把握するために, 航空写真やデジタル標高モデル(Digital Elevation Model : DEM)などの整備が進んでいる.

こうした背景を元に, 我々は航空写真と DEM を用いた大規模景観表示システムの研究・開発[1]を行っている. 本システムでは, DEM を利用して広範

囲にわたる三次元の地表面モデルを構築し、そのモデルに対して航空写真の画像のテクスチャマッピングを施した景観を一般的な PC 上で滑らかに表示することを目標としている。対象となる航空写真は、固定資産税の調査などで業務利用される、自治体全域にわたる土地や家屋の現況などを把握可能な、広範囲をカバーした高精度の画像データであるため、その容量は非常に大きい。

このデータを利用して景観表示を滑らかに行うためには、PC に搭載されている主メモリに航空写真を読み込む必要がある。しかしながら、航空写真の容量に比べて PC の主メモリの容量が小さいために全て読み込むことができないという問題がある。そこで我々はこの問題を解決するために、仮想記憶の概念を取り入れ、限られた主メモリ上で航空写真を管理する、大容量航空写真を用いた三次元景観表示手法を提案する。

2. 航空写真を用いた景観表示

2.1. 航空写真の利用

DEM から構築した三次元の地表面モデルに、航空写真のテクスチャマッピングを施して質感を与えることによって、景観や土地の利用状況の様子などをわかりやすく表示することができる。図 1 は、航空写真と DEM を利用した景観表示の画面例である。

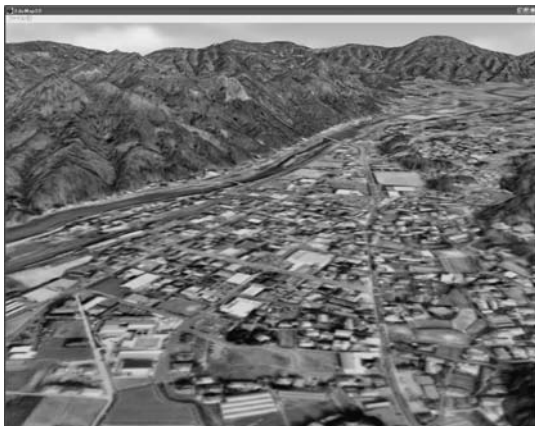


図 1：航空写真と DEM による景観表示の画面例

1章で述べた自治体の業務でこのような景観表示を活用できるようにするためには、自治体全域の地表面を対象とすることが必要である。例えば、100km²相当の地表面を表示する場合、全国の各市区

町村の約 6 割に対して、自治体全域を包含した景観表示を行うことができる。また、自治体の業務で景観表示を手軽に活用できるようにするためには、PC 上で動作できる必要がある。さらに、利用者が様々な位置や角度から地表面モデルを観察して景観をわかりやすく把握できるようにするために、三次元空間内の視点移動を滑らかに行える操作性を持ち、リアルタイムに景観を描画できることが望ましい。

2.2. 大容量の航空写真を用いる際の問題

精度の高い航空写真の容量は非常に大きくなる。例えば 1m²あたり 10×10 ピクセルの精度を持ち、100km²相当の地表面を表す画像データを利用する場合、そのデータ容量は無圧縮で約 30GB、JPEG 形式で圧縮したとしても約 7GB にもなる。一方、一般的な PC には、1GB 程度の主メモリしか搭載されていないため、航空写真を一度に全て読み込むことはできない。利用者が自由に視点を移動させながら、対象範囲全域の景観を滑らかに表示させるためには、全域の航空写真が主メモリに置かれ、必要な際に遅延なく航空写真が表示に利用できる必要がある。航空写真を利用した三次元 GIS の研究も行われている [2]が、このような高解像度の画像データを利用して PC 上で遅延なく景観を表示することができるまでには至っていない。

3. 航空写真の利用形態の局所性を用いたカリングと段階的詳細化

3.1. 航空写真の利用形態の局所性

景観表示の対象が広範囲であるとしても、一度に表示できる領域は画面に投影される範囲内だけであったり、視点から遠く離れている景観は詳細に表示できなかつたりするため、景観表示における航空写真の利用形態には局所性が見られる。例えば、ある地表面モデルの一角に接近して景観を表示する場合、高い精度の航空写真を表示しなければならないが、必要となる航空写真の範囲は限られる。一方、視点在地表面モデルから離れ、広範囲の地表面モデルを一度に表示する場合は、広範囲を表現する航空写真が必要であるが、低い精度の航空写真で十分になる。

3.2. カリングと LOD による航空写真の分割

大容量の航空写真を用いて景観表示を行うため、

場所と航空写真の利用形態に局所性があることに着目して、航空写真の中から必要な場合に必要なものだけを主メモリに読み込めるように、航空写真を分割する。さらに分割したそれぞれの部分に対して、解像度の低い数段階の写真を生成する。このようにして分割した航空写真の中から利用するものを、場所と解像度に絞り込めるようにする。

一般に三次元グラフィックスでは、モデルを構成するポリゴンの数を減らして描画の高速化を図るといった目的でカリングや LOD を用いるが、我々は大容量の航空写真の中から主メモリに読み込む必要があるものを特定するためにこれらを用いる。

3.3. 視点の移動に応じた航空写真の容量

航空写真を分割し、カリングと LOD によって景観表示に必要な航空写真を絞り込んだ場合において、1024×768 ピクセルの画面上で景観を表示する際に必要な航空写真の容量を検証する。想定する地表面モデルには凹凸がなく、広さは10km×10kmとする。航空写真はピクセルあたり 10cm×10cm の精度で、色数は3バイトである。航空写真は1024×768 ピクセルの画面で表示することに合わせて 1000×1000 ピクセル単位で分割する。航空写真の LOD には 100m×100m の範囲をピクセル数 1/4 ずつ縮小した複数の航空写真を利用する。視点の移動は以下の 2 通りで行う。

- 地表面モデル全体を把握した上で限られたある範囲の景観をズームアップして観察できるような、地表面モデルと縦になす角 45 度で降下した場合。地表面モデル全体を表示する高度 14km から出発して高度 0km の地表面モデルの中心までフライスルーし、移動距離が大きいほど地表面モデルに接近する。
- 地表面モデルに沿って景観を把握しながら移動できるような、地表面モデルから人の身長の高さ(2m)でウォークスルーを行う場合。地表面モデルの中心から 15km 離れた、地表面モデル全体を表示する地点から、地表面モデルに接近して地表面モデルの端に到達し、その後地表面モデル上を縦断して反対側の端まで移動する。

図 2 は、地表面モデルと縦になす角 45 度で斜めに降下する際の、表示の対象となる面積と表示すべき航空写真の容量を表したものである。視点が地表面

モデルに接近するにつれて表示の対象となる面積は狭くなるが、航空写真の容量は増加している。

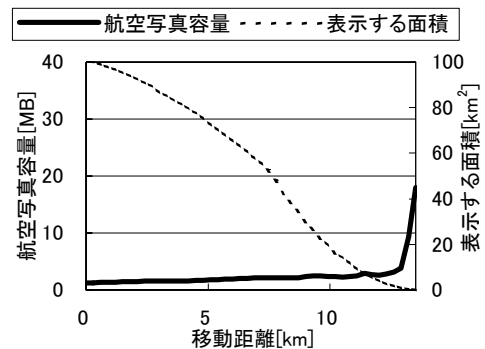


図 2：フライスルー時の航空写真の容量

図 3 は、ウォークスルーを行う際の、表示の対象となる面積と表示すべき航空写真の容量を表したものである。この場合、移動距離 10km の地点が地表面モデルに到達した地点であり、移動距離 10km 以降では地表面モデルに沿って視点が移動する。そのため、移動距離 10km 以降では視点が地表面モデルと接近して移動し、常時高い精度の航空写真が要求されるため、航空写真の容量は大きくなる。しかしながら、視点の移動と同時に、反対側の地表面モデルの端に接近し、表示する面積が減少していくため、徐々に航空写真の容量は減り始め、端に到達した際には容量が 0MB となる。

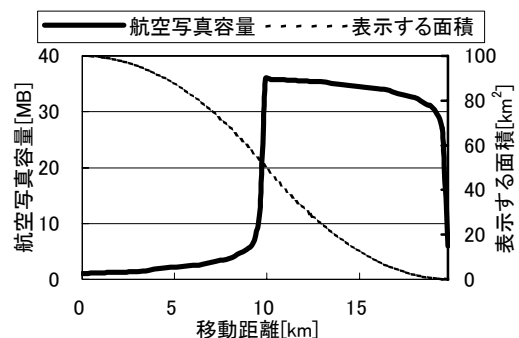


図 3：ウォークスルー時の航空写真の容量

航空写真の利用形態の局所性によって、上述のように視点から地表面モデルまでの距離が近い場合には、表示の対象となる範囲は狭く、遠い場合には表示する面積あたりの航空写真の容量を小さくできる。表示する航空写真の最大の容量も、45 度で降下する

場合で18MB、ウォークスルーする場合で36MBであり、参照の局所性を有効に活用できることが確認できた。

4. 大容量航空写真を用いた三次元景観表示手法

4.1. 航空写真用の仮想記憶システム

景観の表示に必要な航空写真が、表現する場所や精度に局所性があることから、大容量の航空写真の主メモリへの読み込みに仮想記憶の概念を取り入れる。視界が決定した後にカリングや LOD を行い、表示する航空写真の場所や精度を絞り込み、ハードディスクからの読み込みを行う。

本手法では、以下の3つの階層による記憶領域を利用して、大容量の航空写真の管理を行う。

- 航空写真を無圧縮で記憶し、即座にテキストチャートとして表示できる形態で保持している主メモリ上の領域
- 航空写真を JPEG で圧縮して多く記憶し、ハードディスクからの航空写真の読み込み回数を削減するために主メモリ上に設置されたキャッシュシステム
- 全ての航空写真を記憶しているが、低速でしか航空写真の提供を行えないハードディスク

本手法の概要を図 4 に示す。

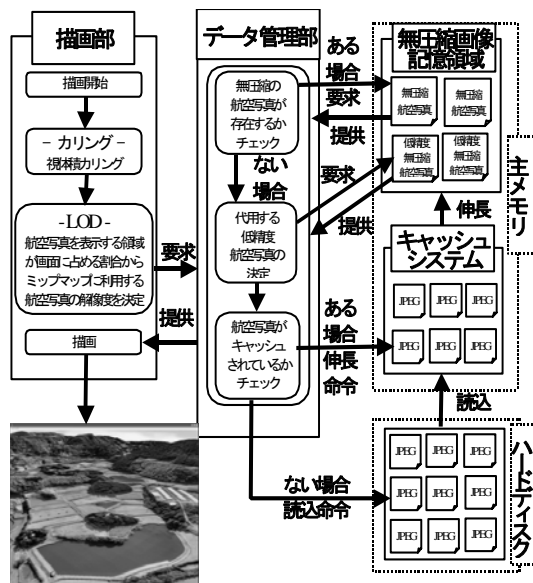


図 4：三次元景観表示手法の概要

本システムの構成要素は、描画部とデータ管理部の2つに大きく分けられる。まず描画部は、場所と精度を指定することによって、描画に必要な航空写真をデータ管理部に要求する。データ管理部は、要求された無圧縮の航空写真が主メモリ上にあれば、その航空写真を描画部に返す。要求された無圧縮の航空写真が主メモリ上にない場合には、主メモリ上にある低精度の航空写真を描画部に返す。描画部は、データ管理部から受け取った航空写真を表示する。

4.2. 画像データ圧縮技術を用いたキャッシュシステム

ハードディスクは、主メモリに比べて記憶容量が大きい、データの入出力が低速である。このため、表示に必要な航空写真を視点の移動に合わせてオンデマンドにハードディスクから主メモリに読み込む場合、航空写真の表示までに長い遅延時間が発生する。そこで、ハードディスクから航空写真を読み込む回数を削減して短時間で航空写真を表示できるようにするため、主メモリ上で景観表示に利用しない記憶領域を可能な限り活用して航空写真を記憶するキャッシュシステムを設ける。キャッシュシステムでは、ディスク上と同様に画像データ圧縮形式として JPEG を採用する。

4.3. 精度を落とした航空写真による代用

表示に必要な航空写真が読み込まれていない場合、リアルタイムに表示できない。しかしながら、要求される精度に厳密に対応した航空写真を提供できないとしても、精度を落とした航空写真を代わりに提供できれば、全く景観を観察できないという事態に陥ることはない。そこで本手法では、無圧縮の航空写真が主メモリ上になく、即座に必要な精度で航空写真を表示できない場合、精度を落とした航空写真を代用して表示する。そして、代用して表示しながら、キャッシュシステムに JPEG で圧縮して記憶された航空写真を伸長したり、ハードディスクから主メモリへの読み込み処理などを行ったりすることによって、要求された精度の航空写真の主メモリ上への読み込み処理が完了すると、要求された精度の航空写真に切り替えて表示できるようにする。

5. システムの試作と評価

本手法の有効性を確認するため、図 4 に示した構

成を持つシステムの試作を行い、試作システムによって評価を行った。本章では、まず航空写真の読み込みに関する評価について述べ、そして表示する景観の見え方に関する評価について述べる。評価環境は、CPUにPentium4 3GHz、主メモリ1GB、ビデオカードとしてGeForceFX5600 256MBを搭載したPCである。

5.1. 航空写真の解像度の適合性に関する評価

本節では、3.3.節で述べた方法で地表面モデルの観察を行った場合において、必要な精度で表示される航空写真の割合と、航空写真の読み込みにかかる時間に関する評価について述べる。

5.1.1. 必要な解像度で表示される航空写真の割合

視点が移動する過程で画面に表示される航空写真の中で、必要な精度で表示できているものと、主メモリへの読み込みが完了しておらず精度を落として代わりに表示しているものの割合を計測した。

図5は、視点が地表面モデルと縦になす角45度で斜めに降下した際の、航空写真の読み込み状態の割合である。地表面モデルから比較的離れて移動している場合は、視点の移動に対して航空写真が画面に投影されるピクセル数の変動の割合が小さい。移動時間が160sを経過するあたりまではより高い精度の航空写真を読み込む必要が発生しないため、常時必要な精度で100%表示されている。

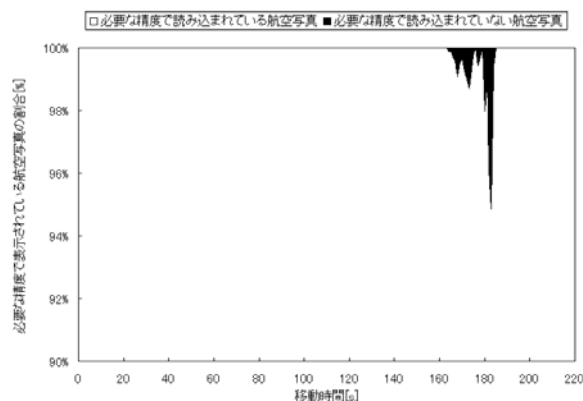


図5：フライスルー時に必要な精度で表示された航空写真の割合

一方、地表面モデルに視点が接近してくると、よ

り高い精度の航空写真を読み込む必要が度々生じ、その度に代用して航空写真を表示している。視点を地表面モデルに最接近させた移動時間180s付近では、表示される地表面モデルの面積が減少することにより、対象となる航空写真の総数自体が小さくなり、航空写真が数枚読み込めていない状況でも必要な精度で表示されていない航空写真の割合が95%まで拡大している。しかしながら、その後視点を静止させた状態を保つと、1.05sで必要な精度の航空写真が読み込まれ、ほとんど遅延の影響がないことが示された。

図6は、ウォークスルーを行った際の、航空写真の読み込み状態の割合である。この場合、地表面モデル全体を表示できる地点から移動時間900sで地表面モデルの端に到達する。地表面モデルに到達した後は、地表面モデルと接近しながら移動するため、高い精度の航空写真を常時読み込む必要があり、代用して表示する航空写真が常時生じている。しかしながら、地表面モデルの反対側の端に接近する1600s以前では、常時必要な精度の航空写真を90%以上の割合で表示できており、表示する景観の見え方が著しく低下することはない。

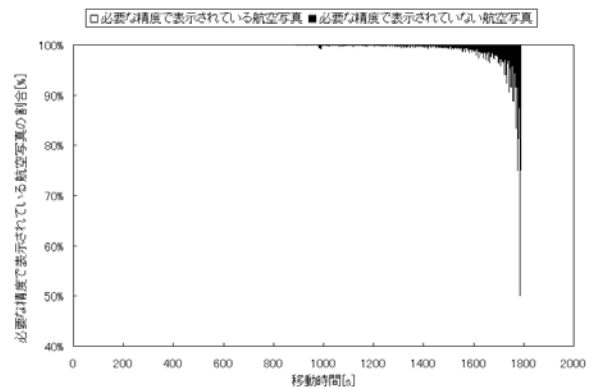


図6：ウォークスルー時に必要な精度で表示された航空写真の割合

1600s以降の必要な精度で表示されていない航空写真の割合の増大に関しては、フライスルーの際に地表面モデルに再接近した場合と同様に、表示される地表面モデルの面積が減少することにより、航空写真が数枚読み込めていない状況でも割合に大きく影響しているためである。しかしながら、移動時間1800sの時点で視点を静止させると、0.95s必要な精

度の航空写真が読み込まれ、ほとんど遅延の影響がないことが示された。

5.1.2. 航空写真の読込処理にかかる時間

視点が移動する際に、航空写真の読込処理にかかる時間を計測した。読み込みは、視点からより近い範囲を表現する高い精度の航空写真から優先的に行うようにした。

表 1、表 2はそれぞれ、視点が地表面モデルと縦になす角 45 度で斜めに降下した際とウォークスルーした際の、精度ごとの航空写真の読込時間である。最長の読み込み時間は、ウォークスルーした際のピクセルあたり 320×320 cm²の航空写真の読み込みにかかった時間 6641ms であった。しかしながら、これは画面に小さく表示されるため、代用の航空写真によって補うことによって、景観の見た目を大きく低下する要因にはならない。

表 1：フライスルー時の航空写真の読込時間

写真精度 [cm ² /ピクセル]	読込 回数	読込時間[ms]	
		最長	平均
10×10	4	47	35
20×20	6	31	31
40×40	14	32	17
80×80	24	32	15
160×160	72	31	15
320×320	218	32	16

表 2：ウォークスルー時の航空写真の読込時間

写真精度 [cm ² /ピクセル]	読込 回数	読込時間[ms]	
		最長	平均
10×10	212	78	36
20×20	200	63	32
40×40	415	125	17
80×80	406	47	17
160×160	780	2313	22
320×320	1285	6641	39

5.2. 滑らかな表示の評価

長崎県佐々町全域を含む約 32km²の範囲を対象として、精度 1 m²あたり 10×10cm の航空写真の画像データ約 3GB を用いて、滑らかな表示の評価を行った。その結果、町全域を俯瞰できる視点(図 7)から、田畑や池などの土地利用の様子が見て取れる視点ま

でを移動して、滑らかに表示することができることを確認した。視点の移動中には、低解像度の航空写真の代用によって、航空写真の読込処理の遅延による景観表示の欠落も回避できていることを確認した。

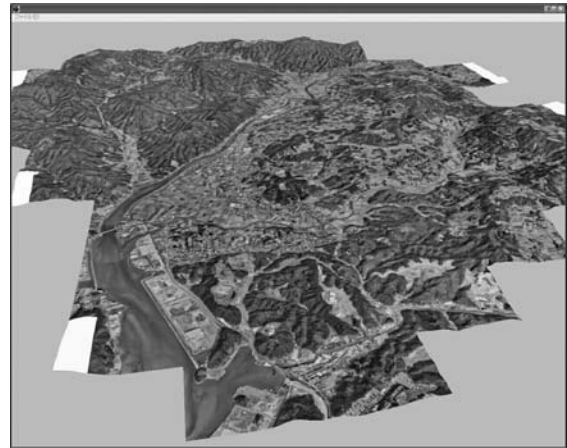


図 7：町全体の地表面表示

6. 謝辞

本研究で利用した航空写真と DEM データを提供していただいた長崎県佐々町に感謝いたします。

7. まとめ

本稿では、大容量航空写真を用いた三次元景観表示手法について述べた。試作したシステムでは、大容量の航空写真を分割し、仮想記憶の概念を取り入れることによって、必要な精度と場所の航空写真のみをメモリに読み込んで景観を表示できることを確認した。今後の展望としては、航空写真の先読みによる景観の完成度の向上や、ネットワークを介したデータ入力などに向けて研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 越雄一, 碓崎賢一, 「自治体を対象とした写実的な大規模景観表示システム」, 地理情報システム学会 講演論文集, Vol.11, pp.279-282, 2002.
- [2] 後藤寛, 上平好弘, 歌代和男, マーク・コーバー, 小野寺久憲, 松崎康治, 野呂治, 「ローコスト 3 次元 webGIS トータルシステムの構築と課題」, 地理情報システム学会 講演論文集, Vol.13, pp.303-306, 2004.