

執筆分担

(太字は編者、所属は初版発行当時)

第1章 藤田 大介 (東京海洋大学海洋科学部)

第2章

2.1 藤田 大介 (前掲)

2.2 秋本 泰 (財海洋生物環境研究所)・松村 知明 (日本エヌ・ユー・エス㈱)

2.3 藤田 大介 (前掲)・桑原 久実 (財水産総合研究センター水産工学研究所)・
綿貫 啓 (㈱アルファ水工コンサルタンツ)・青田 徹 (㈱テトラ テトラ総合
技術研究所)・横山 純 (水産庁漁港漁場整備部)

第3章

3.1 村瀬 昇 (財水産大学校生物生産学科)

3.2 村瀬 昇 (前掲)

3.3 藤田 大介 (前掲)

3.4 水田 浩之 (北海道大学大学院水産科学研究院)

3.5 桑原 久実 (前掲)

3.6 川俣 茂 (財水産総合研究センター水産工学研究所)

3.7 吉田 吾郎 (財水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所)

第4章

4.1 中嶋 泰 (オフィス MOBA)

4.2 八谷 光介 (財水産総合研究センター西海区水産研究所)

4.3 新井 章吾 (財海藻研究所)・中山 恭彦 (㈱建設環境研究所)

4.4 濱野 明 (財水産大学校海洋生産管理学科)

4.5 竹之内貴裕 (NTT ワールドエンジニアリングマリン㈱)

4.6 菅野 進 (共和コンクリート工業㈱)

4.7 中山 哲蔵 (財水産総合研究センター水産工学研究所)

第5章

5.1 村瀬 昇 (前掲)

5.2 村瀬 昇 (前掲)

5.3 倉島 彰 (三重大学大学院生物資源学研究科)

5.4 坂西 芳彦 (財水産総合研究センター日本海区水産研究所)

5.5 藤田 大介 (前掲)

5.6 金子 健司 (㈱日本海洋生物研究所)・米田 佳弘 (関西国際空港㈱)

第6章

6.1 赤池 章一 (地独)北海道立総合研究機構水産研究本部

6.2 藤田 大介 (前掲)

6.3 木下 淳司 (神奈川県水産課)

6.4 長谷川雅俊 (静岡県水産技術研究所)

なお、ここで述べたような単位時間当たりの生産力については、海外では酸素電極法⁷⁻⁸⁾、日本ではプロダクトメーター¹⁰⁾を用いた研究により様々な分類群のデータが蓄積されており、近縁種間、あるいは異なる生育環境・水深帯の間での比較などが盛んに行われている。断わっておくが、時間当たりのような短期間の生産力は、測定条件によって大きく異なる数字であり、特に、生育季節が限定される短命の種では、これを単純に引き延ばして日間、年間の生産力を求めてもあまり意味がない。

5.5.3 小型海藻の日間または年間の生産力

小型海藻では、寿命が1年未満の短い種が多いこともあり、日間、あるいは年間の生産力としてまとめられた研究は比較的少ない。Blinks¹¹⁾は種々の紅藻の生産力を調べ、11~54 g 乾重/m²・日という値を得ている。また、Boney が著した紅藻の最初の教科書¹²⁾には、*Iridaea* 属1種で2 g C/m²/日、*Gigartina* 属1種で7 g C/m²/日、アマノリ属1種でg C/m²/日という Pomeroy の値が紹介されている。

国内の小型海藻について、年間生産力に近い値を最初に算出した例は、恐らく投石事業において調べられたマクサの経年的な現存量の変化であろう。マクサの増産を目的とした投石事業は古くから行われてきたが、山崎¹³⁾は、伊豆半島21箇所の各地の投石場における着生量を取りまとめて平均し、投石1年後には0.28kg/m²、2年後に0.78kg/m²、3年後に1.08kg/m²、4年後に1.33kg/m²、5年後に1.32kg/m²、6年目に1.10kg/m²で、4年以降はあまり増加しないとしている。この数字は3年目以降、漁獲が行われた個所もあるので、注意を要するが、最初の4年目までは概ね群落の建設相の生産力とみなすことができる。4年目以降の成熟相の生産力は、生産と枯死脱落および漁獲がほぼ相殺されており、みかけの生産力はほとんどなくなっている。マクサの場合、個体が密生し、小型ながら多数の枝小枝からなり、基部の匍匐枝からの直立体の発出もあり、3年程度の寿命があるので、群落の成熟相の生産力を現場の現存量法から明らかにするのは容易ではない。なお、テングサの仲間では、ボルトガルの *Gelidium sesquipedale* の年間生産力について、現存量法から162.5 g(湿重)/m²/年、数学的モデルから187.5 g(湿重)/m²/年と求められており、後者については感度解析も行われている¹⁴⁾。

同じく多年生の小型紅藻では、比較的新しい紅藻の教科書¹⁵⁾に、北大西洋の重要なカラゲナン原藻であるトチャカ(ツノマタ属)の生産力が合衆国の

ニューハンプシャーで8 kg湿重/m²/年、ドイツのヘルゴランドで1.7 kg湿重/m²/年とされ、このほか、ヘルゴランドのサンゴモ（有節サンゴモ）が2.5 kg湿重/m²/年、ヘラリユウモン属1種が3 kg湿重/m²/年、カリフォルニアの *Iridaea splendens* が1500 g乾重/m²/年という数字が紹介されている。ただし、これらの原典には生産力の記載はなく、現存量の最大、最小から適宜求められたようである。同書にも引用されているが、多年生種では熱帯や亜熱帯のサンゴ礁を構成する無節サンゴモで、ウインクラー法を用いた生産力の測定が行われ、上記の教科書¹⁵⁾に深所の無節サンゴモ2種の生産力が77および78 g乾重/m²/年と引用されている。

一方、1年生の海藻では、ミルとアオサ・アオノリ類などの緑藻類で年間生産力が調べられている。20世紀の後半、大西洋岸では緑藻ミルが東アジアより侵入（帰化）し、大群落を形成して現存量が10 kg/m²を超えることもあるので問題となっている。ここでは、ミルの生産力が¹⁴C（重炭酸ナトリウム）を用いた現場法（明暗ビン法）と光合成測定法（ウインクラー法）によって調べられたが、2つの測定法の間で結果に大きな違いはなく、著者らは潜在的な時間当たりの最大生産力を1.7 g C/m²/時、日間の値で22.1 g C/m²/日、年間の値で4.7 kg C/m²/年と見積もっている¹⁶⁾。アオノリ類（を中心とする緑藻類）はアイルランドで現存量法により0.2~0.3 kg乾重/m²/年、アオサは福島第一原子力発電所港湾施設の群落について光合成測定と数値シミュレーションにより5.8 kg湿重/m²/年（同時に調べられた紅藻ハリガネでは1.2 kg湿重/m²/年と見積もられている¹⁷⁾）。

以上、小型海藻の生産力は、前節までに紹介された大型褐藻類と比較すると値は小さいが、短命の種に限れば、回転率（生産力/現存量）では比較的大きな値となることが予想される。また、本節の冒頭に紙面を割いて解説したように、小型海藻の生態学的意義は群落の多様化と考えられ、有用種も多く含まれるので、安直に十把一絡げの扱いをしたり低生産力のレッテルを張って軽視したりすべきではない。

5.6 混生群落の海藻の生産力推定方法

海藻群落はガラモ場や海中林などのように特定種が優占している群落ばかりではなく、多様な種が混生している群落も多くみられる。このような混生群落全体の生産量を推定しようとする場合に、個々の種の生産量を層別刈り取りなどで推定し合計するのは、多大な労力を必要とするため現実的には困難であ

る。ここでは、主に目視観察を用いて混生群落の生産量を推定した例¹⁾を紹介し、混生群落の生産量に与えるウニの影響について述べる。

5.6.1 対象とする混生群落と調査方法

生産量の推定を行ったのは、大阪湾南部に位置する関西国際空港の緩傾斜護岸上の藻場である。ここでは、ツノマタ属およびマクサなどの小型多年生海藻に混じってカジメ属およびホンダワラ属などの大型褐藻も多くみられ、混生群落形成されている（図5.6.1）。この混生群落では小型多年生海藻が優占しており、大型褐藻が減少する夏季から秋季にかけては、その現存量は全体の80%以上を占める²⁾。

この藻場では、水深2 m以浅でウニの密度が高く、バフンウニとムラサキウニを合わせた現存量は1500 g (湿重)/m²以上に達する場所もある²⁾。これらのウニは優占する小型多年生紅藻やホンダワラ属褐藻などを多く摂食している²⁾。

このように大量に生息するウニが混生群落に与える影響を調べるために、2002年から2005年までの3年間、ウニの密度を操作した実験区において海藻の生産量の推定を行った^{1,3)}。実験区として、ウニを可能な限り除去した「除去区」、人為的操作を加えない「対照区」、およびウニの密度を対照区の約2倍にした「高密度区」という3段階の密度区が、ウニの移動を防ぐフェンスで仕切ることによって設定された。

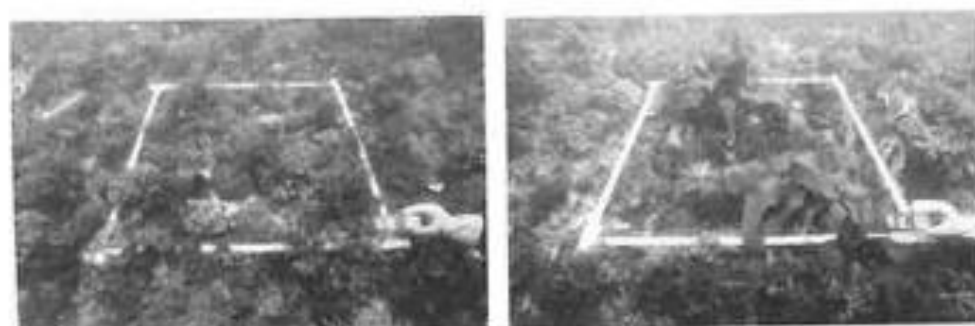


図5.6.1 関西国際空港の混生群落（水深2 m）

ツノマタ属の小型多年生海藻が優占するが（左）、カジメ属等の大型多年生海藻も混在する（右）。

5.6.2 生産量の推定方法

(1) 生産量の推定

海藻の月間生産量は、1ヶ月間の現存量の増加分に、その間にその場から消

失した量を加えることにより求めることができる。消失要因として、枯死脱落と被食があげられるが、本群落は内湾に位置するため波あたりが弱いこと、およびウニの生息量が大きいことから、枯死・脱落量はウニによる被食量と比較して顕著に小さいと考え、この調査ではウニによる被食量のみを考慮した。したがって、 t 月の海藻種 i の生産量 P_{ti} (g (乾重)/m²/月)を以下の式で推定した¹⁾。

$$P_{ti} = B_{ti} - B_{(t-1)} \cdot i + M_{ti} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 B_{ti} は t 月の海藻種 i の現存量 (g (乾重)/m²/月)を示し、 M_{ti} は t 月の i 種のウニによる被食量を示す。この推定方法ではウニの摂食量を超える海藻の減少が起こった場合、マイナスの生産量となる。これは枯死脱落量が大いことを示しているが、この場合の生産量は0とした。この調査では、実験区内について継続的な観察を行うため、海藻を刈り取ることができないことから、現存量は毎月を目視観察から推定した。

(2) 海藻の現存量の推定

海藻の現存量を推定するため、毎月水深2 mに設置された観察枠 (1×1 m)の観察を行った^{1,3)}。混生群落では、枠毎の出現種が異なることから、目的とする種が含まれるような枠を設置する必要がある。加えて、現存量の推定誤差を小さくするために、できるだけ多くの観察枠を設けることが望ましい。

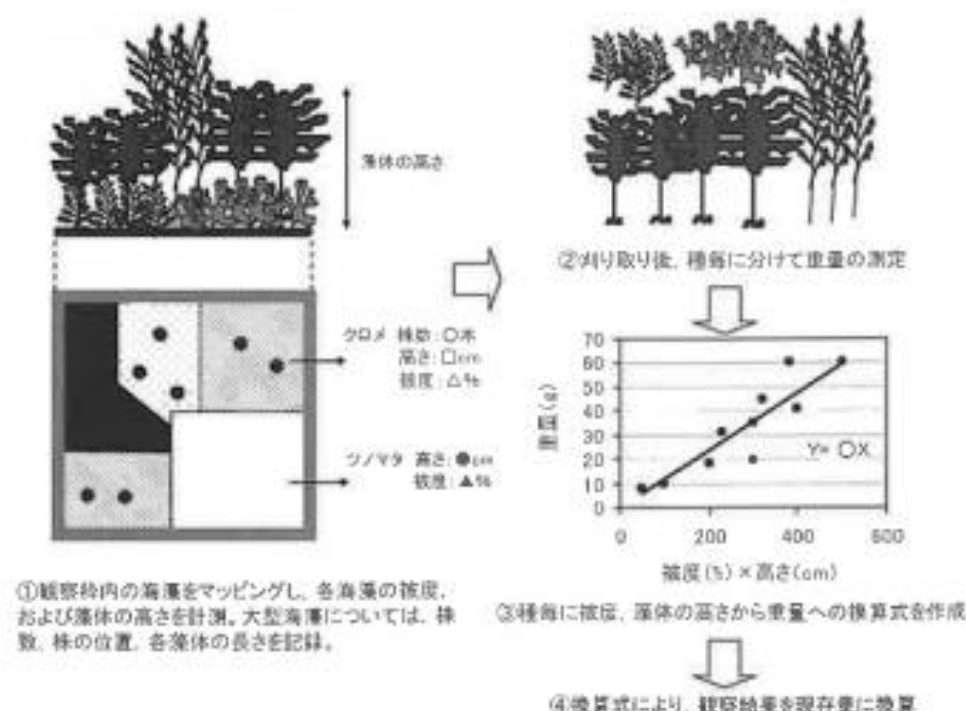


図5.6.2 海藻の目視観察から現存量への変換方法

この調査では、観察枠は同じ水深帯にウニの密度区毎に9枠を設置した。海藻の現存量の推定は図5.6.2の流れで行った²⁾。まず、スキューバ潜水により観察枠内の海藻を種毎にマッピングし、小型海藻については、被度、および藻体の高さを計測し、大型海藻については、株数、株の位置、各藻体の長さを記録した。同時に、後日確認できるように、観察枠内をビデオで撮影した。次に、これらの観察結果を現存量に変換するために、別途、実験区外の同様の植生を示す場所において、上記の観察と計測を行った後に枠内の海藻を刈り取り、種毎に乾燥重量を計測した。この作業は海藻の多い時期と少ない時期の2回行われ、それらの観察で得られた株数、被度および藻体の高さから乾燥重量への換算式を種毎に作成した。小型海藻では被度と藻体の高さの積との一次回帰式としたが、大型海藻では株数と藻体の長さを用いた換算式とした。各海藻の毎月の現存量はこの換算式を用いて目視観察の結果から推定した。

(3) ウニによる被食量の推定

ウニによる被食量の推定に関しては、飼育条件下の摂食量をもとに推定する方法も考えられるが、多様な種が混在する群落において、摂餌選択性のあるウニがどの種をどれくらい摂食するのかを推定するのは困難である。したがって、ウニによる被食量は現場のウニ密度と消化管内容物重量指数から推定することとし、上記した海藻の観察と同時にウニの計数と採集を行った¹⁾。ウニの密度は、移動を考慮し、観察枠内と隣接する2枠(1×1m)の合計3枠の平均密度とし、実験区外で採集したウニの平均体重を用いて、各観察枠のウニの現存量を推定した。採集したウニについては、消化管内容物の重量を測定し、含まれる海藻種の構成比を調べた²⁾。以上の結果を用いて、各実験区の海藻種*i*のウニ類による*t*月の被食量(M_{ti} , g乾重/m²/月)を以下の式により算出した¹⁾。

$$M_{ti} = B \times GCI_t \times T \times C_{ti} \times R_i \times N_t \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 B は各実験区の観察枠内のウニの平均現存量(g湿重/m²)、 GCI_t は*t*月のウニ類の消化管内容物重量指数、 T は食物回転率(回転/日)、 C_{ti} は*t*月の消化管内容物中に占める海藻種*i*の構成比、 R_i は海藻種*i*の乾湿重量比(g乾重/g湿重)、 N_t は*t*月の日数をそれぞれ示す。食物回転率は食物を摂食してから排出するまでの時間の目安であるが、他の報告例⁴⁾を参考に1/2(回転/日)とした。

米田 6) を改定

表5.6.2 海藻の生活型毎の P/B_{max} (3年間の平均)

実験区	海藻の生活型			
	小型多年生	大型多年生	小型一年生	大型一年生
除去区	1.1	0.8	1.3	1.3
対照区	2.0	1.1	1.3	2.4
高密度区	5.1	0.8	1.5	2.7

海藻の生活型の分類については米田ら²⁾に従った。

も、残された藻体が成長したり、被食により形成された裸地に再入植したりすることで、ほぼ一定の最大現存量を維持するため、摂食されない場合よりも生産量が大きく増加するためと考えられる。一方、小型一年生海藻の P/B_{max} がいずれのウニの密度でもほとんど変わらなかったのは、主に摂食忌避物質を含むウミウチワ等のアミジグサ科褐藻で占められ、ウニの摂食を受けにくかったためと考えられる。

対象とした混生群落では、海藻の生産量の50～60%程度がウニに被食されており(表5.6.1, 対照区)、高密度区では、海藻の生産量の80%以上が被食されても群落は維持されていた。これは混生群落で優占していた小型多年生海藻の非常に高い生産力にもよるが、その背景には、本群落が内湾に位置し、栄養塩が豊富であったこと、および水深が浅く好適な光環境にあったことから、海藻の生育に適した条件が揃っていたことがある。加えて、優占していたバフンウニの摂食量が低水温期に増大し、高水温期に減少する¹²⁾という海藻の生産性と同調した摂食年周期を持っていることも、混生群落と高密度のウニ類が共存できた重要な要因であると考えている。

参考文献(第5章)

【5.1】

- 1) 巖佐 庸ほか, 日本生態学会, 生態学事典, 共立出版, 2003.
- 2) 中脇利枝ほか, 水産増殖, 49, 439-444, 2001.
- 3) 名畑進一・酒井勇一, 北水試研報, 49, 1-5, 1996.
- 4) 武蔵達也ほか, 平成4年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告書, 75-79, 1993.
- 5) 中井一広ほか, 平成4年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告書, 80-84, 1993.
- 6) 吉田忠生, 東北水研研報, 30, 107-112, 1970.
- 7) Yokohama, Y. *et al.*, *Bot. Mag. Tokyo*, 100, 129-141, 1987.
- 8) 富永春江ほか, 藻類, 52, 13-19, 2004.
- 9) Yatsuya, K. *et al.*, *Fish. Sci.*, 71, 1098-1106, 2005.
- 10) 谷口和也・山田悦正, 日本研研報, 29, 239-253, 1978.
- 11) Murase, N. *et al.*, *Fish. Sci.*, 66, 270-277, 2000.

- 12) 谷口和也・山田秀秋, 50, 59-65, 1988.
- 13) 津田藤典・赤池章一, 水産増殖, 49, 143-149, 2001.
- 14) Agatsuma, Y. *et al.*, 東北水研究報, 50, 25-30, 2002.
- 15) 村岡大祐, 藻場の海藻と造成技術, 成山堂書店, 75-81, 2003.
- 16) 中林信康・谷口和也, 日本誌, 68, 659-665, 2002.
- 17) 米田佳弘ほか, 日本誌, 74, 45-54, 2008.
- 18) 黒田栄喜, 植物生産生理学, 朝倉書店, 6-34, 1994.
- 19) Kira, T. and Shidei, T. *Jap. J. Ecol.*, 17, 70-87, 1967.
- 20) Monsi, M. und Saeki, *Jap. J. Bot.*, 14, 22-52, 1953.
- 21) Midorikawa, B. *Ecol. Rev.*, 15, 83-117, 1959.
- 22) 前川行幸, 磯焼けの機構と藻場修復, 恒星社厚生閣, 38-49, 1999.
- 23) 黒岩澄雄, 物質生産の生態学, 東海大学出版会, 51-73, 1990.
- 24) 本多正樹, 電中研所報, U95058, 1-18, 1996.
- 25) 村瀬 昇, 水産大学校研報, 49, 131-212, 2001.

【5.2】

- 1) Murase, N. and Kito, H., *Fish. Sci.*, 64, 393-396, 1998.
- 2) Midorikawa, B., *Ecol. Rev.*, 15, 83-117, 1959.
- 3) 清水建美, 図説植物用語事典, 八坂書房, 2001.
- 4) 本村 允, 陸上植物群落の生産量測定法, 共立出版, 1976.
- 5) 藤田大介ほか編, 磯焼けを起こすウニ生態・利用から藻場回復まで一, 成山堂書店, 2008.
- 6) 藤田大介ほか編, 海藻を食べる魚たち一生態から利用まで一, 成山堂書店, 2006.
- 7) 米田佳弘ほか, 日本誌, 74, 45-54, 2008.
- 8) 水産庁, 磯焼け対策ガイドライン, 水産庁, 2007.
(http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/sub_79.html)
- 9) 藤田大介ほか, 富山水試研報, 14, 43-60, 2003.
- 10) 八谷光介ほか, 日本誌, 73, 880-890, 2007.
- 11) Murase, N. *et al.*, *Fish. Sci.*, 66, 270-277, 2000.

【5.3】

- 1) 吉田忠生, 東北水研研究報告, 30, 107-112, 1970.
- 2) 寺脇利信ほか, 電力中央研究所研究報告, U 91022, 1991.
- 3) Yokohama, Y. *et al.*, *Bot. Mag. Tokyo*, 100, 129-141, 1987.
- 4) 富永春江・芹澤如比古・大野正夫, 藻類, 52, 13-19, 2004.
- 5) Kirkman, H., *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 76, 119-130, 1984.
- 6) Lurkum, A. W. D., *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96, 177-190, 1986.
- 7) 本多正樹, 月刊海洋, 36, 816-820, 2004.
- 8) 前川行幸, 地球環境調査計画事典 第3巻 沿岸域編, 918-921, 2003.
- 9) 倉島 彰, 地球環境調査計画事典 第3巻 沿岸域編, 955-957, 2003.

【5.4】

- 1) 四ツ倉典滋, 藻類, 55, 167-172, 2007.
- 2) Fujii, A. & Kawamura, K., *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 38, 763-775, 1970.
- 3) 名畑進一・酒井勇一, 北水試研究報告, 49, 1-5, 1996.
- 4) 武蔵達也ほか, 平成四年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告, 75-79, 1992.
- 5) 中脇利枝ほか, 水産増殖, 49, 439-444, 2001.
- 6) Mann, K. H., *Mar. Biol.*, 14, 199-209, 1972.
- 7) Mann, K. H., *Ecology of Coastal Waters*, Blackwell Science, 2000.

- 8) 坂西芳彦・飯泉 仁, 藻類, 52, 141-148, 2004.

[5.5]

- 1) 片田 實・今野敏徳, 浅海岩礁植生の遷移, 植物生態学講座 4 群落の遷移とその機構, 100-118, 1977.
- 2) Yamada, N., *J. Fish. Res. Board Can.*, 1024-1030, 1976.
- 3) Paine, R. *et al.*, *Mar. Biol.*, 51, 185-192, 1979.
- 4) 藤田大介, 日本誌, 56, 1015, 1990.
- 5) Frantz, B. R. & Foster, M. S., *J. Phycol.*, 770-773, 2005.
- 6) Littler, M. M. & Littler, D. S., *Am. Nat.*, 116, 25-44, 1980.
- 7) Littler, M. M., *Botanica Marina*, 22, 161-165, 1980.
- 8) Littler, M. M. *et al.*, *J. Phycol.*, 19, 229-237, 1983.
- 9) Littler, M. M. & Littler, D. S., *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 116, 25-44, 1984.
- 10) 横浜康継, 海藻への謎 緑への道, 三省堂, 1982.
- 11) Blinks, L. R., *J. mar. Res.*, 14, 363-373.
- 12) Dixon, P. S., *Biology of the Rhodophyta*, Oliver & Boyd, 1973.
- 13) 山崎 浩, 静岡水試伊豆分場研報, 19, 1-92, 1962.
- 14) Duarte, P., & J. G. Ferreira, *Ecol. Modelling*, 98, 199-214, 1997.
- 15) Cole, K. M., & R. G. Sheath, *Biology of the red algae*, Cambridge University Press, 1990.
- 16) Wassman, E. R. & J. Ramus, *Mar. Biol.*, 21, 289-297, 1978.
- 17) 本田正樹ほか, 水産増殖, 48, 1-7, 2000.

[5.6]

- 1) 米田佳弘ほか, 日本誌, 74, 45-54, 2008.
- 2) 金子健司ほか, 日本誌, 73, 443-453, 2007.
- 3) 米田佳弘ほか, 日本誌, 73, 1031-1041, 2007.
- 4) Yatsuya K., Nakahara H., *Fish. Sci.*, 70, 285-292, 2004.
- 5) Yatsuya *et al.*, *Fish. Sci.*, 71, 1098-1106, 2005.
- 6) 八谷光介ほか, 日本誌, 73, 880-890, 2007.
- 7) 吉田忠生, 東北水研研報, 30, 107-112, 1970.

いんも ないさく
磯焼け対策3
シリーズ

も ば み ま も そ だ も え ぎ じ ゅ つ
藻場を見守り育てる知恵と技術

定価はカバーに表示してあります。

平成22年6月28日 初版発行

編著者 藤田大介・村瀬 昇・桑原久実

発行者 ㈱成山堂書店

代表者 小川典子

印刷 三和印刷(株)

製本 ㈱難波製本

発行所 成山堂書店

〒160-0012 東京都新宿区南元町4番51 成山堂ビル

TEL:03 (3357) 5861 FAX:03 (3357) 5867

URL <http://www.seizando.co.jp>

著丁・荒丁本はお取り換えいたしますので、小社営業チーム宛にお送り下さい。

©2010 Daisuke Fujita, et. al.

Printed in Japan

ISBN978-4-425-88501-5