

デジタルカメラと画像解析を用いた生ノリの簡便な色調評価法の開発

柘植朝太郎^{1,3†}, 大橋昭彦^{2,4}, 中嶋康生¹, 竹内喜夫^{1,4}, 山田 智¹, 岩田靖宏¹

Development of a method to evaluate the color tone of raw nori (*Pyropia yezoensis*) by using a digital camera and image analysis

Asataro TSUGE^{1,3}, Akihiko OHASHI^{2,4}, Yasuo NAKASHIMA¹, Yoshio TAKEUCHI^{1,4}, Satoshi YAMADA¹ and Yasuhiro IWATA¹

We developed a method for evaluating the color tone of raw nori (*Pyropia yezoensis*) by using a digital camera and image analysis. The RGB values of raw nori were derived from images taken using a digital camera, and then image analysis was performed using the freeware Lia32 (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>). As a result, the RGB values obtained using 2 different digital cameras were highly correlated. The G value derived using this method was highly correlated with the L* value, which is the measured colorimeter value, and nitrogen content of nori (L*: $r=-0.865$, nitrogen content: $r=0.528$). We converted the L* values into G values, and the G values into nitrogen contents using regression equations. As a result, G values below 20 and nitrogen contents below 47 $\mu\text{g}\cdot\text{mgDW}^{-1}$ were determined to indicate discoloration of nori.

Key words: nori, color tone, Mikawa Bay

はじめに

愛知県は全国有数のノリの生産地である。2010年の愛知県における生産枚数は、全国6位である(愛知県, 2012)。愛知県におけるノリ漁場は伊勢・三河湾沿岸域および三河湾湾口部の島嶼域にあり、沿岸域では支柱柵と浮き流しの両方、島嶼域では浮き流しによる養殖が行われている(宮脇・竹内, 2012)。しかし近年、ノリの色落ちに伴う価格および生産枚数の低下が頻発し、大きな被害が発生している。

ノリの色はクロロフィルやフィコエリトリン、フィコシアニンなどの光合成色素の量および相互の比率によって決定される(天野・野田, 1978)。ノリの色落ちは栄養塩類の不足によって葉体の色素量が減少し、引き起こされる(天野, 2001)。愛知県においてはノリ養殖シーズン後半の12月から2月にかけて発生するユーカンピア属等の大型珪藻の赤潮による栄養塩枯渇が主な原因となっている(宮脇・竹内, 2012)。海域ごとに制限となる栄養塩は異なり、東京湾ではリン(石井ほか, 2008)、有明海(渡辺ほか, 2004)や瀬戸内海(藤澤ほか, 2000)、伊勢湾(坂口, 2005)では窒素と報告されているが、三河湾においては未だ報告がない。

ノリの色落ちの判断は肉眼観察に依存する場合が多いが、この方法は客観性に乏しい。そのため、色彩色差計や葉緑素計(SPAD計)を用いた数値化が行われてきた(藤澤ほか, 1999, 2000; 小谷, 2000; 白石, 2010; 高木ほか, 2012)がいずれも10万円以上の高価な機械を必要とする。また、同じ色彩色差計を用いた色調判定でも有明海ではL*値を指標としている(小谷, 2000; 白石, 2010)のに対して、瀬戸内海ではa*値を指標としている(藤澤ほか, 2000; 高木ほか, 2012)。これらの指標の違いは、各海域においてノリ養殖上問題となる状況が異なる為であると考

2013年2月11日受付, 2013年9月9日受理

¹ 愛知県水産試験場

Aichi Fisheries Research Institute, 97 Wakamiya, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan

² 愛知県東三河農林水産事務所

Higashimikawa Agriculture, Forestry and Fisheries Office, Aichi Prefectural Government, 5-4 Hacho-dori, Toyohashi, Aichi 440-0806, Japan

³ 現所属: (公財) 愛知県水産振興基金栽培漁業部

Present: Aichi Fish Farming Institute, Aichi Fisheries Promotion Fund, 1-3 Ichizenmatsu, Konakayama, Tahara, Aichi 441-3618, Japan

⁴ 現所属: 愛知県水産課

Present: Fisheries, Administration Division Department of Agriculture, Forestry and Fisheries Aichi Prefectural Government, 3-1-2 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan

[†] E-mail: asatarou0301@hotmail.co.jp

えられる。また、色落ちノリは糖質が多く、粗タンパクやエキスアミノ酸が減少するとされている(天野, 2001)。そのため、ノリ葉体の窒素含量やCN比は直接の色調ではないものの、色素量や品質と大きく関係があり、高い客観性をもつ指標である。そのため、それらと色調との関係を明らかにすることも重要である。

そこで、色調を数値化する方法として、現在広く普及しているデジタルカメラによる写真撮影とフリーの画像解析ソフト Lia32 (Windows 版フリーウェア, 名古屋大学山本一清 准教授 開発 <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>) の色解析機能を使用した色調判別法(デジタルカメラ法)を開発し、現状用いられている色彩色差計法や窒素含量等の成分との相互比較を行った。

材料と方法

調査海域

調査海域の愛知県西尾市吉田地先は三河湾中央部北岸の、一色干潟東端に位置する漁場である(Fig. 1)。漁場の西端には矢作古川が、東端には矢崎川が流入している。西三河沿岸部では支柱柵と浮き流しの両方によるノリ養殖が行われているが、吉田地先では過去には浮き流し漁場があったものの、現在は支柱柵漁場のみとなっている。この漁場では愛知1号、2号、4号、8号、清田13、前芝スサビ、山形スサビ、あゆち黒吉(品種登録番号: 21776)の8品種を

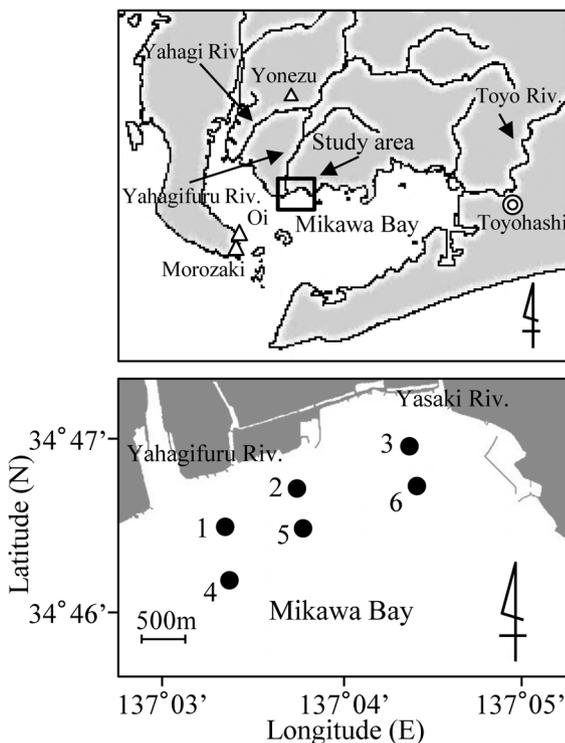


Figure 1. Map of study area in north of Mikawa Bay (upper). Solid circles denote the sampling stations.

混合した愛知混合種苗を用いて養殖が行われている。葉体の採取はこの支柱柵漁場内に6測点設定し、2011年および2012年の1月から2月にかけて週2回、午前10時から11時の間に実施した。

ノリ葉体の色調と窒素および炭素含量の測定

吉田地先の測点において、養殖されているノリ葉体を採取した。また適宜、知多半島先端部の大井および師崎においてノリ葉体を入手した。採取したノリ葉体はクーラーボックスに入れて持ち帰り、破損のない葉体を各点3枚選びスライドグラスに乗せた。そのスライドグラスをHAKUBA ライトビューアー5700 (ハクバ写真産業) に乗せ、周辺に覆いをかぶせて、覆いの上からデジタルカメラ Optio W90 (PENTAX) および IXY DIGITAL 820IS (Canon) で写真撮影した(Fig. 2)。デジタルカメラは発光禁止に設定して、透過光のみを使用した。撮影した写真はビットマップ形式に変換した後、フリーの画像解析ソフト Lia32 (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/index.html>) を用いて、必ずライトビューアーの表面がスライドグラス越しに見える領域を背景として含むようにボックスで選択し、色解析機能の葉・背景別色情報で、ノリ葉体および背景部の色調(RGB表色系)のデジタル値の平均を算出した。また、色彩色差計との相関を調べるために、同じスライドグラスをキャリブレーションプレートに乗せ、 $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 値、 a^* 値、 b^* 値を測定した。色彩色差計はCR-100 (ミノルタ) を用いた。葉体の色調はデジタルカメラ間での相関分析では異なる部位を3か所、色彩色差計との相関分析では色彩色差計で測定した部位になるべく近い部位を1か所測定した。色調測定に使用した葉体は60°Cで48時間乾燥して水分含量を測定後、元素分析装置SUMIGRAPH NC-900S (住化分析センター) を用いて窒素および炭素含量を測定した。

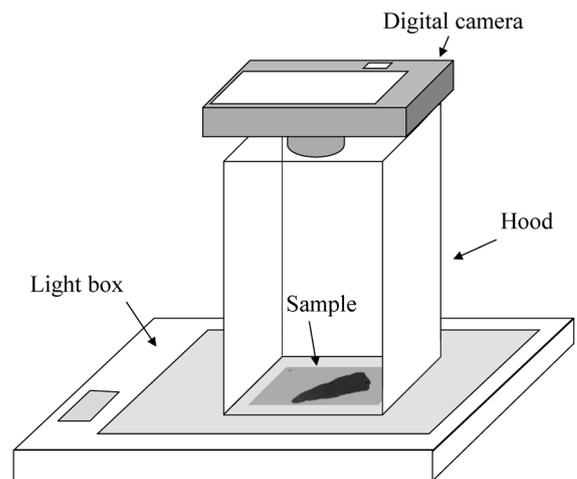


Figure 2. Illustration of photographing method of raw nori.

結果

デジタルカメラ法によるノリ葉体色調の数値化

Fig. 3にデジタルカメラOptio W90 (以下PENTAX) およびIXY DIGITAL 820IS (以下Canon) で撮影し, 数値化したノリ葉体および背景のR, G, B値の分布を示した. ノリ葉体は目視で色が十分にあるもの (No. 1-11), やや色が褪せたもの (No. 12-25), 色が薄いもの (No. 26-33) に区分した. Lia32の色解析機能に搭載されている葉・背景別色情報では背景部と葉体が自動認識され, それぞれのR値, G値, B値の平均と分散が算出される. PENTAXのノリ葉体のR値は118から166, G値は103から160, B値は77から154の間で変動し, 背景のR値は149から189, G値は149から189, B値は148から189の間で変動した. Canonのノリ葉体R値は113から141, G値は103から143, B値は78から130の間で変動し, 背景のR値は141から165, G値は148から171, B値は143から167の間で変動した. どちらのカメラも葉体の値は色が薄いもののほうが高い値になる傾向がみられたが, 背景の値においてはその傾向はみられなかった. また, 背景の値から葉体の値を減じて得られる補正值 (補正值 = 背景値 - ノリ葉体値) は, PENTAXのR値で10から44, G値で16から61, B値で24から84の間で変動し, CanonのR値で9から40, G値で16から54,

B値で25から86の間で変動した. 補正值の場合はR値, G値, B値すべてで, 色が薄いものほど値が低くなる傾向がみられた.

PENTAXおよびCanon製デジタルカメラで撮影したノリ葉体および背景のRGB値の相互関係と回帰分析

PENTAXおよびCanon製デジタルカメラで撮影したノリ葉体および背景のRGB値の相互関係と回帰式, 相関係数をFig. 4に示した. ノリ葉体のR値, G値, B値においてはPENTAXとCanon間でそれぞれ高い相関が認められた (いずれも $p < 0.01$). また, R値, G値, B値すべてにおいてPENTAXの方が高い値を示す傾向がみられた. 背景のR値, G値, B値はPENTAXとCanon間で相関がみられなかった.

補正值 (補正值 = 背景値 - ノリ葉体値) におけるPENTAXおよびCanon間の相互関係と回帰式, 相関係数をFig. 5に示した. 補正を行ったことでR値, G値, B値のいずれにおいても相関係数が大きく上昇し, 非常に高い相関を示した (いずれも $p < 0.01$). また, 回帰式 $y = -0.0035x^2 + 1.0006x + 1.6524$ (R値), $y = -0.0041x^2 + 1.1222x - 0.8161$ (G値), $y = 0.0005x^2 + 0.7667x - 4.5234$ (B値) が得られた. このことから, デジタルカメラ法の色調の数値は, 補正值をR値, G値, B値として用いることとした. また, 現行法

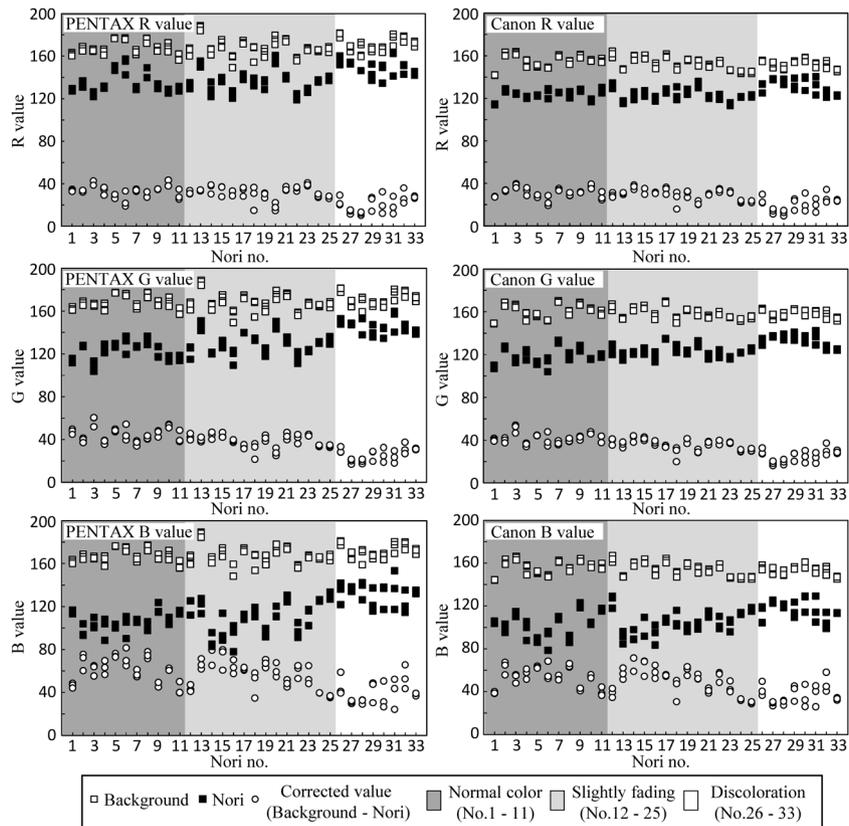


Figure 3. Distribution of the RGB values in images of nori taken using Pentax Optio W90 and Canon IXY DIGITAL 820IS.

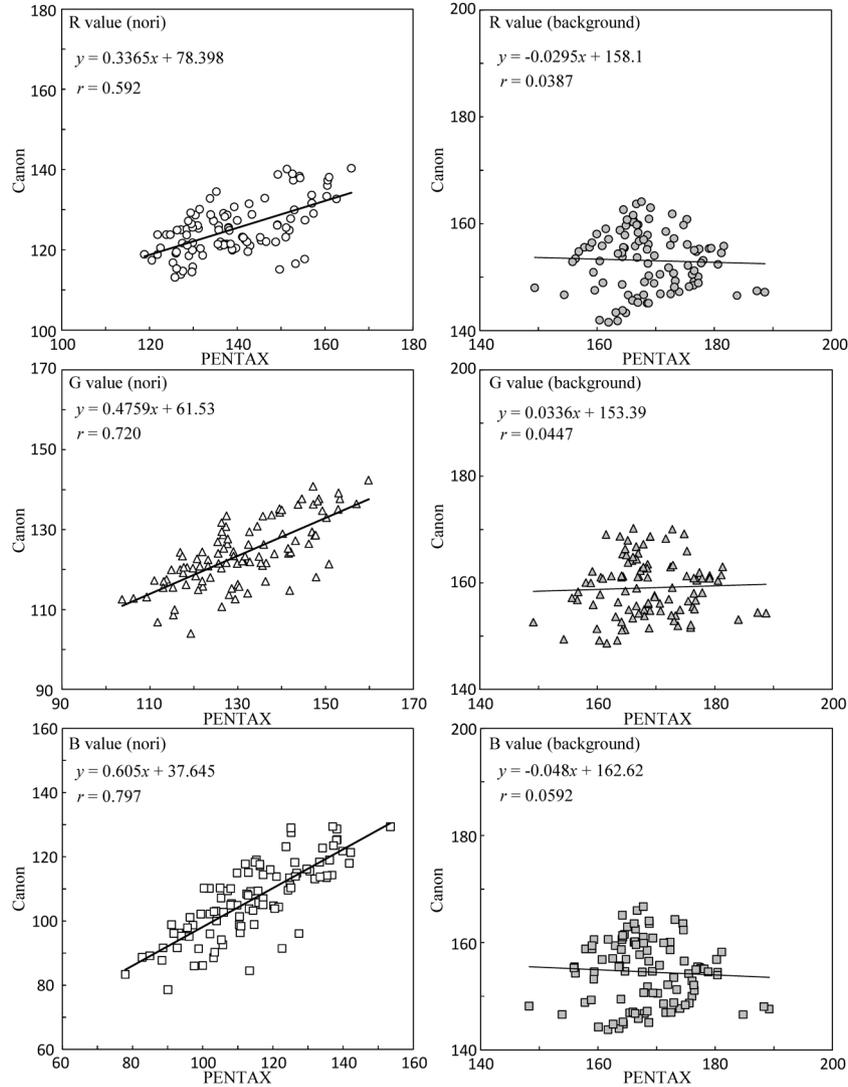


Figure 4. Color tone relationships between images of nori obtained using Pentax and Canon digital cameras.

との比較においてのデジタルカメラは、PENTAX製Optio W90を使用した。

デジタルカメラ法、色彩色差計法、ノリ葉体成分間の相関係数

Table 1にデジタルカメラ法、色彩色差計法、ノリ葉体成分間の相関係数を示した。デジタルカメラ法で得られたR値、G値、B値間にはそれぞれ高い相関が認められた（いずれも $p < 0.01$ ）。九州を中心として、ノリの色調判定に用いられる色彩色差計のL*値と、デジタルカメラ法のR値、G値、B値との間にはいずれも高い相関が認められたが、特にG値が高かった（いずれも $p < 0.01$ ）。また、瀬戸内海を中心としてノリの色調判定に用いられる色彩色差計のa*値とはデジタルカメラ法のB値が最も相関が高く、G値がそれに続いた（いずれも $p < 0.01$ ）。ノリ葉体の窒素含量との相関はa*値が最も高く、G値がそれに次いで高かった

（いずれも $p < 0.01$ ）。ノリ葉体の炭素含量との相関は、窒素含量に比べどの色調の数値とも低く、R値、L*値、b*値に対しては有意な相関がみられなかった。ノリ葉体CN比は葉体窒素含量との相関が非常に高く（ $p < 0.01$ ）、それに伴って高い相関を示す項目は窒素含量と類似していた。ノリ葉体の水分含量との相関は、b*値、B値、G値、R値、L*値の順に高く（ $p < 0.01$ ）、G値、B値に関してはa*値とほぼ同程度の相関を示した。

L*値とG値、およびa*とG値、ノリ葉体窒素含量とG値の相互関係と回帰分析

L*値とG値およびa*とG値、ノリ葉体窒素含量とG値の関係をFig. 6に示した。Table 1で示した通り、L*値とG値の間には高い相関が認められる（ $r = -0.865, p < 0.01$ ）。この二者間からは回帰式 $y = -0.617x + 85.357$ が得られた。さらに、L*値ほど相関は高くないもののa*値とG値では回帰

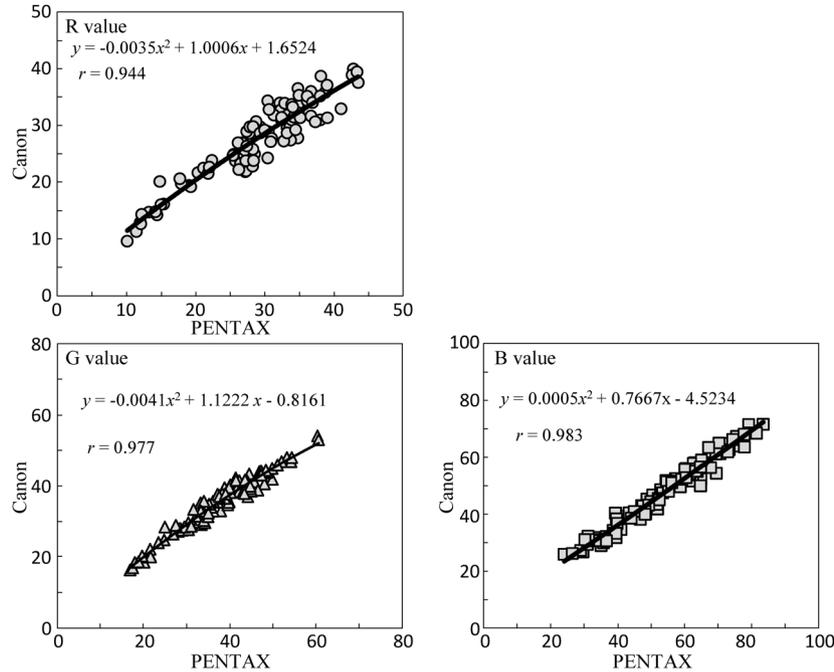


Figure 5. Color tone relationships between images of nori after correction by using Pentax and Canon digital cameras.

Table 1. Correlation coefficients between digital camera method and colorimeter method and element assay.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
R value	(1) 1.000									
G value	(2) 0.931**	1.000								
B value	(3) 0.794**	0.919**	1.000							
L* value	(4) -0.809**	-0.865**	-0.822**	1.000						
a* value	(5) 0.223**	0.428**	0.470**	-0.391**	1.000					
b* value	(6) 0.473**	0.615**	0.713**	-0.702**	0.135*	1.000				
Nitrogen content (mgDW ⁻¹)	(7) 0.391**	0.528**	0.526**	-0.488**	0.632**	0.160**	1.000			
Carbon content (mgDW ⁻¹)	(8) 0.085	0.235**	0.324**	-0.109	0.462**	0.059	0.545**	1.000		
Ratio of carbon to nitrogen	(9) -0.408**	-0.511**	-0.518**	0.553**	-0.502**	-0.291**	-0.840**	-0.233**	1.000	
Water content (%)	(10) -0.402**	-0.457**	-0.483**	0.340**	-0.023	-0.508**	0.121*	0.133**	-0.080	1.000

*Significant at 5% level, **significant at 1% level.

式 $y=0.128x-4.137$ ($r=0.428, p<0.01$) が, ノリ葉体窒素含量とG値では回帰式 $y=0.608x+35.212$ ($r=0.528, p<0.01$) が得られた.

考 察

本研究においてノリ葉体の写真撮影とLia32による画像解析によって, ノリ葉体の色調を数値化することができた. ノリ葉体の色調のR値, G値, B値はノリの色が薄くなると上昇した. また, 背景のR値, G値, B値はノリ葉体のR値, G値, B値よりも高い数値を示した (Fig. 3). 一般に, コンピュータにおける色の表示にはR値, G値, B値を0から255の数値で表現する方法が採用されている. その場

合, 原色の赤 (700nm) のR値, G値, B値は255, 0, 0となり, 原色の緑 (546.1nm) は0, 255, 0, 原色の青 (435.8nm) は0, 0, 255となる. また, すべての値が0の場合 (0, 0, 0) は黒となり, すべての値が255の場合 (255, 255, 255) は白となる. そのため, ノリ葉体の色が濃くなるにつれて黒に近づくことでR値, G値, B値すべてが低くなっていくのではないかと考えられた. また, 補正值においては背景値との差となるので, ノリ葉体の色が濃くなるにつれて黒に近づくことで背景との差が広がり, 目視と同様に色が濃いほど数値が高い形に変換されると考えられた.

背景のRGB値はスライドガラス, ライトビューアの表面および照明の色を反映していると考えられるが, 同一の

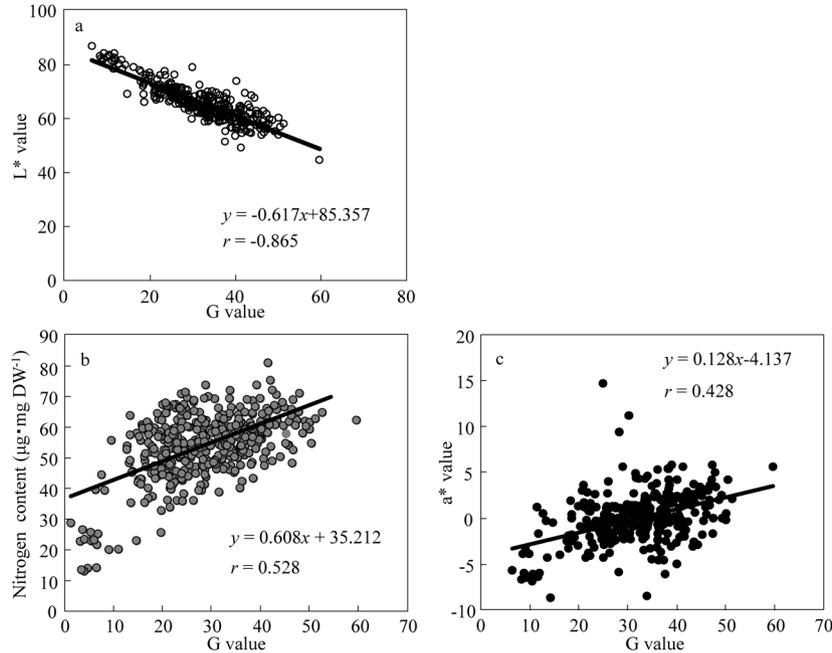


Figure 6. Relationships among G value and L* value (a), Nitrogen content (b), a* value (c).

スライドグラス、ライトビューアーを使用し、同じ条件で撮影しているにもかかわらず、数値にばらつきがみられた (Fig. 3)。また、同一葉体サンプル中でも若干の差がみられた。この要因にはバッテリーの減少によるビューアーの照度の低下や、スライドグラス、ライトビューアーの表面の色ムラ、カメラ内の画像処理段階での変化（コントラストの向上など）、カメラの画像特性（周辺減光など）などが考えられる。背景のRGB値はノリ葉体の色調の濃淡によって変動していないため、コントラストを高めるための自動処理が行われているとは考えにくく、画像処理段階での変化ではないと推測された。よってサンプル間でのばらつきはビューアーの照度の低下の影響が大きく、同一葉体サンプル中では周辺減光やスライドグラス、ライトビューアーの表面の色ムラの影響が大きいと考えられた。但し、同一葉体サンプル中の差はサンプル間の差と比較すると小さいため、測定全体としてはビューアーの照度の低下の方が与える影響が大きいことが示唆された。

一般に、デジタルカメラの発色傾向は機種およびメーカーにより異なるとされている。ノリ葉体のRGB値および背景のRGB値ともにPENTAX製Optio W90の方が高い値を示す傾向がみられた (Fig. 4)。また、葉体のR値、G値、B値においてはPENTAXとCanon間でそれぞれ高い相関が認められたが、背景のR値、G値、B値はPENTAXとCanon間で相関はみられなかった。これは機種およびメーカーごとの発色の違いによるものと推測された。また、ノリ葉体の色よりも背景すなわち白色の表現において大きな差がある可能性が考えられた。しかし、各カメラの背景の

値間で相関がみられないにもかかわらず、背景の値から葉体の値を減じ算出した補正值ではR値、G値、B値すべてにおいて非常に高い相関が得られた (Fig. 5)。このことから、デジタルカメラは機種およびメーカーごとの発色の違いはあっても、バックグラウンドの白色の数値に対してのノリ葉体の数値の差はほぼ一定となることが示唆された。また、補正值においてはサンプル内での数値のばらつきが小さくなっており、葉体の色調の値をそのまま使用するよりも、目視での分類と近づく傾向がみられた (Fig. 3)。加えて、ライトビューアーの照度に依存しない色彩色差計のL*値との相関も高かった。このことからビューアーの照度の低下や表面の色ムラといった要素を、補正によってある程度軽減できていると考えられた。

デジタルカメラ法と色彩色差計法を比較するとL*とはG値、a*とはB値が最も高い相関を示した。G値、B値、a*値は葉体窒素含量と相関が高かった (Table 1)。また、陸上緑色植物での知見ではあるが、G値は葉緑素計 (SPAD計) と相関が高いとされている (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/AppDoc1.html>)。つまりデジタルカメラ法のG値は、従来用いられてきた色彩色差計法L*値と相関が高いうに、葉体の窒素含量からも色調を推定できることが示唆された。これらのことからデジタルカメラ法でのノリ色調判定にはG値を使用することが適していると考えられた。

Fig. 5において、PENTAXおよびCanon間のG値には回帰式、 $y = -0.0041x^2 + 1.1222x - 0.8161$ が得られた。ここに数値を代入し、検討を行った。PENTAXで10の場合はCanon

Table 2. Worked-out G value and nitrogen content from published data.

	Signs of discoloration (Kotani, 2000)	Discoloration (Kotani, 2000)	Discoloration (Kuno and Kawamura, 2007)	Discoloration (Fujisawa et al., 2000)
L* value	≥ 60	≥ 73	≥ 76	—
a* value	—	-0.9 ≥	-1.2 ≥	-1 to 3
G value (worked-out from L* value)	41 ≥	20 ≥	15 ≥	—
Nitrogen content (worked-out from G value)	60 ≥	47 ≥	44 ≥	—

では10, 同様に20の場合は20, 25の場合は24.7, 30の場合は29.2, 40の場合は37.5となった. 値が高くなるほど数値に差が出てくるものの低い場合, つまり色が薄い場合はほぼ同値であった. ノリの色調判定では色落ち, すなわち色が薄いことを判定することが重要であるため, 今回使用したデジタルカメラにおいては同様の色落ち基準値を設定できると考えられた.

小谷 (2000) は, 有明海の漁場において生ノリの現場での目視と色彩色差計による測定結果からノリの色落ち判断基準を検討し, L* 値においては73以上, a* 値においては-0.9以下を色落ちの判断基準, L* 値において60以上で色落ちの初期兆候とみてよいと報告している. また, 同じく有明海で調査を行い, クラスタ解析によって, L* 値においては76以上, a* 値では-1.2以下が色落ちの判断基準であるという報告もある (久野・川村, 2007). 瀬戸内海においては, 色落ちを引き起こすDIN濃度は3 μ M (約42 μ g \cdot L⁻¹) 付近にあり, その際のa* 値は-1から3であったと報告されている (藤澤ほか, 2000). このようならばつきは海域, 検体の採取年度, 分析方法, 分析機器によってある程度差が生じるものであると考えられる. 調査海域は支柱柵漁場であるため, 同様の漁場である有明海の基準を採用したほうがより実態に近いのではないかと考えられた. そのため, 有明海での既報の判断基準をもとに, 相関の高いL* 値とG値の回帰分析によって得られた回帰式 ($y = -0.617x + 85.357$) および直接の色調ではないものの, 色素量や品質に大きく関係があり, 高い客観性をもつ指標である, ノリ葉体の窒素含量とG値の回帰式 ($y = 0.608x + 35.212$) を用いてG値および窒素含量における色落ち基準値を算出した. その結果をTable 2に示した. デジタルカメラ法における色落ちの兆候値は小谷 (2000) の報告値L* 値60以上をもとに算出したG値41以下と算出された. また, G値の色落ち判断基準は, 久野・川村 (2007) と小谷 (2000) のデータから, それぞれ15および20と算出された. 同様に窒素含量における色落ちの兆候値は60 μ g \cdot mgDW⁻¹以下, 色落ち判断基準は44 μ g \cdot mgDW⁻¹および47 μ g \cdot mgDW⁻¹と算出された. 著者による肉眼観察では, おおむねG値で20前後の葉体から色落ちであるとはつき

り認識できており, 同様に目視から判断した小谷 (2000) のデータからの推定値に近かった. そのため, 本研究における色落ち判断基準は色落ち判断基準はG値で20以下, 窒素含量で47 μ g \cdot mgDW⁻¹以下とすることが適当であると考えられた. さらに, 回帰式を算出できたことによって, デジタルカメラ法G値と色彩色差計法, ノリ葉体窒素含量のそれぞれを相互変換し比較することが可能となった.

色落ちノリは糖質が多く, 粗タンパクやエキシアミノ酸が減少するとされている (天野, 2001). また, 色落ちノリは光合成色素が減少することに伴う葉緑体の縮小や核小体の縮小, 細胞質でのデンプン粒の増加が報告されている (植木ほか, 2010). これらのことは, ノリの色落ちに伴って窒素分が減少し, 炭素分が上昇する, すなわちCN比が上昇することを意味しており, CN比は色のみならず味や質感といった品質を示す指標となると考えられた. このことから, 本研究においてもCN比を算出した. その結果, 色調とCN比は高い相関を示した (Table 1). また, 久野・川村 (2007) は有明海の生ノリの色調と製品化された乾ノリのCN比の関係を解析し, 乾ノリのCN比と色調パラメーターとの間に高い相関があることを示した (生ノリのL* 値と乾ノリのCN比で $r = 0.770$, a* 値とCN比で $r = -0.729$, b* 値とCN比で $r = -0.529$). ノリの価格においては色の黒さが重要な要素であるが, これらの結果は, 色が黒い (濃い) ものは見た目のみならず味や質感といった品質においても優れていることを示唆している.

デジタルカメラ法のG値とノリ葉体の水分含量には, G値とa* 値のものとはほぼ同程度の相関が認められた (Table 1). 坂口 (2005) は色調と光合成色素量の測定および葉体の顕微鏡観察によって, 色調および光合成色素量の低下に伴って液胞の膨潤および細胞間隙の拡大が起こり, 色落ちが重度に至ると細胞が委縮し, 内部は顆粒状となることを報告している. また, 植木ほか (2010) は, 人為的に窒素やリン, 鉄などを欠乏させて培養したスサビノリの光合成色素量や微細構造を観察し, 栄養欠乏時には葉緑体の色調変化と縮小や構造の不明瞭化, 核小体の縮小, 細胞膜の細胞質側への深い陥入, 液胞の膨潤, 細胞質内でのデンプン粒の増加, 細胞間隙の拡大が発生することを報告してい

る。一方、魚類では脂質が減少する時期には水分が増加することが知られている（山口，1991）。これらのことから、ノリの色調が低下するのに伴って葉緑体や核小体の縮小が発生し、その隙間を埋める形で液胞の膨潤が起り、細胞膜の陥入に伴って細胞が縮小化し、細胞間隙の拡大が発生したと推定された。そしてこれらの細胞の構成要素を置き換える形で水分が増加している可能性が考えられた。

従来用いられている色彩色差計や葉緑素計はおおむね10万円以上の高価な機械である。今回開発したデジタルカメラ法は、広く普及しているデジタルカメラとパーソナルコンピュータによってノリの色調を数値化でき、特別な装置として必要であるのはライトビューアー（別名：ライトボックス、トレスボックス）のみであると考えられる。ライトビューアーは1万円未満のものも入手可能であり、色彩色差計や葉緑素計よりも大幅に低コストでノリ葉体の色調を数値化できる。さらに、ノリの色調判定に幅広く用いられている色彩色差計のL*値とデジタルカメラ法のG値の相関は高く、代替可能であると考えられる。また、色彩色差計や葉緑素計の使用には専門的な知識が必要であるが、デジタルカメラ法では専門的な知識がなくとも測定できるという利点が考えられた。しかし、今回使用したデジタルカメラにおいては同様の色落ち基準値を設定できると考えられたが、他の機種およびメーカーにおいても同様の基準が採用できるか否かを検討することは今後の課題であると考えられた。また、ノリに関しても品種ごとに色調が異なるので、より精度の高い色落ちの基準を設定するために、各品種の色調特性を室内実験等で明らかにしていく必要があると考えられた。これらの課題をクリアしつつ、さらに栄養塩類およびノリ葉体の色調の連続モニタリングを実施し、当該海域におけるこれらの関係を明らかにしていく必要がある。

謝 辞

本研究は平成19-23年度水産庁委託事業「新たなノリ色落ち対策事業のうち二枚貝類増養殖技術の開発」の成果の一部を示した。また、本研究の観測を行うにあたり、吉田漁業協同組合前代表理事組合長中島萬市氏には様々な便宜を図っていただいた。ここに記して、謝意を表する。

引用文献

- 愛知県（2012）愛知の水産業。動向調査資料No.153水産業の動き、愛知県農林水産部水産課，1-3。
- 天野秀臣（2001）有明海のノリに起きたこと。化学と生物，**39**，784-785。
- 天野秀臣・野田宏行（1978）のりの品種と光合成色素。日水誌，**44**，911-916。
- 藤澤邦康・小橋啓介・林 浩志（2000）ノリ養殖場における溶存態無機窒素とノリの色素量の関係について。岡山水試報，**15**，1-3。
- 藤澤邦康・小橋啓介・野坂元道（1999）牛窓ノリ養殖場におけるノリの色素量変化と水質環境について。岡山水試報，**14**，4-7。
- 石井光廣・長谷川健一・松山幸彦（2008）東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因：栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生。水産海洋研究，**72**，22-29。
- 小谷正幸（2000）ノリ葉体の色落ちの数値化。福岡水海技セ研報，**10**，49-50。
- 久野勝利・川村嘉応（2007）養殖ノリにおける生ノリと乾ノリの色調評価およびその相互関係。佐賀水研報，**23**，5-10。
- 宮脇 大・竹内喜夫（2012）愛知県における二枚貝生産の現状とノリ生産及び色落ちに関する現状。ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増殖技術ガイドライン，水産総合研究センター増養殖研究所，5-6。
- 坂口研一（2005）伊勢湾の養殖ノリにおける病障害発生の原因究明と軽減法に関する研究。三重科技セ水研報，**13**，1-55。
- 白石日出人（2010）ノリ葉体の色調変化に関する研究。福岡水海技セ研報，**20**，131-134。
- 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・藤沢節茂・藤原宗弘・渡邊康憲・藤原建紀（2012）河川から間欠的に供給される栄養塩によるノリ色調の回復。日水誌，**78**，246-255。
- 植木知佳・村上明男・加藤敏朗・嵯峨直恒・本村泰三（2010）紅藻スサビノリの光合成色素と葉緑体微細構造における栄養欠乏応答。日水誌，**76**，375-382。
- 渡辺康憲・川村嘉応・半田亮司（2004）ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス。沿岸海洋研究，**42**，47-54。
- 山口勝己（1991）一般組成の変動に及ぼす諸要因。「水産生物化学」山口勝己編，東京大学出版会，東京，6-7。