

波動式湧昇ポンプ開発普及プロジェクト

<波力による海洋肥沃化と台風制御の可能性を探る>

1) プロジェクト概要

特に、環境保護、生活・経済状況の改善、意識向上、排出削減、再生可能エネルギー、エネルギー・資源効率、気候変動対策などに関する関連性について、要約してください（10～15行程度）。

本プロジェクトは人為的なエネルギーを用いることなく栄養塩豊富な低層水を表層に運び上げ、海洋の肥沃化とCO₂回収（ブルーカーボン・テクノロジー）に関するものである。また、同時に夏季の海面水温冷却による台風（ハリケーン、サイクロン）発達制御技術の開発可能性に関するものでもある。

波力のみで海底の水を表層に汲み上げ海面で拡散させる手段の一つに波動式湧昇ポンプによる人工湧昇がある。

NPO ESCOT では2019年から大規模な資源・エネルギー投入を必要としない簡易で普及性に富んだ逆止弁方式の波動式湧昇ポンプ開発に着手した。

世界の漁場は、海洋の総面積の約0.1%の湧昇海域（潮流、海底地形等の影響、低層の海水が表層に押し上げられる海域）に集中し、その漁獲高は世界全体の50%を占めると言われている。

ペルー沖、カリフォルニア沖、南西アフリカ沖などが湧昇流発生海域として知られている。このような海域では海面水より栄養素が豊富な低層水が表層に上昇（湧昇）する。

これによる光合成で植物プランクトンの生産が行われ、それに続き魚類など二次生産が行われ、結果として良好な漁場となる。

仮に湧昇海域をコストと資源・エネルギー投入の最も少ない方法でもう0.1%増やすことが出来れば世界の食糧問題は大きく改善する。

人工湧昇海域を陸から遠くない沿岸域につくれば遠洋に出る必要性は薄れ、漁船の燃料代、リスク、労働負荷は低減する。

増えすぎた植物プランクトンは大気中のCO₂を大量に回収し、その後、寿命を迎えマリンスノー形態で海底に堆積・固定される。

また、海面水温が異常上昇する夏場、低層から低温水を大量に汲み上げ海面水温を下げられれば台風（ハリケーン、サイクロン）への水蒸気供給量を減らし、台風（ハリケーン、サイクロン）被害を軽減できる。

日本においても大型台風の発生頻度が増し、2019年には1兆円以上の災害規模を東日本にもたらした。

現在、海面水温上昇が26.5°C以上になると急速にパワーアップされることが知られている。

波動式湧昇ポンプの特徴は波（振幅）が高いほど大量の低層水を汲み上げ表層水温を下げる。東京の場合、約1000 km程の南海上で台風が生まれた時点からその波動がウネリとして近海に到着する。

そして低層冷水の湧昇が始まり、水蒸気供給を事前に、自動的に抑制する。

本プロジェクトでは現在も装置性能、湧昇効率解析、周辺生態系への影響に関する知見とデータを蓄積中である。

2) プロジェクトの背景

海水温上昇により海藻類、サンゴ等の被害拡大、沿岸漁業不振（漁獲高減少）が続き、食料不足が懸念されます。

また、海面水温の上昇は水蒸気発生増加による台風（ハリケーン、サイクロン）の発達を助長し、被害拡大リスク増の一因と考えられます。

冬季の豪雪回数増にも海面水温上昇が起因していると考えられています。

温暖化により熱を得た表層海水は海面に温水蓋を形成し以下の様に作用するものと考えられます。

1. 水深約0.5~1.0mで日射、気温による熱エネルギーを約50%が吸収する。

2. この結果、日本近海では夏から秋にかけ海面に温水蓋が形成される。

* 温水蓋は長期間にわたり海水の鉛直攪拌を妨げ低層では酸素不測の状況となる。

* 冬場に気温が下がらない湖沼の場合、湖水の循環障害が発生し湖底生態系に悪影響をおよぼす。

3. 一方、温水蓋は対気から海洋へのCO₂吸収量の減少を招く。

3-2. 同時に海水の鉛直攪拌不全は低層に沈降した栄養塩が海面に上がる湧昇の妨げとなる。

4. 有光層での CO₂ と栄養塩不足は植物プランクトンによる光合成の妨げとなる。
- 4-2. この結果、海洋での生物生産機能は著しく低下し、地球温暖化に拍車をかける。
5. また、温水蓋が 26.5°C 以上になると台風（ハリケーン、サイクロン）への水蒸気供給量が増えその大型化を助長する。

3) プロジェクトの目的と動機

2019 年、東京近郊を大型台風が直撃し千葉県を中心に甚大な被害が発生した。

その後の調査で海面水温が異常に高かったことが判明した。

サーフィン等のマリンスポーツを楽しむ私は海面とそこから数メートル低層の水温差を肌間隔で分かっていた。

数メートル下の海水を波の上下運動で表層に運ぶことが出来れば台風の大型化を抑制できるのでは？と考えた。

浅海域のわずか数メートルの水深差においての水温差は決して小さいものではなかった。

季節や干満、海流状況にもよるが海女さんが水温差で心臓マヒを起こし、死亡することも実際発生している。

浅い海から海洋性植物プランクトンの成長に必要な鉄分をはじめとする栄養塩と低温水を汲み上げることが出来ればとの発想がプロジェクトの動機である。

その後、調査したところ人工湧昇の試みはこれまで世界各地で行われてきたことが判明。

しかし、その多くは資源・エネルギーの大規模投入をもたらす手法で研究の域を出ないものであった。

ハワイ大学とオレゴン大学が 2007 年、ハワイ沖の外洋での実証試験ではポンプは数日で破損し、外洋での長期湧昇ポンプの難しさを露呈するものであった。

彼らの残してくれたデータから波動式湧昇ポンプ開発には強度と耐久性・適度なサイズ感が最重要課題となるものとの結論に至った。

4) プロジェクトの範囲と実施活動

本プロジェクトの範囲は世界中の浅海域ならびに湖沼、河川である。

現在、千葉県と宮城県の 2 か所で実験を継続中である。

1) 千葉県での活動状況

千葉県御宿町の岩和田漁港内の一区画にて装置の強度、効率、経年劣化試験と周辺生態系に及ぼす影響調査、海面上 50 cm、海面下 50 cm、水深 2 m したの水温データ収集を継続中。

また、今年4月からは実験範囲を漁港から半径600mの海域に拡大予定。

その目的はより大きな波に対する強度耐久性の検証と課題の抽出にある。

その為、地元行政長の許可と漁業協同組合の協力同意を得た。

また、海上保安庁には有効な固定法等についての情報交換を実施予定。

2) 宮城県での活動状況

宮城県石巻市鮫ノ浦湾で地元のホタテ、ホヤ養殖場において波動式湧昇ポンプの実証試験を開始。

養殖用はえ縄の中に波動式湧昇ポンプ2基(全長6m)を入れ生育比較調査を開始。

同時に外気温、水温が生育に及ぼす影響を調べるため海底(水深約20m)、海底から5m上、水深50cm、海面上50cmのデータ収集中。

この現場では地元の若手漁師からなる青年団の全面協力により進行中。

ここでの実験の目的はホタテ、ホヤ等の収量、品質改善である。

台風(ハリケーン、サイクロン)被害対策は漁業分野での導入増加の結果としてもたらされることがコストの掛からないアプローチであると考ええる。

5) プロジェクトの革新性(イノベーション)

波動式湧昇ポンプの重要性・有用性に関する論文は世界各地の大学、研究機関から出されている。

しかし、海洋で長期検証試験の実施例はハワイ沖での大規模実験以後見当たらない。

背景には海洋の持つパワーと破壊力に対する実験継続へのリスク負担の他、管轄行政や漁業協同組合、海上保安庁等の許認可取得に係る関係者間の相互理解等のハードルがある。

NPO ESCOTでは漁業協同組合(御宿岩和田漁業協同組合)の理解と協力により試験海域として1200㎡の利用を許された。

ここは漁港の入り口で台風時には大波が入り込み漁船の係留が出来ない区画での実験が装置の強度・耐久性を試すには好都合であった。

また、この海域を長期間自由に利用できる状況はこれまで実験室での波動ポンプ解析(芝浦工業大学との共同研究)に終始していた研究領域と概念の展開幅を大幅に拡大するものであった。

その効果の一つに世界初の幅広逆止弁開発による小波時の湧昇量大幅改善等幾つものイノベーションが多数生み出されている。

波動式湧昇ポンプの海洋試験は今後も長期間にわたり継続することで水産性食料生産の増加と台風(ハリケーン、サイクロン)被害低減の技術が生まれるものと考ええる。

これまでに得たと新規知見：

①イノベーションの概要

数センチの小波でも底層水を表層に汲み上げる事が出来るを考案した。

- *これまで海外で試された実証試験には大型の波動式湧昇ポンプが用いられた。
- *これらの装置の多くはその大きさ故に維持、管理、耐久性能に多くの課題があった。
- *パイプ内径に逆止弁を設ける構造上、湾内や湖沼のような小波発生水域においては十分な湧昇効果を発揮できなかった。

②波動式湧昇ポンプの装置に関するイノベーション

これまで世界的にも知られていない波動式湧昇ポンプの新たな機能

<斜めカット幅広弁>

- *先端部の斜めカットによる上昇時の流体抵抗を減らしブイの沈み込みロスを低減した。
- *汲み上げた水を海流の下流側に送り出し、低層水の再沈降量を低減した。
- *上部パイプより太い下部タイプを採用することで排水時の流速が大きくなり拡散範囲を増した。

<弁体閉力機構>

- *弁に弾性体によるサイドウイングを取り付け微振幅での湧昇機能を向上させた。

<受風パイプ突きフロートブイ採用>

- *ブイ上に受風パイプを斜めに取り付け、波斜面や風によるブイの横倒れ時の振り子運動を湧昇上アップにつなげた。
- *また、湧昇ポンプの振動面を波に対し並行になるように固定し、湧昇ポンプのねじれや歳差運動によるエネルギー損失を低減させた。

<湧昇ポンプ内での吊り下げロープ>

- *湧昇水を通るパイプ内にロープを垂らすことにより内部への貝類の付着を防止した。
- *上記ロープの最下部に海底に設置する鎖等を取り付け沈降栄養塩の拡散を促した。

<高強度・長寿命・防錆蝶番使用弁>

一日に2～4万回の開閉に1年以上耐えうる特殊蝶番を採用。

③普及、移動、修理、撤去、廃棄面でのイノベーション

- *市販材料の使用により DIY での低コスト導入が可能
- *逆止弁以外は何処でも入手可能な下水用配管(VU 管と継手)を世界標準素材として安価に入手可能
- *開閉補助用弾性体、ラバーウイングに古タイヤ等のグリーン素材を起用
- *単一素材使用による廃棄時の分別作業が容易

④ストーンメルの永久塩泉効果とのコラボレーション

波力以外に湧昇ポンプ管の温度差による海水汲み上げ効果が付加される。

* 湧昇パイプ管外の暖かい海水から熱を受けて管内の低塩分濃度の海洋深層水を温め、その浮力によって海洋深層水を汲み上げる。

この永久塩泉の原理を利用することによって、海洋の温度差と塩分濃度差だけで海洋深層水を汲み上げることが可能である。

6) プロジェクト実施と費用について

NPO ESCOT の波動式湧昇ポンプは技術的には単純なものです。

海水汲み上げは海水を海面より高い位置に汲みあげるものではなく、海水中での上下移動なので水温差による密度差と流体摩擦以外の負荷はかからない。

エネルギー源は波の位置エネルギーで浮体とその下に吊り下げられた湧昇ポンプ管の引き上げである。

構成部分は水面の浮体（ブイ）とその下部にロープでけん引された逆止弁付きパイプ、パイプ内に垂れ下がる貝類着生防止ロープで構成される。

コストは現在、ホタテ貝の養殖場で使用されている全長約 6m、上部管内径 100 mm、下部管内径 150 mm の波動式湧昇ポンプの場合、設置費用を含め約 30 万円/1 基程度となる。

以下のカテゴリーでの経済効果が考えられる。

- ① 水産資源活性化における経済効果
- ② 防災・減災分野における経済効果
- ③ CO₂削減等、カーボンプライシング分野での経済効果

①水産資源活性化における経済効果

宮城県石巻市鮫ノ浦のホタテ養殖場でホタテ貝養殖での現地調査を開始したばかりでまだ結果が出るには時間を要する。

千葉県での実証試験では冬場にワカメが湧昇パイプの外側に着生することが確認されている。

このワカメの市場価格を参考に経済効果を試算すると湧昇ポンプ1基あたり3000円程度となる。

仮に特定の漁港水域に100基程度を敷設した場合、年間約30万円程度の経済効果が期待できる。

また、湧昇ポンプ本体とブイ周辺には稚エビ、稚魚、稚貝等の多様な生物種が住み着くことが明らかになっている。

しかし、これらのもたらす経済効果の評価法は水産資源の研究者との情報交換を介して行われる必要がある。

②防災・減災分野における経済効果

湧昇ポンプ設置による湧昇水量計算：

湧昇水量計算は単にポンプの上下運動によって決定されず、パイプ内で上向きの加速度をもった海水が弁が閉じるまでにパイプ外に出た水量を計算しなくてはならない。

以下、理想的湧昇水量の計算方法となる。

$$U = V_{\max} - \Delta\rho / \rho \cdot gT = \pi H / T - \Delta\rho / \rho \cdot gT$$

$$Q = AU = A \times \pi H / T - \Delta\rho / \rho \times gT$$

* U：湧昇水の流速、V_{max}：最大流速、ρ：海水密度、g：重力加速度、T：周期、H：波高

上下での水温差4℃での海水の密度をほぼゼロと仮定すると波高H=1m、周期T=6sec、湧昇パイプの内径径15cm、断面積A=176cm²の場合、9.2ℓ/sec、最大湧昇量は約800m³/dayとなる。

*上記、計算では湧昇パイプ上昇時のブイの沈み込みロス、湧昇パイプ内の流水抵抗、湧昇パイプ下降時の抵抗による牽引ロープのたわみロス等を考慮していない。

仮にこの湧昇水が10cmの厚さで均等に海面拡散されたとすると台風シーズン時の海面温度を2℃冷却し、その範囲は約8000m²となる。

仮に波動湧昇ポンプを100,000基を沿岸の浅海域沿岸に敷設すると東京都の面積の約1/3の800km²の海面水温をわずか1日で2℃下げる計算となる。

台風上陸まで3日程度かかる場合、大きな事前防止効果が期待できる。

そして、その際の導入コストは約300億円程度と見込まれる。

2019年の東日本台風での被害額は過去最高の1兆8800億円であった。

台風（ハリケーン、サイクロン）による被害額と比較しても十分高い費用対効果が期待できる。

③CO₂削減等、カーボンライジング分野での経済効果

CO₂回収効果に関しては低層の栄養塩汲み上げ量と海洋性プランクトン増加量との相関関係を式化する為、基礎的研究を行う必要がある。

現在、海水中のクロロフィル量を湧昇ポンプ敷設区と未敷設（対象）区で比較し海洋性植物プランクトンのCO₂回収評価が可能であると考えられる。

日本各地で貧栄養による漁獲量減少が問題となっている今日、ECメーターによる栄養塩濃度とプランクトン増加の関係式を考慮に入れることも重要であると考えられる。

8) プロジェクト実施に伴う直接的および間接的効果

<世界全体の0.1%の海域での漁獲高が世界全体の50%に達する。>が波動式湧昇ポンプによる食料供給増と沿岸漁業活性化、これに伴う雇用や産業創出の可能性を示している。では何故、これまでこの分野での研究開発が行われてこなかったのか？

その理由として考えられるのは前述した様に管轄する行政機関による許認可問題、漁業関係者の同意と相互理解の必要性の他に研究実施者側の課題として3点あげられる。

- ① 実施場所が海洋である為、リスク、敷設コスト、メンテナンスが難しい。
- ② 経済効果を算出する評価基準がない。
- ③ 研究者の多くが栄養塩は数百メートル下の深海に存在し、水深数メートルの沿岸浅海域は対象外であった。

* 水深200~300m以上からの深層水湧昇が必須であるとの固定概念の存在。

しかし、NPO ESCOT の調査で2m~4m程度の海底にも鉄分を含む栄養塩は存在し、夏場の日中、水深2mの水温は表層より2~4℃程度低いことを確認した。

海洋性植物プランクトンの成長は鉄元素に律されると言われている。

必須元素である鉄は酸化鉄として海底に沈降・堆積し、その重さにより表層まで拡散せず光合成には利用され難い事が多くの研究機関の調査で判明した。

NPO ESCOT の波動式湧昇ポンプには低層に堆積する鉄を含む栄養塩を湧昇パイプ下部から海底に垂らした磁石付き鎖で攪拌し、海面に拡散する機能も装備した。

導入のハードルとなっていた波動式湧昇ポンプのサイズをDIYレベルに縮小した。

この結果、宮城県のホタテ養殖場では地元の青年部が自ら作成し、導入を行った。

これも本プロジェクト開始により得られた重要な成果実績のひとつである。

これまで日本における人口湧昇ではエネルギーフリーの逆止弁方式の波動式湧昇ポンプは存在しなかった。

海外でもその殆どが思考試験レベルや短期間のデータ収集で終わっていた。

前例の少ない長期海洋使用に耐える装置開発は試行錯誤の連続であった。

連例がない事は想定外トラブルの原因となった。

事例として

* 湧昇ポンプがブイごと流され漁船により回収

* 最強素材であるはずのポリカーボネート製の弁板が台風通過時見破損

- * 1日平均2~3万回の開閉で弁体のヒンジが破損
- * ステンレス素材の選定ミスによる錆付き

この様に適正部品を選定し、現場に投入し検証する作業を繰り返し行った。

しかし、この様な破損事例は同時に改良点の洗い出し効果をもたらし、新たな視点、アイデアを生み出した。

事例として

- * ブイメーカーが不可能としたポリエチレン製ブイ上への受風パイプ接着技術開発
- * 湧昇水の海面での排出方向を潮流下流方向にする指向性技術開発
- * 波動式湧昇パイプの海中での垂直姿勢を維持し、パイプ内への貝付着防止技術開発
- * 必要によって海底の堆積養分を再拡散、湧昇する技術開発
- * 荒天時に波動式湧昇ポンプ不規則振動・回転を防止技術開発
- * 小波時の湧昇水量を向上させる弁板側面のラバーウイングとヒンジを覆う弁体閉じ力発生技術開発

現在も尚、改良と知見の蓄積を継続している。

これまでの知見を広範囲に普及することはプランクトン増加による海洋生態系の活性化とCO2回収、夏場の海面水温冷却による台風発達抑制、漁業分野での経済発展と雇用・産業の創出に直結するものであると言える。

9) プロジェクトの拡大性と再現性

基本的構造は単純で非常に理解されやすいものとする。

また、一部を除きほぼすべての部品は排水管素材や漁具、ロープである為、ほぼ全ての国で調達可能。

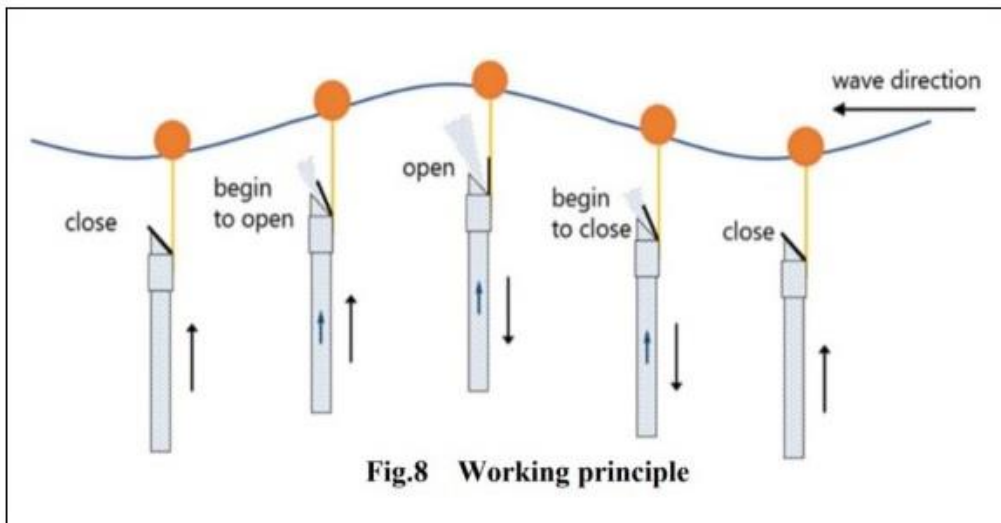
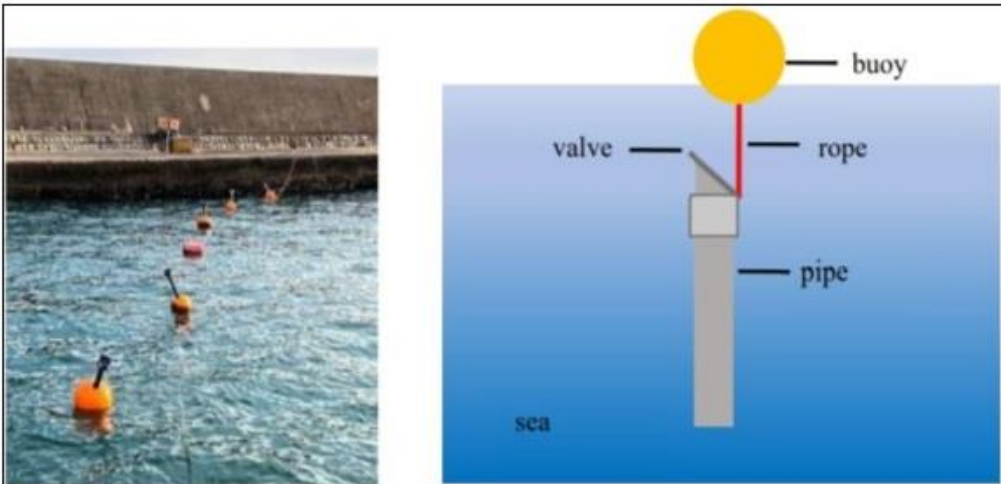
入手不可能な部品はこちらから供給するか現地での代用品を探す手助けを行う。

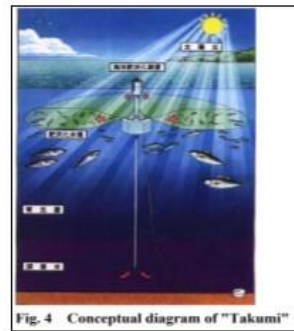
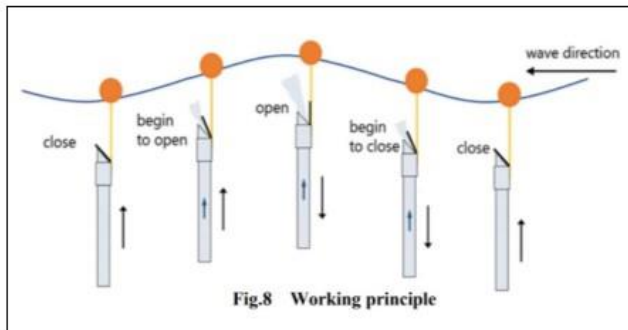
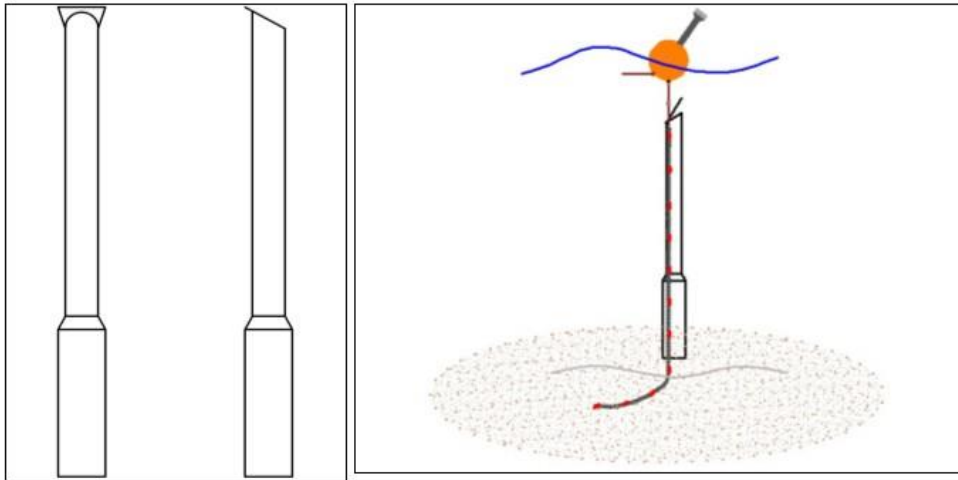
普及の第1段階は利害に直結する漁業関係者自らがDIY製作・敷設し、漁礁的效果検証から行う。

その為、当初は製造マニュアルは提供する。

台風(ハリケーン、サイクロン)に対する効果については水産分野での実施による海面水温データを得たうえで国別に検証する。

NPO ESCOTにはノウハウ普及の為にオンライン・セミナーや個別指導を行う用意がある。







Experimental site in Onjuku fishing port
Chiba, Japan.
Wakame seaweed was found breeding
outside the upwelling pipe
and juvenile prawns were also observed.

お問い合わせ連絡先：

NPO 法人エスコット

〒277-0011 千葉県柏市東上町 4-17

試験場 千葉県夷隅郡御宿町上布施 768-22

連絡先：080-4365-0861

<https://www.npo-escot.org>

ser.kashiwa@gmail.com



