

1997年から2010年にかけて香川県沿岸の瀬戸内海で漁獲されたヒラメにおける単生類 *Neoheterobothrium hirame* の寄生動態

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者名	山本,昌幸 長野,泰三 牧野,弘靖 植田,豊 中山,博志 安部,昌明 一色,正
発行元	日本水産學會
巻/号	77巻5号
掲載ページ	p. 862-870
発行年月	2011年9月

1997年から2010年にかけて香川県沿岸の瀬戸内海で漁獲された ヒラメにおける単生類 *Neoheterobothrium hirame* の寄生動態

山本昌幸,^{1*} 長野泰三,¹ 牧野弘靖,^{1a} 植田 豊,^{1a}
中山博志,^{1a} 安部昌明,¹ 一色 正²

(2011年2月18日受付, 2011年6月27日受理)

¹香川県水産試験場, ²三重大学大学院生物資源学研究所

Infection dynamics of *Neoheterobothrium hirame* (Monogenea) on Japanese flounder
Paralichthys olivaceus caught in the central Seto Inland Sea off Kagawa Prefecture,
western Japan, from 1997 to 2010

MASAYUKI YAMAMOTO,¹ TAIZOU NAGANO,¹ HIROYASU MAKINO,^{1a} YUTAKA UETA,^{1a}
HIROSHI NAKAYAMA,^{1a} MASA AKI ABE¹ AND TADASHI ISSHIKI²

¹Kagawa Prefectural Fisheries Experiment Station, Takamatsu, Kagawa 761-0111, ²Graduate School of
Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

Natural infections of adult *Neoheterobothrium hirame*, a haematophagous monogenean parasite, on Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the central Seto Inland Sea off Kagawa Prefecture, Japan, were monitored from 1997 to 2010. *N. hirame* was found for the first time in the survey area in 1998, and the prevalence rapidly increased annually, reaching a peak level of 52.4% in 2000, then remained at the high level until 2005, and subsequently suffered a sharp and constant decline until 2010. Occurrences of severely anemic fish were rare and condition factors of the affected fish were not related to *N. hirame* infection. Whereas the prevalence and intensity of the parasite were statistically irrelevant to the sex or age of the host, they were significantly higher in winter and spring than in summer and fall, indicating a seasonal fluctuation. The prevalence and intensity in the survey area were lower than those reported in the western sea of Japan, which might be affected by environmental factors and biological features of Japanese flounder in this area, including drastic seasonal changes of the water temperature, higher than 25°C in summer and lower than 10°C in winter, and differences in their habitat in the Seto Inland Sea between 0-year-old naïve fish and one- to two-year-old infected fish.

キーワード : *Neoheterobothrium hirame*, *Paralichthys olivaceus*, 海水温, 瀬戸内海, 単生類, ヒラメ, 貧血

近年の国際化や輸送技術の発達によって、諸外国の水生物が生きたまま流通する量が飛躍的に増加した。流通の増加や多様化に防疫体制が追いつかず、ハダムシ類の *Neobenedenia girellae* やナマズ腹口吸虫 *Parabucephalopsis parasiluri* などの非固有な寄生虫が侵入することが問題となっている。^{1,2)} 侵入した寄生虫は宿主を介して広がり、その宿主の資源に影響を与える。寄生虫の侵入から、どのくらいの速さで寄生虫が広がり、その新しい環境に適応するのか、また、寄生虫が宿主の資源にどれくらい影響を与えるのかを知ることは、魚介類の防疫や

資源管理などにとって、非常に重要である。

1990年代中頃から、わが国の沿岸海域で漁獲されるヒラメ *Paralichthys olivaceus* に強度の貧血を主徴とする疾病が発生するようになった。^{3,4)} その後の研究によって、この貧血はヒラメの鰓や口腔壁に寄生する単生類ネオヘテロボツリウム *Neoheterobothrium hirame* の吸血によって引き起こされることが明らかにされた。^{5,6)} さらに、遺伝子解析の結果から、*N. hirame* は北米のサザンフラウンダー *P. lethostigma* に寄生する同属未同定種が起源であることが明らかとなった。⁷⁾ 日本沿岸域におい

* Tel : 81-87-843-6511. Fax : 81-87-841-8133. Email : ky0554@pref.kagawa.lg.jp

^a 現所属 : 香川県水産課 (Fisheries Division, Kagawa Prefectural Government, Takamatsu, Kagawa 760-8570, Japan)

て *N. hirame* の出現が確認された最も古い記録は、1993年に新潟沖で漁獲されたヒラメにおける寄生であり、⁸⁾その後、*N. hirame* は日本各地および韓国沿岸域へその寄生域を拡大させたことが確認されている。^{4,9)}

N. hirame の寄生がヒラメ資源に与える影響については、日本の各地で調査されているが、地域によって異なる調査結果が得られている。日本海西部の鳥取県沿岸においては、*N. hirame* が出現した1996年以降にヒラメの漁獲尾数は減少を続け、2000年にはピーク時の10分の1にまで落ち込んだと報告されている。⁴⁾そして、この漁獲量減少の主因は *N. hirame* が、8月下旬以降に0歳魚に多く寄生したためと考えられている。¹⁰⁾しかしながら、太平洋常磐域では1997年に *N. hirame* が確認されたものの、漁獲量の急激な減少はなかったと報告されている。^{11,12)} Shirakashi ら¹³⁾は、日本海の福井県小浜湾と太平洋の岩手県宮古湾で *N. hirame* の寄生動態を調べ、水温の変動や当歳魚の漁場への加入時期などによって、寄生動態に地域差があることを明らかにした。瀬戸内海においてヒラメは重要な漁獲物であり、資源増大のため多くの稚魚を放流しているにもかかわらず、*N. hirame* の寄生動態の詳細な報告はない。瀬戸内海のヒラメ資源は1990年代後半より減少傾向となり、2010年の資源評価で資源水準が中位となった。¹⁴⁾しかしながら、2000年代後半の漁獲量が1980年以前の漁獲量の2倍以上あることから、依然として高い水準を維持していると考えられる。

本研究では、瀬戸内海のヒラメにおける *N. hirame* の寄生動態とヒラメ資源への影響を明らかにするために、香川県沿岸域で1997年～2010年に漁獲されたヒラメにおける *N. hirame* の寄生状況の年変動と季節変動を調べ、寄生動態と水温の関係や寄生レベルについて議論した。

材料と方法

標本の採集 *N. hirame* の寄生状況の年変動をみるため、1997年～2010年の3月～6月に瀬戸内海燧灘東部において、香川県の観音寺漁業協同組合（以下、漁業協同組合は「漁協」と称す）、仁尾町漁協、西詫間漁協の小型定置網と小型底びき網で漁獲された計1,761尾（73～271尾/年）を供試魚とした（Fig. 1, Table 1）。さらに、*N. hirame* の寄生状況の季節変動をみるための検体は、2007年1月～2008年5月に瀬戸内海備讃瀬戸において、主に小型底びき網で漁獲され、坂出魚市場株式会社と庵治漁協魚市場に水揚げされた計1,349尾とした（Table 2）。このうち、2002年以降の西詫間漁協の検体の大部分（計843尾；Table 1）は、鰓の色やヘマトクリット Ht の測定のため、水揚げ後、約2時間かけて活かした状態で実験室に持ち帰り、測定に供試した。それ以外の検体は水揚げ後、冷凍して後日測定に供試した。

標本の計測および *N. hirame* の計数 供試魚は、全長 TL (mm)、標準体長 SL (mm)、体重 BW (g) を測

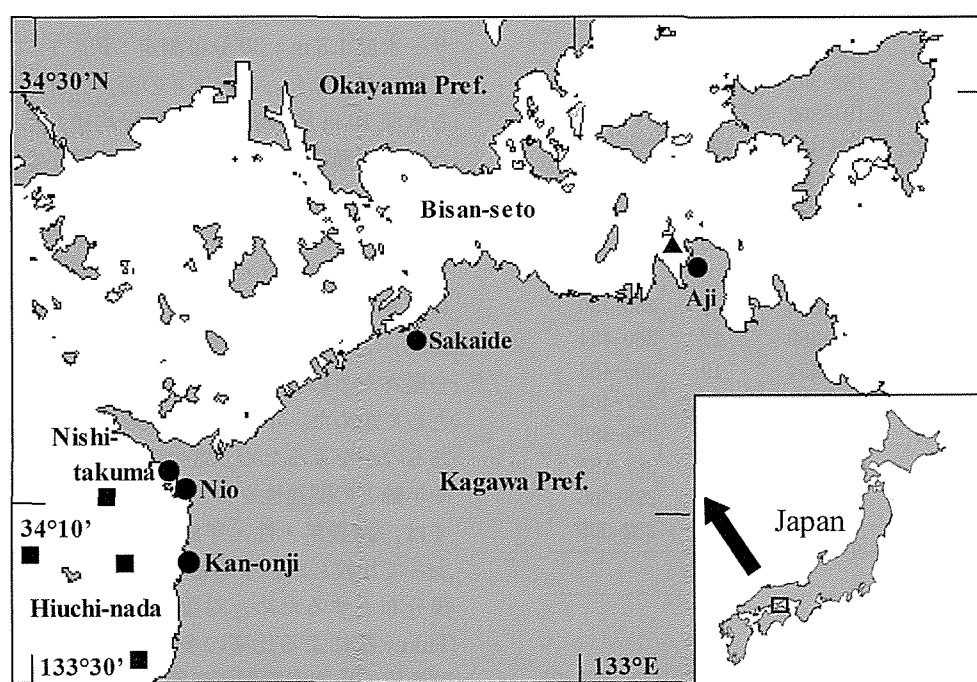


Fig. 1 Map of Kagawa Prefecture, Japan. The black circles, and squares and triangle show the sampling markets for Japanese flounder, and the monthly and daily monitoring points for water temperature, respectively.

Table 1 Number and range in total length of Japanese flounder collected by set-net or trawl from 1997 to 2010 in Hiuchi-nada for annual analysis of the infection dynamics of adult *Neohetebothrium hirame*

Year	Area	Gear	n (live fish)	Total length (mm)
1997	Nishi-takuma	set-net	77	230-674
	Nishi-takuma	trawl	2	506, 710
	Kan-onji	trawl	98	164-548
	Nio	set-net	39	230-623
1998	Nishi-takuma	set-net	27	247-558
	Nishi-takuma	trawl	48	234-598
	Kan-onji	trawl	6	348-458
1999	Nishi-takuma	set-net	271	254-777
2000	Nishi-takuma	set-net	229	216-671
2001	Nishi-takuma	set-net	114	258-725
2002	Nishi-takuma	set-net	73(67)	235-737
2003	Nishi-takuma	set-net	118(117)	261-617
2004	Nishi-takuma	set-net	90(90)	267-690
2005	Nishi-takuma	set-net	101(101)	265-652
2006	Nishi-takuma	set-net	90(90)	272-722
2007	Nishi-takuma	set-net	86(86)	259-730
2008	Nishi-takuma	set-net	87(87)	324-747
2009	Nishi-takuma	set-net	106(106)	293-688
2010	Nishi-takuma	set-net	99(99)	251-613
			1,761(843)	164-777

Table 2 Number and range in total length of Japanese flounder collected by trawl-nets from January 2007 to May 2008 in Bisan-seto for seasonal analysis of the infection dynamics of adult *Neohetebothrium hirame*

Month	Sakaide		Aji	
	n	TL (mm)	n	TL (mm)
January 2007	44	180-293	49	280-540
February	55	193-335	24	320-476
March	52	182-302	15	289-465
April	107	191-362	90	242-560
May	106	199-420	104	206-458
June	115	190-502	51	231-473
July	48	205-352	8	270-345
August	32	232-449	0	
September	30	199-433	0	
October	11	222-355	6	280-450
November	27	232-389	27	280-424
December	12	227-454	19	305-485
January 2008	63	213-411	43	287-404
February	27	204-366	11	289-386
March	35	188-448	5	307-383
April	70	200-570	50	298-506
May	3	350-410	10	282-505
Total	837		512	

定し, 生殖腺の肉眼観察によって性を判別した。その後, 耳石(扁平石)を摘出し, 表面観察法¹⁵⁾によって年齢を査定した。なお, 誕生日は便宜上1月1日とし

た。本研究では, 香川県沿岸域で放流されているヒラメ人工種苗の多くが色素異常魚でないため(香川水試 未発表), 無眼側の黒色素の有無による天然魚と放流魚(人工種苗)の区別を行わなかった。肥満度CFは, $CF = BW/SL^3 \times 10^5$ で算出した。*N. hirame*の成虫はヒラメの口腔壁に寄生するため, 頭部を解剖し, 口腔や咽喉付近を中心に肉眼で観察し, ピンセットで成虫を採取して計数した。

貧血の判定と血液学的検査 貧血の程度を判定するため, 2002~2010年に西詫間漁協の小型定置網で漁獲され, 活かした状態で実験室に搬入された供試魚843尾(Table 1)について, 6色鰓色見板によって,³⁾ヒラメの鰓色を「1」~「6」の6段階に区別した。虫明ら³⁾によれば, 貧血の指標とされるヘモグロビンHbは, 鰓色の番号が大きくなるほど減少する傾向があり, 鰓色が「1」と「2」のほとんどの個体がHb 3 g/dL以上である一方, 鰓色「5」と「6」のほとんどの個体が貧血と判定されるHb 3 g/dL未満の値を示すとされている。そこで, 本研究では鰓色「5」と「6」を貧血魚と見なした。2002年の供試魚67尾については, 尾部血管から注射器を用いて約1 mL採血し, 直ちにマイクロヘマトクリット管を用いた遠心法によるHtの測定を行った。

海水温 *N. hirame*の寄生状況の年変動と海洋環境との関係を見るための海水温は, 浅海定線調査で毎月測定された1997年1月~2010年12月までの燧灘東部4点の底層(水深: 約25 m; Fig. 1)の平均海水温を用いた。また, 寄生状況の季節変動と海水温の関係については, 供試魚を採集した備讃瀬戸にある水温ブイ(センサー水深1.5 m; 30分毎測定; Fig. 1)の日平均海水温を用いた。なお, このブイの海水温は, 備讃瀬戸における水深10 m層の海水温の日平均値を示しており,¹⁶⁾また, 備讃瀬戸は潮流が速く温度躍層がないことから, 備讃瀬戸の底層の海水温として扱うこととした。

データの分析 寄生率(prevalence, %)は, (被寄生魚数/調査魚数)×100で算出した。調査魚の各個体から見出された寄生虫体数を寄生数(Number of parasites)とし, 寄生を受けていない魚を除いた被寄生魚一尾あたりの寄生数を平均寄生強度(mean intensity)として求めた。年齢や性によって寄生虫の感染に違いがあるのかをみるため, 寄生率については寄生の有無の性や年齢との関連性をカイ二乗検定, 平均寄生強度については, 調査年・性・年齢の3要因について分散分析によって比較した。平均寄生強度については, データを正規分布とするため, 対数変換した。寄生率の年変動はTukey法による比率の多重比較によって調べた。西詫間漁協の小型定置網で漁獲された供試魚における鰓色と寄生数, 鰓色とHtおよび肥満度と寄生数の関係はSpearmanの順位相関係数検定によって調べた。季節変

動を調べるため、1年を春（3月～5月）、夏（6月～8月）、秋（9月～11月）、冬（12月～2月）に区分した。寄生率と平均寄生強度の季節間の差は、それぞれ、Tukeyの比率の多重比較とSteel-Dwassの多重比較によって検定した。

結 果

N. hirame の寄生の年変動 宿主の年齢および性によって調査年別の寄生率に違いがあるのかどうかを解析した結果はTable 3に示すとおりであり、*N. hirame* の寄生率と性や年齢には関連が認められなかった。このため、本研究では性や年齢の区別をせずに、寄生率の年変動の解析を行った。1997年～2010年にかけて香川県沿岸燧灘東部において漁獲されたヒラメにおける*N. hirame*の年別の寄生率と平均寄生強度および海水温をFig. 2、寄生率の年変動に関する解析結果をTable 4、ならびに調査年・性・年齢の3要因と平均寄生強度との関連性に関する解析結果をTable 5にそれぞれ示す。

N. hirame は1997年に調査した216尾のヒラメからは確認されなかったが、1998年に西詔間漁協の小型定置網で漁獲された2歳魚のヒラメ1尾から初めて1個体確認された（寄生率：1.2%）。それ以降、*N. hirame* の寄生は毎年確認され、その寄生率は1999年に急増して2000年には52.4%となり、2001年にやや減少したものの、その後は再び増加傾向に転じ、2005年まで高い値が維持された。しかし、2006年には再び減少した後、2007年を除いて低い値で推移し、2010年には1998年とほぼ同じレベルにまで低下した。

1997年1月～2010年12月の燧灘東部の底層の海水温は、9.2～27.1℃の範囲で変動した。冬期から春期の海水温の偏差をみると、2003年と2006年の1月～5月の海水温は低く、一方、1999年と2007年の1月～3月の海水温は高かった。夏期の海水温は2002年、2004年および2007年で高く推移した。

一方、1998年～2010年における年別の平均寄生強度は、1.0～6.9で推移した。しかし、調査年・性・年齢の

Table 3 Test of mutual independence in a three-dimensional contingency on prevalence of adult *Neoheterobothrium hirame* to examine whether the parasite was observed or not in the buccal cavity wall of male/female Japanese flounder for each age-class from 1997 to 2010 in Hiuchi-nada

Year	Parasite	Male				Female				* χ^2
		age : 1	2	3	≥4	1	2	3	≥4	
1998	uninfected	8	34	2		4	23	9		1.10 ^{ns}
	infected	0	1	0		0	0	0		
1999	uninfected	17	37	13	3	11	70	32	10	5.75 ^{ns}
	infected	6	10	4	0	4	34	18	2	
2000	uninfected	10	20	11	2	7	47	10	2	7.59 ^{ns}
	infected	14	33	13	0	8	46	5	1	
2001	uninfected	14	28	2		2	23	8	5	5.71 ^{ns}
	infected	1	13	1		0	12	4	1	
2002	uninfected	10	12	2	0	2	6	8	9	12.88 ^{ns}
	infected	4	3	1	1	1	9	5	0	
2003	uninfected	9	20	4		3	25	9	1	1.10 ^{ns}
	infected	4	14	4		2	15	7	1	
2004	uninfected	5	13	6	1	2	15	4	2	5.84 ^{ns}
	infected	9	13	2	0	1	10	6	1	
2005	uninfected	2	29	1		1	21	5	1	3.73 ^{ns}
	infected	2	15	1		0	19	2	2	
2006	uninfected	6	16	6	1	6	18	17	6	2.79 ^{ns}
	infected	1	2	2	0	1	5	3	0	
2007	uninfected	11	15			8	21		1	4.90 ^{ns}
	infected	4	13			1	12		0	
2008	uninfected		33	3			27	9	1	4.50 ^{ns}
	infected		4	0			8	1	1	
2009	uninfected	2	22	5	3		24	24	11	3.67 ^{ns}
	infected	1	5	1	0		4	4	0	
2010	uninfected	3	22	8	4	2	32	12	7	3.66 ^{ns}
	infected	0	2	1	0	0	2	3	1	

ns: not significantly different

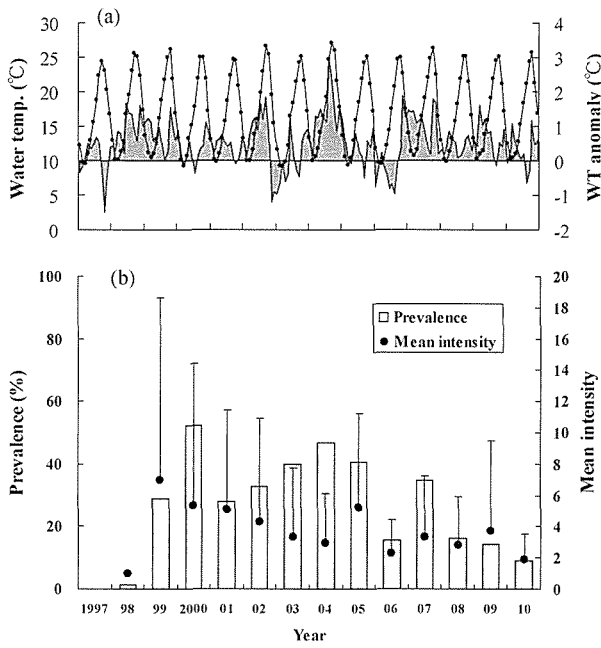


Fig. 2 (a) Temporal changes in bottom water temperature (line graph) and the temperature anomaly (shaded area), and (b) annual prevalence and mean intensity of adult *Neoheterobothrium hirame* infection of Japanese flounder collected from 1997 to 2010 in Hiuchi-nada. The water temperature is represented by the monthly average of four monitoring points (approximately 25 m in depth) in Hiuchi-nada shown in Fig. 1. The monthly averaged data from 1973 to 2002 were used to determine the anomaly. Vertical bars in the bottom graph indicate standard deviations of the mean.

3 要因と平均寄生強度との関連性を解析した結果, 有意差は認められず, 平均寄生強度の調査年間の差はないものと判断された。なお, Fig. 2 には示していないが, 年ごとに被寄生魚 1 尾あたりの寄生虫体数の最高値をみると, 1999 年, 2000 年および 2001 年にそれぞれ 57 虫体, 62 虫体および 46 虫体であったが, 2002 年以降は 14~32 虫体となり, さらに寄生率が低くなった 2006 年以降は 6~24 虫体となった。また, 被寄生魚 1 尾あたりの寄生虫体数の中央値は 1999 年と 2005 年が 3 で, それ以外の年は 1 または 2 であった。

貧血魚の出現率 2002 年~2010 年に調査したヒラメの鰓色を 6 色鰓色見板との対比によって判定した結果を Fig. 3 に示す。貧血と見なした鰓色「5」と「6」を呈するヒラメは 2002 年~2004 年に各 1 尾出現し, その割合は 0.9~1.5% であった。また, 2005 年~2010

Table 5 Result of a three-way analysis of variance (ANOVA) in intensity of adult *Neoheterobothrium hirame* infection of Japanese flounder from 1998 to 2010 in Hiuchi-nada

Source of variation	df	SS	F-value	P
year	12	3.701	1.6591	0.07
sex	1	0.002	0.0131	0.91
age	3	1.080	1.9361	0.12
year × age	11	0.795	0.3886	0.96
year × sex	27	2.861	0.5702	0.96
sex × age	2	0.036	0.0956	0.91
year × sex × age	15	3.168	1.1361	0.32
residual	395	73.420		

Analyzed data are logarithm transformed.

Table 4 Comparison of prevalence of adult *Neoheterobothrium hirame* infection of Japanese flounder among the years from 1997 to 2010 in Hiuchi-nada by Tukey multiple comparison test for proportion

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1997	—	NS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1998	—	—	*	*	*	*	*	*	*	NS	*	NS	NS	NS
1999	—	—	—	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
2000	—	—	—	—	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	*	*
2001	—	—	—	—	—	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
2002	—	—	—	—	—	—	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
2003	—	—	—	—	—	—	—	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
2004	—	—	—	—	—	—	—	—	NS	*	NS	*	*	*
2005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*	NS	*	*	*
2006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	NS	NS	NS	NS
2007	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	NS	*	*
2008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	NS	NS
2009	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	NS
2010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* : significant difference ($p < 0.05$); NS: not significantly different

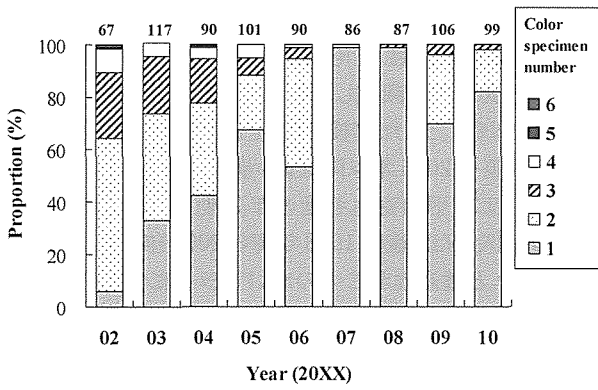


Fig. 3 Annual changes in composition of gill color level of Japanese flounder collected from 2002 to 2010 in Hiuch-nada. The gill color level represents color specimen number used as an indicator of the anemic condition of Japanese flounder as follows: color specimen number of 1 to 6 corresponds to gill color from dark red to white. The number on the top of each bar shows the number of fish examined.

年には、鰓色「5」と「6」の個体は観察されなかった。一方、鰓色が「1」と「2」の個体の割合は2002年に64.2%であったが、その後増加して、2005年には88.1%となり、2006年～2010年には94.4%以上となった。鰓色と寄生数の関係を見ると、両者には有意な正の相関が認められた ($rs=0.18, p<0.01, n=843$)。Ht 値は10～58%となり、平均値は36.5%であった ($n=67$)。そして、鰓色とHt 値の間には、有意な負の相関が認められた ($rs=-0.33, p<0.01$)。

肥満度と寄生数の関係 1997年～2010年に西詫間漁協の樹網で漁獲されたヒラメにおける年齢別に区分した寄生数と肥満度との関係を Fig. 4 に示す。年齢と肥満度との間には有意な相関が認められることから (Spearman's correlation coefficient by rank test, $rs=0.23, p<0.01, n=1568$)、年齢別に肥満度と寄生数との関係を Spearman の順位相関係数で検定した。その結果、1歳、2歳、3歳および4歳以上のすべての年齢群で有意な関係は認められなかった。肥満度 (y) と寄生数 (x) との関係を直線回帰式で表したときの切片、つまり、寄生虫に感染していないヒラメの肥満度の推定値は、1歳、2歳、3歳および4歳以上で、それぞれ1.66、1.76、1.80および1.85となった。

***N. hirame* の寄生の季節変動** 2007年1月～2008年5月にかけて瀬戸内海の香川県沿岸備讃瀬戸において漁獲されたヒラメにおける *N. hirame* の月別の寄生率と平均寄生強度および海水温を Fig. 5、ならびに寄生率と平均寄生強度に関する季節間変動の解析結果を Table 6 にそれぞれ示す。寄生率は2007年1月～4月において40%程度および5月～8月において30%程度で推移した

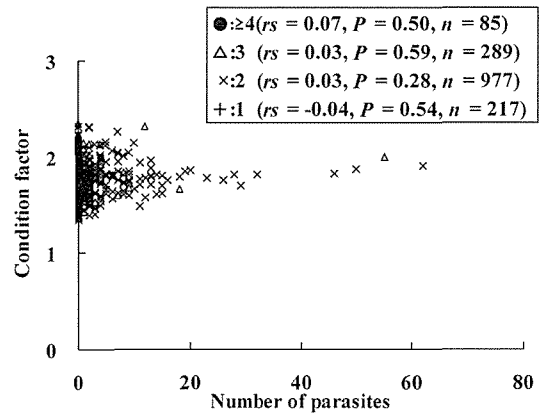


Fig. 4 The relationship between the number of adult *Neoheterobothrium hirame* and the condition factor for each age class of Japanese flounder collected from 1997 to 2010 in Hiuch-nada. The + marks, x marks, open triangles and black circles represent 1-year-old, 2-year-old, 3-year-old and ≥ 4 -year-old flounder individuals, respectively.

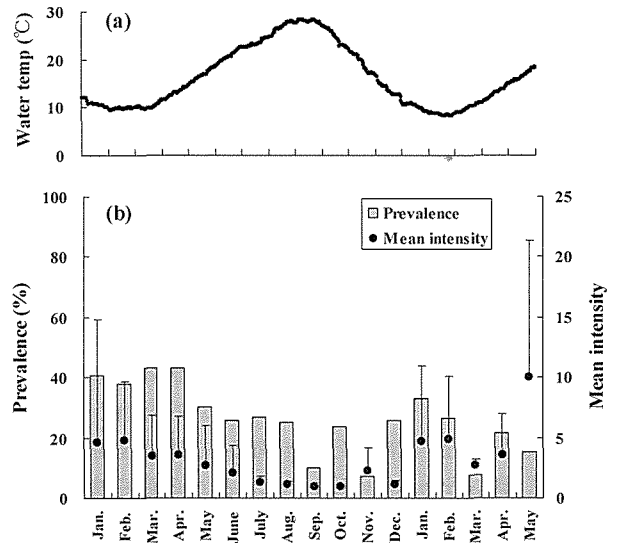


Fig. 5 (a) Daily changes in water temperature and (b) monthly changes in prevalence and mean intensity of adult *Neoheterobothrium hirame* infection of Japanese flounder collected from January 2007 to May 2008 in Bisan-seto. The water temperature was represented by the daily average of a monitoring point (1.5 m in depth) in Bisan-seto shown in Fig. 1. Vertical bars in the bottom graph indicate standard deviations of the mean.

が、9月と11月には10%程度にまで減少した。その後、12月には再び増加したが、2008年1月～5月においては2007年よりもやや低い値(7.5～33.0%)で推移した。平均寄生強度は1～10の範囲で変動し、検体数の最も少なかった2008年5月を除いて、寄生率とほぼ同様な季節変動を示した。季節ごとの寄生状況を比較すると、

Table 6 Comparison of prevalence and intensity of adult *Neoheteobothrium hirame* infection of Japanese flounder among seasons from January 2007 to May 2008 in Bisan-seto by Tukey multiple comparison test for proportion and a nonparametric multiple comparison Steel-Dwass test, respectively

Intensity prevalence	Spring	Summer	Fall	Winter
spring	—	NS	*	NS
summer	*	—	*	NS
fall	*	NS	—	*
winter	NS	*	*	—

* : significant difference ($p < 0.05$)

NS: not significantly different

秋(9月~11月)の寄生率は他の季節に比べて有意に低く($p < 0.05$), 平均寄生強度は春(3月~5月)と冬(12月~2月)の方が夏(6月~8月)と秋に比べて有意に高かった($p < 0.05$)。

2007年1月~2008年5月の備讃瀬戸の海水温は, 8.3~28.2°Cの範囲で変動した。2007年の夏期に25°C以上となったのは71日間であったが, 10°C以下となったのは2007年が45日間, 2008年が56日間であった。

寄生状況の海域差をみるため, 2007年4月~6月に燧灘東部と備讃瀬戸で採集されたヒラメの寄生率と寄生強度を, それぞれカイ二乗検定とMann-Whitney's U-testで検定した結果, 両者ともに有意差は認められなかった。また, 燧灘東部と備讃瀬戸の春の寄生率はいずれも2007年(約35%)より2008年の方(約15%)が低かった。

考 察

1997年~2010年における年別の調査結果を解析したところ, *N. hirame*は1998年には瀬戸内海中央部に侵入していたことが明らかとなった。これまでのところ, 1997年以前に香川県沿岸域において*N. hirame*が確認された記録は見あたらない。さらに, 本研究において1997年には, 寄生率の高い4月~5月に様々なサイズのヒラメについて, 十分な検体数を観察したが, *N. hirame*は確認されなかったこと, *N. hirame*を発見した翌年の1999年に寄生率, 平均寄生強度ともに大幅に増加したこと, および四国西部において1998年1月に*N. hirame*の感染が確認されていることから,⁴⁾ *N. hirame*は1997年の春から翌春の間に香川県沿岸域へ侵入してきたものと考えられる。少なくとも, 1997年以前には, *N. hirame*の寄生によるヒラメ資源への影響がなかったことは明らかである。

香川県沿岸域における*N. hirame*の寄生率は, 感染が確認された1998年から2000年にかけて急激に増加し, 2005年まで同様な高い値が維持され, 2006年に減少し

た後, 2007年を除いて20%以下の低い値で推移した。平均寄生強度に関しても, 1998年から1999年に急増した後, 少しずつ減少して, 2006年以降には低い値で推移していた。また, 被寄生魚1尾あたりの寄生虫体数の最高値も2006年以降は低い値となった。これらの寄生率および平均寄生強度の年変動の結果は, *N. hirame*が侵入した直後の1998年から2001年にかけては, *N. hirame*と遭遇したことの無いヒラメに*N. hirame*の寄生が急激に広がったため, 寄生レベルの変動が大きかったが, その後は年数の経過とともに寄生レベルは徐々に安定し, 2006年以降は低水準で安定してきたことを示していると思われる。したがって, *N. hirame*は香川県沿岸域に既に定着したものと推察される。

香川県沿岸域の貧血魚の割合は非常に低く, 2006年以降は貧血魚が観察されなかった。また, 寄生数が多くなっても, 肥満度は低下しなかった。肥満度と寄生数の間に負の相関が認められた小浜湾においては, *N. hirame*が寄生していないヒラメの肥満度の推定値は1.58程度であったが,¹³⁾ 香川県沿岸域の肥満度の推定値は, 1.66~1.85となった。このことから, 小浜湾より香川県沿岸域の餌料環境の方が良いことが示唆された。香川県沿岸域の寄生数が多くても肥満度が低下せず, 貧血魚の割合が非常に低いのは, 本海域のヒラメの栄養状態が良いからかもしれない。

香川県沿岸備讃瀬戸において漁獲されたヒラメを対象に*N. hirame*の寄生の季節変動を調べたところ, 寄生率・平均寄生強度ともに季節変動がみられ, 冬と春に寄生レベルが高く, 夏と秋に寄生レベルが低くなった。これまでに他の海域において行われた調査においても*N. hirame*の寄生には季節性があり,^{3,11,13,17)} 寄生レベルは水温の低い時期に高くなり, 水温の高い時期に低くなったことが報告されており, 今回の研究における傾向と一致している。なお, 本研究では, 年変動については燧灘東部, 季節変動については備讃瀬戸でそれぞれ調査を実施した。そのため, 両調査海域における海洋環境を比較すると, 燧灘東部では夏に温度躍層が出現することから, 備讃瀬戸より夏の底層の海水温が低めに推移する傾向にあるが, 両者ともに夏期の海水温は25°C以上であった。また, 両調査海域における2007年の4月~6月の寄生率・平均寄生強度を比較したところ, 有意差は認められなかった。さらに, 燧灘東部で放流した当歳魚が備讃瀬戸で再捕された報告がある。¹⁸⁾ これらのことから, *N. hirame*の寄生レベルは香川県沿岸の燧灘東部と備讃瀬戸との間では大きな違いはなかったものと判断される。

*N. hirame*は10°C以下でふ化幼生の発育の遅れや鰓への着定抑制が起こり,^{19,20)} 産卵量も少なくなることから,²¹⁾ 天然の海域では冬期の低水温が*N. hirame*の再生産を制限する主因であると考えられている。¹¹⁻¹³⁾ 2003

年と2006年の冬期の海水温は低かった。2003年は寄生率がやや増加したが、2006年は寄生率は減少した。一方で、冬期の海水温が10℃を下回らなかった2007年は、寄生率・平均寄生強度が増加した。香川県沿岸備讃瀬戸において海水温の上昇、特に12月～5月の海水温の上昇が顕著であることから、¹⁶⁾ 今後、この冬期における海水温の上昇の影響により、寄生率・寄生強度が高まる可能性があるのではないかと推測される。

他海域における *N. hirame* の寄生状況に関する報告をみると、わが国周辺の計10海域(1999年～2000年)および鹿児島県海域(2002年～2003年)のヒラメにおける *N. hirame* の寄生率はそれぞれ61%³⁾および51%¹⁷⁾であった。また、太平洋沿岸の常磐海域の寄生率は、感染の広がった1998年～2002年には約80% (平均寄生強度:4～9)で、低水温期には5～20% (1～3)であった。¹²⁾ 本研究における寄生率は2000年の52.4%が最高で、2006年以降は平均すると20%以下となり、平均寄生強度は1999年の6.9が最高で、2006年以降には1.9～3.7と低い値で推移していた。これらのことから、香川県沿岸域の寄生率は低く、平均寄生強度は常磐海域とほぼ同じレベルであったと思われる。また、わが国周辺の計10海域の調査では、若齢魚ほど寄生強度が高く、³⁾ 鹿児島県海域の調査でも、若年齢魚の方が寄生率・平均寄生強度ともに高かった¹⁷⁾とされている。一方、*N. hirame* によるヒラメ資源への影響がほとんどないと考えられている常磐海域における調査では、ヒラメのサイズと寄生に明瞭な関係が認められていない。¹²⁾ 今回の研究では、寄生率・平均寄生強度ともに年齢との有意な関係はみられなかったが、これは調査した海域の寄生レベルが低かったことが関係しているのではないかと考えられる。

香川県沿岸海域が他の海域と比べて、寄生率・平均寄生率が低い理由としては先ず、海水温の影響が考えられる。*N. hirame* の産卵限界水温は25℃付近、²¹⁾ および産卵後のふ化上限水温は25～30℃である。²⁰⁾ 一方、10℃以下ではふ化幼生の発生量や成長が制限される。¹⁹⁻²¹⁾ これらのことから、*N. hirame* の再生産には水温が大きな影響を及ぼすことが示唆される。また、天然ヒラメにおける *N. hirame* の寄生状況の調査結果からも、鹿児島県沿岸域では夏期における28℃程度の高水温時に寄生率・平均寄生強度の低下が指摘されている。¹⁷⁾ したがって、香川県沿岸域における海水温は夏期に25℃以上、冬期には10℃以下になるため、産卵数とふ化率の低下が起り、これによって *N. hirame* の再生産が抑えられている可能性があると思われる。他方、香川県沿岸海域に特有なヒラメの分布生態も *N. hirame* の寄生率に影響を及ぼしている可能性がある。*N. hirame* 寄生の影響は0歳魚で大きいとされており、また、鳥取県沿岸域では

ヒラメ仔魚の着底場所に1歳以上の感染魚が存在し、これらの魚から産出された卵が着底直後のヒラメ稚魚の感染源になると考えられている。¹⁰⁾ 瀬戸内海中央部におけるヒラメ仔魚の着底は鳥取県と同じく5月下旬から6月であるが、1歳以上のヒラメのいない浅海域に着底するため、着底直後の稚魚の感染の可能性は低いものと推定される。また、ヒラメ稚魚が生育場から1歳魚以上の分布する沖合へ移出するのは初夏以降であり、²²⁾ この時期は *N. hirame* の感染力が比較的低下する高水温となることから、香川県沿岸域のヒラメ稚魚は鳥取県沿岸のそれに比べて、*N. hirame* に感染しにくいのではないかと考えられる。以上のように、海水温の推移とヒラメ稚魚の分布域とが相互に関連しあって、*N. hirame* の感染を制限することにより、香川県沿岸域の寄生率・平均寄生強度が低く保たれているものと推察される。

瀬戸内海のヒラメ資源は *N. hirame* が確認された1998年以降に減少した。¹⁴⁾ ヒラメの生活史を、卵から浮遊仔魚期、稚魚期、および成魚期の三つのステージに分けると、*N. hirame* の寄生が関係するのは、稚魚期と成魚期のステージである。成魚期については、本研究において、*N. hirame* の寄生率・平均寄生率が低く、また、貧血魚もほとんどいなかったことから、香川県沿岸域における *N. hirame* の侵入に伴うヒラメ資源の減少はほとんど無視できると思われる。一方、*N. hirame* の寄生は天然魚と放流魚との間で差はないと報告されていることから、¹¹⁾ 資源添加を目的に放流される稚魚にも *N. hirame* が感染して、放流魚の生残率を減少させる可能性がある。しかし、瀬戸内海系群の資源評価における資源添加率(放流魚の1歳加入時点での生残率)は、*N. hirame* が確認された1998年以降の方がやや高くなっており、¹⁴⁾ 稚魚期の生残率が低下しているとは考えがたい。これらのことから、*N. hirame* の侵入は瀬戸内海のヒラメ稚魚の生残率を大幅には低下させていないと思われる。瀬戸内海のヒラメ資源量が減少している主な原因は、成育場へのヒラメ稚魚の加入量が減少し、高い漁獲係数が認められていることから、¹⁴⁾ おそらく卵仔魚期の生残率の減少や過剰な漁獲圧の可能性が高いと思われる。さらに、瀬戸内海のヒラメ資源の減少は1998年からであったが、産卵親魚量当たりの加入量(再生産成功率RPS)の減少は、*N. hirame* の侵入前の1997年からであった。以上のことから、瀬戸内海中央部において *N. hirame* がヒラメ資源に大きな負の影響を与えていないと結論づけるのが妥当であろう。しかしながら、*N. hirame* はヒラメ資源を大きく減少させる事例があり、¹⁰⁾ 海洋環境や加入量等の変化によって寄生レベルが上昇する危険もある。¹²⁾ したがって、*N. hirame* の感染機構の解明や寄生状況・貧血魚のモニタリングを今後も続けていく必要があろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、西詫間、観音寺、仁尾町、庵治漁業協同組合の役職員の皆様、特に西詫間漁業協同組合の亀野良博氏には検体の採集にご協力いただいた。水産試験場の皆様には調査に対して多大なご協力をいただきました。ここに深謝の意を表します。また、本報を査読して頂いた2名の匿名審査員と担当編集委員に深謝する。

文 献

- 1) 小川和夫. 魚類寄生虫病. 水産学会誌 2005; **71**: 650-653.
- 2) 浦部美佐子, 田中正治, 中村大悟. 瀬田川・琵琶湖へのナマズ腹口吸虫 *Parabucephalopsis parasituri* の分布拡大. 関西自然保護機構会誌 2008; **30**: 45-48.
- 3) 虫明敬一, 森広一郎, 有元 操. 天然ヒラメにおける貧血症の発生状況. 魚病研究 2001; **36**: 125-132.
- 4) 小川和夫. 魚介類の寄生虫に関する研究. 水産学会誌 2010; **76**: 586-598.
- 5) Yoshinaga T, Kamaishi T, Segawa I, Yamano K, Ikeda H, Sorimachi M. Anemia caused by challenges with the monogenean *Neoheterobothrium hirame* in the Japanese flounder. *Fish Pathol.* 2001; **36**: 13-20.
- 6) Yoshinaga T, Kamaishi T, Ikeda H, Sorimachi M. Experimental recovery from anemia in the Japanese flounder challenged with the monogenean *Neoheterobothrium hirame*. *Fish Pathol.* 2001; **36**: 179-182.
- 7) Yoshinaga T, Tsutsumi N, Hall KA, Ogawa K. Origin of the diclidophorid monogenean *Neoheterobothrium hirame* Ogawa, 1999, the causative agent of anemia in olive flounder. *Paralichthys olivaceus*. *Fish. Sci.* 2009; **75**: 1167-1176.
- 8) Anshary H, Ogawa K, Higuchi M, Fujii T. A study of long-term changes in summer infection levels of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* with the monogenean *Neoheterobothrium hirame* in the central Sea of Japan, with an application of a new technique for collecting small parasites from the gill filaments. *Fish Pathol.* 2001; **36**: 27-32.
- 9) Hayward CJ, Kim JH, Heo GJ. Spread of *Neoheterobothrium hirame* (Monogenea), a serious pest of olive flounder *Paralichthys olivaceus*, to Korea. *Dis. Aquat. Org.* 2001; **45**: 209-213.
- 10) Anshary H, Yamamoto E, Miyanaga T, Ogawa K. Infection dynamics of monogenean *Neoheterobothrium hirame* among young wild Japanese flounder in the western Sea of Japan. *Fish Pathol.* 2002; **37**: 131-140.
- 11) Tomiyama T, Watanabe M, Ebe K. Infection dynamics of *Neoheterobothrium hirame* in Japanese flounder in the Joban Sea, eastern Japan. *Fish Pathol.* 2004; **39**: 197-202.
- 12) Tomiyama T, Watanabe M, Kurita Y. Rapid fluctuation in infection levels of *Neoheterobothrium hirame* (Monogenea) in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the Joban area, Japan. *J. Fish Biol.* 2009; **75**: 172-185.
- 13) Shirakashi S, Yamada T, Yamada T, Ogawa K. Infection dynamics of *Neoheterobothrium hirame* (Monogenea) on juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel), in coastal waters of Japan. *J. Fish Dis.* 2006; **29**: 319-329.
- 14) 亘 真吾. 平成22年度ヒラメ瀬戸内海系群の資源評価. 平成22年度我が国周辺水域の漁業資源評価(第3分冊), 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター, 東京. 1358-1382.
- 15) 西村 明. 年齢・日齢査定法. 平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書, 資源解析手法教科書, 日本水産保護協会, 東京. 2001; 31-43.
- 16) 山本昌幸. 瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究 2003; **67**: 163-167.
- 17) 山本 淳, 田代正義, 増田有司, 平江多積, 厚地 伸. 鹿児島県海域のヒラメにおける *Neoheterobothrium hirame* の寄生状況. 水産増殖 2005; **53**: 325-327.
- 18) 山本昌幸, 牧野弘靖, 香川 哲. 香川県燧灘海域における浅海域の生態特性. 漁場生産力モデル開発基礎調査(燧灘・備後芸予灘海域), 瀬戸内海区水産研究所, 広島. 2001; 51-71.
- 19) Shirakashi S, Yoshinaga T, Oka M, Ogawa K. Larval attachment and development of the monogenean *Neoheterobothrium hirame* under low water temperature. *Fish Pathol.* 2005; **40**: 33-35.
- 20) Yoshinaga T, Segawa I, Kamaishi T, Sorimachi M. Effects of temperature, salinity and chlorine treatment on egg-hatching of the monogenean *Neoheterobothrium hirame* infecting Japanese flounder. *Fish Pathol.* 2000; **35**: 85-88.
- 21) Tsutsumi N, Mushiake K, Mori K, Arimoto M, Yoshinaga T, Ogawa K. Effects of water temperature on the egg-laying of the monogenean *Neoheterobothrium hirame*. *Fish Pathol.* 2002; **37**: 41-43.
- 22) Yamamoto M, Makino H, Kagawa T, Tominaga O. Occurrence and distribution of larval and juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* at sandy beaches in eastern Hiuchi-Nada, the central Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Sci.* 2004; **70**: 1089-1097.