

令和元年6月25日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05795

研究課題名(和文) 海洋温暖化が東シナ海に進入する南方性水産有用魚類の回遊行動に及ぼす影響評価

研究課題名(英文) Potential effects of global warming on migratory behaviour of sub-tropical fishes in the East China Sea

研究代表者

河邊 玲 (KAWABE, Ryo)

長崎大学・海洋未来イノベーション機構・教授

研究者番号：80380830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：日台協働で東シナ海縦断の野外調査を行い、カンパチは季節躍層直下の中層を、シイラは表層混合層内に滞在することを見いだした。また、台湾から放流されたカンパチは日本近海へ北上回遊することがなく、台湾東部海域を南北回遊した。温暖化による水温上昇が亜熱帯性回遊魚の分布に及ぼす影響については、シイラのような表層に滞在する魚種ではすでに顕著になっていると示唆される。一方、カンパチのような中層に滞在する魚種については、中層の水温上昇の程度が軽微であるため、現在のところ影響はほとんどないと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温暖化による水温上昇が亜熱帯性回遊魚の分布に及ぼす影響については、シイラのような表層に滞在する魚種ではすでに顕著になっていると示唆される。一方、カンパチのような中層に滞在する魚種については、中層の水温上昇の程度が軽微であるため、現在のところ影響はほとんどないと考えられる。

本研究で得た行動情報と将来の温暖化予測に基づくと、南方性魚類の東シナ海への進入と滞在に及ぼす影響は魚種毎に異なることが示唆される。したがって、東シナ海の漁場の将来変化に対応する漁業方策については、まず、シイラやバショウカジキのような表層性回遊魚の日本への分布拡大および滞在時間の長期化に着目して施策を講じる必要がある。

研究成果の概要(英文)：We conducted field surveys in the East China Sea with international collaboration research between Japan and Taiwan, and found out the vertical and horizontal movement patterns of the Greater amberjack (*Seriola dumerili*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). Tagged amberjack were located primarily in eastern Taiwanese waters did not migrate northward to Japan, where use the middle layer (100m) below the seasonal thermocline, undertaking occasional to depths deeper layer (-500m). Tagged dolphinfish, which were released off eastern Taiwanese water and Kagoshima bay, stayed in surfaced mixed and did not dive beyond the thermocline. Our results suggested that the effect of global warming on subtropical migrating fish has already become remarkable in fish species that stay on the surface such as dolphinfish. On the other hand, the effects for fish species that stay in the middle layer such as Greater amberjack may be little.

研究分野：魚類行動生態学

キーワード：回遊行動 海洋温暖化 カンパチ 東シナ海 中層 鉛直遊泳 水平移動 シイラ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、東シナ海における温暖化の進行速度は加速しており、最近の20年間（1982-2006年）で1.2℃の上昇が確認され、世界でも温暖化が顕著な海域のワースト3に挙げられる。一方、東シナ海は、ブリ類、カジキ類、クロマグロ等の魚食性魚類、これらの餌になるカタクチイワシなど小型浮魚類等、数多くの水産最重要魚種の産卵場および成育場の役割を担う世界でも屈指の漁業生産を誇る国際漁場である。水温上昇に伴う漁獲対象種の漁場と漁期の変化、温帯種から熱帯種への魚種交替は、東シナ海における水産業に甚大な影響を与える。したがって、温暖化に伴う水産業への影響を把握し、気候変動に応じた漁業対策を検討することが緊要となっている。

将来水温の予測モデルは空間分解能・精度ともに向上しているが（地球温暖化予測情報第5巻、気象庁）、魚類の生息水温に関する情報は飼育や漁獲時の水温を用いている上に、情報が更新されておらず、信頼性に疑問が残る。例えば、ヒラメ成魚の生息水温範囲（産卵水温範囲）は既往知見では8-23℃（10-17℃）とされていたが、研究代表者がヒラメに温度データロガーを装着し野外に放流・回収することで得た1年を超える水温記録を解析したところ、生息水温範囲（産卵水温範囲）は5.3-24.3℃（8.5-21.2℃）となり、野外で魚が経験する水温は既往知見よりも広範になる可能性が示唆された。また、東シナ海は我が国のEEZの最南に位置するので、EEZ外からの南方性魚類の北上予測は今後の漁業施策を考える上で重要である。しかし、南方性魚類の生息適水温に関する情報が非常に限定的のために、温暖化に伴う分布の将来予測も進んでいない。

2. 研究の目的

本研究は、日本と台湾が協働して、海洋温暖化の進行が東シナ海に季節的に進入する南方性魚類の回遊行動に及ぼす影響を調べる。海洋温暖化が進行することにより南方性の水産対象種の北方域への分布拡大が予想されており、気候変動に対応した新たな漁業管理対応策の必要性が高まっている。本研究では、カンパチとバショウカジキを対象に、東シナ海の南端のフロントである台湾で行動調査を行う。台湾を調査拠点として、バイオロギングによって魚が海洋で経験する水温情報をファインスケールで記録し、高精度の生息水温範囲を決定する。行動情報と将来の温暖化予測に基づき、温暖化が南方性魚類の東シナ海への進入と滞在に及ぼす影響を詳らかにし、さらに、東シナ海の漁場の将来変化に対応する漁業方策に資することを目的とする。

3. 研究の方法

課題1：カンパチ・シイラの行動調査

研究開始時点においてはカンパチとバショウカジキを対象生物とする予定であったが、プロジェクト開始にあたり台湾側の研究協力者から台湾では近年シイラの商業的価値が著しく上昇していることに加えて、漁獲量が減少傾向にあることから研究対象種として欲しいとの申し出があった。議論を重ねた結果、バショウカジキの代わりにシイラを対象生物とすることにして、台湾側が調査のための必要な機器を購入し、日本側が調査を支援することで合意した。

【カンパチの野外調査】

2016-17年のそれぞれ11月に台湾南東部沿岸域で釣獲したカンパチ24個体および、2017年8月に鹿児島県野間岬南西沖合から1個体に行動記録計（Mk9またはMini-PAT、Wildlife Computers社製）を取り付けて放流した。2018年9月までに14個体（FL: 75-101cm）から再捕または人工衛星を経由してデータの回収に成功した（表1）。

【シイラの野外調査】

この調査は台湾側の研究協力者によって実施された。2017年までに台湾南東部沿岸域で釣獲したシイラ4個体および、鹿児島県沿岸の定置網で捕獲されてかごしま水族館で4ヶ月間飼育されていた3個体に行動記録計（Mini-PAT、Wildlife Computers社製）を取り付けて放流した。全ての個体から人工衛星を経由してデータの回収に成功した（表2）。

【データ解析】

【鉛直遊泳・経験水温の解析】

対象生物の経験水温範囲、滞在深度特性を明らかにするために、個体別に記録期間中の深度と水温の統計値を算出した。また、鉛直方向の深度と水温のプロファイルを作成した。

【水平移動と分布】

対象生物の回遊経路と移動範囲を推定するために、経験照度と水温記録を用いて個体別に記録期間中の水平位置を推定した。また、個体全ての位置情報を合わせて行動密度推定法からコアエリアを計算した。

【海洋観測データと行動記録との統合解析】

台湾行政院農業委員会水産試験所が所有する台湾周辺海域の海洋観測データ（水温・塩分・クロロフィル濃度）を研究協力者から提供されたので、バイオロギングから得た魚が経験した鉛直方向のプロファイルと比較して、対象生物が主に滞在する深度帯の海洋特性およびコアエリアが形成される海域の海洋構造を考察した。

表 1 カンパチ再捕個体の情報、深度、水温、腹腔内温度の統計値

No.	Tag type	Fork length (cm)	Release	Recapture	Sampling rate (%)	Days at liberty	Days of data	Distance travelled (km)	Swimming depth(m)	Water temperature(°C)	Cavity temperature(°C)	
GA1	MiniPAT	75	25-Nov-16	16-Feb-17	3	84	83	18.5	98.5±14.9	51-237	21.3±2.1	12.8-26.5
GA2	MiniPAT	80	25-Nov-16	6-Dec-16	3	12	8	173.6	94.6±18.6	31-209	21.7±2.4	15.7-26.5
GA3	MiniPAT	88	2-Nov-17	21-Nov-17	600	20	16	198.7	97.0±7.8	63-139.5	21.2±1.3	17.2-27.3
GA4	MiniPAT	90.5	8-Nov-17	5-Jan-18	600	59	52	308.3	101.2±8.3	59.5-250	20.2±1.3	12.8-25.4
GA5	X-tag	91.5	8-Nov-17	19-May-18	120	192	192	-	102.3±18.4	43-356.1	20.2±1.5	10.3-25.5
GA6	Mk9	87	14-Nov-17	9-Feb-18	1	88	87	38.7	106.2±28.5	28-405.5	20.8±1.9	10.2-27.2
GA7	Mk9	81	14-Nov-17	18-May-18	1	186	186	3.0	109.0±20.5	26.5-337.5	20.6±1.7	11.9-27.4
GA8	Mk9	82	14-Nov-17	24-Dec-17	1	41	39	0.2	104.6±13.7	37.5-307.5	20.6±1.8	12.7-27.2
GA9	MiniPAT	96	14-Nov-17	11-Dec-17	5	28	27	18.1	100.5±12.5	47.5-247.5	20.3±1.7	14.0-27.2
GA10	MiniPAT	87	14-Nov-17	14-May-18	5	182	181	8.0	105.7±18.9	31.5-321	20.6±1.7	12.1-27.2
GA11	MiniPAT	87	14-Nov-17	26-Jan-18	3	74	68	24.9	106.9±13.2	56.5-295	20.2±1.4	12.9-26.9
GA12	Mk9	88	22-Nov-17	20-Apr-18	1	150	150	6.7	93.8±18.7	29.5-521	21.4±1.6	9.5-27.0
GA13	Mk9	92	22-Nov-17	6-Apr-18	1	136	136	1.3	106.8±16.0	40-394.5	20.7±1.5	10.9-26.3
GA14	Mk9	101	22-Nov-17	7-Aug-18	1	259	259	4.5	73.2±29.5	10-302	22.0±1.6	12.7-26.9

表 2 シイラ再捕個体の情報、深度、水温、腹腔内温度の統計値

PSAT#	Sex	FL (cm)	Deployment Date	Location	Reporting Date	DAL (day)	Straight-line distance (km)	Data return rate (%)	Tag type
132762	M	113	2014/04/17	Southeastern Taiwan	2014/05/02	15	237	26	X-tag
157954	M	102	2016/05/19	Southeastern Taiwan	2016/05/27	8	164	33	HR X-tag
157963	F	99	2016/10/17	Southeastern Taiwan	2016/10/23	7	296	91	X-tag
034331	M	106	2017/07/14	Southeastern Taiwan	2017/08/12	30	281	38	X-tag
163106	M	84	2016/11/09	Kagoshima Bay	2016/11/29	20	46	19	X-tag
157958	F	81	2016/11/09	Kagoshima Bay	2016/12/9	30	28	21	HR X-tag
163105	F	86	2016/11/09	Kagoshima Bay	2016/12/19	40	17	1	X-tag

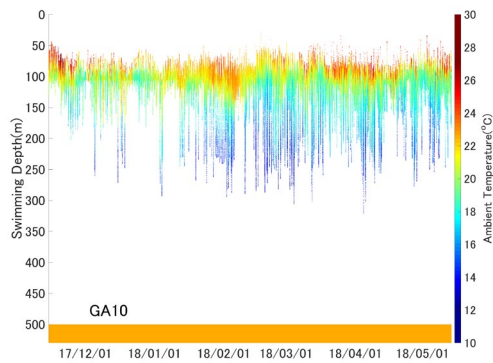


図 1 カンパチの深度・水温時系列記録 (GA10)

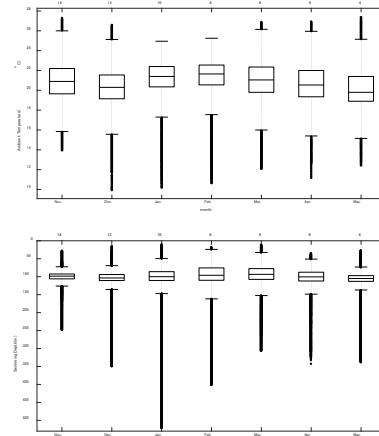


図 2 カンパチの月別水温 (上)・深度 (下) の箱ひげ図

課題 2 : カンパチの漁獲統計の解析

鹿児島県沿岸の定置網の漁獲量情報 (2003-2017 年) および台湾東部の成功鎮の新港漁業尾協同組合が所有する漁獲量情報 (2000-2018 年) の提供を受けて、漁獲量の季節および年変化を解析した。さらに、漁獲量に変動が見られた場合は、変動要因の解析を行った。

4. 研究成果

課題 1 : カンパチ・シイラの行動調査

〔カンパチの野外調査〕

データが得られた 14 個体のうち、2017 年 11 月に放流し翌年の 2018 年 8 月に再捕された個体からは 259 日間の深度・温度 (水温・腹腔内温度)・位置情報を得ることに成功した。この個体を含めた研究成果を以下に示す。

【鉛直遊泳・経験水温特性】

遊泳深度と経験水温の時系列図の一例を図 1 に示す。また、図 2 は遊泳深度と経験水温の月別の箱ひげ図を示す。カンパチ標識個体は黒潮が存在する表層の混合層を避けて季節躍層下部の経験水温が $20.2 \pm 1.4 \sim 21.7 \pm 2.4$ (°C) となる $73.5 \pm 29.5 \sim 109 \pm 20.5$ (m) の深度帯に滞在し、そこから最深で 521m、水温差が 10°C 以上に及ぶ鉛直移動を繰り返していた。また、滞在深度は季節変化がほとんど認められず 100m 前後の深度に主に滞在していた。一方、月別の経験水温は季節の進行に従ってわずかに低下する傾向が認められ 5 月の平均水温は 20.2(°C) となった。経験水温が 9.5~27.4°C の範囲であったのに対して、腹腔内温度の範囲はこれより狭く 14.3~27°C で体温が 14°C 以下になることはなかった。

【水平移動と分布】

図 3 に 3 個体分 (GA1, GA13, GA10) の個体別の移動経路を示した。移動様式はここに示した、1) 台湾東部および南部を縦断する移動、2) 台湾東部を南北移動、3) 放流地点付近に留まりほとんど移動しない、3 つのパターンに分類された。また、全個体から推定された位置情報を統合して行動圏を推定したところ、コアエリアは放流地点近くの台湾南東部沿岸域と台湾北東部の大陸棚斜面域に出現した (図 4)。

【海洋観測データと行動記録との統合解析】

図3で示したようにカンパチ標識個体は冬季に台湾北東部大陸棚斜面域、春季になると南東部の沖合に滞在する傾向が認められた。冬季の台湾北東部は、南東部海域に比べて、クロロフィル濃度が増大する傾向が認められた(図5)。

解析した中から、最も深く潜行した個体(GA12)が経験した深度、水温と腹腔内温度の時系列図を図6に示す。この個体は3日間の記録期間で400mを超える潜行を頻繁に繰り返し、最深深度は521mに達した。しかし、深深度に潜ってもそこに連続的に滞在することはなかった。このとき、最深部での経験水温が10℃以下に低下しても腹腔内温度はそこまで低下せず、それより5℃以上高い15℃程度であった。

ここでカンパチの体温保持能力を説明するために以下のような解析を行った(図7)。まず経験水温の頻度分布を作成して最頻値を求めた(図7上)。次に、最頻値から経験水温の最低値までを回帰曲線を当てはめてモデリングした(図7中)。最頻値を100%として、割合が50%となる温度(50%水温)を回帰曲線から見いだした(図7中の場合、その水温は19℃)。ここでカンパチの体温保持能力を評価するために、潜行あたり50%水温以下に滞在する時間を計算して、本種と同所的に生息するバショウカジキ(Tone et al unpublished data)およびシイラ(Furukawa et al 2015)と比較した(図7下)。バショウカジキ、シイラに比べて、カンパチの50%以下に滞在する時間は有意に長かった。

【シイラの野外調査】

【鉛直遊泳・経験水温の解析】

それぞれの標識個体が経験した遊泳深度と経験水温の鉛直プロファイルを図8に示す。シイラ標識個体は記録期間のほとんどを表層混合層に滞在していた。水温が20℃以下となる深度帯、あるいは、季節躍層のように水温が急激に変化する深度帯も避けていた。

【水平移動と分布】

図9に4個体分の個体別の移動経路を示した。台湾の放流群のうち、春と夏に放流した2個体(#13762, #034331)は台湾に沿って北に移動し、秋に放流した1個体(#157963)は南東方向へ移動した。また、鹿児島県の錦江湾内の桜島付近から秋に放流した個体(#163106)は20日かけて湾口部に向けて南下回遊した。

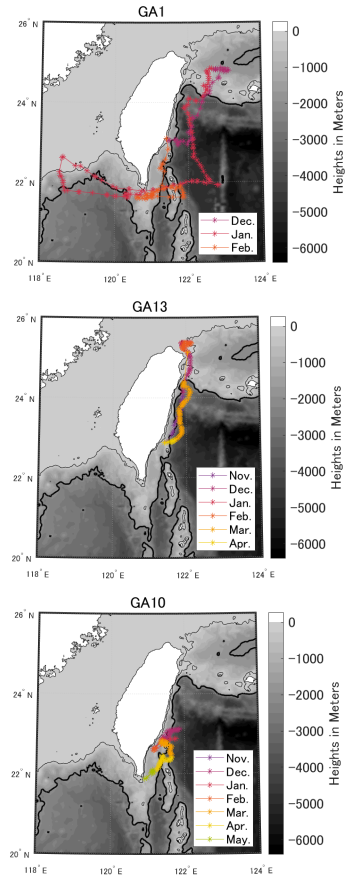


図3 カンパチの移動経路 (GA1, GA13, GA10)

課題2:カンパチの漁獲統計の解析 図10に台湾におけるNominal CPUEの年別、月別変化を示した。また、図11には鹿児島県における漁獲量の年別変化を示した。台湾におけるCPUEが最近の15年で横ばい(2010-11年は豊漁であったが)で変動が認められなかったのに対して、鹿児島県の漁獲量(CPUEでないことに注意が必要)は減少傾向が認められた。また、月別のCPUEは5~8月に増加する傾向があった。

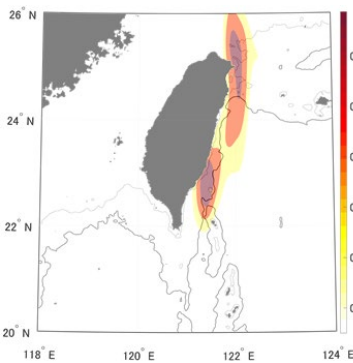


図4 カンパチの行動圏

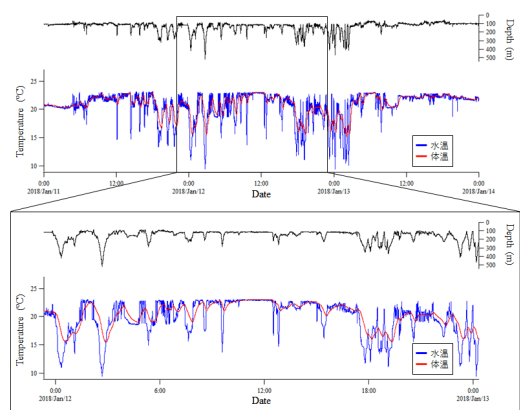


図6 カンパチの深度、水温、体温の時系列図 (GA12)

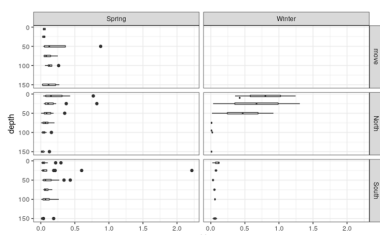


図5 春季・冬季の深度別のクロロフィル濃度

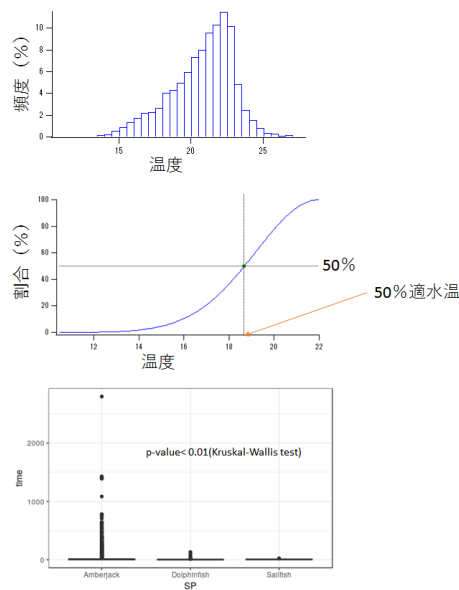


図7 カンパチの経験水温の頻度分布(上)、50%水温(中)、および50%水温以下に滞在する時間の種間比較(下:左からカンパチ、シイラ、バシヨウカジキ)

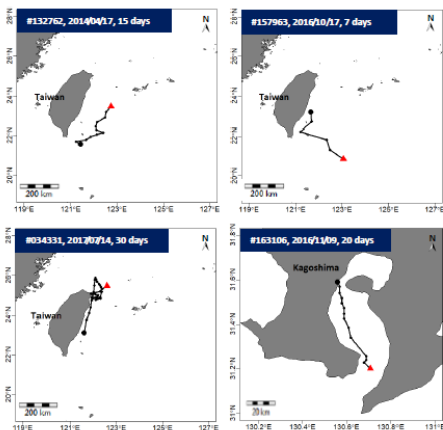


図9 台湾および鹿児島・錦江湾内に放流されたシイラの推定移動経路。

考察:

11月から翌8月までの自然環境下におけるカンパチの経験水温範囲は9.5-27.3°Cであった(表1)。親魚養成に関わる飼育環境下の水温範囲と比較すると、最高水温はほとんど同等であった。しかし、飼育下の最低水温が12°Cであったのに対して(立原ら, 1993)、自然環境下における経験水温の最低値は9.5°Cとなり、飼育下より3°C程度低かった。経験水温と関係の深い重要な発見は、カンパチ標識個体は表層にほとんど出現せず、季節躍層の下部(100m前後)に主に滞在していることである。さらに、この深度帯を基点として時には水深500mを超える深層へ鉛直移動を繰り返していたが(図1)、深層で体温が15°Cに達すると上昇して100m前後の高水温の深度帯へ回帰し、20°C付近に体温が戻っていた(図6)。回復するように深層での滞在時間を制御していることがうかがわれた(図6)。深層への潜行は採餌機会を増やすためと推定されるが、深層の低水温の深度帯に連続的に滞在することは決してなかった。カンパチは体温の著しい低下を防ぐために、行動的に体温調節を行っていることが示唆される(図7)。

標識個体の移動範囲は産卵期と非産卵期を通じて台湾東部海域に限定されており、西部の台湾海峡側へ進入することは全くなかった(図3)。我々の関連課題の成果によると(科研費:16H05794)、東シナ海に分布する台湾産および日本産のカンパチは単系統であり、その産卵場が台湾東部を中心とした水域にあることが強く示唆された。また、行動圏を推定したところ、コアエリアは台湾北東部の陸棚斜面上および放流地点近くの台湾東部沿岸域に出現した。カンパチが冬季に台湾北東沖に集まるのは、この海域で頻発する湧昇流によって基礎生産が活発になることと関係が深いと考えられる。一方、シイラの生息深度はカンパチとは大きく異なり、ほぼ表層混合層内に滞在して季節躍層を超えて潜行することはまれであった。これは東シナ海北部および台湾東部での先行研究と同じ結果である(Furukawa et al 2011; Furukawa et al 2015)。

カンパチの漁獲情報を解析したところ、当初の予測とは逆の結果となり、台湾での漁獲量は年変動が認められたものの変化なし(図10)、また、鹿児島での漁獲量は減少していた(図11)。

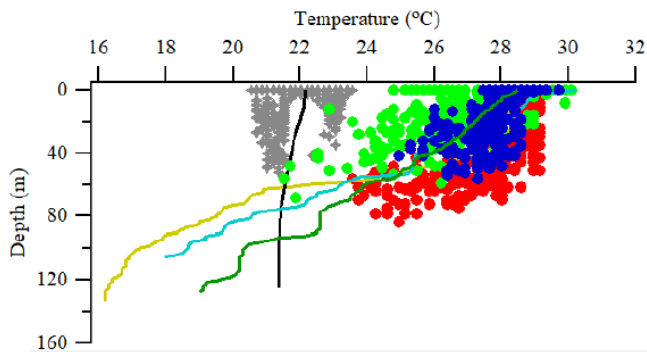


図8 シイラの滞在深度と経験水温の鉛直プロファイル。赤、青、緑の点は台湾から放流された3個体の、灰色の点は鹿児島から放流された1個体のデータを表す。また、それぞれの実線は放流地点付近におけるCTDによる鉛直プロファイル、黒線は錦江湾内における鉛直の水温プロファイルの推定値を示す。

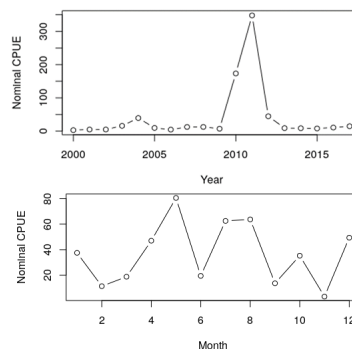


図10 台湾におけるカンパチのNominal CPUEの年変化(上)、および月別変化(下)。

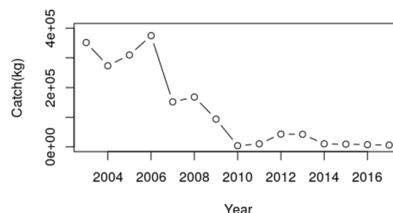


図11 鹿児島におけるカンパチの漁獲量の年変化。

一方、シイラについては近年台湾において漁獲量が減り、九州では漁獲量が増えているとの報告がある。カンパチとシイラの漁獲量変動の違いは、両種の生息深度が異なることに起因していると考えられる。東シナ海の海面水温は、最近の100年間で0.7~1.3℃の上昇が確認されている(気象庁：海洋の健康診断表)。海面水温の上昇はシイラの分布を北方へ拡大し、秋季から冬季の水温上昇は九州近海における滞在時間を延長していると考えられる。一方、カンパチの生息深度である中層も水温上昇が進行していることは極域などで知られているが(気象庁：北西太平洋の底層の水温変化)、その進行は表層に比べて遅く、20年で0.004~0.005℃の上昇が観察されている。すなわち、シイラが生息する表層に比べて、カンパチが生息する中層は温暖化が顕著でないことから、現在のところ、分布を北に拡大するほどの影響は認められないと推察される。

以上、本研究の成果をまとめる。

- (1) 日台協働で東シナ海縦断のフィールド調査を行い、カンパチは季節躍層直下の中層を、シイラは表層混合層内に滞在することを見いだした。また、台湾から放流されたカンパチは日本近海へ北上回遊することがなく、秋から春までの期間は台湾の東部海域に分布した。
- (2) 温暖化が及ぼす影響については、シイラのような表層に滞在する魚種ではすでに顕著になっていると示唆される。一方、カンパチについては、中層の水温上昇の程度が軽微であるため、現在のところ影響はほとんどないと考えられる。
- (3) 本研究で得た行動情報と将来の温暖化予測に基づくと、温暖化の影響は魚種毎に異なることが示唆される。したがって、東シナ海の漁場の将来変化に対応する漁業方策については、まず、シイラのような表層性回遊魚の日本への分布拡大および滞在時間の長期化に着目して施策を講じる必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- (1) Lin S-J, Musyl M. K., Wang S-P, Su N-J., Chiang W-C., Lu C-P., Wu C-Y., Sasaki A., Nakamura I. and Kawabe R. Movement behaviour of wild and farm-raised released dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, using pop-up satellite archival tags. *Fisheries Sciences* (in press). (査読有)
- (2) Hasegawa T., Takatsuki N., Kawabata Y., Kawabe R., Nishihara G. N., Ishimatsu A., Soyano K., Okamura K., Furukawa S., Yamada M., Kinoshita T., Yamawaki N., Morii Y. and Sakakura Y. (2017) Continuous behavioral observation reveals the function of drifting seaweeds for *Seriola* spp. juveniles. *Marine Ecology Progress Series*, 573: 101-115. (査読有)
- (3) Hasegawa T., Yeh H-M., Chen J-R., Kuo C-L., Kawabe R. and Sakakura Y. (2017) Collection and aging of greater amberjack *Seriola dumerili* larvae and juveniles around the Penghu Islands, Taiwan. *Ichthyological Research*, 64: 145-150. (査読有) (他1編)

[学会発表] (計8件)

- (1) Tone K., Nakamura I., Chiang W-C., Nakamura Y., Komeyama K., Sakakura Y., Yeh H-M., Wang S-P. and Kawabe R. (2018) How do ectothermic fishes use the different temperature condition? 4th Climate Impacts on Oceanic Top Predators (CLITOP symposium).
- (2) Tone K., Nakamura I., Lin S-J., Chiang W-C., Wang S-P., Komeyama K., Sakakura Y. and Kawabe R. (2017) The fish is cooled from not only outside but inside. Sixth International Science Symposium on Biologging. (ベストポスター賞受賞) (他6件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

研究室 HP: <http://sites.google.com/site/biologgingkawabehp/>

Facebook ; <http://www.facebook.com/BiologgingKawabe>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：米山 和良
ローマ字氏名：KOMEYAMA, Kazuyoshi
所属研究機関名：北海道大学
部局名：水産科学研究院
職名：准教授
研究者番号(8桁)：30550420

研究分担者氏名：ニシハラ グレゴリーナオキ
ローマ字氏名：NISHIHARA, Gregory Naoki
所属研究機関名：長崎大学
部局名：海洋未来イノベーション機構
職名：准教授
研究者番号(8桁)：40508321