

波による干潟上の物質移動に関する研究

大西 亮 一*

1. 序 論

沿岸漁場の増殖技術の一つとして干潟へ稚エビ（本論文ではクルマエビである）の放流がある。稚エビの放流は、水産分野の人々によって始められ広く行われているが、これよりも効率的な放流技術の開発を目的として水産分野と水産土木分野、および海岸工学分野が共同研究を行い、「人工干潟を用いた放流技術」を開発した^{1),2)}。筆者はこの研究で「人工干潟に対する波の作用」を担当した。この分野の研究としては砂浜海岸の漂砂の研究と Estuary の研究があるが、波による干潟上の物質拡散の問題は、これまで行われてきた漂砂や Estuary の研究対象と少し異なると考えられる。このため本論文は、山口県下の大海湾で昭和47年～49年のか3年間に測定した結果と、室内実験結果を用いて干潟上の物質移動に考察を加えたものである。

倉田によれば³⁾、自然界において稚エビが干潟に漂着し潜砂を始める大きさは、体長が12～18mmでその後体長が35～50mmになるまで干潟の高い所で生息し、その後生長するにしたがって沖へ移動する。この場合に波は稚エビの漂着と干潟上の生息にどのように作用するであろうか。

また、稚エビの放流サイズは12～18mmで、放流直後に沖へ分散した場合は減耗と考えられ、干潟の比較的に高い所に留まる必要がある。この場合に波は稚エビの分散にどのように作用するであろうか、という課題が生ずる。

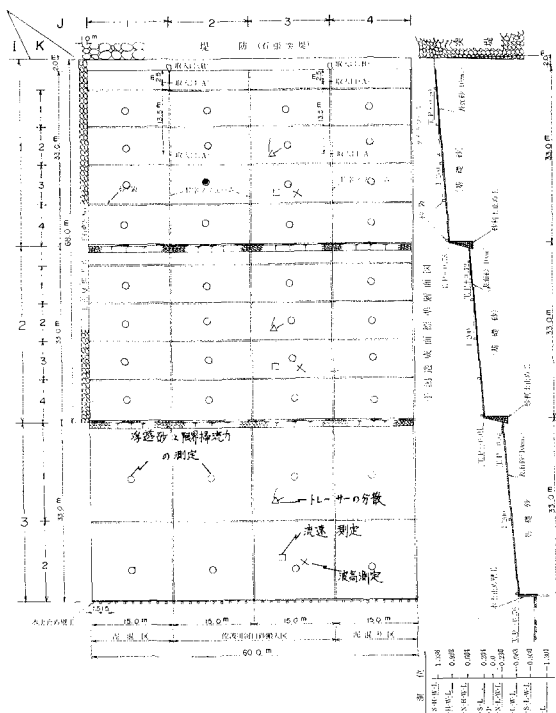
一方、干潟上の老廃物や泥分は、稚エビの生息環境に対する因子分析の結果から、少ないことが望ましいという結果がでて¹⁾。このために波による分散を検討しなければならない。そこで筆者は流速計による流速測定結果⁴⁾と、トレーサの分散結果を用いて干潟上の物質の移動方向に考察を加える。

次に、干潟の安定と稚エビの潜砂から考えて、波による底質の移動限界が問題となる。波による砂の移動限界は堀川・渡辺⁵⁾、榎木⁶⁾、野田⁷⁾の研究がある。しかし、干潟面を注意深く観察すれば、干潟面の砂はデトリタス

等によって結合され移動しにくくなっており、洗い砂の状態とは異なる。そこで、この結合の影響を測定することにした。この場合に波で移動限界を検討すべきであるが、底質を乱さないで造波水路に入れることは困難であるので、ジェットを用いた簡単な測定器を使用して、流れによる移動限界を測定し、水理的にみた干潟の底質構造を明らかにした。

なお、本研究は農士試 中村充室長を中心とした環境グループの共同研究で、波高は上北征男氏、底質は乃万俊文氏、トレーサの分散は筆者と飯倉敏弘氏、潮位は萩野静也氏、稚エビの数は生物グループの調査結果を用いた。また農士試 石白英彦室長には、有益な助言と便宜をはかっていただいた。また、本論文をまとめるに当り、東工大 日野幹雄教授のご指導をいただいた。

ここにこれらの方々へ深く感謝の意を表します。



図—1 模型人工干潟（昭和47年～48年測定）

* 正会員 農林省農業土木試験場水理部

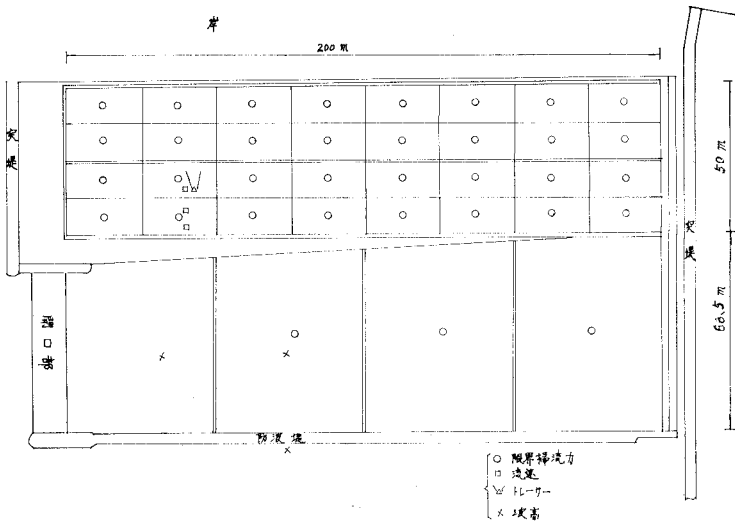


図-2 実用人工干潟上の測点 (昭和49年測定)

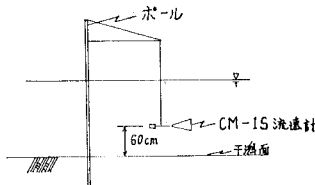
2. 実験方法

(1) 測定位置

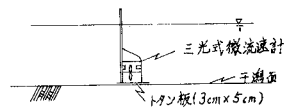
測定は流速, 浮遊砂量, トレーサの分散, 限界掃流力を図-1に示す模型干潟と図-2に示す実用干潟について行った。底質粒径は限界掃流力測定位置で, また波高は干潟の各段で行った。

(2) 流速の測定方法

潮流速は CM2-2S 型流速計, 波浪流は三光式微流速計と電磁流速計を用いた。電磁流速計についてはすでに報告したので省略する。三光式流速計は30秒間の測定を5回行い, その平均値とした。測定間隔は30分間隔である。CM2-2Sは底から60cmの位置に設置し2分間測定した。



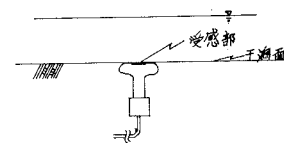
(a) CM-1S 流速計設置方法



(b) 三光式微流速計設置方法

(3) トレーサの分散

トレーサーとしてスタイロン (比重 1.048) とポリピロン (比重 1.2) に蛍光塗料をまぶして使用した。し



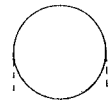
(c) 電磁流速計設置方法

図-3 流速計設置方法

かしスタイロンは分散が大きく, 測定が不可能であったのでポリピロンのみを整理することにした。トレーサーは直径 30cm にまとめて置き, 2潮後に 1m 間隔に 25cm x 25cm 内にあるトレーサーの個数を測定した。原点では2潮後もトレーサーが十分にあり, またトレーサーの移動は表面移動が主体であるので, 原点の濃度は一定と考えられる状態にあった。

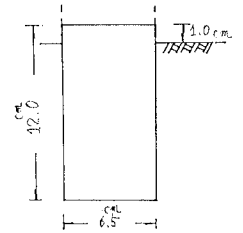
(4) 浮遊砂量の測定

浮遊砂量を多点で測定するために, 図-4に示すように資料缶を設置して, その中に堆積した



砂の量を測定した。この資料缶の特性は水深 60cm, 周期 2.0 秒の波を用いて検定した結果 図-5に示すようになる。

この結果から波のエネルギーの大きな場合に濃度が高くなるのがわかる。



(5) 底質の限界掃流力の測定

底質の流れに対する限界掃流力を図-6に示す簡易測定器を試作して測定した。測定原理は図-6に示す測定

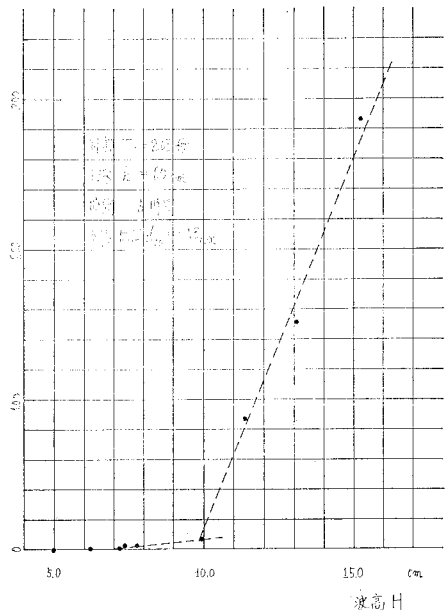


図-5 資料缶の検定

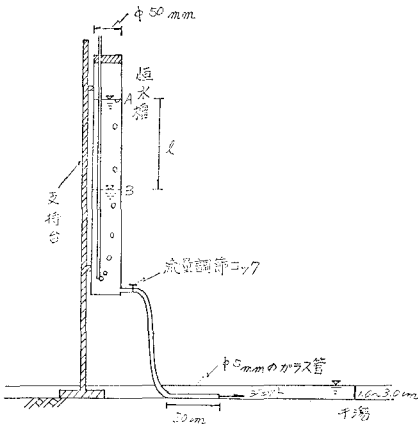


図-6 干潟面上の底質の移動限界流速測定装置

器の水槽は恒水槽となっておりノズルの先が一定水位の水中にあれば流量は一定となる。これを利用して、ノズルからの平均流速は

$$u = \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{l}{t} \dots\dots\dots (1)$$

として求めることができる。ここに、 D : 恒水槽の内径 (50mm), d : ガラス管の内径 (5mm), l : A, B 間の距離 (5cm または 10cm), t : 水面がA点からB点に下がる時間である。次に摩擦速度 u_{*0} の値は 3 次元の壁面噴流として解析しなければならないが、噴流の A, B 領域の底面付近は断面の対数分布式が適用できるものとして

$$u_{*0} = \frac{u}{6.0 + 5.75 \log \frac{R}{k_s}} \dots\dots\dots (2)$$

を用いる。ここに、 R : 径深 ($=d/2$), k_s : 相当粗度 (d_{50}) である。式 (2) の妥当性は検定をしなければならないので、 $d_s=0.178$ mm, 0.335 mm, 0.375 mm, 0.63 mm, 0.90 mm, 1.45 mm, 2.10 mm を用いて検定した結果を 図-13 に示す。この結果から $d_s=0.178$ mm~1.45 mm 程度であれば有効といえる。

3. 流速の測定結果

(1) 高さによる流速の変化

図-7 に三光式微流速計で測定した高さによる流速の変化を示す。三光式流速計は回転式であるので、方向性がなく、また小型であるので波による流速に対して遅れを無視すれば

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt \dots\dots\dots (3)$$

を測定したことになり、1種の波のエネルギーと考えられる。この結果は上段で流速が大きく、中、下段では流速が小さいことがわかる (中、下段では測定限界以下の流速であった)。

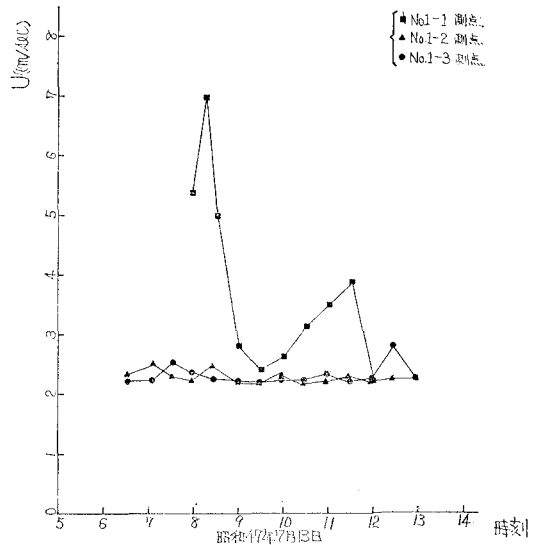


図-7 人工干潟上の波動エネルギーの場所変化

(2) 波の流速の時間変化

図-8 に電磁流速計を用いて測定した流速ベクトルの 2 乗平均の時間変化を示す。この結果は 図-7 の上段の結果とも合わせてみれば、水深が小さい場合に流速エネルギーは大きくなるのがわかる。また流速の周期性を見るために自己相関を求めたのが、 図-9 (a), (b) である。この結果、水深が小さい 8 時 25 分ではランダムと考えられるのに対して、水深が大きくなると周期性が出てくるのがわかる。この結果は波の観察結果とも一致する。次に波の質量輸送速度を見ると 図-10 のようになる。この結果を見れば水深が小さい場合には干潟に直

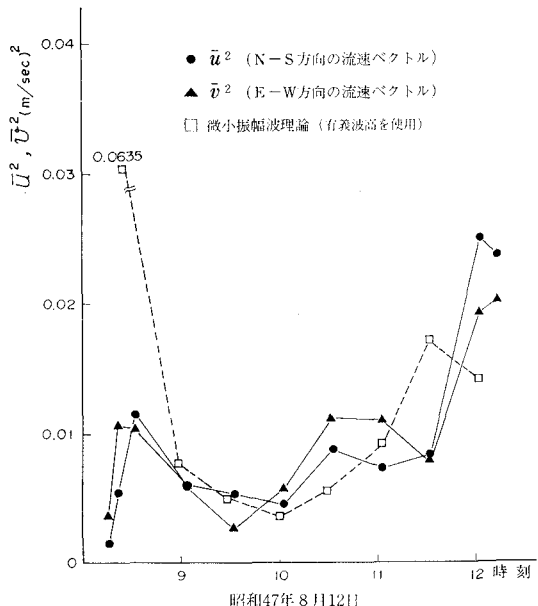
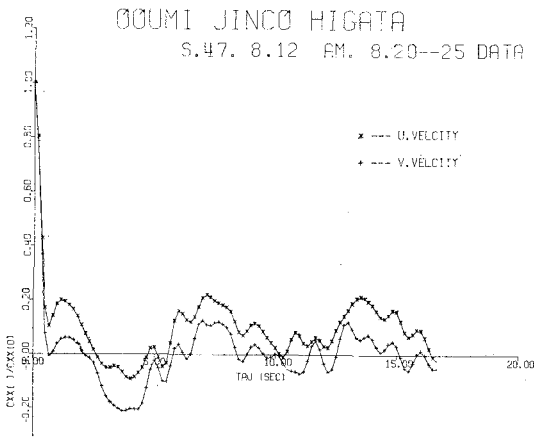
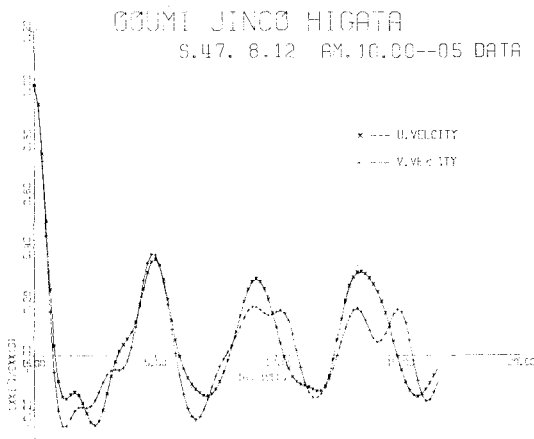


図-8 人工干潟上流速の 2 乗平均の時間変化

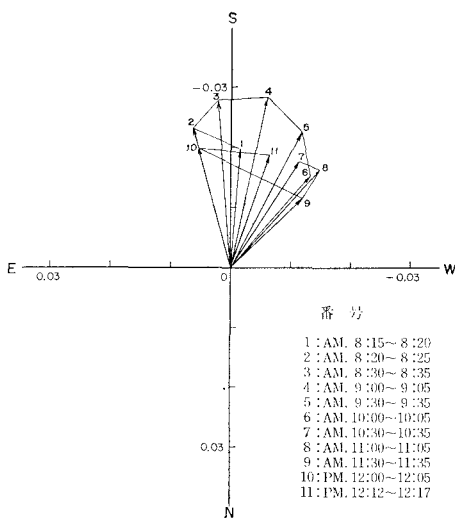


(a)



(b)

図-9 流速の自己相関



昭和47年8月12日

図-10 人工干潟上の平均流速の時間変化 (1潮観測)

角であるが、水深が大きくなると波が干潟に斜めから入射してくると同様に、質量輸送の方向が干潟に斜めになる。

(3) 波浪流による水平拡散

波浪流による拡散を Taylor 的に考えれば 拡散幅 Y は

$$\sqrt{Y^2} = \sqrt{v^2 \cdot T_*} \sqrt{T} \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここに、 v : ラグランジュ流速、 T_* : 渦の寿命時間、 T : 拡散による時間である。日野によれば⁸⁾、波による拡散は軌道流速と乱れを別々に考えなければならないし、また、時間的に変化する現象であるので、時間的に拡散係数を変化させなければならないが、ここでオーダーを見るために平均的に考え、また、式(4)の流速はラグランジュ流速を用いなければならないが、その第1次近似としてオイラー流速を用いると

$$\sqrt{Y^2} = \sqrt{V_{max}^2 \cdot T} \sqrt{T} = 2.10 \times 10^8 \text{ cm} \dots (5)$$

となる。ここで $\sqrt{V_{max}^2}$ は 図-8 から 3.6 cm/sec、 T_* は 図-9(a) から 1.5 秒、 T は上段を考えて 3 時間とした。

一方、質量輸送 u_B による移動量 l_x は

$$l_x = u_B \cdot T = 3.26 \times 10^4 \text{ cm} \dots\dots\dots (6)$$

となる。ここに u_B は 図-10 から 3.0 cm/sec とした。式(5)、(6)の結果から、干潟では拡散による広がりより質量輸送による移動が1オーダー大きくなる考えられる。

4. トレーサーの分散

(1) トレーサーの分散

トレーサーを用いて分散方向を求めると、図-11 に示すように波の進行方向に分散する。この現象は多くの点で測定した結果ほとんど同様である。

一方前章で、流速から拡散形状を式(5)、(6)で推定したが 図-11 と一致する。しかし式(5)、(6)では、拡散幅は 10° 程度となるのに対して、図-11 では 75° 程度と大きくなっている。これは 図-10 からわかるように、波の進行方向の変化が影響しているものと考えられる。

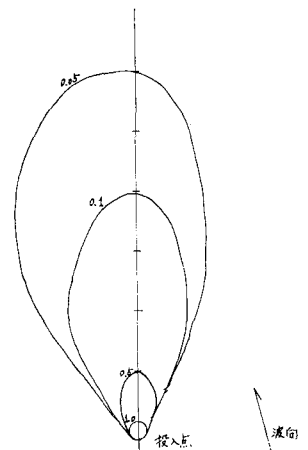


図-11 トレーサーの分散 (ポリピロン)

(2) 稚エビの分散

放流直後の稚エビの分散は、トレーサーの分散と類似するのではないかと考えられる。そのため稚エビの調査結果を見ると、波によって岸方向へ移動させられたと思われる状態を観察した。

稚エビの分散に対する波浪は安全側に作用する。すなわち、このような環境を稚エビはうまく利用しているといえる。

5. 浮遊砂量

浮遊砂の場所特性は、図-4 に示す資料伍を用いて測定した結果を高さの影響で整理したのが図-12である。図-12の結果から、粒径が大きい場合は、図-5 の検定結果と図-7 の流速測定結果から考えて納得できるが、0.074 以下の微細粒子は逆に下段に多くなっている。

一方、乃万の測定した底質の粒度特性を見ると、上段は微細粒子が少なく、逆に下段で微細粒子が多くなっていることを示している。これらの結果から考えて、微細粒子については単に浮遊濃度ではなく、その場所に堆積する特性を示していると考えられる。このように考えれば、微細粒子は波の影響の少ない場所に堆積すると考えられる。

6. 干潟面の限界掃流力

(1) 限界掃流力

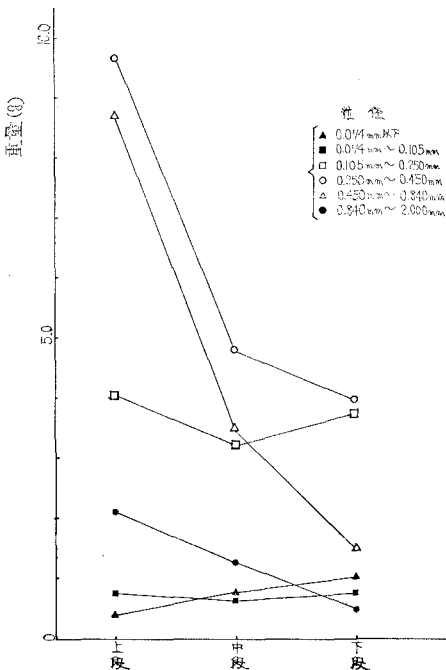


図-12 人工干潟上の各段の粒径別平均採取量 (昭和 47 年 8 月 10 日~13 日データ)

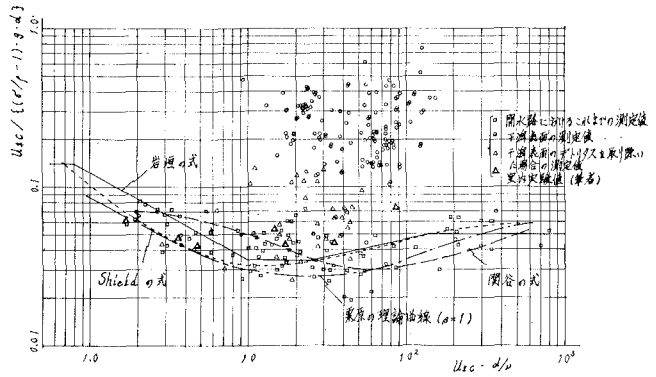


図-13 干潟面の限界掃流力

図-6 に示す簡易測定器を用いて、限界掃流力を測定した結果を一般的な方法にしたがって^{9),10)},

$$u_{sc} / \{(\sigma/\rho - 1)g \cdot d\} \sim u_{sc} d / \nu$$

の関係で整理したのが図-13 である。図-13 において開水路での測定結果はこれまで多くの人々によって測定されたものをまとめたものである。また、表面のデトリタスの影響をとりぞいた結果が少しばらつきが大きいのは、粒度組成の測定誤差や、他の測定誤差の影響が考えられる。しかし室内実験値が $d_{50} = 2.1 \text{ mm}$ 以外は開水路の測定誤差内であるので十分に測定できたと考える。

次に表面限界掃流力をみると、この場合に表面が掃流される状態を観察すると、ある流速以上になると急激に破壊するように掃流されることがわかる。これは普通の砂の場合に表面の砂粒子が 1 個ずつ動き始めるのと大きく違っている。このために干潟面は一般にデトリタス等で結合されていると考えられる。この強度は粒径には無関係のように思われる。

(2) 水理的に見た干潟の底質構造

図-13 に示すように干潟面は限界掃流力の異なる層に分割できると考えて、図-14 に水理的に見た干潟の底質構造を図示した。A層は非常に流れやすくもやもやした層、B層は一般の干潟面と考えられる層、C層は干潟を形成している層である。

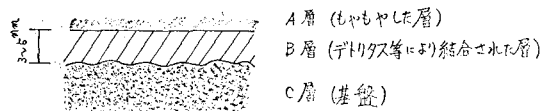


図-14 干潟の水理的に見た底質構造

7. 結論

本報文の結論を要約すると次のようになる。

① 干潟面に対する波の影響は上段ほど大きく受ける。また時間的には、水深が比較的小さい場合に影響を強く受ける。

② 干潟上の物質が水平に分散する場合には質量輸送によって運ばれる距離が、拡散による場合より1けた以上大きくなる。その方向は岸方向に向っている。

③ 放流直後の稚エビの分散に対して波は安全側に作用する。

④ 波による底質の浮遊濃度は上段ほど高いと考えられるが、微細粒子は波の影響の小さい場所に堆積する傾向がある。

⑤ 干潟面の水理的な底質構造は 図—14 に示すように3層が考えられる。B層はデトリタス等によって結合されていると考えられ、その強度は粒径に関係ないように思える。

参 考 文 献

- 1) 上北他：人工干潟(1)，第21回海工論，1974。
- 2) 備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム：浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究，別枠研究成果報告第5号，1975。
- 3) 倉田 博：クルマエビ栽培における種苗とその播殖に関する諸原理について，南西海区水産研究所研究報告，1972。
- 4) 大西亮一：干潟上の波浪流—電磁流速計による測定一，第20回海工論，1973。
- 5) 堀川・渡辺：波による砂移動に関する一考察，第13回海工講演集，1966。
- 6) 榎木 亨：漂砂の移動限界流速および限界水深に関する再考，第13回海工講演集，1966。
- 7) 野田英明：波による海底砂の初期移動について，第13回海工講演集，1966。
- 8) 日野幹雄：波自身による乱流拡散への試論，第14回水理講演会集，1970。
- 9) 土木学会編：水理公式集，昭和46年改訂版。
- 10) 関谷光博：限界掃流力の理論的考察，一乱渦による河床砂レキの選択抽出に基づく掃流砂に関する研究(第1報)一，農土学会論文集，1975。