【奨励賞】 第11回 日本水大賞

陸ガニが棲める里海を水産海洋技術で守る
～多度津町沿岸の環境調査および保全装置の製作活動をとおして～

香川県立多度津高等学校　マイコン・機械工作部

1. はじめに

香川県における多度津町西部沿岸の雑木林や竹林、海浜植物が自生している崖地は、陸ガニなどの海洋生物が棲むことができる貴重な環境です。しかし、これらの優れた機能を有する砂浜や崖地、干潟は、今から約30年前頃からの産業の発達に伴う海岸の埋め立てや、道路整備に伴う護岸工事、用水路のコンクリート化により減少しています。これらの急激な環境変化は、陸ガニなどの海洋生物の生態系に悪影響を与えています。平成16年には「アカテガニ」は「準絶滅危惧」種として「香川県レッドデータブック」に掲載され、香川県の希少野生動物として認定されました。

「アカテガニ」の特徴は、崖地や砂浜、干潟の近くにある雑木林の中で生活しています。陸ガニが陸上で長時間鰓呼吸できる理由は、湿った岩に体をこすり付け、足の付け根から体に真水を取り込み、えらに溜め込んだ水で呼吸をします。その後、出水口から出た水が殻の表面の溝を伝わり、足の付け根に戻ります。つまり、体全体で水を循環させて呼吸をしています。また、子孫を残すための産卵は、海で行います。さらに、子ガニにとっては、流れの少ない遠浅な海藻や海草がある藻場がある海が必要です。

図1　陸ガニと生息環境の調査

本研究は、教科「課題研究」や放課後のマイコン・機械工作部の活動において瀬戸内海における多度津町沿岸について、図1に示すように、海浜植物や海洋生物の環境調査や陸ガニの生態観察を行いました。これらの結果から、人工海岸であるコンクリート堤防付近においても、陸ガニ類が棲め、海浜植物が育つような、里海づくりを目指した水循環型ビオトープ装置の考案を行い製作・実験をして開発を行います。そして、研究成果を発表して、陸ガニと人間が共存できる水環境づくりの大切さや、一度壊れた環境を再生する難しさについて啓発活動を行いました。

2. 陸ガニが棲むことができる環境調査

カニはエビやヤドカリの仲間で、甲殻類に属し、節足動物の仲間です。カニは、海水がないと生活できないと思われがちですが、図2のような陸ガニである「アカテガニ」は、誕生は汽水域で、成長とともに沿岸の陸上で生活する種がいます。図3は169年前（天保9年、1838年）の江戸時代後期の多度津港です。本校の玄関に飾られている水墨画を撮影したものです。この水墨画から分かったことは、五代藩主京極高琢が港の整備を行ったそうです。そこには、「桜川下流は葦が茂り、天然の良港である」と示されています。昔は、海の近くに森があり陸ガニが多く生息していたと推測できます。図4は現在の多度津港周辺です。埋め立てにより、陸ガニを発見することはできませんでした。この港より、西側（図1）の崖地にのみ発見することができました。

図2　アカテガニ

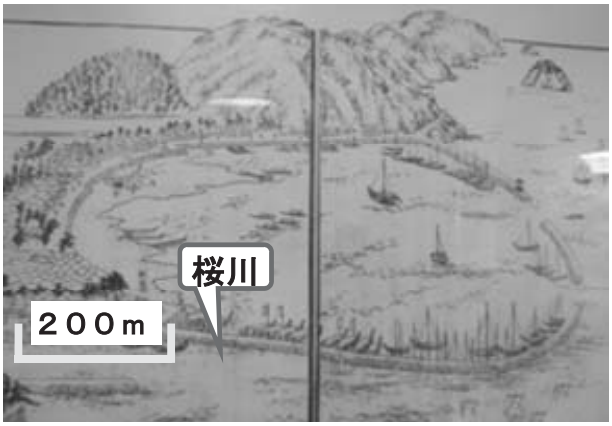


図3　169年前の多度津町沿岸の水墨画

図4　現在の多度津港周辺

3. 陸棲岩ガニ類の生態観察と飼育方法の検討

「アカテガニ」、「ベンケイガニ」を多度津町沿岸の崖地で採集し、図5のように水産高校で飼育しながら、生態観察を行い、飼育方法の検討を行いました。陸ガニの飼育場所は、水産高校機関実習場裏の洗い場の日陰を利用しました。また、逃亡防止用の網を設け、上に木の板を載せました。図6のように木材で製作した箱の中に砂と石を5cm敷き詰めて、上に竹と落ち葉、酸素呼吸用の水が入った竹製の容器を置きました。飼育を行って生態観察を行った結果、湿った土と日陰や煮干しなどのえさがあれば生きることがわかりました。

図5　陸棲岩ガニ類を飼育する装置

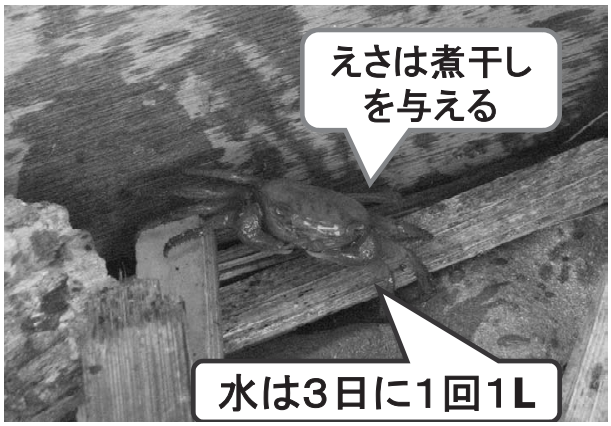


図6　飼育装置で生きているベンケイガニ

4. コンクリート堤防付近で陸ガニが棲むことができる里海づくりを目指した水循環装置

4・1　陸ガニが棲むことができる崖地周辺での水循環の概要

図7は、陸棲岩ガニが棲むことができる崖地周辺での水循環の概要を説明しています。降雨によってもたらされた水は、崖の表面を覆う僅かな土と植物によって保水されます。その水が岩の隙間を通って、日陰の岩場が湿潤になります。また、日中は図8のような流木の裏側に隠れています。このような限られた場所に陸ガニであるアカテガニは棲むことができることが、調査によってわかりました。

このような、場所は非常に少なく、アカテガニやベンケイガニが棲息できる場所は年々、減少していると思われます。そこで、本研究では、このような湿潤な日陰を提供するビオトープ装置を考案していきます。そこで、湿潤な日陰の場所を自然

のエネルギーを活用して自然に近い形で、陸ガニ達に提供できないか考えました。提供できそうな場所としては、コンクリート製の堤防付近があることに気がつきました。

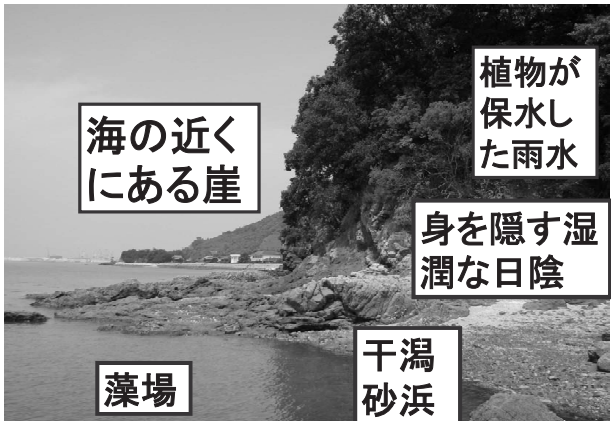


図7　現在、陸ガニが棲むことができる崖地

図8　アカテガニは日中流木の裏に生息

4・2　水循環型ビオトープ装置の概要

本研究は、このような湿潤な日陰を提供するビオトープ装置を考案していきます。そこで、湿潤な日陰の場所を自然のエネルギーを活用して自然に近い形で、陸ガニ達に提供できないか考えました。提供できそうな場所としては、図8のようなコンクリート製の堤防付近があることに気がつきました。そして、図7のような崖地にある湿潤な日陰である場所を、コンクリート堤防付近に、自然のエネルギーである海風を活用して、自然に近い形で、陸棲岩ガニ達に提供できないか考えました。図9は、海側から見たコンクリート堤防付近で陸棲岩ガニが棲むことができる水循環型ビオトープ装置構想図です。海風から得られる風力をクロスフロー風車と誘導板機構により効率よく回転運動させ、ワットの直線近似機構により直線運動に変換して、単動ピストンポンプにより地下水を揚水し、貯水します。また、雨水と地下水によって貯水した水の位置エネルギーを活用して、水撃ポンプを駆動させます。水撃ポンプとは、高所より円管内または水路を流れ落ちてくる自然エネルギーである水の位置エネルギーだけを用いて、その水の一部を、より高所へ揚水するポンプです。水撃ポンプは導管内を流れる水を急激に堰き止めると管内に瞬間的な圧力上昇が起きます。この圧力上昇を利用して揚水しようとするものです。本装置は、水撃ポンプが排水する水を高温で乾燥しているコンクリート堤防付近において、陸棲岩ガニに提供したり、海浜植物に提供する水循環ビオトープ装置です。

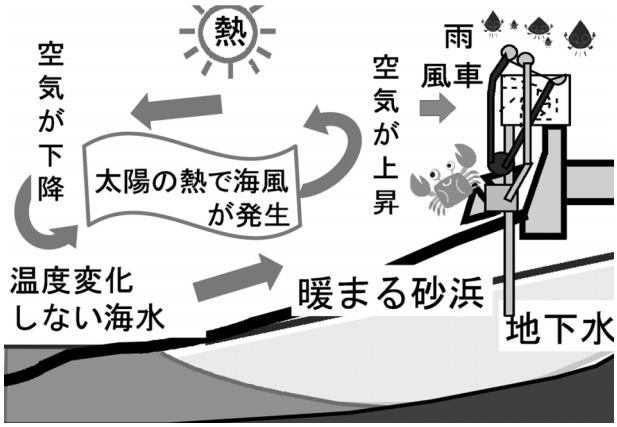


図8　海風を利用した水循環型ビオトープ装置の概要

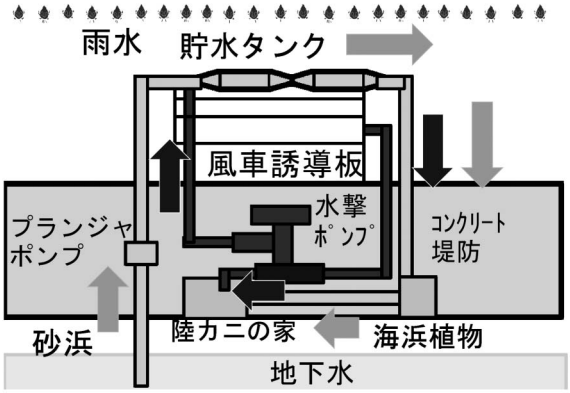


図9　海側から見た水循環型ビオトープ装置

4・3　クロスフロー風車とプランジャポンプ

図10は、スチール製の空き缶と塩ビパイプで製作した大型のクロスフロー風車の羽根車です。図11は小型の羽根車です。空き缶は、ダイヤモンドカッターとルータを利用して4分の1に切断しました。缶の底にM4のステンレスのボルト・ナットで、締結しました。製作した風車のタイプは、抗力形

（図12）であるため、翼の上と下に風が同時に当たらないように、図13に示すように誘導板を装備しました。得られた動力を図14に示すようなウオームギヤで30分の1に減速し、微小な動力を増幅させます。次に、得られた回転運動を図15に示すようなワットの直線近似クランク機構を活用しました。この機構はリンクの各部分の長さの比を

$\overline{LM}/\overline{KN}=\overline{NP}/\overline{MP}$

となるように点Pを決めて、LMとKNを平行にし、クランクを回転運動させると、点Pは、近似直線運動をします。はじめは、図16に示すように、単クランク機構を試みていましたが、ピストンの側面に掛かる荷重が大きくピストンを動かすことができませんでした。しかし、図17に示すようなワットの直線近似クランク機構と逆止め弁を活用することによって、1分間当たり50cc揚水させることができました。

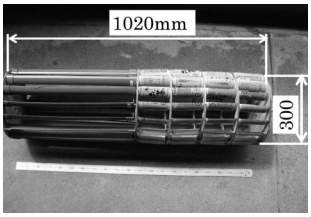


図10　大型空き缶風車

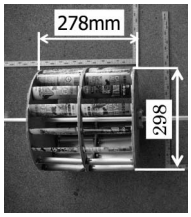


図11　小型空き缶風車

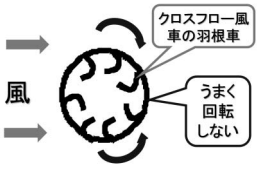


図12　誘導板がない場合

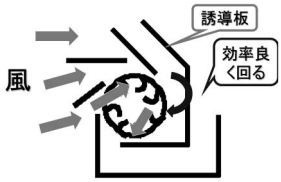


図13　誘導板を装備

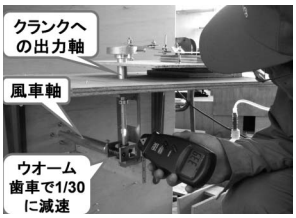


図14　減速装置と回転数測定実験の様子

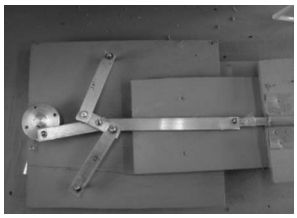


図15　ワットのクランク機構を活用したポンプ

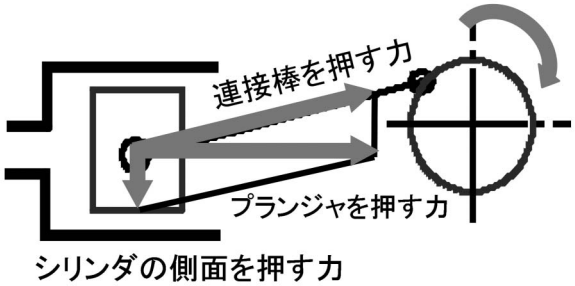


図16　試作したクランク機構

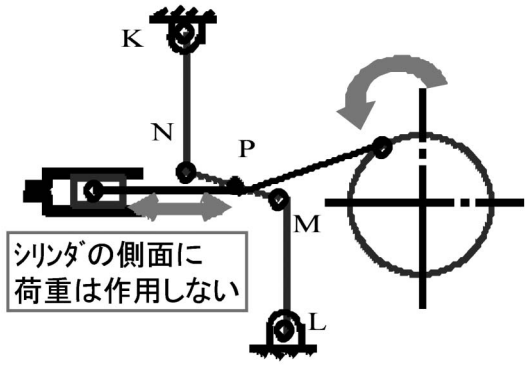


図17　ワットの直線近似機構

4・4　水循環型ビオトープ装置全体の製作

水循環型ビオトープ装置の主要部分が製作できたので、装置全体の製作を行いました。図18は、水循環型ビオトープ装置を海側から見た様子です。横幅は1.4m、高さ1m、奥行き1.6mです。プランジャポンプより揚水した水を貯水タンクに流入させる箇所と、水撃ポンプから揚水した水を流入させる部分があります。屋根部分に落ちた雨水は、集まって、水撃ポンプに入水させる仕組みになっています。

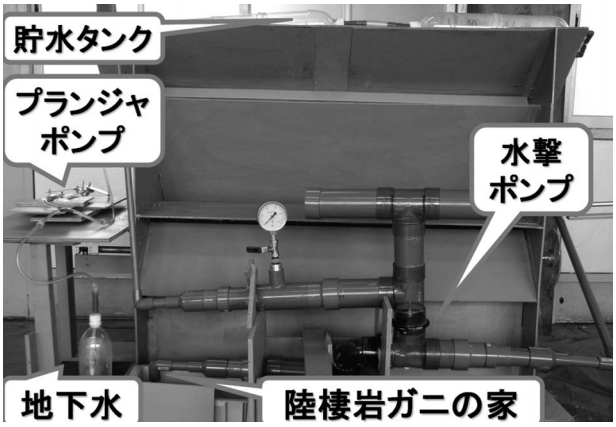


図18　水循環型ビオトープ装置を正面図

4・5　クロスフロー風車とポンプの実験

本研究で使用したクロスフロー風車の羽根車は小型と大型の2種類製作しました。そして、小型の風車は垂直軸型とし、大型の風車は横置きの水平軸型で実験を行いました図19は、トルク測定装置です。最大目盛り5kgのバネばかりを利用しました。力の方向を変換する滑車は、アルミ軸の回りを、アルミパイプがすべり回転する構造にしました。トルクを測定するためのアーム半径は80mmの所に、ボルト・ナットを取り付け、糸を結んでいます。ここで、クロスフロー風車における小型風車と大型水平軸型風車のそれぞれの寸法を表1に示します。

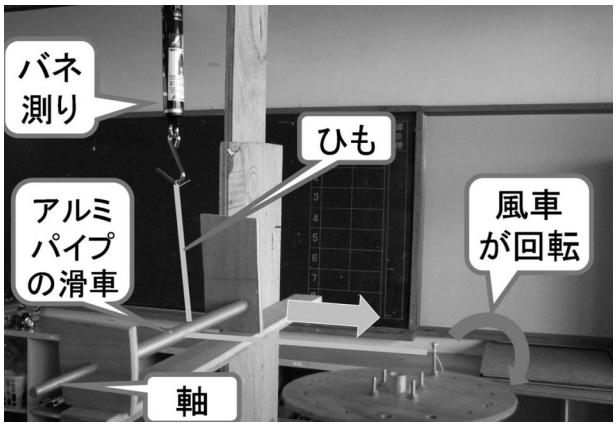


図19　トルク測定装置

表1　実験に用いたクロスフロー風車の寸法

風車諸元	単位	小型垂直軸型風車	大型水平軸型風車
羽根車の全長さ	mm	278	1020
羽根車の外径	mm	295	300
羽根車の内径	mm	237	233.5
羽根枚数	枚	16	16
羽根車全体の質量	kg	1.4	3.26

実験で得られた、回転数n［rpm］、トルク測定装置で計測したバネばかりの表示m［kg］のデータより各風車のトルクT［N・m］＝Frと角速度ω［rad/s］を計算し、動力P［W］を次式より求めてグラフ化しました。

動力P［W］＝Tω

図20にクロスフロー風車の動力が誘導板と受風面積によって受ける影響を表しているグラフを示します。この実験から得られたグラフより風のエネルギーを動力に変換するためには、風車が風を受ける面積を大きくする必要があることがわかった。また、クロスフロー風車のような抗力型風車は、誘導板がある時と、無い時では出力に大きく影響を与えることがわかった。

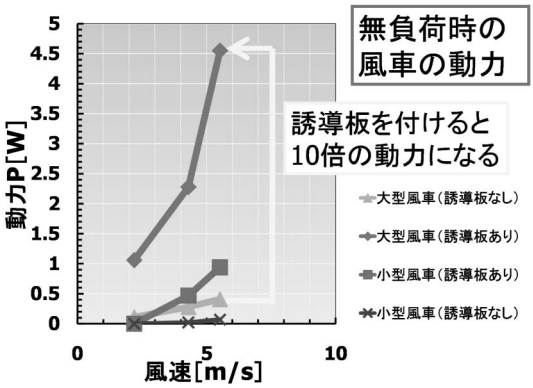


図20　風車の動力が誘導板と受風面積によって受ける影響

4・6　水撃ポンプの製作と実験

水撃ポンプとは、高所より円管内または水路を流れ落ちてくる自然エネルギーである水の位置エネルギーだけを用いて、その水の一部をより高所へ揚水するポンプです。図22に水撃ポンプの基本構造図を示します。ポンプ室を流れる水を急激に堰き止めるとポンプ室内に瞬間的な圧力上昇が起きます。この圧力上昇を利用して揚水しようとするものです。図23は落差2mで実験するための準備をしている様子です。

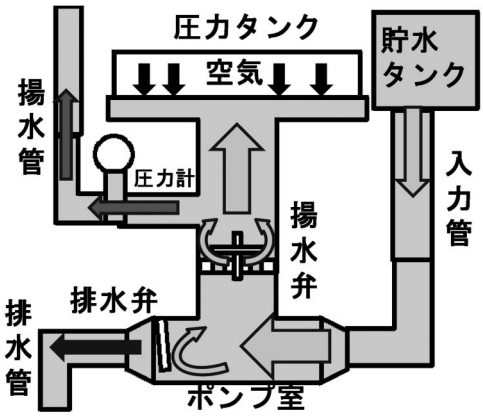


図22　水撃ポンプの基本構造図と動作説明

図23　実験の準備

図24　2m以上の揚水

4・7　実際のコンクリート堤防での風車とプランジャポンプの性能実験

本校における海洋実習を行うための艇庫前のコンクリート堤防において、図25のように風車とプランジャポンプの性能実験を行いました。実験を行った結果、この日の天気は曇りで、風速は1．8～3m/sであり、プランジャポンプは約1rpmでわずかに揚水動作が確認できました。このように風が吹かない時もありますが、陸ガニが1日で水の量を約0.3L消費すると仮定した場合に、ビオトープ装置で予測できる飼育量をシミュレーションし、図26のようにグラフ化しました。

図25　実際のコンクリート堤防でのプランジャポンプ性能実験

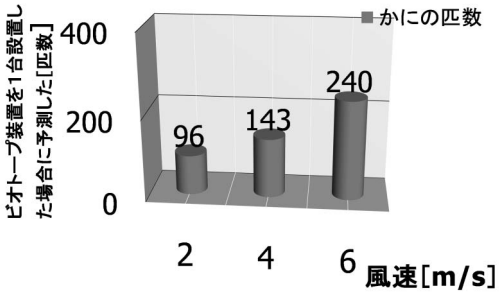
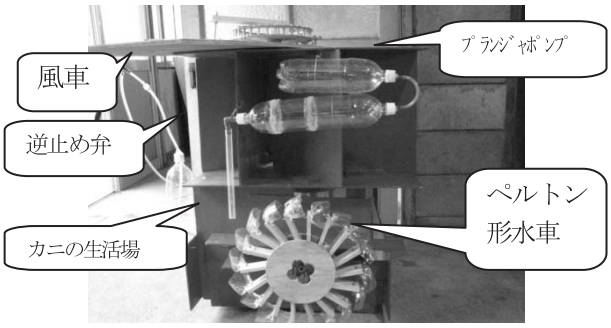


図26　ビオトープ装置1台における生息可能数のシミュレーション

5. 啓発活動（平成18・19・20年度）

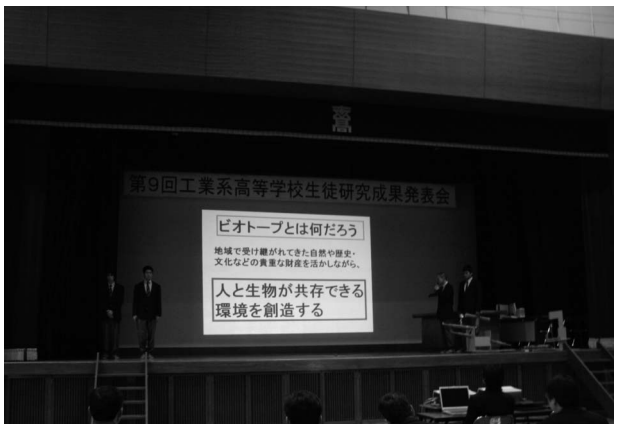
啓発活動として、各種研究発表会などに参加しました。陸ガニが生息できる環境が年々減少していることを多くの方々に知っていただき、一度壊れた環境を再生する難しさや、陸ガニと人間が共存できる水環境づくりの大切さについて啓発活動を行うことができました。平成20年度全国高等学校理科・科学クラブ研究論文で発表を行い、「優秀賞」を頂いて、工学院大学の学園広報誌とホームページに掲載され全国の多くの方々に研究成果を公表することができた。また、ジュニアマリン賞「日本海事広報協会長賞」を頂き、全国のこども達に水環境の大切さを知っていただくことができました。



第64回香川の発明くふう展に出展した風力と水力でポンプを動かし水を供給して陸ガニを飼育する装置

第64回香川の発明くふう展表彰式
（平成20年11月8日「KSB瀬戸内海放送社長賞」受賞）

第15回全国高等学校理科・科学クラブ論文表彰式
（平成20年10月25日「優秀賞」受賞）



平成21年1月22日　生徒研究発表会

日本海事広報協会ジュニアマリン賞

多水高生に会長賞

陸生岩ガニ守る環境調査

児童、生徒が取り組んだ海洋環境などに関するレポートを評価する二〇〇八年度の「ジュニア・マリン賞」で、多度津水産高三年生だった石川優太さん(二)と、池本凌さん(二)の研究が、第二席にあたる日本海事広報協会会長賞を受賞。同年度で閉校した同高の最終年に花を添えた。

同賞は、海に関する興味、と、同協会が〇一年度から親しみを深めてもらおう、実施しており、今回が八回目。小学校、中学校、高校の三部門に千九百三十九点、の応募があり、各部門三点、計九点が優秀賞を受賞。うち一点を国土交通大臣賞、二点を同会長賞に選んだ。香川からの入賞は、昨年同高が優秀賞を受賞したのに続き二回目。

石川さん、池本さんの研究テーマは「多度津町沿岸における里海づくりを目指した水循環型ビオトープ装置の開発」。同町周辺に生息し、県レッドデータブックにも掲載されている陸生岩ガニを守るため、必要な環境要因などを調査した。

同高は学校再編のため三月に閉校。四月から石川さんは統合先の多度津高専攻科に進学、池本さんは就職と二人の道は分かれたが、「学校最後の年にすばらしい賞を受賞でき、いい記念になった」と喜んでいた。

「ジュニア・マリン賞」で日本海事広報協会会長賞を受賞した石川優太さん(右)と池本凌さん＝多度津水産高

平成21年度4月12日　四国新聞

多水高生に優秀賞

自然保全の装置考案

ジュニア・マリン賞

全国の小中高生が取り組んだ海洋環境などについてのレポートを表彰する「ジュニア・マリン賞」で多度津水産高校の生徒二人の研究が優秀賞に選ばれた。二人は学校周辺の海の現状や保全策を詳しく調査。自然を守っていくための努力や独自の装置を考案したことなどが評価を受けた。県関係者の受賞は今回が初めて。

海や船への理解促進を図る国交省の外郭団体「日本海事広報協会」（会長・根本二郎日本郵船名誉会長）が二〇〇一年度から毎年実施。今回は小学、中学、高校の三部門に過去最高の計二千二百七十一点の応募があり、各部の上位三組が優秀賞に輝いた。高校部門の応募は二十九点だった。

受賞した二人は三月に同校を卒業した小山翔平君と清村和貴君。学校近くの海岸の経年変化や生息する植物の特性を調べる一方、海岸の生物を守るため、強風で飛散してしまう砂をキャッチして再び浜に戻す装置や、海岸に散乱したスチール缶を集めるリモコン式のロボットも提案している。

各部門の最優秀を決める審査が優秀賞選考後に行われ、高校部門は宇和島水産高（愛媛県）の生徒が受賞。

平成20年度4月5日　四国新聞

6. おわりに

多度津水産高校は平成21年3月1日をもって学校再編のため、閉校し多度津高校となりました。また、マイコン・機械工作部もなくなりました。しかし、学校最後の年に、このようなすばらしい賞を受賞でき、大変感謝しております。マイコン・機械工作部の活動の精神や考え方は、多度津高校に継承されると思います。

最後に、「課題研究」や放課後の「マイコン・機械工作部」の活動において、お世話頂いた多度津水産高校や多度津工業高校の先生方に、この場を借りてお礼を申し上げます。

代表者	教諭	松村善彦
応募担当者	教諭	吉本剛志
部活動生徒		石川優太、池本凌、アゲナヒロシ、田中延昌、山本一郎、中村勇貴、山田隆太郎、小山翔平、清村和貴