

野外対象物の高解像パノラマによる記録法

Recording of Field Objects Using High Resolution Panorama

小出 良幸*

Abstract

Panorama is very effective method for precise recording of wide distributed and large objects in the field. As some images should stitch to panorama, it is important to take photographs of the whole space without the lack and overlapping using equipments rotated accurately at the nodal point. The images taking under the condition using the lens in the angle of field where the resolution of hope is obtained stitch to the spherical panorama with high resolution. The panoramas could be presented in the computer display.

I はじめに

地質学だけでなく野外で調査する時、カメラで対象物を記録することが多い。デジタルカメラの能力の向上と普及、そして論文でのデジタル画像の受付も可能になってきたため、最近ではデジタルカメラを用いた記録が主流となってきた。アナログカメラと比べてデジタルカメラはもともとデジタル化されているので、コンピュータを用いた処理を前掲とできるため、さまざまな撮影手法で自然の対象物を示されるようになってきた。

例えば、小出(2007)は、一定の手順で精度を上げて連結できるように撮影していけば、堆積岩の露頭をまるごと記載することが可能となる手法を提案した。場合によっては、高分解能のデジタル画像が重要な情報源となりうることを示した。

地質学でいえば、岩石や地層の出ている露頭が被写体となることが多い。対象物が小さければカメラによる記録は容易だが、大きな

対象物、広い対象物の全体像が重要となる場合、スケッチを書いたり、部分的に撮影したものを貼り合わせたりするなどという作業がアナログカメラのプリントを用いておこなわれてきた。スケッチはそれなりの重要性があるのだが、写真の貼り合わせは、必ずしも十分な解決策ではない。

広がる地質体、地形、景観、露頭などの対象は、一枚の画像で記録することは不可能なことがよくある。そのような場合、対象を多数撮影して記録されることになる。しかし、その撮影を、系統性なく、ばらばらに行っていたのでは、広域に広がるものを示したいとき、切り貼りをした画像は、対象物を正確に記録に残したことになる。なぜなら、画像の歪みや、貼り付け境界において不連続が起こったり、情報漏れがあったり、歪みのため「不自然」で「不連続」な合成画像となるからである。

近年画像合成の技術が進み、画像処理の専門家でなくても、だれでも手軽に合成を行う

ことができるようになった。時には、欠損部分を「自然」に補うことも可能となる。しかし、欠損を補うとは、対象物を忠実に記録、再現したのでなく、対象物の一部を「捏造」したことになる。したがって、画像合成は、欠損なく撮影を行い、再現性のある手続きでの処理をしなければならない。後に連続的に再現することを考慮して撮影していけば、画像処理によって正確に連結できる（小出，2007）。この手続きさえ踏めば、野外で撮影したデジタル画像は、重要な記録手法となりえる。

上述の小出（2007）が示した方法は、連続記録と分解能（解像度ではない）を重視したもので、必ずしも広範囲の景観を記録するための方法ではなかった。その欠点を補うためには、定点から上下左右前後という全方位まで広がる対象物を記録する方法が重要になる。

小出（2005）は、広範囲や全方位を記録するためにパノラマ画像が有効であることを示した。全方位の記録であっても、必要な手続きを踏んで、連続的に撮影していき、画像処理によってすべてを連結するパノラマという手法があり、それが野外記録に利用できることを示した。しかし、小出（2005）ではパノラマを紹介したが、どの程度の解像度が得られるかは検討していなかった。

原理的には、単位となる一枚の画像を希望の解像度で撮影すれば、あとは一定の手順に沿って撮影しさえすれば、パノラマの画像合成は可能である。しかし、撮影の労力、画像合成のための処理能力などを考えれば、無制限に解像度を上げることは困難となる。労力と結果を考慮して、どの程度の解像度で撮影するのが記録法として有効であるかを検討しておけば、あとは撮影手法と画像処理の手順を確立していけば、野外のさまざまな対象を記録することへ応用できるはずである。

本論文では、自然の対象物や景観の記録手

法として全方位パノラマを取り上げ、撮影条件と、条件に応じた解像度の結果を示し、検討していくことにする。

II パノラマによる記録の可能性

1 パノラマの種類

写真撮影でいうパノラマとは、広画角を撮影するという程度の意味で使用されていて、画角が必ずしも定義されていない。35 mm フィルムの縦横比と比べて縦より横への広がりが多い場合、すべてパノラマと呼ばれている。

小出（2005）では、静止画像のパノラマを、
・横長パノラマ
・連結パノラマ
・球体パノラマ
に区分した。

横長パノラマとは、縦と横の比が普通の 35 mm フィルムより縦が短く横が長いものである。パノラマ撮影に特化したスリットカメラなどの専用カメラもある（小倉，1998）が、通常は 35 mm フィルムの画像をトリミング（trimming）して横長のパノラマを作成していく。広がる自然景観を、広角レンズあるいは超広角レンズを使用して撮影し、不要な天地をトリミングして、パノラマ画像を作成する方法である。

横長パノラマをトリミングすれば、解像度が下がる。また、広角レンズでの撮影は歪みが大きく、歪みの少ない標準レンズを使うと、広域の自然景観を撮影することができないという問題がある。横長パノラマでは、本論文の目的である高解像化は達成できない。

連結パノラマとは、複数枚の画像を連結合成して、横長のパノラマにするものである。標準レンズのような歪みの少ないもので連続した撮影をおこない、それを合成していく方法がある。この方法であれば、横長パノラマの解像度不足と歪みの問題は解消される。

連結パノラマでは、画像合成による結合が

前提であるから、撮影位置から、対象物が広がりの方角（あるライン）を決めれば、そのラインに沿って（横方向や縦方向、斜め方向も可能）撮影することになる。その撮影ラインを長くすれば、広範囲の記録は可能となる。目的のラインのみで連続した対象であれば、360度の周回する空間を撮影して、2次元に展開することも可能である。360度の景観を標準レンズ（50mmで横方向40度の画角を持つ）で、画像毎に3分の1程度の面積を重複して撮影する（画像合成は重複があった方が正確にできる）と、12枚以上の画像が必要となる。

50mmレンズでカメラを縦位置にすると目的のラインの縦方向への広がりをより大きくして記録できる。横のライン方向の画角が27度になるが、ライン方向に連続撮影をしていけば、より広範囲を連続して記録することができる。

さらに記録範囲を天地に広げたい場合は、目的のラインと平行に天地に別の撮影ラインをつくり記録していけばいい。天地のラインにおける撮影は、もとの枚数より少ない枚数で撮影できる。これは、球面の面積を考えれば、わかりやすい。最大の円周は大円で、大円から離れた大円と平行する小円の円周は短くなる。それを同じ面積で撮影すると、より少ない数で済むことになるからである。しかし、上下への撮影を考えれば、2倍の枚数になる。広い画角を記録するには、撮影枚数は多くなるが、三脚を使って正確に回転角度を見ながら撮影すれば、記録は可能となる。

連結パノラマは、対象物の広がり限定されている場合には、非常に有効な記録方式となる。ただし、画像を連結するならば、連結可能な手法で記録しておくことが重要になるが、それは後述する。

連結パノラマにおけるボトルネックは、画像処理するコンピュータやアプリケーションの処理時間や処理できる画像サイズの制限と

なる。処理に時間がかかるのは、待つことで解決できるが、画像サイズの制限は現状では対処できない。しかし、元画像の高精細さを保つためには、許される最大のサイズまで連結しておき、それを超える場合は、いくつかの画像に分割して連結しておくことで対処可能である。そのような視点に立てば、望む解像度に必要な手順を踏んだ撮影をしておけば、後日その画像を利用することができる。現状では、できる範囲で連結パノラマにしておき、今後の進歩があれば、すべてを連結していけばよいことになる。

2 球体パノラマの重要性

地球儀のような球体を中心から見た景色を展開図に表そうとすると、赤道から外れて高緯度になるほど、球面上の形態は歪んでいくことになる。この作用が、3次元の空間を2次元に合成する時、目的のライン以外の部分に歪みが生じる原因となる。このような歪みの現象が、広角レンズによる撮影画像や広域の連結パノラマ画像では起こる。

目的のラインから外側の画像は歪んだ画像となるが、専用のアプリケーションによる画像処理で解消することは可能である。画像処理で歪みを補正するのであれば、広い画角のレンズを用いて撮影を適切な枚数に抑え、簡便に、より自然に近い画像を作成することが可能である。そこで、球体パノラマの重要性が浮上してくる。

球体パノラマとは、フルパノラマや360度パノラマ、全方位パノラマなどと呼ばれるもので、空間を定点の視点から天地四方すべての方向に広がる球体とみなして記録し、再現するものである。地質学で扱う対象物は、その広がりもさまざまである。時には、深く切れ込んだ両側の谷をつくる崖の露頭など、四方八方そして足元にも記録したい対象が広がることもある。そのような対象には、球体パノラマのみが完全な記録手法となる。四方に

広がる対象は、球体パノラマで記録しておく、もれなく記録することができる。

球体パノラマを撮影するには、水平方向はもとより天地も、重複しながら撮影をしておかなくてはならない。もし、標準レンズでこのような撮影をしようとする、60枚近い画像が必要となる。コンピュータを用いて合成するにしても、正確に重複する撮影をおこなわなくてはならず、多くの労力が必要になる。また、その合成にはコンピュータの画像処理の能力も要求される。現状では、標準レンズでの球体パノラマには、実用上問題がある。

広範囲の対象には、広角レンズによる撮影が有効である。広角レンズには、最大画角となる180度の魚眼レンズがあるので、そのような超広角レンズを利用すれば、撮影枚数は少なくすむ。画角180度の魚眼レンズを用いた撮影は、円形画像として記録される。画角180度以上の魚眼レンズであれば、前後2枚の撮影をして、コンピュータで加工をすれば、比較的簡便な撮影となり、実用的な手法となる(小出, 2005)。このような方法が手軽に利用できるのであれば、非常に有望な自然記録の方法となるであろう。

しかし、画像2枚分の円形部分の画素しか利用することができないため、高解像にするには、画像一枚の画素数が大きなものを利用しなければならない。CCD (CCD: Charge Coupled Devices の略) の高密度化やデジタルカメラの進歩や普及によって、解像度は増加を続けている。このような円形画像による球体パノラマの高解像化は、CCDの解像度に依存することになる。つまり、いくら望んでもCCDの制限以上には高解像化できないことになる。

球体空間をある画素数のCCDへの記録は、画素あたりの記録範囲が決定されていく。少ない画素数で、つまり少ない撮影枚数で記録する限り、解像度を上げることはできない。解像度を上げて記録するには、比較的画角の

狭いレンズを用いて、多くの枚数を撮影して、画像合成していかねばならない。

原理的には、必要とする解像度で撮影した画像を、球体パノラマとして加工する方法が、もっとも広範囲を記録でき、応用範囲が広いことになる。

3 解像度と画角

高解像度で広範囲を記録するという命題は達成可能である。高解像度(要求されている解像度)で、単位となる画像数(CCDの画素数)によって、広範囲の対象をすべてもれることなく覆うように(必要な枚数)、再現性のよい状態で(必要な手順を踏んで)を記録していき、最終的に画像合成で結合(定められたアルゴリズムをもって)すればよい。その方法を考える前に、解像度と画角が重要になってくるので、その意味について以下で確認していく。

ここでいう解像度は、分解能とは違うものである。分解能とは、対象物を測定または識別できる能力のことで、画像でいえば、どれほど大きさ、どれほどの色などを識別できるかを示すものである。解像度とは、画像における画素の密度を示す数値で、単位面積あたりの画素数で示される。言い換えれば、同じ平面对象物を画像とした時、画素数が多いほど高解像度になる。

解像度は、画像を構成する画素1インチ当たりの数で示される。表示媒体によってその基準が違っているので混乱を招くが、デジタルカメラではCCDの総画素数によって解像度が示される。

画像の出力形式によって、必要となる解像度は変わってくる。ディスプレイでは単位はdpi(dot per inch)で、印刷物においてはlpi(line per inch)が用いられることもある。通常ディスプレイでは72dpi、印刷物では300から600dpiとなる。以下では、球形パノラマが基本的にコンピュータのディスプレイで見

ることになるので、72 dpi を基準に考えていく。

画角 (field of view) とは、撮影できる空間の範囲を角度で表したものである。レンズの焦点距離と画角の関係は、以下のようにして求められる (小出, 2005)。

レンズから CCD 面までの距離、つまり焦点距離を f とし、CCD 面で写真が写る領域のフレームサイズを x (横幅 h , 高さ v , 対角 d) とすると、ピタゴラスの定理により、

$$d^2 = h^2 + v^2$$

という関係がある。写真が写る範囲、つまりレンズにとっての画角を θ (単位は rad) とすると、

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{x}{2f}$$

となる。しかし、CCD のサイズとして、高さ

(v)、幅 (h)、対角 (d) によって画角の値は変わる。上の式を、 x のそれぞれの値において解けば、レンズの焦点距離から、画角を求めることができる。 θ を求める式に変形しておくと、

$$\theta = 2 \tan^{-1}\left(\frac{x}{2f}\right)$$

となり、 θ を rad から deg に変換すると

$$\theta = \frac{180}{\pi} 2 \tan^{-1}\left(\frac{x}{2f}\right)$$

となる。レンズの焦点距離と画角の関係を表 1 に示した。

4 パノラマ解像度

パノラマには、さまざまな撮影方式、保存フォーマット形式、表示形式がある。パノラマの様式ごとに解像度がさまざまであると比

表 1 球体パノラマ撮影のためのレンズの焦点距離と撮影条件

Focal Length (mm)	×1.6 (mm)	FOV (degree)				shots×pitch	total
		H	V	D			
4.5*	7.2	180°	180°	180°	N, 3×0°, 0	4	
8*	12.8	175°	117°	180°	N, 5×0°, Z	7	
10*	16.0	139°	92.5°	167°	N, 4×-60°, 8×0°, 4×+60°, 0	17	
10	16.0	96.0°	73.0°	106.3°	N, 4×-60°, 8×0°, 4×+60°, 0	17	
11	17.6	90.5°	67.9°	104.0°	N, 8×-30°, 8×+30°, Z	18	
12	19.2	85.5°	63.3°	96.1°	N, 8×-30°, 8×+30°, Z	18	
13	20.8	81.0°	59.3°	91.5°	N, 8×-30°, 8×+30°, Z	18	
14	22.4	76.8°	55.7°	87.2°	N, 8×-60°, 8×0°, 8×+60°, Z	26	
15	24.0	73.0°	52.5°	83.3°	N, 8×-60°, 8×0°, 8×+60°, Z	26	
16	25.6	69.5°	49.6°	79.6°	N, 10×-45°, 10×0°, 10×+45°, Z	32	
17	27.2	66.3°	47.1°	76.3°	N, 10×-45°, 10×0°, 10×+45°, Z	32	
18	28.8	63.3°	44.7°	73.1°	N, 10×-45°, 10×0°, 10×+45°, Z	32	
19	30.4	60.6°	42.6°	70.2°	N, 10×-45°, 10×0°, 10×+45°, Z	32	
20	32.0	58.1°	40.6°	67.4°	N, 10×-45°, 10×0°, 10×+45°, Z	32	
21	33.6	55.7°	38.8°	64.9°	N, 10×-45°, 12×0°, 10×+45°, Z	34	
22	35.2	53.6°	37.2°	62.5°	N, 10×-45°, 12×0°, 10×+45°, Z	34	
23	36.8	51.5°	35.7°	60.2°	N, 10×-45°, 12×0°, 10×+45°, Z	34	
24	38.4	49.6°	34.3°	58.1°	N, 10×-45°, 14×0°, 10×+45°, Z	36	
25	40.0	47.9°	33.0°	56.2°	N, 10×-45°, 14×0°, 10×+45°, Z	36	
26	41.6	46.2°	31.8°	54.3°	N, 8×-60°, 10×-30°, 14×0°, 10×+30°, 8×+60°, Z	52	
27	43.2	44.7°	30.7°	52.6°	N, 8×-60°, 10×-30°, 14×0°, 10×+30°, 8×+60°, Z	52	
28	44.8	43.3°	29.6°	51.0°	N, 8×-60°, 10×-30°, 14×0°, 10×+30°, 8×+60°, Z	52	

焦点距離 (Focal Length; mm), デジタルカメラ (EOS Kiss Digital N) の実質焦点距離 (×1.6; mm), 画角 (Field of View; FOV) と略す, 単位は degree, 一般的な撮影条件 (shots×pitch), 撮影枚数の合計 (total).
*: Fish Eye lens の FOV の値, FOV の H は水平 (horizontal), V は垂直 (vertical), D は対角 (diagonal) の意味. 撮影条件は, (全周を撮影するための枚数) × (角度) で示し, 角度は水平を 0° として, 俯角を-, 仰角を+として示した. N は床面 (nadir), Z は天井 (zenith) を意味する, 0 は天井を撮影しなくてもよい場合を意味する. なお N には三脚を消すという条件で撮影するため必ず入れられている. 撮影枚数は 20 mm までは, AcaPixus http://www.vrwave.com/panoramic/photography/lens_database.html (2007.12.22 7:24 JMT) より, それより大きいものは画角から計算したもの.

較が難しくなる。そのために、単位角度あたりのピクセル数を角解像度 (Angular Pixel Density) として、焦点距離で各種のパノラマごとに補正したものが用いられる (小出, 2005)。これらの解像度は、パノラマ解像度 (Panoramic Resolution) と呼ばれる (Turkowsky, 1999; 2004)。

パノラマ解像度で比較することによって解像度を判定できる。しかし、最近のパノラマ作成のアプリケーションは、最適な解像度を判断したり、希望の解像度で作成したりする機能を持っている。最大解像度で最適化されたパノラマ画像は、用いたレンズとカメラ (CCD) によって最大の解像度が判別され、作成されている。したがって、最大解像度のパノラマ画像で評価すれば、総合的な撮影条件の解像度が判定できる。

自然景観をできるだけ詳細に記録したいのであれば、可能な限り画素数の多い高解像度の記録が望ましい。画角は広角レンズにすれば広範囲を少ない枚数で撮影できるが、角解像度は減少する。角解像度を上げていくには、デジタルカメラの CCD の画素数に限界がある以上、画角の狭いレンズで撮影することが必要になる。

希望する解像度が決定していれば、その解像度でパノラマ画像として記録することが可能となる。事前に、どのような条件で撮影すれば、どの程度の解像度になるかを検討しておけば、必要に応じた解像度で撮影していけばいい。以下では、その記録手法の検討を行う。

III 球体パノラマの高解像化

1 パノラマ画像の撮影: nodal point

球体パノラマだけでなく、同じ地点から、複数の画像を撮影して合成するには、注意すべき点がある。それは、

- ・隣り合う画像の何割かが重なること
- ・できるだけ絞りを開放して、ピントを広範囲で合うようにすること

- ・画像の連結をするために絞り、シャッター速度、ピントを固定すること
 - ・nodal point で撮影すること
- などである。

画像を隙間なく撮影するために、重複して撮影することが重要となる。単に合成のためだけでなく、レンズの周辺で各種の収差が起こる。アプリケーションによって補正の可能なものもあるが、周辺部を重複して撮影すれば、収差の多い部分を除いて合成することが可能となる。

近くから無限遠まで対象物がある場合、焦点距離が浅ければ (カメラの絞りを閉じた状態)、焦点の合っていないものはピンボケの状態になり、解像度を上げて意味がなくなる。広範囲に焦点が合うためには、絞りを開放側にしておく必要がある。ただし、絞りを開くほど分解能は悪くなる。

屋外での球体パノラマの撮影では、日陰や太陽が入る場合もある。カメラの自動設定で撮影すると、適切な露出とシャッター速度で撮影できるが、画像ごとにホワイトバランスが違ってくる。そのような画像を連結すると、境界部が不自然なものとなる。しかし、パノラマ作成用アプリケーションでは、画像連結部のホワイトバランスをうまく調整してブレンドをしながら画像を作成する機能がある。そのために、極端にホワイトバランスが違っていている場合を除けば、カメラまかせの自動で撮影しても、それなりの連結画像を作成することができる。

パノラマ撮影で一番重要なのは、nodal point (no-parallax point) で回転させた撮影をすることである。parallax とは「視差」の意味である。no-parallax point とは、無視差点とでも訳すべきものである。視差とは、違う距離に置かれたものが、右左の目でずれて見えることで、このずれで人は遠近感を判断している。

写真の撮影では、片目だけで記録する状態

なので、このような視差によるずれは生じない。しかし、複数枚を撮影するとき、カメラを中心として回転すると、それぞれの画像の中に視差に相当するずれが生じる。そのようなずれが生じない位置がレンズごとにあり、その位置で回転して撮影をすると、視差のない画像を得ることができる。そのような点を nodal point (no-parallax point) と呼んでいる。

図1では、視差による変化を示した。この画像は、遠近感のある対象物を同時に撮影したものである。nodal point と、nodal point より前後に 20 mm レンズの位置を移動させて、定点 (Home position) から 50 度右に回転したところで撮影したものを比較した。

nodal point で撮影したものは、50 度回転させても、遠近感のある対象物でも、その位置関係をずらすことなく撮影される。一方、nodal point より前で撮影したものは、遠くのものほど右に回転していき、nodal point より後ろで撮影したものは、近くのものほど右に回転していくということになる。これが視差と呼ばれるものである。

また、視差は、遠近感が大きいほど、nodal point のずれと回転角度が大きくなるほど、増えていく。

多数の画像を合成する時は、nodal point で回転して撮影しなければ、幾何学的に矛盾のある画像を合成することになる。ある画像では見えていないものが、隣の画像では見えるものとなっている場合、画像合成時にどちらも真実でありながら、連結できないという問題が発生する。それを強引にアプリケーションで構成すると、正確さを欠いた記録となる。nodal point における撮影は、自然の対象物を正確に記録するためには、非常に重要な操作となる。

2 円形画像：circular

撮影は、三脚の上に、角度を決めて回転さ

せられるローテーターをつけ、カメラとレンズをつけた状態で nodal point にセットできるパノラマヘッドが必要となる。また、縦方向に 180 度の画角がないレンズを使用するときには、上下にも nodal point で回転できるパノラマヘッドが必要となる。以下では、いくつか撮影条件とその解像度について検討する (表1)。

180 度の画角をもつ魚眼レンズを使用するときは、nodal point で水平方向に回転するだけのパノラマヘッドがあればよい (図2)。得られる画像は 180 度の画角の円形となる。この条件では、重複を考慮して 3 枚の撮影をおこなえば、球体パノラマが作成できる簡便さがある。

だが、この撮影方法では、いくつかの問題点がある。

この撮影では、真下の床 (パノラマ撮影では nadir, 天底と呼ばれている) はどうしても三脚やローテーターが映りこむことになる。これは、すべてのパノラマ撮影に起こることなので、解決するには、三脚がない状態で撮影した床面の画像を合成する必要がある。

天井 (パノラマ撮影では zenith, 天頂と呼ばれている) にあたるところは、すべての画像の接合点となり、収差の大きなレンズでは、その収差が解消されないまま残されることがある。

デジタルカメラと組み合わせる魚眼レンズが特殊なため、パノラマヘッドも特殊になり、専用の機材ごとに必要になる。

しかし、円形画像の一番の問題点は、カメラ (CCD) の解像度がそのままパノラマの解像度となる。より高解像などの望みの解像度が得られない点である。

3 ドラム画像：drum

ドラム画像とは、円形画像が CCD の横幅の中に納まっているが、縦がはみ出ている状態である。このような画像は、35 mm フィ

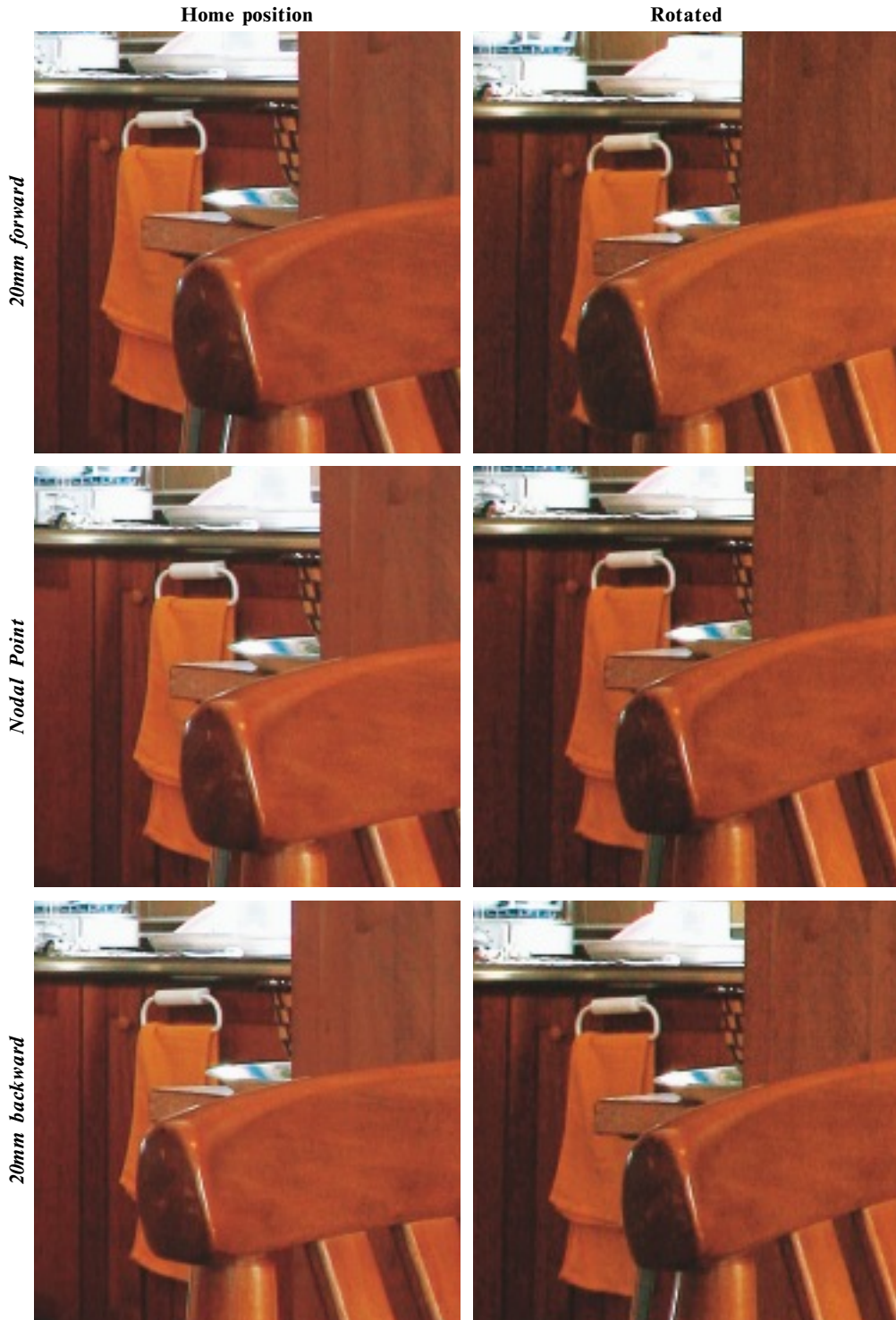


図1 Nodal Point と視差の変化

Nodal Point とその前後で撮影したときに生じる視差を示したもの。カメラは Canon EOS Kiss Digital N、レンズは Canon 社製 EF-S 10-22 mm F 3.5-4.5 の 10 mm 端で撮影。定点 (Home position) とそこから右に 50 度回転したときの画像 (Rotated) を、400×400 pixel で切り出したもの。



図2 既製品の専用パノラマヘッドとローテーター
コンパクトデジタルカメラと魚眼レンズ・アダプター
と専用のパノラマヘッドとローテーターの既製品

ルム用の焦点距離8mmの魚眼レンズを CCD サイズが35mmより小さい場合に起こる現象である。CCD サイズが35mmより小さい場合、35mm用レンズの焦点距離が拡大されることになる。35mmフィルム(実際には36×24mm)に対して、APS-C(カメラによって23.7×15.6mmや22.7×15.1mm, 22.2×14.8mmとなる)と呼ばれている CCD サイズは、デジタル1眼レフ・カメラの多くが採用している規格である。今回使用した Canon 製 EOS Kiss Digital N では、焦点距離が1.6倍(正確には1.62倍)になる。

APS-CのCCDを使用したカメラで8mm魚眼レンズを使用すると、結果として、円形画像よりは、高解像度のドラム画像を得られることになる。8mmの180度の魚眼レンズを縦位置にしてAPS-Cのカメラを用いれば、最小では5枚(床と天井分を加えれば7枚)、充分な重なりをとれば8枚(床と天井分を加えれば10枚)の撮影をすることになる。多くの撮影枚数が必要になるが、その分円形画像より解像度は上がる。

インターネットで検索すれば各種のレンズの nodal point の位置の情報を見つけることができるが、SIGMAに問い合わせれば8mmの魚眼レンズの nodal point も知ることができる。nodal point の情報があれば、専用のパノラマヘッドを自作することは可能である。著者は2種類のパノラマヘッドを試作した(図3)。また、ローテーターは既存の三脚ヘッドを転用(Gitzo社製G1275M)したり、既存のもの(Nikon製(製造中止))を利用したりすることが可能となる。非常に単純な機材となるので、分解すれば野外で持ち運んで使用するには便利である。

しかし、ドラム画像にも問題点がある。それは円形画像の時と同じで、カメラのCCDの解像度がそのままパノラマの解像度となるため、より高い解像度が得られない点である。

4 四角形画像: rectangle

解像度を上げるためには、もっと画角の狭いレンズを使用しなければならない。そのためには、超広角レンズ(対角画角が180度以上になるようなもの、焦点距離でいえば14mm)から広角レンズが必要になる。APS-CのCCDを搭載したデジタル一眼レフ・カメラが普及し、35mm用レンズの焦点距離が1.5から1.6倍程度に拡大したため、超広角レンズは広角レンズに、広角レンズは標準レンズへと変わった。つまり、超広角領域のレンズが、APS-Cサイズのデジタル一眼レフ・カメラではなくなってきた。

しかし、最近焦点距離が10mmから20mm付近の画角を持つAPS-CのCCDのデジタル一眼レフ・カメラ専用の超広角レンズが製品化されてきた。また、超広角域をカバーするズームレンズも製品化されてきた。ズームレンズを使用すれば、望みの広角の画角で撮影することが可能となる。

APS-Cサイズのデジタル一眼レフ・カメラでは、10mm以上の焦点距離では、画像のイメージサークルの直径がCCDより大きくなっているため、CCDの形どおりの四角形の画像が得られることになる。つまり、CCDのすべての画素を利用することができるようになる。

しかし、10mmを越える焦点距離になると、カメラを縦位置にして撮影しても、天井や床の撮影だけでは連結時に画像のない空間ができるようになる。空白が出ないように撮影するために、nodal pointで上下にカメラを傾け、仰角や俯角を持って回転して撮影しておくことになる。その条件は焦点距離からあらかじめ決定できる(表1)。ただし、正確に nodal point で回転できるパノラマヘッドと、正確な回転角度がわかるローテーターが必要となる。

パノラマ撮影のために開発された専用のパノラマヘッドとローテーターのセットが、最



図3 自作パノラマヘッドと既成ローテーター

Canon EOS Kiss Digital N と SIGMA 8 mm Fisheye 専用の自作のパノラマヘッドと、市販品のローテーターを組み合わせて撮影用としたもの。

近では各種入手できるようになってきた。それらの機材を利用すれば、必要に応じた解像度の球体パノラマが撮影できるようになる

(図4)。

必要な解像度があるのならば、その条件を満たす焦点距離のレンズを選び、定められた



図4 既製品の汎用パノラマヘッドとローテーター
デジタル一眼レフ・カメラとレンズを自由に組み合わせることのできる汎用のパノラマヘッドとローテーターの既製品

nodal point の位置に必要な枚数を撮影すればいいことになる。四角形画像によるパノラマであれば、希望の解像度で対象物を記録することが可能となった。

5 画像処理

画像処理には専用のアプリケーションが多数公開されていて、無料のものから製品化されているものまで各種ある (<http://wiki.panotools.org/Software> [2008.1.25 14:23 JMT] に多数紹介されている)。

著者はいくつかのアプリケーションを使用した。いずれもバージョンが上がるにつれて、その画像合成の能力は上がってきている。したがってどのアプリケーションを選ぶかは、どのような環境(Windows, Mac, Linux などの OS)なのか、扱う画像のサイズ、パノラマの閲覧方式の違いによって、対応しているソフトは変わってくる。適切なものを選択すれば、パノラマ画像は比較的簡単に作成できる。

アプリケーションでは、

- ・素材となる画像を読み込み
- ・レンズのデータの入力
- ・画像の配置
- ・各画像間の重複ポイントの設定
- ・希望するパノラマの設定 (画素サイズ, 合成方式, 画像形式など)
- ・最適化
- ・画像合成 (stitch と呼ばれる)
- ・閲覧形式への変換と保存

という一般的な手順がある。これはあくまでも一般的な手順で、それぞれ手作業で調整したり、別のアプリケーションへデータを受け渡して作業をしたりすることもある。

撮影でもっとも簡便な方法として、カメラを三脚に据えることなく、手持ちでおこない、画像処理を丹念におこなって、パノラマ合成するというものもある。これは、野外で、三脚を立てて、露出や回転などの操作を厳密に

できない状況での撮影時に使う手段となる。このような撮影は、かなり熟練しないと、画像の空白ができたり、stitch に多大な時間を要したりすることになる。

このような画像の加工には、主観に基づいた修正が不規則に加えられることになるので、自然の対象物をそのまま記録したものではなくなる。自然の対象物で、正確に記録するためには、これは避けるべき手法となるであろう。

記録の簡便化とデータ処理の簡素化を考えると、正確にカメラをセットして撮影することである。その後、手作業で修正加工をほどこさなければ、アプリケーションでは、再現のあるアルゴリズムに基づいた補正がなされる。それは、レンズの収差や歪みの補正、結合境界の色の補正が主なものとなる。それも一定の補正手法に基づいたものとなる。

以上のように、忠実で再現性のある画像合成をするためには、nodal point で厳密な重複画像を撮影することが重要な点となる。それ以外のことは、アプリケーション内で、ほぼ自動的に処理することが可能である。撮影さえ注意して行えば、パノラマ画像への処理はアプリケーション任せにできるという簡便さになる。

合成画像は、画角 (FOV) が水平方向に 360 度、垂直方向に 180 度の球面を覆う 3 次元画像である。これをパノラマ画像として合成するわけだから、3 次元画像を 2 次元画像に展開することになる。展開方法はいろいろあるが、パノラマでは、equirectangular 画像と cubic 画像という 2 つの手法が多く用いられている。

Equirectangular 画像とは、パノラマを一枚の平面として作成する手法である。Equirectangular 画像は、縦と横の画素数の比は正確に 1 : 2 となる。この画像では、天地がひどく歪んだ画像となり、合成後の画像での修正や新たな処理が困難になる。しかし、一枚

の画像になっているのでファイル管理は容易になる。

Cubic 画像は、球体空間の天地四方を立方体に投影して、6面の正方形の画像に展開する手法である。この手法では、天地も平面にするので、パノラマ画像としては、Equirectangular 画像より歪みの少ないものになり、パノラマ合成後ある程度の修正が可能となる。ただし、立方体を構成する面であるからファイルは6個作成されることになり、管理がわずらわしくなる。

いずれも、長所短所があるが、球体パノラマでよく使われている合成方法である。

6 パノラマの閲覧方式

以上述べてきたように、必要とする解像度さえ決めれば、その解像度での球体パノラマの撮影は可能となる。作成された球体パノラマは、コンピュータ上で閲覧することになる。

球形パノラマの閲覧形式として、Equirectangular 画像では、Real time VR パノラマや PTViewer パノラマなどがある。Cubic 画像では、VRML パノラマ、QTVR パノラマなどがある (小出, 2005)。

Real time VR は、MGI software Corporation が開発した java applet を用いたもので、ビューはフリーソフトである。Real time VR のパノラマは、html ファイルの中から、ivr 形式 (ivr の拡張子を持つ) のファイルと JPG 画像ファイルを呼び出して表示するものである。

PTViewer は、html ファイルに埋め込まれている java applet で JPG 画像ファイルを呼び出して表示するものである。PTViewer はドイツの数学者 Helmut Dersch によって開発された GPL (General Public License) のもとで自由に利用できるものである。GPL とは、フリーソフトウェアのライセンスの形式のことで、ソフトウェアとそれを使用するユーザーに、使用、複製、変更、再頒布など

の自由を与えることを目的としているものである。

VRML とは Virtual Reality Modeling Language の略である。VRML によるパノラマは、html ファイルが wrl 形式 (wrl の拡張子を持つ) のファイルと6つのJPG画像ファイルを用いて表示するものである。VRML は、インターネットでの universal 3D ファイル形式と呼ばれているものである。VRML を表示するためのプラグインはたくさんある。

QTVR とは、QuickTime Virtual Reality の略で、アップルコンピュータ社が開発したパノラマ用のフォーマットである。このQTVRパノラマを見るためには、QuickTimeにプラグインをインストールする必要がある。QTVRパノラマは、htmlファイルがMOV形式 (movの拡張子を持つ) のファイルを読み込んで表示するものである。MOVファイルは、QuickTime playerがあれば、単独でも見ることができるので、便利である。パノラマ画像の多くはこの形式を用いている。

他にも、java applet を用いたものや Macromedia 社の Shockwave にプラグインとしてビューを組み込むもの、最近では Flash を用いる方法もあるが、閲覧方式が決まれば、パノラマ画像からアプリケーションがそれぞれの閲覧方式でファイルを作成してくれる。

したがって、閲覧方式はアプリケーションに任せてしまえば、それほどこだわる必要がない。本論文では、汎用性があり、単独でも動かせる QTVR の MOV ファイルを作成して検討することにする。

IV 評価

1 アナログとデジタル

多くの研究者は、野外で自然の対象物を記録する手法としてデジタルカメラを使用している。しかし、本論文のように広領域の対象物を連続的に記録するために球体パノラマと

いう手法を採用した時、その効用がどの程度あるかを評価しなければならない。もちろんフィルムによるアナログカメラは、長い伝統があり、各種のフィルサイズのカメラがあるので、単純に比較できない。多くの研究者が野外で記録のために使用しているものといえ、35 mm フィルムの一画レフ・カメラと APS-C のデジタル一眼レフ・カメラという比較が適切であろう。これであれば、共通のレンズを使用して比較することも可能となるからである。

アナログカメラの画像はフィルムに記録されるので、フィルムをデジタルにしてコンピュータに読み込まなければならない。そのためにフィルムスキャナーという装置を利用することになる。

アナログカメラのフィルムをフィルムスキャナーの最大解像度で読み込むと、 5356×4056 pixel の画像となる(図5)。一方、著者が使用しているデジタル一眼レフ・カメラでは 3456×2304 pixel となる。

アナログカメラではフィルム面に円形画像として記録されるため、画像処理に使用できる最長画素は、円形画像の直径に相当する 3564 pixel となる。一方、APS-C のデジタル一眼レフ・カメラは、CCD サイズが小さいため焦点距離が約 1.6 倍になるため、円形画像が CCD 面からはみ出したドラム画像となる。有効な画素は円の直径の 3428 pixel となり、アナログカメラとデジタルカメラの画素数における差は 4% ほどで、ほぼ対等であるといえる。

デジタル画像に変換する手間や、ランニングコストの点、今後の発展性から見て、デジタルカメラを使用するほうが有効であると判断できる。

2 デジタルカメラにおける比較

デジタルカメラにも、デジタル一眼レフ・カメラ以外に、デジタルコンパクトカメラで

アダプターとして魚眼レンズをつけられるものがある。著者所有の魚眼レンズをつけられるデジタルカメラの画像と、デジタル一眼レフ・カメラに魚眼レンズをつけたものを比べて見る。

800 万画素のデジタル一眼レフ・カメラに魚眼レンズをつけたものと、400 万画素と 800 万画素のデジタルコンパクトカメラに魚眼レンズをつけたものを比べる(図6)。

いずれのデジタルコンパクトカメラに魚眼レンズをつけても、得られる画像は円形画像となる。デジタルコンパクトカメラは、デジタル一眼レフ・カメラと同等の画素数を持っている。有効な最長画像はデジタル一眼レフ・カメラの 3564 pixel に対し、400 万画素のデジタルコンパクトカメラが 1664 pixel、800 万画素のデジタルコンパクトカメラが 2068 pixel となる。明らかに、デジタル一眼レフ・カメラの方が高解像になる。

コンパクトカメラもデジタル一眼レフ・カメラも、今度も発展していくだろう。著者所有のデジタルカメラ類は、もはや何世代の前の機種となってしまっている。したがって、ここで述べた比較は、著者の保有している環境でという前提が付く。しかし、後述のように、解像度を自由に希望のレベルまで上げるためには、さまざまな焦点距離のレンズを使用していくことになる。その点を考慮すれば、デジタル一眼レフ・カメラの使用が将来的には有望であると考えられる。

3 魚眼レンズによる高解像化

デジタルカメラを用いて、各種の条件で撮影したものでパノラマ画像を作成して、比較してみる。画像合成の stitch 用アプリケーションとして、New House Software 社製の PTGui Version 7.5 を使用し、Cubic 形式の MOV 形式のファイルへの変換は、Garden Gnome Software 社製 Pano 2 QTVR Version 1.6.3 を用いた。

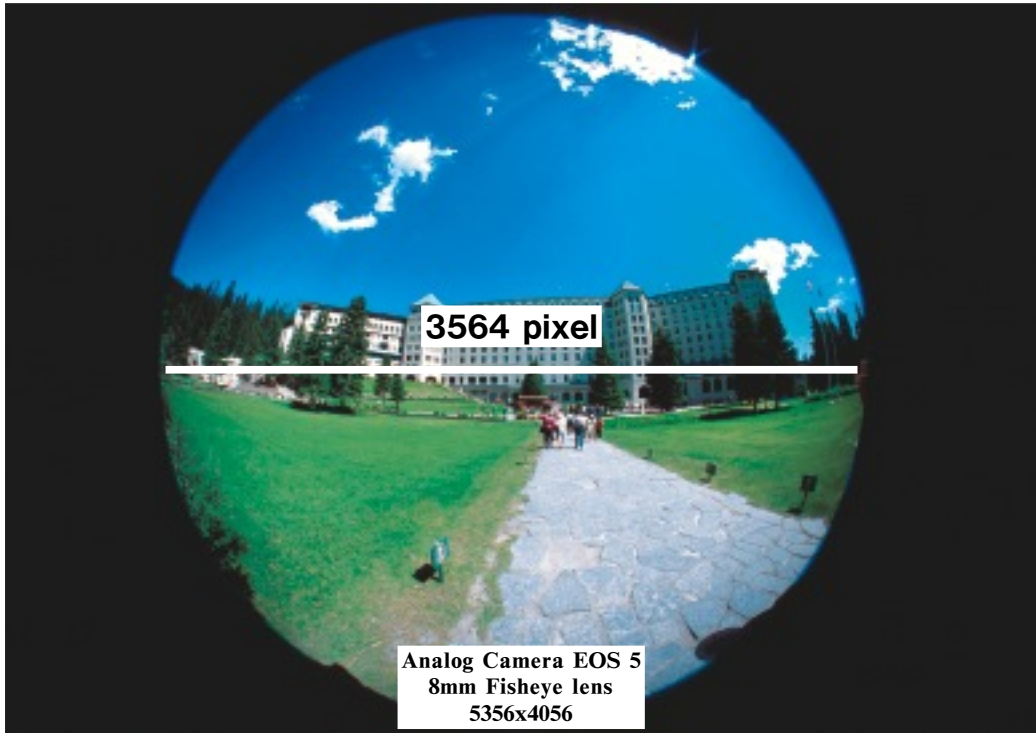


図5 アナログカメラとデジタルカメラの解像度の比較

同じ魚眼レンズ (Sigma 社製 8 mm Fisheye) を用いてアナログカメラ (Canon EOS 5) の 35 mm ポジフィルム (Kodak 社のエクタクローム ASA 100) を手持ちのフィルムスキャナー (Minolta 社製 DiMAGE Scan Dual III AF-2840) の最大解像 (5356×4056 pixel) で取り込んだものと、デジタルカメラ (Canon 社製 EOS Kiss Digital N) で撮影したものをサイズに合わせた比率で表示したもの。画像内の横棒は、パノラマに用いるために最大の長さが取れる部分を示したもの。

高解像化するとは、画素数の多いパノラマを作成することになる。そのために上述のように、CCD の画素数の多いものを用いることであり、同じ CCD であれば、画角の狭いレンズで多数の画像を撮影して用いることにな

る。

図7では、代表的な条件で撮影した元画像 (Original Image) とパノラマ画像 (equirectangular と cubic) を、それぞれ 400×300 pixel (画質は 72 dpi) で切り取り、縮小した



図6 デジタルカメラの解像度比較

手持ちの3種類のデジタルカメラで、魚眼レンズを用いて撮影した画像を示した。デジタル一眼レフ・カメラ（Canon社製のEOS Kiss Digital N）に魚眼レンズ（Sigma社製8mm Fisheye）をつけたものと、Nikon社製のE4500に魚眼レンズ（FC-E8）をつけたもの、およびNikon社製のE8500に魚眼レンズ（FC-E9）をつけたもの比べた。画像内の横棒は、パノラマに用いるために最大の長さが取れる部分を示したものの。



図7 魚眼レンズでの撮影

400×300 pixelのサイズの画像を縮小して比較したもの。E 4500：Nikon社製E 4500+魚眼レンズ（E 8），E 8400 2 shots：Nikon社製E 8400と魚眼レンズ（FC-E 9）を使用して2枚撮影，E 8400 6 shots：Nikon社製E 8400と魚眼レンズ（FC-E 9）を使用して6枚撮影，EOS Kiss Digital N：Canon社製EOS Kiss Digital NとSigma社製8 mm F 3.5 EX DG Circular Fisheyeを用いて12枚撮影。

もの (180 dpi に相当) を示した。撮影対象が違うので、単純な比較は難しいが、印刷面では十分解像があることがわかる。しかし、実際に閲覧するときは、ディスプレイ上でピクセル等倍まで拡大することになるので、画素数の少ないパノラマはそれほど拡大できず、画素数の多い画像、詳細な部分まで拡大でき観察できることになる。

魚眼レンズで撮影した時、得られる画像が円形画像やドラム画像となるものは、CCD の解像度に依存する。ただし、パノラマの角解像度は、中心付近が大きく、周辺部では小さくなる (小出, 2005)。そのため、重複部分を多くしていけば、解像度を上げることが可能である。CCD の持つ最大の解像度まで上げることができる。

魚眼レンズを用いてドラム画像を撮影し、合成枚数を変えてパノラマを作成して検討してみた。パノラマ画像合成用アプリケーションでは、作成するパノラマを最大画素数として選択すると、元画像の最大解像度に基づいて自動的に設定できる。その値を選び、equirectangular 画像を作成した。また equirectangular 画像から、cubic 画像への変換と

MOV ファイルの作成を行った。

10 度間隔で 36 枚撮影した画像をもとに、合成枚数を 3, 4, 6, 9, 12, 18, 36 枚に変えてパノラマを作成した。そのときの解像度の比較を表 2 に示した。重複程度を、重複なしから 90% の重複まで比較した。重複のないものは、cubic 画像で 1% ほど重複のある画像を比べ解像度が劣るが、重複さえあればほとんど解像度に差がないことがわかる。

つまり、撮影枚数をむやみに増やしても、パノラマ画像の解像度としては効果がないことがわかる。ある程度の重複があれば、CCD の持っている解像度で撮影できることになる。魚眼レンズの周辺の色収差や歪み、光量不足なども 20% ほどの重複があれば、充分取り除くことができる。

4 広角レンズによる高解像化

ドラム画像では、CCD の解像度以上に高精度にすることはできない。より高解像度が欲しい場合には、より狭い画角で撮影しなければならない。デジタル一眼レフ・カメラであれば、広角レンズを用いることで、必要とする解像度の画像を得ることが可能となる。

表 2 撮影枚数による解像度の比較

Shots	Total	Overlapping	Panorama Image (pixel)	MOV			
	FOV	FOV %			Wide	Height	Cubic
3+Z	351°	-3°	-3	7158	3579	2276	6.078
4+Z	468°	27°	23	7238	3619	2300	6.316
6+Z	702°	57°	49	7216	3608	2296	6.166
9+Z	1053°	77°	66	7226	3613	2300	6.204
12+Z	1404°	87°	74	7254	3627	2308	6.214
18+Z	2106°	97°	82	7270	3635	2312	6.257
36+Z	4212°	107°	91	7268	3634	2312	6.214

縦位置の Canon 社製 EOS Kiss Digital N で Sigma 社製 8 mm F3.5 EX DG Circular Fisheye を用いて、10 度間隔で回転させて 36 枚のドラム画像を撮影した。合成枚数を 3, 4, 6, 9, 12, 18, 36 枚に変えてパノラマを作成したときの解像度の差を示した。魚眼レンズの総画角 (Total FOV (Field of View), 単位は degree) は、撮影枚数×FOV である。Overlapping は、撮影画像における片側の重複程度を画角と比率 (%) で示した。マイナス (-) は重複がないことを意味する。パノラマ画像 (Panorama Image) は、equirectangular 画像は幅 (Wide) と高さ (Height) のピクセル数を示し、cubic 画像は、正方形の一辺のピクセル数を示した。MOV の閲覧形式としたときのファイルサイズを MB で示した。

表 3 高解像度パノラマの撮影条件と比較

Camera	Original Image		Lens	Force Length	F	Image Form	Shots	Panorama Image			MOV file (MB)
	Wide	Height						Wide	Height	Cubic	
Nikon E 4500	2272	1704	Nikon FC-E 8	7.85	3.5	circle	2	3138	1569	996	2.01
Nikon E 8400	3264	2448	Nikon FC-E 9	9.3	4.8	circle	2	3282	1641	1044	2.46
Nikon E 8400	3264	2448	Nikon FC-E 9	9.3	4.3	circle	6	3958	1979	1256	2.56
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Sigma Fisheye	8	5.6	drum	9+Z=10	7226	3613	2300	6.20
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	10	11	rectangle	4+8+4=16	11704	5852	3725	15.1
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	10	11	rectangle	N+4+8+4+Z=18	11706	5853	3725	15.1
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	16	11	rectangle	N+10+10+10+Z=32	15604	7802	4964	28.0
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	17	11	rectangle	N+10+10+10+Z=32	17166	8583	5464	37.2
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Sigma Zoom	18	13	rectangle	N+10+10+10+Z=32	17210	8605	5476	34.1
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	20	11	rectangle	N+10+10+10+Z×2=33	19520	9760	6212	39.8
Canon EOS Kiss DN	2304	3456	Canon Zoom	22	11	rectangle	N×2+12+12+12+Z×2=40	21166	10583	6736	56.5

カメラ (Camera), 元画像 (Original Image) の幅 (Wide, 単位は pixel) と高さ (Height), 使用したレンズ (Lens), 焦点距離 (Force Length, 単位は mm), 露出 (F), 得られる画像の形 (Image Form), 撮影枚数 (Shots), パノラマ画像 (Panorama Image, 単位は pixel) は equirectangular 画像の幅 (Wide) と高さ (Height), cubic 画像は正方形の一辺の長さ, MOV の閲覧形式としたときのファイルサイズを MB で示した。使用したレンズは, Sigma Fisheye: Sigma 8 mm F 3.5 EX DG Circular Fisheye, Sigma Zoom: Sigma 18-200 mm F 3.5-6.3 DC, Canon Zoom: Canon EF-S 10-22 mm F 3.5-4.5, 画像の形は円形(circle), ドラム(drum), 四角形(rectangle)。

今回試みたのは, 焦点距離 10 mm から 22 mm までの広角領域である(表 3)。できるだけ十分な重複をした画像を得るために, 表 1 に示した条件より撮影枚数を多くしているものもある。今回比較したものは, 撮影枚数では, 2 枚から 40 枚までとなった。

それら画角の違い比較するために, 200×150 pixel (画質は 72 dpi) に切り取った画像を, 等倍で比較したものを図 8 に示した。等倍の 72 dpi にして比較すると荒さが目立つが, 十分な解像度を持つものとなっていることがわかる。

解像度を上げるためには, 焦点距離を長くして画角を狭くしていくことになるが, 画角を狭くした分撮影枚数は増え合成の手間がかかるようになる。22 mm まで検討したが, 40 枚の撮影をして, その equirectangular 画像は 20000×10000 pixel を越えることになる。

このサイズが, 現有の機材を用いた撮影では限界となった。画像合成のアプリケーションは, 32 枚の合成に 1 時間半, 40 枚では 2 時間以上かかった。また MOV ファイルへの変換では, 20000×10000 pixel を越える画像では, 何台かのコンピュータで試したが, インテル社製 Celeron/Core 2 Duo を用いたものではメモリー不足で変換できなかった。変換

できたのは, インテル社製 Pentium 4 の古い CPU を用いたものであった。しかし, これはハードウェアの問題であって, パノラマ画像の限界ではない。より高性能の機種を用いれば, 解決できる問題である。

以上のことから, 広角レンズを用いれば, 望みの解像度のパノラマ画像が作成できることが確認できた。現状では, 20000×10000 pixel (90%の JPEG 圧縮画像による MOV 形式で 55 MB) もしくは 15000×7500 pixel (28 MB) が実用的であるといえる。

V さいごに

本論文では, 解像度を上げることに焦点をしばって検討した。自然の忠実な記録という点を考えると, 解像度だけでなく, 分解能や色の再現性, ダイナミックレンジ (最も明るい部分と最も暗い部分の比) なども重要な検討課題となる。アナログカメラでは, フィルムによってダイナミックレンジを大きくしたり, 色の再現性を上げてきたりした。あるいは対象に適切なフィルムの種類で選択することもできた。カメラはレンズから集めた光をフィルムに焼き付ける装置であったが, デジタルカメラでは, 多くが CCD の能力に依存することになる。



図8 広角レンズでの解像度の比較

ほぼ同じ位置で200×150 pixelの等倍サイズの画像にして比較したもの。Canon社製EOS Kiss Digital Nを用いて、Sigma社製8 mm F 3.5 EX DG Circular Fisheye、Canon社製EF-S 10-22 mm F 3.5-4.5の10 mmと22 mmの両端を用いて撮影したもの。

CCD の画素のサイズが大きければ、受光面積が広くなり光量が少なくても鮮明に記録できる。また、取り込める情報量も多くなり、ダイナミックレンジ（デシベル、db で表す）を大きくでき、明るいとところの色飛びや、暗いところが色潰れなどを少なくできる。

デジタルカメラだけでなく、コンピュータは今後も発展していくであろう。ここで検討したこと、苦心していることが、性能の向上で、一昔前の苦労といわれるかもしれない。したがって、あくまでも現状での検討、現有の機材での検討となる。

パノラマ画像は、野外で広域に分布する対象物、大きな対象物、「ひき」の取れない場所の対象物を、正確に記録する方法として非常に有効である。ただし、複数枚の画像を合成することになるので、光学的な歪みが発生する。その歪みを正確に補正するには、補正しやすい条件で撮影していることが重要になる。その条件とは、nodal point で正確に回転できる機材を用いて、全空間を欠如なく撮影していること、収差の少ない部分を使用するためある程度の重複をもって撮影されていることである。この条件を満たしていれば、望みの解像度が得られる画角のレンズで撮影すれば、球体パノラマとして記録し閲覧することが可能となる。

手軽さを考えるなら、魚眼レンズで撮影すれば、数枚の撮影でパノラマ記録することが可能となる。精度が高く、解像度の良い記録が必要なら、20 mm 前後の広角レンズで30から40枚の撮影をすれば、現状ではもっとも高精細のパノラマ画像として合成して閲覧することが可能となる。

参考文献

- 小出良幸(2005)「野外現況の記録とパノラマ画像を用いた提示手法について」『札幌学院大学情報科学研究所 情報科学』25, 13-31.
- 小出良幸(2007)「地質学的時間変遷の復元法：地層のまるごと記載の手法開発」『札幌学院大学社会情報学部紀要 社会情報』17, 1, 1-16.
- 小倉磐夫(1998)「スリットカメラ」『CD-ROM 世界大百科事典 第2版』
- Turkowski K. (1999.7.4) Making environment maps from fisheye photographs (Using fish eye images in an Ipx-free manner).
<http://www.worldserver.com/turk/quick-timevr/fisheye.html>
- Turkowski K. (2004.8.3) Panoramic resolution.
<http://www.worldserver.com/turk/quick-timevr/panores.html>

要 旨

パノラマ画像は、野外で広域に分布する対象物や大きな対象物を、正確に記録する方法として非常に有効である。複数枚の画像を合成するので、nodal point で正確に回転できる機材を用いて、全空間を欠如なく、重複をもって撮影されていることが重要になる。この条件を満たしていれば、希望の解像度が得られる画角のレンズで撮影すれば、球体パノラマとして、対象物を記録できる。球体パノラマは、コンピュータで閲覧することが可能となる。魚眼レンズで撮影すれば、数枚の撮影でパノラマ記録することが可能となる。精度が高く、解像度の良い記録が必要なら、20 mm 前後の広角レンズで30から40枚の撮影をすれば、現状ではもっとも高精細のパノラマ画像として合成して閲覧することが可能となる。