

報 告

相模湾葉山港にて採集されたニホンベニクラゲ *Turritopsis* sp. の出現傾向とその分子系統学的考察

井村勇貴・近藤正博・岩倉翔吾・久保田 信・向井有理

Yuki Imura, Masahiro Kondo, Shogo Iwakura, Shin Kubota and Yuri Mukai:
Occurrence Patterns and Molecular Phylogenetic Study of *Turritopsis* sp. collected
from Hayama Port in Sagami Bay

緒言

ベニクラゲ類 *Turritopsis* spp. はヒドロ虫綱花クラゲ目に属し、日本においては、ベニクラゲ *Turritopsis pacifica* Maas, 1909、ニホンベニクラゲ *Turritopsis* sp.、およびチチュウカイベニクラゲ *Turritopsis dohrnii* (Weismann, 1883) の少なくとも 3 種類が生息するとされている（久保田, 2010）。本来ヒドロ虫綱花クラゲ目の多くは、①受精卵より発生したプラナリアが岩盤等に定着する ②これがポリプとなって成長することでそこから未成熟のメデューサが遊離する ③その後成熟したメデューサらが何らかの方法で交配することでまた受精卵が出来るといった流れの生活環を持つ（三宅・リンズィー, 2013）が、ベニクラゲ類では、一度メデューサとなった個体がシストと呼ばれる団子状の形態をとった後に岩盤等に定着して再びポリプになるという「生活環の逆転」が生じることが報告されており、この現象は「若返り」と称され注目されている（築地新・久保田, 2003; 久保田, 2013）。

また、その独特な生活環から、ベニクラゲ類はその生態解明をはじめアンチエイジング等を目的とした様々な研究の対象とされている（Devarapalli *et al.*, 2014; Hasegawa *et al.*, 2016; Matsumoto *et al.*, 2019）。なお、これらベニクラゲ類は日本各地で確認されているが（Kubota, 2005）、神奈川県においても江の島周辺の水域でベニクラゲが（足立ほか, 2003; Kubota, 2005）、近年ではニホンベニクラゲも（寶保ほか, 2018; 山本ほか, 2023）、それぞれ過去複数回に渡って確認されている。

我々は神奈川県三浦郡葉山町の葉山港において複数年に渡って調査を行い、ニホンベニクラゲのメデューサの採集および記録を行ったため、これを報告する。

材料と方法

採集

神奈川県三浦郡葉山町の葉山港のヨットハーバー桟橋

(35° 17' 3" N, 139° 33' 56" E) (図 1) からプランクトンネット（直径：25 cm, 深さ：45 cm, メッシュ：100 μm）を水深 3 m 以内において 10 m 程度引き回すことで海水ごと採集を行った。採集した海水を 500 mL ボトルに集め、保冷剤を敷き詰めた保冷バッグ内で約 20 °C を保った状態で一時保存した。

採集物は神奈川県川崎市多摩区に所在する明治大学生田キャンパス内の研究室に持ち帰り、三宅・リンズィー（2013）および峯水ほか（2015）を参照し目視および双眼実体顕微鏡（SZ-6145T, リライオン）を用いて種同定と記録を行った。なお、この時点において分かる形態的特徴では、ニホンベニクラゲと形態上酷似しているチチュウカイベニクラゲとの判別はつかないため（Kuriyama *et al.*, 2021）、-80 °C で凍結保存していた個体の中から無作為に選出したものをサンプルとして後述の分子系統解析を行うことにより種同定した。後述の通り、葉山港で採集した合計 8 個体のサンプルで分子系統解析を行った結果、全てニホンベニクラゲに同定されるものであったため、本研究では形態的にニホンベニクラゲとチチュウカイベニクラゲのいずれであるかの識別ができなかった個体（表 2-3 および図 2-5 において掲載）を暫定的にニホンベニクラゲとして扱った。また、別途無作為に選出した個体を対象に、双眼実体顕微鏡と研究用倒立顕微鏡（ECLIPSE Ti2, Nikon）を用いて形態の観察と撮影を行った。対象となった各個体には、採集日の日付に応じた番号と選出順に応じたアルファベット（高倍率撮影用として選出した個体のみ順番に関わらず「k」）を組み合わせて個体番号として付けた。撮影は、対象とする個体をプラスチックシャーレまたは 96 well プレートに海水ごと乗せて行った。

調査期間は 2019 年の 8–10 月、2021 年の 7–9 月、2022 年の 6–9 月、2023 年の 5–9 月、2024 年の 5–8 月であり、この間に 2019 年は 21 回、2021 年は 16 回、2022 年は 9 回、2023 年は 11 回、2024 年は 6 回、採集を行った。2024 年においては、デジタル塩濃度計（マリンソルトテスタ、



図 1. ニホンベニクラゲの採集を行った葉山港(国土地理院の GSI Maps を加工) . A: 葉山港の位置; B: 採集地点 (A の長方形箇所を拡大) ; C: 採集を行った葉山港ヨットハーバー棧橋の様子 (B の長方形箇所を東北東から撮影) .

Marfied) による表層海水の温度、塩濃度、比重の測定も行った。なお、全ての採集は、天気が「快晴」「晴れ」「曇り」のいずれかの日に行い、「雨」の日には行わなかった。一日に採集した海水量と個体数から、海水 100 mL あたりの個体数を採集日ごとに求め、これを「採集割合」とした。

分子系統解析

分子系統解析には 2019 年 8 月 19 日および 2024 年 7 月 26 日に葉山港で採集したメデューサ 7 個体 (LC849013 *Turritopsis* sp. Hayama_2019-1, LC856757 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-1, LC856758 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-2, LC856759 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-3, LC856760 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-4, LC856761 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-5, LC856762 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-6) を用いた。比較対象として、實保ほか (2018) で採集されたメデューサ (LC856756 *Turritopsis* sp. Hayama_2018-1) と 2019 年 10 月 11 日に和歌山県白浜町 (田辺湾) で採集したメデューサ (LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1) についても同様に解析を行った。なお、LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1 は、葉山港で行った採集と同じく、プランクトンネット (直径: 25 cm, 深さ: 45 cm, メッシュ: 100 μ m) を水深 3 m 以内において 10 m 程度引き回すことで海水ごと採集を行った。

2019 年に採集したメデューサ (LC849013 *Turritopsis* sp. Hayama_2019-1, LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1) から、超音波破碎後に NucleoSpin Tissue (Takara) を用いてゲノム DNA を抽出した。16S-L プライマー (5' -GAC TGT TTA CCA AAA ACA TA-3') および 16S-H プライマー (5' -CAT AAT TCA ACA TCG AGG-3') (Ender & Schierwater 2003; Zheng *et al.*, 2014) を用いて、ミトコンドリア 16S rRNA 遺伝子の部分配列を PCR により増幅した。PCR 反応は、

TaKaRa Ex Taq® (Takara) を使用し、95 °C で 30 秒間の初期変性を行った後、95 °C で 30 秒間の熱変性、56 °C で 30 秒間のアニーリング、72 °C で 30 秒間の伸長を 40 サイクル繰り返し、最終伸長を 72 °C で 5 分間行った。増幅産物は 2 % アガロースゲル電気泳動により確認した。さらに、NucleoSpin Gel and PCR Clean-up (Takara) を用いて精製し、ユーロフィンジェノミクス社に塩基配列解析を依頼した。

同様に、2024 年に採集したメデューサ (LC856757 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-1, LC856758 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-2, LC856759 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-3, LC856760 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-4, LC856761 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-5, LC856762 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-6) および、實保ほか (2018) で採集されたメデューサ (LC856756 *Turritopsis* sp. Hayama_2018-1) は、バイオマッシャー II (ニッピ) およびパワーマッシャー II (ニッピ) で破碎した後、上記と同じ方法でゲノム DNA を抽出し、PCR 増幅、泳動、精製を行い、ユーロフィンジェノミクス社に塩基配列解析を依頼した。ただし、PCR については KOD -Plus- (TOYOBO) を使用し、94 °C で 2 分間の初期変性を行った後、98 °C で 10 秒間の熱変性、56 °C で 30 秒間のアニーリング、72 °C で 30 秒間の伸長を 40 サイクル繰り返し、最終伸長を 72 °C で 5 分間行った。また、泳動は 4 % アガロースゲルを用いて行い、精製には QIAquick Gel Extraction Kit (QIAGEN) を使用した。

以上により得られた 523 bp または 524 bp の塩基配列は、DDBJ/EMBL/GenBank データベースに登録した (INSD Accession Number: LC849013, LC849014, LC856756, LC856757, LC856758, LC856759, LC856760, LC856761, LC856762)。分子系統解析は MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11 (Tamura *et al.*, 2021) を用いて実施した。解析には、上記で得られた 523 bp または 524 bp の配列データと、

表 1. 分子系統解析に用いた生物種と配列データ

INSD Accession Number	Sequence Names in Genbank	Resulting Clade	Collection Site
LC856757	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-1*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856758	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-2*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856759	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-3*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856760	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-4*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856761	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-5*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856762	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2024-6*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC849013	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2019-1*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC856756	<i>Turritopsis</i> sp. Hayama_2018-1*	<i>Turritopsis</i> sp.	Hayama, Kanagawa, Japan
LC849014	<i>Turritopsis</i> sp. Shirahama_2019-1*	<i>Turritopsis</i> sp.	Shirahama, Wakayama, Japan
LC361124	<i>Turritopsis</i> sp. 2 SN-2018	<i>Turritopsis</i> sp.	Shirahama, Wakayama, Japan
LC361125	<i>Turritopsis</i> sp. 2 SN-2018	<i>Turritopsis</i> sp.	Shirahama, Wakayama, Japan
EU624375	<i>Turritopsis</i> sp. 2 MPM-2008 isolate Japan 4	<i>Turritopsis</i> sp.	Kagoshima, Japan
EU624378	<i>Turritopsis</i> sp. 2 MPM-2008 isolate Japan 7	<i>Turritopsis</i> sp.	Shirahama, Wakayama, Japan
EU624379	<i>Turritopsis</i> sp. 4 MPM-2008 isolate Bocas del Toro	<i>Turritopsis</i> sp.	Bocas del Toro, Panama
KY315334	<i>Turritopsis</i> sp. 5 LJ-2017 isolate XM1	<i>Turritopsis</i> sp.	Xiamen, China
EU624352	<i>Turritopsis</i> sp. 1 MPM-2008 isolate Bocas_2	<i>Turritopsis dohrnii</i>	Bocas del Toro, Panama
MH029857	<i>Turritopsis</i> sp. 1 YM-2019 isolate Sp1_YM_Bocas4	<i>Turritopsis dohrnii</i>	Bocas del Toro, Panama
EU624350	<i>Turritopsis</i> sp. 3 MPM-2008 isolate Andalucia	<i>Turritopsis dohrnii</i>	Las Negras, Spain
EU624348	<i>Turritopsis nutricula</i> isolate WHOI_1	<i>Turritopsis dohrnii</i>	Woods Hole, MA, USA
EU624360	<i>Turritopsis dohrnii</i> isolate Japan 1	<i>Turritopsis dohrnii</i>	Okinawa, Japan
LC577883	<i>Turritopsis pacifica</i> Ibaraki-otsu-1	<i>Turritopsis pacifica</i>	Otsu, Ibaraki, Japan
EU624385	<i>Turritopsis rubra</i> isolate Tasmania	<i>Turritopsis pacifica</i>	Tasmania, Australia
AM183132	<i>Pachycordyle pusilla</i>	—	Banyuls-sur-Mer, France
AM183130	<i>Bimeria vestita</i>	—	Roscoff, France

* 印は本研究にて配列解析を実施。

公開データベース (DDBJ/EMBL/GenBank) に登録されているミトコンドリア 16S rRNA 遺伝子の部分配列データ (表 1) を使用した。まず、ClustalW (Labarga *et al.*, 2007) を用いて DNA 配列の多重アラインメントを行い、アライン領域を抽出した。進化系統樹の構築には最尤法を採用し、最適進化モデルとして選択された Tamura 3-parameter + G モデルを使用した。ブートストラップ検定は 1000 回行った。外群には、*Pachycordyle pusilla* (Motz-Kossowska, 1905) および *Bimeria vestita* (Wright, 1859) の配列データ (AM183132, AM183130) を用いた。これらの配列は石川ほか (2020) において *Turritopsis rubra* (Farquhar, 1895) の再検討に用いられた他、Miglietta (2016) においては *Turritopsis fascicularis* Fraser, 1943 の種としての妥当性および *Turritopsis* グループ内での系統的位置づけについての評価のために、Miglietta *et al.* (2019) においては *Turritopsis dohrnii* が侵入種であることの評価のために、外群として用いられている。

結果と考察

採集

採集された対象個体の多くは未成熟 (図 2, 3) であり、傘径・傘高ともに 1–1.5 mm 程度で触手の本数も 8–12 本と少なかった。一方、夏後半から秋ごろにかけては稀に成熟した個体 (図 4) も採集することができた。成熟した個体は傘径・傘高が 2–3 mm 程であり、20 本以上の触手を有していた (図 4)。成熟度に関わらず、4 本の放射

管が口柄の根元から傘縁まで傘の内側をなぞるように伸びており、口柄は黄色く、触手は傘縁に一列に並ぶ形で存在した (図 2–4)。また、傘に対して真上または真下の位置から観察すると、放射管と口柄はともに正十字を描いているように見えた (図 2, 4)。以上の特徴は、三宅・リンズィー (2013) の「ベニクラゲ属の一種 (南日本型) *Turritopsis* sp.」や、峯水ほか (2015) の「ニホンベニクラゲ」に関する説明並びに画像の情報と一致する。同時に、峯水ほか (2015) の「チチュウカイベニクラゲ」に関する記述とも一致した。これらのことから、形態観察においては「ニホンベニクラゲ」または「チチュウカイベニクラゲ」であるところまで同定が進んだ。ただし、過去の記録 (山本ほか, 2023) や本調査における分子系統解析の結果から考えると、本調査で採集した個体にチチュウカイベニクラゲが含まれる可能性は低い。したがって、本調査においては分子系統解析を経ていない対象個体も「ニホンベニクラゲ」と同定されたものとして扱った。

2024 年における採集現場の表層海水データおよびニホンベニクラゲの採集数を表 2 に示す。塩濃度はいずれの日においても 35–36 ppt とほぼ一定の値を示しており、採集数に少なくとも直接的な影響は無いことが分かる。比重においても、数値が 1.026–1.027 とほぼ一定であったため、同様のことが言える。海水温については、河村・久保田 (2005) で示されているようなニホンベニクラゲの出現期と海水温変動範囲の関連性が視えるものの、6

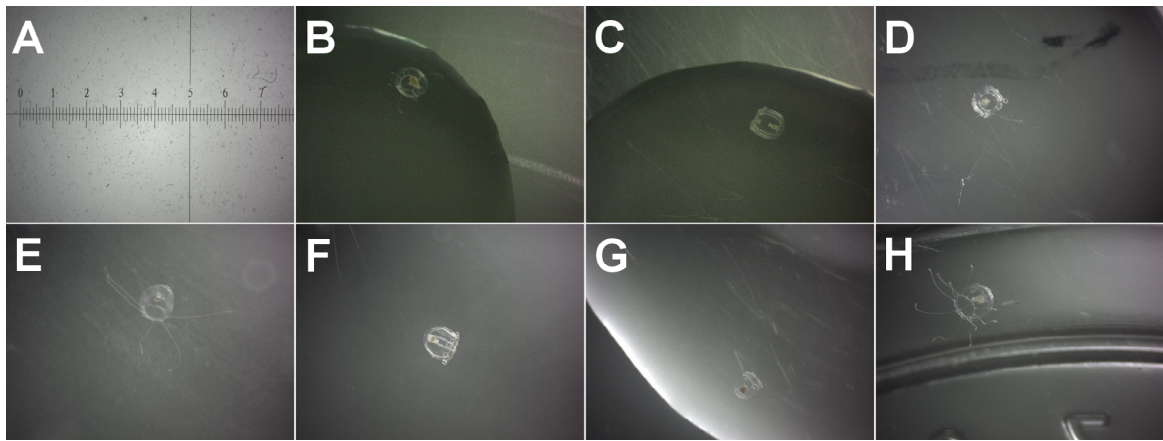


図 2. 採集されたニホンベニクラゲ (双眼実体顕微鏡) . 対象の真上の視点から撮影 . A: 目盛り = 0.1 mm; B: 20240704_b (採集日から 4 日後) ; C: 20240704_d (採集日から 4 日後) ; D: 20240726_a (採集日から 3 日後) ; E: 20240726_c (採集日から 6 日後) ; F: 20240726_a (採集日から 6 日後) ; G: 20240821_b (採集当日) ; H: 20240821_c (採集日から 9 日後) .

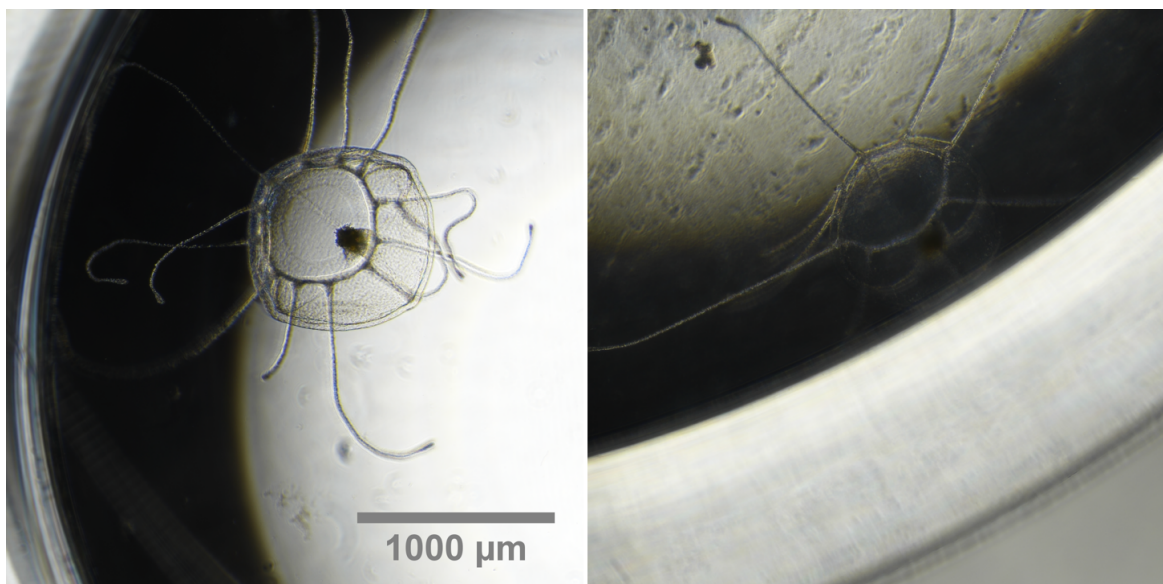


図 3. 未成熟の葉山産ニホンベニクラゲ (ECLIPSE Ti2, Nikon) . 対象の真下の視点から撮影 . 左: 20230914_k (採集日から 5 日後) ; 右: 20230619_k (採集日から 3 日後) .

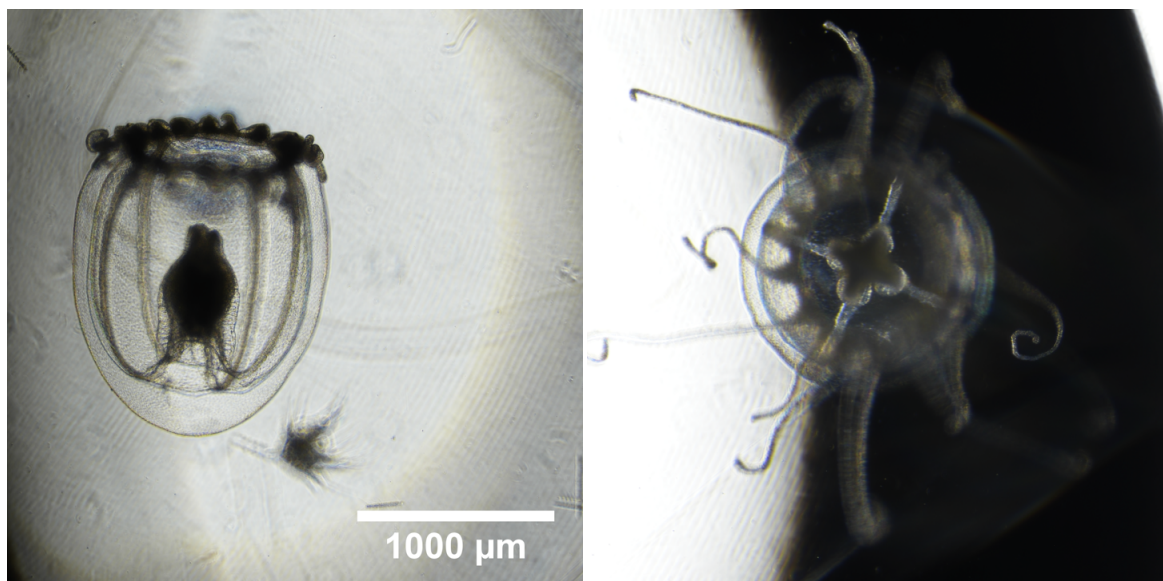


図 4. 成熟した葉山産ニホンベニクラゲ (ECLIPSE Ti2, Nikon) . 対象の真下の視点から撮影 . 左: 20230721_k (採集当日) 立面 ; 右: 20230721_k (採集当日) 平面 .

採集日	5 月 16 日	5 月 30 日	6 月 13 日	7 月 4 日	7 月 26 日	8 月 21 日
採集個体数	0	0	31	194	280	50
表層海水温 [°C]	19.4	22.9	23.2	28.6	29.2	29.6
表層海水の塩濃度 [ppt]	35	36	35	35	36	35
表層海水の比重	1.026	1.026	1.026	1.026	1.027	1.026

採集の結果、ニホンベニクラゲを10個体以上確認できた日は「10」、1-9個体確認できた日はその数、確認できなかった日は「0」を記した。不備により詳細な採集数の記録を残せなかった日は「1<」とした。

5月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日
2019年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2022年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2023年	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2024年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	

6月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	
2019年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2022年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	
2023年	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1<	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	
2024年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日
2019年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021年	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	10<	-	
2022年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	10<	-	-	-	10<	-	
2023年	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2024年	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	
8月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日
2019年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	10<	10<	-	-	10<	10<	10<	10<	10<	-	-	
2021年	-	10<	-	-	10<	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	1	-	-	10<	9	-	10<	10<	-	-	10<	
2022年	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	1<	-	-	-	-	
2023年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2024年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	
2019年	-	-	10<	10<	-	1	8	-	-	10<	-	10<	-	10<	-	10<	-	-	-	10<	-	-	-	10<	-	10<	-	8	-	-	
2021年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	10<	-	-	-	-	-	-	-	
2022年	10<	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2023年	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
2024年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10月																															
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日
2019年	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2022年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2023年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2024年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

調査期間中におけるニホンベニクラゲの採集日および採集結果を表3に示した。また、調査を行った葉山港付近の水域における海水温の変化と採集したニホンベニクラゲの採集割合を示したグラフを図5に、それぞれ示す。本調査におけるニホンベニクラゲの採集割合は、2019年8月25日の「117 ind / 100 mL」が最も多く、次いで2019年8月26日の「56 ind / 100 mL」、2022年6月30日の「51 ind / 100 mL」の順で多かった。いずれも海水温が連日0.3–0.6℃ずつ上昇または下降している日付に合致しており（図5）、採集できた個体のほとんどが未成

出現時期の変化については、同水域（相模湾内）の他

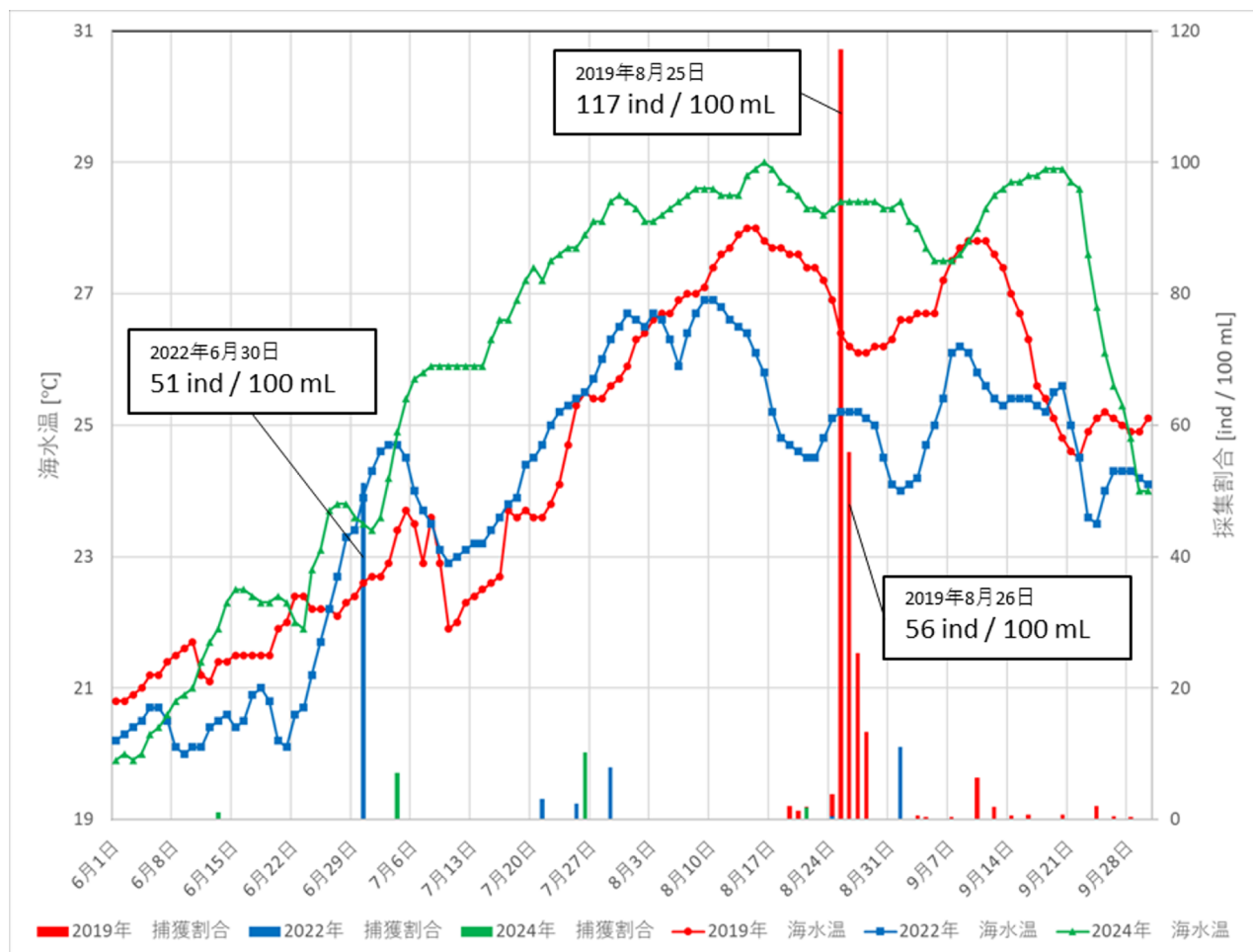


図 5. 葉山港付近の水域における海水温の変化とニホンベニクラゲ採集割合増減。海水温は日本気象株式会社 (online) にもとづく。

のクラゲ類においても報告されているが、その要因については採集回数や同定精度といった人為的な影響も無視できないとされており (山本ほか, 2023)、本研究においても同様であると考えられる。一方で、葉山港付近の水域では、調査期間の 6 月後半における温度の上昇率は年々大きくなっている他、2024 年においては確実に海水温のピークを高めており (図 5)、葉山港周辺水域におけるクラゲ類の出現時期に影響を及ぼしている可能性がある。

分子系統解析

16S rRNA 部分配列の分子系統解析により得た系統樹を図 6 に示した。ベニクラゲ類は大きく 3 つのクレードに分かれた。本研究の解析対象である葉山産と白浜産のニホンベニクラゲ (LC856757 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-1, LC856758 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-2, LC856759 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-3, LC856760 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-4, LC856761 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-5, LC856762 *Turritopsis* sp. Hayama_2024-6, LC849013 *Turritopsis* sp. Hayama_2019-1, LC856756 *Turritopsis* sp. Hayama_2018-1, LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1) は全て、*Turritopsis* sp. 2 と *Turritopsis*

sp. 4 および *Turritopsis* sp. 5 で組織されている *Turritopsis* sp. クレード (ニホンベニクラゲの属する系統) に含まれた。ニホンベニクラゲは有性生殖において卵放型であるが、保育型の *Turritopsis pacifica* や *Turritopsis rubra* が含まれる *Turritopsis pacifica* クレード (ベニクラゲの属する系統) とは早期に分岐している。*Turritopsis* sp. 1 および *Turritopsis* sp. 3 は *Turritopsis dohrnii* クレードに含まれた。*Turritopsis* sp. クレードは、生活環の逆転の起こり易さや形態的特徴、有性生殖において卵放型である点が類似した *Turritopsis dohrnii* や *Turritopsis nutricula* McCrady, 1857 (チチュウカイベニクラゲの属する系統) とともに分岐しており、独立した進化的系統を形成していると言える。

また、*Turritopsis* sp. クレード内でも分岐が見られた。葉山産の LC856757–LC856762 (*Turritopsis* sp. Hayama_2024-1–6) は、他の白浜産 *Turritopsis* sp. 2 である LC361124 および LC361125 (Kubota & Nagai, 2018) や EU624378 (Miglietta & Lessios, 2009)、鹿児島産 *Turritopsis* sp. 2 である EU624375 (Miglietta & Lessios, 2009) とブートストラップ値 98 で *Turritopsis* sp. 2 サブクレードに分類された。しかし、葉山産の LC849013 *Turritopsis* sp. Hayama_2019-1 および LC856756 *Turritopsis*

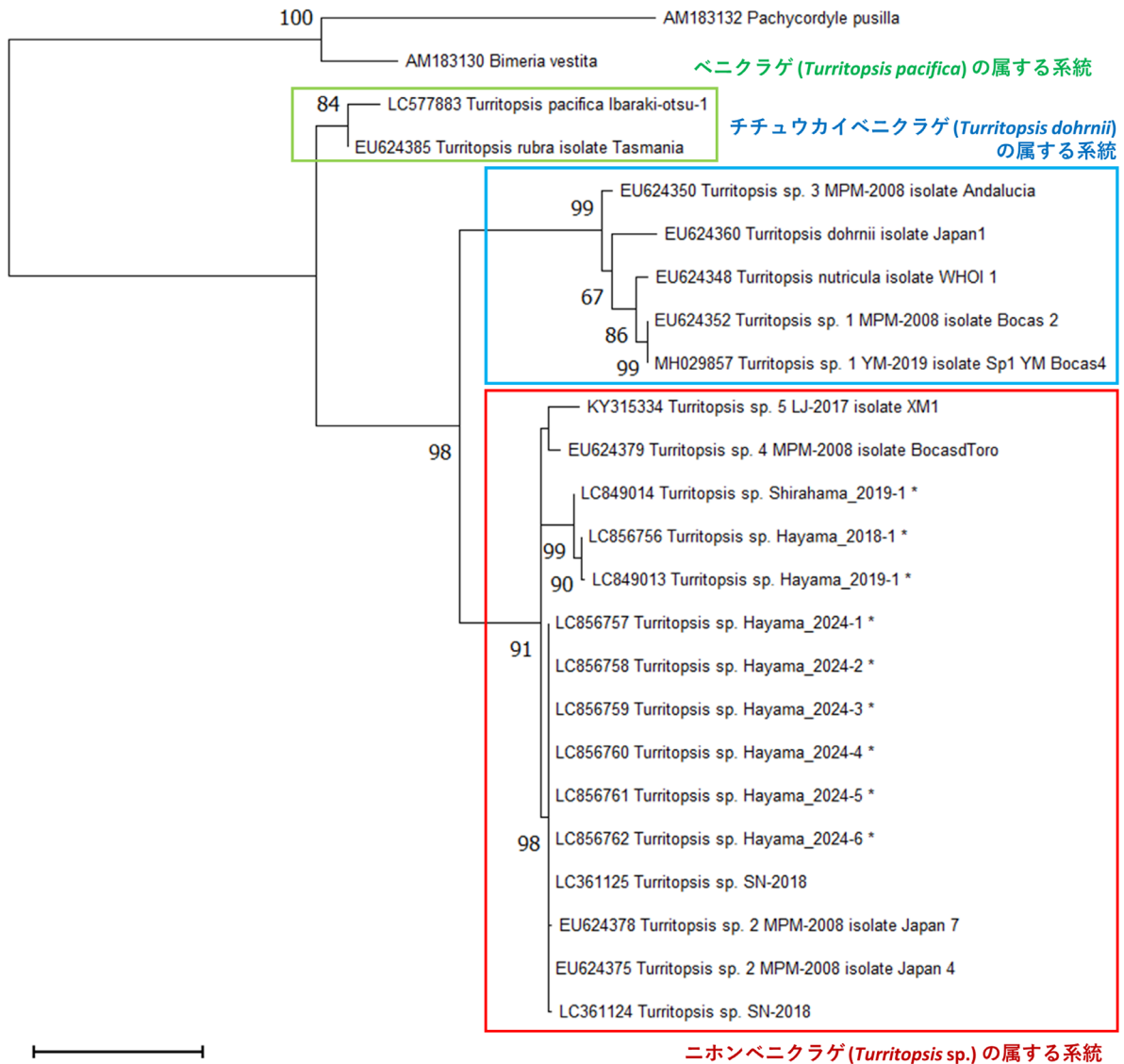


図 6. ベニクラゲ類のミトコンドリア 16s rRNA 部分配列に基づく系統樹（最尤法）。* 印は本研究にて配列解析を実施。

sp. Hayama_2018-1 と、白浜産の LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1 がブートストラップ値 99 で別のサブクレードを構成していた。これらの結果は、異なる海域から採集されたにもかかわらず遺伝的に近縁であることを示すと同時に、日本近海の *Turritopsis* sp. クレードが遺伝的に微細な違いを持つ 2 つのグループに分かれる可能性を示唆しており、これらが進化的に密接な関係にあることが確認された。

和歌山県白浜町周辺水域では *Turritopsis* sp. と *Turritopsis dohrnii* が出現することが知られており (Kuriyama *et al.*, 2021)、本研究で採集された白浜産の LC849014 *Turritopsis* sp. Shirahama_2019-1 は「ニホンベニクラゲの属する系統」に属していた。チチュウカイベニクラゲの生息域が北上している可能性が挙げられている (Kuriyama *et al.*, 2021) ことから、葉山港においても引き続きベニクラゲ類の調査を継続する。

謝辞

本研究に先立つ予備調査は、公益財団法人農芸化学研究奨励会第 45 回研究奨励金の助成研究の一環で実施した。葉山港におけるベニクラゲ類採集では、葉山港港湾管理事務所による港湾施設立入の許可ならびに設備利用に関する協力をいただいた。ベニクラゲ再生生物学体験研究所の北田博一氏には、ベニクラゲ類採集や飼育に関して多大なご協力をいただいた。

引用文献

- 足立 文・崎山直夫・北田 貢・久保田 信, 2003. 江の島湘南港およびその周辺に出現する水母類— III. 神奈川自然誌資料, (24): 21–24.
- 築地新光子・久保田 信, 2003. 日本で初めて確認されたベニクラゲ (刺胞動物門, 花クラゲ目) の若返りとその後のポリプ群体の成長. 南紀生物, (45): 13–14.

- Devarapalli, P., R. N. Kumavath, D. Barh & V. Azevedo, 2014. The conserved mitochondrial gene distribution in relatives of *Turritopsis nutricula*, an immortal jellyfish. *Bioinformation*, **10**(9): 586–591.
- Ender, A. & B. Schierwater, 2003. Placozoa are not derived Cnidarians: evidence from molecular morphology. *Molecular Biology and Evolution*, **20**(1), 130–134.
- Hasegawa, Y., T. Watanabe, M. Takazawa, O. Ohara, S. Kubota, 2016. De novo assembly of the transcriptome of *Turritopsis*, a jellyfish that repeatedly rejuvenates. *Zoological Science*, **33**(4): 366–371.
- 寶保和尚・楠 耕希・井出光希・上田果歩・市井悠葵・亀卦川 樹・久保田 信・向井有理, 2018. 神奈川県葉山港で採集されたニホンベニクラゲ(ヒドロ虫綱、花クラゲ目)の未成熟クラゲ. 日本生物地理学会会報, (73): 205–209.
- 石川 舜・栗山眞由・三宅裕志・久保田 信, 2020. 日本産ベニクラゲの分類学的再検討. 日本生物地理学会会報, (75): 62–70.
- 河村真理子・久保田 信, 2005. 和歌山県田辺湾におけるベニクラゲ(ヒドロ虫綱, 花クラゲ目)のクラゲ世代の季節消長. 日本生物地理学会会報, (60): 25–30.
- Kubota, S., 2005. Distinction of two morphotypes of *Turritopsis nutricula medusae* (Cnidaria, Hydrozoa, Anthomedusae) in Japan, with reference to their different abilities to revert to the hydroid stage and their distinct geographical distributions. *Biogeography*, **7**: 41–50.
- 久保田 信, 2010. ベニクラゲ(刺胞動物門, ヒドロ虫綱)の不老不死の生活史. 海洋化学研究, (23): 20–28.
- 久保田 信, 2013. 日本産3種のベニクラゲ(ヒドロ虫綱, 花クラゲ目)の若返り率の相違. 日本生物地理学会会報, (68): 139–142.
- Kubota, S. & S. Nagai, 2018. 16S Mitochondrial gene sequence analysis of some *Turritopsis* (Hydrozoa, Oceanidae) from Japan and abroad. *Kuroshio Biosphere*, **14**: 1–6.
- Kuriyama, M., H. Miyake, S. Toshino & S. Kubota, 2021. First record of an immortal jellyfish, *Turritopsis dohrnii* (Weismann, 1883) from Tanabe Bay, Wakayama, Japan. *Biogeography*, **23**: 62–66.
- Labarga A., F. Valentin, M. Anderson, R. Lopez, 2007. Web services at the European bioinformatics institute. *Nucleic Acids Research*, **35**(web server issue): W6–W11.
- Matsumoto, Y., S. Piraino & M. P. Miglietta, 2019. Transcriptome characterization of reverse development in *Turritopsis dohrnii* (Hydrozoa, Cnidaria). *G3 (Bethesda)*, **9**(12): 4127–4138.
- Miglietta, M. P., 2016. *Turritopsis fascicularis* Fraser, 1943 (Cnidaria: Hydrozoa): redescription and discussion of its phylogenetic position within the genus. *Zootaxa*, **4097**(3): 426–433.
- Miglietta, M. P. & H. A. Lessios, 2009. A silent invasion. *Biological Invasions*, **11**: 825–834.
- Miglietta, M. P., D. Maggioni & Y. Matsumoto, 2019. Phylogenetics and species delimitation of two hydrozoa (phylum Cnidaria): *Turritopsis* (McCraday, 1857) and *Pennaria* (Goldfuss, 1820). *Marine Biodiversity*, **49**: 1085–1100.
- 峯水 亮・久保田 信・平野弥生・リンズイー (D. J. Lindsay), 2015. 日本クラゲ大図鑑. 358 pp. 平凡社, 東京.
- 三宅裕志・リンズイー (D. J. Lindsay), 2013. 最新 クラゲ図鑑 110 種のクラゲの不思議な生態. 128 pp. 誠文堂新光社, 東京.
- 日本気象株式会社, online. お天気ナビゲータ <https://s.n-kishou.co.jp/w/> (accessed on 2024-October-31)
- Tamura, K., G. Stecher, S. Kumar, 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, **38**(7): 3022–3027.
- 山本 岳・足立 文・櫻井 徹・唐亀正直・笠川宏子・水村由美・小森沙耶, 2023. 相模湾江の島周辺水域のクラゲ相とその季節的变化. 神奈川自然誌資料, (44): 43–51.
- Zheng, L., J. He, Y. Lin, W. Cao & W. Zhang, 2014. 16S rRNA is a better choice than COI for DNA barcoding hydrozoans in the coastal waters of China. *Acta Oceanologica Sinica*, **33**: 55–76.

井村勇貴・岩倉翔吾・向井有理：明治大学大学院理工学研究科電気工学専攻；近藤正博・向井有理：明治大学理工学部電気電子生命学科；久保田 信：ベニクラゲ再生生物学体験研究所

(受領 2024 年 10 月 31 日;受理 2025 年 2 月 12 日)