(53) 錯視を誘発する画像特徴合成動画に対する視認性定量評価の試み

A quantitative evaluation of visibility of feature composite moving image inducing visual illusion

小島尚人[1]・金子和弘[2]・重岡匠[3]・広田健一[3]

Hirohito KOJIMA, Kazuhiro KANEKO, Takumi SHIGEOKA and Kenichi HIROTA

抄録：本研究は，各種検査・計測画像の判読・分析支援を目的とし，擬似回転と残像錯視を誘発する画像特徴合成動画（Feature Composite Moving image：FCM image）に対する「視認性評価指標」を提案したものである．FCM image は，テクスチャ特徴に対して８種類のエンボス処理画像を作成し（光の擬似照射方向：８方位），これらを元画像に重ね合わせ，動画化することによって作成される．本研究では，FCM image の濃度値変動（時間軸方向）に対する空間周波数別・パワースペクトルを画素単位で計算し，これを視認性評価指標とした．さらに，視認性評価指標を画像化した「視認性評価図」を提示するとともに，この視認性評価図を用いれば FCM image に対する視認性を定量的に分析できるだけでなく，錯視と視覚に関わる今後の研究の展開にも寄与できることを示している．

キーワード： 視認性評価，　錯視，動画，画像特徴強調，画像判読，空間周波数，パワースペクトル

Keywords **：** visibility evaluation, visual illusion, moving image, image feature enhancement, image interpretation, spatial frequency, power spectrum

１．はじめに

医用画像，実験計測画像，地球観測画像等，各種画像データを分析する際には，まず初めに「画像を判読する」ことが基本となる．この時，我々の目は画像濃度値の違い（濃淡・陰影）を判読のキーとして，計測対象表面のテクスチャを識別する[1)]．このことは，濃淡・陰影情報に基づいて計測対象表面の凹凸感が誘発されるといった「目の錯覚」，いわゆる「錯視（Visual illusion）」と言われる現象に基づいて画像を判読していることに相当する．筆者らは「擬似回転錯視」と「残像錯視」を誘発する画像特徴合成動画を提案するとともに，この動画を用いれば「元画像の画質維持・鮮鋭化」と「画像テクスチャ特徴の強調」効果を同時に得られることを示した[2)]．

しかし，画像特徴合成動画に対する判読は主観に依存し，動画の見え方，いわゆる「視認性」を客観的（定量化）に評価できないかといった新たな課題が持ち上がってきた．画像特徴合成動画の見え方には，動画の濃度値変動が反映されることから，動画の濃度値変動に対する空間周波数成分によって視認性を定量化できる可能性がある．

そこで，本研究では，画像特徴合成動画の濃度値変動（時間軸方向）に対するパワースペクトルと動画の見え方との関係を分析するとともに，画像特徴合成動画に対する視認性を評価する上での一指標としての適用可能性について検討した．

２．既往の研究と本研究の特色

（１）既往の研究

画像特徴の判読支援策の一つとして「錯視を誘発する画像特徴合成動画」が提案されている．従来提案されてきた画像特徴の判読支援策は，特定のテクスチャ特徴や画像内のエッジ情報そのものの抽出・強調を目的とすることから，元画像の画質が犠牲になるといった問題があった．これらの問題に対応するべく開発された画像特徴合成動画は，錯視を利用することによって元画像の画質維持と同時に画像特徴の強調，画像全体の鮮鋭化を可能にした．画像特徴合成動画上で誘発される錯視を「擬似回転錯視」と「残像錯視」と呼び，「擬似回転錯視」によって画像特徴が背景から浮かび上がったように認識されるだけでなく，「残像錯視」によって画像上のテクスチャ・エッジが強調され，元画像の画質を維持しつつ画像特徴の強調，画像全体が鮮鋭化される[3), 4)]．

しかし，錯視誘発に伴う動画質の判読は，主観に依存し，画像特徴の見え方，いわゆる「視認性」を客観的(定量化)に評価できないことが問題となっていた．これを定量評価できれば，画像特徴の分析支援はもとより，錯視と画質の因果関係分析に関わる今後の研究の発展にも寄与できることになる．

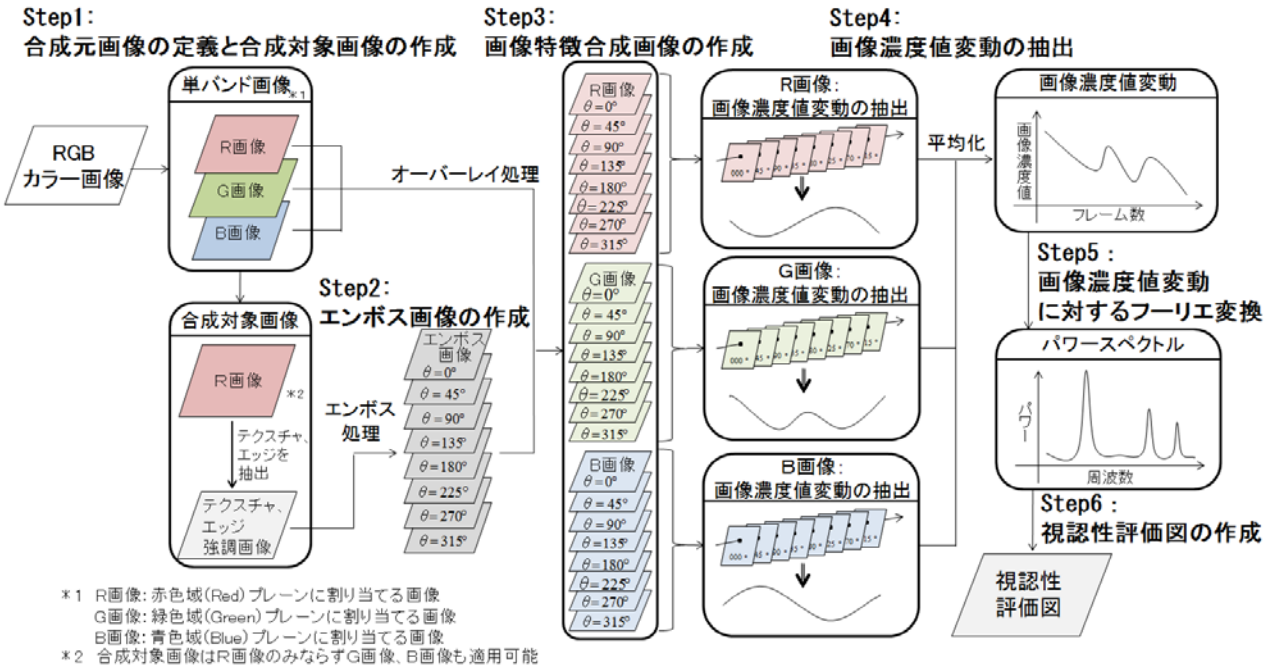
（２）本研究の特色

本研究の新規性は以下の２点にまとめられる．

a）画像特徴合成動画に対する視認性評価の試み

本研究では，画像特徴合成動画の画像濃度値変動に

1 :正会員　博士(工学)　東京理科大学　教授　理工学部土木工学科
（〒278-8510　千葉県野田市山崎 2641，Tel: 0471-24-1501(内線 4016)，E-mail: kojima_h@rs.noda.tus.ac.jp）
2 :非会員　博士(医学)　独立行政法人　国立がん研究センター東病院　副科長
3 :学生員　学士(工学)　東京理科大学大学院　理工学研究科土木工学専攻　地球環境工学研究室



図－１　画像特徴合成動画に対する視認性評価図作成アルゴリズム

対する空間周波数別・パワースペクトルを画素単位で計算し，これを視認性評価指標と定義した．内視鏡画像を実験対象として，画像特徴合成動画の画質と視認性評価指標の関係を分析した結果，視認性を定量評価できることを示している．錯視を誘発する画像特徴合成動画は筆者らが提案したものであり，錯視を誘発するこの動画の画像濃度値変動（時間軸方向）に対する空間周波数分析と視認性評価の試みは，既往の研究には見られない本研究の新規性の一つでもある．

ｂ）画像特徴合成動画に対する視認性評価図の提案

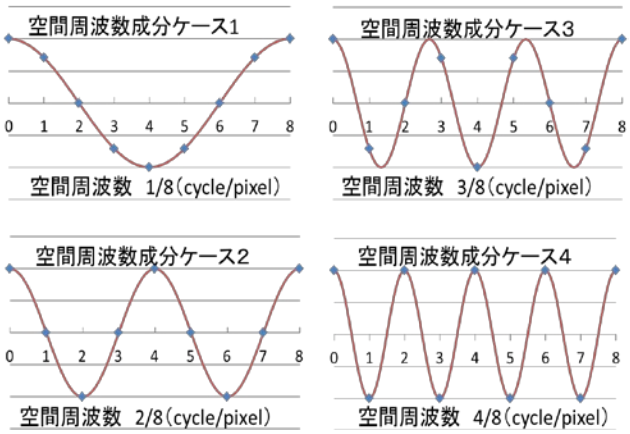
さらに，空間周波数成分別・パワースペクトルを４０クラスにグループ化した上で，これを画像化した「視認性評価図」を提案している．この視認性評価図を用いれば，画像特徴の視認性の違いを定量分析でき，特定の画像特徴の抽出支援は言うまでもなく，錯視と視覚に関わる今後の研究の展開にも寄与できることを示している．

３．視認性評価図作成アルゴリズム

視認性評価図作成アルゴリズムを**図－1** に示す．視認性評価図作成アルゴリズムは以下の６つのステップから成る．

（1）STEP１：合成元画像の定義と合成対象画像の作成

判読支援対象となる静止画像を「合成元画像」とする．合成元画像からＲＧＢ分解した単バンド画像に対して，各種画像特徴（平均，分散，コントラスト，エントロピー，線構造等）を計算し，「合成対象画像」を作成する．一例として以下，Ｒバンド画像を例にとって説明を進める．



図－２　画像特徴合成動画と空間周波数成分の関係

（2）STEP２：エンボス画像の作成（凹凸強調処理）

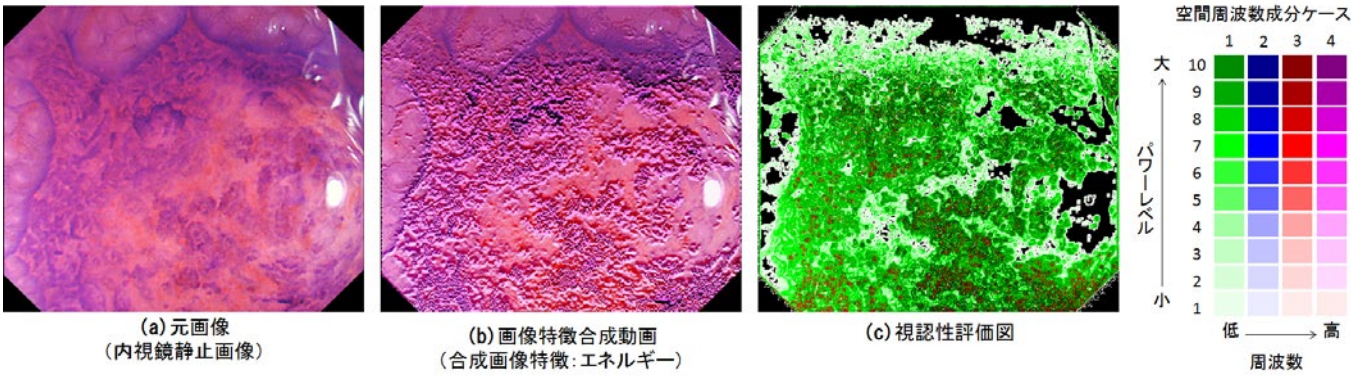
Ｒバンド画像に対してエンボス処理を施し，画像特徴を陰影・凹凸情報として強調する．エンボス画像は光の擬似照射方向別(0°～315°)に８種類作成する．

（3）STEP３：画像特徴合成画像の作成

合成元画像からＲＧＢ分解した単バンド画像に，これら８種類のエンボス画像をオーバーレイして，ＲＧＢバンド毎の「画像特徴合成画像（静止画像）」を作成する．

（4）STEP４：画像濃度値変動の抽出

連続表示される画像特徴合成画像上の同一画素における画像濃度値の変化を離散信号の波とみなし，これを「画像濃度値変動」と定義する．Ｒバンド画像，Ｇバンド画像，Ｂバンド画像においてそれぞれ画像濃度値



図－３　画像特徴合成動画に対する認性評価図:内視鏡画像

変動を抽出し，それらを平均することによって画像特徴合成画像（カラー）の画像濃度値変動とする．これらの処理を画像特徴合成動画上の全画素に対して実施する．

(5) STEP５:画像濃度値変動に対するフーリエ変換

抽出した画像濃度値変動に対して離散フーリエ変換を実施し，パワースペクトルを求める．空間周波数成分ケースは以下の４種類に大別される．

a) ケース１：1/8＝0.125（cycle/pixel）
b) ケース２：2/8＝0.25（cycle/pixel）
c) ケース３：3/8＝0.375（cycle/pixel）
d) ケース４：4/8＝0.5（cycle/pixel）

上記の各ケースの波形を**図－５**に示す．各空間周波数成分ケースはそれぞれ８枚の画像中で１回，２回，３回，４回振動する波である。

(6) STEP６:視認性評価図の作成（シュードカラー化）

STEP５において求めたパワースペクトルをもとにシュードカラー画像を作成する．視認性評価図における各画素の色の種類は，最大のパワーを持つ空間周波数成分ケースに対応する．各画素の色の濃さは，振幅の大きさを１０段階評価した「パワーレベル:１(小)→１０(大)」の大きさを表す．

４．視認性評価図の性質と有用性

図－３から**図－５**に合成元画像，画像特徴合成動画，視認性評価図の比較結果の一例を示す．各図中の**（ａ）**に合成元画像，**（ｂ）**に画像特徴合成動画，**（ｃ）**に視認性評価図（提案）とその凡例を示す．

各図において元画像と画像特徴合成動画を比較すると，画像特徴合成動画上で強調対象となる画像特徴が，陰影・凹凸によって強調されていることが判る．

（１）空間周波数成分ケース１について

各図の視認性評価図を見ると，空間周波数成分ケース１（低周波成分）が支配的であることが判る．特に**図－４**における内視鏡静止画像の画像特徴強調効果が大きい箇所は，空間周波数成分ケース１のパワーレベルが高い．空間周波数成分ケース１のパワーレベルは画像特徴強調効果と相関があり，画像特徴強調箇所に対する見え方（視認性）と対応がとれている．空間周波数成分ケース１は画像特徴の強調効果を担う空間周波数成分であり，画像特徴強調効果の定量評価が可能である．

（２）空間周波数成分ケース３のについて

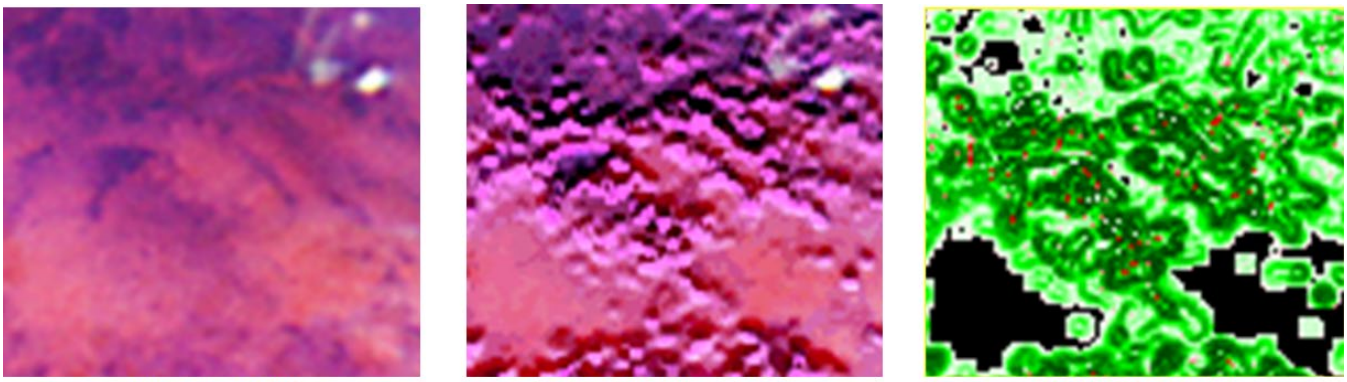
図－４（ｂ）の画像特徴合成動画を見ると，がん細胞患部と疑わしい画像のきめが細かい箇所（画像がざらついて見える部分）が確認できる．視認性評価図（**図－４（ｃ）**）上では，この部分が空間周波数成分ケース３（高周波成分）に分類されており，空間周波数の違いから画像特徴（キメや粗さ，エッジ等）の占有領域を特定可能であり，ガン細胞の分析，診断，早期発見につながるものと期待できる．

（３）空間周波数成分ケース２，４について

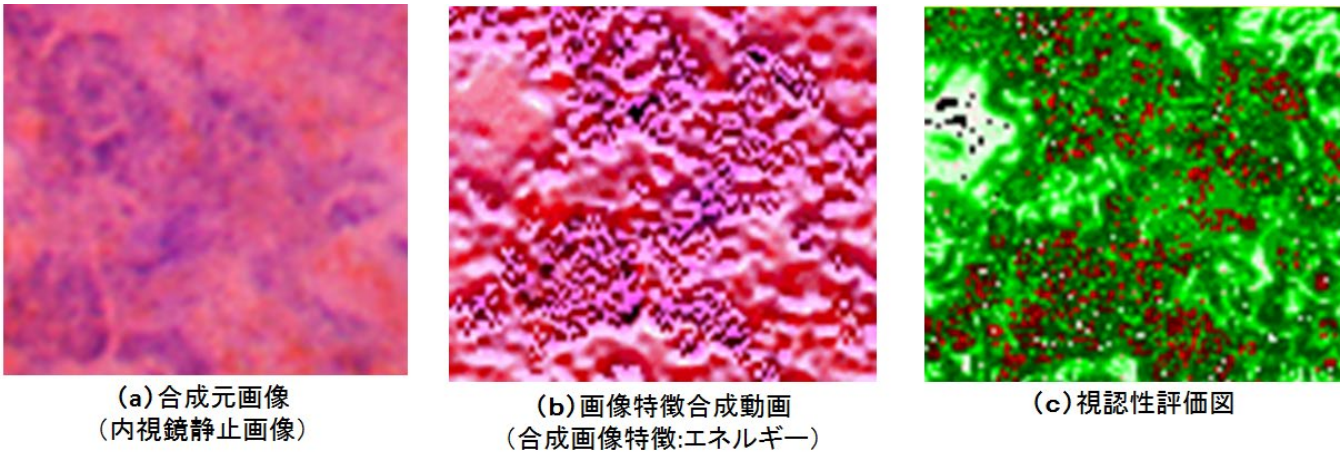
ケース２とケース４の空間周波数成分が存在しないことに気付くが，今回の画像特徴合成動画の濃度値変動の結果が反映されたものである．今回の画像特徴合成動画上で誘発する錯視は、空間周波数成分ケース１（0.125cycle/pixel）のパワーレベル７～８が支配的であることが判る．今後は，画像特徴種別毎に視認性と空間周波数成分の関係性について分析することが必要となる．

（４）視認性評価図の有用性

本研究を通して，画像特徴合成動画上での見え方の違いを４０種類に分けて定量化できたことになる．**表－１**に示すように，視認性評価図から分類された空間周波数成分ケース占有率を求めることができる．画像特徴合成動画に対する教師付き最尤法やクラスター解析では，このように４０クラスに分けて視認性を分類することはできない．画像特徴合成動画は「動画(擬似回転錯視＆残像錯視誘発)」であり，また，元画像の画像濃度値をベースとしても４０クラスに及ぶ教師データを選定することは難しいためである．画像特徴合成動画の濃度値変動（時間軸方向）に対するパワースペ



図－４　空間周波数成分ケース1の画素分布が多い領域の拡大図:内視鏡画像



図－５　空間周波数成分ケース3の画素分布が多い領域の拡大図:内視鏡画像

表－１　視認性評価図上の空間周波数成分ケース占有率

空間周波数成分ケース占有率(%)							
空間周波数成分ケース			1	2	3	4	合計
空間周波数(cycle/pixel)			0.125	0.25	0.375	0.5	
パワーレベル	大	10	5.1	0.0	0.5	0.0	5.5
		9	12.0	0.0	0.9	0.0	12.9
		8	12.9	0.0	0.8	0.0	13.8
		7	11.7	0.0	1.0	0.0	12.7
		6	9.2	0.0	0.9	0.0	10.0
		5	7.2	0.0	0.6	0.0	7.7
		4	7.1	0.0	0.5	0.0	7.5
		3	7.8	0.0	0.4	0.0	8.2
		2	10.1	0.0	0.6	0.0	10.7
	小	1	8.7	0.0	2.2	0.0	11.0
合計			91.7	0.0	8.2	0.0	100.0

クトルによって視認性を評価しようとする本研究の意義もまさにこの点にある．

５．まとめ

（１）画像特徴合成動画の定量評価

画像特徴合成動画の視認性を定量的に評価することの必要性を指摘した上で，画像特徴合成動画の濃度値変動（時間軸方向）に対するパワースペクトルと動画の見え方との関係を分析した．検討の結果，このパワースペクトルが画像特徴合成動画の視認性を評価する上での一指標として適用できることを示した．

（２）視認性評価図の提案

画像濃度値変動のパワースペクトルをもとに，視認性評価図を作成した．この評価図は，画像特徴合成動画の視認性を定量的に評価できるだけでなく，画像特徴別（キメや粗さ，エッジ等）の占有領域分析等，様々な画像特徴分析に利用できることを示した．

今後の課題として以下の２項目を予定している．

a）画像種別＆画像特徴種別視認性評価

b）画像特徴を複数合成した場合の視認性評価

本研究の内容が視覚と画質の定量評価に関わる萌芽的研究の一つとして，今後の研究の展開に何らかの形で寄与できれば幸いである．

参考文献

1) 後藤倬男，田中平八：錯視の科学ハンドブック，東京大学出版会，pp.2-3，2005 年 2 月.
2) 小島尚人，永倉佑一：画像特徴合成動画生成装置，画像特徴合成動画生成方法，及びプログラム，特開 2010-134768，2010 年 6 月.
3) Ramachandran,V.S. : Apparent motion of subjective surfaces, *Perception*, Vol.14, pp.127-134,1985.
4) Kersten,D., Knill,D.C., Mamassian,P. and Buelthoff,I. : Illusory motion from shadows, *Nature*, Vol.379, No.3. pp.31,1996.4.