

鶴岡工業高等専門学校

研 究 紀 要

第 5 3 号

RESEARCH REPORTS  
OF  
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, TSURUOKA COLLEGE  
No. 53

2 0 1 8

鶴岡工業高等専門学校

鶴岡工業高等専門学校研究紀要 第53号  
(2019年3月)

————— 目 次 —————

<原著研究論文>

森木 三穂：『源氏物語忍草』における薫 — 「わがもの」からみる人物造型 — . . . . .	1
柳本 憲作, 木村 英人：生食用天然イワガキ可食部の非侵襲重さ計量器の開発 (第1報 音響式アルキメデス方を用いた身入り推定) . . . . .	7

RESEARCH REPORTS  
OF  
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, TSURUOKA COLLEGE  
No. 53  
MARCH 2019

————— Contents —————

Miho Moriki: Kaoru in the Genji Monogatari Shinobukusa - Person molding seen from "Wagamono" - . . . . .	1
Kensaku YANAGIMOTO, Hideto KIMURA: Development of a measure to weigh the edible portion in a non-invasive raw natural IWAGAKI rock oyster . . . . .	7

## 『源氏物語忍草』における薫

### ―「わがもの」からみる人物造型―

森木 三種

(二〇一九年一月三十一日受理)

キーワード 『源氏物語忍草』 薫 わがもの

#### 一．はじめに

『源氏物語忍草』は『源氏物語』の梗概書として、北村湖春により元禄初年頃に執筆された。『源氏物語』の懇切で平明な梗概書と評価され、五巻からなる。写本は十種あり、本稿では天保五年六月に成島司直が序文を記した版本を底本とする『源氏物語忍草の研究 本文・校異編 論考編』(注1)を『源氏物語忍草』本文とし、その表現を『源氏物語』本文の表現と比較することでその特徴と『源氏物語忍草』における人物造型を検討することを目的とする。なお、『源氏物語』本文は『新日本古典文学大系』(注2)により、引用文中の傍線は稿者によるものである。

#### 二．『源氏物語』における「わがもの」

『日本国語大辞典』によると「わが」は「自分が所有していたり、深い関係にあったりする物事を自分の立場から指示する時に用いる」(注3)語で、「わがもの」は「自分の所有物 自分のももの」(注3)とし、後述する

『源氏物語』若菜下巻の用例を挙げている。

『源氏物語』において「わが」は四〇八例あり、その中で「わがもの」は七例ある。一つ目の用例は帚木巻において雨夜の品定めをしている左馬頭である。

「おほかたの世につけて見るには咎なきも、わがものとうち頼むべきを選らんに、多かる中にもえなん思ひ定むまじかりける。

(帚木 三八頁)

ここでの「わがもの」とは「妻」を指し、世間一般には特別な問題がなくとも、妻として迎える女性を決めるのは難しいという考えが述べられている。同じように「わがもの」が配偶者を指す例が若菜下巻、東屋巻にある。

まず、若菜下巻では夕霧が女三宮に対して

宮をば、いますこしの宿世をよばましかば、わがものにも見たてまつりてまし、心のいとぬるきぞくやしきや、院はたびくさやうにおもむけて、しりう事にもたまはせけるを、とねたく思へど、すこし心やすき方に見えたまふ御けはひに、あなづりきこゆとはなけれど、いとしも心は動かざりけり。

(若菜下 三四〇頁)

と述べ、女三宮と強い因縁があれば自分の妻としていただろうとする。また、東屋巻には

この君はさすがに尋ねおぼす心ばへのありながら、うちつけにも言ひかけ給はず、つれなし顔なるしもこそいたけれ、よろづにつけて思はてらるれば、若き人はまして、かくや思はてきこえ給ふらん、我がものにせんと、かくにくき人を思ひむこそ見ぐるしきことなべかりけれ、など、たゞ心にかゝりて、ながめのみせられて、とてやかくてやと、よろづによからむあらましごとを思つゞくるに、いとかたし。

(東屋 一七〇頁)

中将の君(浮舟の母)が匂宮や薫と縁ができたことで、左近少将を浮舟の婿にしようという以前の自らの考えを後悔する場面である。ここからは「わがもの」が男性から見た妻を指すだけではなく、婿という意味を含有し、配偶者を指す表現であることがわかる。

また、『源氏物語』における七つの用例のうち、残る三例は薫が、一例は匂宮が「わがもの」を用いており、前述の「配偶者」という意味ではなく、すべて「自分のもの」という所有物である意味で使われている。

中納言殿聞き給て、あいなくものを思ありき給。わがあまり異やうなるぞや、さるべき契やありけむ、親王のうしろめたしとおぼしたりしさまもあはれに忘れがたく、この君たちの御ありさまはひも、ことなる事なくて世に衰へ給はむことのおしくもおぼゆるあまりに、人々しくもてなさばやと、あやしきまでもてあつかはるゝに、宮もあやにくにとりもちて責め給しかば、わが思ふ方は異なるに、譲らるゝありさまもあいなくて、かくもてなしてしを、思へばくやしくもありけるかな、いづれもわが物にて見たてまつらむに、咎むべき人もなしかし、ととり返すものならねど、おこがましく心ひとつに思ひ乱れ給。

(総角 四四〇頁)

句宮の外出に対する帝の監視の目が厳しくなり、宇治への訪れが難しくなつたことを受けて、中の君と句宮を手引きしたことを薫は後悔する。そして、大君、中の君の二人を自分のものとして世話をしたい(注4)という表現や、

ゆゝしきまで白くうつくしくて、たかやかにもの語りし、うち笑ひなどし給顔を見るに、わがものにて見まほしくうらやましきも、世の思離れがたくなりぬるにやあらむ。されど、言ふかひなくなり給にし人の、世の常のありさまにて、かやうならむ人をもとめをき給へらましかばとのみおぼえて、この比面立たしげなる御あたりに、いつしかなどは思寄られぬこそ、あまりすべなき君の御心なめれ。

(宿木 一〇四頁)

というように、薫は句宮と中の君の間に生まれた若君を自分のものとしてみたいと思ひ、亡くなった大君が子を残してくれたいたらと後悔する場面もある。また句宮と薫のそれぞれが浮舟に対して次のように述べている。よろしうなりあはぬところを見つけたらむに、さばかりゆかしとおぼししめたる人を、それと見てきてやみたまふべき御心ならねば、まして隈もなく見給に、いかでかこれをわが物にはなすべきと、心もそらになり給て、なをまもりたまへば、右近、「いとねぶたし。よべもすゝろに起き明かしてき。つとめてのほどにも、これは縫ひてむ。急がせ給とも、御車は日たけてぞあらむ」と言ひて、しきしたるものどもとり具して、き丁にうちかけなどしつゝ、うたゝ寝のさまにより臥しぬ。

(浮舟 二〇二頁)

句宮は浮舟の存在を知り、なんとか自分のものにできないかと思ひ、浮舟と女房たちの様子を覗き見る場面である。また、

宮もかゝづらひ給ふにては、いみじうあはれと思ながらも、さらにやがて亡せにし物と思なしてをやみなん、うつし人になりて、末の世には、黄なる泉のほとりばかりを、おのづから語らひ寄る風の紛れもありなん、我ものにとり返しみんなの心ち又つかはじなど、思乱れて、猶のたまはずやあらんとおぼゆれど、御けしきのゆかしければ、大宮にさるべきつゝめでつくり出だしてぞ啓し給。

(手習 三八五頁)

薫は浮舟がいなくなり、死んだと思っていたが生きていることを知り、自分のものにとり返したいと思うがその気持ちを諦めよう、という場面である。

これらの句宮や薫の用いる「わがもの」は前掲の配偶者を指す「わがもの」とは異なり、所有物という意味合いが強く表れている。特に手習巻には「とり返し」て自分のものにしたという表現があり、元々も自分の所有物であったにもかかわらず、どこかへ行つてしまつた。だからもう一度自分のものとして「とり返し」たい、という所有に対する強い思いが読み取れる。そしてその気持ちを諦めるといふことは本心では所有したいが、ということの表れであろう。

なぜ、薫や句宮の「わがもの」は所有の意味合いが強いのだろうか。

薫や句宮の「わがもの」にしたい対象は大君、中の君、中の君の若君、浮舟である。これらの人物に共通することは立場の弱い存在であり、保護すべき存在という点ではないだろうか。そして大君、中の君、浮舟は零落した宇治八の宮の娘であり、都を離れた場所で暮らす存在である。後ろ見の無い、不憫な存在である。そのような不遇の境遇である女性に対して軽視するともとれる意識の表れが「わがもの」という言葉の使い方なのではないか。これは他の女性と婚姻関係を結んだ句宮も浮舟以外には用いていない表現であり、婚姻関係や恋愛関係にある女性みなに対して用いていないのではない。光源氏も多く女性の心に心を寄せ、様々な身分、境遇の女性と関係を結んできたが、「わがもの」とは表現していない。大君、中の君、浮舟は薫や句宮の「わがもの」の対象として描かれることで、その不遇さ、立場の弱さをより顕著にしていると見えよう。光源氏が多く女性と関係を結んでいてもそこに相手を所有しようとする意識は「わがもの」と

いう表現を起点にしたとき、見えてこなかった。一方の薫や匂宮は光源氏の子孫として描かれているものの、女性に対するまなざしの違いがここから浮かび上がってきた。

また、薫が「わがもの」を用いる場面は後悔の念を伴っていることも特徴である。心中では自分の所有物として扱いたいという願望や欲が後悔という形で表現される。道心を抱き、俗聖人の宮を憧憬した薫の欲を捨てられない俗の部分、身と心の乖離した姿が「わがもの」という表現に表れているのではないだろうか。

### 三．『源氏物語忍草』における「わがもの」

『源氏物語忍草』において、「わがもの」という表現は六例あり、すべて薫の心情を表す場合にのみ使用されている。またその六例は『源氏物語』本文の引用ではないことから、『源氏物語忍草』における薫像を描く際に北村湖春が意図して使用したと言えよう。

御簾ごしの対面は常にせさせ給ふかほるは橋姫の巻に、琵琶ことひき遊ひ給ひしを覗て見給ひし後は、道心もさめて、いかで是を我物にせんと心にかゝれど、聖の道に心ざしありとて、まうで来りし身が、今更此道をほめかさんも、人のおもはく、はずかしければ、少も色に出さで過し給ふ

(椎本 二八四頁)

かほる心の内には、かくてはえ過しはつまじ、中の君をは匂ふ宮へ奉り、姉君をば我がものにと思す、女の御身はかくても過ぎし給ふべきにあらず、いづかたへいかやうにとかおぼす、

(椎本 二八六頁)

この二例は『源氏物語』では見られない、今現在の思い、つまり、現在進行形の薫の心情表現として「わがもの」を使用している。大君への思いを薫が直接的に表現していなくとも、読者にとって薫の大君を「わがもの」にしたいという欲は明らかであったからこそ、大君への思いと聖の道への道心とで揺れ動く薫像が描かれているのだろう。そして「わがもの」を使

うことでよりその葛藤が鮮明に描かれていると言えよう。また、梗概書という点からも、後述する後悔の念と共に表現される「わがもの」にしたい欲求を現在進行形で取り入れることで、より薫の身と心の乖離、理想と現実の乖離する姿を表現することが可能になる。

一方、『源氏物語』同様に後悔の念と共に過去を振り返り、「わがもの」表現が使われている例もある。「わがもの」にできなかったのは大君である。かほるは、大君を我ものにもせず、かく空しく見なし給ひし悲しさの、心余るをも、誰にか語らんと思し侘て、匂宮へ参りて、しめやかに聞えかはし給ふ、

(早蕨 三〇〇頁)

かほるもおはしまして、住なれ給ふをうれしとおぼす、されど我物にせざりしくやしきぞ、月日にそへていやましける、

(早蕨 三〇二頁)

八の宮の御正つきのとふらひを、かほる念比にし給ふ其悦びなどをまづ聞え給へり、かほるはよき折ふしなれば、我ものにせざりし悔しさも、せめてかたらんと思して、まことやかに申うけたまはりたき事も侍るに、今少しちかくよせ給へと聞え給へば、げにと思して寄給ふもむねつぶれて思す、

(宿木 三二七頁)

このように大君を失ったことへの後悔の念は強く、「悔しさ」「空しく」「悲しさ」という語とともに「わがもの」にできなかったことを嘆いている。また、浮舟が失踪しても

かほるは物を思ひ／＼のはてには、大君おはしまさば何しに心を外へ分ん、

(蜻蛉 三四〇頁)

というように、大君さえ生きていくれたら浮舟に心を寄せることもなく浮舟が入水自殺を図り失踪するという悲劇は起きなかつたという。これらの記述からも薫の大君への思いの強さ、執着の強さがうかがえる。他にも現在進行形の心情表現であり、薫の「わがもの」の対象に『源氏物語』にはなかつた中の君が挙げられている用例がある。

いとゞ有しより思ひ乱れて、何かは歎き給ふらむ、匂ふ打捨給はゞ、

我物にて見奉らんと。たゞ此事のみにおきふしおぼし侘る。

(宿木 三〇八頁)

大君を失い匂宮との関係に苦悩する中の君を、匂宮が捨てたならば自分のものとしてお世話したいと思う、という場面である。これは中の君への執着というよりも、大君の形代として中の君を手に入れたという願望であり、つまりは大君への執着の表れではないだろうか。また、『源氏物語』では浮舟に対する「わがもの」表現があったが、『源氏物語忍草』には無かった。この浮舟に対する執着も蜻蛉巻の用例のごとく、大君の形代としての浮舟、という認識ゆえに『源氏物語忍草』には用いられなかったのではないだろうか。

#### 四．おわりに

ここまで『源氏物語』と『源氏物語忍草』における「わがもの」の用例について検討した。『源氏物語忍草』において「わがもの」を用いるのは薫のみであるという点、『源氏物語』においては「わがもの」の対象であった浮舟が『源氏物語忍草』では対象に入っていない点の特徴として挙げられる。また、『源氏物語忍草』は『源氏物語』本文と対応、引用して「わがもの」を用いているのではなく、『源氏物語忍草』として薫という人間像を作りあげる時に「わがもの」という言葉を用いている点があるといえる。

中西健治氏は『源氏物語忍草』の梗概率から

できるだけ原作を圧縮しようと意図して臨んでいるかと思われる蜻蛉なきや手習巻は宇治十帖にあつて必ずしも分量的に少ない巻ではないにもかかわらず、なぜに梗概率が大きいのかという点については、例えば蜻蛉巻は源氏物語の中では最も心中表現の多い巻であること、手習巻も同様な表現が比較的多くあることがそのこと関連がありそうに思えるし、(注5)

と述べている。このことを踏まえると、前掲の『源氏物語』手習巻の薫から浮舟への「わがもの」表現が『源氏物語忍草』では取り上げられなかった理由も心中表現であったため、と言えるのだろうか。また、

忍草はあくまでも光源氏とその周辺の人物像および動静にこそ関心が

向けられていたのであつて、浮舟失踪後の薫、匂宮の苦悩を述べ立てる箇所やその後の浮舟が小野の山里でひそかに暮らす心境には筆を惜しんだのではないか。(注5)

とし、浮舟に対する薫や匂宮の記述が少ないのは筆者が重きを置いたのが光源氏物語であつたとする。その一方で、

宇治十帖はいわゆる第三部と称されているが、桐壺巻から藤裏葉巻までの第一部、若菜上巻から幻巻までの第二部に比べて心中表現が次に多くなり、巻ごとの分量も多くなっている。そのため湖春は男女の微妙な心理の葛藤に筆を費やすことを避けているのは勿論のこと、とくに仏道に生きようとする薫の姿に惹かれているかのような書きぶりが目立っている。「薫は」という文言が目立っているのでもある。(注5)

と述べる。中西氏が指摘するように、浮舟に関わる薫の心理描写の記述が少なく、湖春が重視していなかったという指摘に同意できる。しかし、「わがもの」という表現を起点として『源氏物語忍草』の薫を見たとき、「仏道に生きようとする薫の姿」というよりも『源氏物語』に描かれている以上に欲を持ち、俗世の絆を捨てられない、むしろ自ら求めるかのような薫の姿が浮かび上がる。北村湖春は『源氏物語忍草』において、俗聖を憧憬し、仏道修行に励もうとする薫の捨てきれない心の部分を拾い上げ、「わがもの」という表現を用いることで薫の葛藤をより鮮明にそして悩ましく描き上げたのではないだろうか。

(注)

1. 『源氏物語忍草の研究』本文・校異編 論考編』中西健治編著  
二〇一一年一月 和泉書院

2. 『新日本古典文学大系一九〇三』柳井滋 室伏信助 大朝雄二 鈴木日出男 藤井貞和 今西祐一郎 一九九三年一月〜一九九七年三月  
岩波書店

3. 『日本国語大辞典 第二版 第十三巻』日本国語大辞典第二版編集委員会 小学館国語辞典編集部 二〇〇三年三月一〇日 小学館

4. 『新編日本古典文学全集』(小学館)および『新日本古典文学大系』(岩波書店)ではどちらも「自分のもの」と訳されている。

5. 中西健治「一 源氏物語の隠れた読み巧者―北村湖春の人と仕事―」  
（『源氏物語忍草の研究 本文・校異編 論考編』中西健治編著  
二〇一一年一月 和泉書院）





# 生食用天然イワガキ可食部の非侵襲重さ計量器の開発

(第1報 音響式アルキメデス方を用いた身入り推定)

柳本 憲作, 木村 英人

## Development of a measure to weigh the edible portion in a non-invasive raw natural IWAGAKI rock oyster

Kensaku YANAGIMOTO, Hideto KIMURA

(Received on November 12, 2018)

### Abstract

This research proposed a non-invasive measurement method to presume an edible portion weight of IWAGAKI rock oyster. Most of the circulating IWAGAKI rock oysters are natural with shell to maintain freshness. The quality guarantee of natural IWAGAKI oysters which are a high grade foodstuff should be specified the weight of edible portion. The weight of edible portion of the IWAGAKI oyster is calculated from the weight and volume of the shellfish and the density of each part. In this experiment, the volume of uneven IWAGAKI shellfish was measured by the acoustic Archimedes' principle. For each density value required to estimate the weight of edible portion, approximate one from measured value was used. As a result, the qualitative tendencies of individuals weighing 150 g to 450 g are almost identical, and the error rate in this range is 0.3% at the minimum and 25% at the maximum.

**Key Words** : IWAGAKI rock oyster, Acoustic, Non-invasive measurement, Archimedes' principle

## 1. 結 言

本研究は、高級食材である天然イワガキの質保証（可食部の重さ明示）を目的に、イワガキの口をこじ開けずに可食部の重さを推定する方法を提案する。夏に旬を迎える天然イワガキは、「海ミルク」と言われ大型殻付きのものが流通の増加傾向にある。イワガキは、養殖牡蠣（真牡蠣）に比べると岩に付着した側の殻の厚みが非常に大きく、見た目の大きさと可食部である中身の重さとの相関が小さい。消費者から「値段の割には中身が小さい」などの不満の声がある。可食部である中身の重さの明示は消費者からのニーズとして重要であり、このためマーケットの売り場では右殻を開けたハーフシェルで身入りがわかる状態にして陳列されているケースもある。近年、各産地ではイワガキをブランド化し高級食材として売り出すなど新しい動きもあり、鮮度を保持するために殻付きの状態でも市場に流通している。そのため生産者や仲買人からも、非侵襲な方法によってイワガキの可食部重量の測定が可能な装置の開発ニーズが高い。

このような理由により本研究は、イワガキ全体の重さと音響信号を利用した体積の測定により、可食部である中身の重さを推定する方法を提案し（柳本他, 2016）、実験により考察した。幸いなことにイワガキの殻と可食部の密度差が2倍ほどあるため、予め各部の密度がわかればイワガキの全重量と体積を測定することで、可食部の身の重さの推定が理論的に可能である。そこで、凹凸形状のイワガキの体積測定を実用的に行う方法として音響信号を利用したイワガキの体積測定法を提案した。装置は計量槽と音響計測部からなる。あらかじめ注水された計量槽にイワガキを投入すると測定部内の測定管の水位が上昇し、この管内空気柱の共鳴周波数を計測することでイワガキの排除体積（体積増加 $\Delta V$ ）を算出する。本測定方法は、物体を沈下さ

せる液体の比重には影響されないため、イワガキ用の滅菌処理した海水を用いることができる。本提案による体積測定を音響式アルキメデス方と命名し、従来の測定方法との精度比較も実験により行った。

イワガキの身である可食部は外套膜に覆われ海水を多少包含しているが、本実験では一緒とした。可食部の重さの計算には殻および身の各密度を定数として使い、本システムより計測したイワガキ全体の重量と体積から可食部の身の重さを推定する。本方法によれば、おおよその可食部である中身の重さを推定することは可能であるが、現段階では味の決めてとなる身入り（グリコーゲンの含有量）の推定までには至っていない。



Fig.1 Appearance of Iwagaki edible portion measurement system



Fig.2 Sample of IWAGAKI rock oyster. These come from SHONAI in Yamagata Pref..

## 2. 計量器の概要

**2・1 可食部推定の原理** 図 4 に本測定装置のコンセプトを示す。装置は計量槽と音響測定槽からなる。計量槽は内径 100 mm、高さ 600 mm のアクリル製の円筒で、底部にて音響測定槽（内径 20 mm、高さ 450 mm）と連結パイプで接続されている。計量槽にイワガキが投入されると音響測定槽の水位が上昇し、音響測定部の測定管（内径 7 mm の細管）の空気柱の長さが変化する。測定管の上端にスピーカーからのチューブを接続し、測定管内の空気柱を共鳴させる。同じく上端の管壁に開けた小さい穴からチューブによりマイクロホンへ音を導き、FFT アナライザーにより共鳴周波数が測定される。投入前後における測定管の空気柱の共鳴周波数の変化でイワガキの排除体積（体積増加  $\Delta V$ ）を算出する。計算に使用する共鳴周波数を高音域までに拡張することで、微小変位にも適応させている。

図 3 に殻付きイワガキの断面図と X 線 CT 画像を示している。イワガキの身である可食部は、外套膜に覆われ海水を包含している。各部位の体積と密度を、殻の部分 ( $V_s, \rho_s$ )、可食部である身の部分 ( $V_e, \rho_e$ )、外套膜における包含海水の部分 ( $V_w, \rho_w$ ) とすると、可食部の身の重さ  $W_e$  は、式 (1) で表される。本測定システムでは、イワガキ全体の重量  $W$  と体積  $V$  の計測値から可食部の身の重さ  $W_e$  を推定する。

$$W_e = \frac{\rho_e (W - \rho_s V + V_w (\rho_s - \rho_w))}{\rho_e - \rho_s} \quad (1)$$

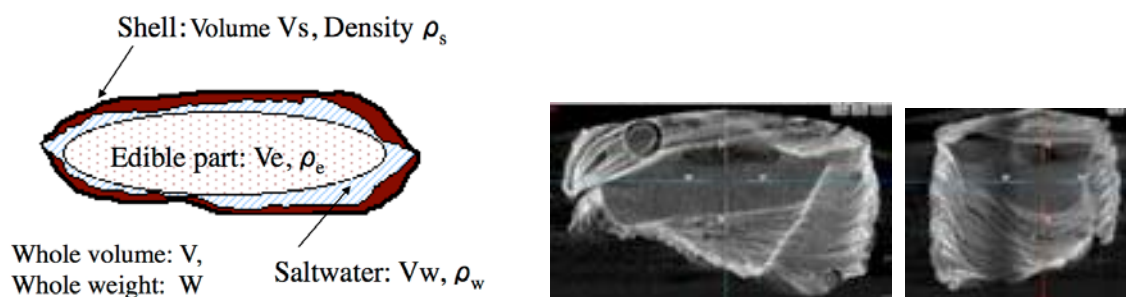


Fig.3 Cross section of IWAGAKI rock oyster. Edible oyster part is covered by a film with saltwater.

外套膜の含水量は、イワガキの個体による差が大きいこと、また可食部の密度が海水の密度に近いことから分離が困難である。このため、本報告では外套膜の含水量を可食部に含めて計算を行った。

**2.2 音響測定部の特性** 音響測定部の寸法記号を図5(a)に示す。測定管はジュラルミン製のパイプ(長さ450 mm, 内径7 mm, 肉厚0.5 mm)で、その上端および側壁に真鍮製の接続パイプ(長さ15 mm, 内径4 mm)が取付けられている。それぞれのパイプはスピーカーおよび小型マイクロホンとゴムチューブで接続されている。音響測定部は、図5(b)に示したようにサイドブランチ型の音響管としてモデル化できる。このとき、測定管の入り口側と閉口端におけるそれぞれの音圧と体積速度の関係は、分布定数回路として式(2)で表せる。さらに測定管の入り口からみたインピーダンス  $\dot{Z}_p$  は式(3)で表せる。よって音響パワーの入出力比  $W_i/W_o$  は式(4)となる。

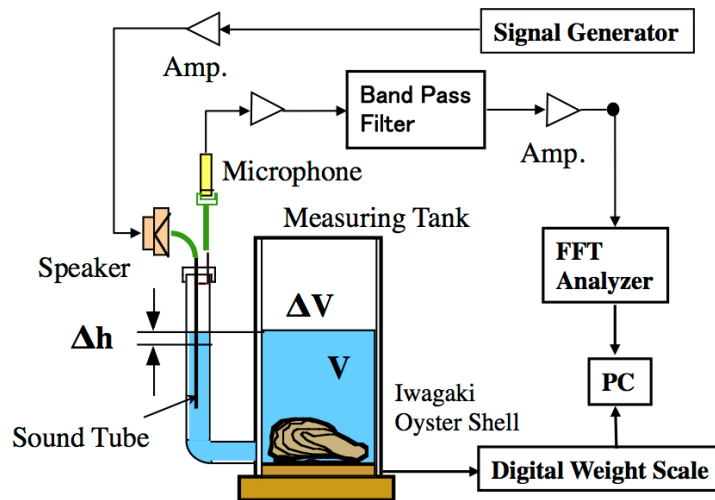
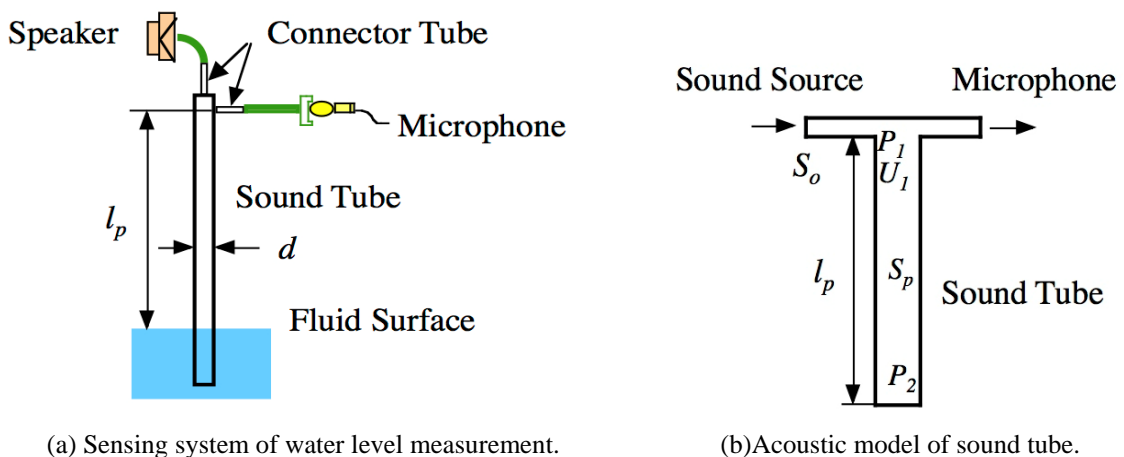


Fig.4 Diagram of acoustic Archimedes' principle.



(a) Sensing system of water level measurement.

(b) Acoustic model of sound tube.

Fig.5 Sensor are consist of streght slender pipe and connector tube. This sound tube is modeled by side branch resonator. Swept-sine signal is inputted to sound tube.

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_1 \\ \dot{U}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl_p & j \frac{\rho c}{S_p} \sin kl_p \\ j \frac{S_p}{\rho c} \sin kl_p & \cos kl_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{P}_2 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、測定管の閉口端では体積速度  $\dot{U}_2=0$  である.

$$\dot{Z}_p = \frac{\dot{P}_1}{\dot{U}_1} = j \frac{\rho c}{S_p} \frac{1}{\tan kl_p} \quad (3)$$

$$G = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_o} = 10 \log_{10} \left| 1 + \frac{1}{4} \tan kl_p \right| \quad (4)$$

ここで、 $k = \frac{2\pi f}{c}$ ,  $f$ は周波数,  $c$ は音速である.

図 6 に式(4)より計算した測定管の周波数特性を示す. ゲインの各ピークは測定管の共鳴周波数と一致する. 水位の変化に対し低周波数域におけるピーク値は, その周波数がほとんど変化しない. しかし, 5 kHz 以上の高周波数域ではその変化率は 25 Hz/mm~50 Hz/mm と大きい. 計量槽へ投入されるイワガキの体積が 93 cm<sup>3</sup> ~434 cm<sup>3</sup> (小型 150 g~特大 690 g) の場合, 測定管中の水の変位は 11.4 mm~53.1 mm であり, 高周波数域でのピーク周波数を用いると測定精度は 0.163 cm<sup>3</sup>/Hz~0.326 cm<sup>3</sup>/Hz の範囲で体積が計測される.

図 7 は共鳴周波数のうち第 7 ピークから第 15 ピーク ( $f_7 \sim f_{15}$ ) までの周波数値の総和を水位のゼロ基準に対して示している. 単一共鳴周波数の値から体積を計算する方法に比べ, 測定精度が良くなることや FFT アナライザの周波数分解能の影響を小さくできる.

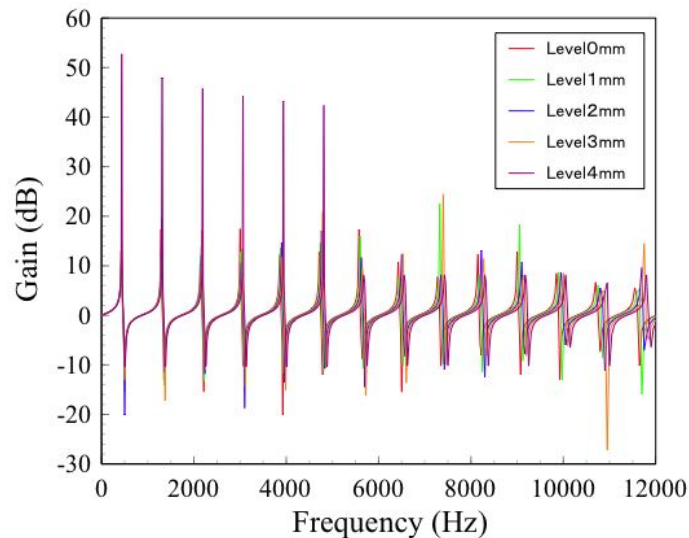


Fig.6 Resonant frequency of side branch are calculated by formula(3). Resonant frequency over  $f_7(5600\text{Hz})$  are obviously shift higher with water level change.

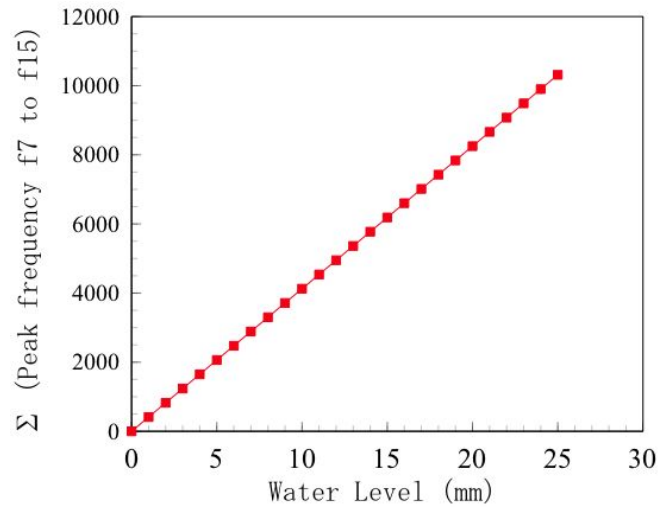
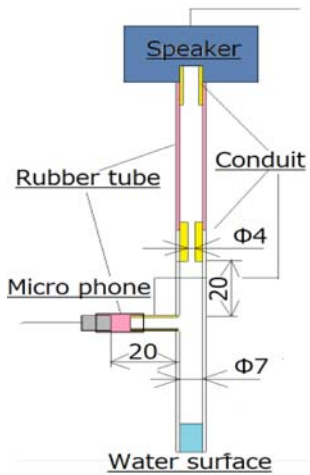
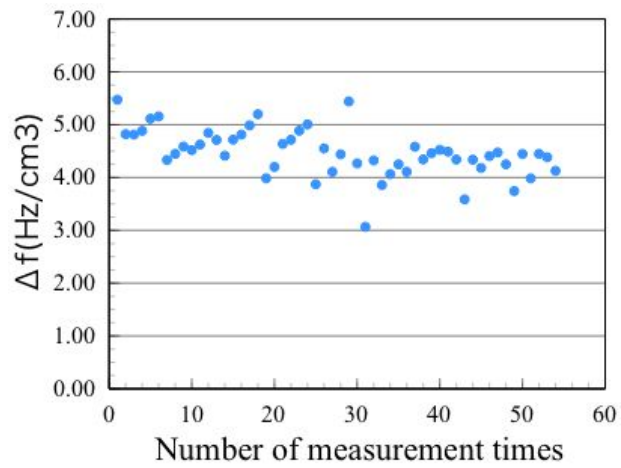


Fig.7 Sum total of resonant frequency between f7 and f15 is linear with water level.

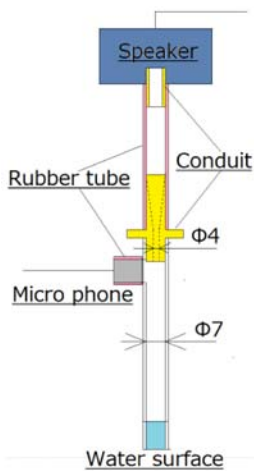


(a) Conduit shape is straight type

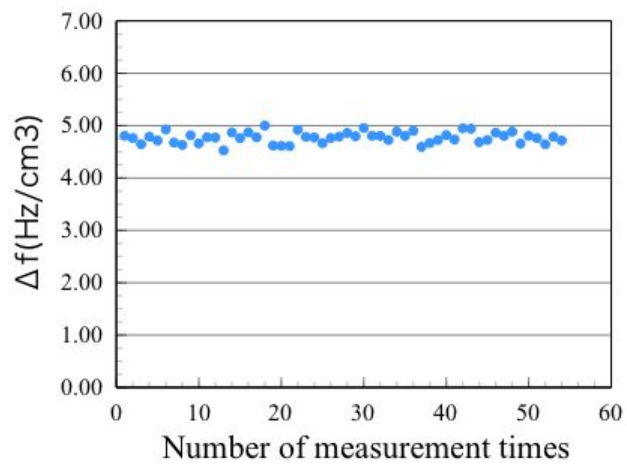


(b) Error of Coefficient  $\Delta f$  in this straight type

Fig.8 Coefficient  $\Delta f$  are alternatively changed between 4.501Hz and 5.958Hz with measurement times.



(a) Conduit shape is taper type



(b) Error of Coefficient  $\Delta f$  in this taper type

Fig.9 Coefficient  $\Delta f$  are alternatively changed between 4.520Hz and 4.991Hz with measurement times. Error of  $\Delta f$  is 0.471Hz.

### 3. 推定結果および考察

#### 3・1 体積測定の精度について

体積の測定値は、音響管内に発生する共鳴周波数の  $f_7$  から  $f_{15}$  の 9 個のピーク周波数を用いて式(5)より計算する。式(5)中の  $\Delta f$  を実験値から定数化し、イワガキの体積  $V$  を計算する。測定槽に物体を投入する前の共鳴周波数  $f_{b7}$  から  $f_{b15}$  が、物体の投入後にそれぞれシフトした値の和を 9 個のピークで平均し、さらに単位体積あたりの値に定数化した。基準点を投入体積 0 とし、50  $\text{cm}^3$  ~ 305  $\text{cm}^3$  の範囲で体積が既知なスケール（正方形のブロック）を 54 個用意し、式(5)によって換算定数  $\Delta f$  を算出した。

$$\Delta f = \frac{\sum_{k=7}^{15} (f_k - f_{bk})}{9 \times V} \quad \left[ \text{Hz} / \text{cm}^3 \right] \quad (5)$$

この換算定数  $\Delta f$  に及ぼす影響として、室内の温度変化が考えられる。室内の温度が変化すると音速が変化し、理論的には温度と  $\Delta f$  はゆるやかな直線関係にあるが、室内の温度範囲における変化に対する  $\Delta f$  の変化は極めて小さいことを実験にて確認した。

Fig.8(a),(b)に、音源と音響管との接続導管がストレート形状のパイプの場合を示す。この場合、換算定数  $\Delta f$  は 3.066Hz ~ 5.440Hz 間に分布しており、その変化は 2.374Hz と大きくなっている。体積測定の実験では、この換算定数を  $\Delta f = 4.57\text{Hz}$  と定め、54 個のブロックスケールの測定を行った。その結果、最大誤差率 22.336%、最小誤差率 0.290%、平均誤差率 7.234% という精度であった。

そこで、Fig.9(a) に示したように導管パイプの絞りをラップ形状にすることで、音響的なインピーダンスの変化を小さくしスムーズな音のエネルギーの伝搬を行い、さらにマイクとの接合距離を縮小しサイドブランチ部の共鳴周波数への悪影響を防いだ。マイクの位置を音響管の上部限度へ移動させることで、音圧が最大となる音の腹の部分での集音を行った。その結果、 $\Delta f$  の変動幅は 4.501Hz ~ 5.958Hz の 1.457Hz となり、音響管の再設計前と比べて  $\Delta f$  の変動幅を小さくすることができた。この場合の体積測定精度は、平均誤差率 3.624%、最大誤差率 11.823%、最小誤率 0.0374% となった。

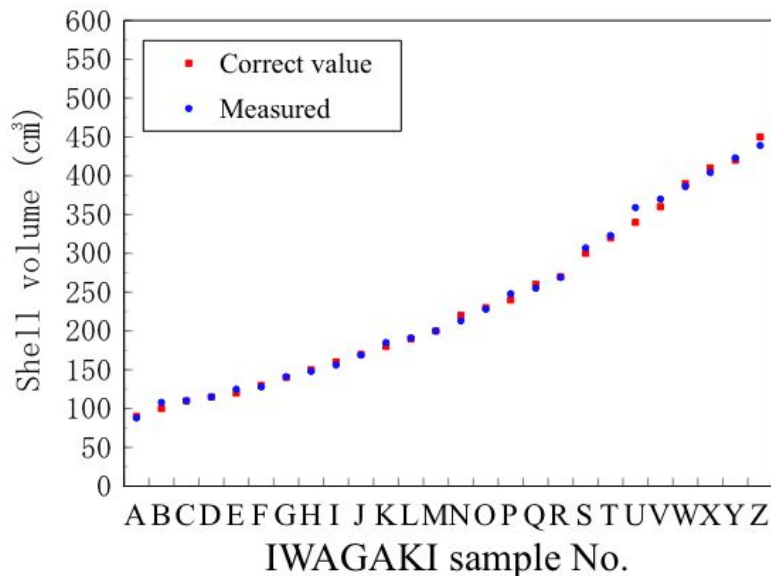


Fig.10 Calculation and measurement of IWAGAKI rock oyster volume. Correct volume is measured with Archimedes' principle. Coefficient  $\Delta f$  is 4.751. Error is between 5.51% and 0.28%.

体積測定時において、水槽に物体を沈下させ音響管内の水面が上昇すると、音響管内の空気柱が圧縮される。そこで、マイクロホンの付け根部分に直径 1mm 程度の空気の抜け穴による気圧調整機構を設けた。さらに導管パイプの径 4.0mm あったものを 2.0mm にまで絞り込むことで平均誤差率は 1.62%，最大誤差率 3.66%，最小誤差 0.043% となった。このときの換算定数  $\Delta f$  は、Fig.9(b)に示したように 4.520Hz~4.991Hz と変動幅が約 0.471Hz ときわめての安定した値を示した。

Fig.10 にイワガキの体積測定結果を示した。このときの換算定数は、 $\Delta f=4.750\text{Hz}$  とした。体積の真値はデジタル式吊り秤を用い、水中に沈下させその浮力から計算した。測定値をこの真値と比較したところ、最大誤差率 5.51%，最小誤差率 0.28% の平均誤差率 1.86%，であり、ゲージブロックを用いた実験値とほぼ同程度の測定精度が得られた。

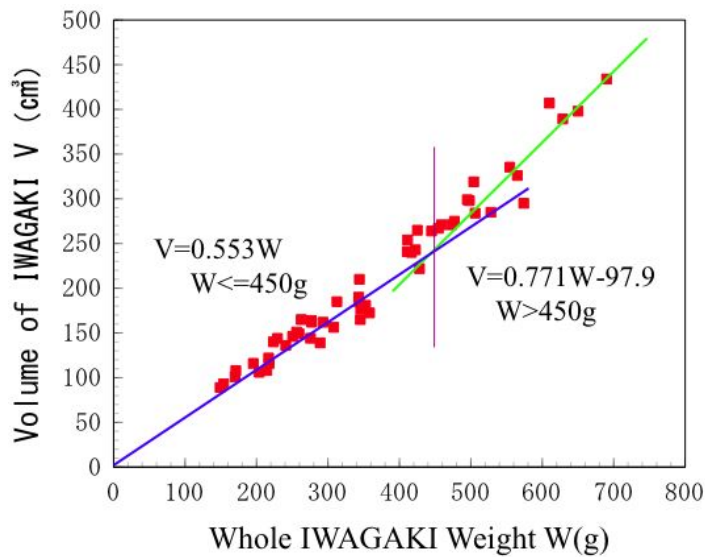


Fig.11 IWAGAKI shellfish volume and whole weight are correlated. Over weight  $W>450\text{g}$ , increasing of shell volume turn to large.

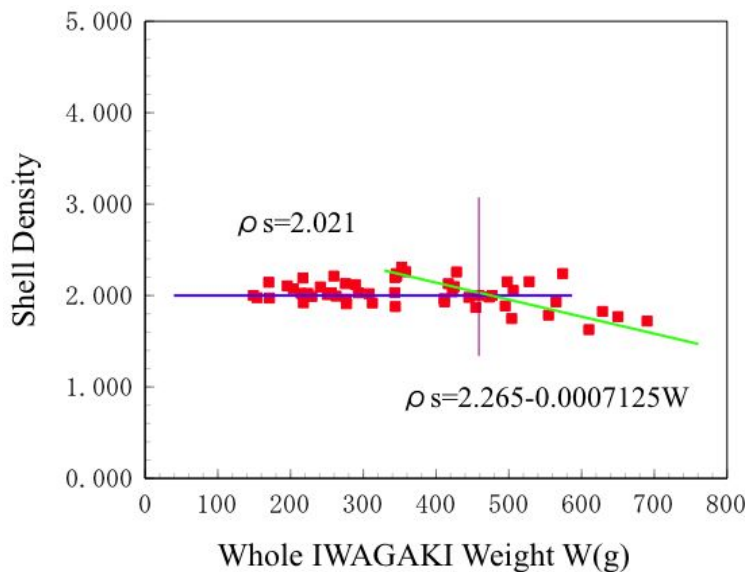


Fig.12 Iwagaki shell density is  $\rho s=2.021$  approximately in range of  $W<450\text{g}$ . However, over weight  $W>450\text{g}$  shell density is decreasing.



Fig.13 Parasitic worm and scale insect (left side picture) are boring IWAGAKI shell (right side picture).

**3・2 実験に使用したイワガキについて** 測定に使用した天然イワガキは 2015 年 6 月から 2017 年 9 月にかけて、山形県の鼠ケ関、吹く浦ならびに新潟県山北町で採取された小型のサイズから特大 (150 g~690 g) のもの合計 50 個である。図 11 は貝全体の重さと体積との関係を示している。体積は吊り秤により空気中と水中の重さの差から求めている (この方法による体積を真値とする)。体積は貝の総重量に対してほぼ直線的に増加するが、450 g を折点として増加傾向が大きくなる。また、身の重さは概ね総重量の 15%~22.5% をしめているが、450 g を越えるサイズでは 8.5%~15.2% と小さくなる。

**3・3 身の重さ推定結果** イワガキの右側殻の表面は、櫓肌茸きのため濡れ分 (含水量) は、殻の重さの約 4.5%~8.5% にもなる。測定では保湿を行い、水揚げ後 24 時間以内とした。図 12 は貝の総重量と殻の密度を示している。総重量  $W \leq 450$  g では、ほぼ  $\rho_s = 2.021$  g/cm<sup>3</sup> の定数と近似できる。  $W > 450$  g では、重量  $W$  の関数として  $\rho_s = 2.265 - 7.125W \times 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup> と近似式で表される。また、可食部の含水量は貝の総重量の 6.3%~22.7% と、個体によってその差が大きい。そのため本報告の身の重さは全重量から殻の重さを引いた値としている。可食部の密度は定数  $\rho_e = 1.02897$  g/cm<sup>3</sup> を用いている。

図 14 に種々のサイズ (150 g~690 g) のイワガキを計測し、計算した結果を示す。総重量 450 g までは身の重量比が 15%~20% の範囲にあり、測定値に近い値を示す。計算の誤差は、図 12 に示したように殻密度

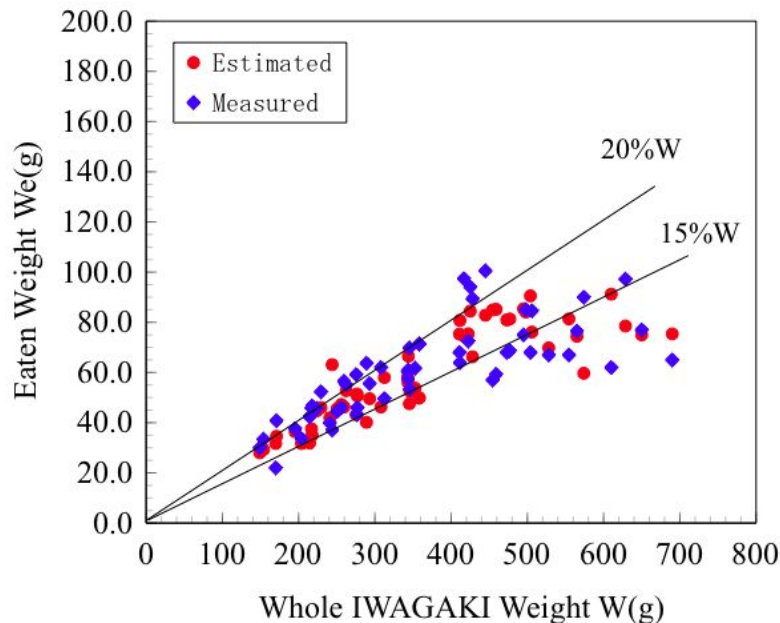


Fig.14 Eaten portion of IWAGAKI was calculated by formula(1). Over IWAGAKI weight  $W > 450$ g, shell density is approximated  $\rho_s = 2.265 - 0.0007125W$ . Two line show 15% - 20% rate of IWAGAKI whole weight.



の値の個体差が大きいと思われる。450 g を超えるイワガキでは、図 13 に示したような殻の一部の石灰化や形状、寄生物の付着により密度に大きな違いがあり、推定値の誤差の大きな要因である。図 15 にこの推定値と測定値の累積誤差の分布を示している。測定数の 4 割で 10% 以内、8 割では 20% 以内の推定誤差である。

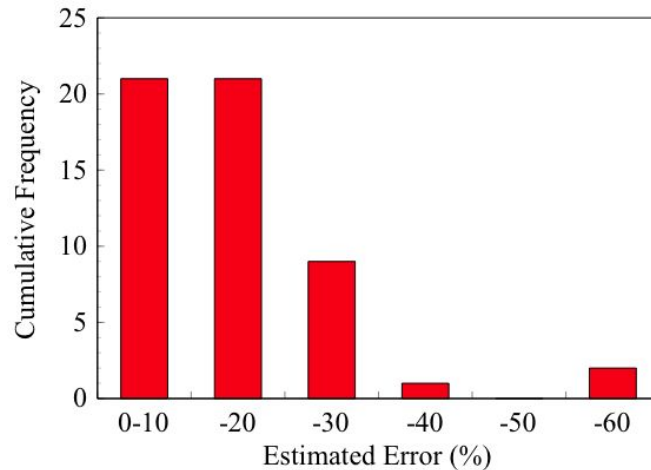


Fig.15 Estimated error was distributed  $\pm 10\%$ . Error is differential of calculation and measurement as shown fig.14. Error is large in big size IWAGAKI(W=600g).

#### 4. 結 言

本研究は、高級食材である天然イワガキの質保証（可食部の重さ明示）を目的に、イワガキ全体の重さと体積の測定により、可食部である中身の重さを推定する方法を提案し、実験により考察した。この凹凸形状のイワガキの体積測定を実用的に行う方法として、計量槽に投入されたイワガキの排除体積を音響管の空気柱共鳴周波数の変化として計測し、これによりイワガキの体積を算出した。可食部の重さを推定するために必要な各密度値は測定値から近似したものを使用した。その結果、イワガキの重さが 150 g~450 g の個体では定性的な傾向はほぼ一致し、この範囲での誤差率は最小 0.3%、最大 25% である。

#### 参考文献

- (1) Yanagimoto, K, "Development of a measure to weigh the edible part in a non-opened raw natural IWAGAKI rock oyster by using acoustic signal", International Food Machinery and Technology Exhibition Research summaries VOL.23, The Japan Food machinery Manufacture's Association, pp.71-72(2016).
- (2) 枝松広明, ヘルムホルツ共鳴を利用したイワガキ軟体部の体積測定, 京都大学地域環境工学科課題研究要旨集 (平成 25 年度), pp.1-2(2013).
- (3) Ministry of Agriculture, Fisheries Agency, "Issues surrounding aquaculture production" (2013)
- (4) Kondo, N, Yosikawa, H, "Volume measurement method using Helmholtz resonance in water", Kyoto University (2011).



総合メディアセンター

センター長 佐藤 淳（創造工学科 電気・電子コース）

同センター 図書メディア部門

部門長 五十嵐 幸 徳（創造工学科 機械コース）  
部門員 森 谷 克 彦（創造工学科 電気・電子コース）  
〃 安 齋 弘 樹（創造工学科 情報コース）  
〃 久 保 響 子（創造工学科 化学・生物コース）  
寺 崎 宏 美（総務課 図書情報係）

※本紀要に掲載された論文等については、  
全て執筆者が責任を負うものとする。

鶴岡工業高等専門学校研究紀要 第53号

平成31年3月 発行

編集兼発行者 鶴岡工業高等専門学校  
山形県鶴岡市井岡字沢田104