

平成 22 年 5 月 16 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19380105

研究課題名（和文）：環境変化に応答するスルメイカの短・中長期資源変動の予測

研究課題名（英文）：Prediction of short- and long-term stock fluctuations of Japanese common squid, *Todarodes pacificus* related to climate change

研究代表者

桜井 泰憲 (SAKURAI YASUNORI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：30196133

研究成果の概要（和文）：スルメイカの短・中長期資源変動に対して、環境変化がスルメイカの全生活史を通して、どのように影響するかを検証した。まず、産卵とふ化幼生が生存可能な環境条件を特定し、1970年半ば以降の寒冷期の漁獲量の減少、1980年代末以降の温暖期の漁獲量の増加は産卵可能水域の縮小・拡大と一致することを明らかにした。さらに、翌年の資源水準予測や、IPCCによる温暖化シナリオに基づくスルメイカの生活史と資源動向予測にも適用できる手法を確立できた。

研究成果の概要（英文）：We used the new reproductive hypothesis to explain and predict the stock structure or stock fluctuation related to climatic regime shifts and global warming scenario during the 20<sup>th</sup>–21<sup>st</sup> Century. We conclude that short and long-term change of *T. pacificus* stock can be explained and predicted by physical parameters such as SST, and bottom topography during the spawning period based on this new reproductive hypothesis. Based on this method, we can then monitor the trend of stock fluctuation and structural change such as a seasonal shift of the spawning period related to abrupt changes of the inferred spawning areas. As an example, we present how to monitor the recent seasonal changes of inferred spawning areas and predict the stock condition of the next year cohort. Further, we try to predict the fate of *T. pacificus* during the 21st Century based on the Global Warning Scenario (IPCC, 2007) using the Earth Simulation System (FRGC, Frontier Research Center of Global change, Japan). The inferred main spawning grounds still occur from the southern Japan Sea and the East China Sea by 2099. However, the peak of spawning period will shift from October-February in 2005 to November-March in 2050, and December-April in 2099.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	1,9760,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：水産学，資源・資源管理，海洋環境変化，気候変動，スルメイカ，再生産仮説，資源変動予測

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 世界のイカ類の生活史，生態研究を基礎とする資源変動の解明には，申請者らの「気候変化に応答するスルメイカの資源変動研究」が広く引用されていた。現在では，「スルメイカ類を含む多くのイカ類の寿命は1年であるため，再生産—加入過程を通じた生残の成否は，この間の物理・生物的環境要因によって決定される。」という共通認識に至っていた。
- (2) 本研究は，これまでの研究成果（1993年度以降の基盤研究）に基づいて，さらにそれらを展開しようとするものであった。特に，1988/1989年の寒冷レジームから温暖レジームへの海洋環境変化に伴うスルメイカ資源の増加に着目し，秋・冬のアリューシャン低気圧指数（ALPI），2月の東シナ海の海面風力・風向，海面温度との関係を調べた。その成果として，1980年後半から1990年代前半の冬季季節風の弱まりと海面気温の上昇に伴うMLDの経年変化が，同時期の冬生まれ群の急激な増加と一致することを確認していた。
- (3) スルメイカのふ化幼生の大量育成を実施し，卵発生適水温（15–23℃）範囲で，各発育段階ふ化幼生の垂直方向の遊泳能力を精査し，発育ステージ 31-32のふ化幼生は，18–23℃の水温範囲でのみ垂直遊泳すること，特に19.5–23℃で80%以上であることを確認していた。
- (4) これによって，本研究の大前提となる新たな再生産仮説「スルメイカの産卵場は，陸棚—陸棚斜面（100-500m）域の中表層水温18-23℃（特に19.5-23℃）で，表層暖水の混合層深度が中層に存在する海域」を再構築できていた。
- (5) また，平成17年度からは，飼育下で，異なる水温条件下でのスルメイカの成長・成熟過程を調べており，スルメイカの生物特性を指標とする本研究の準備が整っていた。

### 2. 研究の目的

- (1) 本研究では，スルメイカの短・中長期資源変動に対して，気候・海洋環境変化がスルメイカの全生活史を通して，いつ，どこで，どのように影響するかを検証した。
- (2) 本研究の出口として，短・中長期の資源変動を，どのような環境・生物的要因あるいは指標を用いて予測する手法の確立を目指

した。

- (3) これには，新たなスルメイカの再生産仮説「産卵による卵塊形成からふ化幼生が暖水表層で生存可能な再生産海域は，陸棚—陸棚斜面域（水深100-500m）で，表層暖水の水温範囲が18-23℃（最適範囲は，19.5-23℃），季節混合層深度が海底まで達しない海域」を適用し，この仮説検証を継続した。
- (4) これらを用いて，1970年代以降のスルメイカ資源変動に対する海洋環境変化の影響を精査し，産卵場面積や分布の変化から，翌年の資源水準や，21世紀における地球温暖化モデルに準じて，スルメイカ資源の動向と生活史戦略の変化の可能性を予測した。

### 3. 研究の方法

- (1) 秋—冬の再生産海域（日本海南西部海域—東シナ海）において，水中ロボットカメラ（以下ROVと略す）によるMLD下部の水温躍層に滞留すると想定される卵塊探索を行った。また，飼育下で，卵塊からふ化，ふ化幼生の生残と行動に与える環境要因を精査した。
- (2) 新再生産仮説を適用し，この条件を満たす季節・経年的な再生産海域の抽出を行った。これには，衛星観測および一部の海洋観測データが蓄積する1980年代以降，また1996年以降は，精度の高いグリッド式調査による海洋観測データを用いて，月別3次元マッピングを行い，冬季季節風，海面気温などの気象データ，混合層深度の季節・経年変化との関係を解析した。
- (3) 秋・冬のスルメイカふ化幼生分布・豊度調査（日水研，北水研）で採集されたふ化幼生を，ふ化直後の外套長1mm未満からサイズ別に区分し，その拡散・収斂と海流，渦，地形流などとの関係を求め，各年の再生産—加入関係の年変動を求めた。
- (4) 飼育実験により，成長・成熟・産卵過程と速度に対する水温，餌条件の影響を調べ，これを各年の秋・冬生まれ群の生物測定データに適用して，成長・成熟様式の気候変化に応答する経年変化の有無，ある場合には産卵回遊経路の経年変化を加味して，その生物特性の指標を求めた。
- (5) 以上の研究に基づいて，スルメイカの資源変動を経年的な短期変動，十年から数十年の中長期変動に分け，これらに最も関連あるいは影響する気象，海洋環境要因，スルメ

イカの生物特性の指標を抽出し、これらを適用した資源変動の予測手法を策定した。

#### 4. 研究成果

申請年度内に得られた成果は以下の通りである。

(1) スルメイカの新再生産仮説を適用し、2005年度から2008年度における秋-冬生まれ群の再生産海域の地理的変化を精査した。その結果、2005年度は2-3月の産卵場が縮小、2006年度は10月から3月までの産卵場が拡大、2007年度は、10月が高温のため縮小、2-3月が低温のため縮小、2008年度は再び2006年度に類似していた。

(2) これにより、2006年度の冬生まれ群の資源減少、2007年度の秋-冬生まれ群の資源増加、2008年度は秋生まれの減少と11月、12月、1月生まれの増加を予測できた。以上のように、これまで不可能であった短期(翌年)の資源動向予測手法を見出した。

(3) 3年間に亘って、成体(未成熟)のスルメイカを用い、12°C、13°C、15°C、17°C、19°Cの一定水温条件下で飼育し、その間の摂餌量と成長および成熟状況を個体レベルで調べた。雌では履歴水温が高いほど成長が良く、早く成熟することなど、本種の摂餌/成長と成熟の間に、履歴水温依存型のトレードオフ関係が存在することが明らかにできた。

(4) 一定水温での未成熟のスルメイカの飼育実験の結果、12°C以下、23°C以上ではスルメイカは生存できないこと、13°Cから19°Cの範囲では、雌雄で成長と成熟のトレードオフに違いがあり、雄は15-17°Cで性的に成熟し交接行動が可能となり、雌は18°C以上で産卵可能となることが明らかとなった。

(5) この実験結果は、索餌・産卵回遊を通じた個体レベルでの生活史モデルを、海洋環境変化(寒冷・温暖・地球温暖化)との関係で解析できる貴重な知見として、今後活用できる道を拓くことができた。

(6) スルメイカの新再生産仮説を適用し、1970年以降の産卵場面積の季節、経年変化とスルメイカ資源量・漁獲量との関係を解析した。その結果、1976/77年の寒冷レジーム期には、東シナ海の冬生まれ群の産卵場の縮小と中国冷水による分断が頻繁に生じて、その資源量が激減したと判断した。

(7) また、1988/89年以降の温暖レジーム期には、秋-冬の産卵場面積も増大し、かつ連続していることが、資源の増加をもたらしたと判断した。ただし、2000年代半ばから秋生まれ群の産卵場面積に減少傾向があり、これが全体の漁獲量の微減傾向と一致しており、今後のスルメイカ資源の減少が懸念される。

(8) IPCCによる地球温暖化シナリオに準拠して、2050年に海面水温が2°C上昇、2100年に4°C上昇する場合の、スルメイカ的生活史の変化(産卵期、産卵場、回遊経路、分布海

域の変化など)を調べた。その結果、産卵場の位置は日本海南西部から東シナ海大陸棚-斜面域で変化しないが、産卵期のピークは、現在の10-2月から、2°C上昇で11-3月、4°C上昇で12-4月と季節的に変化すると推定された。

(9) 1970年以降の生まれ群の変化は、1970年代半ばまでの温暖レジーム期には、秋-冬生まれ群が主体であり、1970年代半ばから1980年代末までの寒冷レジーム期には秋生まれ群に収斂し、1980年代末からの温暖レジーム期には、再び秋-冬生まれ群へと拡大していた。

(10) ただし、2000年代半ばからは、秋-冬生まれ群の産卵場面積は縮小傾向が続いており、これが全体の漁獲量の減少と一致していた。今後の資源動向に本研究の予測手法を適用できるため、環境変化指標を使って資源変化を慎重に追跡する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計36件)

- ① Y.Iwata, Y.Sakurai: Threshold dimorphism in ejaculate characteristics in the squid *Loligo bleekeri*. *Marine Ecology Progress Series* 345: 141-146 (2007) 査読有
- ② J.Yamamoto, T.Shimura, R.Uji, S.Watanabe, Y.Sakurai: Vertical distribution of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) paralarvae near the Oki Islands, southwestern Sea of Japan. *Marine Biology*, 153: 7-13 (2007) 査読有
- ③ Y.Sakurai: An overview of Oyashio Ecosystem. *Deep-Sea Research II*, 54: 2525-2542 (2007) 査読有
- ④ Y.Sakurai: How climate change might impact squid populations and the ecosystems: A case study of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. "The Role of Squid in Open Ocean Ecosystems", GLOBEC Report, 24: 33-34 (2007) 査読無
- ⑤ 桜井泰憲: レジームシフトを含む気候変化に応答するイカ類の資源変動. 113-129pp, 「レジームシフト-気候変動と生物資源管理-」, 川崎健, 花輪公男, 谷口旭, 二平章・編, 成山堂書店, 東京, 216pp (2007) 査読無
- ⑥ H.Furukawa, Y.Sakurai: Effect of low salinity on the survival and development of Japanese common squid *Todarodes pacificus* hatchling. *Fisheries Science*,

- 74(2): 458-460 (2008) 査読有
- ⑦ Y.Iwata, C.L.Lian, Y.Sakurai: Development of microsatellite markers in the Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Ommastrephidae). *Molecular Ecology Resources*, 8, 466-468 (2008) 査読有
- ⑧ H.Kidokoro, Y.Sakurai: Influence of environmental condition on the gonadal development and emaciation of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Ommastrephidae). *Fisheries Science*, 74: 553-561 (2008) 査読有
- ⑨ Y.Iwata, K.Ito, Y.Sakurai: Is commercial harvesting of spawning aggregations sustainable?-The reproductive status of the squid *Loligo bleekeri*. *Fisheries Research* 102 (2010) 286-290 (2010) 査読有
- ⑩ 桜井泰憲・山本潤: レジームシフトにตอบสนองする魚類とイカ類資源の変動—プロセス研究の重要性. レジームシフト研究-II—歴史と現状および今後の課題, 月刊海洋, 41(1): 33-42 (2009) 査読無
- ⑪ 桜井泰憲: 水族館の飼育技術から地球温暖化研究へ, 35-52pp, (猿渡敏郎, 西源二郎・編), 「研究する水族館, 水槽展示だけではない知的な世界」, 東海大学出版会, 東京, 238pp (2009) 査読無
- ⑫ 桜井泰憲: 地球温暖化が水産資源に与える影響, 49-73pp, (日本農学会・編), シリーズ 21 世紀の農学「地球温暖化問題への農学の挑戦」, 養賢堂, 東京, 211pp (2009) 査読無
- ⑬ K.Drinkwater, G. (他 8 名) Y.Sakurai (6 番目): Climate forcing on marine ecosystems. *Marine Ecosystems and Global Change*, ed. By M.Barange et al., Publ. by Oxford University Press, New York, 11-39pp (2010). 査読有
- ⑭ 桜井泰憲・アナ・ルイザ・ロサ・山本潤: スルメイカの短期 (翌年) 予測の可能性について. 平成 20 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 65 (2009) 査読無
- ⑮ アナ・ルイザ・ロサ・山本潤・桜井泰憲: Long term variation of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, spawning area using sea surface temperature as a limitation factor. 平成 20 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 66-67 (2009) 査読無
- ⑯ H.J.Song, S.Kim, Y.Sakurai: Diet of common squid (*Todarodes pacificus*) larvae and juveniles in Korean waters. 平成 20 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 72(2009) 査読無
- ⑰ 高原英生・桜井泰憲: スルメイカへのアニサキス科線虫類幼生の寄生. 平成 20 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 77-78(2009) 査読無
- ⑱ A.L.Rosa, J.Yamamoto, Y.Sakurai: Effects of environmental variability on spawning areas, catch and recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Japan-Korea Joint Seminar on Fisheries Sciences*, 34-35 (2009) 査読無
- ⑲ H.J.Song, Y.Sakurai: Preliminary study of the possibility of size-dependent schooling in common squid *Todarodes pacificus*. 平成 21 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 48 (2010) 査読無
- ⑳ 三森明人・桜井泰憲: スルメイカの成長と成熟に対する水温の影響. 平成 21 年度スルメイカ資源評価会議報告 (日本海区水産研究所), 49-50 (2010) 査読無
- [学会発表] (計 35 件)
- ① Y.Sakurai: Predicting life changes of marine key species based on global warming scenarios of IPCC. GLOBEC SSC Meeting, 2007 年 5 月 26 日, 広島市
- ② Y.Sakurai: Sustainable fisheries management based on marine ecosystem approach. 第 21 回太平洋学術会議 (PSC21), 2007 年 6 月 14 日, 那覇市
- ③ Y.Sakurai: Prediction of life strategy and stock fluctuation of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* related to climate change during the 21st Century. 第 16 回太平洋海洋科学機構 (PICES) サイエンスボード・シンポジウム (招待講演), 2007 年 10 月 29 日, ビクトリア市, カナダ
- ④ Y.Sakurai: Overview of Oyashio/Kuroshio ecosystems and the sustainable fisheries in Japan. 第 1 回日中科学フォーラム 2008 年 3 月 6 日, 北京市, 中国
- ⑤ 桜井泰憲: レジームシフトとイカ類・魚類資源の変動. 平成 19 年度日本海洋学会シンポジウム, 2008 年 3 月 30 日, 東京
- ⑥ Y.Sakurai: Review on the stock fluctuation of common squid related to climate change. CREAMS/EAST Joint Symposium, 2008 年 7 月 4 日, ソウル, 韓国
- ⑦ 桜井泰憲: 地球温暖化が水産資源に与える影響. 日本農学会シンポジウム, 2008 年 10 月 11 日, 東京
- ⑧ Y.Sakurai: Can we explain and predict stock fluctuation of the Japanese

- common squid, *Todarodes pacificus*, related to climate change during the 20th-21st Century World Fisheries Congress. 2008年10月23日, 横浜市
- ⑨ Y.Sakurai: Reproductive characteristics of Japanese common squid and the stock fluctuation related to climate change. 海洋生物の繁殖に関する国際シンポジウム, 2009年2月20日, 瀬底町, 沖縄
- ⑩ A.L.Rosa, J.Yamamoto, Y.Sakurai: Effects of environment variability on the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* spawning areas to the catch and recruitment. The 18<sup>th</sup> PICES annual meeting, Oct.23-Nov.1, 2009, Jeju, Korea
- ⑪ S.Kim (他9名), Y.Sakurai (9番目): Effects of atmospheric and oceanographic variability on the common squid (*Todarodes pacificus*) in Korean and Japanese waters during the last 30 years. The 18<sup>th</sup> PICES annual meeting, Oct.23-Nov.1, 2009, Jeju, Korea
- ⑫ H.Kidokoro H.Goto T.Nagasawa H.Nishida, T.Akamine, Y.Sakurai: Impact of climatic regime shift on the migration pattern of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* in the Sea of Japan. Cephalopod International Advisory Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain
- ⑬ A.Mitsumori, Y.Sakurai: Effect of temperature on growth and maturation of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* in captivity. Cephalopod International Advisory Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain
- ⑭ A.L.Rosa, J.Yamamoto, Y.Sakurai: Monitoring the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, spawning area using environmental parameters. Cephalopod International Advisory Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain
- ⑮ Y.Sakurai, A.L.Rosa, J.Yamamoto, H.Kidokoro: Can we explain and predict the stock structure and fluctuation of Japanese common squid, *Todarodes pacificus* related to climate change during the 20th-21st Century? Cephalopod International Advisory Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain
- ⑯ H.Takahara, Y.Sakurai: Infection by larval anisakid nematodes in the common squid *Todarodes pacificus*. Cephalopod International Advisory

Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain

- ⑰ H.Song, S.Kim, Y.Sakurai: Diets of common squid (*Todarodes pacificus*) larvae and juveniles in Korean waters. Cephalopod International Advisory Council Symposium (CIAC' 09), Sep.7-11, 2009, Vigo, Spain
- ⑱ Y. Sakurai: Oyashio marine ecosystem: the past, present and future. 36<sup>th</sup> Annual Meeting of Pacific Seabird Group, Feb.22-25, 2009, Hakodate, Japan

[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

函館イカ学研究会ホームページ

<http://ikaken.sakura.ne.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

桜井 泰憲 (SAKURAI YASUNORI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号: 30196133

### (2) 研究分担者

山本 潤 (YAMAMOTO JUN)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教

研究者番号: 10292004

### (3) 研究協力者

森 賢 (MORI KEN)

(独) 水産総合研究センター・北海道区水産研究所・室長

研究者番号: 10443384

(H19: 研究分担者)

木所英昭 (KIDOKORO HIDEAKI)

(独) 水産総合研究センター・日本海区水産研究所・主任研究員

研究者番号: 50371894

(H19: 研究分担者)

後藤常夫 (GOTO TSUNEO)

(独) 水産総合研究センター・日本海区水産研究所・主任研究員

研究者番号: 10371890

(H19: 研究分担者)