

漂流海藻の挙動に関する実験的研究

EXPERIMENTAL SYUDY ON MOVEMENTS OF DRIFTING SEaweEDS

島谷 学¹・川浪輝恵²・佐貫 宏³・岡安章夫⁴

Manabu SHIMAYA, Terue KAWANAMI, Hiroshi SANUKI and Akio OKAYASU

¹ 正会員 博(工) 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

² 東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科(〒108-8477 東京都港区港南4-5-7)

³ 正会員 修(工) 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

⁴ 正会員 工博 東京海洋大学教授 海洋科学部海洋環境学科(〒108-8477 東京都港区港南4-5-7)

Laboratory experiments were conducted to evaluate moving speed of drifting seaweed that moves on the bottom and to obtain critical velocities for seaweed to start drift due to waves and currents. It was found that moving speed of seaweed approaches to the ambient fluid velocity when the velocity becomes very large, and the critical velocities in uniform currents were about 5cm/s and 10cm/s for smooth bottom and rough bottom, respectively. Critical velocity amplitude under waves on rough bed was somewhere between 7.7 to 9.8cm/s which was equivalent to that for uniform currents.

Key Words : *Drifting seaweed, moving speed, critical velocity, laboratory experiment*

1. はじめに

沿岸浅海域の岩礁には様々な海藻類が生育しているが、高波浪時や衰退期には岩盤から剥がれて流れ藻や寄り藻になり、近隣海域を漂流するようになる。これらの流れ藻や寄り藻は水産資源にとって重要な役割を果たしているものの、時に様々な問題を引き起こす。例えば、発電所などの電力港湾では大量の海水を取水しており、港湾内に流入したこれらの海藻が問題となるケースがしばしば見られる。また、これらの海藻は海岸に打ち上げられると景観を損ねるだけでなく時間と共に異臭を放つようになる。

これらの問題に対処するためには、波や流れによる海藻の挙動を明らかにし、適切な対策工を講じる必要がある。例えば、波浪場、海浜流場、潮流場などの外力場の予測解析結果より、発生源からの海藻の輸送経路や輸送量を的確に把握することで効率的な対策が可能になる。

これまでに海藻の挙動に関する研究は長谷川¹⁾、川俣^{2),3)}などによって行われている。流速に対する海藻の相対移動速度については長谷川¹⁾が三浦半島西海岸秋谷地点先の砂地海底で実施した移動速度実験から、海藻の移動速度は調査地点の平均流速に比例し、平均流速10cm/sの場合、一枚の標識海藻では平均流速の12%、二枚の標識海藻では平均流速の8%で移動すると報告している。この報告は流速が比較

的小さい条件に対するものであり、流れ藻が多量に輸送されると予想される大きな流速条件下に対する海藻の挙動については未だ不明な点が多い。これらの現象を明らかにするためには、まず、実験水槽などをを用いた制御された条件下で検討を行う必要があると考えられる。

そこで本研究では、漂流海藻が波や流れといった外力によってどのような挙動を示すのか、実物の海藻を用いた水理実験を行うことで、移動限界流速や流れに対する相対移動速度などの基礎的な知見を得ることを目的とした。

なお、漂流海藻にはホンダワラ類などで形成され海面を浮遊する流れ藻と、コンブやアラメ、カジメなどで形成され海底を移動する寄り藻が存在するが、今回対象とする海藻は寄り藻を形成する沈降型海藻とし、流れ藻などの浮遊型海藻は対象外とした。

2. 海藻の基礎的諸元

(1) 密度比測定

本実験には、沈降型海藻としてコンブ目のアラメ(*Eisenia bicyclis*)を用いることとした。実験に用いたアラメの葉部(以下、海藻)の一例を写真-1に示す。この検体は乾燥させたものを水で復元したものである。本来であれば海水で復元させたものを海

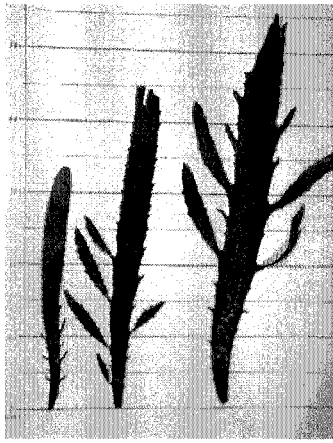


写真-1 実験に用いた海藻（アラメ）

水中で実験することが望ましいが、本研究で用いた実験水槽は海水が使用できないため、真水で実験を行った場合の影響を評価する必要がある。そこで乾燥した海藻を真水（密度 1.00g/cm^3 ）と海水（密度 1.03g/cm^3 ）で復元させて密度を測定し、それぞれの真水と海水に対する密度比を算定した。

密度比の測定には表-1 に示すような葉長、湿潤重量をもつ海藻検体を5枚ずつ用いた。方法は、密度が 0.01g/cm^3 間隔で異なる塩水をあらかじめ数種類準備し、真水または海水で復元させた検体をこの測定用塩水に投入、検体が浮上・沈降する境界の塩水密度を調べた。

結果を表-2 に示す。海藻検体の密度は葉長や湿潤重量に関係なくほぼ同じような値を示した。真水で復元させた海藻の平均密度は 1.11 であり、真水との密度比は 1.11 であった。一方、海水で復元させた海藻の平均密度は 1.16 、海水との密度比は 1.12 であった。これらの密度比は双方ほぼ同じであるため、真水で復元させた海藻を用いて真水中で実験を行っても、海水中の沈降や浮遊、移動といった現象を適切に再現できると考えられる。

表-1 密度比測定に用いた海藻検体の諸元

	真水で復元した海藻		海水で復元した海藻	
	葉長(cm)	湿潤重量(g)	葉長(cm)	湿潤重量(g)
No.1	32.6	13.9	33.4	8.3
No.2	28.1	7.0	31.2	5.3
No.3	23.2	5.6	21.1	5.0
No.4	18.2	4.3	24.6	7.7
No.5	25.5	7.2	21.4	5.9

表-2 海藻検体の密度

	真水で復元した海藻	海水で復元した海藻
	密度(g/cm^3)	密度(g/cm^3)
No.1	1.10	1.16
No.2	1.11	1.17
No.3	1.12	1.15
No.4	1.12	1.16
No.5	1.10	1.17
平均値	1.11	1.16

表-3 沈降実験に用いた海藻検体の諸元

	葉長(cm)	湿潤重量(g)
No.1	54.6	29.7
No.2	44.2	21.3
No.3	32.7	8.3

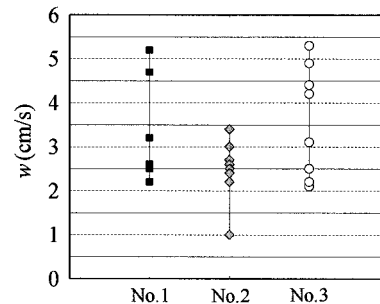


図-1 各検体の沈降速度

なお、長谷川¹⁾によると、同じコンブ目であるカジメ（葉長 54.7cm 、湿潤重量 75.4g ）の比重は 1.10 であり、本実験で用いるアラメはこれと同等の値であることが示された。

(2) 沈降速度

海藻の沈降速度 w を把握するため、沈降実験を行った。沈降実験は真水で復元させた海藻を用いて真水中で実施した。実験水深を 1.0m 、測定区間を 0.5m に設定し、沈降する海藻の通過時間を計測した。検体には大きさの異なる海藻を3枚準備し（表-3）、それぞれ10回ずつ計測を行った。

計測結果を図-1に示す。同じ検体でも沈降速度にばらつきが見られる結果となった。これは沈降する海藻の向きや姿勢などが影響したためで、海藻が鉛直状態で沈降する際は大きな値となり、水平状態や丸まった状態で沈降した場合には小さな値となった。また、重量で比較しても、必ずしも重量が重い検体の沈降速度が大きくなるというわけではなく、むしろ沈降姿勢が速度に影響するという結果になった。

なお、全計測値の平均値は約 3.0cm/s であり、川俣²⁾が長さ 2m のホソメコンブを対象に計測した沈降速度 3cm/s 程度とほぼ同じ値となった。

3. 一方向流実験

(1) 実験設備

一方向流に対する海藻の挙動を調べるため、東京海洋大学水理模型実験棟内にある両面ガラス張りの流水水槽（長さ 25.0m 、幅 1.0m ）を用いて実験を行った。実験水槽の概略図を図-2 に示す。中水槽にある水をポンプで送水することで水槽内に一方向流を発生させることが可能である。また、流速測定

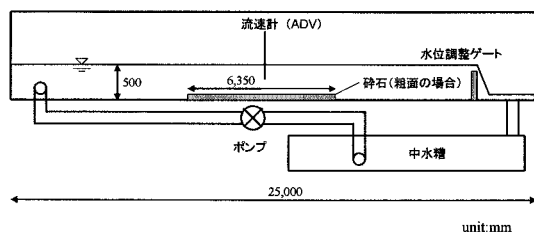


図-2 流水水槽

には3次元超音波流速計（以下 ADV）を用いることとした。

(2) 実験条件

本実験に用いる流速条件は、一方向流速として $U=5, 10, 20, 30, 40\text{cm/s}$ の5段階を設定し、事前に流速検定を行うことでポンプ流量 Q と設定流速 U の関係を得た。また、実験水深は 50cm となるよう下流側の水位調整ゲートにて調整した。底面の状態については滑面と粗面の2種類を設けた。滑面は実験水槽の底面をそのまま用い、粗面は粒径 $\phi 5\text{--}20\text{mm}$ の砕石を底面に 6.35m 敷き詰めた状態とした。

(3) 流速場測定

実験水槽内の流れの場を把握するため、流速の鉛直分布および水平分布を測定した。測定回数は各ケース2回とし、測定間隔については鉛直方向で底面上 $5, 10, 20, 30, 40\text{cm}$ 、水平方向でガラス壁面から $10, 30, 50\text{cm}$ （水槽中心線まで）とした。ただし、粗面の場合については水槽中心線を越えて 70cm まで計測を行った。

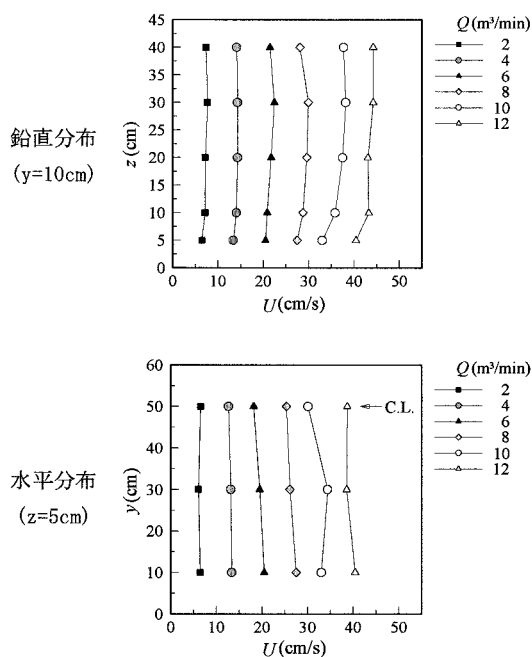


図-3 流速の鉛直分布および水平分布（滑面）

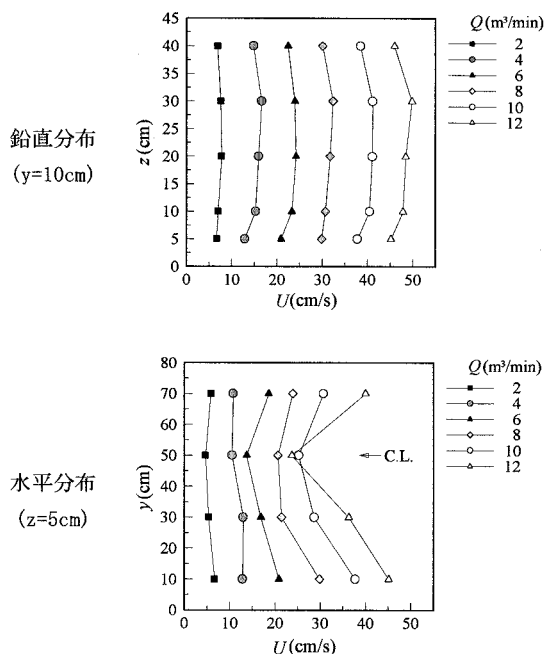


図-4 流速の鉛直分布および水平分布（粗面）

各流量 Q に対する滑面条件および粗面条件の流速分布（2回の平均値）を図-3、図-4に示す。今回実験で用いたアラメなどの沈降型海藻は底面付近で移動することが予想されたため、水平分布については底面上 5cm のものを示した。また、海藻の挙動を目視観察するためガラス壁面付近で実験を行ったので、鉛直分布については壁面から 10cm のものを示した。

滑面条件については鉛直分布、水平分布ともに流量の増加と共に一定の間隔で流速が増加しているのが確認できる。流量 Q が $10\text{m}^3/\text{min}$ を越えると摩擦の影響で底面付近の流速が若干低減されるものの、鉛直方向で大きな分布は見られなかった。水平方向についても同様に概ね均一な分布となった。

一方、粗面条件について、鉛直方向はほぼ均一な分布になったものの、水平方向は水槽中心線（壁面から 50cm ）で最小値を示すV字型の分布を示した。この理由は定かではないが、水槽中心部は流量が増加しても流速は変化しないのに対し、実験を行う壁面から 10cm のエリアでは流速は線形的に増加していることから、壁面から 10cm 、底面上 5cm の計測値を流速の代表値とし、実験を行う際もこの場所で実施することとした。

(4) 実験方法

設定した流速を発生させ、流れの場が安定してから実験を開始した。計測については、実験水槽内に始点と終点を設定し、始点の上流から海藻を流下させ、始点から終点までの移動時間を計測した。そして、計測区間の距離と移動時間より移動速度を算定

表-4 実験に用いた海藻検体の諸元

	分類	湿潤重量(g)	葉長(cm)	葉幅(cm)	葉厚(cm)
No.1-a	大	18.9	50.4	3.0	0.12
No.1-b		23.9	50.9	3.8	0.13
No.1-c		26.7	40.2	5.0	0.16
No.2-a	中	13.5	41.9	2.7	0.10
No.2-b		11.6	38.5	2.7	0.14
No.2-c		11.4	40.5	2.6	0.12
No.3-a	小	6.4	6.3	2.6	0.14
No.3-b		6.9	30.5	2.6	0.10
No.3-c		9.6	29.3	2.5	0.14

した。

実験には表-4 に示した海藻検体を用いた。重さや大きさが異なる検体を3種類（各3枚）用意し、1つの検体で3回ずつ実験を行った。ただし、同じ検体で移動速度が著しく異なる場合には計測回数を10回とした。

(4) 海藻の相対移動速度

一方向流速 U に対する海藻の相対的な移動速度 u_{sw} を図-5 に示す。なお、計測中1分以上移動しないものについては $u_{sw}=0\text{cm/s}$ とした。

滑面条件では、流速値が小さい時には移動しない検体も見られたが、海藻の移動速度 u_{sw} は概ね流速 U に比例することが確認された。また、検体の大きさによる相違はあまり顕著ではなかった。

一方、粗面条件については、検体毎にばらつきが多く、移動しない検体も数多く認められた。これは底面の状態や海藻の姿勢によって海藻が碎石に引っ掛かり、移動が一時止まるなどの現象が生じたためである。この現象は小さな検体で顕著であった。大きな検体は流れから受ける流体力の絶対値が大きいため、局所の抵抗による抗力が相対的に小さくなり、結果として移動しやすかったものと考えられる。しかしながら、流速の増加に伴って海藻の移動速度が増加するという傾向は滑面条件と同様である。

この実験結果から流速 U と海藻の移動速度 u_{sw} の関係を定式化した結果、式(1)、(2)のような関係となった。

$$\text{滑面: } u_{sw} = 0.85U - 4.05 \quad \dots (1)$$

$$\text{粗面: } u_{sw} = 0.96U - 10.1 \quad \dots (2)$$

この式(1)、(2)から流速 U と海藻の移動速度比 u_{sw}/U の関係を示したものを図-6 に示す。流速の増加に伴って移動速度比 u_{sw}/U も増加する関係となる。海藻の移動速度比が流速とともに変化する理由としては、(1)底面摩擦応力がほぼ一定であると考えられるのに対して、流体力が流速と共に増大することによって、両者の比が変化すること、(2)作用する流速値が小さい時、海藻は底面を這うようにして移動するため底面状態の影響を強く受けるのに対し、

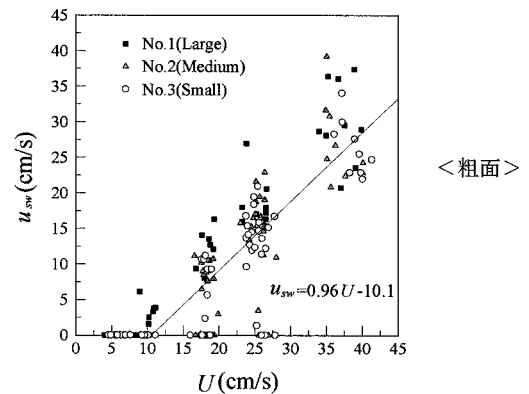
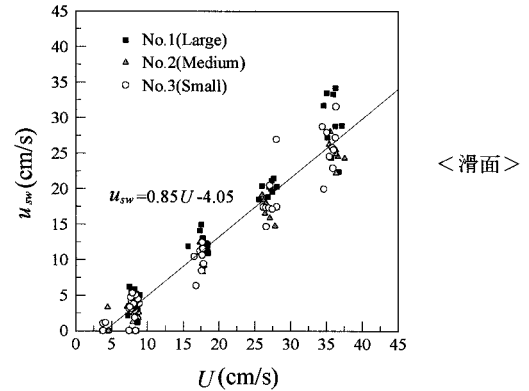


図-5 流速と海藻の移動速度との関係

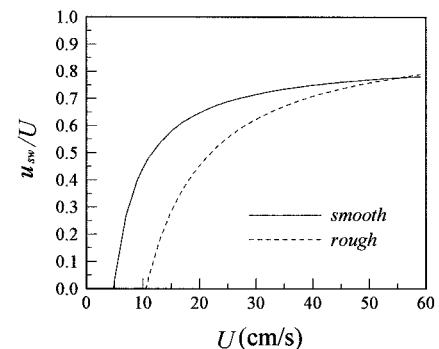


図-6 流速と海藻の移動速度比との関係

流速値が大きくなるにつれ底面から乖離し浮遊した状態で移動することなどが考えられる。

(5) 海藻の移動限界流速

流れにさられた海藻であっても、その流速値が小さければ海藻は輸送されない。本実験においても小さな流速値では移動しない海藻が多く見受けられた。海藻が動き出す流速値（移動限界流速）は底面の条件に大きく依存すると考えられ、本実験の目視観測

では滑面条件で約 5cm/s, 粗面条件で約 10cm/s の流速条件下で移動を始める海藻が認められた (図-5 参照)。

そこで, 式(1), (2)より $u_{sw}=0\text{cm/s}$ となる海藻の移動限界流速 U_c を算定した。その結果, 滑面条件では $U_c=4.7\text{cm/s}$, 粗面条件では $U_c=10.5\text{cm/s}$ となり, 目視観測の結果とほぼ同じ値となった。

なお, 上記(4)の海藻の相対移動速度に関連して, 長谷川¹⁾は砂地盤上での標識海藻の相対移動速度は流速 (ここでは概ね $U=12\text{cm/s}$ 以下) の 8~12% であるとの調査報告をしている。本実験では砂地盤と同じ粗度を持つ条件下での実験は行っていないが, 作用流速 12cm/s 以下という条件は, おそらく海藻の移動限界流速付近での調査結果であったものと推察される。

4. 振動流実験

(1) 実験設備

波による振動流に対する海藻の挙動を調べるため, 東京海洋大学水理模型実験棟内の造波水槽 (長さ 26.5m, 幅 1.0m) を用いて実験を行った。実験水槽の断面図を図-7 に示す。水槽の一端にはピストン型の造波機が設置してあり, 対向する一端には消波材が設けられている。この造波水槽内に勾配 1/20 の斜面を設置, この斜面の一部に長さ 1.5m の一様水深

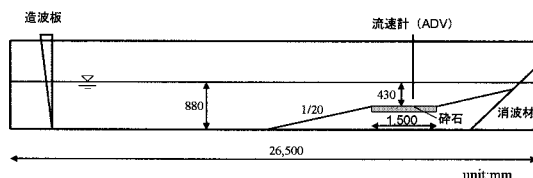


図-7 造波水槽

表-5 実験条件

	$H(\text{cm})$	$U_w(\text{cm/s})$
Case1	3.0	5.8
Case2	4.0	7.7
Case3	5.0	9.8
Case4	6.0	12.0
Case5	7.0	14.4

表-6 実験に用いた海藻検体の諸元

	葉長(cm)	湿潤重量(g)
No.1	54.6	29.7
No.2	44.2	21.3
No.3	32.7	8.3

部を設け, その掘り込み部 (深さ 0.1m) に粒径 ϕ 5-20mm の碎石を敷き詰め実験を行った。この条件は, 一方向流速実験の粗面条件とほぼ同様と考えられる。なお, 流速の測定には一方向流実験と同様に ADV を用いた。

(2) 実験条件

本実験では粗面条件のみを対象とし, 移動限界流速振幅を評価する実験を行った。碎石部の測定位置における水深を 43cm に設定し, 波高 H が表-5 の諸元となるよう造波波高を調整した。そして, 測定位置における底面上 5cm の振動流速を ADV にて計測した結果, 表-5 に示すような流速振幅値 U_w を得た。なお, 入射波浪には規則波を用い, 周期は全ケースで 2 秒とした。

(3) 実験方法

実験に用いた海藻検体の諸元を表-6 に示す。この検体を碎石部に設置, 造波することで海藻の挙動を目視観察し, 移動を開始する流速振幅値を評価した。

(4) 海藻の移動限界流速振幅

実験の結果, Case1, 2 の流速振幅 $U_w=7.7\text{cm/s}$ 以下では海藻の先端部分が振動流に合わせて揺動するものの, 検体全体としては初期の位置から移動することにはなかった。一方, Case3~5 の $U_w=9.8\text{cm/s}$ を超過するケースについては, 検体は振動流の位相によっては底面から乖離した状態になり, 検体全体が移動する様子を確認した。

この結果より, 移動限界流速振幅は $U_w=7.7\sim 9.8\text{cm/s}$ の間であるものと考えられる。この値は一方向流実験で得られた粗面条件での移動限界流速値 $U_c=10.5\text{cm}$ にほぼ等しく, 振動流作用下においても一方向流と同様な移動限界流速となっているものと推察される。

5. まとめ

高波浪や衰退によって岩盤から剥離し, 沿岸部を漂流する海藻が波や流れといった外力によってどのような挙動を示すのか実物の海藻 (アラメ) を用いた実験を行い, 海藻の基礎的諸元や移動限界流速, 流れに対する相対移動速度などを評価した結果, 以下の主要な結論を得た。

- 1) 今回実験に用いた海藻 (アラメ) の比重および沈降速度はそれぞれ 1.11~1.12, 約 3cm/s であり, 同じコンブ目を対象にした既往の報告とほぼ同程度であった。
- 2) 一方向流実験の結果, 海藻の移動速度は底面粗度の影響を受けるものの, 作用する流速 U の増大と共に増大し, 流れに対する相対移動速度 u_{sw}

は滑面条件については式(1)、砕石を用いた粗面条件については式(2)で表されることを確認した。また、海藻の移動限界流速については滑面条件で約5cm/s、粗面条件で約10cm/sであった。

- 3) 波による振動流実験の結果、粗面条件の海藻の移動限界流速振幅は7.7~9.8cm/sの間であるものと考えられ、一方向流実験の結果と概ね等しくなることを確認した。

本実験結果を用いることで、波や流れの外力場予測解析結果より、発生源からの海藻の輸送経路や輸送量を把握することができ、その結果を基に効率的な対策工を講じることも可能になると考えられる。

ただし、砕波帯については砕波に伴う渦などの乱れによって海藻がどのような挙動を示すのか不明であるため、今後の更なる検討が必要である。

また、本実験では沈降型の海藻が単体で移動する場合に関してのみ検討を行ったが、今後は海藻が群体として移動する場合や浮遊型の海藻についても想

定し、海藻単体と群体で移動限界流速や相対移動速度に相違が生じるのか、また浮遊型の海藻については風による影響をどの程度受けるのかなどについても評価することも必要である。

謝辞：本研究にあたり、実験協力をしていただいた東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科沿岸域工学研究室の学生諸氏に対し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 長谷川 寛：流れ藻留め工の水理的検討，海洋開発論文集，第15巻，pp.153-158，1999.
- 2) 川俣 茂：餌料としての流出海藻とその滞留施設，月刊海洋科学，20巻，pp.369-376，1988.
- 3) 川俣 茂：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，第39巻，pp.891-895，1992.