

岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調 および乾海苔単価との関係

村山 史康,^{1*} 清水 泰子,² 高木 秀蔵¹

(2014 年 6 月 30 日受付, 2014 年 9 月 28 日受理)

¹岡山県農林水産総合センター水産研究所, ²岡山県農林水産部水産課

The relationships between nutrient concentration in the coastal area of Okayama prefecture,
the color tone of fresh thalli (*Pyropia*) and the unit price of dried nori

FUMIYASU MURAYAMA,^{1*} YASUKO SHIMIZU² AND SHUZO TAKAGI¹

¹Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Research Institute for Fisheries Science, Setouchi, Okayama 701-4303, ²Fisheries promotion division, Okayama Prefectural Government, Uchisange, Okayama 700-8570, Japan

The relationships between the nutrient concentration in the seawater, the color tones (L^* and a^* values) of fresh thalli and dried nori using a color difference meter, and the unit prices of dried nori were investigated in the coastal area of Okayama prefecture. The limiting factor for discoloration of nori in this ocean area was dissolved inorganic nitrogen (DIN). If its concentration fell to $3\ \mu\text{M}$ or below, the color tone of fresh thalli was found to deteriorate sharply. Close correlations were observed between the DIN concentration (a) and fresh thalli L^* (b) and a^* values (b') ($b = -7.7 \log(a) + 64.1$ and $b' = 3.0 \log(a) + 2.2$); between fresh thalli L^* and a^* values and dried nori L^* values (c) ($c = 11.5e^{0.01b}$ and $c = 34.4e^{-0.04b}$); and between dried nori L^* values and unit prices of dried nori in 2011 (z_1), in 2012 (z_2) ($z_1 = 4.2 \times 10^3 \times c^{-1.8}$ and $z_2 = 9.6 \times 10^2 \times c^{-1.7}$).

キーワード: *Pyropia*, DIN, 色落ち, 栄養塩濃度, 岡山県海域, 色調, 乾海苔単価, 溶存態無機窒素

瀬戸内海の沿岸域では、浮流し方式のノリ (*Pyropia*) 養殖が行われているが、近年、海域の栄養塩濃度の低下に伴うノリの色落ちが頻発し、^{1,2)} 大きな被害が発生している。^{3,4)} ノリの色落ちとは、ノリ葉体に含まれるクロロフィル a 、フィコシアニン、フィコエリスリン、カロテノイドといった光合成色素が減少し、本来黒褐色であるノリの色が薄くなる現象で、色落ちしたノリから作られた乾海苔単価は著しく低い。^{5,6)} 東京湾では溶存無機態リン (DIP), ⁷⁾ 有明海では溶存無機態窒素 (DIN) の減少が色落ちの原因とされ、⁸⁾ 瀬戸内海でも DIN の減少に伴って色落ちが発生するとされている。⁹⁾ さらに、色落ちが発生する DIN 濃度は、産地および海域で異なり、有明海では $7\ \mu\text{M}$, ¹⁰⁾ 瀬戸内海東部では経験的に $3\ \mu\text{M}$ とされている。¹¹⁾

しかし、色落ちが発生する DIN 濃度の根拠は明確でない。ノリの色調および乾海苔単価との関係も明らかになっていない。この関係を評価するためには、まず

色落ちの原因が現場海域の DIN 濃度の減少であることを確認したうえで、DIN 濃度と生ノリの色調、生ノリと乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価の関係をそれぞれ調べる必要がある。

これまでの研究では、栄養塩濃度と生ノリの色調関係、^{12,13)} 生ノリと乾海苔の色調関係、¹⁴⁾ 生ノリの色調と乾海苔単価の関係を限定的に示した例はあるものの、¹¹⁾ これら 3 つの関係を一貫して調べた例は少ない。

そこで、本研究では、養殖漁場における栄養塩濃度と生ノリの色調、生ノリと乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価の関係をそれぞれ明らかにし、栄養塩濃度と製品価格との関係について検討したので報告する。

材料と方法

調査海域と DIN および DIP 濃度の測定 調査は備讃瀬戸と播磨灘北西部のノリ漁場 (Fig. 1a) で行った。DIN 濃度、DIP 濃度および生ノリの色調調査を行った

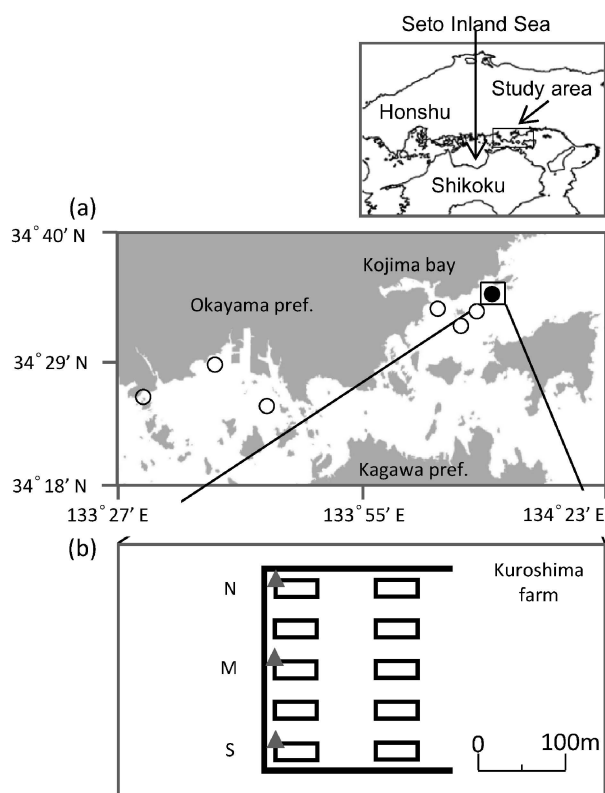


Fig. 1 Location of the observation area. Open circles in the sub-panel (a) indicate the research stations for the relationship between dried and fresh thalli colors. Open rectangles in the sub-panel (b) indicate the aquaculture facilities of nori in Kuroshima farm. Solid triangles indicate sampling stations of fresh thalli and sea water.

黒島漁場 (Fig. 1b) は河川の影響を直接受けにくい漁場である。¹⁵⁾ DIN および DIP 濃度の測定は、2010 年 12 月 6 日～2011 年 1 月 27 日 (2010 年度) に 16 回、2011 年 12 月 12 日～2012 年 2 月 13 日 (2011 年度) に 10 回、2012 年 12 月 3 日～2013 年 2 月 4 日 (2012 年度) に 12 回、Fig. 1b に示した黒島漁場西端のノリセット内の 3 定点において表層水を採水し栄養塩分析に供した。採取した海水は、実験室に持ち帰った後に Whatman GF/C フィルターで濾過し、濾液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ をオートアナライザー *QuAAtro* 2HR (BL-Tech 社製) で分析した。また、同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ も分析した。なお、本研究では $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計を DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を DIP とした。

生ノリの色調調査 採水調査とあわせて黒島漁場の 3 定点で生ノリを採取し、色調調査に供した。採取した生ノリは直ちに実験室に持ち帰り、定点ごとに損傷のないものを 20 枚選び、水分を含んだ状態で先端部をスライドガラスに乗せ、白色校正板の上で色彩色差計 CR-200 (コニカミノルタ社製) を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 値

および a^* 値 (以下、 L^*a^* 値と記す) を測定した。 $L^*a^*b^*$ 表色系は JIS Z 8279 に規定されており、 L^* 値は明るさ、 a^* 値は赤みを示す。

生ノリと乾海苔の色調調査 2011 年 12 月 12 日～2012 年 1 月 21 日 (2011 年度) に 12 回、岡山県のノリ養殖漁家 10 経営体から生ノリおよび乾海苔を採取した。生ノリは Fig. 1a に示した 7 ヶ所のノリ養殖漁場から採取したもので、乾海苔は同漁場で獲れた同ロットの生ノリから製造されたものを用いた。生ノリおよび乾海苔は採取後直ちに実験室に持ち帰り、生ノリについては先に示した方法で、乾海苔は 1 枚あたり 30 ヶ所で L^*a^* 値を測定した。

乾海苔の色調と乾海苔単価の調査 2011 年 12 月 15 日～2012 年 3 月 29 日 (2011 年度) に 8 回、2012 年 12 月 14 日～2013 年 3 月 31 日 (2012 年度) に 8 回、岡山県漁業協同組合連合会 (以下、漁連) で行われたノリ共同販売 (以下、入札) に出品された乾海苔を 1 回につき、20–60 枚採取した。なお、採取した乾海苔は前述の 7 ヶ所の漁場を含む岡山県内全ての漁場で製造されたものであり、前述の方法で L^*a^* 値を測定した。

結 果

黒島漁場における DIN および DIP 濃度、生ノリの色調の推移 黒島漁場の 3 定点で採取した海水中の DIN および DIP 濃度の平均値の推移を年度ごとに Fig. 2 に示した。2010 年度の DIN 濃度は 12 月 6 日には調査期間中の最高値となる $9.2 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1 月 24 日には最低値となる $0.2 \mu\text{M}$ となった。DIP 濃度は 12 月 6 日に最高値となる $0.79 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1 月 27 日には最低値となる $0.12 \mu\text{M}$ となった。2011 年の DIN 濃度は 12 月 19 日に最高値となる $12.5 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、2 月 1 日には最低値となる $1.2 \mu\text{M}$ となった。DIP 濃度は 12 月 12 日に最高値となる $0.69 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、2 月 1 日には最低値となる $0.11 \mu\text{M}$ となった。2012 年度の DIN 濃度は 12 月 3 日に最高値となる $8.4 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、2 月 4 日には最低値となる $1.1 \mu\text{M}$ となった。DIP 濃度は 12 月 3 日に最高値となる $0.59 \mu\text{M}$ を示したが、その後は減少し、1 月 21 日には最低値となる $0.12 \mu\text{M}$ となった。

黒島漁場の 3 定点で採取した生ノリの L^*a^* 値の平均値の推移を年度ごとに Fig. 3 に示した。2010 年度の L^* 値は 12 月 6 日に最低値となる 46.0 を示し、1 月 27 日には最高値となる 75.6 を示した。また、 a^* 値は 12 月 6 日には最高値となる 10.5 を示し、1 月 27 日には最低値となる -1.5 を示した。2011 年度の L^* 値は 12 月 12 日に最低値である 48.2 を示し、2 月 13 日には最高値となる 76.4 を示した。また、 a^* 値は 12 月 19 日に最高値

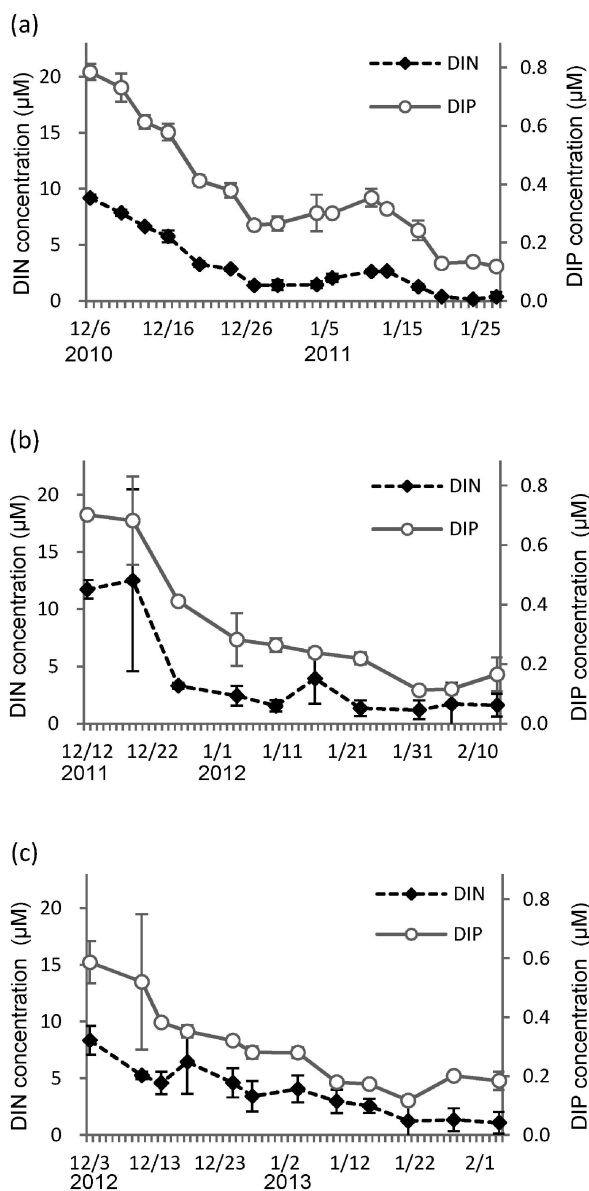


Fig. 2 Temporal changes of mean DIN and DIP concentrations in (a) 2010, (b) 2011, and (c) 2012. Bars indicate standard deviations.

となる 9.1 を示したが、その後は減少し、2 月 13 日には最低値となる -1.7 を示した。2012 年度の L^* 値は、12 月 3 日に最低値となる 49.9 を示した後は増加し、2 月 4 日には最高値となる 75.5 を示した。また、 a^* 値は 12 月 3 日に最高値となる 9.1 を示した後は減少し、2 月 4 日には最低値となる -1.9 を示した。

DIN 濃度と生ノリの色調との関係 年度ごとの DIN 濃度と生ノリ L^* 、 a^* 値の関係を Fig. 4a-c に、その相関行列を Table 1 に示した。

2010 年度の DIN 濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -7.2 \log(x) + 60.5$ ($r = -0.95$), $y' = 2.8 \log(x) + 4.0$ ($r = 0.94$) となり、DIN 濃

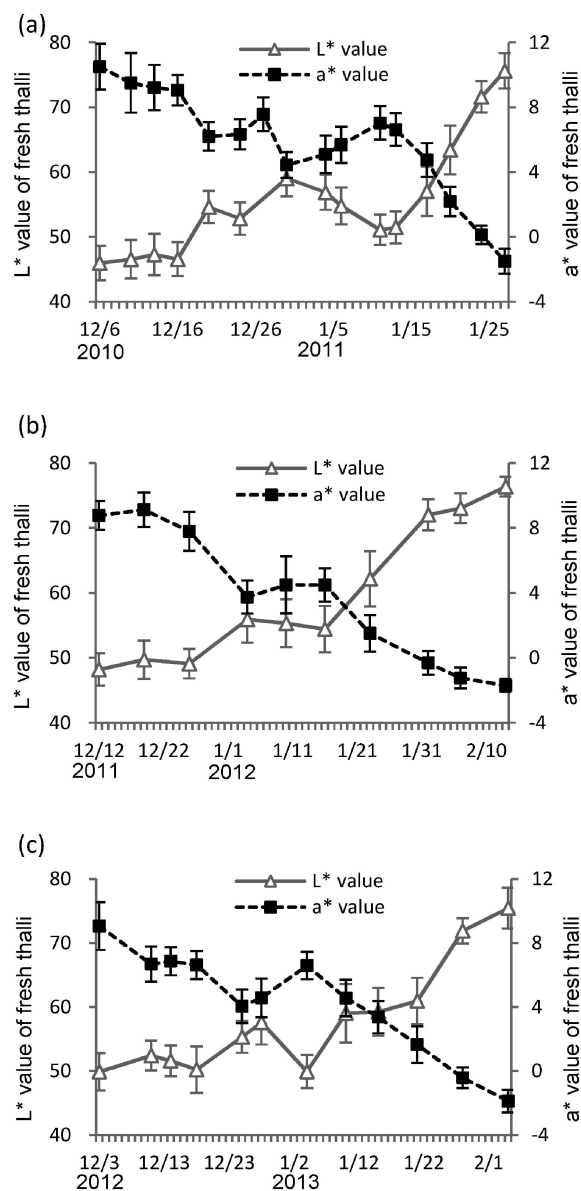


Fig. 3 Temporal changes of the fresh thalli color in (a) 2010, (b) 2011, and (c) 2012. Bars indicate standard deviations.

度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。

2011 年度の DIN 濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -8.8 \log(x) + 66.9$ ($r = -0.78$), $y' = 3.8 \log(x) + 0.7$ ($r = 0.88$) となり、DIN 濃度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な ($p < 0.05$ および $p < 0.01$) 相関が見られた。

2012 年度の DIN 濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ $y = -11.3 \log(x) + 70.9$ ($r = -0.90$), $y' = 4.6 \log(x) - 1.0$ ($r = 0.95$) となり、DIN 濃度と L^* 値、 a^* 値の間にはいずれも有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。

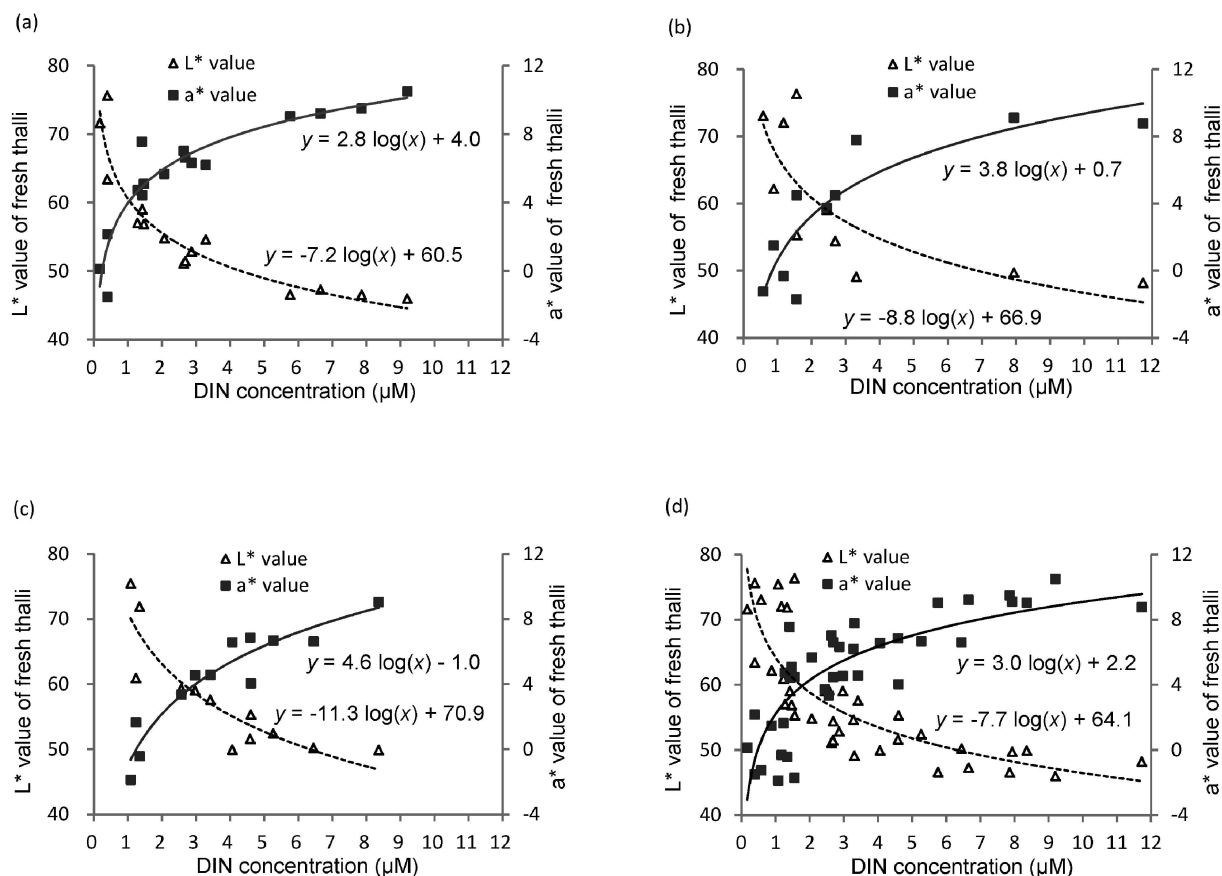


Fig. 4 Relationship between the fresh thalli color and DIN concentration in (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012 and (d) 2010–2012. Open triangles and solid squares indicate the L^* and a^* values of fresh thalli, respectively. Broken and solid lines indicate fitted curves of L^* and a^* values of fresh thalli with respect to DIN concentration, respectively.

3年間の結果をすべてプロットした結果を Fig. 4d に示した。DIN 濃度 (x) と L^* 値 (y) および a^* 値 (y') との関係式はそれぞれ、 $y = -7.7 \log(x) + 64.1$ ($r = -0.81$), $y' = 3.0 \log(x) + 2.2$ ($r = 0.81$) となり、いずれも有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。

生ノリおよび乾海苔の色調の相互関係 2011 年度に採取した生ノリと乾海苔の L^*a^* 値の関係を Fig. 5 に、その相関行列を Table 2 に示した。生ノリ L^* 値 (x) と乾海苔 L^* 値 (y) との関係式は $y = 11.5e^{0.01x}$ ($r = 0.85$) となり、有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。また、生ノリ a^* 値 (x') と乾海苔 L^* 値 (y) との関係式は $y = 34.4e^{-0.04x'}$ ($r = -0.82$) となり、有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。一方、生ノリ a^* 値と乾海苔 a^* 値、生ノリ L^* 値と乾海苔 a^* 値との間には相関が見られなかった。

乾海苔の色調と乾海苔単価との相互関係 2011 年度、2012 年度に採取した乾海苔の L^* 値と乾海苔単価との関係式を Fig. 6 に示した。

2011 年度における L^* 値 (x) と乾海苔単価 (y) の近似曲線は $y = 4.2 \times 10^3 x^{-1.8}$ ($r = -0.91$) となり、有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。

2012 年度における L^* 値 (x) と乾海苔単価 (y) の近似曲線は $y = 9.6 \times 10^2 x^{-1.7}$ ($r = -0.80$) となり、有意な ($p < 0.01$) 相関が見られた。なお、乾海苔単価の最高値が 18 円、最低値が 3 円であったため、 $3 \leq y \leq 18$ とした。

考 察

養殖ササビノリ葉体における窒素とリン含有量のモル濃度比は、26 : 1 と報告されており、¹⁶⁾ ノリの健全な生長には前述の比率が必要と仮定して、Fig. 2 の結果から比率を算出したところ、DIN/DIP 比は各年度とも 26 を超えることはなかった。また、ノリの増殖制限となる DIN 濃度を半飽和定数 (3.9–13.1 μM) の 2 倍値と考えた場合、⁷⁾ 調査期間中の DIN 濃度は 0.2–12.5 μM であり、ほぼ全ての時期において、半飽和定数の 2 倍値以下であった。

また、東京湾ではノリの色落ち DIP 閾値は 0.5 μM 、⁷⁾ 有明海の福岡県海域では色落ち DIP 閾値は 0.4 μM であるとされており、¹⁷⁾ そのときの DIN 濃度は東京で 10.0 μM (N/P=20)、福岡で 20.0 μM (N/P=50) であった。

Table 1 Correlation coefficients between fresh thalli color and DIN concentration in (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012 and (d) 2010–2012

(a)				
2010 Analysis of quality	(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	(I)	1		
a* value (fresh thalli)	(II)	-0.99	1	
DIN	(III)	-0.95	0.94	1
(b)				
2011 Analysis of quality	(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	(I)	1		
a* value (fresh thalli)	(II)	-0.97	1	
DIN	(III)	-0.78	0.88	1
(c)				
2012 Analysis of quality	(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	(I)	1		
a* value (fresh thalli)	(II)	-0.96	1	
DIN	(III)	-0.90	0.95	1
(d)				
2010–2012 Analysis of quality	(symbol)	I	II	III
L* value (fresh thalli)	(I)	1		
a* value (fresh thalli)	(II)	-0.97	1	
DIN	(III)	-0.81	0.81	1

* 5% significance level, ** 1% significance level

一方、瀬戸内海東部で経験的に色落ちが発生するとされている DIN 濃度 $3.0 \mu\text{M}$ のとき DIP 濃度は $0.40 \mu\text{M}$ ($\text{N/P}=8$) であった。このことから、本県の海域は DIN が不足している状況であり、他の 2 海域の結果は DIN が十分に存在し、DIP が相対的に少なくなった時の結果であると考えられた。さらに、DIN 濃度と生ノリの L^*a^* 値はともに高い相関を示し、DIN 濃度の低下に伴って生ノリの色調も低下していた (Figs. 2, 3)。これらのことから、本海域におけるノリの色落ちの制限要因は DIN と考えられ、小谷ら¹⁸⁾ 藤澤ら¹⁹⁾ の結果とも一致している。

Fig. 4d の結果をもとに、DIN 濃度と生ノリ色調および色差の関係を Table 3 に示した。色差値は 2 色間の $\text{L}^*\text{a}^*\text{b}^*$ 値のそれぞれの差を 2 乗した総和の平方根であり、NBS 単位で「0.5–1.5 がわずかに異なる」、「1.5–3.0 が感知しうるほどに異なる」、「3.0–6.0 が著しく異なる」としている。²⁰⁾ ここで、黄色味を表す b^* 値を一定値とし、DIN 濃度 $1 \mu\text{M}$ 単位で生ノリ色調の変化を見ていくと、DIN 濃度が $6 \mu\text{M}$ 以上では色調の差はほとんど見られず、 $3 \mu\text{M}$ 以下になると色調に著しい差が見られた。この結果は現場で色調低下が認識される DIN 濃度 ($3 \mu\text{M}$ 以下) とした目視結果¹²⁾ と一致した。また、黒島

漁場におけるノリの養殖品種について漁協へ聞き取り調査を行ったところ、各地で使用されている登録・未登録の品種を混合して養殖しており、本報で採取した生ノリも様々な品種を含んでいた。したがって、今回 DIN 濃度および生ノリ色調に有意な相関が見られたということは、Fig. 4d に示した関係式はノリの一般的な生理現象を反映したものと解釈でき、他海域においても成り立つ可能性が高いと考えられた。

生ノリ色調と光合成色素の含有量との間には高い相関があり、²¹⁾ そのうち主要な光合成色素であるフィコシアニンとフィコエリスリンはタンパクから合成されるため、色素タンパクとも呼ばれる。¹⁷⁾ ノリを含む海藻類は、海水から吸収した栄養塩を新組織の形成に用いるとともに、余剰分を遊離アミノ酸や色素タンパクとして貯蔵するが、^{22,23)} 飽和状態になると合成しない。²⁴⁾ 一方、窒素欠乏下では、窒素源のプールとして機能するフィコエリスリンが減少するため、色素量は急激に減少する。^{25–30)} これらのことから、DIN 濃度が $6 \mu\text{M}$ 以上で色調に差が見られなかったのは、十分量の窒素が供給されて色素タンパクが飽和状態となったためであり、逆に $3 \mu\text{M}$ 以下で色調が急激に低下したのは、ノリが栄養塩欠乏状態となり、フィコエリスリンなどの色素タンパクが減少したためと考えられた。

生ノリ L^*a^* 値と乾海苔 L^* 値の間には高い相関が見られたが (Fig. 5)、乾海苔 a^* 値と生ノリ L^*a^* 値の間には相関関係が見られなかったため、乾海苔については L^* 値を用いて議論を行う。乾海苔 L^* 値と乾海苔単価は 2011 年、2012 年度ともに高い相関を示したが (Fig. 6)、年度ごとに近似式は異なっていた。一般的に、乾海苔の入札における乾海苔単価は、色調の他にも、光沢や味、硬さ、香りなどの品質、在庫状況および他産地の相場などの要因によって決定されるが、^{31,32)} これらの影響は年度ごとに異なる。

このように乾海苔単価は年変動が大きいいため、DIN 濃度と乾海苔単価の関係式を導くことは困難であると考えられたが、DIN 濃度と生ノリの色調、生ノリの色調と乾海苔の色調、乾海苔の色調と乾海苔単価の間には、それぞれ高い相関が見られた。従って、DIN 濃度の低下は生ノリの色調および乾海苔単価の低下、ひいてはノリ養殖業者の収入の低下につながると考えられた。このことは、原田³³⁾ が海域の DIN 濃度と乾海苔生産額には相関があること、本県においても著者らが同様の相関があることを明らかにした (未発表) ことから支持される。

瀬戸内海の水質は改善されたという意見がある一方、³⁴⁾ ノリ養殖にとっては適切なレベルを下回っている可能性が高い。このことは本県に限らず、隣接する海域においても、栄養塩および乾海苔生産金額の減少が報告

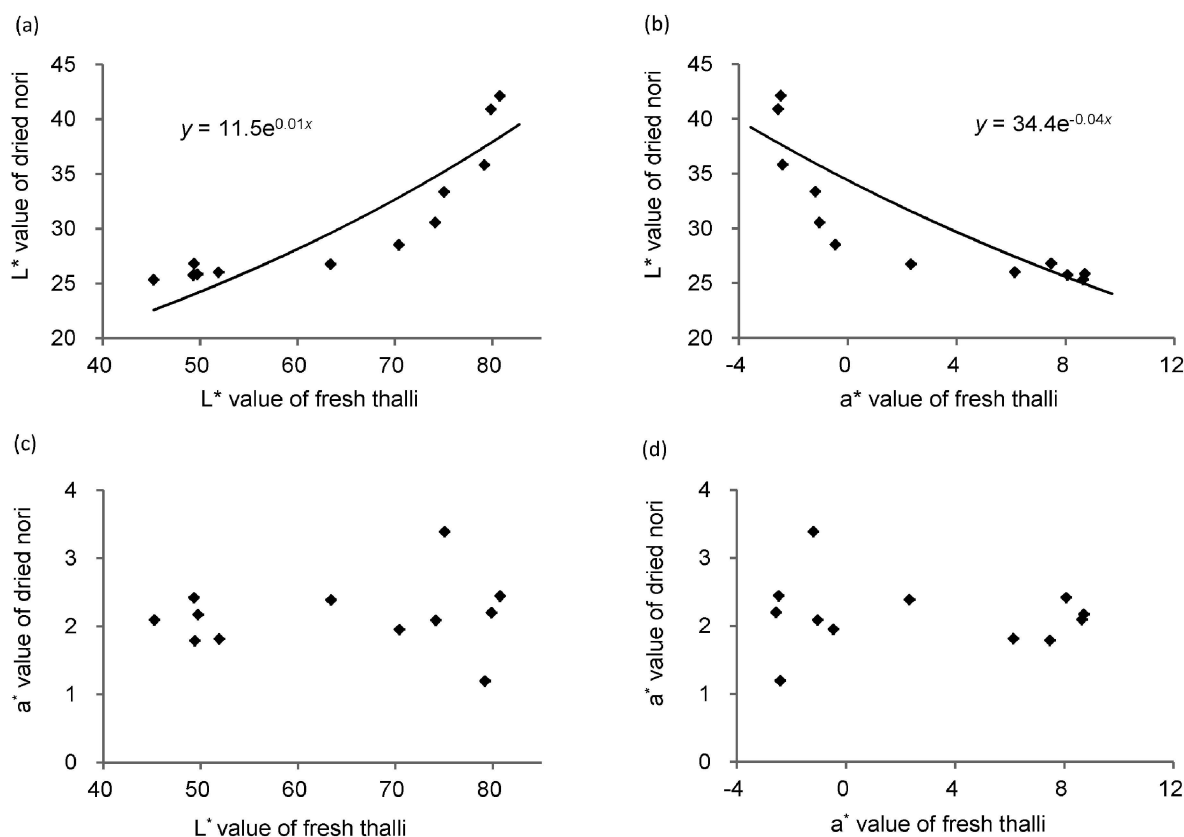


Fig. 5 Relationship between fresh thalli and dried nori color. The solid line indicates a linear approximation. (a) L* value of fresh thalli and L* value of dried nori, (b) a* value of fresh thalli and L* value of dried nori, (c) L* value of fresh thalli and a* value of dried nori, (d) a* value of fresh thalli and a* value of dried nori.

Table 2 Correlation coefficients between fresh thalli and dried nori color in 2011

2011 Analysis of quality	(symbol)	I	II	III	IV
L* value (fresh thalli)	(I)	1			
a* value (fresh thalli)	(II)	-0.99	1		
L* value (dried nori)	(III)	0.85	-0.82	1	
a* value (dried nori)	(IV)	0.11	-0.09	0.11	1

* 5% significance level, ** 1% significance level

されていることから示唆される。³⁵⁻³⁷⁾ DIN 濃度を人工的に管理するために、施肥,³⁸⁾ ダム放流量の上乗せ,³⁹⁾ 下水処理場の管理運転,⁴⁰⁾ 海底耕耘⁴¹⁾などが試みられているが、海洋環境への悪影響の懸念、社会的なコンセンサスが得られないこと、効果が限定的であること、から根本的な解決策の立案が求められている。そのためには、藤原ら⁴²⁾が指摘しているように、海域ごとに適正な栄養塩レベルを検討し、それに応じた栄養塩の管理手法の開発が必要であると考えられた。

謝 辞

本研究は平成 19-21 年度水産庁委託事業「新たなノリ色落ち対策事業 河川水最適利用技術の開発」および

平成 22-24 年度同委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発」により実施した。また、本研究を行うにあたり、協力していただいた関係漁協の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 多田邦尚, 藤原宗弘, 本城凡夫. 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. 分析化学 2010; **59**: 945-955.
- 2) 杉野博之, 草加耕司, 石飛博敏. 平成 19 年度ノリ養殖概況. 岡山県水産試験場報告 2008; **23**: 120-122.
- 3) 平成 21 年瀬戸内海の赤潮. 瀬戸内海漁業調整事務所, 兵庫. 2010.
- 4) 大山憲一, 吉松定昭, 本田恵二, 安部亨利, 藤沢節茂. 2005 年 2 月に播磨灘から備讃瀬戸に至る香川県沿岸域で発生した大型珪藻 *Chaetoceros densus* のブルーム: 発生期の環境特性とノリ養殖への影響. 日本水産学会誌 2008; **74**: 660-670.
- 5) 有賀祐勝. スサビノリの色彩と色素. 遺伝 1980; **34**: 8-13.
- 6) 天野秀臣. 有明海のノリに起きたこと～日本のノリ産業に大きな打撃を与えた“色落ち”とは?～. 化学と生物 2001; **39**: 784-785.
- 7) 石井光廣, 長谷川健一, 松山幸彦. 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 2008; **72**: 22-29.

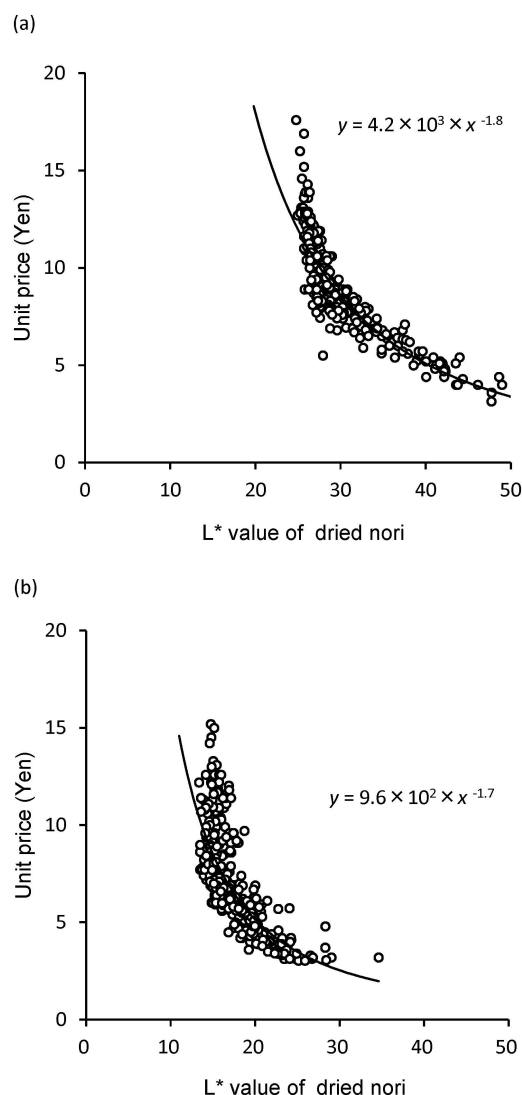


Fig. 6 Relationship between the L* value of dried nori and the unit price of dried nori (Yen) in (a) 2011, (b) 2012. The solid line indicates a fitted curve.

Table 3 Relationship between DIN concentration, L* and a* values of fresh thalli, and color difference value in 2010–2012

DIN concentration	Fresh thalli		Color difference value
	a* value	L* value	
1	2.2	64.2	5.7
2	4.3	58.8	3.4
3	5.5	55.7	2.4
4	6.4	53.5	1.8
5	7.0	51.8	1.5
6	7.6	50.4	1.3
7	8.0	49.2	

- 8) 川口 修, 山本民次, 松田 治, 橋本俊也. 水質の長期変動に基づく有明海におけるノリおよび珪藻プランクトンの増殖制限元素の解明. 海の研究 2004; **13**: 173–183.
- 9) 高木秀蔵, 難波洋平, 藤沢節茂, 渡辺康憲, 藤原建紀. 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりとのり漁場への栄養塩供給. 水産海洋研究 2012; **76**: 197–204.
- 10) 渡辺康憲, 川村嘉広, 半田亮司. ノリ養殖と栄養塩ダイナミクス. 沿岸海洋研究 2004; **42**: 47–54.
- 11) 川口 修, 高辻英之. 広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリの色落ちへの影響. 日本水産学会誌 2010; **76**: 849–854.
- 12) 藤澤邦康, 小橋啓介, 林 浩志. ノリ養殖漁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. 岡山県水産試験場報告 2000; **15**: 1–3.
- 13) 白石日出人. ノリ葉体の色調変化に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010; **20**: 131–134.
- 14) 久野勝利, 川村嘉広. 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. 佐賀県有明水産振興センター研究報告 2007; **23**: 5–10.
- 15) 高木秀蔵, 清水泰子, 草加耕司, 小林志保, 藤原建紀. 安定同位体比を用いた河川からノリ漁場への栄養塩供給の評価. 日本水産学会誌 2013; **79**: 1002–1008.
- 16) 川口 修, 山本民次, 橋本俊也. 養殖スサビノリ (*Porphyra yezoensis*) 葉体の炭素, 窒素, リン含有量. 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要 2003; **42**: 7–9.
- 17) 小池美紀, 洲上 哲. 溶存態無機リンがスサビノリ (*Pyropia yezoensis*) に及ぼす影響. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2013; **23**: 33–42.
- 18) 小谷正幸, 福永 剛, 尾田成幸, 洲上 哲. 2000 年度ノリ漁期における色落ちの発生状況. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2002; **12**: 117–122.
- 19) 藤澤邦康, 小橋啓介, 林 浩志. 牛窓ノリ漁場におけるノリの色素量変化と水質環境について岡山県水産試験場報告 1999; **14**: 4–7.
- 20) 村田幸男. 測定と色比較の方法「新編色彩科学ハンドブック」(日本色彩学会編) 東京大学出版会, 東京. 1980; 244.
- 21) 坂口研一, 落合 昇, Park CS, 柿沼 誠, 天野秀臣. 色落ちノリの色調評価と硫酸アンモニウム添加海水への浸漬による色調回復. 日本水産学会誌 2003; **69**: 399–404.
- 22) 大房 剛, 荒木 繁, 桜井竹麿, 斉藤宗勝. アマノリの日周変化に関する生理的研究—I 室内培養下の藻体に見られた細胞の大きさ・生理活性および光合成色素量について. 日本水産学会誌 1977; **43**: 245–249.
- 23) Bird KT, Habig C, DeBusk T. Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). *J. Phycol.* 1982; **18**: 344–348.
- 24) 有賀祐勝. 有明海ノリ問題に関するコメント. 日本水産学会誌 2003; **69**: 432–433.
- 25) 吉田吾郎, 新村陽子, 樽谷賢治, 浜口昌巳. 海藻類一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビュー—および瀬戸内海藻場の栄養塩環境の相対評価—. 水産総合研究センター研究報告 2011; **34**: 1–31.
- 26) Levy I, Gantt E. Development of photosynthetic activity in *Porphyridium purpureum* (Rhodophyta) following nitrogen starvation. *J. Phycol.* 1990; **26**: 62–68.
- 27) Vergara JJ, Niell FX. Effects of nitrate availability and irradiance on internal nitrogen constituents in *Corallina elongata* (Rhodophyta). *J. Phycol.* 1993; **29**: 285–293.
- 28) 植木知佳, 村上明男, 加藤敏朗, 嵯峨直恆, 本村泰三. 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. 日本水産学会誌 2010; **76**: 375–382.

- 29) Lapointe BE. The effects of light and nitrogen on growth, pigment content, and biochemical composition of *Gracilaria foliifera* V. *angustissima* (Gigartinales, Rhodophyta). *J. Phycol.* 1981; **17**: 90-95.
- 30) Lapointe BE, Duke CS. Biochemical strategies for growth of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) in relation to light intensity and nitrogen availability. *J. Phycol.* 1984; **20**: 488-495.
- 31) 藤井直幹, 池浦 繁. 福岡県有明海産ノリの共販価格低迷の原因. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2010; **20**: 119-125.
- 32) 右田清治. 乾海苔の光沢. 長崎大学水産学部研究報告 1979; **46**: 11-16.
- 33) 原田和弘. 養殖ノリ生産期における播磨灘の溶存態窒素 (DIN) 濃度と養殖ノリ生産額の関係. 兵庫県農林水産技術総合センター研究報告 (水産) 2013; **43**: 7-10.
- 34) Yamamoto T. The Seto Inland sea-Eutrophic oligotrophic? *Mar. Pollut. Bull.* 2003; **47**: 37-42.
- 35) 高辻英之. 情島ノリ養殖漁場におけるノリの色落ち. 広島県水産試験場報告 2005; **23**: 27-29.
- 36) 永田誠一, 名角辰郎, 中谷明泰, 鷲尾圭司, 真鍋武彦. 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果. 兵庫県水産試験場研究報告 2001; **36**: 59-73.
- 37) 松岡 聡, 吉松定昭, 小野 哲, 一見和彦, 藤原宗弘, 本田恵二, 多田邦尚. 備讃瀬戸東部 (香川県沿岸) におけるノリ色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究 2005; **43**: 77-84.
- 38) 川村嘉応, 久野勝利, 横尾一成. 佐賀県有明海で実施されている栄養塩添加の現状. 佐賀県有明水産振興センター研究報告 2011; **25**: 81-87.
- 39) 岩本俊樹, 難波洋平. 児島湾周辺のノリ養殖漁場に及ぼすダム上乗せ放流を含む河川水の影響. 岡山県水産試験場報告 2009; **24**: 63-69.
- 40) 反田 實, 原田和弘. 瀬戸内海東部海域の栄養塩環境の現状および改善に向けた取り組みと課題. 海洋と生物 2013; **35**: 116-124.
- 41) 沼田祐二, 中泉昌光, 瀬戸口喜祥, 吉村直孝. 泥質干潟における干潟走行機による耕耘 (こううん) の栄養塩類溶出効果に関する実験的研究. 海洋開発論文集 2004; **20**: 383-388.
- 42) 藤原建紀, 渡邊康憲, 樽谷賢治編. 海の貧栄養化とノリ養殖. 海洋と生物 2009; **31**: 111-172.