新開発の測定器によるエチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* の傘径組成の測定

安田 徹,¹ 豊川 雅哉^{2*}

(2007 年 5 月 8 日受付, 2007 年 9 月 26 日受理)

¹安田水産事務所, ²水産総合研究センター中央水産研究所

In situ diameter measurement of Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai*
by using a newly developed tool

TORU YASUDA¹ AND MASAYA TOYOKAWA^{2*}

¹Yasuda Fisheries Office, Tsuruga, Fukui 914-0821, ²National Research Institute of Fisheries Science,
Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan

We developed a tool for measuring the diameter of the Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai*, whose weight often exceeds 60 kg, without lifting them out of the seawater. Use of the newly developed tool made it possible to collect sufficient bell diameter data to enable analysis of the population growth. Change of diameter of jellyfish at set-nets of Mihama, Fukui Prefecture was monitored and compared with on-deck measurements during seven surveys from 4 September to 1 November, 2006; each survey measured 23–70 individuals by the tool and 5–31 individuals on deck. Comparison of the measurements found a significant difference in only a single survey out of the seven. This difference was probably because of bias in selecting the specimens to measure rather than any specific difference between the methods. According to the analysis of data measured by the tool, mean diameter was largest on the first sampling day, then decreased gradually to the end of September, and was rather stable in October with a slight increase at the end of the month.

キーワード：大型クラゲ，漁業被害，対策技術，定置網，モニタリング

エチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* Kishinouye, 1922 は，渤海，黄海，東シナ海沿岸に産するとされ，¹⁾ 2002 年以降，2004 年を除いて毎年日本沿岸に来遊し，定置網や旋網に甚大な被害を及ぼしている。²⁻⁴⁾ 水産庁と水産総合研究センターは，都道府県，大学，漁業関係者とともに，早期来遊予測，洋上駆除技術やクラゲの有効利用技術の開発など，様々な対策，研究開発を行って来た。^{5,6)}

エチゼンクラゲは傘の直径 50 cm 以上，重さ数十 kg にも達するものが多く，^{1,3,7)} 船上に引き上げて傘径の測定を行うには，大変な労力と時間を要する。定置網では漁獲物の鮮度を落とさないために，混入したクラゲを迅速に網外に排出することが求められるため，必要数の標本を取り上げるのに十分な時間がない。このため，水産庁関連機関による大型クラゲ出現状況⁸⁾の基礎となっている各地の定置網からの報告では，クラゲの大きさが実

測されるケースは少なく，ほとんどが目視によって報告されているのが現状である。

そこで，船上にクラゲを取り上げず，海中に浮遊したままの状態，迅速かつ正確に傘径を測定する測定器を開発した。本測定器による測定の有効性を示すために，従来通りクラゲを取り上げて傘径を直接測定する方法と比較した。また，本測定器を使って，傘径の分布を 2 ヶ月にわたってモニターした。

試料および方法

測定に用いた傘径測定器を Fig. 1 に示す。測定器は全長 120 cm，直径 10 mm の園芸用プラスチック竿を，視認性を良くするために黒く塗り，10 cm ごとに赤，黄のテープを交互に巻いた。中心を長さ 20 cm のワイヤーで吊りあげ，安定のために，竿の両端と吊り下げ用ワイヤーの先端を細いワイヤーで結んだ。竿のバランス

* Tel : 81-45-788-7652. Fax : 81-45-788-5001. Email : mtoyokaw@affrc.go.jp

Fig. 1 Diagram of the newly developed tool for measuring the diameter of Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai*. The rod was painted black for the sake of visibility. The whole tool was attached to the tip of an expandable fishing rod of 6–7 m in length via a hook with a swivel. Two or four nails were used to settle the tool on top of the umbrella of jellyfish for a short time, so that the observer could read the length accurately. Length was read to 5 cm.

をとるために、中心に 150 g、両端に 80 g、さらに左右の腕の中心に 100 g の錘を取り付けた。また、竿の中央部に 2 又、または 4 又になるように、長さ 10 cm の釘を取り付けた。この釘を海中のクラゲの傘に突き刺して測定器を傘上面に密着固定させて、傘径を 5 cm の精度まで読み取った。この測定器を、振り出し式の釣り竿の先端から、より戻し付きフックで吊り下げることで、船側から最大 6 m の範囲内で、水面下約 50 cm 以浅に浮上して来たクラゲの傘径を測定した。最大到達距離の 6 m は、釣り竿をいっぱい伸ばし、かつ目盛りを読取れた範囲の長さであるが、予め陸上で丸い目標物を使って予備試験を行い、確実に目盛りを読み取れ、測定器が安定して操作できることを確認しておいた。

福井県美浜町丹生 (Fig. 2) の大型定置網において、2006 年 9 月 4 日～11 月 1 日の期間に、7 回の測定を行った。連続する 2 日にまたがった測定は 1 測定日として扱った。各測定日において、傘径測定器を用いて 20 個体以上の傘径を測定し、また 5 個体以上のクラゲを船上に引き上げ、上傘部を下にして傘を広げ、巻き尺を用いて直径を 1 cm 単位で測定した。

傘径の測定は定置網の網起こし作業中に行った。丹生の定置網は 2 ヶ統あり、網起こしは 5 時 30 分出港、帰港は日によって異なるが 10 時 30 分前後であった。網を巻き上げて狭め、浮き上がって来たクラゲを網の一部を開いて手鉤などを使って網の外に掻き出す。掻き出す間になるべく無作為になるように測定個体を選び、大型タモ網 (直径 40～50 cm) で船上に取り上げ、直ちに測定した。クラゲと漁獲物の分離が終わり、漁獲物の水揚げを行っている間に、測定器を用いて船の周辺に浮上しているクラゲの測定を行った。表層近くで水平になっている個体を選び、傘が完全に開くのを待って全長径を、120 cm を越えるものでは半径を測定した。同一個体の反復測定を避けるため、測定試料を選択する距離や方向

Fig. 2 Location of the sampling station.

を変えるよう注意した。傘径の測定にあてることができた時間は、直接測定、測定器を用いての測定ともに、1 日あたり、それぞれ 1～2 時間であった。

傘径のデータは、パートレットの方法で等分散性を検定し、等分散が仮定できる場合は、測定方法、および測定日を変動要因とする二元分散分析を行った。測定方法による有意差が検出された場合は、各測定日のそれぞれについて直接測定と測定器による測定の比較を一元分散分析によって行った。

さらに、調査期間中に傘径平均値の変動があったかどうかを調べるために、測定器による測定値について、傘径平均値を測定日間で一元分散分析により比較し、有意差があった場合は、ライアンの方法により有意水準を調整して多重比較を行った。統計解析には R⁹⁾ 2.2.0 (The R Project for Statistical Computing: <http://www.r-project.org/>) を使用した。二元分散分析およびライア

ンの方法による事後比較には青木が定義し、統計学自習ノートとして WWW (World Wide Web) 上に公開している R の関数を使用した (青木私信)。

結 果

2006 年 9 月 4 日から 11 月 1 日まで、7 回の測定における要約統計量を Table 1 に、傘径の頻度分布を Fig. 3 に示す。

測定器による測定では、2 ヶ月の調査期間中 7 回の調査で、350 個体の測定ができ、1 回あたりの平均は 50 個体であった。同時に行われた直接測定では 7 回の合計が 102 個体と、1 回あたりの平均は 15 個体であった。1 個体の測定に要した人数と時間は、直接測定ではタモ網を支えるのに 1~2 人、タモ網の枠を手鉤で持ち上げるのに 1~2 人、それに観測者が 1 人で、合計 3~5 人がかりで、船上へ引き上げ、測定場所に運び、測定を終えるまでに 5~6 分かかった。それに対して、測定器による測定では、観測者 1 人で目標を定めてから数秒か

ら 1 分以内で 1 個体の測定を終えた。測定器で測定した個体を引き上げて直径を実測したのは 1 例だけであったが、測定器で 120 cm であったのに対し、実測では 116 cm であり、その差は 5 cm 以内であった。

バートレットの方法では、各測定日ごとの傘径データ群間の等分散性は棄却されなかった ($p=0.14$)。二元分散分析では、測定方法 ($p=0.047$)、測定日 ($p<0.001$)、交互作用 ($p=0.025$) のいずれの要因も有意であった。7 回の測定日ごとの比較においては、10 月 12 日のみ直接測定と測定器による測定の平均値が有意に異なった ($p<0.001$)。直接測定では傘径の平均値は 46 cm で、頻度分布においても 20~40 cm にモードがあったが、測定器による測定では、平均値が 69 cm で、40~60 cm にモードがあり、測定器による測定値の方が大きくなる傾向を示した (Fig. 3, Table 1)。10 月 12 日の測定を除いた二元分散分析では、測定日のみが有意で ($p<0.001$)、測定方法 ($p=0.96$)、交互作用 ($p=0.71$) のいずれも有意でなかった。

Table 1 Number of specimens measured and descriptive statistics of the sampled diameter of Nomura's jellyfish *Nemopilema nomurai*

Date	4-5 Sep. 2006		15-16 Sep.		30 Sep.		12 Oct.		17 Oct.		25-26 Oct.		31 Oct.-1 Nov.	
Method	direct	rod	direct	rod	direct	rod	direct	rod	direct	rod	direct	rod	direct	rod
Number	19	24	15	62	5	68	31	35	6	68	13	23	13	70
Mean (cm)	94	87	80	81	51	63	46	69	64	68	63	58	76	79
s.d.	26.9	30.6	17.5	21.8	16.7	23.5	23.8	26.9	9.2	24.3	14.5	23.9	22.3	23.1
Minimum (cm)	40	40	60	40	25	25	18	40	50	30	40	30	40	30
Maximum (cm)	140	160	116	120	70	120	140	120	75	110	85	110	110	120
p for 1-way ANOVA	0.44		0.87		0.28		0.00047*		0.73		0.49		0.60	

Values measured on deck (direct) and measured in the water using the newly developed tool (rod) are shown. The bottom line shows the results of comparison of the diameters by one-way ANOVA test within each sampling day. Asterisk denotes significance at the level of $p<0.05$.

Fig. 3 Comparison of histograms of the bell diameter distribution measured by direct measurement (upper) and measurement by using the tool (lower). n denotes number of jellyfish measured.

傘径平均値の測定日間での比較では、一元分散分析で有意差が認められた ($p < 0.001$)。多重比較の結果、9月4~5日、9月15~16日、10月30日~11月1日の3回は、9月30日、10月17日、10月25~26日の3回より、平均値が大きいことが示された (いずれの組み合わせでも $p < 0.01$)。

考 察

水中で傘の直径を測定すれば、傘が曲面を成すために、船上で傘を平面に広げた時よりも、直径の測定値が小さくなる可能性が考えられる。しかし、測定器で水中のクラゲを測定する時は、傘が開ききるのを待って測定しており、水中での測定が結果に大きな影響を与えたとは考えにくい。さらに、エチゼンクラゲの傘は軟らかいため、船上に引き上げる時に縁辺部が破損しやすく、特にサイズが大きい個体をタモ網で無理に引き上げる時に破損が大きかった。従って、むしろ船上での直接測定の方が、傘の大きさを過小評価した可能性がある。測定器を用いた測定と実測の比較は1例のみであるが、ほとんど差がなかった。

二元分散分析で測定方法要因と交互作用が有意になったのは、10月12日の測定が原因であった。この日の測定では、測定器による測定結果の最小値は40 cmが2個体であったのに、直接測定による測定では40 cm以下の個体が31個体中17個体と、明らかに小さい個体が多かった。これは、サイズの小さいクラゲが多数出現したところに、サイズの小さいクラゲが引き上げやすいために偏った採集が行われたためと考えられる。測定器による測定では40 cm未満のクラゲは測定できないということはなく、他の測定日では逆に測定器による測定の方が平均値が小さいこともある (Fig. 3, Table 1)。

測定器による測定と、直接測定では1回あたり測定できた個体数が大きく異なり、体力の消耗を考慮せず、人数と時間だけから労力を考えても大きく異なり、測定器の使用により時間と労力を大幅に節約できることは明白である。2005年に行った同様の調査では、直接測定しか行わなかったが、10回の調査の平均調査個体数は17.5個体と2006年と同様であった。¹⁰⁾ 本研究で測定値は野帳に記入したが、ボイスレコーダーを使用することで調査の効率はさらに向上可能と考えられる。これまで目視に頼っていた各地の定置網等からの目撃情報で、本測定器を使うことによって、正確な傘径データが多数得られるようになれば、日本近海来遊後のエチゼンクラゲの成長や個体群の動態について、新たな知見が得られると期待される。

十分な試料数の得られる測定器による測定だけを使って、調査期間中の傘径の変動を調べたところ、9月の2回の測定と、10月末の最後の測定では傘径が大きく、

その間の測定では小さくなった。しかも平均値が最大であったのは、調査を開始した9月4~5日の87 cm、2番目が2回目の9月15~16日の81 cmで、調査期間内に傘径が減少した。このように出現初期には大きなクラゲが出現し、途中から小さなクラゲが出現する現象は2005年、2006年に若狭湾で行われた別の調査でも見られた。¹⁰⁾ その原因として、異なる系群の加入、密度効果による成長不良などの説明が議論されているが、¹⁰⁾ 今のところこれを説明するに足る十分な知見がない。ミズクラゲでは秋季に個体群の平均傘径が小さくなる現象は多数報告されており、¹¹⁻¹³⁾ 餌不足による大きさの収縮 (degrowth)、¹¹⁾ 隣接海域からの異なる個体群の混入、¹²⁾ 加齢による衰弱¹³⁾などの説明がされている。今後、本種においても日齢や成熟状態の検討により、傘径が小さくなった原因が明らかにされることが望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、定置網作業中の調査を受け入れていただき、水中からのクラゲの取り上げ作業など、全面的にご協力をいただいた福井県美浜町丹生漁協の方々に特に感謝申し上げる。統計関数の使用の許諾をいただいた群馬大学社会情報学部の青木繁伸博士、論文に適切な助言をいただいた審査委員、編集委員の方々にお礼申し上げます。本研究は農林水産技術会議による平成16~18年度の先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「大型クラゲの大量出現予測、漁業被害防除技術及び有効利用技術の開発」、および一部平成19年度の水産庁委託事業「大型クラゲ発生源水域における国際共同調査」の予算で行われた。

文 献

- 1) 下村敏正. 1958年秋、対馬暖流系水におけるエチゼンクラゲの大発生について. 日水研報 1959; 7: 85-107.
- 2) 安田 徹. 2002年晩夏から冬にかけて日本近海に異常出現したエチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* Kishinouye について. 日本プランクトン学会報 2004; 51: 34-37.
- 3) 安田 徹. 日本近海における巨大エチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* の大発生について. 日水誌 2004; 70: 380-386.
- 4) 安田 徹. 2003年晩夏から冬にかけて日本近海に異常出現した巨大エチゼンクラゲ *Nemopilema nomurai* Kishinouye と漁業被害. 漂着物学会誌 2004; 2: 35-38.
- 5) 平成17年度 水産の動向・平成18年度水産施策. 農林水産省, 東京. 2006.
- 6) 大型クラゲ *Nemopilema nomurai* に関する研究の現状と方向性. 日本水産学会漁業懇話会報 No. 52, 東京. 2007.
- 7) Kawahara M, Uye S, Ohtsu K, Iizumi H. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2006; 307: 161-173.
- 8) 飯泉 仁. 日本における大型クラゲの大量出現とその対策. 水環境学会誌 2007; 30: 416-420.

- 9) Ihaka R, Gentleman R. R: A language for data analysis and graphics. *J. Comput. Graph. Stat.* 1996; **5**: 299-314.
- 10) 井口直樹. 大型クラゲ成体の生理・生態学的特性. 日本水産学会漁業懇話会報 2006; **52**: 3-4.
- 11) Hamner WM, Jenssen RM. Growth, degrowth, and irreversible cell differentiation in *Aurelia aurita*. *Am. Zool.* 1974; **14**: 833-849.
- 12) Möller H. Population dynamics of *Aurelia aurita* medusae in Kiel Bight, Germany (FRG). *Mar. Biol.* 1980; **60**: 123-128.
- 13) Toyokawa M, Furota T, Terazaki M. Life history and seasonal abundance of *Aurelia aurita* medusae in Tokyo Bay, Japan. *Plankton Biol. Ecol.* 2000; **47**: 48-58.