

## 仙台湾におけるノリ色調と栄養塩濃度の関係

伊藤 博\*1・須藤 篤史\*2

The relationships between color tone of laver *Pyropia yezoensis* and nutrient concentration in Sendai Bay

Hiroshi ITO\*1 and Atsushi SUTO\*2

キーワード：ノリ，栄養塩，仙台湾

国内のノリ養殖では，多くの海域で栄養塩不足によるノリ葉体の色落ちが問題となっている<sup>1)</sup>。有明海，瀬戸内海では溶存無機態窒素（以下DINと記載）の不足が色落ちの原因とされており<sup>2,3)</sup>，色落ちが起こるDIN濃度は海域によって異なり，有明海では $7\mu\text{M}$ <sup>4)</sup>，瀬戸内海では $3\mu\text{M}$ <sup>5,6)</sup>と考えられている。東京湾では溶存無機態リン（以下DIP）の不足が原因とされ，色落ちが起こるDIP濃度は $0.5\mu\text{M}$ とされているが<sup>7)</sup>，局所的には千葉県富津市地先で色調を維持できる栄養塩濃度としてDINが $6.4\mu\text{M}$ ，DIPが $0.16\mu\text{M}$ 必要と考えられている<sup>8)</sup>。

仙台湾では，DIN濃度が $5\mu\text{M}$ を下回ると急速に色調が低下するとされていたが<sup>9)</sup>，栄養塩濃度の増減とノリの色調の変化について詳細に調べた例は報告されていない。本研究では，定期的にノリの色調と栄養塩濃度を測定し，その関係を明らかにすることを目的とした。

### 材料と方法

仙台湾のノリ漁場において，2008年10月から2009年4月および2009年10月から2010年3月の期間に4測点（図1）で可能な限り毎日表層水を採取し，冷凍保存した。サンプルはオートアナライザー（TRAACS2000）でアンモニア態窒素，硝酸態窒素，亜硝酸態窒素およびDIPを測定し，アンモニア態窒素，硝酸態窒素，亜硝酸態窒素は合計し

てDINを算出した。同測点でノリの摘採時に生ノリを，摘採後，加工した乾ノリを10枚サンプリングし，色彩色差計（CR-200）を用いて色調を測定した。生ノリを当日測定できない場合は，絞って可能な限り水分を除き，冷凍保存した。保存後は海水に浸漬して自然解凍し，測定した。生ノリ，乾ノリ共に1枚のノリにつき3点を測定し，10枚の平均値を算出した。色調の評価にはL\*a\*b\*表色系のうち，ノリの色調が低下すると高い値を示すL\*値を用いた。

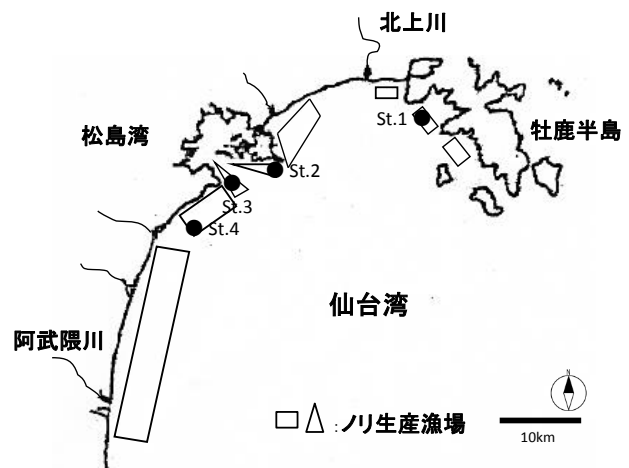


図1 仙台湾のノリ漁場と調査点の位置

\*1 水産技術総合センター，\*2 農林水産部水産業基盤整備課

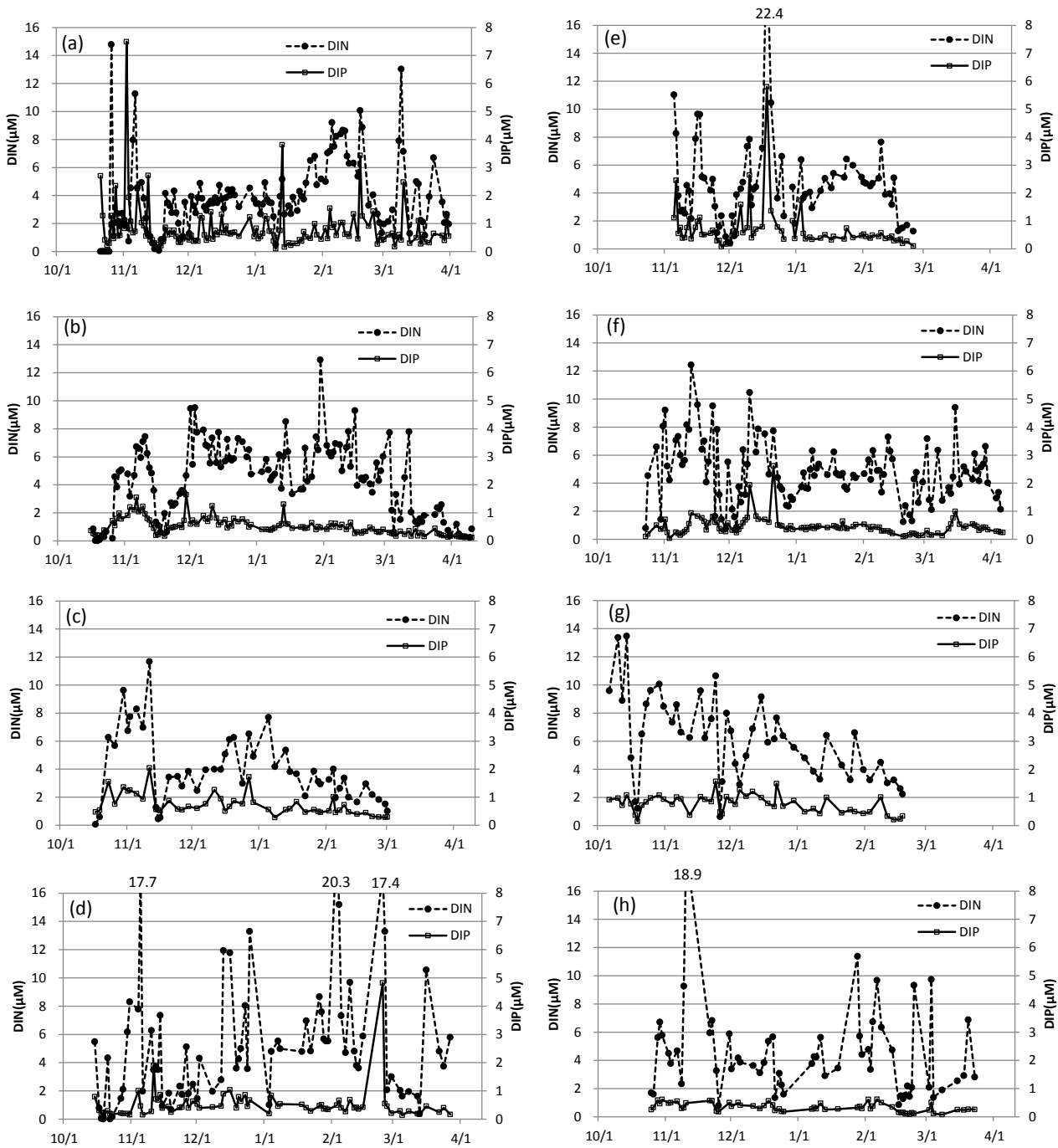


図2 DIN・DIPの推移

(a)2008年St.1, (b)2008年St.2, (c)2008年St.3, (d)2008年St.4,  
 (e)2009年St.1, (f) 2009年St.2, (g)2009年St.3, (h)2009年St.4

## 結果

### 1 栄養塩

#### 1) 2008年度生産期

St.1では、10月21日～3月31日の期間にDINは0.0～

14.8 $\mu\text{M}$ の範囲（平均3.8 $\mu\text{M}$ ）、DIPは0.1～7.5 $\mu\text{M}$ （平均0.8 $\mu\text{M}$ ）の範囲で推移した（図2(a)）。St.2では、10月16日～4月10日の期間にDINは0.0～12.9 $\mu\text{M}$ の範囲（平均4.4 $\mu\text{M}$ ）、DIPは0.1～1.7 $\mu\text{M}$ の範囲（平均0.5 $\mu\text{M}$ ）で推移した（図2(b)）。St.3では、10月17日～3月1日の期間にDIN

は0.1~11.7 $\mu\text{M}$ の範囲(平均4.0 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.3~2.0 $\mu\text{M}$ (平均0.7 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(c))。St.4では, 10月15日~3月27日の期間にDINは0.0~20.3 $\mu\text{M}$ の範囲(平均5.1 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.1~4.8 $\mu\text{M}$ (平均0.5 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(d))。

## 2) 2009年度生産期

St.1では, 11月5日~2月24日の期間にDINは0.4~22.4 $\mu\text{M}$ の範囲(平均4.6 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.1~5.8 $\mu\text{M}$ (平均0.7 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(e))。St.2では, 10月23日~4月6日の期間にDINは0.7~12.4 $\mu\text{M}$ の範囲(平均4.8 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.0~2.6 $\mu\text{M}$ (平均0.4 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(f))。St.3では, 10月6日~2月18日の期間にDINは0.6~13.5 $\mu\text{M}$ の範囲(平均6.1 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.1~1.6 $\mu\text{M}$ (平均0.8 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(g))。St.4では, 10月25日~3月23日の期間にDINは0.8~18.9 $\mu\text{M}$ の範囲(平均4.8 $\mu\text{M}$ ), DIPは0.1~0.6 $\mu\text{M}$ (平均0.3 $\mu\text{M}$ )の範囲で推移した(図2(h))。

## 2 ノリ色調

### 1) 2008年度生産期

St.1では, 生ノリのL\*値は11月6日~2月20日の期間は47.7~54.0の範囲で推移し, 3月6日~4月2日の期間は60.6~63.5の範囲に上昇した。乾ノリのL\*値は11月6日~2月20日の期間は11月25日に34.1の値を示したのを除いて27.8~28.7の範囲で推移し, 3月6日~4月2日の間は30.7~34.2に上昇した(図3(a))。St.2では, 生ノリのL\*値は11月14日~3月6日の期間は46.3~55.2の範囲で推移し, 3月22日~4月10日の期間は64.6~71.5の範囲に上昇した。乾ノリのL\*値は11月14日~2月20日の期間は11月14日に31.5の値を示したのを除いて27.5~29.4の範囲で推移し, 3月22日~4月6日の間は30.8~39.7に上昇した(図3(b))。St.3では, 生ノリのL\*値は11月19日に71.9の値を示した後, 45.4~58.1の範囲で推移した。乾ノリのL\*値は11月23日に32.8の値を示した後, 27.7~28.8の範囲で推移した(図3(c))。St.4では, 生ノリのL\*値は11月10日~3月27日の期間, 40.0~50.5の範囲で推移し, 乾ノリのL\*値は11月10日~12月2日の期間は30.4~34.0の範囲で推移し, 12月13日~3月27日の期間は27.4~29.6の範囲に減少した(図3(d))。

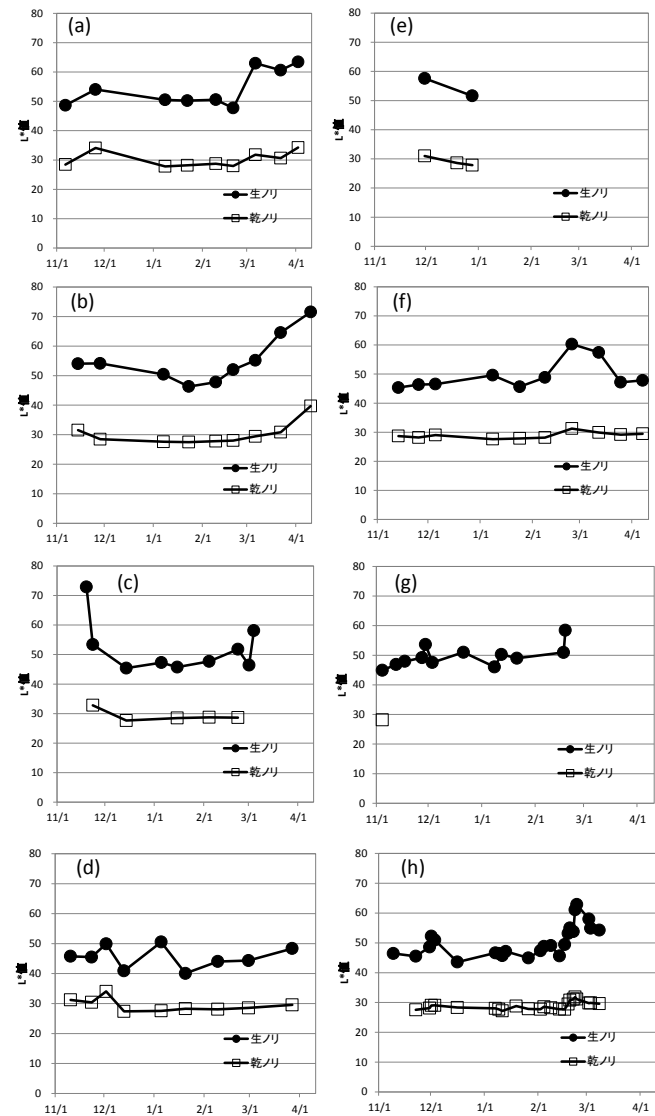


図3 生ノリ・乾ノリのL\*値の推移

(a)2008年St.1,(b)2008年St.2,(c)2008年St.3,  
(d)2008年St.4,(e)2009年St.1,(f) 2009年St.2,  
(g)2009年St.3,(h)2009年St.4

### 2) 2009年度生産期

St.1では, 生ノリのL\*値は11月30日に57.6, 12月28日に51.6の値を示し, 乾ノリのL\*値は11月30日~12月28日の期間に27.9~31.0の範囲で推移した(図3(e))。St.2では, 生ノリのL\*値は11月13日~4月7日の期間中, 2月24日に60.3の値を示したのを除いて45.3~57.4の範囲で推移した。乾ノリのL\*値は2月24日に31.2の値を示したのを除いて27.6~29.9の範囲で推移した(図3(f))。St.3では, 生ノリのL\*値は11月4日~2月18日の期間, 44.9~58.4の範囲で

推移し、乾ノリのL\*値は11月4日に28.2の値を示した(図3(g))。St.4では、生ノリのL\*値は11月9日～3月8日の期間中、2月21日～23日に61.1～62.9の値を示したのを除いて43.6～58.0の範囲で推移し、乾ノリのL\*値は11月22日～3月29日の期間中、2月19日～23日に30.8～31.8の値を示したのを除いて27.2～29.9の範囲で推移した(図3(h))。

## 考察

### 1 ノリの増殖制限要因

DINとDIPの比(N/P比)の年間平均値は、2008年度生産期はSt.1で4.7、St.2で8.5、St.3で5.5、St.4で10.0、2009年度生産期はSt.1で7.5、St.2で10.9、St.3で8.0、St.4で14.7であった。ノリ葉体の窒素とリン含有量の比は26:1と報告されており<sup>10)</sup>、海水中からもこれに近い比で栄養塩を吸収すると仮定すると、各年の各測点共にN/P比は26を大きく下回っており、基本的にこの海域ではノリはDINによる制限を受けていると考えられる。このことは、ノリの増殖制限濃度を半飽和定数(3.9～13.1 $\mu\text{M/L}$ <sup>11)</sup>)の2倍値と仮定すると<sup>2)</sup>、2生産期、4測点ともほとんどの期間が増殖制限濃度(7.8～26.2 $\mu\text{M}$ )を下回っていたことから裏付けられる。

### 2 生ノリのL\*値と乾ノリのL\*値の関係

2生産期、4測点の生ノリのL\*値と乾ノリのL\*値の関係を示した(図4)。生ノリのL\*値が60を超えると色落ちの兆候とされるが<sup>12)</sup>、生ノリのL\*値が60を超えると乾ノリのL\*値は30を超えていた。相関係数は2008年度が0.703、2009年度が0.848と両年とも高い相関がみられ、既報<sup>13,14)</sup>と同様の結果となったことから、生ノリの色調から乾ノ

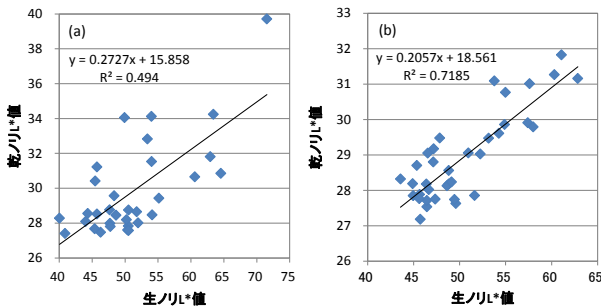


図4 生ノリのL\*値と乾ノリのL\*値の関係  
(a) 2008年度, (b) 2009年度

表1 色落ち発生時のL\*値と直前のDIN

年度	測点	日付	L*値	直前のDIN
2008	St.1	3月6日	63.0	8日間3 $\mu\text{M}$ 未満
2008	St.1	3月22日	60.1	4日間3 $\mu\text{M}$ 未満(2日間2 $\mu\text{M}$ 未満)
2008	St.1	3月31日	63.5	2日間3 $\mu\text{M}$ 未満
2008	St.2	3月24日	64.6	12日間3 $\mu\text{M}$ 未満(11日間2 $\mu\text{M}$ 未満)
2008	St.2	4月10日	71.5	29日間3 $\mu\text{M}$ 未満(14日間2 $\mu\text{M}$ 未満、7日間1 $\mu\text{M}$ 未満)
2008	St.3	11月20日	72.9	6日間2 $\mu\text{M}$ 未満(5日間1 $\mu\text{M}$ 未満)
2009	St.2	2月24日	60.3	5日間3 $\mu\text{M}$ 未満(2日間2 $\mu\text{M}$ 未満)
2009	St.4	2月22日	61.1	6日間3 $\mu\text{M}$ 未満(1日間2 $\mu\text{M}$ 未満)
2009	St.4	2月23日	62.9	7日間3 $\mu\text{M}$ 未満

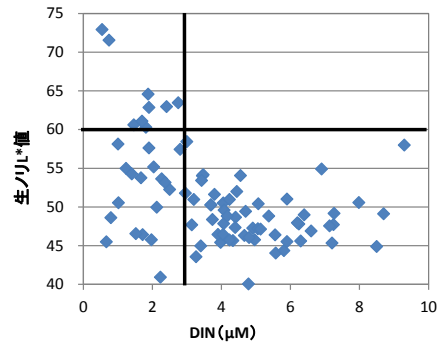


図5 生ノリのL\*値と直前3日間の平均DIN  
横線は色落ち基準(L\*値:60)、縦線はDIN:3 $\mu\text{M}$

表2 2009年度のSt.4における色落ち時の生ノリのL\*値とDINの推移

	2月15日	2月16日	2月17日	2月18日	2月19日	2月20日	2月21日	2月22日	2月23日
L*値	-	49.4	-	53.2	55.0	-	53.8	61.1	62.8
DIN( $\mu\text{M}$ )	4.7	0.9	1.5	1.3	1.5	2.2	1.4	2.1	-

りの色調を推定することが可能であることが確認された。

### 3 色落ちの発生するDIN濃度

2生産期にわたって生ノリのL\*値とノリの増殖制限要因であるDINの関係を調べた結果、L\*値が60を超え、色落ちと判定されたケースは計9回みられた(表1)。この9回の摘採日はいずれも直前2～29日間にわたりDINが3 $\mu\text{M}$ を下回っていた。また、このうち2回は摘採直前の5～7日間1 $\mu\text{M}$ を下回っており、この時のL\*値は70を超え、より強度の色落ちとなっていた。一方で、摘採直前のDINが5 $\mu\text{M}$ を下回っても3 $\mu\text{M}$ 以上を維持していればL\*値が60を上回ることはなかった。また、摘採直前3日間のDINの平均値と生ノリのL\*値をみると、L\*値が60を超えた時の直前3日間のDINの平均値は全て3 $\mu\text{M}$ 未満であった

表3 色落ち回復時のL\*値と直前のDIN

年度	測点	日付	L*値	直前のDIN
2008	St.3	11月24日	72.9→53.4	4日間3 $\mu$ M以上
2009	St.2	3月12日	60.3→57.4	2日間6.4 $\mu$ Mの後3日間2.8 $\mu$ M
2009	St.1	3月31日	62.8→58.0	6日間欠測

(図5)。また、2008年度のSt.1では、DINが2日間3 $\mu$ Mを下回って色落ちしたケースがみられたが(表1)、2009年度のSt.4ではDINが3 $\mu$ Mを下回って5日間経過した2月21日には生ノリのL\*値は53.8であったが、6日間経過した2月22日には61.1となり色落ちの基準を超えていた(表2)。これらのことから、この海域では従来、DINが5 $\mu$ Mを下回ると色落ちが始まると考えられていたが、DINが3 $\mu$ Mを2～6日程度下回ると色落ちが始まる可能性があり、さらに低下することでより強い色落ちになることが示唆された。

ただし、DINの値が3 $\mu$ Mを下回ってもL\*値は60未満で色調が維持される事例も多くみられている(図5)。水温や海水流動等、条件によっては例外も考えられるが、この海域ではDINが1日で10 $\mu$ M以上変動することもあり(図2)、測定は4,5日連続で欠測したケースもあること、1日の間でも変動することから、測定していない時間に高い濃度のDINが存在した可能性もある。間欠的なDINの供給でもノリの色調は回復が可能であることから<sup>15)</sup>、正確な解析のためにはセンサーを用いたモニタリング<sup>16,17)</sup>が必要となる。

また、L\*値が60を超えた色落ちの状態から60未満に回復したケースは3回みられたが(表3)、このうち、2009年度のSt.1では色調回復直前の6日間のDINが欠測となったことから、解析から除いた。2008年度のSt.3では、DIN

が4日間3 $\mu$ Mを超えた直後に色調が回復していた。2009年のSt.2では、DINが2日間6.4 $\mu$ Mの後、3日間2.8 $\mu$ Mで推移し、その直後に色調が回復していた。また、色調回復直前3日間のDINの平均値はそれぞれ3.4、2.8 $\mu$ Mであり、後者は3 $\mu$ Mを超えていないが、その前の6.4 $\mu$ Mという高い値が影響を及ぼしている可能性はある。これらのことから、DINが3 $\mu$ M程度以上の状態が3～4日程度続くと色調が回復する可能性が示された。

## 要 約

2生産期にわたり、仙台湾の栄養塩濃度と生ノリ・乾ノリの色調を測定し、これらの関係を調べた。

- 1 海水の N/P比とノリ葉体のN/P比から、仙台湾ではノリはDINにより制限を受けていると考えられる。
- 2 生ノリのL\*値と乾ノリのL\*値は高い相関がみられ、生ノリのL\*値が60を超えると、乾ノリのL\*値は30を超えていた。
- 3 ノリの色落ちはDINが3 $\mu$ Mを下回った状態が2～6日間程度続くと発生し、DINが3 $\mu$ M程度以上の状態が3～4日間程度続くと色調が回復する可能性が示された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、サンプリングにご協力いただいた宮城県漁業協同組合石巻湾支所阿部正春氏、同組合宮戸支所小野悦夫氏、同組合七ヶ浜支所寺沢春彦氏、星兵喜氏に御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 渡邊康憲(2009) ノリ養殖と珪藻赤潮・栄養塩. 海洋と生物, **181**, 112-117.
- 2) 川口修・山本民次・松田治・橋本俊也(2004) 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, **13(2)**, 173-183.
- 3) 多田邦尚(2008) 浅海域の生物生産環境. 学術の動向, **6**, 24-29.
- 4) 渡邊康憲・川村嘉広・半田亮司(2004) ノリ養殖と栄養塩ダイナミクス. 沿岸海洋研究, **42**, 47-54.
- 5) 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.

- 6) 永田誠一・名角辰郎・中谷明泰・鷺尾圭司・真鍋武彦 (2001) 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果. 兵庫水試報, **36**, 59-73.
- 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.
- 8) 林俊裕・長谷川健一・梶山誠 (2016) 千葉県富津市地先ノリ養殖漁場における栄養塩濃度 (DIN, DIP) とノリ葉体の色調の関係について. 千葉水総研報, **10**, 19-25.
- 9) 伊藤博・須藤篤史 (2009) 仙台湾の栄養塩環境とノリ養殖. 海洋と生物, **181**, 165-167.
- 10) 川口修・山本民次・橋本俊也 (2003) 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, **42**, 7-9.
- 11) 山本民次・高尾允秀 (1988) スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体のアンモニア態および硝酸態窒素の取り込みに及ぼす温度の影響. 藻類, **36**, 37-42.
- 12) 小谷正幸 (2000) ノリ葉体の色落ちの数値化. 福岡県水海技セ研報, **10**, 49-50.
- 13) 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. 佐有水研報, **23**, 5-10.
- 14) 村山史康・清水康子・高木秀蔵 (2015) 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. 日水誌, **81(1)**, 107-114.
- 15) 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(2)**, 246-255.
- 16) 高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏俊行 (2013) 硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩モニタリング. 水産技術, **5(2)**, 159-163.
- 17) 高木秀蔵・清水泰子・阿保勝之・柏俊行 (2015) 硝酸塩センサーを用いたノリ漁場栄養塩テレメトリーシステムの開発. 水産技術, **7(2)**, 97-103.