

養殖漁場としての宇和海の物理環境*

武 岡 英 隆**

Physical environment of the Sea of Uwa as a ground of marine culture

Hidetaka TAKEOKA**

Abstract

Physical processes in the Sea of Uwa, where fish and pearl cultures grow prosperously, are summarized, and the relationship between the physical processes and these cultures are discussed. Besides the tidal current due to surface tide, there exist diurnal tidal current due to internal tide, wind induced current and the *Kyuchu* which is a sudden swift current accompanied by the increase of water temperature. These processes accelerate the water exchange in the bays and the grounds of the marine cultures along the coast, and enable the large scale cultures. On the other hand, sudden change of water temperature due to the *Kyuchu* gives some damage to the cultures such as decease of the cultured fish.

1. まえがき

豊後水道東岸の宇和海沿岸一帯 (Fig. 1) ではハマチや真珠の養殖が大規模に行われており、これらはいずれも全国一の生産高を誇っている。このような大規模な養殖の立地条件としては、リアス式で複雑に入り組んだ海岸線が天然の防波堤となることが第一に挙げられよう。しかしこのような地形は波浪の静穏化という効果を持つ一方で、海水交換を弱めるといふ養殖にとって負の要因も持っており、近年では赤潮や魚病の発生など漁場価値の低下も見られる。このため我々は、漁場環境の保全を考慮した養殖の規模や養殖方法を探るための基礎として、宇和島湾での物理環境の調査を昭和59年より継続して行ってきた。これらの調査で明らかになった物理過程についてはこれまで様々な場所で報告してきたが、本報ではそれらを総括し、養殖に対して物理環境のもつ意味を考察する。なお、我々の調査が主に宇和島湾で行われた関係で以下の記述は宇和島湾についてのものが中心となるが、現象の特性から考えてこれらは他の宇和海沿岸の湾にも概ね当てはまると思われる。

2. 宇和島湾における流動の基本成分

宇和島湾の測点 U34 (Fig. 1) において観測された流動の例を Fig. 2 に示す。これは、1985年7月から約1年間の観測結果のうち、夏期と冬期の代表例として、1985年8月と1986年2月のそれぞれ15日分の流速の北方成分と東方成分を示したものである。図のように流速は比較的微弱である。また、変動の周期性は潮流のみが卓越していると言えるほどには明瞭でなく、他の成分の混在していることが伺える。8月の北方成分を見ると、12日頃から16日頃にかけて日周期の変動が強くなっている。この図で7日~10日に南向き、すなわち湾内向きの平均流が大きいのは次章で述べる水温急変現象に伴うものである。一方冬期の2月の記録を見ると、北方成分において半日周期成分の卓越が明瞭であり、夏期と対照的である。このように、流れの変動は複雑であり、季節によってその特徴が異なっている。

Fig. 2 では夏期に日周期、冬期に半日周期という周期性が見られたが、このような周期性は基本的には潮流のものである。しかしこれが表面潮汐に伴う潮流であるとするならば、季節的に大きく変動することは考えられないので、他の原因による変動である可能性が強い。このことを検討するために、1年間の潮流データの調和解析

* 1989年9月18日受理

** 愛媛大学工学部 Faculty of Engineering, Ehime University, Bunkyo 3, Matsuyama 790, Japan.

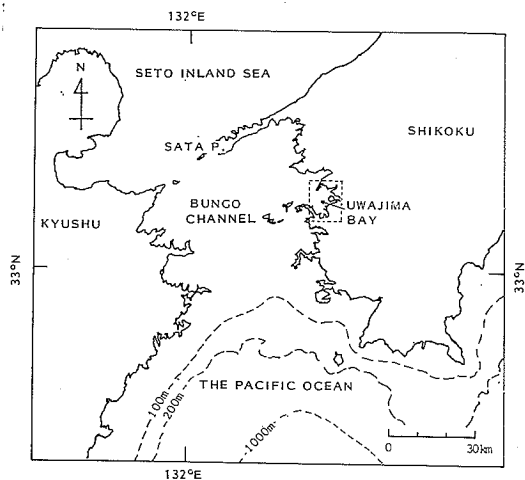


Fig. 1. Map of the Bungo Channel (upper panel) and Uwajima Bay (lower panel).

を行って各分潮流の調和常数を形式的に求めた。Fig. 3は、得られた4大分潮流 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1 分潮流)の振幅から求めた潮型指数 (K_1 の振幅+ O_1 の振幅/ M_2 の振幅 + S_2 の振幅)の変動である。この図のように潮型指数は夏期に大きく冬期に小さい。日周潮の周期が半日周潮の周期の約2倍であることを考えれば、潮流の潮型指数は潮汐の潮型指数の半分になるのが普通である。宇和島湾の潮汐の潮型指数は約0.5であり、従って潮流の潮型指数は0.25程度になることが期待される。Fig. 3における冬期の値はこれにかなり近いが、夏期の値はこれより極めて大きく、夏期には日周潮流が異常に大きいことがわかる。

このように日周潮流が夏期に大きいことの原因として、武岡 (1988) は、夏期の海陸風による吹送流として

日周潮流が起こること、内部潮汐によるものであることの2つの可能性を考え、風の日周期成分や成層の強さの変動と日周潮流の相関を検討した。その結果、成層層における宇和島湾での内部波の固有周期が日周期に近いため、共振により日周期の内部潮汐が発達することが日周潮流が夏期に大きいことの原因であると結論し、更に、同様な現象が宇和海沿岸のいくつかの湾でも起こっていることを資料解析により示した。しかしこの内部潮汐を駆動する原因については、表面潮汐、あるいは湾外からの内部潮汐の進入のほか、海陸風が関わっている可能性も考えられ、今のところはっきりとはしていない。

次に吹送流が顕著に現れる例を示す。Fig. 4は、測点U34の10mと30m層における冬期 (1986年1月～3月)の流速の東方・北方成分である。この図の流速は24時間の移動平均によって短周期変動を除去してある。この図の北方成分に注目すると、10m層で流入している(南向き)のに対し30m層では流出しており(北向き)、上層で流入、下層で流出という構造になっていることがわかる。このような構造と風の対応を見るために、愛媛県気象月報から求めた宇和島の1985年7月から1986年6月までの日平均風速をFig. 5に示す(風向は風の吹き去る向きを示す)。この図から夏期においては全般に風は弱いが、冬期には東向きの風が強く、南北成分も平均的には南向きが強い。従って、冬期には湾外から湾奥に向かって強い北西ないし西北西の季節風が吹き込んでいることになり、この風によって冬期に上層で流入し下層で流出する流れが起こっているものと推測される。このような流れは冬期の湾の海水交換に重要な役割を果たすものと考えられる。

以上見てきたことから、宇和島湾の基本的流動については以上のようにまとめられる。宇和島湾では通常表面潮汐に伴う潮流はあまり大きくないため、様々な原因による流れが混在する。その中で特徴的なものは、夏期の日周潮流と冬期の吹送流である。前者は夏期の湾内の成層化に伴って起こる内部潮汐によるものと考えられる。また後者は冬期の北西ないし西北西の季節風の連吹によって起こるもので、上層で流入、下層で流出という構造を持つ。これらに加え、夏期には密度流の一種である急潮が発生するが、これは極めて重要な現象であるため章を改めて述べる。

3. 急 潮

3.1 急潮の構造

急潮とは突然の速い潮(の流れ)を意味し、通常水温

養殖漁場としての宇和海の物理環境

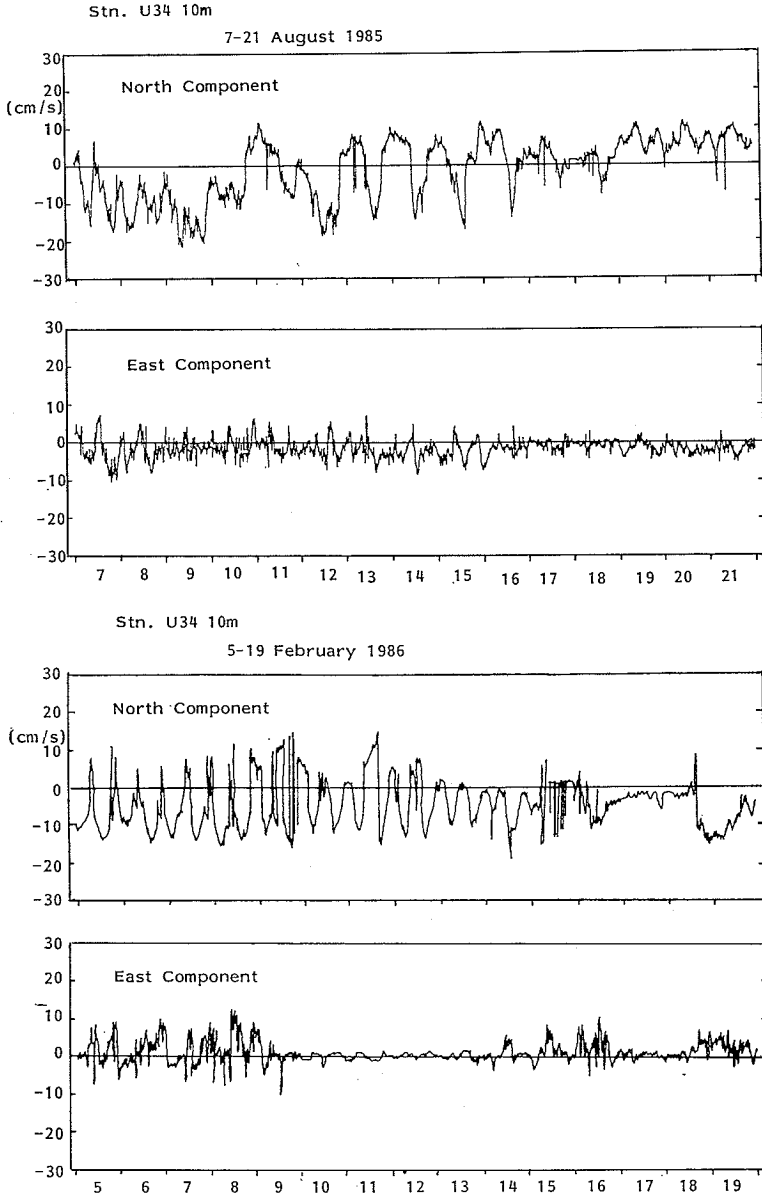


Fig. 2. North and east components of the current at Stn. U34 observed in August 1985 and February 1986 (after TAKEOKA (1988)).

の急変を伴う現象であり。相模湾の急潮（松山・岩田，1977）が有名であるが，近年わが国の外洋に面した沿岸の各地で類似の現象がしばしば観測されている。宇和島湾での観測でも，急潮と呼び得る現象が見いだされた。

宇和島湾の測点U34 (Fig. 1)の10m層で観測された，1985年7月10日～8月6日の流速の北方・東方成分，水

温，塩分を，Fig. 6に示す。図のように7月28日に水温が突然上昇を始め，1日の間に 5°C 近くも上昇している。また同時に塩分の若干の低下が見られる。このとき流速はその前後の流速よりはるかに大きくなり，最大 30cm/s 程度に達している。流向は南向きで，Fig. 1よりこの流れは湾内に向かっていることがわかる。この現

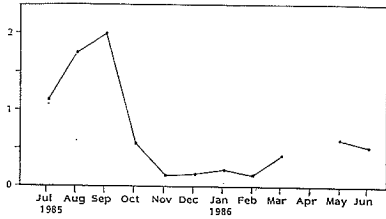


Fig. 3. Seasonal changes of the ratio of the diurnal tidal current to the semi-diurnal tidal current at Stn. U34 (after TAKEOKA (1988)).

象は相模湾の場合ほど流速は大きくないものの、急潮の基本的特徴を持つものといえる。

Fig. 6 の観測結果から、この現象は高温で低密度の暖水塊が湾外から進入してきたものと考えられる。更に U34 でのサーミスタ・チェーンによる観測では最下層の 40m まで水温の上昇が観測された。宇和島湾の水深は 40~50m であるので、流入した暖水は海底近くまでを占めることになり、もとあった湾内水の大部分は湾外へ流出するものと考えられる。従って、この現象は湾の海水交換に大きな役割を果たすことがわかる。

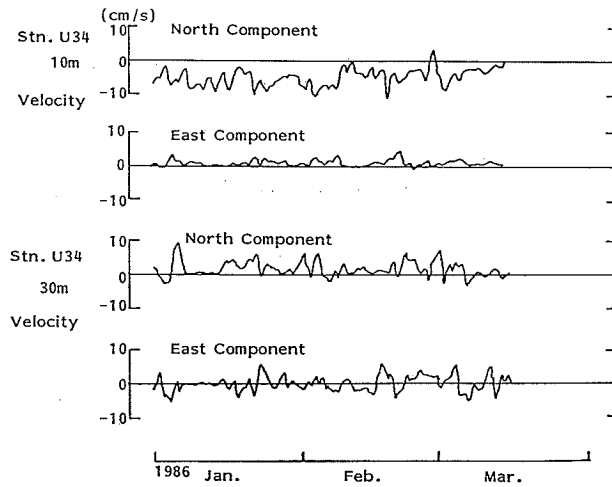


Fig. 4. North and east components of the current at depths of 10m and 30m at Stn. U34 from January to March 1986 (after TAKEOKA (1989)).

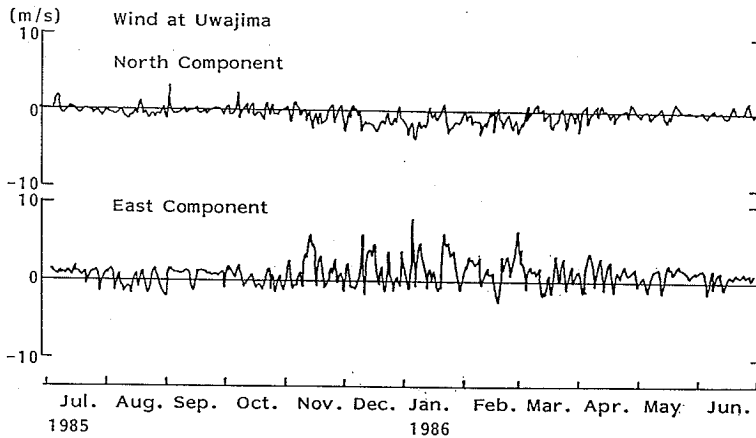


Fig. 5. Daily mean wind speed (north and east components) at Uwajima from July 1985 to June 1986 (after TAKEOKA (1989)).

Stn. U34 10m

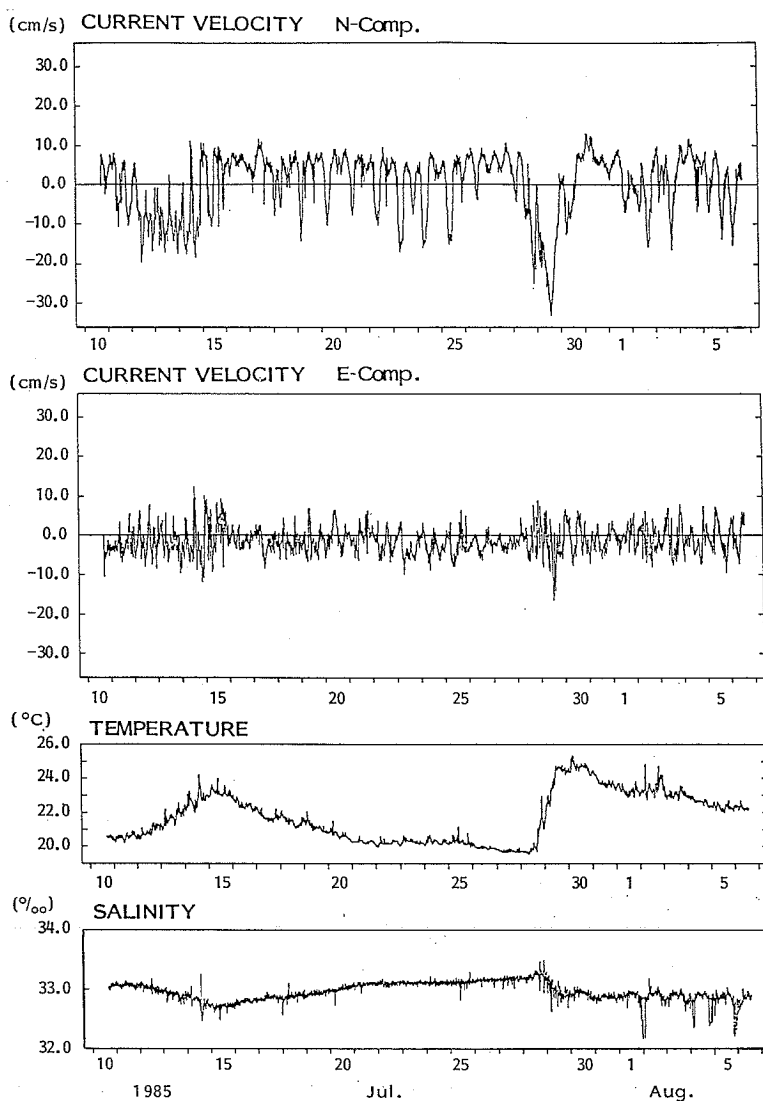


Fig. 6. Records of north and east components of the current velocity, water temperature and salinity at a depth of 10m at Stn. U 34 from 10 July to 6 August 1985 (after TAKEOKA and YOSHIMURA (1988)).

このように宇和島湾に急潮として進入する暖水塊は豊後水道南方に起源を持つものであることが、気象衛星の画像から (TAKEOKA and YOSHIMURA, 1988), あるいは豊後水道での STD 観測によって明らかにされている。Fig. 7 は STD 観測による1988年8月23日の2 m層の水温分布である。図のように暖水塊が豊後水道南部より四国沿いに進入していることがわかる。Fig. 8 は東側

のE測線の鉛直断面で、暖水塊の境界と考えられる25°Cの等温線の変化を示したものである。図のように暖水塊は日を追って北上しており、進行速度は15cm/s程度(12~13km/day)である。このように豊後水道南方から暖水塊が北上することから、暖水塊の進入による水温の急変は宇和海沿岸の各湾でも起こっていると考えられ、実際にその一部は柳ほか (1988) に報告されている。

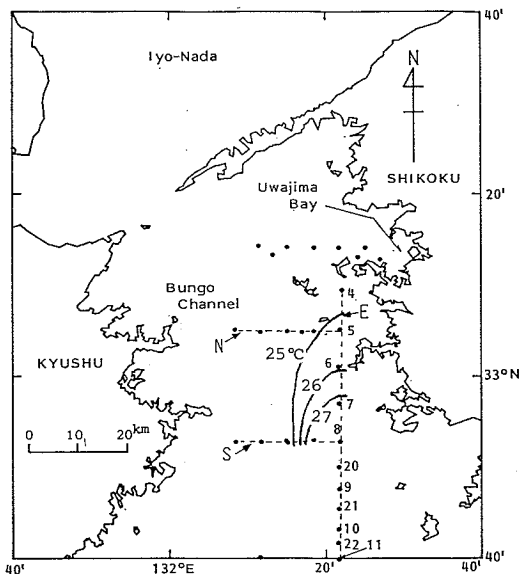


Fig. 7. Distribution of water temperature in the Bungo Channel at a depth of 2m on 23 August 1988 (after TAKEOKA *et al.* (1989)).

3.2 急潮の発生時期

Fig. 9 に測点U34で観測された1985年7月から1986年9月までの流速の北方・東方成分, 水温変動を示す。い

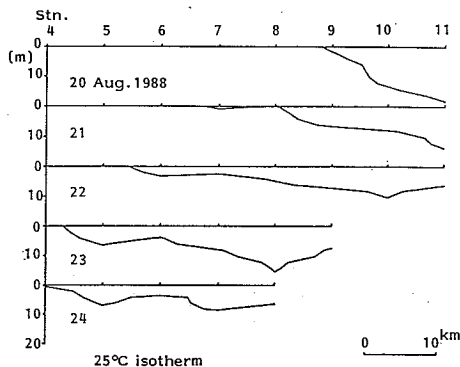


Fig. 8. Movement of 25 °C contour in the vertical section along the line E (Fig. 7) from 20 to 24 August 1988 (after TAKEOKA *et al.* (1989)).

ずれも短周期成分は除去してある。水温と流速の北方成分の図に示した矢印はいずれも水温の急上昇期を示している。図のように水温の急上昇は夏期にのみ見られ、この時の流れは流入を示しており、これらの変動がいずれも暖水塊の流入によるものであることがわかる。従ってこれらの現象には強さの差はあるが、いずれも急潮と呼んでよいであろう。この図の結果は宇和島湾での急潮が主として夏期に起こることを示している。

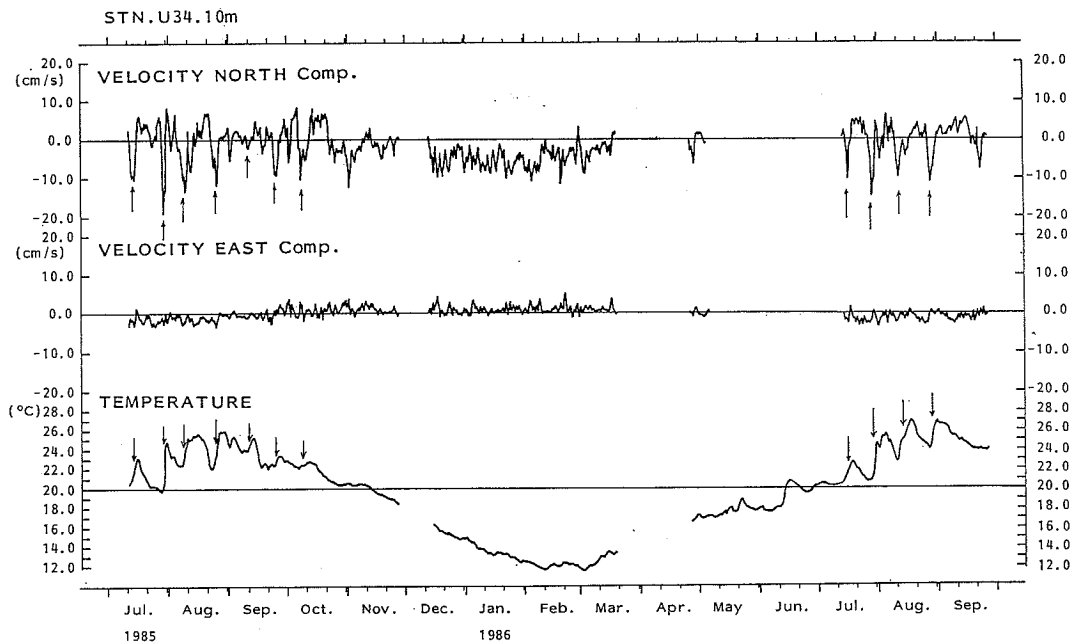


Fig. 9. North and east components of the current and water temperature at a depth of 10m at Stn. U34. The records are filtered to show 25-hr running mean (after TAKEOKA and YOSHIMURA (1988)).

次にこれらの急潮の発生時期を細かく見てみる。Fig. 10は1985年から1988年のいずれも夏期に観測されたU34での水温記録から、急潮による水温上昇の期間と上昇幅を小潮の日（上弦と下弦の日）を基準にして示したもので、年とは無関係に6月から順に並べてある。この図から明らかなように、水温の上昇はごく一部の例外を除いて小潮の数日後を中心として起こっており、宇和島湾までの伝播時間を考えれば豊後水道南部での急潮の発生はほぼ小潮の頃であることがわかる。Fig. 7, 8の観測はこの知見に基づいて計画されたものである。

4. 海水交換

海水交換の問題は、Fig. 11に示すようないくつかの階層的な構造を持っている。①は外海と湾の、②は養殖場内と養殖場外の、③は生簀内と生簀外の海水交換である（ただし③は魚類養殖の場合の問題である）。これらの海水交換がどのような物理過程によって行われているかは、階層によって異なる。一般的には、ある物理過程がある海水交換に有効であるかどうかは、物理過程の空間スケール（例えばその過程による水の移動距離）と海水交換を考える空間スケールとの関係によって決まると考えてよい。例えば宇和島湾での潮流の流程は数100m～1km程度であり湾のスケールから見れば小さい。従って湾全体の海水交換を考えた場合、下げ潮によって湾を流出した水は湾口付近にとどまり、かなりの部分が上げ潮でまた湾に戻ると考えられ、潮流による交換の効率は悪い。しかし、1km程度の養殖場の海水交換を考えれば、例えば上げ潮によって養殖場内の水のほとんどは1度養殖場外へ出てしまい、その何割かが次の下げ潮で戻るとしても交換の効率はかなり良くなる。更に生簀内外の交換を考えた場合には1度潮流によって生簀から運び去られた水のほとんどは元の生簀には戻らない。

このように海水交換に効果的な物理過程は階層によって異なり、また養殖環境にとって持つ意味も階層によって異なる。ここではそれらの階層の中で、一応の交換速度が求められている宇和島湾と湾外の海水交換について述べる。

1985年6月から1986年7月まで毎月一回、宇和島湾内外の9測点でSTDによる水温・塩分観測を行い、この結果から熱収支に基づいて湾内と湾外の海水交換速度を求めた。Table 1に、計算された宇和島湾の海水の1日当りの交換量を示す。この表には湾内外の水温差と、交換に要する日数（湾の容積/1日当りの交換量）もあわせて示している。交換量の表の(1.5)と(2.0)は、熱収

date of neap tide	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
June 15 1986	← 3.2 °C ●											
22 1988	● 3.3 →											
July 10 1985	● 4.3 →											
15 1986	● 2.3 →											
22 1988	● 3.2 → 3.7 ○											
25 1985	● 5.7 →											
29 1986	← 4.8 ●											
Aug. 3 1987	● 4.9 →											
5 1988	● 4.2 →											
9 1985	← 3.7 ●											
13 1986	● 4.9 →											
16 1987	● 2.5 →											
20 1984	● 2.2 →											
21 1988	● 3.5 →											
23 1985	● 4.5 →											
27 1986	● 3.1 →											
Sep. 3 1988	● 2.6 →											
7 1985	● 2.0 →											

● : first quarter ○ : last quarter

Fig. 10. Periods of the increase of water temperature shown in reference to the days of neap tide (first quarter and last quarter) in the summer from 1985 to 1988 (after TAKEOKA *et al.* (1989)). Numerals show the range of the increase.

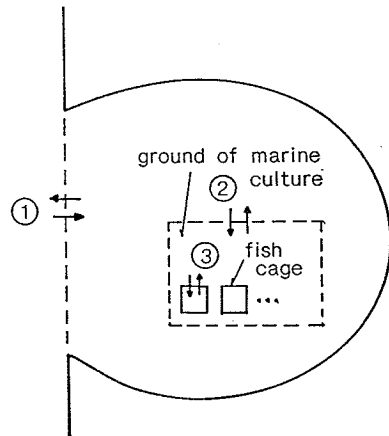


Fig. 11. Structure of the water exchange.

支の計算に用いる海上風と陸上風の風速の比である。交換日数は、宇和島湾の容積 ($2.0 \times 10^9 \text{ m}^3$) を交換量（両風速比による結果の平均）で割ったものである。交換日数の値がない期間 (No. 5, 9, 10) は、負の交換量が計算されたところである。このように実際にはあり得ない負の交換量が得られたのは、湾内外の水温差の見積りに問題があるからであり、この問題は表からもわかるように湾内外の水温差が極めて小さいことに起因している。武岡 (1989) は、水温観測の間隔の粗さ等に起因する交換

Table 1. Difference of water temperature between Uwajima Bay and outer sea, volume of water exchange in a day and the turn-over time of Uwajima Bay (after TAKEOKA (1989)).

No.	period	$T_0 - T_1$ (°C)	volume of exchange ($\times 10^9$ m ³ /day)		turn-over time (day)
			(1.5)*	(2.0)*	
1	1 Jun. -11 Jul.	-0.50	0.12	0.10	18
2	11 Jul. - 7 Aug.	-0.56	0.04	0.02	66
3	7 Aug. -19 Sep.	-0.52	0.20	0.15	11
4	19 Sep. -23 Oct.	-0.37	0.30	0.21	7.8
5	23 Oct. -27 Nov.	-0.01	-4.50	-9.68	* *
6	27 Nov. -13 Dec.	0.09	0.01	0.90	4.4
7	13 Dec. -14 Jan.	0.28	0.52	0.86	2.9
8	14 Jan. -24 Feb.	0.10	1.55	2.32	1.0
9	24 Feb. -25 Apr.	-0.14	-2.14	-2.73	* *
10	25 Apr. -20 May	-0.18	-0.22	-0.31	* *
11	20 May -18 Jun.	0.14	0.95	1.10	2.0
12	18 Jul. -14 Jul.	-0.24	0.77	0.73	2.7

(*: ratio of the wind speed on the sea to that on the land)

速度の誤差について考察し、実際の交換速度は Table 1 の値そのものではなく、交換日数にすれば夏期には数週間以下、冬期には数日程度と結論した。

このような交換速度は潮流による交換を考えた場合に期待される交換速度よりは極めて速いものである。このことを示すために、潮流による交換速度を概算してみる。宇和島湾の水深を約40mとする。M₂潮の振幅は0.5m程度であるので、干潮から満潮までの約半日間に湾内に流入する海水量は平均的には海面の約1mの昇降分、すなわち湾全体の海水量の約1/40となる。従って最も効率の良い交換が起こったとしても、全部の水の交換には約20日を要する。このような湾での潮流による交換の場合、実際には上げ潮で流入した海水の大部分が次の下げ潮で流出するため、交換の効率は極めて悪く、交換日数はこの20日の数倍あるいは10倍以上と推定できる。

このように、ここで求めた夏期の数週間、冬期の数日という交換日数は、潮流による交換日数に比べ極めて小さいものであり、潮流以外の交換機構が働いていることは疑いない。夏期においてはすでに述べた急潮が主としてこのように速い海水交換を担っているものと考えられる。一方、夏期の交換速度を上回るような冬期の交換は Fig. 4 に見られるような吹送流によって起こっているものと考えられる。冬期に湾奥に向かって吹き込む季節風によるこの流れは、上層で流入、下層で流出という構造を持ち、比較的長時間持続するため交換の効率はよい。この流れの流速は Fig. 4 によれば、平均的には 5cm/s

程度である。この流れによる海水の交換速度を考えるために、宇和島湾口(幅約5km)全体の上層20mで5cm/sの流入があるとする、流入量は 4.3×10^9 m³/日となる。宇和島湾の容積をこの値で割って得られる交換日数は4.6日となり、上の数日という推定値とよく一致している。以上から、宇和島湾での冬期の海水交換には季節風による吹送流が大きく寄与していると考えられる。

5. 物理環境と養殖

以上、宇和島湾での流動、海水交換などの概要を述べた。本章では、本報の目的である物理環境と養殖の関連について考察する。物理環境と養殖の関係を考えるには2つの視点があると考えられる。第1は物理環境が養殖にどのように影響するかという視点であり、これは養殖を環境から影響を受ける受動的立場として見ることに相当する。例えば、養殖場には波が穏やかであるというような条件が必要だとか、生簀に十分な酸素の供給が行われるにはどの程度の流れが必要か、などを問題にするのがこの第1の視点である。第2は養殖が海洋環境に与える影響を考えた場合に物理環境がどのように関わるかという視点である。この場合は養殖を環境に影響を与える能動的立場として見ていることになる。この第2の視点が軽視されていたことにより養殖が環境の悪化を引き起こし、その結果が漁場価値の低下と言った養殖自体への悪影響となって返って来る、というのが従来の養殖の構図であろう。従ってこの第2の視点の導入は重要であ

る。以下ではこれらの2つの視点から、宇和海での物理環境と養殖の関係性を考察する。

5.1 養殖への影響

まず通常の流れと養殖の関係性を考えてみよう。養殖場の流速がどの程度であるかは、ハマチ養殖にとっては漁場や生簀への酸素の供給速度、真珠養殖にとっては漁場内の酸素や餌の植物プランクトンの供給速度に関わる基本的問題である。この問題は海水交換の視点からはFig. 11の②、③の段階に相当する。この段階での交換速度の定量化はまだ行われていないが、夏期の内部潮汐による日周潮流はこの段階において重要な意味があると思われる。それが表面潮汐から期待される流れより強い流れを生み出すからである。また、日周期であることは同じ振幅の半日周期の潮流の2倍の流程を生むことになり、交換の効率は良くなる。更に、酸素要求量が夏期に大きくなることを考えても、この日周潮流の意義は大きい。

次に急潮と養殖の関係性を考える。急潮は水温の急変を伴うため、魚介類への直接的影響は大きいものと考えられる。この影響の例としてハマチの斃死を考えてみる。Fig. 12に宇和島市遊子のある漁業後継者の生簀での1986年夏期におけるハマチ斃死の状況を示す。上段は測点U34での水温、中、下段はそれぞれ2年魚及び1年魚の死亡数である。図のように、7月半ば、7月末、8月末の水温上昇に対応して、その後に斃死が起きていることが特に1年魚において明瞭である。7月末から8月始

めの大量死の際には類結節症菌による魚病が発生したと言われているが、これは水温急変による魚体の衰弱が引金となったと解されよう。また、従来地元の漁業者の間では夏期の大潮期に養殖魚の斃死が起るといわれていた。急潮が小潮の数日後に起こり、この影響でその数日後に魚が死亡し、死亡した魚が一旦生簀の底に沈み更に数日後に腐敗して浮上すれば、漁業者に斃死が認識されるのは大潮の頃となる。従ってこのことから急潮が養殖魚の斃死を起していることが支持される。なお Fig. 12での7月末の斃死は小潮に近いが、これはこのときの急潮の発生がほぼ小潮の日であることと、この漁業者の場合しばしば潜水して死亡した魚を回収していることによるものと思われる。

急潮による水温変動はまた、真珠養殖のアコヤ貝の斃死も起している可能性があるが、この場合は死亡が直ちに確認しにくいため今のところ十分な統計がなく、今後詳細な統計をとる必要がある。一方アコヤ貝にとっては別の影響が考えられる。急潮は地元では古くより“澄み潮”という言葉で認識されていた。これにより海水で短時間のうちに透明度を増すからである。これは、急潮によって進入する水塊が豊後水道南方から来るものであることから、この水塊の植物プランクトンの少ない黒潮系の海水であるためと解される。従って急潮は、植物プランクトンを餌とするアコヤ貝の成育に影響を及ぼす可能性が高い。

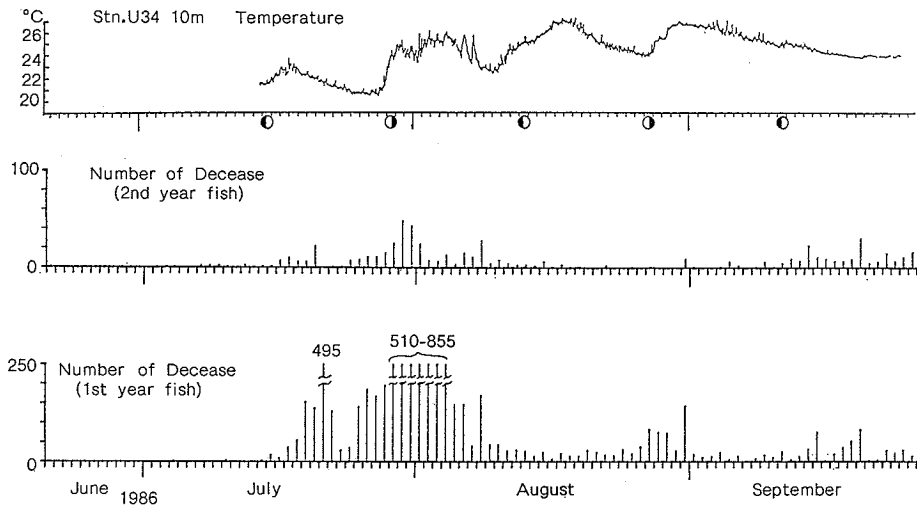


Fig. 12. Number of decease of yellowtail in the four cages in the summer in 1986. Data were obtained by a fisherman at Uwajima.

これらの負の要因に加え、急潮に伴う強い流れが生簀を破損させ、あるいは生簀を沈降させて養殖魚の逃亡を起こすといった被害を与えることもある。急潮は大規模な自然現象であり、この発生を防ぐことはほとんど不可能と思われるが、その発生時期が夏期の小潮の頃であることが明らかになった以上、これらの被害に対する何らかの対策は今後検討される必要があるだろう。

5.2 海洋環境保全との関連

海洋環境保全に対する物理過程の主な役割は汚染物質の湾外への排出であり、海水交換はいわばこの排出能力ともいえる。既に示したように、宇和島湾の海水交換速度は微弱な潮流から期待される速度よりはるかに大きい。この交換の機構として働いているのが、夏期には急潮であり、冬期には季節風による吹送流である。ハマチに対する投餌は夏期に大きいため、夏期の急潮の存在は環境保全に対してきわめて重要であり、急潮の存在こそが現在の宇和海沿岸の大規模な魚類養殖を成立させている可能性もある。養殖への直接影響という点では負の影響を持っている急潮も、ここでは正の影響を持つことになる。また、急潮や冬期の吹送流は下層で流出するという構造を持つが、この流れにより、海底付近の懸濁物質が効率的に湾外へ排出されている可能性もある。

6. あとがき

宇和海沿岸では潮流は微弱であるが、この他にも内部潮流や吹送流、急潮などの物理過程が存在する。これらは、基本的には海水を運動させ、海水交換を促進することにより、この海域での大規模な養殖を支えているといえよう。このように海水交換の面からは宇和海は養殖には有利な条件を持っているといえるが、これはあくまで相対的な問題であり、同様な地形で急潮などの起こらないような湾よりは有利であるということで、養殖に対する無限の許容量を保証するものではない。重要なことは

有限な養殖の許容量の定量的な評価であり、それには海水交換速度のみでなく、有機物の沈降や分解速度、あるいは有機物負荷の環境への影響の定性的、定量的評価が必要である。武岡ほか(1988)によるハマチ養殖場での物質循環モデルはこのような研究の1つのステップであるが、今後更に学際的な研究を進めていく必要があるだろう。また、急潮の問題については、その物理的な発生機構の解明のみでなく、それが豊後水道やひいては瀬戸内海の環境に与える影響の総合的解明、あるいは養殖魚の斃死など急潮の直接的な悪影響を克服するための養殖技術の開発など、今後多くの課題を残している。

最後にハマチの斃死のデータを提供して頂いた宇和島市遊子の漁業後継者、入江駒男氏に厚くお礼申し上げます。また、本稿は文部省科学研究費補助金による一般研究(C)「豊後水道の急潮に関する研究」の成果の一部であることを付記する。

文 献

- 松山優治・岩田静夫(1977) 相模湾の急潮について
(1) 1975年に起こった急潮. 水産海洋研究会報, 30, 1-7.
- 武岡英隆(1988) 宇和島湾の物理的環境(Ⅱ)一潮流の季節変動一. 愛媛大学工学部紀要, 11(3), 261-267.
- 武岡英隆(1989) 宇和島湾の物理的環境(Ⅲ)一海水交換の季節変動一. 愛媛大学工学部紀要, 11(4), 257-262.
- 武岡英隆・橋本俊也・柳 哲雄(1988) ハマチ養殖場の物質循環モデル. 水産海洋研究会報, 52, 213-220.
- 武岡英隆・菊池隆展・秋山秀樹(1989) 豊後水道の急潮(Ⅰ)一1988年夏の観測一. 1989年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 19-20.
- TAKEOKA, H. and T. YOSHIMURA (1988) The *Kyucho* in Uwajima Bay. J. Oceanogr. Soc. Japan 44, 6-16.
- 柳 哲雄・秋山秀樹・武岡英隆(1988) 四国南西海岸の水温急変現象. 水産海洋研究会報, 52, 283-288.