

寄り藻調査による大型褐藻アラメのアロメトリー、脱落原因および寿命の解析

川俣 茂

独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所 (〒 314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

Shigeru Kawamata: Use of beached plants to analyze the allometry, modes of failure and life time of the kelp *Eisenia bicyclis*. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 60: 127-133, November 10, 2012

Beached plants of the perennial kelp *Eisenia bicyclis* were examined throughout a year at a wave-exposed shore of Choshi, Chiba, Japan to examine their allometry, lifetime and the mode of failure. The plant weight was most closely related to the basal stipe diameter. The diameter was closely related to the arm length, while the stipe length showed a weak correlation with the arm length, suggesting that the stipe elongation might vary greatly according to the environmental conditions. The distribution of lifetime was estimated from the arm length, resulting in that its median value was 3 yr. Plants dislodged with holdfast and those broken at the stipe base accounted for 43% and 35%, respectively. Half of the former plants held attached organisms under the holdfast, suggesting that overgrowth might lead to higher risk of dislodgement. Most detached plants were found after extremely severe waves due to a typhoon, but many plants broken at the stipe base also occurred before it, indicating that the break was attributed to factors other than wave force, such as infection. Timing of detached algae being stranded ashore is discussed for a proper sampling of wrack.

Key Index Words: Allometry, Dislodgement, *Eisenia bicyclis*, Kelp wrack, Lifetime

National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, 7620-7 Hasaki, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan

緒言

基質から離れ、波浪や潮流などの作用によって岸に流れ寄った海藻を寄り藻という(金田 1986, 松村 1998)。「寄り藻」は、しばしば海中を漂う海藻のうち海底に沈むものとして誤用されたり(新井 1996)、「打ち上げ海藻」や「漂着藻」などの別の表現に言い換えられたりするが、古くから国語辞典に記載されている通語で、冒頭以外の意味はない。寄り藻は、食料や肥料、海域と陸域の推移帯 ecotone への重要なエネルギー源になる(Orr *et al.* 2005, Bazterrica *et al.* 2007) ほか、海中での海藻の種組成、形態・大きさ、流失原因などを知るための貴重な情報源にもなる(Koehl & Wainwright 1977, Santelices *et al.* 1980, Santelices & Ojeda 1984, 池原・林田 2003, Yatsuya *et al.* 2007)。

寄り藻調査は海に入る必要がないので、作業自体はいつでもできるが、岸に打ち上がる海藻の量と質の時間変動は大きく、その予想も難しいため、適正な調査は意外に難しい。引き潮時に岸に打ち上げられた海藻は乾燥と熱により腐朽が促進し、その一部はそのまま陸に取り残されるが、満ち潮になると、その他の多くは、再び海へ戻される。このため、調査のタイミングによっては、著しく腐朽した寄り藻が多かったり、量的変動が大きくて寄り藻の発見が「博打」になったりする可能性がある。しかし、現状では寄り藻の挙動に関する知見や指針となるものがないまま調査が行われている。

著者は千葉県銚子半島最東端部に位置する海鹿島海岸で、1年間にわたり大型褐藻アラメ *Eisenia bicyclis* Kjellman の寄り藻を調べた。アラメは、本州太平洋岸北・中部および

九州北岸の広い範囲に分布する大型褐藻類で(吉田 1998)、銚子沿岸では低潮線から水深 2-3 m 付近までの浅所に密生した群落を形成する。アラメの成長と形態については、特定場所での個体標識調査によって、茎長と他の量的形質との間に一定の関係が成立することが示されている(前川・喜田 1984)。また、分叉したアラメ成体については、枝長が毎年、一定の割合で増加することから、年齢形質になり得ることが示されている(谷口・加藤 1984)。しかし、アラメの茎長は生育水深によって大きく異なる可能性がある(岡村 1936) ことから、個体の相対成長の基準に茎長を用いることには疑問が残され、また枝長のほかにも茎径(小島 1979) や茎長(喜田・前川 1985) が年齢形質になるとする報告もあるが、各形質間の関係は明らかにされておらず、結論には至っていない。また、多年生であるアラメの寿命については、宮城県牡鹿半島沿岸での詳しい調査例(谷口・鬼頭 1988) があり、8年までの年齢が報告されているが、他海域での情報は少ない。

波浪の厳しい場に生育するアラメは、繊維状根の付着器で基質に固着して 1 本のテーパー状の茎部を立ち上げ、その先端に形成される分叉枝の両端から掌状に生じる多数の側葉を支える。その付着力は平均的には暴風時の波力にも十分に耐えられるほど大きいですが、そのばらつきも大きく、波浪による脱落が起こり得ることが予測されている(菅原ら 1998)。海鹿島沿岸には、非常に波当たりの強い平磯があり、アラメが密な群落を形成する。ここでのアラメも素手で引き剥がせないほど付着力が強いが、海岸には基質から剥がれたアラメがしばしば観察され、波浪による脱落が予想された。

本研究では、ほとんど調べられていない銚子沿岸でのアラメについて、1年間の寄り藻調査データから、アロメトリー関係、流失原因、破断部位および寿命を検討したので、その結果を報告する。また、本研究を通じて推察された寄り藻調査の適正なタイミングについても述べる。

材料と方法

調査

1995年4月5日～1996年3月26日、銚子半島最東端に位置する千葉県銚子市海鹿島海岸 (Fig. 1, A-B間)において、46回のアラメの寄り藻調査を行った。調査区に選んだ海岸は、平均汀線延長約180mの陸の突出部に位置し、その陸側の大部分は粗砂の堆積する砂浜となっていた。調査区の南東から北方の銚子漁港の防波堤までの沖には海底勾配1/100ほどの平磯が広がり、暗礁、転石帯および砂底が混在する複雑な地形となっていた。そこでの波浪は極めて強く、白波の立たない静穏な日はほとんどなかった。アラメの分布域は詳しく調べられていないが、低潮線付近から潮下帯上部の岩礁ではアラメ密生群落が普遍的にみられた。調査地区の周辺では、アラメの漂着は調査区内のFig. 1中のA線とB線が汀線と交わる地点付近以外ではほとんどみられない。また、アラメの漂着量は波向によって大きく変わることもあったが、これらの二地点は向きが異なるため、両地点を含む領域を調査対象とすることで、波向に依らず、比較的安定的に寄り藻を観察できると考えられた。

当地区では大潮時に1.5mほどの潮位差があり、予備調査では干潮または引き潮の時以外には寄り藻がほとんど見つか

らなかったことから、ほぼ毎週、1週間のうちで日中に潮位が最も下がる時をねらって寄り藻調査を実施した。調査では、調査区の波打ち際とその上方の岸に打ち寄せられた全てのアラメ藻体について、枝長、破壊部位、および腐朽の度合を記録した。枝長の測定は谷口・加藤(1984)によった。腐朽の度合は、完全に新鮮な状態の“新鮮”、部分的な傷みがある場合の“部分腐朽”と藻体の半分以上が腐朽した“腐朽”に分類した。また調査毎の発見個体が30本以下の場合には全個体について、またはそれを超えた場合は無作為抽出した30個体についてのみ、茎径(茎部下端での長径と短径の平均、仮根がわずかでもあり、茎部下端がわかる場合のみ測定)、茎長および湿重量を測定した。湿重量は、海岸で藻体を表面の水分がなくなる程度に乾燥させて、付着動物や砂礫が付着している場合はそれらを取り除いた後、上皿自動秤(秤量4kg)を用いて測定した。測定後、二重測定が起らないよう、すべての寄り藻を陸の高い位置へ引き上げた。

解析データ

“腐朽”個体には、基質から脱落后に長期の漂流中に藻体の一部が欠損したとみられるものもあったため、解析から除外した。また、アラメの流出原因の大部分は波浪等による自然的要因と考えられたが、当調査区沿岸の平磯では、大潮干潮時に所々で、明らかに鎌等で切断された茎部が棒状に残るアラメの“切り株”がパッチ状に見られ、人為的倒伐が行われていたことがわかった。しかし、これらの切り口は必ず茎部基部より離れたところであったことから、仮根の一部が残り、付着器と茎部の接合部で破断したと判断できる藻体(以下、基部破断個体という)では、人為的倒伐の可能性は低いと考えられた。そこで、ここでは非人為的的要因によって脱落したと考えられる、基部破断個体と付着器が基質から剥離し、藻体全体が流れたもの(剥離個体という)のみを解析対象とした。

アラメの脱落や漂着に関する波浪条件として、銚子漁港 (Fig. 1, W1; 水深25.1m) および名洗港の沖 (Fig. 1, W2; 水深25m) で毎時観測されていた有義波高を収集し、その日最大値を求めた。

アロメトリーと寿命の解析

本研究では、アラメの茎径、茎長および枝長と藻体重量との間にアロメトリー関係

$$y = ax^b \quad (1)$$

があるかを調べるため、付着器のある剥離個体について、式(1)を対数変換して、線形回帰分析を行った。ここに、 a と b は回帰係数である。また、茎径および茎長が、年齢形質の枝長とどのような関係にあるかを調べ、Weibullの成長式 (Yang et al. 1978)

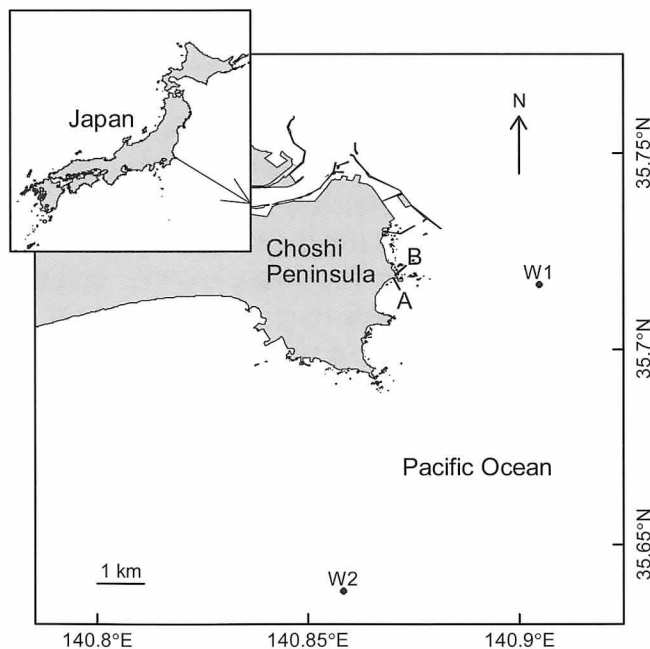


Fig. 1. Locations of the study beach (between A and B) and wave measurement points (W1 and W2).

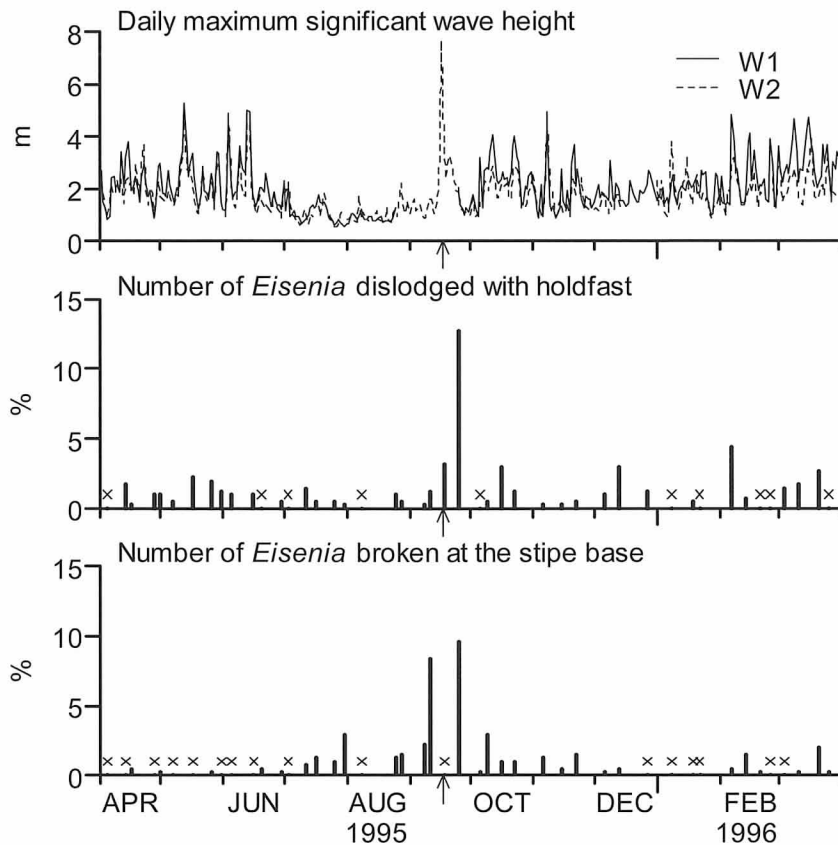


Fig. 2. Variations in daily maximum significant wave heights at Points W1 and W2 (Fig. 1), and in the numbers of *Eisenia bicyclis* (except for the “Decayed”) found at the study beach dislodged with holdfast and broken at the stipe base. The number is expressed as fractions of the total number ($N = 409$) of both groups of plants. Arrows indicate the time at which Typhoon 9512 passed through the sea area east of Choshi. Crosses indicate no plants found.

$$y = a [1 - \exp \{-(x/b)^c\}] \quad (2)$$

を修正 Marquardt 法による非線形最小 2 乗法を用いて当てはめ、係数 a , b および c を決定した。

脱落様式（剥離または基部破断）の起こりやすさは形態によって異なり、細長い茎部の藻体の方が基部基部で破断しやすいことが予想された。そこで、茎径と茎長との関係が脱落様式で異なるかを調べるため、局所重み付け多項式回帰による平滑化 (Cleveland 1979) による比較を行った。

脱落様式別の寿命分布を明らかにするため、寄り藻の枝長分布を調べるとともに、年齢を次式 (谷口・加藤 1984) により推定した。

$$J = (L+1.4099) / 3.5277 \quad (3)$$

ここに、 J は年齢、 L は枝長 (cm) である。

非線形最小 2 乗法回帰分析にはソフトウェア NLRAna (www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an017159.html) を用い、それ以外の統計解析には、R 言語 (R Development Core Team 2009) を用いた。

結果

調査期間における日最大有義波高およびアラメの剥離個体数と基部破断個体数の変化を Fig. 2 に示す。1995 年 4 月から 6 月中旬までは波高が比較的高い日が多く、有義波高が 4 m を超える暴浪もみられた。この期間には、剥離個体が基部破断個体よりも多かったが、それ以降の比較的静穏な (有義波高 < 2 m) 期間では、逆に基部破断個体の方が多くなった。この基部破断個体は、同年 9 月 11 日には特に多く、全体の 87% に達した。同月 17 日、大型の台風 12 号により有義波高 7.7 m の激浪が発生した。しかし、有義波高 2 m 以上の波浪の高い状態が続いていた翌日では、仮根を互いに絡み付けて基質ごと剥がれたアラメの束が少しみられただけで、附着器のない基部破断個体は観察されなかった。波浪が沈静化した同月 25 日、大量の寄り藻が観察された。その寄り藻では剥離個体が多かったが、基部破断個体も同程度に多くみられた。その後は、4 月～6 月中旬と同じように、有義波高がしばしば 2 m を超える波浪の強い状態が続き、比較的少ない剥離個体と基部破断個体の寄り藻がときどきみられる状態となった。

全調査期間において、合計 640 個体のアラメの寄り藻が観

察された (Table 1)。そのうち解析対象とした“腐朽”を除く剥離個体と基部破断個体が大半 (64%) を占めた。また、対象群 (“新鮮” + “部分腐朽”) と非対象群 (“腐朽”) 間での剥離個体と基部破断個体との比率には顕著な差がみられなかったことから、解析への“腐朽”個体を除いた影響はほとんどなかったと考えられた。

脱落様式別では、剥離個体が最も多かったが、基部破断個体もそれと同程度に多かった。剥離個体は、さらに付着器に海綿や穿孔性二枚貝などの動物または礫や岩石片を着けたものと、付着物がないものに分けられた。前者は明らかに波浪によって基質の表面ごと剥がれたもので、剥離個体の 51% を占めた。

付着器を含む藻体重量は茎径と最も高い相関 ($r^2 = 0.79$) のアロメトリー関係を示し、茎径のおおよそ 3 乗に比例して増加した (Table 2, Fig. 3)。藻体重量は、年齢形質の枝長とも比較的高い相関を示したが、茎長との相関は低く、茎長が藻体重量の普遍的指標にはなり得ないことを明示した。年齢形質の枝長と茎径および茎長との関係を Fig. 4 に示す。枝長 (cm) と茎径 (cm) 間には、Weibull の式

$$y = 3.09 [1 - \exp \{-(x / 3.05)^{0.526}\}], (r^2=0.68, N=321) \quad (4)$$

で表される密接な関係があり、茎径の増加速度が年齢とともに

Table 1. Mode of failure and the degree of degradation for all *Eisenia bicyclis* plants found at the study beach of Choshi from April 1995 to March 1996.

Mode of failure	Fresh	Partially decayed	Decayed	N (%)
	%	%	%	
Dislodged with holdfast	6	30	7	274 (43)
Broken at the stipe base	1	27	7	224 (35)
Broken at central stipe position	2	10	4	104 (16)
Laterals detached without stipe	0	4	1	38 (6)
Total				640 (100)

Data in shaded cells were used for the analysis.

Table 2. Results of the linear regression analysis of the relationship between plant wet weight (g; y) vs. morphometric quantities (x) in a logarithmic form ($\log y = a + b \log x$) for *Eisenia bicyclis* plants found at the study beach dislodged with holdfast. Numerals in parentheses are 95% confidence intervals.

Morphometric quantity	a	b	N	r^2	P
Basal stipe diameter (cm)	3.763 (±0.210)	3.194 (±0.242)	186	0.79	<0.001
Stipe length (cm)	3.714 (±0.648)	0.795 (±0.192)	186	0.27	<0.001
Arm length (cm)	4.695 (±0.208)	0.875 (±0.094)	175*	0.66	<0.001

* Only adults plants with arms.

に減少することが示唆された。一方、枝長 (cm) と茎長 (cm) 間にも平均的には Weibull の式

$$y = 46.64 [1 - \exp \{-(x / 2.89)^{1.229}\}], (r^2=0.14, N=321) \quad (5)$$

で示される同様の関係がみられたが、そのばらつきは非常に大きく、茎長の増加が年齢以外の要因によって著しく変化することを示唆した。

茎径と茎長との関係を脱落様式別に Fig. 5 にプロットした。回帰曲線が示すように、基部破断個体の茎径に対する茎長は剥離個体のそれよりも大きかったが、その差は僅少であり、細長い茎部の個体の方が基部基部で破断しやすいという仮説を支持する明らかな結果は得られなかった。

解析対象とした寄り藻全藻体の枝長分布を Fig. 6 に示す。参考として枝長から推定した年齢を上軸に示した。採集アラメの推定寿命は最大で 9 年で、その中央値は 3 年であった。脱落個体数は、枝長 < 3 cm (推定年齢 < 1.3 年) の若齢群で高かったが、その大部分 (85%, $N = 92$) は剥離個体であった。しかし、枝長 4 ~ 18 cm (推定年齢 1.5 ~ 5.5 年) の年齢のより高い群では、逆に基部破断個体の方がより多くなった (58%, $N = 222$)。

考察

寄り藻は調査海岸の沿岸一帯に生育する海藻個体群全体の標本であり、様々な生育環境からの個体を含んでいると考え

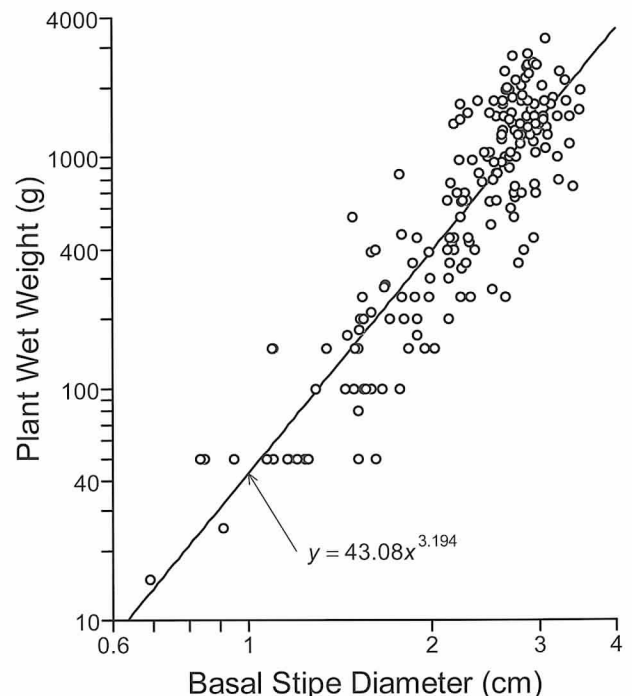


Fig. 3. Relationship between basal stipe diameter and plant wet weight for *Eisenia bicyclis* found at the study beach dislodged with holdfast ($N = 186$).

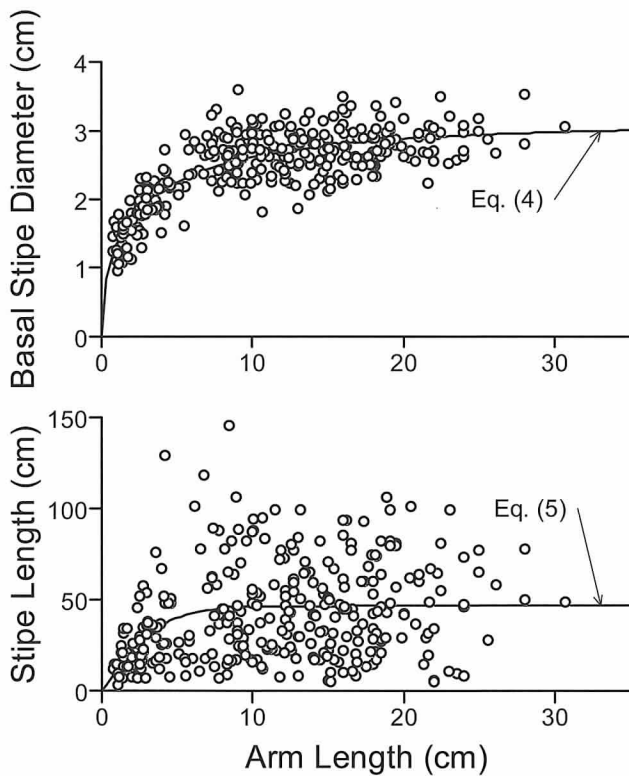


Fig. 4. Relationships between arm length and basal stipe diameter and between arm length and stipe length for the adults with arms ($N = 321$) of *Eisenia bicyclis* found at the study beach dislodged with holdfast and broken at the stipe base.

られる。したがって寄り藻調査では、個々の標本と生育環境条件との関係は分からないが、調査結果はその個体群全体の状態を偏りなく反映していると考えられる。波当たりの非常に強い銚子沿岸に優占するアラメについては、これまで系統的研究はなかったが、1年間にわたる寄り藻調査により、アロメトリー関係、脱落原因および寿命についていくつかの知見が得られた。また、寄り藻の量と質の時間変動は大きく、調査のタイミングによっては適正な結果が得られない可能性があることもわかった。寄り藻調査の適正化のため、調査方法の留意点と寄り藻の挙動について知見を整理する。

アロメトリーと寿命

アラメのアロメトリーについて、茎径が付着器を含む藻体重量と最も密接に関係し、藻体重量は茎径の約3乗に比例して増加することが示された。既往研究と重量の測定に違いがあるため、正確な比較はできないが、同様の関係は、三重県志摩半島沿岸のアラメの分叉個体における付着器を除く藻体重量と茎径との間(前川・喜田1984)だけでなく、アラメと同じような樹木状の構造をもつ大型褐藻 *Postelsia palmaeformis* における葉部重量と茎径との間(Holbrook et al. 1991)にも見出されている。生物の体の構造が外力に耐え得る力学的強度を維持しながら適応的に変化することが樹

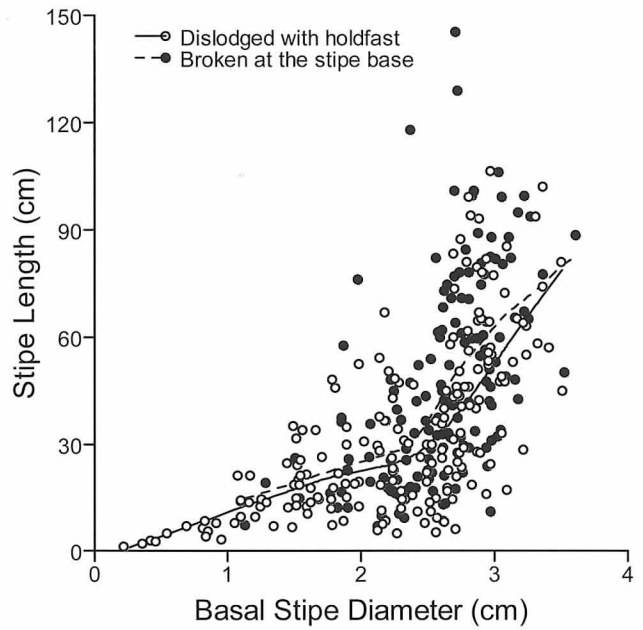


Fig. 5. Relationship between basal stipe diameter and stipe length for *Eisenia bicyclis* found at the study beach dislodged with holdfast ($N = 194$) and broken at the stipe base ($N = 146$). Curves indicate locally-weighted polynomial regressions.

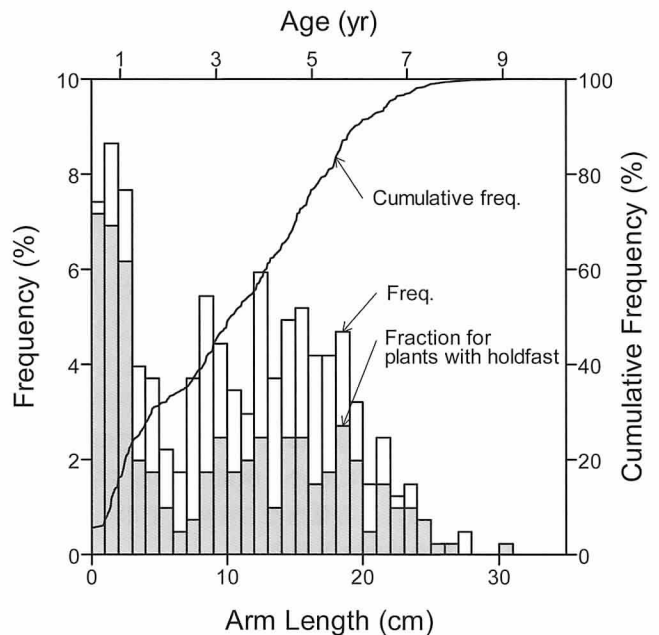


Fig. 6. Frequency distribution of the arm length for *Eisenia bicyclis* plants found at the study beach dislodged with holdfast ($N = 194$) and broken at the stipe base ($N = 146$). The age on the top axis is estimated from the arm length.

木の幹等で知られている(Niklas 1992)。アラメの葉部には葉面積(すなわち葉重量)に応じた流体力が作用し、それにより基質から立ち上がる茎部の下端には最大のトルク(力×

作用点から力の作用線までの距離)が働く。茎径は、そのトルクによる曲げ応力に耐え得るよう増加しなければならないのに対して、茎部の可とう性(折れずにたわむ性質)のため、茎長が増加しても葉部からの張力が作用する茎部上端の高さ(すなわちトルク)は増加しない。これらのことが、茎径-藻体重量間の密接なアロメトリー、茎長-藻体重量間の低い相関、および茎部が長くなっても破断しやすくなることはないという結果(Fig. 5)に関係していると考えられる。

前川・喜田(前川・喜田 1984)は三重県志摩半島沿岸の一地点から採集したアラメについて、茎径-茎長間および藻体重量-茎長間に密接な相関関係があることを示した。これに対して、様々な生育環境からのアラメ標本が含まれていたと考えられる本研究の調査では、茎長と他の形態計測量のいずれとの間にも密接な相関関係はみられなかった。また茎長の年齢に対するばらつきは非常に大きく、たとえば、枝長6 cm以下の若齢(推定年齢<2年)群の中に茎長が100 cmを超える個体がある一方で、枝長>20 cmの高齢(推定年齢>6年)群の中に茎長が非常に短いままの個体もみられた(Fig. 4)。アラメ成体の茎長は、生育水深によって異なることが知られている(前川・喜田 1984)。アラメにおける茎長の増大は生育場の環境条件に適応して顕著に変化し、そのことが本研究結果での茎長のばらつきとして現れたと考えられる。

谷口・加藤(谷口・加藤 1984)は、福島県および宮城県沿岸のアラメ成体について、枝長が毎年一定割合で増加し、年齢の指標になり得ることを示した。この枝長に対して、茎径は次第に増加率が低下する単調増加関係を示し、茎径は年齢とともにその増加率を低下させ、上限に近づくとという従来の見解(小島 1979, 前川・喜田 1984)に一致した。これらのことから、枝長は年齢の適正な推定指標になり得るが、茎径はなり得ないと予想される。

本研究の寄り藻調査により、銚子海鹿島沿岸でのアラメ個体群の推定寿命分布としてFig. 6が得られた。これにより、寿命の中央値は3年と推定され、また最大寿命としてこれまでの最高8年(谷口・鬼頭 1988)を超える9年が観察された。このような推定を、通常行われている海中での追跡調査によって行うことは労力的にかなり困難であり、実際にそのような例はこれまでのところ見当たらない。その点で、寄り藻調査は有効な代替手法になり得る。

脱落要因

波浪の影響が強い調査地区沿岸では、アラメの脱落様式として、藻体全体が基質から剥離したものが最も多かった。従来、大型海藻の脱落要因の一つとして、付着生物の上に着生した大型海藻が付着生物ごと剥がれることが指摘されている(Dayton 1971, 1973)。また、菅原ら(菅原ら 1998)は、基質に付着したアラメの茎部を剥がれるまで引っ張ると、基質の表面ごと剥がれる個体が半数ほどあることを報告している。本研究でも基質の表面ごと剥がれたアラメ個体が多く観

察されたが、それらの基質の剥離面には海綿、穿孔性二枚貝などの生物が付着していることがほとんどで、それらが基質表面の強度を低下させたとみられた。実際、大潮干潮時にアラメの生育場を観察すると、ほとんどの基質面はなんらかの付着生物に被われていたことから、アラメの分布が他の生物との付着場所を巡る競争によって規定されていることが予想された。

アラメの脱落原因として、茎部下端での破断が剥離の次に多く観察された。茎部下端には波力によって最大の応力が作用するが、アラメの茎部が流体力だけで破壊することはその破壊強度(1~4MN m⁻²)からみて考え難い(川俣 未発表)。このことは、アラメの茎部を剥がれるまで引っ張ったときに茎部で切断する個体がないという事実(菅原ら 1998)にも合致する。しかし、実際に他の大型海藻でも報告されているように、茎部での破断はしばしば起こる。この原因として、従来の研究では海藻基部におけるウニによる食害または砂礫の衝突による摩耗(Koehl & Wainwright 1977)および疲労破壊(Santelices *et al.* 1980)などが挙げられている。大型海藻の疲労破壊については、茎部の形状がアラメに類似したチリ産海藻 *Durvillea antarctica* で波による繰り返し引張によって茎部に亀裂が入って破断することが明らかになっている(Santelices *et al.* 1980)。しかし本研究では、茎部下端で破断したアラメ個体が多数観察されたが、破断面に食害や摩耗による損傷を思わせる痕跡が認められることはまれで、また茎部に疲労破壊による亀裂がみられることもなかった。本研究では、基部破断個体が剥離個体とは異なり、台風前の静穏な高水温期にも多くみられた(Fig. 2)ことと、基部破断個体の中には茎部の内部組織が腐朽している場合も多かったことから、一つの可能性として、茎部に生じた何らかの損傷から細菌が侵入して、茎部の強度低下と破断が起こることが考えられる。しかし、そのような大型海藻の破壊はこれまでに報告されていないようで、茎部破断の原因解明は今後の課題として残された。

寄り藻の挙動と調査タイミング

岸に打ち寄せられたアラメには、全体的または部分的に傷んだ個体も多かったが、藻体全体が退色した“枯死”とみなせる個体は非常に少なく、腐朽の主因は岸への打ち上げによる乾燥と考えられた。このことから、調査をほぼ毎週、日中の最干潮時に行うことによって、岸への打ち上げによる腐朽を最小限に抑えられたと思われる。寄り藻の発生量の季節変化は、夏季の静穏期の後の最初の台風によって、最も多くのアラメが基質から脱落したことを示したが、その台風襲来時に流出したはずのアラメが岸へ打ち上げられるのは、台風直後ではなく、その余波が治まってからであることが注目された。このような漂流物の岸への打ち上げ機構については研究がなされていないようであるが、これまでの知見から予想される以下の漂着過程によって説明できる。

海底上を漂う海藻のように軽い物体は、岸に向かう波に

よって徐々に岸へ輸送される。この輸送は流速のみでは説明できない現象で、以下のようにして起こる(川俣 1992)。すなわち、往復振動する波動流は、波の峰の通過時に波の進行方向(岸向き)、逆に谷の通過時に沖向きとなるが、1周期平均するとゼロになる。しかし、流れに伴って移動する海藻は、流れの向きが岸向きの時は、波を追うように岸へ移動するため、静止している場合より岸向きの流れを少し長く受ける。逆に沖向きの時は、波と逆向きに動くため静止している場合より沖向きの流れを受ける時間が少し短くなる。それらの結果、海藻は徐々に岸へ移動することになる。同様の機構によって水粒子も岸へ輸送される(この現象を質量輸送という)が、水塊の一方的な岸への輸送は、沿岸での水位を無限に上昇させてしまうため、質量輸送速度が比較的遅い底層から沖へ戻る流れ(戻り流れという)を生じる。沖から岸へ運ばれてきた海藻はある水深でこの戻り流れによって進行を止められる。造波水路実験によれば、その水深は、碎波点に一致する(川俣 未発表)。この碎波点の水深は波高が高いほど大きい。そのため、波高の高い暴風時には、漂流する海藻の大部分は深所にあるが、波高が低下してくると、碎波点、つまり海藻の集積水深が岸に近づくことになる。こうして、岸近くに寄せられた海藻の一部が、さらに偶発的に汀線際に波によって打ち上げられ、引き潮で干出した浜に取り残されて、寄り藻として観察されるようになる。

以上の漂着過程は、本研究での観察結果に概ね合致するものの、現実の複雑な現象を単純化しているため、その詳細は今後の研究によって検証する必要がある。しかし、これまで寄り藻調査がほとんど無計画に行われてきたことから、そのような漂着過程に基づく予想は寄り藻調査の適正化に不可欠であると考えられる。

謝辞

寄り藻調査に終始ご協力頂いた塚本まり子氏に感謝の意を表す。銚子漁港および名洗港沖の波高データは、それぞれ千葉県農林水産部銚子漁港事務所および旧千葉県土木部銚子土木事務所よりご提供頂いた。本研究の一部は水産庁「沿岸漁場整備開発調査(直轄)」(平成7~9年度)により実施した。

引用文献

新井章吾 1996. 流れ藻と寄り藻. 大野正夫(編) 21世紀の海藻資源—生態機構と利用の可能性—. pp. 31-49. 緑書房. 東京.
Bazterrica, M. C., Silliman, B. R., Hidalgo, F. J., Crain, C. M. & Bertness, M. D. 2007. Limpet grazing on a physically stressful Patagonian rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 353: 22-34.
Cleveland, W. S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J. Amer. Stat. Assoc.* 74: 829-836.

Dayton, P. K. 1971. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. *Ecol. Monogr.* 41: 351-389.
Dayton, P. K. 1973. Dispersion, dispersal, and persistence of the annual intertidal alga, *Postelsia palmaeformis* Ruprecht. *Ecology* 54: 433-438.
Holbrook, N. M., Denny, M. W. & Koehl, M. A. R. 1991. Intertidal "trees": consequences of aggregation on the mechanical and photosynthetic properties of sea-palms *Postelsia palmaeformis* Ruprecht. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 146: 39-67.
池原宏二・林田文郎 2003. 駿河湾奥部三保海岸における打ち上げ海藻類について. 東海大学紀要海洋学部 1: 31-37.
金田禎之 1986. 和英・英和総合水産辞典. 成山堂書店. 東京.
川俣 茂 1992. 磯根漁場における流れ藻の挙動とその捕捉装置の開発. 海岸工学論文集 39: 891-895.
喜田和四郎・前川行幸 1985. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究—V, 茎長組成および年齢群の季節変化. 三重水産研報 12: 119-129.
Koehl, M. A. R. & Wainwright, S. A. 1977. Mechanical adaptations of a giant kelp. *Limnol. Oceanogr.* 22: 1067-1071.
小島 博 1979. 徳島県産アラメの生長について. 水産増殖 27: 156-159.
前川行幸・喜田和四郎 1984. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究—III, アラメ藻体における相対生長の季節変化. 三重水産研報 11: 189-198.
松村 明 1998. 大辞泉. 小学館. 東京.
Niklas, K. J. 1992. Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function. The University of Chicago Press. Chicago.
岡村金太郎 1936. 日本海藻誌. 内田老鶴圃. 東京.
Orr, M., Zimmer, M., Jelinski, D. E. & Mews, M. 2005. Wrack deposition on different beach types: Spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. *Ecology* 86: 1496-1507.
R Development Core Team 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
Santelices, B., Castilla, J. C., Cancino, J. & Schmiede, P. 1980. Comparative ecology of *Lessonia nigrescens* and *Durvillaea antarctica* (Phaeophyta) in Central Chile. *Mar. Biol.* 59: 119-132.
Santelices, B. & Ojeda, F. P. 1984. Population dynamics of coastal forests of *Macrocystis pyrifera* in Puerto Toro, Isla Navarino, Southern Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 14: 175-183.
菅原顕人・瀬戸雅文・小松輝久 1998. 大型藻類のゾーネーションに関する研究, アラメ・カジメの垂直分布と流動環境. 海洋開発論文集 14: 29-34.
谷口和也・加藤史彦 1984. 褐藻類アラメの年齢と生長. 東北水研研報 46: 15-19.
谷口和也・鬼頭 鈞 1988. アラメ群落における年級群組成の変動. 日水誌 54: 1583-1588.
Yang, R. C., Kozak, A. & Smith, J. H. G. 1978. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves. *Can. J. For. Res.* 8: 424-431.
Yatsuya, K., Nishizaki, T., Douke, A. & Wada, Y. 2007. Seasonal changes in biomass of macrophytes stranded on Yoro Beach along a sargassacean forest in Wakasa Bay, Sea of Japan. *Fish. Sci.* 73: 609-614.
吉田忠生 1998. 新日本海藻誌, 日本産海藻類総覧. 内田老鶴圃. 東京.

(Received May 25, 2012; Accepted Sept. 30, 2012)