

# 本州東北海域におけるツノナシオキアミの資源変動

2013年3月 自然環境学専攻 47-116626 本間洋一郎

指導教員 教授 白木原國雄

キーワード; ツノナシオキアミ, 資源変動, 本州東北海域, スケトウダラ, 水温, 密度効果

## 1. はじめに

ツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica*) は、北太平洋の亜寒帯域から温帯域におけるオキアミ目オキアミ科の動物プランクトンであり、北太平洋の食物連鎖において多種の動物の重要な餌となっている。昼間は深部に生息し夜間に浅部に上昇する日周鉛直移動を行い、ツノナシオキアミの餌である上層部の植物プランクトンの栄養段階と、下層部の動物の栄養段階をつなげる役割を果たしている。また東北沿岸域においては、春季の漁獲対象であり(1990年代平均年間水揚量6万トン, 平均年間総売上31億円), 漁獲期の始まりと終わりは、近辺の水温を下げる親潮海流の影響が大きい(Taki 2006). Yamamura et al.(1998) は底魚類のツノナシオキアミの消費量がツノナシオキアミの水揚量の15 - 64%にあたることを報告し、ツノナシオキアミ漁業が生態系に大きな影響を与えるのではないかと述べている。しかしながら、価格の暴落を避けるための漁獲量規制はされているものの、海洋生態系と漁業における重要性にも関わらず、本種を対象にした資源管理・評価についてはなされていない。これらを考慮し、本研究では生態系を考慮したツノナシオキアミの資源管理またツノナシオキアミを中心とした生態系の管理に寄与するため、漁獲、捕食、水温、密度効果がツノナシオキアミの資源変動に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## 2. 資料と方法

### i) ノルパックネットサンプリングデータから見た資源変動 (1993-1999年)

年別、調査定点別のツノナシオキアミの密度、海表面と100m深度における水温のデータ(Taki 2004)を用いた。対象海域を東経145度以西とした。捕食者としてスケトウダラ0歳魚をとりあげ、その資源量推定値を用いた(森ほか 2011)。ツノナシオキアミの資源変動について、沿岸域と沖合域の比較、季節毎の比較、捕食者、水温との関連の解析を行った。

### ii) ノルパックネットサンプリングデータと漁獲統計の比較

i)からの資源量指数(1回のネットサンプリングあたりの採集量)の年変動と漁獲統計における単位努力量(漁獲船数×漁獲日数)あたりの漁獲量(CPUE)の年変動のパターンを比較し、より長期間にわたって得られている後者の資源量指標としての有効性の確認を試みた。CPUEについて3つの標準化を仮定した。

### iii) 漁獲統計から見た資源変動 (1991-2010年)

漁業が行われている東北沿岸域における漁獲量とCPUE(単位努力あたり漁獲量)を用いた(1991-2001:Taki(2002), 2002-2010:東北ブロック水産海洋連絡会報)。捕食者としてスケトウダラ0歳魚の資源量推定値(森ほか 2011)を用いた。当該海域の年別月別の水温(0m, 50m, 100m深度)を、日本海洋データセンター (<http://www.jodc.go.jp/>) と海洋研究開発機構 (<http://www.jamstec.go.jp/>) のデータベースをもとに友定が1° x 1°区画に整理したものから算出した。捕食、漁獲、水温、密度効果が資源変動に与える影響を調べるために、以下の二つの方法で評

価した; (1)オキアミ資源の年変化率に影響を与える要因の抽出のための重回帰分析, (2)資源変動の評価のための状態空間余剰生産モデルの適用である.

#### 方法 1: ツノナシオキアミの年資源変動への影響

$$(U_{t+1} - U_t)/U_t = \alpha U_t + \beta (C_t/U_t) + \gamma (\text{Pred}_t/U_t) + \sum b_i (\text{Temp}_{i,t}) + \text{intercept} + \varepsilon$$

U は CPUE, C はツノナシオキアミ漁獲量, Pred は捕食者重量,  $\text{Temp}_i$  は i 月における平均水温,  $\varepsilon$  は平均 0, 分散  $\sigma^2$  の正規分布, t は年である. ステップワイズ変数選択から, CPUE の年変化率を説明する要因を抽出した.

#### 方法 2: 状態空間余剰生産モデル

$$P_{t+1} = \{P_t + r(1 - P_t/K)P_t - C_t - a(\text{Pred}_t)\} \times \varepsilon_t$$

$$U_t = q \times P_t \times \omega_t$$

水産資源学の分野で用いられる余剰生産モデル(Schaefer 1954)を拡張した上記のモデルでパラメータの推定を行い, 漁獲と捕食の影響を調べた. P はツノナシオキアミ資源量, r は内的自然増加率, K は環境収容力, a は捕食者係数(捕食者単位重量当たりのツノナシオキアミ捕食重量), q は漁獲能率,  $\varepsilon$  はモデルと真実との相違を考慮した過程誤差(平均 1 の対数正規分布),  $\omega$  は観測誤差(平均 1 の対数正規分布)である. データの不確実性を考慮し, ベイズ分析によりパラメータの推定を行った. 各パラメータの情報が乏しいため, それぞれに無情報事前分布として一様分布を与えた. 得られているデータ (CPUE, 漁獲量, 捕食者推定資源量) を用いて事前分布を更新して事後分布を求めた.

### 3. 結果と考察

#### i) ノルパックネットサンプリングデータから見た資源変動 (1993-1999 年)

沿岸域の方が沖合域よりツノナシオキアミの密度が低かった. 年間平均の年変動と季節平均による年変動は, 似たようなパターンを示した. 捕食者-被捕食者の密度依存型関係が考えられた. ツノナシオキアミと水温との間では明瞭な関係は見られなかった.

#### ii) ノルパックネットサンプリングデータと漁獲統計の比較

CPUE とノルパックネットによるツノナシオキアミの密度の間に, 有意な正の相関が見られた. 年変化に類似性があり, CPUE は資源量指標として有効であるとみなした.

#### iii) 漁獲統計から見た資源変動 (1991-2010 年)

方法 1 で選択されたモデルでは, 密度(CPUE)と春前期の水温が負の偏回帰係数を伴い, 春後期の水温が正の偏回帰係数を伴った. ツノナシオキアミの資源には密度効果が効いているであろう. 春後期の高めの水温が正に, 春前期の高めの水温が負に影響するが, それはツノナシオキアミの卵と幼生の生存率が水温と捕食者によって変化するためと考えられる(Taki 2006). 余剰生産モデルからは, 現状のツノナシオキアミ漁業レベル, 現状のスケトウダラ 0 歳魚の捕食レベルが, 余剰生産量を越えることは少なく, ツノナシオキアミの資源量にとって脅威とはならないと考えられた.

### 4. 参考文献

Taki K (2006) Studies on fisheries and life history of *Euphausia pacifica* HANSEN off northeastern Japan. Bulletin of Fishery Research Agency 18: 41-165 PhD Thesis, the University of Tokyo, Tokyo.

# Population fluctuation of the Pacific krill *Euphausia pacifica* off northeastern Honshu, Japan

March 2013, Department of Natural Environmental Studies, 47-116626, HOMMA, Yoichiro  
Supervisor; Prof. SHIRAKIHARA, Kunio

Keywords; the Pacific krill, population fluctuation, northeastern Honshu Japan, walleye pollock, water temperature

## 1. Introduction

Pacific krill (*Euphausia pacifica*) is a dominant euphausiid species, one of zooplanktons distributed from subarctic to temperate regions of the North Pacific. It has diel migration behavior and plays important roles in the marine ecosystem by consuming primary producers at surface layer and being eaten by higher consumers in deep. It is also a fishery target at coastal area off shore of northeastern Japan in spring (Average fishery catch/year: 60 thousands ton, average economic yields/year: 3.1 billion yen in 1990's), and the start and end of the fishing period depend upon the arrival of the Oyashio Current which influences the water temperature around the area (Taki 2006). Yamamura (1998) reports that the krill consumption by demersal fish at the local area was estimated to be 15-64% of the amount of the krill commercial catch, and suggests that the krill fishery may have great impact on the ecosystem. However, yearly population fluctuation of the krill has not been analyzed in spite of its magnificent role in the ecosystem and fishery. Therefore, fluctuation of the krill abundance is examined in terms of effect of fishery, predation, water temperature, and density effect in order to contribute to the evaluation of management of the krill and to the ecosystem management focusing on the krill.

## 2. Materials and Methods

### i) Fluctuation of the Pacific krill population based on Norpac net sampling (1993-1999)

The density of the krill, water temperature at the sea surface and 100m depth in Taki (2004) were used for the area west of 145°E. As a predator, estimated stock size of 0 year old pollock was used (Mori et al. 2011). Yearly fluctuation was analyzed in terms of difference in near and off shore, seasons, and relation to predation and water temperature.

### ii) Comparison of Norpac net sampling data and fishery statistics

The same data above (Taki 2004) and fishery statistics were used. Patterns of fluctuations of those were compared to examine whether Catch Per Unit Effort (the effort is number of fishing boats times number of fishing days) was suitable to use as abundance index. Three standardizations of CPUE were assumed.

### iii) Fluctuation of the Pacific krill population based on Fishery Statistics (1991-2010)

Catches and CPUEs were used (1991-2001: Taki(2002), 2002-2010: Bulletin of Tohoku Regional Committee on Fisheries Oceanography). Estimated stock size of 0 year old pollock as a predator was from Mori et al. (2011). Water temperatures were averaged for each month in each year referred to data in Japan Oceanographic Data Center (<http://www.jodc.go.jp/>) and Japanese Agency for Marine-Earth Science and Technology (<http://www.jamstec.go.jp/>). Effects of fishery, predation, water temperature, and density effect

on the krill population were evaluated by following two methods; (1) multiple regression to explore the effects of the above factors on the annual rate of change in population, (2) state-space surplus production model to assess yearly population fluctuation.

Method1: The effects on the annual rate of change in Krill population

$$(U_{t+1} - U_t)/U_t = \alpha U_t + \beta (C_t/U_t) + \gamma (\text{Pred}_t/U_t) + \sum b_i (\text{Temp}_{i,t}) + \text{intercept} + \varepsilon$$

where U: CPUE, C: catch, Pred: weight of predator, Temp<sub>i</sub>: average water temperature at i<sup>th</sup> month, ε: normal distribution with mean 0 and variance σ<sup>2</sup>, t; year. Explanatory variables were selected by stepwise method.

Method2: Surplus production model with state space model

$$P_{t+1} = \{P_t + r(1 - P_t/K)P_t - C_t - a(\text{Pred}_t)\} \times \varepsilon_t$$

$$U_t = q \times P_t \times \omega_t$$

where P: abundance in weight, r: intrinsic rate of increase, K: carrying capacity, a: predatory coefficient (amount in weight consumed by the predator per unit weight of the predator), q: catch ability, ε: process error (lognormally distributed with mean1) derived from the errors in the model, ω: observation error (lognormally distributed with mean1) derived from the errors in measurement. Considering uncertainty in the model and data, Bayesian approach was used to estimate parameters. Because each parameter has little information, uniform distribution was given as prior distribution for each parameter. Posterior distributions were obtained using the data (CPUE, catch, predator).

### 3. Results and Discussion

i) Fluctuation of the Pacific krill population based on Norpac net sampling (1993-1999)

The density near shore was lower than off shore. Yearly fluctuation for each season and all year showed similar pattern. Population oscillations expected from Lotka-Volterra system was suspected to occur between prey and predator. Clear relation between the density and water temperature was not found.

ii) Comparison of Norpac net sampling data and fishery statistics

There was a significantly positive correlation between density by norpac net sampling and a standardized CPUE. The density and CPUE showed similar pattern in yearly fluctuation. Thus, CPUE was used as abundance index.

iii) Fluctuation of the Pacific krill population based on Fishery Statistics (1991-2010)

The density effect (CPUE) and water temperatures in early spring were selected with negative partial coefficient and the water temperatures in late spring were selected with positive partial coefficient. The density effect might work on the krill population. The higher water temperature in late spring might work positively and the higher water temperature in early spring might work negatively because the survival rate of eggs and larvae would depend upon the temperature and vulnerability to predator (Taki 2006). From the surplus production model, the effect of fishery and predation by young pollock at the present level were supposed not to threaten the population of the krill since the amounts rarely exceeded the expected replacement yields or surplus production.

### IV Reference

Taki K (2006) Studies on fisheries and life history of *Euphausia pacifica* HANSEN off northeastern Japan.

Bulletin of Fishery Research Agency 18: 41-165 PhD Thesis, the University of Tokyo, Tokyo