(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6690860号
(P6690860)
(45)発行日　令和2年4月28日(2020.4.28)　(24)登録日　令和2年4月13日(2020.4.13)

(51)Int.Cl.			F I		
H04N	9/04	(2006.01)	H04N	9/04	B
H04N	1/46	(2006.01)	H04N	1/46	
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	510
H04N	9/67	(2006.01)	H04N	9/67	D

請求項の数 31　(全 48 頁)

(21)出願番号　特願2017-552218(P2017-552218)
(86)(22)出願日　平成27年12月25日(2015.12.25)
(65)公表番号　特表2018-503329(P2018-503329A)
(43)公表日　平成30年2月1日(2018.2.1)
(86)国際出願番号　PCT/DK2015/000054
(87)国際公開番号　WO2016/101951
(87)国際公開日　平成28年6月30日(2016.6.30)
審査請求日　平成30年12月21日(2018.12.21)
(31)優先権主張番号　PA201400757
(32)優先日　平成26年12月25日(2014.12.25)
(33)優先権主張国・地域又は機関
デンマーク(DK)
(31)優先権主張番号　PA201500548
(32)優先日　平成27年9月19日(2015.9.19)
(33)優先権主張国・地域又は機関
デンマーク(DK)

(73)特許権者　519007259
ビジオトゥルー　アイブイエス
デンマーク，　２８２０　ゲントフテ，
レヴェスコヴスヴェイ　３　エー
(74)代理人　100107456
弁理士　池田　成人
(74)代理人　100144440
弁理士　保坂　一之
(74)代理人　100162352
弁理士　酒巻　順一郎
(74)代理人　100123995
弁理士　野田　雅一
(72)発明者　アンデルセン，　カスパー　フィンド
デンマーク，　２８２０　ゲントフテ，
レヴェスコヴスヴェイ　３　エー
最終頁に続く

(54)【発明の名称】色補正のための、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義されるＮ個の３×３トレーニングカラー行列を用いて、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に対して、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を実行するための方法であって、
ｉ）前記所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値について第１色空間色相角を求めるステップと、
ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成するステップと、
ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換するステップであって、
前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が第１色空間色相角に特有のＮ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、
前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記第１色空間色相角に関

して特有のものである、該ステップと、
ｖ）各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについての重みを、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして求めるステップと、
ｖｉ）個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和を得るステップと、
ｖｉｉ）第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合を最適化するステップと
を含み、
すべての色チャネル値を第１色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第１色チャネル値のホワイトバランスが取られ、
すべての色チャネル値を第２色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第２色チャネル値のホワイトバランスが取られる、
方法。
【請求項２】
ｉ）第１色空間における三つの独立した線形色チャネル値Ｒ，Ｇ，Ｂを、ｉｉ）第２色空間における三つの独立した推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚに色補正する、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法であって、
ａ）白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義される予め定められたトレーニングカラー集合を提供することで、Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を提供するステップであって、
前記トレーニングカラー集合が、第１色空間内のＮ＋１個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間内の対応するＮ＋１個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを含み、
前記Ｎ個の異なる有色のトレーニングカラーと中間色である白色とのそれぞれが、３×３のトレーニングカラー行列の定義に関与し、
各トレーニングカラー行列が有色のトレーニングカラーに特有であり、
各トレーニングカラー行列が白色に特有であり、
白色点の維持とトレーニングカラーの維持という制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することでＮ個のトレーニングカラー行列が得られ、
トレーニングカラー行列が特有である有色のトレーニングカラーおよび白色が、前記制約された線形最小二乗回帰で維持され、
トレーニングカラー行列が特有でない残りの有色のトレーニングカラーのそれぞれに対して、前記制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することで、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについて、前記第２色空間の推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚと前記第２色空間の既知の色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚとの間の距離が最小化され、
各トレーニングカラーが、第１色空間で測定された第１色空間トレーニングカラー色相角に特有であり、かつ第２色空間で測定された第２色空間トレーニングカラー色相角に特有である、該ステップと、
ｂ）ｉ）所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供し、ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のために第１色空間色相角を求め、ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な、第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成し、ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての前記第１色空間

Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換することで、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を持つ所定の色に対して実行するために、前記Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を使用するステップであって、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、第１色空間色相角に特有の、Ｎ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉにおいて提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記第１色空間色相角に特有であり、

各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれの重みが、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして算出され、

個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和が得られ、

第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合が最適化される、該ステップと、

ｃ）ｉ）Ｍ個の異なるテスト色チャネル値の集合により定義された、予め定められたテストカラーの集合を提供し、ｉｉ）第１色空間のＭ個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間の対応するＭ個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを提供し、ｉｉｉ）ステップｂ）の３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を適用することで、前記第１色空間の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のそれぞれについて、既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のための第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を生成することで、Ｍ個の異なるテストカラーから成る予め定められた色集合をテストするステップであって、

第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれと、第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれとで差がある場合には、該差は、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の精度の基準であり、

第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と前記第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間のより小さい差と、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換のより高い精度との間に、正の相関がある、該ステップと

を含み、

すべての色チャネル値を前記第１色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第１色チャネル値のホワイトバランスが取られ、

すべての色チャネル値を前記第２色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第２色チャネル値のホワイトバランスが取られる、

方法。

【請求項３】

前記第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が更なる色空間の推定色チャネル値に変換され、前記第２色空間の前記対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が前記更なる色空間の既知の色チャネル値に変換され、前記距離が、前記更なる色空間の変換された推定色チャネル値と前記更なる色空間の変換された既知の色チャネル値との間の距離である、

請求項２に記載の方法。

【請求項４】

前記距離が、前記グローバル精度の更なる評価のための色差に変換される、

請求項２または３に記載の方法。

【請求項５】

平均として評価される、より小さな知覚色距離と、中央値と、最大値とが、より正確な

変換の証拠である、
請求項２または３に記載の方法。
【請求項６】
前記距離が、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間のＮ個のユークリッド距離の合計として測定される、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項７】
前記微分関数に依存したパラメータ集合がｐ乗のべき関数である、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項８】
前記微分関数に依存したパラメータ集合が、ｎ＋１個の係数を持つｎ次の多項式である、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項９】
前記微分関数に依存したパラメータ集合がルックアップテーブルである、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１０】
前記微分関数に依存したパラメータ集合が三角関数である、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１１】
前記微分関数に依存したパラメータ集合が指数関数である、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１２】
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が特有である、請求項２のステップｂ）のｉ）で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角から独立している、
請求項８～１１のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１３】
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が特有である、請求項２のステップｂ）のｉ）で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角に依存する、
請求項８～１１のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１４】
色空間がＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値またはＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のいずれかの三つのベクトルによって張られる３次元ユークリッド空間である
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１５】
基本的に本明細書の式２１，２２，２３，２４，２５に記載のように、有彩色の色相角が色度空間において、中間色である白色の色度点から延びる任意でかつ固定の半直線と、中間色である白色から前記有彩色の色度点までの半直線との角度として定義される、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１６】
基本的に本明細書の式１９，２０に記載のように、前記色相平面の維持が、色相平面上の色のすべての加法結合の変換関数での維持を含む、
請求項１または２に記載の方法。
【請求項１７】
有彩色を示すベクトルと中間色である白色を示すベクトルによって張られる半平面として定義される前記第１色空間の色相平面が、前記有彩色の推定第２デバイス色チャネル値を示すベクトルと前記中間色である白色の第２デバイス色チャネル値を示すベクトルとによって張られる半平面として定義される、前記第２色空間の対応する色相平面に変換され

る、
請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
色相平面上の色の加法結合が、それぞれの色のスペクトル反射率関数の加法結合と等しい、
請求項１６に記載の方法。
【請求項１９】
基本的に本明細書の式１５、１６，１７，１８，１９，２０に記載のように、スペクトル反射率関数が、白色のスペクトル反射関数と有彩色のスペクトル反射率関数との線形結合として表される、
請求項１８に記載の方法。
【請求項２０】
色相平面を維持する色補正のために、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、対応するテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを有するテストカラーに対して実行される、加重拘束行列化法であって、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れた第１色空間色値を提供するステップと
ｖ）前記１以上の色について、前記第１色空間色値のための第１色空間カラー色相角を算出するステップと、
Ｖｉ）前記１以上の色について第１色空間カラー色相角を得るステップと、
Ｖｉｉ）前記１以上の色に関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
Ｖｉｉｉ）前記１以上の色についてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得るステップと、
ｉｘ）前記１以上の色について、行列乗算により、所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、これにより、
ｘ）前記１以上の色についての、推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含み、
さらに、
ｘｉ）既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を提供するステップと、
ｘｉｉ）前記既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、前記推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを、幾何学的距離が一定の知覚的な差である更なる色空間に変換することで、第２色空間の前記既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に関連する各色についての知覚的な色差と、前記第２色空間の推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを求めるステップと、これにより、
ｘｉｉｉ）推定されたテストセット色差の集合を得るステップと、
を含み、
すべての色チャネル値を第１色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの白色の単位値に対して第１色チャネル値のホワイトバランスが取られ、
すべての色チャネル値を前記第２色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネル

の白色の単位値に対して第２色チャネル値のホワイトバランスが取られる、
方法。
【請求項２１】
前記第２色空間の前記推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値が、更なる色空間の推定色チャネル値に変換され、前記第２色空間の前記対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が、前記更なる色空間の既知の色チャネル値に変換され、前記幾何学的距離が、前記更なる色空間の変換された推定色チャネル値と前記更なる色空間の変換された既知の色チャネル値との間の距離である、
請求項２０に記載の方法。
【請求項２２】
色空間がＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値またはＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のいずれかの三つのベクトルによって張られる３次元ユークリッド空間である
請求項２０に記載の方法。
【請求項２３】
基本的に本明細書の式２１，２２，２３，２４，２５に記載のように、有彩色の色相角が色度空間において、中間色である白色の色度点から延びる任意でかつ固定の半直線と、中間色である白色から前記有彩色の色度点までの半直線との角度として定義される、
請求項２０に記載の方法。
【請求項２４】
基本的に本明細書の式１９，２０に記載のように、前記色相平面の維持が、色相平面上の色のすべての加法結合の変換関数での維持を含む、
請求項２０に記載の方法。
【請求項２５】
有彩色を示すベクトルと中間色である白色を示すベクトルによって張られる半平面として定義される前記第１色空間の色相平面が、前記有彩色の推定第２デバイス色チャネル値を示すベクトルと前記中間色である白色の第２デバイス色チャネル値を示すベクトルとによって張られる半平面として定義される、前記第２色空間の対応する色相平面に変換される、
請求項２４に記載の方法。
【請求項２６】
色相平面上の色の加法結合が、それぞれの色のスペクトル反射率関数の加法結合と等しい、
請求項２４に記載の方法。
【請求項２７】
基本的に本明細書の式１５、１６，１７，１８，１９，２０に記載のように、スペクトル反射率関数が、白色のスペクトル反射関数と有彩色のスペクトル反射率関数との線形結合として表される、
請求項２６に記載の方法。
【請求項２８】
第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値で定義される画像データを提供および処理するデジタルカメラモジュールであって、
ｉ）少なくとも一つのプロセッサと、
ｉｉ）コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールと
を備え、
前記少なくとも一つのプロセッサと、前記コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールとが、請求項１～２７のいずれか一項に記載の方法を実行する、
デジタルカメラモジュール。
【請求項２９】

前記コンピュータ実行可能なプログラムコードが、既知の第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行し、
前記方法が、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れた第１色空間色値を提供するステップと
ｖ）前記１以上の色について、前記第１色空間色値のための第１色空間カラー色相角を算出するステップと、
ｖｉ）前記１以上の色について第１色空間カラー色相角を得るステップと、
ｖｉｉ）前記１以上の色に関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
ｖｉｉｉ）前記１以上の色についてＮ個の前記重みを得るステップと、
ｉｘ）前記１以上の色について、行列乗算により、所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、これにより、
ｘ）前記１以上の色についての、推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含む、
請求項２８に記載のデジタルカメラモジュール。
【請求項３０】
前記コンピュータ実行可能なプログラムコードがさらに、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行し、
前記方法が、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れたテストセット第１色空間色値を提供するステップと
ｖ）前記テストセット第１色空間色値について色相角を算出するステップと、
ｖｉ）テストセットについてテストセット第１色空間カラー色相角を得るステップと、
ｖｉｉ）前記テストセットに関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
ｖｉｉｉ）前記テストセットの色のそれぞれについてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得るステップと、
ｉｘ）前記テストセットの色のそれぞれについて、行列乗算により、前記テストセットの所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、
ｘ）前記テストセットの色のそれぞれについての、推定されホワイトバランスが取れた

第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含み、
前記方法がさらに、
ｘｉ）既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を提供するステップと、
ｘｉｉ）前記既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、前記第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを、幾何学的距離が一定の知覚的な差である更なる色空間に変換することで、第２色空間の前記第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に関連する前記テストセットの各色についての知覚的な色差と、前記第２色空間の推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値と求めるステップと、これにより、
ｘｉｉｉ）推定されたテストセット色差の集合を得るステップと、
を含む、
請求項２８に記載のデジタルカメラモジュール。
【請求項３１】
前記コンピュータ実行可能なプログラムコードが、基本的には請求項１～２７のいずれか一項で定義されるように、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行する、
請求項２８に記載のデジタルカメラモジュール。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の技術分野は、デジタル画像処理、およびコンピュータによるカラー画像化である。具体的には、本発明はデジタルカメラの比色評価方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
デジタルカメラのための、色相平面を維持する比色評価方法が知られており、例えば、デンマークの特許出願ＤＫ　２００５　００６６６はそのような比色評価方法を開示する。
【０００３】
ＵＳ　２０１５１１６７３８およびＣＮ　１０４６０１８５８は、画像形成装置および色値変換方法に関する。
【０００４】
デジタルカメラのための更なる比色評価方法は、例えばＷＯ　２０１３／１３１３１１およびＵＳ　５，３９８，１２４に記載されている。
【０００５】
従来技術は、現時点で特許請求の範囲に記載の最適化の原理、および色相平面を維持する比色評価方法を組み込んだ色チャネル値変換の改良された微分可能性を開示していない。
【発明の概要】
【０００６】
色チャネル値変換は、画像が最終的には観察者によって見られるデジタル写真で必須の要素を構成する。
【０００７】
色補正方法は、デバイスに依存するセンサ応答（ＲＧＢ）を、デバイスに依存しない色値（ＸＹＺ）に関連づける。
【０００８】
本発明の色補正方法は、色相角に特有の加重行列化の概念を用い、加重拘束３×３行列を用いての色相平面を維持する色補正（ＨＰＰＣＣ）の新たな手法を開示する。

【０００９】
本発明の方法は、加重拘束行列化法による、色相平面を維持する色補正という意味で、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭと称される。
【００１０】
デバイス色相角を導くデバイスＲＧＢが与えられたとして、対応する変換行列は、本発明の方法および原理に従って、予め算出されて制約を受ける白色点およびトレーニングカラーを維持する行列の正規化された加重和として得られる。それぞれの重みは、パラメータおよび色相角に依存する、デバイスとトレーニングカラー色相角との最小差の重み関数として算出され、用いられる重み関数は、デバイスカラーに近い色相角に密接な行列に局所的な影響を与える。関数の指数はグローバルな精度のために更に最適化され得る。
【００１１】
異なる入力スペクトルを用いて行われる実験により、特許請求に範囲に記載の方法が色補正のための最先端の方法の安定性および正確さを確実に改善することが証明される。
【００１２】
上記の原理および数学方程式を用いて、本発明の方法は、カメラ応答の色チャネル値から、対応する観察者の色チャネル値への色補正を可能にする。その応答間の関係は線形であるかまたは一意でない。
【００１３】
本発明により可能になる色チャネル値の色補正は、デジタルカメラのノイズ除去、コントラスト強調、および色域マッピングにおいて不可欠なステップを形成する。
【００１４】
したがって、本発明の一態様では、デジタルカメラの色補正についての新たな手法が提供される。
【００１５】
より具体的には、本願において開示される新たな手法は、色相平面の維持という制約下での色補正のための方法への取り組みに基づき、色相角に依存する重みの原理に基づく手法を含む。
【００１６】
色相平面は、例えば「デバイスＲＧＢ」や「観察者ＸＹＺ」といわれる色空間などの色空間において、有彩色を示すベクトルと、中間色である白色を示す別のベクトルによって張られる半平面として定義される。
【００１７】
したがって、本発明に係る、色相平面を維持する色補正方法は、デバイス色空間などの第１色空間における色相平面に位置する色が、観察者色空間などの第２色空間の色相平面における対応する色空間に線形にマッピングされることを確実する、基本的に非線形でかつ微分可能な変換の能力として定義できる。
【００１８】
したがって、例えば「デバイス色空間」などの第１色空間における色相平面上の色の加法結合は、これらの色のスペクトル反射率関数の加法結合と同一であり、例えば「観察者色空間」などの第２色空間における推定色の対応色相角上の上記色の同一の加法結合にマッピングされる。
【００１９】
本発明の方法に関連するこの基本的特徴は従来の多くの開示された手法に対して新規でありかつ自明でないと信ずる。一つの例外は、古典的であり比較的精度が低い、白色点を維持する３×３行列変換である。
【００２０】
しかし、古典的な３×３行列方法は色補正のための単一の「グローバルな」行列を使用するのに対し、本発明は複数の「ローカルな」行列、特に、以下でさらに詳細に開示する本発明に係る、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を用いて一つの色空間から他の色空間に変換される各色の一つのローカル行列を用いる。

【００２１】
本発明に係る、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換方法は、既存の最先端の色補正方法の比色分析の正確さを改善するために用いられる。
【００２２】
本発明に係る色相平面の維持は、飽和色の推定を安定および改善するためにも用いられる。
【００２３】
本発明に係る、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換方法は、例えば、色相平面に位置する拡散および鏡面反射のそれぞれを加法的に結合する三次元空間における物体上の色の特性評価を最適化するために用いられる。
【００２４】
基本的に、本発明に係る、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換方法は、新規で非自明な方法で、一般原則と関連する利点を組み合わせて維持し、その一般原則は、複数の３×３行列を有する第１色空間でのデバイスカラーの、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換であって、それぞれの３×３行列が、変換されるデバイスカラーに依存する、該変換を実行することで、ｂ）限定されるものではないが、例えば様々な次数の多項式のような、高次の手法の柔軟性および統計的精度を有する、ａ）３×３の行列化の使用の加法性の原則である。
【００２５】
本発明に係る色依存の各行列は、Ｎ個の予め算出されたトレーニング行列の集合の、色相角に特有の重み付けに基づく。
【００２６】
本明細書で用いられるような色相角は、色度空間での白のトレーニングカラーおよび有色のトレーニングカラーに接続する任意の半直線の角度によって定義される。
【００２７】
本明細書で用いられるトレーニング行列は、白色点を維持し、さらに、異なるトレーニングカラーの集合のうちの一つのトレーニングカラーを維持するという制約を受ける。したがって、トレーニング行列は、トレーニング行列が特有であるトレーニングカラーの色相角に特有であるように定義される。
【００２８】
トレーニングカラーおよび白色は、該トレーニングカラーに特有な各トレーニング行列の９個のパラメータのうち６個を確定させ、残りの３個のパラメータは、特性評価の対象の残りのパッチについての「学習誤差」として把握されるものを最小にするための最小二乗最適化を実行することでフィッティングされる。
【００２９】
デバイス色相角がＲＧＢ色空間に対して導出される場合に、対応する３×３変換行列は、Ｎ個のトレーニング行列の正規化された加重和として得られる。
【００３０】
それぞれの重みは例えば、デバイス色空間色相角と推定トレーニングカラー色相角との最小差のｐ乗のべき関数などの微分可能な関数として算出されるが、これに限定されない。
【００３１】
本発明に係る重み関数は、デバイスカラーに近い色相角に密接な行列の生成に局所的な影響を与え、その重み関数は本発明の変換関数についての微分可能性を確実にし且つ最適化する。
【００３２】
したがって、一態様では、本方法は、加重拘束行列の集合を用いる色相平面を維持する色補正方法ということができ、したがって、本明細書にて以下でさらに詳細に開示される本発明の方法は、それらの全体の色相平面を維持する機能により定義される。
【００３３】

Ｐｈｏｎｇの陰影モデルにより示されるように、これは、拡散するオブジェクトの色が正確にまたは対応する低度の誤差でマッピングされる場合には、所与の光源の下で撮像された拡散的に反射する三次元物体上のすべての色が、正確に、または比較的低度の誤差でマッピングされることを意味する。

【００３４】

本発明の更なる態様では、白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義されるＮ個の３×３トレーニングカラー行列を用いて、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に対して、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を実行するための方法であって、

ｉ）前記所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供するステップと、

ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値について第１色空間色相角を求めるステップと、

ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成するステップと、

ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換するステップであって、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、第１色空間色相角に特有のＮ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記色相角に関して特有のものである、該ステップと、

ｖ）各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについての重みを、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして求めるステップと、

ｖｉ）個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和を得るステップと、

ｖｉｉ）第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合を最適化するステップと

を含む方法が提供される。

【００３５】

本発明の更なる態様では、ｉ）第１色空間における三つの独立した線形色チャネル値Ｒ，Ｇ，Ｂを、ｉｉ）第２色空間における三つの独立した推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚに色補正する、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法であって、

ａ）白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義される予め定められたトレーニングカラー集合を提供することで、Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を提供するステップであって、

前記トレーニングカラー集合が、第１色空間内のＮ＋１個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間内の対応するＮ＋１個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを含み、

前記Ｎ個の異なる有色のトレーニングカラーと中間色である白色とのそれぞれが、３×３のトレーニングカラー行列の定義に関与し、

各トレーニングカラー行列が有色のトレーニングカラーに特有であり、

各トレーニングカラー行列が白色に特有であり、
白色点の維持とトレーニングカラーの維持という制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することでＮ個のトレーニングカラー行列が得られ、
トレーニングカラー行列が特有である有色のトレーニングカラーおよび白色が、前記制約された線形最小二乗回帰で維持され、
トレーニングカラー行列が特有でない残りの有色のトレーニングカラーのそれぞれに対して、前記制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することで、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについて、前記第２色空間の推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚと前記第２色空間の既知の色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚとの間の距離が最小化され、
各トレーニングカラーが、第１色空間で測定された第１色空間トレーニングカラー色相角に特有であり、かつ第２色空間で測定された第２色空間トレーニングカラー色相角に特有である、該ステップと、
ｂ）ｉ）前記所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供し、ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のために第１色空間色相角を求め、ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な、第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成し、ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換することで、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を持つ所定の色に対して実行するために、前記Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を使用するステップであって、
前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、第１色空間色相角に特有の、Ｎ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、
前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉにおいて提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記色相角に特有であり、
各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれの重みが、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして算出され、
個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和が得られ、
第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合が最適化される、該ステップと、
ｃ）ｉ）Ｍ個の異なるテスト色チャネル値の集合により定義された、予め定められたテストカラーの集合を提供し、ｉｉ）第１色空間のＭ個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間の対応するＭ個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを提供し、ｉｉｉ）ステップｂ）の３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を適用することで、前記第１色空間の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のそれぞれについて、既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のための第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を生成することで、Ｍ個の異なるテストカラーから成る予め定められた色集合をテストするステップであって、
第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれと、第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれとで差がある場合には、該差は、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の精度の基準であり、
第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と前記第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間のより小さい差と、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分

可能な準線形変換のより高い精度との間に、正の相関がある、該ステップと
を含む方法が提供される。
【００３６】
本発明の更に別の態様では、データ記録媒体に記録するためのものであって、コンピュータ機器により実行された場合に、該コンピュータ機器に本発明の方法を実行させるためのコンピュータプログラムが提供される。
【００３７】
本発明の更なる態様では、イメージセンサからの画像データを処理するための画像処理装置であって、該画像処理装置が、データ記録媒体に記録するためのものであって、コンピュータ機器により実行された場合に、該コンピュータ機器に本発明の方法を実行させることが可能なコンピュータプログラムを備える。
【００３８】
さらに更なる態様では、上記の通り定義される画像処理装置を備えるデジタルカメラが提供される。
【００３９】
本発明の更に別の態様では、データ記録媒体に記録するためのものであって、コンピュータ機器により実行された場合に、該コンピュータ機器に本発明の方法を実行させることが可能なコンピュータプログラムを備えるデジタルカメラが提供される。
【００４０】
本発明の更なる態様では、非一時的なコンピュータ可読媒体に格納されたコンピュータプログラムが提供され、ここで、該コンピュータプログラムは、プログラムコードを実行することで、画像処理装置に本発明の方法を実行させるコンピュータ実行可能なプログラムコードを含む。
【００４１】
更なる態様では、プログラムコードを実行することで画像処理装置に本発明の方法を実行させるコンピュータ実行可能なプログラムコードを含むコンピュータプログラムを備える非一時的なコンピュータ可読媒体が提供される。
【００４２】
なお更なる態様では、画像処理装置のコンピュータによって実行されるプログラムコードを格納するための記録媒体が提供され、ここで、その記録媒体に格納されるプログラムコードは、画像処理装置にプログラムコードを実行させて本発明の方法を実行させる。画像処理装置は望ましくはデジタルカメラである。
【００４３】
本発明に関して、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値で定義される画像データを提供および処理するデジタルカメラモジュールであって、
ａ）少なくとも一つのプロセッサと、
ｂ）コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールと
を備え、
前記少なくとも一つのプロセッサと、前記コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールとが、白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義されるＮ個の３×３トレーニングカラー行列を用いて、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に対して、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を実行する、
デジタルカメラモジュールが提供される。
【００４４】
更なる態様では、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値で定義される画像データを提供および処理するデジタルカメラモジュールであって、
ａ）少なくとも一つのプロセッサと、

ｂ）コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールと
を備え、
前記少なくとも一つのプロセッサと、前記コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールとが、ｉ）第１色空間における三つの独立した線形色チャネル値Ｒ，Ｇ，Ｂを、ｉｉ）第２色空間における三つの独立した推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚに色補正する、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法を実行する、
デジタルカメラモジュールが提供される。

【図面の簡単な説明】

【００４５】

【図１】図４に示す一個抜き学習法を用いて、二つの異なるデータセットのためのべき関数ｐの関数としてプロットされた、Ｘ，Ｙ，Ｚ推定誤差を示す図である。グラフは、マクベス２４およびマクベスＤＣのカラーチェッカチャートのそれぞれについて、重み関数指数ｐ値の関数としてＸ，Ｙ，Ｚ平均二乗誤差を示す。マクベス２４のデータは破線（－ｏ－）で描かれ、マクベスＤＣデータは破線（－ｘ－）で描かれる。

【図２】色相平面の出力を視覚化したものを示す図である。ａ）は、ＣＩＥ　ｘｙ色度図上でのＲＧＢの繰り返される色相平面を表し、ｂ）は、エセル・データ（詳細はテキスト参照）から取られた有色パッチから生成された色相平面を表す。ＰＯＬ３およびＲＰＯＬ３法によって制限される曲率はそれぞれの場合において明確である。

【図３】図４，５，６に示す方法ステップで用いられる図記号を示す図である。斜めのボックスは、提供される入力データを示す。円は、実行される演算を示す。細線の長方形は中間結果を示し、太線の長方形は最終結果を示す。

【図４】選択されたトレーニングカラー集合に関連する、パラメータ集合依存の微分可能な重み関数のパラメータを最適化することによって、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ（加重拘束行列化による、色相平面を維持する色補正）方法をトレーニングすること、に関連する方法ステップを示す図である。提供されるデータ、演算、および結果は図に示されている。ｉ）予め定められたトレーニングカラー集合の第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、Ｎ個の有彩色と、一つの白色との集合を提供する。ｉｉ）チャネル毎に各有彩色の色チャネル値を白色で割ることで、ホワイトバランスが取れたＮ個のトレーニングカラー集合第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を求める。ｉｉｉ）Ｎ個のトレーニングカラー集合第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を得る。ｉｖ）各第１色空間トレーニング集合カラー色相角を求める。ｖ）Ｎ個のトレーイング集合第１色空間カラー色相角についての最終データを得る。ｖｉ）予め定められたトレーニングカラー集合の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、Ｎ個の有彩色と、一つの白色との集合を提供する。ｖｉｉ）チャネル毎に各有彩色の色チャネル値を白の色チャネル値で割ることで、ホワイトバランスが取れたＮ個のトレーニングカラー集合色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を求める。ｖｉｉｉ）Ｎ個のトレーニングカラー集合第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を得る。ｉｘ）制約を受ける最小二乗回帰（ＬＳＱ）によって行列を求める。ｘ）Ｎ個の３×３トレーニング集合カラー行列についての最終データを得る。ここで、各行列は、対応するトレーニングカラーに特有のものである。ｘｉ）例えば「一個抜きの」最適化学習方法を用いることで、指数ｐの加重べき関数のような、パラメータ集合に依存し且つ色相平面に依存する微分可能な重み関数の最適なパラメータを求める。ｘｉｉ）限定されないが例えば、指数ｐの最適な加重べき関数のような、パラメータ集合に依存し且つ色相平面に依存する微分可能な重み関数の形式で最終データを得る。

【図５】パラメータの集合が指数ｐの加重べき関数である方法を示す図である。図５において、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ（加重拘束行列化による、色相平面を維持する色補正）方法は、周知の第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に用いられる。提供されるデータ、演算、および結果は図に示されている。ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供する。ｉｉ）ステップｉ）で提供されたＮ個のトレーニングカラー行列について、対応

するＮ個の第１色空間トレーニングカラー色相角を提供する。ｉｉｉ）図４に対する上記説明における、（ステップｘｉｉ）で得られる）パラメータ集合に依存し且つ色相平面に依存する微分可能な重み関数――本図では指数ｐのべき関数として示されている――のパラメータを提供する。ｉｖ）１以上の色について、ホワイトバランスの取れた第１色空間色チャネル値を提供する。ｖ）上記１以上の色について、第１色空間色値についての前記第１色空間カラー色相角を算出する。ｖｉ）上記１以上の色について第１色空間カラー色相角を得る。ｖｉｉ）上記１以上の色に関連するトレーニングカラー行列のそれぞれについて重みを求める。ｖｉｉｉ）上記１以上の色についてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得る。ｉｘ）行列乗算により、所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、上記１以上の色について、色相角に特有の変換行列を求める。ｘ）上記１以上の色について、ホワイトバランスが取れた推定第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ、Ｙ＿ｅｓｔｉｍ、Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得る。

【図６】既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、対応するテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを有するテストカラーに対するＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ（加重拘束行列化による、色相平面を維持する色補正）方法のテストを示す図である。提供されるデータ、演算、および結果は図に示されている。　ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、　ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、ｉｉｉ）パラメータ集合に依存し且つ色相角に依存する微分可能な重み関数――図では指数ｐのべき関数として示されている――のパラメータを提供する。ｉｖ）１以上の色について、ホワイトバランスが取れたテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供する。ｖ）上記テストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値について色相角を求める。ｖｉ）上記テストセットについてテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂカラー色相角を得る。ｖｉｉ）上記テストセットカラーに関連するトレーニングカラー行列のそれぞれについて重みを求める。ｖｉｉｉ）テストセットの各色についてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得る。ｉｘ）行列乗算により、テストセットの所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、上記テストセットの各色について、色相角に特有の変換行列を求める。ｘ）テストセットの各色について、ホワイトバランスが取れた、推定第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ、Ｙ＿ｅｓｔｉｍ、Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得る。ｘｉ）既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を提供する。ｘｉｉ）前記既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、前記推定第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを、幾何学的距離が一定の知覚的な差である更なる色空間に変換することで、第２色空間の前記第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に関連する前記テストセットの各色についての知覚的な色差と、前記第２色空間の推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値と求める。ｘｉｉｉ）推定されたテストセット色差（例えばＣＩＥＬａｂまたはＣＩＥＬｕｖの場合にはＤｅｌｔａＥ）を得る。

【００４６】

本発明を下記項目により特徴付けることができる。

（項目１）

白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義されるＮ個の３×３トレーニングカラー行列を用いて、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に対して、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を実行するための方法であって、

ｉ）前記所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供するステップと、

ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値について第１色空間色相角を求めるステップと、

ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成するステップと、

ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換するステップであって、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、第１色空間色相角に特有のＮ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記色相角に関して特有のものである、該ステップと、

ｖ）各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについての重みを、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして求めるステップと、

ｖｉ）個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和を得るステップと、

ｖｉｉ）第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合を最適化するステップと

を含む方法。

（項目２）

ｉ）第１色空間における三つの独立した線形色チャネル値Ｒ，Ｇ，Ｂを、ｉｉ）第２色空間における三つの独立した推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚに色補正する、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法であって、

ａ）白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義される予め定められたトレーニングカラー集合を提供することで、Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を提供するステップであって、

前記トレーニングカラー集合が、第１色空間内のＮ＋１個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間内の対応するＮ＋１個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを含み、

前記Ｎ個の異なる有色のトレーニングカラーと中間色である白色とのそれぞれが、３×３のトレーニングカラー行列の定義に関与し、

各トレーニングカラー行列が有色のトレーニングカラーに特有であり、

各トレーニングカラー行列が白色に特有であり、

白色点の維持とトレーニングカラーの維持という制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することでＮ個のトレーニングカラー行列が得られ、

トレーニングカラー行列が特有である有色のトレーニングカラーおよび白色が、前記制約された線形最小二乗回帰で維持され、

トレーニングカラー行列が特有でない残りの有色のトレーニングカラーのそれぞれに対して、前記制約を受ける線形最小二乗回帰を実行することで、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれについて、前記第２色空間の推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚと前記第２色空間の既知の色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚとの間の距離が最小化され、

各トレーニングカラーが、第１色空間で測定された第１色空間トレーニングカラー色相角に特有であり、かつ第２色空間で測定された第２色空間トレーニングカラー色相角に特有である、該ステップと、

ｂ）ｉ）前記所定の色についての第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を提供し、ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のために第１色空間色相角を求め、ｉｉｉ）前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換可能な、第１色空間色相角に特有の３×３行列を生成し、ｉｖ）前記所定の色についての第１色空間色相角に特有の３×３行列に前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を乗ずることによって、前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を前記所定の色についての推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に変換することで、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を持つ所定の色に対して実行するために、前記Ｎ個の３×３トレーニングカラー行列を使用するステップであって、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、第１色空間色相角に特有の、Ｎ個のトレーニングカラー行列の加重和であり、

前記第１色空間色相角に特有の３×３行列が、ステップｉにおいて提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の前記色相角に特有であり、

各トレーニングカラーについて、前記Ｎ個のトレーニングカラー行列のそれぞれの重みが、前記所定の色の前記第１色空間色相角と、前記トレーニングカラー行列が特有であるトレーニングカラーの第１色空間色相角との最小色相角差の微分関数に依存して設定されるパラメータとして算出され、

個々のトレーニングカラー行列の前記重みをすべてのトレーニングカラー行列の重みの合計で割ることによって第１色空間色相角に特有の加重和が得られ、

第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値から第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値への変換のグローバル精度のために、既知のトレーニングカラーチャネル値の予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離の合計を最小化することで、前記微分関数に依存したパラメータの集合が最適化される、該ステップと、

ｃ）ｉ）Ｍ個の異なるテスト色チャネル値の集合により定義された、予め定められたテストカラーの集合を提供し、ｉｉ）第１色空間のＭ個の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値と、第２色空間の対応するＭ個の既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを提供し、ｉｉｉ）ステップｂ）の３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を適用することで、前記第１色空間の既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のそれぞれについて、既知のＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のための第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を生成することで、Ｍ個の異なるテストカラーから成る予め定められた色集合をテストするステップであって、

第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれと、第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のそれぞれとで差がある場合には、該差は、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の精度の基準であり、

第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と前記第２色空間の対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間のより小さい差と、前記３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換のより高い精度との間に、正の相関がある、該ステップと

を含む方法。

（項目３）

前記第２色空間の推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が更なる色空間の推定色チャネル値に変換され、前記第２色空間の前記対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が前記更なる色空間の既知の色チャネル値に変換され、前記距離が、前記更なる色空間の変換された推定色チャネル値と前記更なる色空間の変換された既知の色チャネル値との間の距離である、

項目１および２のいずれかの方法。

（項目４）

前記距離が、前記変換の前記精度の更なる評価のための色差に変換される、

項目２および３のいずれかの方法。

（項目５）

平均として評価される、より小さな知覚色距離と、中央値と、最大値とが、より正確な変換の証拠である、
項目２および３のいずれかの方法。
（項目６）
前記距離が、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間のＮ個のユークリッド距離の合計として測定される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目７）
前記微分関数に依存したパラメータ集合がｐ乗のべき関数である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目８）
前記微分関数に依存したパラメータ集合が、ｎ＋１個の係数を持つｎ次の多項式である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目９）
前記微分関数に依存したパラメータ集合がルックアップテーブルである、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１０）
前記微分関数に依存したパラメータ集合が三角関数である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１１）
前記微分関数に依存したパラメータ集合が指数関数である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１２）
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角特有の３×３行列が特有である、項目２のステップｂ）のｉ）で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角から独立している、
項目８～１１のいずれかの方法。
（項目１３）
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角特有の３×３行列が特有である、項目２のステップｂ）のｉ）で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角に依存する、
項目８～１１のいずれかの方法。
（項目１４）
前記微分関数に依存するパラメータのうちのパラメータの最適化が、前記トレーニングカラー行列の生成のために用いられる前記トレーニングカラー集合に対する一個抜き法を使って実行される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１５）
前記微分関数に依存するパラメータのうちのパラメータの最適化が、前記トレーニングカラー行列の生成のために用いられるトレーニングカラー集合の部分集合と、最適化のための前記トレーニングカラー集合の残りの色とを使って実行される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１６）
ｐの最適化が、トレーニングカラー行列の生成のために用いられる前記トレーニングカラー集合に対する一個抜き法を使って実行される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目１７）
画像ノルムが、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離を測定するために用いられる、

項目１および２のいずれかの方法。
（項目１８）
画像２ノルムが、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離を測定するために用いられる、
項目１７の方法。
（項目１９）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＣＩＥＬａｂ値で測定される。
項目１７および１８のいずれかの方法。
（項目２０）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＣＩＥＬｕｖ値で測定される。
項目１７および１８のいずれかの方法。
（項目２１）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＡＴＤ色空間値で測定される。
項目１７および１８のいずれかの方法。
（項目２２）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離が自然色空間値で測定される。
項目１７および１８のいずれかの方法。
（項目２３）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離が、第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と線形の関係にある色空間で測定される。
項目１７および１８のいずれかの方法。
（項目２４）
既知のトレーニングカラーチャネル値の前記予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離が、知覚的な色差または比色色差である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目２５）
Ｎ＋１個の色から成る前記予め定められた色集合が、合成色形成によって提供される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目２６）
Ｎ＋１個の色から成る前記予め定められた色集合が、線形色チャネル値を生成する装置により物理的に記録される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目２７）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に反射率と線形の関係にある、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目２８）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に放射照度と線形の関係にある、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目２９）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に露光時間と線形の関係にある、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３０）
すべての色チャネル値を前記第１色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第１色チャネル値のホワイトバランスが取られる、

項目１および２のいずれかの方法。
（項目３１）
すべての色チャネル値を前記第２色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第２色チャネル値のホワイトバランスが取られる、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３２）
第１色空間白色点が前記第１色空間でのＲ，Ｇ，Ｂの単位値により定義され、色空間白色点が第２色空間のＸ，Ｙ，Ｚの単位値により定義される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３３）
着色面のための色チャネル値の既知の合成色形成が、該着色面の相対的なスペクトルパワー分布を乗じたデバイスチャネル当たりの既知のスペクトル感度の積分により算出される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３４）
基本的に本明細書の式１および２のように、前記相対的なスペクトルパワー分布が、前記光源の前記相対的なスペクトルパワー分布を乗じた前記着色面のスペクトル反射関数に等しい、
項目３３の方法。
（項目３５）
デバイスが表面のスペクトルパワー分布にさらされる場合に、色チャネル値の既知の物理的な記録が提供される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３６）
前記白色点色チャネル値が、完全拡散反射面に近いスペクトル反射率関数を有する強く中立的に反射する表面として前記トレーニングカラーの中で見られるデバイス色チャネル値である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３７）
前記白色点色チャネル値が、前記トレーニングカラー集合に関連する色チャネル値に基づく、どの前記デバイス色チャネル値が前記完全拡散反射面にあったかについての線形最小二乗推定の結果である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３８）
色空間がＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値またはＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のいずれかの三つのベクトルによって張られる３次元ユークリッド空間である
項目１および２のいずれかの方法。
（項目３９）
基本的に本明細書の式２１，２２，２３，２４，２５のように、有彩色の色相角が色度空間において、中間色である白色の色度点から延びる任意でかつ固定の半直線と、中間色である白色から前記有彩色の色度点までの半直線との角度として定義される、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目４０）
前記第１デバイス色度空間が、ｒ＝Ｒ／（Ｒ＋Ｇ＋Ｂ）で得られる第１軸上の色度値ｒとｇ＝Ｇ／（Ｒ＋Ｇ＋Ｂ）で得られる第２軸上の色度値ｇとがその色の色度点（ｒ，ｇ）を形成する平面に、前記Ｒ，Ｇ，Ｂ第１色空間値を中心投影することで形成される２次元空間である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目４１）
前記第１色空間白色点が色度値ｒ＝１／３，ｇ＝１／３を得る、

項目４０の方法。
（項目４２）
前記第２デバイス色度空間が、ｘ＝Ｘ／（Ｘ＋Ｙ＋Ｚ）で得られる第１軸上の色度値ｘとｙ＝Ｙ／（Ｘ＋Ｙ＋Ｚ）で得られる第２軸上の色度値ｙとがその色の色度点（ｘ，ｙ）を形成する平面に、前記第２色空間値Ｘ，Ｙ，Ｚを中心投影することで形成される２次元空間である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目４３）
前記第２デバイス白色点が色度値ｘ＝１／３，ｙ＝１／３を得る、
項目４２の方法。
（項目４４）
基本的に本明細書の式１９，２０のように、前記色相平面の維持が、色相平面上の色のすべての加法結合の前記変換関数での維持を含む、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目４５）
有彩色を示すベクトルと中間色である白色を示すベクトルによって張られる半平面として定義される前記第１色空間の色相平面が、前記有彩色の推定第２デバイス色チャネル値を示すベクトルと前記中間色である白色の前記第２デバイス色チャネル値を示すベクトルとによって張られる半平面として定義される、前記第２色空間の対応する色相平面に変換される、
項目４４の方法。
（項目４６）
色相平面上の色の加法結合が、それぞれの色のスペクトル反射率関数の加法結合と等しい、
項目４４の方法。
（項目４７）
基本的に本明細書の式１５、１６，１７，１８，１９，２０のように、スペクトル反射率関数が、白色のスペクトル反射関数と有彩色のスペクトル反射率関数との線形結合として表される、
項目４６の方法。
（項目４８）
前記維持が色相平面の維持である、
項目４４の方法。
（項目４９）
白色を維持する３×３行列の形式での変換を用いる変換方法を用いて前記色相平面が維持される、
項目４８の方法。
（項目５０）
前記変換方法が、色相平面を維持する色補正方法である、
項目４９の方法。
（項目５１）
トレーニング行列に適用される前記微分可能な重み関数が、変換関数のフルカラー空間の微分可能性を保証する、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目５２）
変換関数が、個々の色相平面上のデバイスカラーを線形に変換するが、非線形に色相平面間をまたぐデバイスカラーを変換可能である、
項目１および２のいずれかの方法。
（項目５３）
色相平面を維持する色補正のために、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャ

ネル値と、対応するテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値とを有するテストカラーに対して実行される、加重拘束行列化法であって、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れた第１色空間色値を提供するステップと
ｖ）前記１以上の色について、前記第１色空間色値のための第１色空間カラー色相角を算出するステップと、
Ｖｉ）前記１以上の色について第１色空間カラー色相角を得るステップと、
Ｖｉｉ）前記１以上の色に関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
Ｖｉｉｉ）前記１以上の色のそれぞれについてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得るステップと、
ｉｘ）前記１以上の色のそれぞれについて、行列乗算により、所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、これにより、
ｘ）前記１以上の色のそれぞれについての、推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含み、
さらに、
ｘｉ）既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を提供するステップと、
ｘｉｉ）前記既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、前記推定第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを、幾何学的距離が一定の知覚的な差である更なる色空間に変換することで、第２色空間の前記第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に関連する前記テストセットの各色についての知覚的な色差と、前記第２色空間の推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値と求めるステップと、これにより、
ｘｉｉｉ）推定されたテストセット色差の集合を得るステップと、
を含む方法。
（項目５４）
前記第２色空間の前記推定Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が、更なる色空間の推定色チャネル値に変換され、前記第２色空間の前記対応する既知のＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値が、前記更なる色空間の既知の色チャネル値に変換され、前記距離が、前記更なる色空間の変換された推定色チャネル値と前記更なる色空間の変換された既知の色チャネル値との間の距離である、
項目５３の方法。
（項目５５）
前記距離が、前記変換の精度の更なる評価のための色差に換算される、
項目５３および５４のいずれかの方法。
（項目５６）
平均として評価される、より小さな知覚的な色距離と、中央値と、最大値とが、より正確な変換の証拠である、
項目５３および５４のいずれかの方法。
（項目５７）
前記距離が、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色

チャネル値との間のＮ個のユークリッド距離の合計として測定される、
項目５３の方法。
（項目５８）
前記パラメータ集合に依存した微分関数が、ｐ乗のべき関数である、
項目５３の方法。
（項目５９）
前記パラメータ集合に依存した微分関数が、ｎ＋１個の係数を持つｎ次の多項式である、
項目５３の方法。
（項目６０）
前記パラメータ集合に依存した微分関数がルックアップテーブルである、
項目５３の方法。
（項目６１）
前記パラメータ集合に依存した微分関数が三角関数である、
項目５３の方法。
（項目６２）
前記パラメータ集合に依存した微分関数が指数関数である、
項目５３の方法。
（項目６３）
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角特有の３×３行列が特有である、項目５３で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角から独立している、
項目５９～６２のいずれかの方法。
（項目６４）
前記パラメータ集合が、前記第１色空間色相角特有の３×３行列が特有である、項目５３で提供された前記所定の色についての前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値の色相角の色相角に依存する、
項目５９～６２のいずれかの方法。
（項目６５）
前記微分関数に依存するパラメータのうちのパラメータの最適化が、前記トレーニングカラー行列の生成のために用いられる前記トレーニングカラー集合に対する一個抜き法を使って実行される、
項目５３の方法。
（項目６６）
前記微分関数に依存するパラメータのうちのパラメータの最適化が、前記トレーニングカラー行列の生成のために用いられるトレーニングカラー集合の部分集合と、最適化のための前記トレーニングカラー集合の残りの色とを使って実行される、
項目５３の方法。
（項目６７）
ｐの最適化が、トレーニングカラー行列の生成のために用いられる前記トレーニングカラー集合に対する一個抜き法を使って実行される、
項目５３の方法。
（項目６８）
画像ノルムが、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離を測定するために用いられる、
項目５３の方法。
（項目６９）
画像２ノルムが、推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離を測定するために用いられる、
項目６８の方法。

（項目７０）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＣＩＥＬａｂ値で測定される。
項目６８および６９のいずれかの方法。
（項目７１）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＣＩＥＬｕｖ値で測定される。
項目６８および６９のいずれかの方法。
（項目７２）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離がＡＴＤ色空間値で測定される。
項目６８および６９のいずれかの方法。
（項目７３）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離が自然色空間値で測定される。
項目６８および６９のいずれかの方法。
（項目７４）
推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との間の距離が、第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と線形の関係にある色空間で測定される。
項目６８および６９のいずれかの方法。
（項目７５）
前記予め定められたトレーニング集合からの推定第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値との距離が、知覚的な色差または比色色差である、
項目５３の方法。
（項目７６）
Ｎ＋１個の色から成る前記予め定められた色集合が、合成色形成によって提供される、
項目５３の方法。
（項目７７）
Ｎ＋１個の色から成る前記予め定められた色集合が、線形色チャネル値を生成する装置により物理的に記録される、
項目５３の方法。
（項目７８）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に反射率と線形の関係にある、
項目５３の方法。
（項目７９）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に放射照度と線形の関係にある、
項目５３の方法。
（項目８０）
第１色チャネル値および第２色チャネル値が基本的に露光時間と線形の関係にある、
項目５３の方法。
（項目８１）
すべての色チャネル値を前記第１色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第１色チャネル値のホワイトバランスが取られる、
項目５３の方法。
（項目８２）
すべての色チャネル値を前記第２色空間の白の色値で割ることによって、各色チャネルの前記白色の単位値に対して第２色チャネル値のホワイトバランスが取られる、
項目５３の方法。

（項目８３）
第１色空間白色点が前記第１色空間でのＲ，Ｇ，Ｂの単位値により定義され、色空間白色点が第２色空間のＸ，Ｙ，Ｚの単位値により定義される、
項目５３の方法。
（項目８４）
着色面のための色チャネル値の既知の合成色形成が、該着色面の相対的なスペクトルパワー分布を乗じたデバイスチャネル当たりの既知のスペクトル感度の積分により算出される、
項目５３の方法。
（項目８５）
基本的に本明細書の式１および２のように、前記相対的なスペクトルパワー分布が、前記光源の前記相対的なスペクトルパワー分布を乗じた前記着色面のスペクトル反射関数に等しい、
項目８４の方法。
（項目８６）
デバイスが表面のスペクトルパワー分布にさらされる場合に、色チャネル値の既知の物理的な記録が提供される、
項目５３の方法。
（項目８７）
前記白色点色チャネル値が、完全拡散反射面に近いスペクトル反射率関数を有する強く中立的に反射する表面として前記トレーニングカラーの中で見られるデバイス色チャネル値である、
項目５３の方法。
（項目８８）
前記白色点色チャネル値が、前記トレーニングカラー集合に関連する色チャネル値に基づく、どの前記デバイス色チャネル値が前記完全拡散反射面にあったかについての線形最小二乗推定の結果である、
項目５３の方法。
（項目８９）
色空間がＲ，Ｇ，Ｂ色チャネル値またはＸ，Ｙ，Ｚ色チャネル値のいずれかの三つのベクトルによって張られる３次元ユークリッド空間である
項目５３の方法。
（項目９０）
基本的に本明細書の式２１，２２，２３，２４，２５のように、有彩色の色相角が色度空間において、中間色である白色の色度点から延びる任意でかつ固定の半直線と、中間色である白色から前記有彩色の色度点までの半直線との角度として定義される、
項目５３の方法。
（項目９１）
前記第１デバイス色度空間が、ｒ＝Ｒ／（Ｒ＋Ｇ＋Ｂ）で得られる第１軸上の色度値ｒとｇ＝Ｇ／（Ｒ＋Ｇ＋Ｂ）で得られる第２軸上の色度値ｇとがその色の色度点（ｒ，ｇ）を形成する平面に、前記Ｒ，Ｇ，Ｂ第１色空間値を中心投影することで形成される２次元空間である、
項目５３の方法。
（項目９２）
前記第１色空間白色点が色度値ｒ＝１／３，ｇ＝１／３を得る、
項目９１の方法。
（項目９３）
前記第２デバイス色度空間が、ｘ＝Ｘ／（Ｘ＋Ｙ＋Ｚ）で得られる第１軸上の色度値ｘとｙ＝Ｙ／（Ｘ＋Ｙ＋Ｚ）で得られる第２軸上の色度値ｙとがその色の色度点（ｘ，ｙ）を形成する平面に、前記第２色空間値Ｘ，Ｙ，Ｚを中心投影することで形成される２次元

空間である、
項目５３の方法。
（項目９４）
前記第２デバイス白色点が色度値ｘ＝１／３，ｙ＝１／３を得る、
項目９３の方法。
（項目９５）
基本的に本明細書の式１９，２０のように、前記色相平面の維持が、色相平面上の色のすべての加法結合の前記変換関数での維持を含む、
項目５３の方法。
（項目９６）
有彩色を示すベクトルと中間色である白色を示すベクトルによって張られる半平面として定義される前記第１色空間の色相平面が、前記有彩色の推定第２デバイス色チャネル値を示すベクトルと前記中間色である白色の前記第２デバイス色チャネル値を示すベクトルとによって張られる半平面として定義される、前記第２色空間の対応する色相平面に変換される、
項目９５の方法。
（項目９７）
色相平面上の色の加法結合が、それぞれの色のスペクトル反射率関数の加法結合と等しい、
項目９５の方法。
（項目９８）
基本的に本明細書の式１５、１６，１７，１８，１９，２０のように、スペクトル反射率関数が、白色のスペクトル反射関数と有彩色のスペクトル反射率関数との線形結合として表される、
項目９７の方法。
（項目９９）
前記維持が色相平面の維持である、
項目９５の方法。
（項目１００）
白色を維持する３×３行列の形式での変換を用いる変換方法を用いて前記色相平面が維持される、
項目９９の方法。
（項目１０１）
前記変換方法が、色相平面を維持する色補正方法である、
項目１００の方法。
（項目１０２）
トレーニング行列に適用される前記微分可能な重み関数が、変換関数のフルカラー空間の微分可能性を保証する、
項目５３の方法。
（項目１０３）
変換関数が、個々の色相平面上のデバイスカラーを線形に変換するが、非線形に色相平面間をまたぐデバイスカラーを変換可能である、
項目５３の方法。
（項目１０４）
非一時的なコンピュータ可読媒体に格納されたコンピュータプログラムであって、
前記コンピュータプログラムが、実行された場合に画像処理装置に項目１～５２のいずれかの方法または項目５３～１０３のいずれかの方法を実行させる、コンピュータ実行可能なプログラムコードを含む、
コンピュータプログラム。
（項目１０５）

項目１０４のコンピュータプログラムを含む非一時的なコンピュータ可読媒体。
（項目１０６）
画像処理装置のコンピュータによって実行されるプログラムコードを格納するための記録媒体であって、
前記記録媒体に格納された前記プログラムコードが、前記画像処理装置に前記プログラムコードを実行させて項目１～５２のいずれかの方法または項目５３～１０３のいずれかの方法を実行させる、
記録媒体。
（項目１０７）
画像処理装置がデジタルカメラである、
項目１０６の記録媒体。
（項目１０８）
第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値で定義される画像データを提供および処理するデジタルカメラモジュールであって、
ａ）少なくとも一つのプロセッサと、
ｂ）コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールと
を備え、
前記少なくとも一つのプロセッサと、前記コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールとが、白色が中間色であり残りのＮ個のトレーニングカラーが有色のトレーニングカラーであるＮ＋１個の異なるトレーニングカラー集合で定義されるＮ個の３×３トレーニングカラー行列を用いて、第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有する所定の色に対して、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換を実行する、
デジタルカメラモジュール。
（項目１０９）
第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値で定義される画像データを提供および処理するデジタルカメラモジュールであって、
ａ）少なくとも一つのプロセッサと、
ｂ）コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールと
を備え、
前記少なくとも一つのプロセッサと、前記コンピュータ実行可能なプログラムコードを備える少なくとも一つのメモリモジュールとが、ｉ）第１色空間における三つの独立した線形色チャネル値Ｒ，Ｇ，Ｂを、ｉｉ）第２色空間における三つの独立した推定色チャネル値Ｘ，Ｙ，Ｚに色補正する、３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換の方法を実行する、
デジタルカメラモジュール。
（項目１１０）
前記コンピュータ実行可能なプログラムコードが、既知の第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行し、
前記方法が、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れた第１色空間色値を提供するステップと

ｖ）前記１以上の色について、前記第１色空間色値のための第１色空間カラー色相角を算出するステップと、
Ｖｉ）前記１以上の色について第１色空間カラー色相角を得るステップと、
Ｖｉｉ）前記１以上の色に関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
Ｖｉｉｉ）前記１以上の色についてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得るステップと、
ｉｘ）前記１以上の色について、行列乗算により、所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、これにより、
ｘ）前記１以上の色についての、推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含む、
項目１０８および１０９のいずれかのデジタルカメラモジュール。
（項目１１１）
前記コンピュータ実行可能なプログラムコードがさらに、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行し、
前記方法が、
ｉ）Ｎ個のトレーニングカラー行列を提供するステップと、
ｉｉ）ステップｉ）において提供された前記Ｎ個のトレーニングカラー行列についてのＮ個の対応する第１色空間トレーニングカラー色相角を提供するステップと、
ｉｉｉ）パラメータ依存でかつ色相角依存の微分可能な重み関数のためのパラメータを提供するステップと、
ｉｖ）１以上の色についての、ホワイトバランスが取れたテストセット第１色空間色値を提供するステップと
ｖ）前記テストセット第１色空間色値について前記色相角を算出するステップと、
Ｖｉ）前記テストセットについてテストセット第１色空間カラー色相角を得るステップと、
Ｖｉｉ）前記テストセットカラーに関連する前記トレーニングカラー行列それぞれについて前記重みを求めるステップと、
Ｖｉｉｉ）前記テストセットの色のそれぞれについてＮ個のトレーニングカラー行列重みを得るステップと、
ｉｘ）前記テストセットの色のそれぞれについて、行列乗算により、前記テストセットの所定の色についての色相角に特有の３×３変換行列を前記第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値に適用することによって、前記トレーニングカラー行列のそれぞれに、対応する正規化された重みを乗ずることで得られる、Ｎ個の重み付けされたトレーニングカラー行列を合算することで、色相角に特有の変換行列を求めるステップと、
ｘ）前記テストセットの色のそれぞれについての、推定されホワイトバランスが取れた第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値を得るステップと
を含み、
前記方法がさらに、
ｘｉ）既知のテストセット第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値を提供するステップと、
ｘｉｉ）前記既知の第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値と、前記推定第２色空間Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値とを、幾何学的距離が一定の知覚的な差である更なる色空間に変換することで、第２色空間の前記第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値に関連する前記テストセットの各色についての知覚的な色差と、前記第２色

空間の推定Ｘ＿ｅｓｔｉｍ，Ｙ＿ｅｓｔｉｍ，Ｚ＿ｅｓｔｉｍ色チャネル値と求めるステップと、これにより、
ｘｉｉｉ）推定されたテストセット色差の集合を得るステップと、
を含む、
項目１０８～１１０のいずれかのデジタルカメラモジュール。
（項目１１２）
前記コンピュータ実行可能なプログラムコードが、基本的には項目１～１０３のいずれか一項で定義されるように、既知のテストセット第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値を有するテストカラーに対して、色相平面を維持する色補正の加重拘束行列化色補正方法を実行する、
項目１０８～１１１のいずれかのデジタルカメラモジュール。
【００４７】
本発明は、複数のトレーニングカラー集合およびテストカラー集合を包括的に評価することで裏付けられ実証される。
【００４８】
ノイズの有無にかかわらず反射率、光源、およびカメラの多数の集合から導かれる、本明細書で以下に開示する結果は、上述した本発明の３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換方法が、ａ）カラーマッチングでの加法性と、ｂ）高次の手法の柔軟性および統計的精度とを組み合わせることで、飽和色の安定性と、色の拡散テストセットから導かれる色相平面上の色とについて最先端の色補正をはるかに凌ぐことを示す。
【００４９】
要約すると、本明細書で以下に開示するように、３１台のカメラおよび光源から得られたデータは、本発明の３次元であり色相平面を維持し且つ微分可能な準線形変換方法が、ａ）カラーマッチングでの加法性と、ｂ）高次の手法の柔軟性および統計的精度とを組み合わせることができるだけでなく、多くの側面において色補正の最先端の方法よりも優れた結果を生み出すことを可能にすることを、証明する。
【００５０】
本発明は、本明細書にて以下で更に開示および実証される。
【発明を実施するための形態】
【００５１】
Ｉ．本発明の詳細な説明
カメラ特性評価は、色補正によりカメラＲＧＢ値を比色ＸＹＺ値と関連づけるので（参考文献［１］，［２］）、画像処理の必須の要素である。これは、画像が最終的には観察者により視認されるデジタル写真の任意の要素で重要であり、そして、同じ理由により、雑音除去、コントラスト強調、および色域マッピングのような領域で鍵となる工程である。概して、商用のＲＧＢカメラは、搭載された処理にハードコードされた特性評価変換を持つが、特注の処理を実験室ベースの画像準備（参考文献［３］）のために構築することも可能である。
【００５２】
デバイスＲＧＢとＣＩＥ　ＸＹＺとの関係は直接的でない。この理由はいくつかあり、その第一はフィルタの条件等色である。フィルタの条件等色は、典型的なＲＧＢカメラが比色センサフィルタを使用しないこと、すなわち、ＣＩＥカラーマッチング関数とセンサスペクトル感度との間の線形変換が存在しないことの結果である。その結果、ルータ条件（Ｌｕｔｈｅｒ　Ｃｏｎｄｉｔｉｏｎ）を満たさず（参考文献［４］，［５］）、そのため複数の色スペクトルが、同じカメラ応答を引き起こす一方で異なるＣＩＥ　ＸＹＺ値を有するか、またはその逆の状況になる（参考文献［６］）。比色フィルタは技術的にはもっともらしく見えるが、製造上の限界とノイズの問題とにより一般には使われない。そのため、通常はは、正確であるというよりはむしろ最適化された解決法が探し求められている（参考文献［１］，［７］，［８］）。
【００５３】

非線形法を用いる拡張も提案されているが、典型的に最適化された変換は線形最小二乗回帰（参考文献［１］，［９］）である。これらは、最適化における自由度を増やすことで誤差を減らすことを目的とし、多項式回帰（参考文献［１０］，［７］，［１１］，［１２］，［１３］）、ニューラルネットワーク（参考文献［１４］，［１５］，［１６］）、およびルックアップテーブル（参考文献［１７］）を含む。当該回帰は、知覚的に一様な空間における誤差を最小化することで、比色分析上のというよりも知覚上の誤差を減らすことも目的とする（参考文献［１８］）。比色分析上の誤差と知覚上の誤差とのどちらがより重要かということは、色測定と快い演色とのどちらであるかという状況に依る（参考文献［１９］）。平均的な特性評価誤差を最小化することに加えて、良好な解決策はいくつかの重要な特性に沿うものでなければならない。それは、ａ）平滑化、および、マッピングにおける突然の変化または不連続性の回避と、ｂ）すべての色、特に飽和度が高い色についての予測可能でかつ安定したマッピングと、ｃ）異なる光源および反射率の種類を通しての堅固性と、ｄ）ノイズへの耐性と（参考文献［２０］）、ｅ）入力（露光独立）の線形スケーリングに対する不変性とである。これらの特性の多くは存在しないか、または高次の方法で明確に求められる。参考文献［２１］では、露光独立が、誤差を減らした多項式変換に組み込まれている。また、参考文献［７］は、白色点の正確なマッピングにより知覚的誤差が改善しうることを示している。

【００５４】

本発明は、色相平面の維持という新しい特性を導入し、これを使用して色補正のための新規な方法を実現する。その方法を「加重拘束行列化による、色相平面を維持する色補正」（ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ）という。本発明は、そのことと色補正誤差の低減とを示し、本発明は数ある中でも、白色点の維持、露光独立、および平滑化も組み込む。

【００５５】

詳細な説明の第ＩＩ節では、露光、陰影、および線形的に相関するスペクトル刺激などの特性がセンサ空間座標でどのように表されるかを説明するために、センサ応答とスペクトル反射率との関係についての数学的理論を開示する。第ＩＩＩ節では、これらの特性がマッピング方式の代表的な集合とどのように相互に作用するかを評価する。具体的には、その種の方法に色相平面の維持を組み込むための引数を定義および展開する。第ＩＶ節では、色相平面を維持する色補正についての新規の手法を詳細に示す。本方法と最先端技術との間の比較結果を第ＶＩ節で示し、その結果について第ＶＩＩ節で更に述べる。第ＶＩＩ節で結論を示す。

【００５６】

ＩＩ．本発明の数学的理論

色補正方法を最適化するための基本手順は周知である（参考文献［３］，［２２］）。既知のＸＹＺ三刺激値の多数のパッチを有する（時には既知の反射率スペクトルも有する）色較正図が、対象物への均一な証明と迷光の除去とを確実にするように注意して、デジタルカメラで撮像される。露光はノイズを最小化するように選択される。各パッチのＲＧＢ応答はカメラに記録され、ＲＧＢ値を推定ＸＹＺ値にマッピングするために関数のパラメータが推定される。

【００５７】

Ａ．色形成

センサ、反射率、および光源の所定の組についての画像形成処理のモデルは式１，２で与えられる。一般に、スペクトルパワー分布Ｐ（λ）に対するセンサ応答ｓは以下の通りである。

【数１】

$$\mathbf{s}=\int_{\lambda}P(\lambda)\sigma(\lambda)d\lambda \qquad (1)$$

ここで、λは波長であり、σ（λ）はセンサのスペクトルフィルタ関数であり、

Ｐ（λ）＝Ｉ（λ）ρ（λ）　　（２）

である。ここで、Ｉ（λ）は光源のスペクトルパワー分布であり、ρ（λ）は面である。センサがカメラである場合には、対応するセンサ応答をｃとする。特に、ここで関連する通常の３フィルタの場合ではｃ＝［Ｒ，Ｇ，Ｂ］^{T}である。センサが、標準的な観測者のカラーマッチング関数である場合には、対応する応答をｘ＝［Ｘ，Ｙ、Ｚ］^{T}とする。式１では、σ（λ）＝［$w_1\sigma_1$（λ），$w_2\sigma_2$（λ），$w_3\sigma_3$（λ）］であるとし、ここで、σ_i（λ）がｉ番目の感度関数であり、ｉ＝（１，２，３）であり、w_iはＲＧＢ空間またはｘｙｚ空間における、予め算出された白色点バランス要素を表す。

【００５８】

Ｂ．特性評価モデルおよび最適化

特性評価モデルは、変換関数ｆ（・）を使って、デバイス依存の応答ベクトルｃを近似のデバイス独立の三刺激値ｘ＾にマッピングしようとするものである。

ｘ＾＝ｆ（ｃ）　　（３）

【００５９】

全体を通してＸＹＺ値を参照するが、三刺激値の任意の集合を置き換えることが可能である。

【００６０】

通常は、そして最も重要なことであるが、ｆ（・）は誤差を最小にするものでなければならず、以下のように得られる。

【数２】

$$\min_{f}\sum_{i=1}^{N}\left\|u(\mathbf{D}x_i)-u(\mathbf{D}f(c_i))\right\|_{v} \qquad (4)$$

ここで、x_iおよびc_iは、Ｎ個の特性評価対象のパッチのうちのｉ番目に対する観察者およびカメラ応答であり、ｕ（・）は色空間変換であり、Ｄは他のものよりいくつかの色に対して偏った最小化をするために用いることができる、それぞれの色c_iについての正規化された重みを含むＮ×Ｎ対角行列である。νは何らかの画像ノルムを表す。通常は、ユークリッド距離について、ｕ（・）は恒等関数であり、Ｄは単位行列であり、ν＝２である。そのため式４は以下のようになる。

【数３】

$$\min_{f}\sum_{i=1}^{N}\left\|x_i-f(c_i)\right\|_{2} \qquad (5)$$

【００６１】

ｆ（・）が線形の場合には

ｆ（ｃ）＝M_{lsq}ｃ　　（６）

であり、ここで、M_{lsq}は３×３行列である。これは、式３に対する標準で非拘束の線形最小二乗解として公知である。

【００６２】

しかし、ｕ（・）は、最終的な特性評価の知覚的な精度を確実にするために、ＣＩＥＬＡＢ（ＩＳＯ　１１６６４－４：２００８（Ｅ）／ＣＩＥ　Ｓ　０１４－４／Ｅ：２００７）のような、より知覚的に一様な空間へのマッピングであり得る（参考文献［１８］）。さらに、式４での最適化は、白色点バランスのような望ましい特性を適切な制約を通して組み込むように構成することができる。

【００６３】

Ｃ．露光および陰影

標準的な観測者およびＲＧＢセンサの光に対する応答の固有の線形性を式１から直ちに見ることができる。露光または発光の変化によって生じる、要素ｋによるスケーリングが、両方の応答についての同等の変化をもたらすことを意味する。要素ｋの分だけスケーリングした後に照明Ｉ（λ）の下で面ρ（λ）から反射した色信号Ｐ（λ，ｋ）は、

Ｐ（λ，ｋ）＝ｋＩ（λ）ρ（λ）　　（７）
と表される。
【００６４】
式７を式１に代入することで
【数４】

$$\mathbf{s}(k)=\int_{\lambda}\rho(\lambda,k)\sigma(\lambda)d\lambda \qquad (8)$$

が得られる。スケーリングされた反射率への応答がｓ（ｋ）である。これは、カメラ応答
ｃ（ｋ）＝ｋｃ　　（９）
が観察者応答
ｘ（ｋ）＝ｋｘ　　（１０）
と完全に同じようにスケーリングされることを示す。
【００６５】
露光または陰影独立と称する等価スケーリングのこの性質は、
ｆ（ｋｃ）＝ｋｆ（ｃ）⇒ｋｘ＾＝ｆ（ｋｃ）　　（１１）
となるように特性評価変換により維持されるべきものであり、したがって、色の任意のスケーリングバージョンは、推定色の適切なスケーリングバージョンに自動的にマッピングされる。したがって、応答推定の露光および陰影独立は固有の比色精度を提供し、例えば場面の照明レベルが変わる場合に、同等の特性評価が有効であることを確実にする。
【００６６】
Ｄ．対象色および白色点の維持
中間色であれ有彩色であれ、特定の色を正しいＸＹＺ値にマッピングすることが望ましい状況は多くあり、例えば文化遺産、医療用途、または、色が高い重要性を持つブランドまたは対象物に関する撮影の実務においてそうである。恒等関数をｕ（・）とすると、これは、
ｆ（c_k）≡x_k　　（１２）
という制約の下で式４を解くことで数学的に表され、すなわち、ｋ番目の色c_kは誤差なしでマッピングされなければならない。この特性を対象色の維持という。
【００６７】
多くの変換によって維持される重要な特性は画像化の「白色点」であり、これは対象色の維持の特定のバージョンである。これは数学的に
ｆ（c_W）≡x_W　　（１３）
と表される。この式は、白色点の近似である$x\hat{}_W$ではなく正確な白色点であるx_Wを用いることに留意されたい。文献ではこの特性を白色点の維持といい、この利用により、特に中間色において色かぶりが回避されるという知覚的に非常に重要な結果が得られる。
【００６８】
白色点の維持は特性評価において重要であるが、これは白色点のバランスを取ることとは同じでない点に留意されたい。カメラの特性評価のパイプラインにおいて、白色点のバランスを取るステップは、最適化の前に独立して適用されるべきものである。実際、ｆ（・）の最適化は、ホワイトバランスが取れた色値に対して最適に実行されることが分かっている（参考文献［３］）。さらに、個々の特性評価の変換は、出くわす各光源について構築されなければならず、典型的には、商用のカメラは、異なる照明条件の下で適合するように複数の特性評価関数を有する。
【００６９】
Ｅ．色相平面の維持
白色点の維持と露光および陰影独立とを考慮して、より高度な制約を変換に対して導入する。物体表面からの反射率が二つのスペクトル反射率の線形結合であるとすると、表面色素からの拡散反射率と中間反射の反射率とは、
ρ（λ，k_D，k_S）＝（k_D ρ_D（λ）＋k_S）　　（１４）

を満たすような関係になる。ここで、式７の原則に従うρ（λ，k_D，k_S）は、（量k_Sによって重み付けされた）スペクトル反射率と（量k_Dによって重み付けされた）拡散色素反射率ρ_D（λ）との線形結合として表される表面スペクトル反射率関数である。そして、式２を用いる色信号は

$P(\lambda, k_D, k_S) = (k_D P_D(\lambda) + k_S)$　　（１５）

となる。

【００７０】

式１５を式１に代入することで

【数５】

$$\mathbf{s}(k_D, k_S) = k_D\left(\int_\lambda P_D(\lambda)\sigma(\lambda)d\lambda\right) + k_S\left(\int_\lambda I(\lambda)\sigma(\lambda)d\lambda\right) \qquad (16)$$

が得られる。

【００７１】

式１６を、カメラからの統合された返答に関して

$c(k_D, k_S) = k_D c_D + k_S c_S$　　（１７）

と書き換えることができ、観察者からのものに関しては

$x(k_D, k_S) = k_D x_D + k_S x_S$　　（１８）

と書き換えることができる。ここで、c_Dは拡散反射率要素への三要素カメラ応答であり、c_Sは鏡面反射要素（または光源）への三要素カメラ応答であり、x_Dは拡散要素への観察者応答であり、x_Sは鏡面反射要素への観察者応答である。ここで、実際には、光源への応答は、要素k_Wの分だけ露光範囲内でスケーリングされた中間値で表されるとする。したがって、$k_S c_S$を$k_W c_W$に置き換え、$k_S x_S$を$k_W x_W$に置き換えることができ、よって、ρ（λ、k_D、k_S）をρ（λ、k_D、k_W）と置換できる。式１７，１８より、ａ）刺激ρ（λ、k_D、k_W）へのカメラ応答および観察者応答の双方が、色の拡散および鏡面反射要素への個々の応答の加重結合であり、かつｂ）重みk_D，k_Wがカメラおよび観察者の双方について同じであることが明らかである。正数の範囲でk_Dおよびk_Wを変えることで、ｘｙｚ空間内の半平面に対応するＲＧＢ空間内の半平面が記述される。これらの平面を色相平面という。一般的にいうとすると、

$k_D f(c_D) + k_W f(c_W) = f(k_D c_D + k_W c_W)$　　（１９）

であり、式３を用いて

$k_D \hat{x}_D + k_W \hat{x}_W = k_D f(c_D) + k_W f(c_W)$　　（２０）

と表される。

【００７２】

色相平面の位置および形状の理解に役立つ方法は、それを色空間の二次元の色度平面に投影することである。カメラカラーに関する色度座標（ｒ，ｇ）は下記の中心射影により得られる。

$r = R/(R+G+B)$，$g = G/(R+G+B)$　　（２１）

【００７３】

定数ｋの分だけ色値（Ｒ，Ｇ，Ｂ）をスケーリングして、これを式２１に代入することで、色度平面上への射影が露光および陰影の変化に対して不変であることがはっきりとわかる。

$r = kR/(kR+kG+kB)$，$g = kG/(kR+kG+kB)$　　（２２）

カメラの白色点$c_W = (R_W, G_W, B_W)$を式２１に代入することで、中間色点（r_W，r_W）＝（１／３，１／３）が得られる。色度点（ｒ，ｇ）および中間色点（r_W、g_W）は、中間色点から放射する半直線を規定する。この線は角度ϕ_cを

【数６】

$$\phi_c = sign\left(\frac{v}{C}\arccos\left(\frac{u}{C}\right)\right) + \frac{1}{2}\left(1 - sign\left(\frac{v}{C}\right)\right) \qquad (23)$$

により規定する。ここで、$\phi_c \in [0 : 2\pi]$であり、彩度Ｃは
【数７】
$$C = \sqrt{(u^2 + v^2)} \qquad (24)$$

および
$u = (r - r_W)$，$v = (g - g_W)$　　（２５）
と定義される。
【００７４】
比色色度空間において、色相平面はそれの線を、中間色から有彩色を通って、その角度に関連する主波長（参考文献［２］）が見られるスペクトル軌跡の境界へと延ばす。したがって、角度φを「色相角」という。式２０の線形関係と式１３での白色点の維持とを組み合わせることで、式３で定義されるマッピングのこの特性を「色相平面の維持」という。色相平面の維持は、白色点の維持と、露光および陰影独立とを前提とするが、その逆は必ずしも成り立たない。
【００７５】
色相平面の保持という発想はスペクトル特性によるものであり、したがって、（中間の）正反射率の量と線形結合された均一または略均一な拡散反射率で３次元物体が存在する現実の場面の比色分析によるものである。コンピュータ・グラフィックでは、これはＰｈｏｎｇの反射モデル（参考文献［２３］，［２４］）として知られており、式１４で用いられているように、アンビエント照明は照明のスペクトル成分を持つとみなされる。この場合の色相平面の維持の利点は、拡散色が誤差無くまたは小さい誤差で修正される場合に、その物体からの他のすべての色がそれに応じて自動的に誤差無くまたは小さい誤差でマッピングされることである。色相平面が主波長によって知覚的な色と相関する点に留意することは重要である。これは、Ｐｈｏｎｇモデル化された反射を有する物体が均一の色を持つとは必ずしも認識されないことと同様に、色相平面がその面にわたって知覚的に均一の色相を必ずしも含むわけではないことを意味する。
【００７６】
ＩＩＩ．参照例
Ａ．線形回帰
式１３で定義される白色点の維持という制約を式５での線形解法に加えると、白色点を維持する線形最小二乗解は、
$M_1 c_W \equiv x_W$を条件として$x\hat{} = M_1 c$　　（２６）
となる。
【００７７】
これを線形法（ＬＩＮ）という。式１９で定義される色相平面の維持にＬＩＮを適用すると、
$k_D M_1 c_D + k_W M_1 c_W = M_1 (k_D c_D + k_W c_W)$　　（２７）
というように、M_1が実際に色相平面を維持することが明らかである。ＬＩＮの欠点は推定の精度が比較的低いことであり、これは主に、９個の係数しか持たずそのうち３個が白色点の維持で占められるために二つの色相平面しか正確にマッピングすることができない行列の自由度の低さに起因する。
【００７８】
Ｂ．多項式回帰
線形法で見られる精度を高めるために、白色点の維持を保ちながら高次関数ｆ（・）を用いることができる。色補正に対する典型的な多項式の手法では、デバイスＲＧＢ値の多項式展開を推定ＸＹＺにマッピングする。ｃの標準的な二次多項式展開（参考文献［２１］）は$c^{(2)}$になり、
$c^{(2)} = [R, G, B, R^2, G^2, B^2, RG, RB, BG]^T$　　（２８）

ｃの三次多項式展開はｃ（２）に三次要素を追加するものである。
ｃ（３）＝［ｃ（２）Ｔ，Ｒ３，Ｒ２Ｇ，Ｒ２Ｂ、Ｇ３，Ｇ２Ｒ，Ｇ２Ｂ，Ｂ３，Ｂ２Ｒ，Ｂ２Ｇ，ＲＧＢ］Ｔ　　（２９）

【００７９】

いずれにせよ、白色点を維持する多項式マッピング関数は
$M_{pol}c_W^{(q)} \equiv x_W$を条件として$x^{\wedge} = M_{pol}c^{(q)}$　　（３０）
であり、ここでM_{pol}は、ｑ＝２であれば３×９行列であり、ｑ＝３であれば３×１９行列である。この多項式マッピングをＰＯＬ２およびＰＯＬ３という。

【００８０】

ＰＯＬ２およびＰＯＬ３を式１９での色信号ｃに適用することで、高次要素が露光および陰影独立だけでなく色相平面の維持も防ぐことが明らかになる。これはニューラルネットワークの手法にも、あるいは、露光独立および線形性を明確には考慮していない他のいかなる非線形モデルにも当てはまる。したがって、これらの方法は、研究室にて決められた光源の下で物体を撮像する場合のような、決められた撮像の設定に対してのみ有用である。

【００８１】

Ｃ．ルート多項式回帰

フィンレイソン等は、比色の精度について期待できる結果が得られる、露光独立に準拠するルート多項式に基づく展開を提案している。

【００８２】

二次ルート多項式は６個の成分を有し（参考文献［２１］）

【数８】

$$\mathbf{c}^{(1/2)} = [R \quad G \quad B \quad \sqrt[2]{RG} \quad \sqrt[2]{RB} \quad \sqrt[2]{BG}]^T \qquad (31)$$

三次ルート多項式は１３個の成分を有する。

【数９】

$$c^{(1/3)} = [c^{(1/2)T} \quad \sqrt[3]{R^2B} \quad \sqrt[3]{R^2G} \quad \sqrt[3]{G^2R} \quad \sqrt[3]{G^2B} \quad \sqrt[3]{B^2R} \quad \sqrt[3]{B^2G} \quad \sqrt[3]{RGB}]^T \qquad (32)$$

【００８３】

ｃ（１／２）またはｃ（１／３）を式５に代入すると、
$M_{rpol}c_W^{(1/q)} \equiv x_W$を条件に$x^{\wedge} = M_{rpol}c^{(1/q)}$　　（３３）
が得られる。

【００８４】

ルート多項式マッピング方法をＲＰＯＬ２およびＲＰＯＬ３という。ＲＰＯＬ２およびＲＰＯＬ３を式１９での色信号ｃに適用することにより、$k_D = 0$または$k_W = 0$と設定することで関数ｆ（・）が露光および陰影独立になるが、高次項は色相平面の維持を考慮しない。

【００８５】

例えばＲＰＯＬおよびＰＯＬについて、これらの高次の方法で色相平面を維持できないことが、非常に飽和した色に影響を及ぼすと考えられる。特に、次数が低くなるほど曲率が小さくなって精度が下がり（一次多項式は、精度が低い３×３行列と同じである）、高次では極値に十分に合致しないのではないかと考えられる（参考文献［２５］）。これをＶＩＩ－Ｃ節で示す。

【００８６】

Ｄ．色相平面を維持する行列化の改良版

マッピング関数ｆ（・）の自由度の数を増やす一方で、色相平面の維持および３×３行列の利用という基本的な技術を保つために、ファインド・アンデルセンおよびハーデンバーグ（参考文献［２６］）は、白色点を維持する複数の行列を用いる区分的線形法を構築した。行列を定義するために、彼らはトレーニングカラーに対して対象点の維持を課す。

c_jとc_{j+1}とのｊ番目の間隔での特性評価パッチの任意のペアについて（ここで、ｊはカメラ色相の増加に関する順位を示す）、カメラ色空間の色相間隔被分割小区域がϕ_jとϕ_{j+1}との間に作られる。その間隔での行列M_jは

$M_j c_W \equiv x_W$、および$M_j c_j \equiv x_j$、および$M_j c_{j+1} \equiv x_{j+1}$　　（３４）

となるように得られ、トレーニングカラーと同じだけの数の行列が存在する。そして、一般的なデバイスカラーｃについて、ｃの色相が色相値ϕ_kおよびϕ_{k+1}の間になるように適切な色補正行列M_kが選択される。この補正結果は、特性評価の対象目標に属しない色についてまだ概算に過ぎないものである。彼らはこの手法を「色相平面を維持する色補正」（ＨＰＰＣＣ）という。

【００８７】

複数の行列を用いて色補正における自由パラメータの数を増加させることで、単一の３×３行列と比較して誤差を著しく減らすことができる。しかし、この方法には、C^0に勝る平滑度が保証されないという欠点があり、該方法では、特性評価パッチを手動で選択しない限り最適化の余地がない。カラーパッチのこの選択は、データ集合で定義された、色空間の領域において、高水準の条件等色で、推定誤差を左右する。

【００８８】

ＩＶ．加重拘束行列化法

本節では、上記の課題を直に解決する、色の特性評価についての新規の手法を概説する。我々の方法は、特性評価が色相平面の維持であり、したがって露光独立と白色点の維持と、特に誤差の最小化とであることを保証しようという意欲により動機付けられたものである。この方法を「加重拘束行列化による、色相平面を維持する色補正」（ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ）という。

【００８９】

この研究は、マッピングを区分的線形から微分可能に連続（C^∞）なものに変更することで当初のＨＰＰＣＣの発想を拡張する。これは、カメラにより記録された物理的に平滑な色遷移と、観察者によって記録された同様に平滑な色遷移との間の変換において平滑度を維持することを必要とする。この方法がＣ０連続まで減らされる色空間の唯一の場所は、中立軸を通る所にある。色相も飽和もそこには知覚的に存在しないので、急な知覚的な色のシフトはそこでは起こり得ない。前節で示した標準的な多項式の方法の様に、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭは、トレーニングカラーの数により制限される微分可能性の順に直接に関係する一つのユーザ制御パラメータのみを使用する。

【００９０】

ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法について、ｃに対応する推定色ｘ＾は

$x\hat{} = M(\phi_c, p)\, c$　　（３５）

で得られる。

【００９１】

式２３によりデバイス色相角ϕ_cを導くデバイスカラーｃが与えられたとして、対応する変換行列$M(\phi_c, p)$は、正規化されたべき関数で重み付けされた、予め算出された行列M_i（$i \in [1:N]$）の総和として得られ、ここで、それぞれのM_iはトレーニングカラーc_iに対応する。パラメータｐは加重べき関数の次数を示す。$M(\phi_c, p)$を得るために、制約を受けるＮ個の３×３行列M_iは、各トレーニングカラーc_iについて、

【数１０】

$$\min_{\mathbf{M}_i} \sum_{i=1}^{N} \left\| \mathbf{M}_i \mathbf{c}_i - \mathbf{x}_i \right\| \qquad (36)$$

という等式制約付き最小二乗回帰によって得られ、これは、式１３，１２で定義される、トレーニングカラーc_iの白色点の維持と対象色の維持という制約：

$M_i c_W = x_W$、および$M_i c_i = x_i$　　（３７）

を受ける。

【００９２】

Ｎ個の行列Ｍ$_{i}$は、色相角φ$_{c}$とＮ個のトレーニングカラー色相角φ$_{i}$のそれぞれとについての関数として重み付けされる。重み関数ｗ（・）は、色相角差の次数ｐのべき関数として定義される。

ｗ（φ$_{i}$）＝（π－Δφ$_{i}$）^{p}　　（３８）

ここで、ｉ番目の色相角差はΔφ$_{i}$＝ｍｉｎ（｜φ$_{c}$－φ$_{i}$｜，２ｐｉ－｜（φ$_{c}$－φ$_{i}$｜）である。最後に、式３５でのＭ（φ$_{c}$，ｐ）は正規化された加重和：

【数１１】

$$\mathbf{M}(\phi_c, p) = \frac{1}{\sigma_w}\sum_{i=1}^{N} w(\phi_i)\mathbf{M}_i \qquad (39)$$

として算出され、ここで、

【数１２】

$$\sigma_w = \sum_{i=1}^{N} w(\phi_i) \qquad (40)$$

である。

【００９３】

φ＝φ$_{i}$に関してｐが限りなく大きくなると、Ｍ（φ，ｐ）はＭ$_{i}$に近づき、一般には、行列の影響を、マッピングされる色の色相に極めて近い色相に関連する行列という、非常に局所的な範囲内のものにする。ｐ＝０とすることで、すべてのＭ$_{i}$に対して同じ重みを置き、したがって、式１３により算出される解に近づく。ｐを変化させることで、式３５での推定が精度について最適化され得る。

【００９４】

ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法の利用を図５に示す。その図において、提供された、ホワイトバランスの取れた第１色空間色チャネル値はｃであり、それに対応する第１色空間カラー色相角はφ$_{c}$である。トレーニングセット第１色空間色相角はφ$_{i}$である。べき関数の指数はｐである。Ｎ個のトレーニングカラー行列重みはｗ（φ$_{i}$）であり、Ｎ個のトレーニングカラー行列はＭ$_{i}$である。推定された、ホワイトバランスの取れた第２色空間は、（Ｘ$_{estim}$，Ｙ$_{estim}$，Ｚ$_{estim}$）＝ｘ＾である。

【００９５】

Ｖ．等式制約付き最小二乗回帰法

特定の制約を受ける、式５，６，３０，３３，３６の線形最小二乗解を得るために、その制約を一次方程式の集合

【数１３】

$$\mathbf{E}\vec{m} = \vec{x}_e \qquad (41)$$

として表現することから始める。ここで、ｉ∈［１：３］およびｊ∈［１：３］において

【数１４】

$$\vec{m}_{i+3(j-i)} = m_{j,i}$$

はＭの９×１ベクトル表現である。Ｅは、ｋ個の対象色の維持に対応する制約を含む３ｋ×９行列であり、ここで、ｅ$_{j+3(k-1),\ 3(j-1)+i}$＝ｃ$_{i}$^{k}、および、

【数１５】

$$\vec{x}_{i+3(k-1)} = x_i^k$$

の場合を除いてＥ＝０であり、ｃ^{k}およびｘ$_{e}$^{k}はｋ番目の制約についてのカメラおよび比色値である。

【００９６】

これらの制約を、カラーマッピングのための線形最適化に課す。

【数１６】

$$\mathbf{P}\vec{m} = \vec{x} \qquad (42)$$

ここで、Ｐは３Ｎ×９行列であり、ｐ$_{j+3(k-1),3(j-1)+i}$＝ｃ$_{i}$^{k}、および、

【数１７】

$$\vec{x}_{i+3(k-1)} = x_i^k$$

の場合を除いてＰ＝０であり、改めて、ｃ^{k}およびｘ^{k}はｋ番目のトレーニングカラーのカメラおよび比色値である。

【００９７】

このシステムを解決するために、参考文献［２７］にある方法である、ラグランジュ乗数λに基づく等式制約付き最小二乗解法を用いる。すなわち、

【数１８】

$$\min_{\mathbf{E}\vec{m}=\vec{x}_e} \left\| \mathbf{P}\vec{m} - \vec{x} \right\|_2 \qquad (43)$$

という最小化を

【数１９】

$$\begin{pmatrix} \hat{\vec{m}} \\ \hat{\vec{\lambda}} \end{pmatrix} = \mathbf{B}^{-1} \begin{pmatrix} \mathbf{P}^T\vec{x} \\ \vec{x}_e \end{pmatrix} \qquad (44)$$

の一意解を用いることで行う。ここで、

【数２０】

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}^T\mathbf{P} & \mathbf{E}^T \\ \mathbf{E} & 0 \end{bmatrix} \qquad (45)$$

である。

【００９８】

ＶＩ．実施例

Ａ．ｐの最適化

本方法は、各トレーニング行列に与えられる重みを定義する単一のパラメータｐを用いる。ｐの解析解が無いとすると、それはトレーニングパッチの集合に対して数値的に最適化されなければならない。図１は、２４個のパッチを有するマクベス・カラーチェッカ（ＭｂＣＣ）と２３８個のパッチを有するマクベス・カラーチェッカ・ＤＣ（ＭｂＤＣ）という二つの異なる特性評価対象について一個抜き（ＬＯＯ）テスト法を用いた様々なｐ値の平均的ＸＹＺ誤差を示す。ここで用いるＬＯＯテストは、所与の方法がデータ集合に対する性能をどの程度良く一般化するかを直接に定量化するために用いられる。各方法は、

Ｎ個のパッチのチャートからの色の特定の集合について学習およびテストされる。方法は、Ｎ－１個のパッチに対してＮ回学習され、残ったｎ番目のパッチについて該パッチの平均二乗誤差を求めることでテストされる。これが、Ｎ個のパッチすべてについて繰り返される。Ｎ個の平均二乗誤差の平均を取ることで、該方法の性能を示す総合誤差が得られる。

【００９９】

中立軸に近い色が本方法での白色点の維持により既に正確にマッピングされており、かつ各トレーニングカラーの一つの陰影のみ（好ましくは反射率が最も高いもの）が各色相平面を定義するために必要であるならば、有色パッチを用いるだけでトレーニング行列を生成する。ＭｂＣＣチャートについては１８個の非中立パッチを用い、ＭｂＤＣチャートについては、彩度閾値（式２４を参照）を用いてすべての非中立パッチを削除する。ここで、１２７個の行列を除外した、０．０５という値が最も有効であると分かった。そして、学習誤差を有色および中間色のすべてのパッチで評価した。「除外される」色が有色のトレーニングパッチの一つである場合には、残りのトレーニングパッチ（ＭｂＣＣでは１７個、ＭｂＤＣでは１２６個）のみが本方法を学習するために用いられる。結果から、ｐの最適値は様々なデータ集合に対して様々な値になることが分かった。

【０１００】

ｐの最適値を見つけるために、非線形の数値最適化を用いて、所定のイメージング設定とトレーニングデータの集合とについての最小二乗ＸＹＺ誤差を最小にすることができた。この方法を図４に示す（ホワイトバランスが取れたＮ個のトレーニング集合第１色空間Ｒ，Ｇ，Ｂ色チャネル値のそれぞれがｃに対応し、ホワイトバランスが取れたＮ個のトレーニング集合第２色空間Ｘ，Ｙ，Ｚ色チャネル値がｘに対応する）。実際の設定では、この値は、固定の特性評価マッピングのために一度だけ算出されれば十分であろう。そうするためにＬＯＯ誤差を最小にする。多くの予め選択されたｐ値についてＬＯＯ誤差を算出する。最も低いＬＯＯ誤差に関連するｐ値を選択する。表１は、３１台の異なるカメラと、３台の光源と、２個の特性評価チャートとについての平均である最適なｐ値を示す。両方の曲線の全体的な形状は、最適なｐ値が得られるグローバルな最小値を示唆する。上記のように、二つの特性評価チャートの間には大きなばらつきがあるが、それぞれの図において、光源およびカメラにわたるばらつきは比較的小さい。実際に、ｐの平均値が、各カメラを最適化することよりもすべてのカメラについて用いられる場合には、０．０５未満のΔＥの性能低下が起こる。後の結果では、他の手法と公平に比較するために、所与の光源についてすべてのカメラを通じて単一のｐ値を用いる。

【０１０１】

【表１】

pの最適値

		MbCC			MbDC	
	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値
D65	10.65	5.09	15.47	32.38	22.37	85.58
A	10.81	2.46	21.37	64.32	40.56	101.97
F11	4.27	2.29	11.21	38.82	27.68	60.43

【０１０２】

Ｂ．学習およびテスト

実際的な特性評価設定で我々の方法をテストするために、広く認められている較正図をトレーニングデータとして用いる。ここでは、異なる大きさのトレーニング集合での性能を評価するために、（ＭｂＣＣ）図および（ＭｂＤＣ）図を用いる。最適なｐを選ぶために、それぞれの図について個別にＬＯＯ誤差を最小にする。図６のフローチャートにおいて、知覚的な色の違いの推定に基づく方法の性能評価が、ホワイトバランスの取れた１以上のテストセット色チャネル値にどのように適用されるかが示されている。データをテス

トする際には、慎重に選ばれた反射率データ集合を用いて、起こり得るスペクトルの様々な異なる種類を表現する。その種類とは、１）人工スペクトルの例としてのマンセル反射率（参考文献［２８］）と、２）負荷が掛かる人工スペクトルの例としてのエセルＴＥ２２１テストチャート（エセルチャートはいくつかの非常に高い有彩色を含む）と、３）フォスター等（参考文献［２９］）の自然スペクトルと、４）Ｐｈｏｎｇの陰影モデルを用いて同じ色相平面上でトレーニングパッチとして生成された色とである。この色相平面の集合について、反射率空間での三角格子上で等間隔で反射率がサンプリングされ、ここで、その三角形は、対象とする色の完全拡散反射面、黒色点、および反射率により固定される。これは、一様に着色され拡散的に且つ鏡面的に反射する三次元物体がイメージング光源の下で撮影される状況をシミュレーションするものである。

【０１０３】

データは式１により合成される。合成データを用いる理由は、ａ）ＣＣＤ感度の応答性が周知であり（参考文献［３０］）、したがって式１が実際のデータの正確なモデルを提供するからということと、ｂ）多数の異なるカメラおよびスペクトルデータ集合で本方法をテストできるからということとの二つである。実験では、ＲＧＢ値は、三つの代表的な光源（Ｄ６５、Ａ、Ｆ１１）の下で、引用文献［３１］に記載の２８台と引用文献［３２］に記載の３台という３１台の異なるカメラについて生成される。平均値、中央値、および最大値が、各セットおよびすべてのカメラにわたるすべての反射率にわたって計算される。

【０１０４】

表２および表４は、ＭｂＣＣチャートおよびＭｂＤＣチャートをそれぞれ用いたＬＯＯ誤差評価の結果を示す。結果は、三つの光源の下および３１台のカメラにわたっての平均、中央、および最大のＣＩＥＬａｂ誤差を示す。比較対象の方法は、線形白色点維持行列（ＬＩＮ）、多項式（ＰＯＬ）、ルート多項式（ＲＰＯＬ）、およびＨＰＰＣＣ－ＷＣＭであり、すべての方法が白色点の維持を含む。表３および表５は、ＭｂＣＣチャートおよびＭｂＤＣチャートをそれぞれトレーニングデータとして用い、且つ４個のテスト反射率集合を用いての、実際的な学習／テスト状況の結果を示す。それぞれの表において、最も性能の良い方法を、各光源および各誤差測定基準について太字で強調表示している。

【０１０５】

図２は色相平面での個々の方法の効果を示す。図２（ａ）および（ｂ）では、ＲＧＢからＸＹＺへの変換が為されたＲＧＢ平面について、ＸＹＺ値およびｘｙ値をそれぞれ示す。図２（ｃ）において、有色のエセルパッチから導かれる色相平面についての本当のｘｙ色度は、四つの異なる方法からの推定に対してプロットされる。

【０１０６】

【表２】

各方法について一個抜きテスト法を用いたCIELAB ΔE誤差(平均値、中央値、および最大値)であり、31台のカメラ、反射率集合、マクベス24パッチカラーチェッカ、すべての光源にわたって平均化した結果である。

		D65			A			F11	
方法	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値
LIN	1.9	1.4	29.3	2.3	1.5	**28.8**	1.5	1.1	18.8
POL2	2.6	1.6	23.3	3.1	1.7	39.7	2.3	1.2	23.0
POL3	3.2	1.7	59.6	4.2	2.4	67.0	2.7	1.5	35.8
RPOL2	1.9	1.1	**20.2**	2.4	**1.3**	29.5	1.8	1.1	17.5
RPOL3	3.9	2.0	82.6	5.3	2.8	91.2	4.9	1.7	68.6
HPPCC-WCM (8.6)	**1.7**	**1.0**	23.2	**2.2**	**1.3**	40.7	**1.4**	**0.8**	**13.8**

【０１０７】

表４は、テストデータ上のセンサ出力にノイズを追加する効果を示す（トレーニングデータのノイズは通常、トレーニングパッチにわたる応答の平均化により最小限である）。ここで、ダークノイズおよびショットノイズを追加する。ダークノイズは、分布がＮ（０

，０．０１）であるゼロ平均ガウスノイズとしてモデル化される。ショットノイズは、標準偏差がセンサ強度、例えばセンサ応答c_iによりスケーリングされるガウスノイズを用いるポアソンノイズの近似としてモデル化され、ノイズは分布Ｎ（０，０．０２c_i）を有する。

【０１０８】

ＶＩＩ．考察

Ａ．安定性および過学習

方法の安定性は過学習に耐える性能に関係し、目に見えないテストデータについての合理的な出力を維持する。

【０１０９】

【表３】

マクベス24パッチカラーチェッカでの学習後の幅広いテスト集合についての
CIELAB ΔE誤差(平均値、中央値、および最大値)。
結果は、31台のカメラにわたって平均化され、3台の異なるイメージング光源について
示されたものである。

			D65			A			F11	
学習	方法	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値
MbCC (N=24)	LIN	1.7	1.2	22.1	2.1	1.3	22.9	1.4	0.9	15.5
	POL2	1.5	1.0	16.8	1.7	1.2	15.5	1.3	0.9	10.1
	POL3	**0.3**	**0.2**	**4.2**	**0.4**	**0.2**	**4.8**	**0.2**	**0.1**	**3.3**
	RPOL2	1.3	0.8	11.3	1.6	0.9	16.0	1.2	0.7	10.7
	RPOL3	0.7	0.5	7.4	0.9	0.6	9.6	0.8	0.7	4.9
	HPPCC-WCM(8.6)	1.0	0.6	16.0	1.3	0.7	22.8	0.9	0.5	9.8
テスト			D65			A			F11	
エセル($N = 264$)	LIN	2.8	1.6	47.6	3.0	1.8	45.9	2.4	1.4	39.1
	POL2	2.6	1.4	38.6	3.2	1.7	46.0	2.4	1.2	56.2
	POL3	6.6	2.4	305.7	7.2	2.5	266.9	5.7	2.1	167.7
	RPOL2	**1.9**	**1.1**	**35.0**	**2.4**	**1.2**	53.2	2.1	**0.9**	**37.3**
	RPOL3	4.2	1.4	238.8	5.8	1.9	193.8	3.6	1.4	218.5
	HPPCC-WCM(8.6)	2.0	**1.1**	39.0	**2.4**	1.4	**45.8**	**1.7**	1.0	39.1
マンセル($N = 1269$)	LIN	1.5	0.9	45.9	1.7	1.0	**48.8**	1.4	0.8	30.1
	POL2	1.3	0.9	**30.3**	1.5	0.9	63.1	1.2	0.7	16.1
	POL3	3.1	1.5	231.5	3.3	1.5	194.7	3.1	1.5	231.5
	RPOL2	**1.1**	**0.7**	40.9	**1.3**	**0.8**	49.1	**1.1**	**0.6**	**15.2**
	RPOL3	1.4	0.8	81.2	1.8	0.9	51.1	1.4	0.8	81.2
	HPPCC-WCM(8.6)	1.3	**0.7**	46.8	1.6	**0.8**	61.9	1.2	**0.6**	29.1
自然($N = 4871$)	LIN	**2.1**	**1.3**	49.7	2.4	**1.3**	**53.2**	2.2	1.2	40.7
	POL2	**2.1**	1.4	104.3	**2.3**	**1.3**	151.7	**1.9**	1.2	53.5
	POL3	3.7	1.5	1010.5	4.0	1.4	480.0	4.1	1.2	895.1
	RPOL2	**2.1**	**1.3**	**43.0**	2.4	1.4	59.1	**1.9**	1.2	**27.2**
	RPOL3	2.4	1.5	173.1	3.1	1.9	103.7	2.0	1.4	64.8
	HPPCC-WCM(8.6)	**2.1**	**1.3**	49.7	2.4	**1.3**	76.1	**1.9**	**1.1**	40.7
色相平面($N = 810$)	LIN	0.8	0.4	22.1	0.9	0.5	22.9	0.8	0.5	15.3
	POL2	0.9	0.6	20.9	1.0	0.6	21.3	0.9	0.7	11.8
	POL3	2.5	1.22	111.7	2.5	1.8	48.9	2.5	1.3	104.6
	RPOL2	0.7	0.4	**11.4**	0.8	0.4	**16.0**	0.8	0.6	10.7
	RPOL3	0.7	0.4	42.2	0.9	0.5	28.0	0.8	0.6	18.0
	HPPCC-WCM(8.6)	**0.4**	**0.1**	16.0	**0.5**	**0.2**	22.8	**0.5**	**0.4**	**9.8**

【０１１０】

【表４】

一個抜きテスト法を用いたCIELAB ΔE誤差(平均値、中央値、および最大値)であり、
3台のイメージング光源を用いての31台のカメラにわたって平均化した結果である。

		D65			A			F11	
方法	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値
LIN	1.6	0.9	36.4	1.7	0.8	33.6	1.4	0.6	23.9
POL2	1.2	0.7	28.4	1.3	0.7	24.9	1.1	0.6	15.7
POL3	0.9	**0.5**	**22.5**	1.0	**0.5**	**20.6**	0.9	0.4	**11.7**
RPOL2	1.0	0.6	28.1	1.1	0.6	29.3	0.9	0.5	24.4
RPOL3	**0.8**	**0.5**	24.9	**0.9**	**0.5**	23.4	**0.7**	**0.3**	12.5
HPPCC-WCM(45.2)	0.9	**0.5**	30.2	1.0	**0.5**	32.4	0.8	**0.3**	24.8

【０１１１】

【表５】

マクベスDCカラーチェッカ(238個のパッチ)での学習後の幅広いテスト集合についての
CIELAB ΔE 誤差(平均値、中央値、および最大値)。
結果は、3台の異なるイメージング光源を用いての31台のカメラにわたって平均化したものである。

			D65			A			F11	
学習	方法	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値
MbDC ($N = 238$)	LIN	1.6	0.9	35.5	1.7	0.8	32.0	1.3	0.6	23.4
	POL2	1.2	0.7	28.1	1.2	0.6	24.7	1.0	0.6	15.5
	POL3	0.8	**0.4**	21.7	0.9	0.5	20.0	0.8	0.4	11.3
	RPOL2	0.9	0.6	25.9	1.0	0.6	24.7	0.9	0.5	21.5
	RPOL3	**0.7**	0.5	19.3	**0.8**	**0.4**	**17.4**	**0.6**	**0.3**	**8.4**
	HPPCC-WCM (45.2)	0.8	0.5	**19.1**	**0.8**	**0.4**	22.96	0.7	**0.3**	12.4
テスト			D65			A			F11	
エセル($N = 264$)	LIN	2.9	1.7	45.9	3.2	2.0	57.1	2.5	1.6	**35.1**
	POL2	2.6	1.4	53.6	3.1	1.6	75.8	2.3	1.3	38.5
	POL3	2.0	1.2	35.6	2.5	1.5	52.5	2.0	1.2	37.2
	RPOL2	2.3	1.1	38.1	2.8	1.3	61.5	2.4	1.0	38.3
	RPOL3	2.7	**1.0**	106.6	3.2	**1.2**	137.5	2.9	**1.0**	93.2
	HPPCC-WCM (45.2)	**1.7**	**1.0**	**34.8**	**1.9**	**1.2**	**37.3**	**1.6**	**1.0**	38.8
マンセル($N = 1269$)	LIN	1.4	0.8	29.5	1.8	0.9	26.1	1.4	0.7	18.8
	POL2	1.2	0.9	24.4	1.3	0.8	24.4	1.1	0.7	12.3
	POL3	1.0	0.7	23.5	1.1	0.8	23.1	1.0	0.7	14.3
	RPOL2	1.0	0.6	21.2	1.1	0.7	23.3	1.0	0.6	17.
	RPOL3	**0.9**	**0.5**	**17.2**	**1.0**	**0.6**	**16.2**	**0.9**	**0.5**	**11.6**
	HPPCC-WCM (45.2)	**1.1**	0.6	50.1	1.2	0.7	68.3	1.0	0.6	46.4
自然($N = 4871$)	LIN	**1.8**	1.2	**33.0**	**1.8**	1.2	**30.0**	1.6	1.1	25.9
	POL2	1.9	1.3	101.4	2.0	1.3	143.6	**1.6**	1.1	72.5
	POL3	1.9	**1.1**	688.6	2.1	1.2	526.2	1.8	**1.0**	255.7
	RPOL2	**1.8**	1.2	34.6	2.0	1.2	43.9	**1.6**	1.1	**25.8**
	RPOL3	1.9	1.2	79.0	1.9	1.2	66.3	1.6	1.1	37.4
	HPPCC-WCM (45.2)	**1.8**	1.2	49.8	1.9	**1.1**	49.5	1.9	1.1	29.8
色相平面($N = 5715$)	LIN	0.8	0.4	35.5	0.9	0.4	32.0	0.7	0.3	23.4
	POL2	0.8	0.5	28.1	0.8	0.5	26.9	0.7	0.4	15.1
	POL3	0.8	0.5	29.7	0.8	0.5	26.2	0.7	0.3	16.4
	RPOL2	0.6	0.4	25.9	0.7	0.4	24.7	0.6	0.4	21.5
	RPOL3	0.5	0.3	19.1	0.6	0.3	**14.6**	0.5	0.3	**10.9**
	HPPCC-WCM (45.2)	**0.3**	**0.1**	**18.0**	**0.4**	**0.1**	18.7	**0.3**	**0.1**	12.4

【０１１２】

【表６】

シミュレーションにノイズを含む。マクベスDCデータでの学習後にテストした
エセルチャートでのCIELAB ΔE 誤差(平均値、中央値、および最大値)。

		D65			A			F11	
方法	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値
LIN	4.1	3.1	46.6	4.3	3.2	51.8	3.7	2.9	38.0
POL2	3.6	2.6	51.6	3.9	2.7	77.6	3.4	2.5	40.0
POL3	3.2	2.5	38.1	**3.4**	2.6	52.0	3.1	**2.4**	38.2
RPOL2	**3.3**	**2.4**	**37.1**	3.6	**2.5**	57.1	3.4	**2.4**	**37.7**
RPOL3	3.7	2.6	63.2	4.0	2.6	115.9	3.7	**2.4**	70.5
HPPCC-WCM (45.2)	**3.3**	2.6	38.7	**3.4**	2.6	**42.1**	**2.9**	**2.4**	40.1

【０１１３】

安定性という最初の着想は、表２および表４のＬＯＯ結果に見ることができる。ＭｂＣＣチャートについてＲＰＯＬ３法およびＰＯＬ３法の双方はそれぞれ、ＲＰＯＬ２およびＰＯＬ２よりも悪い結果をもたらす。この場合、ＰＯＬ３およびＲＰＯＬ３法について、（１９の異なった色度を有する）着色された２４個のトレーニングパッチと、それぞれ１９および１４の自由度とが存在する。ＭｂＤＣデータについては方法を制約する更なるパッチが存在し、ＬＯＯ結果は、三次の方法について安定性の改善を示す。しかし、表３および表５における自然チャートおよびエセルチャート上の最大誤差についての結果は、三次ＰＯＬ法および三次ＲＰＯＬ法が非常に大きな誤差を生じ得ることを示す。これは、最初に現れるものよりも少ない自由度を有するトレーニングチャートに因るかもしれず、な

ぜならそれは、反射率が少数の色素により生成されるからである。この不安定性がＬＯＯデータから明らかでないことは教訓的であり、それは、高位多項式が学習データとテストデータとが異なる現実の状況において危険な選択であることを示唆する。対照的に、ＬＩＮ法およびＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法は、データ集合および光源にわたって似たような最大誤差を示す。ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法がＬＩＮよりはるかに多くの自由度を用いるとすると、これは、色相平面の維持という制約が、困難な学習およびテストに対して安定したものであることを示唆する、

【０１１４】

Ｂ．誤差の最小化

表２および表４でのＬＯＯテストの結果は、一般のＨＰＰＣＣ－ＷＣＭがＭｂＣＣデータにおいて最高の性能を発揮し、ＬＩＮおよびＲＰＯＬ２が、わずかに悪いもののＲＰＯＬ３よりもはるかに良く、ＲＰＯＬ３法が、ＭｂＤＣデータにおけるＨＰＰＣＣ－ＷＣＭよりわずかに良いことを示す。後のテスト集合での不安定性に基づいて三次多項式を割り引いて考えるならば、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭはこのデータに対して２番目に良い性能を発揮する。

【０１１５】

表３および表５での個々のトレーニング集合およびテスト集合についての結果は強いデータ依存性を示す。ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭの学習性能はＰＯＬ２よりわずかに良く、ＲＰＯＬ２に匹敵し、ＬＩＮ法よりはるかに良い。マンセルデータに関してはＰＯＬ２法およびＲＰＯＬ２法がわずかに有利である一方で、エセルチャートではＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法が有利である（特に、最大誤差と、ＭｂＤＣデータ上の平均誤差とについて）。自然データセットでの全体的な性能は、不安定なＰＯＬ３およびＲＰＯＬ３以外のすべての方法において同じくらいである。最後に、色相平面上にあるデータについてはＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法が明らかに非常に有利である。全体として、上位４個の高性能の方法について最高性能を記録した個数を数えると、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭは５５であり、ＲＰＯＬ３は２８であり、ＲＰＯＬ２は２６であり、ＰＯＬ３は１９である。これらのいくつかは複数の方法間で共有される。

【０１１６】

Ｃ．色相平面の維持

図２のプロットは色相平面の対象ｘｙ値が直線上に位置することを示す。一方、ＲＰＯＬ法およびＰＯＬ法は湾曲を導くが、これは色相平面の維持を満たさない。ＲＰＯＬ法は少なくとも、異なる輝度にわたって同じ曲率を課すが、ＰＯＬ法はそうではない。両方のＬＩＮ法およびＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法の双方とも色相平面を維持する一方で、変換でいくらかの誤差がある。これらの証拠は、三次元物体に対して色精度が必要とされる実生活でのカメラ特性評価にＨＰＰＰＣ－ＷＣＭ法がより適切できることを示唆しつつ、第ＩＩＩ節での理論と表３および表５での誤差統計とを裏付けるものである。

【０１１７】

Ｄ．ノイズ

表６の結果は、他の方法と同様に性能が低下しつつも、ノイズのある中で方法が安定したものであることを示す。ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭについてのエセルチャート上の平均誤差は他の方法よりもまだ低い。

【０１１８】

ＶＩＩＩ．結論

本明細書は、色相平面の維持という制約を変換に課しつつ変換の自由度の数を増加させることを目的とする、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭと称されるカラーカメラの新しい特性評価を提案するものである。まとめると、数値的な結果と、証拠と、理論的な議論とにより、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭ法が、飽和色の顕著な精度および安定性を保ちつつ、低次線形法の安定性と最も安定した高次多項式法の著しい高精度とを組み合わせたものあることが分かる。したがって、ＨＰＰＣＣ－ＷＣＭは、能力が試される反射率データ集合において既存の最先端技術を凌ぐ。

【０１１９】
参考文献
[1] T. Johnson, “Methods for characterizingcolour scanners and digital cameras, ” Displays, vol. 16, pp. 183-191, 1996.
[2] G.Wyszecki and W.S. Styles. ColorScience: Concepts and Methods, Quantative Data and Formulae. John Wiley andSons, NY, 1982.
[3] P. Green and L. W. MacDonald, editors.Colour engineering: achieving device independent colour. Wiley, 2002.
[4] R. T. D. Luther. Aus dem Gebiet derFarbreizmetric. Zeitschrift fur technische Physic, 8:540-555, 1927.
[5] H. E. Ives. The transformation ofcolor-mixture equations from one system to another. J. Franklin Inst., 16:673-701, 1915.
[6] B.Wandell. Foundations of Vision.Sinauer Associates, Inc, 1995.
[7] G. D. Finlayson and M. Drew.Constrained least-squares regression in color spaces. Journal of ElectronicImaging, 6(4):484-493, 1997.
[8] Cheung, V. and Westland, S. and Connah,D. and Ripamonti, C. A Comparative Stydy of the Characterization of ColourCameras by Means of Neural Networks and Polynomial Transforms. ColorationTechnology, 120, 19-25, 2003.
[9] M. J. Vrhel. Mathematical methods ofcolor correction. PhD thesis, North Carolina State University, Department ofElectrical and Computer Engineering, 1993.
[10] R. S. Berns and M. J. Shyu.Colorimetric characterization of a desktop drum scanner using a spectral model.J. Electronic Imaging, 4:360-372, 1995.
[11] Guowei Hong, M. Ronnier Luo, and PeterA. Rhodes. A study of digital camera characterisation based on polynomialmodelling. Color research and application, 26(1):76-84, 2001.
[12] H.R. Kang. Colour scanner calibration.Journal of Imaging Science and Technology, 36:162-170, 1992.
[13] S. H. Lim and A. Silverstein.Spatially varying colour correction matrices for reduced noise. TechnicalReport HPL- 2004-99, Imaging Systems Laboratory, HP Laboratories, Palo Alto,CA, US, June 2004.
[14] H.R. Kang and P.G. Anderson. Neuralnetwork application to the color scanner and printer calibration. J. ElectronicImaging, 1:125-134, 1992.
[15] T.L.V. Cheung and S. Westland. Colourcamera characterisation using artificial neural networks. In IST/SID TenthColor Imaging Conference, volume 4, pages 117-120, 2002.
[16] Li Xinwu. A new color correction modelbased on bp neural network. Advances in Information Sciences and ServiceSciences, 3(5):72-78, 2011.
[17] P.C. Hung. Colorimetric calibration inelectronic imaging devices using a look-up tables model and interpolations.Journal of Electronic Imaging, 2(1):53-61, 1993.
[18] J. Vazquez-Corral and D. Connah and M.Bertalmo. Perceptual Color Characterization of Cameras. Sensors, vol. 14, no.12, 23205-23229, 2014.
[19] R.W.G. Hunt and M. R. Pointer.Measuring Colour. Wiley, fourth edition, 2011.
[20] P.L. Vora and C. Herley. Trade-offsbetween color saturation and noise sensitivity in image sensors. Proceedings ofthe 1998 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP-98), pp196-200, 1998.
[21] G. Finlayson, M. Mackiewicz, and A.Hurlbert. Colour correction using root-polynomial regression. IEEE Trans. ImageProcessing, 24(5):1460-1470, 2015.
[22] Gaurav Sharma ed.. Digital ColorImaging Handbook. CRC Press, first edition,

2003.
[23] Bui Tuong Phong. Illumination forcomputer generated pictures. Communications of ACM, 18.
[24] J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner,and J. F. Hughes, Computer Graphics, principles and practice, 2nd ed. Addison-Wesley,1996.
[25] P. Royston and D. G. Altman.Regression using fractional polynomials of continouos covariates: Parsimonious parametricmodelling. Coloration Technology, Number 120, pages 19-25, November 2003. Appl.Statist., vol.43, no. 3, pp. 429-467, 1994.
[26] C. F. Andersen and J. Y. Hardeberg.Colorimetric characterization of digital cameras preserving hue planes. InProceedings of the 13th Color and Imaging Conference (CIC), pages 141-146,2005.
[27] A.Laratta and F. Zironi. Computationof Lagrange Multipliers for Linear Least Squares Problems with EqualityConstraints. Computing, Number 67, pages 335-350, 2001 Springer Verlag, 2001
[28] J.P.S. Parkkinen, and S. Hallikainenand T. Jaaskelainen. Characteristic spectra of Munsell colors. Journal of theOptical Society of America - A, vol. 6, no. 2, pp. 318-322, 1989.
[29] D.H. Foster and K. Amano and S.M.C.Nascimento and M.J. Foster. Frequency of metamerism in natural scenes. Journalof the Optical Society of America A, vol. 23, pp. 2359-2372, 2006.
[30] G.C. Holst. CCD arrays, cameras, anddisplays. SPIE Press, 2nd edition, 1998.
[31] J. Jiang and D. Liu and J. Gu andSusstrunk, S. What is the Space of Spectral Sensitivity Functions for DigitalColor Cameras? Proceedings of the 2013 IEEE Workshop on Applications ofComputer Vision (WACV); IEEE Computer Society, pp. 168-179, 2013.
[32] L.W. MacDonald and W. Ji. ColourCharacterisation of a High-Resolution Digital Camera. In Proc. of the FirstEuropean Conference on Color in Graphics, CGIV 2002, pp. 433-437, 2002.

【図１】

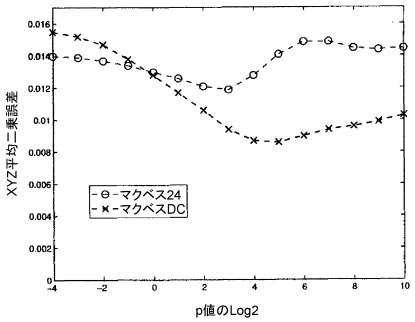


Fig. 1

【図２】

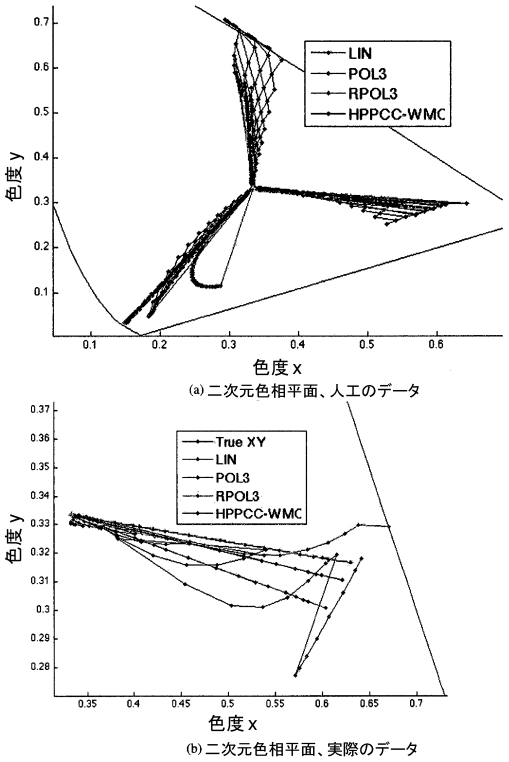


Fig. 2

【図３】

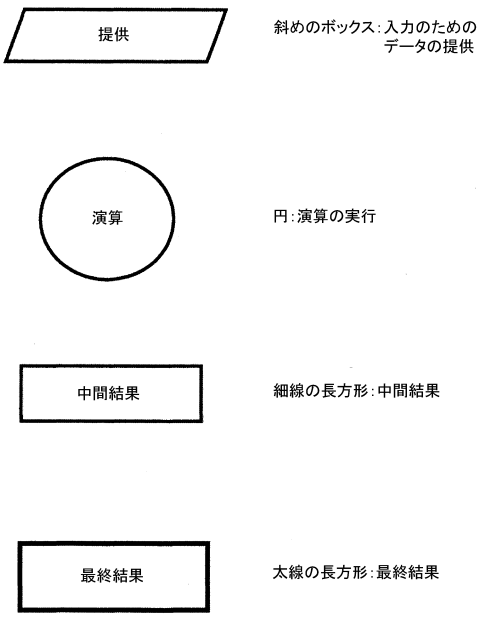


Fig. 3

【図４】

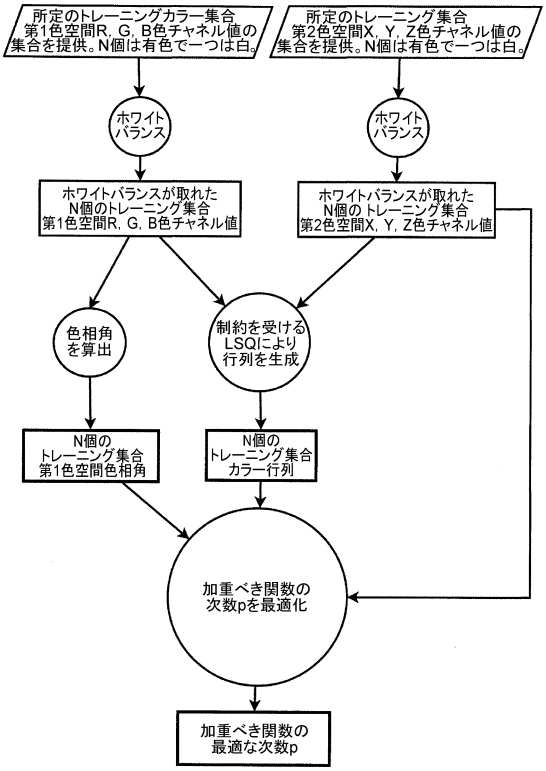


Fig. 4

【図５】

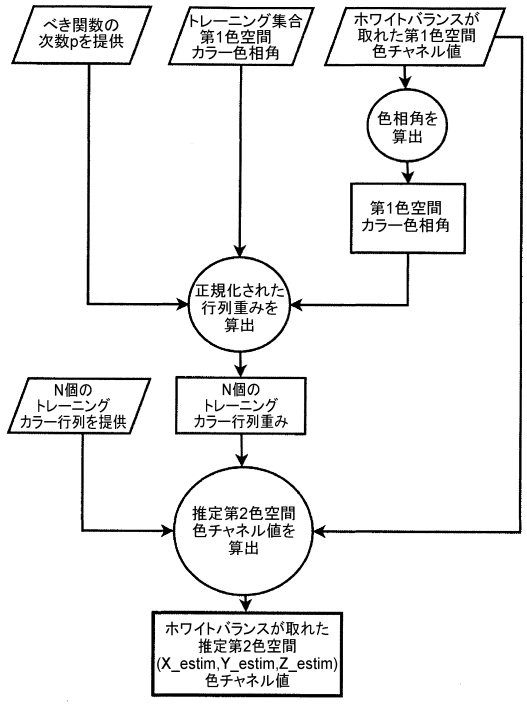


Fig. 5

【図６】

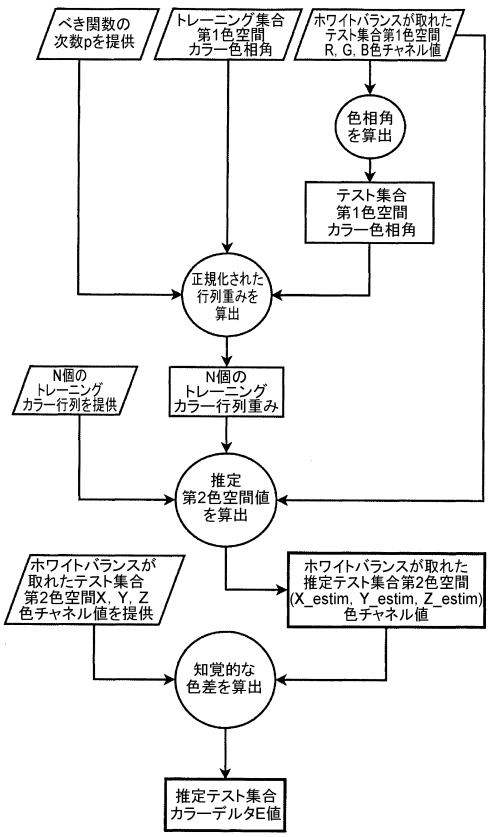


Fig. 6

フロントページの続き

審査官　大室　秀明

(56)参考文献　特開２００６－２１１３６９（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０４５４４６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００８／０６２８７４（WO，Ａ１）
特開２００９－２３９４１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０６０７７６（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０８１８９２４３（ＵＳ，Ｂ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０６Ｔ　１／００－１／４０
Ｇ０６Ｔ　３／００－５／５０
Ｇ０６Ｔ　９／００－９／４０
Ｈ０４Ｎ　１／４０－１／４０９
Ｈ０４Ｎ　１／４６－１／６２
Ｈ０４Ｎ　９／０４－９／１１
Ｈ０４Ｎ　９／４４－９／７８