

# 庄内産天然岩ガキの可食部の重さ推定計量方法の研究

木村英人, 柳本憲作

## Research of weigh estimation on the edible part of the natural IWAGAKI rock oyster in a non-opened raw

Hideto KIMURA, Kensaku YANAGIMOTO

(Received on January 28, 2022)

### Abstract

The purpose of this study is to guarantee the quality of natural Iwagaki, which are high-class foodstuffs, and to estimate the weight of the contents of the edible part using physical quantities such as the weight and size of the whole iwagaki that the producer determines. We are proposing a method to measure the weight of edible part in a non-opened raw. The internal volume of the shell, which is the container of this edible part, correlates with the volume rather than the weight of the Iwagaki, and if the volume can be easily measured, it is possible to estimate the approximate inclusion. So far, the volume of the Iwagaki has been calculated by the acoustic Archimedes method as a practical method for measuring the volume of the Iwagaki with this uneven shape. Furthermore, this time, it was applied to the volume measurement of Iwagaki by the acoustic volume measurement method. In the acoustic Archimedes method of hanging in seawater, the measurement error was  $\pm 5\%$ , while in the acoustic volume measurement method, the minimum error rate was 0.37% and the maximum error rate was 28.4%.

**Key Words** : 音響式体積計, 庄内産天然岩ガキ, 非侵襲計測, 可食部の重さ推定

## 1. 緒 言

本研究は、高級食材である天然岩ガキの質保証（可食部の重さ明示）を目的に、岩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。岩ガキは、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、手に持った重さや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ため、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る。一方で生産者や仲買人からも、非開口による可食部重量の測定装置の開発ニーズが高い。

岩ガキは、そ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岩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。これまで本研究では、凹凸形状の岩ガキの体積測定を実用的に行う方法として、音響式アルキメデス方による岩ガキ体積測定を提案した<sup>(1),(2)</sup>。当該体積測定装置は計量槽と音響計測部からなり、あらかじめ注水された計量槽に岩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岩ガキの排除体積（体積増加 $\Delta V$ ）を算出する。

前々回の報告<sup>(1)</sup>では、音響測定部の改良により体積測定の精度を向上させ、さらに岩ガキの測定個体数を増やすとともに、小型 150g～特大 690g の種々の重さの岩ガキを広範囲に計測し、計算結果と比較を行った。推定誤差の要因として、450g を超える大型の岩ガキでは岩壁に付着する側の左殻が厚く成長し、寄宿虫、寄宿貝による穴や浸食による殻密度の個体差が大きいことであった。また牡蠣殻形状が平であったり、あくど（かかと）形状

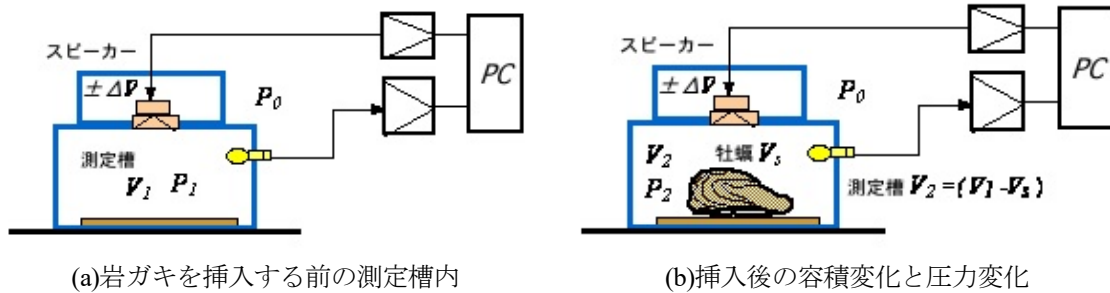
と生育環境の違いによる要因も大きい。牡蠣類の成長を表すには、貝の内容積が最も適切な指標であるとの報告があるが、測定の困難さから殻高が用いられている。そこでこの課題を解決するため、前回の報告<sup>(2)</sup>では、従来の推定方法に加え、画像カメラを用い右殻側の表面積の計測から貝の内容積および可食部重量の推定を行った。



Fig.1 実験に使用した岩ガキ



Fig.2 あくど牡蠣（左）と平牡蠣（右）



(a)岩ガキを挿入する前の測定槽内

(b)挿入後の容積変化と圧力変化

Fig.3 音響体積測定装置の概要

岩ガキ（庄内、吹浦産）を体積別に S, M, L, 2L, 3L の 5 サイズに分類し、全重量、右殻表面積の測定値から多角的に可食部の重さを推定した。

これまで当該研究室では、岩ガキのような凸凹の大きな形状の体積を人工海水中へ沈下させ、その水位変化の音響管計測からその体積を測定する方法やアルキメデス方に基づき吊りばかりによる水中と空中との重量差から測定する方法を行ってきた。しかし、この方法では一個の測定に手間がかかるため実際の出荷現場で使うのは難しい。そこで本報告は、容易に水産加工現場でも岩ガキの体積測定が行える方法として、音響体積測定方による岩ガキ体積の測定について検討を行った。

## 2. 計量器の概要

**2・1 音響体積測定装置の概要** 図 3 に音響体積測定システムの概要を示す。岩ガキを投入する側の測定槽は、内径 152 mm、長さ 600 mm、肉厚 6mm の塩化ビニル製で、円筒内部の中央にはフルレンジスピーカー（ $\phi 92$ , 88dB/W(1m)）を取付けたアルミ板にて仕切られている。低周波域のインフラサウンド(20Hz~100Hz)を用い微小な体積変化  $\pm \Delta V$  を容器に与え、岩ガキの投入前後の容器内音圧変化から体積を計測する。測定槽にインフラサウンドを放射すると、各槽の容積  $V_1, V_2$  に応じた音圧  $P_1, P_2$  が生じる。測定槽の内容積  $V_1$  が既知であるため、岩ガキの体積  $V_s$  は音圧比  $P_1/P_2$  から  $V_s = V_1 - V_1 \cdot (P_1/P_2)$  と推定される。あらかじめ体積が既知なゲージを用い「体積—音圧比」の校正式を求めておくことで、音圧比から岩ガキの体積が計算される。

**2・2 音響式体積計の原理について** いま図3 (a)に示したように、スピーカーによる交播な微小変位を与えることで、測定槽内に圧力 $P_1$ と体積変化 $\Delta V$ が生じ、大気圧を $P_0$ 、容積を $V_1$ とすると測定槽の音響付加の前後における場の変化は式(1)となる。音による場の変化は断熱変化として良く知られており、比熱比を $\gamma$ とすると式(2)で表される。これに岩ガキ（体積 $V_s$ ）を投入すると、図3 (b)に示したように測定槽の容積は $V_2$ となり、音圧 $P_2$ に変化する。それぞれの場の変化は近似的に式(3)、式(4)で表されるので、投入した岩ガキの体積は式(5)から岩ガキ投入前後の音圧比（ $P_1/P_2$ ）を測定することで計算される。

$$(P_0, V_1) \rightarrow (P_0 + P_1, V_1 - \Delta V) \tag{1}$$

$$P_0 V_1^\gamma = (P_0 + P_1) \cdot (V_1 - \Delta V)^\gamma \tag{2}$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \gamma \frac{\Delta V}{V_1} \tag{3}$$

$$\frac{P_2}{P_0} = \gamma \frac{\Delta V}{V_2} \tag{4}$$

$$V_s = V_1 - V_2 = V_1 \cdot \left(1 - \frac{P_1}{P_2}\right) \tag{5}$$

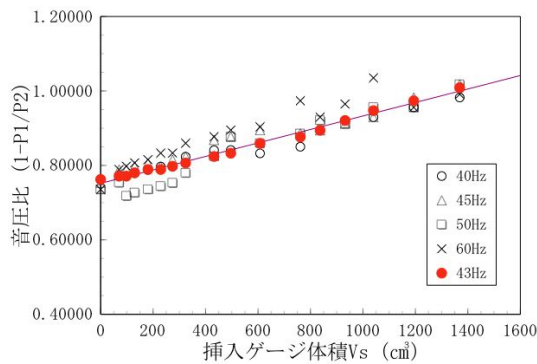


Fig.4 付加変位周波数と音圧比の関係

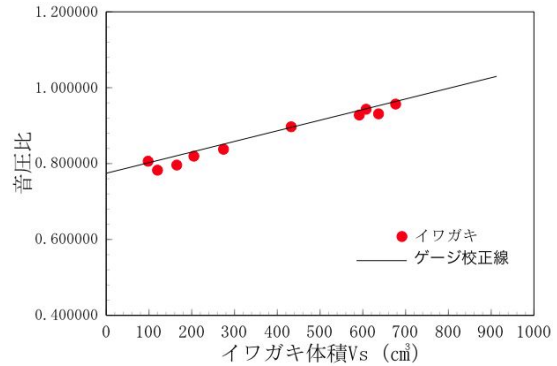


Fig.5 岩ガキを投入したときの音圧比

**2・3 音響体積測定方の精度** 測定ではあらかじめ体積の既知なゲージにより、音圧比-体積の校正式を作成して行う必要がある。ゲージ体積として、アルミ製の円柱（体積：70.2 cm<sup>3</sup>～1369 cm<sup>3</sup>の範囲のもの）を16個用意した。スピーカーによって測定槽内に付加する交播微小変位の周波数をパラメータとして、校正線図の直線性を調べたのが図4である。その結果、43Hzの正弦波信号を用いたとき交播微小変位の音圧比変化の近似曲線の相関係数が最も大きく $R^2=0.9917$ であった。これが50Hzの場合には、 $R^2=0.9526$ 、60Hzの場合には、 $R^2=0.8792$ と相関係数の値は小さくなっている。図5は体積が既知な岩ガキを測定部へ挿入したときの音圧比の変化を示している。測定には岩ガキ内部の可食部を外したあとに、代わりに中身を粘土で充填している。体積の真値は、吊り秤により空気中と水中の重さの差から求めている。測定では岩ガキの殻左側（岩付着側）を測定槽の底面に設置させている。ゲージによる音圧変化（図中の実線）に比べ、バラツキが大きくなっている。

### 3. 測定結果および考察

**3・1 測定サンプルの岩ガキ** 測定に使用した天然岩ガキは 2015 年～2017 年の 6 月から 8 月にかけて、山形県鼠ヶ関、山形県吹浦、新潟県山北で採取された天然岩ガキ、小型のサイズから特大 (140 g～700 g) のもの合計 200 個をこれまでに行ってきた。図 6 は岩ガキの重量と体積の関係を示している。山形県吹浦産と新潟県山北産のものは、重さと大きさの傾向が似たものとなっていた。鼠ヶ関産のものでは、この傾向のバラツキが大きく、同じ重さのものでも大きさのバラツキや小型感があつた。山形県の吹浦は鳥海山からの伏流水が海底から湧き出ており、また新潟県の山北は笹川流れがあるといった環境も岩ガキの成長因子への影響が大きいと思われる。図 7 は岩ガキの大きさに対する貝の内容積との関係を示している。内容積は、貝の体積から殻の体積を引いた値であり、岩ガキ可食部の大きさとの相関が大きい。これまでの研究から、岩ガキの成長にともない殻の容積と身の重さも直線的に増加することがわかっている。アクト牡蠣では、貝の重さも体積も大きくても内容積は、それらに比して大きくはない。図 7 からわかるように、岩ガキの体積が 300 cm<sup>3</sup> を越える大型のサイズではその傾向がある。

**3・2 岩ガキ体積の測定結果** 図 8 は昨年度行った、岩ガキ (140g～700g) の音響式アルキメデス方により体積を測定した結果を示している。測定装置は計量槽と測定槽からなり、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。計量槽に岩ガキが投入されると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) の空気柱の長さが増える。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岩ガキの排除体積 (体積増加  $\Delta V$ ) を算出する。岩ガキ体積の真値は、水中に吊りばかりにより垂下して、その前後の重量変化により算出した体積である。最小の誤差率が 0.03%、最大の誤差率 5.0% となっており  $\pm 5\%$  程度に収まっている。図 9 は今年度の岩ガキ、音響体積方による体積測定の結果を示している。測定は 3 回行い、その平均値を真値に対してプロットしている。この最小の誤差率は 0.37%、最大の誤差率は 28.4% であった。この誤差の要因として、岩ガキ殻の表面性状が椀皮状で吸音が影響、測定槽への岩ガキの置き方による設置面との隙間の影響などが考えられる。

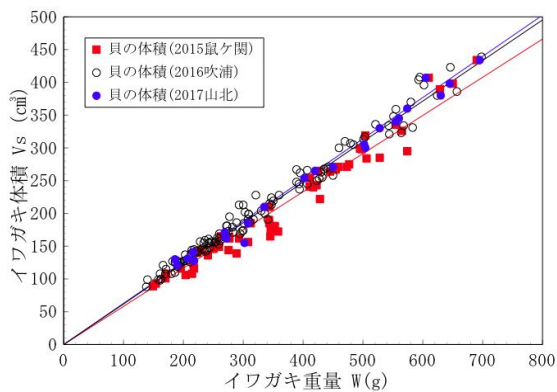


Fig.6 岩ガキ重量と内容積

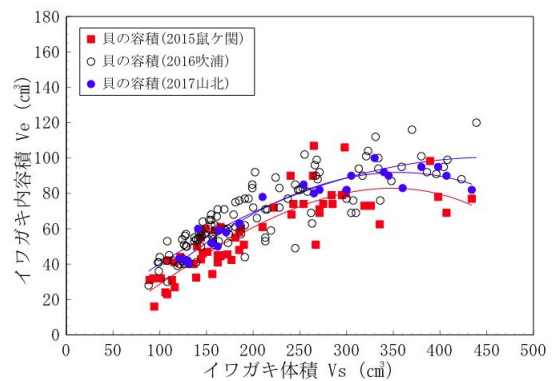


Fig.7 岩ガキ体積と内容積

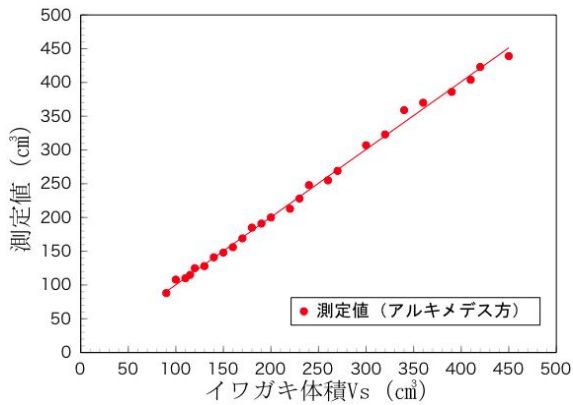


Fig.8 アルキメデス方（音響式）による測定結果

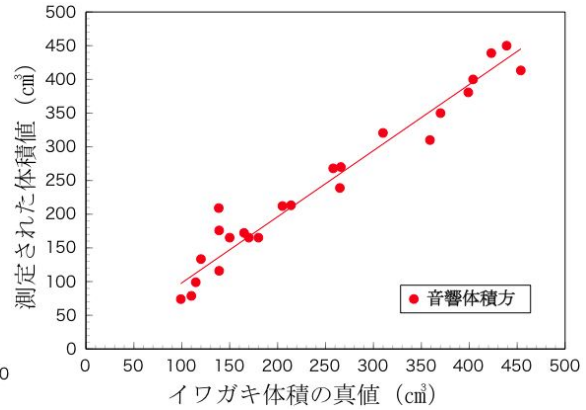


Fig.9 音響式体積方による測定結果

#### 4. 結 言

本研究は、高級食材である天然岩ガキの質保証（可食部の重さ明示）を目的に、岩ガキ全体の重量と大きさ（体積）といった生産者が身入りを判断する物理量を用いて、可食部である中身の重さを推定する方法を提案している。この可食部の容器である殻の内容積は、岩ガキの重量よりも体積と相関があり体積が手軽に計測できれば概ねの身入りを推定できる。これまで、この凹凸形状の岩ガキの体積測定を実用的に行う方法として、音響式アルキメデス方により岩ガキの体積を算出した。さらに今回は、音響体積測定方により岩ガキの体積測定に応用した。海水中に垂下する音響式アルキメデス方では測定誤差が±5%であったのに対し、音響体積測定方では最小の誤差率0.37%～最大28.4%と大きくなった。今後は測定誤差の要因を明確にするとともに、精度の向上を計る。

#### 参考文献

- (1) 柳本憲作, 音響信号を利用した生食用天然岩ガキ可食部の非開口重さ計量器の開発（第2報 音響式アルキメデス方による推定）, FOOMA JAPAN 2016 アカデミックプラザ研究発表要旨集 Vol.23, 日本食品機械工業会, pp.195-198.
- (2) 柳本憲作, 音響信号を利用した生食用天然岩ガキ可食部の非開口重さ計量器の開発（第3報 画像解析と音響式アルキメデス方の併用による推定）, FOOMA JAPAN 2017 アカデミックプラザ研究発表要旨集 Vol.24, 日本食品機械工業会, pp.153-156.
- (3) 枝松広明, ヘルムホルツ共鳴を利用した岩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.