

Technique for Generating Jacquard Fabric from Natural Image

Tetsuya IGARASHI, Masahiro TOYOURA*, Xiaoyang MAO*, Rie MIYAGAWA and Rie AKIMOTO

要 約

ジャカード織物に特化した画像の二値化手法としてこれまでに開発された織物ディザ法、またスムーズな階調でのアーティファクト発生を防ぐために開発されたオーダードステップングディザ法など、これまでの手法では、ディザマスクサイズに比較して小さなスケールの微細構造が再現されないという課題があった。本研究ではこれを解決する手法として、織物ディザ法で用いるステップングディザマスクによる二値化プロセスに入力画像の画素単位で輝度情報を優先させるプロセスを導入した“TVR ディザ法”を新たに開発し、その有効性を製織試験によって示した。

1. 緒 言

ジャカード織物で連続的な階調変化を表現する手法として、織物組織の経糸／緯糸比率を段階的に変化させる増点法が古くから知られている。ただし増点法は、段階のステップ数が組織サイズを n としたとき $n-1$ 段階であり、 n は通常の織物で 10 前後であることから、表現したいグラデーションの緩やかさによっては、デザインの意図に反してステップの境界が見えてしまうという難点があった。

これを解決するために Ng らの多色表現¹⁾や、織物ディザ法、拡張誤差拡散法^{2,3)}では、段階数を $n(n-2)+1$ に拡張した手法を提案している。しかしそれらの手法では、階調のステップを視認できないほど細かくすることには成功したものの、段階数を補間する際の詳細な順序が定義されておらず、そのため緩やかなグラデーションを対象とした場合に意図しないパターン（アーティファクト）の発生を防ぐことができないという問題があった。

そこで、第1報⁴⁾では、閾値の配置を記述する数列「オーダーユニット」を新たに定義し、これを最適化することにより、アーティファクトの発生を防ぐ手法として、オーダードステップング（OS）ディザ法と、これを応用したランダムシフトステップング（RSS）ディザ法を提案した。これら二つの手法は、自然画像のうちスムーズな階調、すなわち画像の低周波領域に特化した解決方法であった。

一方、これらの手法は、ディザマスクサイズを単位とした輝度の再現と、スムーズな朱子織パターン⁵⁾の保持を優先しているため、画像の高周波領域、つまり微細な構

造についての再現という面は見落とされてきた。本稿では、ディザマスクサイズ未満の微細構造をより忠実に織物上で再現する手法として、従来のディザマスクによる二値化プロセスに対して、新たに入力画像の画素単位で輝度情報を優先させるプロセスを導入した“TVR ディザ法”を提案し、試織結果によりその有効性を示す。

2. 従来技術の課題と解決法

2-1 微細な構造の再現

図1は、本研究のコンセプトを示すため、図1(a)を入力画像とした複数の手法による二値化結果を図示したものである。図1(d)は織物ディザ法によるもので、階調は保存され織物組織に適した結果が得られているが、微細構造がよく保存されているとは言い難い。一方で入力画像の微細構造を最もよく再現しているのは図1(b)の、全画素について輝度 50%を閾値として二値化したものである。図1(c)は誤差拡散法⁵⁾によるもので、微細構造と階調はある程度保存されている。しかしこれらの例は、経糸と緯糸の交差間隔を考慮していないため、織物組織としては不適である。

本研究では、まず織物組織と階調変化が保存することを最優先としつつ、いかにして微細構造を再現した手法が得られるかを主眼とし、検討を行った。

2-2 ディザ法による画素の反転

図2は、ディザ法によって入力画像の輝度の情報が局所的に失われるメカニズムを示している。織物ディザ法のフローチャートを示した図2(a)では、出力画像の図2(a)Dは入力画像の輝度と織物組織パターンを保持している。しかし詳細にみると、入力画像の明暗の関係が局

* 国立大学法人山梨大学

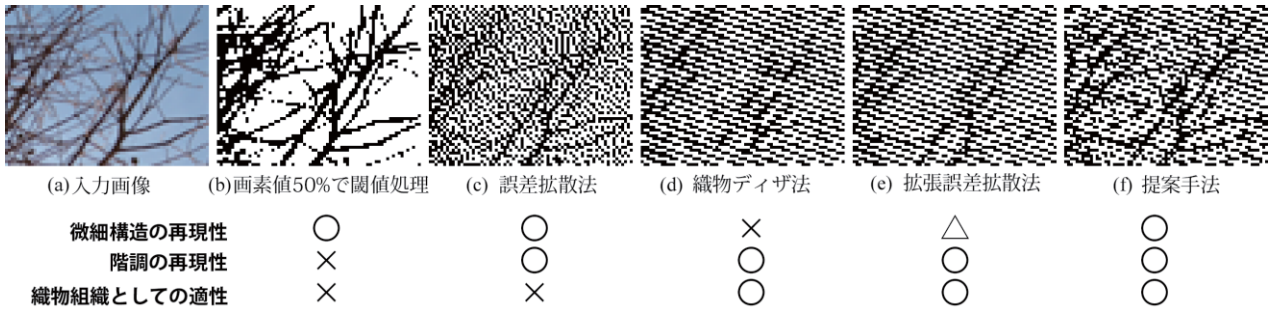


図1 微細構造, 階調の再現性と織物組織としての適性の比較

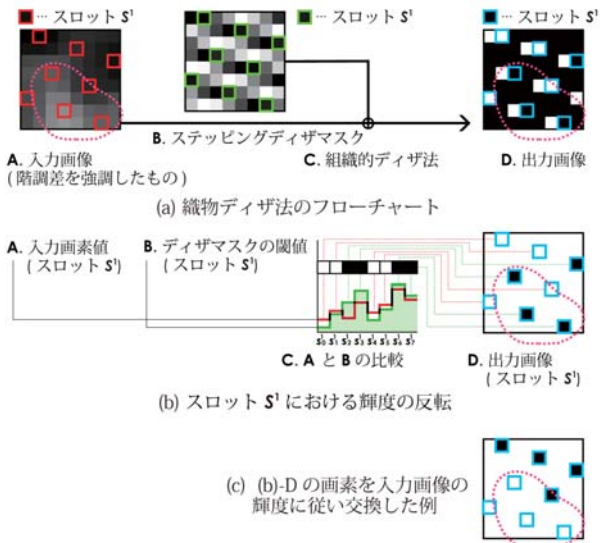


図2 織物ディザ法における輝度の反転

所的に反転してしまう結果が見られる。例えば、図2(a)Dの S^1 に位置するピクセルを抜き出した図2(b)Dでは、点線で囲まれた領域は周囲より暗いが、入力画像ではその領域は周囲より明るい。このような明暗反転は、微細構造の再現を妨げる主たる要因と考えられる。ではなぜこのような反転が起こるのだろうか。この問題は、ディザ法そのものに起因しているといえる。ディザ法とは、ディザマスクサイズ単位で入力画像の明度を保つよう、値0と値255の画素が望ましいパターンに配置されたバイナリ画像を作成するプロセスである、ということができる。この要請に従うために、局所的に入力画像の明暗を反転することはディザ法そのものの原理に組み込まれており、またそれが微細構造の再現を妨げる主要因となっていると考えられる。この問題に対処するため、既にいくつかの解決法が提案されている。その一つが誤差拡散法(図1(c))であるが、すでに述べたように織物組織には不適である。また誤差拡散法を織物ディザ法に導入した拡張誤差拡散法は、微細構造の再現を向上させてはいるが、図1(e)に見るように本研究の提

案手法(図1(e))と比較するとその効果は十分とはいえない。

2-3 ステッピングディザマスクとスロット

ここで、以降の議論の前提として重要な概念となる、ステッピングディザマスクにおけるスロットの意味と役割について触れておく。図3(a)は、織物ディザ法で用いられるステッピングディザマスクと、その中のスロットの配置を示している。ディザマスクは閾値をあるパターンに従って配置したマトリクスであり、ステッピングディザマスクは、そのパターンが織物組織の朱子織をベースとして作られている。例えば太枠で囲まれた $S^1_0 \sim S^1_7$ の8個の画素は、8枚縺子のパターンで配置されている。このグループをスロットといい、 $n \times n$ サイズのディザマスクには n 個のグループのスロットがある。 n 個のスロットのグループのうち S^0, S^{n-1} の2つに含まれる n 個ずつの画素に対応する閾値はそれぞれ0か255のみであり、入力画像の輝度が最大、最小の場合にも織物縺子組織パターンを出力するよう保証している。その他のスロット内の個々の閾値は、再現可能な階調の段階数を最大にするため、0~255のレンジを残りの画素数で均等に割った値を個別に持つ。各スロットは、図3(b)に示すように常に階段状の配置を取るよう配置され、また階段状の関係性を保つためそれぞれのスロットが担う閾値のレンジは互いにオーバーラップしないよう定義される。例えばスロット S^1 は図3(b)が示すように、どの

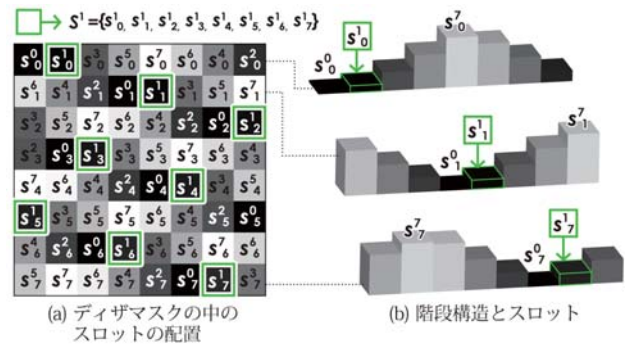


図3 ステッピングディザマスクにおけるスロット

行でもスロット S^0 の右隣に位置し、最も低い閾値のレンジを担っている。ステッピングディザマスクの階段状の構造と、特定の閾値レンジを担う各スロットという二つの要素によって、織物ディザ法は織物組織パターンと、ディザマスクサイズでの階調の双方を保持した織物組織パターンを出力画像として生成することができる。

2-4 提案手法のコンセプト

本研究では、微細構造と階調、織物組織パターン、それぞれの要請を満たす結果をもたらす新たな手法を開発するために、ある限られた領域、“ターゲットエリア”について入力画像の明暗に従った二値化を行い、それ以外の領域では階調と織物組織パターンの保存を優先するという基本的な方向により検討を行った。

上記のような要請を見たすためには、ターゲットエリアは、階調表現と織物組織パターンの保持に影響を及ぼさないよう注意深く選択する必要がある。本稿ではそのために新しく“バウンダリースロット”という概念を導入する。

2-5 バウンダリースロット

図 4(a)に示すように、織物ディザ法で用いられるステッピングディザマスクの階段状に配置された閾値は、周期的な白と黒の繰り返しの構造の二値化結果をもたらす。このときの白と黒の画素の比率で入力画像の輝度を再現する(図 4(a)-D)。ここでスロット S^3 の二値化結果(図 4(a)-F)を見てみると、ほかのスロットの結果(図 4(a)-E)ではそれぞれ白か黒の画素のみが含まれていることに対して、スロット S^3 では白と黒のピクセルが混在していることがわかる。図 4(b)-D は、ディザマスクサイズの二値化結果(図 4(b)-C)におけるスロット S^3 の配置を示している。図 4(b)-D でも、スロット S^3 には白と黒の画素が混在している。ここで着目したいのは、このときたとえスロット S^3 に含まれる白と黒の画素を入れ替える操作を行ったとしても、全体の輝度と周期的な白と黒の繰り返し構造は損なわれない、ということである。つまり、このときのスロット S^3 は、ターゲットスロットの有効な候補となりうる条件を備えている。このようなスロットを、白と黒の境界に相当する閾値のレンジを担うスロットという意味から“バウンダリースロット”と呼ぶこととする。ここで、バウンダリースロットを明確に次のように定義する。あるスロット内の入力画像の値がそのスロットの担う閾値レンジ(Threshold Value Range, 以降 TVR と記す)に含まれるとき、そのスロットをバウンダリースロットと呼ぶ。図

4(c)-A はその一例を示しており、ここではスロット S^3 のうち、 S^3_1 , S^3_5 , S^3_6 で入力画像が TVR に含まれているため、スロット S^3 はバウンダリースロットと識別されることを示している。

2-6 TVR ディザ法

本稿で提案する織物組織生成手法は、基本的にディザマスクを用いるものだが、ディザマスクは個々の閾値を持たず、スロットごとに担う閾値のレンジをあらわす TVR が重要な役割を持つことから、TVR ディザ法と呼ぶこととする。TVR ディザ法の具体的なプロセスをフローチャートに示す(図 5(a))。TVR ディザ法はまずバウンダリースロットの識別を行い、次いでバウンダリースロットに位置する画素をリストアップし輝度順にソートする。以降の二値化プロセスは条件分岐(図 5(a)-C)に従いプロセス 1、プロセス 2 の二種が用いられる。これらのプロセスの一例を図 5(b)に示す。プロセス 1 は、バウンダリースロット以外のスロットの画素を対象とし、それぞれのスロットの TVR を閾値とみなして用いることで二値化処理を行う。本来は TVR は値でなく値のレンジであり、厳密には閾値という言い方は正確ではないが、バウンダリースロットの定義よりプロセス 1 の対象画素は TVR 内には位置しないため、TVR を閾値として用いても不都合はない。プロセス 1 の結果は図 5(b)-E に示されるように白と黒の画素の周期的なパターンとなる傾向を生むため、プロセス 1 は入力画像の輝度と織物組織パターンの保持に寄与する。プロセス 2 は、バウンダリースロット内のスロットの画素を対象とし、微細構造の保存を目的に行われる。プロセス 2 の処理を行う前に、プロセス 1 で二値化した結果から、入力画像の輝度を再現するためには、残りの画素のうち白と黒の画素がいくつ必要かを求める計算が行われる。プロセス 2 はその結果と、図 5(a)-B でリストアップしたバウンダリースロット内の画素の順序をもとに、画素をその輝度値の大小関係を反映するよう二値化する。

なお図 5(b)-F でプロセス 2 の二値化結果が示されていないのは、図 5(a)-B, E の情報がこの図だけでは得られないためである。こうして得られたプロセス 1, 2 の二値化結果を統合することで、所望する織物組織画像が生成される。

2-7 階調差強調度合の制御方法の導入

TVR ディザ法による処理結果を図 6(e)に示す。図 6(b)~(d)に示した従来手法に比べ、入力画像(図 6(a))中の微細な構造がより明確に再現されていることがわかる。

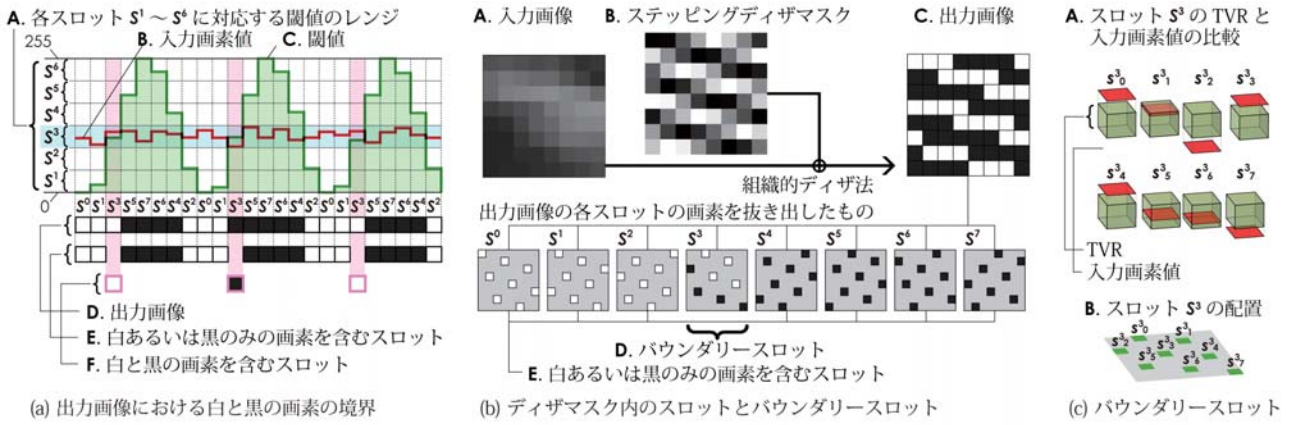


図4 バウンダリースロット

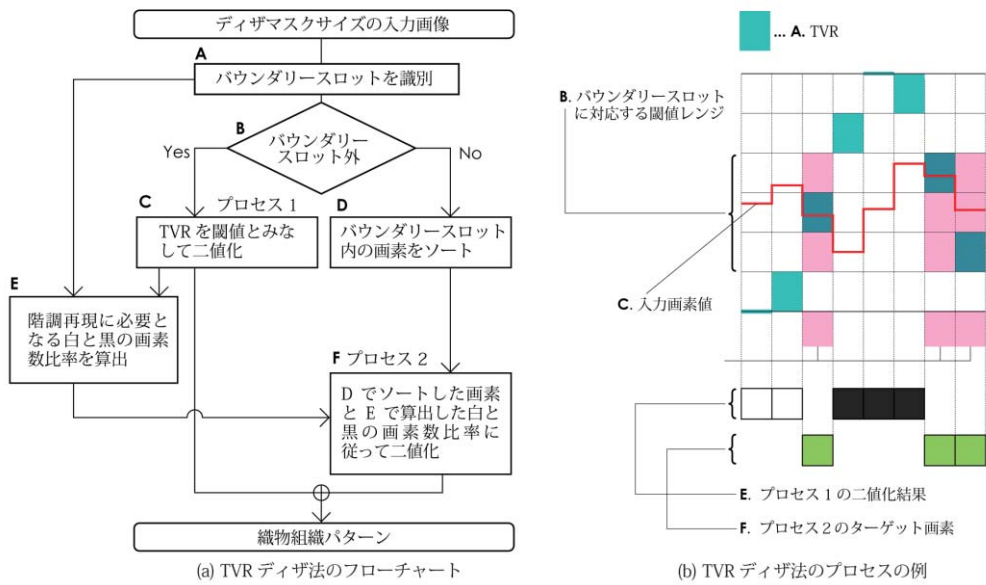


図5 TVR デザ法のプロセス



図6 TVR デザ法による処理結果の例 (画像)

しかしここで見られる階調差の強調はデザイナーの意図を超えた過剰なものとなされる場合も考えられるため、ここで階調差の強調度を制御する手法を提案する。制御方法は、プロセス2の対象画素を任意に減少できるようにすることである。前節で述べた TVR ディザ法におけるプロセス2の対象画素は、バウンダリースロット(図4(b)-D)に含まれるものだったが、ここで新たに対象画素を制限する“アジャステッドターゲットレンジ(ATR)”(図7(a)-B)を導入する。ATRは、バウンダリースロット内の各スロットに対応するTVRの中央値(図7(a)-C)を基準として、上下に d の幅をもつレンジであり、 d は式(1)で定義される。

$$d = R^*S / (n-2) \quad (1)$$

図7(b)の例では、スロット S^2 に位置する画素(図7(b)-G)は、バウンダリースロットに位置しているわけだが、ATRの導入によりプロセス2の対象からは除外される。

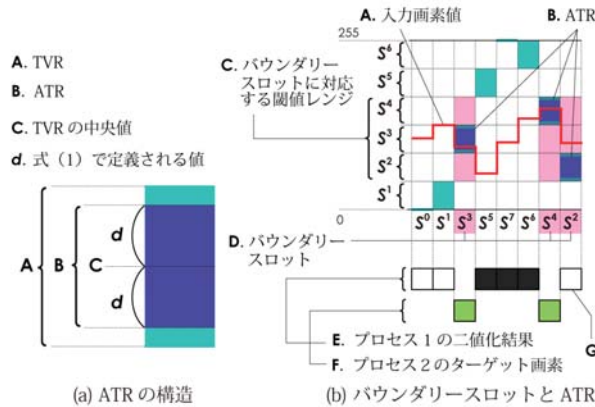


図7 TVR ディザ法の階調差強調の制御

図7(b)のスロット S^2 の画素の二値化は、プロセス1がTVRを閾値として行った閾値処理同様、スロット S^2 のATRを閾値とした入力画像の閾値処理により行われる。式(1)において R^* は、デザイナーが階調差の強調度を制御するための係数である。 S は入力画像のディザマスクサイズ内にある画素の標準偏差を表し、入力画像に含まれる微細構造の複雑さに応じて対象画素を増やす作用をもたらす。値 n はディザマスクサイズ、値 $(n-2)$ は0~255の画素値を分割するTVRの数にあたり、 n が増えて各TVRのレンジが狭くなったときに d を狭めることで、 n が変化しても R^* の効果が大きく変わらないよう作用する。図6(f), (g), (h)は、ATRを導入したTVRディザ法による処理結果を示す。係数 R^* を変化させることで階調差の強調が制御できていることがわかる。以

降、ATRを導入した手法をTVRディザ法と呼ぶ。

3. OSディザ法とTVRディザ法の融合

OSディザ法は画像のスムーズな階調でのアーティファクト発生を防ぐことで、低周波領域に対応した織物ディザ法の拡張を行い、TVRディザ法では、微細構造の再現性を向上させることで、高周波領域に対応した織物ディザ法の拡張を行った。ここで高周波領域、低周波領域の双方を含む画像に対しても有効となるよう、OSディザ法とTVRディザ法を併用する手法を提案する。まず入力画像に対してOSディザ法、TVRディザ法の双方を用いた結果画像のレイヤーを用意し、次に入力画像のローカルな画素値の変化の度合いをもとに閾値処理をすることで、OSディザ法とTVRディザ法のどちらの結果を採用するかを決定する。画像の変化の度合いは式(2)の A^p を用い、閾値は T^p とし、 $A^p \geq T^p$ となったときTVRディザ法が用いられる。ここで、 $p(x, y)$ は座標 (x, y) の画素値とし、 T^p の値は実験結果をもとに6とする。

$$A^p(x, y) = \frac{1}{24} \sum_{i=-2}^2 \sum_{j=-2}^2 |p(x, y) - p(x+i, y+j)| \quad (2)$$

4. 実験及び結果

表1は試織に用いた製織スペックを示す。図8~10は従来技術と本稿の提案手法による処理結果を織物組織データとして試織した結果を示す。図8は2つの異なる係数 R^* による微細構造の再現性を従来技術と比較したものである。提案手法によるものは R^* の増減によって細部の再現性が変化し、いずれも従来技術(図8(a), (d))よりも再現性が優れていることがわかる。図9は低コントラストにおける微細構造の再現性を係数 R^* の違いによって示したものである。 R^* が増えるにつれ富士山の雪渓部分の細部が明瞭になっていることがわかる。図10はディザマスクサイズ n が8, 11, 16のときの結果を比較したものである。ディザマスクサイズが変化したときにも微細構造が保存されていることがわかる。

表1 製織条件

製織条件	経糸	緯糸
素材	ポリエステル 100%	綿 100%
織度	50d/2	60s/1 (EC)
密度($n=8$)	234本/鯨寸	195本/鯨寸
密度($n=11$)	234本/鯨寸	209本/鯨寸
密度($n=16$)	234本/鯨寸	234本/鯨寸
ジャカード機	Stäubli JC5	

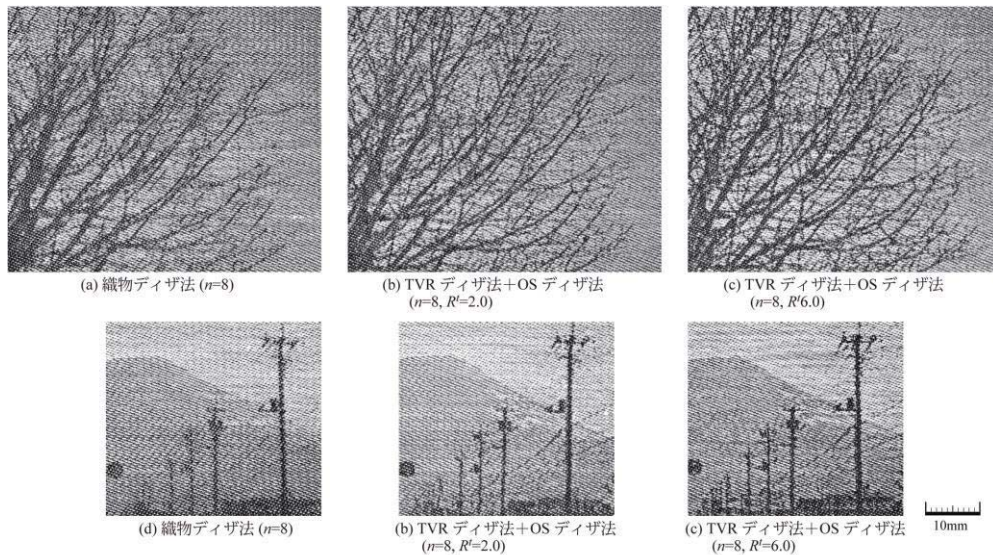


図 8 TVR ディザ法による製織結果の例

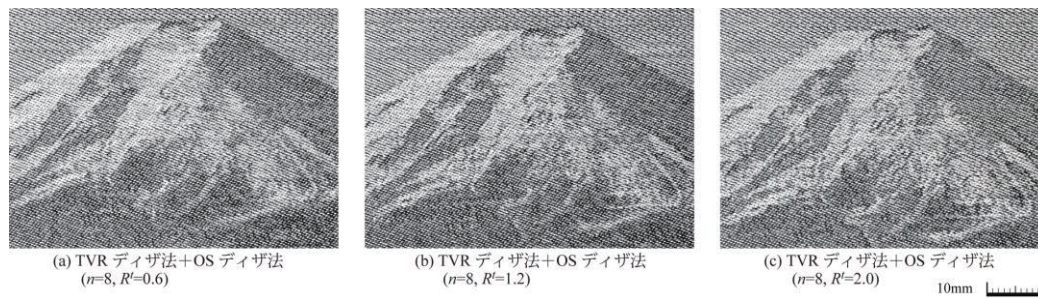


図 9 TVR ディザ法による製織結果の例

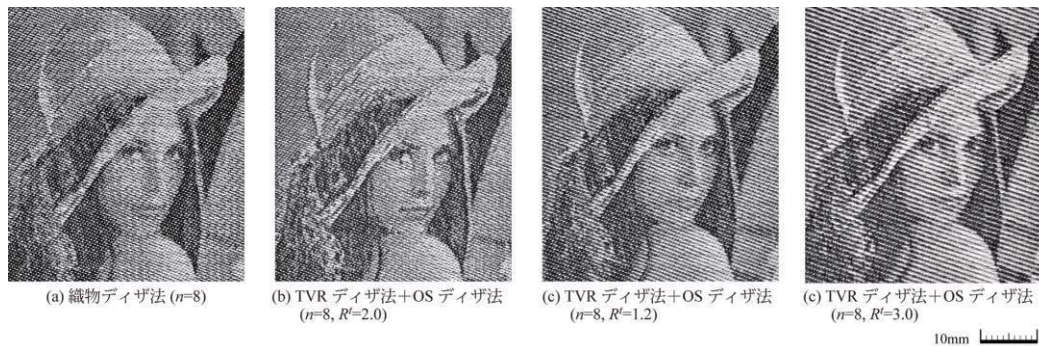


図 10 TVR ディザ法による製織結果の例

5. 結 言

本研究で開発し提案した手法，TVR ディザ法及び TVR ディザ法と OS ディザ法の併用手法は，試織結果から，自然画像のうちスムーズな領域，微細に変化する領域の双方に対して再現性が向上する結果が示されたことで，低周波領域，高周波領域について従来の織物ディザ法を拡張することに成功したといえる。

この技術は山梨県織物産地の高密度ジャカード織物の持つ表現力を高め，産地の競争力を高めるツールとなる

ことが期待される．本稿ではグレースケールに特化した条件で織物上への自然画像の再現を扱ったが，今後の研究課題としては緯糸に複数色の糸を用いたマルチカラーモードへの応用，また領域分割法との併用や，階調に加えて質感の違いの表現手法の開発など，本研究を基礎とすることで，様々な応用範囲が考えられる。

参考文献

- 1)F. M. Ng and J. Zhou : “Digital Jacquard Textile Design in a Colorless Mode,” Research Journal of Textile and Apparel, **Vol.10**, No.2, P.36-42 (2006)
- 2)豊浦正広, 五十嵐哲也, 庄司麻由, 茅暁陽: ジャカード織物作製のための制約付き画像二値化, 芸術科学会論文誌, **Vol.13**, No.3, P.124-133 (2014).
- 3)五十嵐哲也, 豊浦正広, 庄司麻由, 茅暁陽, 秋本梨恵: 山梨県富士工業技術センター平成 25 年度業務・研究報告, P.52-62 (2014)
- 4)五十嵐哲也, 豊浦正広, 茅暁陽, 秋本梨恵: 山梨県富士工業技術センター平成 27 年度業務・研究報告, P.47-54 (2016)
- 5)R.W. Floyd and L. Steinberg., “An Adaptive Algorithm for Spatial Grayscale”, Proceedings of the Society of Information Display 17, P.75-77 (1976)