

## ミナミマグロ漁場で漁獲される主要サメ類の CPUE 標準化手法の比較

Comparison of CPUE standardization methods for the main pelagic shark species  
caught in the high sea SBT longline fishery遠洋水産研究所 熱帯性まぐろ資源部  
松永浩昌・庄野宏

Matsunaga H and Shono H.

*National Research Institute of Far Seas Fisheries, FRA, JAPAN*

The standardized CPUE for blue shark, porbeagle and shortfin mako shark, which are the main pelagic species in the SBT longline fishery, were calculated using the RTMP observer data from 1992 to 2005 with three mathematical models (CPUE lognormal model, CATCH negative binominal model, Delta-lognormal model). Regarding model comparison, there was little difference among these three models for blue shark. CPUE trends were much similar but CPUE levels were different among models for shortfin mako. Furthermore, some differences of CPUE level and relative trend were observed for porbeagle. These results may have relation with the differences of zero-catch ratios. Therefore it is thought to be better to use CATCH negative binominal model or Delta-lognormal model for the data including a lot of zero-catch. While there were some fluctuations, remarkable increasing or decreasing trends of standardized CPUE for the three species were not observed. Therefore, it is supposed that there were not significant changes of stock status for these species from 1992 to 2005.

## 【要約】

RTMP オブザーバープログラムによって 1992 年から 2005 年の 14 年間に収集されたデータに基づいて、ミナミマグロ漁場においてマグロ延縄漁船によって漁獲される主要な外洋性サメ類であるヨシキリザメ、ニシネズミザメ、アオザメの 3 種について CPUE を 3 つのモデル (CPUE-lognormal モデル、Catch 型モデル、Delta 型 2 段階モデル) を用いて標準化し、その経年変化から資源状態の変動を再度検討すると共にモデルの比較を行なった。ヨシキリザメでは何れのモデルを使っても標準化された CPUE に差は見られなかった。アオザメでは CPUE の経時的なトレンドはモデル間で類似していたが、CPUE の絶対値のレベルがモデル間で異なっていた。更にニシネズミザメでは CPUE-lognormal モデルは他のモデルと CPUE のレベルも経時的トレンドも異なっていた。これらの違いは各種におけるゼロキャッチ率の違いに関係があるものと推測され、ゼロが多いデータに対しては Catch 型モデルもしくは Delta 型 2 段階モデルを適用するのが適当であると判断された。また、

何れの種においても CPUE は年変動が見られたが、顕著な増加・減少傾向は認められず、この期間において資源状態に大きな変化は無かったもの考えられた。

#### 【はじめに】

ミナミマグロ漁場では、マグロ延縄漁船によってヨシキリザメ、ニシネズミザメ、アオザメ等の外洋性サメ類が漁獲されている（松永・松下 2001）。日本が 1992 年から実施している RTMP オブザーバープログラムで得られたデータの CPUE 解析から、これらの主要なサメ類 3 種の資源状態は安定的に推移していると推定されている（Matsunaga et al. 2001、松永・中野 2004、Matsunaga 2006）。ゼロキャッチの操業を多く含む非漁獲対象種の漁獲データは正規分布を仮定した統計モデルに適合しないことが指摘されている（庄野 2005）。これまでの CPUE 解析では、ヨシキリザメの様にゼロキャッチが少ない場合は定数項を加えた CPUE-lognormal モデル、アオザメの様に多い場合は Catch 型モデルを用いて標準化を行ってきたが、最近では Delta 型 2 段階モデルの使用が推奨されている（庄野 2004）。ここでは上記の異なった 3 モデルを用いて CPUE を標準化し、モデル間の比較を行なうと共に、各種の資源変動傾向について検討した。

#### 【材料と方法】

RTMP オブザーバープログラムによって 1992 年から 2005 年の 14 年間に収集された漁獲データを使用した。海域は、ミナミマグロ資源解析に使われている区分に従ったが、操業数と漁獲尾数の少ない海区を除いて、4、7、8、9 の 4 海区を用いた（図 1）。

CPUE の標準化は現在国際会議等で良く使われている以下に示した 3 つのモデルを用いて行なった。

①CPUE-Lognormal モデル（全ての CPUE に一定量を加える ad-hoc な方法）

モデル式

$$E(\text{Log}(\text{CPUE}+C)) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + \text{INA} + \text{ERROR} \quad \text{ERROR} \sim N(0, \sigma^2)$$

変数の定義

CPUE: 漁獲尾数/ 1000 鈎 C: 定数項 INC: 切片項 AR: 海域の効果 (4)

YR: 年の効果 14 (1992 - 2005) QT: 季節の効果 4 (1-3, 4-6, 7-9, 10-12)

GE: 漁具の効果 3 (枝縄数 : 1-8, 9-14, 15-30) INA: 交互作用

②Catch 型モデル（漁獲の分布にポアソンや負の 2 項分布を仮定する）

$$E(\text{CATCH}) = (\text{Effort}) * \text{EXP}(\text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + \text{INA}) \quad \text{CATCH} \sim \text{NB}(\alpha, \beta)$$

CATCH: 漁獲尾数

③Delta 型 2 段階モデル（第 1 段階でゼロキャッチ率を logit モデル等で推定し、第 2 段階で非ゼロの CPUE の推定を行なう）

$$E(\text{Log}(R/(1-R))) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + \text{INC} + (\text{Log}(\text{Effort})) \quad R \sim \text{Bin}(p)$$

R: ゼロキャッチ率

$$E(\text{Log}(\text{CPUE})) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + \text{INA}$$

CPUE  $\sim N(\mu, \sigma^2)$  CPUE: ゼロキャッチを除いた漁獲率

変数選択はステップワイズ F 検定で行なった。モデル間の比較は変数を各モデルに共通な変数に揃えた上で、CPUE の推定絶対値と相対値の傾向、実データ解析でのモデル評価に有効とされているクロスバリデーションを用いて行なった。クロスバリデーションの方法は以下の通りである。

- a. データをランダムに5つのサブセットに分割
- b. 1つのサブセットの応答変数を全て隠し、残りのサブセットでモデルによる解析を行ない、観測値に対する予測値を計算
- c. 隠したサブセットの観測値と予測値のズレを計算、今回は残差の絶対値の平均と相関係数を求めた
- d. 全てのサブセットについて以上の計算を行なう

#### 【結果と考察】

最終的に選択されたモデルは以下の通りである。

ヨシキリザメ :

$$\text{Log}(\text{CPUE} + 1) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR}$$

$$\text{CATCH} = (\text{Effort}) * \text{EXP}(\text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR})$$

$$\text{Log}(R/(1-R)) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{GE} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR} + (\text{Log}(\text{Effort}))$$

$$\text{Log}(\text{CPUE}) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{BR}) + \text{ERROR}$$

アオザメ :

$$\text{Log}(\text{CPUE} + 0.01) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR}$$

$$\text{CATCH} = (\text{Effort}) * \text{EXP}(\text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR})$$

$$\text{Log}(R/(1-R)) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR} + (\text{Log}(\text{Effort}))$$

$$\text{Log}(\text{CPUE}) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{ERROR}$$

ニシネズミザメ :

$$\text{Log}(\text{CPUE} + 0.1) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR}$$

$$\text{CATCH} = (\text{Effort}) * \text{EXP}(\text{INC} + \text{YR} + \text{AR} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR})$$

$$\text{Log}(R/(1-R)) = \text{INC} + \text{YR} + \text{AR} + \text{GE} + (\text{AR} * \text{GE}) + \text{ERROR} + (\text{Log}(\text{Effort}))$$

$$\text{Log}(\text{CPUE}) = \text{INC} + \text{YR} + \text{QT} + \text{AR} + \text{ERROR}$$

図 2 及び図 3 に 3 つのモデルによる各種の標準化された CPUE の絶対値と相対値（平均値との比）の経年変化を示した。

ヨシキリザメは何れのモデルも同様な結果を示し、1992 年から 95 年まで低いレベルで、1996 年から 2000 年の間は高い値を示したが、その後は再び低くなった。14 年間という短期間において変動を繰り返し、顕著な増減傾向は見られなかった。ミナミマグロ漁場の多くを含むインド洋を始め、大西洋、太平洋の 3 大洋におけるサメ類全体の CPUE も、1970 年から 2005 年にかけて 30 年以上の間で安定的に変動し、顕著な増減は認められておらず（松永・中野 2006）、これがヨシキリザメの資源変動を示していると考えられている（Nakano 1996）。従って、ヨシキリザメ資源は地球規模で安定的に推移しているものと推測される。

アオザメはモデル間で CPUE 絶対値のレベルが異なり、Delta 型 2 段階モデルが最も高く、CPUE-Lognormal モデルが低い水準を推移していた。しかし相対値の変動は似通っており、1993 年から 95 年の間は他の年に比べて少し低く、96～03 年はほぼ一定で、04 年以降は増加傾向が見られた。長期的な変動に関しては不明であるが、この 14 年間に資源状態に大きな変化は無く、比較的安定していたものと考えられる。クロスバリデーションの結果（表 1）から、Delta 型 2 段階モデルが最も適しているものと考えられたが、Catch 型モデルとの違いは小さかった。

ニシネズミザメの CPUE の絶対値はアオザメと同様に Delta 型 2 段階モデルが最も高く、CPUE-Lognormal モデルが低かった。相対値は Catch 型モデルと Delta 型 2 段階モデルに違いは見られなかったが、CPUE-Lognormal モデルでの変動が大きかった。全体として安定しており、アオザメと同様、資源状態の変化は小さいものと思われる。クロスバリデーションの結果（表 2）から、Catch 型モデルが最適であると判断されたが、Delta 型 2 段階モデルとの違いは小さかった。

以上の結果から、ヨシキリザメでは何れのモデルでも差は無いが、ニシネズミザメでは Catch 型モデル、アオザメでは Delta 型 2 段階モデルを使うのが良いと判断された。この事は、ゼロキャッチ率の違い（ヨシキリザメ：30%、ニシネズミザメ：60%、アオザメ：85%）が関わっているものと推測された。

調査の対象となった水域においては何れの種も未成魚が多く、これらのサメ類の生育場になっているものと考えられているので（松永・松下 2001）、標準化された CPUE は主として若令魚の資源状態を示すものと言えるだろう。これらのサメ類の資源状態を今後もモニターしていく必要がある。

## 【結論】

ミナミマグロ漁場に出現する主要な外洋性サメ類であるヨシキリザメ、ニシネズミザメ、アオザメの 1992 年から 2005 年における標準化した CPUE から判断して、何れの種も当該期間において資源状態に大きな変化は無かったものと考えられた。また、ヨシキリザメで

は何れのモデルを使っても差は無いが、ニシネズミザメでは絶対値のレベルと相対値のトレンド、アオザメでは絶対値のレベルがモデル間で異なっていた。これらの違いは各種におけるゼロキャッチ率の違いに関係があるものと推測され、ゼロが多いデータに対しては Catch 型モデルもしくは Delta 型 2 段階モデルの適用するのが適当であると判断された。

#### 【文献】

Nakano, H. (1996): Historical CPUE of pelagic shark caught by Japanese longline fishery in the world. Information Paper submitted to the 13<sup>th</sup> CITES Animals Committee, Doc. AC. 13.6.1 Annex, 7pp.

Matsunaga, H (2006): Update of standardized CPUE for the main pelagic shark species dominated in the SBT fishery, 1992-2004. CCSBT-ERS 提出文書

松永浩昌・中野秀樹 (2004) : ミナミマグロ漁場で漁獲される主要サメ類の CPUE の経年変化. CCSBT-ERS 提出文書

松永浩昌・中野秀樹 (2007) : ヨシキリザメ. 国際漁業資源の現況、37-38. 水産庁・水産総合研究センター.

Matsunaga, H, H. Nakano and H. Minami (2001): Standardized CPUE and catch for the main pelagic shark species dominated in the SBT fishery. CCSBT-ERS 提出文書

松永浩昌・松下由紀子 (2001) : ミナミマグロ漁場におけるマグロ・カジキ類を除く混獲魚種の時空間的分布. CCSBT-ERS 提出文書.

庄野宏 (2004) : CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究、68(2); 106-120.

庄野宏 (2004) : CPUE 解析等に関する研究の概要. 遠洋、116、8-13.

Table 1 Result of n-fold cross validation to compare the three model for shortfin mako. (upper; correlation coefficient, lower; mean squares of errors, CPUE-LN; CPUE-lognormal model, Catch-NB; CATCH negative binominal model, Del-LN; Delta-lognormal model, highlights indicate the best values)

	1	2	3	4	5
CPUE-LN	0.316	0.229	0.266	0.332	0.330
Catch-NB	0.330	0.241	0.287	0.343	0.350
Del-LN	0.357	0.271	0.299	0.351	0.357
CPUE-LN	125	213	165	145	126
Catch-NB	106	192	143	121	102
Del-LN	104	190	143	122	103

Table 2 Result of n-fold cross validation to compare the three model for porbeagle.

	1	2	3	4	5
CPUE-LN	0.298	0.343	0.336	0.317	0.309
Catch-NB	0.310	0.352	0.336	0.320	0.322
Del-LN	0.304	0.332	0.335	0.316	0.315
CPUE-LN	1402	958	1007	1371	1221
Catch-NB	1212	841	880	1216	1064
Del-LN	1261	864	898	1250	1100

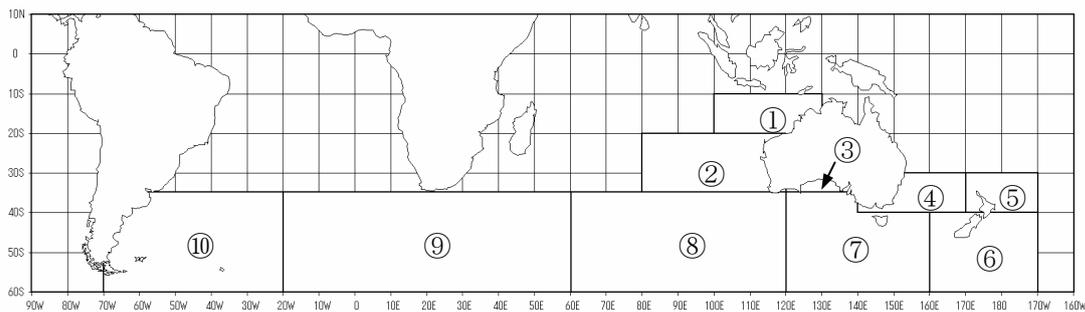


Fig.1 Area classification used for the analysis.

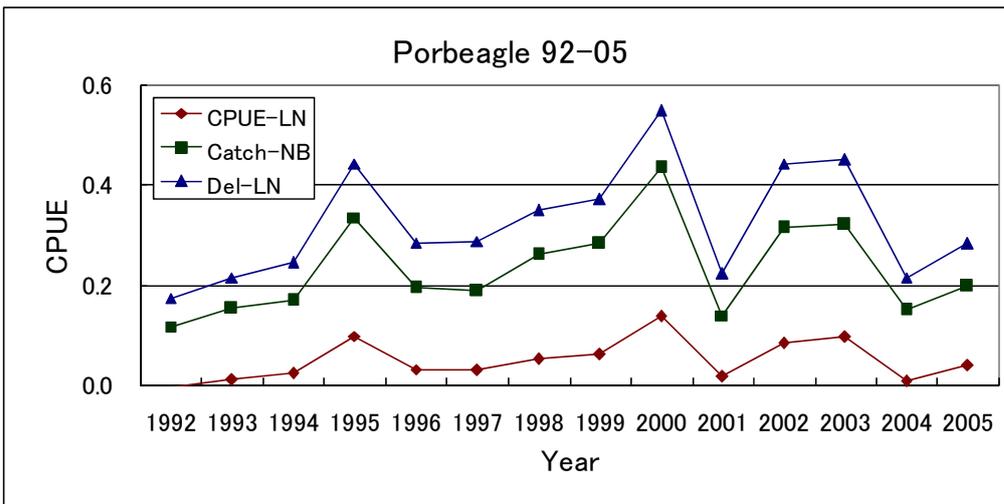
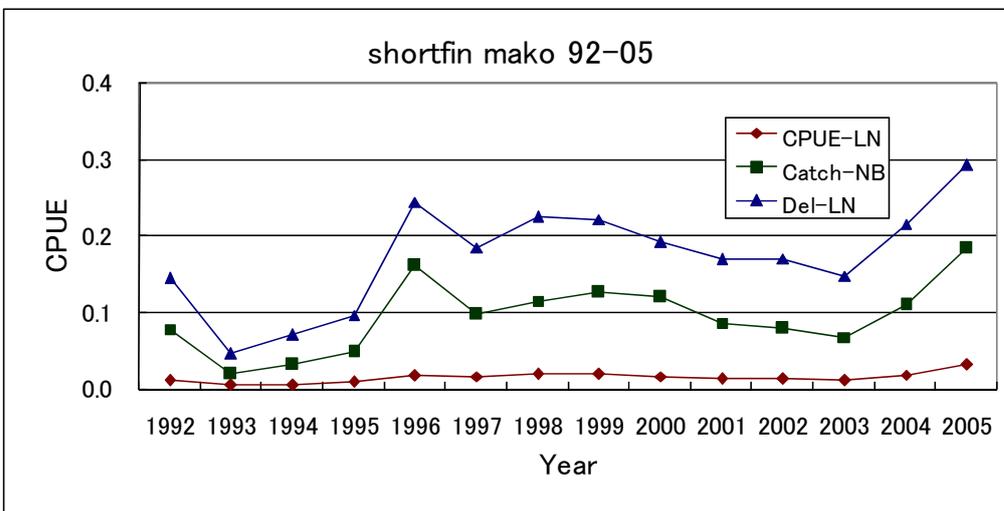
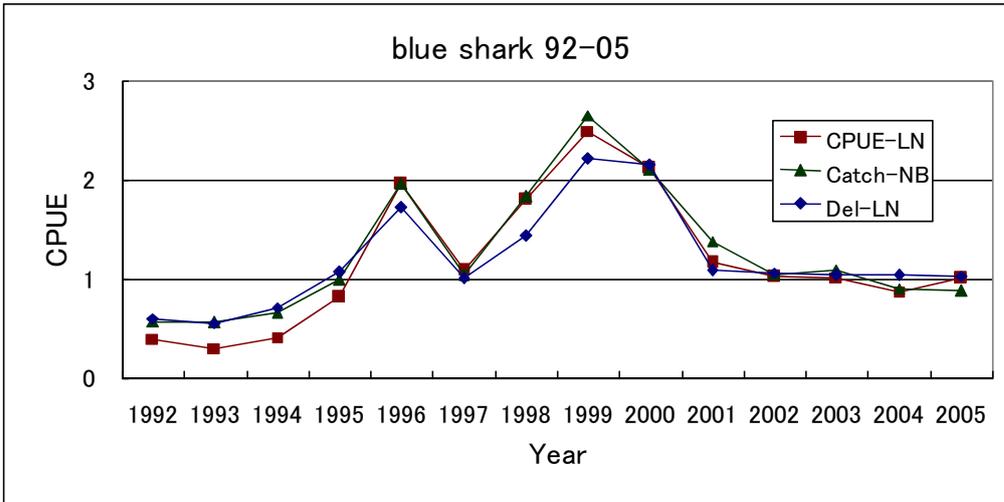


Fig.2 Standardized CPUE for three shark species obtained applying three methods.

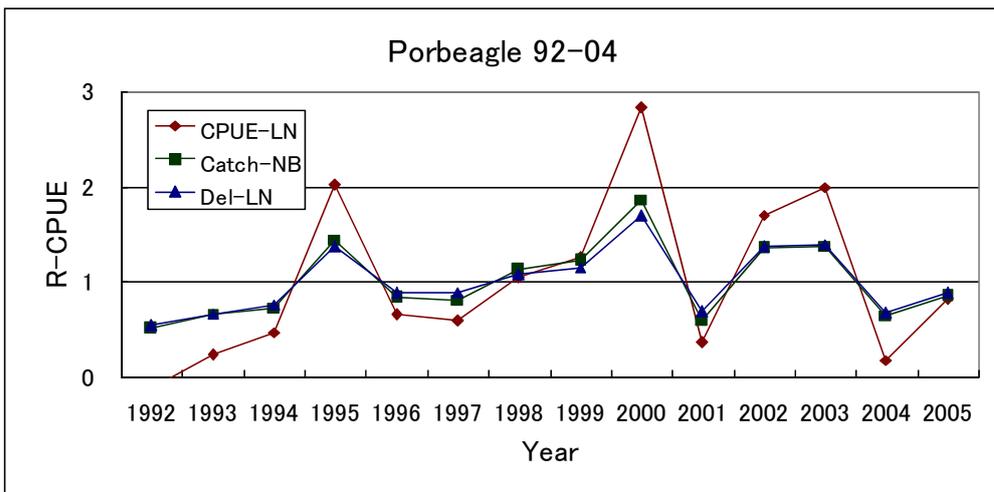
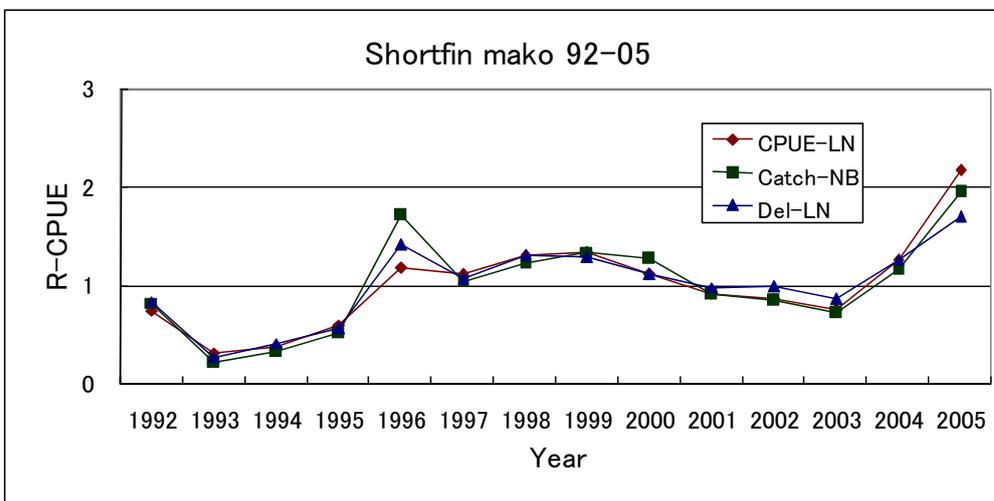
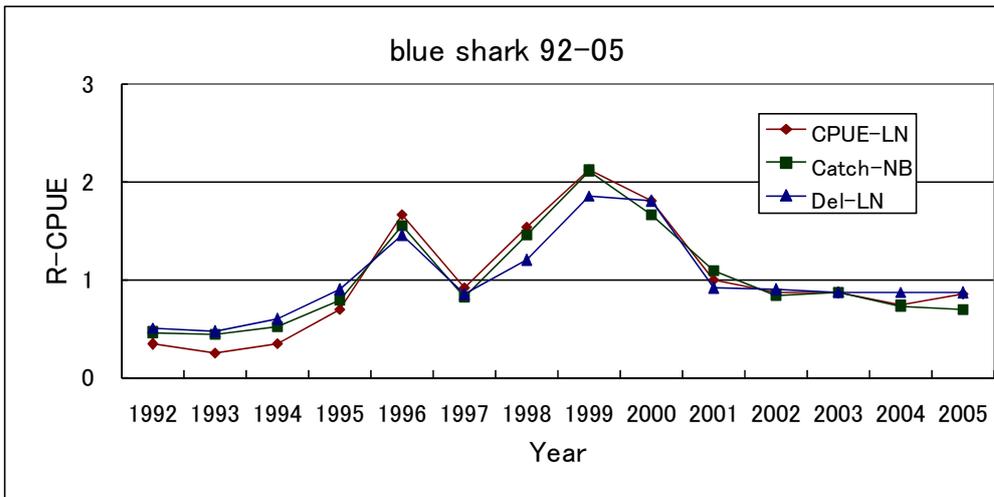


Fig.3 Relative trend of standardized CPUE for three shark species obtained applying three methods.