

高知県土佐湾産カジメにおける葉状部の生産量と葉状部基部の大きさの季節変化

富永春江・芹澤如比古*・大野正夫

高知大学海洋生物教育研究センター (781-1164 土佐市宇佐町井尻 194)

Harue Tominaga, Yukihiko Serisawa* and Masao Ohno: Seasonal changes in net production of the bladelets and size of the proximal blade of *Ecklonia cava* in Tosa Bay, Kochi Prefecture. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 52: 13 - 19, Mar. 10, 2004

Seasonal changes of the net production of bladelets and size of proximal blade of *Ecklonia cava* growing at Tei in Tosa Bay, southern Japan were studied every month from July 1993 to September 1994. Two quadrats (50 x 50 cm) were haphazardly placed within *E. cava* population at 6-7 m depths and all individuals except young sporophytes within the quadrats were marked. After one month they were harvested and measured the number of newly produced bladelets based on the marking method and the weight of heaviest bladelet, both of which were used to estimate the net production. The size of proximal blade and biomass were also measured. Daily net production was estimated as 0.12-9.96 g d.w. m⁻² d⁻¹, which was higher from winter to early summer and lower from mid summer to autumn. Yearly net production was estimated as 2727.48 g d.w. m⁻² y⁻¹. Biomass was 535.18-2573.10 g d.w. m⁻² (480.96-2448.40 g d.w. m⁻² of blades, 5.12-21.30 g d.w. m⁻² of proximal blades and 39.5-178.18 g d.w. m⁻² of stipes), which was lower from late winter to early spring. Number of newly produced bladelets, longest bladelet length, number of bladelets, proximal blade length and number of young bladelets (less than 10 cm) were 0-4, 31.7-50.1 cm, 12-21, 1.2-4.5 cm and 1-7, respectively. The net production of *E. cava* growing in Tosa Bay (small type with short stipe) was concluded to be large almost the same as *E. cava* growing at Shimoda, Izu Peninsula, central Japan (large type with long stipe).

Key Index words: biomass, *Ecklonia cava*, Laminariales, production, Tosa Bay

Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Usa-cho, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

褐藻コンブ科のカジメ *Ecklonia cava* Kjellman は、本州中南部から、四国、九州沿岸に分布する代表的な大型多年生の暖海産コンブ科植物であり(川島1993)、場所により水深10-50mまでの潮下帯岩礁上に生育している(岩橋ら1979, 須藤1992)。本種の構成する群落は海中林と呼ばれ、魚類の産卵場や仔稚魚の保育場となるとともに、主に葉部はアワビ・サザエ・ウニなど藻食動物の餌料となり、また多くの他の動物の生息場として機能するなど、沿岸生態系に重要な役割を果たしている(大野1985)。

これまでにカジメの形態については、本州中部の静岡県伊豆半島沿岸や神奈川県三浦半島沿岸に生育するものは茎状部が長く大型であるが(林田1977, 今井1988, Aruga *et al.* 1997, Serisawa *et al.* 2002a)、四国沿岸や九州沿岸に生育するものは茎状部が短く小型であることが知られている(大野・石川1982, 月館ら1991, 富永ら1999, Serisawa *et al.* 2002a)。このような形態の地域的な変異にしたがって、カジメの現存量については長茎-大型のカジメが生育している海域で高く(Yokohama *et al.* 1987, 芹澤ら2001)、短茎-小

型のカジメが生育している海域で低いことが報告されている(大野・石川1982, 芹澤ら2001)。一方、現存量を支えている生産量に関しては、これまでに伊豆下田産の長茎-大型カジメについては知見が得られているが(Yokohama *et al.* 1987)、その他の地域に生育するカジメについてはほとんど調べられていない。したがって、四国沿岸や九州沿岸に生育する短茎-小型カジメの生産量を推定し、長茎-大型カジメのそれと比較することは、生態学的にも重要な意義を持つと考えられる。

一般にコンブ科植物の生長帯は葉状部基部にあり、コンブ科植物はこの部位の細胞が上方へ分裂して葉部を押し上げるように伸長する介在生長を行なうことが知られている(徳田ら1987)。葉状部基部の大きさの季節変化は、現存量や生産量の季節的変動と密接に関係しているものと考えられるが、これまでにカジメに関するこの部位の大きさやその季節変化についての研究は皆無である。

そこで本研究では高知県土佐湾手結地先の短茎-小型カジメの群落について月別の生産量を推定するとともに、葉状部基部の大きさを測定したので報告する。なお、手結地先のカジメ群落は1980年代には約180haの規模で存在していたが(環境省自然保護局1994)、その後減少して2000年には完全に消滅したことが報告されている(芹澤ら2000, Serisawa *et al.* 2004)。今回の報告はこのカジメ群落が磯焼けで消滅する数年前の時期、1993-1994年の調査結果についてまとめたものである。

*現所属: 独立行政法人 日本学術振興会 特別研究員(研究従事機関: 千葉大学海洋バイオシステム研究センター。299-5502 千葉県安房郡天津小湊町内浦1)

*Present address: Marine Biosystems Research Center, Chiba University, Amatsu-kominato, Awa-gun, Chiba 299-5502, Japan. (JSPS Research Fellow)

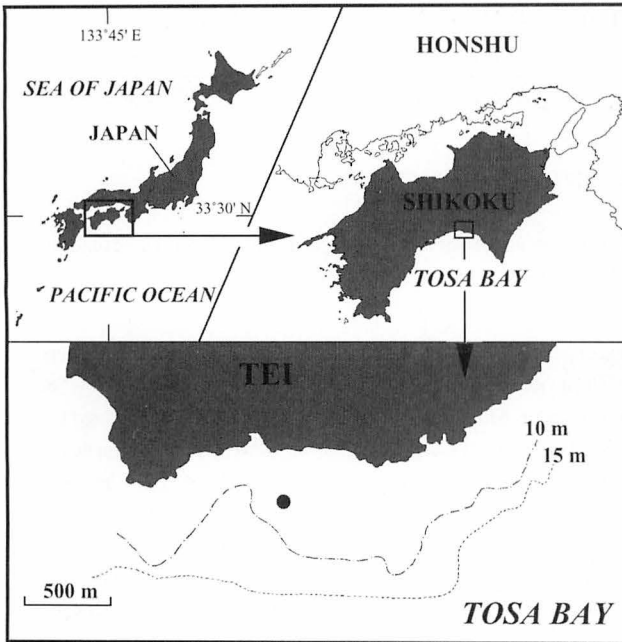


Fig. 1. Maps showing the experimental site (solid circle) off the Tei coast in Tosa Bay, Japan.

材料と方法

調査区域は土佐湾のほぼ中央に位置する高知県香美郡夜須町手結地先の、水深6-7mの岩礁上に設定した (Fig. 1)。カジメ葉部 (葉状部+葉状部基部) (Fig. 2) の伸長様式は規則的で、側葉の原基は茎状部と葉状部の間の部位、すなわち葉状部基部の両側に形成され、生長に伴い徐々に上部に押し上げられ側葉となる (Yokohama *et al.* 1987)。側葉も生長に伴い徐々に上部に押し上げられるが、最大の重量に達した後は枯死や被食により重量を減少させながら葉状部の上端に達し、完全に脱落する。このような伸長様式を利用して、吉田 (1970) は近縁のアラメ *Eisenia bicyclis* について特定の個体群における年間の側葉枚数を調べ、それに側葉の平均重量を乗ずることによって、その個体群の年間の純生産量を算出した。カジメについては、Yokohama (1977) および Yokohama *et al.* (1987) により純生産量を推定する方法が提唱されている。本研究では以下に概略する Yokohama *et al.* (1987) の方法に準拠して、土佐湾のカジメ群落の純生産量を算出した。

スキューバ潜水により手結地先のカジメ群落内に50cm×50cmのコドラートを任意に2箇所設置し、枠内の10cm以上の側葉を持つ全てのカジメについて、10cm以上の側葉の下から3段目の基部付近にコルクボーラーで直径4mmの穴を2つ開けるマーキングを行なった。なお、側葉が10cm未満である幼体は今回の方法では生産量の推定が困難であると考えて除外した。約1ヶ月後にそのコドラート内のカジメを全て刈り取り、各々のカジメについて、マーキングされた側葉が1ヶ月間に何段押し上げられたか、つまり新生された側葉の段数 (枚数) を測定した。その後、各個体を仮根部、茎状部、葉状部基部 (10cm未満の側葉や側葉原基を含んだ茎状部につながる部位)、葉状部 (葉状部基部の上部の側葉と中央葉を含む部位) (Fig. 2) に切り分け、葉状部についてはさらに左右一対

の側葉片を含むように切り分けた。それらを室内で風乾 (エアコンや扇風機を用いて3日から1週間程度乾燥) させた後、乾重量を測定した (付着物の多い仮根部については測定しなかった)。これらの値から10cm以上の側葉を持つカジメについての単位面積当たりの現存量を算出した (側葉が未発達な幼体は除外した)。また、最大の葉片重量と新生した側葉の段数を乗じることによって各個体の生産量を推定し、それらの和によってカジメ群落の単位面積あたりの生産量を推定した。マーキングは1993年7月-1994年8月まで、刈り取りは1993年8月-1994年9月まで毎月行なった。調査時期によって生産量に違いが見られたため、年間生産量は調査期間中の3期間、1993年8月-1994年7月、1993年9月-1994年8月、1993年10月-1994年9月の1年間の生産量としてそれぞれ算出した。

採集された10cm以上の側葉を持つ全てのカジメについて、1993年8月-1994年9月まで毎月、側葉あるいは中央葉 (Fig. 2) に子囊斑の有無を確認し、1993年10月-1994年9月まで毎月、最長側葉長、側葉段数 (左右一対の側葉を含む様に切り分けた葉片数)、幼側葉段数 (側葉原基を含む10cm未満の側葉の段数、便宜的に片側のみの幼側葉枚数) および葉状部基部の長さ (高さ) (Fig. 2) を測定した。

1993年11月には50cm×50cmの永久コドラート1つを水深6-7mの岩礁上に設置し、前述と同じ方法で10cm以上の側葉の3段目にコルクボーラーでマーキングし、1994年9月まで毎月、同一個体による側葉段数、新生側葉段数を測定し、脱落段数 (前月の側葉段数+新生側葉段数-当月の側葉数) と総側葉段数 (累積した側葉段数) を算出した。

結果

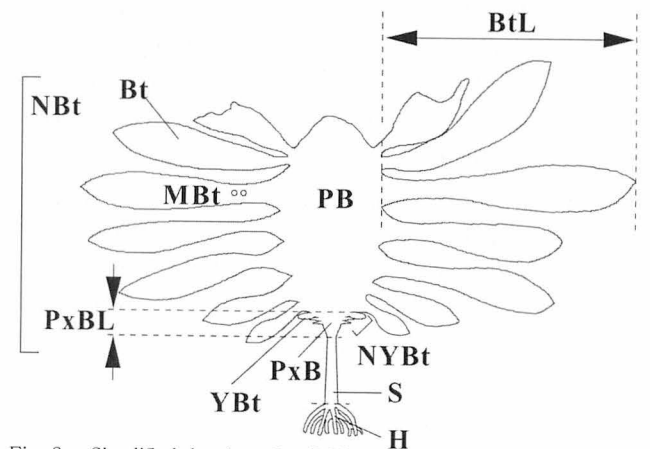


Fig. 2. Simplified drawing of a *Ecklonia cava* sporophyte showing the different parts of a frond. PB, primary blade (中央葉); Bt, bladelet (側葉); PxB, proximal blade (葉状部基部); YBt, young bladelet (less than 10 cm) (側葉原基を含む幼側葉); S, stipe (茎状部); H, holdfast (仮根部); MBt, marked bladelet (印付けされた側葉); NBt, number of bladelets on one side of a primary blade (側葉段数); NYBt, number of young bladelets on one side of a proximal blade (幼側葉段数); PxBL, proximal blade length (葉状部基部の長さ); BtL, longest bladelet length (最長側葉長). B (blade) = PB + Bt (葉部=中央葉+側葉). Bp (blade part) = B + PxB (葉部=葉状部+葉状部基部)

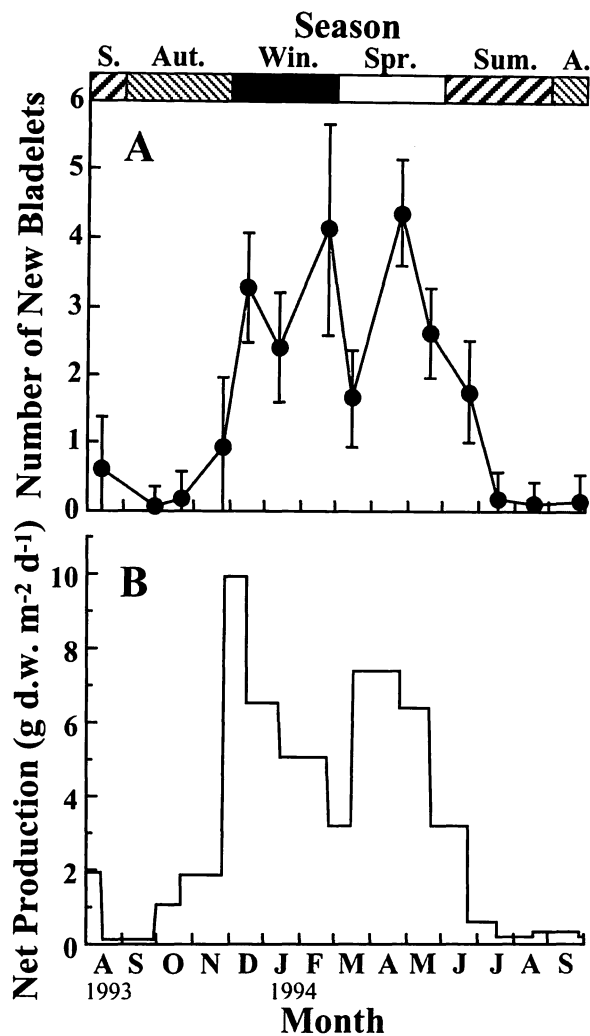


Fig. 3. Seasonal changes in number of newly produced bladelets (mean with SD) of *Ecklonia cava* sporophytes (A) and daily net production of *E. cava* population (B) at Tei in Tosa Bay.

手結地先のカジメの個体あたりの毎月の新生側葉段数と単位面積あたりの日生産量をFig. 3に示す。平均新生側葉段数は0-4段で、1994年4月に極大値、1993年9月に極小値を示し、冬季から初夏に高く、中夏から秋季に低い値を示した。日生産量は0.12-9.96g乾重 $m^{-2}d^{-1}$ で、1993年12月に極大値、1993年9月に極小値を示し、同様に冬季から初夏に高く、中夏から秋季に低い値を示した。また、日生産量を合計した年生産量は、1993年7月-1994年6月までが2791.71g乾重 $m^{-2}y^{-1}$ 、1993年8月-1994年7月までが2686.88g乾重 $m^{-2}y^{-1}$ 、1993年9月-1994年8月までが2703.84g乾重 $m^{-2}y^{-1}$ であり、平均で2727.48g乾重 $m^{-2}y^{-1}$ であった。

個体あたりの葉状部基部の乾重量、長さおよび幼側葉段数についてFig. 4に示す。葉状部基部の平均乾重量は0.23-1.03gで、1994年2月に極大値、1993年10月に極小値を示し、晩冬から中春に高く、晩夏から中秋に低い値を示した。葉状部基部の長さは1.2-4.5cmで、1994年3月に極大値、1993年10月に極小値を示し、晩冬から中春にかけて高く、夏季から中秋に低い明瞭な季節変化を示した。幼側葉段数は1-7

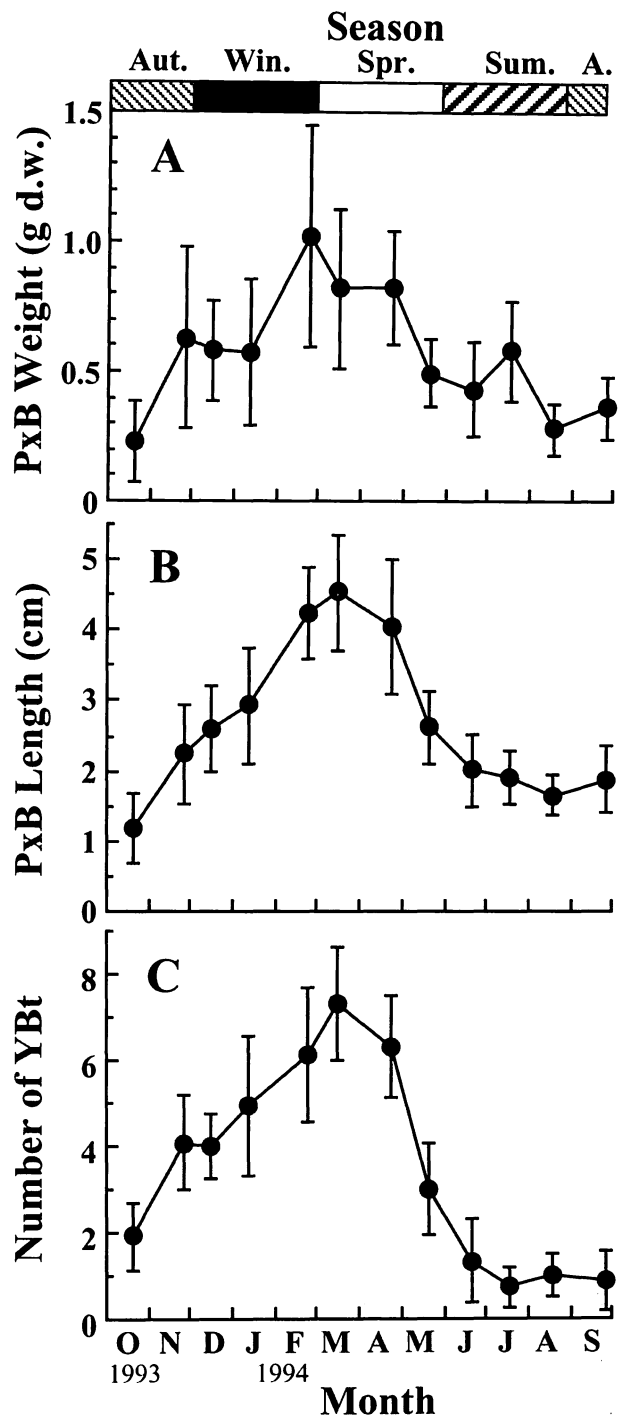


Fig. 4. Seasonal changes in proximal blade weight (A), proximal blade length (B) and number of young bladelets (C) of *Ecklonia cava* sporophytes at Tei in Tosa Bay. Data were expressed mean with SD.

段で、1994年3月に極大値、7月に極小値を示し、葉状部基部の長さと同様の明瞭な季節変化を示した。

手結地先のカジメの葉状部、葉状部基部、茎状部の単位面積あたりの現存量をFig. 5に示す。現存量は全体として、535.18-2573.10g乾重 m^{-2} で、1993年10月に極大値、1994年3月に極小値を示し、晩冬から初春に低い値を示した。葉状部の現存量は480.96-2448.40g乾重 m^{-2} で、同様に10月

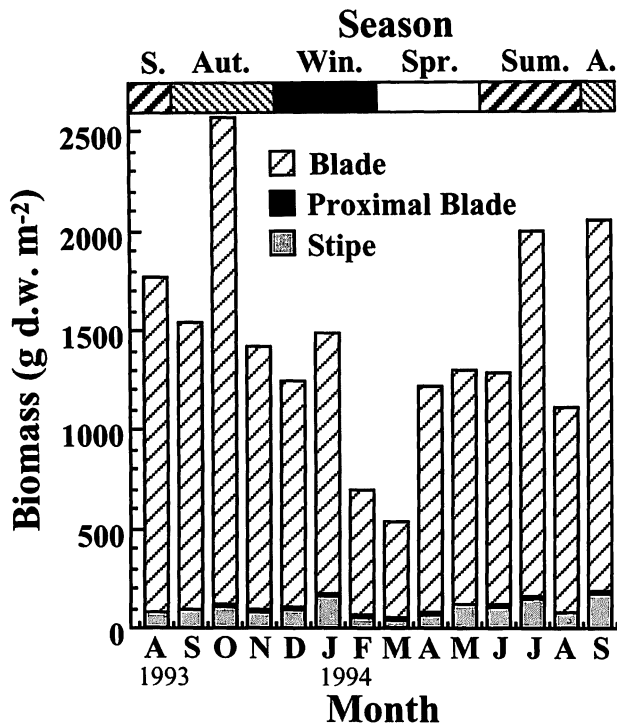


Fig. 5. Seasonal changes in biomass of *Ecklonia cava* population at Tei in Tosa Bay.

に最大値, 3月に最小値を示し, 晩冬から初春に低い値を示した。葉状部基部および茎状部の現存量は葉状部に比べ著しく小さな値を示した。葉状部基部の現存量は5.12–21.30g 乾重 m^{-2} で, 晩夏から初秋に5.12–9.36g 乾重 m^{-2} と低い値を示し, 晩秋から中春にかけて14.72–21.30g 乾重 m^{-2} と高い値を示した。茎状部の現存量は39.5–178.18g 乾重 m^{-2} で, 1994年9月に極大値, 3月に極小値を示したが, 季節的な傾向は明瞭でなかった。

個体あたりの最長側葉長, 側葉段数, 最大重量を示した一対の側葉片の位置, 最大長を示した側葉の位置をFig. 6に示す。最長側葉長は31.7–50.1cmで, 1994年2月に極大値, 1993年11月に極小値を示し, 晩秋から初冬にやや低い値を示した。側葉段数は12–21段で, 12月に極大値, 3月に極小値を示し, 初春に急減した。最大重量側葉片及び最長側葉片の位置はそれぞれ4–13段, 5–13段であり, 共に2月に極小値, 12月に極大値を示し, 晩冬から初春にかけて低い値を示した。また, 最大重量側葉片の位置は, 最長側葉片の位置と同じか, 1–2段上方であった。

一辺50cmの方形枠2枠中の10cm以上の側葉を持つカジメの個体数(密度)とそれらの葉状部における子嚢斑の有無および割合をTable 1に示した。カジメの生育密度は1993年10月に27個体/5000 cm^2 (54個体 m^{-2})と極大値を示したが, その他の時期は8–17個体/5000 cm^2 (16–34個体 m^{-2})で推移していた。カジメ葉状部における子嚢斑部位は1年中認められ, その割合は23–100%の間で変動し, 11月から1月までは100%であり, 春季に低い値を示した。子嚢斑は春季には円形または卵形を呈し, 上段の側葉の中央部から基部付近

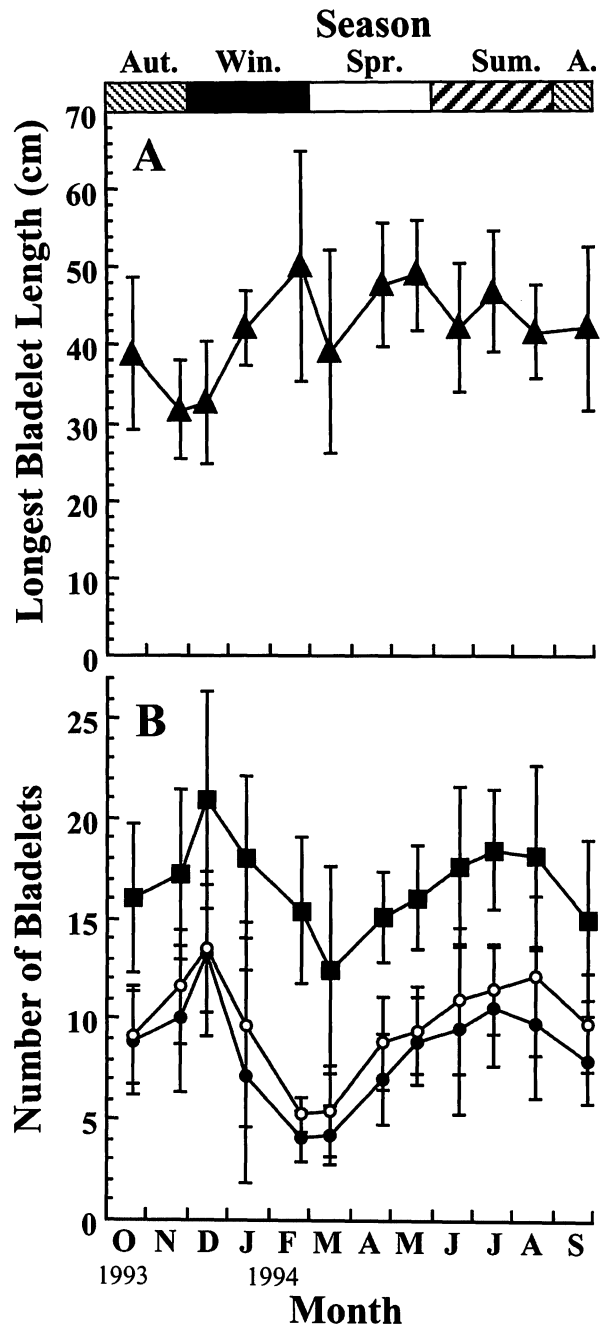


Fig. 6. Seasonal changes in the longest bladelet length (A), number of bladelets (solid squares)(B), position of the heaviest bladelets (open circles) and the longest bladelets (solid circles) of *Ecklonia cava* sporophytes at Tei in Tosa Bay. Data were expressed mean with SD.

に点在していたが, 夏季には側葉の先端部まで拡大すると同時に下段でも多く見られ, 秋季に入ると一部を除いて側葉の全面に形成され, 中央葉にも形成される個体が見られた。晩秋から初冬には, 遊走子が放出された後の組織が抜け落ちた側葉が見られた。冬季には薄い幅広の側葉が下段より形成され, それらには子嚢斑は見られないが, 上段の側葉には一部子嚢斑を残存させている個体が確認された。

永久コドラート内のカジメの側葉数の変化をFig. 7に示す。コドラート内の個体数は開始時の1993年11月には6個体で

あったが、1994年2月に5個体、3月に3個体へと徐々に減少し、1994年9月には1個体となった。平均側葉段数は12-19段で、12月に極大値、2月に極小値を示し、晩冬に急減する季節変化を示した。平均新生側葉段数は0-4段で、2月と4月に極大値、9月に極小値を示し、冬季から春季に高かった。平均脱落数は0-10段で、2月に極大値、9月に極小値を示し、冬季に急増する季節変化を示した。総側葉段数（累積した側葉段数）の平均は調査開始時の18段から調査終了時の38段まで上昇し、10ヶ月間で側葉を20段生産したと見積もられた。

考察

カジメの生産量に関しては伊豆下田産の大型カジメについて、日生産量が $1.7-13.4\text{g 乾重 m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、年生産量が $2.84\text{kg 乾重 m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と報告されている (Yokohama *et al.* 1987)。これらの値は、今回の土佐湾産のカジメの結果（日生長量 $0.12-9.96\text{g 乾重 m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、年生産量 $2727.48\text{g 乾重 m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ）と比べやや大きいかほとんど同じ値であった (Fig. 3)。また、伊豆下田産カジメの平均新生側葉段数は1ヶ月間で0-4段と報告されているが、この値も今回の土佐湾産カジメにおける結果と同じであった。今回の実験では伊豆下田の実験で使われた一辺1mの方形枠よりも小さい、一辺50cmの方形枠を使っており、カジメは群落内に均一に分布していないので (Maegawa & Kida 1991)、今回の結果が群落内のより密集した部分を過大に見積もっている可能性や、風乾による乾燥重量であるために臨界点乾燥させた伊豆下田のものに比べると数%重く表れている可能性がある。それらを考慮しても、形態的に明らかに小型である土佐湾産のカジメの生産量と、大型である伊豆下田産のカジメのそれとがほぼ同じ値に見積もられたことは大変興味深い。これまでに土佐湾における水深7-10mでのカジメの生育密度は、成体が $21-27\text{個体 m}^{-2}$ 、

Table 1. Number and ratio (%) of plants with sori of *Ecklonia cava* at Tei in Tosa Bay.

	Plants with sori	%
August 13, 1993	10 (13)	76.9
September 28, 1993	7 (12)	58.3
October 20, 1993	24 (27)	88.9
November 25, 1993	15 (15)	100.0
December 15, 1993	11 (11)	100.0
January 12, 1994	17 (17)	100.0
February 23, 1994	7 (8)	87.5
March 16, 1994	3 (9)	33.3
April 25, 1994	5 (13)	38.5
May 21, 1994	3 (13)	23.1
June 22, 1994	7 (12)	58.3
July 18, 1994	9 (11)	81.8
August 18, 1994	5 (9)	55.6
September 26, 1994	11 (13)	84.6

*values in parentheses indicate the number of plants (with bladelets over 10 cm) within the two quadrats ($5000\text{ cm}^2 = 1/2\text{ m}^2$).

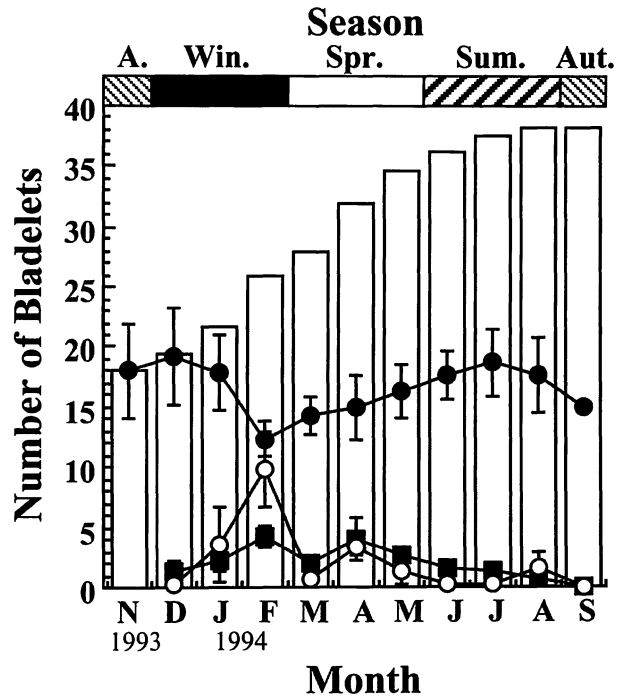


Fig. 7. Seasonal change in number of newly produced bladelets (solid squares) (mean with SD), number of bladelets (solid circles) (mean with SD), eroded bladelets (open circles) (mean with SD) and total bladelets (open bars) of *Ecklonia cava* sporophytes in a permanent quadrat placed in Tosa Bay.

幼体が $24-31\text{個体 m}^{-2}$ (大野・石川1982)、あるいは1歳以上が $10-19\text{個体 m}^{-2}$ 、1歳未満が $16-34\text{個体 m}^{-2}$ (芹澤ら2001)であることが報告されており、伊豆下田における水深5-9mでのカジメの生育密度は、成体が $17-22\text{個体 m}^{-2}$ (Yokohama *et al.* 1987)、あるいは1歳以上が $12-17\text{個体 m}^{-2}$ 、1歳未満が $3-26\text{個体 m}^{-2}$ (芹澤ら2001)であることが報告されている。今回の調査からも、側葉10cm以上のカジメの生育密度は $16-54\text{個体 m}^{-2}$ とこれまでの土佐湾における報告同様に高いことが明らかとなり (Table 1)、土佐湾産のカジメは小型ではあるが、密度が高いために単位面積当たりの生産量としては伊豆下田のカジメと同等の値を示したものと考えられる。

また、新生側葉段数及び日生産量は、伊豆下田の結果 (Yokohama *et al.* 1987)と同様に、土佐湾のカジメも冬季から春季に高く、夏季から秋季に低いことが分かった (Fig. 3)。さらに、今回の実験から個体当たりの葉状部基部の乾重量、長さおよび幼側葉段数について明らかにすることができた (Fig. 4)。これらの値が、新生側葉段数とほぼ一致した季節変動を示したことから、介在生長部分である葉状部基部の大きさは側葉新生と密接に関わっていることが確認できた。

伊豆下田産カジメの現存量は $1.0-2.7\text{kg 乾重 m}^{-2}$ であったことが報告されており (Yokohama *et al.* 1987)、これは今回の土佐湾産カジメにおける値 ($535.18-2573.10\text{g 乾重 m}^{-2}$) (Fig. 5)に比べると、極小値では土佐湾産で小さく、極大値では近い値であった。葉状部の総重量が減少する冬季においても茎状部の総重量は一定であるため、現存量の小さい冬季

における両者の差は、茎状部の総重量の違いに起因していると言える。これまでに土佐湾のカジメは、現存量の多くを葉部（葉状部+葉状部基部）に依存していることが報告されており（大野・石川1982, 芹澤ら2001）、伊豆下田産カジメの葉部と茎状部の重量比から考えても、土佐湾産カジメの茎状部の総重量は著しく小さい（芹澤ら2001）。伊豆下田産カジメに比べ土佐湾産カジメの茎状部は、著しく短く、かつ細いことが知られており（Serisawa *et al.* 2002a, 芹澤ら2002, 2003）、この事実が茎状部の総重量が小さい主因であると言える。一方、カジメ個体の葉部の大きさについては、中央葉幅と側葉長においては伊豆下田産のカジメの方が大きい、中央葉長と側葉数においてはほぼ同じか季節により土佐湾産のカジメの方が大きいことが示されており（Serisawa *et al.* 2002a）、葉部の総重量は伊豆下田産のカジメの方が通年大きな値を示すが、茎状部に比べると両者における重量の差は小さいと言える。今回の結果から茎状部だけでなく、葉状部基部の総重量も葉状部のそれに比べるとかなり小さいことが示された（Fig. 5）。また、全体の現存量の変動は主に葉状部の現存量の変動と一致しており、晩冬から初春に低下する季節変動を示したことは、これまでの報告と基本的に一致している（Yokohama *et al.* 1987, 芹澤ら2001）。

上述のように生産量の季節変動と現存量のそれとが一致しない、例えば極大値を示す時期および極小値を示す時期が両者で逆転しているという現象は、伊豆下田のカジメでも報告されている（Yokohama *et al.* 1987）。また、カジメは冬季から春季には活発に側葉を新生するが、この時期の側葉は重量が軽く、夏季から秋季に成熟して子嚢斑を形成することによって側葉は厚みを増して重量を増加させることが報告されている（Haroun *et al.* 1989）。このように生産が活発な時期と重量が増加する時期がずれているため、生産量と現存量とは異なった季節変動を示すものと理解できる。

今回の結果から土佐湾産カジメの最長側葉長（31.7 - 50.1cm）は、伊豆下田産カジメのそれ（43.0 - 52.6cm）（Serisawa *et al.* 2002a）に比べ小さいことが分かった（Fig. 6）。標本抽出法によって採集された伊豆下田産カジメの側葉段数は年齢によって異なり、1歳群で4 - 10段、2歳群で10 - 14段、3歳群で10 - 18段、4歳群で8 - 20段であり（Aruga *et al.* 1997）、同地でコドラート法により採集された1歳以上のカジメの側葉段数は9 - 15段であったことが報告されている。今回の結果から土佐湾手結地先のカジメの側葉段数（12 - 21段）は、伊豆下田産のそれに比べ多いことが分かった。Serisawa *et al.* (2002a) は1995 - 1996年に同じ手結地先のカジメの最長側葉長を23.4 - 38.0cm、側葉段数を7 - 14段と報告しており、これは今回（1993 - 1994年）の結果に比べ明らかに小さい値であった。これまでに手結地先のカジメにおける生育不良から消滅までの過程の中で、カジメの短茎化といった形態の変化が生じていたことが報告されている（芹澤ら2000, Serisawa *et al.* 2004）。今回の結果から明らかになった最長側葉長の低下と側葉段数の減少も、環境への適応として短茎化と同様に生じていた可能性がある。

今回の観察によって水温15 - 28℃の土佐湾手結地先（芹澤・大野1995）では、葉状部に子嚢斑を有するカジメは年間を通じて見られ、子嚢斑を有する個体の割合は春季に少なく、夏季から冬季に高いことが分かった（Table 1）。水温13 - 25℃の神奈川県三浦半島毘沙門地先では子嚢斑を有する個体の割合は2月に20%、4月に70 - 80%、5月に40%、7月 - 10月まで90 - 100%で、11月には60%に減少し、12 - 1月には0%であったことが報告されている（今井1988）。また、毘沙門地先と同じ水温環境にある伊豆下田（下田臨海実験センター1991 - 2000）のカジメでも、子嚢斑を有する個体は一年中見られるものの、3歳以上の個体においては12 - 2月には子嚢斑を有する個体が少ないことが報告されている（Aruga *et al.* 1997）。土佐湾では12 - 2月においても子嚢斑を有する個体の割合が高かったが（Table 1）、これは土佐湾が上記の海域に比べ水温が高いことと関連がありそうである。一般にマコンブ *Laminaria japonica* では配偶体の成熟に温度が関係している（18℃以下で成熟）ことが知られており（徳田ら1987）、カジメに近縁なアラメでも配偶体の成熟温度は8 - 20℃であることが報告されている（谷口・秋山1982）。コンブ科藻類の胞子体における子嚢斑形成期と温度との関係は未だほとんど調べられておらず、子嚢斑の出現期間は長い、その広がりにはピークが見られることから（Aruga *et al.* 1997）、今後、胞子体の成熟の誘導要因、特に子嚢斑形成に対する温度と光周期との関係について調べる必要がある。

これまでに、カジメ群落内部の光環境と考えられる弱い光量下では土佐湾産と伊豆下田産のカジメの光合成速度や呼吸速度は、ほぼ同じであることが示されており（Serisawa *et al.* 2001）、土佐湾産のカジメを伊豆下田に移植した場合でも、移植後数年を経過しても形態的には短茎 - 小型のままであったが（Serisawa *et al.* 2002b）、その光合成活性は様々な温度と光量の条件下においてさえ、ほぼ等しかったことが報告されている（Serisawa 1999）。このように、土佐湾から移植したカジメが伊豆下田産カジメと同様の生産性を持ちながら、小型の形態を維持していた理由としては、移植による環境変化によって、土佐湾出身のカジメの側葉における生産と脱落の速度、すなわち側葉の回転率（turn over rate）が増加した可能性が考えられている（Serisawa 1999）。側葉の回転率に関して、今回の永久コドラートを用いた実験から、土佐湾に生育するカジメの側葉における月間の脱落数および新生数が0 - 10段および0 - 4段であり（Fig. 7）、伊豆下田カジメの値（0 - 7段および0 - 5段）（Yokohama *et al.* 1987）とほぼ同じ水準にあったことが示された。したがって両地では、カジメの側葉における回転率（turn over rate）は、ほぼ同等であったと考えられる。

これまでに土佐湾のカジメ群落は主に0 - 1歳群から構成されており、伊豆下田産のカジメ群落は主に0 - 4歳群から構成されていることから、土佐湾産カジメは伊豆下田産カジメに比べ短命であると考えられている（芹澤ら2001）。今回の永久コドラートを用いた実験ではカジメの個体数が徐々に減少し、最後には1個体となったが、これは土佐湾産カジメ

が短命であり、寿命も1年程度であることと関係がありそうである。しかし一方で、今回調査を行なった1993-1994年は、土佐湾手結地先でカジメ群落の衰退し始めた時期であり(芹澤ら2000)、その影響ということも否定できない。同地先では1992年からカジメが茎状部のみとなる、いわゆる葉状部欠損現象が見られるようになり、1997-2000年の間にカジメ群落の完全に消滅し磯焼けとなったことが報告されている(芹澤ら2000)。その結果、目に見える数値としては1.7t以上あったアワビの収穫量が皆無になったが、180haのカジメ群落の消滅したことの沿岸生態系への影響は計り知れない(Serisawa *et al.* 2004)。Serisawa *et al.* (2004)はこのカジメ群落消滅の一因として海水温の上昇を挙げている。今後、カジメの生活史におけるそれぞれのステージ(配偶体、幼孢子体、成体など)で温度、光および栄養塩濃度の条件を変えて生産量と消費量の変化を測定することで、カジメが生残できる限界の環境条件を明らかにし、それを基にカジメ海中林を復活させるための対策を講じる必要があろう。

謝辞

本研究を行なうにあたり、調査にご協力いただいた高知大学海洋生物教育研究センター技官、井本成彬氏、奥田哲男氏、井本善次氏、高知県水産試験場研究員の田井野清也氏に心謝する。また本稿英文を御校閲いただいたJapan Scientific TextsのC. P. Norman博士に謝意を表す。

引用文献

- Aruga, Y., Kurashima, A. & Yokohama, Y. 1997. Formation of zoosporangial sori and photosynthetic activity of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). *J. Tokyo Univ. Fish.* 83: 103-128.
- Haroun, R., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1989. Annual growth cycle of the brown alga *Ecklonia cava* in central Japan. *Scient. Mar.* 53: 349-356.
- 林田文朗 1977. 海中林構成種カジメの年齢と生長について. *日水誌* 43: 1043-1051.
- 今井利為 1988. 三浦半島毘沙門におけるカジメの子葉斑形成時期について. *神奈川水試研報* 9: 21-25.
- 岩橋義人・稲葉繁雄・伏見浩・佐々木正・大須賀穂作 1979. 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態的研究-IV. 分布と群落の性状. *静岡水試研報* 13: 75-82.
- 川嶋昭二 1993. 日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター. 札幌, p. 124-127.
- 環境庁自然保護局 1994. 第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書. 第2巻, 藻場. 財団法人海中公園センター, 東京.
- Maegawa, M. & Kida, W. 1991. Distributional pattern of *Ecklonia cava* (Phaeophyta) marine forest in the coast of Shima Peninsula, central Japan. *Jpn. J. Phycol.* 39: 173-178.
- 大野正夫 1985. 海中林-その生態と造成技術-. *海洋科学* 17(12): 706-713.
- 大野正夫・石川美樹 1982. 土佐湾産カジメ類の生理生態学的研究I. 群落の周年変化. *高知大海洋生物研報* 4: 59-73.
- Serisawa, Y. 1999. Comparative study of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta) growing in different temperature localities with reference to morphology, growth, photosynthesis and respiration. Doctor thesis of Tokyo University of Fisheries.
- 芹澤如比古・大野正夫 1995. 土佐湾の外海域に設置した人工礁上に着生する海藻類の遷移. *日水誌* 61: 854-859.
- 芹澤如比古・井本善次・大野正夫 2000. 土佐湾, 手結地先における大規模な磯焼けの発生. *Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.* 20: 29-33.
- 芹澤如比古・秋野秀樹・松山和世・大野正夫・田中次郎・横浜康継 2001. 水温環境の異なる2つの生育地のカジメ群落における現存量, 密度, 年令組成の比較. *水産増殖* 49: 9-14.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y. & Tanaka, J. 2001. Photosynthesis and respiration in bladelet of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta) in two localities with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 49: 1-11.
- Serisawa, Y., Akino, H., Matsuyama, K., Ohno, M., Tanaka, J. & Yokohama, Y. 2002a. Morphometric study of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes in two localities with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50: 193-199.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y. & Tanaka, J. 2002b. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50: 201-207.
- 芹澤如比古・上島寿之・松山和世・田井野清也・井本善次・大野正夫 2002. 高知県手結地先に生育するカジメ(褐藻, コンブ目)の年齢と形態の関係. *水産増殖* 50: 163-169.
- 芹澤如比古・秋野秀樹・横浜康継 2003. 伊豆下田鍋田湾に生育するカジメ(褐藻, コンブ目)の年齢と形態の関係. *水産増殖* 51: 1-6.
- Serisawa, Y., Imoto, Z., Ishikawa, T. & Ohno, M. 2004. Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased water temperatures in Tosa Bay, southern Japan. *Fish. Sci.* 70: in press.
- 下田臨海実験センター 1991-2000. 沿岸観測報告. 筑波大学下田臨海実験センター. Vols. 40-49: 1-8.
- 須藤静夫 1992. 千葉県御宿町前の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー. *海生研研報* No. 92101: 1-22.
- 谷口和也・秋山和夫 1982. アラメ配偶体の生長及び成熟に対する水温と光条件. *東北水研研報* 45: 55-59.
- 富永春江・芹澤如比古・大野正夫 1999. 土佐湾手結地先の異なる水深に生育するカジメの形態, 密度および現存量について. *Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.* 19: 63-70.
- 徳田廣・大野正夫・小河久朗 1987. 海藻資源養殖学. 水産養殖学講座 10. 緑書房, 東京.
- 月館真理雄・新井章吾・成原淳一 1991. 宮崎県門川地先のカジメ群落の観察. *藻類* 39: 389-391.
- Yokohama, Y. 1977. Productivity of seaweeds. p.119-127. In: Hogetsu K., Hatanaka M. Hanaoka T. and Kawamura T. (Eds) *Productivity of biocenoses in coastal regions of Japan*. JIBP Synthesis Vol. 14. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. & Chihara, M. 1987. Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu Peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag., Tokyo* 100: 129-141.
- 吉田忠夫 1970. アラメの物質生産に関する2, 3の知見. *東北水研研報* 30: 107-112.

(Received 22 Sept. 2003; Accepted 6 Feb. 2004)

