

自然エネルギーを利用した湧昇流発生による 養殖マガキの身入り向上に関する研究

熊谷 明*1・押野 明夫*2

A study of promoting growth of cultured pacific oyster *Crassostrea gigas* using natural energy
sea water upwelling

Akira KUMAGAI*1 and Akio OSHINO*2

キーワード：マガキ養殖，身入り向上，湧昇流，自然エネルギー

震災前の2003年から2010年のマガキ生産量(殻付き換算)は、全国では約20万トン、宮城県は5万トン前後で全国2位であった。震災により宮城県のマガキ(以下「カキ」)養殖は壊滅的な被害を受け、2012年に生産量は約5千トンまで減少したが、2014年には約2万トンまで回復したり。その養殖施設は、耐波性に優れている延縄式が主流であるが、波浪が穏やかな一部の内湾では筏垂下式が用いられている。漁業者からの聞き取りによると、筏垂下式のカキ養殖では養殖施設の中央部は周囲に比べてカキの餌料となるプランクトンが十分に行き渡らないため、成長と産卵後の身入り回復の遅延が起こる。このため、高品質のカキを出荷するためには、剥きガキの選別が必要となるが、復興途上にある現状では選別するための人手や作業スペースが乏しく、十分には選別しないで出荷せざるを得ない。

カキは水温が10℃以上で性成熟が進行し、10℃以上の積算水温が600℃以上になると多くの個体が産卵可能となる。産卵時の水温は23～30℃(25℃以上に達した時が好適)で、宮城県では7月上旬から8月までで、この期間に2～3回の産卵が行われる²⁾。産卵を終えたカキは、その後水温の低下とともに身入りが回復し、冬から初春にかけてグリコーゲン含有量が増加して食味の良いカキに

なる。宮城県のカキの収穫は早い年では9月末から始まり翌年3月でほぼ終了する。筏垂下式養殖の場合、水温上昇が遅い下層部のカキは表層部のカキに比べ産卵が2週間程度遅れるため、身入りの回復がその分遅れ、出荷時期も遅れる。

そこで、本研究では自然エネルギー(風力、太陽光)を利用して養殖施設の中央部に湧昇流を発生させ、プランクトンが比較的多い周辺・下層の海水を上層に誘引し、水通しも良くして水温差を小さくすることによって、カキの成長、身入りおよび成熟産卵を促進、均一化する技術開発を行うことを目的とした。

なお、底層からポンプで海水を揚水して、低酸素や高水温によるカキの斃死を防止する事業は、これまでに有明海で行われたが³⁾、自然エネルギーを利用したカキの身入り向上の試みは初めてと思われる。

材料と方法

1 湧昇流発生装置の概要

以下の2方式の湧昇流発生装置を設計作製し、実験に使用した。

1) 風力湧昇流発生装置

*1 水産技術総合センター，*2 水産技術総合センター気仙沼水産試験場

垂直方向に設置した回転軸の先端（海面高2m）に塩化ビニール製の風車羽根（長さ0.7×幅0.3m）4枚を水平方向に等角度で取り付け付けた。水深1mの海中部には回転軸の先端にスクリー羽根（0.4×0.2m）4枚を、回転軸に対して22.5°の角度で水平方向に取り付けた（スクリー直径1m）。回転軸のほぼ中間部に減速機を設置し、風車の回転が回転比1/10でスクリーに伝わるようにした。スクリーは風速約5m/S以上の風で回転した（図1A, B）。

2) ソーラー発電駆動湧昇流発生装置

太陽光パネル（ネクストエネルギー・アンド・リソース（株） HA-145-12）1枚で得られた電気を、充電コントローラ（モーニングスター社 SS-10L-12V）を付設したバッテリー（ACデルコ社 DC-27）に蓄電した。そして、インバーター（（株）未来舎 FI-S1003-12VDC）で100Vに変換した後、回転軸の先端に設置したギヤモーター（住友重機械工業（株）CNVM01-5097DR-CB-215, 減速比215）でスクリーを回転（6.7rpm）させた。スクリーは風力湧昇流発生装置と同じ仕様とした（図1C）。なお、スクリーの回転時に装置の直上（水深50cm）の4点で水平方向の流向と流速を同時に計測することにより、湧昇流が水面近くで発散して生じる1cm/s以上の外向きの流れを確認している。

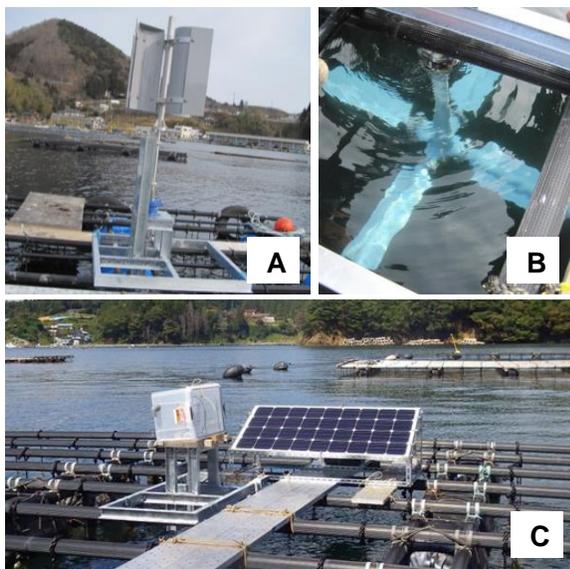


図1 湧昇流発生装置

A：風力式，B：水中部のスクリー
C：ソーラー発電駆動式

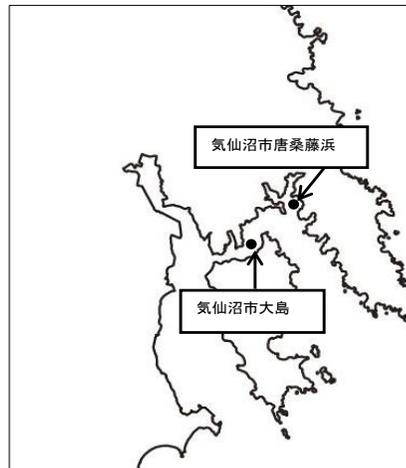


図2 試験の実施海域

2 実験規模の試験

1) 試験筏

2014年1月に気仙沼市唐桑藤浜に試験筏（6×6m）2台（風力区、対照区）を設置し、両筏には50cm間隔で2012年夏季に採苗した12株ずつのカキ（10～30個体/株）が付いた養殖ロープを110本ずつ垂下した（図2）。風力区の筏の中央部に風力湧昇流発生装置1台を設置し、対照区の筏には設置しなかった。

2) 漁場環境調査

2014年1月～2015年2月に1～2カ月に1回ずつ、試験筏の外側と内側（中心部）において、水深別（表層、2.5, 5, 7.5m）に水温、塩分、溶存酸素量、クロロフィルa量を測定した。水温と塩分は直読式水温塩分深度計（JFEアドバンテック社 ACTD-DF）を使用し、溶存酸素量はウインカラー法で測定した。クロロフィルa量はn,n-ジメチルホルムアミドで抽出した後、Welschmeyer法によりTrilogy（TURNER DESIGNS社）を用いて測定した。

3) カキの成長調査

(1) 定期調査

環境調査時に試験区の外側及び内側に垂下した養殖ロープを無作為に1～2本選び、上層（0.5, 1m）、中層（2.5, 3m）および下層（4.5, 5m）の2株ずつを養殖ロープから外し、おおよその重量で上位10個体ずつを検体とした。個体毎に全重量、軟体部重量を測定した後、110℃で軟体部を20時間以上乾燥させ、乾燥重量を求めた。全重量に

対する軟体部重量の割合（軟体部重量比%）と軟体部重量に対する乾燥重量の割合（身入り度%）⁴⁾を求めた。

(2) 全養殖ロープの重量測定

2014年6月に両試験筏の全養殖ロープを取り上げて、筏上でできるだけカキ以外の付着物を除去した後、ロープ1本ずつの重量を測定するとともに、株数を記録した。これらの値から、養殖ロープ毎に1株当たりの平均重量を求めた。測定した後のロープは元の場所に垂下し、養殖を継続した。

2015年2月の試験終了時に全養殖ロープを水揚げし、付着物を除去した後、ロープ毎にカキの重量を測定し、1株当たりの平均重量を求めた。

(3) 養殖カゴを用いた垂下試験

2014年10月にカキ240個体（100～150g/個）の個体重量を測定した後、カゴ内のカキの合計重量をできるだけ均一（1,250±50g）にして、10個体ずつ24養殖カゴに収容した。両試験筏の各4カ所（外側2カ所、内側2カ所）に水深別（0.5, 3.5, 6.5m）に1カゴずつ垂下した。2015年2月に個体毎に全重量、軟体部重量を測定した。

4) カキの成熟度調査

7, 8月の定期調査のサンプルの軟体部中央をメスで切断し、軟体部断面直径と内臓断面直径を測定した。個体毎に成熟度指数 $\{(\text{軟体部断面直径} - \text{内臓断面直径}) \div \text{軟体部断面直径} \times 100\}$ を求めた。

3 事業規模の試験

1) 試験筏

2014年9月に気仙沼湾大島亀山地先の養殖業者の既設カキ養殖筏（13×7.5m）2台の中央部に、風力湧昇流発生装置とソーラー発電駆動湧昇流発生装置を設置した。装置を設置しない対照区を加えた合計3区を試験区とした（図2）。ソーラー区では11～12時と16～17時の毎日2時間ずつスクリューを回転させた。試験筏3台には養殖ロープがそれぞれ約155本ずつ垂下されており、各養殖ロープには2013年夏季に採苗した種ガキ原盤が50cm間隔で約20枚挟み込まれていた。

2) 漁場環境調査

2015年5月～2016年2月に毎月1回、試験筏の外側と内側（中心部）において、水深別（表層, 2.5, 5, 7.5m）に水温, 塩分, 溶存酸素量, クロロフィルa量を測定した。

また、湧昇流発生に伴う水温変動の有無を明らかにするために、水深による水温差が大きい7月下旬に、風力区の周辺部と中心部の各2か所において、水深0.5～5mまで0.5m間隔に水温データロガー（HOBO CO-UA-001）を設置して15分ごとに連続測定を行った。

3) カキの成長調査

(1) 定期調査

2015年5月～2016年2月に1～2カ月に1回、各試験筏の外側および内側の養殖ロープ1～2本を無作為に選び、上層（0.5～1.5m）、中層（4～5.5m）および下層（8.5～10m）のそれぞれ4株ずつから無作為に30個体ずつを抽出した。実験規模試験と同様の方法により、個体毎に全重量、軟体部重量、軟体部重量比、身入り度を測定した。

(2) 養殖カゴを用いた垂下試験

2015年4月にカキ480個体（120～180g/個）に個体識別のための標識を付けた後、重量を測定した。カゴ内のカキの合計重量をできるだけ均一（3,000±250g）にして、20個体ずつ24養殖カゴに収容した。3試験筏の外側と内側の1か所ずつ（合計6か所）に水深別（0.5, 3.5, 6.5, 9.5m）に1カゴずつ垂下した。2016年2月に個体毎に全重量、軟体部重量、乾燥重量を測定し、増重率、軟体部重量比、身入り度を求めた。

結果

1 実験規模の試験

1) 漁場環境

水温とクロロフィルaについて、全調査地点での水深毎の平均値と標準偏差の経月変化を図3に示した。期間中の水温は4.5±0.01～22.6±0.05℃で、水深間では4～8月と12月に2～6℃の水温差が生じた（図3A）。クロロフィルa量は、2～4月は水深が深いほど高かったが（Max 9.5±2.2μg/L）、7～8月は逆転し、表層ほど高くなった（同10.8±1.2μg/L）。9月以降は4μg/L以下で推移し、特に12～1月は1μg/L以下であった（図3B）。溶存酸素量は6.3～12.2ppm、塩分はほとんどの期間が32～34であったが、6月と8月に表層のみ26～28とやや低かった。

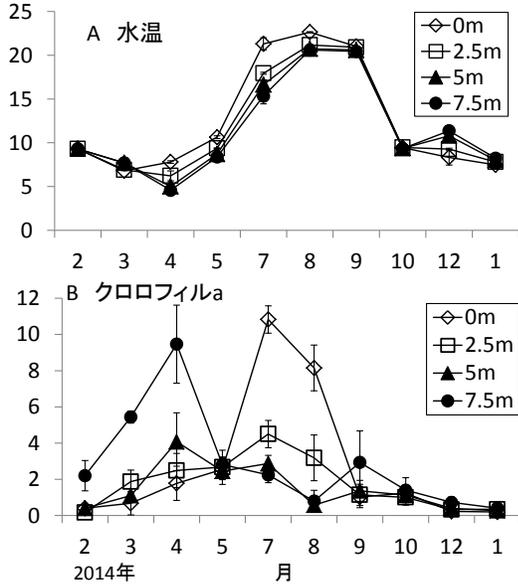


図3 全調査地点での水温とクロロフィルa量の平均値と標準偏差の経月変化

2) カキの成長

(1) 定期調査

軟体部重量：成長、成熟とともに8月までは増加し、産卵後の9月に減少したが、12月以降再び増加した。地点（内・外）別に風力区と対照区を比較した結果、2014年2～7月および2015年1月に風力区の内側が対照区に比べて有意 ($p<0.05$, t検定) に大きかった (図4A)。

軟体部重量比：両試験区ともに、8月までは20%前後と高かったが、産卵期以降は15%以下に低下した。内、外側ともに風力区と対照区間に明確な差はなかった (図4B)。

身入り度：4月からグリコーゲンの蓄積と生殖腺の発達に伴い増加し、5～8月には22～23%であった。その後は産卵とともに低下し、2月の調査終了時まで14～17%程度であった。内、外側ともに風力区と対照区間に明確な差はなかった (図4C)。

(2) 養殖ロープの平均株重量

2014年6月（試験開始5カ月後）と2015年2月（同13カ月後）の養殖ロープ毎の平均株重量の階級別水平分布を図5に示した。両調査月ともに風力区で平均株重量の大きいロープが多く、6月の全ロープの平均値は、風力区

(2.28kg/株) が対照区 (2.13kg/株) より有意 ($p<0.05$, t検定) に大きかった。2月の全ロープの平均値は、風力

区と対照区それぞれ2.59kg/株と2.29kg/株で、差はさらに拡大した ($p<0.01$)。両調査月の両試験区ともに、平均株重量の水平分布には筏内の位置による特徴的な傾向が認められなかった。

(3) 養殖カゴを用いた垂下試験

増重率：試験区毎にプールして比較すると、風力区が平均22.9% (15.5～34.7%) で、対照区の平均17.8% (9.9～27.8%) よりも有意 ($p<0.05$, t検定) に大きかった。地点（内・外）別に比較すると、内、外側ともに風力区と対照区に有意差は認められなかった (図6A)。

軟体部重量：試験区毎にプールして比較すると、風力区が平均21.4g (17.6～25.1g) で、対照区の平均17.2g (14.7～18.8g) よりも有意 ($p<0.01$) に大きかった。地点別の内側では、風力区が対照区より有意 ($p<0.05$) に大きかったが、外側では両区に有意差は認められなかった (図6B)。

軟体部重量比：試験区毎にプールして比較すると、風力区が平均13.4% (11.6～15.8%) で、対照区の平均11.8% (10.8～12.6%) よりも有意 ($p<0.01$) に大きかった。地点別の内側では両区に有意差は認められなかったが、外側では風力区が対照区より有意 ($p<0.01$) に大きかった (図6C)。

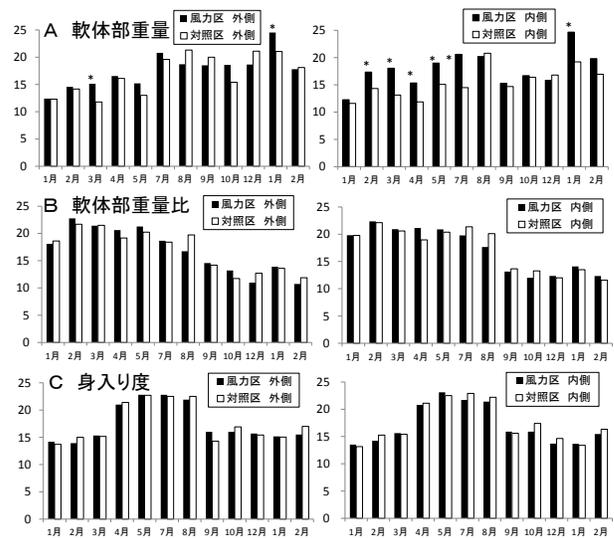


図4 定期調査におけるカキの軟体部重量, 軟体部重量比, 身入り度. *: $p<0.05$ (t検定)

3) カキの成熟

風力区では対照区に比べ、上層の内、外側ともに最も成熟が早く、成熟度指数は7月に上昇し、8月には低下（産卵）した。一方、風力区の中下層では対照区と差がなく、比較的緩やかに成熟し、8月以降に産卵した（図7）。

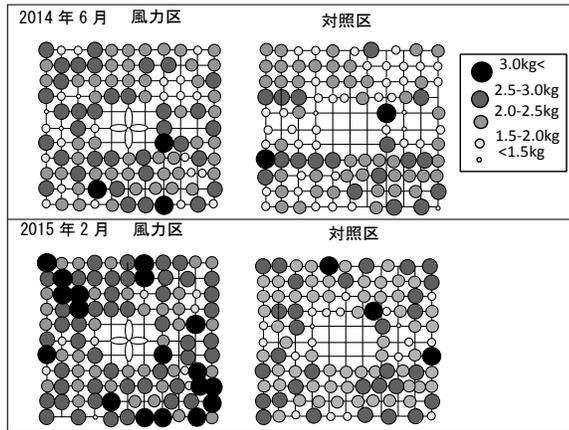


図5 実験規模試験筏内における平均株重量の階級別水平分布

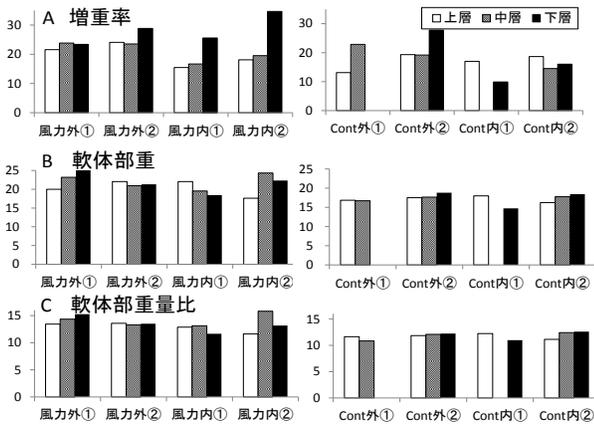


図6 カゴ養殖したカキの増重率，軟体部重量，軟体部重量比

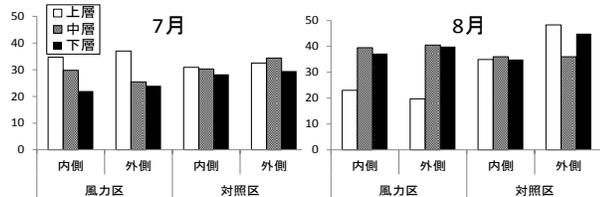


図7 両試験区における水深別の成熟度指数

2 事業規模の試験

1) 漁場環境

(1) 水温，水質，クロロフィルa量

水温とクロロフィルaについて、全調査地点での水深毎の平均値と標準偏差の経月変化を図8に示した。期間中の水温は $5.3 \pm 0.05 \sim 22.8 \pm 0.14^\circ\text{C}$ で、水深間の水温差は3～7月と1月にみられ、 $2 \sim 6^\circ\text{C}$ であった（図8A）。クロロフィルa量は、3月は水深が深いほど高かったが（Max $6.8 \pm 1.3 \mu\text{g/L}$ ），7月は逆転し、表層ほど高くなった（同 $8.8 \pm 5.3 \mu\text{g/L}$ ）。8月以降は $3 \mu\text{g/L}$ 以下に低下し、特に12～1月は $1 \mu\text{g/L}$ 以下であった（図8B）。溶存酸素量は $5.9 \sim 12.1$ ppm，塩分は $29.9 \sim 34.1$ であった。

湧昇流発生装置稼働前後の水温変動については、午前11時のスクルー回転が始まった15～45分後に、内側の0.5～1.5m層では外側に比べて水温が $0.5 \sim 1.5^\circ\text{C}$ 低下し、その状態が午後6時頃まで継続した。内側の2m以深では水温低下は見られなかった（図9）。この内側表層の水温低下は、湧昇流発生により下層の低水温水が上層に誘導されたことによるものと考えられた。

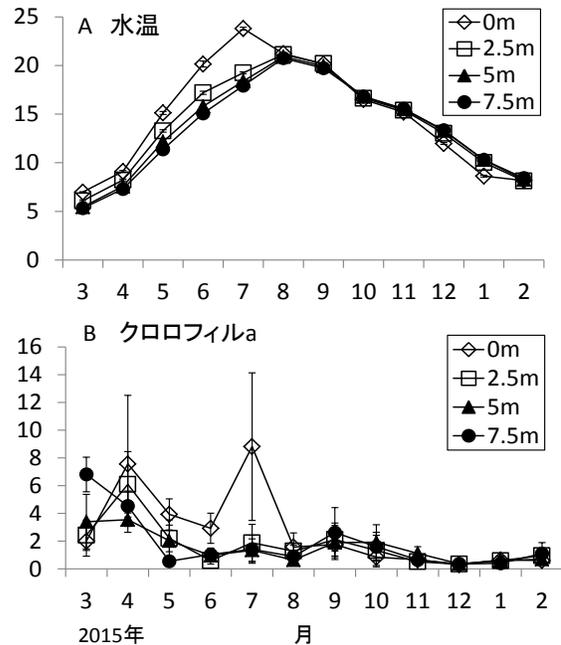


図8 全調査地点での水温とクロロフィルa量の平均値と標準偏差の経月変化

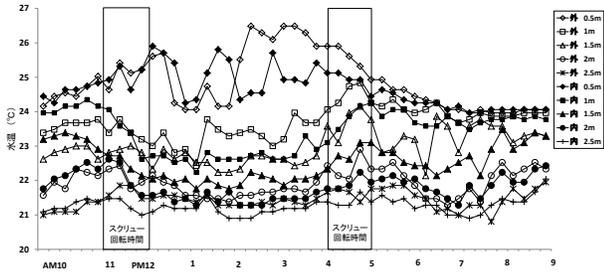


図9 ソーラー区の内側と外側におけるスクリー一回転前後の水溫変化

2) カキの成長

(1) 定期調査

1~2カ月に1回の定期調査における軟体部重量、軟体部重量比と身入り度の経月変化を図10に示した。

軟体部重量：風力区、ソーラー区、対照区のいずれの筏でも、外側が内側より大きく、また、垂下水深が浅いほど大きい傾向がみられた。実験規模試験の風力区の内側でみられた湧昇流発生による軟体部の増重効果は、風力区およびソーラー区ともにみられなかった(図10A)。

軟体部重量比：7月までは15~19%と高かったが、8~9月に産卵とともに低下した後は10~15%に留まった。産卵が遅れた8月の下層の値を除き、いずれの試験区でも周年上層ほど高かった。両試験区と対照区をそれぞれ内、外別、水深別に比較した結果、風力区とソーラー区が対照区より高い傾向はみられず、ほとんど有意差はなかった(図10B)。

身入り度：7月までは20%以上あったが、8~9月に産卵とともに低下した後は13~20%であった。1~2月に風力区とソーラー区ともに対照区より有意に大きい水深帯がみられた(図10C)。

(2) 養殖カゴを用いた垂下試験

増重率：外側では、上層の風力区が他の2試験区より、中層の風力区とソーラー区が対照区より、それぞれ有意に大きかった。内側では、上層の風力区が対照区より大きかった(図11A)。

軟体部重量：風力区、ソーラー区、対照区のいずれの筏でも、外側と内側の差はなかったが、外、内側ともに垂下水深が浅いほど大きい傾向がみられた。試験区別に見ると、外側では、上層の風力区がソーラー区より有意に大きかったが、対照区とは差がなかった。また中層の

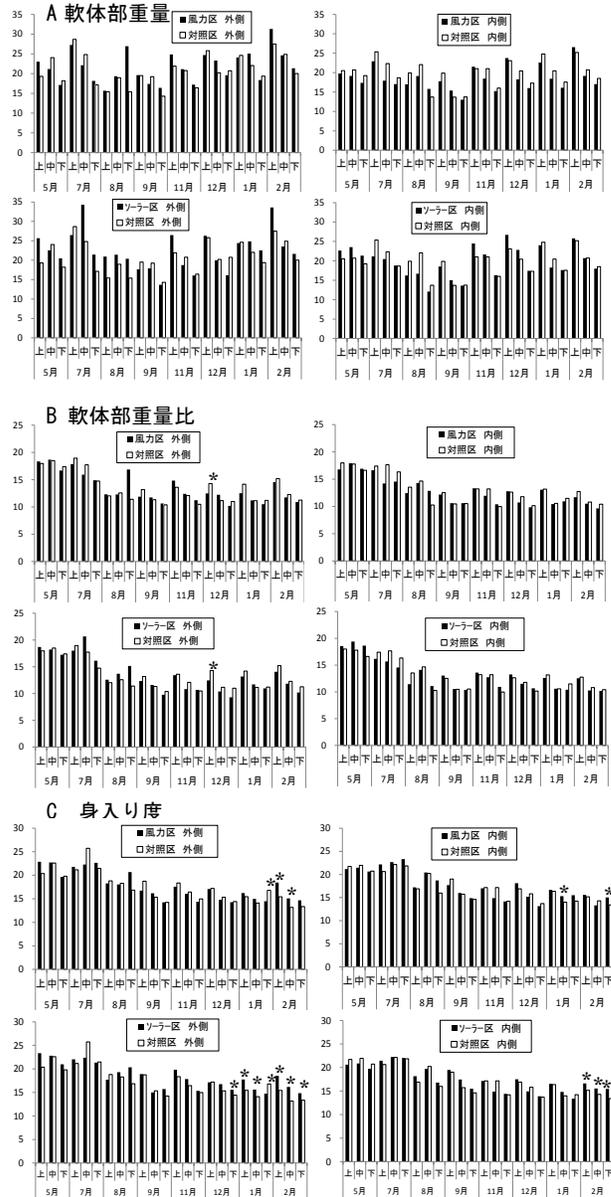


図10 定期調査におけるカキの軟体部重量、軟体部重量比、身入り度. *: $p < 0.05$ (t検定: 身入りが回復した12月以降の値のみ検定)

風力区とソーラー区が対照区より、それぞれ有意に大きかった。内側では、中層のソーラー区が風力区と対照区より有意に大きかったが、下層では風力区がソーラー区と対照区より、有意に小さかった(図11B)。

軟体部重量比：外側では、いずれの水深でも3試験区間に有意差は認められなかった。内側では、全水深においてソーラー区が風力区より有意に大きかった(図11C)。

身入り度：外側では、上層のソーラー区が他の2試験区

より、中層では風力区>ソーラー区>対照区と有意に大きかった。一方、下層では3区に有意差がなく、また、最下層では対照区が風力区とソーラー区より有意に大きく、期待した結果とは逆であった。内側でも、上層、下層、最下層において対照区が他の2区よりも有意に大きかった(図11D)。

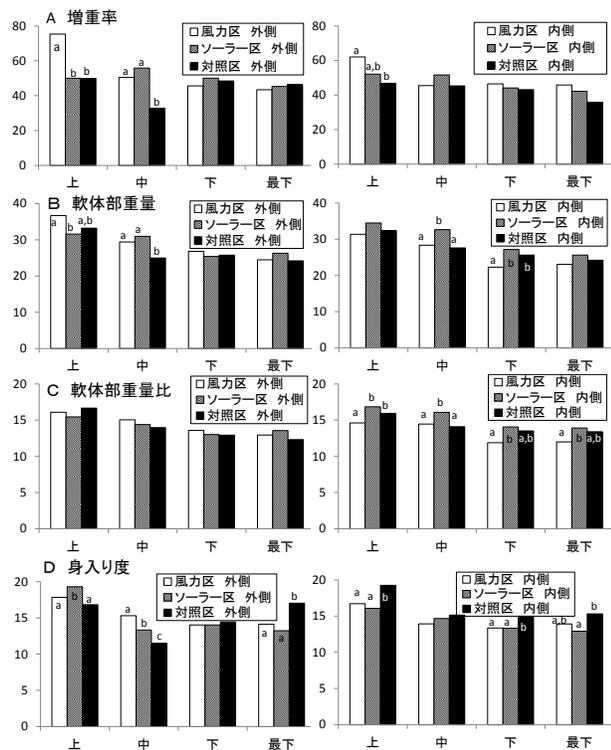


図 11 カゴ養殖したカキの増重率，軟体部重量，軟体部重量比，身入り度。

異なるアルファベット間で有意差有り (P<0.05, t検定)

上：水深0.5m，中：3.5m，下：6.5m，最下：9.5m

考 察

2014年1月～2015年2月に気仙沼市唐桑藤浜の実験規模の筏(6×6m)で風力による湧昇流発生効果を検討した。1～2カ月に1回ずつ無作為に養殖ロープを取り上げて測定した定期調査では、軟体部重量比と身入り度において風力区と対照区に差がなかったものの、軟体部重量については風力区の内側が対照区に比べて有意に大きい月がしばしばみられた。また、試験開始5、13カ月後に両筏

の全養殖ロープを計量し、ロープ毎の平均株重量を比較した結果、2回ともに風力区の値が対照区に比べ有意に大きく、13カ月後には5カ月後に比べ両区の差は拡大した。さらに、同一個体を追跡するために養殖カゴのカキを筏内の各地点に4カ月間垂下した試験でも、軟体部重量と軟体部重量比において風力区が対照区に比べて有意に大きく、これら一連の結果は、湧昇流の増重効果によるものと考えられた。

試験筏での水深別のクロロフィルa量は、春には低層ほど多く、夏には逆転した後、秋から冬にはいずれの水深帯でも低位に推移した。水深別の水温は春から夏に水温躍層が見られた後は、12月を除き差は見られなかった。風力区のカキが対照区比べ春から初夏に有意に増重したことは、湧昇流発生により餌が多く含まれる春の低層と夏の表層の海水が筏内を循環し、餌料環境が向上したことによるものと考えられる。一方、10～2月の全水深帯でクロロフィルa量が低位に推移した時期に実施したカゴ養殖試験でも風力区が有意に増重した要因としては、海水交換が良くなることによって、カキが摂食した餌料の総量が増えたことによる可能性が考えられる。

もう1つの検討課題である成熟産卵の促進と均一化については、対照区に比べ風力区の上層で産卵が促進されたと考えられたが、中層以深では対照区と差がなく、実験規模の筏でさえも全体を促進する効果は認められなかった。

次に、事業規模での試験として、2014年9月～2016年2月に気仙沼市大島の養殖業者のカキ筏(13×7.5m)において、実験規模と同仕様の風力に加え、ソーラーによる湧昇流効果をそれぞれの筏で検討した。その結果、ソーラー区では水深1mに設置したスクリーン(直径1m)を1日に2回1時間ずつの回転(6.7rpm)させることにより、夏季には筏内側の1.5m以浅の水温が1℃程度変化することが明らかになった。成長については、1～2カ月に1回の定期調査で、2016年1～2月(試験開始16～17カ月後)の身入り度において風力区とソーラー区ともに対照区より有意に大きい水深帯がみられており、湧昇流効果があった可能性があるものの、軟体部重量と軟体部重量比では明確な効果はみられなかった。さらに、カゴ養殖で同一個体の成長を追跡した試験では、一部の風力区と

ソーラー区で増重率と軟体部重量が対照区より大きかったものの、軟体部重量比と身入り度には顕著な差はなかった。以上から、事業規模の試験では明確な湧昇流発生効果は観察されなかった。

実験規模と事業規模との結果の違いは、①試験筏の規模の違い、②試験の実施場所の違いに起因した可能性がある。①については、事業規模試験を行った養殖業者の筏が実験規模の筏に比較して、面積が2.7倍(13×7.5m/6×6m)、垂下ロープ数が1.4倍(155本/110本)、養殖株数が2.3倍(3,100株/1,320株)であったのに対し、両試験で使用した風力式湧昇流発生装置が同一であり、また、ソーラー区でも装置の仕様により風力区と同じスクリーを2時間/日しか回転させられなかった。装置の能力が養殖規模に対して十分ではなかった可能性があり、大型の筏で規模に見合った湧昇流を発生させるには、装置の改良が必要と考えられた。②については、実験規模の試験は内湾の比較的静穏な海域で実施したのに対し、事業規模の試験は大島水道の潮通しが良く、大型漁船が頻繁に通行する海域で行った。すなわち、事業規模の試験ではもともと海水の交換が良かったため試験区と対照区で差が出にくかった可能性が考えられ、閉鎖的な養殖漁場では本装置の有効性がより顕著になることも考えられる。

以上まとめると、本研究において風力とソーラーの自然エネルギーを利用してカキ養殖筏の中央部に湧昇流を発生させることにより、カキの成長と身入りを向上させ得る可能性が示された。本装置の普及に当たっては、筏の中央部に湧昇流発生装置を取り付けることによる養殖ロープ数の減少分をカバーするため、ロープ1本当たりの生産量の増大と品質の向上が不可欠な課題である。今後、養殖筏の規模に対応したより効率的なシステムの検討が必要である。

要 約

- 1) 自然エネルギー（風力、太陽光）を利用してカキ筏の中央部に湧昇流を発生させることにより、カキの成長、身入りおよび成熟産卵を促進、均一化することが可能かどうか検討した。
- 2) 実験規模のカキ筏（筏サイズ6×6m、110本の養殖ロ

ープを垂下）2台を作製した後、1台の中央部に風速5m以上で回転する風車のエネルギーにより水深1m層のスクリー（直径1m）が稼働（回転比1/10）する湧昇流発生装置を設置し、13カ月間カキの成長を観察した。ほぼ毎月1回の定期調査、試験開始5、13カ月後の全養殖ロープ平均株重量、同一個体を追跡したカゴ養殖試験の3方法で評価した結果、いずれの方法でも風力区の成長が対照区よりも大きく、湧昇流の効果によるものと判断された。

- 3) 湧昇流の成熟産卵促進効果については、風力区の上層で産卵が促進されたが、中層以深では対照区と差がなく、筏全体の成熟促進は認められなかった。
- 4) 事業規模での試験として、養殖業者のカキ筏（13×7.5m）において、風力区（実験規模試験と同じ仕様）、ソーラー区（風力式と同じスクリーを1日に2時間ずつ6.7rpmで回転）、対照区の3試験区を設定し、17カ月間観察した。その結果、夏季のソーラー区の湧昇流発生装置稼働時に、筏内側の表層近くにおいて水温変動（1℃前後の水温低下）が確認されたが、カキの成長については、風力区とソーラー区ともに明確な湧昇流の増重効果はみられなかった。
- 5) 実験規模と事業規模との結果の違いは、①湧昇流発生装置の能力が事業規模の養殖筏では不十分であった可能性、②事業規模の試験ではもともと海水の交換が良かったため試験区と対照区で差が出にくかった可能性が考えられる。

謝 辞

養殖試験に多大なご協力を頂いた宮城県漁業協同組合唐桑支所所属の鈴木芳則氏および気仙沼地区支所所属の小松俊浩氏に厚く御礼申し上げます。また、本研究推進に御協力いただいた気仙沼水産試験場職員諸氏に感謝申し上げます。本研究は水産庁委託「漁場生産力向上対策事業（平成25～27年度）」により実施した。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 海面漁業生産統計調査, 農林水産省ホームページ http://www.maff.go.jp/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html
- 2) 宮城県 (1994) 宮城県の伝統的漁具漁法 VII 養殖編 (かき), 55pp
- 3) 揚水式曝気装置によるカキ養殖場環境改善技術, 水産庁ホームページ
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kenkyu/pdf/pdf/5-4-1.pdf#search=%27%E6%8F%9A%E6%B0%B4%E5%BC%8F%E6%9B%9D%E6%B0%97%E8%A3%85%E7%BD%AE%E3%81%AB%E3%82%88%E3%82%8B%E3%82%AB%E3%82%AD%E9%A4%8A%E6%AE%96%E5%A0%B4%E7%92%B0%E5%A2%83%E6%94%B9%E5%96%84%E6%8A%80%E8%A1%93%27>
- 4) 小金沢昭光・後藤邦雄 (1972) カキ種苗生産場における生態学的研究—I 仙台湾における母貝群の性状. 日水誌, **38** (1), 1-8.